105-019-7859
MOTC-IOT-104-H2DB005d

# 港灣防波堤堤頭三維沖蝕特性及防制機制之研究(3/4)

交通部運輸研究所

中華民國 105 年 3 月

105-019-7859
MOTC-IOT-104-H2DB005d

# 港灣防波堤堤頭三維沖蝕特性及防制機制之研究(3/4)

著者：邱永芳、李忠潘、蔡金吉

交通部運輸研究所

中華民國 105 年 3 月

105

# 港灣防波堤堤頭三維沖蝕特性及防制機制之研究(3/4)

交通部運輸研究所

GPN：1010500292
定價：250 元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

港灣防波堤堤頭三維沖蝕特性及防制機制之研究. (3/4) / 邱永芳, 李忠潘, 蔡金吉著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運研所, 民 105.03
面 ; 公分
ISBN 978-986-04-8188-4(平裝)

1.防波堤 2.海岸工程

443 105003787

**港灣防波堤堤頭三維沖蝕特性及防制機制之研究**(3/4)

著　　者：邱永芳、李忠潘、蔡金吉
出版機關：交通部運輸研究所
地　　址：10548 臺北市敦化北路 240 號
網　　址：www.ihmt.gov.tw (中文版＞中心出版品)
電　　話：(04)26587176
出版年月：中華民國 105 年 3 月
印 刷 者：禾泰印刷設計有限公司
版(刷)次冊數：初版一刷 70 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站
定　　價：新臺幣 250 元
展 售 處：
交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880
國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02) 25180207
五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1010500292　　ISBN：978-986-04-8188-4 (平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）
本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

# 交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

<table>
<tr><td colspan="4">出版品名稱：港灣防波堤堤頭三維沖蝕特性及防制機制之研究(3/4)</td></tr>
<tr><td>國際標準書號<br>ISBN978-986-04-8188-4 (平裝)</td><td>政府出版品統一編號<br>1010500292</td><td>運輸研究所出版品編號<br>105-019-7859</td><td>計畫編號<br>104-H2DB005d</td></tr>
<tr><td>本所主辦單位：港研中心<br>主管：邱永芳主任<br>計畫主持人：邱永芳主任<br>研究人員：蔡金吉<br>參與人員：楊怡芸<br>聯絡電話：04-26587221<br>傳真號碼：04-26571329</td><td colspan="2">合作研究單位：國立中山大學<br>計畫主持人：李忠潘教授<br>研究人員：陳陽益、薛憲文、曾以帆、陳琪芳<br>地址：高雄市鼓山區蓮海路 70 號<br>聯絡電話：07-5252000</td><td>研究期間<br>自 104 年 02 月<br>至 104 年 12 月</td></tr>
<tr><td colspan="4">關鍵詞：沖蝕、防波堤堤頭、數值模擬、水工試驗</td></tr>
<tr><td colspan="4">摘要：<br><br>波浪或海流通過結構物時，可能在結構物臨近底床處造成沖蝕，導致結構的破壞甚或傾倒，港灣防波堤堤頭附近的海底地形，可能因為波浪及海潮流的集中、下沖或轉向等造成堤頭沖蝕。國內的港灣防波堤堤頭侵蝕實例有台中港及麥寮工業港，其中以麥寮工業港為例，其北防波堤堤頭原設計水深為 -22m，根據目前實測的海底地形顯示，堤頭附近海底地形有一處約 500m × 100m 的深坑，最深可達 -48m，沖刷深度達到 26m。由於防波堤堤頭的海底地形侵蝕，嚴重危及防波堤堤身及港灣船隻航行的安全，然而造成侵蝕的原因與機制仍然未知，因此急需進一步的觀察、研究、模擬、與驗證，以期提出有效的防制對策與工法。<br><br>本研究為四年合作研究計畫之第三年，以麥寮工業港為主要研究對象，進行堤頭附近實際波流場及海底地形變化特性與機制的觀測、分析、模擬、與驗證。主要研究方法將透過數值方法與水工模型試驗，與實測的波流場及海底地形侵蝕特性進行比對與修正。波浪或海流通過結構物時，結構物臨近底床處造成沖蝕，導致結構的破壞甚或傾倒，港灣防波堤堤頭附近的海底地形，因為波浪及海潮流的集中、下沖或轉向等造成堤頭沖蝕。水工試驗以麥寮港為主，以等比1/100模型縮尺進行颱風波浪地形變化，在堤後稍有淤積，距堤頭約200m處為輕微侵蝕，但整體來說地形侵淤變化不大，堤基相當安定，以不等比縮尺並加大波高、降低水位進行颱風波浪地形變化，結果顯示堤頭後側產生輕微淤積，綜合各條件之實驗結果，發現N向颱風波浪作用於麥寮西三防坡堤能在堤頭西南側現況為掏刷坑之區域產生侵蝕現象，掏刷地點趨勢上吻合。<br><br>本計畫主要針對港灣防波堤堤頭附近海域沖蝕特性進行現場觀測、水工試驗以及數值模擬預測，研究成果效益上，可提早發覺港灣防波堤堤頭附近海域沖蝕現象，降低防波堤等海事結構物塌陷的因素，維護船舶進出港的航行安全，以利港口營運順暢。</td></tr>
</table>

| 出版日期 | 頁數 | 工本費 | 本出版品取得方式 |
|---|---|---|---|
| 105 年 3 月 | 474 | 250 | 凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按工本費價購。 |

機密等級：
□密□機密 □極機密 □絕對機密
（解密條件：□ 年 月 日解密，□公布後解密，□附件抽存後解密，
□工作完成或會議終了時解密，□另行檢討後辦理解密）
■普通

備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS**
**INSTITUTE OF TRANSPORTATION**
**MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: Three-dimensional characteristics and prevention mechanisms of scour at the head of a breakwater (3/4)


| ISBN(OR ISSN) | GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER | IOT SERIAL NUMBER | PROJECT NUMBER |
|---|---|---|---|
| ISBN978-986-04-8188-4 (pbk) | 1010500292 | 105-019-7859 | 104-H2DB005d |



DIVISION:Harbor & Marine Technology Center
DIVISION Director: Chiu Yung-Fang
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiu Yung-Fang
PROJECT STAFF: Tsai Chin-Chi, Yang Yi-Yun
PHONE: +886-4-26587221
FAX: +886-4-26571329


PROJECT PERIOD
FROM February 2015
TO December 2015


RESEARCH AGENCY: National Sun Yat-sen University
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Lee Chung-Pan
PROJECT STAFF: Chen Yang-Yih, Shyue Shiahn-Wern, Tseng, I-Fan, Chen Chi-Fang
ADDRESS:
PHONE: +886-7-5252000



KEY WORDS:
Scour, Breakwater head, numerical model, hydraulic test



ABSTRACT：

The effect of wave-current and fluid-structure interaction on the offshore structures may erode around the seabed, which causes damage to or collapsing of the structures. Moreover, seabed topography near the end of the breakwater could be eroded by the contraction scour. In Taiwan, Taichung Port and Mailiao Harbor were cases concerning seabed erosion and scour near the breakwater head. As with the instance of Mailiao Harbor, the design depth in the entrance that closes to the north breakwater head was -22m. According to current sounding surveys of topography, there is a 500m x 100m deep pit with the maximum sounding of -48m near the breakwater head, which has been scoured approximately -26m. Although seabed erosion and scour near the breakwater head has become a serious threat to breakwater structures and the safety of navigation, the reasons and mechanisms that caused the erosion are still unknown. Therefore, there is an urgent need for further observation, research, simulation and verification in order to make effective prevention strategies and construction methods.

The main research objects in the third year of the four-year project regard Taichung Harbor and Mailiao Harbor. The main works contain: the search and literature analysis on the erosion of the seabed topography, detection and measurement of the seabed scours, site observation and analysis of waves and currents of the breakwater heads of these two ports respectively. Simulations of the tidal current distribution around the head of breakwater by using numerical model and physical model are also performed. Hydraulic test in Mailiao Harbor is given priority to, with geometric model 1/100 scale topographic change of the typhoon wave, slightly deposited in back of the breakwater, about 200 m away from the breakwater head for slight erosion, sedimentation change is not obvious. But overall topography changed little; base of breakwater is quite stable. With different scale test of topographic change, enlarging wave height and lower water elevations for typhoon waves, the results showed slight sedimentation at back of breakwater. Comprehensive experimental results of various conditions, found that when the N-direction of typhoon wave act on at west-breakwater of Mailiao Harbor lead to a phenomenon of erosion hold at southwest side of breakwater, and the scouring hole is consistent geographically

This project focused on the field surveys, hydraulic test and numerical simulations to predict the impact of scouring around a head of breakwater. The results of the study may help to reduce the collapse of marine structures and the navigational risks, make sure that the port operates normally



| DATE OF PUBLICATION | NUMBER OF PAGES | PRICE | CLASSIFICATION |
|---|---|---|---|
| March 2016 | 474 | 250 | ☐RESTRICTED ☐CONFIDENTIAL ☐SECRET ☐TOP SECRET ■UNCLASSIFIED |



The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.

# 目　錄

中文摘要.....I
英文摘要.....III
目錄.....IV
圖目錄.....IV
表目錄.....IV
第一章 前言.....1-1
1.1 計畫緣起.....1-1
1.2 研究目的.....1-1
1.3 研究範圍.....1-2
1.4 工作項目.....1-4
1.5 相關研究文獻.....1-5
第二章 臺中港及麥寮工業港堤頭侵蝕現況的特性研究.....2-1
2.1 氣象資料.....2-2
2.1.1 風速與風向.....2-2
2.2 海象資料.....2-21
2.2.1 波浪.....2-21
2.2.2 颱風波浪推算.....2-46
2.2.3 海流.....2-49
2.2.4 六大港海流特性分析.....2-65

2.2.5 麥寮港堤頭沖蝕與海流的關係分析.....2-74
2.2.6 潮位.....2-91
2.3 海域地形變化.....2-95
2.4 防波堤興建過程.....2-121
2.4.1 斷面設計.....2-121
2.4.2 施工過程.....2-124
第三章 水深地形與潮波流調查資料分析.....3-1
3.1 麥寮防波堤堤頭地形調查與特性分析.....3-1
3.1.1 100~102 年水深測量成果與分析.....3-1
3.1.2 防波堤堤頭附近地形侵淤分析.....3-15
3.1.3 堤頭沖蝕特性分析.....3-19
3.2 防波堤堤頭波流場觀測與分析.....3-36
3.2.1 作業內容.....3-36
3.2.2 測區海域潮波流結果分析.....3-37
第四章 防波堤頭動床三維波場數值模擬.....4-1
4.1 FLOW-3D 模式介紹.....4-1
4.1.1 理論基礎.....4-2
4.1.2 邊界與網格處理方法.....4-13
4.2 防波堤鄰近海域波場數值模擬.....4-18
4.2.1 模式驗證.....4-18
4.2.2 防波堤堤頭波場計算範圍及水深地形.....4-21

4.2.3 輸入條件.....4-22
4.2.4 Stokes 5 階造波波場水粒子運動軌跡.....4-24
4.2.5 波場中自由水面變化.....4-26
4.2.6 波浪作用下引發的流況變化.....4-35
4.3 小結.....4-61
第五章 波浪作用下堤頭侵蝕水工試驗.....5-1
5.1 試驗設備與儀器.....5-1
5.2 試驗條件與試驗比尺.....5-6
5.3 試驗模型佈置與試驗步驟.....5-16
5.4 試驗量測分析.....5-20
5.5 堤頭侵蝕防制工法.....5-113
第六章 防制工法數值模擬與水工模型試驗的驗證.....6-1
6.1 數值模型模擬條件.....6-1
6.2 水工模型試驗條件.....6-2
6.3 防制工法數值模型模擬.....6-2
6.3.1 防波堤護基模型建立.....6-2
6.3.2 數值計算資料擷取點與水工試驗流速計布置.....6-3
6.3.3 原始護基寬度之數值計算與水工試驗結果比對.....6-5
6.3.4 防制工法原始護基與加寬護基之數值計算結果比對
.....6-12
第七章 結論與建議.....7-1

7.1 結論……7-1

7.2 建議……7-2

7.3 成果效益與後續應用情形……7-3

參考文獻……參-1

附錄一 期中報告審查意見回覆……附錄 1-1

附錄二 期末報告審查意見回覆……附錄 2-1

附錄三 期中簡報資料……附錄 3-1

附錄四 期末簡報資料……附錄 4-1

# 圖 目 錄

圖 1.1 臺中港北防波堤延伸歷程圖.....1-3

圖 1.2 麥寮工業區各區段海堤位置圖.....1-3

圖 1.3 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量三維立體色階圖.....1-4

圖 1.4 局部沖刷變遷圖.....1-9

圖 1.5 沖刷深度與沖刷時間及水流速度關係圖.....1-10

圖 1.6 直立樁附近水流流況示意圖.....1-10

圖 1.7 人工魚礁模型隨時間變化之沖刷等高線圖.....1-12

圖 1.8 人工魚礁模型在不同水流攻角下局部沖刷坑俯視圖.....1-12

圖 1.9 直立堤堤頭附近水流流況示意圖.....1-16

圖 1.10 直立堤堤頭附近波流共生之掏深關係.....1-16

圖 1.11 防波堤堤頭露水高與掏深深度寬度關係.....1-17

圖 1.12 具護基保護工之直立堤堤頭附近 KC 值與掏深關係.....1-18

圖 1.13 直立堤與斜坡拋石堤之堤前掏刷關係.....1-18

圖 2.1 臺中港海氣象觀測站位置圖(交通部運輸研究所，2011).....2-1

圖 2.2 雲林縣離島工業區海氣象觀測站位置圖(成大水工所，2010)...2-2

圖 2.3 臺西測站(THL1)夏季與冬季風玫瑰圖.....2-17

圖 2.4 臺西測站(THL1)各月份風玫瑰圖.....2-18

圖 2.5 四湖測站(THL2B)夏季與冬季風玫瑰圖.....2-19

圖 2.6 四湖測站(THL2B)各月份風玫瑰圖.....2-19

圖 2.7 颱風侵臺路徑分類統計圖(1958～2014 年……2-20
圖 2.8 臺中港波高週期聯合機率分佈圖(2007~2011 年) ……2-24
圖 2.9 臺中港夏、冬季之波高波向玫瑰圖……2-24
圖 2.10 臺中港逐月之波高波向玫瑰圖……2-25
圖 2.11 麥寮港波高週期聯合機率分佈圖(THL1，1992~2013 年)...…2-40
圖 2.12 麥寮港波高週期聯合機率分佈圖(THL2B，2001~2013 年)…2-40
圖 2.13 麥寮港(THL1)夏、冬季之波高波向玫瑰圖……2-41
圖 2.14 麥寮港(THL1)逐月之波高波向玫瑰圖……2-41
圖 2.15 麥寮港(THL2B)夏、冬季之波高波向玫瑰圖……2-42
圖 2.16 麥寮港(THL2B)逐月之波高波向玫瑰圖……2-42
圖 2.17 兩測站之月平均與月最大示性波高分佈……2-44
圖 2.18 麥寮港 2011 年與 2012 年性波高分佈玫瑰圖……2-45
圖 2.19 臺中港測站之流速流向玫瑰圖(2003~2006) ……2-53
圖 2.20 臺中港測站逐月之流速流向玫瑰圖(2003~2006)……2-53
圖 2.21 臺中港測站之流速流向玫瑰圖(2007~2011)...……2-54
圖 2.22 臺中港測站逐月之流速流向玫瑰圖(2007~2011)...……2-54
圖 2.23 臺中港歷年每季觀測海流玫瑰圖……2-56
圖 2.24 雲林海域 YLCW 測站歷年之流速流向玫瑰圖……2-57
圖 2.25 麥寮(YLCW)測站之流速流向玫瑰圖……2-61
圖 2.26 麥寮(YLCW)逐月之流速流向玫瑰圖……2-61
圖 2.27 雲林海域 YLCW 測站歷年之平均流速與流向變化圖……2-63

圖 2.28 雲林海域 YLCW 歷年之最大流速與對應流向圖.....2-63
圖 2.29 雲林海域 YLCW 歷年之淨流流速與流向圖.....2-63
圖 2.30 雲林海域 2011 年與 2012 年海流流速分佈玫瑰圖.....2-65
圖 2.31 臺灣六大港海域歷年流速大於 50cm/sec 發生機率圖.....2-66
圖 2.32 臺中港 2003~2009 年流速分佈發生機率圖.....2-67
圖 2.33 麥寮港 2000~2010 年流速分佈發生機率圖.....2-68
圖 2.34 麥寮港 YLCW 測站逐時流速與流矢分佈圖.....2-76
圖 2.35 麥寮港 YLCW 測站逐時流能量累積分佈圖.....2-82
圖 2.36 麥寮港 YLCW 測站逐月淨流能量累積分佈圖.....2-87
圖 2.37 麥寮港西防波堤堤頭地形夏季侵淤變化實例.....2-89
圖 2.38 麥寮港 YLCW 測站夏季流能量累積分佈實例.....2-89
圖 2.39 麥寮港西防波堤堤頭地形冬季侵淤變化實例.....2-90
圖 2.40 麥寮港 YLCW 測站冬季流能量累積分佈實例.....2-90
圖 2.41 麥寮港西堤堤頭加密測量之-35m 沖刷洞變化與流能量累積分佈之對應關係圖.....2-91
圖 2.42 臺中港 1999 至 2009 年之潮位統計分佈圖.....2-92
圖 2.43 臺中港潮位資料 2010 年莫蘭蒂颱風期間潮位變化圖.....2-94
圖 2.44 臺中港潮位資料 2010 年梅姬颱風期間潮位變化圖.....2-94
圖 2.45 臺中港 2007~2011 年路徑三、七、九颱風期間潮位變化圖...2-94
圖 2.46 臺中港海域 85~95 年實測地形水深圖.....2-96
圖 2.47 臺中港地形水深變遷計算分區圖.....2-97

圖 2.48 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85～87 年) ……2-99
圖 2.49 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85～89 年) ……2-99
圖 2.50 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85～92 年) ……2-100
圖 2.51 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85～95 年) ……2-100
圖 2.52 臺中港海域斷面位置圖……2-103
圖 2.53 臺中港海域 85~95 年間斷面地形變化……2-104
圖 2.54 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 95～98 年)..……2-107
圖 2.55 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 98～99 年)..……2-108
圖 2.56 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 99～100 年)……2-108
圖 2.57 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 100～101 年)..……2-109
圖 2.58 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 101～102 年)..……2-109
圖 2.59 雲嘉海域歷年海岸線變遷……2-111
圖 2.60 麥寮工業區各區段海堤位置圖……2-112
圖 2.61 雲林離島工業區海域 80~99 年實測地形水深圖……2-115
圖 2.62 雲林離島工業區海域 82-85 年間實測地形侵淤變化……2-116
圖 2.63 雲林離島工業區海域 85-89 年間實測地形侵淤變化……2-116
圖 2.64 雲林離島工業區海域 89-93 年間實測地形侵淤變化……2-117
圖 2.65 雲林離島工業區海域 93-96 年間實測地形侵淤變化……2-117
圖 2.66 雲林離島工業區海域 96-99 年間實測地形侵淤變化……2-118
圖 2.67 雲林離島工業區海域 82-99 年間實測地形侵淤變化……2-118
圖 2.68 麥寮工業區海域斷面位置圖……2-119

圖 2.69 雲林離島工業區海域 82~99 年間斷面地形變化.....2-120
圖 2.70 臺中港原堤堤頭沉箱斷面圖(朱等人，2002).....2-123
圖 2.71 臺中港北防波堤延伸 850m 堤頭斷面圖(朱等人，2002)..…2-123
圖 2.72 麥寮西防波堤堤頭沉箱斷面圖(朱等人，2002).....2-124
圖 2.73 麥寮西防波堤堤頭補救措施斷面圖(朱等人，2002).....2-125
圖 3.1 麥寮工業區專用港西防波堤堤頭水深地形監測範圍示意圖…3-1
圖 3.2 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量等深線水深色階圖.....3-3
圖 3.3 麥寮工業港西防波堤堤頭附近地形水深色階圖(局部放大)….3-4
圖 3.4 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量三維立體色階圖.....3-5
圖 3.5 麥寮工業港堤頭水深測量斷面位置圖.....3-7
圖 3.6 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M1 水深剖面變化圖.....3-9
圖 3.7 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M2 水深剖面變化圖.....3-9
圖 3.8 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M3 水深剖面變化圖.....3-9
圖 3.9 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M4 水深剖面變化圖.....3-10
圖 3.10 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M5 水深剖面變化圖.....3-10
圖 3.11 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M6 水深剖面變化圖.....3-10
圖 3.12 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M7 水深剖面變化圖.....3-11
圖 3.13 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M8 水深剖面變化圖.....3-11
圖 3.14 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M9 水深剖面變化圖.....3-11
圖 3.15 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 R1 水深剖面變化圖.....3-12
圖 3.16 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 R2 水深剖面變化圖.....3-12

圖 3.17 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 R3 水深剖面變化圖.....3-12
圖 3.18 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 R4 水深剖面變化圖.....3-13
圖 3.19 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 R5 水深剖面變化圖.....3-13
圖 3.20 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 R6 水深剖面變化圖.....3-13
圖 3.21 麥寮工業港堤頭地形測量侵淤變化色階圖.....3-14
圖 3.22 麥寮港西防波堤海域實測地形侵淤變化(82~99 年).....3-17
圖 3.23 麥寮港西防波堤堤頭附近地形等深線變化(80~99 年).....3-21
圖 3.24 麥寮港西防波堤堤頭海域-35m 沖刷洞地形變化(90~99 年)..3-23
圖 3.25 堤頭-35m 沖刷洞心堤距、面積、體積變動圖.....3-25
圖 3.26 臺中港北堤堤頭-25m 與麥寮港西堤堤頭-35m 沖刷洞變化量化圖.....3-26
圖 3.27 麥寮港西防波堤堤頭加密測量之等深線變化圖(96~101 年).3-28
圖 3.28 麥寮港西堤堤頭加密測量之-35m 與-40m 沖刷洞變化量化圖.....3-34
圖 3.29 麥寮港潮波流儀點位.....3-36
圖 3.30 ML 測站，2014 年 04/09～05/01 實測與預報水位變化圖.....3-37
圖 3.31 ML 測站，2014 年 04/09～05/01 漲、退潮段流向玫瑰圖.....3-38
圖 3.32 ML 測站，2014 年 04/09～05/01 底層流速與流向變化圖.....3-40
圖 3.33 ML 測站，2014 年 04/09～05/01 表層流速與流向變化圖.....3-40
圖 3.34 ML 測站，底、表層之海流玫瑰圖.....3-41
圖 3.35 ML 測站，波浪波高、週期玫瑰圖.....3-46

圖 3.36 ML 測站，波高、週期統計直方圖.....3-47
圖 3.37 ML 測站，波向、波高、週期時序列圖.....3-47
圖 3.38 ML 測站，示性波高、週期聯合機率分佈圖.....3-48
圖 4.1 斜坡床面與流動方向.....4-8
圖 4.2 Stokes 5 階造波邊界示意圖.....4-13
圖 4.3 多區塊結構網格設定示意圖.....4-17
圖 4.4 通度係數 FAVOR 流體界面與自由液面計算示意圖.....4-18
圖 4.5 Beji 等人(1992)之試驗佈置圖.....4-19
圖 4.6 CASE 1.....4-20
圖 4.7 CASE 2.....4-21
圖 4.8 麥寮工業港波場數值模擬海域範圍示意圖.....4-22
圖 4.9 麥寮工業港波流場數值計算領域水深地形模式圖.....4-22
圖 4.10 Stokes 5 階波場速度剖面水粒子於造波時間 306 s 之位置圖..4-24
圖 4.11 Stokes 5 階波場速度剖面水粒子運動軌跡圖.....4-25
圖 4.12 Stokes 5 階波場速度剖面水粒子運動速度大小之比較.....4-25
圖 4.13 Stokes 5 階波場速度剖面水粒子波浪傳遞方向運動速度之比較
.....4-25
圖 4.14 Stokes 5 階波場速度剖面水粒子波浪垂直運動速度之比較...4-26
圖 4.15 第 45 造波週期波峰圖.....4-27
圖 4.16 第 45 造波週期波谷.....4-27
圖 4.17 第 50 造波週期波峰圖.....4-28

圖 4.18 第 50 造波週期波谷.....4-28
圖 4.19 第 55 造波週期波峰圖.....4-29
圖 4.20 第 55 造波週期波谷.....4-29
圖 4.21 第 60 造波週期波峰圖.....4-30
圖 4.22 第 60 造波週期波谷.....4-30
圖 4.23 第 65 造波週期波峰圖.....4-31
圖 4.24 第 65 造波週期波谷.....4-31
圖 4.25 第 70 造波週期波峰圖.....4-32
圖 4.26 第 70 造波週期波谷.....4-32
圖 4.27 第 75 造波週期波峰圖.....4-33
圖 4.28 第 75 造波週期波谷.....4-33
圖 4.29 第 80 造波週期波峰圖.....4-34
圖 4.30 第 80 造波週期波谷.....4-34
圖 4.31 垂直水層-9.5m 流速 u 分布.....4-35
圖 4.32 垂直水層-10.5m 流速 u 分布.....4-35
圖 4.33 垂直水層-11.5m 流速 u 分布.....4-36
圖 4.34 垂直水層-12.5m 流速 u 分布.....4-36
圖 4.35 垂直水層-13.5m 流速 u 分布.....4-36
圖 4.36 垂直水層-14.5m 流速 u 分布.....4-36
圖 4.37 垂直水層-15.5m 流速 u 分布.....4-37
圖 4.38 垂直水層-16.5m 流速 u 分布.....4-37

圖 4.39 垂直水層-17.5m 流速 u 分布……4-37
圖 4.40 垂直水層-18.5m 流速 u 分布……4-37
圖 4.41 垂直水層-19.5m 流速 u 分布……4-38
圖 4.42 垂直水層-20.5m 流速 u 分布……4-38
圖 4.43 垂直水層-16.5m 流速 v 分布……4-39
圖 4.44 垂直水層-16.5m 流速 v 分布……4-39
圖 4.45 垂直水層-16.5m 流速 v 分布……4-39
圖 4.46 垂直水層-16.5m 流速 v 分布……4-39
圖 4.47 垂直水層-13.5m 流速 v 分布……4-40
圖 4.48 垂直水層-14.5m 流速 v 分布……4-40
圖 4.49 垂直水層-15.5m 流速 v 分布……4-40
圖 4.50 垂直水層-16.5m 流速 v 分布……4-40
圖 4.51 垂直水層-17.5m 流速 v 分布……4-41
圖 4.52 垂直水層-18.5m 流速 v 分布……4-41
圖 4.53 垂直水層-19.5m 流速 v 分布……4-41
圖 4.54 垂直水層-20.5m 流速 v 分布……4-41
圖 4.55 垂直水層-9.5m 流速 w 分布……4-42
圖 4.56 垂直水層-10.5m 流速 w 分布……4-42
圖 4.57 垂直水層-11.5m 流速 w 分布……4-42
圖 4.58 垂直水層-12.5m 流速 w 分布……4-42
圖 4.59 垂直水層-13.5m 流速 w 分布……4-43

圖 4.60 垂直水層-14.5m 流速 w 分布……4-43
圖 4.61 垂直水層-15.5m 流速 w 分布……4-43
圖 4.62 垂直水層-16.5m 流速 w 分布……4-43
圖 4.63 垂直水層-17.5m 流速 w 分布……4-44
圖 4.64 垂直水層-18.5m 流速 w 分布……4-44
圖 4.65 垂直水層-19.5m 流速 w 分布……4-44
圖 4.66 垂直水層-20.5m 流速 w 分布……4-44
圖 4.67 第 46 周期平均水深流向流速...……4-45
圖 4.68 第 46.1 周期平均水深流向流速……4-45
圖 4.69 第 46.2 周期平均水深流向流速……4-45
圖 4.70 第 46.3 周期平均水深流向流速……4-45
圖 4.71 第 46.4 周期平均水深流向流速……4-46
圖 4.72 第 46.5 周期平均水深流向流速……4-46
圖 4.73 第 46.6 周期平均水深流向流速……4-46
圖 4.74 第 46.7 周期平均水深流向流速……4-46
圖 4.75 第 46.8 周期平均水深流向流速……4-47
圖 4.76 第 46.9 周期平均水深流向流速……4-47
圖 4.77 第 46 周期底床流速分布...……4-48
圖 4.78 第 46.1 周期底床流速分布……4-48
圖 4.79 第 46.2 周期底床流速分布……4-48
圖 4.80 第 46.3 周期底床流速分布……4-48

圖 4.81 第 46.4 周期底床流速分布.....4-49
圖 4.82 第 46.5 周期底床流速分布.....4-49
圖 4.83 第 46.6 周期底床流速分布.....4-49
圖 4.84 第 46.7 周期底床流速分布.....4-49
圖 4.85 第 46.8 周期底床流速分布.....4-50
圖 4.86 第 46.9 周期底床流速分布.....4-50
圖 4.87 淘刷區底床流速與高程變化圖.....4-51
圖 4.88 淘刷區 20 層流速 u、v、w 時序變化比較圖.....4-51
圖 4.89 拉格朗日粒子追蹤波流場範圍圖.....4-52
圖 4.90 拉格朗日粒子追蹤路徑圖.....4-53
圖 4.91 第 15 波峰 xz 剖面垂直渦流圖.....4-53
圖 4.92 第 15 波谷 xz 剖面垂直渦流圖.....4-53
圖 4.93 第 17 波峰 xz 剖面垂直渦流圖.....4-53
圖 4.94 第 17 波谷 xz 剖面垂直渦流圖.....4-53
圖 4.95 第 19 波峰 xz 剖面垂直渦流圖.....4-54
圖 4.96 第 19 波谷 xz 剖面垂直渦流圖.....4-54
圖 4.97 第 20 波峰 yz 剖面垂直渦流圖.....4-54
圖 4.98 第 20 波谷 yz 剖面垂直渦流圖.....4-54
圖 4.99 第 20 波峰 yz 剖面垂直渦流圖.....4-54
圖 4.100 第 20 波谷 yz 剖面垂直渦流圖.....4-54
圖 4.101 第 20 波峰 xz 剖面垂直渦流圖.....4-54

圖 4.102 第 20 波谷 xz 剖面垂直渦流圖.....4-54
圖 4.103 第 20 波峰 yz 剖面垂直渦流圖.....4-55
圖 4.104 第 20 波谷 yz 剖面垂直渦流圖.....4-55
圖 4.105 第 20 波峰 yz 剖面垂直渦流圖.....4-55
圖 4.106 第 20 波谷 yz 剖面垂直渦流圖.....4-55
圖 4.107 Y= 10 m 處第 20 波峰 xz 剖面渦度分布圖.....4-56
圖 4.108 Y= 10 m 處第 20 波谷 xz 剖面渦度分布圖.....4-56
圖 4.109 Y= -10 m 處第 20 波峰 xz 剖面渦度分布圖.....4-56
圖 4.110 Y= -10 m 處第 20 波谷 xz 剖面渦度分布圖.....4-56
圖 4.111 Y= -30 m 處第 20 波峰 xz 剖面渦度分布圖.....4-56
圖 4.112 Y= -30 m 處第 20 波谷 xz 剖面渦度分布圖.....4-56
圖 4.113 X = -100 m 處第 20 波峰 yz 剖面渦度分布圖.....4-57
圖 4.114 X= -100m 處第 20 波谷 yz 剖面渦度分布圖.....4-57
圖 4.115 X= -150 m 處第 20 波峰 yz 剖面渦度分布圖.....4-57
圖 4.116 X= -150 m 處第 20 波谷 yz 剖面渦度分布圖.....4-57
圖 4.117 X= -200 m 處第 20 波峰 yz 剖面渦度分布圖.....4-57
圖 4.118 X= -200 m 處第 20 波谷 yz 剖面渦度分布圖.....4-57
圖 4.119 第 510 sec 底床儀高程淨變化.....4-58
圖 4.120 第 540 sec 底床儀高程淨變化.....4-58
圖 4.121 第 570 sec 底床儀高程淨變化.....4-59
圖 4.122 第 600 sec 底床儀高程淨變化.....4-59

圖 4.123 第 630 sec 底床儀高程淨變化……4-59
圖 4.124 第 660 sec 底床儀高程淨變化……4-59
圖 4.125 第 690 sec 底床儀高程淨變化……4-60
圖 4.126 第 720 sec 底床儀高程淨變化……4-60
圖 4.127 第 750 sec 底床儀高程淨變化……4-60
圖 4.128 第 780 sec 底床儀高程淨變化……4-60
圖 4.129 第 810 sec 底床儀高程淨變化……4-61
圖 4.130 第 840 sec 底床儀高程淨變化……4-61
圖 5.1 海洋工程綜合實驗室圖……5-2
圖 5.2 水槽及自走式台車實景……5-2
圖 5.3 活塞式造波機……5-2
圖 5.4 造流水渦輪機……5-2
圖 5.5 二維電磁式流速儀……5-3
圖 5.6 超音波都普勒流速儀(藍色)及量測方式……5-4
圖 5.7 波高計及資料擷取系統……5-4
圖 5.8 試驗用訊號擷取系統……5-5
圖 5.9 雷射測距儀及地形量測系統架設圖……5-6
圖 5.10 地形模型鋪設圖……5-7
圖 5.11 麥寮西防波堤堤頭沉箱斷面圖……5-7
圖 5.12 麥寮工業港西防波堤堤頭附近水深及消波塊布置色階圖(103)
……5-8

圖 5.13 底質採樣及流況觀測位置圖.....5-11
圖 5.14 繪製地形方格網格圖.....5-17
圖 5.15 利用雷射水平儀設定地形 0 米線.....5-17
圖 5.16 等深線位置放樣圖.....5-17
圖 5.17 鋪設地形及海堤.....5-17
圖 5.18 調整網格地形及結構物位置.....5-18
圖 5.19 鋪設護基、消波塊、碎石.....5-18
圖 5.20 完成動床地形及堤頭鋪設.....5-18
圖 5.21 實驗用玻璃砂粒徑分布曲線.....5-19
圖 5.22 波高計率定校正.....5-20
圖 5.23 入射波高及流速校正量測.....5-21
圖 5.24 入射波形與流速儀(no.361)實測與理論值校正.....5-22
圖 5.25 入射波形與流速儀(no.381)實測與理論值校正.....5-22
圖 5.26 季風波浪波高及流速量測點示意圖.....5-40
圖 5.27 季風波浪入射波形量測及資料區間測定.....5-24
圖 5.28 季風波浪 Site1H~36H 選定時間區段之水位變化.....5-29
圖 5.29 N 向季風波浪條件作用下堤頭附近波高分布.....5-30
圖 5.30 N 向季風波浪條件作用下堤頭附近 kd 值分布.....5-30
圖 5.31 N 向季風波浪入射圖.....5-31
圖 5.32 N 向季風波浪堤頭附近作用圖.....5-32
圖 5.33 波浪繞射無限長防波堤之繞射係數分佈.....5-32

圖 5.34 季風波浪作用下 Site1~40 選定時間區間 z=-15cm 之流速變化 .....5-38
圖 5.35 季風波浪作用下 Site1~40 選定時間區間 z=-10cm 之流速變化 .....5-42
圖 5.36 季風波浪作用下 z=-15cm 各方向速度峰值平均之分佈趨勢.5-44
圖 5.37 季風波浪作用下 z=-10cm 各方向速度峰值平均之分佈趨勢.5-45
圖 5.38 季風波浪作用下 t=50sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖...5-46
圖 5.39 季風波浪作用下 t=50.08sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖 .....5-46
圖 5.40 季風波浪作用下 t=50.16sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖 .....5-47
圖 5.41 季風波浪作用下 t=50.24sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖 .....5-47
圖 5.42 季風波浪作用下 t=50.32sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖 .....5-48
圖 5.43 季風波浪作用下 t=50.40sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖 .....5-48
圖 5.44 季風波浪作用下 t=50.48sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖 .....5-49
圖 5.45 季風波浪作用下 t=50.56sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖 .....5-49
圖 5.46 季風波浪作用下 t=50.64sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖 .....5-50
圖 5.47 季風波浪作用下地形剖面量測位置圖.....5-52
圖 5.48 季風波浪作用下之地形剖面變化.....5-52

圖 5.49 季風波浪作用 3 分鐘之地形剖面變化.....5-53
圖 5.50 季風波浪作用 3 分鐘~6 分鐘之地形剖面變化.....5-53
圖 5.51 季風波浪作用 6 分鐘之地形剖面變化.....5-53
圖 5.52 季風波浪作用 9 分鐘之地形剖面變化.....5-54
圖 5.53 季風波浪作用 30 分鐘之地形剖面變化.....5-54
圖 5.54 季風波浪作用 60 分鐘之地形剖面變化.....5-54
圖 5.55 N 向季風波浪造波圖.....5-55
圖 5.56 季風波浪作用 200 個波後之地形變化.....5-55
圖 5.57 季風波浪作用 400 個波後之地形變化.....5-56
圖 5.58 季風波浪作用 600 個波後之地形變化.....5-56
圖 5.59 颱風波浪波高及流速量測點示意圖.....5-58
圖 5.60 颱風波浪堤頭附近波高及流速量測點示意圖.....5-58
圖 5.61 颱風波浪入射波形量測及資料區間測定.....5-61
圖 5.62 颱風波浪 Site1H~80H 選定時間區間之水位變化.....5-68
圖 5.63 N 向颱風波浪條件作用下堤頭附近波高分布.....5-69
圖 5.64 N 向颱風波浪條件作用下堤頭附近 kd 值分布.....5-70
圖 5.65 颱風波浪作用下 Site1~40 選定時間區間 z=-15cm 之流速變化
.....5-75
圖 5.66 颱風波浪作用下 Site1~40 選定時間區間 z=-10cm 之流速變化
.....5-80
圖 5.67 颱風波浪堤頭附近 Site41~76 選定時間區間 z=-8cm 之流速變化
.....5-85

圖 5.68 颱風波浪作用下 z=-15cm 各方向速度峰值平均之分佈趨勢.5-87

圖 5.69 颱風波浪作用下 z=-10cm 各方向速度峰值平均之分佈趨勢.5-88

圖 5.70 颱風波浪作用下 t=26sec, z=-15cm 平面流場及 U 之分佈圖...5-90

圖 5.71 颱風波浪作用下 t=26.12sec, z=-15cm 平面流場及 U 之分佈圖
……5-91

圖 5.72 颱風波浪作用下 t=26.24sec, z=-15cm 平面流場及 U 之分佈圖
……5-91

圖 5.73 颱風波浪作用下 t=26.368sec, z=-15cm 平面流場及 U 之分佈圖
……5-92

圖 5.74 颱風波浪作用下 t=26.48sec, z=-15cm 平面流場及 U 之分佈圖
……5-92

圖 5.75 颱風波浪作用下 t=26.60sec, z=-15cm 平面流場及 U 之分佈圖
……5-93

圖 5.76 颱風波浪作用下 t=26.72sec, z=-15cm 平面流場及 U 之分佈圖
……5-93

圖 5.77 颱風波浪作用下 t=26.08sec, z=-15cm 平面流場及 U 之分佈圖
……5-94

圖 5.78 颱風波浪作用下 t=26.96sec, z=-15cm 平面流場及 U 之分佈圖
……5-94

圖 5.79 颱風波浪作用下 t=27.08sec, z=-15cm 平面流場及 U 之分佈圖
……5-95

圖 5.80 颱風波浪作用下 t=26sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖...5-95

圖 5.81 颱風波浪作用下 t=26.12sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖
……5-96

圖 5.82 颱風波浪作用下 t=26.24sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖

……5-96
圖 5.83 颱風波浪作用下 t=26.36sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖
……5-97
圖 5.84 颱風波浪作用下 t=26.48sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖
……5-97
圖 5.85 颱風波浪作用下 t=26.60sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖
……5-98
圖 5.86 颱風波浪作用下 t=26.72sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖
……5-98
圖 5.87 颱風波浪作用下 t=26.84sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖
……5-99
圖 5.88 颱風波浪作用下 t=26.96sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖
……5-99
圖 5.89 颱風波浪作用下 t=27.08sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖
……5-100
圖 5.90 颱風波浪作用下 t=26sec, z=-8cm 平面流場及 U 之分佈圖...5-100
圖 5.91 颱風波浪作用下 t=26.12sec, z=-8cm 平面流場及 U 之分佈圖
……5-101
圖 5.92 颱風波浪作用下 t=26.24sec, z=-8cm 平面流場及 U 之分佈圖
……5-101
圖 5.93 颱風波浪作用下 t=26.36sec, z=-8cm 平面流場及 U 之分佈圖
……5-102
圖 5.94 颱風波浪作用下 t=26.48sec, z=-8cm 平面流場及 U 之分佈圖
……5-102
圖 5.95 颱風波浪作用下 t=26.60sec, z=-8cm 平面流場及 U 之分佈圖

……5-103
圖 5.96 颱風波浪作用下 t=26.72sec, z=-8cm 平面流場及 U 之分佈圖
……5-103
圖 5.97 颱風波浪作用下 t=26.84sec, z=-8cm 平面流場及 U 之分佈圖
……5-104
圖 5.98 颱風波浪作用下 t=26.96sec, z=-8cm 平面流場及 U 之分佈圖
……5-104
圖 5.99 颱風波浪作用下 t=27.08sec, z=-8cm 平面流場及 U 之分佈圖
……5-105
圖 5.100 颱風波浪作用下 z=-15cm 之最大流速分佈圖……5-106
圖 5.101 颱風波浪作用下 z=-10cm 之最大流速分佈圖……5-106
圖 5.102 颱風波浪作用下 z=-8cm 之最大流速分佈圖……5-107
圖 5.103 颱風波浪作用 200 個波後之地形變化……5-108
圖 5.104 颱風波浪作用 400 個波後之地形變化……5-108
圖 5.105 颱風波浪作用 600 個波後之地形變化……5-109
圖 5.106 颱風波浪作用 200 個波後之地形變化……5-110
圖 5.107 颱風波浪作用 400 個波後之地形變化……5-110
圖 5.108 颱風波浪作用 600 個波後之地形變化……5-111
圖 5.109 颱風波浪作用 200 個波後之地形變化……5-112
圖 5.110 颱風波浪作用 200 個波後之地形變化……5-113
圖 5.111 颱風波浪作用 2 分鐘之堤頭保護工變化……5-115
圖 6.1 麥寮港西防波堤原始護基俯視圖與透視圖……6-3

圖 6.2 麥寮港西防波堤 1.5 倍護基俯視圖與透視圖.....6-3
圖 6.3 數值計算資料擷取與水工試驗流速計座標圖.....6-4
圖 6.4 site1 試驗與數值 uvw 比較.....6-5
圖 6.5 site2 試驗與數值 uvw 比較.....6-5
圖 6.6 site3 試驗與數值 uvw 比較.....6-5
圖 6.7 site4 試驗與數值 uvw 比較.....6-5
圖 6.8 site5 試驗與數值 uvw 比較.....6-6
圖 6.9 site6 試驗與數值 uvw 比較.....6-6
圖 6.10 site7 試驗與數值 uvw 比較.....6-6
圖 6.11 site8 試驗與數值 uvw 比較.....6-6
圖 6.12 site9 試驗與數值 uvw 比較.....6-6
圖 6.13 site10 試驗與數值 uvw 比較.....6-6
圖 6.14 site11 試驗與數值 uvw 比較.....6-7
圖 6.15 site12 試驗與數值 uvw 比較.....6-7
圖 6.16 site13 試驗與數值 uvw 比較.....6-7
圖 6.17 site14 試驗與數值 uvw 比較.....6-7
圖 6.18 site15 試驗與數值 uvw 比較.....6-7
圖 6.19 site16 試驗與數值 uvw 比較.....6-7
圖 6.20 site17 試驗與數值 uvw 比較.....6-8
圖 6.21 site18 試驗與數值 uvw 比較.....6-8
圖 6.22 site19 試驗與數值 uvw 比較 6-8

圖 6.23 site20 試驗與數值 uvw 比較……6-8
圖 6.24 site21 試驗與數值 uvw 比較……6-8
圖 6.25 site22 試驗與數值 uvw 比較……6-8
圖 6.26 site23 試驗與數值 uvw 比較……6-9
圖 6.27 site24 試驗與數值 uvw 比較……6-9
圖 6.28 site25 試驗與數值 uvw 比較……6-9
圖 6.29 site26 試驗與數值 uvw 比較……6-9
圖 6.30 site27 試驗與數值 uvw 比較……6-9
圖 6.31 site28 試驗與數值 uvw 比較……6-9
圖 6.32 site29 試驗與數值 uvw 比較……6-10
圖 6.33 site30 試驗與數值 uvw 比較……6-10
圖 6.34 site31 試驗與數值 uvw 比較……6-10
圖 6.35 site32 試驗與數值 uvw 比較……6-10
圖 6.36 site33 試驗與數值 uvw 比較……6-10
圖 6.37 site34 試驗與數值 uvw 比較……6-10
圖 6.38 site35 試驗與數值 uvw 比較……6-11
圖 6.39 site36 試驗與數值 uvw 比較……6-11
圖 6.40 site37 試驗與數值 uvw 比較……6-11
圖 6.41 site38 試驗與數值 uvw 比較……6-11
圖 6.42 site39 試驗與數值 uvw 比較……6-11
圖 6.43 site40 試驗與數值 uvw 比較……6-11

圖 6.44 site1 試驗與數值 uvw 比較……6-12
圖 6.45 site2 試驗與數值 uvw 比較……6-12
圖 6.46 site3 試驗與數值 uvw 比較……6-12
圖 6.47 site4 試驗與數值 uvw 比較……6-12
圖 6.48 site5 試驗與數值 uvw 比較……6-13
圖 6.49 site6 試驗與數值 uvw 比較……6-13
圖 6.50 site7 試驗與數值 uvw 比較……6-13
圖 6.51 site8 試驗與數值 uvw 比較……6-13
圖 6.52 site9 試驗與數值 uvw 比較……6-13
圖 6.53 site10 試驗與數值 uvw 比較……6-13
圖 6.54 site11 試驗與數值 uvw 比較……6-14
圖 6.55 site12 試驗與數值 uvw 比較……6-14
圖 6.56 site13 試驗與數值 uvw 比較……6-14
圖 6.57 site14 試驗與數值 uvw 比較……6-14
圖 6.58 site15 試驗與數值 uvw 比較……6-14
圖 6.59 site16 試驗與數值 uvw 比較……6-14
圖 6.60 site17 試驗與數值 uvw 比較……6-15
圖 6.61 site18 試驗與數值 uvw 比較……6-15
圖 6.62 site19 試驗與數值 uvw 比較……6-15
圖 6.63 site20 試驗與數值 uvw 比較……6-15
圖 6.64 site21 試驗與數值 uvw 比較……6-15

圖 6.65 site22 試驗與數值 uvw 比較……6-15
圖 6.66 site23 試驗與數值 uvw 比較……6-16
圖 6.67 site24 試驗與數值 uvw 比較……6-16
圖 6.68 site25 試驗與數值 uvw 比較……6-16
圖 6.69 site26 試驗與數值 uvw 比較……6-16
圖 6.70 site27 試驗與數值 uvw 比較……6-16
圖 6.71 site28 試驗與數值 uvw 比較……6-16
圖 6.72 site29 試驗與數值 uvw 比較……6-17
圖 6.73 site30 試驗與數值 uvw 比較……6-17
圖 6.74 site31 試驗與數值 uvw 比較……6-17
圖 6.75 site32 試驗與數值 uvw 比較……6-17
圖 6.76 site33 試驗與數值 uvw 比較……6-17
圖 6.77 site34 試驗與數值 uvw 比較……6-17
圖 6.78 site35 試驗與數值 uvw 比較……6-18
圖 6.79 site36 試驗與數值 uvw 比較……6-18
圖 6.80 site37 試驗與數值 uvw 比較……6-18
圖 6.81 site38 試驗與數值 uvw 比較……6-18
圖 6.82 site39 試驗與數值 uvw 比較……6-18
圖 6.83 site40 試驗與數值 uvw 比較……6-18

# 表 目 錄

表 2.1 歷年臺中港測站 W 風速及風向聯合分佈百分比(%)統計表…2-4

表 2.2 歷年春季臺中港測站W風速及風向聯合分佈百分比(%)統計表..2-5

表 2.3 歷年夏季臺中港測站W風速及風向聯合分佈百分比(%)統計表..2-6

表 2.4 歷年秋季臺中港測站W風速及風向聯合分佈百分比(%)統計表..2-7

表 2.5 歷年冬季臺中港測站W風速及風向聯合分佈百分比(%)統計表..2-8

表 2.6 歷年臺中港測站E風速及風向聯合分佈百分比(%)統計表.....2-9

表 2.7 歷年春季臺中港測站E風速及風向聯合分佈百分比(%)統計.2-10

表 2.8 歷年夏季臺中港測站 E 風速及風向聯合分佈百分比(%)統計表 ……2-11

表 2.9 歷年秋季臺中港測站 E 風速及風向聯合分佈百分比(%)統計表 ……2-12

表 2.10 歷年冬季臺中港測站 E 風速及風向聯合分佈百分比(%)統計表 ……2-13

表 2.11 1992~2013 年度各月份資料浮標風速風向列表……2-14

表 2.12 臺西測站(THL1)1992~2013 年度各月份風速風向列表……2-15

表 2.13 四湖測站(THL2B)2001~2008 年度各月份風速風向列表…2-17

表 2.14 各月份發生颱風之機率列表……2-20

表 2.15 臺中港 2007 至 2011 年各月份資料波浪列表……2-22

表 2.16 臺中港 2007 至 2011 年各月份波浪列表……2-22

表 2.17 臺西測站(THL1)1992 至 2013 年各月份資料波浪列表……2-27

表 2.18 四湖測站(THL2B)2001 至 2013 年各月份資料波浪列表……2-27
表 2.19 臺西測站(THL1)1992 至 2013 年各月份波浪列表……2-28
表 2.20 四湖測站(THL2B)2001 至 2013 年各月份波浪列表……2-35
表 2.21 THL1 測站歷年颱風波浪超過 4m 統計……2-44
表 2.22 THL2B 測站歷年颱風波浪超過 4m 統計……2-45
表 2.23 臺中港外海各重現期之颱風波浪推算……2-49
表 2.24 麥寮港外海各重現期之颱風波浪推算……2-49
表 2.25 2003~2006 年度各月份資料浮標流速流向列表……2-51
表 2.26 2007~2011 年度各月份資料浮標流速流向列表……2-51
表 2-27 臺中港測站 2003~2006 年度各月份流速流向列表……2-51
表 2-28 臺中港測站 2007~2011 年度各月份流速流向列表……2-52
表 2.29 臺中港歷年海流之流速及流向統計表……2-55
表 2.30 1992~2013 年度各月份資料浮標流速流向列表……2-58
表 2.31 YLCW 測站 1992~2013 年度各月份流速流向列表……2-59
表 2.32 臺中港北防波堤堤頭西側 TC 測站歷年海流統計表……2-69
表 2.33 麥寮港西防波堤堤頭南側 YLCW 測站歷年海流統計表…2-71
表 2.34 臺中海域之潮位統計值……2-92
表 2.35 雲林海域各潮位站之潮位統計值……2-93
表 2.36 臺中港潮位站颱風期間暴潮位與最大暴潮偏差統計表……2-95
表 2.37 臺中港附近地形累積侵淤量……2-101
表 2.38 重新計算之臺中港附近地形累積侵淤量……2-102

表 3.1 麥寮工業港潮位站之點位資料……3-2
表 3.2 麥寮工業港斷面位置坐標……3-6
表 3.3 麥寮港西堤堤頭-35m 沖刷洞變化量化表(90~99 年)……3-25
表 3.4 麥寮港西堤加密測量堤頭-35m 沖刷洞變化量化表……3-35
表 3.5 ML 站，潮位調合分析主要分潮參數……3-38
表 3.6 ML 站,底層海流流速、流向統計表……3-42
表 3.7 ML 測站,表層海流流速、流向統計表……3-43
表 3.8 ML 測站,波高、波向聯合機率分佈統計表……3-45
表 3.9 ML 測站,波高、週期聯合機率統分佈計表……3-46
表 4.1 港灣工程領域適用的 FLOW-3D 計算模組……4-2
表 4.2 *RNG* 紊流模型系數值……4-13
表 4.3 驗證案例列表...……4-19
表 4.4 FLOW-3D 計算案例……4-23
表 5.1 底質採樣位置座標……5-9
表 5.2 底質採樣調查之底床粒徑分布統計……5-9
表 5.3 波、流場試驗模型各物理量之縮尺比……5-13
表 5.4 動床不等比模型各物理量之模型縮尺比……5-14
表 5.5 動床不等比模型各物理量之模型縮尺比……5-15
表 5.6 試驗條件換算……5-16
表 5.7 比重分析成果表……5-18
表 5.8 篩分析成果表……5-19

表 5.9 季風波浪波高測點座標表.....5-25
表 5.10 季風波浪流速測點座標表.....5-25
表 5.11 颱風波浪波高計測點座標表.....5-59
表 5.12 颱風波浪流速儀測點座標表.....5-56
表 6.1 防制工法數值模型模擬項目.....6-2
表 6.2 防制工法水工模型試驗項目.....6-2
表 6.3 數值計算資料擷取與水工試驗流速計座標表.....6-4

# 第一章 前言

## 1.1 計畫緣起

本計畫配合交通部「交通政策白皮書-運輸」所揭櫫之「提供產業健全的物流環境」政策目標及「應用運輸科技，推動運輸智慧管理，加強資訊便民服務」與「檢討安全管理，加強運輸安全機制，全面維護運輸安全」之發展主軸及依據運輸資訊政策一：建置資訊蒐集系統，發展標準作業環境，加速運輸資訊基礎建設及運輸安全政策六：加強海上交通安全管理，進行法規與問題研究，促進海運安全等事項辦理。

波浪或海流通過海中結構物時，可能在結構物臨近底床造成沖蝕，導致結構的破壞甚或傾倒，如港灣防波堤堤頭附近的海底地形，可能因為波浪及海潮流的集中、下沖或轉向等造成堤頭沖蝕。國內的港灣防波堤堤頭侵蝕的實例中，以臺中港及雲林離島工業區之麥寮工業港最為明顯。以麥寮工業港為例，其北防波堤堤頭之原設計水深約為 -22m，根據目前實測的海底地形顯示，堤頭附近海底地形形成一個約 500m × 100m 的深坑，最深處達到 -48m，堤基被沖刷的深度可達 26m(如圖 1.3 所示)。由於防波堤堤頭的海底地形侵蝕，嚴重時將危及防波堤堤身及港灣船隻航行的安全。然而造成侵蝕的原因與機制仍未明確，因此急需進一步的觀察、模擬與研析，以期提出有效的防制對策與工法。

## 1.2 研究目的

本研究為四年合作研究計畫之第三年，以臺中港及麥寮工業港為研究對象，分年進行堤頭附近波、流場及海底地形變化特性與機制的觀測、分析與模擬。主要研究方法將透過背景資料收集分析、數值模擬及水工模型試驗，並與實測波、流場及海底地形侵蝕特性進行比對與修正。本年度(104)完成：(1) 研究文獻更新、計畫區背景資料更新與分析，(2) 建立麥寮工業港防波堤堤頭數值模型，並完成波浪作用下，

堤頭附近波、流場分佈與地形變化之三維數值模擬，(3)波浪作用下，麥寮工業港防波堤堤頭附近波、流場分佈之三維水工模型試驗，(4)研擬麥寮工業港防波堤堤頭侵蝕防制工法，(5) 波浪作用下，麥寮工業港防波堤堤頭侵蝕防制工法的數值模擬與水工模型試驗成果驗證。

## 1.3 研究範圍

本研究將以臺中港及麥寮工業港為主要研究範圍，針對防波堤堤頭附近海域之波、流場及海底地形變化進行觀測與分析。

### 一、臺中港

臺中港北鄰大甲溪以及大安溪，南鄰大肚溪，臺中港為因應淤積以及航行安全，而延伸北防波堤，2002 年以來受到河川輸沙暴增的因素，於 2002～2005 年之年平均淤沙量為 1994～2002 年 4.9 倍之多，由於漂沙已有部分繞過北防波堤堤頭進到航道，未來勢必影響船隻航行安全。臺中港於民國 65 年完成主體工程，民國 79～84 年先延長北防波堤 850 公尺，民國 89～91 年再延長北防波堤 480 公尺，相關工程施工位置如圖 1.1 所示。

### 二、麥寮工業港

雲林縣海岸北起濁水溪口南至北港溪口，涵蓋麥寮鄉、臺西鄉、四湖鄉及口湖鄉四鄉，海岸線全長約 58 公里。雲林離島工業區自民國 83 年麥寮區動工興建以來，麥寮區北側海堤受到濁水溪砂源的補注，已有淤積現象產生。圖 1.2 為麥寮工業區各區段海堤位置圖，其中西防波堤 I 約於民國 84 年期間完工，南防波堤 II 與西防波堤 II 分別於民國 85 年 6 月與 86 年 3 月完工，鄰近外航道之西防波堤 III 則於民國 87 年 3 月開始逐漸施工延伸至民國 89 年 9 月，外航道內側之南防波堤 I 則於民國 87 年底完工 (成大水工所，2002a)。麥寮工業港其西防波堤 III 堤頭之原設計水深約為 -22m，根據目前實測的海底地形顯示，堤頭附近海底地形形成一個約 500m × 100m 的深坑，最深處達到 -48m，

堤基被沖刷的深度可達 26m。

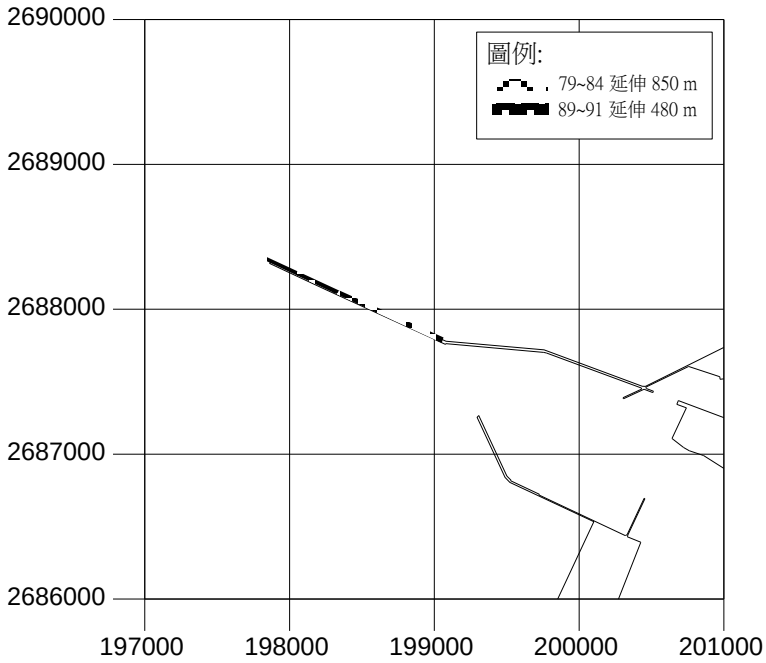



**圖 1.1 臺中港北防波堤延伸歷程圖**

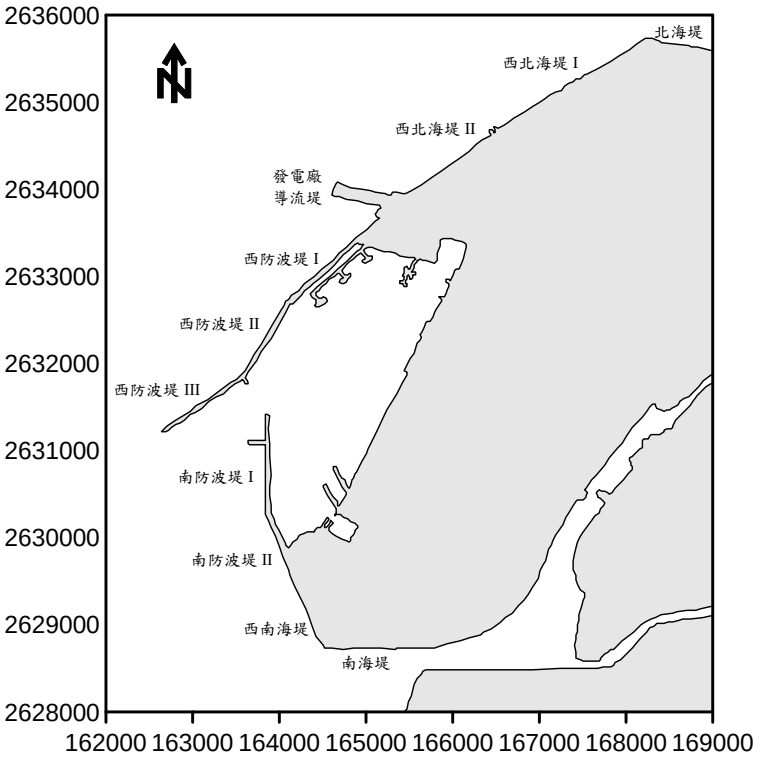



**圖 1.2 麥寮工業區各區段海堤位置圖**

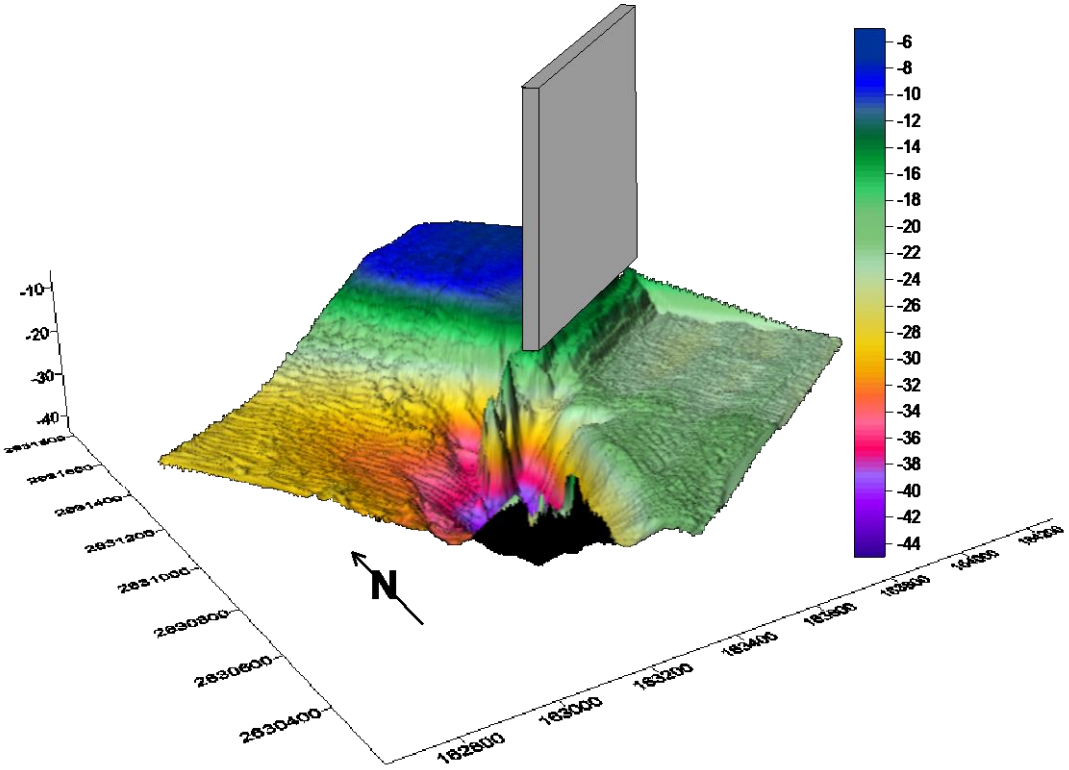



**圖 1.3 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量三維立體色階圖**

## 1.4 工作項目

本研究預計分 4 年 (102~105 年) 執行，本年度為第 3 年。工作項目分年敘述如下：

一、102 年的主要工作項目如下 (已完成)：

1. 臺中港及麥寮工業港堤頭侵蝕現況的特性研究。
2. 防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性。
3. 建立堤頭侵蝕機制的數值模擬模式。
4. 水工模型試驗的驗證。
5. 研擬防波堤堤頭侵蝕的防制工法。
6. 防制工法的數值模擬與水工模型試驗的驗證。

二、103 年預期完成的主要工作項目如下(已完成)：

1. 更新防波堤堤頭侵蝕特性的研究文獻資料。
2. 更新防波堤堤頭侵蝕與波流場相關性研究。
3. 潮流作用下臺中港堤頭侵蝕機制的數值模擬。
4. 潮流作用下臺中港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗。
5. 潮流作用下臺中港堤頭侵蝕防制工法數值模擬與水工模型試驗的成果驗證。

三、104 年預期完成的主要工作項目如下(本年度)：

1. 更新防波堤堤頭侵蝕特性的研究文獻資料。
2. 波浪作用下麥寮工業港堤頭侵蝕機制的數值模式模擬。
3. 波浪作用下麥寮工業港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗。
4. 研擬麥寮工業港防波堤堤頭侵蝕的防制工法。
5. 波浪作用下麥寮工業港堤頭侵蝕防制工法數值模擬與水工模型試驗的成果驗證。

四、105 年預期完成的主要工作項目如下：

1. 潮流作用下麥寮工業港堤頭侵蝕機制的數值模式模擬。
2. 潮流作用下麥寮工業港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗。
3. 潮流作用下麥寮工業港堤頭侵蝕防制工法數值模擬與水工模型試驗的成果驗證。
4. 防波堤堤頭侵蝕的防制工法效益評估。

## 1.5 相關研究文獻

海域砂質底床由於受波浪、海流之影響呈現持續變化之特性，而

海流之組成複雜，其成份包括潮流、風吹流、密度流、波浪所造成的近岸流等，各海流成份之強度與方向又隨時間與空間而有所變化；再加上與風力或波浪的交互作用，以及與海岸結構物的互制作用等，使得海域底床變遷之研究益形困難。在實際應用上，大部份的海域地形變化研究集中在淺水區域，其主要考量為波浪因近岸地形與海工結構物之影響而發生折射、繞射與反射現象，進而導致海工結構物附近地形發生變化，例如海堤堤址沖刷或突堤效應所造成之海岸地形變遷等皆屬此類 (Silvester and Hsu, 1993)。

近年來由於經濟發展突飛猛進，政府為配合快速發展需求，積極推動港口開發，包括港口新建、改建及擴建等。無論商港或工業港之港域水深皆不斷加深，防波堤常延伸至 20 多公尺水深之海域。由於波浪對底層漂砂之影響會隨水深之加大而逐漸減弱，因此海流常成為主導深水海域底床侵淤變化之主要因子。

地形變化模式之發展過程，由早期應用於河川的一維或二維定量流模式 (Karim and Kennedy, 1982)，逐漸演變為變量流模式 (Chang and Hill, 1976；Yang, 1984；謝，1996)，在模擬近岸海域地形變化時，則再加入波浪對漂砂之影響 (Horikawa, 1988)，在潮流影響力較大的水域則需考慮非單一方向漂砂與延時問題 (Rijn, 1989)。惟無論在河川或海洋，地形變化模式的基本架構差異並不大，其皆主要包括水動力模式與底床沖淤模式兩部份，目前水動力模式之發展已較為成熟，可由解析連續方程式與動量守恆方程式而得，至於底床沖淤模式則主要以根據質量守恆定律推導而得之泥砂連續方程式為主，其在數值解析部分較簡單，輸砂量的估算應是模式中較難處理的部份。

輸砂量的估算方法一般可分為兩類，其一為將底床載與懸浮載分開計算法，另一則為總輸砂量法，兩者之主要差異在於懸浮載的計算方式。前者適用於懸浮載佔多數之不平衡水域，Rijn (1987) 所發展之 SUTRENCH-2D 模式與 SUTRENCH-3D 模式均屬此類。然而由於懸浮質擴散傳輸模式在計算時需先估算懸浮載之沉降率與再懸浮率 (Teisson, 1992；謝，1996)，此在廣大海域中甚難準確計算，因此實際

應用上有其困難性。而後者則應用較為廣泛 (Einstein, 1950；Bagnold, 1966；Bijker, 1971；Rijn, 1984a,b)，因為此法較為簡單，可應用於較大區域與較長時間之計算。劉 (2003) 之輸砂模式採用 Rijn (1984a,b) 之輸砂公式，加入考量底床坡度對臨界底床剪應力之影響，建立一水深平均二維海域地形變化模式，模擬分析麥寮港西防波堤堤前底床沖刷問題。

以下針對不同的水文環境下包含與結構物互制進行文獻分類摘錄探討：

**一、河川輸砂：**

國內有許多針對河口、河川底床的數值模擬研究，王 (2002) 係運用數值方法模擬河口因潮汐作用下之流場運動特性及底床沖淤現象。即是以二維水深平均之控制方程式及沉滓輸運連續方程式，以及底床載輸運率公式、懸浮沉滓濃度對流擴散方程式，配合多層網格法（Mulitigrid Method）建立數值模式，進行模擬河口段附近之流場及底床高程沖淤計算。張 (2002) 研究中探討沈滓非均勻性與變量流特性對沖刷過程的影響。在試驗研究方面，針對變量流均勻沈滓與非均勻沈滓之橋墩沖刷過程進行量測工作，並根據試驗結果探討底床表面沈滓粒徑粗化現象以及變量流特性對沖刷深度的影響。在數值模擬方面，進一步改良張 (1998) 所發展之床形模式，根據非均勻沈滓之遮蔽或暴露效應以及局部床形之重力效應來修正河床載輸送率，並考慮下向流沖刷所引致的懸浮載運移，以混合層概念模式來進行床形與床質的演算；而後以準變量流的方式 (梯段式變量流歷線) 來進行變量流非均勻沈滓之沖刷模擬，並以 Ettema (1980)、Kothyari (1989) 及研究之試驗量測結果對模式進行檢定與驗證，提升模式的實用性。

**二、橋墩或垂直柱沖刷：**

國內外在底床沖刷之研究上，多以橋墩沖刷為主，主要研究均集中於樁基礎沖刷或海底管線基礎的沖蝕等領域。目前有關沖刷作用在理論分析數學模式的建立上，多將沖刷區取一控制體，應用漂砂連續

方程式，配合水流動量原理或對沖刷坑形狀作數學函數之指述，進而求得某流況下之最大沖刷深度之數學模型，相關特定係數則配合水工模型縮尺實驗來決定之，並以因次分析理論來分析實驗結果，進而得到具有工程實用性之經驗公式。

垂直柱體之沖刷機制，可分為束縮沖刷及局部沖刷二大部分：

1. 束縮沖刷

束縮沖刷的形成，是由於結構物存在引起通水斷面積的束挾作用而擠壓水流，致使局部水流流速增大而形成，其沖刷範圍及深度將因通水面積大小而受影響。

2. 局部沖刷 (圖 1.4、圖 1.5)

當水流通過結構物時，常因斷面束縮而使水流速度增加，水流流況產生變化，使底部剪應力增加而對底床產生沖刷效應。隨著沖刷時間增長，沖刷坑加大而造成通水面積加大，降低流速而使底床剪應力降低，沖淤率降低。沖刷時間逐漸增加，沖刷深度與沖刷範圍均會趨於一極限穩定值，達平衡狀態。Breusers and Raudkivi (1991) 由實驗研究發現，水流通過結構物時會因流通面積縮小，使流速加大且流況改變，會使水流表面產生四種流況 (圖 1.6)。其中，Melville (1975) 認為向下水流及馬蹄形渦流為結構物基礎沖刷中最重要的兩種水流流況。下面將介紹局部沖刷重要的四種流況：

(1) 水表面渦流系統（Surface roller）：當水流流經結構物時，因通水面積縮減而使水流受阻，部份水流動能轉變為位能，由縱剖面水流形成一分界面。分界面以上的水流受阻後導向水面，造成進水面處湧波（Bow Wave），其後水流改變方向形成小型渦流水流，稱為水表面渦流。

(2) 向下水流系統（Down flow）：由水面向下逐漸遞減的流速分佈，使停滯點壓力（Stagnation Pressure）由水面下遞減，造成向下水流的形成。

(3) 馬蹄形渦流系統（horseshoe-vortex）：由向下水流與受結構物影響而形成的橫向三維性渦流，稱為馬蹄形渦流，從結構物迎水面分水線開始產生，沿結構物邊緣向下游傳遞。

(4) 尾跡渦流系統（Wake-vortex）：當水流流經結構體，則在壁面之下游側面產生分離點（separation），致使速度剖面產生不連續面，導致小渦流（cast-off vortex）的產生。在靠近底床處，此一小渦流與馬蹄形渦流交互作用而導致水流尾跡產生側向及垂向游移擺動。此渦流系統所產生的低壓中心將泥沙顆粒拾起帶至下游處放置。

由於局部沖刷作用，導致工程結構物之沖刷坑發生，使其基部遭到淘蝕，進而直接危及結構物之穩定性及安全性，最後產生掩埋之事實。整體而言，結構物沖刷坑的形成機制，可視為水流作用（水流攻角）、底床沉積物（顆粒間黏滯性）與結構物類型（尺寸）三者相互作用結果。其中，向下水流及馬蹄型渦流作用為影響結構物沖刷坑形成主要流況；沈積物承載力不足及結構物對沉積物壓密現象，為底床沉積物與結構物類型間相互作用，對其沖刷坑形成之主要影響；沉積物顆粒達臨界啟動速度所產生的漂砂現象，為水流作用於海床沉積物，對於結構物沖刷坑形成之主要影響。當流況平穩後，隨沖刷時間增長，若無足夠能量之海況沖擊下，沖刷坑沖刷深度及水平沖刷範圍將不再加深擴展，逐漸達平衡沖刷狀態。此外，堤腳保護工可能因沈積物回填沖刷坑的現象，造成保護工被掩埋的情形。

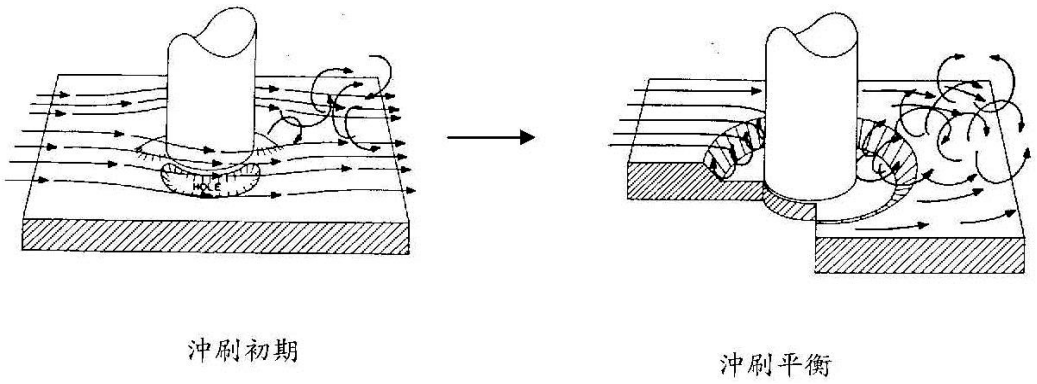



**圖 1.4 局部沖刷變遷圖**

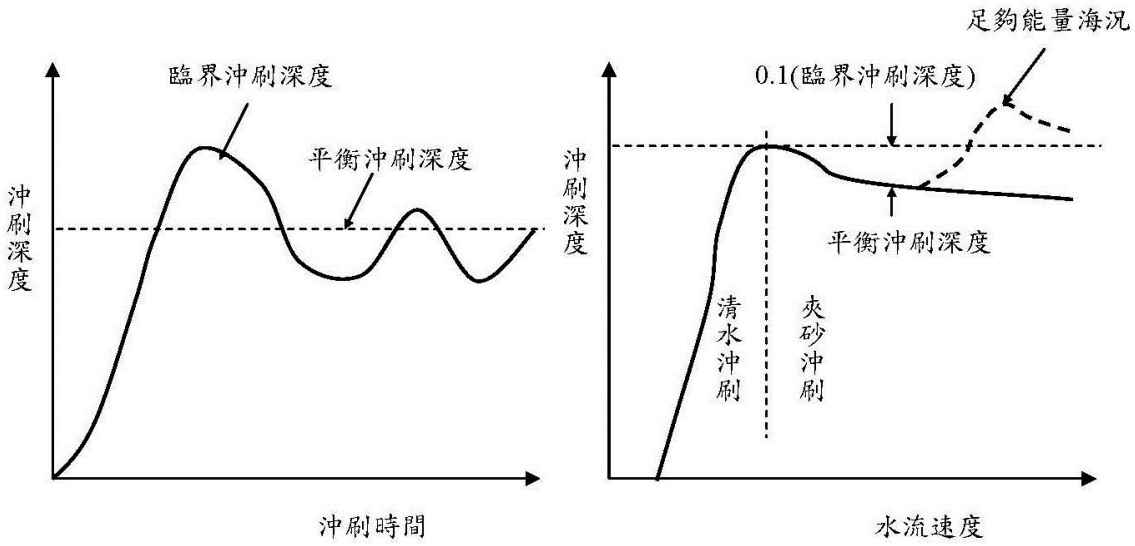



**圖 1.5 沖刷深度與沖刷時間及水流速度關係圖(Breusers, H.N.C. and A.J. Raudkivi, 1991)**

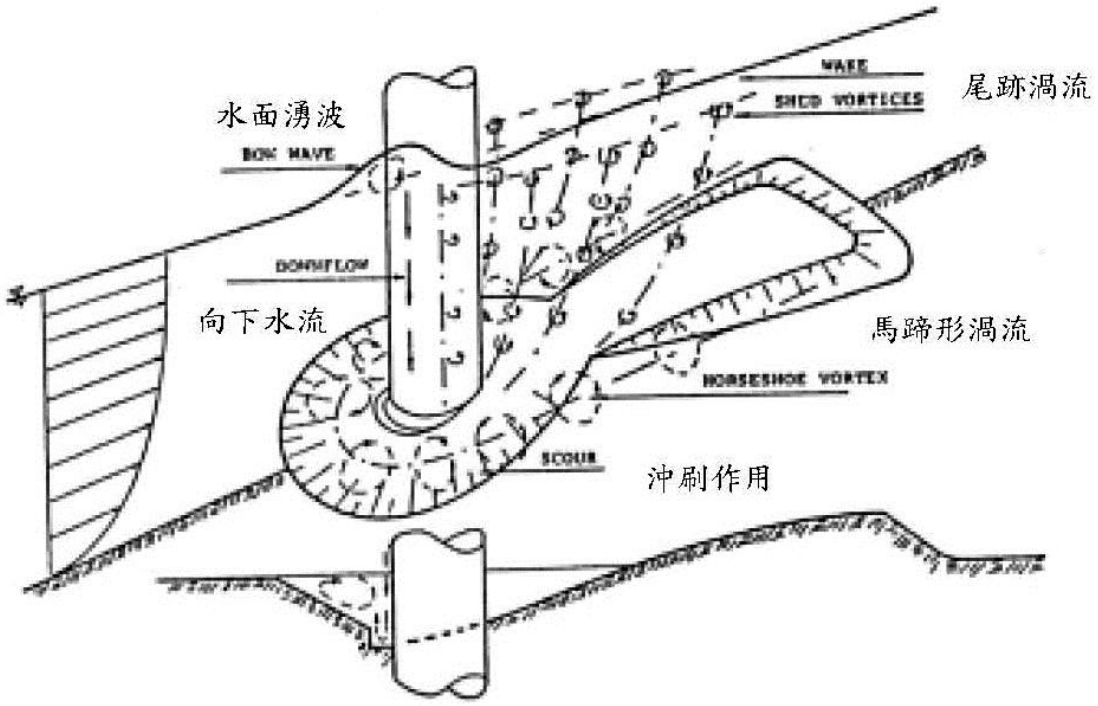



**圖 1.6 直立樁附近水流流況示意圖(Breusers, H.N.C. and A.J. Raudkivi, 1991)**

Richardson and Panchang (1998) 使用非穩態之三維流場數值模式(FLOW-3D)，模擬平床與固定沖刷坑床形之橋墩周圍的水流流況；模擬結果顯示該模式對於平床與沖刷坑之墩前流場以及橋墩周圍底床剪力場均可作適當的模擬。Roulund et al. (1999) 使用非穩態之三維流場數值模式 (EillipSys3D)，模擬平床橋墩周圍的底床剪力場，模擬結果與量測值比較相當一致。張 (2002) 利用變量流沖刷過程之疊加特性，發展一套簡易的變量流沖刷模式，能快速模擬變量流墩前沖刷深度的演進。陳等人 (2011) 進行橋墩基礎淘刷及保護工安定水工模型試驗，以探究波浪及海流作用下金門跨海大橋橋墩附近之地形變化與保護工安定評估。

**三、人工魚礁沖刷：**

王 (1990) 以水工模型試驗探討人工魚礁模型礁體在不同迎角及不同基本排列下，後流域流場變化情形。田 (1994) 提出在海床上之礁體沈陷與掩埋之主要機制，應與礁體之物理量（尺寸與重量）、沈積物性質、海況有密切關係。林等人 (1998) 以模型試驗方式，利用流場可視化法觀察人工魚礁在無水流攻角情況下，其周邊及尾流流場的特性(如圖 1.7)。發現到魚礁前側兩端最先開始發生淘刷，進而由兩端掏刷至前側中心相連，產生馬蹄形之沖刷坑洞，並造成礁體底面及前端周圍的承載砂床逐漸流失，進而引起魚礁向前傾斜，隨著沖刷範圍及深度增加，礁體最終導致掩埋。賴 (2000) 針對林園魚礁區以泥砂顆粒起動理論，配合水工模型實驗，探討傳統型、改良型及巨型礁體在不同水流攻角下之沖刷機制 (如圖 1.8)。認為在夏季颱風浪作用下，林園礁區海流流速將大於泥砂起動流速，造成礁體四周沖刷掩埋及海床沉積物砂漣現象。

針對人工礁體之沖刷機制而言，也可分為束縮沖刷及局部沖刷二大部分，由觀測結果發現，單一礁體受局部沖刷影響較大，沖刷坑多形成於基腳週遭；群聚礁體受水流束縮而加速所引起沖刷坑較大，多形成於礁堆外緣處。

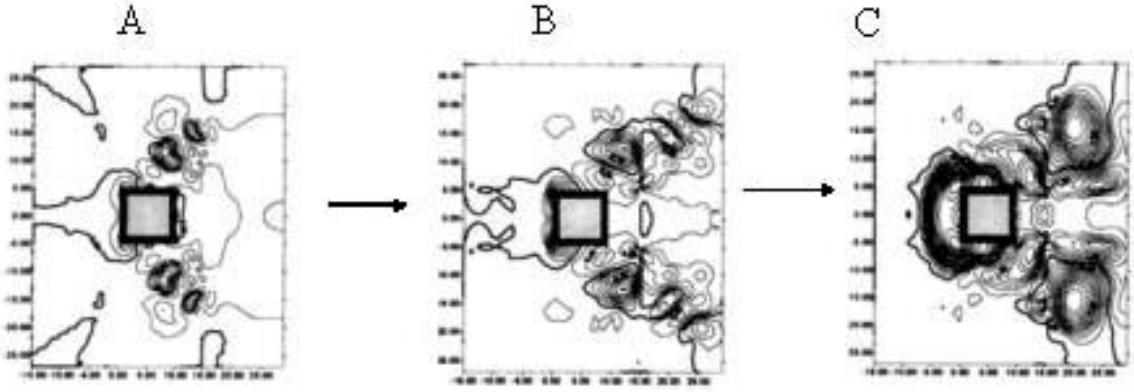



**圖 1.7 人工魚礁模型隨時間變化之沖刷等高線圖(林，1998)**

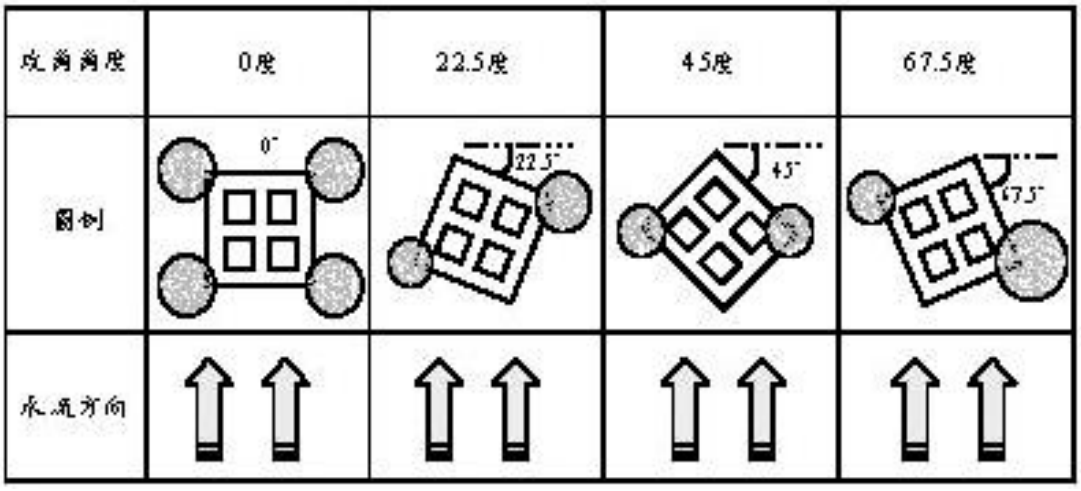



**圖 1.8 人工魚礁模型在不同水流攻角下局部沖刷坑俯視圖(賴，2000)**

**四、海堤沖刷：**

Heribich and Ko (1967) 以理論及二維實驗研究結果，指出堤趾刷深深度為堤前波浪特性之函數。Sato et al. (1968) 以二維試驗研究結果發現海堤堤趾沖刷與堤前波浪特性、海堤反射係數與堤前波浪引致之流場變化有關。郭與黃 (1975) 以砂粒之臨界起動條件之觀點，認為底床之波浪水粒子水平速度為沖刷力量之來源。李 (1979) 研究認為堤趾沖刷之形成，乃溯上水體下沖堤腳及波浪於堤腳附近之運動效應所造成，並依此觀念按能量不滅定律推導出堤腳沖刷理論式。Hsu et al. (1979，1980) 指出堤趾沖刷與海堤產生之反射波有關，當入射波遇海堤阻擋時會形成反射波反射，而入射波與反射波所合成之短峰波

(short-crest waves) 會在海堤方向有速度之傳遞分量，此速度所衍生之剪力，即為砂粒移動之成因。橋本等人 (1987) 模擬颱風波浪與季節風波浪兩種情況，討論不同堤面坡度條件下漂砂量與堤趾沖刷情形，研究指出當堤防設置在水深較淺處及海堤坡面較陡時，堤趾沖刷較激烈。豐島修 (1987) 研究緩坡斜堤的保護工法，由不同堤面坡度之溯上實驗結果顯示，堤面坡度緩者，由於溯上值較小，沖刷情況較和緩，海堤較安定。涂與邱 (1994) 研究結果得知減緩堤面坡度有助於降低堤趾沖刷之程度，且最安定之堤防坡度為 1V:4H。Tsai et al. (1998)以可視化實驗之觀察分析，認為波浪下刷作用所引致的下刷水流，會作用到堤趾而造成堤趾沖刷現象。黃 (2002) 以不規則波作用於斜坡海堤，探討堤趾地形之沖淤特性，顯示堤趾最大沖刷深度與堤趾波高之相關性較佳，與深海波高之相關性較差，另堤趾最大沖刷深度與超越機率 2% 溯上值 $Ru_{2\%}$ 之相關性較佳。並建議堤趾最大沖刷深度由徐爾茲數或流動勢能參數來推估分析時較具指標性。

**五、防波堤沖刷：**

在一般防波堤方面：Sato and Irie (1970) 根據 Koshima 港防波堤堤趾刷深與波浪關係調查之研究發現，波浪愈偏離正向入射角，則地形變化愈大，堤趾刷深值也愈大，另外，由試驗的結果指出，藉由增加防波堤堤面粗糙度來降低反射率，以達到減少堤趾沖刷深度之程度。Xie (1981)、Irie and Nadaoka (1984)、Sumer and Fredsøe (1997)、Fredsøe and Sumer (1997)、Sumer and Fredsøe (2000) 曾有一系列的實驗研究，然而僅為波浪全反射之駐波情況，沖刷剖面型態與駐波的節點及反節點位置的特性相符合；依照 Irie and Nadaoka (1984) 之定義，堤趾處之底床受侵蝕，其砂土被運送往堤外之反節點者，稱為 L 型沖刷；堤趾處有堆起之現象，而沖刷區域在堤前波浪節點至外海方向環點者，稱為 N 型沖刷。Xie (1981)、Sumer and Fredsøe (2000) 由實驗結果提出沖刷深度與堤前相對水深關係的迴歸經驗公式。林等人 (1984) 指出短峰波將使防波堤之堤前產生溝槽，而使防波堤基礎沈陷。至於斜面堤堤趾沖刷的情況，其與直立堤堤趾沖刷的最大差異，在於斜面

堤前的波浪為部分反射情況，入射波浪也有可能在堤面上碎波。在未碎波情況下，Herbich and Ko (1968) 及 Kuo and Huang (1975) 曾由砂粒受力的平衡觀點推導堤趾沖刷的理論式；Hales (1980) 則由現場實例，統計分析堤趾所需護坦的長度；Eckert (1983) 則結論出水體在堤面下刷時，有最大的水流力量作用於趾部，並據以設計最小的護坦長度，但其結果並不能適用於堤趾水深小於兩倍波高時，及堤前反射率大於 0.25，或堤面坡度大於 1/3 的情況；Sato et al. (1969) 則以實驗結果歸納出，堤前波浪特性及反射率為影響堤趾沖刷之主因，並且由現場資料發現，環繞於結構物之水流亦為影響沖刷之重要因素之一。Arneborg et al. (1995) 亦結論出波浪反射率為影響堤趾沖刷之重要因子。Sumer and Fredsøe (2000, 2001) 則修正 Xie (1981) 直立堤情況之經驗公式為斜面堤情況，其經驗公式仍以堤前相對水深為參數。但此等文獻均未考慮波浪在堤面可能因碎波而引致下刷水流之因素。Lin and Jeng (2004) 使用庫倫-阻尼 (Coulomb-damping) 孔隙底床解析波場下防波堤液化作用，發現影響最大區域為波長相對水深 0~0.3。Burcharth et al. (2005) 利用實驗探討不同防波堤護基材料對於結構安定性的影響，嘗試利用組合護基材的型式減緩 防波堤的掏刷。Gislason et al. (2009) 使用 $k-\omega$ 剪應力 (SST) 模式計算波場退化至駐波條件下的防波堤侵淤現象，於波長相對水深小於 0.05 時，掏深、波高比會大於 1。

在直立防波堤方面：Gokce, T., Sumer, B.M., and Fredsøe J (1994)、Sumer and Fredsøe (1997)、Fredsøe and Sumer (1997)、Sumer and Fredsøe (2000)、Sumer, B.M., Richard J.S. Whitehouse, and Alf Tørum. (2001)、Myrhaug et al. (2004)、Sumer et al. (2005)、Lee and Mizutani (2008) 、Myrhaug and Ong (2009) 透過試驗研究，提出直立防波堤堤頭附近地形沖刷的特性與機制分析，包括有無堤頭護基保護工、波流交互作用等。然而探討的範圍並非深水域，但仍可提供本研究實質的參考。歸納上述研究成果彙整如下：

1. 波流作用於防波堤堤頭沖刷 (Sumer and Fredsøe, 1997; Sumer et al.,

2005)：

如圖 1.9 所示，當波浪入射方向與防波堤堤體垂直時，堤側所形成的渦流 (Vortex) 是造成沖刷的主要機制。波浪特性 (或引發的底床流) 與堤體尺寸的關係，可以 KC 參數 ($=U_mT/B$) 表示。KC < 1 時，流場並無明顯渦流產生。1 < KC < 12 時，流場形成堤後尾跡渦流。KC > 12 時，除了形成堤後尾跡渦流，堤前亦伴隨馬蹄形渦流 (Horseshoe Vortex)。

如圖 1.10 所示，若波流同時(同向)作用時，掏刷深度與純海流除以波浪引發的底床流速有關聯。當徐爾斯數大於臨界值，底床相對掏刷深度 (掏深和堤寬比) 隨著 KC 數變大而加大；當只有純流速作用時，掏深程度更加劇烈。

圖 1.11 是彙整不同型式防波堤(含潛堤)的露出高 (F, freeboard; 當 F>0 時堤頂高於水面，屬於一般的防波堤，F<0 時，堤頂低於水面，則是潛堤) 波高 (H) 比於不同 KC 值下的最大深度 (S) 與最大寬度 ($L_y$) 關係圖。

2. 波浪作用於有護基保護之防波堤堤頭沖刷 (Gokce et al., 1994; Sumer and Fredsøe, 1997; Myrhaug et al., 2004; Myrhaug and Ong, 2009)：

當波浪入射方向與防波堤堤體垂直時，掏刷程度較嚴重；波浪引發的底床流或純海流平行防波堤流過時，沿著防波堤的堤址處可能產生沖蝕渠道。若底床加上護基保護工可以減少被沖刷的幅度，護基層越寬保護效果越好。如圖 1.12 所示，當堤頭處未設置護基設施時，護基寬度與堤體寬度比 $L_p/D = 0$，掏刷深度增加最顯著。當護基寬度與堤體寬度比 $L_p/D > 3.6$，堤頭處的掏深幅度可有效抑制。此類似的結果 Myrhaug et al (2004) 亦於不規則波的條件下得到驗證。

3. 波浪作用於直立堤與斜坡拋石堤之防波堤堤頭沖刷 (Sumer et al., 2001)：

波浪尖銳度、堤前水深、防波堤坡度是影響沖蝕變化的重要因子，斜坡拋石堤比直立堤更可減緩堤前沖蝕的幅度，如圖 1.12 所示。

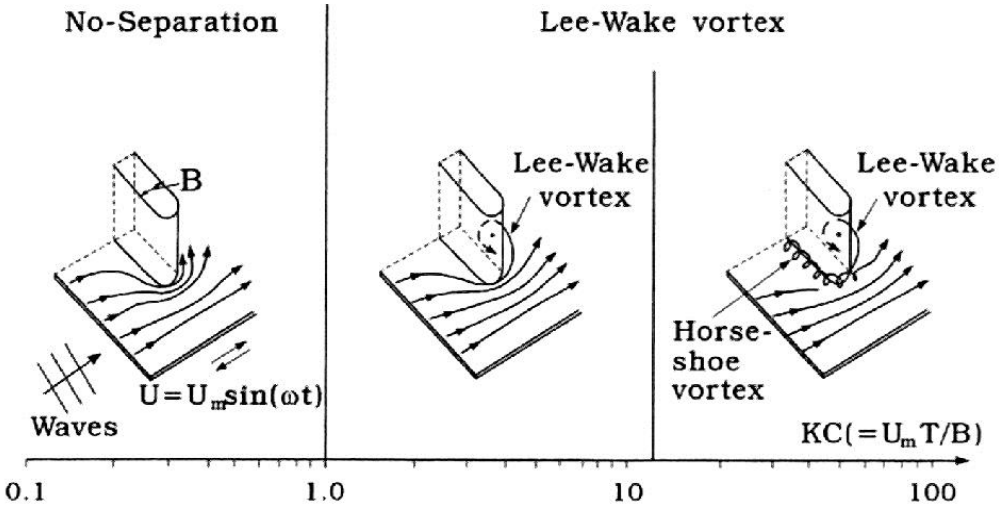



**圖 1.9 直立堤堤頭附近水流流況示意圖(Sumer and Fredsøe, 1997)**

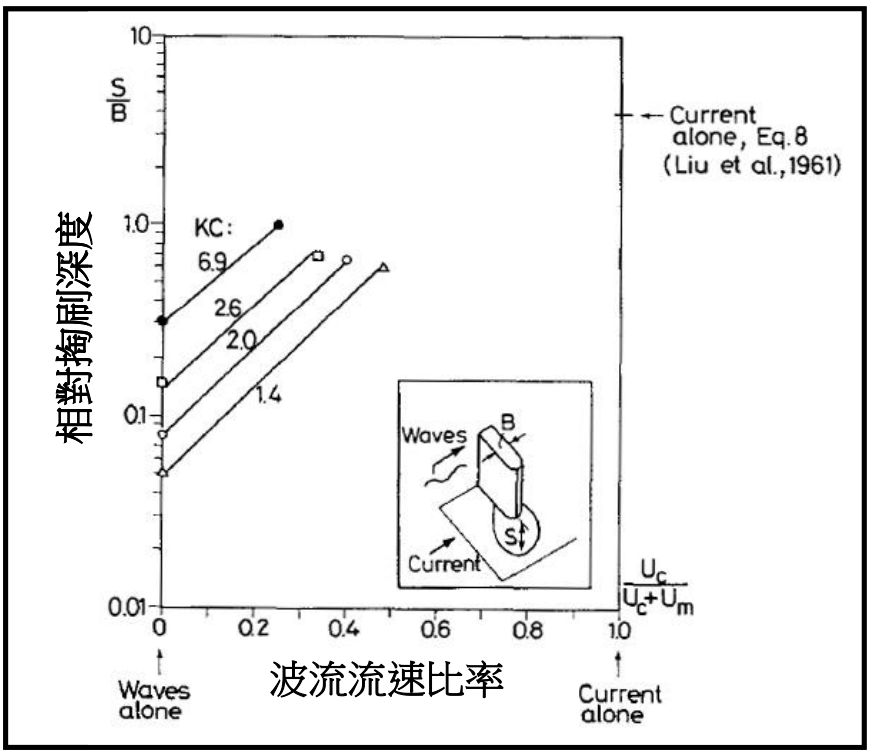



**圖 1.10 直立堤堤頭附近波流共生之掏深關係 (Sumer and Fredsøe, 1997)**

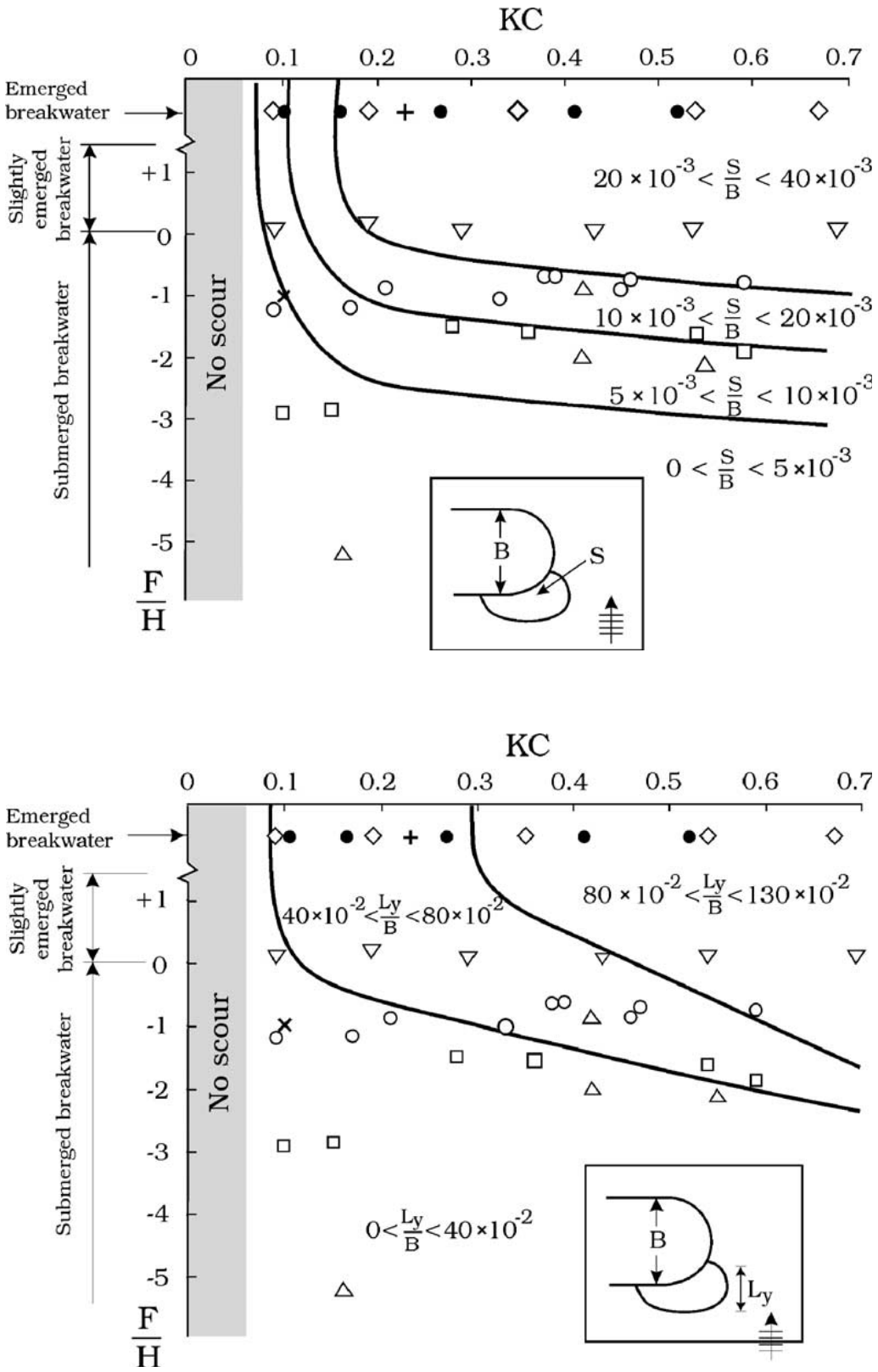



**圖 1.11 防波堤堤頭露水高與掏深深度、寬度關係 (Sumer et al., 2005)**

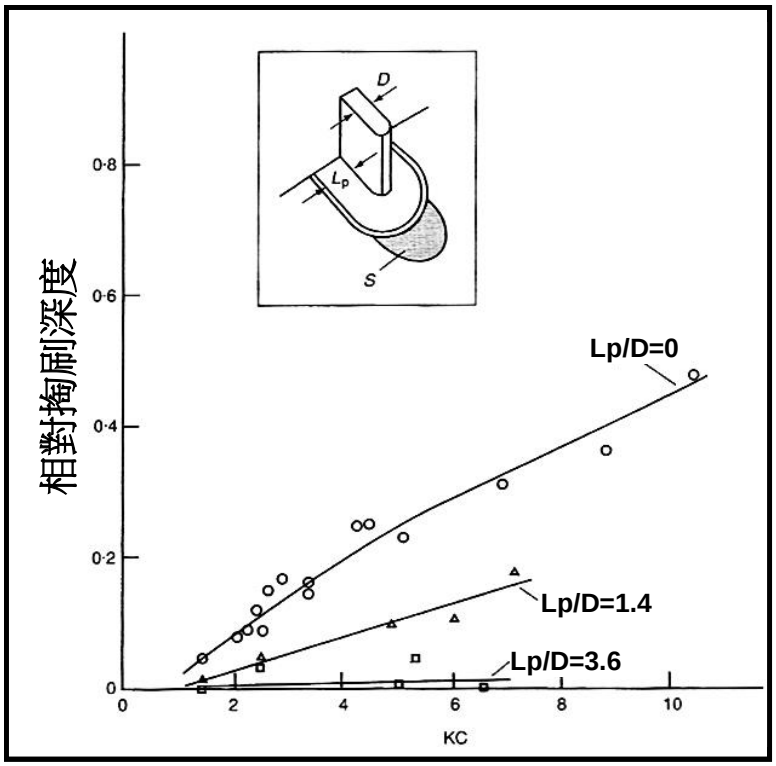



**圖 1.12 具護基保護工之直立堤堤頭附近 KC 值與掏深關係 (Gokce et al., 1994、Sumer and Fredsøe, 1997)**

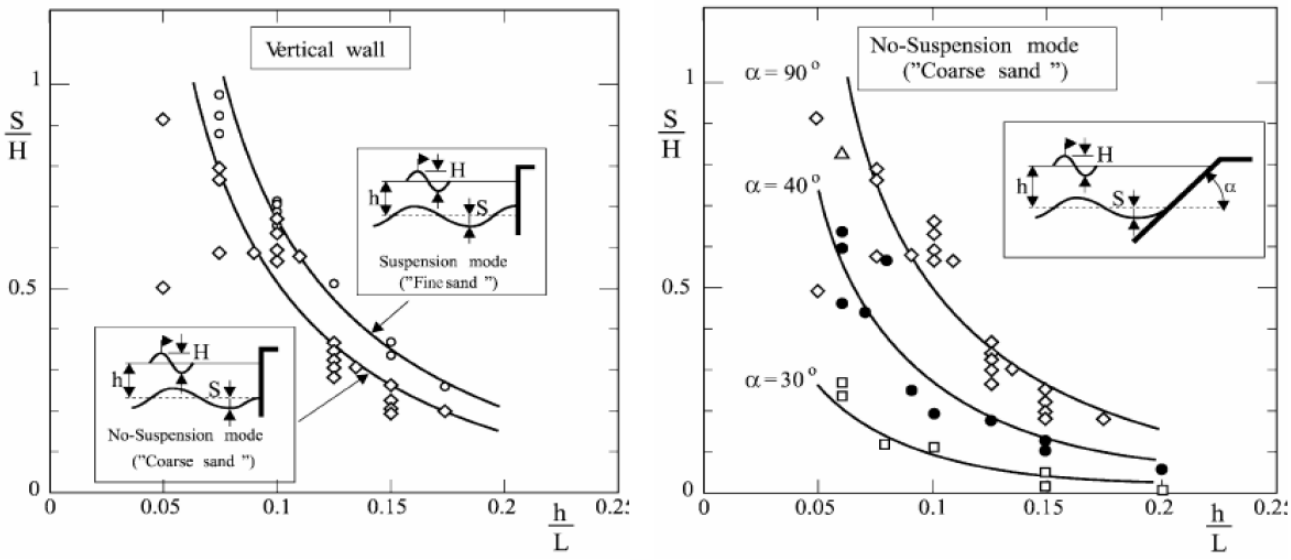



**圖 1.13 直立堤與斜坡拋石堤之堤前掏刷關係 (Sumer et al., 2001)**

國內針對麥寮港防波堤前海域地形變遷分析，多以海潮流水動力

作用為底床主要沖刷因素進行數值模式模擬分析 (劉與黃，2000)，並未考慮波浪在堤前反射形成短峰波所產生之堤腳沖刷，此外在底床沖淤模式中使用穩態 (steady) 和均勻 (uniform) 之平衡狀態下之輸沙公式模擬非穩態之漂沙活動行為，與實際海域之輸沙現象不符。許等人 (2003) 建立適合分析港口防波堤前沖刷之海域地形變化模式，包括能反應出波浪於堤前反射及繞射效應之波浪場模式，水動力模式則包含波浪衍生之沿岸流、潮流以及海流等效應，底床侵淤模式則考慮波浪於堤前沖刷水流、沿岸流及海潮流輸沙量估算，據此模擬麥寮港西防波堤堤前沖刷現象，分析其動力機制及侵淤原因。

## 六、Flow-3D 應用於波、流場及地形變化計算

Dentale (2012) 根據水工模型試驗之佈置建構防坡堤保護工模型，利用 FLOW-3D 模擬三維石堆斜坡底床，分析波流對於消波設施的反射、透射、溯升、越波與碎波等現象，以及結構體基礎的穩定性。陳 (2009) 分析有限水深短峰波對海床處將形成波壓力，引起海床變形乃至液化。應用 FLOW-3D 模擬防波堤堤頭附近海床上的波壓力，最大波高與海床超靜孔隙水壓力最大值均位於距堤頭 0.5 倍波長附近，也是最易發生液化的地方。賴 (2009) 以 FLOW-3D 計算不透水和孔隙底床之波浪變形、流場及紊流特性。結果顯示孔隙底床對波浪發生碎波之型態產生影響，使得因捲波 (plunging) 而產生的迴流減弱消失。因孔隙層之摩擦及滲透作用，在碎波帶與沖刷帶之間波能消散、流場及紊流特性有很大的差異。Achartya (2011) 利用 FLOW-3D 的 RNG $k-\varepsilon$ 紊流模式模擬探討系列丁壩平面底床沖刷機制，定量剖析丁壩周圍縱向、橫向及垂直面紊流流場。馬 (2011) 利用 FLOW-3D 的 RNG $k-\varepsilon$ 紊流模式求解非定常雷諾平均方程式 (RANS) 之控制方程式，探討潛堤與直立堤間之波高水位變化及波流場狀態。結果顯示波浪通過潛堤後，受直立堤反射影響，重複波波峰位置因兩堤間距不同而變化，當兩堤間距為 0.25 倍和 0.75 倍波長時，波高與水位較高。侯等人 (2011) 以 FLOW-3D 模擬港池內外波浪繞射分佈特性，比較港池於外海為不等水深的條件下，港池內外 Kd 值之變化。

# 第二章 臺中港及麥寮工業港堤頭侵蝕現況的特性研究

現場基本資料之調查、蒐集與分析，為瞭解計畫區海域水動力特性及海岸地形變遷之基礎。歷年海象、氣象及地象資料之統計分析結果，為建立波、流與海岸地形變化數值模式之校核參考，及水工模型試驗條件設定之依據。本研究以臺中港及麥寮工業港為主要研究區域，針對臺中與雲林海域之氣象、海象及地形變化進行統計分析。

臺中港北鄰大安溪及大甲溪，南鄰大肚溪，臺中港於民國 65 年完成主體工程，民國 79～84 年先延長北防波堤 850 公尺，民國 89～91 年再延長北防波堤 480 公尺。臺中港鄰近地區之海、氣、地象觀測調查資料，包括中央氣象局之梧棲氣象觀測站資料、本所港研中心之臺中港海象分析資料、臺中港務局歷年地形水深觀測資料及水利署河川水文輸沙資料等，其海氣象觀測站相關位置如圖 2.1 所示。




資料來源：Google Map、本所港研中心

**圖 2.1 臺中港海氣象觀測站位置圖(本所港研中心，2011)**

雲林縣海岸北起濁水溪口南至北港溪口，雲林離島工業區自民國 83 年動工興建，麥寮港外廓防波堤則至民國 89 年 9 月完工。成大水工試驗所自民國 80 年起，於雲林縣離島工業區海域進行長期氣象、海象、

水文及地形等各項調查工作，其海、氣象觀測站相關位置如圖 2.2 所示。

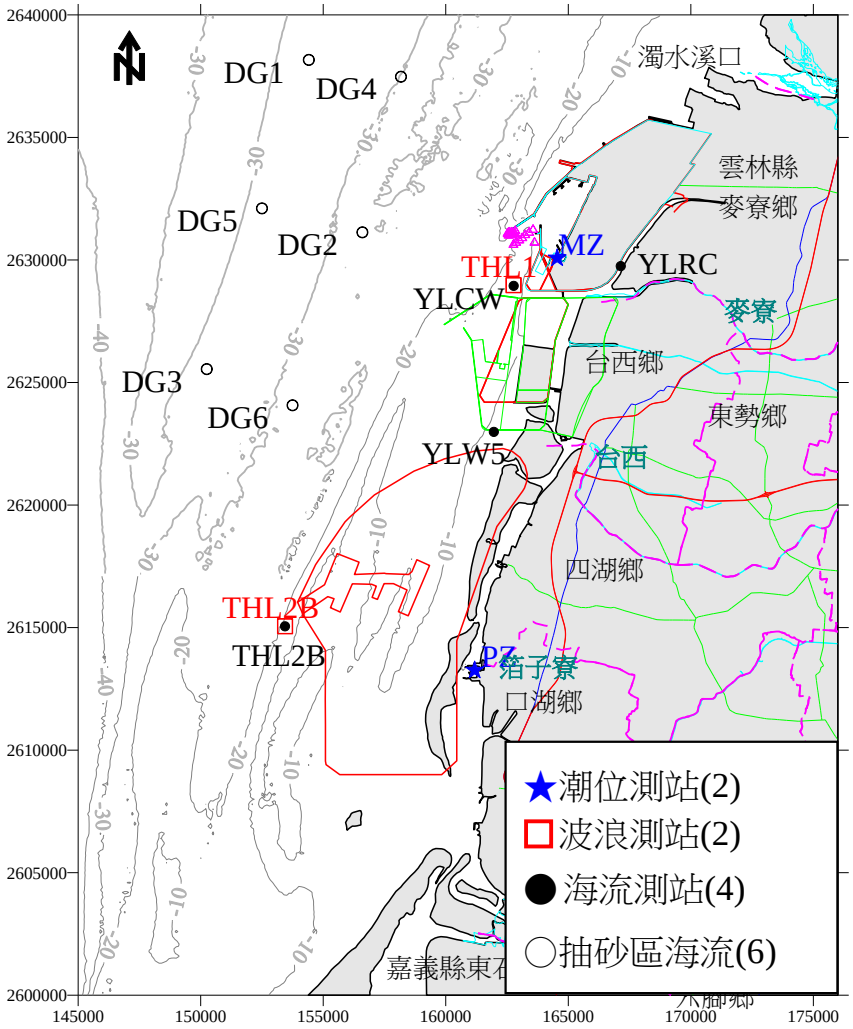



**圖 2.2 雲林縣離島工業區海氣象觀測站位置圖(成大水工所，2010)**

## 2.1 氣象資料

### 2.1.1. 風速與風向

1.臺中海域

臺中港附近長期觀測站，有本所港研中心(測站 W)與中央氣象局(測站 E)。本所港研中心於北防風林處測站安裝 Young Brand 風速計，儀器高度約 10m，以及在北防波堤白燈塔頂安裝風速儀，採取每小時測定前十分鐘之風速、風向數據加以平均，而得出該小時之平均風速、平均風向、最大陣風風速、最大陣風風向、最大陣風之發生時間。而

在 2001 年 12 月~2011 年 2 月之觀測資料分析，臺中港地區歷年主要風向為 NNE 向，約佔 35.0%；風速為 2.0m/s~3.0m/s 為多，約佔 13.9%，平均風速為 6.4m/s，而最大值為 37.5m/s，其風向為 NNE，如表 2.1。而歷年春季(3 月~5 月)主要風向為 NNE 向，約佔 32.8%，風速為 2.0m/s~3.0m/s 為多，約佔 14.3%，平均風速為 5.9m/s，而最大值為 32.4m/s，其風向為 NE，如表 2.2。夏季(6 月~8 月)受颱風影響造成風向分佈，使風向以 SSW 向為最多，約佔 17.6%，風速為 1.0m/s~2.0m/s 為多，約佔 20.1%，平均風速為 4.2m/s，而最大值為 37.5m/s，其風向為 NNE，如表 2.3。秋季(9 月~11 月)主要風向為 NNE 向，約佔 47.0%，風速為 1.0m/s~2.0m/s 為多，約佔 13.7%，平均風速為 6.9m/s，而最大值為 32.6m/s，其風向為 N，如表 2.4。冬季(12 月~2 月)主要風向為 NNE 向，約佔 52.9%，風速為 8.0m/s~10.0m/s 為多，約佔 13.3%，平均風速為 8.8m/s，而最大值為 30.3m/s，其風向為 NNE，如表 2.5。

根據中央氣象局提供資料，並由本所港研中心整理觀測資料，而風速、風向資料經算術平均而得以代表該小時之風速、風向。而在 1996 年 01 月~2011 年 11 月之觀測資料分析，主要風向為 N 向，約佔 38.1%；風速為 2.0m/s~3.0m/s 為多，約佔 14.4%，平均風速為 4.4m/s，而最大值為 29.5m/s，其風向為 NNW，如表 2.6。而歷年春季(3 月~5 月)主要風向為 N 向，約佔 37.3%，風速為 2.0m/s~3.0m/s 為多，約佔 15.8%，平均風速為 4.0m/s，而最大值為 16.2m/s，其風向為 N，如表 2.7。夏季(6 月~8 月)受颱風影響造成風向分佈，使風向以 SSE 向為最多，約佔 14.3%，風速為 2.0m/s~3.0m/s 為多，約佔 18.0%，平均風速為 3.5m/s，而最大值為 24.6m/s，其風向為 NNW，如表 2.8。秋季(9 月~11 月)主要風向為 N 向，約佔 46.1%，風速為 2.0m/s~3.0m/s 為多，約佔 13.6%，平均風速為 4.7m/s，而最大值為 29.5m/s，其風向為 NNW，如表 2.9。冬季(12 月~2 月)主要風向為 N 向，約佔 60.9%，風速為 8.0m/s~10.0m/s 為多，約佔 15.7%，平均風速為 5.6m/s，而最大值為 16.7m/s，其風向為 N，如表 2.10。

臺中港附近海域不同的儀器、位置及記錄方式的不同，所觀測出

來的並非全然相同，但不會偏差太大。本所港研中心本身的儀器所測的主要風向為 NNE 多，而中央氣象局為 N 向局多。

**表 2.1 歷年臺中港測站 W 風速及風向聯合分佈百分比(%)統計表**

| 流向<br>風速 | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW | 合計<br>(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| .3m/s | .2 | .2 | .3 | .3 | .3 | .3 | .3 | .2 | .1 | .1 | .1 | .1 | .1 | .2 | .2 | .2 | 3.3 |
| 1m/s | .7 | 1.0 | 1.7 | 1.3 | .9 | .9 | .8 | 1.1 | 1.4 | 1.0 | .6 | .6 | .4 | .4 | .5 | .4 | 13.8 |
| 2m/s | 1.1 | 1.7 | 2.2 | .7 | .3 | .2 | .3 | .8 | 1.8 | 1.6 | .8 | .4 | .4 | .5 | .5 | .6 | 13.9 |
| 3m/s | 1.4 | 2.1 | 1.9 | .2 | .0 | .0 | .1 | .3 | 1.0 | 1.3 | .8 | .4 | .4 | .4 | .4 | .5 | 11.3 |
| 4m/s | 1.2 | 2.2 | 1.7 | .1 | .0 | .0 | .0 | .2 | .6 | .8 | .7 | .4 | .2 | .1 | .1 | .3 | 8.7 |
| 5m/s | .9 | 2.6 | 1.5 | .1 | .0 | .0 | .0 | .1 | .4 | .5 | .5 | .2 | .0 | .0 | .0 | .2 | 7.0 |
| 6m/s | .6 | 2.5 | 1.2 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .3 | .5 | .4 | .1 | .0 | .0 | .0 | .1 | 5.8 |
| 7m/s | .5 | 2.6 | 1.2 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .2 | .4 | .2 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | 5.3 |
| 8m/s | .6 | 5.5 | 2.2 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .3 | .5 | .4 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | 9.8 |
| 10m/s | .4 | 4.7 | 1.5 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .2 | .2 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 7.2 |
| 12m/s | .3 | 3.5 | .9 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 5.0 |
| 14m/s | .1 | 2.2 | .6 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 3.0 |
| 16m/s | .0 | 1.6 | .5 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 2.2 |
| 18m/s | .0 | 1.2 | .4 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 1.7 |
| 20m/s | .0 | .8 | .3 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 1.1 |
| 22m/s | .0 | .3 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .5 |
| 24m/s | .0 | .1 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .2 |
| 26m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 |
| 28m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 30m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 40m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 100m/s | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 合計 | 8.1 | 35.0 | 18.5 | 2.8 | 1.5 | 1.4 | 1.5 | 2.8 | 6.3 | 7.2 | 5.0 | 2.6 | 1.6 | 1.6 | 1.7 | 2.4 | 99.9 |

DISW1Z.BAT　　港灣技術研究中心

資料來源與期間：本所港研中心; 2001/7/10 14:0~2011/11/30 23:00

## 表 2.2 歷年春季臺中港測站 W 風速及風向聯合分佈百分比(%)統計表

| 流向<br>風速 | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW | 合計<br>(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| .3m/s | .2 | .2 | .4 | .4 | .4 | .4 | .3 | .2 | .1 | .2 | .1 | .1 | .2 | .2 | .3 | .2 | 4.1 |
| 1m/s | .8 | 1.3 | 1.8 | 1.1 | .8 | .9 | .9 | .9 | 1.2 | 1.0 | .7 | .6 | .4 | .6 | .5 | .6 | 14.1 |
| 2m/s | 1.5 | 1.8 | 2.1 | .7 | .2 | .2 | .2 | .7 | 1.8 | 1.7 | .9 | .5 | .4 | .5 | .5 | .7 | 14.3 |
| 3m/s | 1.6 | 2.4 | 2.0 | .3 | .0 | .0 | .0 | .3 | .9 | 1.4 | .9 | .5 | .4 | .4 | .3 | .6 | 12.0 |
| 4m/s | 1.5 | 2.6 | 1.9 | .1 | .0 | .0 | .0 | .1 | .4 | .9 | .8 | .3 | .2 | .1 | .1 | .4 | 9.5 |
| 5m/s | 1.0 | 3.1 | 1.7 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .2 | .7 | .7 | .2 | .0 | .0 | .0 | .2 | 8.0 |
| 6m/s | .8 | 2.8 | 1.5 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .2 | .5 | .4 | .1 | .0 | .0 | .0 | .1 | 6.5 |
| 7m/s | .6 | 2.8 | 1.5 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .3 | .2 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | 5.7 |
| 8m/s | .8 | 5.3 | 2.6 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .2 | .3 | .3 | .1 | .0 | .0 | .0 | .1 | 9.5 |
| 10m/s | .3 | 3.6 | 1.6 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 5.7 |
| 12m/s | .1 | 2.4 | 1.0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 3.6 |
| 14m/s | .0 | 1.5 | .6 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 2.2 |
| 16m/s | .0 | 1.1 | .5 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 1.6 |
| 18m/s | .0 | 1.0 | .5 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 1.5 |
| 20m/s | .0 | .7 | .3 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .9 |
| 22m/s | .0 | .2 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .3 |
| 24m/s | .0 | .2 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .2 |
| 26m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 28m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 30m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 40m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 100m/s | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 合計 | 9.5 | 32.8 | 20.0 | 2.9 | 1.5 | 1.5 | 1.4 | 2.2 | 5.1 | 7.2 | 5.3 | 2.5 | 1.6 | 1.8 | 1.7 | 2.9 | 99.8 |

DISW1Z.BAT 港灣技術研究中心

資料來源與期間：本所港研中心; 2002/3/1 0:0~2011/5/31 23:00

## 表 2.3 歷年夏季臺中港測站 W 風速及風向聯合分佈百分比(%)統計表

| 流向<br>風速 | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW | 合計<br>(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| .3m/s | .4 | .2 | .4 | .5 | .5 | .4 | .4 | .3 | .2 | .2 | .2 | .2 | .3 | .3 | .2 | .3 | 5.0 |
| 1m/s | 1.1 | .9 | 1.3 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.9 | 2.8 | 2.1 | 1.3 | 1.2 | .9 | .8 | .8 | .6 | 20.1 |
| 2m/s | 1.3 | 1.2 | .8 | .3 | .2 | .2 | .3 | 1.7 | 4.1 | 3.5 | 1.5 | .9 | .8 | .9 | 1.0 | .9 | 19.9 |
| 3m/s | 1.7 | 1.2 | .6 | .1 | .0 | .0 | .1 | .7 | 2.6 | 3.1 | 1.9 | 1.0 | .8 | .7 | .8 | .9 | 16.4 |
| 4m/s | 1.2 | 1.0 | .3 | .0 | .0 | .0 | .1 | .4 | 1.5 | 2.0 | 1.8 | 1.2 | .5 | .1 | .2 | .4 | 10.8 |
| 5m/s | .8 | .8 | .2 | .0 | .0 | .0 | .0 | .3 | 1.0 | 1.3 | 1.3 | .7 | .1 | .0 | .1 | .2 | 6.9 |
| 6m/s | .5 | .8 | .2 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .8 | 1.2 | .9 | .3 | .0 | .0 | .0 | .1 | 5.0 |
| 7m/s | .3 | .7 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .6 | 1.3 | .7 | .3 | .0 | .0 | .0 | .1 | 4.1 |
| 8m/s | .4 | 1.1 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .9 | 1.6 | 1.2 | .3 | .0 | .0 | .0 | .0 | 5.7 |
| 10m/s | .2 | .7 | .2 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .3 | .7 | .6 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 2.8 |
| 12m/s | .2 | .5 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .3 | .4 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 1.6 |
| 14m/s | .1 | .3 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .2 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .8 |
| 16m/s | .1 | .2 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .4 |
| 18m/s | .0 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .2 |
| 20m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 |
| 22m/s | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 |
| 24m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 |
| 26m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 |
| 28m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 30m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 40m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 100m/s | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 合計 | 8.3 | 9.9 | 4.3 | 2.1 | 1.8 | 1.8 | 2.0 | 5.7 | 15.1 | 17.6 | 11.9 | 6.2 | 3.5 | 3.0 | 3.1 | 3.6 | 99.9 |

DISW1Z.BAT 港灣技術研究中心

資料來源與期間：本所港研中心; 2001/7/10 14:0~2011/8/31 23:00

## 表 2.4 歷年秋季臺中港測站 W 風速及風向聯合分佈百分比(%)統計表

| 流向<br>風速 | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW | 合計<br>(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| .3m/s | .2 | .2 | .3 | .2 | .2 | .2 | .3 | .2 | .1 | .1 | .1 | .0 | .1 | .1 | .1 | .1 | 2.5 |
| 1m/s | .6 | 1.1 | 2.5 | 1.8 | .9 | 1.0 | .9 | 1.3 | 1.3 | .6 | .3 | .3 | .2 | .2 | .3 | .3 | 13.7 |
| 2m/s | 1.0 | 2.0 | 3.3 | .8 | .2 | .2 | .3 | .6 | .8 | .7 | .4 | .2 | .2 | .3 | .4 | .4 | 11.9 |
| 3m/s | 1.4 | 2.8 | 2.9 | .3 | .0 | .0 | .0 | .2 | .4 | .3 | .3 | .1 | .3 | .3 | .2 | .5 | 10.0 |
| 4m/s | 1.1 | 2.8 | 2.3 | .1 | .0 | .0 | .0 | .1 | .2 | .2 | .2 | .1 | .0 | .0 | .1 | .2 | 7.5 |
| 5m/s | .7 | 3.1 | 1.8 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .1 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | 6.2 |
| 6m/s | .5 | 3.0 | 1.5 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | 5.4 |
| 7m/s | .4 | 3.4 | 1.5 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 5.5 |
| 8m/s | .6 | 7.6 | 2.5 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 10.9 |
| 10m/s | .4 | 7.1 | 1.6 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 9.2 |
| 12m/s | .2 | 5.4 | 1.1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 6.8 |
| 14m/s | .1 | 3.6 | .7 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 4.4 |
| 16m/s | .1 | 2.2 | .5 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 2.8 |
| 18m/s | .0 | 1.6 | .2 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 1.9 |
| 20m/s | .0 | .6 | .2 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .8 |
| 22m/s | .0 | .2 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .3 |
| 24m/s | .0 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 |
| 26m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 |
| 28m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 30m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 40m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 100m/s | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 合計 | 7.4 | 47.0 | 22.9 | 3.3 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 2.3 | 3.2 | 2.1 | 1.4 | .9 | .9 | 1.0 | 1.1 | 1.8 | 100.0 |

DISW1Z.BAT 港灣技術研究中心

資料來源與期間：本所港研中心; 2001/9/1 0:0~2011/11/30 23:00

## 表 2.5 歷年冬季臺中港測站 W 風速及風向聯合分佈百分比(%)統計表

| 流向<br>風速 | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW | 合計<br>(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| .3m/s | .1 | .1 | .2 | .1 | .2 | .1 | .1 | .1 | .1 | .1 | .0 | .1 | .0 | .1 | .1 | .1 | 1.4 |
| 1m/s | .4 | .7 | 1.2 | .9 | .6 | .5 | .4 | .4 | .3 | .3 | .1 | .1 | .1 | .1 | .2 | .2 | 6.4 |
| 2m/s | .7 | 1.8 | 2.8 | 1.0 | .4 | .3 | .2 | .3 | .4 | .2 | .1 | .1 | .1 | .1 | .1 | .2 | 9.0 |
| 3m/s | .7 | 2.0 | 2.3 | .3 | .1 | .0 | .0 | .1 | .1 | .1 | .1 | .1 | .1 | .1 | .1 | .2 | 6.4 |
| 4m/s | .9 | 2.6 | 2.5 | .2 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | 6.6 |
| 5m/s | .9 | 3.4 | 2.2 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | 6.9 |
| 6m/s | .6 | 3.6 | 1.8 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | 6.3 |
| 7m/s | .5 | 3.7 | 1.8 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 6.1 |
| 8m/s | .8 | 8.6 | 3.7 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 13.3 |
| 10m/s | .5 | 8.1 | 3.0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 11.7 |
| 12m/s | .5 | 6.1 | 1.8 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 8.4 |
| 14m/s | .2 | 3.6 | 1.2 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 5.0 |
| 16m/s | .1 | 3.1 | 1.1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 4.2 |
| 18m/s | .0 | 2.3 | 1.1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 3.4 |
| 20m/s | .0 | 2.0 | .8 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 2.8 |
| 22m/s | .0 | .9 | .5 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 1.4 |
| 24m/s | .0 | .3 | .3 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .5 |
| 26m/s | .0 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 |
| 28m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 30m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 40m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 100m/s | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 合計 | 7.0 | 52.9 | 28.2 | 2.8 | 1.3 | 1.0 | .8 | .9 | 1.0 | .9 | .6 | .4 | .3 | .4 | .6 | 1.1 | 100.0 |

DISW1Z.BAT 港灣技術研究中心

資料來源與期間：本所港研中心; 2001/12/1 0:0~2011/2/28 23:00

## 表 2.6 歷年臺中港測站 E 風速及風向聯合分佈百分比(%)統計表

| 流向<br>風速 | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW | 合計<br>(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| .3m/s | .6 | .3 | .4 | .4 | .7 | .5 | .7 | .6 | .7 | .4 | .3 | .2 | .2 | .2 | .2 | .3 | 6.8 |
| 1m/s | 1.9 | 1.2 | .8 | .4 | .4 | .4 | 1.4 | 1.1 | 1.1 | .8 | .5 | .4 | .4 | .3 | .6 | .9 | 12.6 |
| 2m/s | 3.5 | 2.2 | .7 | .2 | .1 | .1 | 1.4 | 1.2 | 1.0 | .7 | .4 | .4 | .4 | .4 | .6 | 1.1 | 14.4 |
| 3m/s | 4.3 | 2.1 | .4 | .0 | .0 | .1 | .8 | 1.2 | 1.0 | .7 | .3 | .3 | .4 | .3 | .6 | 1.4 | 14.0 |
| 4m/s | 4.5 | 1.4 | .1 | .0 | .0 | .0 | .3 | .9 | .9 | .5 | .3 | .3 | .3 | .1 | .5 | 1.5 | 11.9 |
| 5m/s | 4.6 | 1.0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .5 | .6 | .4 | .3 | .4 | .2 | .0 | .2 | 1.3 | 9.7 |
| 6m/s | 4.4 | .8 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .2 | .3 | .2 | .2 | .3 | .1 | .0 | .1 | .9 | 7.6 |
| 7m/s | 4.2 | .7 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .2 | .1 | .1 | .2 | .1 | .0 | .0 | .6 | 6.2 |
| 8m/s | 6.2 | .9 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .1 | .1 | .1 | .1 | .0 | .0 | .0 | .9 | 8.5 |
| 10m/s | 2.8 | .5 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .4 | 3.8 |
| 12m/s | .7 | .2 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .2 | 1.1 |
| 14m/s | .2 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .2 |
| 16m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 |
| 18m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 |
| 20m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 22m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 24m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 26m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 28m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 30m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 40m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 100m/s | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 合計 | 38.1 | 11.3 | 2.5 | 1.0 | 1.2 | 1.2 | 4.8 | 6.0 | 5.9 | 4.0 | 2.6 | 2.6 | 2.2 | 1.3 | 2.9 | 9.6 | 97.1 |

DISW1Z.BAT 港灣技術研究中心

資料來源與期間：本所港研中心; 1996/1/1 0:0~2011/11/30 23:00

## 表 2.7 歷年春季臺中港測站 E 風速及風向聯合分佈百分比(%)統計表

| 流向<br>風速 | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW | 合計<br>(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| .3m/s | .7 | .4 | .4 | .4 | .7 | .6 | .8 | .6 | .7 | .4 | .3 | .3 | .3 | .2 | .3 | .5 | 7.5 |
| 1m/s | 2.3 | 1.5 | .9 | .4 | .4 | .5 | 1.2 | 1.0 | 1.1 | .8 | .5 | .4 | .4 | .3 | .7 | 1.2 | 13.6 |
| 2m/s | 4.4 | 2.5 | .7 | .1 | .1 | .2 | 1.2 | 1.0 | 1.2 | .9 | .5 | .4 | .4 | .4 | .6 | 1.4 | 15.8 |
| 3m/s | 5.1 | 2.1 | .3 | .0 | .1 | .1 | .8 | 1.1 | 1.0 | .8 | .3 | .4 | .4 | .3 | .6 | 1.7 | 15.1 |
| 4m/s | 5.3 | 1.4 | .1 | .0 | .0 | .1 | .3 | .9 | .7 | .6 | .3 | .4 | .3 | .1 | .4 | 1.8 | 12.7 |
| 5m/s | 5.0 | 1.0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .5 | .5 | .4 | .3 | .4 | .2 | .0 | .2 | 1.5 | 10.0 |
| 6m/s | 4.3 | .9 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .2 | .2 | .2 | .3 | .1 | .0 | .0 | 1.0 | 7.3 |
| 7m/s | 3.6 | .7 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .1 | .1 | .2 | .1 | .0 | .0 | .7 | 5.5 |
| 8m/s | 4.4 | .8 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .1 | .0 | .0 | .0 | .8 | 6.2 |
| 10m/s | 1.7 | .3 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .4 | 2.4 |
| 12m/s | .4 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .6 |
| 14m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 |
| 16m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 18m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 20m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 22m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 24m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 26m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 28m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 30m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 40m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 100m/s | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 合計 | 37.3 | 11.5 | 2.5 | 1.1 | 1.2 | 1.5 | 4.4 | 5.1 | 5.5 | 4.2 | 2.6 | 2.9 | 2.2 | 1.3 | 2.7 | 10.9 | 96.8 |

DISW1Z.BAT 港灣技術研究中心

資料來源與期間：本所港研中心; 1996/3/1 0:0~2011/5/31 23:00

## 表 2.8 歷年夏季臺中港測站 E 風速及風向聯合分佈百分比(%)統計表

| 流向<br>風速 | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW | 合計<br>(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| .3m/s | .6 | .3 | .4 | .3 | .8 | .6 | 1.0 | 1.1 | 1.1 | .7 | .5 | .2 | .3 | .3 | .2 | .3 | 8.5 |
| 1m/s | 1.2 | .8 | .7 | .4 | .4 | .6 | 2.4 | 2.1 | 2.1 | 1.6 | 1.0 | .6 | .8 | .6 | .6 | .7 | 16.5 |
| 2m/s | 1.5 | 1.0 | .3 | .1 | .1 | .2 | 3.3 | 2.8 | 2.1 | 1.6 | .9 | .7 | .8 | .7 | .9 | 1.0 | 18.0 |
| 3m/s | 1.3 | .5 | .1 | .0 | .0 | .1 | 2.1 | 3.2 | 2.6 | 1.7 | .8 | .7 | 1.0 | .7 | 1.1 | 1.3 | 17.0 |
| 4m/s | 1.1 | .3 | .0 | .0 | .0 | .0 | .8 | 2.5 | 2.6 | 1.4 | .9 | .8 | .8 | .3 | 1.0 | 1.5 | 14.1 |
| 5m/s | .9 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .4 | 1.4 | 1.8 | 1.0 | .8 | 1.0 | .6 | .0 | .4 | 1.0 | 9.4 |
| 6m/s | .8 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .5 | 1.0 | .5 | .7 | .8 | .3 | .0 | .1 | .6 | 5.5 |
| 7m/s | .5 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .3 | .5 | .4 | .4 | .6 | .1 | .0 | .0 | .2 | 3.1 |
| 8m/s | .6 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .3 | .3 | .3 | .2 | .3 | .1 | .0 | .1 | .3 | 2.6 |
| 10m/s | .3 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .1 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .2 | .8 |
| 12m/s | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .4 |
| 14m/s | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .2 |
| 16m/s | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .2 |
| 18m/s | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 |
| 20m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 |
| 22m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 24m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 26m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 28m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 30m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 40m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 100m/s | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 合計 | 9.2 | 3.1 | 1.4 | .8 | 1.3 | 1.5 | 10.3 | 14.3 | 14.2 | 9.2 | 6.2 | 5.9 | 4.9 | 2.6 | 4.4 | 7.3 | 96.6 |

DISW1Z.BAT 港灣技術研究中心

資料來源與期間：本所港研中心; 1996/6/1 0:0~2011/8/31 23:00

## 表 2.9 歷年秋季臺中港測站 E 風速及風向聯合分佈百分比(%)統計表

| 流向<br>風速 | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW | 合計<br>(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| .3m/s | .7 | .4 | .5 | .5 | 1.0 | .6 | .8 | .6 | .7 | .3 | .3 | .2 | .3 | .2 | .3 | .4 | 7.7 |
| 1m/s | 2.3 | 1.5 | 1.0 | .5 | .3 | .3 | 1.4 | 1.1 | .9 | .5 | .3 | .2 | .2 | .2 | .8 | 1.1 | 12.6 |
| 2m/s | 4.3 | 2.9 | 1.0 | .3 | .1 | .1 | .9 | .8 | .5 | .3 | .1 | .2 | .3 | .2 | .5 | 1.1 | 13.6 |
| 3m/s | 5.0 | 2.8 | .5 | .0 | .0 | .0 | .2 | .4 | .3 | .1 | .1 | .1 | .2 | .2 | .6 | 1.3 | 12.0 |
| 4m/s | 5.4 | 1.9 | .2 | .0 | .0 | .0 | .1 | .2 | .2 | .1 | .1 | .1 | .1 | .1 | .3 | 1.3 | 9.9 |
| 5m/s | 5.6 | 1.4 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .1 | .1 | .1 | .1 | .0 | .0 | .1 | 1.2 | 8.9 |
| 6m/s | 5.1 | 1.1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .8 | 7.3 |
| 7m/s | 4.6 | 1.0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .6 | 6.4 |
| 8m/s | 7.4 | 1.5 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 1.0 | 10.1 |
| 10m/s | 4.0 | .9 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .4 | 5.4 |
| 12m/s | 1.2 | .4 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .2 | 1.9 |
| 14m/s | .3 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .4 |
| 16m/s | .1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .1 |
| 18m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .1 |
| 20m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 |
| 22m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 24m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 26m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 28m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 30m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 40m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 100m/s | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 合計 | 46.1 | 15.7 | 3.3 | 1.4 | 1.4 | 1.0 | 3.4 | 3.5 | 2.7 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 1.3 | .9 | 2.9 | 9.8 | 96.7 |

DISW1Z.BAT 港灣技術研究中心

資料來源與期間：本所港研中心; 1996/9/1 0:0~2011/11/30 23:00

**表 2.10 歷年冬季臺中港測站 E 風速及風向聯合分佈百分比(%)統計表**

| 流向<br>風速 | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW | 合計<br>(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| .3m/s | .4 | .2 | .2 | .2 | .4 | .3 | .3 | .2 | .2 | .1 | .1 | .1 | .1 | .1 | .2 | .2 | 3.5 |
| 1m/s | 1.8 | 1.0 | .6 | .4 | .4 | .4 | .5 | .3 | .3 | .2 | .1 | .1 | .1 | .1 | .4 | .6 | 7.3 |
| 2m/s | 4.0 | 2.6 | .9 | .2 | .1 | .1 | .2 | .2 | .2 | .1 | .1 | .1 | .1 | .1 | .3 | .8 | 10.0 |
| 3m/s | 5.7 | 3.2 | .6 | .0 | .0 | .0 | .1 | .1 | .1 | .1 | .1 | .1 | .1 | .1 | .3 | 1.1 | 11.7 |
| 4m/s | 6.4 | 2.2 | .2 | .0 | .0 | .0 | .1 | .1 | .1 | .1 | .1 | .0 | .0 | .0 | .1 | 1.4 | 10.8 |
| 5m/s | 7.2 | 1.5 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .1 | .1 | .0 | .1 | .0 | .0 | .1 | 1.3 | 10.5 |
| 6m/s | 7.6 | 1.3 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 1.1 | 10.1 |
| 7m/s | 8.1 | 1.2 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .9 | 10.2 |
| 8m/s | 12.7 | 1.3 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 1.6 | 15.7 |
| 10m/s | 5.4 | .6 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .8 | 6.8 |
| 12m/s | 1.3 | .2 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .2 | 1.7 |
| 14m/s | .2 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .3 |
| 16m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 18m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 20m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 22m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 24m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 26m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 28m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 30m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 40m/s | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 100m/s | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 合計 | 60.9 | 15.4 | 2.6 | .9 | .9 | .8 | 1.1 | .9 | 1.0 | .6 | .5 | .6 | .4 | .4 | 1.4 | 10.2 | 98.6 |

DISW1Z.BAT 港灣技術研究中心

資料來源與期間：本所港研中心; 1996/1/1 0:0~2011/2/28 23:00

2.麥寮海域

成大水工所自 1992 年起即於雲林離島工業區海域進行海、氣象觀測，歷年監測位置配合實際需求已多次變更，其中大部分是短期測站，近年來較長期的波浪測站有 THL1 (1992 年至今) 與 THL2B (2001 年至今)，惟 THL1 測站未觀測波向 (多以風向輔助分析)，THL2B 僅有近期波向資料，各測站位置圖如圖 2.2 所示。THL1 測站又稱臺西測站，位於麥寮工業港西防波堤西南方約 2km 處，水深約為-15m；THL2B 測站又稱四湖測站，位於箔子寮外海 5km 處，水深約-18m。本計畫根據成大水工所提供之 1997～2013 年度 THL1 測站和 THL2B 測站氣象觀測資料，統計各月份之最大風速、平均風速及最多風向，結果如表 2.11 所示。THL1 測站平均風速在 5.9~11.1 m/sec，與 THL2B 測站在 5.9~11.8 m/sec 範圍相近。THL1 測站主要風向在 6~8 月分佈在 SW~SSE，其餘月份皆為 NNE；THL2B 測站主要風向為 NNE 和 N 向。因無收集到陣風相關資料，故暫無分析最大陣風。

**表 2.11 1992~2013 年度各月份資料浮標風速風向列表**

| 測站 | 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 臺西測站 (THL1) | 陣風 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 最大 | 24.7 | 25.1 | 23.6 | 19.2 | 23.2 | 25.3 | 28.1 | 26.3 | 28.3 | 33.4 | 33.1 | 26.6 |
| | 平均 | 11.1 | 9.8 | 8.6 | 6.7 | 6.0 | 6.2 | 5.9 | 5.9 | 7.1 | 9.5 | 9.7 | 10.7 |
| | 風向 | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | SSW | SW | SSE | NNE | NNE | NNE | NNE |
| 四湖測站 (THL2B) | 陣風 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 最大 | 24.2 | 26.8 | 25.7 | 23.9 | 22.1 | 16.0 | 27.4 | 26.3 | 24.8 | 30.9 | 23.9 | 24.1 |
| | 平均 | 11.3 | 9.8 | 9.2 | 6.9 | 6.3 | 6.2 | 6.4 | 5.9 | 7.0 | 9.4 | 10.6 | 11.8 |
| | 風向 | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | N | NNE | NNE | NNE |

資料來源：成大水工所，本計畫彙整統計；夏季:4~9 月，冬季:10~3 月；單位：風速(m/sec)。

進一步統計分析歷年分月與夏、冬季的風速風向統計結果如表 2.12 至表 2.13 所示。THL1 測站夏、冬季和各月份風速風向玫瑰圖如圖 2.3 和圖 2.4；測站 THL2B 之夏、冬季和各月份風速風向玫瑰圖則為圖 2.5 和圖 2.6 所示。其中 THL1 測站夏季(4 至 9 月)平均風速在 5.7~7.2 m/sec 之間，其風向則較為紛紜，在 6~8 月間方向以 SW 為主；冬季 (10 月至隔年 3 月)平均風速為在 8.6~11.1 m/sec 之間，主要風向 NNE。THL2B

測站夏季平均風速在 5.7~7.2 m/sec 之間，風向以 NNE 為主；冬季平均風速為在 9.2~11.8 m/sec 之間，主要風向 NNE。結果顯示兩測站季節性風特性差異不大。

**表 2.12 臺西測站(THL1)1992~2013 年度各月份風速風向列表**

| 年度 | 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 夏季 | 冬季 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1992 | 最大 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 22.3 | 20.7 | - | 22.3 |
| | 平均 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 10.6 | 9.3 | - | 9.9 |
| | 風向 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | NNE | NNE | - | NNE |
| 1993 | 最大 | 21.4 | 16.5 | 15.4 | 15.8 | 14.0 | 12.5 | 11.4 | 13.7 | 17.3 | 20.2 | 21.7 | 19.0 | 17.3 | 21.7 |
| | 平均 | 12.5 | 7.7 | 7.2 | 6.7 | 7.9 | 6.8 | 5.9 | 5.7 | 5.7 | 10.3 | 7.7 | 10.6 | 6.2 | 9.3 |
| | 風向 | NNE | NNE | NNE | NNE | SSW | S | WSW | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE |
| 1994 | 最大 | 18.9 | 18.0 | 18.4 | 16.8 | 15.5 | 12.9 | 22.1 | 18.4 | 16.8 | 22.4 | 15.6 | 18.1 | 22.1 | 22.4 |
| | 平均 | 9.0 | 8.7 | 9.4 | 5.8 | 4.8 | 5.5 | 3.7 | 9.4 | 8.0 | 9.8 | 8.0 | 9.9 | 5.9 | 9.2 |
| | 風向 | NNE | NNE | NNE | NNE | N | S | NNW | SSE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE |
| 1995 | 最大 | 17.9 | 17.4 | 18.0 | 19.2 | 15.1 | 13.1 | 16.3 | 10.1 | 18.4 | 19.4 | 19.6 | 22.1 | 19.2 | 22.1 |
| | 平均 | 9.7 | 9.7 | 7.5 | 6.1 | 5.2 | 6.4 | 7.9 | 6.1 | 7.6 | 10.6 | 10.0 | 12.0 | 6.8 | 10.2 |
| | 風向 | NNE | N | N | N | N | N | SSE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE |
| 1996 | 最大 | 22.2 | 21.9 | - | 9.5 | 12.5 | - | 22.6 | 22.0 | 25.1 | 33.4 | 33.1 | - | 25.1 | 33.4 |
| | 平均 | 11.4 | 9.9 | - | 5.6 | 5.8 | - | 6.9 | 7.2 | 7.0 | 13.8 | 13.1 | - | 6.9 | 12.4 |
| | 風向 | NNE | NNE | - | SW | NNE | - | WSW | SSE | NNE | NNE | NNE | - | NNE | NNE |
| 1997 | 最大 | - | - | - | - | 14.5 | 10.5 | 13.6 | 22.6 | 15.9 | 21.7 | - | - | 22.6 | 21.7 |
| | 平均 | - | - | - | - | 5.5 | 5.6 | 5.0 | 8.2 | 8.5 | 7.6 | - | - | 6.1 | 7.6 |
| | 風向 | - | - | - | - | NNW | S | NW | SSE | NNE | N | - | - | S | N |
| 1998 | 最大 | - | 17.5 | 16.5 | 16.4 | 12.5 | - | - | - | - | - | - | - | 16.4 | 17.5 |
| | 平均 | - | 7.0 | 9.1 | 6.1 | 7.3 | - | - | - | - | - | - | - | 6.4 | 8.0 |
| | 風向 | - | N | NE | NNW | NNE | - | - | - | - | - | - | - | NNE | NE |
| 1999 | 最大 | - | - | - | - | - | - | - | 14.5 | 9.5 | 23.8 | 19.6 | - | 14.5 | 23.8 |
| | 平均 | - | - | - | - | - | - | - | 6.9 | 5.5 | 10.7 | 13.8 | - | 6.5 | 11.0 |
| | 風向 | - | - | - | - | - | - | - | WSW | NNE | NNE | NNE | - | WSW | NNE |
| 2000 | 最大 | 21.3 | 17.2 | 18.4 | 15.5 | - | 12.0 | 12.5 | 26.1 | 17.7 | 16.1 | 16.2 | 11.9 | 26.1 | 21.3 |
| | 平均 | 11.4 | 11.3 | 8.3 | 7.8 | - | 6.0 | 6.9 | 7.1 | 7.6 | 6.6 | 9.9 | 11.1 | 7.2 | 8.8 |
| | 風向 | NNE | NNE | NNE | NNE | - | WSW | S | SSE | NNE | NNE | N | N | NNE | NNE |
| 2001 | 最大 | 15.9 | 20.8 | 18.7 | 16.1 | 18.2 | 22.5 | 19.8 | 13.8 | 23.6 | 16.4 | 20.1 | 20.1 | 23.6 | 20.8 |
| | 平均 | 8.9 | 10.1 | 8.2 | 7.9 | 7.8 | 5.7 | 5.8 | 4.2 | 9.9 | 9.3 | 11.0 | 8.5 | 6.7 | 9.4 |
| | 風向 | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | SSW | NNW | NNW | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE |
| 2002 | 最大 | 16.7 | 18.2 | 17.7 | 15.4 | 13.3 | 13.2 | 17.8 | 14.7 | 15.6 | 20.1 | 19.0 | 20.6 | 17.8 | 20.6 |
| | 平均 | 8.3 | 8.7 | 6.7 | 6.3 | 4.7 | 5.6 | 5.7 | 5.3 | 8.5 | 7.8 | 9.6 | 8.9 | 6.0 | 8.4 |
| | 風向 | NNE | NNE | NNE | NNE | N | SSW | SSW | SSE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE |
| 2003 | 最大 | 18.3 | 7.7 | 17.7 | 16.3 | - | 14.4 | 12.6 | 15.2 | 13.7 | 16.7 | 19.6 | 19.4 | 16.3 | 19.6 |
| | 平均 | 9.4 | 4.4 | 7.8 | 5.4 | - | 8.8 | 7.6 | 6.6 | 6.7 | 8.6 | 10.2 | 10.7 | 7.1 | 9.4 |
| | 風向 | NNE | N | NNE | NNE | - | SW | WSW | SW | NNE | NE | NE | NE | NNE | NNE |
| 2004 | 最大 | 18.1 | 18.2 | 17.4 | 18.4 | 13.8 | 15.0 | 21.4 | 15.3 | 17.3 | 15.0 | 18.4 | 19.6 | 21.4 | 19.6 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 平均 | 10.2 | 9.2 | 9.6 | 6.6 | 5.7 | 7.3 | 5.5 | 6.0 | 6.7 | 7.1 | 8.0 | 10.2 | 6.3 | 9.0 |
| | 風向 | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | SSW | N | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE |
| 2005 | 最大 | 18.5 | 20.2 | 23.0 | 16.1 | 15.0 | 16.7 | 27.8 | 23.9 | 28.3 | 27.9 | 20.5 | 20.0 | 28.3 | 27.9 |
| | 平均 | 12.1 | 10.0 | 9.0 | 6.3 | 5.9 | 6.8 | 6.3 | 6.1 | 6.2 | 10.2 | 8.3 | 11.0 | 6.3 | 10.0 |
| | 風向 | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | SSW | SSW | N | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE |
| 2006 | 最大 | 20.1 | 19.5 | 22.8 | 16.3 | 19.5 | 14.7 | 28.1 | 15.0 | 19.9 | 17.5 | 18.9 | 20.9 | 28.1 | 22.8 |
| | 平均 | 11.0 | 11.1 | 8.4 | 6.0 | 7.0 | 5.4 | 7.3 | 4.2 | 7.8 | 8.6 | 7.8 | 11.5 | 6.2 | 9.7 |
| | 風向 | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | S | SSE | NNW | NNE | NNE | NNE | NNE | N | NNE |

資料來源：成大水工所，本計畫彙整統計；夏季:4~9 月，冬季:10~3 月；單位：風速(m/sec)。

## 表 2.12(續) 臺西測站(THL1)1992~2013 年度各月份風速風向列表

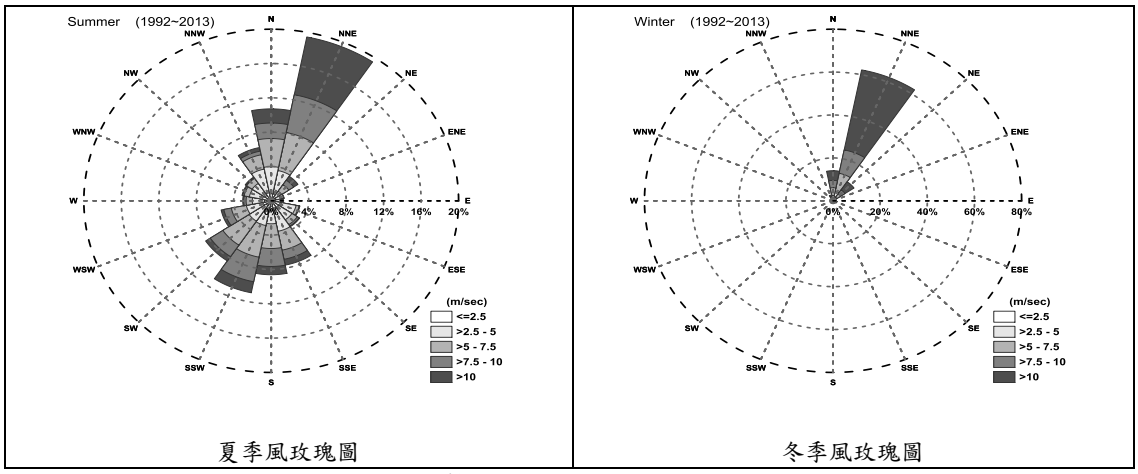
| 年度 | 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 夏季 | 冬季 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2007 | 最大 | 19.8 | 17.0 | 17.5 | 18.9 | 10.9 | 13.5 | 12.1 | 25.2 | 16.9 | 26.5 | 24.5 | - | 25.2 | 26.5 |
| | 平均 | 12.1 | 7.8 | 8.0 | 7.7 | 5.3 | 6.1 | 5.4 | 6.5 | 5.9 | 9.9 | 11.4 | - | 6.1 | 9.9 |
| | 風向 | N | N | N | N | NNE | SSW | SSW | SSE | NNE | NNE | NNE | - | N | NNE |
| 2008 | 最大 | 19.3 | 25.1 | 19.3 | 19.0 | 11.3 | 15.0 | 23.5 | - | 28.2 | 15.4 | 22.0 | 14.9 | 28.2 | 25.1 |
| | 平均 | 11.3 | 11.5 | 8.1 | 6.9 | 5.7 | 6.0 | 6.3 | - | 7.2 | 7.5 | 12.1 | 8.4 | 6.4 | 10.0 |
| | 風向 | NNE | NNE | NNE | NNE | SSW | S | SW | - | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE |
| 2009 | 最大 | - | 18.7 | 23.6 | 18.5 | 14.3 | 18.2 | 15.4 | 26.3 | 14.4 | 23.4 | 25.7 | 19.7 | 26.3 | 25.7 |
| | 平均 | - | 8.7 | 9.1 | 7.7 | 5.7 | 6.0 | 5.4 | 5.1 | 5.5 | 11.3 | 10.7 | 10.5 | 5.9 | 10.2 |
| | 風向 | - | NNE | NNE | NNE | NNE | SSW | SW | NNW | N | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE |
| 2010 | 最大 | 21.4 | 19.7 | 23.4 | 18.2 | 15.2 | 16.9 | 15.0 | 11.6 | 25.4 | 26.7 | 19.7 | 26.6 | 25.4 | 26.7 |
| | 平均 | 9.6 | 8.5 | 7.9 | 7.9 | 6.1 | 6.8 | 5.8 | 4.1 | 6.6 | 11.9 | 10.8 | 10.1 | 6.2 | 9.8 |
| | 風向 | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | SSW | SSW | SSE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE |
| 2011 | 最大 | 24.7 | 21.2 | 23.4 | 18.1 | 23.2 | 16.2 | 13.5 | 19.4 | 15.7 | 21.9 | 20.6 | 23.9 | 23.2 | 24.7 |
| | 平均 | 15.1 | 10.7 | 11.5 | 6.7 | 6.5 | 5.9 | 5.5 | 5.8 | 5.7 | 11.0 | 8.7 | 13.8 | 6.0 | 11.8 |
| | 風向 | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | SSW | SW | SW | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE |
| 2012 | 最大 | 20.8 | 21.3 | 21.9 | 17.3 | 16.4 | 25.3 | 20.4 | 22.4 | 21.1 | 17.1 | 19.4 | 21.1 | 25.3 | 21.9 |
| | 平均 | 12.5 | 12.0 | 9.4 | 5.3 | 6.1 | 7.1 | 5.1 | 6.6 | 7.8 | 8.8 | 7.4 | 10.2 | 6.3 | 10.1 |
| | 風向 | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | S | SW | S | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE |
| 2013 | 最大 | 20.8 | 19.9 | 20.2 | 18.7 | 16.8 | 13.8 | - | - | - | - | - | - | 18.7 | 20.8 |
| | 平均 | 11.6 | 9.9 | 7.7 | 6.7 | 5.4 | 5.2 | - | - | - | - | - | - | 5.7 | 9.7 |
| | 風向 | NNE | NNE | NNE | NNE | SSW | SSW | - | - | - | - | - | - | NNE | NNE |

資料來源：成大水工所，本計畫彙整統計；夏季:4~9 月，冬季:10~3 月；單位：風速(m/sec)。

## 表 2.13 四湖測站(THL2B)2001~2008 年度各月份風速風向列表

| 年度 | 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 夏季 | 冬季 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2001 | 最大 | - | - | - | - | - | - | - | - | 18.5 | 19.4 | 23.8 | 22.9 | 18.5 | 23.8 |
| | 平均 | - | - | - | - | - | - | - | - | 10.5 | 10.0 | 13.4 | 11.5 | 10.5 | 11.7 |
| | 風向 | - | - | - | - | - | - | - | - | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE |
| 2002 | 最大 | 19.7 | 20.7 | 19.6 | 16.4 | 14.9 | 10.3 | 17.4 | 18.0 | 16.7 | 20.1 | 20.7 | 24.1 | 18.0 | 24.1 |
| | 平均 | 9.7 | 9.9 | 7.2 | 6.8 | 5.1 | 5.1 | 6.6 | 6.8 | 7.7 | 7.8 | 11.4 | 10.5 | 6.4 | 9.4 |
| | 風向 | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | SSW | SSE | SSE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE |
| 2003 | 最大 | 19.4 | 20.6 | 21.3 | 21.7 | 17.2 | 14.6 | 10.5 | 18.7 | 20.7 | 20.6 | 21.2 | 23.9 | 21.7 | 23.9 |
| | 平均 | 9.6 | 9.5 | 9.5 | 6.7 | 7.0 | 6.8 | 5.1 | 4.3 | 6.0 | 9.8 | 11.4 | 13.0 | 6.0 | 10.4 |
| | 風向 | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | SSW | SSW | SSW | NNE | NNE | NNE |
| 2004 | 最大 | 20.0 | 22.1 | 23.9 | 21.1 | 19.3 | 15.8 | 25.8 | 16.8 | 17.4 | 16.1 | 14.6 | 23.7 | 25.8 | 23.9 |
| | 平均 | 12.5 | 9.1 | 11.0 | 7.3 | 6.9 | 7.6 | 7.0 | 7.0 | 6.8 | 7.9 | 5.5 | 11.5 | 7.1 | 10.0 |
| | 風向 | NNE | NNE | ENE | NNE | NNE | NNE | NNE | N | N | S | S | N | NNE | NNE |
| 2005 | 最大 | 19.9 | 19.3 | 21.2 | 18.8 | 16.8 | 15.4 | 25.6 | 23.6 | 13.9 | 30.9 | 21.5 | - | 25.6 | 30.9 |
| | 平均 | 10.6 | 9.0 | 9.8 | 6.3 | 5.8 | 6.6 | 6.2 | 6.2 | 4.6 | 10.1 | 11.4 | - | 6.0 | 10.0 |
| | 風向 | SSE | NNE | N | N | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | - | - | - | NNE | NNE |
| 2006 | 最大 | 22.2 | - | 25.7 | 18.3 | 22.1 | 16.0 | 26.9 | 15.4 | 21.9 | 19.6 | 20.9 | 22.3 | 26.9 | 25.7 |
| | 平均 | 16.3 | - | 9.3 | 6.6 | 7.4 | 5.4 | 7.5 | 4.0 | 8.5 | 10.7 | 9.2 | 13.8 | 6.6 | 10.7 |
| | 風向 | W | - | NNE | SSW | S | SSW | S | N | N | - | N | - | S | N |
| 2007 | 最大 | 20.8 | 22.0 | 19.0 | 23.9 | 11.9 | 11.1 | 7.8 | 26.3 | 18.2 | 26.8 | 23.9 | - | 26.3 | 26.8 |
| | 平均 | 14.1 | 9.1 | 7.9 | 8.2 | 4.1 | 4.6 | 3.6 | 6.1 | 6.7 | 10.5 | 15.0 | - | 5.5 | 10.7 |
| | 風向 | - | - | - | N | - | - | N | N | N | N | N | - | N | N |
| 2008 | 最大 | 24.2 | 26.8 | 13.3 | 17.4 | 19.5 | 14.9 | 27.4 | 20.3 | 24.8 | - | - | 23.7 | 27.4 | 26.8 |
| | 平均 | 12.8 | 13.6 | 8.3 | 7.2 | 7.0 | 7.5 | 8.3 | 7.2 | 6.6 | - | - | 10.6 | 7.3 | 12.2 |
| | 風向 | S | N | N | S | S | S | SSW | NNW | - | - | - | - | S | N |

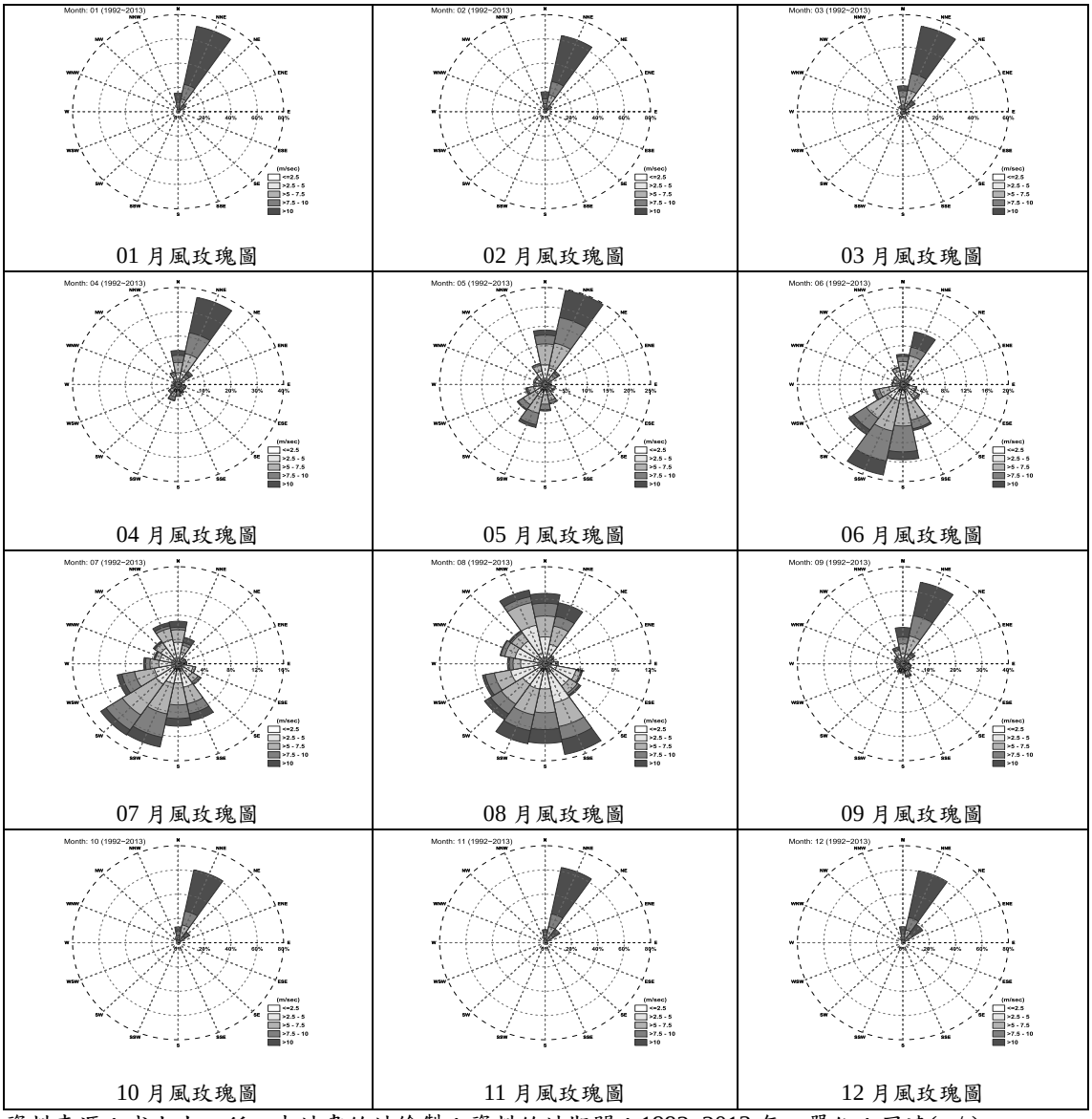
資料來源：成大水工所，本計畫彙整統計；夏季:4~9 月，冬季:10~3 月；單位：風速(m/sec)。




夏季風玫瑰圖　　冬季風玫瑰圖

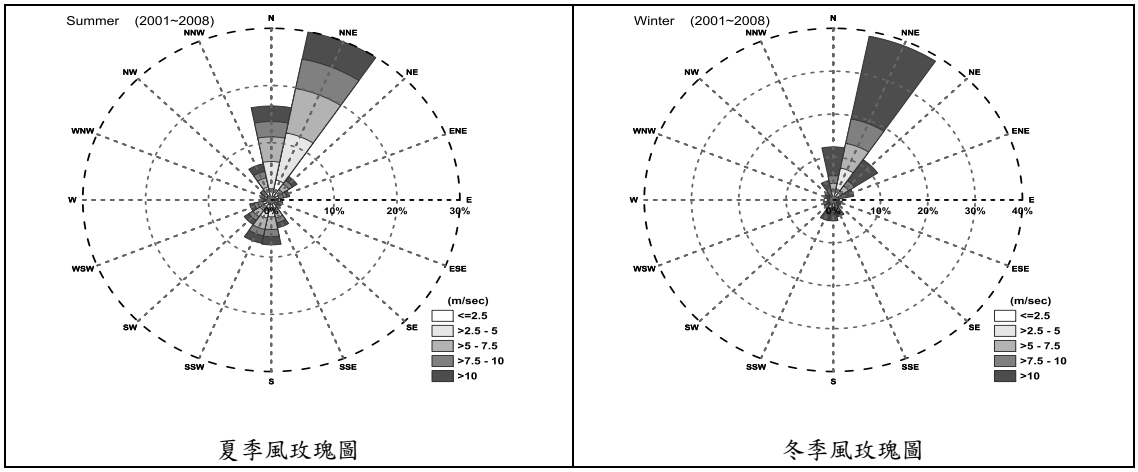
資料來源：成大水工所，本計畫統計繪製；資料統計期間：1992~2013 年。單位：風速(m/s)

## 圖 2.3 臺西測站(THL1)夏季與冬季風玫瑰圖




資料來源：成大水工所，本計畫統計繪製；資料統計期間：1992~2013 年。單位：風速(m/s)。

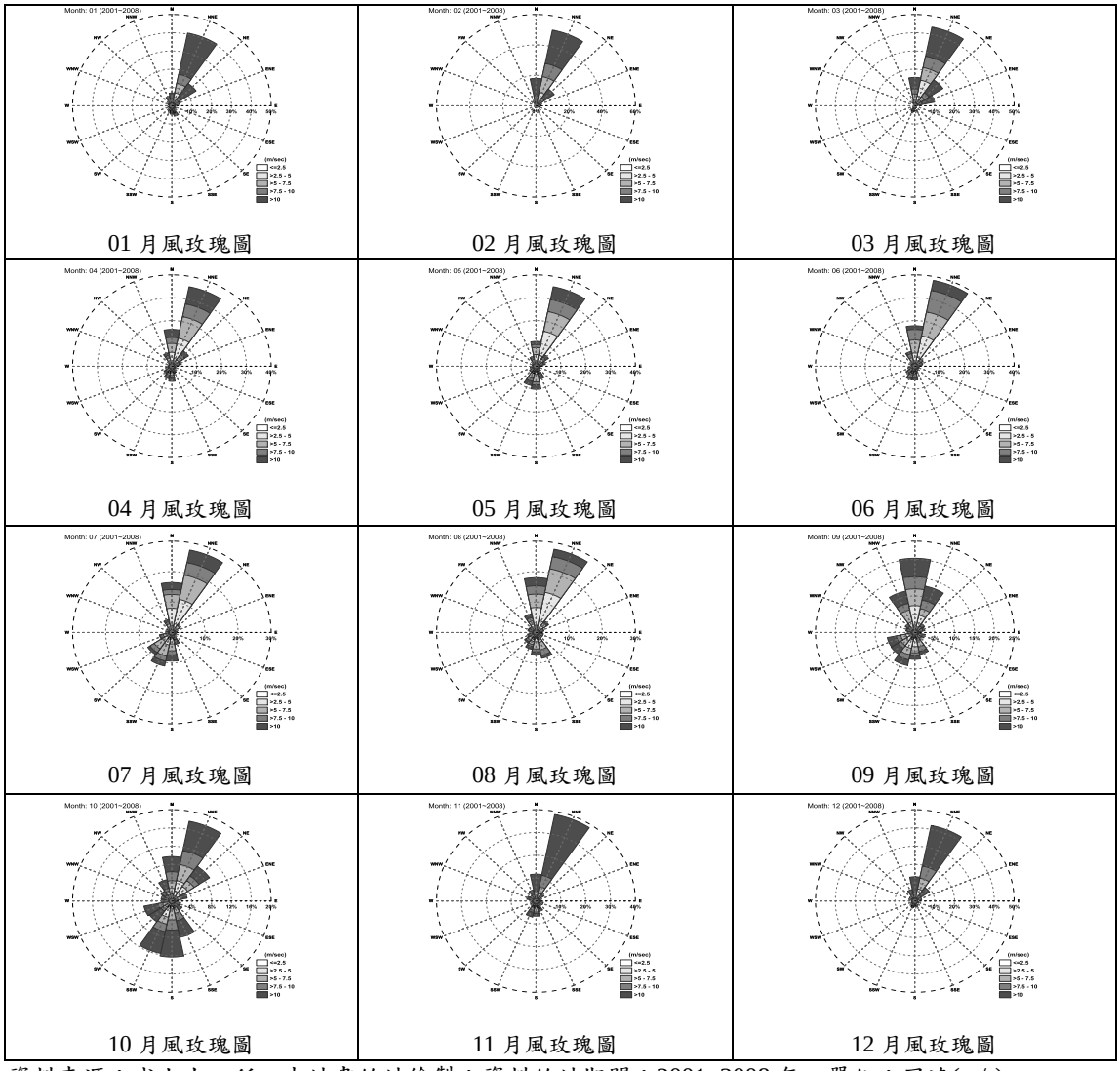
**圖 2.4 臺西測站(THL1)各月份風玫瑰圖**




夏季風玫瑰圖　　冬季風玫瑰圖

資料來源：成大水工所，本計畫統計繪製；資料統計期間：2001~2008 年。單位：風速(m/s)

**圖 2.5 四湖測站(THL2B)夏季與冬季風玫瑰圖**



01 月風玫瑰圖　02 月風玫瑰圖　03 月風玫瑰圖

04 月風玫瑰圖　05 月風玫瑰圖　06 月風玫瑰圖

07 月風玫瑰圖　08 月風玫瑰圖　09 月風玫瑰圖

10 月風玫瑰圖　11 月風玫瑰圖　12 月風玫瑰圖

資料來源：成大水工所，本計畫統計繪製；資料統計期間：2001~2008 年。單位：風速(m/s)。

**圖 2.6 四湖測站(THL2B)各月份風玫瑰圖**

2. 颱風

根據中央氣象局所發佈自 1958~2014 年間影響臺灣之颱風警報資料，其颱風路徑分類共分為九類，路徑分佈及影響比例如圖 2.7 所示。而影響臺中、雲林海域的颱風大致以第三、七、九路徑為主，發生機率各為 14.3%、4.2%、8.5 %。若以颱風發生的月份進行分類，發生機率以 8 月份最多 (27.4%)，其次為 7 及 9 月份 (21.8 % 及 20.8 %)，各月份之機率如表 2.14 所示。

**表 2.14 各月份發生颱風之機率列表**

| 月 份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 次 數 | – | – | – | 4 | 17 | 36 | 85 | 107 | 81 | 43 | 15 | 2 |
| % | – | – | – | 1.0 | 4.4 | 9.2 | 21.8 | 27.4 | 20.8 | 11.0 | 3.8 | 0.5 |

資料來源：中央氣象局，本計畫彙整統計；統計期間：1958~2014 年。

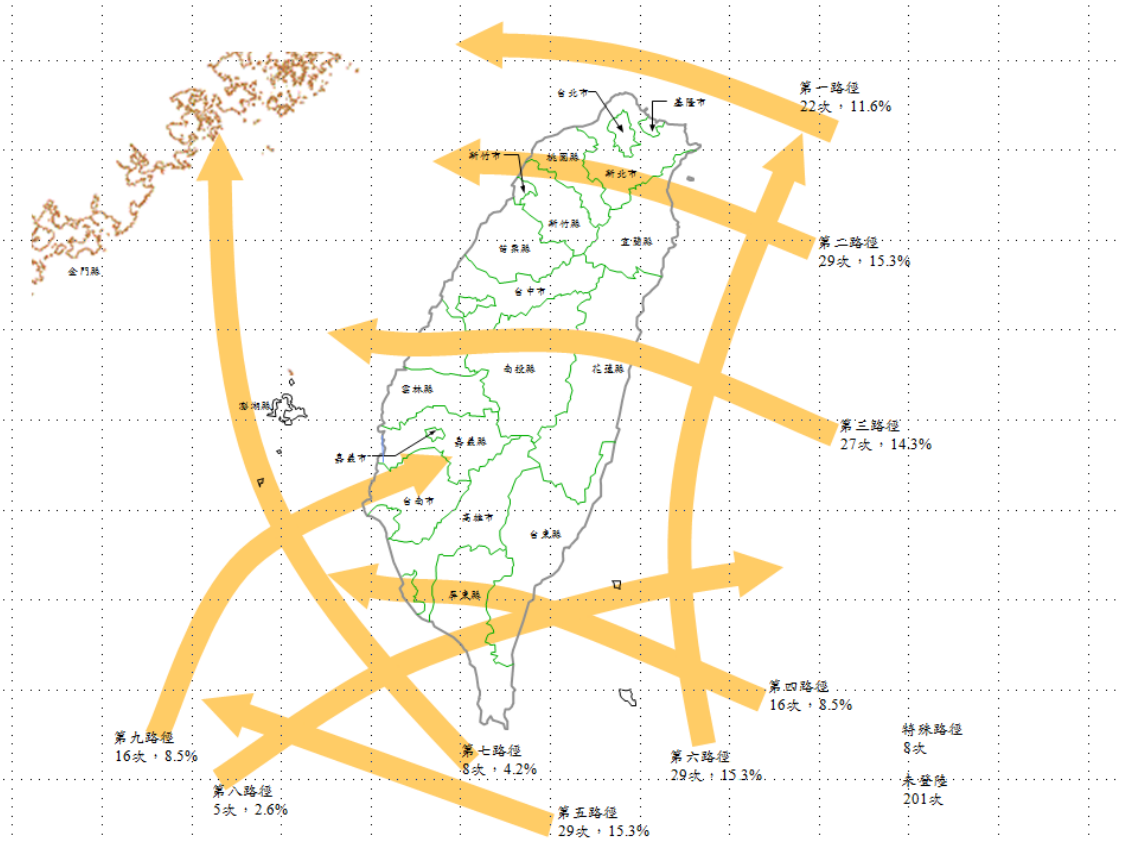



**圖 2.7 颱風侵臺路徑分類統計圖(1958～2014 年)**

## 2.2 海象資料

### 2.2.1 波浪

1. 臺中海域

分析本所港研中心 2007 年 1 月~2011 年 11 月之波浪觀測資料：臺中港海域歷年之波高、週期及波向的統計結果於圖 2.8。$H_{1/3}$介 1m 至 3m,，約佔歷年觀測的 56.5%；$H_{1/3}$波高大於 3 m 以上者，約佔歷年觀測的 6.5%。$T_{1/3}$週期集中在 8 秒以內，小於 7 sec 以下者，約佔歷年觀測的 45.7%；介於 7 sec 至 8 sec 之間者，約佔歷年觀測的 50%。歷年之平均$H_{1/3}$波高為 2.51m；平均$T_{1/3}$週期為 6.52 sec。在月統計部分，表 2.15 為歷年逐月之$H_{1/3}$及$T_{1/3}$統計表，由表可知，歷年之月平均最小$H_{1/3}$發生在 7 月為 1.05 m，最大在 1 月為 3.84m。由圖 2.9 顯示，夏季波主要入射方向為 NNE 為主，冬季波向介於 N~NNE 為主，且整年度幾乎介於 N~NNE 之間。資料觀測期間波高統計與波高分佈為表 2.16 所示。夏冬兩季與各月份波高波向玫瑰圖如圖 2.9 和圖 2.10 所示。

進一步統計分析歷年分月與夏、冬季的波高與波向統計結果如表 2.16 所示。在夏季(4 至 9 月) $H_{1/3}$在 1.70~2.13 m 之間，其波向分佈在 N~NNE 之間為主；冬季 (10 月至隔年 3 月) $H_{1/3}$在 3.04~4.04 m 之間，主要波向分佈在 N~NNE 之間為主。

另外根據本所港研中心「港灣防波堤堤頭沖蝕特性及防制機制之研究(1/4)」 (2011)：臺中港北堤外海 TC 測站的 2011 年實測波浪資料統計結果顯示，主要波向為 NNE 與 W，而波高大於 1 m 者達 22.59%，波高小於 1 m 以下者則是以 0.5~0.6 m 為主，發生率超過 21%。波浪週期集中於 4~7sec 的區間，佔全體的 56.75%。

## 表 2.15 臺中港 2007 至 2011 年各月份資料波浪列表

| 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Hmax | 6.53 | 5.55 | 5.69 | 5.86 | 4.08 | 3.52 | 3.28 | 7.78 | 7.29 | 6.74 | 5.36 | 8.44 |
| Tmax | 11.90 | 11.20 | 11.20 | 10.60 | 12.60 | 10.00 | 14.40 | 12.20 | 13.20 | 12.50 | 16.50 | 9.70 |
| Dmax | NNE | N | NNE | N | NNW | NE | NNE | NNW | NE | NNE | ESE | NW |
| H1/10 | 4.69 | 4.12 | 3.88 | 3.52 | 2.16 | 1.92 | 1.34 | 2.49 | 3.39 | 4.14 | 3.65 | 3.87 |
| T1/10 | 7.78 | 7.26 | 6.60 | 7.11 | 6.51 | 6.10 | 6.61 | 5.74 | 5.68 | 5.82 | 6.15 | 6.90 |
| H1/3 | 3.84 | 3.32 | 2.99 | 2.59 | 1.64 | 1.30 | 1.05 | 1.54 | 2.41 | 3.35 | 3.07 | 3.01 |
| T1/3 | 7.59 | 7.21 | 6.94 | 7.04 | 6.57 | 6.37 | 6.02 | 5.78 | 5.79 | 6.01 | 6.01 | 6.94 |
| Hmean | 2.67 | 2.02 | 1.82 | 1.47 | 1.02 | 0.87 | 0.72 | 0.87 | 1.41 | 2.30 | 2.19 | 1.93 |
| Tmean | 7.25 | 6.97 | 6.66 | 6.87 | 6.12 | 6.31 | 5.82 | 6.01 | 5.52 | 6.17 | 6.13 | 6.97 |
| 波向 | N | N | NNE | N | N | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | W |

資料來源：本所港研中心，本計畫彙整統計；Tmax、Dmax 為對應週期、波向；單位：波高(m)、週期(sec)。

## 表 2.16 臺中港 2007 至 2011 年各月份波浪列表

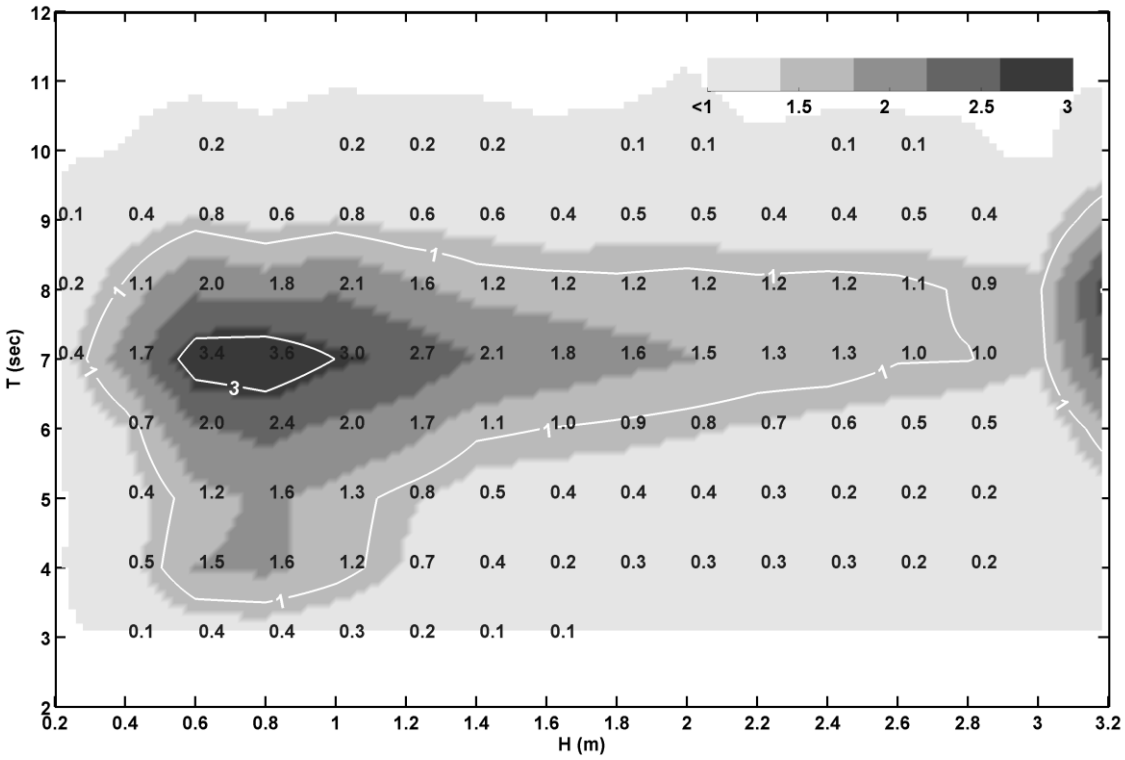
| 年度 | 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 夏季 | 冬季 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2007 | Hmax | 5.21 | 4.79 | 5.63 | 5.86 | 3.48 | 3.52 | 3.23 | 5.43 | 4.62 | 6.74 | - | - | 5.86 | 6.74 |
| | Tmax | 9.00 | 9.30 | 9.30 | 9.40 | 12.60 | 9.40 | 12.20 | 12.20 | 9.90 | 9.80 | - | - | 12.60 | 9.80 |
| | Dmax | N | NNW | N | WSW | NNW | W | W | NNW | E | E | - | - | NNW | E |
| | H1/10 | 3.67 | 3.21 | 4.24 | 3.73 | 1.57 | 1.15 | 0.98 | 2.26 | 3.42 | 4.53 | - | - | 2.67 | 3.99 |
| | T1/10 | 7.95 | 6.76 | 6.38 | 5.55 | 5.39 | 5.48 | 5.05 | 6.16 | 7.08 | 7.05 | - | - | 6.44 | 6.93 |
| | H1/3 | 3.01 | 2.40 | 2.91 | 2.44 | 1.08 | 0.93 | 0.80 | 1.45 | 2.49 | 3.51 | - | - | 1.71 | 3.04 |
| | T1/3 | 7.81 | 6.72 | 6.70 | 6.36 | 5.02 | 5.40 | 5.13 | 6.43 | 6.70 | 6.89 | - | - | 6.29 | 7.11 |
| | Hmean | 2.29 | 1.52 | 1.66 | 1.50 | 0.72 | 0.68 | 0.58 | 0.77 | 1.40 | 2.36 | - | - | 0.94 | 1.95 |
| | Tmean | 7.16 | 6.16 | 6.41 | 6.23 | 4.99 | 5.70 | 4.93 | 6.02 | 6.56 | 6.92 | - | - | 5.74 | 6.67 |
| | 波向 | N | N | N | N | N | N | W | E | E | E | - | - | N | N |
| 2008 | Hmax | 5.28 | 5.02 | 4.15 | 3.04 | 3.63 | 1.62 | 3.28 | 1.53 | 7.29 | - | - | - | 7.29 | 5.28 |
| | Tmax | 9.80 | 9.30 | 9.10 | 8.50 | 7.50 | 9.70 | 12.10 | 8.20 | 12.20 | - | - | - | 12.20 | 9.80 |
| | Dmax | E | N | N | N | NNE | N | E | NNE | N | - | - | - | N | E |
| | H1/10 | 4.85 | 4.44 | 3.64 | 2.92 | 3.03 | 1.34 | 2.31 | 1.28 | 4.61 | - | - | - | 3.63 | 4.57 |
| | T1/10 | 6.99 | 7.40 | 6.87 | 6.42 | 6.27 | 6.80 | 6.89 | 5.95 | 5.54 | - | - | - | 5.39 | 7.12 |
| | H1/3 | 4.43 | 4.01 | 3.18 | 2.67 | 1.77 | 1.14 | 1.51 | 1.04 | 3.08 | - | - | - | 2.13 | 4.04 |
| | T1/3 | 7.16 | 7.59 | 7.13 | 6.24 | 6.57 | 6.76 | 6.65 | 5.12 | 5.11 | - | - | - | 5.59 | 7.36 |
| | Hmean | 3.42 | 3.22 | 2.22 | 2.03 | 1.12 | 0.81 | 0.85 | 0.71 | 1.52 | - | - | - | 1.14 | 2.99 |
| | Tmean | 7.41 | 7.65 | 7.16 | 6.70 | 6.51 | 6.68 | 6.66 | 5.42 | 5.25 | - | - | - | 5.80 | 7.44 |
| | 波向 | E | N | N | N | NNE | NNE | E | NNE | NNE | - | - | - | NNE | N |

資料來源：本所港研中心，本計畫彙整統計；夏季為 4~9 月，冬季為 10~3 月；Tmax、Dmax 為對應週期、波向；單位：波高(m)、週期(sec)。

## 表 2.16(續) 臺中港 2007 至 2011 年各月份波浪列表

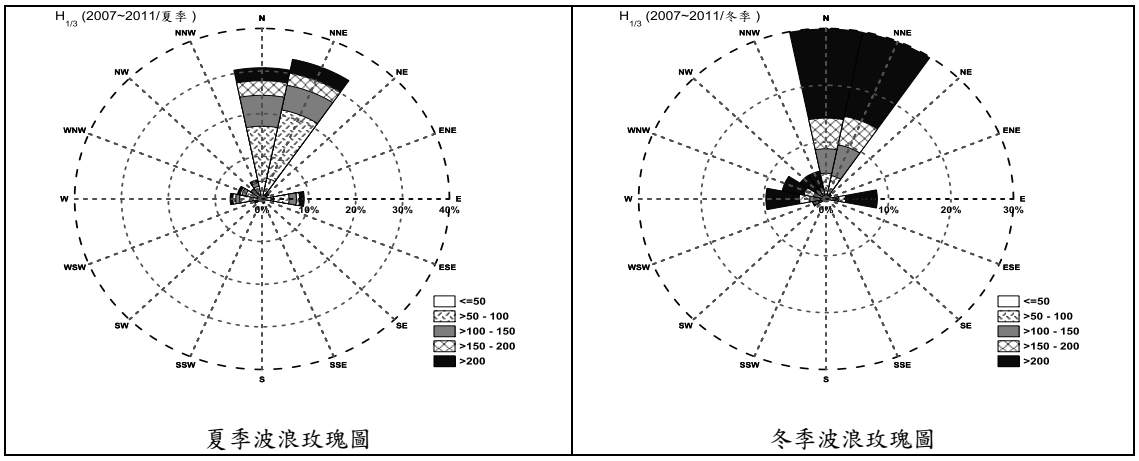
| 年度 | 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 夏季 | 冬季 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2009 | Hmax | - | - | - | - | - | 2.76 | 1.72 | 7.78 | 3.32 | 4.35 | 5.36 | 3.73 | 7.78 | 5.36 |
| | Tmax | - | - | - | - | - | 7.60 | 11.70 | 10.40 | 12.80 | 12.10 | 16.50 | 9.70 | 12.80 | 16.50 |
| | Dmax | - | - | - | - | - | NNW | NNE | NW | W | WNW | ESE | NW | W | ESE |
| | H1/10 | - | - | - | - | - | 1.91 | 1.19 | 4.01 | 2.71 | 3.42 | 4.04 | 3.14 | 2.88 | 3.62 |
| | T1/10 | - | - | - | - | - | 6.49 | 5.91 | 6.11 | 6.43 | 6.21 | 6.33 | 7.50 | 6.40 | 6.69 |
| | H1/3 | - | - | - | - | - | 1.26 | 0.91 | 2.16 | 2.23 | 3.01 | 3.33 | 2.75 | 1.90 | 3.04 |
| | T1/3 | - | - | - | - | - | 5.91 | 5.28 | 6.51 | 6.50 | 6.39 | 6.73 | 7.32 | 6.37 | 6.78 |
| | Hmean | - | - | - | - | - | 0.81 | 0.63 | 1.03 | 1.54 | 2.17 | 2.22 | 1.99 | 1.03 | 2.13 |
| | Tmean | - | - | - | - | - | 5.57 | 5.57 | 6.68 | 6.11 | 6.32 | 6.37 | 7.22 | 6.06 | 6.64 |
| | 波向 | - | - | - | - | - | NNE | E | W | WNW | WNW | NNE | WNW | W | WNW |
| 2010 | Hmax | 4.07 | 3.78 | 4.58 | 4.28 | 2.49 | 2.92 | 1.83 | 2.99 | 5.09 | 6.25 | 4.34 | 8.44 | 5.09 | 8.44 |
| | Tmax | 11.90 | 11.20 | 9.80 | 10.60 | 10.40 | 9.80 | 10.00 | 8.90 | 8.20 | 12.20 | 10.30 | 9.70 | 10.60 | 12.20 |
| | Dmax | NNE | N | NNE | N | NNE | NNE | N | NNE | NNE | NNE | N | W | N | NNE |
| | H1/10 | 3.52 | 3.25 | 3.37 | 3.48 | 1.97 | 2.44 | 1.43 | 1.88 | 2.91 | 4.55 | 3.41 | 4.39 | 2.72 | 3.88 |
| | T1/10 | 7.11 | 6.94 | 6.89 | 7.95 | 5.85 | 6.49 | 6.90 | 5.02 | 4.17 | 5.82 | 5.61 | 6.92 | 6.48 | 6.25 |
| | H1/3 | 3.06 | 2.75 | 2.78 | 2.85 | 1.69 | 1.80 | 1.22 | 1.37 | 2.09 | 3.74 | 3.06 | 3.26 | 1.92 | 3.18 |
| | T1/3 | 6.65 | 7.20 | 7.37 | 7.48 | 6.34 | 6.07 | 6.62 | 5.51 | 4.45 | 5.43 | 5.51 | 6.47 | 6.17 | 6.19 |
| | Hmean | 2.08 | 1.77 | 1.77 | 1.76 | 1.25 | 1.19 | 0.95 | 0.95 | 1.27 | 2.55 | 2.40 | 1.88 | 1.23 | 2.08 |
| | Tmean | 6.78 | 7.37 | 6.64 | 6.90 | 6.46 | 6.67 | 5.99 | 5.85 | 4.51 | 5.63 | 6.06 | 6.71 | 6.07 | 6.52 |
| | 波向 | E | NNE | NNE | N | N | NNE | N | NNE | N | NNE | NNE | W | N | NNE |
| 2011 | Hmax | 6.53 | 5.55 | 5.69 | 3.82 | 4.08 | 2.76 | 1.81 | 3.56 | 3.62 | 4.59 | 3.94 | - | 4.08 | 6.53 |
| | Tmax | 10.90 | 9.80 | 11.20 | 9.90 | 9.80 | 10.00 | 14.40 | 12.00 | 13.20 | 12.50 | 12.00 | - | 14.40 | 12.50 |
| | Dmax | NNE | NW | NNE | N | NNE | NE | NNE | N | NE | NNE | NNE | - | NNE | NNE |
| | H1/10 | 5.27 | 4.55 | 3.99 | 3.24 | 2.63 | 1.47 | 1.10 | 2.12 | 2.66 | 3.85 | 3.23 | - | 2.53 | 4.49 |
| | T1/10 | 8.47 | 7.05 | 6.71 | 7.41 | 7.24 | 6.69 | 6.61 | 4.76 | 5.09 | 4.89 | 5.56 | - | 6.54 | 7.39 |
| | H1/3 | 4.46 | 3.58 | 3.11 | 2.30 | 1.87 | 1.10 | 0.91 | 1.40 | 2.11 | 3.03 | 2.73 | - | 1.70 | 3.59 |
| | T1/3 | 7.93 | 6.98 | 6.63 | 7.61 | 7.12 | 6.66 | 6.64 | 4.85 | 5.70 | 6.07 | 5.69 | - | 6.32 | 7.03 |
| | Hmean | 3.39 | 2.16 | 1.90 | 1.09 | 1.08 | 0.77 | 0.68 | 0.80 | 1.35 | 2.12 | 1.95 | - | 0.96 | 2.32 |
| | Tmean | 7.76 | 7.00 | 6.75 | 7.49 | 6.97 | 6.71 | 6.54 | 5.81 | 5.17 | 6.01 | 5.96 | - | 6.44 | 6.69 |
| | 波向 | NNE | N | NNE | N | N | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | - | NNE | NNE |

資料來源：本所港研中心，本計畫彙整統計；夏季為 4~9 月，冬季為 10~3 月；Tmax、Dmax 為對應週期、波向；單位：波高(m)、週期(sec)。




資料來源：本所港研中心，本計畫統計分析、繪製；單位：機率(%)。

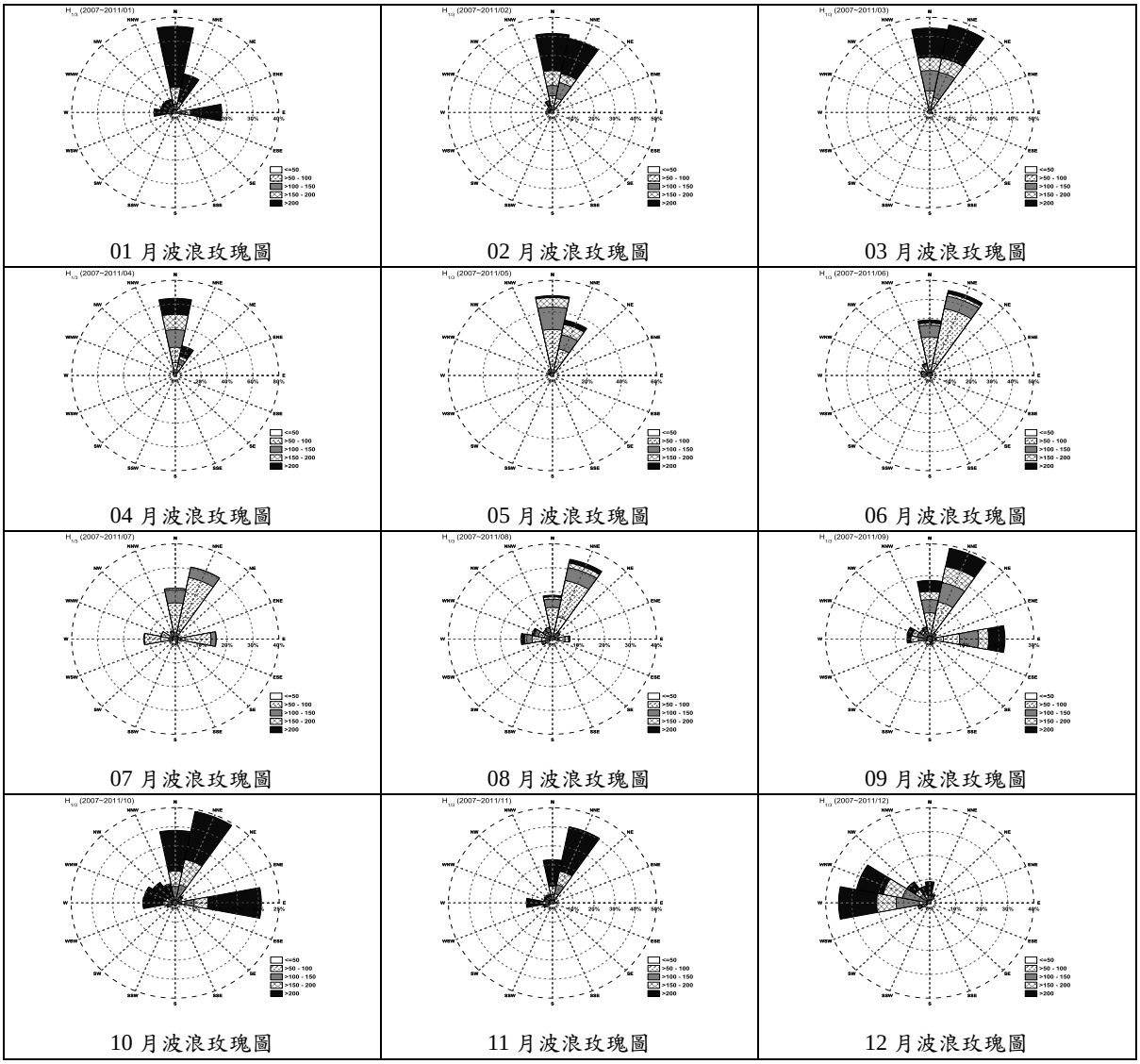
**圖 2.8 臺中港波高週期聯合機率分佈圖(2007~2011 年)**




夏季波浪玫瑰圖　　冬季波浪玫瑰圖

資料來源：本所港研中心，本計畫統計繪製；統計期間:2007~2011 年。單位：波高(cm)。

**圖 2.9 臺中港夏、冬季之波高波向玫瑰圖**




資料來源：本所港研中心，本計畫統計繪製；統計期間:2007~2011 年。單位：波高(cm)。

**圖 2.10 臺中港逐月之波高波向玫瑰圖**

**2**. 雲林海域

成大水工所的波浪測站有 THL1 (1992 年至今) 與 THL2B (2001 年至今)，惟 THL1 測站未觀測波向 (多以風向輔助分析)，THL2B 僅有近期波向資料，各測站位置圖如圖 2.2 所示。本計畫根據成大水工所提供之 1992～2013 年度 THL1 測站與 2001~2013 年度 THL2B 測站海象觀測資料，進一步統計分析之波高、週期及波向的統計結果分別為圖 2.11 和圖 2.12。$H_{1/3}$ 介 0.4m 至 2.2m,，約佔歷年觀測的 82.5%；$H_{1/3}$ 波高大於 2.2 m 以上者，約佔歷年觀測的 8.1%。$T_{1/3}$ 週期集中在 5~6 秒以

內，約佔歷年觀測的 71.9%。表 2.17~2.18 分別為 THL1 測站和 THL2B 測站逐月之 $H_{1/3}$ 及 $T_{1/3}$ 統計表。THL1 測站歷年之 $H_{1/3}$ 波高為 0.81~1.45m；$T_{1/3}$ 週期為 4.98~6.01 sec，歷年之月平均最小 $H_{1/3}$ 發生在 5 月為 0.81 m，最大在 11 月為 1.45m。THL2B 測站歷年之 $H_{1/3}$ 波高為 0.95~2.65m；$T_{1/3}$ 週期為 5.54~6.40 sec，該測站歷年之月平均最小 $H_{1/3}$ 發生在 6 月為 0.95 m，最大在 1 月為 2.65m。

進一步分析 THL1 測站和 THL2B 測站歷年分月與夏、冬季的波高與波向統計結果如表 2.19~2.20 所示。THL1 測站在夏季(4 至 9 月) $H_{1/3}$ 在 0.74~1.24 m 之間；冬季 (10 月至隔年 3 月) $H_{1/3}$ 在 1.19~2.03 m 之間。THL2B 測站在夏季(4 至 9 月) $H_{1/3}$ 在 0.64~1.83 m 之間；冬季 (10 月至隔年 3) $H_{1/3}$ 在 2.04~3.55 m 之間。由圖 2.13 顯示，THL1 測站夏季波主要入射方向為 NW 為主，冬季波向介於 NW~SW 為主，且整年度幾乎介於 NW~SW 之間。資料觀測期間波高統計與波高分佈分別表 2.19 如圖 2.14 的玫瑰圖所示。圖 2.15 顯示，THL2B 測站夏季波主要入射方向為 NNE 為主，冬季波向以 NNE 為主。資料觀測期間波高統計與波高分佈分別表 2.20 如圖 2.16 的玫瑰圖所示。根據經濟部工業局麥寮工業區專用港委託臺南水工試驗所在臺西觀測之統計結果。顯示臺西測站之波浪有超過 60%之近岸波浪是來自 NW 及 NNW 方向，其中以 NW 方向最多，約佔 37%左右，此結果與 THL1 測站資料統計結果趨勢相近。另外於四湖測站處浪波向冬季主要為 NNE 方向約佔 49%，主要波向在 NW～ENE 方向之間，合計約佔 70%；夏季則在 S～W 方向間之波浪則合計約佔 23%，該結果與 THL2B 測站資料統計結果趨勢相近。

## 表 2.17 臺西測站(THL1)1992 至 2013 年各月份資料波浪列表

| 臺西測站(THL1) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Hmax | 2.50 | 2.61 | 2.52 | 2.46 | 3.08 | 3.87 | 5.23 | 4.27 | 5.44 | 4.20 | 3.00 | 2.89 |
| Tmax | 8.90 | 8.10 | 9.00 | 8.00 | 10.00 | 9.20 | 10.70 | 8.80 | 11.40 | 9.70 | 9.00 | 9.40 |
| Dmax | - | - | - | N | - | - | - | - | - | - | - | - |
| H1/10 | 1.68 | 1.66 | 1.47 | 1.25 | 1.17 | 1.28 | 1.41 | 1.42 | 1.76 | 1.87 | 1.79 | 1.70 |
| T1/10 | 6.19 | 6.12 | 6.02 | 5.76 | 5.44 | 5.11 | 5.33 | 5.51 | 5.91 | 6.18 | 6.25 | 6.29 |
| H1/3 | 1.40 | 1.33 | 1.15 | 0.92 | 0.81 | 0.87 | 0.86 | 0.90 | 1.20 | 1.44 | 1.45 | 1.39 |
| T1/3 | 5.91 | 5.83 | 5.68 | 5.39 | 5.15 | 4.98 | 5.23 | 5.31 | 5.68 | 5.90 | 6.01 | 5.96 |
| Hmean | 0.94 | 0.81 | 0.67 | 0.52 | 0.45 | 0.50 | 0.48 | 0.50 | 0.71 | 0.93 | 0.94 | 0.94 |
| Tmean | 5.46 | 5.30 | 5.19 | 4.92 | 4.78 | 4.82 | 4.96 | 5.03 | 5.31 | 5.44 | 5.52 | 5.50 |
| 波向 | SW | WNW | WNW | NW | NW | NW | S | WSW | WSW | NW | WSW | SW |

資料來源：成大水工所，本計畫彙整統計；Tmax、Dmax 為對應週期、波向；單位：波高(m)、週期(sec)。

## 表 2.18 四湖測站(THL2B)2001 至 2013 年各月份資料波浪列表

| 四湖測站(THL2B) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Hmax | 5.50 | 4.21 | 5.30 | 4.35 | 3.90 | 3.22 | 4.46 | 5.67 | 5.07 | 5.79 | 5.39 | 6.37 |
| Tmax | 8.80 | 8.20 | 8.60 | 8.30 | 8.30 | 8.10 | 9.30 | 10.20 | 10.80 | 9.10 | 9.10 | 8.80 |
| Dmax | NNW | N | - | - | - | - | - | W | NNW | NNW | NNW | NNW |
| H1/10 | 3.33 | 2.75 | 2.83 | 2.25 | 1.83 | 1.39 | 1.90 | 1.82 | 2.22 | 3.25 | 3.17 | 3.26 |
| T1/10 | 6.67 | 6.50 | 6.53 | 6.24 | 5.97 | 5.68 | 6.11 | 6.25 | 6.43 | 6.75 | 6.68 | 6.76 |
| H1/3 | 2.65 | 2.18 | 2.10 | 1.58 | 1.20 | 0.95 | 1.10 | 1.12 | 1.57 | 2.43 | 2.49 | 2.61 |
| T1/3 | 6.32 | 6.21 | 6.14 | 5.87 | 5.58 | 5.54 | 6.03 | 6.11 | 6.08 | 6.33 | 6.40 | 6.34 |
| Hmean | 1.68 | 1.24 | 1.13 | 0.81 | 0.61 | 0.54 | 0.57 | 0.60 | 0.90 | 1.42 | 1.48 | 1.62 |
| Tmean | 5.77 | 5.63 | 5.63 | 5.42 | 5.26 | 5.35 | 5.66 | 5.86 | 5.75 | 5.88 | 5.94 | 5.84 |
| 波向 | N | N | N | N | NNW | WSW | WSW | WSW | N | NNW | N | N |

