103-8-7723
MOTC-IOT-102-H2DB005d

港灣防波堤堤頭三維沖蝕特性及防制機制之研究(1/4)

交通部運輸研究所

中華民國 103 年 3 月

103-8-7723
MOTC-IOT-102-H2DB005d

港灣防波堤堤頭三維沖蝕特性及防制機制之研究(1/4)

著者：邱永芳、李忠潘、蔡金吉

交通部運輸研究所

中華民國 103 年 3 月

103

港灣防波堤堤頭三維沖蝕特性及防制機制之研究(1/4)

交通部運輸研究所

GPN：1010300181
定價：300 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.
(1/4) / 邱永芳, 李忠潘, 蔡金吉著. -- 初版. -- 臺北
市 : 交通部運研所, 民 103.03
面 ; 公分
ISBN 978-986-04-0455-5(平裝)

1.防波堤 2.海岸工程

443 103002096

港灣防波堤堤頭三維沖蝕特性及防制機制之研究(1/4)

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 103 年 3 月
印 刷 者：
版(刷)次冊數：初版一刷 75 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：300 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：1010300181　　ISBN：978-986-04-0455-5 (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(1/4)</td></tr>
<tr><td>國際標準書號（或叢刊號）
ISBN 978-986-04-0455-5</td><td>政府出版品統一編號
1010300181</td><td>運輸研究所出版品編號
103-8-7723</td><td>計畫編號
102-H2DB005d</td></tr>
<tr><td>本所主辦單位：港研中心
主管：邱永芳主任
計畫主持人：邱永芳主任
研究人員：蔡金吉
參與人員：楊怡芸
聯絡電話：04-26587221
傳真號碼：04-26571329</td><td colspan="2">合作研究單位：國立中山大學
計畫主持人：李忠潘教授
研究人員：陳陽益、薛憲文、曾以帆
地址：804 高雄市鼓山區蓮海路 70 號
聯絡電話：07-5252000</td><td>研究期間
自 102 年 02 月
至 102 年 11 月</td></tr>
<tr><td colspan="4">關鍵詞：防波堤堤頭、沖蝕、台中港、麥寮港、海象調查、Flow-3D</td></tr>
<tr><td colspan="4">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。

本研究為四年合作研究計畫之第一年，以上述兩個港口為主要研究對象，進行堤頭附近三維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。研究主題為防波堤堤頭附近海底地形侵蝕的文獻收集與分析；臺中港及麥寮工業港，防波堤堤頭海底地形侵蝕現況的量測與分析；臺中港及麥寮工業港，防波堤堤頭附近波流場的現場觀測與分析；以及數值模式 Flow-3D 的基本建置，包括地形與結構物等邊界構件的建立與測試等。

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>
<tr><td>出版日期</td><td>頁數</td><td>工本費</td><td>本 出 版 品 取 得 方 式</td></tr>
<tr><td>103 年 3 月</td><td>400</td><td>300</td><td>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。</td></tr>
</table>

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 (1/4)

ISBN	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
978-986-04-0455-5 (pbk)	1010300181	103-8-7723	102-H2DB005d

DIVISION: Harbor & Marine Technology Center
DIVISION CHIEF: 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 2013
TO November 2013

RESEARCH AGENCY: National Sun Yat-sen University
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Lee Chung-Pan
PROJECT STAFF: Chen Yang-Yih, Shyue Shiahn-Wern, Tseng I-Fan
ADDRESS: 70 Lien-hai Rd. Kaohsiung 80424, Taiwan ROC
PHONE: +886-7-5252000

KEY WORDS:
Breakwater Head, Scouring, Taichung Harbor, Mailiao Harbor, Wave Climate Monitoring, FLOW-3D

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 Harbor 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 first year of the four-year project regard Taichung Harbor and Mailiao Harbor, and the theme study contains 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, and also the establishment of a Flow-3D numerical model for both of them.

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

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
March 2014	400	300	☐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 VIII
表目錄 XXI
第一章 計畫背景分析 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
2.2 海象資料 2-15
2.2.1 波浪 2-15
2.2.2 颱風波浪推算 2-26
2.2.3 海流 2-30
2.2.4 潮位 2-38
2.3 海域地形變化 2-40
2.4 防波堤興建過程 2-62
2.4.1 斷面設計 2-62

2.4.2 施工過程 2-65
第三章 防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性 3-1
3.1 防波堤堤頭地形量測與分析 3-1
3.1.1 測量作業事項 3-1
3.1.2 水深測量成果與分析 3-14
3.2 防波堤堤頭波流場觀測與分析 3-88
3.2.1 作業內容 3-88
3.2.2 作業方式 3-89
3.2.3 測區海域潮波流結果分析 3-90
3.3 船載 ADCP 流速資料 3-109
第四章 建立堤頭侵蝕機制的數值模擬模式 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 4-9
4.2 防波堤鄰近海域造波數值模擬 4-14
4.2.1 模式驗證 4-14
4.2.2 防波堤堤頭波場計算範圍及水深地形 4-17
4.2.3 輸入條件 4-18
4.2.4 Stokes 5 階造波波場水粒子運動軌跡 4-20
4.2.5 波場中自由水面變化 4-22
4.2.6 波浪作用下引發的流況變化 4-28
4.3 初步結論 4-46
第五章 水工模型試驗的驗證 5-1

5.1 試驗設備與儀器 5-1
5.2 試驗條件與試驗比尺 5-4
5.3 試驗模型佈置與試驗步驟 5-7
5.4 試驗量測分析 5-13
5.5 試驗結果與數值模式之驗證 5-32
5.5.1 波高驗證 5-32
5.5.2 波場流速驗證 5-33
第六章 研擬防波堤堤頭侵蝕的防制工法 6-1
6.1 防波堤堤頭附近地形侵淤分析 6-1
6.2 堤頭沖蝕特性分析 6-7
6.3 六大港海流特性分析 6-29
6.4 麥寮港堤頭沖蝕與海流的關係分析 6-37
第七章 防制工法的數值模擬與水工模型試驗的驗證 7-1
第八章 結論與建議 8-1
8.1 結論 8-1
8.2 建議 8-6
8.3 成果效益與後續應用情形 8-7
參考文獻 參-1
附錄一 潮位觀測記錄表 .....附錄 1
附錄二 聲速剖面記錄表 .....附錄 2
附錄三 臺中港與麥寮工業港水深測量與海流儀施放作業照片 ..附錄 3-1
附錄四 期中報告審查意見處理情形表 .....附錄 4-1
附錄五 期末報告審查意見處理情形表 .....附錄 5-1

附錄六 期中簡報資料.....附錄 6-1
附錄七 期末簡報資料.....附錄 7-1

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 1-4
圖 1.3 局部沖刷變遷圖 1-9
圖 1.4 沖刷深度與沖刷時間及水流速度關係圖 1-9
圖 1.5 直立樁附近水流流況示意圖 1-9
圖 1.6 人工魚礁模型隨時間變化之沖刷等高線圖 1-11
圖 1.7 人工魚礁模型在不同水流攻角下局部沖刷坑俯視圖 1-11
圖 1.8 直立堤堤頭附近水流流況示意圖 1-15
圖 1.9 直立堤堤頭附近波流共生之掏深關係 1-15
圖 1.10 防波堤堤頭露水高與掏深深度寬度關係 1-16
圖 1.11 具護基保護工之直立堤堤頭附近 KC 值與掏深關係 1-17
圖 1.12 直立堤與斜坡拋石堤之堤前掏刷關係 1-17
圖 2.1 臺中港海氣象觀測站位置圖 2-1
圖 2.2 雲林縣離島工業區海氣象觀測站位置圖 2-2
圖 2.3 侵襲臺灣之颱風路徑統計圖(1958～2013/9) 2-15
圖 2.4 臺中港波高週期聯合機率分佈圖(2007~2011 年) 2-19
圖 2.5 臺中港夏、冬季之波高波向玫瑰圖 2-19
圖 2.6 臺中港逐月之波高波向玫瑰圖 2-20
圖 2.7 雲林海域 THL1 測站 1997~2010 年間波浪玫瑰圖 2-22
圖 2.8 雲林海域 THL2B 測站 2001~2010 年間波浪玫瑰圖 2-22
圖 2.9 兩測站之月平均與月最大示性波高分佈 2-24

圖 2.10 麥寮港 2011 年與 2012 年示性波高分佈玫瑰圖 2-26
圖 2.11 臺中港歷年每季觀測海流玫瑰圖 2-33
圖 2.12 雲林海域 YLCW 測站歷年之流速流向玫瑰圖 2-34
圖 2.13 雲林海域 YLCW 測站歷年之平均流速與流向變化圖 2-36
圖 2.14 雲雲林海域 YLCW 歷年之最大流速與對應流向圖 2-36
圖 2.15 雲林海域 YLCW 歷年之淨流流速與流向圖 2-37
圖 2.16 雲林海域 2011 年與 2012 年海流流速分佈玫瑰圖 2-38
圖 2.17 臺中港 1999 至 2009 年之潮位統計分佈圖 2-39
圖 2.18 臺中港海域 85~95 年實測地形水深圖 2-41
圖 2.19 臺中港地形水深變遷計算分區圖 2-42
圖 2.20 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85～87 年) 2-44
圖 2.21 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85～89 年) 2-44
圖 2.22 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85～92 年) 2-45
圖 2.23 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85～95 年) 2-45
圖 2.24 臺中港海域斷面位置圖 2-48
圖 2.25 臺中港海域 85~95 年間斷面地形變化 2-49
圖 2.25(續) 臺中港海域 85~95 年間斷面地形變化 2-50
圖 2.26 雲嘉海域歷年海岸線變遷 2-52
圖 2.27 麥寮工業區各區段海堤位置圖 2-53
圖 2.28 雲林離島工業區海域 80~99 年實測地形水深圖 2-55
圖 2.28(續) 雲林離島工業區海域 80~99 年實測地形水深圖 2-56
圖 2.29 雲林離島工業區海域 82-85 年間實測地形侵淤變化 2-56
圖 2.30 雲林離島工業區海域 82-85 年間實測地形侵淤變化 2-57

圖 2.31 雲林離島工業區海域 89-93 年間實測地形侵淤變化 2-57
圖 2.32 雲林離島工業區海域 93-96 年間實測地形侵淤變化 2-58
圖 2.33 雲林離島工業區海域 96-99 年間實測地形侵淤變化 2-58
圖 2.34 雲林離島工業區海域 82-99 年間實測地形侵淤變化 2-59
圖 2.35 麥寮工業區海域斷面位置圖 2-60
圖 2.36 雲林離島工業區海域 82~99 年間斷面地形變化 2-61
圖 2.36(續) 雲林離島工業區海域 82~99 年間斷面地形變化 2-62
圖 2.37 臺中港原堤堤頭沉箱斷面圖 2-64
圖 2.38 臺中港北防波堤延伸 850m 堤頭斷面圖 2-64
圖 2.39 麥寮西防波堤堤頭沉箱斷面圖 2-65
圖 2.40 麥寮西防波堤堤頭補救措施斷面圖 2-66
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 臺中港北防波堤堤頭水深地形監測範圍示意圖 3-2
圖 3.3 多音束水深測量作業流程圖 3-3
圖 3.4 測線間距與航線重疊率的關係圖 3-4
圖 3.5 船隻儀器配置圖範例 3-5
圖 3.6 Patch Test 航線規劃圖 3-5
圖 3.7 潮汐圖範例圖 3-6
圖 3.8 聲速剖面圖範例 3-6
圖 3.9 多音束測深資料處理流程圖 3-7
圖 3.10 梧棲漁港水位時序列變化圖 3-11
圖 3.11 麥寮工業港水位時序列變化圖 3-12
圖 3.12 梧棲漁港與麥寮工業港聲速剖面變化圖 3-13

圖 3.13(a) 臺中港北防波堤堤頭水深測量航跡點圖 3-14
圖 3.13(b) 臺中港北防波堤堤頭水深測量航跡點圖 3-15
圖 3.14(a) 臺中港北防波堤堤頭水深測量等深線水深色階圖 3-16
圖 3.14(b) 臺中港北防波堤堤頭水深測量等深線水深色階圖 3-17
圖 3.15(a) 臺中港北防波堤堤頭水深測量等深線水深色階圖(局部放大)3-18
圖 3.15(b) 臺中港北防波堤堤頭水深測量等深線水深色階圖(局部放大)3-19
圖 3.16(a) 臺中港北防波堤堤頭水深測量三維立體色階圖 3-20
圖 3.16(b) 臺中港北防波堤堤頭水深測量三維立體色階圖 3-21
圖 3.16(c) 臺中港北防波堤堤頭水深測量三維立體色階圖 3-22
圖 3.16(d) 臺中港北防波堤堤頭水深測量三維立體色階圖 3-23
圖 3.17 臺中港北防波堤堤頭附近消波塊布置水深色階圖(局部放大).. 3-24
圖 3.18 臺中港堤頭水深測量斷面位置圖 3-26
圖 3.19 臺中港堤頭地形測量斷面 W1 水深剖面變化圖 3-41
圖 3.20 臺中港堤頭地形測量斷面 W2 水深剖面變化圖 3-41
圖 3.21 臺中港堤頭地形測量斷面 W3 水深剖面變化圖 3-41
圖 3.22 臺中港堤頭地形測量斷面 W4 水深剖面變化圖 3-42
圖 3.23 臺中港堤頭地形測量斷面 W5 水深剖面變化圖 3-42
圖 3.24 臺中港堤頭地形測量斷面 W6 水深剖面變化圖 3-42
圖 3.25 臺中港堤頭地形測量斷面 W7 水深剖面變化圖 3-43
圖 3.26 臺中港堤頭地形測量斷面 W8 水深剖面變化圖 3-43
圖 3.27 臺中港堤頭地形測量斷面 W9 水深剖面變化圖 3-43
圖 3.28(a) 臺中港堤頭地形測量侵淤變化色階圖 3-44
圖 3.28(b) 臺中港堤頭地形測量侵淤變化色階圖 3-45

圖 3.29(a) 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量航跡點 3-46
圖 3.29(b) 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量航跡點 3-47
圖 3.30(a) 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量等深線水深色階圖 3-48
圖 3.30(b) 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量等深線水深色階圖 3-49
圖 3.31(a) 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量等深線水深色階圖(局部放大) 3-50
圖 3.31(b) 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量等深線水深色階圖(局部放大) 3-51
圖 3.32(a) 麥寮工業港西防波堤堤頭附近消波塊布置水深色階圖(局部放大) 3-52
圖 3.32(b) 麥寮工業港西防波堤堤頭附近消波塊布置水深色階圖(局部放大) 3-53
圖 3.33(a) 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量三維立體色階圖 3-54
圖 3.33(b) 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量三維立體色階圖 3-55
圖 3.33(c) 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量三維立體色階圖 3-56
圖 3.33(d) 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量三維立體色階圖 3-57
圖 3.34 麥寮工業港堤頭水深測量斷面位置圖 3-59
圖 3.35 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M1 水深剖面變化圖 3-81
圖 3.36 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M2 水深剖面變化圖 3-81
圖 3.37 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M3 水深剖面變化圖 3-82
圖 3.38 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M4 水深剖面變化圖 3-82
圖 3.39 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M5 水深剖面變化圖 3-82
圖 3.40 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M6 水深剖面變化圖 3-83
圖 3.41 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M7 水深剖面變化圖 3-83

圖 3.42 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M8 水深剖面變化圖 3-83
圖 3.43 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M9 水深剖面變化圖 3-84
圖 3.44 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 R1 水深剖面變化圖 3-84
圖 3.45 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 R2 水深剖面變化圖 3-84
圖 3.46 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 R3 水深剖面變化圖 3-85
圖 3.47 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 R4 水深剖面變化圖 3-85
圖 3.48 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 R5 水深剖面變化圖 3-85
圖 3.49 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 R6 水深剖面變化圖 3-86
圖 3.50(a) 麥寮工業港堤頭地形測量侵淤變化色階圖 3-87
圖 3.50(b) 麥寮工業港堤頭地形測量侵淤變化色階圖 3-87
圖 3.51 臺中港潮波流儀點位 3-89
圖 3.52 麥寮港潮波流儀點位 3-89
圖 3.53 TC 測站，2013 年 05/09～05/28 實測與預報水位變化圖 3-90
圖 3.54 TC 測站，2013 年 05/09～05/28 漲、退潮段流向玫瑰圖 3-91
圖 3.55 2013 年 05/09～05/28 底層(水下 15m)流速與流向變化圖 3-93
圖 3.56 2013 年 05/09～05/28 中層(水下 11m)流速與流向變化圖 3-93
圖 3.57 2013 年 05/09～05/28 中層(水下 6m)流速與流向變化圖 3-94
圖 3.58 2013 年 05/09～05/28 表層(水下 2m)流速與流向變化圖 3-94
圖 3.59 TC 測站，底、表層之海流玫瑰圖 3-95
圖 3.60 TC 測站，中層(水下 11m、6m)之海流玫瑰圖 3-95
圖 3.61 TC 測站，波向、波高、週期時序列圖 3-98
圖 3.62 TC 測站，波浪波高、週期玫瑰圖 3-100
圖 3.63 TC 測站，波高、週期統計直方圖 3-100

圖 3.64 TC 測站，示性波高、週期聯合機率分佈圖 3-100
圖 3.65 ML 測站，2013 年 05/10～05/29 實測與預報水位變化圖 3-101
圖 3.66 ML 測站，2013 年 05/10～05/29 漲、退潮段流向玫瑰圖 3-102
圖 3.67 ML 測站，2013 年 05/10～05/29 底層流速與流向變化圖 3-104
圖 3.68 ML 測站，2013 年 05/10～05/29 表層流速與流向變化圖 3-104
圖 3.69 ML 測站，底、表層之海流玫瑰圖 3-104
圖 3.70 ML 測站，波向、波高、週期時序列圖 3-106
圖 3.71 ML 測站，波浪波高、週期玫瑰圖 3-108
圖 3.72 ML 測站，波高、週期統計直方圖 3-108
圖 3.73 ML 測站，示性波高、週期聯合機率分佈圖 3-108
圖 3.74 船載 ADCP 執行測線作業之實際航行軌跡 3-109
圖 3.75 時段 C1 之表層海流流速觀測成果 3-110
圖 3.76 時段 C2 之表層海流流速觀測成果 3-110
圖 3.77 時段 C3 之表層海流流速觀測成果 3-111
圖 3.78 時段 C4 之表層海流流速觀測成果 3-111
圖 3.79 漲潮時段之表層海流流場 3-112
圖 3.80 退潮時段之表層海流流場 3-112
圖 4.1 Stokes 5 階造波邊界示意圖 4-10
圖 4.2 多區塊結構網格設定示意圖 4-13
圖 4.3 通度係數 FAVOR 流體界面與自由液面計算示意圖 4-14
圖 4.4 Beji 等人(1992)之試驗佈置圖 4-16
圖 4.5 CASE 1 4-16
圖 4.6 CASE 2 4-17

圖 4.7 臺中港與麥寮工業港波場數值模擬海域範圍示意圖.....4-18
圖 4.8 臺中港與麥寮工業港波流場數值計算領域水深地形模型圖 4-18
圖 4.9 Stokes 5 階波場速度剖面水粒子於造波時間 306sec 之位置圖....4-20
圖 4.10 Stokes 5 階波場速度剖面水粒子運動軌跡圖 4-21
圖 4.11 Stokes 5 階波場速度剖面水粒子運動速度大小之比較.....4-21
圖 4.12 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....4-21
圖 4.13 Stokes 5 階波場速度剖面水粒子波浪垂直運動速度之比較.....4-22
圖 4.14 臺中港北側海域入射波浪水面時序變化示意圖.....4-23
圖 4.14(續) 臺中港北側海域入射波浪水面時序變化示意圖.....4-23
圖 4.15 臺中港西側海域入射波浪水面時序變化示意圖.....4-24
圖 4.16 麥寮工業港北側海域入射波浪水面時序變化示意圖 4-25
圖 4.16(續) 麥寮工業港北側海域入射波浪水面時序變化示意圖.....4-26
圖 4.17 麥寮工業港北側海域入射波浪水面時序變化示意圖 4-27
圖 4.17(續) 麥寮工業港北側海域入射波浪水面時序變化示意圖.....4-28
圖 4.18 臺中港北側海域入射波波場防波堤頭底床流速分布時序圖 4-29
圖 4.18(續) 臺中港北側海域入射波波場防波堤頭底床流速分布時序圖...4-30
圖 4.19 臺中港西側海域入射波波場防波堤頭底床流速分布時序圖 4-30
圖 4.19(續) 臺中港西側海域入射波波場防波堤頭底床流速分布時序圖....4-31
圖 4.19(續) 臺中港西側海域入射波波場防波堤頭底床流速分布時序圖....4-32
圖 4.20 麥寮工業港北側海域入射波波場堤頭附近底床流速分布時序圖 ..4-33
圖 4.20(續) 麥寮工業港北側海域入射波波場堤頭附近底床流速分布時序圖4-34
圖 4.21 麥寮工業港西側海域入射波波場堤頭附近底床流速分布時序圖 ..4-34
圖 4.21(續) 麥寮工業港西側海域入射波波場堤頭附近底床流速分布時序圖 4-35

圖 4.22 臺中港北側海域入射波波場堤頭剖面流速時序變化圖 4-36
圖 4.22(續) 臺中港北側海域入射波波場堤頭剖面流速時序變化圖 4-37
圖 4.23 臺中港西側海域入射波場堤頭剖面流速時序變化圖 4-37
圖 4.23(續) 臺中港西側海域入射波場堤頭剖面流速時序變化圖 4-38
圖 4.23(續) 臺中港西側海域入射波場堤頭剖面流速時序變化圖 4-39
圖 4.24 麥寮工業港北側海域入射波場堤頭剖面流速時序變化圖 4-39
圖 4.24(續) 麥寮工業港北側海域入射波場堤頭剖面流速時序變化圖 .. 4-40
圖 4.25 麥寮工業港西側海域入射波波場堤頭剖面流速時序變化圖 4-41
圖 4.25(續) 麥寮工業港西側海域入射波波場堤頭剖面流速時序變化圖 4-42
圖 4.26 臺中港(左)及麥寮工業港(右)50 年颱風堤頭最大底床流速分布 4-43
圖 4.27 臺中港堤頭最大底床流速分布，夏季平均(左)、夏季最大(右) 4-44
圖 4.28 臺中港堤頭最大底床流速分布，冬季平均(左)、冬季最大(右) 4-44
圖 5.1 試驗平面水槽設施實景 5-1
圖 5.2 造波機伺服馬達與造波板 5-2
圖 5.3 造波控制系統(伺服馬達驅動器與位置訊號收發單元) 5-2
圖 5.4 試驗用儀器設備，(a)波高計，(b)訊號擷取系統 5-3
圖 5.5 1996 年實測臺中港北堤頭鄰近水深地形圖與試驗範圍 5-6
圖 5.6 平面水槽造流系統規劃圖 5-7
圖 5.7 基礎底床斷面高程規劃圖 5-8
圖 5.8 平面遮蔽試驗波向地形布置示意圖 5-10
圖 5.9 基礎底床平面高程規劃圖 5-11
圖 5.10 鋪設試驗區間基礎 5-11
圖 5.11 標定坐標方格控制點 5-11

圖 5.12 雷射水平儀參考水準 5-11
圖 5.13 調整模型底床地形 5-11
圖 5.14 底床等深線施工 5-12
圖 5.15 鋪蓋水泥層 5-12
圖 5.16 佈置波高計和流速計 5-12
圖 5.17 平面造波水槽進水 5-12
圖 5.18 CASE 1 波高時序列圖(原型數據) 5-14
圖 5.19 CASE 2 波高時序列圖(原型數據) 5-15
圖 5.20 CASE 3 波高時序列圖(原型數據) 5-16
圖 5.21 CASE 4 波高時序列圖(原型數據) 5-17
圖 5.22 CASE 5 波高時序列圖(原型數據) 5-18
圖 5.23 流速計位置示意圖 5-19
圖 5.24 堤頭護基試驗布置示意圖 5-20
圖 5.25 CASE 3 波高時序列圖(護基加寬) 5-21
圖 5.26 CASE 4 波高時序列圖(護基加寬) 5-22
圖 5.27 CASE 5 波高時序列圖(護基加寬) 5-23
圖 5.28 流速計位置示意圖(V：流速計，第一次為藍字、第二次為紅字) 5-24
圖 5.29 堤頭護基試驗布置示意圖(水平比尺 1/200、垂直比尺 1/100)..... 5-25
圖 5.30 護基寬度改變堤頭附近底床水分子速度變化圖(CASE 1，黑: 40m 護基寬、藍: 60m 護基寬) 5-30
圖 5.31 護基寬度改變堤頭附近底床水分子速度變化圖(CASE 2，黑: 40m 護基寬、藍: 60m 護基寬) 5-30
圖 5.32 護基寬度改變堤頭附近底床水分子速度變化圖(CASE 3，黑: 40m 護基寬、藍: 60m 護基寬) 5-31

圖 5.33 護基寬度改變堤頭附近底床水分子速度變化圖(CASE 5，黑: 40m 護基寬、藍: 60m 護基寬)..... 5-31
圖 5.34 護基寬度改變堤頭附近底床水分子速度變化圖(CASE 4，黑: 40m 護基寬、藍: 60m 護基寬)..... 5-32
圖 5.35 H7 數值與試驗波高比較..... 5-32
圖 5.36 H5 數值與試驗波高比較..... 5-32
圖 5.37 H4 數值與試驗波高比較..... 5-33
圖 5.38 H3 數值與試驗波高比較..... 5-33
圖 5.39 H2 數值與試驗波高比較..... 5-33
圖 5.40 H1 數值與試驗波高比較..... 5-33
圖 5.41 H0 數值與試驗波高比較..... 5-33
圖 5.42 u1 數值與試驗比較..... 5-34
圖 5.43 u2 數值與試驗比較..... 5-34
圖 5.44 u3 數值與試驗比較..... 5-35
圖 5.45 u4 數值與試驗比較..... 5-35
圖 5.46 v1 數值與試驗比較..... 5-35
圖 5.47 v2 數值與試驗比較..... 5-35
圖 5.48 v3 數值與試驗比較..... 5-35
圖 5.49 v4 數值與試驗比較..... 5-35
圖 5.50 w1 數值與試驗比較..... 5-35
圖 5.51 w3 數值與試驗比較..... 5-35
圖 5.52 w4 數值與試驗比較 5-36
圖 6.1 臺中港北防波堤海域實測地形侵淤變化(85~95 年)..... 6-2
圖 6.1(續) 臺中港北防波堤海域實測地形侵淤變化(85~95 年)..... 6-3

圖 6.2 麥寮港西防波堤海域實測地形侵淤變化(82~99 年)..... 6-5
圖 6.2(續) 麥寮港西防波堤海域實測地形侵淤變化(82~99 年)..... 6-6
圖 6.3 臺中港北防波堤堤頭附近地形等深線變化圖(85~95 年)..... 6-8
圖 6.3(續) 臺中港北防波堤堤頭附近地形等深線變化圖(85~95 年)..... 6-9
圖 6.4 臺中港北防波堤堤頭海域-25m 沖刷洞地形變化圖(85~95 年)... 6-10
圖 6.4(續) 臺中港北防波堤堤頭海域-25m 沖刷洞地形變化圖(85~95 年)..... 6-11
圖 6.5 堤頭-25m 沖刷洞心堤距、面積、體積變動圖 6-12
圖 6.6 麥寮港西防波堤堤頭附近地形等深線變化圖(80~99 年)..... 6-13
圖 6.6(續) 麥寮港西防波堤堤頭附近地形等深線變化圖(80~99 年)..... 6-14
圖 6.6(續) 麥寮港西防波堤堤頭附近地形等深線變化圖(80~99 年)..... 6-15
圖 6.7 麥寮港西防波堤堤頭海域-35m 沖刷洞地形變化圖(90~99 年)... 6-16
圖 6.7(續) 麥寮港西防波堤堤頭海域-35m 沖刷洞地形變化圖(90~99 年)... 6-17
圖 6.8 堤頭-35m 沖刷洞心堤距、面積、體積變動圖 6-18
圖 6.9 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. 6-19
圖 6.10 麥寮港西防波堤堤頭加密測量之等深線變化圖(96~101 年)..... 6-21
圖 6.10(續) 麥寮港西防波堤堤頭加密測量之等深線變化圖(96~101 年)..... 6-22
圖 6.10(續) 麥寮港西防波堤堤頭加密測量之等深線變化圖(96~101 年)..... 6-23
圖 6.10(續) 麥寮港西防波堤堤頭加密測量之等深線變化圖(96~101 年)..... 6-24
圖 6.10(續) 麥寮港西防波堤堤頭加密測量之等深線變化圖(96~101 年)..... 6-25
圖 6.10(續) 麥寮港西防波堤堤頭加密測量之等深線變化圖(96~101 年)..... 6-26
圖 6.11 麥寮港西堤堤頭加密測量之-35m 與-40m 沖刷洞變化量化圖.. 6-27
圖 6.12 臺灣六大港海域歷年流速大於 50cm/sec 發生機率圖 6-29
圖 6.13 臺中港 2003~2009 年流速分佈發生機率圖 6-30

圖 6.14 麥寮港 2000~2010 年流速分佈發生機率圖 6-31
圖 6.15 麥寮港 YLCW 測站逐時流速與流矢分佈圖(2007/05)..... 6-38
圖 6.16 麥寮港 YLCW 測站逐時流能量累積分佈圖(2007/05)..... 6-38
圖 6.17 麥寮港 YLCW 測站逐月淨流能量累積分佈圖(2000~2010 年). 6-38
圖 6.18 麥寮港西防波堤堤頭地形夏季侵淤變化實例(96/05~96/09) 6-40
圖 6.19 麥寮港 YLCW 測站夏季流能量累積分佈實例(96/06、96/09).. 6-40
圖 6.20 麥寮港西防波堤堤頭地形冬季侵淤變化實例(98/10~99/01) 6-41
圖 6.21 麥寮港 YLCW 測站冬季流能量累積分佈實例(98/11、98/12).. 6-41
圖 6.22 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 6-42
圖 6.23 堤頭護基防制工法初步研擬布置示意圖..... 6-43
圖 7.1 防波堤原始護基(40m)..... 7-1
圖 7.2 防波堤 1.5 倍護基(60m)..... 7-1
圖 7.3 防波堤護基 1 倍與 1.5 倍底床速度比較..... 7-2
圖 7.4 防波堤護基 1 倍與 1.5 倍自由液面比較..... 7-2
圖 7.5 防波堤護基 1 倍與 1.5 倍 u 方向速度比較..... 7-2
圖 7.6 防波堤護基 1 倍與 1.5 倍 v 方向速度比較..... 7-3
圖 7.7 防波堤護基 1 倍與 1.5 倍 w 方向速度比較..... 7-3

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(%)統計表 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 各月份發生颱風之機率列表 2-14
表 2.12 臺中港 2007 至 2011 年各月份資料波浪列表 2-16
表 2. 13 臺中港 2007 至 2011 年各月份波浪列表 2-17
表 2.14 THL1 測站歷年颱風波浪超過 4m 統計 2-24
表 2.15 THL2B 測站歷年颱風波浪超過 4m 統計 2-25
表 2.16 臺中港外海各重現期之颱風波浪推算 2-30
表 2.1 7 麥寮港外海各重現期之颱風波浪推算 2-30
表 2.18 臺中港歷年海流之流速及流向統計表 2-32
表 2.19 雲林海域各潮位站之潮位統計值 2-40
表 2. 20(a) 臺中港附近地形累積侵淤量 2-46
表 2. 20(b) 臺中港附近地形累積侵淤量 2-47

表 3.1 測量作業使用之儀器規格表 3-8
表 3.2 本計畫引用一等一級水準控制點之點位資料 3-9
表 3.3 梧棲漁港潮位站之點位資料 3-10
表 3.4 麥寮工業港潮位站之點位資料 3-10
表 3.5 臺中港斷面位置坐標 3-25
表 3.6 麥寮工業港斷面位置坐標 3-58
表 3.7 RD Instruments 底碇式都卜勒潮波流剖面儀規格特性表 3-89
表 3.8 TC 站，潮位調合分析主要分潮參數 3-91
表 3.9 TC 站，底層海流流速、流向統計表 3-96
表 3.10 TC 站，中層(水下 11m)海流流速、流向統計表 3-96
表 3.11 TC 站，中層(水下 6m)海流流速、流向統計表 3-97
表 3.12 TC 測站，表層海流流速、流向統計表 3-97
表 3.13 TC 測站，波高、波向聯合機率分佈統計表 3-99
表 3.14 TC 測站，波高、週期聯合機率統分佈計表 3-99
表 3.15 ML 站，潮位調合分析主要分潮參數 3-102
表 3.16 ML 站，底層海流流速、流向統計表 3-105
表 3.17 ML 測站，表層海流流速、流向統計表 3-105
表 3.18 ML 測站，波高、波向聯合機率分佈統計表 3-107
表 3.19 ML 測站，波高、週期聯合機率統分佈計表 3-107
表 4.1 港灣工程領域適用的 FLOW-3D 計算模組 4-2
表 4.2 *RNG* κ-ε紊流模型系數值 4-9
表 4.3 驗證案例列表 4-15
表 4.4 FLOW-3D 計算案例 4-19

表 4.5 防波堤頭附近最大底床水分子速度分佈分析 4-43
表 5.1 臺中港外海 10~100 年重現期颱風波浪推算 5-4
表 5.2 各物理量之模型縮尺比 5-6
表 5.3 防制工法水工模型試驗項目 5-13
表 5.4 臺中港防坡堤頭造波試驗案例 5-13
表 5.5 Case 1 流速統計資料(原型數據) 5-25
表 5.6 Case 2 流速統計資料(原型數據) 5-26
表 5.7 Case 3 流速統計資料(原型數據) 5-27
表 5.8 Case 4 流速統計資料(原型數據) 5-28
表 5.9 Case 5 流速統計資料(原型數據) 5-29
表 5.10 水粒子運動方向明細 5-34
表 6.1 臺中港北堤堤頭-25m 沖刷洞變化量化表(85~95 年) 6-11
表 6.2 麥寮港西堤堤頭-35m 沖刷洞變化量化表(90~99 年) 6-17
表 6.3 麥寮港西堤加密測量堤頭-35m 沖刷洞變化量化表(96~100 年) . 6-28
表 6.4 臺中港北防波堤堤頭西側 TC 測站歷年海流統計表 6-32
表 6.4 (續) 臺中港北防波堤堤頭西側 TC 測站歷年海流統計表 6-33
表 6.5 麥寮港西防波堤堤頭南側 YLCW 測站歷年海流統計表 6-34
表 6.5 (續) 麥寮港西防波堤堤頭南側 YLCW 測站歷年海流統計表 6-35
表 6.5 (續) 麥寮港西防波堤堤頭南側 YLCW 測站歷年海流統計表 6-36

第一章 計畫背景分析

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。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一年，以臺中港及麥寮工業港為研究對象，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。本年度研究完成：(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。

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。

1. 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。

2. 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。

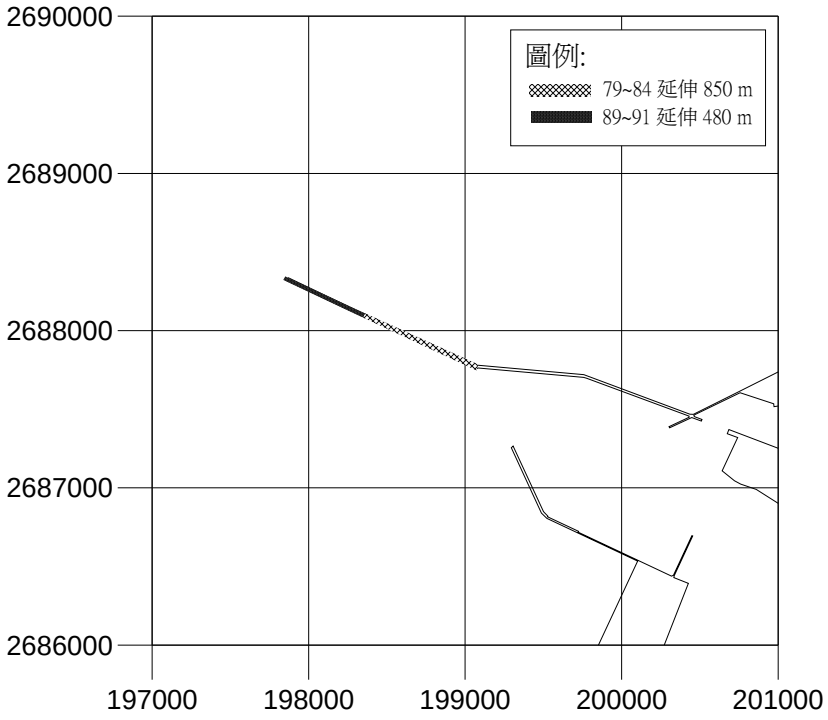


圖 1.1 臺中港北防波堤延伸歷程圖

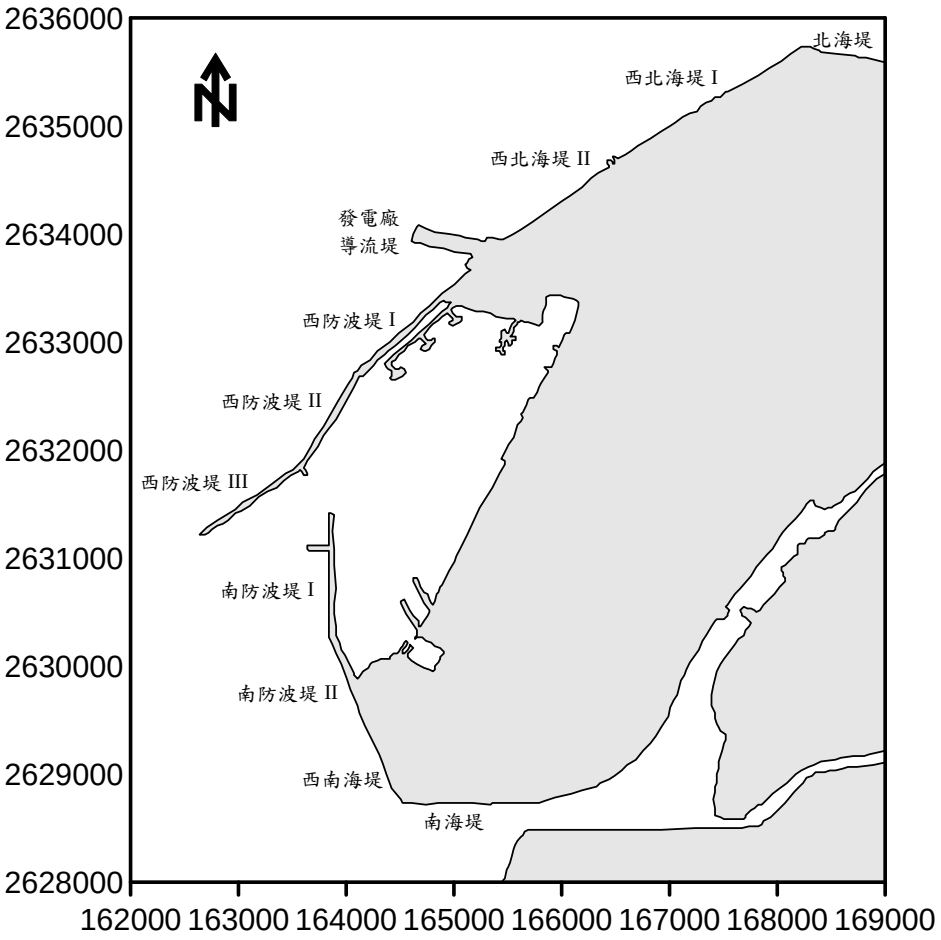


圖 1.2 麥寮工業區各區段海堤位置圖

1.4 工作項目

本研究全期計有四年，本年度為第 1 年(102 年)。工作項目敘述如下：

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。

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：

1. 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。

2. 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 1.3、圖 1.4)

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 1.5)。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：

A. 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。

B. 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。

C. 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。

D. 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。

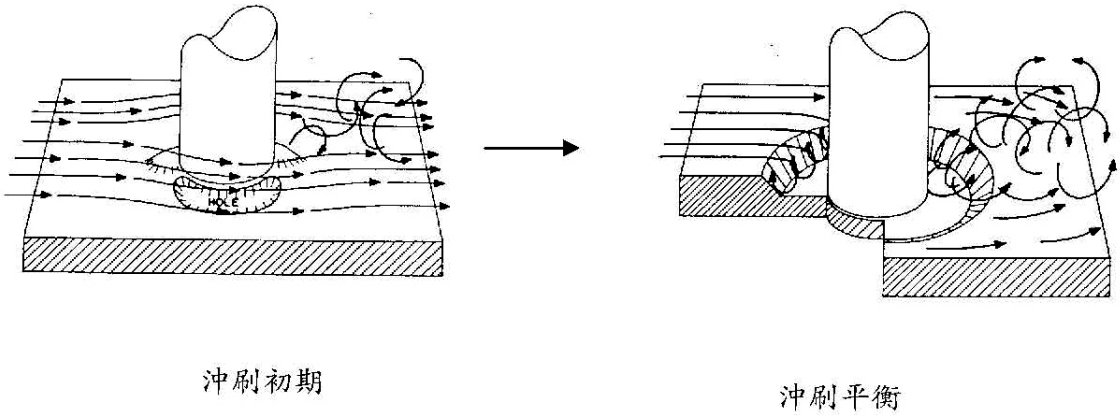


圖 1.3 局部沖刷變遷圖

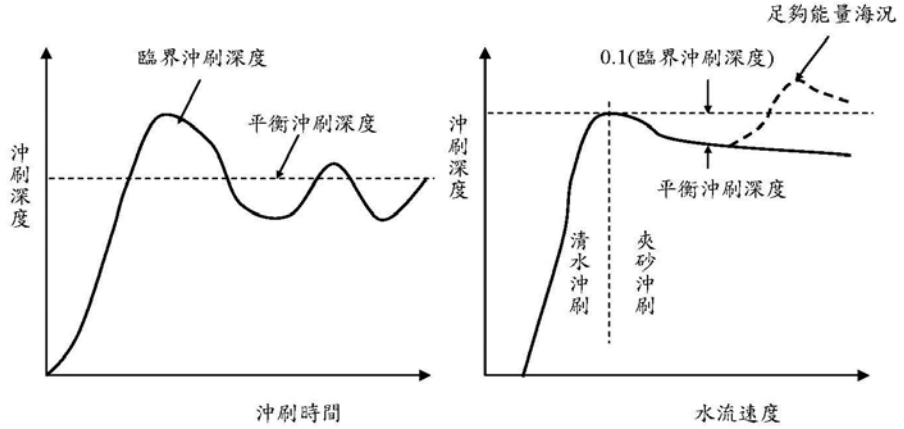


圖 1.4 沖刷深度與沖刷時間及水流速度關係圖 (Breusers, H.N.C. and A.J. Raudkivi, 1991)

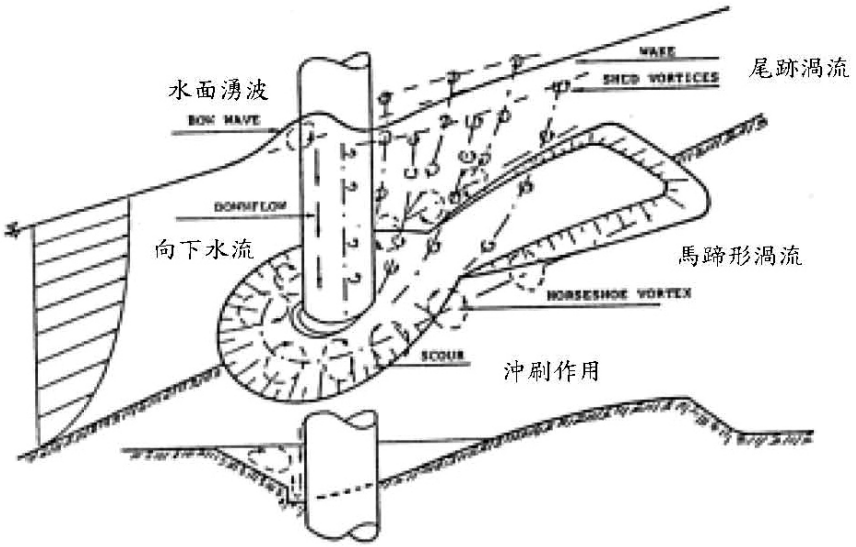


圖 1.5 直立樁附近水流流況示意圖 (Breusers, H.N.C. and A.J. Raudkivi, 1991)

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。

3. 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 1.6)。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 1.7)。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。

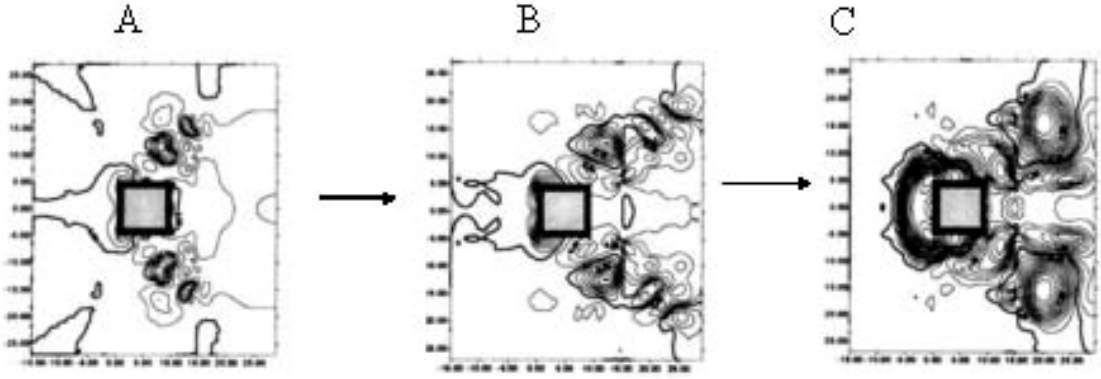


圖 1.6 人工魚礁模型隨時間變化之沖刷等高線圖 (林，1998)

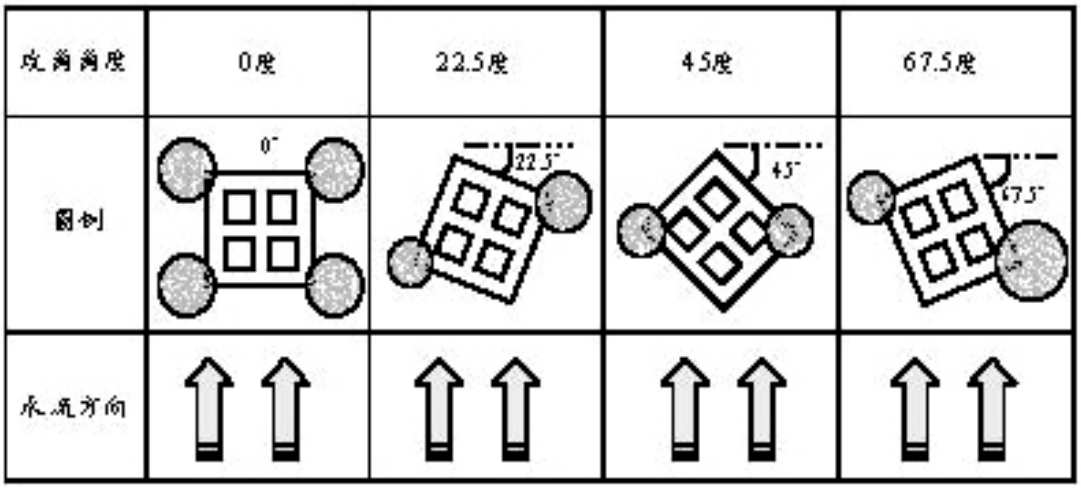


圖 1.7 人工魚礁模型在不同水流攻角下局部沖刷坑俯視圖 (賴，2000)

4. 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。

5. 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 1.8 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 1.9 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 1.10 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 1.11 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。

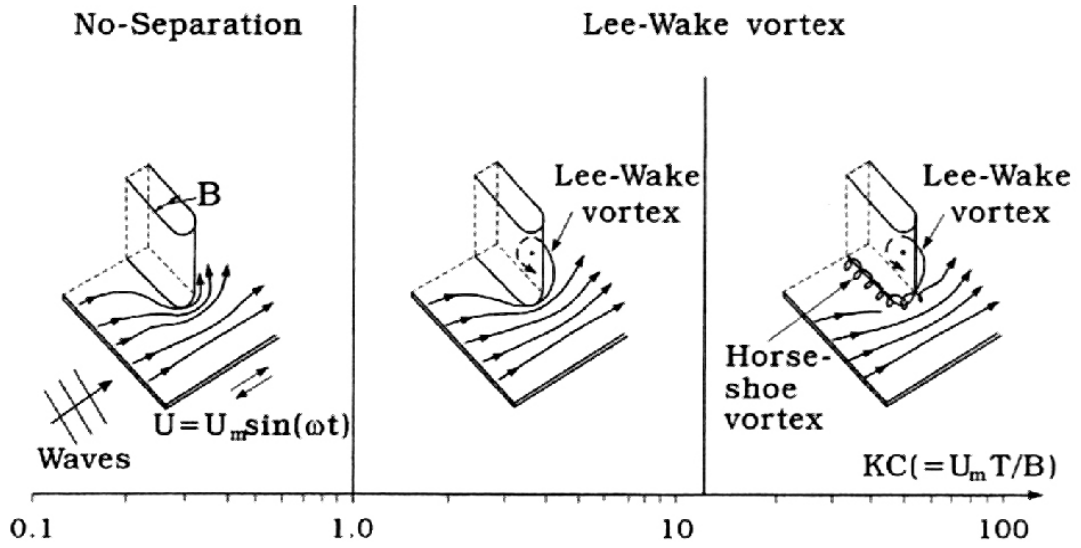


圖 1.8 直立堤堤頭附近水流流況示意圖 (Sumer and Fredsøe, 1997)

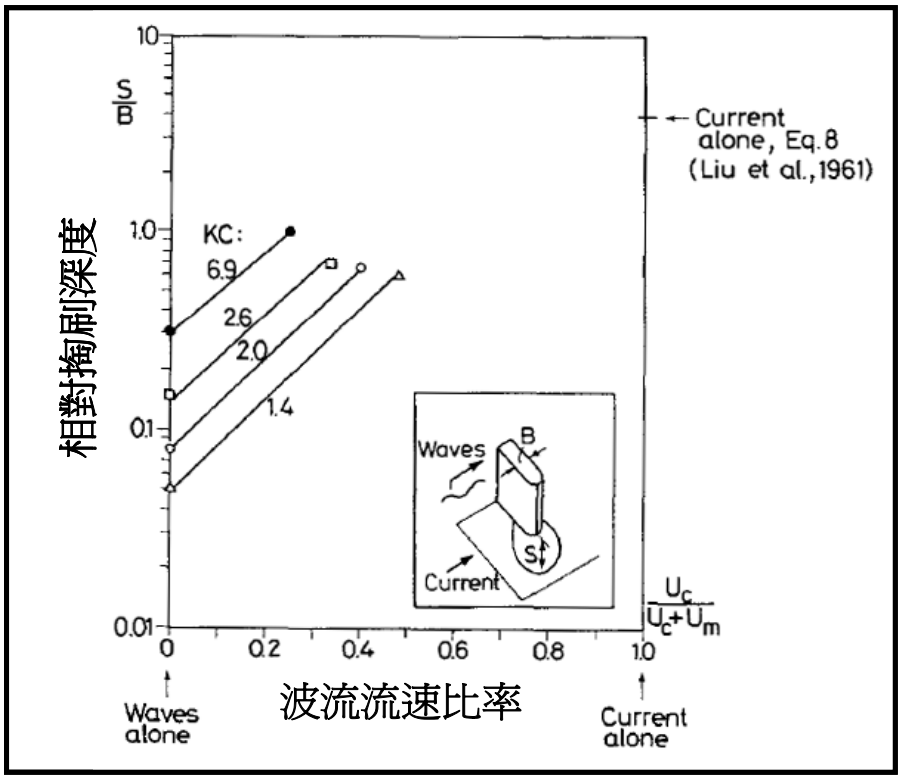


圖 1.9 直立堤堤頭附近波流共生之掏深關係 (Sumer and Fredsøe, 1997)

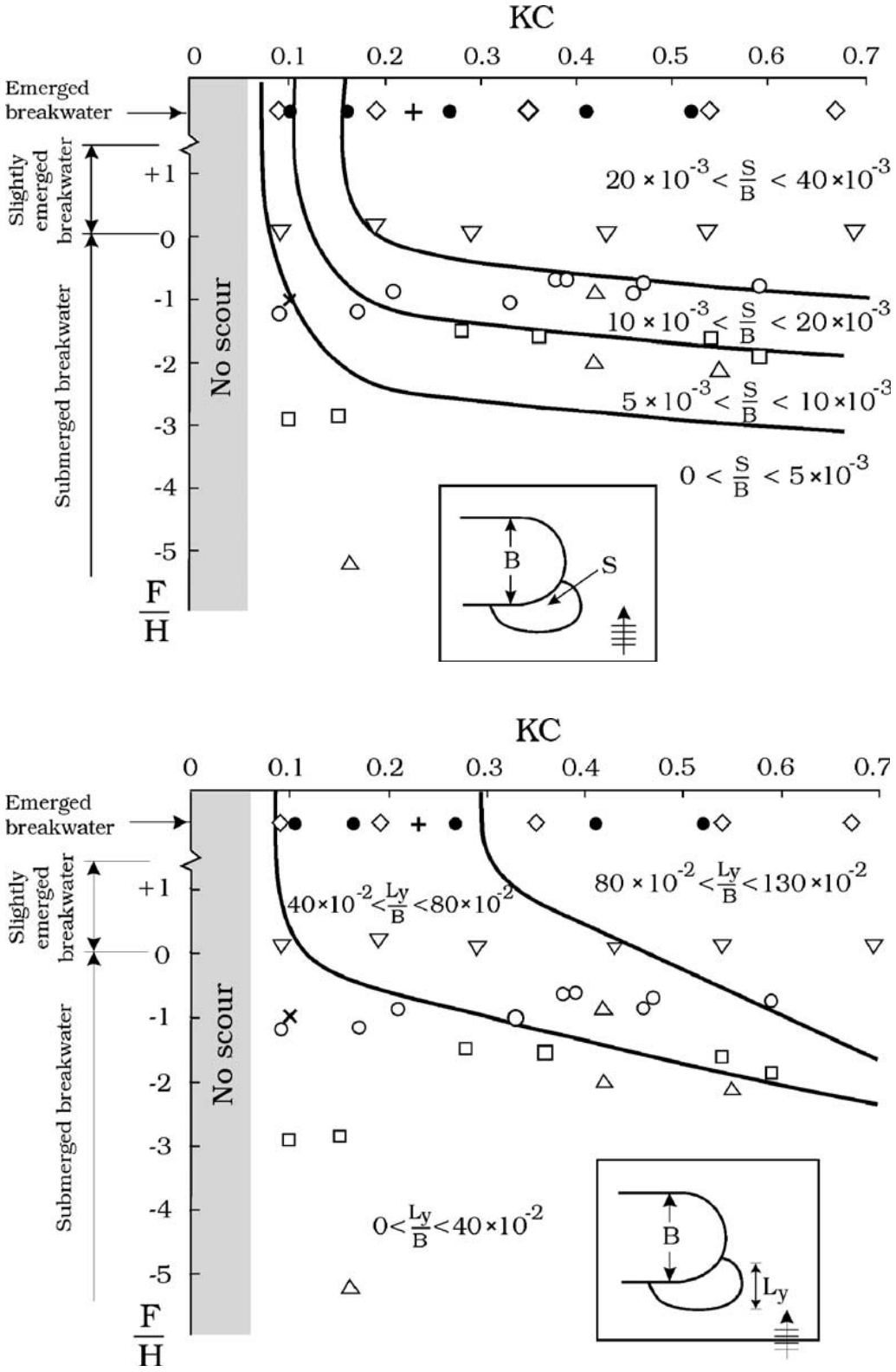


圖 1.10 防波堤堤頭露水高與掏深深度、寬度關係 (Sumer et al., 2005)

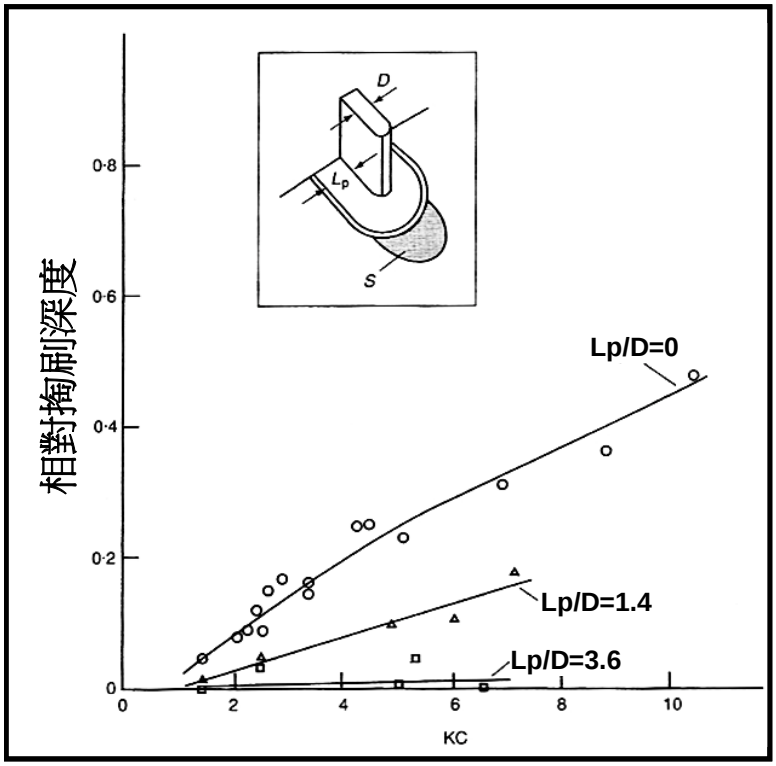


圖 1.11 具護基保護工之直立堤堤頭附近 KC 值與掏深關係 (Gokce et al., 1994、Sumer and Fredsøe, 1997)

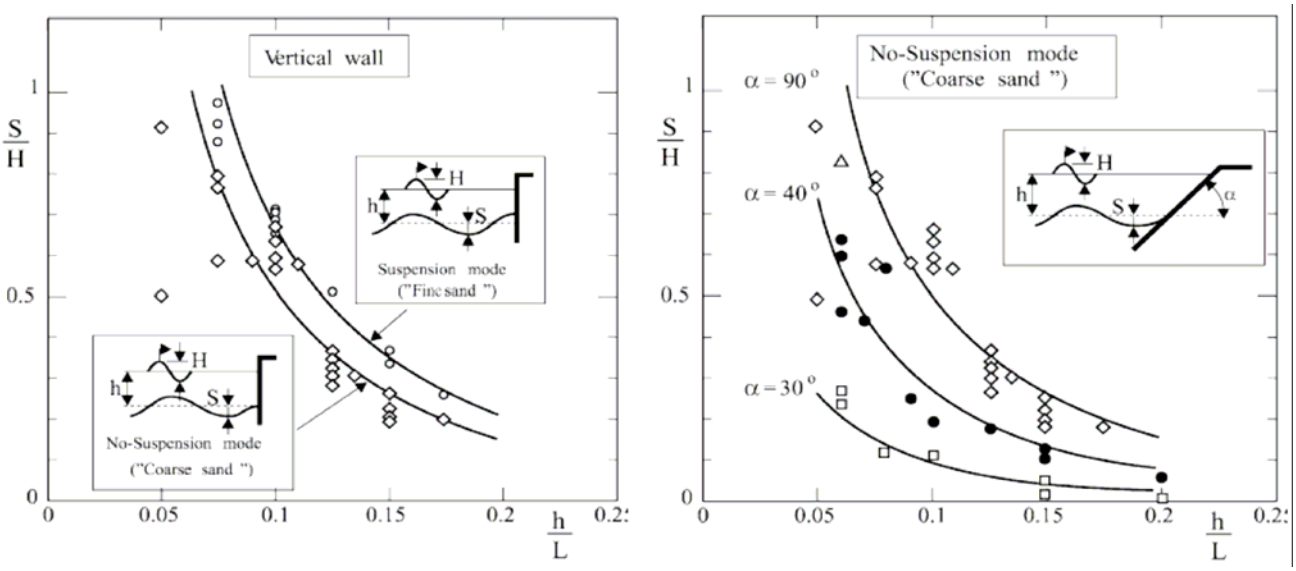


圖 1.12 直立堤與斜坡拋石堤之堤前掏刷關係 (Sumer et al., 2001)

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。

6. 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、本所之臺中港海象分析資料、臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司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、港灣技術研究中心

圖 2.1 臺中港海氣象觀測站位置圖

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。

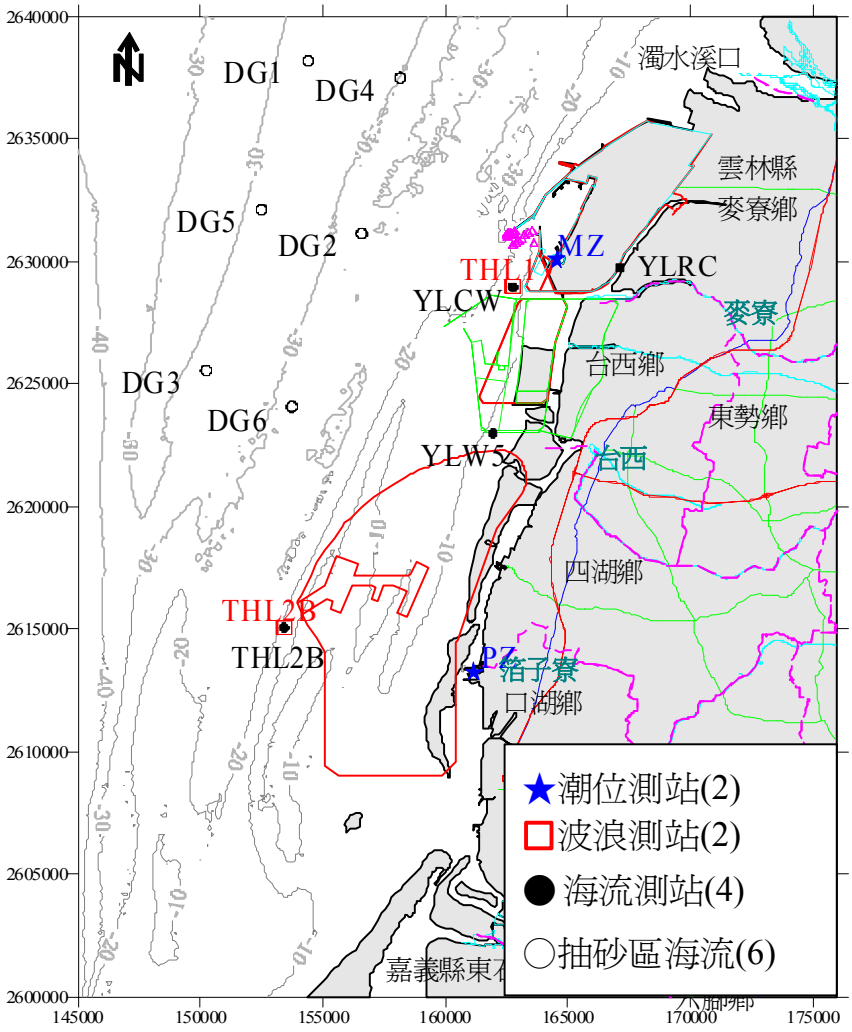


圖 2.2 雲林縣離島工業區海氣象觀測站位置圖 (成大水工所，2010)

2.1 氣象資料

1. 風速與風向

臺中港附近長期觀測站，有本所(測站 W)與中央氣象局(測站 E)。本所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

波向 風速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合計 (%)
.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：港灣技術研究中心; 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

.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	.5	.0	.0	.0	.5	.9	1.4	.9	.5	.4	.4	.5	.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	5.9	2.6	.0	.0	.0	.0	.0	.2	.5	.3	.1	.0	.0	.0	.1	9.5
10m/s	.5	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	5.2	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：港灣技術研究中心; 2002/3/1 0:0~2011/5/31 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 風速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合計 (%)
.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	.3	.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：港灣技術研究中心; 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 風速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合計 (%)
.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：港灣技術研究中心; 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 風速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合計 (%)
.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：港灣技術研究中心; 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 風速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合計 (%)
.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：港灣技術研究中心; 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 風速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合計 (%)
.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：港灣技術研究中心; 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 / 風速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合計 (%)
.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	1.3	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：港灣技術研究中心; 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 風速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合計 (%)
.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	.3	.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：港灣技術研究中心; 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 風速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合計 (%)
.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：港灣技術研究中心; 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 風速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合計 (%)
.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：港灣技術研究中心; 1996/1/1 0:0~2011/2/28 23:00

根據經濟部水利署麥寮氣象站 2000~2006 年之分析資料，記錄期間平均風速為 5.7 m/sec，最大風速為九月時的 21.5 m/sec，發生於 2005 年 9 月 1 日強烈颱風泰利來襲時；冬季 (10 月至隔年 3 月) 平均風速為 6.24 m/sec，主要風向為 NNE 向；夏季 (4~9 月) 平均風速為 5.11 m/sec，其風向則較為紛紜，4、5 月時風向仍為 NNE 向，但 6、7 月則轉為 S~SW 向，8、9 月轉為 N~NNE 向。本區域全年風向主要為 NNE 向（約 42.24%），其次為 N 向（約 13.05%）及 NE 向（約 9.28%），三個主要風向群發生頻率合佔全年 64.57%以上，顯示麥寮區域之海岸風力以冬季的東北季風最為顯著。

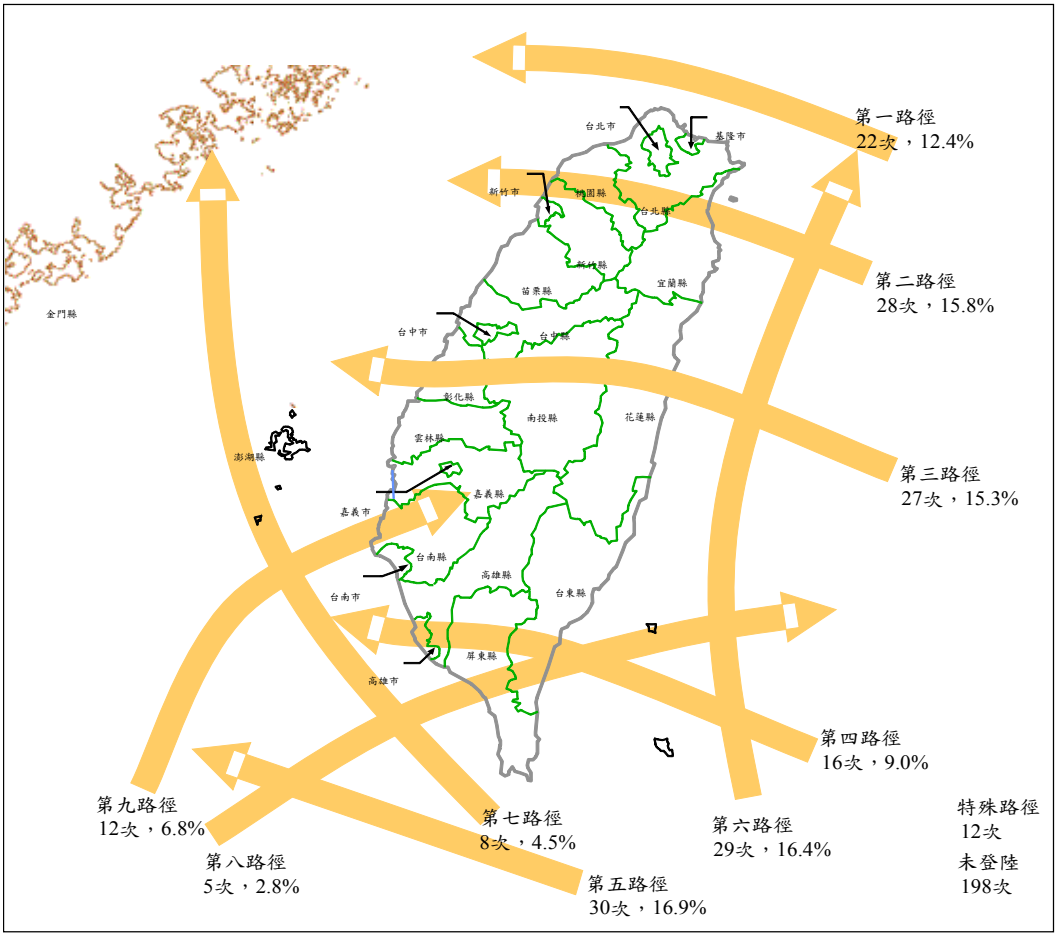
2. 颱風

根據中央氣象局所發佈自 1958~2013 年 9 月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 15.3%、4.5%、6.8 %。此外，若以颱風發生的月份進行分類，發生機率以 8 月份最多 (30.6%)，其次為 7 及 9 月份 (24.1 % 及 21.3 %)，各月份之機率如表所示。由表亦可得知，到目前止 1~4 月份並無颱風侵襲臺灣的紀錄。

表 2.11 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	–	–	–	–	7	16	44	56	39	17	3	1
%	–	–	–	–	3.8	8.8	24.1	30.6	21.3	9.3	1.6	0.5

資料來源：中央氣象局，本計畫彙整統計；統計期間：1958 年～2013 年 9 月。



資料來源：中央氣象局，本計畫繪製統計；統計期間：1958 年～2013 年 9 月。

圖 2.3 侵襲臺灣之颱風路徑統計圖 (1958～2013/9)

2.2 海象資料

2.2.1 波浪

1. 臺中海域

分析本所 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，。$H_{1/3}$ 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 2.61m；平均$T_{1/3}$週期為 6.95 sec。在月統計部分，表 2.12 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 1.16 m，最大在 1 月為 3.97m。由圖 2.5 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

另外根據本所「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%。資料觀測期間的波高分佈如圖 2.6 的玫瑰圖所示。

表 2.12 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	6.24	7.78	7.29	6.74	5.36	8.44
Tmax	9.60	6.10	9.10	9.30	8.90	6.30	7.70	8.70	0.80	9.80	1.20	1.10
Dmax	NNE	NNE	NE	N	NNE	ENE	NNE	-	NE	-	N	N
H1/10	5.11	4.53	-	-	3.42	1.83	1.70	2.39	3.38	4.14	3.65	3.86
T1/10	7.68	7.99	-	-	8.49	6.30	5.90	7.35	7.55	7.25	7.68	7.68
H1/3	3.97	3.49	3.33	3.04	1.77	1.26	1.16	1.48	2.40	3.35	3.07	3.01
T1/3	7.80	7.56	7.42	7.56	6.62	5.42	5.11	6.17	7.05	7.59	7.76	7.33
Hmean	2.69	2.07	1.84	1.52	1.04	0.84	0.75	0.84	1.41	2.30	2.19	1.93
Tmean	7.24	6.65	6.56	6.52	5.52	5.35	5.27	5.89	6.56	7.06	7.19	6.55
波向	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE

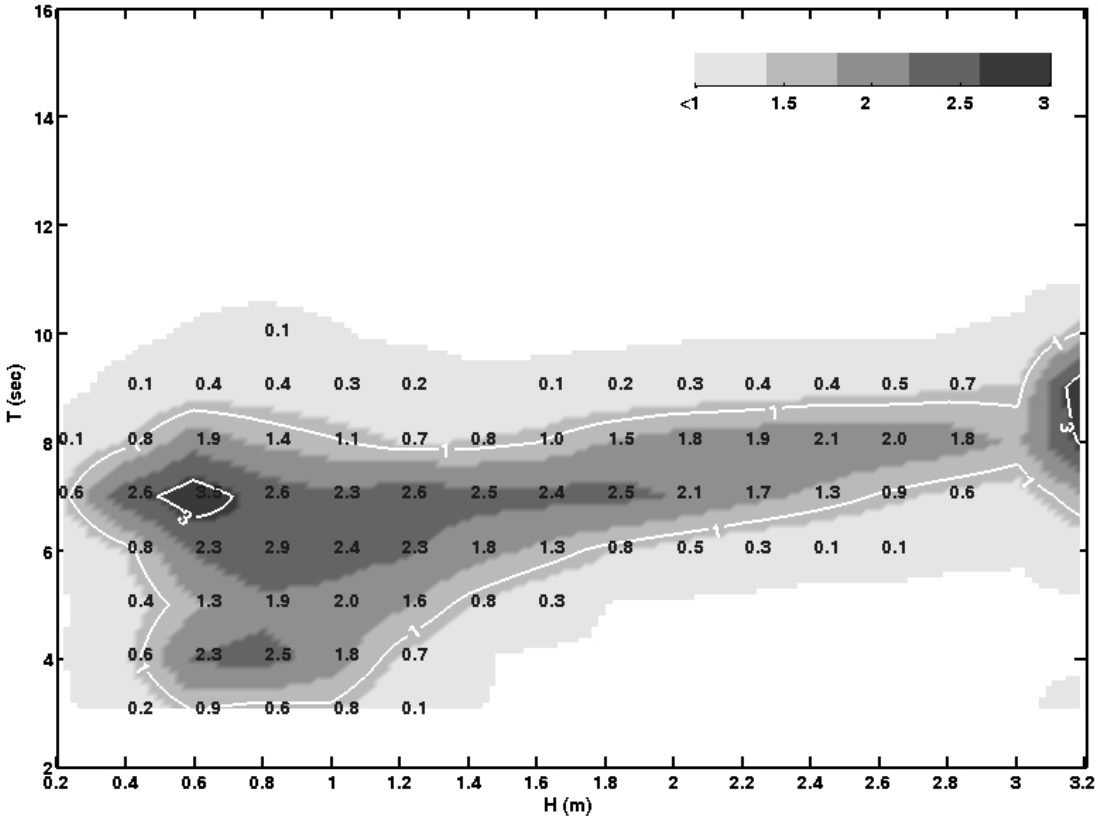
資料來源：港灣技術研究中心，本計畫彙整統計；Tmax、Dmax 為對應週期、波向；單位：波高(m)、週期(sec)。

表 2.13 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	6.90	7.70	8.20	9.30	7.50	6.30	6.70	9.10	7.00	9.80	-	-	9.30	9.80
	Dmax	N	N	N	N	NNE	ENE	NNE	-	-	-	-	-	N	-
	H1/10	3.67	3.20	4.24	3.72	1.57	1.15	1.00	2.25	3.42	4.53	-	-	2.66	3.99
	T1/10	7.95	7.44	7.47	7.59	6.65	5.59	4.31	7.11	7.36	8.16	-	-	7.10	7.61
	H1/3	3.01	2.39	2.91	2.44	1.09	0.93	0.82	1.45	2.49	3.51	-	-	1.71	3.04
	T1/3	7.81	7.19	7.40	7.12	5.62	5.58	4.46	6.37	6.83	7.26	-	-	6.49	7.40
	Hmean	2.29	1.50	1.65	1.50	0.72	0.69	0.59	0.77	1.40	2.36	-	-	0.94	1.94
	Tmean	7.16	6.18	6.29	6.34	4.94	5.63	4.66	6.15	6.59	6.89	-	-	5.72	6.63
	波向	N	N	N	N	NNE	NNE	NNE	NNE	-	-	-	-	NNE	N
2008	Hmax	5.28	5.02	4.26	3.75	3.87	1.62	6.24	2.02	7.29	-	-	-	7.29	5.28
	Tmax	7.60	8.50	7.80	6.80	8.40	5.20	7.70	5.70	0.80	-	-	-	0.80	7.60
	Dmax	N	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NE	-	-	-	NE	N
	H1/10	-	-	-	-	-	1.26	3.10	1.20	4.61	-	-	-	-	-
	T1/10	-	-	-	-	-	5.44	7.11	5.65	6.57	-	-	-	-	-
	H1/3	5.13	4.40	-	-	-	1.06	1.67	0.94	3.08	-	-	-	2.55	-
	T1/3	8.20	7.98	-	-	-	5.33	6.41	5.84	7.08	-	-	-	6.83	-
	Hmean	3.38	3.20	2.29	2.12	1.31	0.73	0.88	0.66	1.52	-	-	-	1.03	2.99
	Tmean	7.77	7.30	6.65	6.52	5.66	5.28	5.55	5.59	6.60	-	-	-	5.79	7.26
	波向	N	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	-	-	-	NNE	NNE
2009	Hmax	-	-	-	-	-	2.76	1.72	7.78	3.32	4.35	5.36	3.73	7.78	5.36
	Tmax	-	-	-	-	-	-	5.80	8.70	8.70	9.20	1.20	8.90	8.70	1.20
	Dmax	-	-	-	-	-	NNE	NNE	-	N	NNE	N	NNE	-	N
	H1/10	-	-	-	-	-	1.91	1.19	3.99	2.71	3.42	4.04	3.14	2.88	3.62
	T1/10	-	-	-	-	-	5.48	6.30	7.95	8.09	8.48	6.98	8.09	7.71	8.01
	H1/3	-	-	-	-	-	1.26	0.91	2.15	2.22	3.01	3.33	2.75	1.90	3.04
	T1/3	-	-	-	-	-	4.83	5.46	6.97	7.61	7.99	7.80	7.47	6.99	7.80
	Hmean	-	-	-	-	-	0.81	0.63	1.02	1.54	2.17	2.22	1.99	1.03	2.13
	Tmean	-	-	-	-	-	5.40	5.74	6.40	6.82	7.20	7.08	6.54	6.21	6.94
	波向	-	-	-	-	-	NNE	NNE	NNE	NNE	N	N	N	NNE	N

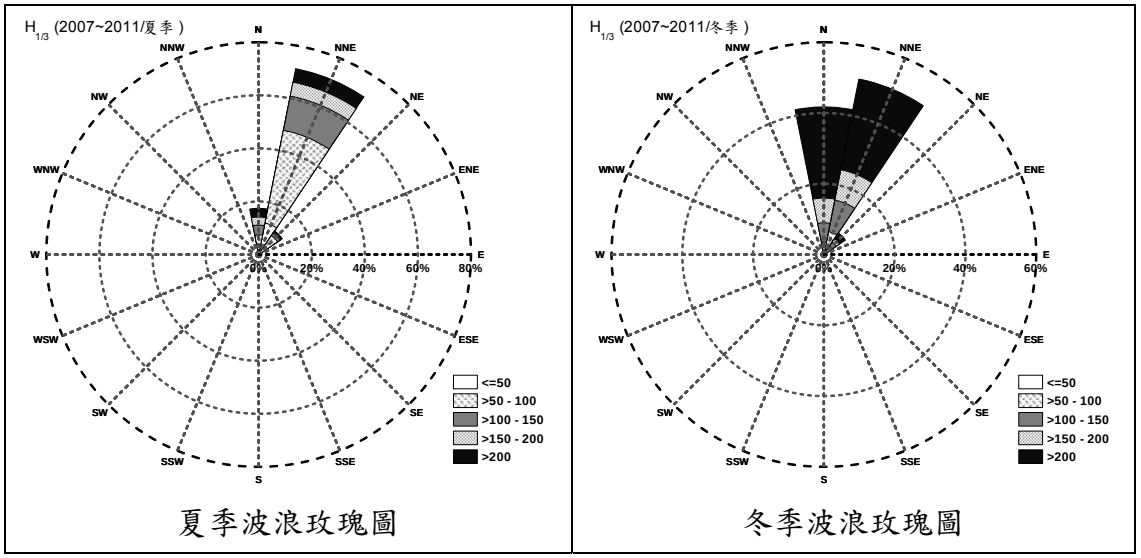
年度	月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	夏季	冬季
2010	Hmax	4.07	3.78	4.58	4.28	2.49	2.92	1.83	2.99	5.09	6.25	4.34	8.44	5.09	8.44
	Tmax	9.40	9.40	9.80	9.70	7.20	7.10	4.50	7.70	9.40	9.20	9.30	1.10	9.40	1.10
	Dmax	N	N	N	N	NNE	NNE	NNE	NNE	N	N	N	N	N	N
	H1/10	3.52	3.25	3.37	3.48	1.97	2.44	1.43	1.88	2.91	4.55	3.41	4.38	2.72	3.88
	T1/10	8.54	8.18	8.11	8.64	6.69	7.37	5.21	7.18	7.92	6.27	8.32	7.46	7.71	7.84
	H1/3	3.06	2.75	2.78	2.85	1.69	1.80	1.22	1.37	2.09	3.74	3.06	3.24	1.91	3.18
	T1/3	8.17	7.81	7.64	7.84	6.28	6.21	4.91	6.12	6.93	7.61	7.89	7.17	6.62	7.79
	Hmean	2.08	1.77	1.77	1.76	1.25	1.19	0.95	0.95	1.27	2.55	2.40	1.87	1.23	2.08
	Tmean	6.91	6.34	6.64	6.57	5.55	5.32	4.89	5.70	6.52	7.23	7.31	6.56	5.75	6.84
	波向	N	N	NNE	N	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	N	N	NNE	NNE	N
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	9.60	6.10	9.10	6.90	8.90	7.60	3.20	9.00	9.20	0.10	0.00	-	8.90	9.60
	Dmax	NNE	NNE	NE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	N	NNE	-	NNE	NNE
	H1/10	5.27	4.55	3.99	3.24	2.64	1.46	1.10	2.11	2.66	3.85	3.23	-	2.53	4.48
	T1/10	7.44	8.00	7.27	7.49	7.80	6.20	4.88	7.63	7.90	6.56	7.51	-	7.38	7.32
	H1/3	4.46	3.58	3.10	2.30	1.90	1.09	0.91	1.39	2.11	3.02	2.73	-	1.70	3.59
	T1/3	7.53	7.56	7.35	7.01	6.93	5.45	5.16	6.23	6.44	7.45	7.68	-	6.43	7.45
	Hmean	3.39	2.16	1.90	1.09	1.11	0.76	0.68	0.79	1.35	2.12	1.95	-	0.96	2.32
	Tmean	7.43	6.99	6.70	6.64	6.07	5.14	5.49	5.60	6.28	6.86	7.18	-	5.87	7.04
	波向	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	-	NNE	NNE

資料來源：港灣技術研究中心，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)。



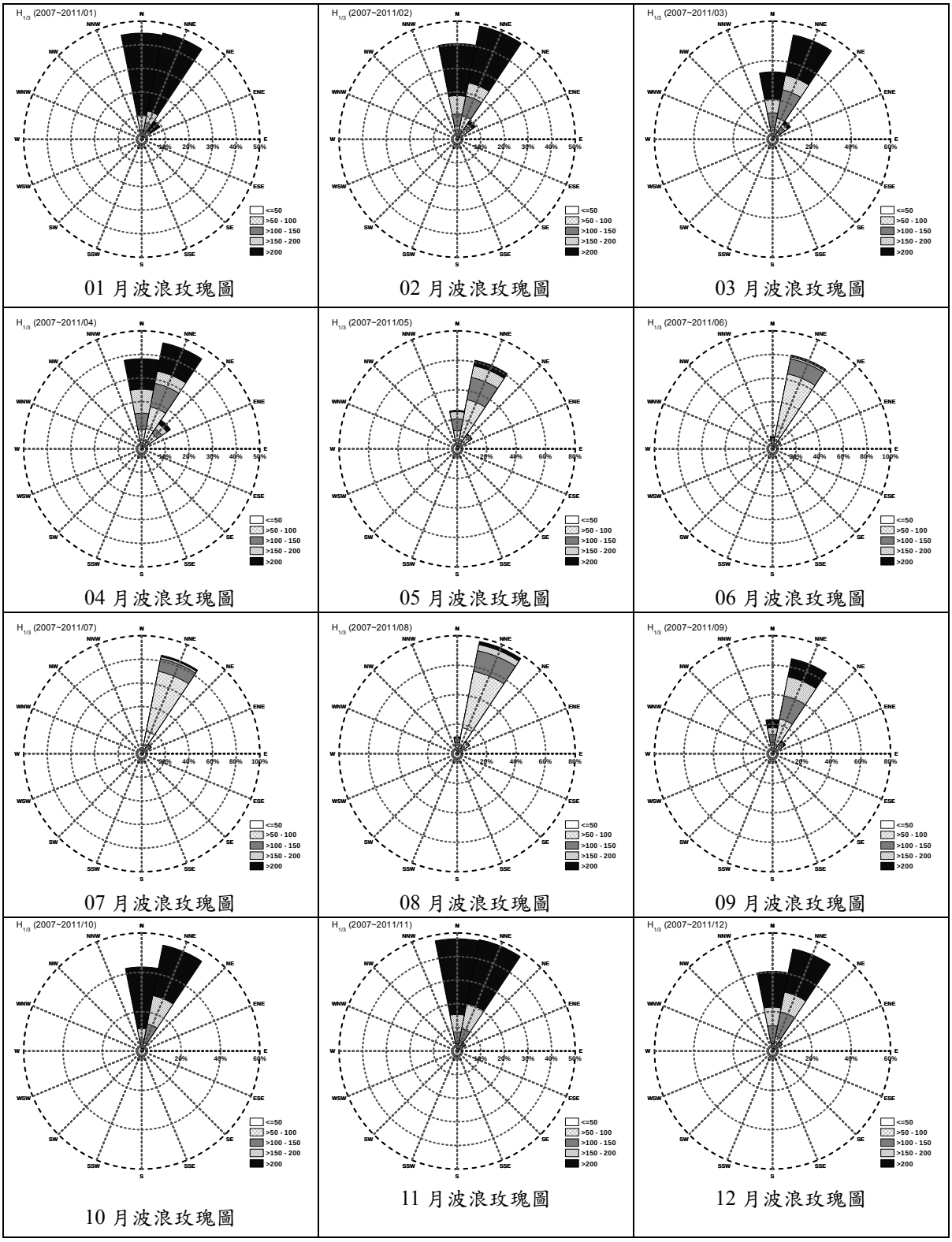
資料來源：港灣技術研究中心，本計畫統計分析、繪製；單位：機率(%)。

圖 2.4 臺中港波高週期聯合機率分佈圖(2007~2011 年)



資料來源：港灣技術研究中心，本計畫統計繪製；統計期間:2007~2011 年。單位：波高(cm)。

圖 2.5 臺中港夏、冬季之波高波向玫瑰圖



資料來源：港灣技術研究中心，本計畫統計繪製；統計期間:2007~2011 年。單位：波高(cm)。

圖 2.6 臺中港逐月之波高波向玫瑰圖

2. 雲林海域

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。本計畫根據成大水工所提供之 1997～2010 年度 THL1 測站海象觀測資料，進一步統計分析臺西海域夏季 (4 月至 9 月) 與冬季 (10 月至隔年 3 月) 的波浪特性，波高對應風向之波浪玫瑰圖，如圖 2.7 所示。結果顯示，夏季平均示性波高 1.0 m，平均示性週期 5.3 sec，對應風向多分佈在 NNW~SW 之間；冬季平均示性波高 1.3 m，平均示性週期 5.8 sec，對應風向集中在 NNW、NW；觀測期間測得最大波高為 5.4 m，對應尖峰週期為 8.3 sec，對應風向為 NNW，發生於 2005 年 9 月 1 日泰利颱風期間。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 2001～2010 年度 THL2B 站海象觀測資料，進一步統計分析四湖海域夏季 (4 月至 9 月) 與冬季 (10 月至隔年 3 月) 的波浪特性，波高對應波向之波浪玫瑰圖，如圖 2.8 所示。結果顯示，夏季平均示性波高 1.3 m，平均示性週期 5.8 sec，主要波向分佈在 N~NNW、W~WSW；冬季平均示性波高 2.4 m，平均示性週期 6.3 sec，主要波向集中在 N、NNW；觀測期間測得最大波高為 6.4 m，對應尖峰週期為 11.2 sec，對應波向為 NNW，發生於 2010 年 12 月 16 日東北季風期間。

夏季 (4~9 月)　　冬季 (10~3 月)

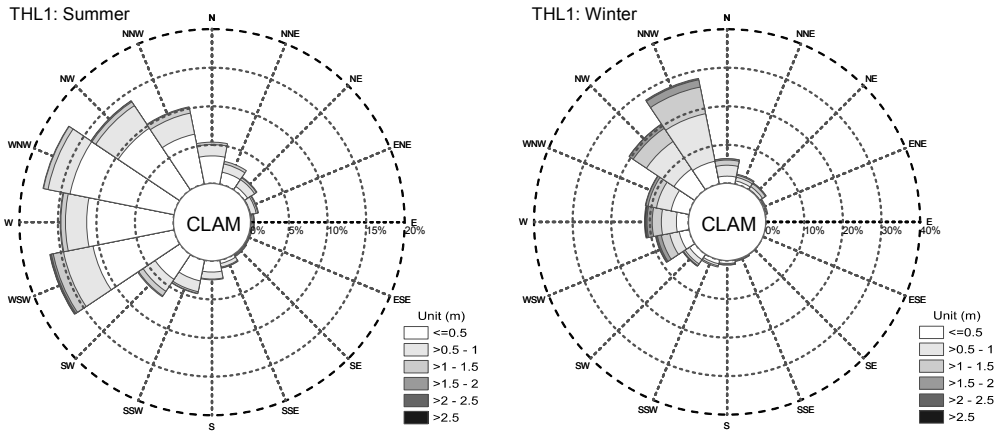


圖 2.7 雲林海域 THL1 測站 1997~2010 年間波浪玫瑰圖

夏季 (4~9 月)　　冬季 (10~3 月)

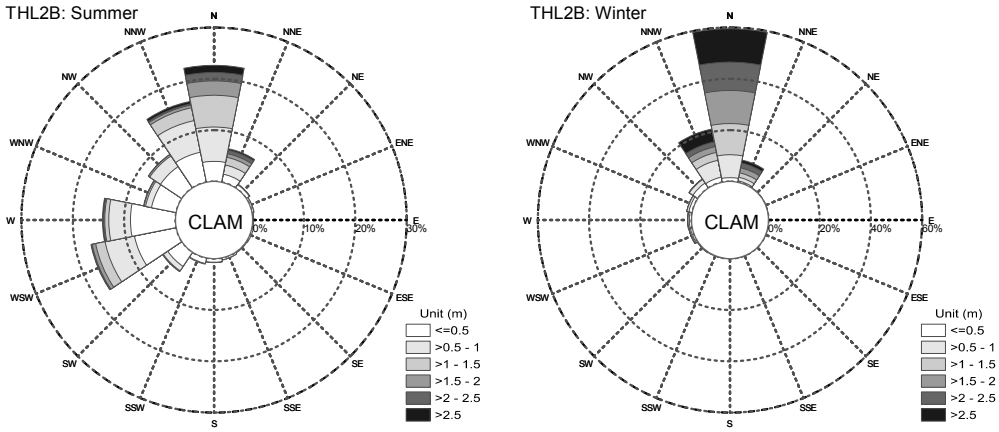


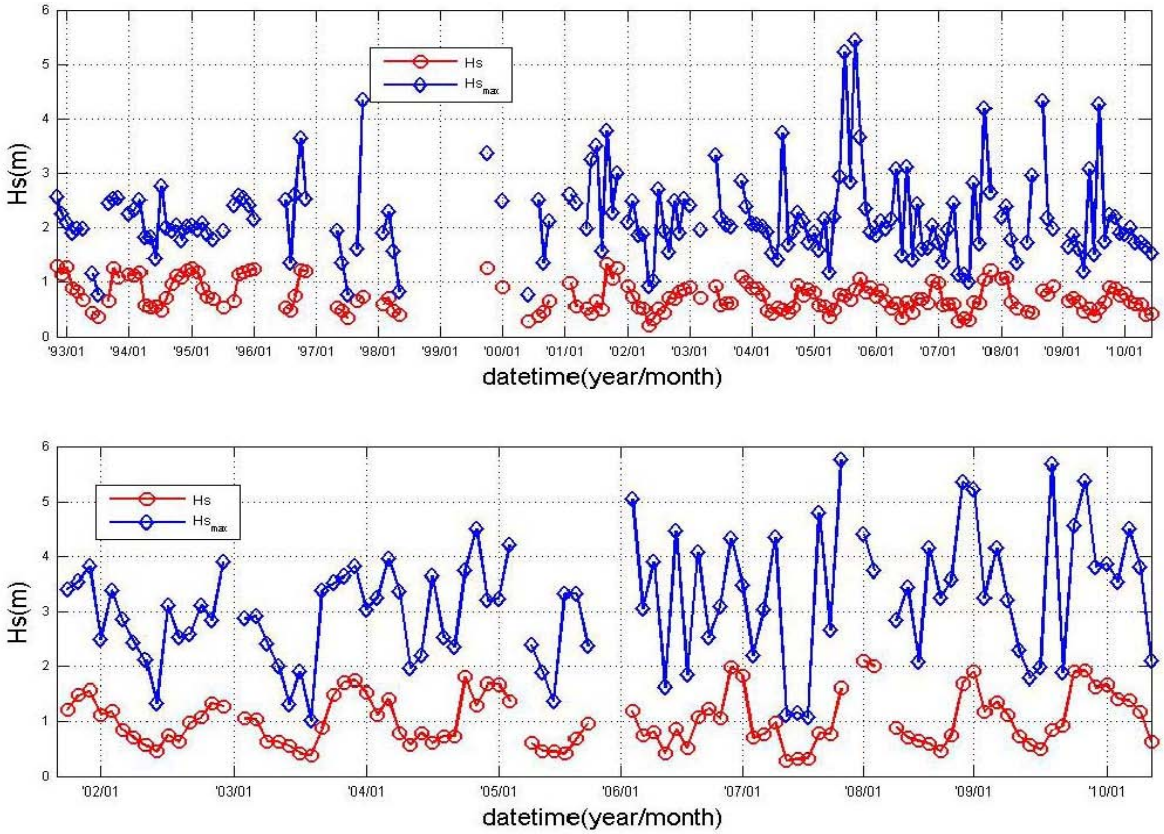
圖 2.8 雲林海域 THL2B 測站 2001~2010 年間波浪玫瑰圖

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 2.9 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 2.14 與表 2.15。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 2.9 兩測站之月平均與月最大示性波高分佈

表 2.14 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	薔蜜	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

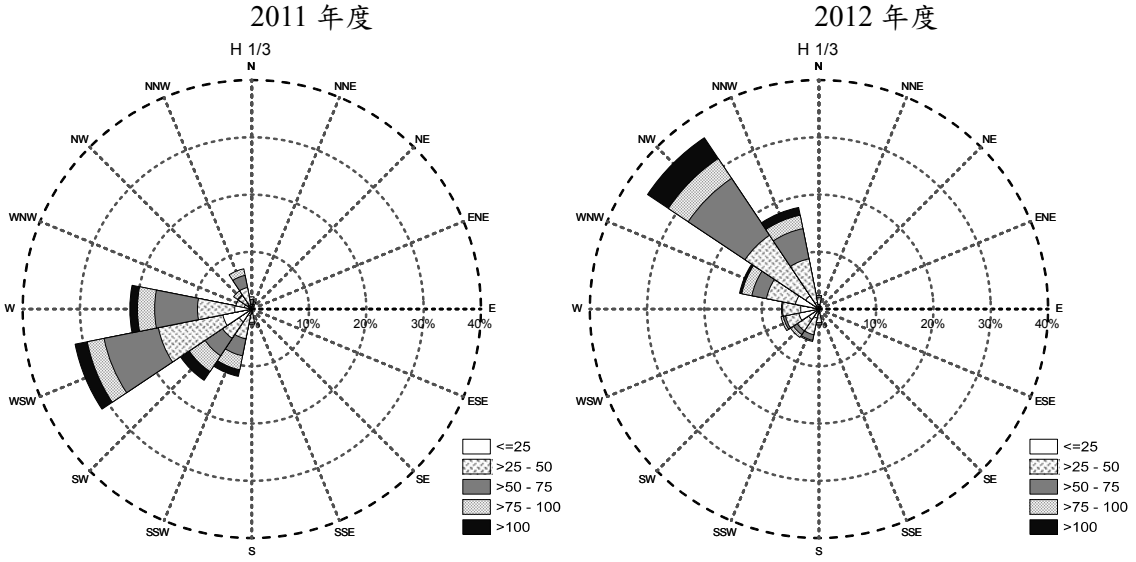
資料來源：賴等人，「雲林海岸長期海象環境變化分析」，海岸開發行為經濟與環保並重－雲林離島式基礎工業區環境監測成果研討會論文集，99 年 10 月。

表 2.15 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 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 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。各年度之波高玫瑰突如圖 2.10 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)」，交通部運研所，101 年。

圖 2.10 麥寮港 2011 年與 2012 年示性波高分佈玫瑰圖

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：

$$H_\theta = H\cos\theta \cdots\cdots(2\text{-}1)$$

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)：

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

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

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：

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

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

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：

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

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。

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

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

式中 ρ_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=$2\omega\sin\varphi$；ω 為地球自轉角速度；φ 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；$\bar{u}_2$ 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

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

(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 2.16 與表 2.17 所示。

表 2.16 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 2.17 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。

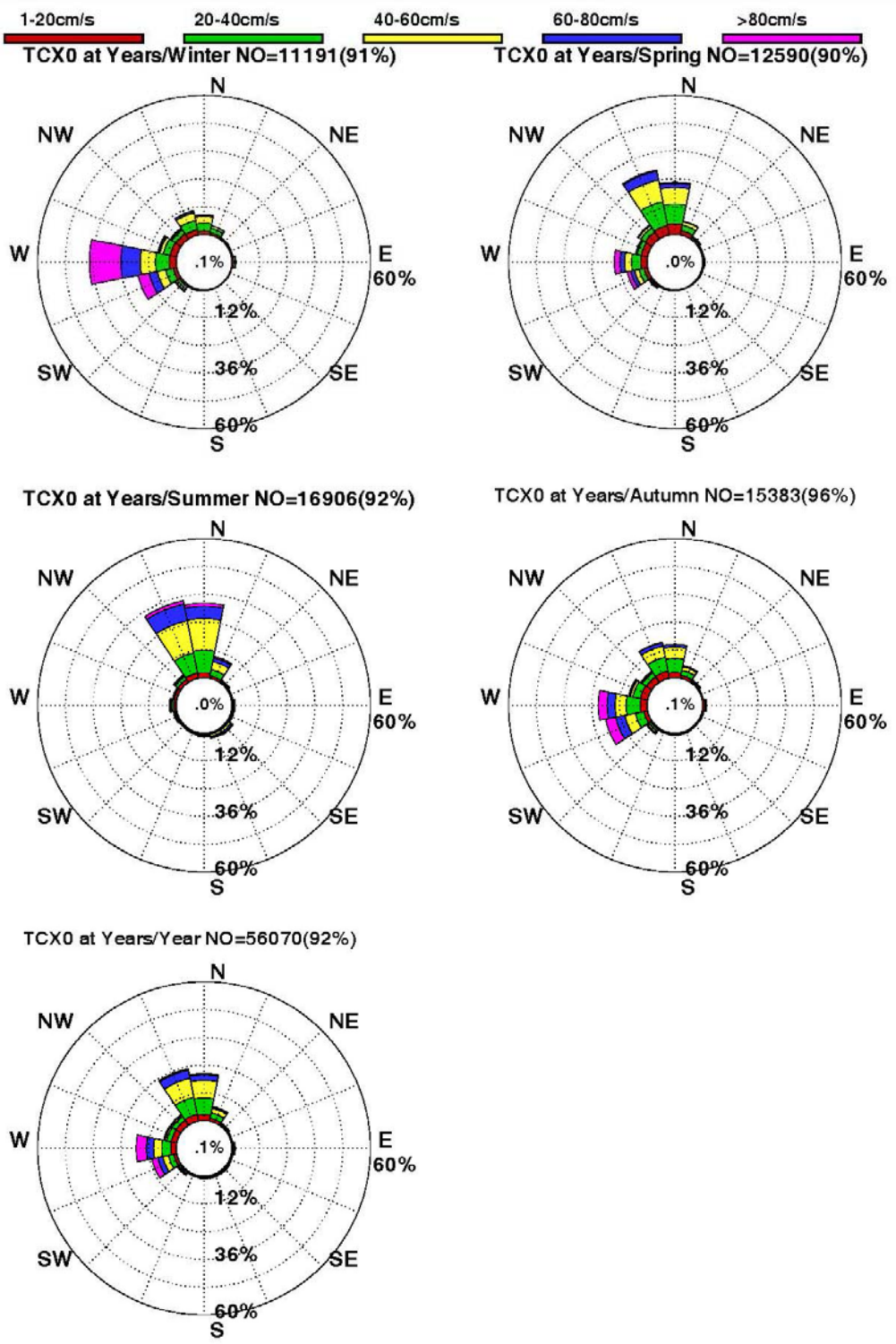
臺中港海岸流況主要由沿岸流、風驅流、潮流及黑潮所組成，根據本所自 2003 年 8 月至 2011 年 11 月期間的海流觀測資料，歷年海流之流速及流向的統計結果如表 2.18 所示。由表可知，港區附近主要流向為西至北向，約佔歷年觀測的 53.6%；其次為南至西向，約佔歷年觀測的 23.6%。流速小於 25 cm/sec 以下者，約佔歷年觀測的 25.9%；流速介於 25-50 cm/sec 之間，約佔歷年觀測的 38.2%；流速介於 50-100 cm/sec 之間，約佔歷年觀測的 31.6%；流速大於 100 cm/sec 以上者，約佔歷年觀測的 4.0%。歷年之平均流速為 44.3 cm/sec；最大流速為 248.3 cm/sec，其流向為西向。

圖 2.11 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 2.18 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)」，交通部運輸研究所，102 年 2 月。

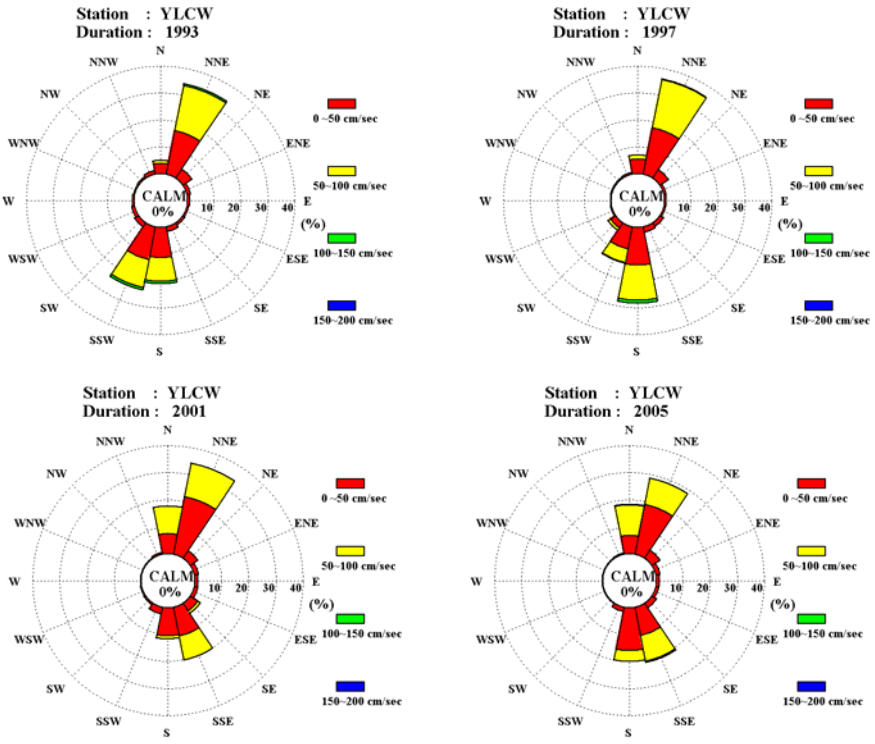


資料來源：「2011 年港灣海氣地象觀測資料年報(臺中港)」，交通部運輸研究所 102 年 2 月。

圖 2.11 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 2.12 為 YLCW 測站自 1993～2006 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。

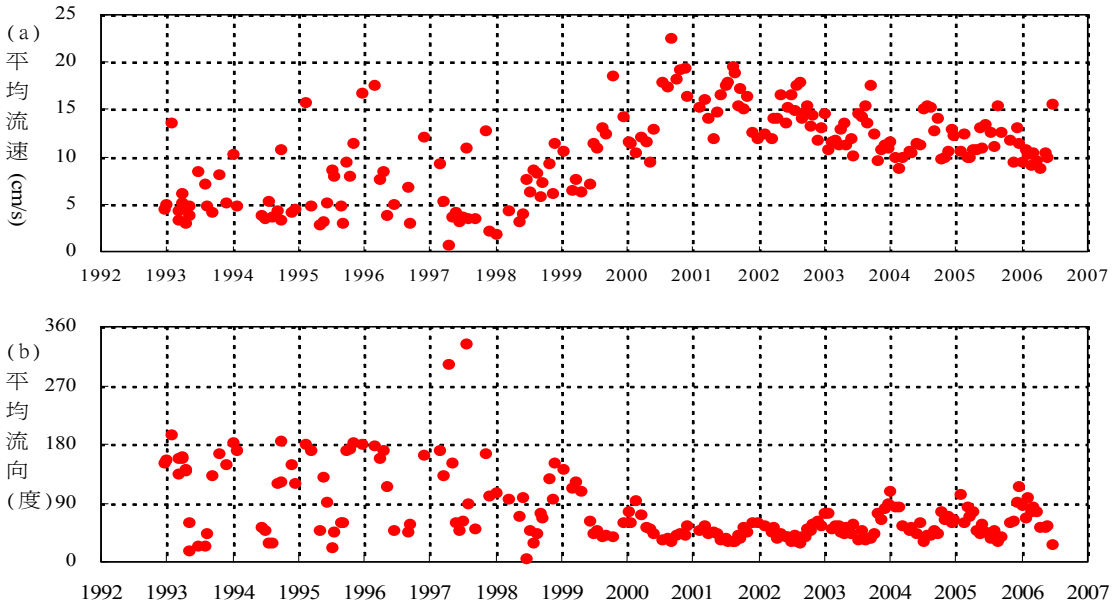


資料來源：「雲林離島式基礎工業區整體環境資源管理評估－96 年度(第 16 年)－(96 年 1 月～96 年 12 月)」第 1 部份第 1 冊，96 年 12 月。

圖 2.12 雲林海域 YLCW 測站歷年之流速流向玫瑰圖

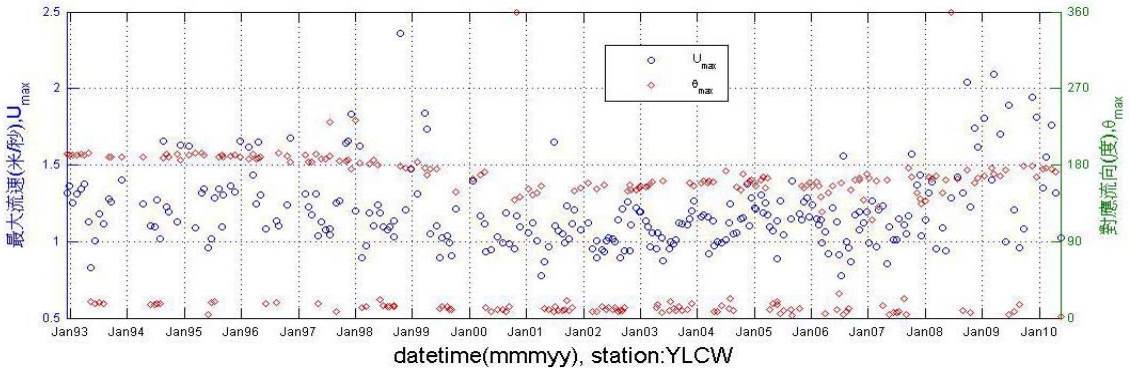
YLCW 測站歷年 (1993～2006 年) 之平均流速與流向變化圖，如

圖 2.13 所示。由圖可知，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 2.14 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 2.15 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。