資料來源：成大水工所，本計畫彙整統計；Tmax、Dmax 為對應週期、波向；單位：波高(m)、週期(sec)。

## 表 2.19 臺西測站(THL1)1992 至 2013 年各月份波浪列表

| 年度 | 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 夏季 | 冬季 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1992 | Hmax | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 2.57 | 2.26 | - | 2.57 |
| | Tmax | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 7.90 | 7.30 | - | 7.90 |
| | Dmax | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | H1/10 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 2.03 | 1.85 | - | 1.94 |
| | T1/10 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 6.44 | 6.45 | - | 6.50 |
| | H1/3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1.73 | 1.61 | - | 1.67 |
| | T1/3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 6.19 | 6.08 | - | 6.13 |
| | Hmean | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1.30 | 1.14 | - | 1.22 |
| | Tmean | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 5.61 | 5.44 | - | 5.52 |
| | 波向 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 1993 | Hmax | 2.10 | 1.90 | 1.98 | 1.99 | 1.04 | 1.16 | 0.78 | 1.46 | 2.46 | 2.54 | 2.55 | 2.39 | 2.46 | 2.55 |
| | Tmax | 8.90 | 8.10 | 8.60 | 7.90 | 6.10 | 7.40 | 7.20 | 6.40 | 8.90 | 8.10 | 7.80 | 8.10 | 8.90 | 8.90 |
| | Dmax | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | H1/10 | 1.97 | 1.66 | 1.74 | 1.63 | 1.04 | 0.88 | 0.57 | 1.40 | 1.45 | 2.16 | 2.01 | 2.29 | 1.35 | 2.02 |
| | T1/10 | 6.39 | 6.27 | 6.78 | 6.43 | 6.10 | 5.59 | 3.70 | 5.48 | 5.68 | 6.96 | 6.95 | 7.03 | 5.77 | 6.83 |
| | H1/3 | 1.74 | 1.37 | 1.42 | 1.23 | 0.84 | 0.66 | 0.48 | 1.11 | 1.06 | 1.80 | 1.70 | 1.97 | 0.90 | 1.69 |
| | T1/3 | 6.16 | 6.03 | 6.20 | 5.72 | 4.05 | 4.52 | 3.82 | 5.23 | 5.36 | 6.64 | 6.58 | 6.82 | 5.16 | 6.40 |
| | Hmean | 1.28 | 0.89 | 0.83 | 0.67 | 0.51 | 0.44 | 0.36 | 0.62 | 0.65 | 1.27 | 1.09 | 1.43 | 0.53 | 1.13 |
| | Tmean | 5.59 | 5.43 | 5.33 | 4.75 | 3.92 | 3.92 | 3.99 | 4.97 | 5.13 | 5.82 | 5.61 | 5.94 | 4.48 | 5.61 |
| | 波向 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 1994 | Hmax | 2.26 | 2.33 | 2.52 | 1.83 | 1.83 | 1.43 | 2.76 | 2.00 | 1.95 | 2.05 | 1.77 | 2.02 | 2.76 | 2.52 |
| | Tmax | 8.40 | 7.40 | 7.40 | 6.70 | 7.00 | 7.20 | 8.80 | 8.50 | 8.60 | 9.70 | 8.30 | 8.60 | 8.80 | 9.70 |
| | Dmax | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | H1/10 | 1.96 | 1.96 | 2.11 | 1.40 | 1.28 | 0.96 | 1.12 | 1.67 | 1.75 | 1.83 | 1.61 | 1.82 | 1.49 | 1.88 |
| | T1/10 | 6.72 | 6.77 | 6.83 | 5.93 | 5.88 | 5.40 | 5.83 | 6.17 | 6.33 | 6.51 | 6.72 | 6.91 | 6.11 | 6.74 |
| | H1/3 | 1.66 | 1.66 | 1.76 | 0.99 | 0.94 | 0.79 | 0.72 | 1.21 | 1.47 | 1.63 | 1.42 | 1.68 | 1.06 | 1.63 |
| | T1/3 | 6.33 | 6.34 | 6.40 | 5.18 | 5.31 | 4.94 | 5.77 | 5.66 | 6.11 | 6.48 | 6.52 | 6.95 | 5.52 | 6.56 |
| | Hmean | 1.14 | 1.13 | 1.18 | 0.58 | 0.53 | 0.56 | 0.48 | 0.72 | 0.96 | 1.13 | 1.09 | 1.23 | 0.63 | 1.15 |
| | Tmean | 5.58 | 5.60 | 5.61 | 4.53 | 4.47 | 4.72 | 5.51 | 5.40 | 5.75 | 6.26 | 6.29 | 6.43 | 5.08 | 6.07 |
| | 波向 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

資料來源：成大水工所，本計畫彙整統計；夏季為 4~9 月，冬季為 10~3 月；Tmax、Dmax 為對應週期、波向；
單位：波高(m)、週期(sec)。

## 表 2.19(續) 臺西測站(THL1)1992 至 2013 年各月份波浪列表

| 年度 | 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 夏季 | 冬季 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1995 | Hmax | 2.05 | 1.97 | 2.09 | 1.88 | 1.78 | 1.40 | 1.95 | 0.53 | 2.42 | 2.58 | 2.55 | 2.42 | 2.42 | 2.58 |
| | Tmax | 8.70 | 7.90 | 9.00 | 7.80 | 8.30 | 8.90 | 10.00 | 4.30 | 8.10 | 8.70 | 8.60 | 9.40 | 10.00 | 9.40 |
| | Dmax | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | H1/10 | 1.86 | 1.74 | 1.72 | 1.57 | 1.33 | 1.20 | 1.26 | 0.34 | 1.54 | 1.91 | 1.95 | 1.98 | 1.41 | 1.91 |
| | T1/10 | 6.54 | 6.86 | 6.95 | 6.79 | 6.12 | 6.13 | 6.69 | 3.20 | 6.43 | 7.06 | 7.24 | 7.94 | 6.35 | 7.12 |
| | H1/3 | 1.72 | 1.55 | 1.39 | 1.22 | 1.02 | 0.96 | 0.83 | 0.27 | 1.14 | 1.61 | 1.65 | 1.63 | 1.02 | 1.63 |
| | T1/3 | 6.29 | 6.66 | 6.40 | 6.22 | 6.05 | 6.22 | 6.09 | 3.21 | 5.81 | 6.60 | 6.78 | 7.13 | 5.83 | 6.66 |
| | Hmean | 1.27 | 1.18 | 0.88 | 0.73 | 0.69 | 0.70 | 0.53 | 0.23 | 0.65 | 1.15 | 1.18 | 1.22 | 0.58 | 1.16 |
| | Tmean | 5.97 | 6.17 | 5.83 | 5.57 | 5.69 | 5.61 | 5.72 | 3.26 | 4.99 | 5.87 | 5.85 | 6.13 | 4.97 | 5.93 |
| | 波向 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 1996 | Hmax | 2.16 | 2.21 | - | 0.54 | 1.81 | - | 2.52 | 1.36 | 2.61 | 3.65 | 2.53 | - | 2.61 | 3.65 |
| | Tmax | 8.30 | 7.80 | - | 4.80 | 8.20 | - | 8.70 | 8.80 | 9.90 | 9.10 | 9.00 | - | 9.90 | 9.10 |
| | Dmax | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | H1/10 | 1.90 | 1.91 | - | 0.51 | 1.18 | - | 1.36 | 0.94 | 1.64 | 2.91 | 2.03 | - | 1.34 | 2.34 |
| | T1/10 | 7.29 | 7.20 | - | 4.32 | 5.99 | - | 5.99 | 6.10 | 6.44 | 4.98 | 7.34 | - | 6.08 | 6.09 |
| | H1/3 | 1.67 | 1.56 | - | 0.47 | 0.87 | - | 0.87 | 0.70 | 1.18 | 2.01 | 1.73 | - | 0.93 | 1.79 |
| | T1/3 | 6.96 | 6.65 | - | 4.10 | 5.62 | - | 5.41 | 5.39 | 5.92 | 5.29 | 6.83 | - | 5.67 | 6.34 |
| | Hmean | 1.24 | 1.01 | - | 0.38 | 0.53 | - | 0.54 | 0.48 | 0.76 | 1.22 | 1.21 | - | 0.58 | 1.18 |
| | Tmean | 6.07 | 5.42 | - | 3.93 | 4.33 | - | 4.33 | 4.58 | 5.42 | 5.32 | 6.17 | - | 4.72 | 5.73 |
| | 波向 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 1997 | Hmax | - | - | - | 0.11 | 1.94 | 1.36 | 0.78 | 2.21 | 1.61 | 2.73 | 2.21 | 2.81 | 2.21 | 2.81 |
| | Tmax | - | - | - | 6.10 | 10.00 | 9.20 | 10.70 | 8.70 | 8.00 | 8.50 | 7.30 | 8.00 | 10.70 | 8.50 |
| | Dmax | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | H1/10 | - | - | - | - | 1.14 | 0.85 | 0.62 | 1.85 | 1.41 | 1.51 | 1.66 | 2.02 | 1.15 | 1.66 |
| | T1/10 | - | - | - | - | 6.18 | 5.19 | 7.97 | 6.68 | 6.24 | 6.54 | 6.61 | 6.78 | 6.17 | 6.71 |
| | H1/3 | - | - | - | - | 0.80 | 0.67 | 0.52 | 1.27 | 1.09 | 1.14 | 1.15 | 1.52 | 0.79 | 1.22 |
| | T1/3 | - | - | - | - | 5.70 | 5.07 | 6.45 | 6.62 | 6.21 | 5.88 | 6.37 | 6.54 | 5.91 | 6.11 |
| | Hmean | - | - | - | 0.11 | 0.48 | 0.47 | 0.35 | 0.71 | 0.65 | 0.72 | 0.56 | 0.92 | 0.48 | 0.74 |
| | Tmean | - | - | - | 6.00 | 5.02 | 4.94 | 5.53 | 6.59 | 5.88 | 5.10 | 6.06 | 6.15 | 5.36 | 5.40 |
| | 波向 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

資料來源：成大水工所，本計畫彙整統計；夏季為 4~9 月，冬季為 10~3 月；Tmax、Dmax 為對應週期、波向；
單位：波高(m)、週期(sec)。

## 表 2.19(續) 臺西測站(THL1)1992 至 2013 年各月份波浪列表

| 年度 | 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 夏季 | 冬季 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1998 | Hmax | 2.01 | 1.90 | 2.30 | 1.58 | 0.84 | 1.14 | 0.92 | 2.01 | 2.45 | 2.33 | - | - | 2.45 | 2.33 |
| | Tmax | 6.80 | 7.30 | 7.10 | 6.80 | 6.20 | 5.90 | 6.00 | 7.20 | 9.30 | 8.80 | - | - | 9.30 | 8.80 |
| | Dmax | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | H1/10 | 1.69 | 1.34 | 1.69 | 1.06 | 0.71 | 0.77 | 0.78 | 1.13 | 1.69 | 1.90 | - | - | 1.39 | 1.75 |
| | T1/10 | 6.58 | 6.23 | 6.45 | 5.71 | 5.07 | 4.63 | 4.46 | 5.06 | 6.62 | 7.23 | - | - | 6.08 | 6.91 |
| | H1/3 | 1.27 | 0.99 | 1.24 | 0.77 | 0.57 | 0.61 | 0.65 | 0.74 | 1.31 | 1.51 | - | - | 0.95 | 1.35 |
| | T1/3 | 6.32 | 5.91 | 6.34 | 5.10 | 4.61 | 4.32 | 4.32 | 4.74 | 6.07 | 6.74 | - | - | 5.42 | 6.42 |
| | Hmean | 0.77 | 0.59 | 0.72 | 0.47 | 0.40 | 0.46 | 0.46 | 0.46 | 0.83 | 1.04 | - | - | 0.57 | 0.84 |
| | Tmean | 6.01 | 5.13 | 5.94 | 4.41 | 4.33 | 4.31 | 3.96 | 4.42 | 5.45 | 5.87 | - | - | 4.68 | 5.71 |
| | 波向 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 1999 | Hmax | - | - | - | - | - | - | - | 1.69 | 1.38 | 3.37 | 2.45 | - | 1.69 | 3.37 |
| | Tmax | - | - | - | - | - | - | - | 6.80 | 5.60 | 6.50 | 5.80 | - | 6.80 | 6.50 |
| | Dmax | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | H1/10 | - | - | - | - | - | - | - | 1.29 | 1.20 | 2.60 | 2.45 | - | 1.26 | 2.59 |
| | T1/10 | - | - | - | - | - | - | - | 5.98 | 5.37 | 6.00 | 5.60 | - | 5.91 | 5.90 |
| | H1/3 | - | - | - | - | - | - | - | 0.88 | 0.83 | 2.00 | 2.23 | - | 0.88 | 2.03 |
| | T1/3 | - | - | - | - | - | - | - | 5.60 | 5.22 | 5.85 | 5.57 | - | 5.48 | 5.80 |
| | Hmean | - | - | - | - | - | - | - | 0.43 | 0.57 | 1.26 | 1.35 | - | 0.46 | 1.27 |
| | Tmean | - | - | - | - | - | - | - | 5.11 | 5.06 | 5.43 | 5.44 | - | 5.09 | 5.43 |
| | 波向 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2000 | Hmax | 2.50 | 2.06 | 1.72 | 1.40 | - | 0.77 | 0.70 | 2.51 | 1.36 | 2.12 | 1.41 | 0.88 | 2.51 | 2.50 |
| | Tmax | 7.10 | 7.60 | 7.20 | 6.60 | - | 5.00 | 5.50 | 6.60 | 6.00 | 6.80 | 5.90 | 5.60 | 6.60 | 7.10 |
| | Dmax | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | H1/10 | 1.87 | 1.68 | 1.37 | 1.21 | - | 0.59 | 0.58 | 1.25 | 1.04 | 1.64 | 1.29 | - | 1.10 | 1.68 |
| | T1/10 | 7.18 | 7.28 | 6.56 | 6.51 | - | 5.52 | 5.71 | 6.26 | 7.21 | 7.38 | 5.70 | - | 6.59 | 7.27 |
| | H1/3 | 1.44 | 1.41 | 1.13 | 0.94 | - | 0.46 | 0.49 | 0.76 | 0.79 | 1.25 | 1.10 | 0.88 | 0.74 | 1.32 |
| | T1/3 | 7.01 | 6.99 | 6.33 | 6.24 | - | 5.61 | 5.80 | 6.10 | 6.77 | 6.96 | 5.68 | 5.60 | 6.34 | 6.89 |
| | Hmean | 0.90 | 0.93 | 0.64 | 0.56 | - | 0.28 | 0.30 | 0.38 | 0.46 | 0.66 | 0.81 | 0.73 | 0.40 | 0.76 |
| | Tmean | 6.42 | 6.40 | 5.90 | 5.86 | - | 5.33 | 5.54 | 5.76 | 6.21 | 6.14 | 5.56 | 5.40 | 5.83 | 6.20 |
| | 波向 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

資料來源：成大水工所，本計畫彙整統計；夏季為 4~9 月，冬季為 10~3 月；Tmax、Dmax 為對應週期、波向；
單位：波高(m)、週期(sec)。

## 表 2.19(續) 臺西測站(THL1)1992 至 2013 年各月份波浪列表

| 年度 | 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 夏季 | 冬季 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2001 | Hmax | 1.68 | 2.61 | 2.45 | 1.91 | 1.98 | 3.25 | 3.50 | 1.58 | 3.90 | 2.28 | 3.00 | 2.89 | 3.90 | 3.00 |
| | Tmax | 6.90 | 7.60 | 7.00 | 6.50 | 6.80 | 8.50 | 7.30 | 6.30 | 7.00 | 6.30 | 6.20 | 6.40 | 8.50 | 7.60 |
| | Dmax | - | - | - | - | - | - | - | NW | - | - | - | - | - | - |
| | H1/10 | 1.44 | 2.06 | 1.45 | 1.35 | 1.35 | 1.28 | 1.97 | 1.08 | 2.94 | 1.82 | 2.12 | 2.22 | 2.05 | 1.95 |
| | T1/10 | 6.15 | 6.44 | 5.83 | 5.82 | 5.86 | 5.05 | 5.36 | 5.23 | 5.86 | 5.28 | 5.29 | 5.40 | 5.56 | 5.56 |
| | H1/3 | 1.17 | 1.67 | 1.03 | 1.04 | 0.94 | 0.79 | 1.18 | 0.80 | 2.24 | 1.53 | 1.79 | 1.70 | 1.24 | 1.57 |
| | T1/3 | 5.83 | 6.19 | 5.58 | 5.64 | 5.39 | 4.94 | 5.27 | 5.08 | 5.61 | 5.21 | 5.30 | 5.36 | 5.34 | 5.43 |
| | Hmean | 0.71 | 0.98 | 0.56 | 0.57 | 0.52 | 0.42 | 0.65 | 0.50 | 1.22 | 1.07 | 1.26 | 1.07 | 0.65 | 0.96 |
| | Tmean | 5.40 | 5.65 | 5.05 | 4.91 | 5.00 | 4.80 | 5.11 | 5.03 | 5.34 | 5.08 | 5.13 | 5.04 | 5.04 | 5.17 |
| | 波向 | - | - | - | - | - | - | S | NW | NW | NW | - | - | NW | NW |
| 2002 | Hmax | 2.10 | 2.50 | 1.87 | 1.88 | 0.93 | 1.03 | 2.70 | 1.95 | 1.56 | 2.49 | 1.90 | 2.53 | 2.70 | 2.53 |
| | Tmax | 5.90 | 7.10 | 7.40 | 6.90 | 6.10 | 6.30 | 7.60 | 7.10 | 6.90 | 7.90 | 7.20 | 7.20 | 7.60 | 7.90 |
| | Dmax | - | - | - | - | - | - | - | - | - | NNW | - | - | - | NNW |
| | H1/10 | 1.70 | 1.65 | 1.21 | 1.41 | 0.55 | 0.72 | 1.21 | 1.18 | 1.30 | 1.74 | 1.60 | 1.81 | 1.21 | 1.68 |
| | T1/10 | 5.16 | 5.30 | 5.59 | 5.79 | 4.84 | 4.86 | 5.36 | 5.46 | 6.17 | 6.58 | 6.38 | 6.34 | 5.70 | 5.88 |
| | H1/3 | 1.47 | 1.24 | 0.95 | 1.00 | 0.37 | 0.53 | 0.86 | 0.79 | 1.07 | 1.27 | 1.35 | 1.44 | 0.83 | 1.33 |
| | T1/3 | 5.17 | 5.41 | 5.43 | 5.57 | 4.80 | 4.80 | 5.27 | 5.35 | 5.82 | 6.16 | 6.10 | 6.18 | 5.37 | 5.75 |
| | Hmean | 0.92 | 0.74 | 0.54 | 0.52 | 0.20 | 0.33 | 0.51 | 0.44 | 0.71 | 0.70 | 0.84 | 0.87 | 0.46 | 0.78 |
| | Tmean | 4.92 | 5.25 | 5.06 | 5.12 | 4.87 | 4.71 | 5.28 | 4.99 | 5.40 | 5.44 | 5.64 | 5.70 | 5.06 | 5.35 |
| | 波向 | - | - | - | - | NW | - | - | WSW | WSW | NW | NW | - | WSW | NW |
| 2003 | Hmax | 2.41 | 0.67 | 1.96 | 1.61 | - | 3.33 | 2.20 | 2.07 | 2.03 | 2.12 | 2.87 | 2.40 | 3.33 | 2.87 |
| | Tmax | 7.20 | 5.60 | 7.30 | 6.30 | - | 5.70 | 7.30 | 6.70 | 6.20 | 7.80 | 8.60 | 7.90 | 7.30 | 8.60 |
| | Dmax | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | H1/10 | 1.67 | 0.67 | 1.55 | 1.17 | - | 2.21 | 1.32 | 1.45 | 1.39 | 1.79 | 1.90 | 1.86 | 1.54 | 1.77 |
| | T1/10 | 6.46 | 5.40 | 6.32 | 5.79 | - | 5.02 | 5.44 | 5.02 | 5.34 | 6.92 | 7.06 | 5.88 | 5.11 | 6.51 |
| | H1/3 | 1.37 | 0.62 | 1.25 | 0.89 | - | 1.52 | 0.95 | 1.01 | 1.01 | 1.48 | 1.59 | 1.53 | 1.07 | 1.45 |
| | T1/3 | 6.19 | 5.47 | 5.98 | 5.63 | - | 4.59 | 4.98 | 5.01 | 5.10 | 6.69 | 6.93 | 5.66 | 4.97 | 6.29 |
| | Hmean | 0.90 | 0.48 | 0.71 | 0.49 | - | 0.92 | 0.57 | 0.62 | 0.62 | 0.99 | 1.10 | 1.00 | 0.64 | 0.93 |
| | Tmean | 5.68 | 5.23 | 5.45 | 5.12 | - | 4.57 | 4.52 | 4.91 | 4.91 | 6.04 | 6.42 | 5.29 | 4.79 | 5.73 |
| | 波向 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | SW | SW | - | SW |

資料來源：成大水工所，本計畫彙整統計；夏季為 4~9 月，冬季為 10~3 月；Tmax、Dmax 為對應週期、波向；
單位：波高(m)、週期(sec)。

## 表 2.19(續) 臺西測站(THL1)1992 至 2013 年各月份波浪列表

| 年度 | 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 夏季 | 冬季 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2004 | Hmax | 2.08 | 2.07 | 2.02 | 1.93 | 1.54 | 1.42 | 3.75 | 1.70 | 1.92 | 2.28 | 2.13 | 1.73 | 3.75 | 2.28 |
| | Tmax | 6.30 | 6.90 | 6.40 | 8.00 | 6.30 | 7.00 | 7.10 | 6.20 | 8.00 | 7.00 | 7.00 | 6.90 | 8.00 | 7.00 |
| | Dmax | - | - | - | N | - | - | - | - | - | SE | S | - | N | SE |
| | H1/10 | 1.49 | 1.76 | 1.49 | 1.30 | 0.97 | 1.07 | 1.77 | 1.05 | 1.17 | 1.66 | 1.51 | 1.35 | 1.24 | 1.56 |
| | T1/10 | 5.66 | 5.93 | 5.84 | 5.62 | 5.05 | 5.33 | 5.31 | 4.82 | 5.50 | 5.99 | 5.92 | 5.74 | 5.32 | 5.86 |
| | H1/3 | 1.24 | 1.45 | 1.23 | 0.92 | 0.74 | 0.85 | 0.97 | 0.75 | 0.89 | 1.38 | 1.19 | 1.19 | 0.87 | 1.27 |
| | T1/3 | 5.50 | 5.70 | 5.56 | 5.26 | 5.01 | 5.16 | 5.10 | 4.76 | 5.33 | 5.78 | 5.69 | 5.59 | 5.14 | 5.63 |
| | Hmean | 0.88 | 0.88 | 0.78 | 0.47 | 0.42 | 0.54 | 0.49 | 0.43 | 0.53 | 0.94 | 0.76 | 0.87 | 0.48 | 0.86 |
| | Tmean | 5.18 | 5.19 | 5.17 | 4.92 | 4.75 | 5.07 | 4.84 | 4.98 | 5.15 | 5.43 | 5.28 | 5.32 | 4.95 | 5.27 |
| | 波向 | SW | - | - | NW | NW | - | - | - | - | SSW | SSW | S | NW | SW |
| 2005 | Hmax | 1.90 | 1.60 | 2.16 | 1.19 | 2.20 | 2.94 | 5.23 | 2.84 | 5.44 | 3.67 | 2.35 | 1.93 | 5.44 | 3.67 |
| | Tmax | 6.80 | 6.90 | 6.80 | 5.50 | 5.60 | 5.90 | 6.10 | 7.00 | 7.20 | 6.20 | 6.60 | 6.60 | 7.20 | 6.90 |
| | Dmax | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | H1/10 | 1.51 | 1.30 | 1.31 | 0.84 | 1.41 | 1.62 | 2.66 | 1.90 | 2.24 | 1.94 | 1.78 | 1.49 | 1.86 | 1.63 |
| | T1/10 | 5.99 | 6.02 | 5.82 | 4.99 | 4.86 | 4.45 | 4.92 | 4.66 | 5.26 | 5.33 | 5.72 | 5.75 | 4.82 | 5.62 |
| | H1/3 | 1.23 | 1.02 | 1.02 | 0.64 | 0.98 | 1.20 | 1.50 | 1.20 | 1.41 | 1.53 | 1.39 | 1.29 | 1.19 | 1.29 |
| | T1/3 | 5.74 | 5.79 | 5.58 | 4.88 | 4.72 | 4.42 | 4.73 | 4.62 | 5.03 | 5.21 | 5.51 | 5.64 | 4.72 | 5.51 |
| | Hmean | 0.81 | 0.57 | 0.55 | 0.36 | 0.49 | 0.77 | 0.75 | 0.68 | 0.87 | 1.07 | 0.82 | 0.91 | 0.65 | 0.80 |
| | Tmean | 5.36 | 5.33 | 5.14 | 4.65 | 4.50 | 4.44 | 4.65 | 4.65 | 4.90 | 5.04 | 5.01 | 5.38 | 4.63 | 5.20 |
| | 波向 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2006 | Hmax | 1.87 | 2.12 | 1.98 | 2.15 | 3.08 | 1.50 | 3.11 | 1.41 | 2.43 | 1.61 | 1.63 | 2.04 | 3.11 | 2.12 |
| | Tmax | 6.60 | 6.80 | 7.20 | 6.60 | 7.80 | 6.60 | 6.90 | 7.70 | 7.20 | 5.90 | 6.30 | 6.60 | 7.80 | 7.20 |
| | Dmax | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | W | - | - | - |
| | H1/10 | 1.43 | 1.71 | 1.40 | 1.30 | 1.90 | 0.95 | 1.89 | 0.93 | 1.57 | 1.21 | 1.22 | 1.64 | 1.52 | 1.50 |
| | T1/10 | 5.90 | 6.04 | 5.78 | 5.45 | 6.04 | 4.77 | 5.69 | 6.07 | 6.07 | 5.42 | 5.48 | 5.86 | 5.68 | 5.82 |
| | H1/3 | 1.14 | 1.39 | 1.09 | 0.97 | 1.27 | 0.62 | 1.22 | 0.67 | 1.15 | 1.02 | 0.95 | 1.39 | 1.00 | 1.19 |
| | T1/3 | 5.68 | 5.82 | 5.45 | 5.23 | 5.48 | 4.84 | 5.39 | 5.75 | 5.53 | 5.25 | 5.29 | 5.68 | 5.35 | 5.57 |
| | Hmean | 0.73 | 0.85 | 0.64 | 0.53 | 0.62 | 0.34 | 0.64 | 0.43 | 0.69 | 0.69 | 0.62 | 1.02 | 0.54 | 0.76 |
| | Tmean | 5.29 | 5.38 | 5.01 | 4.87 | 4.84 | 4.70 | 5.24 | 5.37 | 5.10 | 4.99 | 5.00 | 5.40 | 5.03 | 5.17 |
| | 波向 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | WNW | N | - | WNW |

資料來源：成大水工所，本計畫彙整統計；夏季為 4~9 月，冬季為 10~3 月；Tmax、Dmax 為對應週期、波向；
單位：波高(m)、週期(sec) (%)。

## 表 2.19(續) 臺西測站(THL1)1992 至 2013 年各月份波浪列表

| 年度 | 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 夏季 | 冬季 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2007 | Hmax | 1.72 | 1.38 | 1.97 | 2.46 | 1.15 | 1.15 | 1.01 | 2.83 | 1.71 | 4.20 | 2.64 | - | 2.83 | 4.20 |
| | Tmax | 6.30 | 5.90 | 6.40 | 6.30 | 5.90 | 5.60 | 6.50 | 7.70 | 6.30 | 6.80 | 6.60 | - | 7.70 | 6.80 |
| | Dmax | - | WNW | - | NNE | WNW | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | H1/10 | 1.50 | 1.12 | 1.42 | 1.32 | 0.71 | 0.85 | 0.64 | 1.85 | 1.28 | 2.17 | 1.89 | - | 1.24 | 1.75 |
| | T1/10 | 5.62 | 5.24 | 5.69 | 5.53 | 4.99 | 4.35 | 4.89 | 5.50 | 5.38 | 5.73 | 5.96 | - | 5.35 | 5.72 |
| | H1/3 | 1.33 | 0.91 | 1.09 | 1.01 | 0.46 | 0.59 | 0.51 | 1.19 | 0.97 | 1.50 | 1.66 | - | 0.85 | 1.37 |
| | T1/3 | 5.45 | 5.11 | 5.43 | 5.25 | 4.69 | 4.36 | 5.03 | 5.43 | 5.19 | 5.50 | 5.70 | - | 5.11 | 5.49 |
| | Hmean | 0.98 | 0.57 | 0.60 | 0.60 | 0.28 | 0.34 | 0.30 | 0.63 | 0.61 | 1.04 | 1.22 | - | 0.46 | 0.88 |
| | Tmean | 5.22 | 4.80 | 4.91 | 4.89 | 4.57 | 4.48 | 4.83 | 5.27 | 4.97 | 5.34 | 5.50 | - | 4.84 | 5.15 |
| | 波向 | - | WNW | WNW | WSW | WNW | NW | - | - | - | - | - | - | WNW | WNW |
| 2008 | Hmax | 2.20 | 2.40 | 1.79 | 1.36 | 1.36 | 1.73 | 2.97 | - | 4.33 | 2.18 | 1.98 | 1.39 | 4.33 | 2.40 |
| | Tmax | 6.60 | 6.40 | 6.10 | 5.70 | 6.60 | 7.00 | 6.00 | - | 7.20 | 6.20 | 6.50 | 5.80 | 7.20 | 6.60 |
| | Dmax | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | H1/10 | 1.87 | 1.83 | 1.24 | 1.07 | 0.83 | 1.08 | 1.33 | - | 2.41 | 1.50 | 1.62 | 1.31 | 1.48 | 1.70 |
| | T1/10 | 6.01 | 5.86 | 5.39 | 5.32 | 5.12 | 5.41 | 4.99 | - | 6.00 | 5.75 | 5.77 | 5.62 | 5.53 | 5.83 |
| | H1/3 | 1.61 | 1.55 | 1.00 | 0.83 | 0.54 | 0.81 | 0.80 | - | 1.63 | 1.21 | 1.34 | 1.11 | 0.96 | 1.38 |
| | T1/3 | 5.84 | 5.61 | 5.21 | 5.09 | 4.64 | 5.09 | 4.98 | - | 5.74 | 5.53 | 5.63 | 5.40 | 5.22 | 5.61 |
| | Hmean | 1.06 | 1.08 | 0.63 | 0.51 | 0.31 | 0.46 | 0.43 | - | 0.85 | 0.78 | 0.92 | 0.81 | 0.52 | 0.89 |
| | Tmean | 5.43 | 5.35 | 4.89 | 4.78 | 4.57 | 4.85 | 4.79 | - | 5.53 | 5.16 | 5.27 | 5.17 | 4.90 | 5.21 |
| | 波向 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2009 | Hmax | - | 1.65 | 1.87 | 1.62 | 1.21 | 3.07 | 1.51 | 4.27 | 1.75 | 2.23 | 2.20 | 1.90 | 4.27 | 2.23 |
| | Tmax | - | 6.80 | 7.10 | 6.90 | 6.10 | 8.70 | 7.30 | 8.40 | 8.00 | 7.70 | 7.40 | 6.70 | 8.70 | 7.70 |
| | Dmax | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | H1/10 | - | 1.40 | 1.47 | 1.28 | 0.97 | 1.57 | 0.96 | 2.41 | 1.12 | 1.68 | 1.66 | 1.40 | 1.39 | 1.55 |
| | T1/10 | - | 6.18 | 6.32 | 6.06 | 5.64 | 6.32 | 5.62 | 6.46 | 6.55 | 6.55 | 6.49 | 6.07 | 6.16 | 6.36 |
| | H1/3 | - | 1.13 | 1.19 | 1.01 | 0.76 | 0.91 | 0.62 | 1.14 | 0.93 | 1.36 | 1.35 | 1.15 | 0.92 | 1.25 |
| | T1/3 | - | 5.96 | 6.02 | 5.81 | 5.47 | 5.68 | 5.40 | 5.97 | 6.09 | 6.20 | 6.13 | 5.83 | 5.75 | 6.05 |
| | Hmean | - | 0.65 | 0.72 | 0.64 | 0.46 | 0.51 | 0.38 | 0.51 | 0.64 | 0.91 | 0.88 | 0.76 | 0.52 | 0.80 |
| | Tmean | - | 5.40 | 5.53 | 5.35 | 5.18 | 5.34 | 5.25 | 5.21 | 5.68 | 5.80 | 5.71 | 5.43 | 5.34 | 5.59 |
| | 波向 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

資料來源：成大水工所，本計畫彙整統計；夏季為 4~9 月，冬季為 10~3 月；Tmax、Dmax 為對應週期、波向；
單位：波高(m)、週期(sec)。

## 表 2.19(續) 臺西測站(THL1)1992 至 2013 年各月份波浪列表

| 年度 | 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 夏季 | 冬季 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2010 | Hmax | 1.88 | 2.00 | 1.72 | 1.72 | 1.69 | 1.54 | 1.71 | 1.10 | 2.20 | 2.77 | 1.89 | 1.82 | 2.20 | 2.77 |
| | Tmax | 6.80 | 7.10 | 6.70 | 6.90 | 5.70 | 6.20 | 8.30 | 7.30 | 8.30 | 8.60 | 7.20 | 7.20 | 8.30 | 8.60 |
| | Dmax | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | H1/10 | 1.52 | 1.51 | 1.34 | 1.39 | 0.93 | 1.10 | 0.94 | 0.66 | 1.50 | 1.81 | 1.51 | 1.42 | 1.19 | 1.55 |
| | T1/10 | 6.18 | 6.16 | 5.97 | 6.09 | 5.21 | 5.61 | 5.01 | 5.63 | 5.88 | 6.75 | 6.26 | 6.08 | 5.70 | 6.27 |
| | H1/3 | 1.25 | 1.17 | 1.04 | 1.09 | 0.71 | 0.75 | 0.64 | 0.49 | 1.06 | 1.44 | 1.31 | 1.10 | 0.82 | 1.24 |
| | T1/3 | 5.83 | 5.80 | 5.62 | 5.76 | 5.09 | 5.06 | 5.03 | 5.46 | 5.58 | 6.17 | 5.95 | 5.66 | 5.34 | 5.87 |
| | Hmean | 0.80 | 0.65 | 0.60 | 0.60 | 0.42 | 0.43 | 0.38 | 0.31 | 0.60 | 0.94 | 0.93 | 0.71 | 0.46 | 0.77 |
| | Tmean | 5.37 | 5.06 | 5.13 | 5.09 | 4.78 | 4.69 | 4.90 | 5.03 | 5.16 | 5.55 | 5.54 | 5.18 | 4.94 | 5.31 |
| | 波向 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2011 | Hmax | 2.04 | 1.75 | 1.70 | 1.45 | 1.52 | 1.88 | 1.32 | 2.39 | 1.80 | 2.59 | 2.09 | 1.95 | 2.39 | 2.59 |
| | Tmax | 7.00 | 6.60 | 6.90 | 6.60 | 6.00 | 6.80 | 7.30 | 7.10 | 9.00 | 7.80 | 7.30 | 7.00 | 9.00 | 7.80 |
| | Dmax | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | H1/10 | 1.66 | 1.34 | 1.36 | 1.04 | 0.97 | 1.15 | 0.96 | 1.27 | 1.22 | 1.60 | 1.40 | 1.59 | 1.11 | 1.54 |
| | T1/10 | 6.35 | 5.86 | 5.94 | 5.58 | 5.43 | 5.04 | 4.86 | 5.51 | 6.46 | 6.47 | 6.25 | 6.34 | 5.57 | 6.25 |
| | H1/3 | 1.45 | 1.15 | 1.17 | 0.78 | 0.73 | 0.82 | 0.69 | 0.78 | 0.93 | 1.25 | 1.14 | 1.39 | 0.80 | 1.29 |
| | T1/3 | 6.05 | 5.64 | 5.73 | 5.25 | 5.14 | 5.11 | 5.11 | 5.02 | 5.93 | 6.02 | 5.86 | 6.03 | 5.29 | 5.92 |
| | Hmean | 1.11 | 0.76 | 0.79 | 0.45 | 0.41 | 0.47 | 0.40 | 0.42 | 0.57 | 0.87 | 0.81 | 1.06 | 0.45 | 0.90 |
| | Tmean | 5.73 | 5.18 | 5.33 | 4.86 | 4.79 | 4.86 | 4.90 | 4.86 | 5.40 | 5.46 | 5.43 | 5.65 | 4.94 | 5.47 |
| | 波向 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2012 | Hmax | 1.89 | 1.88 | 1.76 | 1.25 | 1.52 | 3.87 | 1.61 | 2.65 | 1.80 | 1.74 | 1.65 | 1.77 | 3.87 | 1.89 |
| | Tmax | 7.20 | 7.10 | 7.00 | 6.40 | 6.20 | 7.90 | 7.80 | 8.10 | 8.30 | 6.40 | 6.70 | 7.10 | 8.30 | 7.20 |
| | Dmax | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | H1/10 | 1.52 | 1.43 | 1.39 | 0.84 | 1.00 | 1.68 | 1.01 | 1.70 | 1.44 | 1.38 | 1.15 | 1.44 | 1.35 | 1.42 |
| | T1/10 | 6.21 | 5.96 | 6.09 | 5.40 | 5.29 | 5.75 | 6.19 | 5.93 | 5.89 | 5.23 | 5.64 | 6.11 | 5.79 | 5.97 |
| | H1/3 | 1.29 | 1.22 | 1.11 | 0.66 | 0.75 | 1.15 | 0.68 | 1.12 | 1.10 | 1.15 | 0.94 | 1.24 | 0.92 | 1.18 |
| | T1/3 | 5.90 | 5.72 | 5.71 | 5.14 | 4.98 | 5.54 | 5.52 | 5.57 | 5.75 | 5.18 | 5.45 | 5.90 | 5.47 | 5.70 |
| | Hmean | 0.93 | 0.84 | 0.69 | 0.41 | 0.45 | 0.69 | 0.40 | 0.66 | 0.59 | 0.83 | 0.64 | 0.89 | 0.53 | 0.80 |
| | Tmean | 5.49 | 5.32 | 5.23 | 4.79 | 4.69 | 5.25 | 5.09 | 5.46 | 5.11 | 5.05 | 5.13 | 5.53 | 5.06 | 5.30 |
| | 波向 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

資料來源：成大水工所，本計畫彙整統計；夏季為 4~9 月，冬季為 10~3 月；Tmax、Dmax 為對應週期、波向；
單位：波高(m)、週期(sec)。

## 表 2.19(續) 臺西測站(THL1)1992 至 2013 年各月份波浪列表

| 年度 | 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 夏季 | 冬季 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2013 | Hmax | 1.90 | 2.04 | 2.02 | 1.48 | 1.84 | 1.88 | - | - | - | - | - | - | 1.88 | 2.04 |
| | Tmax | 7.00 | 7.00 | 6.50 | 6.20 | 6.20 | 6.40 | - | - | - | - | - | - | 6.40 | 7.00 |
| | Dmax | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | H1/10 | 1.54 | 1.62 | 1.53 | 1.19 | 1.10 | 1.25 | - | - | - | - | - | - | 1.19 | 1.56 |
| | T1/10 | 6.34 | 6.07 | 5.73 | 5.43 | 5.14 | 5.15 | - | - | - | - | - | - | 5.29 | 6.07 |
| | H1/3 | 1.30 | 1.36 | 1.18 | 0.96 | 0.82 | 0.87 | - | - | - | - | - | - | 0.89 | 1.30 |
| | T1/3 | 5.97 | 5.80 | 5.43 | 5.24 | 4.85 | 4.99 | - | - | - | - | - | - | 5.05 | 5.78 |
| | Hmean | 0.93 | 0.87 | 0.66 | 0.57 | 0.50 | 0.51 | - | - | - | - | - | - | 0.52 | 0.82 |
| | Tmean | 5.49 | 5.30 | 4.95 | 4.80 | 4.64 | 4.80 | - | - | - | - | - | - | 4.74 | 5.24 |
| | 波向 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

資料來源：成大水工所，本計畫彙整統計；夏季為 4~9 月，冬季為 10~3 月；Tmax、Dmax 為對應週期、波向；
單位：波高(m)、週期(sec)。

## 表 2.20 四湖測站(THL2B)2001 至 2013 年各月份波浪列表

| 年度 | 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 夏季 | 冬季 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2001 | Hmax | - | - | - | - | - | - | - | - | 3.24 | 3.22 | 3.55 | 3.82 | 3.24 | 3.82 |
| | Tmax | - | - | - | - | - | - | - | - | 8.20 | 8.10 | 9.00 | 7.70 | 8.20 | 9.00 |
| | Dmax | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | H1/10 | - | - | - | - | - | - | - | - | 2.58 | 2.16 | 2.57 | 2.92 | 2.58 | 2.69 |
| | T1/10 | - | - | - | - | - | - | - | - | 6.26 | 6.19 | 6.74 | 6.54 | 6.26 | 6.46 |
| | H1/3 | - | - | - | - | - | - | - | - | 1.83 | 1.77 | 2.04 | 2.43 | 1.83 | 2.13 |
| | T1/3 | - | - | - | - | - | - | - | - | 5.84 | 5.97 | 6.34 | 6.18 | 5.84 | 6.15 |
| | Hmean | - | - | - | - | - | - | - | - | 1.12 | 1.04 | 1.35 | 1.57 | 1.12 | 1.34 |
| | Tmean | - | - | - | - | - | - | - | - | 5.95 | 5.85 | 6.03 | 5.62 | 5.95 | 5.82 |
| | 波向 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | NNE | N | - | - | NNE |
| 2002 | Hmax | 2.49 | 3.40 | 2.86 | 2.44 | 2.12 | 1.34 | 3.11 | 2.53 | 2.59 | 3.12 | 3.30 | 3.90 | 3.11 | 3.90 |
| | Tmax | 6.50 | 7.20 | 6.50 | 6.70 | 6.10 | 6.60 | 9.30 | 9.30 | 9.60 | 7.30 | 8.30 | 7.70 | 9.60 | 8.30 |
| | Dmax | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | H1/10 | 2.16 | 2.49 | 2.04 | 1.87 | 1.49 | 1.01 | 1.88 | 1.68 | 1.95 | 2.58 | 2.65 | 3.23 | 1.77 | 2.59 |
| | T1/10 | 5.94 | 6.22 | 5.83 | 5.88 | 5.20 | 5.15 | 5.73 | 5.89 | 6.11 | 6.34 | 6.38 | 7.08 | 5.78 | 6.39 |
| | H1/3 | 1.86 | 2.01 | 1.56 | 1.43 | 0.99 | 0.75 | 1.29 | 1.13 | 1.55 | 2.02 | 2.29 | 2.33 | 1.24 | 2.04 |
| | T1/3 | 5.72 | 5.86 | 5.54 | 5.54 | 5.09 | 5.15 | 5.79 | 5.93 | 5.81 | 5.97 | 6.26 | 6.35 | 5.59 | 5.98 |
| | Hmean | 1.13 | 1.20 | 0.85 | 0.71 | 0.57 | 0.45 | 0.76 | 0.62 | 0.98 | 1.08 | 1.42 | 1.28 | 0.68 | 1.16 |
| | Tmean | 5.29 | 5.32 | 5.18 | 5.12 | 4.91 | 5.07 | 5.65 | 5.60 | 5.52 | 5.31 | 5.79 | 5.66 | 5.31 | 5.42 |
| | 波向 | - | - | - | - | - | - | - | NW | N | - | E | - | NW | E |

資料來源：成大水工所，本計畫彙整統計；夏季為 4~9 月，冬季為 10~3 月；Tmax、Dmax 為對應週期、波向；
單位：波高(m)、週期(sec)。

## 表 2.20(續) 四湖測站(THL2B)2001 至 2013 年各月份波浪列表

| 年度 | 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 夏季 | 冬季 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2003 | Hmax | 2.44 | 2.88 | 2.92 | 2.42 | 2.00 | 1.31 | 1.90 | 1.02 | 3.39 | 3.52 | 3.64 | 3.82 | 3.39 | 3.82 |
| | Tmax | 6.60 | 7.40 | 7.60 | 8.20 | 6.60 | 6.30 | 8.50 | 8.90 | 7.40 | 8.30 | 7.00 | 7.50 | 8.90 | 8.30 |
| | Dmax | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | H1/10 | 2.03 | 2.32 | 2.27 | 1.79 | 1.63 | 1.06 | 1.12 | 0.73 | 2.02 | 2.81 | 3.23 | 3.24 | 1.65 | 2.88 |
| | T1/10 | 5.97 | 6.44 | 6.49 | 5.96 | 5.79 | 5.22 | 7.05 | 6.12 | 5.95 | 6.36 | 6.38 | 6.63 | 5.83 | 6.39 |
| | H1/3 | 1.61 | 1.90 | 1.85 | 1.26 | 1.22 | 0.87 | 0.77 | 0.59 | 1.51 | 2.28 | 2.79 | 2.76 | 1.10 | 2.28 |
| | T1/3 | 5.71 | 6.04 | 6.04 | 5.58 | 5.43 | 5.30 | 6.18 | 6.24 | 5.72 | 6.06 | 6.17 | 6.30 | 5.61 | 6.09 |
| | Hmean | 1.06 | 1.06 | 1.05 | 0.63 | 0.63 | 0.56 | 0.42 | 0.39 | 0.88 | 1.34 | 1.71 | 1.74 | 0.60 | 1.31 |
| | Tmean | 5.36 | 5.38 | 5.44 | 5.29 | 5.11 | 5.24 | 5.35 | 5.92 | 5.49 | 5.75 | 5.50 | 5.64 | 5.41 | 5.53 |
| | 波向 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2004 | Hmax | 3.04 | 3.26 | 3.95 | 3.37 | 1.96 | 2.19 | 3.64 | 2.53 | 2.36 | 3.75 | 4.51 | 3.24 | 3.64 | 4.51 |
| | Tmax | 6.90 | 7.10 | 7.50 | 7.80 | 6.30 | 8.00 | 7.00 | 8.10 | 8.80 | 7.30 | 9.00 | 8.10 | 8.80 | 9.00 |
| | Dmax | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | NW | NW | - | NW |
| | H1/10 | 2.45 | 2.70 | 2.87 | 2.31 | 1.39 | 1.65 | 2.13 | 1.77 | 1.49 | 3.15 | 2.98 | 2.65 | 1.85 | 2.79 |
| | T1/10 | 6.04 | 6.23 | 6.39 | 6.05 | 5.38 | 5.53 | 5.82 | 5.66 | 5.67 | 6.62 | 6.79 | 6.10 | 5.69 | 6.38 |
| | H1/3 | 2.14 | 2.12 | 2.30 | 1.64 | 1.07 | 1.33 | 1.22 | 1.29 | 1.18 | 2.57 | 2.20 | 2.30 | 1.31 | 2.29 |
| | T1/3 | 5.81 | 5.86 | 6.01 | 5.57 | 5.32 | 5.40 | 5.61 | 5.81 | 5.68 | 6.24 | 6.51 | 5.99 | 5.57 | 6.04 |
| | Hmean | 1.54 | 1.12 | 1.42 | 0.79 | 0.58 | 0.80 | 0.61 | 0.74 | 0.74 | 1.80 | 1.29 | 1.67 | 0.71 | 1.46 |
| | Tmean | 5.45 | 5.24 | 5.49 | 5.25 | 5.03 | 5.50 | 5.24 | 5.68 | 5.34 | 5.70 | 5.82 | 5.73 | 5.34 | 5.56 |
| | 波向 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | NNW | NW | - | NNW |
| 2005 | Hmax | 3.24 | 4.21 | 3.50 | 2.39 | 1.88 | 1.37 | 3.33 | 3.34 | 2.37 | 4.85 | 3.74 | - | 3.34 | 4.85 |
| | Tmax | 7.00 | 7.60 | 8.50 | 6.20 | 7.00 | 6.90 | 7.10 | 7.50 | 8.30 | 7.70 | 7.40 | - | 8.30 | 8.50 |
| | Dmax | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | H1/10 | 2.84 | 2.91 | 2.58 | 1.51 | 1.28 | 0.93 | 1.57 | 1.89 | 1.83 | 3.49 | 3.40 | - | 1.58 | 3.00 |
| | T1/10 | 6.19 | 6.54 | 7.53 | 5.55 | 5.78 | 5.56 | 5.81 | 5.78 | 6.75 | 6.91 | 6.82 | - | 5.93 | 6.51 |
| | H1/3 | 2.52 | 2.26 | 1.92 | 1.12 | 0.90 | 0.70 | 0.84 | 1.20 | 1.48 | 2.79 | 2.53 | - | 1.07 | 2.45 |
| | T1/3 | 5.94 | 6.15 | 6.69 | 5.33 | 5.53 | 5.54 | 5.57 | 5.54 | 6.33 | 6.36 | 6.06 | - | 5.61 | 6.11 |
| | Hmean | 1.68 | 1.38 | 1.00 | 0.62 | 0.46 | 0.45 | 0.42 | 0.70 | 0.96 | 1.60 | 1.39 | - | 0.58 | 1.46 |
| | Tmean | 5.47 | 5.63 | 5.63 | 5.09 | 5.26 | 5.24 | 5.25 | 5.45 | 5.84 | 5.73 | 5.53 | - | 5.33 | 5.58 |
| | 波向 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

資料來源：成大水工所，本計畫彙整統計；夏季為 4~9 月，冬季為 10~3 月；Tmax、Dmax 為對應週期、波向；
單位：波高(m)、週期(sec)。

## 表 2.20(續) 四湖測站(THL2B)2001 至 2013 年各月份波浪列表

| 年度 | 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 夏季 | 冬季 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2006 | Hmax | 4.26 | - | 5.30 | 3.05 | 3.90 | 1.66 | 4.46 | 1.84 | 4.31 | 2.61 | 3.10 | 4.32 | 4.46 | 5.30 |
| | Tmax | 6.90 | - | 8.60 | 8.20 | 8.30 | 8.10 | 8.60 | 9.20 | 9.40 | 7.80 | 8.30 | 8.50 | 9.40 | 8.60 |
| | Dmax | - | - | - | - | - | - | SW | SSW | - | - | NW | NW | - | - |
| | H1/10 | 3.52 | - | 3.28 | 2.08 | 2.79 | 1.16 | 2.90 | 1.21 | 2.56 | 2.16 | 2.36 | 3.53 | 2.34 | 3.07 |
| | T1/10 | 6.56 | - | 6.69 | 6.13 | 6.81 | 5.82 | 6.32 | 6.93 | 7.24 | 6.29 | 6.09 | 6.88 | 6.50 | 6.66 |
| | H1/3 | 3.06 | - | 2.22 | 1.46 | 1.78 | 0.77 | 1.68 | 0.84 | 1.82 | 1.80 | 1.82 | 2.95 | 1.48 | 2.28 |
| | T1/3 | 6.28 | - | 6.17 | 5.76 | 5.99 | 5.79 | 6.33 | 6.48 | 6.46 | 6.13 | 6.09 | 6.81 | 6.06 | 6.35 |
| | Hmean | 2.20 | - | 1.16 | 0.73 | 0.82 | 0.42 | 0.86 | 0.52 | 1.07 | 1.17 | 1.03 | 1.99 | 0.74 | 1.32 |
| | Tmean | 5.97 | - | 5.62 | 5.29 | 5.43 | 5.39 | 6.08 | 6.03 | 5.81 | 5.90 | 5.81 | 6.53 | 5.63 | 5.92 |
| | 波向 | - | - | NNE | NNE | - | SW | SW | SW | W | NNW | NW | NW | SW | NW |
| 2007 | Hmax | 3.49 | 2.19 | 3.03 | 4.35 | 1.12 | 1.17 | 1.08 | 4.79 | 2.67 | 5.76 | 4.91 | - | 4.79 | 5.76 |
| | Tmax | 8.40 | 8.10 | 8.30 | 8.30 | 7.00 | 8.00 | 8.20 | 10.10 | 8.40 | 8.70 | 8.60 | - | 10.10 | 8.70 |
| | Dmax | WNW | N | NE | - | S | SSE | SW | SW | N | W | NE | - | SW | W |
| | H1/10 | 2.87 | 1.70 | 2.39 | 2.71 | 0.70 | 0.68 | 0.75 | 2.48 | 2.22 | 3.53 | 4.16 | - | 2.01 | 3.26 |
| | T1/10 | 6.44 | 6.57 | 6.67 | 6.78 | 5.66 | 5.41 | 6.58 | 6.73 | 6.84 | 6.85 | 7.22 | - | 6.52 | 6.89 |
| | H1/3 | 2.51 | 1.31 | 1.64 | 1.87 | 0.48 | 0.50 | 0.57 | 1.53 | 1.49 | 2.54 | 3.58 | - | 1.20 | 2.46 |
| | T1/3 | 6.38 | 6.33 | 6.37 | 6.27 | 5.65 | 5.74 | 6.64 | 6.78 | 6.65 | 6.70 | 7.22 | - | 6.41 | 6.65 |
| | Hmean | 1.83 | 0.71 | 0.78 | 0.98 | 0.29 | 0.32 | 0.33 | 0.80 | 0.78 | 1.61 | 2.79 | - | 0.59 | 1.37 |
| | Tmean | 6.26 | 5.96 | 5.98 | 6.05 | 5.64 | 5.64 | 6.16 | 6.48 | 6.34 | 6.55 | 7.02 | - | 6.05 | 6.28 |
| | 波向 | NW | NNE | NNE | WSW | SSW | SW | SW | SW | NNE | NNE | NE | - | SW | NNE |
| 2008 | Hmax | 4.41 | 3.75 | 1.41 | 2.85 | 3.44 | 2.08 | 4.15 | 3.25 | 3.59 | - | - | 5.37 | 4.15 | 5.37 |
| | Tmax | 8.80 | 8.20 | 6.20 | 7.50 | 8.10 | 8.10 | 7.80 | 10.20 | 7.60 | - | - | 8.80 | 10.20 | 8.80 |
| | Dmax | NNW | N | NNE | N | ENE | WSW | WSW | W | SSE | - | - | NNW | W | NNW |
| | H1/10 | 3.82 | 3.28 | 1.39 | 2.21 | 2.29 | 1.36 | 2.89 | 1.72 | 2.95 | - | - | 3.79 | 2.30 | 3.64 |
| | T1/10 | 7.41 | 6.75 | 5.75 | 6.32 | 6.66 | 6.86 | 6.42 | 7.73 | 6.68 | - | - | 7.28 | 6.59 | 7.11 |
| | H1/3 | 3.28 | 2.83 | 1.21 | 1.58 | 1.52 | 1.03 | 1.48 | 1.04 | 1.79 | - | - | 2.95 | 1.42 | 3.01 |
| | T1/3 | 7.26 | 6.73 | 5.71 | 6.11 | 6.37 | 6.13 | 6.26 | 7.23 | 6.26 | - | - | 6.80 | 6.33 | 6.93 |
| | Hmean | 2.11 | 2.00 | 0.80 | 0.89 | 0.71 | 0.65 | 0.60 | 0.45 | 0.76 | - | - | 1.70 | 0.68 | 1.90 |
| | Tmean | 6.74 | 6.49 | 5.61 | 5.66 | 5.89 | 5.48 | 6.03 | 6.39 | 6.07 | - | - | 6.24 | 5.90 | 6.45 |
| | 波向 | N | N | N | N | SW | WSW | SW | SW | S | - | - | N | WSW | N |

資料來源：成大水工所，本計畫彙整統計；夏季為 4~9 月，冬季為 10~3 月；Tmax、Dmax 為對應週期、波向；
單位：波高(m)、週期(sec)。

## 表 2.20(續) 四湖測站(THL2B)2001 至 2013 年各月份波浪列表

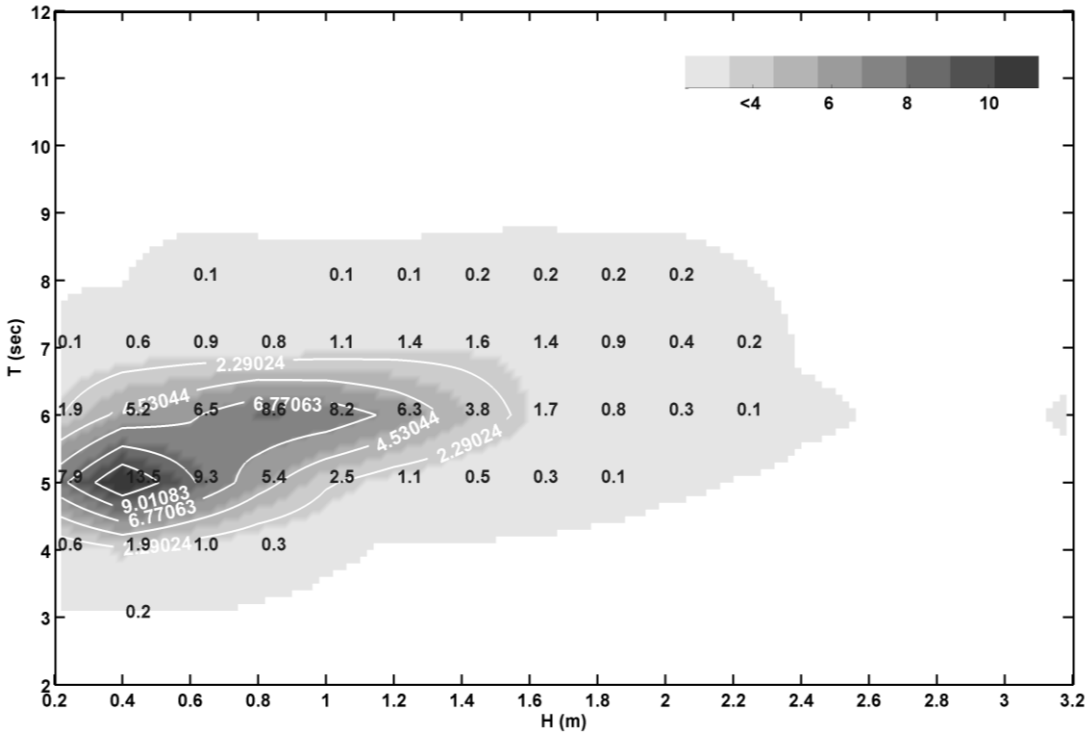
| 年度 | 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 夏季 | 冬季 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2009 | Hmax | 5.22 | 3.26 | 4.16 | 3.21 | 2.30 | 1.78 | 1.99 | 5.67 | 1.89 | 4.56 | 5.39 | 3.81 | 5.67 | 5.39 |
| | Tmax | 8.30 | 7.60 | 8.30 | 7.80 | 7.40 | 7.40 | 8.60 | 8.90 | 8.20 | 9.10 | 9.10 | 7.90 | 8.90 | 9.10 |
| | Dmax | NNW | NNW | N | N | NNW | WSW | WSW | W | W | NNW | NNW | NW | W | NNW |
| | H1/10 | 3.56 | 2.66 | 3.12 | 2.60 | 1.71 | 1.16 | 1.27 | 4.02 | 1.60 | 3.73 | 4.33 | 3.09 | 2.36 | 3.58 |
| | T1/10 | 6.81 | 6.44 | 6.71 | 6.45 | 5.91 | 5.84 | 6.68 | 6.97 | 6.55 | 6.82 | 7.04 | 6.25 | 6.45 | 6.77 |
| | H1/3 | 2.95 | 2.05 | 2.43 | 1.98 | 1.33 | 0.86 | 0.82 | 1.95 | 1.35 | 3.08 | 3.24 | 2.60 | 1.51 | 2.81 |
| | T1/3 | 6.55 | 6.21 | 6.48 | 6.24 | 5.93 | 5.76 | 6.40 | 6.74 | 6.52 | 6.69 | 6.71 | 6.17 | 6.28 | 6.49 |
| | Hmean | 1.90 | 1.19 | 1.36 | 1.13 | 0.74 | 0.58 | 0.49 | 0.85 | 0.92 | 1.90 | 1.92 | 1.63 | 0.80 | 1.67 |
| | Tmean | 6.18 | 5.79 | 6.09 | 5.80 | 5.80 | 5.45 | 6.13 | 6.05 | 6.28 | 6.37 | 6.35 | 5.96 | 5.95 | 6.14 |
| | 波向 | N | N | N | NNE | NNW | WSW | WSW | WSW | N | NNW | N | N | N | N |
| 2010 | Hmax | 3.86 | 3.54 | 4.50 | 3.81 | 2.10 | 3.22 | 1.90 | 1.75 | 5.07 | 5.79 | 4.43 | 6.37 | 5.07 | 6.37 |
| | Tmax | 7.90 | 7.20 | 7.60 | 8.20 | 6.60 | 7.10 | 8.80 | 8.30 | 8.80 | 8.90 | 8.10 | 8.40 | 8.80 | 8.90 |
| | Dmax | N | N | N | NNW | N | N | W | W | WSW | NW | NNW | NNW | W | NW |
| | H1/10 | 3.13 | 2.95 | 3.39 | 2.91 | 1.38 | 2.17 | 1.06 | 1.01 | 2.51 | 4.61 | 3.05 | 3.71 | 2.23 | 3.62 |
| | T1/10 | 6.32 | 6.57 | 6.76 | 6.64 | 5.65 | 6.00 | 6.28 | 6.19 | 6.25 | 7.26 | 6.40 | 6.83 | 6.26 | 6.84 |
| | H1/3 | 2.60 | 2.34 | 2.45 | 2.29 | 1.07 | 1.38 | 0.73 | 0.72 | 1.64 | 3.50 | 2.56 | 2.81 | 1.39 | 2.76 |
| | T1/3 | 6.37 | 6.38 | 6.44 | 6.39 | 5.36 | 5.78 | 6.01 | 6.33 | 6.28 | 7.07 | 6.31 | 6.39 | 5.99 | 6.53 |
| | Hmean | 1.67 | 1.42 | 1.39 | 1.18 | 0.63 | 0.69 | 0.49 | 0.42 | 0.88 | 2.01 | 1.78 | 1.59 | 0.71 | 1.65 |
| | Tmean | 6.11 | 6.13 | 6.12 | 5.95 | 4.89 | 5.36 | 5.59 | 5.91 | 5.98 | 6.44 | 6.26 | 5.97 | 5.61 | 6.17 |
| | 波向 | N | N | N | N | N | N | WSW | W | WSW | NNW | N | N | N | N |
| 2011 | Hmax | 5.50 | 2.54 | - | - | - | - | 0.81 | 1.05 | - | - | - | - | 1.05 | 5.50 |
| | Tmax | 8.10 | 7.30 | - | - | - | - | 8.10 | 9.10 | - | - | - | - | 9.10 | 8.10 |
| | Dmax | N | NNW | - | - | - | - | W | NW | - | - | - | - | NW | N |
| | H1/10 | 4.45 | 2.27 | - | - | - | - | 0.76 | 0.79 | - | - | - | - | 0.78 | 4.35 |
| | T1/10 | 6.91 | 5.69 | - | - | - | - | 6.89 | 6.00 | - | - | - | - | 6.35 | 6.90 |
| | H1/3 | 3.71 | 1.96 | - | - | - | - | 0.62 | 0.65 | - | - | - | - | 0.64 | 3.55 |
| | T1/3 | 6.65 | 5.86 | - | - | - | - | 6.84 | 6.27 | - | - | - | - | 6.47 | 6.61 |
| | Hmean | 2.79 | 1.31 | - | - | - | - | 0.37 | 0.43 | - | - | - | - | 0.41 | 2.50 |
| | Tmean | 6.54 | 5.70 | - | - | - | - | 6.15 | 6.04 | - | - | - | - | 6.08 | 6.37 |
| | 波向 | N | N | - | - | - | - | WSW | WSW | - | - | - | - | WSW | N |

資料來源：成大水工所，本計畫彙整統計；夏季為 4~9 月，冬季為 10~3 月；Tmax、Dmax 為對應週期、波向；
單位：波高(m)、週期(sec) (%)。

## 表 2.20(續) 四湖測站(THL2B)2001 至 2013 年各月份波浪列表

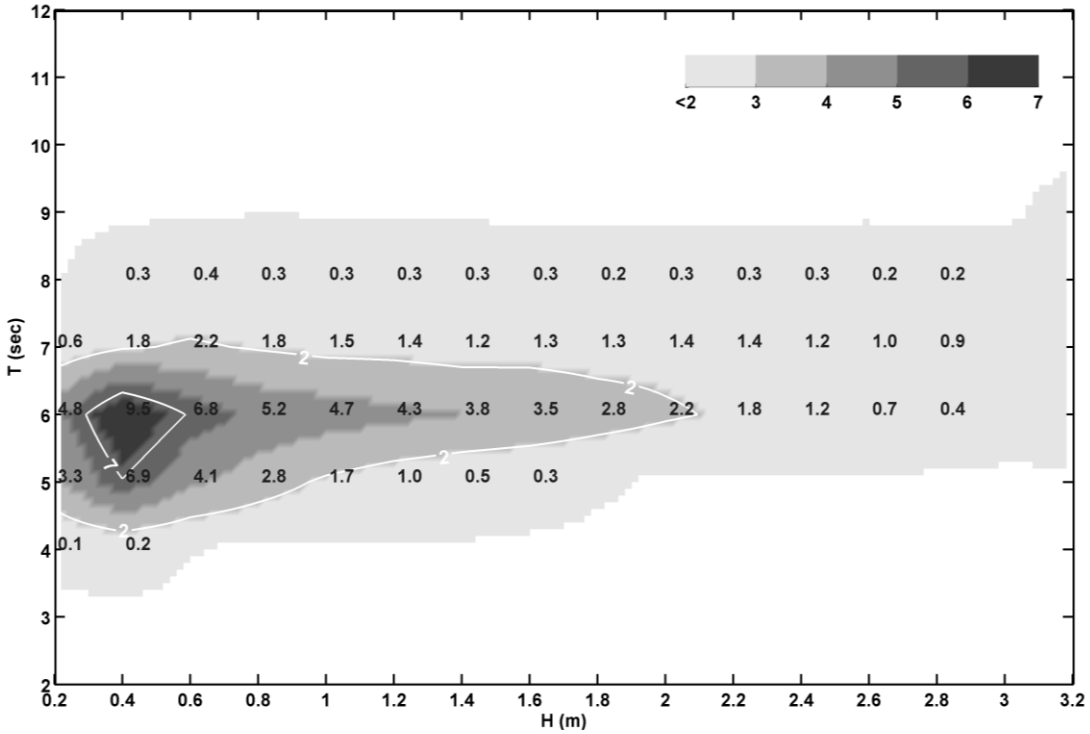
| 年度 | 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 夏季 | 冬季 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2012 | Hmax | - | - | 4.05 | 1.96 | - | - | 0.56 | - | 4.53 | - | - | - | 4.53 | 4.05 |
| | Tmax | - | - | 7.90 | 7.20 | - | - | 6.10 | - | 10.80 | - | - | - | 10.80 | 7.90 |
| | Dmax | - | - | N | NNW | - | - | WSW | - | NNW | - | - | - | NNW | N |
| | H1/10 | - | - | 3.16 | 1.68 | - | - | 0.52 | - | 3.45 | - | - | - | 2.82 | 3.16 |
| | T1/10 | - | - | 6.35 | 6.18 | - | - | 5.33 | - | 6.82 | - | - | - | 6.65 | 6.35 |
| | H1/3 | - | - | 2.27 | 1.41 | - | - | 0.46 | - | 1.81 | - | - | - | 1.59 | 2.27 |
| | T1/3 | - | - | 6.38 | 6.16 | - | - | 5.31 | - | 6.48 | - | - | - | 6.35 | 6.38 |
| | Hmean | - | - | 1.15 | 0.89 | - | - | 0.32 | - | 0.81 | - | - | - | 0.75 | 1.15 |
| | Tmean | - | - | 6.01 | 6.02 | - | - | 5.28 | - | 5.89 | - | - | - | 5.83 | 6.01 |
| | 波向 | - | - | N | N | - | - | WSW | - | NNW | - | - | - | NNW | N |
| 2013 | Hmax | - | - | 4.26 | 2.43 | - | - | - | - | - | - | - | - | 2.43 | 4.26 |
| | Tmax | - | - | 7.90 | 6.80 | - | - | - | - | - | - | - | - | 6.80 | 7.90 |
| | Dmax | - | - | N | N | - | - | - | - | - | - | - | - | N | N |
| | H1/10 | - | - | 3.16 | 2.43 | - | - | - | - | - | - | - | - | 2.43 | 3.16 |
| | T1/10 | - | - | 6.22 | 5.70 | - | - | - | - | - | - | - | - | 5.70 | 6.22 |
| | H1/3 | - | - | 2.32 | 2.16 | - | - | - | - | - | - | - | - | 2.16 | 2.32 |
| | T1/3 | - | - | 6.24 | 5.83 | - | - | - | - | - | - | - | - | 5.83 | 6.24 |
| | Hmean | - | - | 1.10 | 1.37 | - | - | - | - | - | - | - | - | 1.37 | 1.10 |
| | Tmean | - | - | 5.89 | 5.97 | - | - | - | - | - | - | - | - | 5.97 | 5.89 |
| | 波向 | - | - | N | N | - | - | - | - | - | - | - | - | N | N |

資料來源：成大水工所，本計畫彙整統計；夏季為 4~9 月，冬季為 10~3 月；Tmax、Dmax 為對應週期、波向；
單位：波高(m)、週期(sec)。



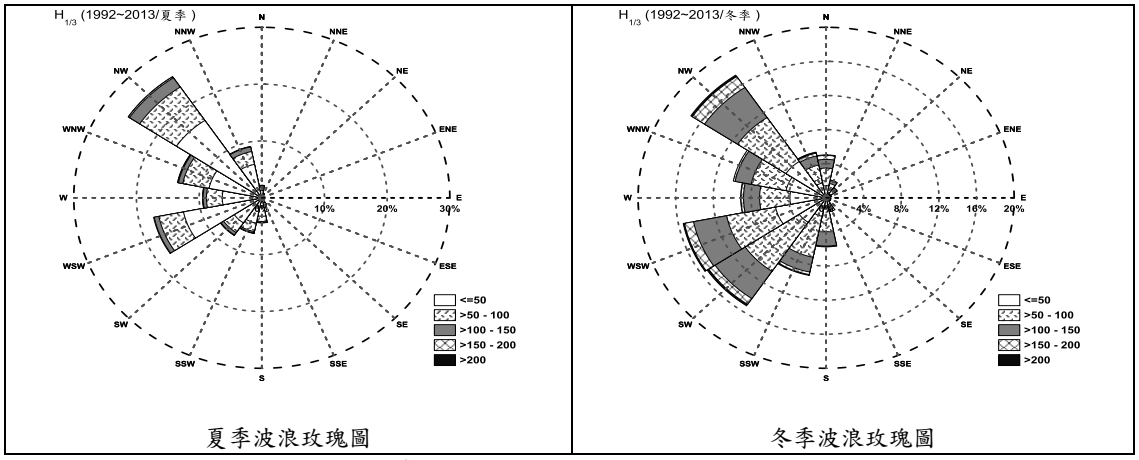

資料來源：成大水工所，本計畫統計分析、繪製；單位：機率(%)。

**圖 2.11 麥寮港波高週期聯合機率分佈圖(THL1，1992~2013 年)**




資料來源：成大水工所，本計畫統計分析、繪製；單位：機率(%)。

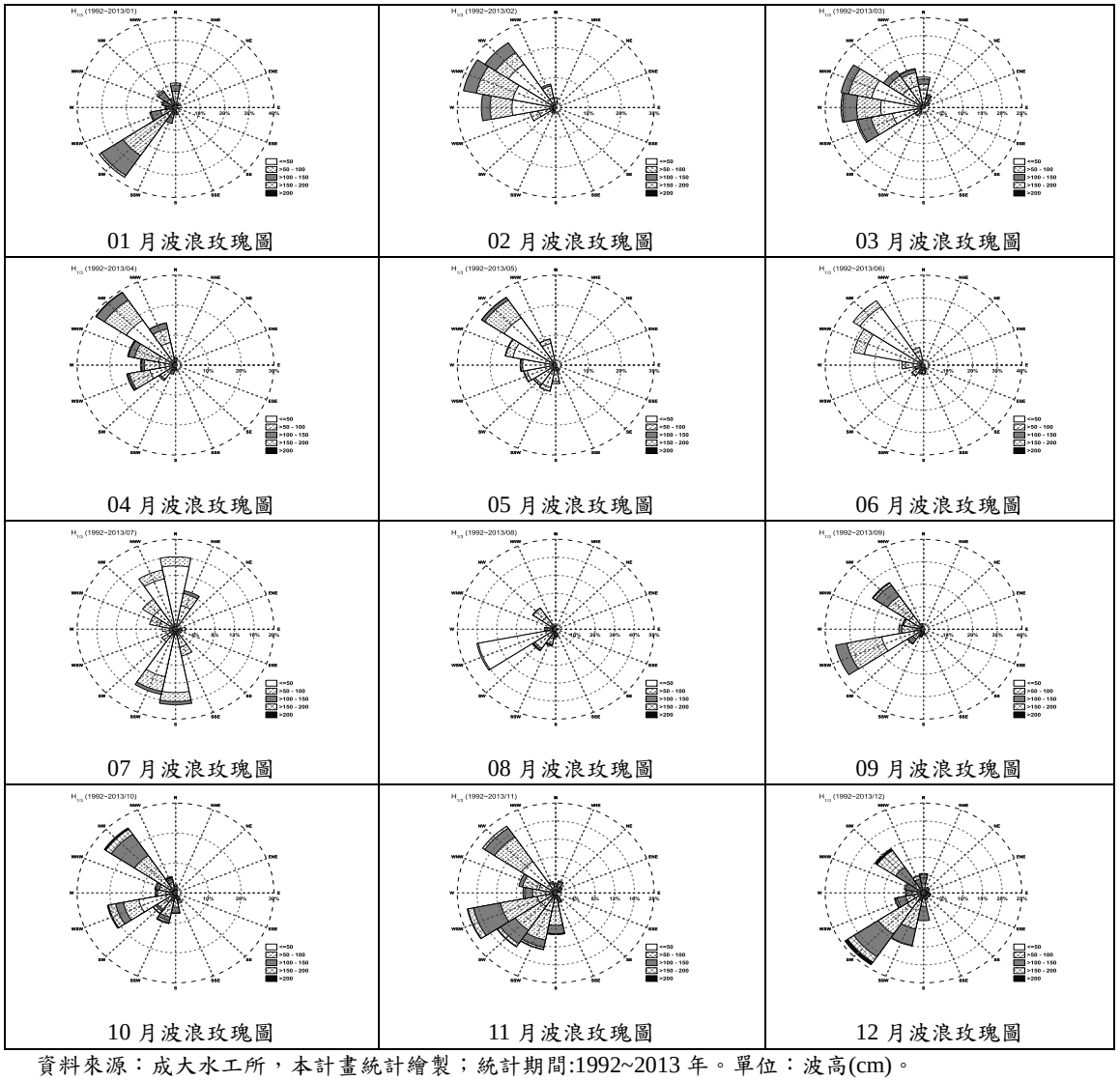
**圖 2.12 麥寮港波高週期聯合機率分佈圖(THL2B，2001~2013 年)**




夏季波浪玫瑰圖　　冬季波浪玫瑰圖

資料來源：成大水工所，本計畫統計繪製；統計期間:1992~2013 年。單位：波高(cm)。

**圖 2.13 麥寮港(THL1)夏、冬季之波高波向玫瑰圖**



01 月波浪玫瑰圖　02 月波浪玫瑰圖　03 月波浪玫瑰圖

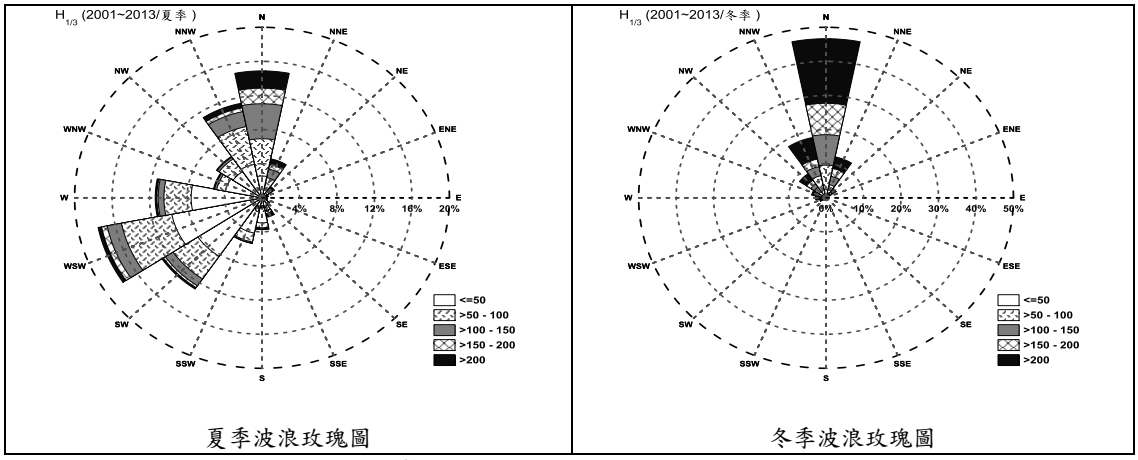
04 月波浪玫瑰圖　05 月波浪玫瑰圖　06 月波浪玫瑰圖

07 月波浪玫瑰圖　08 月波浪玫瑰圖　09 月波浪玫瑰圖

10 月波浪玫瑰圖　11 月波浪玫瑰圖　12 月波浪玫瑰圖

資料來源：成大水工所，本計畫統計繪製；統計期間:1992~2013 年。單位：波高(cm)。

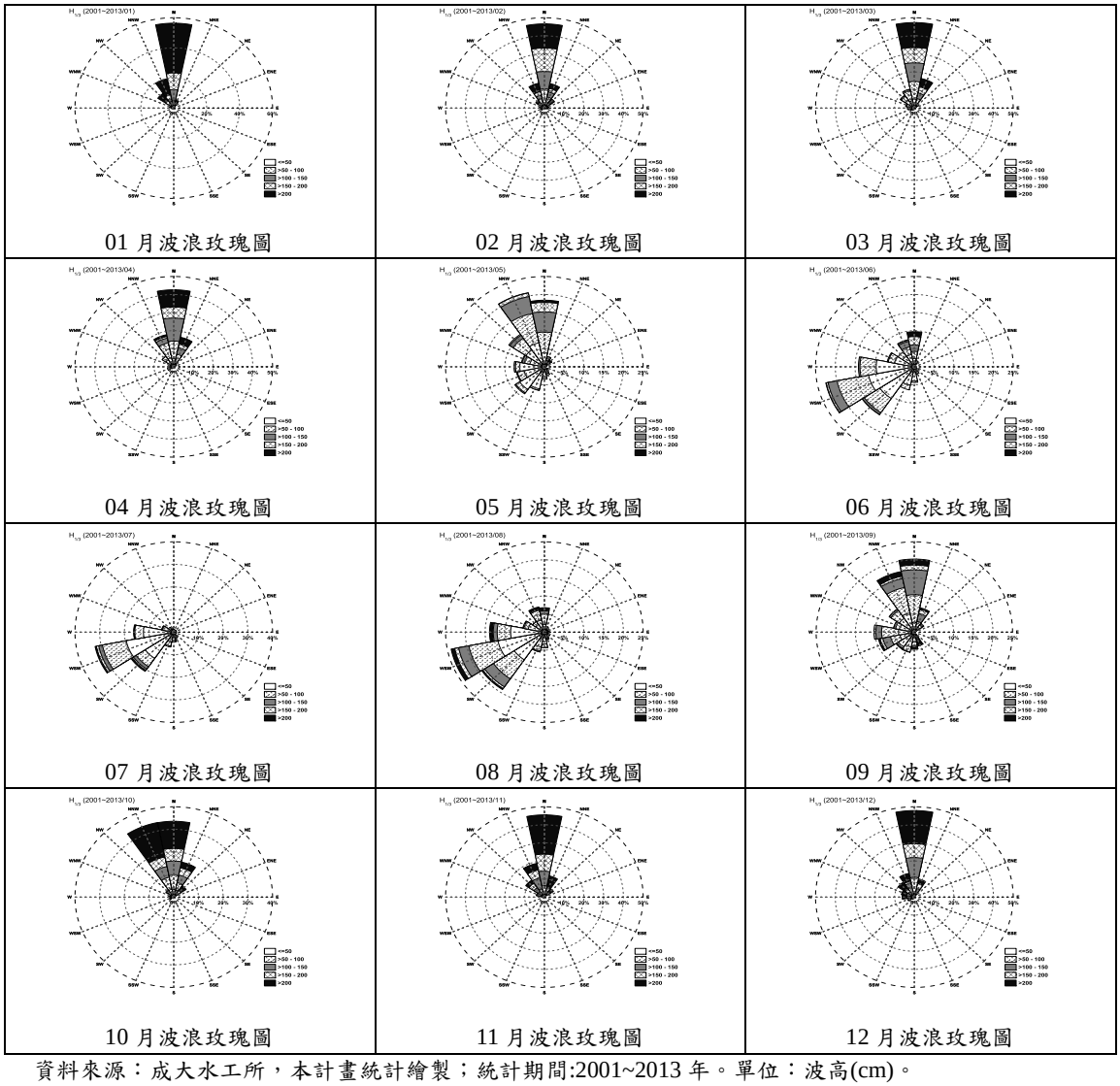
**圖 2.14 麥寮港(THL1)逐月之波高波向玫瑰圖**




夏季波浪玫瑰圖　　冬季波浪玫瑰圖

資料來源：成大水工所，本計畫統計繪製；統計期間:2001~2013 年。單位：波高(cm)。

**圖 2.15 麥寮港(THL2B)夏、冬季之波高波向玫瑰圖**



01 月波浪玫瑰圖　02 月波浪玫瑰圖　03 月波浪玫瑰圖

04 月波浪玫瑰圖　05 月波浪玫瑰圖　06 月波浪玫瑰圖

07 月波浪玫瑰圖　08 月波浪玫瑰圖　09 月波浪玫瑰圖

10 月波浪玫瑰圖　11 月波浪玫瑰圖　12 月波浪玫瑰圖

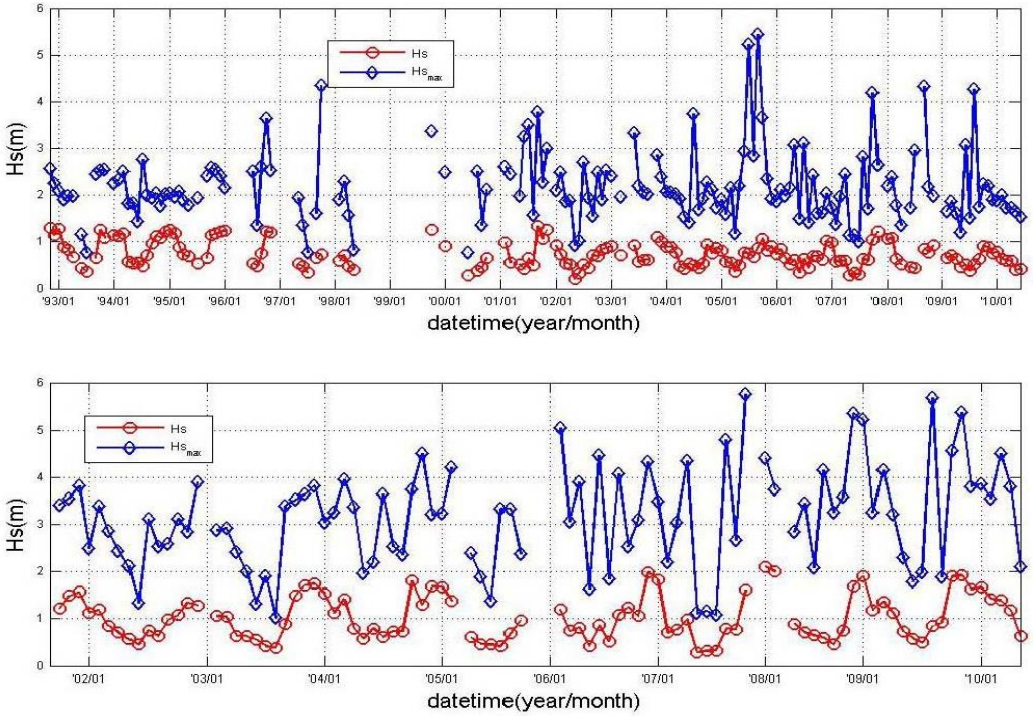
資料來源：成大水工所，本計畫統計繪製；統計期間:2001~2013 年。單位：波高(cm)。

**圖 2.16 麥寮港(THL2B)逐月之波高波向玫瑰圖**

此外，賴等人 (成大水工所，2010) 針對雲林海域長期波浪變化趨勢，就平時情形與極端條件分別探討分析：雲林海域冬季受東北季風影響，風速大且吹風延時長，波浪之示性波高與週期較夏季一般時期為大，月平均示性波高介於 1.0m～ 2.0m。夏季浪小，大波高主要於颱風影響時期測得，由於作用時間較短，月平均波高僅約 0.5m。緊鄰麥寮港南側之臺西測樁(THL1)與箔仔寮外海測樁(THL2B)兩站夏季時期平均波高差異不大，東北季風時期則以 THL2B 所測較大。THL1 測站近幾年於東北季風期間，波高明顯有較工業區開發初期為弱之趨勢，夏季期間則無明顯變化；THL2B 測站近幾年東北季風期間平均波高略有增大趨勢，夏季平均波高則與以往相同。

極端條件方面，根據圖 2.17 兩站歷年月平均與最大示性波高分佈顯示，夏秋季颱風與東北季風鋒面為主要測得時期。其中 THL1 測站近幾年於麥寮港築堤後，每年最大示性波高皆是於颱風影響下所測得，THL2B 測站年度極大值並不一定測得於颱風影響時期，東北季風冷鋒面所帶來之強風由於延時比颱風時期為長，更益於波浪之成長，因此屢次測得年度極值。另外值得注意的是發生於東北季風時期之颱風可能產生共伴效應，而於兩站同步測得年度最大示性波高，例如 2006 年柯羅莎颱風 (KROSA，警報期間 10/4~10/7，非共伴環流)。

為瞭解何種颱風路徑與強度對雲林海域造成較大影響，將歷年颱風時期測得局部最大示性波高排序選取超過 4 米波高之資料，列如表 2.21 與表 2.22。結果顯示強烈颱風其路徑如為 2 (向西行進路徑經過臺灣北部) 或 3 (向西行進路徑經過臺灣中部) 明顯比其他條件可測得較大波浪，例如 2005 年海棠(07/16～07/20)、泰利 (08/30～09/01)、龍王(09/30～10/03)；2007 年聖帕 (08/16～08/19)、柯羅莎 (10/04～10/07)；2008 年薔蜜 (09/26～09/29)；2009 年莫拉克 (08/05～08/10) 等路徑 2 或 3 之強烈颱風在兩測站可測得超過 4 米示性波高，其鄰近時刻平台所測風速皆超過 20 m/s，風向北北西~西北西，最大示性波高主要測得於最大風速之後數小時，亦即颱風中心已離開本島在臺灣海峽時期測得，颱風時期波浪主頻率 THL1 為 0.1Hz~0.2Hz、THL2B 為 0.1Hz。




資料來源：賴等人，「雲林海岸長期海象環境變化分析」，海岸開發行為經濟與環保並重－雲林離島式基礎工業區環境監測成果研討會論文集，99 年 10 月。

**圖 2.17 兩測站之月平均與月最大示性波高分佈**

**表 2.21 THL1 測站歷年颱風波浪超過 4m 統計**

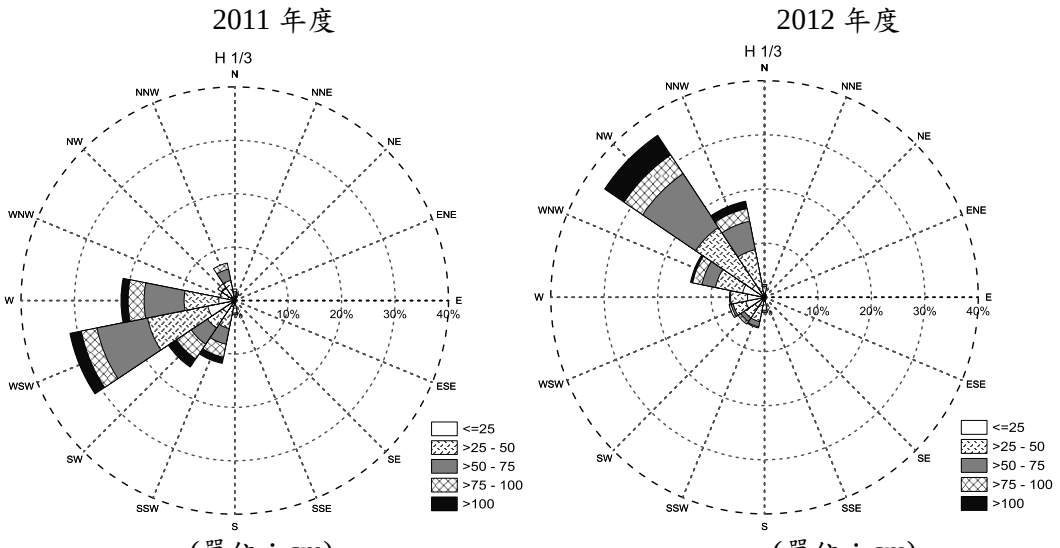
| 編號 | 名稱 | 警報期間 | 強度 | 颱風路徑分類 | Hs(m) | Ts(s) | 鄰近時刻最大風速(m/s) | 對應風向 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 200513 | 泰利 | 08/30~09/01 | 強烈 | 3 | 5.44 | 5.9 | 28.3(THL1) | NNW |
| 200505 | 海棠 | 07/16~07/20 | 強烈 | 3 | 5.23 | 6.0 | 22.9(THL1) | WNW |
| 200815 | 蔷蜜 | 09/26~09/29 | 強烈 | 2 | 4.33 | 6.8 | 28.2(THL1) | NNW |
| 200908 | 莫拉克 | 08/05~08/10 | 中度 | -- | 4.27 | 7.2 | 20.6(THL1) | NNW |

**表 2.22 THL2B 測站歷年颱風波浪超過 4m 統計**

| 編號 | 名稱 | 警報期間 | 強度 | 颱風路徑分類 | Hs(m) | Ts(s) | 波向 | 鄰近時刻最大風速(m/s) | 對應風向 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 200715 | 柯羅莎 | 10/04~10/07 | 強烈 | 2 | 5.76 | 7.5 | NNE | 18.2(mz) | NW |
| 200908 | 莫拉克 | 08/05~08/10 | 中度 | -- | 5.67 | 7.4 | WNW | 20.4(mz) | N |
| 200519 | 龍王 | 09/30~10/03 | 強烈 | 3 | 4.85 | 7.1 | -- | 30.9(THL2B) | NNW |
| 200708 | 聖帕 | 08/16~08/19 | 強烈 | 3 | 4.79 | 8.9 | NNW | 26.3(THL2B) | NNW |
| 200917 | 芭瑪 | 10/03~10/06 | 中度 | -- | 4.56 | 6.8 | NNW | 20.2(mz) | NNE |
| 200604 | 碧利斯 | 07/12~07/15 | 輕度 | 2 | 4.46 | 7.2 | NW | 22.9(THL2B) | NW |
| 200808 | 鳳凰 | 07/26~07/29 | 中度 | 3 | 4.15 | 6.8 | ENE | 14.6(mz) | NNE |

資料來源：賴等人，「雲林海岸長期海象環境變化分析」，海岸開發行為經濟與環保並重－雲林離島式基礎工業區環境監測成果研討會論文集，99 年 10 月。

根據本所港研中心「港灣防波堤堤頭沖蝕特性及防制機制之研究(2/4)」 (2012) 麥寮港外海，100 年度主要波向 WSW、W，觀測期內的 $H_{1/3}$ 為 87.1cm，$T_{1/3}$ 為 5.08sec。波高主要分佈於 25～75cm，佔約全體的 63.06%，週期則集中於 4～5sec 區間。平均波高 54.1cm，平均週期 4.87sec。101 年 F 度主要波向 NW、NNW，觀測期內的 $H_{1/3}$ 為 79.5cm，$T_{1/3}$ 為 5.04sec。波高主要分佈於 25～75cm，佔約全體的 62.62%。平均波高 48.1cm，平均週期 4.65sec。各年度之波高玫瑰圖，如圖 2.18 所示。




(單位：cm) (單位：cm)

資料來源：「港灣防波堤堤頭沖蝕特性及防制機制之研究 (2/4)」，本所，101 年。

**圖 2.18 麥寮港 2011 年與 2012 年性波高分佈玫瑰圖**

### 2.2.2 颱風波浪推算

常見之半經驗颱風波浪推算模式為 Breteschneider 參數法 (1952)、湯 (1970) 之移動風域數值推算法、井島 (1972) 之追蹤法及梁 (1982) 之颱風湧浪預報法等。湯 (1970) 有鑑於 Wilson 之方法只能推算深海風浪,不能直接推算海岸前之波浪狀況,故綜合 Wilson 及 Breteschneider 等經驗公式，配合淺海中之風浪關係、海底摩擦之影響、湧浪之推算方式及碎波後波浪之計算，提出移動風域數值推算模式，而本計畫使用之定點颱風波浪推算半經驗模式即是依據上述原理建立並加以改善而成，其基本原理詳述如下：

(1) 波向與風向之關係

依據深海之波浪觀測結果發現，一般波浪進行之方向與海面上平均風向甚為接近，故就風浪而言，在其形成初期可認為波向與風向一致，但當波浪進行某一段距離後，若波浪週期保持不變，則因風向改變在新方向之波高 Hθ 將可寫成：

$$H_\theta = H\cos\theta \tag{2-1}$$

式中 H 為前一推算點之波高，θ 為新風向與原風向之夾角。

(2) 波浪之能量傳遞速度

當波浪隨風向進行或轉變成湧浪後，其能量傳遞速度均以波浪群速度表示之。

(3) 風與風浪之關係

(a) 深海波浪

在深海時根據 Wilson (1955)之方法推算深海風浪，即以下列近似公式推算波浪之波高與週期：

$$\frac{gH}{U^2} = \alpha\, tanh\left[k_1\left(\frac{gF}{U^2}\right)^{1/2}\right] \cdots\cdots(2\text{-}2)$$

$$\frac{gT}{2\pi U} = \beta\, tanh\left[k_2\left(\frac{gF}{U^2}\right)^{1/3}\right] \cdots\cdots(2\text{-}3)$$

式中 H 為示性波波高，T 為示性波週期，F 為吹風距離，U 為風速，g 為重力加速度，α、β、k1 及 k2 為常數值，分別等於 0.26、1.40、0.01 及 0.0436。

(b) 淺海波浪

當波浪進入淺水區後，依風、浪、水深間之關係為(湯，1968)：

$$\frac{gH}{U^2}=\alpha\tanh\left[k_3\left(\frac{gD}{U^2}\right)^{3/4}\right]\tanh\left\{\frac{k_1\left(\frac{gF}{U^2}\right)^{1/2}}{\tanh\left[k_3\left(\frac{gD}{U^2}\right)^{3/4}\right]}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2\text{-}4)$$

$$\frac{gT}{2\pi U}=\beta\tanh\left[k_4\left(\frac{gD}{U^2}\right)^{3/8}\right]\tanh\left\{\frac{k_2\left(\frac{gF}{U^2}\right)^{1/3}}{\tanh\left[k_4\left(\frac{gD}{U^2}\right)^{3/8}\right]}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2\text{-}5)$$

式中 D 表示水深，常數 k3=0.578，k4=0.520。當 D→∞時，式(2-4)及(2-5)可簡化為式(2-2)及(2-3)。

(4) 湧浪之計算

當風向改變角度 θ 大於 60°或風浪獲得能量較損失者為小時，均視為湧浪，其波高及週期與風浪之關係依據 Bretschneider 之湧浪研究結果可表示如式(2-6)和(2-7)所示：

$$\frac{H_f}{H_d}=\cosh\left\{0.66\left(\frac{F}{H_f}\right)^{0.06}\left(\frac{D}{F}\right)^{0.25}\tanh\left[3\left(\frac{D}{F}\right)^{0.3}\right]\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2\text{-}6)$$

$$\frac{T_d}{T_f}=\cosh\left\{1.74\left(\frac{2\pi F}{gT_f^2}\right)^{-0.05}\left(\frac{D}{F}\right)^{0.2}\tanh\left[1.02\left(\frac{2\pi F}{gT_f^2}\right)^{-0.04}\left(\frac{D}{F}\right)^{0.32}\right]\right\}\cdots\cdots\cdots(2\text{-}7)$$

式中 $H_f$ 與 $T_f$ 及 $H_d$ 與 $T_d$ 分別為風浪及湧浪對應之波高與週期，F 表風浪成為湧浪前之風域長，D 為湧浪進行之減衰距離，當風浪一旦變成湧浪後，則假設其不再受風之影響。

(5) 氣象條件與風速之關係

颱風風速由兩種風速分量合成：

$$\vec{u} = \vec{u}_1 + \vec{u}_2 \cdots\cdots(2\text{-}8)$$

其中，$\vec{u}_1$ 為低氣壓及地球自轉角速度所引起之風速，$\vec{u}_2$ 則為颱風移動時帶動其周圍氣流所產生之風速，$\vec{u}_1$ 及 $\vec{u}_2$ 之大小可由式(2-9)和(2-10)計算。

$$u_1 = c_1\sqrt{\frac{\Delta P}{\rho_a}\frac{r_0}{r}e^{-\frac{r_0}{r}} + \left(\frac{fr}{2}\right)^2} - \frac{fr}{2} \cdots\cdots(2\text{-}9)$$

$$u_2 = c_2\frac{\sqrt{\frac{\Delta P}{\rho_a}\frac{r_0}{r}e^{-\frac{r_0}{r}} + \left(\frac{fr}{2}\right)^2} - \frac{fr}{2}}{\sqrt{\frac{\Delta P}{\rho_a}\frac{1}{e} + \left(\frac{fr_0}{2}\right)^2} - \frac{fr_0}{2}} \cdots\cdots(2\text{-}10)$$

式中 $\rho_a$ 為空氣密度；$r_0$ 為最大風速半徑；r 為求風速位置點與颱風中心之距離；f 為 Coriollis 係數=$2\omega\sin\varphi$；$\omega$ 為地球自轉角速度；$\varphi$ 為計算點之緯度；$c_1$ 為地面風速與傾度風速之比值，在臺灣地區風向與等壓線約成 30°且反時針向內吹，一般 $c_1$=0.6~0.7；$c_2$ 為 0.6；$\vec{u}_2$ 為方向同颱風之移動風向；ΔP 為氣壓深度或颱風中心氣壓 $P_c$ 與外圍氣壓 P(r)之差值，可由氣象雷達觀測估計或由如下之 Myers 公式計算

$$P(r) = P_c + \Delta P e^{-\frac{r_0}{r}} \cdots\cdots(2\text{-}11)$$

(6) 模擬範圍

颱風波浪之推算需有足夠之颱風資料，如颱風中心氣壓、颱風移動方向、進行速度以及最大風速半徑等，以做為颱風波浪模式之輸入條件。本研究以中央氣象局曾發佈之侵臺歷史颱風資料 (1940～2010 年)，篩選通過以麥寮港海域 (120.10°E，23.76°N) 為中心及臺中港海域 (120.42°E，24.30°N) 為中心，且颱風中心氣壓小於或等於 970 mb 者，共 114 組對計算區影響較大之颱風進行颱風波浪推算。再以推算所得之最大示性波高為樣本空間，利用迴歸分析的方式分別求得 10

年、20 年、25 年、50 年及 100 年重現期之颱風波浪，如表 2.23 表 2.24。

**表 2.23 臺中港外海各重現期之颱風波浪推算**

| 重現期 | 100 年 | | 50 年 | | 25 年 | | 20 年 | | 10 年 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 波向 | 波高 | 週期 | 波高 | 週期 | 波高 | 週期 | 波高 | 週期 | 波高 | 週期 |
| N | 8.0 | 11.9 | 7.4 | 11.4 | 6.6 | 10.8 | 6.4 | 10.6 | 5.6 | 9.9 |
| NNW | 7.9 | 11.8 | 7.2 | 11.3 | 6.4 | 10.6 | 6.1 | 10.4 | 5.2 | 9.6 |
| NW | 7.2 | 11.3 | 6.6 | 10.8 | 5.9 | 10.2 | 5.7 | 10.0 | 4.9 | 9.3 |
| WNW | 6.6 | 10.8 | 6.1 | 10.4 | 5.5 | 9.8 | 5.4 | 9.8 | 4.7 | 9.1 |
| W | 6.3 | 10.5 | 5.8 | 10.1 | 5.3 | 9.7 | 5.2 | 9.6 | 4.6 | 9.0 |
| WSW | 6.2 | 10.5 | 5.8 | 10.1 | 5.2 | 9.6 | 5.1 | 9.5 | 4.5 | 8.9 |
| SW | 5.7 | 10.0 | 5.2 | 9.6 | 4.7 | 9.1 | 4.5 | 8.9 | 4.0 | 8.4 |

單位：波高 (m)、週期 (sec)；本計畫推算。

**表 2.24 麥寮港外海各重現期之颱風波浪推算**

| 重現期 | 100 年 | | 50 年 | | 25 年 | | 20 年 | | 10 年 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 波向 | 波高 | 週期 | 波高 | 週期 | 波高 | 週期 | 波高 | 週期 | 波高 | 週期 |
| N | 6.4 | 10.6 | 5.9 | 10.2 | 5.3 | 9.7 | 5.1 | 9.5 | 4.5 | 8.9 |
| NNW | 5.6 | 9.9 | 5.1 | 9.5 | 4.6 | 9.0 | 4.4 | 8.8 | 3.8 | 8.2 |
| NW | 5.3 | 9.7 | 4.9 | 9.3 | 4.5 | 8.9 | 4.3 | 8.7 | 3.8 | 8.2 |
| WNW | 5.7 | 10.0 | 5.2 | 9.6 | 4.8 | 9.2 | 4.6 | 9.0 | 4.0 | 8.4 |
| W | 5.8 | 10.1 | 5.3 | 9.7 | 4.9 | 9.3 | 4.7 | 9.1 | 4.2 | 8.6 |
| WSW | 5.9 | 10.2 | 5.4 | 9.8 | 4.8 | 9.2 | 4.6 | 9.0 | 4.0 | 8.4 |
| SW | 6.3 | 10.5 | 5.6 | 9.9 | 4.9 | 9.3 | 4.7 | 9.1 | 3.9 | 8.3 |

單位：波高 (m)、週期 (sec)；本計畫推算。

### 2.2.3 海流

1 臺中海域

臺中港附近長期觀測站，本所港研中心於 2003 年 7 月安裝(挪威 NORTEK 公司)波高波向與剖面海流即時傳送監測系統，在臺中港北防波堤堤頭 150 公尺外，水深 25 公尺處(測站 X)，剖面海流流速的量測可以依照使用在不同水深即自固定在海床上之儀器位置到水表面來設定量測不同的間距，臺中港觀測站水深間距設定為 1 公尺；每小時

連續量測 600 秒，再將總和平均代表其數樣每一間距層之海流流速、流向等資料，記錄在感應器內，並每隔 1 小時經由海底電纜傳訊回接收站之電腦中儲存。而本中心彙整統計資料為表層資料。

臺中港海岸流況主要由沿岸流、風驅流、潮流及黑潮所組成，根據本所港研中心自 2003 年 8 月至 2011 年 11 月期間的海流觀測資料，歷年各月份之最大流速、平均流速及最多流向的統計結果如表 2.25~2.26 所示。其中於 2003 年~2006 年間，該測站平均流速在 34.9~57.0 cm/sec。主要流向夏季為 NNW 向和冬季為 W 向；2007 年~2011 年間，該測站平均流速在 32.6~45.7 cm/sec。主要流向夏季為 N 向和冬季則分佈在 WSW~W 之間，流向大致與 2003~2006 年間所量測的方向一致。2007 年~2011 年間之原始資料，有部分時間流速大於 100.0cm/sec 之海流資料有缺漏截斷之現象，因此在每月統計之流速最大值造成部分誤差之情況。歷年之平均流速與流向統計分析列於表 2.27~2.28；2003 年~2006 年之夏、冬兩季和各月份之海流玫瑰圖，分別於圖 2.19 和圖 2.20；2007 年~2011 年之夏、冬兩季和各月份之海流玫瑰圖，分別於圖 2.21 和圖 2.22。2003~2006 年夏季(4 至 9 月)平均流速在 30.9~44.4 cm/sec 之間，其流向以 NNW 為主；冬季 (10 月至隔年 3 月)平均流速在 47.2~55.2 cm/sec 之間，主要流向 W。2007~2011 年夏季平均流速在 37.5~42.0 cm/sec 之間，流向在 NNW~N 之間；冬季平均流速為在 36.3~41.7 cm/sec 之間，主要流向在 WSW~W 間。顯示歷年流速流向特性差異不大。

## 表 2.25 2003~2006 年度各月份資料浮標流速流向列表

| 測站 | 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 臺中港測站 | 最大 | 171.9 | 170.9 | 237.6 | 124.8 | 148.3 | 126.5 | 189.1 | 147.5 | 168.0 | 248.3 | 153.8 | 146.2 |
| | 平均 | 51.8 | 57.0 | 49.6 | 38.9 | 36.9 | 51.0 | 53.2 | 38.5 | 34.9 | 48.7 | 46.7 | 54.2 |
| | 流向 | W | W | W | W | NNW | NNW | NNW | NNW | NNW | W | W | W |

資料來源：本所港研中心，本計畫彙整統計；夏季:4~9 月，冬季:10~3 月；單位：流速(cm/sec)。

## 表 2.26 2007~2011 年度各月份資料浮標流速流向列表

| 測站 | 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 臺中港測站 | 最大 | 99.7 | 100.0 | 99.6 | 98.1 | 97.9 | 99.6 | 99.4 | 99.2 | 99.8 | 100.0 | 99.4 | 99.7 |
| | 平均 | 41.5 | 40.5 | 34.8 | 32.6 | 35.3 | 42.1 | 45.7 | 43.3 | 35.1 | 40.8 | 39.8 | 35.3 |
| | 流向 | W | W | NNW | N | N | N | N | N | N | N | WSW | WSW |

資料來源：本所港研中心，本計畫彙整統計；夏季:4~9 月，冬季:10~3 月；單位：流速(cm/sec)。

## 表 2-27 臺中港測站 2003~2006 年度各月份流速流向列表

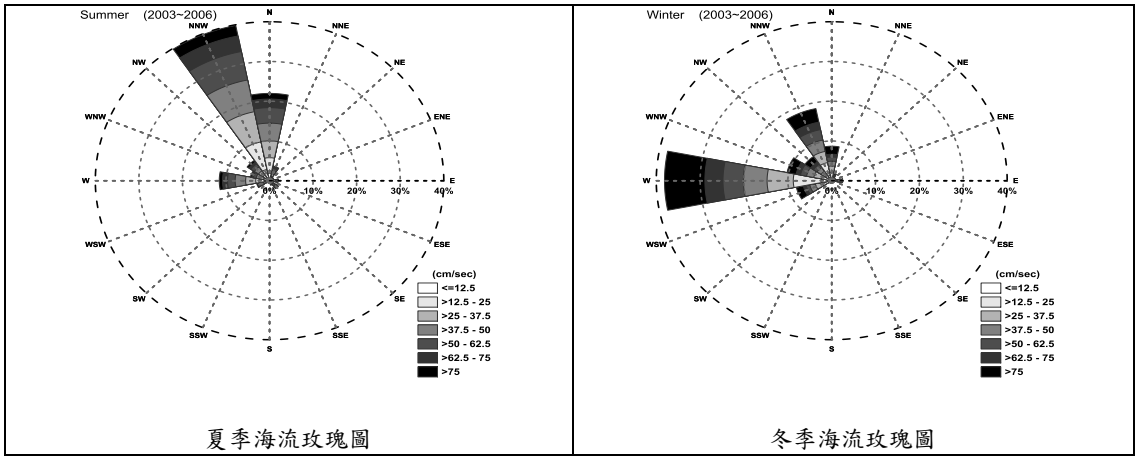
| 年度 | 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 夏季 | 冬季 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2003 | 最大 | - | - | - | - | - | - | - | 92.6 | 86.8 | 112.2 | 153.8 | 146.2 | 92.6 | 153.8 |
| | 平均 | - | - | - | - | - | - | - | 34.0 | 28.0 | 38.7 | 50.6 | 52.5 | 30.9 | 47.2 |
| | 流向 | - | - | - | - | - | - | - | NNW | W | W | W | W | NNW | W |
| 2004 | 最大 | 105.2 | 134.0 | 131.0 | 124.8 | 93.8 | 125.2 | 142.5 | 130.6 | 132.3 | 173.0 | 131.8 | 137.6 | 142.5 | 173.0 |
| | 平均 | 40.0 | 58.1 | 46.0 | 38.9 | 27.6 | 57.0 | 49.9 | 36.5 | 35.5 | 59.2 | 50.1 | 54.4 | 40.9 | 50.4 |
| | 流向 | W | W | NNW | W | NNW | SSE | NNW | NNW | N | W | W | W | NNW | W |
| 2005 | 最大 | 132.5 | 158.1 | 237.6 | 91.5 | 95.8 | 126.5 | 189.1 | 147.5 | 152.7 | 248.3 | 129.2 | - | 189.1 | 248.3 |
| | 平均 | 62.2 | 52.5 | 54.7 | 39.8 | 39.9 | 47.2 | 56.4 | 46.7 | 40.6 | 56.1 | 45.6 | - | 44.4 | 55.2 |
| | 流向 | W | W | W | NNW | NNW | NNW | N | NNW | NNW | NNW | W | - | NNW | W |
| 2006 | 最大 | 171.9 | 170.9 | 133.2 | 91.2 | 148.3 | 101.1 | 150.2 | 87.5 | 168.0 | 100.9 | 105.7 | 133.9 | 168.0 | 171.9 |
| | 平均 | 52.9 | 61.7 | 45.0 | 36.2 | 42.6 | 49.0 | 54.0 | 40.1 | 36.7 | 39.7 | 40.2 | 55.6 | 44.3 | 49.6 |
| | 流向 | W | W | W | W | W | NNW | NNW | NNW | NNW | NNW | W | W | NNW | W |

資料來源：本所港研中心，本計畫彙整統計；夏季:4~9 月，冬季:10~3 月；單位：流速(cm/sec)。

## 表 2-28 臺中港測站 2007~2011 年度各月份流速流向列表

| 年度 | 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 夏季 | 冬季 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2007 | 最大 | 99.7 | 99.2 | 99.5 | 98.1 | 95.0 | 96.0 | 92.5 | 98.7 | - | - | - | - | 98.7 | 99.7 |
| | 平均 | 46.0 | 38.0 | 38.4 | 33.4 | 37.6 | 44.1 | 46.0 | 45.6 | - | - | - | - | 40.9 | 40.9 |
| | 流向 | W | WSW | NNW | NNW | NNW | NNW | NNW | NNW | - | - | - | - | NNW | W |
| 2008 | 最大 | 99.2 | 100.0 | 96.2 | 96.9 | 97.9 | 97.0 | 97.4 | 99.2 | 99.8 | - | - | - | 99.8 | 100.0 |
| | 平均 | 43.6 | 47.7 | 32.1 | 31.3 | 46.4 | 43.3 | 45.3 | 45.7 | 41.4 | - | - | - | 42.0 | 40.4 |
| | 流向 | W | W | NNW | NNW | NNW | E | N | SSE | SSE | - | - | - | N | W |
| 2009 | 最大 | - | - | - | - | - | 99.6 | 99.4 | 96.0 | 88.9 | 100.0 | 99.0 | 96.4 | 99.6 | 100.0 |
| | 平均 | - | - | - | - | - | 49.7 | 43.9 | 36.9 | 33.3 | 46.1 | 41.9 | 37.2 | 39.8 | 41.7 |
| | 流向 | - | - | - | - | - | E | N | N | E | N | WSW | WSW | N | WSW |
| 2010 | 最大 | 99.5 | 100.0 | 99.6 | 84.8 | 87.9 | 86.4 | 94.3 | 93.8 | 94.1 | 99.9 | 99.4 | 99.7 | 94.3 | 100.0 |
| | 平均 | 35.6 | 36.5 | 33.7 | 33.2 | 28.6 | 36.5 | 46.4 | 44.5 | 35.0 | 40.2 | 37.8 | 31.6 | 37.5 | 36.3 |
| | 流向 | WSW | WSW | WSW | N | N | N | N | N | N | N | WSW | WSW | N | WSW |
| 2011 | 最大 | - | - | - | - | 95.2 | 88.4 | 85.0 | 93.5 | 72.9 | 99.8 | 96.5 | - | 95.2 | 99.8 |
| | 平均 | - | - | - | - | 32.4 | 41.4 | 46.6 | 42.2 | 31.5 | 36.2 | 39.6 | - | 38.9 | 37.8 |
| | 流向 | - | - | - | - | WSW | N | N | N | N | N | WSW | - | N | WSW |

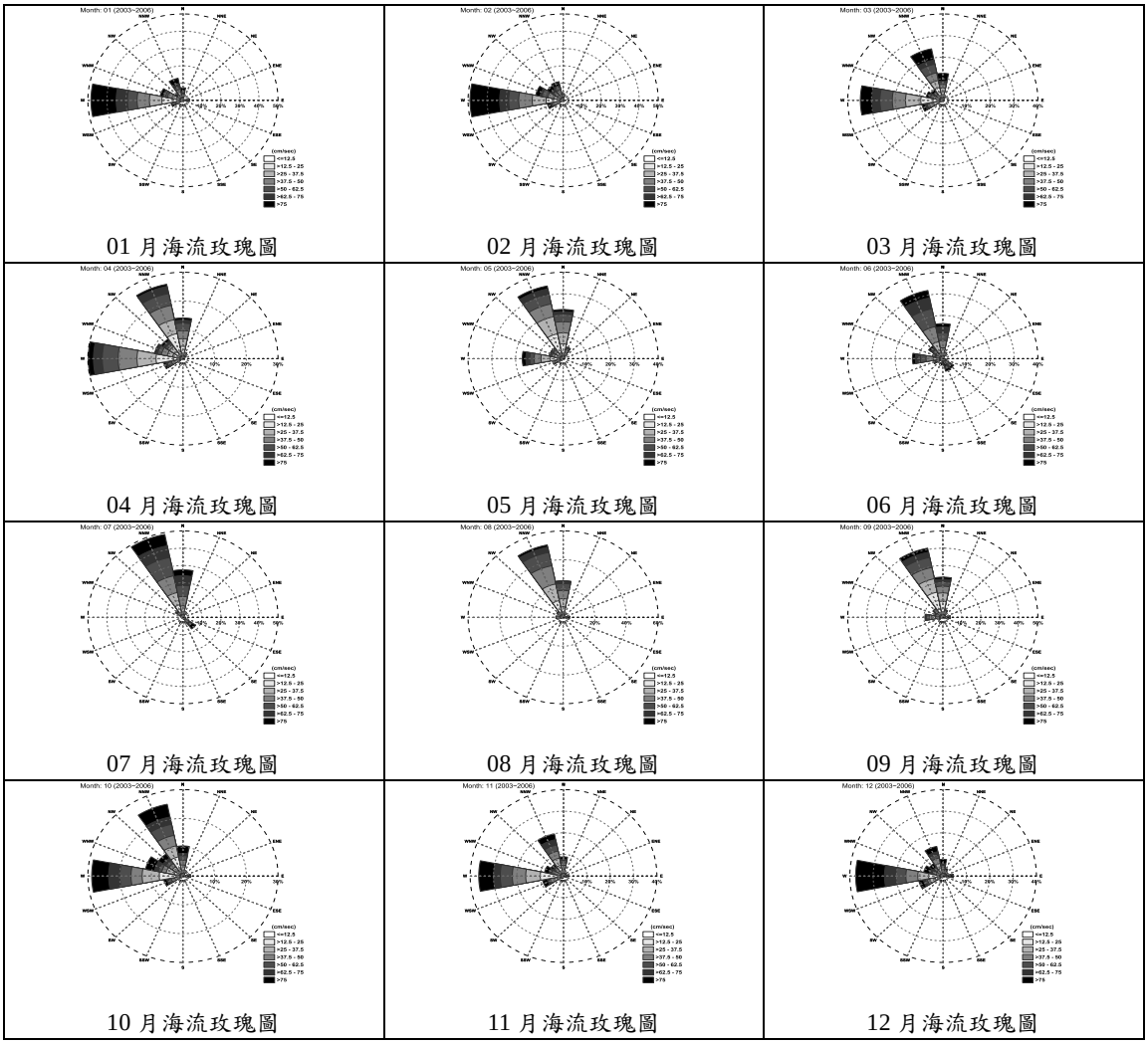
資料來源：本所港研中心，本計畫彙整統計；夏季:4~9 月，冬季:10~3 月；單位：流速(cm/sec)。




夏季海流玫瑰圖　　冬季海流玫瑰圖

資料來源：本所港研中心，本計畫統計繪製；統計期間: 2003~2006 年。單位：流速(cm/s)

**圖 2.19 臺中港測站之流速流向玫瑰圖(2003~2006)**



01 月海流玫瑰圖　　02 月海流玫瑰圖　　03 月海流玫瑰圖

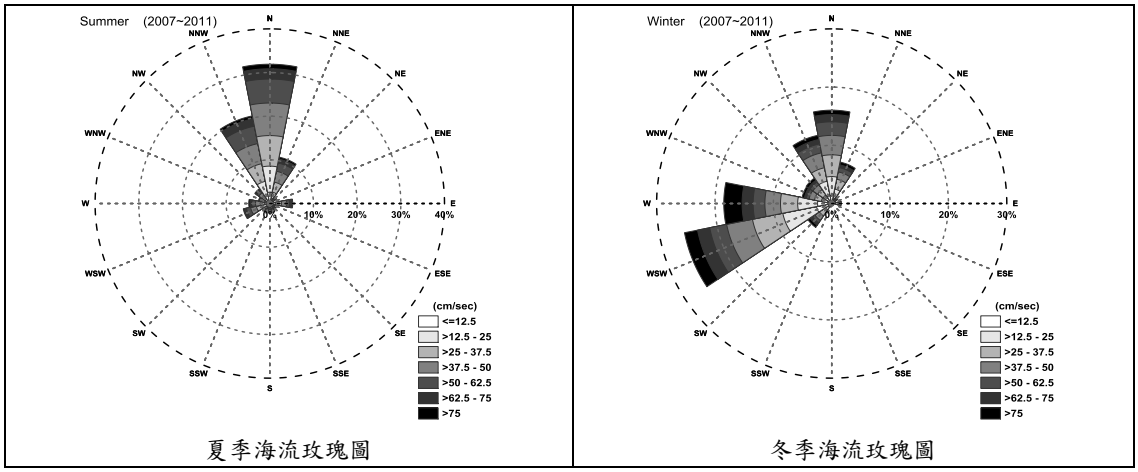
04 月海流玫瑰圖　　05 月海流玫瑰圖　　06 月海流玫瑰圖

07 月海流玫瑰圖　　08 月海流玫瑰圖　　09 月海流玫瑰圖

10 月海流玫瑰圖　　11 月海流玫瑰圖　　12 月海流玫瑰圖

資料來源：本所港研中心，本計畫統計繪製；統計期間:2003~2006 年。單位：流速(cm/s)

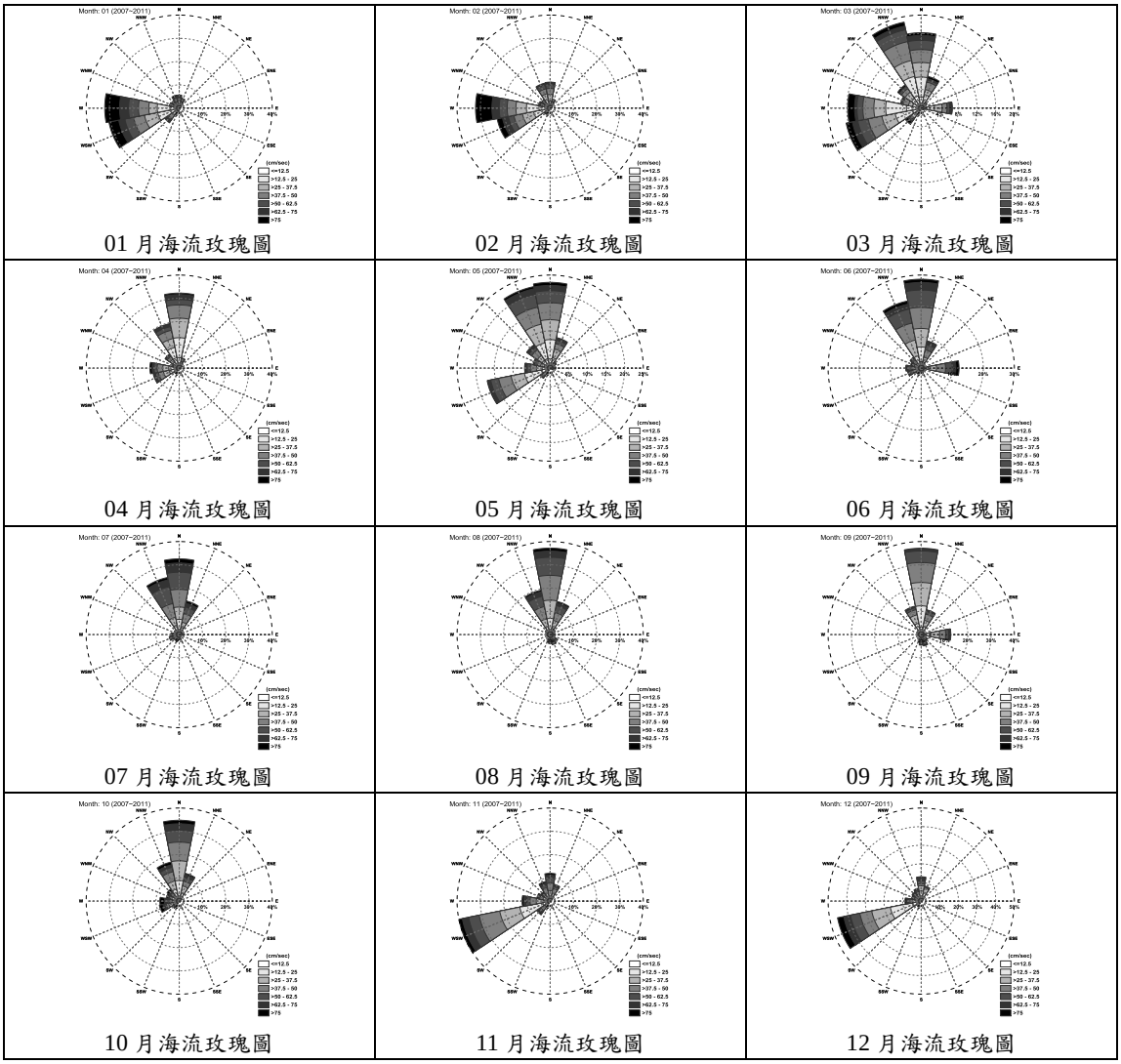
**圖 2.20 臺中港測站逐月之流速流向玫瑰圖(2003~2006)**




夏季海流玫瑰圖　　冬季海流玫瑰圖

資料來源：本所港研中心，本計畫統計繪製；統計期間: 2007~2011 年。單位：流速(cm/s)

**圖 2.21　臺中港測站之流速流向玫瑰圖**(2007~2011)



01 月海流玫瑰圖　02 月海流玫瑰圖　03 月海流玫瑰圖

04 月海流玫瑰圖　05 月海流玫瑰圖　06 月海流玫瑰圖

07 月海流玫瑰圖　08 月海流玫瑰圖　09 月海流玫瑰圖

10 月海流玫瑰圖　11 月海流玫瑰圖　12 月海流玫瑰圖

資料來源：本所港研中心，本計畫統計繪製；統計期間:2007~2011 年。單位：流速(cm/s)

**圖 2.22 臺中港測站逐月之流速流向玫瑰圖**(2007~2011)

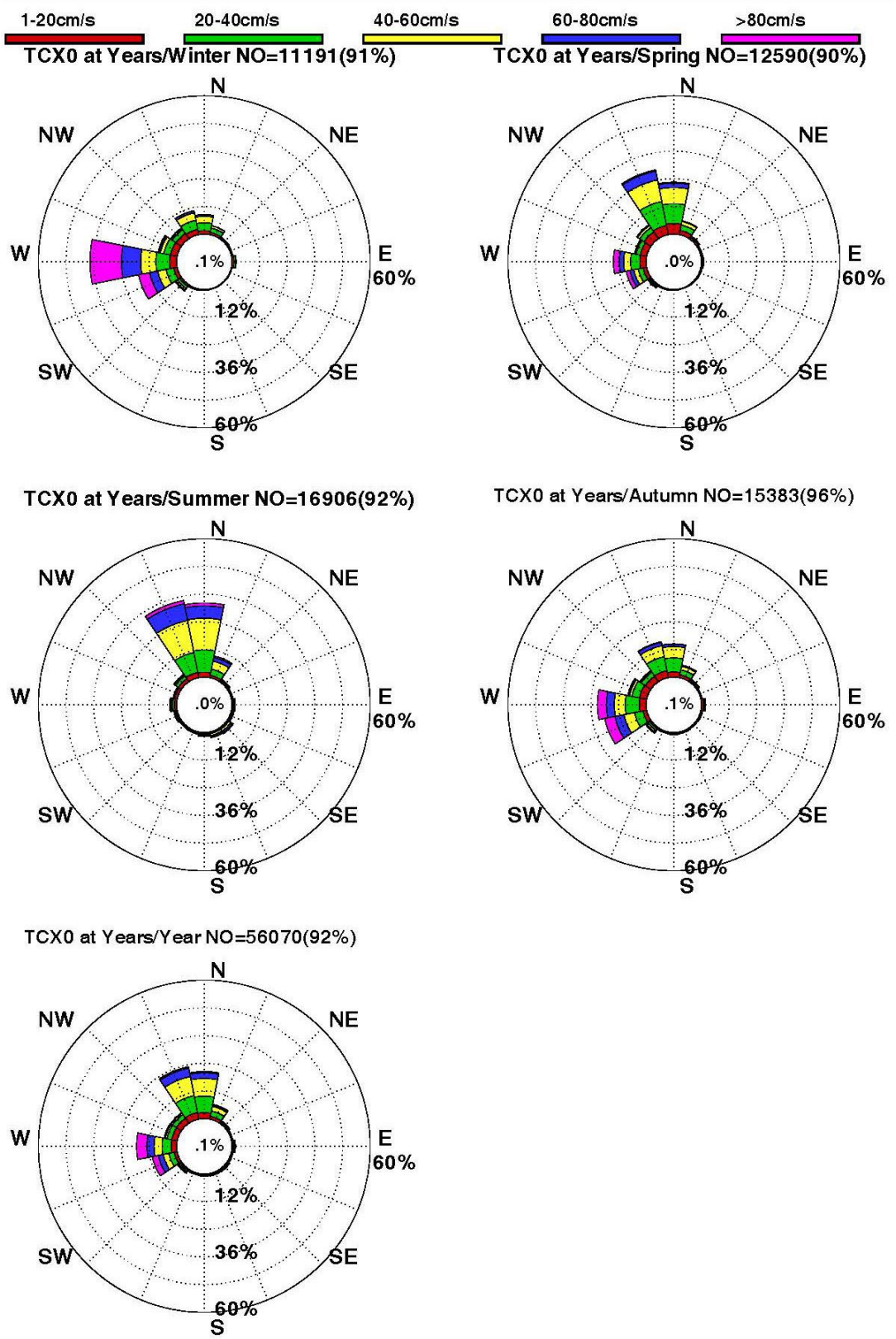
根據「2011 年港灣海氣地象觀測資料年報(臺中港)」資料，由表 2.29 可知，港區附近主要流向為西至北向，約佔歷年觀測的 53.6%；其次為南至西向，約佔歷年觀測的 23.6%。流速小於 25 cm/sec 以下者，約佔歷年觀測的 25.9%；流速介於 25-50 cm/sec 之間，約佔歷年觀測的 38.2%；流速介於 50-100 cm/sec 之間，約佔歷年觀測的 31.6%；流速大於 100 cm/sec 以上者，約佔歷年觀測的 4.0%。歷年之平均流速為 44.3 cm/sec；最大流速為 248.3 cm/sec，其流向為西向。

圖 2.23 為歷年每季觀測海流玫瑰圖，由圖可知歷年冬季流向以西向為主，並以 80cm/s 流速為最多，而春季主要流向為 NWN 至 N 向，流速以 40-60cm/s 為主；夏季流向則集中在 NWN 至 NEN 向，流速以 40-60cm/s 為主，而秋季流向 WSW 至 NEN 向為多。

**表 2.29 臺中港歷年海流之流速及流向統計表**

| 月份 | 平均流速 (cm/s) | 最大流速 | | 流速 <25cm/s (%) | 流速 25~50 cm/s (%) | 流速 50~100 cm/s (%) | 流速 >100cm/s (%) | 流向 N~E (%) | 流向 E~S (%) | 流向 S~W (%) | 流向 W~N (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 流速 (cm/s) | 流向 (˚) | | | | | | | | |
| 01 | 52.40 | 182.90 | W | 25.30 | 28.80 | 35.70 | 10.20 | 7.70 | 1.70 | 44.30 | 46.30 |
| 02 | 51.10 | 170.90 | W | 23.20 | 33.90 | 33.50 | 9.10 | 11.60 | 1.20 | 35.30 | 51.70 |
| 03 | 42.80 | 237.60 | W | 32.20 | 35.40 | 27.60 | 4.70 | 20.70 | 1.90 | 26.50 | 50.80 |
| 04 | 36.30 | 193.90 | WSW | 36.00 | 39.90 | 22.80 | 1.20 | 16.90 | 2.50 | 19.90 | 60.50 |
| 05 | 36.40 | 150.00 | WSW | 33.40 | 42.60 | 22.70 | 0.90 | 20.20 | 1.80 | 12.60 | 65.00 |
| 06 | 46.20 | 189.00 | NNE | 16.70 | 41.40 | 40.30 | 1.10 | 25.60 | 10.30 | 6.30 | 57.30 |
| 07 | 49.60 | 189.10 | W | 14.70 | 36.40 | 46.00 | 2.60 | 27.60 | 6.00 | 5.40 | 60.70 |
| 08 | 41.60 | 147.50 | W | 21.00 | 46.50 | 31.70 | 0.50 | 24.80 | 9.50 | 4.40 | 61.00 |
| 09 | 36.40 | 240.20 | WNW | 35.40 | 41.70 | 20.60 | 2.10 | 21.30 | 6.00 | 19.50 | 53.00 |
| 10 | 47.80 | 248.30 | W | 24.90 | 35.50 | 32.90 | 6.60 | 8.90 | 1.20 | 44.50 | 45.30 |
| 11 | 45.30 | 182.60 | WSW | 25.80 | 38.30 | 30.80 | 4.80 | 14.20 | 2.90 | 37.00 | 45.60 |
| 12 | 48.10 | 146.20 | W | 28.30 | 31.60 | 31.60 | 8.40 | 11.60 | 1.70 | 49.00 | 37.70 |
| 冬 | 50.70 | 182.90 | W | 25.50 | 31.30 | 33.80 | 9.30 | 10.10 | 1.50 | 42.70 | 45.50 |
| 春 | 38.30 | 237.60 | W | 33.80 | 39.50 | 24.20 | 2.20 | 19.40 | 2.10 | 19.10 | 59.20 |
| 夏 | 45.70 | 189.10 | W | 17.60 | 41.50 | 39.20 | 1.40 | 26.00 | 8.60 | 5.40 | 59.80 |
| 秋 | 43.00 | 248.30 | W | 29.00 | 38.60 | 27.80 | 4.40 | 14.90 | 3.40 | 33.20 | 48.20 |
| 年 | 44.30 | 248.30 | W | 25.90 | 38.20 | 31.60 | 4.00 | 18.30 | 4.30 | 23.60 | 53.60 |

資料來源：「2011 年港灣海氣地象觀測資料年報(臺中港)」，本所港研中心，102 年 2 月。

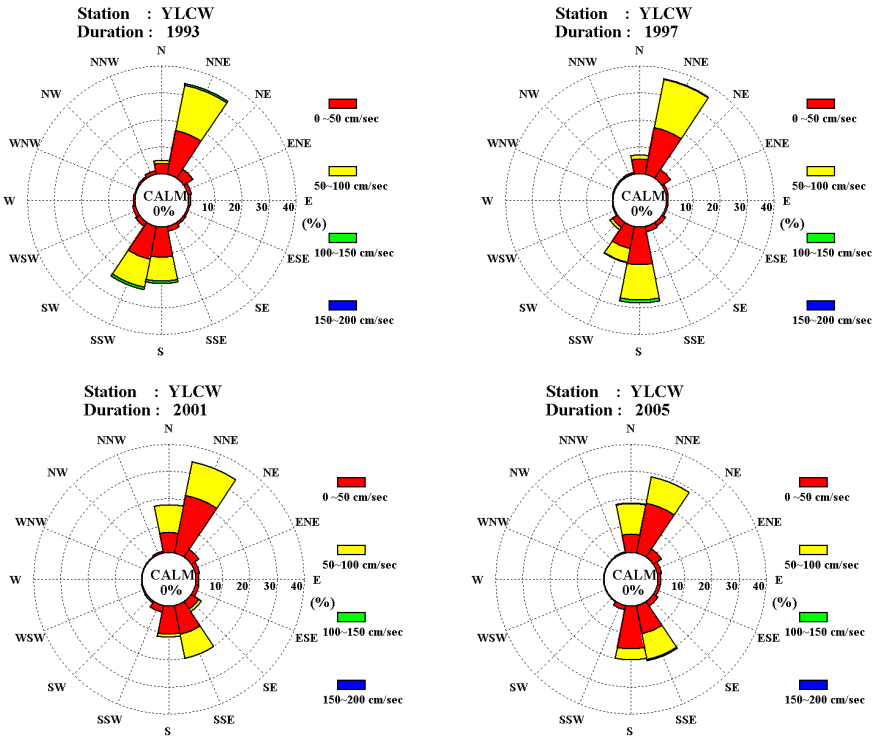



資料來源：「「2011 年港灣海氣地象觀測資料年報(臺中港)」，本所港研中心，102 年 2 月。

**圖 2.23 臺中港歷年每季觀測海流玫瑰圖**

2. 雲林海域

成大水工所自民國 80 年開始持續對離島工業區海域之海流流況進行調查與監測，由歷年之調查結果顯示離島工業區海域海流主要是由潮流、風驅流以及長期平均流三項成份組合而成 (成大水工所，1997)。離島工業區外海流況以潮流沿岸往復運動為主，平均振幅約為 60~100 cm/sec。流向則大致上平行海岸線。其中麥寮與海豐區以及麥寮西堤的影響，顯示漲潮流向仍以 NNE 居多，但退潮流向已受麥寮港西堤延伸的影響。圖 2.24 為 YLCW 測站自 1992~2006 年之海流玫瑰圖，由圖可知，麥寮港西南側之流速、流向受海岸線變化，漲潮流向以 NNE 居多，但退潮流向受麥寮西堤向西南延伸的影響，未築堤前原本 SSW 較多、S 向流次之的狀況，隨著築堤過程中，變成以 S 向為主，而目前築堤完成後再轉為以 SSE 為主的情況。




資料來源：「雲林離島式基礎工業區整體環境資源管理評估－96 年度(第 16 年)－(96 年 1 月～96 年 12 月)」第 1 部份第 1 冊，96 年 12 月。

**圖 2.24 雲林海域 YLCW 測站歷年之流速流向玫瑰圖**

分析 YLCW 測站歷年 (1992~2013 年) 之流速流向資料，列於下表 2.30 中。各月份之最大流速、平均流速及最多流向，結果如表所示。

該測站平均流速在 38.1~43.8 cm/sec。主要流向為 NNE 向和 S 向。歷年平均流速與流向統計分析列於表 2.31；夏、冬兩季和各月份之海流玫瑰圖，分別於圖 2.25 和圖 2.26。觀測期間夏季(4 至 9 月)平均流速在 38.4~50.8 cm/sec 之間，其流向以 N~NNW 和 S~SSE 兩個區間為主；冬季 (10 月至隔年 3 月)平均流速在 37.9~52.6 cm/sec 之間，主要流向以 N~NNW 和 S~SSE 兩個區間為主。

**表 2.30 1992~2013 年度各月份資料浮標流速流向列表**

| 測站 | 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| YLCW 測站 | 最大 | 184.1 | 199.4 | 188.1 | 150.6 | 127.7 | 209.8 | 152.2 | 173.4 | 186.9 | 235.8 | 166.5 | 198.1 |
| | 平均 | 42.6 | 42.4 | 42.3 | 41.5 | 38.1 | 42.5 | 43.4 | 43.8 | 43.1 | 41.6 | 41.6 | 43.4 |
| | 流向 | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE |

資料來源：成大水工所，本計畫彙整統計；夏季:4~9 月，冬季:10~3 月；單位：流速(cm/sec)。

## 表 2.31 YLCW 測站 1992~2013 年度各月份流速流向列表

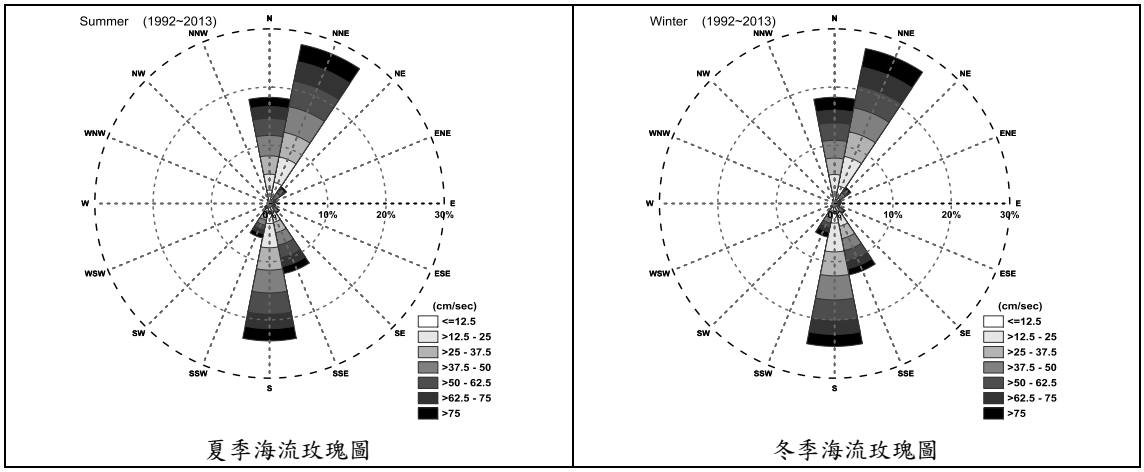
| 年度 | 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 夏季 | 冬季 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1992 | 最大 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 132.6 | - | 132.6 |
| | 平均 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 52.6 | - | 52.6 |
| | 流向 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | NNE | - | NNE |
| 1993 | 最大 | 122.7 | 121.2 | 127.1 | 113.1 | 82.7 | 95.3 | 115.1 | 115.4 | 122.5 | 121.2 | 133.9 | 121.8 | 122.5 | 133.9 |
| | 平均 | 45.5 | 52.7 | 49.4 | 42.9 | 29.2 | 37.7 | 49.6 | 46.8 | 40.9 | 43.1 | 41.9 | 35.8 | 41.6 | 44.5 |
| | 流向 | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | SSW | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | S | NNE | NNE |
| 1994 | 最大 | 85.5 | - | - | 121.2 | 107.1 | 106.9 | 120.5 | - | - | - | 108.2 | 148.8 | 121.2 | 148.8 |
| | 平均 | 29.7 | - | - | 36.7 | 40.4 | 36.0 | 53.8 | - | - | - | 49.0 | 57.4 | 38.9 | 47.1 |
| | 流向 | NNE | - | - | NNE | S | NNE | NNE | - | - | - | NNE | NNE | NNE | NNE |
| 1995 | 最大 | 146.5 | 155.8 | 95.3 | 127.2 | 125.2 | 94.8 | 116.7 | 126.8 | 128.4 | 114.9 | 125.1 | - | 128.4 | 155.8 |
| | 平均 | 48.4 | 53.8 | 42.1 | 52.3 | 38.7 | 44.1 | 61.0 | 56.1 | 56.3 | 51.8 | 45.8 | - | 50.8 | 47.5 |
| | 流向 | S | S | SSW | NNE | NNE | NNE | S | NNE | NNE | NNE | S | - | NNE | S |
| 1996 | 最大 | - | 106.2 | 139.4 | 101.2 | 17.6 | 105.3 | - | 110.6 | 77.8 | 108.8 | 166.5 | - | 110.6 | 166.5 |
| | 平均 | - | 46.7 | 51.1 | 36.2 | 8.2 | 49.9 | - | 55.3 | 29.9 | 47.3 | 47.4 | - | 43.6 | 48.2 |
| | 流向 | - | NNE | S | S | NNE | NNE | - | S | S | SSE | NNE | - | S | NNE |
| 1997 | 最大 | 73.9 | 111.2 | 115.5 | 113.7 | 108.2 | 105.8 | 99.6 | - | 90.6 | 145.0 | 157.8 | 165.9 | 113.7 | 165.9 |
| | 平均 | 44.0 | 50.4 | 46.6 | 43.7 | 38.7 | 41.4 | 41.2 | - | 40.4 | 41.0 | 45.3 | 48.7 | 41.2 | 45.7 |
| | 流向 | N | N | NNE | NNE | NNE | S | NNE | - | S | S | S | S | NNE | S |
| 1998 | 最大 | 147.6 | 97.0 | - | 107.1 | 123.2 | 59.1 | 105.2 | 106.1 | - | 235.8 | 116.9 | 135.9 | 123.2 | 235.8 |
| | 平均 | 45.6 | 47.8 | - | 54.8 | 38.4 | 34.2 | 44.2 | 47.4 | - | 40.6 | 37.1 | 51.7 | 43.7 | 42.4 |
| | 流向 | NNE | NNE | - | NNE | NNE | S | S | NNE | - | S | S | NNE | S | NNE |
| 1999 | 最大 | 127.8 | 157.7 | 176.9 | 150.6 | 69.9 | 87.3 | 98.2 | 96.8 | 85.9 | 101.9 | - | - | 150.6 | 176.9 |
| | 平均 | 50.0 | 46.1 | 49.3 | 45.6 | 26.2 | 41.3 | 45.7 | 42.5 | 46.4 | 45.1 | - | - | 41.5 | 47.8 |
| | 流向 | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | S | NNE | NNE | S | S | - | - | NNE | NNE |
| 2000 | 最大 | 119.8 | 111.7 | 106.3 | 105.7 | 87.7 | - | 100.1 | 115.4 | 94.6 | 105.6 | 104.2 | 50.9 | 115.4 | 119.8 |
| | 平均 | 41.8 | 42.8 | 42.3 | 45.3 | 32.2 | - | 42.1 | 41.8 | 39.6 | 37.8 | 34.1 | 21.6 | 41.3 | 39.5 |
| | 流向 | NNE | S | S | S | S | - | S | S | NNE | NNE | NNE | S | S | NNE |
| 2001 | 最大 | 101.2 | 106.7 | 97.7 | 74.9 | 94.3 | 155.5 | 108.8 | 103.3 | 112.2 | 111.7 | 117.6 | 97.2 | 155.5 | 117.6 |
| | 平均 | 38.6 | 37.9 | 35.1 | 32.7 | 37.0 | 40.7 | 42.5 | 40.7 | 39.8 | 41.8 | 37.1 | 35.5 | 39.4 | 37.9 |
| | 流向 | NNE | NNE | S | S | S | S | S | S | S | S | NNE | N | S | S |

資料來源：成大水工所，本計畫彙整統計；夏季:4~9 月，冬季:10~3 月；單位：流速(cm/sec)。

## 表 2.31(續) YLCW 測站 1992~2013 年度各月份流速流向列表

| 年度 | 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 夏季 | 冬季 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2002 | 最大 | 83.1 | 88.9 | 87.4 | - | - | 96.1 | 101.2 | 108.5 | 116.4 | 126.0 | - | 105.6 | 116.4 | 126.0 |
| | 平均 | 36.7 | 43.7 | 41.5 | - | - | 42.8 | 39.8 | 40.5 | 39.8 | 38.9 | - | 40.4 | 40.5 | 39.3 |
| | 流向 | N | NNE | NNE | - | - | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | - | N | NNE | NNE |
| 2003 | 最大 | 103.1 | 98.0 | 96.3 | 102.5 | 102.3 | - | 96.8 | 106.9 | 109.1 | 106.6 | 113.1 | 114.5 | 109.1 | 114.5 |
| | 平均 | 42.2 | 40.0 | 38.6 | 38.9 | 43.6 | - | 39.9 | 41.5 | 43.6 | 37.6 | 39.7 | 40.1 | 41.2 | 39.7 |
| | 流向 | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | - | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE |
| 2004 | 最大 | 100.2 | 112.6 | 111.8 | 109.4 | 95.9 | 93.6 | 107.6 | 101.0 | 103.7 | 115.4 | 124.4 | 128.6 | 109.4 | 128.6 |
| | 平均 | 41.2 | 38.6 | 36.7 | 39.5 | 38.7 | 44.5 | 44.5 | 43.1 | 42.0 | 35.5 | 41.5 | 43.5 | 42.0 | 40.0 |
| | 流向 | N | N | N | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE |
| 2005 | 最大 | 115.5 | 115.6 | 114.3 | 101.4 | 107.9 | 109.3 | 101.1 | 122.0 | 130.0 | 118.2 | 115.7 | 118.7 | 130.0 | 118.7 |
| | 平均 | 41.2 | 42.6 | 42.7 | 41.2 | 39.1 | 43.8 | 41.0 | 39.8 | 43.1 | 41.6 | 40.6 | 39.9 | 41.1 | 41.4 |
| | 流向 | NNE | NNE | N | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | N | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE |
| 2006 | 最大 | 100.0 | 104.4 | 104.7 | 92.2 | 104.8 | 112.4 | 152.2 | 92.7 | 76.3 | 109.6 | 103.6 | 106.5 | 152.2 | 109.6 |
| | 平均 | 40.8 | 38.2 | 39.1 | 37.8 | 36.9 | 41.0 | 40.3 | 38.9 | 33.0 | 41.1 | 39.4 | 41.0 | 38.4 | 40.1 |
| | 流向 | N | NNE | NNE | N | NNE | NNE | NNE | NNE | NNE | N | N | N | NNE | NNE |
| 2007 | 最大 | 95.9 | 95.3 | 115.2 | 119.9 | 100.9 | 97.4 | 98.8 | 102.5 | 111.5 | 145.9 | 143.3 | 113.8 | 119.9 | 145.9 |
| | 平均 | 39.0 | 38.2 | 38.7 | 40.7 | 35.6 | 40.2 | 39.2 | 46.3 | 45.4 | 50.2 | 43.4 | 40.0 | 41.3 | 40.8 |
| | 流向 | N | NNE | N | NNE | NNE | SSE | N | NNE | NNE | SSE | SSE | NNE | NNE | NNE |
| 2008 | 最大 | 121.3 | 119.0 | 84.1 | 95.9 | 88.0 | 108.5 | 134.6 | 124.3 | 186.9 | 112.6 | 155.6 | 155.3 | 186.9 | 155.6 |
| | 平均 | 40.2 | 39.6 | 36.5 | 39.7 | 38.5 | 52.4 | 47.9 | 45.2 | 51.7 | 47.1 | 41.7 | 42.7 | 44.8 | 40.7 |
| | 流向 | NNE | NNE | N | N | N | N | NNE | NNE | NNE | NNE | SSE | NNE | NNE | NNE |
| 2009 | 最大 | 164.5 | 139.6 | 182.6 | 150.3 | 93.7 | 158.7 | 116.0 | 96.2 | 107.1 | - | 165.6 | 160.3 | 158.7 | 182.6 |
| | 平均 | 44.4 | 41.3 | 43.5 | 42.0 | 40.5 | 43.4 | 45.0 | 35.0 | 44.6 | - | 43.4 | 42.7 | 42.2 | 43.1 |
| | 流向 | NNE | N | NNE | N | NNE | N | NNE | N | S | - | NNE | NNE | NNE | NNE |
| 2010 | 最大 | 116.3 | 149.6 | 134.8 | 113.4 | 93.6 | 102.0 | 146.3 | 123.2 | 159.4 | 132.9 | 133.6 | 198.1 | 159.4 | 198.1 |
| | 平均 | 41.8 | 41.8 | 43.9 | 40.1 | 38.0 | 39.8 | 42.7 | 41.0 | 45.1 | 41.9 | 39.9 | 41.1 | 41.1 | 41.7 |
| | 流向 | S | S | S | NNE | N | N | N | N | S | N | S | N | N | S |
| 2011 | 最大 | 146.7 | 128.4 | 153.1 | 116.4 | 99.2 | 100.4 | 111.1 | 173.4 | 118.3 | 127.4 | 126.6 | 177.6 | 173.4 | 177.6 |
| | 平均 | 45.2 | 41.0 | 42.3 | 39.5 | 37.0 | 38.0 | 41.5 | 45.0 | 42.1 | 46.1 | 42.8 | 49.6 | 40.5 | 44.3 |
| | 流向 | S | SSE | S | S | S | N | N | N | N | N | S | N | N | S |
| 2012 | 最大 | 153.7 | 169.0 | 141.7 | 112.8 | 127.7 | 209.8 | 109.5 | 148.5 | 183.5 | 129.4 | 165.1 | 190.3 | 209.8 | 190.3 |
| | 平均 | 44.8 | 42.9 | 42.1 | 44.4 | 44.4 | 52.0 | 47.5 | 48.1 | 46.5 | 46.0 | 45.1 | 48.6 | 47.1 | 44.7 |
| | 流向 | S | S | S | S | S | N | S | NNE | S | N | S | S | S | S |
| 2013 | 最大 | 184.1 | 199.4 | 188.1 | 104.0 | 110.7 | 128.9 | - | - | - | - | - | - | 128.9 | 199.4 |
| | 平均 | 47.4 | 46.6 | 43.1 | 42.6 | 43.0 | 44.3 | - | - | - | - | - | - | 43.3 | 45.7 |
| | 流向 | S | N | S | N | N | S | - | - | - | - | - | - | N | S |

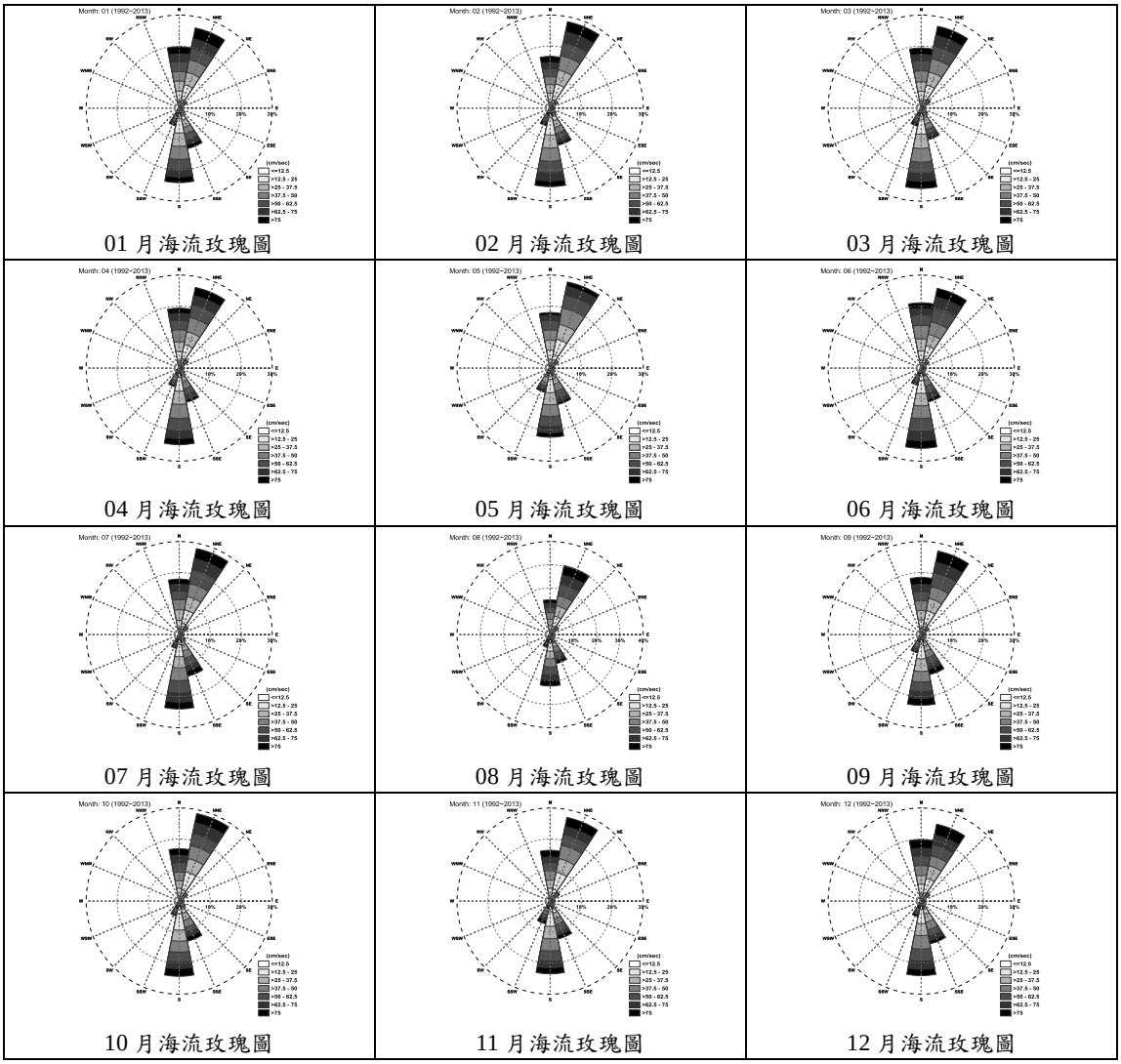
資料來源：成大水工所，本計畫彙整統計；夏季:4~9 月，冬季:10~3 月；單位：流速(cm/sec)。




夏季海流玫瑰圖　　冬季海流玫瑰圖

資料來源：成大水工所，本計畫統計繪製；統計期間:1992~2013 年。單位：流速(cm/s)

**圖 2.25 麥寮(YLCW)測站之流速流向玫瑰圖**



01 月海流玫瑰圖　　02 月海流玫瑰圖　　03 月海流玫瑰圖

04 月海流玫瑰圖　　05 月海流玫瑰圖　　06 月海流玫瑰圖

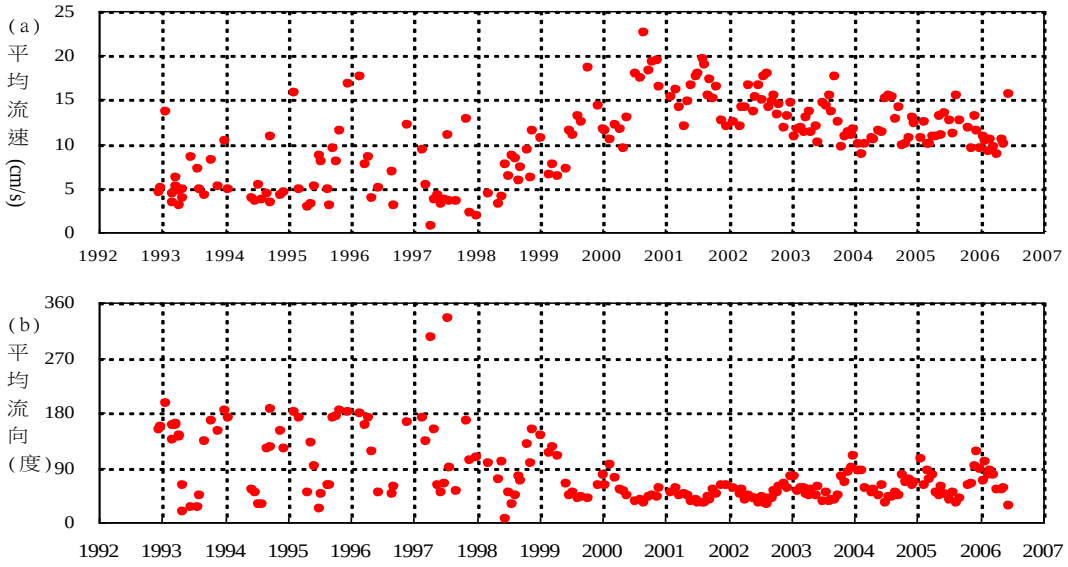
07 月海流玫瑰圖　　08 月海流玫瑰圖　　09 月海流玫瑰圖

10 月海流玫瑰圖　　11 月海流玫瑰圖　　12 月海流玫瑰圖

資料來源：成大水工所，本計畫統計繪製；統計期間:1992~2013 年。單位：流速(cm/s)

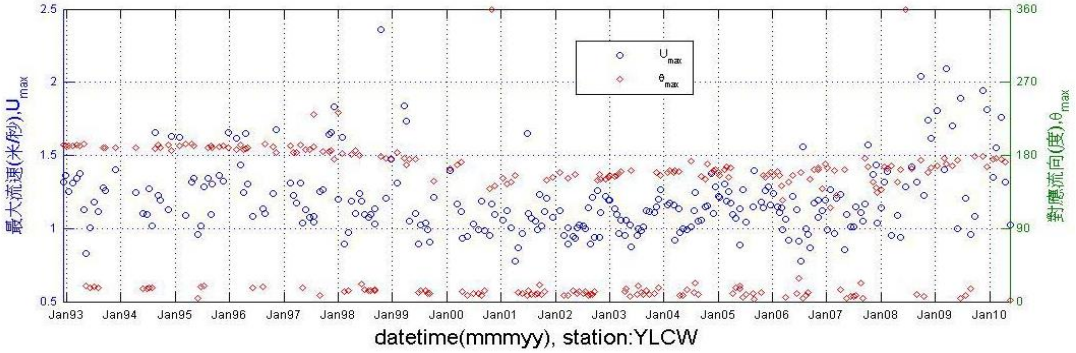
**圖 2.26 麥寮(YLCW)逐月之流速流向玫瑰圖**

由圖 2.27，YLCW 測站歷年平均流速之變化情形，自 1999 年後呈現逐年上升之趨勢，直到 2001 後趨於穩定，流速值約為 15 cm/sec；而且自 1999 年後海流之平均流向由東北季風期往南且非東北季風期往東北之趨勢，改變為長年往東北東方向。圖 2.28 為 YLCW 歷年最大流速與對應流向 (賴等人，2010)，流速於 2000 年前變動範圍較廣，無明顯之變化週期，主要流向多為北北東或南南西~南向。2000 年之後流速集中於 30~50cm/s，大致以夏季時期有較大值，主流向則以北北東或北為主，部分東北季風時期為南南西向，2007 年後主流向改以南或北向為主。而由最大流速與對應流向來看，最大流速同樣於 2000 年前有較大之變動範圍，大致在 100~200cm/s，其對應流向以北北東或南南西為主，2000 年後最大流速有減弱之趨勢至 2007 年多為 100~150cm/s，對應流向變為北北東或南南東，2007 年之後最大流速有增大之趨勢同 2000 年前為 100~200 cm/s，但對應流向以北北東或南，其中東北季風期有較大值 (流向南)。圖 2.29 為 YLCW 歷年之淨流流況變化情形 (賴等人，2010)，依麥寮工業港興建時間點，大致上可分為興建前、興建過程中及興建完成後等三個階段。1992~1999 年為興建前階段，流況尚未受影響，每年的 9 月中旬至隔年 3 月間為東北季風期，月淨流流速在 10~17cm/s 之間，流向大部份為南，4、5 月氣候轉型期時，平均流速降至 5 cm/s 以下，流向偏東；6、7 月西南風佔優勢，淨流流向以東北為主，流速約 5～8cm/s。1999 年冬季~2001 年為興建過程中階段，海域之流況逐漸受麥寮工業港西防波堤興建影響，期間海流之淨流流向幾乎整年往東北東，變動範圍小，淨流流速也逐年增加。2002 年興建完成後至今，其淨流流速有逐年遞減之趨勢，另外其淨流流向之變化範圍也逐年增加。



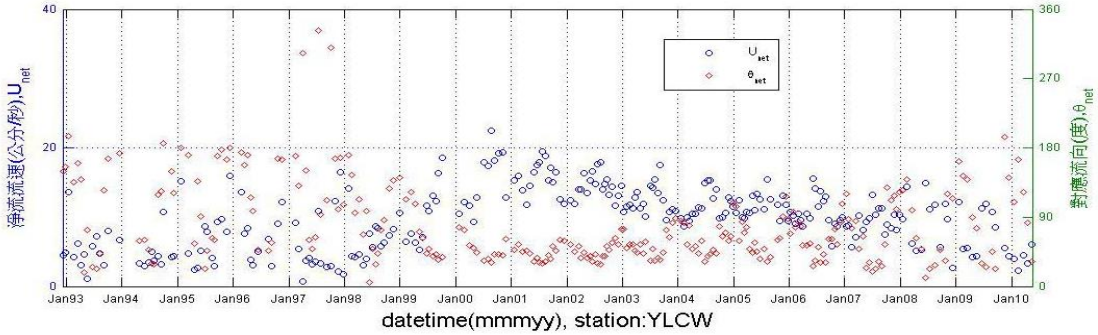

資料來源：「雲林離島式基礎工業區整體環境資源管理評估－96 年度(第 16 年)－(96 年 1 月～96 年 12 月)」第 1 部份第 1 冊，96 年 12 月。

**圖 2.27 雲林海域 YLCW 測站歷年之平均流速與流向變化圖**




資料來源：賴等人，「雲林海岸長期海象環境變化分析」，海岸開發行為經濟與環保並重－雲林離島式基礎工業區環境監測成果研討會論文集，99 年 10 月。

**圖 2.28 雲林海域 YLCW 歷年之最大流速與對應流向圖**

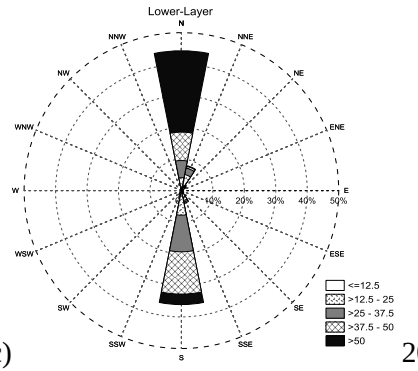



資料來源：賴等人，「雲林海岸長期海象環境變化分析」，海岸開發行為經濟與環保並重－雲林離島式基礎工業區環境監測成果研討會論文集，99 年 10 月。

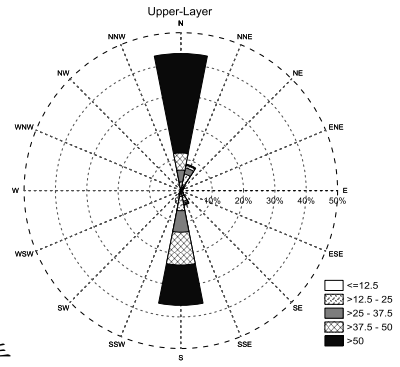
**圖 2.29 雲林海域 YLCW 歷年之淨流流速與流向圖**

雲林麥寮海域在 1998 年至 2002 年期間之地形水深資料顯示，海域 15m 等深線之走向約在 15 度左右，漲潮時海流沿岸北上，流向以北北東居多，並不受港口興建之影響，但退潮時段，海流由北而下，未築堤前原本南南西較多 (即沿海岸地形等深線而南下，與漲潮流對稱 )，但在圍堤興建港口等海岸結構物後，變成以南向為主，築堤完成後轉為以南南東為主，由於漲退潮流向不對稱，形成殘差流，其平均流向指向東北 ~東北東之間。此外，西防波堤結構物自 2002 年興建完成後，至 2007 年之期間，麥寮港與新興區間之海域地形變化，其等深線也逐年向外移動，即該海域有淤積情形，在此一情況下，其漲退潮流況也隨之變化，其中漲潮流向較不受影響，流向仍以北北東居多，但退潮流向在 2006 年以後逐漸變成以南向為主，由於漲退潮流向之不對稱，也同樣形成殘差流，但其值因角度增加，使其淨流流速有逐年遞減之趨勢，因此推估淨流流況之變化，除受麥寮港防波堤結構物影響外，也與麥寮港與新興區間之海域地形歷年來之變化有關，也就是說西防波堤結構物的興建，為影響海域流場特性原因之一。此外流速於築堤後有趨於穩定之趨勢，然極端條件在近 3 年於東北季風期間仍可測得局部較大流速 (賴等人，2010)。

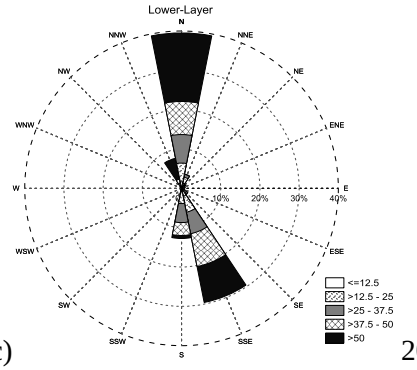
根據本所港研中心「港灣防波堤堤頭沖蝕特性及防制機制之研究(2/4)」 (2012) 麥寮港外海海流實測資料，100 年度底層平均流速為 39.4cm/s，主要流向為 N，流速最大值為 109.3cm/s，流向為 N。表層平均流速為 46.4cm/s，主要流向為 N。底層流向分佈集中於 N、S 方位，主要流速分佈區間為大於 37.5cm/sec，發生機率為 52.62%。表層流向分佈集中於 N、S 方位，主要流速分佈區間為大於 37.5cm/sec，發生機率為 62.30%。101 度底層平均流速為 39.8cm/s，主要流向亦為 N。表層平均流速為 46.3cm/s，主要流向亦為 N。底層流向分佈集中於 N、SSE 方位，主要流速區間大於 37.5cm/sec，發生機率為 54.26%。表層流向分佈集中於 N、SSE 方位，主要流速分佈區間為大於 37.5cm/sec，發生機率為 62.40%。海流玫瑰圖如圖 2.30。



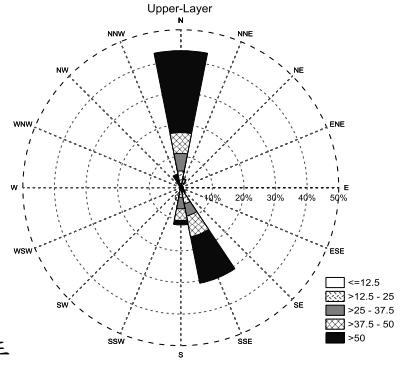

(單位：cm/sec)




2011 年 (單位：cm/sec)




(單位：cm/sec)



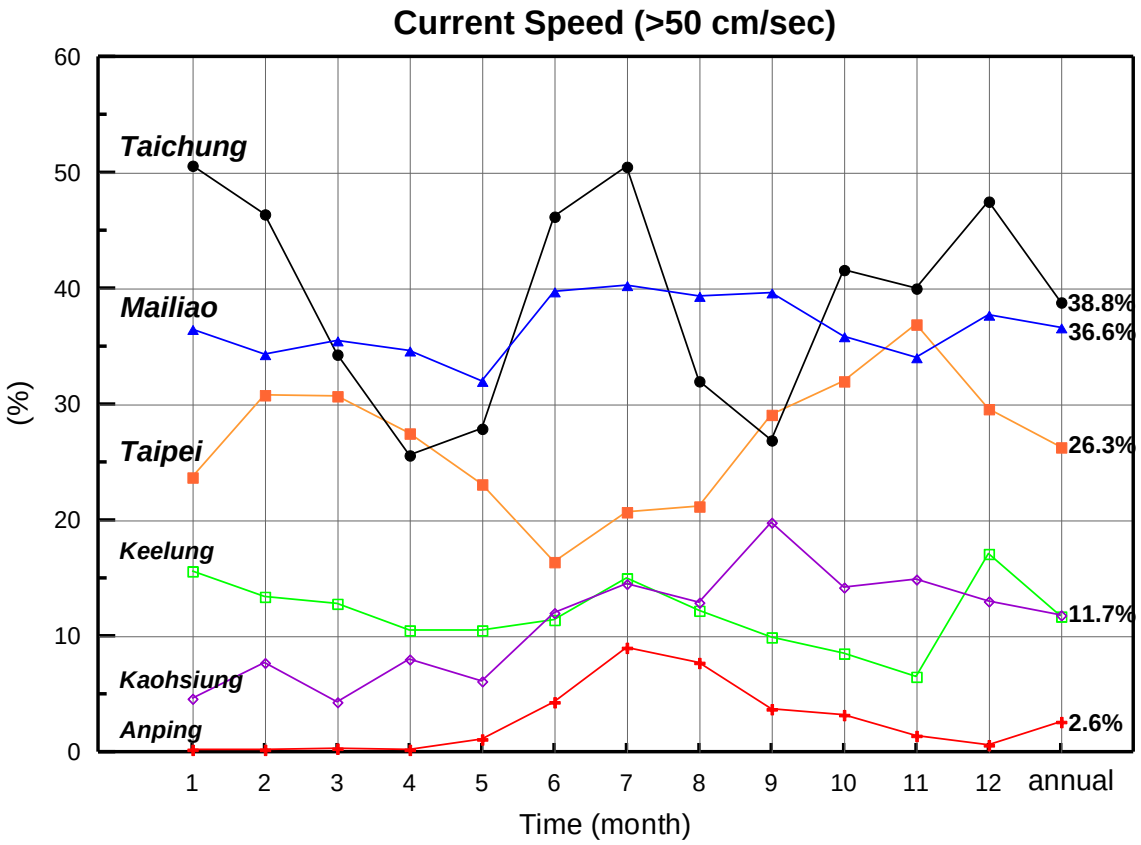

2012 年 (單位：cm/sec)

資料來源：「港灣防波堤堤頭沖蝕特性及防制機制之研究 (2/4)」，本所港研中心，101 年。

**圖 2.30 雲林海域 2011 年與 2012 年海流流速分佈玫瑰圖**

### 2.2.4 六大港海流特性分析

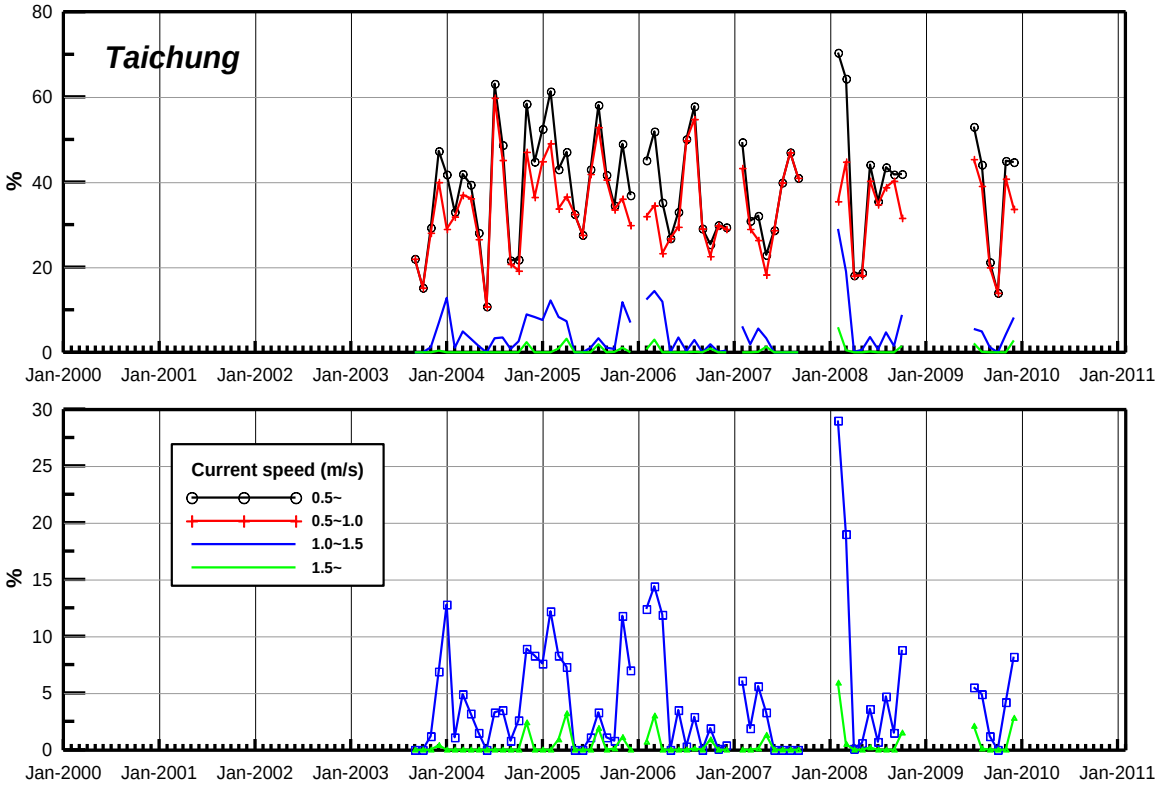
臺灣環島海域受到潮汐、風力、波浪與地形特性影響，北、中、南各商港附近海域的海流特性多有差異，本文收集基隆、臺北、臺中、麥寮、安平與高雄等六個港口歷年 (至 2008 年為止) 海流資料，統計分析各月份和全年的海流速度記錄超過 50cm/sec (約一節) 的發生機率，如圖 2.31 所示。由全年 (annual) 統計結果可知，臺中港和麥寮港的海流流速超過一節的發生機率各為 38.8%、36.6%，明顯大於其他港口；而臺中港在 1、7 月份流速超過一節的發生機率更超過 50%，麥寮港則在 6~9 月發生機率均接近 40%。在此種高速流況的深海域環境下，可說明臺中港和麥寮港防波堤之堤頭地形沖蝕的主要原因，應為海潮流經常性的作用所致。




數據來源：本所港研中心；本計畫統計分析、繪製。

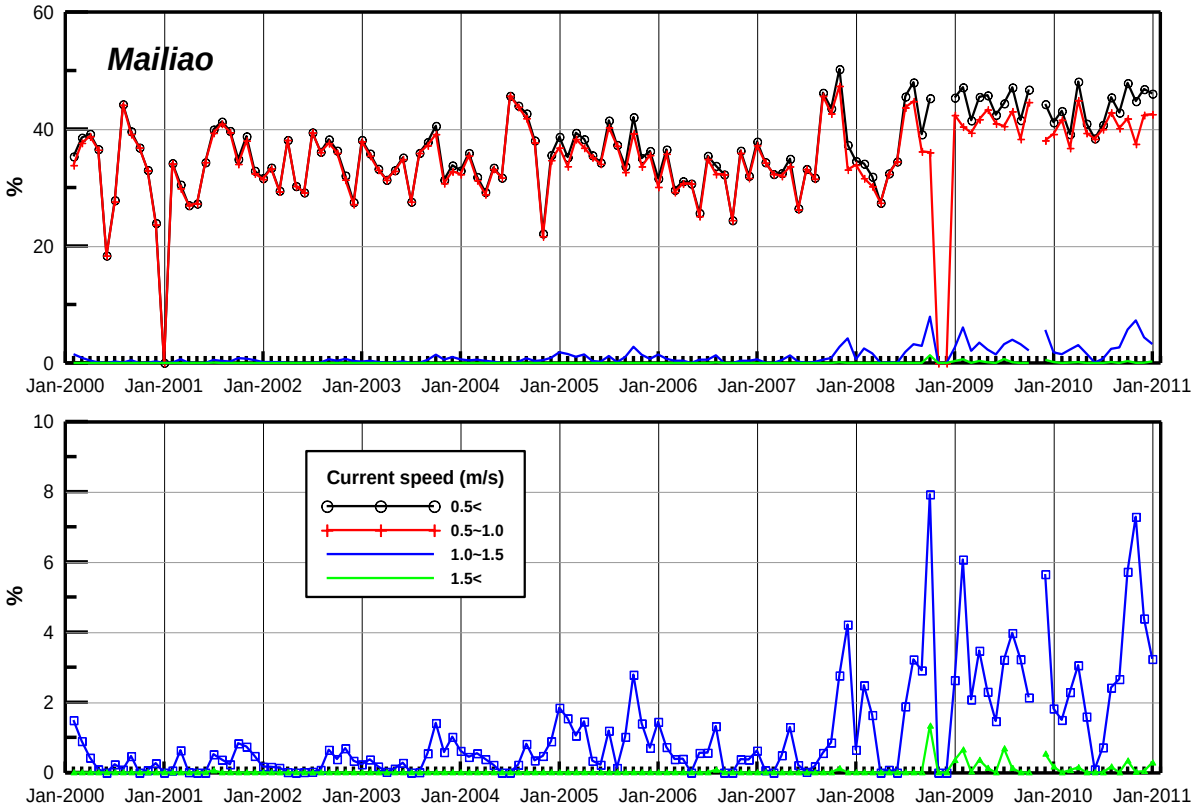
**圖 2.31 臺灣六大港海域歷年流速大於 50cm/sec 發生機率圖**

本研究進一步統計臺中、麥寮兩港口於民國 89 年至 99 年期間，較大流速的分佈機率，包括流速大於 0.5m/sec、0.5~1.0m/sec、1.0~1.5m/sec、流速大於 1.5m/sec 等發生機率，如圖 2.32 及圖 2.33 所示。由圖 2.32 (下圖) 可看出，臺中港海域冬季期間流速超過 1.0m/sec (約二節) 的發生機率可達 10%，夏季期間流速超過 1.0m/sec 的發生機率亦多介於 2~5%。由圖 2.33 (下圖) 可看出，麥寮港海域於 2000~2007 年期間流速超過 1.0m/sec 的發生機率小於 2%，但是 2007 年底以後流速超過 1.0m/sec 的發生機率則增加到 2~8 %。




數據來源：本所港研中心；本計畫統計分析、繪製。

**圖 2.32 臺中港 2003~2009 年流速分佈發生機率圖**




數據來源：本所港研中心；本計畫統計分析、繪製。

**圖 2.33 麥寮港 2000~2010 年流速分佈發生機率圖**

一般而言，近岸的漂沙行為，波浪多是扮演著啟動底質的角色；底質傳輸的行為，則是海流、潮流、風驅流或波浪引發的近岸流所造成的。然而，隨著水深增大，底床受波浪影響變小，此時潮流則為深水域漂砂傳輸主要驅動力。臺中港北防波堤堤頭西側 TC 測站與麥寮港西防波堤堤頭南側 YLCW 測站歷年的海流統計，各如表 3.21、3.22 所示。由圖 2.32 至圖 2.33 與表 2.32、2.33 可知，臺中與麥寮港海流經常性保持高流速狀態，致此二港區堤址水深雖達-20m 以上，仍然發生嚴重沖蝕現象，尤其堤頭之處更是明顯。此現象反應出二處防波堤之堤頭沖蝕現象，主要是潮流所致。

## 表 2.32 臺中港北防波堤堤頭西側 TC 測站歷年海流統計表

| 日期\項目 | 月平均流速 (cm/s) | 主要流向 | | 最大流速 (cm/s) | 流向 | 發生日期 | 颱風事件 | 農曆 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Aug-2003 | 33 | NNW | N | 92 | N | 8 月 4 日 | 莫拉克 | 農曆 7 月 7 日 |
| Sep-2003 | 27 | W | NNW | 86 | N | 9 月 6 日 | | 農曆 8 月 10 日 |
| Oct-2003 | 38 | W | WNW | 112 | WSW | 10 月 15 日 | | 農曆 9 月 20 日 |
| Nov-2003 | 49 | W | NNW | 153 | W | 11 月 22 日 | | 農曆 10 月 29 日 |
| Dec-2003 | 51 | W | E | 146 | W | 12 月 7 日 | | 農曆 11 月 14 日 |
| Jan-2004 | 39 | W | WNW | 105 | WSW | 1 月 21 日 | | 農曆 12 月 30 日 |
| Feb-2004 | 47 | NNW | W | 134 | W | 2 月 5 日 | | 農曆 1 月 15 日 |
| Mar-2004 | 45 | W | NNW | 131 | WSW | 3 月 7 日 | | 農曆 2 月 17 日 |
| Apr-2004 | 38 | NNW | W | 124 | WNW | 4 月 8 日 | | 農曆 2 月 19 日 |
| May-2004 | 27 | NNW | N | 93 | NNW | 5 月 8 日 | | 農曆 3 月 20 日 |
| Jun-2004 | 56 | SE | SSE | 125 | S | 6 月 3 日 | | 農曆 4 月 16 日 |
| Jul-2004 | 49 | NNW | N | 142 | N | 7 月 2 日 | 敏督利 | 農曆 5 月 15 日 |
| Aug-2004 | 35 | NNW | N | 130 | WNW | 8 月 24 日 | 艾利 | 農曆 7 月 9 日 |
| Sep-2004 | 34 | N | NNW | 132 | WNW | 9 月 11 日 | 海馬 | 農曆 7 月 27 日 |
| Oct-2004 | 58 | W | WNW | 173 | W | 10 月 2 日 | | 農曆 8 月 19 日 |
| Nov-2004 | 49 | W | NNW | 131 | W | 11 月 27 日 | | 農曆 10 月 16 日 |
| Dec-2004 | 53 | W | NNW | 137 | W | 12 月 31 日 | | 農曆 11 月 20 日 |
| Jan-2005 | 61 | W | WNW | 132 | W | 1 月 8 日 | | 農曆 11 月 28 日 |
| Feb-2005 | 51 | W | NNW | 158 | W | 2 月 20 日 | | 農曆 1 月 12 日 |
| Mar-2005 | 54 | W | NNW | 237 | W | 3 月 12 日 | | 農曆 2 月 3 日 |
| Apr-2005 | 39 | NNW | N | 91 | NNW | 4 月 29 日 | | 農曆 3 月 21 日 |
| May-2005 | 39 | NNW | N | 95 | N | 5 月 22 日 | | 農曆 4 月 15 日 |
| Jun-2005 | 46 | N | NNW | 126 | N | 6 月 21 日 | | 農曆 5 月 15 日 |
| Jul-2005 | 55 | NNW | N | 189 | W | 7 月 18 日 | 海棠 | 農曆 6 月 13 日 |
| Aug-2005 | 46 | NNW | N | 147 | W | 8 月 31 日 | 泰利 | 農曆 7 月 27 日 |
| Sep-2005 | 39 | NNW | NW | 152 | NW | 9 月 1 日 | | 農曆 7 月 28 日 |
| Oct-2005 | 55 | W | NNW | 248 | W | 10 月 2 日 | 龍王 | 農曆 8 月 29 日 |
| Nov-2005 | 44 | NNW | N | 129 | W | 11 月 16 日 | | 農曆 10 月 15 日 |
| Dec-2005 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | | N.D. |
| Jan-2006 | 52 | W | NNW | 172 | W | 1 月 5 日 | | 農曆 12 月 6 日 |
| Feb-2006 | 62 | W | NNW | 171 | W | 2 月 4 日 | | 農曆 1 月 7 日 |
| Mar-2006 | 45 | W | NNW | 133 | WNW | 3 月 1 日 | | 農曆 2 月 2 日 |
| Apr-2006 | 36 | NNW | N | 91 | NNW | 4 月 30 日 | | 農曆 4 月 3 日 |
| May-2006 | 42 | NNW | W | 148 | WSW | 5 月 13 日 | | 農曆 4 月 16 日 |
| Jun-2006 | 49 | NNW | N | 101 | NNW | 6 月 23 日 | | 農曆 5 月 28 日 |
| Jul-2006 | 54 | NNW | N | 150 | WSW | 7 月 13 日 | 碧利斯 | 農曆 6 月 18 日 |
| Aug-2006 | 40 | NNW | NW | 88 | W | 8 月 9 日 | 桑美 | 農曆 7 月 16 日 |
| Sep-2006 | 37 | W | NNW | 168 | W | 9 月 10 日 | | 農曆 7 月 18 日 |
| Oct-2006 | 38 | W | WSW | 101 | WSW | 10 月 30 日 | | 農曆 9 月 9 日 |
| Nov-2006 | 40 | W | WSW | 106 | WSW | 11 月 2 日 | | 農曆 9 月 12 日 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Dec-2006 | 56 | W | WSW | 134 | W | 12 月 28 日 | | 農曆 11 月 9 日 |
| Jan-2007 | 52 | W | WSW | 130 | W | 1 月 24 日 | | 農曆 12 月 6 日 |
| Feb-2007 | 40 | WSW | W | 113 | WSW | 2 月 2 日 | | 農曆 12 月 15 日 |

## 表 2.32 (續) 臺中港北防波堤堤頭西側 TC 測站歷年海流統計表

| 日期\項目 | 月平均流速 (cm/s) | 主要流向 | | 最大流速 (cm/s) | 流向 | 發生日期 | 颱風事件 | 農曆 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mar-2007 | 44 | NNW | W | 151 | W | 3 月 5 日 | | 農曆 1 月 16 日 |
| Apr-2007 | 38 | NNW | W | 194 | WSW | 4 月 2 日 | | 農曆 2 月 15 日 |
| May-2007 | 38 | NNW | N | 95 | NNW | 5 月 16 日 | | 農曆 3 月 30 日 |
| Jun-2007 | 44 | NNW | N | 96 | NNW | 6 月 30 日 | | 農曆 5 月 16 日 |
| Jul-2007 | 46 | NNW | N | 92 | NNW | 7 月 4 日 | | 農曆 5 月 20 日 |
| Aug-2007 | 46 | NNW | N | 99 | NNW | 8 月 12 日 | | 農曆 6 月 30 日 |
| Sep-2007 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| Oct-2007 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| Nov-2007 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| Dec-2007 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| Jan-2008 | 78 | W | WSW | 183 | W | 1 月 16 日 | | 農曆 12 月 9 日 |
| Feb-2008 | 67 | W | NNW | 158 | W | 2 月 12 日 | | 農曆 1 月 6 日 |
| Mar-2008 | 32 | NNW | W | 102 | WSW | 3 月 31 日 | | 農曆 2 月 24 日 |
| Apr-2008 | 32 | NNW | N | 114 | WSW | 4 月 24 日 | | 農曆 3 月 19 日 |
| May-2008 | 50 | NNW | N | 150 | WSW | 5 月 11 日 | | 農曆 4 月 7 日 |
| Jun-2008 | 44 | N | NNW | 129 | NNE | 6 月 4 日 | | 農曆 5 月 1 日 |
| Jul-2008 | 50 | SSE | S | 145 | N | 7 月 19 日 | 卡玫基 | 農曆 6 月 17 日 |
| Aug-2008 | 47 | SSE | S | 121 | SSE | 8 月 6 日 | | 農曆 7 月 6 日 |
| Sep-2008 | 52 | S | SSE | 240 | WNW | 9 月 28 日 | 薔蜜 | 農曆 8 月 29 日 |
| Oct-2008 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | | N.D. |
| Nov-2008 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | | N.D. |
| Dec-2008 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | | N.D. |
| Jan-2009 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| Feb-2009 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| Mar-2009 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| Apr-2009 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| May-2009 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| Jun-2009 | 57 | N | NNW | 189 | NNE | 6 月 22 日 | 蓮花 | 農曆 5 月 30 日 |
| Jul-2009 | 49 | N | NNE | 150 | N | 7 月 24 日 | | 農曆 6 月 3 日 |
| Aug-2009 | 38 | N | NNW | 140 | WNW | 8 月 7 日 | 莫拉克 | 農曆 6 月 17 日 |
| Sep-2009 | 33 | N | W | 89 | NNE | 9 月 29 日 | | 農曆 8 月 11 日 |
| Oct-2009 | 50 | WSW | W | 128 | WSW | 10 月 4 日 | | 農曆 8 月 16 日 |
| Nov-2009 | 53 | WSW | N | 183 | WSW | 11 月 2 日 | | 農曆 9 月 16 日 |
| Dec-2009 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |

## 表 2.33 麥寮港西防波堤堤頭南側 YLCW 測站歷年海流統計表

| 日期\項目 | 月平均流速 (cm/s) | 主要流向 | | 最大流速 (cm/s) | 流向 | 發生日期 | 颱風事件 | 農曆 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| May-2000 | 24.27 | NNE | SSE | 94.6 | N | 2000/5/18 | | 農曆四月十五日 |
| Jun-2000 | 26.75 | N | SSE | 103.4 | N | 2000/6/30 | | 農曆五月廿九日 |
| Jul-2000 | 43.64 | NNE | N | 101 | N | 2000/7/2 | | 農曆六月初一日 |
| Aug-2000 | 41.75 | NNE | SSE | 118.8 | N | 2000/8/23 | 碧利斯 | 農曆七月廿四日 |
| Sep-2000 | 39.86 | NNE | SSE | 98.8 | NNE | 2000/9/14 | | 農曆八月十七日 |
| Oct-2000 | 37.84 | NNE | SSE | 106.6 | SE | 2000/10/29 | | 農曆十月初三日 |
| Nov-2000 | 34.17 | NNE | SSE | 116.6 | N | 2000/11/1 | 象神 | 農曆十月初六日 |
| Dec-2000 | 1.33 | NNE | SE | 54 | SE | 2000/12/1 | | 農曆十一月初六日 |
| Jan-2001 | 38.57 | NNE | SSE | 106 | SSE | 2001/1/14 | | 農曆臘月二十日 |
| Feb-2001 | 36.74 | NNE | SSE | 112.2 | SE | 2001/2/10 | | 農曆正月十八日 |
| Mar-2001 | 35.19 | NNE | N | 100.4 | SSE | 2001/3/12 | | 農曆二月十八日 |
| Apr-2001 | 34.86 | NNE | N | 87.1 | NNE | 2001/4/23 | | 農曆四月初一日 |
| May-2001 | 37.46 | NNE | N | 96.5 | N | 2001/5/23 | | 農曆潤四月初一日 |
| Jun-2001 | 40.61 | NNE | N | 165.2 | N | 2001/6/23 | 奇比 | 農曆五月初三日 |
| Jul-2001 | 42.60 | N | NNE | 110.4 | NNE | 2001/7/6 | 尤特 | 農曆五月十六日 |
| Aug-2001 | 40.88 | NNE | N | 104.8 | N | 2001/8/20 | | 農曆七月初二日 |
| Sep-2001 | 39.43 | NNE | SSE | 123.1 | NNE | 2001/9/18 | 納莉 | 農曆八月初二日 |
| Oct-2001 | 42.02 | NNE | SSE | 111.8 | NNE | 2001/10/19 | | 農曆九月初三日 |
| Nov-2001 | 38.66 | NNE | SSE | 120.7 | SSE | 2001/11/6 | | 農曆九月廿一日 |
| Dec-2001 | 37.32 | NNE | SSE | 107.4 | SSE | 2001/12/13 | | 農曆十月廿九日 |
| Jan-2002 | 37.81 | NNE | SSE | 106.9 | SSE | 2002/1/29 | | 農曆臘月十七日 |
| Feb-2002 | 36.71 | NNE | SSE | 112.5 | SSE | 2002/2/2 | | 農曆臘月廿一日 |
| Mar-2002 | 40.55 | NNE | SSE | 100.5 | N | 2002/3/29 | | 農曆二月十六日 |
| Apr-2002 | 37.07 | NNE | SSE | 94.7 | NNE | 2002/4/29 | | 農曆三月十七日 |
| May-2002 | 36.15 | NNE | N | 100.7 | N | 2002/5/27 | | 農曆四月十六日 |
| Jun-2002 | 40.54 | NNE | N | 102.3 | NNE | 2002/6/12 | | 農曆五月初二日 |
| Jul-2002 | 39.94 | NNE | SSE | 101.9 | N | 2002/7/9 | 娜克莉 | 農曆五月廿九日 |
| Aug-2002 | 40.31 | N | SSE | 114.3 | N | 2002/8/9 | | 農曆七月初一日 |
| Sep-2002 | 39.79 | NNE | SSE | 121.3 | N | 2002/9/7 | 辛樂克 | 農曆八月初一日 |
| Oct-2002 | 38.78 | NNE | SSE | 126 | SSE | 2002/10/8 | | 農曆九月初三日 |
| Nov-2002 | 37.28 | NNE | SSE | 110.6 | SSE | 2002/11/1 | | 農曆九月廿七日 |
| Dec-2002 | 41.08 | NNE | SSE | 122.31 | SSE | 2002/12/8 | | 農曆十一月初五日 |
| Jan-2003 | 42.06 | NNE | SSE | 119.7 | SSE | 2003/1/4 | | 農曆臘月初二日 |
| Feb-2003 | 40.05 | NNE | SSE | 113.7 | SSE | 2003/2/2 | | 農曆正月初二日 |
| Mar-2003 | 38.52 | NNE | N | 106 | SSE | 2003/3/18 | | 農曆二月十六日 |
| Apr-2003 | 38.94 | NNE | SSE | 105.7 | NNE | 2003/4/19 | | 農曆三月十八日 |
| May-2003 | 40.07 | N | NNE | 102.5 | N | 2003/5/16 | | 農曆四月十六日 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Jun-2003 | 36.55 | NNE | SSE | 94.6 | N | 2003/6/29 | | 農曆五月三十日 |
| Jul-2003 | 39.96 | NNE | SSE | 100.1 | NNE | 2003/7/13 | | 農曆六月十四日 |
| Aug-2003 | 41.54 | N | NNE | 106.9 | NNE | 2003/8/29 | | 農曆八月初二日 |
| Sep-2003 | 43.71 | NNE | N | 112 | NNE | 2003/9/2 | 杜鵑 | 農曆八月初六日 |
| Oct-2003 | 37.67 | NNE | SSE | 110.8 | N | 2003/10/27 | | 農曆十月初三日 |
| Nov-2003 | 39.45 | NNE | SSE | 120 | NNE | 2003/11/23 | | 農曆十月三十日 |

## 表 2.33 (續) 麥寮港西防波堤堤頭南側 YLCW 測站歷年海流統計表

| 日期\項目 | 月平均流速 (cm/s) | 主要流向 | | 最大流速 (cm/s) | 流向 | 發生日期 | 颱風事件 | 農曆 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Dec-2003 | 39.94 | NNE | SSE | 126.8 | SSE | 2003/12/7 | | 農曆十一月十四日 |
| Jan-2004 | 41.13 | NNE | SSE | 115.9 | SSE | 2004/1/24 | | 農曆正月初三日 |
| Feb-2004 | 38.46 | N | SSE | 117.2 | SSE | 2004/2/7 | | 農曆正月十七日 |
| Mar-2004 | 36.82 | NNE | SSE | 116.4 | SSE | 2004/3/7 | | 農曆二月十七日 |
| Apr-2004 | 39.53 | N | SSE | 113.8 | SSE | 2004/4/8 | | 農曆潤二月十九日 |
| May-2004 | 38.83 | N | NNE | 99.9 | N | 2004/5/8 | | 農曆三月二十日 |
| Jun-2004 | 44.60 | NNE | S | 99.2 | NNE | 2004/6/6 | 康森 | 農曆四月十九日 |
| Jul-2004 | 44.53 | NNE | N | 112.3 | N | 2004/7/19 | | 農曆六月初三日 |
| Aug-2004 | 43.97 | NNE | S | 124.6 | NNE | 2004/8/1 | | 農曆六月十六日 |
| Sep-2004 | 42.06 | NNE | SSE | 106.7 | SSE | 2004/9/24 | | 農曆八月十一日 |
| Oct-2004 | 36.09 | SSE | N | 115.35 | S | 2004/10/18 | | 農曆九月初五日 |
| Nov-2004 | 41.53 | NNE | SSE | 137.7 | SSE | 2004/11/15 | | 農曆十月初四日 |
| Dec-2004 | 43.38 | NNE | SSE | 128.6 | SSE | 2004/12/13 | | 農曆十一月初二日 |
| Jan-2005 | 41.22 | NNE | SSE | 121.3 | SSE | 2005/1/12 | | 農曆臘月初三日 |
| Feb-2005 | 42.69 | SSE | NNE | 130.72 | SSE | 2005/2/11 | | 農曆正月初三日 |
| Mar-2005 | 42.69 | NNE | S | 125.1 | SSE | 2005/3/13 | | 農曆二月初四日 |
| Apr-2005 | 41.16 | NNE | S | 109.7 | N | 2005/4/9 | | 農曆三月初一日 |
| May-2005 | 39.21 | NNE | S | 113.3 | NNE | 2005/5/26 | | 農曆四月十九日 |
| Jun-2005 | 43.64 | NNE | S | 126.3 | N | 2005/6/15 | | 農曆五月初九日 |
| Jul-2005 | 40.95 | N | SSE | 104.56 | N | 2005/7/7 | | 農曆六月初二日 |
| Aug-2005 | 39.98 | N | SSE | 123 | SSE | 2005/8/31 | 泰利 | 農曆七月廿七日 |
| Sep-2005 | 43.24 | N | NNE | 139.5 | N | 2005/9/1 | 泰利 | 農曆七月廿八日 |
| Oct-2005 | 41.53 | NNE | SSE | 118.2 | NNE | 2005/10/19 | | 農曆九月十七日 |
| Nov-2005 | 40.59 | NNE | SSE | 126 | SSE | 2005/11/15 | | 農曆十月十四日 |
| Dec-2005 | 39.70 | NNE | SSE | 128.5 | SSE | 2005/12/4 | | 農曆十一月初四日 |
| Jan-2006 | 40.37 | NNE | SSE | 123.9 | SSE | 2006/1/5 | | 農曆臘月初六日 |
| Feb-2006 | 37.29 | NNE | SSE | 114.6 | SSE | 2006/2/3 | | 農曆正月初六日 |
| Mar-2006 | 39.03 | NNE | SSE | 114.1 | SE | 2006/3/1 | | 農曆二月初二日 |
| Apr-2006 | 37.88 | NNE | N | 92.2 | N | 2006/4/1 | | 農曆三月初四日 |
| May-2006 | 36.91 | NNE | N | 122.34 | SSE | 2006/5/14 | 珍珠 | 農曆四月十七日 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Jun-2006 | 40.95 | NNE | S | 113 | N | 2006/6/14 | | 農曆五月十九日 |
| Jul-2006 | 40.54 | NNE | S | 156.1 | N | 2006/7/25 | 凱米 | 農曆七月初一日 |
| Aug-2006 | 39.34 | NNE | N | 99.6 | N | 2006/8/10 | 桑美 寶發 | 農曆七月十七日 |
| Sep-2006 | 34.41 | NNE | S | 92.09 | N | 2006/9/5 | | 農曆潤七月十三日 |
| Oct-2006 | 41.31 | N | S | 117.7 | SSE | 2006/10/4 | | 農曆八月十三日 |
| Nov-2006 | 38.55 | NNE | S | 119.3 | SSE | 2006/11/2 | | 農曆九月十二日 |
| Dec-2006 | 40.83 | NNE | SSE | 120.8 | SE | 2006/12/28 | | 農曆十一月初九日 |
| Jan-2007 | 39.10 | S | NNE | 126.5 | ESE | 2007/1/24 | | 農曆臘月初六日 |
| Feb-2007 | 38.26 | S | NNE | 96.6 | SSE | 2007/2/19 | | 農曆正月初二日 |
| Mar-2007 | 38.63 | S | NNE | 120.7 | SE | 2007/3/5 | | 農曆正月十六日 |
| Apr-2007 | 40.72 | NNE | S | 123.4 | NNE | 2007/4/4 | | 農曆二月十七日 |
| May-2007 | 35.74 | N | S | 109.7 | N | 2007/5/16 | | 農曆三月三十日 |
| Jun-2007 | 39.48 | N | S | 101.2 | N | 2007/6/12 | | 農曆四月廿七日 |
| Jul-2007 | 39.07 | N | S | 115 | N | 2007/7/15 | | 農曆六月初二日 |

## 表 2.33 (續) 麥寮港西防波堤堤頭南側 YLCW 測站歷年海流統計表

| 日期\項目 | 月平均流速 (cm/s) | 主要流向 | | 最大流速 (cm/s) | 流向 | 發生日期 | 颱風事件 | 農曆 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Aug-2007 | 46.27 | N | S | 110.6 | NNE | 2007/8/18 | 聖帕 | 農曆七月初六日 |
| Sep-2007 | 45.54 | N | S | 117 | S | 2007/9/18 | 韋帕 | 農曆八月初八日 |
| Oct-2007 | 50.30 | N | S | 157 | SSE | 2007/10/5 | | 農曆八月廿五日 |
| Nov-2007 | 43.26 | S | NNE | 143.3 | SE | 2007/11/27 | 米塔 | 農曆十月十八日 |
| Dec-2007 | 39.74 | N | S | 114.2 | SE | 2007/12/31 | | 農曆十一月廿二日 |
| Jan-2008 | 35.07 | NNE | S | 132 | SSE | 2008/1/24 | | 農曆臘月十七日 |
| Feb-2008 | 39.50 | S | SSE | 138.6 | SSE | 2008/2/9 | | 農曆正月初三日 |
| Mar-2008 | 36.47 | S | N | 95.3 | SSE | 2008/3/8 | | 農曆二月初一日 |
| Apr-2008 | 39.56 | S | N | 109 | SE | 2008/4/24 | | 農曆三月十九日 |
| May-2008 | 38.62 | S | N | 93.9 | SSE | 2008/5/11 | | 農曆四月初七日 |
| Jun-2008 | 44.47 | N | S | 128.7 | N | 2008/6/17 | | 農曆五月十四日 |
| Jul-2008 | 47.88 | N | S | 142.54 | SSE | 2008/7/27 | 鳳凰 | 農曆六月廿五日 |
| Aug-2008 | 44.79 | N | S | 131.5 | N | 2008/8/31 | | 農曆八月初一日 |
| Sep-2008 | 51.71 | N | S | 204.01 | S | 2008/9/28 | 薔蜜 | 農曆八月廿九日 |
| Oct-2008 | 50.38 | NNE | S | 171.5 | N | 2008/10/18 | | 農曆九月二十日 |
| Nov-08 | 44.64 | S | NNE | 181.5 | SSE | 2008/11/10 | | 農曆十月十三日 |
| Dec-08 | 47.20 | N | S | 177.6 | SSE | 2008/12/5 | | 農曆十一月初八日 |
| Jan-09 | 50.67 | S | SSW | 187.3 | SSE | 2009/1/14 | | 農曆臘月十九日 |
| Feb-09 | 45.06 | S | SSW | 152.8 | S | 2009/2/17 | | 農曆正月廿三日 |
| Mar-09 | 50.25 | S | SSW | 222.5 | S | 2009/3/14 | | 農曆二月十八日 |
| Apr-09 | 48.32 | S | N | 189.4 | S | 2009/4/26 | | 農曆四月初二日 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| May-09 | 45.46 | S | N | 134.9 | NNE | 2008/5/3 | | 農曆三月廿八日 |
| Jun-09 | 47.35 | S | N | 212.5 | N | 2009/6/21 | 蓮花 | 農曆五月廿九日 |
| Jul-09 | 48.61 | S | N | 163.2 | NNE | 2009/7/23 | | 農曆六月初二日 |
| Aug-09 | 46.02 | NNE | N | 142.1 | NNE | 2009/8/22 | | 農曆七月初三日 |
| Sep-09 | 48.49 | S | NNE | 129 | NNW | 2009/9/20 | | 農曆八月初二日 |
| Oct-2009 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | | N.D. |
| Nov-09 | 48.94 | S | N | 200.6 | S | 2009/11/17 | | 農曆十月初一日 |
| Dec-09 | 45.19 | S | N | 178.1 | SSE | 2009/12/16 | | 農曆十一月初一日 |
| Jan-10 | 45.79 | S | N | 136.3 | S | 2010/1/26 | | 農曆臘月十二日 |
| Feb-10 | 44.42 | S | N | 160.24 | S | 2010/2/12 | | 農曆臘月廿九日 |
| Mar-10 | 48.72 | S | N | 192.25 | S | 2010/3/16 | | 農曆二月初一日 |
| Apr-201 | 44.41 | N | S | 148.7 | S | 2010/4/14 | | 農曆三月初一日 |
| May-10 | 41.47 | N | SSE | 108.99 | N | 2010/5/23 | | 農曆四月初十日 |
| Jun-10 | 43.57 | NNE | S | 126.56 | NNE | 2010/6/14 | | 農曆五月初三日 |
| Jul-10 | 47.06 | N | S | 173.94 | N | 2010/7/27 | | 農曆六月十六日 |
| Aug-10 | 45.65 | N | S | 138.61 | N | 2010/8/10 | | 農曆七月初一日 |
| Sep-10 | 50.62 | N | S | 177.96 | SSE | 2010/9/19 | 凡那比 | 農曆八月十二日 |
| Oct-2010 | 49.26 | S | N | 151.79 | SSE | 2010/10/20 | 梅姬 | 農曆九月十三日 |
| Nov-10 | 48.34 | S | NNE | 155.87 | S | 2010/11/25 | | 農曆十月二十日 |
| Dec-10 | 47.39 | S | N | 227.43 | S | 2010/12/16 | | 農曆十一月十一日 |

### 2.2.5 麥寮港堤頭沖蝕與海流的關係分析

不同的海流方向會引發不同的漂砂方向，長期的淨漂砂量則決定此處海域的侵淤特性。因麥寮港西防波堤附近海域並無長期的漂砂觀測資料，本研究另收集分析麥寮海域 YLCW 測站的海流歷時特性，累計各月份的海流淨能量，與麥寮工業區專用港管理公司於 96/04~100/09 期間所施測的 30 筆堤頭地形資料進行關聯性比對分析。