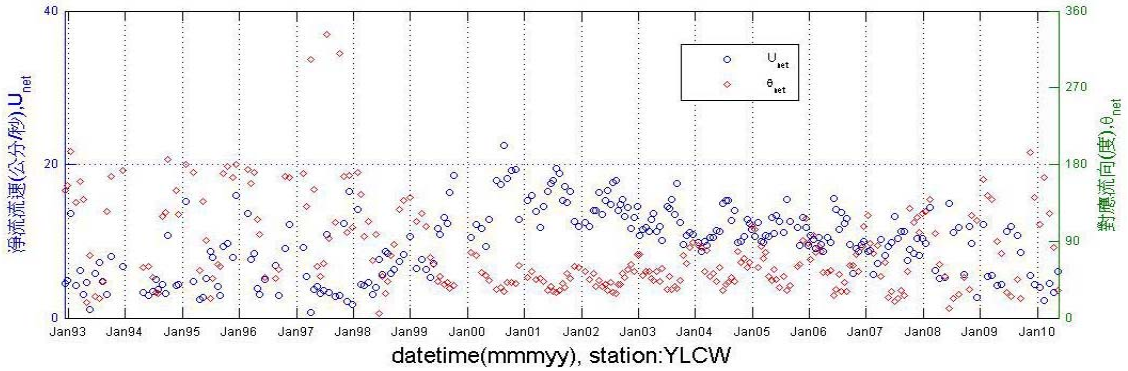
資料來源：「雲林離島式基礎工業區整體環境資源管理評估－96 年度(第 16 年)－(96 年 1 月～96 年 12 月)」第 1 部份第 1 冊，96 年 12 月。

圖 2.13 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 2.14 雲林海域 YLCW 歷年之最大流速與對應流向圖



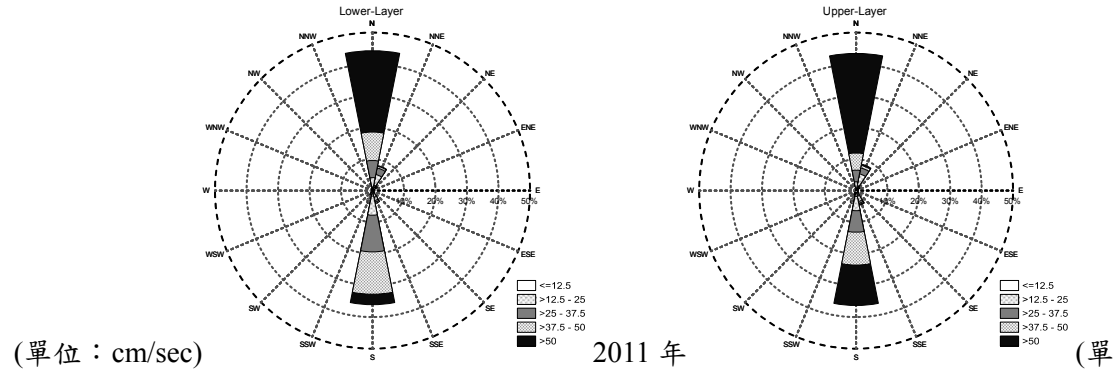
資料來源：賴等人，「雲林海岸長期海象環境變化分析」，海岸開發行為經濟與環保並重－雲林離島式基礎工業區環境監測成果研討會論文集，99 年 10 月。

圖 2.15 雲林海域 YLCW 歷年之淨流流速與流向圖

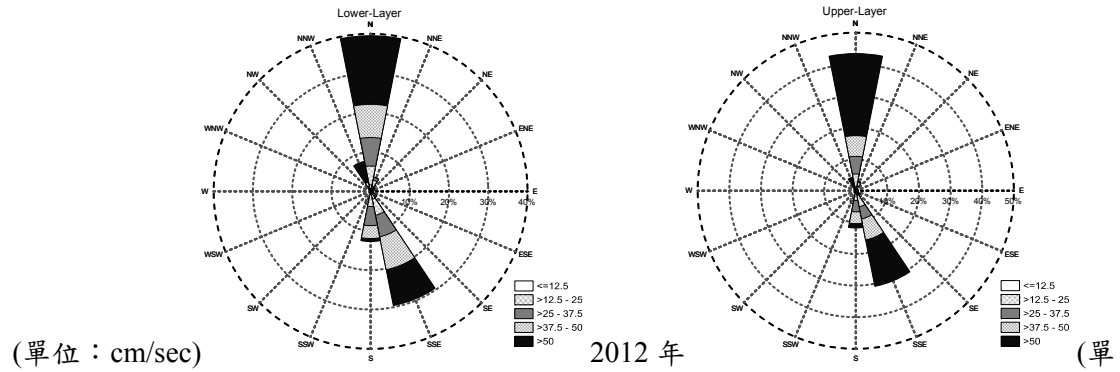
雲林麥寮海域在 1998 年至 2002 年期間之地形水深資料顯示，海域 15m 等深線之走向約在 15 度左右，漲潮時海流沿岸北上，流向以北北東居多，並不受港口興建之影響，但退潮時段，海流由北而下，未築堤前原本南南西較多 (即沿海岸地形等深線而南下，與漲潮流對稱)，但在圍堤興建港口等海岸結構物後，變成以南向為主，築堤完成後轉為以南南東為主，由於漲退潮流向不對稱，形成殘差流，其平均流向指向東北 ~東北東之間。此外，西防波堤結構物自 2002 年興建完成後，至 2007 年之期間，麥寮港與新興區間之海域地形變化，其等深線也逐年向外移動，即該海域有淤積情形，在此一情況下，其漲退潮流況也隨之變化，其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 2.16 所示。



(單位：cm/sec)　2011 年　(單位：cm/sec)



(單位：cm/sec)　2012 年　(單位：cm/sec)

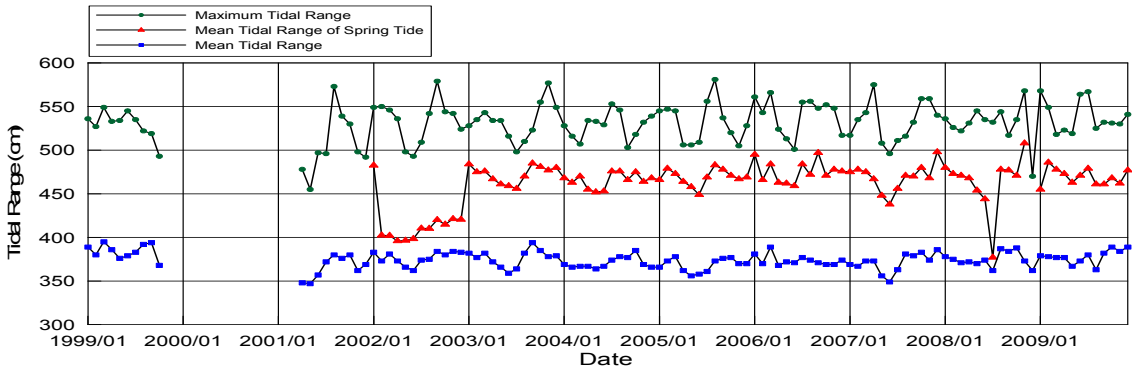
資料來源：「港灣防波堤堤頭沖蝕特性及防制機制之研究 (2/4)」，交通部運研所，101 年。

圖 2.16 雲林海域 2011 年與 2012 年海流流速分佈玫瑰圖

2.2.4 潮位

1. 臺中海域

臺中海域屬於半日潮，根據中央氣象局自 1999 年 1 月至 2009 年 12 月期間的潮位觀測資料，歷年潮位資料之統計結果得知，自 1999 年 2009 年期間，平均潮差為 3.75m，大潮平均潮差為 4.63m，最大潮差為 6.19m。最大潮差、大潮平均潮差及平均潮差之月統計如圖 2.17 所示。



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 1 月。

圖 2.17 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 2.19 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 2.19 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。

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 2.18 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。

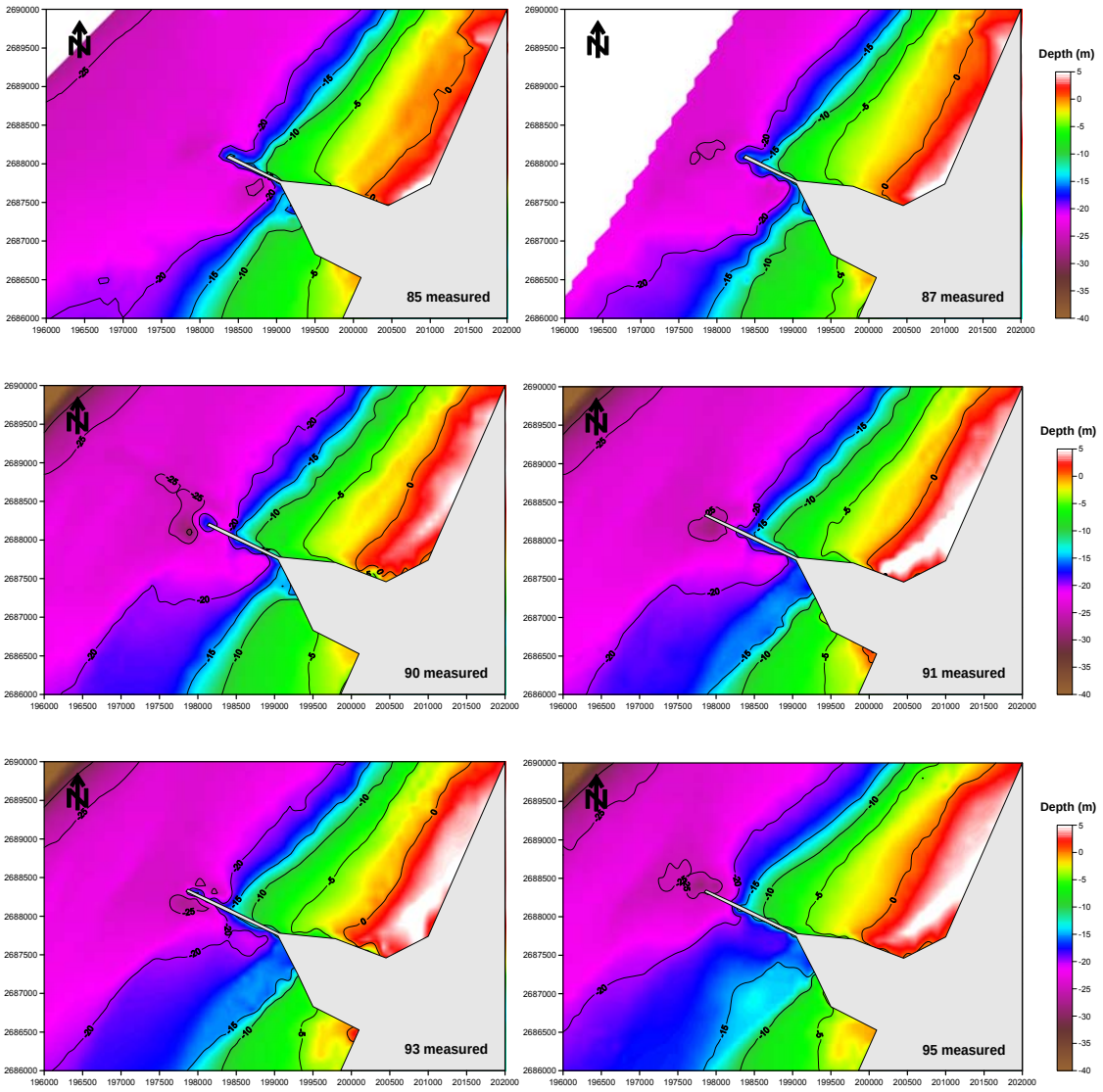
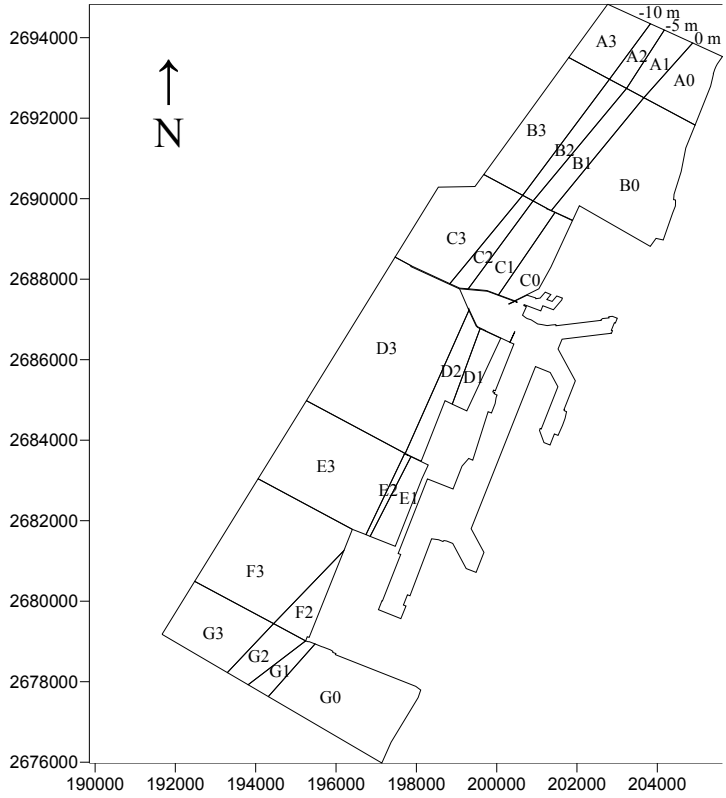


圖 2.18 臺中港海域 85~95 年實測地形水深圖

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 2.19 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)」，交通部運輸研究所，99 年 4 月。

圖 2.19 臺中港地形水深變遷計算分區圖

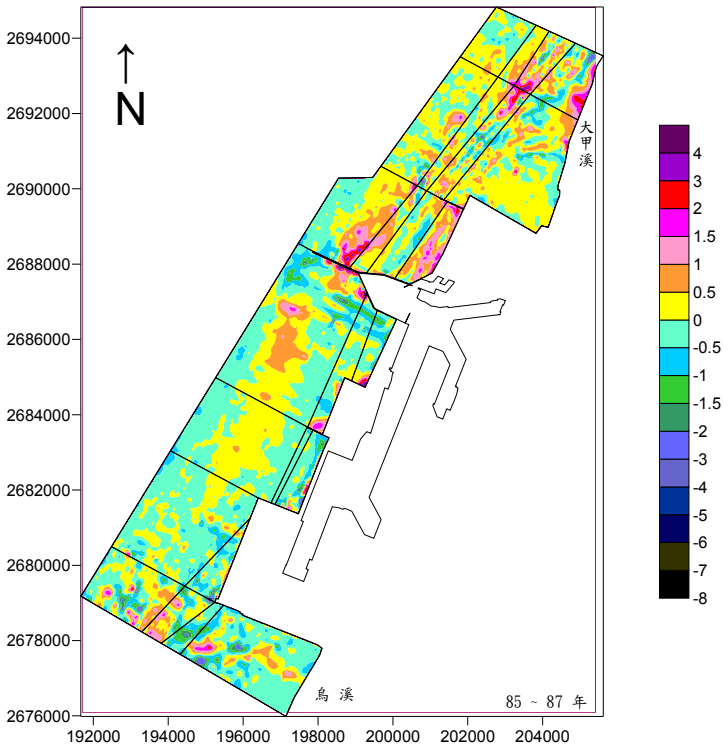
歷次測量之地形資料相對於 85 年地形資料之侵淤變化，如圖 2.29 至圖 2.32 所示。由圖 2.20 至圖 2.23 可知，臺中港北防波堤至北防沙堤間有部分淤積，在北防波堤堤頭附近亦有產生淤積，並擴及至港口南側，形成港口南側區域遠岸淤積近岸侵蝕的現象。由圖 2.30 可知，民國 89 年至 91 年間，北防波堤正在進行延長工程，造成北防波堤至北防沙堤間持續淤積，淤積深度最大可達 4m 以上，臺中港北側及南側遠岸區域亦快速淤積，尤其以北側遠岸區域淤積速度最快，淤積深度最大亦達 4m 以上，而在北防波堤堤頭附近及港口附近產生大量侵蝕，侵蝕深度最大可達-5m 以上。由圖 2.31 至圖 2.32 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。

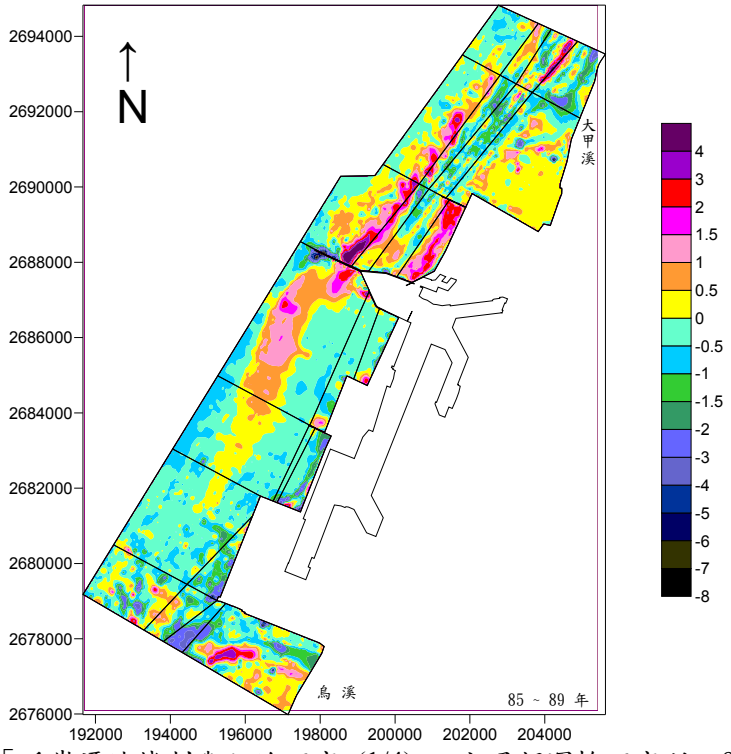
D、E、F、G 區為北防波堤以南區域，由表 2.20 的淨侵淤量可知，D3 區各年度皆呈現淤積情形，最大累積淤積量發生在 95 年，約 1509 萬 m^3；E1 區和 F2 區皆呈現侵蝕情形，E1 區在 89 年有最大累積侵蝕量，約 111 萬 m^3，F2 區在 90 年有最大累積侵蝕量，約 148.28 萬 m^3，合計北防波堤以南的區域，自民國 85 年至 93 年間皆為侵蝕情形，最大累積侵蝕量發生在 91 年，約 835 萬 m^3，至 94 年後由侵蝕轉為淤積，於 95 年產生最大累積淤積量為 3743 萬 m^3。

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。



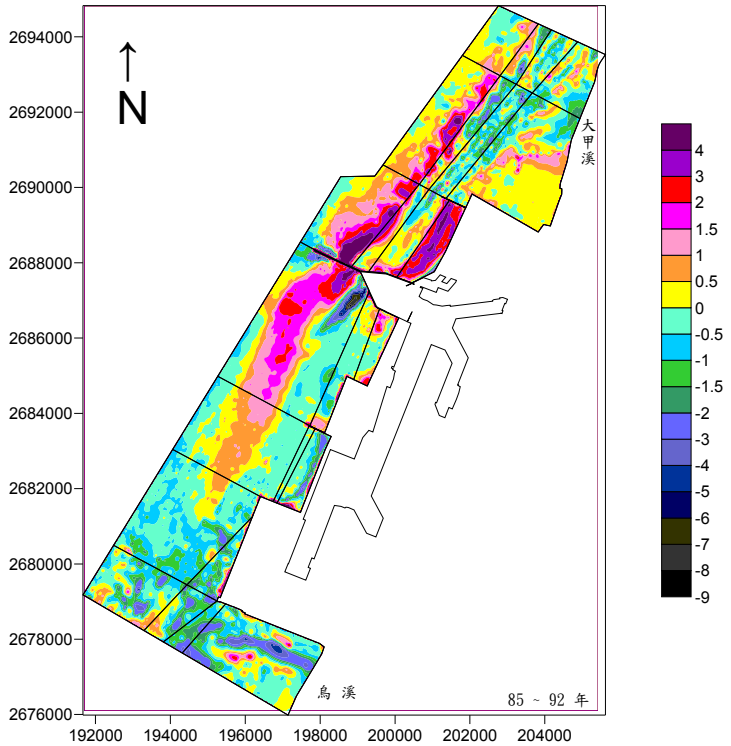
資料來源：「近岸漂沙機制與防治研究 (1/4)」，交通部運輸研究所，99 年 4 月。

圖 2.20 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85～87 年)



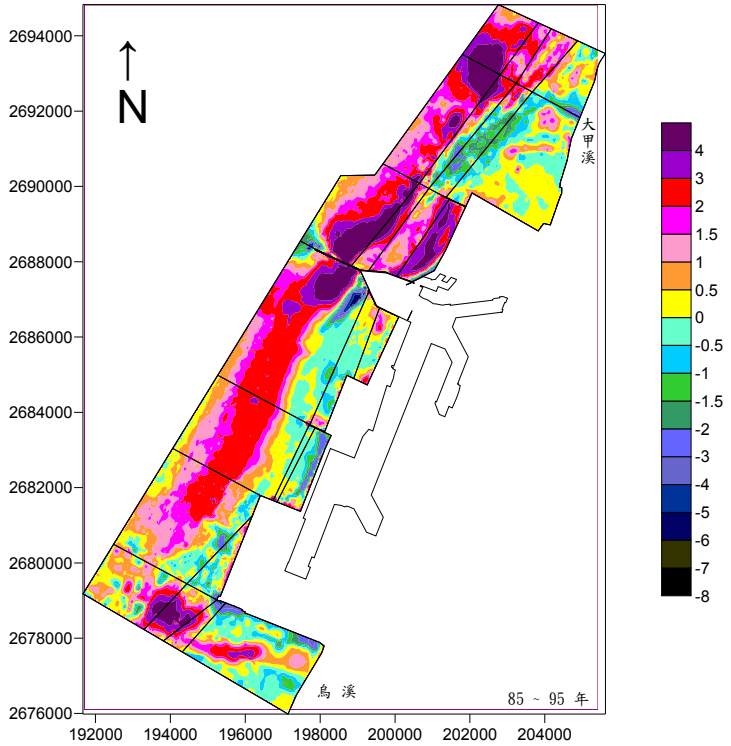
資料來源：「近岸漂沙機制與防治研究 (1/4)」，交通部運輸研究所，99 年 4 月。

圖 2.21 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)」，交通部運輸研究所，99 年 4 月。

圖 2.22 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)」，交通部運輸研究所，99 年 4 月。

圖 2.23 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85～95 年)

表 2.20(a) 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)」，交通部運輸研究所，99 年 4 月。

表 2.20(b) 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 2.24 所示。圖 2.25 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。

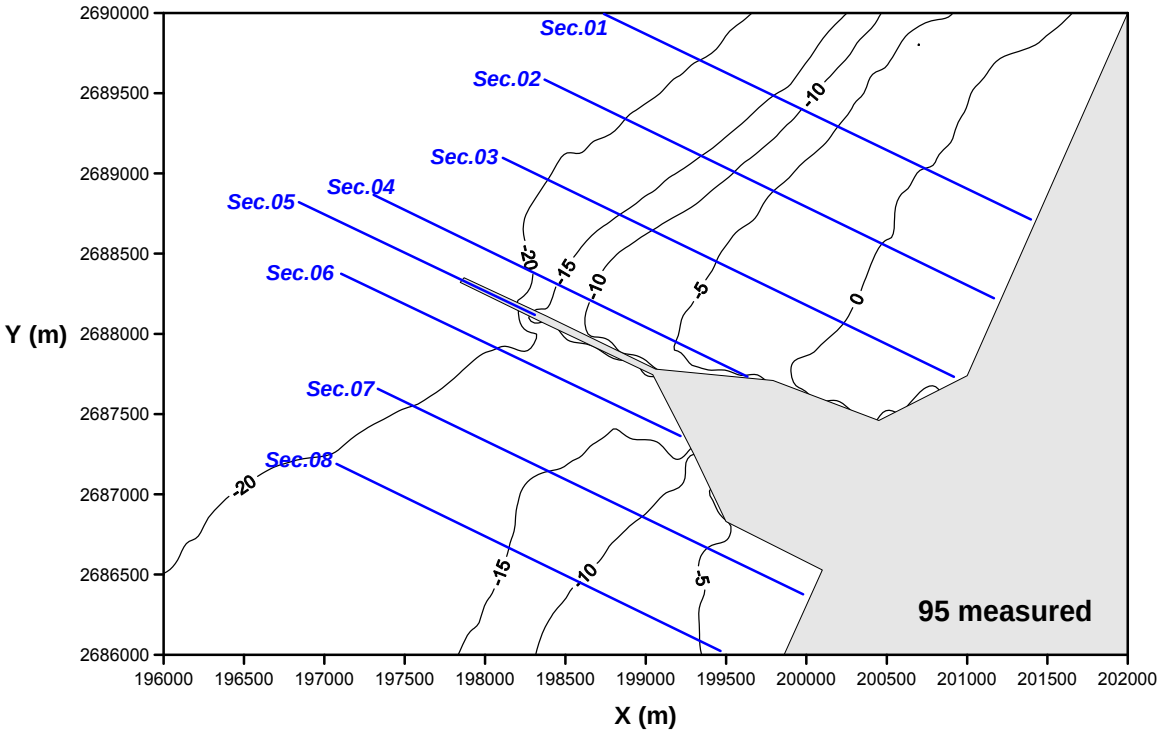


圖 2.24 臺中港海域斷面位置圖

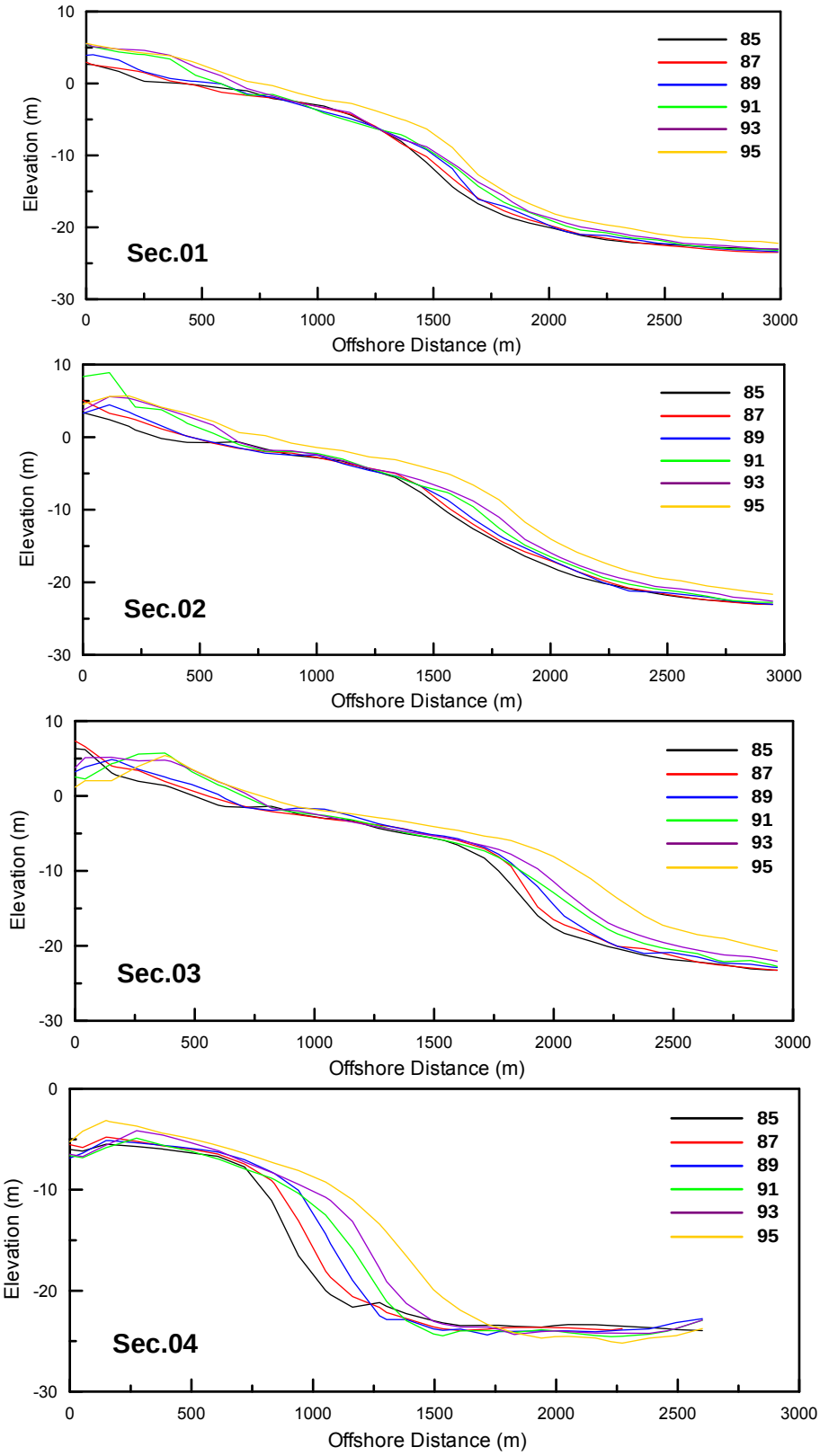


圖 2.25 臺中港海域 85~95 年間斷面地形變化

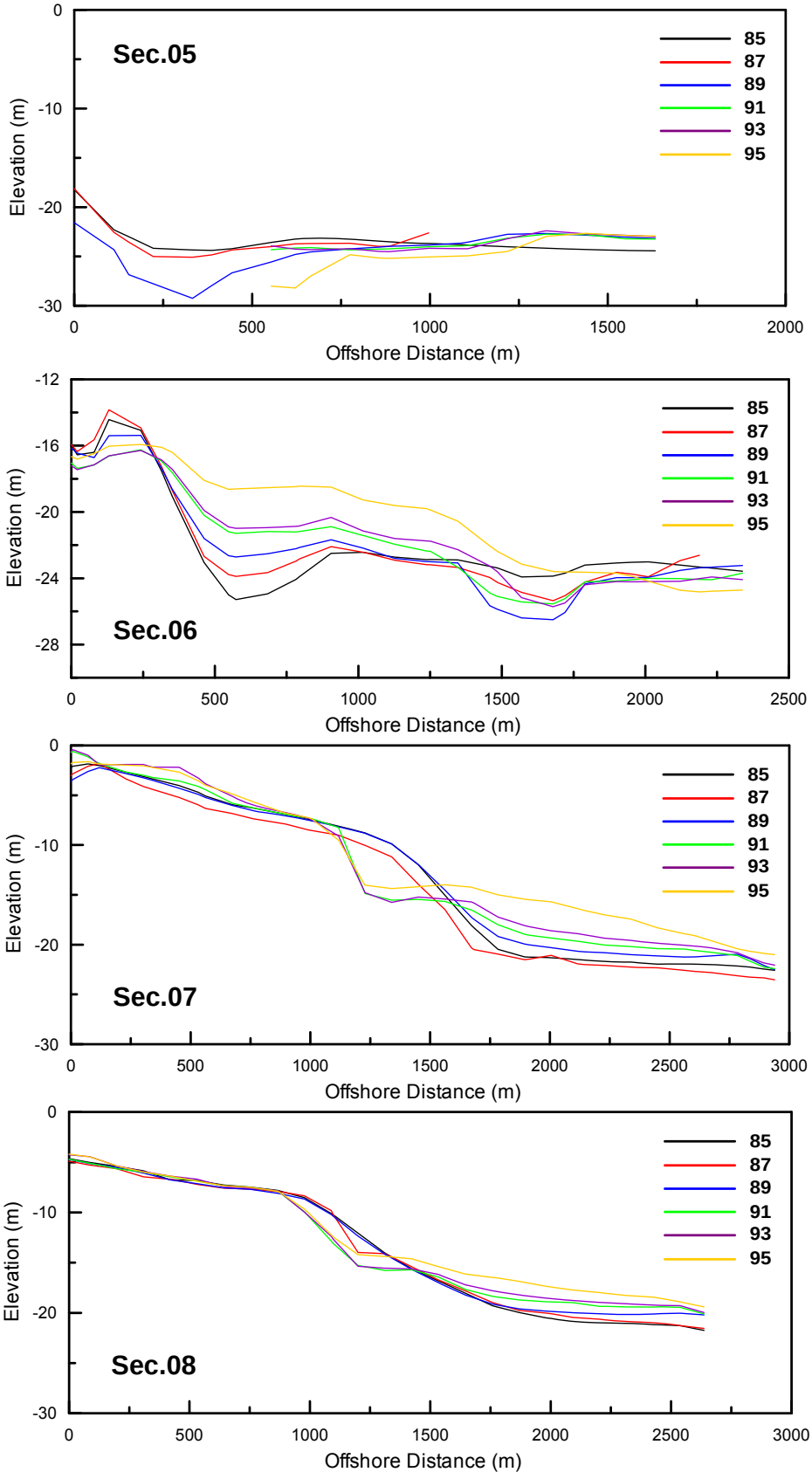


圖 2.25(續) 臺中港海域 85~95 年間斷面地形變化

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 2.26 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。

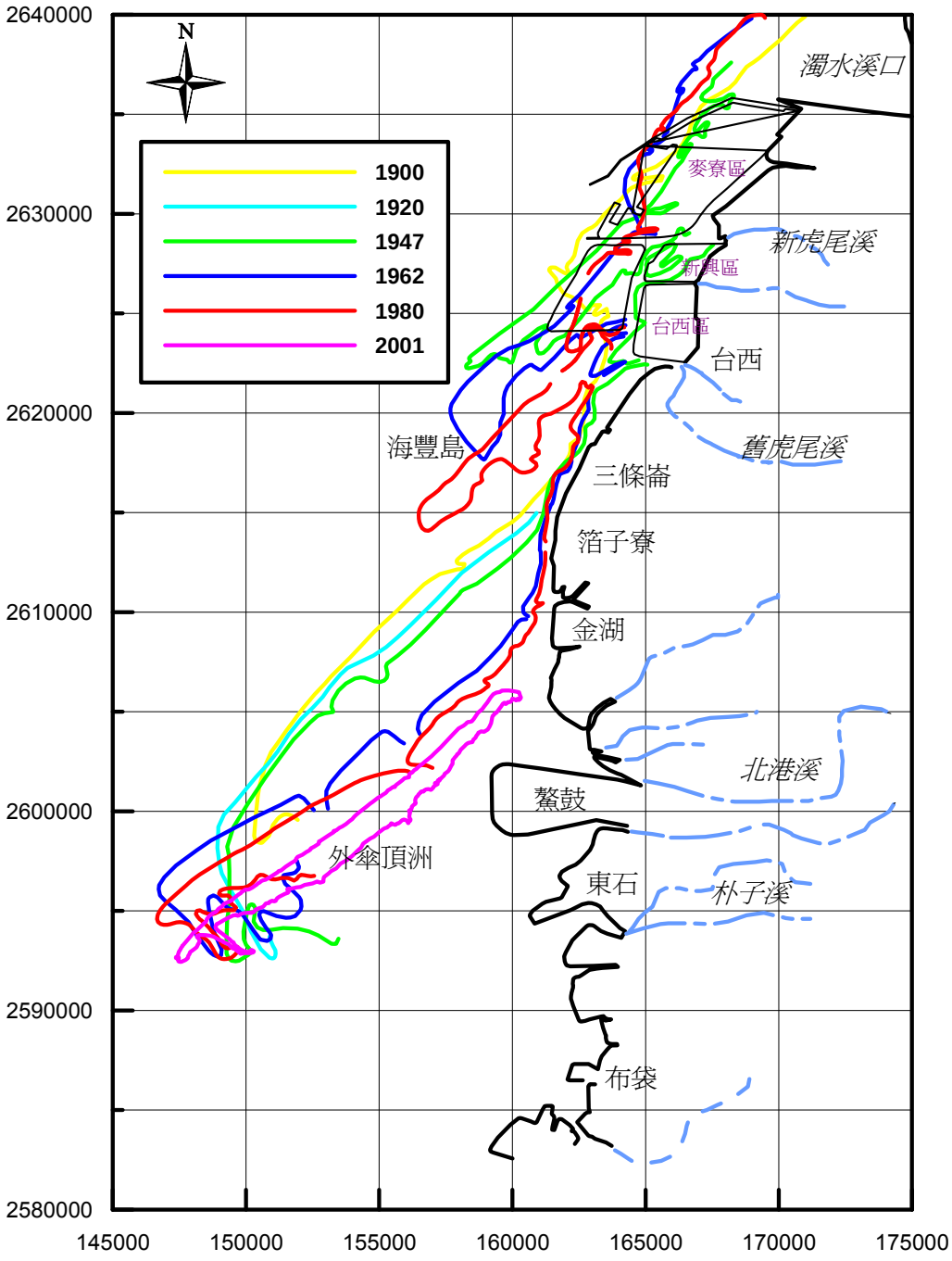


圖 2.26　雲嘉海域歷年海岸線變遷

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 2.27 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。

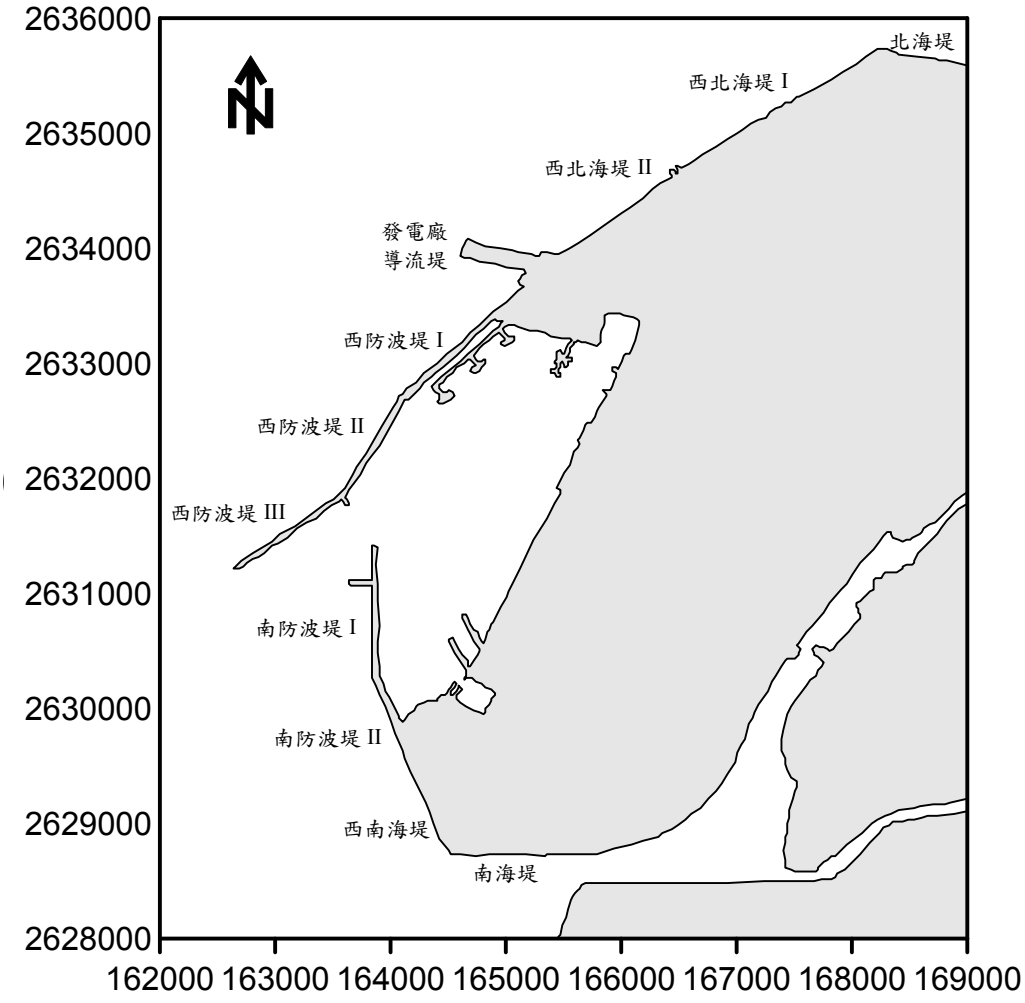


圖 2.27　麥寮工業區各區段海堤位置圖

圖 2.28 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 2.29 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 2.30 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 2.31 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 2.32 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 2.33 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 2.34 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。

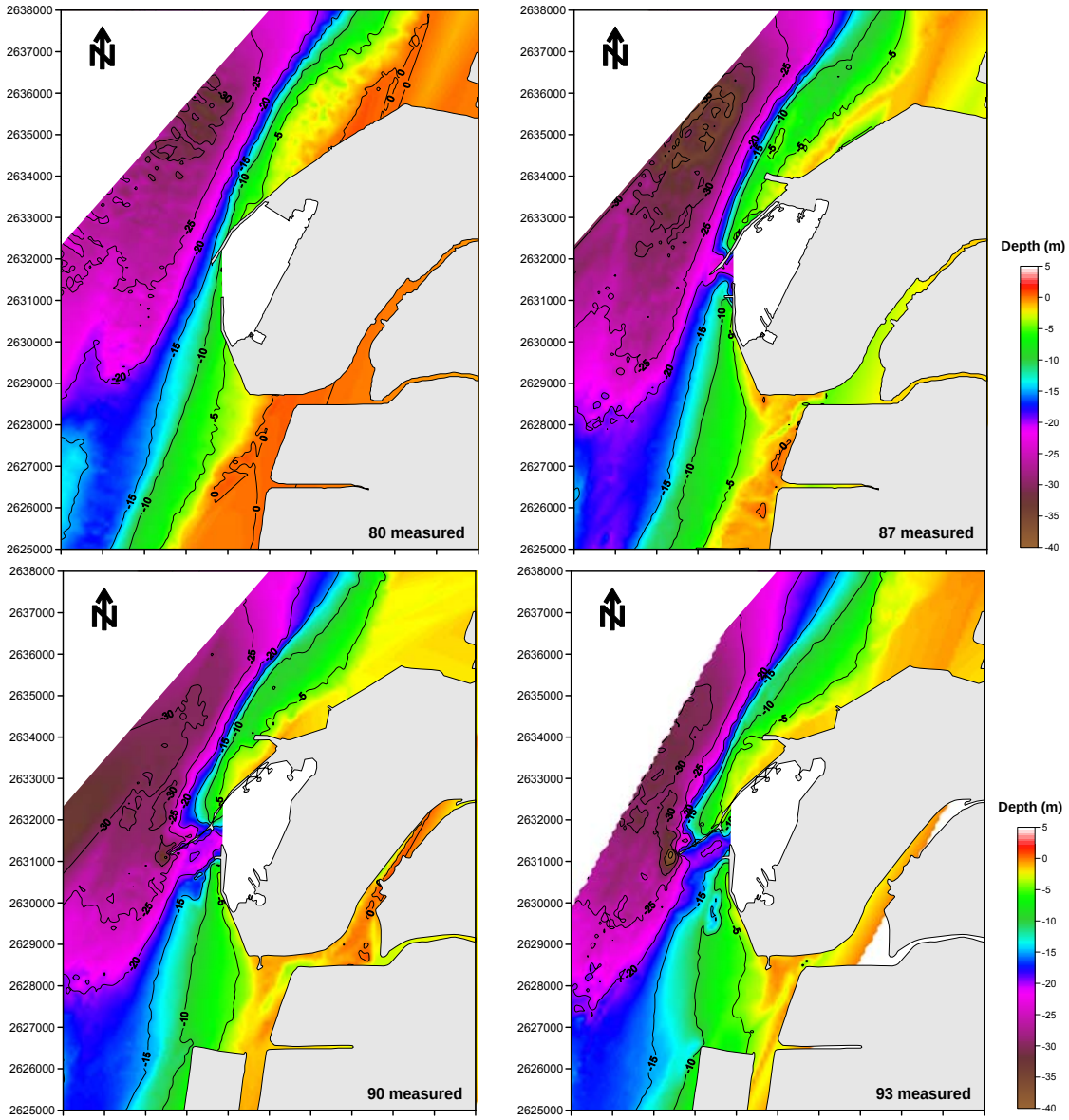


圖 2.28 雲林離島工業區海域 80~99 年實測地形水深圖

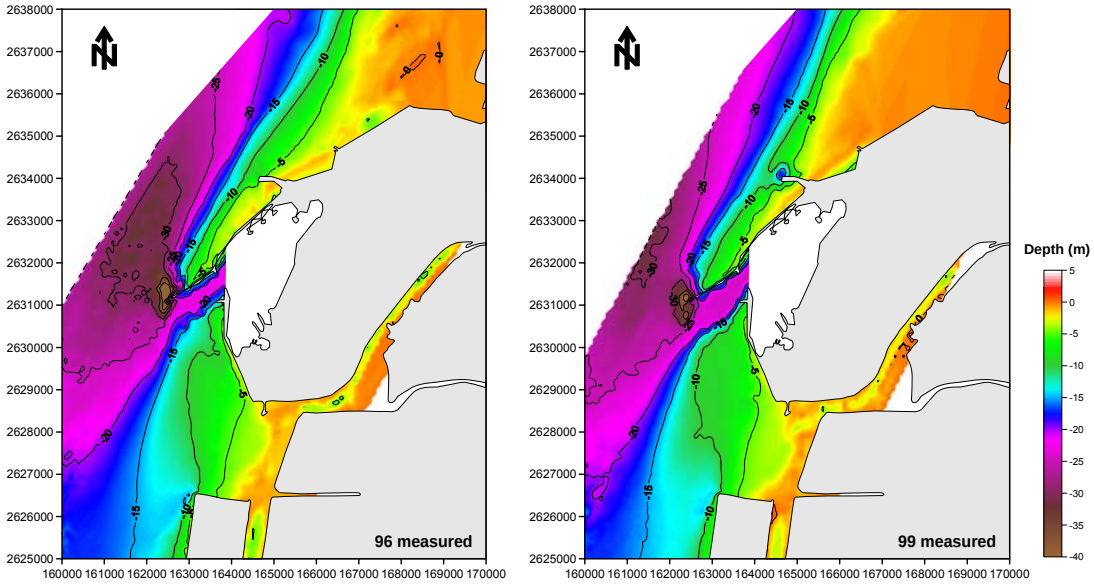


圖 2.28(續) 雲林離島工業區海域 80~99 年實測地形水深圖

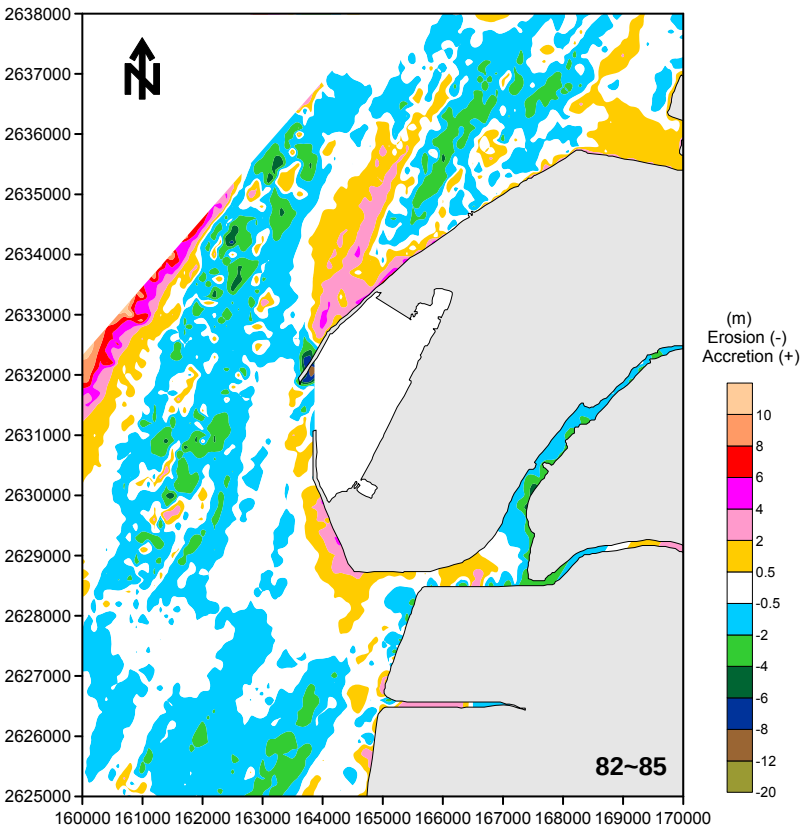


圖 2.29 雲林離島工業區海域 82-85 年間實測地形侵淤變化

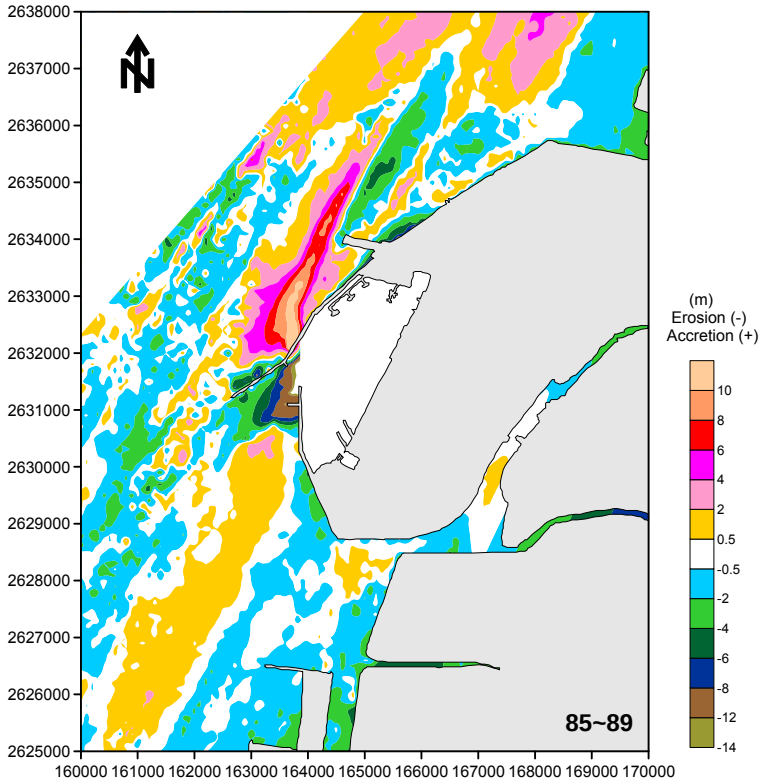


圖 2.30 雲林離島工業區海域 85-89 年間實測地形侵淤變化

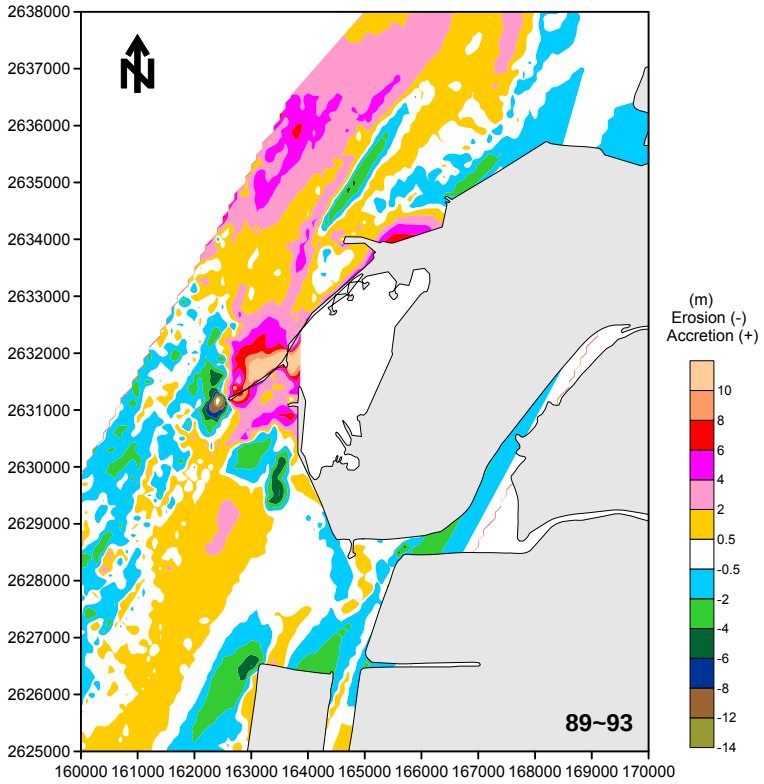


圖 2.31 雲林離島工業區海域 89-93 年間實測地形侵淤變化

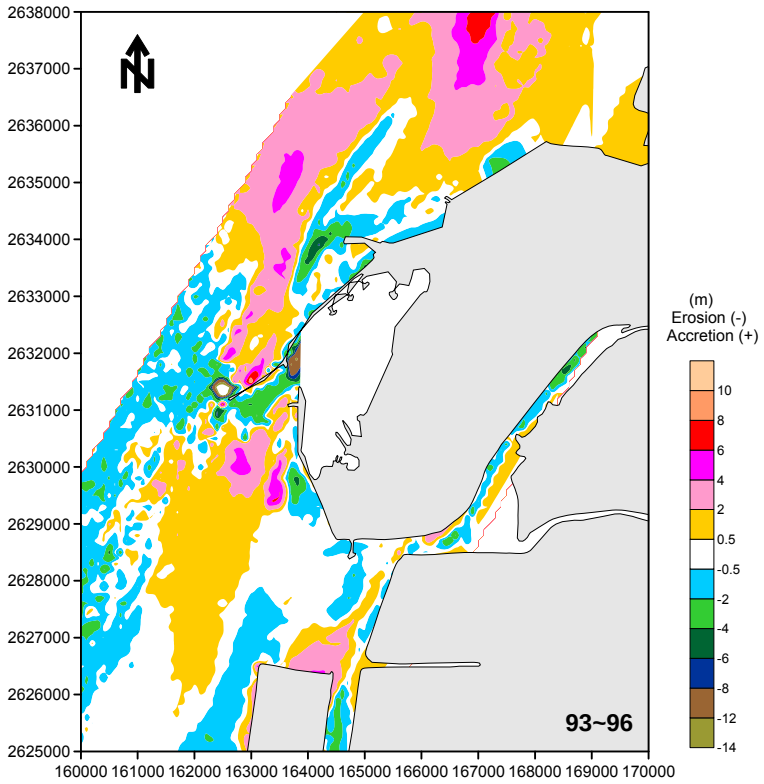


圖 2.32 雲林離島工業區海域 93-96 年間實測地形侵淤變化

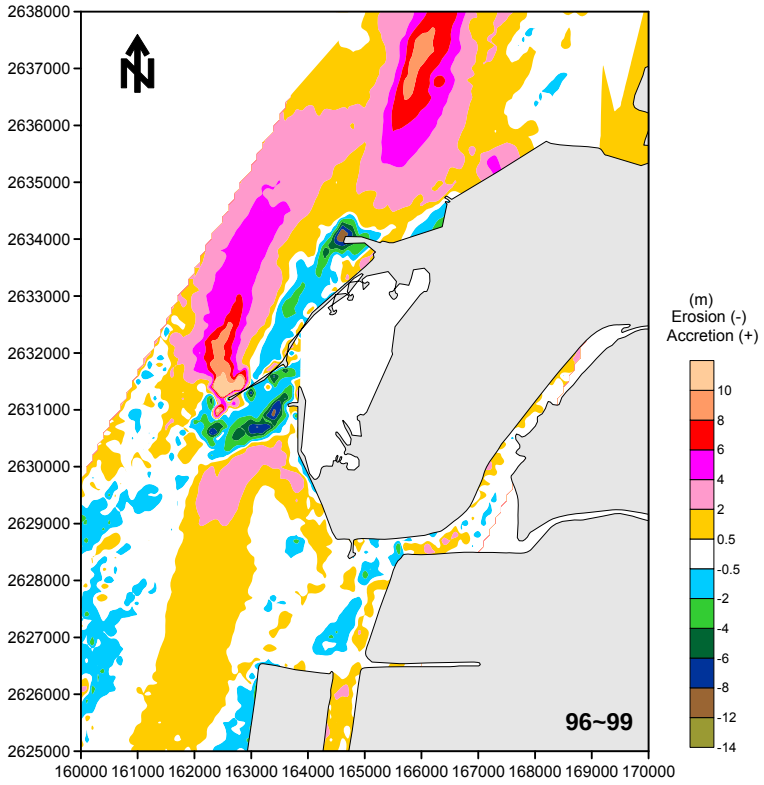


圖 2.33 雲林離島工業區海域 96-99 年間實測地形侵淤變化

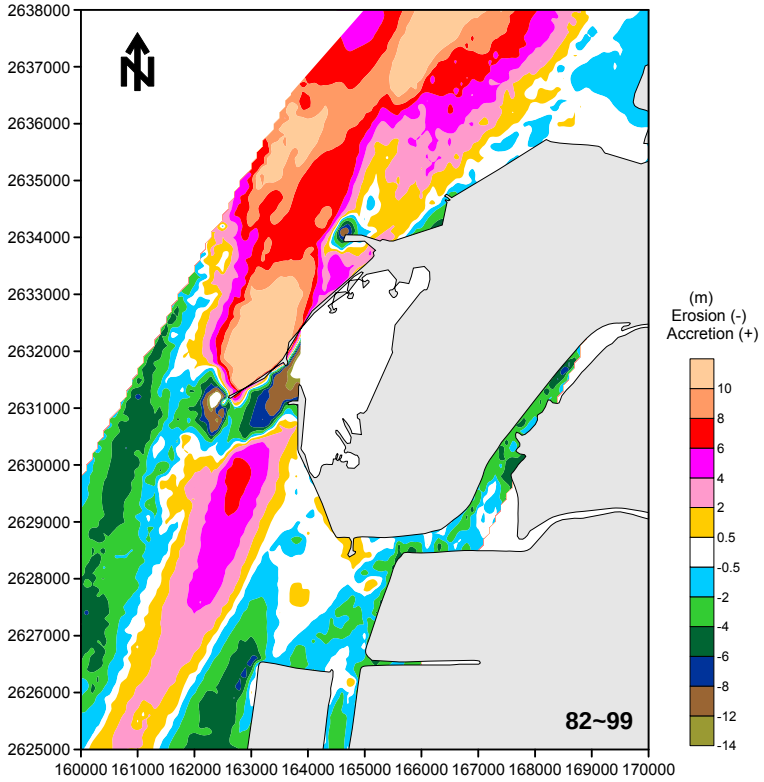


圖 2.34 雲林離島工業區海域 82-99 年間實測地形侵淤變化

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 2.35 所示。圖 2.36 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。

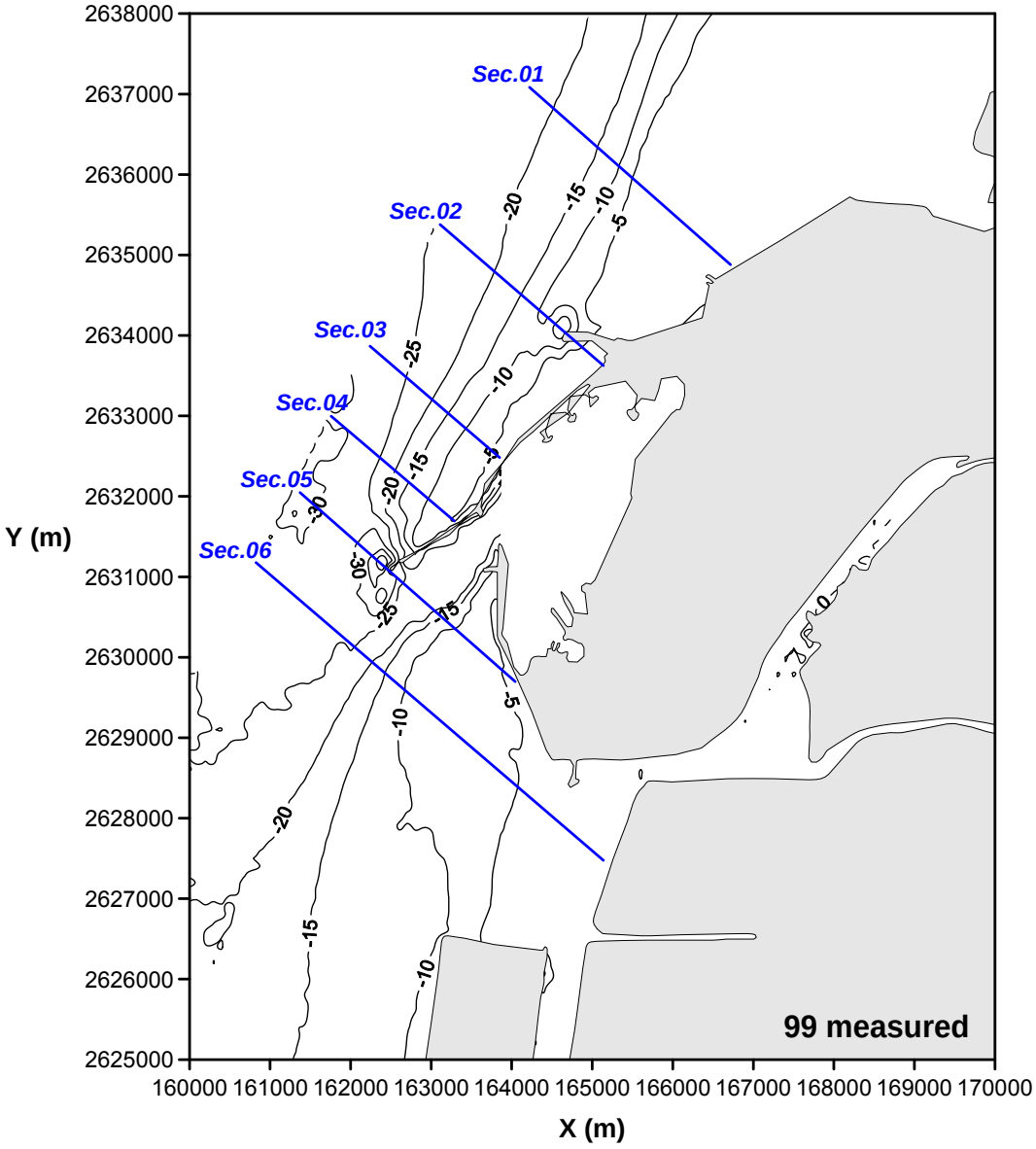


圖 2.35 麥寮工業區海域斷面位置圖

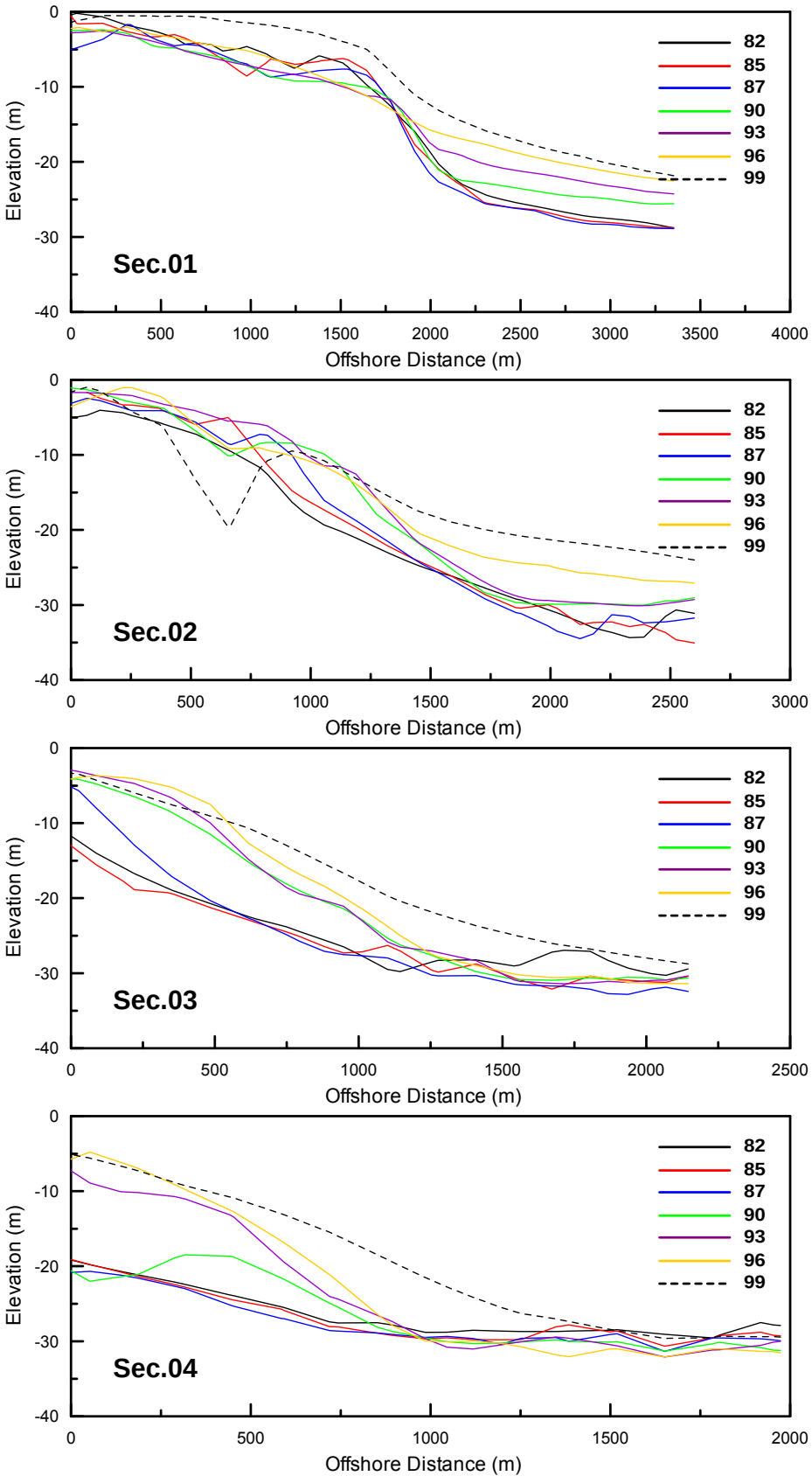


圖 2.36 雲林離島工業區海域 82~99 年間斷面地形變化

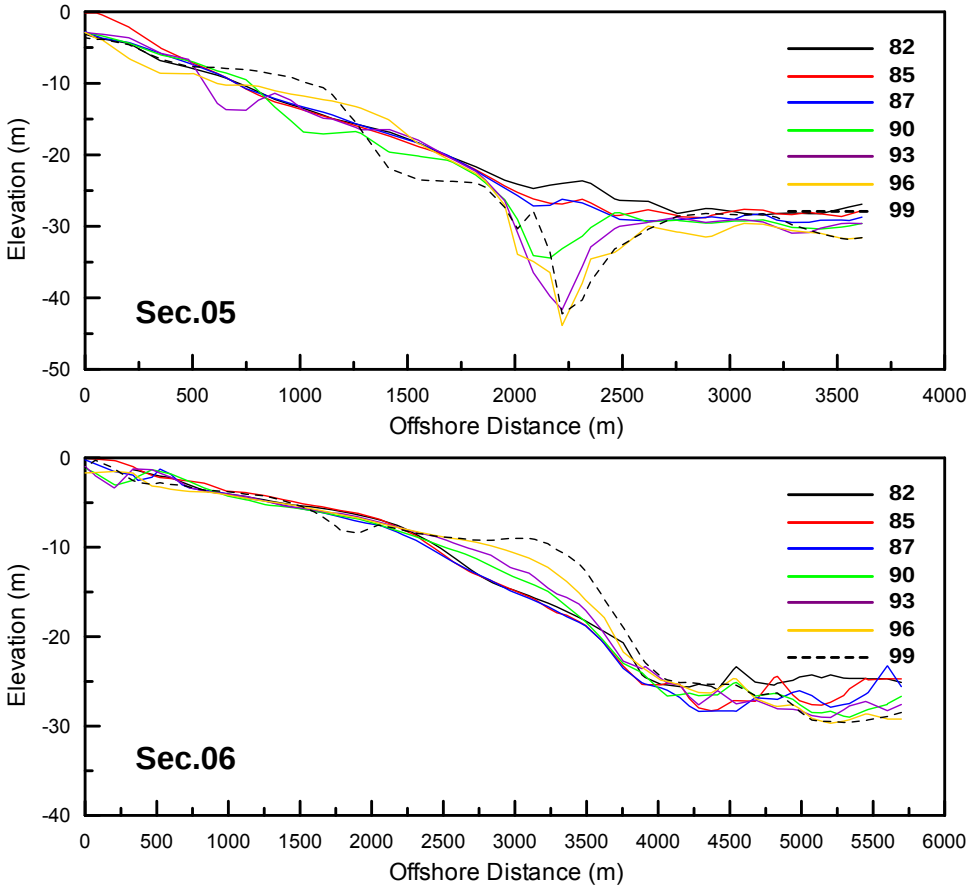


圖 2.36 (續) 雲林離島工業區海域 82~99 年間斷面地形變化

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 2.37~38 所示；麥寮港堤頭斷面，詳圖 2.39 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。

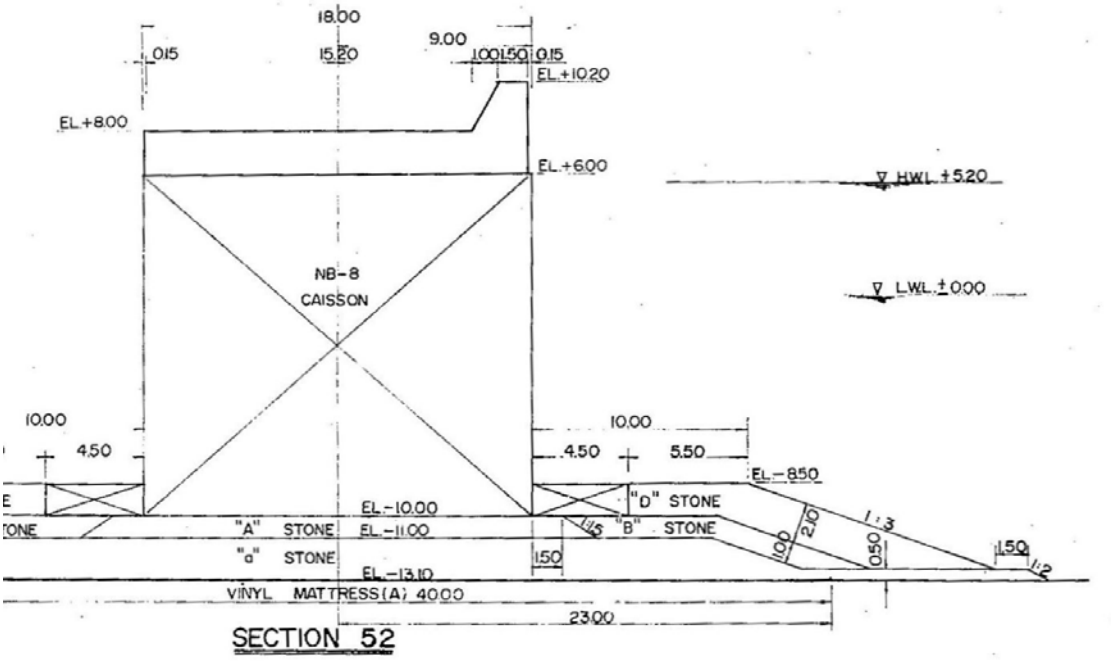


圖 2.37 臺中港原堤堤頭沉箱斷面圖 (朱等人，2002)

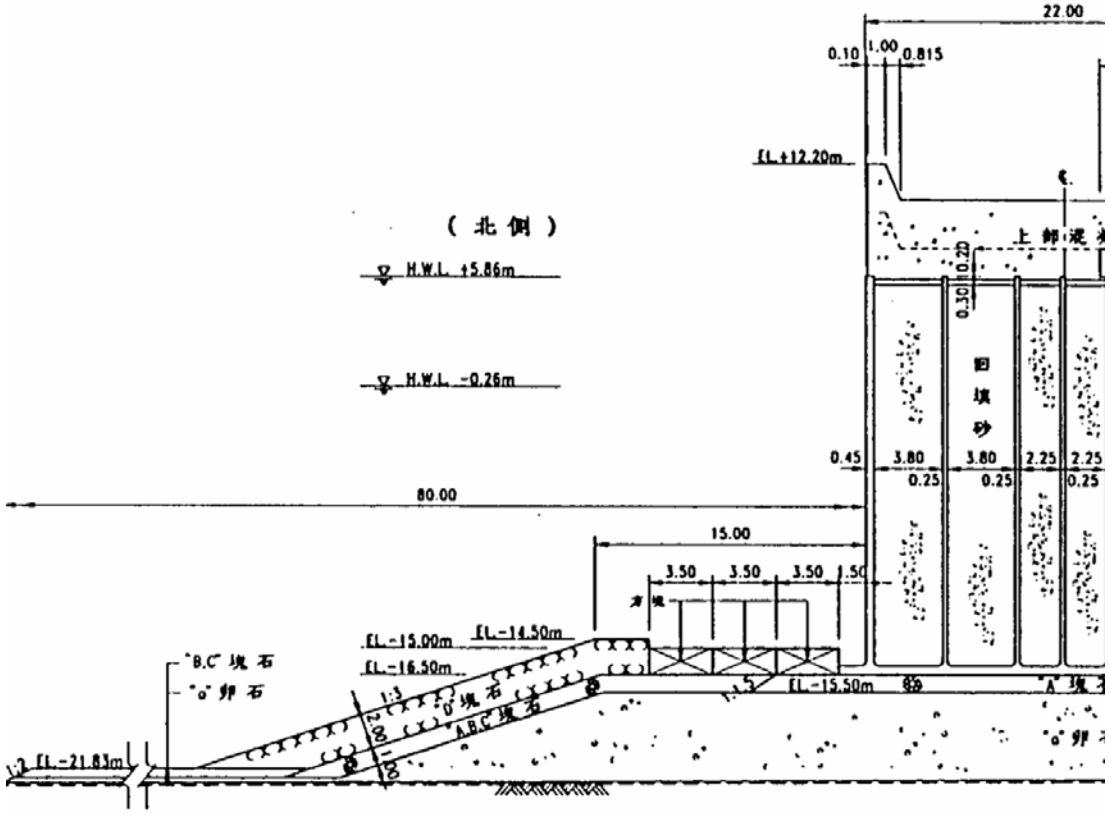


圖 2.38 臺中港北防波堤延伸 850m 堤頭斷面圖 (朱等人，2002)

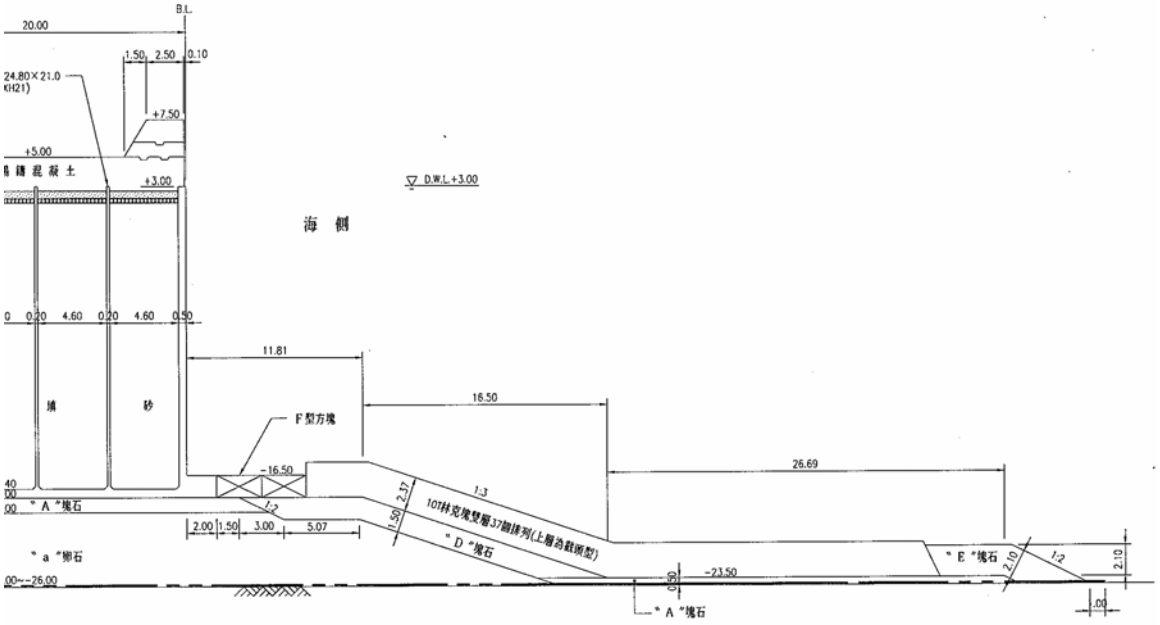


圖 2.39 麥寮西防波堤堤頭沉箱斷面圖 (朱等人，2002)

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 2.40 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鋪設，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)

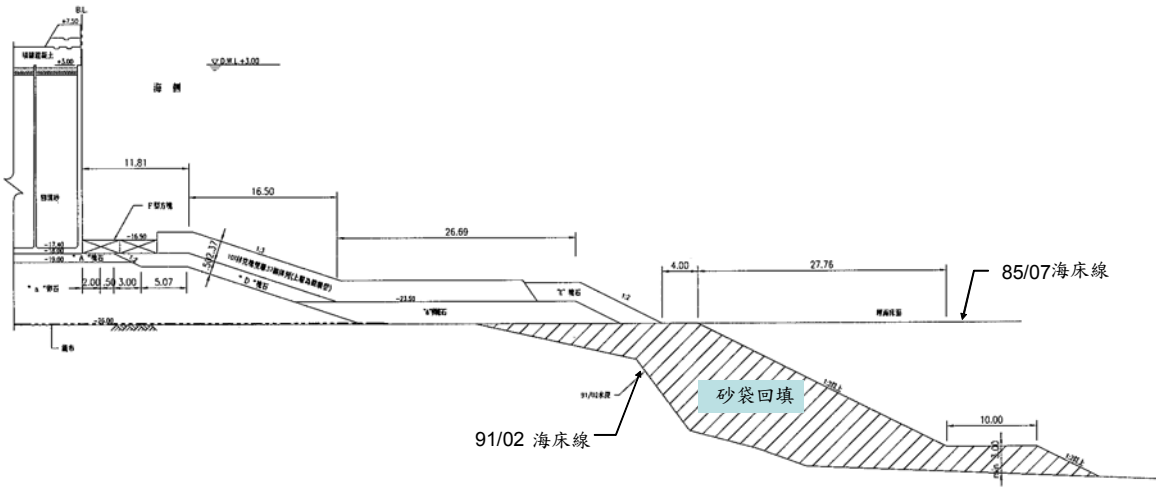


圖 2.40 麥寮西防波堤堤頭補救措施斷面圖 (朱等人，2002)

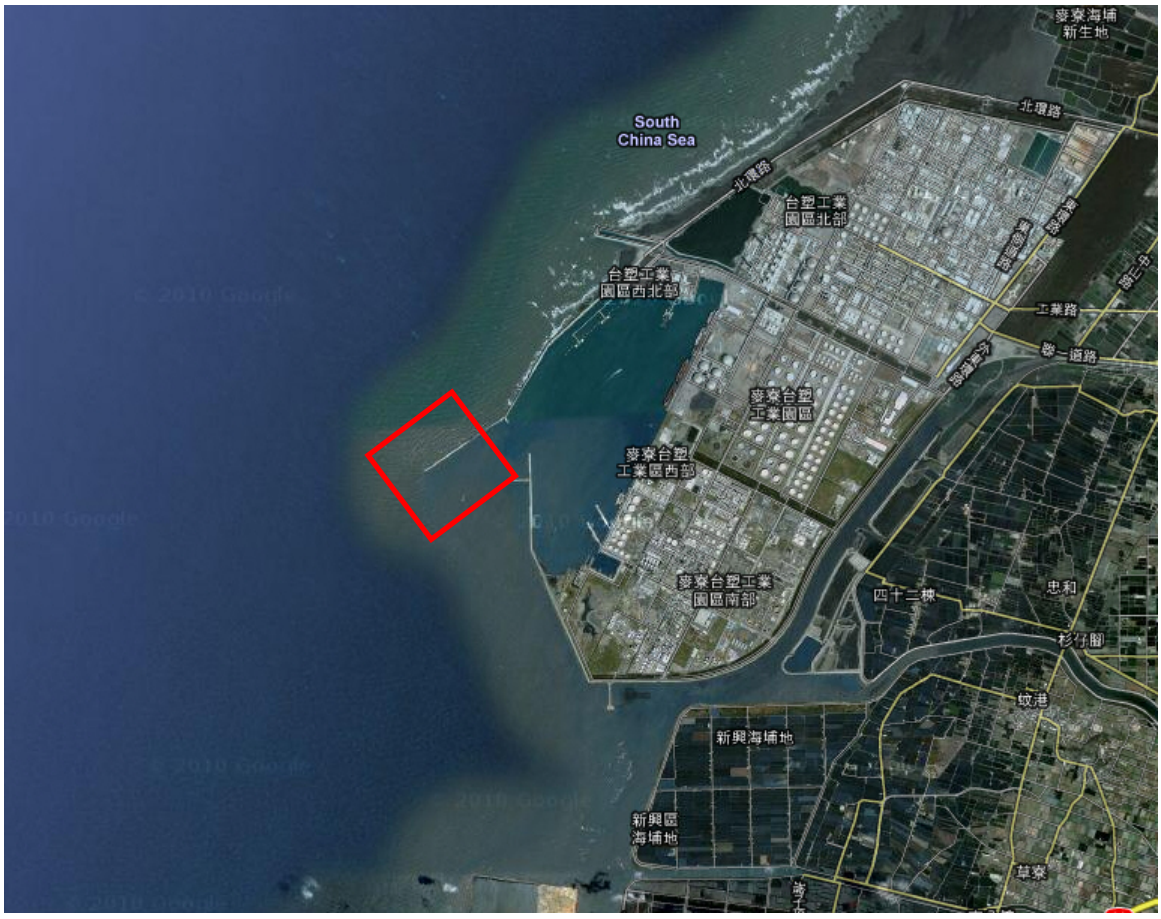
第三章 防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性

3.1 防波堤堤頭地形量測與分析

3.1.1 測量作業事項

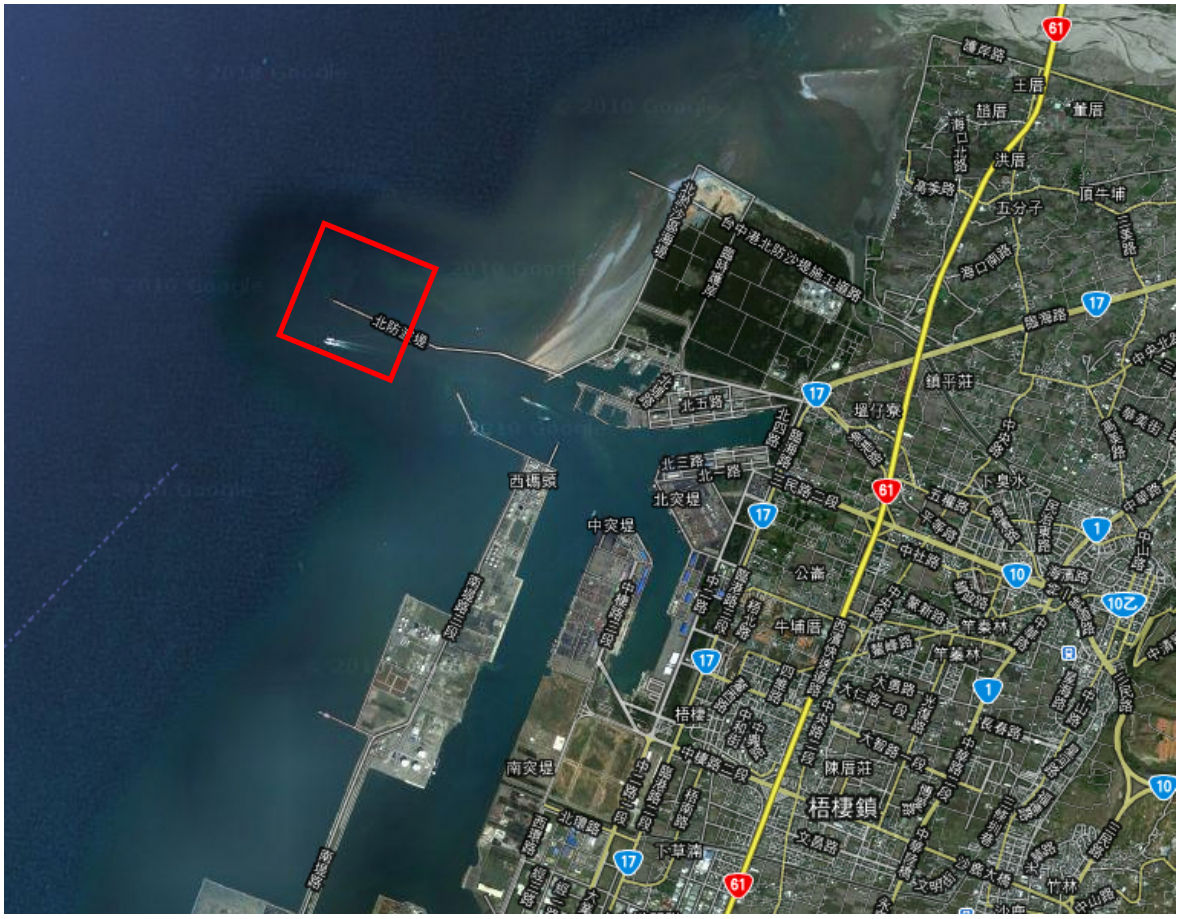
1. 監測範圍及頻率

本計畫測量範圍為麥寮工業區專用港西防波堤堤頭及臺中港北防波堤堤頭約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及圖3.2方框所示。



（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


北防波堤
中港北防沙堆施工道路
西碼頭
北突堤
中突堤
南突堤
梧棲鎮
北五路
北四路
北三路
北一路
中社路
中央路
中山路
中正路
中華路
中興路
中美路
中清路
中明路
中和街
中龍路
中二路
中一路
中陳路
中沙路
中草湳
中鼎路
中港北路
中港路
中央北路
中央路
中華路
中興路
中山路
中正

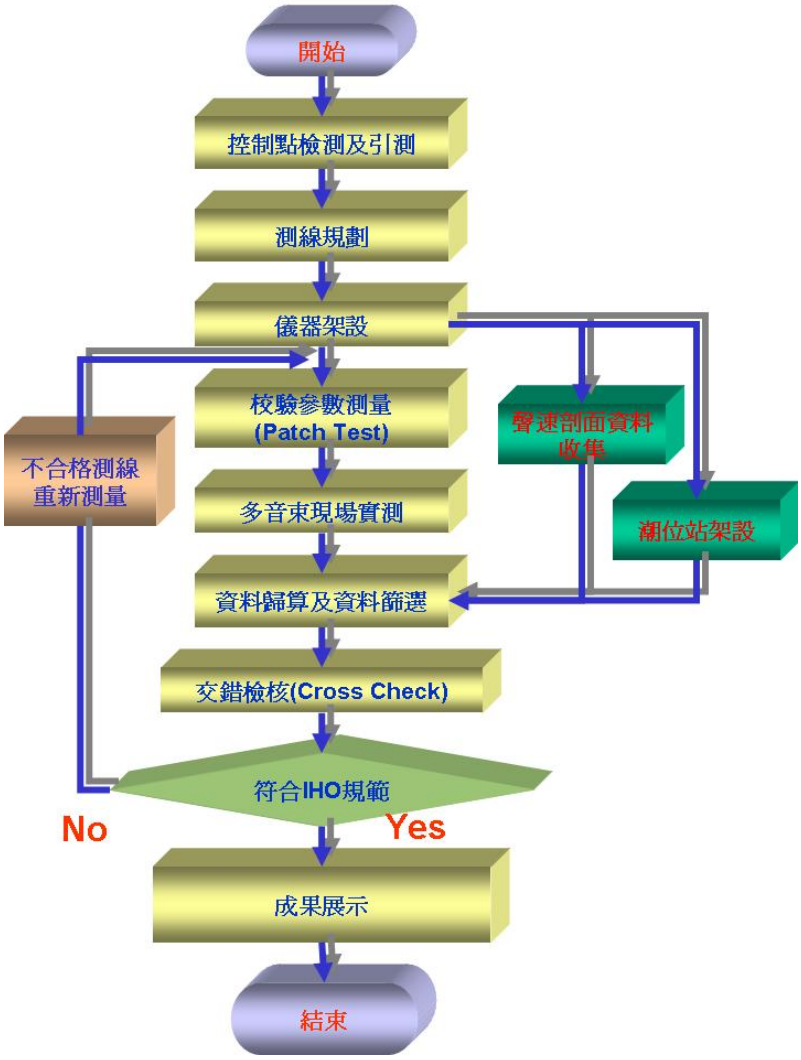


圖 3.3 多音束測深流程圖

各項作業項目分述如下：

(1) 測線規劃：

多音束測深之測線間距(可視為測帶寬度)與水深成正比，若以水深 10 公尺、測帶角度 120 度估計測線間距約 35 公尺，調查區域寬度 200 公尺，規劃之測線為六條平行岸線之測線，大約可達成 100%覆蓋率，若是測帶與測帶之間有部份空隙則補測之。測線間距與航線覆蓋率及重疊率的關係圖可參閱圖 3.4。

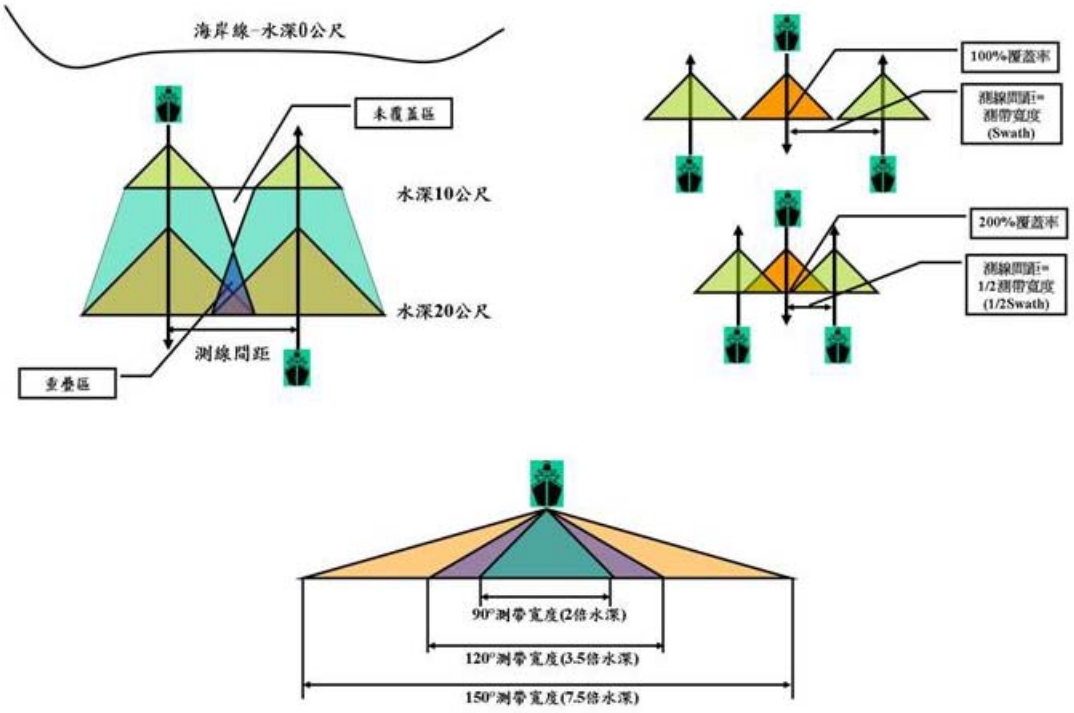


圖 3.4 測線間距與航線重疊率的關係圖

(2) 品管控制測線規劃：

至少應有一條垂直檢核測線，提供內精度(internal accuracy)之誤差分析，檢核海岸地形測線是否達到 IHO 第一級標準。

(3) 儀器架設：

儀器架設後應建置載具規格表，廣義的載具規格表包含船隻規格、各項儀器安置相對位置、角度及時間遲滯。儀器安置相對位置 (Offsets) (參閱圖 3.5)，包括定位天線、航向儀、船隻姿態儀及測深儀音鼓等四種儀器至基準點的距離。儀器安置相對角置必須量測船隻姿態儀(Mount Angle)及測深儀音鼓(Patch Test) (參閱圖 3.6)二種感測器。另外測深值與定位值的時間遲滯可由 Patch Test 量測執行反算之，每次測深計畫至少需進行一次，若每次音鼓經重新安置需再進行乙次以上，藉以提供水深資料處理之用。

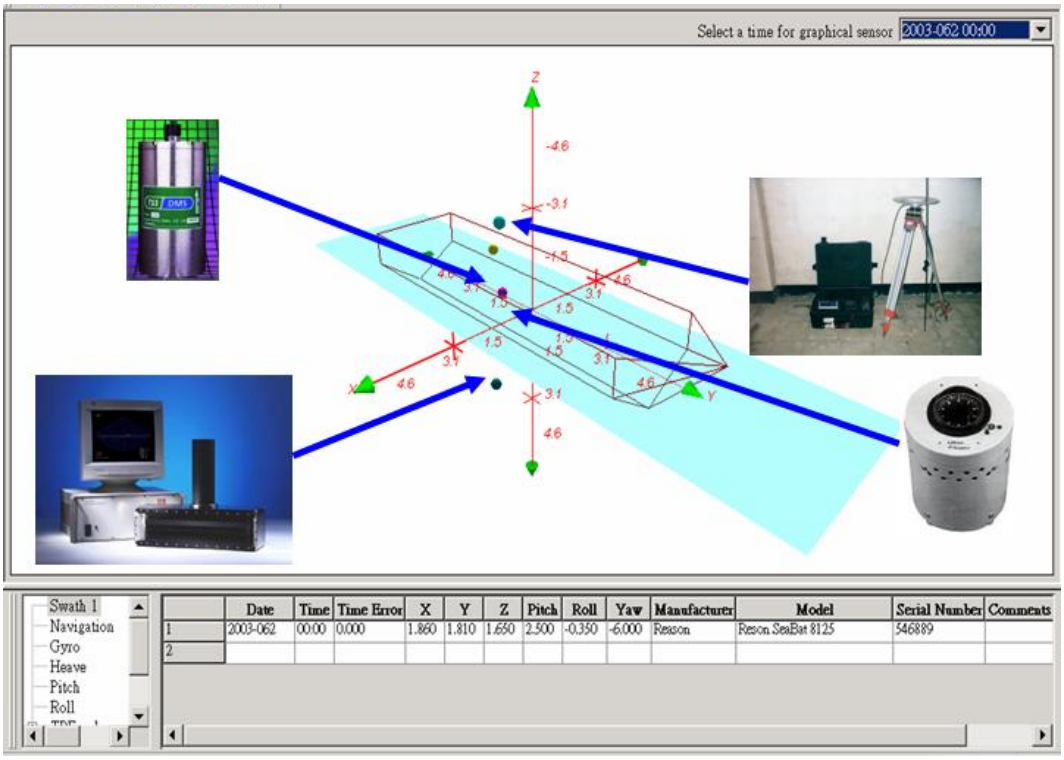


圖 3.5 船隻儀器配置圖範例

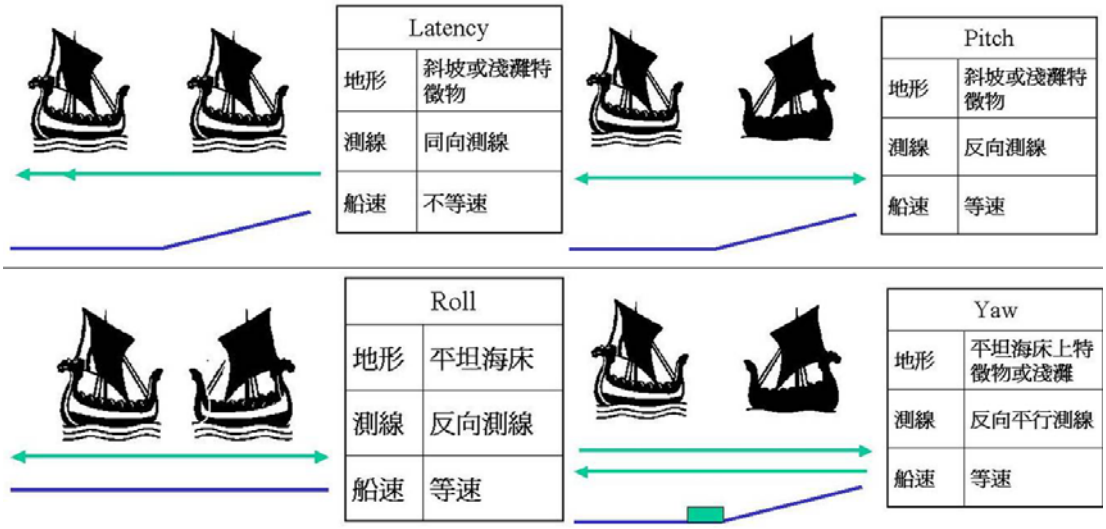


圖 3.6 Patch Test 航線規劃圖

(4) 潮位修正：

本計畫採用基隆中潮系統(TWVD2001)作為高程基準面，單音束測深與多音束測深採用相同潮位系統以供比對，原則潮位系

統引用高雄港務局之潮位，必要時可建立臨時潮位站測量潮位以供比較，臨時潮位站必需另行引測其坐標及高程。由於高雄港潮位採用當地最低低潮位系統，使用潮汐資料修正水深時應修正其差值。測量期間潮位之觀測及資料分析(參閱圖 3.7)，並且使用觀測之潮位資料修正水深值。

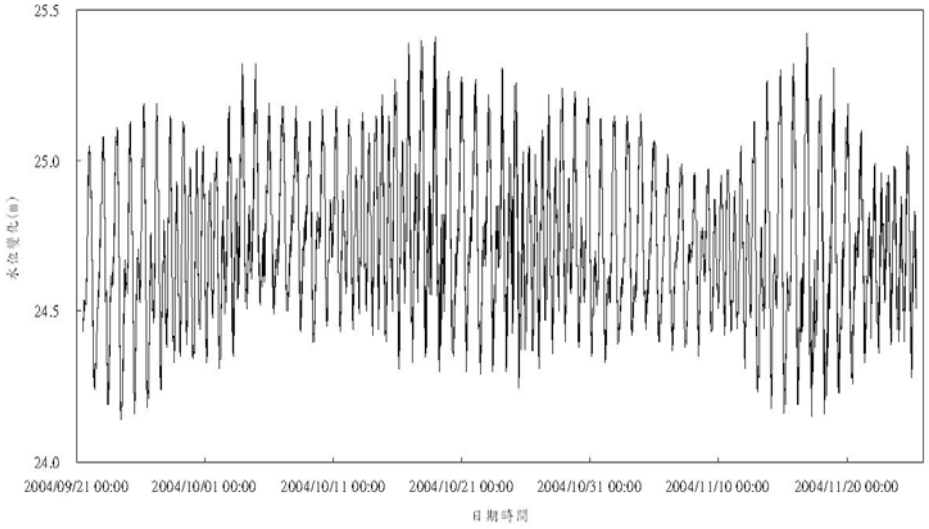


圖 3.7 潮汐圖範例圖

(5) 聲速剖面修正：

潮測量期間每日至少進行聲速剖面(參閱圖 3.8)測量一次，以進行水深資料之聲速修正。

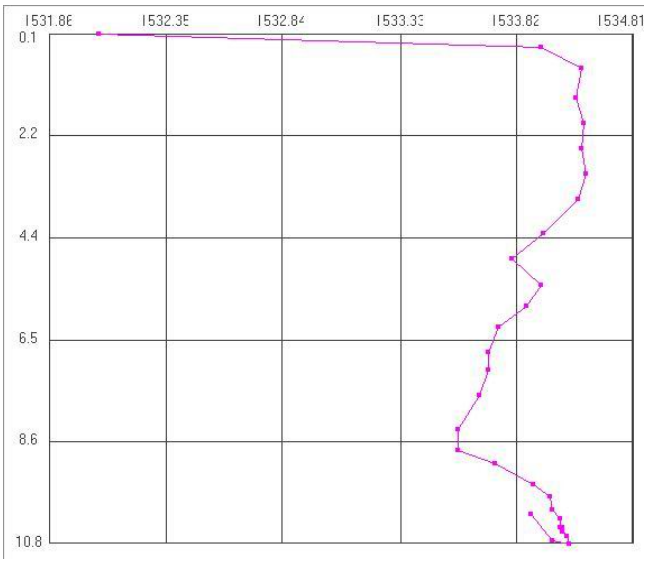


圖 3.8 聲速剖面圖範例

(6) 多音束水深資料處理流程：

多音束水深資料處理流程可參照圖 3.9，其中，『船隻規格』及『儀器安置位置』於現場作業前量測，『音鼓安置角度』於現場選擇適常地形檢測，聲速剖面及潮汐量測應儘可能接近測區。

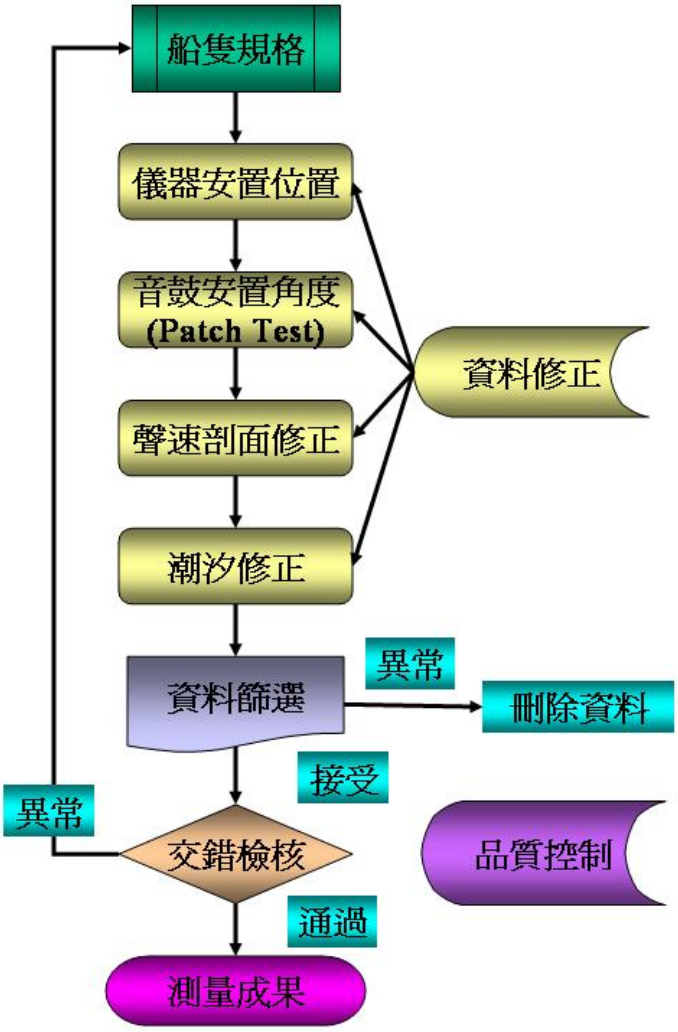
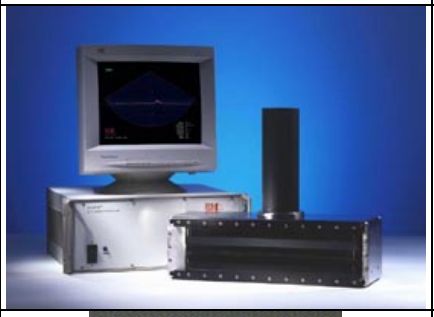


圖 3.9 多音束測深資料處理流程圖

3. 儀器介紹

水深調查作業所使用之儀器包含電腦、潮位計、衛星定位儀、單音束測深儀與多音束測深儀等。

表 3.1 測量作業使用之儀器規格表

系統	圖例	設備說明
多音束測深儀		**Reson 7125 多音束測深儀** 1.頻率：200 與 400KHz 雙頻。 2.音束數目：512 beams。 3.音束束寬：0.5°。 4.聲波接收角：165°。
GPS 系統		**Topcon Hyper Lite^{+}接收器** 1.可接收 GPS 及 GLONASS 等二種衛星。 2.水平精度可達 10mm+1ppm，垂直精度可達 15mm+1ppm。 3. RTK 測量精度在公分以內。
潮位監測		**SBE39 潮位計** 1. 溫度精確度為±0.002℃，解析度則為 0.0001℃。 2. 壓力範圍在水深 20 公尺以內，精度 2 公分，解析度 0.04 公分壓力範圍。
水深監測		**Octans 100 航向儀及船隻姿態收集器** 1.動態量測精度 Roll&Pitch 約為±0.01°。 2.Heave 約為±5 公分或 5%(以較大者為準)。 3.Heading 約為 0.1 度乘 sec(緯度)。

4. 地形測量前置作業

本計畫臺中港於 100/5/31 完成第一次之潮位站引測與水深測量作業，101/5/7 完成第二次，102/5/8 完成第三次，102/10/23 完成第四次；麥寮港則於 100/6/9 完成第一次之潮位站引測與水深測量作業，101/5/8 完成第二次，102/5/7 與 5/10 完成第三次，102/10/22 完

成第二次。

(1) 潮位站選取與測量

本計畫潮位站之引測，乃先利用 Topcon GPS 二部以 GPS 靜態基線測量法(static baseline survey)引測潮位站至施測區域附近之衛星控制點或水準點，以求出潮位站之 TWD97 坐標。內政部地政司建立臺灣地區完整、統一、高精度之衛星控制點系統，以提供本國重大經濟、工程建設所需之高精度基本控制點，本計畫以內政部所完成之一等一級水準控制點為引測之基站，由於本研究案作業範圍廣泛，因此在每一測區各設置一個基站衛星控制點。臺中港引用之一等一級水準控制點點名為「港灣技術研究中心」，位於梧棲臺 17 線港灣技術研究中心圍牆內，點號為 K400 ，潮位站則引測至梧棲漁港鄰近安檢站岸側，於 100 年 5 月 31 日完成引測；麥寮工業港引用之一等一級水準控制點點名為「麥寮工作站」，位於麥寮臺 17 線雲林農田水利會麥寮工作站圍牆外，點號為 G037 ，潮位站則引測至麥寮工業港港勤船渠岸側，於 100 年 6 月 9 日完成引測。 K400 與 G037 內政部公告之控制點點位相關資料如表 3.2 所示。由 K400 引測至梧棲漁港潮位站的解算結果如表 3.3 所示；由 G037 引測至麥寮工業港潮位站的解算結果如表 3.4 所示。

表 3.2 本計畫引用一等一級水準控制點之點位資料

點名	編號	緯度			經度			橢球高程(m)	中潮系統正高(m)
		度	分	秒	度	分	秒		
港灣技術研究中心	K400	24	16	11.91644	120	31	44.16151	22.97	4.16109
麥寮工作站	G037	23	45	02.75995	120	15	45.91625	24.688	5.14623