（1）流能量估算

各月份的海流淨能量的計算方式:以麥寮港 YLCW 測站 2000~2010 年度冬季 (1 月) 與夏季 (8 月) 的逐時海流資料為例，首先繪製逐時流速與流矢分佈圖，如圖 2.34 所示。YLCW 測站的海流大部分呈現南、北流向，圖 3.88 中第一欄為所有的海流成分的時序列資料，第二欄為流速大於 0.5m/sec 的部分，第三欄則為流速大於 1.0m/sec 的部分。因流速小於 0.5m/sec 的成分流對於堤頭地形沖蝕影響不大，本研究後續僅選取流速大於 0.5m/sec 的部分進行探討。其次，將流速大於

0.5m/sec 的成分流，分成沿岸方向與向、離岸方向分量。以各方向流速分量的平方表示為該方向的單位流能量 (以下簡稱流能量，即 $E_i \approx V_i^2$)。

將圖 2.35 中第二欄的歷時流速成分，轉換為南、北方向與東、西方向的流能量分量，各如圖 2.35 之第一欄 (N 向為正) 與第二欄 (E 向為正) 的箭頭大小。再逐時累計沿岸方向與向、離岸方向的流能量，各如圖 2.35 之第一欄與第二欄的黑色實線，最後可得 1 月與 8 月份於沿岸方向與向、離岸方向的淨流能量。圖 2.35 中第一、二欄之月累計淨流能量，計算如下：

沿岸方向：$E_{N\sim S} \approx \sum_{i}^{31}[(V_i)_N^2 - (V_i)_S^2] = +535.17$ (+表示向北)

向、離岸方向：$E_{E\sim W} \approx \sum_{i}^{31}[(V_i)_E^2 - (V_i)_W^2] = +20.93$ (+表示向東)

依據上述分析流程，將麥寮港 YLCW 測站由 2000 至 2010 年間之逐時海流資料計算出月淨流能量分佈，如圖 2.36 所示 (藍線為南、北方向，紅線為東、西方向)。由圖 2.36 可看出，逐月淨流能量呈現規律性，夏季期間北向的流能量逐漸增加；冬季期間相反，南向的流能量逐漸增加。其中，東、西方向的月淨流能量相對很小，故不列入討論分析。

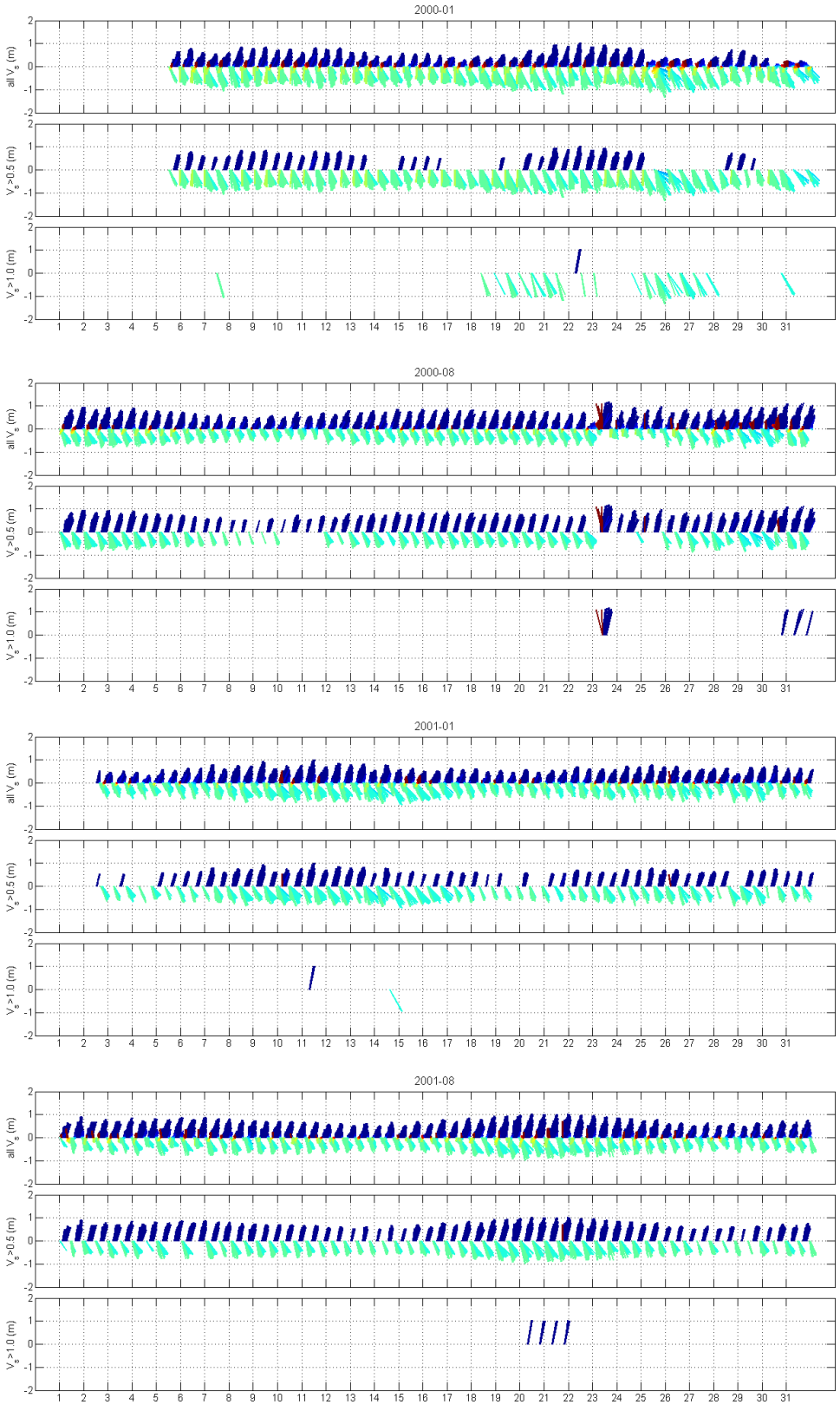



**圖 2.34 麥寮港 YLCW 測站逐時流速與流矢分佈圖(2000~2010)**

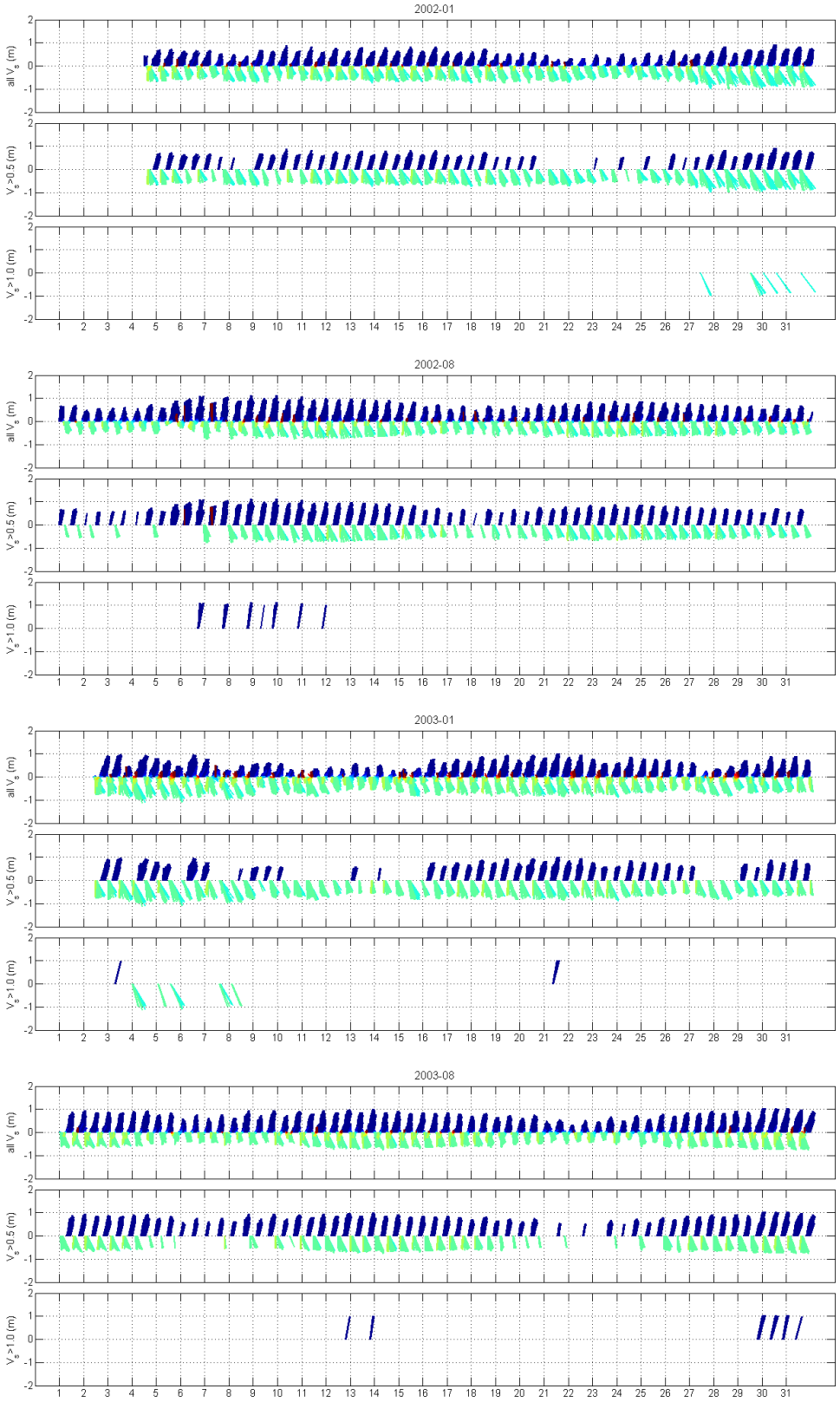



**圖 2.34 (續) 麥寮港 YLCW 測站逐時流速與流矢分佈圖(2000~2010)**

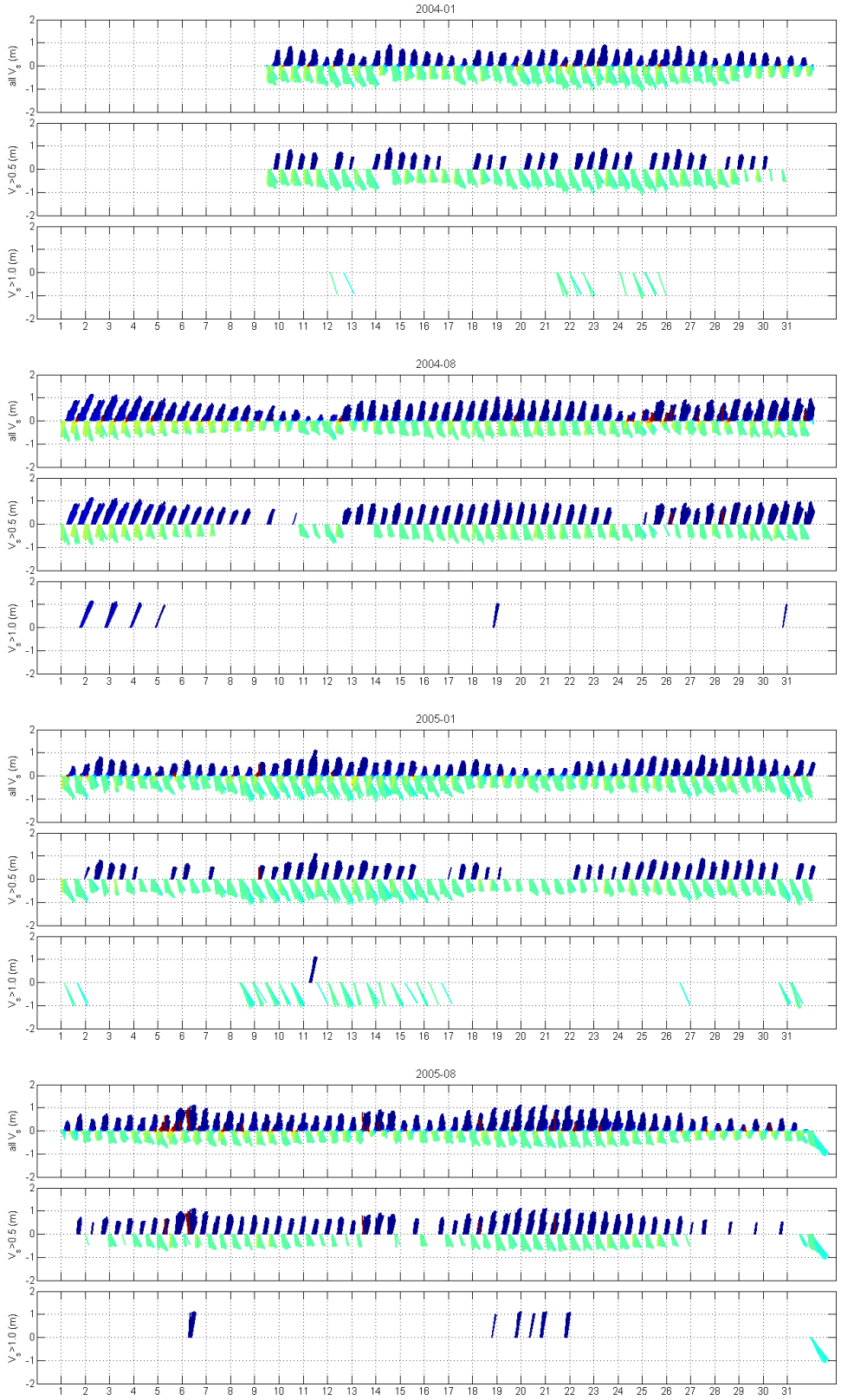



**圖 2.34 (續) 麥寮港 YLCW 測站逐時流速與流矢分佈圖(2000~2010)**

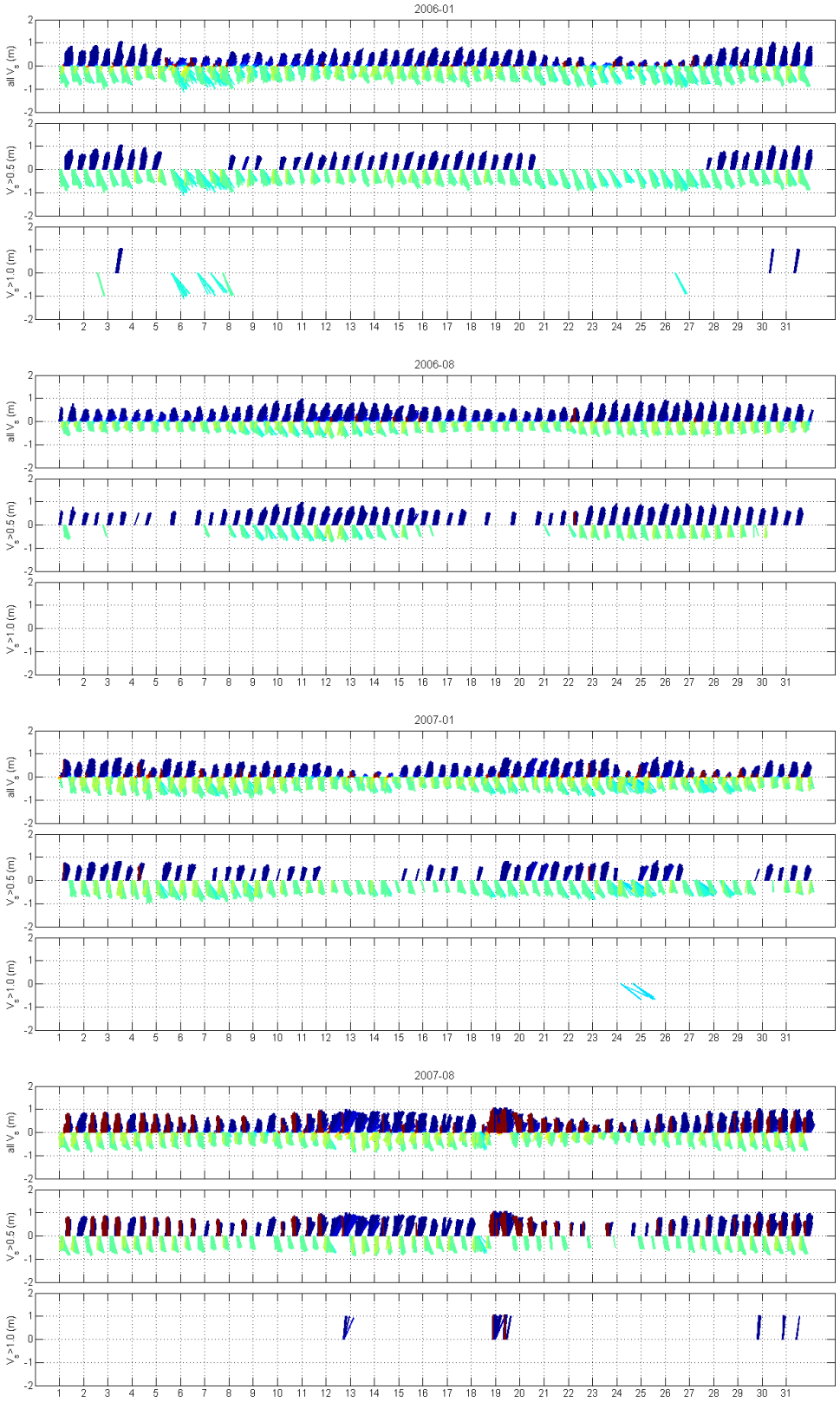



**圖 2.34 (續) 麥寮港 YLCW 測站逐時流速與流矢分佈圖(2000~2010)**

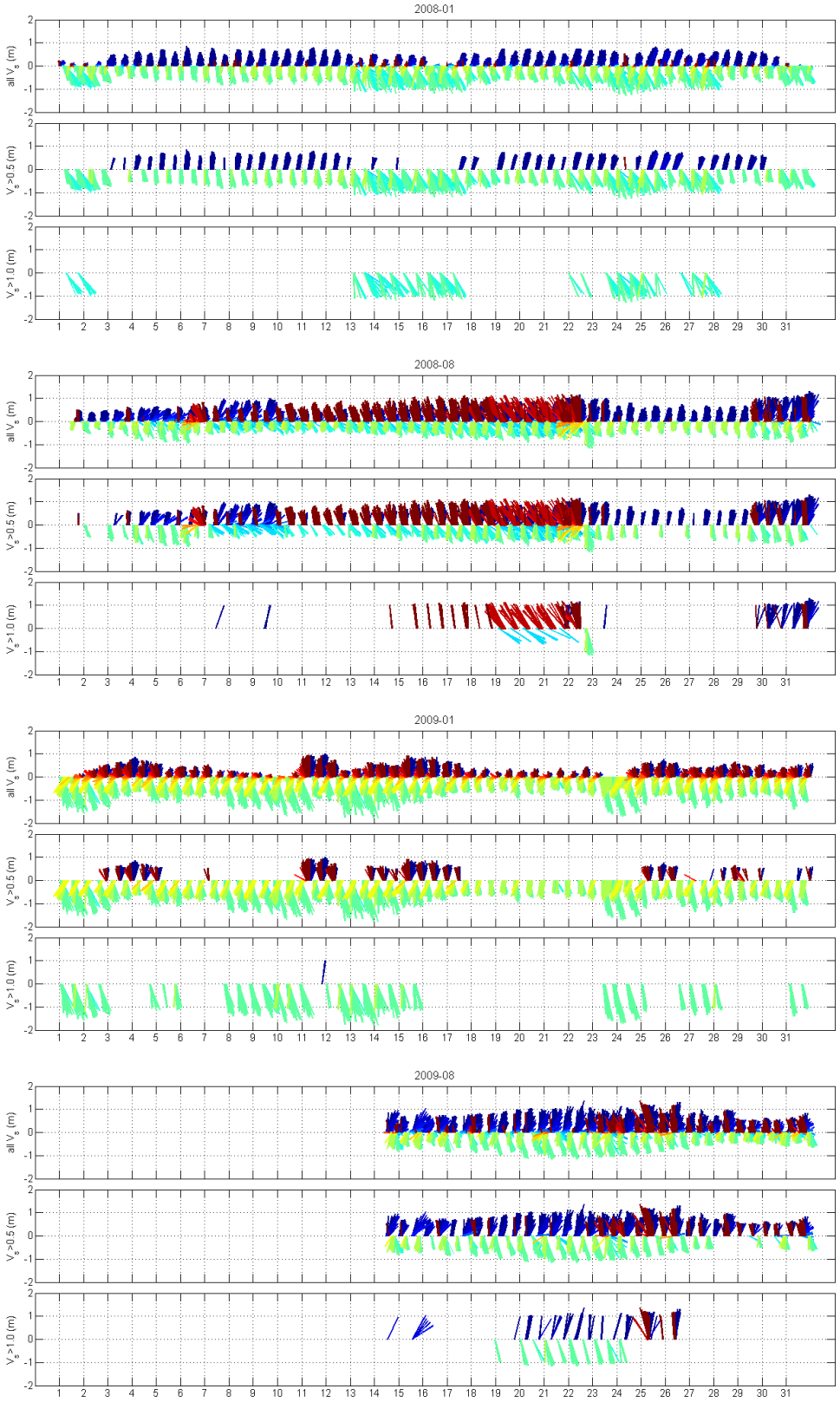



**圖 2.34 (續) 麥寮港 YLCW 測站逐時流速與流矢分佈圖(2000~2010)**

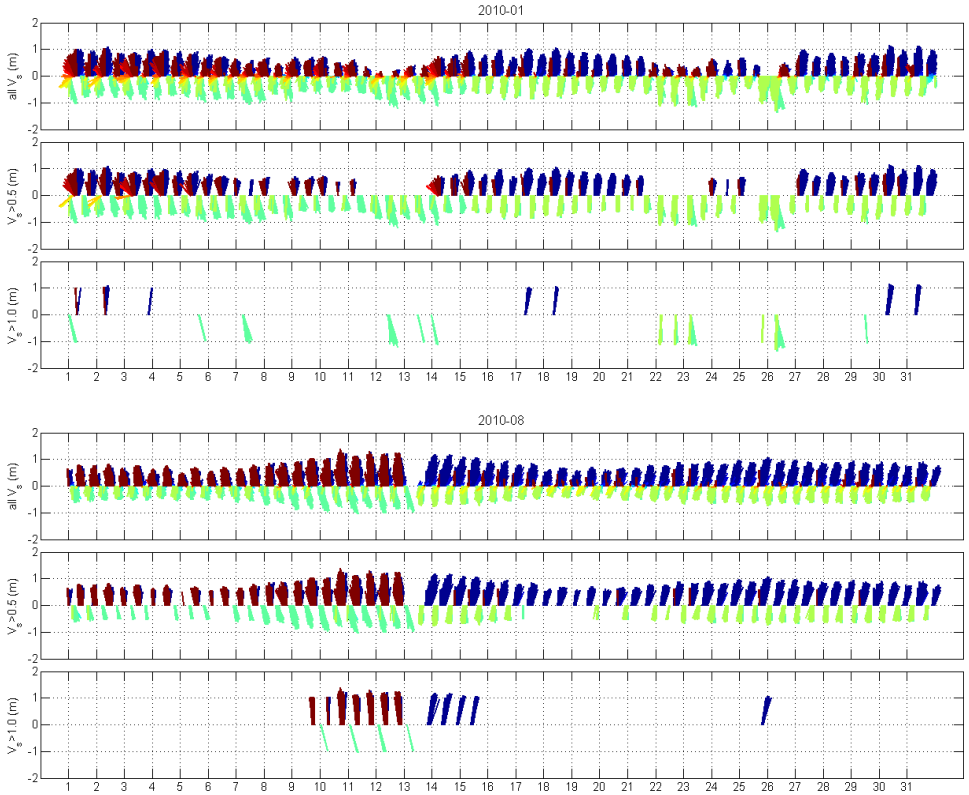



**圖 2.34 (續) 麥寮港 YLCW 測站逐時流速與流矢分佈圖(2000~2010)**

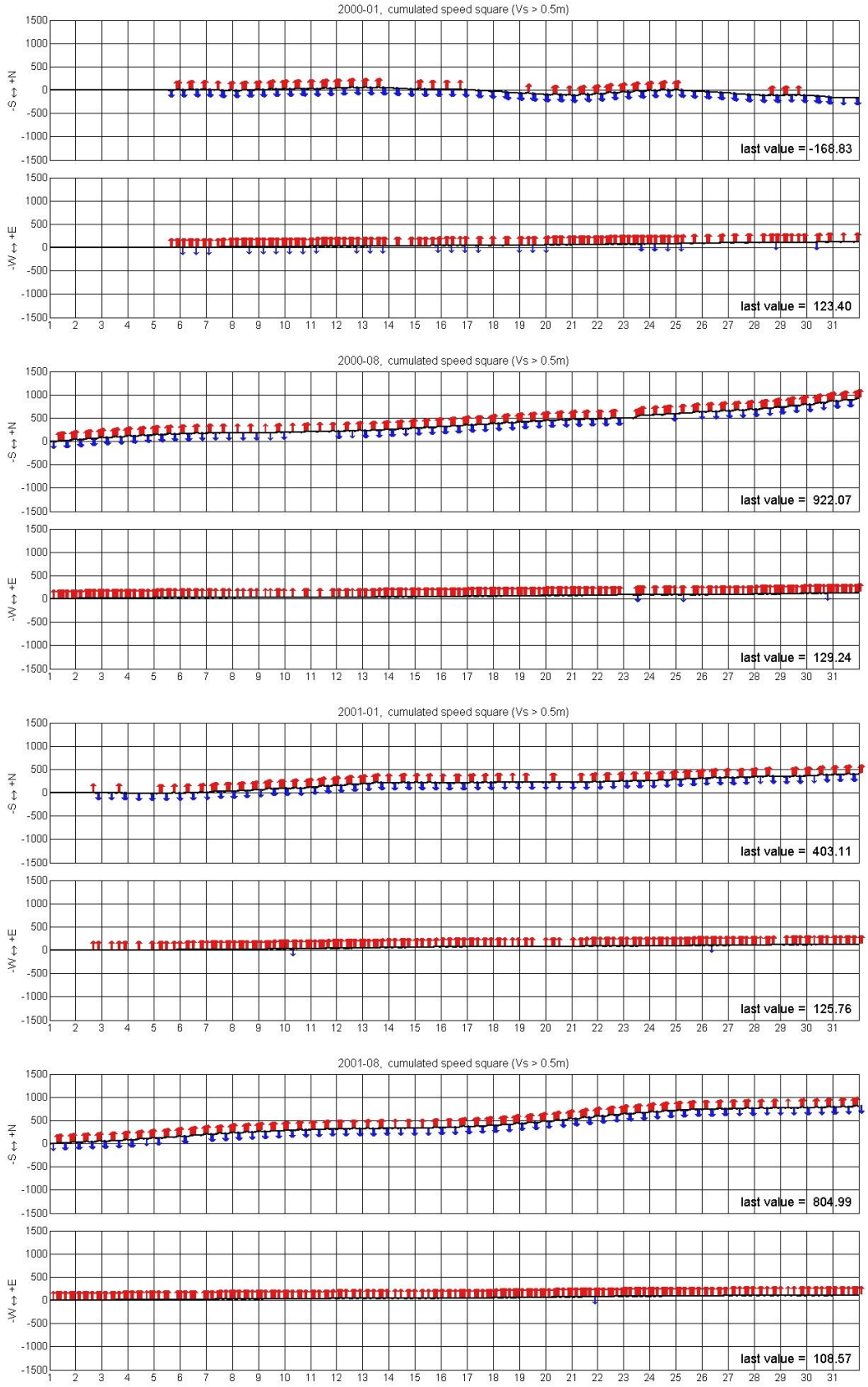



**圖 2.35 麥寮港 YLCW 測站逐時流能量累積分佈圖(2000~2010)**

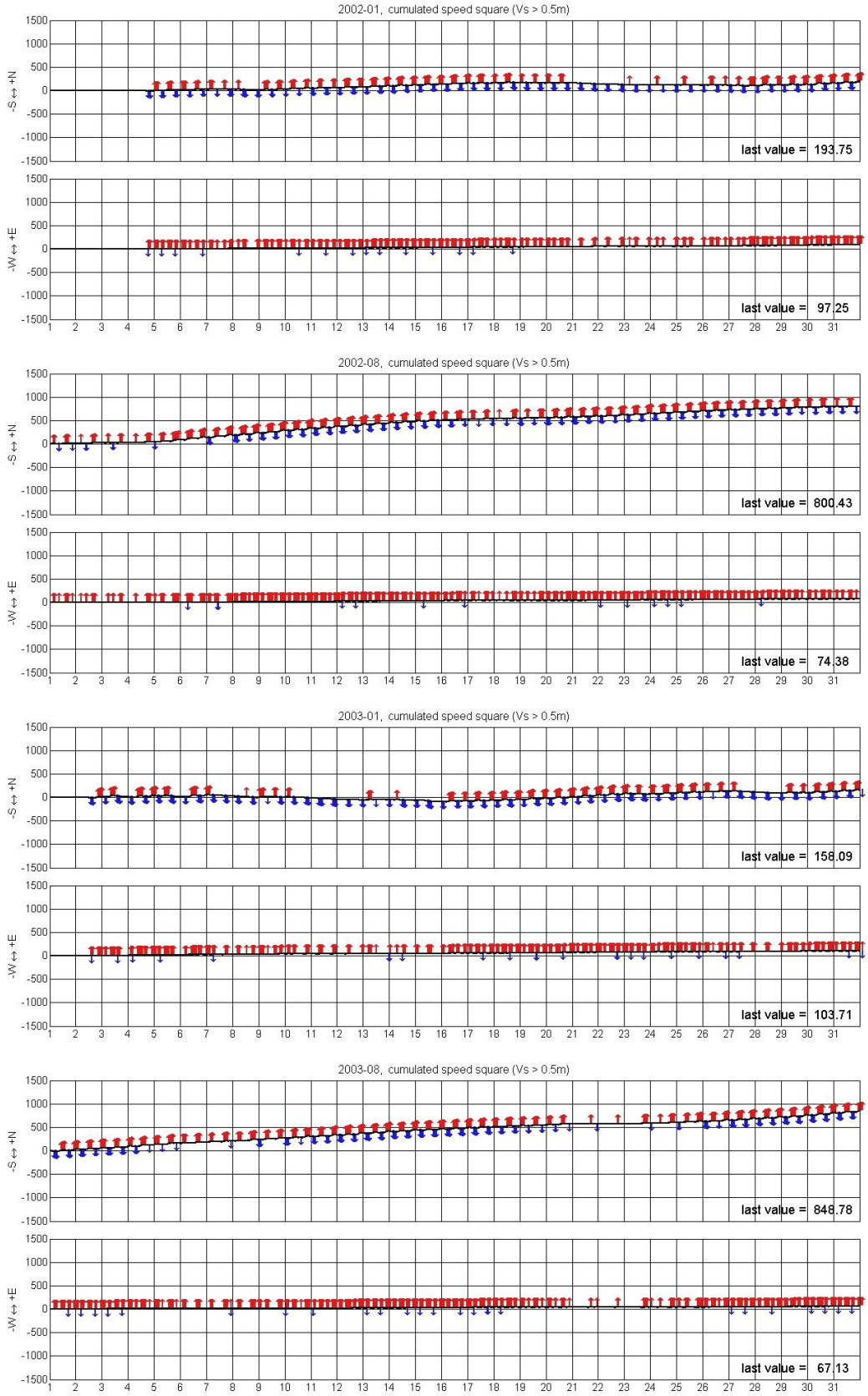



**圖 2.35 (續) 麥寮港 YLCW 測站逐時流能量累積分佈圖(2000~2010)**

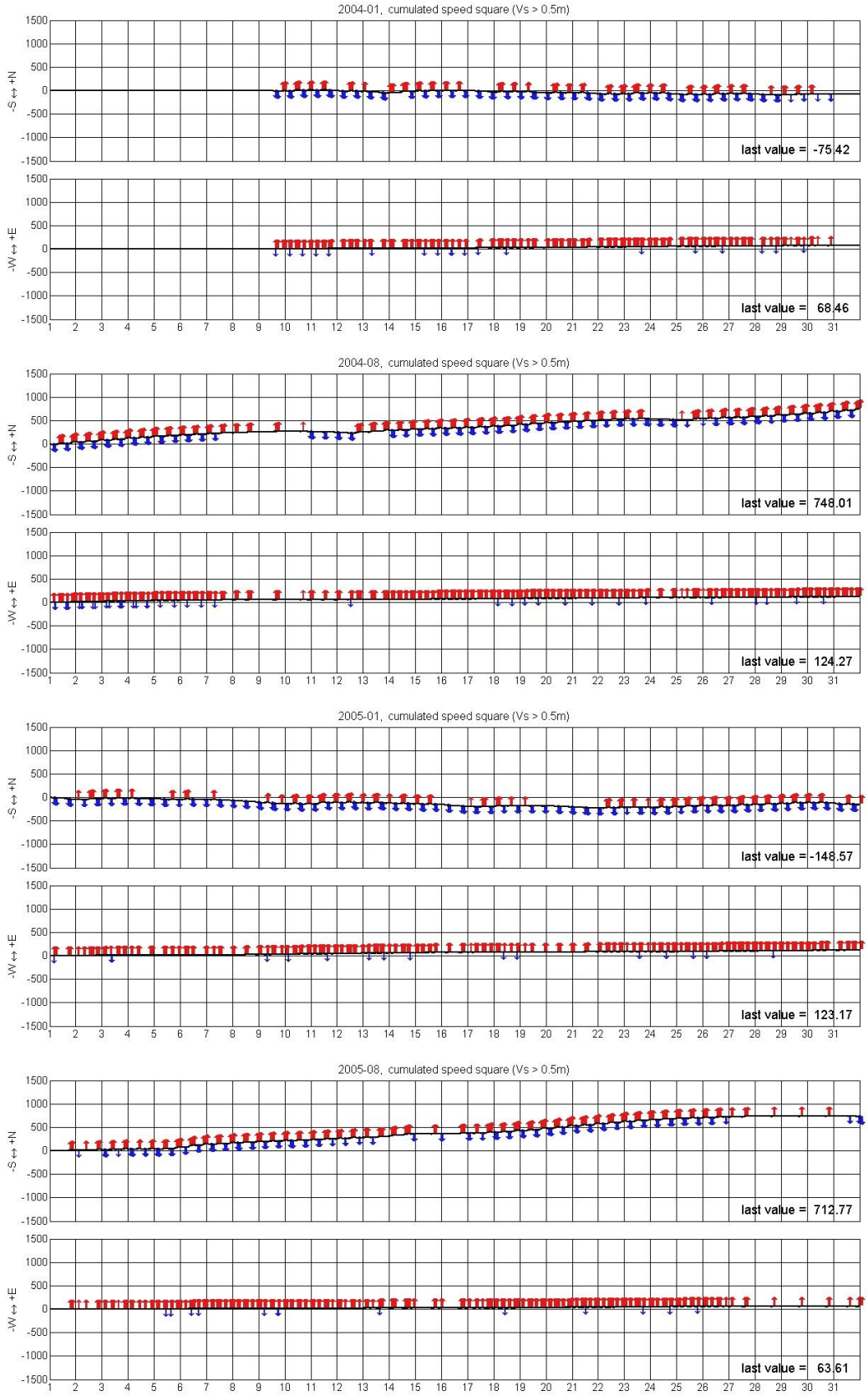



**圖 2.35 (續) 麥寮港 YLCW 測站逐時流能量累積分佈圖(2000~2010)**

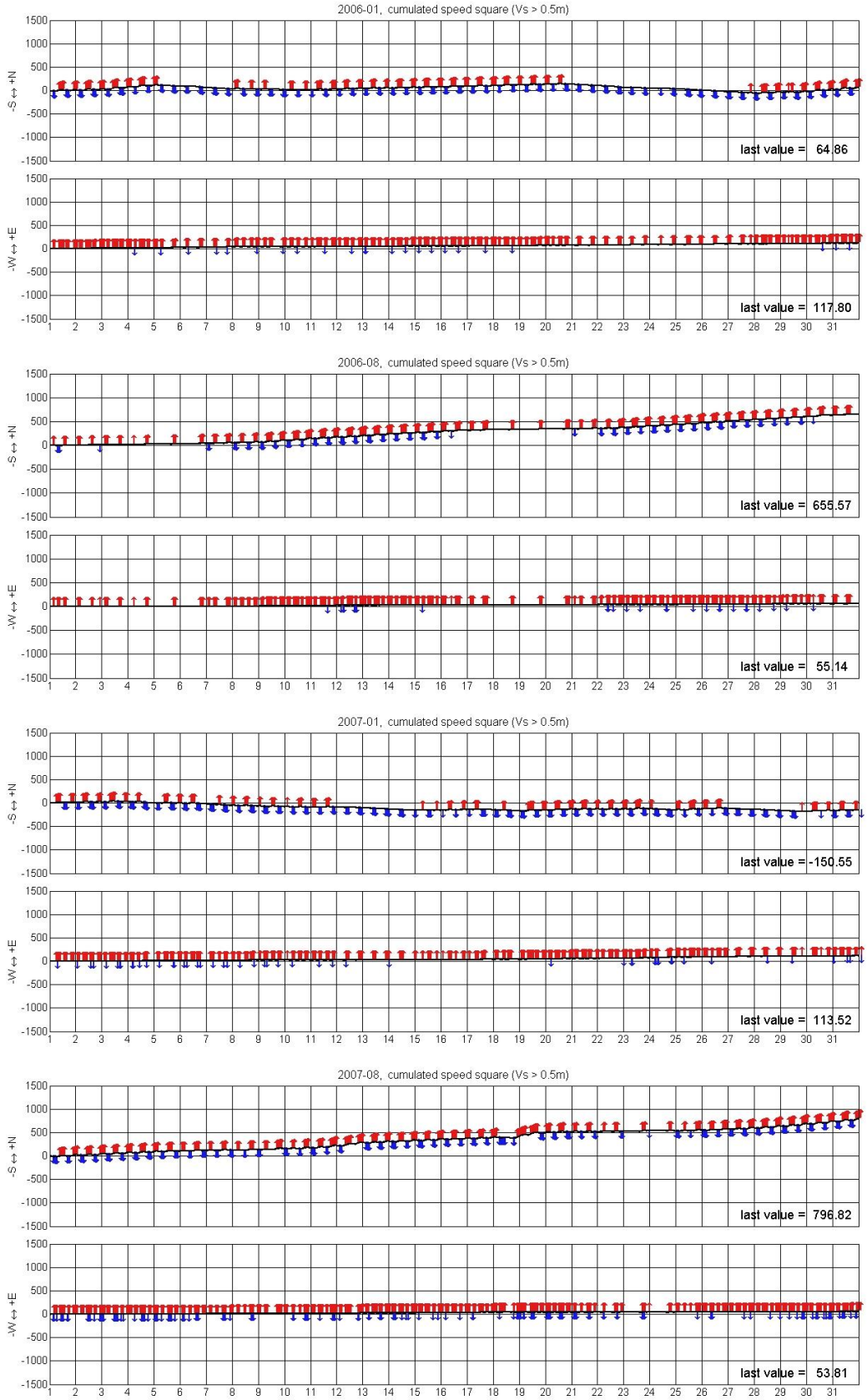



**圖 2.35 (續) 麥寮港 YLCW 測站逐時流能量累積分佈圖(2000~2010)**

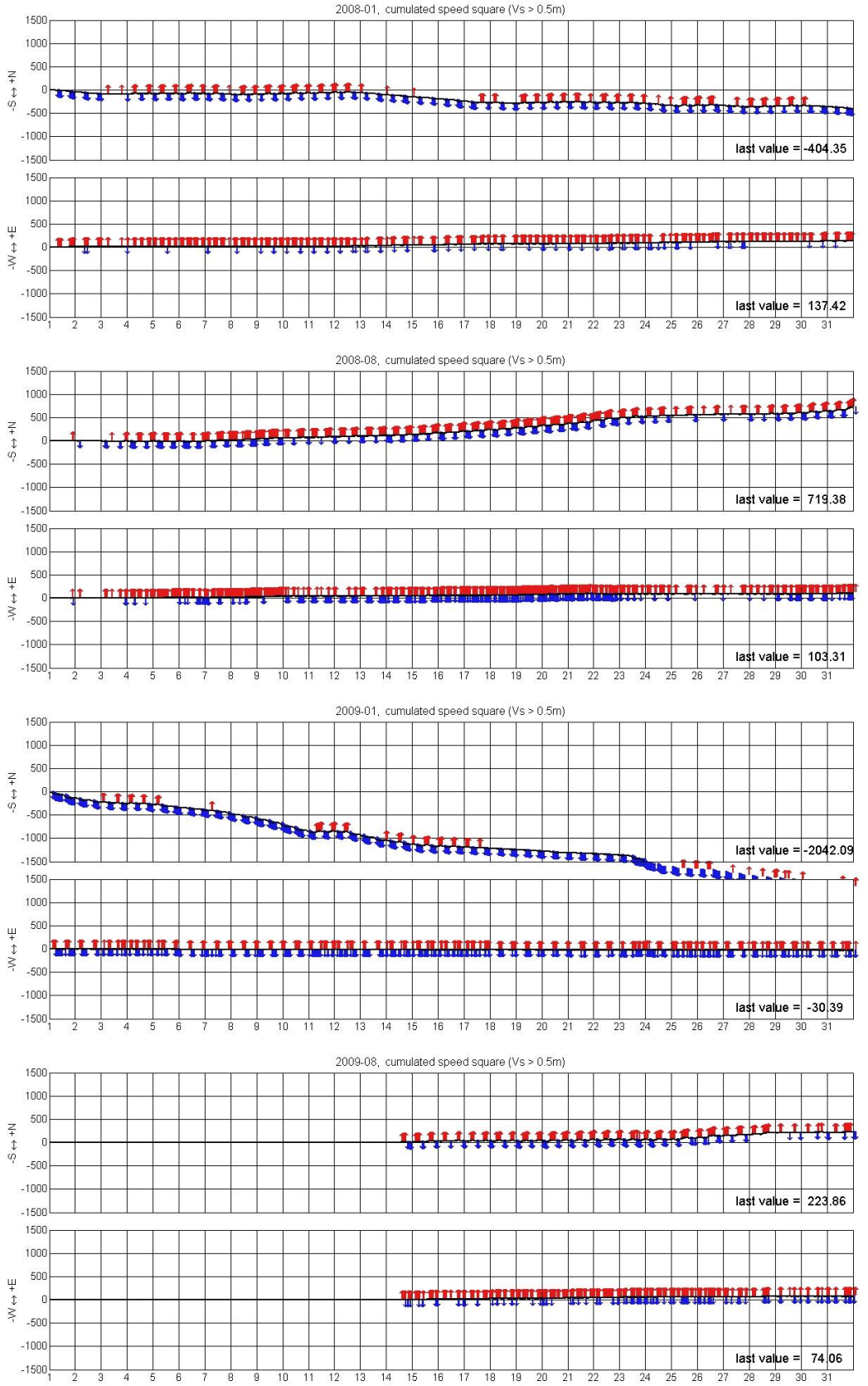



**圖 2.35 (續) 麥寮港 YLCW 測站逐時流能量累積分佈圖(2000~2010)**

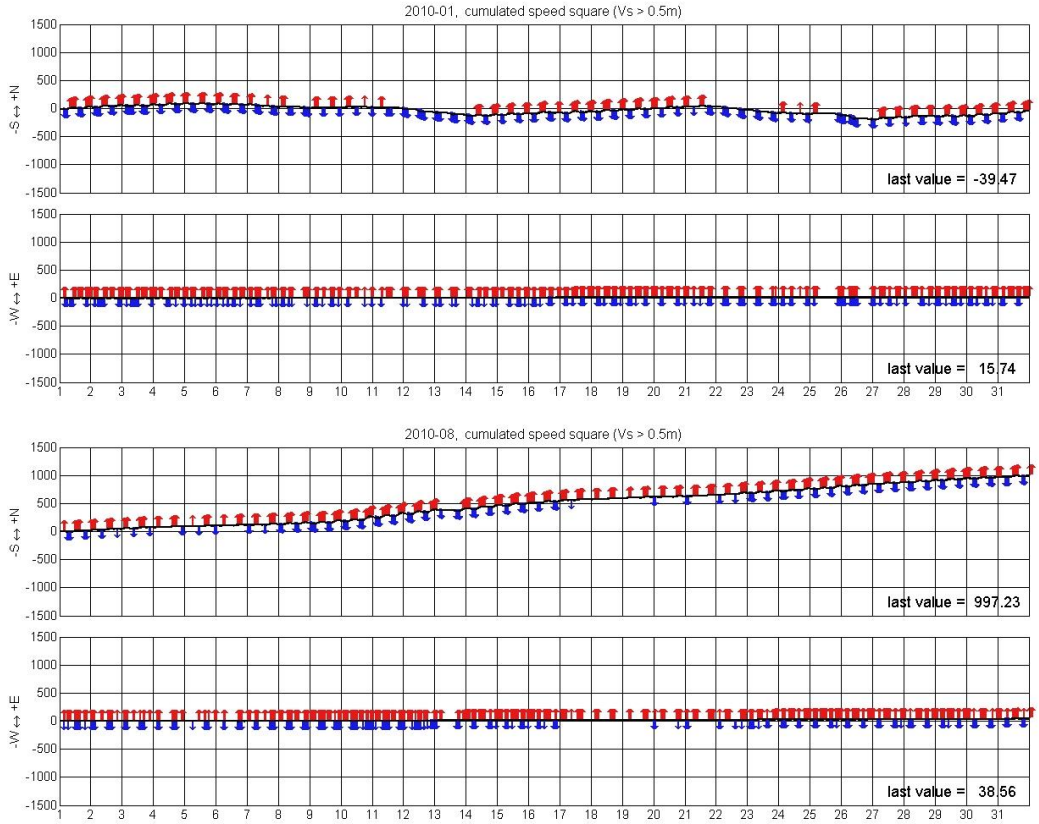



**圖 2.35 (續) 麥寮港 YLCW 測站逐時流能量累積分佈圖(2000~2010)**

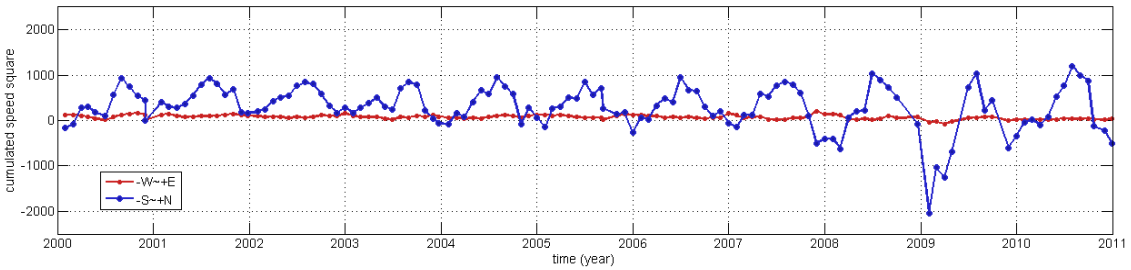



**圖 2.36 麥寮港 YLCW 測站逐月淨流能量累積分佈圖(2000~2010 年)**

（2）流能量與堤頭沖蝕的關係

由上述分析流程可得麥寮海域不同月份或季節之淨流能量，配合麥寮工業區專用港管理公司於 96/04 ~ 100/09 期間所施測的堤頭地形資料，挑選同期間的海流與堤頭地形資料進行關聯比對。

圖 2.37 為西防波堤二筆夏季堤頭地形 (96/05~96/07、96/08~96/09) 之侵淤變化實例，期間共計四個颱風侵臺，分別為怕布、梧提、聖帕、韋帕，其中聖帕颱風於花蓮登陸貫穿臺灣對於麥寮港波流影響較為劇烈；配合這二筆地形變化的主要作用力 96/06 與 96/09 的海流流能量累積分佈 (圖 2.38 所示)，可看出夏季淨流能量向北，當北向海流通過堤頭時，在堤頭周圍產生渦流，使得堤頭之西側與西北側流速增大，造成堤頭下游側 (堤頭北側侵蝕)。

圖 2.39 為西防波堤二筆冬季堤頭地形 (98/10~98/11、98/11~99/01) 之侵淤變化實例，配合這二筆地形變化的主要作用力 98/11 與 98/12 的海流流能量累積分佈 (如圖 2.40 所示)，可看出冬季淨流能量向南，當南向海流通過堤頭時，在堤頭周圍產生渦流，使得堤頭之西側與東南側流速增大，造成堤頭下游側 (堤頭南側侵蝕)。同時，南向的海流亦將濁水溪口的淤沙向南推移，因西防波堤的阻攔而淤積在西堤堤頭的北側。

由上述夏季與冬季兩組實例可初步歸納出，堤頭地形的沖蝕現象與海流的季節性變化直接相關。本研究再進一步將 96/04~100/09 期間所有的堤頭 -35m 沖刷洞資料 (如圖 2.41)，與同期間的流能量累積分佈 (如圖 2.39 所示) 進行比較，如圖 2.40 所示。結果可再次證實，夏季淨流能量向北 (主要流況向北)，沖刷洞在堤頭北側，但堤頭南側為較深的水域 (如航道)，並無漂砂向北補注沖刷洞，造成堤頭 -35m 沖刷洞持續侵蝕。冬季淨流能量向南 (主要流況向南)，沖刷洞在堤頭南側形成，但堤頭北側有來自濁水溪口的沖積沙，南向漂砂會先將原北側沖刷洞逐漸回填。如此週而復始，形成一個循環的現象。

因堤頭沖刷洞會受到來自上游河川輸砂的影響，或是港口航道疏

浚行為影響潮流流場，此等現象都增加本計畫區堤頭沖蝕分析的困難度，後續仍需藉由收集更充分的航道疏浚土方量與取、填土地點，配合數值模擬與水工模型試驗更深入分析探討。

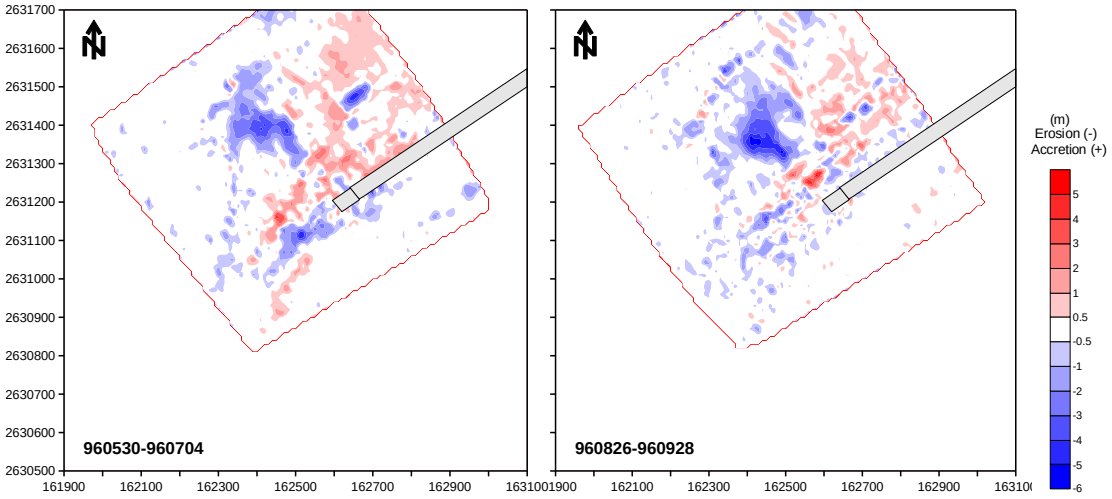



**圖 2.37 麥寮港西防波堤堤頭地形夏季侵淤變化實例(96/05~96/09)**

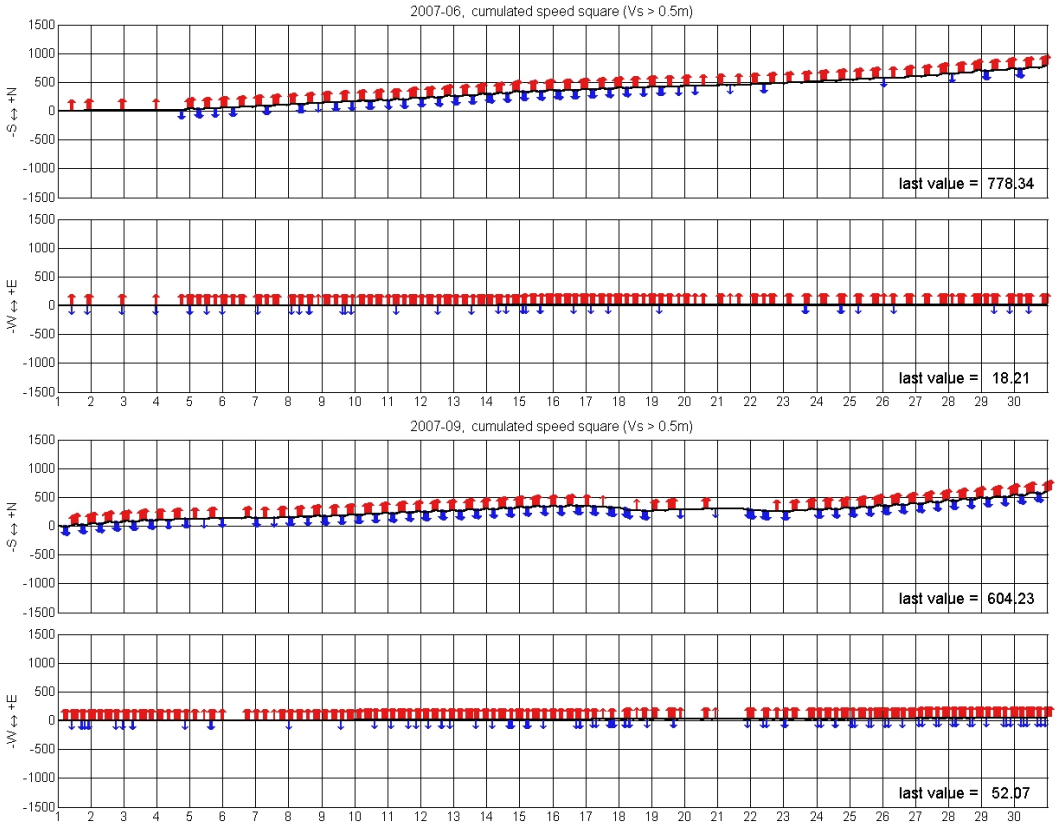



**圖 2.38 麥寮港 YLCW 測站夏季流能量累積分佈實例(96/06、96/09)**

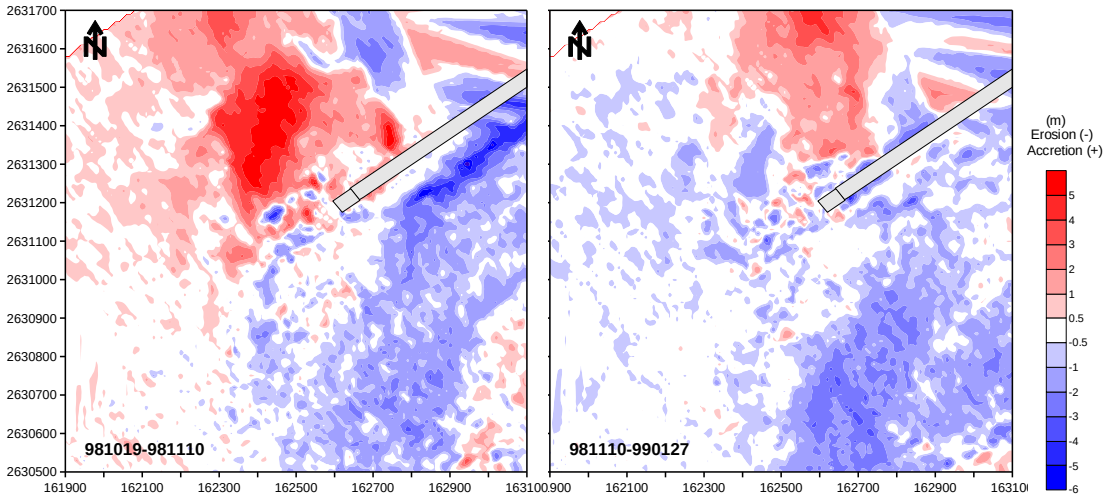



圖 2.39 麥寮港西防波堤堤頭地形冬季侵淤變化實例(98/10~99/01)

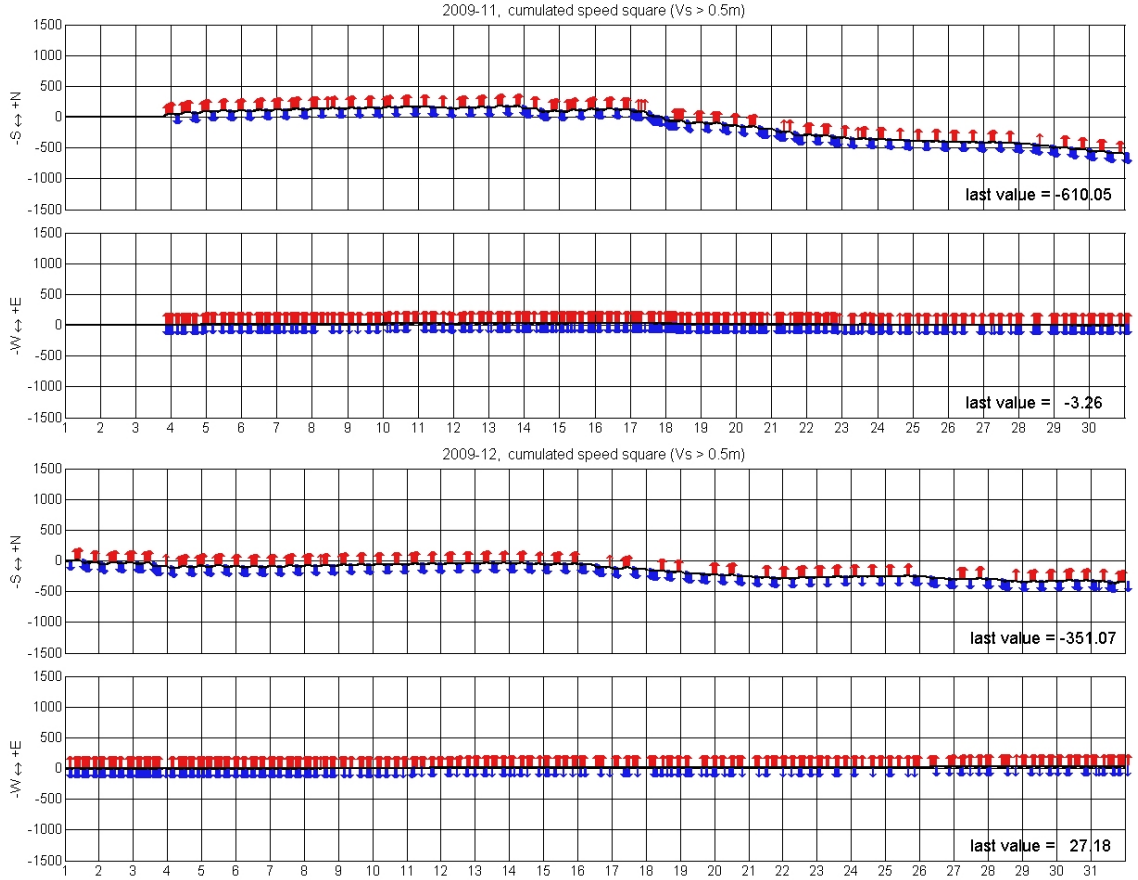



圖 2.40 麥寮港 YLCW 測站冬季流能量累積分佈實例(98/11、98/12)

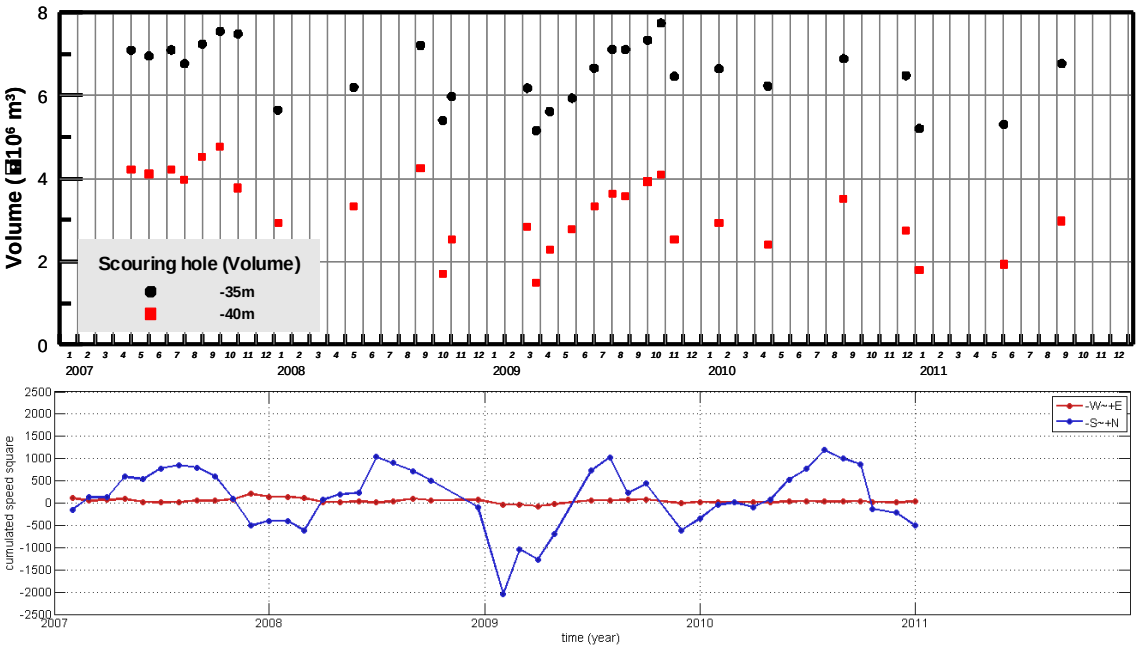



**圖 2.41 麥寮港西堤堤頭加密測量之-35m 沖刷洞變化與流能量累積分佈之對應關係圖**

### 2.2.6 潮位

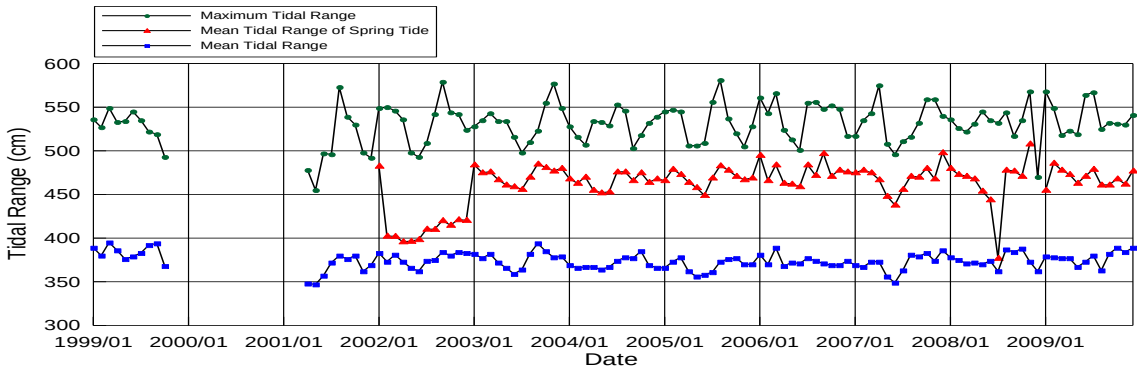
1. 臺中海域

臺中海域屬於半日潮，根據中央氣象局自 2007 年 1 月至 2011 年 11 月期間的潮位觀測資料，歷年潮位資料之統計結果得知，自 2007 年~2011 年期間，平均潮差為 3.75m，大潮平均潮差為 4.33m，最大潮差為 6.06m。最大潮差、大潮平均潮差及平均潮差之月統計如表 2.34 和圖 2.42 所示。

**表 2.34 臺中海域之潮位統計值**

| 測站名稱 | 臺中港 |
|---|---|
| 潮　位 | 2007~2011 年 |
| 最高高潮位 (HHWL) | 2.87 |
| 大潮平均高潮位 (HWOST) | 2.16 |
| 平均高潮位 (MHWL) | 1.87 |
| 平均潮位 (MWL) | 0.00 |
| 平均低潮位 (MLWL) | -1.88 |
| 大潮平均低潮位 (LWOST) | -2.17 |
| 最低低潮位 (LLWL) | -3.19 |
| 平均潮差 (MR) | 3.75 |
| 大潮平均潮差 (STR) | 4.33 |

資料來源：本所港研中心；潮位單位：米；以基隆中潮位系統為高程基準。




資料來源：「臺灣近岸港域地形變遷與環境調查研究 (2/4)」，本所港研中心，100 年 1 月。

**圖 2.42 臺中港 1999 至 2009 年之潮位統計分佈圖**

2. 雲林海域

雲林海域屬於半日潮，雲林縣海岸共設有三潮位站，包括麥寮站、三條崙站 (目前已停測) 以及箔子寮站。麥寮及箔子寮潮位站隸屬經濟部工業局，前者位於麥寮工業港之港勤船渠，後者位於箔子寮漁港內。三條崙潮位站則隸屬經濟部水利署，位於三條崙漁港內。各潮位站歷年潮位統計結果，如表 2.35 所示 (以基隆中潮位系統為高程基準)。結果顯示，麥寮潮位站之平均潮差為 2.70 m，大潮平均潮差為 3.72 m，均為三站最大者。其次為三條崙潮位站，平均潮差為 2.22 m，大潮平均潮差為 3.27 m。

**表 2.35 雲林海域各潮位站之潮位統計值**

| 測站名稱 | 箔 子 寮 | 三 條 崙 | 麥 寮 |
|---|---|---|---|
| 潮 位 | 2002~2009 年 | 1983~1990 年 | 1998~2008 年 |
| 最高高潮位 (HHWL) | +2.34 | +2.43 | +2.56 |
| 大潮平均高潮位 (HWOST) | N/A | +1.79 | +2.10 |
| 平均高潮位 (MHWL) | +1.51 | +1.42 | +1.74 |
| 平均潮位 (MWL) | +0.39 | +0.30 | +0.35 |
| 平均低潮位 (MLWL) | -0.63 | -0.80 | -0.96 |
| 大潮平均低潮位 (LWOST) | N/A | -1.48 | -1.62 |
| 最低低潮位 (LLWL) | -2.84 | -2.42 | -2.09 |
| 平均潮差 (MR) | 2.14 | 2.22 | 2.70 |
| 大潮平均潮差 (STR) | N/A | 3.27 | 3.72 |

資料來源：三條崙－海岸水文氣象年報，麥寮、箔子寮－成大水工試驗所；潮位單位：米；以基隆中潮位系統為高程基準。

3. 暴潮分析

颱風期間因大氣低壓的作用而產生海水面抬升效應，此效應將造成水位的提高，連帶增加波浪直接作用於海堤堤面或是產生越波現象的機率，肇生海水倒灌、海堤沖毀等海岸災害，並且阻擋陸域與河川排水，導致河水溢淹之災情。此類因颱風低壓所引起水位抬升，異於原有規律性天文潮位變化之水位量值稱為暴潮偏差。於現場觀測資料中，暴潮偏差可由實際觀測之潮位值減去天文潮預測值得到。而在颱風事件之時所記錄之最大高潮位則稱為最大暴潮位。

本計畫鄰近海域中，有本所港研中心的臺中港潮位資料，臺中港的潮位紀錄為 2007~2011 年。依據中央氣象局發佈颱風警報的歷史資料，分析警報期間有潮位紀錄的歷史颱風，計算其暴潮潮位與最大暴潮偏差，分析的過程已將潮位資料換算，採各潮位站當地的平均中潮位為基準。臺中港潮位站的颱風最大暴潮位與暴潮偏差統計結果，如表 2.36 所示。在臺中港的紀錄中，最大的暴潮位是發生於 2010 年莫蘭蒂颱風警報期間，其潮位變化如圖 2.43 所示，暴潮位達到 2.76m，而最大暴潮偏差則是 0.23m。最大暴潮偏差是發生於 2010 年梅姬颱風警報期間，其潮位變化如圖 2.44 所示，暴潮位達到 2.48m，而最大暴潮偏差則是 0.54m。2012 年颱風期間臺中港的潮位變化如圖 6-78 所示。在 2007~2011 期間路徑為三、七、九之颱風經過於臺中港的潮位變化

如圖 2.45 所示。

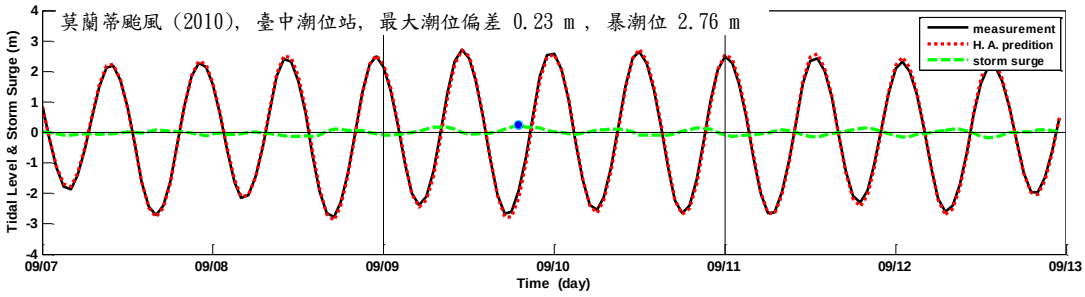



**圖 2.43 臺中港潮位資料 2010 年莫蘭蒂颱風期間潮位變化圖**

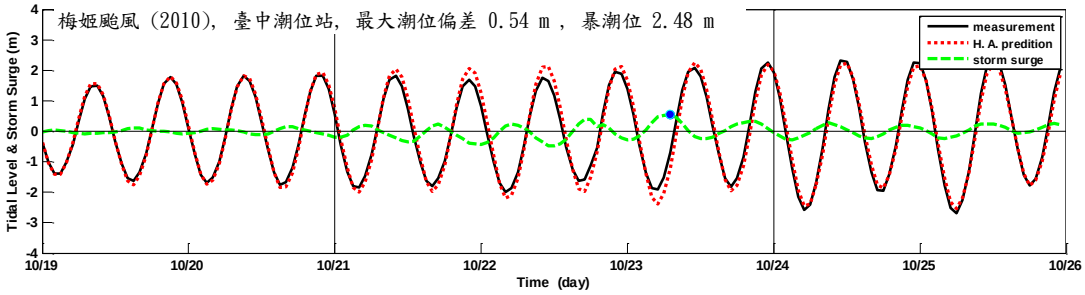



**圖 2.44 臺中港潮位資料 2010 年梅姬颱風期間潮位變化圖**

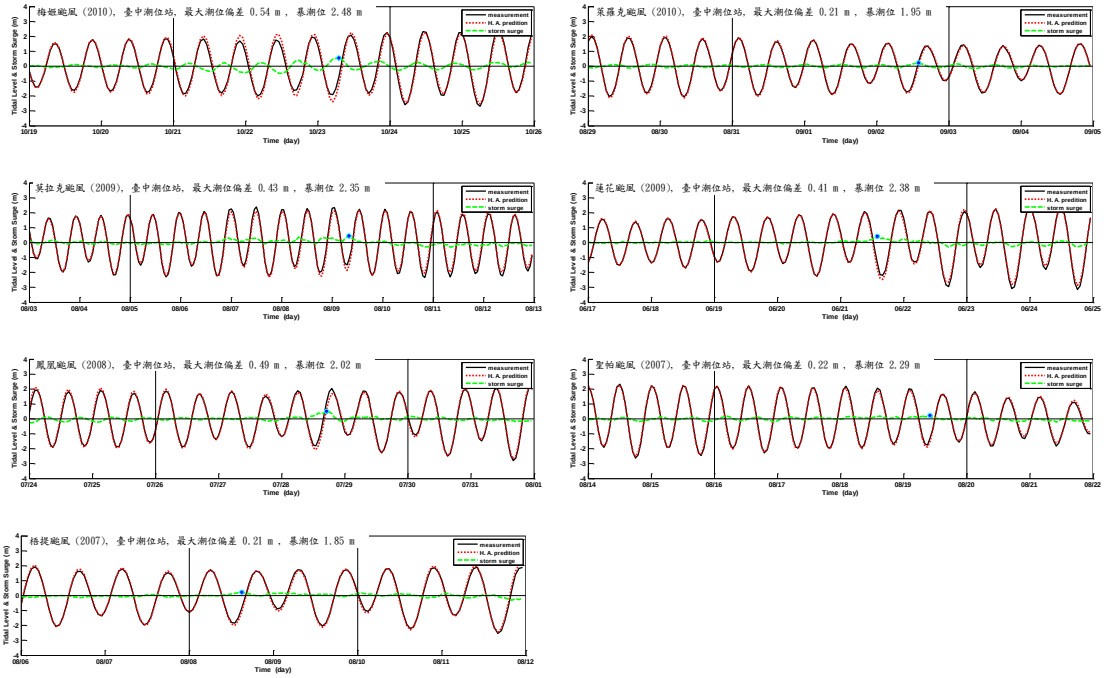



**圖 2.45 臺中港 2007~2011 年路徑三、七、九颱風期間潮位變化圖**

**表 2.36 臺中港潮位站颱風期間暴潮位與最大暴潮偏差統計表**

| 年度 | 颱風名稱 | 警報期間 | 暴潮位 (m) | 最大暴潮偏差 (m) | 年度 | 颱風名稱 | 警報期間 | 暴潮位 (m) | 最大暴潮偏差 (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2011 | 南瑪都 | 08/27~08/31 | 2.71 | 0.27 | 2008 | 薔蜜 | 09/26~09/29 | 2.45 | 0.42 |
| 2011 | 梅花 | 08/04~08/06 | 2.36 | 0.25 | 2008 | 哈格比 | 09/21~09/23 | 2.18 | 0.20 |
| 2011 | 米雷 | 06/23~06/25 | 1.81 | 0.33 | 2008 | 辛樂克 | 09/11~09/16 | 2.33 | 0.39 |
| 2011 | 桑達 | 05/27~05/28 | 1.82 | 0.24 | 2008 | 如麗 | 08/19~08/21 | 2.29 | 0.25 |
| 2011 | 艾利 | 05/09~05/10 | 1.84 | 0.15 | 2008 | 鳳凰 | 07/26~07/29 | 2.02 | 0.49 |
| 2010 | 梅姬 | 10/21~10/23 | 2.48 | 0.54 | 2008 | 卡玫基 | 07/16~07/18 | 2.04 | 0.19 |
| 2010 | 凡那比 | 09/17~09/20 | 2.10 | 0.21 | 2007 | 米塔 | 11/26~11/27 | 2.68 | 0.26 |
| 2010 | 莫蘭蒂 | 09/09~09/10 | 2.76 | 0.23 | 2007 | 柯羅莎 | 10/04~10/07 | 2.16 | 0.50 |
| 2010 | 南修 | 08/30~08/31 | 2.00 | 0.21 | 2007 | 韋帕 | 09/17~09/19 | 1.98 | 0.21 |
| 2010 | 萊羅克 | 08/31~08/02 | 1.95 | 0.21 | 2007 | 聖帕 | 08/16~08/19 | 2.29 | 0.22 |
| 2009 | 芭瑪 | 10/03~10/06 | 2.31 | 0.25 | 2007 | 梧提 | 08/08~08/09 | 1.85 | 0.21 |
| 2009 | 莫拉克 | 08/05~08/10 | 2.35 | 0.43 | 2007 | 帕布 | 08/06~08/08 | 1.96 | 0.23 |
| 2009 | 蓮花 | 06/19~06/22 | 2.38 | 0.41 | | | | | |

## 2.3 海域地形變化

1. 臺中海域

臺中港北鄰大甲溪以及大安溪，南鄰大肚溪，臺中港於民國 65 年完成主體工程，為因應淤積以及航行安全，陸續延伸北防波堤。民國 79~84 年先延長北防波堤 850 公尺，民國 89~91 年再延長北防波堤 480 公尺。圖 2.46 為臺中港 85 年、87 年、90 年、91 年、93 年以及 95 年之實測地形水深圖，由圖中可發現北防波堤在延長過程中，於堤頭處所產生的掏深洞。

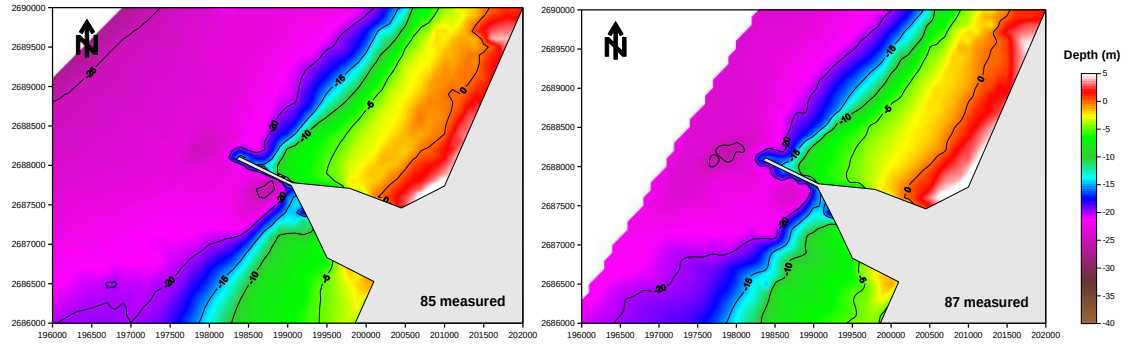



**圖 2.46 臺中港海域 85~95 年實測地形水深圖**

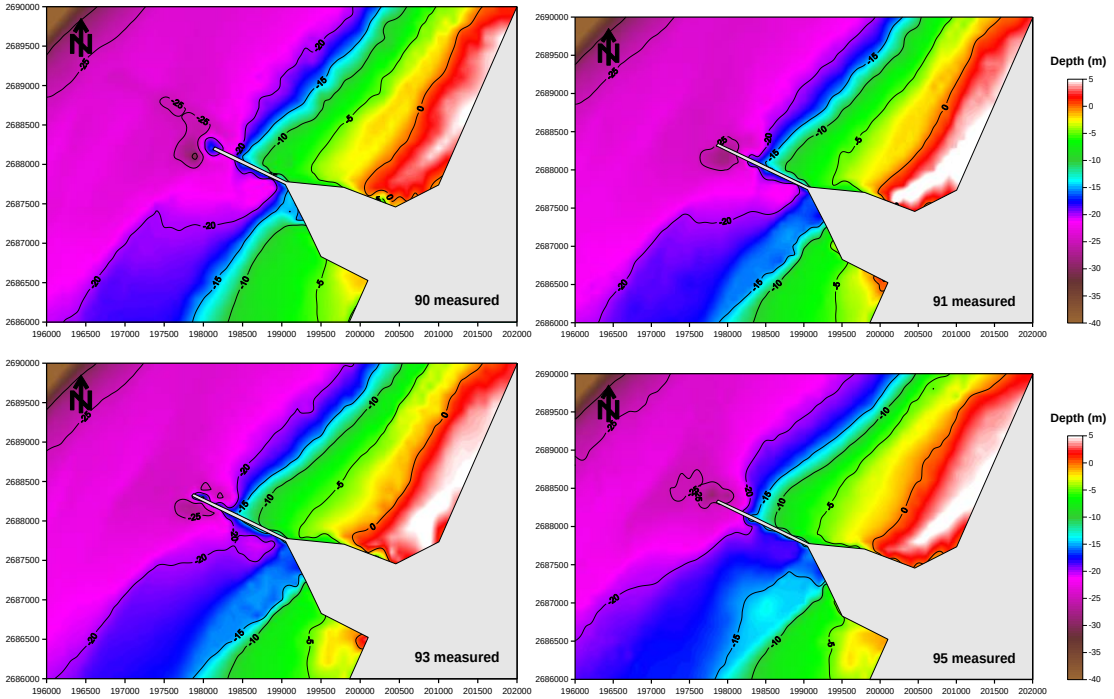
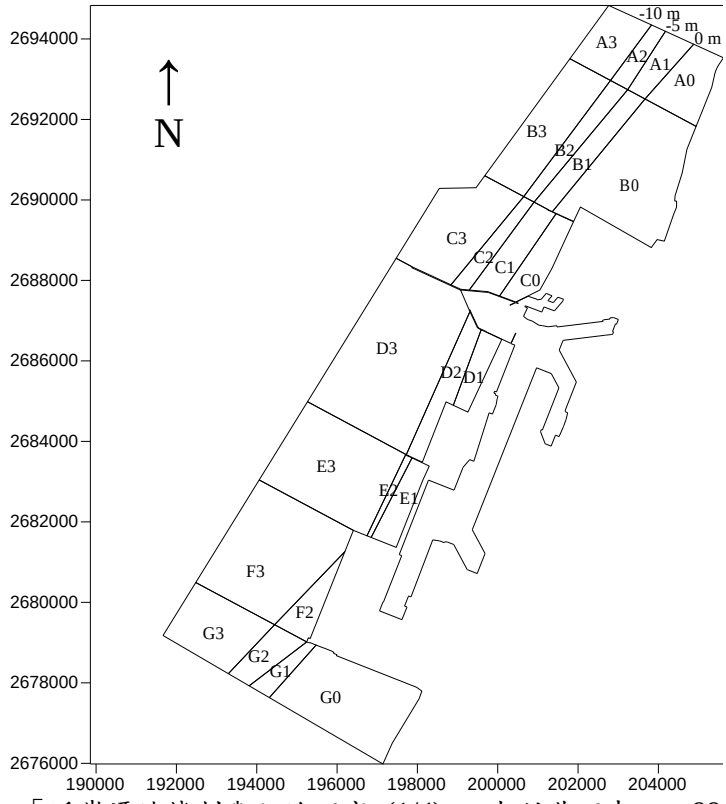



**圖 2.46 (續) 臺中港海域 85~95 年實測地形水深圖**

根據蔡等人 (2010) 蒐集臺中港之地形水深圖(民國 85 年~95 年間)，進行相關之海岸地形變遷趨勢之分析成果：將本區分為 7 個區域，在考量漂沙移動界限水深下，將向離岸方向分為 4 區，分別為 0m 以上標示為第 0 區、0m 至-5m 之間標示為第 1 區、-5m 至-10m 間標示為第 2 區、-10m 以上標示為第 3 區，來詳細探討各分區的侵淤狀況，各分區代號詳圖 2.47 所示。由圖中可知，A、B 區為防沙堤以北區域；C 區為臺中港北防波堤至防沙堤之間的區域；D、E、F、G 區為臺中港北防波堤南側區域。




資料來源：「近岸漂沙機制與防治研究 (1/4)」，本所港研中心，99 年 4 月。

**圖 2.47 臺中港地形水深變遷計算分區圖**

歷次測量之地形資料相對於 85 年地形資料之侵淤變化，如圖 2.48 至圖 2.51 所示。由圖可知，臺中港北防波堤至北防沙堤間有部分淤積，在北防波堤堤頭附近亦有產生淤積，並擴及至港口南側，形成港口南側區域遠岸淤積近岸侵蝕的現象。由圖 2.50 可知，民國 89 年至 91 年間，北防波堤正在進行延長工程，造成北防波堤至北防沙堤間持續淤積，淤積深度最大可達 4m 以上，臺中港北側及南側遠岸區域亦快速淤積，尤其以北側遠岸區域淤積速度最快，淤積深度最大亦達 4m 以上，而在北防波堤堤頭附近及港口附近產生大量侵蝕，侵蝕深度最大可達 -5m 以上。由圖 2.50 至圖 2.51 可知，臺中港整體擴建已完成，北防波堤至北防沙堤間不論是近岸還是遠岸，皆全面淤積，而擴及至港口南側的淤積面積亦有擴大並往南持續延伸，淤積深度則是逐年加深，港口南側近岸區則維持些微侵蝕的狀況，北防波堤堤頭附近及港口附近的侵蝕範圍則大致上維持穩定，並未持續刷深。

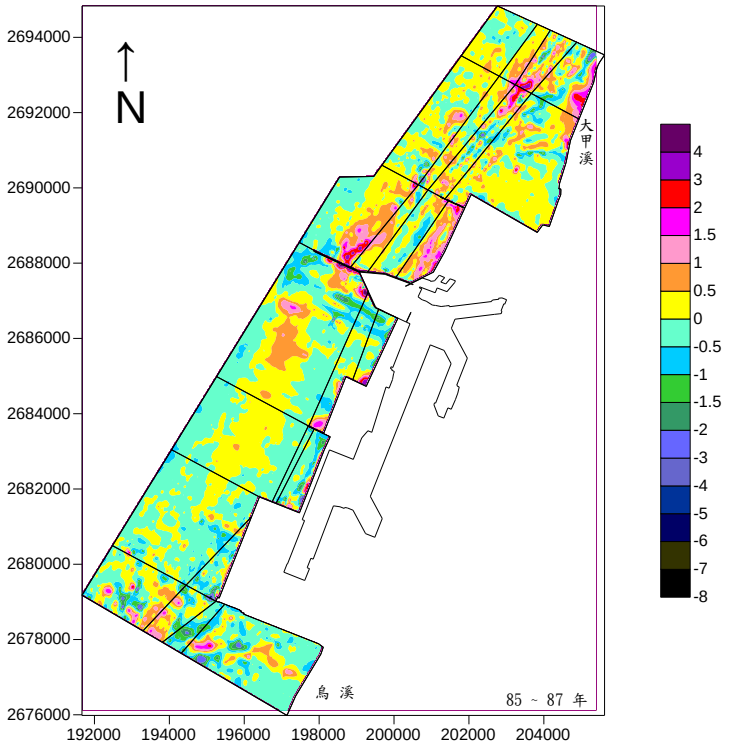
由歷年地形測量相對於 85 年地形之累積侵淤量分析：在防沙堤北

側的 A、B 區中，遠岸的 A3 及 B3 區大致呈現淤積的現象，A3 區至 93 年達到最大累積淤積量約為 413 萬 $m^3$，B3 區則至 95 年達到最大累積淤積量約為 1040 萬 $m^3$。合計防沙堤以北的區域，自民國 85 年至 95 年皆呈現淤積的現象，並在民國 94 年達到最大累積淤積量約為 2631 萬 $m^3$，而民國 89 年～91 年由於正在進行防波堤延伸工程，因此淤積量較少，在民國 90 年達到最小累積淤積量約為 98 萬 $m^3$。

C 區為北防波堤至防沙堤間的北淤沙區，其中除了近岸的 C1 區在 85 年～89 年呈現略微侵蝕之情形，其累積侵蝕量於 86 年最大，約 23 萬 $m^3$，其餘區域所有年度皆呈現淤積之特性，合計北淤沙區自民國 85 年至 95 年間，累積淤積量持續成長，並於民國 95 年達到最大累積淤積量約為 2199 萬 $m^3$。

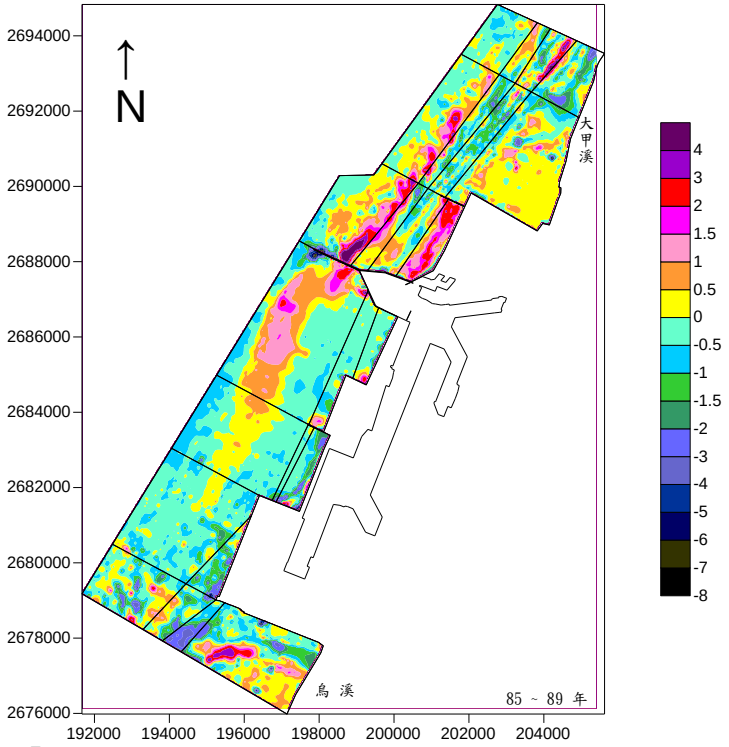
D、E、F、G 區為北防波堤以南區域，由表 2.37 與表 2.38 的淨侵淤量可知，D3 區各年度皆呈現淤積情形，最大累積淤積量發生在 95 年，約 1509 萬 $m^3$；E1 區和 F2 區皆呈現侵蝕情形，E1 區在 89 年有最大累積侵蝕量，約 111 萬 $m^3$，F2 區在 90 年有最大累積侵蝕量，約 148.28 萬 $m^3$，合計北防波堤以南的區域，自民國 85 年至 93 年間皆為侵蝕情形，最大累積侵蝕量發生在 91 年，約 835 萬 $m^3$，至 94 年後由侵蝕轉為淤積，於 95 年產生最大累積淤積量為 3743 萬 $m^3$。

除了民國 89 年防波堤延長工程進行中有最大累積侵蝕量外，其餘年度皆呈現淤積現象，並於民國 95 年達到最大累積淤積量，約 7650 萬 $m^3$。綜言之，臺中港北防波堤以北之區域，因北防波堤及防沙堤攔阻季節性之沿岸漂沙呈現淤積現象，而北防波堤以南之區域，目前因漂沙越過臺中港，亦於 94 年後由侵蝕轉為淤積。



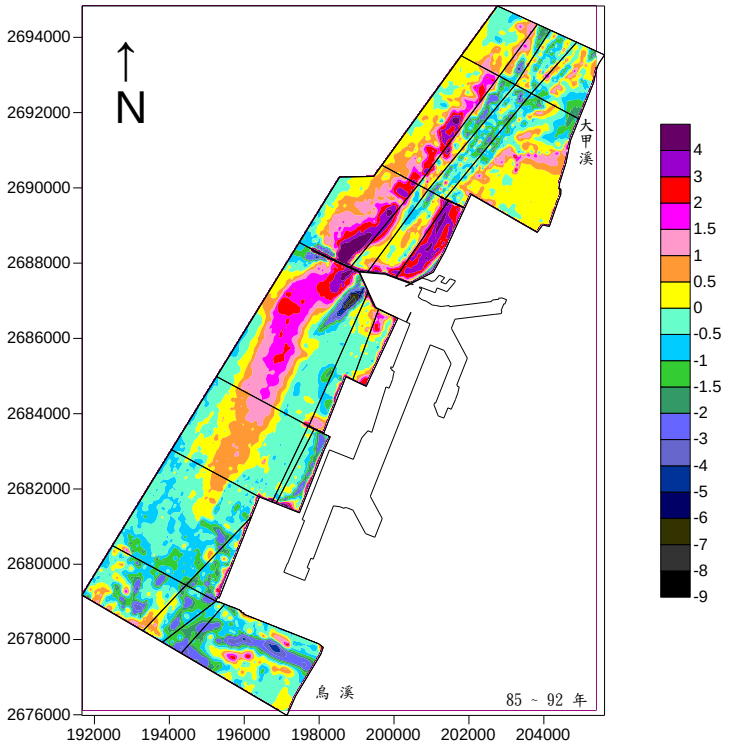

資料來源：「近岸漂沙機制與防治研究 (1/4)」，本所港研中心，99 年 4 月。

**圖 2.48 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85～87 年)**



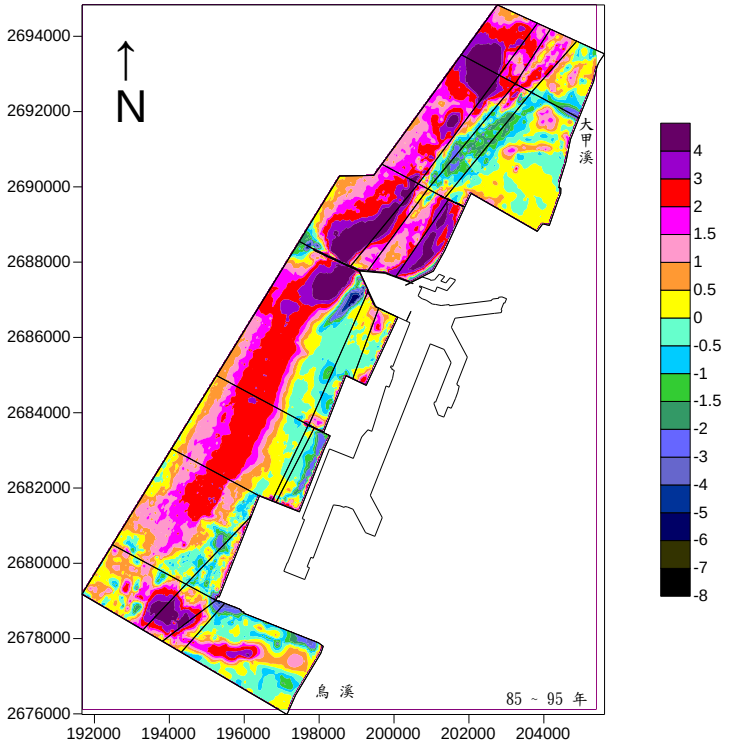

資料來源：「近岸漂沙機制與防治研究 (1/4)」，本所港研中心，99 年 4 月。

**圖 2.49 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85～89 年)**




資料來源：「近岸漂沙機制與防治研究 (1/4)」，本所港研中心，99 年 4 月。

**圖 2.50 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85～92 年)**




資料來源：「近岸漂沙機制與防治研究 (1/4)」，本所港研中心，99 年 4 月。

**圖 2.51 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85～95 年)**

## 表 2.37 臺中港附近地形累積侵淤量 (單位：$\times 10^4 m^3$)

| 分區 | 85～86 | 85～87 | 85～89 | 85～90 | 85～91 | 85～92 | 85～93 | 85～94 | 85～95 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A0 | **-1.60** | 53.76 | **-105.70** | **-7.48** | **-30.58** | **-40.90** | **-215.89** | 545.90 | 599.66 |
| A1 | 39.20 | 59.28 | 29.69 | **-37.01** | **-31.55** | **-32.05** | 113.59 | 225.83 | **-10.14** |
| A2 | 23.23 | 25.79 | 6.29 | **-42.86** | **-24.36** | **-15.11** | 144.50 | 132.95 | **-109.17** |
| A3 | **-32.04** | 3.31 | **-34.54** | 8.67 | 11.45 | 267.61 | 413.61 | 270.64 | 153.10 |
| B0 | 12.10 | 64.05 | 17.09 | 62.29 | 29.11 | 62.24 | **-258.61** | 225.83 | **-10.14** |
| B1 | 61.62 | 46.88 | **-110.23** | **-161.00** | **-97.15** | **-123.99** | **-11.21** | 132.95 | **-109.17** |
| B2 | 26.50 | 22.51 | **-34.13** | **-48.45** | **-34.21** | **-6.20** | 76.06 | 270.64 | 153.10 |
| B3 | **-22.56** | 33.46 | 124.17 | 324.02 | 306.05 | 363.47 | 587.32 | 827.24 | 1040.10 |
| 防沙堤以北 | 106.45 | 309.04 | 107.35 | 98.19 | 128.76 | 475.07 | 849.35 | 2631.98 | 1707.34 |
| C0 | 75.19 | 115.94 | 192.09 | 261.85 | 492.53 | 397.54 | 424.28 | 375.39 | 446.51 |
| C1 | **-23.86** | **-1.87** | **-2.06** | 13.99 | 37.24 | 66.01 | 101.21 | 159.52 | 248.43 |
| C2 | 23.32 | 45.80 | 49.83 | 32.75 | 59.69 | 98.10 | 109.64 | 161.60 | 264.46 |
| C3 | 27.69 | 108.82 | 217.93 | 429.75 | 433.46 | 624.69 | 684.93 | 883.20 | 1240.49 |
| 北淤沙區 | 102.34 | 268.69 | 457.80 | 738.34 | 1022.92 | 1186.35 | 1320.05 | 1579.71 | 2199.88 |
| D1 | 3.55 | **-15.27** | **-16.54** | **-22.67** | 21.36 | 48.98 | 46.21 | 32.60 | 40.50 |
| D2 | 17.34 | **-12.96** | **-39.66** | **-48.86** | 3.21 | 5.20 | **-7.59** | **-34.38** | **-6.06** |
| D3 | 55.08 | 24.78 | 202.49 | 449.88 | 396.17 | 502.17 | 719.70 | 795.76 | 1509.76 |
| E1 | **-29.37** | **-38.12** | **-111.28** | **-100.36** | **-93.22** | **-59.96** | **-93.15** | **-103.12** | **-76.97** |
| E2 | **-5.77** | **-6.98** | **-14.04** | **-12.59** | **-7.99** | **-2.17** | 5.89 | -8.37 | 1.98 |
| E3 | **-32.68** | **-18.10** | **-119.33** | 43.77 | 42.25 | 121.35 | 493.97 | 474.52 | 881.16 |
| F2 | **-32.27** | **-36.81** | **-115.22** | **-148.28** | **-77.36** | **-73.39** | **-19.37** | **-0.79** | **-18.89** |
| F3 | **-69.57** | **-103.13** | **-261.07** | **-305.14** | **-395.88** | **-355.52** | **-244.66** | 326.43 | 666.24 |
| G0 | **-162.76** | **-99.22** | **-38.08** | **-244.33** | **-427.50** | **-424.22** | **-1046.63** | **-146.16** | 51.91 |
| G1 | **-13.40** | **-43.99** | **-126.18** | **-57.10** | **-81.85** | **-95.98** | **-108.75** | 42.53 | 71.37 |
| G2 | 42.84 | 10.29 | **-55.88** | **-64.34** | **-80.93** | **-104.24** | **-102.92** | 257.62 | 314.29 |
| G3 | 17.53 | **-19.75** | **-103.92** | **-99.11** | **-133.94** | **-180.25** | **-159.71** | 300.14 | 307.72 |
| 北防波堤以南 | **-209.47** | **-359.25** | **-798.72** | **-609.11** | **-835.68** | **-618.02** | **-517.02** | 1936.77 | 3743.00 |
| 全區 | **-0.67** | 218.48 | **-448.27** | 227.42 | 315.99 | 1043.39 | 1652.38 | 6148.45 | 7650.22 |

資料來源：「近岸漂沙機制與防治研究 (1/4)」，本所港研中心，99 年 4 月。

**表 2.38 重新計算之臺中港附近地形累積侵淤量** (單位：$\times 10^4 m^3$)

| 分區 | 85～86 | 86～87 | 87～89 | 89～90 | 90～91 | 91～92 | 92～93 | 93～94 | 94～95 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A0 | **-1.60** | 55.36 | **-159.46** | 98.22 | **-23.1** | **-10.32** | **-174.99** | 761.79 | 53.76 |
| A1 | 39.20 | 20.08 | **-29.59** | **-66.7** | 5.46 | **-0.5** | 145.64 | 112.24 | **-235.97** |
| A2 | 23.23 | 2.56 | **-19.5** | **-49.15** | 18.5 | 9.25 | 159.61 | **-11.55** | **-242.12** |
| A3 | **-32.04** | 35.35 | **-37.85** | 43.21 | 2.78 | 256.16 | 146 | **-142.97** | **-117.54** |
| B0 | 12.10 | 51.95 | **-46.96** | 45.2 | **-33.18** | 33.13 | **-320.85** | 484.44 | **-235.97** |
| B1 | 61.62 | **-14.74** | **-157.11** | **-50.77** | 63.85 | **-26.84** | 112.78 | 144.16 | **-242.12** |
| B2 | 26.50 | **-3.99** | **-56.64** | **-14.32** | 14.24 | 28.01 | 82.26 | 194.58 | **-117.54** |
| B3 | **-22.56** | 56.02 | 90.71 | 199.85 | **-17.97** | 57.42 | 223.85 | 239.92 | 212.86 |
| 防沙堤以北 | 106.45 | 202.59 | **-201.69** | **-9.16** | 30.57 | 346.31 | 374.28 | 1782.63 | **-924.64** |
| C0 | 75.19 | 40.75 | 76.15 | 69.76 | 230.68 | **-94.99** | 26.74 | **-48.89** | 71.12 |
| C1 | **-23.86** | 21.99 | **-0.19** | 16.05 | 23.25 | 28.77 | 35.2 | 58.31 | 88.91 |
| C2 | 23.32 | 22.48 | 4.03 | **-17.08** | 26.94 | 38.41 | 11.54 | 51.96 | 102.86 |
| C3 | 27.69 | 81.13 | 109.11 | 211.82 | 3.71 | 191.23 | 60.24 | 198.27 | 357.29 |
| 北淤沙區 | 102.34 | 166.35 | 189.11 | 280.54 | 284.58 | 163.43 | 133.7 | 259.66 | 620.17 |
| D1 | 3.55 | **-18.82** | **-1.27** | **-6.13** | 44.03 | 27.62 | **-2.77** | **-13.61** | 7.9 |
| D2 | 17.34 | **-30.3** | **-26.7** | **-9.2** | 52.07 | 1.99 | **-12.79** | **-26.79** | 28.32 |
| D3 | 55.08 | **-30.3** | 177.71 | 247.39 | **-53.71** | 106 | 217.53 | 76.06 | 714 |
| E1 | **-29.37** | **-8.75** | **-73.16** | 10.92 | 7.14 | 33.26 | **-33.19** | **-9.97** | 26.15 |
| E2 | **-5.77** | **-1.21** | **-7.06** | 1.45 | 4.6 | 5.82 | 8.06 | **-14.26** | 10.35 |
| E3 | **-32.68** | 14.58 | **-101.23** | 163.1 | **-1.52** | 79.1 | 372.62 | **-19.45** | 406.64 |
| F2 | **-32.27** | **-4.54** | **-78.41** | **-33.06** | 70.92 | 3.97 | 54.02 | 18.58 | -18.1 |
| F3 | **-69.57** | **-33.56** | **-157.94** | **-44.07** | **-90.74** | 40.36 | 110.86 | 571.09 | 339.81 |
| G0 | **-162.76** | 63.54 | 61.14 | **-206.25** | **-183.17** | 3.28 | **-622.41** | 900.47 | 198.07 |
| G1 | **-13.40** | **-30.59** | **-82.19** | 69.08 | **-24.75** | **-14.13** | **-12.77** | 151.28 | 28.84 |
| G2 | 42.84 | **-32.55** | **-66.17** | **-8.46** | **-16.59** | **-23.31** | 1.32 | 360.54 | 56.67 |
| G3 | 17.53 | **-37.28** | **-84.17** | 4.81 | **-34.83** | **-46.31** | 20.54 | 459.85 | 7.58 |
| 北防波堤以南 | **-209.47** | **-149.78** | **-439.47** | 189.61 | **-226.57** | 217.66 | 101 | 2453.79 | 1806.23 |
| 全區 | **-0.67** | 219.15 | **-666.75** | 675.69 | 88.57 | 727.4 | 608.99 | 4496.07 | 1501.77 |

資料來源：「近岸漂沙機制與防治研究 (1/4)」，本計畫重新計算。

根據歷年 (民國 85~95 年) 臺中港海域地形資料，進一步探討本區斷面地形變化。由北至南共選取六處斷面，各斷面位置如圖 2.52 所示。圖 2.53 為臺中港海域由 85 至 95 年間斷面變化情形，結果顯示 Sec.01 ~ Sec.04 (大甲溪口至北防波堤之間) 整體地形呈現逐年淤積現象。Sec.05 (北防波堤段) 因防波堤陸續延伸，在堤頭附近明顯發現地形呈現逐年侵蝕現象。Sec.06 在離岸 0.5~1.2km 之間，地形呈現逐年淤積現象；離岸 1.5~1.7km 之間，地形則呈現先侵後淤的情形。Sec.07、08 在離岸 1.0m 以內地形變化不大；在離岸 1.5m 以外，地形則呈現逐年淤積現象。

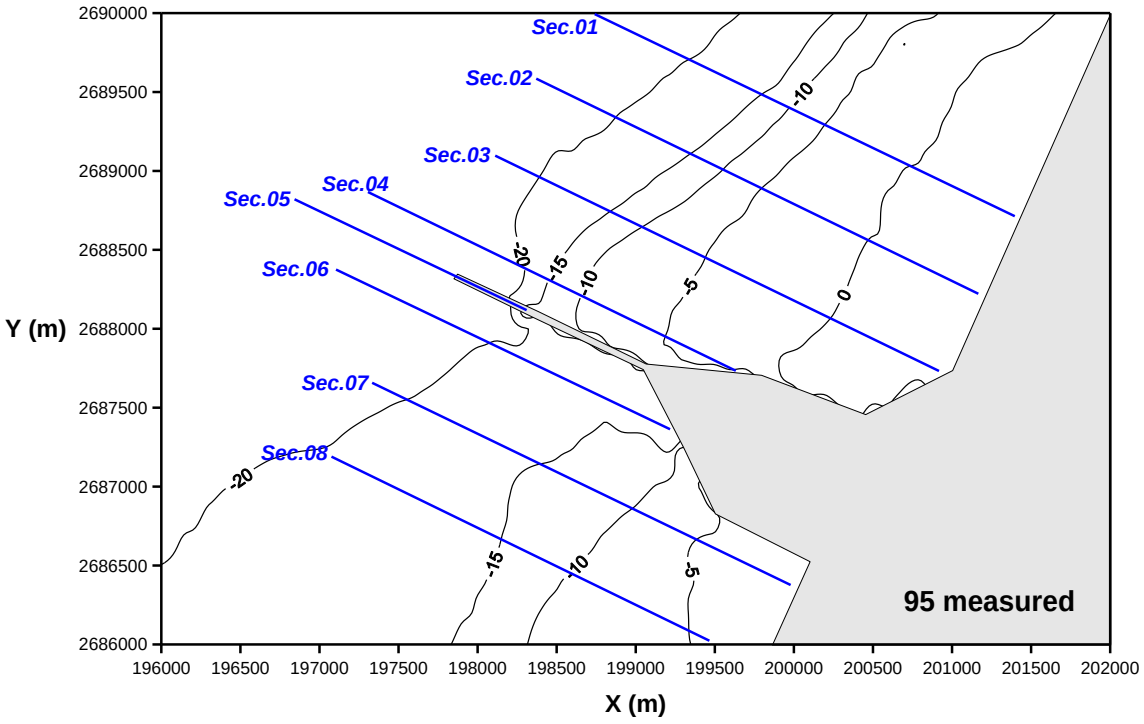



**圖 2.52 臺中港海域斷面位置圖**

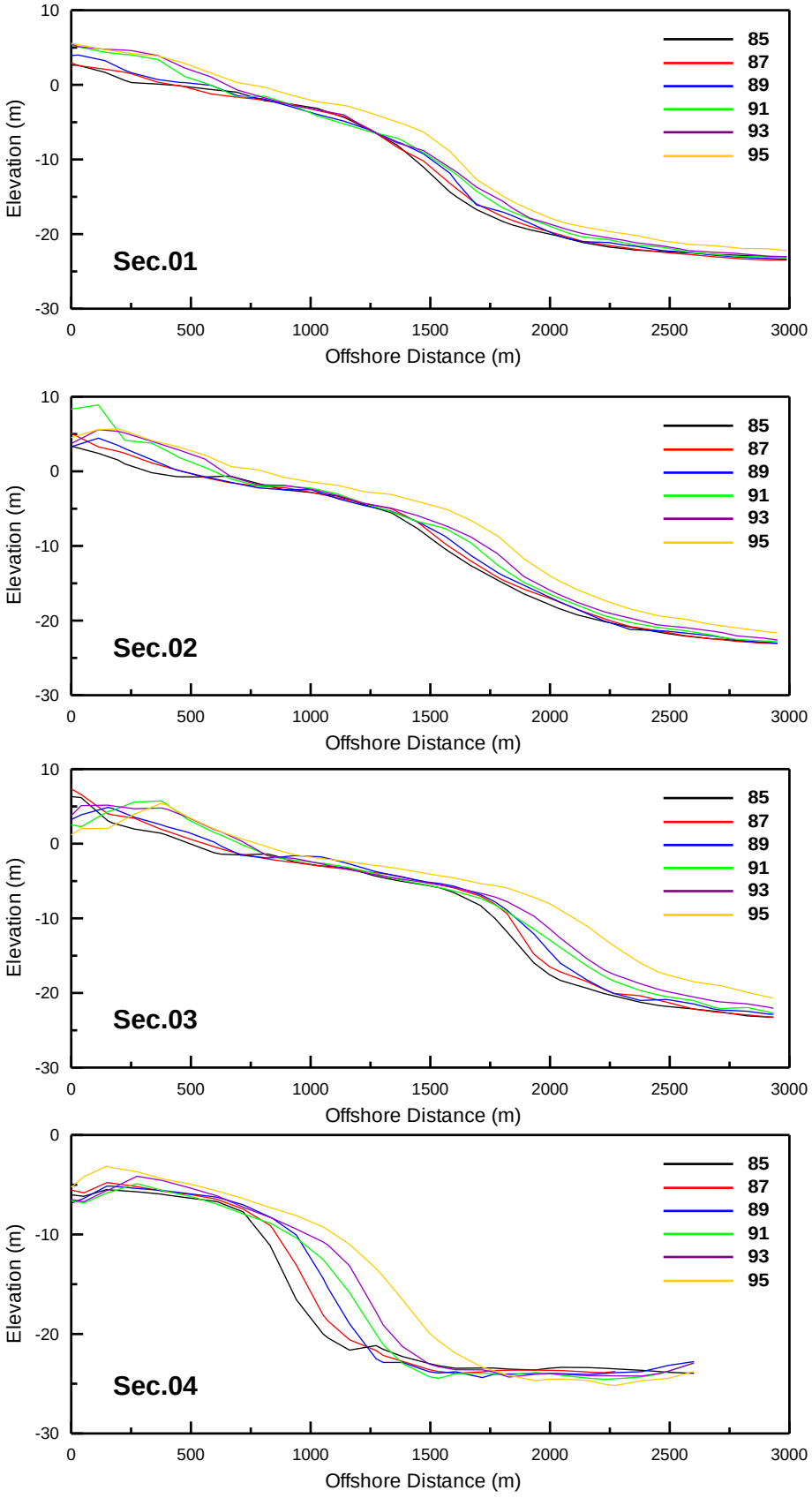



**圖 2.53 臺中港海域 85~95 年間斷面地形變化**

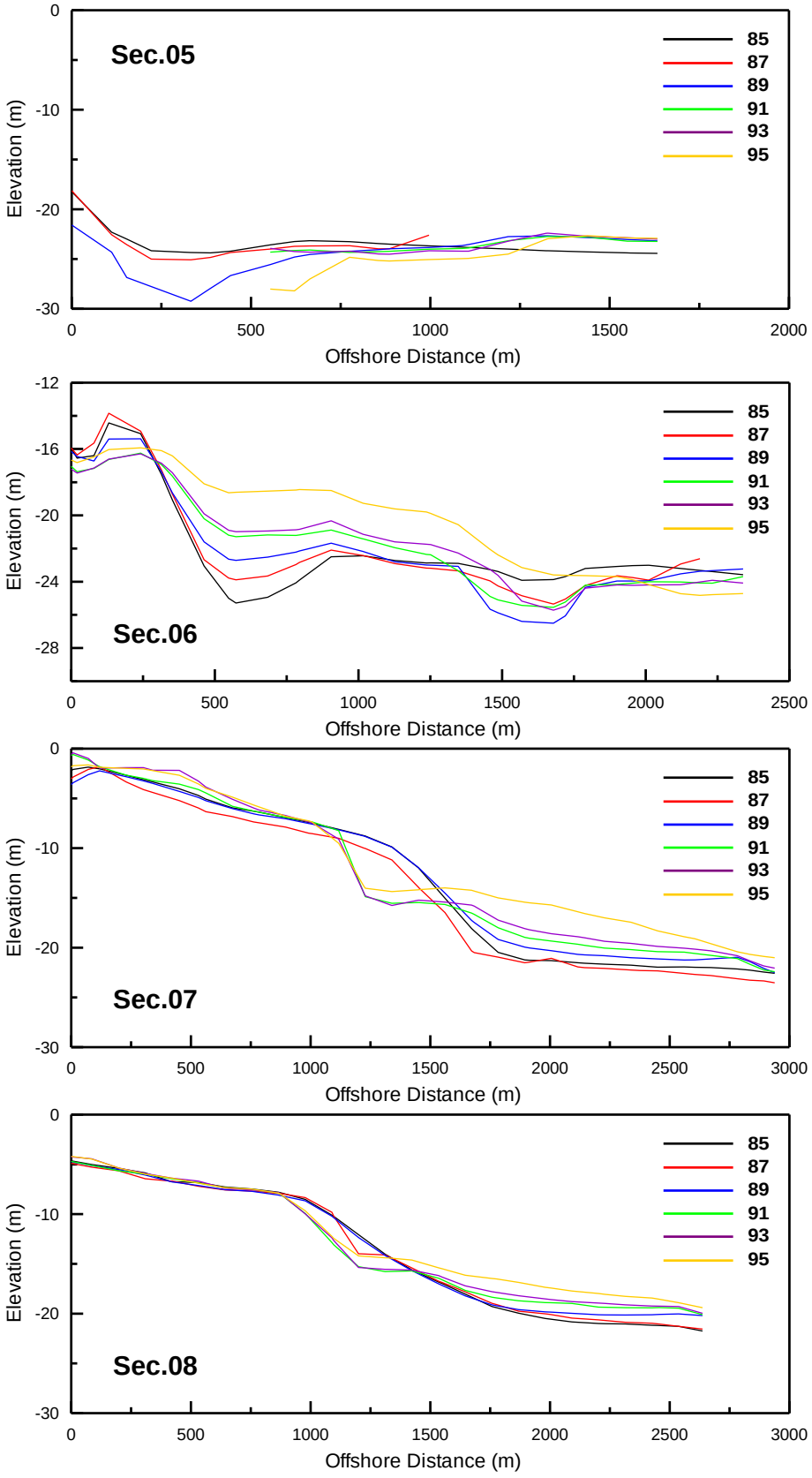



**圖 2.53(續) 臺中港海域 85~95 年間斷面地形變化**

另外，根據臺中港務分公司提供之臺中港附近海域地形水深資料，比較 95~102 年地形資料相對之侵淤變化，如圖 2.43 至圖 2.47 所示。圖中框選處為本計畫之地形監測範圍。

圖 2.54 為 95 年與 98 年二次地形監測結果進行侵淤變化比較，由圖可知，臺中港內防沙堤以北區域在近岸與遠岸有明顯淤積情況；臺中港北防波堤至防沙堤之間有部分淤積，而靠近沿岸處則有侵蝕情況，形成遠岸淤積近岸侵蝕的情形；臺中港北防波堤南側區域則略有淤積情況；臺中港內南側區域則有侵蝕現象。計畫監測範圍堤頭附近侵淤現象，在堤頭以北之港域外(堤身北側)淤積情形相當明顯；堤頭附近以侵蝕為主，堤頭以南則略微淤積，堤頭消波塊群西南掏刷區和位於堤頭東北向區域侵蝕情形相當明顯。

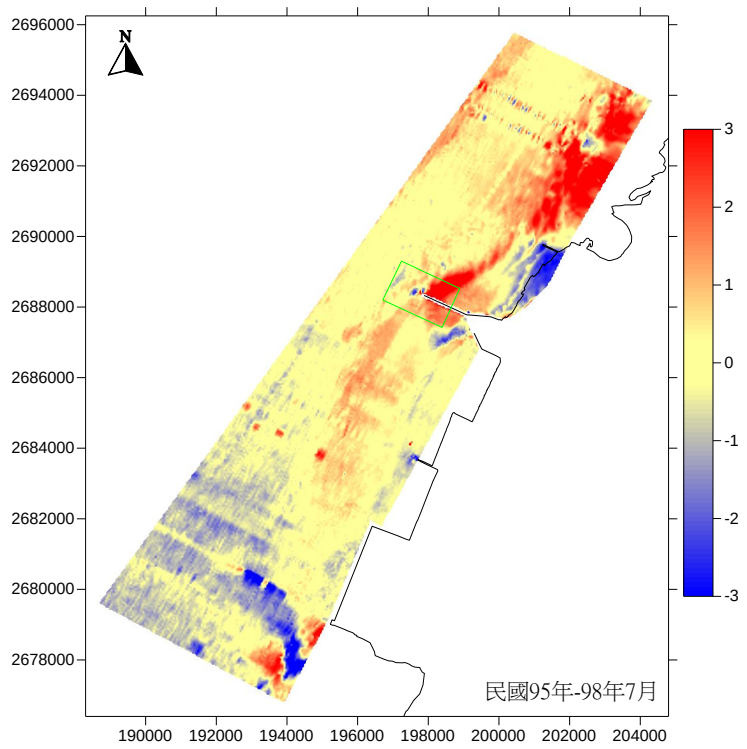
圖 2.55 為 98/7 與 99/11 二次地形監測結果進行侵淤變化比較，由圖可知，臺中港內防沙堤以北區域和前次監測結果相較沒有明顯淤積情況；臺中港北防波堤至防沙堤之間區域只有在靠近沿岸處與防坡堤北側有淤積情況，其他則無明顯變化；臺中港北防波堤南側區域有些微地形變化情況，大致上為遠岸侵蝕近岸淤積之情況；臺中港內南側區域和上次監測結果相較有略微侵蝕現象，其中在靠近沿岸處侵蝕現象較為明顯。計畫監測範圍堤頭附近侵淤現象，在堤頭以北(堤身北側)靠近沿岸處淤積情形明顯；堤頭附近仍以侵蝕為主，位於堤頭西北向區域侵蝕情形相當明顯。

圖 2.56 為 99/11 與 100/8 二次地形監測結果進行侵淤變化比較，由圖可知，臺中港內防沙堤以北區域有大範圍之侵蝕情況，不論是近岸還是遠岸，皆全面淤積；臺中港北防波堤有部分淤積侵蝕情形；臺中港北防波堤南側區與港內南側區域有大範圍淤積情況，其中在臺中港內南側區域靠近沿岸處有一略微明顯淤積現象。計畫監測範圍堤頭附近侵淤現象，在堤頭以北之港域外(堤身北側)淤積情形相當明顯；堤頭附近以侵蝕為主，堤頭以南則略微淤積，堤頭消波塊群西南掏刷區和位於堤頭東北向區域侵蝕情形相當明顯。

圖 2.57 為 100/8 與 101/9 二次地形監測結果進行侵淤變化比較，由

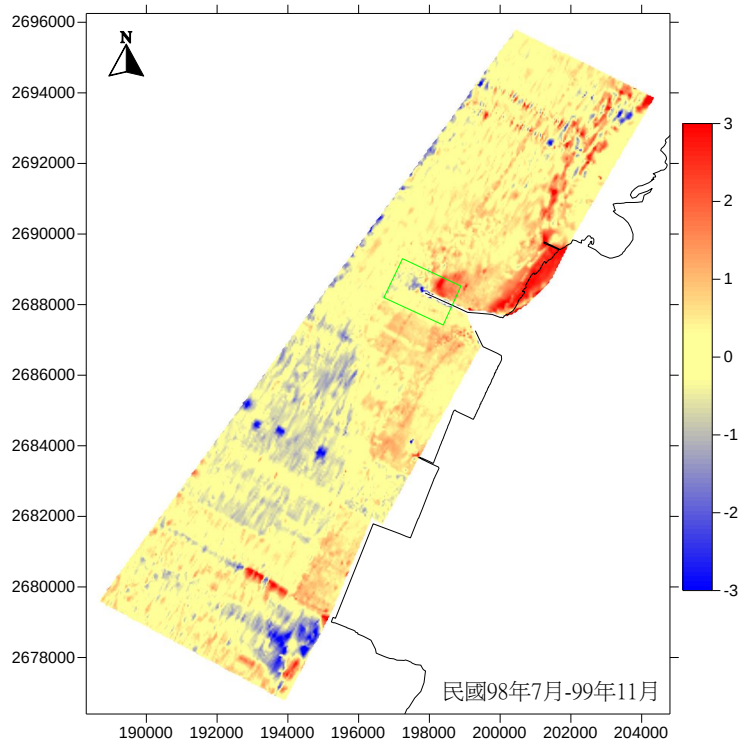
圖可知，臺中港內防沙堤以北區域至北防波堤北側的沿岸區域有明顯地形侵淤變化，以淤積為主，有少部份地方侵蝕，其中在北防波堤北側的沿岸區域淤積情況明顯；臺中港北防波堤南側區與港內南側區域，除在港內南側區域沿岸處有部分區域有明顯淤積，其餘區域地形皆無明顯變化。計畫監測範圍堤頭附近侵淤現象，在堤頭以北之港域外(堤身北側)與堤頭附近都有明顯淤積情形，而本次比較結果在堤頭消波塊群西南掏刷區和位於堤頭東北向區域則無明顯侵蝕情形。

圖 2.58 為 101/9 與 102/9 二次地形監測結果進行侵淤變化比較，由圖可知，臺中港內防沙堤以北區域至北防波堤北側的沿岸區域有地形侵淤變化，以淤積為主，有少部份地方侵蝕，其中在北防波堤北側區域淤積情況明顯；臺中港北防波堤南側區與港內南側區域，除在港內南側區域沿岸處有部分區域有略微侵蝕現象，其餘區域地形皆無明顯變化。計畫監測範圍堤頭附近侵淤現象，在堤頭以北之港域外(堤身北側)有明顯淤積情形，而堤頭東北向區域有些微淤積情形。



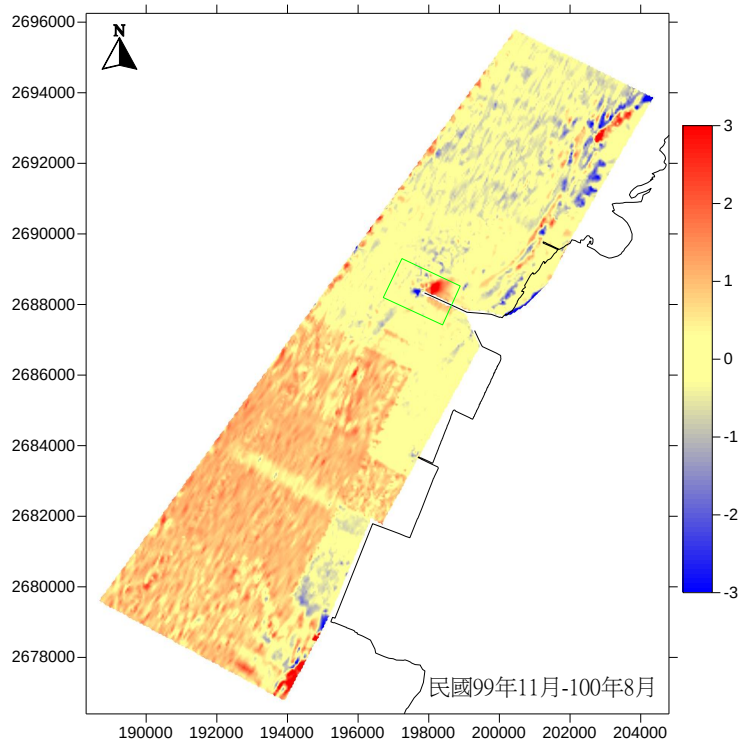

資料來源：臺中港務分公司，本計畫繪製；單位：侵淤量(m)。

**圖 2.54 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 95～98 年)**



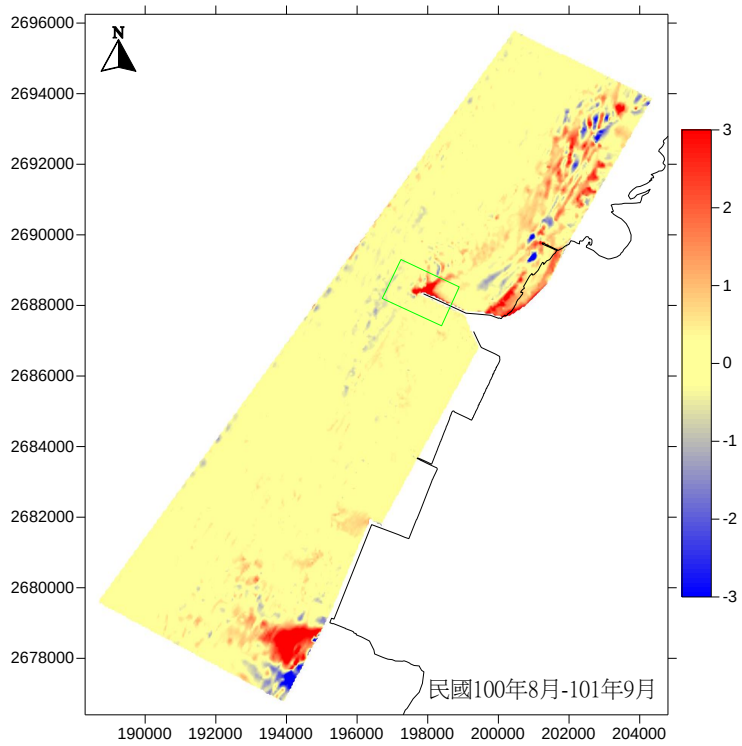

資料來源：臺中港務分公司，本計畫繪製；單位：侵淤量(m)。

**圖 2.55 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 98～99 年)**



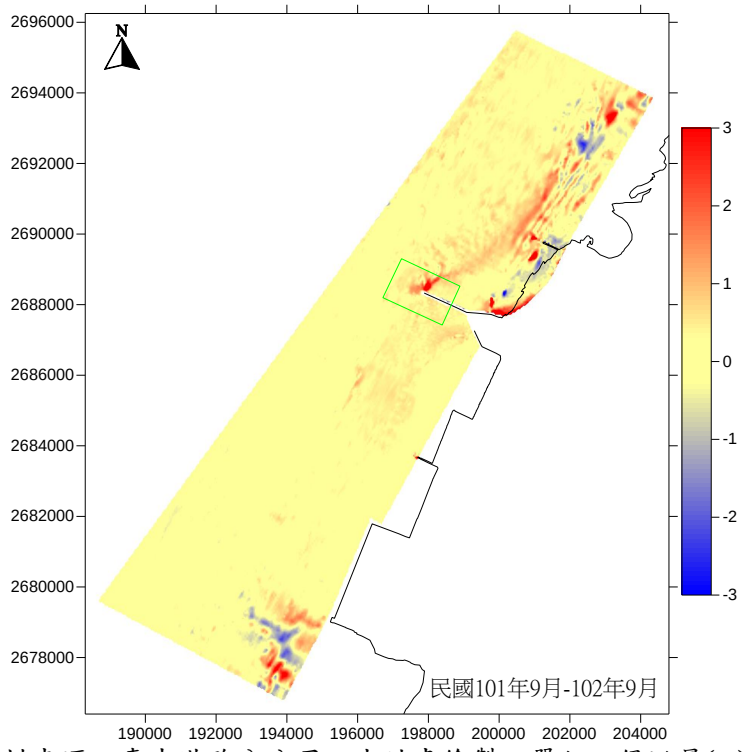

資料來源：臺中港務分公司，本計畫繪製；單位：侵淤量(m)。

**圖 2.56 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 99～100 年)**




資料來源：臺中港務分公司，本計畫繪製；單位：侵淤量(m)。

**圖 2.57 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 100～101 年)**




資料來源：臺中港務分公司，本計畫繪製；單位：侵淤量(m)。

**圖 2.58 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 101～102 年)**

**2**. 雲林海域

雲林海岸北起濁水溪口南至北港溪口，早年濁水溪未整治前，分歧之西螺溪、虎尾溪及北港溪等支流供應豐富輸沙源，沖積形成平緩之海灘。同時海岸線曲折富變化，許多排水路河口形成之潮溝分隔沙灘，並有離岸沙洲露出或潛沒分佈於沿岸。1912 年時實施濁水溪整治計畫，林內一、二號堤防完成後，原濁水溪河系上游洪水已由隨機放流轉為全由北端之西螺溪 (今之濁水溪) 輸送入海，而南端之北港溪、新虎尾溪及舊虎尾溪等河川則成為內陸排水道，其流域面積及輸沙量均大幅減少。此造成濁水溪口南側沙洲逐漸侵蝕且向南移動。近年來雲林海岸已全被規劃興建為雲林離島工業區，圍堤內陸區無直接被波浪侵蝕之慮，但已嚴重阻攔南側外傘頂洲之漂沙來源。

圖 2.59 為雲嘉海域由濁水溪口至外傘頂洲間歷年海岸線變遷情形(林等人，2003)，由圖可知 1900 年時濁水溪口以南海岸線在新虎尾溪口 (現址) 處，存在一向西延伸 3~5 公里之沙洲，此可能為初期之海豐島。往南至三條崙，外傘頂洲於此向南南西方向延伸出海，沙洲末端位於今鰲鼓西方約 9 公里處。1900 至 1947 年間，海豐島北側灘線侵蝕約 1 公里，沙洲末端向西南延伸約 5 公里，與陸側之間則形成一內海潟湖。1920 至 1947 年間，外傘頂洲外側灘線向陸側侵蝕約 800 公尺，平均每年後退約 30 公尺；沙洲末端則向西延伸 1.4 公里。由以上海岸線變化結果顯示，在 1912 年實施濁水溪整治計畫後，對海豐島海岸變遷影響較為顯著，而對外傘頂洲則影響尚未劇烈。1947 至 1962 年間，海豐島及外傘頂洲均出現劇烈變化。濁水溪以南至新虎尾溪間海豐島之北側灘線向外淤積約 1~1.5 公里，新虎尾溪至臺西間灘線侵蝕約 1~1.2 公里，海豐島末端則向南延伸 5 公里。外傘頂洲在 1947 年以前於三條崙延伸出海，而 1962 年以後則南移至箔子寮附近，南移距離達 5 公里，延伸方向已由南南西轉為西南方向出海。1947 至 1962 年間，外傘頂洲外側 (西北側) 灘線則向陸側 (東南向) 侵蝕 2.5~3 公里，平均每年後退約 180 公尺，海岸線已由外突圓弧狀變為內凹彎曲狀；外傘頂洲末端則向西延伸 2.5 公里。1962 至 1980 年間，濁水溪口至新虎

尾溪間海岸變化不大，海豐島則整體往南移動約 5 公里，逐漸萎縮貼近三條崙海岸。外傘頂洲外側 (西北側) 灘線則持續向陸側 (東南向) 侵蝕 0.8~1.2 公里，平均每年後退約 58 公尺。1980 至 2001 年間，外傘頂洲西北側灘線持續向東南方向侵蝕約 1.4 公里，平均每年約侵蝕 67 公尺。

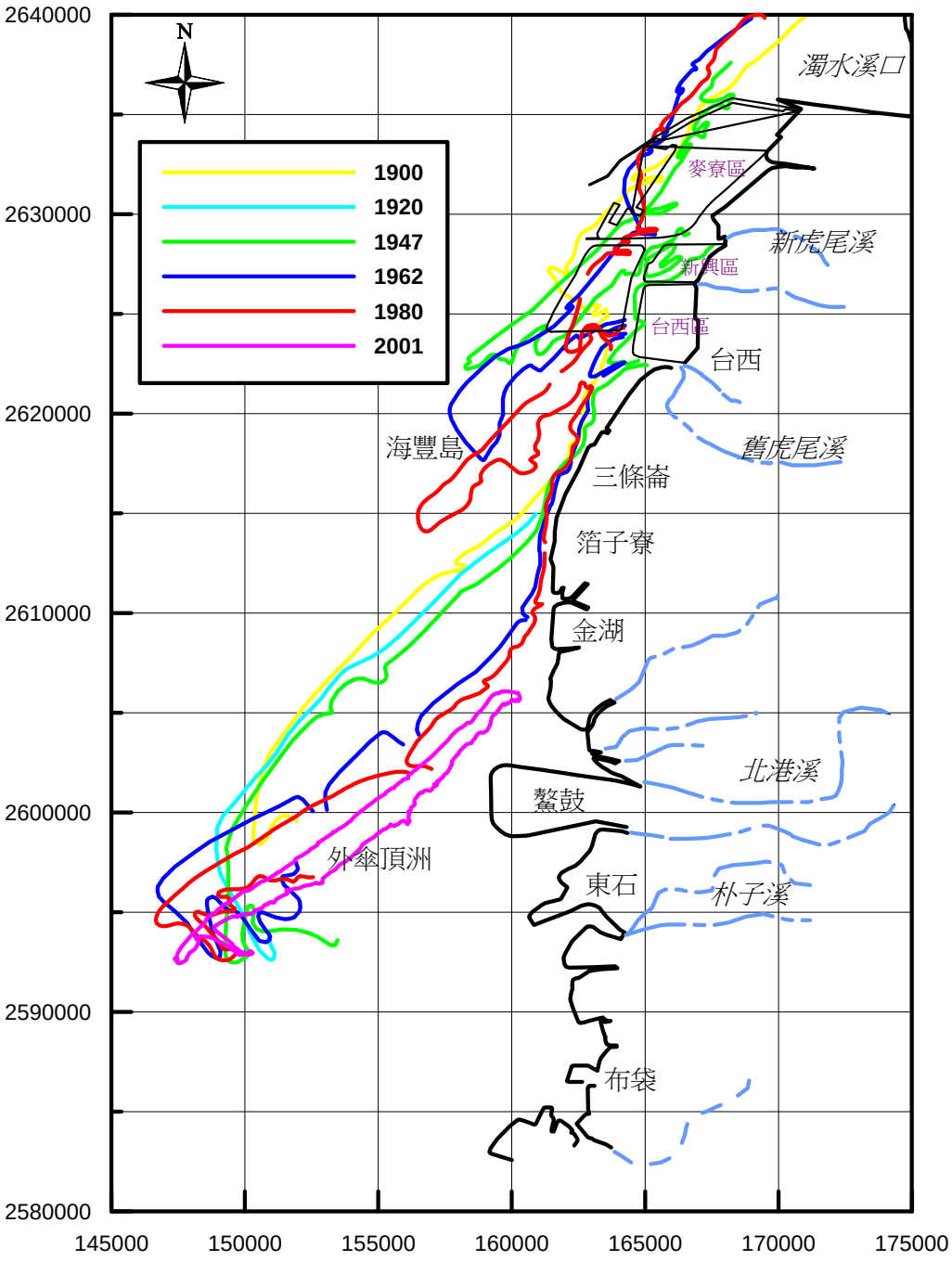



**圖 2.59 雲嘉海域歷年海岸線變遷**

雲林海埔地及離島工業區於民國 62 年起陸續開發興建，包括臺西區海埔地開發時期為民國 62~64 年 (共 770 公頃)，往後的新興區海埔地開發為民國 73~76 年 (共 550 公頃)、麥寮工業區開發為民國 80~ 86 年 (共 2,652 公頃)、新興工業區開發為民國 86 至今 (共 991 公頃) 等。此大面積之海岸開發阻擋濁水溪南向輸沙，助長外傘頂洲往陸側侵蝕萎縮。雲林離島工業區自民國 83 年麥寮區動工興建以來，麥寮區北側海堤受到濁水溪砂源的補注，已有淤積現象產生。圖 2.60 為麥寮工業區各區段海堤位置，其中西防波堤 I 約於民國 84 年期間完工，南防波堤 II 與西防波堤 II 分別於民國 85 年 6 月與 86 年 3 月完工，鄰近外航道之西防波堤 III 則於民國 87 年 3 月開始施工延伸至民國 89 年 9 月，外航道內側之南防波堤 I 則於民國 87 年底完工。

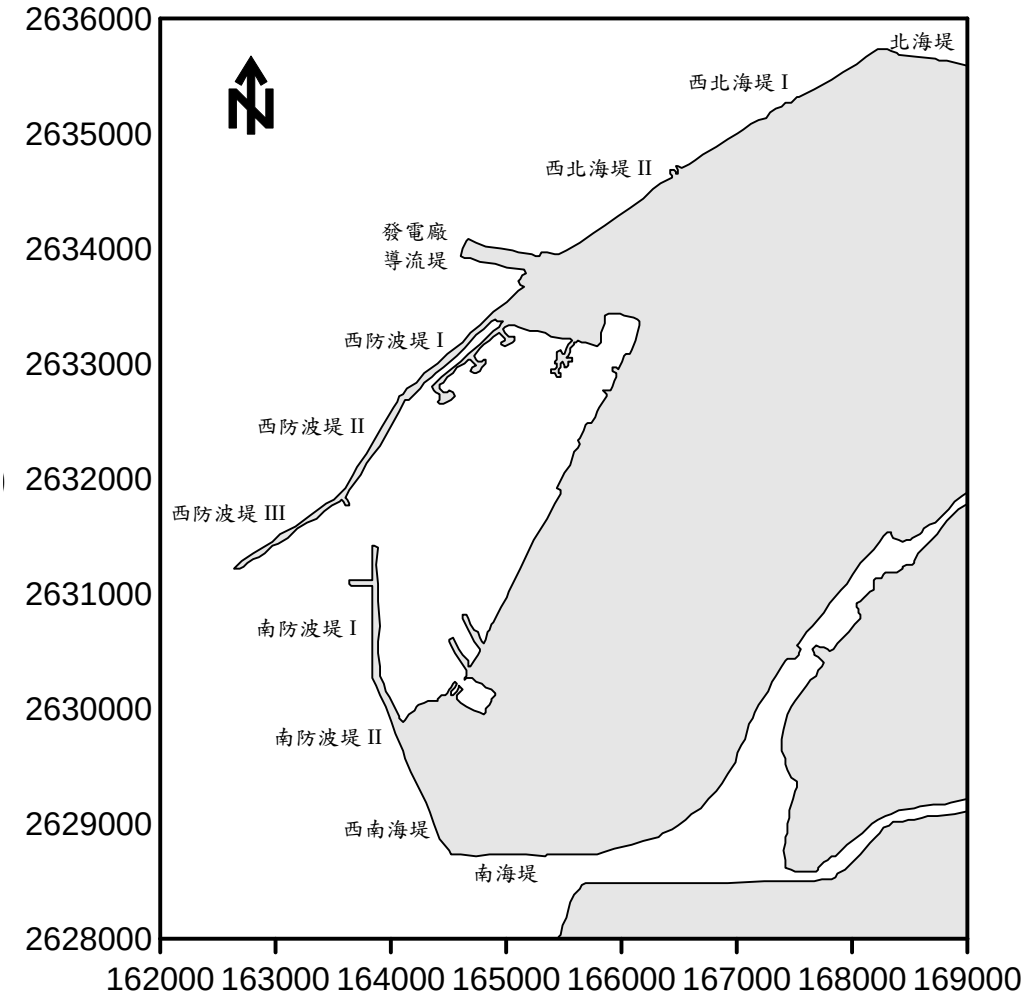



**圖 2.60 麥寮工業區各區段海堤位置圖**

圖 2.61 為雲林離島工業區 80 年、87 年、90 年、93 年、96 年以及 99 年之實測地形水深圖，由圖中可知麥寮工業區自 85 年以後陸續興建發電廠導流堤、西防波堤 III、興建新興工業區及海岸現況地形等。

圖 2.62 為 82~85 年期間地形變化：濁水溪口、西北海堤 II 及西防波堤 I 北側為淤積狀態；西防波堤 II 正進行延伸工程，堤頭南北兩側明顯侵蝕；南防波堤 II 至西南海堤間之近岸區為淤積狀態，而外海地形則無明顯變化。

圖 2.63 為 85~89 年期間地形變化：濁水溪口以南至西北海堤 II 間為侵蝕狀態，發電廠導流堤興建後北側略微淤積，堤頭處呈現侵蝕；導流堤西側至西防波堤 II 間北側明顯淤積；西防波堤 III 由 87 年開始興建至 89 年完工期間造成堤身兩側侵蝕，至南防波堤 I 西側 (即港嘴處) 都呈現明顯侵蝕；南防波堤 II 至西南海堤間之近岸區為侵蝕狀態，而外海區地形則侵淤互現。

圖 2.64 為 89~93 年期間地形變化：濁水溪口以南至西北海堤 I 間為侵蝕狀態，由西北海堤 II 經導流堤至西防波堤 III 間均為淤積狀態，但西防波堤 III 堤頭西南端則侵蝕嚴重；港嘴處亦呈現明顯淤積狀態；南防波堤 I、II 之間西側外海則產生侵蝕，新興工業區海堤西北端呈現明顯侵蝕現象。

圖 2.65 為 93~96 年期間地形變化：由西北海堤 I 至西防波堤 I 間多呈現侵蝕狀態，尤其是導流堤堤頭附近明顯侵蝕；西防波堤 II 北側為淤積；原先 89~93 年期間西防波堤 III 堤頭西南端之侵蝕處略往北移動；港嘴處呈現侵蝕狀態，南防波堤 I 西側為淤積，南防波堤 II 則為侵蝕；新興工業區海堤西北端亦呈現微幅侵蝕現象，而北側則明顯淤積。

圖 2.66 為 96~99 年期間地形變化：濁水溪口以南至西北海堤 II 間北側明顯淤積，但導流堤堤頭附近明顯侵蝕；西防波堤 I、II 北側亦呈現侵蝕狀態；西防波堤 III 堤頭附近已不再侵蝕，而呈現明顯淤積現象，但堤頭西南側外海處仍有侵蝕；港嘴處呈現侵蝕狀態，南防波堤 II 則為淤積；新興工業區西側海堤略有侵蝕而北側地形則無明顯變化。

圖 2.67 為 82~99 年期間整體地形變化：麥寮港北側海域呈現明顯淤積狀態，淤積幅度約+8~+10 m；但導流堤堤頭處則明顯侵蝕，掏深幅度可達-10 m；西防波堤 III 堤頭處往西南側形成明顯的侵蝕洞，掏深幅度超過-15 m；港嘴處呈現明顯侵蝕，南防波堤 I、II 外海則明顯淤積；新興工業區西側海堤侵蝕名顯，掏深幅度約 -6~-8 m，而北側地形亦呈現侵蝕狀態。

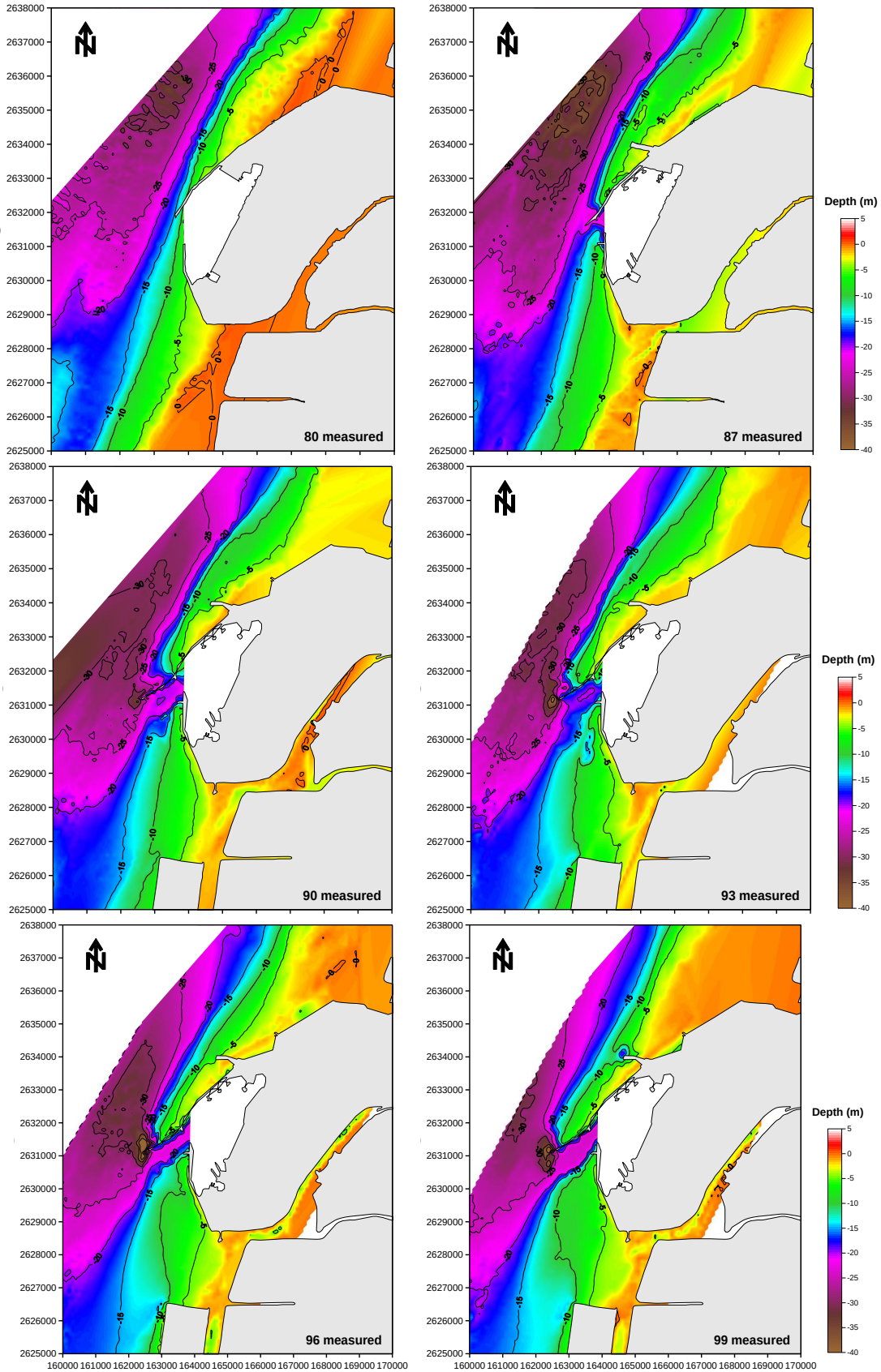



**圖 2.61 雲林離島工業區海域 80~99 年實測地形水深圖**

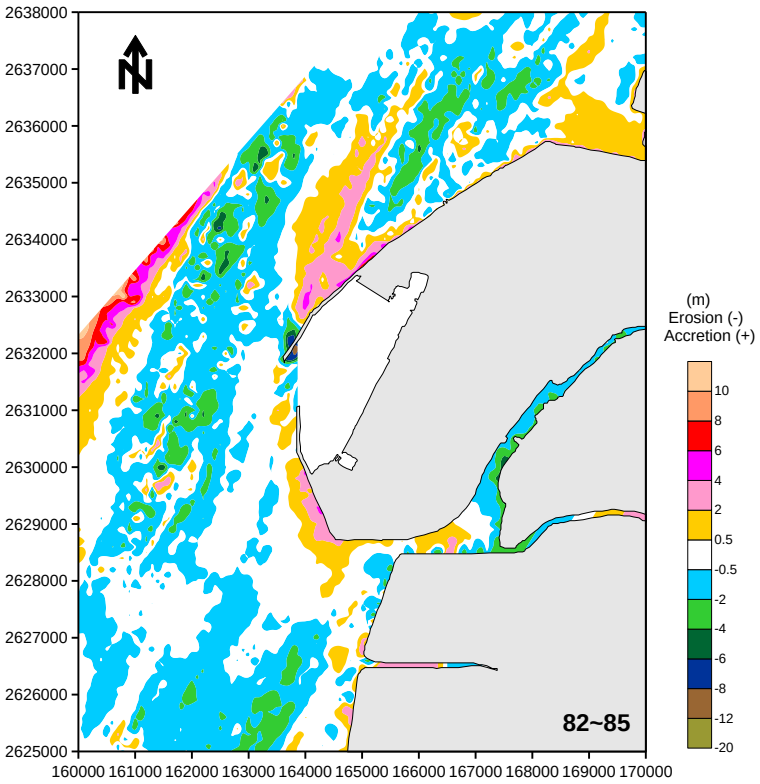



**圖 2.62 雲林離島工業區海域 82-85 年間實測地形侵淤變化**

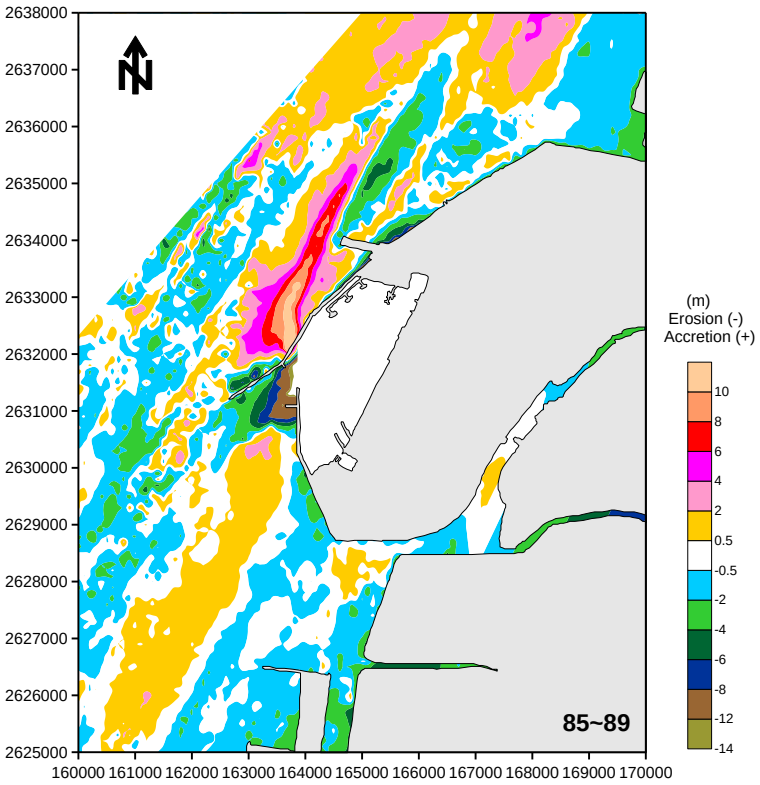



**圖 2.63 雲林離島工業區海域 85-89 年間實測地形侵淤變化**

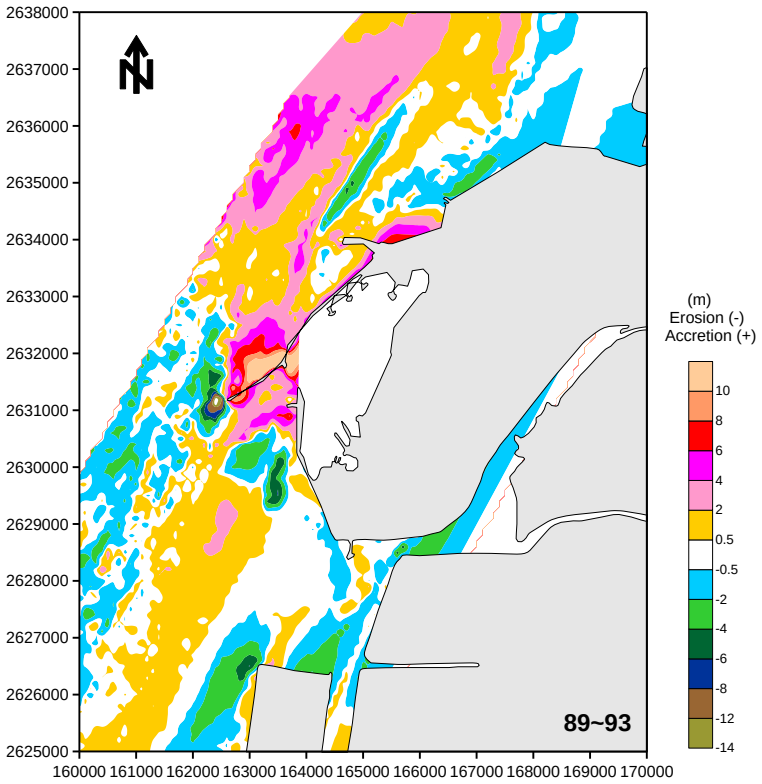



**圖 2.64 雲林離島工業區海域 89-93 年間實測地形侵淤變化**

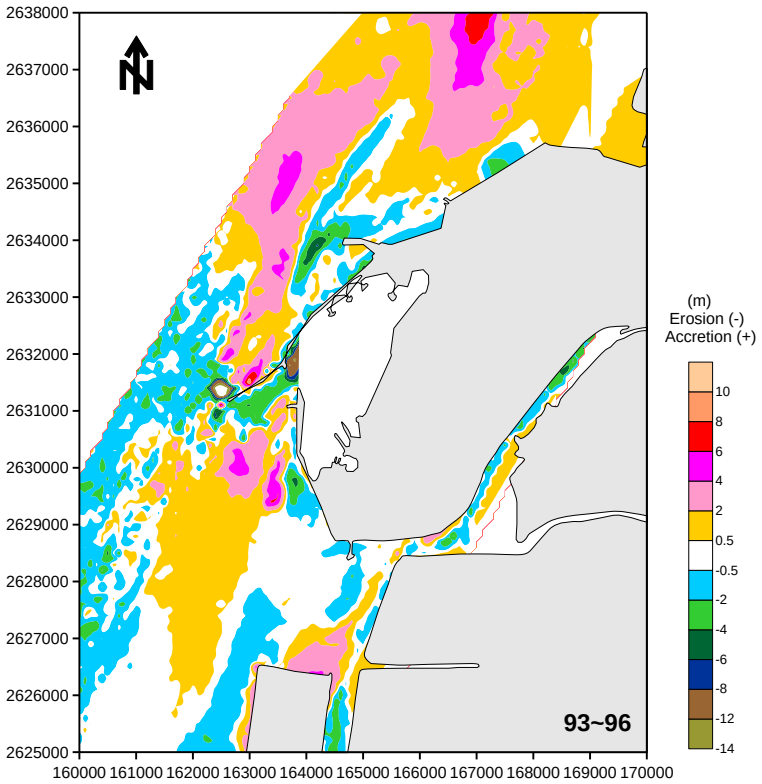



**圖 2.65 雲林離島工業區海域 93-96 年間實測地形侵淤變化**

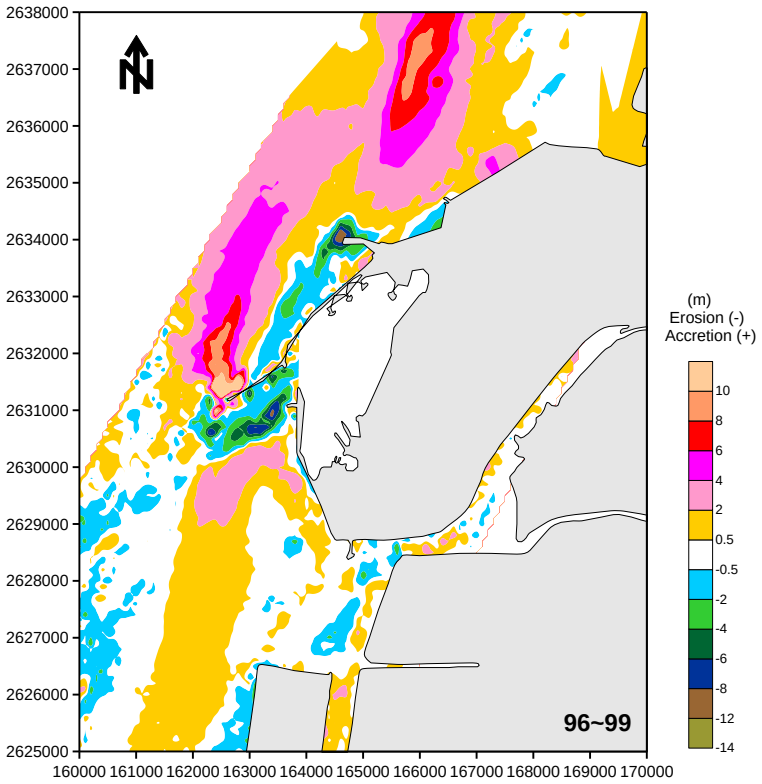



**圖 2.66 雲林離島工業區海域 96-99 年間實測地形侵淤變化**

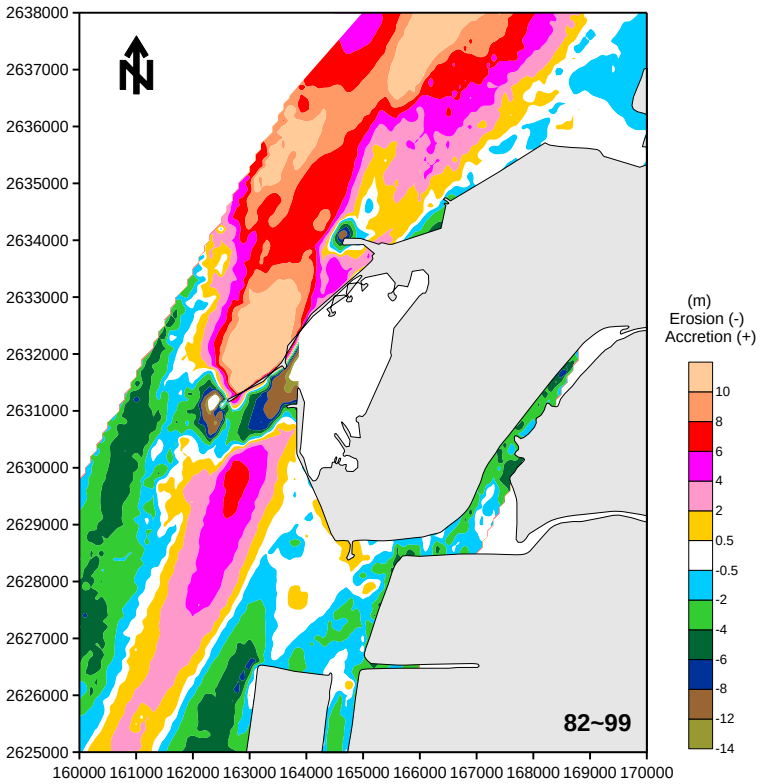



**圖 2.67 雲林離島工業區海域 82-99 年間實測地形侵淤變化**

根據歷年 (民國 82~99 年) 麥寮海域地形資料，進一步探討本區斷面地形變化。由北至南共選取六處斷面，各斷面位置如圖 2.68 所示。圖 2.69 為麥寮海域由 82 至 99 年間斷面變化情形，結果顯示 Sec.01 (近濁水溪口) 在離岸 1.5km 處地形呈現逐年侵蝕現象，而在離岸 2.5km 處則呈現逐年淤積；99 年斷面明顯淤積，應為 98 年 8 月莫拉克颱風造成河口大量沖積沙所致。Sec.02 (發電廠導流堤附近) 在離岸 0.5~0.7km 之間於 85 年導流堤興建完成後，地形呈現逐年侵蝕現象 (93 年例外)，98 年莫拉克颱風過後亦明顯造成導流堤堤頭嚴重侵蝕。Sec.03、04 (西防波堤 I、II 段) 在離岸 1.0km 以內，地形則呈現逐年淤積現象。Sec.05 (西防波堤 III 段) 在離岸 2.0~2.5km 之間堤頭附近，地形由 82 至 93 年逐年侵蝕幅度高達 18m，93 至 99 年間則變化較不明顯。Sec.05 (西南海堤段) 在離岸 3.0km 附近，地形則呈現逐年淤積現象。

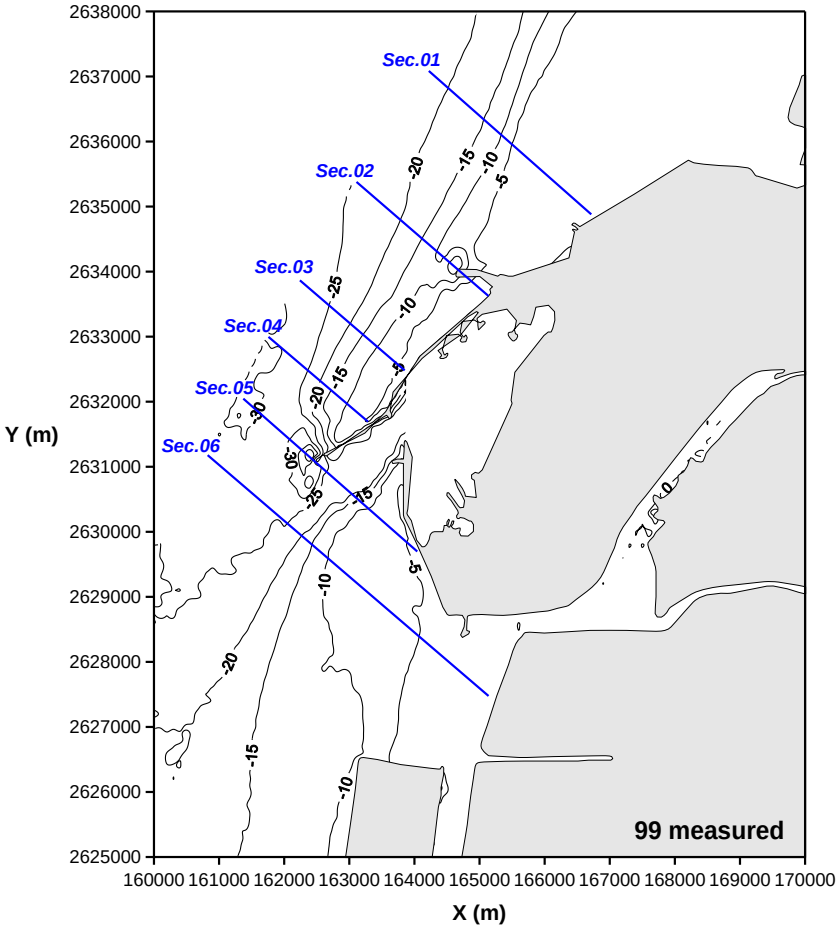



**圖 2.68 麥寮工業區海域斷面位置圖**

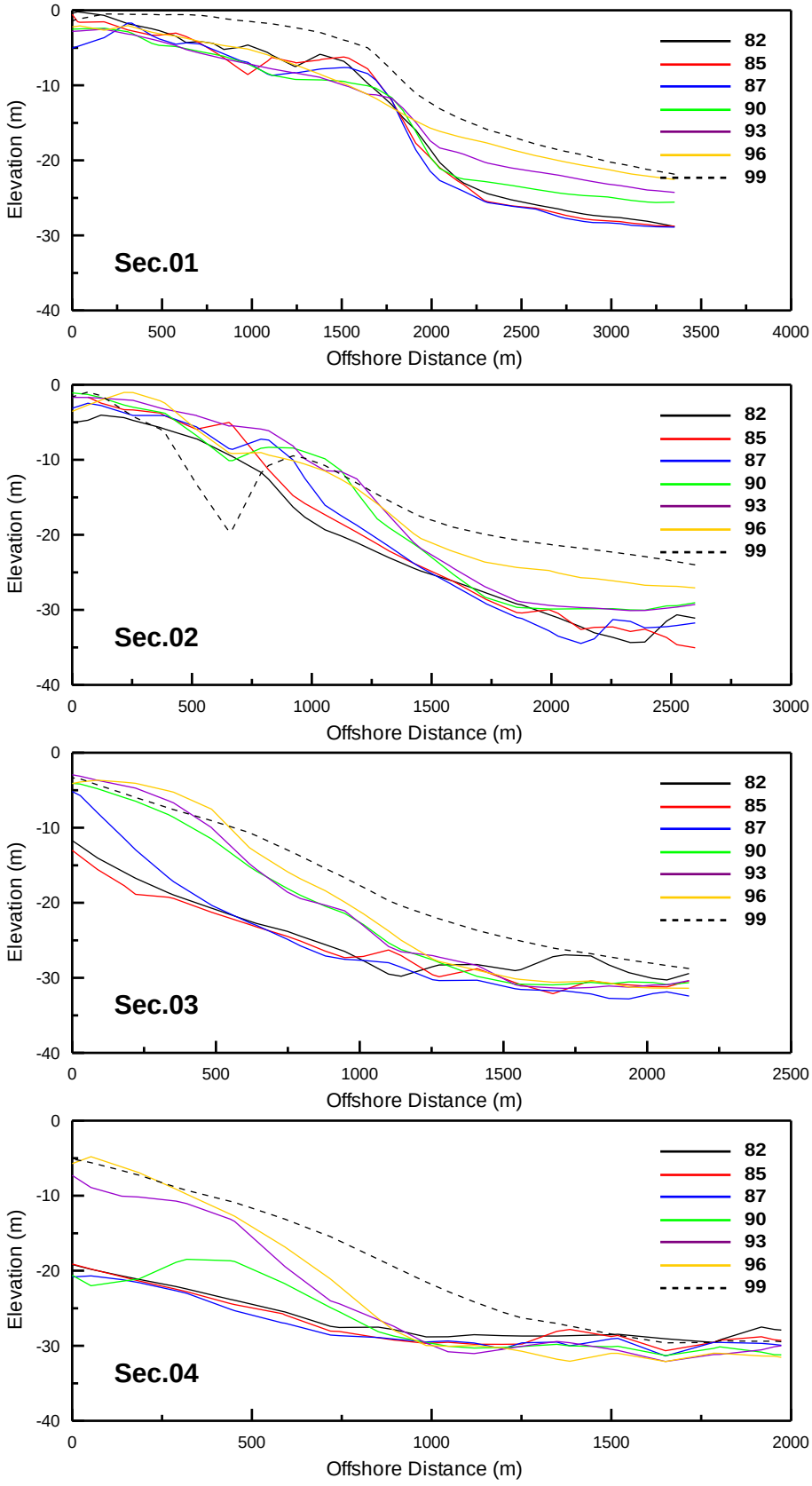



**圖 2.69 雲林離島工業區海域 82~99 年間斷面地形變化**

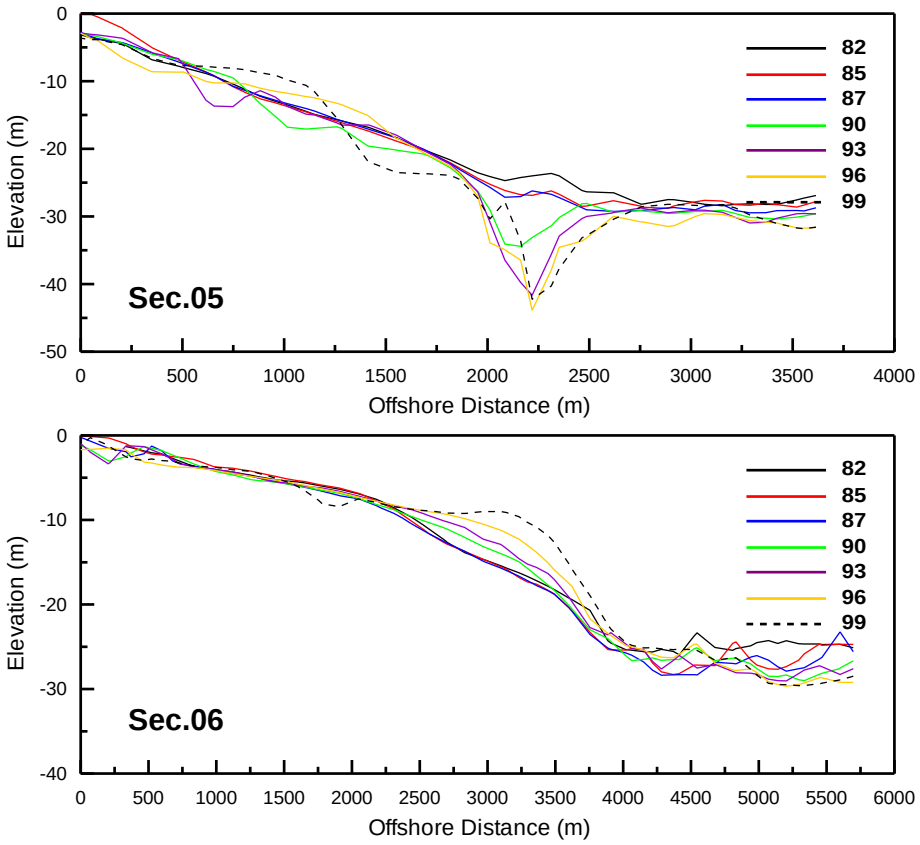



**圖 2.69 (續) 雲林離島工業區海域 82~99 年間斷面地形變化**

## 2.4 防波堤興建過程

有關臺中港北防波堤與麥寮港西防波堤之興建過程，包括斷面設計與施工過程對海底地形所造成的影響，詳述如下 (以下內容參考或部分節錄自朱等人，2002)：

### 2.4.1 斷面設計

防波堤堤頭之設計方式，依據國內外之規範要求包括堤腳保護工之重量及範圍估計，堤頭段保護工之重量建議為防波堤平直段之 1.5 倍以上，堤腳保護工之範圍，則建議為 1/4 波長以上之長度，然因堤頭可能面臨之淘刷情形，至今尚無完整之理論或經驗，建議由模型試驗決定之。以臺灣地區之颱風波浪而言，週期可達 10 秒以上，故一般保護工範圍皆達 50m 以上(約兩座沉箱長度)，保護工重量以波高考量時，可以谷本勝利或 SPM 之方式估計之，然於深水防波堤之堤腳受波浪影

響較小，實際考量時可能以海流流速為主，以臺中、麥寮而言，海床流速約 5 節以下，故保護工之重量估計約 40kg 以上即可。

臺中港原北防波堤堤頭及延伸 850m 之堤頭斷面，詳圖 2.59~60 所示；麥寮港堤頭斷面，詳圖 2.70 所示。由圖可知，除早期臺中港之堤頭保護工程之範圍較短 (小於 50m) 外，近年來之堤腳保護範圍皆達 1/4 波長以上之標準。由臺中港原北堤刷深剖面圖中顯示距堤頭 100m 以內之海床坡度相當陡峭 (1:4 ~ 1:8)，但沉箱體尚未有發生傾斜破壞現象，若後續亦無進行加強保護之措施，則可顯示，堤頭保護長度約 30m 亦可發揮相當之功能。另由臺中港北堤延伸 850m 之刷深剖面圖中顯示，距堤頭 200m 以內之海床坡度卻相當平緩，此是否因其堤頭保護工長度達 80m 之功效，則無法確認。若以現況麥寮港而言，100m 內之最大刷深水深為-46m，以 1：3.5 之坡度而言，至堤址水深-26m 約有 70m 之大量侵蝕範圍，由於臺中港原北堤之堤址保護工僅約 30m，可維持堤體之穩定，而麥寮西防堤於施工中之臨時堤址保護工亦僅 30m（設計堤頭保護工長度為 55m），其坑洞斜坡似乎已逼近沉箱，其安全性需深入評估。

由上之分析可知，堤頭保護長度在設計規範中以波場考量為主，而流場因素則未有詳實之建議，因此，有關深水防波堤之堤頭保護工所需之範圍，實有進一步規範之必要。

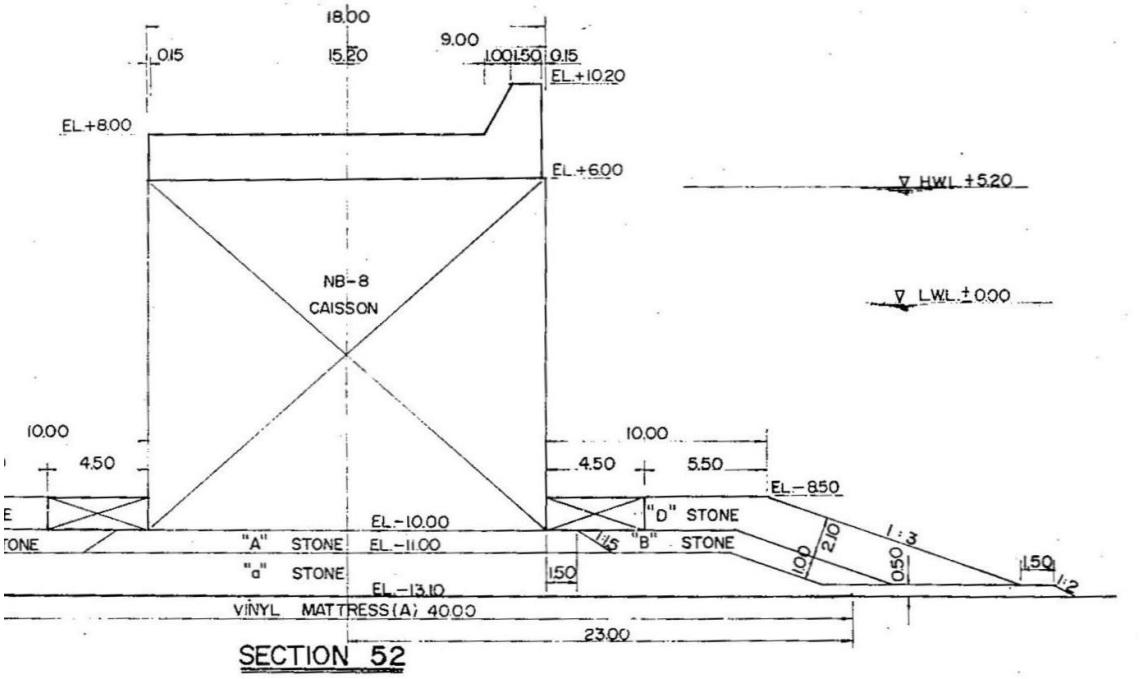



**圖 2.70 臺中港原堤堤頭沉箱斷面圖(朱等人，2002)**

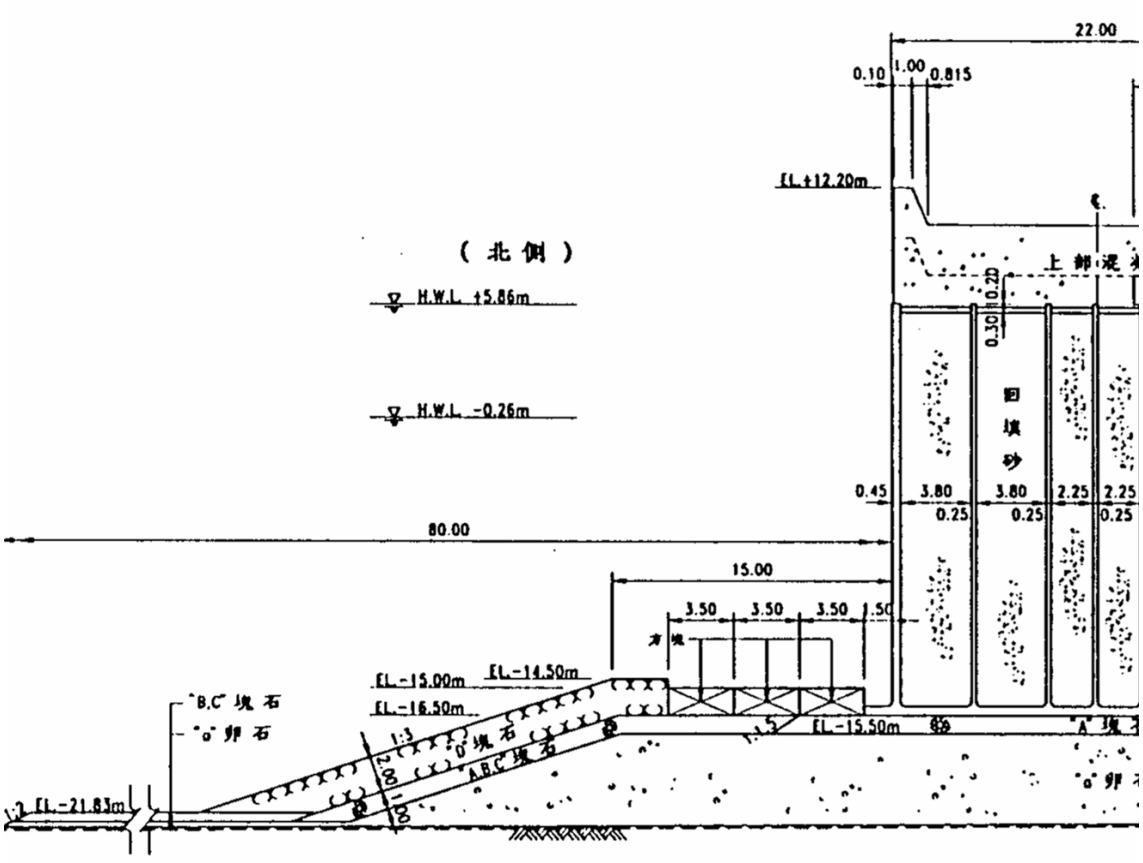



**圖 2.71 臺中港北防波堤延伸 850m 堤頭斷面圖(朱等人，2002)**

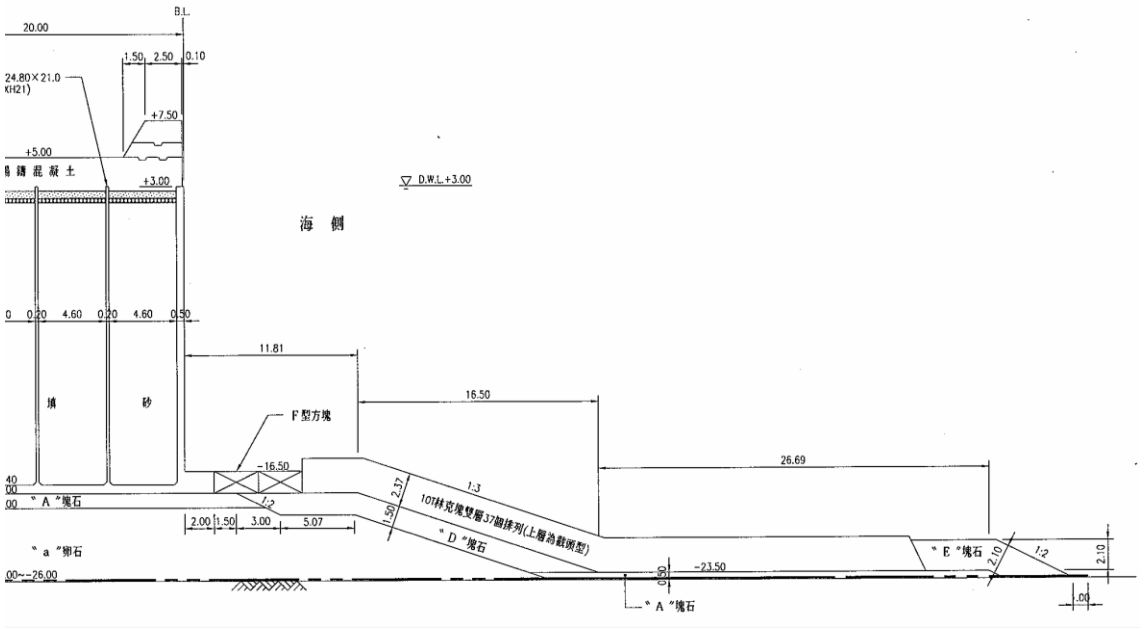



**圖 2.72 麥寮西防波堤堤頭沉箱斷面圖(朱等人，2002)**

### 2.4.2 施工過程

堤頭刷深現象對工程影響最大者為增加大量之堤體拋石量，由於施工中永遠存在臨時堤頭，其前方在短時間內亦有刷深現象，而刷深位置則為未來堤線經過之區域，故刷深區域必須再拋放石料，方得以完成施工。尤其在東北季風期間必須長時間停工時，將造成更大之刷深，故如何減少深洞之影響，在臺中港施工已有經驗之傳承，其於防波堤施工時，建議堤心石拋放能較沉箱拖放長度多 150~200m (約 6~8 座沉箱)，因堤線海床在沉箱放置後，方會於其前方約 100m 區域發生大刷深情形，若於沉箱尚未放置前，將海床以堤心石保護當可減少堤線上之海床淘刷。

麥寮港於施工前即蒐集各港務局之施工經驗，希望減少施工上可能之困難，然防波堤堤頭保護工範圍甚大，無法一次完成，以致刷深坑洞有逼近沉箱之現象。麥寮工業區工業專用港西防波堤沉箱施工，自民國 84 年 5 月至民國 89 年 9 月間，共 5 年 4 個月，因每年東北季風期必須停工 5~7 個月,因而共有五次出現短暫性堤頭刷深狀況 (沉箱編號#17、#36、#50、#62、#80)，其深洞位置距堤頭約 100m，且多在防波堤沿線偏北 450 之方位上，其淘刷深度於半年中約 5~7m，其中淘

刷深度達 5m 範圍。由於淘刷深洞直接影響設計堤線上之堤址水深，故每年 4 月重新開工時，因底床地形大幅刷深對護基拋石等工作造成相當大之困擾，也延緩後續沉箱之拖放。民國 89 年 11 月安放堤頭第 90 號沉箱後，西防波堤全部完工，至今於堤頭處亦發生嚴重刷深現象。

在麥寮港堤頭施工時，由於堤頭保護工未能如期於沉箱放置前先行完成，而經過東北季風期間，原設計拋放堤腳保護之區域，已部份陷落於刷深之坑洞之中，現有補救措施詳圖 2.73 所示，而由於水深大，流速亦強，致使防止海床淘刷之地工織布已無法順利舖設，而坑洞則持續加深擴大，經考量採用地工織布縫製成為 2 方之砂袋進行拋放，以發揮防止淘刷之效，經模型試驗之驗核後，顯示拋放區域鄰近之海床刷深範圍有擴大之趨勢，但砂袋之穩定性則尚可，故目前以地工砂袋拋放之補救方式似乎不失為可行之方式。(註：沙袋回填作業已於民國 94 年施作)

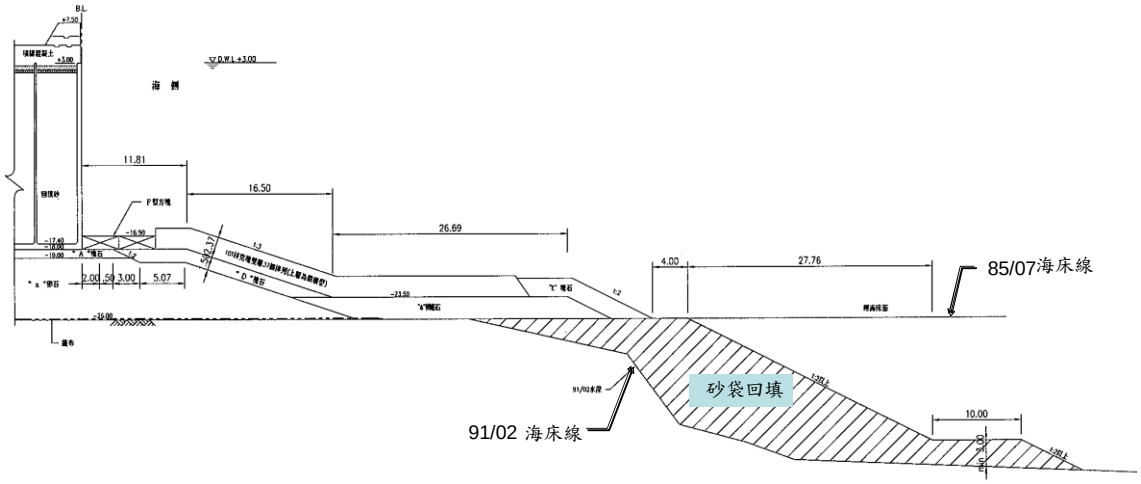



**圖 2.73 麥寮西防波堤堤頭補救措施斷面圖(朱等人，2002)**

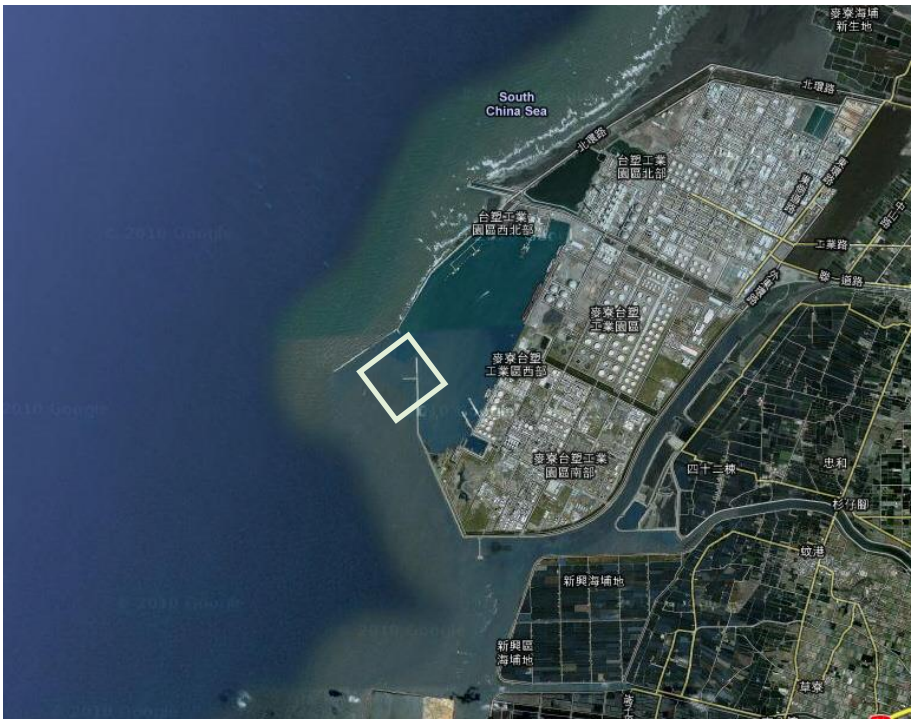
# 第三章 水深地形與潮波流調查資料分析

## 3.1 麥寮防波堤堤頭地形調查與特性分析

### 3.1.1 100~102年水深測量成果與分析

(1) 監測範圍及頻率

本計畫測量範圍為麥寮工業區專用港西防波堤堤頭約1公里見方之範圍，所涵蓋範圍包含海域地形刷深處為中心點，如圖 3.1方框所示。100~103年共計完成六測之水深測量作業，



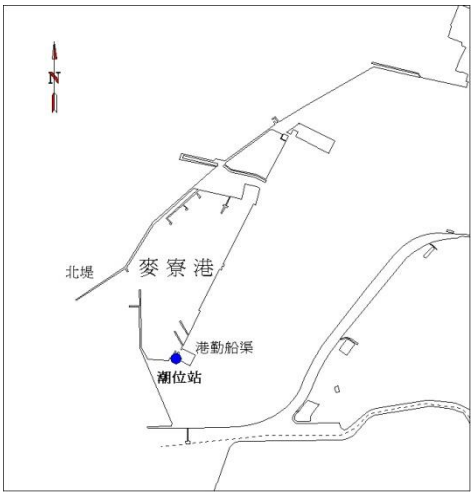

（底圖來源：Google Earth）

**圖 3.1 麥寮工業區專用港西防波堤堤頭水深地形監測範圍示意圖**

(2) 監測方式

平面控制系統採用採用臺灣二度分帶97坐標系統（TWD97），高程控制採用基隆中潮一等水準系統。六次測量均以多音束系統進行，潮位設置在麥寮工業港，點位資料如表3.1所示。

**表 3.1 麥寮工業港潮位站之點位資料**

| 日期 | 100/5/8 | 坐標系統 | TWD97 |
|---|---|---|---|
| 橫坐標(N,Y) | 23° 46’ 14.47985” | 縱坐標(E,X) | 120° 10’ 11.08105” |
| 橢球高程(m) | 22.637 | 水準高程(m) | 3.095 |
| 位置詳圖說明：麥寮工業港潮位站位於麥寮工業港港勤船渠岸側。 | | | |
| 地理位置圖 | | 現場照片 | |
|  | |  | |

(3) 測量成果

歷次水深色階圖如圖 3.2，堤頭附近地形水深色階圖如圖 3.3 所示，由於消波塊群最遠佈置位置離堤頭約 230m ，約 100m 之帶寬，因此掏刷區受消波塊之分布影響，形成一 U 字形之刷深區域，100~102 年之測量結果，消波塊群掏刷處水深最深約在 -37m~ -48m 之間。北堤堤外北側海域淤積現象明顯，堤內港域水深較深，海堤內外之海域地形高低差約可達 8 ~ 10m 。透過三維影像，如圖 3.4 所示，呈現海域地形變化之特性。

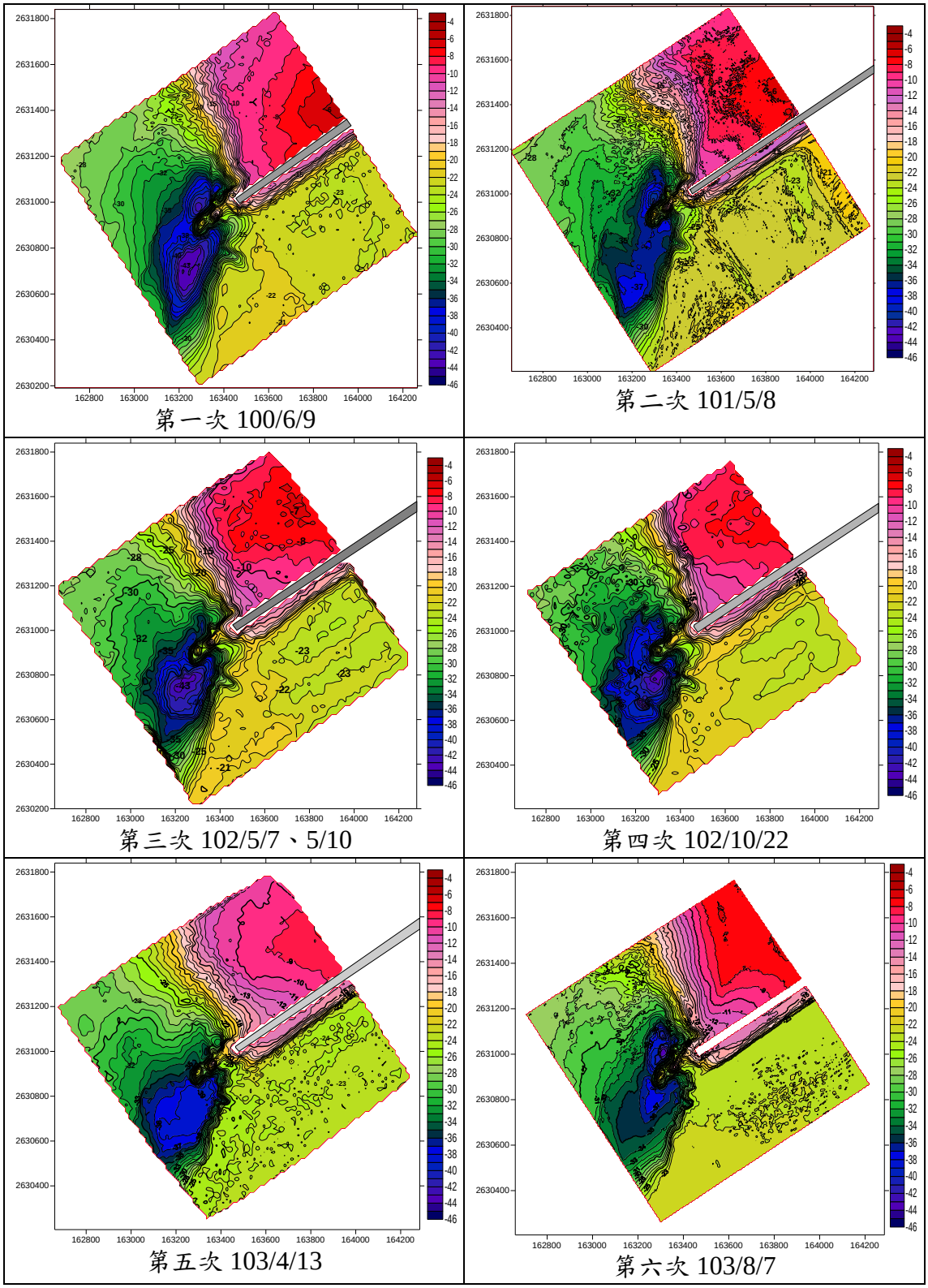
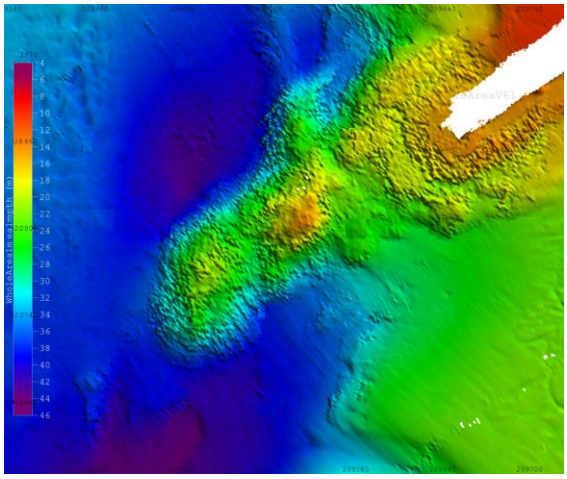
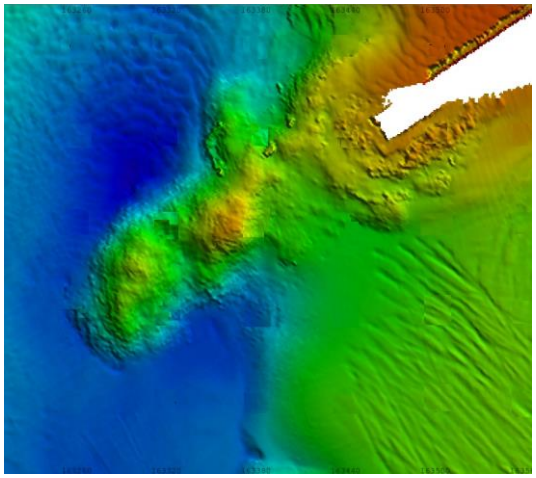


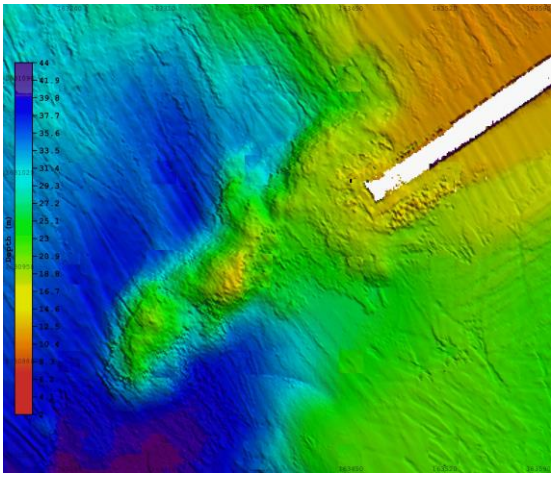

**圖 3.2 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量等深線水深色階圖**



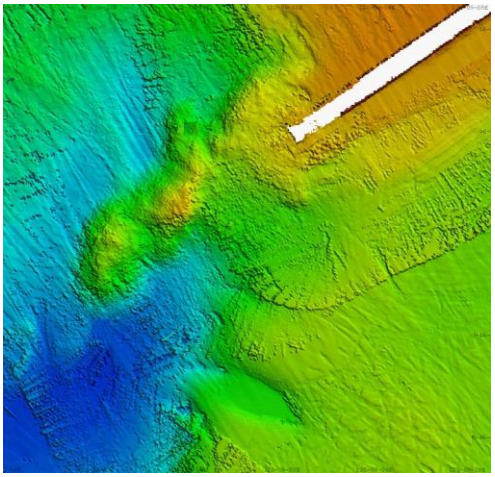
第一次 100/6/9



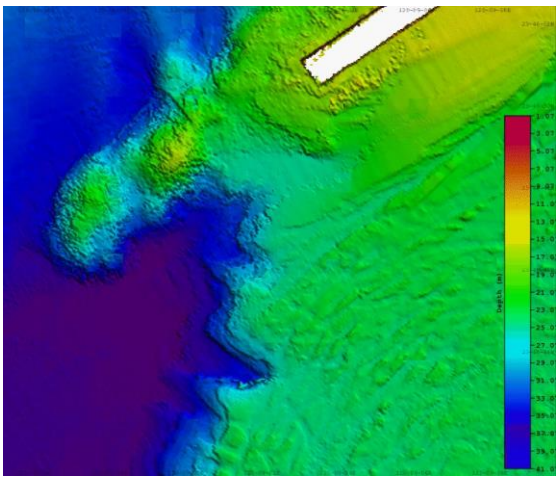
第二次 101/5/8



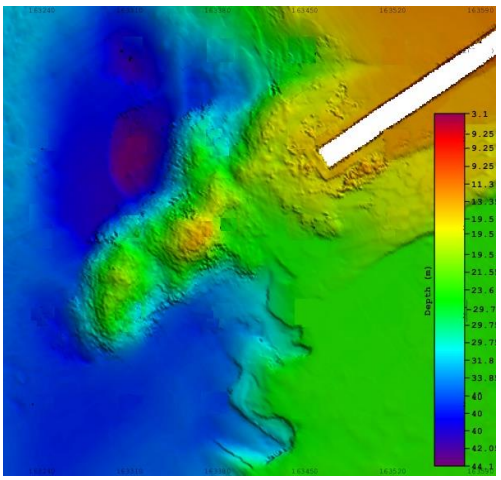
第三次 102/5/7、5/10



第四次 102/10/22



第五次 103/4/13



第六次 103/8/7

**圖 3.3 麥寮工業港西防波堤堤頭附近地形水深色階圖(局部放大)**

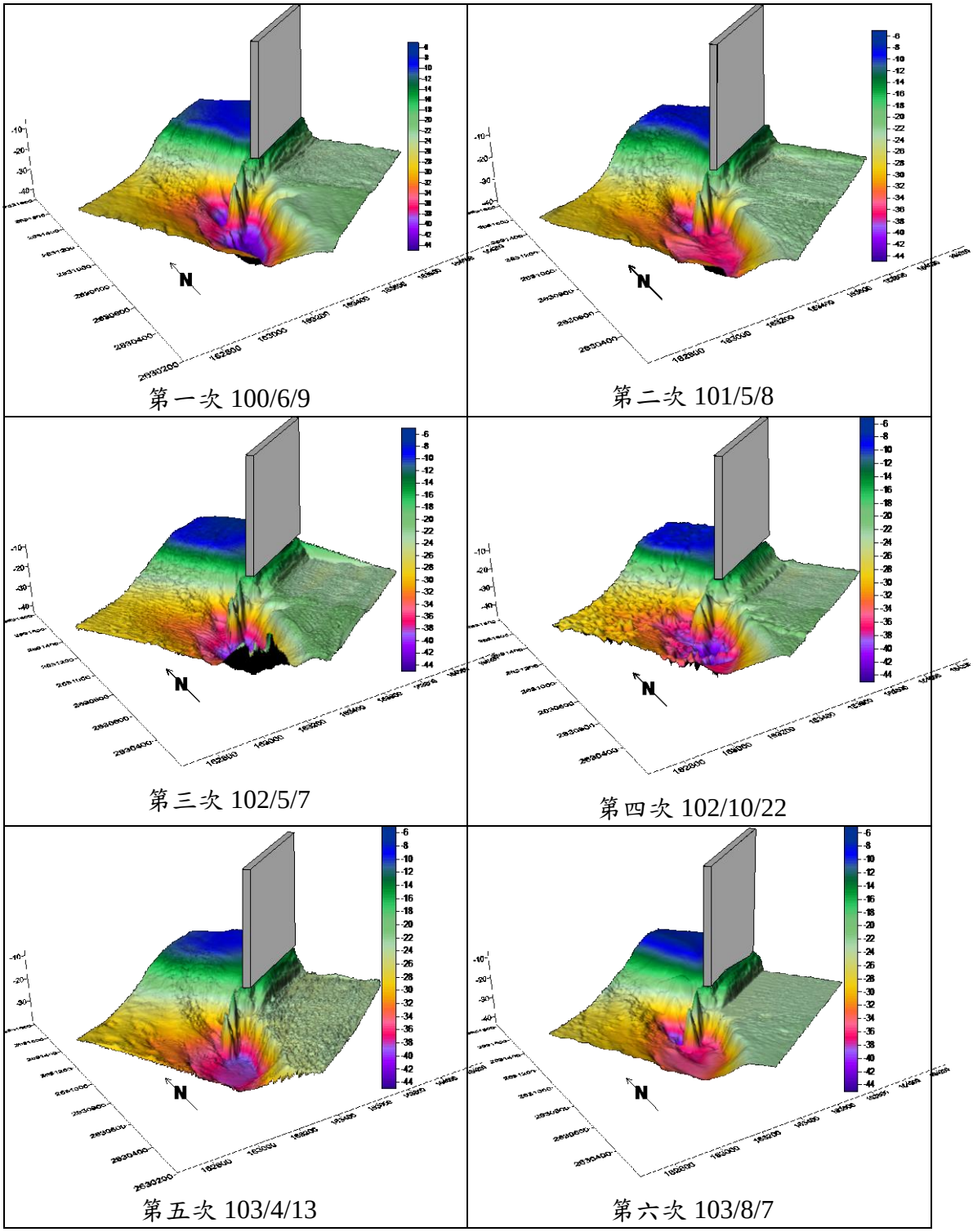



**圖 3.4 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量三維立體色階圖**

依地形變化特性擷取測量海域計 9 條之斷面水深資料，其中 M1 至 M4 為垂直海堤之斷面， M5 至 M9 為平行海堤之斷面。斷面 M1 與 M2 主要在呈現麥寮工業港西堤堤北外海區域與堤南

港域內之地形落差變化。斷面 M3 則呈現測區南北向經過掏刷最深區域之水深變化； M6 與 M8 為平行鄰近北堤北側與南測之斷面，主要呈現海堤側邊之水深變化；斷面 M7 為由堤頭開始經過掏刷最深區域之水深變化。另以堤頭為原點，再擷取 6 條測量海域向不同角度各方向散射之斷面水深資料，相鄰斷面夾角約為 45 度，斷面編號為 R1 ~ R6。

各斷面位置資料如表 3.2 所示，斷面位置如圖 3.5 所示，各斷面歷次監測之水深變化比較如圖 3.6 至圖 3.20 所示，歷次比較侵淤變化色階圖如圖 3.21 所示。

**表 3.2 麥寮工業港斷面位置坐標**

| 斷面編號 | 起點坐標(m) | | 終點坐標(m) | | 斷面距離 (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| | N | E | N | E | |
| M1 | 2631675 | 163491 | 2630772 | 164110 | 1100 |
| M2 | 2631524 | 163264 | 2630621 | 163883 | 1100 |
| M3 | 2631376 | 163031 | 2630473 | 163650 | 1100 |
| M4 | 2631240 | 162832 | 2630337 | 163451 | 1100 |
| M5 | 2631520 | 163786 | 2630905 | 162878 | 1100 |
| M6 | 2631362 | 163890 | 2630748 | 162982 | 1100 |
| M7 | 2631005 | 163468 | 2630706 | 163007 | 550 |
| M8 | 2631269 | 163948 | 2630655 | 163040 | 1100 |
| M9 | 2631130 | 164041 | 2630515 | 163133 | 1100 |
| R1 | 2631000 | 163450 | 2631070 | 162904 | 550 |
| R2 | 2631000 | 163450 | 2631454 | 163138 | 550 |
| R3 | 2631000 | 163450 | 2631456 | 163517 | 550 |
| R4 | 2631000 | 163450 | 2630931 | 163994 | 550 |
| R5 | 2631000 | 163450 | 2630546 | 163760 | 550 |
| R6 | 2631000 | 163450 | 2630454 | 163380 | 550 |

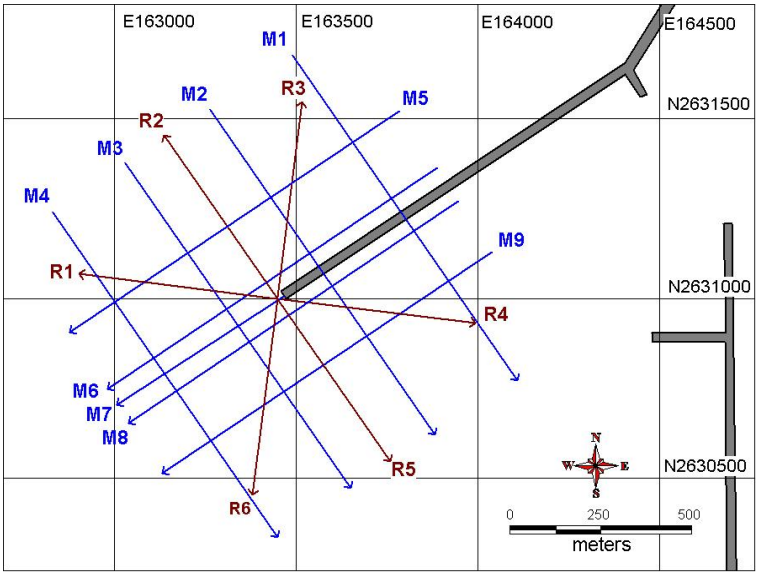



**圖 3.5 麥寮工業港堤頭水深測量斷面位置圖**

(4) 地形侵淤變化比較(試算面積：1,181,100$m^2$)

100/6 第一次與 101/5 第二次之監測結果進行侵淤變化比較，在侵淤色階圖上搭配斷面位置如圖 3.21 所示，在堤頭西南側有很明顯的淤積，高程淤積最大量約為 8.1m，在 M4 斷面圖 3.9 、M7 斷面圖 3.12 與 M8 斷面圖 3.13 亦可見其高程之變化；而在堤頭北側有明顯之侵蝕情形，高程侵蝕最大量約為 8.3m，在 M2 斷面圖 3.7 、M5 斷面圖 3.10 與 R3 斷面圖 3.17 亦可見其高程之變化。在堤頭附近有較明顯之侵淤變化趨勢外，港內略有淤積情形，堤頭侵蝕區以外海域則略有侵蝕情形，原 100/6 堤頭西南方刷深區域，有很明顯之淤積情形，淤積最大高度可達約 7m。整體而言，101/5 較 100/6 淤積約 420,627$m^3$，平均高程淤積約 36cm。

101/5 第二次與 102/5 第三次之監測結果進行侵淤變化比較，在侵淤色階圖上搭配斷面位置如圖 3.21 所示，在堤頭西南側有很明顯的侵蝕，高程侵蝕最大量約為 7.6m，在 M4 斷面圖 3.9 、M7 斷面圖 3.12 與 M8 斷面圖 3.13 亦可見其高程之變化；而在堤頭北側有明顯之淤積情形，高程淤積最大量約為 7.4m，在 M2 斷面圖 3.7 、M5 斷面圖 3.10 與 R3 斷面圖 3.17 亦可見其高程之變化。在堤頭附近有較明顯之侵淤變化趨勢外，港內略有侵蝕情形，堤頭侵蝕區南、

北側海域均有明顯之淤積情形。整體而言，102/5 較 101/5 淤積約 462,706$m^3$，平均高程淤積約 39cm。

102/5 第三次與 102/10 第四次之監測結果進行侵淤變化比較，在侵淤色階圖上搭配斷面位置如圖 3.21 所示，在堤頭北側與西側有很明顯的侵蝕，堤頭附近高程侵蝕最大量約為 11.6m，在 M7 斷面圖 3.12 可見其高程之變化；而在堤頭西南側有明顯之淤積情形，高程淤積最大量約為 7.2m，在 M8 斷面圖 3.13 可見其高程之變化。在堤頭附近有較明顯之侵淤變化趨勢，港內以淤積情形為主，堤身港外亦可見有淤積之現象，除堤身二側與堤頭西南側為淤積外，其餘海域以侵蝕情形為主。整體而言，102/10 較 102/5 侵蝕約 649,855$m^3$，平均高程侵蝕約 55cm。

102/10 第四次與 103/4 第五次之監測結果進行侵淤變化比較，在侵淤色階圖上搭配斷面位置如圖 3.21 所示，在堤頭以東之港域內外(堤身南、北側)侵蝕情形相當明顯，侵蝕最大高程量約為 5.7m，在 R3~R6 斷面圖 3.17~3.20 可見其高程之變化；堤頭附近以侵蝕為主，堤頭以西則以淤積為主，而在堤頭消波塊群西南掏刷區淤積情形相當明顯，高程淤積最大量約為 8.2m，在 M7 斷面圖 3.12 可見其高程之變化。刷深與淤積最大量在-12m~+5.6m 之間，在堤頭附近較富有侵淤變化外，港內以侵蝕情形為主，港域外則以淤積情形為主。整體而言，103/5 較 102/10 侵蝕約 255,407$m^3$，平均高程侵蝕約 22cm。

103/4 第五次與 103/8 第六次之監測結果進行侵淤變化比較，在侵淤色階圖上搭配斷面位置如圖 3.21 所示，在堤頭以東之港域外(堤身北側)侵蝕情形相當明顯，侵蝕最大高程量約為-11.2m，在 R1~R3 斷面圖 3.15~3.17 可見其高程之變化；堤頭附近以侵蝕為主，堤頭以西則以淤積為主，而在堤頭消波塊群西南掏刷區和位於堤頭東北向區域淤積情形相當明顯，高程淤積最大量約為 6.3m，在 M3 斷面圖 3.8 與 M7~M9 斷面圖 3.12~3.14 可見其高程之變化。刷深與淤積最大量在-11.2m~+6.3m 之間，除堤頭附近與北側較富有侵

淤變化外，其餘港內以淤積情形為主。整體而言，103/8 較 103/4 侵蝕約 700,481m$^3$，平均高程侵蝕約 26cm。

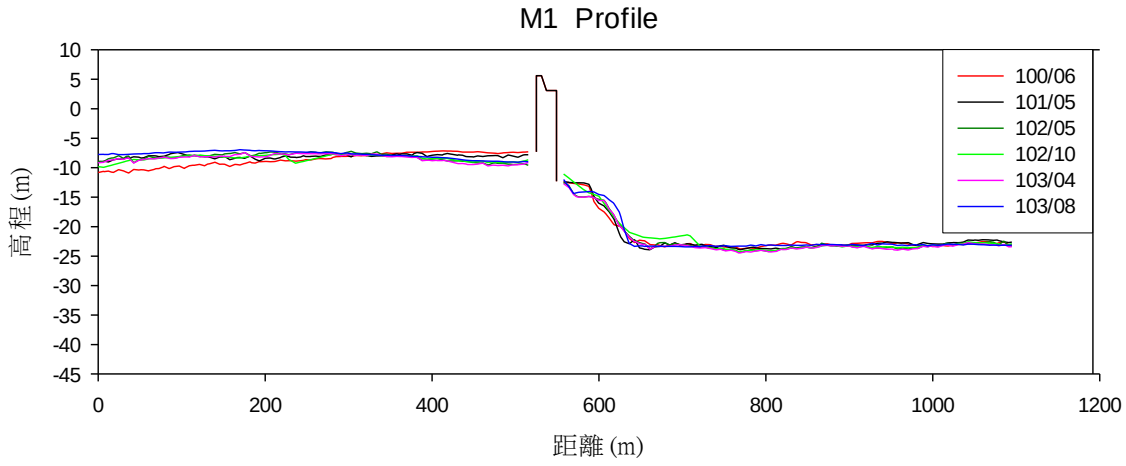



**圖 3.6 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M1 水深剖面變化圖**

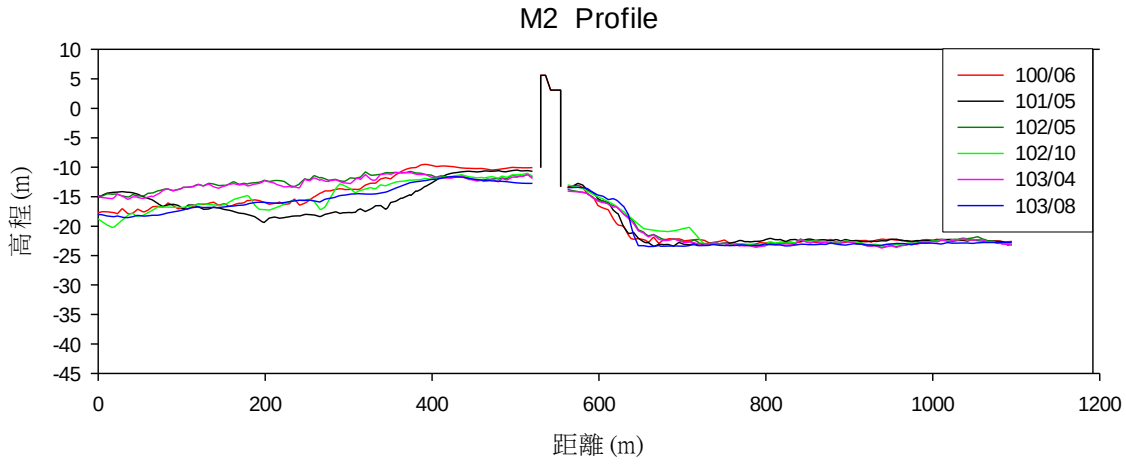



**圖 3.7 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M2 水深剖面變化圖**

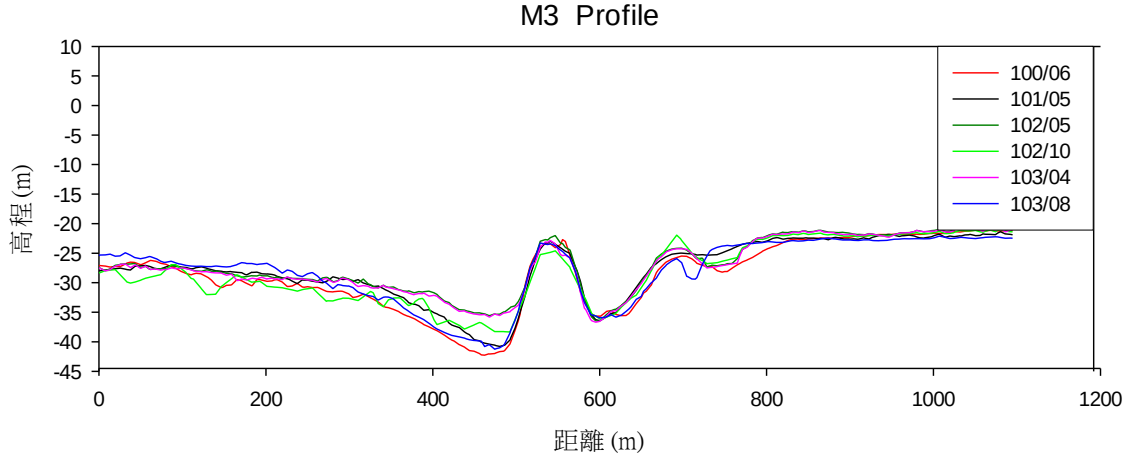



**圖 3.8 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M3 水深剖面變化圖**

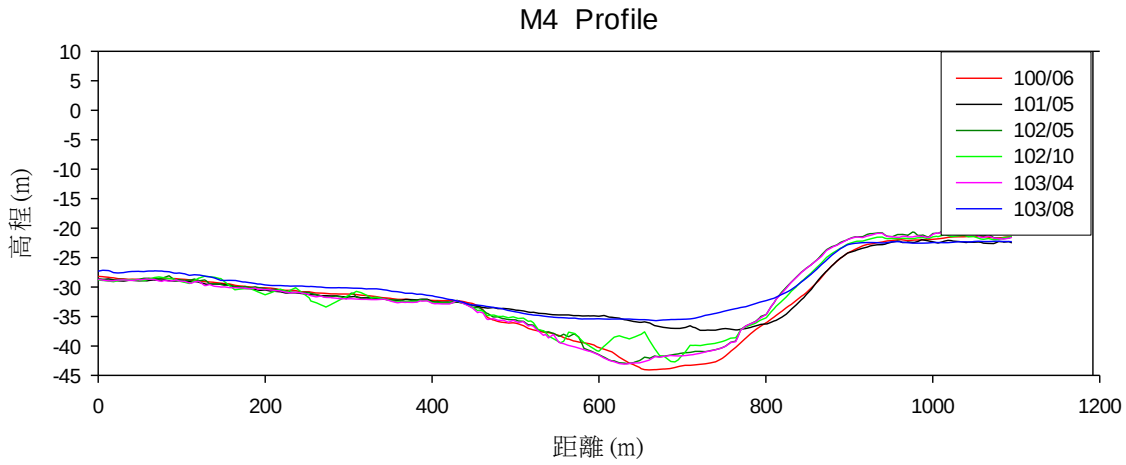



**圖 3.9 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M4 水深剖面變化圖**

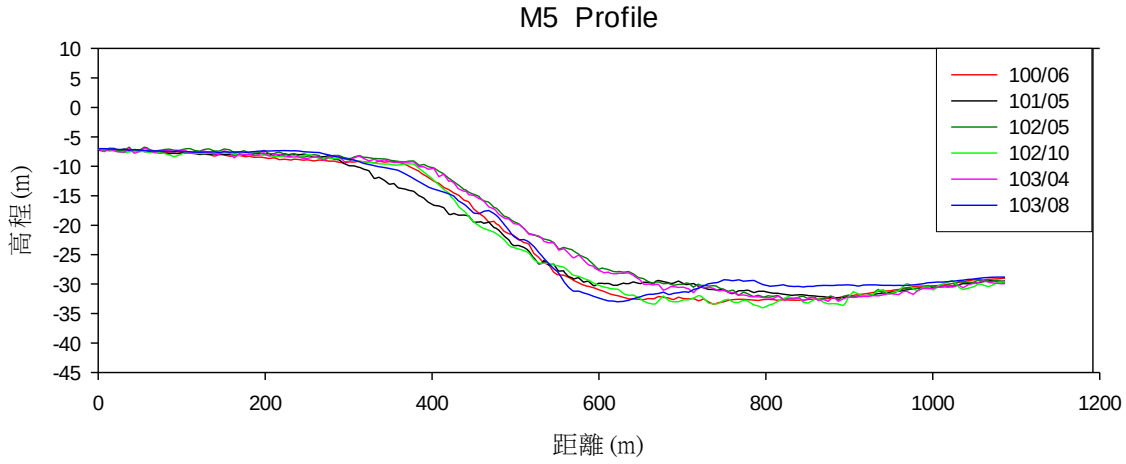



**圖 3.10 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M5 水深剖面變化圖**

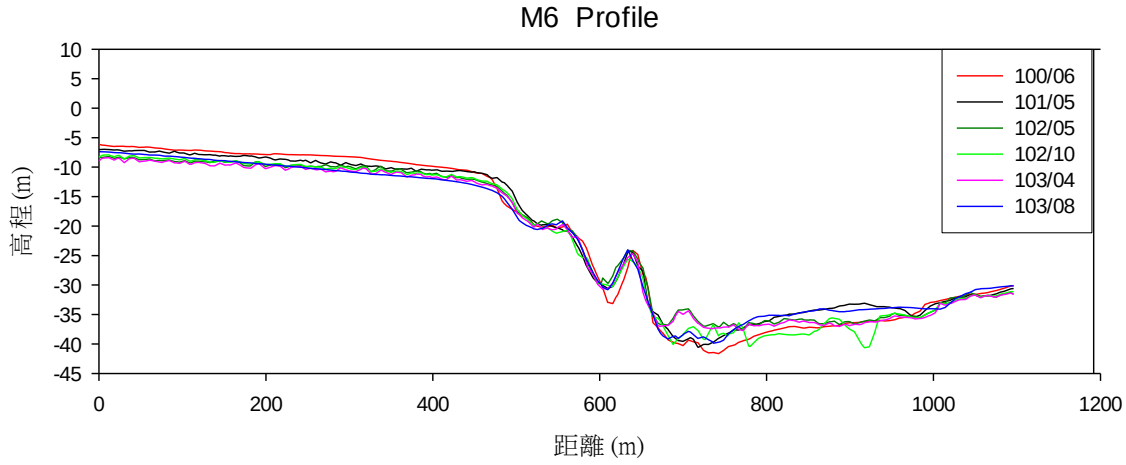



**圖 3.11 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M6 水深剖面變化圖**

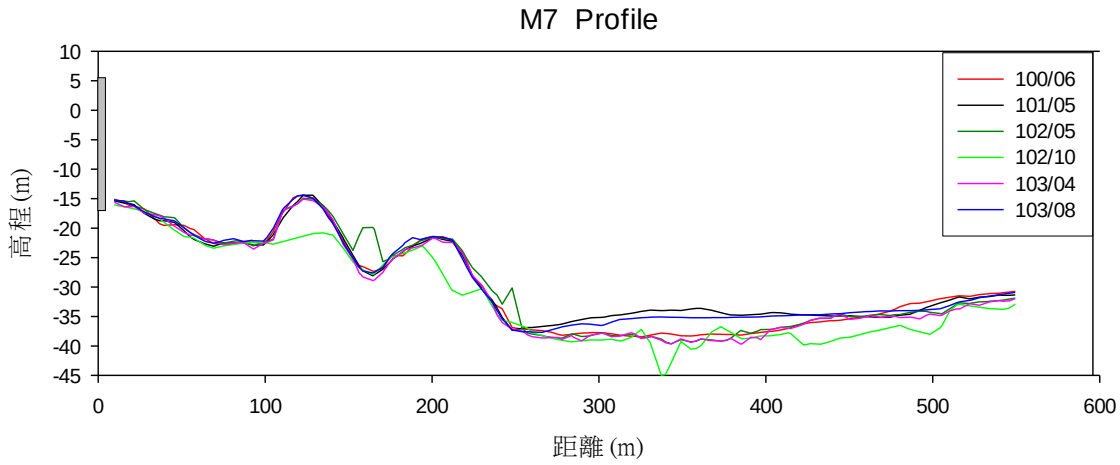



**圖 3.12 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M7 水深剖面變化圖**

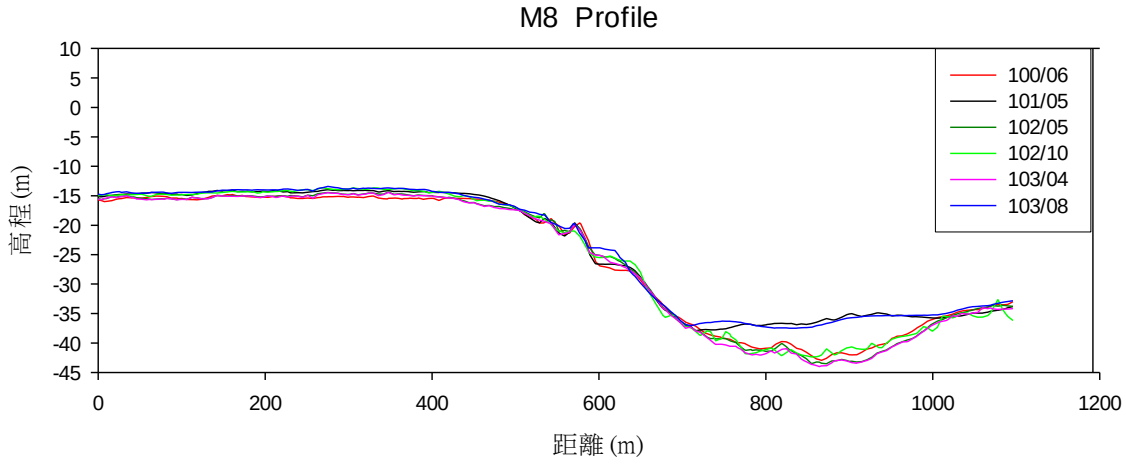



**圖 3.13 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M8 水深剖面變化圖**

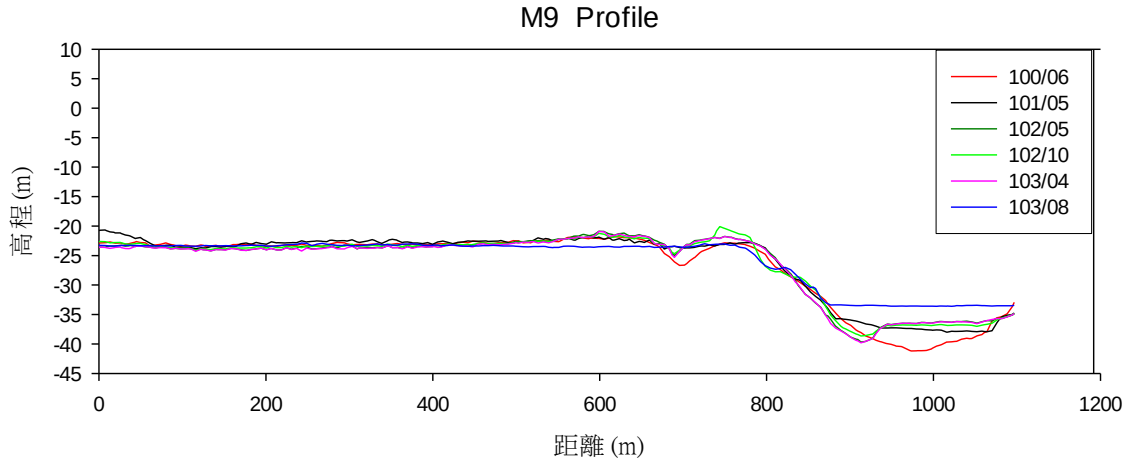



**圖 3.14 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M9 水深剖面變化圖**

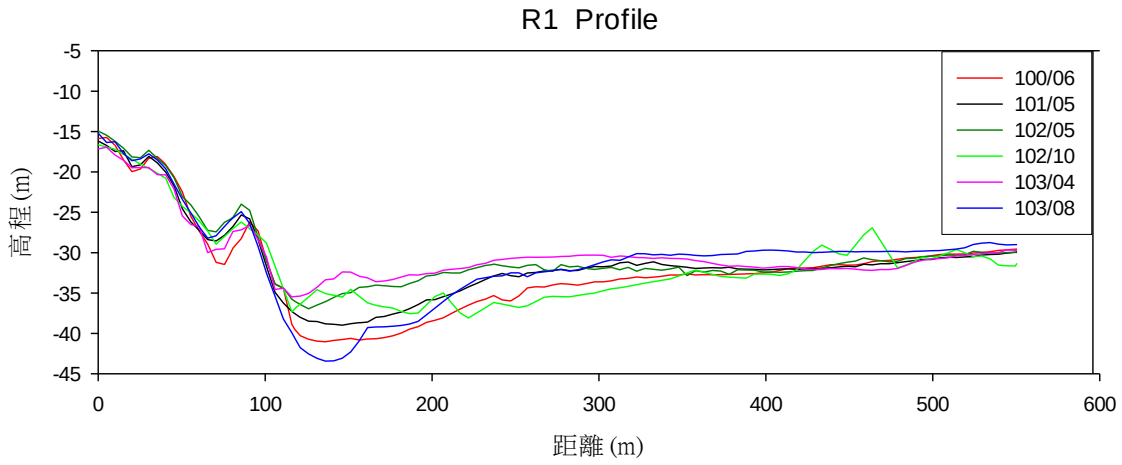



**圖 3.15 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 R1 水深剖面變化圖**

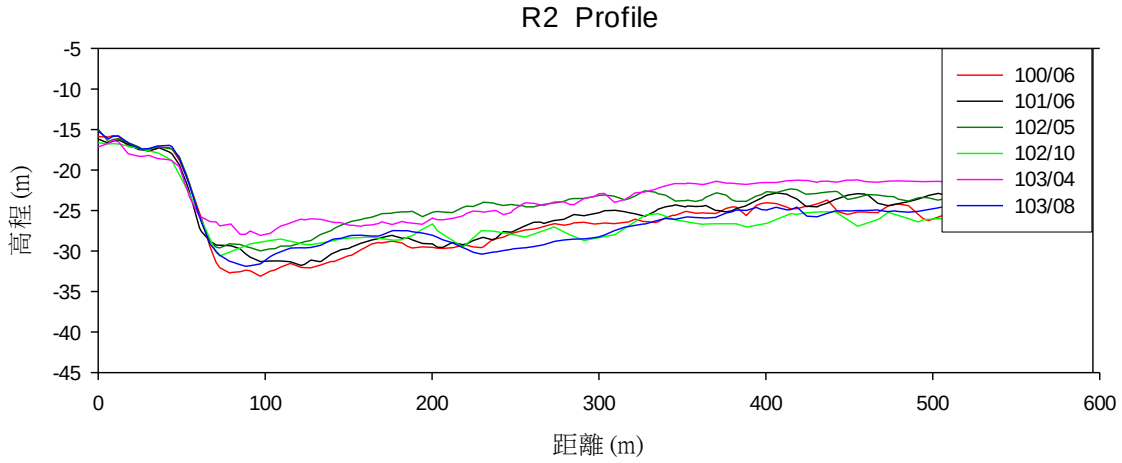



**圖 3.16 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 R2 水深剖面變化圖**

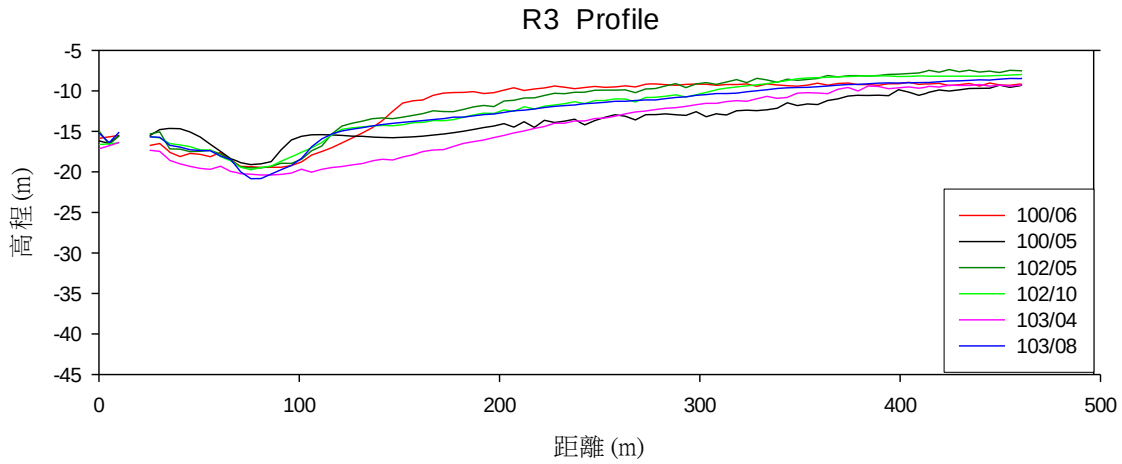



**圖 3.17 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 R3 水深剖面變化圖**

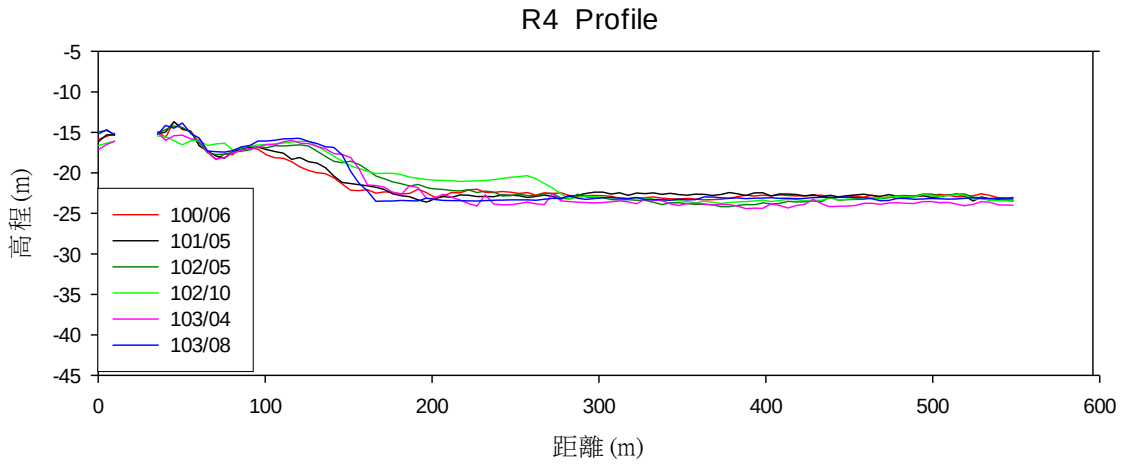



**圖 3.18 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 R4 水深剖面變化圖**

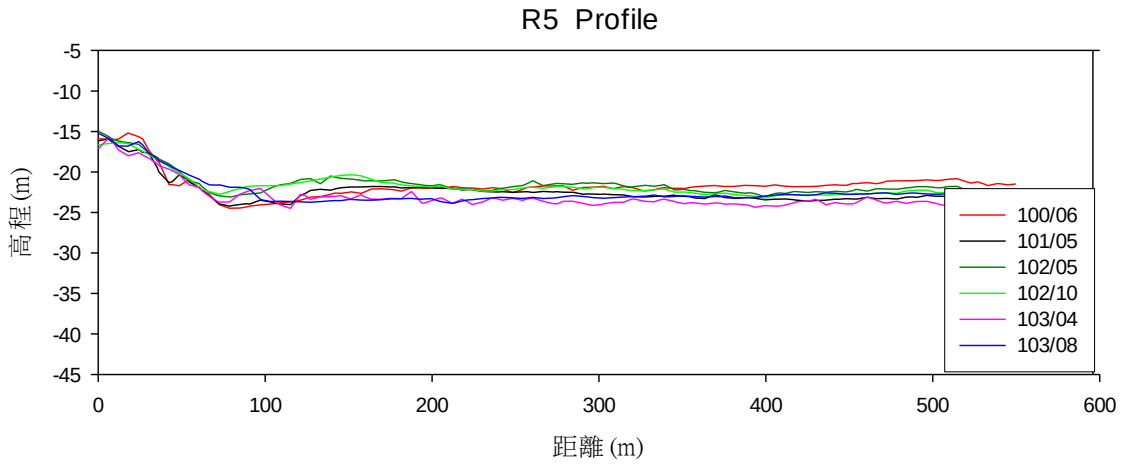



**圖 3.19 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 R5 水深剖面變化圖**

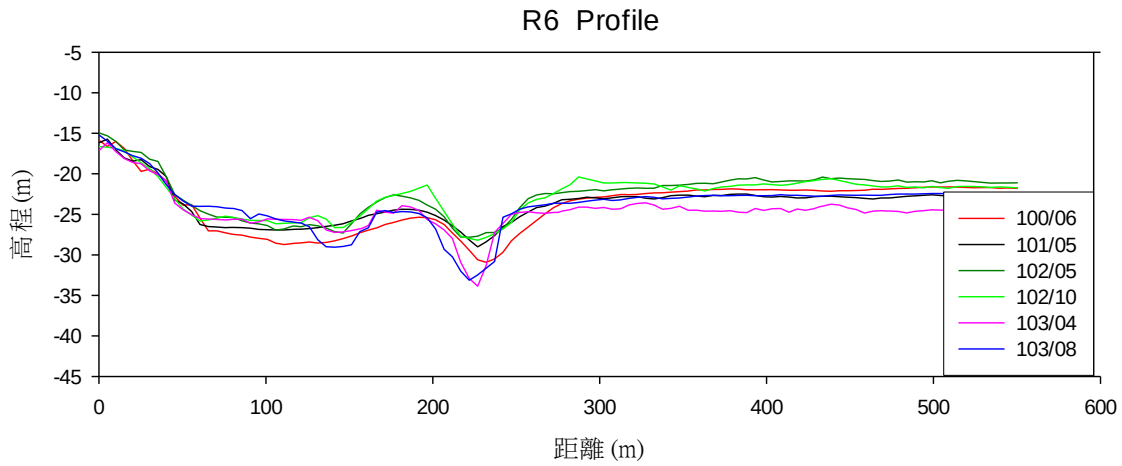



**圖 3.20 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 R6 水深剖面變化圖**

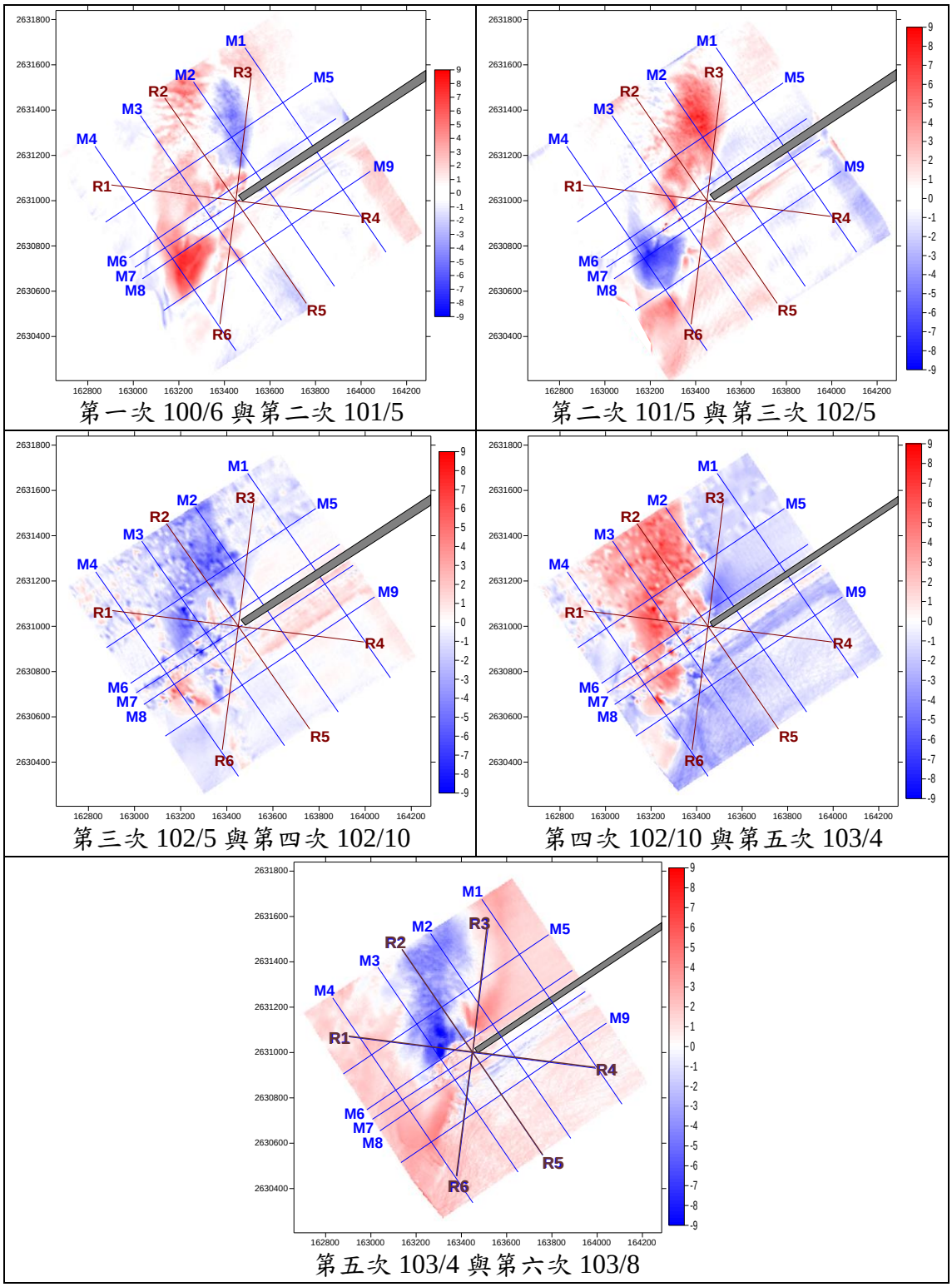



**圖 3.21 麥寮工業港堤頭地形測量侵淤變化色階圖**

### 3.1.2 防波堤堤頭附近地形侵淤分析

雲林麥寮港區北側緊鄰濁水溪口，南向豐沛的砂源補注造成西防波堤以北易產生淤積現象，而港區南方海域的漂砂受到防波堤阻擋，大幅減小淤積地形的生成。根據成大水工所與中興工程顧問公司所提供雲嘉海域之大範圍地形測量資料，82~99 年間雲林麥寮港西防波堤鄰近海域的地形侵淤狀態變化，如圖 3.22 所示。

由圖 3.22 可知，82~85 年期間，當西防波堤 II、III 尚未興建，外海的侵淤狀況變化的幅度約在-2m~+2m 區間變動。在西防波堤 I 的南半段已可發現將近-8m 的侵蝕深度，而西防波堤北側則有+4m 的淤積幅度，說明了西防波堤造成一定的砂源阻斷。85~87 年期間，地形侵淤特性與前兩年度相似，只是隨著西防波堤 II 的增長，北淤南侵的狀況更為顯著，85~87 年間西防波堤 II 北側堆積的高度超越了+10m，西防波堤 II 堤頭附近侵蝕的深度可達到-12m。

87~89 年度期間，西防波堤 III 持續向西南側外海延伸，更多的漂砂堆積在西防波堤 II 的北方海域，範圍廣達 1.25km×2.3km、高程+2~+10m 之間。港口的出入口因西防波堤的攔砂效應 (或航道疏浚) 的影響，侵蝕幅度最大約-12m。緊鄰西防波堤 III 北側持續侵蝕，最深之處亦有-12m。此掏深洞在 89~91 年期間，南移到西防波堤 III 的西側，即堤頭位置，而沖刷洞的深度更增加-14m；此期間，西防波堤北側呈現全面堆積情形。

91~93 年間，地形侵淤特性與前兩年度相似，堤頭掏深洞再往西南側移動。93~94 年期間，堤頭處的-12m 掏深範圍大幅擴增，而堤身處的淤積幅度縮小至+2~+4m。

93~94 年、94~95 年、95~96 年及 96~97 年間，呈現往復式的侵淤變化。原本堤頭處保持-12m 的掏深，到下一年度又回淤+12m 的高度。堤頭區域的水深在此段期間，保持侵淤互現的狀態。

97~98 年期間，侵淤現象停止了先前描述的週期性變化，而是保持約與 96~97 年間相同的侵淤狀態，讓原本即已處於堆積的堤頭又增高

了+2~+12m 的幅度，而原本處於侵蝕的區域，又向下掏深了-0.5~-4m。

在 98~99 年期間，此海域的侵淤狀況恢復成類似 87~89 年間的分佈，西防波堤以北的區域有大範圍的堆積現象，防波堤以南則近乎全部發生侵蝕。但堤頭處反而是北側產生侵蝕，南端發生淤積。

綜合歷年的侵淤變化結果，於 87~99 年期間，西防波堤以北呈現全面淤積現象，最大幅度可達+20m；西防波堤 III 堤頭西側與西南側則形成兩個沖刷洞，最大掏深幅度可達-20m。

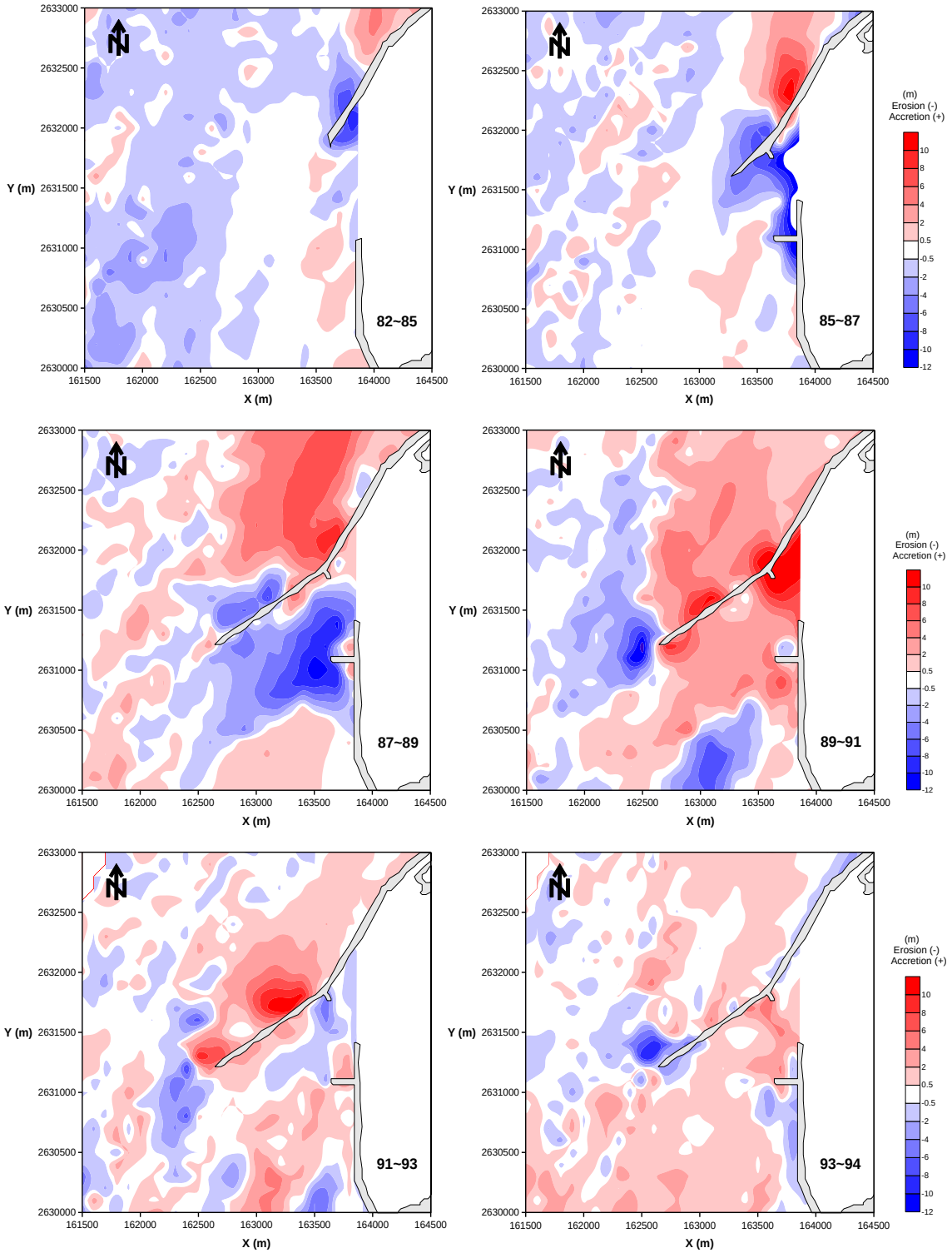



**圖 3.22 麥寮港西防波堤海域實測地形侵淤變化(82~99 年)**

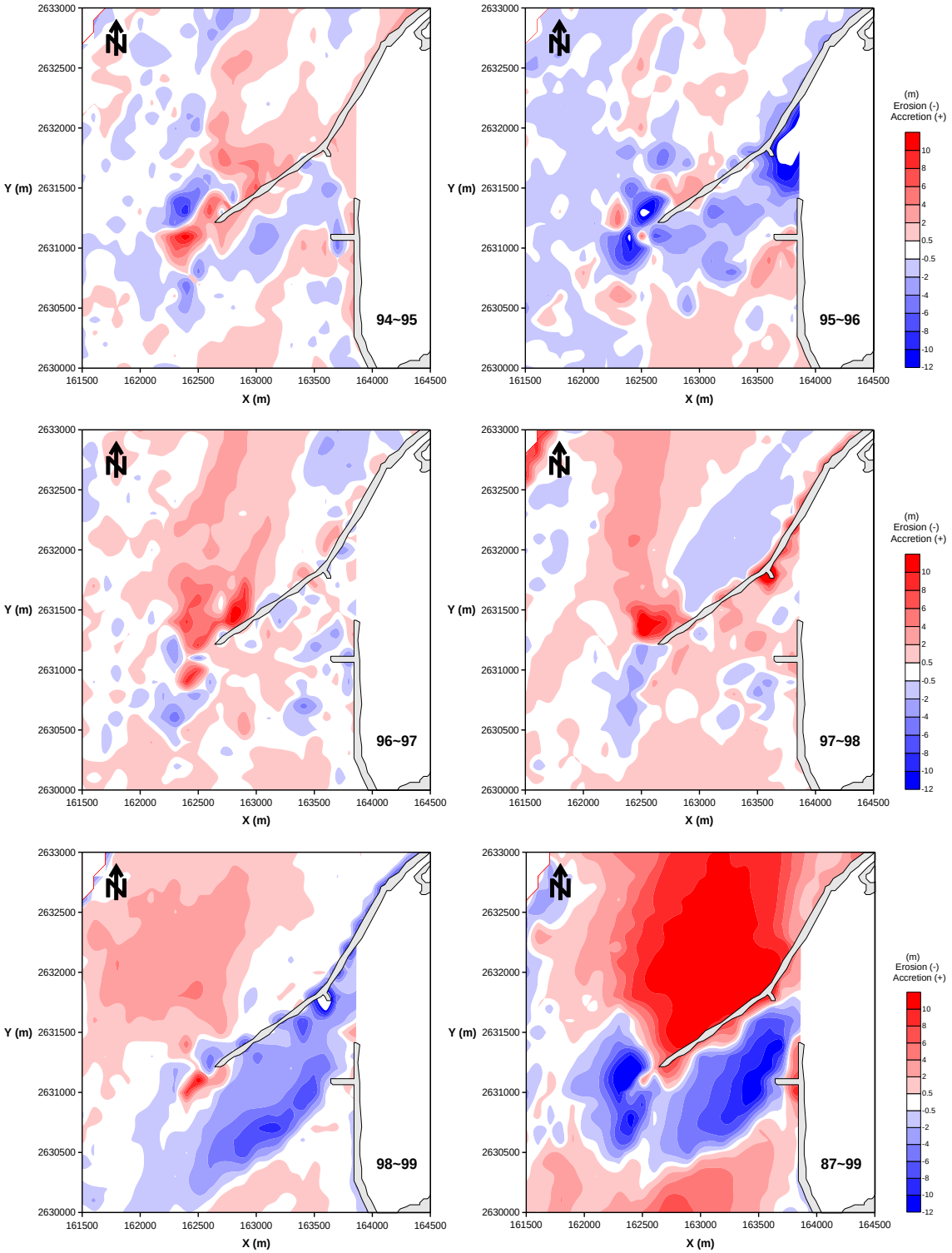



**圖 3.22(續) 麥寮港西防波堤海域實測地形侵淤變化(82~99 年)**

### 3.1.3 堤頭沖蝕特性分析

（1）雲林海域大範圍水深測量資料分析

麥寮工業區的開發，於民國 84 至 89 年間分階段逐步增建了西防波堤與南防波堤。在防波堤興建過程中，於堤頭處都發現淘刷的現象。圖 3.23 為民國 80~99 年麥寮港海域西防波堤 I~III 堤頭附近地形等深線變化圖，包括 -25m、-30m、-35m 與-40m 等深線。其中，-35m 等深線範圍內為一封閉區域，可用以代表水深大於 -35m 的沖刷洞 (以下簡稱 -35m 沖刷洞)。

如圖 3.24 所示，民國 80~85 年間，西防波堤尚未延伸到目前規模，-20m 等深線仍保持平行於海岸。民國 87 年時，西防坡堤 II 的興建，已造成堤頭地形由原來的水深 -15m 沖刷至 -25m。民國 89 年時，西防坡堤 III 的延伸，造成一小塊-30m 沖刷洞在堤頭北方形成。民國 90 年時，堤頭前 -30m 沖刷洞明顯變大，-35m 沖刷洞也出現在堤頭西南側。因沖刷現象的持續作用，民國 92 年以後，堤頭前的最大沖刷洞已超過 -40m。

另將各年度 -35m 沖刷洞以三維網格繪製，包括 -35m 等深線、沖刷洞的重心在 -35m 等深線截面的投影點 (以下簡稱形心) 與防波堤堤頭位置等，歷年沖刷洞之立體圖如圖 3.24 所示。圖 3.24 中的圓點為沖刷洞之形心位置，堤頭位置以三角形標示。各年度的堤頭地形資料解算後，所得的 -35m 沖刷洞之形心與堤頭距離 (心堤距)、-35m 沖刷洞體積、-35m 等深線截面積、最大沖刷深度與平均沖刷幅度 (沖刷洞體積除以截面積) 等，如表 3.3 與圖 3.24 所示。

由表 3.3 與圖 3.25 可知，自民國 90 年開始 -35m 沖刷洞的截面積、沖刷體積與、最大沖刷深度逐年加大，都在民國 96 年時達到最大，各為 197,300$m^2$、7,868,464$m^3$ 與 47.45m。民國 96 年以後沖刷區域已有縮小，但仍是維持相當大的範圍：*X* 軸方向約 264~293m、*Y* 軸在 669~742m 的跨距間變動；平均沖刷則介於 36~40m 之間。由圖 3.79 可看出，民國 91~96 年期間，堤頭北側 300m 範圍內的 -20m 等深線均呈現向岸凹

陷的侵蝕狀態；民國 97 年以後， -20m 等深線已向外海側回淤，此現象即是有來自濁水溪口南向的砂源注入。由表 3.3 可知，堤頭在民國 96~97 年期間，沖刷洞大量淤積；民國 97 年以後，沖刷洞的面積與體積呈現逐年略微回淤的情形。

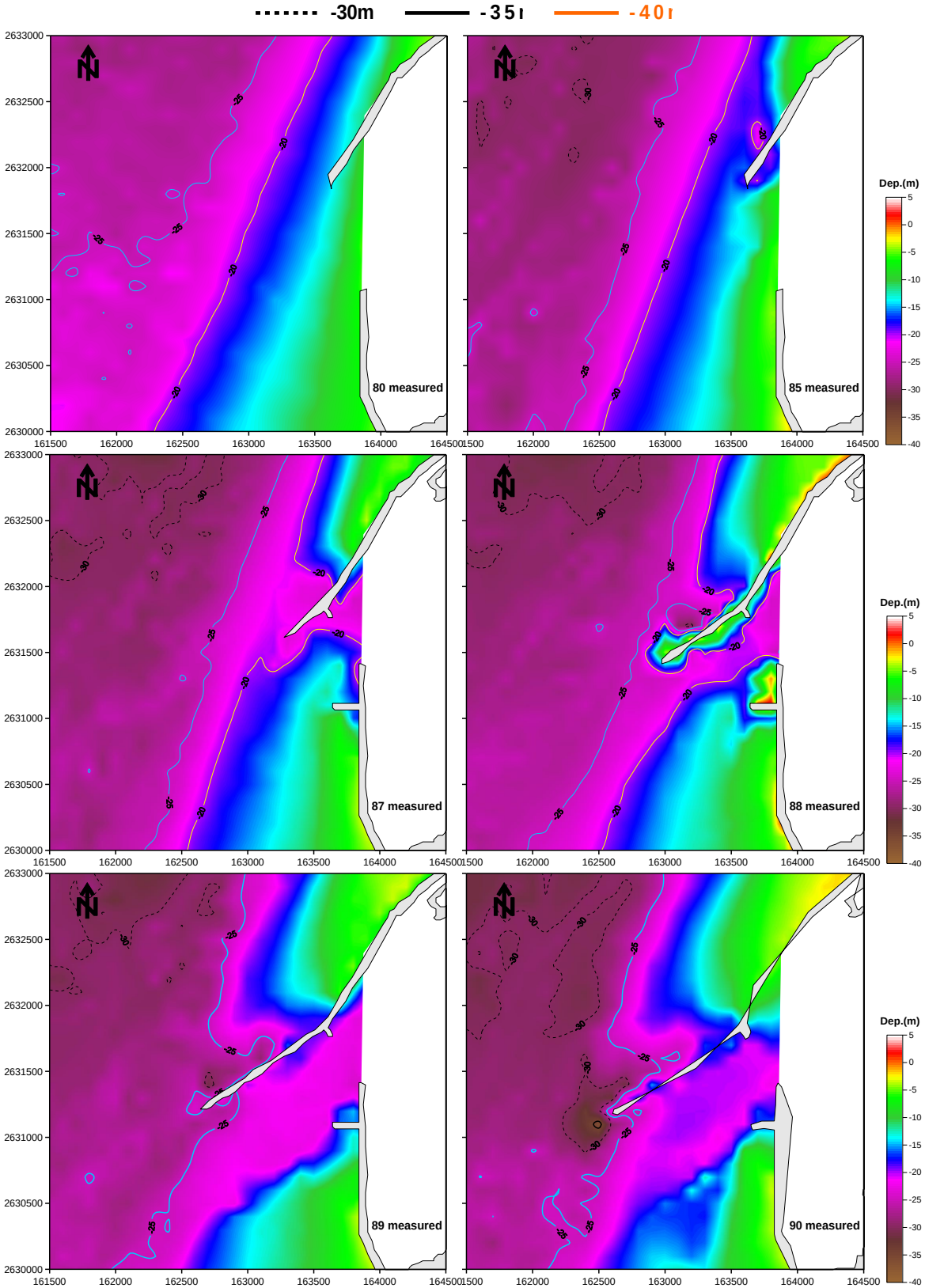



**圖 3.23 麥寮港西防波堤堤頭附近地形等深線變化圖(80~99 年)**

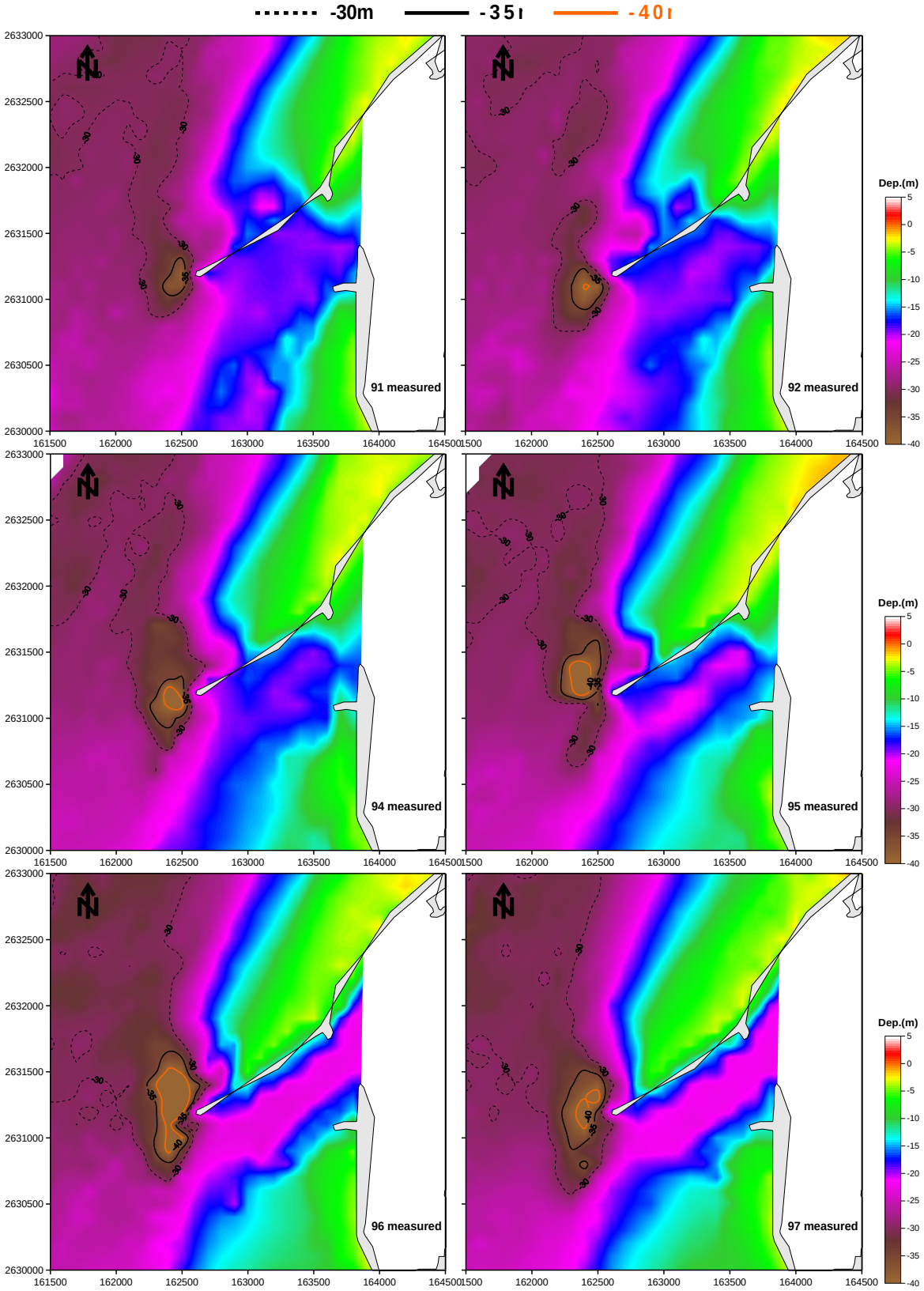



圖 3.23(續) 麥寮港西防波堤堤頭附近地形等深線變化圖(80~99 年)

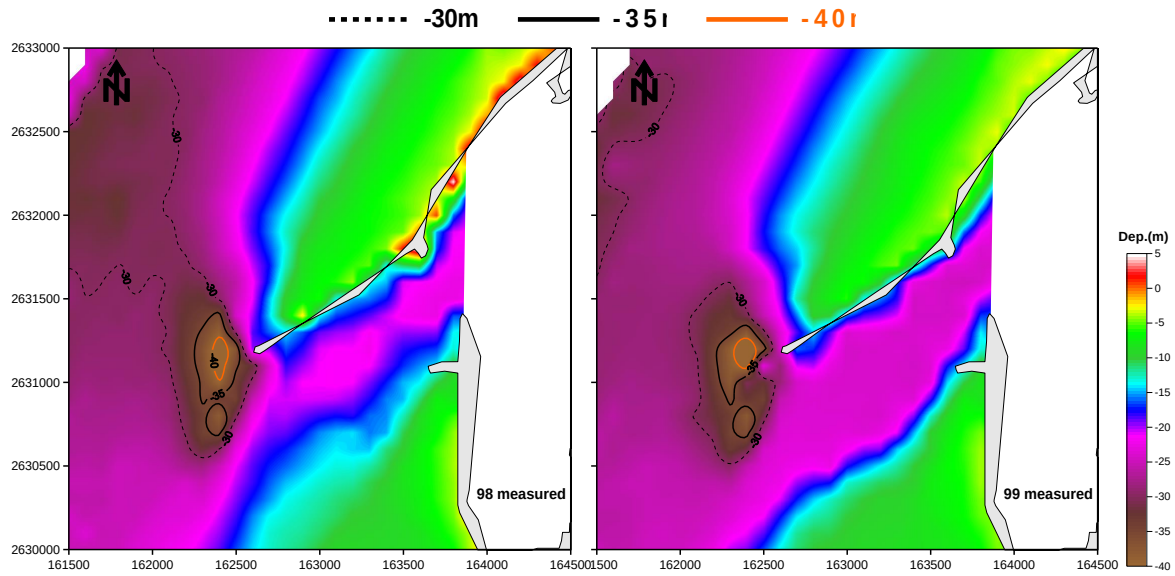



圖 3.23(續) 麥寮港西防波堤堤頭附近地形等深線變化圖(80~99 年)

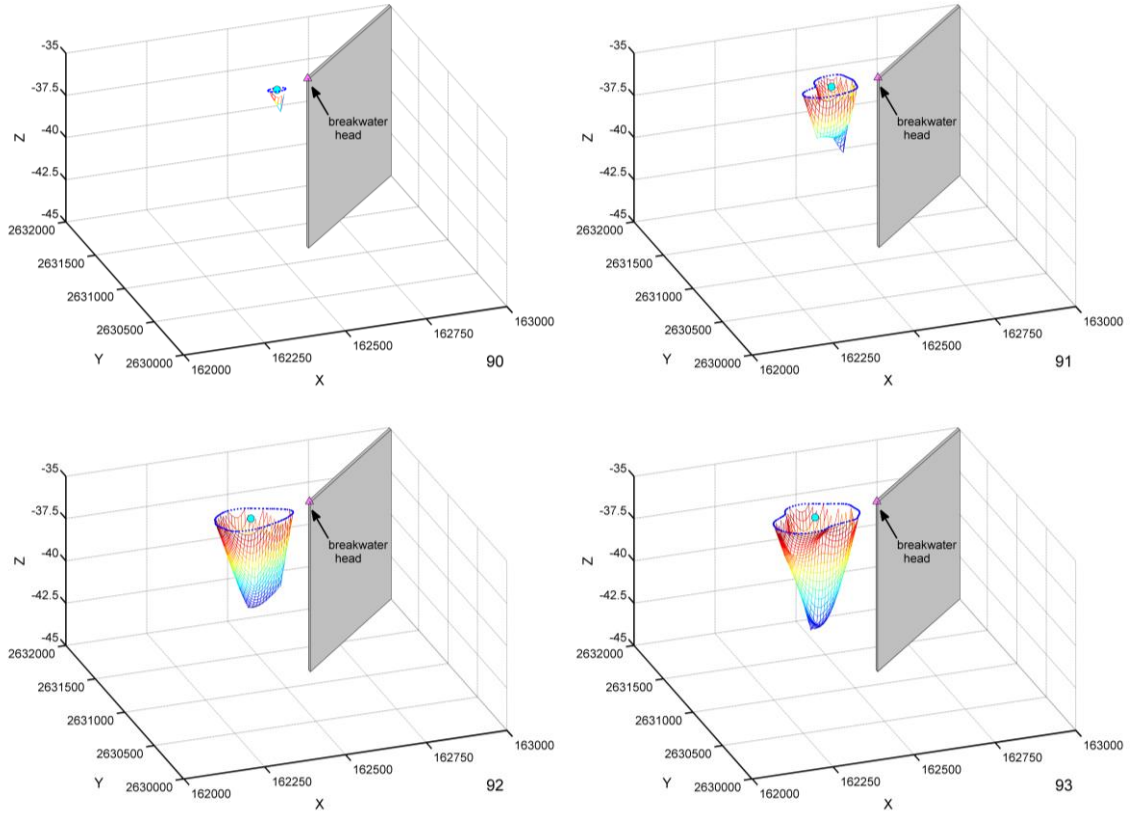



圖 3.24 麥寮港西防波堤堤頭海域-35m 沖刷洞地形變化圖(90~99 年)

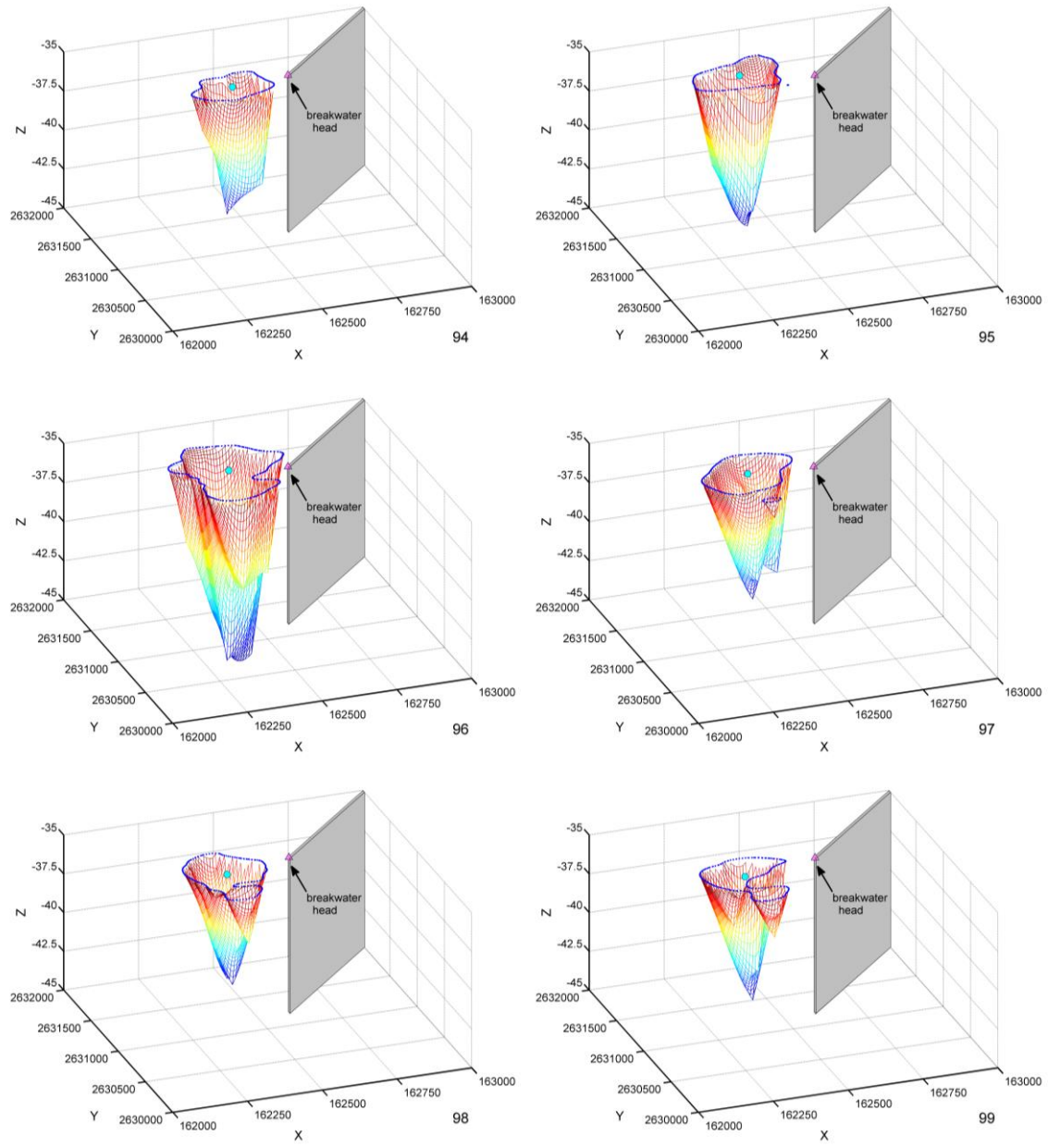



**圖 3.24(續) 麥寮港西防波堤堤頭海域-35m 沖刷洞地形變化圖(90~99 年)**

**表 3.3 麥寮港西堤堤頭-35m 沖刷洞變化量化表(90~99 年)**

| 年度 | 堤頭位置 (X , Y) | 形心位置 (X , Y) | 心堤距 (m) | 沖刷截面積 ($m^2$) | 沖刷體積 ($m^3$) | 最大沖刷深度 (m) | 平均沖刷 (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 90 | 162601, | 162488, | 145 | 1800 | 63944 | 36.36 | 36 |
| 91 | 162601, | 162456, | 147 | 33900 | 1240470 | 39.16 | 37 |
| 92 | 162601, | 162403, | 228 | 52900 | 1979967 | 40.36 | 37 |
| 93 | 162601, | 162395, | 224 | 75200 | 2832137 | 42.08 | 38 |
| 94 | 162601, | 162406, | 202 | 75200 | 2869033 | 43.38 | 38 |
| 95 | 162601, | 162381, | 268 | 100900 | 3914629 | 44.53 | 39 |
| 96 | 162601, | 162417, | 198 | 197300 | 7868464 | 47.45 | 40 |
| 97 | 162601, | 162388, | 217 | 128400 | 4863288 | 42.94 | 38 |
| 98 | 162601, | 162378, | 247 | 125100 | 4686380 | 42.25 | 37 |
| 99 | 162601, | 162349, | 280 | 101000 | 3788176 | 43.64 | 38 |

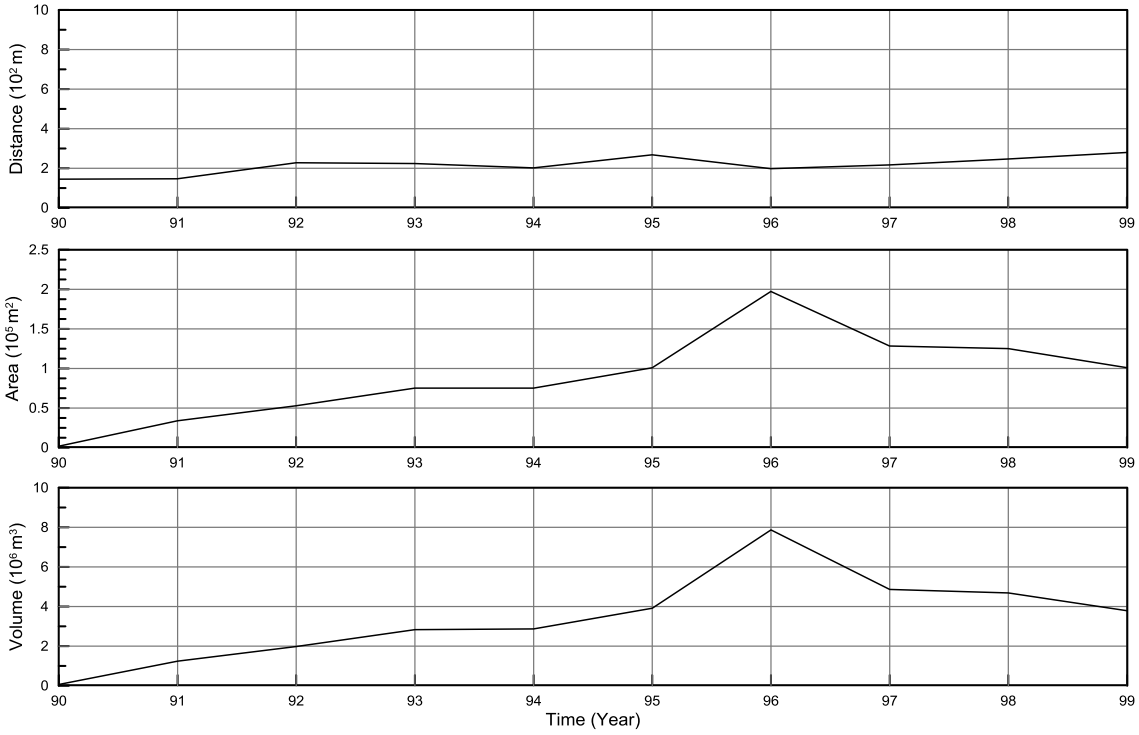



**圖 3.25 堤頭-35m 沖刷洞心堤距、面積、體積變動圖**

以下彙整麥寮港西防波堤堤頭附近-35m 沖刷洞歷年沖刷截面積與沖刷體積，如圖 3.26 所示。由圖 3.26 可知，麥寮港自民國 90 年開始 -35m 沖刷洞的沖刷截面積與沖刷體積逐年加大，侵蝕量至民國 96 年時到達最大；民國 96 年至 99 年期間，沖刷洞的沖刷截面積與沖刷體積逐年減小，沖刷洞逐漸回淤。

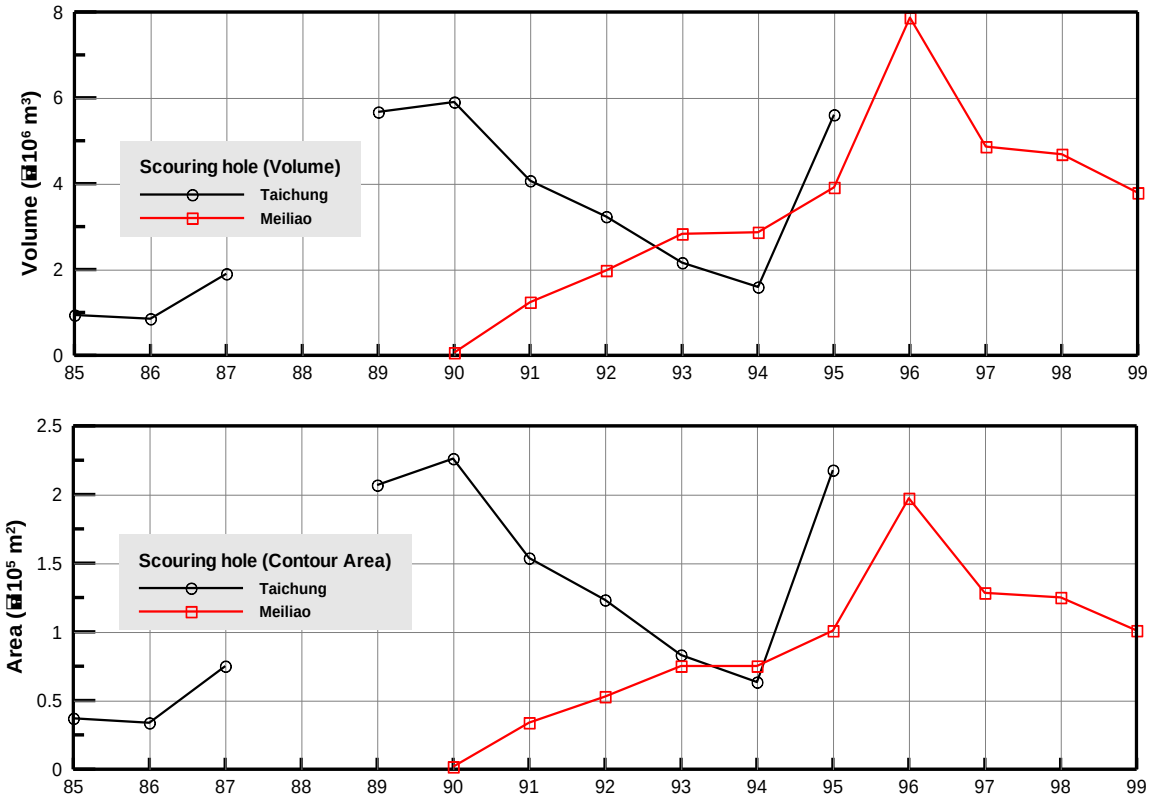



**圖 3.26 臺中港北堤堤頭-25m 與麥寮港西堤堤頭-35m 沖刷洞變化量化圖**

（2）麥寮港堤頭附近加密水深測量資料分析

前一個單元所分析麥寮港堤頭地形資料，是擷取自雲、嘉海域大範圍地形資料，測量時間間隔約是一年以上，而且測線間距較寬。因一年期間內可能發生許多極端的波流事件，而堤頭又屬於敏感區域，在一年內侵淤現象可能已經重複發生，故堤頭沖刷特性與機制並不易以年份作綜合分析。

本研究另收集麥寮工業區專用港管理公司所提供自 96/04 至 101/09 六年期間共進行 39 次堤頭與航道的地形測量資料，進一步探討

麥寮港西防波堤堤頭附近地形的季節性侵淤變化。麥寮港西防波堤堤頭附近地形加密測量之等深線變化圖 (96~101 年)，包括 -30m、-35m 與-40m 等深線，如圖 3.27 所示。其中，-35m 等深線範圍內為一封閉區域，可用以代表水深大於 -35m 的沖刷洞 (以下簡稱 -35m 沖刷洞)。

如圖 3.27 可看出，民國 96~101 年期間，西防波堤堤頭附近不同月份之 -35m 沖刷洞 (或 -40m 沖刷洞) 變化並不劇烈，此情形與表 3.3 與圖 3.25 所呈現的量值不同，主要還是因為大範圍海域測量其測線密度較大，在局部範圍的精度上較差所致。

根據麥寮工業區專用港管理公司所提供完整的水深觀測資料，共有 6 次測量期間正逢中央氣象局發佈颱風警報，分別為 2007 年 9 月的韋帕颱風、10 月的柯羅莎颱風、11 月的米塔颱風、2009 年 6 月的蓮花颱風、7 月的莫拉菲颱風以及 10 月的芭瑪颱風。以颱風的路徑而言，韋帕與柯羅莎皆從臺灣東北角通過，並有跨越臺灣海峽。米塔在臺灣的南方並消失於巴士海峽。蓮花則自菲律賓西側海域沿著臺灣海峽一路北上至中國的福建省。莫拉菲與芭瑪則是自臺灣的南方海域通過。參考圖 3.27，颱風通過後並非所有地形呈現侵蝕或是掏蝕洞加大的現象。如芭瑪颱風通過後，地形變化呈現淤積，而掏蝕洞亦受到填補而變小。若以蓮花颱風為例，則其並未造成明顯的影響，不論是地形的變化亦或是掏蝕洞的尺寸。但韋帕颱風即造成大範圍的侵蝕，並增加掏蝕洞的深度與體積。此結果顯示，個別颱風對於麥寮港西防波堤鄰近海域地形並不一定造成侵蝕或淤積，其所形成的效應仍需考慮區域的地形、地貌與海象特性再深入考量。

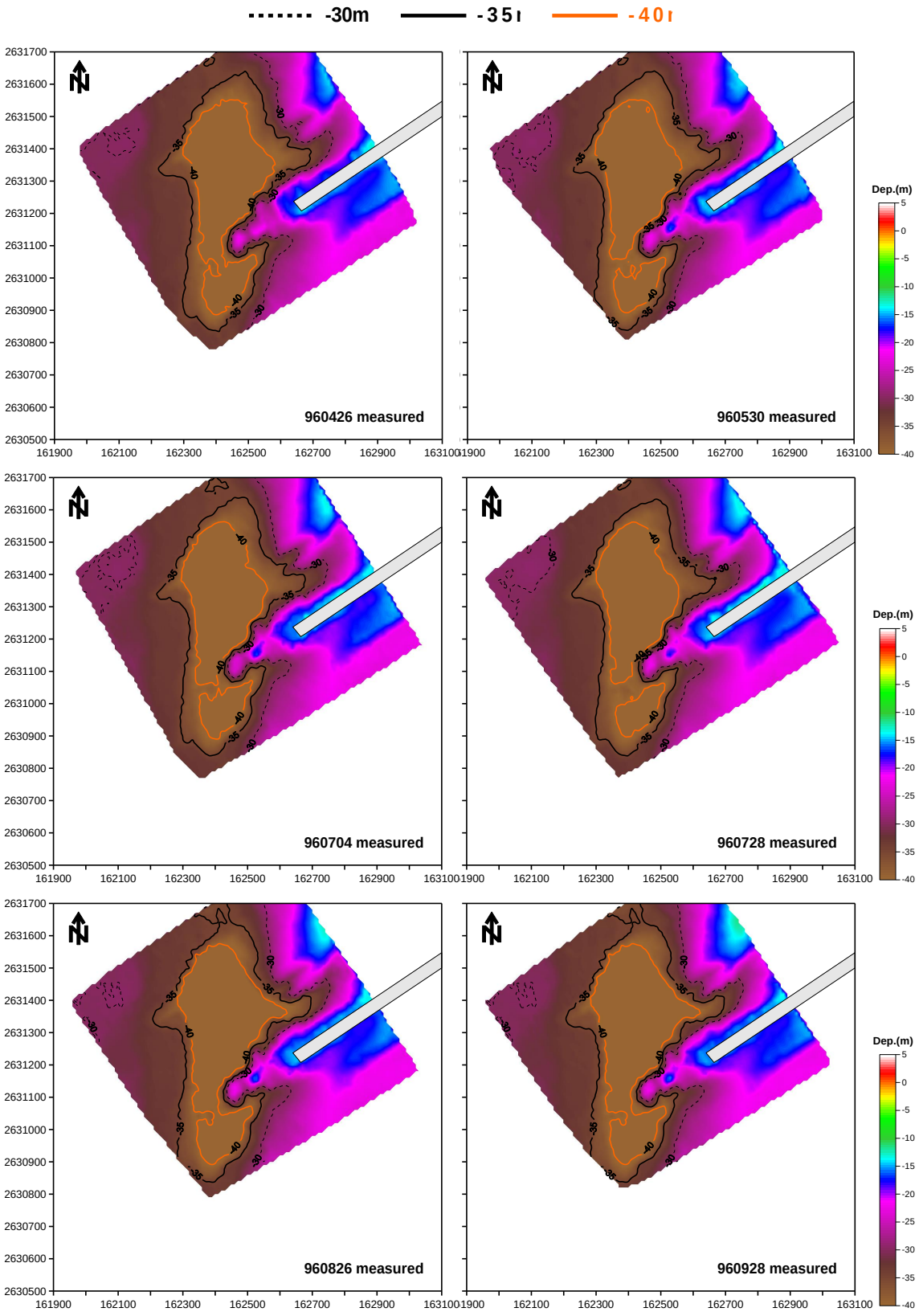



**圖 3.27 麥寮港西防波堤堤頭加密測量之等深線變化圖(96~101 年)**

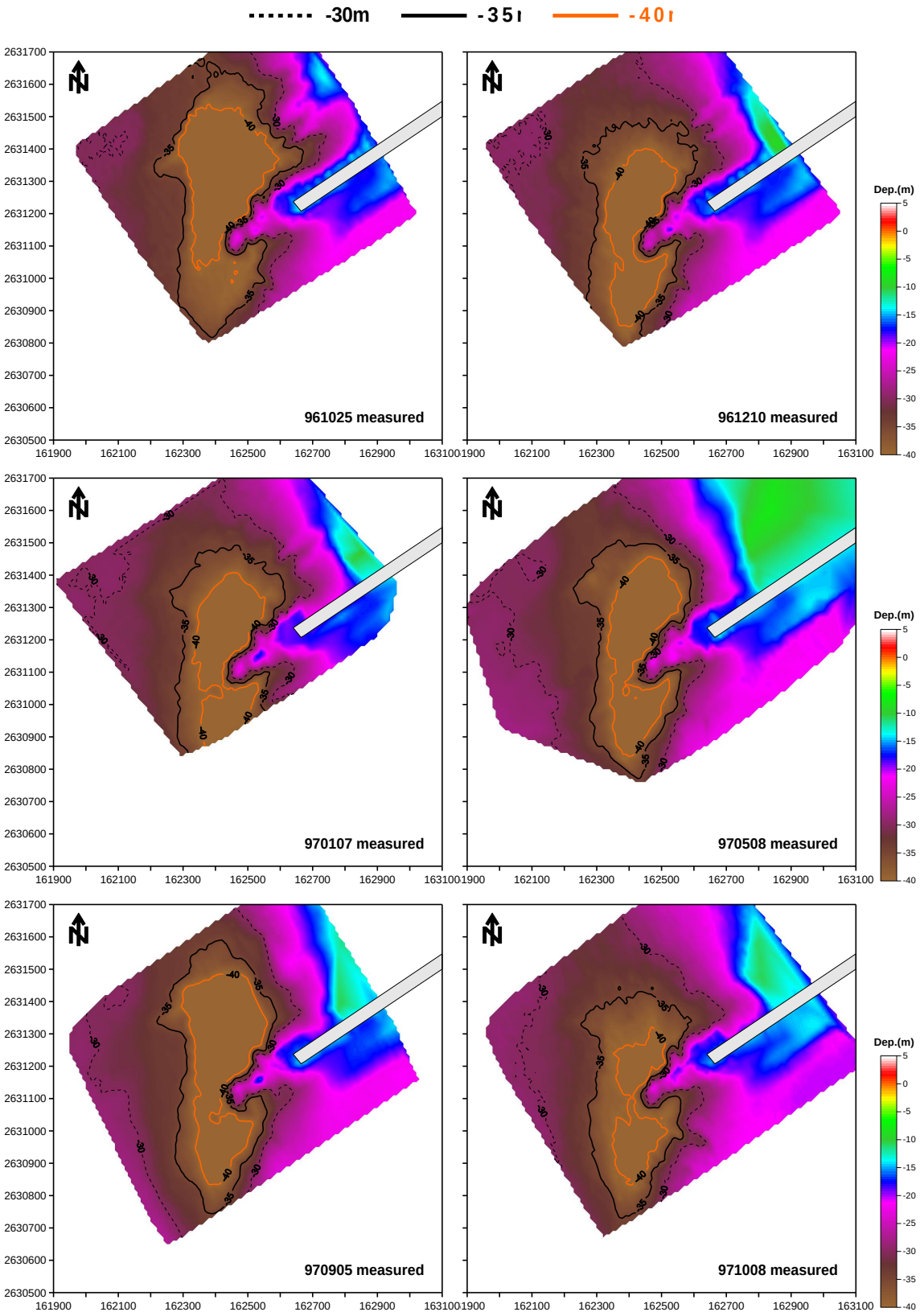



**圖 3.27(續) 麥寮港西防波堤堤頭加密測量之等深線變化圖(96~101 年)**

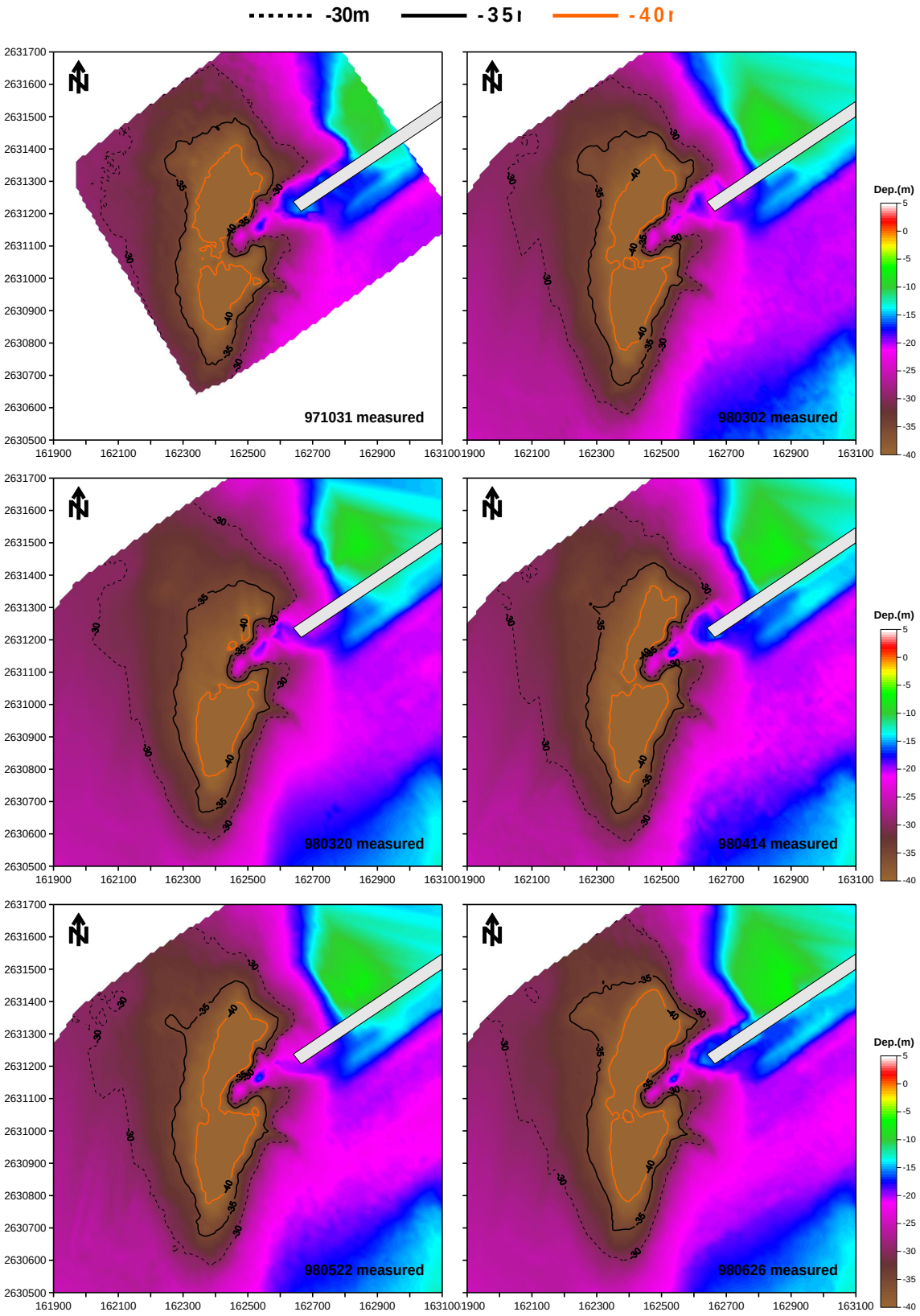



**圖 3.27(續) 麥寮港西防波堤堤頭加密測量之等深線變化圖(96~101 年)**

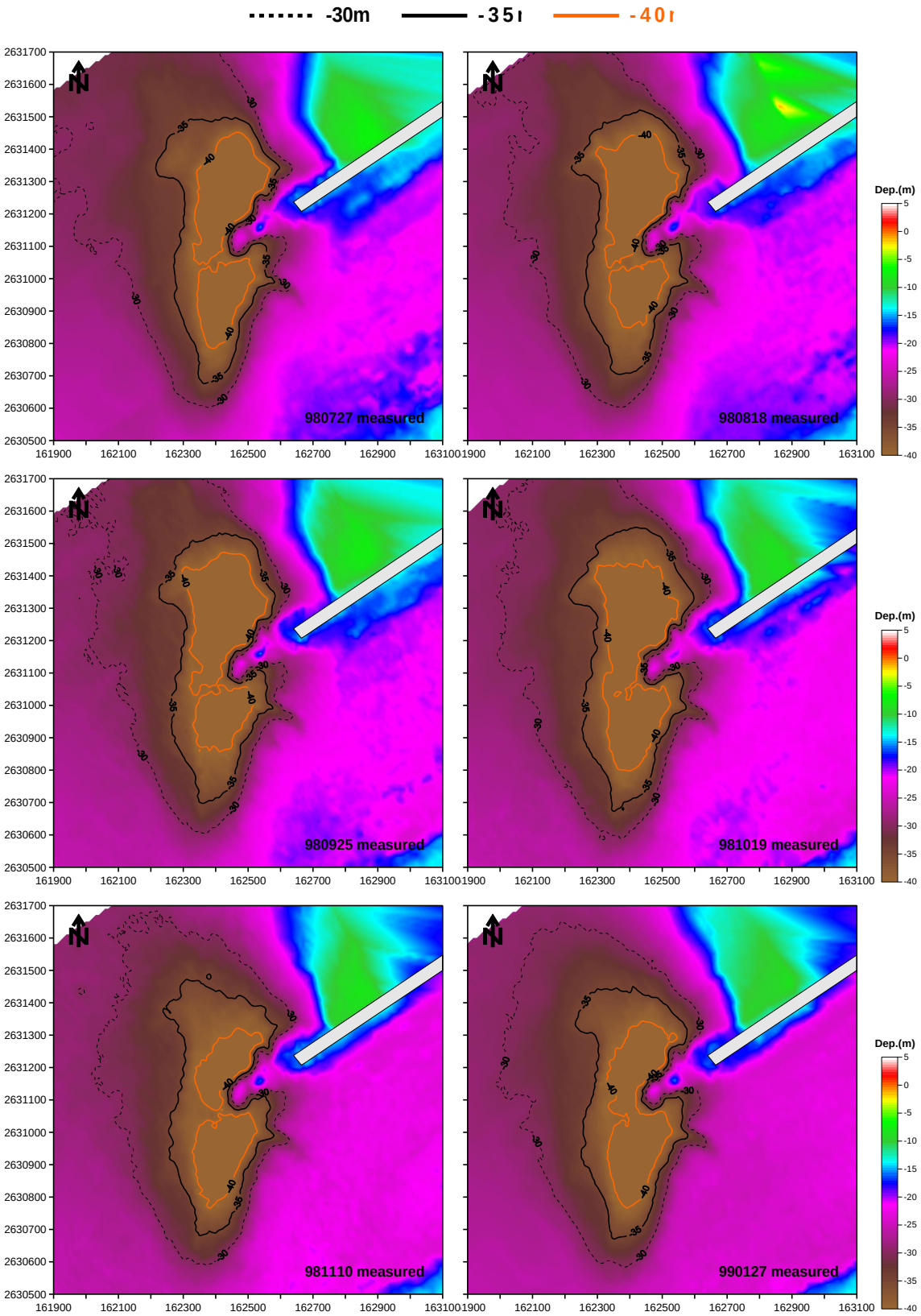



**圖 3.27(續) 麥寮港西防波堤堤頭加密測量之等深線變化圖(96~101 年)**

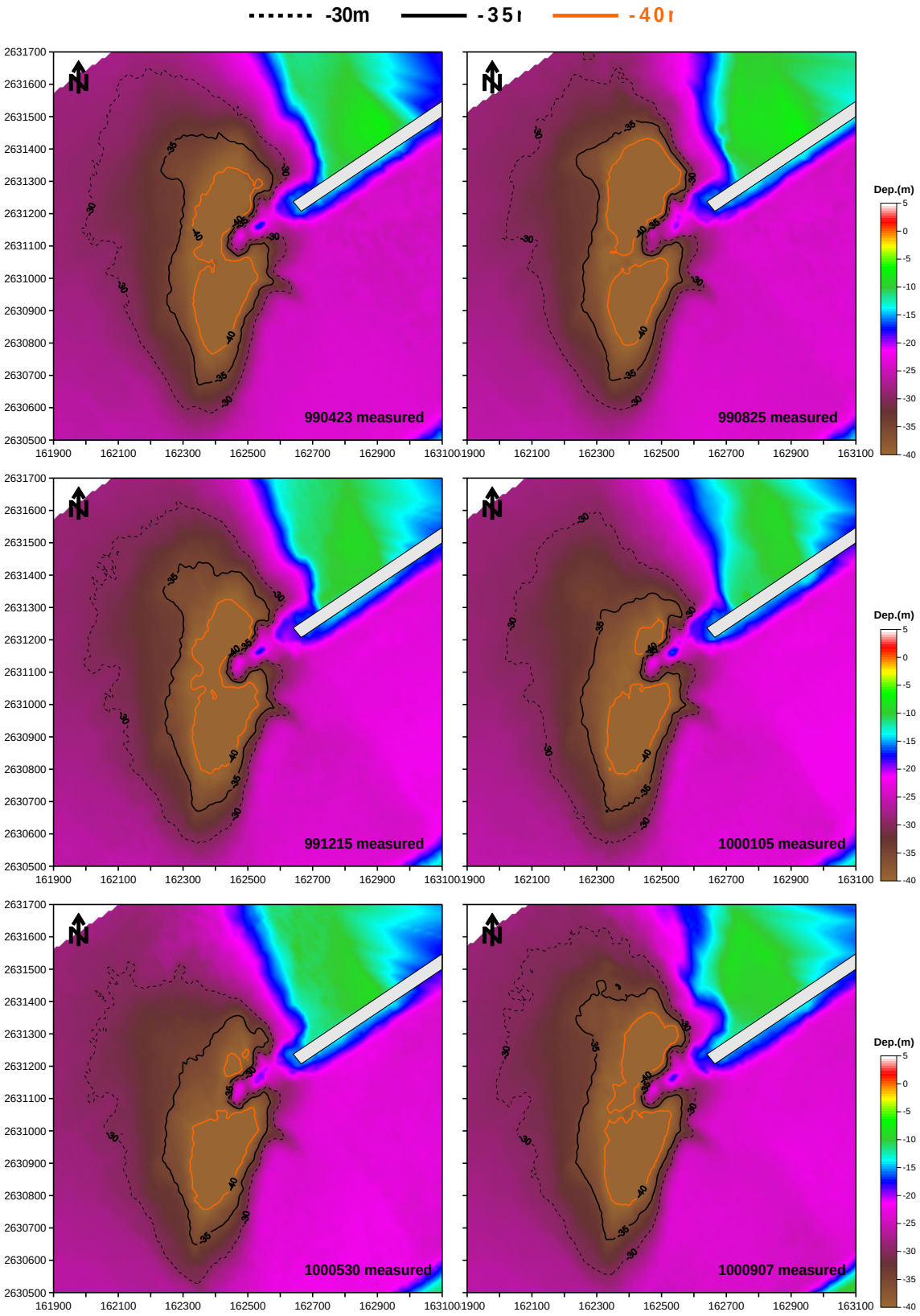



**圖 3.27(續) 麥寮港西防波堤堤頭加密測量之等深線變化圖(96~101 年)**

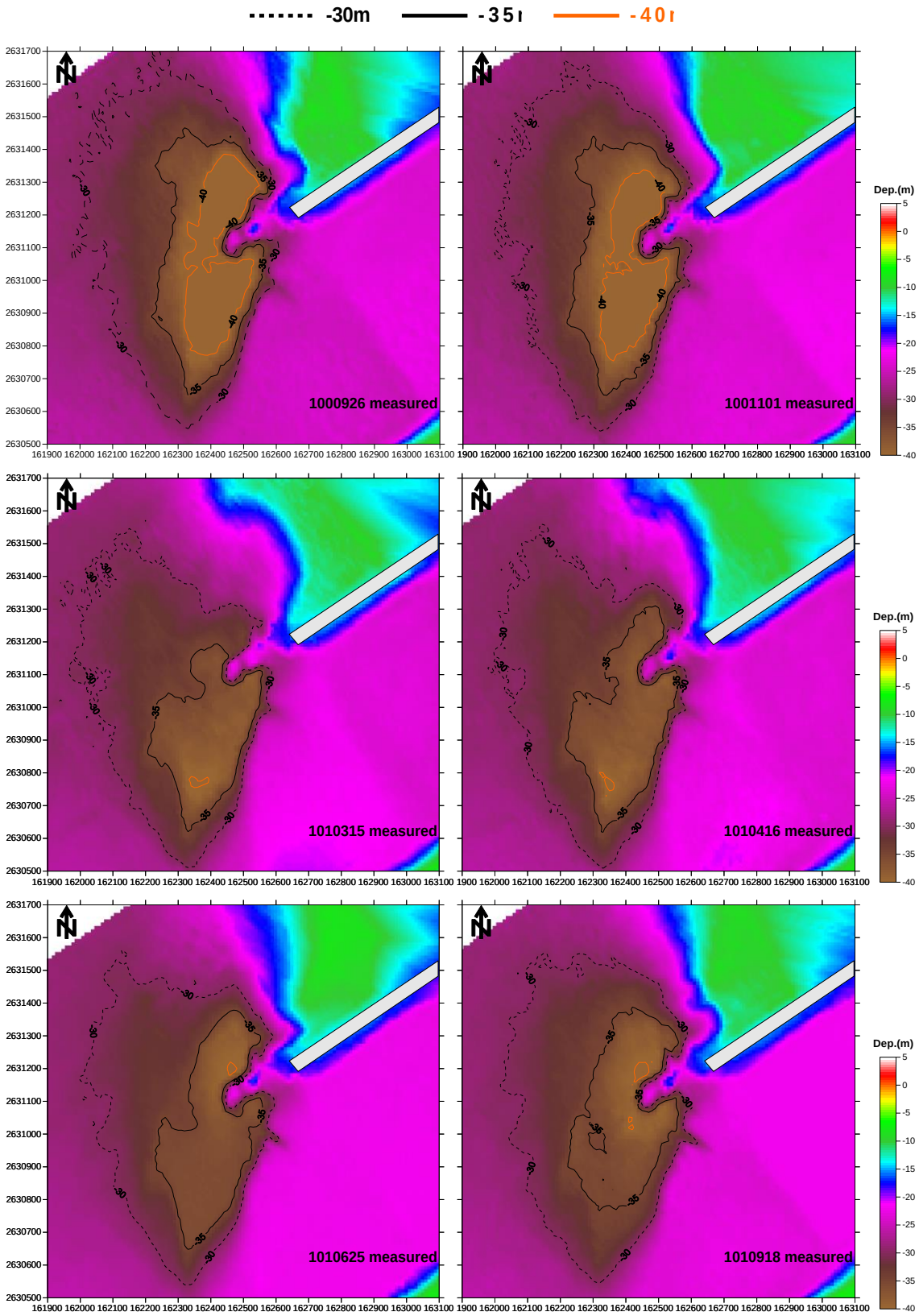



**圖 3.27(續) 麥寮港西防波堤堤頭加密測量之等深線變化圖(96~101 年)**

將不同月份的堤頭地形資料解算後，所得的 -35m 沖刷洞之形心與堤頭距離 (心堤距)、-35m 沖刷洞體積、-35m 等深線截面積、最大沖刷深度與平均沖刷幅度 (沖刷洞體積除以截面積) 等，詳列於圖 3.27 與表 3.3；-40m 沖刷洞體積與-40m 等深線截面積，亦列於圖 3.27 中。

由圖 3.28 與表 3.4 可觀察到一明顯的現象，在夏季期間 (約 4~9 月)，-35m 與 -40m 沖刷洞的面積與體積均逐漸加大 (即侵蝕加劇)；而冬季期間 (約 10~3 月)，沖刷洞的面積與體積則逐漸減小 (即逐漸回淤)。此回淤的現象應來自於濁水溪口南向的砂源注入，下一小節將配合現場海流統計資料進一步評估探討。

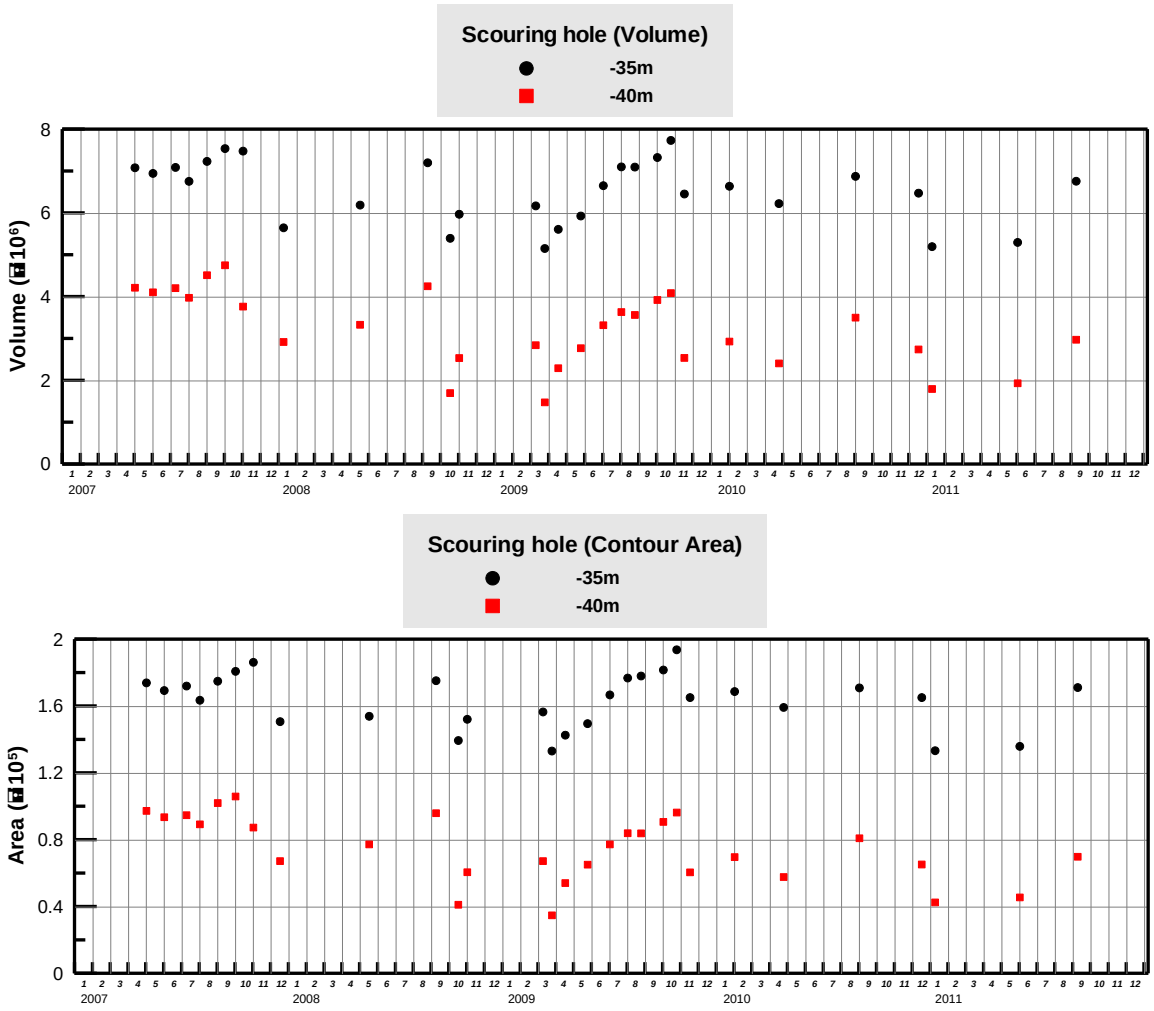



**圖 3.28 麥寮港西堤堤頭加密測量之-35m 與-40m 沖刷洞變化量化圖**

**表 3.4 麥寮港西堤加密測量堤頭-35m 沖刷洞變化量化表(96~100 年)**

| 日期 | 堤頭位置 (X , Y) | 形心位置 (X , Y) | 心堤距 (m) | 沖刷截面積 ($m^2$) | 沖刷體積 ($m^3$) | 最大沖刷深度 (m) | 平均沖刷 (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 960426 | 162601, | 162432, | 226 | 174200 | 7092162 | 49.13 | 41 |
| 960530 | 162601, | 162428, | 230 | 169600 | 6957173 | 51.41 | 41 |
| 960704 | 162601, | 162424, | 234 | 172300 | 7100376 | 51.68 | 41 |
| 960728 | 162601, | 162424, | 234 | 163800 | 6767751 | 50.93 | 41 |
| 960826 | 162601, | 162420, | 240 | 175200 | 7244358 | 50.48 | 41 |
| 960928 | 162601, | 162417, | 243 | 181100 | 7550382 | 51.89 | 42 |
| 961025 | 162601, | 162419, | 238 | 186500 | 7489763 | 47.25 | 40 |
| 961210 | 162601, | 162413, | 245 | 151000 | 5966028 | 46.00 | 40 |
| 970107 | 162601, | 162419, | 237 | 141900 | 5657946 | 45.79 | 40 |
| 970508 | 162601, | 162413, | 243 | 154200 | 6201111 | 49.14 | 40 |
| 970905 | 162601, | 162408, | 246 | 175500 | 7211237 | 50.88 | 41 |
| 971008 | 162601, | 162409, | 267 | 139700 | 5406748 | 43.88 | 39 |
| 971031 | 162601, | 162410, | 255 | 152400 | 5981821 | 46.36 | 39 |
| 980302 | 162601, | 162408, | 270 | 156800 | 6181458 | 45.53 | 39 |
| 980320 | 162601, | 162412, | 297 | 133400 | 5163883 | 45.49 | 39 |
| 980414 | 162601, | 162414, | 282 | 142900 | 5620852 | 45.76 | 39 |
| 980522 | 162601, | 162412, | 273 | 149800 | 5939969 | 46.68 | 40 |
| 980626 | 162601, | 162408, | 262 | 167000 | 6663965 | 49.84 | 40 |
| 980727 | 162601, | 162405, | 259 | 177100 | 7113313 | 48.87 | 40 |
| 980818 | 162601, | 162405, | 259 | 178300 | 7108445 | 48.79 | 40 |
| 980925 | 162601, | 162405, | 256 | 181900 | 7337210 | 50.70 | 40 |
| 981019 | 162601, | 162402, | 260 | 194000 | 7745400 | 46.64 | 40 |
| 981110 | 162601, | 162402, | 280 | 165400 | 6465426 | 44.66 | 39 |
| 990127 | 162601, | 162400, | 284 | 169000 | 6650347 | 45.05 | 39 |
| 990423 | 162601, | 162404, | 287 | 159500 | 6236126 | 43.86 | 39 |
| 990825 | 162601, | 162405, | 270 | 171200 | 6887158 | 50.83 | 40 |
| 991215 | 162601, | 162396, | 295 | 165400 | 6485458 | 45.45 | 39 |
| 1000105 | 162601, | 162401, | 323 | 133600 | 5207864 | 45.12 | 39 |
| 1000530 | 162601, | 162399, | 334 | 136200 | 5308712 | 45.37 | 39 |
| 1000907 | 162601, | 162394, | 294 | 171400 | 6770072 | 49.74 | 40 |

## 3.2 防波堤堤頭波流場觀測與分析

海流及波浪為造成海域所有相關現象的主要物理因素，所收集的資料將可瞭解近岸流場模式，並可做為影響海域現象與環境之評估依據。另也將提供相關之工程設計規劃、海洋污染模式與預測、防治及水工模型試驗等之所需。港灣及近岸工程，如防波堤、填海圍堤等規劃設計與施工，須有詳細之潮波流資料做為參考。海水受天體影響而引發潮流，且因風、浪、海水密度及其他海氣象因素而改變流速及流向，而近岸附近之流況更因地形及附近結構物之影響而改變。為確實掌控區域的諸多環境控制因素，就必須對現地潮波流做一完整調查，如此能得到較準確的推算結果，做為相關研究的參考。

### 3.2.1 作業內容

麥寮港近南堤外海處，點號 ML 處之點位坐標為 TWD97 E 120° 09’08.22”，N 23° 45’ 37.98”，水深約 8.0 公尺，本測區觀測日期自 103 年 04 月 9 日至 05 月 1 日止共 22 天，監測點位置如圖 3.29 所示。施放之自記式潮波流儀，觀測海面表層及海床底層之流速、波浪及潮位。




**圖 3.29 麥寮港潮波流儀點位**

### 3.2.2 測區海域潮波流結果分析

一、潮汐

潮汐資料是由壓力式感應器轉換水位變化，而相對於儀器架設深度的水深起伏即為潮位變化。量測儀器安置於水深8.0m處。ML測站的水位時序變化繪圖如圖3.30、圖3.31所示。施測時間為2014年04/09～05/01，共22日期間的平均水深為8.030m。04月15日23時，記錄最大水深9.786m，04月30日17時記錄最小水深6.216m，最大潮差3.502m。調合分析顯示，主要分潮為M2，振幅為1.302m，次要分潮S2，振幅0.413m。以法國 (Defant, 1958)潮型因子(form factor，$F_f=(a_{K1}+a_{O1})/(a_{M2}+a_{S2})$)分析，$F_f$值為0.22，屬於半日潮型。以美國 (Diertrich, 1980)潮型因子(form factor，$F_a=(a_{K1}+a_{O1})/(a_{M2})$)分析，$F_a$值為0.29，屬於半日潮型。

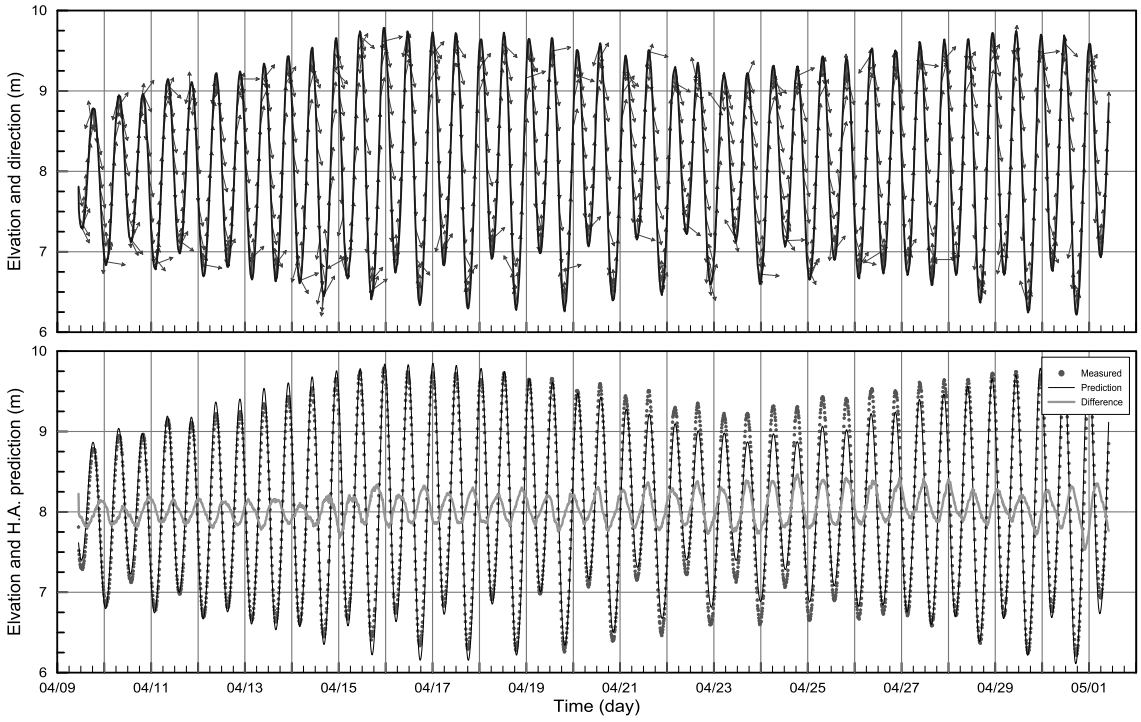



**圖 3.30 ML 測站，2014 年 04/09～05/01 實測與預報水位變化圖**

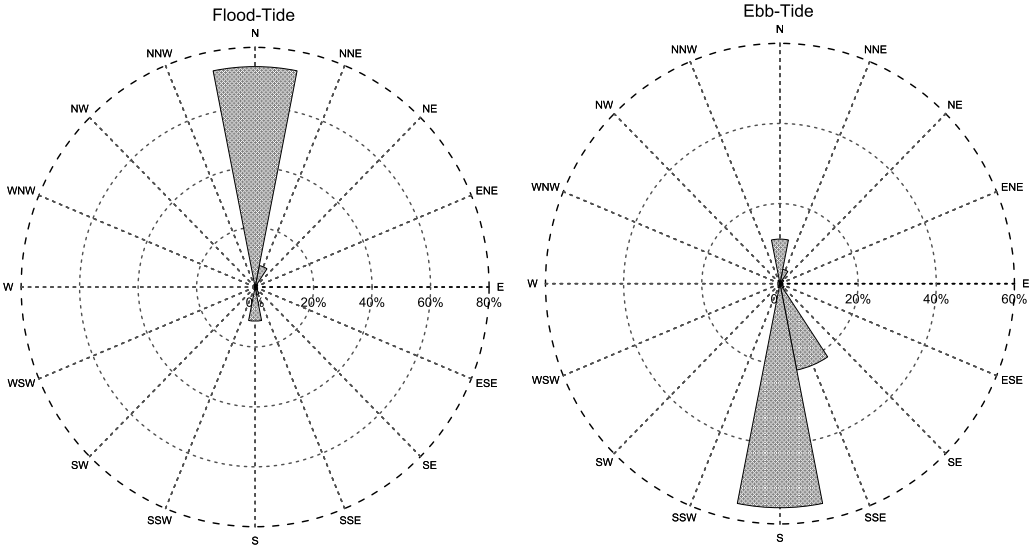



**圖 3.31 ML 測站，2014 年 04/09～05/01 漲、退潮段流向玫瑰圖**

**表 3.5 ML 站，潮位調合分析主要分潮參數**

| 序別 | 分潮 | 角頻率(°/hr) | 振幅(m) | 遲角(deg) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | M2 | 28.9841042 | 1.3019303 | 309.7220478 |
| 2 | S2 | 30.0000000 | 0.4128210 | 351.3987231 |
| 3 | K1 | 15.0410686 | 0.2001972 | 243.2928408 |
| 4 | O1 | 13.9430356 | 0.1806670 | 234.2534788 |
| 5 | M4 | 57.9682085 | 0.0434759 | 284.4477928 |
| 6 | MSF | 1.0158958 | 0.0407447 | 93.6865596 |
| 7 | MS4 | 58.9841042 | 0.0382676 | 332.0460372 |
| 8 | 2MS6 | 87.9682085 | 0.0161547 | 152.2083350 |
| 9 | M6 | 86.9523127 | 0.0124152 | 94.3712320 |
| 10 | M3 | 43.4761564 | 0.0093005 | 338.2398723 |
| 11 | S4 | 60.0000000 | 0.0062630 | 351.7559859 |
| 12 | 2SM6 | 88.9841042 | 0.0050024 | 233.4432899 |
| 13 | 2MK5 | 73.0092771 | 0.0041745 | 141.8994397 |
| 14 | SK3 | 45.0410686 | 0.0035476 | 269.4931828 |
| 15 | 2SK5 | 75.0410686 | 0.0025571 | 201.4475921 |

二、海流

ML測站的海流觀測每10分鐘紀錄1筆資料。每1筆資料共含有效剖面資料10筆，各剖面間距0.5m，以所測資料之底層水深5m及

表層水深1m，分別繪製流速與流向時序列資料如圖3.32、圖3.33所示。

ML測站底層平均流速為36.4cm/s，主要流向為N，此流向中測得流速最大值為78.1cm/s，發生於04月15日19時漲潮段期間。全程資料記錄中，底層流速最大值為135.3cm/s，流向為SSE，發生於04月15日00時退潮段期間。ML測站表層平均流速為42.5cm/s，主要流向為N，此流向中測得流速最大值為91.4cm/s，發生於04月16日19時漲潮段期間。全程資料紀錄中，表層流速最大值為153.7cm/s，流向為SSE，發生於04月15日00時退潮段期間。

海流點位實測資料之底、表層統計資料如表3.6與表3.7，而統計資料玫瑰圖如圖3.34所示。ML測點的底層流向分佈集中於N、S方位，主要流速分佈區間為大於37.5cm/sec，發生機率為50.54%。表層流向分佈集中於N、S方位，主要流速分佈區間為大於37.5cm/sec，發生機率為58.79%。

ML測點的退潮段底層流向分佈集中於SSE、S方位，發生機率為77.83%：漲潮段底層流向分佈集中N方位，發生機率為74.31%。退潮段表層流向分佈集中於SSE、S方位，發生機率為80.18%：漲潮段表層流向分佈於N方位，發生機率為73.83%。

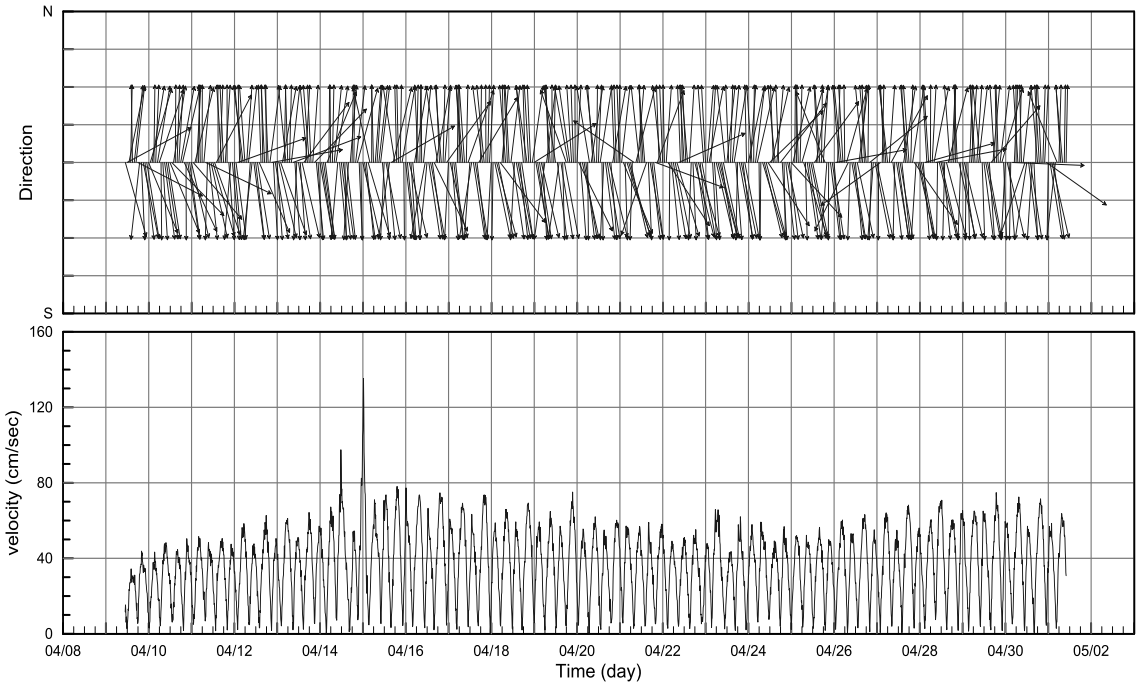



**圖 3.32 ML 測站，2014 年 04/09～05/01 底層流速與流向變化圖**

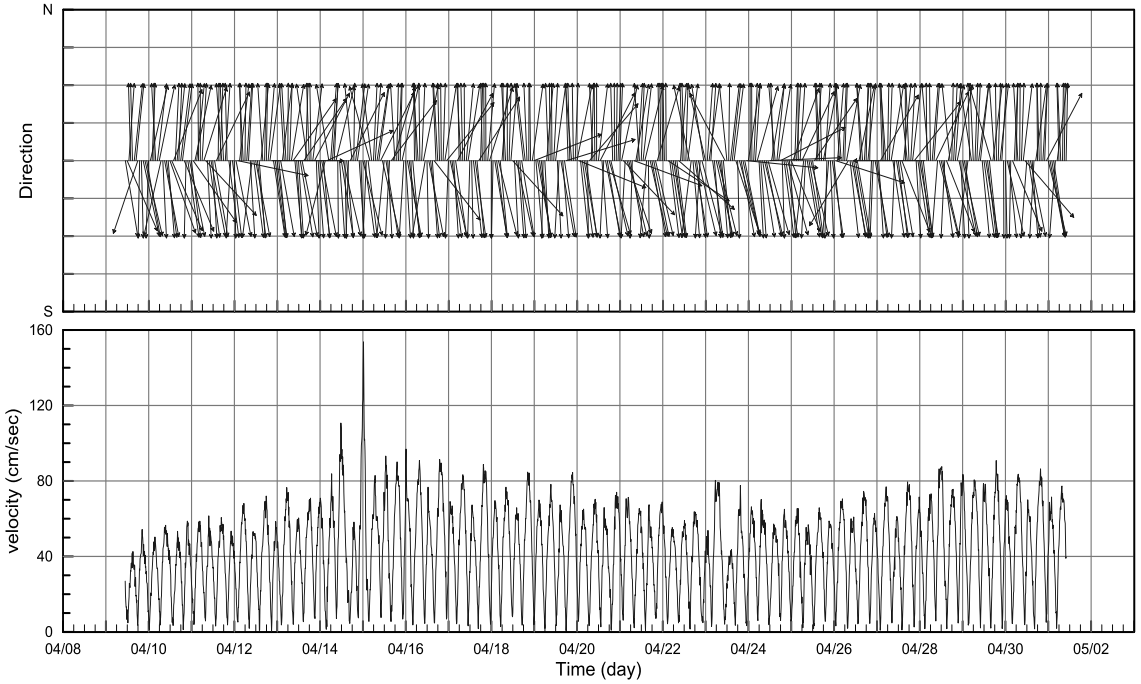
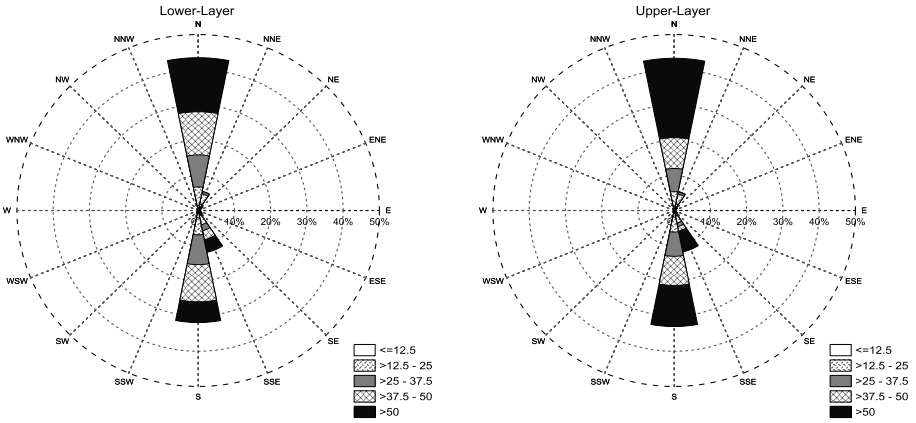
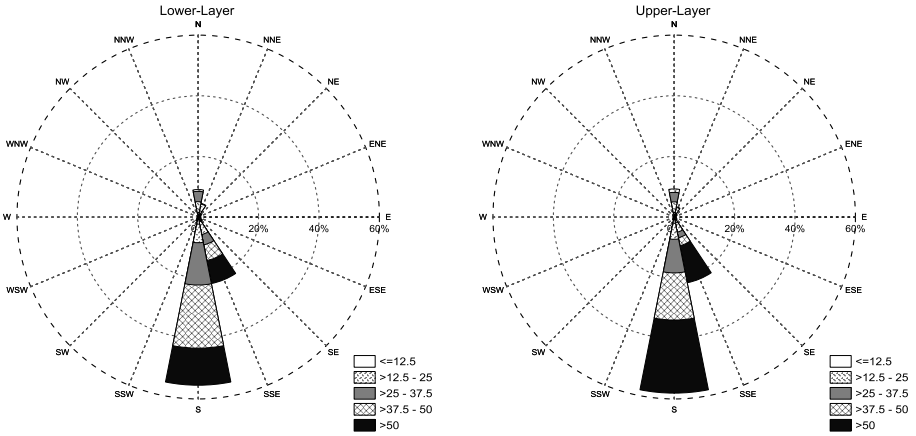



**圖 3.33 ML 測站，2014 年 04/09～05/01 表層流速與流向變化圖**



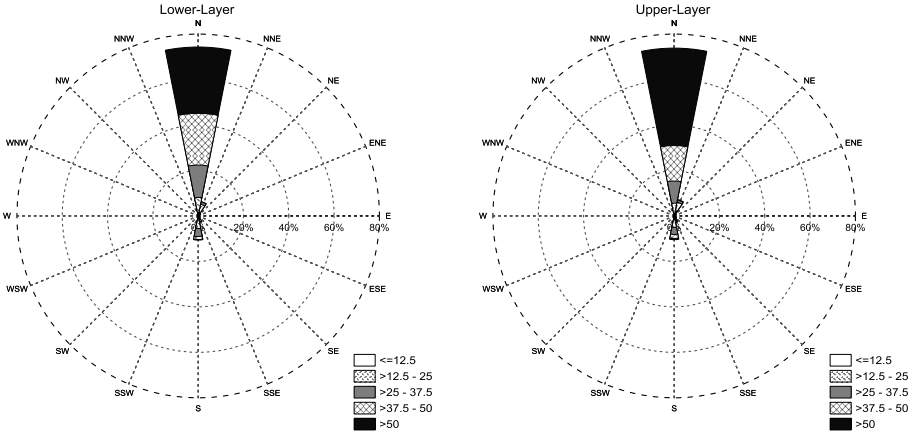

(單位：cm/sec)

**圖 3.34 ML 測站，底、表層之海流玫瑰圖**




(單位：cm/sec)

**圖 3.34(續 1) ML 測站，退潮段底、表層之海流玫瑰圖**




(單位：cm/sec)

**圖 3.34(續 2) ML 測站，漲潮段底、表層之海流玫瑰圖**

**表 3.6 ML 站，底層海流流速、流向統計表**

| 流 向 | 流 速 （cm/s） | | | | | 發生率 (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.0-12.5 | 12.5-25.0 | 25.0-37.5 | 37.5-50.0 | >50 | |
| N | 1.52 | 5.18 | 9.10 | 12.26 | 15.36 | 43.43 |
| NNE | 1.83 | 3.00 | 0.66 | 0.06 | - | 5.56 |
| NE | 1.33 | 0.09 | - | - | - | 1.42 |
| ENE | 0.79 | - | - | - | - | 0.79 |
| E | 0.54 | - | - | - | - | 0.54 |
| ESE | 0.88 | - | - | - | - | 0.88 |
| SE | 1.30 | 0.09 | - | - | - | 1.39 |
| SSE | 1.45 | 2.69 | 1.71 | 2.59 | 3.67 | 12.10 |
| S | 2.09 | 4.84 | 8.47 | 10.56 | 5.91 | 31.86 |
| SSW | 0.63 | 0.28 | 0.06 | - | - | 0.98 |
| SW | 0.06 | - | - | - | - | 0.06 |
| WSW | 0.03 | 0.03 | - | - | - | 0.06 |
| W | 0.03 | - | - | - | - | 0.03 |
| WNW | 0.16 | - | - | - | - | 0.16 |
| NW | 0.09 | - | - | - | - | 0.09 |
| NNW | 0.41 | 0.09 | - | 0.06 | 0.06 | 0.63 |
| 發生率(%) | 13.15 | 16.31 | 20.01 | 25.54 | 25.00 | 100.00 |

**表 3.6(續 1) ML 站，退潮段底層海流流速、流向統計表**

| 流 向 | 流 速 （cm/s） | | | | | 發生率 (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.0-12.5 | 12.5-25.0 | 25.0-37.5 | 37.5-50.0 | >50 | |
| N | 1.47 | 3.60 | 3.40 | 0.60 | - | 9.08 |
| NNE | 2.14 | 2.27 | 0.20 | - | - | 4.61 |
| NE | 1.34 | 0.13 | - | - | - | 1.47 |
| ENE | 0.93 | - | - | - | - | 0.93 |
| E | 0.80 | - | - | - | - | 0.80 |
| ESE | 1.00 | - | - | - | - | 1.00 |
| SE | 1.47 | 0.20 | - | - | - | 1.67 |
| SSE | 1.60 | 4.27 | 3.47 | 5.27 | 7.74 | 22.36 |
| S | 2.34 | 6.14 | 13.95 | 20.83 | 12.22 | 55.47 |
| SSW | 0.80 | 0.47 | 0.13 | - | - | 1.40 |
| SW | 0.13 | - | - | - | - | 0.13 |
| WSW | 0.07 | 0.07 | - | - | - | 0.13 |
| W | 0.07 | - | - | - | - | 0.07 |
| WNW | 0.20 | - | - | - | - | 0.20 |
| NW | 0.07 | - | - | - | - | 0.07 |
| NNW | 0.47 | 0.13 | - | - | - | 0.60 |
| 發生率(%) | 14.89 | 17.29 | 21.16 | 26.70 | 19.96 | 100.00 |

**表 3.6(續 2) ML 站，漲潮段底層海流流速、流向統計表**

| 流 向 | 流 速 （cm/s） | | | | | 發生率 (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.0-12.5 | 12.5-25.0 | 25.0-37.5 | 37.5-50.0 | >50 | |
| N | 1.56 | 6.60 | 14.23 | 22.75 | 29.17 | 74.31 |
| NNE | 1.56 | 3.66 | 1.08 | 0.12 | - | 6.42 |
| NE | 1.32 | 0.06 | - | - | - | 1.38 |
| ENE | 0.66 | - | - | - | - | 0.66 |
| E | 0.30 | - | - | - | - | 0.30 |
| ESE | 0.78 | - | - | - | - | 0.78 |
| SE | 1.14 | - | - | - | - | 1.14 |
| SSE | 1.32 | 1.26 | 0.12 | 0.18 | - | 2.88 |
| S | 1.86 | 3.66 | 3.54 | 1.32 | 0.24 | 10.62 |
| SSW | 0.48 | 0.12 | - | - | - | 0.60 |
| SW | - | - | - | - | - | - |
| WSW | - | - | - | - | - | - |
| W | - | - | - | - | - | - |
| WNW | 0.12 | - | - | - | - | 0.12 |
| NW | 0.12 | - | - | - | - | 0.12 |
| NNW | 0.36 | 0.06 | - | 0.12 | 0.12 | 0.66 |
| 發生率(%) | 11.58 | 15.43 | 18.97 | 24.49 | 29.53 | 100.00 |

**表 3.7 ML 測站，表層海流流速、流向統計表**

| 流 向 | 流 速 （cm/s） | | | | | 發生率 (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.0-12.5 | 12.5-25.0 | 25.0-37.5 | 37.5-50.0 | >50 | |
| N | 1.30 | 4.05 | 6.61 | 8.75 | 22.57 | 43.27 |
| NNE | 1.90 | 2.91 | 0.60 | 0.13 | - | 5.53 |
| NE | 1.07 | 0.06 | - | - | - | 1.14 |
| ENE | 0.63 | - | - | - | - | 0.63 |
| E | 0.66 | - | - | - | - | 0.66 |
| ESE | 0.73 | - | - | - | - | 0.73 |
| SE | 1.17 | 0.03 | - | - | - | 1.20 |
| SSE | 1.58 | 2.05 | 1.04 | 1.30 | 6.01 | 11.98 |
| S | 1.86 | 4.27 | 6.89 | 8.28 | 11.69 | 33.00 |
| SSW | 0.44 | 0.16 | 0.09 | - | - | 0.70 |
| SW | 0.06 | 0.03 | - | - | - | 0.09 |
| WSW | 0.09 | - | - | - | - | 0.09 |
| W | 0.03 | - | - | - | - | 0.03 |
| WNW | 0.09 | - | - | - | - | 0.09 |
| NW | 0.09 | - | - | - | - | 0.09 |
| NNW | 0.44 | 0.13 | 0.13 | 0.06 | - | 0.76 |
| 發生率(%) | 12.17 | 13.69 | 15.36 | 18.52 | 40.27 | 100.00 |

**表 3.7(續 1) ML 測站，退潮段表層海流流速、流向統計表**

| 流 向 | 流 速 （cm/s） | | | | | 發生率 (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.0-12.5 | 12.5-25.0 | 25.0-37.5 | 37.5-50.0 | >50 | |
| N | 1.54 | 3.47 | 3.14 | 1.13 | - | 9.28 |
| NNE | 1.47 | 1.80 | 0.20 | - | - | 3.47 |
| NE | 1.13 | 0.07 | - | - | - | 1.20 |
| ENE | 0.67 | - | - | - | - | 0.67 |
| E | 0.67 | - | - | - | - | 0.67 |
| ESE | 0.73 | - | - | - | - | 0.73 |
| SE | 1.20 | - | - | - | - | 1.20 |
| SSE | 2.00 | 3.07 | 1.87 | 2.67 | 12.48 | 22.10 |
| S | 2.07 | 5.27 | 11.08 | 15.55 | 24.10 | 58.08 |
| SSW | 0.53 | 0.33 | 0.20 | - | - | 1.07 |
| SW | 0.07 | 0.07 | - | - | - | 0.13 |
| WSW | 0.20 | - | - | - | - | 0.20 |
| W | 0.07 | - | - | - | - | 0.07 |
| WNW | 0.13 | - | - | - | - | 0.13 |
| NW | 0.07 | - | - | - | - | 0.07 |
| NNW | 0.80 | 0.13 | - | - | - | 0.93 |
| 發生率(%) | 13.35 | 14.22 | 16.49 | 19.36 | 36.58 | 100.00 |

**表 3.7(續 2) ML 測站，漲潮段表層海流流速、流向統計表**

| 流 向 | 流 速 （cm/s） | | | | | 發生率 (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.0-12.5 | 12.5-25.0 | 25.0-37.5 | 37.5-50.0 | >50 | |
| N | 1.08 | 4.56 | 9.72 | 15.61 | 42.86 | 73.83 |
| NNE | 2.28 | 3.90 | 0.96 | 0.24 | - | 7.38 |
| NE | 1.02 | 0.06 | - | - | - | 1.08 |
| ENE | 0.60 | - | - | - | - | 0.60 |
| E | 0.66 | - | - | - | - | 0.66 |
| ESE | 0.72 | - | - | - | - | 0.72 |
| SE | 1.14 | 0.06 | - | - | - | 1.20 |
| SSE | 1.20 | 1.14 | 0.30 | 0.06 | 0.18 | 2.88 |
| S | 1.68 | 3.36 | 3.12 | 1.74 | 0.54 | 10.44 |
| SSW | 0.36 | - | - | - | - | 0.36 |
| SW | 0.06 | - | - | - | - | 0.06 |
| WSW | - | - | - | - | - | - |
| W | - | - | - | - | - | - |
| WNW | 0.06 | - | - | - | - | 0.06 |
| NW | 0.12 | - | - | - | - | 0.12 |
| NNW | 0.12 | 0.12 | 0.24 | 0.12 | - | 0.60 |
| 發生率(%) | 11.10 | 13.21 | 14.35 | 17.77 | 43.58 | 100.00 |

三、波浪

ML測站的波浪波高與波向分佈統計如表3.8所示，波高與週期分佈統計如表3.9所示，依統計資料繪製的波浪玫瑰圖如圖3.35所示，波高及週期分佈直方圖如圖3.36所示，波高及週期時序圖如圖3.37所示，波高、波向聯合機率分佈如圖3.38所示。

分析結果顯示，主要波向為NNW、NW，觀測期間內的示性波高($H_{1/3}$)為75.0cm，對應的示性週期($T_{1/3}$)為5.12sec。以每小時為統計區間，示性波高主要分佈於25～75cm，佔約全體的64.39%，示性週期則集中於4～5sec區間。平均波高($H_{mean}$)為47.0cm，平均週期($T_{mean}$) 4.81sec。最大波高($H_{max}$)135.0cm，週期($T_{max}$) 6.10sec，對應波浪方向為NW，此記錄發生的時間為04月14日18時。

**表 3.8 ML 測站，波高、波向聯合機率分佈統計表**

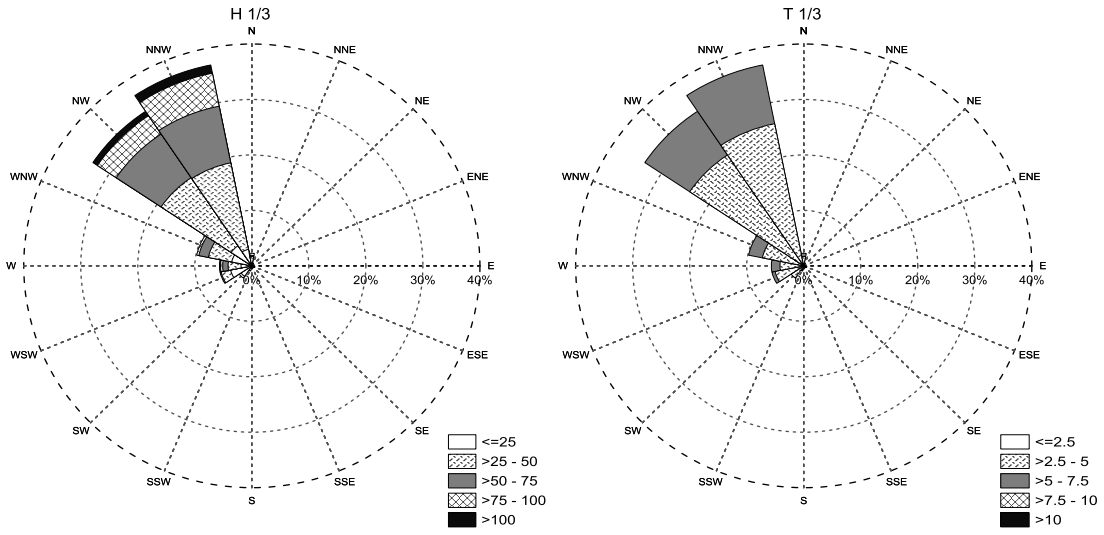
| 波向 | 示性波高 ($H_{1/3}$) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ~0.2 | ~0.4 | ~0.6 | ~0.8 | ~1.0 | ~1.2 | ~1.4 | ~1.6 | ~1.8 | ~2.0 | ~2.2 | ~2.4 | ~2.6 | ~2.8 | ~3.0 | 3.0~ | 合計 |
| N | 0.2 | 1.1 | 0.4 | 0.2 | 0.4 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 2.3 |
| NNE | 0.4 | 0.2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.6 |
| NE | 0.2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.2 |
| ENE | 0.2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.2 |
| E | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.0 |
| ESE | - | 0.4 | 0.2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.6 |
| SE | 0.2 | 0.2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.4 |
| SSE | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.0 |
| S | 0.4 | 0.2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.6 |
| SSW | 0.4 | 0.6 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.9 |
| SW | 1.3 | 1.3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1.3 | - | - | - | - | 2.7 |
| WSW | 2.5 | 2.7 | 0.6 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 5.7 |
| W | 0.6 | 3.2 | 1.1 | 0.2 | 0.4 | 0.2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 5.7 |
| WNW | 2.1 | 3.8 | 3.2 | 0.6 | 0.2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 9.8 |
| NW | 2.5 | 10.2 | 11.7 | 5.7 | 2.5 | 0.4 | 0.6 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 33.5 |
| NNW | 1.5 | 8.1 | 13.3 | 8.1 | 4.4 | 1.1 | 0.4 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 36.9 |
| 合計 | 12.3 | 32.0 | 30.5 | 14.8 | 7.8 | 1.7 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 |

單位：波高 (m)、機率 (%)

## 表 3.9 ML 測站，波高、週期聯合機率統分佈計表

| 週期 | 示性波高 ($H_{1/3}$) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ~0.2 | ~0.4 | ~0.6 | ~0.8 | ~1.0 | ~1.2 | ~1.4 | ~1.6 | ~1.8 | ~2.0 | ~2.2 | ~2.4 | ~2.6 | ~2.8 | ~3.0 | 3.0~ | 合計 |
| ~3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.0 |
| ~4 | 0.4 | 3.0 | 0.4 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 3.8 |
| ~5 | 11.4 | 26.5 | 22.2 | 8.3 | 1.3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 69.7 |
| ~6 | 0.6 | 2.5 | 8.0 | 6.4 | 6.4 | 1.5 | 0.4 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 25.8 |
| ~7 | - | - | - | - | - | 0.2 | 0.6 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.8 |
| ~8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.0 |
| ~9 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.0 |
| ~10 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.0 |
| ~11 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.0 |
| ~12 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.0 |
| ~13 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.0 |
| ~14 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.0 |
| ~15 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.0 |
| 15~ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.0 |
| 合計 | 12.3 | 32.0 | 30.5 | 14.8 | 7.8 | 1.7 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 |

單位：波高 (m)、週期 (sec)、機率 (%)




(單位：cm) (單位：sec)

## 圖 3.35 ML 測站，波浪波高、週期玫瑰圖

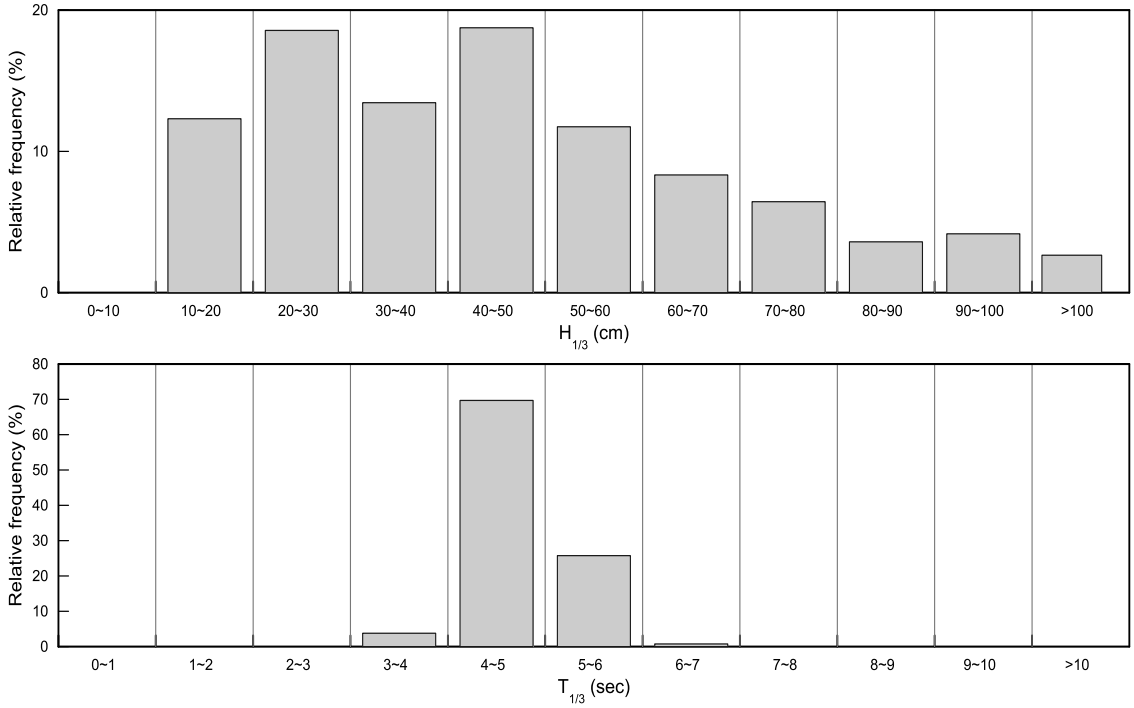



**圖 3.36 ML 測站，波高、週期統計直方圖**

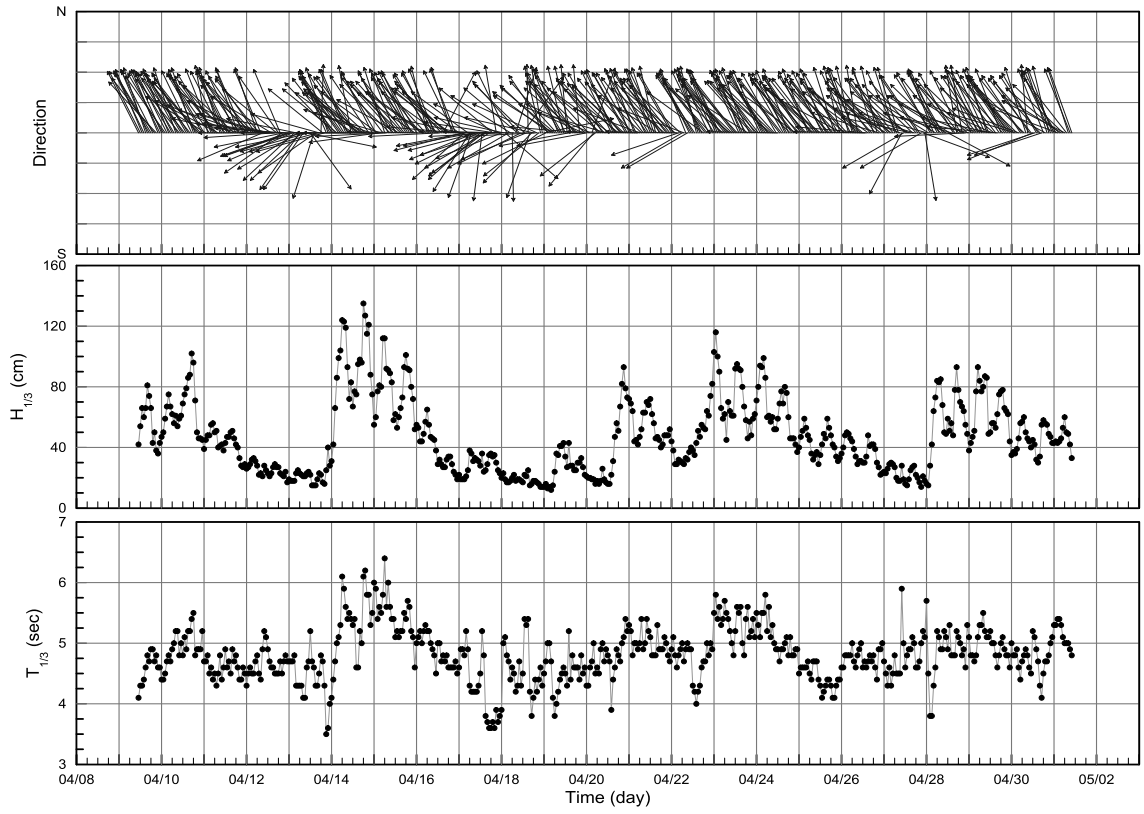
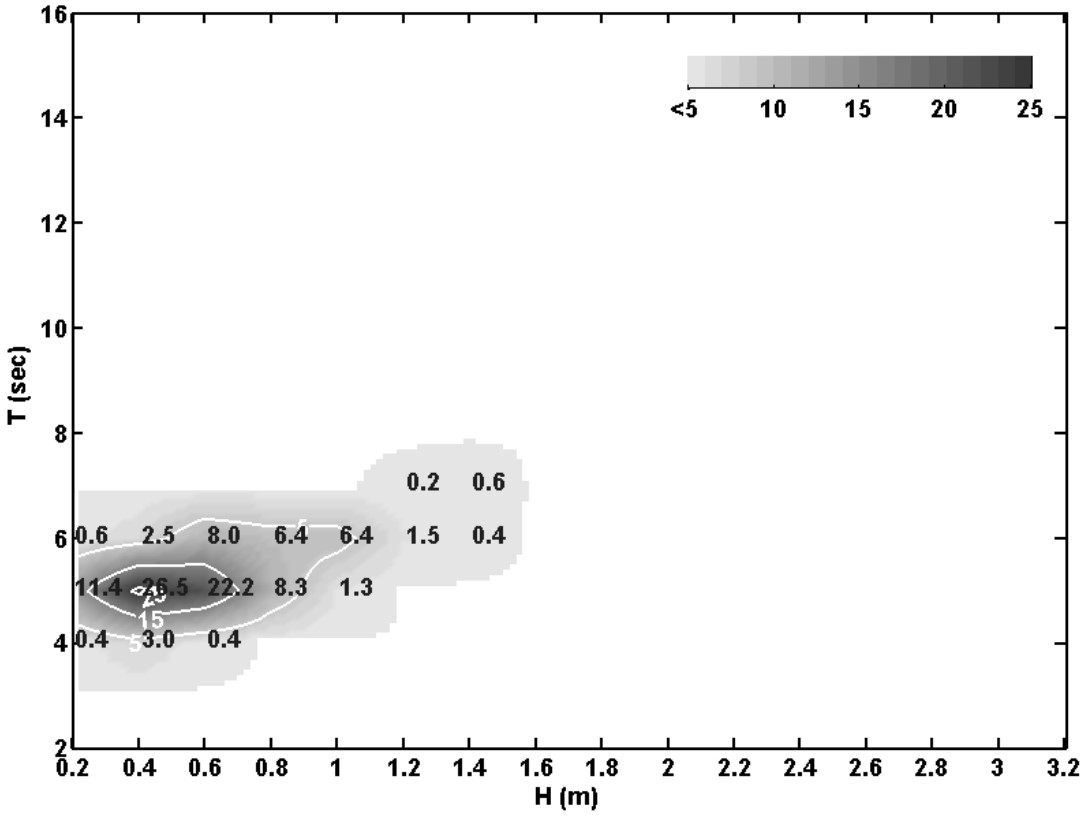



**圖 3.37 ML 測站，波向、波高、週期時序列圖**




單位：機率 (%)

**圖 3.38 ML 測站，示性波高、週期聯合機率分佈圖**

# 第四章 防波堤頭動床三維波場數值模擬

## 4.1 FLOW-3D 模式介紹

本計畫利用 FLOW-3D 流體數值模式分析軟體,模擬防波堤堤頭鄰近海域波、流場的時空分佈和演變，並導入淘刷模式，探討堤頭處地形變化。數值模擬計算結構物與地形互制現象，需考量黏性流理論，以控制方程式而言,納維爾－史托克斯方程式 (Navier-Stokes Equation) 為具有黏性流體應力、應變關係的運動方程式，相較於勢流理論，可真實地描述渦流流場。黏性流體的運動方程式求解有相當的難度，而數值方法亦需求高速的計算效能。Hirt (1963) 提出體積分率法 (Volume of Fluid, VOF) 流體動力學數值計算方法，不僅大幅提高流體力學數值模擬的穩定性，並可描述自由液面的變動狀態。FLOW-3D 是 1985 年 Flow Science 公司推出的商業版流體分析軟體,基於有限差分法 (FDM),除了包含 VOF 自由液面處理法之外，並含有其他諸多重要的核心技術，如多重區塊網格 (Multi-Block Grids)、通度係數法等 (Fractional Area Volume Obstacle Representation, FAVOR)。FLOW-3D 以往常用之處理流體和固體耦合運動的模擬計算，若能選擇合適的水動力、淘刷及波浪等計算模組，FLOW-3D 亦可適用於港灣工程之領域，相關模組如表 4.1 所示。使用 FLOW-3D 進行防波堤堤頭附近之波、流場數值計算及地形變化模擬結果，另外可與現場調查資料和水工模型試驗進行結果的驗證及輸入條件的同化 (assimilation)，以期進一步瞭解防波堤堤頭侵蝕機制。

**表 4.1 港灣工程領域適用的 FLOW-3D 計算模組**

| 模組名稱 | 適用性簡述 |
|---|---|
| Moving and deforming objects | 波浪與潮流對結構物之繞射與應力的耦合分析 |
| Particles model | 波流場的分佈追蹤與分析 |
| Porous media model | 海域孔隙結構物模型的建立與處理 |
| Sediment scour model | 預測泥沙等的淘刷懸浮沉降過程 |
| Scour potential model | 計算與評估定床面侵蝕的趨勢 |
| Shallow water model | 水深平均應用於三維垂直動量方程的處理 |
| Viscosity and turbulence | 流場粘性係數與紊流模式的處理 |
| Wave boundary | 邊界線性波與非線性波的產生與應用 |

### 4.1.1 理論基礎

FLOW-3D的理論基礎在於三維的質量守恆及動量守恆方程式等，針對本計畫所研究的物理現象，乃為水動力學問題，其運動方程式為Naiver-Stokes方程式，其數學模式的架構為：

**1. Naiver-Stokes 控制方程式**

在古典力學中，物質體系所遵循的物理法則是「質量守恆」及「動量守恆」，對於三維不可壓縮黏性流體，在直角座標系的形式下連續方程式為：

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0 \cdots\cdots(4\text{-}1)$$

動量方程式，在X、Y和Z方向分別表示如下：

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x}+\nu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right)\cdots\cdots(4\text{-}2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial v}{\partial z}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial y}+\nu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right)\cdots\cdots(4\text{-}3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t}+u\frac{\partial w}{\partial x}+v\frac{\partial w}{\partial y}+w\frac{\partial w}{\partial z}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial z}+\nu\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right)-g\cdots\cdots(4\text{-}4)$$

上式中(u, v, w)分別表示水平和垂直方向之瞬時速度分量，(x, y, z)分別為水平和垂直方向之座標，P為瞬時壓力，而ρ、ν分別為流體之密度和運動黏滯係數，在數值模擬過程中假設不受其他因素之影響而保持定值。

**2. FLOW-3D 控制方程式**

**(1) 質量連續方程式(Mass Continuity Equation)**

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u A_x) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w A_z) = R_{DIF} + R_{SOR} \cdots\cdots\cdots\cdots (4\text{-}5)$$

上式中 $V_F$ 是流體體積比，ρ 是流體密度，$R_{DIF}$ 是紊流擴散項，$R_{SOR}$ 是質量源項，(u, v, w)是卡式座標系統的速度分量，$A_x$ , $A_y$ , $A_z$ 分別是 X, Y, Z 方向流動的通量面積比，若以直角座標且為不可壓縮，則可表示為：

$$R_{DIF} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\upsilon_\rho A_x \frac{\partial \rho}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\upsilon_\rho A_y \frac{\partial \rho}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\upsilon_\rho A_z \frac{\partial \rho}{\partial z}\right) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4\text{-}6)$$

上式中係數 $\upsilon_\rho$ 等於 $c_p\mu/\rho$，其中 μ 是動量分佈的係數(例如黏度)，$c_p$ 是對應於紊流施密特數(turbulent Schmidt number)的常數。至於式(4-5)右邊最後的 $R_{SOR}$ 項可用於質量模式穿越孔隙介質表面。

$$R_{SOR} = \frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial}{\partial x}(u A_x) + \frac{\partial}{\partial y}(v A_y) + \frac{\partial}{\partial z}(w A_z)\right) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4\text{-}7)$$

上式中 u, v, w 分別表示水平和垂直方向之瞬時速度分量，x, y, z 分別為水平和垂直方向之座標，$A_x$ , $A_y$ , $A_z$ 分別是 X, Y, Z 方向流體通過之面積分率，而 ρ 為流體之密度，在數值模擬過程中假設不受其他因素之影響而保持定值。

**(2) 動量方程式(Momentum Equations)**

以直角座標的形式將 Navier-Stokes Equation 展開可得(X, Y, Z)三個方向的流體速度(u, v, w)：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F}\left\{u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z}\right\} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x} + f_x - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F}(u - \delta u_s) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4\text{-}8)$$

$$\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial \mathrm{t}}+\frac{1}{V_F}\left\{\mathrm{uA_x}\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial \mathrm{x}}+\mathrm{vA_y}\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial \mathrm{y}}+\mathrm{wA_z}\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial \mathrm{z}}\right\}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial \mathrm{P}}{\partial \mathrm{y}}+f_y-\frac{R_{SOR}}{\rho V_F}(v-\delta v_s)\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4\text{-}9)$$

$$\frac{\partial \mathrm{w}}{\partial \mathrm{t}}+\frac{1}{V_F}\left\{\mathrm{uA_x}\frac{\partial \mathrm{w}}{\partial \mathrm{x}}+\mathrm{vA_y}\frac{\partial \mathrm{w}}{\partial \mathrm{y}}+\mathrm{wA_z}\frac{\partial \mathrm{w}}{\partial \mathrm{z}}\right\}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial \mathrm{P}}{\partial \mathrm{z}}+f_z-\frac{R_{SOR}}{\rho V_F}(w-\delta w_s)\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4\text{-}10)$$

上式中 $u_s, v_s, w_s$ 是流體表面速度，$f_x, f_y, f_z$ 為 $X, Y, Z$ 三個方向的黏滯項即

$$\rho V_F f_x=wsx-\left\{\frac{\partial}{\partial x}\left(A_x\tau_{xx}\right)+R\frac{\partial}{\partial y}\left(A_y\tau_{xy}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(A_z\tau_{xz}\right)\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4\text{-}11)$$

$$\rho V_F f_y=wsy-\left\{\frac{\partial}{\partial x}\left(A_x\tau_{xy}\right)+R\frac{\partial}{\partial y}\left(A_y\tau_{yy}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(A_z\tau_{yz}\right)\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4\text{-}12)$$

$$\rho V_F f_z=wsz-\left\{\frac{\partial}{\partial x}\left(A_x\tau_{xz}\right)+R\frac{\partial}{\partial y}\left(A_y\tau_{yz}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(A_z\tau_{zz}\right)\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4\text{-}13)$$

上式中 wsx、wsy、wsz 分別為壁面在 X、Y、Z 方向的剪應力(wall shear stress)，$\tau_{ij}$ 代表流體剪應力，下標 $i$ 為作用面，下標 $j$ 為作用方向：

$$\tau_{xx}=-2\mu\left\{\frac{\partial u}{\partial x}-\frac{1}{3}\left(\frac{\partial u}{\partial x}+R\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}\right)\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4\text{-}14)$$

$$\tau_{yy}=-2\mu\left\{R\frac{\partial v}{\partial y}+\xi\frac{u}{x}-\frac{1}{3}\left(\frac{\partial u}{\partial x}+R\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}\right)\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4\text{-}15)$$

$$\tau_{zz}=-2\mu\left\{\frac{\partial w}{\partial z}-\frac{1}{3}\left(\frac{\partial u}{\partial x}+R\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}\right)\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4\text{-}16)$$

$$\tau_{xy}=-\mu\left\{\frac{\partial v}{\partial x}+R\frac{\partial u}{\partial y}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4\text{-}17)$$

$$\tau_{xz}=-\mu\left\{\frac{\partial u}{\partial z}+R\frac{\partial w}{\partial x}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4\text{-}18)$$

$$\tau_{yz}=-\mu\left\{\frac{\partial v}{\partial z}+R\frac{\partial w}{\partial y}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4\text{-}19)$$

FLOW-3D 以不可壓縮黏性流體之 N-S 方程作為控制方程式，加入 k-ε、RNG 及大渦模擬等多種紊流模式，配合 VOF 方法處理自由液面，利用 FAVOR 技術來描述網格中之結構物。

透水結構物部分以 FLOW-3D 內建孔隙介質模組中之雷諾數依存法處理，並以有限差分法將控制方程式離散，其連續方程式和動量方程式對於體積分數、面積分數、速度分量、物體重力加速度以及物體粘滯力加速度等，都以三個方向運算。

**(3) FLOW-3D數值的方法**

FLOW-3D 提供三種演算法對壓力速度式求解:超鬆弛反覆運算法(Successive Over Relaxation, SOR)、交替方向隱式 (Alternating Direction Implicit, ADI)算法和廣義最小殘量（Generalized Minimum RESidual, GMRES）演算法。其中 GMRES 支援 CPU 平行處理，演算法收斂速度快、計算精度高、不易發散，特別在求解 N-S 方程時效率較高。為提高計算效率，避免同一時刻求解所有變數，FLOW-3D 採用目前應用較廣的流場數值解法，不直接求聯立方程組的解，而是有序地、逐一求解各個變數的代數方程組。在求解的過程中，FLOW-3D 中引入兩個量---中間速度和當前時刻的壓力修正值，中間速度是不考慮新時刻壓力場的影響。通過求解動量方程所獲得中間速度，然後將中間速度和壓力修正值的關係式代入連續性方程，得到含有壓力修正值的壓力泊松方程，再應用 GMRES 演算法求解壓力泊松方程。求解步驟如下：

首先，將引入的中間速度$u^{*}_{i,j,k}$、$v^{*}_{i,j,k}$、$w^{*}_{i,j,k}$代到差分後的動量方程中。其 $x$ 方向的動量方程將改寫成下面的形式（其他兩個方向類似）：

$$\frac{u^{*}_{i,j,k}-u^{n}_{i,j,k}}{\delta t}=fx^{n}_{i,j,k}-\left(FUX+FUY+FUZ\right)^{n}_{i,j,k}-\frac{1}{\rho}\frac{p^{*}_{i+1,j,k}-p^{n}_{i,j,k}}{\delta x}$$
$$-\frac{\mu}{\rho}\left(\frac{u^{n}_{i+1,j,k}-2u^{n}_{i,j,k}+u^{n}_{i-1,j,k}}{\delta x^{2}}+\frac{u^{n}_{i,j+1,k}-2u^{n}_{i,j,k}+u^{n}_{i,j-1,k}}{\delta y^{2}}+\frac{u^{n}_{i,j,k+1}-2u^{n}_{i,j,k}+u^{n}_{i,j,k-1}}{\delta z^{2}}\right)\cdots(4\text{-}20)$$

$$\frac{u^{n+1}_{i,j,k}-u^{*}_{i,j,k}}{\delta t}=-\frac{1}{\rho}\frac{p'_{i+1,j,k}-p'_{i,j,k}}{\delta x}\cdots\cdots(4\text{-}21)$$

其中，$p'$為當前時刻 $n$ 的壓力修正值，則下一時刻的壓力為$p^{n+1}=p^{n}+p'$，通過解方程(4-20)可獲得中間速度$u^{*}_{i,j,k}$。其次，將方程(4-21)代入到離散後的連續性方程(4-22)

$$\frac{AFR_{i,j,k}^{n+1}u_{i,j,k}^{n+1}-AFR_{i-1,j,k}^{n+1}u_{i-1,j,k}^{n+1}}{\delta x}+\frac{AFB_{i,j,k}^{n+1}v_{i,j,k}^{n+1}-AFB_{i,j-1,k}^{n+1}v_{i,j-1,k}^{n+1}}{\delta y}+\frac{AFT_{i,j,k}^{n+1}w_{i,j,k}^{n+1}-AFT_{i,j,k-1}^{n+1}w_{i,j,k-1}^{n+1}}{\delta z}=0$$

……(4-22)

得到含有壓力修正值的壓力泊松方程 (式 4-23)。

$$\nabla\cdot u^{*}-\frac{\delta t}{\rho}\nabla^{2}p'=0 \quad\cdots\cdots(4\text{-}23)$$

求解方程(4-23)得到修正後的壓力值 $p'$，則 $n$+1 時刻的壓力值 $p^{n+1}$ 也可求出，並將得到 $p'$ 代入到方程(4-21)中求得 $n$+1 時刻的速度場。然後檢驗計算出來速度場是否收斂，若不收斂，程式自動調整時間步長，直到獲得收斂的速度場。最後，在求得新時刻速度場和壓力場後，再應用 Hirt-Nichols 施主-受主(donor-acceptor)方法計算出各個單元體 $n$+1 時刻的的流體體積函數 $F$ 值，並重構新時刻的自由表面和位置，同時更新其他的變數。

**(4) 底質淘刷模式 (Sediment Scour Model)**

a. 模式理論概述

FLOW-3D 的泥沙淘刷模組主要預測泥沙的輸沙侵淤過程，這個模式可以同時模擬不同屬性之沙礫、淤泥以及非黏性沉積物等於任何流場的流動，包括：底床載輸沙、懸浮載輸沙、夾帶起沙和沉積等。雖然 FLOW-3D 設計的泥沙運動必須發生在單相流中，但也適用於兩相流，只是兩相流中泥沙不會與第二流體對流或互動。FLOW-3D 的底質淘刷模式的物理特性：

(a) 底床剪切應力(Bed shear stress)

底床剪切應力是流體施加於底床載表面的剪切應力，運用三維紊流壁面函數求解：

$$u=u_{\tau}\left[\frac{1}{k}\ln\left(\frac{Y}{\frac{\nu}{u_{\tau}}+k_{s}}\right)\right] \quad\cdots\cdots(4\text{-}24)$$

式中 $u_{\tau}$ 表示剪力速度，$u_{\tau}=\sqrt{\tau/\rho}$，$\tau$表是剪切應力，$\rho$表是密度，$Y$

表示壁面距離，$v$ 表是運動黏性係數，$k$ = 0.4 表示馮卡門(Von Karman)常數，$k_s$ 表示尼古拉斯糙度(Nikuradse roughness)，本模式 $k_s$ 底質粒徑相關式

$$k_s = c_s d_{50} \cdots\cdots(4\text{-}25)$$

式中 $d_{50}$ 表示底質的中質粒徑，$c_s$ 表示使用者定義係數，建議 $c_s$=2.5。在淺水中流動時，利用二次摩擦法評估該底床剪切應力。

$$\boldsymbol{\tau} = \rho_f C_D \bar{\boldsymbol{v}} |\bar{\boldsymbol{v}}| \cdots\cdots(4\text{-}26)$$

式中 $\bar{\boldsymbol{v}}$ 表示水深平均流速，$\rho_f$ 表示流體密度，$C_D$ 表示阻力係數(預設值 0.0026)。

$$C_D = \left[ \frac{k}{B + \ln(z_0 / h)} \right]^2 \cdots\cdots(4\text{-}27)$$

式中 $h$ 表示現場水深，$B$ = 0.71，$z_0 = k_s / 30$。

(b) 臨界希爾茲數(Critical Shields parameter)

希爾茲數是底床剪切應力無因次的表達式，定義如下：

$$\theta_n = \frac{\tau}{g d_n (\rho_n \rho_f)} \cdots\cdots(4\text{-}28)$$

式中 $g$ 表示重力絕對值，$\rho_n$ 表示底質顆粒的質量密度，$d_n$ 表示粒徑，其下標 $n$ 用來標示底質種類。

臨界希爾茲數($\theta_{cr,n}$)用來表示臨界底床剪切應力($\tau_{cr,n}$)，夾帶起沙和底床載輸沙的初始啟動。

$$\theta_{cr,n} = \frac{\tau_{cr,n}}{g d_n (\rho_n - \rho_f)} \cdots\cdots(4\text{-}29)$$

式中 $\theta_{cr,n}$ 的基準值適用於均勻顆粒的平整底床，其預設值為 0.05，可由使用者指定，或是根據 Soulsby-Whitehouse 公式求得(Soulsby-Whitehouse, 1997)。

$$\theta_{cr,n} = \frac{0.3}{1 + 1.2 d_{*,n}} + 0.055 \left( 1 - e^{-0.02 d_{*,n}} \right) \cdots\cdots(4\text{-}30)$$

式中 $d_{*,n}$ 表示無因次粒徑

$$d_{*,n} = d_n \left[ \frac{g(s_n - 1)}{\nu_f^{\,2}} \right]^{1/3} \quad \cdots\cdots(4\text{-}31)$$

式中 $s_n = \rho_n/\rho_f$，$\nu_f$ 表示流體運動黏度。斜坡底床因為重力的切向分量致使底床載的穩定程度必須取決於流體方向。臨界剪切應力因溯升而增加，反之隨溯降而減小。根據斜坡底床效應修改 $\theta_{cr,n}$

$$\theta'_{cr,n} = \theta_{cr,n} \frac{\cos\psi \sin\beta + \sqrt{\cos^2\beta \tan^2\phi_n - \sin^2\psi \sin^2\beta}}{\tan\phi_n} \quad \cdots\cdots(4\text{-}32)$$

式中 $\beta$ 表示底床載的傾斜角度，$\psi$ 表示溯升流與緊鄰斜坡的夾角，如圖 4.1 所示，其範圍介於 0°至 180°之間，休止角預設值 32°。

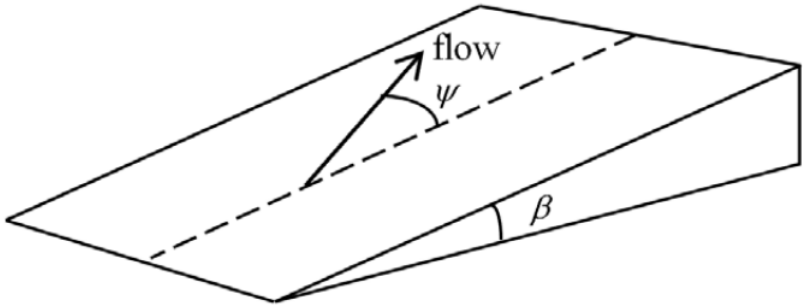



**圖 4.1 斜坡床面與流動方向**

(c) 夾帶起沙和沉積(Entrainment and Deposition)

在此模式中，夾帶起沙和沉積彼此微過程是在同一時間交互發生的，兩者共同決定底床載和懸浮載之間的交換淨率，至於夾帶起沙顆粒離開底床載的揚升速度計算係依據 Winterwerpet al. (1992)：

$$\boldsymbol{u}_{lift,n} = \boldsymbol{n}_b \alpha_n d_{*,n}^{0.3} \left(\theta_n - \theta_{cr,n}\right)^{1.5} \sqrt{g d_n (s_n - 1)} \quad \cdots\cdots(4\text{-}33)$$

式中 $\alpha_n$ 表示底質夾帶起沙係數，(預設值為 0.018)，$\boldsymbol{n}_b$ 表示底床載面朝外法線向量。至於沉積方面沉降速度 Soulsby (1997)

$$\boldsymbol{u}_{settle,n} = \frac{\mathbf{g}}{g} \left[ \left(10.36^2 + 1.049 d_{*,n}^3\right)^{1/2} - 10.36 \right] \frac{\nu_f}{d_n} \quad \cdots\cdots(4\text{-}34)$$

式中 $\mathbf{g}$ 表示重力加速度，$\boldsymbol{u}_{settle,\,n}$ 假設與 $\mathbf{g}$ 同向。

(d) 底床載輸沙(Bedload Transport)

無因次底床載輸沙率定義如下式：

$$\Phi_n = \frac{q_{b,n}}{\left[g(s_n - 1)d_n^{\,3}\right]^{\frac{1}{2}}} \cdots\cdots(4\text{-}35)$$

式中 $q_{b,n}$ 表示底床載每單位床寬容積輸沙率，運用 Meyer-Peter-Muller 方程計算$\Phi_n$：

$$\Phi_n = B_n\left(\theta_n - \theta_{cr,n}\right)^{1.5} c_{b,n} \cdots\cdots(4\text{-}36)$$

式中 $B_n$ 表示底床載係數，一般介於 5.0 到 5.7 表示低輸沙率，8.0 左右表示中量輸沙率，超過 13.0 則為高輸沙率。FLOW-3D 的預設值為 8.0，也是一般文獻中最常使用的輸沙率，$c_{b,n}$ 表示底質分類的含量：

$$c_{b,n} = \frac{net\ volume\ of\ species\ n}{net\ volume\ of\ all\ species} \cdots\cdots(4\text{-}37)$$

並滿足

$$\sum_{n=1}^{N} c_{b,n} = 1.0 \cdots\cdots(4\text{-}38)$$

式中 $N$ 表示分類總數，原始的 Meyer-Peter-Muller 方程不存在 $c_{b,n}$，它是加在式以考慮多種底質分類的效應。

Van Rijn (1984)利用此關係式推估底床載厚度 $h_n$，

$$h_n = 0.3 d_n d_{*,n}^{0.7}\left(\frac{\theta_n}{\theta_{cr,n}} - 1\right)^{0.5} \cdots\cdots(4\text{-}39)$$

底床載速度 $\boldsymbol{u}_{b,n}$ 的計算：

$$\boldsymbol{u}_{b,n} = \frac{\boldsymbol{q}_{b,n}}{h_n c_{b,n} f_b} \cdots\cdots(4\text{-}40)$$

式中 $f_b$ 表示底質堆積部分，$\boldsymbol{u}_{b,n}$ 與 $\boldsymbol{q}_{b,n}$ 同時位於緊鄰底床面的流動方向。

(e) 懸浮載輸沙(Suspended load transport)

對於不同分類的懸浮泥沙濃度依據各自的輸沙公式求解：

$$\frac{\partial C_{s,n}}{\partial t}+\nabla\cdot\left(C_{s,n}\boldsymbol{u}_{s,n}\right)=\nabla\cdot\nabla\left(DC_{s,n}\right)\cdots\cdots(4\text{-}41)$$

這裡 $C_{s,n}$ 是懸浮泥沙量的濃度，其被定義為每流體泥沙混合物體積的泥沙質量，$D$ 是擴散係數，$\boldsymbol{u}_{s,n}$ 是不同分類 $n$ 泥沙的速度。值得注意的是，每種分類的泥沙依照本身的速度各自懸浮移動，自己的速度即從這些流體和其他物種的不同，這是因為不同顆粒的質量密度、粒徑、慣性和阻力係數各自不同。

$$c_{s,n}=\frac{C_{s,n}}{\rho_n}\cdots\cdots(4\text{-}42)$$

流體泥沙混合質量密度依據下式計算：

$$\bar{\rho}=\sum_{m=1}^{N}c_{s,\mathrm{m}}\rho_{s,m}+\left(1-c_{s,tot}\right)\rho_f\cdots\cdots(4\text{-}43)$$

式中 $c_{s,tot}$ 表示總懸浮泥沙體積濃度。

$$c_{s,tot}=\sum_{m=1}^{N}c_{s,m}\cdots\cdots(4\text{-}44)$$

為了求解方程式（4-41），用於必須先計算$Cs$、$n$、$\boldsymbol{u}s$、$n$。假定：1、懸浮顆粒之間無強烈交互作用；2、懸浮載和流體泥沙混合物之間的速度差主要是顆粒的沉降速度造成。$\boldsymbol{u}_{settle,n}$ 如公式（4-34）中所定義。至於 $\boldsymbol{u}_{s,n}$，則使用下式評估：

$$\boldsymbol{u}_{s,n}=\bar{\boldsymbol{u}}+\boldsymbol{u}_{settle,n}c_{s,n}\cdots\cdots(4\text{-}45)$$

式中 $\bar{\boldsymbol{u}}$ 表示流體泥沙混合體之平均速度。

$$\bar{\boldsymbol{u}}=\sum_{m=1}^{N}c_{s,m}\boldsymbol{u}_{s,m}+\left(1-c_{s,tot}\right)\boldsymbol{u}_f\cdots\cdots(4\text{-}46)$$

在 FLOW-3D，$\bar{\boldsymbol{u}}$ 係通過求解連續性和 Navier-Stokes 方程與紊流閉合模式求解。

**(5) 紊流模式與選擇**

紊流模式的好壞決定了淘刷模組的成敗，FLOW-3D 中包含五種紊流模式，分別是 Prandtl 混合長度模式、單一方程模式、二方程之標準 $\kappa$-$\varepsilon$模式、雷諾平均(*RNG*)模式和大渦模擬（Large eddy simulation）。前四種模式需要設置紊流參數，大渦模擬模式雖然不需要設置紊流參數，但是它主要適用於三維數學模式，而且對網格尺寸的要求非常高。FLOW-3D 泥沙淘刷模組適用所有的紊流模式，但一般建議使用 *RNG* 紊流模式，因為 *RNG* $\kappa$-$\varepsilon$紊流模適合模擬劇烈變形的底層邊界。*RNG* 紊流模式方程式：

$$\frac{\partial k_T}{\partial t}+\frac{1}{V_F}\left\{uA_x\frac{\partial k_T}{\partial x}+uA_y\frac{\partial k_T}{\partial y}+uA_z\frac{\partial k_T}{\partial z}\right\}=P_T+G_T+Diff_{k_T}-\varepsilon_T \quad \cdots\cdots(4\text{-}47)$$

$$\frac{\partial \varepsilon_T}{\partial t}+\frac{1}{V_F}\left\{uA_x\frac{\partial \varepsilon_T}{\partial x}+uA_y\frac{\partial \varepsilon_T}{\partial y}+uA_z\frac{\partial \varepsilon_T}{\partial z}\right\}=\frac{CDIS\cdot\varepsilon_T}{k_T}\left(P_T+CDIS3\cdot G_T\right)+Diff_\varepsilon-CDIS2\frac{\varepsilon_T^2}{k_T} \quad \cdots\cdots(4\text{-}48)$$

其中，$P_T$ 為速度梯度引起的紊流動能 $k$ 的產生項，$G_T$ 為浮力引起的紊流動能產生項，對於不可壓縮流體，$G_T$=0，$\varepsilon_T$ 為紊流動能耗散率，*CDIS*、*CDIS2* 和 *CDIS3* 為使用者可調整的無因次參數。$P_T$ 和 $G_T$ 的運算式如下：

$$P_T=CSPRO\left(\frac{u}{\rho V_F}\right)\left\{\begin{array}{l}2A_x\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2+2A_y\left(\frac{\partial v}{\partial y}+\right)^2+2A_z\left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)^2+\left(\frac{\partial v}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial y}\right)\\ \left[A_x\frac{\partial v}{\partial y}+A_y\left(\frac{\partial u}{\partial y}-\right)\right]+\left(\frac{\partial u}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial x}\right)\left(A_z\frac{\partial u}{\partial z}+A_x\frac{\partial w}{\partial x}\right)\\ \qquad+\left(\frac{\partial v}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial y}\right)\left(A_z\frac{\partial v}{\partial z}+A_y\frac{\partial w}{\partial y}\right)\end{array}\right\}\cdots\cdots$$

$$\cdots\cdots(4\text{-}49)$$

$$Diff_{k_T}=\frac{1}{V_F}\left\{\frac{\partial}{\partial x}\left(v_kA_x\frac{\partial k_T}{\partial x}\right)+R\frac{\partial}{\partial y}\left(v_kA_y\frac{\partial k_T}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(v_kA_z\frac{\partial k_T}{\partial z}\right)\right\}\cdots\cdots(4\text{-}50)$$

$$Diff_\varepsilon=\frac{1}{V_F}\left\{\frac{\partial}{\partial x}\left(v_\varepsilon A_x\frac{\partial \varepsilon_T}{\partial x}\right)+R\frac{\partial}{\partial y}\left(v_\varepsilon A_y\frac{\partial \varepsilon_T}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(v_\varepsilon A_z\frac{\partial \varepsilon_T}{\partial z}\right)\right\}\cdots\cdots(4\text{-}51)$$

$$\nu_T = CNU\frac{k_T^2}{\varepsilon_T} \quad \cdots\cdots(4\text{-}52)$$

$$\mu = \rho(\nu + \nu_T) \quad \cdots\cdots(4\text{-}53)$$

其中，$\nu_T$ 為運動粘滯係數，$\mu$ 為動力粘滯係數，CSPRO 為紊流參數，預設值為 1.0。

選擇紊流模式（one equation, two equation, 或 *RNG* $\kappa$-$\varepsilon$ model），不建議使用 dynamically computed maximum turbulent mixing length model，因為該模式顯示，接近底床載介面時計算結果不是很理想，可能是自動縮小了紊流的長度。因此，最好直接給定最大的紊流混合長度(maximum turbulent mixing length)。因為在 *RNG* $\kappa$-$\varepsilon$紊流模式中為了控制紊流能耗散率(式 5-30)，$\varepsilon_T$ 模式中引入了紊流特徵長度參數 TLEN。TLEN 長度設置太小將高估能量耗散，底床載邊界上幾乎沒有動靜；太大則能量耗散值偏小從而導致不能準確模擬紊流。經過大量的數值模擬，FLOW-3D 預設 TLEN 取計算域三個方向最小長度的 7%倍。進行底床淘刷預測數值模擬時，計算域通常在垂直方向最小，如果從 $Z_{min}$ 至 $Z_{max}$ 是 50m，則 TLEN 的輸入值等於 $50\times0.07=3.5$。

$$\varepsilon_T = CNU\sqrt{\frac{3}{2}}\frac{k_T^{3/2}}{TLEN} \quad \cdots\cdots(4\text{-}55)$$

*CNU* 紊流黏度預估係數，*RNG* 紊流模式預設值為 0.085，$\kappa$-$\varepsilon$紊流模式預設值為 0.085。

在 *RNG* 紊流模式求解式（4-48）中的$\varepsilon_T$值時，如果小於式（4-55）的計算值，則程式將式（4-48）的計算值作為$\varepsilon_T$的值。*RNG* 紊流模式中引入的各個參數 CNU、$\nu_k$、$\nu_\varepsilon$、CDIS1、CDIS2 和 CDIS3 均為常數，其值見表 4.2。

表 4.2 *RNG* 紊流模式系數值

| 係數項 | CNU | $v_k$ | $v_\varepsilon$ | CDIS1 | CDIS2 | CDIS3 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 數值 | 0.085 | 1.39 | 1.39 | 1.42 | 1.92 | 0.2 |

### 4.1.2 邊界與網格處理方法

**1. 開放邊界**

在非主要波、流輸入方向的邊界條件，可選用 Sommerfeld 輻射邊界條件 (radiation boundary condition)，表示為

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+C_c\frac{\partial Q}{\partial x}=0 \quad \cdots\cdots(4\text{-}56)$$

其中 $Q$ 表示任何求解之變數，而 $C_c$ 則為通過邊界之波浪相位速度。

**2. 造波邊界**

FLOW-3D 計算領域網格造波邊界條件是 Stokes 5 階理論，Stokes 波是一種非線性有限幅度的前進波，比較線性波理論，它允許更高的波動幅度。圖 4.2 表示 Stokes 5 階造波由平底水槽傳播至計算領域的邊界網格。

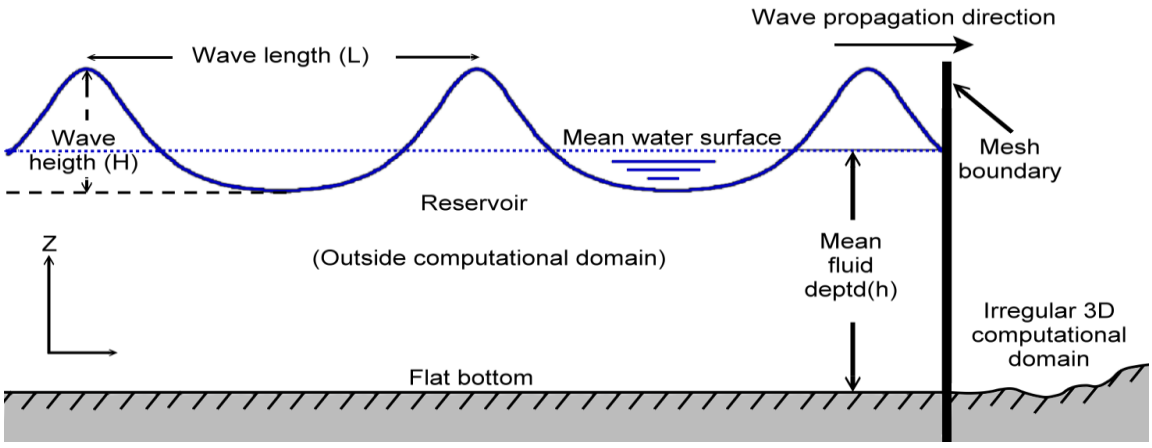



**圖 4.2 Stokes 5 階造波邊界示意圖**

如上圖中所示，假設平底水域之前進波列通過網格邊界進入計算領域，垂直向上為+z，水平為波列前進方向，為±x 或±y。波高 H 是波

谷到波峰的垂直距離，L 表波長，T 表週期，靜止水深 h =常數，水位 $\eta$ 隨時間變化，並沿著+z 從底部量至水面，波角頻率 $\omega$ 和波速度 c 關係式如(4-32)所示。

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = ck, \quad c = \frac{L}{T}, \quad k = \frac{2\pi}{L} \cdots\cdots(4\text{-}57)$$

其中$k$代表造波數、$\omega$為頻率。Stokes波假設勢流理論，即是不可壓縮非旋轉流。因此，流線函數$\psi$存在且滿足拉普拉斯方程理論

$$\nabla^2\psi = 0 \cdots\cdots(4\text{-}58)$$

由拉普拉斯控制方程式 (Laplace Equation) 之解可求得水粒子運動速度為

$$u = \frac{\partial\psi}{\partial x}, \; v = \frac{\partial\psi}{\partial z} \cdots\cdots(4\text{-}59)$$

進一步的假設波峰存在(x = 0，t =0)，拉普拉斯控制方程式$\psi$，隨著自由表面和底部的邊界條件，利用攝動法求解拉普拉斯方程。該攝動參數是無因次的波幅 $\varepsilon = KH/2$，也被稱為波的尖銳度。水位和水粒子速度之相對於 $\varepsilon$ 五階解如下：

$$\begin{aligned}\eta(x,t) = d &+ \frac{\varepsilon}{k}\cos kX + \frac{\varepsilon^2}{k}B_{22}\cos 2kX + \frac{\varepsilon^3}{k}B_{31}(\cos kX - \cos 3kX) \\ &+ \frac{\varepsilon^4}{k}(B_{42}\cos 2kX + B_{44}\cos 4kX) \\ &+ \frac{\varepsilon^5}{k}\left[-(B_{53} + \mathrm{B}_{55})\cos kX + B_{53}\cos 3kX + B_{55}\cos 5kX\right]\end{aligned} \cdots\cdots(4\text{-}60)$$

$$u(x,z,t) = U + C_0\left(\frac{g}{k^3}\right)^{1/2}\sum_{i=1}^{5}\varepsilon^i\sum_{j=1}^{i}A_{ij}\,jk\cosh\,jkz\cos\,jkX \cdots\cdots(4\text{-}61)$$

$$w(x,z,t) = C_0\left(\frac{g}{k^3}\right)^{1/2}\sum_{i=1}^{5}\varepsilon^i\sum_{j=1}^{i}A_{ij}\,jk\sinh\,jkz\sin\,jkX \cdots\cdots(4\text{-}62)$$

其中$X=x-ct$， $kX=kx-\omega t$。係數$A_{ij}$、$B_{ij}$和$C_0$都是$kd$的非線性函數，可視為Stokes波一階近似線性波理論。換句話說，Stokes五階理論精度高於線性波 $\varepsilon$ 的四階，波數和波頻相依且滿足非線性方程。

$$\left(\frac{k}{g}\right)^{1/2} U - \frac{\omega}{(gk)^{1/2}} + C_0 + \left(\frac{kH}{2}\right)^2 C_2 + \left(\frac{kH}{2}\right)^4 C_4 = 0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4\text{-}63)$$

上式中$C_0$、$C_2$和$C_4$ 是kd的非線性函數[Fenton-1985]，這是不考慮(4-38)式左側末兩項的線性波分散關係式一階近似的計算結果。網格邊界造波初始條件，使用時只需於波長或週期其中擇一輸入即可，迭代計算$k$的初始近似值[Fenton-1988]如(4-64)式：

$$k = \frac{\alpha + \beta^2 \sec h^2 \beta}{(\tanh \beta + \beta \sec h^2 \beta) d} \quad (4\text{-}64)$$

式中

$$\alpha = \frac{\omega^2 d}{g},\ \beta = \alpha \sqrt{\coth \alpha} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4\text{-}65)$$

這個理論同時適用於深水波和淺水波，參數 $\varepsilon$ 不能太大，亦即波的尖銳度儘可能小，此外，更須考慮波長與水深比，波長的合理上限為$T(g/h)1/2 \approx L/\ h \approx 10$[Fenton-1985]。

**1. VOF 自由液面處理方法**

FLOW-3D 的自由液面追蹤法使用 VOF 計算，可以精確的模擬流體介面結合與分離狀態，FAVOR 定義矩形網格內一般幾何形狀的區域，利用矩形立方體所構成的網格定義複雜的幾何形體，定義每一個矩形立方體六個面的流通面積比與自由出入的體積。這些部分面積與體積將會結合到有限體積的運動方程式中，例如，在二個元素的公共面上，對流的質量、動量與能量通量必須包含此面可讓流體自由通過的面積當作一個乘數，若沒有可讓流體自由通過的面積，則不可能有對流的通量。FAVOR 的優越之處在於它提供建立模式時的彈性。對於不可壓縮、黏性流而言，FAVOR 以下列方程組表示：

$$\nabla \cdot \left(\vec{A}\vec{u}\right) = 0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4\text{-}66)$$

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \frac{1}{V}\left(\vec{A}\vec{u} \cdot \nabla\right)\vec{u} = -\frac{1}{\rho}\nabla P + \frac{1}{\rho V}\left(\nabla \vec{A}\right) \cdot (\mu \nabla)\vec{u} + g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4\text{-}67)$$

其中

$$\vec{A}\vec{u} = \left(A_x u_x, A_y u_y, A_z u_z\right) \cdots\cdots (4\text{-}68)$$

$$\left(\nabla \vec{A}\right) = \left(\frac{\partial}{\partial x} A_x, \frac{\partial}{\partial y} A_y, \frac{\partial}{\partial z} A_z\right) \cdots\cdots (4\text{-}69)$$

上式中 $\vec{A}$ 是相關於流體可自由通過的部分面積，V表示可自由進出的部分體積，ρ是密度， P是壓力，$\vec{u}$ 表示速度，μ是流體的黏滯係數，g表重力。

FLOW-3D除了能夠計算單一流體的運動，亦可計算液/氣界面(不可壓縮流體/可壓縮流體)，甚至模擬多相流體界面。

定義一 VOF 函數F (X, Y, Z) 代表控制體積內不同特性流體所佔體積分率，以液/氣體混合界面為例，F=0代表控制體積內充滿氣體，F=1則表示控制體積內皆為液體，而0<F<1時存在自由液面。F函數亦應滿足直角坐標下的控制方程式：

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{V_F}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(FA_x u\right) + R\frac{\partial}{\partial y}\left(FA_y v\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(FA_z w\right) + \xi\frac{FA_x u}{x}\right] = F_{DIF} + F_{SOR} \cdots\cdots (4\text{-}70)$$

$$F_{DIF} = \frac{1}{V_F}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(\nu_F A_x \frac{\partial F}{\partial x}\right) + R\frac{\partial}{\partial y}\left(\nu_F A_y \frac{\partial F}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\nu_F A_z \frac{\partial F}{\partial z}\right) + \xi\frac{\nu_F A_x F}{x}\right] \cdots\cdots (4\text{-}71)$$

其中，$\nu_F = c_F \mu/\rho$ 代表擴散常數，$c_F$ 為參照紊流施密特數，$F_{DIF}$ 是紊流擴散項，藉以計算兩種流體發生紊流混合時的分佈狀況。$F_{SOR}$ 與 $R_{SOR}$ 具相關性，表示體積分率的時間變化率。

**2. 網格處理方法－多區塊結構網格**

多區塊結構網格 (Multi-block Grids)，能減少網格數目，網格與幾何現狀自動耦合，精確、穩定、可以加快運算的收斂性。

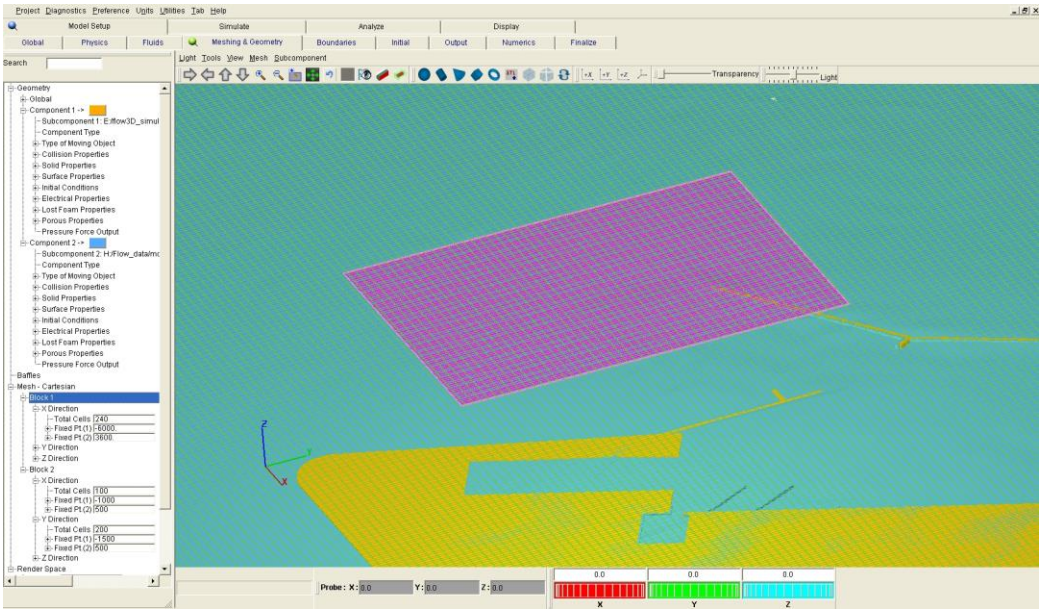
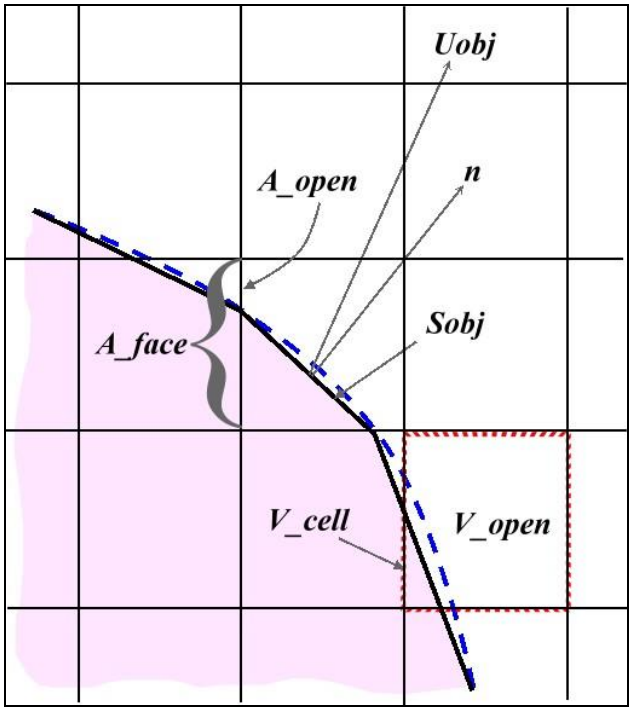


**圖 4.3 多區塊結構網格設定示意圖**

### 3. FAVOR障礙物體積分率表示法

FLOW 3D 數值方法採用FAVOR表示法（Fractional Area/Volume Obstacle Representation）及控制體積（Control Volume）的觀念，使網格與幾何形狀完全獨立。這種方法比變形網格（Deformation Mesh）的方法還要簡單，避開了冗長的網格整理工作，即使模式非常複雜，也能夠精確的描述外型。利用矩形立方體所構成的網格，能夠定義每一個矩形立方體六個面的流通面積比與自由出入的體積，如圖 4.4。這些部分面積與體積將會結合到有限體積的運動方程式中，例如，在自由液面上，對流的質量、動量與能量通量必須包含此面可讓流體自由通過的面積當作一個乘數，若沒有可讓流體自由通過的面積，則不可能有對流的通量。

對於防波堤堤頭地形淘刷的模擬，FLOW-3D可以波場或流場分別進行模擬，或是當造波邊界導入流場時，FLOW-3D的求解器可同時混合流場與波場的數值計算。




體積比：

$$Vf = \frac{V_open}{V_cell}$$

面積比：

$$Af = \frac{A_open}{A_face}$$

來源項：

$$-\frac{\partial Vf}{\partial t} = \frac{\vec{U}_{obj} \cdot \vec{n} S_{obj}}{V_{cell}}$$

**圖 4.4 通度係數 FAVOR 流體界面與自由液面計算示意圖**

## 4.2 防波堤鄰近海域波場數值模擬

數值模擬流程概略分為前處理、數值求解及後處理三個階段。前處理階段：選定適當的控制模組，確立初始條件及邊界條件，劃分計算網格與生成計算節點。數值求解階段：導入離散方程，設定求解控制參數，求解離散方程，判斷求解是否收斂，若還未收斂，調整控制參數再導入離散方程；若已收斂，則以後處理展示和輸出計算結果。

### 4.2.1 模式驗證

陳彥彰 (2004) 以 Wei 等人 (1995) 之二階非線性 Boussinesq 方程式為控制方程式，再加入 Kennedy 等人 (2000) 之方法以模擬波浪碎波及溯升。在數值模式的建立上，則參考 Wei 及 Kirby (1995) 之研究，為避免數值離散之捨去項造成數值頻散，建議在空間離散上，對一階微分項採四階精確度之中央差分法，二階以上之微分項則離散至二階準確度後進行計算，以解決數值頻散的問題。另外，Wei 和 Kirby (1995) 在計算網格上是以非交錯網格 (non-staggered grid) 進行

離散，其會造成數值計算上有鋸齒狀波形的出現，會使得模式較不穩定，為改善此一情況，此研究採用 Banijamali (1997) 提出的交錯網格 (staggered grid) 進行有限差分法之離散。在時間離散上，利用四階精確度之 Adams-Bashforth-Moultor 預測與修正 (predictor-corrector) 技巧。模式計算規則波通過潛堤及斜坡底床上的波場變化，計算結果並與理論值或試驗值進行一系列比較驗証，用以確認此模式適用於近岸波場的模擬。

本研究以FLOW-3D模式計算規則波通過潛堤及斜坡底床上的波場變化，計算結果與陳彥彰 (2004)、理論值及試驗值進行一系列比較驗証，驗證案例如表4.3、試驗佈置圖如圖4.5，模擬結果如圖4.6、4.7 所示。結果顯示，以FLOW-3D模式計算所得均可適當描述規則波通過潛堤及斜坡底床上的波場變化，結果亦比二階非線性 Boussinesq 方程式所得結果為佳。

**表4.3 驗證案例列表**

| 模擬案例 | | 長度 (m) | 網格大小 (m) | 造波條件 | | | 模擬時間 | 網格總數 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | h (m) | H (m) | T (s) | (s) | |
| CASE 1 | X | 32 | Δx=0.05 | 0.4 | 0.02 | 2 | 30 | 64000 |
| | Y | 1.5 | Δy=1 | | | | | |
| | Z | 0.5 | Δz=0.005 | | | | | |
| CASE 2 | X | 32 | Δx=0.05 | 0.4 | 0.025 | 1.25 | 30 | 64000 |
| | Y | 1.5 | Δy=1 | | | | | |
| | Z | 0.5 | Δz=0.005 | | | | | |

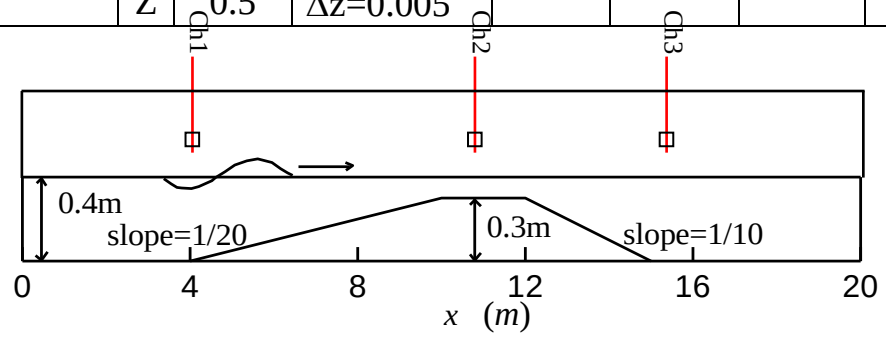



**圖 4.5 Beji 等人(1992)之試驗佈置圖**

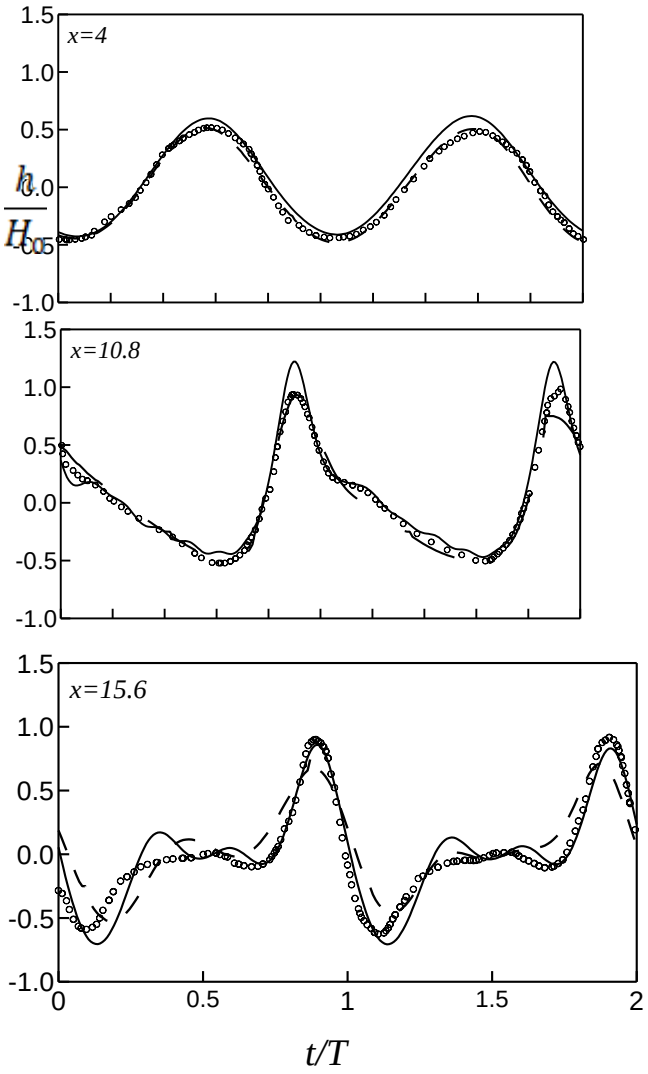



**圖 4.6 CASE 1 (—)：陳論文模式；( o )：Beji 等人試驗值；(---)：FLOW 3D 模擬**

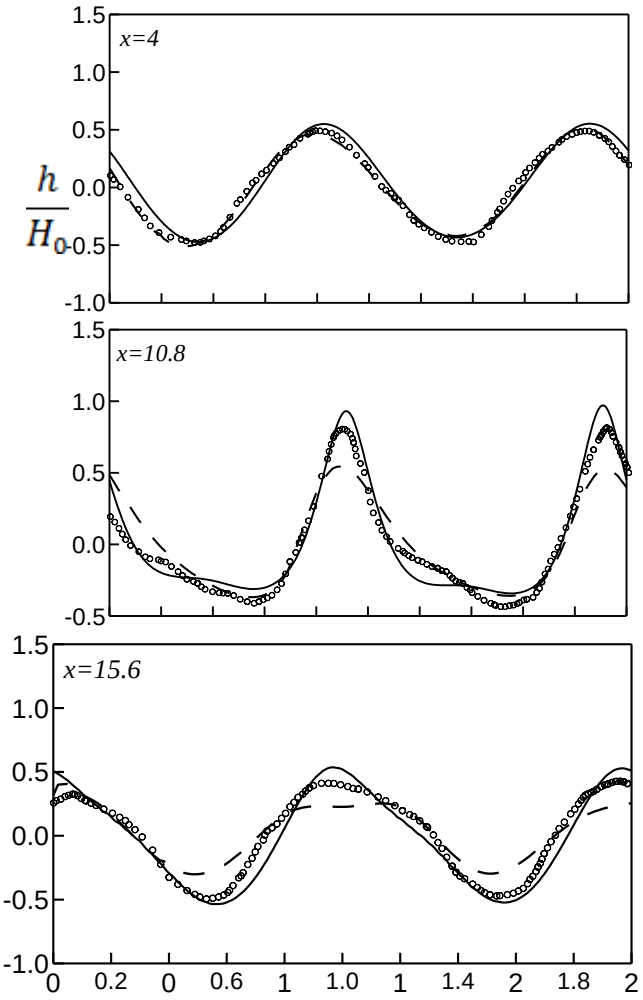



**圖 4.7 CASE 2 (—)：陳論文模式；( o )：Beji 等人試驗值；(---)：FLOW 3D 模擬**

### 4.2.2 防波堤堤頭波場計算範圍及水深地形

麥寮工業港波場數值模擬以麥寮工業港西防波堤堤頭附近海域並包含東防波堤為計算範圍，如圖 4.8 所示。防波堤堤頭附近計算範圍為 1.5 km × 2.5 km，底床邊界採用附近海域實測地形資料，如圖 4.9 所示。根據網格獨立性測試結果，垂直入射波向(Δy)網格設定1/20波長，平行入射波向網格(Δx)設定為1/10波長，而垂直水層網格(Δz)則設定為1/10波高。

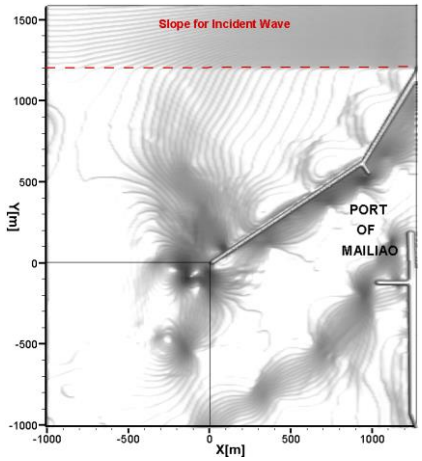



**圖 4.8 麥寮工業港波場數值模擬海域範圍示意圖**

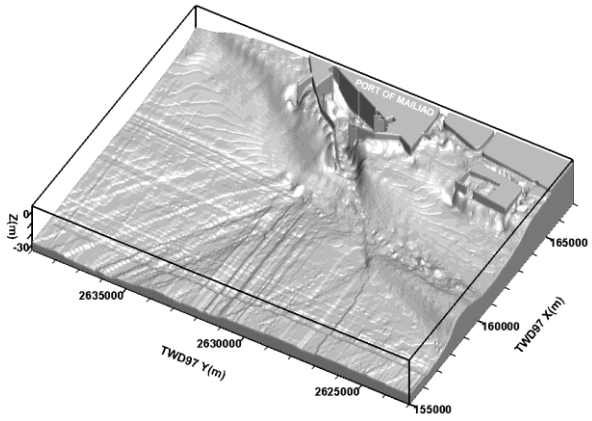



**圖 4.9 麥寮工業港波流場數值計算領域水深地形模式圖**

### 4.2.3 輸入條件

為瞭解堤頭附近因波浪所引發的波場與流場分佈，將縮小計算範圍，加密堤頭處的網格分佈，專注於堤頭附近的解析；麥寮工業港西防波堤堤頭海域波場計算案例如表4.4所示，模擬時間以成熟波完成傳遞計算海域為考量，入射波浪邊界以北側海域為主西側海域為輔，海象包括50年期颱風、夏季平均、夏季最大、冬季平均及冬季最大等。

**表4.4 FLOW-3D計算案例**

| 計算案例 | H波高(m) | T週期(sec) | 波向 | 模擬時間(T) |
|---|---|---|---|---|
| 麥寮港50年期颱風 | 6.40 | 10.6 | N | 80 |

以下為執行 FLOW3D 時輸入的細部參數設定值：

(1) Global Tab (指定模擬時間、指定單位、流體性質等)

- Interface tracking：Free surface (自由表面追蹤)
- Number of fluids：One fluid (單相流)
- Finish condition：Finish time (求解時間根據設定的模擬時間判斷)
- Flow mode：Incompressible (不可壓縮流體)

(2) Physics Tab (指定物理量)

- Gravity：Gravity component in the z-direction (-9.81) (負z重力方向)
- Viscosity & Turbulence：Renormalized group model
- Maximum turbulent mixing length：紊流長度調整

(3) Fluid Tab (載入設定流體)

- Water at $20^{o}$ C
- 密度1000 $kg/m^3$
- Dynamic Viscosity (動力黏性係數)：0.001

(4) Meshing & Geometry (網格及物件基本設定)

- 載入港口地形及結構物圖檔
- 設定計算領域網格尺寸及網格數量

(5) Boundaries Tab (指定邊界條件5)

- 開放水域：設定波浪條件的變化，在南、北、西三側網格邊界設定颱風、季風時，不同波向的波浪條件。
- 封閉水域：港域設施與陸地外廓邊界內的範圍為封閉水域。

(6) Initial Tab (初始條件設定，可以指定初始流體狀態，包含壓力等)