表 3.3 梧棲漁港潮位站之點位資料

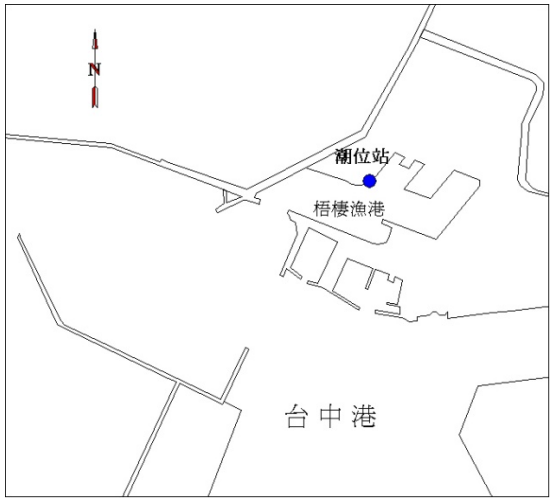
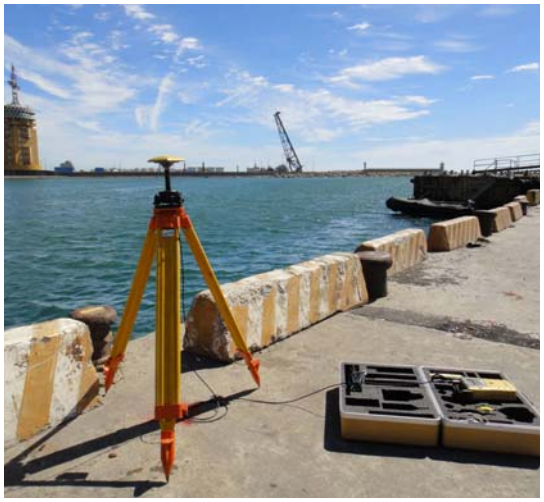
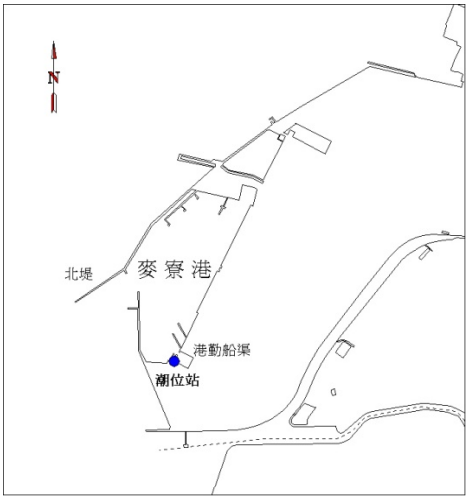
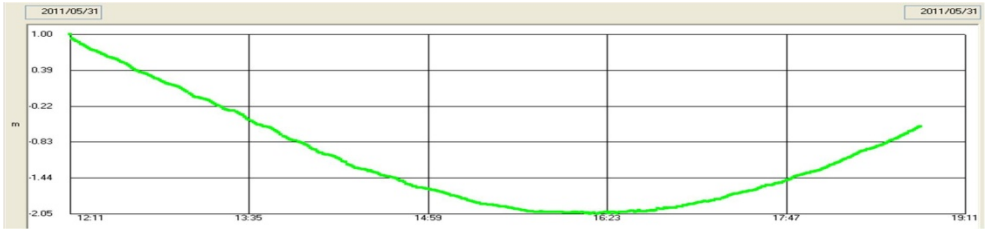
日期	100/5/31	坐標系統	TWD97
橫坐標(N,Y)	24° 17’ 33.95136”	縱坐標(E,X)	120° 31’ 04.99509”
橢球高程(m)	22.052	水準高程(m)	3.243
位置詳圖說明：梧棲漁港潮位站鄰近安檢站岸側。			
地理位置圖		現場照片	
			

表 3.4 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	
			

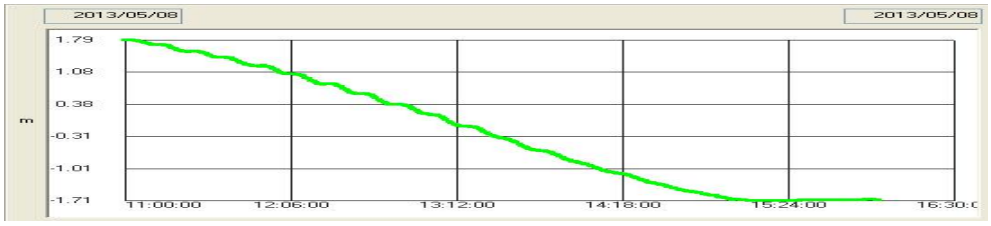
(2) 潮位觀測紀錄

潮位修正部分，本計畫採用 Sea-Bird SBE-39 壓力式潮位計實測之潮汐資料，臺中港堤頭水深測量以置放於鄰近安檢所之潮位儀所記錄之潮位資料為修正依據，麥寮港堤頭水深測量則以港勤船渠之潮位儀所記錄之潮位資料為修正依據，因應當地較大之潮差變化，每 1 分鐘記錄一次水位。其中臺中港潮位站碼頭面高程為 3.243 公尺，麥寮港潮位站碼頭面高程為 3.095 公尺。各港之潮位記錄如附錄二所示，而其水位時序列變化曲線如圖 3.10 與圖 3.11 所示。

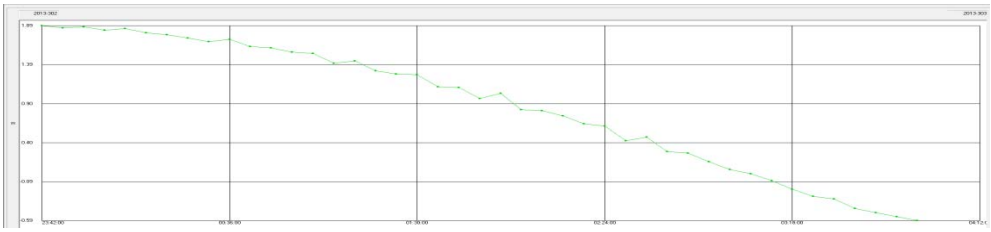


第一次 100/5/31 12:10~18:50

第二次 101/5/7 08:00~18:30

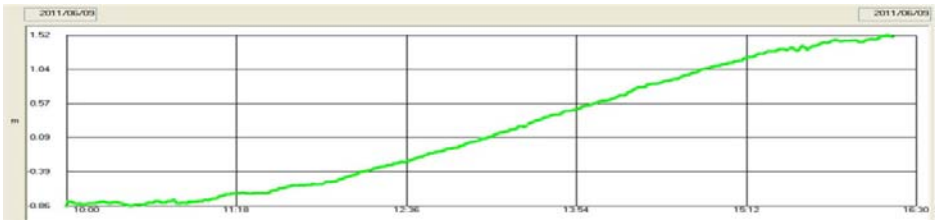


第三次 102/5/8 11:00~16:00

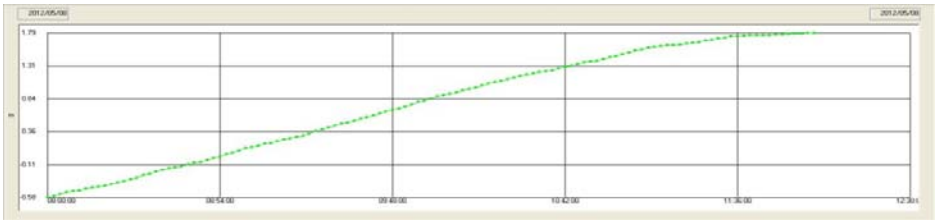


第四次 102/10/30 07:00~12:00

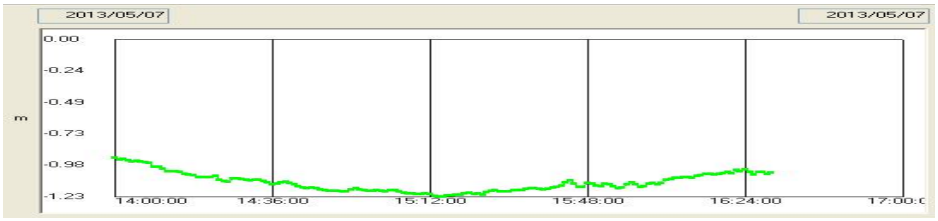
圖 3.10 梧棲漁港水位時序列變化圖



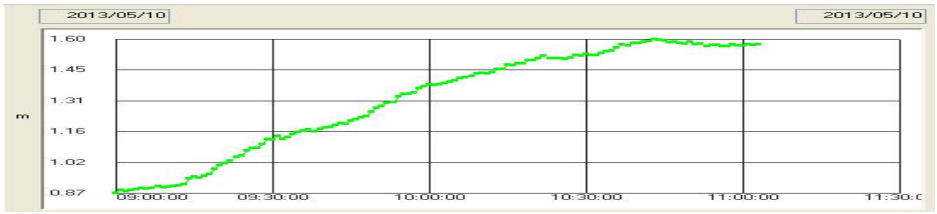
第一次 100/6/9 10:00~16:20



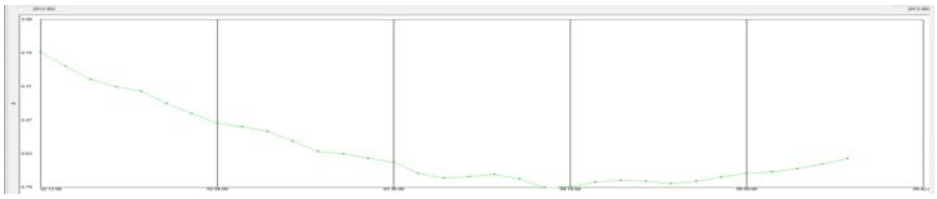
第二次 100/5/8 08:00~12:00



第三次 102/5/7 12:00~18:00



第三次 102/5/10 08:00~12:00

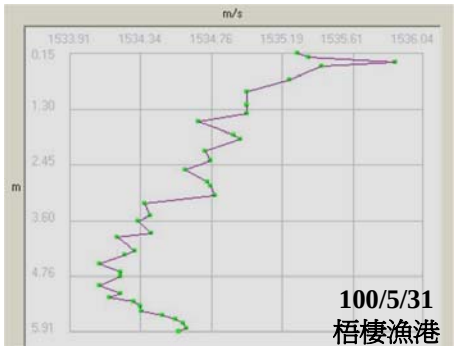


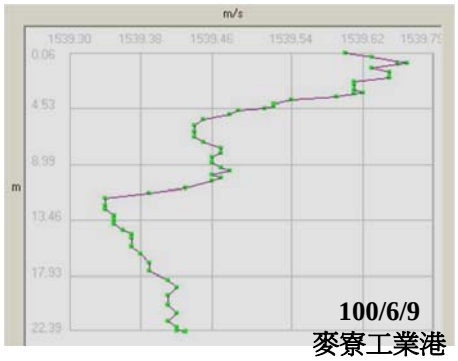
第四次 102/10/29 10:00~14:00

圖 3.11 麥寮工業港水位時序列變化圖

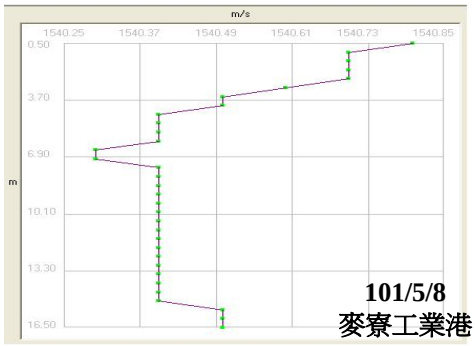
(3) 聲速剖面紀錄

本計畫於聲速修正部分，於水深測量當日採用 Seabird SBE-19 鹽溫深儀(CTD)測量出當地海域之溫度、鹽度、壓力，再經由程式(Chen 及 Millero)轉換成聲速剖面值進行修正，所量測解算得之聲速記錄資料如附錄三所示，各港之水中聲速變化曲線如圖 3.12 所示。作業相關照片，詳如附錄四。

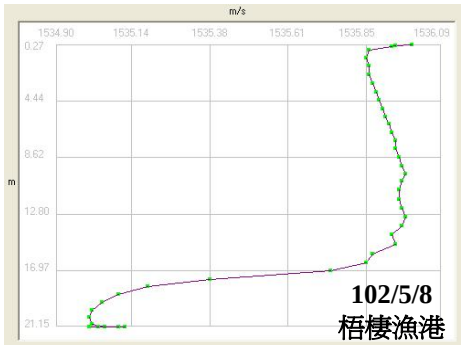


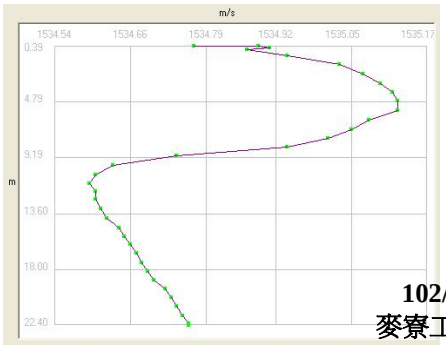


100 年第一次

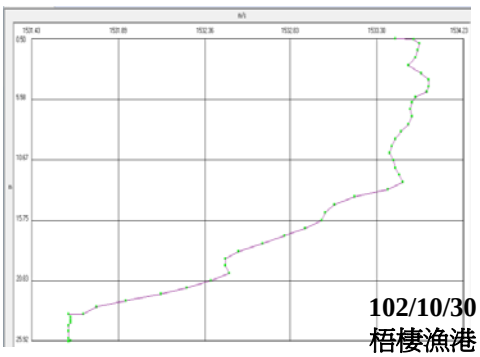


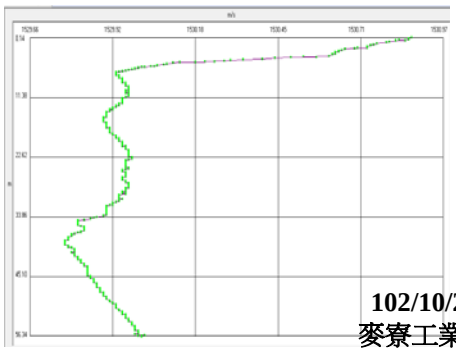
101 年第二次





102 年第三次





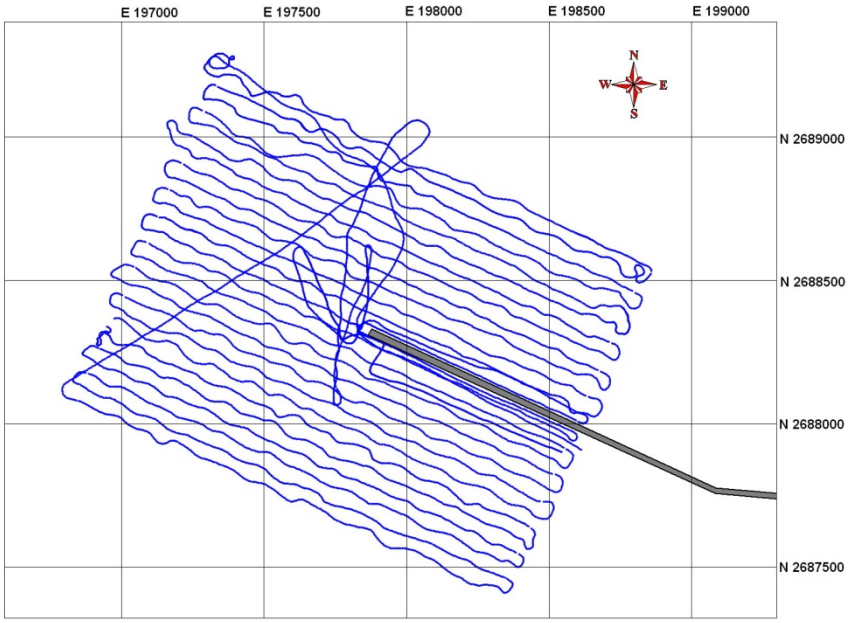
102 年第四次

圖 3.12 梧棲漁港與麥寮工業港聲速剖面變化圖

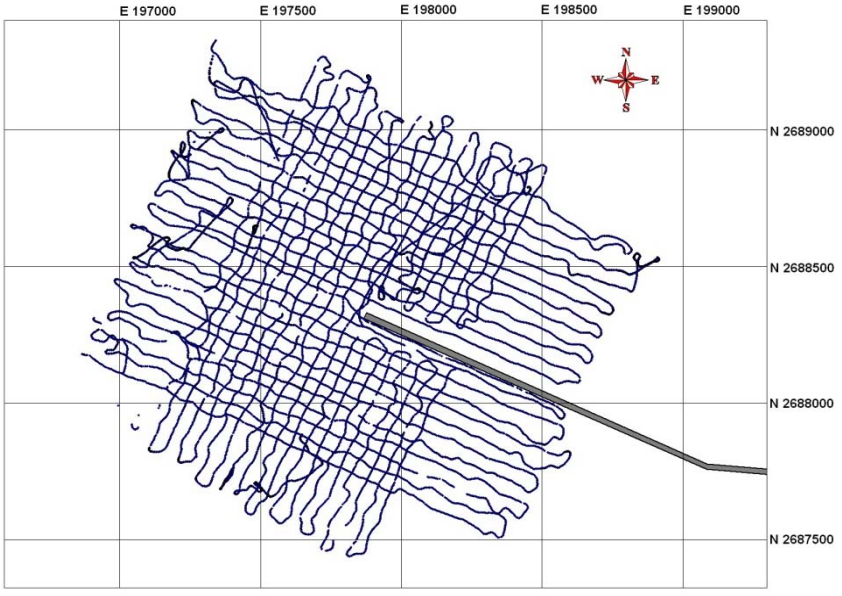
3.1.2 水深測量成果與分析

1. 臺中港北防波堤

實測之軌跡路線圖如圖 3.13，取網格製成等深線及水深色階圖如圖 3.14 與圖 3.15 所示，海域地形三維立體圖如圖 3.16 所示，消波塊成像如圖 3.17 所示。

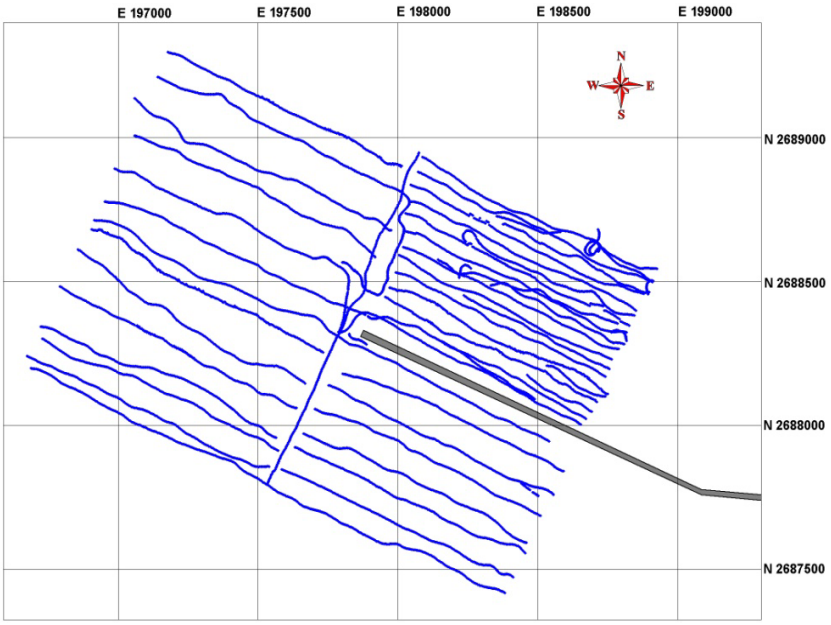


第一次 100/5/31

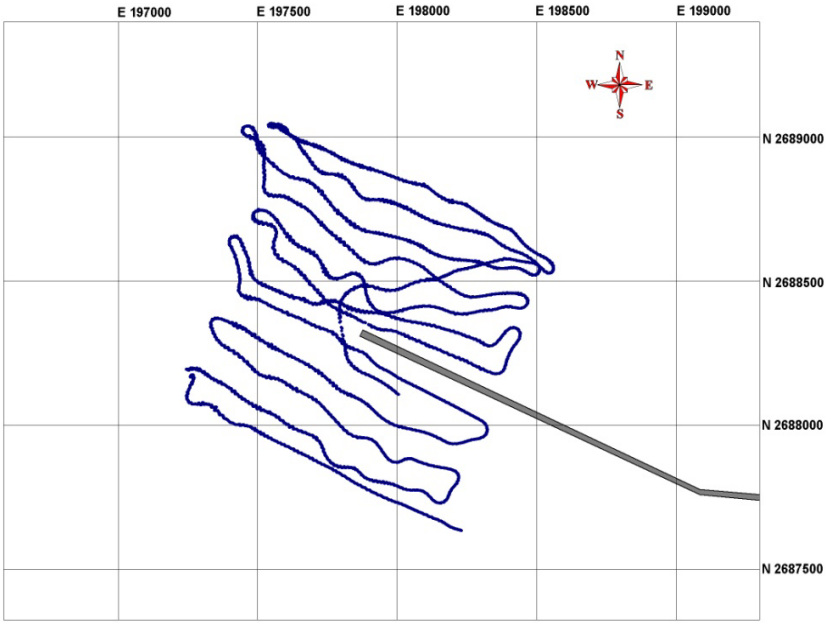


第二次 101/5/7

圖 3.13(a) 臺中港北防波堤堤頭水深測量航跡點

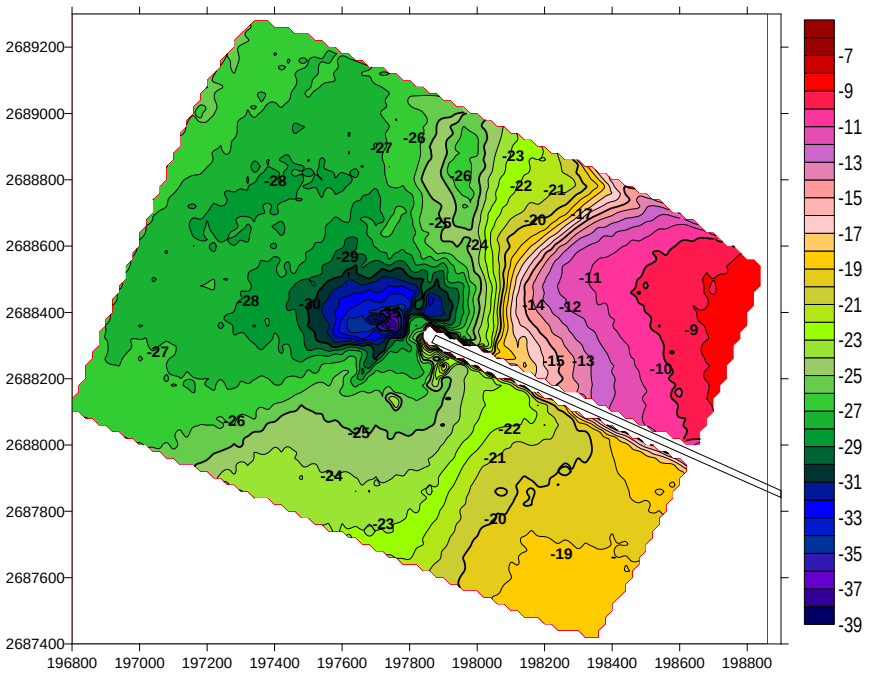


第三次 102/5/8

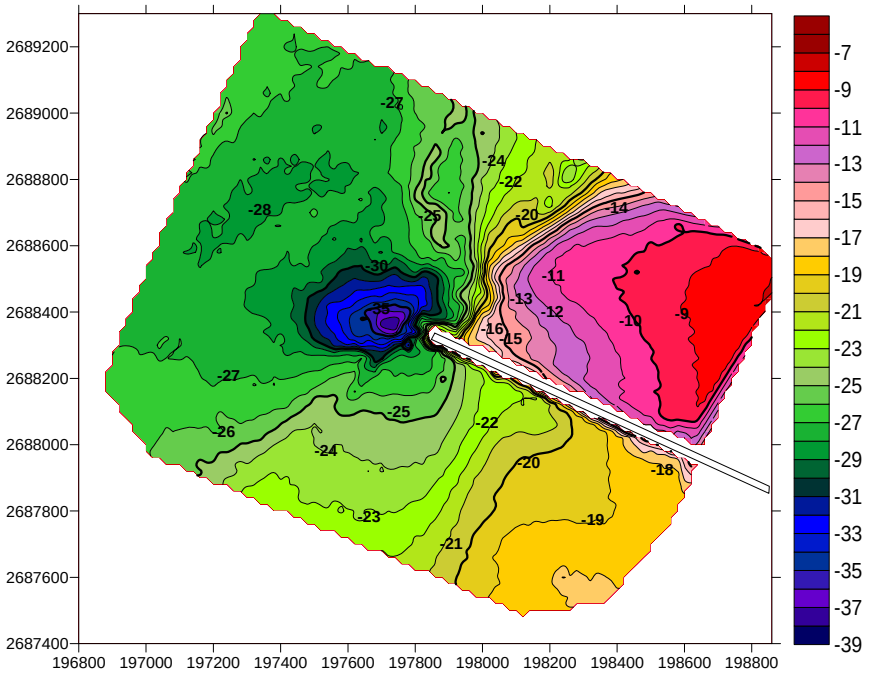


第四次 102/10/23

圖 3.13(b) 臺中港北防波堤堤頭水深測量航跡點

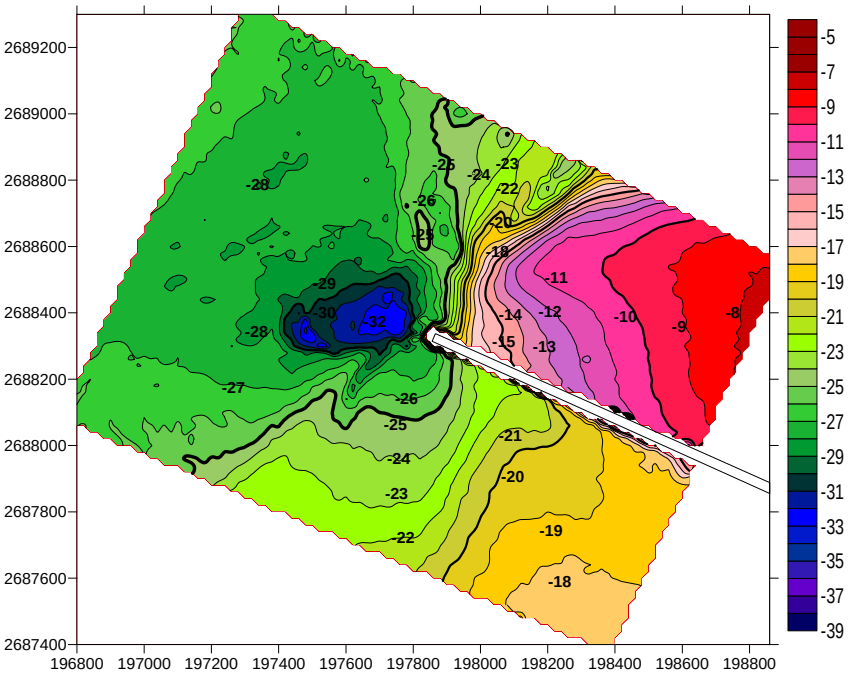


第一次 100/5/31

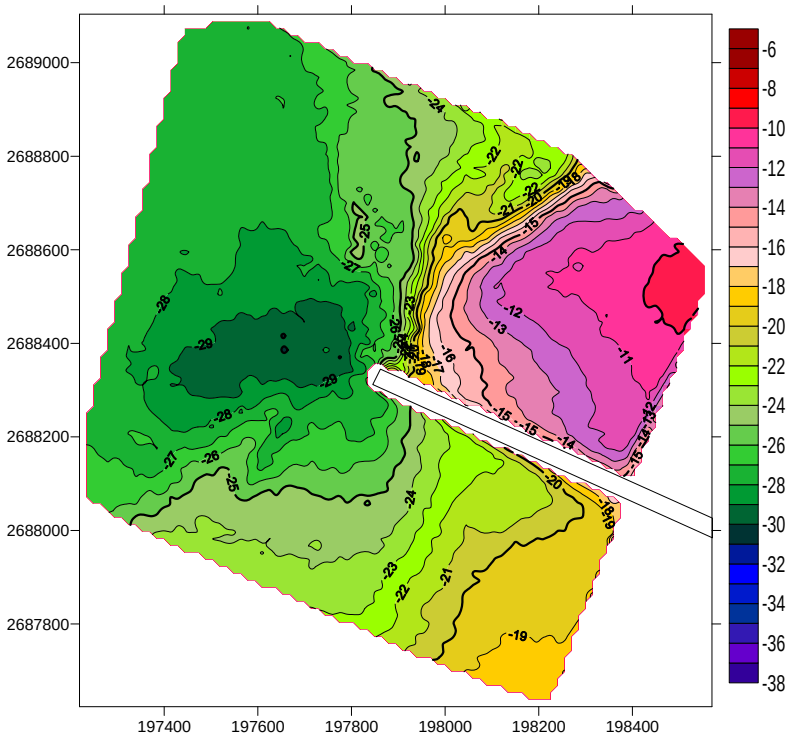


第二次 101/5/7

圖 3.14(a) 臺中港北防波堤堤頭水深測量等深線水深色階圖

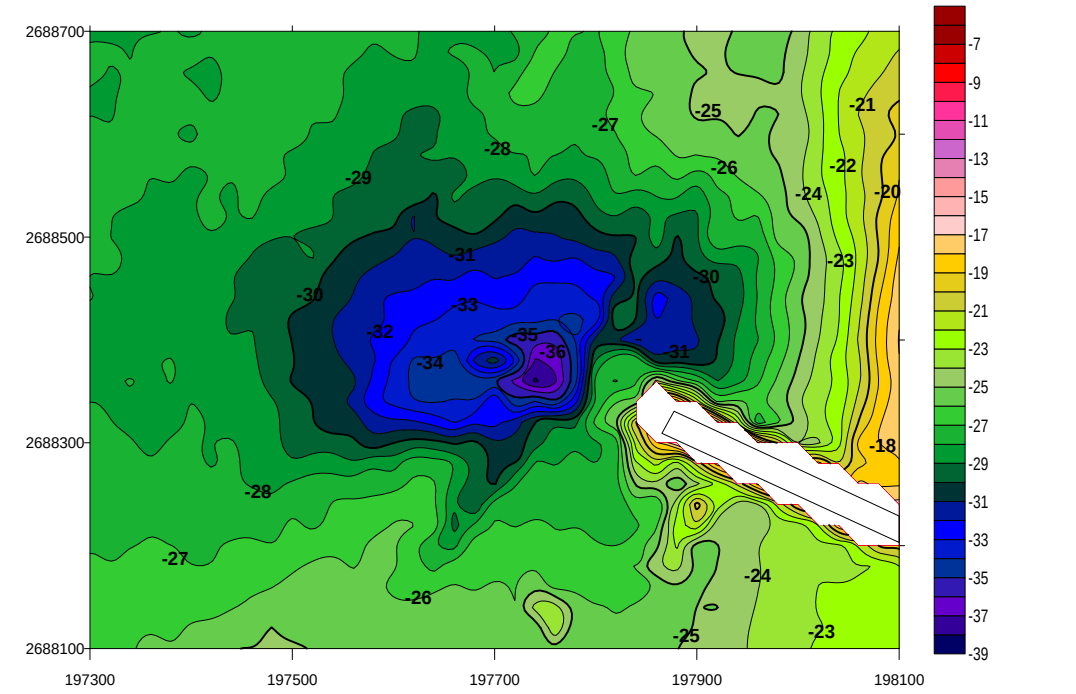


第三次 102/5/8

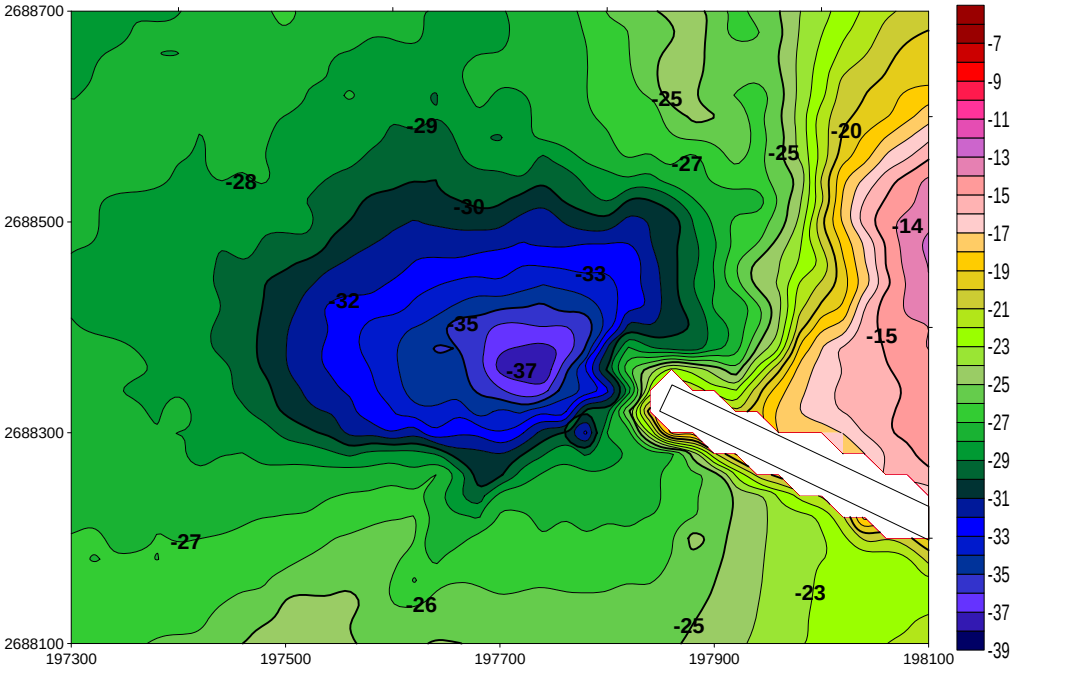


第四次 102/10/23

圖 3.14(b) 臺中港北防波堤堤頭水深測量等深線水深色階圖

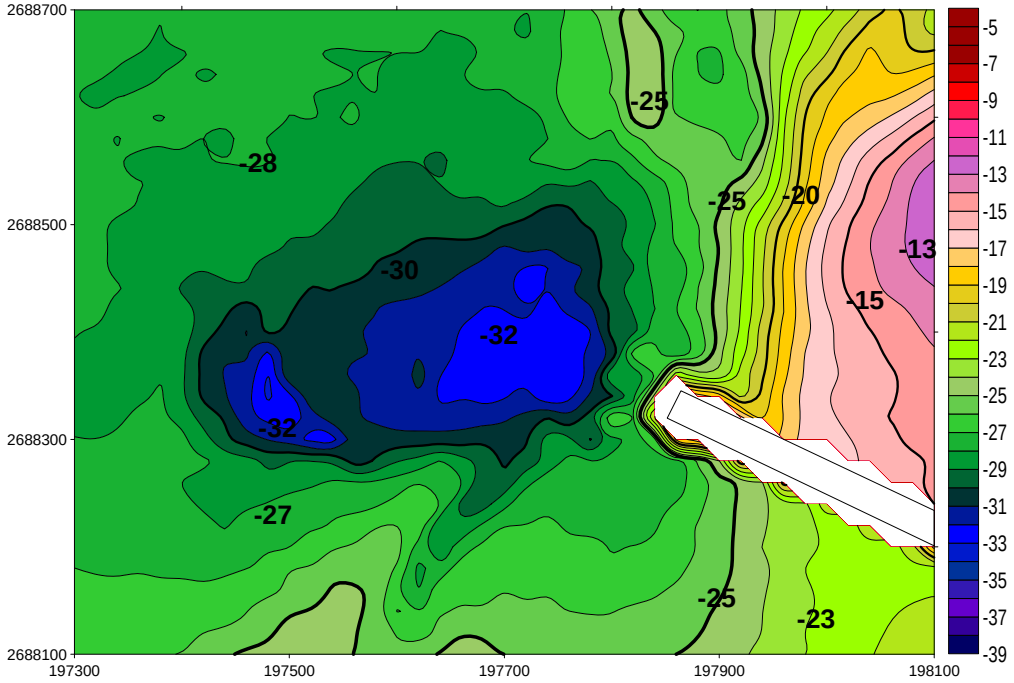


第一次 100/5/31

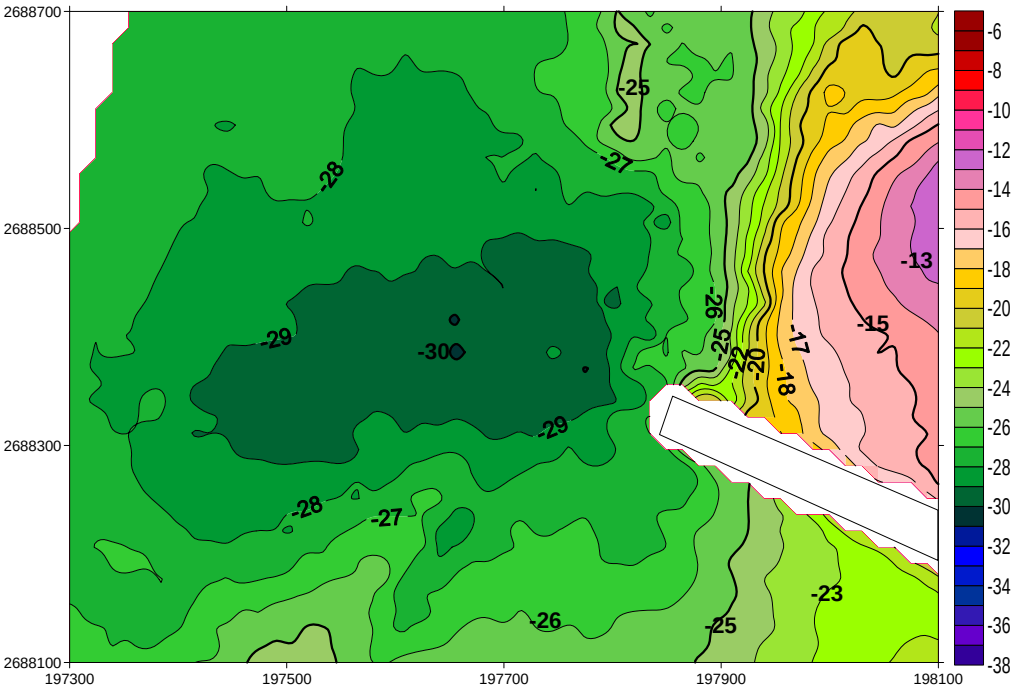


第二次 101/5/7

圖 3.15(a) 臺中港北防波堤堤頭水深測量等深線水深色階圖(局部放大)

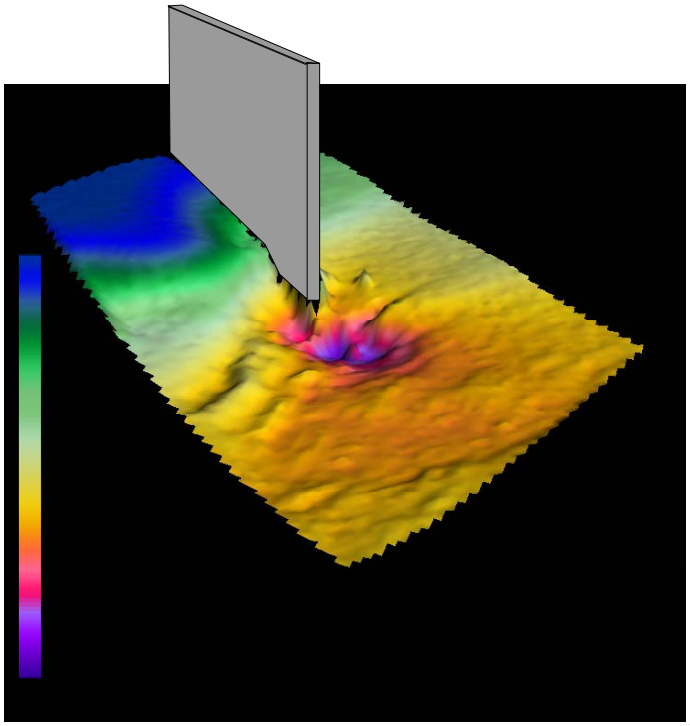


第三次 102/5/8

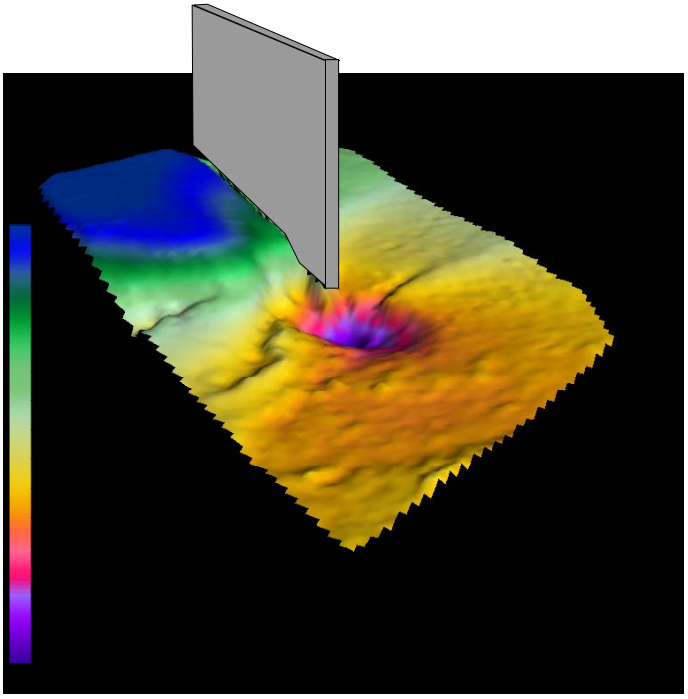


第四次 102/10/23

圖 3.15(b) 臺中港北防波堤堤頭水深測量等深線水深色階圖(局部放大)

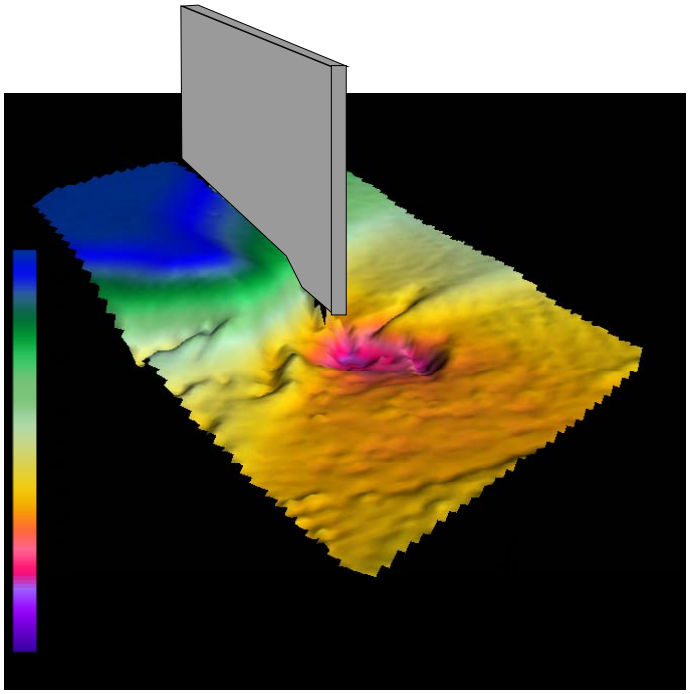


第一次 100/5/31

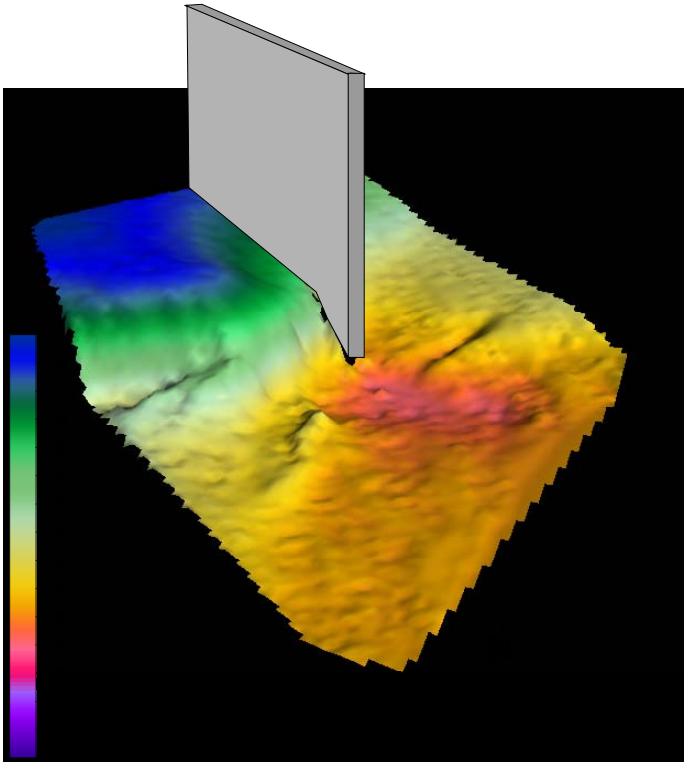


第二次 101/5/7

圖 3.16(a) 臺中港北防波堤堤頭水深測量三維立體色階圖

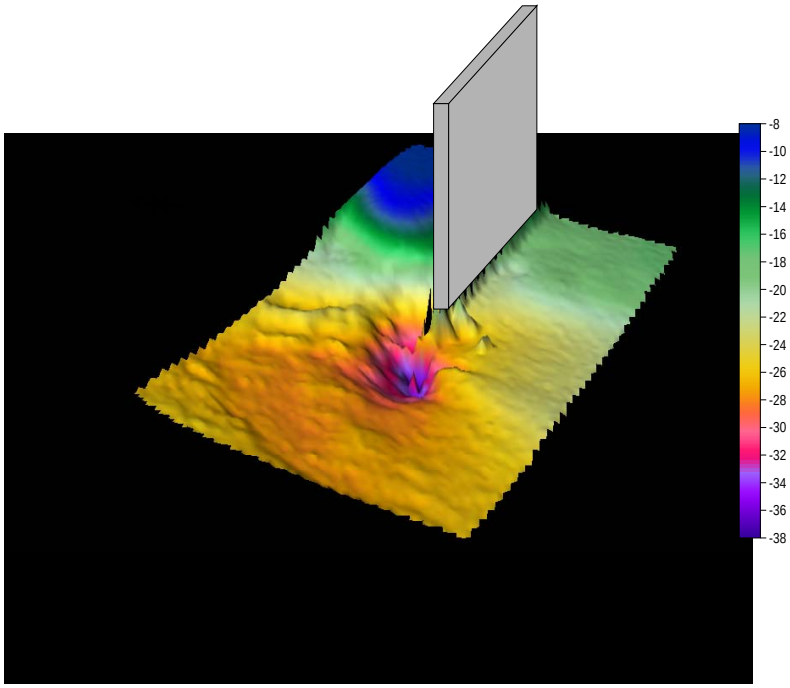


第三次 102/5/8

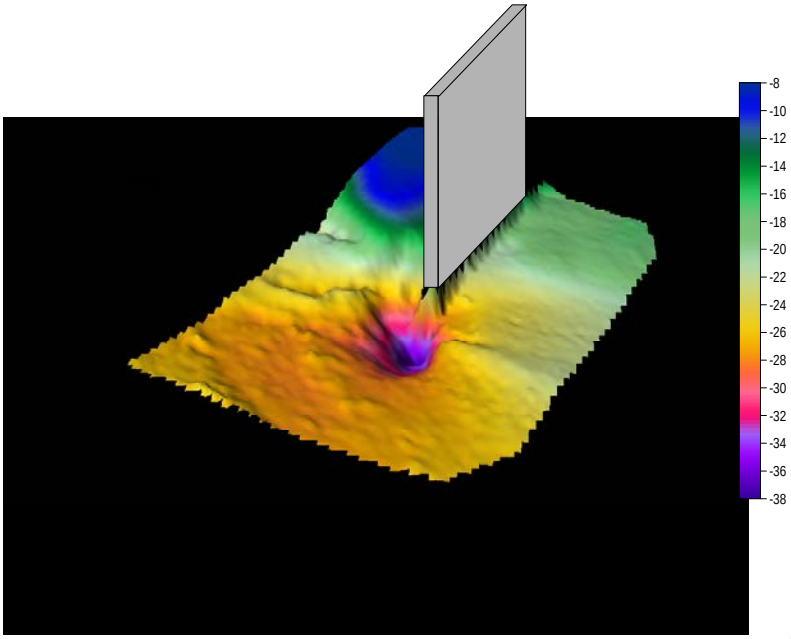


第四次 102/10/23

圖 3.16(b) 臺中港北防波堤堤頭水深測量三維立體色階圖

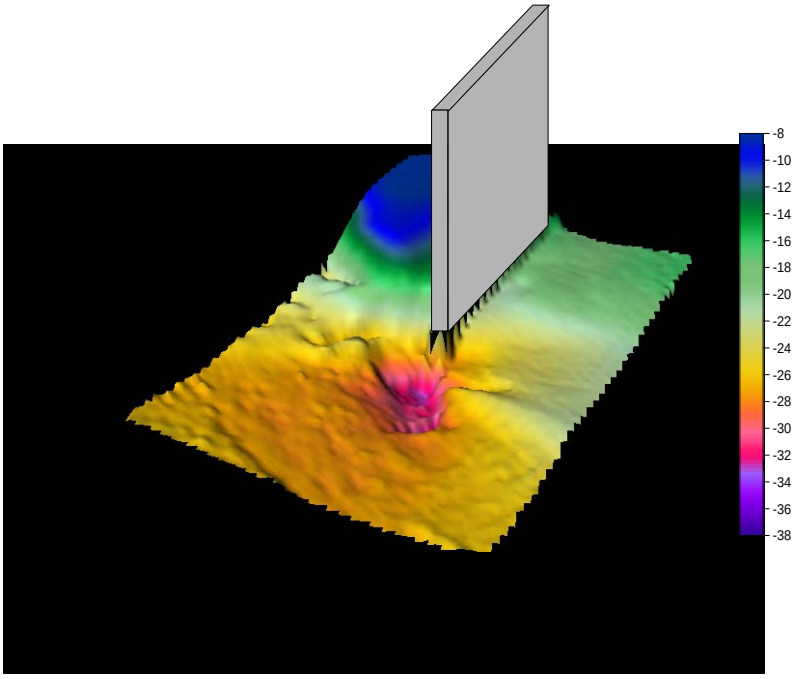


第一次 100/5/31

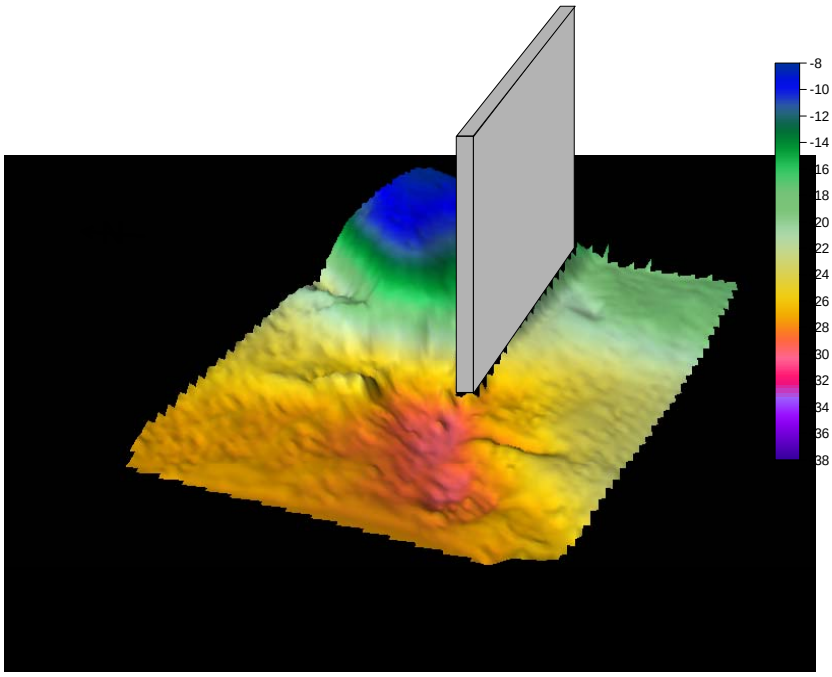


第二次 101/5/7

圖 3.16(c) 臺中港北防波堤堤頭水深測量三維立體色階圖

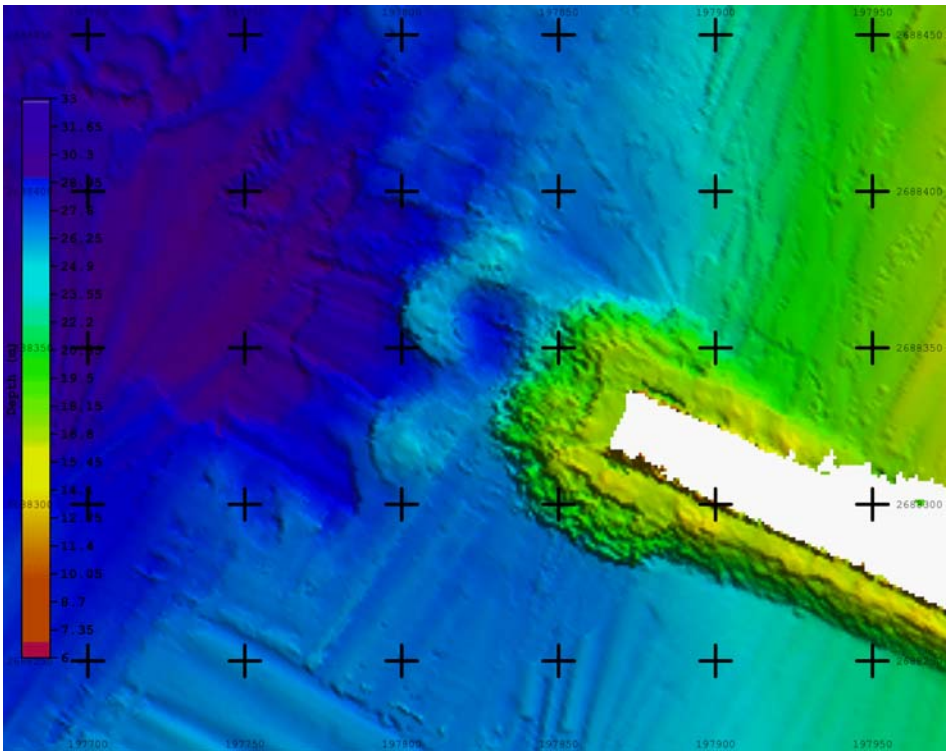


第三次 102/5/8

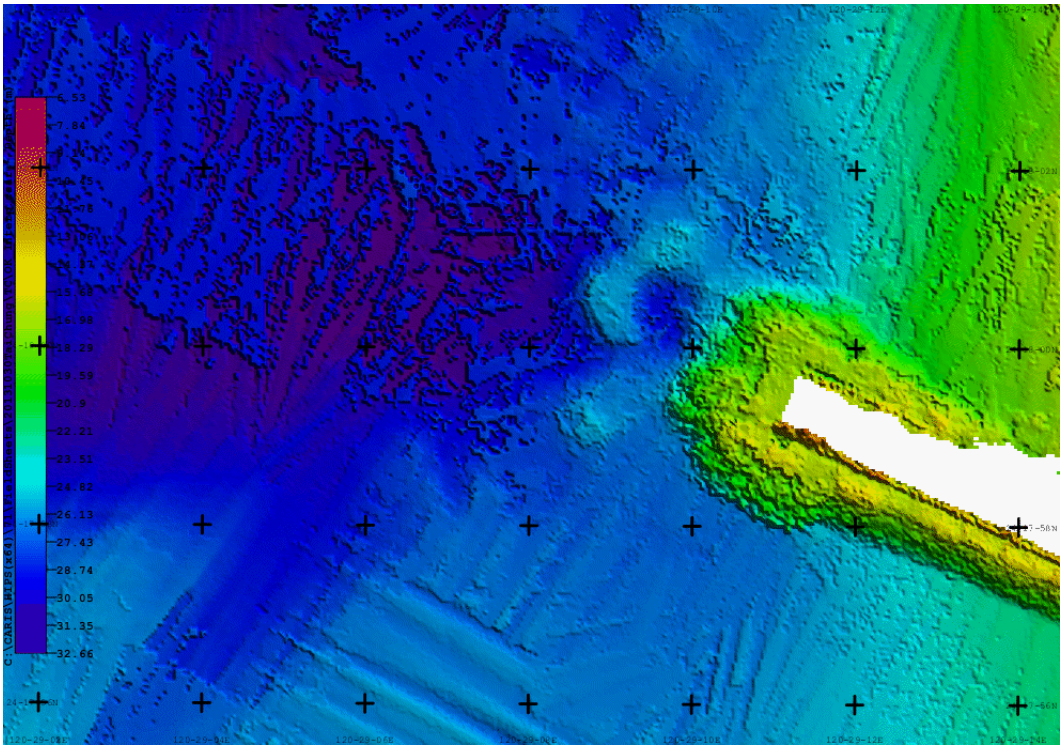


第四次 102/10/23

圖 3.16(d) 臺中港北防波堤堤頭水深測量三維立體色階圖



第三次 102/5/8



第四次 102/10/23

圖 3.17 臺中港北防波堤堤頭附近消波塊布置水深色階圖(局部放大)

依地形變化特性擷取測量海域計 9 條之斷面水深資料，各斷面位置資料如表 3.5 所示，其中 W1 至 W4 為垂直海堤之斷面，W5 至 W9 為平行海堤之斷面。斷面 W1 與 W2 主要在呈現臺中港北堤堤北外海區域與堤南港域之地形落差變化。斷面 W3 則呈現測區南北向經過掏刷最深區域之水深變化；W6 與 W8 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 W7 為由堤頭開始經過掏刷最深區域之水深變化，斷面位置如圖 3.18 所示，各斷面歷次監測之水深變化比較如圖 3.19 至圖 3.27 所示。

表 3.5 臺中港斷面位置坐標

斷面編號	起點坐標(m)		終點坐標(m)		斷面距離(m)
	N	E	N	E	
W1	2688619	198753	2687448	198218	1300
W2	2688833	198315	2687662	197780	1300
W3	2688967	198017	2687796	197483	1300
W4	2689171	197570	2688000	197035	1300
W5	2688325	198772	2689068	197192	1750
W6	2688033	198638	2688777	197058	1750
W7	2688320	197868	2688723	197026	950
W8	2687924	198585	2688667	197005	1750
W9	2687582	198435	2688325	196855	1750

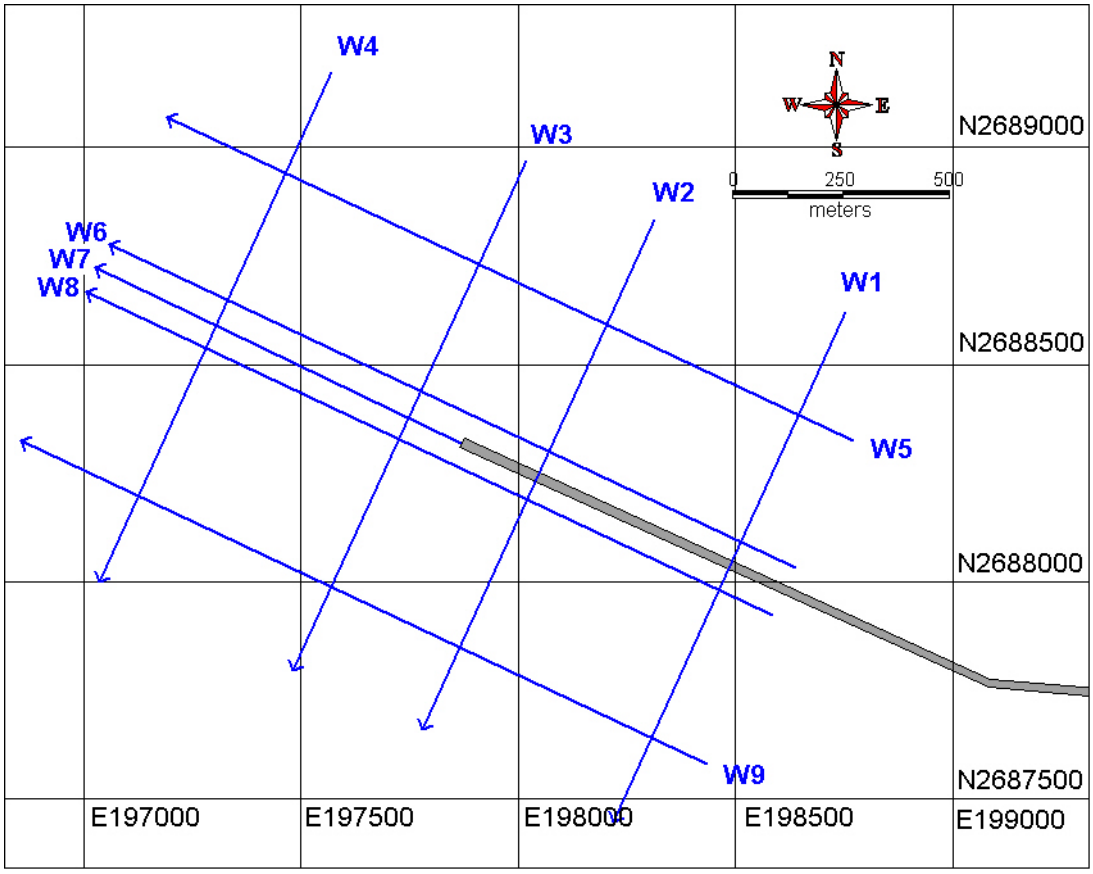


圖 3.18 臺中港堤頭水深測量斷面位置圖

(1)第一次臺中港北堤水深測量(100/5)

區域所測得水深最淺約為-8m，堤頭附近掏刷最深處水深約-39m，等深線於堤身附近大致呈現垂直海堤方向分布，堤頭附近因為波浪反射之掏刷而形成輻射狀之等深線分布，掏刷最深處位於堤頭向外海延伸方向約 140m 處；堤頭正北方約 100m 處亦有刷深現象，最深處約-32m，如圖 3.14 與圖 3.15 所示。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 6~7m。透過三維影像，如圖 3.16 所示，可呈現本測量海域地形變化之特性，由於係以單音束測深系統進行水深測量，消波塊群成像並不明顯，但可由水深色階圖之分布，約略看出堤頭南側附近之消波塊群之可能分布。

斷面 W1：於堤頭東側垂直堤身方向，距離堤頭約 680m 處，展

現堤防內外之水深高差變化，本斷面水深變化約在-8.9~-19.4m 之間；港域外距斷面起點至 460m 處之高程約在-9.1~-10.1m 間，坡降約為 0.3/100；距斷面起點 460~610m 接近堤址處則略有刷深之情形，地形較為陡降，坡降約為 0.6/100，堤址附近高程降至約-11m，掏刷深度約 1m；港域內距斷面起點 700~1,280m 間之高程約在-18.3~-19.4m 間，中間略微刷深，堤址處水深約-14.8m，除堤址附近外，平均坡降約為 0.4/100。港域外地勢高於港域內，高差約 7.4m，本斷面除堤址附近外，堤內外海域地形無明顯變化。本斷面高程堤防北側港域外高於堤防南側港域內，形成外(北)高內(南)低之地形變化，水深剖面變化如圖 3.19 所示。

斷面 W2：於堤頭東側垂直堤身方向，距離堤頭約 200m 處，展現堤防內外之水深高差變化，本斷面水深變化約在-14.5~-23.6m 之間；港域外距斷面起點 320m 處形成一離岸潛坵，高程約-14.5m，起點 58m 處之高程最低約-21m，本段坡降約為 0.3/100；起點 610m 接近堤址處則略有刷深之情形，高程約-19m，離岸潛坵南北二側坡降約在 2~2.1/100 之間；港域內距斷面起點 700~1,280m 間之高程約在-23.3m 緩升至-22.1m 間，堤址處水深約-19.2m，除堤址附近外，平均坡降約為 0.21/100。港域外地勢高於港域內，高差約 4.4m，本斷面在堤址附近地形有較明顯之變化，港域外海堤北側則有一差約 6.5m 之離岸潛坵存在，該潛坵可能為布置於堤頭附近之消波塊群。本斷面高程堤防北側港域外高於堤防南側港域內，形成外(北)高內(南)低之地形變化，堤防外堤趾處略有刷深，水深剖面變化如圖 3.20 所示。

斷面 W3：於堤頭西側垂直堤身方向，距離堤頭外約 140m 處，展現垂直堤防方向斷面之堤頭掏刷水深高差變化，本斷面水深變化約在-24.7~-38.1m 之間；距斷面起點 670m 處為掏刷最深之處，高程約-38.1m，該斷面於刷深點南北各約 300m 附近為刷深區域，坡降約在 4.6~6.5/100 間，其餘斷面水深值表現北側約在-25~-26m 之間，坡降約為 0.3/100；南側斷面水深值表現約在-23~-26m 之間，坡降約

為 0.7/100。本斷面除刷深區域外，坡降大至平緩。本斷面在掏刷區外南北水深高程差亦不大，坡度以北側斷面較具變化性，水深剖面變化如圖 3.21 所示。

斷面 W4：於堤頭西側垂直堤身方向，距離堤頭外約 630m 處，主要作為與斷面 W3 之水深剖面變化比較，本斷面水深變化約在-26.2~-28.2m 之間，坡降平緩，高程差不明顯。水深剖面變化如圖 3.22 所示。

斷面 W5：於堤頭北側平行堤身方向，距離堤身約 380m 處，展現港域外平行堤防之水深高差變化，本斷面水深變化約在-8.6~-28m 之間；距斷面起點 550m 之高程約在-8.6~-12.2m 間，坡降約為 0.65/100；距斷面起點 550~900m 之高程約在-12.2~-25.7m 間，坡降約為 3.8/100，斷面變化略微陡峭；距斷面起點 900~1,100m 處地形略微隆起約 1m；距斷面起點 1,100m 之後，高程變化在-26~-28m 間，坡降平緩，高程差不明顯。本斷面平行堤防，可見堤頭附近之刷深情況，水深剖面變化如圖 3.23 所示。

斷面 W6：於堤頭北側平行堤身方向，距離堤身約 60m 處，展現港域外堤身附近之水深高差變化，其斷面變化趨勢與 W5 相似，本斷面水深變化約在-9.8~-33.5m 之間；距斷面起點 500m 之高程約在-9.8~-16m 間，坡降約為 1.3/100；距斷面起點 600~860m 之高程約在-17.9~-31.9m 間，坡降約為 5.2/100，斷面變化陡峭，堤頭附近略微隆起；距斷面起點 900m 處附近地形隆起較為明顯高差約 2.5m；距斷面起點 1,000~1,300m，高程變化在-32~-27.6m 間，坡降約為 1.5/100，之後斷面坡降平緩，高程變化在-26.5~-28.4m 間，高程差不明顯。本斷面平行堤防，可見堤頭附近之刷深情況，水深剖面變化如圖 3.24 所示。

斷面 W7：平行堤身，垂直堤頭往外海延伸方向，展現堤頭掏刷區域附近之水深高差變化，本斷面水深變化約在-23.7~-37.1m 之間；堤頭附近水深約-23.7m，距斷面起點（堤頭）140m 為本斷面最

深處，高程為-37.1m，堤頭至掏刷區坡降約為 12.6/100，由圖 3.11 與圖 3.12 可明顯看出堤頭附近刷深之情形，高程落差約 13.4m；距斷面起點 200~450m 之高程約在-33.7~-28.1m 間，坡降約為 2.3/100，斷面變化較為平緩，之後斷面高程變化在-26.9~-28.2m 間，坡降平緩，高程變化不明顯。本斷面表現出正對堤頭掏刷區之地形變化，水深剖面變化如圖 3.25 所示。

斷面 W8：於堤頭南側平行堤身方向，距離堤身約 60m 處，展現港域內堤身附近之水深高差變化，本斷面水深變化約在-18.1~-34.5m 之間；距斷面起點 760m 至 1,000m 堤頭附近處有較為明顯之隆起地形，可能為布置於堤頭附近之消波塊群，高程由-24.3m 上升至-21m，再下降至-25.2m 後隆起至-23.6m，由此消波塊群外海刷深至-34.5m，高程落差達 13.5m，由圖 3.11 與圖 3.12 可明顯看出其存在，；距斷面起點至 710m 處，高程變化在-18.3~-24.5m 間，坡降約為 0.87/100；距斷面起點 850~1,020m 處，高程變化在-27.5~-34.5m 間，坡降約為 3.9/100，距斷面起點 1,200m 之後斷面坡降較為平緩，高程變化在-29.2~-27m 間，高程差較不明顯。本斷面平行堤防，可見堤頭附近之刷深情況，水深剖面變化如圖 3.26 所示。

斷面 W9：於堤頭南側平行堤身方向，距離堤身約 430m 處，展現港域內平行堤防之水深高差變化，本斷面水深變化約在-18.6~-27.3m 之間；距斷面起點 400m 之高程約在-18.7~-19.5m 間，坡降約為 0.2/100；距斷面起點 400 ~ 1080m 處，高程變化在-19.8~-24.3m 間，坡降約為 0.68/100，斷面變化略微陡峭；距斷面起點 1,100~1,700m 間之高程約在-24.6~-27.1m 間，坡降平緩，高程差不明顯。本斷面在堤防南側港域內由港內往港外逐漸變深，水深剖面變化如圖 3.27 所示。

(2)第二次臺中港北堤水深測量(101/5)

區域所測得水深最淺約為-7.4m，堤頭附近掏刷最深處水深約-39m，等深線於堤身附近大致呈現垂直海堤方向分布，堤頭附近因

為波浪反射之掏刷而形成輻射狀之等深線分布，掏刷最深處位於堤頭向外海延伸方向約 140m 處，如圖 3.14 與圖.15 所示。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 5-6m。透過三維影像，如圖 3.16 所示，可呈現本測量海域地形變化之特性，由於係以單音束測深系統進行水深測量，消波塊群成像並不明顯。

斷面 W1：於堤頭東側垂直堤身方向，距離堤頭約 680m 處，展現堤防內外之水深高差變化，本斷面水深變化約在-8.6~-19.1m 之間；港域外距斷面起點至 570m 處之高程約在-9.0~-10.1m 間，坡降約為 0.2/100；距斷面起點 570 ~ 610m 接近堤址處則有刷深之情形，地形較為陡降，坡降約為 4.3/100，堤址附近高程降至約-12m，掏刷深度約 1m；港域內距斷面起點 720~1,230m 間之高程約在-17.7~-19.1m 間，中間略微刷深，堤址處水深約-14.5m，除堤址附近外，平均坡降約為 0.2/100。港域外地勢高於港域內，高差約 4.5m，本斷面除堤址附近外，堤內外海域地形無明顯變化。本斷面高程堤防北側港域外高於堤防南側港域內，形成外(北)高內(南)低之地形變化，水深剖面變化如圖 3.19 所示。

斷面 W2：於堤頭東側垂直堤身方向，距離堤頭約 200m 處，展現堤防內外之水深高差變化，本斷面水深變化約在-11.5~-23.2m 之間；港域外距斷面起點 340m 處形成一離岸潛坵，高程約-11.5m，起點處之高程最低約-21.8m，離岸潛坵南北二側坡降約在 1.6~3/100 之間；起點 610m 接近堤址處則略有刷深之情形，高程約-15.9m；港域內距斷面起點 720~1290m 間之高程約在-22.9m 緩升至-21.8m 間，堤址處水深約-18.6m，除堤址附近外，平均坡降約為 0.19/100。港域外地勢高於港域內，高差約 2.7m，本斷面在堤址附近地形有較明顯之變化，港域外海堤北側則有一差約 6.5m 之離岸潛坵存在，該潛坵可能為布置於堤頭附近之消波塊群。本斷面高程堤防北側港域外高於堤防南側港域內，形成外(北)高內(南)低之地形變化，堤防外堤趾處略有刷深，水深剖面變化如圖 3.20 所示。

斷面 W3：於堤頭西側垂直堤身方向，距離堤頭外約 140m 處，展現垂直堤防方向斷面之堤頭掏刷水深高差變化，本斷面水深變化約在-22.8~-37.9m 之間；距斷面起點 670m 處為掏刷最深之處，高程約-37.9m，該斷面於刷深點南北各約 300m 附近為刷深區域，坡降約在 4.5~4.7/100 間，斷面其餘水深值表現北側約在-24.5~-26.7m 之間，坡降約為 0.5/100；南側斷面水深值表現約在-22.8~-25.0m 之間，坡降約為 0.7/100。本斷面除刷深區域外，坡降大至平緩。本斷面在掏刷區外南北水深高程差亦不大，坡度以北側斷面較具變化性，水深剖面變化如圖 3.21 所示。

斷面 W4：於堤頭西側垂直堤身方向，距離堤頭外約 630m 處，主要作為與斷面 W3 之水深剖面變化比較，本斷面水深變化約在-25.9~-28.3m 之間，坡降平緩，高程差不明顯。水深剖面變化如圖 3.22 所示。

斷面 W5：於堤頭北側平行堤身方向，距離堤身約 380m 處，展現港域外平行堤防之水深高差變化，本斷面水深變化約在-8.3~-27.9m 之間；距斷面起點 565m 之高程約在-8.3~-10.7m 間，坡降約為 0.44/100；距斷面起點 565~960m 之高程約在-11.0~-26.8m 間，坡降約為 4.0/100，斷面變化略為陡峭；距斷面起點 960~1,050m 處地形略微隆起約 2m；距斷面起點 1,200m 之後，高程變化在-26.6~-27.9m 間，坡降平緩，高程差不明顯。本斷面平行堤防，可見堤頭附近之刷深情況，水深剖面變化如圖 3.23 所示。

斷面 W6：於堤頭北側平行堤身方向，距離堤身約 60m 處，展現港域外堤身附近之水深高差變化，其斷面變化趨勢與 W5 相似，本斷面水深變化約在-10~-33.5m 之間；距斷面起點 730m 之高程約在-10.8~-17.2m 間，坡降約為 1.0/100；距斷面起點 730~950m 之高程約在-17.3~-33.5m 間，坡降約為 7.3/100，斷面變化陡峭；距斷面起點 950~1,300m，高程變化在-33.5~-27.9m 間，坡降約為 1.7/100，之後斷面坡降平緩，高程變化在-27.2~-28.1m 間，高程差不明顯。本斷面平行堤防，可見堤頭附近之刷深情況，水深剖面變化如圖 3.24

所示。

斷面 W7：平行堤身，垂直堤頭往外海延伸方向，展現堤頭掏刷區域附近之水深高差變化，本斷面水深變化約在-21.6~-37.2m 之間；堤頭附近水深約-21.6m，距斷面起點(堤頭)140m 為本斷面最深處，高程為-37.2m，堤頭至掏刷區坡降約為 14.4/100，由圖 3.11 與圖 3.12 可明顯看出堤頭附近刷深之情形，高程落差約 15.6m；距斷面起點 140~410m 之高程約在-28.9~-37.2m 間，坡降約為 3.1/100，之後斷面高程變化在-27.5~-28.9m 間坡降平緩，高程變化不明顯。本斷面表現出正對堤頭掏刷區之地形變化，水深剖面變化如圖 3.25 所示。

斷面 W8：於堤頭南側平行堤身方向，距離堤身約 60m 處，展現港域內堤身附近之水深高差變化，本斷面水深變化約在-17.1~-35.8m 之間；距斷面起點 760m 至 1,000m 堤頭附近處有較為明顯之地形變化，可能為布置於堤頭附近之消波塊群，高程變化在-25.6~-35.3m 間，由此消波塊群外海刷深至-35.8m，高程落差達 9.1m，由圖 3.11 與圖 3.12 可明顯看出其存在；距斷面起點至 670m 處，高程變化在-17.5~-23.3m 間，坡降約為 0.87/100；距斷面起點 980~1,240m 處，高程變化在-29.2~-35.8m 間，坡降約為 0.67/100，距斷面起點 1,240m 之後斷面坡降較為平緩，高程變化在-27.5~-29.2m 間，高程差較不明顯。本斷面平行堤防，可見堤頭附近之刷深情況，水深剖面變化如圖 3.26 所示。

斷面 W9：於堤頭南側平行堤身方向，距離堤身約 430m 處，展現港域內平行堤防之水深高差變化，本斷面水深變化約在-18.1~-27.0m 之間；距斷面起點 390m 之高程約在-18.1~-19.1m 間，坡降約為 0.3/100；距斷面起點 390 ~ 660m 處，高程變化在-19.1~-23.0m 間，坡降約為 1.5/100，斷面變化略微陡峭；距斷面起點 660~1,100m 處坡降相當平緩；距斷面起點 1,160~1,670m 間之高程約在-25.7~-27.0m 間，坡降平緩，高程差不明顯。本斷面在堤防南側港域內由港內往港外逐漸變深，水深剖面變化如圖 3.27 所示。

(3)第三次臺中港北堤水深測量(102/5)

區域所測得水深最淺約為-6.5m，堤頭附近掏刷最深處水深約-33m，等深線於堤身附近大致呈現垂直海堤方向分布，堤頭附近因為波浪反射之掏刷而形成輻射狀之等深線分布，掏刷最深處位於堤頭向外海延伸方向約 153m 處，如圖 3.14 與圖 3.15 所示。以北堤堤頭附近與堤頭北側海域淤積較為明顯，堤內港域水深較深，海堤內外之海域地形高低差約可達 5-6m。透過三維影像，如圖 3.16 所示，可呈現本測量海域地形變化之特性，本次以多音束測深系統進行水深測量，測量範圍可達到堤址消坡塊處，在堤頭與堤身附近消波塊群成像明顯。

斷面 W1：於堤頭東側垂直堤身方向，距離堤頭約 680m 處，展現堤防內外之水深高差變化，本斷面水深變化約在-8.4~-19m 之間；港域外距斷面起點至堤址處之高程約在-8.4~-10.9m 間，坡降約為 0.5/100，較 101/5 淤積深度約 1m；港域內距斷面起點 750~ ,230m 間之高程約在-17.7~-19.1m 間，中間略微刷深，堤址處水深約-12.6m，除堤址附近外，平均坡降約為 0.4~0.5/100。港域外地勢高於港域內，堤身附近高差約 2m，本斷面於堤址北側略有淤積，堤址南側則略有侵蝕，其餘堤內外海域地形無明顯變化。本斷面高程堤防北側港域外高於堤防南側港域內，形成外(北)高內(南)低之地形變化，水深剖面變化如圖 3.19 所示。

斷面 W2：於堤頭東側垂直堤身方向，距離堤頭約 200m 處，展現堤防內外之水深高差變化，本斷面水深變化約在-10.7~-22m 之間；港域外距斷面起點 320m 處形成一離岸潛坵，高程約-10.7m，起點處之高程最低約-21.6m，離岸潛坵南北二側坡降約在 1.8~3.3/100 之間；起點 610m 接近堤址處則略有淤積之情形，高程約-15.5m；港域內距斷面起點 720~1280m 間之高程約在-22.6m 緩升至-21.5m 間，中間高程略有降低約為-13m，堤址處水深約-14.6m，除堤址附近外，平均坡降約為 0.19/100。堤址南北高差約 1.9m，港域外地勢高於港域內，堤址附近高差可達約 5.3m，斷面北側淤積較

為明顯，堤址處亦略有淤積，堤址南側則略有侵蝕，與 101/5 相較高差約 3.2m，港域內以南斷面海域地形則無明顯變化。本斷面高程堤防北側港域外高於堤防南側港域內，形成外(北)高內(南)低之地形變化，水深剖面變化如圖 3.20 所示。

斷面 W3：於堤頭西側垂直堤身方向，距離堤頭外約 140m 處，展現垂直堤防方向斷面之堤頭掏刷水深高差變化，本斷面水深變化約在-22.4~-32.9m 之間；距斷面起點 670m 處為掏刷最深之處，高程約-32.9m，該斷面於刷深點南北各約 300m 附近為刷深區域，坡降約在 2.2/100~2.5/100 間，斷面其餘水深值表現北側約在-24.2~-26.8m 之間，坡降約為 0.7/100；南側斷面水深值表現約在-22.8~-25.0m 之間，坡降約為 0.8/100，與 101/5 相較，在斷面起點 470~780m 附近淤積情形明顯，最大淤積高度約 5m。本斷面除刷深區域外，坡降大至平緩。本斷面在掏刷區外南北水深高程差亦不大，坡度以北側斷面較具變化性，水深剖面變化如圖 3.21 所示。

斷面 W4：於堤頭西側垂直堤身方向，距離堤頭外約 630m 處，主要作為與斷面 W3 之水深剖面變化比較，本斷面水深變化約在-25.9~-28.2m 之間，坡降平緩，歷次測量結果高程差並不明顯。水深剖面變化如圖 3.22 所示。

斷面 W5：於堤頭北側平行堤身方向，距離堤身約 380m 處，展現港域外平行堤防之水深高差變化，本斷面水深變化約在-8~-28m 之間；距斷面起點 600m 之高程約在-8~-10.6m 間，坡降約為 0.44/100；距斷面起點 600~1,022m 之高程約在-10.6~-27m 間，坡降約為 3.9/100，斷面變化較為陡峭；距斷面起點 1,022~1,074m 處地形略微隆起約 1.6m；距斷面起點 1,200m 之後，高程變化在-26.2~-27.7m 間，坡降平緩，高程差不明顯，與 101/5 相較，在斷面起點 600~1,200m 附近淤積情形明顯，最大淤積高度約 2.5m。本斷面平行堤防，可見堤頭附近之刷深情況，水深剖面變化如圖 3.23 所示。

斷面 W6：於堤頭北側平行堤身方向，距離堤身約 60m 處，展現港域外堤身附近之水深高差變化，其斷面變化趨勢與 W5 相似，本斷面水深變化約在-9.5~-32.3m 之間；距斷面起點 720m 之高程約在-9.5~-16.4m 間，坡降約為 0.96/100；距斷面起點 730~1,000m 之高程約在-16.7~-32.3m 間，坡降約為 5.8/100，斷面變化陡峭；距斷面起點 1,000~1,335m，高程變化在-32.3~-27.8m 間，坡降約為 1.4/100，之後斷面坡降平緩，高程變化在-26.6~-28.2m 間，高程差不明顯，與 101/5 相較，在斷面起點 700~1,250m 附近淤積情形明顯，最大淤積高度約 5m。本斷面平行堤防，可見堤頭附近之刷深情況，水深剖面變化如圖 3.24 所示。

斷面 W7：平行堤身，垂直堤頭往外海延伸方向，展現堤頭掏刷區域附近之水深高差變化，本斷面水深變化約在-16.2~-32.9m 之間；堤頭水深約-16.2m，距斷面起點(堤頭)約 64m 處可見凸起約 0.8m 高之消坡塊群，高程約-27.5m，距斷面起點 153m 處為最深處，高程為-32.9m，堤頭至掏刷區坡降約為 0.7/100，由圖 3.11 與圖 3.12 可明顯看出堤頭附近刷深之情形，高程落差約 15.6m；距斷面起點 153~430m 之高程約在-28.8~-32.9m 間，坡降約為 1.5/100，之後斷面高程變化在-26.7~-28.6m 間坡降平緩，高程變化不明顯，與 101/5 相較，在斷面起點 90~400m 附近淤積情形明顯，最大淤積高度約 5.6m。本斷面表現出正對堤頭掏刷區之地形變化，水深剖面變化如圖 3.25 所示。

斷面 W8：於堤頭南側平行堤身方向，距離堤身約 60m 處，展現港域內堤身附近之水深高差變化，本斷面水深變化約在-16.7~-32.4m 之間；距斷面起點 760m 至 1,000m 堤頭附近處有較為明顯之地形變化，可能為布置於堤頭附近之消波塊群，高程變化在-25.5m 至-32.4m 間，為消波塊群最刷深處，高程落差達 6.7m，由圖 3.11 與圖 3.12 可明顯看出其存在；距斷面起點至 670m 處，高程變化在-16.7~-23.2m 間，坡降約為 0.97/100；距斷面起點 1,000~1,250m 處，高程變化在-28.9~-32.4m 間，坡降約為 1.4/100，距斷面起點

1,250m 之後斷面坡降較為平緩，高程變化在-27.1~-28.8m 間，高程差較不明顯，與 101/5 相較，在斷面起點 600~1,200m 附近淤積情形明顯，最大淤積高度約 2.5m。本斷面平行堤防，可見堤頭附近之刷深情況，水深剖面變化如圖 3.26 所示。

斷面 W9：於堤頭南側平行堤身方向，距離堤身約 430m 處，展現港域內平行堤防之水深高差變化，本斷面水深變化約在-17.8~-27.1m 之間；距斷面起點 390m 之高程約在-17.8~-18.9m 間，坡降約為 0.3/100；距斷面起點 390 ~ 660m 處，高程變化在-18.9~-23.0m 間，坡降約為 1.6/100，斷面變化略微陡峭；距斷面起點 660~1,100m 處坡降相當平緩；距斷面起點 1,200~1,750m 間之高程約在-26.2~-27.1m 間，坡降平緩，高程差不明顯。本斷面在堤防南側港域內由港內往港外逐漸變深，水深剖面變化如圖 3.27 所示。

(4)第四次臺中港北堤水深測量(102/10)

區域所測得水深最淺約為-8.4m，堤頭附近掏刷最深處水深約-30m，等深線於堤身附近大致呈現垂直海堤方向分布，堤頭附近因為波浪反射之掏刷而形成輻射狀之等深線分布，掏刷最深處位於堤頭向外海延伸方向約 142m 處，如圖 3.10 與圖 3.11 所示。以北堤堤頭前方附近海域淤積較為明顯，堤內港域水深較深，海堤堤頭附近內外之海域地形高低差約可達 8m。本次測量面積以堤頭為中心點雖超過一平方公里，但小於上季測量範圍。

斷面 W1：於堤頭東側垂直堤身方向，距離堤頭約 680m 處，展現堤防內外之水深高差變化，港域外地勢高於港域內，本斷面附近以侵蝕為主。本斷面高程堤防北側港域外高於堤防南側港域內，形成外(北)高內(南)低之地形變化，水深剖面變化如圖 3.15 所示。

斷面 W2：於堤頭東側垂直堤身方向，距離堤頭約 200m 處，展現堤防內外之水深高差變化，本斷面水深變化約在-11.1~-23.3m 之間；港域外距斷面起點 320m 處形成一離岸潛坵，高程約-11.1m，離岸潛坵南北二側坡降約在 2.2~3.1/100 之間；港域內距斷面起點

700~1160m 間之高程約在-22.8m 至-23.2m 間，平均坡降約為 0.17/100。堤址南北高差約 1.9m，港域外地勢高於港域內，堤址附近高差約達 3.3m，斷面南北側與堤址處侵蝕情形較為明顯，與 102/5 相較高差約 5m，港域內以南斷面海域地形則無明顯變化。本斷面高程堤防北側港域外高於堤防南側港域內，形成外(北)高內(南)低之地形變化，水深剖面變化如圖 3.16 所示。

斷面 W3：於堤頭西側垂直堤身方向，距離堤頭外約 140m 處，展現垂直堤防方向斷面之堤頭掏刷水深高差變化，本斷面水深變化約在-23.3~-29.8m 之間；距斷面起點 670m 處為掏刷最深之處，高程約-29.8m，該斷面於刷深點南北各約 300m 附近為刷深區域，可能受颱風影響，此處有明顯之淤積，坡降約在 1.3/100~1.6/100 間，斷面其餘水深值表現北側約在-23.3~-25.9m 之間，坡降約為 0.8/100；南側斷面水深值表現約在-23.4~-24.9m 之間，坡降約為 0.8/100。與 102/5 相較，在斷面起點 460~815m 附近淤積情形明顯，最大淤積高度約 3.1m。本斷面除刷深區域外，坡降大至平緩。本斷面在掏刷區外南北水深高程差異不大，坡度以北側斷面較具變化性，水深剖面變化如圖 3.17 所示。

斷面 W4：於堤頭西側垂直堤身方向，距離堤頭外約 630m 處，主要作為與斷面 W3 之水深剖面變化比較，本斷面水深變化約在-27.1~-27.8m 之間，坡降平緩，歷次測量結果高程差並不明顯。水深剖面變化如圖 3.18 所示。

斷面 W5：於堤頭北側平行堤身方向，距離堤身約 380m 處，展現港域外平行堤防之水深高差變化，本斷面水深變化約在-9.7~-27.8m 之間；距斷面起點 600m 之高程約在-8~-10.6m 間，坡降約為 0.47/100；距斷面起點 600~980m 之高程約在-11.2~-25.5m 間，坡降約為 3.6/100，斷面變化較為陡峭；距斷面起點 980~1,070m 處地形略微隆起約 0.3m；距斷面起點 1,200m 之後，高程變化在-27.1~-27.8m 間，坡降平緩，高程差不明顯，與 102/5 相較，在斷面起點 900~1,100m 附近淤積較為明顯，最大淤積高度約 1.6m。本斷

面平行堤防，可見堤頭附近之刷深情況，水深剖面變化如圖 3.19 所示。

斷面 W6：於堤頭北側平行堤身方向，距離堤身約 60m 處，展現港域外堤身附近之水深高差變化，其斷面變化趨勢與 W5 相似，本斷面水深變化約在-12.1~-29.9m 之間;距斷面起點 330~720m 之高程約在-12.2~-16.9m 間，坡降約為 1.3/100；距斷面起點 750~980m 之高程約在-18.3~-29.6m 間，坡降約為 5.0/100，斷面變化陡峭；距斷面起點 1,140m 之後斷面坡降平緩，高程變化在-28.6~-27.5m 間，坡降約為 0.4/100，高程差不明顯，與 102/5 相較，在斷面起點 800~1,280m 附近淤積情形明顯，最大淤積高度約 2.5m。本斷面平行堤防，可見堤頭附近之刷深情況，水深剖面變化如圖 3.20 所示。

斷面 W7：平行堤身，垂直堤頭往外海延伸方向，展現堤頭掏刷區域附近之水深高差變化，本斷面水深變化約在-22.2~-30.0m 之間；堤頭附近水深約-27.4m，距斷面起點 236m 處為最深處，高程為-30.0m，由圖 3.11 與圖 3.12 顯示堤頭附近淤積情形明顯；距斷面起點 236~500m 之高程約在-30.0~-27.9m 間，坡降約為 0.8/100，之後斷面高程變化在-27.7~-27.5m 間坡降平緩，高程變化不明顯，與 102/5 相較，在斷面起點 90~400m 附近淤積情形明顯，最大淤積高度約 3.1m。本斷面表現出正對堤頭掏刷區之地形變化，水深剖面變化如圖 3.21 所示。

斷面 W8：於堤頭南側平行堤身方向，距離堤身約 60m 處，展現港域內堤身附近之水深高差變化，本斷面水深變化約在-15.7~-29.9m 之間；距斷面起點 710m 至 980m 地形變化較為明顯，高程變化在-24.3m 至-29.8m 間，高程落差約 5.5m，由圖 3.11 與圖 3.12 可看出有明顯之淤積;距斷面起點 250m 至 710m 處，高程變化在-17.9~-24.3m 間，坡降約為 1.4/100；距斷面起點 1,100 之後斷面坡降較為平緩，高程變化在-29.6~-27.5m 間，坡降約為 0.7/100，高程差較不明顯。與 102/5 相較，在斷面起點 850~1,300m 附近淤積情形明顯，最大淤積高度約 2.6m。本斷面平行堤防，可見堤頭附近之

刷深情況，水深剖面變化如圖 3.22 所示。

斷面 W9：於堤頭南側平行堤身方向，距離堤身約 430m 處，展現港域內平行堤防之水深高差變化，本斷面水深變化約在 -18.3~-27.0m 之間；距斷面起點 215m 至 390m 之高程約在 -18.4~-19.1m 間，坡降約為 0.4/100；距斷面起點 390~660m 處，高程變化在-19.1~-23.2m 間，坡降約為 1.5/100，斷面變化略微陡峭；距斷面起點 660~1,100m 處坡降相當平緩;距斷面起點 1,200~ 1,340m 間之高程約在-26.7~-27.0m 間，坡降平緩，高程差不明顯。本斷面在堤防南側港域內由港內往港外逐漸變深，水深剖面變化如圖 3.23 所示，各次斷面資料高程差不明顯。

(5)地形侵淤變化比較(試算面積：2,033,417m^2)

100/5 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 3.24 所示，在堤頭北側有很明顯的淤積，高程差最大量約為 9.7m，在 W2 斷面圖 3.16 與 W6 斷面圖 3.20 亦可見其高程之變化；而在堤頭附近有明顯之侵蝕情形，高程差最大量約為 6.44m，在 W3 斷面圖 3.17、W7 斷面圖 3.21 與 W8 斷面圖 3.22 亦可見其高程之變化。在堤頭附近有較明顯之侵淤趨勢外，其餘侵淤情形並不明顯，整體而言 101/5 較 100/5 淤積約 801,508m^3，平均高程增加約 39cm。

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 3.24 所示，在斷面 W2 與 W3 之間堤頭北側有很明顯的淤積，高程差最大量約為 6.9m，在 W6 斷面圖 3.20 與侵淤變化色階圖 3.24 亦可見其高程之變化；而在堤頭附近亦呈現淤積之情形，高程差最大量約為 5.6m，在 W3 斷面圖 3.17、W7 斷面圖 3.21 與 W8 斷面圖 3.22 亦可見其高程之變化；在斷面 W3 與 W4 之間則有部分侵蝕之情形，高程差最大量約為 3m。在堤頭附近有較明顯之侵淤趨勢外，其餘侵淤情形並不明顯，整體而言 102/5 較 101/5 淤積約 1,190,049m^3，平均高程增加約 58cm。

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 3.24 所示，在斷面 W3 堤頭前方與北側有很明顯的淤積，高程差最大量約為 3.1m，在 W7 斷面圖 3.21 與侵淤變化色階圖 3.24 亦可見其高程之變化；除在堤頭附近亦呈現淤積之情形外，防波堤南北側之侵蝕情形明顯，其餘外海部分侵淤情形並不明顯，整體而言 102/10 較 102/5 侵蝕約 264,082m^3，平均高程降低約 25cm。

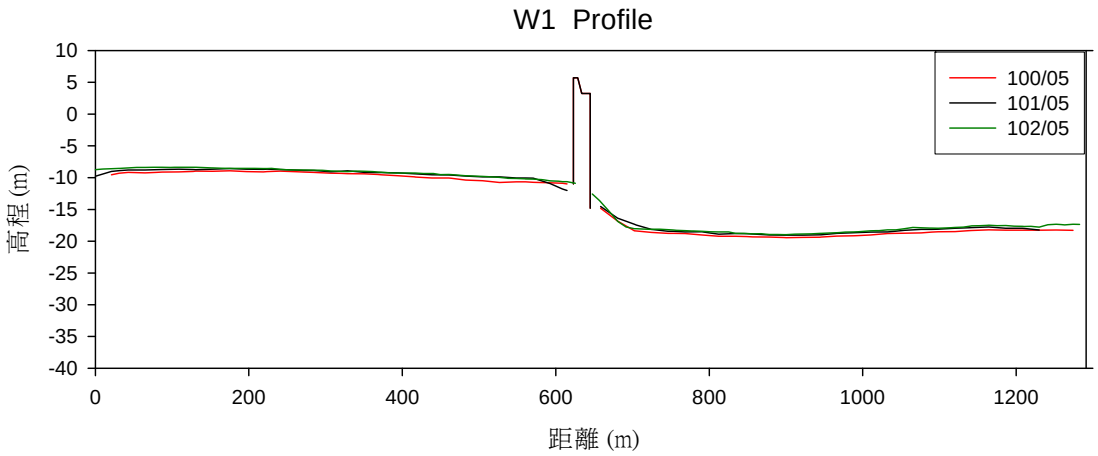


圖 3.19 臺中港堤頭地形測量斷面 W1 水深剖面變化圖

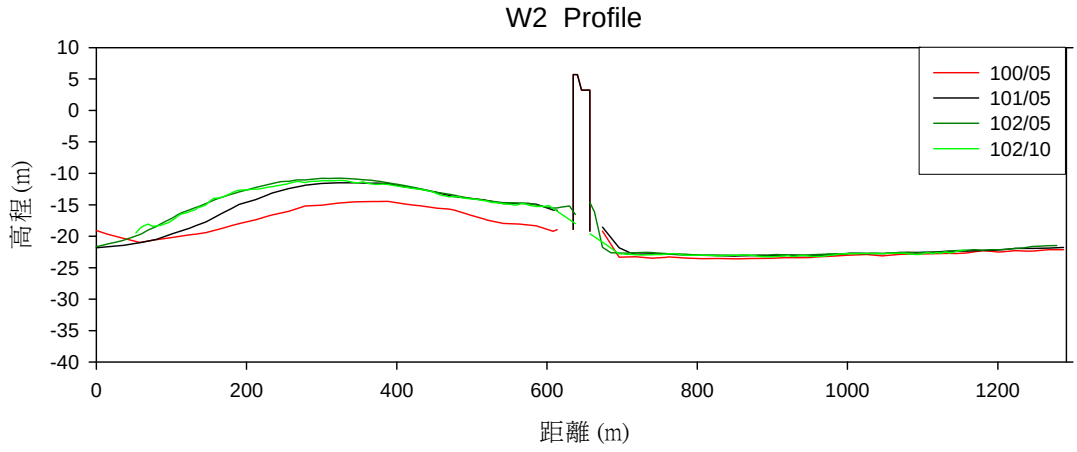


圖 3.20 臺中港堤頭地形測量斷面 W2 水深剖面變化圖

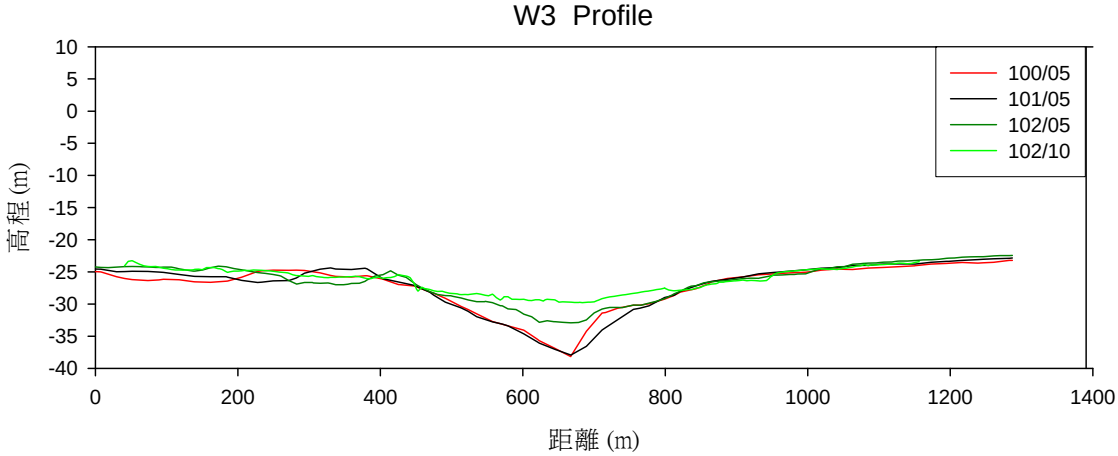


圖 3.21 臺中港堤頭地形測量斷面 W3 水深剖面變化圖

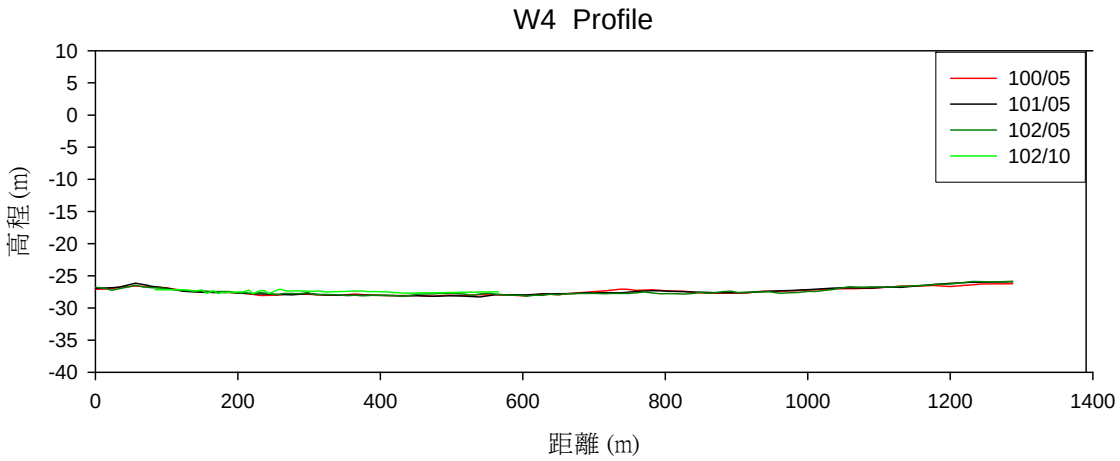


圖 3.22 臺中港堤頭地形測量斷面 W4 水深剖面變化圖

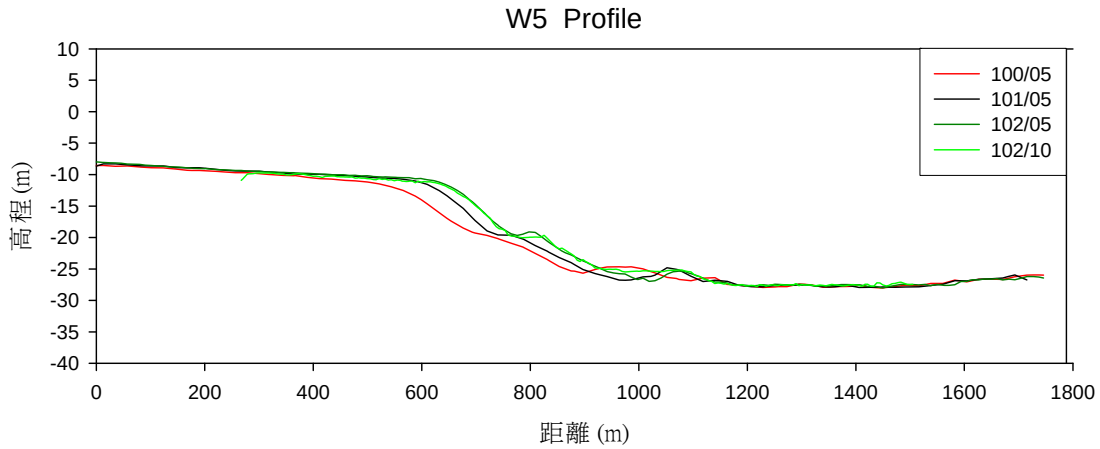


圖 3.23 臺中港堤頭地形測量斷面 W5 水深剖面變化圖

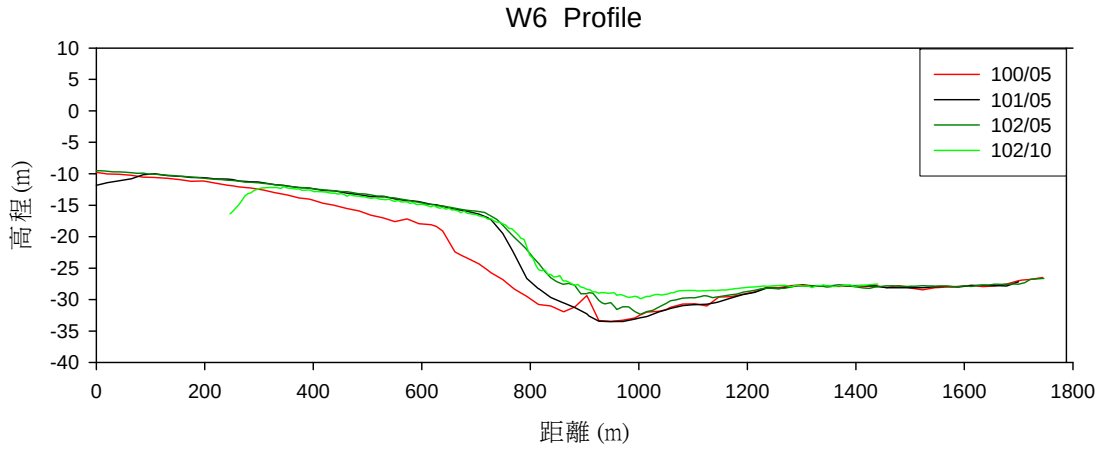


圖 3.24 臺中港堤頭地形測量斷面 W6 水深剖面變化圖

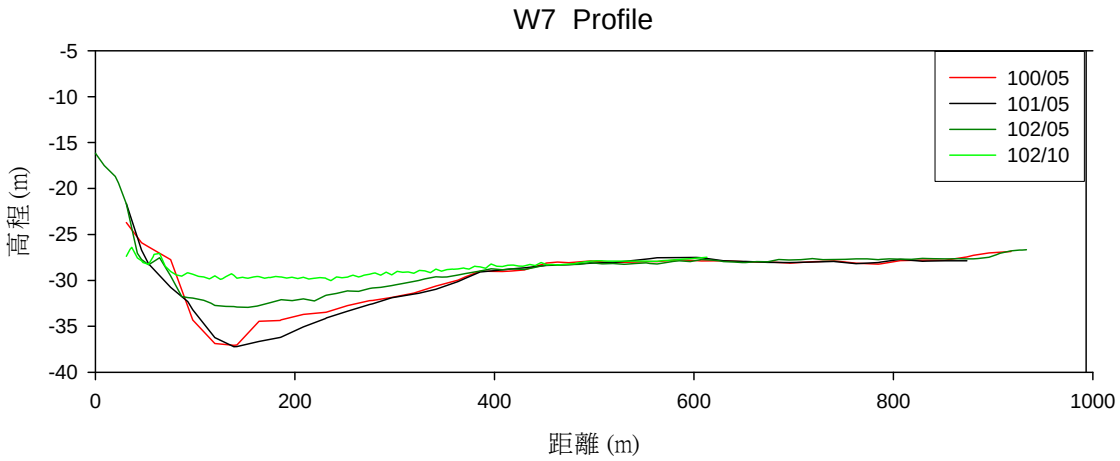


圖 3.25 臺中港堤頭地形測量斷面 W7 水深剖面變化圖

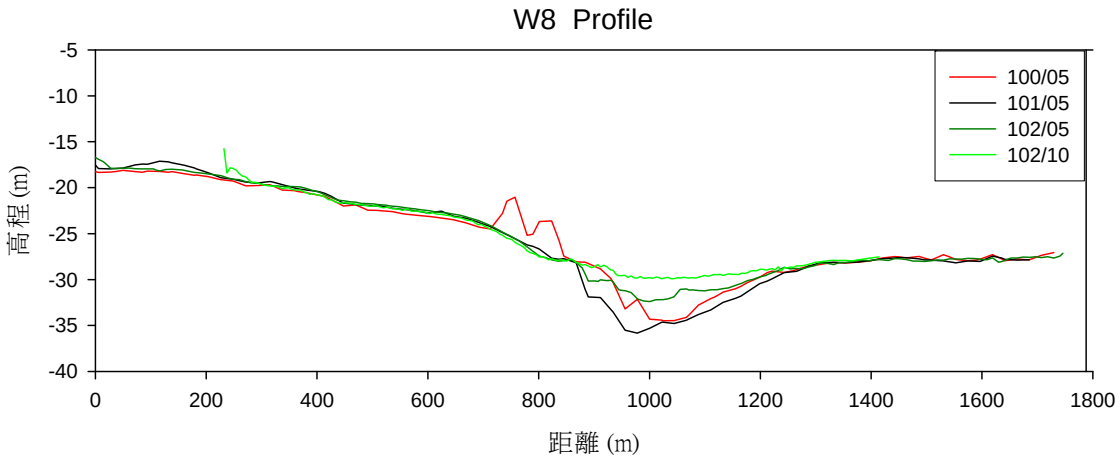


圖 3.26 臺中港堤頭地形測量斷面 W8 水深剖面變化圖

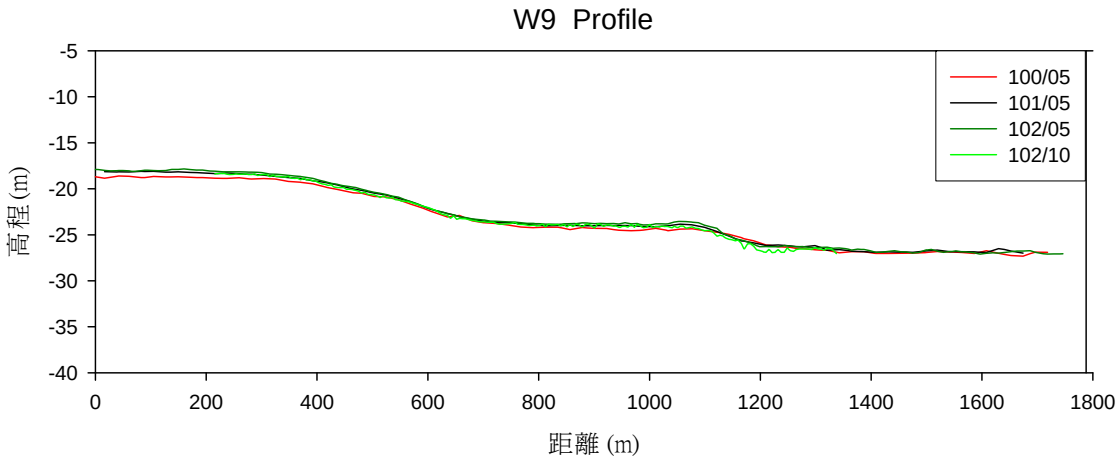
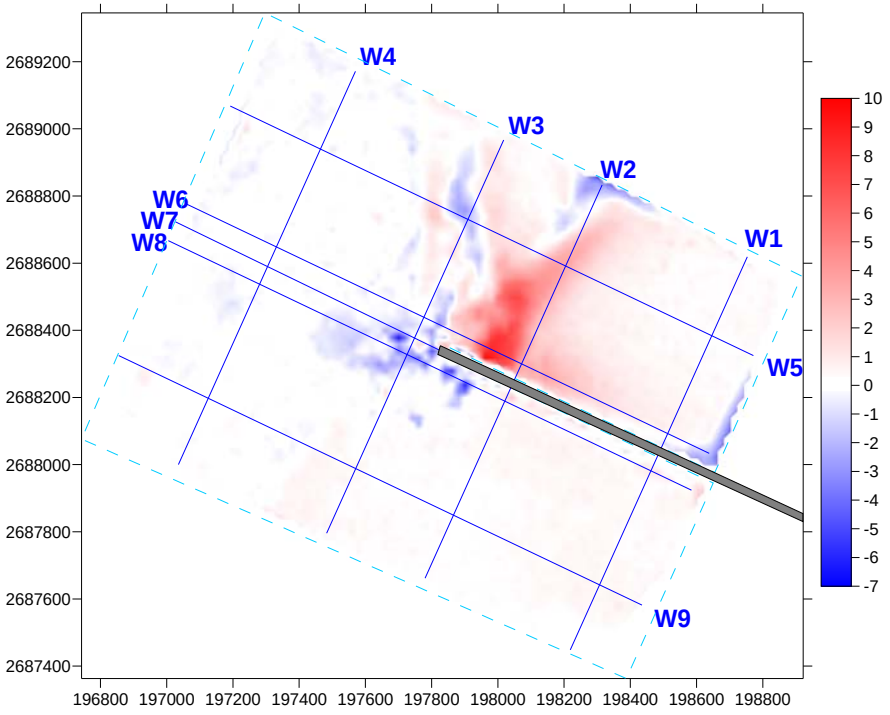
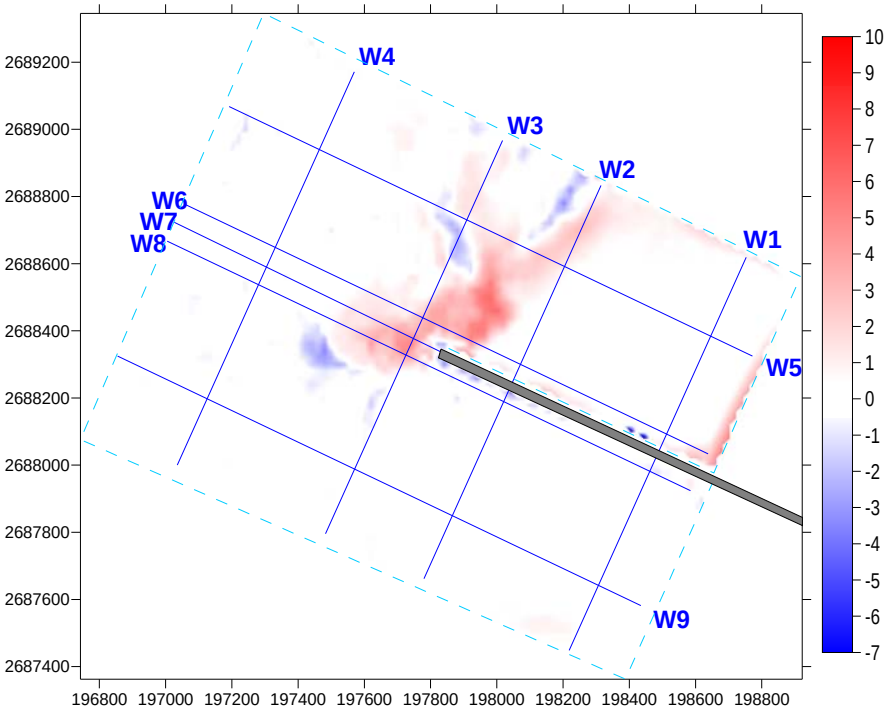


圖 3.27 臺中港堤頭地形測量斷面 W9 水深剖面變化圖

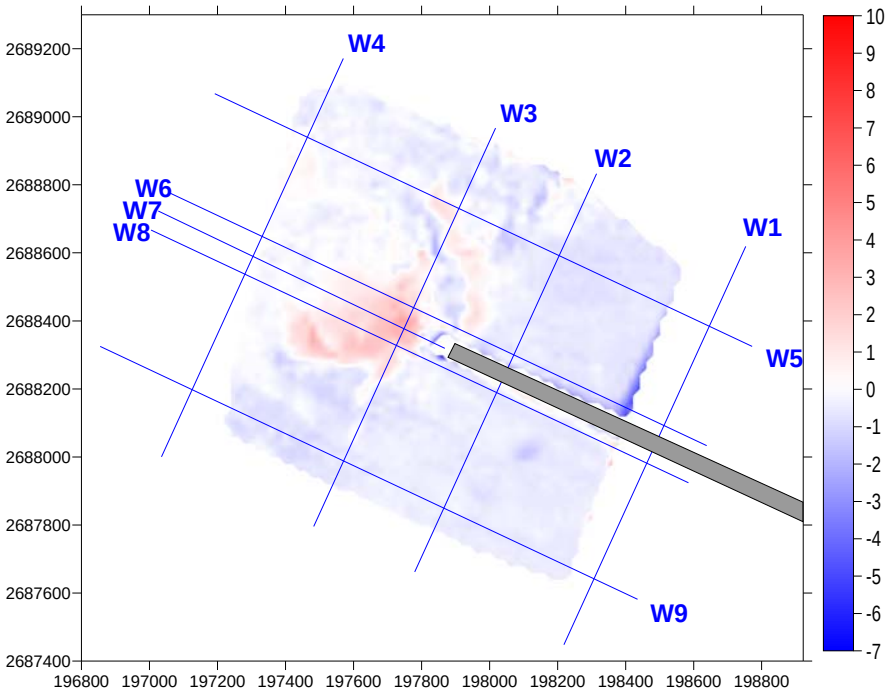


第一次 100/5 與第二次 101/5



第二次 101/5 與第三次 102/5

圖 3.28(a) 臺中港堤頭地形測量侵淤變化色階圖

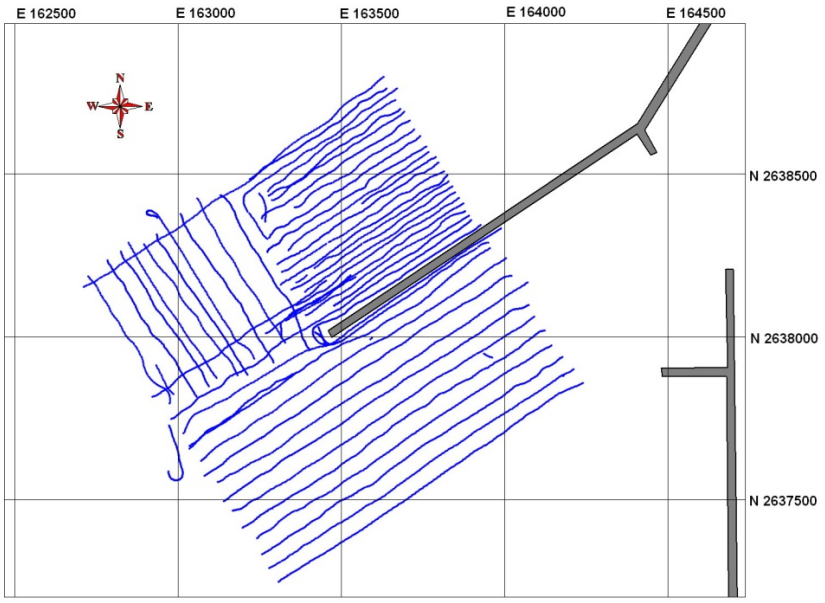


第三次 102/5 與第四次 102/10

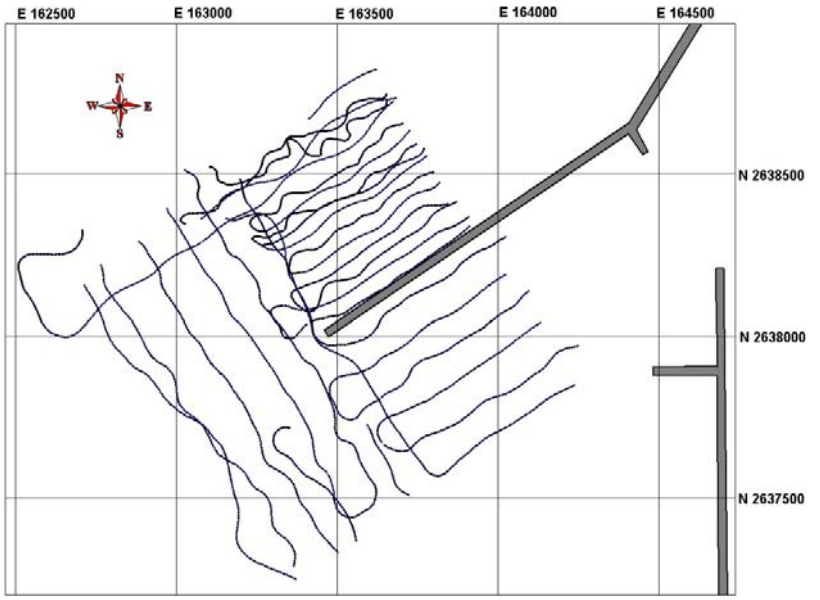
圖 3.28(b) 臺中港堤頭地形測量侵淤變化色階圖

2. 麥寮工業港西防波堤

實測之軌跡路線圖如圖 3.29，取網格製成等深線及水深色階圖如圖.30 與圖 3.31 所示，本海域係以多音束測深儀進行測量，堤頭附近之消波塊成像相當明顯，消波塊成像如圖 3.32 所示，海域地形三維立體圖如圖 3.33 所示。

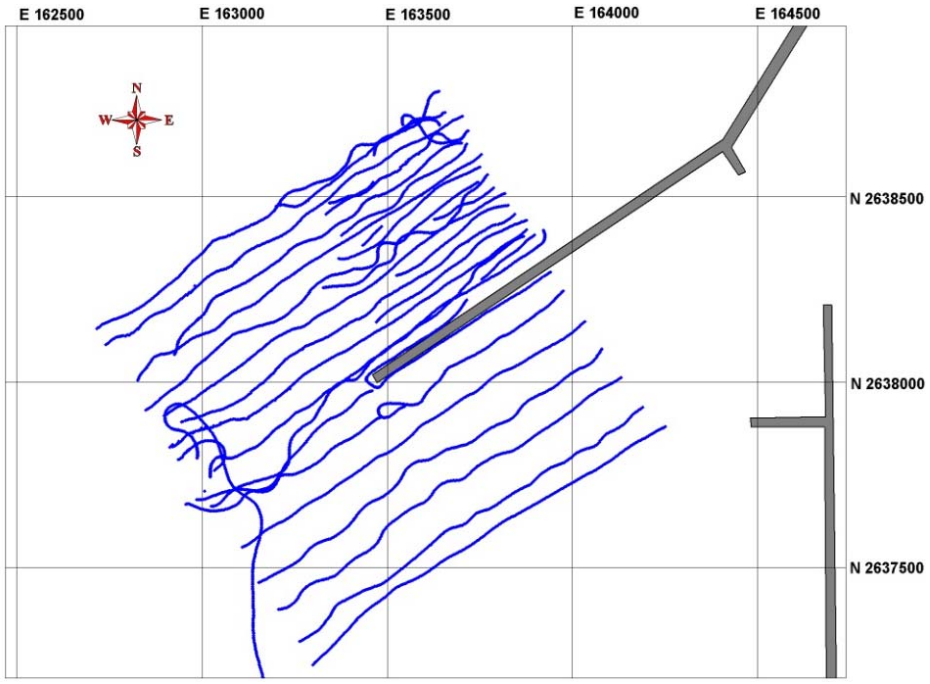


第一次 100/6/9

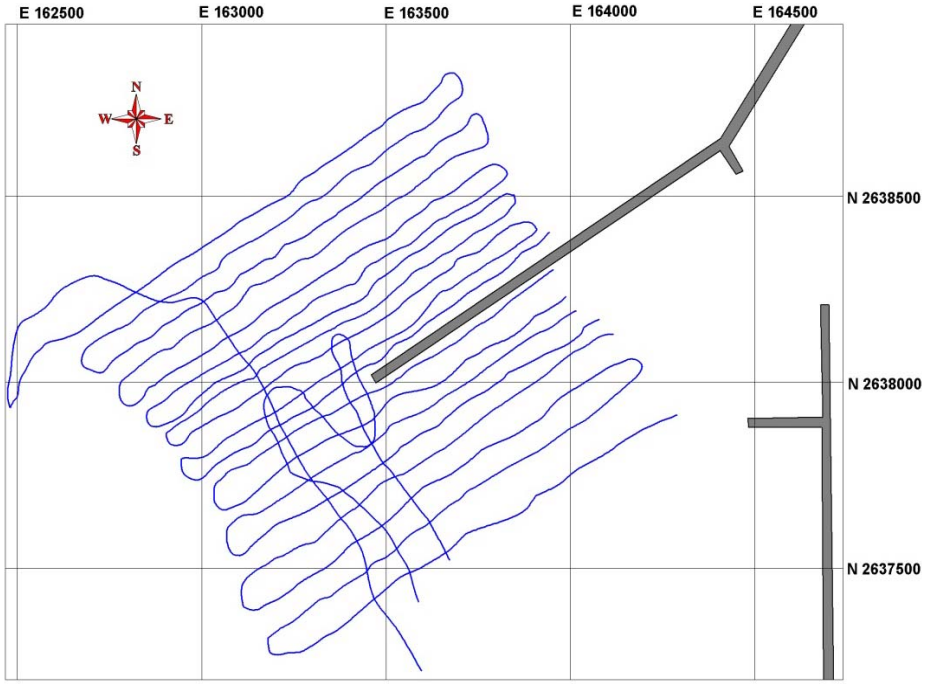


第二次 101/5/8

圖 3.29(a) 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量航跡點

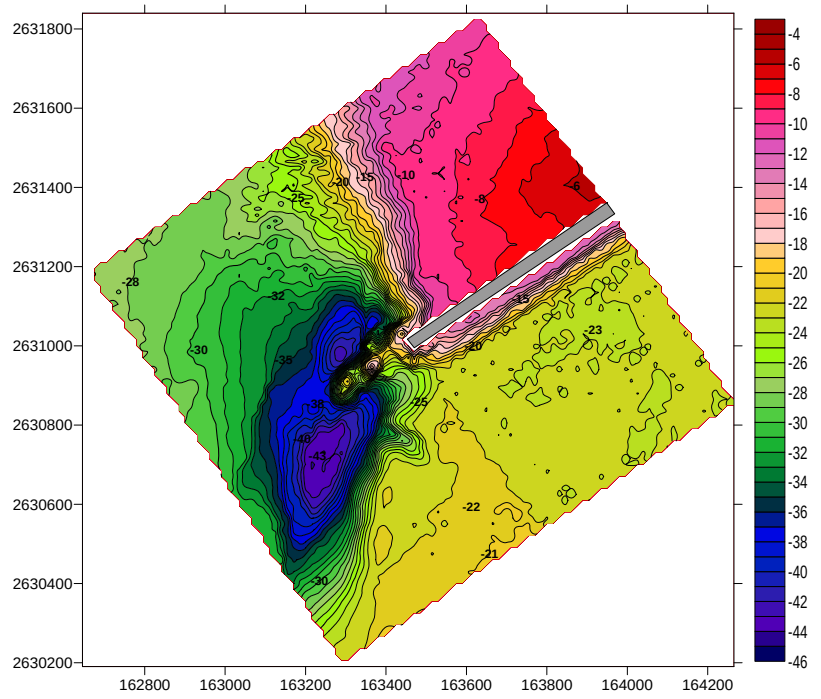


第三次 102/5/7、5/10

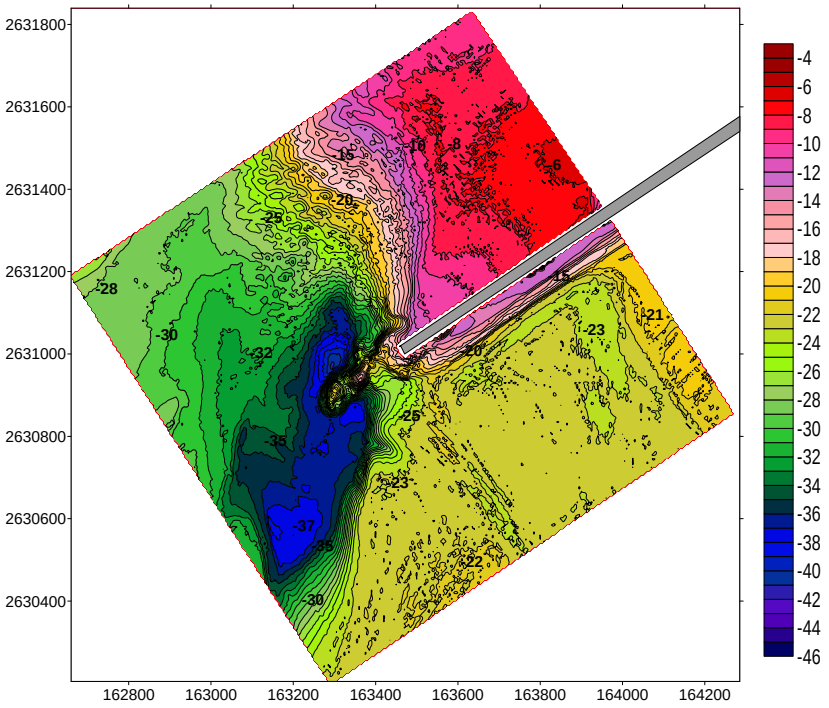


第四次 102/10/22

圖 3.29(b) 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量航跡點

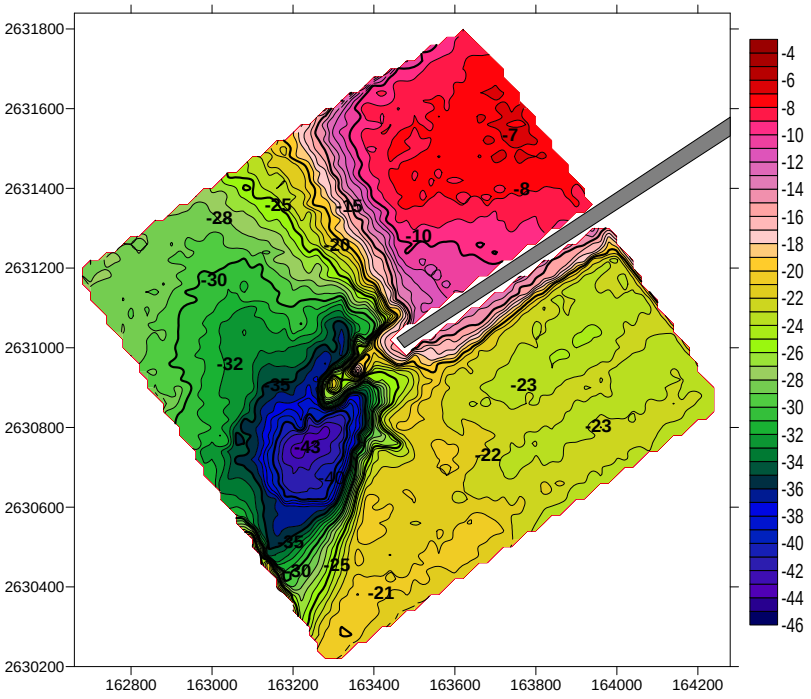


第一次 100/6/9

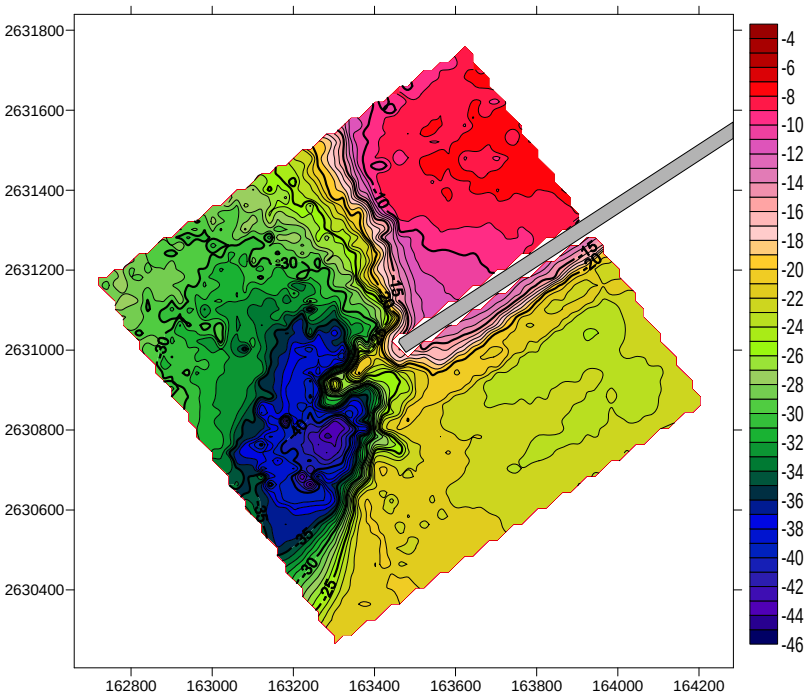


第二次 101/5/8

圖 3.30(a) 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量等深線水深色階圖

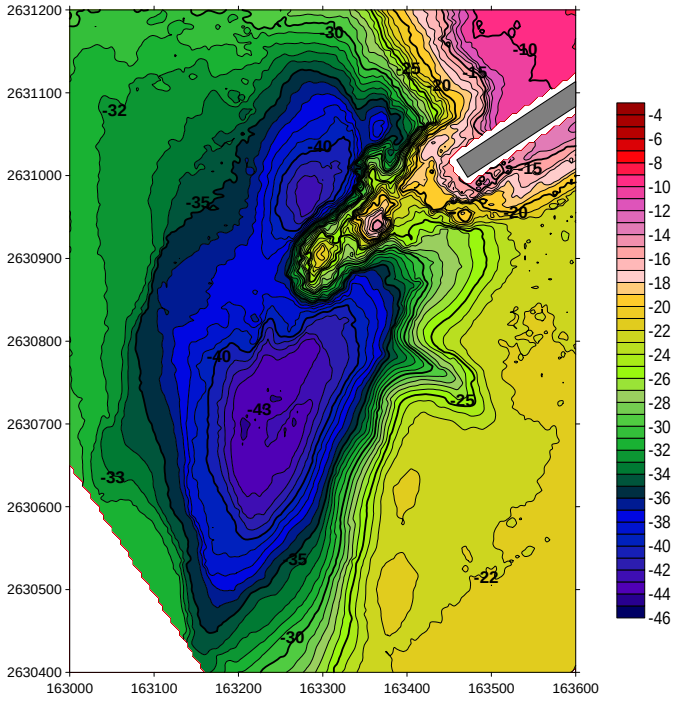


第三次 102/5/7、5/10

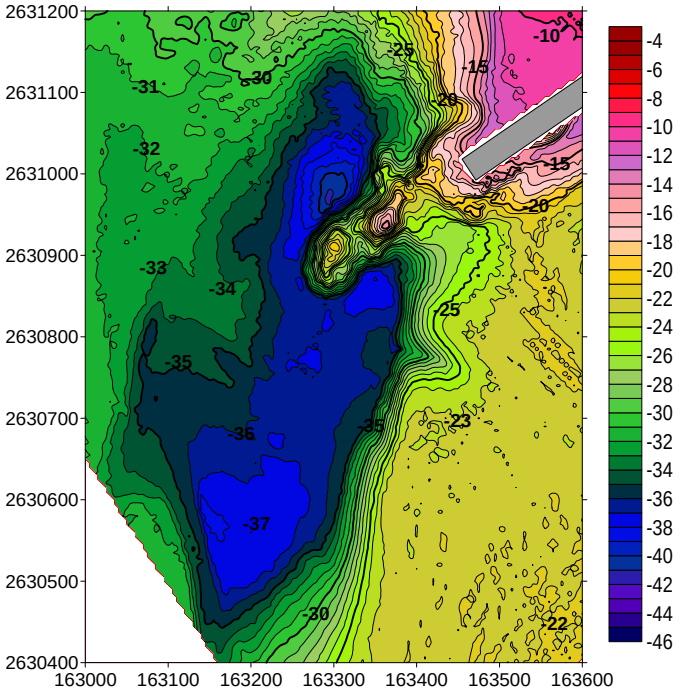


第四次 102/10/22

圖 3.30(b) 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量等深線水深色階圖

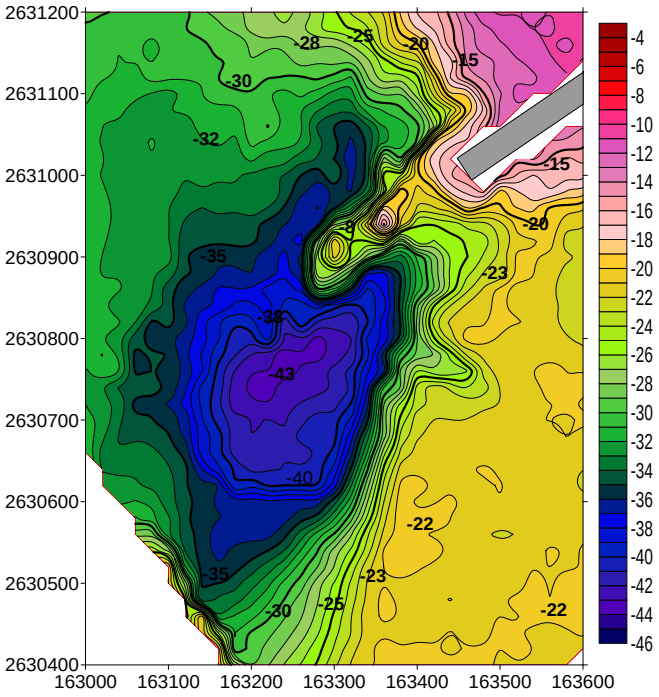


第一次 100/6/9

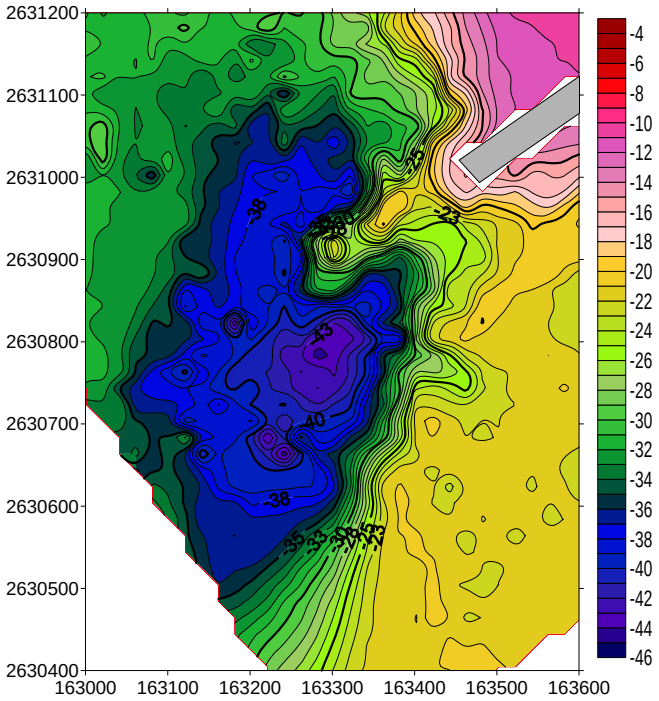


第二次 101/5/8

圖 3.31(a) 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量等深線水深色階圖 (局部放大)

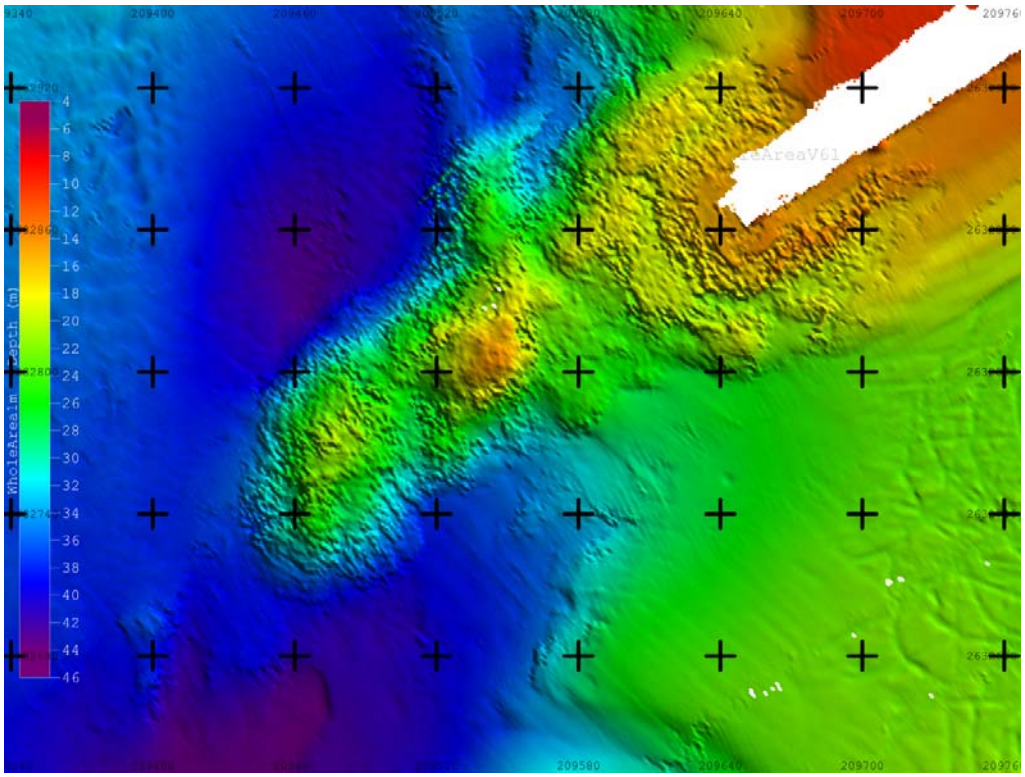


第三次 102/5/7、5/10

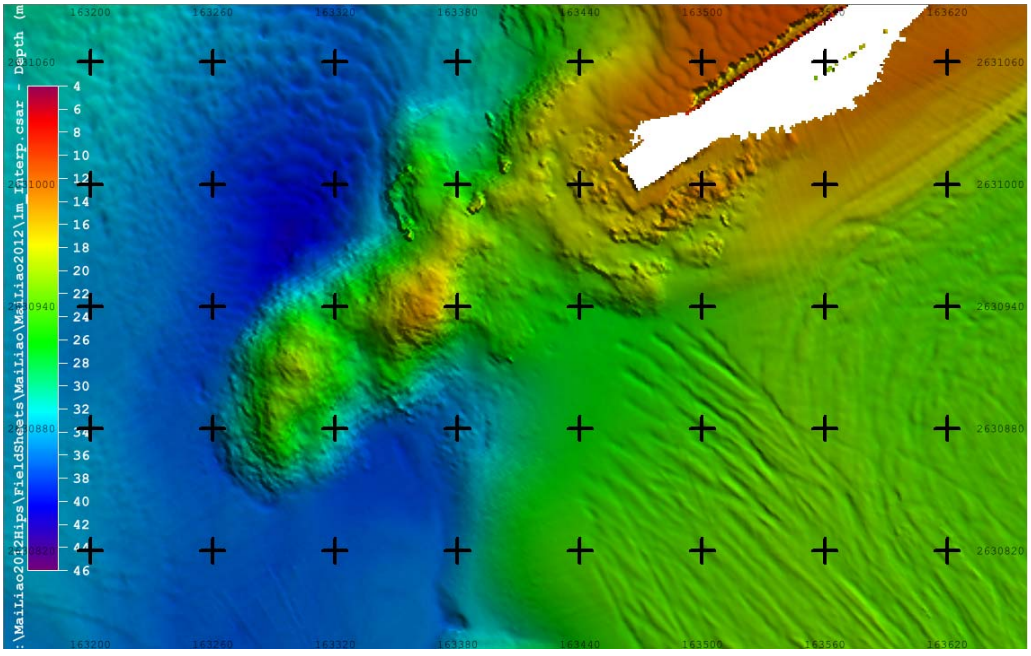


第四次 102/10/22

圖 3.31(b) 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量等深線水深色階圖(局部放大)

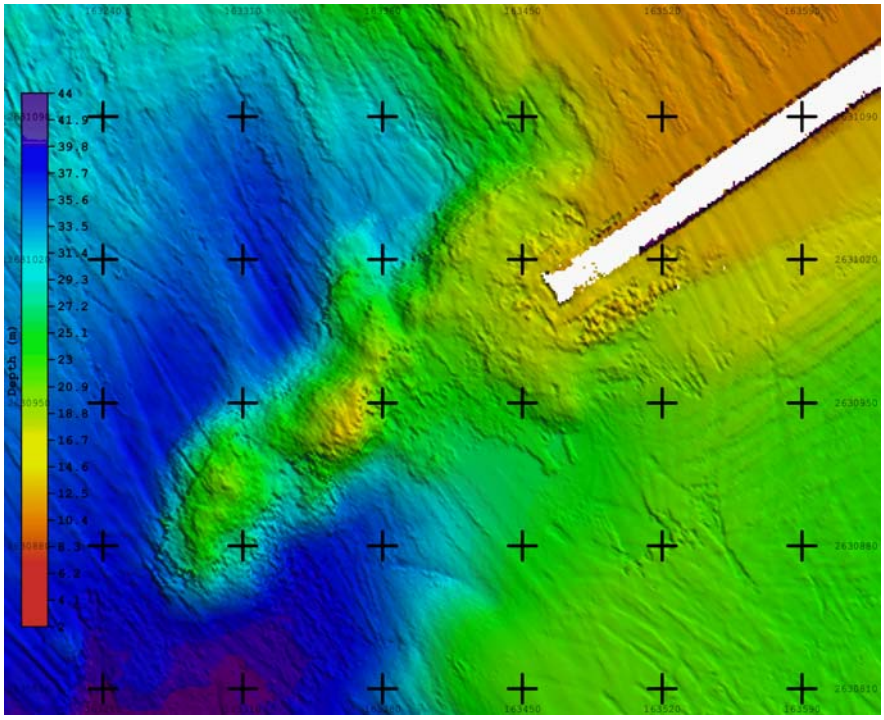


第一次 100/6/9

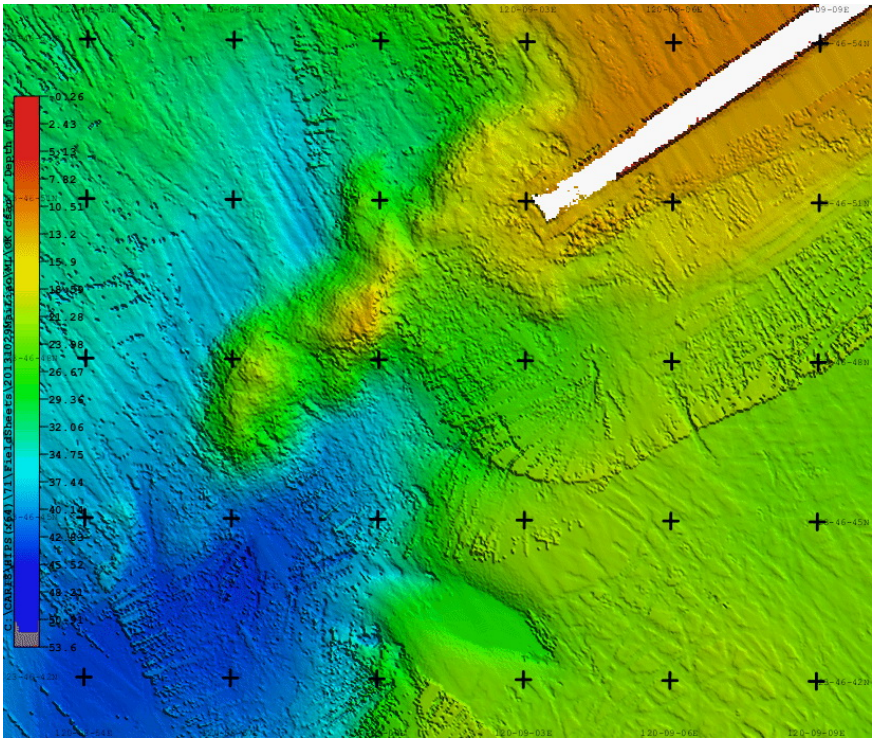


第二次 101/5/8

圖 3.32(a) 麥寮工業港西防波堤堤頭附近消波塊布置水深色階圖 (局部放大)

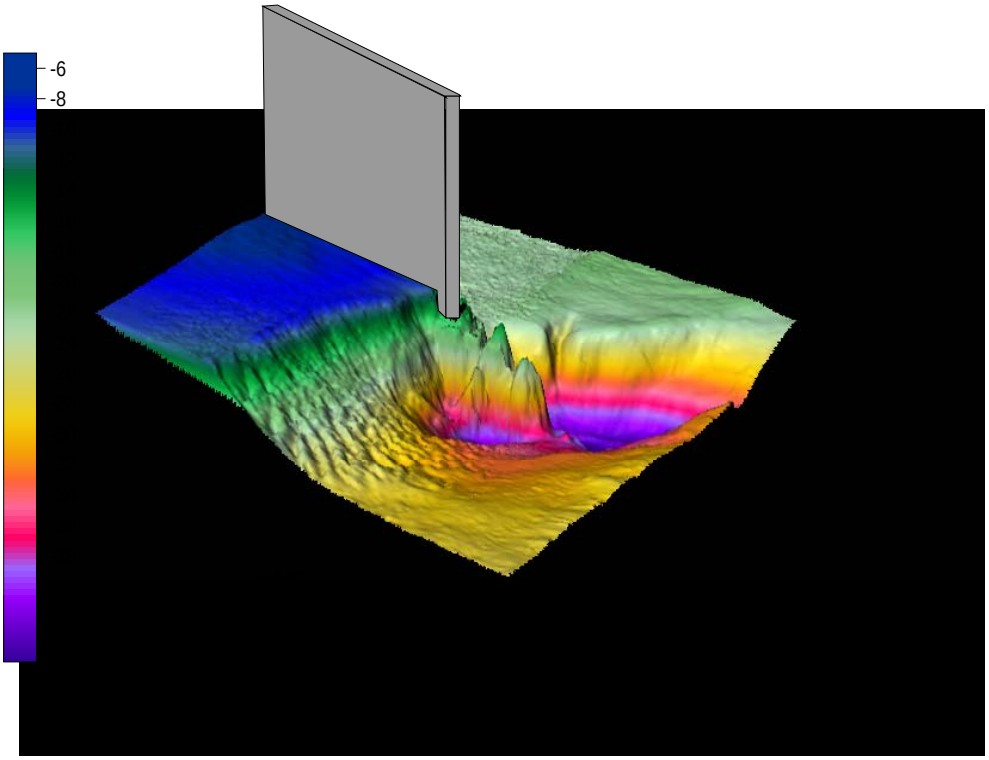


第三次 102/5/7、5/10

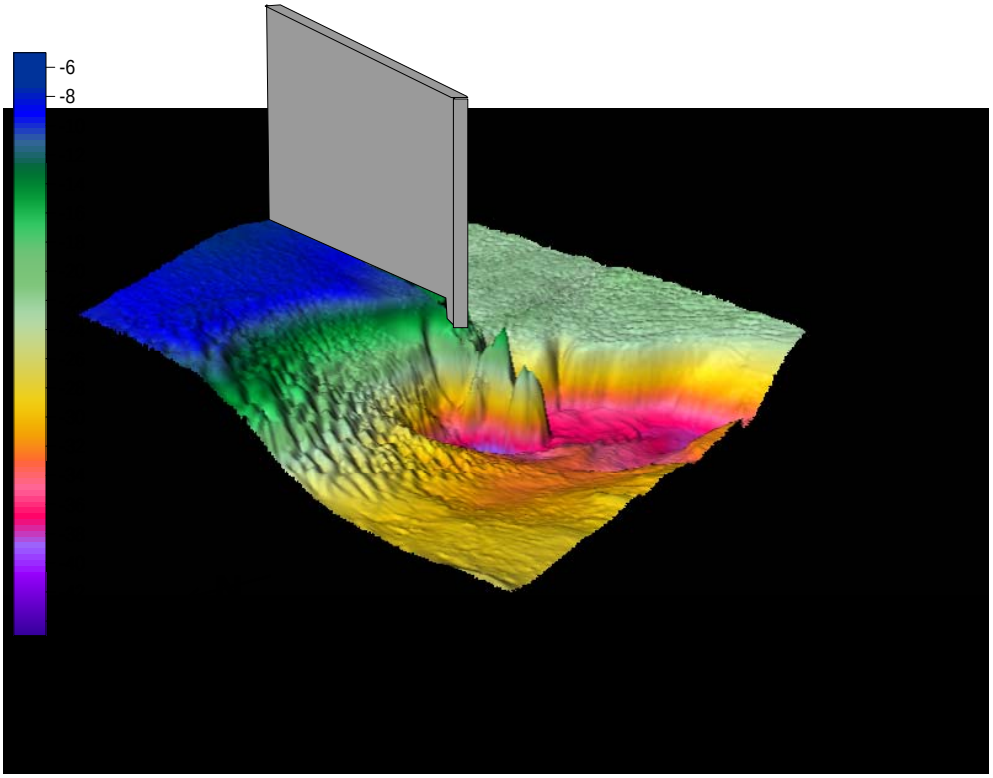


第四次 102/10/22

圖 3.32(b) 麥寮工業港西防波堤堤頭附近消波塊布置水深色階圖
(局部放大)

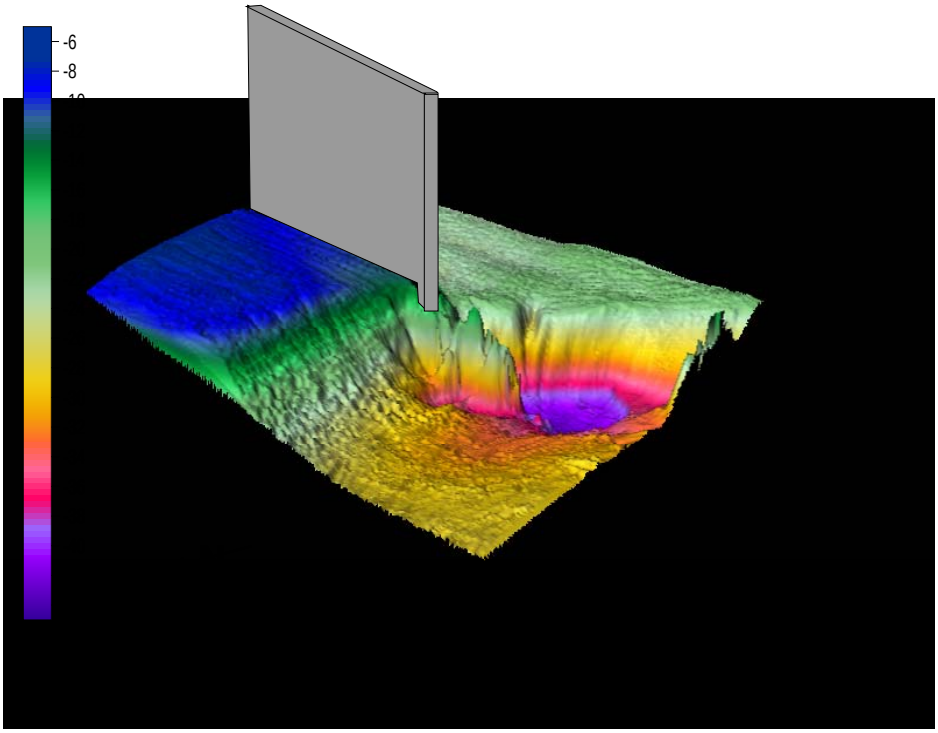


第一次 100/6/9

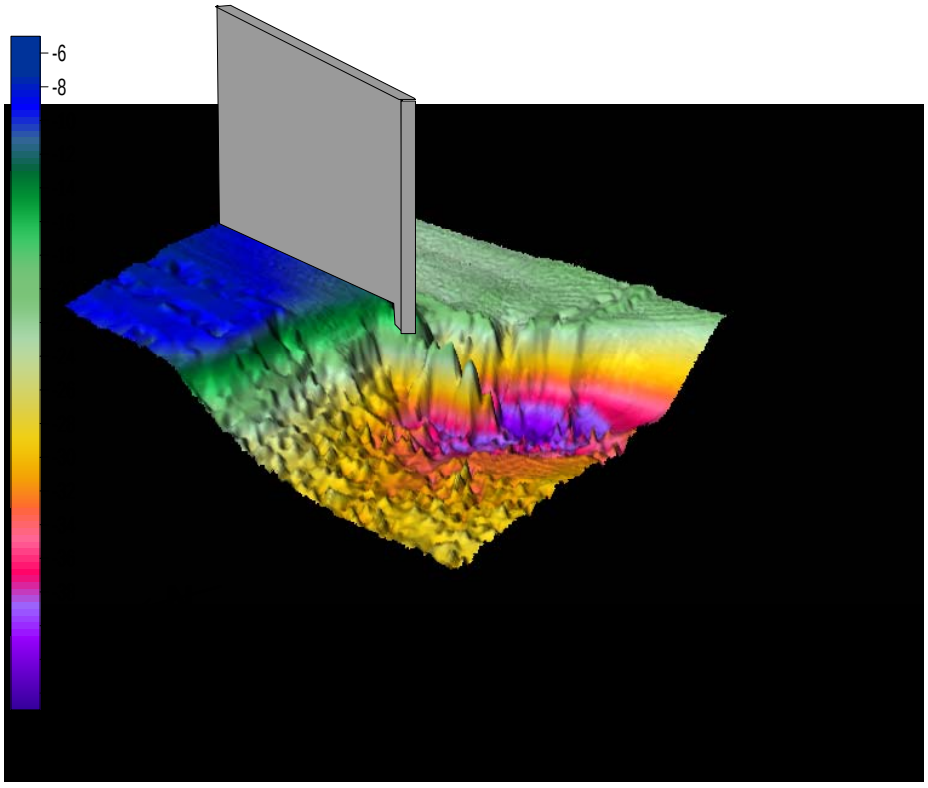


第二次 101/5/8

圖 3.33(a) 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量三維立體色階圖

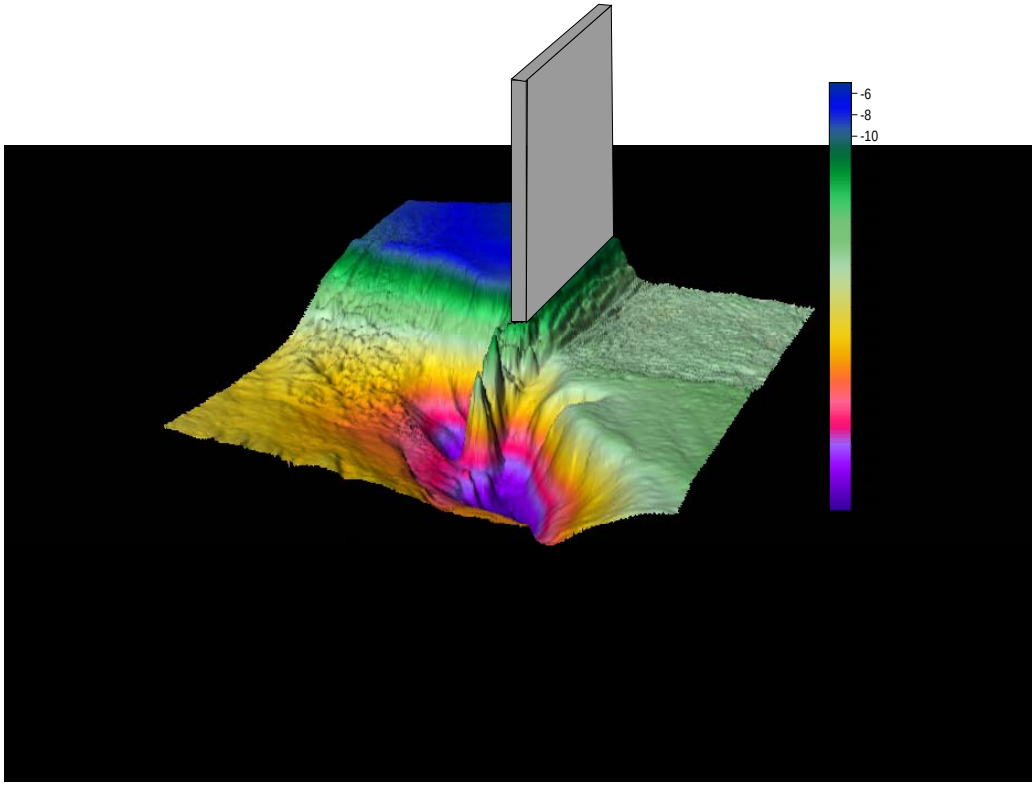


第三次 102/5/7

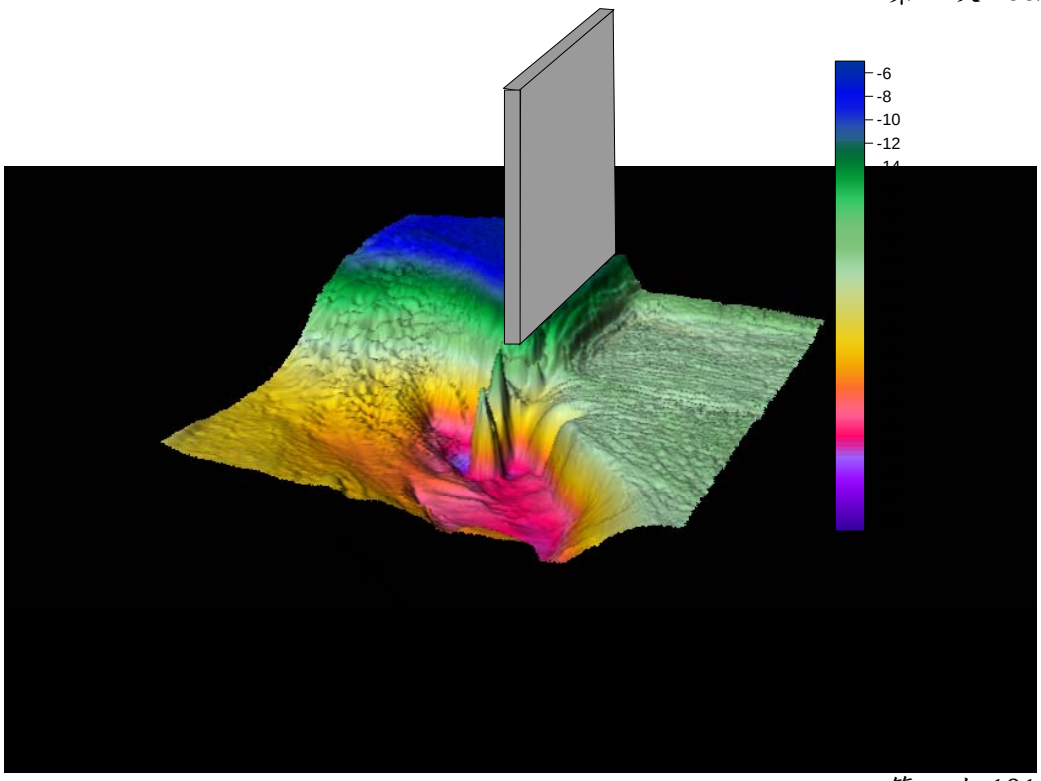


第四次 102/10/22

圖 3.33(b) 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量三維立體色階圖

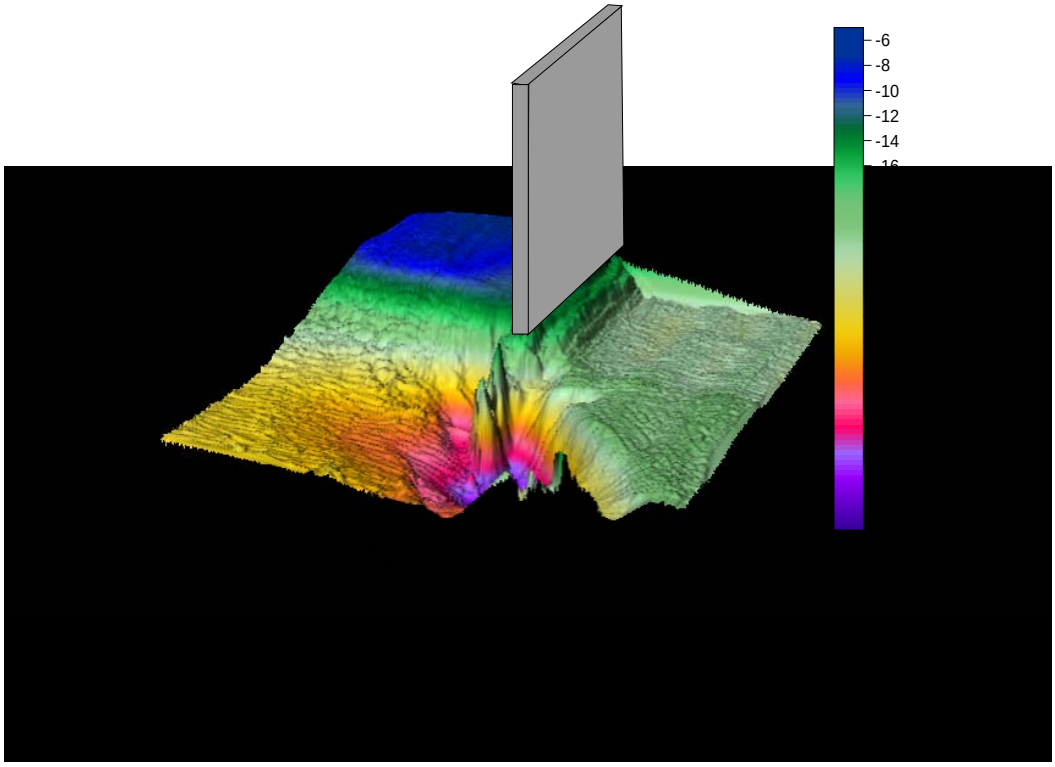


第一次 100/6/9

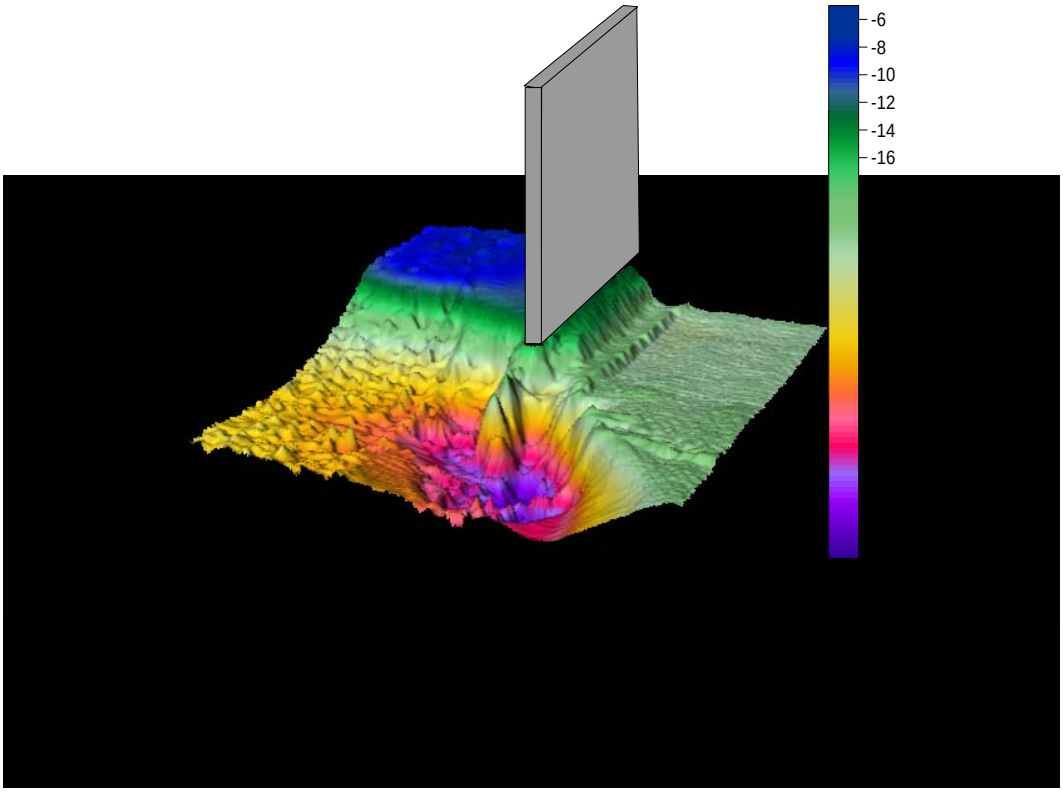


第二次 101/5/8

圖 3.33(c) 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量三維立體色階圖



第三次 102/5/7



第四次 102/10/22

圖 3.33(d) 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 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 3.6 所示，斷面位置如圖 3.34 所示，各斷面歷次監測之水深變化比較如圖 3.35 至圖 3.45 所示。

表 3.6 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

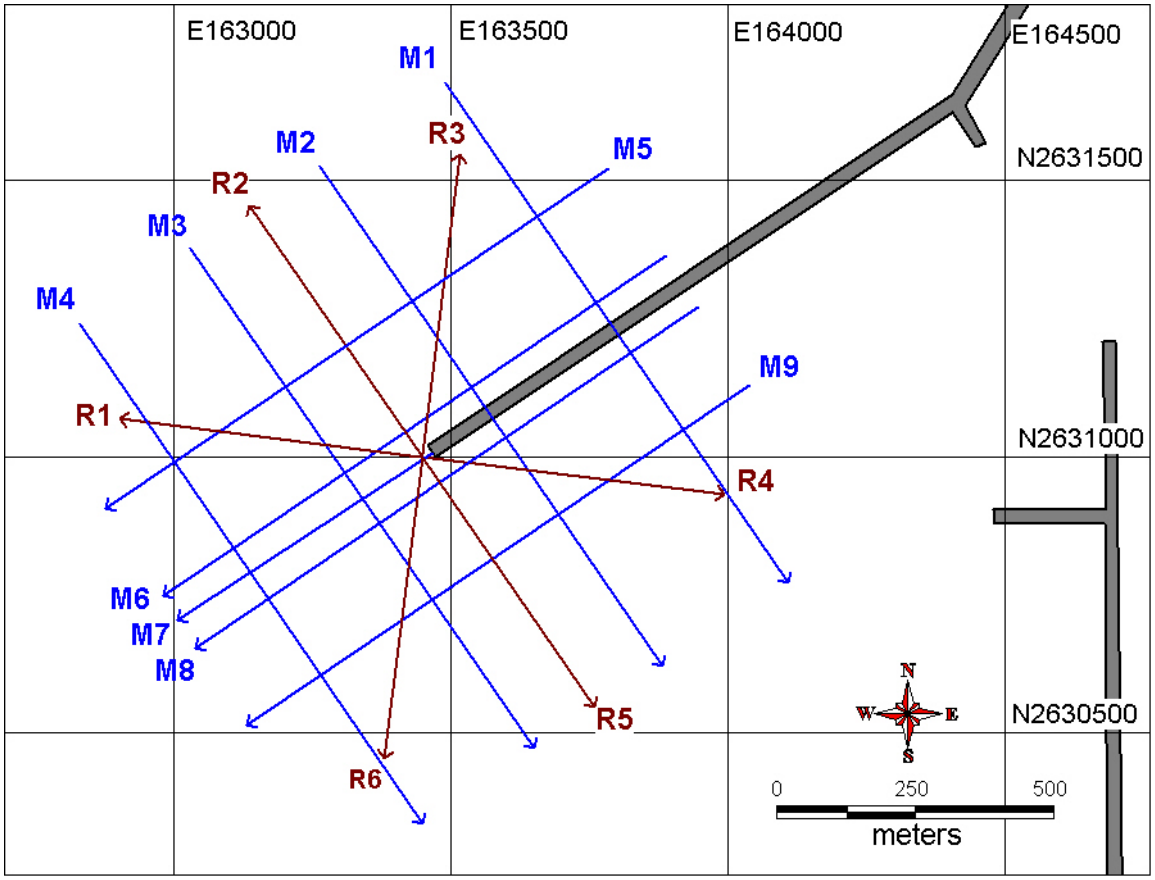


圖 3.34 麥寮工業港堤頭水深測量斷面位置圖

(1) 第一次麥寮工業港西防波堤水深測量(100/6)

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，消波塊群北側掏刷最深約-42m，南側則約-44m。

麥寮工業港北堤水深測量區域所測得水深最淺約為-6m，堤頭附近掏刷最深處水深約-45m，等深線於堤身北側港域外大致呈現垂直海堤方向分布，堤身南側港域內則以平行海堤方向分布為主，堤頭附近因為波浪反射之掏刷而形成輻射狀之等深線分布，掏刷最深處位於堤頭向外海西南方延伸約 400m 處；堤頭西方約 180m 處亦有刷深現象，最深處約-42m，如圖 3.30 與圖 3.31 所示。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 3.33 所示，呈現本測量海

域地形變化之特性。

斷面 M1：於堤頭東側垂直堤身方向，距離堤頭約 400m 處，展現堤防內外之水深高差變化，本斷面水深變化約在-7.1~-23.8m 之間；港域外距斷面起點至 510m 處之高程約在-10.8~-7.3m 間，坡降約為 0.7/100，堤址附近高程較外海為高，坡降變化不明顯；港域內距斷面起點 590~640m 接近堤址處則有刷深之情形，地形較為陡降，高程約在-14.2~-22m 間，坡降約為 16.9/100；距斷面起點 650m 之後高程約在-22.5~-23.8m 間，除堤址附近外，港域內坡降平緩，高程落差不明顯。本斷面地形高程堤防北側港域外高於堤防南側港域內，形成外(北)高內(南)低之地形變化，水深剖面變化如圖 3.35 所示。

斷面 M2：於堤頭東側垂直堤身方向，距離堤頭約 120m 處，展現堤防內外之水深高差變化，本斷面水深變化約在-9.6~-23.2m 之間；港域外距斷面起點至 360m 處，高程約在-17.7~-11.3m 間，坡降約為 1.8/100；斷面位置約 520m 鄰近堤址處有淤積情形，高程約-10.1m；港域內堤址至斷面位置約 640m 間之高程約在-13.1~-22.1m 間，地形較為陡降，坡降約為 14.5/100；斷面位置約 640m 之後高程約在-22.1~-23.2m 間，除堤址附近外，港域內坡降平緩，高程落差不明顯。本斷面在堤防北側港域外地形高程高於堤防南側港域內區域，形成外(北)高內(南)低之地形變化，水深剖面變化如圖 3.36 所示。

斷面 M3：於堤頭西側垂直堤身方向，距離堤頭外約 150m 處，展現垂直堤防方向斷面之堤頭消波塊布置水深高差變化，本斷面水深變化約在-22.7~-42.3m 之間；距斷面起點 130~330m 處，高程約在-29.1~-33.2m 間，坡降約為 2.1/100；消波塊群約位於斷面 470~590m 之間，消波塊群高程最高處約為-22.7m，北側掏刷最深處約為-42.3m，期間坡降約為 7.3/100，高程差約 19.6m；於消波塊群南側斷面 700m 處形成潛坵，高程約-25.5m；斷面起點 800~1,100m 處，高程約在-24.2~-21.1m 間，坡降約為 1.1/100。本斷面在消波塊群北側刷深至-42.3m，南側刷深至-35.7m，以堤防港域內在潛坵之後坡

降較為平緩，形成掏刷區外北低南高之地形變化。水深剖面變化如圖 3.37 所示。

斷面 M4：於堤頭西側垂直堤身方向，距離堤頭外約 400m 處，主要了解堤頭掏刷區域之水深剖面變化，本斷面水深變化約在-21.4~-44.1m 之間；距斷面起點 660m 處為掏刷最深之處，高程約-44.1m，該斷面於刷深點北側約 200m 與南側約 220m 附近為明顯刷深區域，坡降約在 5.2~8.2/100 間；斷面起點至 460m 處，高程約在-28.2~-33.2m 間，坡降約為 1.1/100；南側斷面起點 900~1,100m 處水深值表現約在-23~-21.4m 之間，坡降約為 0.9/100。本斷面除刷深區域外，坡降大至平緩，並形成掏刷區外北低南高之地形變化，水深剖面變化如圖 3.38 所示。

斷面 M5：於堤頭北側平行堤身方向，距離堤身約 250m 處，展現港域外平行堤防之水深高差變化，本斷面水深變化約在-7.1~-33.4m 之間；斷面起點至 380m 處之高程約在-7.1~-10.4m 間，坡降約為 0.87/100；距斷面起點 380~740m 之高程約在-10.4~-33.4m 間，坡降約為 6.4/100，斷面變化陡峭；距斷面起點 740~1,100m 處之高程約在-33.4~-29m 間，坡降約為 1.3/100，斷面變化較為平緩。本斷面平行堤防，明顯刷深區域高差可達約 23m，水深剖面變化如圖 3.39 所示。

斷面 M6：於堤頭北側平行堤身方向，距離堤身約 60m 處，展現港域外堤身附近之水深高差變化，其斷面變化趨勢與 M5 相似，本斷面水深變化約在-6.1~-41.7m 之間；距斷面起點至 460m 之高程約在-6.1~-11.1m 間，坡降約為 0.66/100；距斷面起點 460~860m 之高程約在-11.6~-41.7m 間，坡降約 10.9/100，斷面變化陡峭，其中消波塊群約位於斷面起點 610~700m 處，消波塊最高高程約為-24.1m，近岸端高程差約 9.1m，與外海端刷深區高差則可達約 17.6m；距斷面起點 740~1,100m，高程變化在-41.7~-30.1m 間，坡降約為 3.3/100，坡降較近岸端陡峭。本斷面平行堤防，明顯刷深區域高差可達約 30.6m，水深剖面變化如圖 3.40 所示。

斷面 M7：平行堤身，垂直堤頭往外海延伸方向，展現堤頭掏刷區域附近之水深高差變化，本斷面水深變化約在-15.1~-38.2m 之間；堤頭附近水深約-15.1m，距斷面起點(堤頭)280m 為本斷面最深處，高程為-38.2m；由圖 3.25 至圖 3.28 可明顯看出堤頭附近消波塊群之分布情形，消波塊約略分為三群，堤頭附近至距外海 70m 處形成 U 字行塊群，第二塊群距離堤頭約 90~150m 處，第三塊群距離堤頭約 160~230m 處。第二塊群由堤頭起算自水深-22.5m 處隆起至-14.5m 高，再下降至-27.3m，第三塊群則由水深-27.3m 處隆起至-21.4m 高，再下降至-38.2m；距斷面起點 250~390m 間，高程約在-36.9~-38.1m 間，坡降約 0.86/100，靠外海處距斷面起點 400~550m 間，高程約在-36.9~-30.7m 間，坡降約 4.6/100，往外海方向高程逐漸增加。本斷面表現出消波塊於堤頭附近佈置之狀況，顯示在第三消波塊群外有刷深之情形，水深剖面變化如圖 3.41 所示。

斷面 M8：於堤頭南側平行堤身方向，距離堤身約 50m 處，展現港域內堤身附近之水深高差變化，本斷面水深變化約在-14.8~-42.9m 之間;距斷面起點至 500m 處,高程變化在-14.8~-16.8m 間，坡降約為 0.3/100；距斷面起點 500~870m 處，高程變化在-16.8~-42.9m 間，坡降約為 7/100，掏刷區域最大高程落差約為 26.1m；距斷面起點 870~1,100m 處，高程變化在-42.9~-33m 間，坡降約為 4.3/100。本斷面在堤防南側港域內水深變化不大，而於消波塊外有刷深之情形，水深剖面變化如圖 3.42 所示。

斷面 M9：於堤頭南側平行堤身方向，距離堤身約 220m 處，展現港域內平行堤防之水深高差變化，本斷面水深變化約在-21.8~-41.2m 之間，斷面表現與 M8 相似；距斷面起點至 660m 處，高程約在-21.8~-23.5m 間，坡降約為 0.2/100；距斷面起點 660~970m 處，高程變化在-22.8~-41.2m 間，坡降約為 9.1/100，斷面變化陡峭，掏刷區域最大高程落差約為 18.4m；距斷面起點 970~1,100m 間之高程約在-41.2~-32.9m 間，坡降約為 8.3/100。本斷面在堤防南側港域內水深變化不大，水深剖面變化如圖 3.43 所示。

斷面 R1：位於堤頭延伸外海方向順時針約 45 度角，展現由堤頭向外放射出去之水深高差變化，本斷面水深變化約在-15.7~-41.0m 之間；距斷面起點至 136m 處之高程約在-15.9~-41.0m 間，坡降約為 18.5/100，此斷面經過保護堤頭之消波塊群，外圍消波塊群自-31.5m 處隆起至-26.5m 高，再刷深至-41.0m 深，而後海床坡度緩緩上升，坡降約為 2.8/100。本斷面地形高程由刷深處向外海(西)形成緩坡之地形變化，水深剖面變化如圖 3.44 所示。

斷面 R2：位於堤頭延伸外海方向順時針約 90 度角，展現由堤頭向外放射出去之水深高差變化，本斷面水深變化約在-15.7~-33.1m 之間；距斷面起點 44m 至 79m 處有刷深情形，高程由-17.4m 下降至-32.7m，坡降約為 44/100，而後海床坡度緩緩上升，坡降約為 1.6/100。本斷面地形高程由刷深處向外海(西北)形成緩坡之地形變化，水深剖面變化如圖 3.45 所示。

斷面 R3：位於堤頭延伸外海方向順時針約 135 度角，展現由堤頭向外放射出去之水深高差變化，本斷面方向為向近岸端，水深變化約在-9.0~-19.4m 之間；距斷面起點 80m 處略有刷深情形，最大坡降約為 11.1/100，高程由-19.4m 上升至-11.5m，而後海床坡度平緩，坡降約為 0.45/100。本斷面地形高程由刷深處向近岸端形成緩坡之地形變化，水深剖面變化如圖 3.46 所示。

斷面 R4：位於堤頭延伸外海方向逆時針約 135 度角，展現由堤頭向外放射出去之水深高差變化，本斷面水深變化約在-13.7~-23.3m 之間；斷面坡降較為平緩，約在 1.1 ~ 2.3/100 之間。本斷面由堤頭約略向往東向南堤之方向，地形高程變化平緩，水深剖面變化如圖 3.47 所示。

斷面 R5：位於堤頭延伸外海方向逆時針約 90 度角，展現由堤頭向外放射出去之水深高差變化，本斷面水深變化約在-15.2~-24.5m 之間；本斷面後段坡降表現與 R4 接近，距斷面起點 36~80m 處略有刷深情形，高程約在-15.2~-24.5m 間，坡降約為 15.2/100，後段坡降

則約為 0.3/100。本斷面由堤頭約略往東南方向，地形高程變化平緩，水深剖面變化如圖 3.48 所示。

斷面 R6：位於堤頭延伸外海方向逆時針約 45 度角，展現由堤頭向外放射出去之水深高差變化，本斷面水深變化約在-15.9~-30.9m 之間；距斷面起點至 100m 處之高程約在-15.9~-28.1m 間，坡降約為 12.1/100，而後略有隆起至高程-25.3m，坡降約為 3.0/100，由此處開始至距斷面起點 235m 處刷深至-30.9m，再於距起點約 270m 處後海床坡度趨緩，後段坡降則約為 0.9/100。本斷面由堤頭約略往南方向，除堤頭附近與刷深區外地形高程變化平緩，水深剖面變化如圖 3.49 所示。

(2) 第二次麥寮工業港西防波堤水深測量(101/5)

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，消波塊群北側掏刷最深約-44m，南側則約-37m。

麥寮工業港北堤水深測量區域所測得水深最淺約為-4m，堤頭附近掏刷最深處水深約-44m，等深線於堤身北側港域外大致呈現垂直海堤方向分布，堤身南側港域內則以平行海堤方向分布為主，堤頭附近因為波浪反射之掏刷而形成輻射狀之等深線分布，掏刷最深處位於堤頭向外海西方延伸約 170m 處；堤頭西方約 180m 處亦有刷深現象，最深處約-37m，如圖 3.30 與圖 3.31 所示。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 3.33 所示，呈現本測量海域地形變化之特性。

斷面 M1：於堤頭東側垂直堤身方向，距離堤頭約 400m 處，展現堤防內外之水深高差變化，本斷面水深變化約在-7.4~-23.9m 之間；港域外距斷面起點至 510m 處之高程約在-7.4~-9m 間，坡降約為 0.3/100，堤址附近高程較外海略高，坡降變化不明顯；港域內距斷面起點 590~640m 接近堤址處則有刷深之情形，地形較為陡降，

高程約在-12.8~-22.9m 間，坡降約為 21.3/100；距斷面起點 650m 之後高程約在-22.2~-23.9m 間，除堤址附近外，港域內坡降平緩，高程落差不明顯。本斷面地形高程堤防北側港域外高於堤防南側港域內，形成外(北)高內(南)低之地形變化，水深剖面變化如圖 3.35 所示。

斷面 M2：於堤頭東側垂直堤身方向，距離堤頭約 120m 處，展現堤防內外之水深高差變化，本斷面水深變化約在-10.5~-23.5m 之間；港域外距斷面起點至 200m 處，高程約在-14.1~-19.4m 間，坡降約為 3.1/100；距斷面起點 200m 至 420m 處，高程約在-11.2~-14.1m 間，坡降約為 1.3/100；斷面位置約 570m 鄰近堤址處有淤積情形，高程約-12.7m；港域內堤址至斷面位置約 620m 間之高程約在-12.7~-17.7m 間，地形較為陡降，坡降約為 10.9/100；斷面位置約 650m 之後高程約在-22.1~-23.8m 間，除堤址附近外，港域內坡降平緩，高程落差不明顯。本斷面在堤防北側港域外地形高程高於堤防南側港域內區域，形成外(北)高內(南)低之地形變化，水深剖面變化如圖 3.36 所示。

斷面 M3：於堤頭西側垂直堤身方向，距離堤頭外約 150m 處，展現垂直堤防方向斷面之堤頭消波塊布置水深高差變化，本斷面水深變化約在-21.4~-40.8m 之間；距斷面起點 310m 處，高程約在-27.1~-29.5m 間，坡降約為 0.8/100；消波塊群約位於斷面 470~590m 之間，消波塊群高程最高處約為-23m，北側掏刷最深處約為-40.8m，期間坡降約為 7.0/100，高程差約 17.8m；於消波塊群南側斷面 700m 處形成潛坵，高程約-25.0m；斷面起點 810~1,100m 處，高程約在-22.7~-21.4m 間，坡降相當平緩。本斷面在消波塊群北側刷深至-40.8m，南側刷深至-35.9m，以堤防港域內在潛坵之後坡降較為平緩，形成掏刷區外北低南高之地形變化。水深剖面變化如圖 3.37 所示。

斷面 M4：於堤頭西側垂直堤身方向，距離堤頭外約 400m 處，主要了解堤頭掏刷區域之水深剖面變化，本斷面水深變化約在-22.0~-37.3m 之間；距斷面起點 720m 為最深之處，高程約-37.3m，

坡降約為 1.2/100；斷面 780~870m 處，高程約在-27.5~-37.0m 間，坡降約為 10/100；南側斷面起點 920~1,100m 處水深值表現約在-22.2~-23.0m 之間，坡降約為 0.5/100。本斷面除刷深區域外，坡降大至平緩，並形成掏刷區外北低南高之地形變化，水深剖面變化如圖 3.38 所示。

斷面 M5：於堤頭北側平行堤身方向，距離堤身約 250m 處，展現港域外平行堤防之水深高差變化，本斷面水深變化約在-7.1~-32.3m 之間；斷面起點至 280m 處之高程約在-7.1~-10.4m 間，坡降約為 0.87/100；距斷面起點 290~580m 之高程約在-8.9~-29.7m 間，坡降約為 7.1/100，斷面變化陡峭；距斷面起點 600~1,100m 處之高程約在-29.4~-32.3m 間，坡降約為 0.8~1.5/100 之間，斷面變化較為平緩。本斷面平行堤防，明顯刷深區域高差可達約 21m，水深剖面變化如圖 3.39 所示。

斷面 M6：於堤頭北側平行堤身方向，距離堤身約 60m 處，展現港域外堤身附近之水深高差變化，其斷面變化趨勢與 M5 相似，本斷面水深變化約在-7.0~-40.6m 之間；距斷面起點至 460m 之高程約在-7.3~-11.3m 間，坡降約為 0.9/100；距斷面起點 460~720m 之高程約在-11.3~-40.6m 間，坡降約 11.6/100，斷面變化陡峭，其中消波塊群約位於斷面起點 600~700m 處，消波塊最高高程約為-24.3m，與近岸端高程差約 6.3m，與外海端刷深區高差則可達約 16.3m；距斷面起點 740~1,100m，高程變化在-41.7~-30.1m 間，坡降約為 2.4/100，坡降較近岸端陡峭。本斷面平行堤防，明顯刷深區域高差可達約 30.6m，水深剖面變化如圖 3.40 所示。

斷面 M7：平行堤身，垂直堤頭往外海延伸方向，展現堤頭掏刷區域附近之水深高差變化，本斷面水深變化約在-14.4~-37.3m 之間；堤頭附近水深約-15.4m，距斷面起點(堤頭)250m 為本斷面最深處，高程為-37.3m；由圖 3.25 至圖 3.28 可明顯看出堤頭附近消波塊群之分布情形，消波塊約略分為三群，堤頭附近至距外海 70m 處形成 U 字行塊群，第二塊群距離堤頭約 90~160m 處，第三塊群距離堤

頭約 160~250m 處。第二塊群由堤頭起算自水深-22.9m 處隆起至-14.4m 高，再下降至-28.1m，第三塊群則由水深-28.1m 處隆起至-21.6m 高，再下降至-37.3m；距斷面起點 250~480m 間，高程約在-33.6~-35.8m 間，坡降約 1.1~3.1/100 之間，靠外海處距斷面起點 480~550m 間，高程約在-31.4~-34.9m 間，坡降約 5.1/100，往外海方向高程逐漸增加。本斷面表現出消波塊於堤頭附近佈置之狀況，顯示在第三消波塊群外有刷深之情形，水深剖面變化如圖 3.41 所示。

斷面 M8：於堤頭南側平行堤身方向，距離堤身約 50m 處，展現港域內堤身附近之水深高差變化，本斷面水深變化約在-14.0~-37.9m 之間;距斷面起點至 460m 處，高程變化在-14.0~-15.2m 間，坡降約為 0.2/100；距斷面起點 470~720m 處，高程變化在-15.0~-37.9m 間，坡降約為 9/100，掏刷區域最大高程落差約為 22.9m；距斷面起點 720~1,100m 處，高程變化在-42.9~-33m 間，坡降約為 1.1/100。本斷面在堤防南側港域內水深變化不大，而於消波塊外有刷深之情形，水深剖面變化如圖 3.42 所示。

斷面 M9：於堤頭南側平行堤身方向，距離堤身約 220m 處，展現港域內平行堤防之水深高差變化，本斷面水深變化約在-20.7~-38.0m 之間，斷面表現與 M8 相似；距斷面起點至 770m 處，高程約在-20.7~-23.8m 間，坡降約為 0.1/100；距斷面起點 790~880m 處，高程變化在-22.9~-35.7m 間，坡降約為 13.3/100，斷面變化陡峭，掏刷區域最大高程落差約為 12.8m；距斷面起點 880~1,100m 間之高程約在-35.7~-37.9m 間，坡降約為 1.2/100。本斷面在堤防南側港域內水深變化不大，水深剖面變化如圖 3.43 所示。

斷面 R1：位於堤頭延伸外海方向順時針約 45 度角，展現由堤頭向外放射出去之水深高差變化，本斷面水深變化約在-16.2~-39.0m 之間；距斷面起點至 115m 處之高程約在-16.2~-37.3m 間，坡降約為 18.2/100，此斷面經過保護堤頭之消波塊群，外圍消波塊群自-28.5m 處隆起至-25.3m 高，再刷深至-39.0m 深，而後海床坡度緩緩上升，坡降約為 2.2/100。本斷面地形高程由刷深處向外海(西)形成緩坡之

地形變化，水深剖面變化如圖 3.44 所示。

斷面 R2：位於堤頭延伸外海方向順時針約 90 度角，展現由堤頭向外放射出去之水深高差變化，本斷面水深變化約在-16.2~-31.8m 之間；距斷面起點 42m 至 70m 處有刷深情形，高程由-17.8m 下降至-29.3m，坡降約為 21.7/100，而後海床坡度緩緩上升，坡降約為 1.7/100。本斷面地形高程由刷深處向外海(西北)形成緩坡之地形變化，水深剖面變化如圖 3.45 所示。

斷面 R3：位於堤頭延伸外海方向順時針約 135 度角，展現由堤頭向外放射出去之水深高差變化，本斷面方向為向近岸端，水深變化約在-9.3~-19.1m 之間；距斷面起點 75m 處略有刷深情形，最大坡降約為 12.4/100；距斷面起點 110m 處高程由-15.4m 上升至-9.3m，海床坡度平緩，坡降約為 1.7/100。本斷面地形高程由刷深處向近岸端形成緩坡之地形變化，水深剖面變化如圖 3.46 所示。

斷面 R4：位於堤頭延伸外海方向逆時針約 135 度角，展現由堤頭向外放射出去之水深高差變化，本斷面水深變化約在-13.7~-23.6m 之間；斷面坡降較為平緩，約在 0.14~5.1/100 之間。本斷面由堤頭約略向往東向南堤之方向，地形高程變化平緩，水深剖面變化如圖 3.47 所示。

斷面 R5：位於堤頭延伸外海方向逆時針約 90 度角，展現由堤頭向外放射出去之水深高差變化，本斷面水深變化約在-15.9~-24.2m 之間；本斷面後段坡降表現與 R4 接近，距斷面起點 6~78m 處略有刷深情形，高程約在-15.9~-24.2m 間，坡降約為 11.5/100，後段坡降則約為 0.2/100。本斷面由堤頭約略往東南方向，地形高程變化平緩，水深剖面變化如圖 3.48 所示。

斷面 R6：位於堤頭延伸外海方向逆時針約 45 度角，展現由堤頭向外放射出去之水深高差變化，本斷面水深變化約在-15.7~-29.0m 之間；距斷面起點至 65m 處之高程約在-15.7~-26.5m 間，坡降約為 16/100，而後略有隆起至高程-24.4m，坡降約為 1.8/100，由此處開

始至距斷面起點 226m 處刷深至-29.0m，再於距起點約 275m 處後海床坡度趨緩，後段坡降則約為 0.3/100。本斷面由堤頭約略往南方向，除堤頭附近與刷深區外地形高程變化平緩，水深剖面變化如圖 3.49 所示。

(3) 第三次麥寮工業港西防波堤水深測量(102/5)

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，堤頭西南方約 310m 處掏刷最深約-44m。

麥寮工業港北堤水深測量區域所測得水深最淺約為-7m，堤頭附近掏刷最深處水深約-44m，等深線於堤身北側港域外大致呈現垂直海堤方向分布，堤身南側港域內則以平行海堤方向分布為主，堤頭附近因為波浪反射之掏刷而形成輻射狀之等深線分布，掏刷最深處位於堤頭向外海西南方約 310m 處掏刷最深約-44m，如圖 3.30 與圖 3.31 所示。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 3.33 所示，呈現本測量海域地形變化之特性。

斷面 M1：於堤頭東側垂直堤身方向，距離堤頭約 400m 處，展現堤防內外之水深高差變化，本斷面水深變化約在-7.2~-24.4m 之間；港域外距斷面起點至 330m 處之高程約在-7.2~-9.1m 間，坡降約為 0.45/100，斷面 330m 至堤址處較 101/5 刷深，高程差約 1.8m，坡降約為 1.25/100，附近高程較外海略低，坡降變化不明顯；港域內距斷面起點 590~660m 接近堤址處則有刷深之情形，地形較為陡降，高程約在-15.1~-23.7m 間，坡降約為 12.8/100；距斷面起點 660m 之後高程約在-22.5~-24.4m 間，除堤址附近外，港域內坡降平緩，高程落差不明顯。本斷面地形高程堤防北側港域外高於堤防南側港域內，形成外(北)高內(南)低之地形變化，水深剖面變化如圖 3.35 所示。

斷面 M2：於堤頭東側垂直堤身方向，距離堤頭約 120m 處，展

現堤防內外之水深高差變化，本斷面水深變化約在-10.7~-23.6m 之間；港域外距斷面起點至 370m 處，高程約在-10.7~-15.1m 間，坡降約為 1.1/100，370m 處至堤址，高程約在-11~-12.2m 間，坡降約為 0.8/100，與 101/5 相較堤址處侵蝕約 1m，較外海處淤積情形明顯，最大高程差約為 7.1m；斷面位置約 570m 鄰近堤址處有掏刷情形，高程約-14.1m，與 101/5 相較高程差約 1.4m；港域內堤址至斷面位置約 650m 處高程約為-20.6m，地形較為陡降，坡降約為 8.2/100，與 101/5 相較約有 1.4m 高程差之淤積；斷面位置約 680m 之後高程約在-21.8~-23.6m 間，除堤址附近外，港域內坡降平緩，高程落差不明顯。本斷面在堤防北側港域外地形高程高於堤防南側港域內區域，形成外(北)高內(南)低之地形變化，水深剖面變化如圖 3.36 所示。

斷面 M3：於堤頭西側垂直堤身方向，距離堤頭外約 150m 處，展現垂直堤防方向斷面之堤頭消波塊布置水深高差變化，本斷面水深變化約在-20.3~-36.5m 之間；距斷面起點 400m 處，高程約在-26.7~-31.7m 間，坡降約為 1.0/100；消波塊群約位於斷面 470~600m 之間，消波塊群高程最高處約為-22m，北側掏刷最深處約為-35.6m，南側則為-36.5m，高程差各為 13.6m 與 14.5m，北側相較 101/5 約淤積 4.8m，坡降趨緩，淤積情形明顯，南側高程差則較無差異；於消波塊群南側斷面 700m 處形成潛坵，高程約-24.1m；斷面起點 860~1,100m 處，高程約在-20.3~-22m 間，坡降相當平緩。本斷面以堤防港域內在潛坵之後坡降較為平緩，形成掏刷區外北低南高之地形變化。水深剖面變化如圖 3.37 所示。

斷面 M4：於堤頭西側垂直堤身方向，距離堤頭外約 400m 處，主要了解堤頭掏刷區域之水深剖面變化，本斷面水深變化約在-20.2~-43m 之間；距斷面起點 630m 為最深之處，高程約-43m，坡降約為 1.1~5.4/100 之間；斷面 750~880m 處，高程約在-23.2~-39.5m 間，坡降較為陡峭約為 13.4/100；南側斷面起點 900~1,100m 處水深值表現約在-21.8~-20.2m 之間，坡降約為 1.0/100；與 101/5 相較在距斷面起點 450~880m 間呈現北侵南淤之趨勢，最大高程差各約為

7.5m 與 4.7m。本斷面除刷深區域外，坡降大至平緩，並形成掏刷區外北低南高之地形變化，水深剖面變化如圖 3.38 所示。

斷面 M5：於堤頭北側平行堤身方向，距離堤身約 250m 處，展現港域外平行堤防之水深高差變化，本斷面水深變化約在-6.7~-32.7m 之間；斷面起點至 380m 處之高程約在-6.7~-9.2m 間，坡降約為 0.56/100;距斷面起點 390~630m 之高程約在-9.7~-28m 間，坡降約為 7.6/100，斷面變化陡峭，本斷面範圍與 101/5 相較呈現淤積情形，最大淤積高程約 6.8m；距斷面起點 630~1,100m 處之高程約在-27.9~-32.6m 間，坡降約為 1.0/100，斷面變化較為平緩。本斷面平行堤防,明顯刷深區域高差可達約 21m,水深剖面變化如圖 3.39 所示。

斷面 M6：於堤頭北側平行堤身方向，距離堤身約 60m 處，展現港域外堤身附近之水深高差變化，其斷面變化趨勢與 M5 相似，本斷面水深變化約在-8.2~-37.6m 之間；距斷面起點至 460m 之高程約在-8.2~-12.5m 間，坡降約為 0.9/100；距斷面起點 460~680m 之高程約在-12.8~-36.7m 間，平均坡降約 11.3/100，斷面變化陡峭，其中消波塊群約位於斷面起點 600~700m 處，消波塊最高高程約為-24.1m,與近岸端高程差約 5.7m,與外海端刷深區高差則約 12.7m，與 101/5 相較，斷面在消波塊群之前呈現侵蝕之情形，最大高程差約 1.4m，消波塊群之後則有淤積情形，最大高程差約 5.1m，之後亦呈現侵蝕之情形，最大高程差約 2.6m；距斷面起點 740~1,100m，高程變化在-31.3~-37.6m 間，平均坡降約為 1.8/100，坡降較近岸端陡峭。本斷面平行堤防，明顯刷深區域高差可達約 30.6m，水深剖面變化如圖 3.40 所示。

斷面 M7：平行堤身，垂直堤頭往外海延伸方向，展現堤頭掏刷區域附近之水深高差變化，本斷面水深變化約在-14.9~-39.6m 之間；堤頭附近水深約-15.2m，距斷面起點(堤頭)340m 為本斷面最深處；由圖 3.25 至圖 3.28 可明顯看出堤頭附近消波塊群之分布情形，消波塊約略分為三群，堤頭附近至距外海 70m 處形成 U 字行塊群，

第二塊群距離堤頭約 90~160m 處，第三塊群距離堤頭約 160~250m 處。第二塊群由堤頭起算自水深-23m 處隆起至-14.9m 高，再下降至-23.8m，第三塊群則由水深-25.7m 處隆起至-21.5m 高，再下降至-38.7m；距斷面起點 250~550m 間，高程約在-31.9~-39.6m 間，坡降約在 2.9~3.7/100 之間。本斷面表現出消波塊於堤頭附近佈置之狀況，顯示在第三消波塊群外有刷深之情形，斷面表現趨勢與 100/6 接近，與 101/5 相較在第三消波塊群以西則呈現侵蝕之情形，最大高程差約 5.6m。水深剖面變化如圖 3.41 所示。

斷面 M8：於堤頭南側平行堤身方向，距離堤身約 50m 處，展現港域內堤身附近之水深高差變化，本斷面水深變化約在-14.4~-43.5m 之間;距斷面起點至 420m 處,高程變化在-14.4~-15.6m 間，坡降約為 0.2/100；距斷面起點 520~870m 處，高程變化在-18.0~-43.5m 間，坡降約為 7.1/100，掏刷區域最大高程落差約為 27.9m；距斷面起點 870~1,100m 處，高程變化在-33.6~-43.5m 間，坡降約為 4.6/100。本斷面在堤防南側港域內水深變化不大，斷面表現趨勢與 100/6 接近，與 101/5 相較在斷面 700~1,000m 處呈現侵蝕之情形，最大高程差約 7.9m，水深剖面變化如圖 3.42 所示。

斷面 M9：於堤頭南側平行堤身方向，距離堤身約 220m 處，展現港域內平行堤防之水深高差變化，本斷面水深變化約在-20.9~-39.7m 之間，斷面表現與 M8 相似；距斷面起點至 650m 處，高程約在-20.9~-24.2m 間，坡降約為 0.3/100；距斷面起點 790~920m 處，高程變化在-23~-39.7m 間，坡降約為 12.6/100，斷面變化陡峭，掏刷區域最大高程落差約為 17.8m；距斷面起點 920~1,100m 間之高程約在-34.9~-39.5m 間，坡降約為 2.6/100。與 101/5 相較，港域內略有侵蝕情形，約斷面 800m 處之掏刷略為明顯，坡降明顯較陡，最大高程差約 2.9m，外海部分則略有淤積。本斷面在堤防南側港域內水深變化不大，水深剖面變化如圖 3.43 所示。

斷面 R1：位於堤頭延伸外海方向順時針約 45 度角，展現由堤頭向外放射出去之水深高差變化,本斷面水深變化約在-14.9~-36.9m

之間；距斷面起點至 125m 處之高程約在-14.9~-36.9m 間，平均坡降約為 14.3/100，此斷面經過保護堤頭之消波塊群，外圍消波塊群自-27.4m 處隆起至-24m 高，再刷深至-36.9m 深，而後海床坡度緩緩上升，平均坡降約為 1.7/100，與 101/5 相較大多呈現淤積情形，最大淤積處在消波塊掏刷處以北，最大高程差約 4.4m。本斷面地形高程由刷深處向外海(西)形成緩坡之地形變化，水深剖面變化如圖 3.44 所示。

斷面 R2：位於堤頭延伸外海方向順時針約 90 度角，展現由堤頭向外放射出去之水深高差變化，本斷面水深變化約在-14.9~-30m 之間；距斷面起點 36m 至 72m 處有刷深情形，高程由-17.2m 下降至-29.6m，坡降約為 34.4/100，而後海床坡度緩緩上升，平均坡降約為 1.4/100；與 101/5 相較，大致呈現淤積之情形，最大高程差約 4.7m。本斷面地形高程由刷深處向外海(西北)形成緩坡之地形變化，水深剖面變化如圖 3.45 所示。

斷面 R3：位於堤頭延伸外海方向順時針約 135 度角，展現由堤頭向外放射出去之水深高差變化，本斷面方向為向近岸端，水深變化約在-7.4~-19.5m 之間；距斷面起點 80m 處略有刷深情形，最大坡降約為 8.0/100；距斷面起點 120m 處高程由-14.3m 上升至-7.5m，海床坡度平緩，平均坡降約為 2.0/100；與 101/5 相較，堤頭附近有刷深侵蝕之情形，最大高程差約 2.8m，斷面起點 120m 後即防坡堤北側海域，則呈現淤積之情形，最大高程差約 4.2m。本斷面地形高程由刷深處向近岸端形成緩坡之地形變化，水深剖面變化如圖 3.46 所示。

斷面 R4：位於堤頭延伸外海方向逆時針約 135 度角，展現由堤頭向外放射出去之水深高差變化，本斷面水深變化約在-14.2~-24.2m 之間；斷面坡降較為平緩，約在 0.4 ~ 4.8/100 之間。與 101/5 相較，斷面起點至約 300m 處呈現淤積之情形，最大高程差約 2.7m；斷面約 300m 以後即港域內則略有侵蝕情形，最大高程差約 1.8m。本斷面由堤頭約略向往東向南堤之方向，地形高程變化平緩，水深剖面

變化如圖 3.47 所示。

斷面 R5：位於堤頭延伸外海方向逆時針約 90 度角，展現由堤頭向外放射出去之水深高差變化，本斷面水深變化約在-14.9~-23.1m 之間；本斷面後段坡降表現與 R4 接近，距斷面起點至 78m 處略有刷深情形，平均坡降約為 10.5/100，後段平均坡降則約為 0.5/100；與 101/5 相較呈現淤積之情形，最大高程差約 2.2m。本斷面由堤頭約略往東南方向，地形高程變化平緩，水深剖面變化如圖 3.48 所示。

斷面 R6：位於堤頭延伸外海方向逆時針約 45 度角，展現由堤頭向外放射出去之水深高差變化，本斷面水深變化約在-14.9~-27.8m 之間；距斷面起點至 146m 處之高程約在-14.9~-27.3m 間，平均坡降約為 8.5/100，而後隆起至高程-22.6m，再至距斷面起點 222m 處刷深至-27.8m，平均坡降約為 11.3/100，由此處開始再於距起點約 267m 處後海床坡度趨緩，後段坡降則約為 0.8~1.2/100；與 101/5 相較呈現淤積之情形，最大高程差約 2.3m，堤頭附近斷面坡降變化較為明顯。本斷面由堤頭約略往南方向，除堤頭附近與刷深區外地形高程變化平緩，水深剖面變化如圖 3.49 所示。

(4) 第四次麥寮工業港西防波堤水深測量(102/10)

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，堤頭西南方約 400m 處掏刷最深約-48m。

麥寮工業港北堤水深測量區域所測得水深最淺約為-6.3m，掏刷最深處水深約-47.8m，等深線於堤身北側港域外大致呈現垂直海堤方向分布，堤身南側港域內則以平行海堤方向分布為主，堤頭附近因為波浪反射之掏刷而形成輻射狀之等深線分布，掏刷最深處位於堤頭向外海西南方約 400m 處掏刷最深約-48m，如圖 3.30 與圖 3.31 所示。北堤堤頭北側與西南側海域侵蝕現象明顯，堤身二側則有明顯之淤積情形，堤內港域水深較深，海堤內外之海域地形高低差約可達 8~12m。透過三維影像，如圖 3.33 所示，呈現本測量海域地形

變化之特性。

斷面 M1：於堤頭東側垂直堤身方向，距離堤頭約 400m 處，展現堤防內外之水深高差變化，本斷面水深變化約在-7.7~-22.9m 之間；港域外距斷面起點至 220m 處之高程約在-8.7~-7.8m 間，坡降約為 0.55/100，斷面 330m 至堤址處較 101/5 刷深，高程差約 1.4m，坡降約為 0.93/100，附近高程較外海略低，坡降變化不明顯；港域內距斷面起點 600~660m 接近堤址處則有刷深之情形，地形較為陡降，高程約在-14.8~-21.9m 間，坡降約為 11.6/100；距斷面起點 705m 處地形略有隆起約 1.3m，與 723m 處高差約 2.0m，之後高程約在-21.6~-24.3m 間，除堤址附近外，港域內坡降平緩，高程落差不明顯。本斷面地形高程堤防北側港域外高於堤防南側港域內，形成外(北)高內(南)低之地形變化，水深剖面變化如圖 3.35 所示。

斷面 M2：於堤頭東側垂直堤身方向，距離堤頭約 120m 處，展現堤防內外之水深高差變化，本斷面水深變化約在-11.0~-23.0m 之間；港域外距斷面起點至 410m 處高低落差較 102/5 富有變化，高程約在-11.8~-20.2m 間，平均坡降約為 1.3/100，410m 處至堤址，高程約在-11.8~-11.5m 間，坡降約為 0.3/100，與 102/5 相較堤址處差異不大，較外海處侵蝕情形明顯，最大高程差約為 5.6m；斷面位置約 570m 鄰近堤址處有掏刷情形，高程約-13.2m，與 102/5 相較高程增加約 1.2m；港域內堤址至斷面位置約 660m 處高程約為-20.6m ，地形較為陡降，坡降約為 7.8/100，與 102/5 相較約有 0.9m 高程差之淤積；距斷面起點 708m 處地形略有隆起約 0.7m，與 727m 處高差約 2.9m，之後高程約在-22.2~-23.3m 間，除堤址附近外，港域內坡降平緩，高程落差不明顯。本斷面在堤防北側港域外地形高程高於堤防南側港域內區域，形成外(北)高內(南)低之地形變化，水深剖面變化如圖 3.36 所示。

斷面 M3：於堤頭西側垂直堤身方向，距離堤頭外約 150m 處，展現垂直堤防方向斷面之堤頭消波塊布置水深高差變化，本斷面水深變化約在-21.0~-38.4m 之間；距斷面起點 390m 處高程較 102/5 富

有變化，高程約在-26.9~-34.1m 間，平均坡降約為 1.6/100；消波塊群約位於斷面 470~600m 之間，消波塊群高程最高處約為-24.6m，北側掏刷最深處約為-38.4m，南側則為-36.2m，高程差各為 13.8m 與 11.6m，北側相較 102/5 約侵蝕 4.1m，坡降變化較大，侵蝕情形明顯，南側高程差則較無差異；於消波塊群南側斷面 690m 處形成潛坵，高程約-21.9m；斷面起點 860~1,100m 處，高程約在-21.0~-22.2m 間，坡降相當平緩。本斷面以堤防港域內在潛坵之後坡降較為平緩，形成掏刷區外北低南高之地形變化。水深剖面變化如圖 3.37 所示。

斷面 M4：於堤頭西側垂直堤身方向，距離堤頭外約 400m 處，主要了解堤頭掏刷區域之水深剖面變化，本斷面水深變化約在-21.1~-42.7m 之間；距斷面起點 600m 至 690m 間有明顯的地形起伏，高程最高處約為-37.6m，北側掏刷最深處約為-40.9m，南側則為-42.7m 為最深之處，高程差各為 3.3m 與 5.1m，與 102/5 相較此段地形有淤積情形，但坡降變化較大；斷面 690~900m 處，高程約在-42.7~-22.7m 間，坡降較為陡峭約為 9.5/100；南側斷面起點 900~1,100m 處水深值表現約在-21.1~-22.2m 之間，坡降約為 0.6/100；與 102/5 相較在距斷面起點 500~750m 間呈現淤積之趨勢，最大淤積高程約為 4.6m。本斷面刷深區及以北海域坡降較富有變化，刷深區以南坡降大至平緩，並形成掏刷區外北低南高之地形變化，水深剖面變化如圖 3.38 所示。

斷面 M5：於堤頭北側平行堤身方向，距離堤身約 250m 處，展現港域外平行堤防之水深高差變化，本斷面水深變化約在-7.1~-34.0m 之間；斷面起點至 360m 處之高程約在-7.1~-9.8m 間，平均坡降約為 0.76/100；距斷面起點 380~660m 之高程約在-9.6~-33.4m 間，平均坡降約為 8.3/100，斷面變化陡峭，本斷面範圍與 102/5 相較呈現侵蝕情形，最大侵蝕高程約 5.0m；距斷面起點 660~1,100m 處之高程約在-27.9~-32.6m 間，坡降約為 0.8/100，斷面變化較為平緩。本斷面平行堤防，明顯刷深區域高差可達約 24.4m，

水深剖面變化如圖 3.39 所示。

斷面 M6：於堤頭北側平行堤身方向，距離堤身約 60m 處，展現港域外堤身附近之水深高差變化，其斷面變化趨勢與 M5 相似，本斷面水深變化約在-7.9~-40.6m 之間；距斷面起點至 460m 之高程約在-8.3~-12.3m 間，坡降約為 0.9/100；距斷面起點 460~680m 之高程約在-12.3~-38.5m 間，平均坡降約 11.9/100，斷面變化陡峭，其中消波塊群約位於斷面起點 600~700m 處，消波塊最高高程約為-25.6m，與近岸端高程差約 4.7m，與外海端刷深區高差則約 14.5m，與 102/5 相較，斷面在消波塊群前、後均呈現侵蝕之情形，最大高程差約 1.4m，消波塊群之後則有淤積情形，最大高程差約 2.8m，之後亦呈現侵蝕之情形，最大高程差約 4.5m；距斷面起點 880m 處地形隆起高程約-35.6m，920m 處地形侵蝕凹陷高程約-40.6m，距斷面起點 700~1,100m，高程變化在-40.6~-31.1m 間，坡降變化明顯。本斷面平行堤防，明顯刷深區域高差可達約 28.8m，水深剖面變化如圖 3.40 所示。

斷面 M7：平行堤身，垂直堤頭往外海延伸方向，展現堤頭掏刷區域附近之水深高差變化，本斷面水深變化約在-16.1~-39.6m 之間；堤頭附近水深約-45.0m，距斷面起點(堤頭)340m 為本斷面最深處；由於本次作業風浪狀況欠佳，堤頭附近消波塊群之分布情形成像效果不明顯，消波塊約略分為三群，堤頭附近至距外海 70m 處形成 U 字行塊群，第二塊群距離堤頭約 90~160m 處，第三塊群距離堤頭約 160~250m 處。第二塊群本次測量最大高程約-20.8m，再下降至-23.8m，第三塊群本次測量最大高程約-23.0m，再下降至-36.0m；距斷面起點 250~550m 間，高程約在-32.9~-45.0m 間，坡降較 102/5 富有變化。本斷面表現出消波塊於堤頭附近佈置之狀況，顯示在第三消波塊群外有刷深之情形，與 102/5 相較在第三消波塊群以西則呈現侵蝕之情形，最大高程差約 6.1m。水深剖面變化如圖 3.41 所示。

斷面 M8：於堤頭南側平行堤身方向，距離堤身約 50m 處，展現港域內堤身附近之水深高差變化，本斷面水深變化約在

-13.6~-42.4m 之間;距斷面起點至 420m 處,高程變化在-14.4~-15.6m 間，坡降約為 0.3/100；距斷面起點 520~820m 處，高程變化在 -18.4~-42.1m 間，平均坡降約為 7.9/100，掏刷區域最大高程落差約為 27.4m;距斷面起點 820~ ,100m 處，高程變化在-32.7~-42.4m 間，平均坡降約為 2.9/100。本斷面在堤防南側港域內水深變化不大，斷面表現趨勢與歷次大致接近，與 102/5 相較在斷面 550~800m 處呈現侵淤互現之情形，其餘淤積情形較為明顯，最大高程差約 2.5m，水深剖面變化如圖 3.42 所示。

斷面 M9：於堤頭南側平行堤身方向，距離堤身約 220m 處，展現港域內平行堤防之水深高差變化，本斷面水深變化約在 -20.1~-38.7m 之間，斷面表現與 M8 相似；距斷面起點至 650m 處，高程約在-20.9~-24.2m 間，平均坡降約為 0.3/100；距斷面起點 790~910m 處，高程變化在-23.7~-38.7m 間，平均坡降約為 11.8/100，斷面變化陡峭，掏刷區域最大高程落差約為 15.0m；距斷面起點 950~1,100m 間之高程約在-34.9~-37.0m 間，平均坡降約為 2.9/100。與 102/5 相較，港域內略有淤積情形，約斷面 800m 處之掏刷情形略為明顯，坡降變化較 102/5 富有變化，侵蝕最大高程差約 2.2m，淤積最大高程差則約 2.9m，外海部分則略有侵蝕。本斷面在堤防南側港域內水深變化不大，水深剖面變化如圖 3.43 所示。