- Hydrostatic pressure in z-direction (設定 z 方向淨水壓)
- Initial fluid：數值模擬水域初始水位

### 4.2.4 Stokes 5階造波波場水粒子運動軌跡

為了檢視FLOW-3D Stokes 5階造波數值解之生成與傳遞現象，於數值水槽造波邊界處預先設定追蹤粒子五個在一垂直線上，粒子直徑0.5 m，密度1000 kg/m$^3$，入射波高5.9 m，造波週期10.2 s，水深依本計畫麥寮工業港附近海域底床地形變化，如圖4.10至圖4.14所示。圖中粒子代號P[T]表示位於自由液面(z = -0.25 m)處，P[U]表示位於上水層(z = -10 m)處，P[M]表示位於中水層(z = -20 m)處，P[L]表示位於下水層(z = -30 m)處，P[B]表示位於底床邊界上(z = -39 m)處。

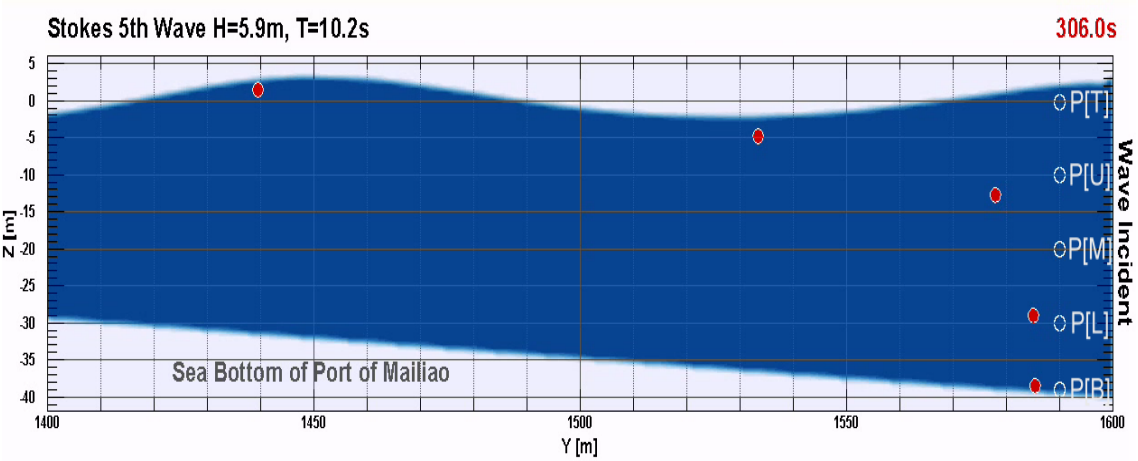



**圖4.10 Stokes 5階波場速度剖面水粒子於造波時間306 s之位置圖**

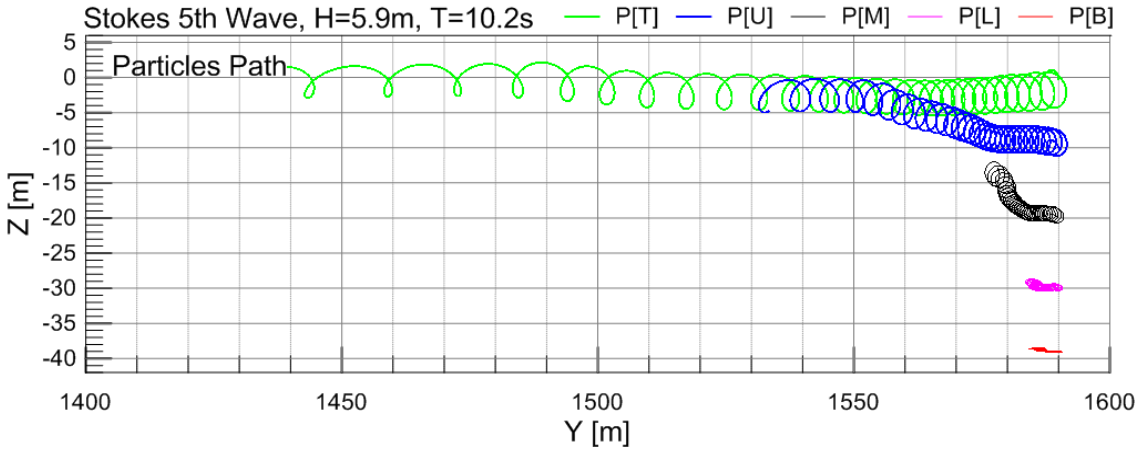



**圖 4.11 Stokes 5 階波場速度剖面水粒子運動軌跡圖**

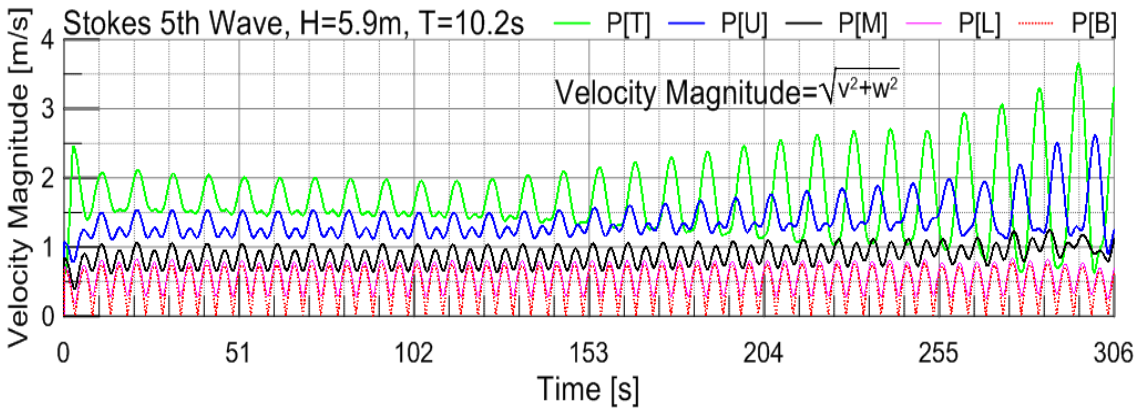



**圖 4.12 Stokes 5 階波場速度剖面水粒子運動速度大小之比較**

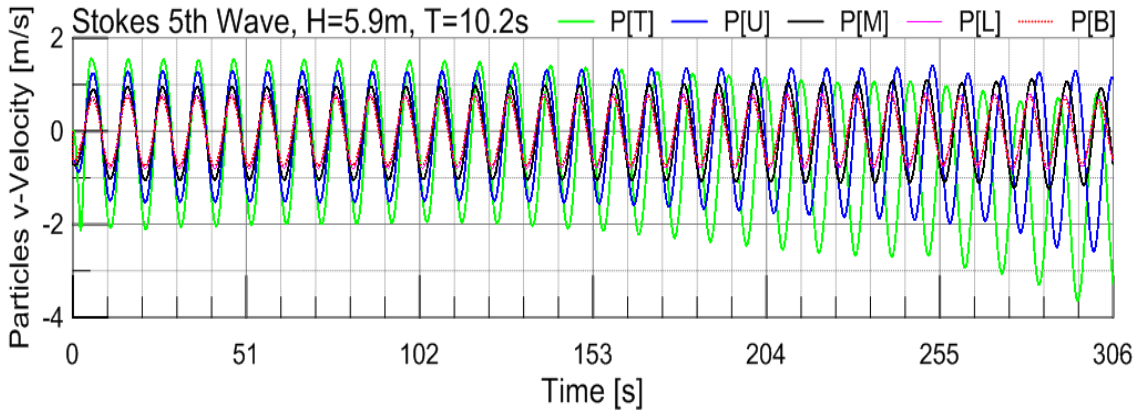



**圖 4.13 Stokes 5 階波場速度剖面水粒子波浪傳遞方向運動速度之比較**

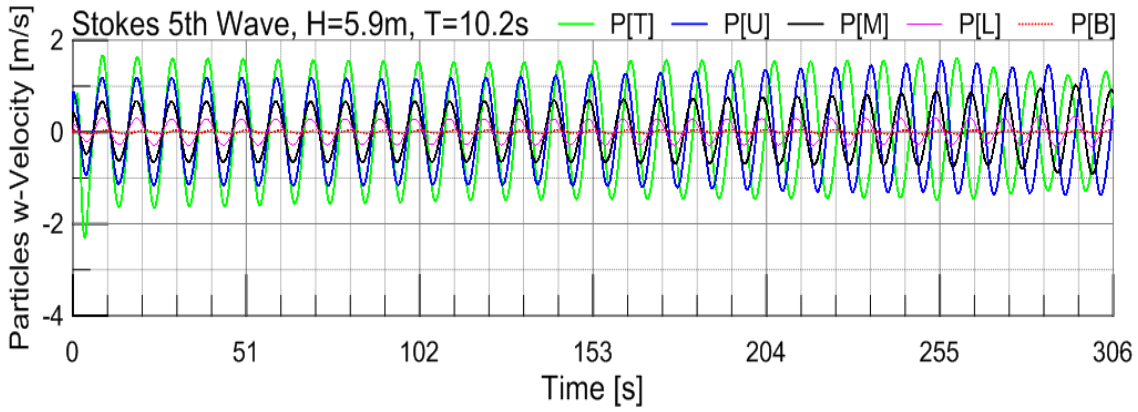



**圖 4.14 Stokes 5 階波場速度剖面水粒子波浪垂直運動速度之比較**

### 4.2.5 波場中自由水面變化

波場數值模擬的自由液面時序變化是檢視波場結果合理性最直接的現象，麥寮工業港北側海域入射波浪第45至80個造波期之波峰與波谷自由液面時序變化如圖4.15至圖4.30所示。在此模擬中，北側海域入射波浪進入之後即受西防波堤阻擋而產生反射波，其波向約為東至東北方向之間，並與北側海域入射波、東北側海域反射波及東北側海域二次反射波交互疊合形成水面變化情況複雜的短峰波場。繞射波浪逐漸進入西防波堤南側的遮蔽區域，而波浪繞射現象於堤頭處所形成點波源的波動。由本模擬的波浪水面時序變化觀察，顯現本防波堤對於北側入射波浪的遮蔽效果良好，至於堤頭附近總是處於一個紛紜與平靜的分際點。

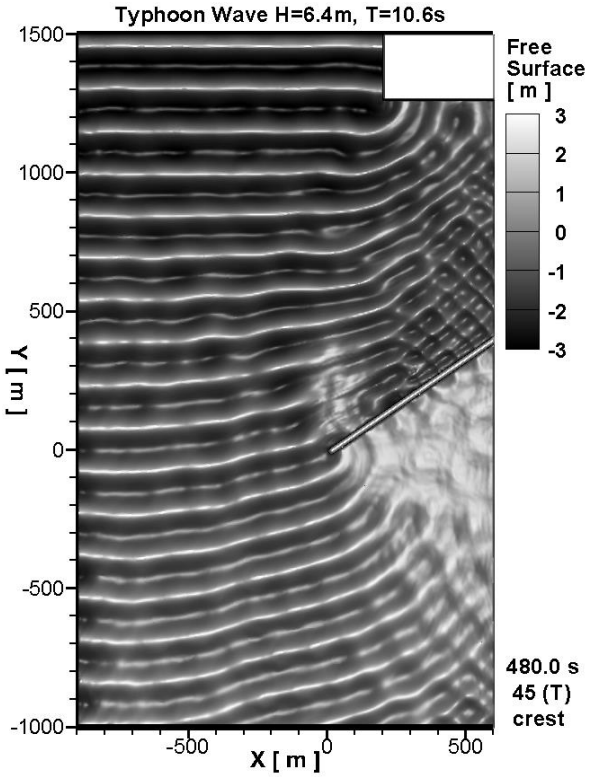



**圖 4.15 第 45 造波週期波峰圖**

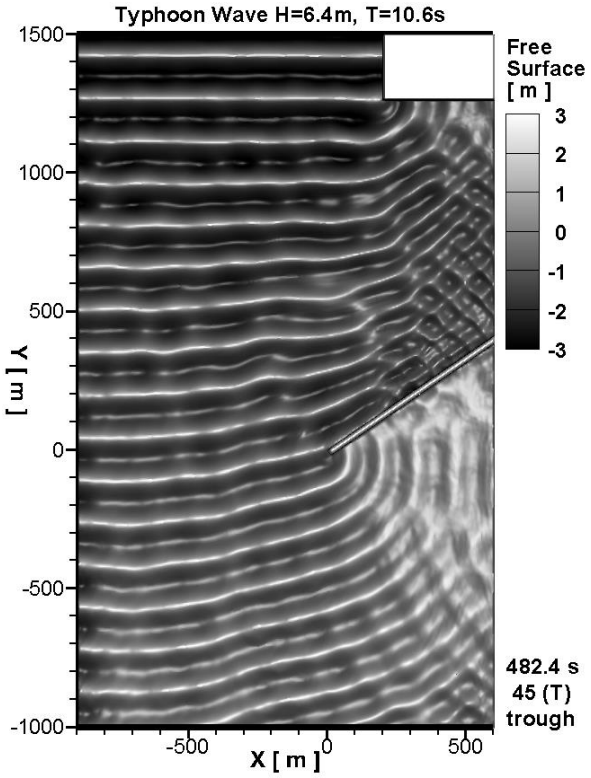



**圖 4.16 第 45 造波週期波谷**

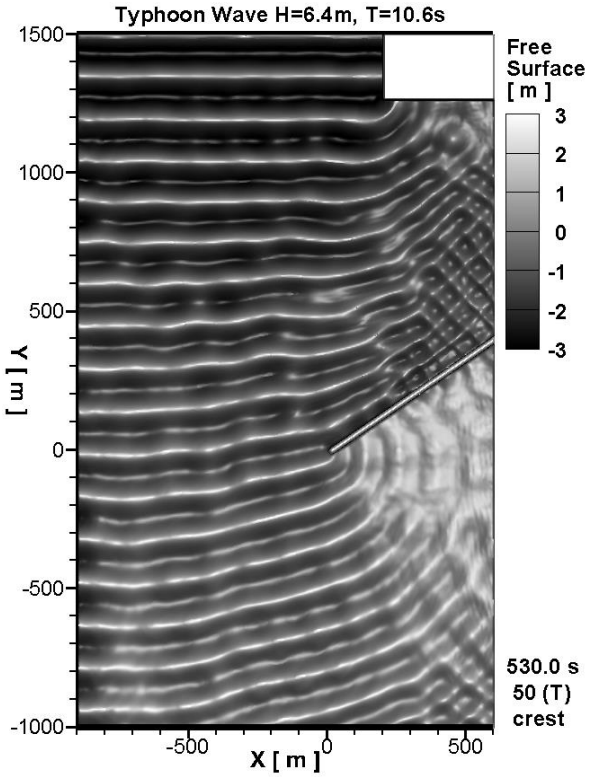



**圖 4.17 第 50 造波週期波峰圖**

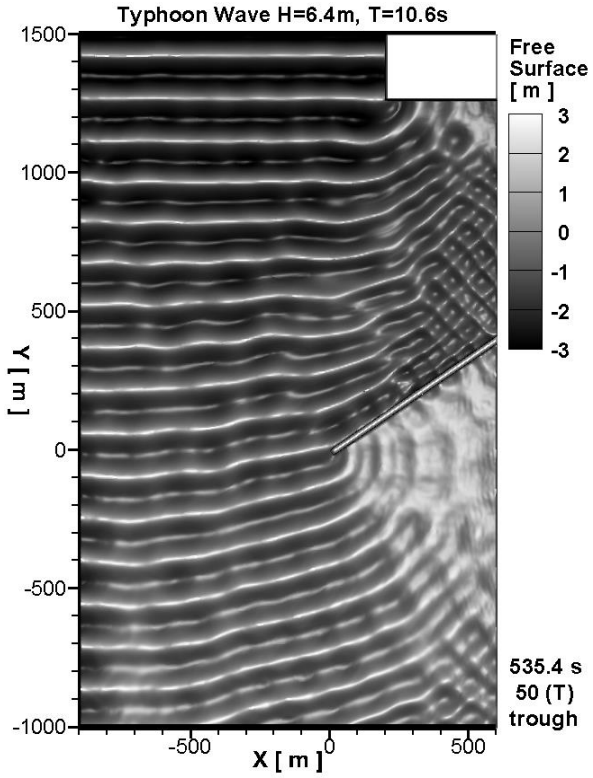



**圖 4.18 第 50 造波週期波谷**

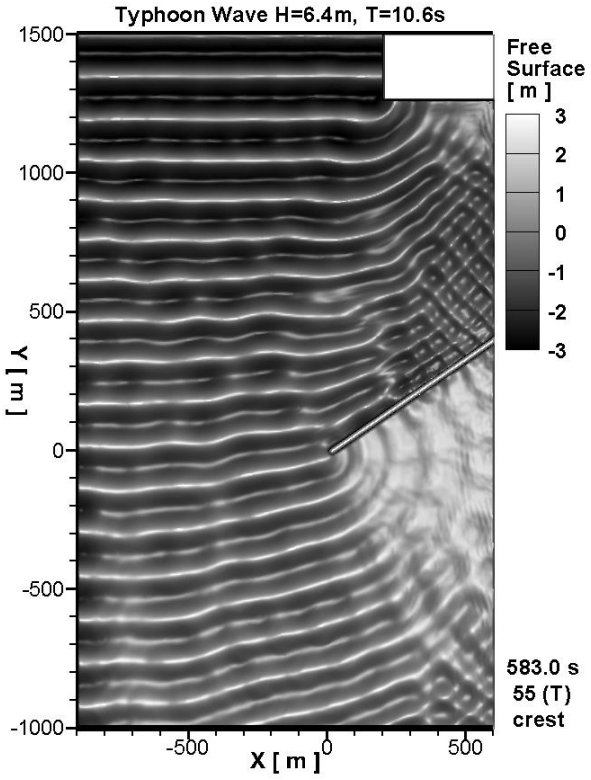



**圖 4.19 第 55 造波週期波峰圖**

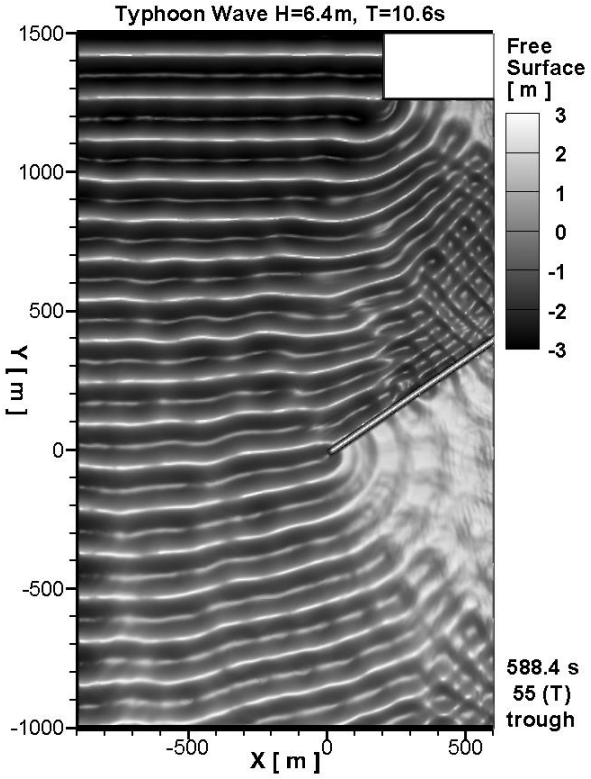



**圖 4.20 第 55 造波週期波谷**

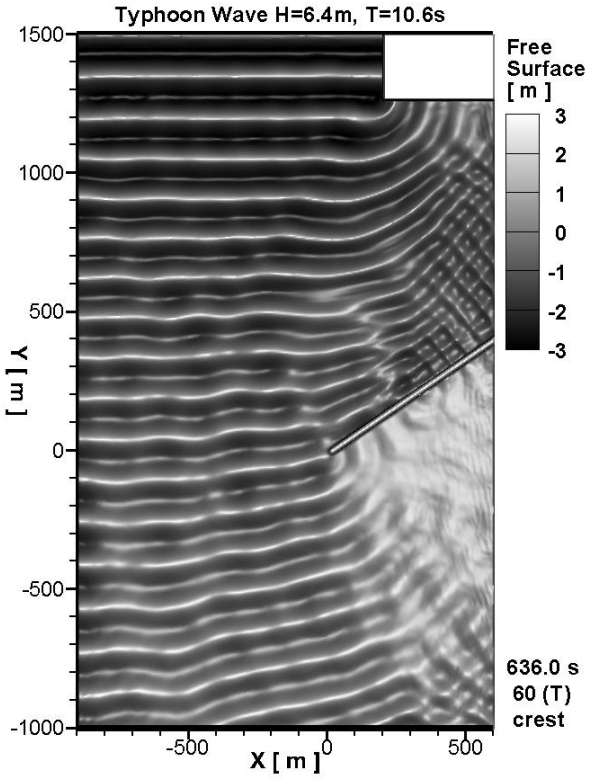



**圖 4.21 第 60 造波週期波峰圖**

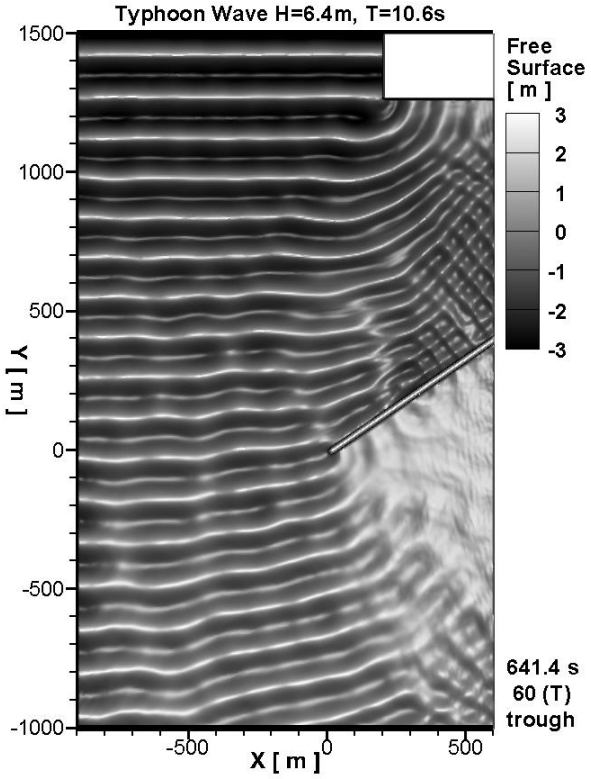



**圖 4.22 第 60 造波週期波谷**

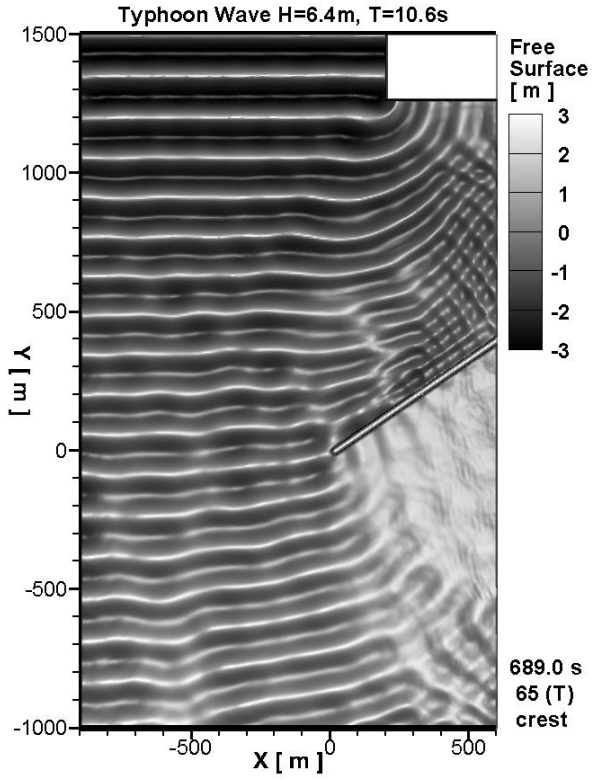



**圖 4.23 第 65 造波週期波峰圖**

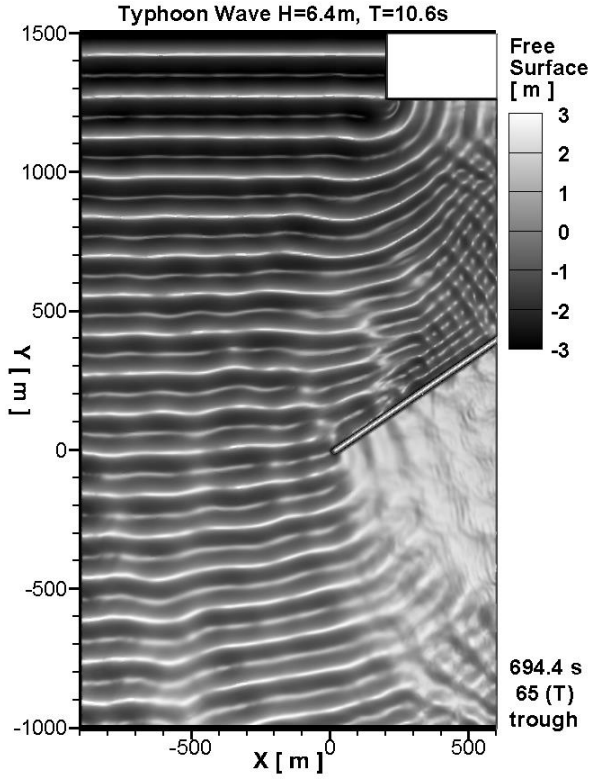



**圖 4.24 第 65 造波週期波谷**

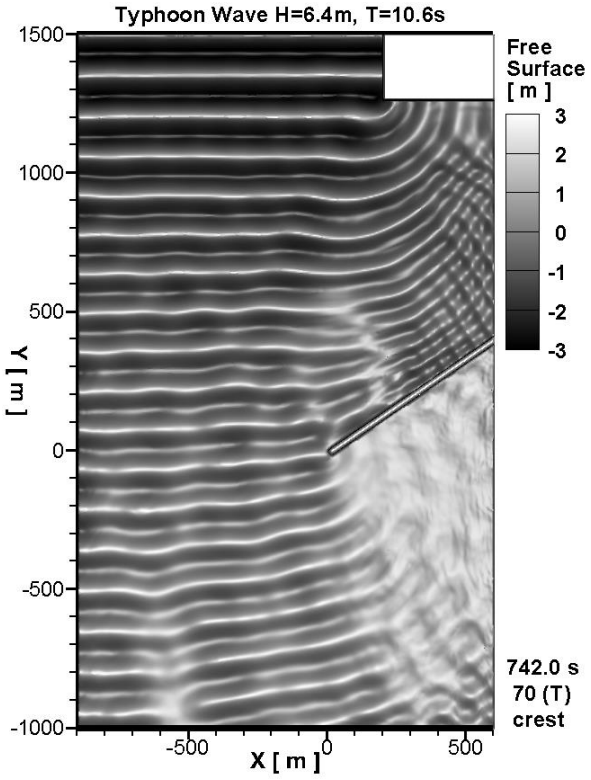



**圖 4.25 第 70 造波週期波峰圖**

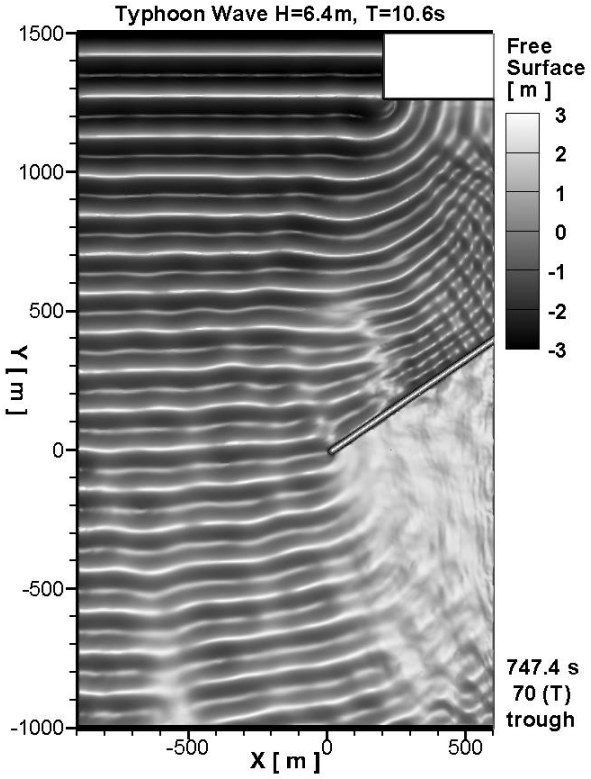



**圖 4.26 第 70 造波週期波谷**

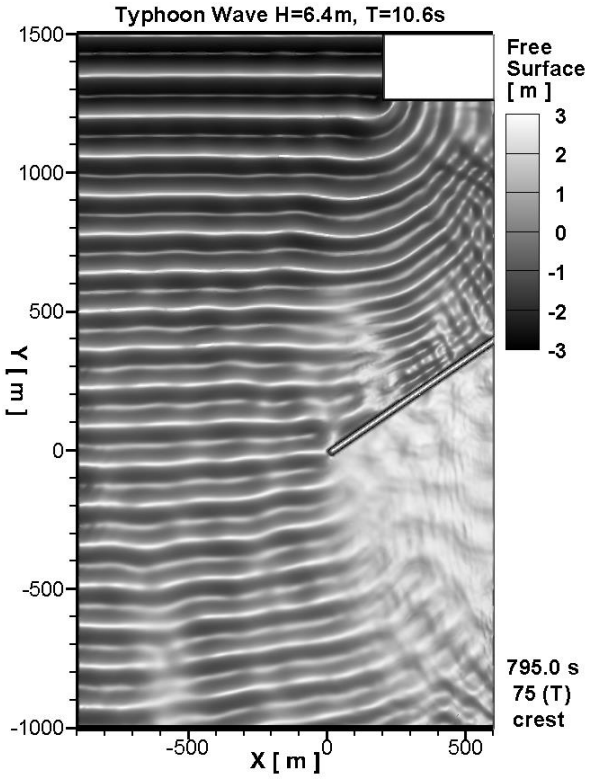



**圖 4.27 第 75 造波週期波峰圖**

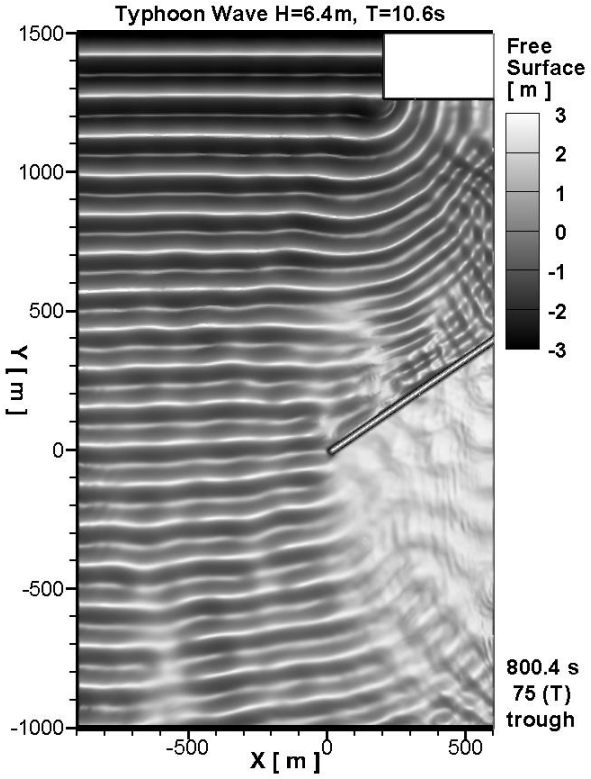



**圖 4.28 第 75 造波週期波谷**

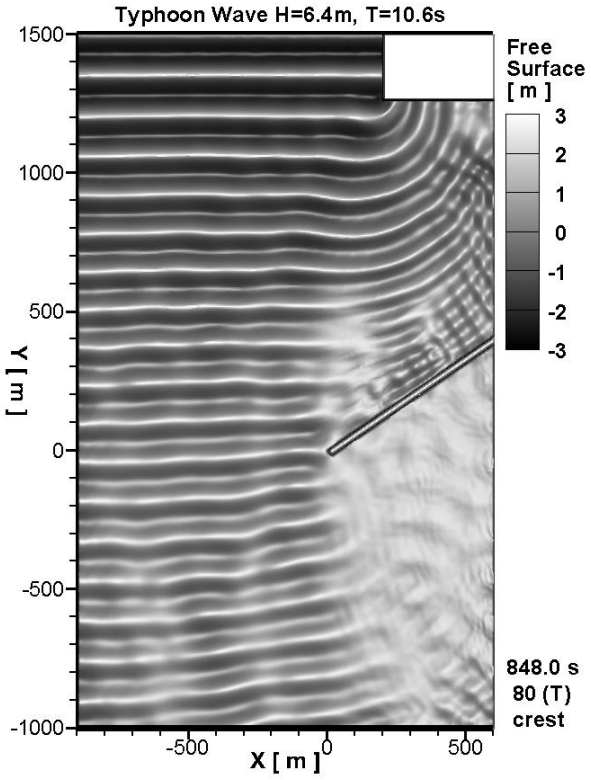



**圖 4.29 第 80 造波週期波峰圖**

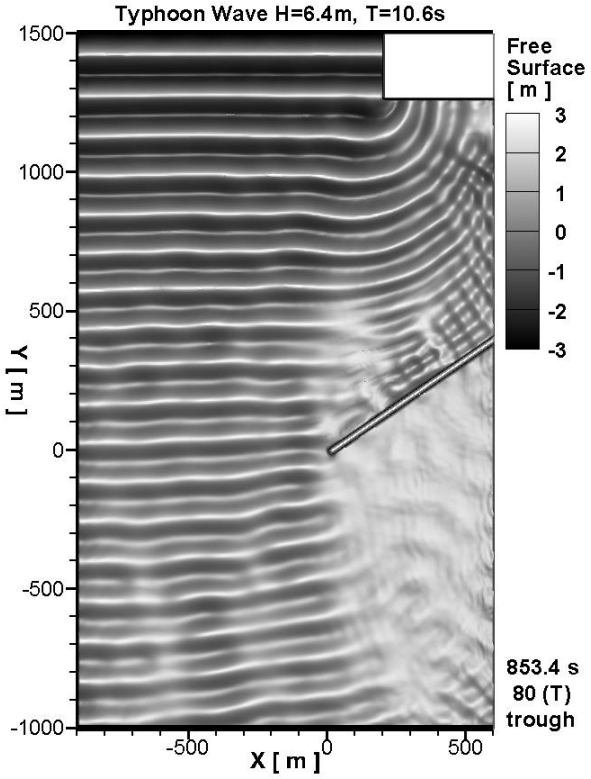



**圖 4.30 第 80 造波週期波谷**

### 4.2.6 波浪作用下引發的流況變化

為了瞭解極端波浪通過防波堤時的水動力行為，是否導致堤頭附近海域底床大幅侵淤變化，因此必須進一步對波場數值計算結果的底床流向流速加以分析。

**一、防波堤堤頭附近海域海床底層之流速變化**

麥寮工業港北側海域第80入射波浪引發x方向的流速u分層變化如圖4.31至圖4.42所示。

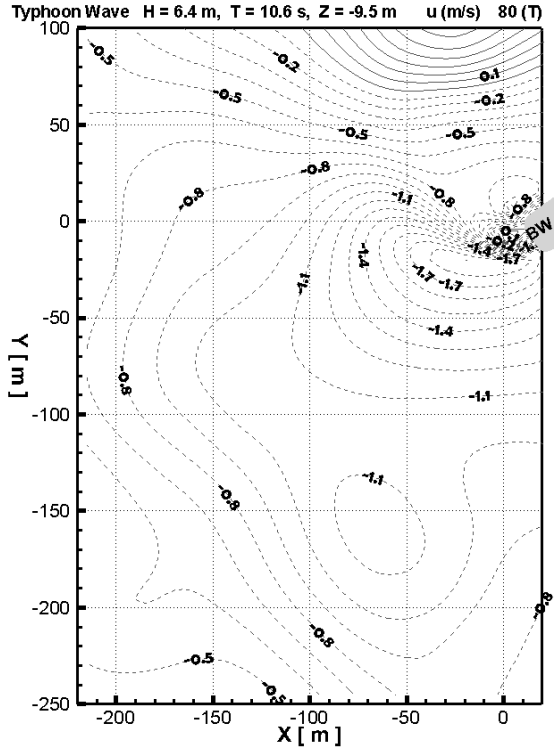



**圖 4.31 垂直水層-9.5m 流速 u 分布**

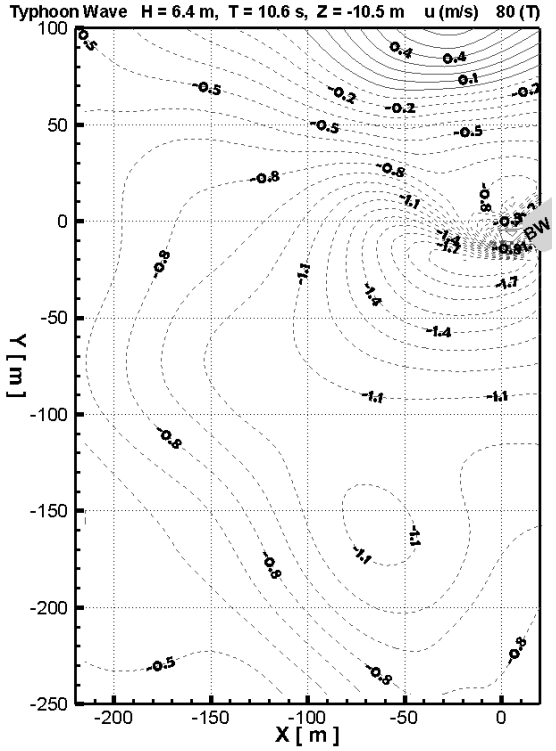



**圖 4.32 垂直水層-10.5m 流速 u 分布**

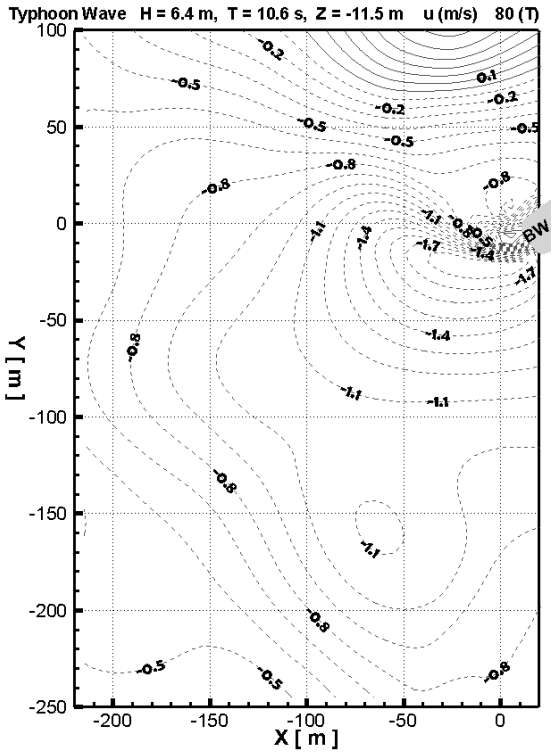



圖4.33 垂直水層-11.5m流速u分布

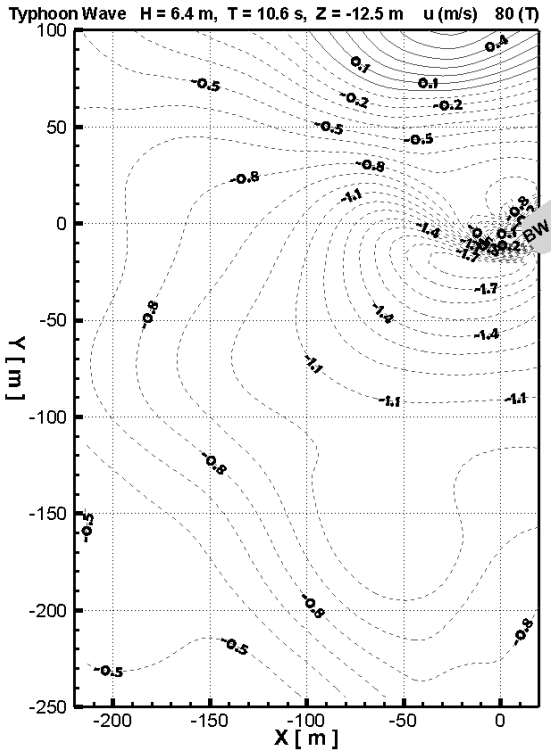



圖4.34 垂直水層-12.5m流速u分布

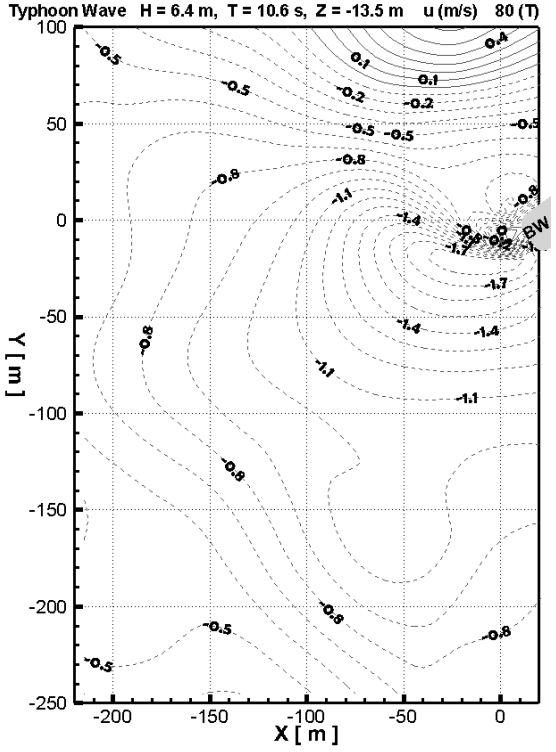



圖 4.35 垂直水層-13.5m 流速 u 分布

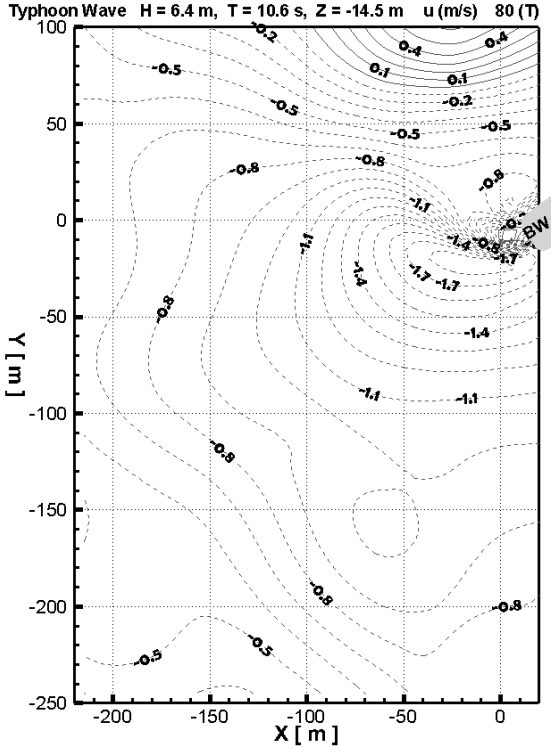



圖 4.36 垂直水層-14.5m 流速 u 分布

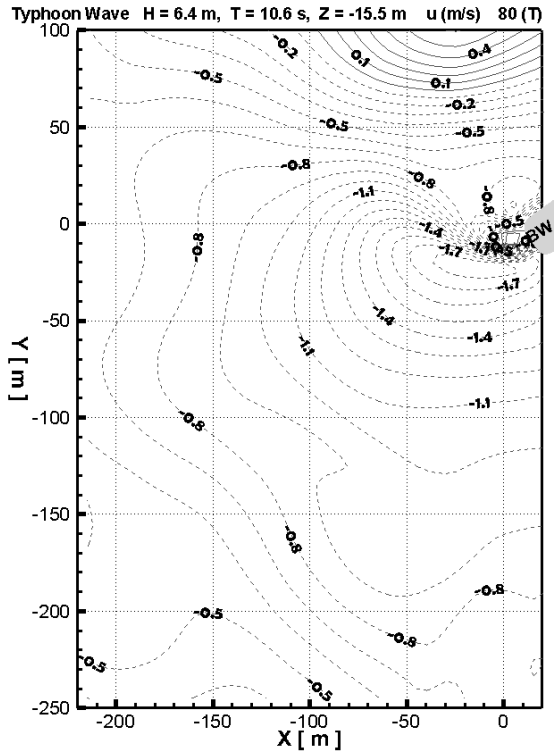



圖 4.37 垂直水層-15.5m 流速 u 分布

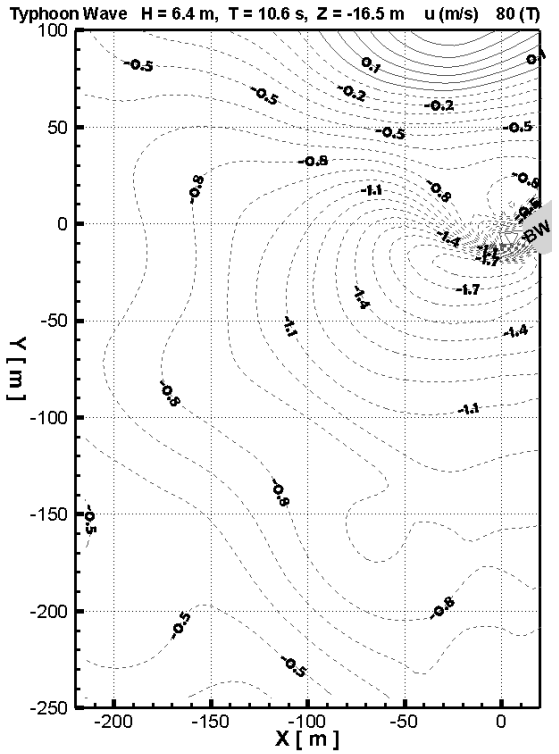



圖 4.38 垂直水層-16.5m 流速 u 分布

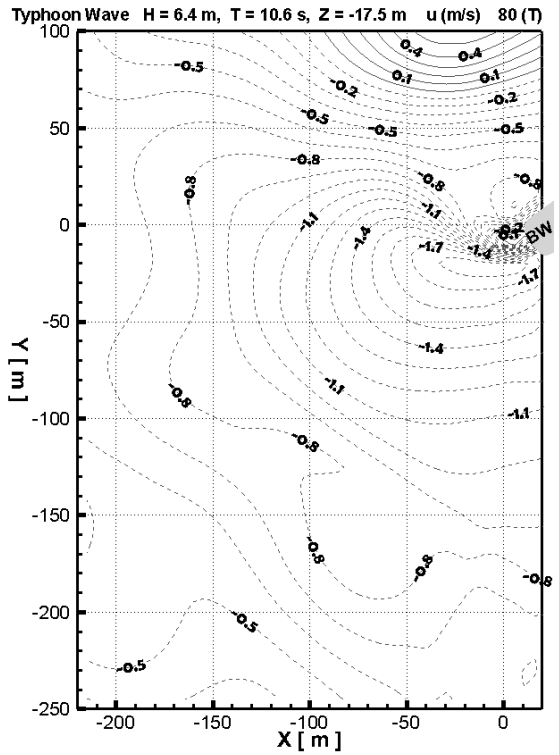



圖 4.39 垂直水層-17.5m 流速 u 分布

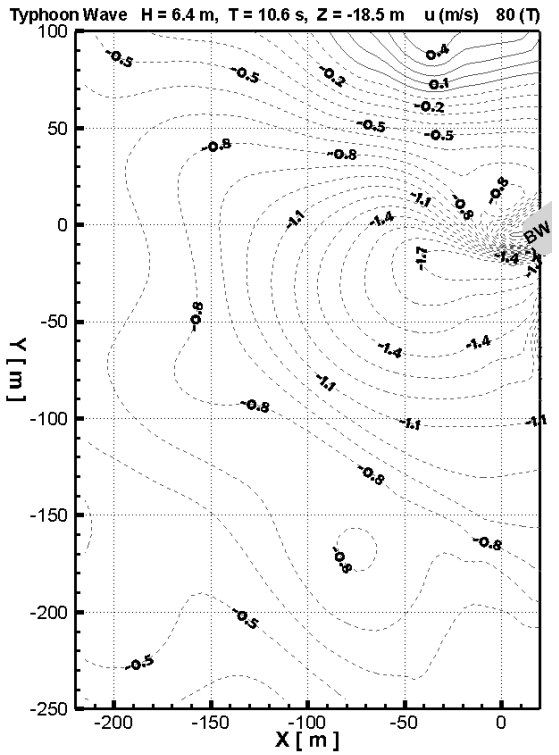



圖 4.40 垂直水層-18.5m 流速 u 分布

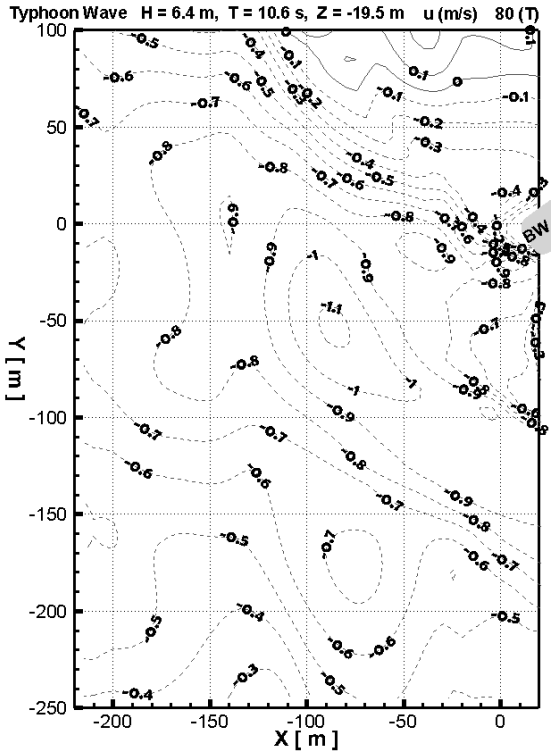



**圖 4.41 垂直水層-19.5m 流速 u 分布**

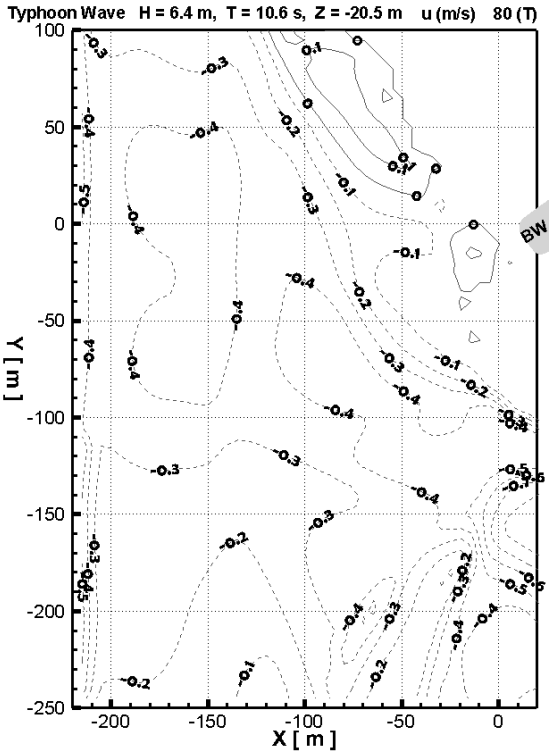



**圖 4.42 垂直水層-20.5m 流速 u 分布**

麥寮工業港北側海域第80入射波浪引發y方向的流速v分層變化如圖4.43至圖4.54所示。

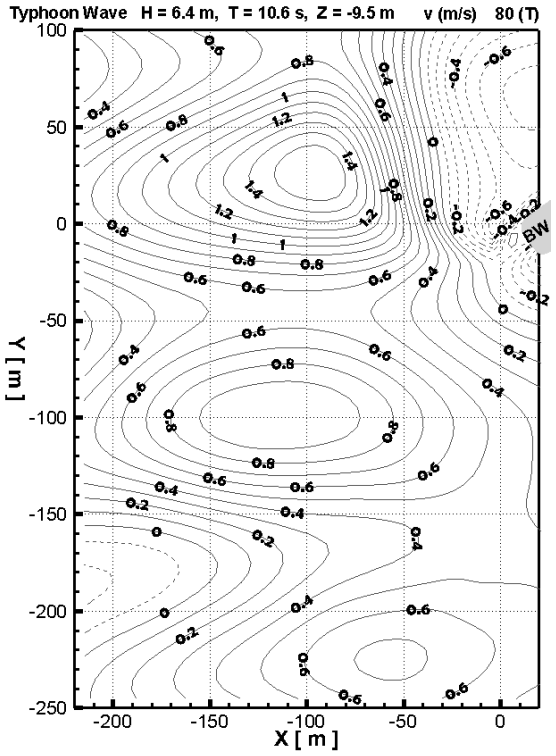



圖4.43 垂直水層-9.5m流速v分布

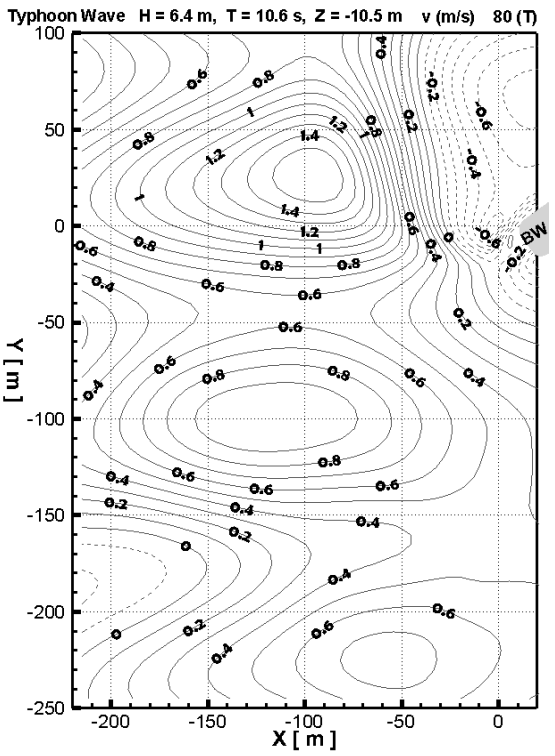



圖4.44 垂直水層-10.5m流速v分布

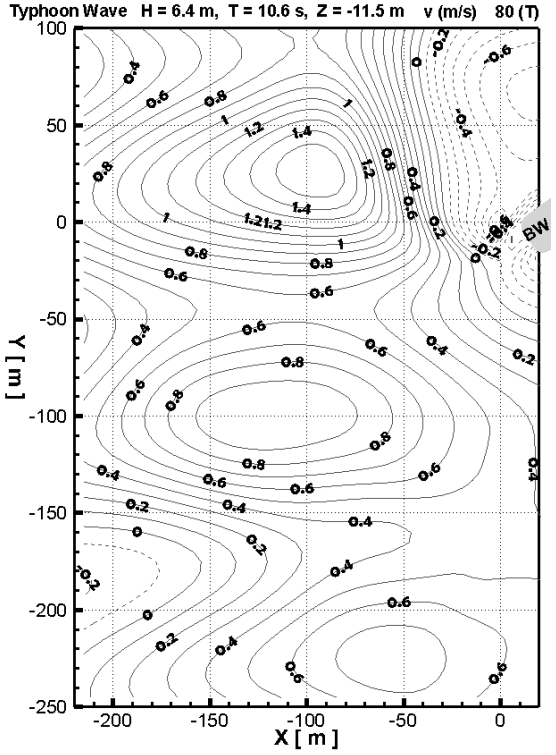



圖 4.45 垂直水層-11.5m 流速 v 分布

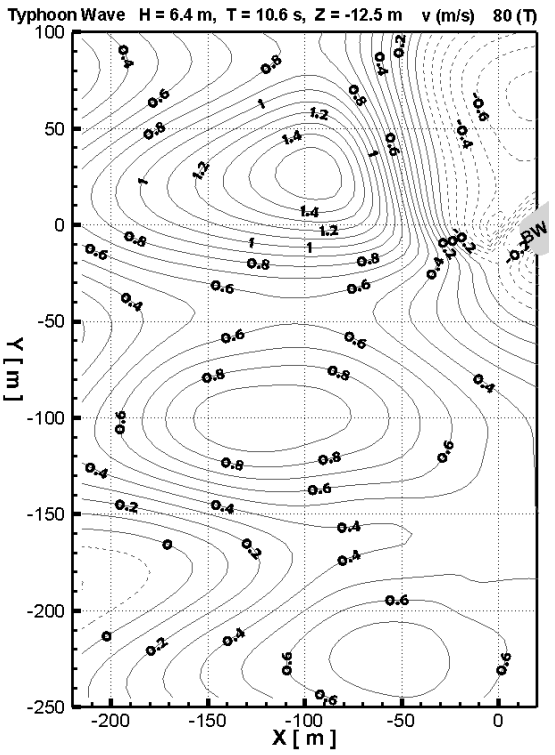



圖 4.46 垂直水層-12.5m 流速 v 分布

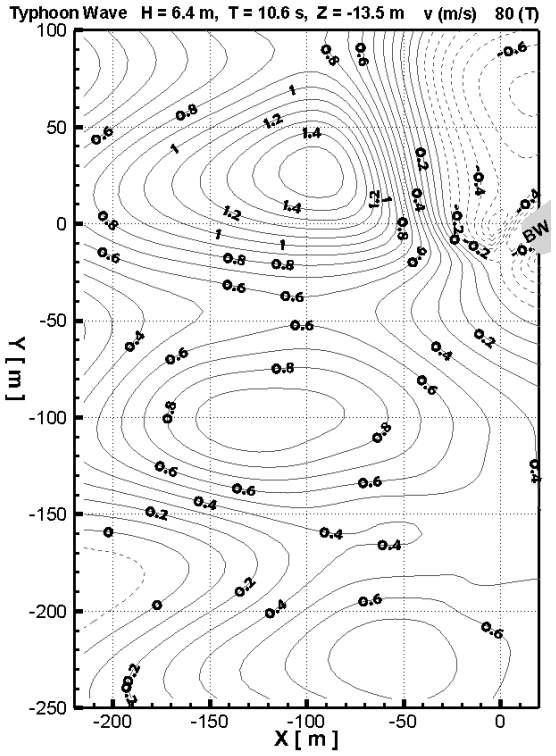



圖 4.47 垂直水層-13.5m 流速 v 分布

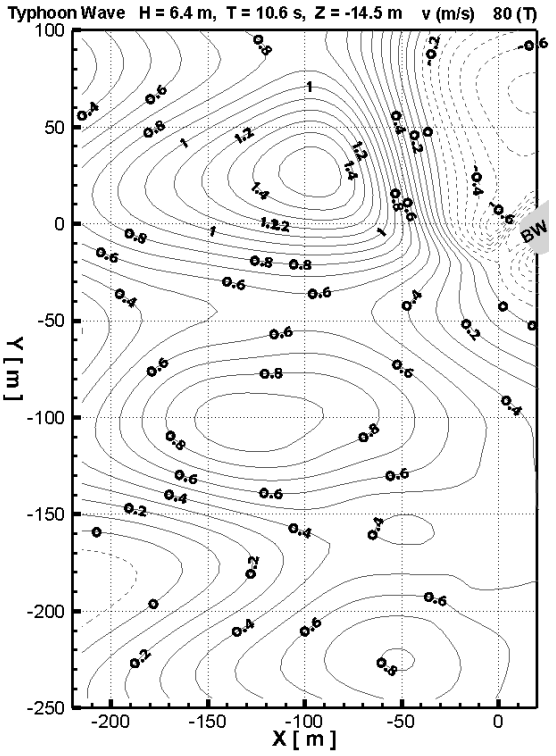



圖 4.48 垂直水層-14.5m 流速 v 分布

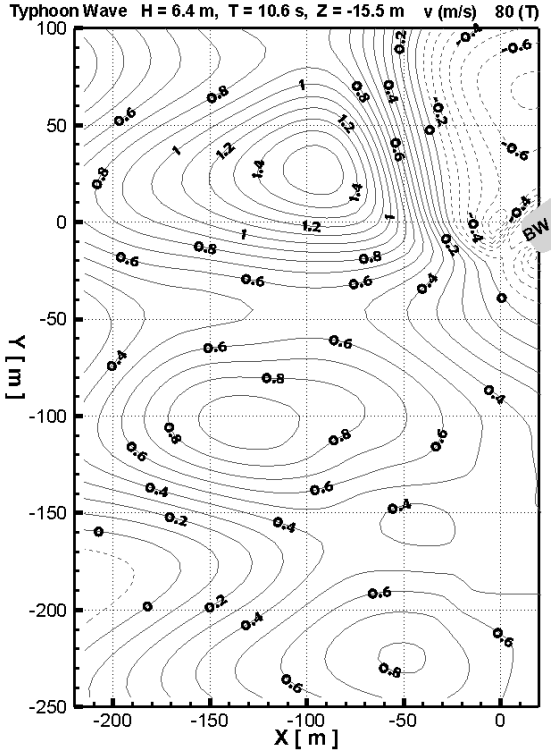



圖 4.49 垂直水層-15.5m 流速 v 分布

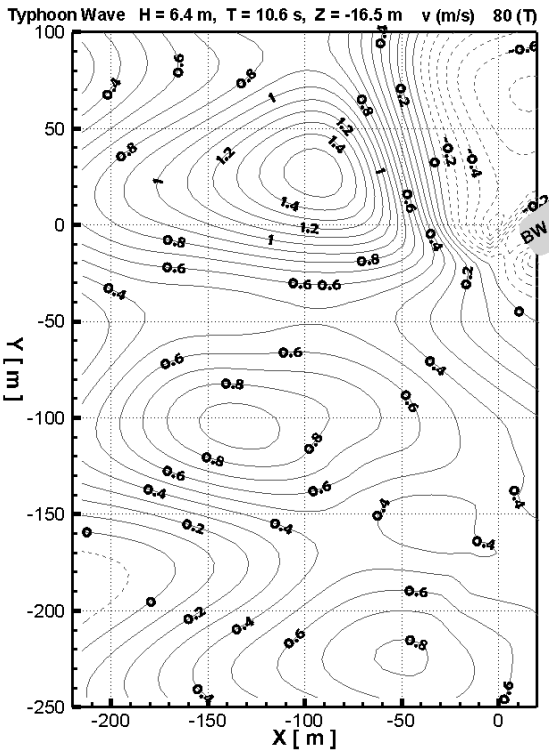



圖 4.50 垂直水層-16.5m 流速 v 分布

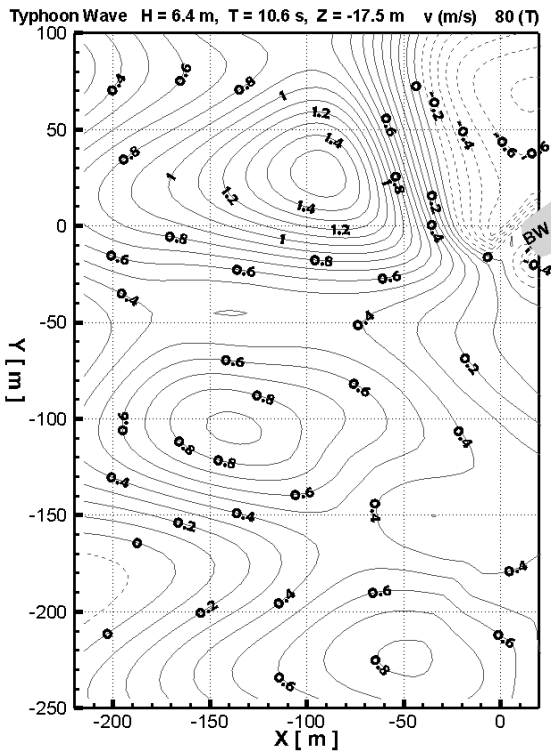



**圖 4.51 垂直水層-17.5m 流速 v 分布**

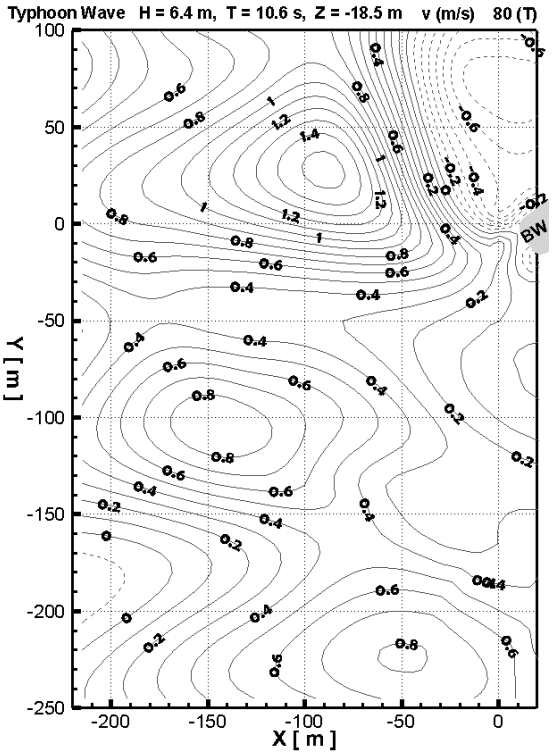



**圖 4.52 垂直水層-18.5m 流速 v 分布**

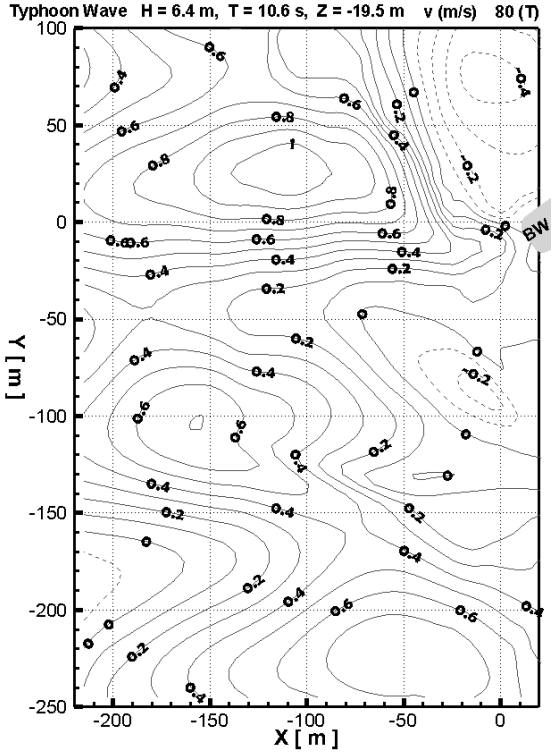



**圖 4.53 垂直水層-19.5m 流速 v 分布**

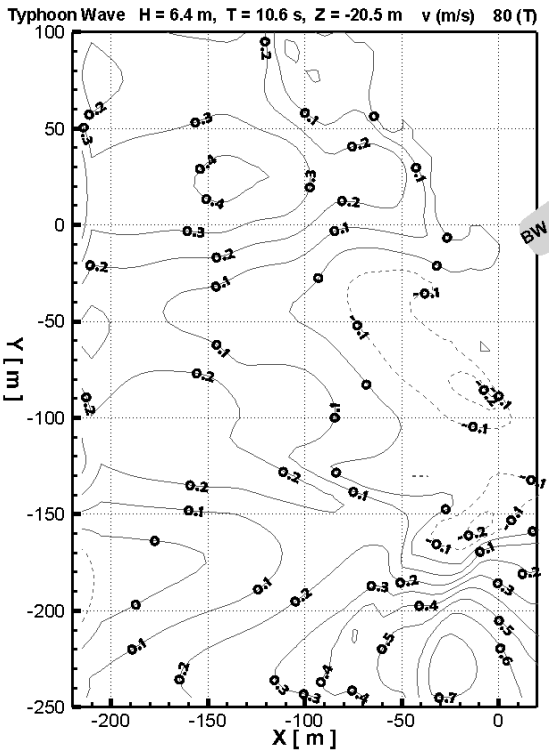



**圖 4.54 垂直水層-20.5m 流速 v 分布**麥寮工業港北側海域第 80 入射波浪引發 z 方向的流速 w 分層變化

如圖 4.55 至圖 4.66 所示。

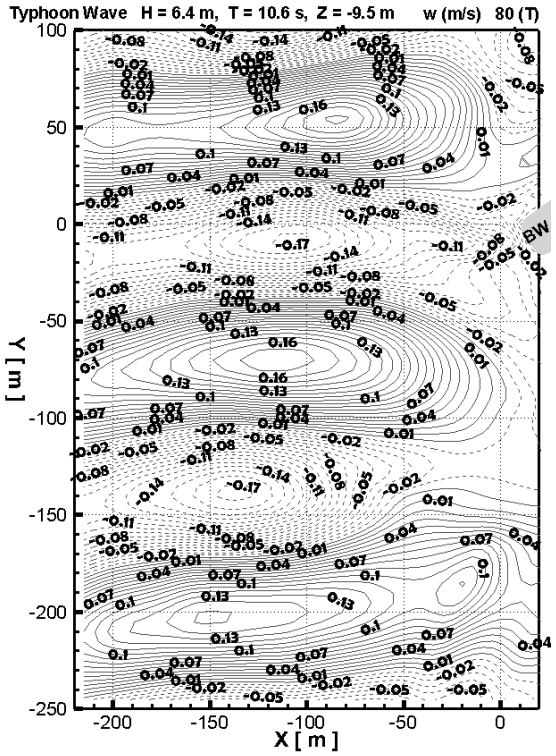



**圖 4.55 垂直水層-9.5m 流速 w 分布**

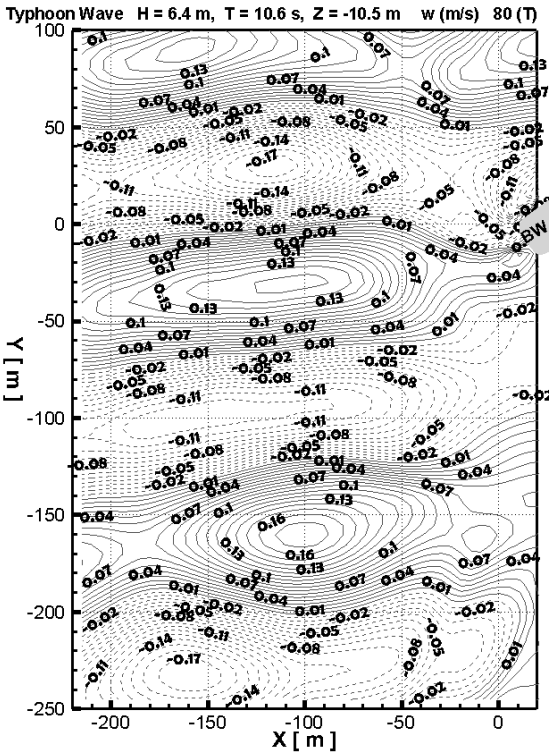



**圖 4.56 垂直水層-10.5m 流速 w 分布**

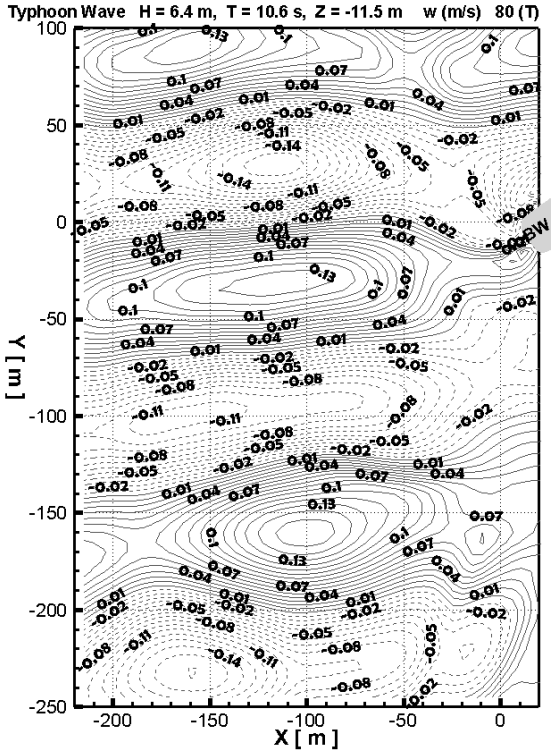



**圖 4.57 垂直水層-11.5m 流速 w 分布**

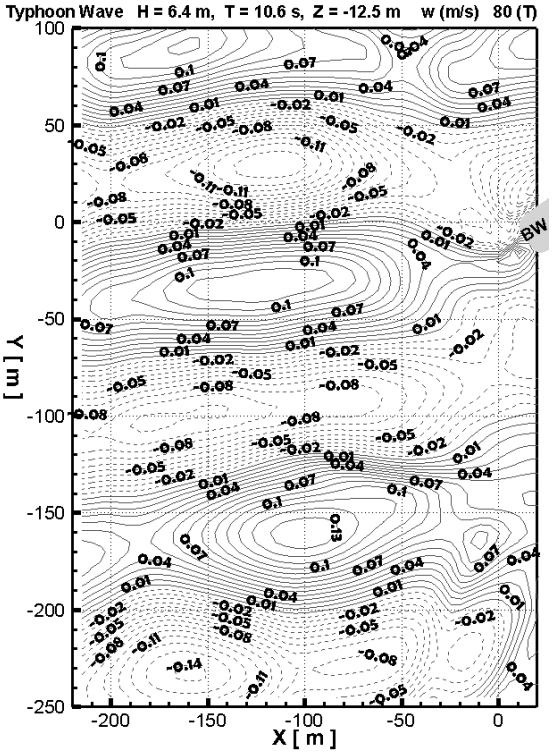



**圖 4.58 垂直水層-12.5m 流速 w 分布**

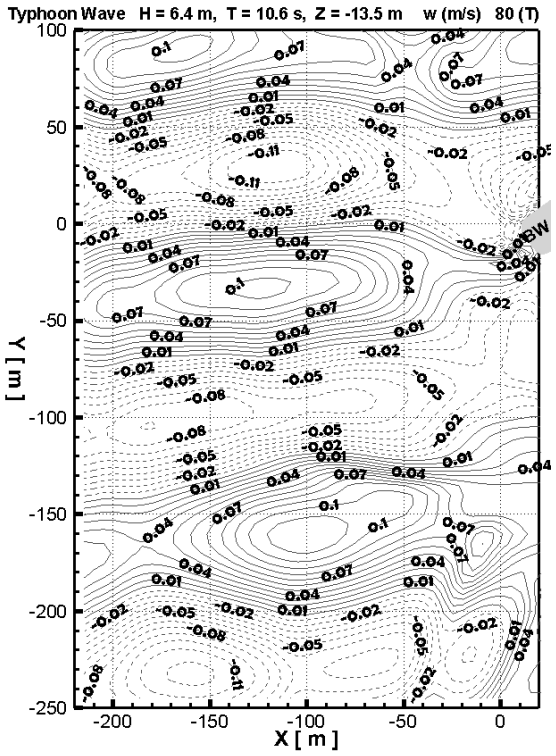



圖 4.59 垂直水層-13.5m 流速 w 分布

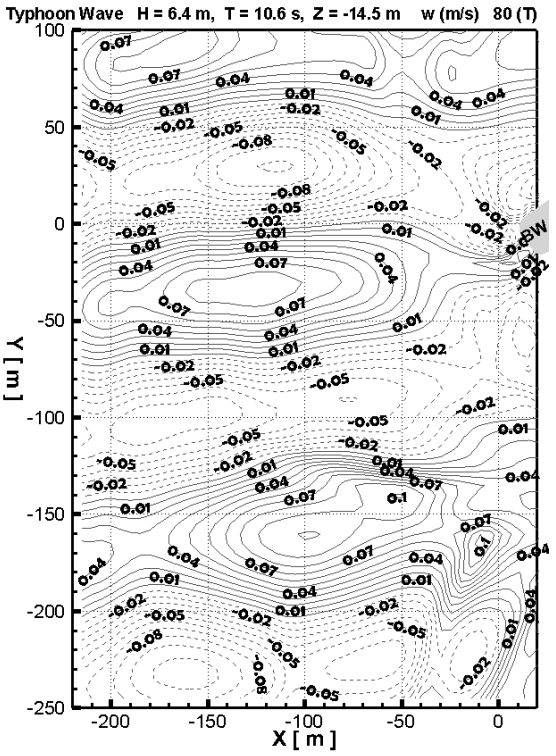



圖 4.60 垂直水層-14.5m 流速 w 分布

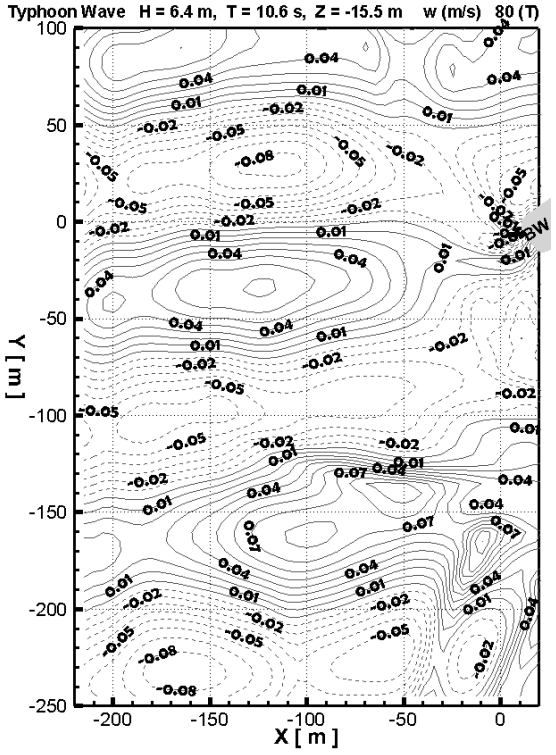



圖 4.61 垂直水層-15.5m 流速 w 分布

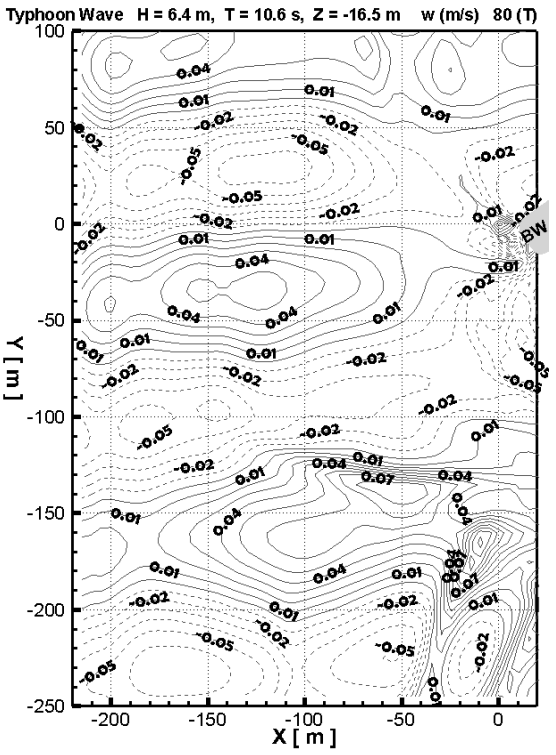
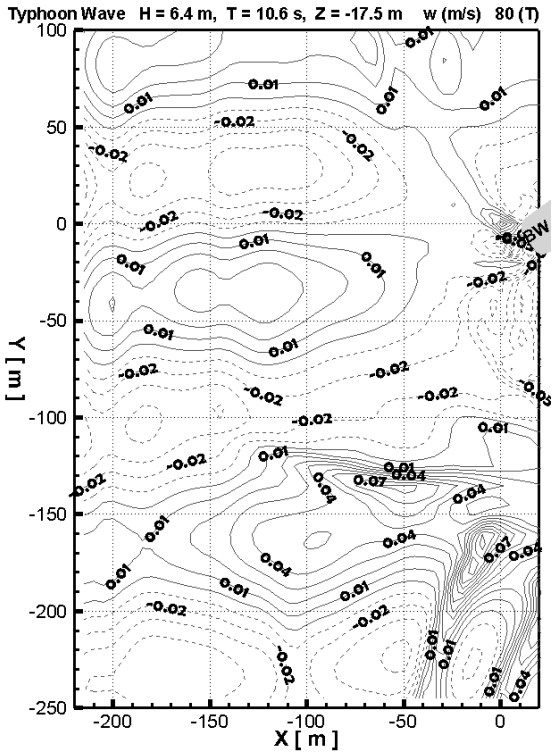



圖 4.62 垂直水層-16.5m 流速 w 分布



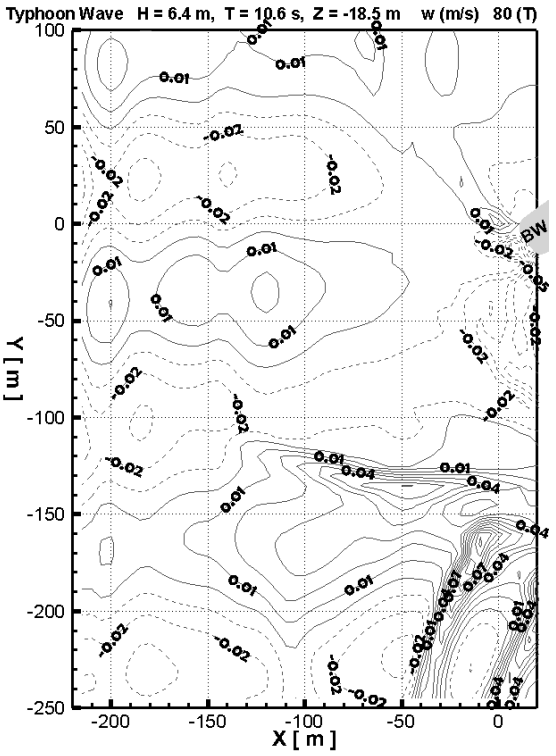
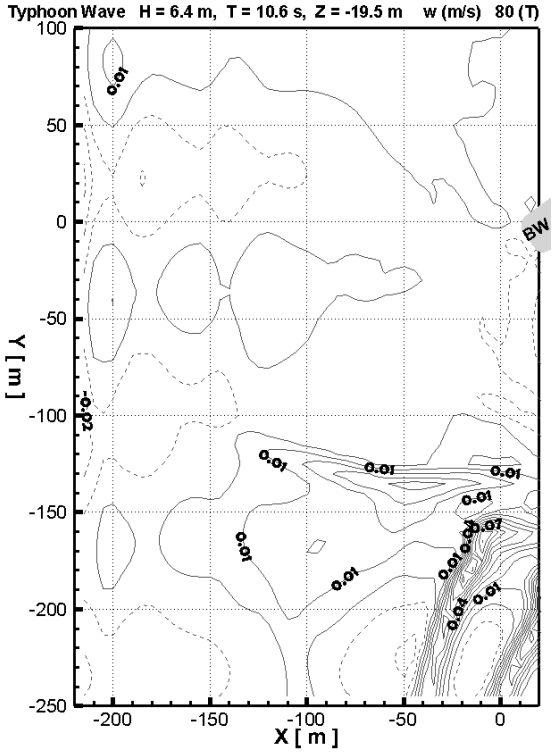




**圖 4.63 垂直水層-17.5m 流速 w 分布** **圖 4.64 垂直水層-18.5m 流速 w 分布**



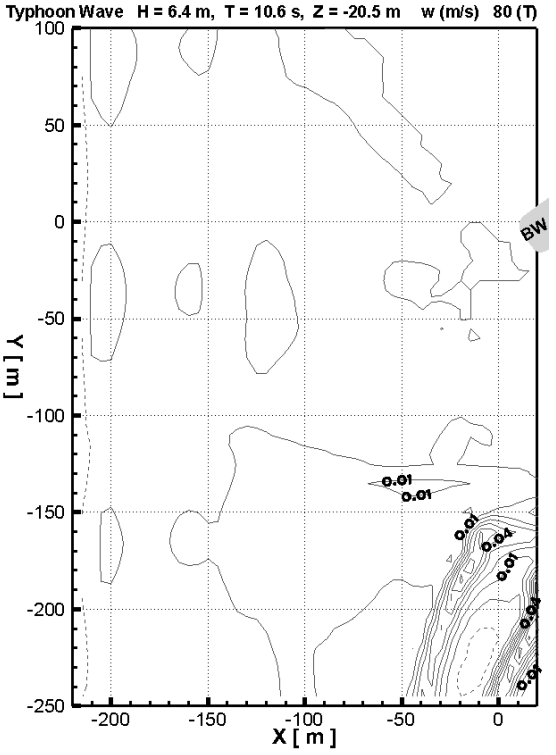




**圖 4.65 垂直水層-19.5m 流速 w 分布** **圖 4.66 垂直水層-20.5m 流速 w 分布**

堤頭附近波場平均水深流速，觀察一個造波週期流向的變化和流速的

分布，如圖 4.67 至圖 4.76 所示。

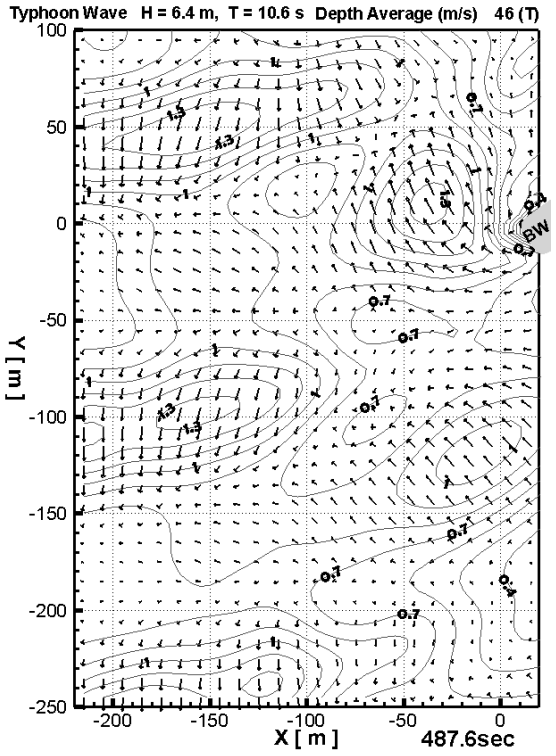



**圖 4.67 第 46 周期平均水深流向流速**

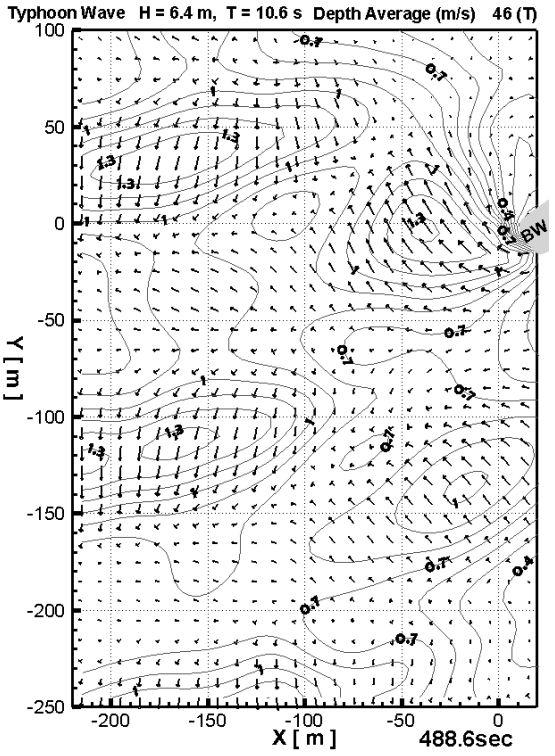



**圖 4.68 第 46.1 周期平均水深流向流速**

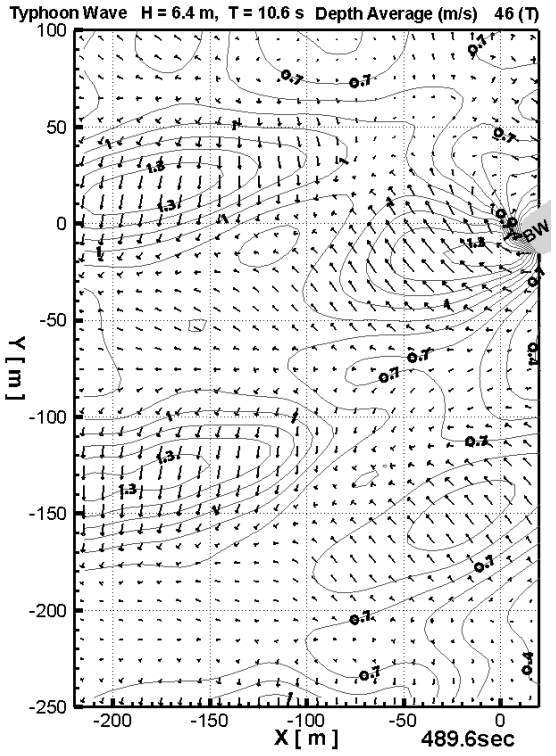



**圖 4.69 第 46.2 周期平均水深流向流速**

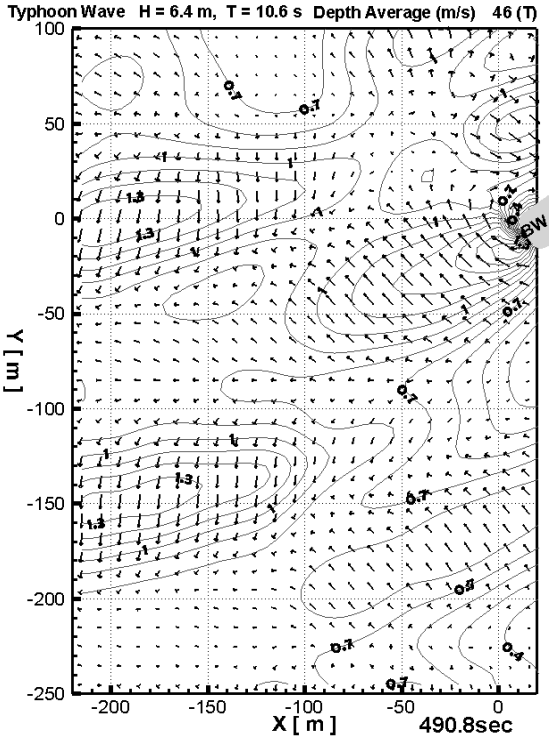
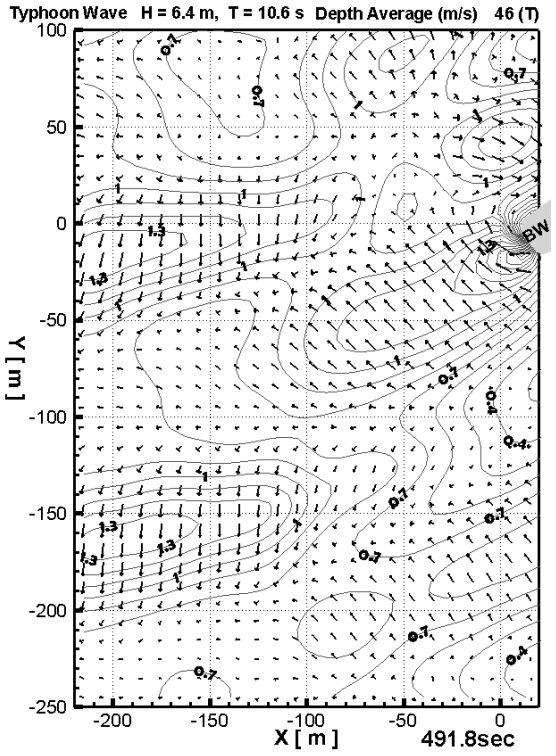



**圖 4.70 第 46.3 周期平均水深流向流速**



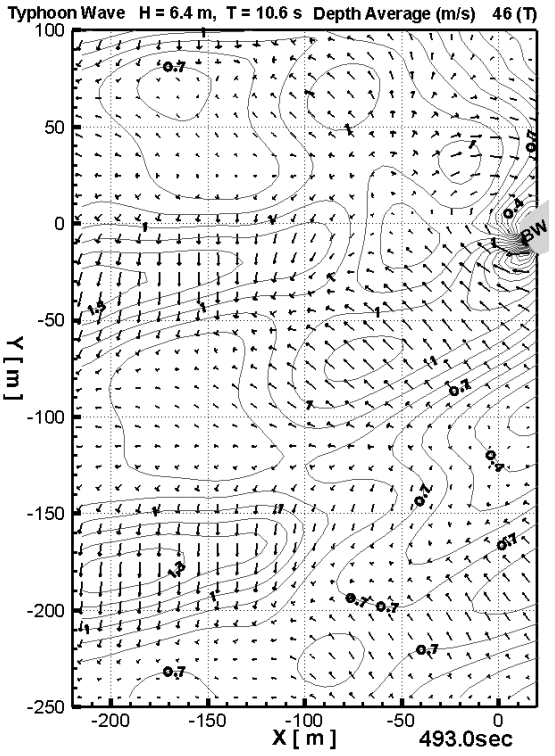
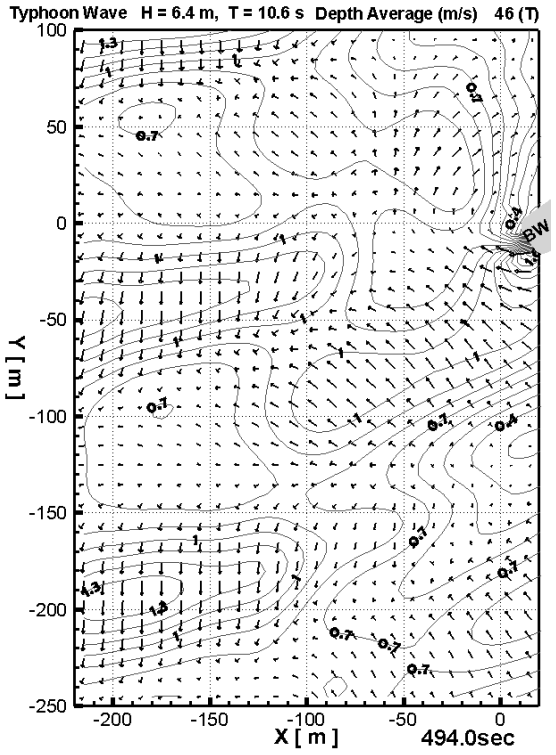




**圖 4.71 第 46.4 周期平均水深流向流速** **圖 4.72 第 46.5 周期平均水深流向流速**



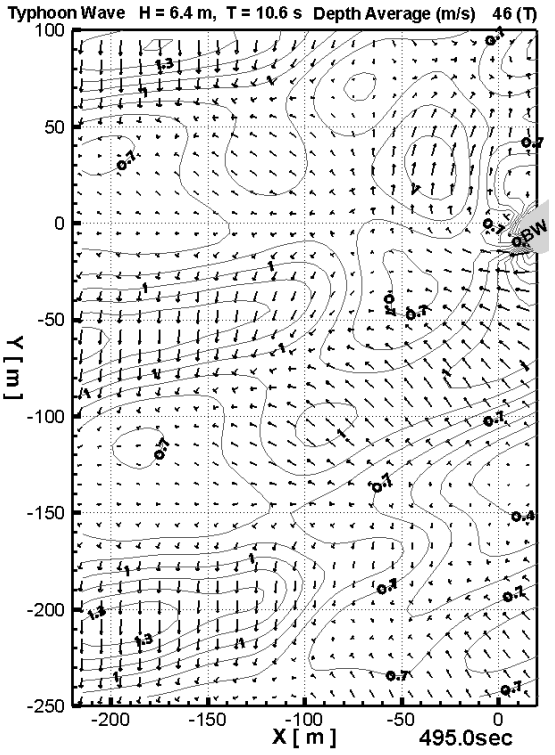




**圖 4.73 第 46.6 周期平均水深流向流速** **圖 4.74 第 46.7 周期平均水深流向流速**

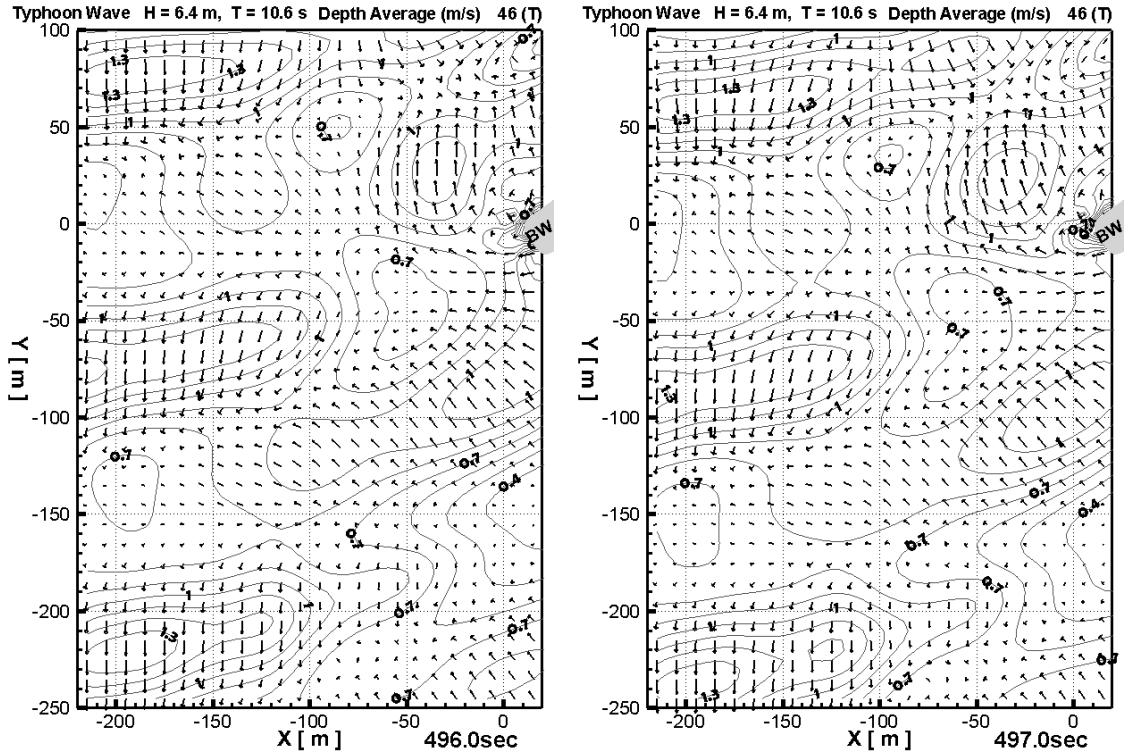



**圖 4.75 第 46.8 周期平均水深流向流速 圖 4.76 第 46.9 周期平均水深流向流速**

圖 4.77 至圖 4.86 為堤頭附近波場一個造波週期底床流速的變化和分布，西側海底部分地形呈現南北條狀隆起。

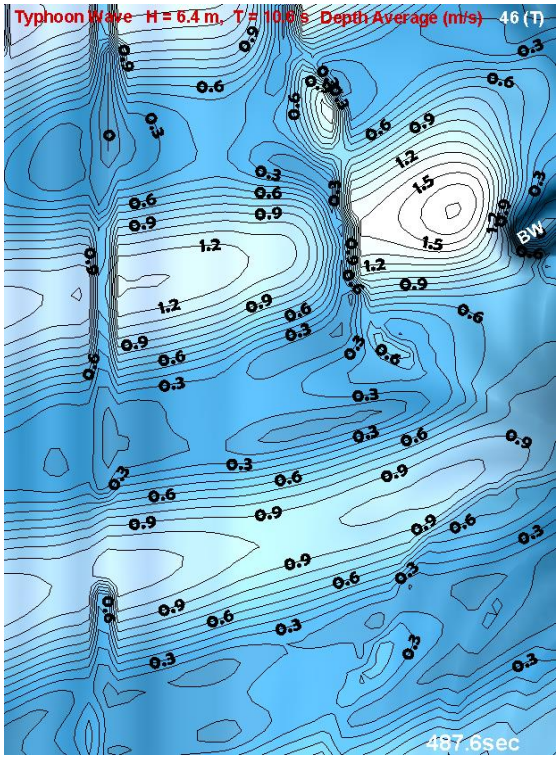



圖 4.77 第 46 周期底床流速分布

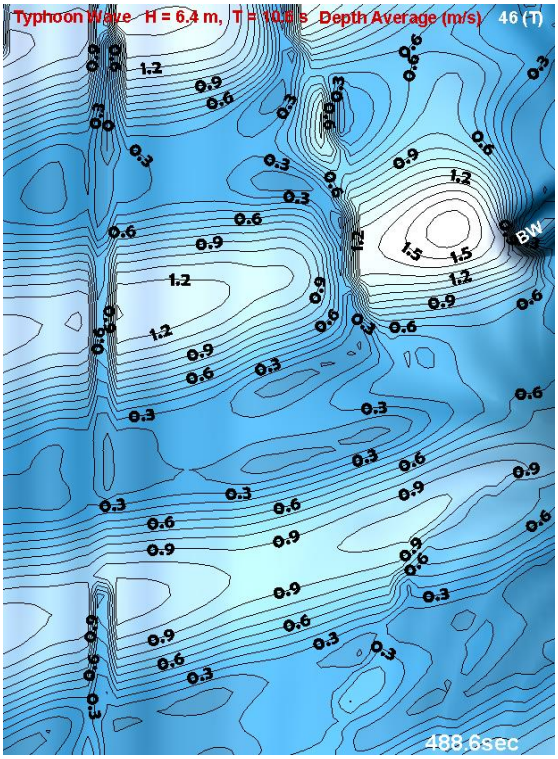



圖 4.78 第 46.1 周期底床流速分布

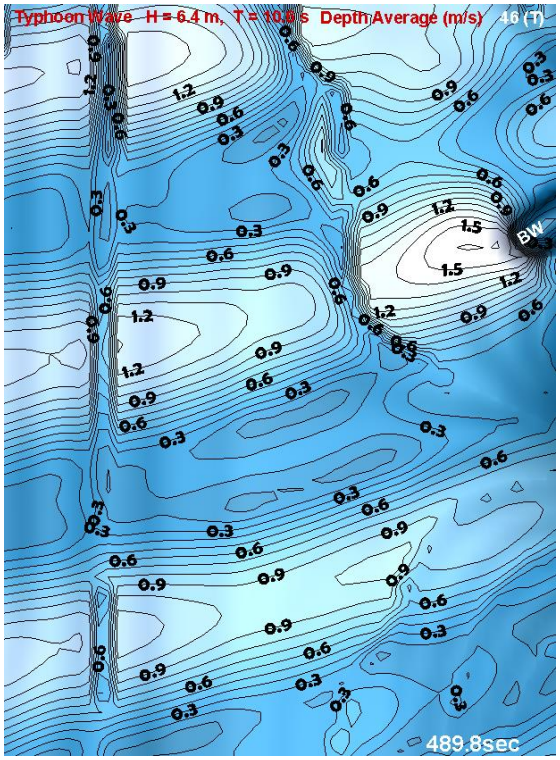



圖 4.79 第 46.2 周期底床流速分布

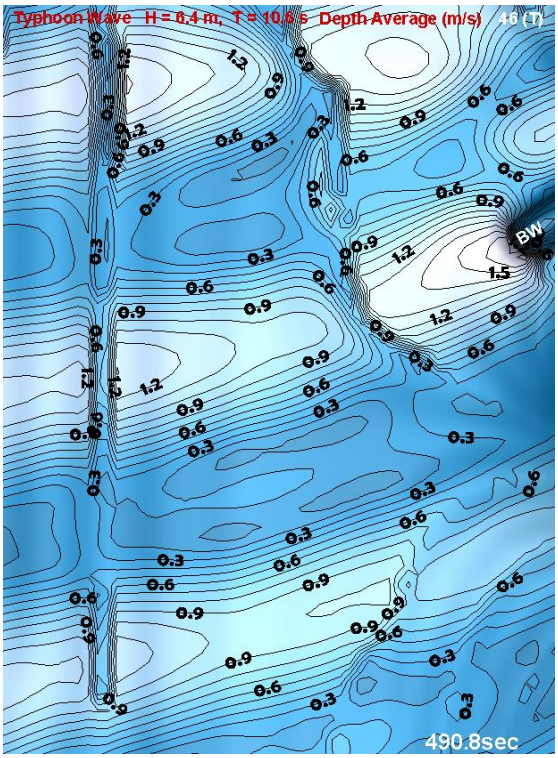



圖 4.80 第 46.3 周期底床流速分布

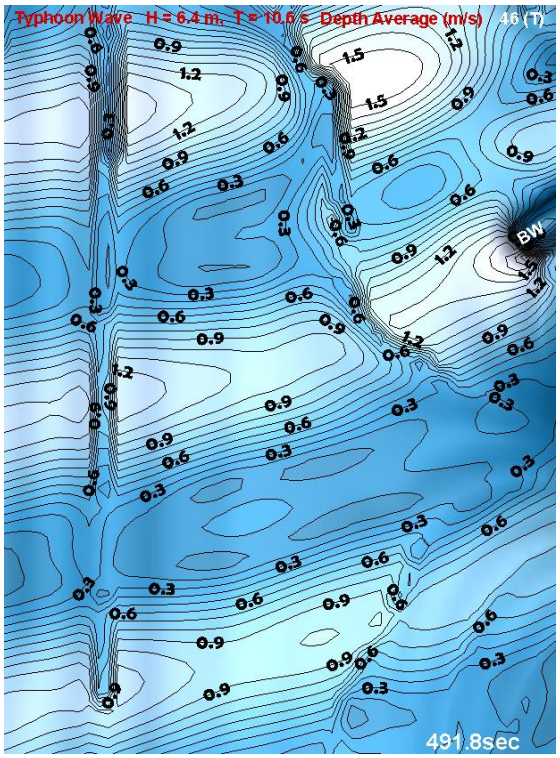



圖 4.81 第 46.4 周期底床流速分布

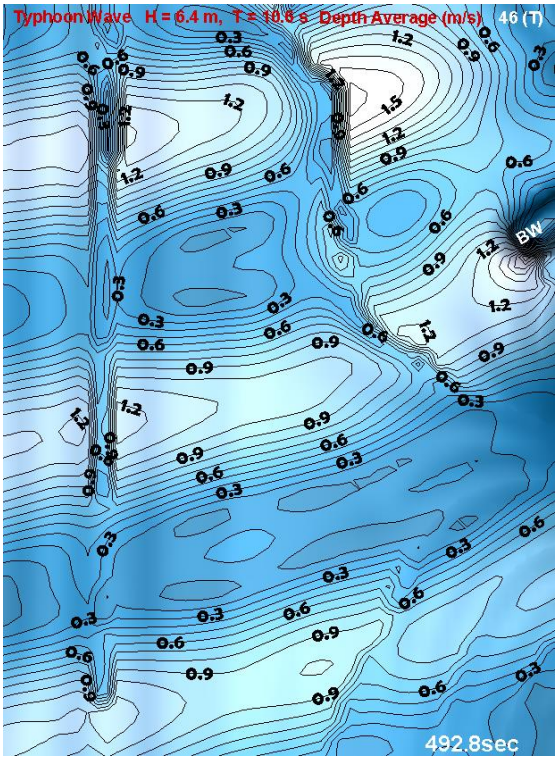



圖 4.82 第 46.5 周期底床流速分布

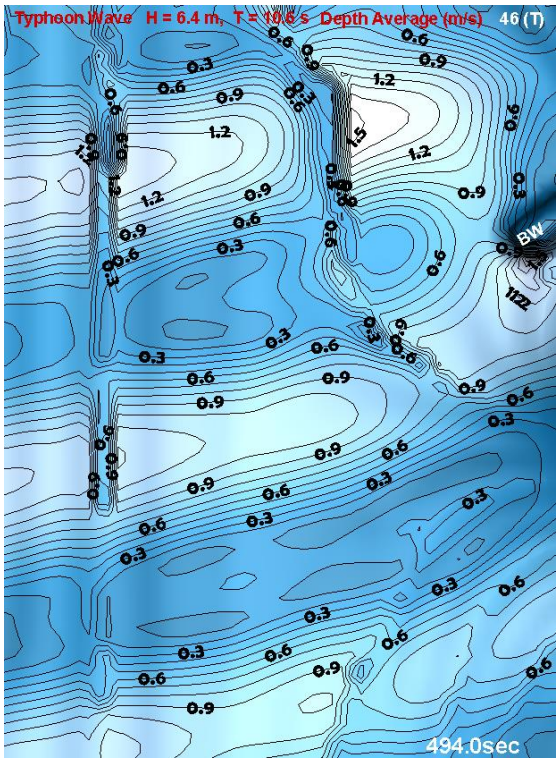



圖 4.83 第 46.6 周期底床流速分布

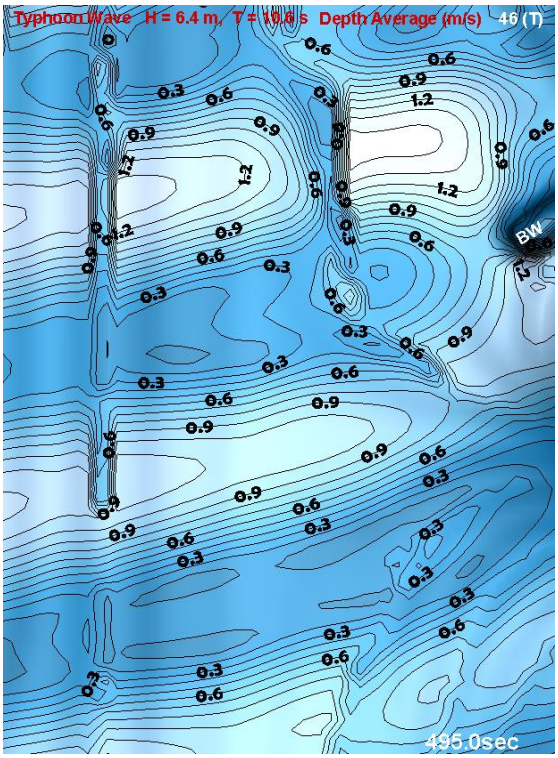



圖 4.84 第 46.7 周期底床流速分布

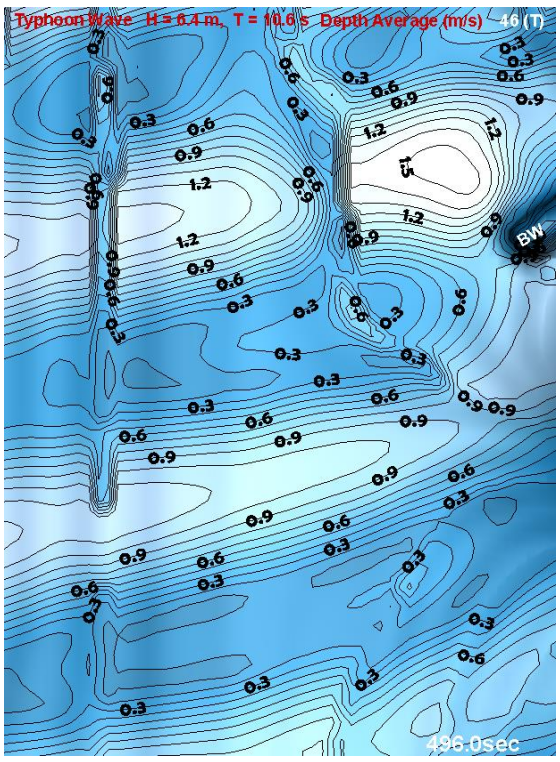



**圖 4.85 第 46.8 周期底床流速分布**

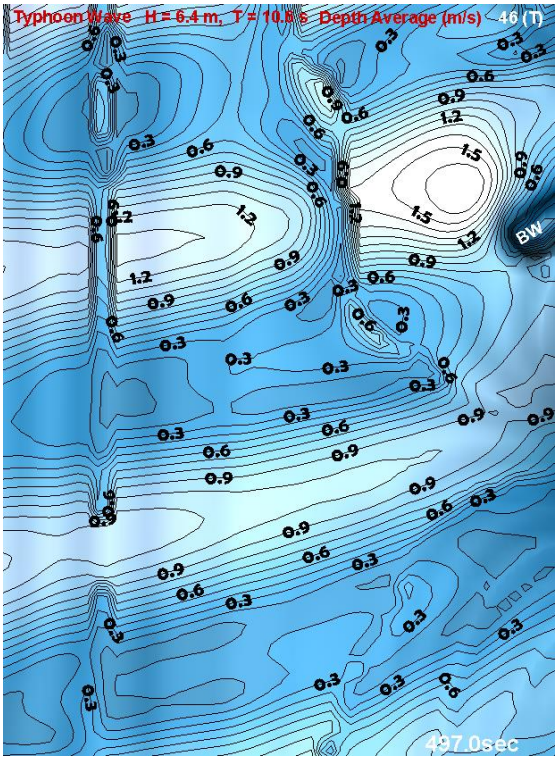



**圖 4.86 第 46.8 周期底床流速分布**

## 二、防波堤堤頭附近海域波場流速與底床變化分析

淘刷區底床流速與高程變化如圖 4.20 所示，底床流速( $\sqrt{u^2+v^2+w^2}$ )介於 0.57 m/s 與 1.51 m/s 之間，淘刷區底床高度約介於-20.32 m 至 -20.45 m 之間。觀察淘刷區底床流速的時序變化顯示本區波場流況不穩定，和淘刷時序的變化顯示正相關，即淘刷曲線趨於平緩時，底床流速相對減小。

為了瞭解極端波浪通過防波堤時的水動力行為是否導致堤頭附近海域底床大幅侵淤變化，因此必須進一步對波場數值計算結果的流向流速加以分析，以淘刷區中心座標[-113 m, -48m，(-1.5 ~ -20.5 m)]，如圖 4.87 所示，分析波場引發流速的變化，顯示東西向流速 u 介於-1.41 m/s 至-0.55 m/s，南北向流速 v 介於-1.47 m/s 至 0.75 m/s，垂直向流速 w 介於-0.43 m/s 至 0.53 m/s，如圖 4.88 所示。其中流速 u 從底床-20.5 m 至水面-1.5 m 共 20 層之流速均呈現負值 (-x)，可以判斷前進波列因為防波堤的遮蔽效應引發西向束縮流，導致防波堤堤頭西側海底產生淘刷現象。

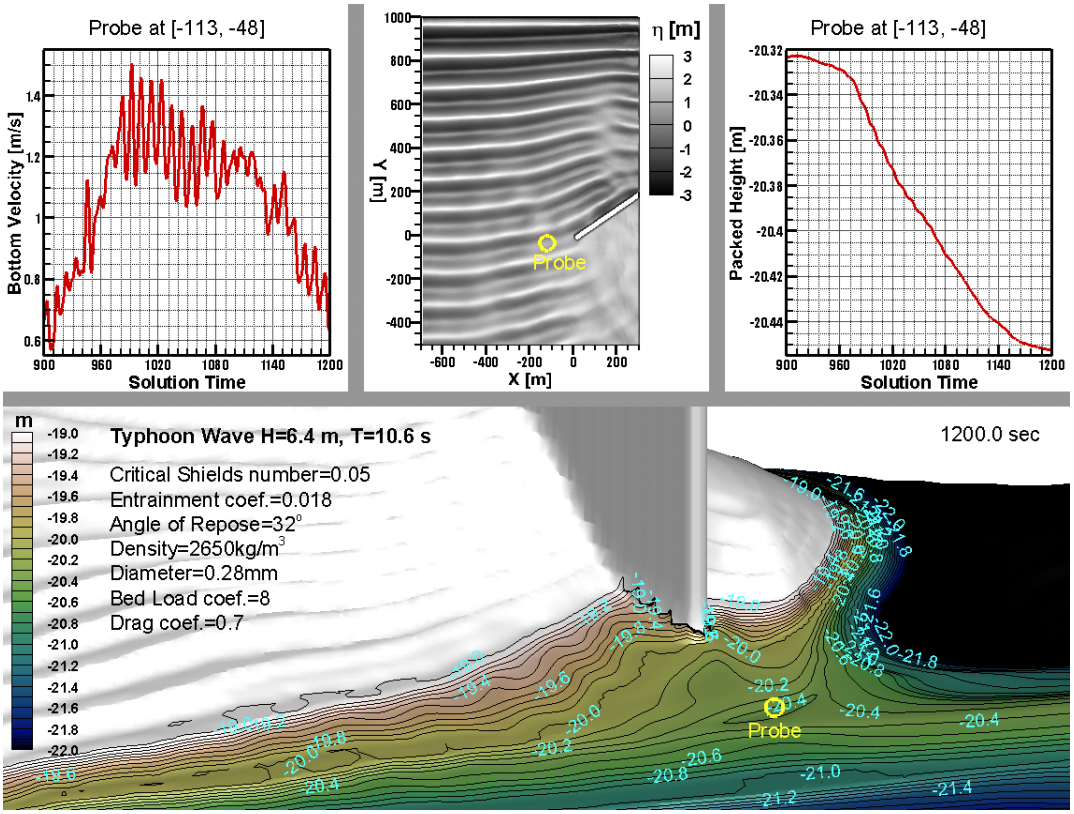



**圖 4.87 淘刷區底床流速與高程變化圖**

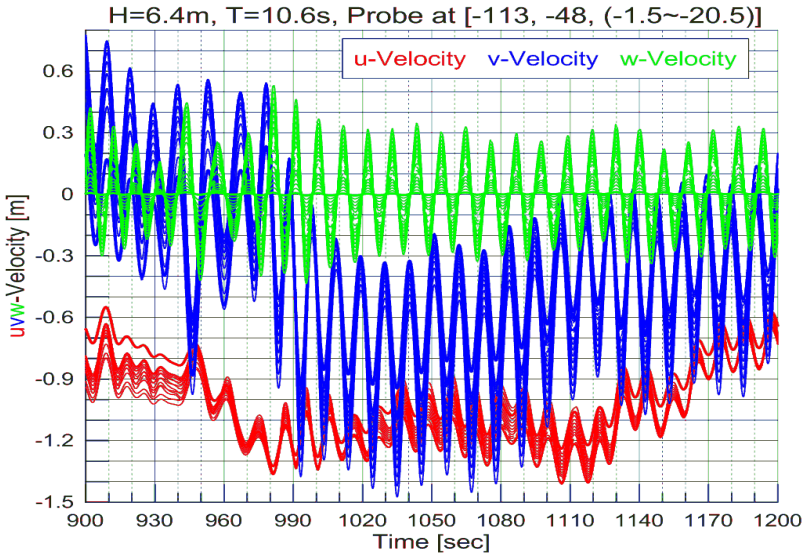



**圖 4.88 淘刷區 20 層流速 u、v、w 時序變化比較圖**

## 三、拉格朗日粒子追蹤波流場

在防波堤堤頭附近佈放流場追蹤粒子，如圖 4.89 所示，其座標分別為 P1[-160, -10, -15]、P2[-110, -10, -15]、P3[-092, -10, -15]及 P4[-060,

-10, -15]等 4 顆，經過 480 sec (約 45 個造波週期) 後，其位置分別為 P1'[-292, -69, -21]、P2'[-212, -73, -17]、P3'[-132, -63, -15]及 P4'[-132, -76, -17]，路徑如圖 4.90 所示，XY 平面、YZ 平面及 XZ 平面之點線分別表示追蹤粒子移動軌跡投影圖。從 P1 至 P1'顯示東西向在同一時間漂移的距離最大，約 132 m。

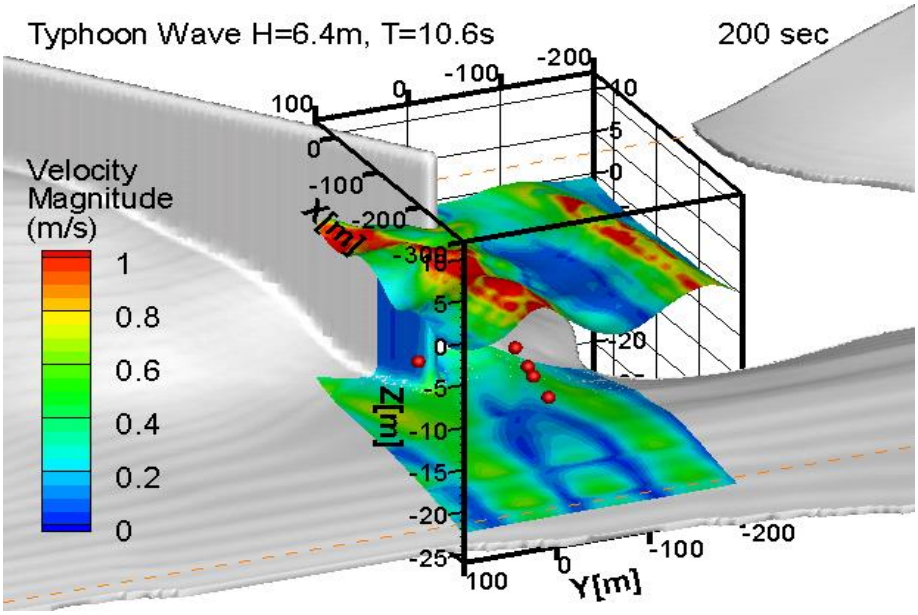



**圖 4.89 拉格朗日粒子追蹤波流場範圍圖**

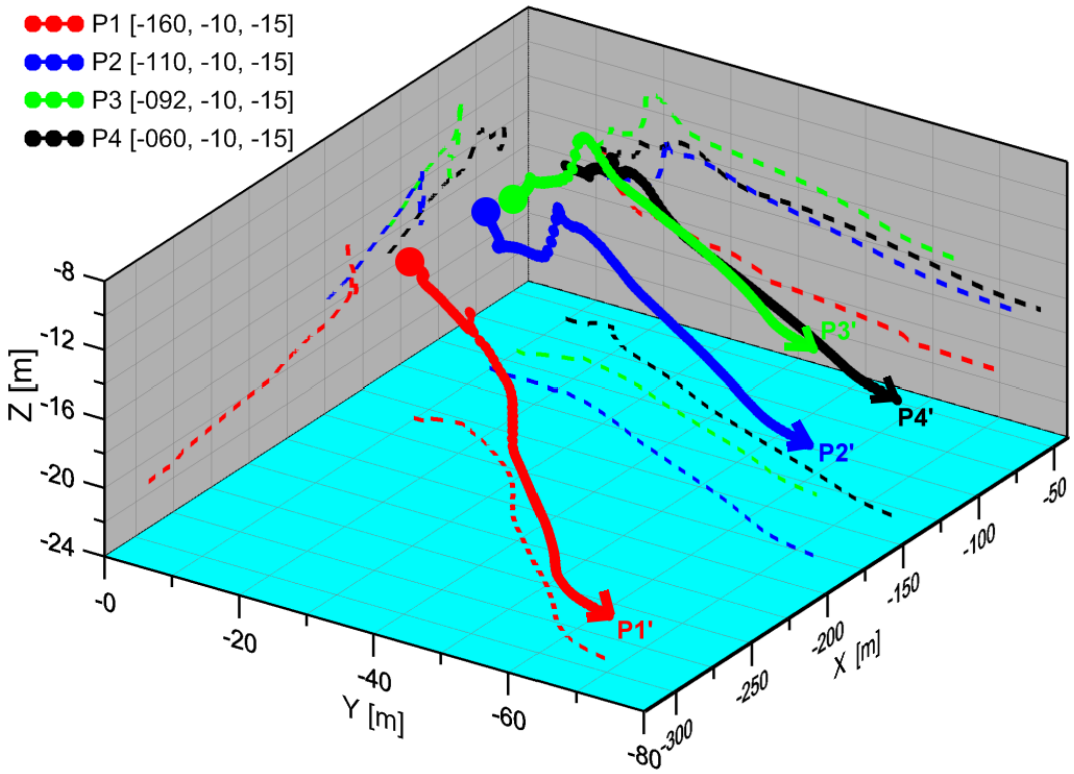



**圖 4.90 拉格朗日粒子追蹤路徑圖**

淘刷區 xz 剖面 (Y = -10 m) 垂直渦流與追蹤粒子關係如圖 4.91 至圖 4.98 所示，追蹤粒子漂離原來的座標，隨著垂直渦流的變化起伏。

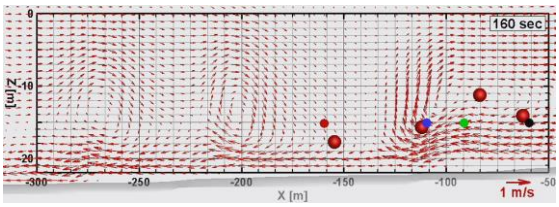



**圖 4.91 第 15 波峰 xz 剖面垂直渦流**

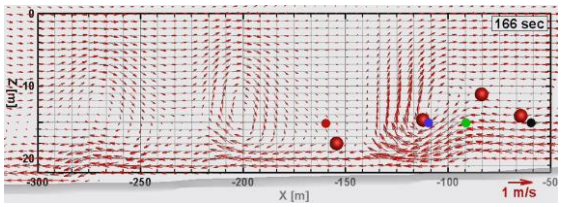



**圖 4.92 第 15 波谷 xz 剖面垂直渦流**

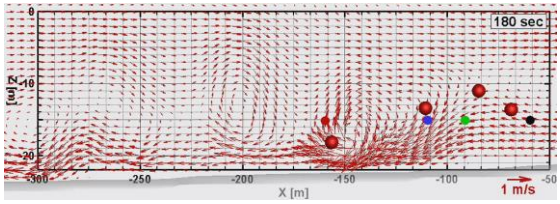



**圖 4.93 第 17 波峰 xz 剖面垂直渦流圖**

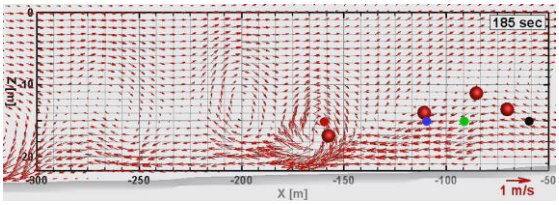



**圖 4.94 第 17 波谷 xz 剖面垂直渦流圖**

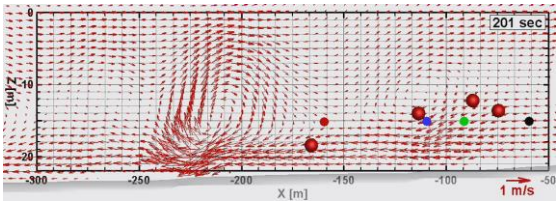



**圖 4.95 第 19 波峰 xz 剖面垂直渦流圖**

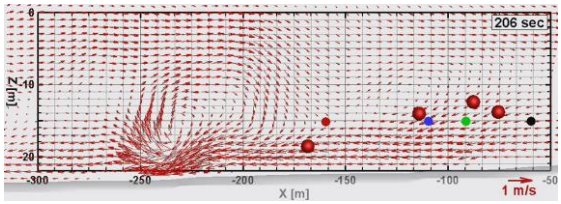



**圖 4.96 第 19 波谷 xz 剖面垂直渦流圖**

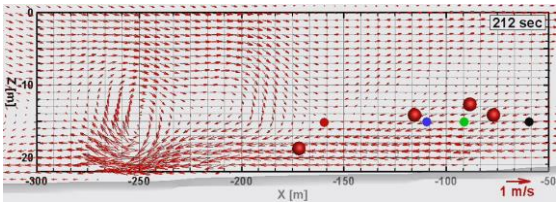



**圖 4.97 第 20 波峰 xz 剖面垂直渦流圖**

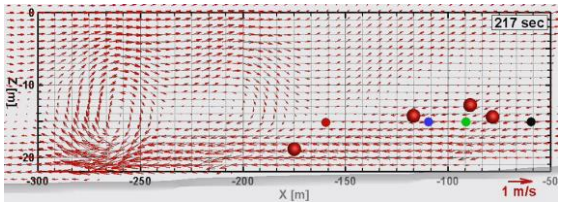



**圖 4.98 第 20 波谷 xz 剖面垂直渦流圖**

淘刷區 yz 剖面 (X = -50 m) 垂直渦流與追蹤粒子關係如圖 4.99 至圖 4.100 所示；淘刷區 yz 剖面 (X = -100 m) 垂直渦流與追蹤粒子關係如圖 4.101 至圖 4.102 所示；淘刷區 yz 剖面 (X = -150 m) 垂直渦流與追蹤粒子關係如圖 4.103 至圖 4.104 所示；淘刷區 yz 剖面 (X = -200 m) 垂直渦流與追蹤粒子關係如圖 4.105 至圖 4.106 所示；追蹤粒子漂離原來的座標，隨著垂直渦流的變化起伏。

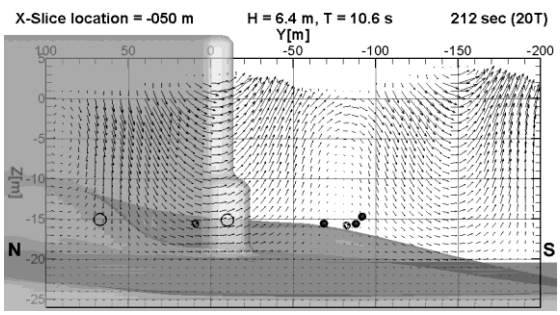



**圖 4.99 第 20 波峰 yz 剖面垂直渦流**

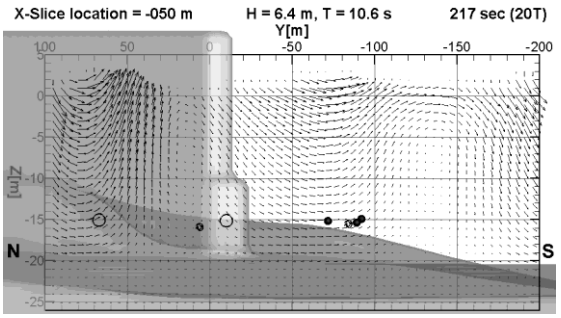



**圖 4.100 第 20 波谷 yz 剖面垂直渦流**

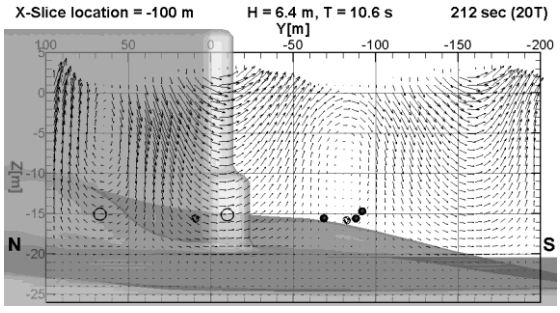



**圖 4.101 第 20 波峰 yz 剖面垂直渦流**

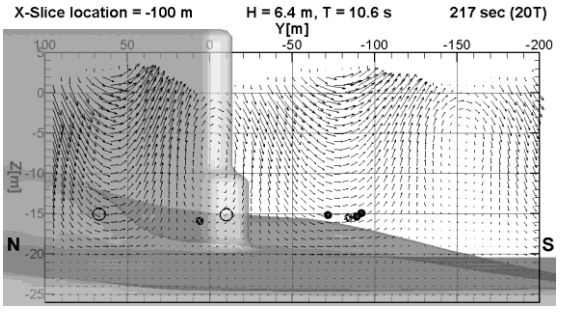



**圖 4.102 第 20 波谷 yz 剖面垂直渦流**

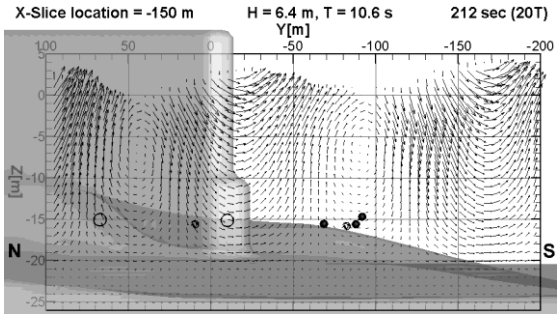



**圖 4.103 第 20 波峰 yz 剖面垂直渦流**

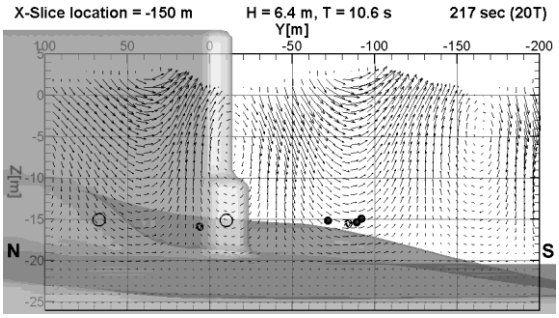



**圖 4.104 第 20 波谷 yz 剖面垂直渦流**

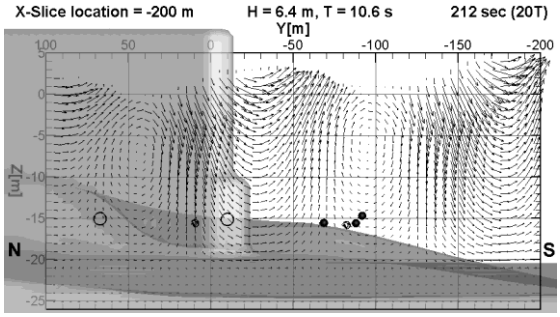



**圖 4.105 第 20 波峰 yz 剖面垂直渦流**

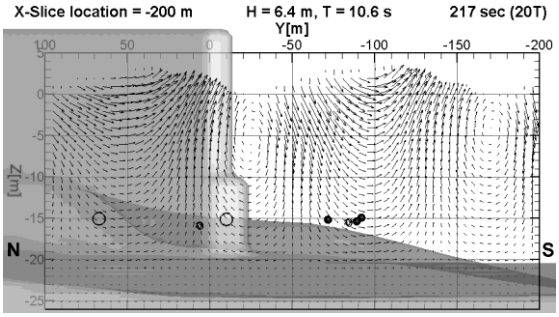



**圖 4.106 第 20 波谷 yz 剖面垂直渦流**

## 四、淘刷區渦度場之分布

分析淘刷區渦度場的分布與變化可以增加了解波場中渦流的生成、發展與消散過程以及渦流的強度規模，紊流場亦可藉由渦度的拉伸與傾斜加以闡述。麥寮港北向入射波浪第 20 造波周期於淘刷區東西向 xz 剖面 (Y= 10 m)處渦度分布如圖.107、圖.108 所示；麥寮港北向入射波浪第 20 造波周期於淘刷區東西向 xz 剖面 (Y= -10 m) 處渦度分布如圖.109、圖.110 所示；麥寮港北向入射波浪第 20 造波周期於淘刷區東西向 xz 剖面 (Y= -20 m) 處渦度分布如圖.111、圖.112 所示。麥寮港北向入射波浪第 20 造波周期於淘刷區南北向 yz 剖面 (X= -100 m) 處渦度分布如圖.113、圖.114 所示；麥寮港北向入射波浪第 20 造波周期於淘刷區東西向 yz 剖面 (X= -150 m) 處渦度分布如圖.115、圖.116 所示;麥寮港北向入射波浪第 20 造波周期於淘刷區東西向 yz 剖面 (X= -200 m) 處渦度分布如圖.117、圖.118 所示。

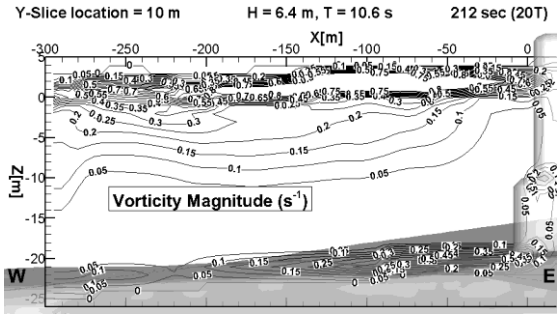



**圖 4.107 Y= 10 m 處第 20 波峰 xz 剖面渦度分布圖**

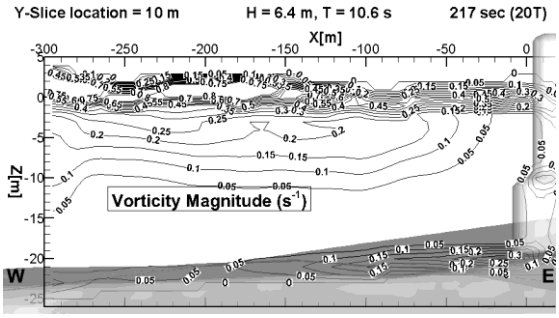



**圖 4.108 Y= 10 m 處第 20 波谷 xz 剖面渦度分布圖**

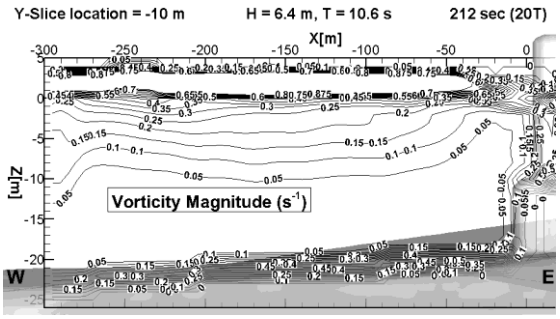



**圖 4.109 Y= -10 m 處第 20 波峰 xz 剖面渦度分布圖**

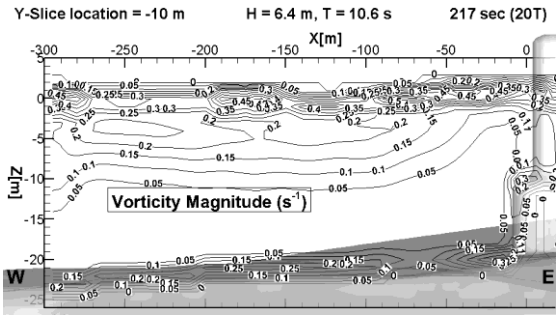



**圖 4.110 Y= -10 m 處第 20 波谷 xz 剖面渦度分布圖**

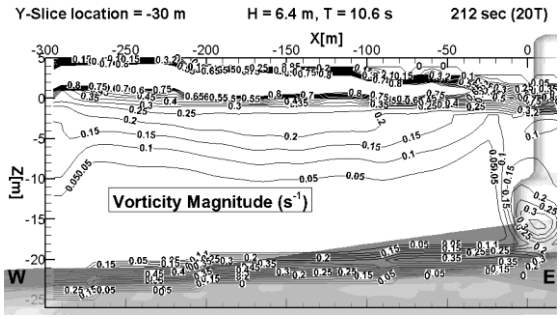



**圖 4.111 Y= -30 m 處第 20 波峰 xz 剖面渦度分布圖**

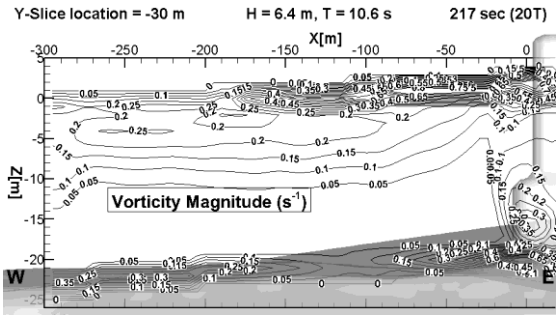



**圖 4.112 Y= -30 m 處第 20 波谷 xz 剖面渦度分布圖**

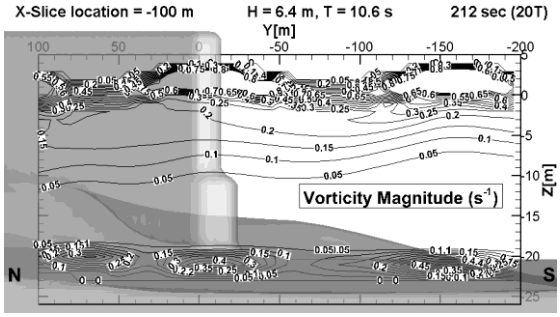



**圖 4.113 X = -100 m 處第 20 波峰 yz 剖面渦度分布圖**

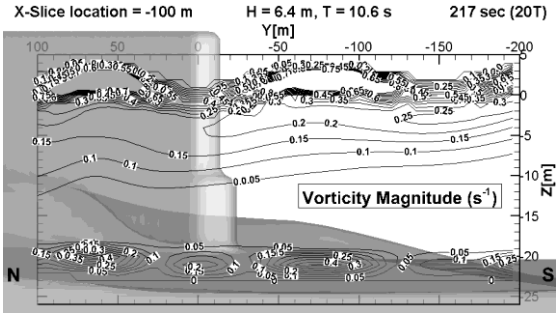



**圖 4.114 X= -100m 處第 20 波谷 yz 剖面渦度分布圖**

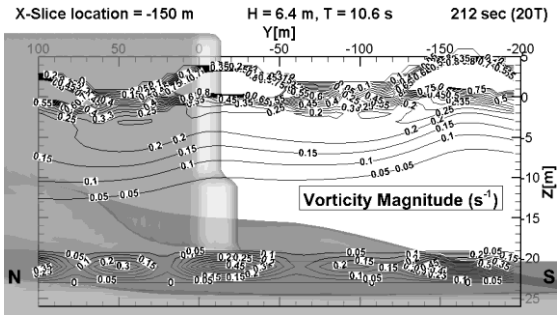



**圖 4.115 X= -150 m 處第 20 波峰 yz 剖面渦度分布圖**

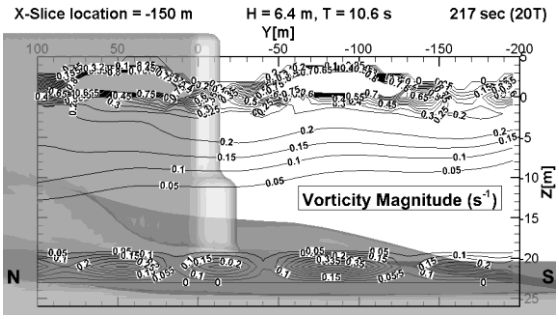



**圖 4.116 X= -150 m 處第 20 波谷 yz 剖面渦度分布圖**

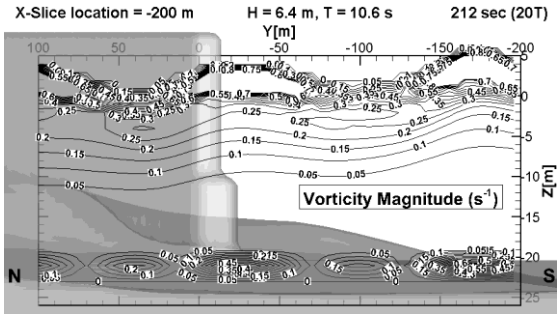



**圖 4.117 X= -200 m 處第 20 波峰 yz 剖面渦度分布圖**

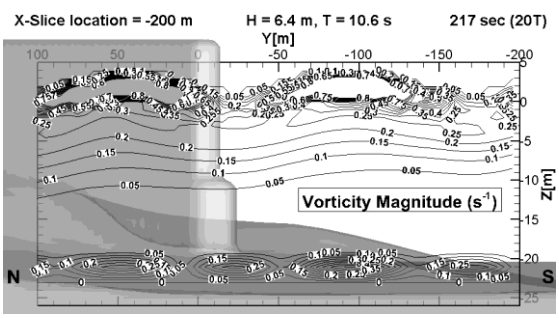



**圖 4.118 X= -200 m 處第 20 波谷 yz 剖面渦度分布圖**

## 五、防波堤頭附近波場底床儭浸淤變化與分布

觀察造波時間 510sec 至 750 sec 之間的底床儭高程淨變化大約介於 0.05 mm 之間，如圖 4.119 至 4.130 所示。左側均呈現一南北等值線，係因該區域海底部分地形呈現南北條狀隆起，數值模擬底床流速的分布係擷取緊鄰底該區域底床邊界層網格之物理量繪製。

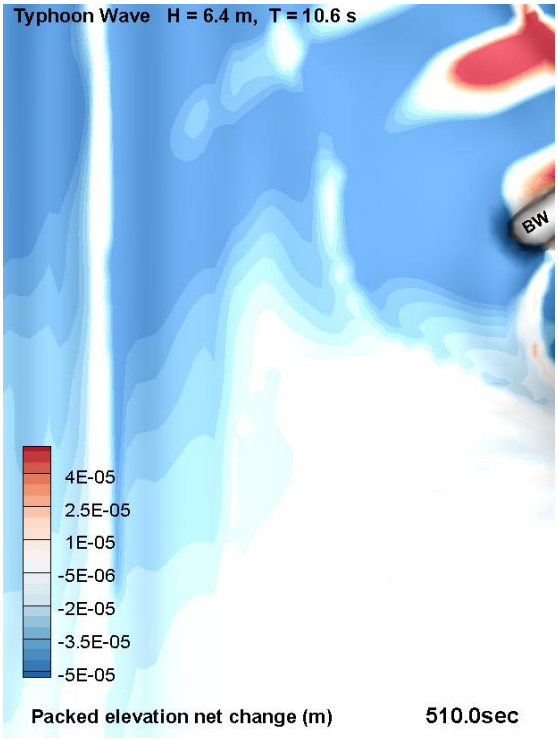



圖 4.119 第 510 sec 底床儭高程淨變化

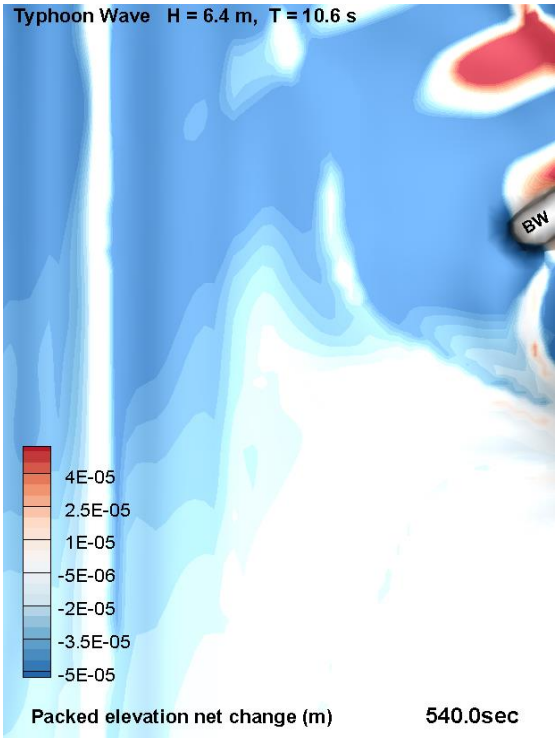



圖 4.120 第 540 sec 底床儭高程淨變化

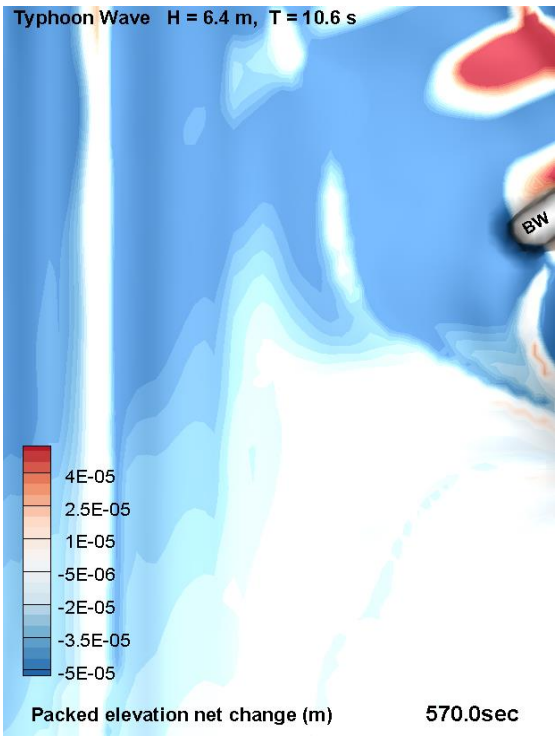



圖 4.121 第 570 sec 底床儭高程淨變化

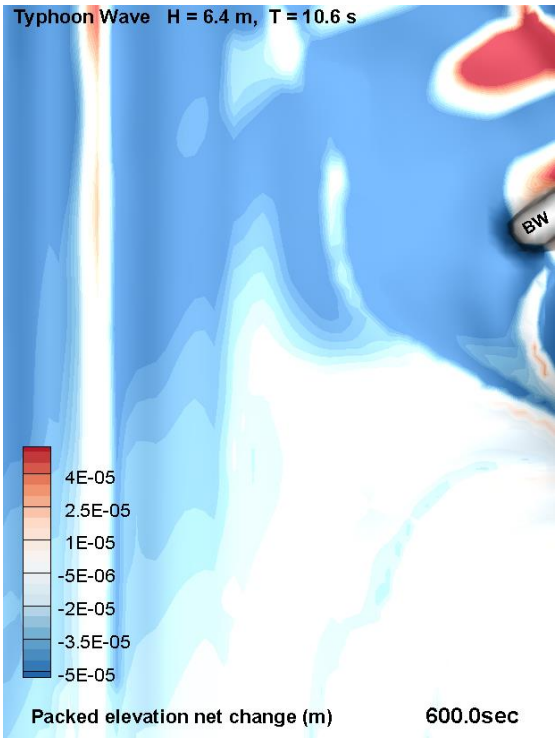



圖 4.122 第 600sec 底床儭高程淨變化

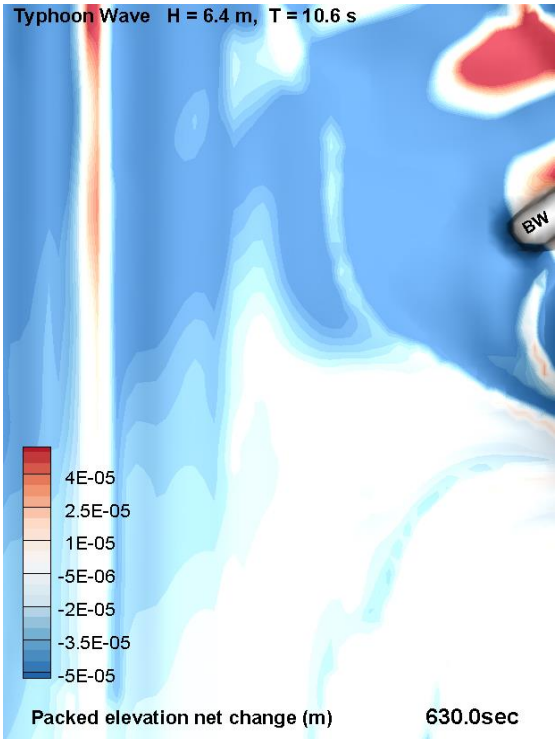



圖 4.123 第 630 sec 底床儭高程淨變化

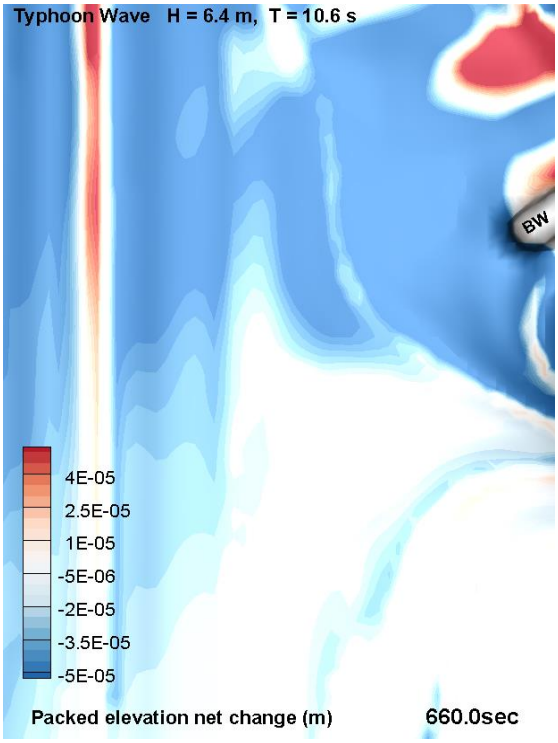



圖 4.124 第 660 sec 底床儭高程淨變化

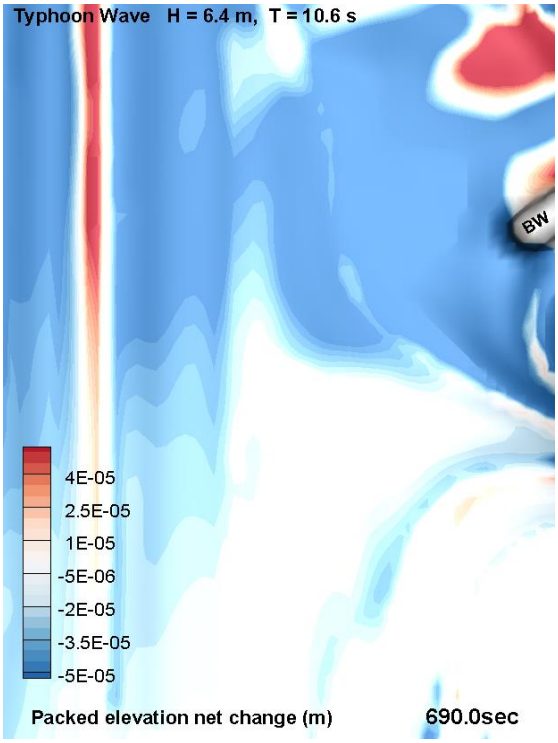



圖 4.125 第 690 sec 底床儭高程淨變化

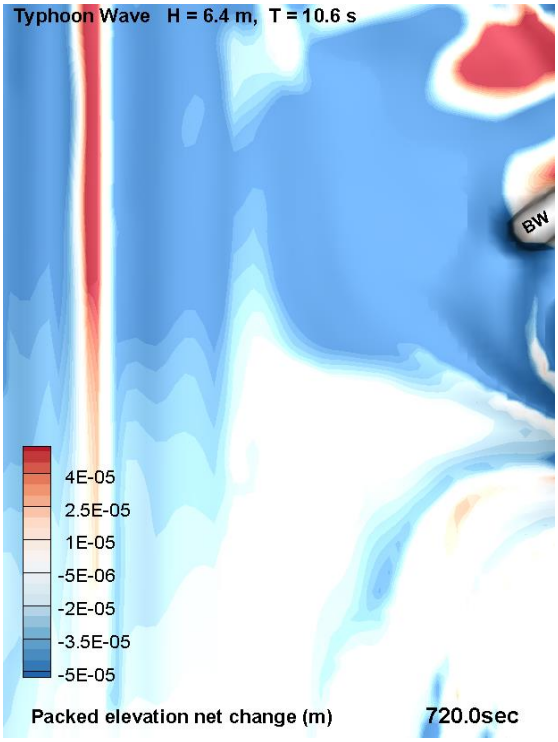



圖 4.126 第 720 sec 底床儭高程淨變化

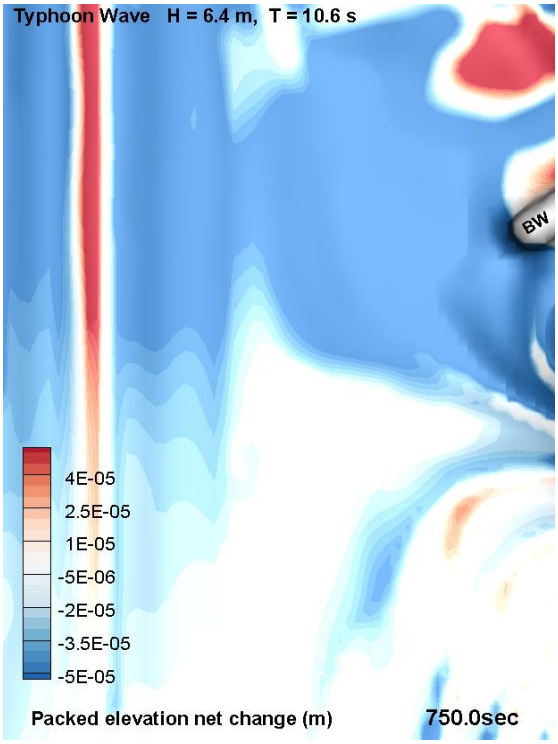



圖 4.127 第 750 sec 底床儭高程淨變化

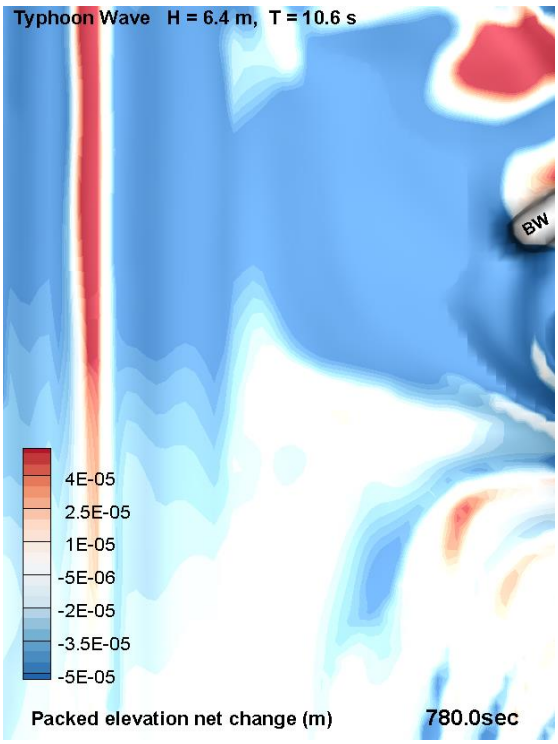



圖 4.128 第 780 sec 底床儭高程淨變化

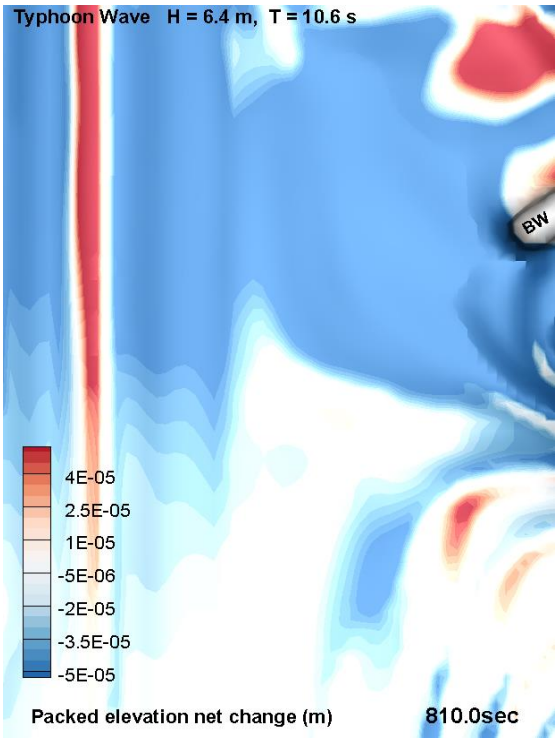



**圖 4.129 第 810 sec 底床儀高程淨變化**

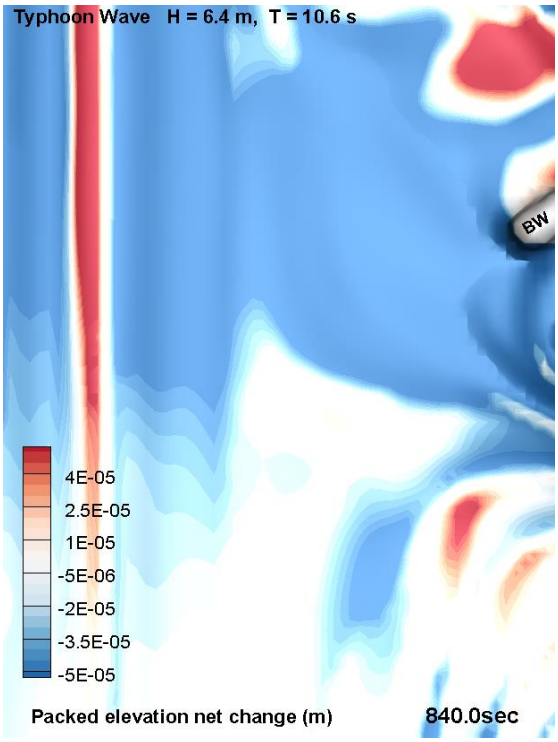



**圖 4.130 第 840 sec 底床儀高程淨變化**

## 4.3 小結

利用 Flow-3D 對麥寮港防波堤堤頭附近海域進行三維動床波場數值模擬，計算範圍 1.5 km × 2.5 km，其底床邊界採用 1996 年實測地形資料；海象條件為 50 年期颱風，設定北側為入射波浪邊界，造波條件設定波高 6.4 m、週期 10.6 sec，模擬時間尺度以海床淘刷區已經顯示淘刷啟動且淘刷率趨於緩和 (約 113 個造波週期) 為考量。以西防波堤堤頭為原點，以北側海域入射波而言，波浪受西防波堤北側阻擋形成反射波，大幅增長了此海域的波高，亦提高了波場下的流速。前進波列因為防波堤的遮蔽效應引發流場西向的束縮流，該速縮流與上下約 0.5m/s 垂直流速形成之垂直方向渦流應該是造成防波提堤頭附近海床淘刷洞的主要原因之一。未來將進一步探討懸浮載與淘刷區穩定的關係，並與水工試驗驗證淘刷區的高程和浸淤量的變化。

# 第五章 波浪作用下堤頭侵蝕水工試驗

針對麥寮港防波堤堤頭掏蝕現況的變化與影響，並釐清掏蝕機制的外力來源，本計畫規劃施行三維水工模型動床試驗。依照麥寮港西防波堤工程設計圖與本計畫取得之實測地形資料，佈置平面防波堤堤頭水工模型。第三年度(104)以波浪作用下為試驗條件，探討波浪作用作用下，麥寮堤頭附近之侵蝕機制分析。試驗條件以單純入射波浪作用為主，觀測波浪分佈與防波堤堤頭流速變化，分析探討在極端波浪條件作用防波堤堤頭下，波浪引發的海流特性，及其對堤頭地形沖蝕的影響。

防波堤堤頭之設計方式，依據國內外之規範要求包括堤腳保護工之重量及範圍估計，堤頭段保護工之重量建議為防波堤平直段之 1.5 倍以上，堤腳保護工之範圍，則建議為 1/4 波長以上之長度，然因堤頭可能面臨之淘刷情形，至今尚無完整之理論或經驗，建議由模型試驗決定之。以臺灣地區之颱風波浪而言，週期可達 10 秒以上，故一般保護工範圍皆達 50m 以上(約兩座沉箱長度)，保護工重量以波高考量時，可以谷本勝利或 SPM 之方式估計之，然於深水防波堤之堤腳受波浪影響較小，實際考量時可能以海流流速為主。

以現況麥寮港而言，100m 內之最大刷深水深為-46m，以 1：3.5 之坡度而言，至堤址水深-26m 約有 70m 之大量侵蝕範圍，由於麥寮西防堤於施工中之臨時堤址保護工亦僅 30m(設計堤頭保護工長度為 55m)，其坑洞斜坡似乎已逼近沉箱，其安全性需深入評估。堤頭保護長度在設計規範中以波場考量為主，而流場因素則未有詳實之建議，因此，有關深水防波堤之堤頭保護工所需之範圍，實有進一步規範之必要。

## 5.1 試驗設備與儀器

1. 試驗水槽與造波機

水工試驗於國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系海洋工程綜

合實驗室之平面試驗水池進行(如圖 5.1 所示)，水槽長 40 公尺、寬 25 公尺、深 1 公尺，具備自走式台車以便於實驗觀察與量測儀器架設 (如圖 5.2 所示)。造波系統由兩部活塞式造波機所構成，每部機組之造波板長 5 公尺、高 1 公尺，造波機組可單獨運作亦可同步操作 (如圖 5.3 所示)。造波控制系統包含電腦軟硬體、訊號收發單元、液壓驅動器等。此平面水槽備有兩部 125HP 之水渦輪機(如圖 5.4 所示) ，具造流能力可模擬潮流或結構物與波流之交互作用。



**圖 5.1 海洋工程綜合實驗室**



**圖 5.2 水槽及自走式台車實景**



**圖 5.3 活塞式造波機**



**圖 5.4 造流水渦輪機**

2. 流速計

流速量測方式可分為接觸式與非接觸式，接觸式有皮託管、螺槳、熱線流速儀、電磁流速儀(ACM)和超音波都普勒流速儀(ADV)等，非接觸式有雷射都普勒流速儀(LDV)及粒子影像測速系統

(PIVPTV)等[1]。依量測目的及實驗條件選擇量測方式，本試驗使用二維電磁式流速儀及三維超音波都普勒流速儀，二維電磁式流速儀為日本 ALEC 公司製造之 ACM250-A 型流速計(如圖 5.5)，可量測二維方向，量測流速範圍為±250cm/sec (可分三段選擇為±25cm/sec、±50cm/sec、±250cm/sec)，精確度為所選定量測範圍之±2%，反應頻率可選擇為 0.05sec、1.0sec、5.0sec。

[1]經濟部水利署水利規劃試驗所，「水工模型試驗參考手冊」，民國 100 年 12 月。



**圖 5.5 二維電磁式流速儀**

三維超音波都普勒流速儀為 NORTEK 公司製造之超音波都普勒點式流速計(如圖 5.6)，可量測三維方向，量測流速範圍為±250cm/sec (可分五段選擇為±3cm/sec、±10cm/sec、±30cm/sec、、±100cm/sec、±250cm/sec)，精確度為所選定量測範圍之±2%，反應頻率可選擇為 0.1 ~ 25 Hz。於試驗進行時測量防波堤堤頭的流速變化狀態，用比對流場對於底床的影響量。

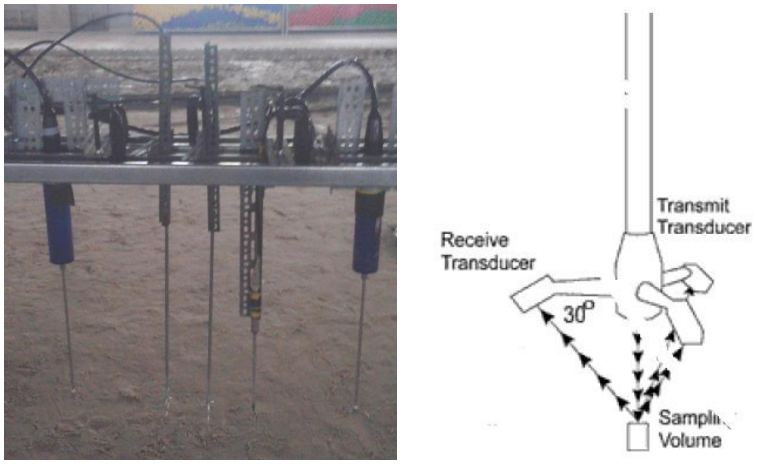



**圖 5.6 超音波都普勒流速儀(藍色)及量測方式**

3. 波高計

水位變化之測定乃採用電容式波高計 (如圖 5.7)，每組波高計含感測線、電容計及訊號產生器三部份，感測線是由鐵氟龍電線（PTFE）及電極形成一電容迴路，並隨水位面的起伏變化，感應產生電壓變化，藉由電容計檢測電容之變動，轉換成線性類比式訊號。波高量測精度可達額定輸出的 0.3 % 以內。藉由 12bit ADC 轉換數位化訊，最小刻度可達 0.15 公釐。儀器主要架設於造波機前及防波堤堤頭鄰近區域。



**圖 5.7 波高計及資料擷取系統**

4. 三維超音波都普勒流速資料擷取系統

利用登昌恆興業股份有限公司生產之 UT300 RC-232 擴充卡透過兩組 RS-232 DB 9-pin 連接埠以 16 byte FIFO 雙向 230kbps 資料傳輸率與 NORTEK 三維超音波都普勒流速儀溝通，軟體採用 NORTEK 研發之訊號收集程式，試驗系統以 25 Hz 之取樣率記錄各測點流速資料。

5. 二維電磁式流速儀及水位訊號資料擷取系統

訊號記錄系統採用美商國家儀器股份有限公司(NI)生產之 PCI-6225 類比／數位轉換卡搭配其 SCA-68A 抗躁端子台，能提供 16 bit 解析度、40 差分通道共達 1.25MS/s 的取樣率(如圖 5.8 所示)，資料擷取與訊號分析使用自行撰寫之 LabView 程式，此系統以 100 Hz 之取樣率記錄各測點資料。。

6. 地形變化量測系統

量測系統採用 Hokuyo URG-04LX-UG01，其使用半導體二極管雷射(λ=785nm)，雷射安全等級 class 1，搭配滑軌、分度盤及線性步進馬達架設於自走式台車上，實驗時移動至量測區上方測量地形高程變化(如圖 5.9 所示)，系統以 10 Hz 之取樣率記錄資料。。



**圖 5.8 試驗用訊號擷取系統**

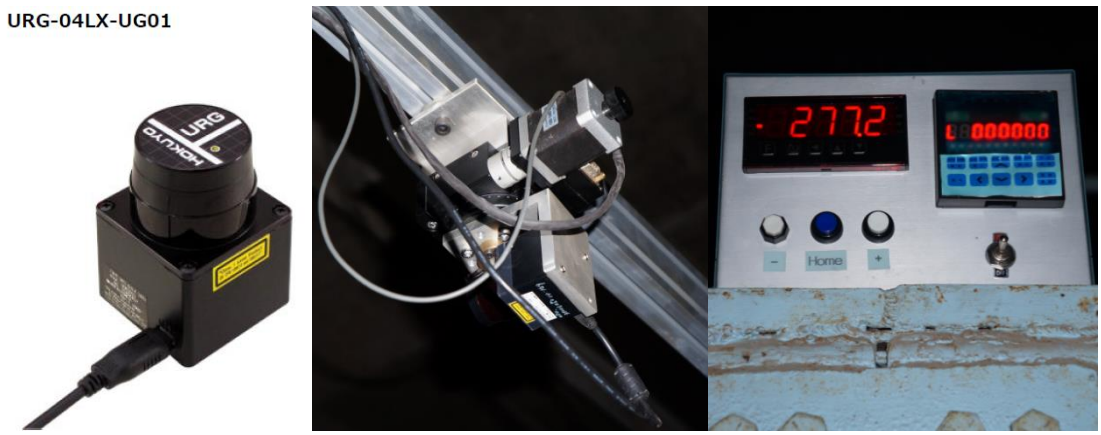



**圖 5.9 雷射測距儀及地形量測系統架設圖**

## 5.2 試驗條件與試驗比尺

1. 試驗地形規劃

為了重現麥寮港西防波堤興建前的地形特性，使得試驗結果可與現場觀測結果及數值模擬結果相互比較驗證，本試驗防波堤堤頭附近的初始地形設計以實測麥寮港西防波堤地形平滑化砂質動床為主。

動床試驗以麥寮港作為防波堤堤頭流場特性觀察區域，依照民國 89 年實測地形為初始地形在實驗平面水槽進行模型鋪設如圖 5.10，將 N-S 向置於水槽長軸以增加穩定量測時間，民國 89 年麥寮西三防波堤已完工，堤頭沉箱斷面、護基方塊及消波塊設計如圖 5.11，民國 103 年實測之防波堤堤頭附近消波塊佈置如圖 5.12，參考前述資料進行模型鋪設。

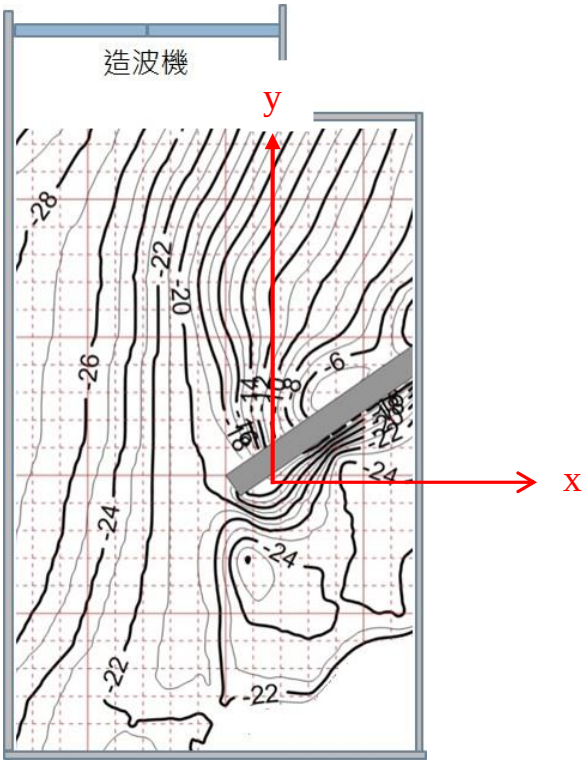



**圖 5.10 地形模型鋪設圖**

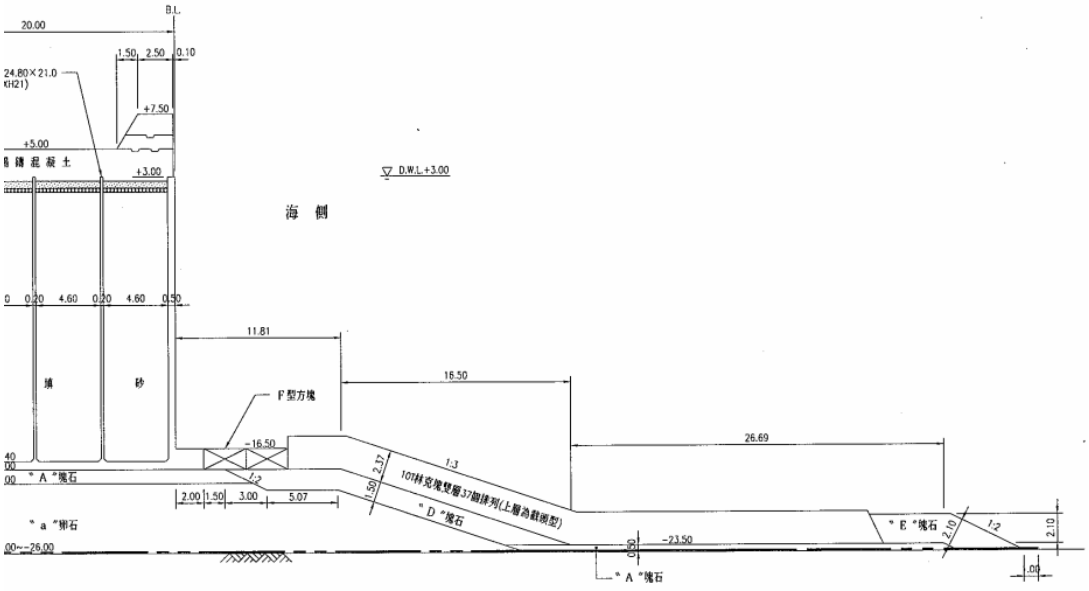



**圖 5.11 麥寮西防波堤堤頭沉箱斷面圖(朱等人，2002)**

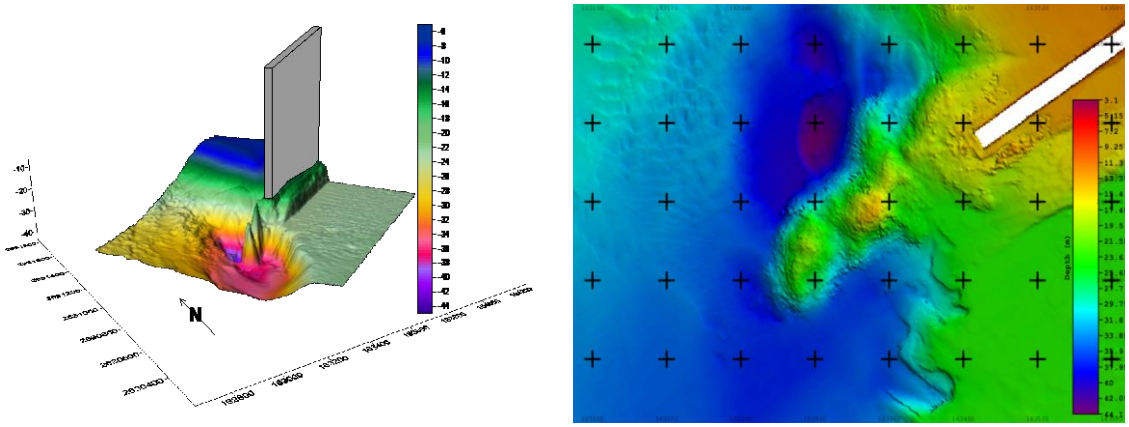


**圖 5.12 麥寮工業港西防波堤堤頭附近水深及消波塊布置色階圖(103)**

2. 潮位條件

季風浪造波時，試驗設計潮位採用平均潮位(+0.35m)；颱風浪造波時，試驗設計潮位採用大潮平均高潮位(+2.10 m)為基準。

3. 波浪條件

經過統計文獻的資料，本計畫試驗區域的季風波浪使用四湖測站(THL2B)民國 90 至 102 年之 1 月份 N 向波浪條件，$H_{1/3}$=2.65m，$T_{1/3}$=6.32sec。颱風波浪條件使用麥寮港外海推算 100 年重現期之 N 向波浪條件，$H_{1/3}$=6.4m，$T_{1/3}$=10.6sec，經淺化公式推算於水深 56.25m 時波高為 6.1m。

4. 底質條件

根據內政部土地測量局彰雲區潮間帶地形測繪計畫工作總報告書[2](民國 95 年 12 月)之底質採樣調查，由員林大排至北港溪出海口共 10 站，測站座標如表 5.1，相關位置如圖 5.13，其依照 ASTM 篩號分類標準計算出底值粒徑分布統計如表 5.2，雲彰附近海域之有效粒徑($D_{10}$)介於 0.0071mm ~0.1656mm 之間，中值粒徑($D_{50}$)介於 0.0104mm~0.2905mm 之間，平均粒徑($D_m$)則介於 0.0112mm~0.2807mm 之間，依 ASTM 分類標準定義，彰化雲林海域皆介於細沙至淤泥之間。

麥寮港北側鄰近濁水溪口水深-2m 之 5 號測站 $D_{50}$=0.0104mm 為淤泥，麥寮港北側水深-23m 之 6 號測站 $D_{50}$=0.2839 mm 為細沙，而麥寮港南側水深-1.5m 之 7 號測站 $D_{50}$=0.2125mm，水深-11m 之 8 號測站 $D_{50}$=0.2794mm 均為細沙，更往南側水深-10m 之 10 號測站 $D_{50}$=0.2905mm，鄰近北港溪口水深-2.5m 之 9 號測站 $D_{50}$=0.1121mm 屬極細砂。資料顯示鄰近河川出海口之淺水區底質為淤泥或極細砂，而麥寮港附近水深-10m 以上之測站底質 $D_{50}$ 介於 0.2794mm~0.2905mm 之間。

**表 5.1 底質採樣位置座標[2]**

| 編號 | TWD97坐標系統 | | | | 高程(m) |
|---|---|---|---|---|---|
| | 縱坐標 | 橫坐標 | 緯度 | 經度 | |
| 1 | 2660871.741 | 185808.030 | 24°03.0905' | 118°22.1295' | -2.5 |
| 2 | 2662594.394 | 182195.926 | 24°04.0147' | 118°19.9938' | -12 |
| 3 | 2649111.418 | 178297.822 | 23°56.7002' | 118°17.7338' | -2.5 |
| 4 | 2650848.978 | 174654.461 | 23°57.6314' | 118°15.5809' | -15 |
| 5 | 2636728.767 | 168915.505 | 23°49.9652' | 118°12.2447' | -2 |
| 6 | 2638422.908 | 164587.704 | 23°50.8694' | 118°09.6901' | -23 |
| 7 | 2620888.288 | 163745.478 | 23°41.3677' | 118°09.2555' | -1.5 |
| 8 | 2622009.720 | 159848.115 | 23°41.9624' | 118°06.9587' | -11 |
| 9 | 2603638.095 | 159810.531 | 23°32.0097' | 118°07.0034' | -2.5 |
| 10 | 2604495.866 | 155835.566 | 23°32.4608' | 118°04.6646' | -10 |

**表 5.2 底質採樣調查之底床粒徑分布統計[2]**

| 樣本編號 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 有效粒徑 D10 | 0.1573 | 0.0106 | 0.1566 | 0.0117 | 0.0071 | 0.1656 | 0.1500 | 0.0115 | 0.0774 | 0.1501 |
| D25 (mm | 0.1791 | 0.0196 | 0.1761 | 0.0170 | 0.0086 | 0.2050 | 0.1710 | 0.0399 | 0.0889 | 0.2035 |
| 中值粒徑D50 (mm) | 0.2224 | 0.0894 | 0.2143 | 0.0731 | 0.0104 | 0.2839 | 0.2125 | 0.2794 | 0.1121 | 0.2905 |
| D60 (mm | 0.2425 | 0.1033 | 0.2318 | 0.0866 | 0.0112 | 0.3185 | 0.2318 | 0.3428 | 0.1229 | 0.3214 |
| D75 (mm | 0.3040 | 0.1284 | 0.2780 | 0.1111 | 0.0159 | 0.3785 | 0.2881 | 0.4760 | 0.1413 | 0.3740 |
| 平均粒徑Dm (mm) | 0.2296 | 0.0608 | 0.2189 | 0.0517 | 0.0112 | 0.2803 | 0.2187 | 0.1745 | 0.1121 | 0.2807 |
| 均勻係數 Cu | 1.5423 | 9.7438 | 1.4801 | 7.3911 | 1.5770 | 1.9231 | 1.5446 | 29.9058 | 1.5892 | 2.1414 |

5. 試驗比尺

模型試驗乃是指於適當條件下，依循相似準則（simulated criteria）考慮比例縮尺，作成可代表原型物理機制之模型體，而後再行利用試驗模擬原型之現象，比例推算原型之動力機制與運動狀態，並建

構成物理分析預測模式。因水工模型試驗之模擬複雜而繁瑣，為使模型試驗結果能與實際現象相符，試驗過程中，須符合與原型相同之物理準則，同時亦須儘量使模型易於控制及觀測。一般而言，可代表原型物理機制之模型試驗必須滿足：幾何相似性、運動相似性及動力相似性。

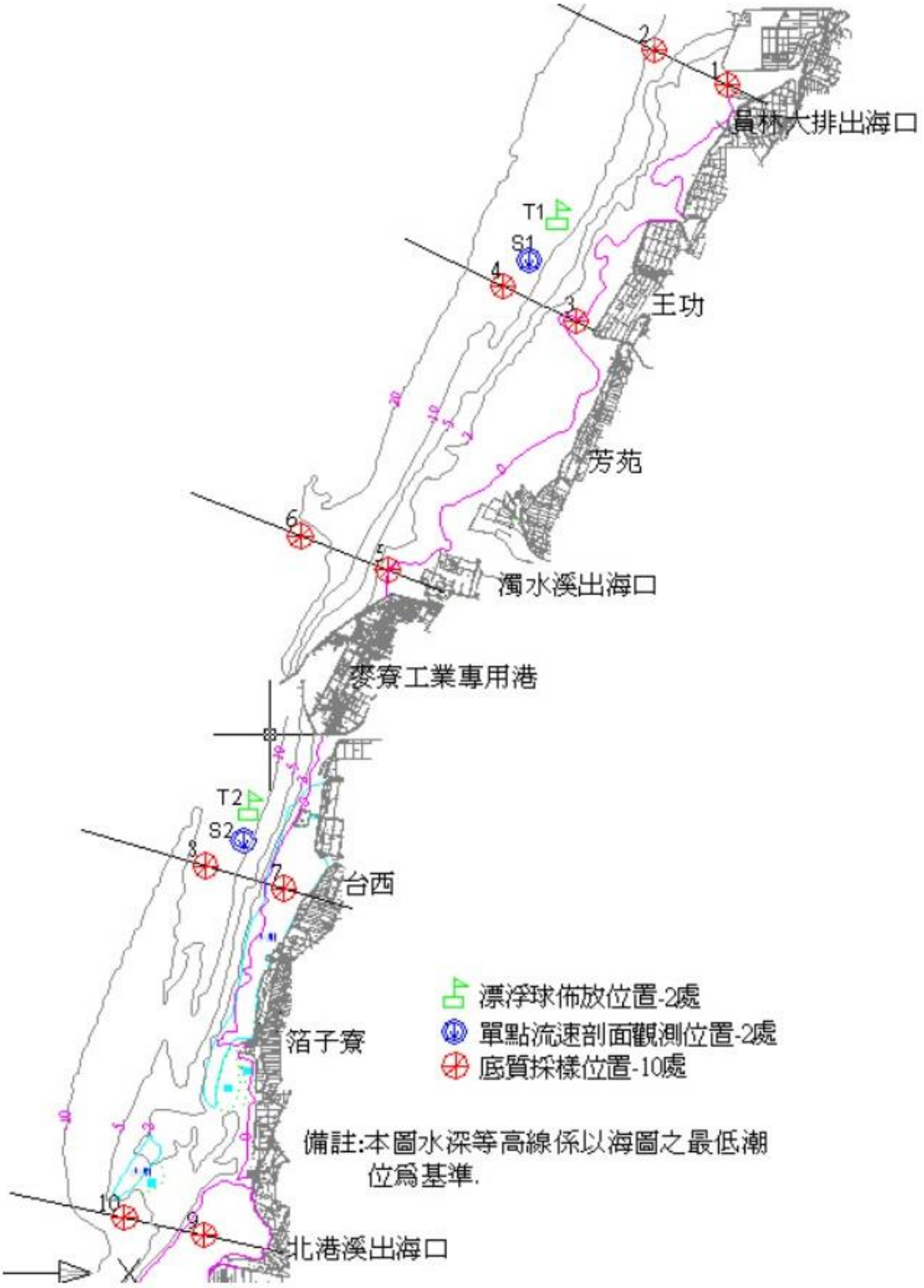



**圖 5.13 底質採樣及流況觀測位置圖[2]**

在模型製作時，由於場地限制及模型水深不宜過小的條件下，除了等比模型外，採用不等比模型是有其必要的時機。本試驗之波、流場量測，參考「水工模型試驗參考手冊」，因引起波高變化之因素有水深、折射、繞射及反射，前二者是水深變化對波浪之影響，後二者是波浪行進遇構造物之阻擋時所發生之變形，此四種現象若同時為研究之對象時，模型之垂直與水平縮尺仍必須相同。由於涉及表面重力波，流場所受之外力以重力為主，其餘如粘滯力、表面張力等諸力影響較小，故採用福祿定律(FroudeModel Law)來決定波、流場試驗之模型縮尺。福祿數如下所示：

$$N_F = \frac{V}{\sqrt{gL}}$$

福祿數相等，亦即模型慣性力與重力之比值，必須與原型慣性力與重力之比值相等，福祿定律如下所示：

$$\lambda_{N_F} = \lambda_v / \sqrt{\lambda_g \lambda_L} = 1$$

流速比尺：由於福祿數中重力場不變條件下，原型與模型之重力大小相同($\lambda_g = 1$)，故可改寫福祿定律為：

$$\lambda_v = \sqrt{\lambda_L}$$

即模型流速比尺為幾何比尺之 1/2 次方倍。

時間比尺：時間為幾何距離除以流速，即下式所示：

$$\lambda_T = \lambda_L / \lambda_v = \lambda_L^{1/2}$$

即模型時間比尺為幾何比尺之 1/2 次方倍。本試驗模型比尺在波、流場量測時採用長度比尺($\lambda$)為 1/100，由長度比尺換算其他物理量之縮尺比如表 5.3 所示。

漂砂運動的模型相似律需須同時滿足流體與底質的運動相似特性。因此，在設計動床試驗比尺時，底床移動觀測變數與特性探討

重點，將會影響模型律準則的選定。

**表 5.3 波、流場試驗模型各物理量之縮尺比**

| 物 理 量 | 縮 尺 比 |
|---|---|
| 長 度 | $\lambda = 1/100,$ |
| 時 間 | $\lambda_t = 1/\sqrt{100} = 1/10$ |
| 速 度 | $\lambda_v = 1/\sqrt{100} = 1/10$ |
| 密 度 | $\lambda_\rho = 1/1$ |

單純波浪作用下，Fan and LeMehaute (1969) 與 Noda (1972) 皆曾建議符合底質運動條件模型相似律的準則，則波浪的波高與週期比尺為

$$\lambda_{H=}\lambda_L \quad ; \quad \lambda_{T=}\sqrt{\lambda_L}$$

Sato and Ozasa (1978) 並建議漂砂時間比尺的推算方法。經由比較數次試驗的海岸線變化與現場實測結果的差異，計算差異值的標準差與試驗時間的迴歸函數，決定漂砂時間比尺 ($\lambda_{ts}$)。此決定漂砂時間比尺的程序一般稱為預備試驗。

實際海工動床模型試驗根據試驗範圍、試驗場地之大小與造波機設備功能的限制等來決定適當之水平比尺。垂直比尺方面，若縮尺太小，則水深與波高等物理量幾乎小到無法模擬，故以動床漂砂試驗而言，一般皆以不等比模型考慮之，此時三維幾何比尺 $\lambda_x = \lambda_y \neq \lambda_z$，也就是水深方向的比尺不同於水平方向；一般定義水平比尺為 $\lambda_x = \lambda_y = \lambda_L$，而水深方向比尺定義為 $\lambda_z = \lambda_h$。考量等比與不等比模型時，可能在物理機制上會產生不同的現象，包括不等比後之底床坡度變陡、底床粗糙度變大與水流經過突出物之後方其渦流會較顯著等，而有關動床漂砂試驗不等比率國內一般經驗亦以不大於 6 為原則。當為幾何不等比之模型比尺時：

流速比尺：由於福祿數中的長度項為水深，其與有關 $\lambda_h$，同幾

何等比模型之推導，將可改寫福祿定律為：

$$\lambda_v = \sqrt{\lambda_h}$$

即模型流速比尺為水深向幾何比尺之 1/2 次方倍。

時間比尺：時間為幾何距離除以流速，即下式所示：

$$\lambda_T = \lambda_L \Big/ \lambda_v = \lambda_L \Big/ \sqrt{\lambda_h}$$

即模型時間比尺為流向幾何比尺乘以水深幾何比尺之-1/2 次方倍。

若水深比尺($\lambda_h$)為 1/70，水平比尺($\lambda_L$)為 1/210，即不等比率 3 之模型配置，此時換算其他物理量之縮尺比如表 5.4 所示。

**表 5.4 動床不等比模型各物理量之模型縮尺比**

| 物 理 量 | 縮 尺 比 |
|---|---|
| 長 度 | $\lambda_L = 1/210, \lambda_h = 1/70$ |
| 時 間 | $\lambda_T = \lambda_L \lambda_h^{-1/2} = 0.0398$ |
| 速 度 | $\lambda_v = \lambda_h^{1/2} = 0.1195$ |
| 密 度 | $\lambda_\rho = 1/1$ |

另參考往昔學者專家的研究成果，漂沙動床模型相似率之比較如表 5.5 所示 。

**表 5.5 動床不等比模型各物理量之模型縮尺比**

| 作者 | 推導法則 | $N_T$ | $N_H$ |
|---|---|---|---|
| Goddet 和 Jaffary (1960) | 浪與流作用下底質運動條件相似 | $\mu^{1/2}$ | $\mu$ |
| Valembois(1960) | 懸浮質運動相似 | $\mu^{1/2}$ | $\mu^{4/5}$ |
| Yalin(1963) | 因次分析 | $\mu^{1/2}$ | $\mu$ |
| Fan 和 LeMehaute (1969) | 底質運動條件相似 | $\mu^{1/2}$ | $\mu$ |
| Noda(1972) | 底質運動條件相似 | $\mu^{1/2}$ | $\mu$ |
| Dalrymple 和 Thompson (1976) | 考慮 $\mu/\omega$ 相似性 | $\mu^{1/2}$ | $\mu$ |
| 椹木(1982) | 考慮 $H/\omega T$ 相似性 | $\mu^{1/2}$ | $\mu$ |
| 歐和許(1985) | 碎波帶內漂沙及地形變化性質相似 | $N_r^{1/2}\ N_{D50}^{1/6}\ \mu^{1/5}\ \lambda^{2/15}$ | $N_r\ N_{D50}^{1/3}\ \mu^{2/5}\ \lambda^{4/15}$ |

註：1. $N_T$：週期比尺；$N_H$：波高比尺

2. $\mu$：垂直比尺；$\lambda$：水平比尺；$r$：底沙浸水比重比尺；$D_{50}$：底沙中值粒徑

本試驗在季風及颱風波浪條件 1 採表 5.3 之等比縮尺進行，颱風波浪條件 2~4 採用不等比率 3 之模型配置，此時水深比尺($\lambda_h$)為 1/70，水平比尺($\lambda_L$)為 1/210，並參考表 5.5 將波高比尺設為 1/70，週期比尺(1/70)^(1/2) 進行試驗，試驗條件經模型縮尺後整理如表 5.6 所示。

**表 5.6 試驗條件換算**

| 波浪條件 | 現場(模型) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 波向 | 波高 | 週期 | 潮位 | 不等比率 |
| 季風 | N | 2.65m(2.65cm) | 6.32sec(0.632sec) | 0.35m(0.35cm) | 1 |
| 颱風 1 | N | 6.4m(6.40cm) | 10.6sec(1.06sec) | 2.1m(2.1cm) | 1 |
| 颱風 2 | N | 6.4m(9.12cm) | 10.6sec(1.267sec) | 2.1m(3.0cm) | 3 |
| 颱風 3 | N | 6.4m(9.00cm) | 10.6sec(1.06sec) | 2.1m(2.1cm) | 3 |
| 颱風 4 | N | 6.4m(11.38cm) | 10.6sec(1.267sec) | 2.1m(2.1cm) | 3 |

## 5.3 試驗模型佈置與試驗步驟

試驗模型底床佈置首先為在水槽底面劃設一公尺見方網格方格(如圖 5.14 所示)，並在等深線格點上埋設鐵製測桿，以便在試驗放樣及量測時作為定位之用；利用雷射水平儀將地形水位 0 米線設為水槽底部往上 50 公分處(如圖 5.15 所示)，並在水槽依模型縮尺，在網格與等深線之相對位置放樣(如圖 5.16 所示)。在測桿上利用雷射水平儀建立參考水平面標註其所對應之試驗地形高程，鋪設由縮尺換算後的水深地形資料及海堤(如圖 5.17)。調整每個控制網格內的模型底床形狀，結構物之位置底部先鋪設水平之底床，並依據模型之縮尺製作不透水結構物模型(如圖 5.18)，在海堤外側按其設計坡度鋪設碎石並放置消波塊(如圖 5.19)，最後完成動床地形鋪設如圖 5.20。

在動床模型試驗中模型砂的選定是比較困難的問題，通常在採用泥砂動力相似時，在幾何相似比尺條件下模型砂若採用天然砂會縮小至粉土或黏土之尺寸，其特性將不符合其運移的物理現象，而前人研究採用過之模型砂從木屑、瀝青木屑、木粉、煤粉、電木粉、煤灰、白土

粉、滑石粉等，各有其優缺點[1]。本試驗之海灘底質在季風及颱風波浪條件 1 時採用經過篩洗後之玻璃砂，其比重為 2.651，中值粒徑 $D_{50}$=0.28mm，表 5.7、表 5.8 及圖 5.21 為其比重及粒徑分析之結果；在颱風波浪條件 2~4 使用 $D_{50}$=0.15mm 比重為 2.5 之細砂進行試驗。






**圖 5.14 繪製地形方格網格**　**圖 5.15 利用雷射水平儀設定地形 0 米線**

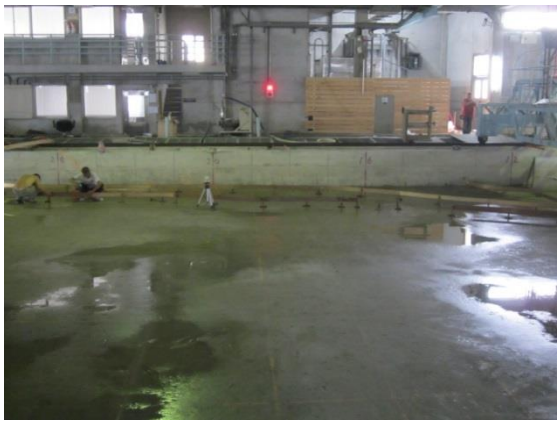




**圖 5.16 等深線位置放樣**　**圖 5.17 鋪設地形及海堤**





**圖 5.18 調整網格地形及結構物位置 圖 5.19 鋪設護基、消波塊、碎石**



**圖 5.20 完成動床地形及堤頭鋪設**

**表 5.7 比重分析成果表**

| 瓶號 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| 瓶加土重(Mfs) | 73.98 | 87.81 | 83.64 | 83.45 | 83.18 |
| 瓶加土加水重(Mfsw) | 176.13 | 189.32 | 187.43 | 185.09 | 184.20 |
| 瓶加滿水重(Mfw) | 165.79 | 179.74 | 179.37 | 175.64 | 174.62 |
| 瓶重(Mf) | 57.32 | 72.52 | 70.70 | 68.29 | 67.88 |
| 乾土重(Ms=Mfs-Mf) | 16.57 | 15.29 | 12.94 | 15.16 | 15.30 |
| 乾土排水質量(Ms+Mfw-Mfsw) | 6.23 | 5.71 | 4.88 | 5.71 | 5.72 |
| 比重(Gs=Ms/(Ms+Mfw-Mfsw)) | 2.66 | 2.68 | 2.65 | 2.65 | 2.67 |
| 平均比重(Gs) | 2.651 | | | | |

**表 5.8 篩分析成果表**

| 孔徑 (mm) | 篩號 | 殘留於篩上重量(g) | 殘留百分比 | 累積殘留百分比 | 累積通過百分比 |
|---|---|---|---|---|---|
| 4.76 | # 4 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 2.00 | # 10 | 0.03 | 0.0029 | 0.0029 | 99.9971 |
| 0.84 | # 20 | 0.24 | 0.0235 | 0.0264 | 99.9736 |
| 0.42 | # 40 | 172.67 | 16.8953 | 16.9217 | 83.0783 |
| 0.25 | # 60 | 427.26 | 41.8063 | 58.7280 | 41.2720 |
| 0.149 | #100 | 264.57 | 25.8875 | 84.6155 | 15.3845 |
| 0.105 | #140 | 90.81 | 8.8855 | 93.5010 | 6.4990 |
| 0.074 | #200 | 43.12 | 4.2192 | 97.7202 | 2.2789 |
| | 底盤 | 23.30 | 2.2798 | 100 | ------ |

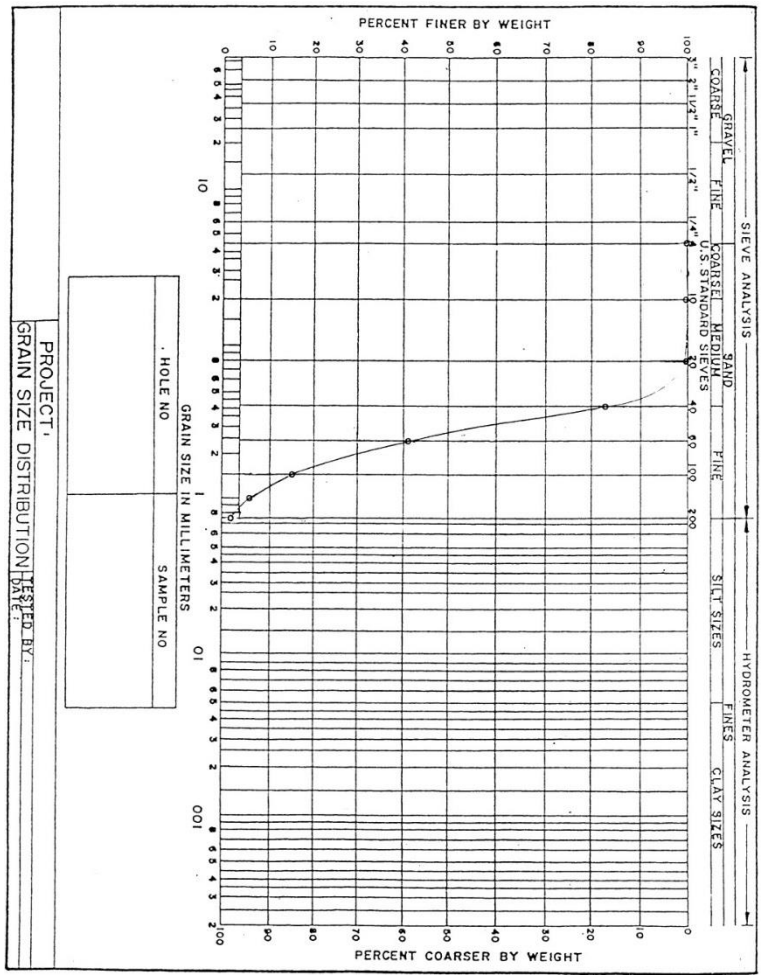



**圖 5.21 實驗用玻璃砂粒徑分布曲線**

1. 在試驗前先進行量測儀器校正。
2. 造波前先檢視試驗水位，俟水位完全靜穩後開始造波。
3. 造波時以電腦收錄各儀器之量測資料，流速儀取樣頻率為 25 Hz，波高計取樣為 100 Hz。
4. 改變流速計及波高計位置，擷取不同位置流速及波高變化。
5. 造波後進行地形量測。
6. 當完成前 2~5 項流程時，進行不同條件之試驗。

## 5.4 試驗量測分析

1. 試驗儀器律定

首先進行波高計之律定，使用固定之波高計、連接線、放大器及 NI 資料擷取卡通道進行，每 3 公分水位變化進行一次量測，結果圖 5.22，迴歸分析顯示線性良好。

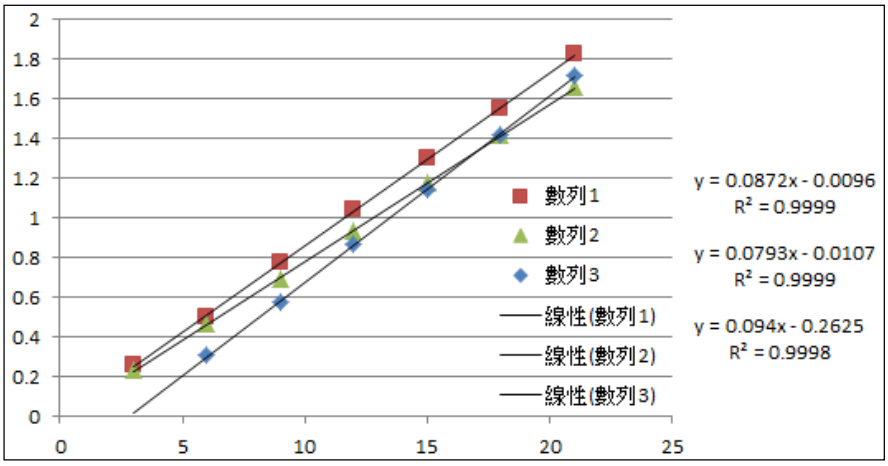



**圖 5.22 波高計率定校正**

將波高計及流速儀架設於造波機前 2.4m 處，流速計量測目標為水槽底床上 35cm，利用季風波浪條件進行入射波浪率定及流速儀校正(如圖 5.23 所示)。季風波浪條件經縮尺換算後 H=2.65cm，

T=0.632sec，平均潮位+0.35cm，因定水深 50cm 為 Z 軸 0 點，此時水槽水深 h 為 50.35 cm。



**圖 5.23 入射波高及流速校正量測**

波長 $L=1.56T^2=0.623m$

檢查 h / L=0.808 > 0.5 故滿足深水波條件

使用下列深水條件之微小振幅規則前進重力水波公式計算後與兩支三維流速儀之實測值比較分別如圖 5.24 及 5.25，結果顯示相當一致。

波形 $\eta = \frac{H}{2}\cos(kx-\sigma t)$

水平流速= $\frac{H\sigma}{2}e^{kz}\cos(kx-\sigma t)$

垂直流速= $\frac{H\sigma}{2}e^{kz}\sin(kx-\sigma t)$

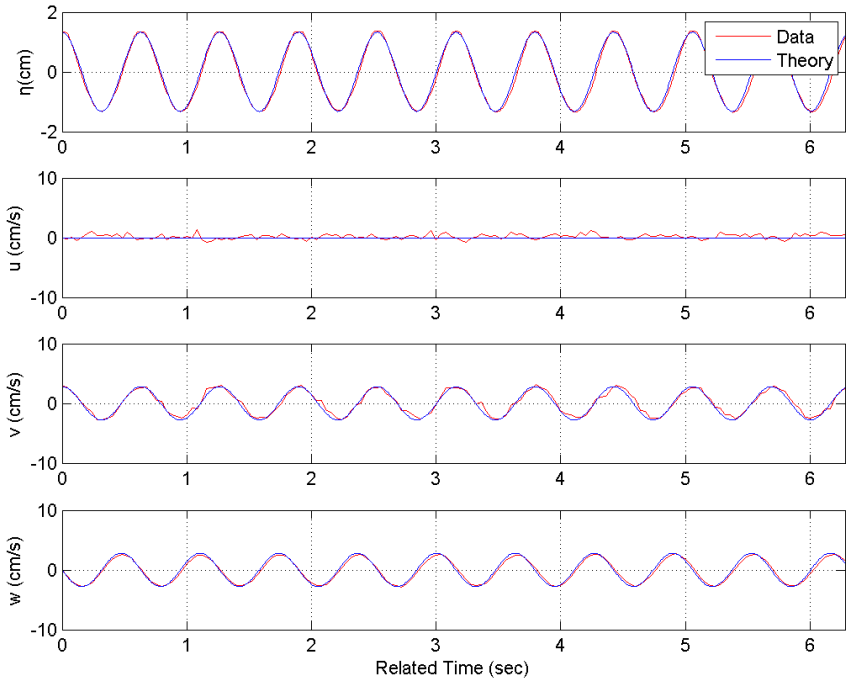



**圖 5.24 入射波形與流速儀(no.361)實測與理論值校正**

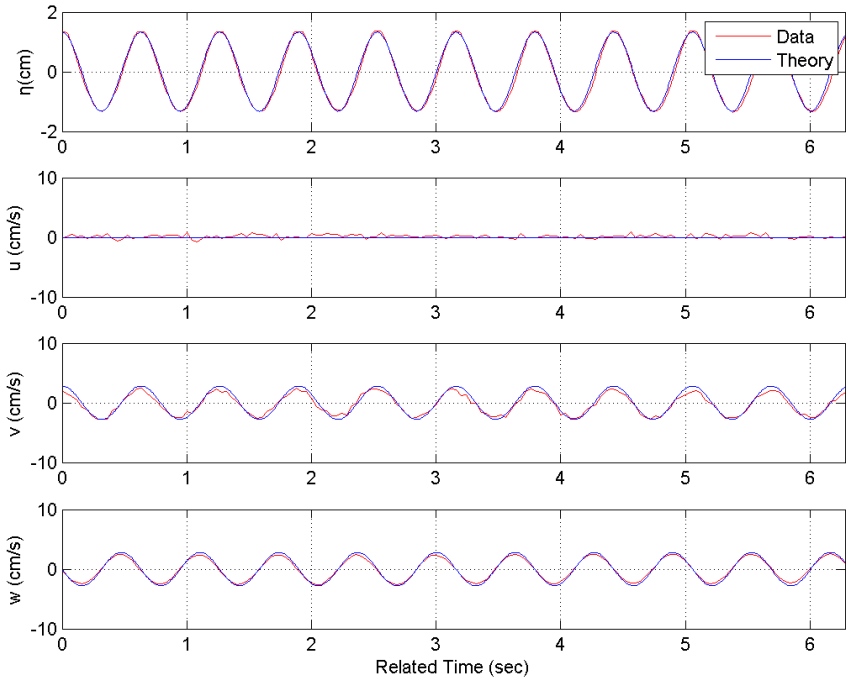



**圖 5.25 入射波形與流速儀(no.381)實測與理論值校正**

2. 季風波浪作用

A. 季風波浪波高及流速量測點位

在試驗區內架設波高計及流速儀，觀測波浪作用下防波堤堤頭處之波、流場，探討深水沉箱堤附近水域在不同入射波浪下所引發之流況特性。季風波浪試驗佈置之波高計及流速儀量測點如圖 5.26 所示，藍色方框為波高計測點，座標如表 5.9；紅色圓圈為流速儀測點，座標如表 5.10。