斷面 R1：位於堤頭延伸外海方向順時針約 45 度角，展現由堤頭向外放射出去之水深高差變化,本斷面水深變化約在-16.6~-38.1m 之間;距斷面起點至 115m 處之高程約在-16.6~-37.3m 間，平均坡降約為 17.8/100，此斷面經過保護堤頭之消波塊群，外圍消波塊群自 -28.9m 處隆起至-26.2m 高，再刷深至-37.3m 深，而後與 102/5 相較侵蝕情形明顯，最大侵蝕處在消波塊掏刷處以西，最大高程差約 6.0m，另在距段面約 420~480m 間有明顯之淤積，最大高程差約 4.0m，坡降較富有變化。本斷面地形高程由刷深處向外海(西)形成緩坡之地形變化，水深剖面變化如圖 3.44 所示。

斷面 R2：位於堤頭延伸外海方向順時針約 90 度角，展現由堤

頭向外放射出去之水深高差變化，本斷面水深變化約在-16.6~-30.6m之間；距斷面起點 36m 至 72m 處有刷深情形，高程由-17.9m 下降至-30.6m，坡降約為 35.3/100，而後海床坡度上升，平均坡降約為 0.9/100；與 102/5 相較，侵蝕情形相當明顯，最大高程差約 4.9m。本斷面地形高程由刷深處向外海(西北)形成緩坡之地形變化，但坡降較 102/5 富有變化，水深剖面變化如圖 3.45 所示。

斷面 R3：位於堤頭延伸外海方向順時針約 135 度角，展現由堤頭向外放射出去之水深高差變化，本斷面方向為向近岸端，水深變化約在-8.0~-19.7m 之間；距斷面起點 75m 處有刷深情形，最大坡降約為 11.1/100；距斷面起點 120m 處高程由-14.7m 上升至-8.0m，海床坡度平緩，平均坡降約為 2.0/100；與 102/5 相較，堤頭附近有刷深侵蝕之情形，最大高程差約 4.1m，斷面起點 116m 後即防坡堤北側海域，則呈現侵蝕之情形，最大高程差約 1.4m。本斷面地形高程由刷深處向近岸端形成緩坡之地形變化，水深剖面變化如圖 3.46 所示。

斷面 R4：位於堤頭延伸外海方向逆時針約 135 度角，展現由堤頭向外放射出去之水深高差變化，本斷面水深變化約在-15.5~-23.8m之間；斷面坡降較為平緩，約在 0.3~7.6/100 之間。與 102/5 相較，斷面起點至約 60m 處呈現侵蝕之情形，最大高程差約 2.1m；斷面約 60~400m 間即港域內則則淤積情形明顯，最大高程差約 2.6m。本斷面由堤頭約略向往東向南堤之方向，地形高程變化平緩，水深剖面變化如圖 3.47 所示。

斷面 R5：位於堤頭延伸外海方向逆時針約 90 度角，展現由堤頭向外放射出去之水深高差變化，本斷面水深變化約在-16.3~-23.2m之間，平均坡降約為 0.2~8.9/100；與 102/5 相較除堤頭南側略有淤積之情形外，其餘大都呈現侵蝕情形，最大高程差約 1.0m。本斷面由堤頭約略往東南方向，地形高程變化平緩，水深剖面變化如圖 3.48 所示。

斷面 R6：位於堤頭延伸外海方向逆時針約 45 度角，展現由堤頭向外放射出去之水深高差變化，本斷面水深變化約在-16.6~-28.2m 之間；距斷面起點至 146m 處之高程約在-16.6~-26.6m 間，平均坡降約為 6.8/100，而後隆起至高程-21.4m，再至距斷面起點 227m 處刷深至-28.2m，平均坡降約為 16.1/100，由此處開始再於距起點約 287m 處後海床坡度趨緩，後段坡降則約為 0.4/100；與 102/5 相較堤頭附近有侵蝕情形，斷面 80~350m 則略有淤積之情形，侵蝕最大高程差約 1.9m，淤積最大高程差則約 2.5m，堤頭附近斷面坡降變化較為明顯。本斷面由堤頭約略往南方向，除堤頭附近與刷深區外地形高程變化平緩，水深剖面變化如圖 3.49 所示。

(5) 地形侵淤變化比較(試算面積：1,181,100m^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 3.50 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 3.38、M7 斷面圖 3.41 與 M8 斷面圖 3.38 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 3.36、M5 斷面圖 3.39 與 R3 斷面圖 3.46 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 420,627m^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 3.50 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 3.38、M7 斷面圖 3.41 與 M8 斷面圖 3.42 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 3.36、M5 斷面圖 3.39 與 R3 斷面圖 3.46 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

462,706m^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 3.50 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 3.41 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 3.42 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 649,855m^3，平均高程侵蝕約 55cm。

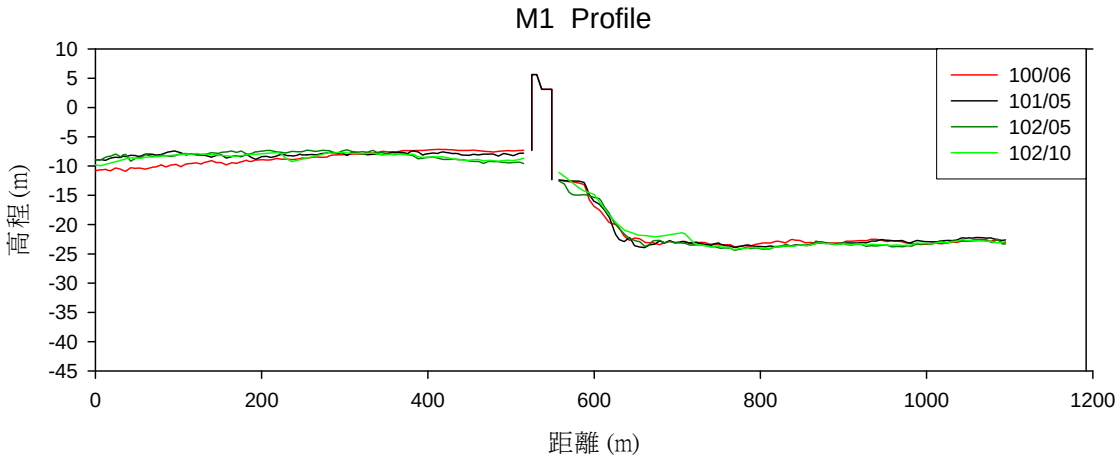


圖 3.35 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M1 水深剖面變化圖

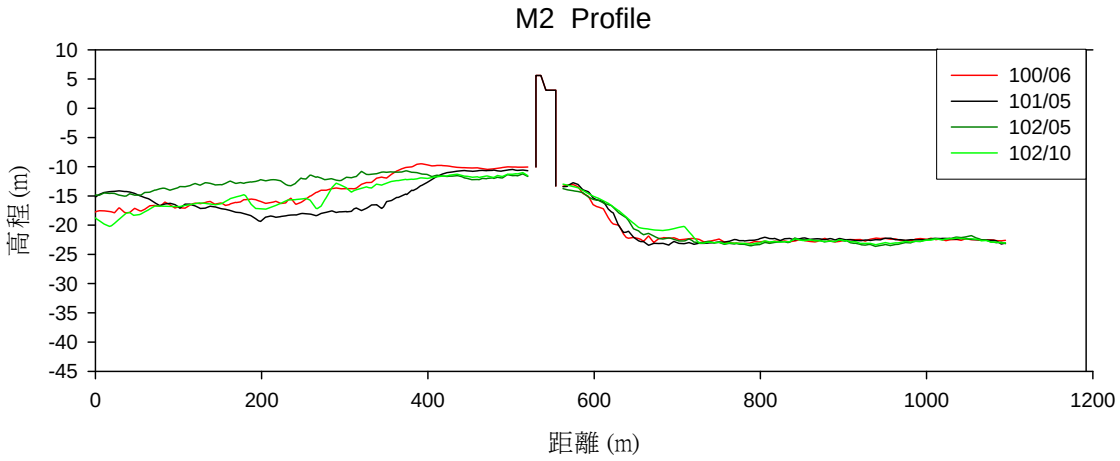


圖 3.36 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M2 水深剖面變化圖

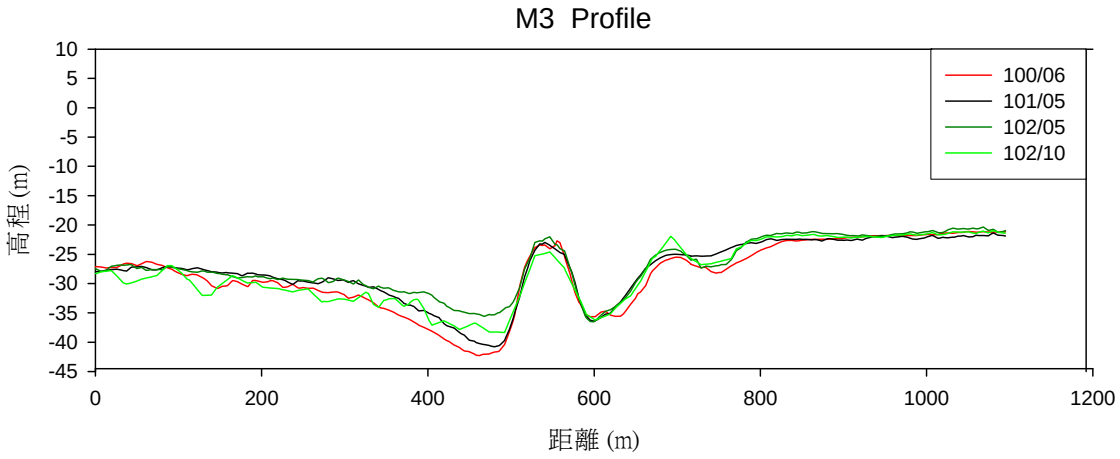


圖 3.37 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M3 水深剖面變化圖

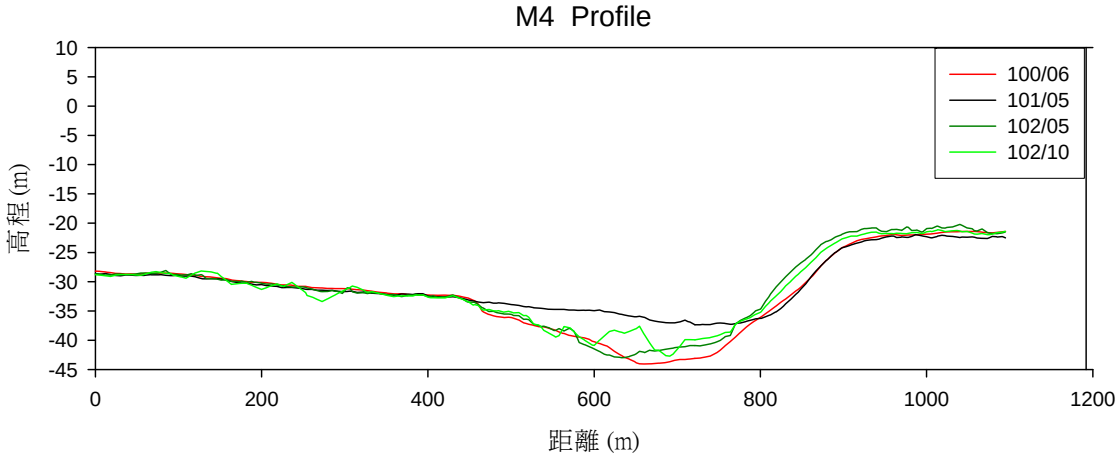


圖 3.38 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M4 水深剖面變化圖

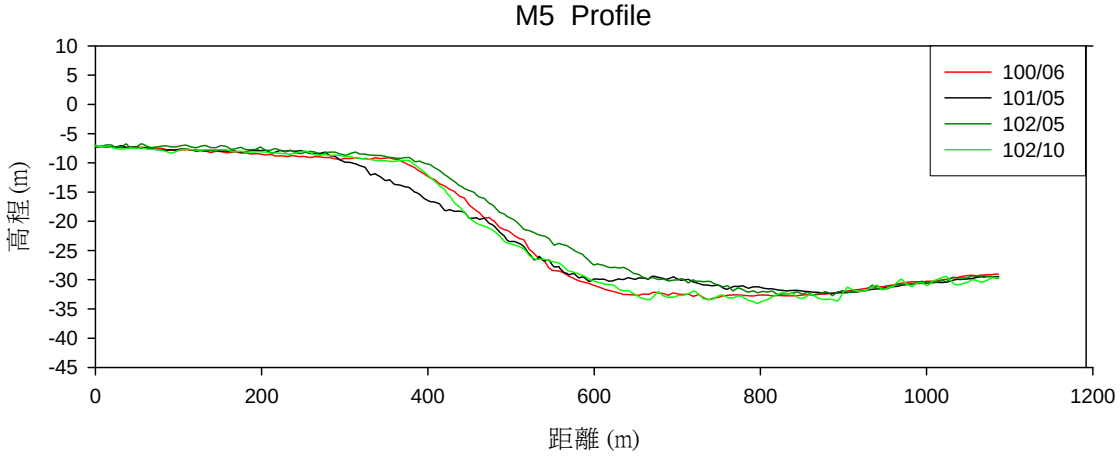


圖 3.39 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M5 水深剖面變化圖

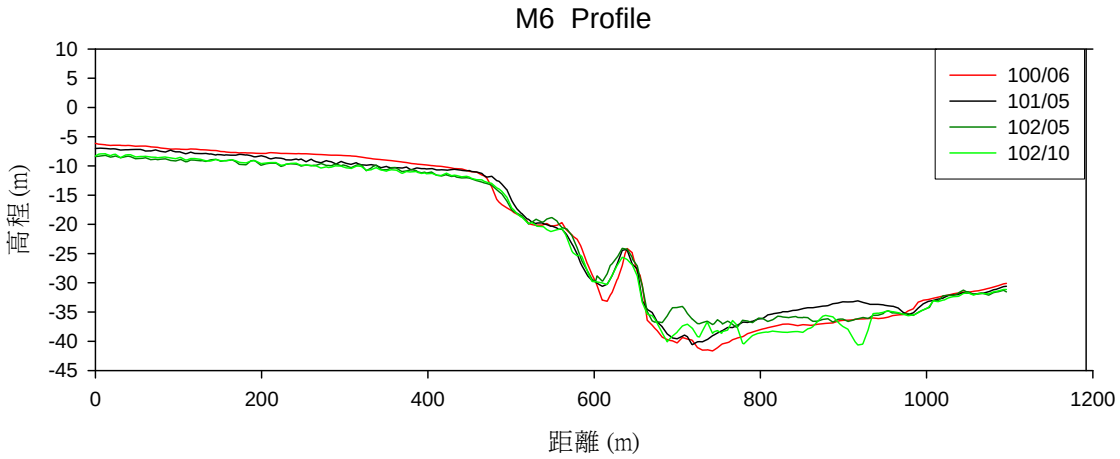


圖 3.40 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M6 水深剖面變化圖

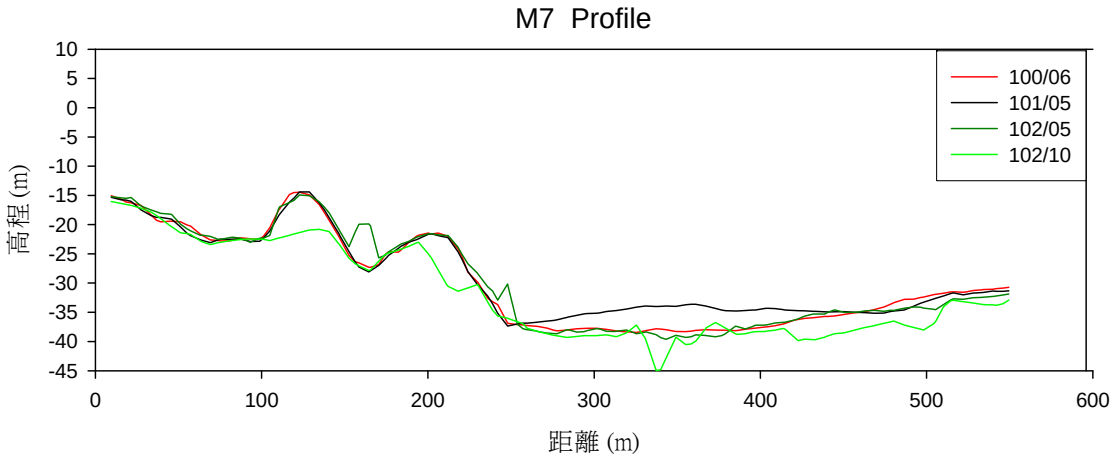


圖 3.41 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M7 水深剖面變化圖

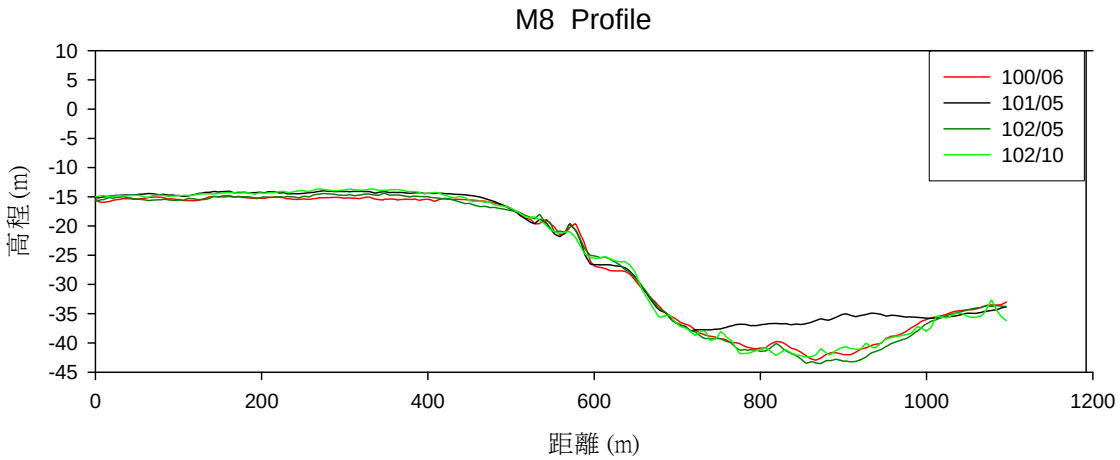


圖 3.42 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M8 水深剖面變化圖

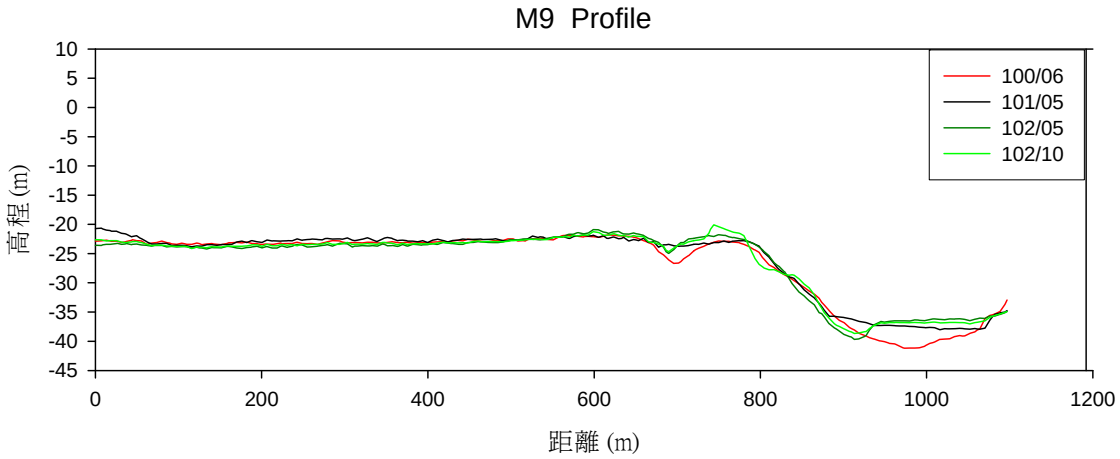


圖 3.43 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 M9 水深剖面變化圖

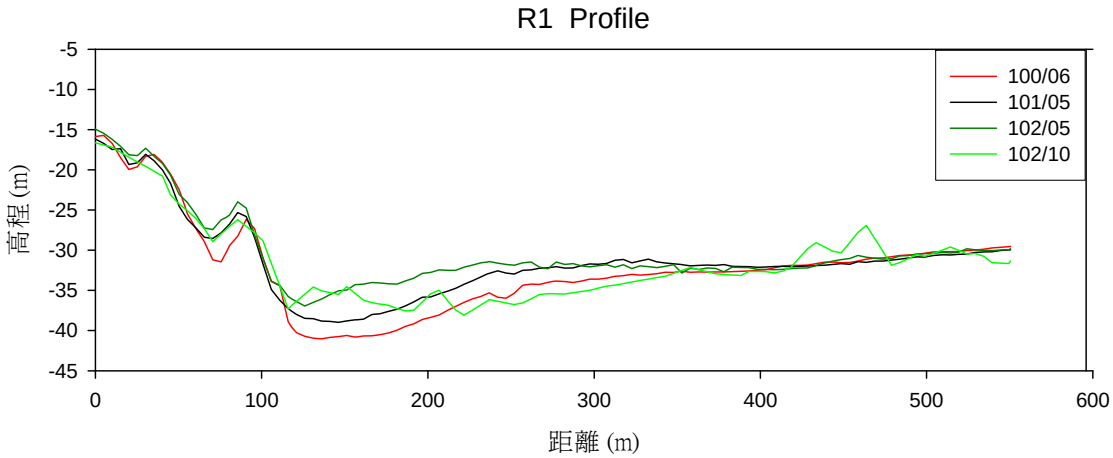


圖 3.44 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 R1 水深剖面變化圖

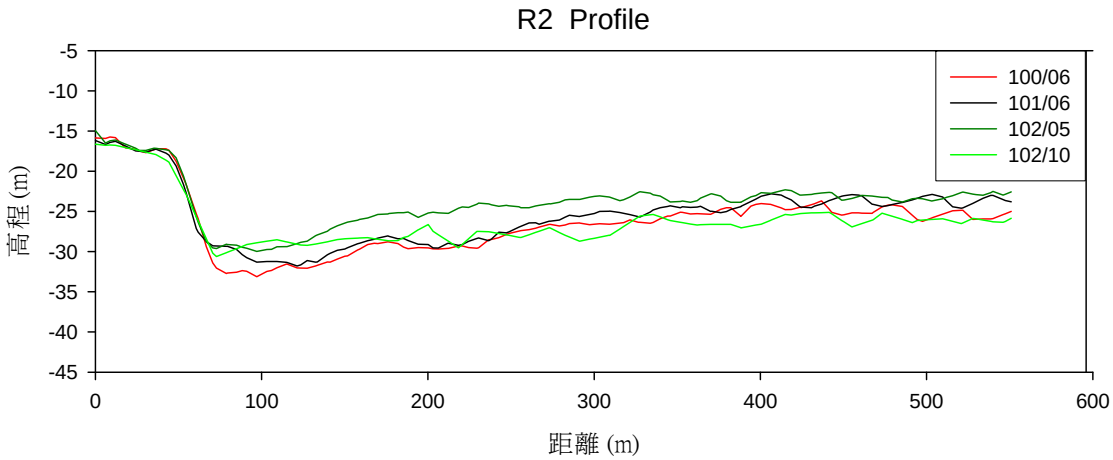


圖 3.45 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 R2 水深剖面變化圖

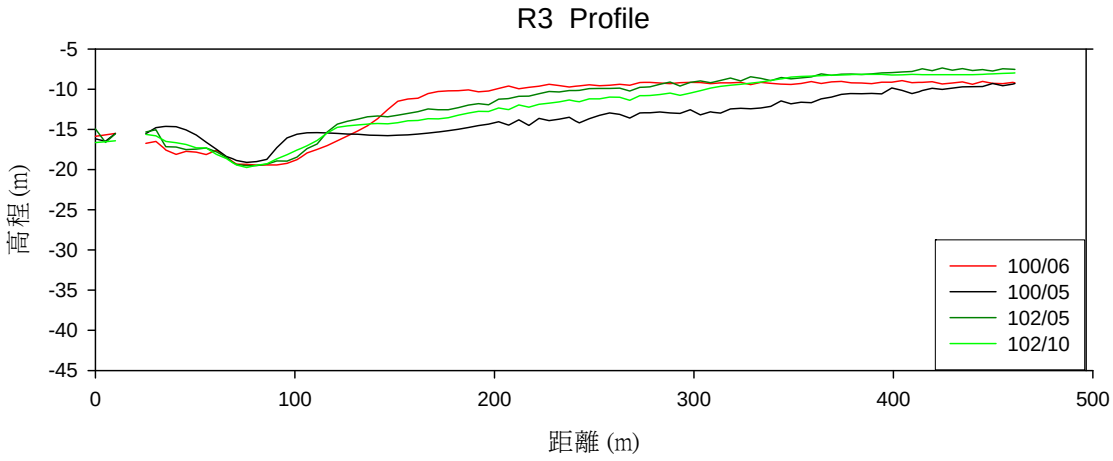


圖 3.46 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 R3 水深剖面變化圖

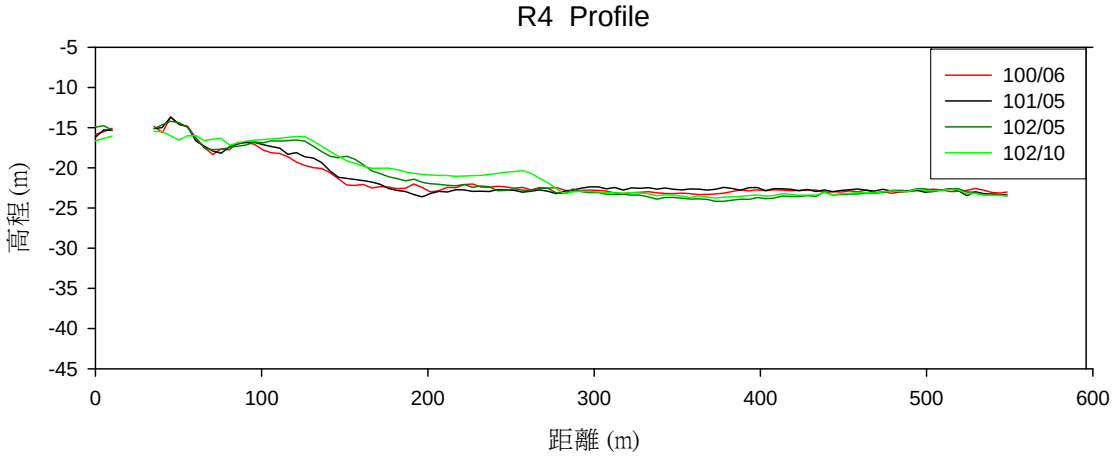


圖 3.47 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 R4 水深剖面變化圖

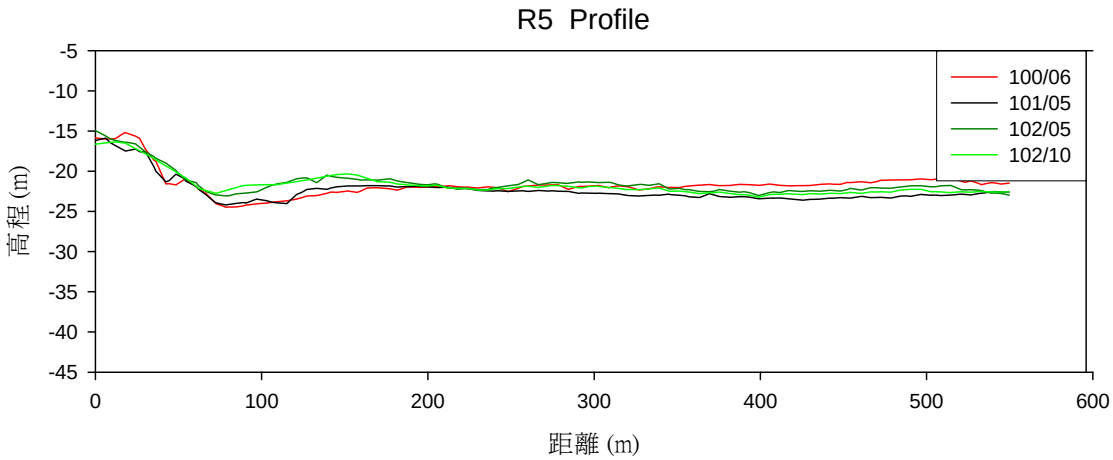


圖 3.48 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 R5 水深剖面變化圖

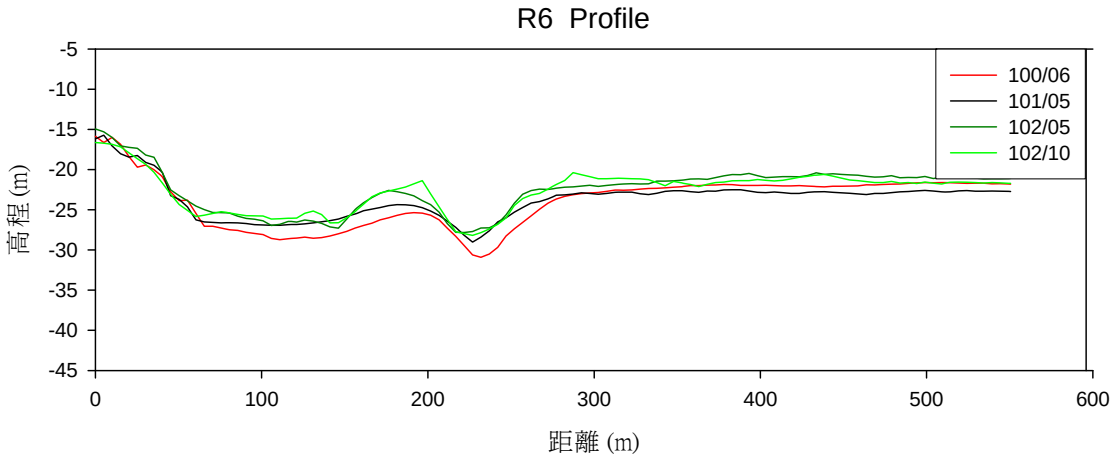
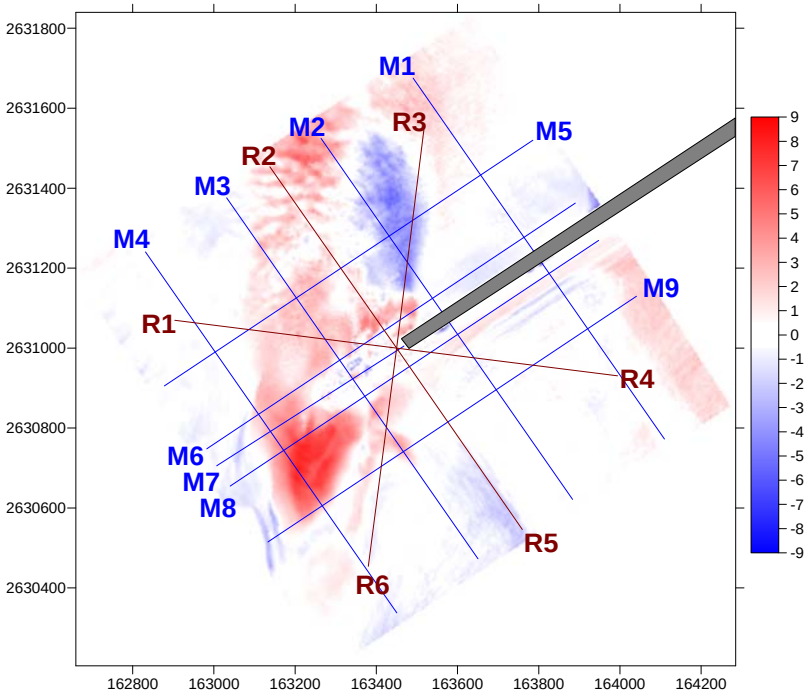
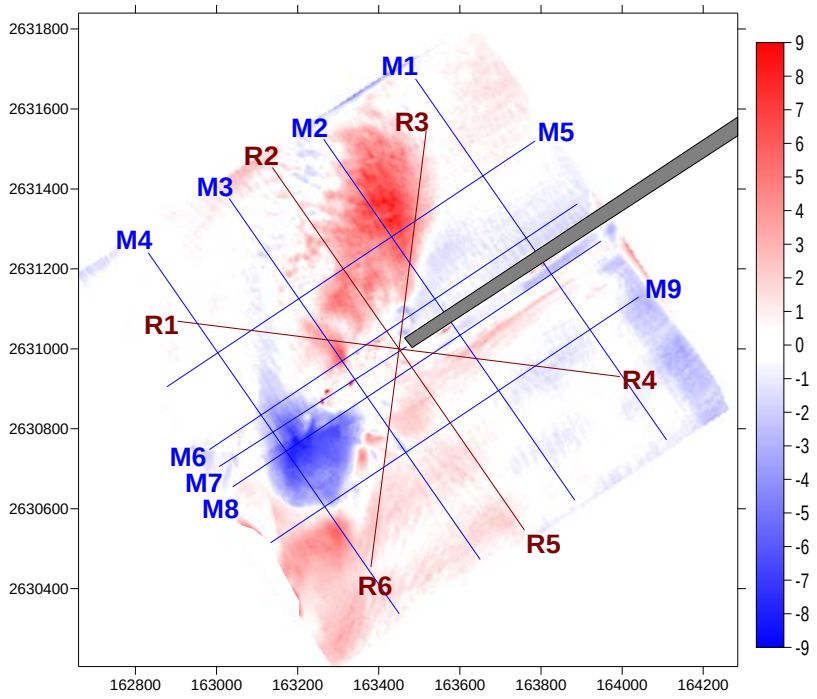


圖 3.49 麥寮工業港堤頭地形測量斷面 R6 水深剖面變化圖

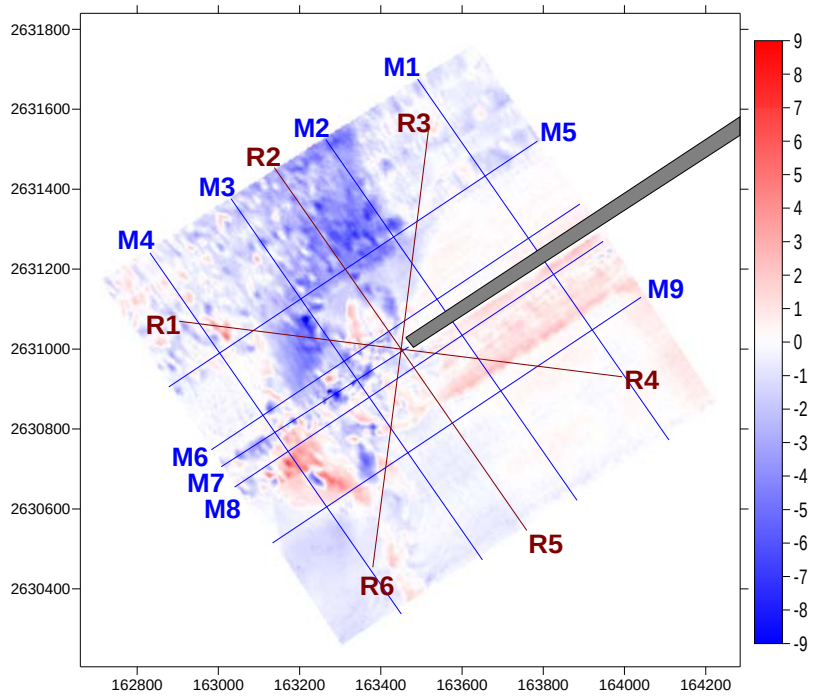


第一次 100/6 與第二次 101/5



第二次 101/5 與第三次 102/5

圖 3.50(a) 麥寮工業港堤頭地形測量侵淤變化色階圖



第三次 102/5 與第四次 102/10

圖 3.50(b) 麥寮工業港堤頭地形測量侵淤變化色階圖

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

於臺中港及麥寮港二測區外海海域各選擇一測定點，其中於臺中港近北堤外海處，點號TC處點位坐標(TWD97系統)為E120°29’15.37”，N24°18’10.69”，水深約20.0公尺，觀測日期自102年5月9日至5月28日止共20天，監測點位置如圖3.51所示。於麥寮港近東堤外海處，點號ML之坐標為E120°09’08.22”，N23°45’37.98”，水深約8.0公尺，測區觀測日期自102年5月10日至5月29日止共20天，監測點位置如圖3.52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 3.51 臺中港潮波流儀點位

圖 3.52 麥寮港潮波流儀點位

3.2.2 作業方式

精確之定位可提供自記式潮波流儀所拋放位置之正確坐標，本計畫以差分定位方式(Beacon DGPS)進行，以得到海上精確之儀器定位坐標，其定位精度在±1公尺以內。

潮波流調查採用美國RD Instruments所製之WHSW-600底碇式都卜勒潮波流剖面儀(ADCP)進行海流監測，儀器規格如表3.7所示。作業模式於現場儀器佈放前，於實驗室內以工業電腦設定自記式海流儀之參數；佈放儀器時以漁船作業，使用DGPS定位方式配合潛水人員進行。於儀器回收後再於實驗室內以工業電腦讀區資料。底碇式都卜勒海流剖面儀(ADCP)以平滑之不銹鋼外殼架底定於海床之上，並加錨鍊、重錘防止底拖漁船之破壞。

表 3.7 RD Instruments 底碇式都卜勒潮波流剖面儀規格特性表

RDI WHSW-600 ADCP Specification		
Velocity accuracy: •600: ± 0.25% of the water velocity relative to the ADCP ± 2.5mm/s Velocity resolution: 1mm/s Velocity range: ± 5m/s (default): ± 20m/s (maximum)	**Temperature** (mounted on transducer) • Range: -5° to 45°C • Precision: ± 0.4°C • Resolution: 0.01°	**Compass** (fluxgate type, includes built-in field calibration feature) • Accuracy: ± 2° • Precision: ± 0.5° • Resolution: 0.01° • Maximum tilt: ± 15°

3.2.3 測區海域潮波流結果分析

1. 臺中港測區

(1) 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。儀器置於水深20m處。TC測站的水位時序變化繪圖如圖3.53所示。施測時間為2013年5/9～5/28，共20日期間的平均水深為21.510m。5月25日10時，記錄最大水深24.039m，5月27日18時記錄最小水深18.610m，最大潮差5.366m。臺中港海域漲退潮時段流向分佈如圖圖3.54所示。退潮段主要流向為ENE，漲潮段亦以ENE為主，但稍向北偏轉，在NE向亦有超過20%的分量。調合分析主要分潮如表3.8所示。結果顯示主要分潮為M2，振幅為1.811m，次要分潮S2，振幅0.416m。法國(Defant, 1958)潮型因子F_f值為0.21，屬於半日潮型。美國(Diertrich, 1980)潮型因子F_a值為0.25，屬於半日潮型。

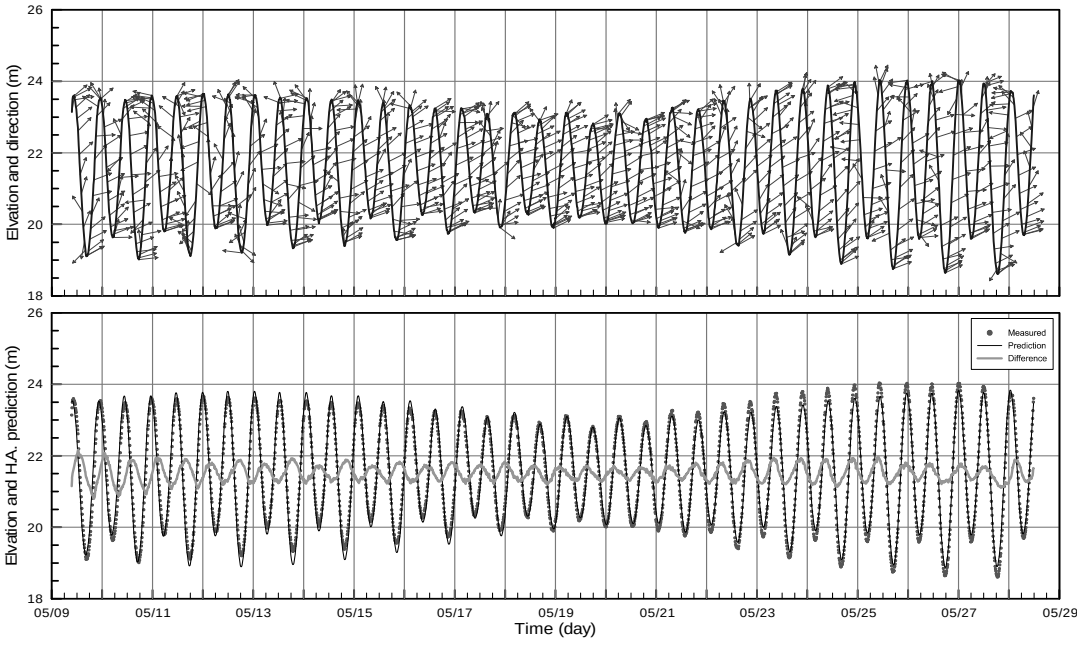


圖 3.53 TC 測站，2013 年 05/09～05/28 實測與預報水位變化圖

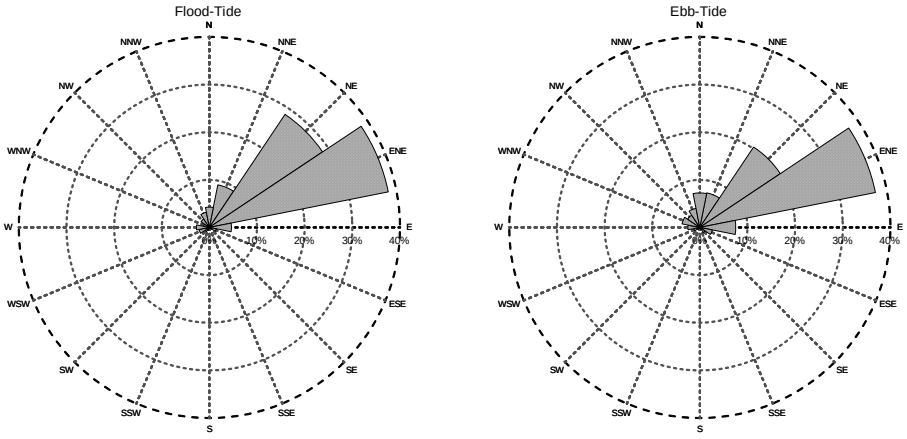


圖 3.54 TC 測站，2013 年 05/09～05/28 漲、退潮段流向玫瑰圖

表 3.8 TC 站，潮位調合分析主要分潮參數

序別	分潮	角頻率(o/hr)	振幅(m)	遲角(deg)
1	M2	28.9841042	1.8110747	307.1360798
2	S2	30.0000000	0.4159110	3.2883720
3	K1	15.0410686	0.2917252	240.5307909
4	O1	13.9430356	0.1694851	229.0421680
5	M4	57.9682085	0.0388327	230.2571531
6	MSF	1.0158958	0.0328887	172.8733834
7	MS4	58.9841042	0.0255396	318.5346930
8	M6	86.9523127	0.0197907	109.5701606
9	SK3	45.0410686	0.0129817	323.8213816
10	2MS6	87.9682085	0.0125913	178.1983192
11	2MK5	73.0092771	0.0101772	212.7396436
12	M3	43.4761564	0.0065687	102.4789208
13	S4	60.0000000	0.0050506	83.4776632
14	3MK7	101.9933814	0.0046118	68.5975151
15	M8	115.9364170	0.0037078	73.3747395

(2) 海流

TC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18筆，各剖面間距0.75m，以所測資料之底層水深15m、中層水深11m、中層水深6及表層水深2m，分別繪製流速與流向時序列資料如圖3.55至圖3.58所示。

TC測站底層平均流速為15.2cm/s，主要流向為W，此流向中測得流速最大值為43.6cm/s，發生於05月27日01時。資料記錄中，流速最大值為49.9cm/s，流向為WSW，發生於05月24日22時。TC測站中層(水深11m)平均流速為12.0cm/s，主要流向為W，此流向中測得流速最大值為37.4cm/s，發生於05月27日00時。資料記錄中，流速最大值為50.5cm/s，流向為ENE，發生於05月28日08時。TC測站中層(水深6m)平均流速為11.9cm/s，主要流向為ENE，此流向中測得流速最大值為54.0cm/s，發生於05月28日08時。資料紀錄中，流速最大值為54.0cm/s，流向為ENE，發生於05月28日08時。TC測站表層平均流速為16.6cm/s，主要流向為ENE，此流向中測得流速最大值為67.9cm/s，發生於05月21日14時。資料紀錄中，流速最大值為77.2cm/s，流向為NE，發生於05月21日15時。

海流點位實測資料之底、中、表層統計資料如表3.9至表3.12，而統計資料玫瑰圖如圖3.59及圖3.60所示。TC測點的底層流向分佈集中於W方位，主要流速分佈區間為0～25cm/sec，發生機率為87.68%。中層(水深11m)流向分佈集中於W、WSW、ENE方位，主要流速分佈區間為0～12.5cm/sec，發生機率為61.65%。中層(水深6m)流向分佈集中於ENE、E方位，主要流速分佈區間為0～12.5cm/sec，發生機率為64.89%。表層流向分佈集中於ENE、NE方位，主要流速分佈區間為0～25cm/sec，發生機率為80.59%。由圖3.59及圖3.60可明顯看出，流向隨著水深的增加而呈現逐漸轉向的趨勢。

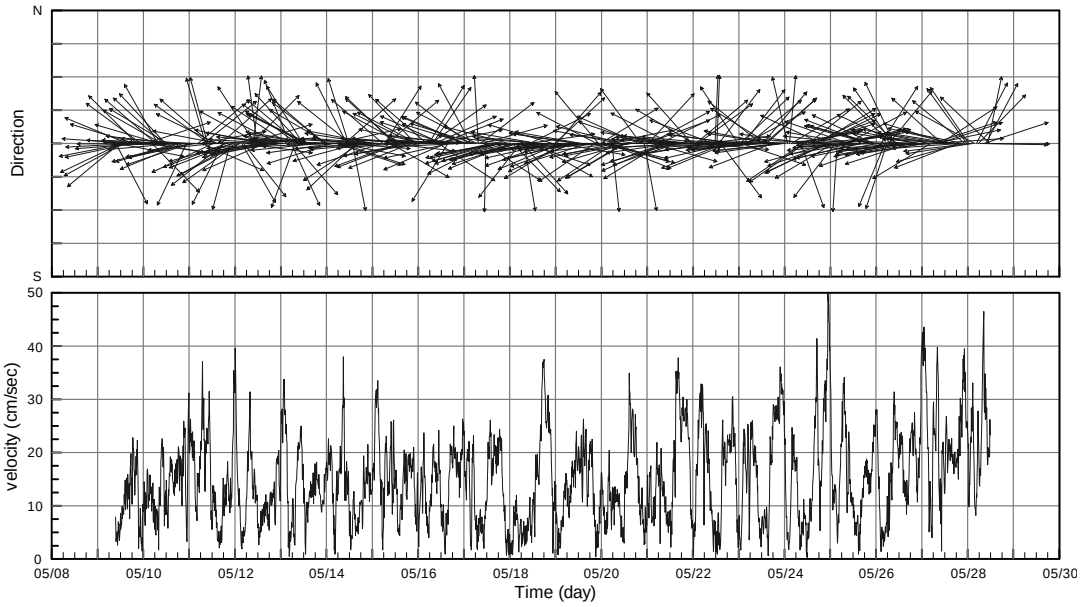


圖 3.55 2013 年 05/09～05/28 底層(水下 15m)流速與流向變化圖

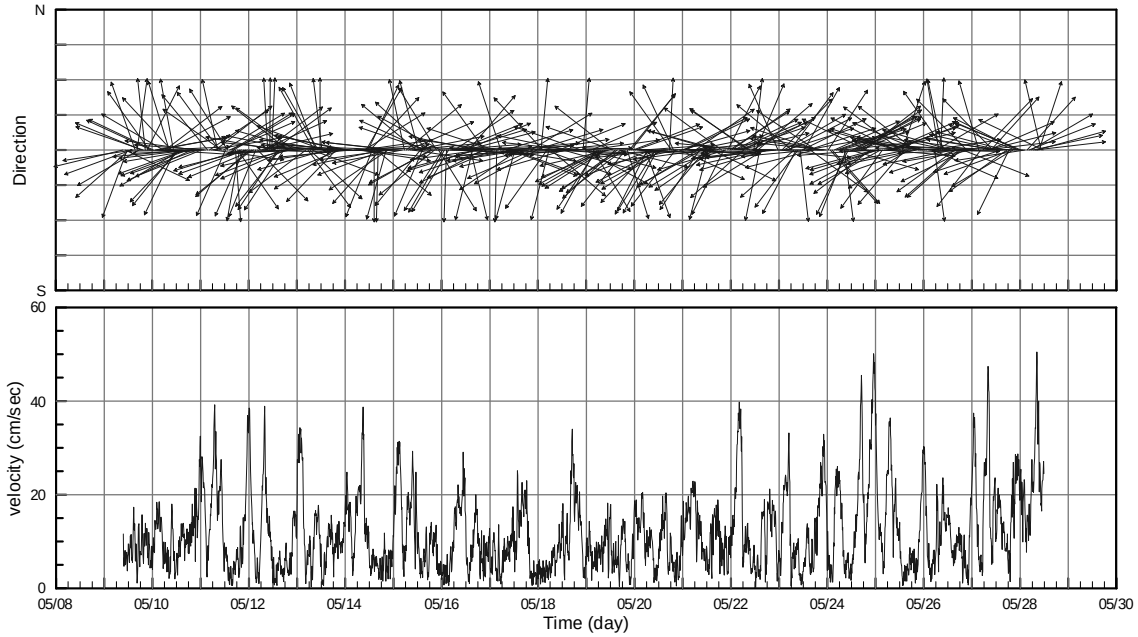


圖 3.56 2013 年 05/09～05/28 中層(水下 11m)流速與流向變化圖

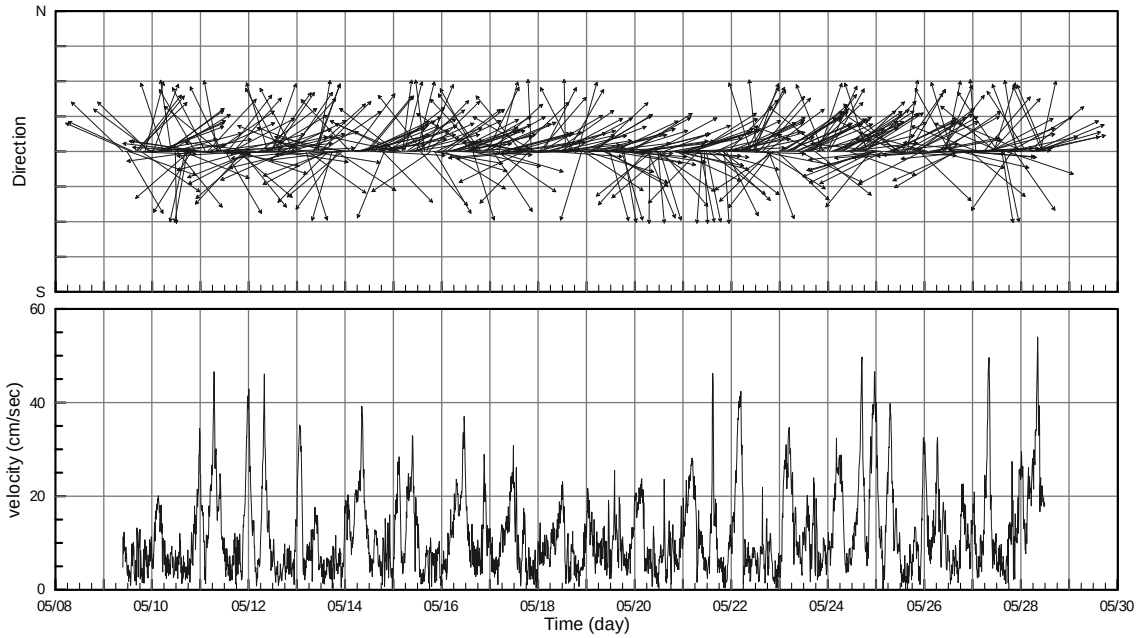


圖 3.57 2013 年 05/09～05/28 中層(水下 6m)流速與流向變化圖

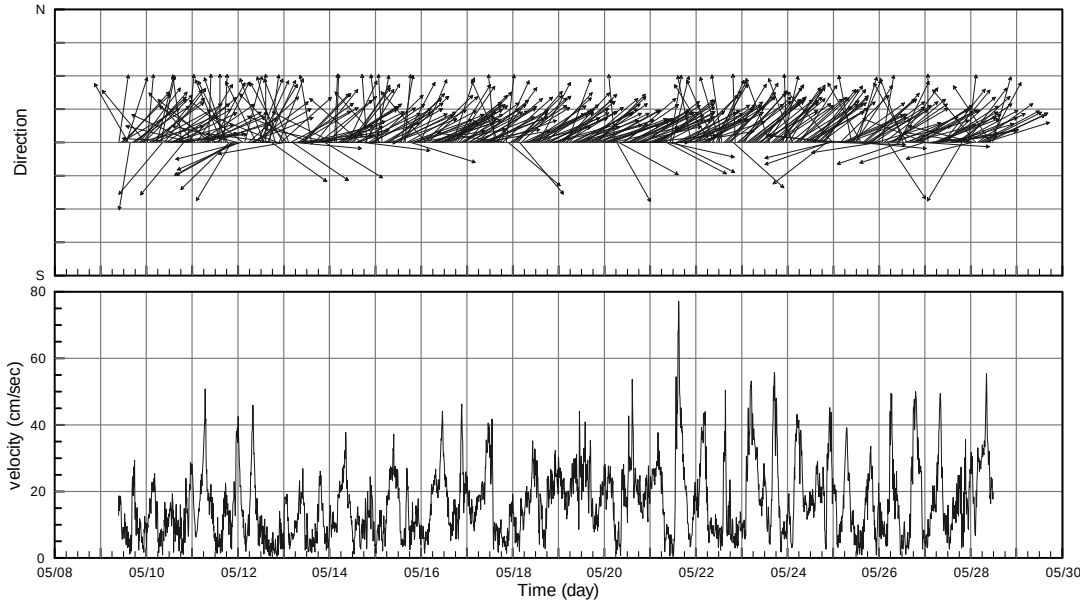
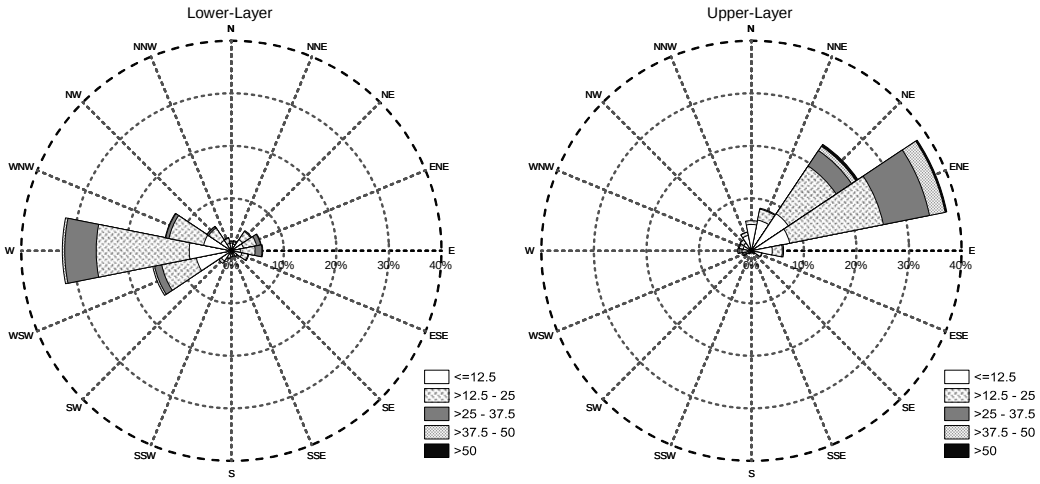
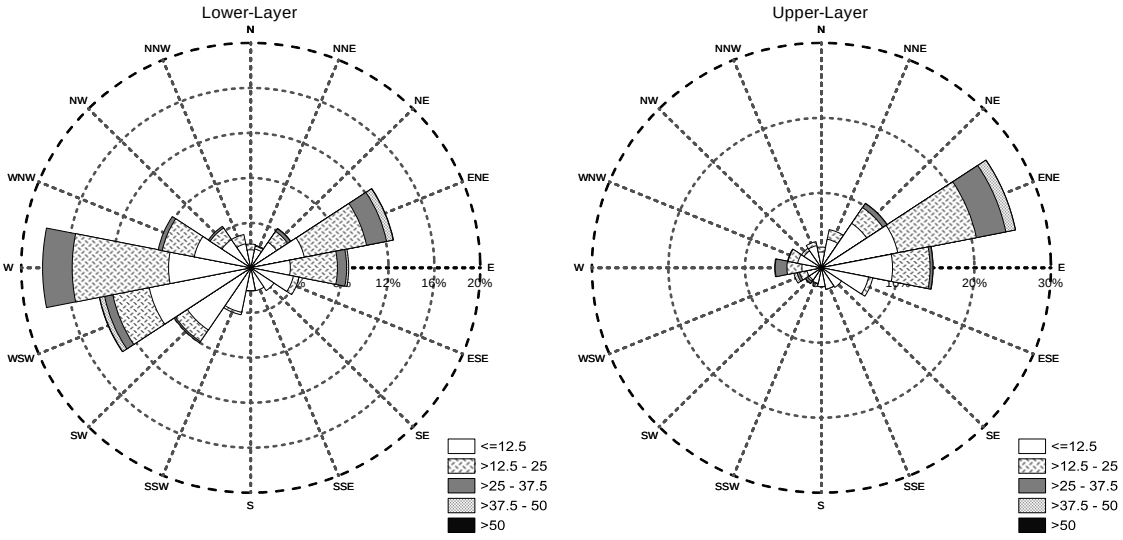


圖 3.58 2013 年 05/09～05/28 表層(水下 2m)流速與流向變化圖



(單位：cm/sec)

圖 3.59 TC 測站，底、表層之海流玫瑰圖



(單位：cm/sec)

圖 3.60 TC 測站，中層(水下 11m、6m)之海流玫瑰圖

表 3.9 TC 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	1.45	0.29	-	-	-	1.74
NNE	1.31	0.47	0.22	-	-	2.00
NE	2.58	1.85	0.18	-	-	4.62
ENE	2.33	2.54	0.80	0.11	-	5.78
E	1.71	2.80	1.31	0.15	-	5.96
ESE	2.04	1.20	0.15	-	-	3.38
SE	1.27	0.07	-	-	-	1.34
SSE	1.05	0.04	-	-	-	1.09
S	1.13	0.04	-	-	-	1.16
SSW	1.45	0.11	-	-	-	1.56
SW	2.33	0.58	-	-	-	2.91
WSW	6.80	6.72	1.38	0.36	-	15.27
W	8.03	17.70	6.00	0.44	-	32.17
WNW	5.38	6.72	0.62	0.11	-	12.83
NW	2.44	2.80	0.33	0.04	-	5.60
NNW	1.45	0.98	0.15	-	-	2.58
發生率(%)	42.75	44.93	11.12	1.20	0.00	100.00

表 3.10 TC 站，中層(水下 11m)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	1.60	0.51	-	-	-	2.11
NNE	1.71	0.25	0.07	-	-	2.04
NE	2.73	1.16	0.29	0.04	-	4.22
ENE	4.76	5.53	1.78	0.58	0.04	12.69
E	3.45	4.11	0.80	0.18	-	8.54
ESE	3.78	0.51	-	-	-	4.29
SE	2.44	-	-	-	-	2.44
SSE	2.07	-	-	-	-	2.07
S	2.04	0.04	-	-	-	2.07
SSW	4.03	0.22	-	-	-	4.25
SW	6.65	1.24	0.15	-	-	8.03
WSW	9.01	3.24	0.73	0.44	0.04	13.45
W	7.16	8.40	2.58	-	-	18.14
WNW	5.02	2.84	0.36	-	-	8.22
NW	3.02	1.24	0.18	-	-	4.43
NNW	2.18	0.84	-	-	-	3.02
發生率(%)	61.65	30.10	6.94	1.24	0.07	100.00

表 3.11 TC 站，中層(水下 6m)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	2.11	0.65	-	-	-	2.76
NNE	3.89	1.31	-	-	-	5.20
NE	7.12	2.54	0.65	0.04	-	10.36
ENE	10.18	10.47	3.93	1.27	0.04	25.88
E	9.31	4.91	0.36	0.04	-	14.61
ESE	6.29	0.55	-	-	-	6.83
SE	3.16	-	-	-	-	3.16
SSE	2.91	0.04	-	-	-	2.94
S	2.51	0.04	-	-	-	2.54
SSW	2.11	0.07	-	-	-	2.18
SW	1.93	0.25	0.33	0.04	-	2.54
WSW	1.93	0.98	0.33	0.44	-	3.67
W	2.54	1.96	1.53	0.07	-	6.11
WNW	3.16	1.27	0.07	-	-	4.51
NW	2.73	0.40	-	-	-	3.13
NNW	3.02	0.55	-	-	-	3.56
發生率(%)	64.89	25.99	7.20	1.89	0.04	100.00

表 3.12 TC 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	5.02	0.73	-	-	-	5.74
NNE	5.96	2.11	0.18	-	-	8.25
NE	8.47	10.94	3.53	1.02	0.44	24.39
ENE	7.42	18.18	8.94	3.05	0.33	37.91
E	3.96	1.93	0.22	-	-	6.11
ESE	1.96	0.11	-	-	-	2.07
SE	0.80	-	-	-	-	0.80
SSE	0.22	-	-	-	-	0.22
S	0.15	-	-	-	-	0.15
SSW	0.33	0.07	-	-	-	0.40
SW	0.65	0.11	-	-	-	0.76
WSW	0.58	0.58	0.40	0.18	-	1.74
W	0.65	1.13	0.62	0.22	-	2.62
WNW	1.60	0.76	0.18	-	-	2.54
NW	1.78	0.80	0.04	-	-	2.62
NNW	2.98	0.62	0.07	-	-	3.67
發生率(%)	42.53	38.06	14.18	4.47	0.76	100.00

(3) 波浪

TC測站的波高及週期時序圖如圖3.61所示，波浪波高與波向分佈統計如表3.13所示，波高與週期分佈統計如表3.14所示，依統計資料繪製的波浪玫瑰圖如圖3.62所示，波高及週期分佈直方圖如圖3.63所示，波高、波向聯合機率分佈如圖3.64所示。

分析結果顯示，主要波向為NNE、W，觀測期間內的示性波高($H_{1/3}$)為67.7cm，對應的示性週期($T_{1/3}$)為4.97sec。以每小時為統計區間，示性波高主要分佈於25～50cm，佔約全體的65.65%，示性週期則集中於4～5sec區間。平均波高(H_{mean})為47.4cm，平均週期(T_{mean}) 4.86sec。最大波高(H_{max})127.0cm，週期(T_{max}) 6.30sec，對應波浪方向為NNE，此記錄發生的時間為5月11日14時。以觀測點位置而言，東南側為防波堤頭，多數的波浪自NNE及W向傳來，此結果亦與研究區域的背景資料相符。

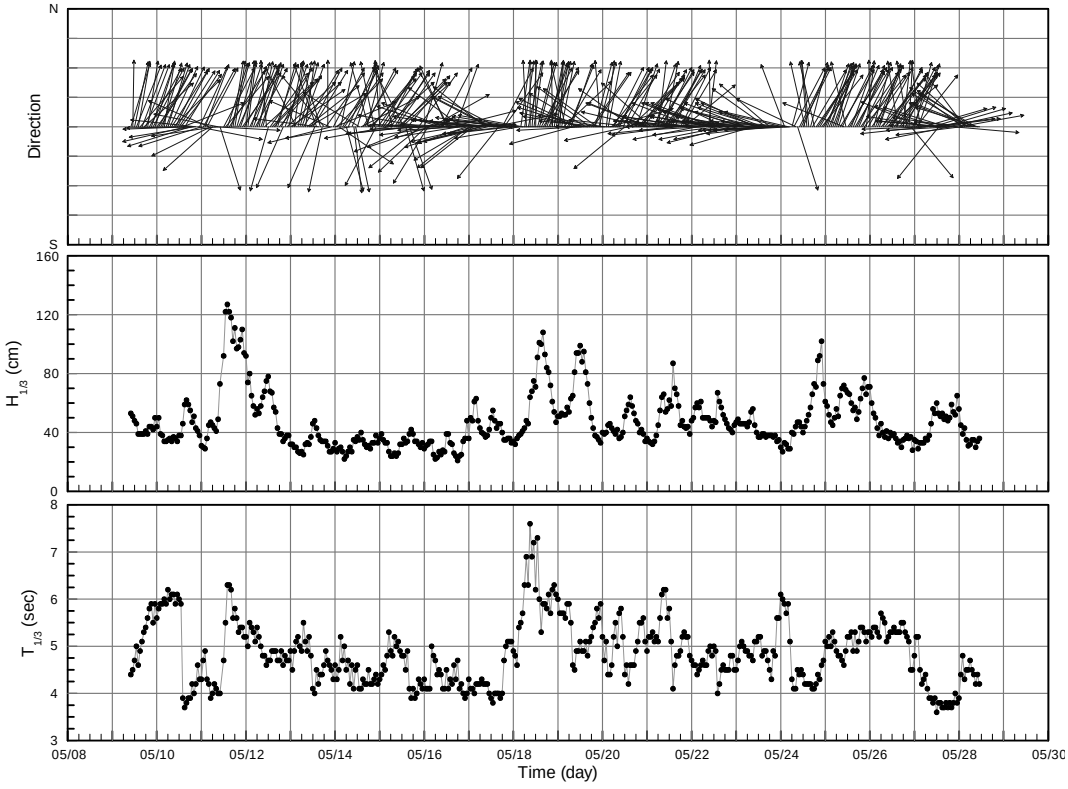


圖 3.61 TC 測站，波向、波高、週期時序列圖

表 3.13 TC 測站，波高、波向聯合機率分佈統計表

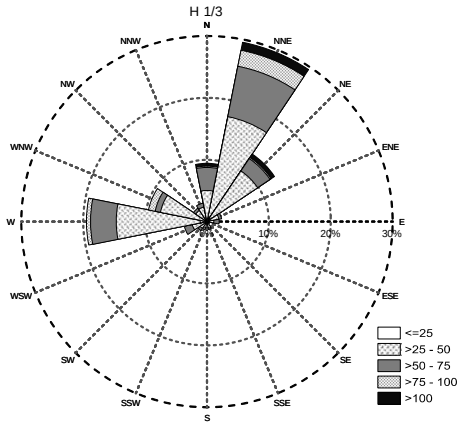
波向	示性波高 (H1/3)																
	~0.2	~0.4	~0.6	~0.8	~1.0	~1.2	~1.4	~1.6	~1.8	~2.0	~2.2	~2.4	~2.6	~2.8	~3.0	3.0~	合計
N	-	3.3	3.3	2.0	0.2	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.2
NNE	-	12.1	10.5	3.3	2.4	0.9	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29.6
NE	-	7.9	2.6	2.0	-	0.4	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13.2
ENE	-	1.3	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.4
E	-	0.7	1.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0
ESE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0
SE	-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4
SSE	-	0.9	0.2	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.3
S	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2
SSW	-	0.9	0.2	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.3
SW	-	0.7	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.8
WSW	-	1.3	1.8	0.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.7
W	-	9.0	8.6	1.3	0.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.5
WNW	-	4.4	3.7	0.4	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.6
NW	-	2.0	0.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.6
NNW	-	2.0	0.7	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.1
合計	0.0	46.9	35.7	10.5	4.4	1.8	0.7	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 (%)

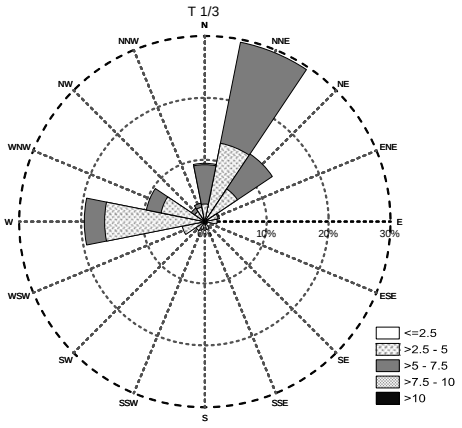
表 3.14 TC 測站，波高、週期聯合機率統分佈計表

週期	示性波高 (H1/3)																
	~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	-	1.3	7.2	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.6
~5	-	29.1	16.8	5.0	2.0	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53.2
~6	-	15.3	10.3	3.1	2.0	1.3	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32.2
~7	-	1.1	1.3	1.1	0.2	0.2	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.4
~8	-	-	-	0.4	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.7
~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	0.0	46.8	35.7	10.7	4.4	1.8	0.7	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 3.62 TC 測站，波浪波高、週期玫瑰圖

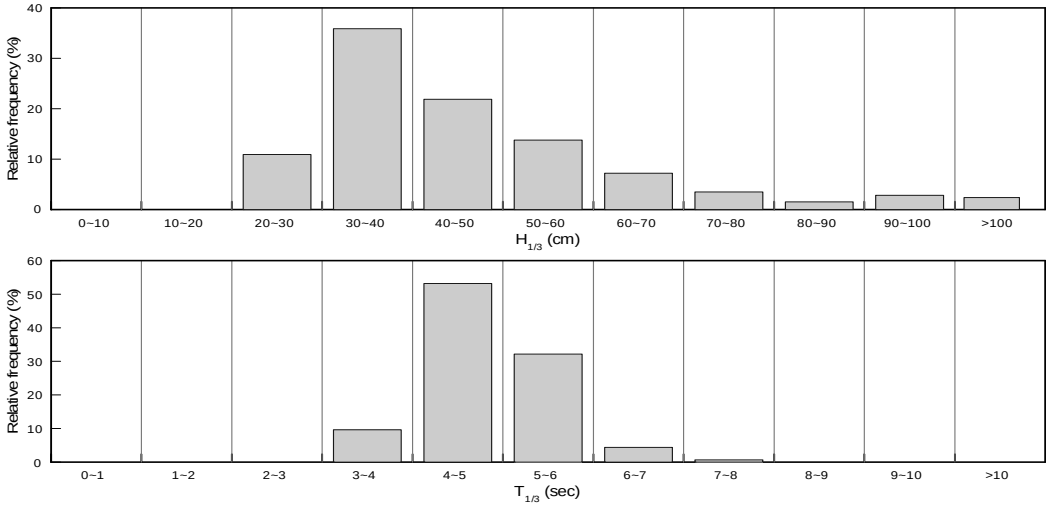
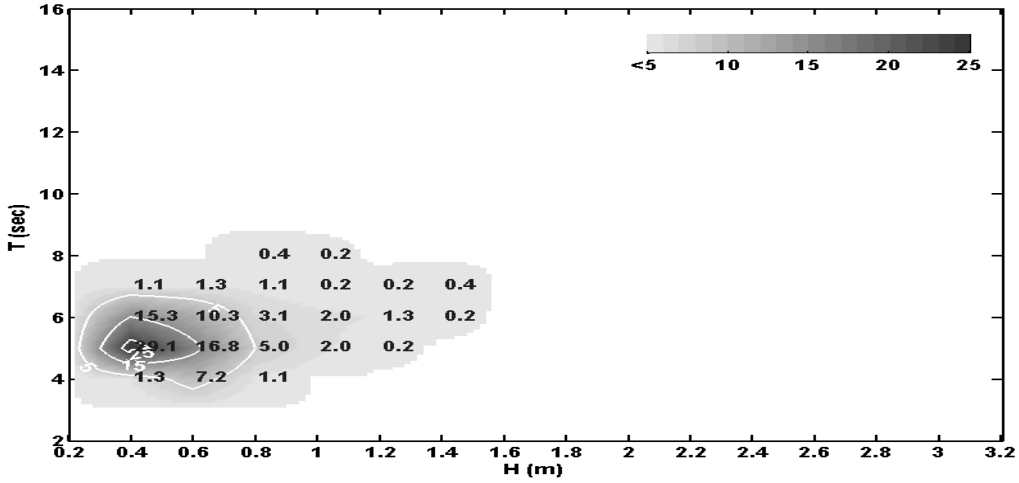


圖 3.63 TC 測站，波高、週期統計直方圖



單位：機率 (%)

圖 3.64 TC 測站，示性波高、週期聯合機率分佈圖

2. 麥寮港測區

(1) 潮汐

ML測站的水位時序變化繪圖如圖3.65所示。施測時間為2013年5/10～5/29，共20日。調查期間的平均水深為7.908m。5月26日11時，記錄最大水深9.632m，5月27日18時記錄最小水深5.723m，最大潮差3.896m。漲退潮的流向統計結果如圖3.66所示。退停潮開始之漲潮段，流向即持續維持N向，全調查記錄漲潮段，N向所佔發生機率超過70%，S、SSE向合計約佔10%。退潮時段，流向迅速由北轉向南，其中又以SSE向為主，有接近45%的海流流向為SSE，S向易佔有30%的發生機率。

調合分析顯示，主要分潮為M2，振幅為1.255m，次要分潮K1，振幅0.282m，依照分潮振幅大小排序，前15個分潮成份之參數如表3.15所示。因M2為最主要成分，潮汐型態應屬於半日潮形。而法國潮型因子F_f值為0.31，美國潮型因子F_a值0.37，指數分類亦屬半日潮型

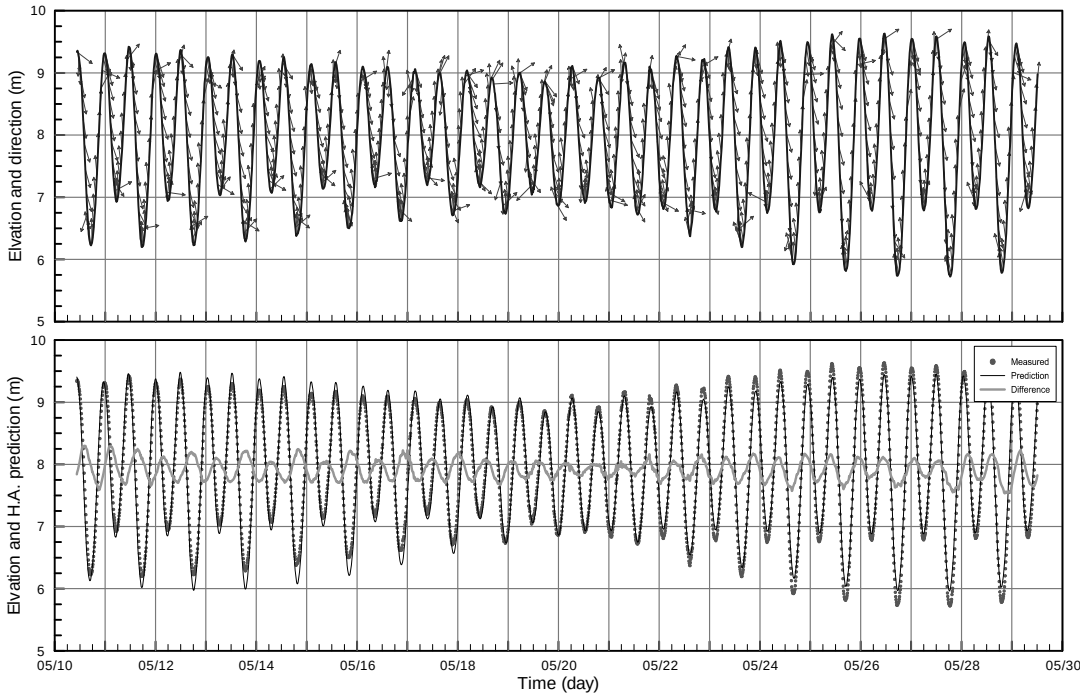


圖 3.65 ML 測站，2013 年 05/10～05/29 實測與預報水位變化圖

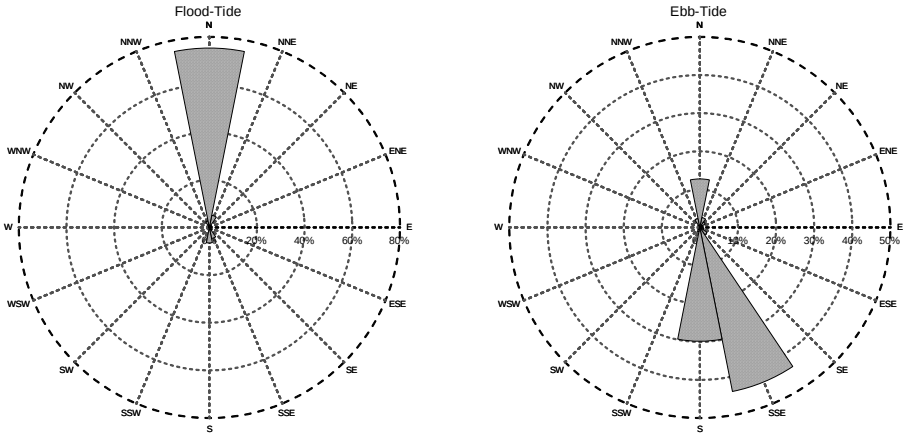


圖 3.66 ML 測站，2013 年 05/10～05/29 漲、退潮段流向玫瑰圖

表 3.15 ML 站，潮位調合分析主要分潮參數

序別	分潮	角頻率(o/hr)	振幅(m)	遲角(deg)
1	M2	28.9841042	1.2549245	305.0720650
2	K1	15.0410686	0.2823779	249.3324854
3	S2	30.0000000	0.2467174	4.5601185
4	O1	13.9430356	0.1781070	237.1659730
5	M4	57.9682085	0.0324657	289.1072262
6	MSF	1.0158958	0.0260670	212.2414632
7	MS4	58.9841042	0.0153235	346.4999898
8	M6	86.9523127	0.0123307	93.9144691
9	2MS6	87.9682085	0.0112143	154.0198717
10	2MK5	73.0092771	0.0092883	174.1800458
11	M8	115.9364170	0.0051293	40.2794108
12	SK3	45.0410686	0.0050950	356.8958256
13	S4	60.0000000	0.0045448	111.9231136
14	3MK7	101.9933814	0.0039714	77.3886730
15	2SM6	88.9841042	0.0032891	334.1512647

(2) 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0.75m，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3.67、圖3.68所示。

依觀測水深不同而分別統計，ML測站底層平均流速為38.3cm/s，主要流向為N，此流向中測得流速最大值為108.3cm/s，發生於5月27日20時。資料記錄中，流速最大值同樣為5月27日20時測得之N向108.3cm/s。而ML測站表層平均流速為44.7cm/s，主要流向也是為N向，此流向中測得流速最大值為121.8cm/s，發生於05月26日19時，此一記錄同樣屬於所有表層流向資料中之最大值。

ML測站之海流流速記錄具有明顯的週期性，其與潮汐水位的起伏呈現明顯的關係。而依據過往調查與分析結果，此海域的海流成份多屬潮流所致。例如，海流速度在5/17~5/21之間，具有變小的況態，對照圖3.58中，潮汐振幅的變化，亦注意到5月17日到5月21日間，呈現起伏之幅度縮小。說明麥寮港海域的海流成份中潮流所佔有之重要性。

海流點位實測資料之底、表層統計資料如表3.16與表3.17，而統計資料玫瑰圖如圖3.69所示。ML測點的底層流向分佈集中於N、SSE方位，主要流速分佈區間為大於37.5cm/sec，發生機率為50.46%。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60.28%。表層海流稍較底層的流速為快，約有17%的差異值。雖然底、表層的流向分佈差別不大，但仍可觀察到底層的海流發生機率在NNW向略有增加，增幅略小總體發生機率的3%。

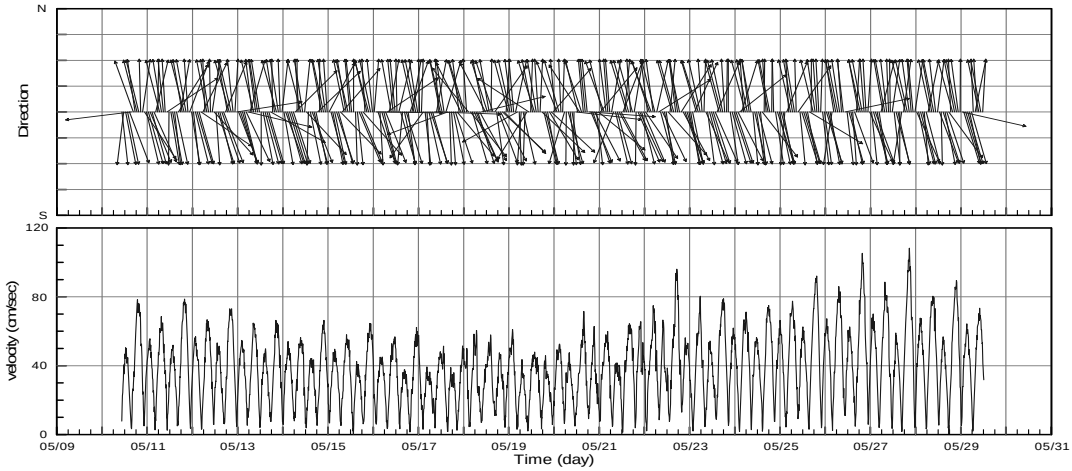


圖 3.67 ML 測站，2013 年 05/10～05/29 底層流速與流向變化圖

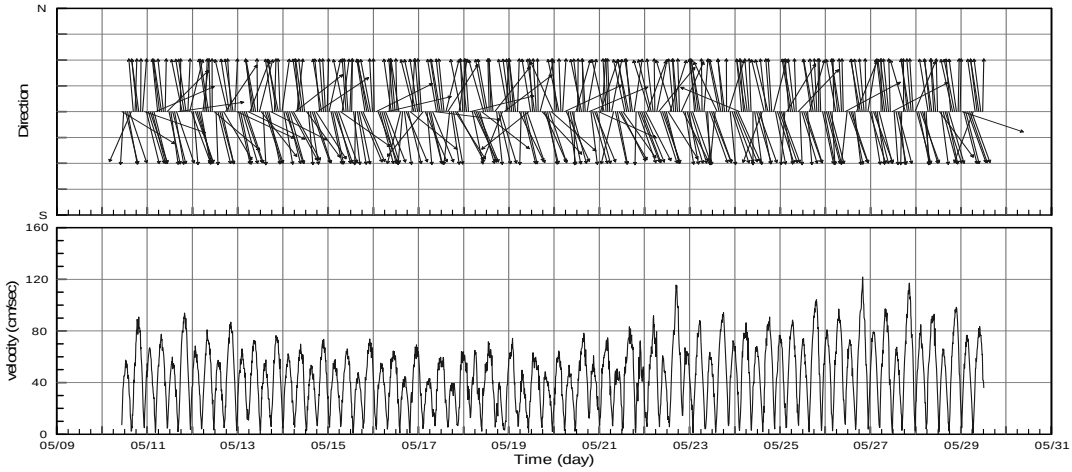
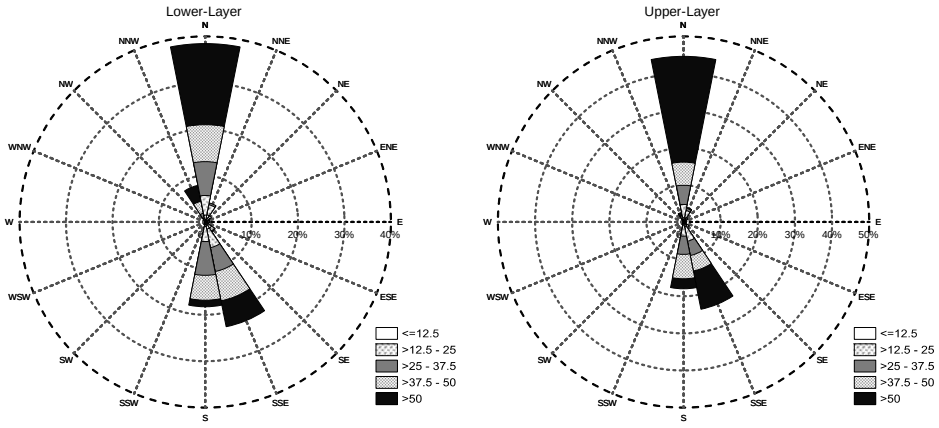


圖 3.68 ML 測站，2013 年 05/10～05/29 表層流速與流向變化圖



(單位：cm/sec)

圖 3.69 ML 測站，底、表層之海流玫瑰圖

表 3.16 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	1.46	4.26	7.28	7.97	17.47	38.44
NNE	1.57	2.22	0.40	-	-	4.19
NE	1.16	0.44	-	-	-	1.60
ENE	0.80	0.15	-	-	-	0.95
E	0.95	0.07	-	-	-	1.02
ESE	0.62	0.11	-	-	-	0.73
SE	1.60	0.76	0.22	-	-	2.58
SSE	1.57	4.08	5.24	6.44	5.68	23.01
S	0.95	3.28	7.28	5.35	1.42	18.27
SSW	0.36	0.22	-	-	-	0.58
SW	0.11	-	-	-	-	0.11
WSW	0.11	-	-	-	-	0.11
W	0.15	-	-	-	-	0.15
WNW	-	-	-	-	-	0.00
NW	0.15	0.04	0.04	-	-	0.22
NNW	0.33	0.51	1.09	2.62	3.49	8.05
發生率(%)	11.87	16.13	21.55	22.39	28.07	100.00

表 3.17 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	1.16	3.57	5.17	6.22	28.47	44.59
NNE	1.24	1.93	0.58	0.18	0.04	3.97
NE	0.95	0.44	-	-	-	1.38
ENE	0.80	0.15	-	-	-	0.95
E	0.69	0.07	-	-	-	0.76
ESE	0.69	0.11	-	-	-	0.80
SE	1.13	0.73	-	-	-	1.86
SSE	1.38	3.90	3.93	4.26	10.48	23.95
S	0.84	2.99	4.91	6.55	2.69	17.98
SSW	0.51	0.18	0.07	-	-	0.76
SW	0.15	-	-	-	-	0.15
WSW	0.04	-	-	-	-	0.04
W	-	-	-	-	-	0.00
WNW	0.04	-	-	-	-	0.04
NW	0.15	-	-	-	-	0.15
NNW	0.40	0.40	0.44	0.44	0.95	2.62
發生率(%)	10.16	14.45	15.11	17.66	42.63	100.00

(3) 波浪

ML測站的波高及週期時序圖如圖3.70所示，波浪波高與波向分佈統計如表3.18所示，波高與週期分佈統計如表3.19所示，依統計資料繪製的波浪玫瑰圖如圖3.71所示，波高及週期分佈直方圖如圖3.72所示，波高、波向聯合機率分佈如圖3.73所示。

受測站位置影響，東側為陸地與結構物，因此波浪傳來方向以西測為主。分析結果顯示，主要波向為SW、WSW、NW，觀測期間內的示性波高($H_{1/3}$)為51.3cm，對應的示性週期($T_{1/3}$)為4.25sec。以每小時為統計區間，示性波高主要分佈於25～50cm，佔約全體的58.73%，示性週期則集中於4～5sec區間。平均波高(H_{mean})為35.2cm，平均週期(Tmean) 4.33sec。最大波高(H_{max})114.0cm，週期(T_{max}) 4.50sec，對應波浪方向為W，此記錄發生的時間為5月19日11時。

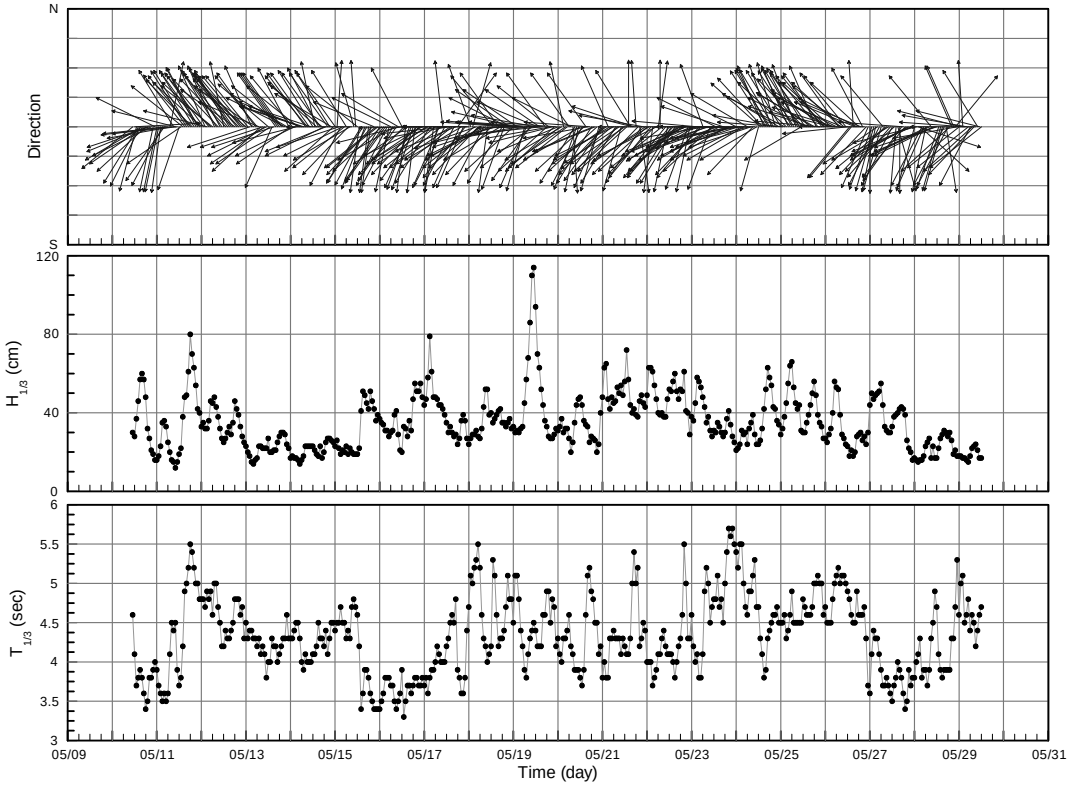


圖 3.70 ML 測站，波向、波高、週期時序列圖

表 3.18 ML 測站，波高、波向聯合機率分佈統計表

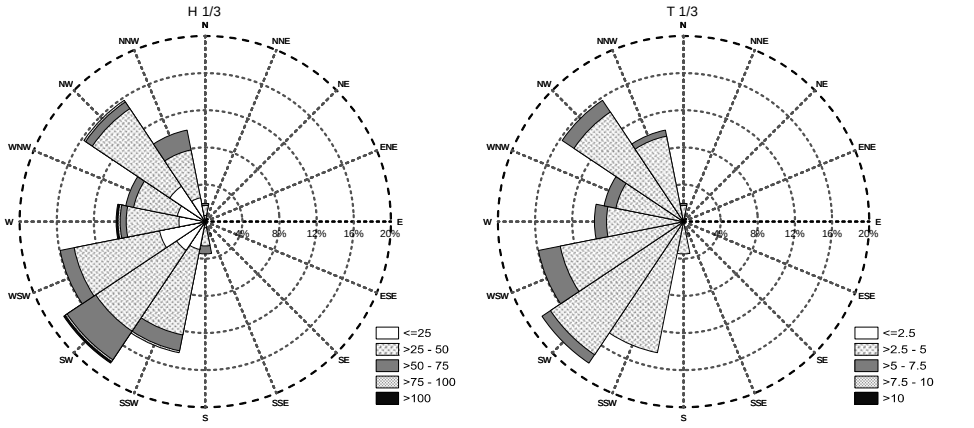
波向	示性波高 (H1/3)																
	~0.2	~0.4	~0.6	~0.8	~1.0	~1.2	~1.4	~1.6	~1.8	~2.0	~2.2	~2.4	~2.6	~2.8	~3.0	3.0~	合計
N	0.7	0.7	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.5
NNE	0.2	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4
NE	-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4
ENE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0
E	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2
ESE	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2
SE	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2
SSE	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2
S	-	1.3	2.0	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.5
SSW	2.2	6.6	5.5	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.5
SW	2.0	9.2	5.7	1.1	0.2	0.2	-	-	-	-	-	2.0	-	-	-	-	18.4
WSW	2.0	10.3	3.3	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16.0
W	1.3	6.1	1.5	0.2	0.2	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.6
WNW	2.0	5.0	1.5	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.8
NW	2.2	10.7	2.0	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15.8
NNW	1.3	3.5	4.4	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.1
合計	14.3	54.6	26.1	4.2	0.4	0.4	0.0	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 3.19 ML 測站，波高、週期聯合機率統分佈計表

週期	示性波高 (H1/3)																
	~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	3.5	14.0	11.6	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30.6
~5	10.3	34.5	13.8	1.5	0.4	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60.9
~6	0.4	6.1	0.9	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.5
~7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0
~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	14.2	54.6	26.2	4.1	0.4	0.4	0.0	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 3.71 ML 測站，波浪波高、週期玫瑰圖

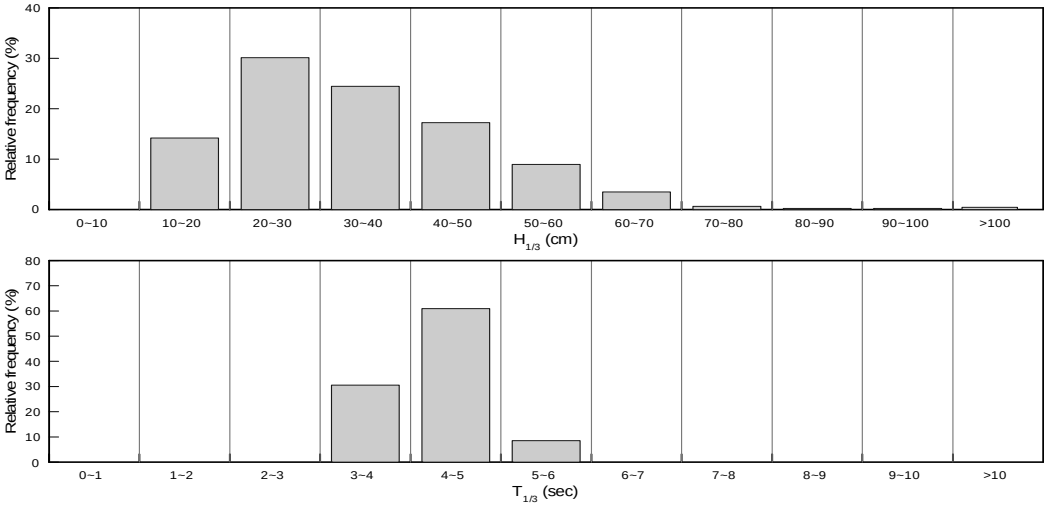
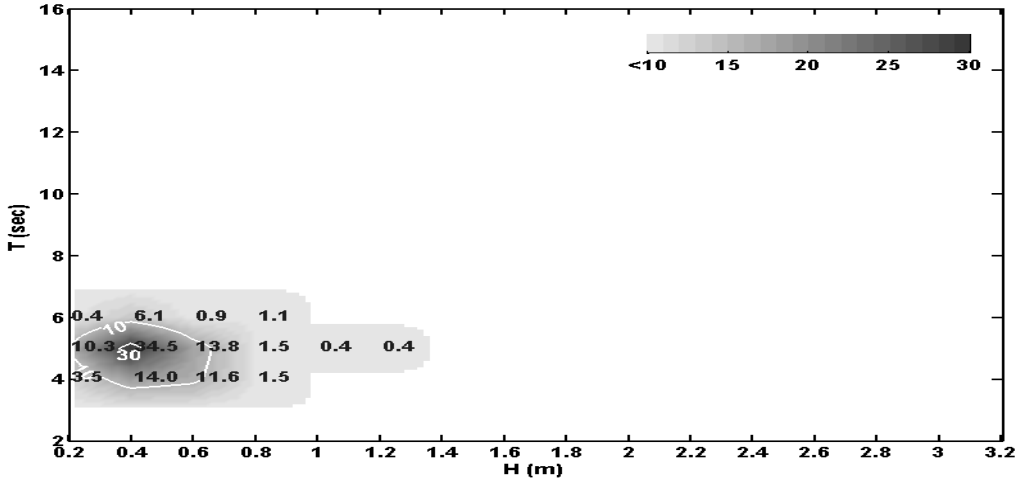


圖 3.72 ML 測站，波高、週期統計直方圖

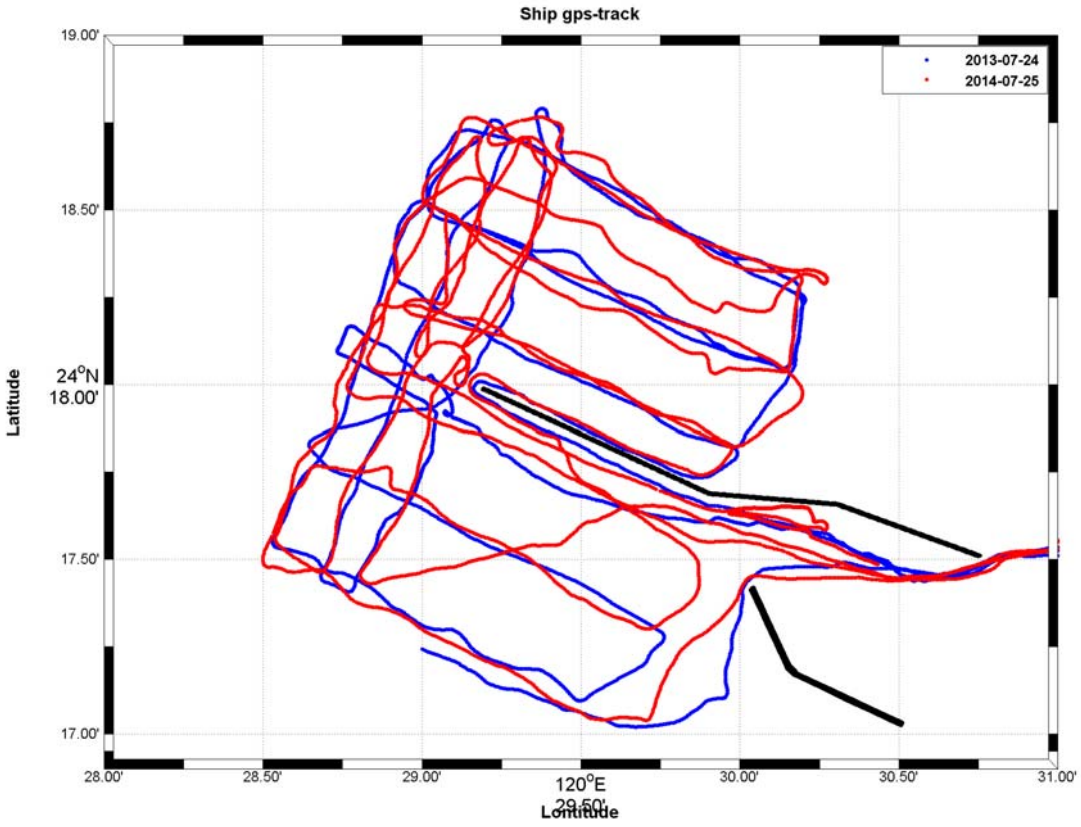


單位：機率 (%)

圖 3.73 ML 測站，示性波高、週期聯合機率分佈圖

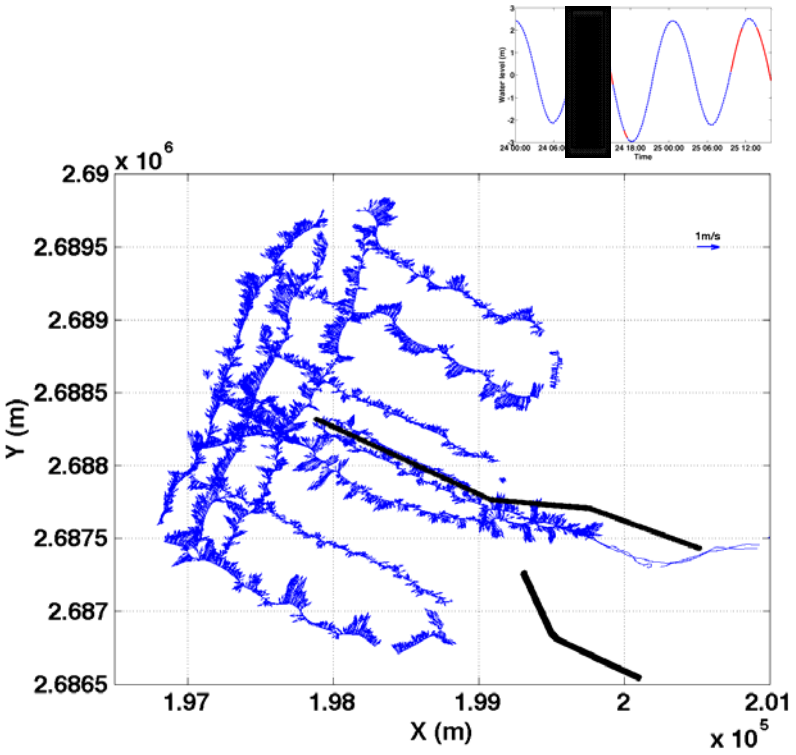
3.3 船載 ADCP 流速資料

根據謙儀企業有限公司承接交通部運輸研究所辦理「102 年臺中港北防波堤附近海象調查作業」計畫內容，其船載 ADCP 之海流流場觀測，分別於 7 月 24 日及 7 月 25 日進行，船隻航行軌跡如圖 3.74 所示。為方便與其他觀測項目進行比較探討，分析表層海流以 ADCP 所量得最接近海面之 5 層流速向量之平均代表，四個不同漲退潮時段之量測成果 C1~C4 所得到表層海流之沿著測線之流速向量繪如圖 3.75 至圖 3.78，對照潮位變化時間將漲潮與退潮時段所測得之流速分開分別繪製出漲潮時段及退潮時段之流場圖如圖 3.79 及圖 3.80。



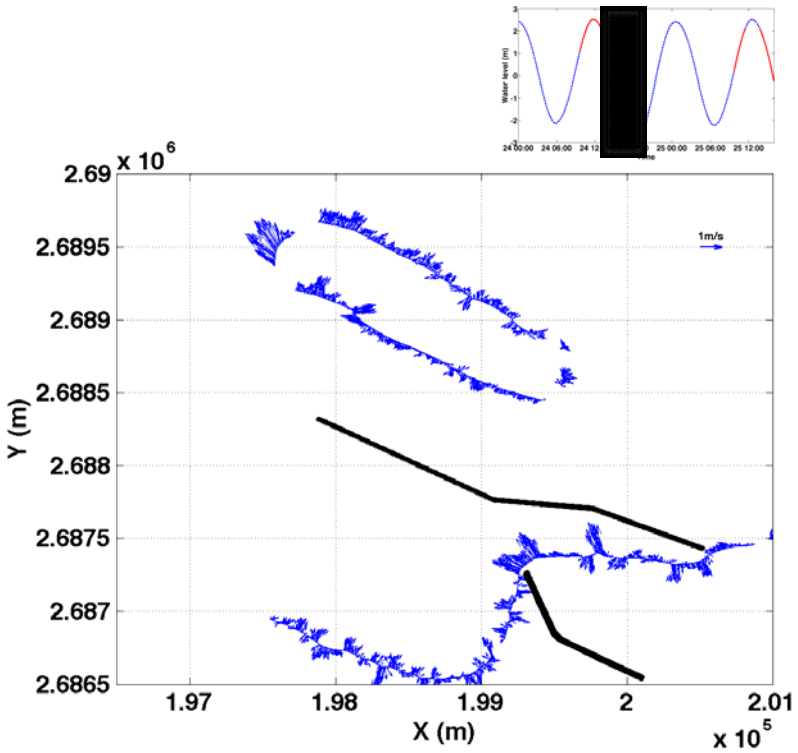
資料來源：「102 年臺中港北防波堤附近海象調查作業」

圖 3.74　船載 ADCP 執行測線作業之實際航行軌跡



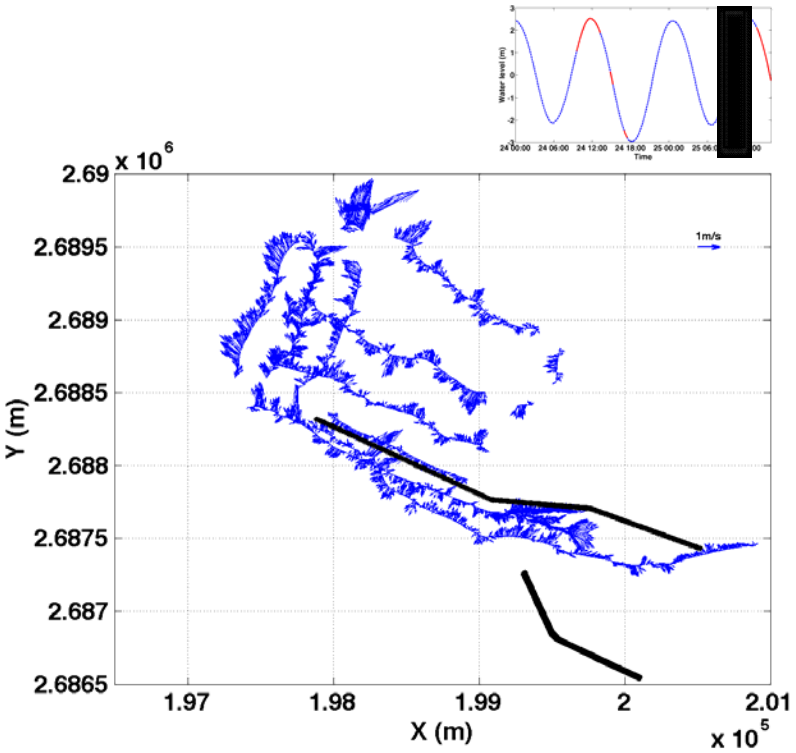
資料來源：「102 年臺中港北防波堤附近海象調查作業」

圖 3.75　時段 C1 之表層海流流速觀測成果



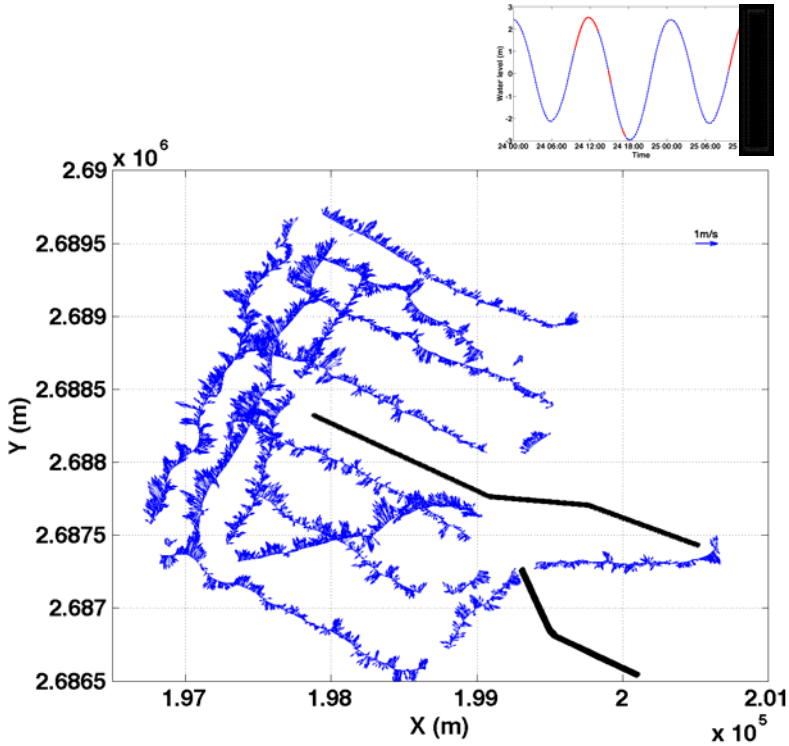
資料來源：「102 年臺中港北防波堤附近海象調查作業」

圖 3.76　時段 C2 之表層海流流速觀測成果



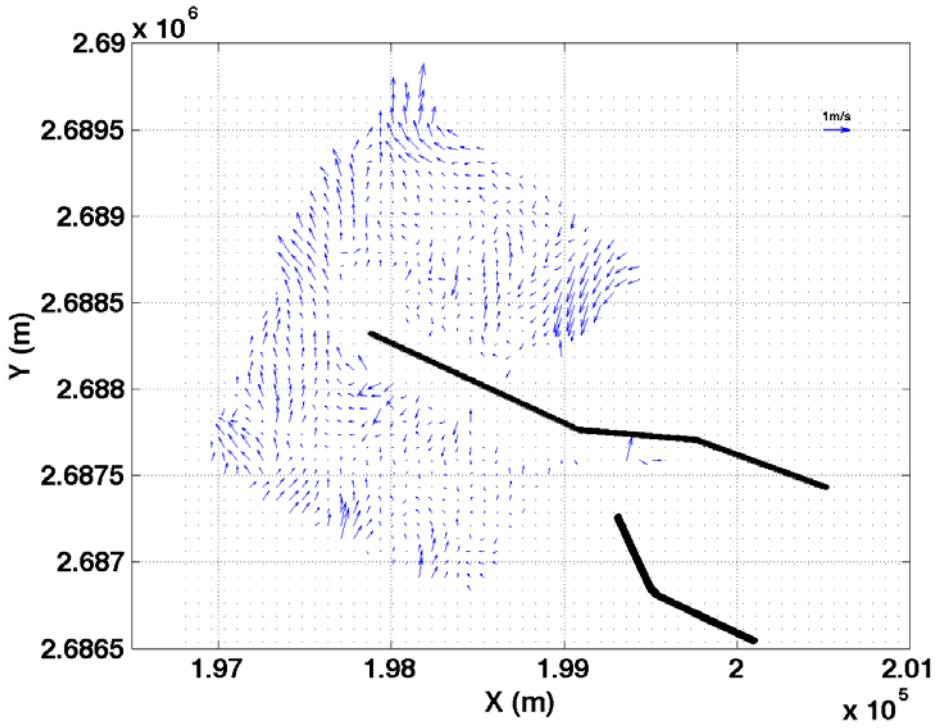
資料來源：「102 年臺中港北防波堤附近海象調查作業」

圖 3.77 時段 C3 之表層海流流速觀測成果



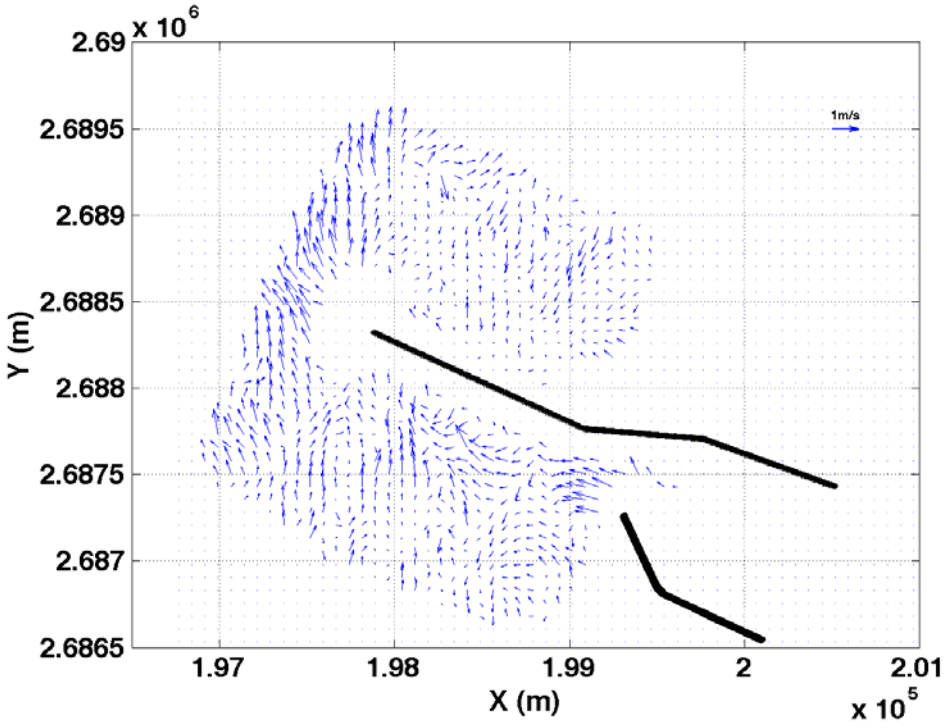
資料來源：「102 年臺中港北防波堤附近海象調查作業」

圖 3.78 時段 C4 之表層海流流速觀測成果



資料來源：「102 年臺中港北防波堤附近海象調查作業」

圖 3.79 漲潮時段之表層海流流場



資料來源：「102 年臺中港北防波堤附近海象調查作業」

圖 3.80 退潮時段之表層海流流場

第四章 建立堤頭侵蝕機制的數值模擬模式

4.1 FLOW-3D 模式介紹

本計畫利用 FLOW-3D 流體數值模型分析軟體,模擬防波堤堤頭鄰近海域波、流場的時空分佈和演變，並導入漂沙模式，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 VOF (Volume of Fluid Method) 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，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、泥沙及波浪等計算模組，FLOW-3D 亦可適用於港灣工程之領域，相關模組如表 4.3 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	預測泥沙等的侵蝕漂浮沉降和沉積的過程
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型的處理
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：

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

動量方程式，在X、Y和Z方向分別表示如下：

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

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

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

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)

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

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)是卡式座標系統或(r, θ, z) 圓柱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。

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

上式中係數υ_ρ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 RSOR 項可用於質量模式穿越孔隙介質表面。

$$R_{SOR} = \frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial}{\partial x}(uA_x) + R\frac{\partial}{\partial y}(vAy) + \frac{\partial}{\partial z}(wAz) + \xi \frac{uA_x}{x}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4\text{-}7)$$

(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*)：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F}\left\{uA_x\frac{\partial u}{\partial x} + vA_y\frac{\partial u}{\partial y} + wA_z\frac{\partial u}{\partial z}\right\} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x} + f_x - b_x - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F}(u - \delta u_s)$$

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

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

……(4-8)

上式中(b_x, b_y, b_z)是通過多孔介質或閘板時減少的流量，$U_s = (u_s, v_s, w_s)$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

$$\rho V_F f_x = wsx - \left\{ \frac{\partial}{\partial x}(A_x \tau_{xx}) + R\frac{\partial}{\partial y}(A_y \tau_{xy}) + \frac{\partial}{\partial z}(A_z \tau_{xz}) + \frac{\xi}{x}(A_x \tau_{xx} - A_y \tau_{yy}) \right\} \quad \ldots$$

……(4-9)

$$\rho V_F f_y = wsy - \left\{ \frac{\partial}{\partial x}(A_x \tau_{xy}) + R\frac{\partial}{\partial y}(A_y \tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial z}(A_z \tau_{yz}) + \frac{\xi}{x}(A_x \tau_{xx} + A_y \tau_{xy}) \right\} \quad \ldots$$

……(4-10)

$$\rho V_F f_z = wsz - \left\{ \frac{\partial}{\partial x}(A_x \tau_{xz}) + R\frac{\partial}{\partial y}(A_y \tau_{yz}) + \frac{\partial}{\partial z}(A_z \tau_{zz}) + \frac{\xi}{x}(A_x \tau_{xz}) \right\} \ldots\ldots(4\text{-}11)$$

上式中 τ_{ij} 代表液體剪應力，下標 i 為作用面，下標 j 為作用方向：

$$\tau_{xx} = -2\mu \left\{ \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{1}{3}\left(\frac{\partial u}{\partial x} + R\frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\xi u}{x} \right) \right\} \ldots\ldots(4\text{-}12)$$

$$\tau_{yy} = -2\mu \left\{ R\frac{\partial v}{\partial y} + \xi\frac{u}{x} - \frac{1}{3}\left(\frac{\partial u}{\partial x} + R\frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\xi u}{x} \right) \right\} \ldots\ldots(4\text{-}13)$$

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

$$\tau_{xy} = -\mu \left\{ \frac{\partial v}{\partial x} + R\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\xi v}{x} \right\}, \quad \tau_{xz} = -\mu \left\{ \frac{\partial u}{\partial z} + R\frac{\partial w}{\partial x} \right\}, \quad \tau_{yz} = -\mu \left\{ \frac{\partial v}{\partial z} + R\frac{\partial w}{\partial y} \right\} \ldots$$

……(4-15)

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：SOR 反覆運算法、線性隱式 ADI 算法和 GMRES（Generalized Minimum RESidual）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）：

$$\frac{u^*_{i,j,k}-u^n_{i,j,k}}{\delta t}=fx^n_{i,j,k}-\left(FUX+FUY+FUZ\right)^n_{i,j,k}-\frac{1}{\rho}\frac{p^*_{i+1,j,k}-p^n_{i,j,k}}{\delta x}$$
$$-\frac{\mu}{\rho}\left(\frac{u^n_{i+1,j,k}-2u^n_{i,j,k}+u^n_{i-1,j,k}}{\delta x^2}+\frac{u^n_{i,j+1,k}-2u^n_{i,j,k}+u^n_{i,j-1,k}}{\delta y^2}+\frac{u^n_{i,j,k+1}-2u^n_{i,j,k}+u^n_{i,j,k-1}}{\delta z^2}\right) \quad (4\text{-}16)$$

$$\frac{u^{n+1}_{i,j,k}-u^*_{i,j,k}}{\delta t}=-\frac{1}{\rho}\frac{p'_{i+1,j,k}-p'_{i,j,k}}{\delta x} \quad \cdots\cdots (4\text{-}17)$$

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(4-16)可獲得中間速度$u^*_{i,j,k}$。其次，將方程(4-17)代入到離散後的連續性方程(4-18)

$$\frac{AFR^{n+1}_{i,j,k}u^{n+1}_{i,j,k}-AFR^{n+1}_{i-1,j,k}u^{n+1}_{i-1,j,k}}{\delta x}+\frac{AFB^{n+1}_{i,j,k}v^{n+1}_{i,j,k}-AFB^{n+1}_{i,j-1,k}v^{n+1}_{i,j-1,k}}{\delta y}+\frac{AFT^{n+1}_{i,j,k}w^{n+1}_{i,j,k}-AFT^{n+1}_{i,j,k-1}w^{n+1}_{i,j,k-1}}{\delta z}=0 \quad \cdots\cdots (4\text{-}18)$$

得到含有壓力修正值的壓力泊松方程(式 5-19)。

$$\nabla \cdot u^* - \frac{\delta t}{\rho} \nabla^2 p' = 0 \quad \text{.....(4-19)}$$

求解方程(4-19)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(4-17)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 的 donor-acceptor 交替共軛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) 底質掏刷模式 (Sediment Scour Model)

a. 模型概述

FLOW-3D 的泥沙沖刷模組主要來預測泥沙的輸沙侵淤過程，這個模型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，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 的底質掏刷模式的物理特性：

(a) 非線性固定床面(Packed bed)的滲透膨脹(Expanded bed)至沙層懸浮(Suspended bed)的過程。

(b) 底移質(Bed load)因重力因素的漂移搬運與沉積。

其漂沙模式之連續方程式與動量方程式各表示為：

$$\nabla \cdot \bar{u} = 0 \quad \text{.....(4-20)}$$

$$\frac{\partial \vec{u}_{s,i}}{\partial t} + \bar{u} \cdot \nabla \vec{u}_{s,i} = -\frac{1}{\rho_{s,i}} \nabla P + \bar{F} - \frac{K_i}{f_{s,i} \rho_{s,i}} \vec{u}_{r,i} \quad \text{.....(4-21)}$$

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \cdot \nabla \bar{u} = -\frac{1}{\bar{\rho}} \nabla P + \bar{F} \quad \text{.....(4-22)}$$

$\vec{u}_{s,i}$：沉積物 i 的速度，$\bar{u}$：平均流速，$\rho_{s,i}$：沉積物 i 的密度，K_i：沉積物 i 的拖曳函數 (Drag funtion)。

掏刷模式的假設及流體固體介面變化需引用相關的經驗公式，至於掏刷的速率則可藉由水工模型試驗予以調整。

模式中用以決定底床漂沙特性的參數有：臨界徐爾滋數 (critical Shields number)、臨界剪應力 (critical shear stress)、底質粒徑 (average particle diameter)、底質密度 (density of the sediment particle)、安息角 (angle of repose)、阻力係數 (sediment drag factor)、底質體積分率 (cohesive sediment fraction, ; critical sediment fraction) 及掏蝕經驗參數 (rate of erosion) 等。基本條件式可表示為

$$D_f = \frac{D_s \cdot \rho}{18\mu}, \qquad V_l = \vartheta\sqrt{\frac{\tau - \tau_c}{\rho}}, \qquad \tau_c = \theta_c \cdot D_s \cdot g\left(\rho_s - \rho\right)$$

其中 D_f 代表沉降係數，V_l 代表浮升速度，而τ則是代表顆粒表面剪應力。當底質體積分率大於、等於臨界值 (Sf_c) 時，底質視為最密堆積的狀態。反之，底質體積分率小於臨界值時，其漂沙密度則以 $Sf_c \times \rho_s$ 計算。

b. 紊流模型與選擇

紊流模型的好壞決定了沖刷模組的成敗，FLOW-3D 中包含五種紊流模型，分別是混合長度模型、單一方程模型、標準κ-ε模型、雷諾平均(*RNG* κ-ε)模型和大渦模擬（Large eddy simulation）。前四種模型需要設置紊流參數，大渦模擬模型雖然不需要設置紊流參數，但是它主要適用於三維數學模型，而且對網格尺寸的要求非常高。FLOW-3D 泥沙沖刷模組適用所有的紊流模型，但一般建議使用 *RNG* κ-ε紊流模型，因為 *RNG* κ-ε紊流模適合模擬劇烈變形的底層邊界。*RNG* κ-ε紊流模型方程式：

$$\frac{\partial k_T}{\partial t} + \frac{1}{V_F}\left\{uA_x\frac{\partial k_T}{\partial x} + uA_y\frac{\partial k_T}{\partial y} + uA_z\frac{\partial k_T}{\partial z}\right\} = P_T + G_T + Diff_{k_T} - \varepsilon_T \qquad \text{……(4-23)}$$

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

……(4-24)

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，ε_T 為紊流動能耗散率。P_T 和 G_T 的運算式如下：

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

……(4-25)

$$Diff_{k_T} = \frac{1}{V_F}\left\{\frac{\partial}{\partial x}\left(v_k A_x\frac{\partial k_T}{\partial x}\right)+R\frac{\partial}{\partial y}\left(v_k A_y\frac{\partial k_T}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(v_k A_z\frac{\partial k_T}{\partial z}\right)+\xi\frac{v_k A_x k_T}{x}\right\} \quad \text{…(4-26)}$$

$$Diff_{\varepsilon} = \frac{1}{V_F}\left\{\frac{\partial}{\partial x}\left(v_\varepsilon A_x\frac{\partial \varepsilon_T}{\partial x}\right)+R\frac{\partial}{\partial y}\left(v_\varepsilon A_y\frac{\partial \varepsilon_T}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(v_\varepsilon A_z\frac{\partial \varepsilon_T}{\partial z}\right)+\xi\frac{v_\varepsilon A_x \varepsilon_T}{x}\right\} \quad \text{…(4-27)}$$

$$v_T = CNU\frac{k_T^2}{\varepsilon_T} \quad \text{……(4-28)}$$

$$\mu = \rho\left(v+v_T\right) \quad \text{……(4-29)}$$

其中，v_T 為運動粘滯係數，μ 為動力粘滯係數。在直角坐標系中，$R=1$，$\xi=0$。CSPRO 為紊流參數，預設值為 0。

選擇紊流模型(one equation, two equation, 或 *RNG* κ-ε model)，不建議使用 dynamically computed maximum turbulent mixing length model，因為該模型顯示，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* κ-ε紊流模型中為了控制紊流能耗散率(式 5-30)，ε_T 模型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。進行底床沖刷預測數值模擬時，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 $50\times0.07=3.5$ 。

$$\varepsilon_T = CNU\sqrt{\frac{3}{2}}\frac{k_T^{3/2}}{TLEN} \quad \text{.....(4-30)}$$

CNU 紊流黏度預估係數，預設值為 0.09。

在 *RNG* κ-ε紊流模型求解式（5-24）中的ε_T值時，如果小於式（5-30）的計算值，則程式將式（5-24）的計算值作為ε_T的值。*RNG* κ-ε紊流模型中引入的各個參數 CNU、v_k 、v_ε 、CDIS1 和 CDIS2 均為常數，其值見表 4.2。

表 4.2 *RNG* κ-ε**紊流模型系數值**

係數項	CNU	v_k	v_ε	CDIS1	CDIS2
數值	0.085	1.39	1.39	1.42	1.92

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

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+C_c\frac{\partial Q}{\partial x}=0 \quad \text{.....(4-31)}$$

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. 造波邊界與水位邊界

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 4.1 表示 Stokes 5 階造波由平底水槽傳播至計算領域的邊界網格。

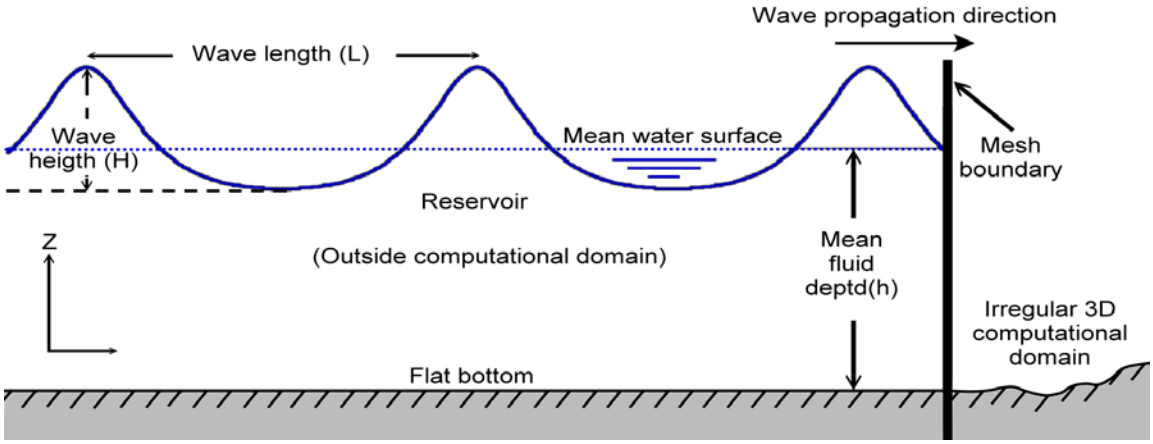


圖 4.1 Stokes 5 階造波邊界示意圖

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 η 隨時間變化，並沿著+z 從底部量至水面，波角頻率 ω 和波速度 c 關係式如(4-32)所示。

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = ck, \quad c = \frac{L}{T}, \quad k = \frac{2\pi}{L} \qquad \text{.....(4-32)}$$

其中k代表造波數、ω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ψ存在且滿足拉普拉斯方程理論

$$\nabla^2\psi = 0 \qquad \text{.....(4-33)}$$

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

$$u = \frac{\partial\psi}{\partial x}, \; v = \frac{\partial\psi}{\partial z} \qquad \text{.....(4-34)}$$

進一步的假設波峰存在(x = 0，t =0)，拉普拉斯控制方程式ψ，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 ε 五階解如下：

$$\eta(x,t) = d + \frac{\varepsilon}{k}\cos kX + \frac{\varepsilon^2}{k}B_{22}\cos 2kX + \frac{\varepsilon^3}{k}B_{31}(\cos kX - \cos 3kX)$$
$$+ \frac{\varepsilon^4}{k}(B_{42}\cos 2kX + B_{44}\cos 4kX) \quad \text{.....(4-35)}$$
$$+ \frac{\varepsilon^5}{k}\left[-(B_{53} + \mathrm{B}_{55})\cos kX + B_{53}\cos 3kX + B_{55}\cos 5kX\right]$$

$$u(x,z,t) = U + C_0\left(\frac{g}{k^3}\right)^{1/2}\sum_{i=1}^{5}\varepsilon^i\sum_{j=1}^{i}A_{ij}jk\cosh jkz\cos jkX \quad \text{.....(4-36)}$$

$$w(x,z,t) = C_0\left(\frac{g}{k^3}\right)^{1/2}\sum_{i=1}^{5}\varepsilon^i\sum_{j=1}^{i}A_{ij}jk\sinh jkz\sin jkX \quad \text{.....(4-37)}$$

其中X=x-ct， kX=kx-ωt。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 ε 的四階，波數和波頻相依且滿足非線性方程。

$$\left(\frac{k}{g}\right)^{1/2}U - \frac{\omega}{(gk)^{1/2}} + C_0 + \left(\frac{kH}{2}\right)^2 C_2 + \left(\frac{kH}{2}\right)^4 C_4 = 0 \quad \text{.....(4-38)}$$

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(4-39)式：

$$k = \frac{\alpha + \beta^2\sec h^2\beta}{(\tanh\beta + \beta\sec h^2\beta)d} \quad , \quad \text{.....(4-39)}$$

式中

$$\alpha = \frac{\omega^2 d}{g},\ \beta = \alpha\sqrt{\coth\alpha} \quad \text{.....(4-40)}$$

這個理論同時適用於深水波和淺水波，參數 ε 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型時的彈性。對於不可壓縮、黏性流而言，FAVOR 以下列方程組表示：

$$\nabla\cdot\left(\vec{\vec{A}}\vec{u}\right)=0 \qquad \text{.....(4-41)}$$

$$\frac{\partial\vec{u}}{\partial t}+\frac{1}{V}\left(\vec{\vec{A}}\vec{u}\cdot\nabla\right)\vec{u}=-\frac{1}{\rho}\nabla P+\frac{1}{\rho V}\left(\nabla\vec{A}\right)\cdot\left(\mu\nabla\right)\vec{u}+g \qquad \text{.....(4-42)}$$

其中

$$\vec{\vec{A}}\vec{u}=\left(A_x u_x, A_y u_y, A_z u_z\right) \qquad \text{.....(4-43)}$$

$$\left(\nabla\vec{A}\right)=\left(\frac{\partial}{\partial x}A_x,\frac{\partial}{\partial y}A_y,\frac{\partial}{\partial z}A_z\right) \qquad \text{.....(4-44)}$$

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：

$$\frac{\partial F}{\partial t}+\frac{1}{V_F}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(FA_x u\right)+R\frac{\partial}{\partial y}\left(FA_y v\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(FA_z w\right)+\xi\frac{FA_x u}{x}\right]=F_{DIF}+F_{SOR} \qquad \text{.....(4-45)}$$

$$F_{DIF}=\frac{1}{V_F}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(v_F A_x\frac{\partial F}{\partial x}\right)+R\frac{\partial}{\partial y}\left(v_F A_y\frac{\partial F}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(v_F A_z\frac{\partial F}{\partial z}\right)+\xi\frac{v_F A_x F}{x}\right] \quad \text{.....(4-46)}$$

其中，$v_F = c_F\mu/\rho$ 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。

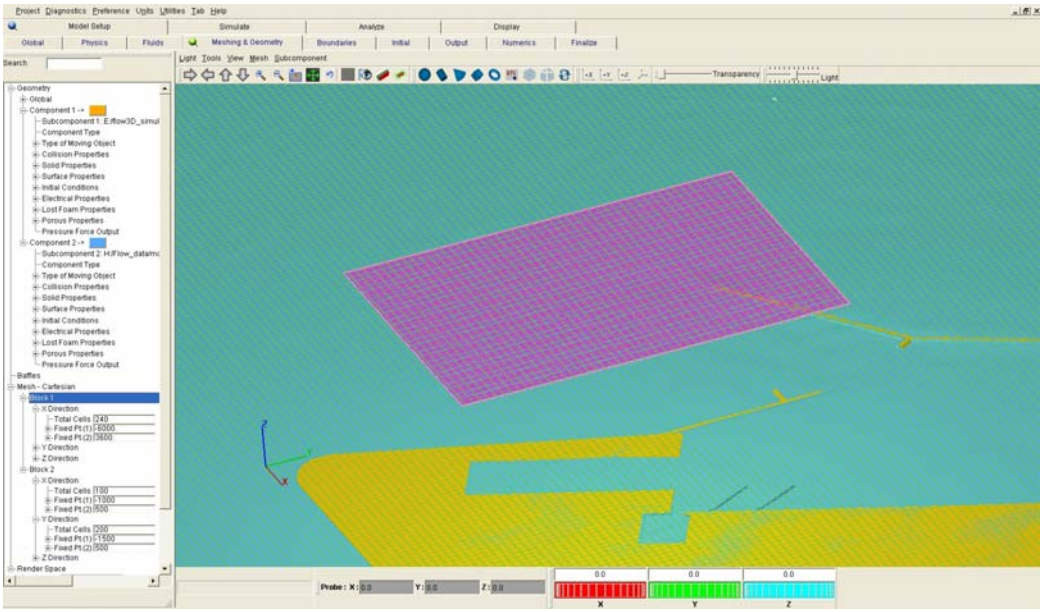


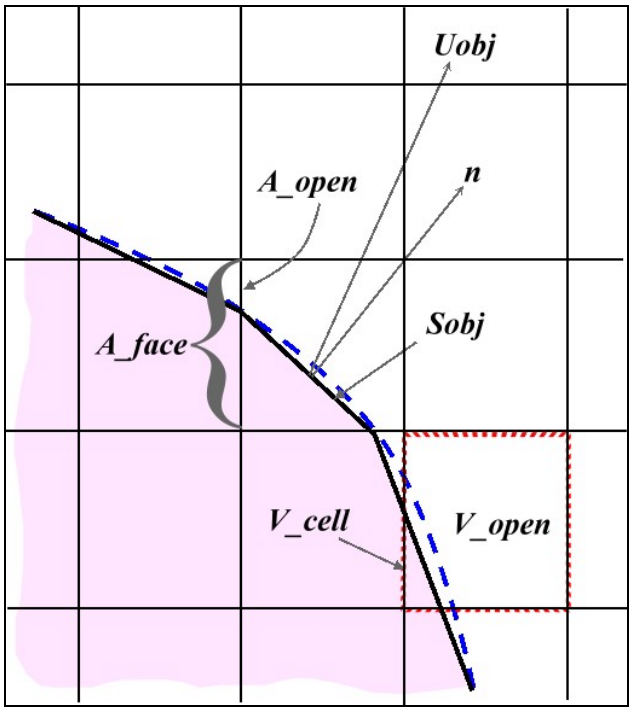
圖 4.2 多區塊結構網格設定示意圖

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，即使模型非常複雜，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4.3。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沖刷的模擬，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 4.3 通度係數 FAVOR 流體界面與自由液面計算示意圖

4.2 防波堤鄰近海域造波數值模擬

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 (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4.4，模擬結果如圖4.5、4.6 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					

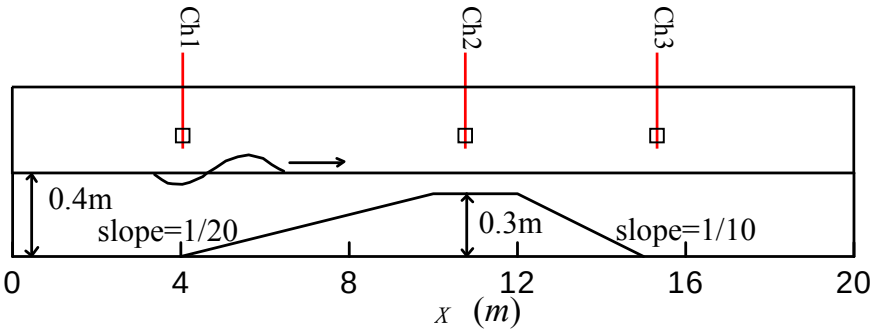


圖 4.4 Beji 等人 (1992) 之試驗佈置圖

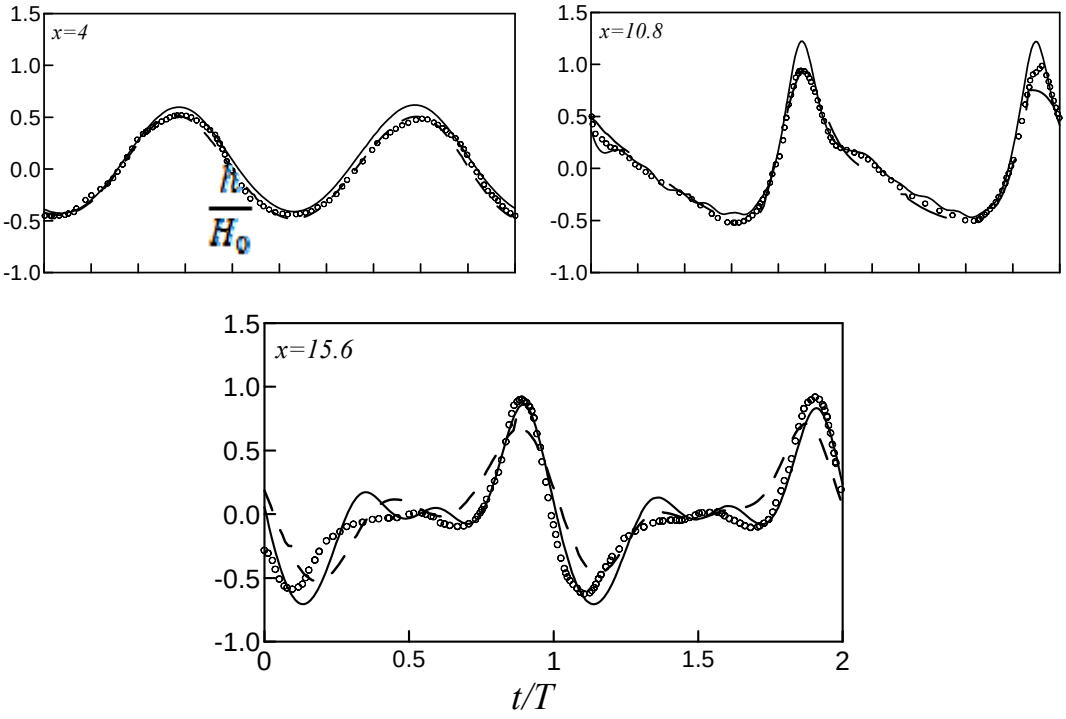


圖 4.5 CASE 1 (—)：陳論文模式；(O)： Beji 等人試驗值；(…) : FLOW 3D 模擬

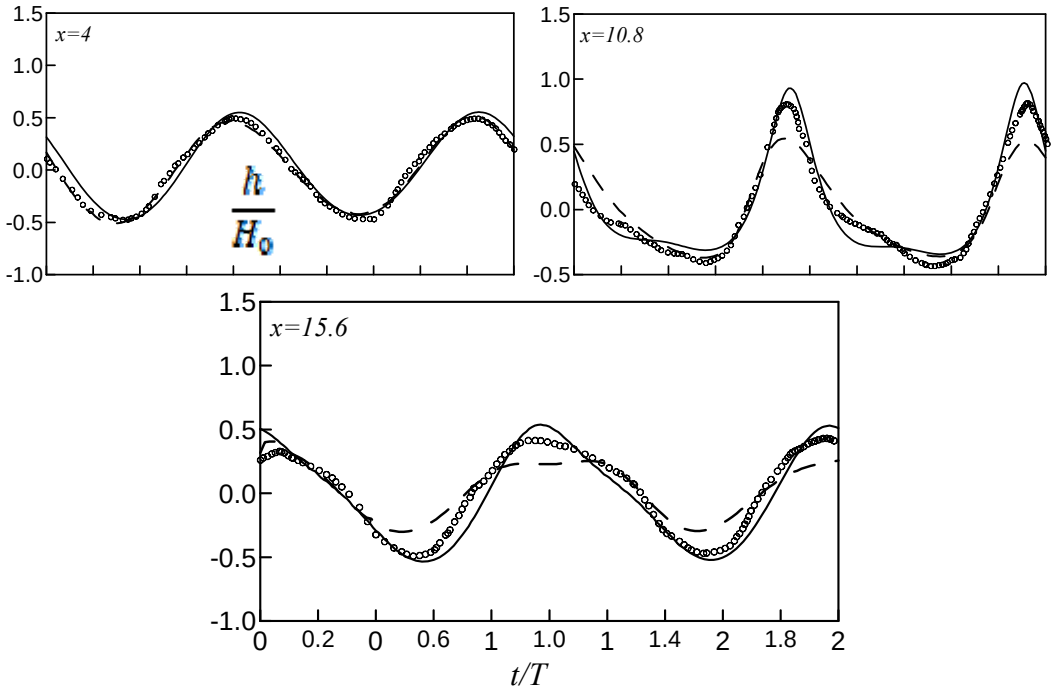


圖 4.6 CASE 2 (—)：陳論文模式；(O)：Beji 等人試驗值；(…) : FLOW 3D 模擬

4.2.2 波堤堤頭波場計算範圍及水深地形

臺中港波場數值模擬以臺中港北防波堤堤頭附近海域並包含南防波堤為計算範圍，如圖4.7所示。防波堤堤頭附近計算範圍為4.3 km × 3.8 km，底床邊界採用附近海域實測地形資料，如圖4.8所示。根據網格獨立性測試結果，垂直入射波向(Δy)網格設定為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1/180波長。

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4.7所示。防波堤堤頭附近計算範圍為2.3 km × 2.6 km，底床邊界採用附近海域實測地形資料，如圖4.8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1/130波長。

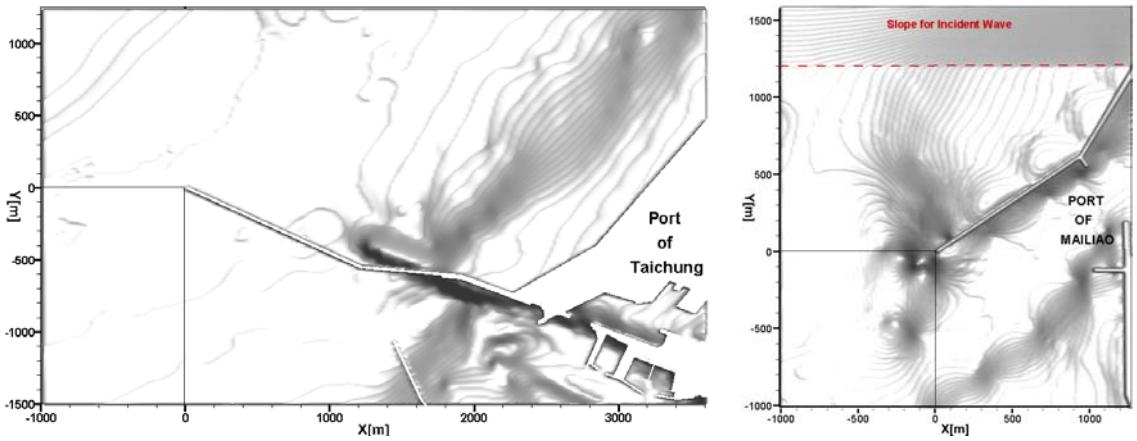


圖 4.7 臺中港與麥寮工業港波場數值模擬海域範圍示意圖

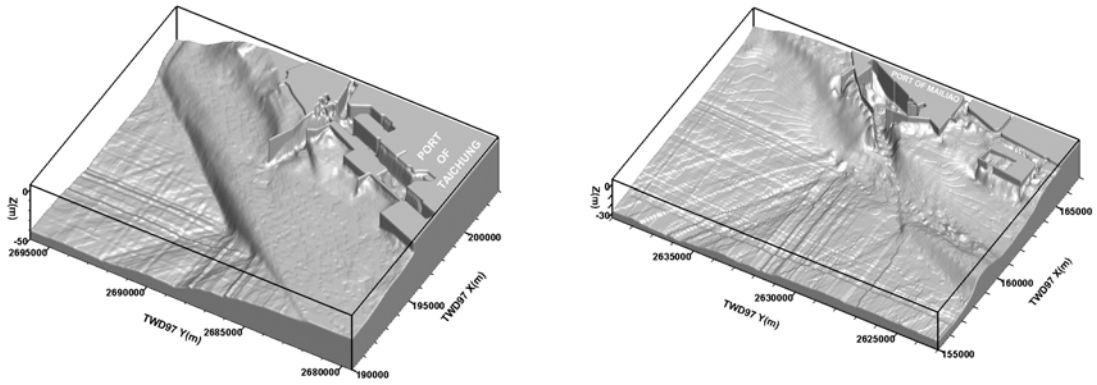


圖 4.8 臺中港與麥寮工業港波流場數值計算領域水深地形模型圖

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；臺中港北防波堤堤頭海域及麥寮工業港西防波堤堤頭海域波場計算案例如表4.3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)	T(週期)	波向	模擬時間
臺中港50年期颱風	7.40m	11.4s	N	27T
臺中港50年期颱風	7.40m	11.4s	W	30T
臺中港夏季平均	1.02m	5.8s	N	27
臺中港夏季最大	7.50m	6.0s	N	27
臺中港冬季平均	2.08m	6.3s	N	27
臺中港冬季最大	6.91m	6.0s	N	27
麥寮港50年期颱風	5.90m	10.2s	N	30T
麥寮50港年期颱風	5.90m	10.2s	W	30T

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1000kg/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0.5m，密度1000kg/m3，入射波高5.9m，造波週期10.2sec，水深依本計畫麥寮工業港附近海域底床地形變化，如圖4.9至圖4.13所示。圖中粒子代號P[T]表示位於自由液面(z=-0.25m)處，P[U]表示位於上水層(z=-10m)處，P[M]表示位於中水層(z=-20m)處，P[L]表示位於下水層(z=-30m)處，P[B]表示位於底床邊界上(z=-39m)處。

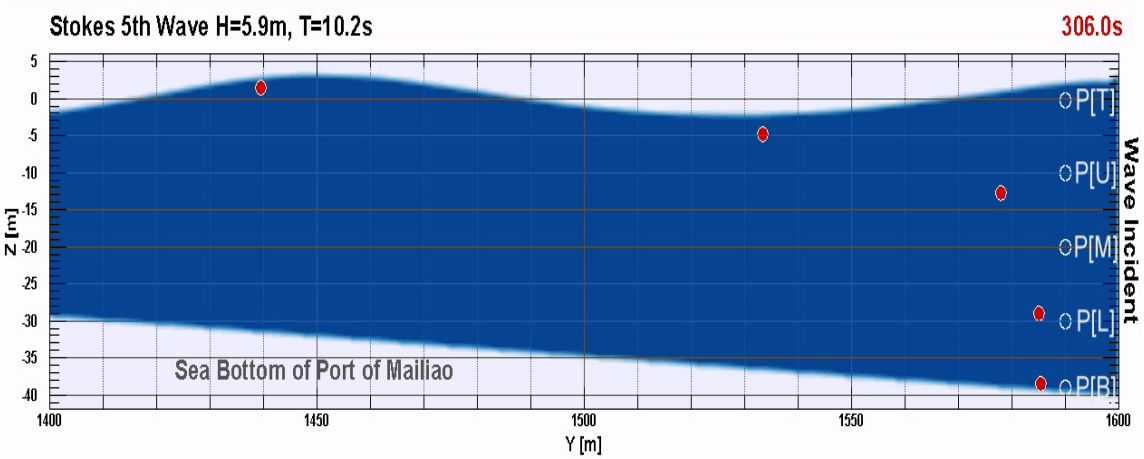


圖4.9 Stokes 5階波場速度剖面水粒子於造波時間306sec之位置圖

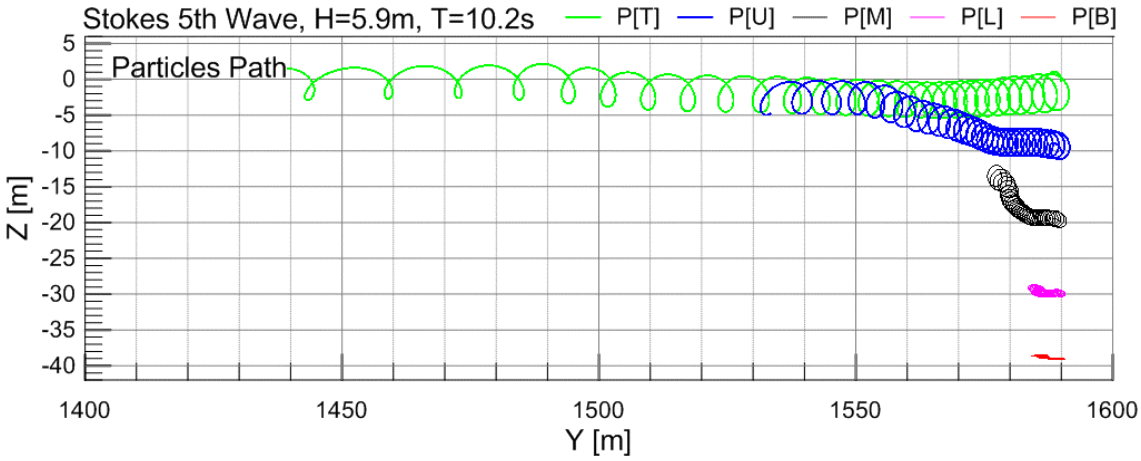


圖 4.10 Stokes 5 階波場速度剖面水粒子運動軌跡圖

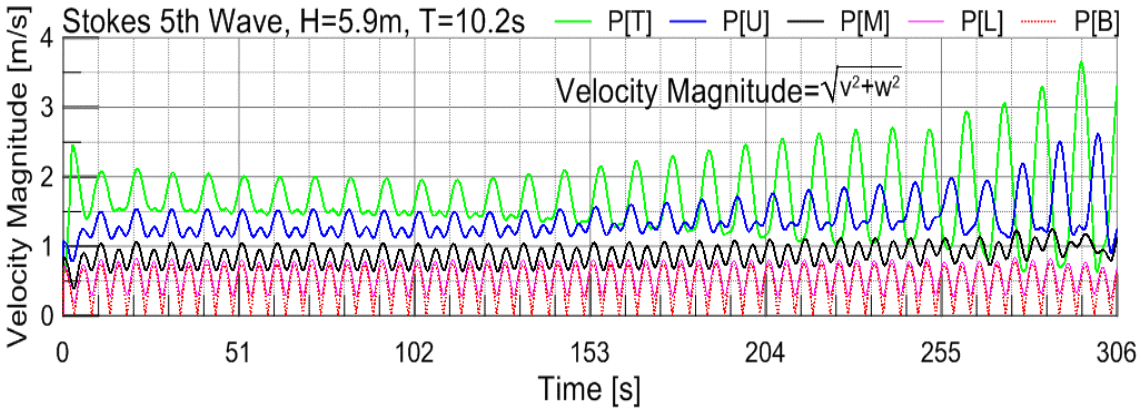


圖 4.11 Stokes 5 階波場速度剖面水粒子運動速度大小之比較

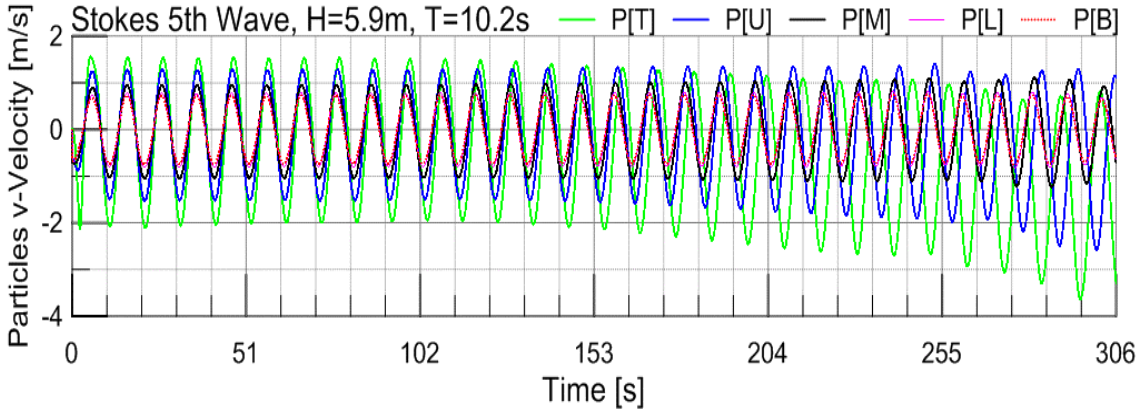


圖 4.12 Stokes 5 階波場速度剖面水粒子波浪傳遞方向運動速度之比較

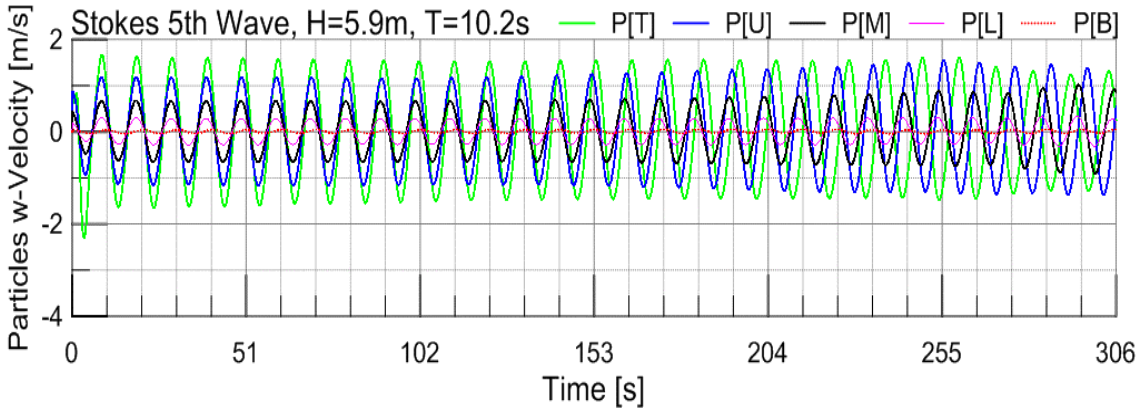


圖 4.13 Stokes 5 階波場速度剖面水粒子波浪垂直運動速度之比較

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，在此為節省篇幅以每3個造波週期(3T)擷取模擬結果繪製水面時序變化如圖4.14至圖4.17 所示。

臺中港北側海域入射波浪的水面時序變化如圖4.14 所示，在此模型中北防波堤由邊界的東側分成三段向西邊偏北方延伸，與海岸線包圍略呈狹灣，北側海域入射波浪進入之後即受到地形的影響，東側近岸區隨即呈現淺化現象，模擬時間經過第9個造波週期時，波浪已傳播抵達堤頭，入射波浪受到防波堤影響而致產生東至東北側海域的反射波，至第12造波週期(12T)時與北側海域入射波、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。需注意的是，為便於觀察小振幅的變化，圖中水位尺度色標設定的限制值為 ±5m 幅度，當計算結果超過 ±5m 時仍以上、下限顏色表示，入、反射波浪疊合後的水位變化已超過此範圍，並非水位變化最大僅達 ±5m 之程度。隨著模擬時間的增加，繞射波浪逐漸進入北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，亦可於第15造波週期(15T)時後清楚地觀察到。比較第18造波週期(18T)時至第24造波週期(24T)時間變化，除北防波堤南側繞射波浪持續向東傳遞之外，各波峰線與短峰波峰點所在位置與水位高程已接近穩定。

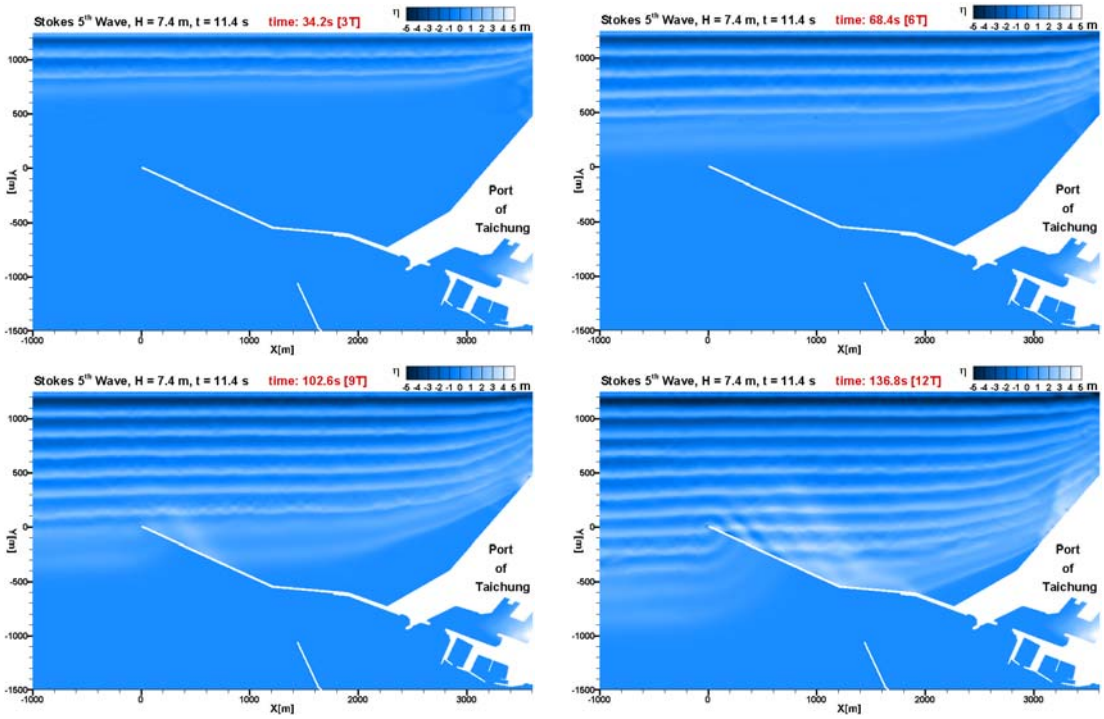


圖 4.14 臺中港北側海域入射波浪水面時序變化示意圖

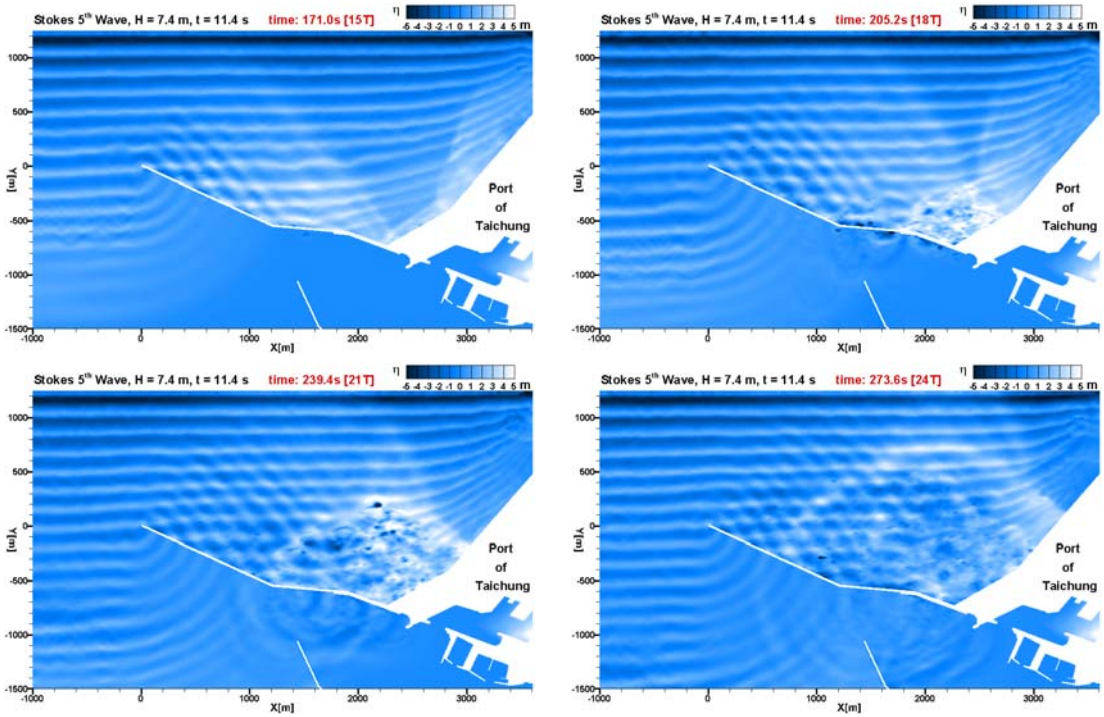


圖 4.14(續) 臺中港北側海域入射波浪水面時序變化示意圖

臺中港西側海域入射波浪的水面時序變化如圖 4.15 所示，隨著西側海域入射波浪向岸傳遞，北防波堤堤頭首當其衝，將入射角接近正向的群波南北分隔，在防波堤北側海域之群波隨著地形逐漸淺化，而

進入防波堤南側海域的波浪則產生顯著的繞射現象。當模擬時間經過第 18 個造波週期(18T)時，進出港航道海域則是堤頭繞射波與入射前進波疊合區，這種情於對於進出港船舶造成航行安全上的考量，至第 30 個造波週期(30T)波浪傳遞進入港內水域，對於港內停泊船隻的裝卸作業也會產生一定的影響，因此顯見臺中港北防波堤的設計對於西側海域入射波的遮蔽效果不佳。

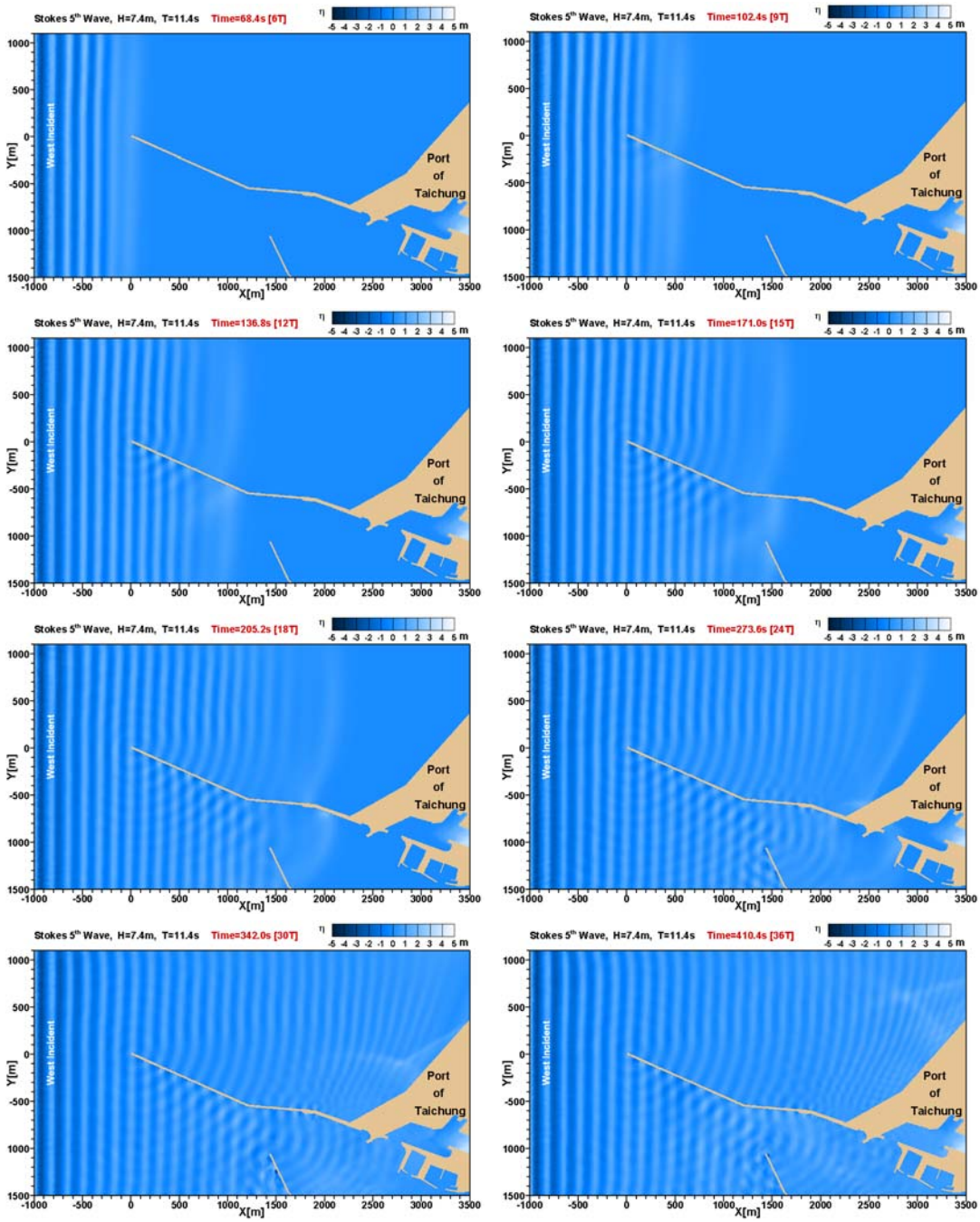


圖 4.15 臺中港西側海域入射波浪水面時序變化示意圖

麥寮工業港北側海域入射波浪的水面時序變化如圖4.16所示，在此模擬中西防波堤由邊界的東北角分成兩段向西南方延伸，因此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，模擬時間經過第12造波週期後，入射波浪逐漸受第二段西防波堤影響而致發東至東北側海域的反射波，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。約於第18造波週期時波浪已傳播抵達堤頭，並隨著模擬時間的增加，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，亦可於第24造波週期時觀察到。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。

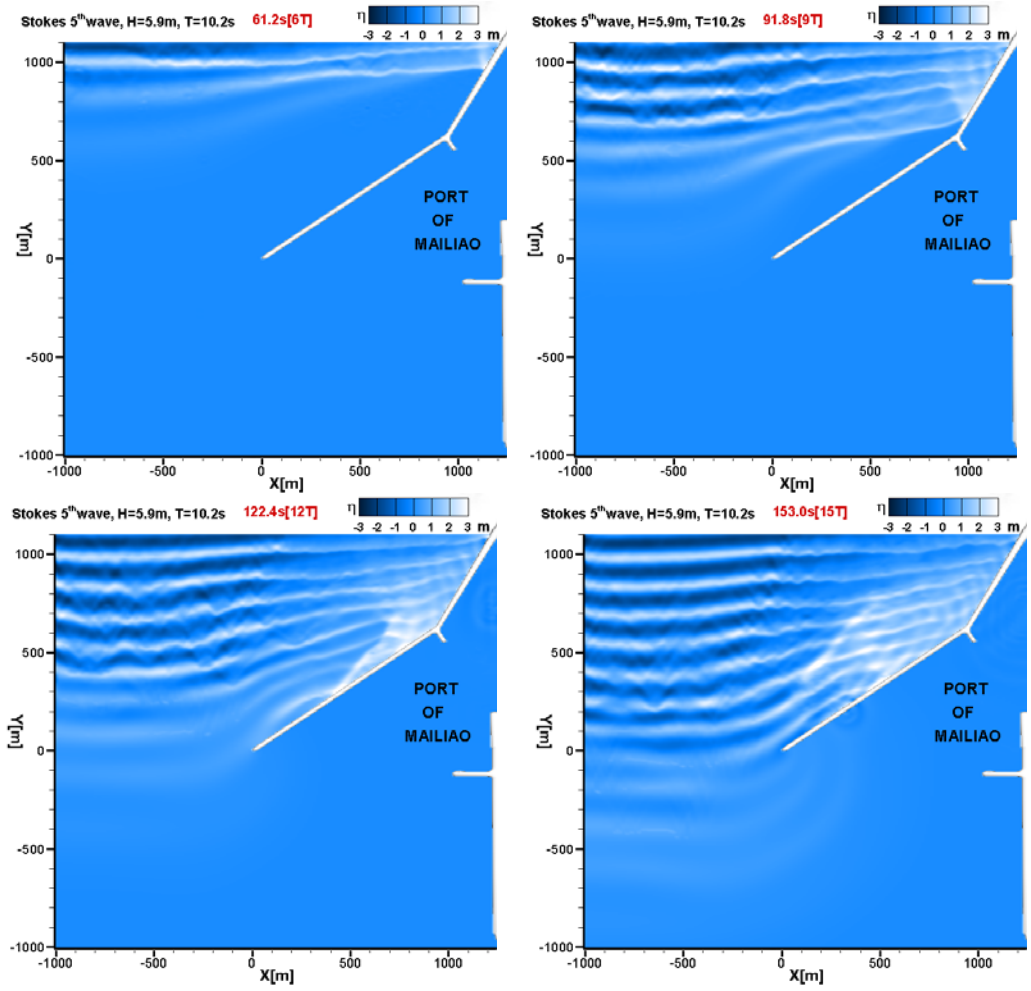


圖 4.16 麥寮工業港北側海域入射波浪水面時序變化示意圖

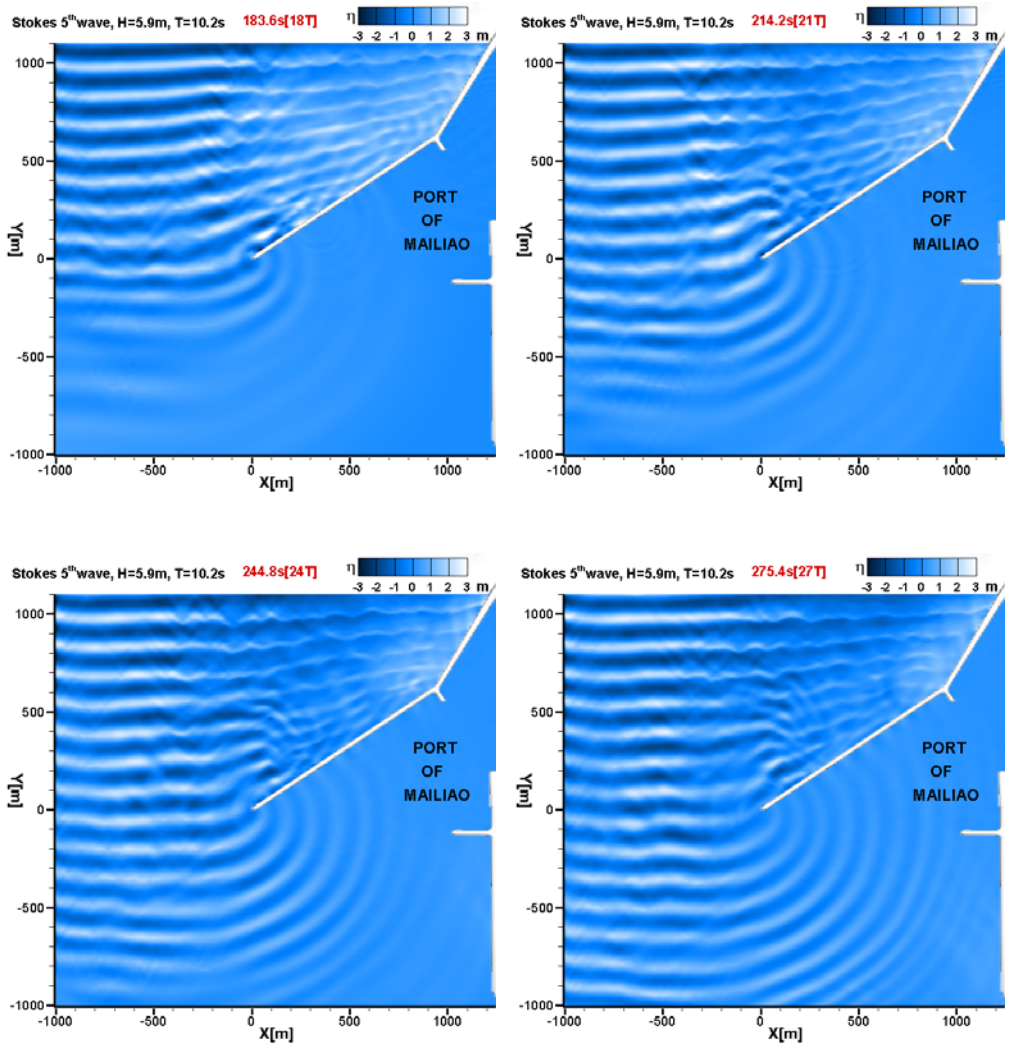


圖 4.16(續) 麥寮工業港北側海域入射波浪水面時序變化示意圖

麥寮工業港西側海域入射波浪的水面時序變化如圖4.17 所示，西側海域入射波浪群波的傳遞方向和臺中港一樣，西防波堤堤頭也是首當其衝，只是夾角較大(大約10度)。因波浪群波入射方向與堤頭逆向銳角，亦呈現分隔現象，進入防波堤北側海域之群波則隨地形逐漸淺化，而進入防波堤南側海域的波浪不但受到地形淺化的影響，接近東防波堤時亦與反射波疊合，對於西側海域入射波的遮蔽效果雖然比臺中港稍佳，但對於船舶進出港的導航以及港內裝卸貨作業都會造成一定程度的影響。

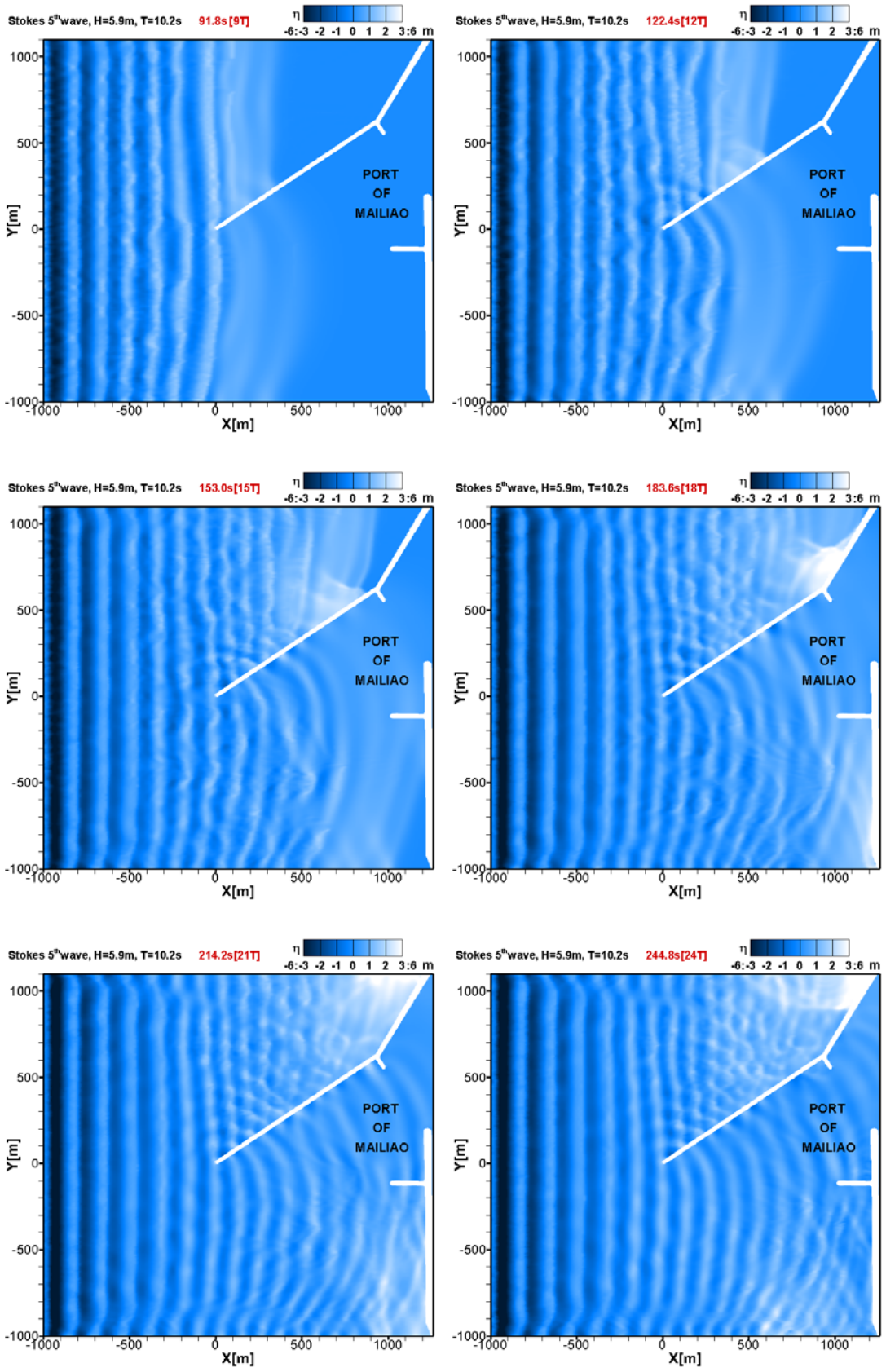


圖 4.17 麥寮工業港北側海域入射波浪水面時序變化示意圖

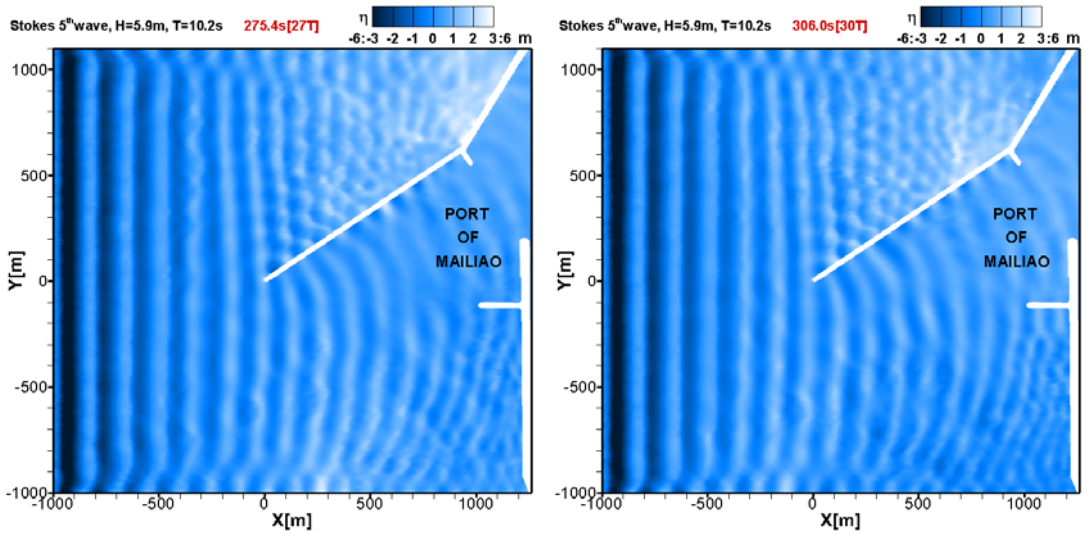


圖 4.17(續) 麥寮工業港北側海域入射波浪水面時序變化示意圖

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，從波場全域海床層流向流速變化的了解，如圖4.18及圖4.21所示；進而分析貼近堤頭最近網格流固耦合運動產生的流場的垂直變化，如圖4.22及圖4.23所示。

1. 堤頭附近海域海床底層之流速變化

臺中港北側海域入射波浪於海床表層引起的流速變化如圖4.18所示，取3個造波週期(3T)為時序繪圖間隔時間。從第9個造波週期(9T)波浪抵達堤頭後，在堤趾附近產生的底層波浪水粒子運動速度約為1.8m/s，而第12個造波週期(12T)時則高達2.5m/s，比較同一時間的波浪水面的變化，可以發現入射波引發的沿岸流領先繞過防波堤堤頭的束縮流場產生了渦流區，這與臺中港西防波堤頭附近的掏刷區有著密切相關。

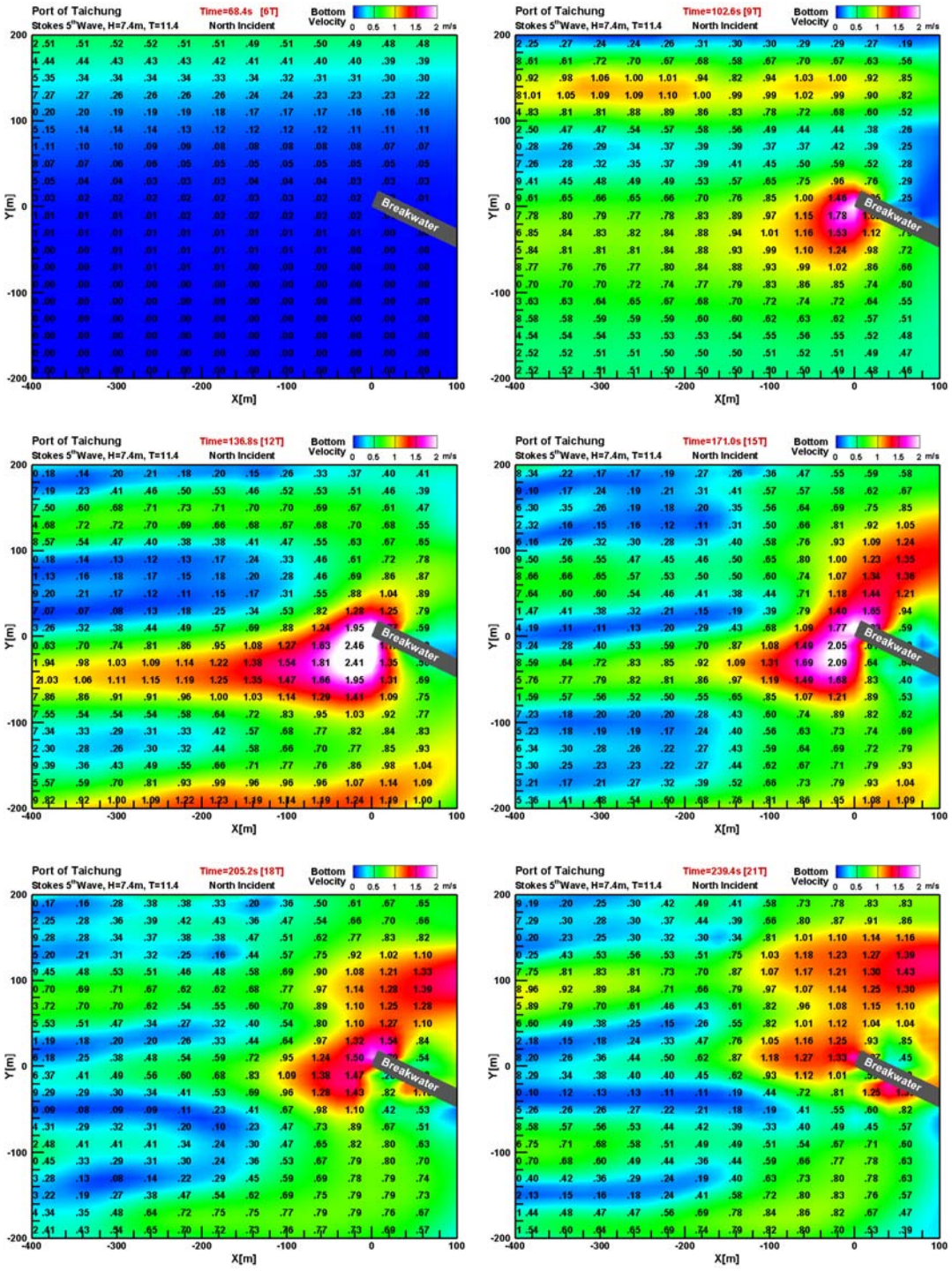


圖 4.18 臺中港北側海域入射波波場防波堤頭底床流速分布時序圖

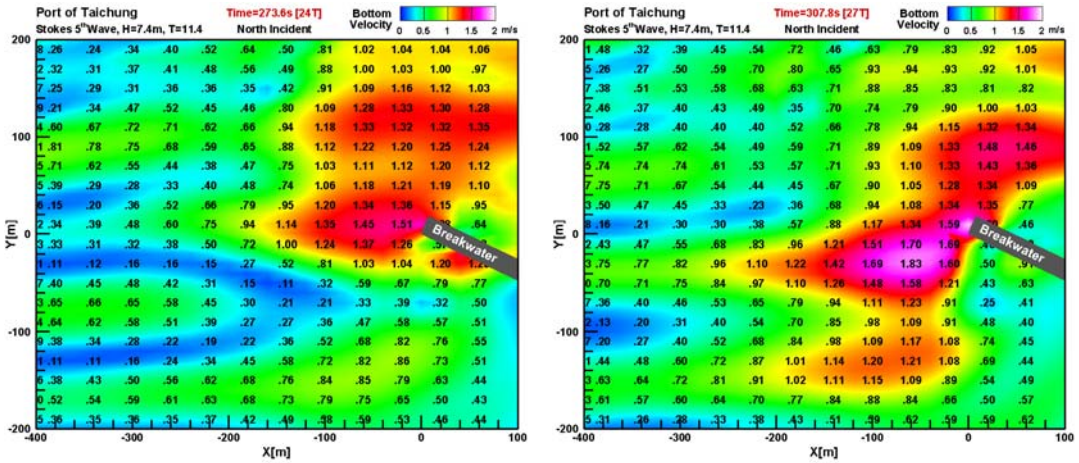


圖 4.18(續) 臺中港北側海域入射波波場防波堤頭底床流速分布時序圖

臺中港西側海域入射波浪於海床表層引起的流速變化如圖4.19所示，取3個造波週期(3T)為時序繪圖間隔時間。從波浪水面時序變化圖中觀察第15個造波週期(15T)至第24個造波週期(24T)，波群從接觸北防波堤堤頭而進入港內水域，而防波堤頭附近底床流速卻始終維持於0.5m/s左右，隨著造波週期的增加至第43個造波週期(43T)時，防波堤頭底床流速由0.5m/s遞增至1.9m/s，仍小於北側海域入射波浪在防波堤頭附近底床引發的流場速度(2.5m/s)。

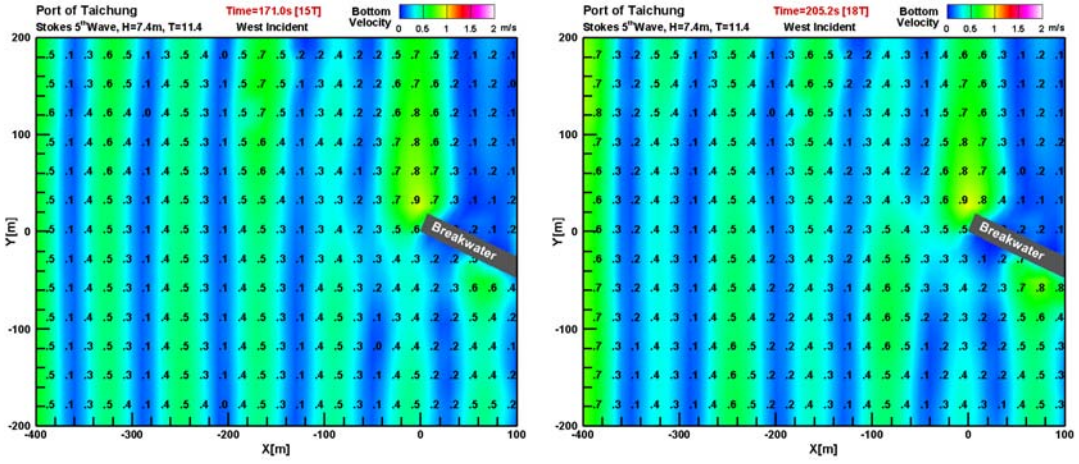


圖 4.19 臺中港西側海域入射波波場防波堤頭底床流速分布時序圖

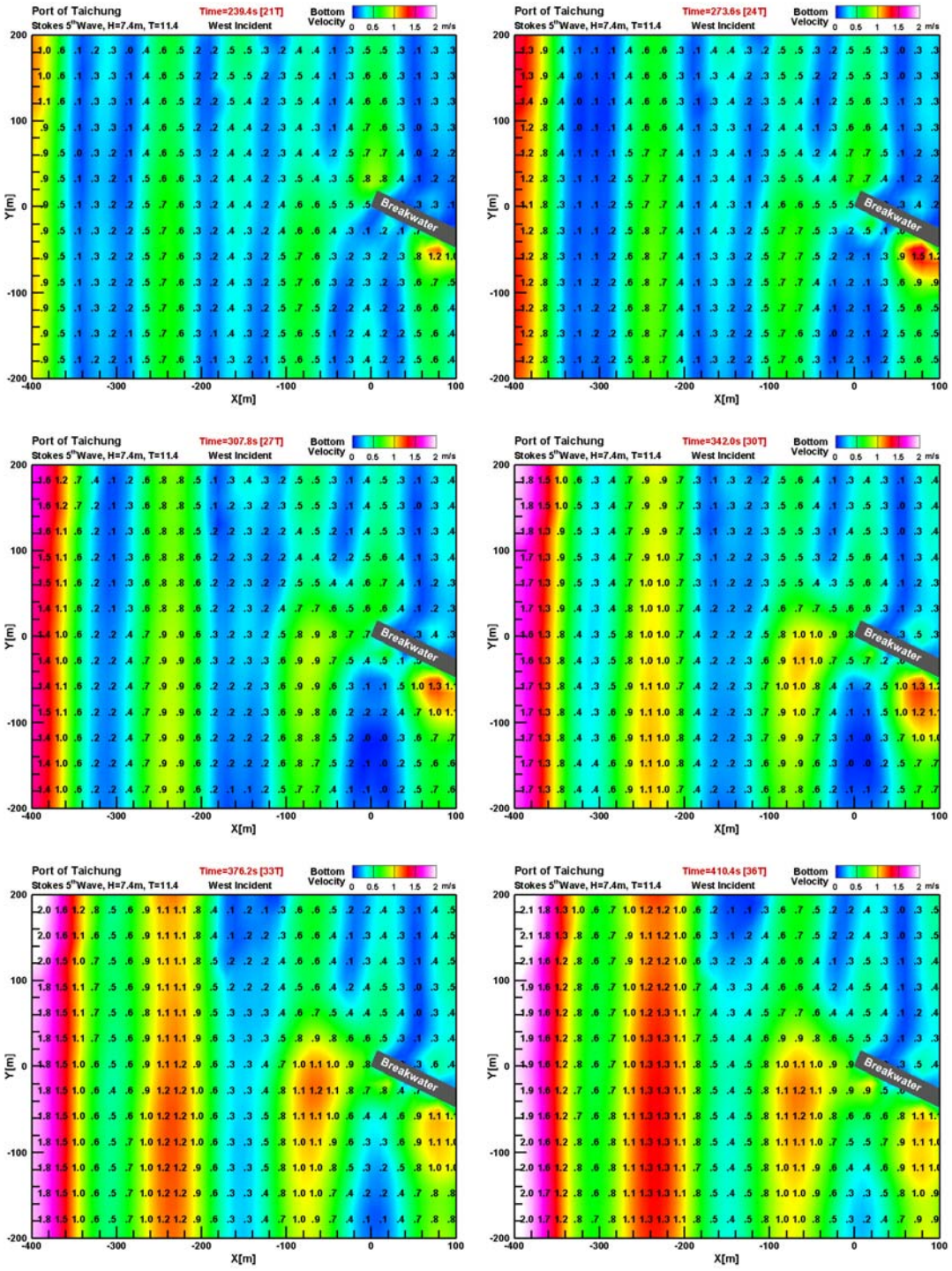


圖 4.19(續) 臺中港西側海域入射波波場防波堤頭底床流速分布時序圖

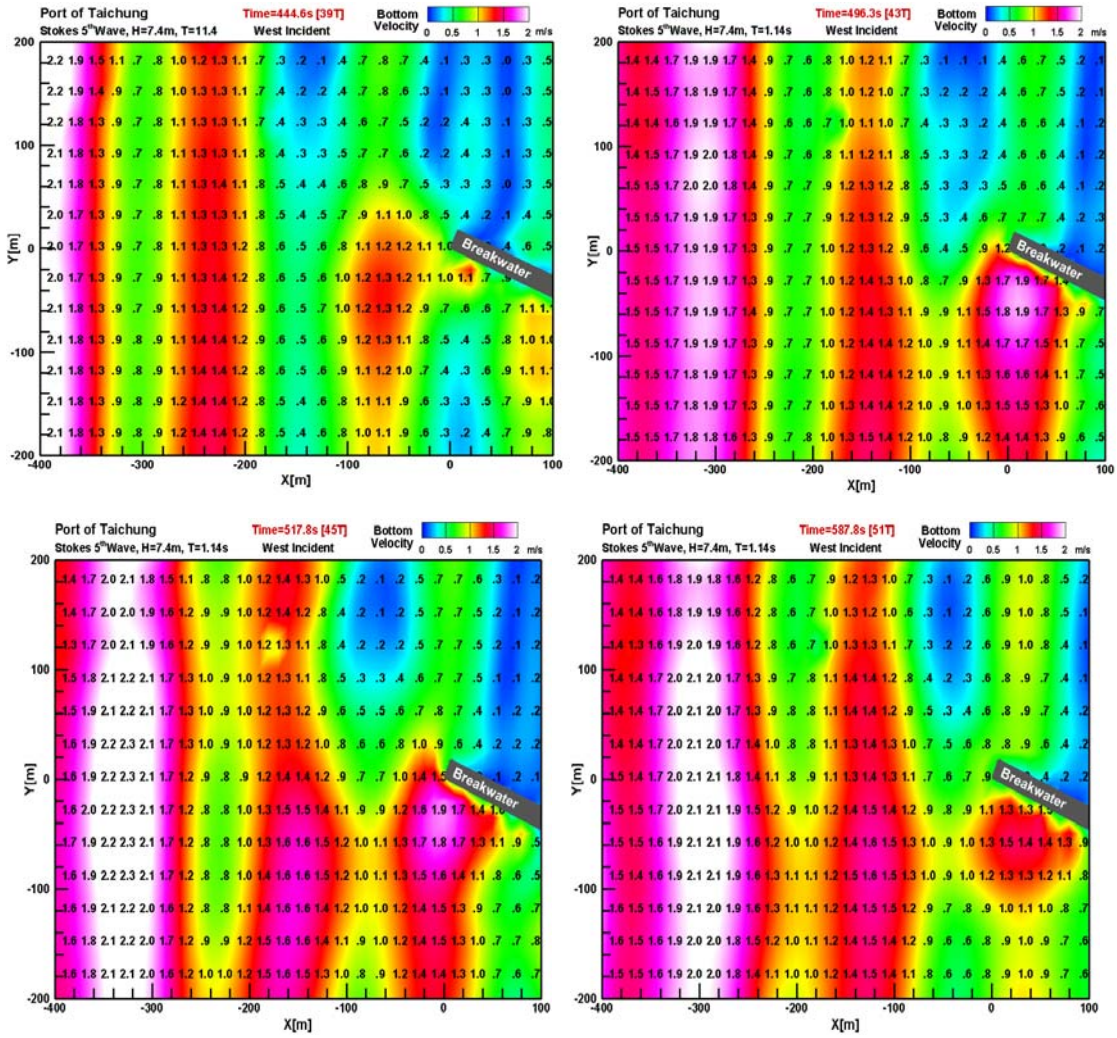


圖 4.19(續) 臺中港西側海域入射波波場防波堤頭底床流速分布時序圖

麥寮工業港北側海域入射波浪於海床表層引起的流速變化如圖4.20所示，約於第15個造波週期(15T)波群抵達堤頭，此時堤趾附近產生的底層波浪水粒子運動速度約為1.54m/s，而第21個造波週期(21T)時則高達2.24m/s，比較同一時間的波浪水面的變化，可以發現入射波與防波堤頭的劇烈的流固耦合運動增加了防波堤堤頭的流場速度。

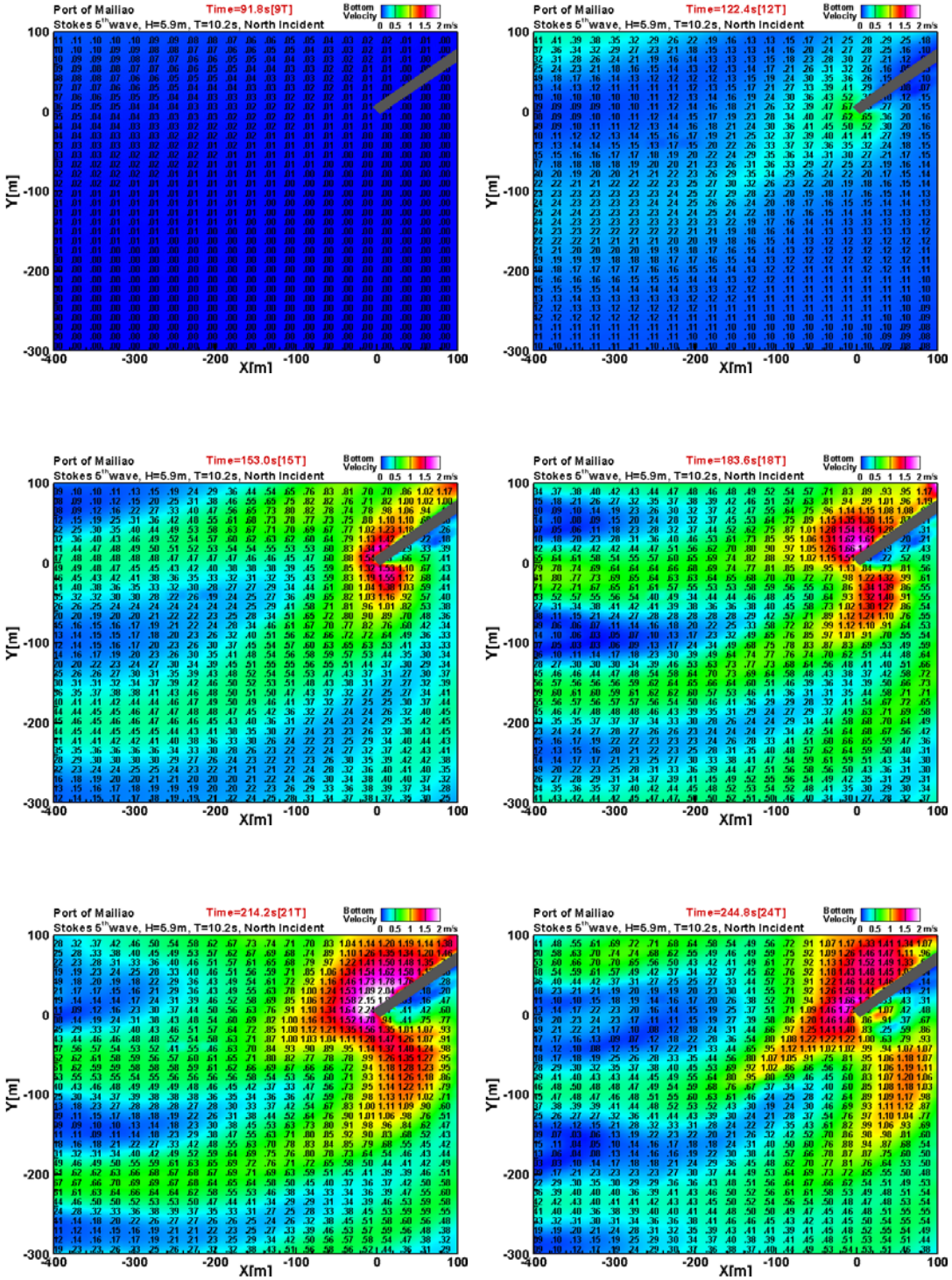


圖 4.20 麥寮工業港北側海域入射波波場堤頭附近底床流速分布時序圖

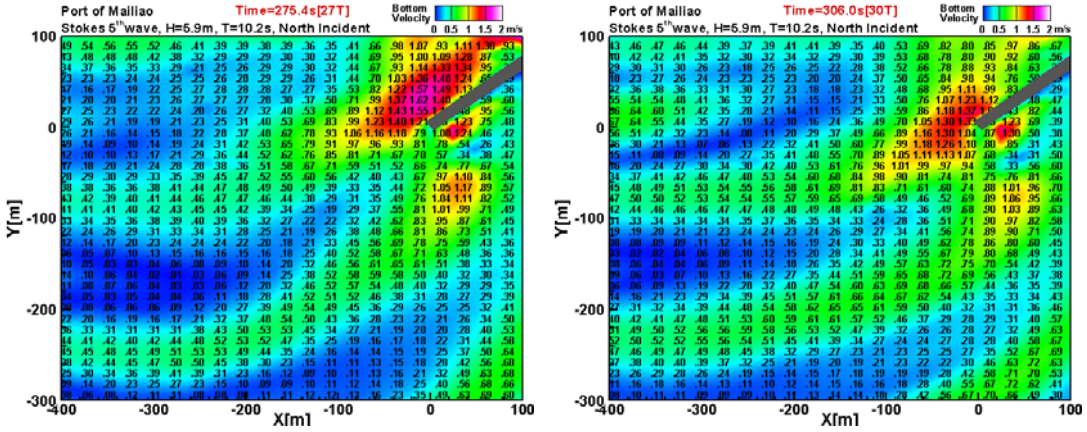


圖 4.20(續) 麥寮工業港北側海域入射波波場堤頭附近底床流速分布時序圖

麥寮工業港西側海域入射波浪於海床表層引起的流速變化如圖 4.21 所示，取 3 個造波週期(3T)為時序繪圖間隔時間。防波堤頭附近底床流速隨著造波週期從 1.31m/s 遞減至 0.49m/s，與臺中港的情況剛好相反，除了海床陡升的因素(圖 4.7、圖 4.8)，後續將會加以探討。

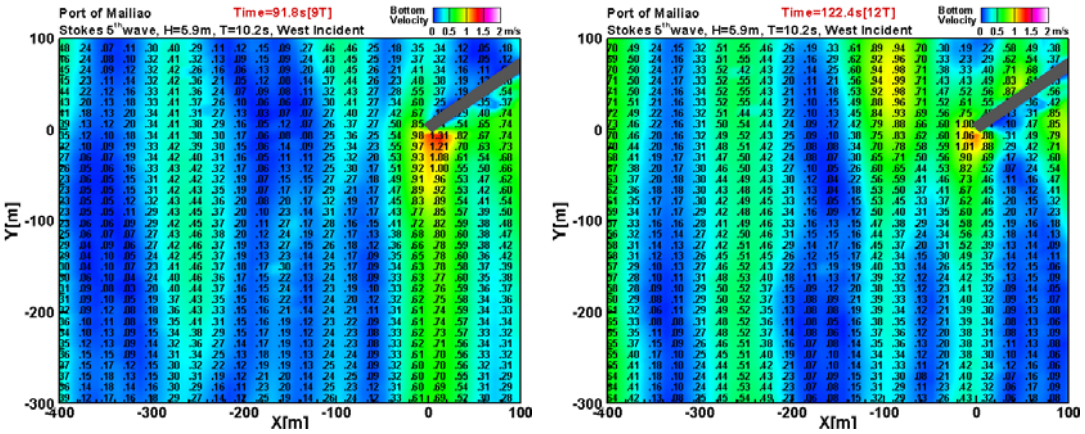


圖 4.21 寮工業港西側海域入射波波場堤頭附近底床流速分布時序圖

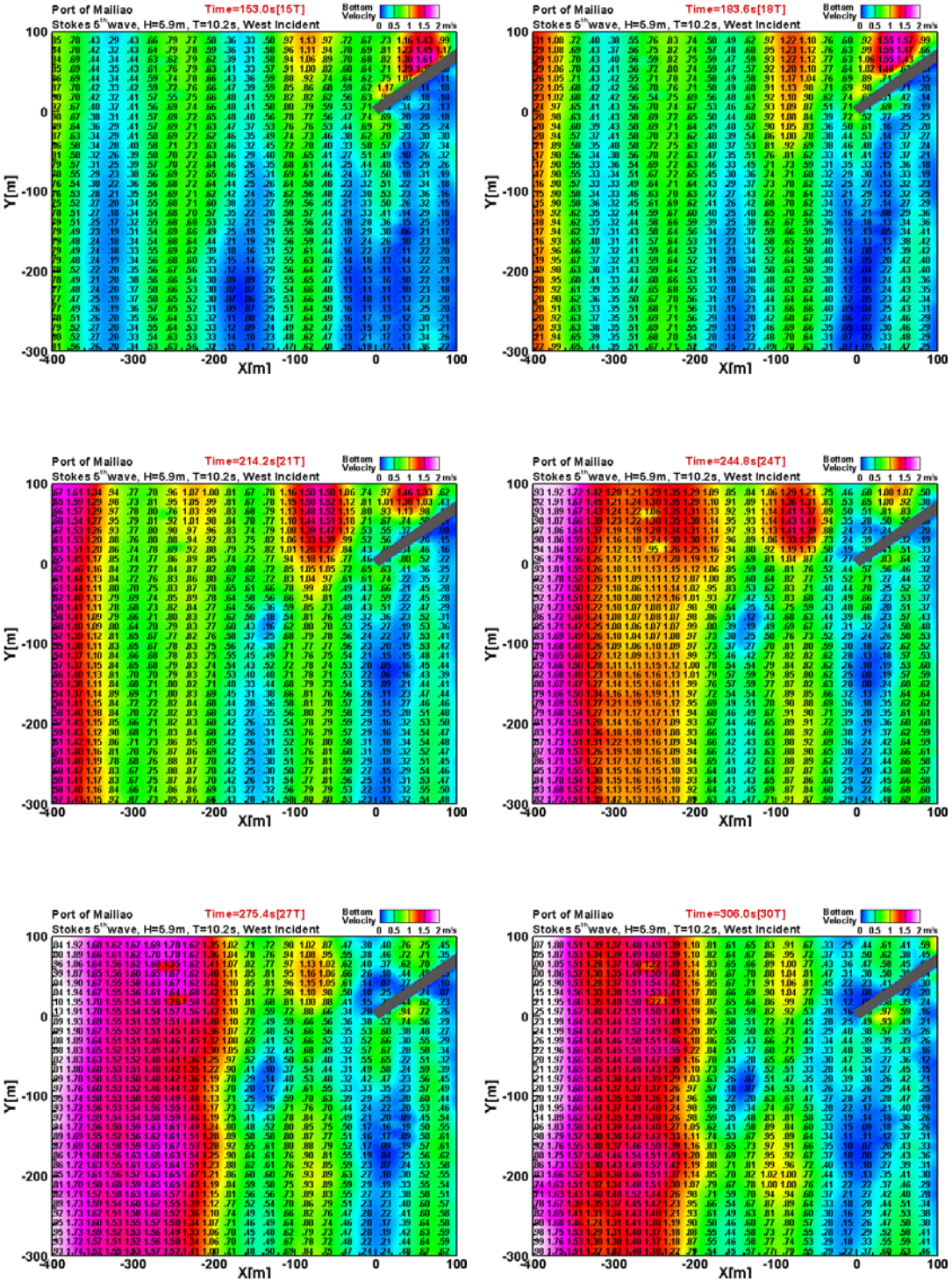


圖 4.21(續) 麥寮工業港西側海域入射波波場堤頭附近底床流速分布時序圖

2. 前之垂直流況變化

臺中港北側海域入射波通過緊鄰北防波堤堤頭的流況垂直剖面，如圖4.22所示。波浪水粒子運動速度的計算等於$(u^2+v^2+w^{2)}$和的開平方，右上方黑色箭頭符號長度表示速度每秒5m的單位。圖中第9個造波週期時波浪剛好抵達且波峰正通過堤頭，其北側緊鄰的網格顯示此時的波浪水粒子運動方向沿著垂直壁下潛，由色階判斷速度介於1m/s至2m/s之間；第12個造波週期時成熟的波浪與堤頭開始劇烈的耦合運動，水粒子下潛的趨勢明顯，速度由底床至水面增加到6m/s，評估此波浪條件下所引發的流場，應造成底床相當程度的影響。堤頭的下游面，受到結構物的遮蔽，垂直流場則仍有 1m/s 左右、運動方向向上的流動；第18個造波週期至第24個造波週期的波浪水粒子運動趨於穩定，速度介於1m/s至2m/s之間。

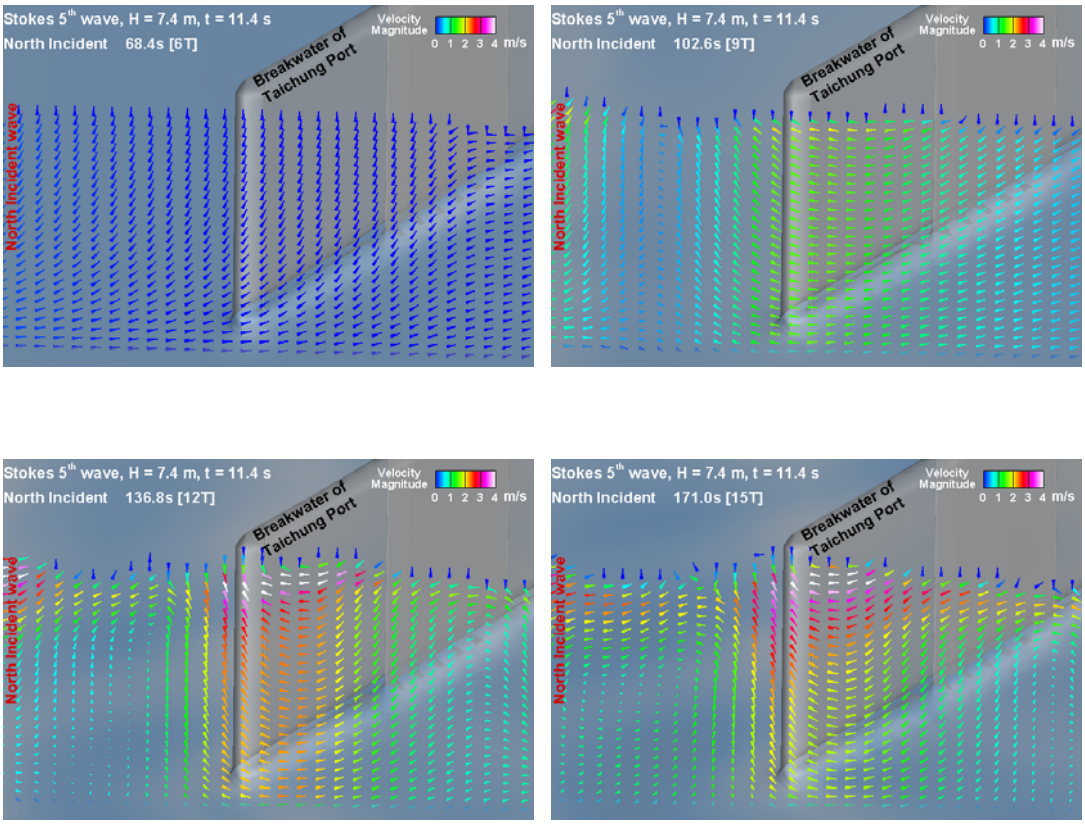


圖4.22 臺中港北側海域入射波波場堤頭剖面流速時序變化圖

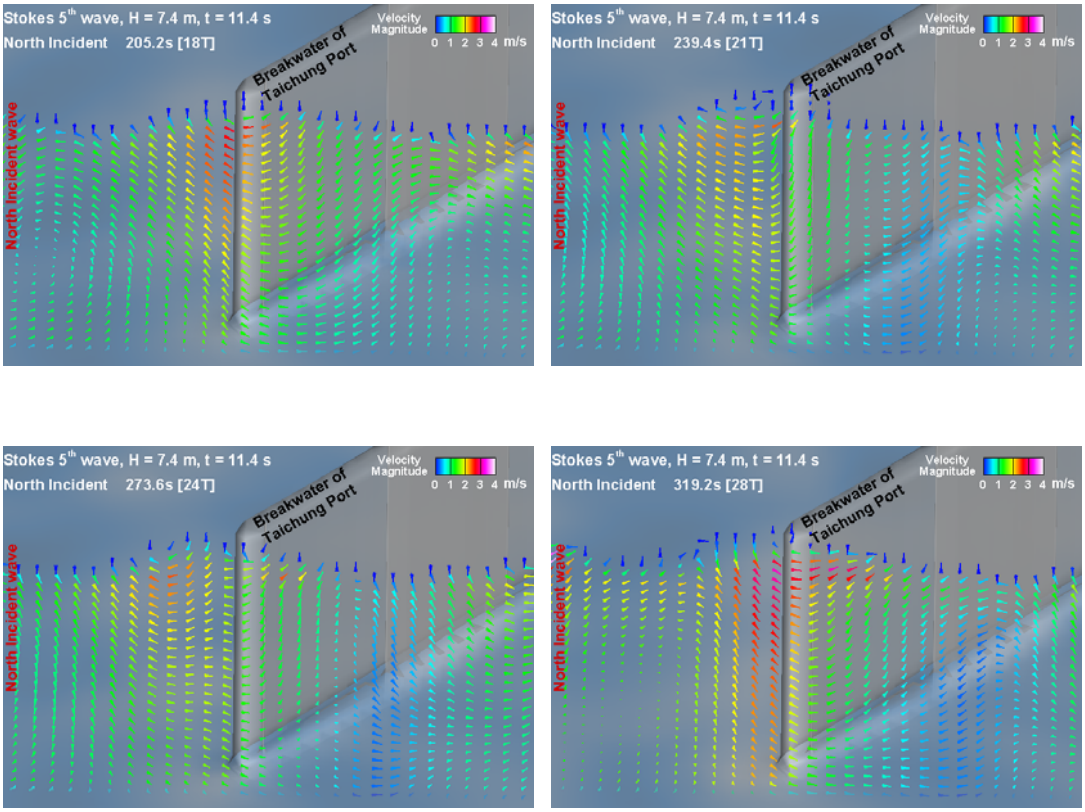


圖 4.22(續) 臺中港北側海域入射波波場堤頭剖面流速時序變化圖

臺中港西側海域入射波通過緊鄰北防波堤堤頭垂直剖面流況的時序變化，如圖 4.23 所示，為了便於分辨低速底層流況之分布情形將流況圖色階範圍全面降低，由於堤身與群波入射方向接近平行且有 20 度的偏北，因此波浪傳遞並未有明顯的流固耦合現象，底床流速分布與時序變化均小於 0.5m/s，對於堤頭附近海床的掏刷影響小於北側入射波浪。