B. 季風波浪資料分析時間區段測定

N 向季風波浪條件造波穩定時間之測定，首先由置於造波機前 Site41H 之入射波高資料，研判 t = 10~70sec 區間相對穩定，在此取 t = 10~45sec 區間作為入射波浪條件校準，使用零上切法分析可得 H=2.67cm，T = 0.632sec，週期與試驗條件相當一致，波高誤差約 0.5%，週期吻合。同時比較堤頭西北方之 Site1H 及南側 Site32H 波形資料，顯示在 t = 48~78sec 有較穩定區間(如圖 5.27)可做為資料分析之用，故選取上述時間區間分析季風波場及流場之變化。

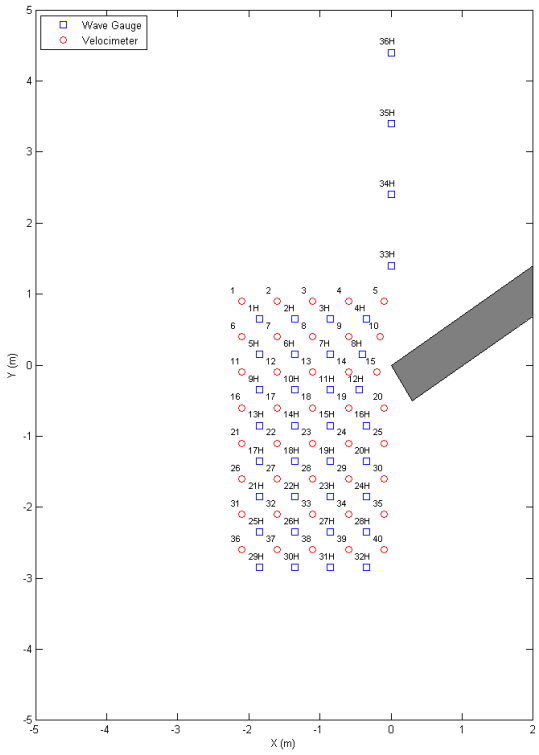



**圖 5.26 季風波浪波高及流速量測點示意圖**

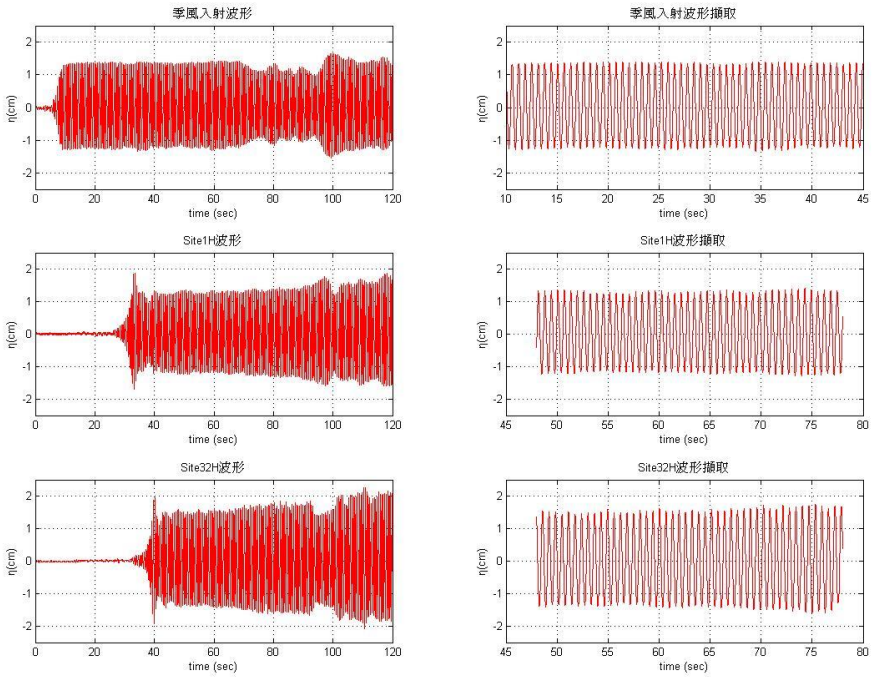



**圖 5.27 季風波浪入射波形量測及資料區間測定**

## 表 5.9 季風波浪波高測點座標表

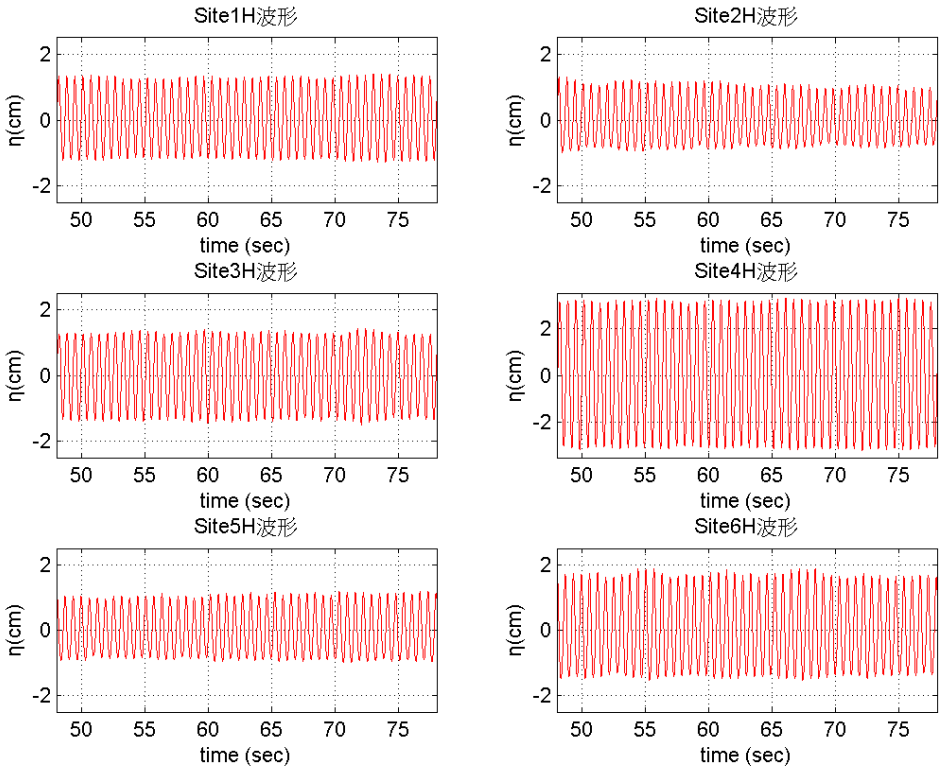
| Site | x(m) | y(m) | Site | x(m) | y(m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1H | -1.85 | 0.65 | 21H | -1.85 | -1.85 |
| 2H | -1.35 | 0.65 | 22H | -1.35 | -1.85 |
| 3H | -0.85 | 0.65 | 23H | -0.85 | -1.85 |
| 4H | -0.35 | 0.65 | 24H | -0.35 | -1.85 |
| 5H | -1.85 | 0.15 | 25H | -1.85 | -2.35 |
| 6H | -1.35 | 0.15 | 26H | -1.35 | -2.35 |
| 7H | -0.85 | 0.15 | 27H | -0.85 | -2.35 |
| 8H | -0.4 | 0.15 | 28H | -0.35 | -2.35 |
| 9H | -1.85 | -0.35 | 29H | -1.85 | -2.85 |
| 10H | -1.35 | -0.35 | 30H | -1.35 | -2.85 |
| 11H | -0.85 | -0.35 | 31H | -0.85 | -2.85 |
| 12H | -0.45 | -0.35 | 32H | -0.35 | -2.85 |
| 13H | -1.85 | -0.85 | 33H | 0 | 1.4 |
| 14H | -1.35 | -0.85 | 34H | 0 | 2.4 |
| 15H | -0.85 | -0.85 | 35H | 0 | 3.4 |
| 16H | -0.35 | -0.85 | 36H | 0 | 4.4 |
| 17H | -1.85 | -1.35 | 41H | 0 | 12.6 |
| 18H | -1.35 | -1.35 | | | |
| 19H | -0.85 | -1.35 | | | |
| 20H | -0.35 | -1.35 | | | |

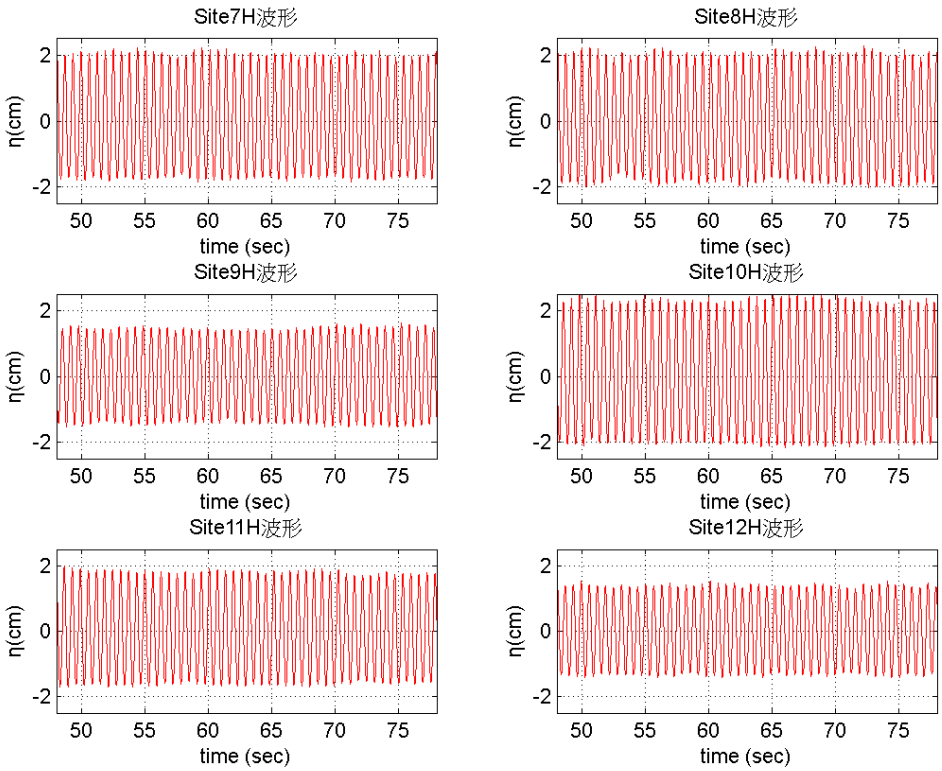
## 表 5.10 季風波浪流速測點座標表

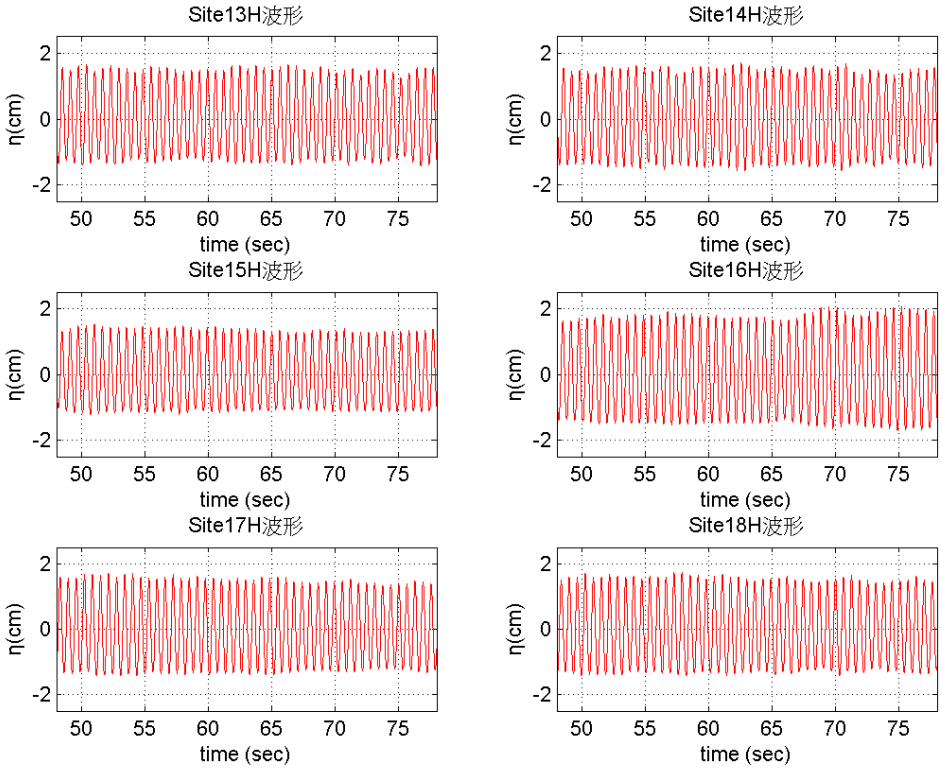
| Site | x(m) | y(m) | Site | x(m) | y(m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -2.1 | 0.9 | 20 | -0.1 | -0.6 |
| 2 | -1.6 | 0.9 | 21 | -2.1 | -1.1 |
| 3 | -1.1 | 0.9 | 22 | -1.6 | -1.1 |
| 4 | -0.6 | 0.9 | 23 | -1.1 | -1.1 |
| 5 | -0.1 | 0.9 | 24 | -0.6 | -1.1 |
| 6 | -2.1 | 0.4 | 25 | -0.1 | -1.1 |
| 7 | -1.6 | 0.4 | 26 | -2.1 | -1.6 |
| 8 | -1.1 | 0.4 | 27 | -1.6 | -1.6 |
| 9 | -0.6 | 0.4 | 28 | -1.1 | -1.6 |
| 10 | -0.15 | 0.4 | 29 | -0.6 | -1.6 |
| 10-1 | -0.10 | 0.4 | 30 | -0.1 | -1.6 |
| 11 | -2.1 | -0.1 | 31 | -2.1 | -2.1 |
| 12 | -1.6 | -0.1 | 32 | -1.6 | -2.1 |
| 13 | -1.1 | -0.1 | 33 | -1.1 | -2.1 |
| 14 | -0.6 | -0.1 | 34 | -0.6 | -2.1 |
| 15 | -0.2 | -0.1 | 35 | -0.1 | -2.1 |
| 15-1 | -0.1 | -0.1 | 36 | -2.1 | -2.6 |
| 16 | -2.1 | -0.6 | 37 | -1.6 | -2.6 |
| 17 | -1.6 | -0.6 | 38 | -1.1 | -2.6 |
| 18 | -1.1 | -0.6 | 39 | -0.6 | -2.6 |
| 18-1 | -1 | -0.6 | 40 | -0.1 | -2.6 |
| 19 | -0.6 | -0.6 | | | |

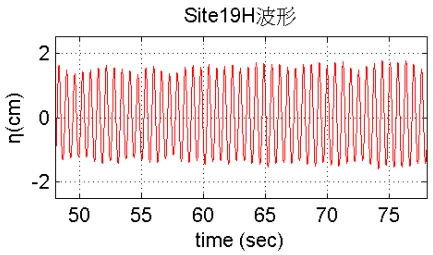
C. 堤頭附近季風波浪水位變化及波場分布

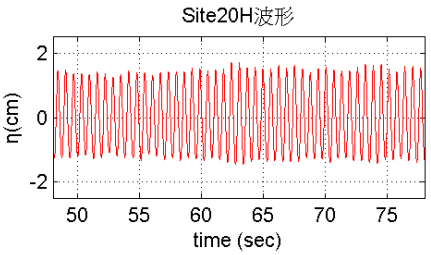
各點位於前述選定時間區間之水位變化如圖 5.28 所示。

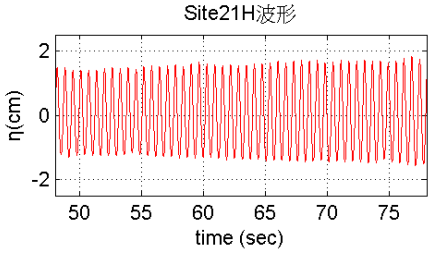


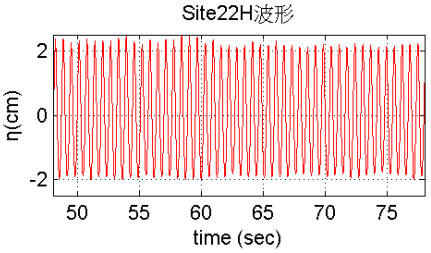

Site7H波形
Site8H波形
Site9H波形
Site10H波形
Site11H波形
Site12H波形
η(cm)
time (sec)
2
0
-2
50
55
60
65
70
75

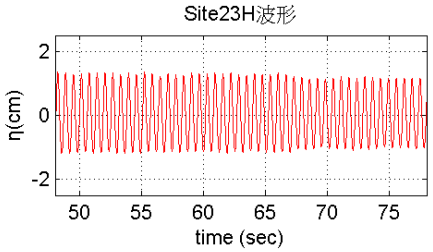

Site13H波形
Site14H波形
Site15H波形
Site16H波形
Site17H波形
Site18H波形
η(cm)
time (sec)
2
0
-2
50
55
60
65
70
75

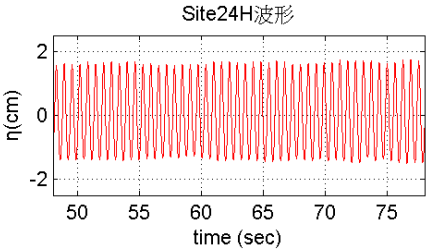

Site19H波形
η(cm)
time (sec)

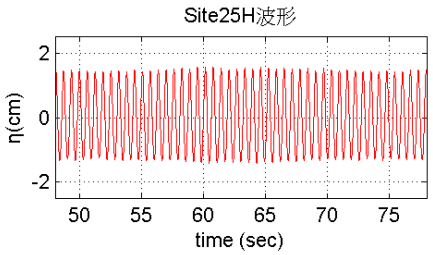

Site20H波形
η(cm)
time (sec)

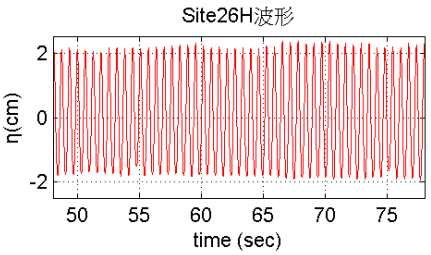

Site21H波形
η(cm)
time (sec)

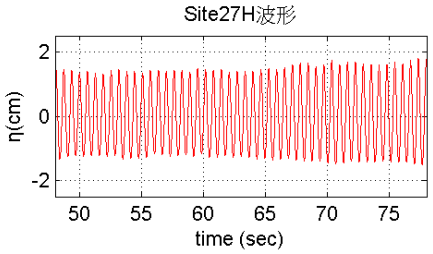

Site22H波形
η(cm)
time (sec)

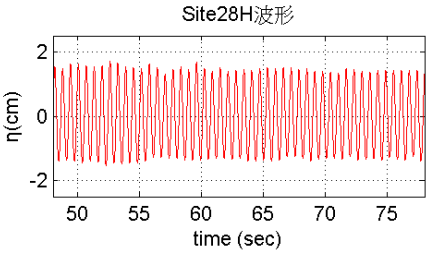

Site23H波形
η(cm)
time (sec)

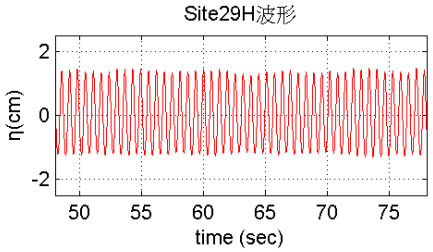

Site24H波形
η(cm)
time (sec)

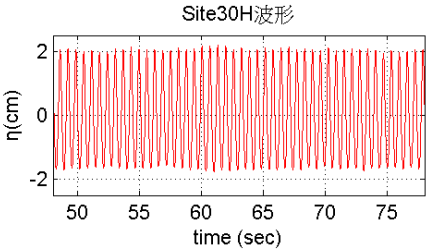

Site25H波形
η(cm)
time (sec)


Site26H波形
η(cm)
time (sec)


Site27H波形
η(cm)
time (sec)


Site28H波形
η(cm)
time (sec)


Site29H波形
η(cm)
time (sec)


Site30H波形
η(cm)
time (sec)

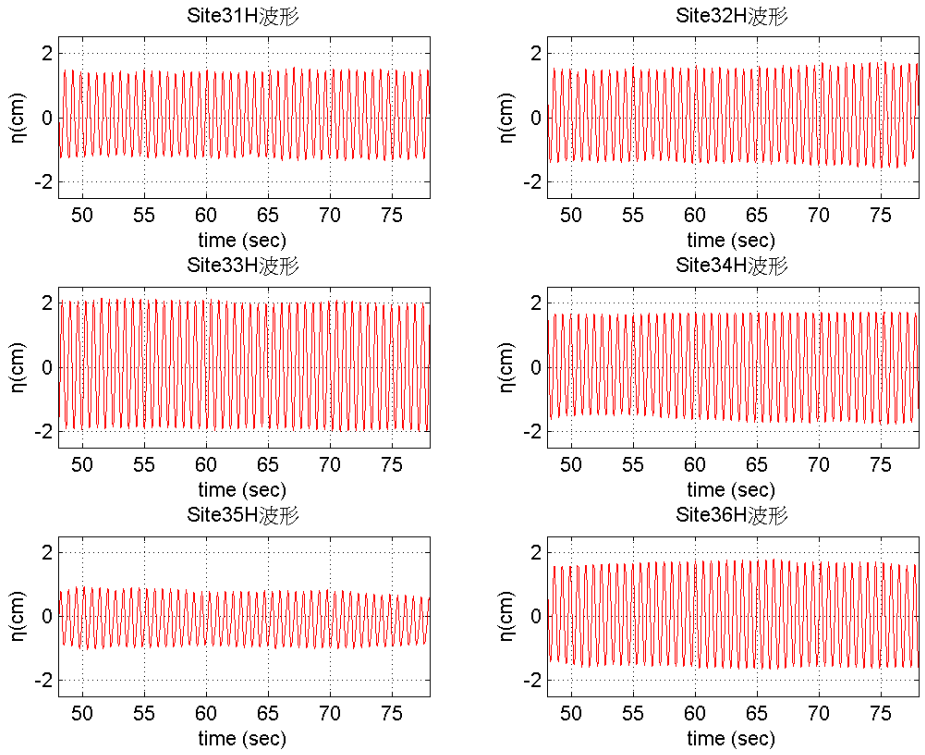



**圖 5.28 季風波浪 Site1H~36H 選定時間區段之水位變化**

N 向季風波浪條件作用下以前述時間區段堤頭附近之水位變化計算波場分佈如圖 5.29，Kd 值分佈如圖 5.30。

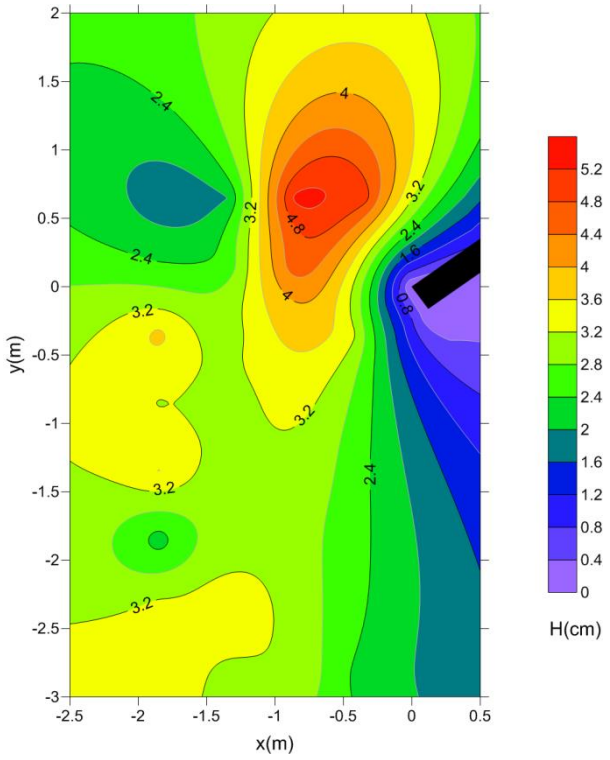



**圖 5.29 N 向季風波浪條件作用下堤頭附近波高分布**

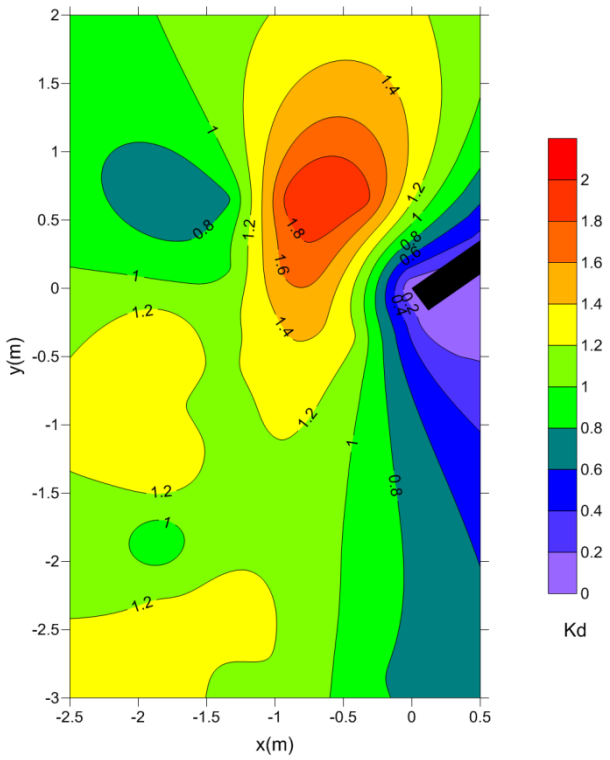



**圖 5.30 N 向季風波浪條件作用下堤頭附近 kd 值分布**

由圖 5.10 中可發現 N 向波浪入射後，約在堤前 1 公里處有水深較淺之區域，但在季風波浪條件時因波高及週期均較小，淺化及折射現象不明顯，實驗觀察如圖 5.31 及圖 5.32 所示，波向線以約 55 度斜向入射防坡堤，此時在堤前有重複波生成，實驗量測結果顯示堤前 Kd 值可達 2 亦證明此現象，在堤頭西北方有較大之波高產生，此為堤前之反射波與外海側 N 向波浪交會所致。堤後部分參考美國海岸工程手冊(Coastal engineering manual)中波浪以 60°入射於半無限長防波堤之繞射係數分佈如圖 5.33，繞射波之波峰線以堤端為原點呈同心圓弧型前進，在堤後之遮蔽區波高迅速降低，實驗結果符合此趨勢。

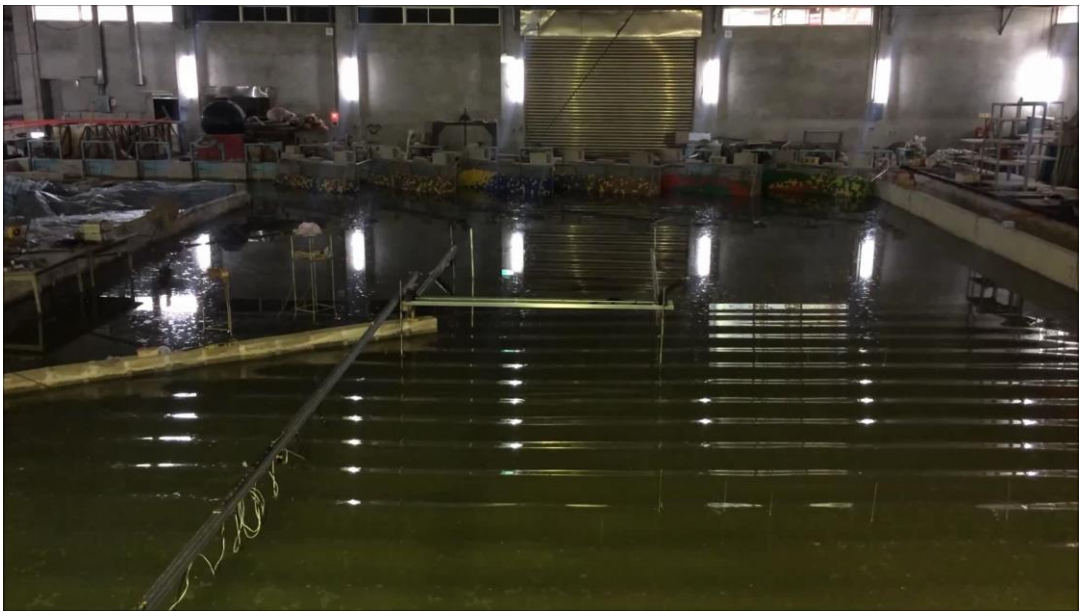


**圖 5.31 N 向季風波浪入射圖**

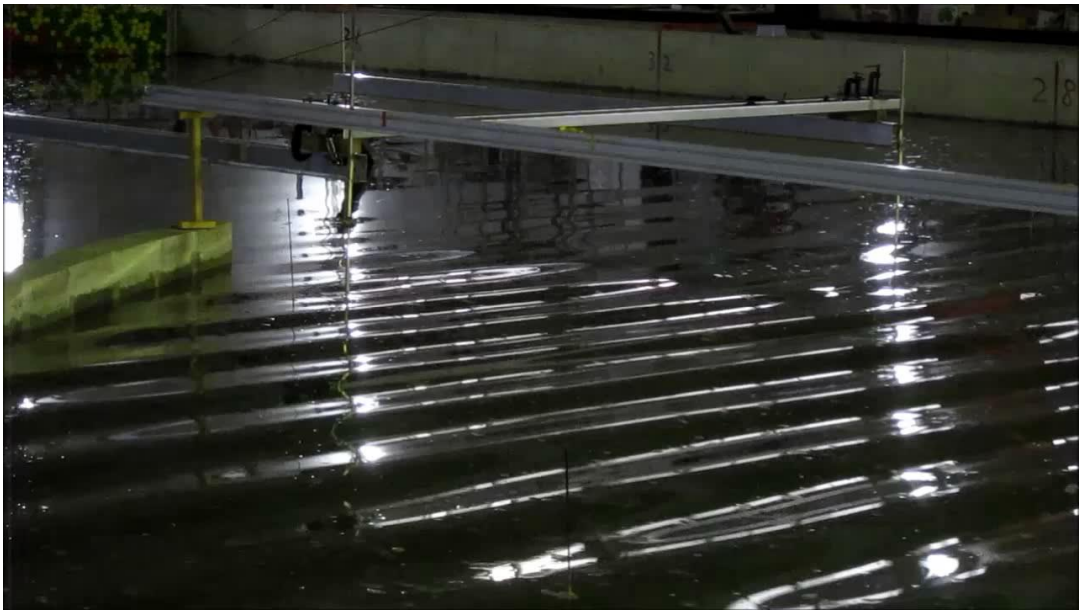


**圖 5.32 N 向季風波浪堤頭附近作用圖**

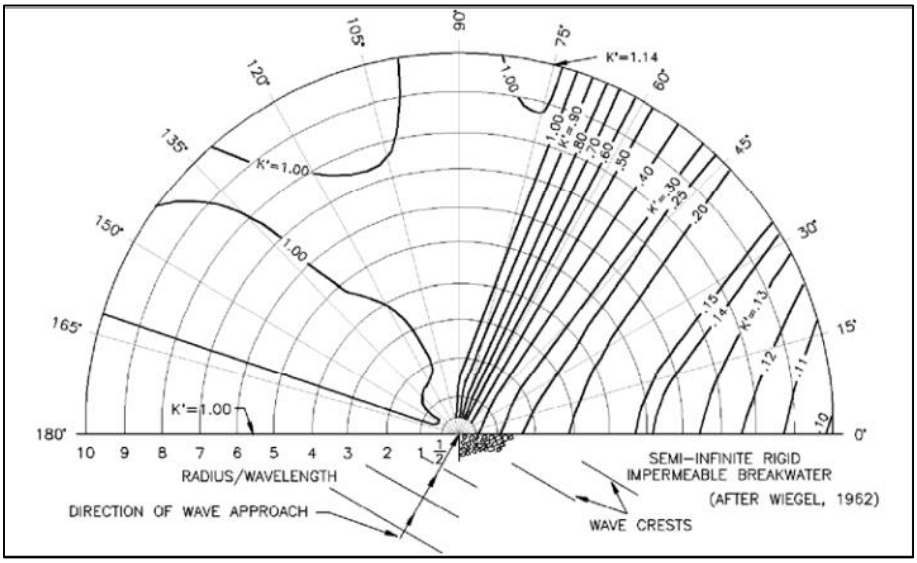
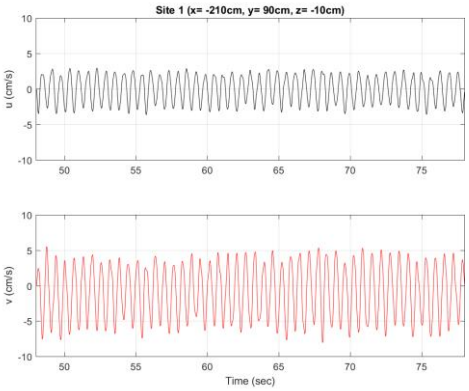


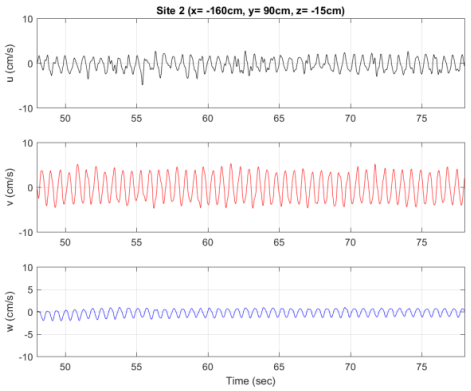

**圖 5.33 波浪繞射無限長防波堤之繞射係數分佈(CEM，民國 91 年)**

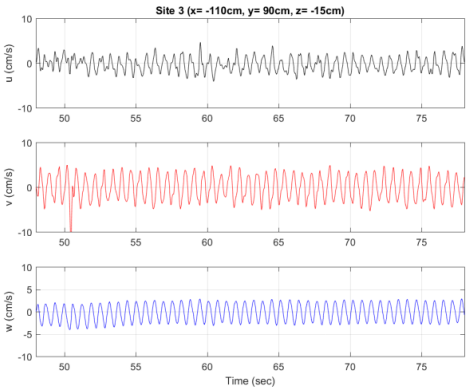
D. 堤頭附近季風波浪流速變化及流場分布

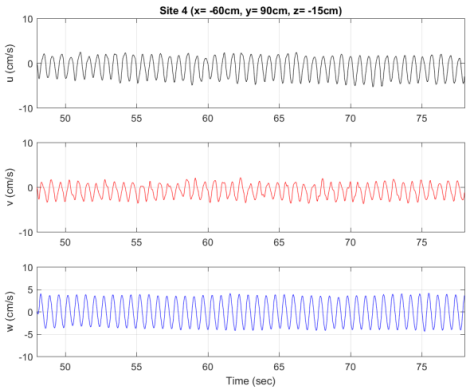
各流速量測點位於前述選定時間區間 z = -15cm 之流速變化如圖 5.34 所示，z = -10cm 之流速變化如圖 5.35 所示，其中 z = -15cm 之 Site1、6、11、16、21、26、31、36 使用二維電磁式流速儀，故僅有 u、v 流速。在選定時間區間中各方向速度分量均

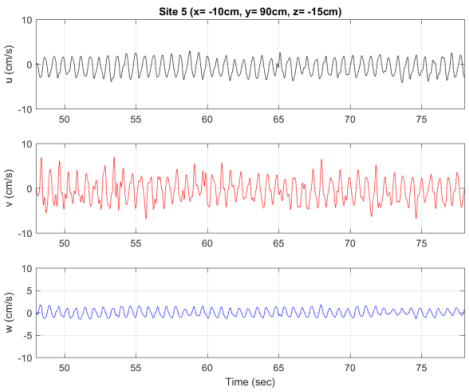
具有週期性之變化，將各方向之週期峰值平均後繪製其分佈趨勢，z = -15cm 如圖 5.36，z = -10cm 如圖 5.37。為觀察瞬時之流場強度變化，定義$U = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}$，因季風波浪實驗週期為 0.632 秒，故選取量測時間 t = 50~50.64sec，間格 0.08sec 繪製平面流場(圖左)及其瞬時流場強度 U(圖右)如圖 5.38 ~圖 5.46。

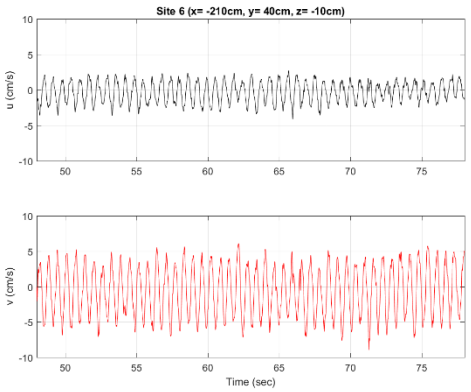


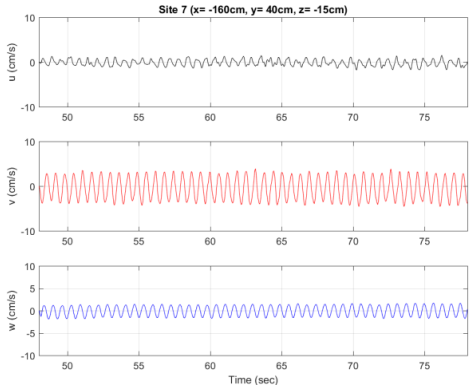



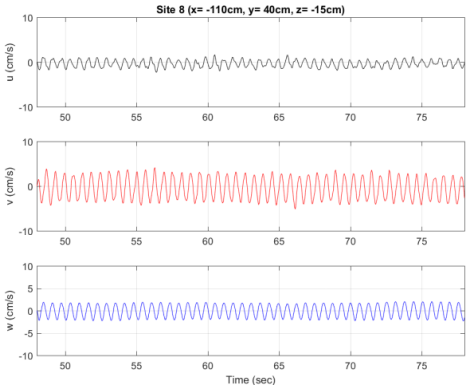



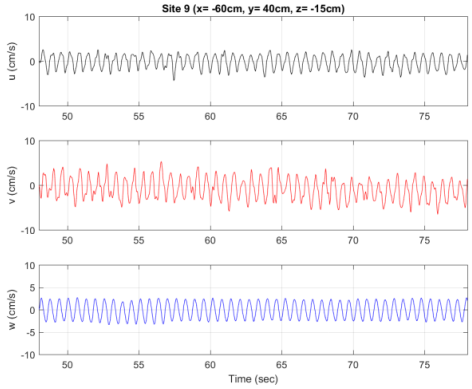



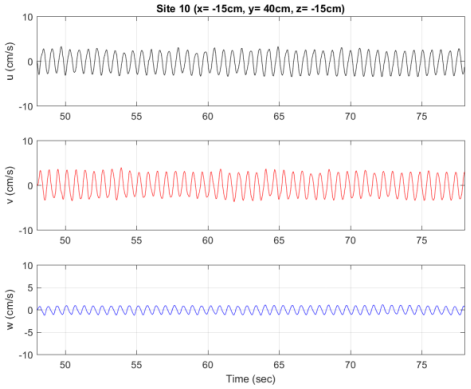



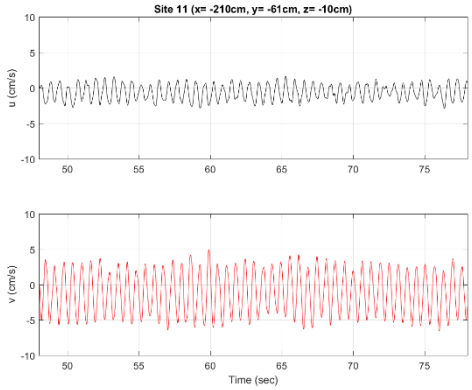



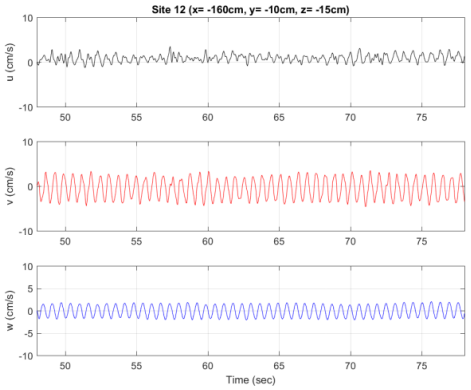

Site 7 (x= -160cm, y= 40cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

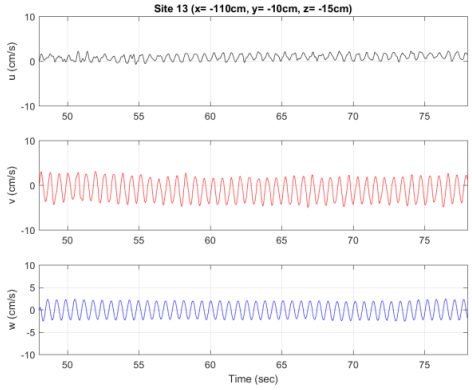

Site 8 (x= -110cm, y= 40cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

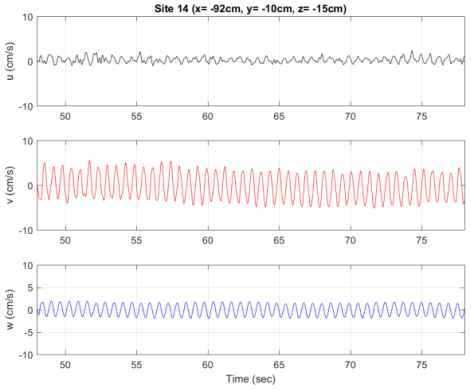

Site 9 (x= -60cm, y= 40cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

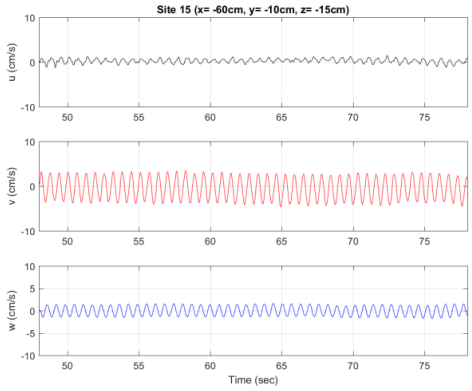

Site 10 (x= -15cm, y= 40cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

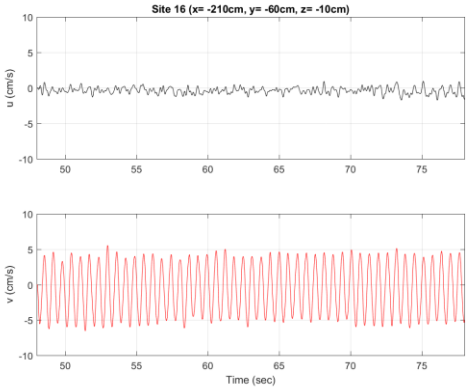

Site 11 (x= -210cm, y= -61cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
Time (sec)

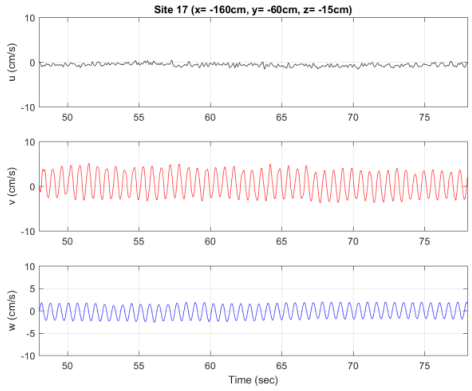

Site 12 (x= -160cm, y= -10cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

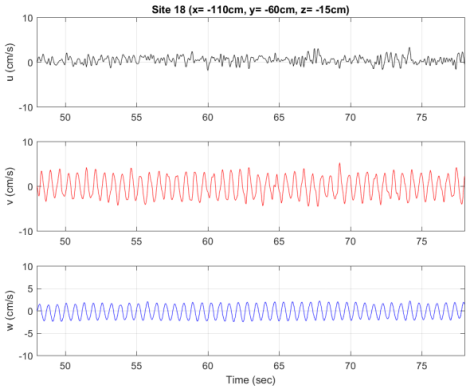

Site 13 (x= -110cm, y= -10cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

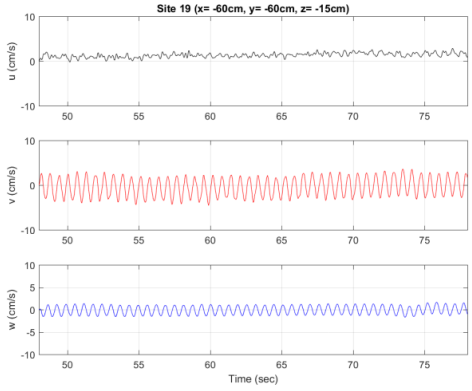

Site 14 (x= -92cm, y= -10cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

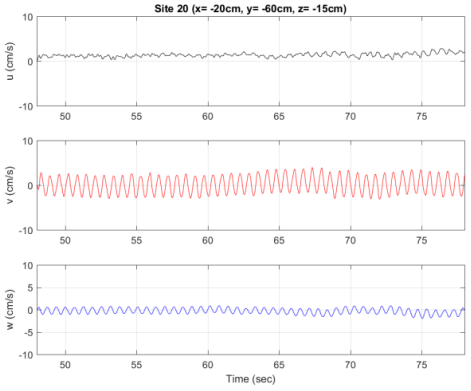

Site 15 (x= -60cm, y= -10cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

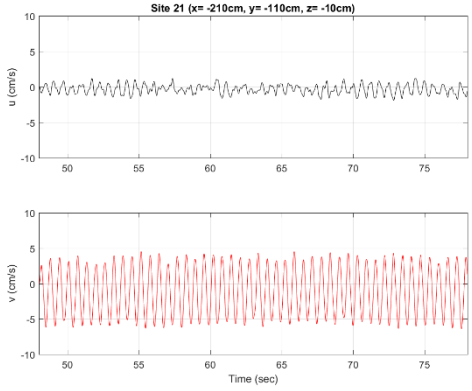

Site 16 (x= -210cm, y= -60cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
Time (sec)

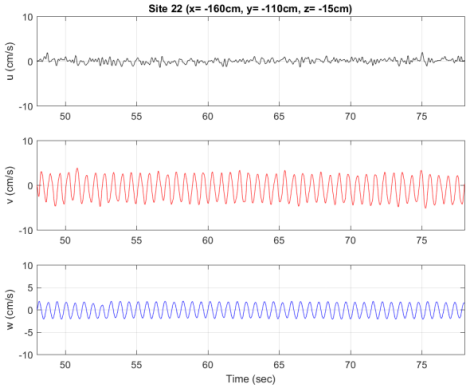

Site 17 (x= -160cm, y= -60cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

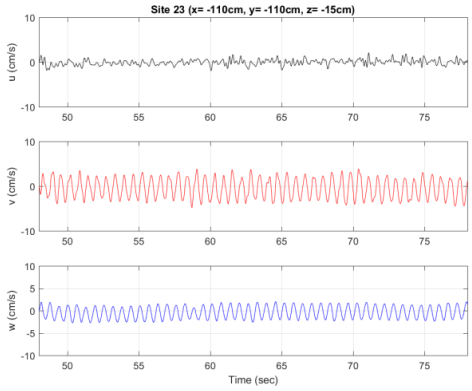

Site 18 (x= -110cm, y= -60cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

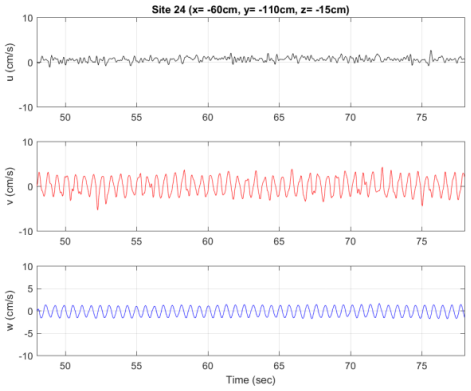

Site 19 (x= -60cm, y= -60cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

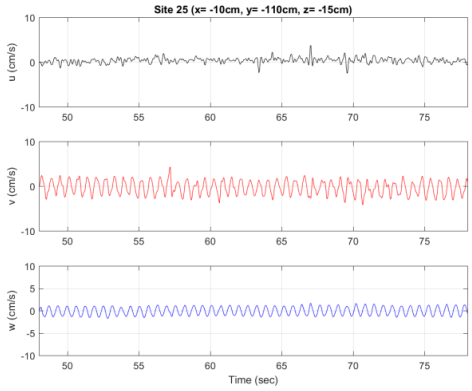

Site 20 (x= -20cm, y= -60cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

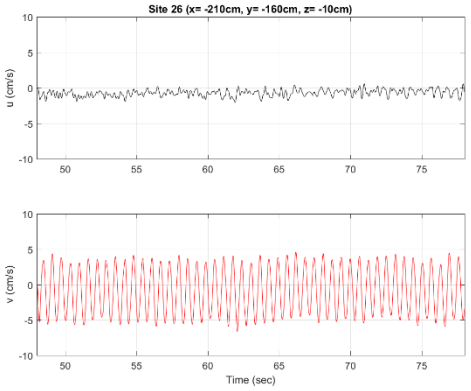

Site 21 (x= -210cm, y= -110cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
Time (sec)

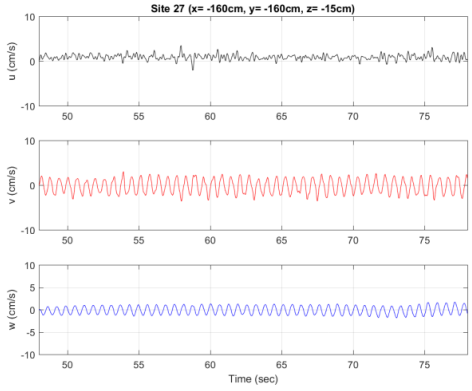

Site 22 (x= -160cm, y= -110cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

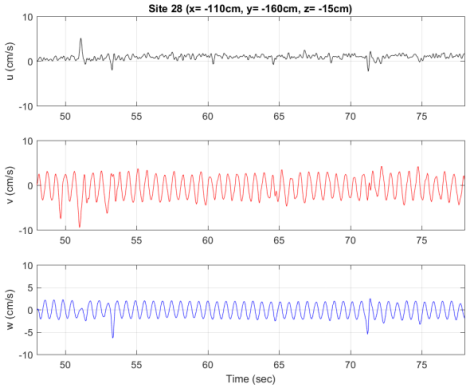

Site 23 (x= -110cm, y= -110cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

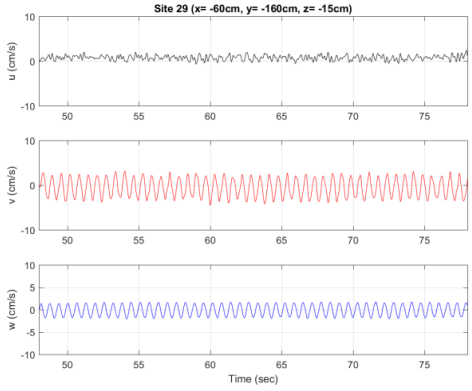

Site 24 (x= -60cm, y= -110cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

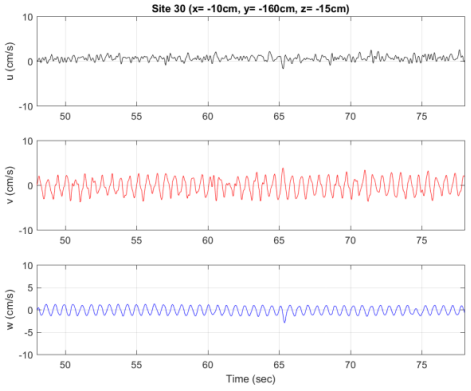

Site 25 (x= -10cm, y= -110cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

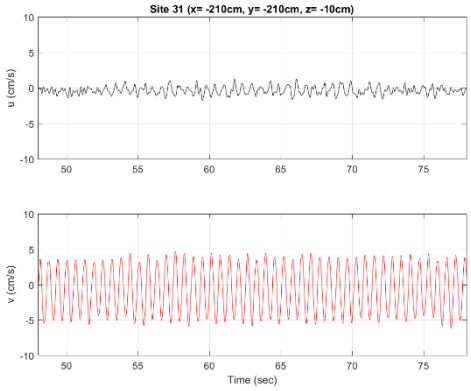

Site 26 (x= -210cm, y= -160cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
Time (sec)

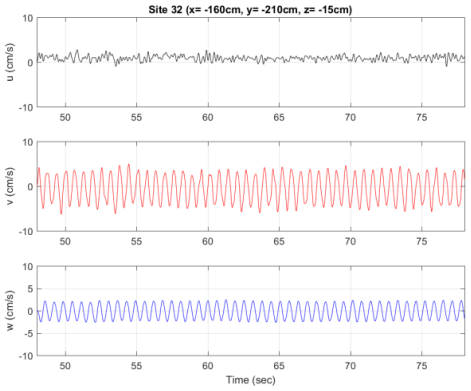

Site 27 (x= -160cm, y= -160cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

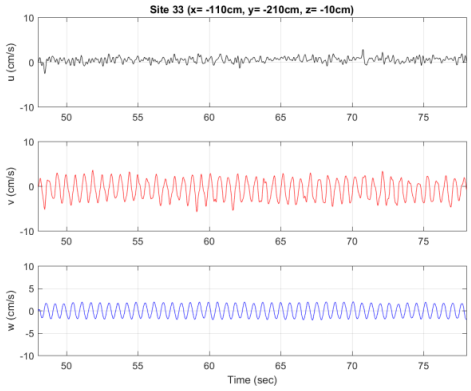

Site 28 (x= -110cm, y= -160cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

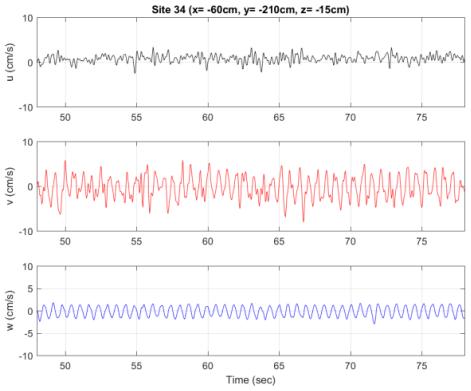

Site 29 (x= -60cm, y= -160cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

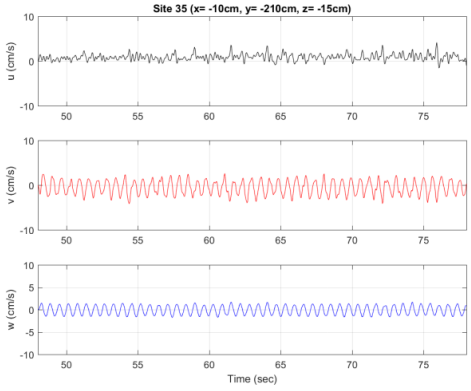

Site 30 (x= -10cm, y= -160cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

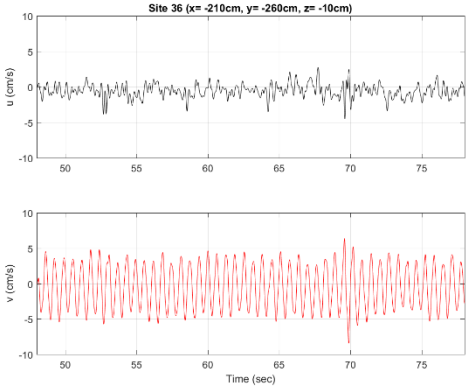

Site 31 (x= -210cm, y= -210cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
Time (sec)

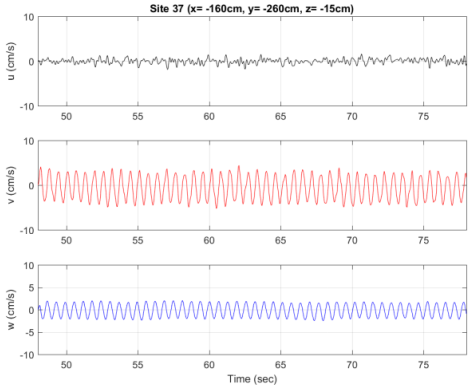

Site 32 (x= -160cm, y= -210cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

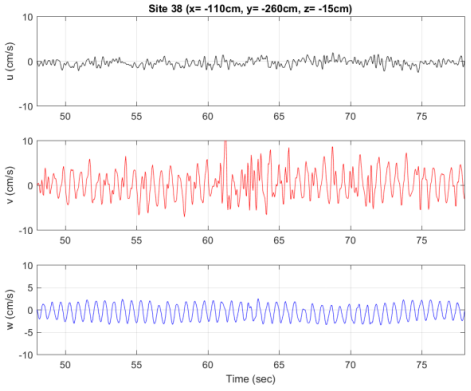

Site 33 (x= -110cm, y= -210cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

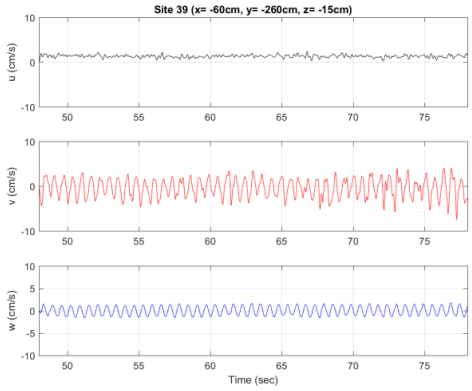

Site 34 (x= -60cm, y= -210cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)


Site 35 (x= -10cm, y= -210cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)


Site 36 (x= -210cm, y= -260cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
Time (sec)


Site 37 (x= -160cm, y= -260cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)


Site 38 (x= -110cm, y= -260cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)



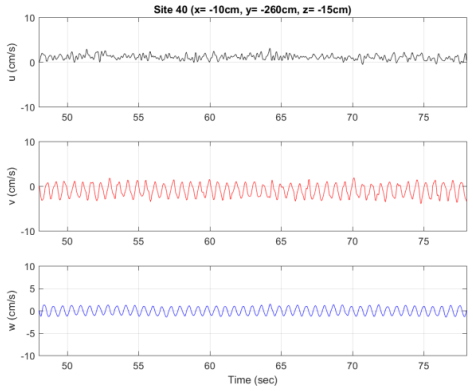
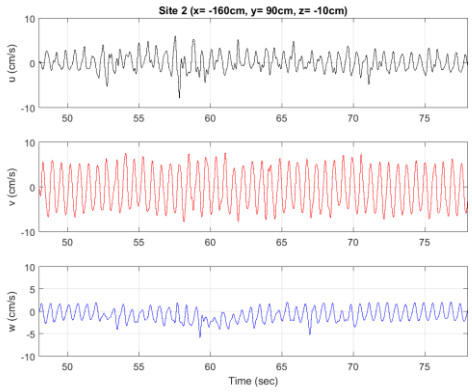
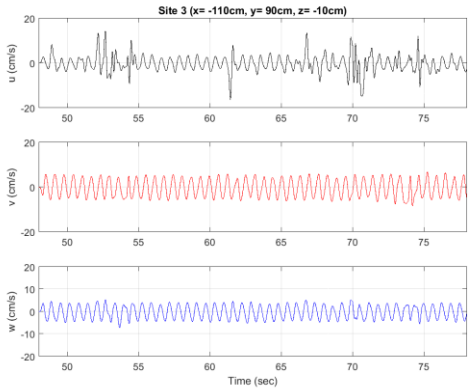
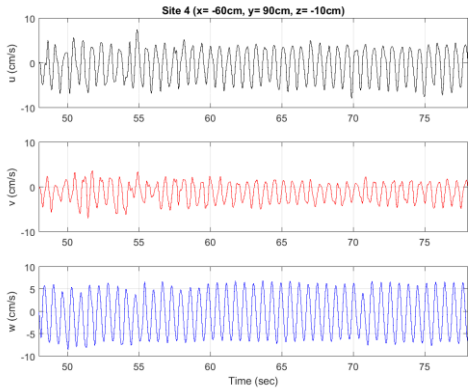
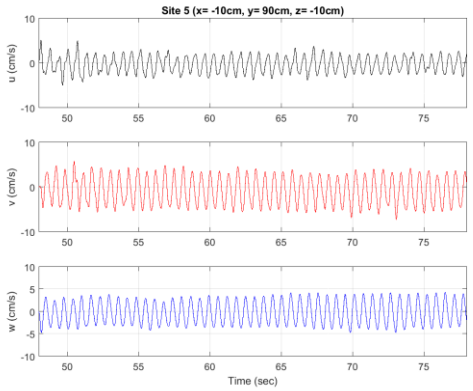



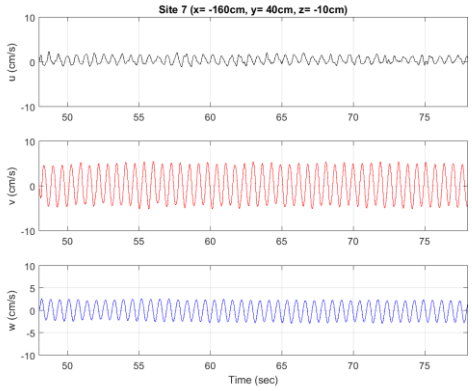

**圖 5.34 季風波浪作用下 Site1~40 選定時間區間 z=-15cm 之流速變化**

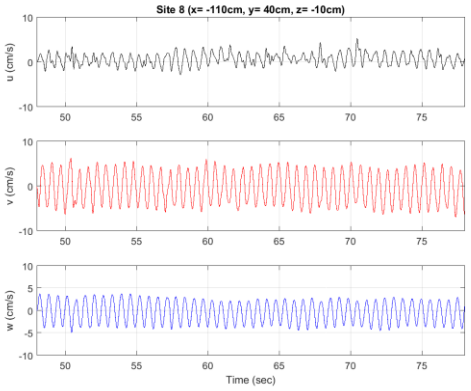


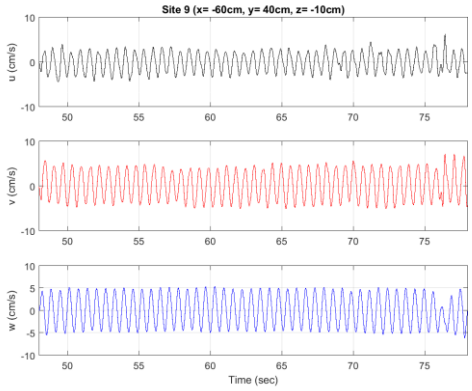



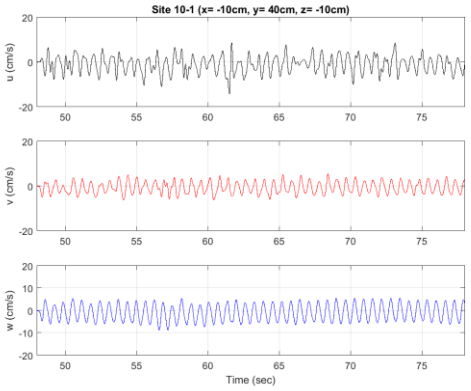



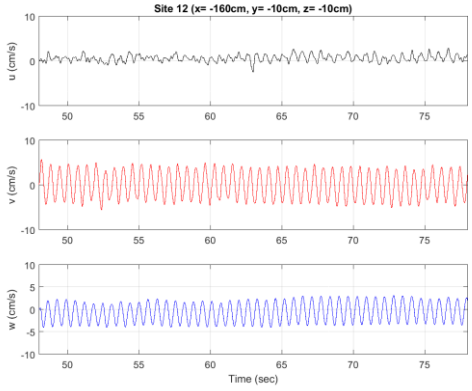



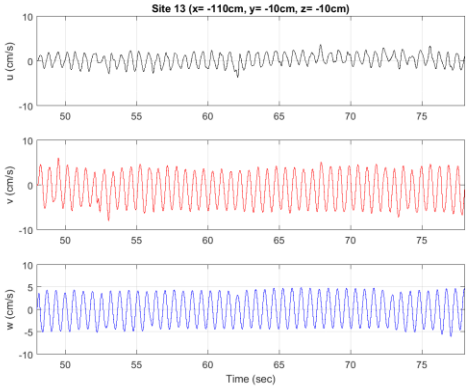

Site 7 (x= -160cm, y= 40cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

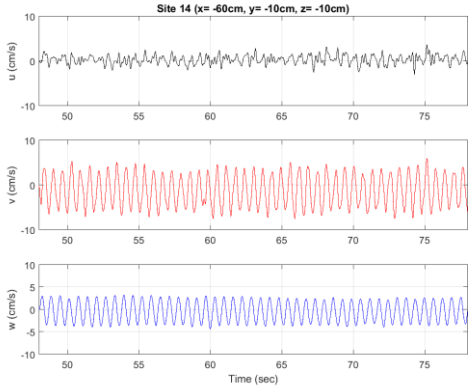

Site 8 (x= -110cm, y= 40cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

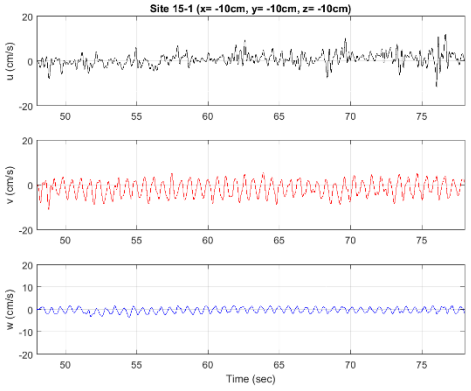

Site 9 (x= -60cm, y= 40cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

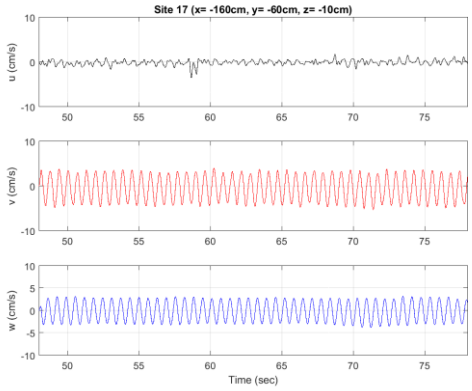

Site 10-1 (x= -10cm, y= 40cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

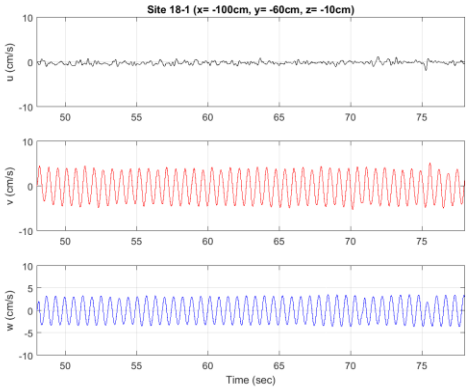

Site 12 (x= -160cm, y= -10cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

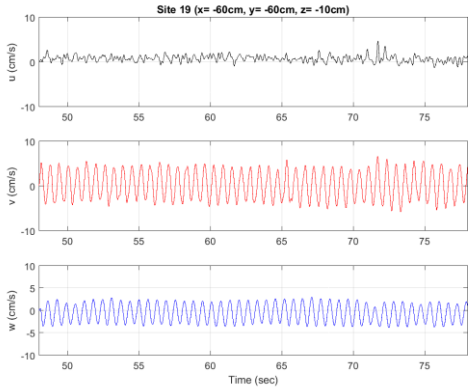

Site 13 (x= -110cm, y= -10cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

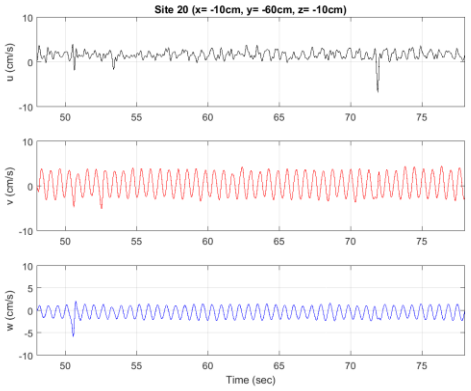

Site 14 (x= -60cm, y= -10cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

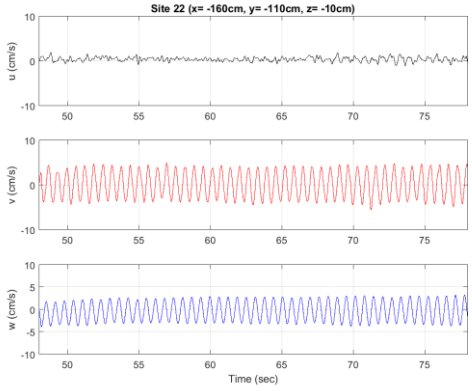

Site 15-1 (x= -10cm, y= -10cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

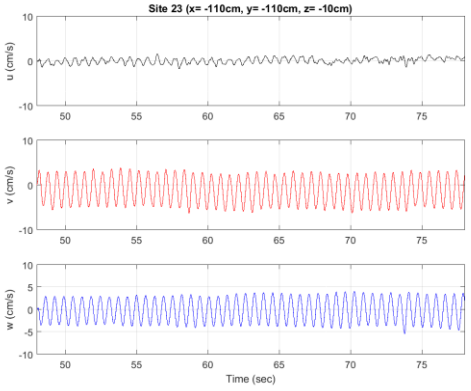

Site 17 (x= -160cm, y= -60cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

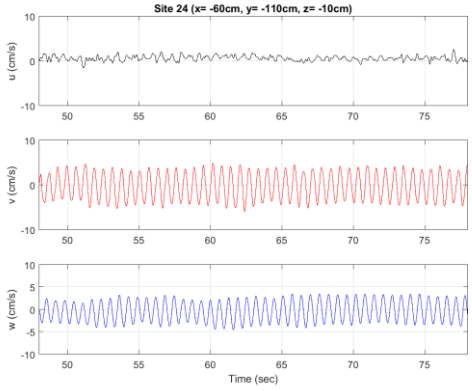

Site 18-1 (x= -100cm, y= -60cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

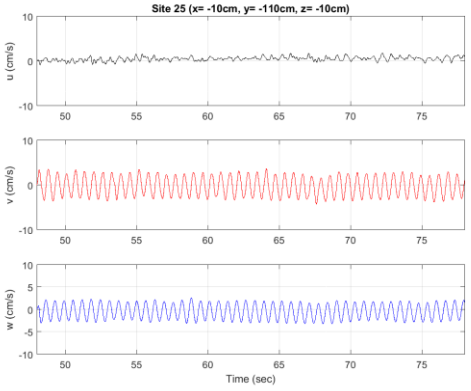

Site 19 (x= -60cm, y= -60cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

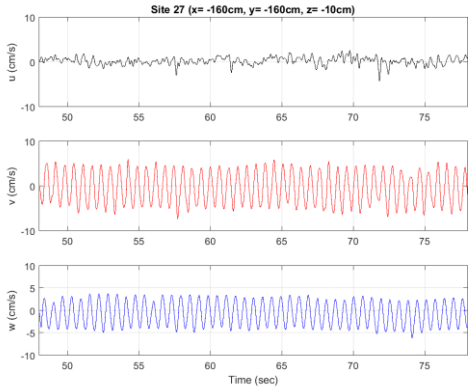

Site 20 (x= -10cm, y= -60cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

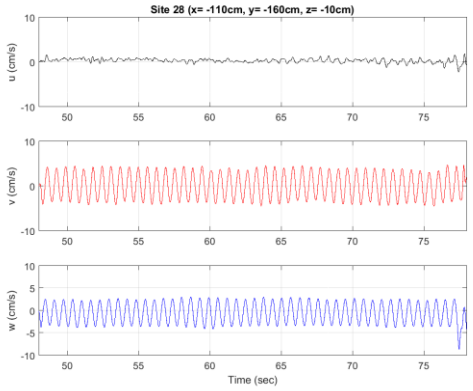

Site 22 (x= -160cm, y= -110cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

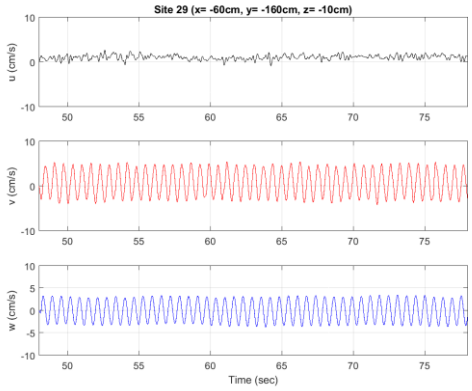

Site 23 (x= -110cm, y= -110cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

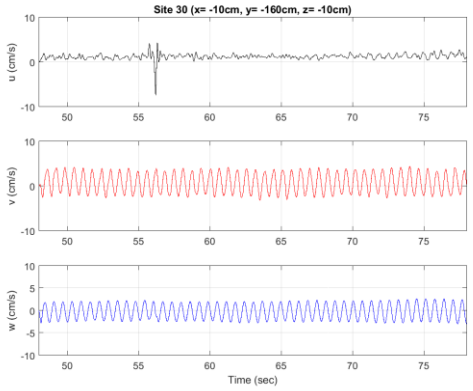

Site 24 (x= -60cm, y= -110cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

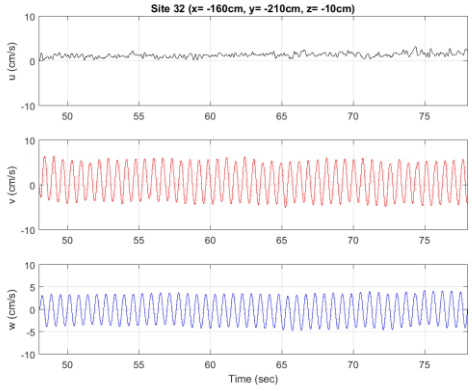

Site 25 (x= -10cm, y= -110cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

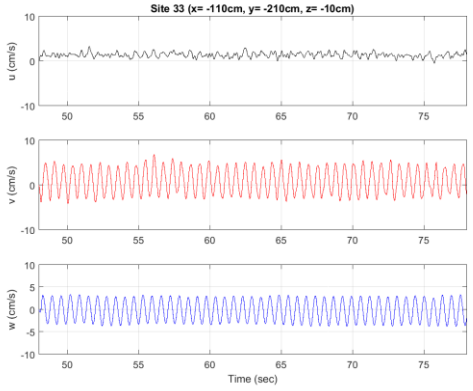

Site 27 (x= -160cm, y= -160cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

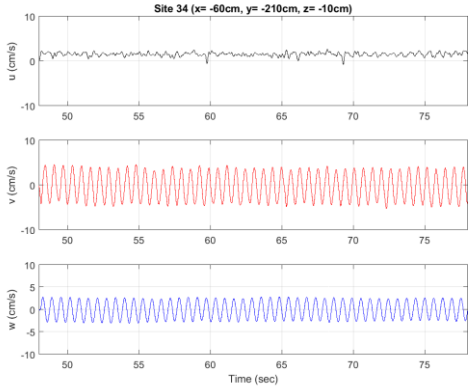

Site 28 (x= -110cm, y= -160cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

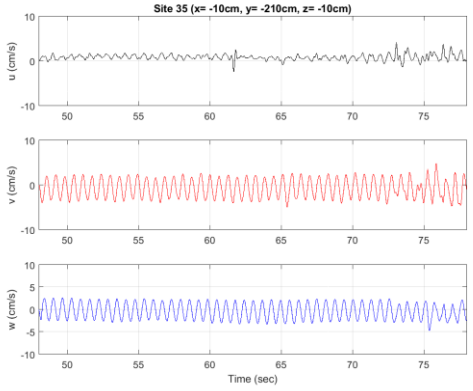

Site 29 (x= -60cm, y= -160cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)


Site 30 (x= -10cm, y= -160cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)


Site 32 (x= -160cm, y= -210cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)


Site 33 (x= -110cm, y= -210cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)


Site 34 (x= -60cm, y= -210cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)


Site 35 (x= -10cm, y= -210cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

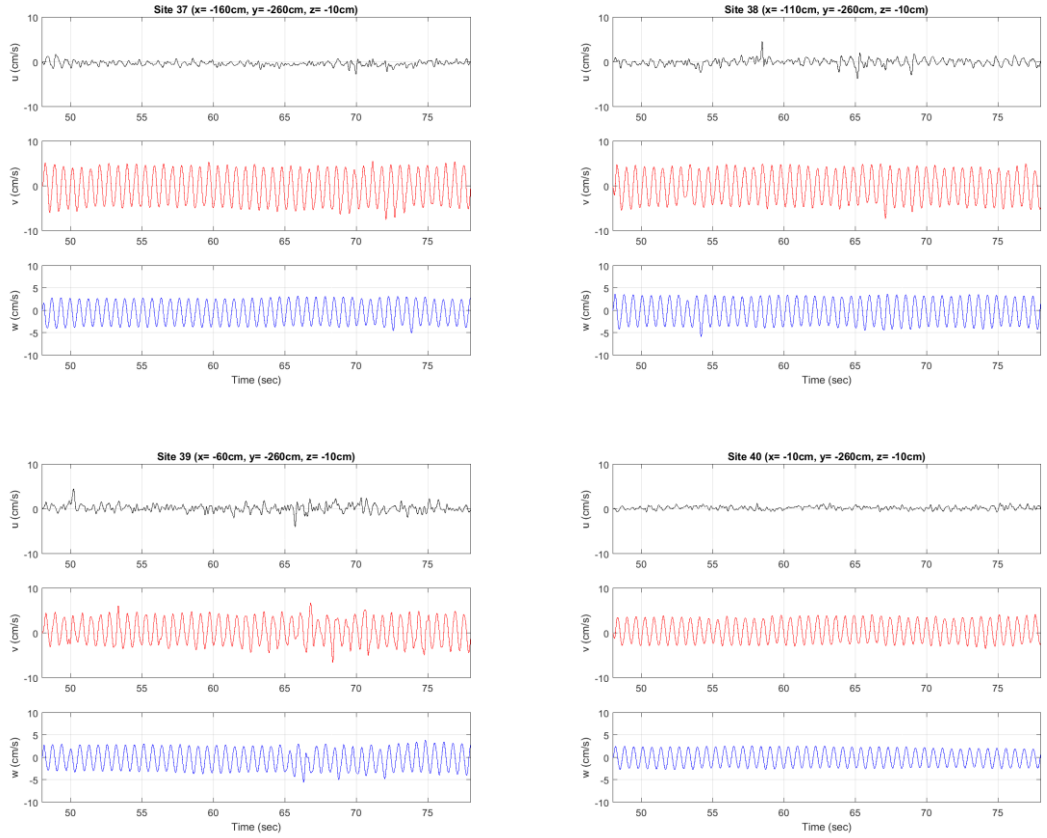
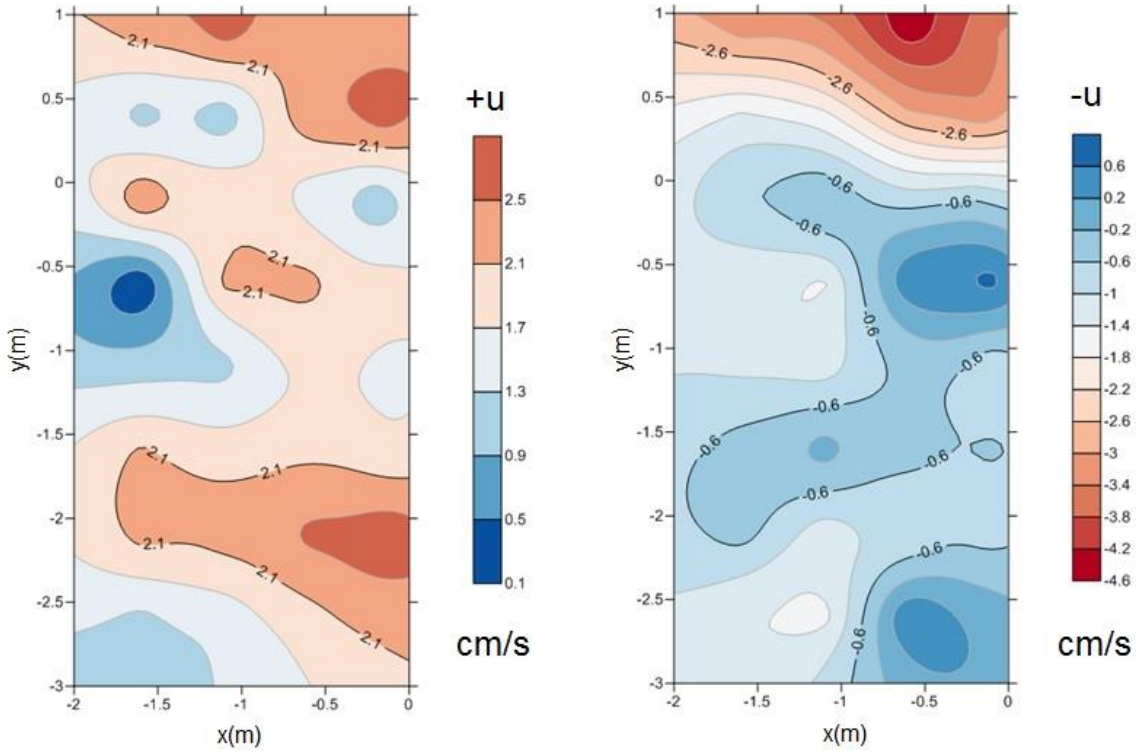
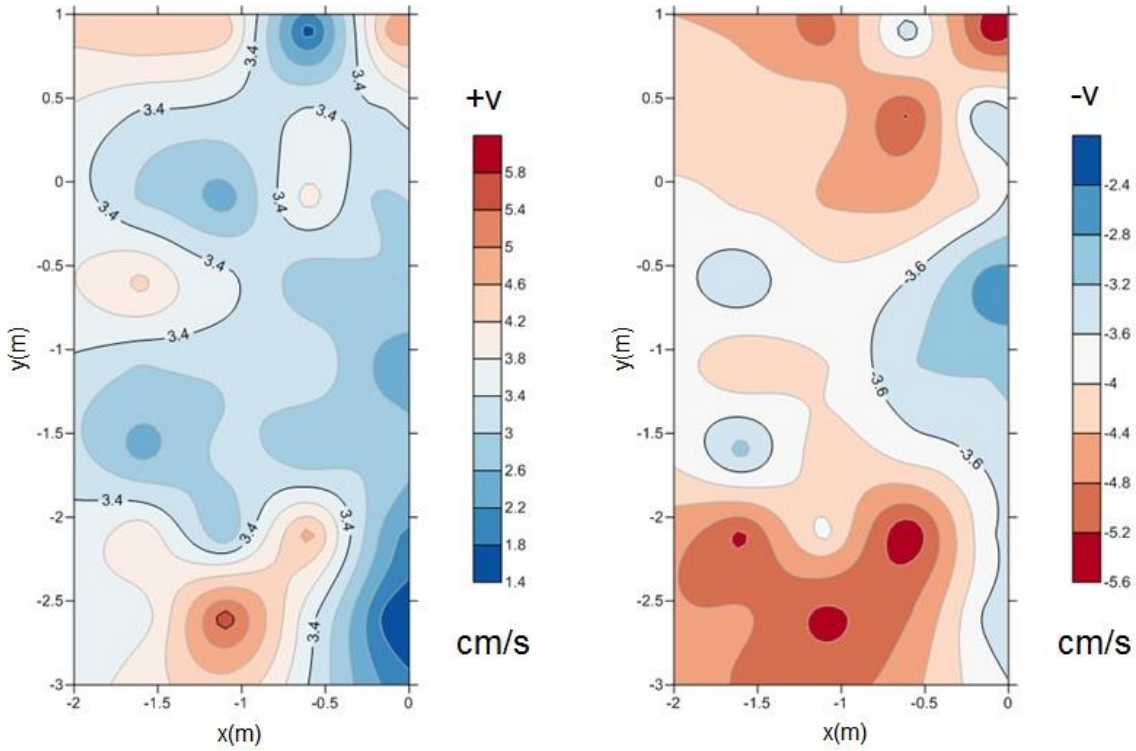



**圖 5.35 季風波浪作用下 Site1~40 選定時間區間 z=-10cm 之流速變化**

由圖 5.36~圖 5.37 可發現季風條件下 z = -15cm 水層因 N 向波浪入射故 v 向流速較大，u 向流速因斜向入射防坡堤之反射波集中於堤頭西北方，故該區有較大之-u 流速，而 w 向流速亦因該區能量集中而較其他區域大；z = -10cm 水層 u 向流速與 z = -15cm 在堤之北方趨勢相同但數值約為 1.5~1.8 倍，而堤頭西側有較大之-v 流速，結合附近較大之-u 流速，顯示在此中間水層存在受波浪斜向入射防坡堤驅動之向西南流束，而 w 向流速則在堤頭西北側之反射集中區較大。


+u
2.5
2.1
1.7
1.3
0.9
0.5
0.1
cm/s
y(m)
x(m)
-u
0.6
0.2
-0.2
-0.6
-1
-1.4
-1.8
-2.2
-2.6
-3
-3.4
-3.8
-4.2
-4.6
cm/s
y(m)
x(m)


+v
5.8
5.4
5
4.6
4.2
3.8
3.4
3
2.6
2.2
1.8
1.4
cm/s
y(m)
x(m)
-v
-2.4
-2.8
-3.2
-3.6
-4
-4.4
-4.8
-5.2
-5.6
cm/s
y(m)
x(m)

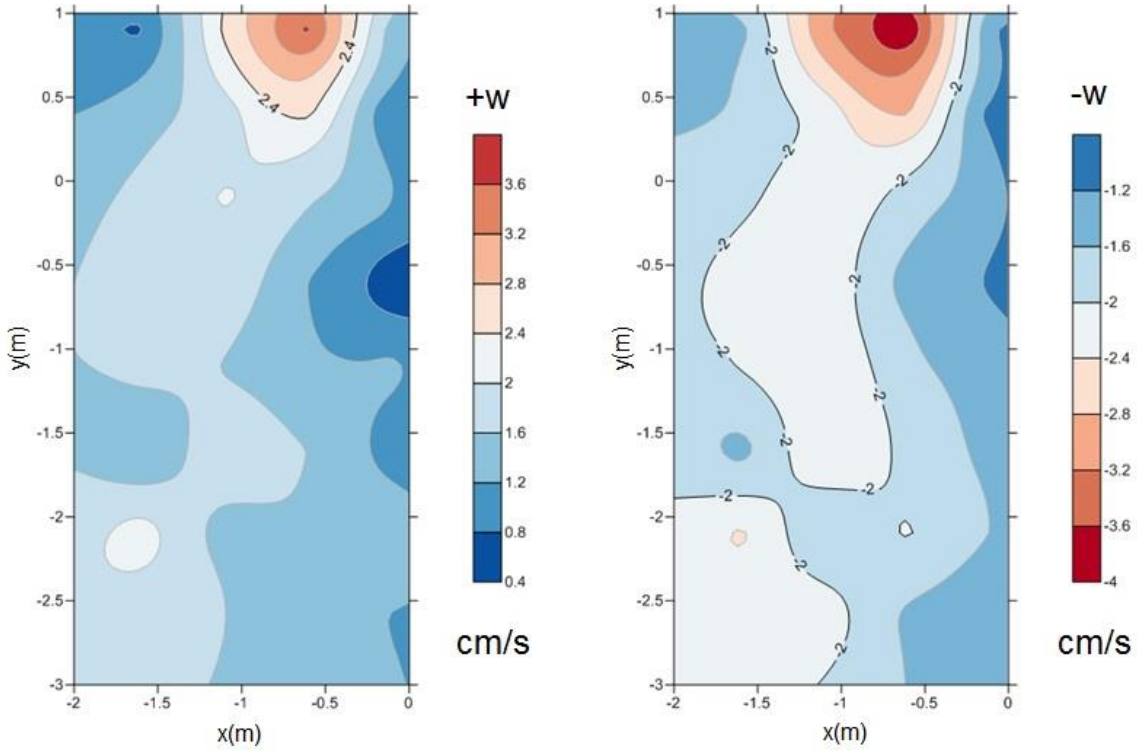
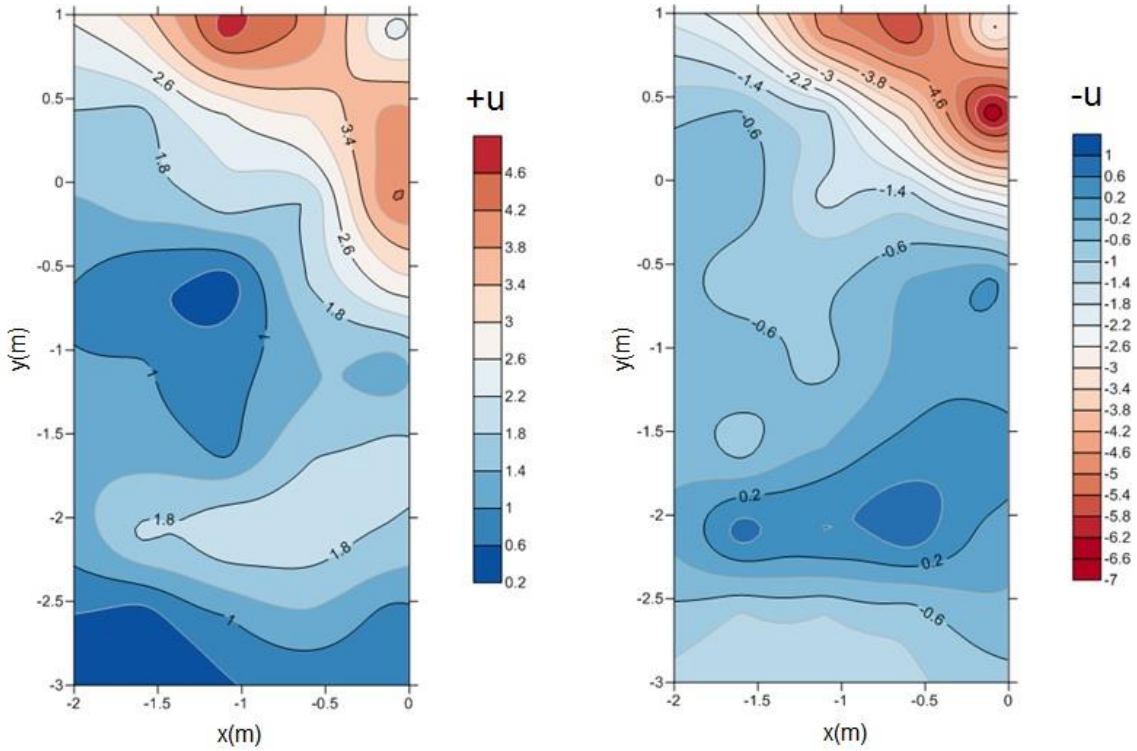



**圖 5.36 季風波浪作用下 z=-15cm 各方向速度峰值平均之分佈趨勢**



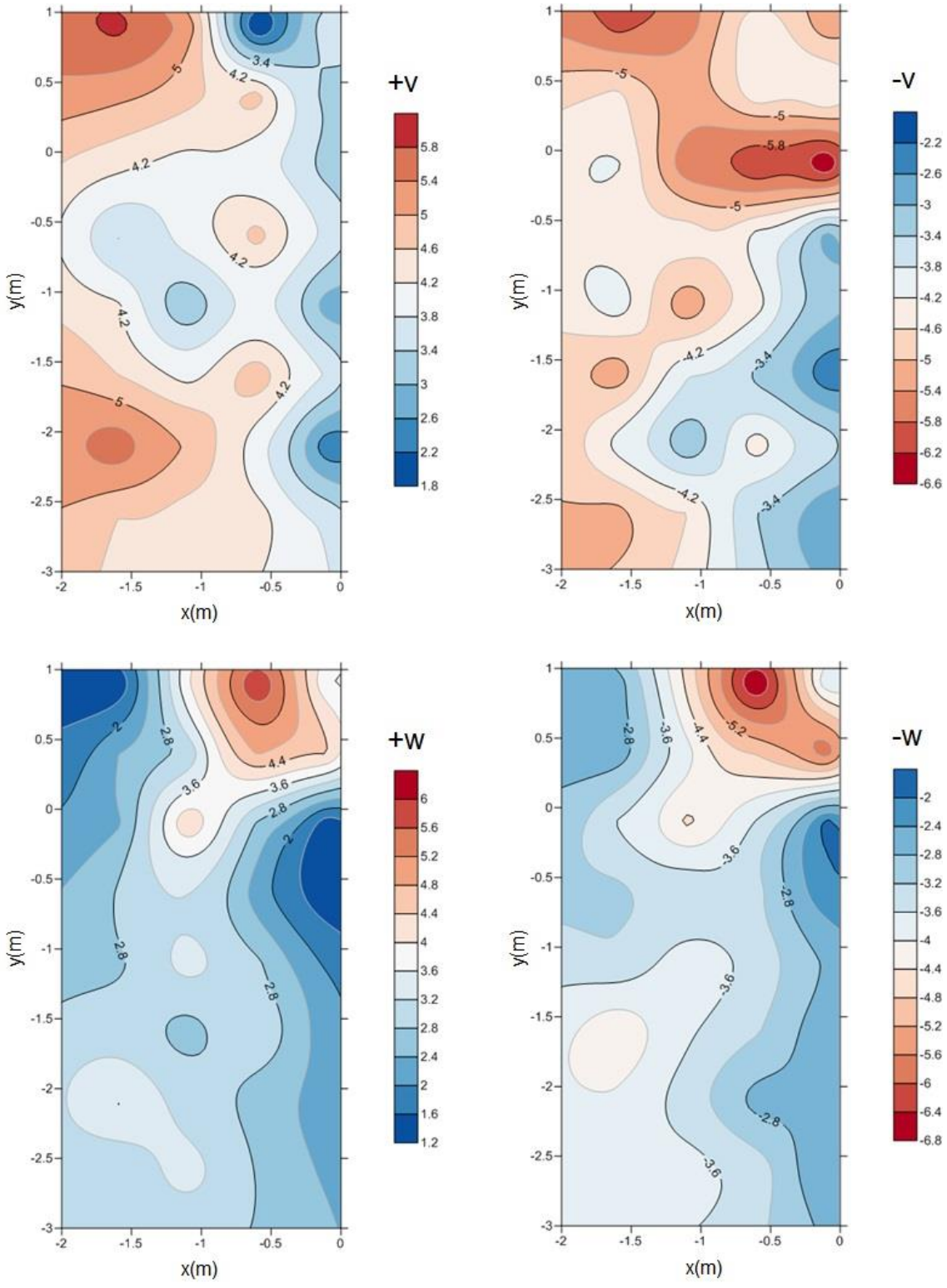



**圖 5.37 季風波浪作用下 z=-10cm 各方向速度峰值平均之分佈趨勢**

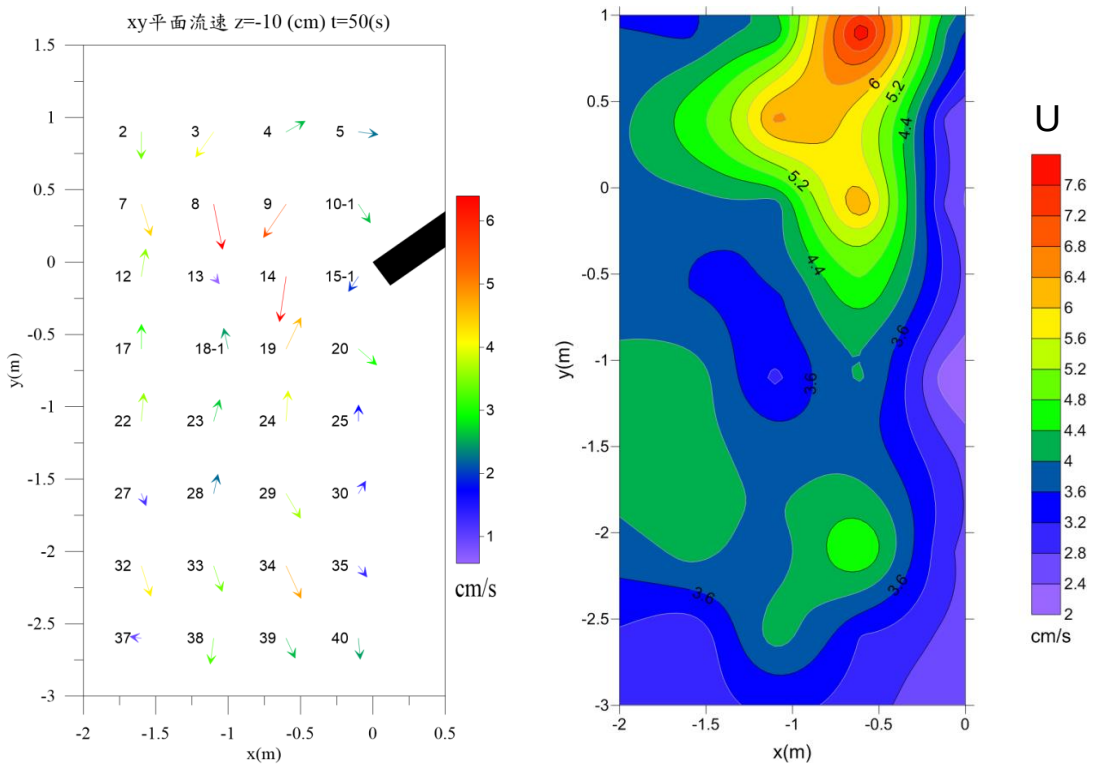



**圖 5.38 季風波浪作用下 t=50sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖**

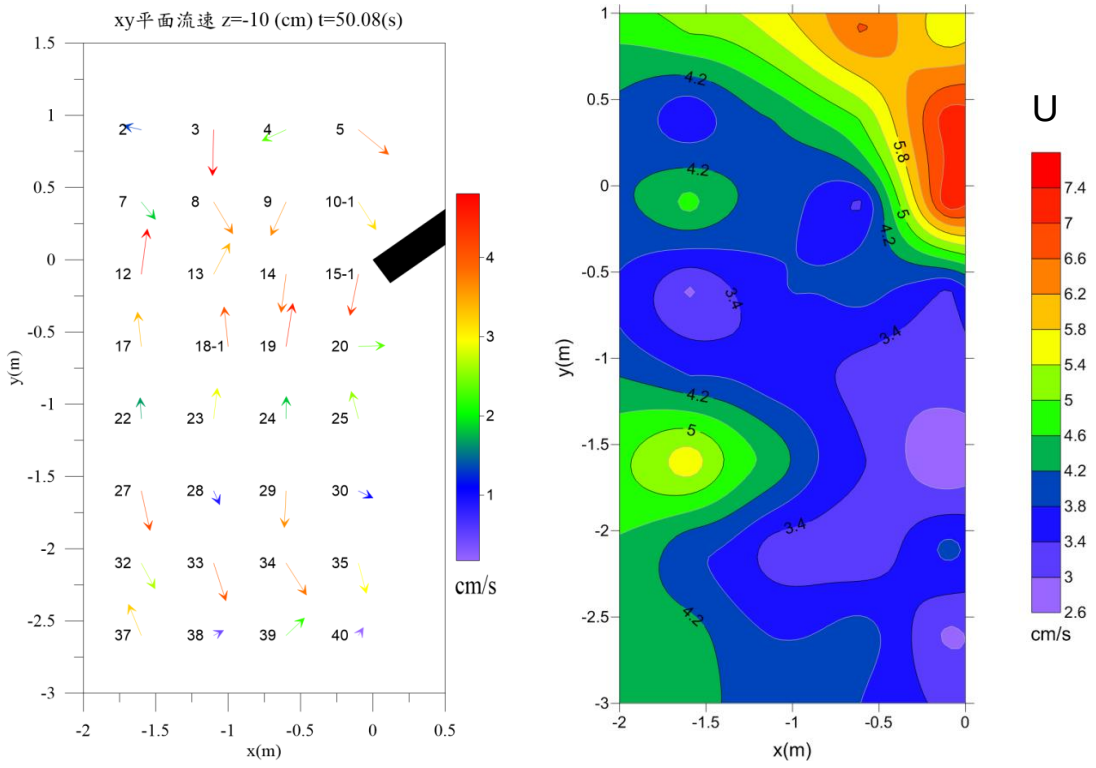



**圖 5.39 季風波浪作用下 t=50.08sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖**

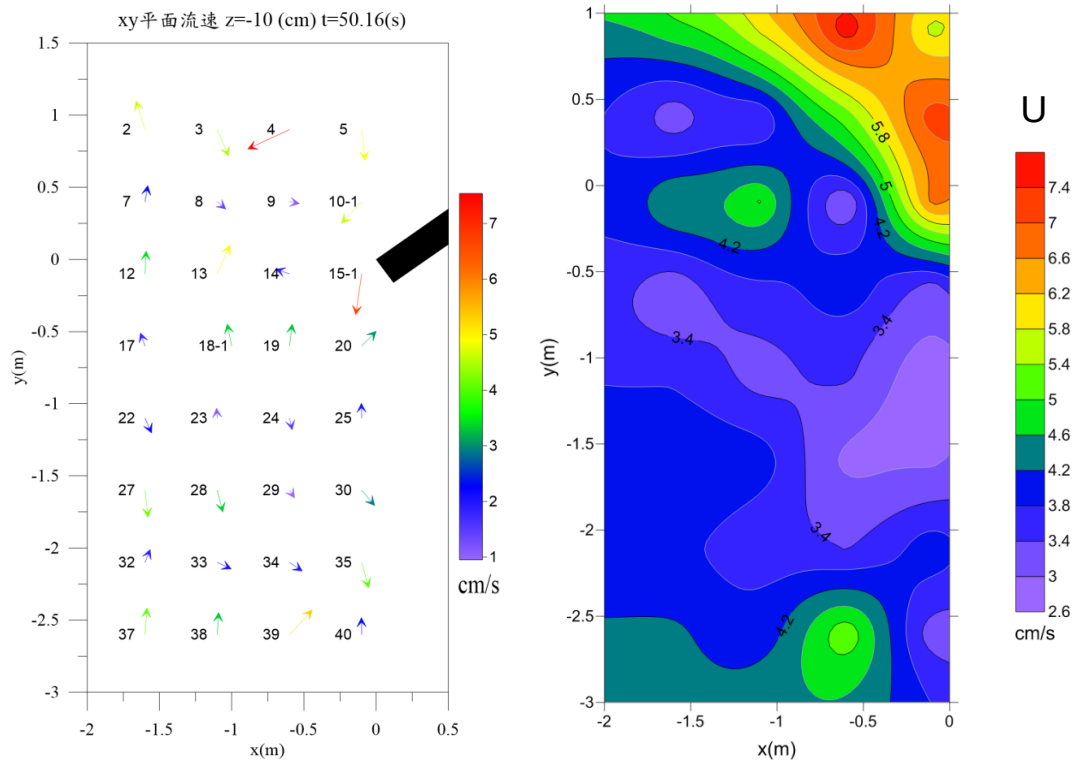



**圖 5.40 季風波浪作用下 t=50.16sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖**

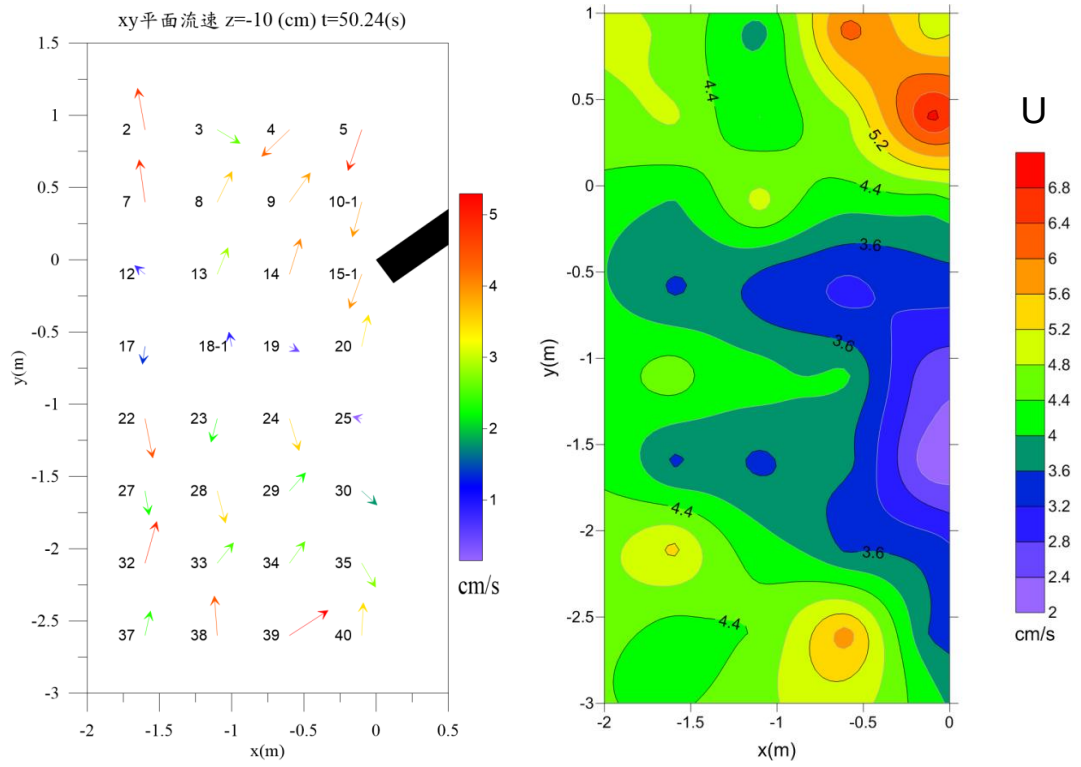



**圖 5.41 季風波浪作用下 t=50.24sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖**

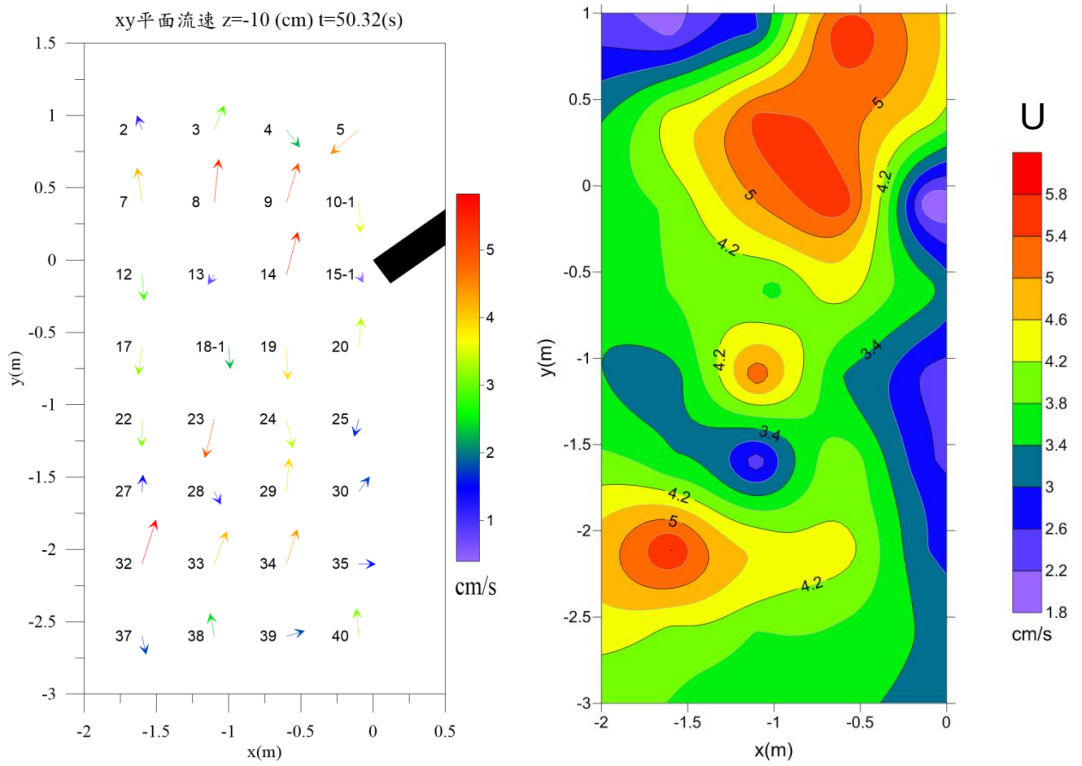



**圖 5.42 季風波浪作用下 t=50.32sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖**

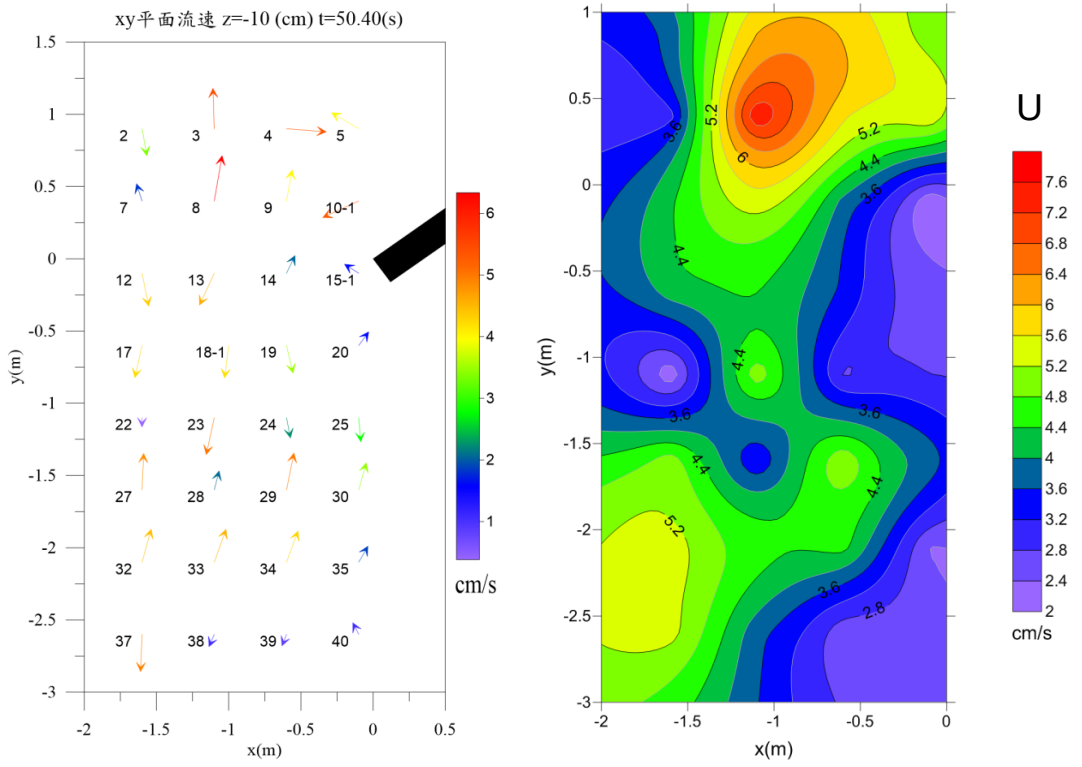



**圖 5.43 季風波浪作用下 t=50.40sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖**

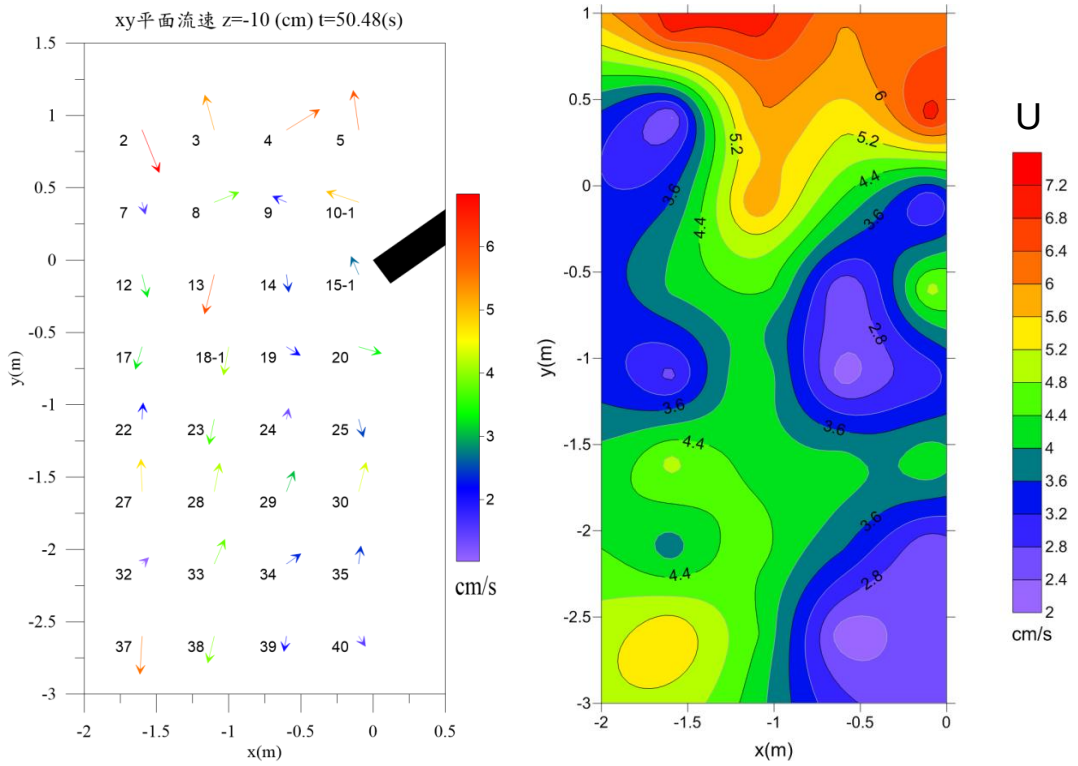



**圖 5.44 季風波浪作用下 t=50.48sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖**

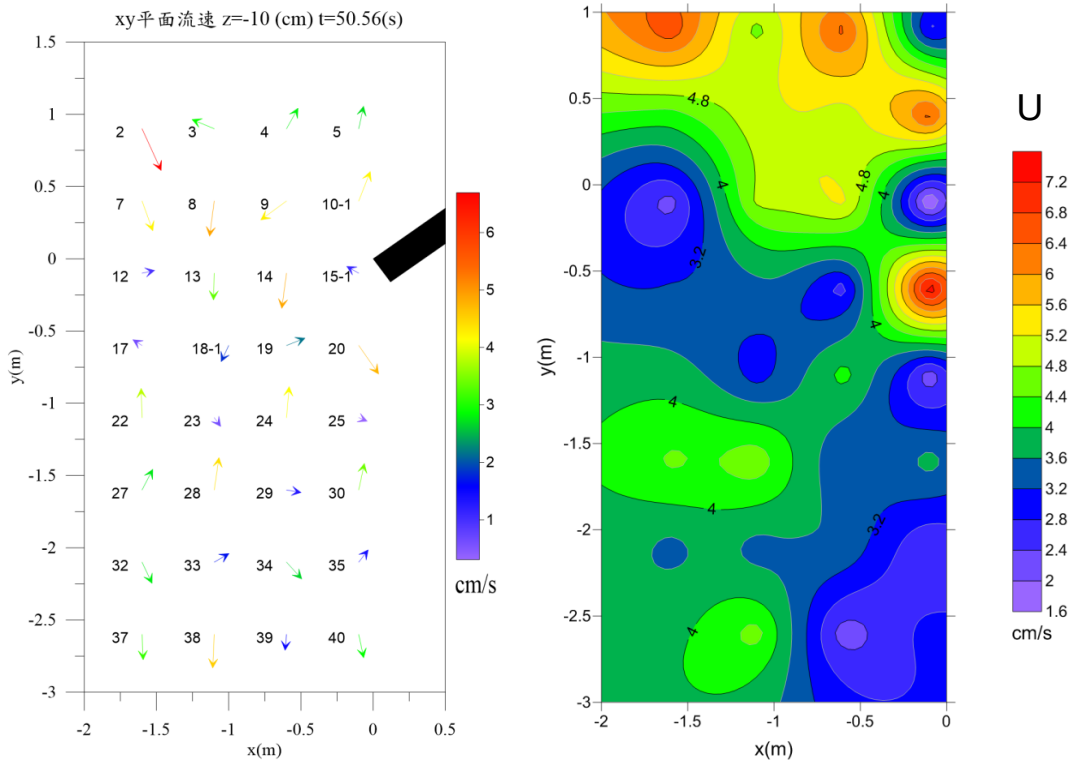



**圖 5.45 季風波浪作用下 t=50.56sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖**

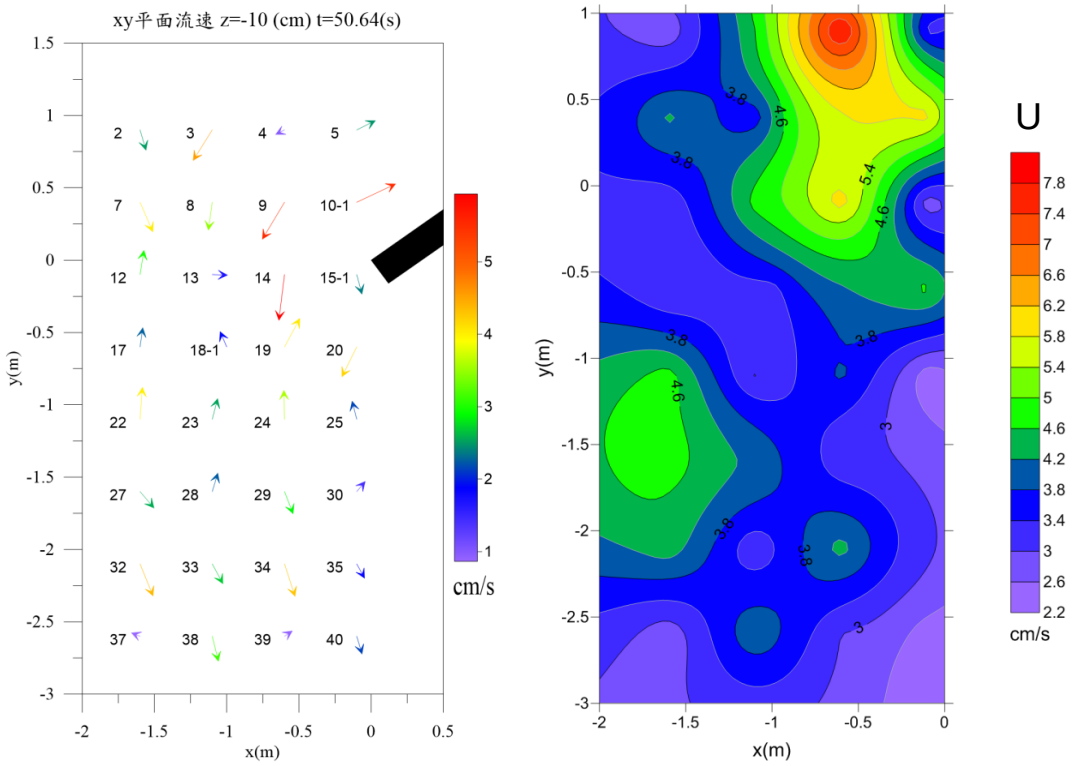



**圖 5.46 季風波浪作用下 t=50.64sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖**

由圖 5.38~圖 5.46 觀察 z = -10cm 水層瞬時平面流速及總流速之變化，由 t = 50~50.64sec 大約包含一個試驗週期 0.632sec，故圖 5.38 與圖 5.46 平面流速各測點速度向量之大小或方向均相當一致，而總流速之趨勢亦相同，最大值均位於堤西北之反射波集中區域，觀察堤北方之 Site5 及 Site10-1 可發現其流向隨著時間做順時鐘方向變化，而鄰近的 Site4 及 Site9 則流向變化為逆時鐘，另觀察堤頭位置 Site15-1 之流向大都往西南，間或往南或往西北，但此週期內未發現往東北向，此亦印證在堤頭附近中間水層存在一往西南之流束，其他測點大都為週期性的往復變化；總流速之變化趨勢有兩方向，其一為波浪入射方向與防坡堤間來回移動，另一為由堤頭移動至堤西北方，整體仍符合週期性變化的趨勢。

E. 季風波浪作用下堤頭附近地形變化

座標原點定在堤頭，N 向季風波浪入射後由深水往較淺處

傳播，以 x=0m 之軸線上來觀察，y = 1500~650m 水深由-24m 至-15m，坡度約為 1/100，y = 650~0m 堤頭處則稍微變深由-15m 至-19m，坡度小於 1/150，因此首先觀察如圖 5.47 所示位置之剖面之地形在季風波浪作用 3 分鐘、6 分鐘、9 分鐘、30 分鐘、60 分鐘後之變化(如圖 5.48 所示)，結果顯示實驗開始階段呈現輕微淤積(如圖 5.49 所示)，但在作用 6 分鐘至 9 分鐘階段即呈現侵淤互現且變化量不大，累計作用 30 分鐘後大致仍為淤積，波浪持續作用至 60 分鐘時堤頭附近轉為輕微侵蝕(如圖 5.50~圖 5.54 所示)，N 向季風波浪造波如圖 5.55 所示。

其次以 N 向季風波浪每次作用 200 個波(約 126 秒)為週期進行堤頭附近之地形變化量測，此時模型縮尺為等比 1/100，作用 200 個波後侵淤結果如圖 5.56，作用 400 個波後與原地形相較侵淤結果如圖 5.57，作用 600 個波後侵淤結果如圖 5.58 所示，結果顯示在季風波浪作用下地形變化相當不明顯，僅在堤頭後側稍有淤積，且隨著波浪持續作用範圍稍往航道移動，另在堤之北方水深較淺處輕微侵蝕外，其他區域大都為穩定狀態，檢查現場條件堤頭水深約 19m，對季風波浪為中間水深但較接近深水條件，故較難達到漂砂啟動條件。

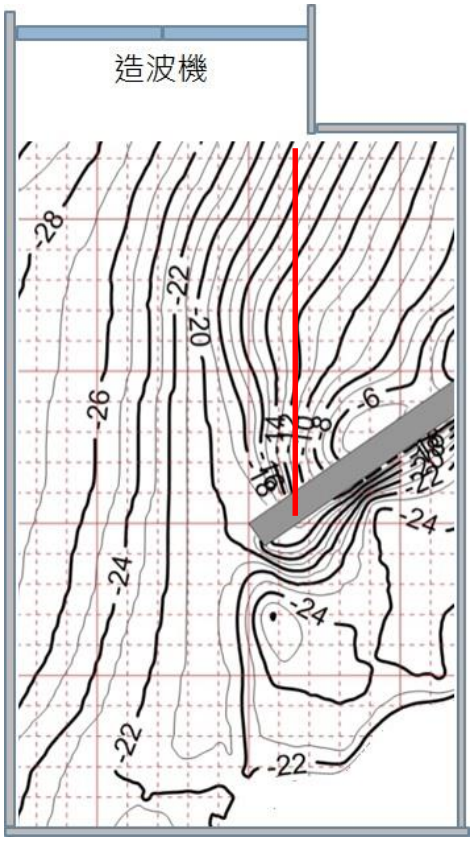



**圖 5.47 季風波浪作用下地形剖面量測位置圖**

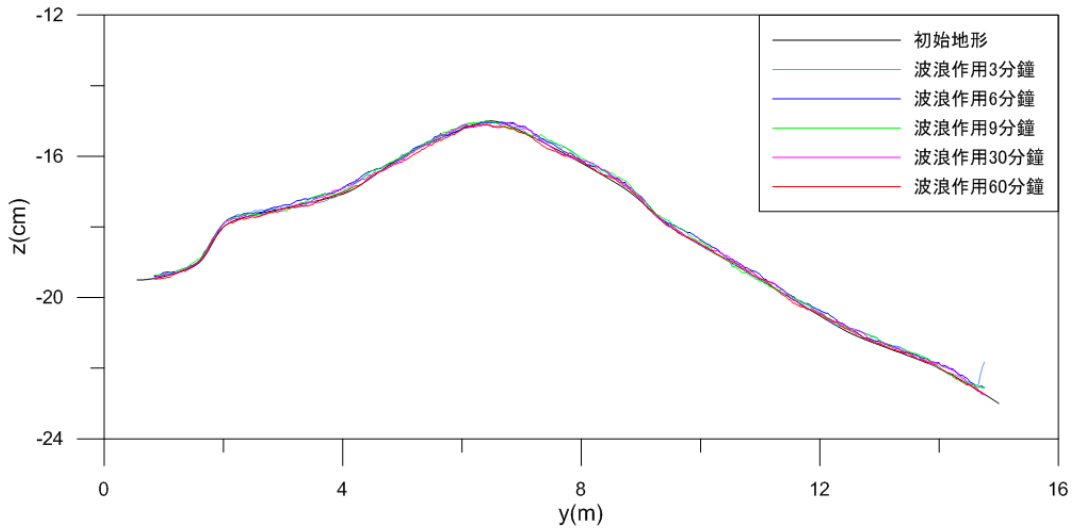



**圖 5.48 季風波浪作用下之地形剖面變化**

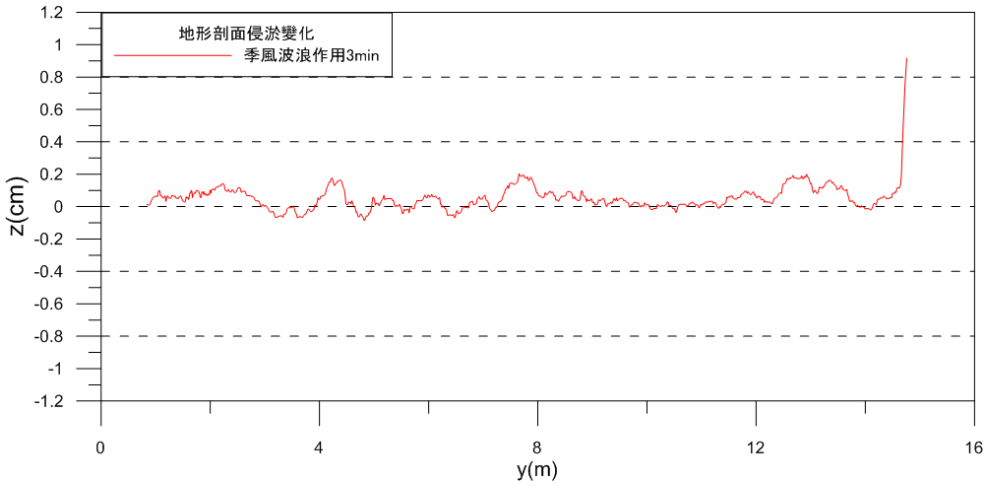



**圖 5.49 季風波浪作用 3 分鐘之地形剖面變化**

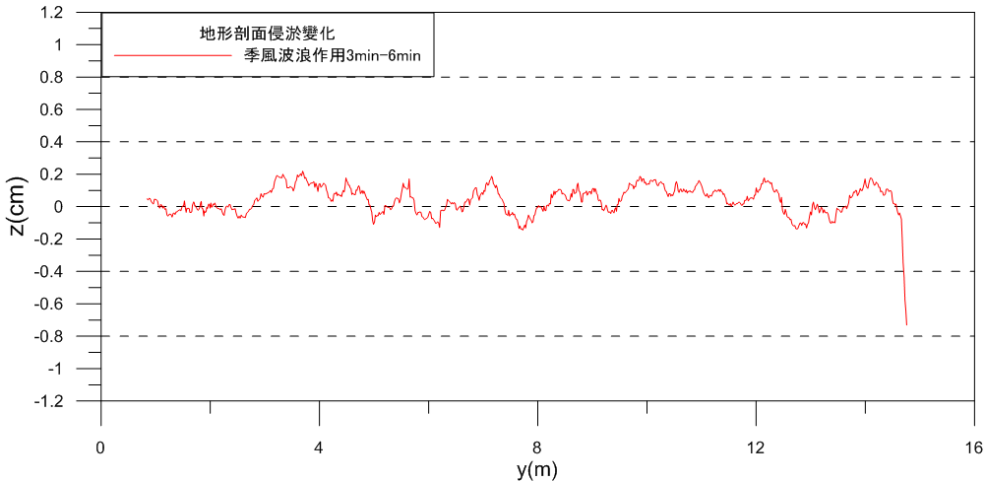



**圖 5.50 季風波浪作用 3 分鐘~6 分鐘之地形剖面變化**

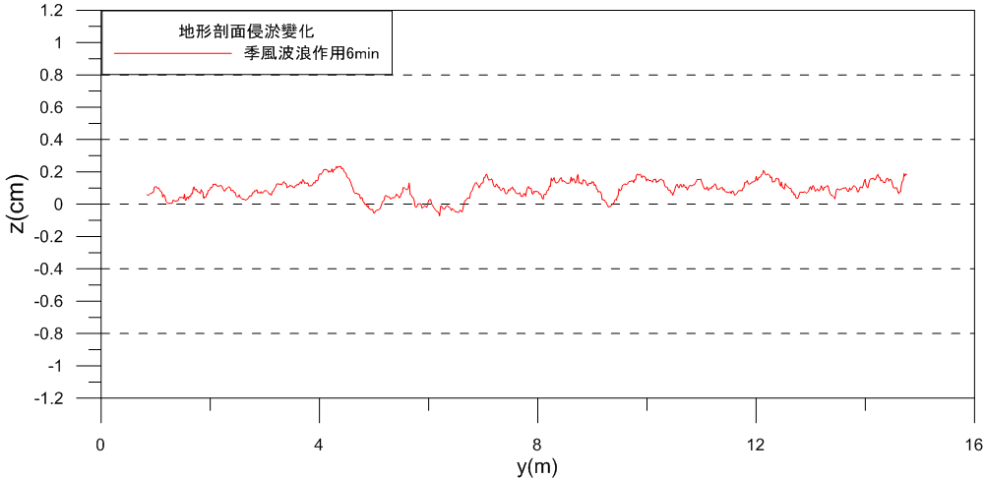



**圖 5.51 季風波浪作用 6 分鐘之地形剖面變化**

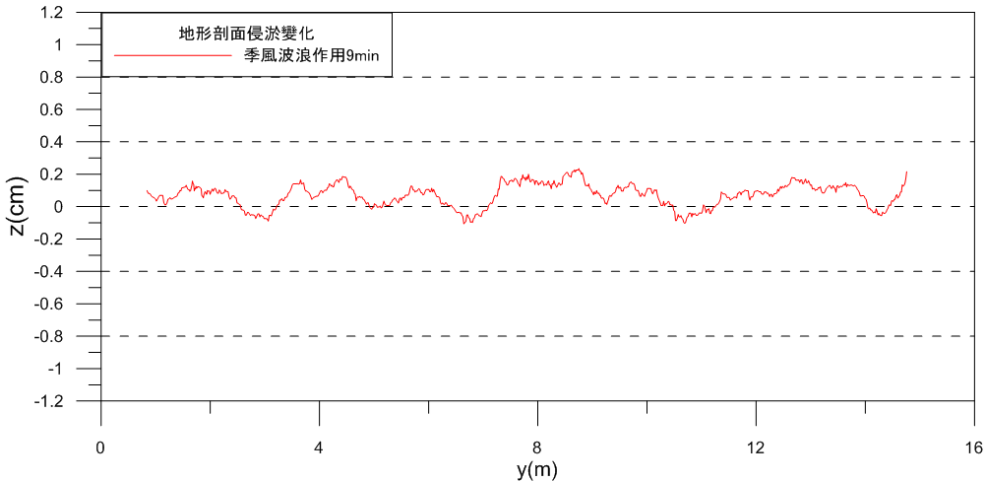



**圖 5.52 季風波浪作用 9 分鐘之地形剖面變化**

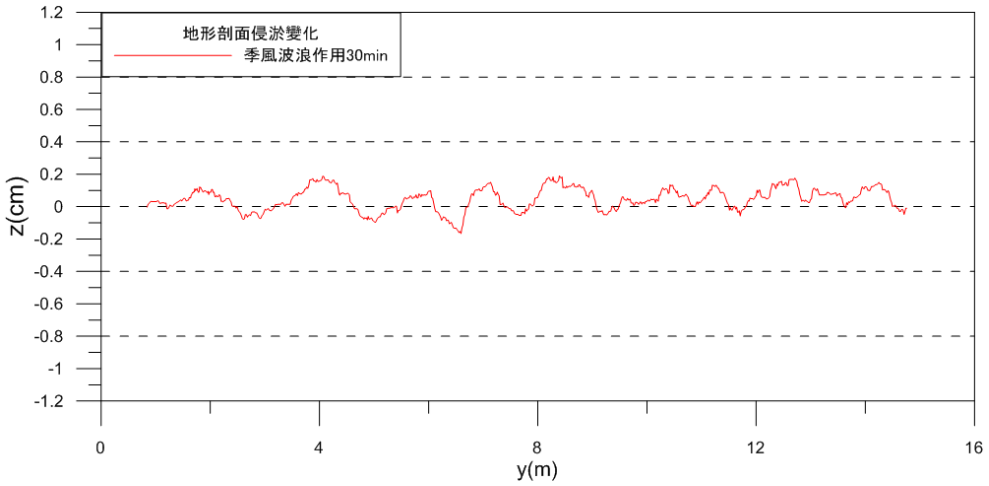



**圖 5.53 季風波浪作用 30 分鐘之地形剖面變化**

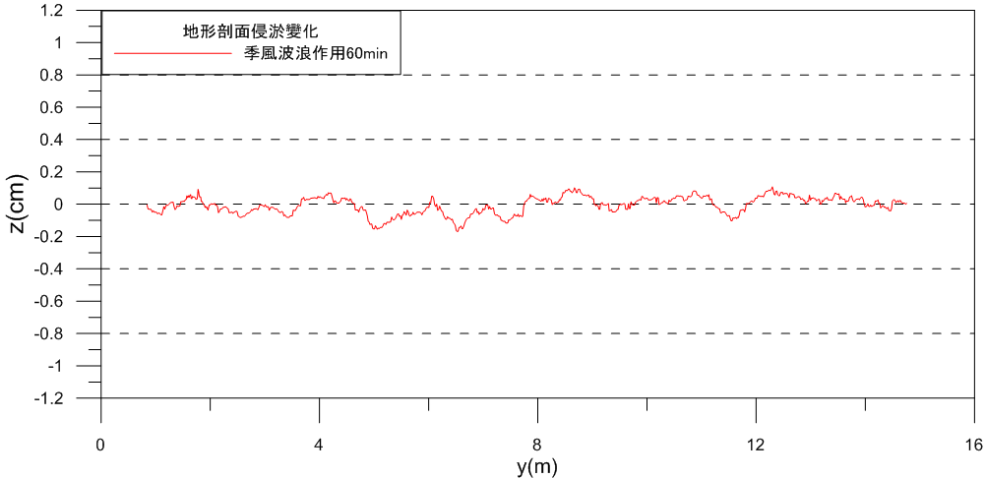



**圖 5.54 季風波浪作用 60 分鐘之地形剖面變化**



**圖 5.55 N 向季風波浪造波圖**

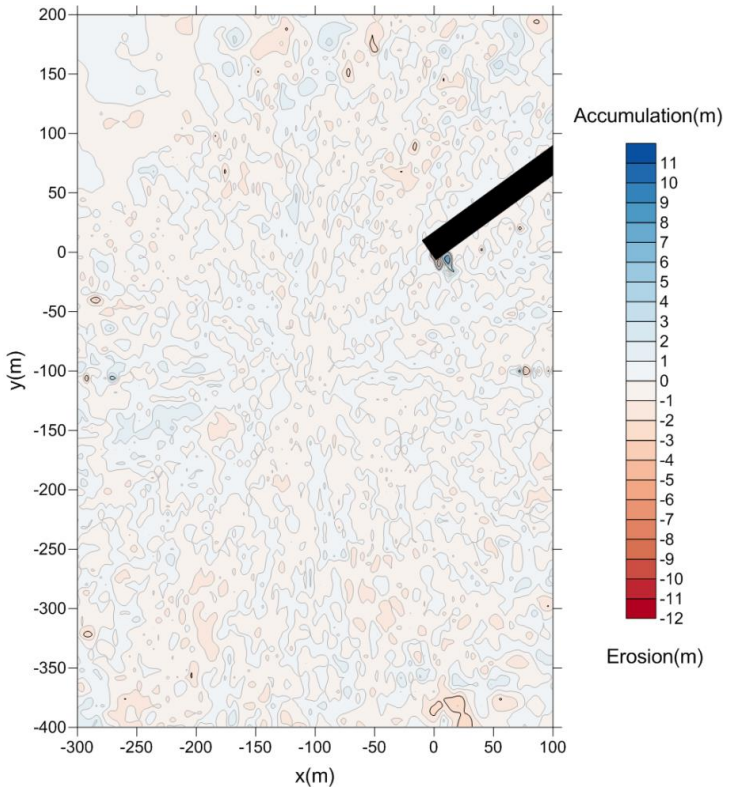



**圖 5.56 季風波浪作用 200 個波後之地形變化**

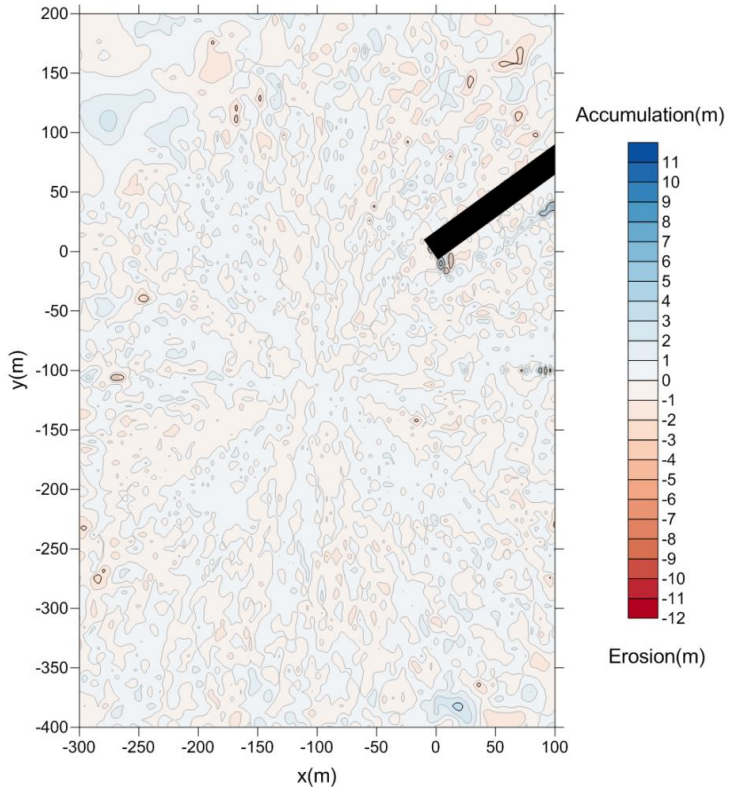



**圖 5.57 季風波浪作用 400 個波後之地形變化**

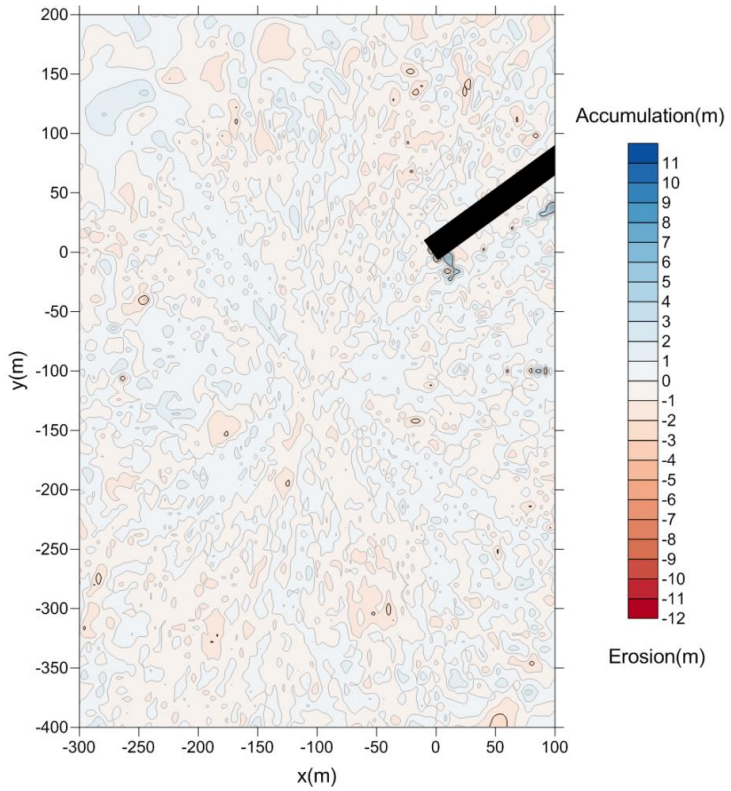



**圖 5.58 季風波浪作用 600 個波後之地形變化**

3. 颱風波浪作用

A. 颱風波浪波高及流速量測點位

為觀測颱風波浪作用下防波堤堤頭處之波、流場，加密堤頭附近之測點以探討深水沉箱堤附近水域在颱風波浪下所引發之波、流場特性。颱風波浪試驗佈置之波高計及流速儀量測點如圖 5.59、圖 5.60 所示，藍色方框為波高計測點，座標如表 5.11；紅色圓圈為流速儀測點，座標如表 5.12。

B. 颱風波浪資料分析時間區段測定

N 向颱風波浪條件造波穩定時間之測定，參考於造波機前之入射波高資料，研判 t = 10~30sec 區間相對穩定，故取 t = 10~30sec 區間作為入射波浪條件校準，使用零上切法分析可得 H=6.25cm，T=1.06sec，週期與試驗條件相當一致，波高誤差約 2%。同時比較堤頭西北方之 Site2H 及東南側 Site40H 波形資料與季風波浪選擇時間區段所用之相同位置，顯示在 t = 25~35sec 有較穩定區間可做為資料分析之用(如圖 5.61)，故選取上述時間區間分析颱風波場及流場之變化。

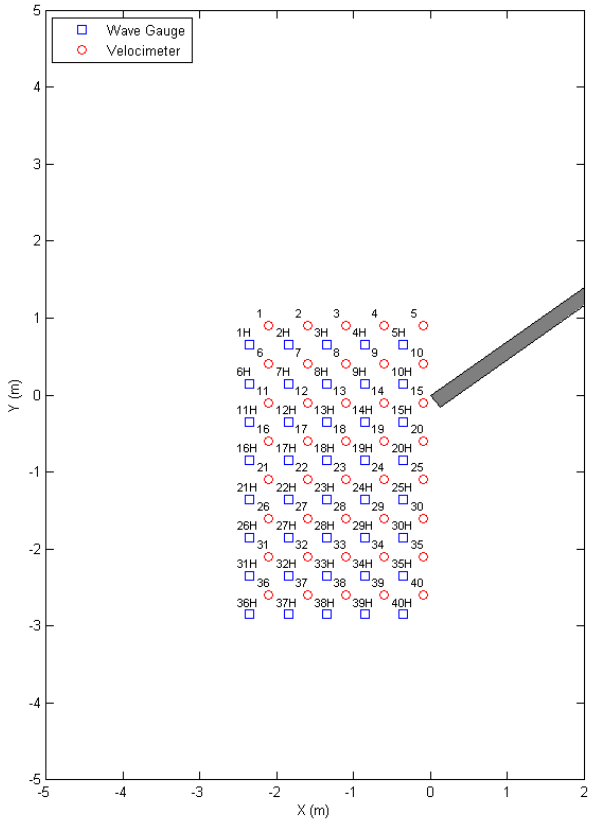



**圖 5.59 颱風波浪波高及流速量測點示意圖**

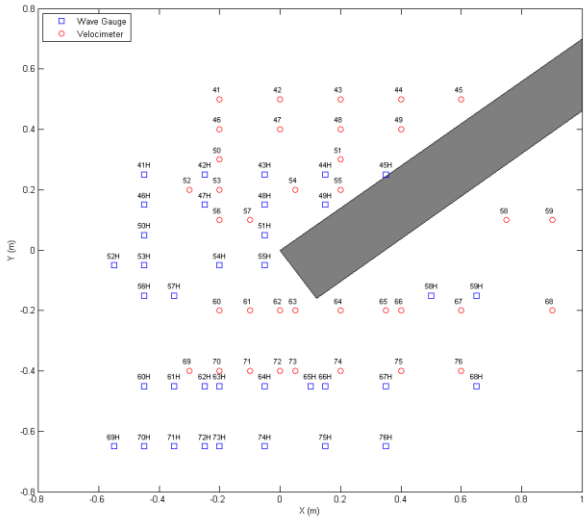



**圖 5.60 颱風波浪堤頭附近波高及流速量測點示意圖**

**表 5.11 颱風波浪波高計測點座標表**

| Site | x(m) | y(m) | Site | x(m) | y(m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1H | -2.35 | 0.65 | 41H | -0.45 | 0.25 |
| 2H | -1.85 | 0.65 | 42H | -0.25 | 0.25 |
| 3H | -1.35 | 0.65 | 43H | -0.05 | 0.25 |
| 4H | -0.85 | 0.65 | 44H | 0.15 | 0.25 |
| 5H | -0.35 | 0.65 | 45H | 0.35 | 0.25 |
| 6H | -2.35 | 0.15 | 46H | -0.45 | 0.15 |
| 7H | -1.85 | 0.15 | 47H | -0.25 | 0.15 |
| 8H | -1.35 | 0.15 | 48H | -0.05 | 0.15 |
| 9H | -0.85 | 0.15 | 49H | 0.15 | 0.15 |
| 10H | -0.35 | 0.15 | 50H | -0.45 | 0.05 |
| 11H | -2.35 | -0.35 | 51H | -0.05 | 0.05 |
| 12H | -1.85 | -0.35 | 52H | -0.55 | -0.05 |
| 13H | -1.35 | -0.35 | 53H | -0.45 | -0.05 |
| 14H | -0.85 | -0.35 | 54H | -0.2 | -0.05 |
| 15H | -0.35 | -0.35 | 55H | -0.05 | -0.05 |
| 16H | -2.35 | -0.85 | 56H | -0.45 | -0.15 |
| 17H | -1.85 | -0.85 | 57H | -0.35 | -0.15 |
| 18H | -1.35 | -0.85 | 58H | 0.5 | -0.15 |
| 19H | -0.85 | -0.85 | 59H | 0.65 | -0.15 |
| 20H | -0.35 | -0.85 | 60H | -0.45 | -0.45 |
| 21H | -2.35 | -1.35 | 61H | -0.35 | -0.45 |
| 22H | -1.85 | -1.35 | 62H | -0.25 | -0.45 |
| 23H | -1.35 | -1.35 | 63H | -0.2 | -0.45 |
| 24H | -0.85 | -1.35 | 64H | -0.05 | -0.45 |
| 25H | -0.35 | -1.35 | 65H | 0.1 | -0.45 |
| 26H | -2.35 | -1.85 | 66H | 0.15 | -0.45 |
| 27H | -1.85 | -1.85 | 67H | 0.35 | -0.45 |
| 28H | -1.35 | -1.85 | 68H | 0.65 | -0.45 |
| 29H | -0.85 | -1.85 | 69H | -0.55 | -0.65 |
| 30H | -0.35 | -1.85 | 70H | -0.45 | -0.65 |
| 31H | -2.35 | -2.35 | 71H | -0.35 | -0.65 |
| 32H | -1.85 | -2.35 | 72H | -0.25 | -0.65 |
| 33H | -1.35 | -2.35 | 73H | -0.2 | -0.65 |
| 34H | -0.85 | -2.35 | 74H | -0.05 | -0.65 |
| 35H | -0.35 | -2.35 | 75H | 0.15 | -0.65 |
| 36H | -2.35 | -2.85 | 76H | 0.35 | -0.65 |
| 37H | -1.85 | -2.85 | 77H | 0 | 1.4 |
| 38H | -1.35 | -2.85 | 78H | 0 | 2.4 |
| 39H | -0.85 | -2.85 | 79H | 0 | 3.4 |
| 40H | -0.35 | -2.85 | 80H | 0 | 4.4 |

**表 5.12 颱風波浪流速儀測點座標表**

| Site | x(m) | y(m) | Site | x(m) | y(m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -2.1 | 0.9 | 39 | -0.6 | -2.6 |
| 2 | -1.6 | 0.9 | 40 | -0.1 | -2.6 |
| 3 | -1.1 | 0.9 | 41 | -0.2 | 0.5 |
| 4 | -0.6 | 0.9 | 42 | 0 | 0.5 |
| 5 | -0.1 | 0.9 | 43 | 0.2 | 0.5 |
| 6 | -2.1 | 0.4 | 44 | 0.4 | 0.5 |
| 7 | -1.6 | 0.4 | 45 | 0.6 | 0.5 |
| 8 | -1.1 | 0.4 | 46 | -0.2 | 0.4 |
| 9 | -0.6 | 0.4 | 47 | 0 | 0.4 |
| 10 | -0.1 | 0.4 | 48 | 0.2 | 0.4 |
| 11 | -2.1 | -0.1 | 49 | 0.4 | 0.4 |
| 12 | -1.6 | -0.1 | 50 | -0.2 | 0.3 |
| 13 | -1.1 | -0.1 | 51 | 0.2 | 0.3 |
| 14 | -0.6 | -0.1 | 52 | -0.3 | 0.2 |
| 15 | -0.1 | -0.1 | 53 | -0.2 | 0.2 |
| 16 | -2.1 | -0.6 | 54 | 0.05 | 0.2 |
| 17 | -1.6 | -0.6 | 55 | 0.2 | 0.2 |
| 18 | -1.1 | -0.6 | 56 | -0.2 | 0.1 |
| 19 | -0.6 | -0.6 | 57 | -0.1 | 0.1 |
| 20 | -0.1 | -0.6 | 58 | 0.75 | 0.1 |
| 21 | -2.1 | -1.1 | 59 | 0.9 | 0.1 |
| 22 | -1.6 | -1.1 | 60 | -0.2 | -0.2 |
| 23 | -1.1 | -1.1 | 61 | -0.1 | -0.2 |
| 24 | -0.6 | -1.1 | 62 | 0 | -0.2 |
| 25 | -0.1 | -1.1 | 63 | 0.05 | -0.2 |
| 26 | -2.1 | -1.6 | 64 | 0.2 | -0.2 |
| 27 | -1.6 | -1.6 | 65 | 0.35 | -0.2 |
| 28 | -1.1 | -1.6 | 66 | 0.4 | -0.2 |
| 29 | -0.6 | -1.6 | 67 | 0.6 | -0.2 |
| 30 | -0.1 | -1.6 | 68 | 0.9 | -0.2 |
| 31 | -2.1 | -2.1 | 69 | -0.3 | -0.4 |
| 32 | -1.6 | -2.1 | 70 | -0.2 | -0.4 |
| 33 | -1.1 | -2.1 | 71 | -0.1 | -0.4 |
| 34 | -0.6 | -2.1 | 72 | 0 | -0.4 |
| 35 | -0.1 | -2.1 | 73 | 0.05 | -0.4 |
| 36 | -2.1 | -2.6 | 74 | 0.2 | -0.4 |
| 37 | -1.6 | -2.6 | 75 | 0.4 | -0.4 |
| 38 | -1.1 | -2.6 | 76 | 0.6 | -0.4 |

C. 防波堤堤頭附近颱風波浪水位變化及波場分布

各測點位於前述選定時間區間之水位變化如圖 5.62 所示，

以堤頭附近水位變化計算波場分佈如圖 5.63，Kd 值分佈如圖 5.64。

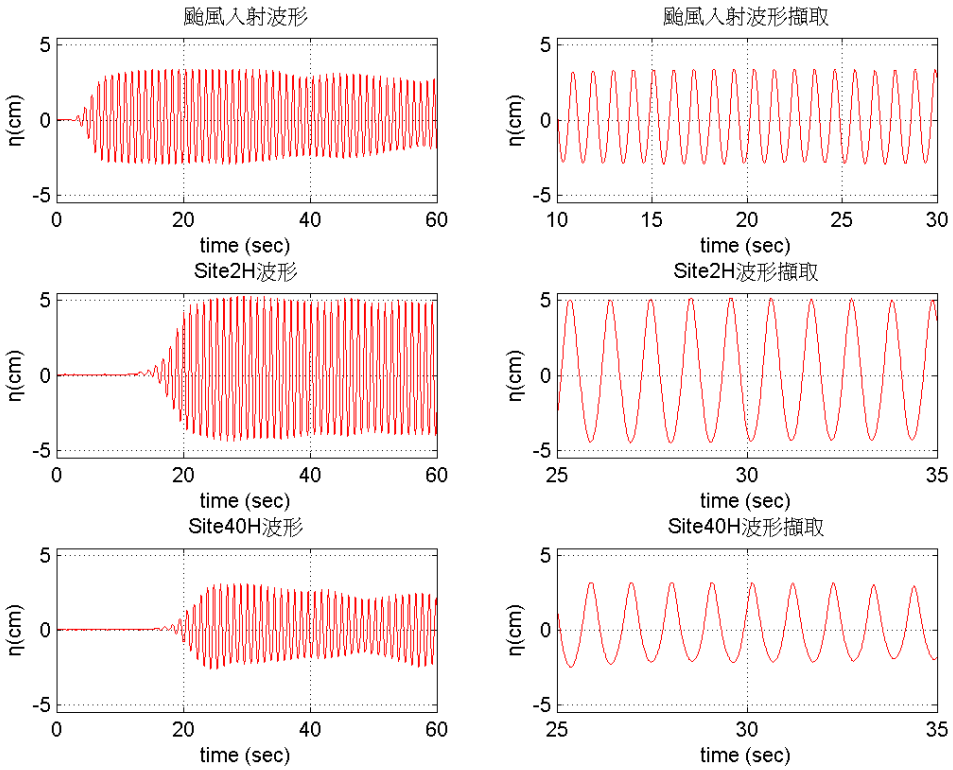
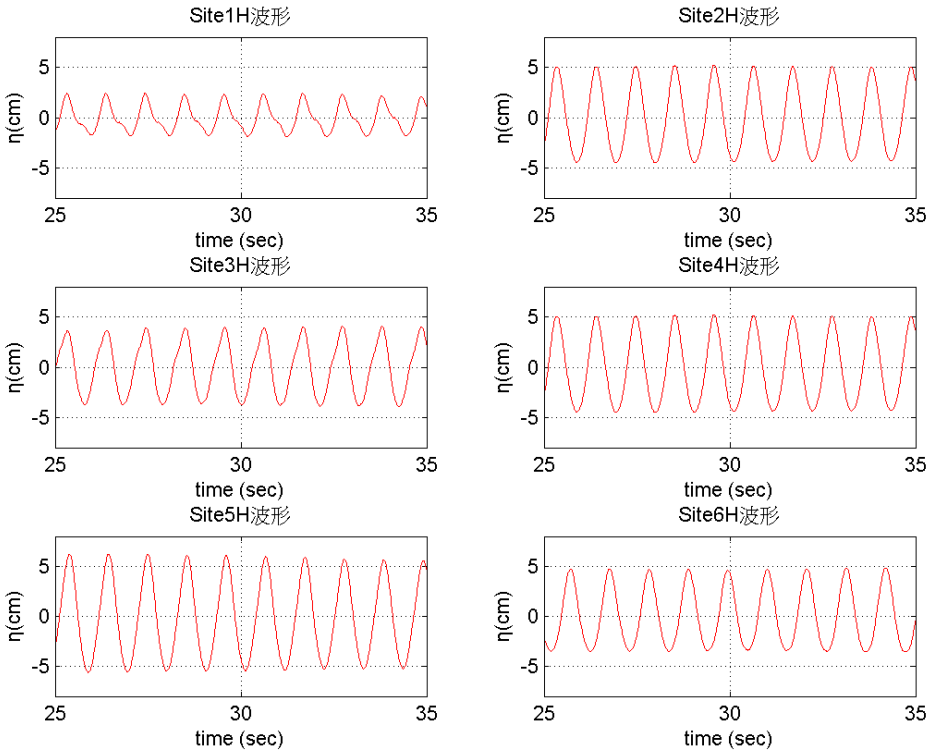
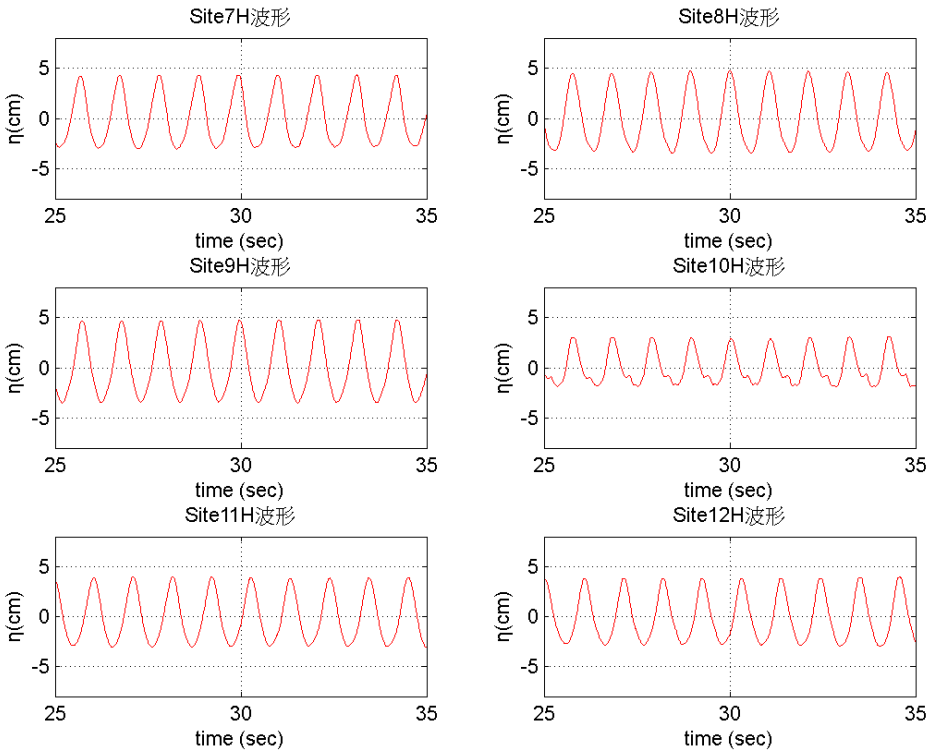
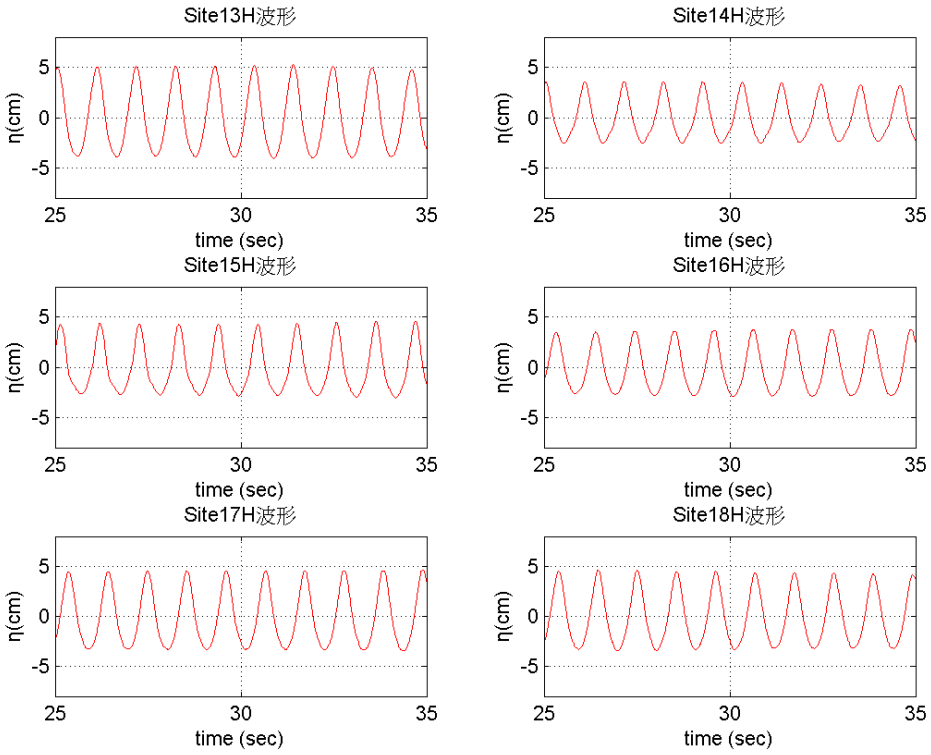
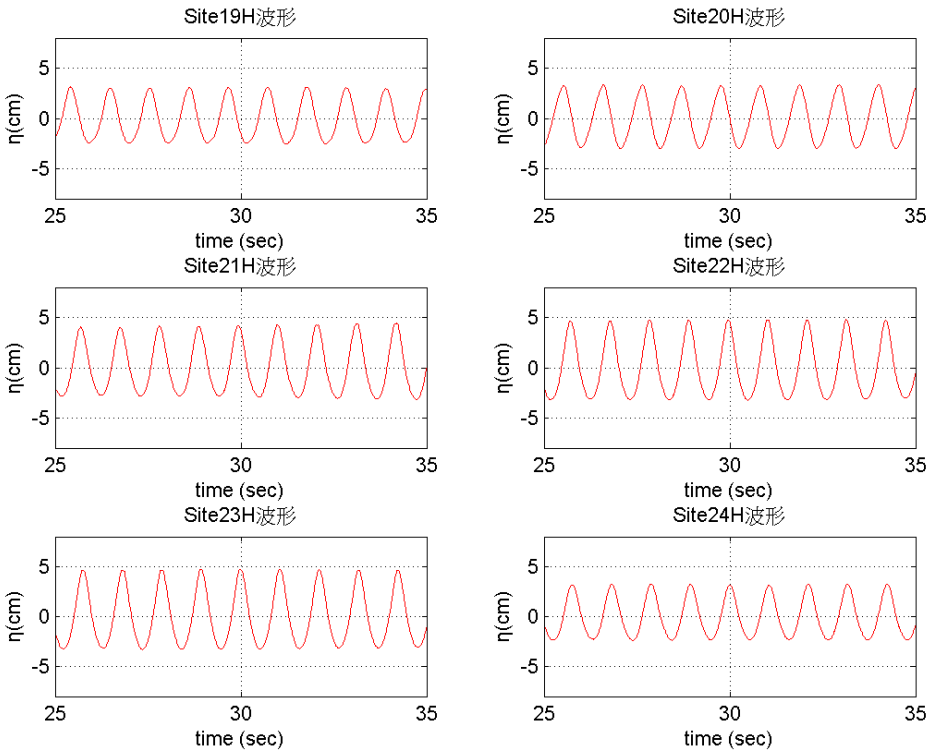


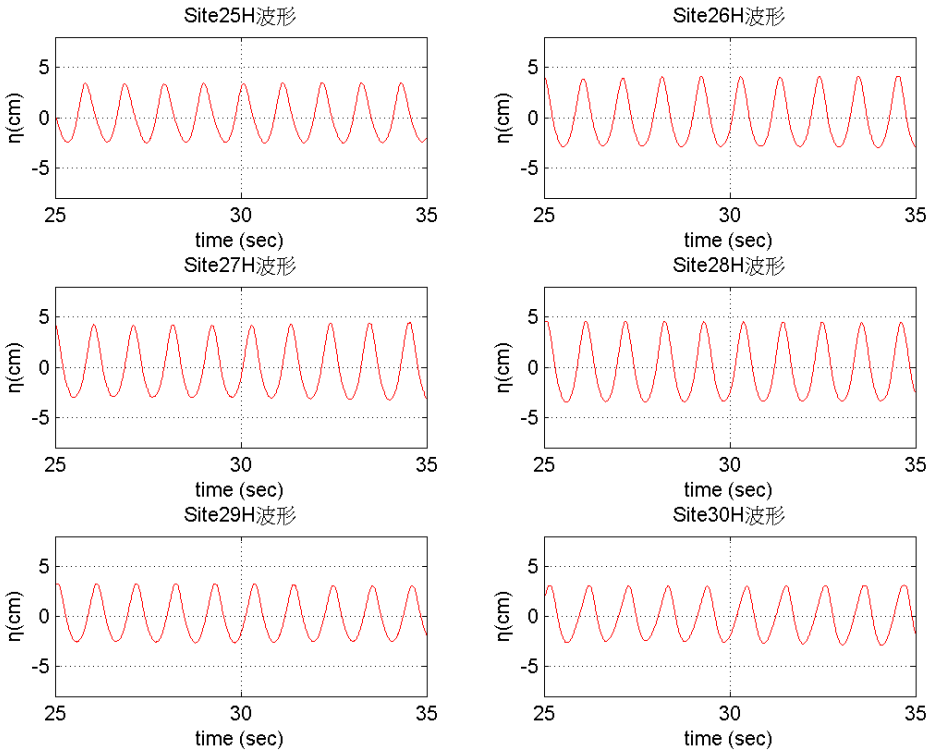

**圖 5.61 颱風波浪入射波形量測及資料區間測定**

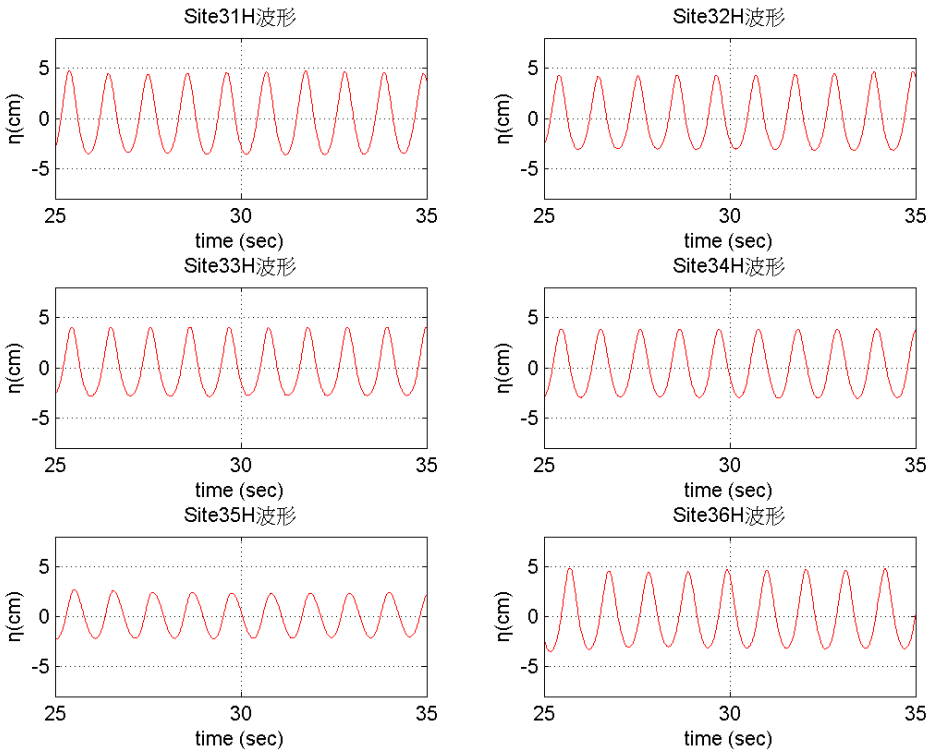

Site1H波形
Site2H波形
Site3H波形
Site4H波形
Site5H波形
Site6H波形
η(cm)
5
0
-5
25
30
35
time (sec)

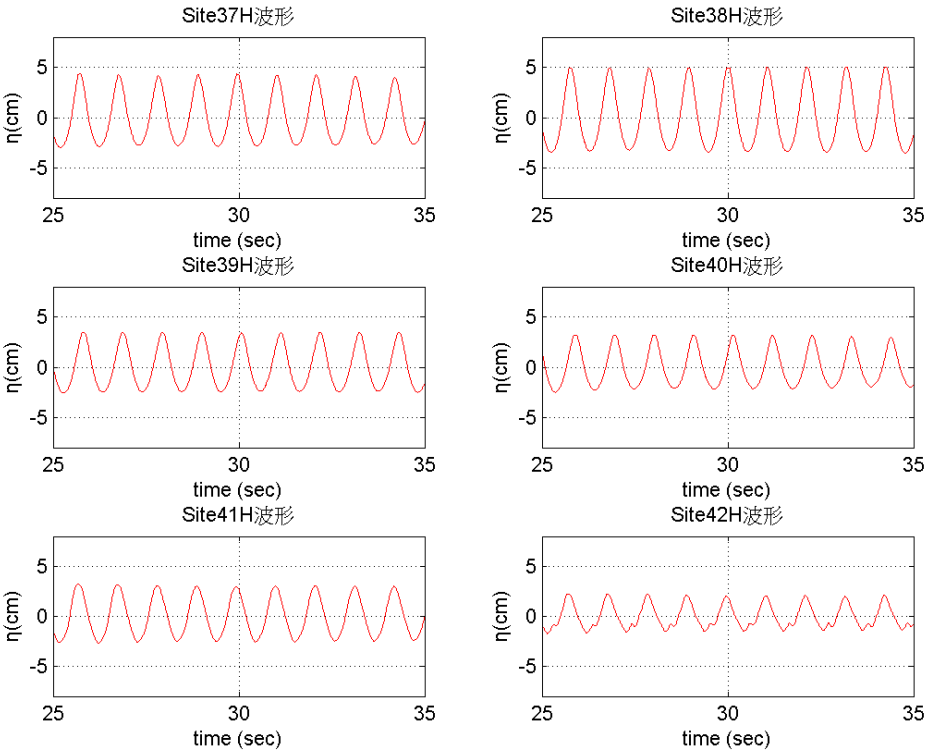

Site7H波形
Site8H波形
Site9H波形
Site10H波形
Site11H波形
Site12H波形
η(cm)
5
0
-5
25
30
35
time (sec)

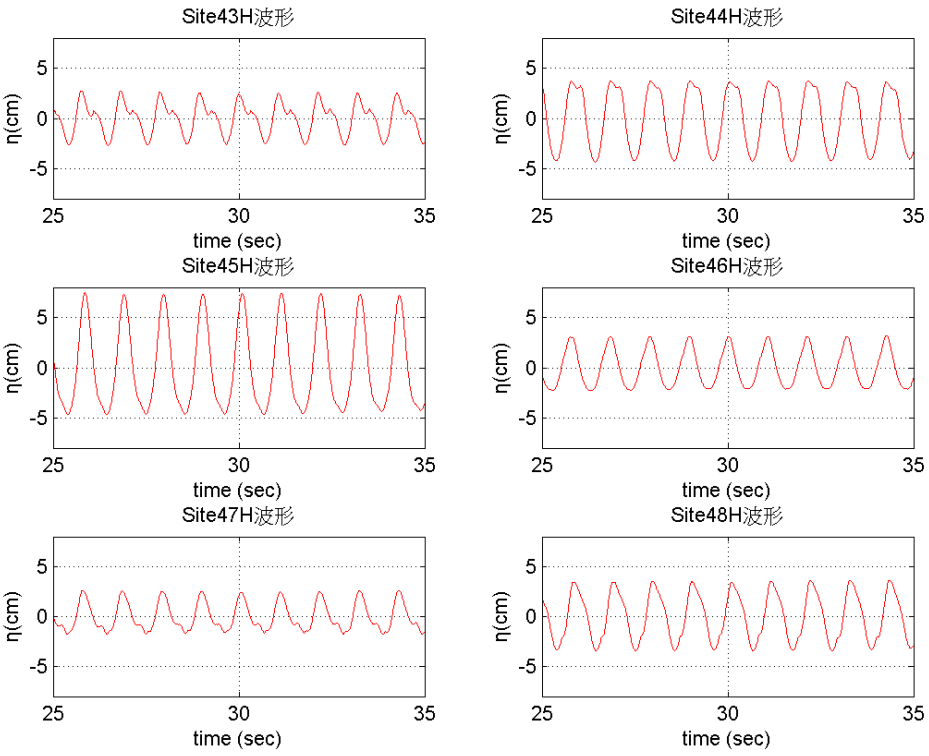

Site13H波形
Site14H波形
Site15H波形
Site16H波形
Site17H波形
Site18H波形
η(cm)
time (sec)
5
0
-5
25
30
35

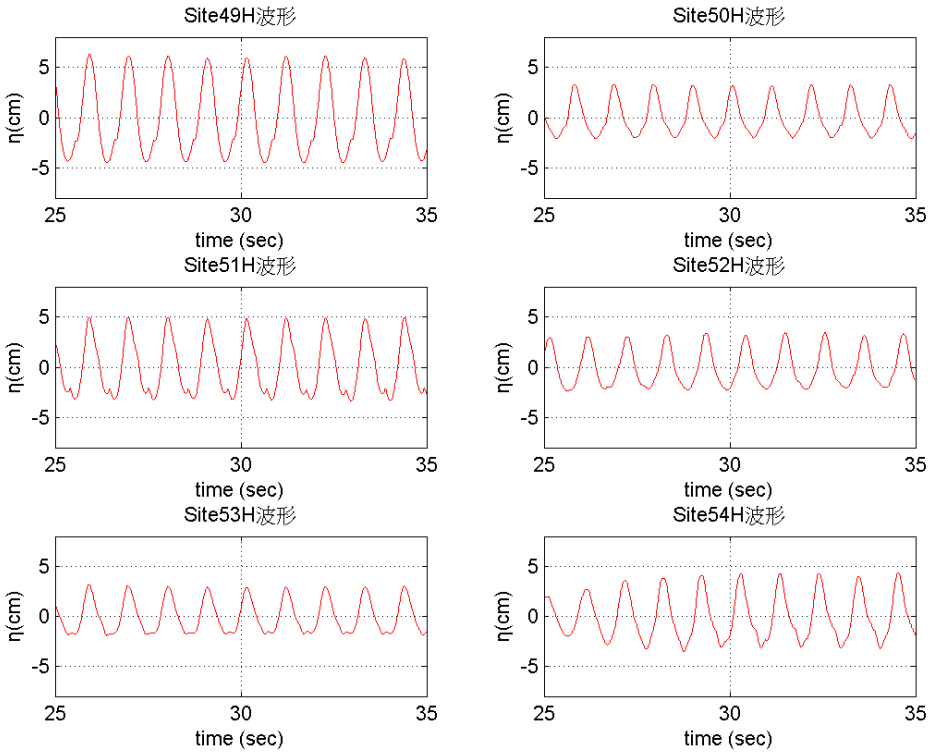

Site19H波形
Site20H波形
Site21H波形
Site22H波形
Site23H波形
Site24H波形
η(cm)
time (sec)
5
0
-5
25
30
35

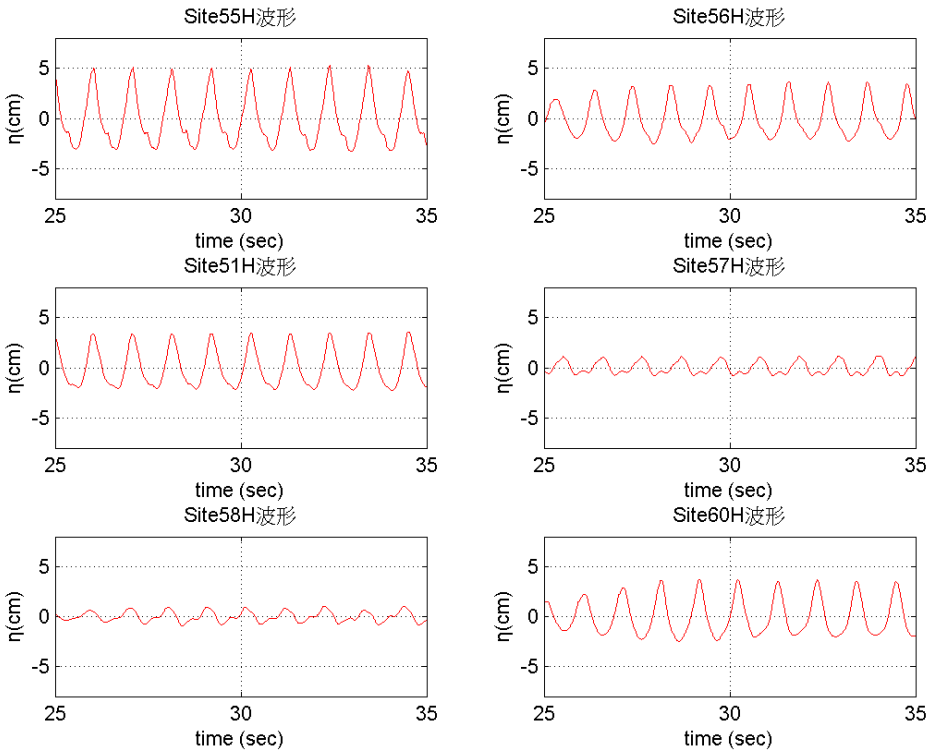

Site25H波形
Site26H波形
Site27H波形
Site28H波形
Site29H波形
Site30H波形
η(cm)
time (sec)
5
0
-5
25
30
35

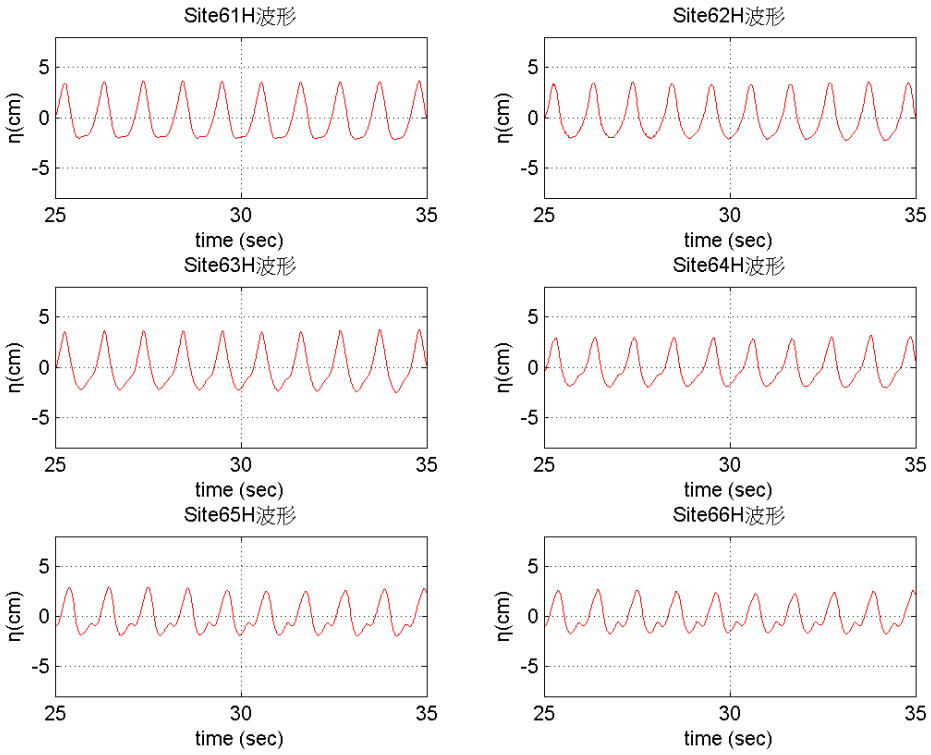

Site31H波形
Site32H波形
Site33H波形
Site34H波形
Site35H波形
Site36H波形
η(cm)
time (sec)
5
0
-5
25
30
35

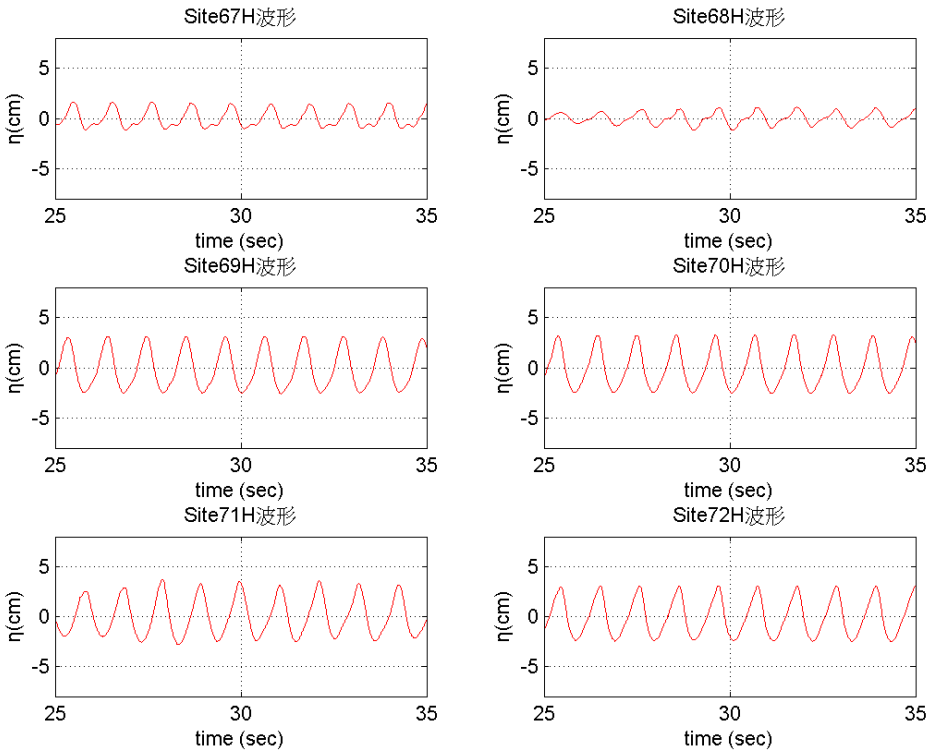

Site37H波形
Site38H波形
Site39H波形
Site40H波形
Site41H波形
Site42H波形
η(cm)
time (sec)
5
0
-5
25
30
35


Site43H波形
Site44H波形
Site45H波形
Site46H波形
Site47H波形
Site48H波形
η(cm)
time (sec)
5
0
-5
25
30
35


Site49H波形
Site50H波形
Site51H波形
Site52H波形
Site53H波形
Site54H波形
η(cm)
time (sec)
5
0
-5
25
30
35


Site55H波形
Site56H波形
Site51H波形
Site57H波形
Site58H波形
Site60H波形
η(cm)
time (sec)
5
0
-5
25
30
35


Site61H波形
Site62H波形
Site63H波形
Site64H波形
Site65H波形
Site66H波形
η(cm)
time (sec)
5
0
-5
25
30
35


Site67H波形
Site68H波形
Site69H波形
Site70H波形
Site71H波形
Site72H波形
η(cm)
time (sec)
5
0
-5
25
30
35

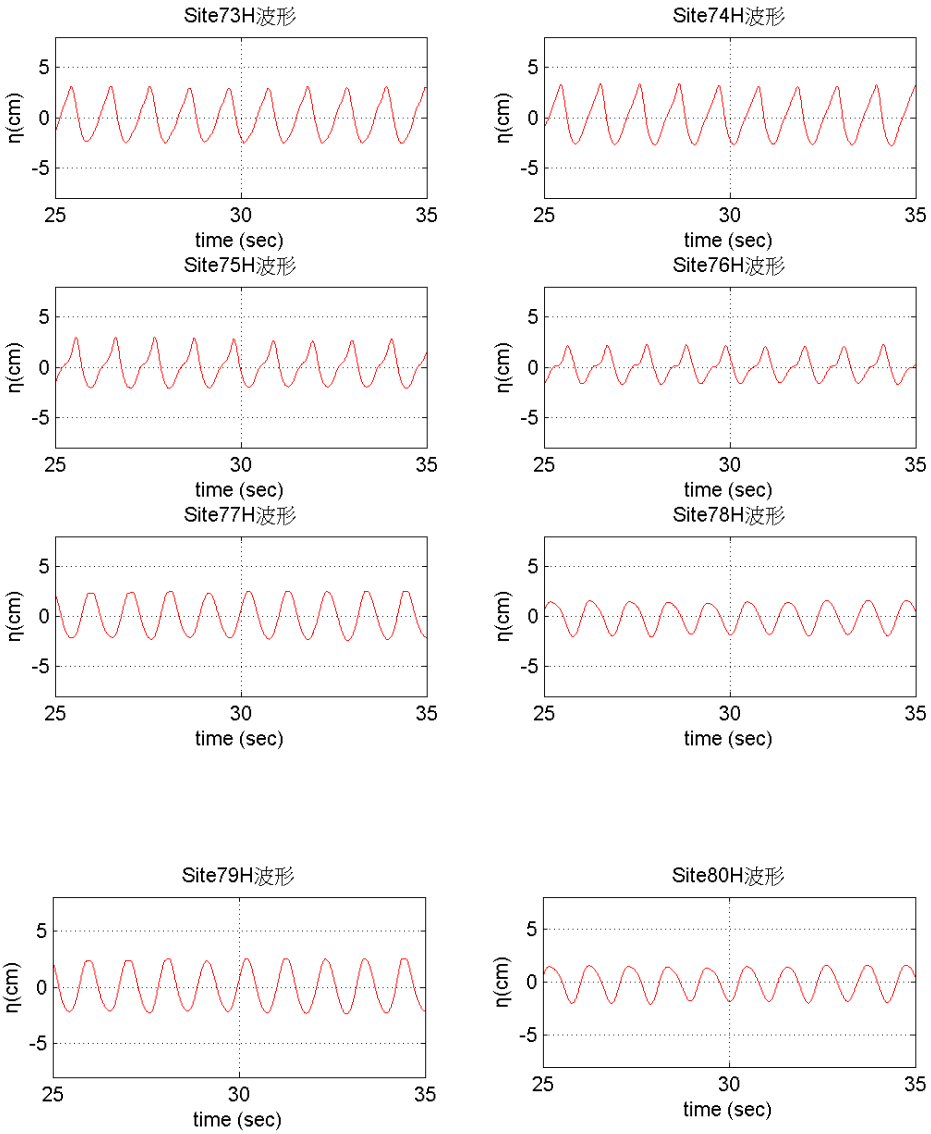



**圖 5.62 颱風波浪 Site1H~80H 選定時間區間之水位變化**

由前節圖 4.14 之數值模式計算結果可發現此防坡堤配置對 N 向波浪有充分考量，在地形作用下波向線幾乎與防坡堤垂直，對航道及港池遮蔽效果良好，同時在堤前有重複波生成，實驗量測在堤前 Kd 值可達 1.8 亦證明此現象，N 向颱風波浪入射後經淺化及折射偏向海岸線方向，波峰線至堤址處約與堤面平行，即正向入射於防坡堤，故在堤前形成重複波形，因沉箱堤為混擬土垂直面，反射率接近 1，故在接近堤面處為腹點有較大波高，另

一處由圖 5.63 及圖 5.64 可見到位於距堤面約半波長處，實驗結果與理論相當吻合。堤後部分遮蔽區受繞射波作用以堤端為原點呈同心圓弧型前進，在堤後波高迅速降低，實驗結果符合此趨勢。而在堤頭附近有較紊亂之波場產生，若以堤線延伸出去分為左上及右下兩半部，右下部分大致為繞射波所造成之現象，堤頭前方約半波長處有一節點產生，此應為 N 向颱風波浪作用於堤頭後產生之繞射波與外海側 N 向波浪因路徑不同產生之相位差所造成，而在堤頭西北方約四分之一波長處則有另一小區域節點，則屬於堤前反射波與外海側 N 向波浪作用所致。

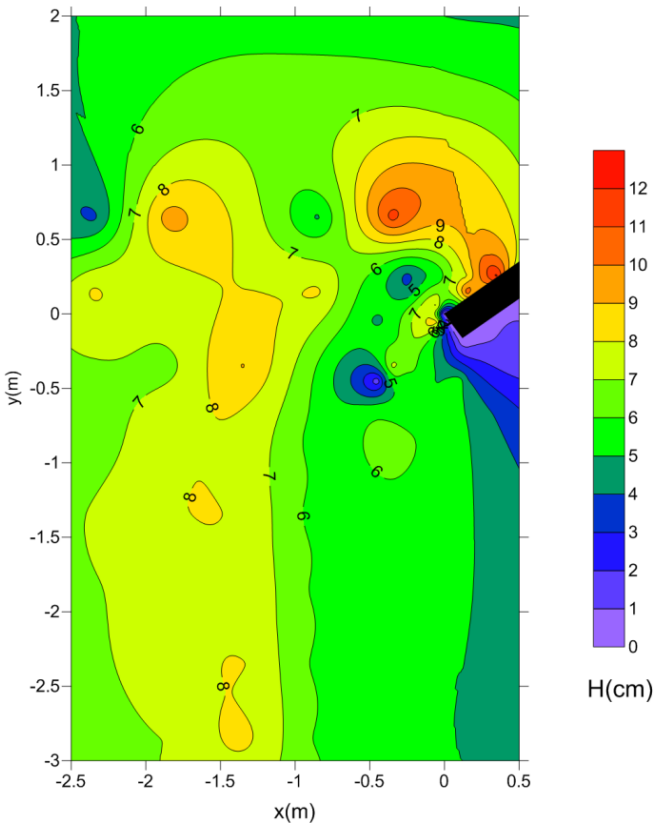



**圖 5.63 N 向颱風波浪條件作用下堤頭附近波高分布**

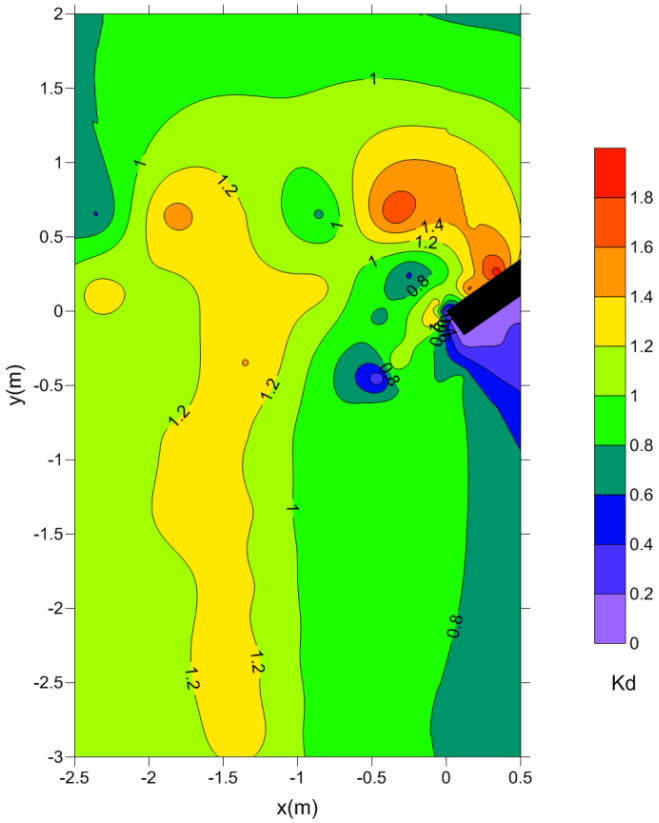
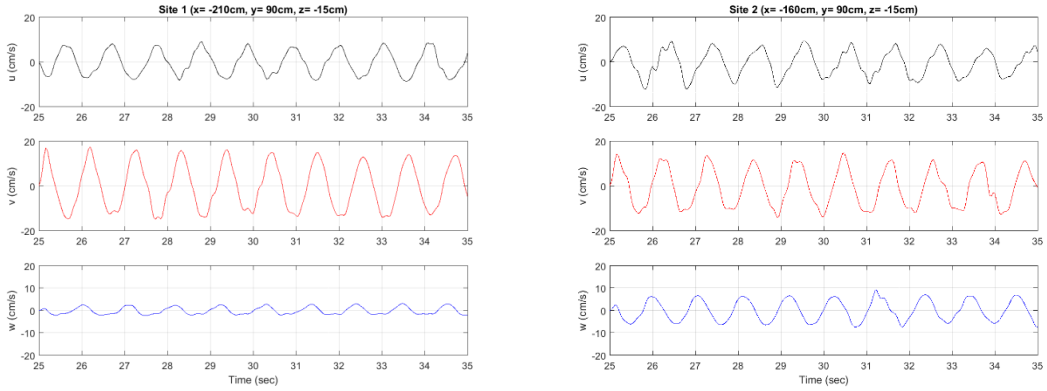
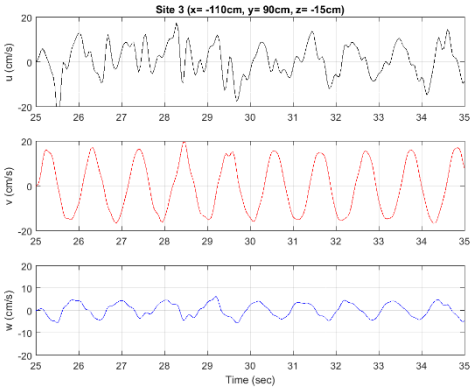


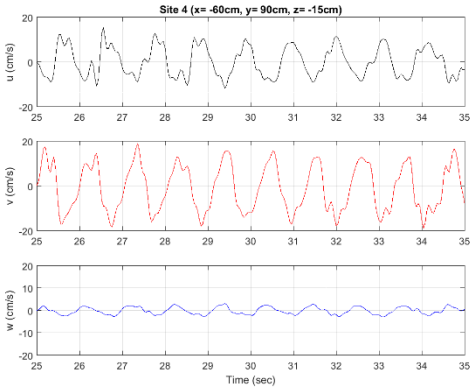

**圖 5.64 N 向颱風波浪條件作用下堤頭附近 kd 值分布**

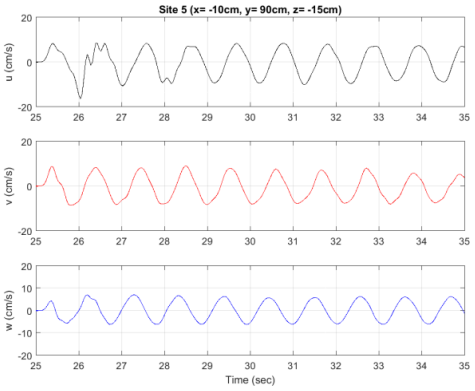
D. 堤頭附近颱風波浪流速變化及流場分布

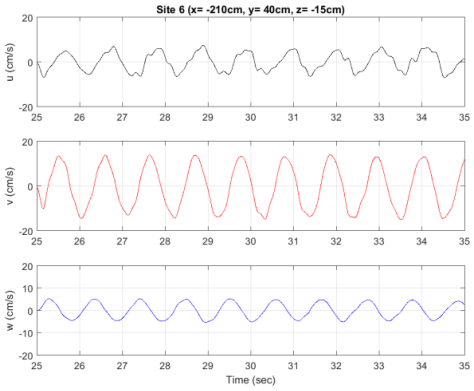
各流速量測點位於前述選定時間區間 z = -15cm 之流速變化如圖 5.65 所示，z = -10cm 之流速變化如圖 5.66 所示，堤頭附近加密之 z = -8cm 流速變化如圖 5.67 所示。

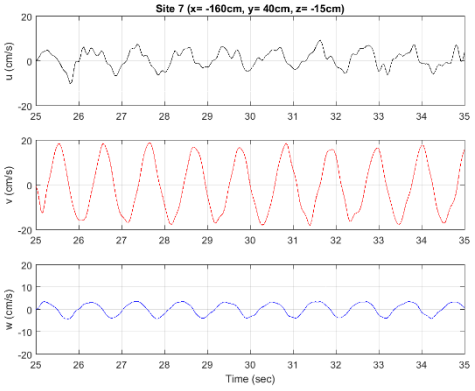


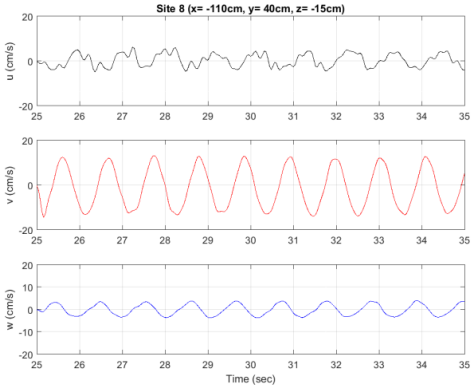

Site 3 (x= -110cm, y= 90cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

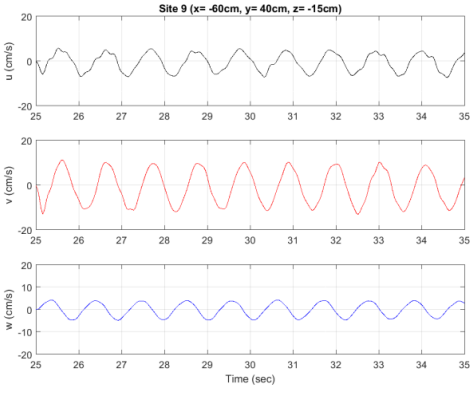

Site 4 (x= -60cm, y= 90cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

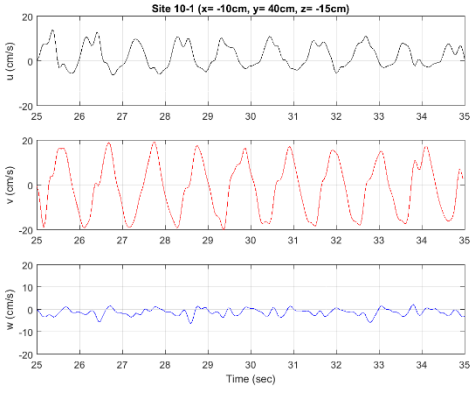

Site 5 (x= -10cm, y= 90cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

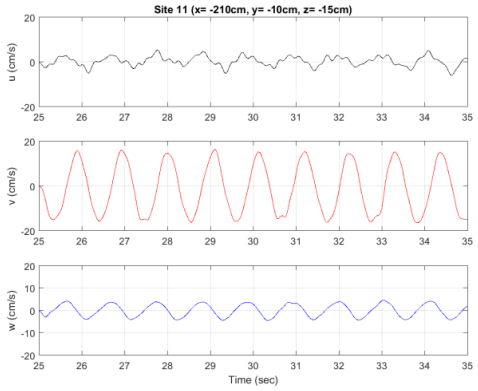

Site 6 (x= -210cm, y= 40cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

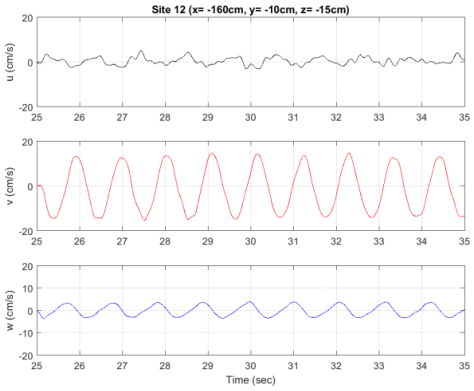

Site 7 (x= -160cm, y= 40cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

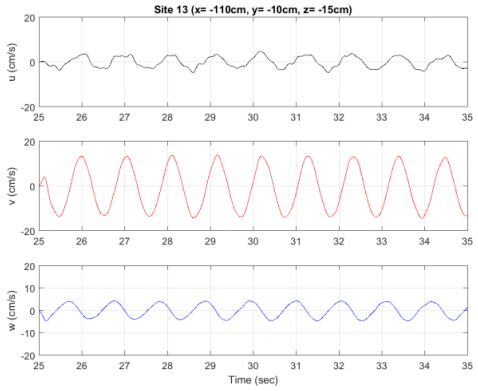

Site 8 (x= -110cm, y= 40cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

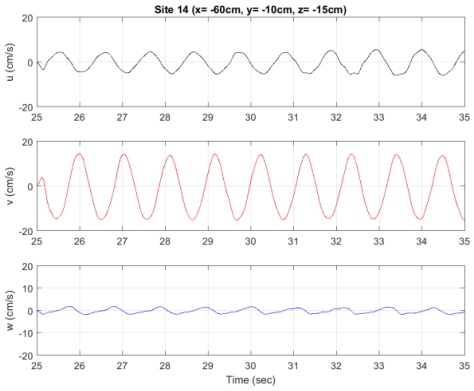

Site 9 (x= -60cm, y= 40cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

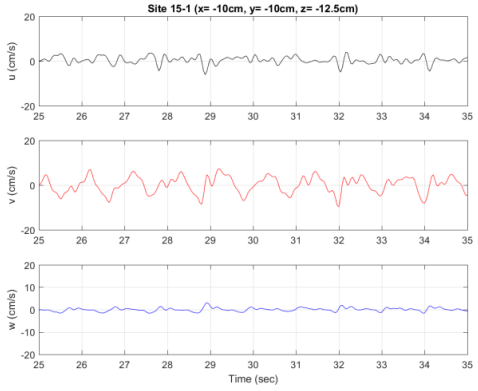

Site 10-1 (x= -10cm, y= 40cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

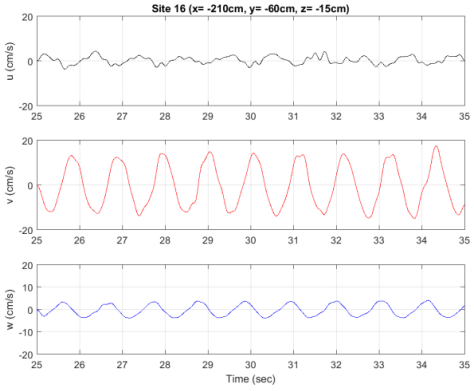

Site 11 (x= -210cm, y= -10cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

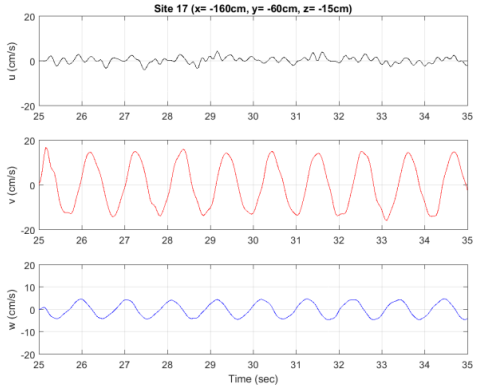

Site 12 (x= -160cm, y= -10cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

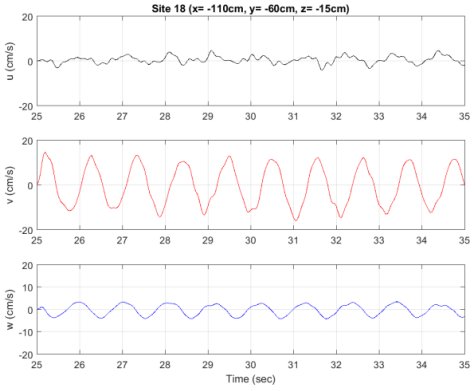

Site 13 (x= -110cm, y= -10cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

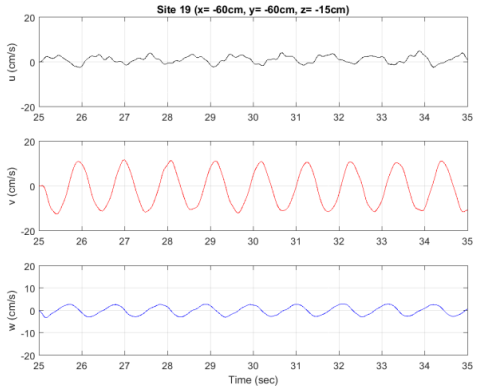

Site 14 (x= -60cm, y= -10cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

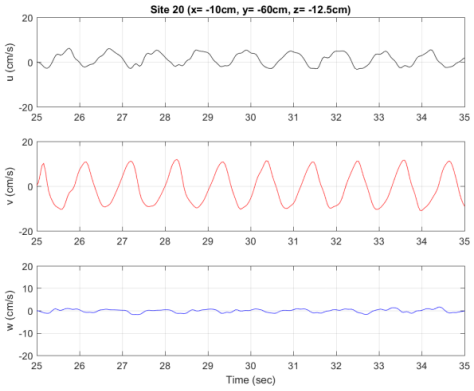

Site 15-1 (x= -10cm, y= -10cm, z= -12.5cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