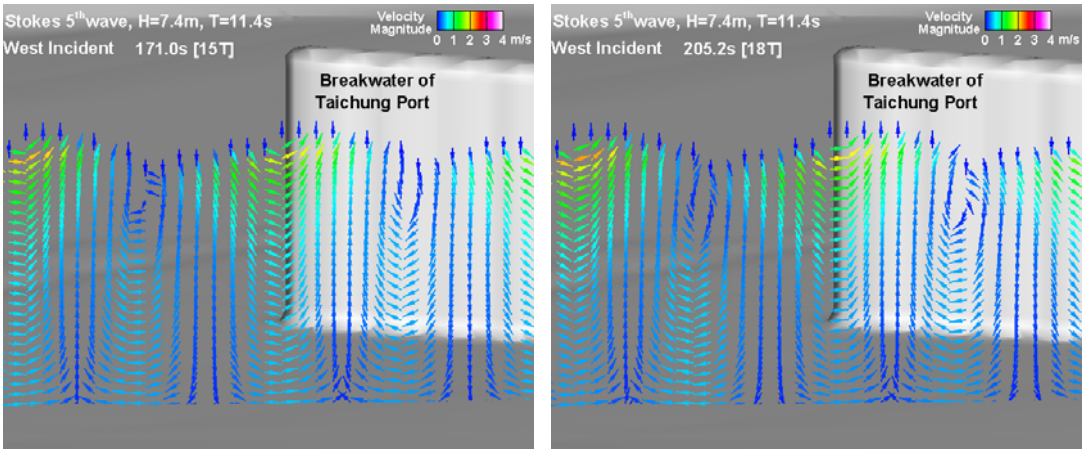


圖 4.23 臺中港西側海域入射波場堤頭剖面流速時序變化圖

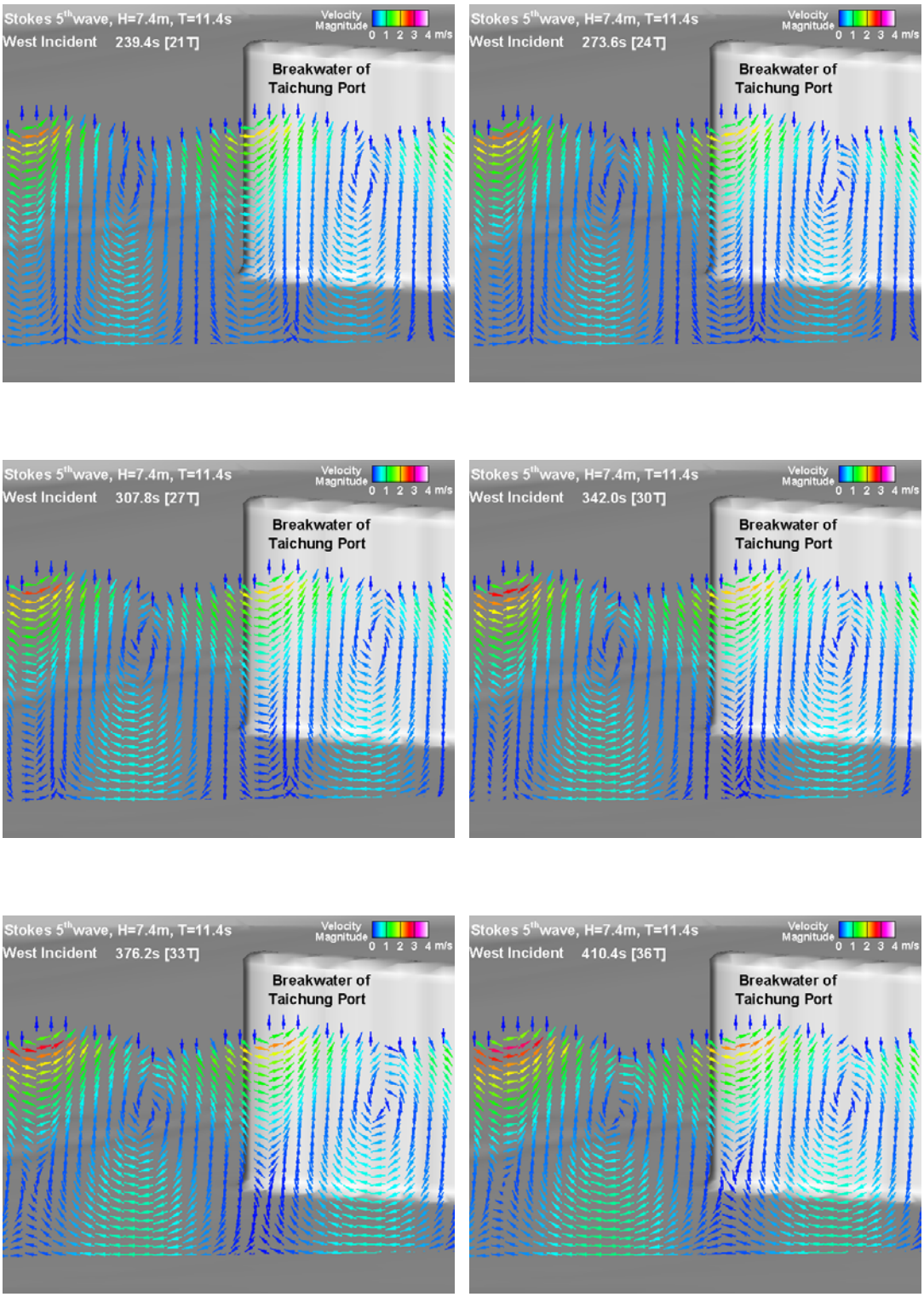


圖 4.23(續) 臺中港西側海域入射波場堤頭剖面流速時序變化圖

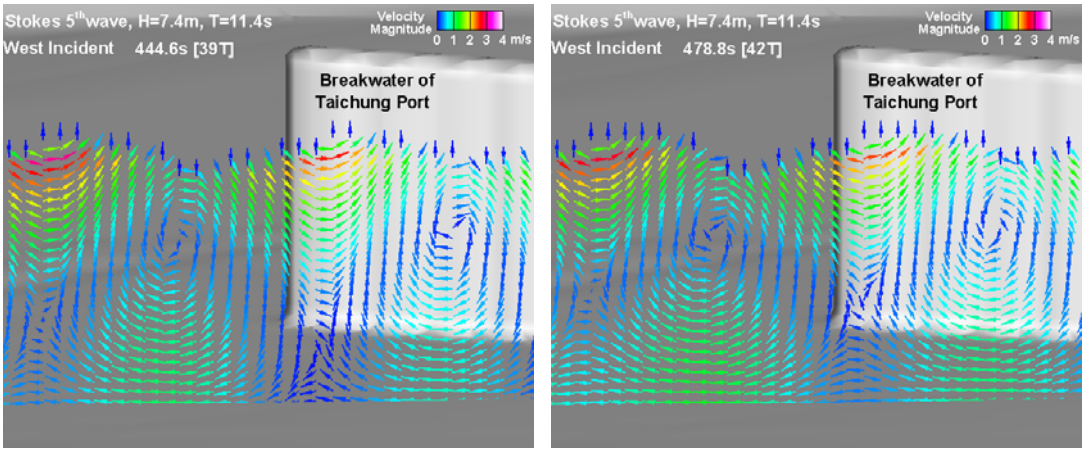


圖 4.23(續) 臺中港西側海域入射波場堤頭剖面流速時序變化圖

麥寮工業港北側海域入射波通過緊鄰西防波堤堤頭垂直剖面流況，如圖4.24所示。波浪水粒子運動速度的計算等於$(u^2+v^2+w^2)$和的開平方。圖中波浪在第12個造波週期時抵達堤頭，波浪水粒子運動速度低於1m/s，至第18個造波週期時波浪與堤頭開始劇烈的耦合運動，水粒子下潛抬升起伏上下趨勢明顯，速度由底床而水面增加到4m/s，評估此波浪條件下所引發的流場，應造成底床相當程度的影響。堤頭的下游面，受到結構物的遮蔽，垂直流場則仍有 1m/s 左右、運動方向向上的流動；第18個造波週期至第24個造波週期的波浪水粒子運動趨於穩定，速度介於1m/s至2m/s之間。

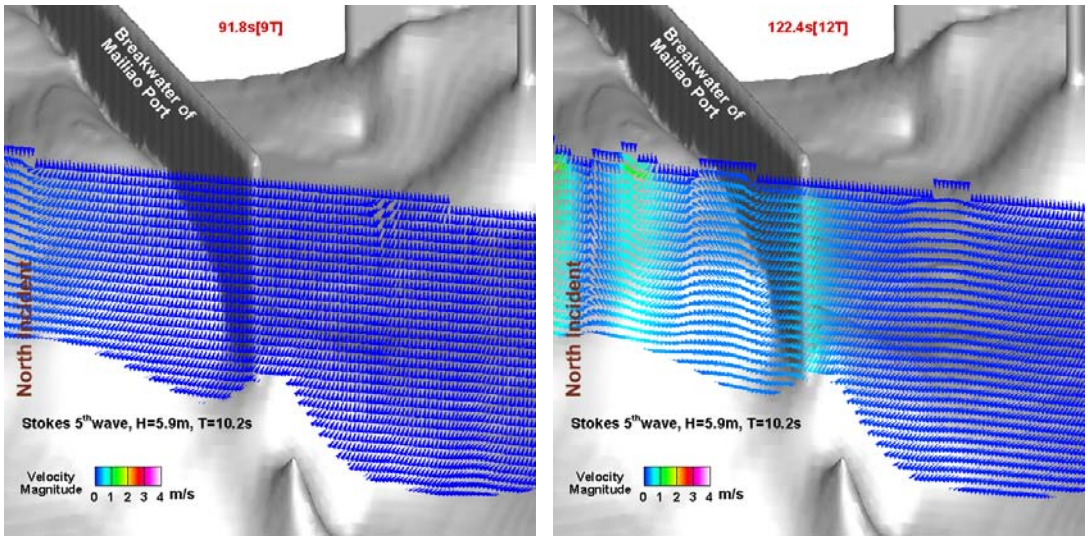


圖 4.24 麥寮工業港北側海域入射波場堤頭剖面流速時序變化圖

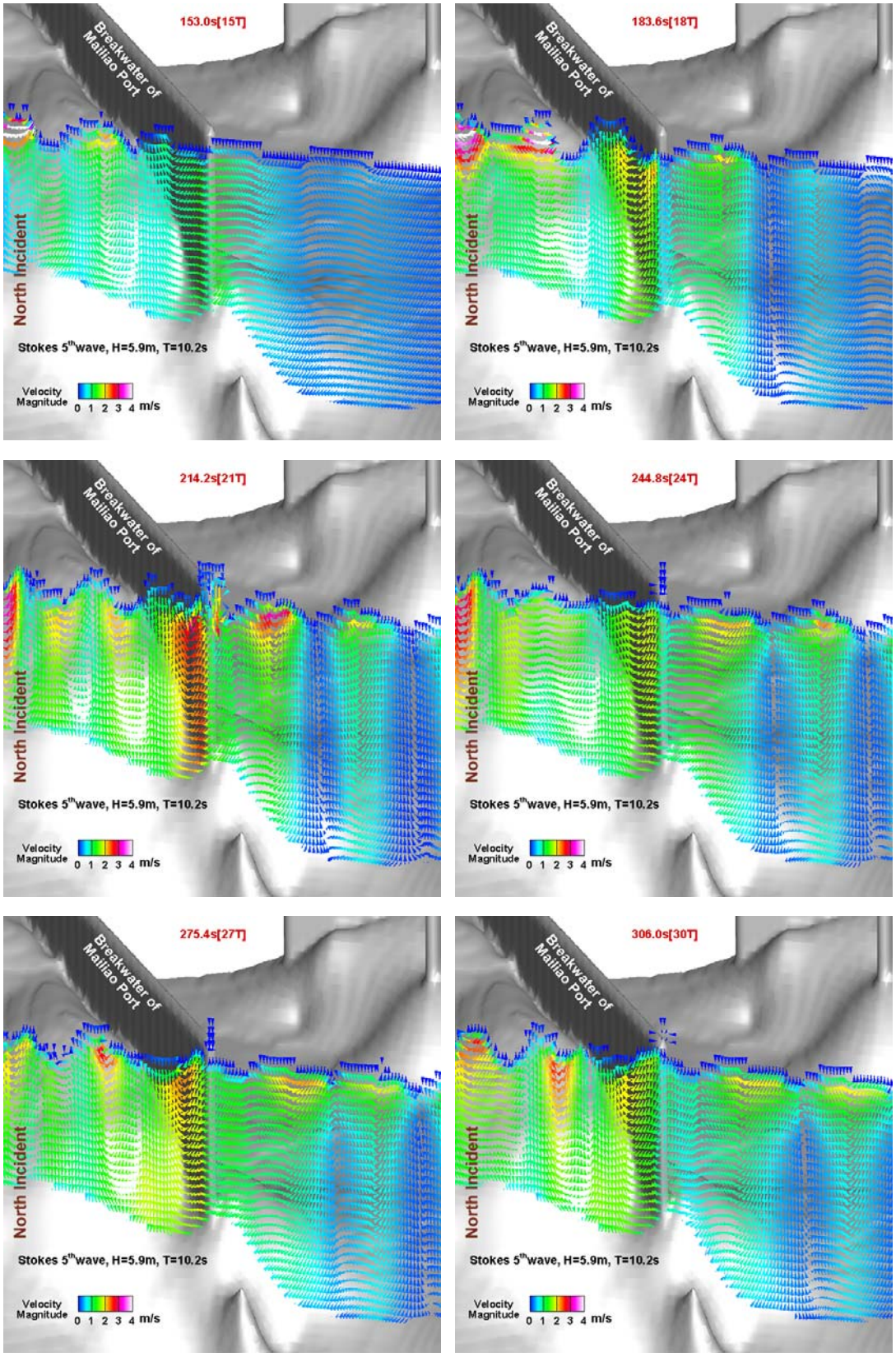


圖 4.24(續) 麥寮工業港北側海域入射波場堤頭剖面流速時序變化圖

麥寮工業港西側海域入射波通過緊鄰西防波堤堤頭垂直剖面流況，如圖 4.25 所示。深藍色趨近於零的向量分布於底床坑洞上方水層，而在坑洞的斜坡與坑底顯示的的流速推估大於 1m/s，這部分後續會以剪應力、渦度分布量化分析。

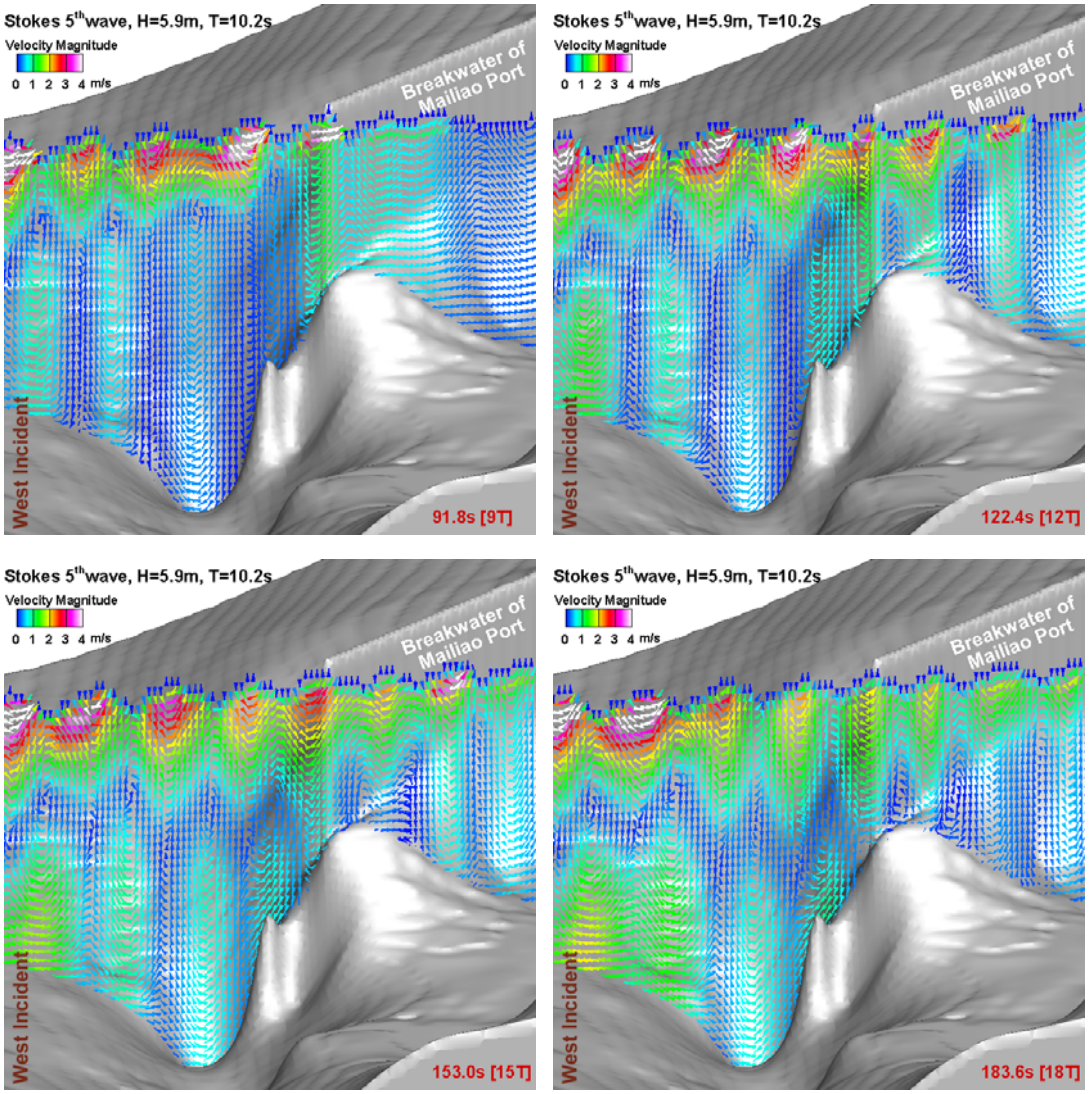


圖 4.25 麥寮工業港西側海域入射波波場堤頭剖面流速時序變化圖

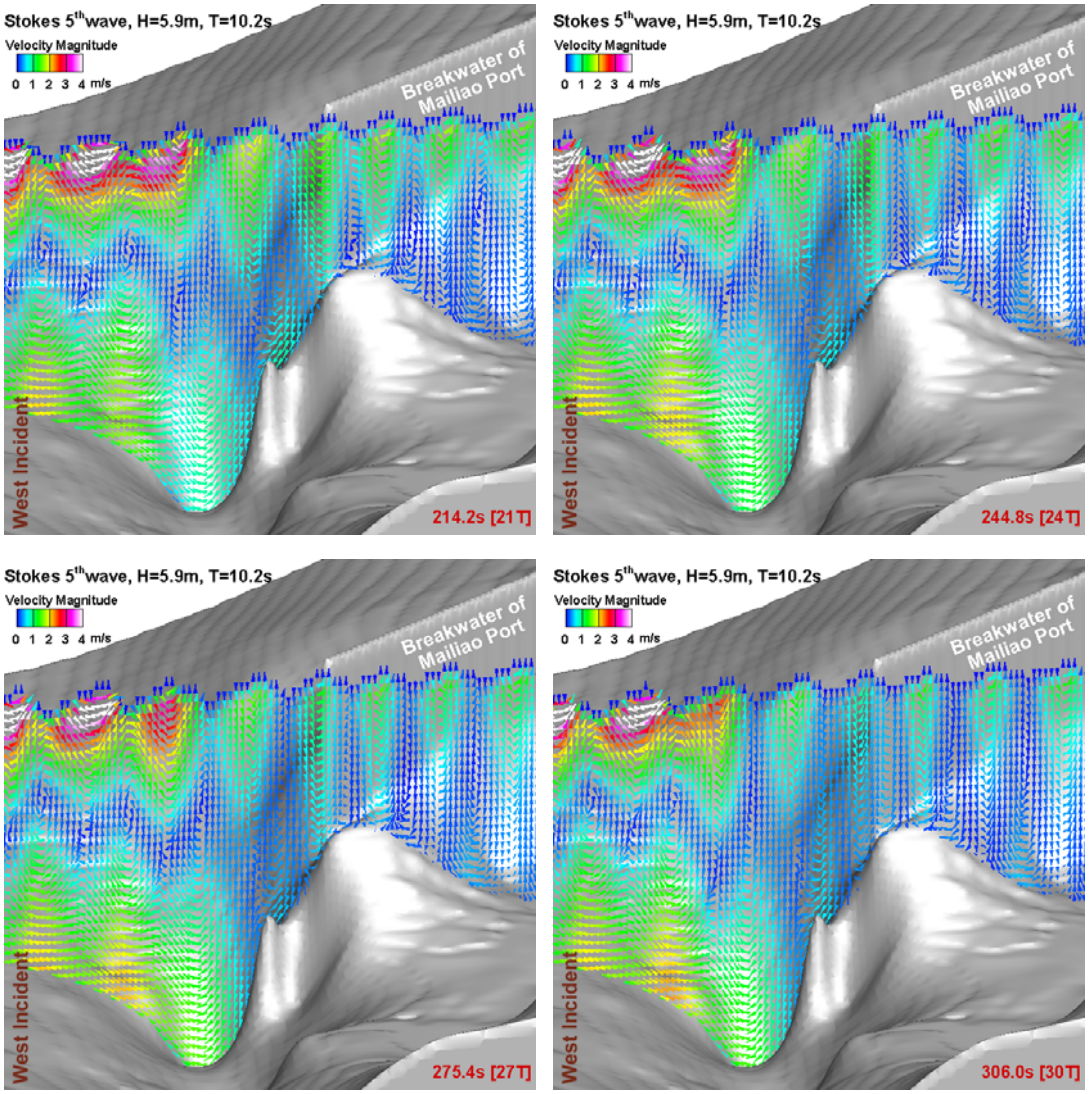


圖 4.25(續) 麥寮工業港西側海域入射波波場堤頭剖面流速時序變化圖

3. 防波堤頭附近最大底床水分子速度分佈分析

為了進一步瞭解數值模型波場內的流況，並提供更易於理解的資訊，對數值的時序列計算結果，進行統計與分析。首先定義分析海域範圍，以臺中港北防波堤堤頭為原點，其方形對角點座標：([-400, -100]、[100,200])；以麥寮工業港西防波堤堤頭為原點，其方形對角點座標：([-400, -300]、[100,200])，如圖 18、圖 20 所示。對該波場內所有模擬時間步階的水分子速度由大至小進行排序，其第一筆資料即為最大值 (V_{max})，並計算其總資料量的前十分之一的水分子速度平均值($V_{1/10}$)及前三分之一的水分子速度平均值 ($V_{1/3}$)，各分析案例如表 4.5

及圖 4.26 至圖 4.28 所示。

表 4.5 防波堤頭附近最大底床水分子速度分佈分析

分析案例	底床性質	底床地形	造波邊界	海象條件	波高 (m)	週期 (s)	底床流速 V_{max}	底床流速 $V_{1/10}$	底床流速 $V_{1/3}$
臺中港波場	定床	85 年水深	北側	颱風 50 年	7.40	11.4	2.82	1.23	0.91
臺中港波場	定床	85 年水深	西側	颱風 50 年	7.40	11.4	2.38	1.45	0.99
臺中港波場	定床	85 年水深	北側	夏季平均	1.02	5.8	0.02	0.01	0.008
臺中港波場	定床	85 年水深	北側	夏季最大	7.50	6.0	0.31	0.10	0.08
臺中港波場	定床	85 年水深	北側	冬季平均	2.08	6.3	0.11	0.03	0.02
臺中港波場	定床	85 年水深	北側	冬季最大	6.91	6.0	0.26	0.09	0.07
麥寮港波場	定床	85 年水深	北側	颱風 50 年	5.90	10.2	2.73	0.87	0.59
麥寮港波場	定床	85 年水深	西側	颱風 50 年	5.90	10.2	2.30	1.63	1.13

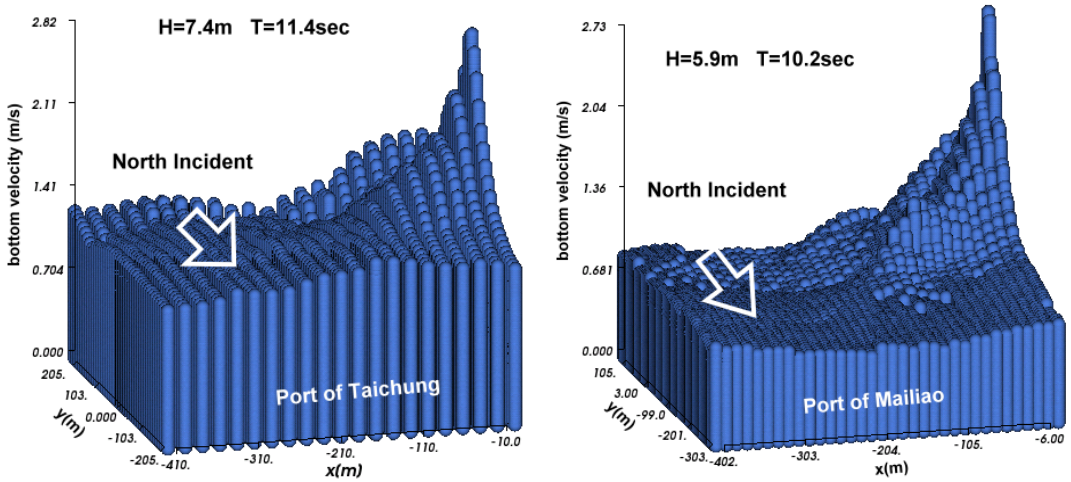


圖 4.26 臺中港(左)及麥寮工業港(右)50 年颱風堤頭最大底床流速分布

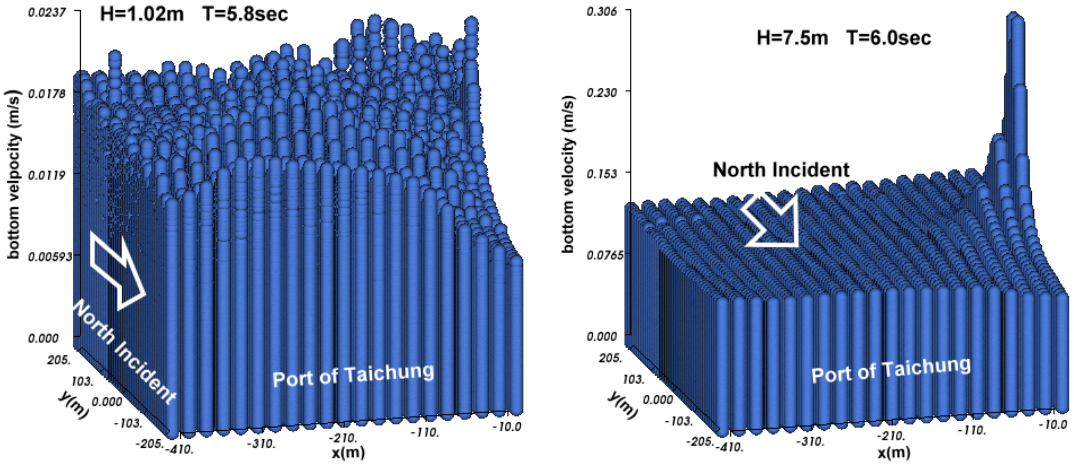


圖 4.27 臺中港堤頭最大底床流速分布，夏季平均(左)、夏季最大(右)

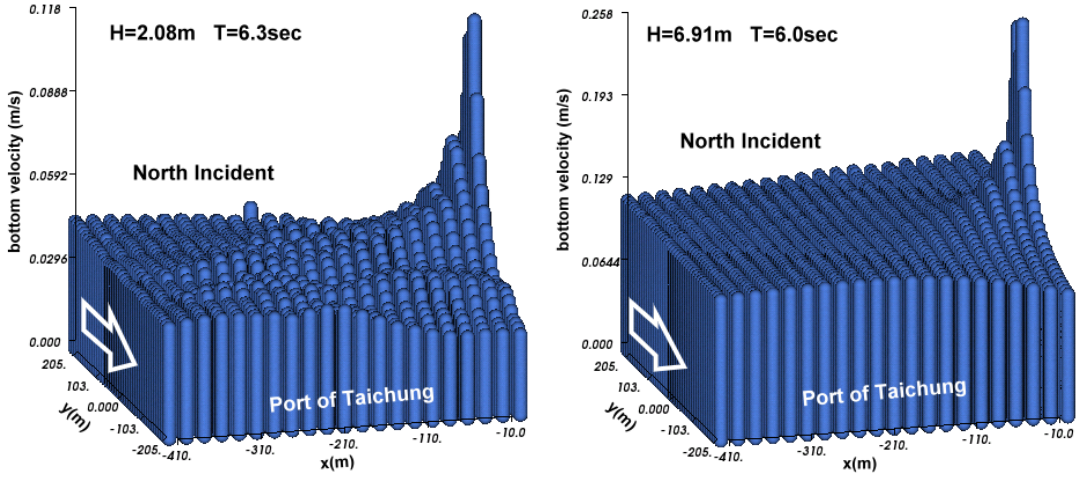


圖 4.28 臺中港堤頭最大底床流速分布，冬季平均(左)、冬季最大(右)

臺中港北側海域 50 年期颱風入射波浪條件，波高 7.4m，週期 11.4s，模擬結果的水分子速度最大值 2.82m/s，極值排序前十分之一的平均值 1.23m/s，極值排序前三分之一的平均值 0.91m/s。在同樣區域，$V_{1/10}$ 約為 V_{max} 的 43%，$V_{1/3}$ 約為 V_{max} 的 32%。

臺中港西側海域 50 年期颱風入射波浪條件，波高 7.4m，週期 11.4s，模擬結果的水分子速度最大值 2.38m/s，極值排序前十分之一的平均值 1.45m/s，極值排序前三分之一的平均值 0.99m/s。在同樣區域，$V_{1/10}$ 約為 V_{max} 的 61%，$V_{1/3}$ 約為 V_{max} 的 42%。

臺中港北側海域夏季平均入射波浪條件，波高 1.02m，週期 5.8s，

模擬結果的水分子速度最大值 0.02m/s，極值排序前十分之一的平均值 0.01m/s，極值排序前三分之一的平均值 0.008m/s。在同樣區域， $V_{1/10}$ 約為 V_{max} 的 50%，$V_{1/3}$ 約為 V_{max} 的 40%。

臺中港北側海域夏季最大入射波浪模條件，波高 7.5m，週期 6.0s，擬結果的水分子速度最大值 0.31m/s，極值排序前十分之一的平均值 0.1m/s，極值排序前三分之一的平均值 0.08m/s。在同樣區域， $V_{1/10}$ 約為 V_{max} 的 32%，$V_{1/3}$ 約為 V_{max} 的 26%。

臺中港北側海域冬季平均入射波浪條件，波高 2.08m，週期 6.3s，模擬結果的水分子速度最大值 0.11m/s，極值排序前十分之一的平均值 0.03m/s，極值排序前三分之一的平均值 0.02m/s。在同樣區域， $V_{1/10}$ 約為 V_{max} 的 27%，$V_{1/3}$ 約為 V_{max} 的 18%。

臺中港北側海域冬季最大入射波浪條件，波高 6.91m，週期 6.0s，模擬結果的水分子速度最大值 0.26m/s，極值排序前十分之一的平均值 0.09m/s，極值排序前三分之一的平均值 0.07m/s。在同樣區域， $V_{1/10}$ 約為 V_{max} 的 35%，$V_{1/3}$ 約為 V_{max} 的 27%。

麥寮工業港北側海域 50 年期颱風入射波浪條件，波高 5.9m，週期 10.2s，模擬結果的水分子速度最大值 2.73m/s，極值排序前十分之一的平均值 0.87m/s，極值排序前三分之一的平均值 0.59m/s。在同樣區域，$V_{1/10}$ 約為 V_{max} 的 32%，$V_{1/3}$ 約為 V_{max} 的 22%。

麥寮工業港西側海域 50 年期颱風入射波浪條件，波高 5.9m，週期 10.2s，模擬結果的水分子速度最大值 2.3m/s，極值排序前十分之一的平均值 1.63m/s，極值排序前三分之一的平均值 1.13m/s。在同樣區域，$V_{1/10}$ 約為 V_{max} 的 71%，$V_{1/3}$ 約為 V_{max} 的 49%。

針對臺中港及麥寮工業港 50 年期颱風入射波浪條件的模擬結果，其西側海域的入射波場 $V_{1/10}$ 值與 $V_{1/3}$ 值都較北側海域的入射波場大，推測是受到北防波堤遮蔽的影響。

比較 50 年期颱風北側入射波浪條件，麥寮工業港的 $V_{1/10}$ V_{max} 比值遠大於臺中港的 $V_{1/10}$ V_{max} 比值為 21%，推測原因是防波堤的設計與

海域地形的關係。

4.3 初步結論

利用 FLOW-3D 對臺中港與麥寮工業港防波堤堤頭附近海域進行波場數值模擬，臺中港範圍 4.3km × 3.8km，麥寮工業港計算範圍 2.3km × 2.6km，其底床邊界均採用附近海域實測地形資料，海象條件包括 50 年期颱風、夏季平均、夏季最大、冬季平均及冬季最大等，入射波浪邊界以北向為主西向為輔，模擬時間以成熟波完成傳遞該計算海域為考量。

分析臺中港 50 年期颱風北側及西側入射波，波高 7.4m、週期 11.4sec 的極端波浪條件，計算造波週期 27 個的波場以及波浪引發的流場變化。以北防波堤堤頭為原點，北側海域入射波浪受北防波堤北側阻擋形成反射波，東側沿岸亦同時形成反射波，此兩股反射波再與入射波交會，海況紛紜，也證明了防波堤的設置達到了保護港口的目的。至於堤趾附近海床水粒子的運動速度，同樣的波浪條件北側入射波比西側入射波大 0.44m/s，海床淺化和防波堤交會角度是主要原因，至於整體的平均值($V_{1/3}$、$V_{1/10}$)卻是西側入射波比北側入射波大，防波堤的反射與遮蔽是主要因素。

分析臺中港海域夏季平均、夏季最大、冬季平均及冬季最大等北側入射波浪條件的計算結果，發現其波場引發的底床流速最大值為 0.31m/s，約為 50 年期颱風北側入射波的十分之一，針對防波堤附近海床掏刷機制探討的必要性，麥寮工業港季節波浪條件的計算因此先予省略等待商榷。

分析麥寮工業港，波高 5.9m、週期 10.2sec 的極端颱風波浪條件，計算造波週期 30 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，而西防波堤南側海域受到堤體的遮蔽，波高變化與流速變化皆小於北側。

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，將朝向波流交會與漂砂動床等領域持續測試，以協助釐清與理解堤頭沖蝕的機制與變化。

第五章 水工模型試驗的驗證

針對防波堤堤頭掏蝕現況的進一步變化與影響，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試驗。依照臺中港北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。採用季風波浪及颱風波浪等條件分別造波，同步量測與分析各造波條件下之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。

5.1 試驗設備與儀器

試驗於國立中山大學海洋環境與工程學系三維水工模型實驗室進行，所採用的試驗儀器與設備說明如下：

1. 試驗水槽

試驗之水槽為中山大學海工系的三維平面造波水槽，平面水槽長 40 公尺、寬 20 公尺、深 1.4 公尺 (如圖 5.1 所示)。

圖 5.1 試驗平面水槽設施實景

2. 造波系統

平面造波系統由兩部丹麥水試所 (DHI) 設計之電驅 Hinge 式

造波機所構成，每部機組之造波板長 5 公尺、高 1.4 公尺 (如圖 5.2 所示)，造波機組可單獨運作亦可同步操作，並可依需求變更造波方向等。造波控制系統包含電腦軟硬體、致動軸位置訊號收發單元、造波馬達驅動器等 (如圖 5.3 所示)。此造波機於水深 1 公尺時，可造出週期 2 秒、波高 0.2 公尺之波浪。波浪週期愈短，可造波高愈大；水深愈大，可造波浪愈大。

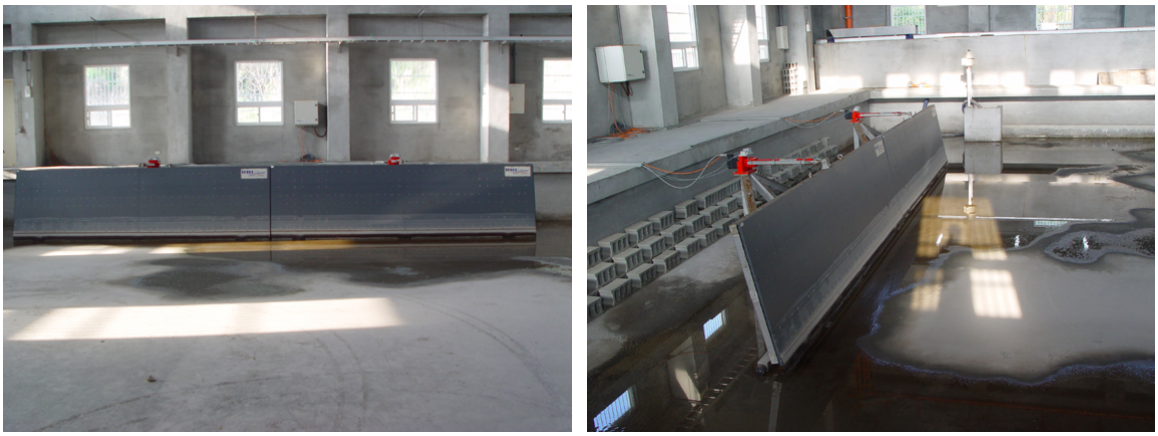


圖 5.2 造波機伺服馬達與造波板

圖 5.3 造波控制系統 (伺服馬達驅動器與位置訊號收發單元)

2. 波高計

水位變化之測定乃採用電容式波高計 (如圖 5.4(a))，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。儀器主要架設於深海區與防波堤堤頭鄰近區域。

3. 訊號資料擷取系統

訊號記錄系統之 ADC 採研華科技公司（Advantech）生產之 PCI-1713 類比／數位轉換卡，能提供 12 bit 解析度、32 通道達 100 kHz 的取樣率（sampling rate），分析軟體採用本團隊所研發之訊號收集程式。考量符合取樣定理，並可觀測到高頻訊號變化的峰值，本次試驗系統皆以 100 Hz 之取樣率記錄各測計之訊號。訊號擷取設備，如圖 5.4(b) 所示。

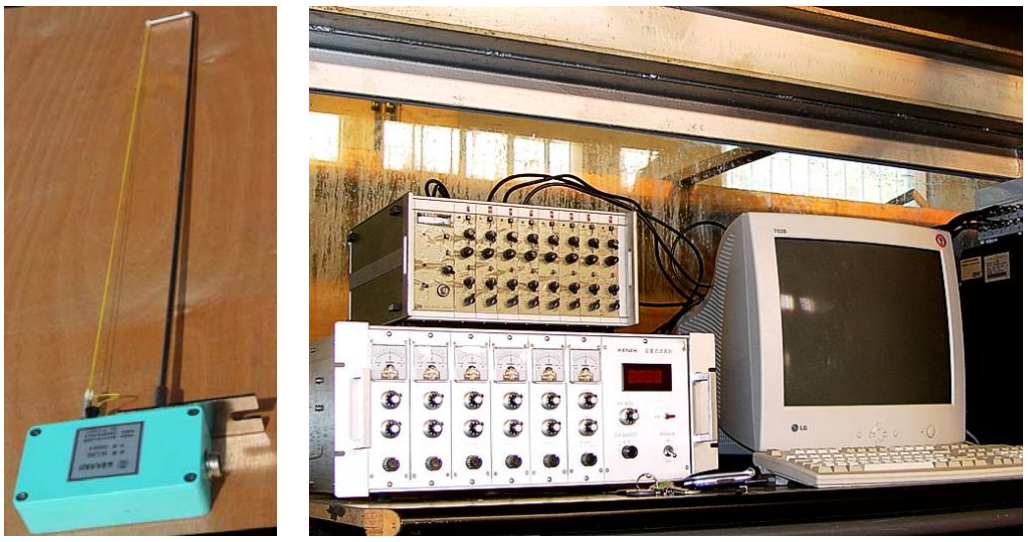


圖 5.4 試驗用儀器設備，(a)波高計，(b)訊號擷取系統

4. 電磁式流速計

流速計為日本 ALEC 公司製造之 ACM250-A 型流速計，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，於水深下 10 公尺內皆可進行量測。於動床試驗進行時，使用海流儀測量防波堤堤頭的流速變化狀態。儀器能夠觀測固定位置的流速變化，用以比對波浪衍生流場對於底床的影響量。

5.2 試驗條件與試驗比尺

1. 潮位條件

季風浪造波時，試驗設計水位採用平均潮位，基礎水準亦由基隆中潮系統調整後平移至臺中港平潮系統。颱風浪造波時，試驗設計水位採用大潮平均高潮位為基準。依中央氣象局 2002~2008 年臺中港潮位資料統計，結果顯示大潮平均高潮位扣除平均潮位差後之平均值為+2.15 m，即以此潮位為颱風浪造波之設計水位。

2. 波浪條件

根據本所所出版之 2000～2008 年度「港灣海氣地象觀測資料年報」之觀測數據，進一步統計分析，臺中港海域夏季 (4~9 月) 平均示性波高 1.02 m，月平均示性週期 5.8 sec，波向以 N、NNE、W 為主；最大示性波高為 7.50 m，其對應週期為 6.0 sec，發生於 2004 年 5 月 28 日。冬季 (10~3 月) 平均示性波高 2.08 m，月平均示性週期 6.3 sec，波向集中在 NNE、N。最大示性波高為 6.91 m，其對應週期為 6.0 sec，發生於 2005 年 3 月 1 日。另外，經過統計文獻的資料，本計畫之臺中港區域的推算颱風波浪條件，如表 5.1 所列。各重現期最大波高條件皆發生於 N 向入射的颱風浪，在試驗時亦以 N 向颱風波浪為主。

表 5.1 臺中港外海 10~100 年重現期颱風波浪推算

重現期	100 年		50 年		25 年		20 年		10 年	
波向	波高 (m)	週期 (sec)	波高 (m)	週期 (sec)	波高 (m)	週期 (sec)	波高 (m)	週期 (sec)	波高 (m)	週期 (sec)
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

3. 模型比尺

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。

為使模型有足夠的水深方便量測，同時受限於其它限制無法等比放大模型時，將採用幾何不等比之模型設計，通常三維幾何比尺為 $\lambda_x = \lambda_y \neq \lambda_z$，也就是水深方向的比尺不同於水流方向及河寬方向；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 $\lambda_z = \lambda_h$。以下說明幾何不等比之模型比尺關係。

以福祿定律作為相似之依據，福祿定律如下所示：

$$\lambda_v / \sqrt{\lambda_h \lambda_L} = 1 \quad \text{.....(5-1)}$$

流速比尺：由於福祿數中的長度項為水深，其與有關，同幾何等比模型之推導，將可改寫福祿定律為：

$$\lambda_v = \sqrt{\lambda_h} \quad \text{.....(5-2)}$$

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：

$$\lambda_T = \lambda_L \Big/ \lambda_v = \lambda_L \Big/ \lambda_h^{\frac{1}{2}} = \lambda_L \lambda_h^{\frac{-1}{2}} \quad \text{.....(5-3)}$$

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。

雖模型比尺值越大，對於現象模擬的結果越佳，但考量水工模型的範圍包含臺中港堤頭周遭海域，並含括臺中港北側岸域以突顯波浪

破碎後致生之沿岸流，在同步評估現場海岸地形、波浪條件及試驗設備容許範圍，模型比尺採用歪比縮尺。模型的歪比比尺為 2，即水平比尺 (λ) 為 1/200，垂直比尺(μ) 為 1/100，由長度比尺換算其他物理量之縮尺比如表 5.2 所示。模型的範圍為 5km 見方的區域：南北方向跨幅設計堤頭以南 2.8km 至堤頭以北 1.2km，東西向則設計為堤頭以東 3km 至堤頭以西 1km，如圖 5.5 所示。

表 5.2 各物理量之模型縮尺比

物 理 量	縮 尺 比
長 度	$\lambda = 1/200, \mu = 1/100$
時 間	$\lambda_t = 1/\sqrt{100} = 1/10$
速 度	$\lambda_v = 1/\sqrt{100} = 1/10$
密 度	$\lambda_\rho = 1/1$

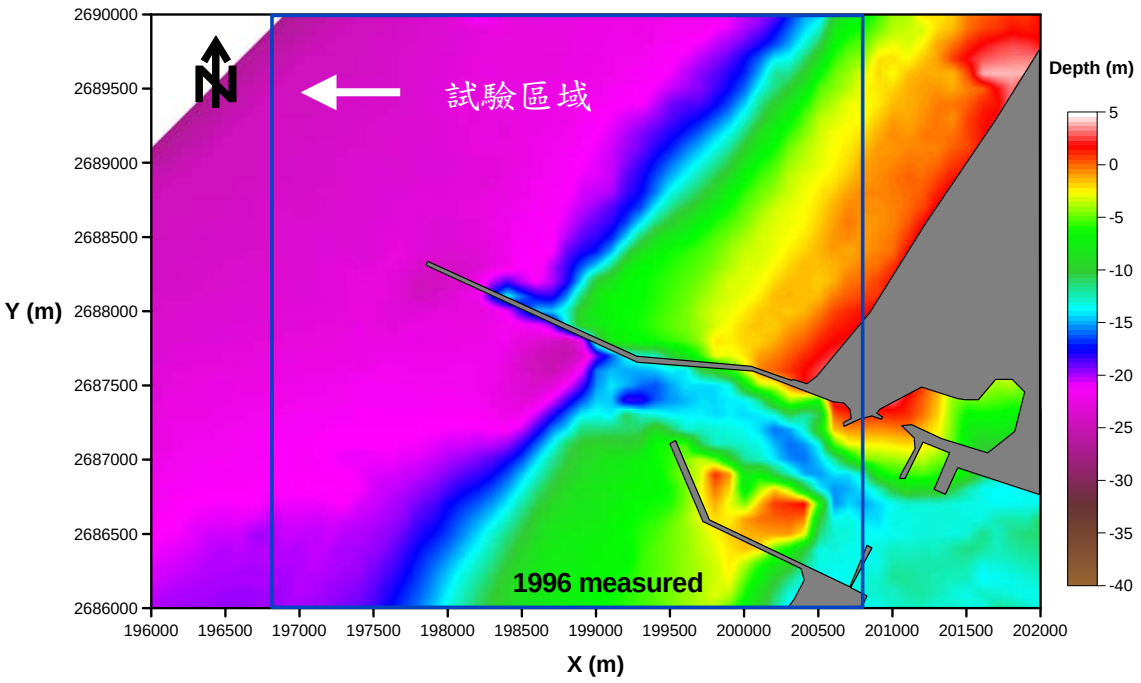


圖 5.5 1996 年實測臺中港北堤頭鄰近水深地形圖與試驗範圍

5.3 試驗模型佈置與試驗步驟

1. 試驗模型佈置

本年度計畫依照模型長度與時間比尺，換算選定的颱風波浪和季風波浪條件，使用規則波或 JONSWAP 不規則波造波模式在不同的入射波向條件下進行試驗。使用規則波作為入射波浪，可於防波堤模型中觀察不同水深處，波浪衍生流場的變化，進而研判現場受波浪作用的影響量。使用不規則波作為入射波浪，可觀察複合多種波浪作用下防波堤流場是否產生非線性的增長，在相同位置處與規則波造波之結果相互比較，流速的變化狀態與波場的分佈提供研判的資訊。

為了重現臺中港北防波堤延長興建前的地形特性，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，本試驗的初始地形設計，以民國 85 年取得之臺中港北防波堤堤頭附近實測地形予以平滑化處理，而港區結構物則以 91 年後已完成防波堤延長工程之形狀進行佈置。雖依計畫本年度的規畫水工模型為單純造波之定床試驗，而後期延續性研究，則考量模擬海流條件，試驗水槽的運用條件需審慎地籌畫。為使試驗的條件接近現場狀態，規劃添設造流系統，系統的佈置規劃如圖 5.6 所示。

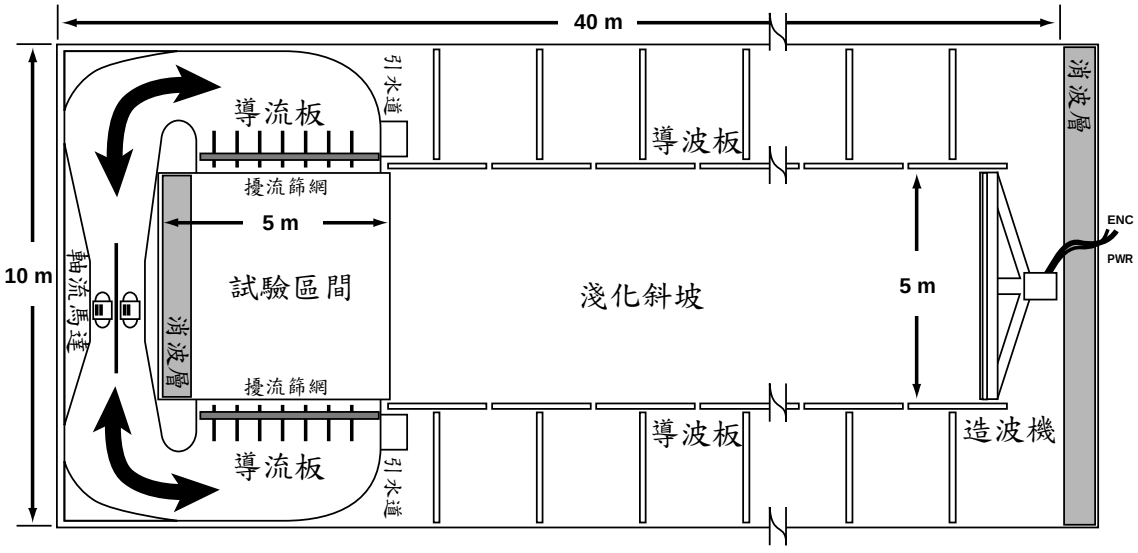


圖 5.6 平面水槽造流系統規劃圖

現場海流方向約與波浪入射方向保持垂直，圖 5.6 中規劃造流方向亦比照如此，在導波板尾段設置寬幅 5m 的試驗區間生成強制流場，用以擺設防波堤堤頭模型。造流系統動力預計採用沉水式軸流馬達，並於其上下游處設計束縮段，以加強流速驅動能力。當試驗區最大水深 0.35 m，且模場流速 0.15 m/sec (原型 1.5 m/sec)，需驅動力為流量 0.26CMS 的軸流泵，而為方便調動流速，軸流泵採用並聯式架構，減小加速區段截面積以提高馬達的工作效率。試驗區間的上下游，設置導流板與擾流篩網，用以穩定流況。其中擾流篩網為格子狀箱型結構，並於進出口處包覆不同網目的篩網，預期流體通過時致發渦流，藉由紊流混合達到均勻流場的目的。造流系統以動床模型進行試驗時，當流速偏大，恐會有漂砂從下游外流損失，因此需進一步考量，是否需要於上游側設置添補砂源的機構，以維持試驗區間內的砂量平衡，亦或檢驗上游供砂率變化對於掏蝕現象之影響。

試驗模型底床基礎剖面及平面遮蔽規劃佈置如圖 5.7 及 5.8 所示，當外海水深條件為 1m 時，可藉由淺化斜坡引導波浪至防波堤模型佈置區域，模型佈置區域平均水深為 0.2 m，換算現場深度為 20 m。使用民國 85 年實測地形鋪設底床，將圖 5.5 中實測水深以每 100m 間距網格化，並以 500m 網格為控制點，轉換成試驗之模型水深，如圖 5.9 所示。

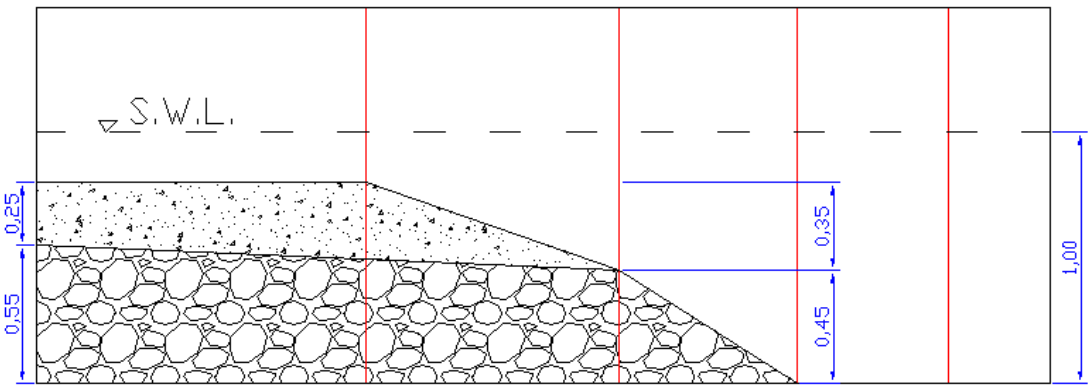


圖 5.7 基礎底床斷面高程規劃圖

決定平面水槽的運用範圍後,底床模型即依下敘程序進行設置:

(1) 鋪設試驗區間基礎:

臺中港北防波堤海域模型的寬度設定為 6cm,將試驗水槽在此範圍內的基底填土至外海平均高程。試驗區間外的底床則以兩段式漸變斜坡,使土層厚度漸減少至水槽原始高度。模型基礎佈置結果如圖 5.10 所示。

(2) 標定坐標方格控制點:

以標竿與細線在土層基礎上,標示間距 100cm×100cm 的坐標系統控制點。坐標網格點設置過程如圖 5.11 所示。

(3) 調整與佈置底床模型:

利用雷射水平儀(如圖 5.12 所示)建立參考水平面,並由縮尺換算後的實測水深地形資料,調整每個控制網格內的模型底床形狀,調整的過程如圖 5.13 所示。

(4) 覆蓋水泥與設置導波板:

在完成底床地形調整後,進行水泥層施工將底床覆蓋保護,完成後於模型兩側擺置導波板作為邊界,其結果如圖 5.14 和圖 5.15 所示。

(5) 港域防波堤模型製作:

依現行臺中港之北防波堤、海堤及鄰域海岸的條件,依模型縮尺建立結構物的模型。並參考防波堤堤頭與堤身之斷面設計圖,置放縮小後的護基塊石。

(6) 架設波高計與流速計:

於深海區與防波堤附近區域架設波高計,作為入射波浪條件及波場觀測之記錄使用。並於堤頭鄰域架設流速計作為瞭解波浪作用下衍生流場之記錄,如圖 5.16 和圖 5.17 所示。

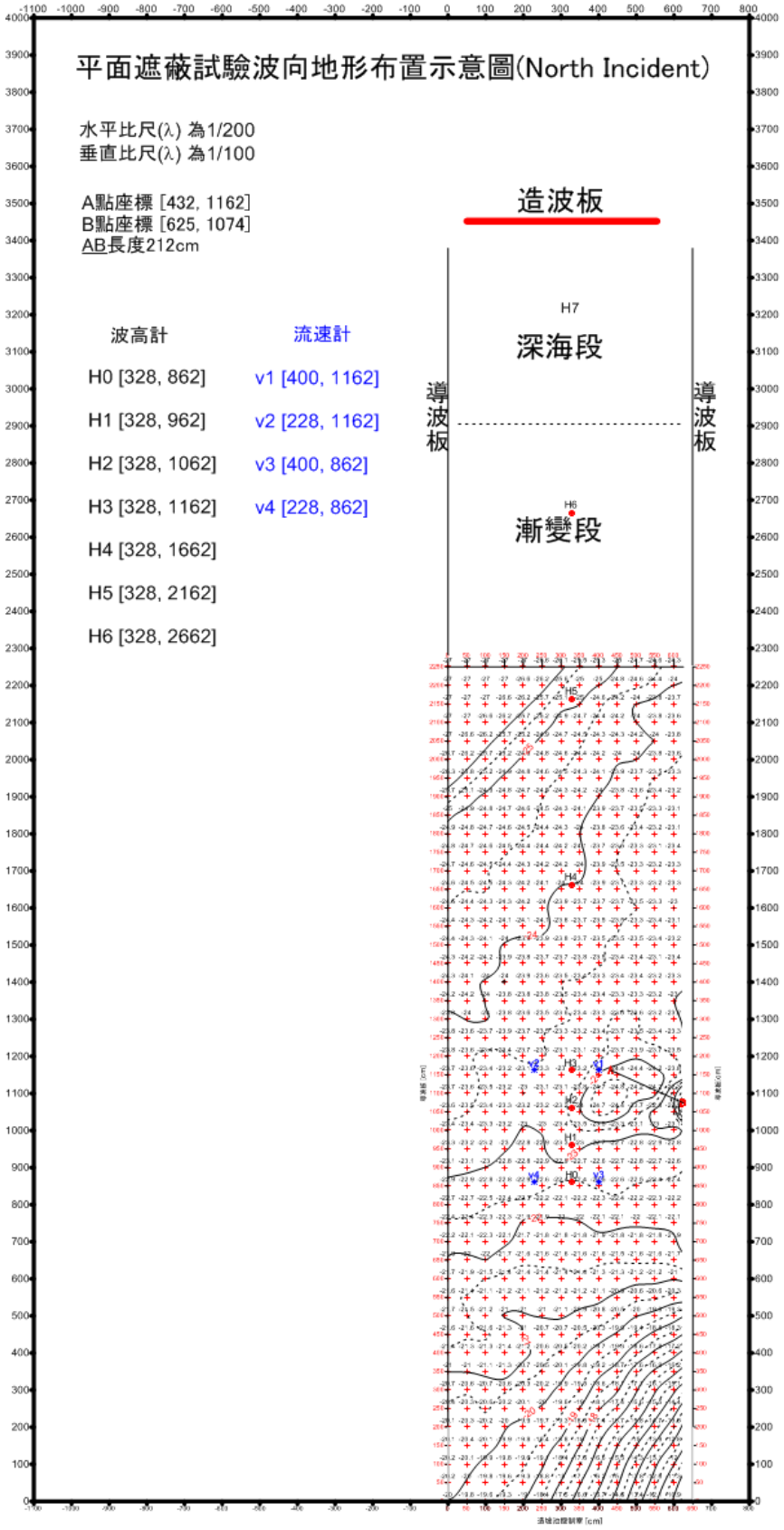


圖 5.8 平面遮蔽試驗波向地形布置示意圖

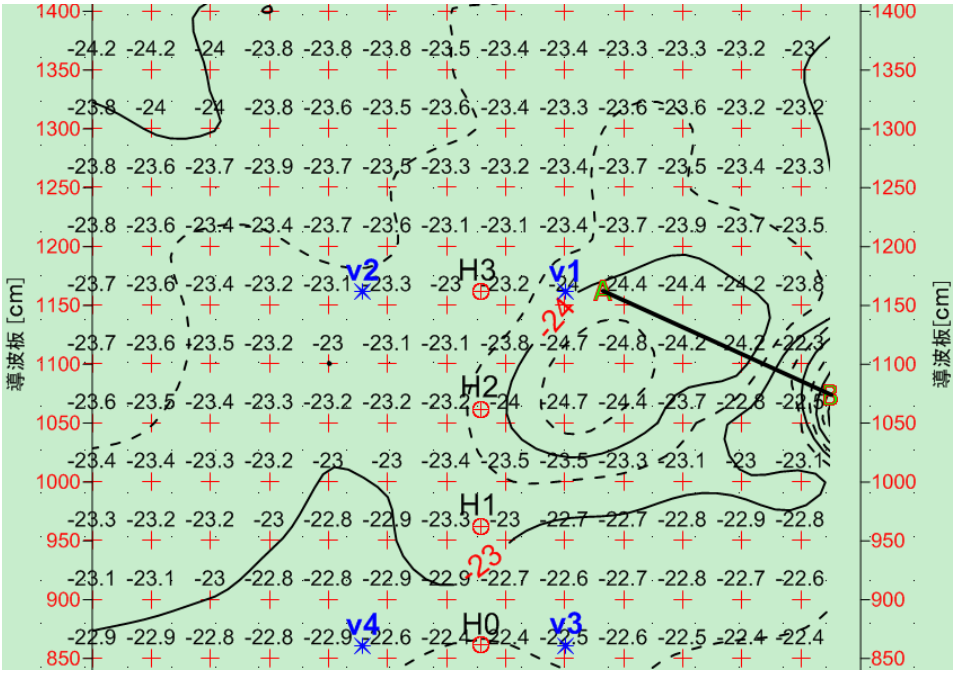


圖 5.9　基礎底床平面高程規劃圖

圖 5.10 鋪設試驗區間基礎

圖 5.11 標定坐標方格控制點

圖 5.12 雷射水平儀參考水準

圖 5.13 調整模型底床地形

圖 5.14 底床等深線施工

圖 5.15 鋪蓋水泥層

圖 5.16 佈置波高計和流速計

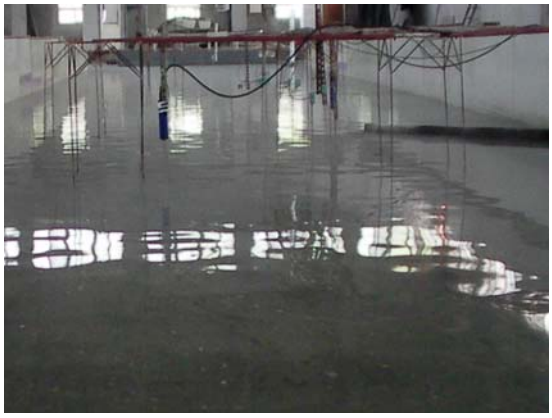


圖 5.17 平面造波水槽進水

2. 試驗步驟

(1) 試驗進行前，以控制水槽的進水高程方式，逐步繪測底床地形的水深等值線，直至水槽內的水位達到試驗水位為止，作為試驗前模型的地形記錄。

(2) 多次改變與記錄波高計設置架高度，並量測其對應之輸出電壓值，並以線性迴歸方法，求取波高計之率定斜率。量測水槽內水溫，作為流速計(NDV)紀錄軟體之校準參數。

3. 試驗條件

今年度水工模型試驗，底床特性皆採用固定式底床，因此規劃的試驗項目如表 5.3 所示。

表 5.3 防制工法水工模型試驗項目

底床特性	起始地形	波浪條件	護基寬度	觀測現象
定床	85 年地形、91 年防波堤	季風、颱風	40m	波場、流場
定床	85 年地形、91 年防波堤	季風、颱風	60m	波場、流場

5.4 試驗量測分析

1. 波浪分佈

於模型之試驗區域內設置波高計，以分析海域之波高分佈。堤頭附近區域為觀測重點區，設置波高計，以利觀察不同入射波浪與防波堤互制下之變形結果。總資料擷取時間為 180 秒，造波時間為一分鐘，開始造波前後各 30 秒擷取靜水位訊號，試驗案例如表 5.4 所示，試驗結果波高時序變化如圖 5.18 至圖 5.22 所示。在 50 年颱風波浪作用下(CASE 1)，受到堤頭影響其堤頭旁波高計(H 3)所測得的波高值明顯高出(H5、H4) 2 m；在夏季平均波高作用因波浪條件中波高較小，與 50 年颱風浪相比堤頭與波浪交互作用無明顯變化，波高值跟其他波高計皆在 1 m 左右；冬季平均、冬季、夏季最大波浪條件，在堤頭所量測到波形相較之前案例變形較為明顯，當時測得最大波高值分別為 2 m、7 m、6 m，波浪越向後傳遞除冬季平均，夏季、冬季最大波浪波形依舊是處於變形狀態。圖 5.23 到圖 5.27 為堤頭護基加寬至 60 m (原 40 m)，波高時序列變化圖，其波高及波浪變形部分，與原護基寬度 40 m 所測到的試驗數據差異不大。

表 5.4 臺中港防坡堤頭造波試驗案例

試驗案例	海象條件	H(波高)	T(週期)	波向	造波時間
Case1	臺中港50年期颱風	7.4cm	1.14s	N	60s
Case2	臺中港夏季平均	1cm	0.58s	N	60s
Case3	臺中港夏季最大	7.5cm	0.60s	N	60s
Case3	臺中港冬季平均	2.1cm	0.63s	N	60s
Case5	臺中港冬季最大	6.9cm	0.60s	N	60s

註：$\lambda_H = 1/100$ 、$\lambda_T = 1/10$

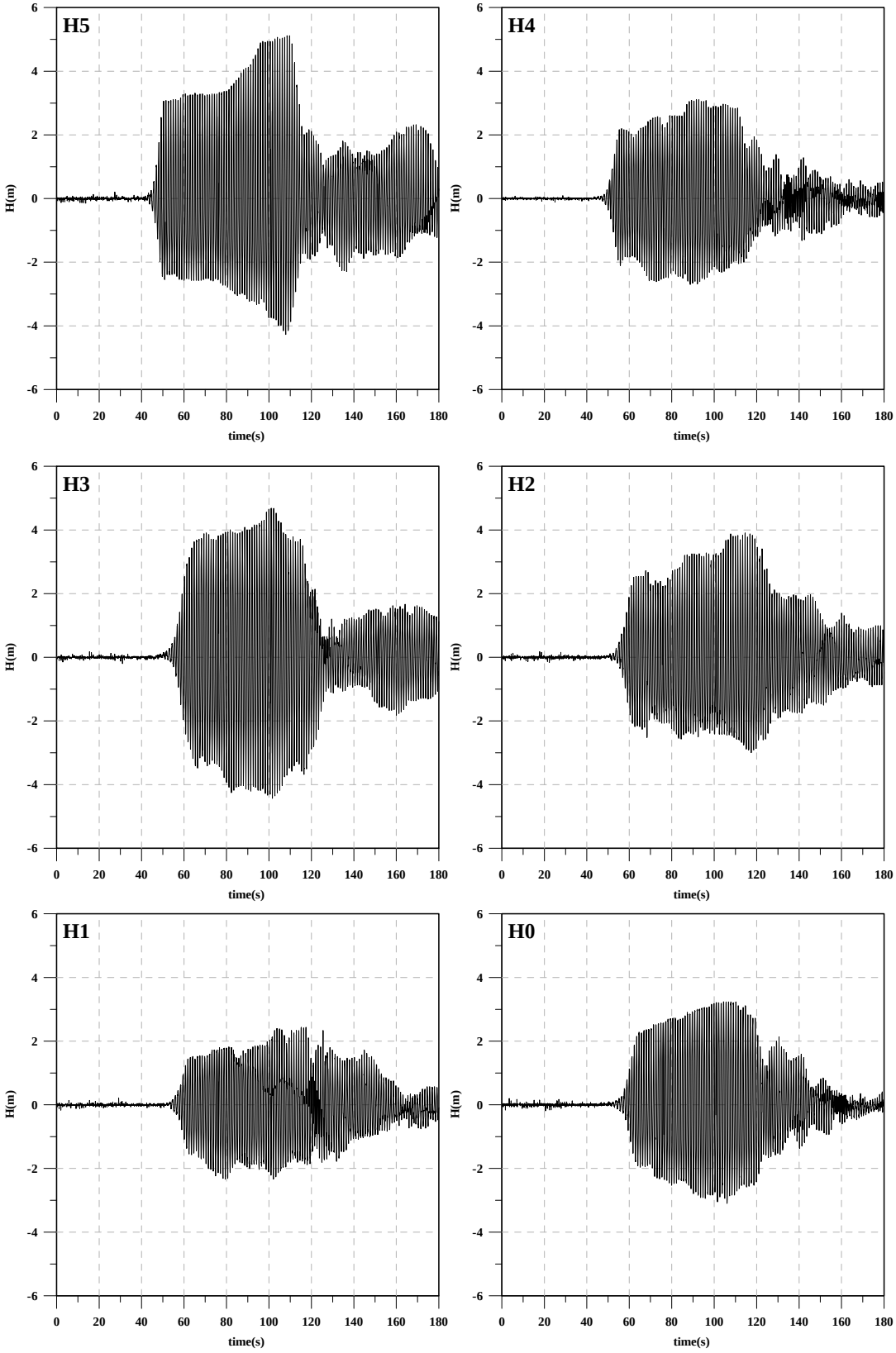


圖 5.18 CASE 1 波高時序列圖 (原型數據)

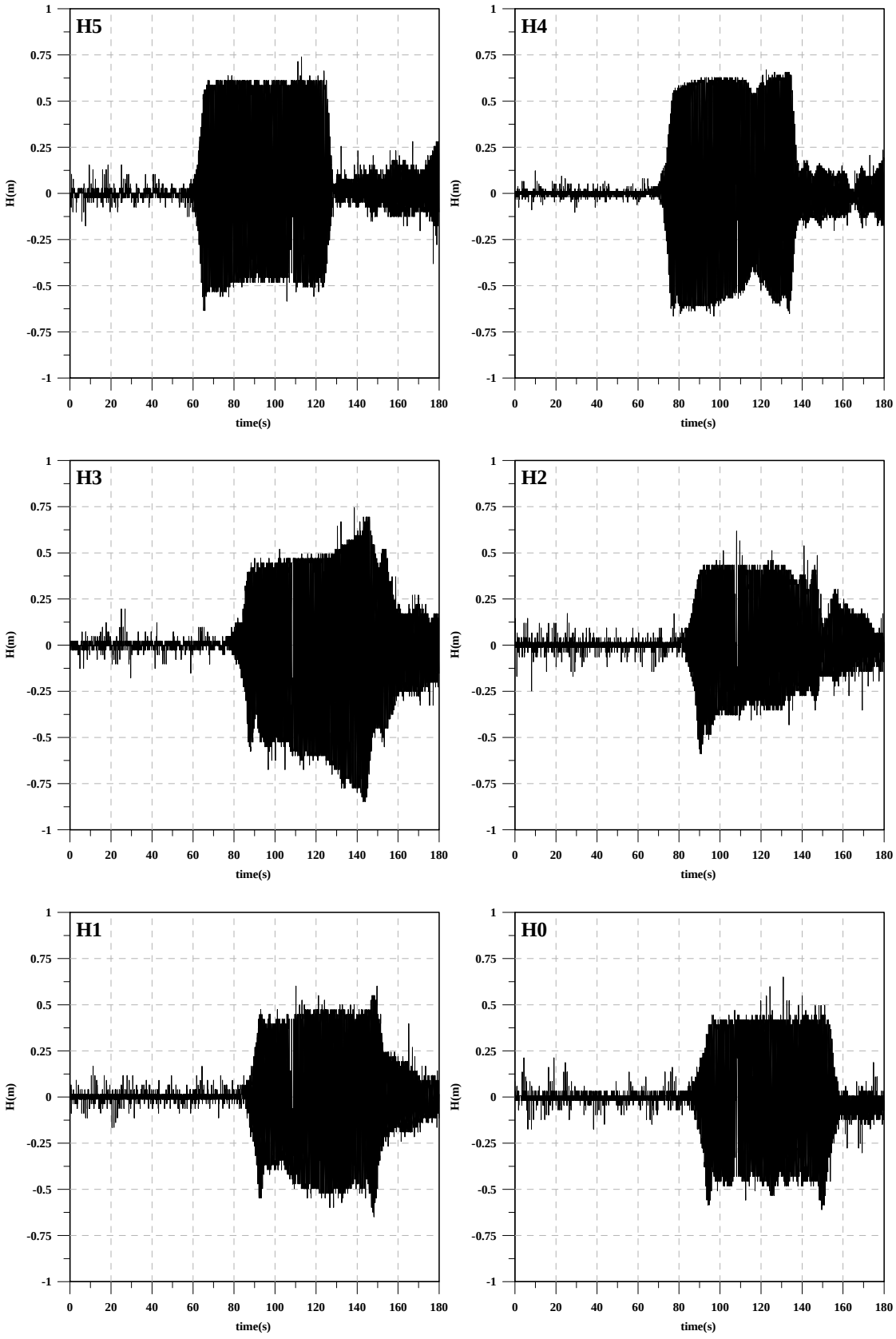


圖 5.19 CASE 2 波高時序列圖 (原型數據)

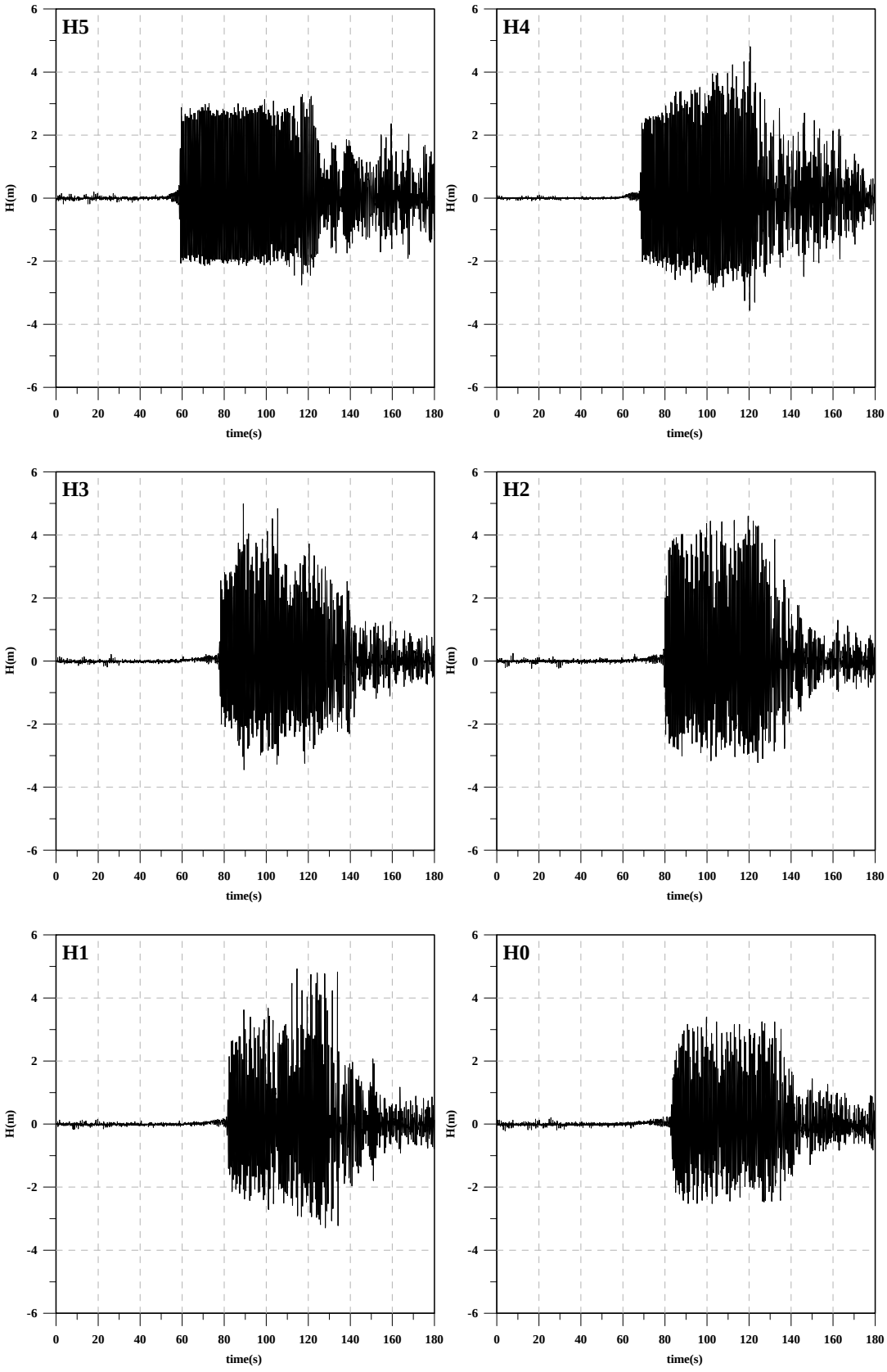


圖 5.20 CASE 3 波高時序列圖 (原型數據)

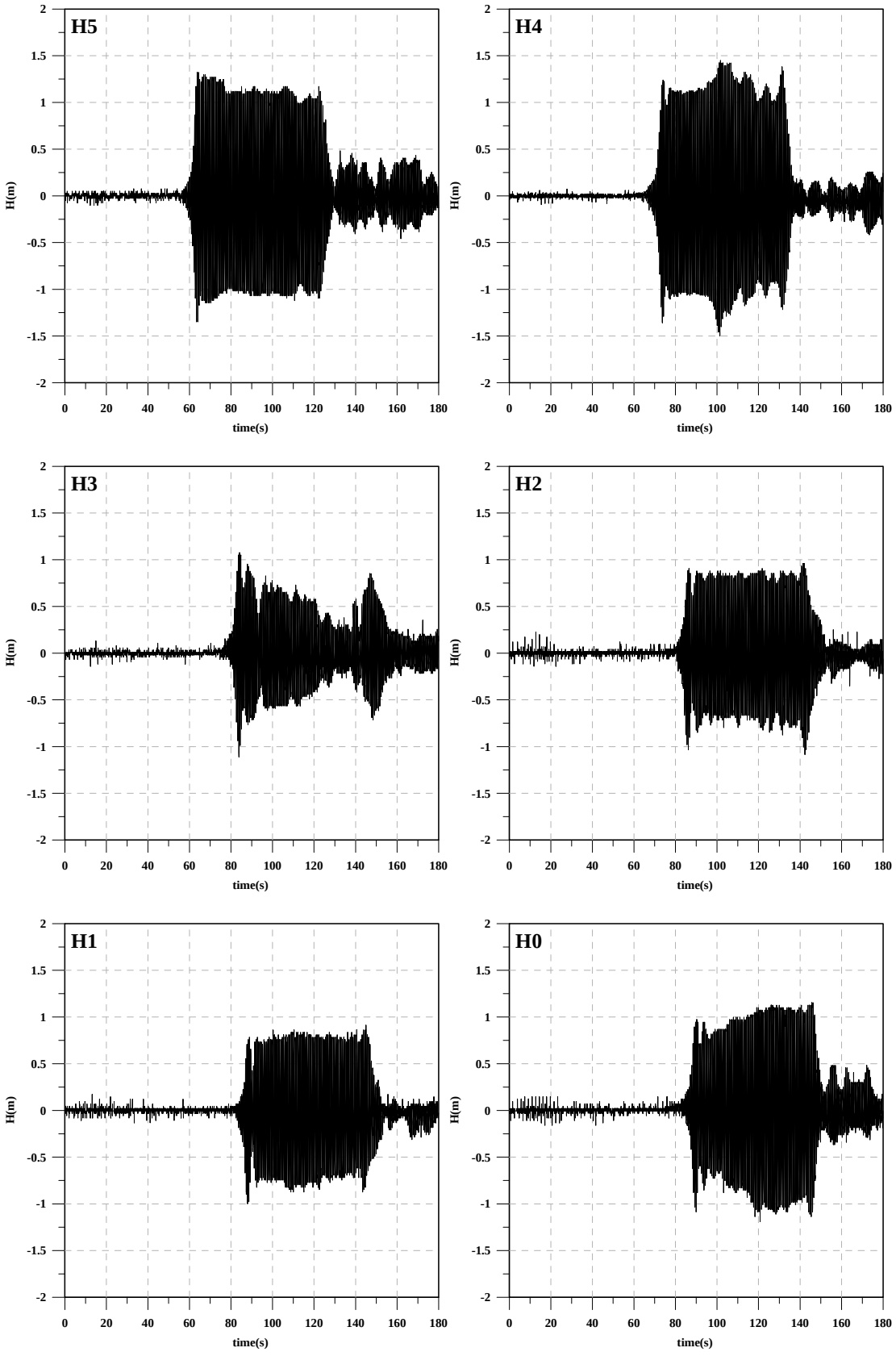


圖 5.21 CASE 4 波高時序列圖 (原型數據)

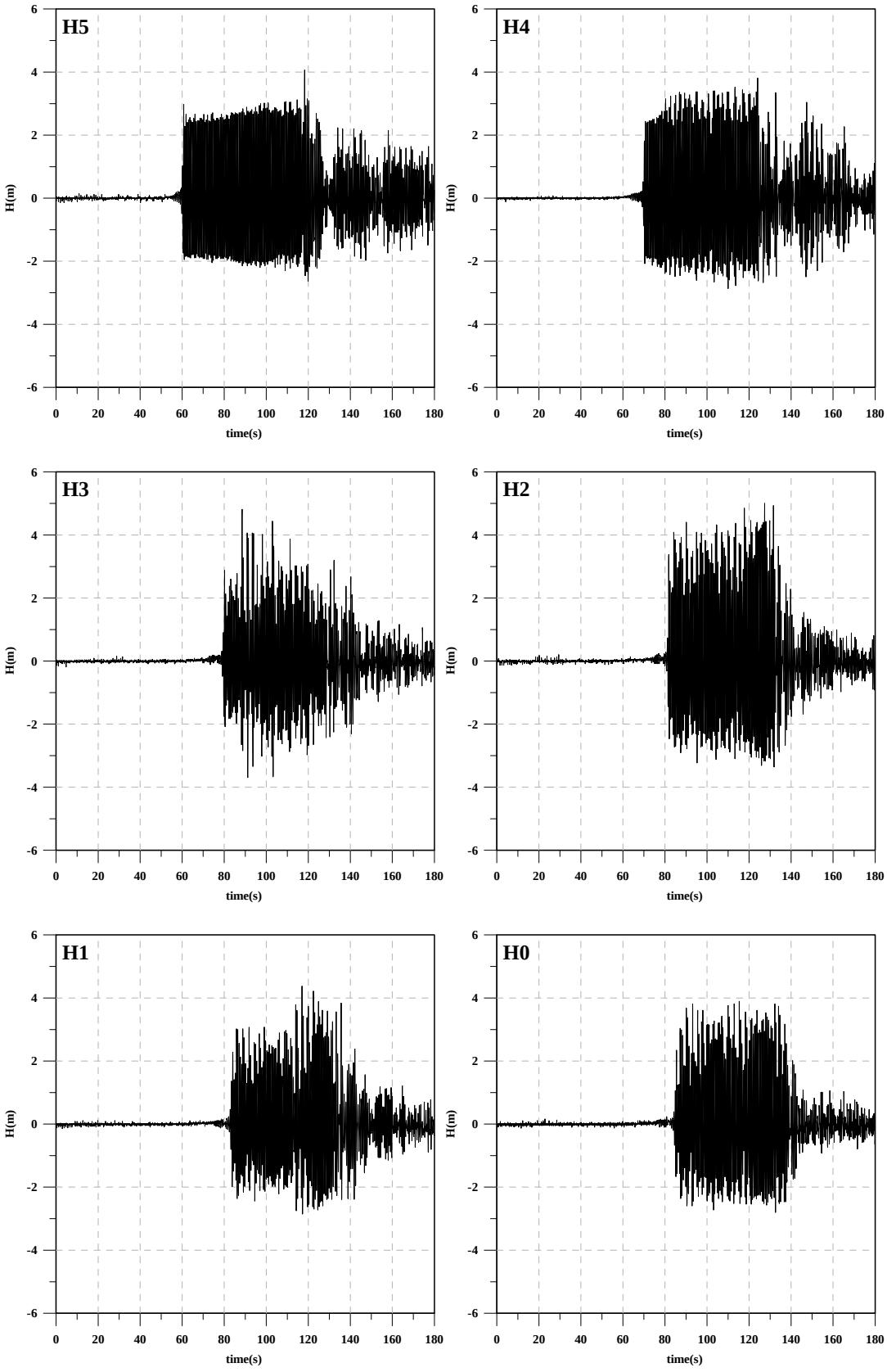


圖 5.22 CASE 5 波高時序列圖 (原型數據)

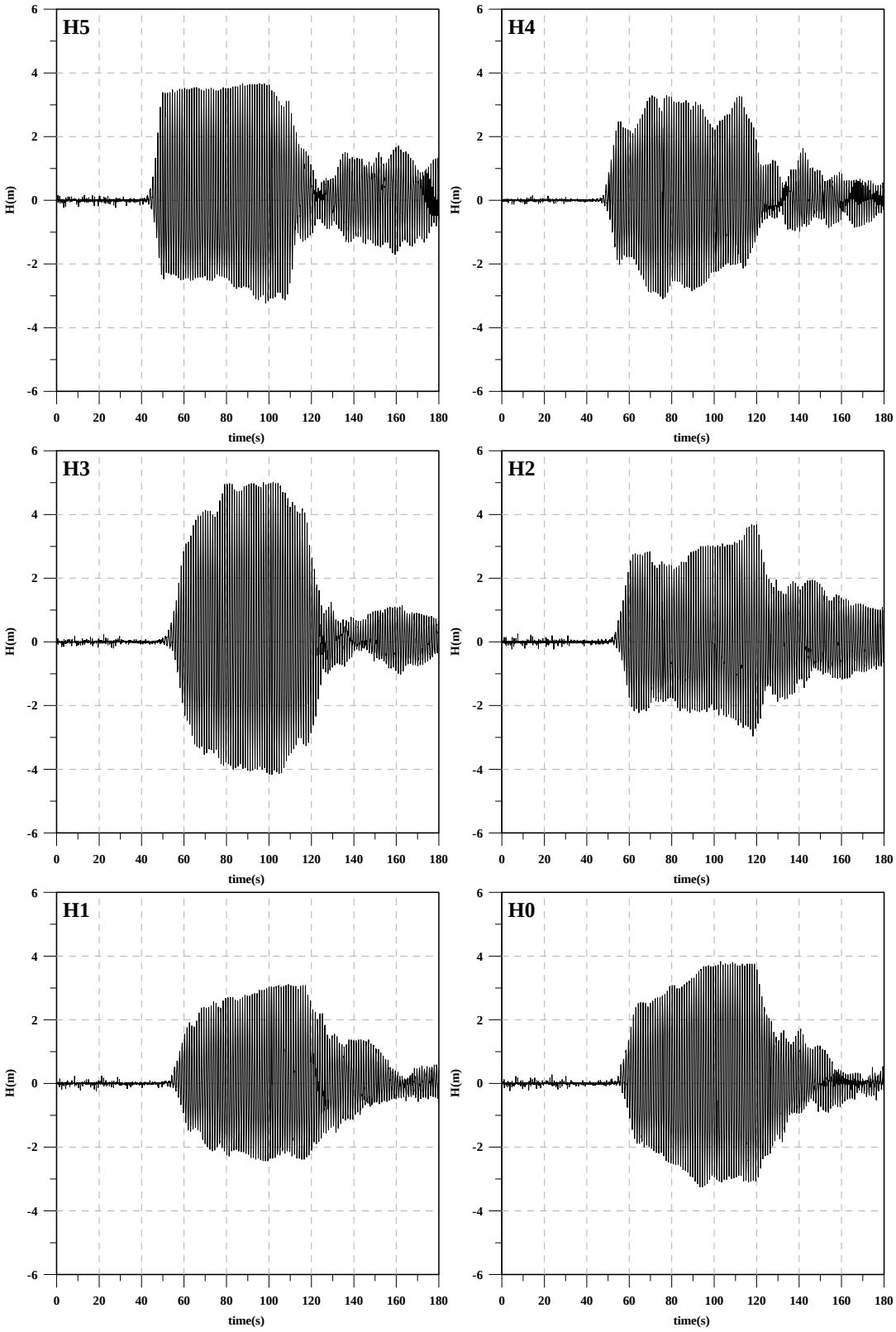


圖 5.23 CASE 1 波高時序列圖 (護基加寬)

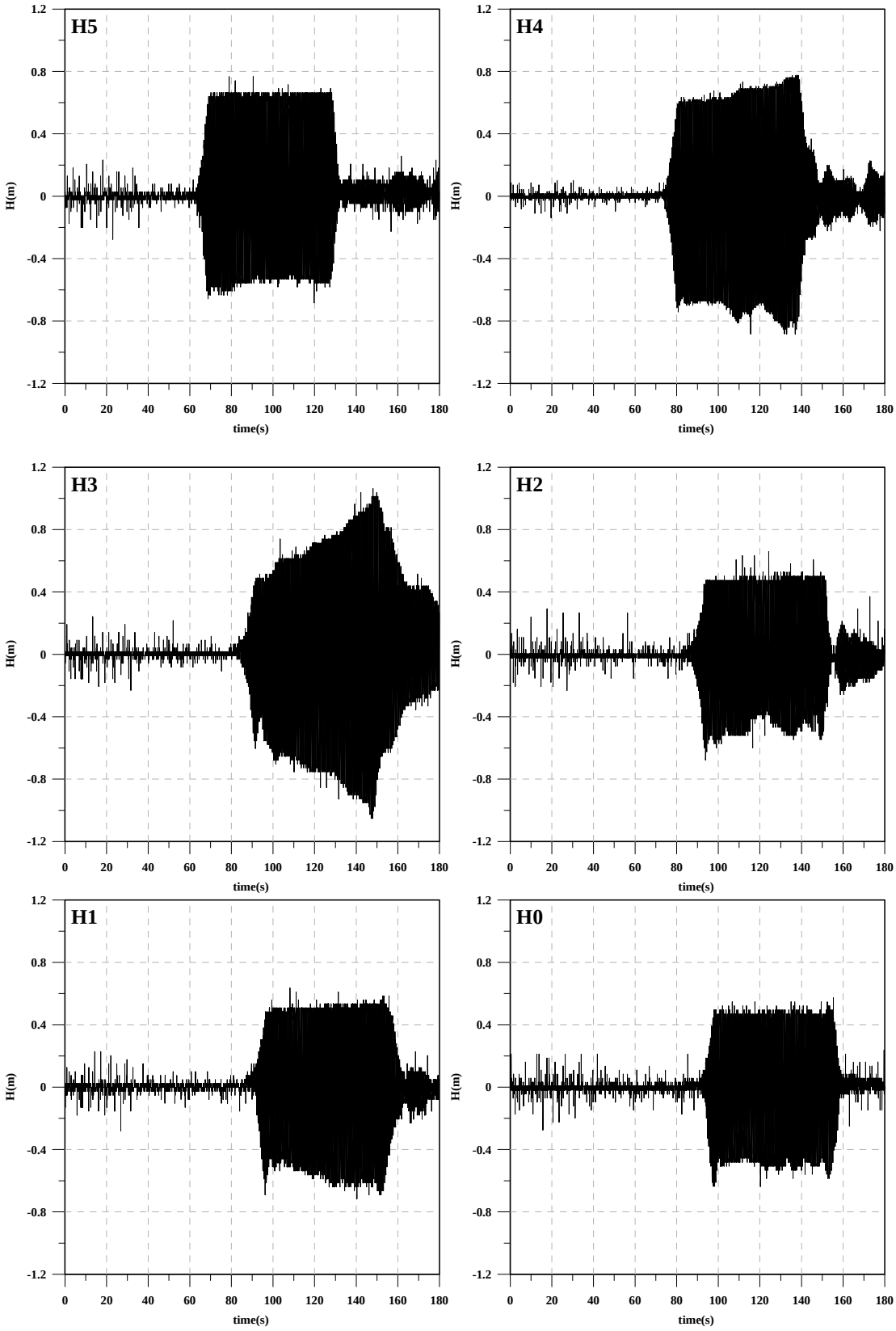


圖 5.24 CASE 2 波高時序列圖 (護基加寬)

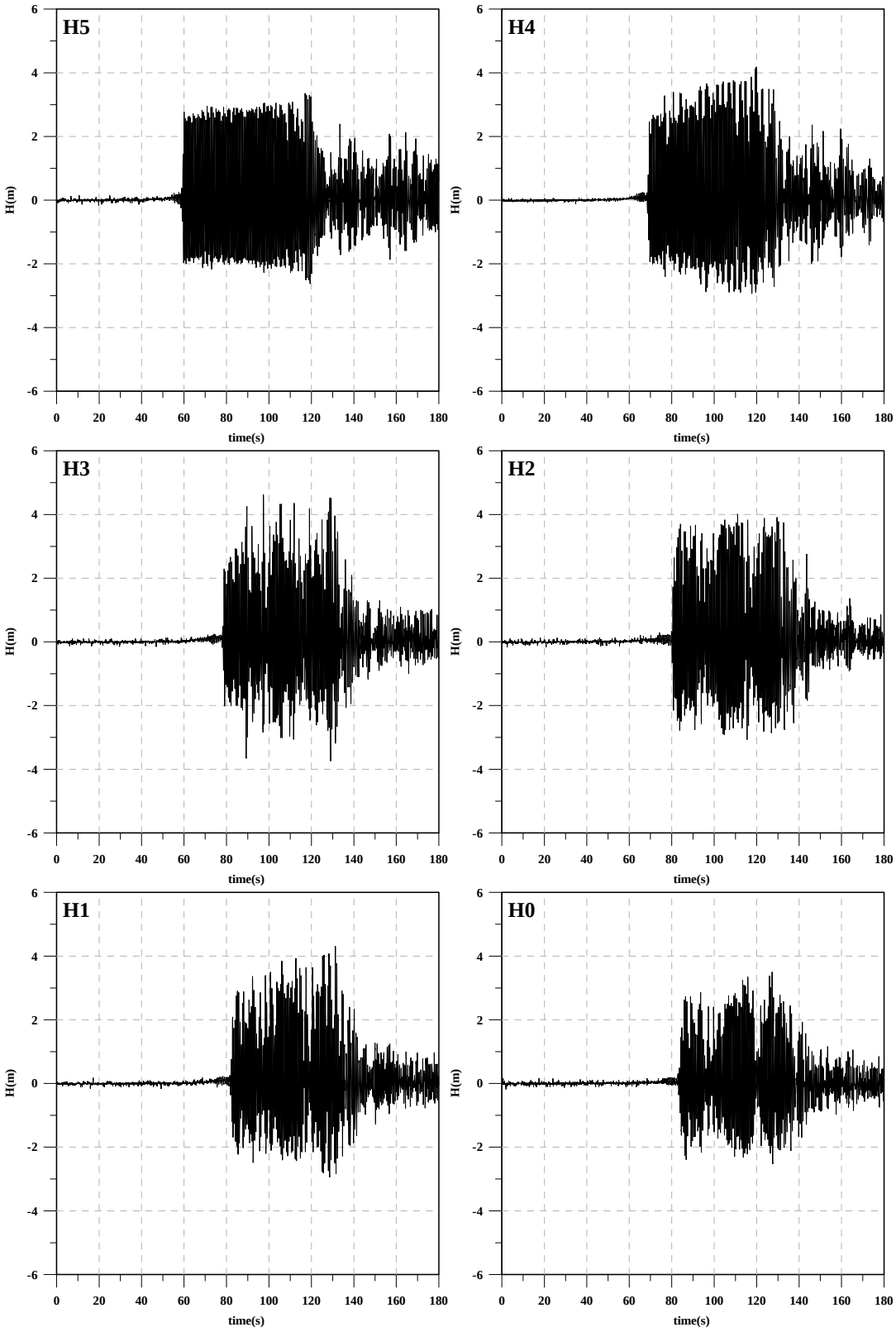


圖 5.25 CASE 3 波高時序列圖 (護基加寬)

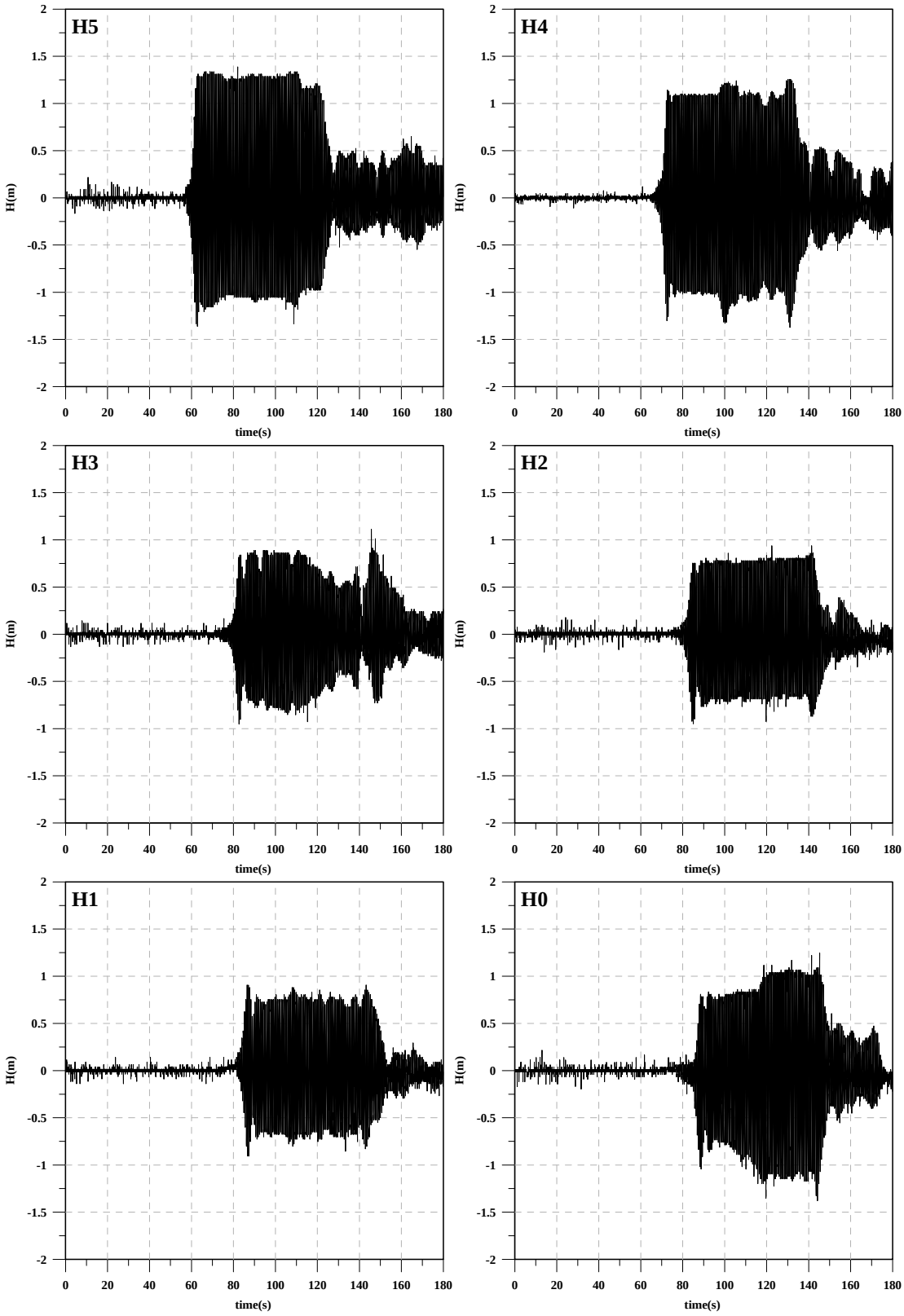


圖 5.26 CASE 4 波高時序列圖 (護基加寬)

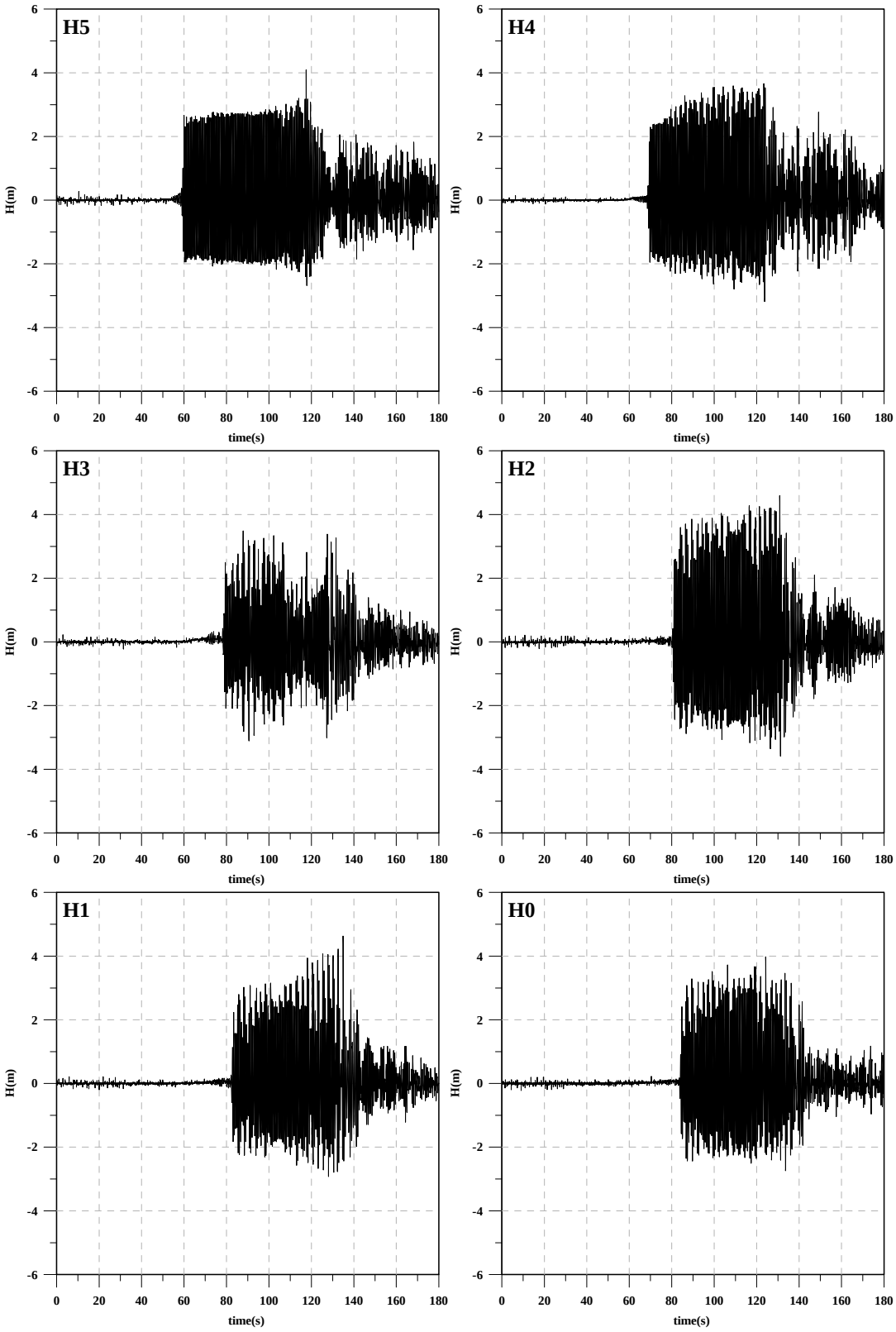


圖 5.27 CASE 5 波高時序列圖 (護基加寬)

2. 防波堤堤頭附近流速變化

為了進一步瞭解試驗模型波場內的流況，並提供更易於理解的資訊，對試驗的時序列計算結果，進行統計與分析。對該小區域內所有模擬時間步階的水分子速度由大至小進行排序，其第一筆資料即為最大值 (V_{max})，並計算其總資料量的前十分之一的水分子速度平均值 ($V_{1/10}$)，及前三分之一的水分子速度平均值 ($V_{1/3}$)。結果如圖 5.25 到圖 5.29、及表 5.5 到表 5.9 所示，試驗時共改變流速計位置二次如圖 5.23 所示。評估防制工法時則改變防波堤頭護基寬度，由原設計護基寬度 20 cm (原型 40m) 增加到 30cm (原型 60m)，如圖 5.24 所示。

堤頭附近所測得之流速資料 (V1 流速計)，在 50 年迴歸期颱風浪高(波高 7.4m、週期 11.4sec)造波下，堤頭護基寬度為 40m 時，水分子水平速度 V_{max} 為 0.5m/sec、$V_{1/10}$ 則是 0.39m/sec；垂直速度 V_{max} 為 0.07m/sec、$V_{1/10}$ 則是 0.03m/sec。當堤頭護基寬度為 60m 時，水分子水平速度 V_{max} 為 1.32m/sec、$V_{1/10}$ 為 1.22m/sec；垂直速度 V_{max} 為 0.32m/sec、$V_{1/10}$ 則是 0.28m/sec。其差異原因為堤頭護基加寬，導致堤頭及護基較原來面積大，受波浪影響增大所致。

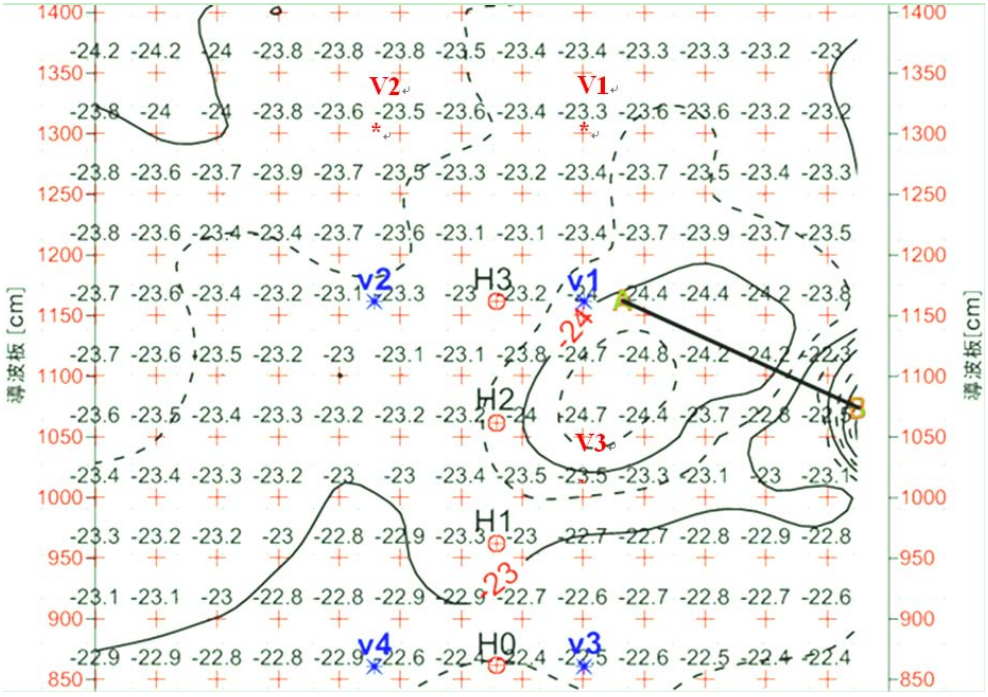


圖 5.28 流速計位置示意圖 (V：流速計，第一次為藍字、第二次為紅字)

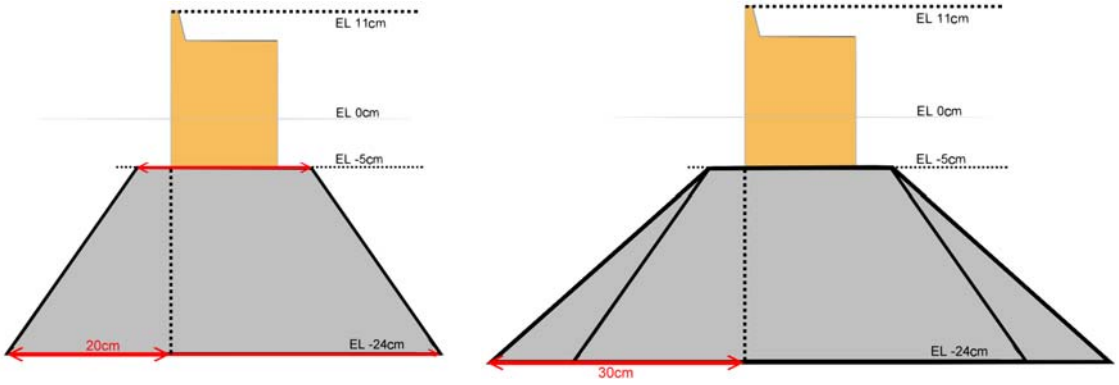


圖 5.29 堤頭護基試驗布置示意圖 (水平比尺 1/200、垂直比尺 1/100)

表 5.5 Case 1 流速統計資料 (原型數據)

說明	50 年迴歸期颱風浪高(波高 7.4m、週期 11.4sec)								
種類 / 流速方向	流速計位置(第一次) 堤頭護基寬度 40m			流速計位置(第二次) 堤頭護基寬度 40m			流速計位置(第一次) 堤頭護基寬度 60m		
	$V_{1/3}$	$V_{1/10}$	V_{max}	$V_{1/3}$	$V_{1/10}$	V_{max}	$V_{1/3}$	$V_{1/10}$	V_{max}
V1-X	0.35	0.39	0.5	0.9	1.17	1.4	1.07	1.22	1.32
V1-Y	0.27	0.3	0.44	0.3	0.46	0.9	0.7	0.9	1.06
V1-Z	0.04	0.03	0.07	0.26	0.32	0.37	0.23	0.28	0.32
V2-X	0.041	0.54	0.6	0.27	0.36	0.4	0.26	0.54	0.4
V2-Y	0.98	1.3	1.43	0.16	0.25	0.3	0.61	0.85	1
V3-X	0.53	0.64	0.7	0.42	0.52	0.7	0.53	0.65	0.74
V3-Y	0.21	0.28	0.34	0.36	0.5	1.2	0.16	0.21	0.26
V3-Z	0.01	0.02	0.05	0.04	0.06	0.12	0.04	0.05	0.06

註：$\lambda_V = 1/10$

表 5.6 Case 2 流速統計資料 (原型數據)