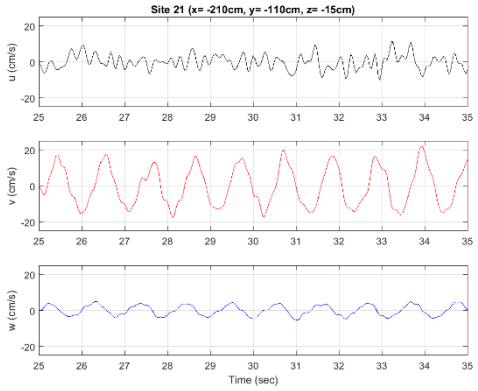

Site 16 (x= -210cm, y= -60cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

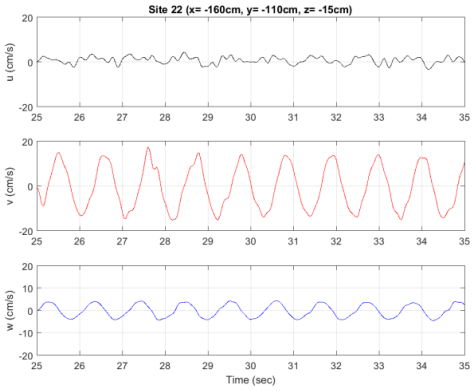

Site 17 (x= -160cm, y= -60cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

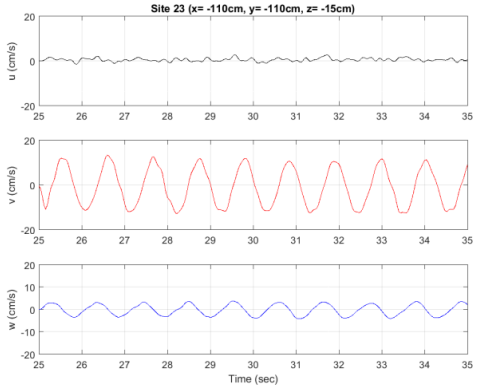

Site 18 (x= -110cm, y= -60cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

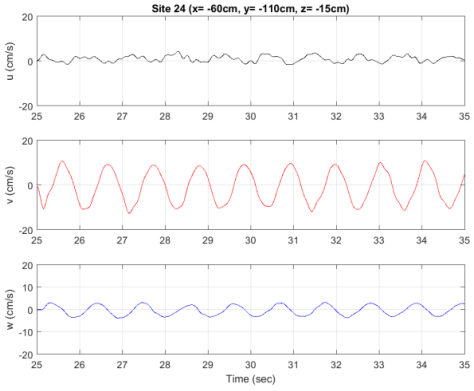

Site 19 (x= -60cm, y= -60cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

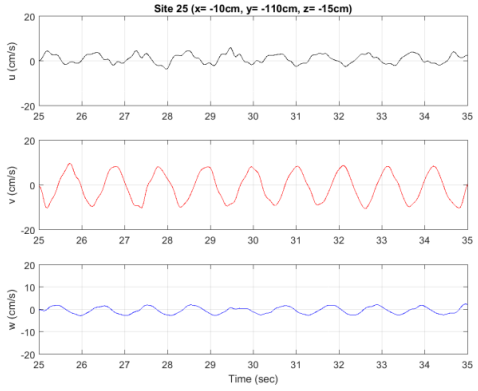

Site 20 (x= -10cm, y= -60cm, z= -12.5cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

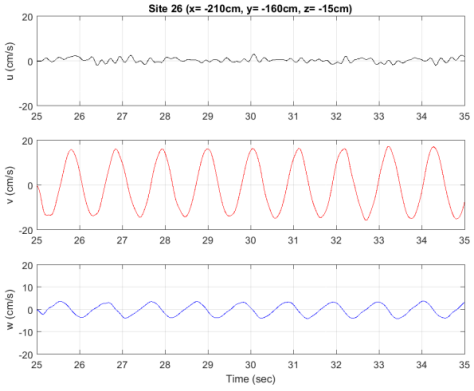

Site 21 (x= -210cm, y= -110cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

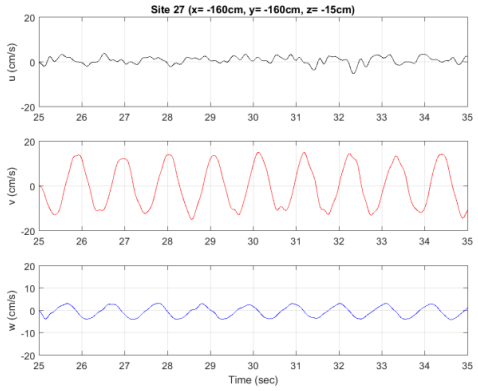

Site 22 (x= -160cm, y= -110cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

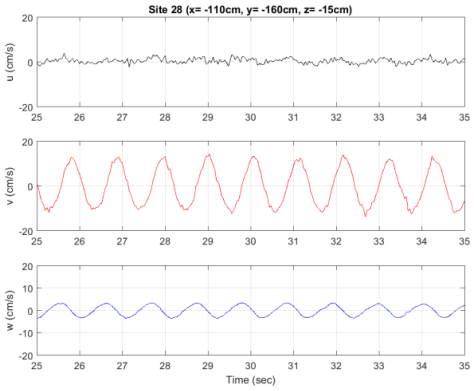

Site 23 (x= -110cm, y= -110cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

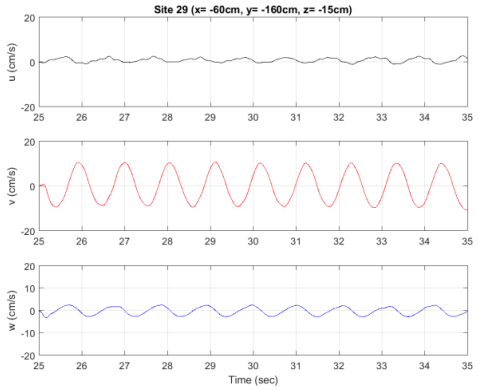

Site 24 (x= -60cm, y= -110cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

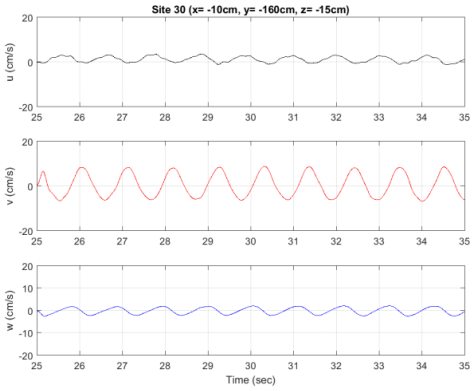

Site 25 (x= -10cm, y= -110cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

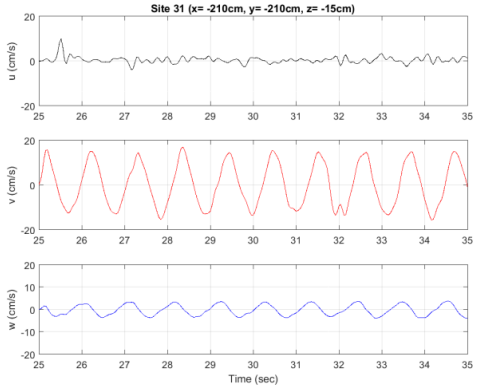

Site 26 (x= -210cm, y= -160cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

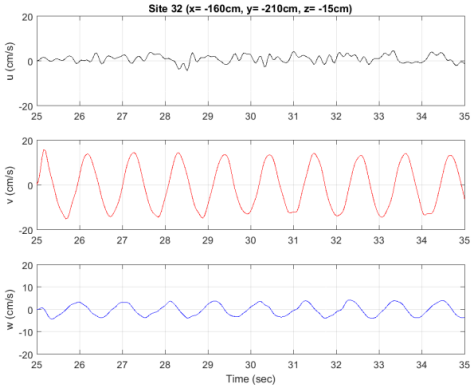

Site 27 (x= -160cm, y= -160cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

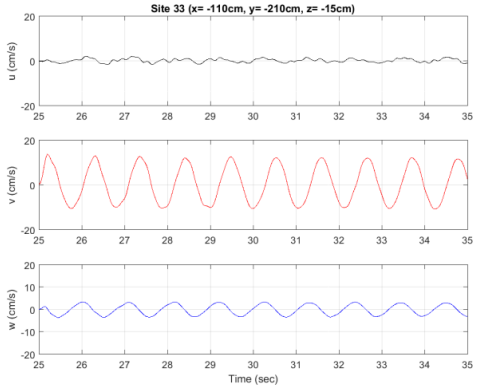

Site 28 (x= -110cm, y= -160cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

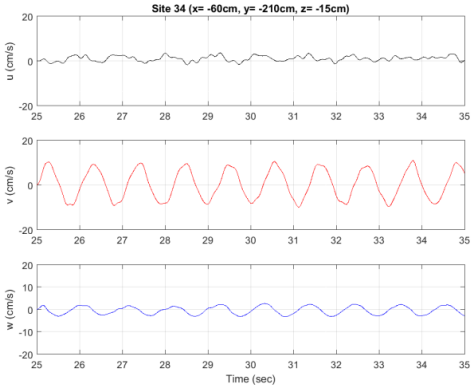

Site 29 (x= -60cm, y= -160cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)


Site 30 (x= -10cm, y= -160cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)


Site 31 (x= -210cm, y= -210cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)


Site 32 (x= -160cm, y= -210cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)


Site 33 (x= -110cm, y= -210cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)


Site 34 (x= -60cm, y= -210cm, z= -15cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

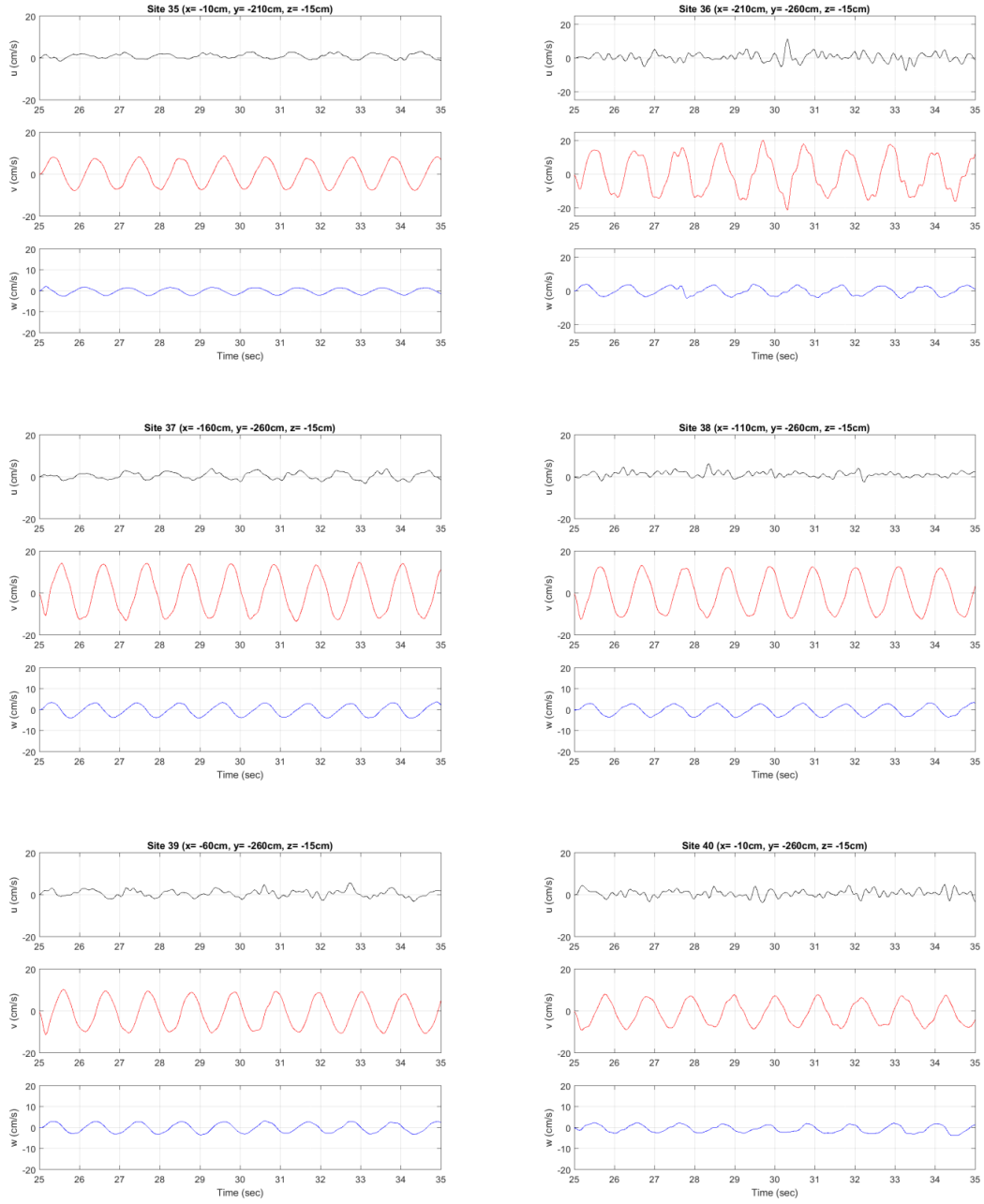
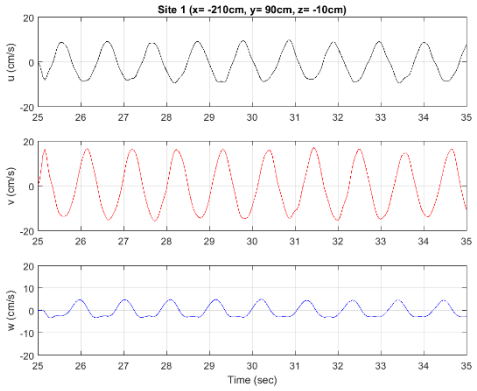
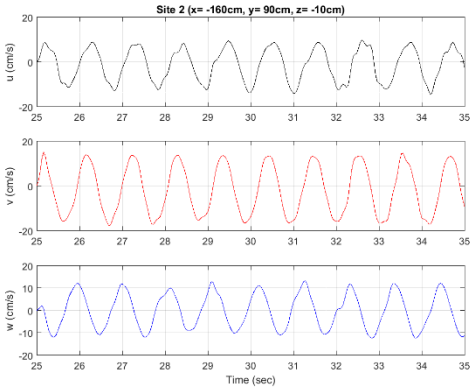
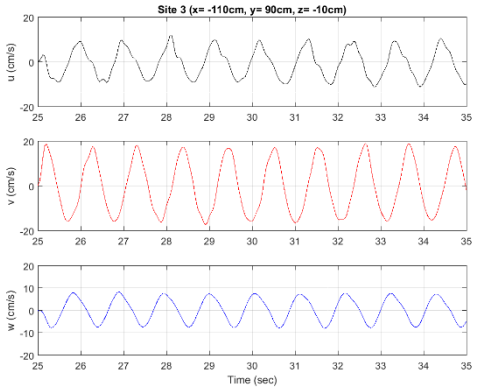
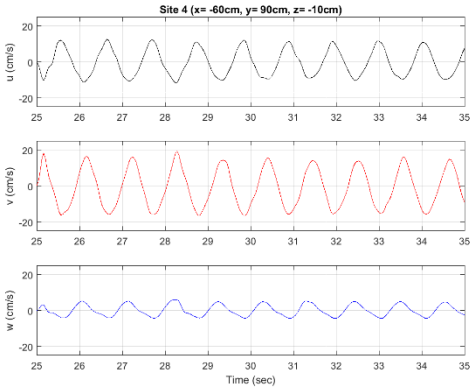


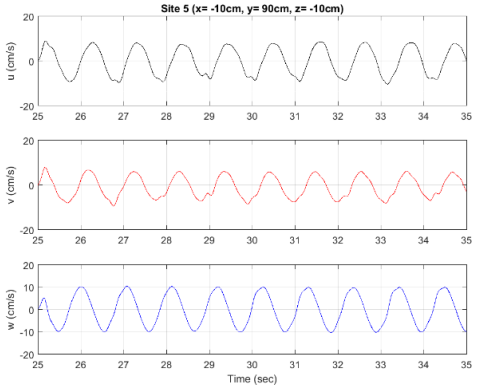

**圖 5.65 颱風波浪作用下 Site1~40 選定時間區間 z=-15cm 之流速變化**

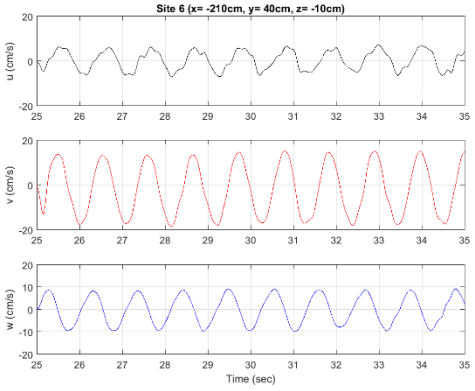

Site 1 (x= -210cm, y= 90cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

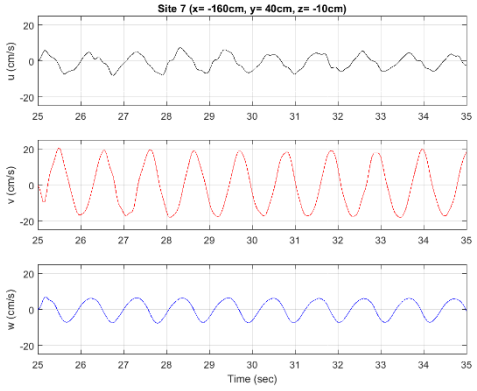

Site 2 (x= -160cm, y= 90cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

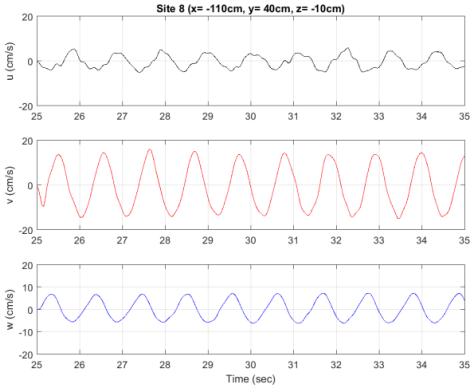

Site 3 (x= -110cm, y= 90cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

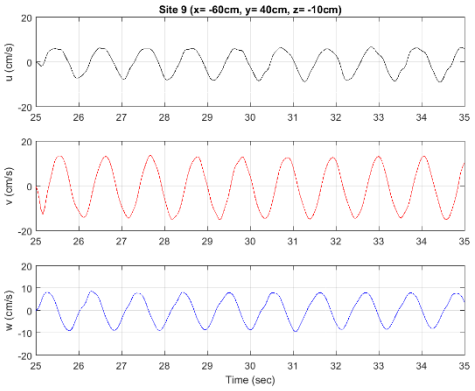

Site 4 (x= -60cm, y= 90cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

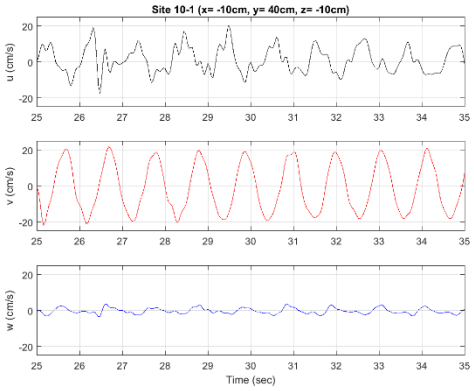

Site 5 (x= -10cm, y= 90cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

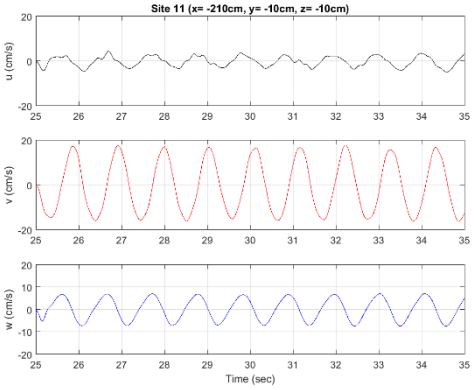

Site 6 (x= -210cm, y= 40cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

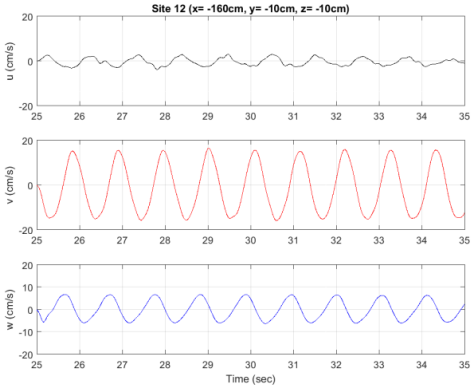

Site 7 (x= -160cm, y= 40cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

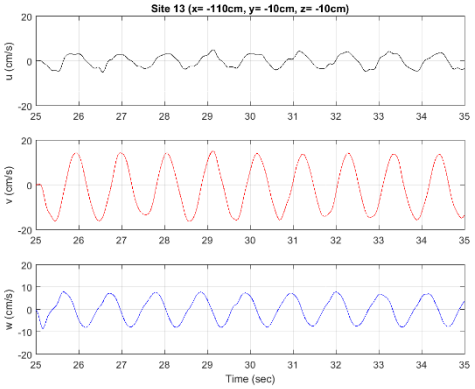

Site 8 (x= -110cm, y= 40cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

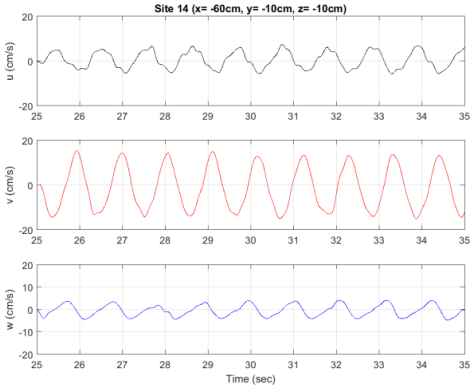

Site 9 (x= -60cm, y= 40cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

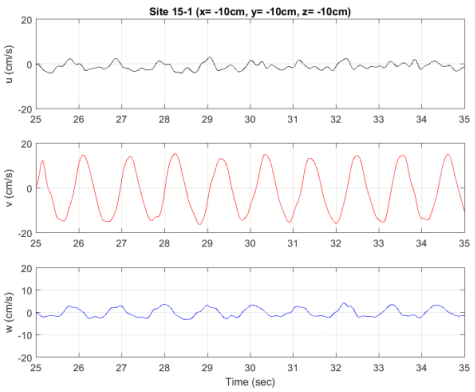

Site 10-1 (x= -10cm, y= 40cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

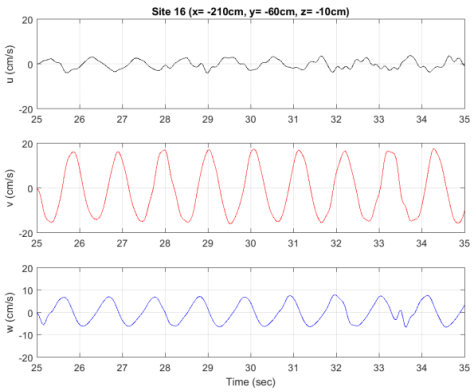

Site 11 (x= -210cm, y= -10cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

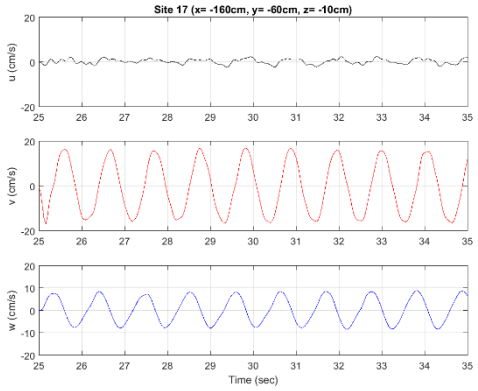

Site 12 (x= -160cm, y= -10cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

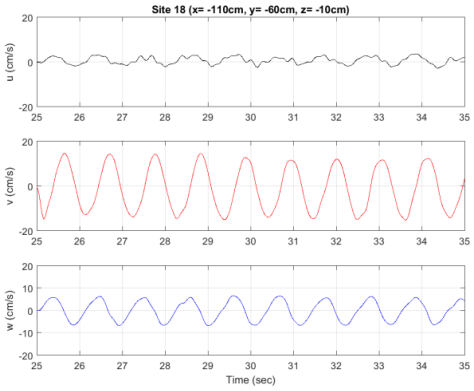

Site 13 (x= -110cm, y= -10cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

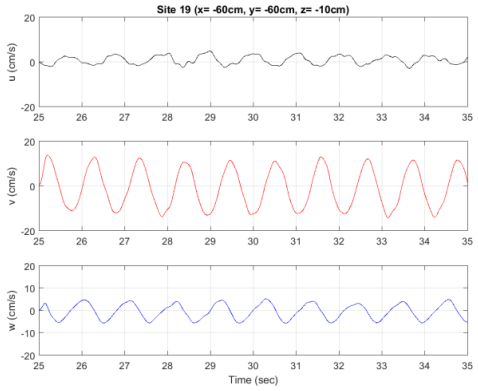

Site 14 (x= -60cm, y= -10cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

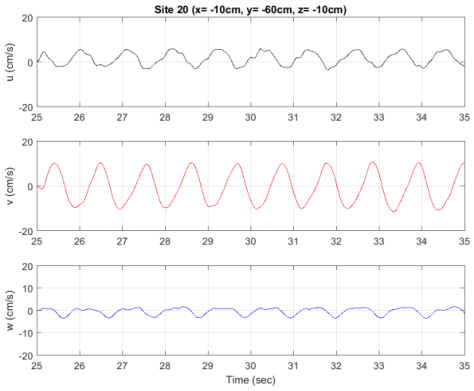

Site 15-1 (x= -10cm, y= -10cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

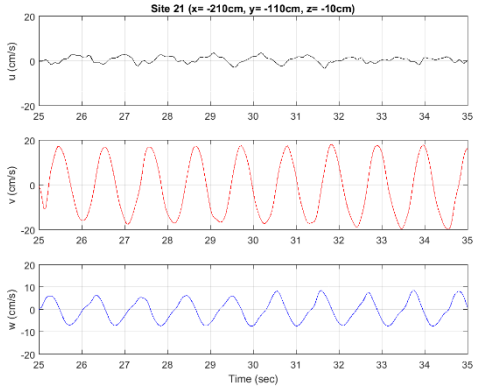

Site 16 (x= -210cm, y= -60cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

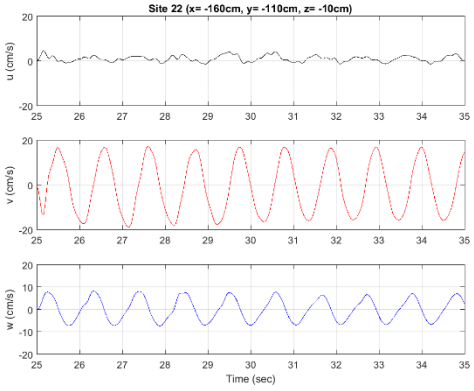

Site 17 (x= -160cm, y= -60cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

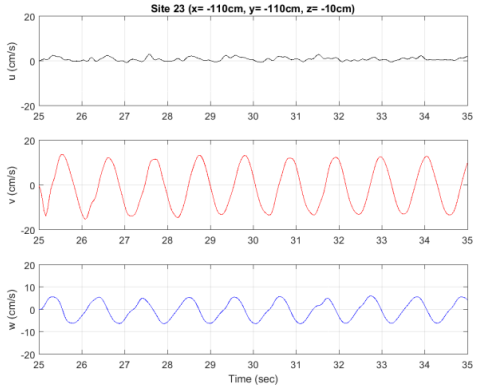

Site 18 (x= -110cm, y= -60cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

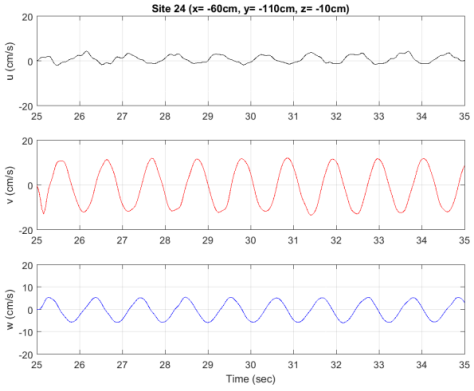

Site 19 (x= -60cm, y= -60cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

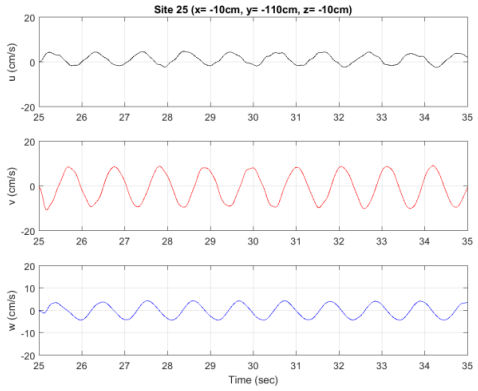

Site 20 (x= -10cm, y= -60cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

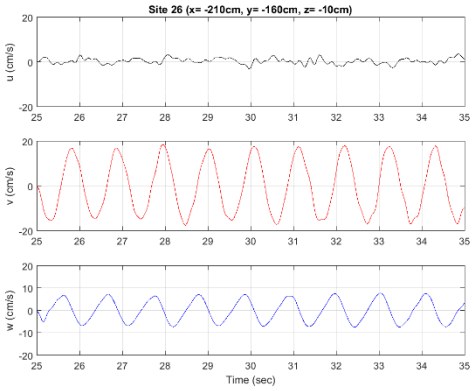

Site 21 (x= -210cm, y= -110cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

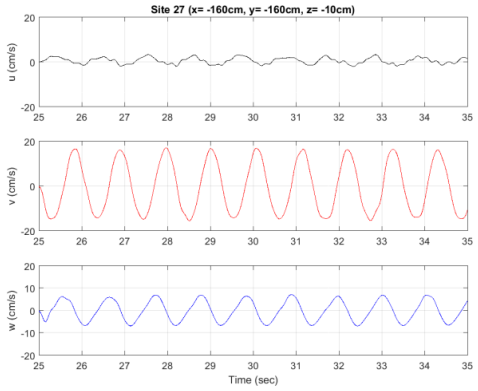

Site 22 (x= -160cm, y= -110cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

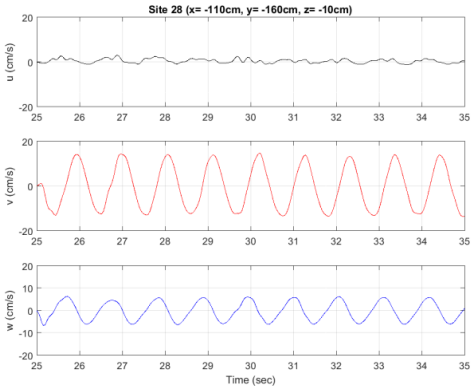

Site 23 (x= -110cm, y= -110cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

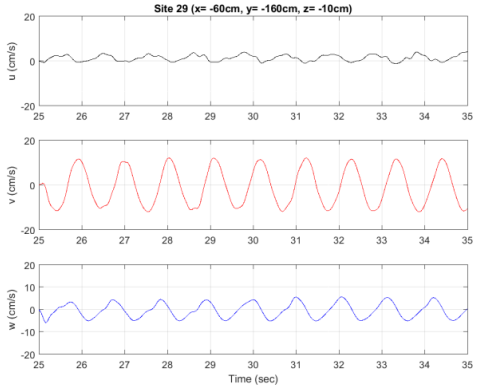

Site 24 (x= -60cm, y= -110cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

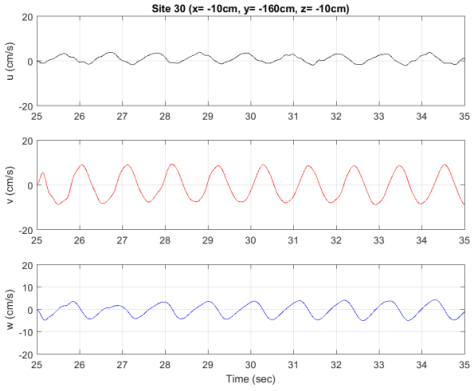

Site 25 (x= -10cm, y= -110cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

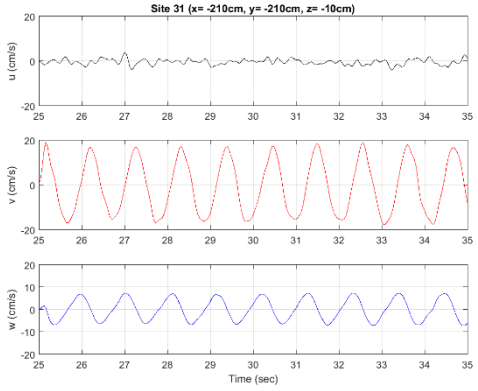

Site 26 (x= -210cm, y= -160cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

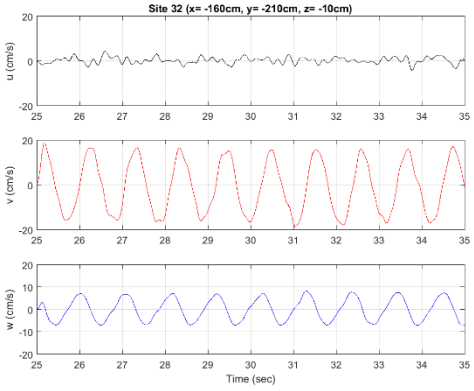

Site 27 (x= -160cm, y= -160cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)


Site 28 (x= -110cm, y= -160cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)


Site 29 (x= -60cm, y= -160cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)


Site 30 (x= -10cm, y= -160cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)


Site 31 (x= -210cm, y= -210cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)


Site 32 (x= -160cm, y= -210cm, z= -10cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

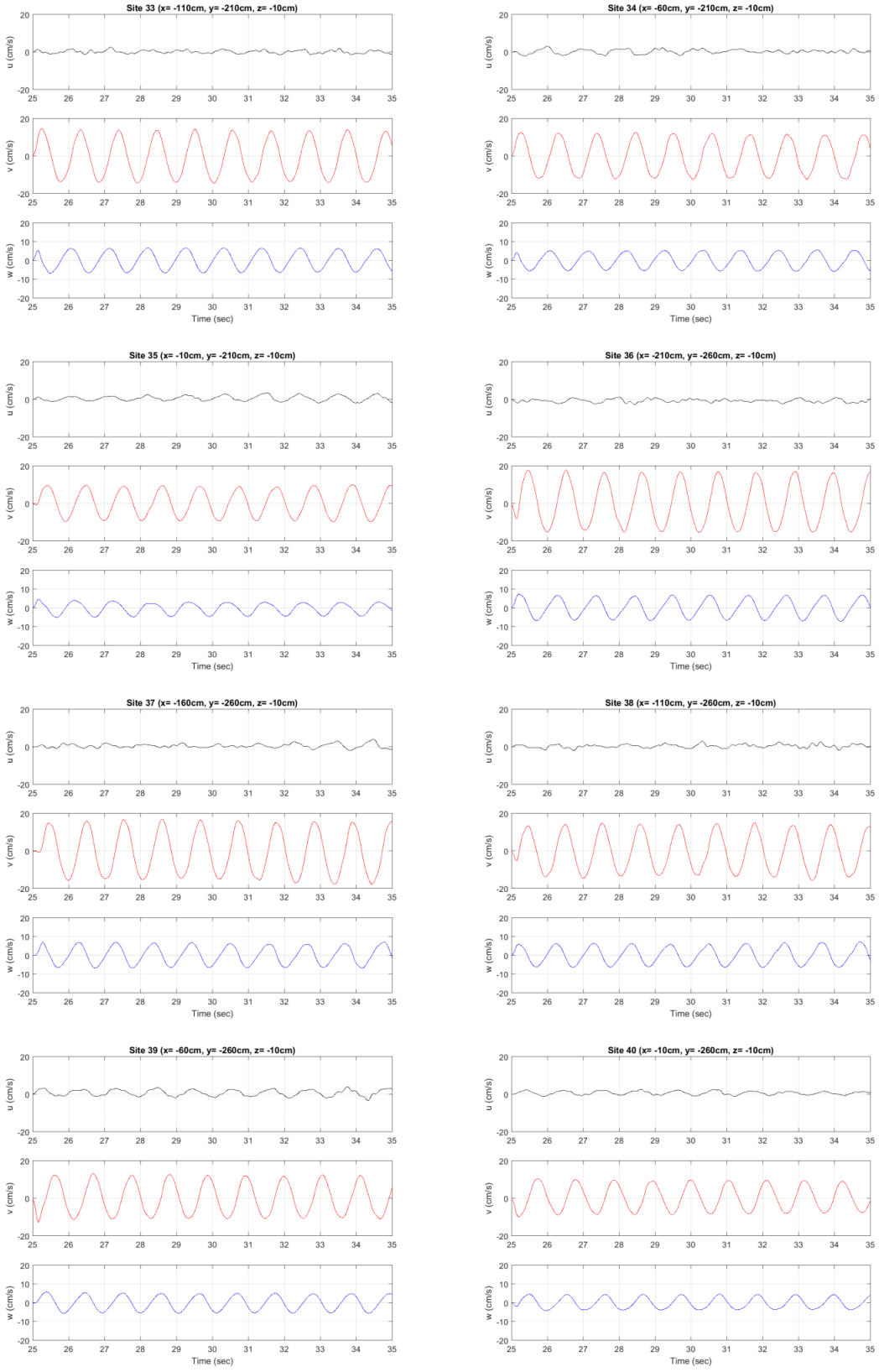
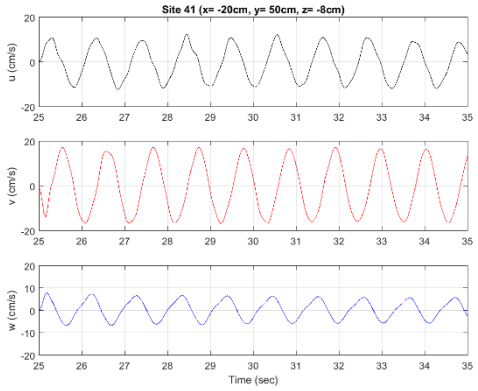
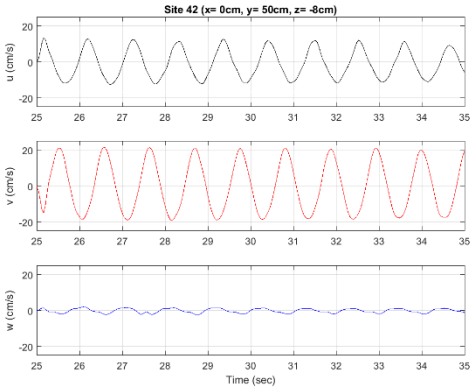
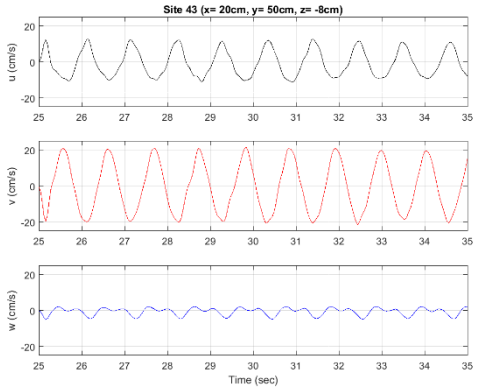
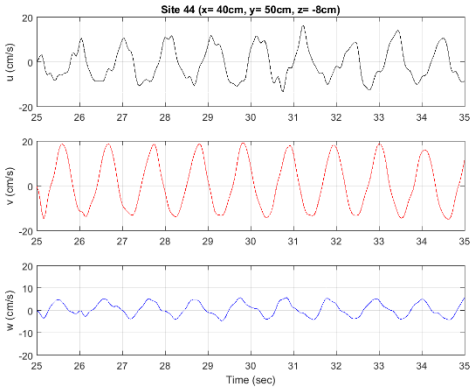


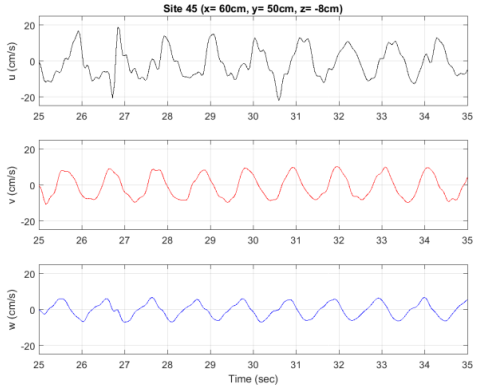

**圖 5.66 颱風波浪作用下 Site1~40 選定時間區間 z=-10cm 之流速變化**

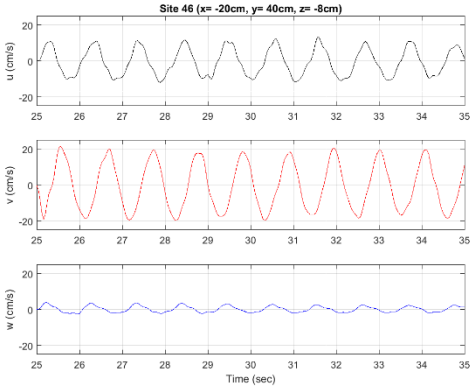

Site 41 (x= -20cm, y= 50cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

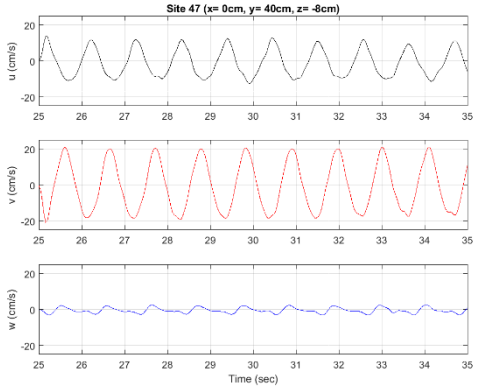

Site 42 (x= 0cm, y= 50cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

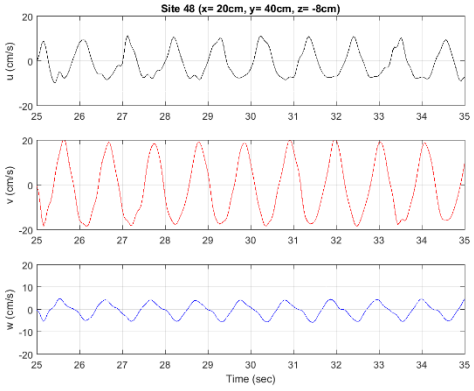

Site 43 (x= 20cm, y= 50cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

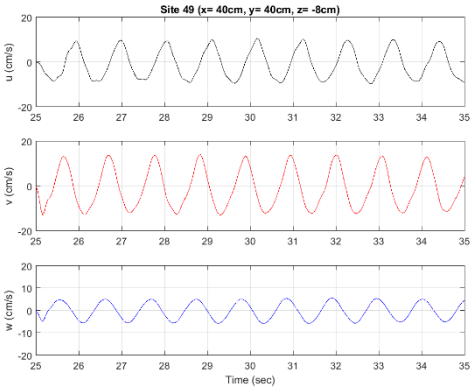

Site 44 (x= 40cm, y= 50cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

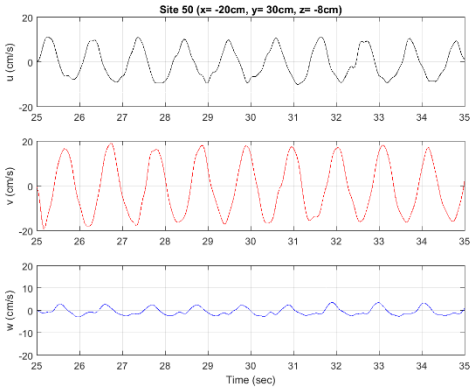

Site 45 (x= 60cm, y= 50cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

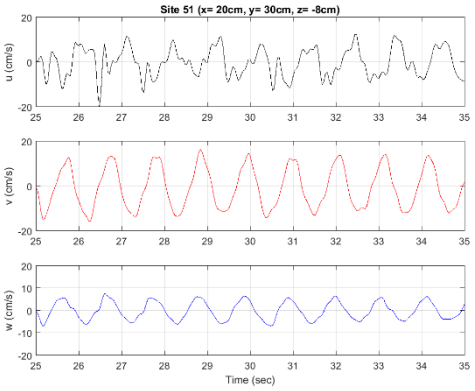

Site 46 (x= -20cm, y= 40cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

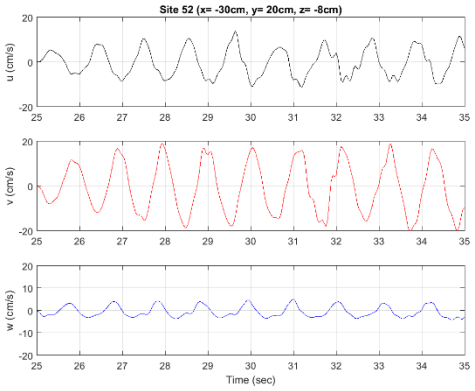

Site 47 (x= 0cm, y= 40cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

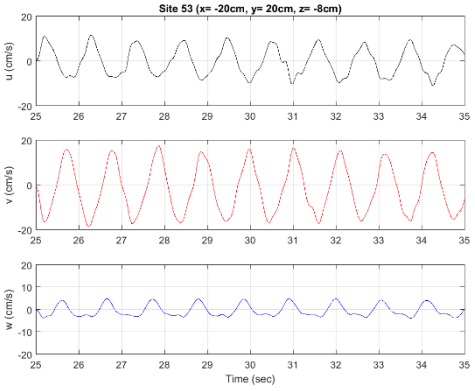

Site 48 (x= 20cm, y= 40cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

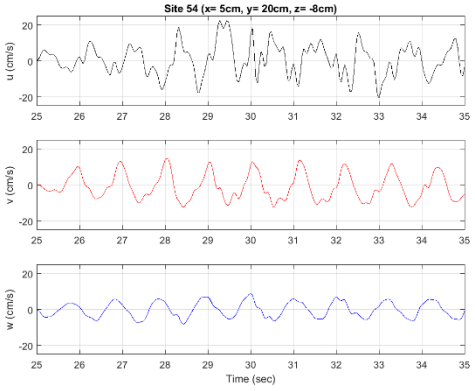

Site 49 (x= 40cm, y= 40cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

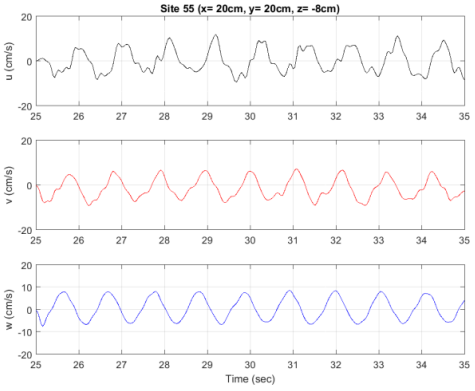

Site 50 (x= -20cm, y= 30cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

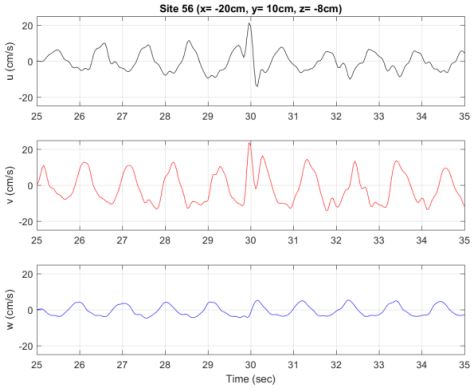

Site 51 (x= 20cm, y= 30cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

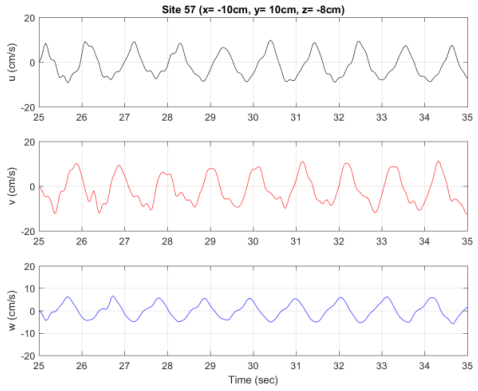

Site 52 (x= -30cm, y= 20cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

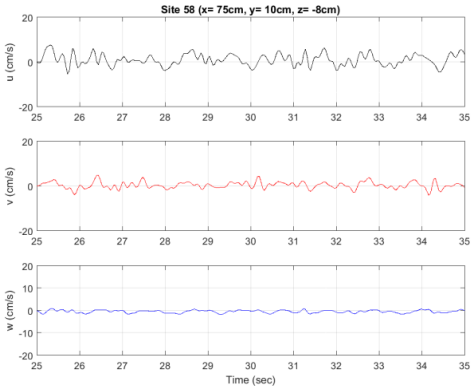

Site 53 (x= -20cm, y= 20cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

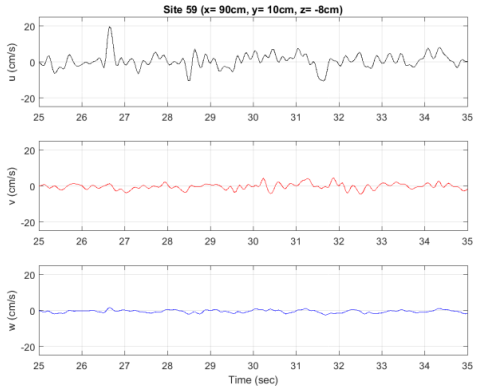

Site 54 (x= 5cm, y= 20cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

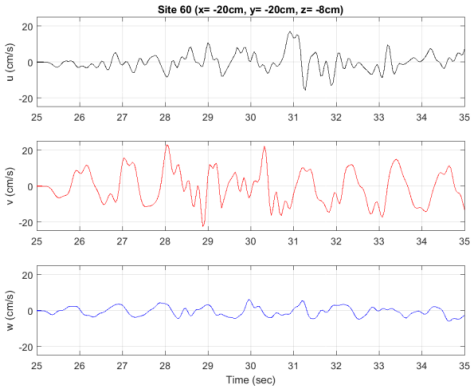

Site 55 (x= 20cm, y= 20cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

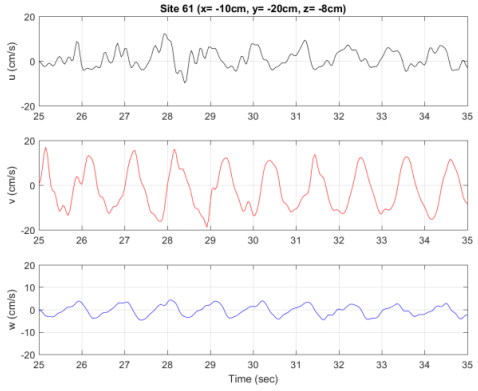

Site 56 (x= -20cm, y= 10cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

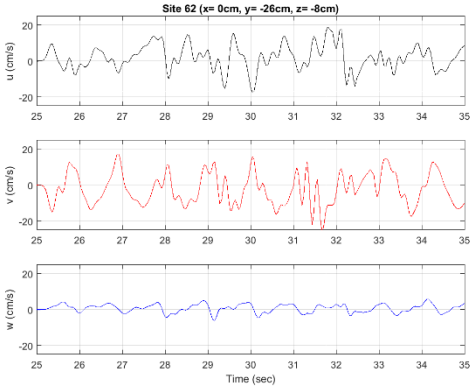

Site 57 (x= -10cm, y= 10cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

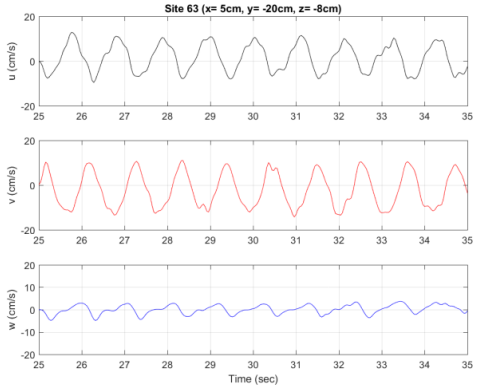

Site 58 (x= 75cm, y= 10cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

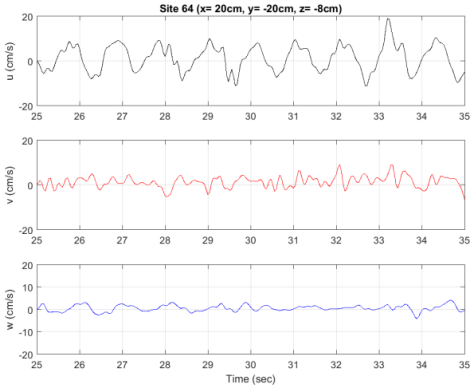

Site 59 (x= 90cm, y= 10cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

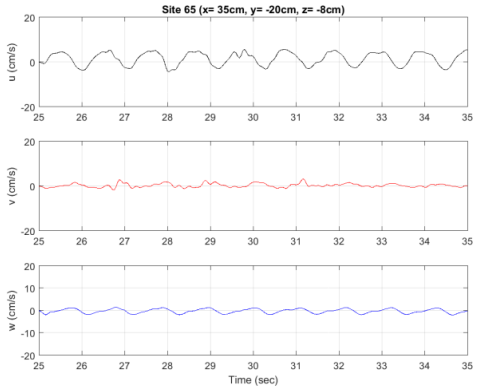

Site 60 (x= -20cm, y= -20cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

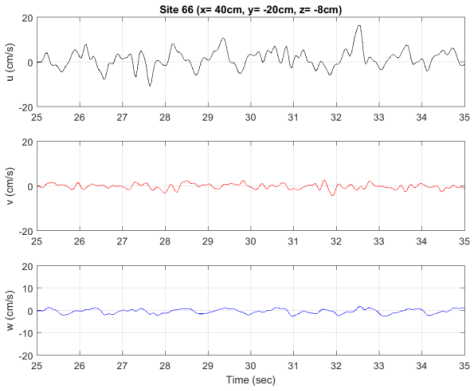

Site 61 (x= -10cm, y= -20cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

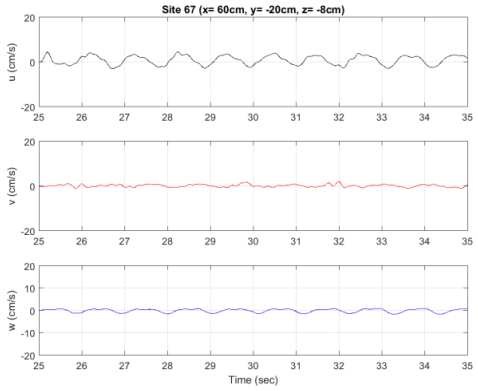

Site 62 (x= 0cm, y= -26cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

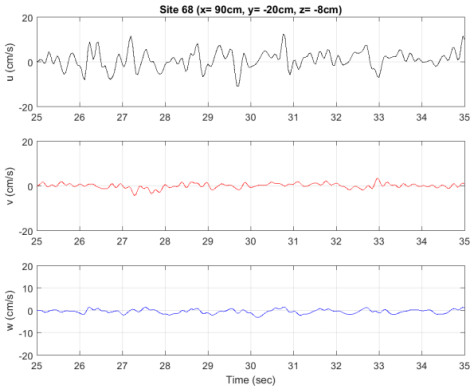

Site 63 (x= 5cm, y= -20cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

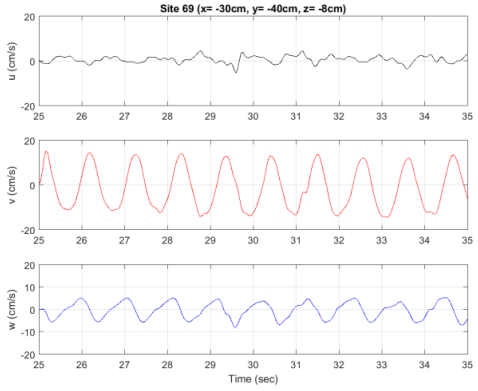

Site 64 (x= 20cm, y= -20cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

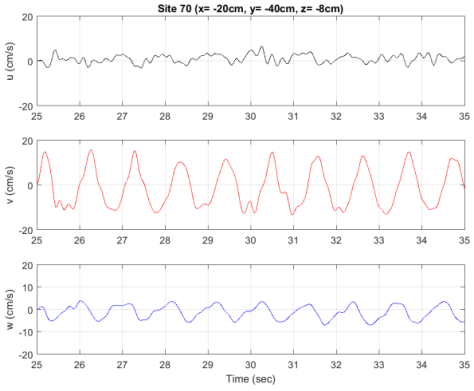

Site 65 (x= 35cm, y= -20cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

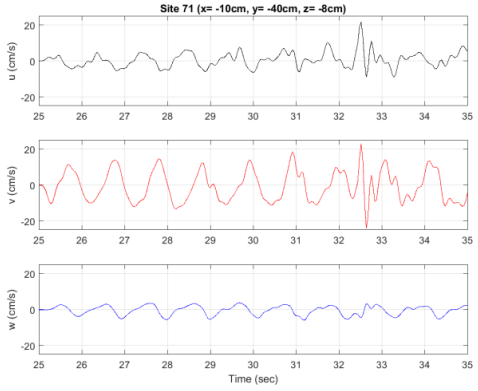

Site 66 (x= 40cm, y= -20cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

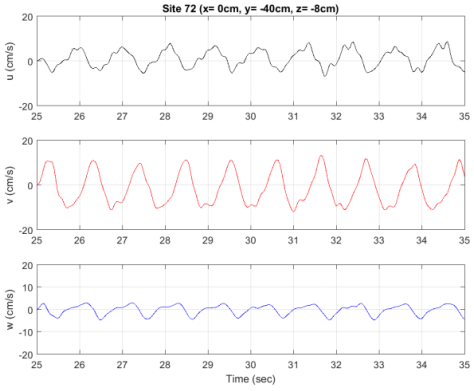

Site 67 (x= 60cm, y= -20cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)


Site 68 (x= 90cm, y= -20cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)


Site 69 (x= -30cm, y= -40cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)


Site 70 (x= -20cm, y= -40cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)


Site 71 (x= -10cm, y= -40cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)


Site 72 (x= 0cm, y= -40cm, z= -8cm)
u (cm/s)
v (cm/s)
w (cm/s)
Time (sec)

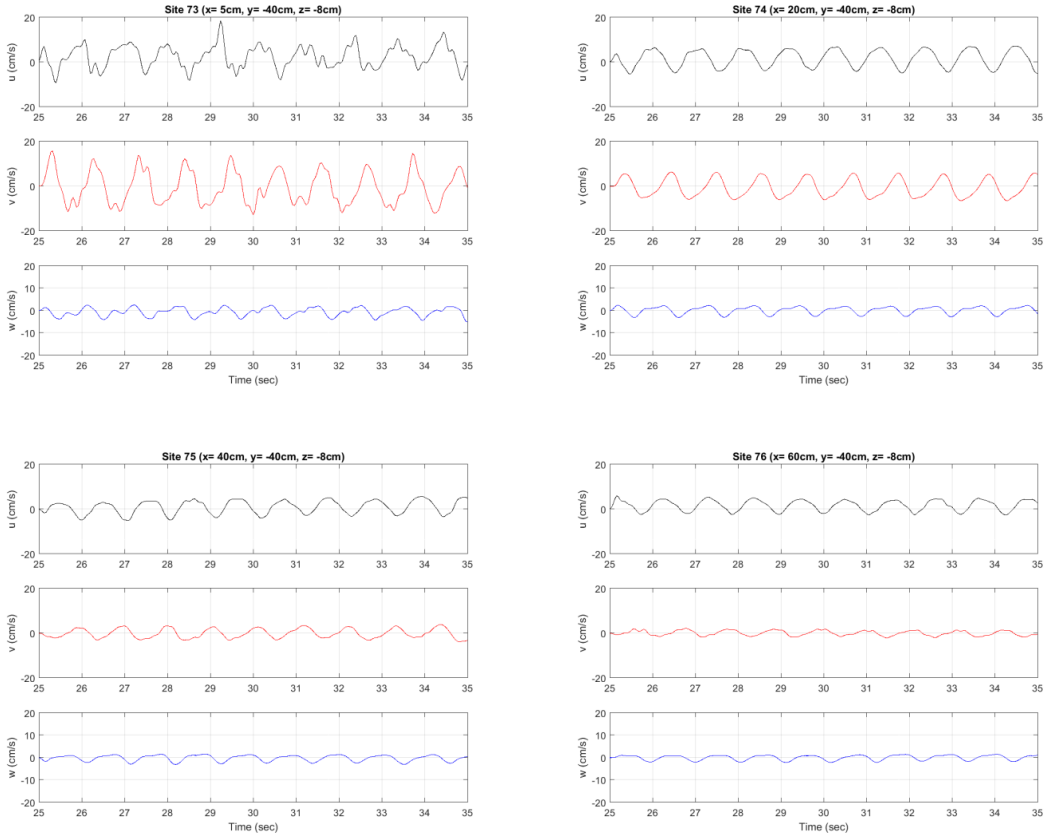
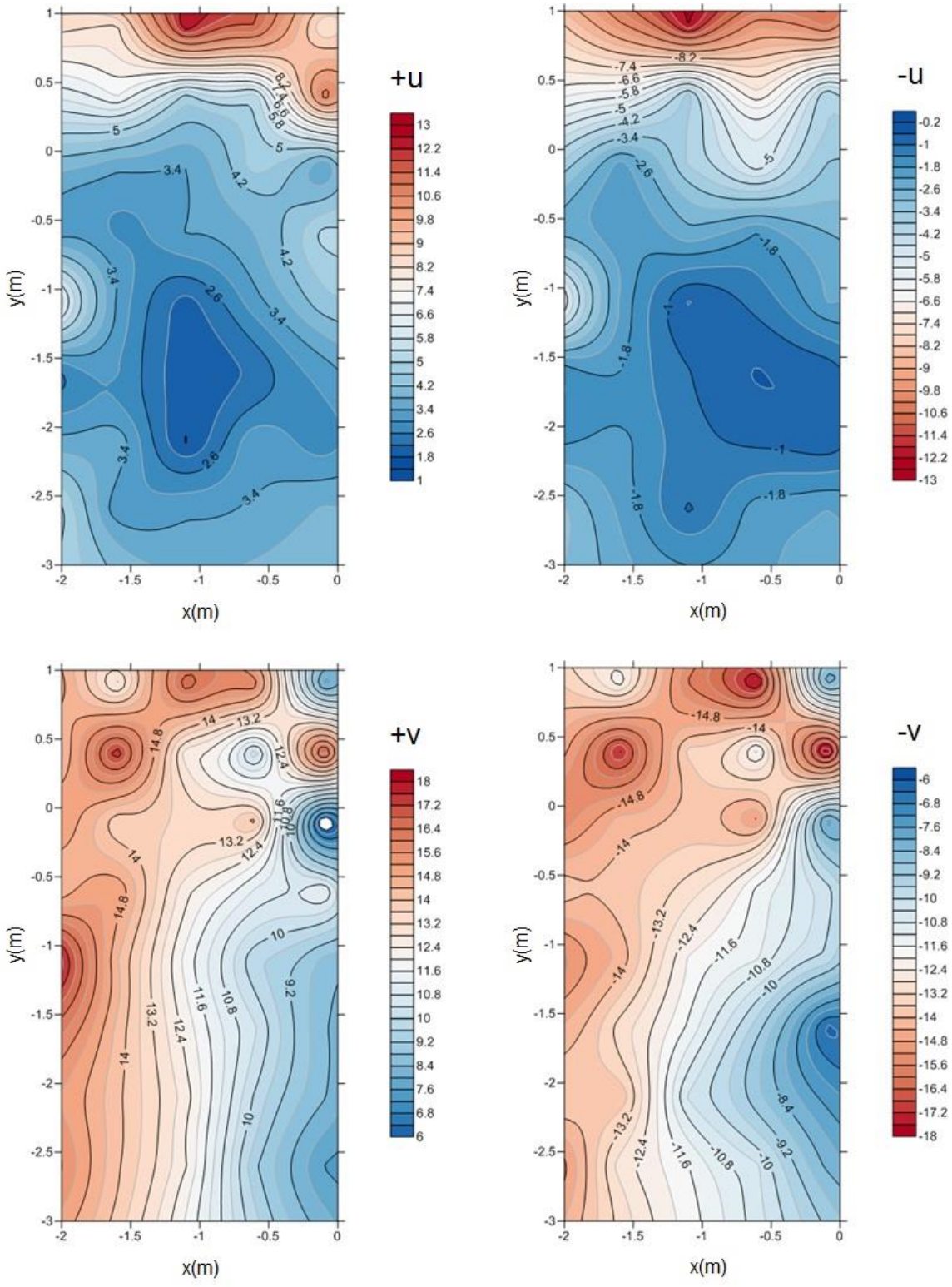



**圖 5.67 颱風波浪堤頭附近 Site41~76 選定時間區間 z=-8cm 之流速變化**

由圖 5.65~5.67 各測點在選定時間區間中各方向速度分量大致仍呈現穩定之週期性變化，故將各方向速度分量之週期性峰值平均後繪製其分佈趨勢，z = -15cm 如圖 5.68，z = -10cm 如圖 5.69。

由圖 5.68~圖 5.69 可發現因颱風波浪條件相當接近淺水波，故在 z = -15cm 與 z = -10cm 之水平流速差異不大且呈對稱型態，在堤後繞射區流速明顯變小，u 向流速在堤前重複波區域較大，v 向流速在堤頭重複波作用區及外海側較大，而 w 向流速仍沿水深方向遞減。


+u
-u
+v
-v
y(m)
x(m)

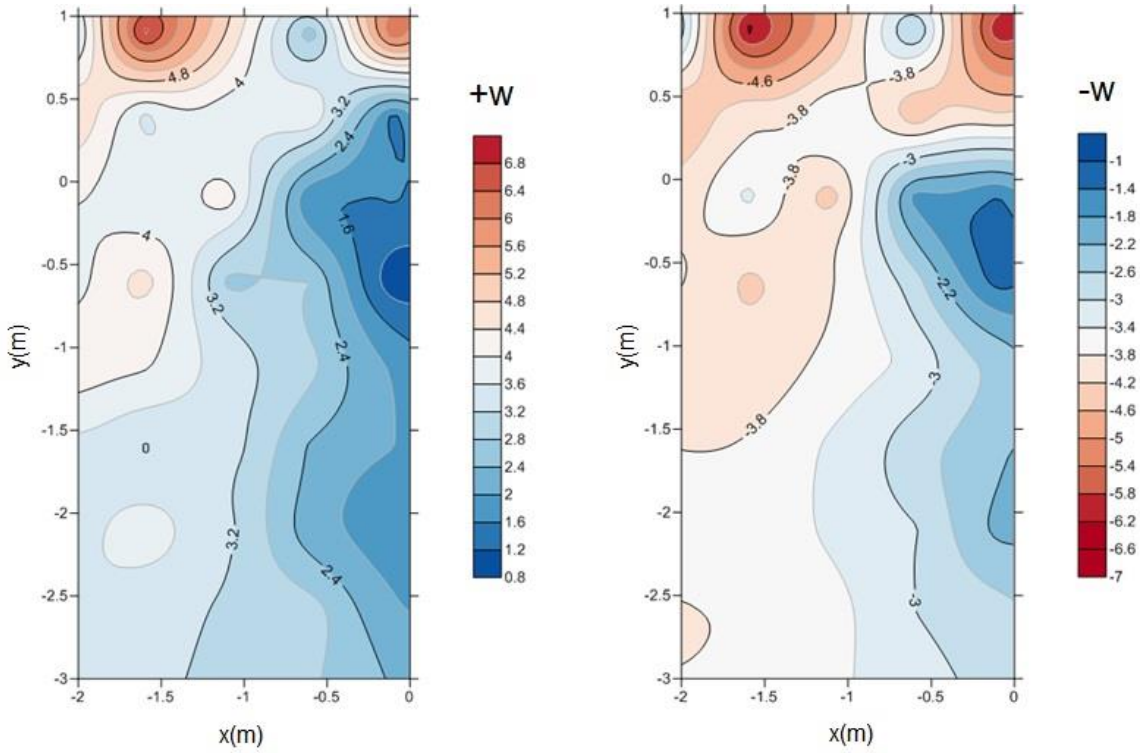
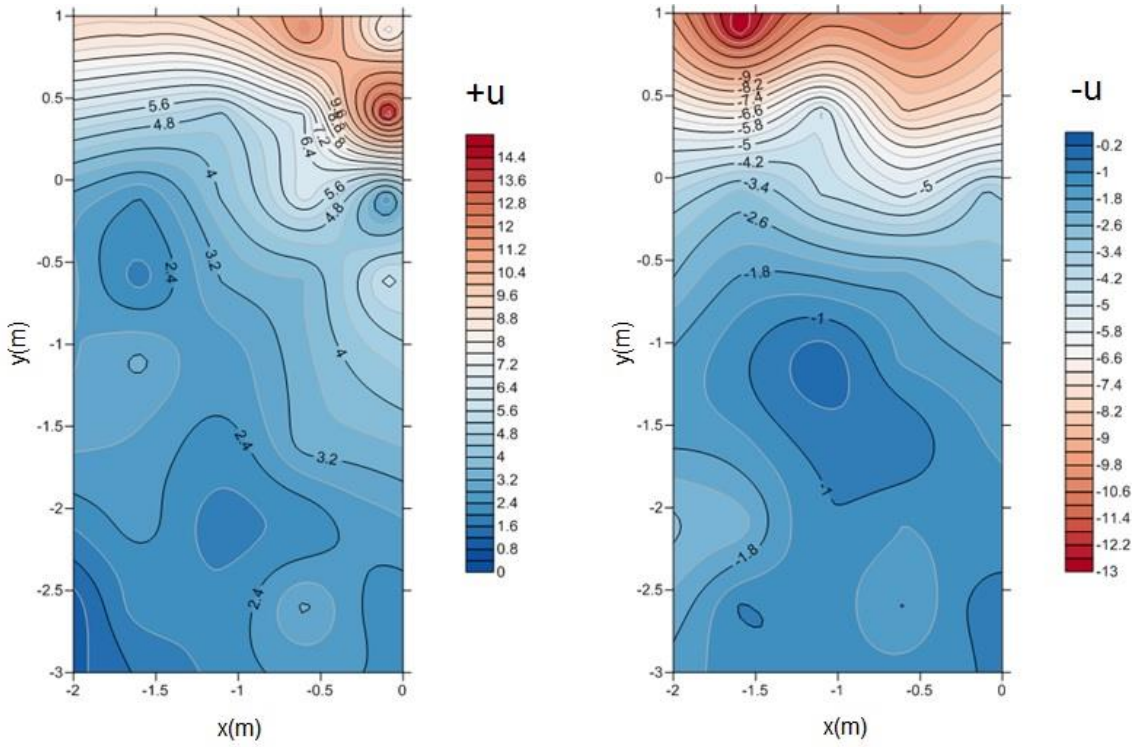



**圖 5.68 颱風波浪作用下 z=-15cm 各方向速度峰值平均之分佈趨勢**



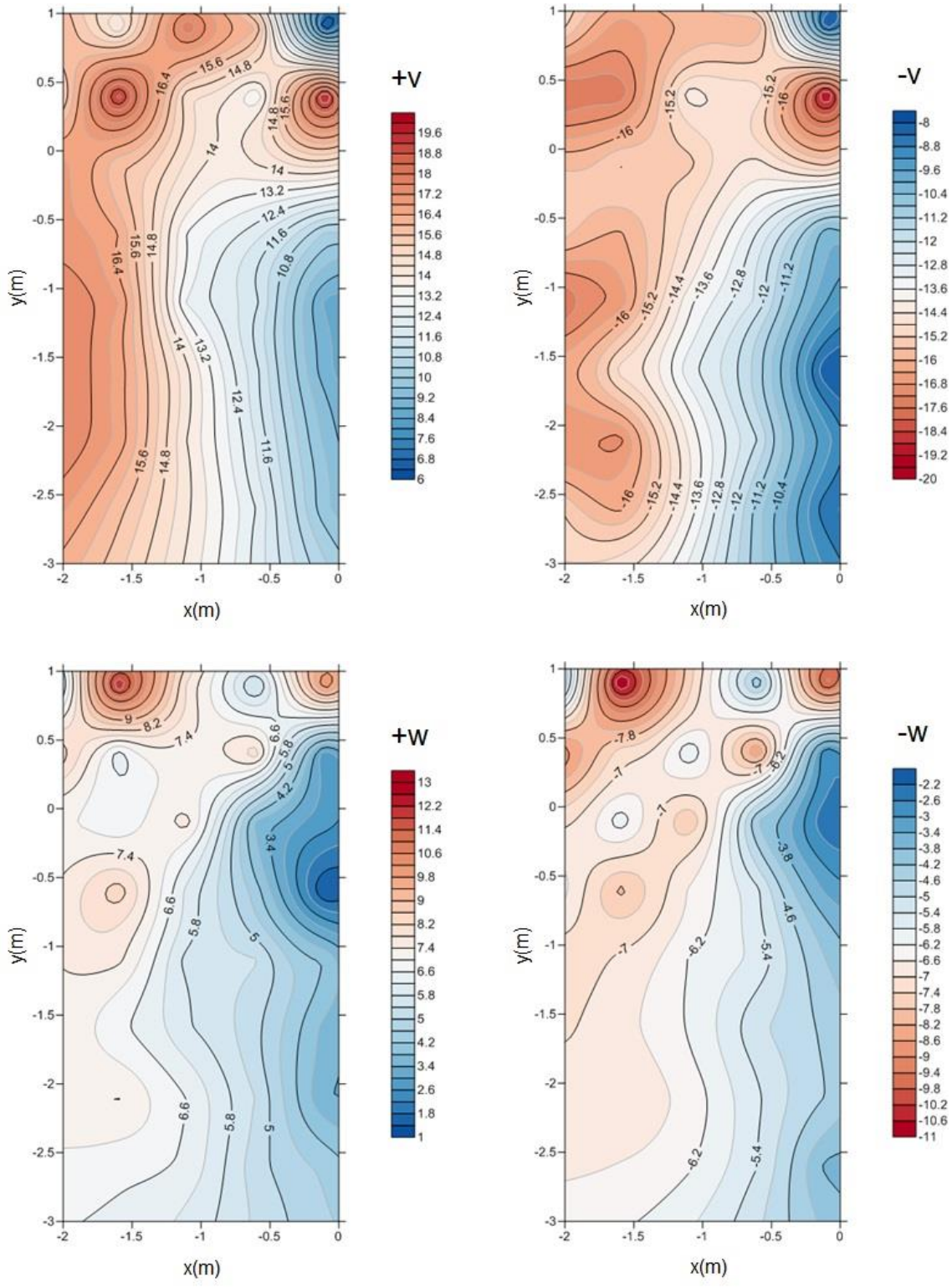



**圖 5.69 颱風波浪作用下 z=-10cm 各方向速度峰值平均之分佈趨勢**

為觀察瞬時之流場強度變化，定義$U=\sqrt{u^2+v^2+w^2}$，選取量測時間 t=26~27.08sec，間格 0.12sec 繪製平面流場(圖左)及其瞬時流場強度 U(圖右)，z = -15 如圖 5.70~圖 5.79，z = -10 如圖 5.80~圖 5.89，z = -8 如圖 5.90~圖 5.99。

此時試驗颱風波浪週期為 1.06sec，觀察圖 5.70 與圖 5.80 可發現 z = -15cm 之平面流場相當類似，顯示符合週期性變化趨勢，且大都隨著 N 向波浪入射呈南北向之往復週期變化，在波浪前進之過程中波峰線大致維持一致，即東西向之測點大都具有相同的流向。

Site10-1 在堤頭附近有較大流速，其流向呈逆時鐘變化，而堤頭之 Site15-1 流速較小，此亦符合圖 5.63、圖 5.64 之波場量測結果，該處受到堤頭之影響，波流場較為紊亂且波高、流速均較小，z = -10cm 水層亦有相同的趨勢在。總流速較大之區域則在入射方向與防坡堤之間變動，另一區域則是較不受結構物及地形淺化作用影響之外海側。

若逐時比較圖 5.70 至圖 5.79 及圖 5.80 至圖 5.89 可發現各瞬時之平面流場及總流速分佈在兩水層趨勢大致相符，z = -10cm 水層之流速稍大於 z = -15cm，但有個別點位之流向在兩水層間不同，大致可分為堤前之 Site4、Site5、Site10-1 三角區及堤線方向之區域包含 Site15-1、Site17、Site18、Site19、Site20，前者位於堤前重複波之作用區，由圖 5.62 亦可見到 Site10-1 存在另一成分波，而後者研判為繞射波浪與 N 向波浪作用之相位差所造成。

本試驗對堤頭做加密量測，由圖 5.90~圖 5.99 逐時平面流速及 U 之變化可發現，最大流速之位置隨 N 向波浪入射由堤頭北方往堤面前進，接著順堤線往西南移動(t=26.20sec)，接著漸漸分

成兩部分(t=26.24sec)，因颱風波浪週期為 1.06sec，參考對應接近其半周期之圖 5.96 (t=26.72sec)亦可發現相同特徵，此時亦可見到繞過堤頭之能量，在圖 5.93(t=26.36sec)及圖 5.97(t=26.84sec)中可發現分為堤身、堤頭西北部及堤頭下部三部分，前兩者距離約為半波長，因此可推知其一為波峰，另一為波谷。

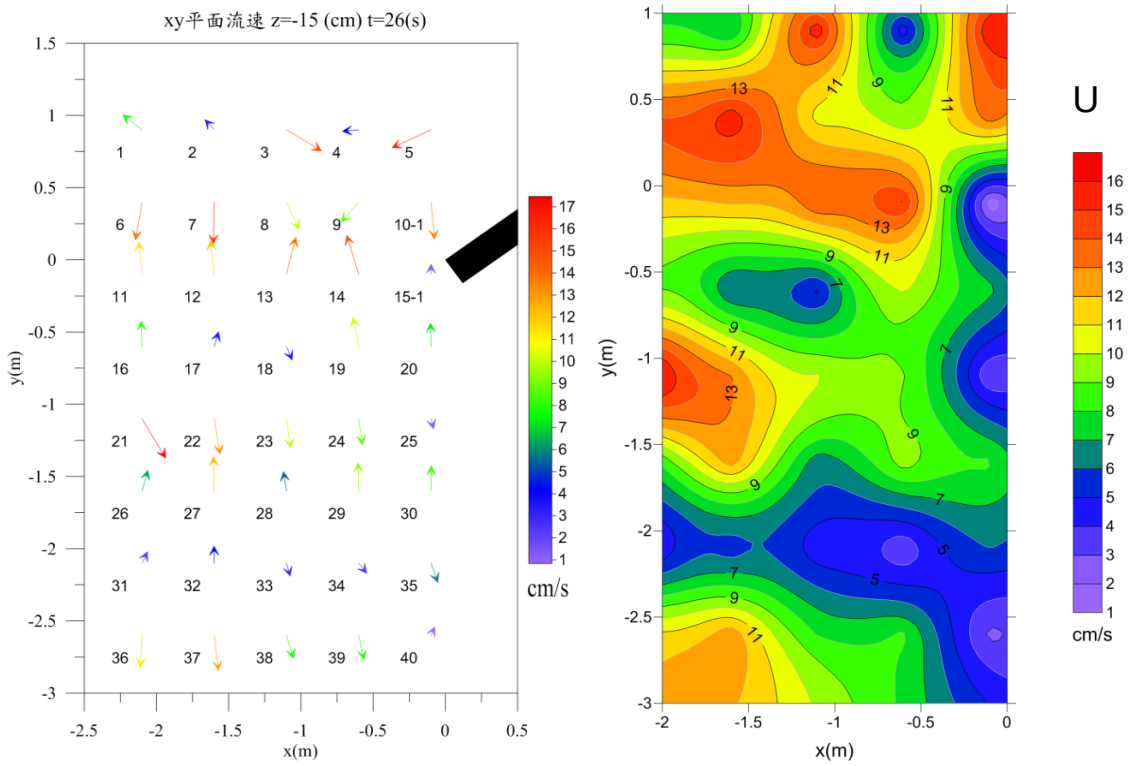



**圖 5.70 颱風波浪作用下 t=26sec, z=-15cm 平面流場及 U 之分佈圖**

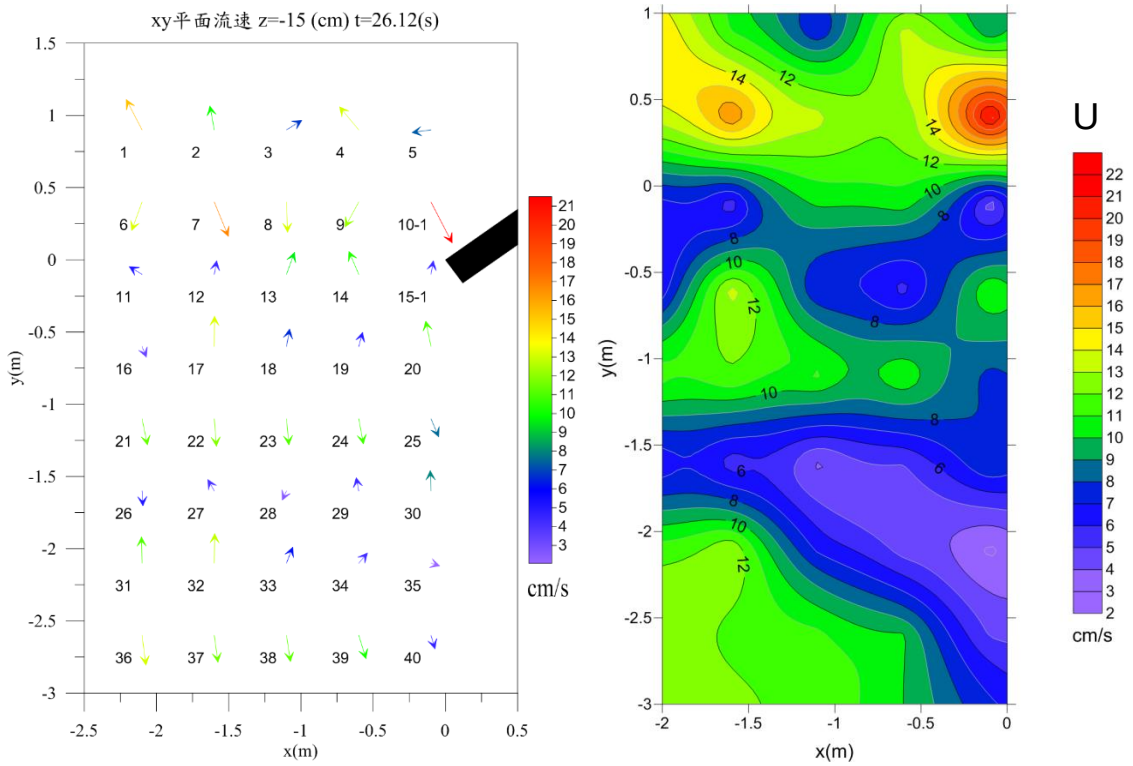



**圖 5.71 颱風波浪作用下 t=26.12sec, z=-15cm 平面流場及 U 之分佈圖**

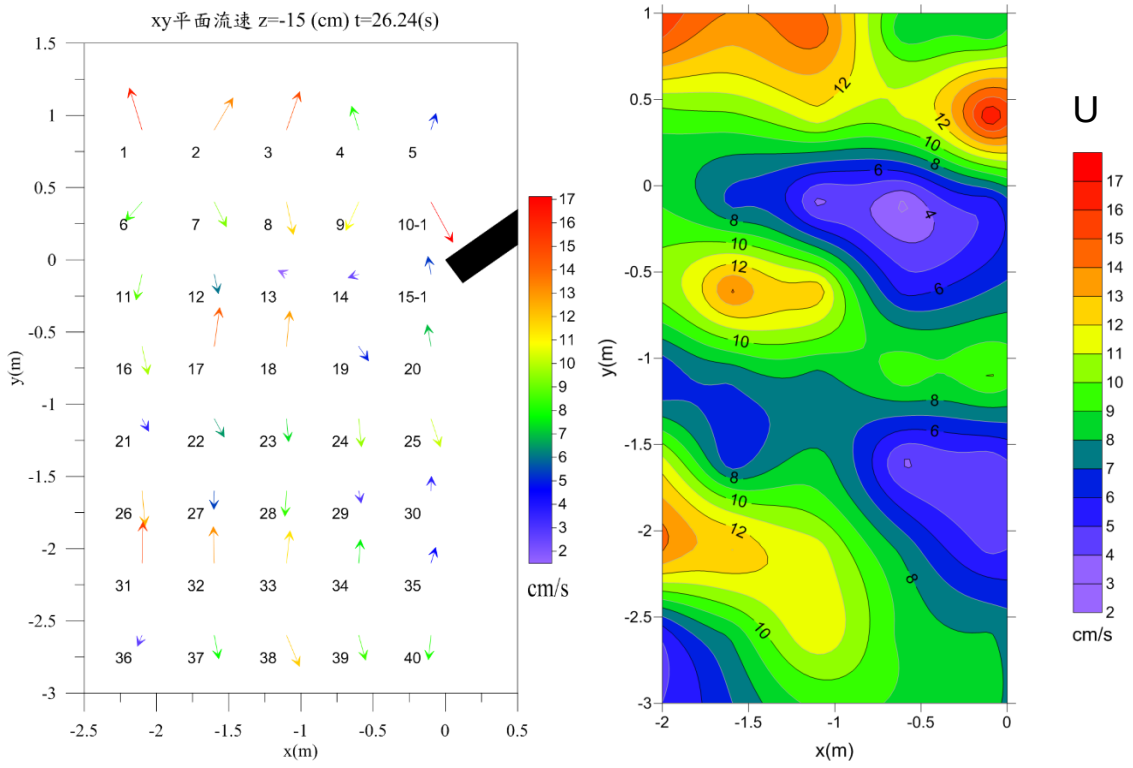



**圖 5.72 颱風波浪作用下 t=26.24sec, z=-15cm 平面流場及 U 之分佈圖**

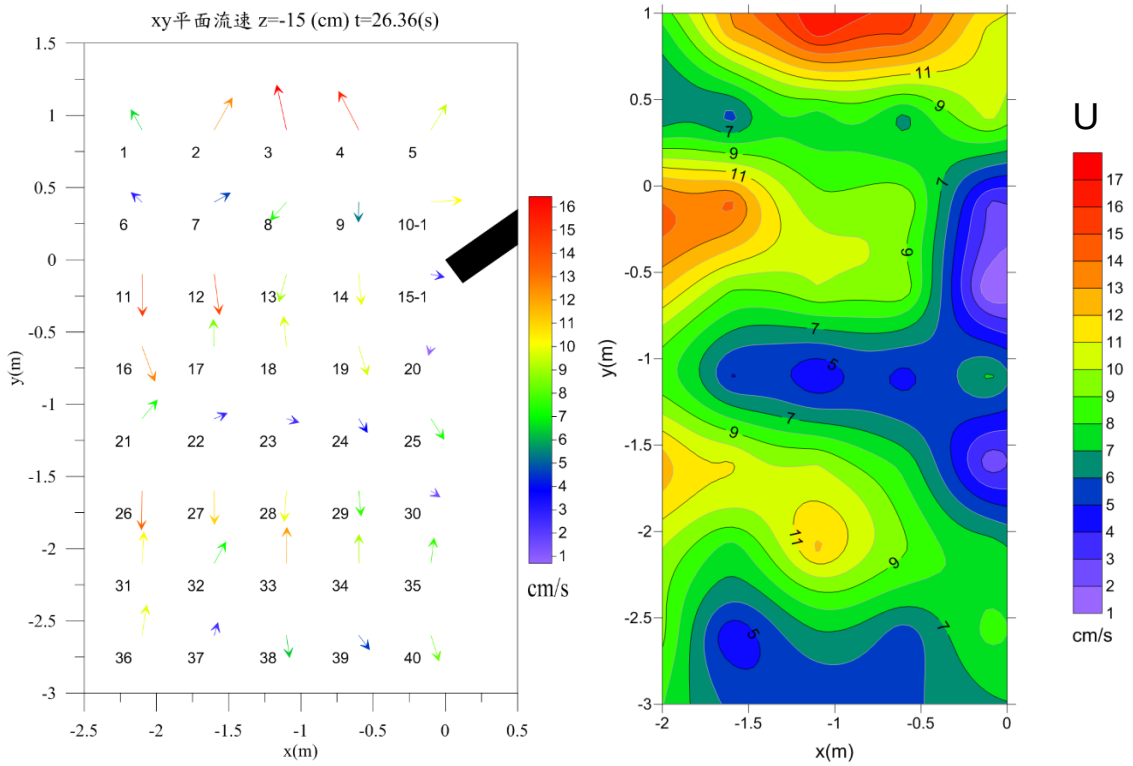



**圖 5.73 颱風波浪作用下 t=26.368sec, z=-15cm 平面流場及 U 之分佈圖**

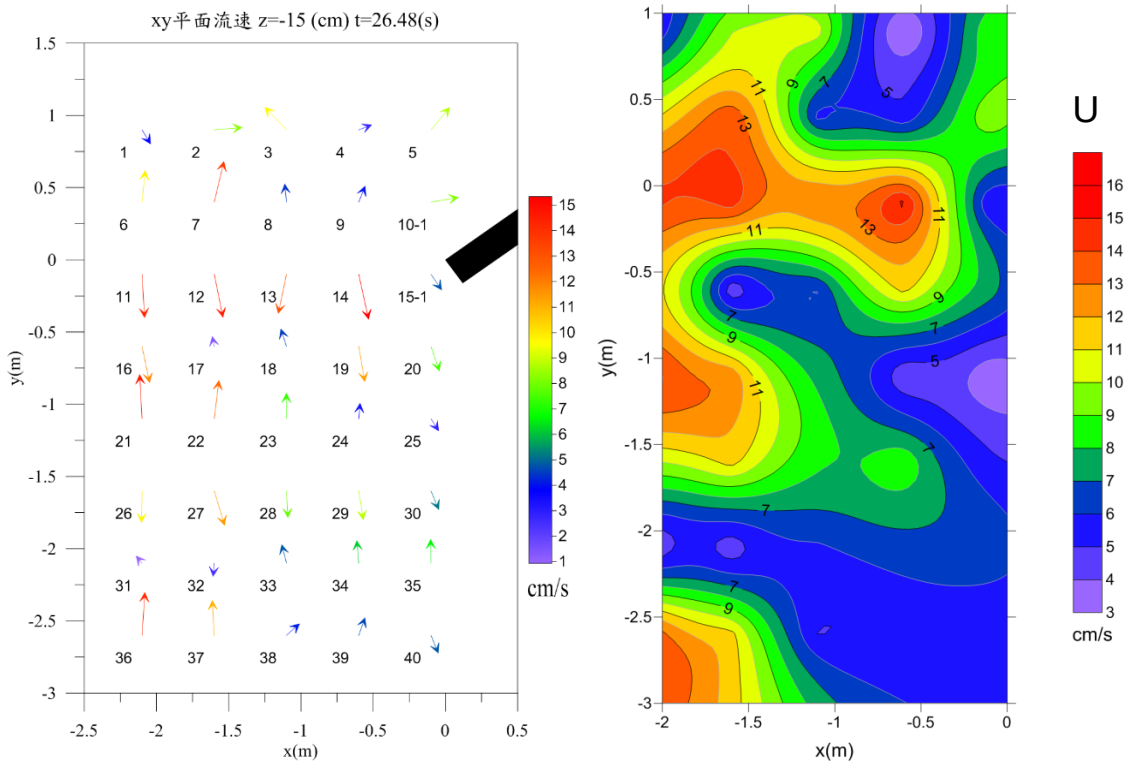



**圖 5.74 颱風波浪作用下 t=26.48sec, z=-15cm 平面流場及 U 之分佈圖**

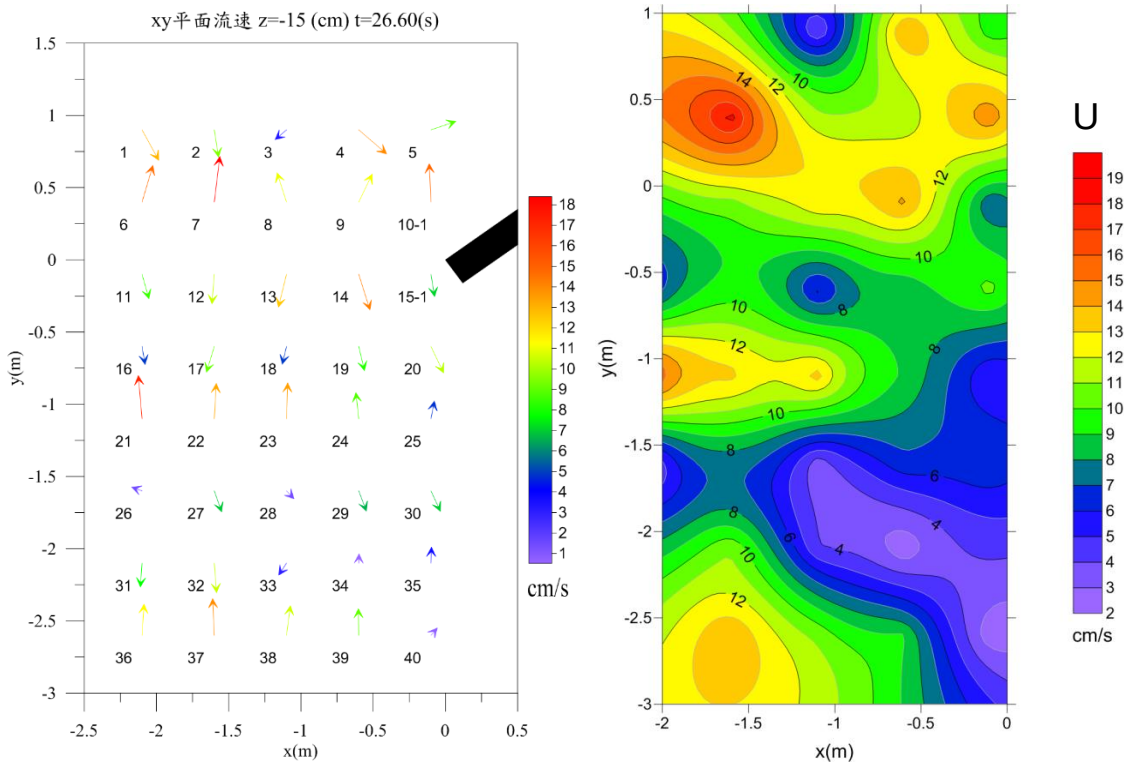



**圖 5.75 颱風波浪作用下 t=26.60sec, z=-15cm 平面流場及 U 之分佈圖**

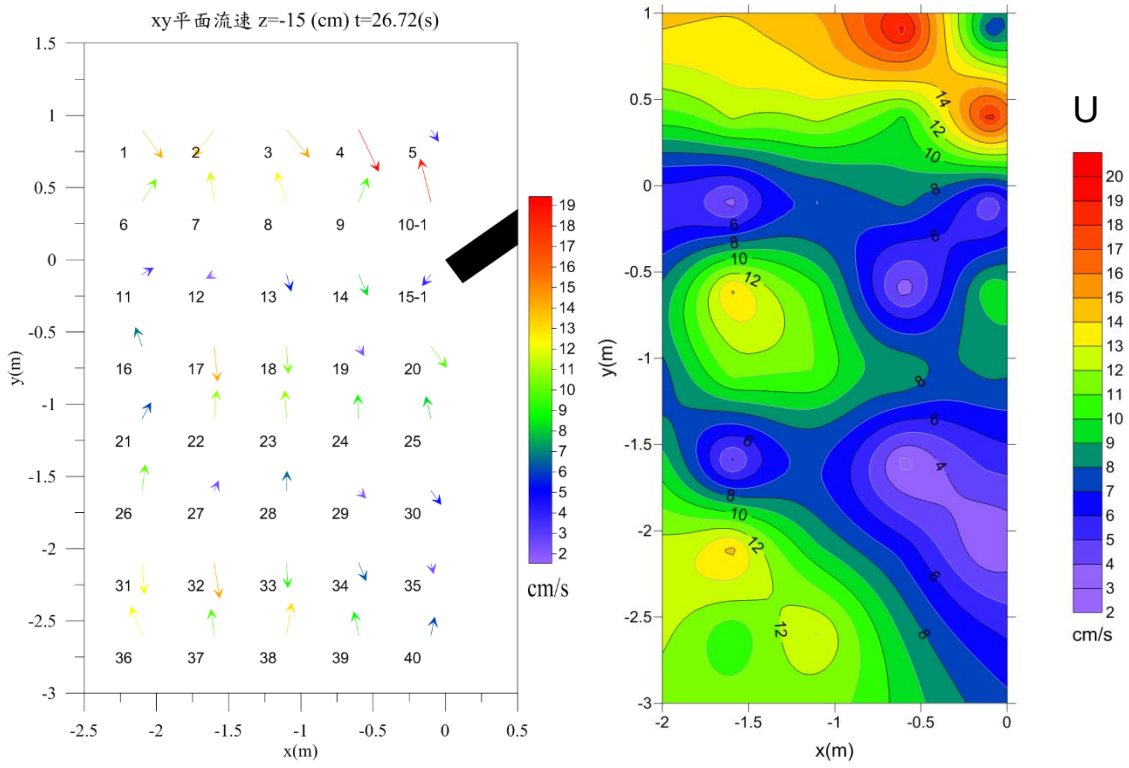



**圖 5.76 颱風波浪作用下 t=26.72sec, z=-15cm 平面流場及 U 之分佈圖**

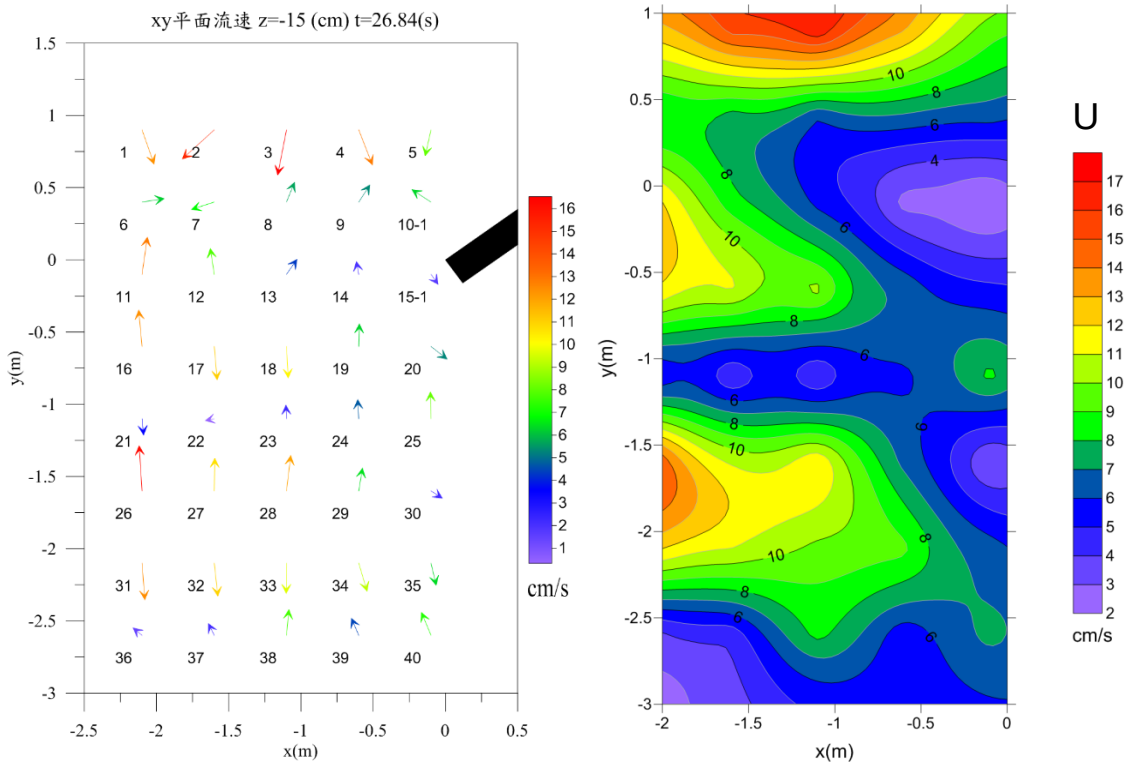



**圖 5.77 颱風波浪作用下 t=26.08sec, z=-15cm 平面流場及 U 之分佈圖**

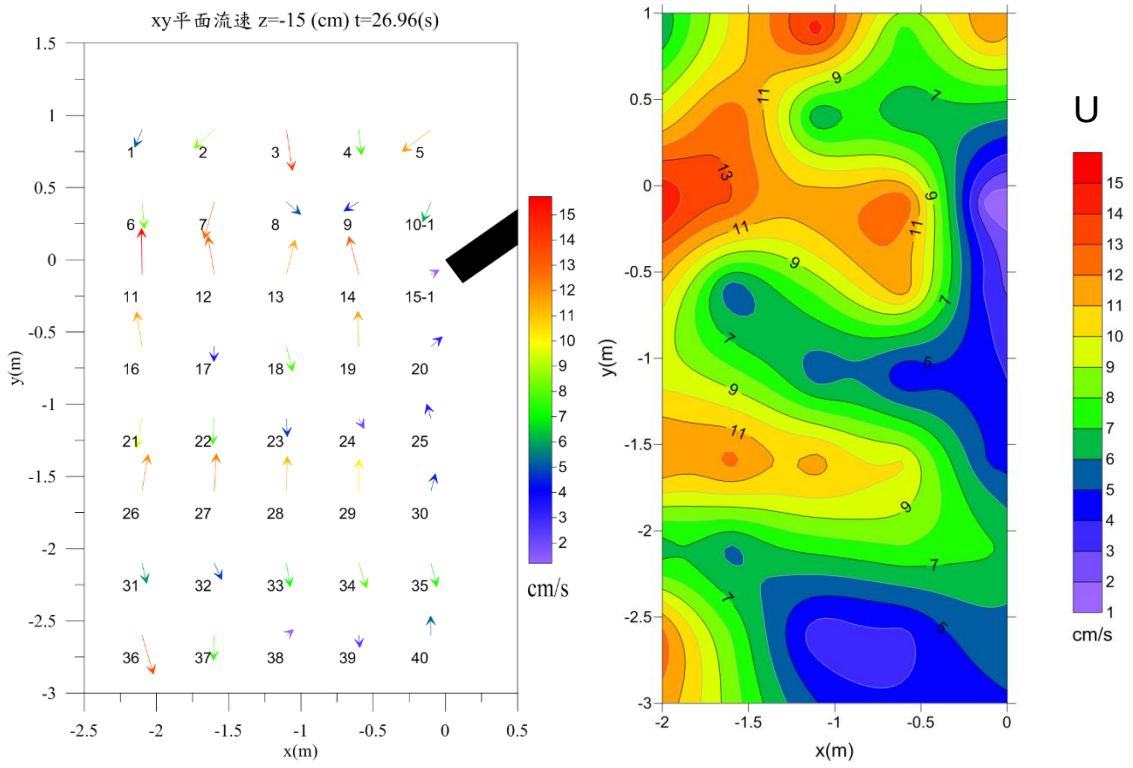



**圖 5.78 颱風波浪作用下 t=26.96sec, z=-15cm 平面流場及 U 之分佈圖**

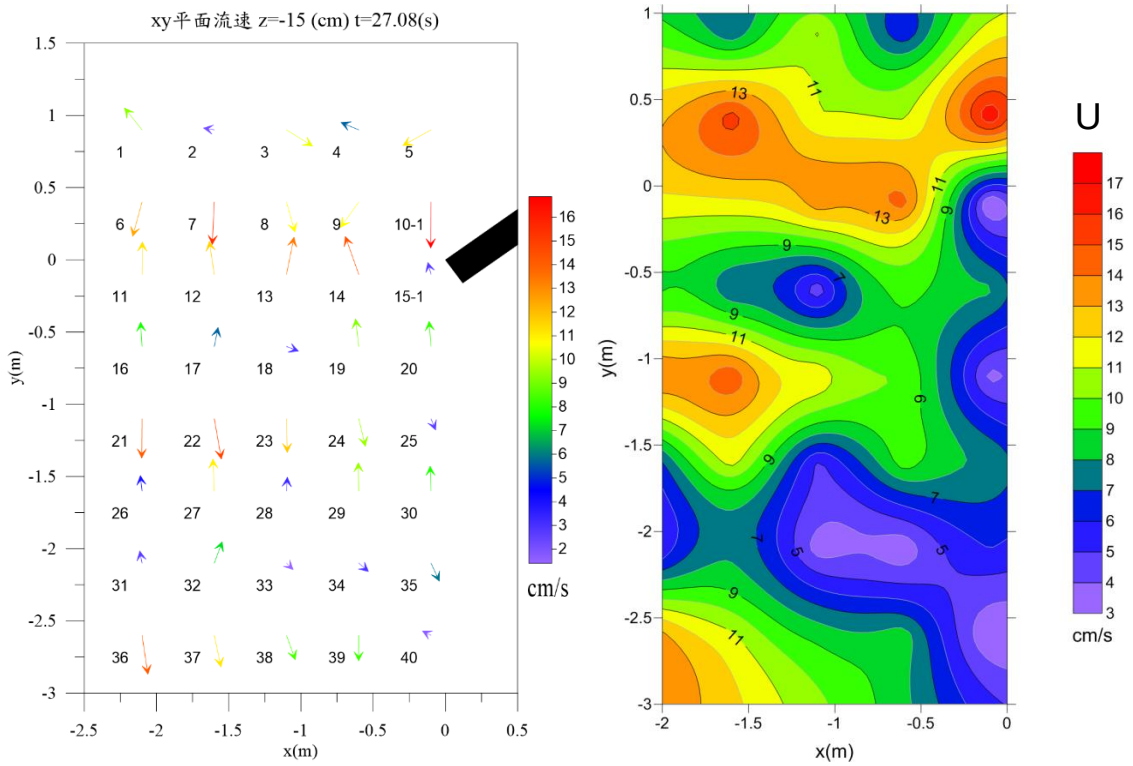



**圖 5.79 颱風波浪作用下 t=27.08sec, z=-15cm 平面流場及 U 之分佈圖**

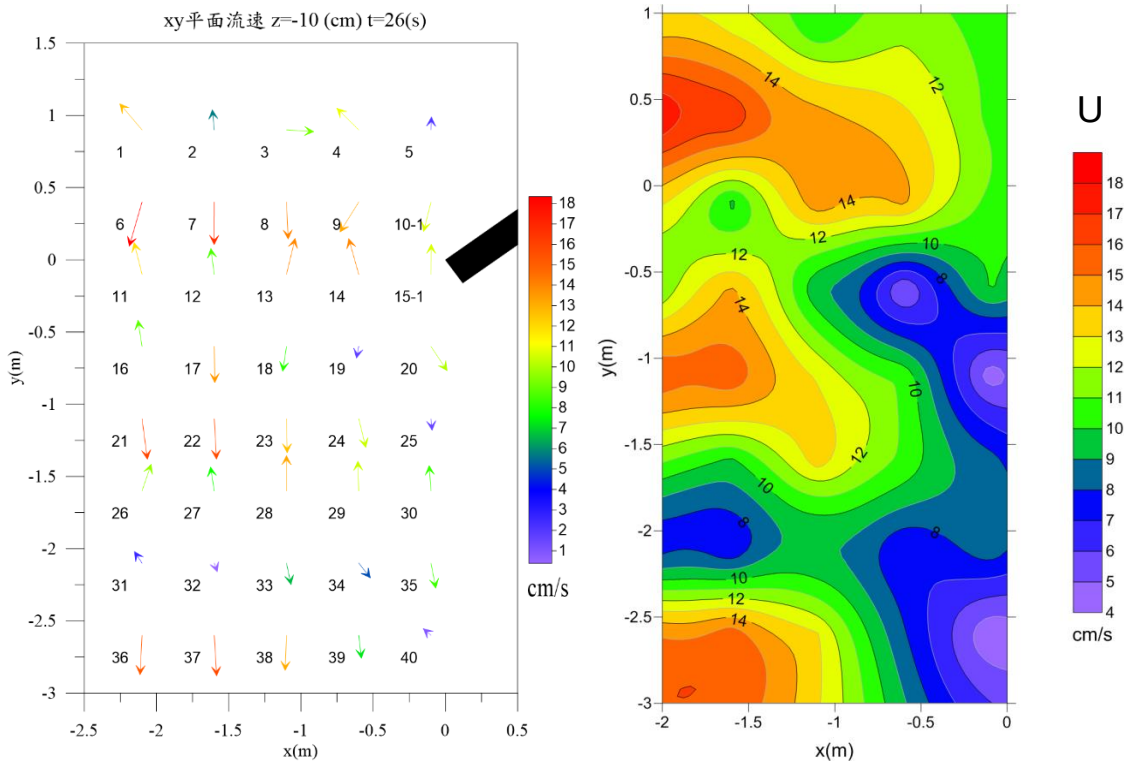



**圖 5.80 颱風波浪作用下 t=26sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖**

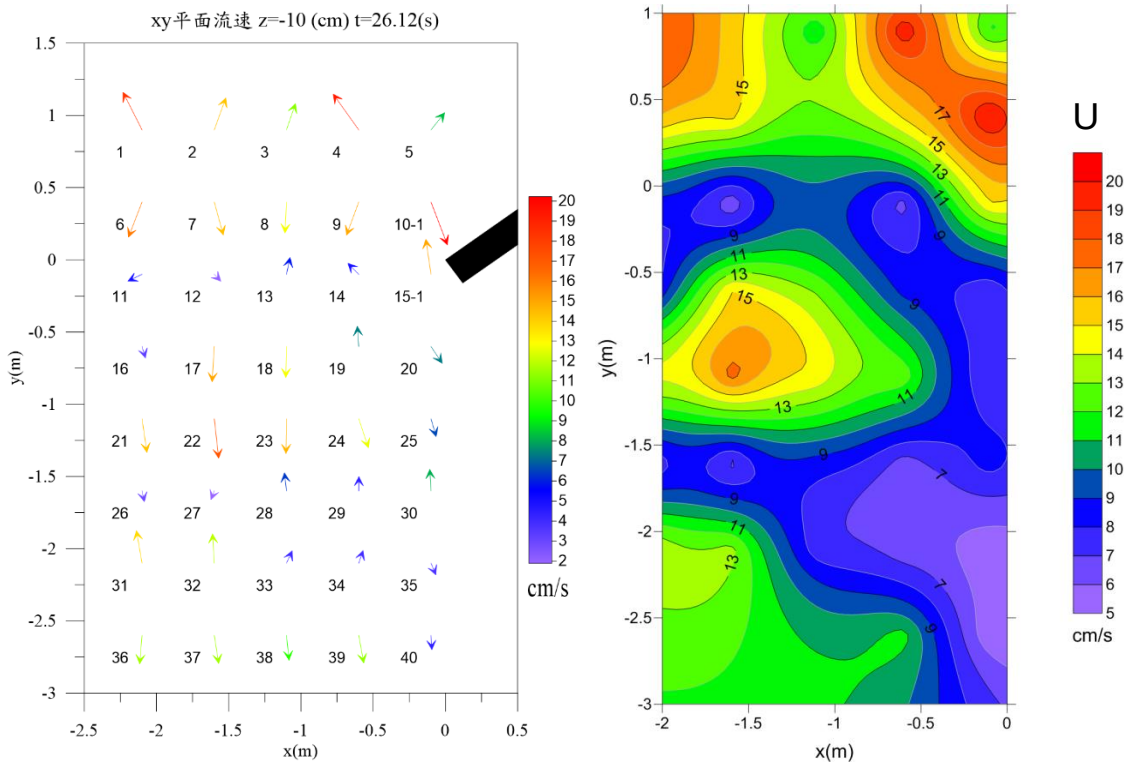



**圖 5.81 颱風波浪作用下 t=26.12sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖**

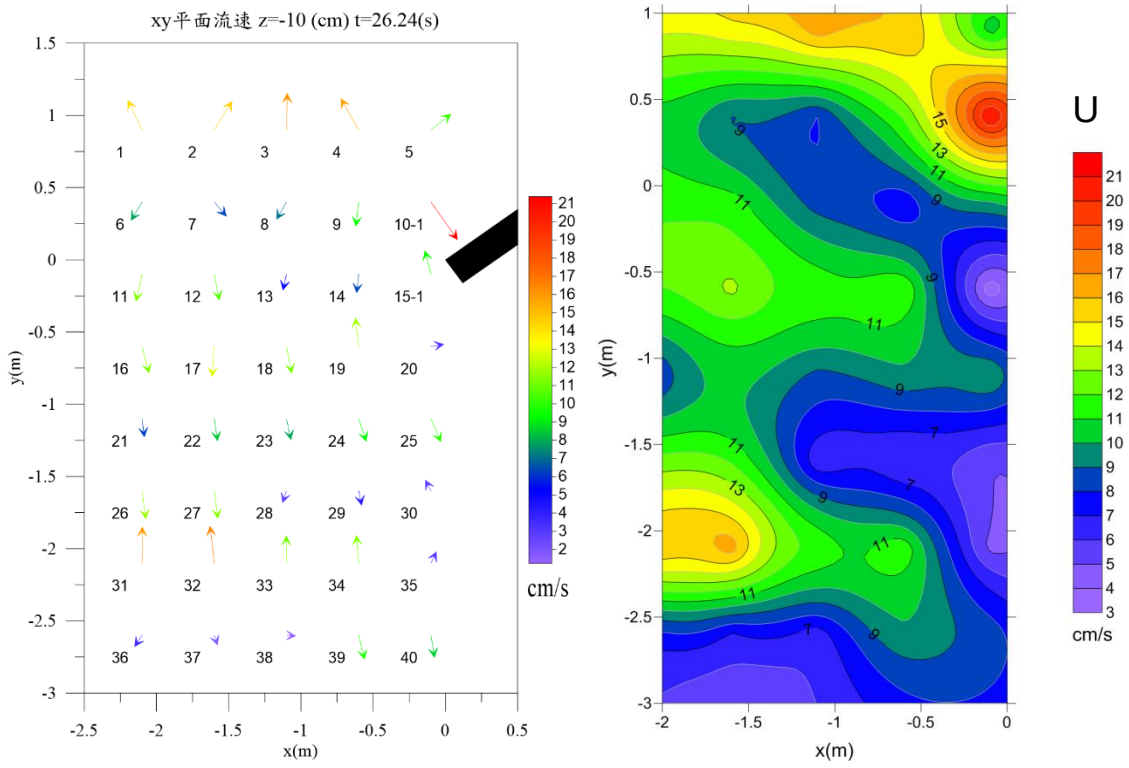



**圖 5.82 颱風波浪作用下 t=26.24sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖**

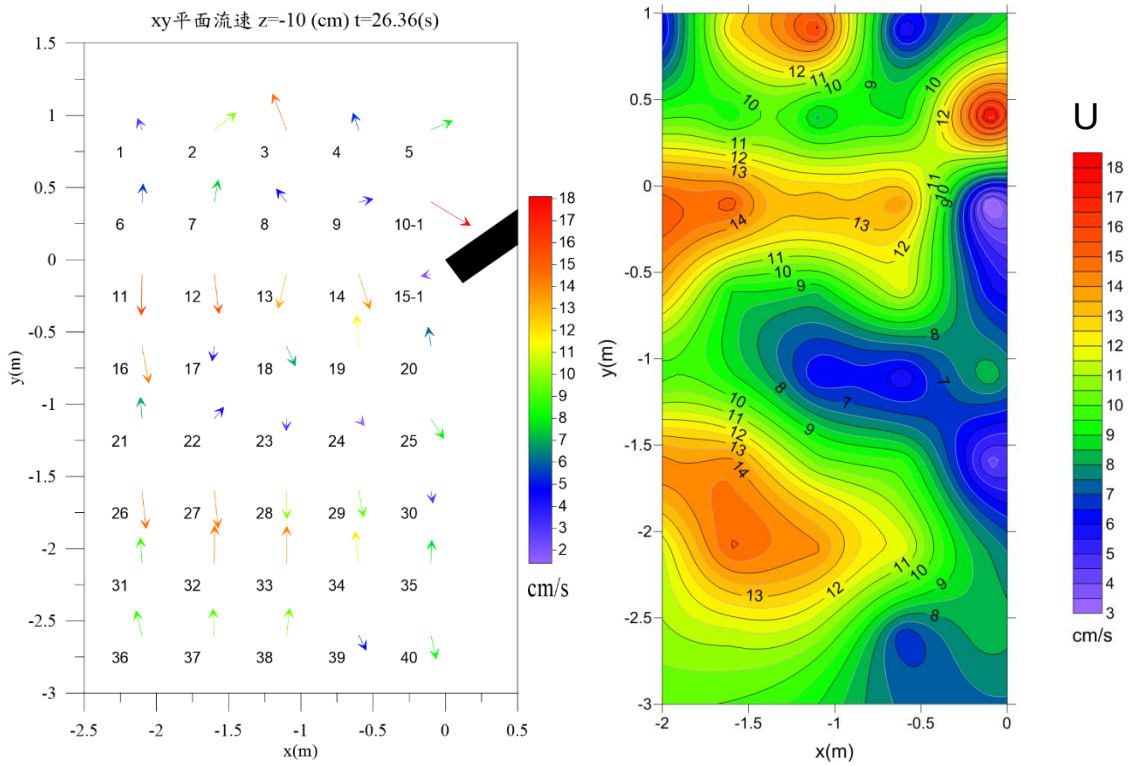



**圖 5.83 颱風波浪作用下 t=26.36sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖**

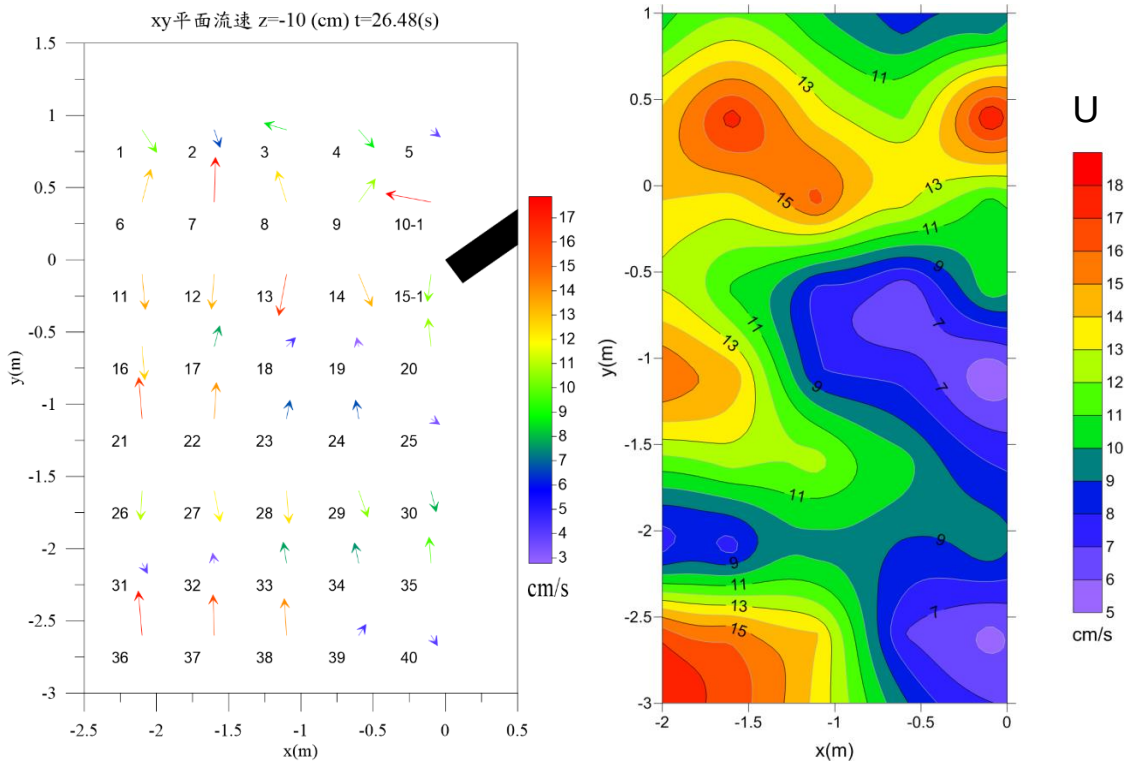



**圖 5.84 颱風波浪作用下 t=26.48sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖**

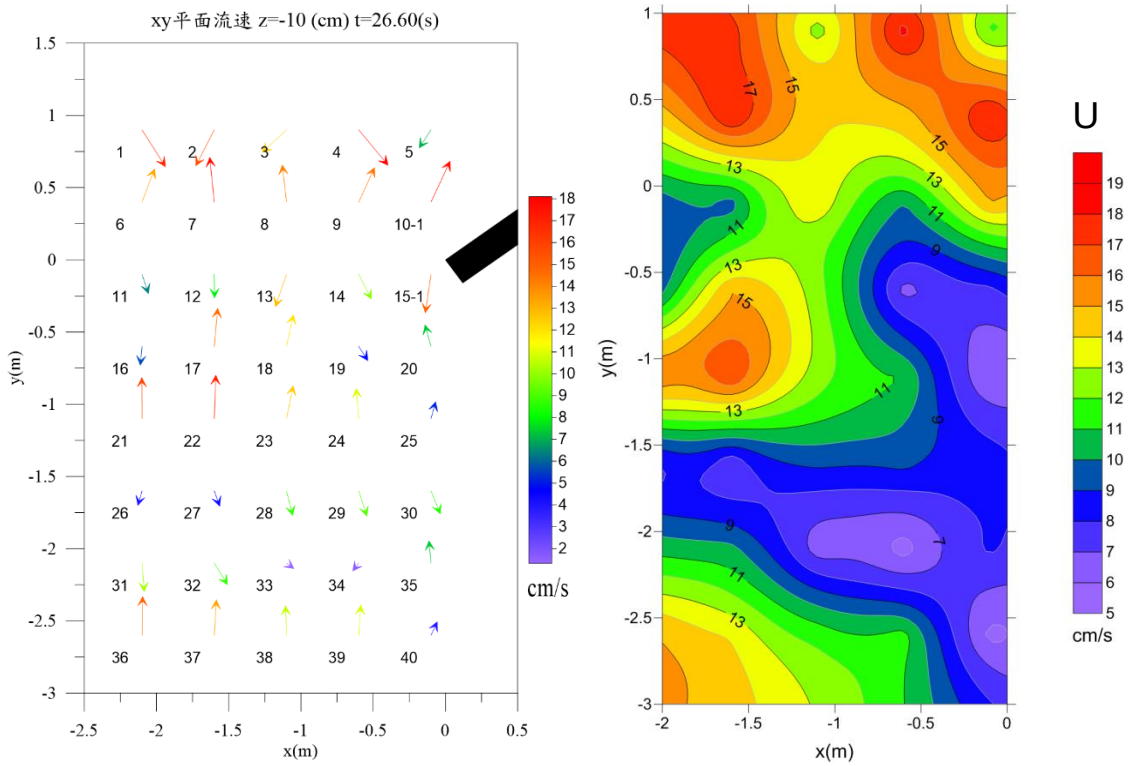



**圖 5.85 颱風波浪作用下 t=26.60sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖**

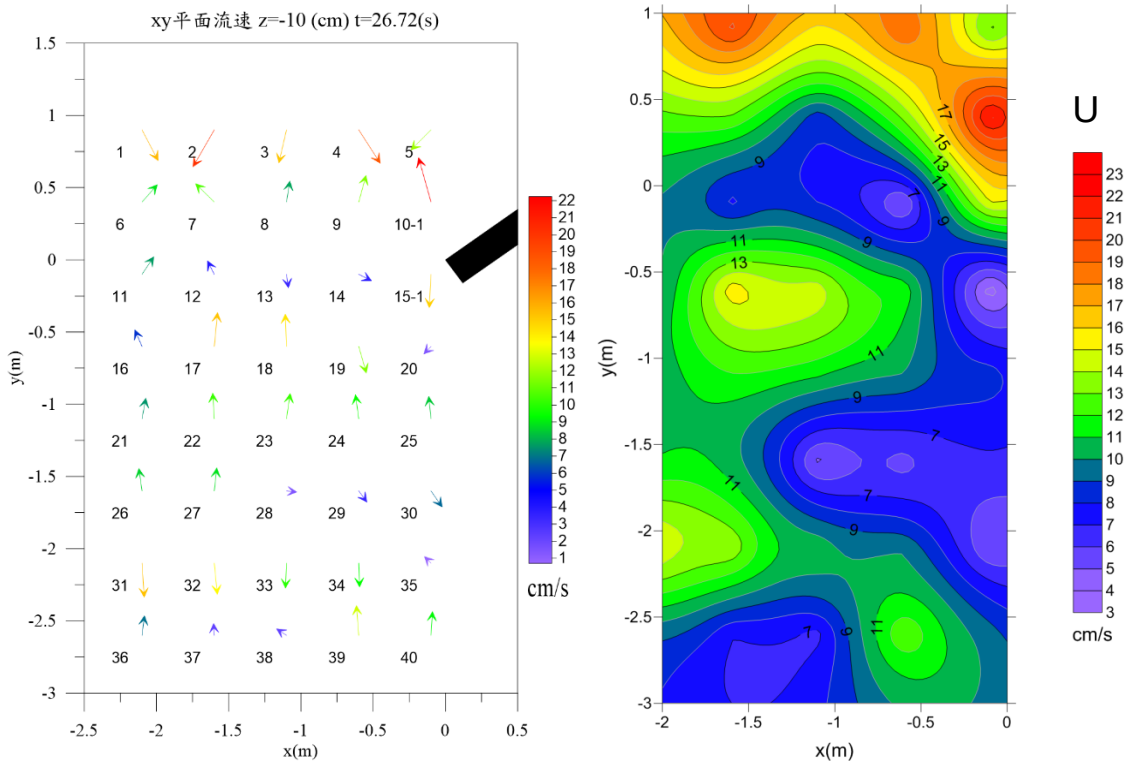



**圖 5.86 颱風波浪作用下 t=26.72sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖**

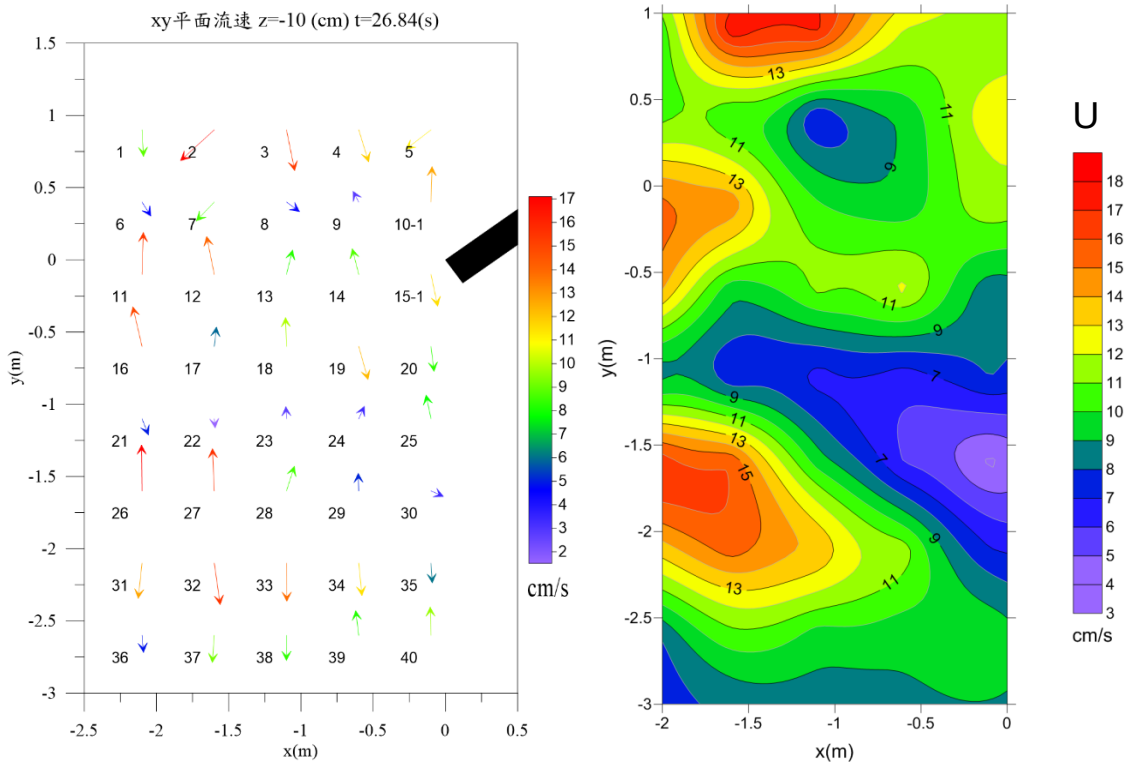



**圖 5.87 颱風波浪作用下 t=26.84sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖**

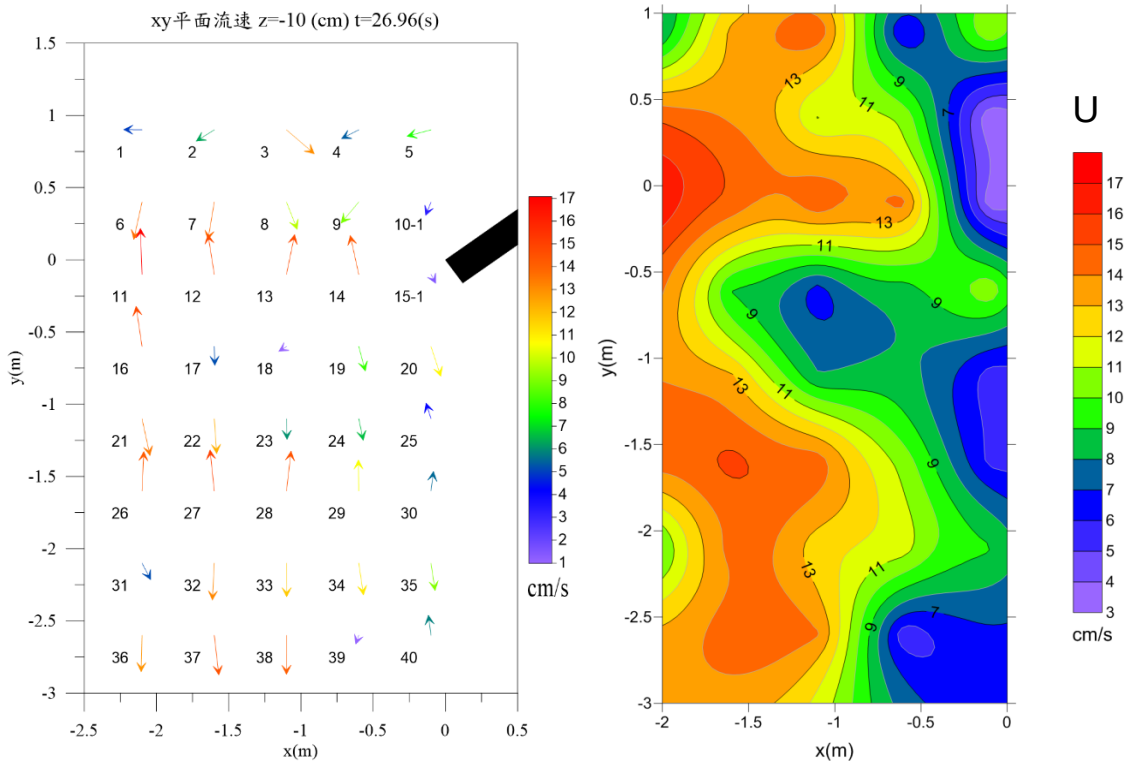



**圖 5.88 颱風波浪作用下 t=26.96sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖**

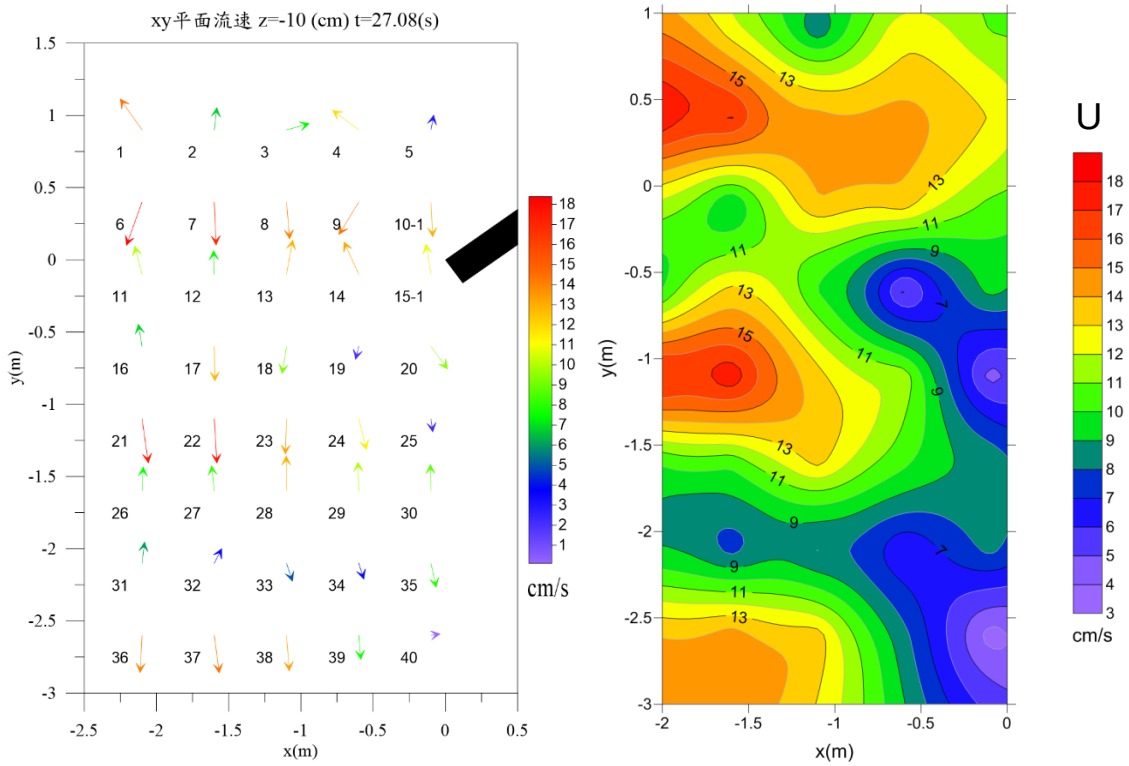



**圖 5.89 颱風波浪作用下 t=27.08sec, z=-10cm 平面流場及 U 之分佈圖**

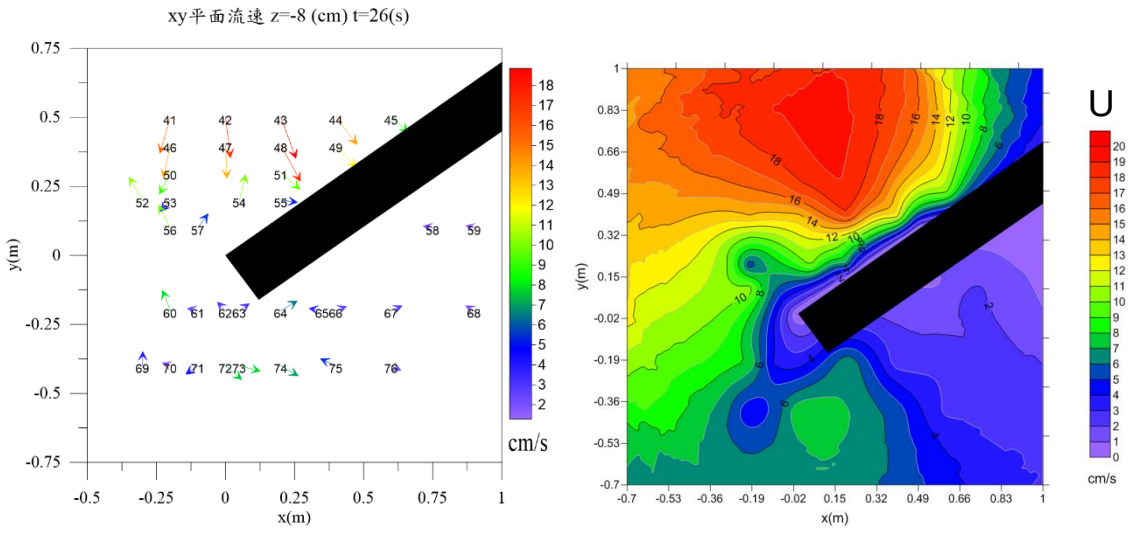



**圖 5.90 颱風波浪作用下 t=26sec, z=-8cm 平面流場及 U 之分佈圖**

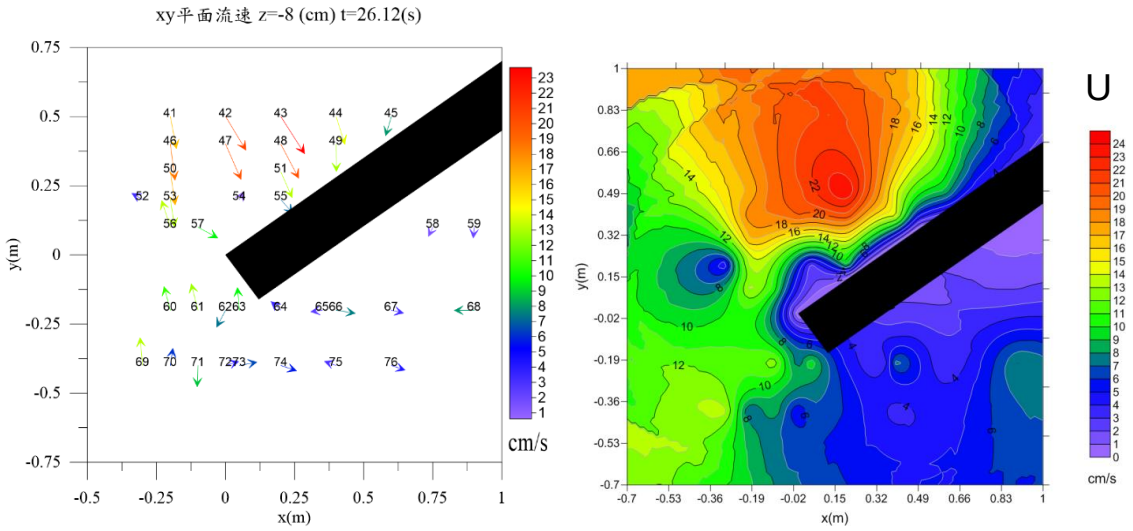



**圖 5.91 颱風波浪作用下 t=26.12sec, z=-8cm 平面流場及 U 之分佈圖**

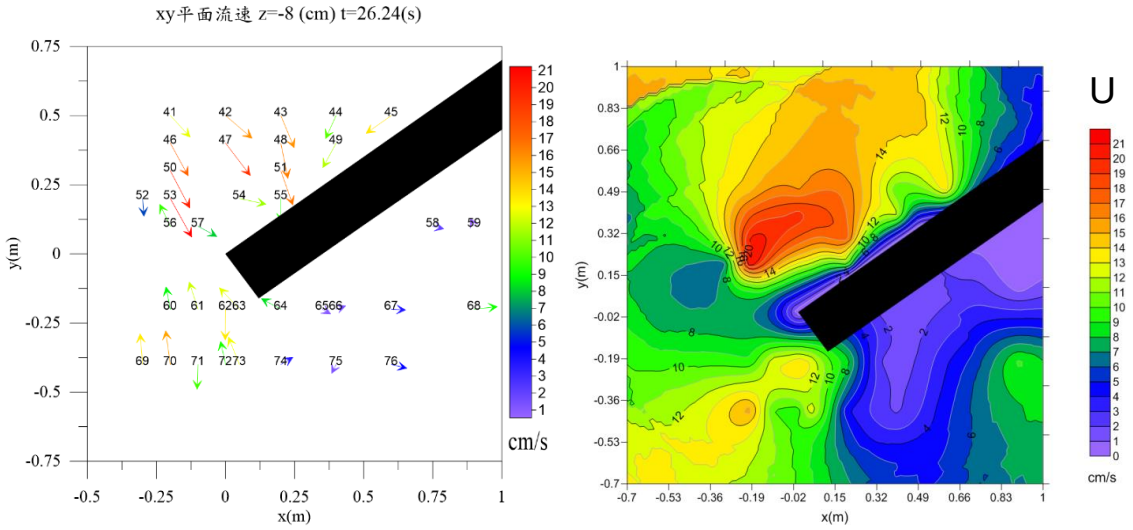



**圖 5.92 颱風波浪作用下 t=26.24sec, z=-8cm 平面流場及 U 之分佈圖**

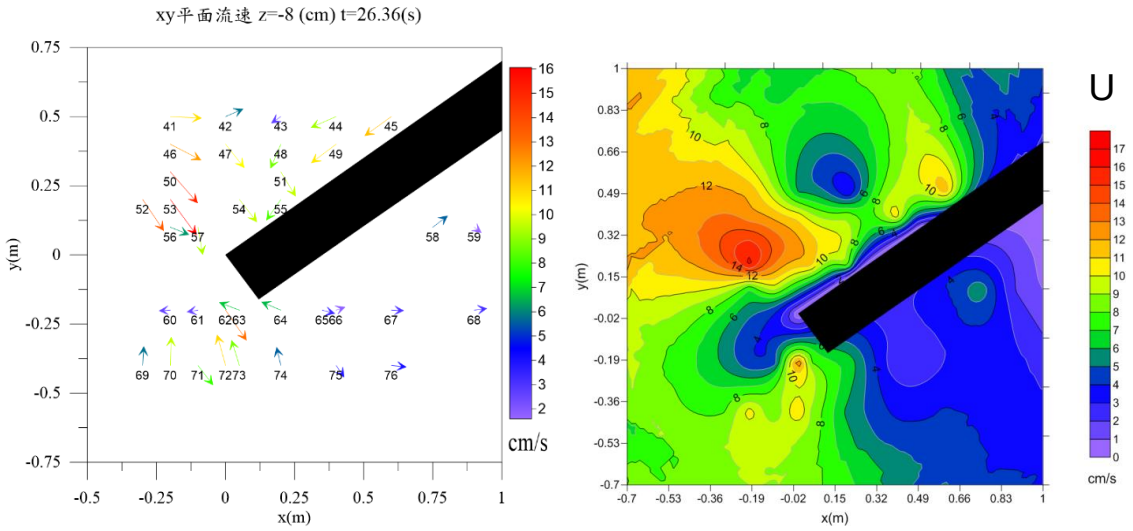



**圖 5.93 颱風波浪作用下 t=26.36sec, z=-8cm 平面流場及 U 之分佈圖**

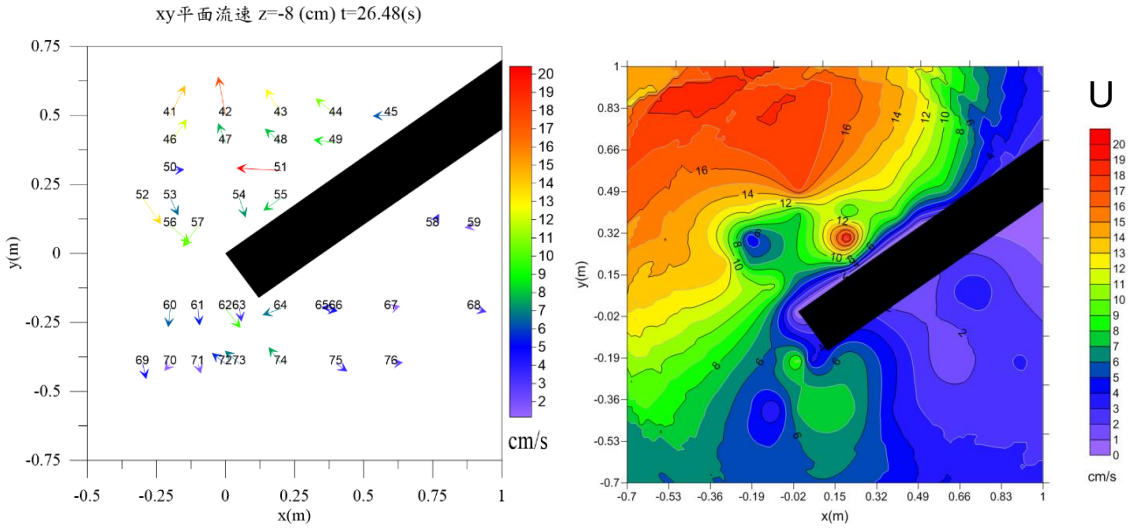



**圖 5.94 颱風波浪作用下 t=26.48sec, z=-8cm 平面流場及 U 之分佈圖**

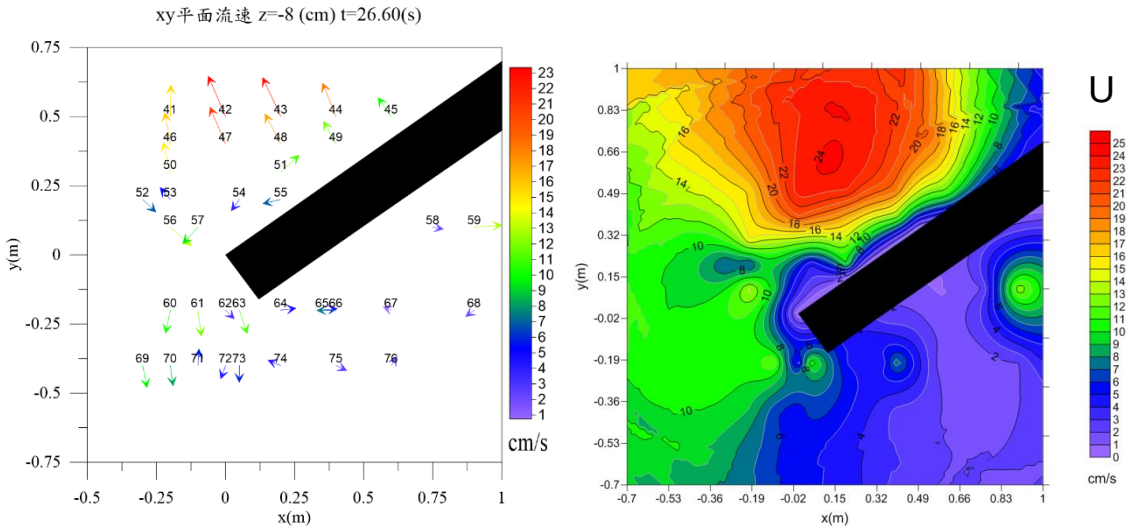



**圖 5.95 颱風波浪作用下 t=26.60sec, z=-8cm 平面流場及 U 之分佈圖**

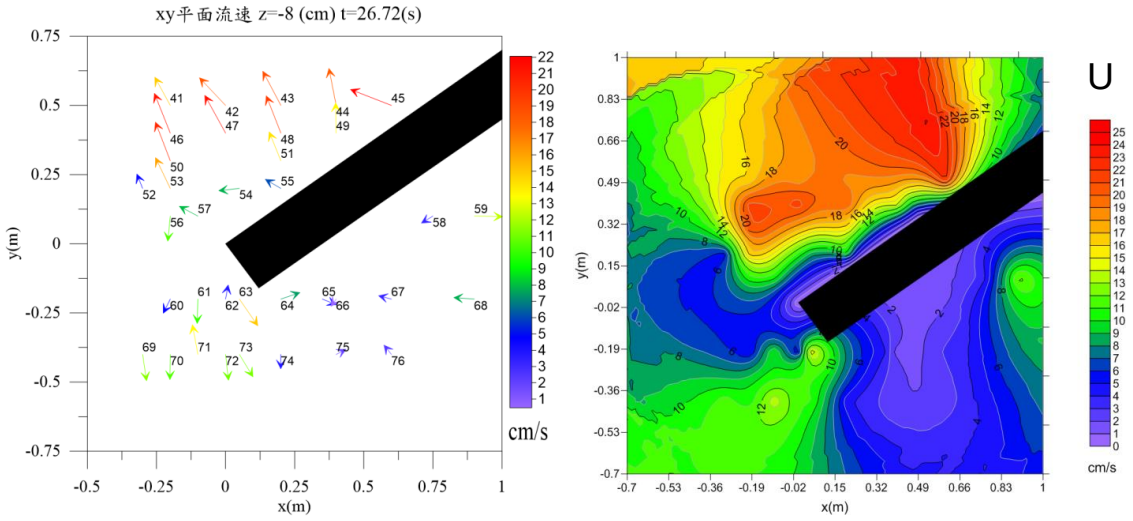



**圖 5.96 颱風波浪作用下 t=26.72sec, z=-8cm 平面流場及 U 之分佈圖**

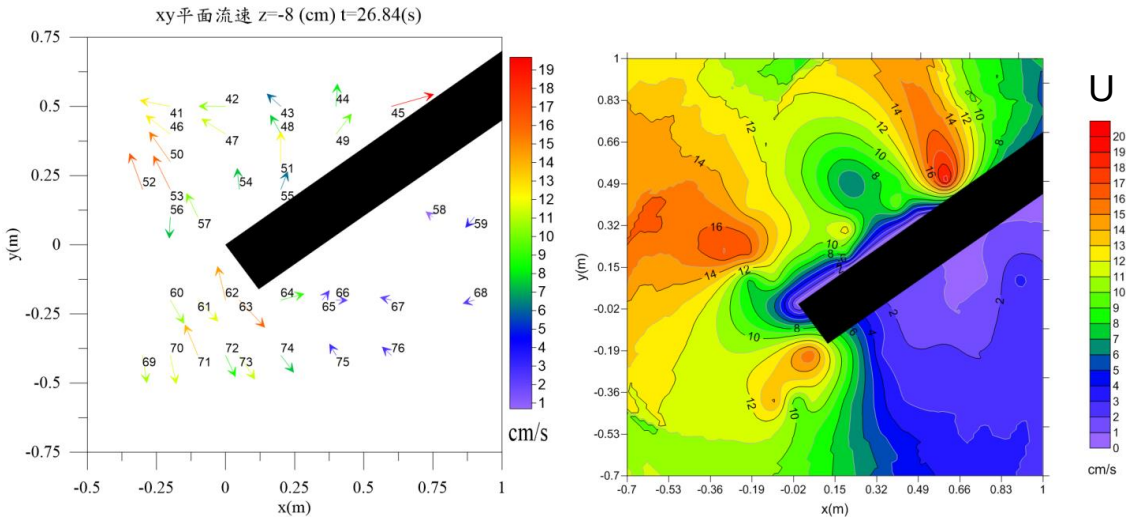



**圖 5.97 颱風波浪作用下 t=26.84sec, z=-8cm 平面流場及 U 之分佈圖**

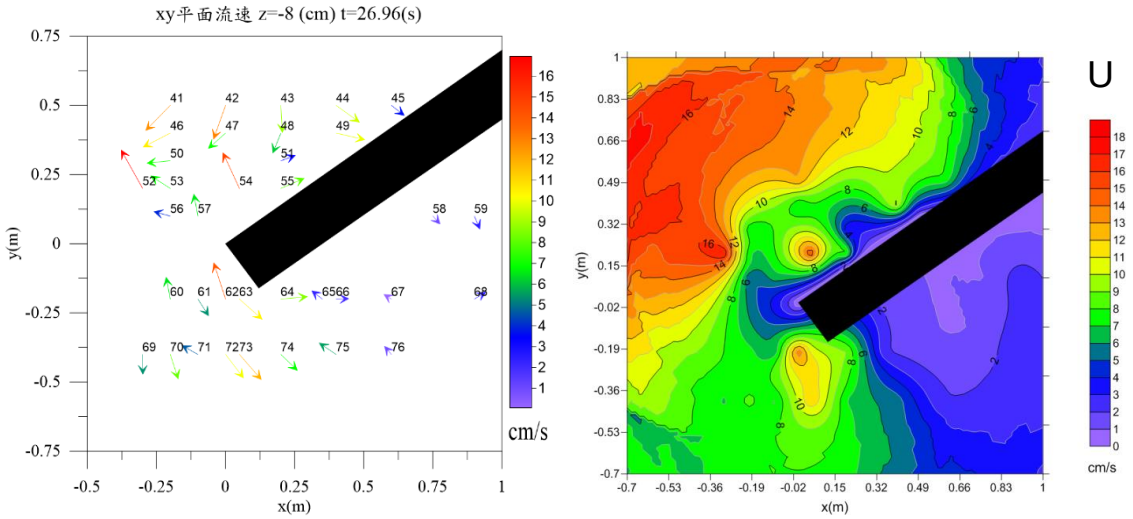



**圖 5.98 颱風波浪作用下 t=26.96sec, z=-8cm 平面流場及 U 之分佈圖**

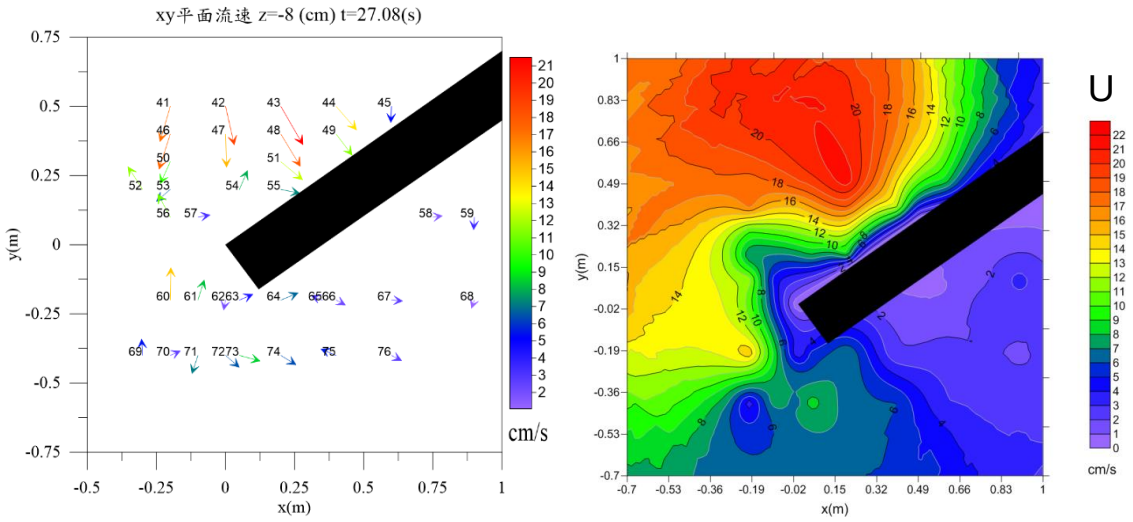



**圖 5.99 颱風波浪作用下 t=27.08sec, z=-8cm 平面流場及 U 之分佈圖**

在選取量測時間中將各水層最大流速 U 在空間上之分佈繪製如圖 5.100、圖 5.101、圖 5.102，由圖中可知整體趨勢大致相同而上層流速較大，除堤前反射區有較大流速之外，在堤頭西側 x = -0.5~ -1m 之 z = -15cm 水層存在一流速較大之區域，而在堤頭西南角 z = -8cm 水層亦存在一流速較大區域。

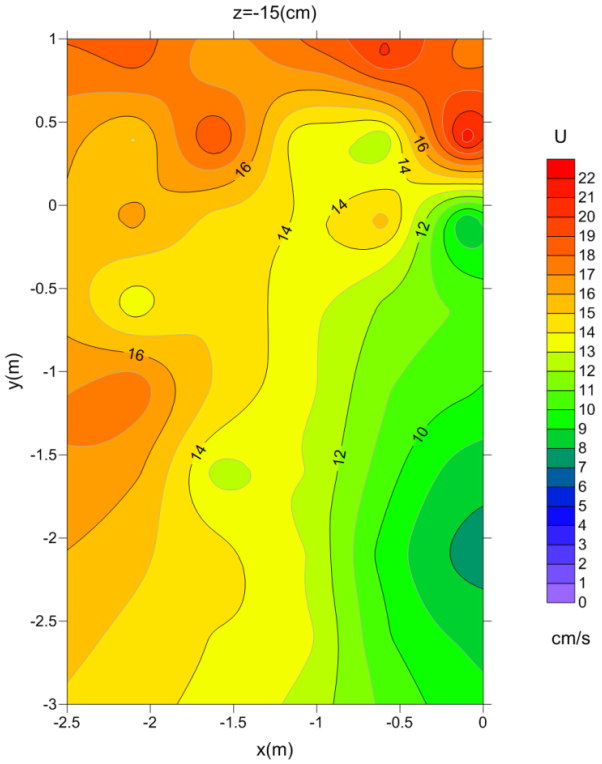



**圖 5.100 颱風波浪作用下 z=-15cm 之最大流速分佈圖**

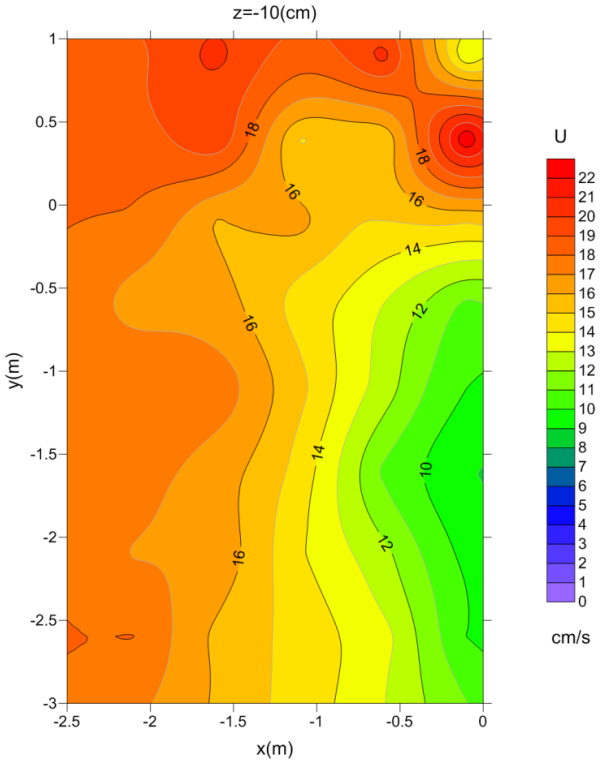



**圖 5.101 颱風波浪作用下 z=-10cm 之最大流速分佈圖**

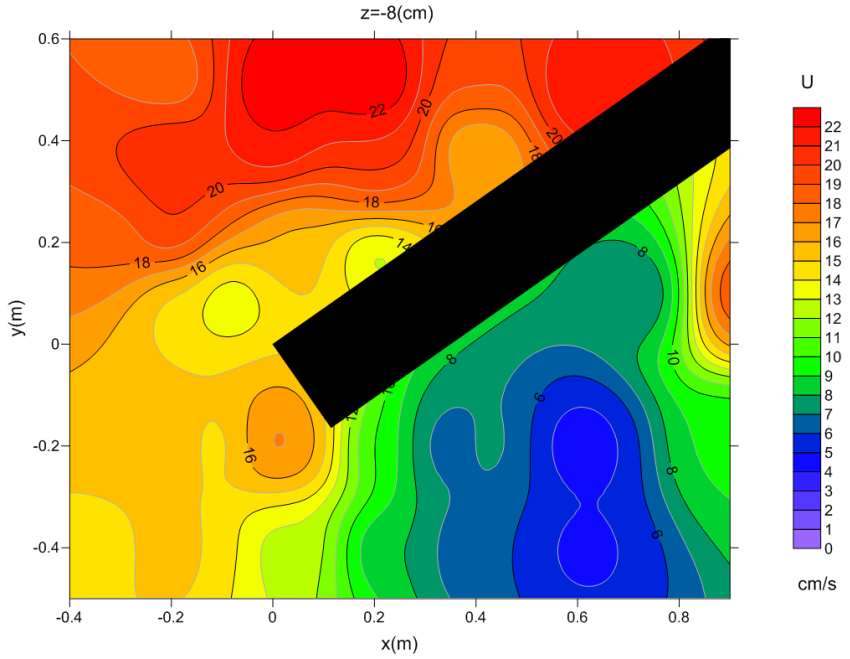



**圖 5.102 颱風波浪作用下 z=-8cm 之最大流速分佈圖**

E. 颱風波浪作用下防波堤堤頭附近地形變化

以表 5.6 之颱風 1 波浪條件進行，模型砂為經過篩洗後之玻璃砂，比重為 2.651，中值粒徑 $D_{50}$=0.28mm，N 向颱風波浪每次作用 200 個波(約 212 秒)為週期進行堤頭附近之地形變化量測，此時模型水平方向及水深方向之縮尺為等比 1/100，時間縮尺為 1/10，作用 200 個波約等於現場颱風波浪作用 35 分鐘，侵淤結果如圖 5.103，作用 400 個波後與原地形相較侵淤結果如圖 5.104，作用 600 個波後侵淤結果如圖 5.105 所示。圖 5.103 結果顯示在颱風波浪作用 200 個波後在堤後稍有淤積，而在量測區域外圍邊界稍有侵蝕，波浪作用 400 個波後在堤後維持淤積趨勢，除上游側及外海側邊界仍稍有侵蝕外，在 x=-150m 離堤頭 150~200m 處出現稍微侵蝕的現象，持續作用至 600 個波後，該侵蝕區域稍微擴大且往堤頭方向移動，另在防坡堤北方 y=150~200m 處亦出現輕微侵蝕，但整體來說地形侵淤變化不大，堤基相當安定，僅卵礫石發生位移。

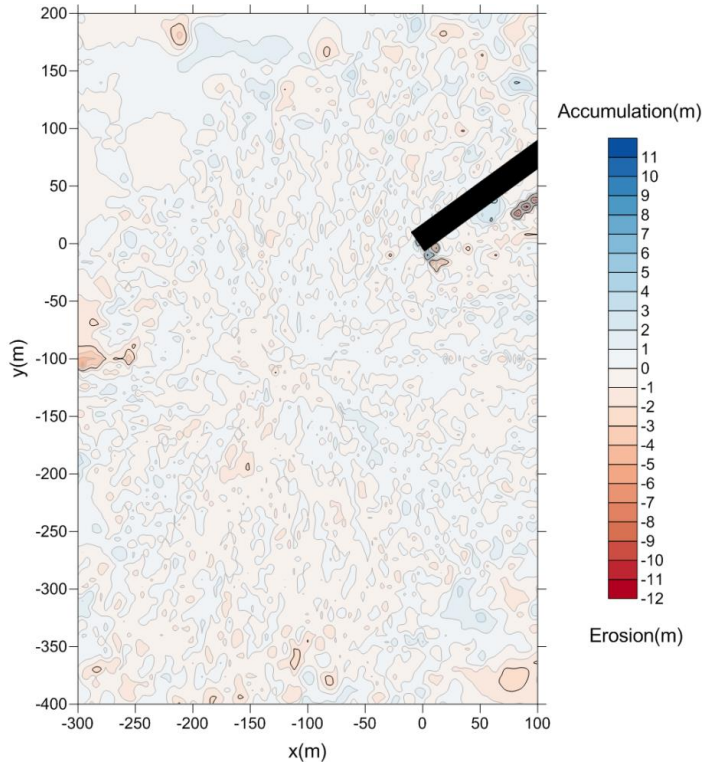
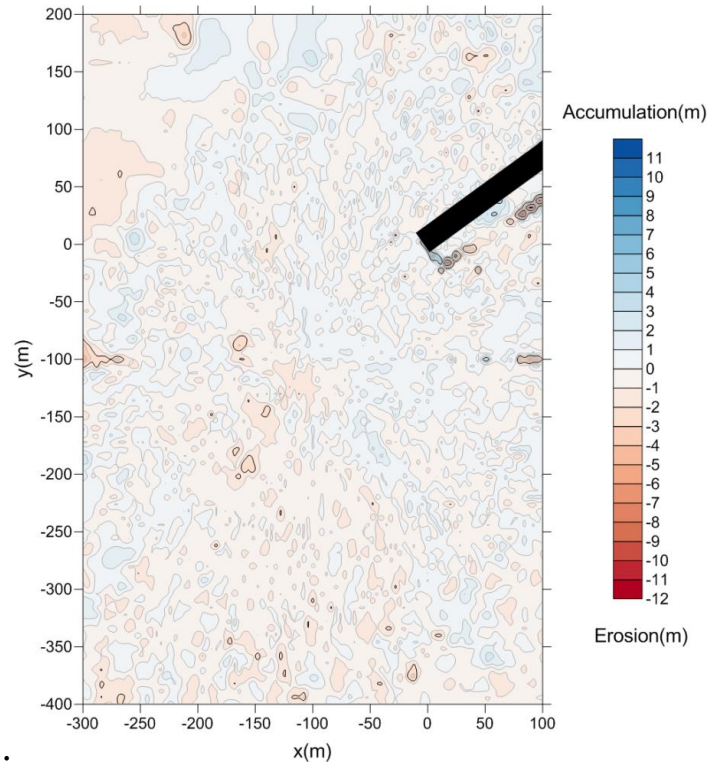



**圖 5.103 颱風波浪作用 200 個波後之地形變化**




.

**圖 5.104 颱風波浪作用 400 個波後之地形變化**

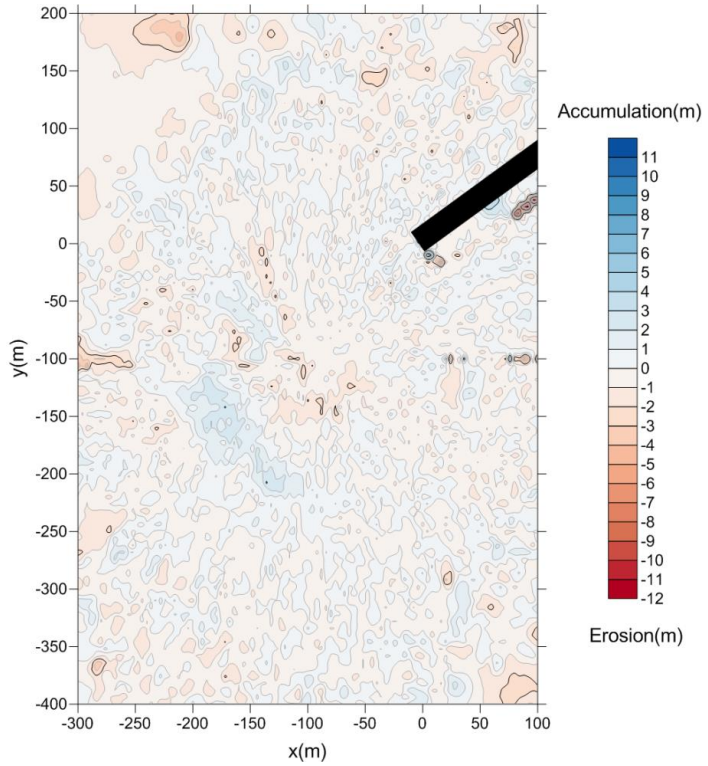



**圖 5.105 颱風波浪作用 600 個波後之地形變化**

在所有不等比率 3 之模型配置重新鋪設模型砂為經過篩洗後之細砂，比重為 2.5，中值粒徑 $D_{50}$=0.15mm。在此以表 5.6 之颱風 2 波浪條件進行，水深比尺($\lambda_h$)為 1/70，水平比尺($\lambda_L$)為 1/210，此時入射波浪週期為 1.267sec、波高為 9.12cm、試驗水深為 60cm 進行颱風波浪作用之地形變化量測。試驗波浪作用 200 個波(約 253 秒)約等於現場颱風波浪作用 106 分鐘，量測侵淤結果如圖 5.106，作用 400 個波後侵淤結果如圖 5.107，作用 600 個波後侵淤結果如圖 5.108 所示。圖 5.106 中顯示在颱風波浪作用 200 個波後在堤後有淤積，而在 x 座標-100~-200m，y 座標-120~-230m 間有侵蝕發生，作用 400 個波後在堤後維持淤積趨勢，而上述侵蝕區域擴大至 y 座標-30m 處且深度稍變大，持續作用至 600 個波後，該侵蝕區域持續擴大且往堤頭方向移動，此試驗水深較深，整體來說防坡堤堤基相當安定。

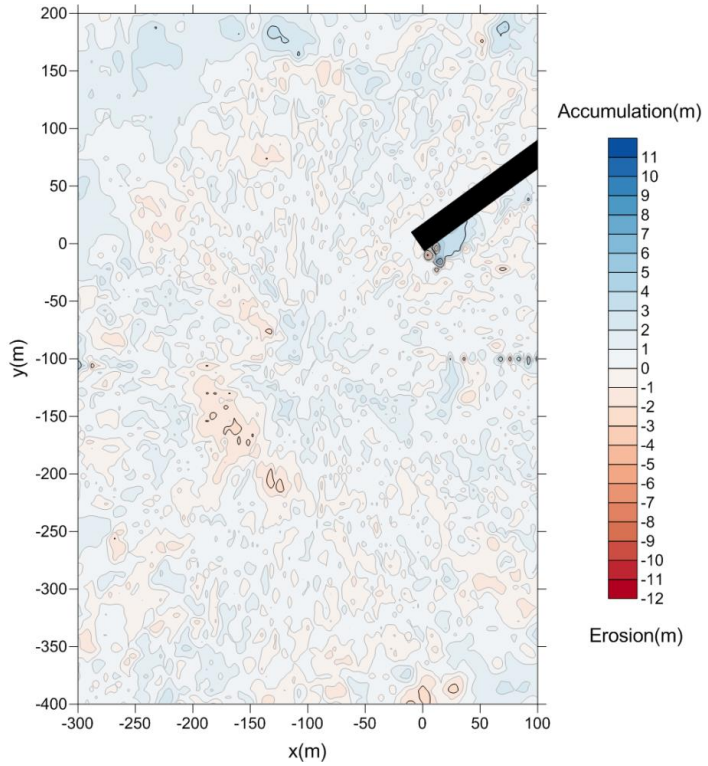



**圖 5.106 颱風波浪作用 200 個波後之地形變化**

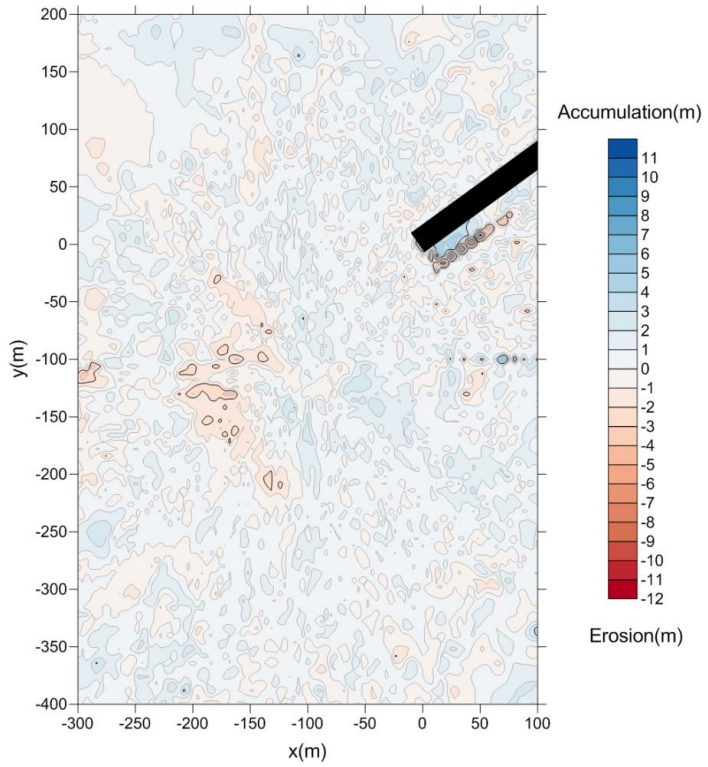



**圖 5.107 颱風波浪作用 400 個波後之地形變化**

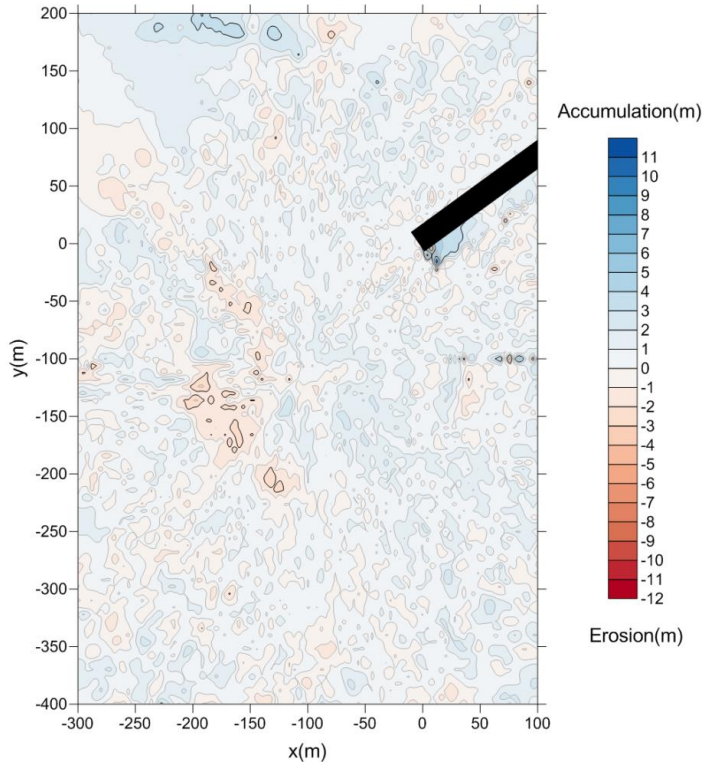



**圖 5.108 颱風波浪作用 600 個波後之地形變化**

採不等比縮尺後發現整體來說波浪對量測區域地形漂沙之影響力仍不足，因此考慮降低水位以增加對底床沙粒的驅動力，在此使用水位 52.1cm，波高 9cm、週期 1.06sec 之表 5.6 颱風 3 條件進行，作用 200 個波後(約 212 秒)進行量測，約等於現場颱風波浪作用 89 分鐘，侵淤結果如圖 5.109，此波浪條件類似圖 5.103~圖 5.105 之波浪條件，差別為加大波高以提升波浪尖銳度，結果顯示堤後仍產生輕微淤積，另在堤之北方約 150m 水深較淺處產生輕微侵蝕，其他區域大都為穩定狀態。

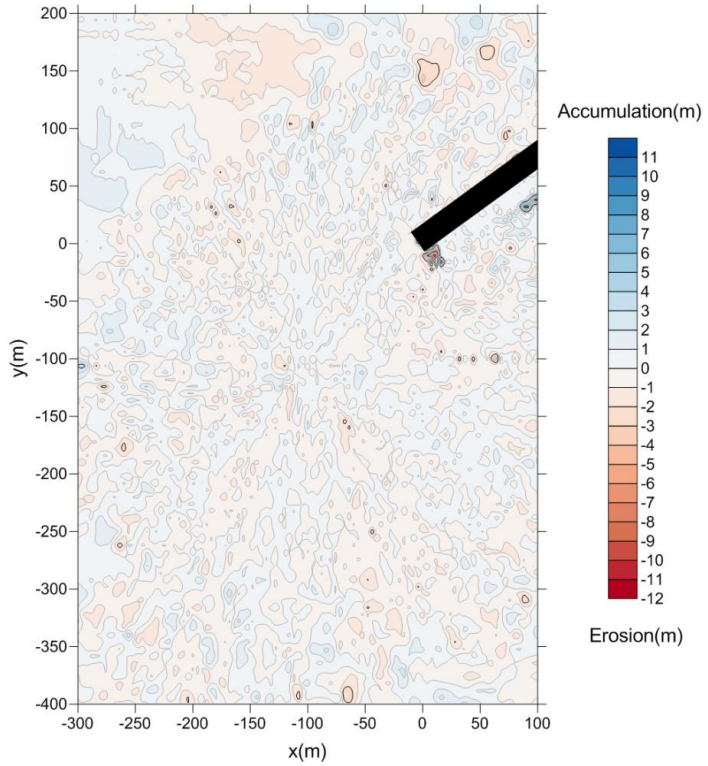



**圖 5.109 颱風波浪作用 200 個波後之地形變化**

以表 5.6 之颱風 4 波浪條件進行試驗，水位 52.1cm，週期 1.267sec、波高 11.38cm，波浪作用 200 個波後進行量測，侵淤結果如圖 5.110，此波浪條件類似圖 5.106~圖 5.108 之波浪條件，差別為加大波高並降低水位以提升對沙粒之啟動能力，結果顯示堤頭後側產生輕微淤積，在堤之北方約 150m 水深較淺處產生輕微侵蝕，另一較明顯之侵蝕發生在堤頭延伸出去約 200m 處，其他大都為穩定狀態。

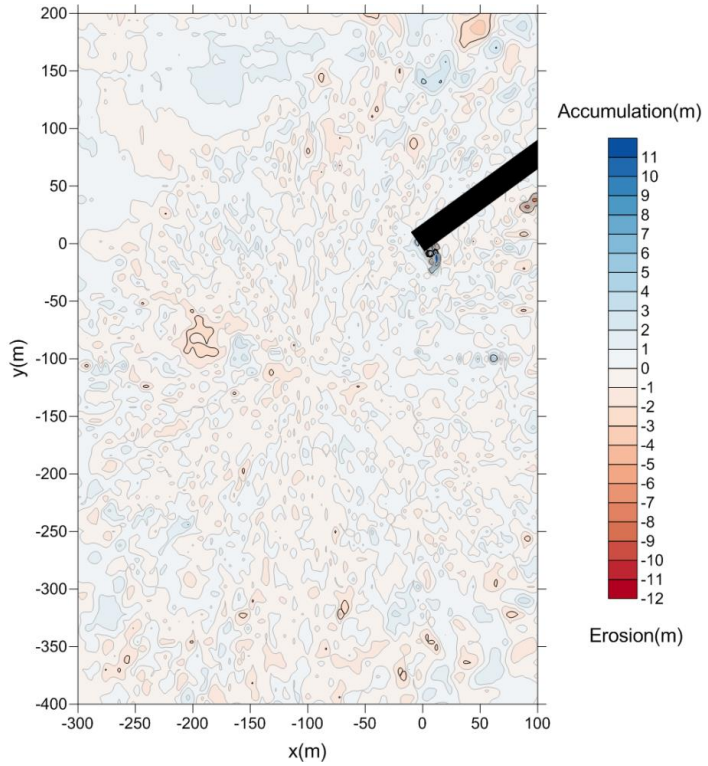



**圖 5.110 颱風波浪作用 200 個波後之地形變化**

試驗結果顯示 N 向颱風波浪作用於麥寮西三防坡堤後在堤頭西南側區域產生侵蝕現象，趨勢上與現況吻合，該處亦為局部流速較大之區域。波浪對近岸的漂沙行為多是扮演啟動底質的角色，底質傳輸的行為則是海流所造成，包含潮流、風驅流或波浪引發的近岸流等，而潮流則為深水域漂砂傳輸主要驅動力，因此對堤頭水深達-19m 以上仍然發生嚴重侵蝕之現象，猜測渦流導致的可能性較高，潮流與波浪之共同作用將是後續研究重點。

## 5.5 堤頭侵蝕防制工法

波浪作用下的防波堤堤址沖刷深度，受波浪入射角、水深、防坡堤堤面坡度、糙度與堤址護基消波能力等諸多參數的影響，依據前人研究成果顯示，當波浪愈偏離正向入射角，對海域地形影響愈大，堤趾的刷深也愈大；防坡堤所在的相對水深越淺，則地形受到波浪作用越明顯，所造成的沖刷值亦會增大；斜面型式的防坡堤若

能有效使波浪發生破碎，亦或具有足夠的糙度消耗波浪能量、減小波浪反射率，則可以達到減少沖刷深度的功效。波浪以垂直入射方向通過防波堤堤頭時，波浪與堤體尺寸特性關係可以 KC 參數 (UmT/B) 表示。波浪通過堤頭結構物所肇生的渦流隨著 KC 參數的增加而變化，連帶造成堤頭沖刷狀態的改變，地形下刷的深度亦跟著增加。

在港區的地理位置與外廓防坡堤方位落定後，當地波候條件與防坡堤外形構造若視為均常性況態,則防坡堤附近地形的沖刷情形，將與防坡堤的護基保護效果呈現顯著的關係，Sumer and Fredsø (1997) 即提出直立壁形式的防波堤的堤頭掏蝕試驗成果，其中護基保護工寬度、KC 值以及相對堤頭沖刷的關係如第一章所述。

參考 Sumer and Fredsø (1997) 研究成果，研擬堤頭侵蝕的防制工法，以改善或抑制防波堤堤頭附近區域的侵蝕掏刷。選擇麥寮港西防波堤設計圖的堤體寬度 (B)，與原始防波堤堤頭護基寬度 (Lp) 為主要變數，探討相對護基寬度 (Lp/B)，在不同 KC 值 (統計颱風波浪條件及季風波浪條件) 作用下所伴生的相對沖刷深度。原始麥寮港西防波堤設計堤體寬度為 20 m，而堤頭外側護基寬度約 55m，相對護基寬度約為 2.8 倍，在不增加堤頭護基寬度增加的情況下，藉由本計畫所建立的堤頭侵蝕數值模擬模式，在最小工程需求及最低環境影響的條件下，尋找最大改善防波堤堤頭侵蝕效果的平衡點。

N 向季風波浪結果顯示在堤頭附近有波浪集中現象，流速亦較大，長時間的波浪作用下呈現輕微侵蝕，應為堤頭重複波所造成。另觀察堤頭消波塊及卵石、礫石在颱風波浪作用的情形如圖 5.111，發現卵礫石有位移，消波塊有鬆動現象，但並未發現明顯位移情形，堤基保護工仍相當安定。

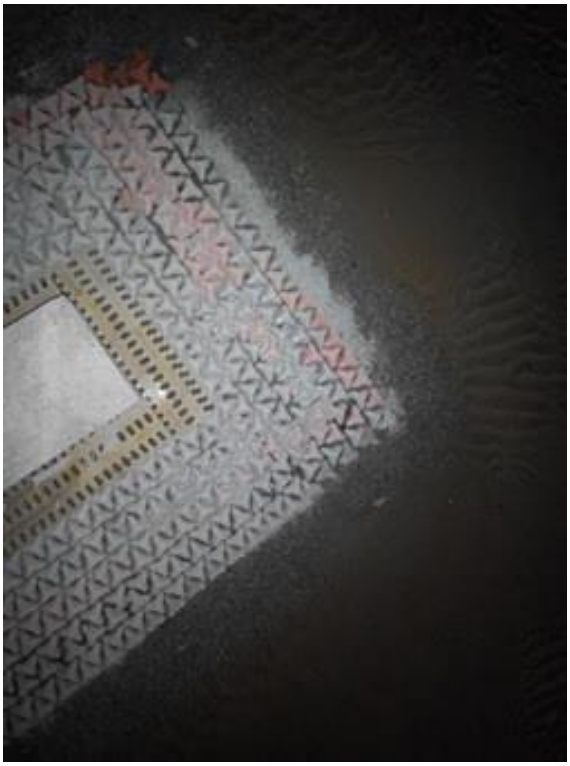


**圖 5.111 颱風波浪作用 2 分鐘之堤頭保護工變化**

# 第六章 防制工法數值模擬與水工模型試驗的驗證

波浪作用下的防波堤堤址沖刷深度，受波浪入射角、水深、防坡堤堤面坡度、糙度與堤址護基消波能力等諸多參數的影響，依據前人研究成果顯示，當波浪愈偏離正向入射角，對海域地形影響愈大，堤趾的刷深也愈大；防坡堤所在的相對水深越淺，則地形受到波浪作用越明顯，所造成的沖刷值亦會增大；斜面型式的防坡堤若能有效使波浪發生破碎，亦或具有足夠的糙度消耗波浪能量、減小波浪反射率，則可以達到減少沖刷深度的功效。波浪以垂直入射方向通過防波堤堤頭時，波浪與堤體尺寸特性關係可以 KC 參數 (UmT/B) 表示。波浪通過堤頭結構物所肇生的渦流隨著 KC 參數的增加而變化，連帶造成堤頭沖刷狀態的改變，地形下刷的深度亦跟著增加。

參考 Sumer and Fredsø (1997) 研究成果，研擬堤頭侵蝕的防制工法，以改善或抑制防波堤堤頭附近區域的侵蝕掏刷。選擇麥寮港西防波堤設計圖的堤體寬度 (B)，與原始防波堤堤頭護基寬度 (Lp) 為主要變數，探討相對護基寬度 (Lp/B)，在不同 KC 值作用下所伴生的相對沖刷深度。原始麥寮港西防波堤設計堤體寬度為 20 m，而堤頭外側護基寬度約 24 m，相對護基寬度為 1.33。因此初步建議增加堤頭護基寬度使之超越 1.33，同步藉由本計畫所建立的堤頭侵蝕數值模擬模式，與水工模型三維試驗，並在最小工程需求及最低環境影響的條件下，尋找最大改善防波堤堤頭侵蝕效果的平衡點。

## 6.1 數值模型模擬條件

依初步擬定之堤頭侵蝕防制工法條件，調整防波堤堤頭護基寬度，使比值為 1.5，建立麥寮港的數值模型與水工模型，並由麥寮港鄰近海域 50 年回歸颱風波浪條件進行計算與試驗比較。數值模型的調整與設定相對地較為容易，因此模擬所含括的起始條件亦可較為多變。考量綜合條件，規劃進行模擬的項目如表 6.1 所示。

**表 6.1 防制工法數值模型模擬項目**

| 項次 | 底床特性 | 起始地形 | 波浪條件 | 相對護基寬度 | 模擬現象 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 動床 | 無沖刷洞 | H = 6.4 m<br>T = 10.6 s | 原始護基 | 波場 |
| 2 | 動床 | 無沖刷洞 | H = 6.4 m<br>T = 10.6 s | 1.5 倍護基 | 波場 |

## 6.2 水工模型試驗條件

計畫今年度水工模型試驗，底床特性皆採用動床，因此規劃的試驗項目如表 6.2 所示。

**表 6.2 防制工法水工模型試驗項目**

| 項次 | 底床特性 | 起始地形 | 波浪條件 | 相對護基寬度 | 觀測現象 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 動床 | 無沖刷洞 | H = 6.4 cm<br>T = 1.06 s | 原始護基 | 波場 |

## 6.3 防制工法數值模型模擬

### 6.3.1 防波堤護基模型建立

為了與水工試驗更精確模擬驗證比較，數值模型建置與物理模型盡可能一致，數值模型防波堤設計如圖 6.1、圖 6.2 所示，基於運算時間考量，護基部分先採用孔隙介質模型測試，後續再進行 CAD 消波塊護基模型模擬。




**圖 6.1 麥寮港西防波堤原始護基俯視圖與透視圖**

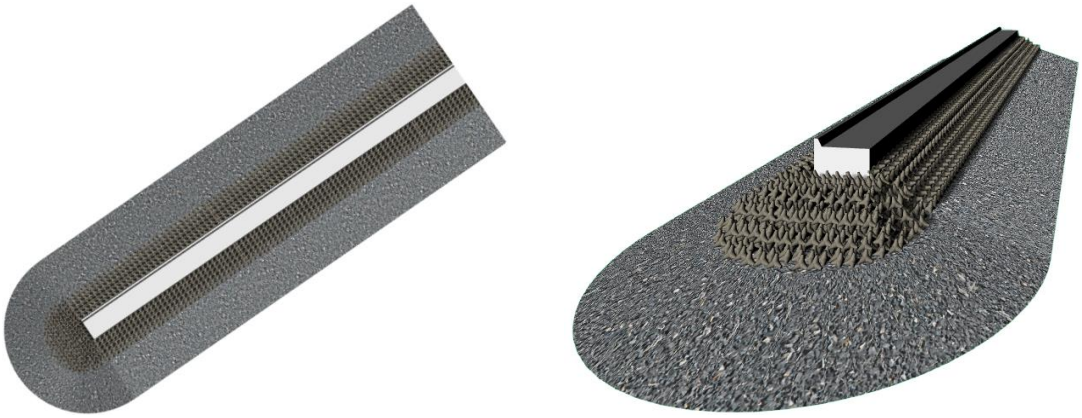


**圖 6.2 麥寮港西防波堤 1.5 倍護基俯視圖與透視圖**

### 6.3.2 數值計算資料擷取點與水工試驗流速計布置

數值計算資料擷取與水工試驗流速計位置分布以堤頭為原點，各點座標如表 6.3 及圖 6.3 所示，其中，除了 site 10、site 15 及 site 20 因水深受限其垂直座標為 z = -12.5 m 之外，其餘垂直座標均為 z = -15 m。

**表 6.3 數值計算資料擷取與水工試驗流速計座標表(單位：m)**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| site 01<br>-210, 90, -15 | site 02<br>-160, 90, -15 | site 03<br>-110, 90, -15 | site 04<br>-60, 90, -15 | site 05<br>-10, 90, -15 |
| site 06<br>-210, 40, -15 | site 07<br>-160, 40, -15 | site 08<br>-110, 40, -15 | site 09<br>-60, 40, -15 | site 10<br>-10, 40, -12.5 |
| site 11<br>-210, -10, -15 | site 12<br>-160, -10, -15 | site 13<br>-110, -10, -15 | site 14<br>-60, -10, -15 | site 15<br>-10, -10, -12.5 |
| site 16<br>-210, -60, -15 | site 17<br>-160, -60, -15 | site 18<br>-110, -60, -15 | site 19<br>-60, -60, -15 | site 20<br>-10, -60, -12.5 |
| site 21<br>-210, -110, -15 | site 22<br>-160, -110, -15 | site 23<br>-110, -110, -15 | site 24<br>-60, -110, -15 | site 25<br>-10, -110, -12.5 |
| site 26<br>-210, -160, -15 | site 27<br>-160, -160, -15 | site 28<br>-110, -160, -15 | site 29<br>-60, -160, -15 | site 30<br>-10, -160, -15 |
| site 31<br>-210, -210, -15 | site 32<br>-160, -210, -15 | site 33<br>-110, -210, -15 | site 34<br>-60, -210, -15 | site 35<br>-10, -210, -15 |
| site 36<br>-210, -260, -15 | site 37<br>-160, -260, -15 | site 38<br>-110, -260, -15 | site 39<br>-60, -260, -15 | site 40<br>-10, -260, -15 |

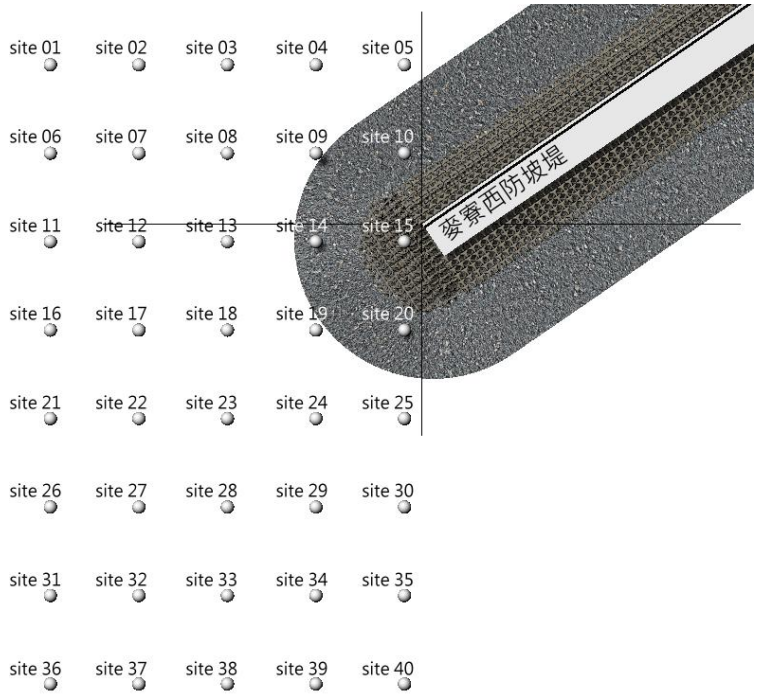



**圖 6.3 數值計算資料擷取與水工試驗流速計座標圖**

### 6.3.3 原始護基寬度之數值計算與水工試驗結果比對

水工試驗與數值計算結果比較如圖 6.4 至圖 6.43 所示。其中 site 16 至 site 40 的流速 u 振幅較小，介於正負 0.5 m/s 之間，且水工試驗與數值計算大多有一致的趨勢，而 site 1 至 site 15 因為位於短峰波區，顯示東西向的振幅較大。比較流速 v，數值計算值之振幅均小於 1 m/s，而水工試驗值之最大振幅大於 1.5 m/s。比較流速 w，水工試驗與數值計算結果其振幅與趨勢均趨於一致。

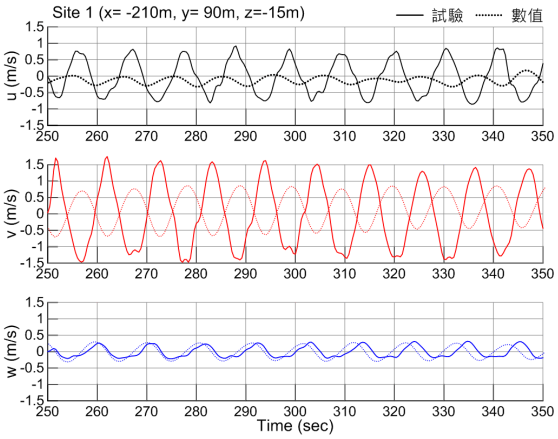



圖 6.4 site1 試驗與數值 uvw 比較

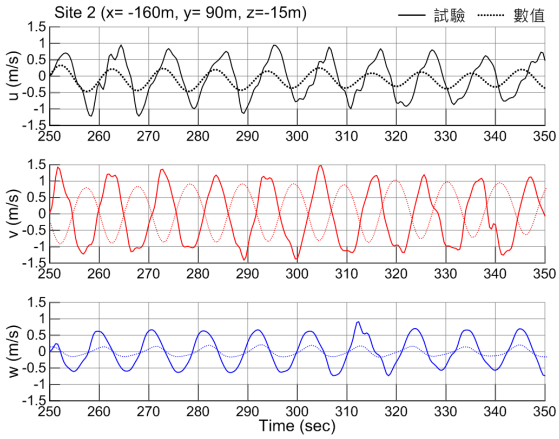



圖 6.5 site2 試驗與數值 uvw 比較

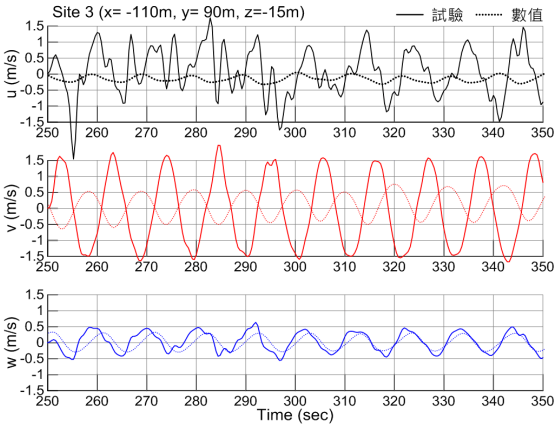



圖 6.6 site3 試驗與數值 uvw 比較

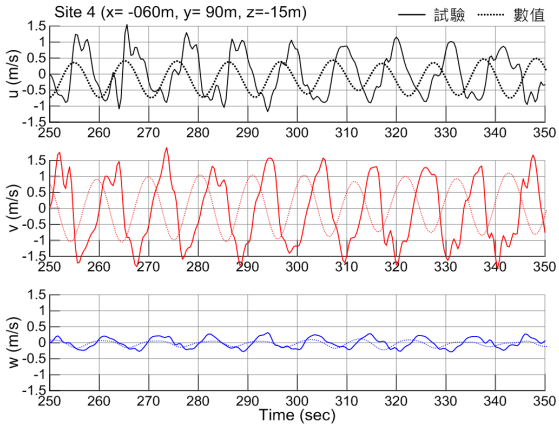



圖 6.7 site4 試驗與數值 uvw 比較

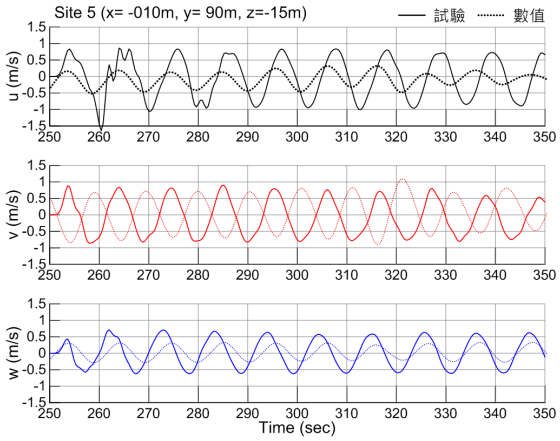



圖 6.8 site5 試驗與數值 uvw 比較

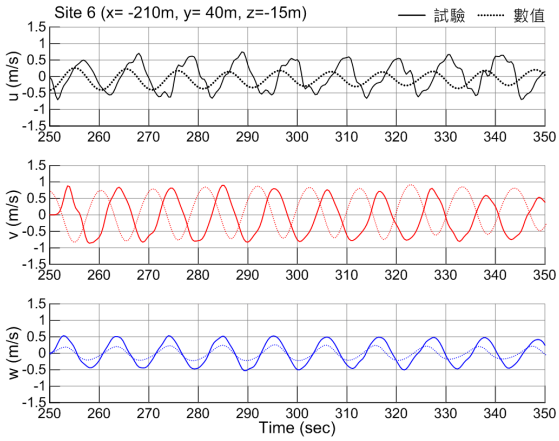



圖 6.9 site6 試驗與數值 uvw 比較

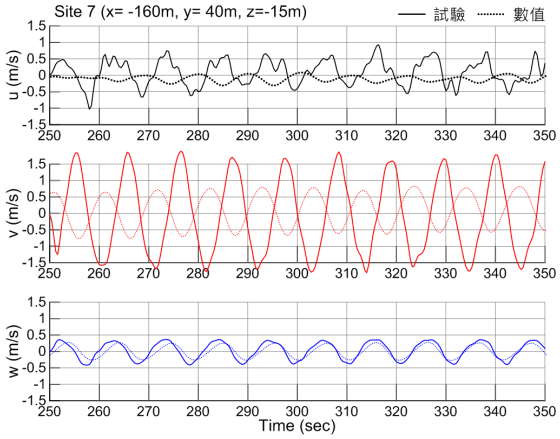



圖 6.10site7 試驗與數值 uvw 比較

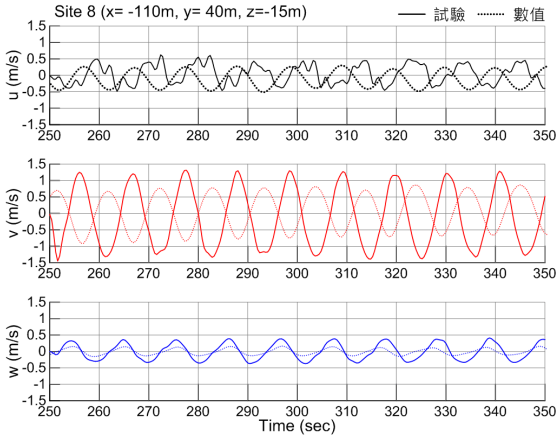



圖 6.11 site8 試驗與數值 uvw 比較

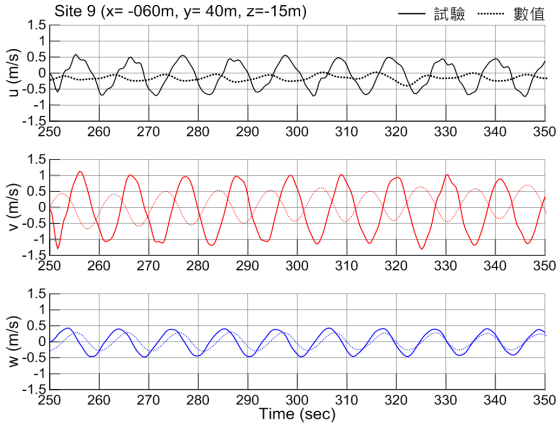



圖 6.12 site9 試驗與數值 uvw 比較

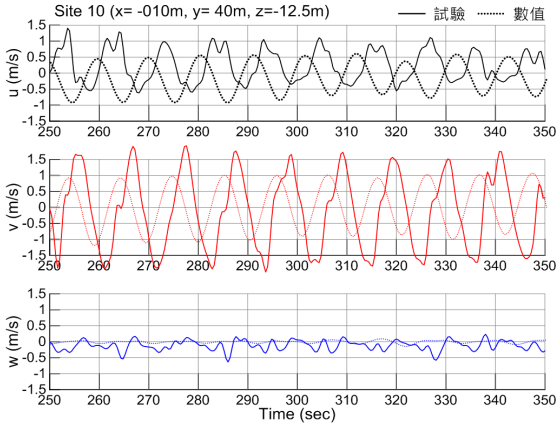



圖 6.13 site10 試驗與數值 uvw 比較

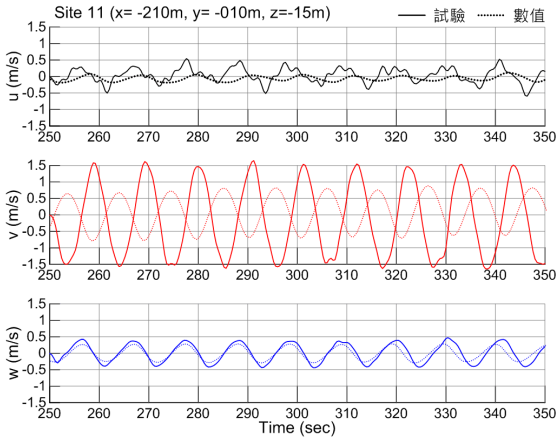



圖 6.14 site11 試驗與數值 uvw 比較

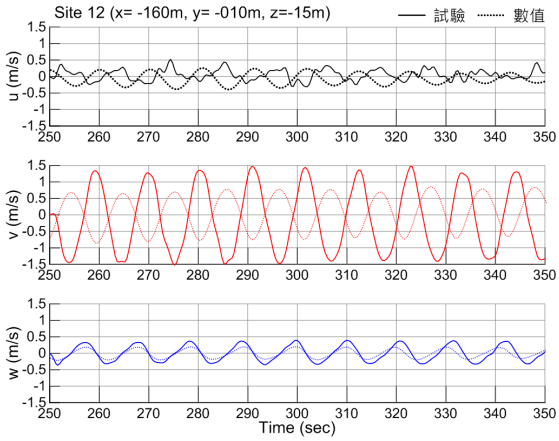



圖 6.15 site12 試驗與數值 uvw 比較

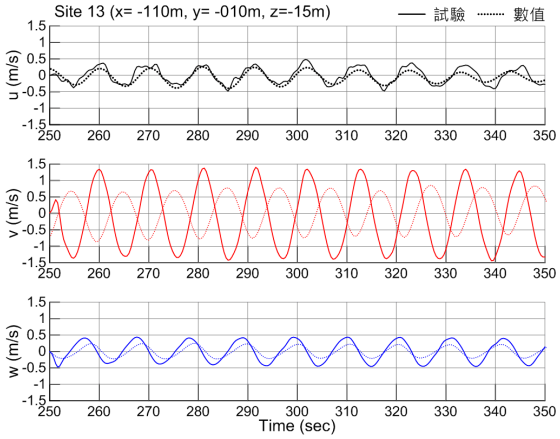



圖 6.16 site13 試驗與數值 uvw 比較

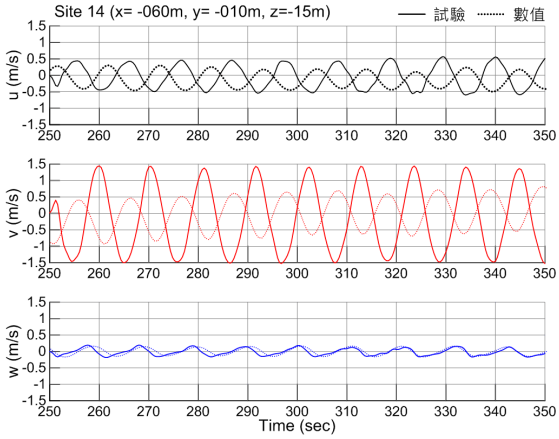



圖 6.17 site14 試驗與數值 uvw 比較

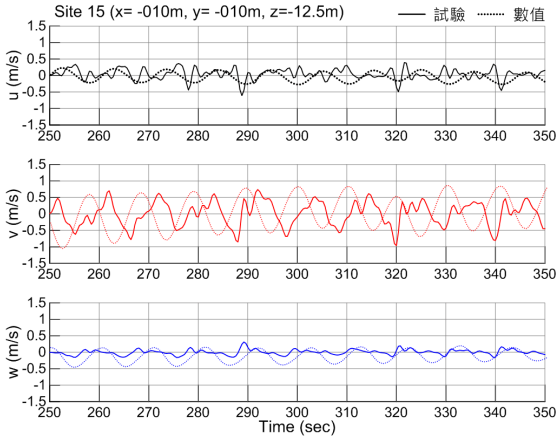



圖 6.18 site15 試驗與數值 uvw 比較

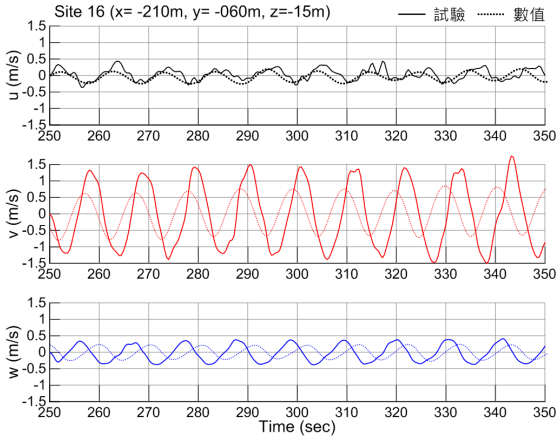



圖 6.19 site16 試驗與數值 uvw 比較

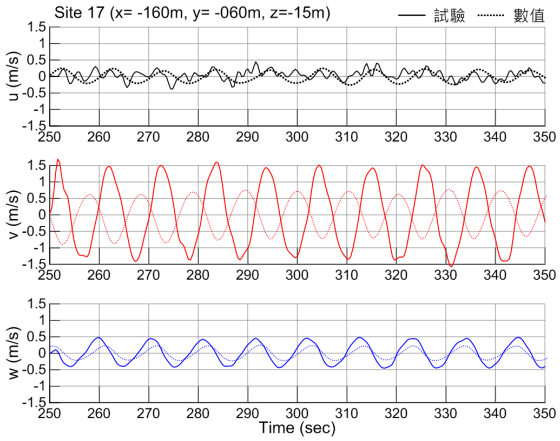



圖 6.20site17 試驗與數值 uvw 比較

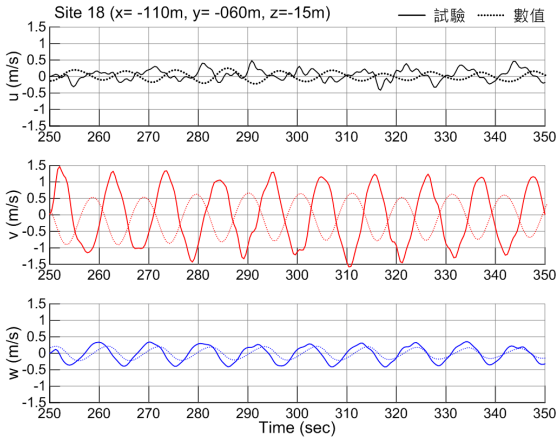



圖 6.21 site18 試驗與數值 uvw 比較

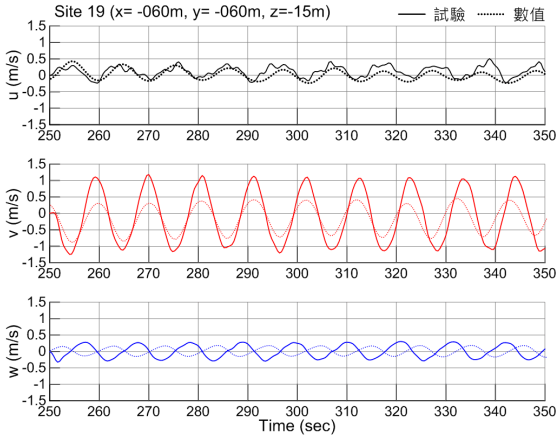



圖 6.22 site19 試驗與數值 uvw 比較

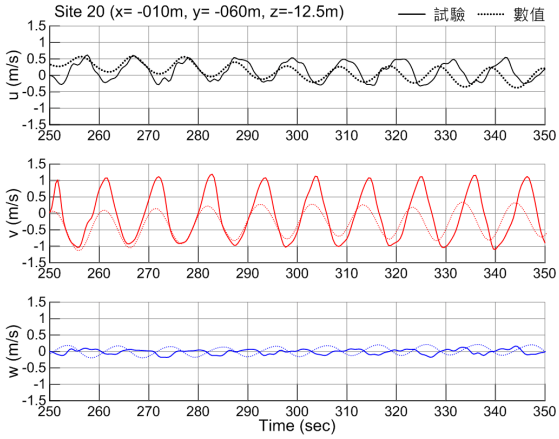



圖 6.23 site20 試驗與數值 uvw 比較

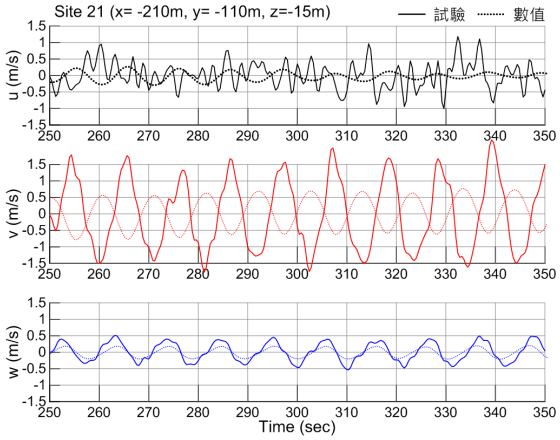



圖 6.24 site21 試驗與數值 uvw 比較

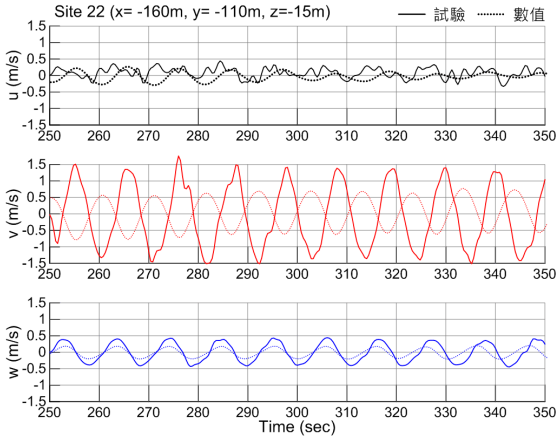



圖 6.25 site22 試驗與數值 uvw 比較

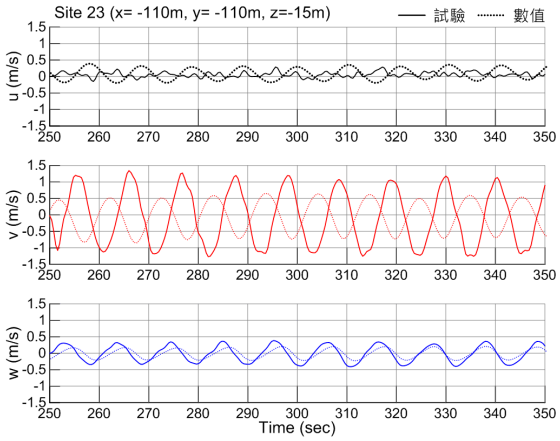



圖 6.26 site23 試驗與數值 uvw 比較

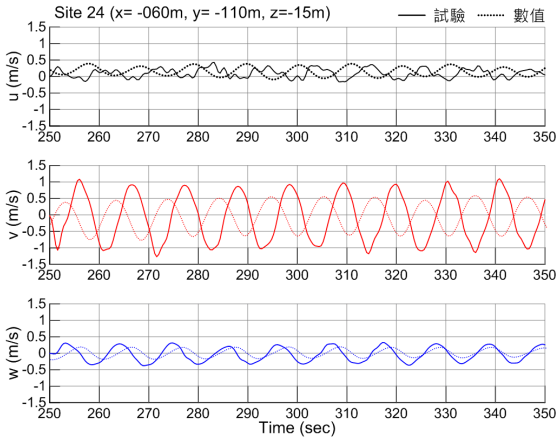



圖 6.27 site24 試驗與數值 uvw 比較

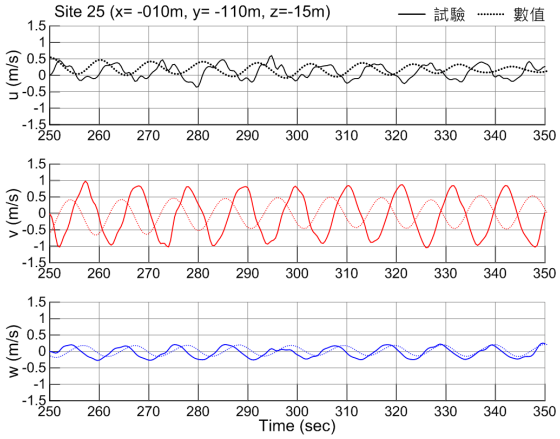



圖 6.28 site25 試驗與數值 uvw 比較

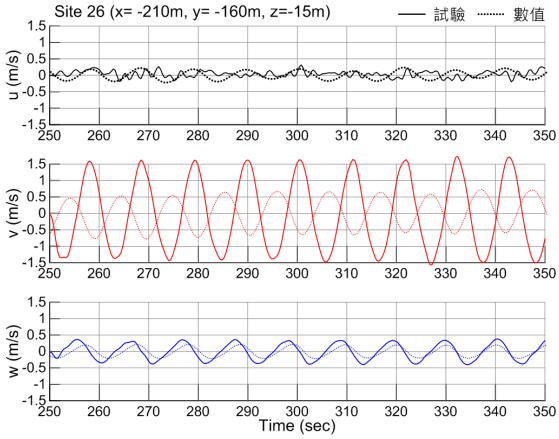



圖 6.29 site26 試驗與數值 uvw 比較

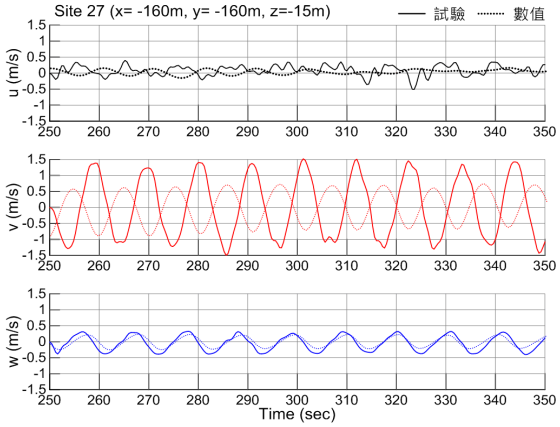



圖 6.30 site27 試驗與數值 uvw 比較

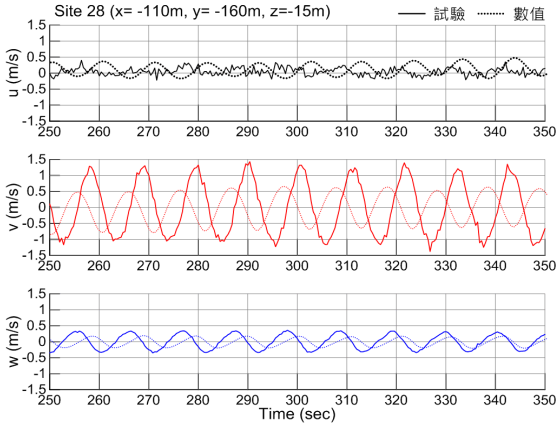



圖 6.31 site28 試驗與數值 uvw 比較

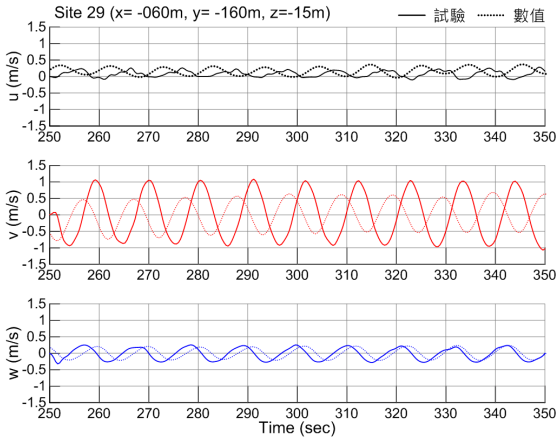



圖 6.32site29 試驗與數值 uvw 比較

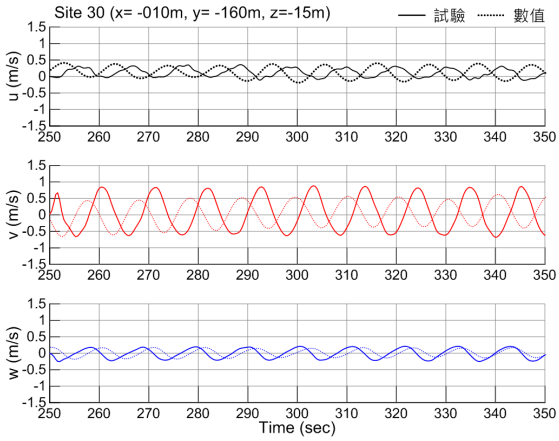



圖 6.33 site30 試驗與數值 uvw 比較

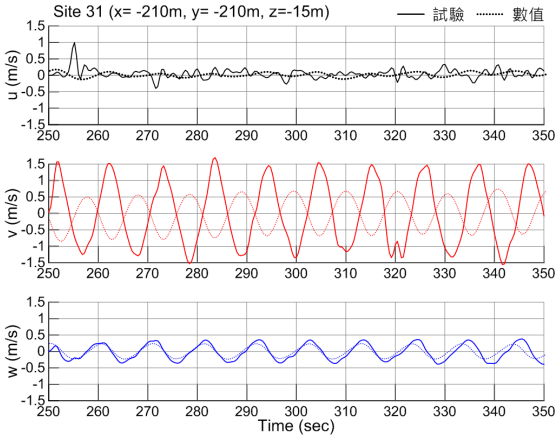



圖 6.34 site31 試驗與數值 uvw 比較

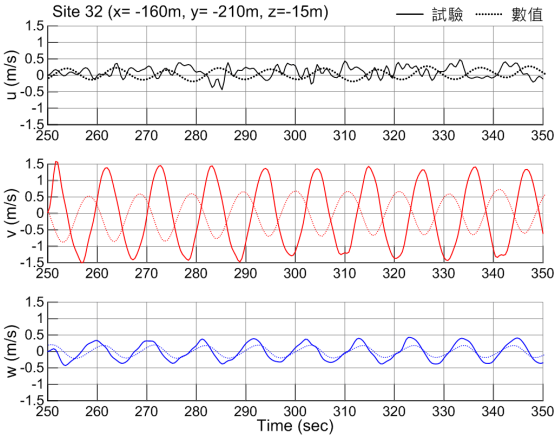



圖 6.35 site32 試驗與數值 uvw 比較

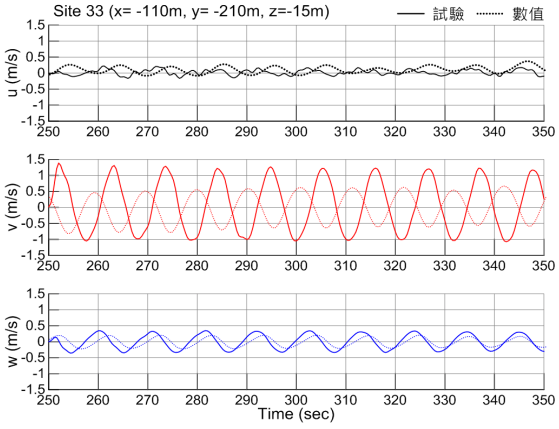



圖 6.36 site33 試驗與數值 uvw 比較

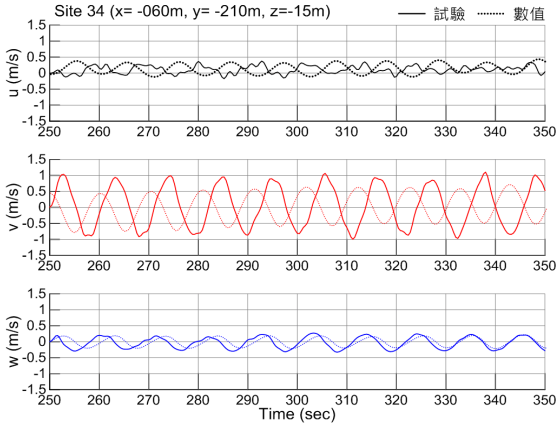



圖 6.37 site34 試驗與數值 uvw 比較

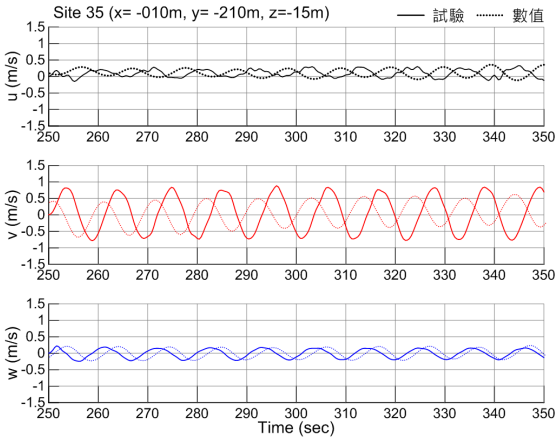



圖 6.38 site35 試驗與數值 uvw 比較

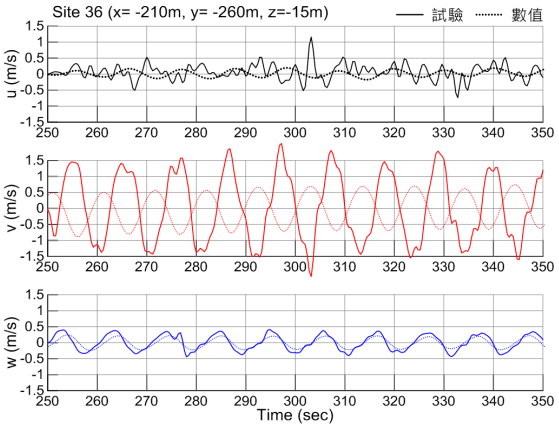



圖 6.39 site36 試驗與數值 uvw 比較

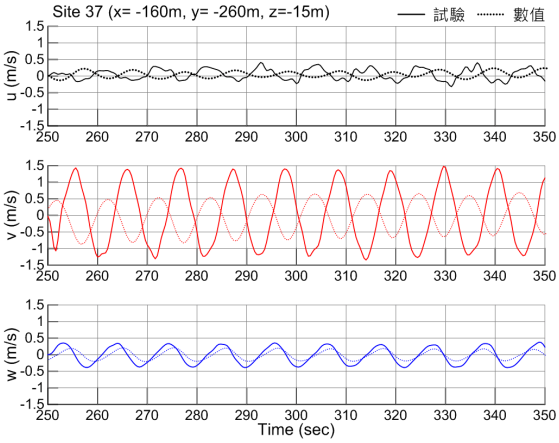



圖 6.40 site37 試驗與數值 uvw 比較

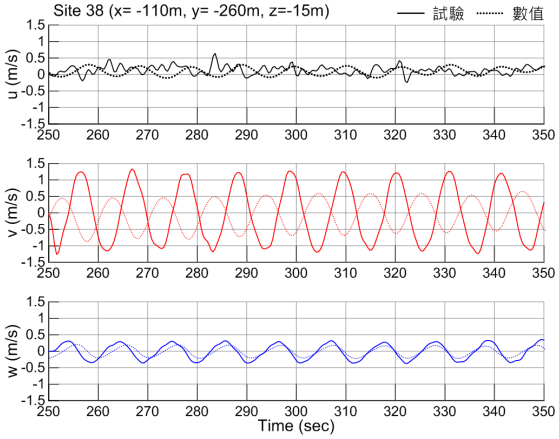



圖 6.41 site38 試驗與數值 uvw 比較

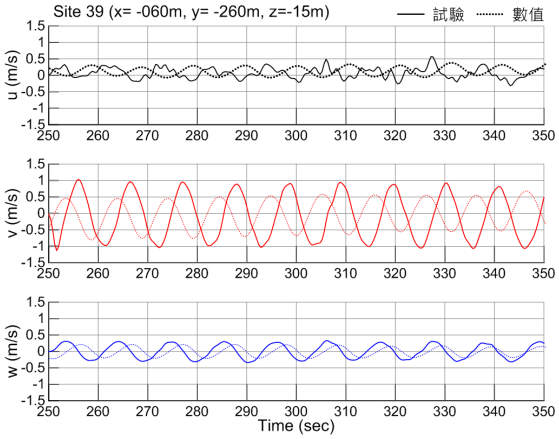



圖 6.42 site39 試驗與數值 uvw 比較

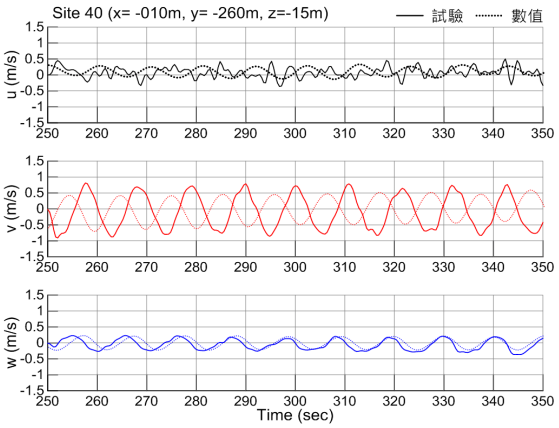



圖 6.43 site40 試驗與數值 uvw 比較

### 6.3.4 防制工法原始護基與加寬護基之數值計算結果比對

比較原始護基與 1.5 倍護基，擷取資料位置座標如表 6.3 與圖 6.3 所示，每組資料包括流速 u、v、w 等 3 個項目進行比對，結果如圖 6.41 至圖 6.80 所示。1.5 倍護基比原始護基流速度 u 的振幅明顯偏上，顯示因為護基加寬導致防波堤遮蔽所產生的西向沿岸束縮流趨於和緩。反之，1.5 倍護基流速 v 的振幅則位於原始護基下方，顯示水粒子微幅增加前進的趨勢，緩和了防波堤遮蔽所產生反射效應。至於流速 w，原始護基與 1.5 倍護基彼此套疊顯示一致。

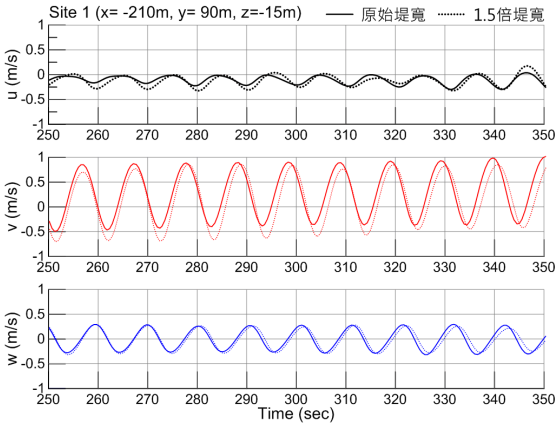



**圖 6.44 site1 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

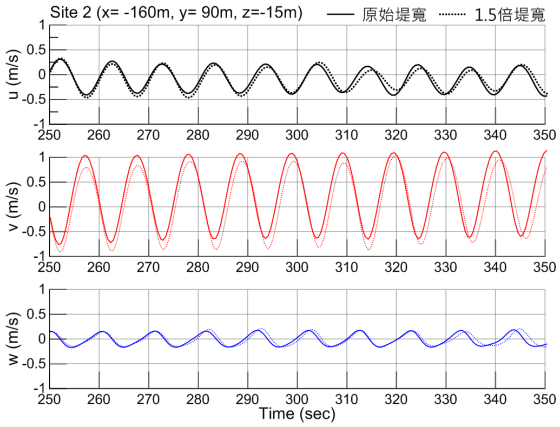



**圖 6.45 site2 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

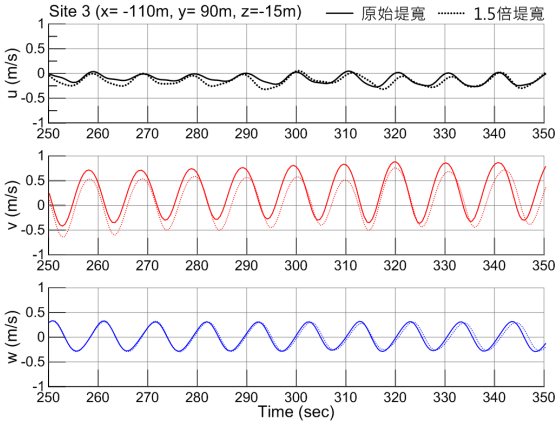



**圖 6.46 site3 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

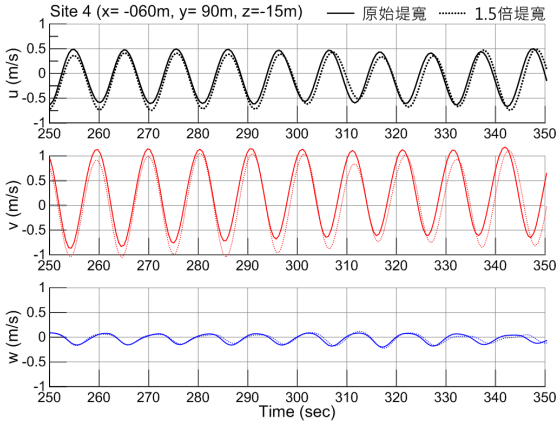



**圖 6.47site4 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

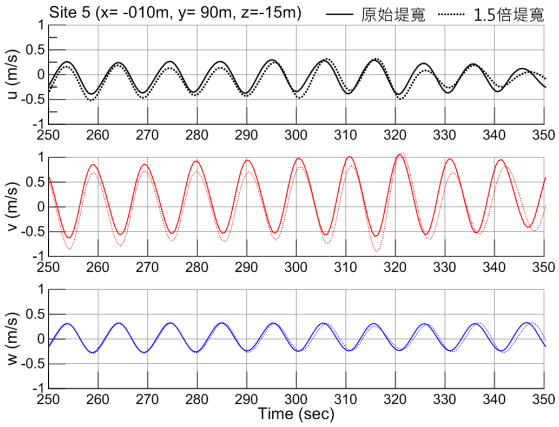



**圖 6.48 site5 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

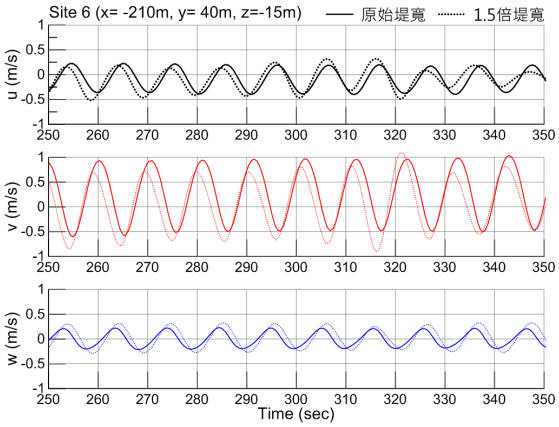



**圖 6.49 site6 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

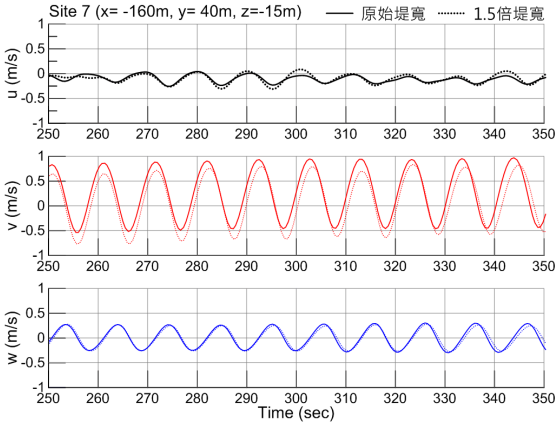



**圖 6.50 site7 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

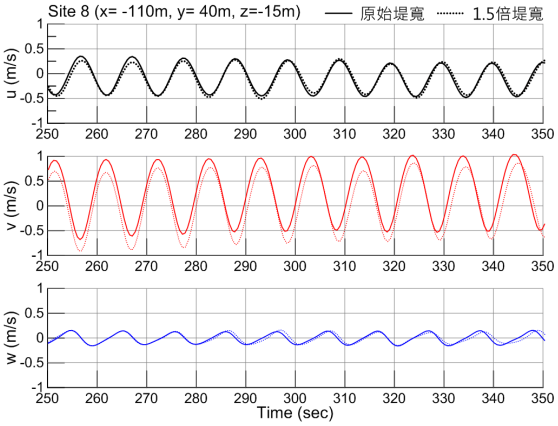



**圖 6.51 site8 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

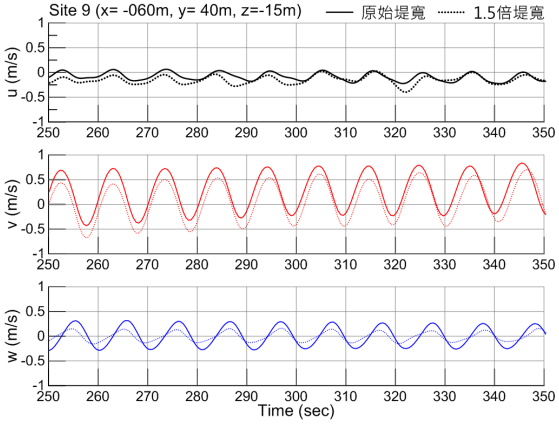



**圖 6.52 site9 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

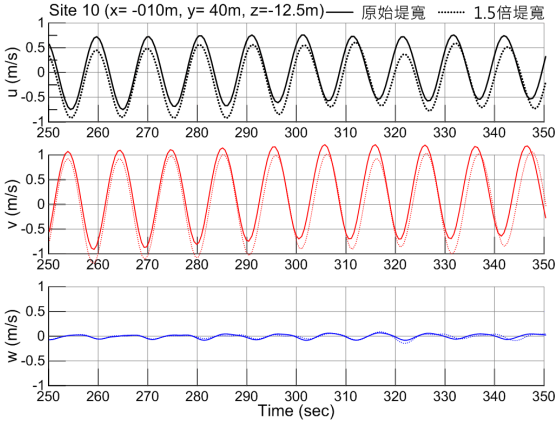



**圖 6.53 site10 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

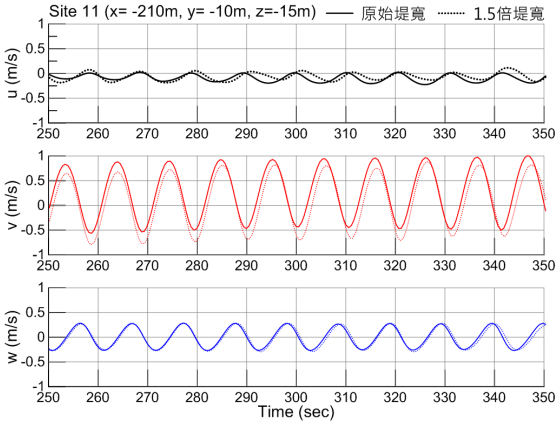



**圖 6.54 site11 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

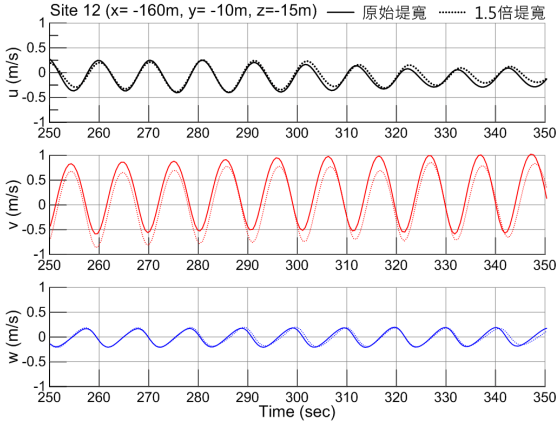



**圖 6.55 site12 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

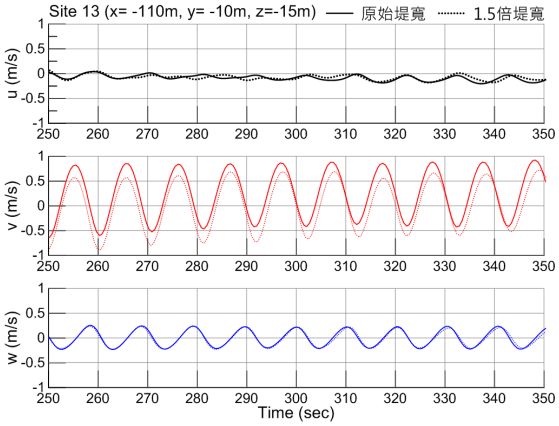



**圖 6.56 site13 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

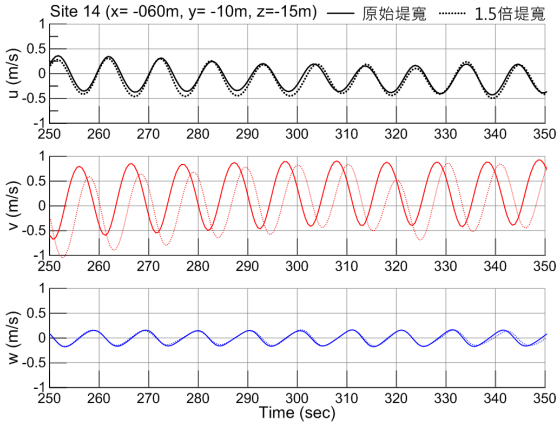



**圖 6.57 site14 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

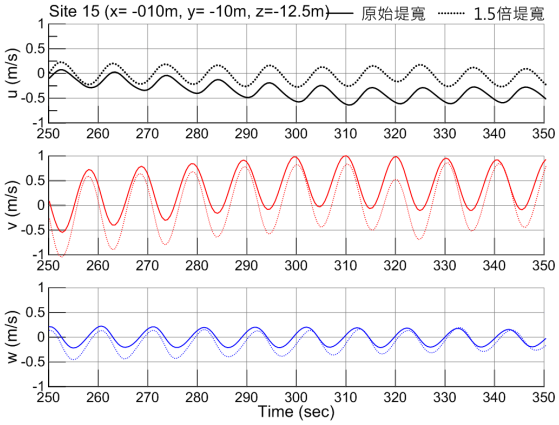



**圖 6.58 site15 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

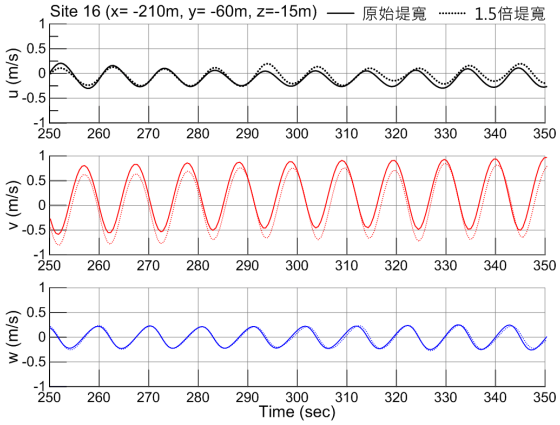



**圖 6.59 site16 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

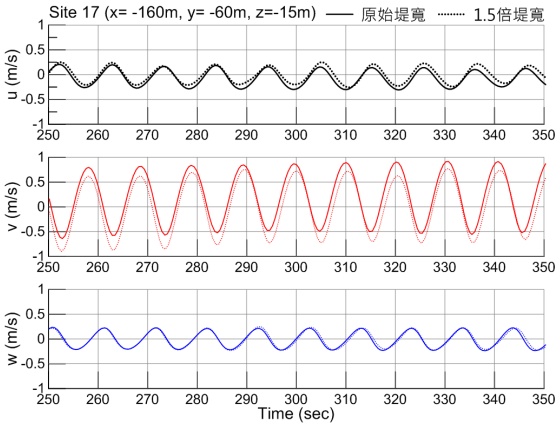



圖 6.60 site17 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較

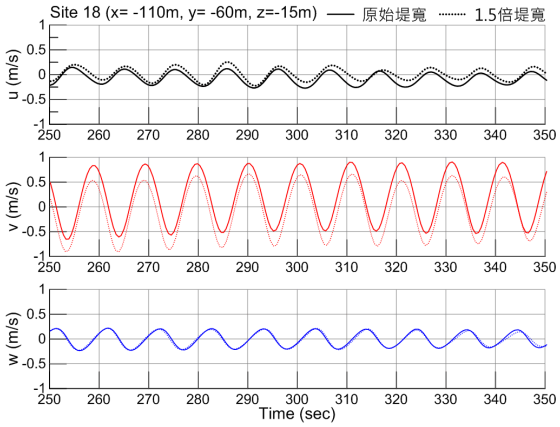



圖 6.61 site18 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較

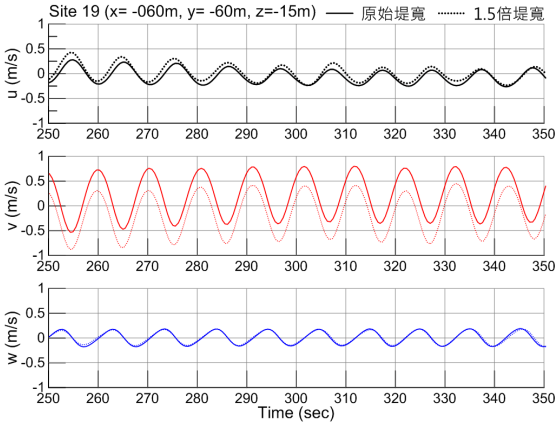



圖 6.62 site19 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較

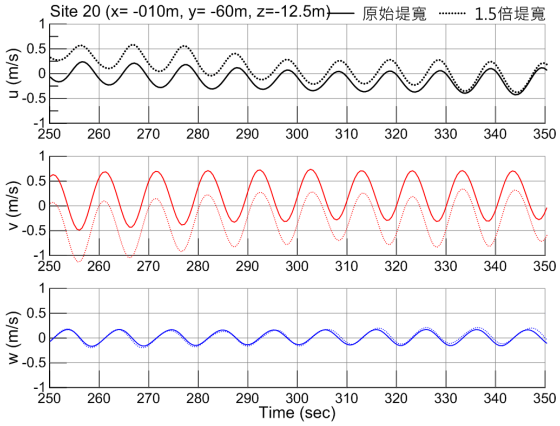



圖 6.63 site20 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較

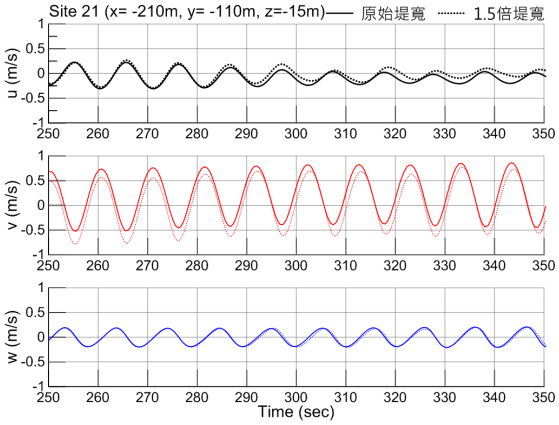



圖 6.64 site21 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較

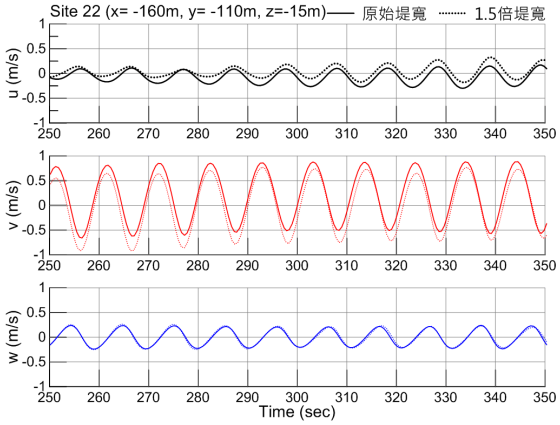



圖 6.65 site22 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較

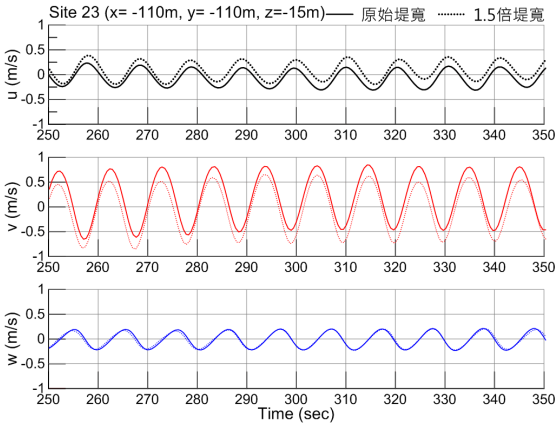



**圖 6.66 site23 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

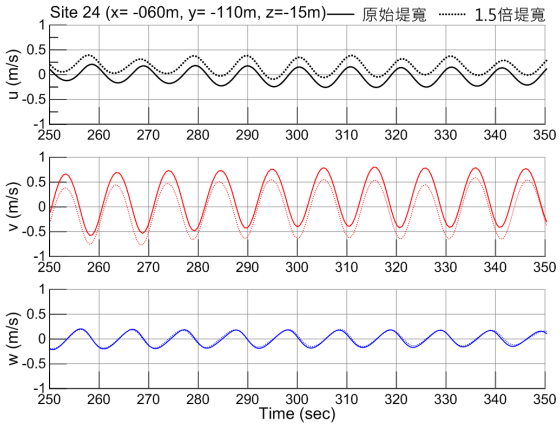



**圖 6.67 site24 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

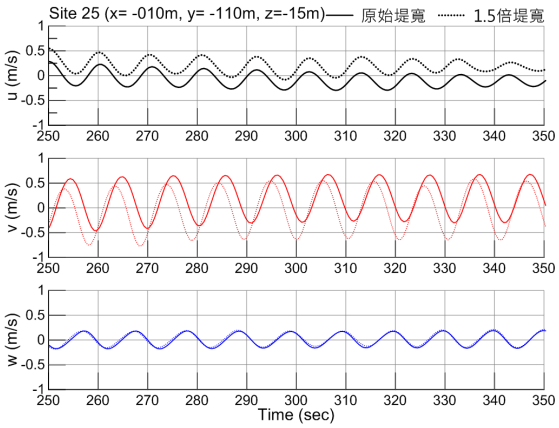



**圖 6.68 site25 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

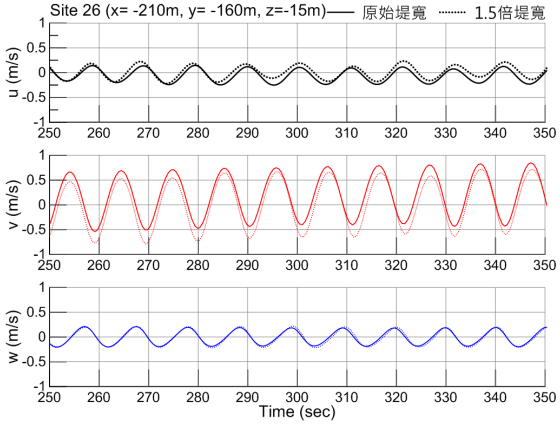



**圖 6.69 site26 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

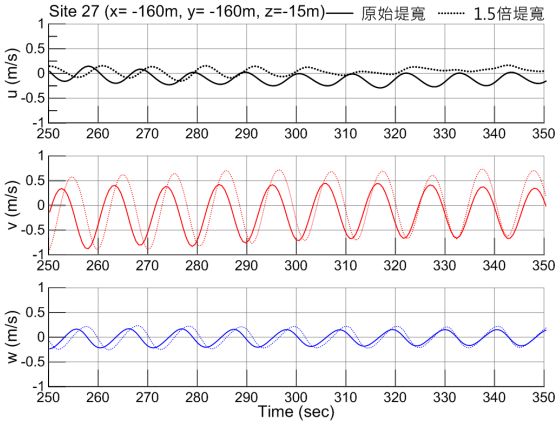



**圖 6.70 site27 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

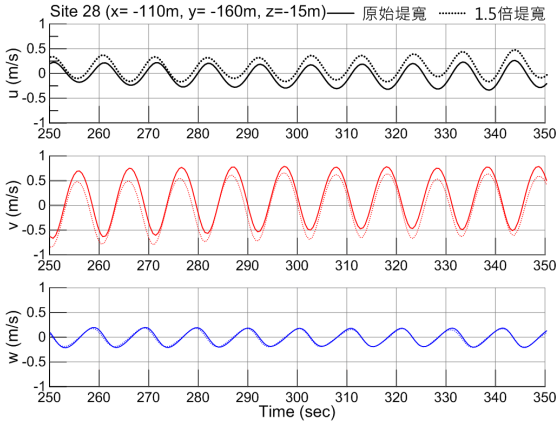



**圖 6.71 site28 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

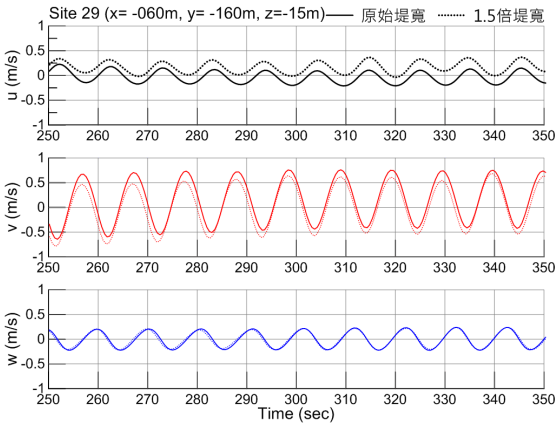



**圖 6.72 site29 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

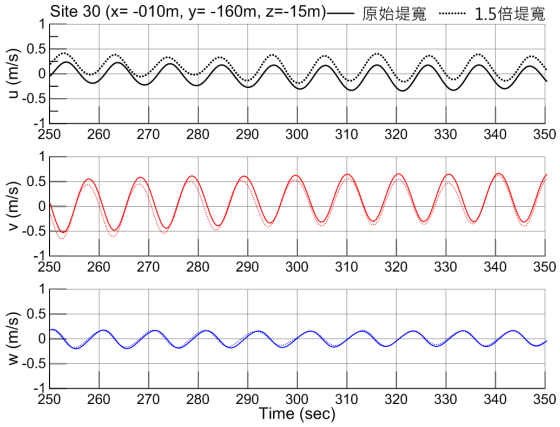



**圖 6.73 site30 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

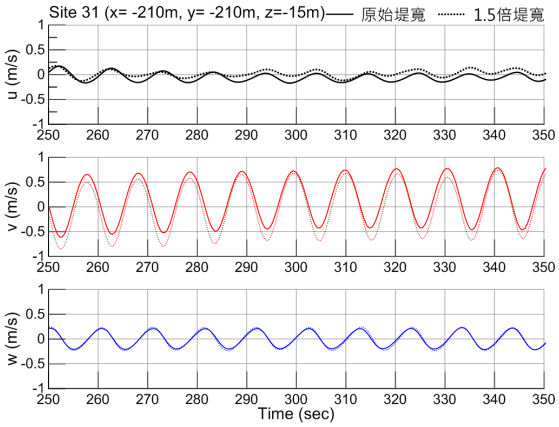



**圖 6.74 site31 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

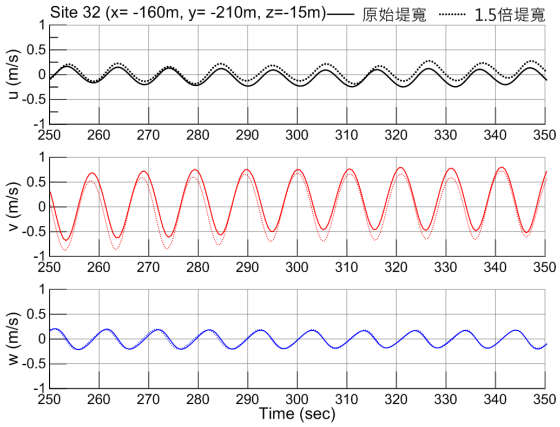



**圖 6.75 site32 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

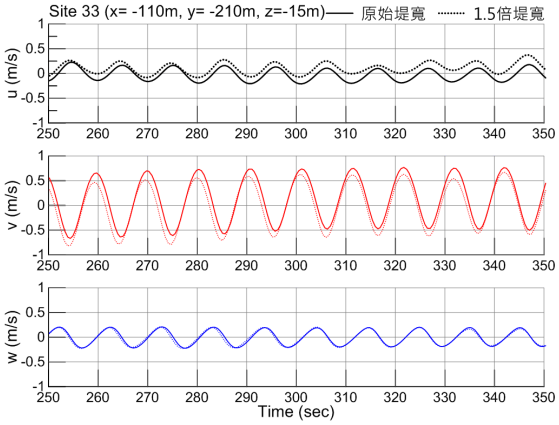



**圖 6.76 site33 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

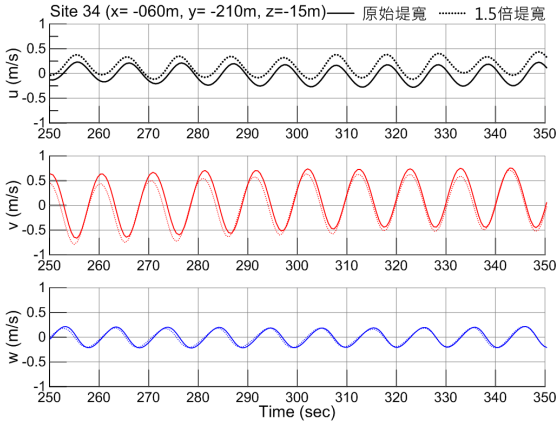



**圖 6.77site34 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

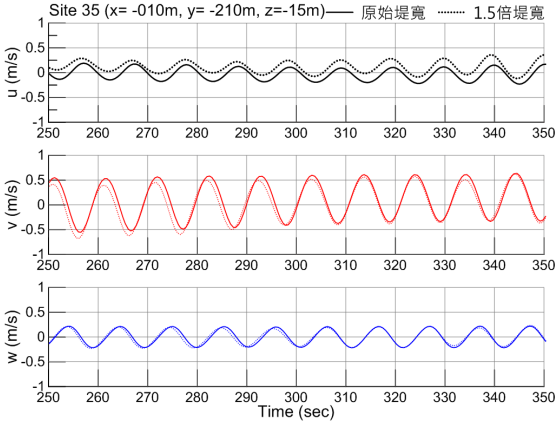



**圖 6.78 site35 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

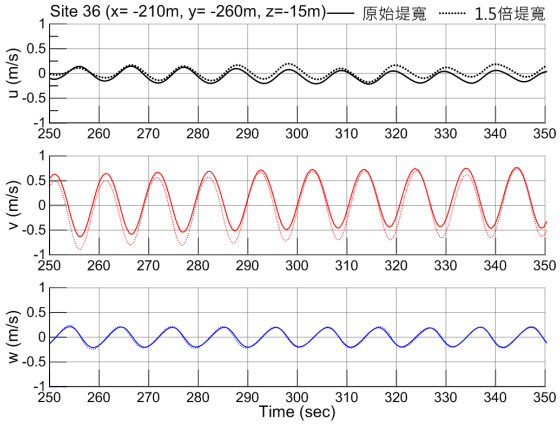



**圖 6.79 site36 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

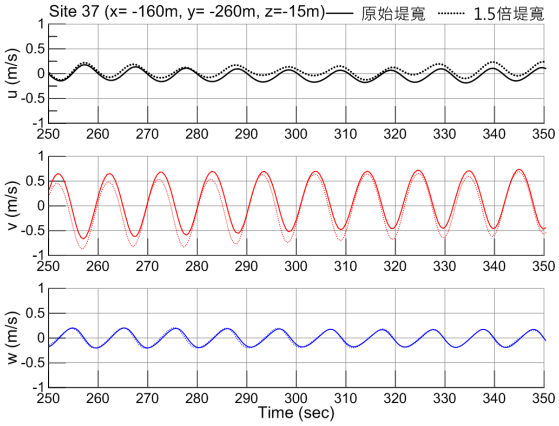



**圖 6.80 site37 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

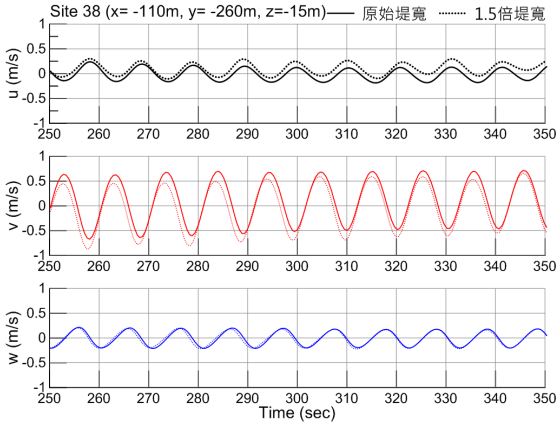



**圖 6.81 site38 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

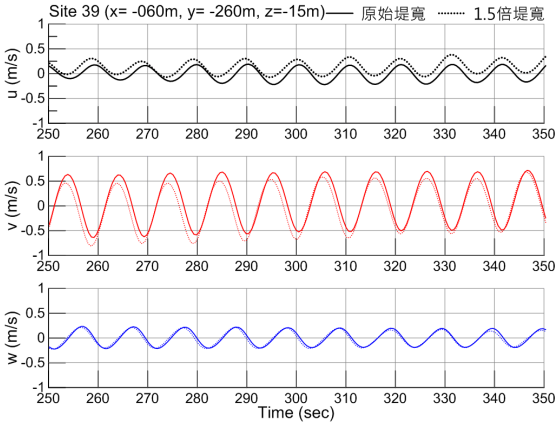



**圖 6.82 site39 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

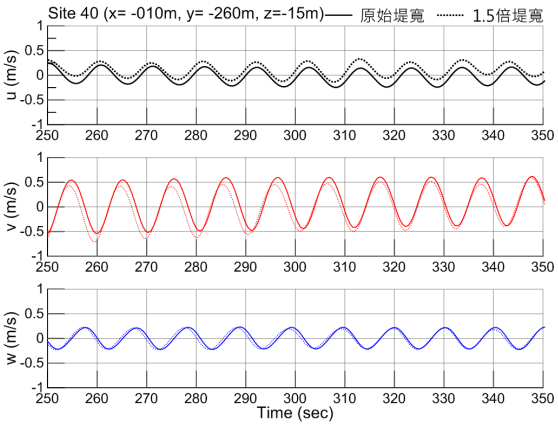



**圖 6.83site40 原始與 1.5 倍護基 uvw 比較**

# 第七章 結論與建議

波浪或海流通過海中結構物時，可能在結構物臨近底床造成沖蝕，導致結構的破壞甚或傾倒，如港灣防波堤堤頭附近的海底地形，可能因為波浪及海潮流的集中、下沖或轉向等造成堤頭沖蝕。國內的港灣防波堤堤頭侵蝕的實例中，以臺中港及雲林離島工業區之麥寮工業港最為明顯。由於防波堤堤頭的海底地形侵蝕，嚴重時將危及防波堤堤身及港灣船隻航行的安全。然而造成侵蝕的原因與機制仍未明確，因此急需進一步的觀察、模擬與研析，以期提出有效的防制對策與工法。

本研究以臺中港及麥寮工業港為研究對象，分年進行堤頭附近波、流場及海底地形變化特性與機制的觀測、分析與模擬。主要研究方法將透過背景資料收集分析、數值模擬及水工模型試驗，並與實測波、流場及海底地形侵蝕特性進行比對與修正。

## 7.1 結論

1. 利用 Flow-3D 對麥寮港防波堤堤頭附近海域進行三維動床波場數值模擬，計算範圍 1.5 km × 2.5 km，其底床邊界採用 1996 年實測地形資料；海象條件為 50 年期颱風，設定北側為入射波浪邊界，造波條件設定波高 6.4 m、週期 10.6 sec，模擬時間以海床淘刷區淘刷率趨於緩和 (約 113 個造波週期) 為考量。以西防波堤堤頭為原點，以北側海域入射波而言，波浪受西防波堤北側阻擋形成反射波，大幅增長了此海域的波高，亦提高了波場下的流速。前進波列因為防波堤的遮蔽效應引發流場西向的束縮流，該速縮流與上下約 0.5m/s 垂直流速形成之垂直方向渦流應該是造成防波提堤頭附近海床淘刷洞的主要原因之一。未來將進一步探討懸浮載與淘刷區穩定的關係，並與水工試驗驗證淘刷區的高程和浸淤量的變化。

2. 季風波浪斜向入射防坡堤，反射波造成堤頭西北方有較大之波高及

流速。堤頭西側有較大之-v 及-u 流速，顯示在此存在受波浪斜向入射防坡堤驅動之向西南流束。季風波浪作用下地形變化不明顯，僅在堤頭後側稍有淤積。

3. 颱風波浪經淺化及折射後接近正向入射防坡堤，在堤前形成重複波。堤頭附近波流場較紊亂，形成局部的短峰波型態，以堤線延伸分為左上及右下兩半部，分別為堤前反射波及繞射波所致。

4. 以等比模型進行颱風波浪地形變化試驗，在堤後稍有淤積，距堤頭約 200m 處輕微侵蝕，但整體來說地形侵淤變化不大，堤基相當安定，僅卵礫石發生位移。

5. 以不等比縮尺並加大波高、降低水位進行颱風波浪地形變化試驗，結果顯示堤頭後側產生輕微淤積，在堤頭延伸出去約 200m 處有較明顯之侵蝕發生，防波堤北方約 150m 水深較淺處亦輕微侵蝕。

6. N 向颱風波浪作用於麥寮西三防坡堤後在堤頭西南側區域產生侵蝕現象，趨勢上與現況吻合，該處亦為局部流速較大之區域，因此對堤頭水深達-19m 以上仍然發生嚴重侵蝕之現象，潮流與波浪之共同作用將是後續研究重點。

## 7.2 建議

1. 模式建置與測試部分：經由分別模擬潮流、波場、波浪引發的流場，至今對堤頭近域的流體水動力狀態已有初步認識。後續的數值模擬，將朝向砂質底床邊界與漂砂動床試驗等課題持續測試，幫助釐清與理解堤頭沖蝕的機制與變化。

2. 深水域的結構物，在颱風波浪與強勁海流作用下對堤前海床之淘刷影響幅度，因其條件特殊，仍屬尚未深入探討的領域。須藉由數值模擬與水工模型試驗結果深入分析，諸如入射波浪條件、海床水深、波浪衝擊防波堤所引發下刷的水流、波流交互作用、堤前淘刷幅度等變量的關係性，甚至尋找經驗式或特徵參數。

## 7.3 成果效益與後續應用情形

本計畫主要針對港灣防波堤堤頭附近海域沖蝕特性進行現場觀測、水工試驗造波以及三維床數值模擬預測，研究成果效益上，可提早發覺港灣防波堤堤頭附近海域沖蝕現象，降低防波堤等海事結構物塌陷的因素，維護船舶進出港的航行安全，以利港口營運順暢。在應用上，本計畫完成之海域地形測量、潮汐調查、海流調查、波浪調查等結果足供相關研究參考使用，FLOW-3D 已經完成麥寮工業港防波堤堤頭附近海域三維波場場動床模擬，可簡化後續該海域三維流場動床模式預測等前置作業。

# 附錄一 期中報告審查意見處理情形表

## 交通部運輸研究所合作研究計畫

## ■期中 □期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：**港灣防波堤堤頭三維沖蝕特性及防制機制之研究(3/4)**

執行單位：**國立中山大學**

| 參與審查人員<br>及其所提之意見 | 合作研究單位<br>處理情形 | 本所計畫承辦<br>單位審查意見 |
|---|---|---|
| **郭委員一羽**： | | |
| 1. 請說明臺中港與麥寮港之沖蝕機制有何不同？重覆的地方研究可省略。 | 1. 感謝委員建議，遵照辦理。 | 1. 依處理情形辦理。 |
| 2. 波浪為不規則波,數值或水工只考慮一種周期的波浪,是否有所不足？模擬結果是否可曾產生大坑洞？此坑洞現象是否多重機制，如季風、颱風、長波、短波共同產生？ | 2. 目前試驗與數值規劃為探討規則波季風浪與颱風浪，波浪是否能引起沖刷坑，與其機制探討一直為本計畫努力目標，感謝委員意見。 | 2. 依處理情形辦理。<br>3. 依處理情形辦理。 |
| 3. 防制工法有何策略？此部份與發生原因的探討似乎未有連結。 | 3. 堤頭沖刷機制未釐清前，目前提出防制工法實較為有效提出，試驗僅就堤趾保護工或沙腸帶進行之，是否為有效方法，待未來機制釐清後，能進一步深入探討。 | |
| 4. 文中有的參考文獻,有的未列於第八章。 | 4. 謝謝委員建議，已遵照辦理。 | 4. 依處理情形辦理。 |
| **蔡委員清標**： | | |
| 1. P.1-1，有描述麥寮港堤頭沖刷坑之情形，建議於此先附圖輔助說明。 | 1. 遵照委員辦理修改於期中報告放入。 | 1. 依處理情形辦理。 |
| 2. P.1-13,海堤沖刷建議增加 Tsai et al. (2009)在 ASCE 期刊之文獻。 | 2. 遵照委員建議增加 ASCE 期刊之文獻：Tsai, C.P.*, Chen, H.B. and You, S.S., “Toe Scour of | 2. 依處理情形辦理。 |

| 參與審查人員<br>及其所提之意見 | 合作研究單位<br>處理情形 | 本所計畫承辦<br>單位審查意見 |
|---|---|---|
| | Seawall on a Steep Seabed by Breaking Waves," Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, vol.2, no.135, pp.61-68, 2009. | |
| 3. 圖 2.37 夏季堤頭地形變化，期間是否有颱風波浪之作用，建議說明之。 | 3. 遵照委員辦理，於期末報告說明之。 | 3. 依處理情形辦理。 |
| 4. 圖 2-46~圖 2-52，臺中港防波堤圖示有誤，缺港口，請更正。 | 4. 遵照委員辦理，將於期末報告更正。 | 4. 依處理情形辦理。 |
| 5. 漂沙模擬，依式(4-20)~(4-22)，僅考慮 Bed load，建議補充說明為何 suspension load 在此可不考慮。 | 5. 謝謝委員建議，suspension load 部分將在期末前完成說明。 | 5. 依處理情形辦理。 |
| 6. 目前數值模擬僅考慮波浪為驅動力的模擬，為何尚不考慮流或波-流作用的模擬，建議有所說明。而波浪為何僅考慮單一波向短期之颱風波浪條件？依圖 2-39，冬季波浪長期引致之地形變遷，或許亦應予模擬。 | 6. (1)謝謝委員建議，將補充對於波、流、波-流作用模擬的計畫執行年度與進度的說明。(2)本計畫(1/4)已經完成麥寮港堤頭北向、南向與西向入射波的定床模擬，分析結果顯示北向入射波淘刷趨勢明顯高於南向與西向。(3)增加冬季波浪條件淘刷模擬。 | 6. 依處理情形辦理。 |
| 7. 漂砂動床試驗為何用 Froude 模型相似律之等比模型？試驗用砂是否滿足砂質起動條件？ | 7. 感謝委員建議，目前採用 1/100 之縮尺，在季風條件下，引用佐藤、田中(1962)漂沙臨界水深公式如下，<br>表層移動：<br>$\frac{H}{L_0}=1.35(\frac{D}{L_0})^{1/3}\sinh kh_i$,<br>得 $h_i=14m$<br>完全移動： | 7. 依處理情形辦理。 |

| 參與審查人員<br>及其所提之意見 | 合作研究單位<br>處理情形 | 本所計畫承辦<br>單位審查意見 |
|---|---|---|
| 8. 圖 5-68~圖 5-73，既為波浪作用某時間後各 y 處之地形變化，怎會有色階之表示？ | $\frac{H}{L_0}=2.4(\frac{D}{L_0})^{1/3}\sinh kh_i$<br>得 $h_i=9.33m$<br>堤頭水深 h 為 19m，沒有達到啟動砂子的水深。現在採用之砂中值粒徑為 0.28mm，之後堤頭附近砂將改用中值粒徑為 0.1mm，並採用模型縮尺歪比進行。<br>8. 感謝委員建議，地形變化之色階會修正為淤積以藍色表示，侵蝕以紅色表示。 | 8. 依處理情形辦理。 |
| **李委員兆芳：** | | |
| 1. 今年度計畫對象為麥寮港，報告中提及臺中港，需要說明其作用，如臺中港分析的引用。 | 1. 本計畫為連續型計畫臺中港為去年度探討對象，於報告書中放入用以提供比較之。 | 1. 依處理情形辦理。 |
| 2. 現場資料分析結果夏季淤積冬季侵蝕，似乎有波浪之特性，顯然波浪受結構的影響產生水流之現象明顯。 | 2. 波浪引發之流的特性是否於堤頭造成影響，且扮演重要機制，將於期末探討之說明之。 | 2. 依處理情形辦理。 |
| 3. 數值模擬結果是否有達到穩定結果之趨勢。 | 3. 感謝委員建議，數值模擬將加強底質參數的調整已期達到穩定的結果。 | 3. 依處理情形辦理。 |
| 4. 嘗試由試驗當中觀察波浪通過堤頭是否產生沿堤方向之水流。 | 4. 遵照委員建議，於堤頭附近放置水下攝影拍攝並觀察現象。 | 4. 依處理情形辦理。 |
| **羅委員德章：** | | |
| 1. 增加摘要於文中。 | 1. 遵照委員意見辦理，於期末報告附上。 | 1. 依處理情形辦理。 |
| 2. 當波浪入射方向與防波堤堤體垂直時，掏刷程度較嚴重，波浪引發的底床流平行防波堤流過時，可能產生沖蝕渠道。但較能減少外海波浪對港內興波的影響。所以兩者如何取捨？ | 2. 本計畫並未探討外海波浪對港池影響，主要為探討堤頭沖刷機制並期能夠釐清之，港池內影響目前並未納入考慮。 | 2. 依處理情形辦理。 |

| 參與審查人員<br>及其所提之意見 | 合作研究單位<br>處理情形 | 本所計畫承辦<br>單位審查意見 |
|---|---|---|
| 3. P.4-17 指定物理量： 請說明紊流長度調整的參數。 | 3. 感謝委員建議，P.4-17 指定物理量已增加紊流長度調整參數的說明。 | 3. 依處理情形辦理。 |
| 4. P.4-25~P.4-31 可採用等高線的圖示， 以利觀看。 | 4. 感謝委員建議，遵照辦理。 | 4. 依處理情形辦理。 |
| 5. 計畫 2/4 指出，防波堤堤頭沖蝕主要受到海流的影響，本計畫模擬極端氣候(颱風)在波浪作用下，堤頭侵蝕的影響，波浪引發的流場造成堤頭沖蝕影響明顯。請說明波流同時作用下，大概會有怎樣的影響。 | 5. 今年度辦理計畫內容為探討單純波浪現象，波流同時作用現象規劃於第四年度計畫執行，將一併探討釐清之。 | 5. 依處理情形辦理。 |
| 6. P.4-5 的方程式中的參數說明：如 FUX，FUY，FUZ 等。 | 6. 感謝委員建議，遵照辦理。對於 P.4-5 的方程式中的參數將完整說明。 | 6. 依處理情形辦理。 |
| **蔡委員立宏**： | | |
| 1. 現場觀測資料收集及分析詳細，除說明現象外，建議多探討原因。 | 1. 遵照委員辦理， | 1. 依處理情形辦理。 |
| 2. 目前數值模擬與水工模型試驗均針對波浪作探討，是否認定波浪為造成沖刷坑主要動力。其他海流因素是否考量。 | 2. 感謝委員建議，目前數值模擬係根據計畫年度分別進行波、流、波-流混合模擬，以探討沖刷機制。 | 2. 依處理情形辦理。 |
| 3. 麥寮港堤頭沖刷夏侵冬淤反覆作用，長期趨勢預期如何？是否回淤回來。 | 3. 目前從 2007 年後觀測資料呈現夏侵冬淤反覆，未來趨勢是否能呈現如是，能仍需麥寮港長期資料佐證並分析探討是否已呈現穩定。 | 3. 依處理情形辦理。 |
| 4. 水工模型試驗以等比作縮尺，需注意砂粒是否無法趨動，是否在考慮其他動力條件下調整比尺？ | 4. 感謝委員建議，模型縮尺會更改為歪<br>比縮尺。 | 4. 依處理情形辦理。 |
| 5. 建議未來在海流探討時，考慮底床流速造成沖刷之可能性。 | 5. 感謝委員建議，遵照辦理。在未來實 驗會進行探討。 | 5. 依處理情形辦理。 |

| 參與審查人員<br>及其所提之意見 | 合作研究單位<br>處理情形 | 本所計畫承辦<br>單位審查意見 |
|---|---|---|
| 6. 是否進行漂沙預備試驗？預計如何進行？ | 6. 感謝委員建議，目前地形尚無明顯變化，未來會更改為歪比縮尺進行，若有產生漂沙現象，將會進行漂沙預備 試驗。 | 6. 依處理情形辦理。 |
| **陳委員志弘：** | | |
| 1. 2-45 第二行 100 度及第四行 101 度，皆漏了“年”。 | 1. 於期末報告書更正之。 | 1. 依處理情形辦理。 |
| 2. 整份報告的年份表示,一下用西元,一下用民國,是否統一較有一致性。台中港的“台”請更正為“臺”。 | 2. 於期末報告書一併統一更正之。 | 2. 依處理情形辦理。 |
| 3. P.3-32，第三行與第四行的圖 3.84，並無此圖，請確認。 | 3. 遵照委員辦理，於期末報告書更正之。 | 3. 依處理情形辦理。 |

# 附錄二 期末報告審查意見處理情形表

## 交通部運輸研究所合作研究計畫

## □期中 ■期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：**港灣防波堤堤頭三維沖蝕特性及防制機制之研究(3/4)**

執行單位：**國立中山大學**

| 參與審查人員<br>及其所提之意見 | 合作研究單位<br>處理情形 | 本所計畫承辦<br>單位審查意見 |
|---|---|---|
| **蔡委員清標：** | | |
| 1.章節 4.3 嘗試以圖 4.90 垂直渦流結構來結束堤頭附近掏刷間之行程機制，但圖僅示出 203 see 之情形，建議圖 4.90 可示出渦流結構隨時間之消長變化，而圖 4.90 係指 y =?之位置。建議可以 3D 結構隨時間變化之方式表現。 | 1.遵照委員建議，增加垂直渦流結構來解釋堤頭附近淘刷洞之形成機制，已分別增加 xz 及 yz 剖面垂直渦流結構說明，並註明 x 及 y 剖面之位置。 | 1. 依處理情形辦理。 |
| 2.4.3 述明約 113 個造波周期、底床，是否意謂在颱風波浪作用下約 20 分及大沖刷平衡?因數值係以現場尺度模擬，建議應有合理之敘述。 | 2.感謝委員建議，數值模擬經過 113 個造波週期後底床淘刷淨變化率維持於-0.5 mm/s 附近，已經吻合本計畫探討堤頭附近海域底床淘刷的啟動機制，後續計畫將延長計算時間尺度，以全面探討面積、體積等浸淤變化。 | 2. 依處理情形辦理。 |
| 3.模擬試驗之原型與模型物理量應列表。而在歪比模型情況下，模型波高與週期之計算公式為何? 與試驗粒徑之關係又為何另本動床之合理造波時間為何？應有所補充。 | 3.感謝委員建議，歪比模型之物理量計算如表 5.4，波高與週期參考表 5.5 之計算公式，模型試驗之原型與模型物理量已增列表 5.6。試驗粒徑在等比模型時採用為 D50=0.28 mm 之玻璃砂， | 3. 依處理情形辦理。 |

| | | |
|---|---|---|
| | 在歪比模型時採用 D50=0.15mm 之細砂。依等比模型時間比尺每次量測約等於現場颱風波浪作用 35 分鐘，總作用時間約 105 分鐘，依歪比模型時間比尺颱風波浪條件 2 及 4 每次量測約等於現場颱風波浪作用 106 分鐘，颱風波浪條件 3 約等於現場颱風波浪作用 89 分鐘，應可描述短期颱風波浪對堤頭區域之影響。 | |
| 4.請檢核 6.3.3 節中各圖之正確性。另如可能第六章最好應有地形試驗結果之驗證。 | 4.遵照委員的建議，以檢核圖 6.3.3 中各圖之正確性。地形試驗結果將於後續計畫驗證。 | 4. 依處理情形辦理。 |
| **李委員兆芳：** | | |
| 1.數值模擬結果看起來很好，有待確認的是波浪場是否達到穩定之結果。波浪至港內傳出港外對於堤頭的作用效應可再確認。 | 1.感謝委員建議，將於後續計畫波流場混合模擬擴大港域數值計算領域及入射波方向以確認港內傳出港外對於堤頭的作用效應。 | 1. 依處理情形辦理。 |
| 2.由試驗結果討論提頭水流特性可以提供數值模擬比照參考，這部分可以繼續加強。 | 2.感謝委員建議，已加強試驗結果與數值模擬之比對分析。 | 2. 依處理情形辦理。 |
| 3.結論中第六點的敘述可以調整，「綜合前述條件.....」不很恰當。而堤頭沖刷機制為何，似乎可由本報告依據做基本之敘述。 | 3.感謝委員建議，已修改補述如下：N 向颱風波浪作用於麥寮西三防坡堤後在堤頭西南側區域產生侵蝕現象，趨勢上與現況吻合，而在堤頭西南側為局部流速較大之區域，在波浪啟動底質後，底質傳輸的行為由流況所造成，因此對堤頭水深達-19m 以 | 3. 依處理情形辦理。 |

| | | |
|---|---|---|
| | 上仍然發生嚴重侵蝕之現象，潮流與波浪之共同作用將是後續研究重點。 | |
| **羅委員德章：**<br>1.本計畫資料分析詳細，在水深地形與潮波流調查，麥寮港堤頭侵蝕的數值模擬與水工模型試驗皆詳細分析與探討，值得肯定。<br>2.文中提出前進波列因為防波堤的遮蔽效應引發流場西向的束縮流，垂直流速型成之垂直方向渦流應是造成防波堤堤頭附近海床淘刷洞的主因之一。建議深入探討各切面的渦度(Vorticity), 即 $\vec{\omega}=\nabla\times\vec{U}$ 以利要解渦流生成與消失的物理因素，俾利了解海底掏刷。 | 1.感謝委員的肯定。<br>2. 遵照委員建議，已增加淘刷區波場垂直方向渦度探討。 | 1. 符合。<br>2. 依處理情形辦理。 |
| **蔡委員立宏：**<br>1.中英文摘要請依本所規定表格撰寫，並增加研究項目的以及成果應用與效益<br>2.第四及五章標題建議再簡短。<br>3.第七章應增加建議及成果效益及後續應用情形。<br>4.結論第 6 點「綜合前述條件…..」宜再修飾。 | 1.遵照委員意見，已增加。<br>2.感謝委員建議，第四章"波浪作用下麥寮工業港堤頭侵蝕機制的數值模擬"已更改為"防波堤頭動床三維波場數值模擬"，第五章標題將改為波浪作用下堤頭侵蝕水工試驗。<br>3. 遵照委員意見，已增加。<br>4. 感謝委員建議，已遵照修飾。 | 1. 依處理情形辦理。<br>2. 依處理情形辦理。<br>3. 依處理情形辦理。<br>4. 依處理情形辦理。 |

| | | |
|---|---|---|
| **陳委員志弘：** | | |
| 1.本報告前三章內容與期中報告書相同,期中報告時提出需修正內容未修正,如”台”字、年份表示等，請更正。 | 1.感謝委員意見，已修正。 | 1. 依處理情形辦理。 |
| 2.圖 4.77 至圖 4.86，圖中左側似乎有一垂直線，圖 4.91~4.102 亦有此現象輸入條件為 N 向，在底床出現此現象是否合理？ | 2. 感謝委員意見，因該區域海底部分地形呈現南北條狀隆起,數值模擬底床流速的分布係擷取緊鄰底該區域底床邊界層網格之物理量繪製而成,因此圖 4.77 至圖 4.86 及圖 4.91~圖 4.102 左側均呈現一南北等值線。 | 2. 依處理情形辦理。 |
| 3.圖 5.25 的流速量測點示意圖與後續的實驗結果圖不符，請更正。另圖 5.89~5.98 的流速量測點在表 5.6 中無標示。 | 3. 感謝委員，已遵照更正。因颱風波浪堤頭加密量測,相關測點如圖 5.59~5.60 及表 5.11~5.12 所示。 | 3. 依處理情形辦理。 |

# 附錄三 期中簡報資料

交通部運輸研究所港灣技術研究中心
Harbor & Marine Technology Center, I.O.T., M.O.T.C.

## 港灣防波堤堤頭三維沖蝕特性及防制機制之研究（3/4）

期 中 簡 報

計畫主持人：李忠潘 教授

簡報人：曾以帆、李芳承、林義復、胡惟均

國立中山大學

中華民國 104 年 07 月 13 日

## 簡 報 綱 要

一、前 言

二、堤頭侵蝕現況的特性研究

三、水深地形與潮波流調查資料分析

四、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的數值模擬

五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗

六、防制工法數值模擬與水工模型試驗的驗證

1

## 一、前言

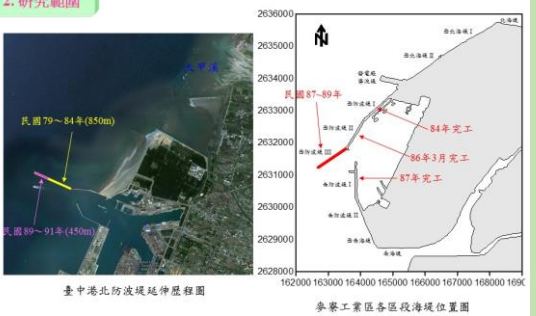
### 1. 計畫緣起與目的

- 波浪或海流通過防波堤堤頭時，因波浪及海潮流的集中、下沖或轉向等造成堤頭沖蝕，導致結構基礎的破壞或傾倒。以麥寮港為例，北防波堤堤頭原設計水深為-22m，目前堤基被沖刷的深度可達 26m。造成防波堤堤頭沖蝕的原因與機制未明確，需進一步的觀察與研究，以提出有效的防制對策。
- 本研究以台中港及麥寮港為對象，分年進行堤頭附近波、流場及地形變化特性與機制的觀測、分析與模擬。透過背景資料收集分析、海象及海底地形量測、數值模擬及水工模型試驗等，探討防波堤堤頭附近流況、水動力及沖刷機制，進而研擬適當對策。

2

## 一、前言

### 2. 研究範圍




臺中港北防波堤延伸歷程圖

麥寮工業區各區段海堤位置圖

3

## 一、前言

### 3. 工作項目

本研究全期共計四年，第三年度(104年)工作項目：

1.台中港及麥寮工業港堤頭侵蝕現況的特性研究－基本資料收集與分析。

2.防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性－堤頭地形量測與侵蝕分析、波流場的現場觀測。

3.建立堤頭侵蝕機制的數值模擬模式－麥寮港波浪作用下數值模擬。

4.水工模型試驗的驗證－麥寮港波浪作用下定床三維水工模型試驗。

5.防制工法的數值模擬與水工模型試驗的驗證－驗證麥寮港波浪作用下堤頭侵蝕防制工法。

| 第一年度(102年)(已完成) | 第二年度(103年)(已完成) | 第四年度(105年)： |
|---|---|---|
| 1. 台中及麥寮港堤頭地形、流場量測分析 | 1. 台中港潮流數值模擬 | 1. 麥寮港潮流數值模擬 |
| 2. 台中港波浪數值模擬 | 2. 台中港潮流水工模型試驗 | 2. 麥寮港潮流水工模型試驗 |
| 3. 台中港波浪水工模型試驗 | 3. 驗證台中港潮流堤頭侵蝕防制工法 | 3. 驗證麥寮港潮流堤頭侵蝕防制工法 |
| 4. 驗證台中港波浪堤頭侵蝕防制工法 | | 4. 堤頭防制工法效益評估 |

4

## 二、堤頭侵蝕現況特性研究

### 1. 臺中海域

- 海、氣、地象觀測基本資料蒐集與分析：包括中央氣象局之梧棲氣象觀測站資料、港灣技術研究中心之臺中港海象分析資料、臺中港務局歷年地形水深觀測資料及水利署河川水文輸沙資料等。




臺中港海氣象觀測站位置圖(交通部運輸研究所，2011)

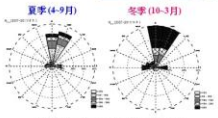
5

## 二、堤頭侵蝕現況特性研究

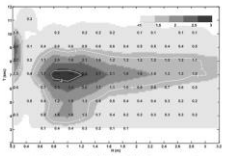
### 1. 臺中海域 (波浪)



- 本文分析港研中心觀測資料(2007~2011年)：
  - ✓ 夏季(4至9月)：示性波高在1.70~2.13 m之間，主要波向以N、NNE為主；最大波高為7.78m、對應週期12.20s、波向為NNW向。
  - ✓ 冬季(10月至隔年3月)：示性波高在3.04~4.04 m之間，主要波向以N、NNE為主；最大波高為8.44m、對應週期9.70s、波向為NW向。
  - ✓ 歷年平均示性波高為2.61m；平均示性週期為7.0s。



臺中海域波浪玫瑰圖 (2007~2011)


臺中海域聯合機率分佈圖(2007~2011)

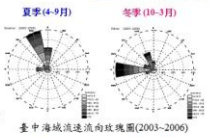


## 二、堤頭侵蝕現況特性研究

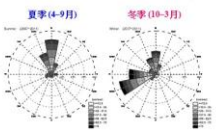
### 1. 臺中海域 (海流)



- 本文分析港研中心觀測資料(2003~2006年)：
  - ✓ 夏季(4至9月)：平均流速30.9~44.4 cm/sec，其流向以NNW為主；最大流速為189.1 cm/sec，流向為NNW向。
  - ✓ 冬季(10月至隔年3月)：平均流速在47.2~55.2 cm/sec，主要流向W；最大流速為248.3 cm/sec，流向為W向。
- 本文分析港研中心觀測資料(2007~2011年)：
  - ✓ 夏季(4至9月)：平均流速37.5~42.0 cm/sec，其流向以NNW、N為主；最大流速為99.8 cm/sec，流向為N向。
  - ✓ 冬季(10月至隔年3月)：平均流速在36.3~41.7 cm/sec，主要流向WSW、W、NNW、N；最大流速為100.0 cm/sec，流向為WSW向。



臺中海域流速流向玫瑰圖(2003~2006)

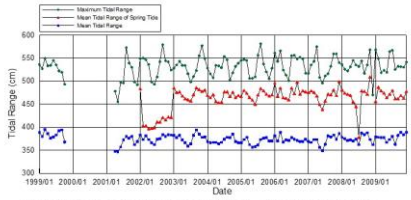

臺中海域流速流向玫瑰圖(2007~2011)



## 二、堤頭侵蝕現況特性研究

### 1. 臺中海域 (潮位)

- 臺中海域屬於半日潮，自1999年2011年期間，平均潮差約為3.75m，大潮平均潮差約為4.33m，最大潮差為6.06m。



資料來源：「臺灣近岸港域地形變遷與環境調查研究 (2/4)」，交通部運輸研究所，100年。

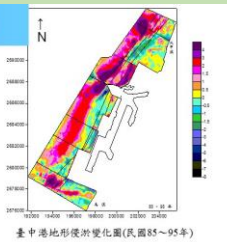
臺中港1999至2009年之潮位統計分佈圖



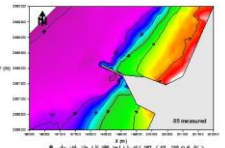
## 二、堤頭侵蝕現況特性研究

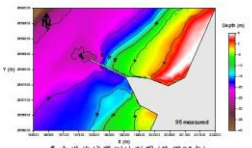
### 1. 臺中海域 (地形)

- 蔡等人(2011) 民國85至95年，北防波堤以北全面淤積，最大可達4m以上，並往港口南側延伸，港口南側近岸則維持些微侵蝕。北防波堤堤頭附近明顯侵蝕，侵蝕深度最大可達 5m 以上。



臺中港地形侵淤變化圖(民國85～95年)


臺中港海域實測地形圖(民國85年)

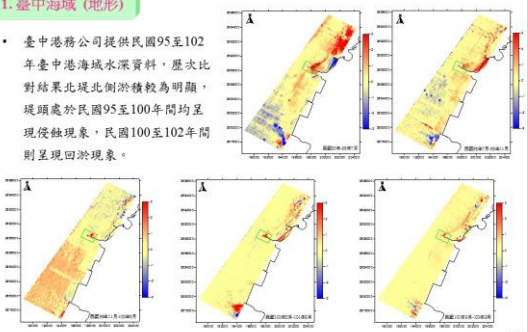

臺中港海域實測地形圖(民國95年)



## 二、堤頭侵蝕現況特性研究

### 1. 臺中海域 (地形)

- 臺中港務公司提供民國95至102年臺中港海域水深資料，歷次比對結果北堤北側淤積較為明顯，堤頭處於民國95至100年間均呈現侵蝕現象，民國100至102年間則呈現回淤現象。

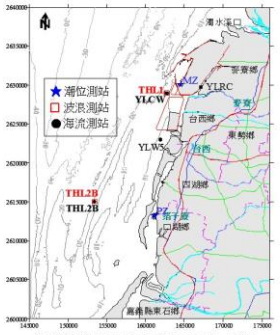




## 二、堤頭侵蝕現況特性研究

### 2. 麥寮海域

- 海、氣、地象觀測基本資料：成大水工試驗所於雲林縣離島工業區附近海域設立觀測站，包含氣象 (THL1、THL2B)、海象 (THL1、THL2B、YLCW、YLW5)、水文及地形等調查資料。

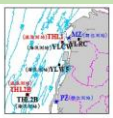


麥寮港海象觀測站位置圖 (成大水工所，2010)

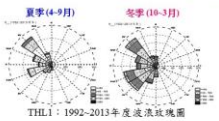


## 二、堤頭侵蝕現況特性研究

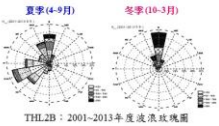
### 2. 麥寮海域 (波浪)



- THL1 (1992~2013年)：
  - ✓ 夏季(4至9月)：示性波高0.74~1.24 m；主要入射方向為NW、WSW；最大波高為5.44m、對應週期5.90s。
  - ✓ 冬季(10月至隔年3月)：示性波高1.19~2.03 m；波向介於NW、WSW~SW；最大波高為4.20m、對應週期6.50s。
- THL2B (2001~2013年)：
  - ✓ 夏季(4至9月)：示性波高0.64~1.83 m；主要入射方向為N、WSW；最大波高為5.67m、對應週期7.40s、波向為WNW向。
  - ✓ 冬季(10月至隔年3月)：示性波高2.04~3.55 m；冬季波向以N為主；最大波高為6.37m、對應週期7.20s、波向為NNW向。



THL1：1992~2013年度波浪玫瑰圖



THL2B：2001~2013年度波浪玫瑰圖

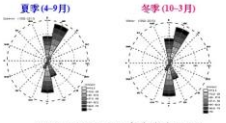


## 二、堤頭侵蝕現況特性研究

### 2. 麥寮海域 (海流)



- YLCW (1992~2013年)
  - ✓ 夏季(4至9月)：平均流速在38.4~50.8 cm/sec，流向以N~NNW和S~SSE為主；最大流速為209.8 cm/sec，流向為S向。
  - ✓ 冬季(10月至隔年3月)：平均流速在37.9~52.6 cm/sec，主要流向N~NNW和S~SSE；最大流速為235.8 cm/sec，流向為NNE向。
  - ✓ 全年度：平均流速在38.1~43.8 cm/sec。主要流向為NNE向和S向。



YLCW：1992~2013年度海流玫瑰圖

## 二、提頭侵蝕現況特性研究

### 2. 麥寮海域 (潮位)

- 雲林海域屬於半日潮，雲林海岸共設有三潮位站，包括麥寮站、三條崙站(目前已停測)及箔子寮站。麥寮潮位站之平均潮差為2.70 m，大潮平均潮差為3.72 m，為三站最大者。其次為三條崙潮位站，平均潮差為2.22 m，大潮平均潮差為3.27 m。

雲林海域各潮位站之潮位統計值

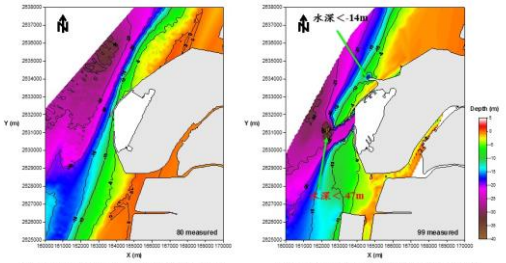
| 測站名稱 | 箔子寮 | 三條崙 | 麥寮 |
|---|---|---|---|
| 潮位 | 2002~2009年 | 1983~1990年 | 1998~2008年 |
| 最高高潮位(HHWL) | +2.34 | +2.43 | +2.56 |
| 大潮平均高潮位(HWOST) | N/A | +1.79 | +2.10 |
| 平均高潮位(MHWL) | +1.51 | +1.42 | +1.74 |
| 平均潮位(MWL) | +0.39 | +0.30 | +0.35 |
| 平均低潮位(MLWL) | -0.63 | -0.80 | -0.96 |
| 大潮平均低潮位(LWOST) | N/A | -1.48 | -1.62 |
| 最低低潮位(LLWL) | -2.84 | -2.42 | -2.09 |
| 平均潮差(MR) | 2.14 | 2.22 | 2.70 |
| 大潮平均潮差(STR) | N/A | 3.27 | 3.72 |

14

## 二、提頭侵蝕現況特性研究

### 2. 麥寮海域 (地形)

- 北防波堤堤頭原設計水深為 -22m，目前堤基被沖刷的深度可達 26m。

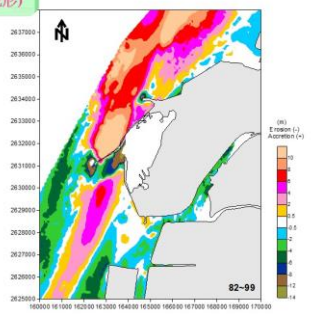



離島工業區海域實測地形圖(民國80年)　離島工業區海域實測地形圖(民國99年)

15

## 二、提頭侵蝕現況特性研究

### 2. 麥寮海域 (地形)

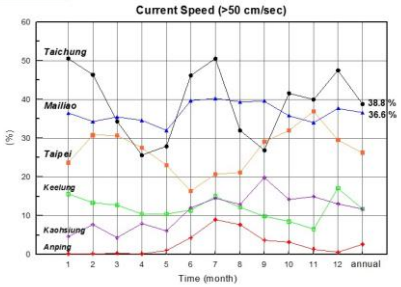



82-99年間實測地形侵淤變化

16

## 二、提頭侵蝕現況特性研究

### 3. 沖蝕與海流關係



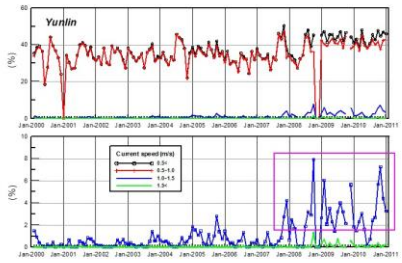

六大港海域歷年流速大於50cm/sec發生機率圖 (2000~2008)

17

## 二、提頭侵蝕現況特性研究

### 3. 沖蝕與海流關係

- 麥寮港於2000~2007年間流速超過二節的發生機率小於2%，2007年底以後流速超過二節發生機率增加到2~8%。



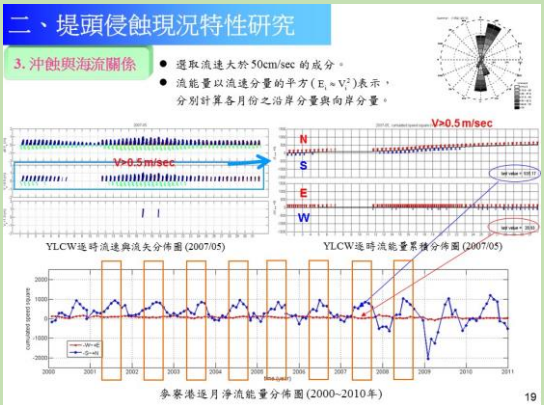

麥寮港2000~2010年流速分佈發生機率圖

18

## 二、提頭侵蝕現況特性研究

### 3. 沖蝕與海流關係

- 選取流速大於50cm/sec 的成分。
- 流能量以流速分量的平方($E_i \approx V_i^2$)表示，分別計算各月份之沿岸分量與向岸分量。




麥寮港逐月淨流能量分佈圖(2000~2010年)

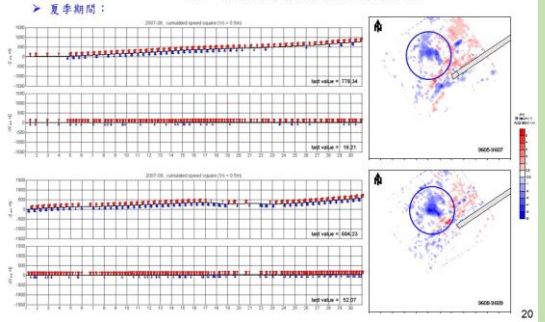
19

## 二、提頭侵蝕現況特性研究

### 3. 沖蝕與海流關係

- 以麥寮工業區專用港管理公司 96/04～101/04 期間36筆堤頭地形資料，與同期間麥寮港海流資料進行關聯比對。

➢ 夏季期間：

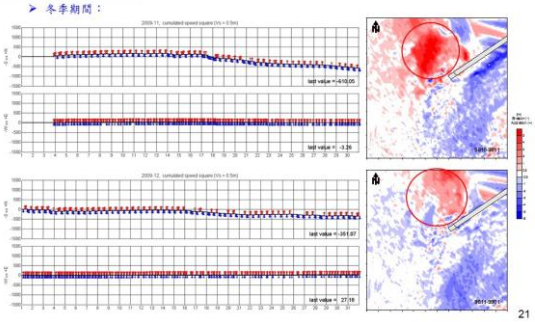


20

## 二、提頭侵蝕現況特性研究

### 3. 沖蝕與海流關係

➢ 冬季期間：

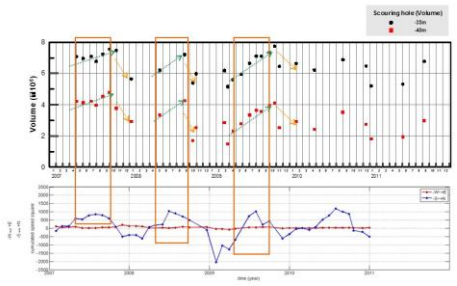


21

## 二、堤頭侵蝕現況特性研究

**3. 沖蝕與海流關係**

- 以麥寮工業區專用港管理公司 96/04～101/04 期間36筆堤頭地形資料，與同期間麥寮港淨流能量進行關聯比對。




22

## 三、水深地形與潮波流調查資料分析

**1.堤頭地形調查與特性分析**

- 測量範圍：麥寮工業區專用港西防波堤堤頭約1公里平方之範圍，所涵蓋範圍約以堤頭剔深處為中心點。
- 測量頻率(施測二次)：水深地形測量以多音束測深系統進行，覆蓋率100%。
- 測量控制系統：平面控制系統採用台灣二度分帶97坐標系統 (TWD97)，高程控制採用基隆中潮一等水準系統 (TWVD2001)。

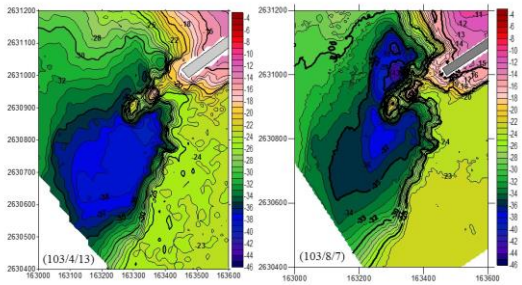



麥寮港西防波堤堤頭地形監測範圍示意圖

23

## 三、水深地形與潮波流調查資料分析

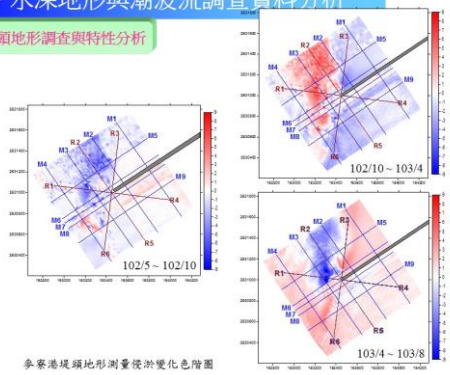
**1.堤頭地形調查與特性分析**




24

## 三、水深地形與潮波流調查資料分析

**1.堤頭地形調查與特性分析**



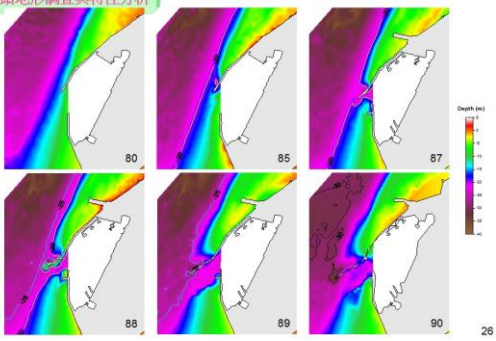

麥寮港堤頭地形測量侵淤變化色階圖

25

## 三、水深地形與潮波流調查資料分析

**1.堤頭地形調查與特性分析**

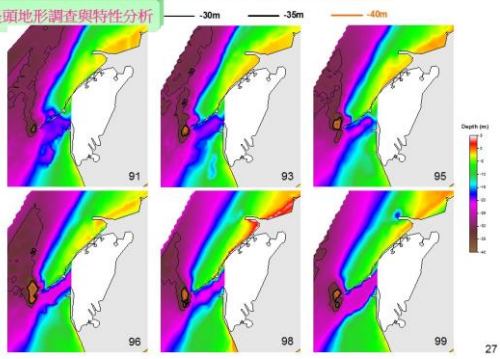
- 成大水工所與中興工程顧問公司於雲嘉海域之大範圍地形測量。




26

## 三、水深地形與潮波流調查資料分析

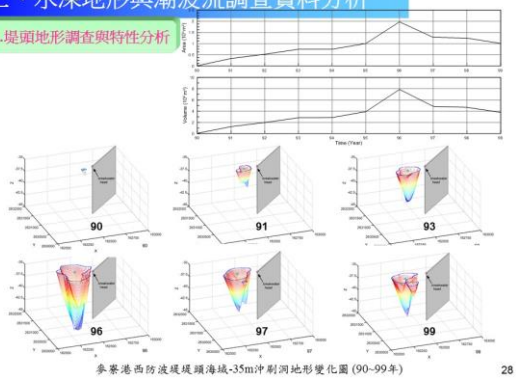
**1.堤頭地形調查與特性分析**




27

## 三、水深地形與潮波流調查資料分析

**1.堤頭地形調查與特性分析**



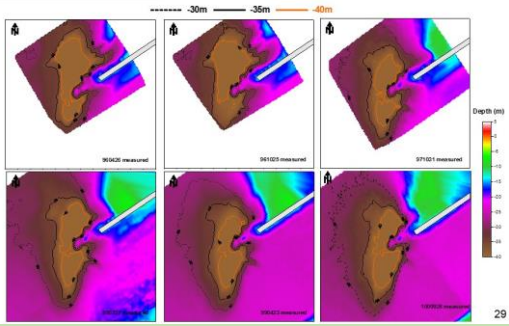

麥寮港西防波堤堤頭海域-35m沖刷洞地形變化圖 (90~99年)

28

## 三、水深地形與潮波流調查資料分析

**1.堤頭地形調查與特性分析**

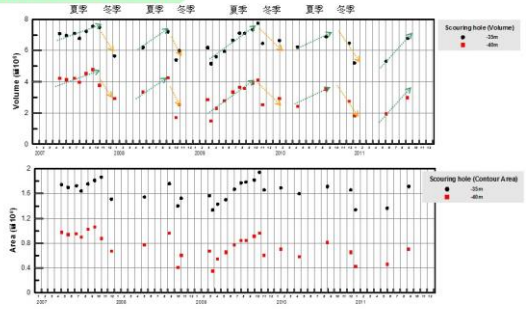
- 麥寮工業區專用港管理公司自 96/04至101/04 六年期間共進行36次堤頭與航道地形測量。




29

## 三、水深地形與潮波流調查資料分析

### 1.堤頭地形調查與特性分析




參寮港西堤堤頭加密測量之-35m與-40m沖刷洞變化量化圖

30

## 三、水深地形與潮波流調查資料分析

### 2.堤頭波流場觀測與分析

- 測量範圍與內容：於參寮港西防波堤堤頭附近各擇取一處施測，設置1個定點潮波流觀測儀器(ADCP)，同步觀測波浪、水位、流速與流向。
- 測量日期：參寮港103年4月9日至5月1日止共22天。
- 測量方式：採自記式潮波流儀RDI ADCP，佈放時以DGPS作定位，以底錠方式安置。



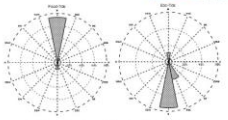

參寮港西防波堤堤頭潮波流監測位置示意圖

31

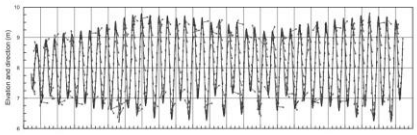
## 三、水深地形與潮波流調查資料分析

### 2.堤頭波流場觀測與分析

- 潮汐：
  - 參寮港海域潮汐屬於半日潮潮型。
  - 實測潮位統計(以當地平均潮位為基準)：平均水深為8.030m 。最大水深9.786m(4月15日23時)，最小水深6.216m(4月30日17時)，最大潮差3.502m 。



ML測站漲、退潮段流向玫瑰圖(103年4/09~5/01)



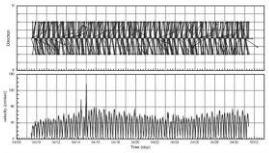
ML測站實測潮汐水位變化圖(103年4/09~5/01)

32

## 三、水深地形與潮波流調查資料分析

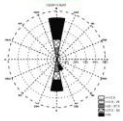
### 2.堤頭波流場觀測與分析

- 海流：
  - 表層：平均流速42.5cm/sec，主要流向N，最大值為153.7cm/sec (SSE向)。流速分佈以大於37.5 cm/sec為主，發生機率為50.54%。
  - 底層：平均流速36.4 cm/sec，主要流向N，最大值為135.3 cm/sec (SSE向)。流速分佈以大於37.5 cm/sec為主，發生機率為58.79%。

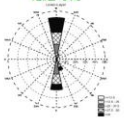


ML測站底層流速與流向變化圖(103年04/09~05/01)

表層海流



底層海流



103年4/9~5/1 (單位：cm/sec)

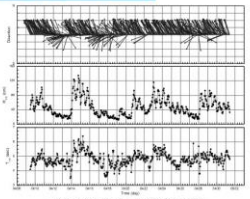
參寮港海域流速流向玫瑰圖

33

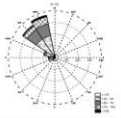
## 三、水深地形與潮波流調查資料分析

### 2.堤頭波流場觀測與分析

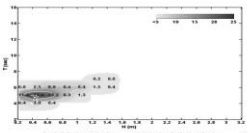
- 波浪：
  - 主要波向為NNW、NW，示性波高為75.0 cm，示性週期為5.12 sec。
  - 平均波高47.0 cm，平均週期4.81 sec。
  - 最大波高135.0cm，週期6.10 sec，波向為NW (4月14日18時)。



參寮港波向、波高、週期時序列圖



波高分佈玫瑰圖(103年4/9~5/1) (單位：cm)



參寮港示性波高、週期聯合機率分佈圖

34

## 四、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的數值模擬

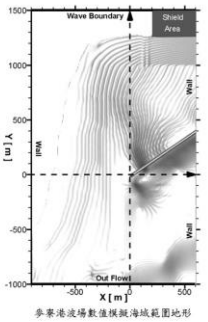
### 1. 模式介紹

- 1985年Flow-3D®商業版流體分析軟體正式推出，主要核心技術：多重區塊網格(Multi-Block Grids)、FAVOR障礙物體積分率表示法、VOF自由液面處理法，適合處理流體和固體耦合運動的模型模擬計算。基於Navier-Stokes Equation之連續方程式、動量方程式等完整的理論基礎及數值結構，已廣泛應用於不同領域，如航太工業、水利與環境工程等。
- 藉由選擇適當之潮流水動力、泥沙及波浪等計算模組，FLOW-3D亦適用於海岸、港灣工程領域之模擬。
- 今年度主要工作內容：模擬參寮港防波堤堤頭附近海域波場與地形變化的時空分佈和演變。

## 四、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的數值模擬

### 2. 堤頭波場數值模擬

- 計算範圍：
  (1) 參寮港：1.5×2.5 km，採85年實測水深
  (2)網格Δx=Δy=1/30波長，Δz=1/10波高。
- 模式設定：
  (1) 邊界條件：北邊入射波，波高6.4 m，週期10.6 s；西側與岸側設定直立壁邊界；下游設定輻射邊界；底床採用85年實測水深。
  (2) 初始條件：設定z方向淨水壓與0 m靜水位。
  (3) 初步模擬時間80個造波週期。




參寮港波場數值模擬海域範圍地形

## 四、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的數值模擬

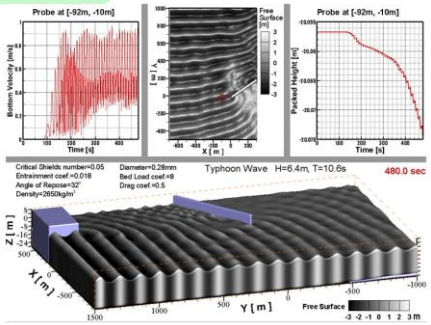
### 2. 堤頭波場數值模擬

動床底質參數設定

| 參 數 名 稱 | 參數值 |
|---|---|
| number of sediment species (nsspc) | 1 |
| coherent packing fraction | 0.8 |
| critical packing fraction (scrfcr) | 0.9 |
| diameter (ssdia) | 0.28 mm |
| density (rhfss) | 2650 kg/m$^3$ |
| coeff. of drag for drift (ssdfcd) | 0.5 |
| entrainment factor (ssentrf) | 0.018 |
| bed-load factor (ssbdlf) | 8 |
| angle of repose (ssang) | 32 |
| critical Shields number (sscrt) | 0.05 |

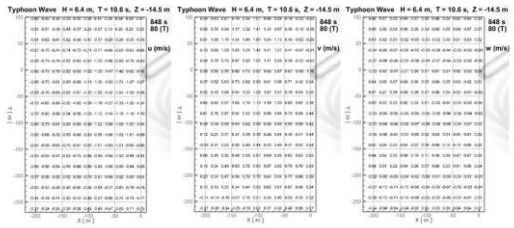
## 四、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的數值模擬

### 3. 數值模擬初步成果




## 四、潮流作用下臺中港堤頭侵蝕機制的數值模擬

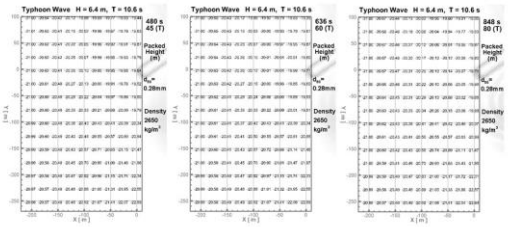
### 3. 數值模擬初步成果



麥寮工業港北側海域第80入射波浪引發u、v、w方向的流速變化分布

## 四、潮流作用下臺中港堤頭侵蝕機制的數值模擬

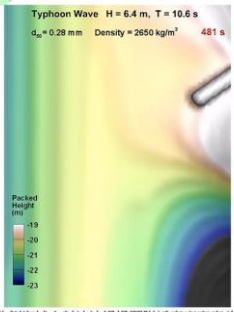
### 3. 數值模擬初步成果



麥寮北側海域第45至80個入射波波場堤頭附近底床高度分布圖

## 四、潮流作用下臺中港堤頭侵蝕機制的數值模擬

### 3. 數值模擬初步成果




麥寮北側海域入射波波場堤頭附近底床高度分布圖

## 四、潮流作用下臺中港堤頭侵蝕機制的數值模擬

### 4. 初步結論

1. 利用FLOW-3D對麥寮工業港防波堤堤頭附近海域進行動床波場數值模擬，計算範圍1.5 km × 2.5 km，其底床邊界均採用附近海域實測地形資料，海象條件為50年期颱風，設定北側為入射波浪邊界，模擬時間以成熟波完成傳遞該計算海域為考量。

2. 分析麥寮工業港，波高6.4 m、週期10.6 s的極端颱風波浪條件，計算造波週期80個的波場以及波浪引發的流場變化。以西防波堤堤頭為原點，以北側海域入射波而言，波浪受西防波堤北側阻擋形成反射波，大幅增長了此海域的波高，亦提高了波場下的流速。藉由模擬波場、波浪引發的流場，至今對堤頭近域的流體動力狀態已有初步認識，未來進一步的數值模擬，將進一步探討分析波場流速u、v、w與底床淘刷區底床高程變化。



## 五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗

### 1. 試驗條件與比尺

試驗項目：

- 波浪作用下防波堤堤頭附近波場分佈
- 波浪作用下防波堤堤頭附近流場分佈
- 波浪作用下防波堤堤頭附近掏刷現象
- 波浪作用下防波堤堤頭侵蝕防致工法

1. 波浪條件

季風波浪:以平均潮位 (+0.35 cm) N向 H=2.65cm T=0.632s 進行試驗

颱風波浪:以大潮平均高潮位 (+2.1 cm) N向 H=6.4cm T=1.06s 進行試驗

高程0點離底床50cm。

2. 試驗比尺

各物理量之模型比尺：水平比尺λ=1/100、垂直比尺μ=1/100、

時間比尺λt=1/10、速度比尺λv=1/10。



## 五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗

### 2. 試驗設備與儀器

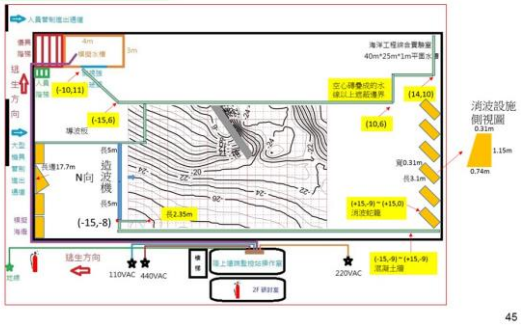
- 試驗設備儀器(國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系海洋工程綜合實驗室之平面試驗水池)





## 五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗

### 3. 模型佈置與試驗步驟



## 五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗

### 3. 模型佈置與試驗步驟

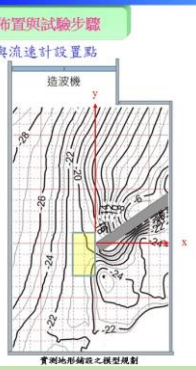


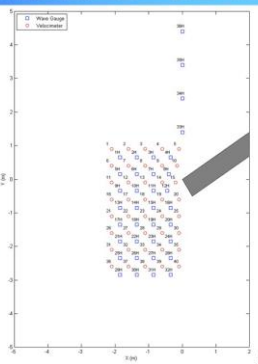
46

## 五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗

### 3. 模型佈置與試驗步驟

波高計與流速計設置點



實測地形鋪設之模型規劃

47

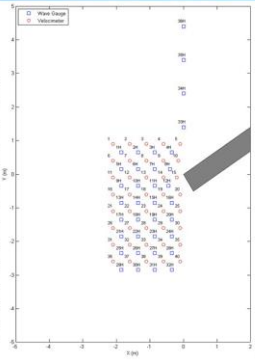
## 五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗

### 3. 模型佈置與試驗步驟

波高計量測點(□)

| site | X(m) | y(m) | site | x(m) | y(m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1H | -1.85 | 0.65 | 21H | -1.85 | -1.85 |
| 2H | -1.35 | 0.65 | 22H | -1.35 | -1.85 |
| 3H | -0.85 | 0.65 | 23H | -0.85 | -1.85 |
| 4H | -0.35 | 0.65 | 24H | -0.35 | -1.85 |
| 5H | -1.85 | 0.15 | 25H | -1.85 | -2.35 |
| 6H | -1.35 | 0.15 | 26H | -1.35 | -2.35 |
| 7H | -0.85 | 0.15 | 27H | -0.85 | -2.35 |
| 8H | -0.4 | 0.15 | 28H | -0.35 | -2.35 |
| 9H | -1.85 | -0.35 | 29H | -1.85 | -2.85 |
| 10H | -1.35 | -0.35 | 30H | -1.35 | -2.85 |
| 11H | -0.85 | -0.35 | 31H | -0.85 | -2.85 |
| 12H | -0.45 | -0.35 | 32H | -0.35 | -2.85 |
| 13H | -1.85 | -0.85 | 33H | 0 | 1.4 |
| 14H | -1.35 | -0.85 | 34H | 0 | 2.4 |
| 15H | -0.85 | -0.85 | 35H | 0 | 3.4 |
| 16H | -0.35 | -0.85 | 36H | 0 | 4.4 |
| 17H | -1.85 | -1.35 | 37H | 0 | 5.4 |
| 18H | -1.35 | -1.35 | 38H | 0 | 7.6 |
| 19H | -0.85 | -1.35 | 39H | 0 | 8.6 |
| 20H | -0.35 | -1.35 | 40H | 0 | 9.6 |
| | | | 41H | 0 | 12.6 |

波高計測點座標表



48

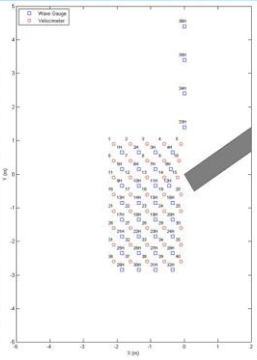
## 五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗

### 3. 模型佈置與試驗步驟

流速計設置點(○)

| site | X(m) | y(m) | site | x(m) | y(m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -2.1 | 0.9 | 21 | -2.1 | -1.1 |
| 2 | -1.6 | 0.9 | 22 | -1.6 | -1.1 |
| 3 | -1.1 | 0.9 | 23 | -1.1 | -1.1 |
| 4 | -0.6 | 0.9 | 24 | -0.6 | -1.1 |
| 5 | -0.1 | 0.9 | 25 | -0.1 | -1.1 |
| 6 | -2.1 | 0.4 | 26 | -2.1 | -1.6 |
| 7 | -1.6 | 0.4 | 27 | -1.6 | -1.6 |
| 8 | -1.1 | 0.4 | 28 | -1.1 | -1.6 |
| 9 | -0.6 | 0.4 | 29 | -0.6 | -1.6 |
| 10 | -0.15 | 0.4 | 30 | -0.1 | -1.6 |
| 11 | -2.1 | -0.1 | 31 | -2.1 | -2.1 |
| 12 | -1.6 | -0.1 | 32 | -1.6 | -2.1 |
| 13 | -1.1 | -0.1 | 33 | -1.1 | -2.1 |
| 14 | -0.6 | -0.1 | 34 | -0.6 | -2.1 |
| 15 | -0.2 | -0.1 | 35 | -0.1 | -2.1 |
| 16 | -2.1 | -0.6 | 36 | -2.1 | -2.6 |
| 17 | -1.6 | -0.6 | 37 | -1.6 | -2.6 |
| 18 | -1.1 | -0.6 | 38 | -1.1 | -2.6 |
| 19 | -0.6 | -0.6 | 39 | -0.6 | -2.6 |
| 20 | -0.1 | -0.6 | 40 | -0.1 | -2.6 |

流速計測點座標表



49

## 五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗

### 4. 試驗量測與分析

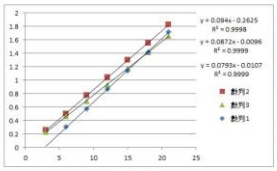
波高計與流速計校正

波高計每3公分進行量測，線性迴歸結果如下左圖。

將波高計及流速計架設於造波機前2.4m處，流速計量測目標為水槽底床上35cm

利用季風波浪條件進行波高及流速量測。

季風波浪條件經縮尺換算後H=2.65cm，T=0.632sec，平均潮位+0.35cm




波高計校正



入射波高計及流速計架設

50

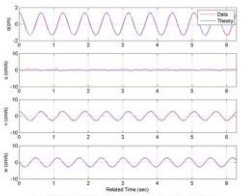
## 五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗

### 4. 試驗量測與分析

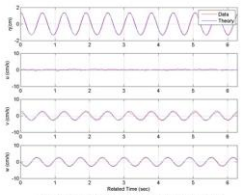
流速計與波高計校正

波長 $L=1.56T^2=0.623m$

檢查 $h/L=0.808>0.5$ 故滿足深水波條件




波形與流速計(no.361)實測與理論值校正




波形與流速計(no.381)實測與理論值校正

51

## 五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗

### 4. 試驗量測與分析

流速計與波高計校正

N向季風波浪 H=2.65cm T=0.632s

平均潮位 (+0.35 cm)

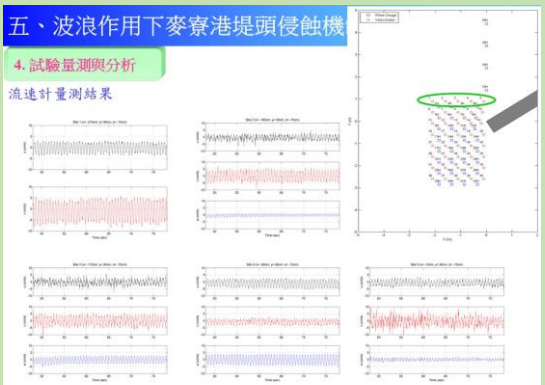


52

## 五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機

### 4. 試驗量測與分析

流速計量測結果

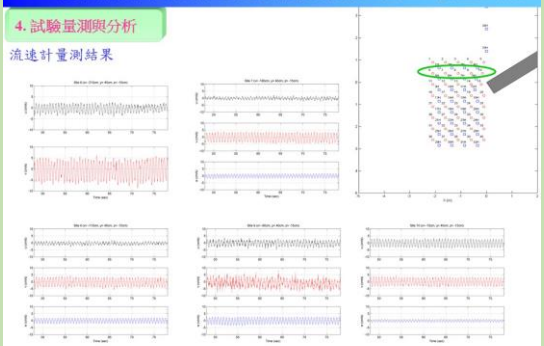


53

五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗

4. 試驗量測與分析

流速計量測結果

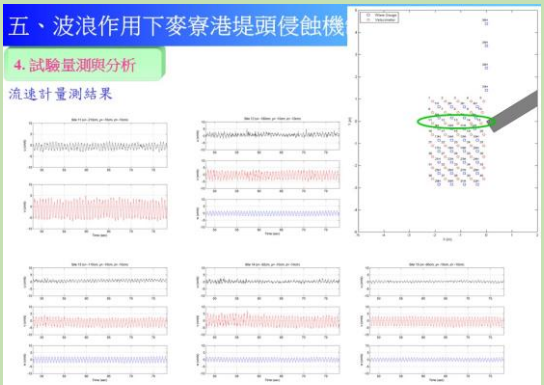


54

五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機

4. 試驗量測與分析

流速計量測結果

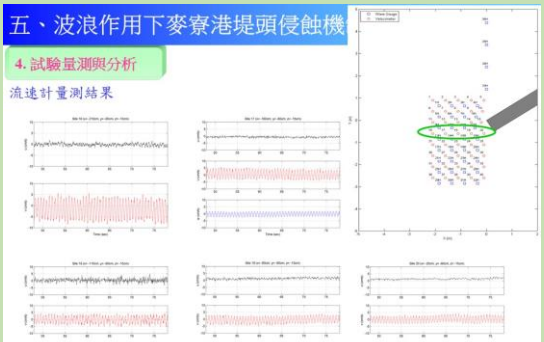


55

五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機

4. 試驗量測與分析

流速計量測結果

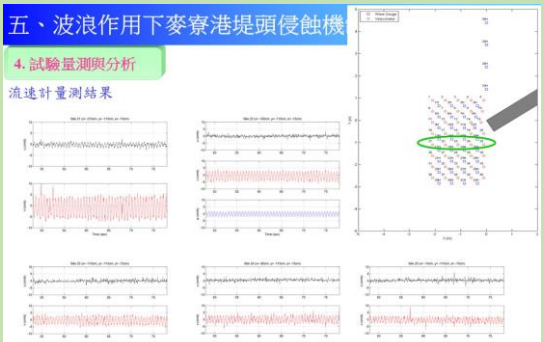


56

五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機

4. 試驗量測與分析

流速計量測結果

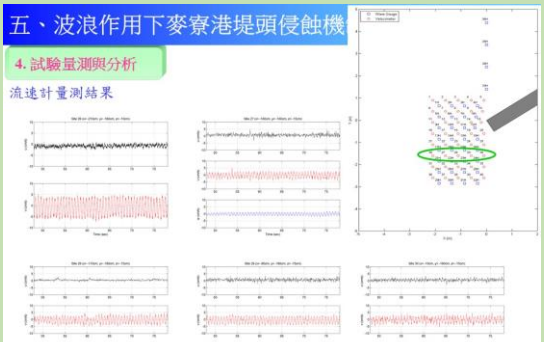


57

五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機

4. 試驗量測與分析

流速計量測結果

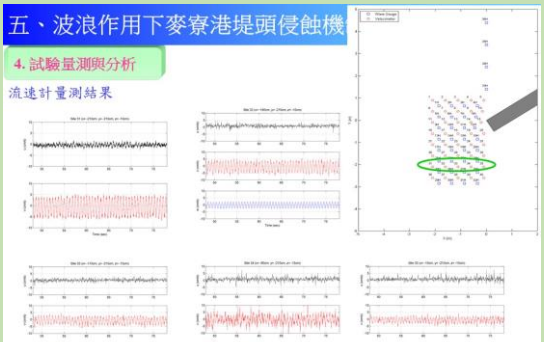


58

五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機

4. 試驗量測與分析

流速計量測結果

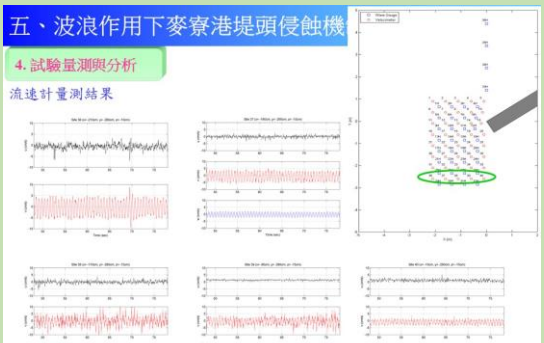


59

五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機

4. 試驗量測與分析

流速計量測結果



60

五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗

4. 試驗量測與分析

N向季風波浪 H=2.65cm T=0.632s

平均潮位 (+0.35 cm)

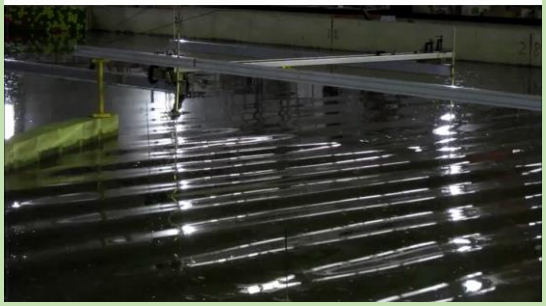


五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗

4. 試驗量測與分析

N向季風波浪 H=2.65cm T=0.632s

平均潮位 (+0.35 cm)

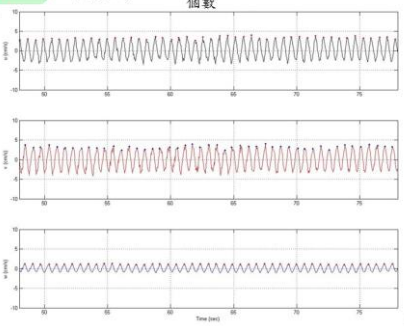


五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗

4. 試驗量測與分析

峰值平均= 峰值總和 / 個數

流速計量測分析

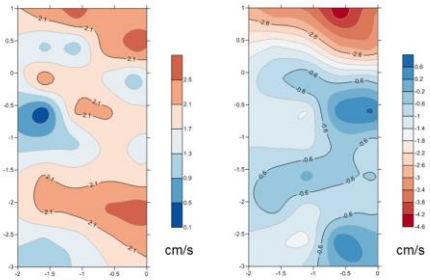


63

五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗

4. 試驗量測與分析

流速計量測分析

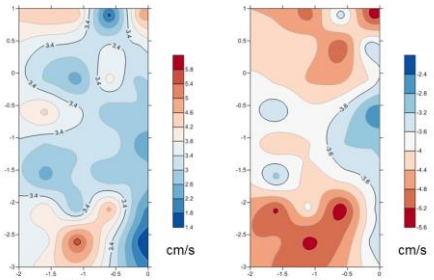



64

五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗

4. 試驗量測與分析

流速計量測分析

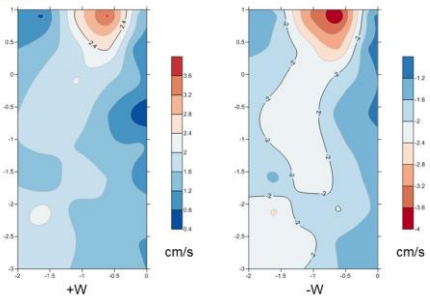



65

五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗

4. 試驗量測與分析

流速計量測分析

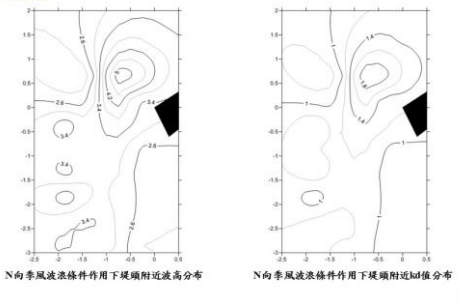



66

五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗

4. 試驗量測與分析

波高計量測結果



N向季風波浪條件作用下堤頭附近波高分布

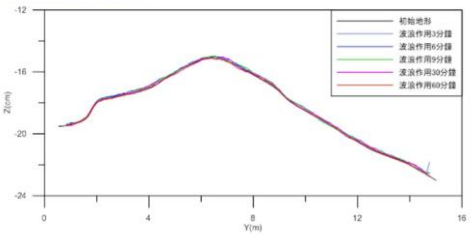
N向季風波浪條件作用下堤頭附近kd值分布

67

五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗

4. 試驗量測與分析

防波堤堤頭附近地形變化



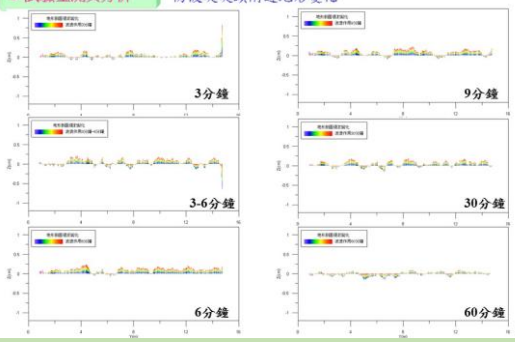

波浪作用下之地形剖面變化

68

五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗

4. 試驗量測與分析

防波堤堤頭附近地形變化




69

## 五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗

### 5. 堤頭侵蝕防制工法

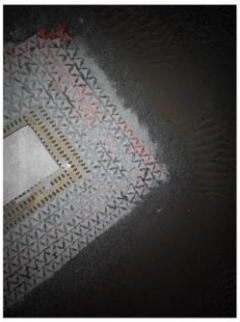
N向季風波浪 H=2.65cm T=0.632s
平均潮位 (+0.35 cm)



## 五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗

### 5. 堤頭侵蝕防制工法

N向颱風波浪 H=6.4cm T=1.06s
大潮平均高潮位 (+2.1 cm)
發現卵礫石有位移，
消波塊有鬆動現象



颱風波浪作用2分鐘之堤頭保護工變化

71

## 五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗

### 6. 初步結論

1. N向季風波浪入射條件下滿足深水波條件，利用理論校驗三維流速計實測值相當一致。N向季風波浪發生折射後在直立堤前形成重複波，實測kd值可達1.8，另部分作用於堤壁後折向SW。堤前有較大流速及輕微侵蝕，型態類似重複波造成之N型掏刷。因季風波浪波高較小，長時間作用下對實驗區-18m~-24m水深之地形變化不明顯。

2. 以N向波浪入射而言，堤頭北方及其西南方是兩能量較集中的區域，而堤頭北方水深較淺且重複波現象明顯，若要減少反射波能可考慮拋置消波塊至水線以上。預期颱風波浪作用下堤頭堤趾將會侵蝕，在不增加堤趾保護工寬度的情況下，若以沙腸袋等拋置，因其比重較低，是否安定將是實驗重點。

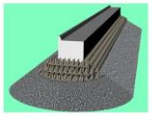
72

## 六、防制工法數值模擬與水工模型試驗的驗證

### 1. 數值模擬與模型試驗條件

防制工法數值模型模擬項目

| 項次 | 底床特性 | 起始地形 | 波浪條件 | 相對護基寬度 | 模擬現象 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 動床 | 無沖刷洞 | H=2.65 cm<br>T=0.632 s | 原始護基 | 波場 |



原護基寬度(40m)

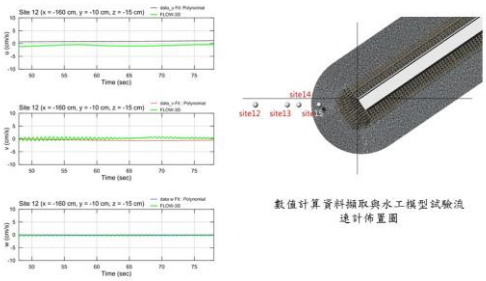
防制工法水工模型試驗項目

| 項次 | 底床特性 | 起始地形 | 潮流條件 | 相對護基寬度 | 觀測現象 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 動床 | 無沖刷洞 | H=2.65 cm<br>T=0.632 s | 原始護基 | 波場 |

73

## 六、防制工法數值模擬與水工模型試驗的驗證

### 2. 初步結果比對




數值計算資料擷取與水工模型試驗流速計佈置圖

原始護基寬度之數值計算與水工實驗初步結果比對(離靜水位-15cm)

## 簡報完畢
## 敬請指正



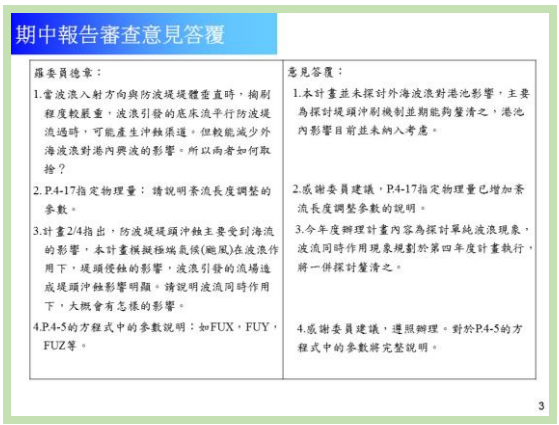
75

# 附錄四 期末簡報資料

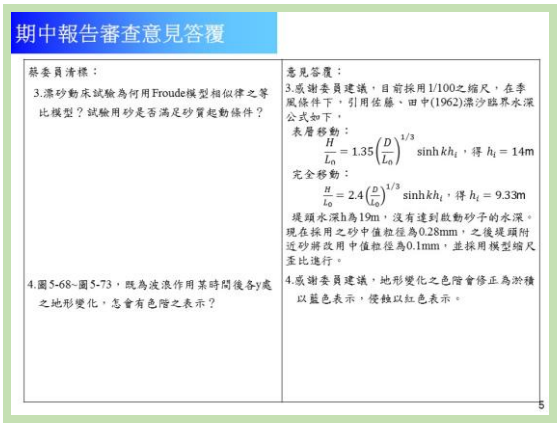

交通部運輸研究所港灣技術研究中心
Harbor & Marine Technology Center, I.O.T.,M.O.T.C.
港灣防波堤堤頭三維沖蝕特性及防制機制之研究（3/4）
期 末 簡 報
計畫主持人：李忠潘 教授
簡報人：曾以帆、李芳承、林義復、胡惟均
國立中山大學
中華民國 104 年 11 月 19 日


簡 報 綱 要
一、前 言
二、堤頭侵蝕現況的特性研究
三、水深地形與潮波流調查資料分析
四、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的數值模擬
五、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗
六、防制工法數值模擬與水工模型試驗的驗證
1


期中報告審查意見答覆
郭委員一羽：
1.波浪為不規則波，數值或水工只考慮一種周期的波浪，是否有所不足？模擬結果是否可曾產生大坑洞？此坑洞現象是否多重機制，如季風、颱風、長波、短波共同產生？
2.防制工法有何策略？此部份與發生原因的探討似乎未有連結。
意見答覆：
1.目前試驗與數值規劃為探討規則波季風浪與颱風浪，波浪是否能引起沖刷坑，與其機制探討一直為本計畫努力目標，感謝委員意見。
2.堤頭沖刷機制為釐清前，目前提出防制工法實較為有效提出，試驗僅就堤趾保護工或沙腸帶進行之，是否為有效方法，待未來機制釐清後，能進一步深入探討。
李委員兆芳：
1.現場資料分析結果夏季淤積冬季侵蝕，似乎有波浪之特性，顯然波浪受結構的影響產生水流之現象明顯。
2.數值模擬結果是否有達到穩定結果之趨勢。
3.實試由試驗當中觀察波浪通過堤頭是否產生沿堤方向之水流。
1.波浪引發之流的特性是否於堤頭造成影響，且扮演重要機制，將於期末探討之說明之。
2.感謝委員建議，數值模擬將加強底質參數的調整已期達到穩定的結果。
3.遵照委員建議，於堤頭附近放置水下攝影拍攝並觀察現象。
2


期中報告審查意見答覆
羅委員德章：
1.當波浪入射方向與防波堤堤體垂直時，掏刷程度較嚴重，波浪引發的底床流平行防波堤流過時，可能產生沖蝕渠道。但較能減少外海波浪對港內興波的影響。所以兩者如何取捨？
2. P.4-17指定物理量：請說明黍流長度調整的參數。
3.計畫2/4指出，防波堤堤頭沖蝕主要受到海流的影響，本計畫模擬極端氣候(颱風)在波浪作用下，堤頭侵蝕的影響，波浪引發的流場造成堤頭沖蝕影響明顯。請說明波流同時作用下，大概會有怎樣的影響。
4.P.4-5的方程式中的參數說明：如FUX，FUY，FUZ等。
意見答覆：
1.本計畫並未探討外海波浪對港池影響，主要為探討堤頭沖刷機制並期能夠釐清之，港池內影響目前並未納入考慮。
2.感謝委員建議，P.4-17指定物理量已增加黍流長度調整參數的說明。
3.今年度辦理計畫內容為探討單純波浪現象，波流同時作用現象規劃於第四年度計畫執行，將一併探討釐清之。
4.感謝委員建議，遵照辦理。對於P.4-5的方程式中的參數將完整說明。
3


期中報告審查意見答覆
蔡委員清標：
1.P.1-13，海堤沖刷建議增加Tsai et al. (2009)在ASCE期刊之文獻。
2.目前數值模擬僅考慮波浪為驅動力的模擬，為何尚不考慮流或波-流作用的模擬，建議有所說明。而波浪為何僅考慮單一波向短期之颱風波浪條件？依圖2-39，冬季波浪長期引致之地形變遷，或許亦應予模擬。
意見答覆：
2.遵照委員建議增加ASCE期刊之文獻：Tsai, C.P.*, Chen, H.B. and You, S.S., "Toe Scour of Seawall on a Steep Seabed by Breaking Waves," Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, vol.2, no.135, pp.61-68, 2009.
2. (1)謝謝委員建議，將補充對於波、流、波-流作用模擬的計畫執行年度與進度的說明。(2)本計畫(1/4)已經完成麥寮港堤頭北向、南向與西向入射波的定床模擬，分析結果顯示北向入射波淘刷趨勢明顯高於南向與西向。(3)增加冬季波浪條件淘刷模擬。
4


期中報告審查意見答覆
蔡委員清標：
3.漂砂動床試驗為何用Froude模型相似律之等比模型？試驗用砂是否滿足砂質起動條件？
4.圖5-68~圖5-73，既為波浪作用某時間後各y處之地形變化，怎會有色階之表示？
意見答覆：
3.感謝委員建議，目前採用1/100之縮尺，在季風條件下，引用佐藤、田中(1962)漂沙臨界水深公式如下，
表層移動：
$\frac{H}{L_0}=1.35\left(\frac{D}{L_0}\right)^{1/3}\sinh kh_i$，得 $h_i=14\text{m}$
完全移動：
$\frac{H}{L_0}=2.4\left(\frac{D}{L_0}\right)^{1/3}\sinh kh_i$，得 $h_i=9.33\text{m}$
堤頭水深h為19m，沒有達到啟動砂子的水深。現在採用之砂中值粒徑為0.28mm，之後堤頭附近砂將改用中值粒徑為0.1mm，並採用模型縮尺等比進行。
4.感謝委員建議，地形變化之色階會修正為淤積以藍色表示，侵蝕以紅色表示。
5

## 期中報告審查意見答覆

| 委員意見 | 意見答覆 |
|---|---|
| 蔡委員立宏：<br>1.現場觀測資料收集及分析詳細，除說明現象外，建議多探討原因。<br>2.目前數值模擬與水工模型試驗均針對波浪作探討，是否認定波浪為造成沖刷坑主要動力其他海流因素是否考量。<br>3.參寮港堤頭沖刷夏優冬淤反覆作用，長期趨勢預期如何？是否回淤回來。<br>4.是否進行漂沙預備試驗？預計如何進行？ | 1.感謝委員建議，目前數值模擬係根據計畫年度分別進行波、流、波-流泥合模擬，以探討沖刷機制。<br>2.目前從2007年後觀測資料呈現夏優冬淤反覆未來趨勢是否能呈現如是，能仍需參寮港長期資料佐證並分析探討是否已呈現穩定。<br>3.感謝委員建議，模型縮尺會更改為至比縮尺<br>4.感謝委員建議，目前地形尚無明顯變化，未來會更改為至比縮尺進行，若有產生漂沙現象，將會進行漂沙預備試驗。 |

6

## 一、前言

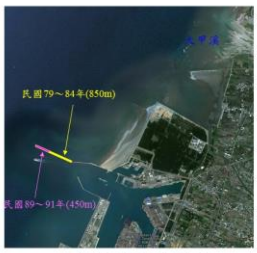
### 1. 計畫緣起與目的

- 波浪或海流通過防波堤堤頭時，因波浪及海潮流的集中、下沖或轉向等造成堤頭沖蝕，導致結構基礎的破壞或傾倒。以參寮港為例，北防波堤堤頭原設計水深為-22m，目前堤基被沖刷的深度可達26m。造成防波堤堤頭沖蝕的原因與機制未明確，需進一步的觀察與研究，以提出有效的防制對策。
- 本研究以台中港及參寮港為對象，分年進行堤頭附近波、流場及地形變化特性與機制的觀測、分析與模擬。透過背景資料收集分析、海象及海底地形量測、數值模擬及水工模型試驗等，探討防波堤堤頭附近流況、水動力及沖刷機制，進而研擬適當對策。

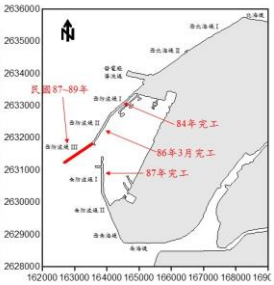
7

## 一、前言

### 2. 研究範圍




臺中港北防波堤延伸歷程圖




參寮工業區各區段海堤位置圖

8

## 一、前言

### 3. 工作項目

本研究全期共計四年，第三年度(104年)工作項目：

1. 台中港及參寮工業港堤頭侵蝕現況的特性研究－基本資料收集與分析。
2. 防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性－堤頭地形量測與侵蝕分析、波流場的現場觀測。
3. 建立堤頭侵蝕機制的數值模擬模式－參寮港波浪作用下數值模擬。
4. 水工模型試驗的驗證－參寮港波浪作用下定床三維水工模型試驗。
5. 防制工法的數值模擬與水工模型試驗的驗證－驗證參寮港波浪作用下堤頭侵蝕防制工法。

| 第一年度(102年)(已完成) | 第二年度(103年)(已完成) | 第四年度(105年)： |
|---|---|---|
| 1. 台中及參寮港堤頭地形、波流場量測分析<br>2. 台中港波浪數值模擬<br>3. 台中港波浪水工模型試驗<br>4. 驗證台中港波浪堤頭侵蝕防制工法 | 1. 台中港潮流數值模擬<br>2. 台中港潮流水工模型試驗<br>3. 驗證台中港潮流堤頭侵蝕防制工法 | 1. 參寮港潮流數值模擬<br>2. 參寮港潮流水工模型試驗<br>3. 驗證參寮港潮流堤頭侵蝕防制工法<br>4. 堤頭防制工法效益評估 |

9

## 二、堤頭侵蝕現況特性研究

### 2. 麥寮海域

- 海、氣、地象觀測基本資料：成大水工試驗所於雲林縣離島工業區附近海域設立觀測站，包含氣象(THL1、THL2B)、海象(THL1、THL2B、YLCW、YLW5)、水文及地形等調查資料。

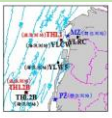



參寮港海氣象觀測站位置圖(成大水工所，2010)

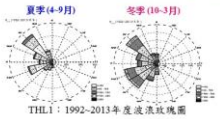
10

## 二、堤頭侵蝕現況特性研究

### 2. 麥寮海域 (波浪)

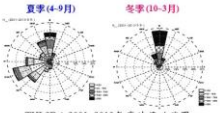


- THL1 (1992~2013年)：
  - ✓ 夏季(4至9月)：示性波高0.74~1.24 m；主要入射方向為NW、WSW；最大波高為5.44m、對應週期5.90s。
  - ✓ 冬季(10月至隔年3月)：示性波高1.19~2.03 m；波向介於NW、WSW~SW；最大波高為4.20m、對應週期6.50s。




THL1：1992~2013年度波浪玫瑰圖

- THL2B (2001~2013年)：
  - ✓ 夏季(4至9月)：示性波高0.64~1.83 m；主要入射方向為N、WSW；最大波高為5.67m、對應週期7.40s、波向為WNW向。
  - ✓ 冬季(10月至隔年3月)：示性波高2.04~3.55 m；冬季波向以N為主；最大波高為6.37m、對應週期7.20s、波向為NNW向。




THL2B：2001~2013年度波浪玫瑰圖

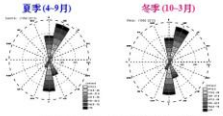
11

## 二、堤頭侵蝕現況特性研究

### 2. 麥寮海域 (海流)



- YLCW (1992~2013年)
  - ✓ 夏季(4至9月)：平均流速在38.4~50.8 cm/sec，流向以N~NNW和S~SSE為主；最大流速為209.8 cm/sec，流向為S向。
  - ✓ 冬季(10月至隔年3月)：平均流速在37.9~52.6 cm/sec，主要流向N~NNW和S~SSE；最大流速為235.8 cm/sec，流向為NNE向。
  - ✓ 全年度：平均流速在38.1~43.8 cm/sec。主要流向為NNE向和S向。




YLCW：1992~2013年度海流玫瑰圖

12

## 二、堤頭侵蝕現況特性研究

### 2. 麥寮海域 (潮位)

- 雲林海域屬於半日潮，雲林海岸共設有三潮位站，包括參寮站、三條崙站(目前已停測)及箔子寮站。參寮潮位站之平均潮差為2.70 m，大潮平均潮差為3.72 m，為三站最大者。其次為三條崙潮位站，平均潮差為2.22 m，大潮平均潮差為3.27 m。

雲林海域各潮位站之潮位統計值

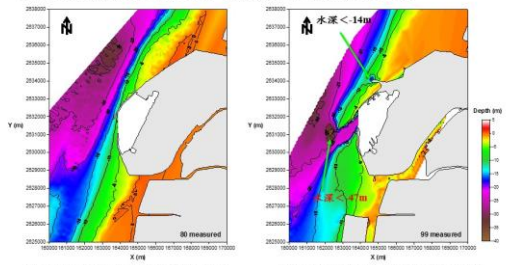
| 測站名稱 | 箔子寮 | 三條崙 | 參寮 |
|---|---|---|---|
| 測位 | 2002~2009年 | 1983~1990年 | 1998~2008年 |
| 最高高潮位(HHWL) | +2.34 | +2.43 | +2.56 |
| 大潮平均高潮位(HWOST) | N/A | +1.79 | +2.10 |
| 平均高潮位(MHWL) | +1.51 | +1.42 | +1.74 |
| 平均潮位(MWL) | +0.39 | +0.30 | +0.35 |
| 平均低潮位(MLWL) | -0.63 | -0.80 | -0.96 |
| 大潮平均低潮位(LWOST) | N/A | -1.48 | -1.62 |
| 最低低潮位(LLWL) | -2.84 | -2.42 | -2.09 |
| 平均潮差(MR) | 2.14 | 2.22 | 2.70 |
| 大潮平均潮差(STR) | N/A | 3.27 | 3.72 |

13

## 二、提頭侵蝕現況特性研究

### 2. 麥寮海域 (地形)

- 北防波堤堤頭原設計水深為 -22m，目前堤基被沖刷的深度可達 26m。

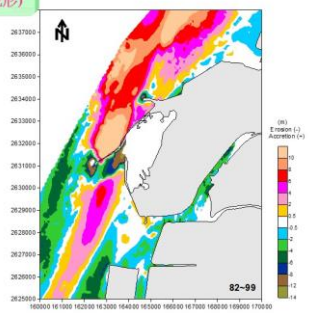



離島工業區海域實測地形圖(民國80年)　離島工業區海域實測地形圖(民國99年)

14

## 二、提頭侵蝕現況特性研究

### 2. 麥寮海域 (地形)

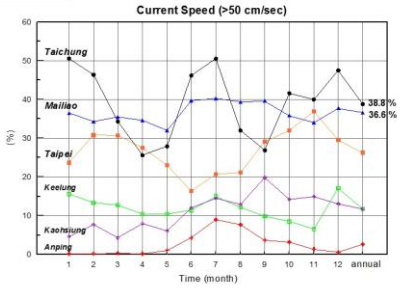



82-99年間實測地形侵淤變化

15

## 二、提頭侵蝕現況特性研究

### 3. 沖蝕與海流關係



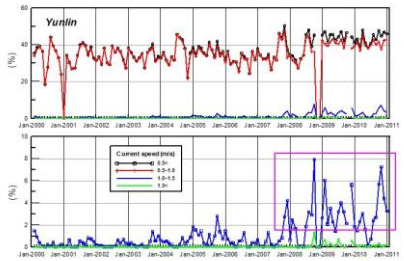

六大港海域歷年流速大於50cm/sec發生機率圖 (2000~2008)

16

## 二、提頭侵蝕現況特性研究

### 3. 沖蝕與海流關係

- 麥寮港於2000~2007年間流速超過二節的發生機率小於2%，2007年後以後流速超過二節發生機率增加到2~8%。



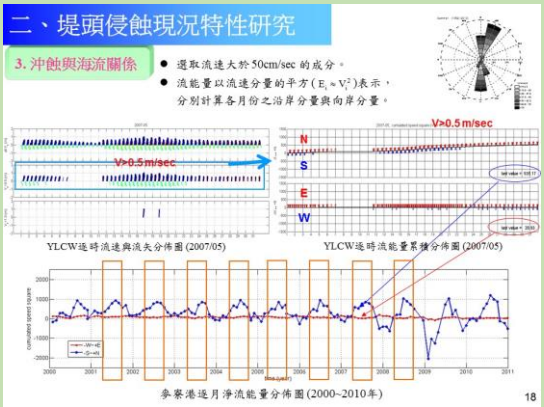

麥寮港2000~2010年流速分佈發生機率圖

17

## 二、提頭侵蝕現況特性研究

### 3. 沖蝕與海流關係

- 選取流速大於 50cm/sec 的成分。
- 流能量以流速分量的平方 ($E_x \propto V_x^2$)表示，分別計算各月份之沿岸分量與向岸分量。




YLCW逐時流速與流矢分佈圖 (2007/05)　YLCW逐時流能量累積分佈圖 (2007/05)



麥寮港逐月淨流能量分佈圖 (2000~2010年)

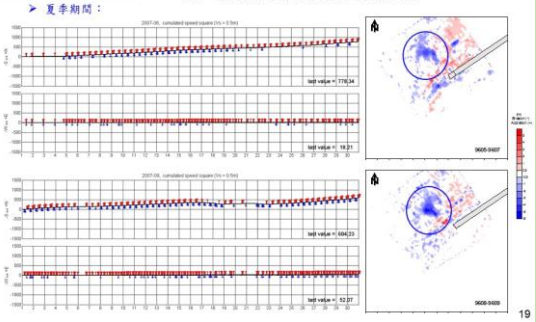
18

## 二、提頭侵蝕現況特性研究

### 3. 沖蝕與海流關係

- 以麥寮工業區專用港管理公司 96/04～101/04 期間36筆堤頭地形資料，與同期間麥寮港海流資料進行關聯比對。

➢ 夏季期間：

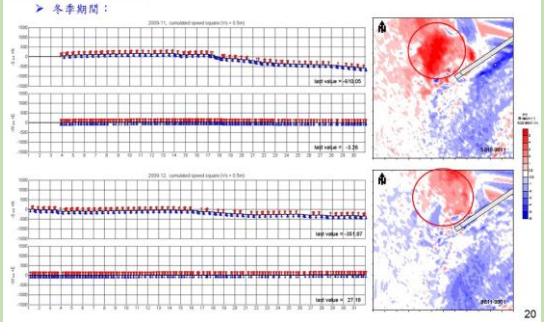


19

## 二、提頭侵蝕現況特性研究

### 3. 沖蝕與海流關係

➢ 冬季期間：

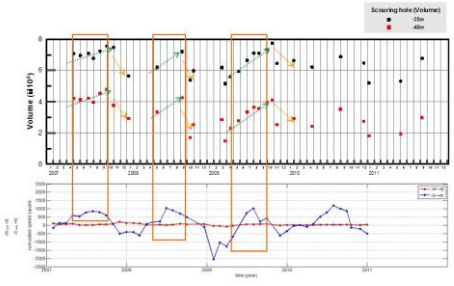


20

## 二、提頭侵蝕現況特性研究

### 3. 沖蝕與海流關係

- 以麥寮工業區專用港管理公司 96/04～101/04 期間36筆堤頭地形資料，與同期間麥寮港淨流能量進行關聯比對。




21

## 三、水深地形與潮波流調查資料分析

### 1.堤頭地形調查與特性分析

- 測量範圍：麥寮工業區專用港西防波堤堤頭約1公里平方之範圍，所涵蓋範圍約以堤頭剔深處為中心點。
- 測量頻率(施測二次)：水深地形測量以多音束測深系統進行，覆蓋率100%。
- 測量控制系統：平面控制系統採用台灣二度分帶97坐標系統(TWD97)，高程控制採用基隆中潮一等水準系統(TWVD2001)。

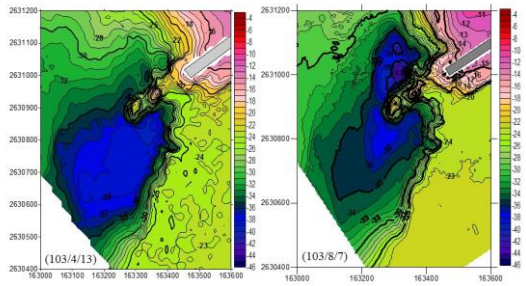



麥寮港西防波堤堤頭地形監測範圍示意圖

22

## 三、水深地形與潮波流調查資料分析

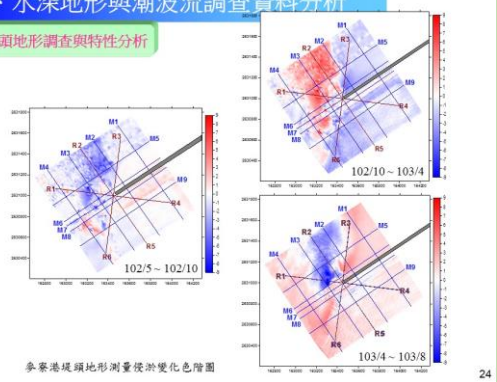
### 1.堤頭地形調查與特性分析




23

## 三、水深地形與潮波流調查資料分析

### 1.堤頭地形調查與特性分析



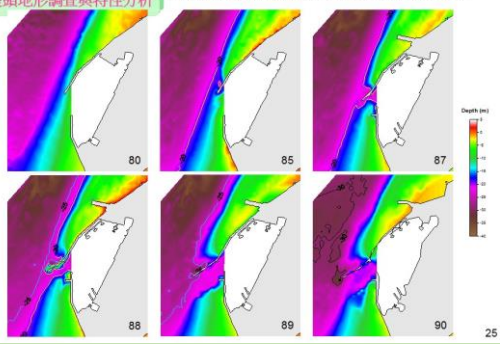

麥寮港堤頭地形測量侵淤變化色階圖

24

## 三、水深地形與潮波流調查資料分析

### 1.堤頭地形調查與特性分析

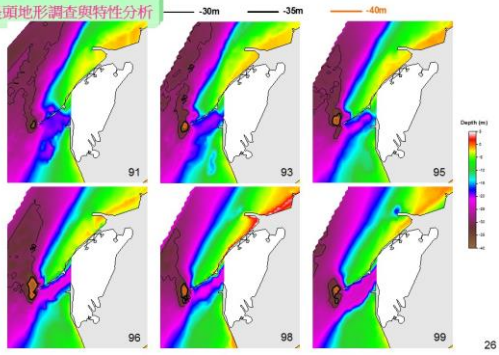
- 成大水工所與中興工程顧問公司於雲嘉海域之大範圍地形測量。




25

## 三、水深地形與潮波流調查資料分析

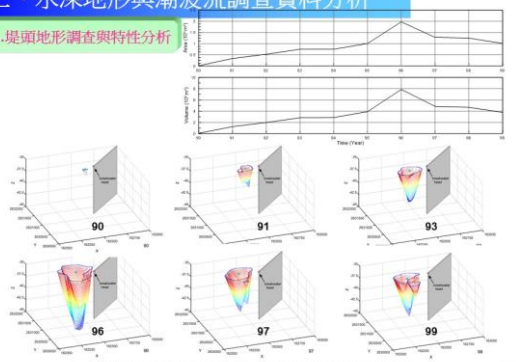
### 1.堤頭地形調查與特性分析




26

## 三、水深地形與潮波流調查資料分析

### 1.堤頭地形調查與特性分析



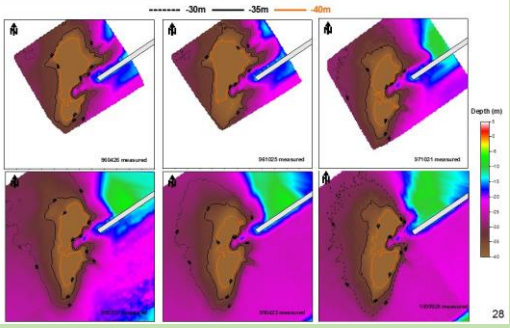

麥寮港西防波堤堤頭海域-35m沖刷洞地形變化圖(90~99年)

27

## 三、水深地形與潮波流調查資料分析

### 1.堤頭地形調查與特性分析

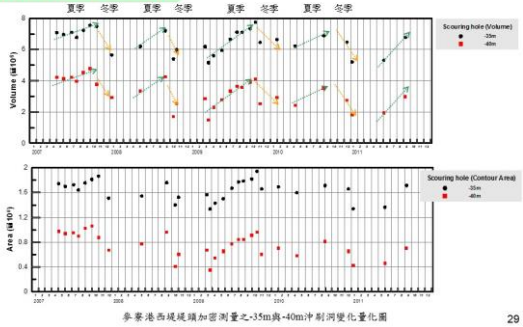
- 麥寮工業區專用港管理公司自96/04至101/04六年期間共進行36次堤頭與航道地形測量。




28

## 三、水深地形與潮波流調查資料分析

### 1.堤頭地形調查與特性分析




麥寮港西堤堤頭加密測量之-35m與-40m沖刷洞變化量化圖

29

## 三、水深地形與潮波流調查資料分析

### 2.堤頭波流場觀測與分析

- 測量範圍與內容：於麥寮港西防波堤堤頭附近各擇取一處施測，設置1個定點潮波流觀測儀器(ADCP)，同步觀測波浪、水位、流速與流向。
- 測量日期：麥寮港103年4月9日至5月1日止共22天。
- 測量方式：採自記式潮波流儀RDI ADCP，佈放時以DGPS作定位，以底錠方式安置。




麥寮港西防波堤堤頭潮波流監測位置示意圖

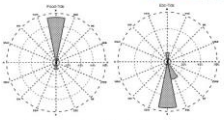


## 三、水深地形與潮波流調查資料分析

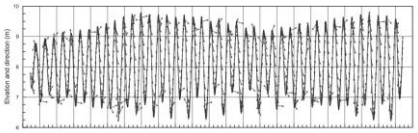


### 2.堤頭波流場觀測與分析

- 潮汐：
  - 麥寮港海域潮汐屬於半日潮潮型。
  - 實測潮位統計(以當地平均潮位為基準)：平均水深為8.030m 。最大水深9.786m(4 月 15 日 23 時)，最小水深6.216m(4 月 30 日 17 時)，最大潮差3.502m 。



ML測站漲、退潮段流向玫瑰圖
(103年4/09~5/01)



ML測站實測潮汐水位變化圖 (103年4/09~5/01)

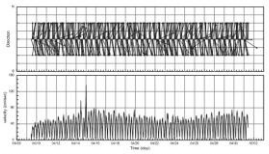


## 三、水深地形與潮波流調查資料分析



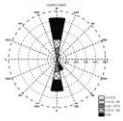
### 2.堤頭波流場觀測與分析

- 海流：
  - 表層：平均流速 42.5cm/sec，主要流向 N，最大值為153.7cm/sec (SSE向)。流速分佈以大於37.5 cm/sec為主，發生機率為50.54%。
  - 底層：平均流速 36.4 cm/sec，主要流向N，最大值為135.3 cm/sec (SSE向)。流速分佈以大於37.5 cm/sec為主，發生機率為58.79%。

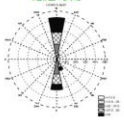


ML測站底層流速與流向變化圖 (103年04/09~05/01)

表層海流



底層海流



103年4/9~5/1 (單位：cm/sec)

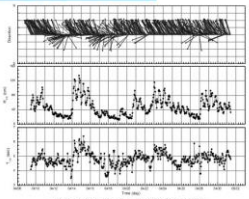
麥寮港海域流速流向玫瑰圖



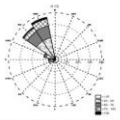
## 三、水深地形與潮波流調查資料分析

### 2.堤頭波流場觀測與分析

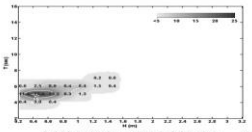
- 波浪：
  - 主要波向為NNW、NW，示性波高為75.0 cm，示性週期為5.12 sec。
  - 平均波高47.0 cm，平均週期4.81 sec。
  - 最大波高135.0cm，週期6.10 sec，波向為NW (4月14日18時)。



麥寮港波向、波高、週期時序列圖



波高分佈玫瑰圖(103年4/9~5/1) (單位：cm)



麥寮港示性波高、週期聯合機率分佈圖



## 四、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的數值模擬

### 1. 模式介紹

- 1985 年 Flow-3D® 商業版流體分析軟體正式推出，主要核心技術：多重區塊網格(Multi-Block Grids)、FAVOR 障礙物體積分率表示法、VOF自由液面處理法，適合處理流體和固體耦合運動的模型模擬計算。基於Navier-Stokes Equation之連續方程式、動量方程式等完整的理論基礎及數值結構，已廣泛應用於不同領域，如航太工業、水利與環境工程等。
- 藉由選擇適當之潮流水動力、泥沙及波浪等計算模組，FLOW-3D 亦適用於海岸、港灣工程領域之模擬。
- 今年度主要工作內容：模擬麥寮港防波堤堤頭附近海域波場與地形變化的時空分佈和演變。

## 四、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的數值模擬

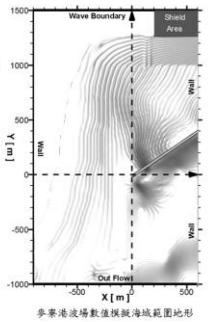
### 1. 模式介紹：底質淘刷模式

- 底床剪切應力 (Bed shear stress)
- 臨界希爾茲數 (Critical Shields parameter)
- 夾帶起沙和沉積 (Entrainment and Deposition)
- 多分類底床載輸砂 (Bed load Transport)
- 多分類懸浮輸砂 (Suspended load transport)

## 四、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的數值模擬

### 2. 堤頭波場數值模擬

- 計算範圍：
  (1) 麥寮港：1.5×2.5 km，採85年實測水深
  (2) 網格Δx =1/20波長，Δy= 1/10波長，Δz=1/10波高。
- 模式設定：
  (1) 邊界條件：北側邊界設定颱風浪入射波，H=6.4m, T=10.6s。南側則為下游輻射邊界；西側與岸側設定直立壁邊界；底床採用85年實測水深。
  (2) 初始條件：設定z 方向淨水壓與0m靜水位。
  (3) 總模擬時間80個造波週期。




麥寮港波場數值模擬海域範圍地形

## 四、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的數值模擬

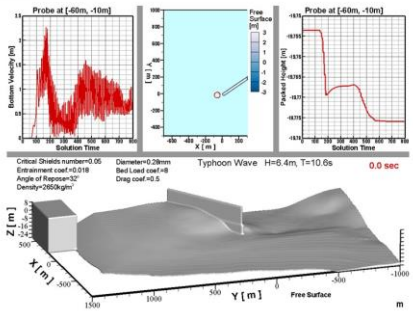
### 2. 堤頭波場數值模擬

動床底質參數設定

| 參 數 名 稱 | 參 數 值 |
|---|---|
| number of sediment species (nsspc) | 1 |
| coherent packing fraction | 0.8 |
| critical packing fraction (scrfcr) | 0.9 |
| diameter (ssdia) | 0.28 mm |
| density (rhfss) | 2650 kg/m$^3$ |
| coeff. of drag for drift (ssdfcd) | 0.5 |
| entrainment factor (ssentrf) | 0.018 |
| bed-load factor (ssbdlf) | 8 |
| angle of repose (ssang) | 32 |
| critical Shields number (sscrt) | 0.05 |

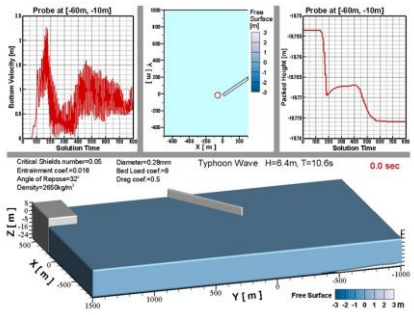
## 四、波浪作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的數值模擬

3. 數值模擬初步成果



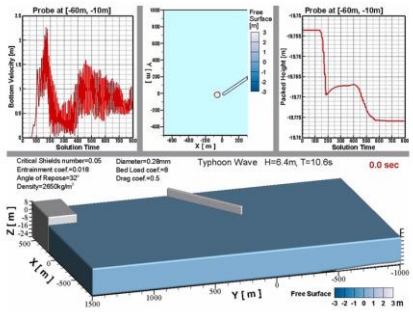

## 四、潮流作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的數值模擬

3. 數值模擬初步成果



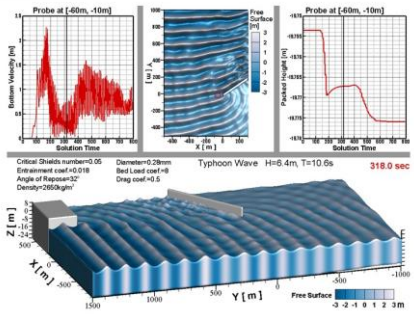

## 四、潮流作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的數值模擬

3. 數值模擬初步成果

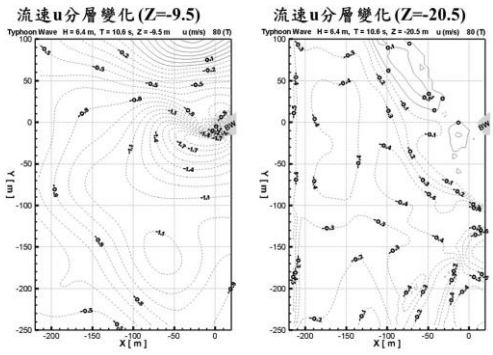



## 四、潮流作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的數值模擬

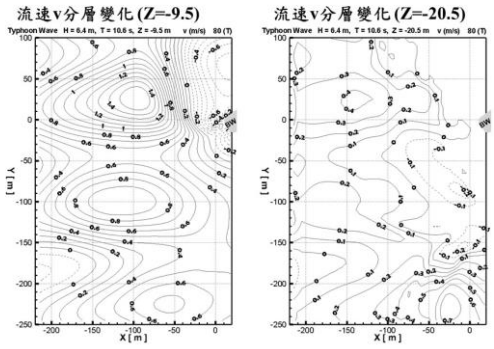
3. 數值模擬初步成果



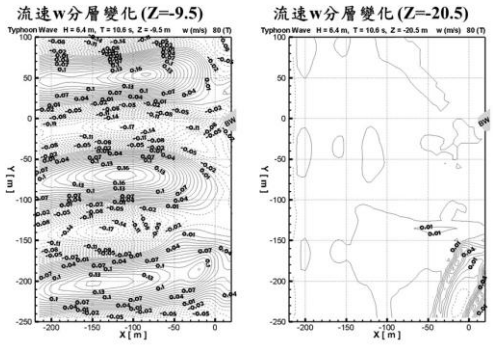

## 四、潮流作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的數值模擬



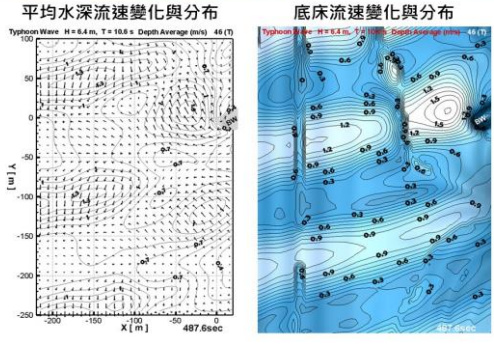

## 四、潮流作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的數值模擬




## 四、潮流作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的數值模擬

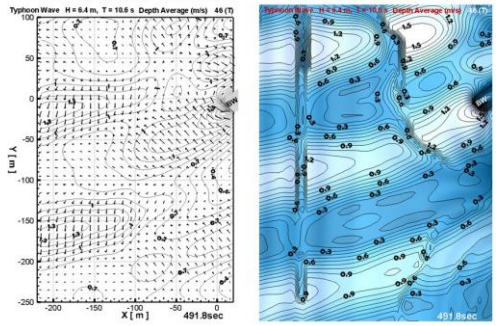



## 四、潮流作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的數值模擬

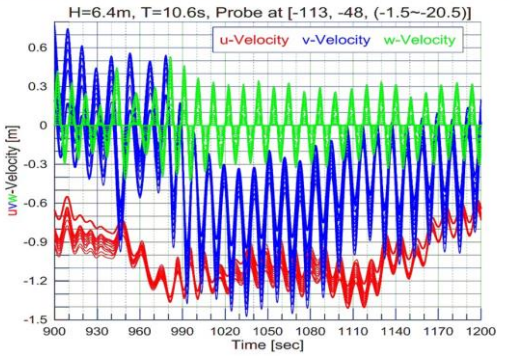


## 四、潮流作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的數值模擬

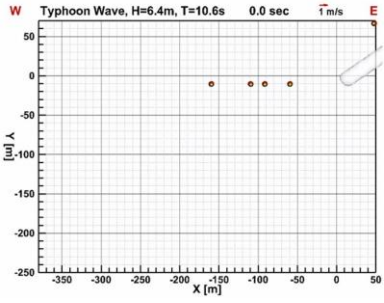
平均水深流速變化與分布　　底床流速變化與分布



## 四、潮流作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的數值模擬

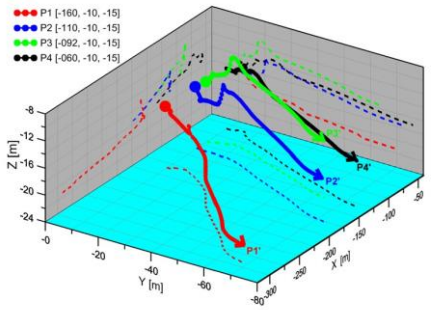



## 四、潮流作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的數值模擬



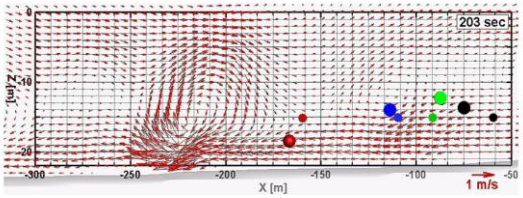

拉格朗日粒子追蹤 xy 平面俯視圖

## 四、潮流作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的數值模擬



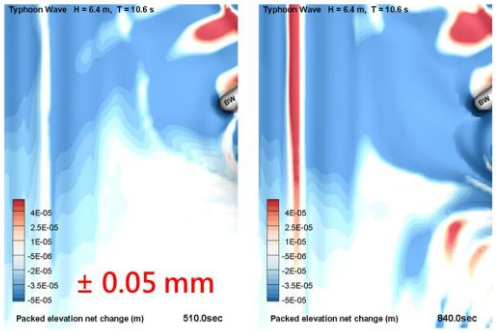

拉格朗日粒子追蹤路徑圖

## 四、潮流作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的數值模擬




淘刷區 XZ 剖面垂直渦流與追蹤粒子關係圖

## 四、潮流作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的數值模擬




## 四、潮流作用下麥寮港堤頭侵蝕機制的數值模擬

- 利用Flow-3D對麥寮港防波堤堤頭附近海域進行三維動床波場數值模擬，計算範圍1.5 km × 2.5 km，其底床邊界採用1996年實測地形資料；海象條件為50年期颱風，設定北側為入射波浪邊界，造波條件設定波高6.4 m、週期10.6 sec，模擬時間以海床淘刷區淘刷率趨於緩和（約113個造波週期）為考量。
- 以西防波堤堤頭為原點，以北側海域入射波而言，波浪受西防波堤北側阻擋形成反射波，大幅增長了此海域的波高，亦提高了波場下的流速。
- 前進波列因為防波堤的遮蔽效應引發流場西向的束縮流，該速縮流與上下約0.5m/s 垂直流速形成之垂直方向渦流應該是造成防波堤堤頭附近海床淘刷洞的主要原因之一。
- 未來將進一步探討懸浮儀與淘刷區穩定的關係，並與水工試驗驗證淘刷區的高程和浸淤量的變化。。

1. 試驗條件與比尺

動床不等比模型各物理量之模型縮尺比

| 作者 | 推導法則 | $N_T$ | $N_H$ |
|---|---|---|---|
| Goddet 和 Jaffary (1960) | 浪與流作用下底質運動條件相似 | $\mu^{1/2}$ | $\mu$ |
| Valembois(1960) | 懸浮質運動相似 | $\mu^{1/2}$ | $\mu^{4/5}$ |
| Yalin(1963) | 因次分析 | $\mu^{1/2}$ | $\mu$ |
| Fan 和 LeMehaute (1969) | 底質運動條件相似 | $\mu^{1/2}$ | $\mu$ |
| Noda(1972) | 底質運動條件相似 | $\mu^{1/2}$ | $\mu$ |
| Dalrymple 和 Thompson (1976) | 考慮 $\mu/\omega$ 相似性 | $\mu^{1/2}$ | $\mu$ |
| 堀木(1982) | 考慮 $H/\omega T$ 相似性 | $\mu^{1/2}$ | $\mu$ |
| 歐和許(1985) | 碎波帶內漂沙及地形變化性質相似 | $N_r^{1/2} N_{D50}^{1/6} \mu^{1/5} \lambda^{2/15}$ | $N_r N_{D50}^{1/6} \mu^{2/5} \lambda^{4/15}$ |

註：1. $N_T$：週期比尺；$N_H$：波高比尺

2. $\mu$：垂直比尺；$\lambda$：水平比尺；$r$：底沙浸水比重比尺；$D_{50}$：底沙中值粒徑

53

## 1. 試驗條件與比尺

波、流場試驗模型縮尺比

| 物 理 量 | 縮 尺 比 |
|---|---|
| 長 度 | $\lambda=1/100$ |
| 時 間 | $\lambda_t=1/\sqrt{100}=1/10$ |
| 速 度 | $\lambda_v=1/\sqrt{100}=1/10$ |
| 密 度 | $\lambda_\rho=1/1$ |

動床不等比模型縮尺比

| 物 理 量 | 縮 尺 比 |
|---|---|
| 長 度 | $\lambda_L=1/210$, $\lambda_h=1/70$ |
| 時 間 | $\lambda_T=\lambda_h^{1/2}=0.1195$ |
| 速 度 | $\lambda_v=\lambda_h^{1/2}=0.1195$ |
| 密 度 | $\lambda_\rho=1/1$ |

試驗條件換算

| 波浪條件 | 現場(模型) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 波向 | 波高 | 週期 | 潮位 | 不等比率 |
| 季風 | N | 2.65m(2.65cm) | 6.32sec(0.632sec) | 0.35m(0.35cm) | 1 |
| 颱風 | N | 6.4m(6.40cm) | 10.6sec(1.06sec) | 2.1m(2.1cm) | 1 |
| | N | 6.4m(9.12cm) | 10.6sec(1.267sec) | 2.1m(3.0cm) | 3 |
| | N | 6.4m(9.00cm) | 10.6sec(1.06sec) | 2.1m(2.1cm) | 3 |
| | N | 6.4m(11.38cm) | 10.6sec(1.267sec) | 2.1m(2.1cm) | 3 |

54

## 2. 試驗設備與儀器

國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系

海洋工程綜合實驗室



55

## 3. 模型佈置與試驗步驟

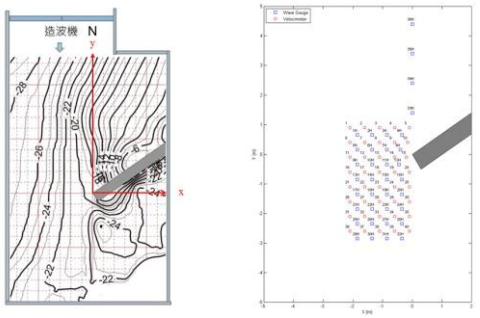


56

## 3. 模型佈置與試驗步驟

波高計量測點(□)

季風波浪量測點　流速儀量測點(○)

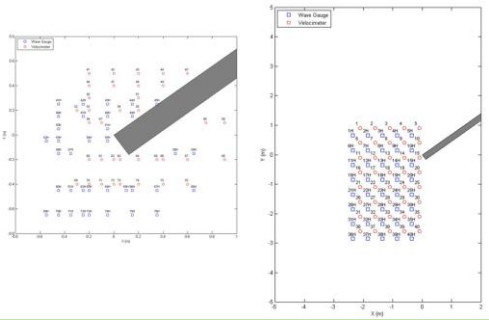



57

## 3. 模型佈置與試驗步驟

波高計量測點(□)

颱風波浪量測點　流速儀量測點(○)



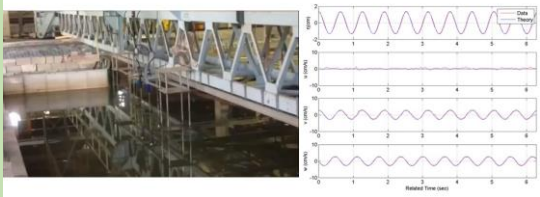
58

## 3. 模型佈置與試驗步驟

波高計與流速儀校正

季風波長 $L=1.56T^2=0.623m$

檢查 $h/L=0.808>0.5$ 滿足深水波條件



59

## 3. 模型佈置與試驗步驟

長度縮尺：1/100

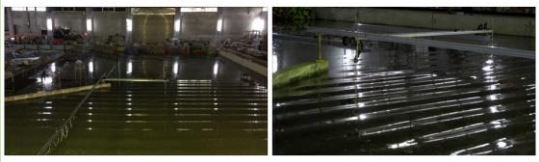
時間縮尺：1/10

波高： 2.65cm

週期： 0.632sec

潮位： +0.35cm

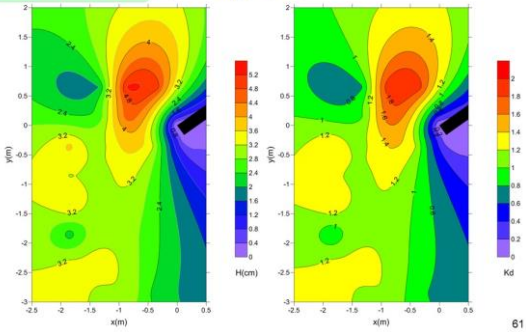
不等比率：1



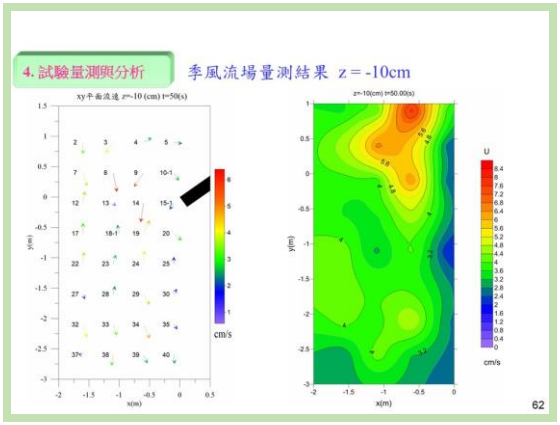
60

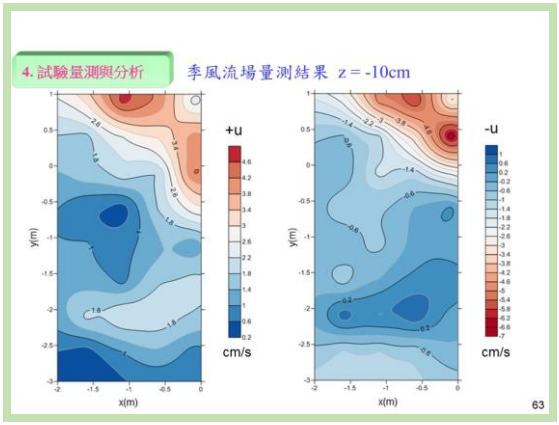
## 4. 試驗量測與分析

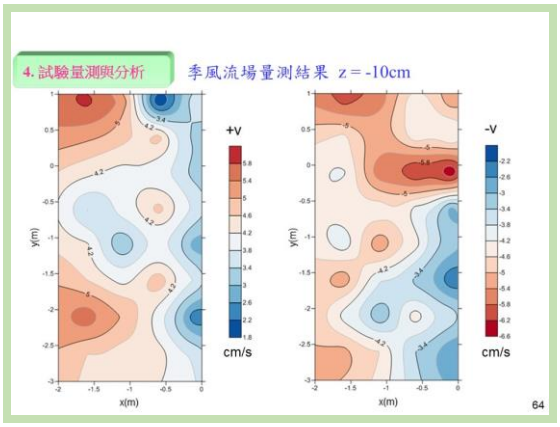
季風波場量測結果

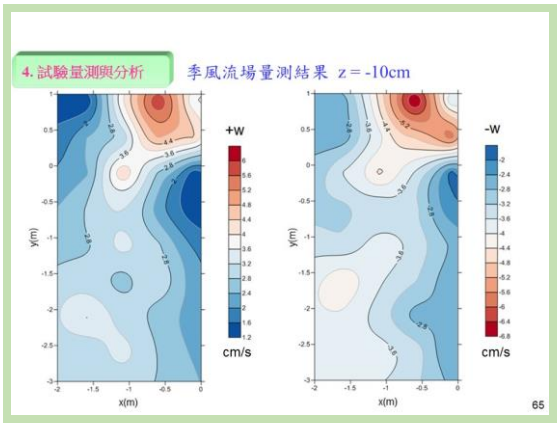


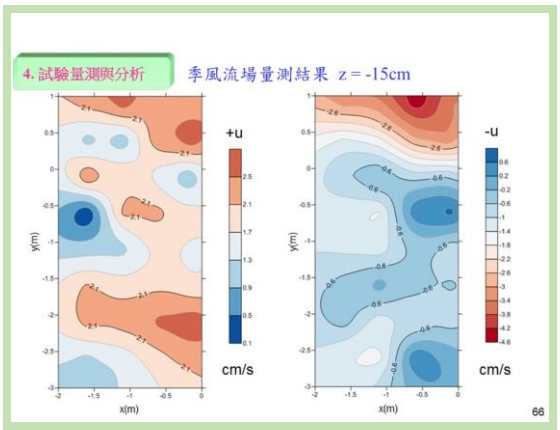

61

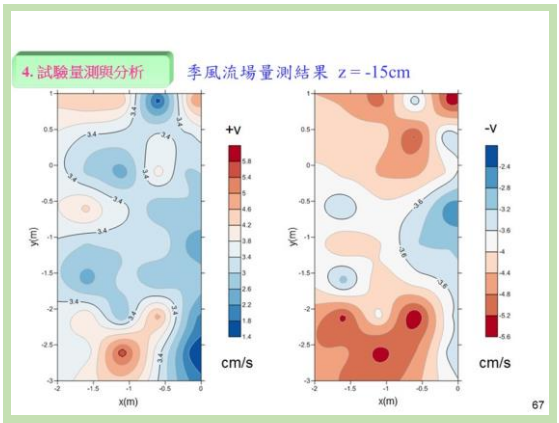

4. 試驗量測與分析
季風流場量測結果 z＝-10cm
cm/s
62

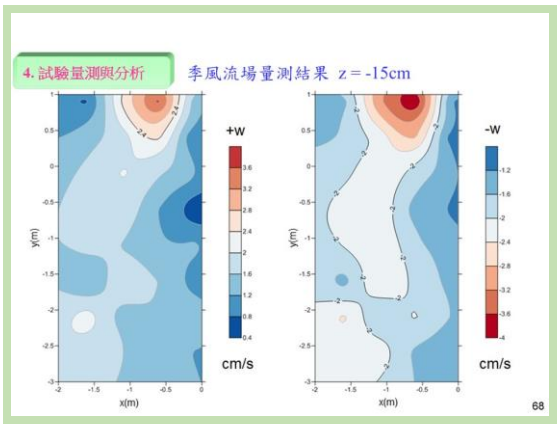

4. 試驗量測與分析
季風流場量測結果 z＝-10cm
+u
-u
cm/s
63

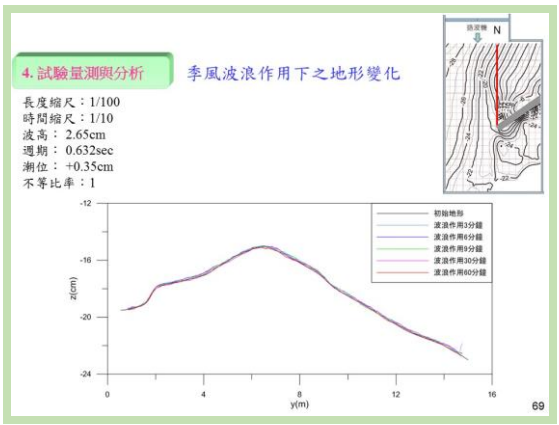

4. 試驗量測與分析
季風流場量測結果 z＝-10cm
+v
-v
cm/s
64


4. 試驗量測與分析
季風流場量測結果 z＝-10cm
+w
-w
cm/s
65


4. 試驗量測與分析
季風流場量測結果 z＝-15cm
+u
-u
cm/s
66

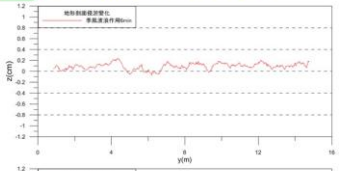

4. 試驗量測與分析
季風流場量測結果 z＝-15cm
+v
-v
cm/s
67


4. 試驗量測與分析
季風流場量測結果 z＝-15cm
+w
-w
cm/s
68

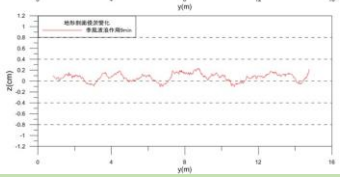

4. 試驗量測與分析
季風波浪作用下之地形變化
長度縮尺：1/100
時間縮尺：1/10
波高： 2.65cm
週期： 0.632sec
潮位： +0.35cm
不等比率：1
N
69

4. 試驗量測與分析　季風波浪作用下之地形變化

季風波浪作用
6分鐘



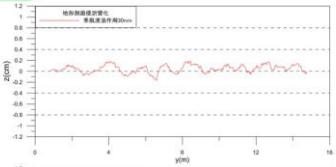
季風波浪作用
9分鐘



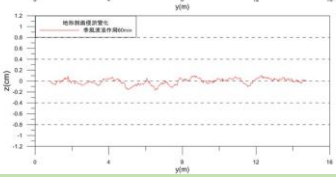
70

4. 試驗量測與分析　季風波浪作用下之地形變化

季風波浪作用
30分鐘



季風波浪作用
60分鐘

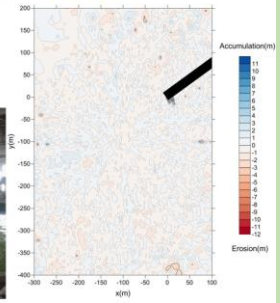


71

4. 試驗量測與分析　季風波浪作用下之地形變化

長度縮尺：1/100
時間縮尺：1/10
波高： 2.65cm
週期： 0.632sec
潮位： +0.35cm
不等比率：1

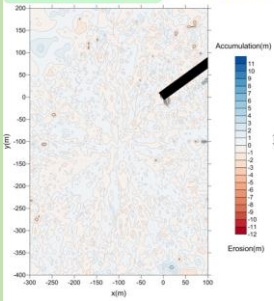




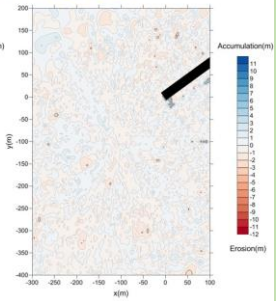

季風波浪作用200個波後之地形變化

72

4. 試驗量測與分析　季風波浪作用下之地形變化




季風波浪作用400個波後之地形變化

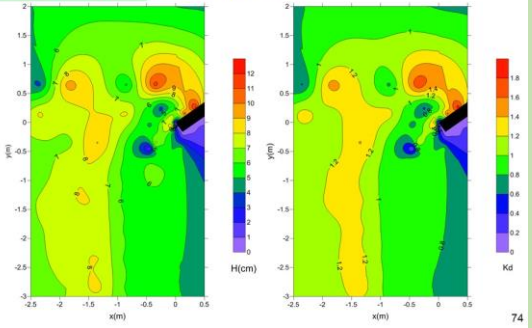



季風波浪作用600個波後之地形變化

73

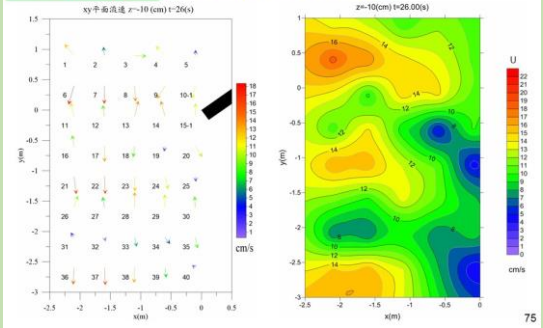
4. 試驗量測與分析　颱風波場量測結果

長度縮尺：1/100　潮位：+2.1cm
時間縮尺：1/10　不等比率：1
波高： 6.4cm
週期： 1.06sec



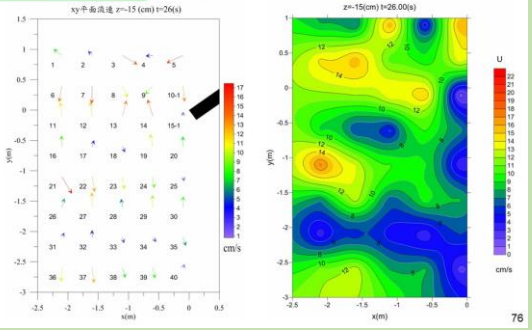

74

4. 試驗量測與分析　颱風流場量測結果 z＝-10cm



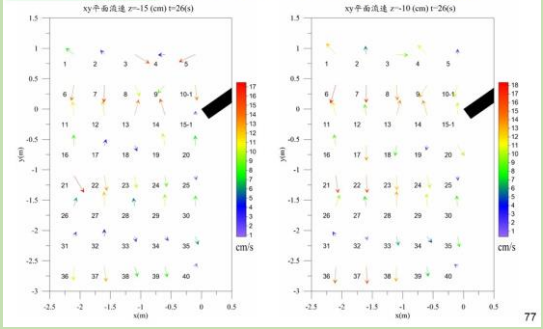

75

4. 試驗量測與分析　颱風流場量測結果 z＝-15cm



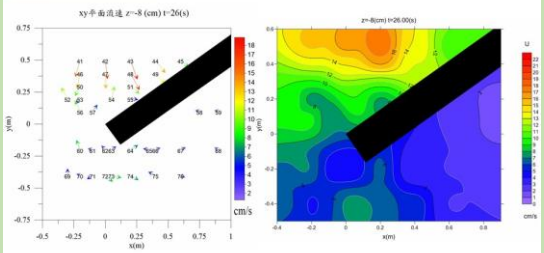

76

4. 試驗量測與分析　颱風流場量測結果 z＝-15cm & -10cm



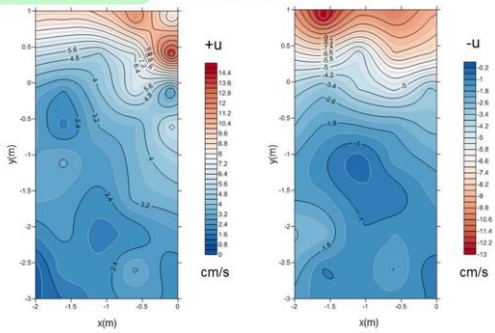

77

4. 試驗量測與分析 颱風流場量測結果 z＝-8cm



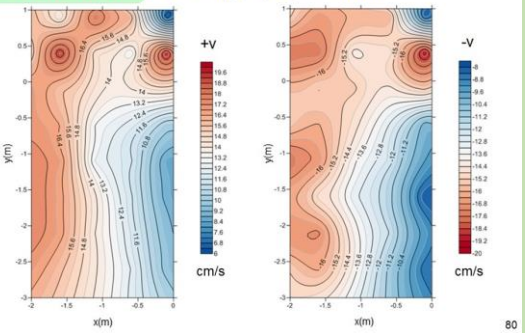
78

4. 試驗量測與分析 颱風流場量測結果 z＝-10cm



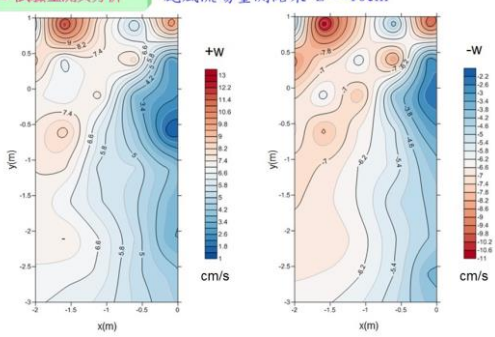

79

4. 試驗量測與分析 颱風流場量測結果 z＝-10cm



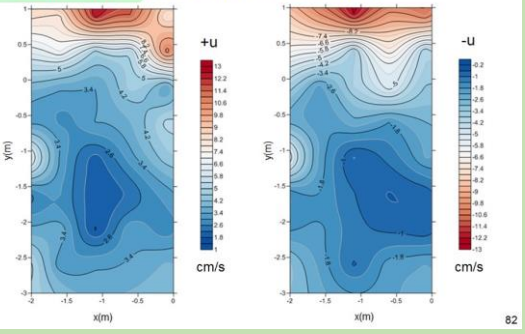

80

4. 試驗量測與分析 颱風流場量測結果 z＝-10cm



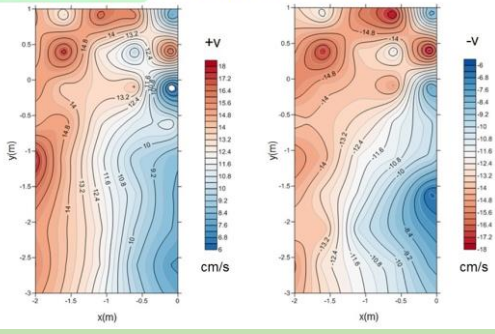

81

4. 試驗量測與分析 颱風流場量測結果 z＝-15cm



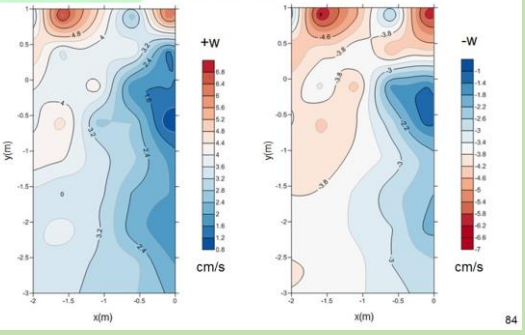

82

4. 試驗量測與分析 颱風流場量測結果 z＝-15cm




83

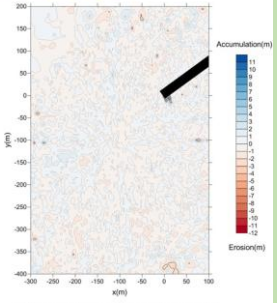
4. 試驗量測與分析 颱風流場量測結果 z＝-15cm




84

4. 試驗量測與分析 颱風波浪作用下之地形變化

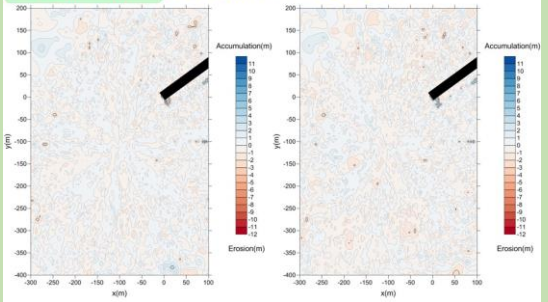
長度縮尺：1/100
時間縮尺：1/10
波高： 6.4cm
週期： 1.06sec
潮位： +2.1cm
不等比率：1




颱風波浪作用200個波後之地形變化

85

## 4. 試驗量測與分析　颱風波浪作用下之地形變化

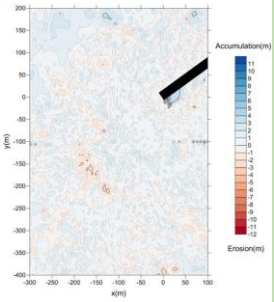



颱風波浪作用400個波後之地形變化　颱風波浪作用600個波後之地形變化



## 4. 試驗量測與分析　颱風波浪作用下之地形變化

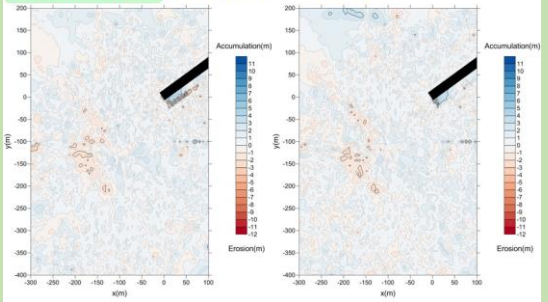
水平縮尺：1/210
垂直縮尺：1/70
時間縮尺：0.1195
波高： 9.12cm
週期： 1.267sec
潮位： +3.0cm
不等比率：3




颱風波浪作用200個波後之地形變化



## 4. 試驗量測與分析　颱風波浪作用下之地形變化

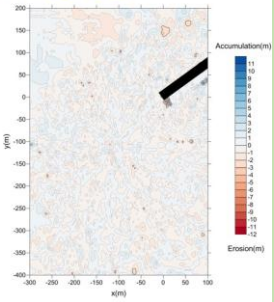



颱風波浪作用400個波後之地形變化　颱風波浪作用600個波後之地形變化



## 4. 試驗量測與分析　颱風波浪作用下之地形變化

水平縮尺：1/210
垂直縮尺：1/70
時間縮尺：0.1195
波高： 9.0cm
週期： 1.06sec
潮位： +2.1cm
不等比率：3

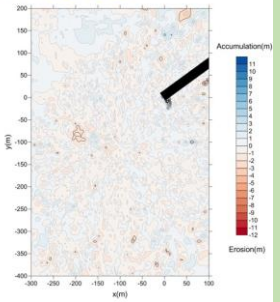



颱風波浪作用200個波後之地形變化



## 4. 試驗量測與分析　颱風波浪作用下之地形變化

水平縮尺：1/210
垂直縮尺：1/70
時間縮尺：0.1195
波高： 11.38cm
週期： 1.267sec
潮位： +2.1cm
不等比率：3




颱風波浪作用200個波後之地形變化



## 5. 結論與建議

- 季風波浪斜向入射防坡堤，反射波造成堤頭西北方有較大之波高及流速。堤頭西側有較大之-v及-u流速，顯示在此存在受波浪斜向入射防坡堤驅動之向西南流束。
- 季風波浪作用下地形變化不明顯，僅在堤頭後側稍有淤積。
- 颱風波浪經淺化及折射後接近正向入射防坡堤，在堤前形成重複波。
- 堤頭附近波流場較紊亂，形成局部的短峰波型態，以堤線延伸分為左上及右下兩半部，分別為堤前反射波及繞射波所致。
- 以等比模型進行颱風波浪地形變化試驗，在堤後稍有淤積，距堤頭約200m處輕微侵蝕，但整體來說地形侵淤變化不大，堤基相當安定，僅卵礫石發生位移。
- 以不等比縮尺並加大波高、降低水位進行颱風波浪地形變化試驗，結果顯示堤頭後側產生輕微淤積，在堤頭延伸出去約200m處有較明顯之侵蝕發生，防波堤北方約150m水深較淺處亦輕微侵蝕。
- N向颱風波浪作用於麥寮西三防坡堤能在堤頭西南側產生侵蝕現象，掏刷地點趨勢上吻合，但要造成現況之刷深程度單靠波浪作用有其困難，其具體成因仍有待進行研究確認。

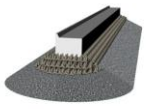


## 六、防制工法數值模擬與水工模型試驗的驗證

### 1. 數值模擬與模型試驗條件

防制工法數值模型模擬項目

| 項次 | 底床特性 | 起始地形 | 波浪條件 | 相對護基寬度 | 模擬現象 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 動床 | 無沖刷洞 | H＝6.4 m<br>T＝10.6 s | 原始護基 | 波場 |
| 2 | 動床 | 無沖刷洞 | H＝6.4 m<br>T＝10.6 s | 1.5倍護基 | 波場 |



原始護基

防制工法水工模型試驗項目

| 項次 | 底床特性 | 起始地形 | 潮流條件 | 相對護基寬度 | 觀測現象 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 動床 | 無沖刷洞 | H＝6.4 cm<br>T＝1.06 s | 原始護基 | 波場 |

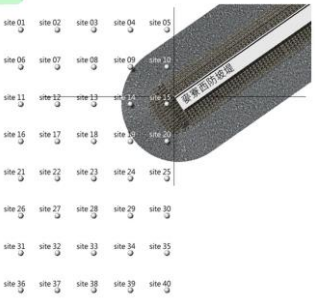


1.5倍護基



## 六、防制工法數值模擬與水工模型試驗的驗證

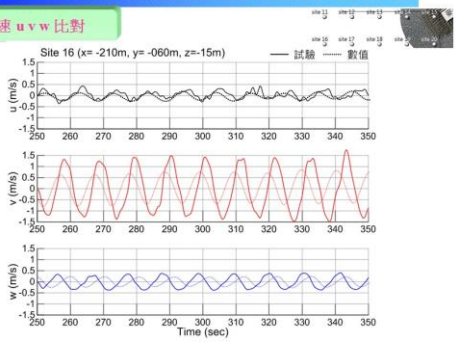
### 2. 比對座標




數值計算資料擷取與水工模型試驗流速計佈置圖

## 六、防制工法數值模擬與水工模型試驗的驗證

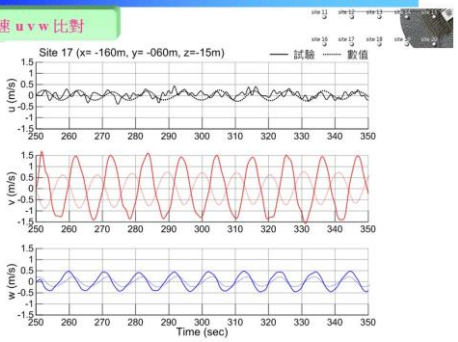
### 2. 波場流速 u v w 比對




Site16 試驗與數值uvw比較圖

## 六、防制工法數值模擬與水工模型試驗的驗證

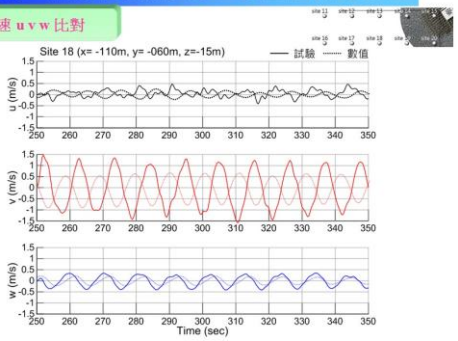
### 2. 波場流速 u v w 比對




Site17 試驗與數值uvw比較圖

## 六、防制工法數值模擬與水工模型試驗的驗證

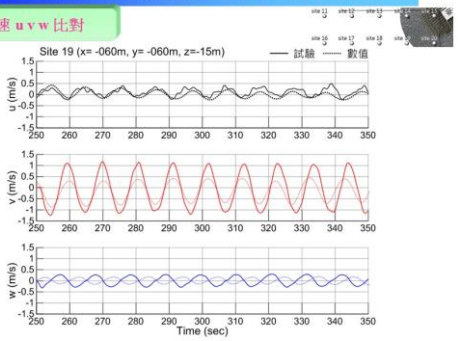
### 2. 波場流速 u v w 比對




Site18 試驗與數值uvw比較圖

## 六、防制工法數值模擬與水工模型試驗的驗證

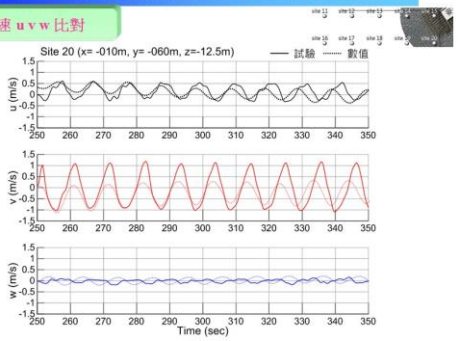
### 2. 波場流速 u v w 比對




Site19 試驗與數值uvw比較圖

## 六、防制工法數值模擬與水工模型試驗的驗證

### 2. 波場流速 u v w 比對




Site20 試驗與數值uvw比較圖

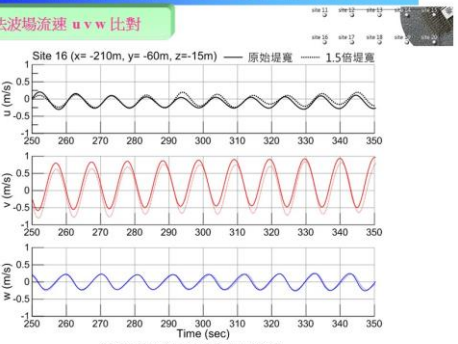
## 六、防制工法數值模擬與水工模型試驗的驗證

### 2. 波場流速 u v w 比對

- 水工試驗與數值計算結果比較如圖6.4.1至圖6.4.40所示
- site 16至site 40的流速u振幅較小，介於正負0.5 m/s之間
- 水工試驗與數值計算大多有一致的趨勢
- site 1至site 15因為位於短峰波區，顯示東西向的振幅較大
- 比較流速v，數值計算值之振幅均小於1 m/s，而水工試驗值之最大振幅大於1.5 m/s
- 比較流速w，水工試驗與數值計算結果其振幅與趨勢均趨於一致

## 六、防制工法數值模擬與水工模型試驗的驗證

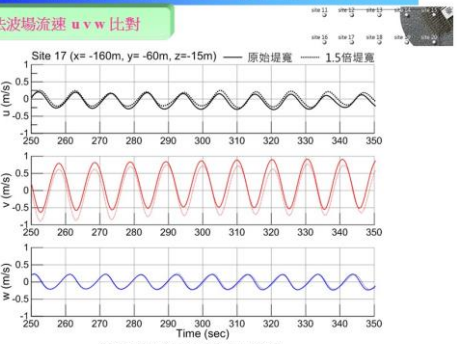
### 3.防制工法波場流速 u v w 比對




Site16 原始與1.5倍護基uvw比較圖

## 六、防制工法數值模擬與水工模型試驗的驗證

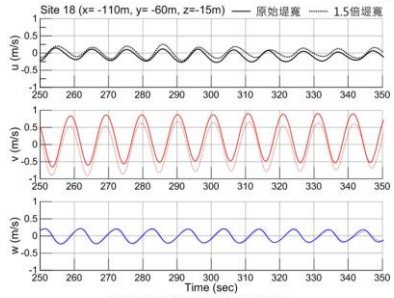
### 3.防制工法波場流速 u v w 比對




Site17 原始與1.5倍護基uvw比較圖

## 六、防制工法數值模擬與水工模型試驗的驗證

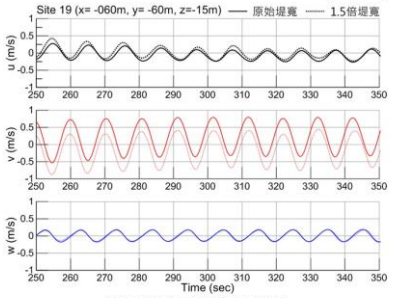
### 3.防制工法波場流速 u v w 比對




Site18 原始與1.5倍護基uvw比較圖

## 六、防制工法數值模擬與水工模型試驗的驗證

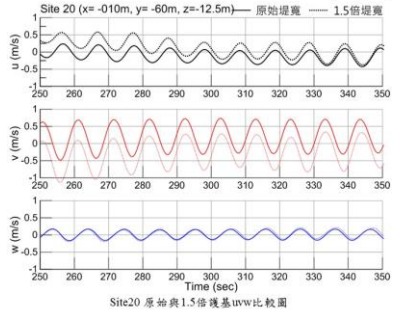
### 3.防制工法波場流速 u v w 比對




Site19 原始與1.5倍護基uvw比較圖

## 六、防制工法數值模擬與水工模型試驗的驗證

### 3.防制工法波場流速 u v w 比對




Site20 原始與1.5倍護基uvw比較圖

## 六、防制工法數值模擬與水工模型試驗的驗證

### 3.防制工法波場流速 u v w 比對

- 1.5倍護基比原始護基流速度u的振幅明顯偏上，顯示因為護基加寬導致防波堤遮蔽所產生的西向沿岸束縮流趨於和緩
- 1.5倍護基流速v的振幅則位於原始護基下方，顯示水粒子微幅增加前進的趨勢，緩和了防波堤遮蔽所產生反射效應
- 流速w，原始護基與1.5倍護基彼此套疊顯示一致

## 簡報完畢
## 敬請指正



10