說明	夏季平均浪高(波高 1.02m、週期 5.8sec)								
種類 / 流速方向	流速計位置(第一次) 堤頭護基寬度 40m			流速計位置(第二次) 堤頭護基寬度 40m			流速計位置(第一次) 堤頭護基寬度 60m		
	$V_{1/3}$	$V_{1/10}$	V_{max}	$V_{1/3}$	$V_{1/10}$	V_{max}	$V_{1/3}$	$V_{1/10}$	V_{max}
V1-X	0.03	0.05	0.07	0.05	0.07	0.1	0.04	0.08	0.12
V1-Y	0.02	0.04	0.09	0.01	0.03	0.47	0.06	0.09	0.11
V1-Z	0.02	0.03	0.03	0.05	0.06	0.07	0.04	0.05	0.06
V2-X	0.08	0.1	0.1	0.06	0.08	0.08	0.06	0.09	0.11
V2-Y	0.003	0.005	0.01	0.01	0.004	0.01	0.003	0.005	0.01
V3-X	0.07	0.1	0.12	0.06	0.1	0.16	0.05	0.08	0.16
V3-Y	0.02	0.03	0.04	0.03	0.06	0.12	0.02	0.03	0.04
V3-Z	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04	0.02	0.02	0.03

註：$\lambda_V = 1/10$

表 5.7 Case 3 流速統計資料 (原型數據)

說明	夏季最大浪高(波高 7.5m、週期 6sec)								
種類 / 流速方向	流速計位置(第一次) 堤頭護基寬度 40m			流速計位置(第二次) 堤頭護基寬度 40m			流速計位置(第一次) 堤頭護基寬度 60m		
	$V_{1/3}$	$V_{1/10}$	V_{max}	$V_{1/3}$	$V_{1/10}$	V_{max}	$V_{1/3}$	$V_{1/10}$	V_{max}
V1-X	0.15	0.2	0.25	0.41	0.5	0.55	0.45	0.66	0.79
V1-Y	0.05	0.08	0.15	0.11	0.15	0.18	0.1	0.14	0.2
V1-Z	0.02	0.03	0.05	0.2	0.24	0.26	0.18	0.23	0.27
V2-X	0.26	0.39	0.52	.34	0.43	0.5	0.1	0.16	0.22
V2-Y	0.11	0.16	0.2	0.11	0.15	0.18	0.1	0.16	0.2
V3-X	0.3	0.45	0.52	0.3	0.42	0.52	0.35	0.58	0.79
V3-Y	0.02	0.04	0.07	0.15	0.21	0.26	0.05	0.09	0.2
V3-Z	0.04	0.05	0.06	0.05	0.06	0.07	0.04	0.08	0.06

表 5.8 Case 4 流速統計資料 (原型數據)

說明	冬季平均浪高(波高 2.08m、週期 6.3sec)								
種類 / 流速方向	流速計位置(第一次) 堤頭護基寬度 40m			流速計位置(第二次) 堤頭護基寬度 40m			流速計位置(第一次) 堤頭護基寬度 60m		
	$V_{1/3}$	$V_{1/10}$	V_{max}	$V_{1/3}$	$V_{1/10}$	V_{max}	$V_{1/3}$	$V_{1/10}$	V_{max}
V1-X	0.09	0.06	0.09	0.16	0.23	0.33	0.12	0.18	0.21
V1-Y	0.04	0.06	0.09	0.08	0.12	0.18	0.08	0.12	0.17
V1-Z	0.02	0.02	0.02	0.06	0.07	0.08	0.08	0.09	0.1
V2-X	0.14	0.22	0.27	0.13	0.16	0.18	0.19	0.25	0.28
V2-Y	0.02	0.03	0.03	0.14	0.03	0.03	0.03	0.05	0.07
V3-X	0.11	0.16	0.24	0.11	0.15	0.23	0.16	0.22	0.28
V3-Y	0.03	0.06	0.12	0.08	0.11	0.19	0.05	0.07	0.11
V3-Z	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05

表 5.9 Case 5 流速統計資料 (原型數據)

說明	冬季最大浪高(波高 6.91m、週期 6.3sec)								
種類 / 流速方向	流速計位置(第一次) 堤頭護基寬度 40m			流速計位置(第二次) 堤頭護基寬度 40m			流速計位置(第一次) 堤頭護基寬度 60m		
	$V_{1/3}$	$V_{1/10}$	V_{max}	$V_{1/3}$	$V_{1/10}$	V_{max}	$V_{1/3}$	$V_{1/10}$	V_{max}
V1-X	0.14	0.2	0.23	0.39	0.59	0.76	0.45	0.58	0.64
V1-Y	0.04	0.06	0.13	0.11	0.17	0.26	0.06	0.1	0.13
V1-Z	0.02	0.02	0.03	0.18	0.22	0.25	0.17	0.2	0.24
V2-X	0.21	0.3	0.35	0.32	0.4	0.48	0.2	0.31	0.38
V2-Y	0.09	0.14	0.18	0.02	0.06	0.11	0.08	0.14	0.18
V3-X	0.24	0.42	0.56	0.26	0.38	0.42	0.34	0.54	0.78
V3-Y	0.04	0.07	0.12	0.14	0.2	0.28	0.04	0.07	0.13
V3-Z	0.03	0.05	0.05	0.04	0.05	0.06	0.04	0.05	0.07

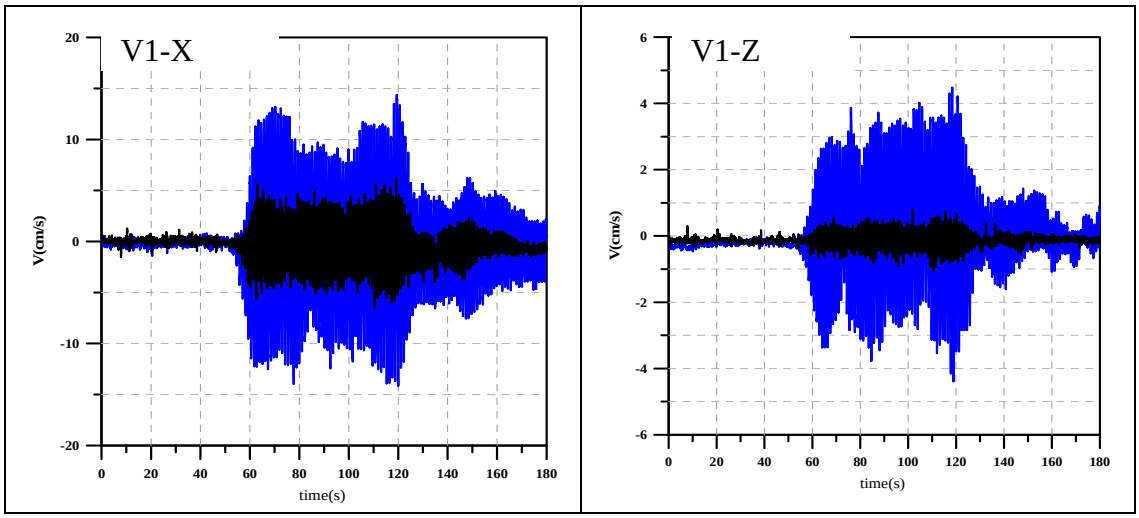


圖 5.30 護基寬度改變堤頭附近底床水分子速度變化圖

(CASE 1，黑: 40m 護基寬、藍: 60m 護基寬)

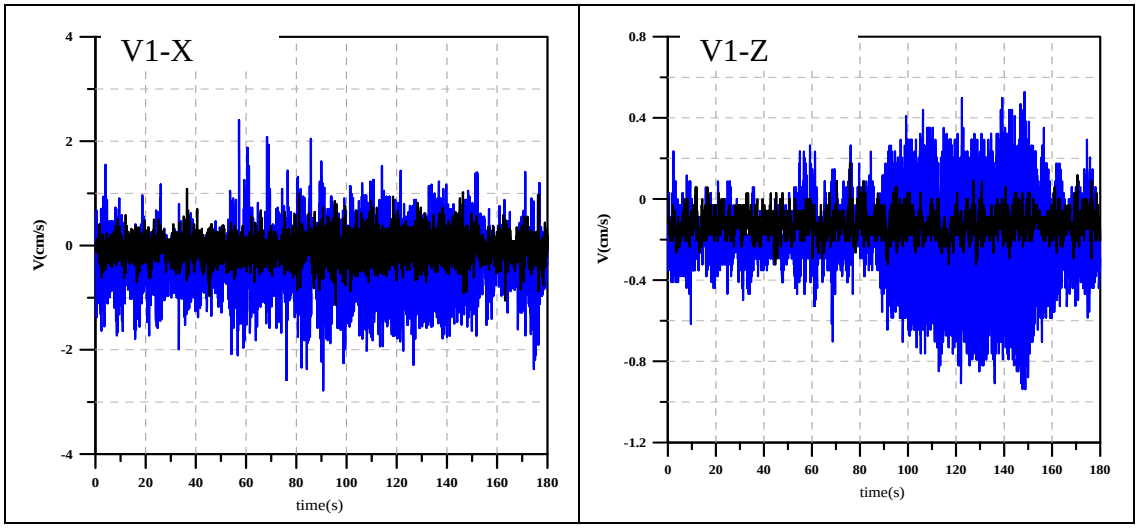


圖 5 31 護基寬度改變堤頭附近底床水分子速度變化圖

(CASE 2，黑: 40m 護基寬、藍: 60m 護基寬)

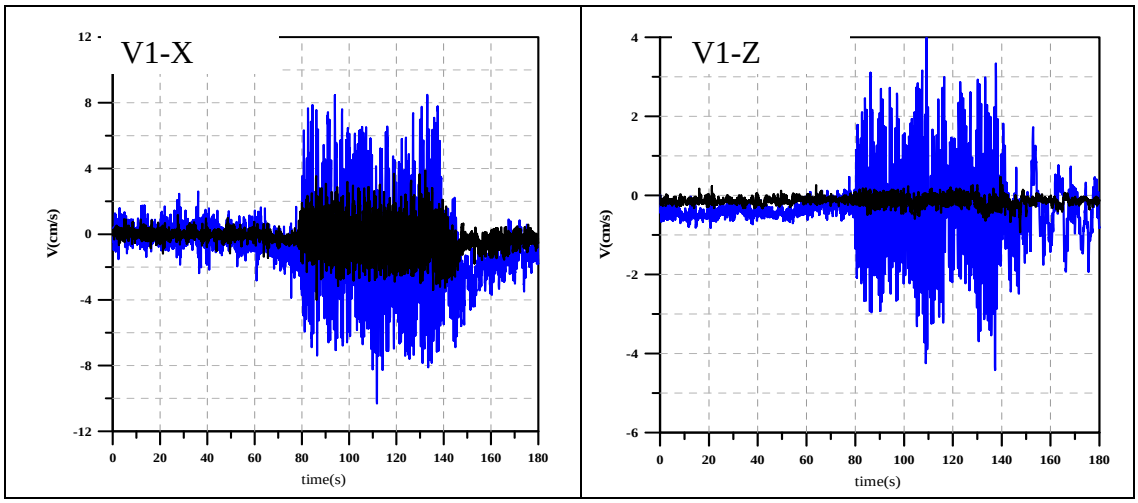


圖 5.32 護基寬度改變堤頭附近底床水分子速度變化圖

(CASE 3，黑: 40m 護基寬、藍: 60m 護基寬)

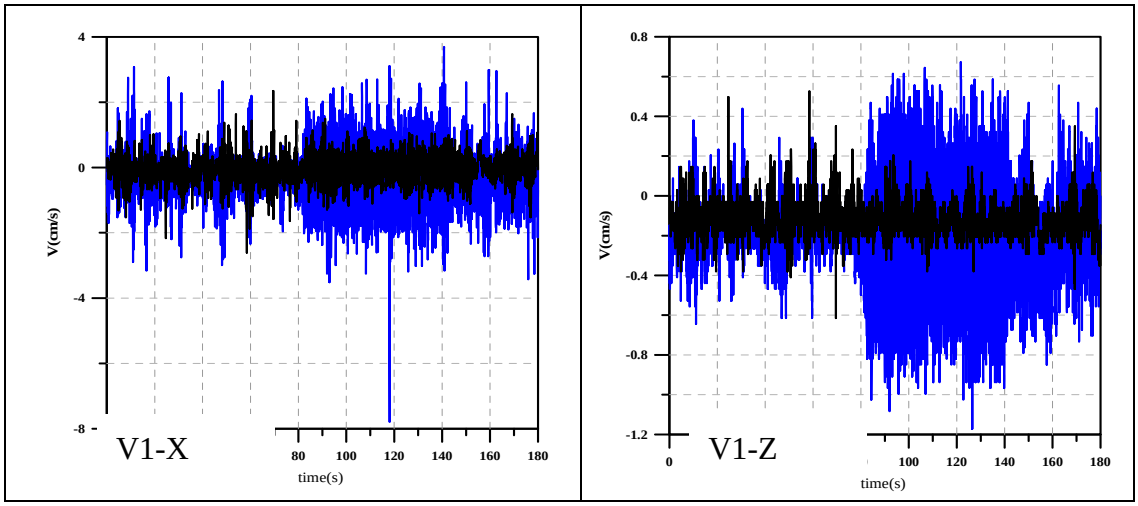


圖 5.33 護基寬度改變堤頭附近底床水分子速度變化圖

(CASE 4，黑: 40m 護基寬、藍: 60m 護基寬)

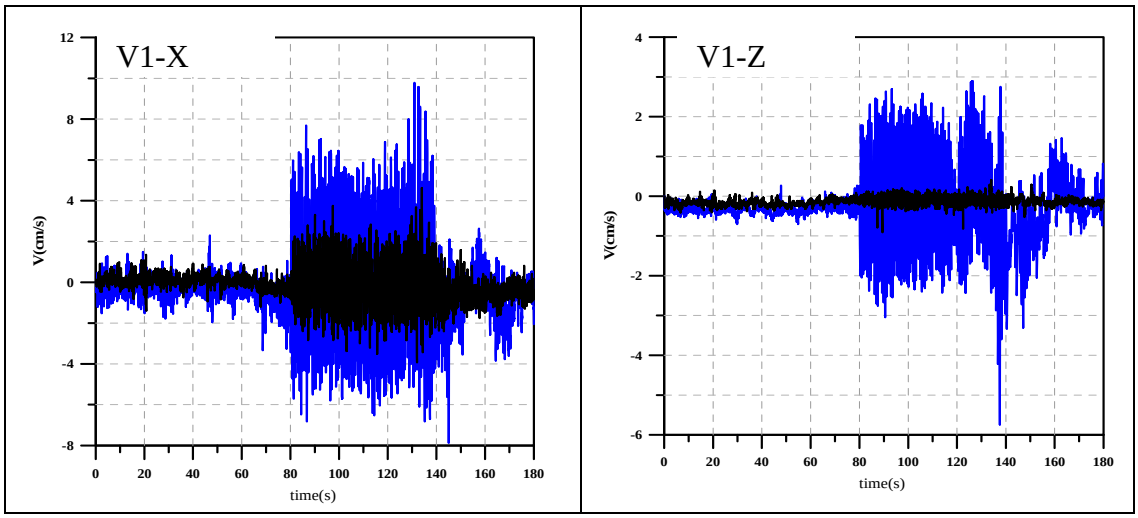


圖 5.34 護基寬度改變堤頭附近底床水分子速度變化圖
(CASE 5，黑: 40m 護基寬、藍: 60m 護基寬)

5.5 試驗結果與數值模式之驗證

5.5.1 波高驗證

以下選取臺中港 50 年迴歸期颱風浪 (CASE 1) 且 40m 護基寬度之試驗結果進行比對。圖 5.30 至圖 5.36 依序為波高計 H7、H5、H4、H3、H2、H1 所擷取之波高值與 FLOW-3D 計算結果的比對，波高計編號越小表示離造波邊界越遠。波高計 H7 位置距離造波板 2m(一個波長)，用來驗證波高與造波週期是否與造波條件相符，H7 位於深水區(水深 -1.0m)，較不受側向邊界、底床邊界及波浪反射等因素的干擾，因此試驗波高週期和數值解算有很好的一致性。

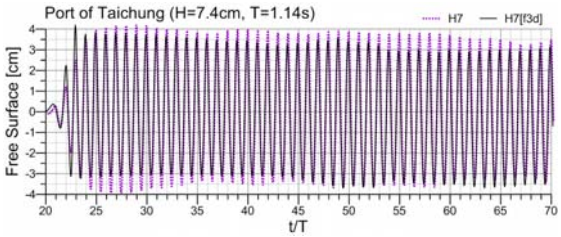


圖 5.35 H7 數值與試驗波高比較

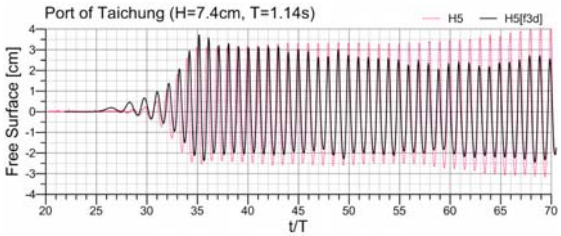


圖 5.36 H5 數值與試驗波高比較

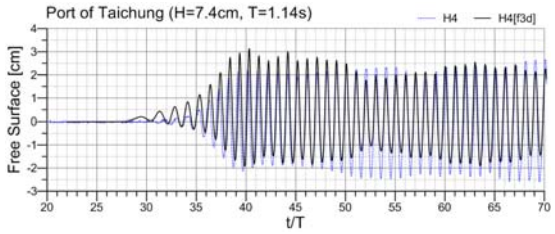


圖 5.37 H4 數值與試驗波高比較

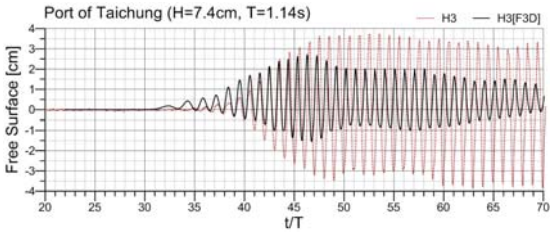


圖 5.38 H3 數值與試驗波高比較

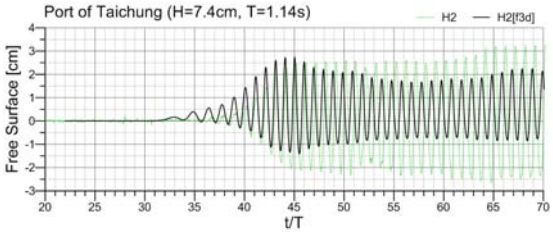


圖 5.39 H2 數值與試驗波高比較

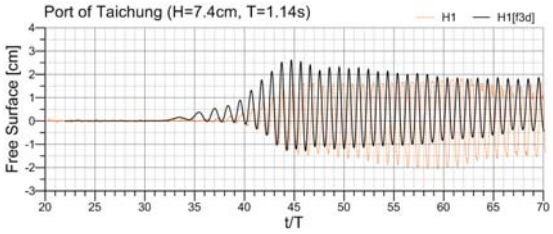


圖 5.40 H1 數值與試驗波高比較

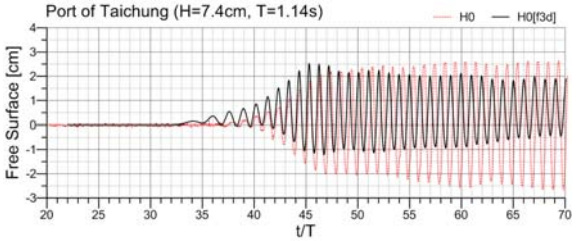


圖 5.41 H0 數值與試驗波高比較

5.5.2 波場流速驗證

表 5.10 說明 u、v、w 代號等的意義，除了 u3 試驗值與數值解較一致，如圖 5.38 所示，其餘皆顯示相當落差，後續模型縮尺、邊界佈置與量測儀器的架設，仍需進一步檢討改進。

表 5.10 水粒子運動方向明細

流速計編號	水粒子運動方向		流速計位置
V1	u1	側向速度	堤頭西側 32cm
	v1	波浪傳遞方向速度	
	w1	垂直速度	
V2	u2	側向速度	堤頭西側 32cm，邊界距離 228cm
	v2	波浪傳遞方向速度	
	nil	nil	
V3	u3	側向速度	V1 南側 300cm
	v3	波浪傳遞方向速度	
	w3	垂直速度	
V4	u4	側向速度	V2 南側 300cm
	v4	波浪傳遞方向速度	
	w4	垂直速度	

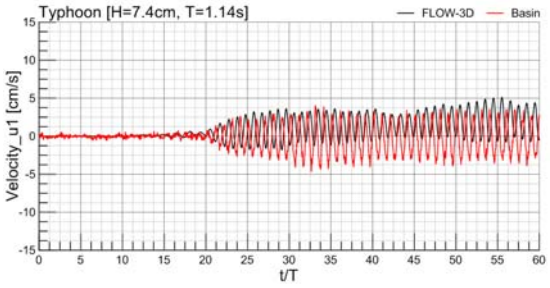


圖 5.42 u1 數值與試驗比較

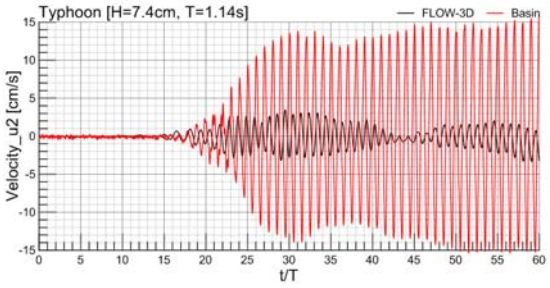


圖 5.43 u2 數值與試驗比較

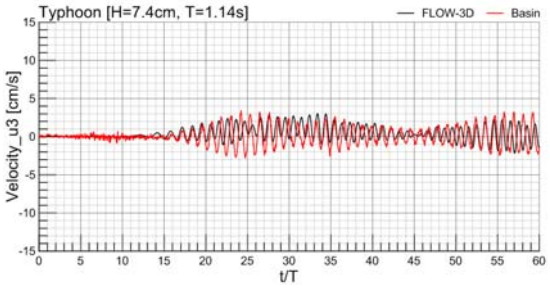


圖 5.44 u3 數值與試驗比較

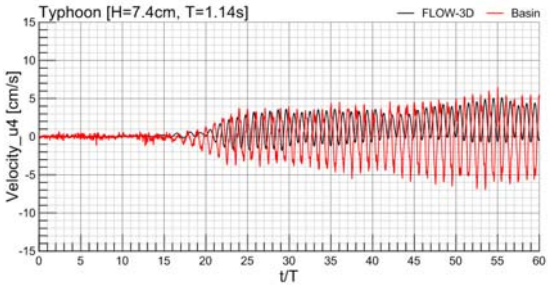


圖 5.45 u4 數值與試驗比較

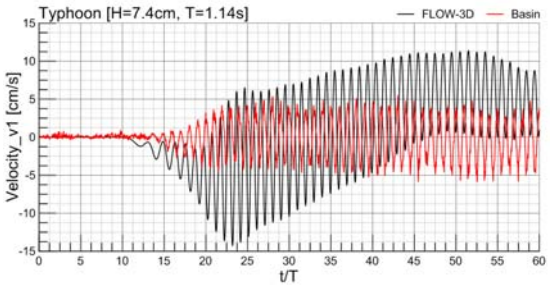


圖 5.46 v1 數值與試驗比較

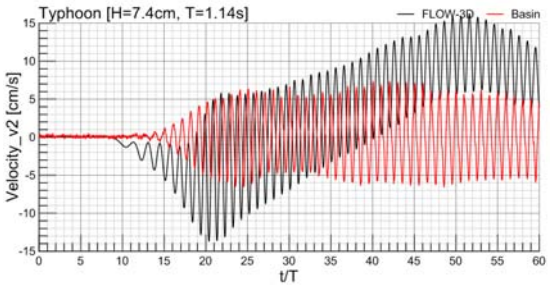


圖 5.47 v2 數值與試驗比較

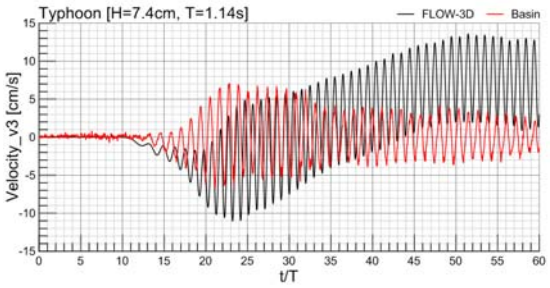


圖 5.48 v3 數值與試驗比較

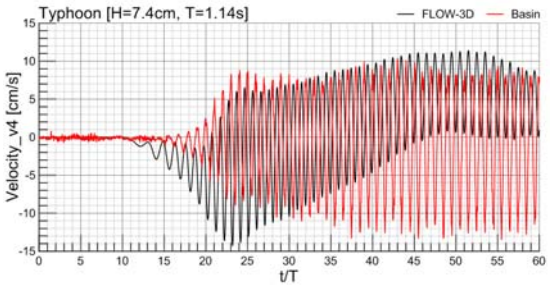


圖 5.49 v4 數值與試驗比較

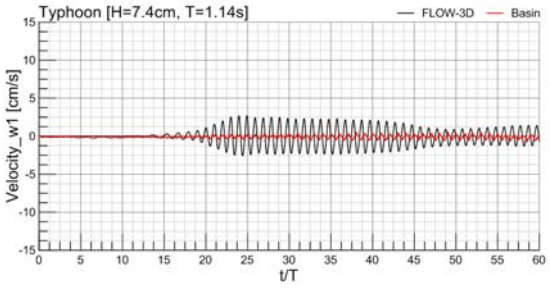


圖 5.50 w1 數值與試驗比較

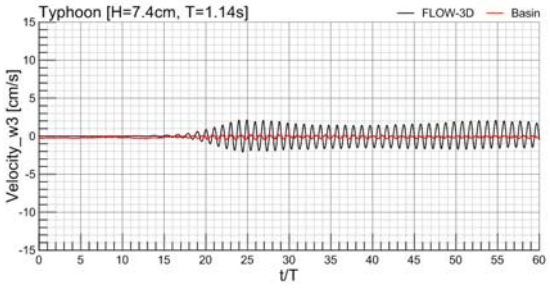


圖 5.51 w3 數值與試驗比較

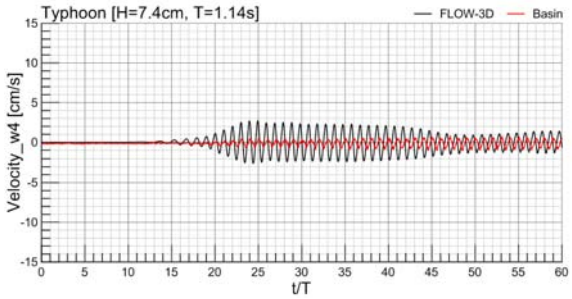


圖 5.52 w4 數值與試驗比較

第六章 研擬防波堤堤頭侵蝕的防制工法

臺中港北防波堤堤頭附近產生水深超過-25m 的沖蝕洞，麥寮港西防波堤堤頭附近亦產生水深超過 -45m 的沖蝕洞。對於此沖刷現象的影響範圍與擴展時程，目前仍未十分明確地。在研擬防波堤堤頭侵蝕的防制工法前，仍須進一步瞭解其發生機制。本年度計畫以臺中港堤頭侵蝕為主要目標，依現有資料分析具有影響性的環境變數，初步研擬可行之堤頭侵蝕防制工法。

6.1 防波堤堤頭附近地形侵淤分析

1. 臺中海域

臺中港民國 65 年主體工程完成後，歷經數次延長北防波堤至外海水深約 -22m 的海域。大多數區域保持逐年淤積的狀態，但緊鄰南、北防波堤的海域地形變化較大。根據臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司提供的地形資料，北防波堤堤頭附近海域 85~95 年間地形侵淤變化，如圖 6.1 所示。85~86 年期間主要的地形變化，在於緊鄰北防波堤的堤頭北側形成-2~-4m 的掏蝕區塊，而於北防波堤的北側與南防波堤的西側產生+4m 的堆積，其餘地方的地形變化並不顯著。86~87 年期間，原本前年度北防波堤的侵蝕區域已回填淤積+4~+6m 的高度，抵消原本的沖刷損失。即 85~87 年期間，堤頭鄰域的侵淤變化近於平衡。

87~89 年期間，北防波堤逐漸延伸堤體的長度，堤頭西北側大量的底質遭到掏移，形成約 500m×400m 的橢形侵蝕區域，最大掏深超過-4m，緊鄰堤頭端的沖蝕範圍亦有 200m×250m。除此之外，北防波堤堤身處亦有大小不等深約-2m 的掏蝕。於北防波堤北側垂直堤體方向則形成長條型堆積帶，最大高度超越+5m，約增加 6.2 萬 m^3 的體積量。

89~91 年期間，北防波堤已向西北方外海延伸了 300m，堤頭附近的地形產生回淤現象，最大堆積高度在+2m 幅度，然尚未完全抵消

87~89 年的侵蝕深度。南防波堤西側則產生大範圍的地形掏深，侵蝕最大的幅度可達到-8m，總侵蝕量約 26 萬 m^3。91~93 年期間，北防波堤附近幾乎呈現全面淤積的現象。在 93~94 年與 94~95 年期間，北防波堤的堤頭處則持續侵蝕，掏深幅度介於-1~-8m 之間。

綜合歷年的侵淤變化結果，除了緊鄰南、北防波堤的海域地形變化較大，大多數區域則保持逐年淤積的狀態，而處大部分時間是呈現侵蝕的狀態。85~95 年期間，北防波堤堤頭累積最大掏深幅度可達-6m；北防波堤北側累積最大淤積幅度則可達+10m。

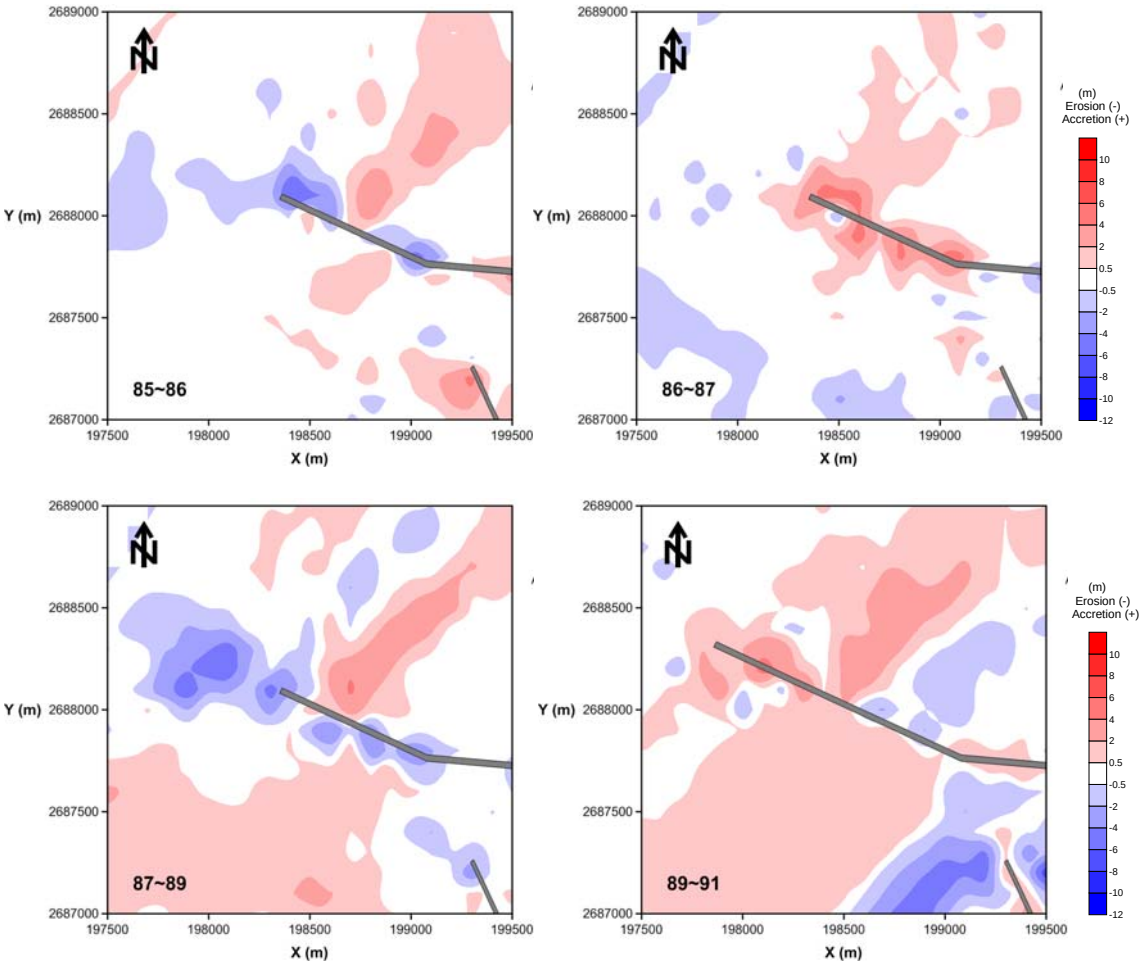


圖 6.1 臺中港北防波堤海域實測地形侵淤變化(85~95 年)

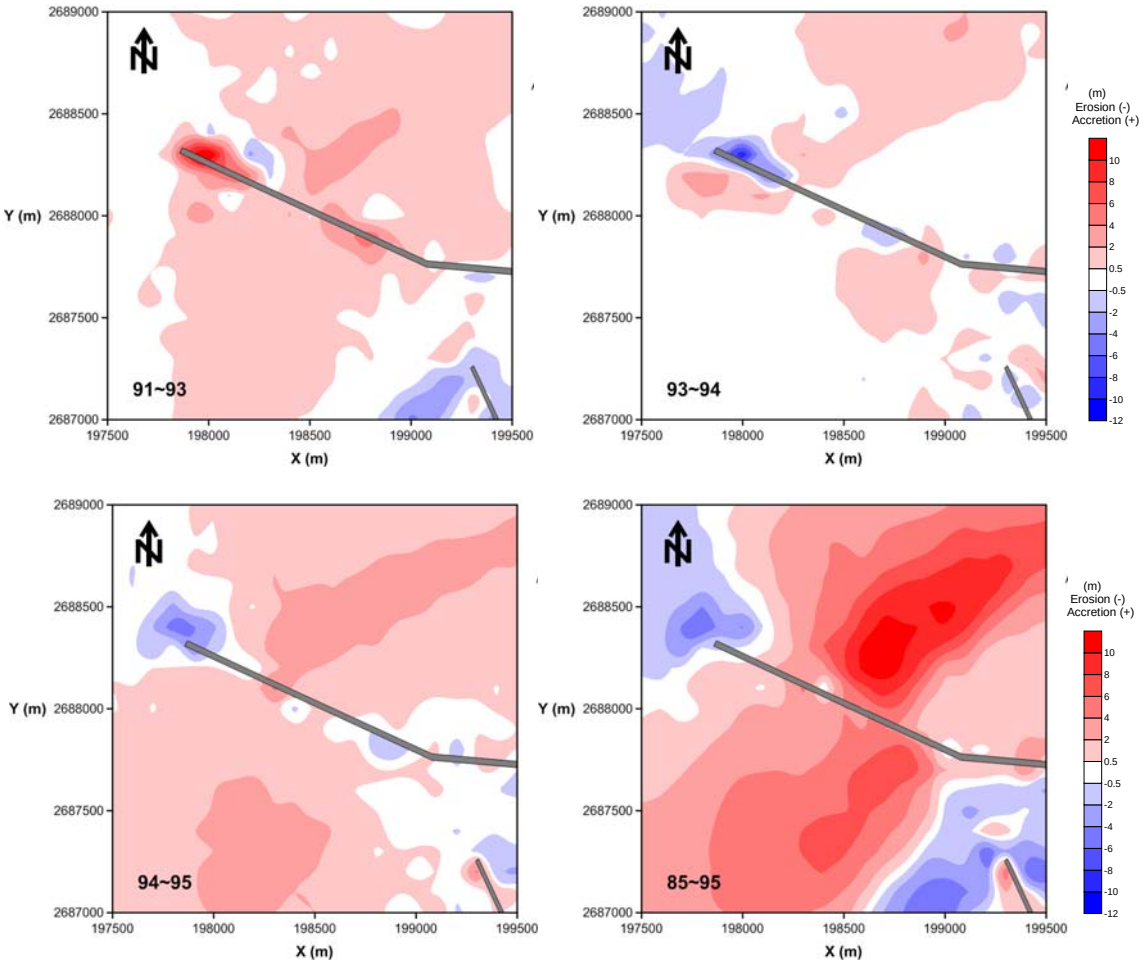


圖 6.1(續) 臺中港北防波堤海域實測地形侵淤變化(85~95 年)

2. 雲林海域 (大範圍水深測量)

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 6.2 所示。

由圖 6.2 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。

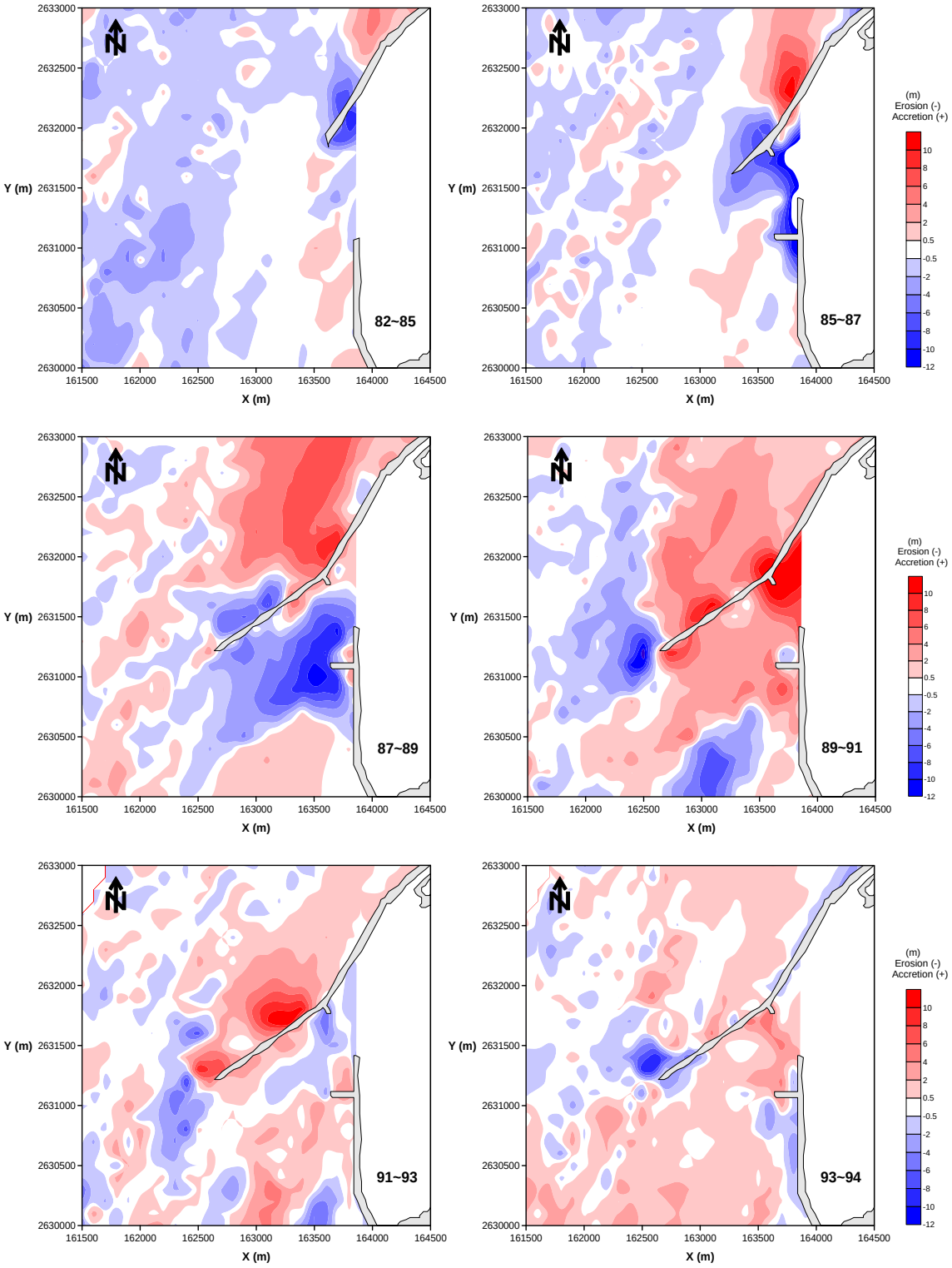


圖 6.2 麥寮港西防波堤海域實測地形侵淤變化(82~99 年)

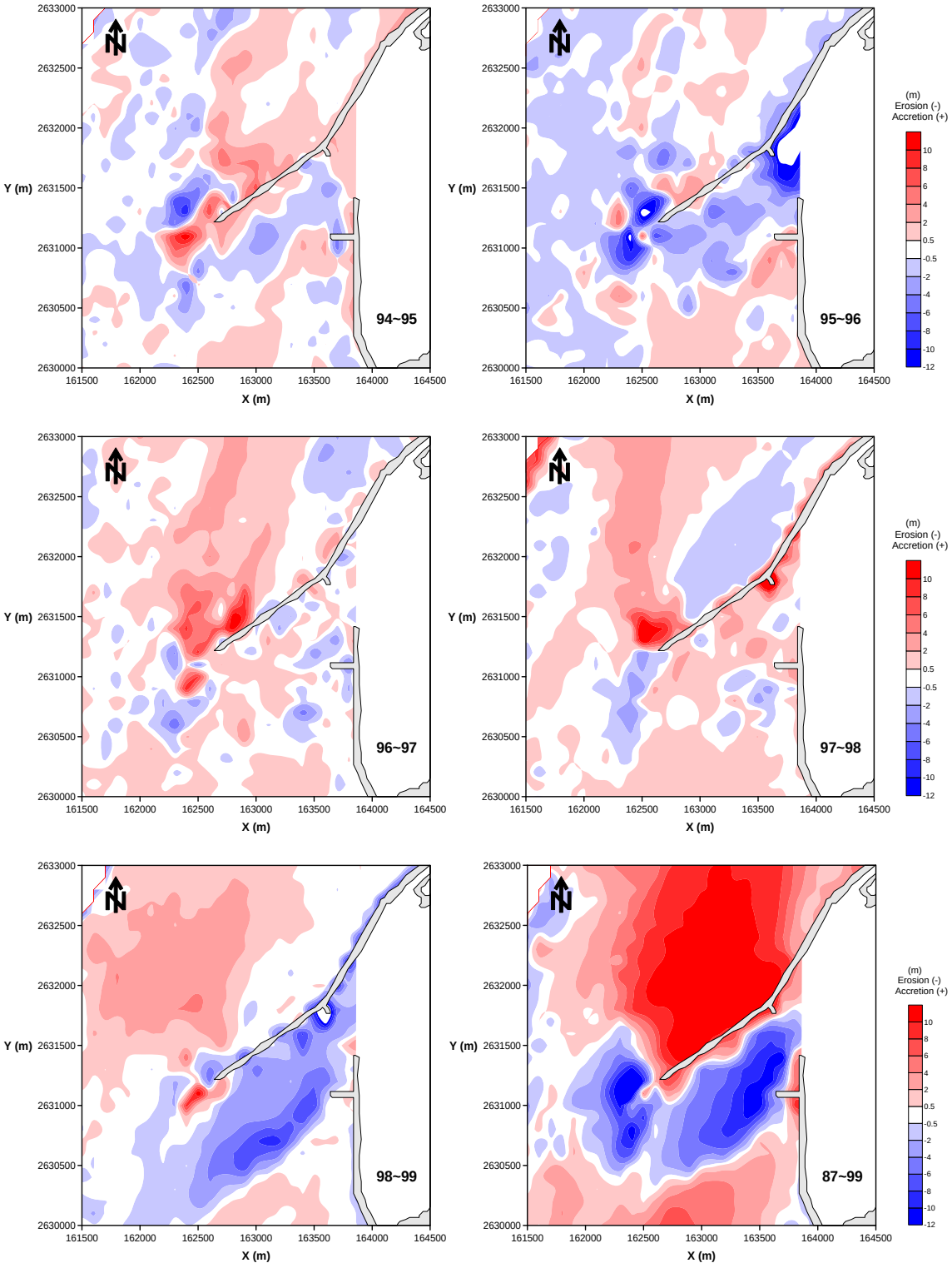


圖 6.2(續) 麥寮港西防波堤海域實測地形侵淤變化(82~99 年)

6.2 堤頭沖蝕特性分析

1. 臺中海域

臺中港於民國 65 年即已完成主體工程，為符合港區營運與安全的需求，繼續延長了北防波堤至外海水深約 -22m 的海域。本文進一步分析臺中港北防波堤堤頭處的沖蝕特性，選取可明顯量化的沖刷洞進行探討。圖 6.3 為民國 85~87 年與 89~95 年間臺中港北防波堤堤頭附近地形等深線變化圖，包括 -15m、-20m 與-25m 等深線。其中，-25m 等深線範圍內為一封閉區域，可用以代表水深大於 -25m 的沖刷洞 (以下簡稱 -25m 沖刷洞)。

如圖 6.3 所示，民國 85 年時，北防波堤堤頭處附近並無明顯的沖刷洞，而港口存在一處 -25m 沖刷洞。自民國 86 年開始，-25m 沖刷洞在北防波堤堤頭西側形成，隨著時間的增加，至民國 89 年時，沖刷的區域逐漸變廣加深，且向堤頭的位置遷移。民國 90 年時北防波堤向西北側延伸，在堤頭西方至西北方形成二處 -25m 沖刷洞，涵蓋範圍略大於民國 89 年之沖刷洞。民國 91 年時，北防波堤再延長，此時 -25m 沖刷洞移動至堤頭周圍。而民國 92 年、93 年時，-25m 沖刷洞則在堤頭兩側形成。民國 94 年時，三處 -25m 沖刷洞在堤頭北側形成，沖刷區域縮小。至民國 95 年時沖刷範圍擴大，形成二處 -25m 沖刷洞。

另將各年度 -25m 沖刷洞以三維網格繪製，包括 -25m 等深線、沖刷洞的重心在 -25m 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 6.4 所示。各年度之形心與堤頭距離 (心堤距)、-25m 沖刷洞體積、-25m 等深線截面積、最大沖刷深度與平均沖刷 (沖刷洞體積除以截面積)，如表 6.1 與圖 6.5 所示。

由表 6.1 與圖 6.5 可知，臺中港北防波堤堤頭附近地形自民國 85 年開始，-25m 沖刷洞的截面積、沖刷體積與、最大沖刷深度逐年加大(雖民國 85~57 年資料為防波堤延長之前所測，但已有沖刷洞的存在)，侵蝕量至民國 90 年時到達最大；民國 90 年至 94 年期間，沖刷洞的截面積、沖刷體積與、最大沖刷深度逐年減小，亦即沖刷洞又逐漸回淤。

然而民國 95 年時，沖刷洞又發生嚴重侵蝕現象。最大沖刷截面積為民國 90 年的 226,200m^2，同時也造成最大沖刷體積為 5,903,893m^3 與最大沖刷深度 31.57m；心堤距在民國 90 年之後縮小為 158~379m；平均沖刷則介於 25~27m 之間。

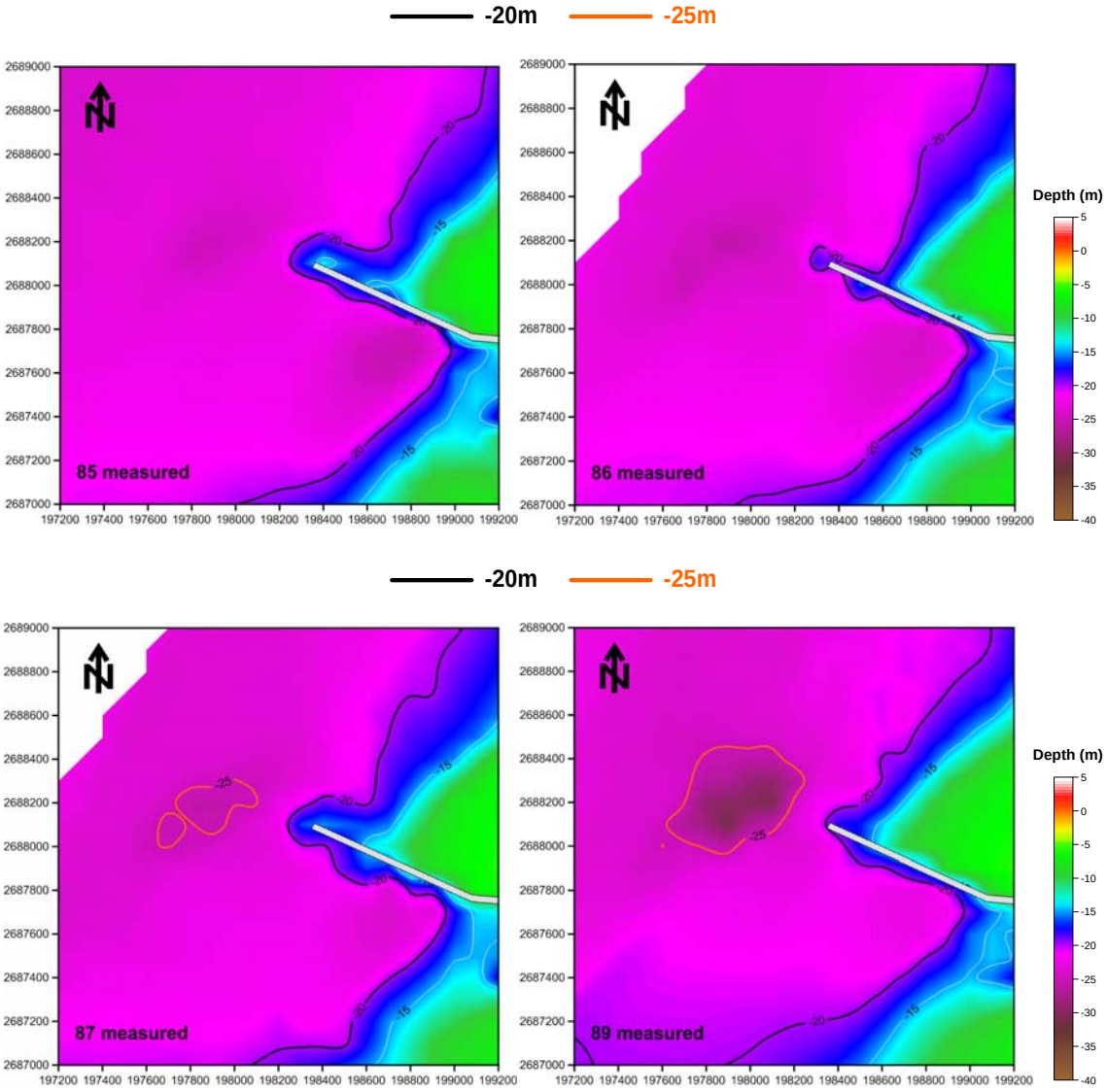


圖 6.3 臺中港北防波堤堤頭附近地形等深線變化圖(85~95 年)

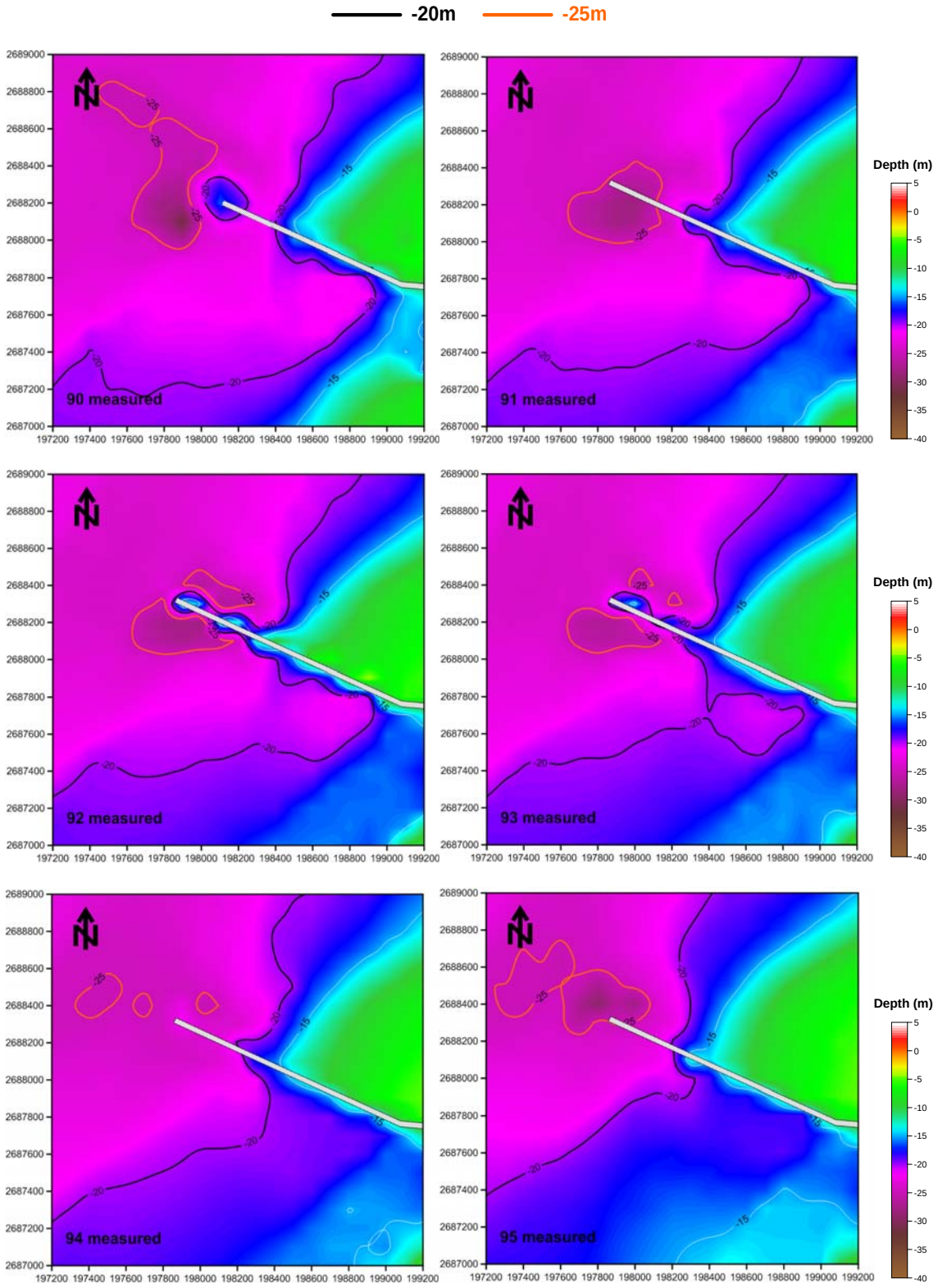


圖 6.3(續) 臺中港北防波堤堤頭附近地形等深線變化圖(85~95 年)

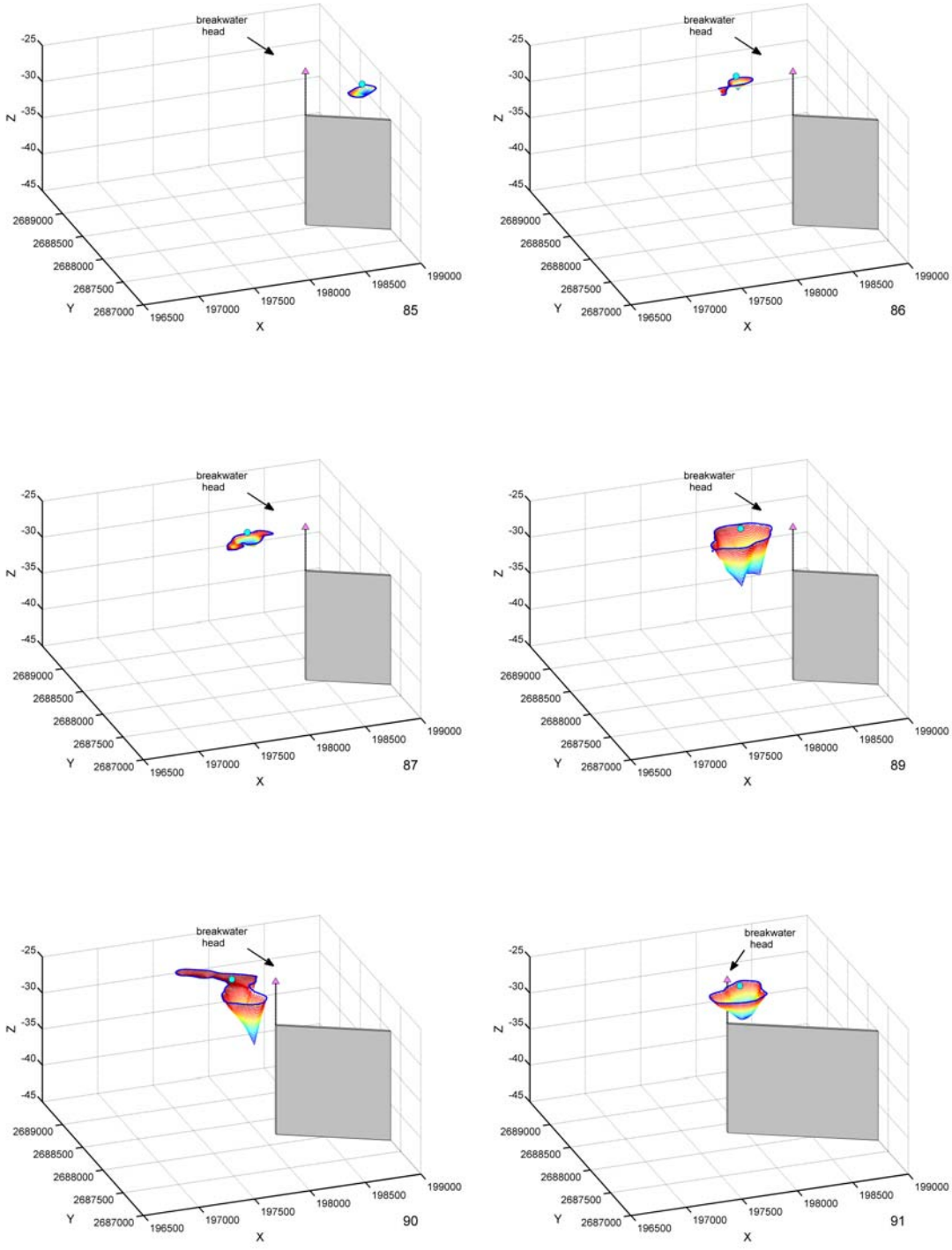


圖 6.4 臺中港北防波堤堤頭海域-25m 沖刷洞地形變化圖(85~95 年)

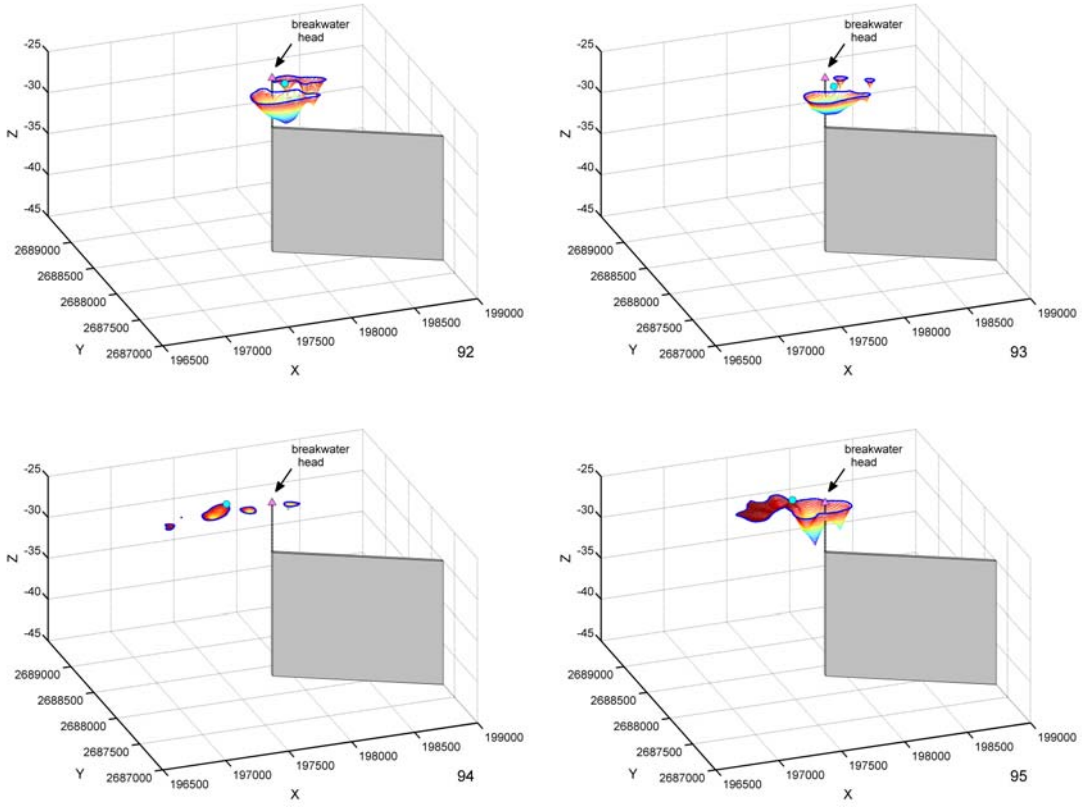


圖 6.4(續) 臺中港北防波堤堤頭海域-25m 沖刷洞地形變化圖(85~95 年)

表 6.1 臺中港北堤堤頭-25m 沖刷洞變化量化表(85~95 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)
85	198365, 2688099	198722,	542	37100	941345	25.86	25
86	198365, 2688099	197875,	495	33800	854299	26.16	25
87	198365, 2688099	197859,	510	75100	1902325	26.05	25
89	198365, 2688099	197933,	448	206900	5671288	31.19	27
90	198136, 2688207	197798,	379	226200	5903893	31.57	26
91	197863, 2688339	197916,	158	153800	4070127	28.48	27
92	197863, 2688339	197911,	137	123300	3233921	28.47	26
93	197863, 2688339	197865,	168	83200	2160492	27.25	26
94	197863, 2688339	197528,	347	63500	1593984	25.63	25
95	197863, 2688339	197646,	253	217800	5607723	29.40	26

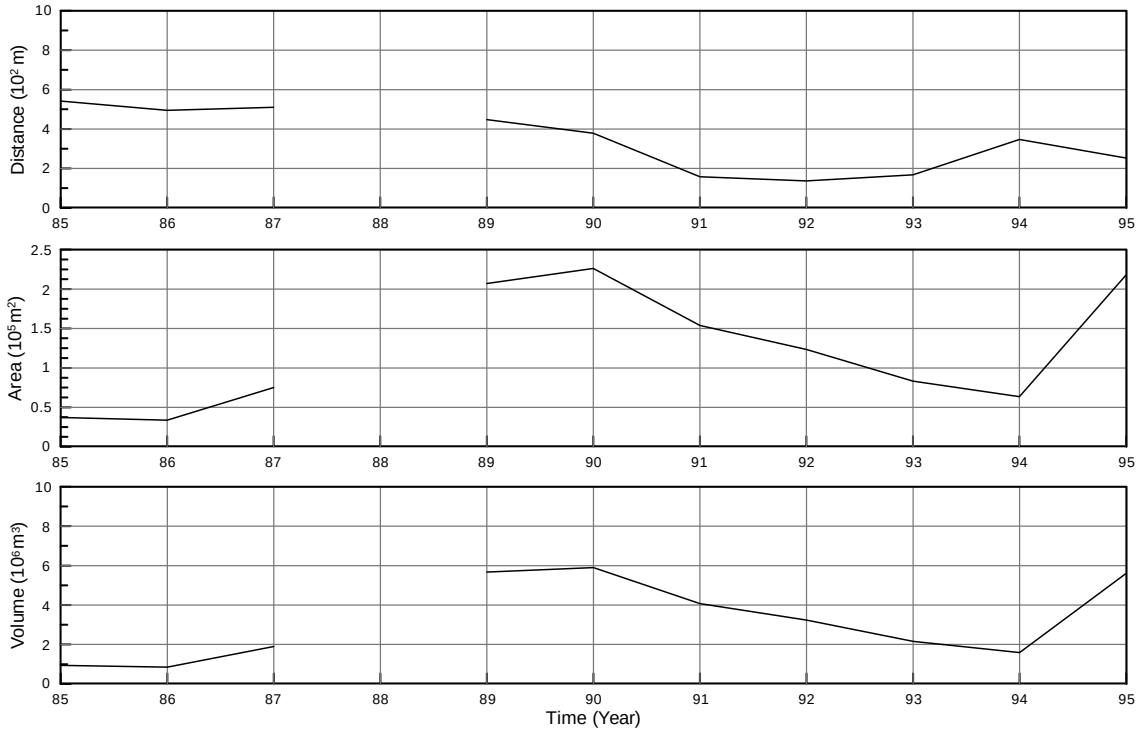


圖 6.5 堤頭-25m 沖刷洞心堤距、面積、體積變動圖

2. 雲林海域 (大範圍水深測量資料)

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 6.6 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 6.6 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 6.7 所示。圖 6.7 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 6.2 與圖 6.8 所示。

由表 6.2 與圖 6.8 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 197,300m^2、7,868,464m^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 6.6 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 6.2 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。

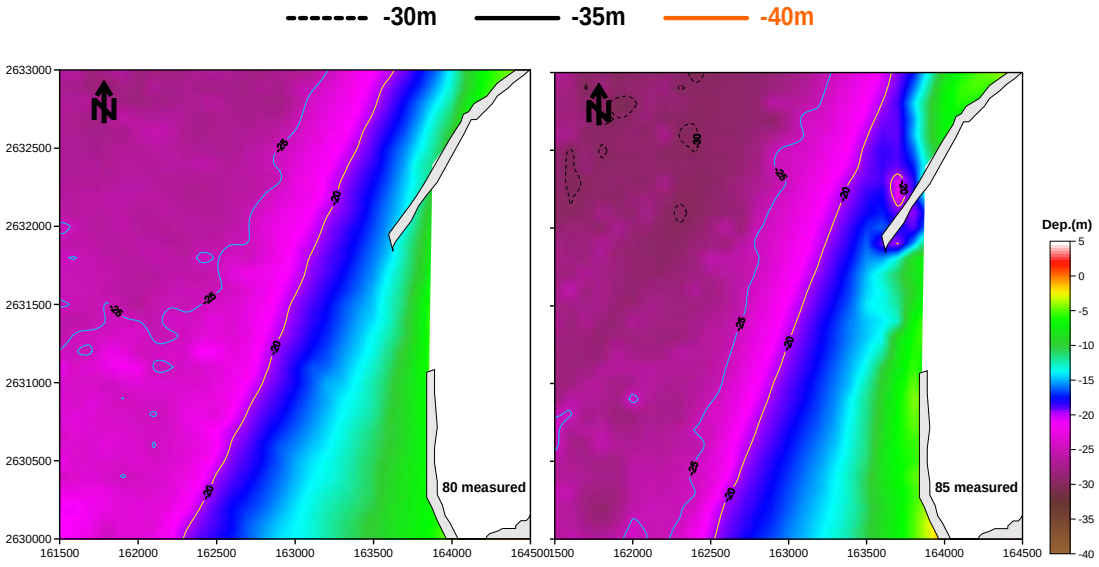


圖 6.6 麥寮港西防波堤堤頭附近地形等深線變化圖(80~99 年)

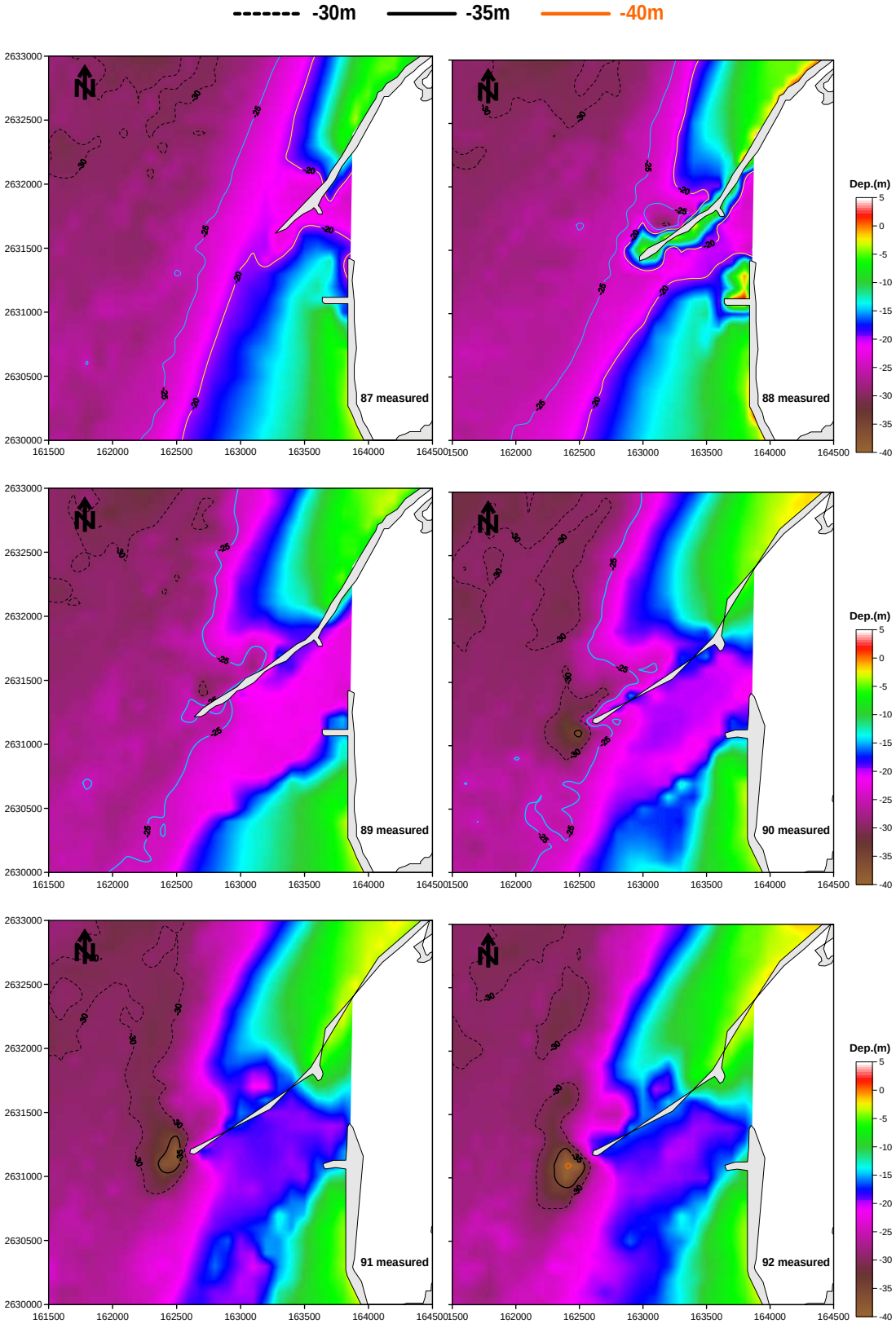


圖 6.6(續) 麥寮港西防波堤堤頭附近地形等深線變化圖(80~99 年)

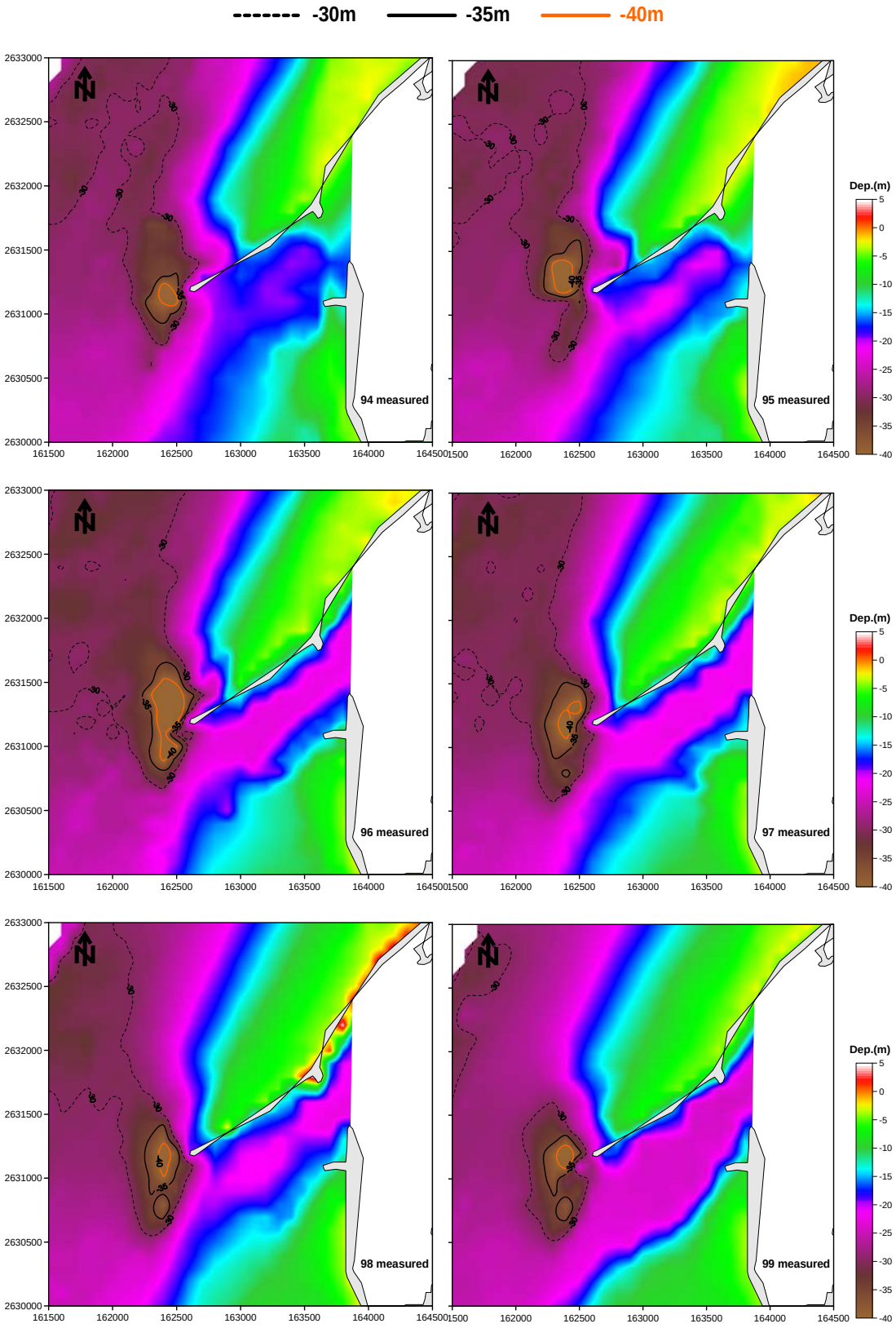


圖 6.6(續) 麥寮港西防波堤堤頭附近地形等深線變化圖(80~99 年)

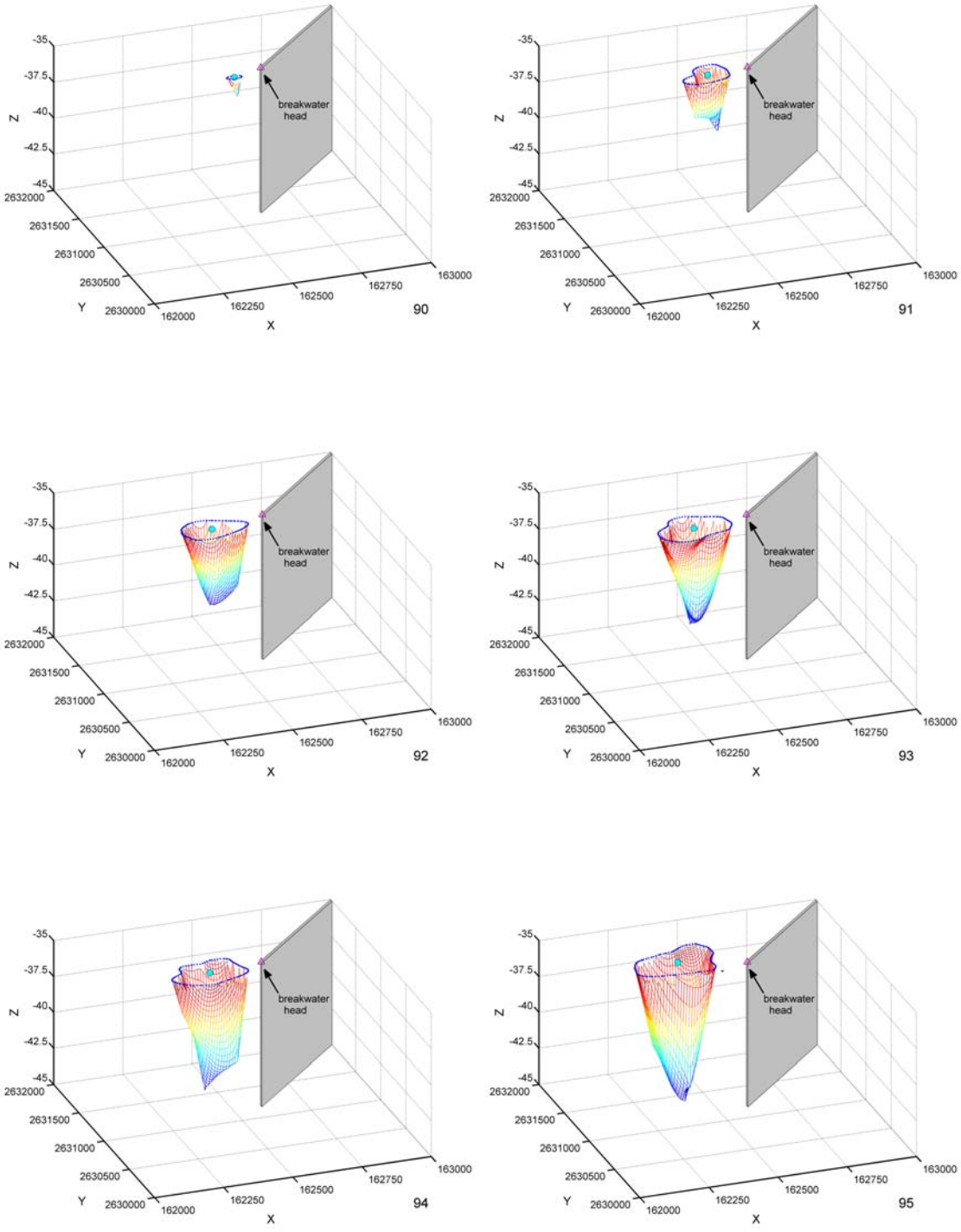


圖 6.7 麥寮港西防波堤堤頭海域-35m 沖刷洞地形變化圖(90~99 年)

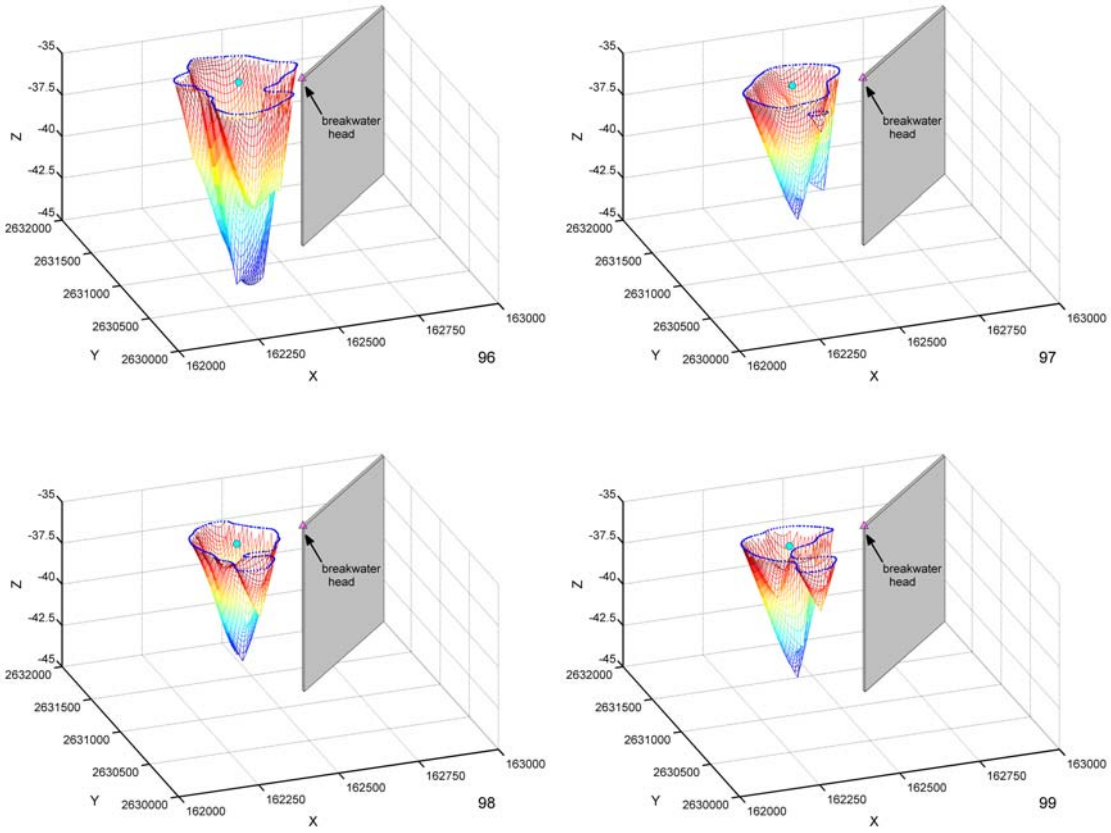


圖 6.7(續) 麥寮港西防波堤堤頭海域-35m 沖刷洞地形變化圖(90~99 年)

表 6.2 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

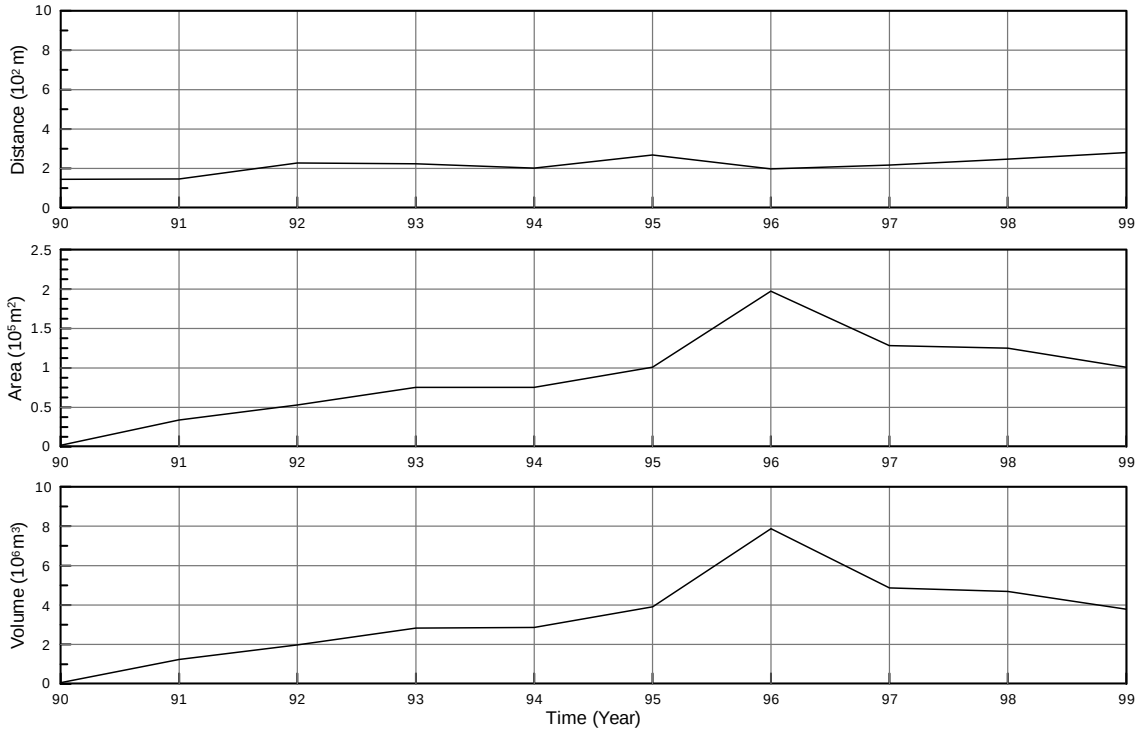


圖 6.8 堤頭-35m 沖刷洞心堤距、面積、體積變動圖

以下彙整臺中港北防波堤堤頭附近-25m 沖刷洞與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 6.9 所示。由圖 6.9 可知，臺中港自民國 86 年開始 -25m 沖刷洞的沖刷截面積與沖刷體積逐年加大，侵蝕量至民國 90 年時到達最大；民國 90 年至 94 年期間，沖刷洞的沖刷截面積與沖刷體積逐年減小，亦即沖刷洞又逐漸回淤。然而民國 95 年時，沖刷洞又發生嚴重侵蝕現象。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。

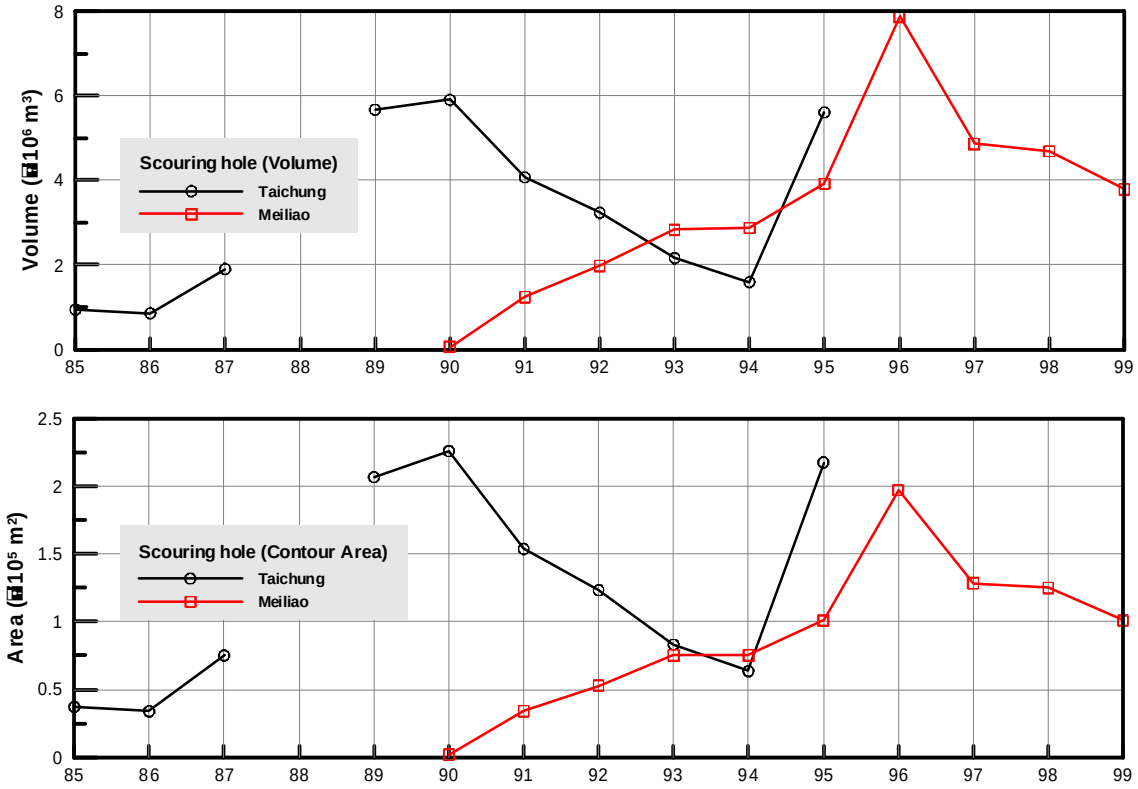


圖 6.9 臺中港北堤堤頭-25m 與麥寮港西堤堤頭-35m 沖刷洞變化量化圖

3. 麥寮港海域 (堤頭附近加密水深測量資料)

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 101/04 六年期間共進行 36 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 6.10 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)。圖 6.10 中，有部分測量成果或數據解析上有缺漏，如 99/08、100/05、100/08、100/09、100/12、101/04，則不列入以下的堤頭地形沖刷評估

分析。

如圖 6.10 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 6.2 與圖 6.9 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 6.10，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。

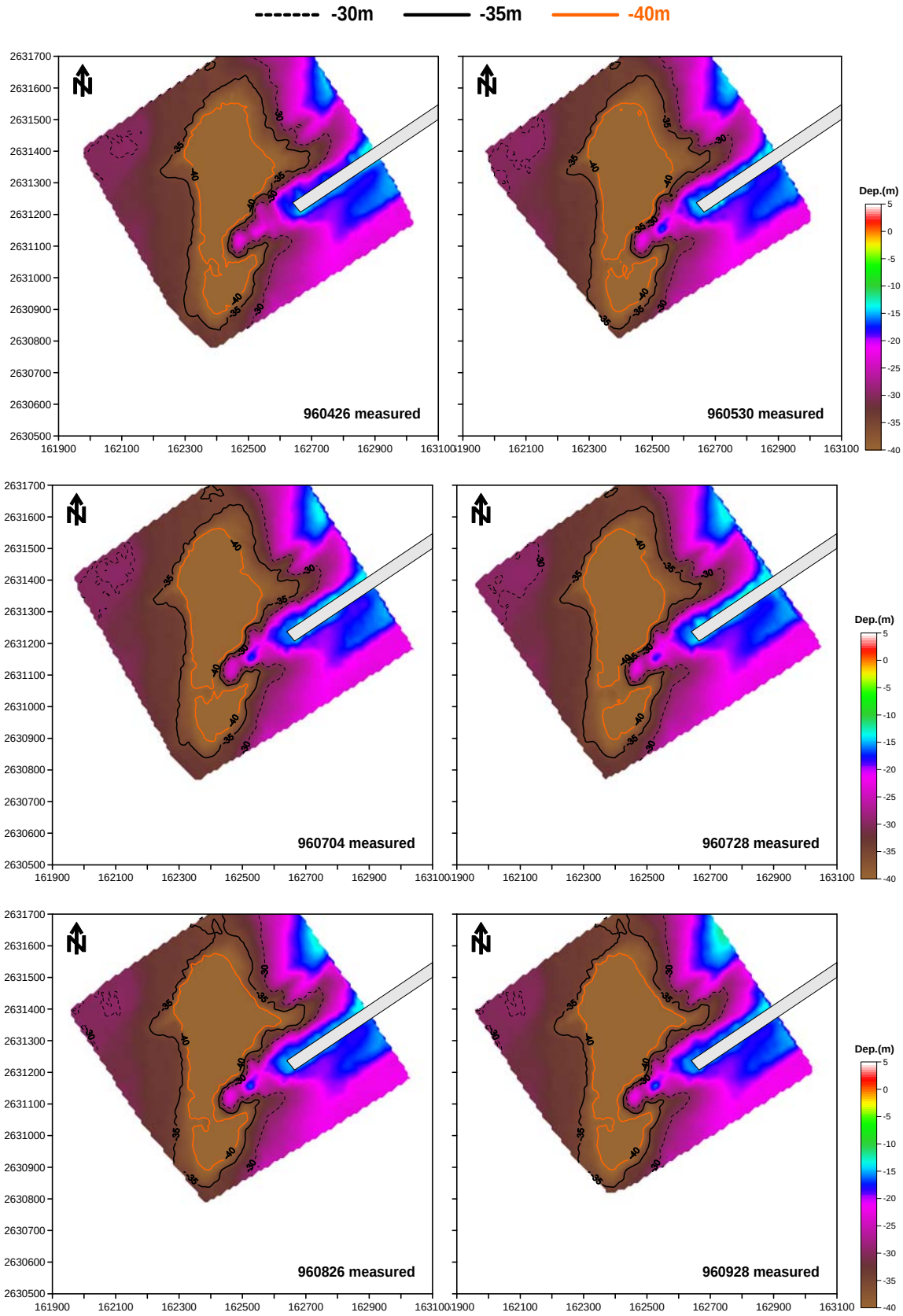


圖 6.10 麥寮港西防波堤堤頭加密測量之等深線變化圖(96~101 年)

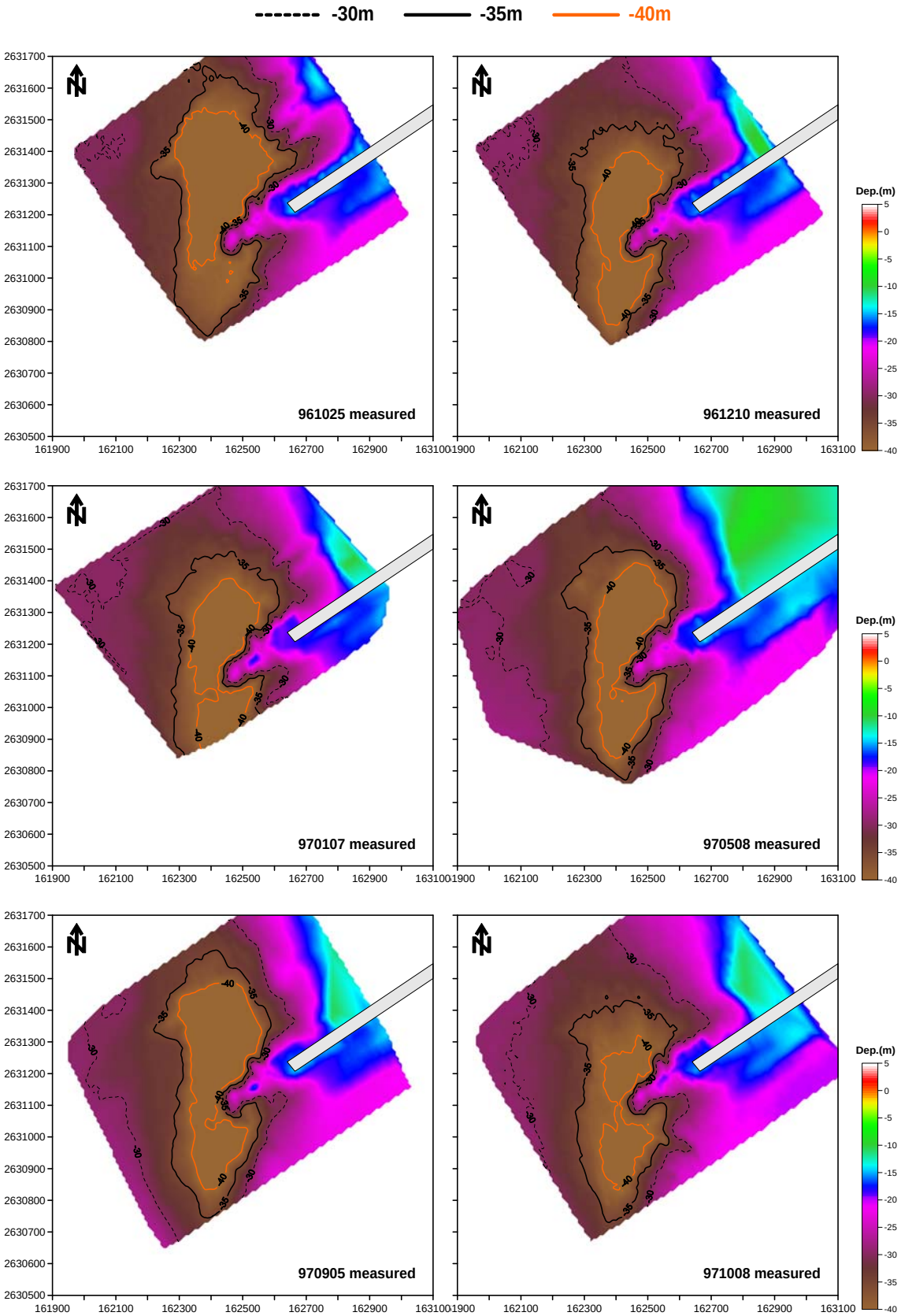


圖 6.10(續) 麥寮港西防波堤堤頭加密測量之等深線變化圖(96~101 年)

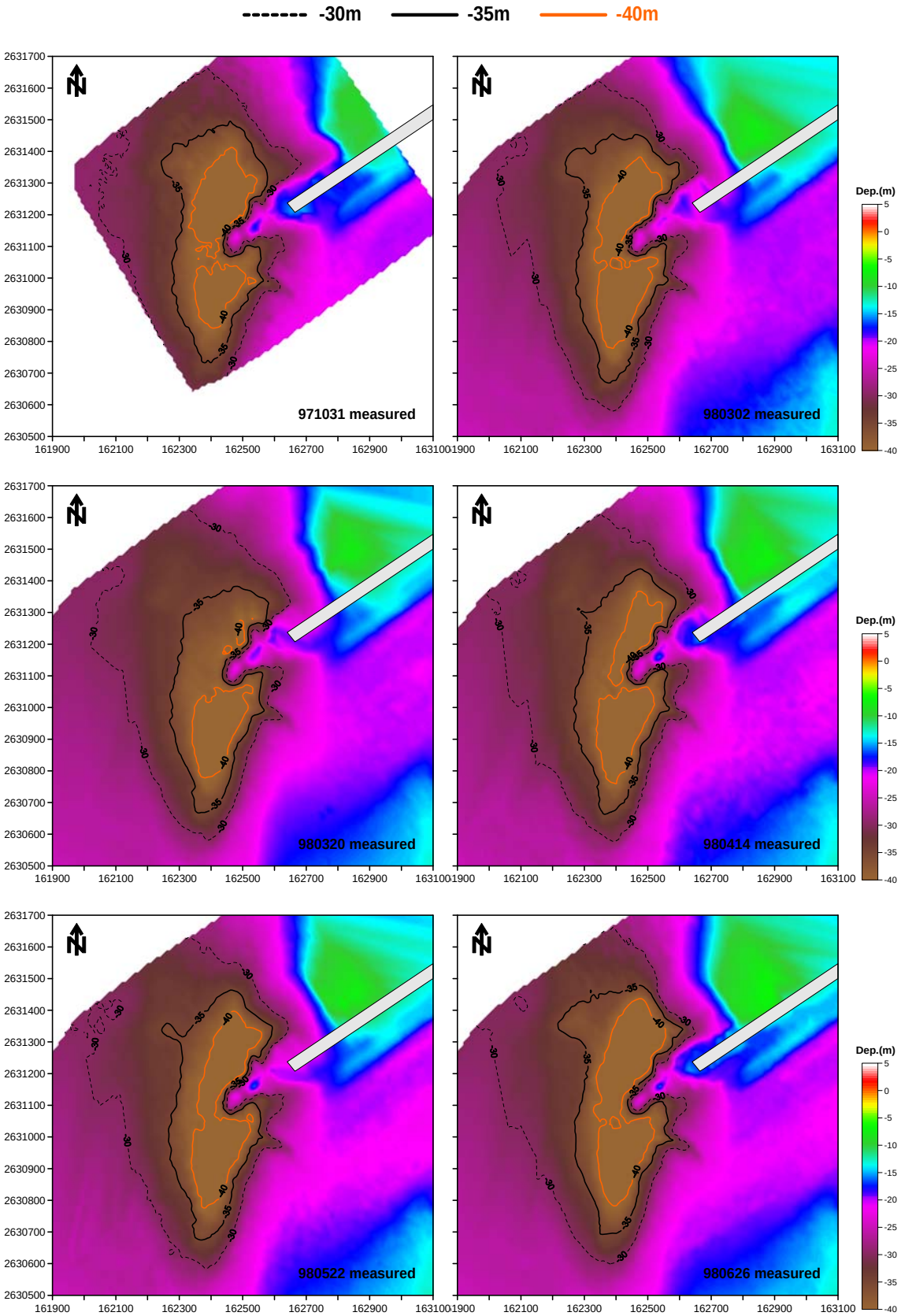


圖 6.10(續) 麥寮港西防波堤堤頭加密測量之等深線變化圖(96~101 年)

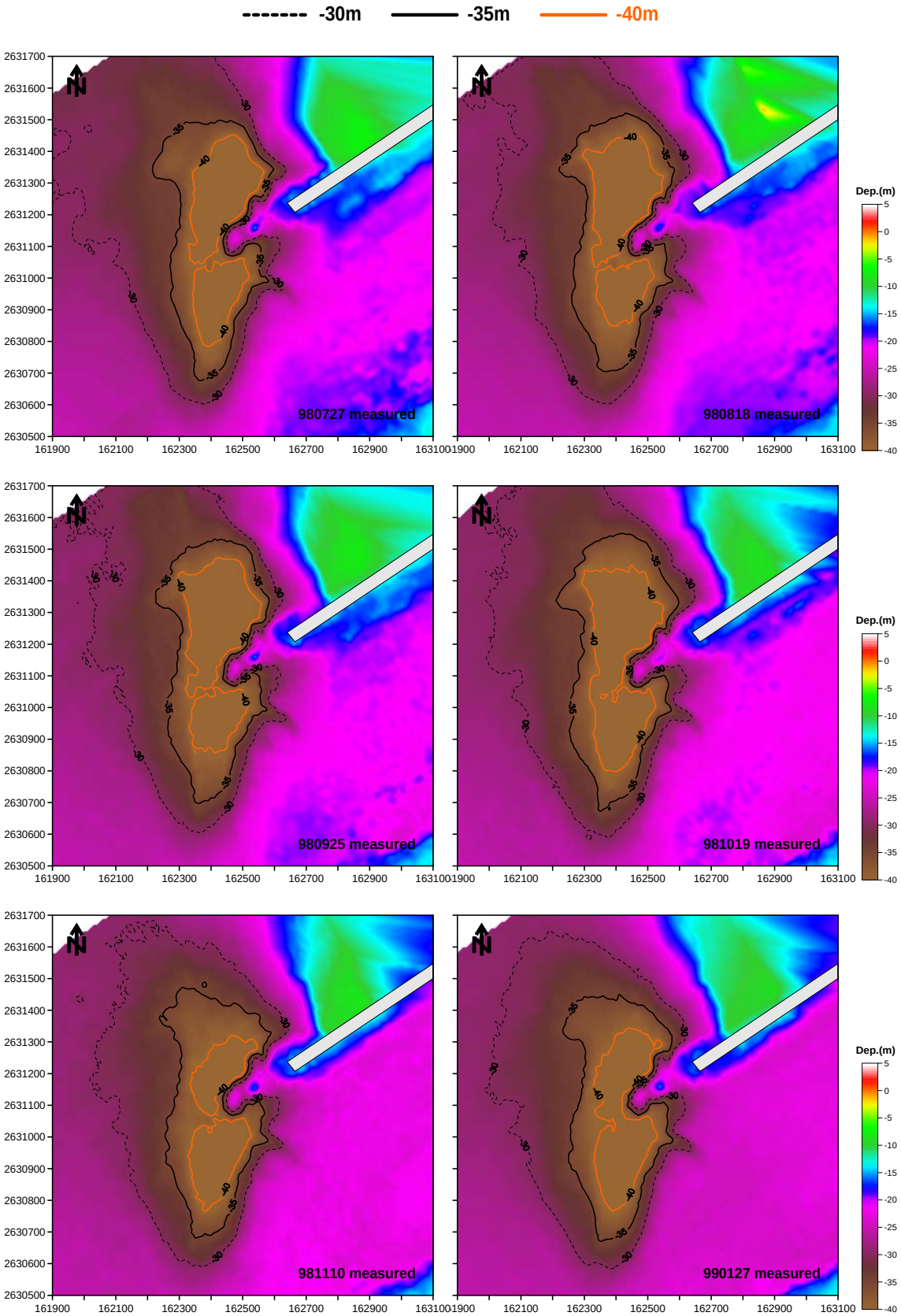


圖 6.10(續) 麥寮港西防波堤堤頭加密測量之等深線變化圖(96~101 年)

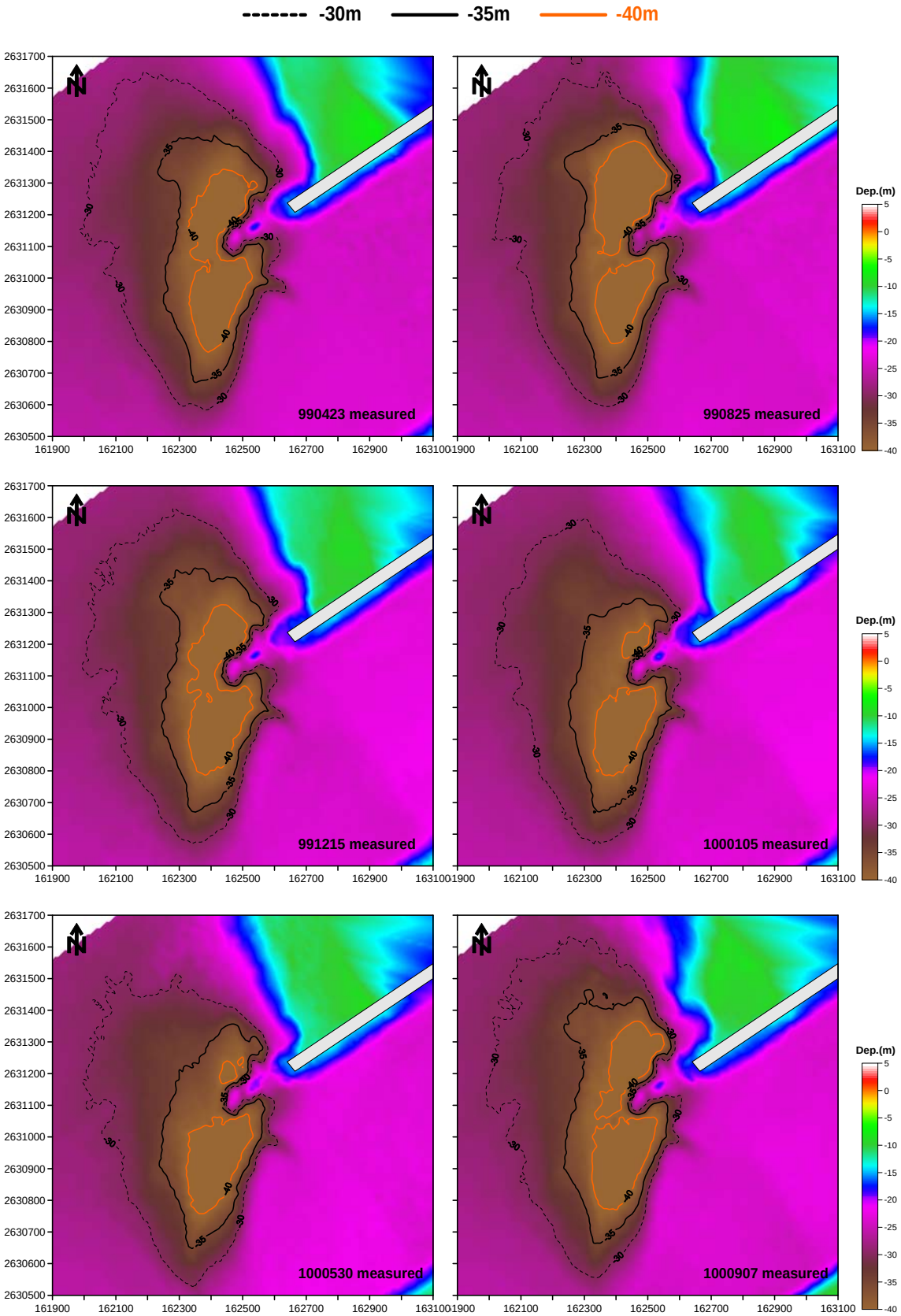


圖 6.10(續) 麥寮港西防波堤堤頭加密測量之等深線變化圖(96~101 年)

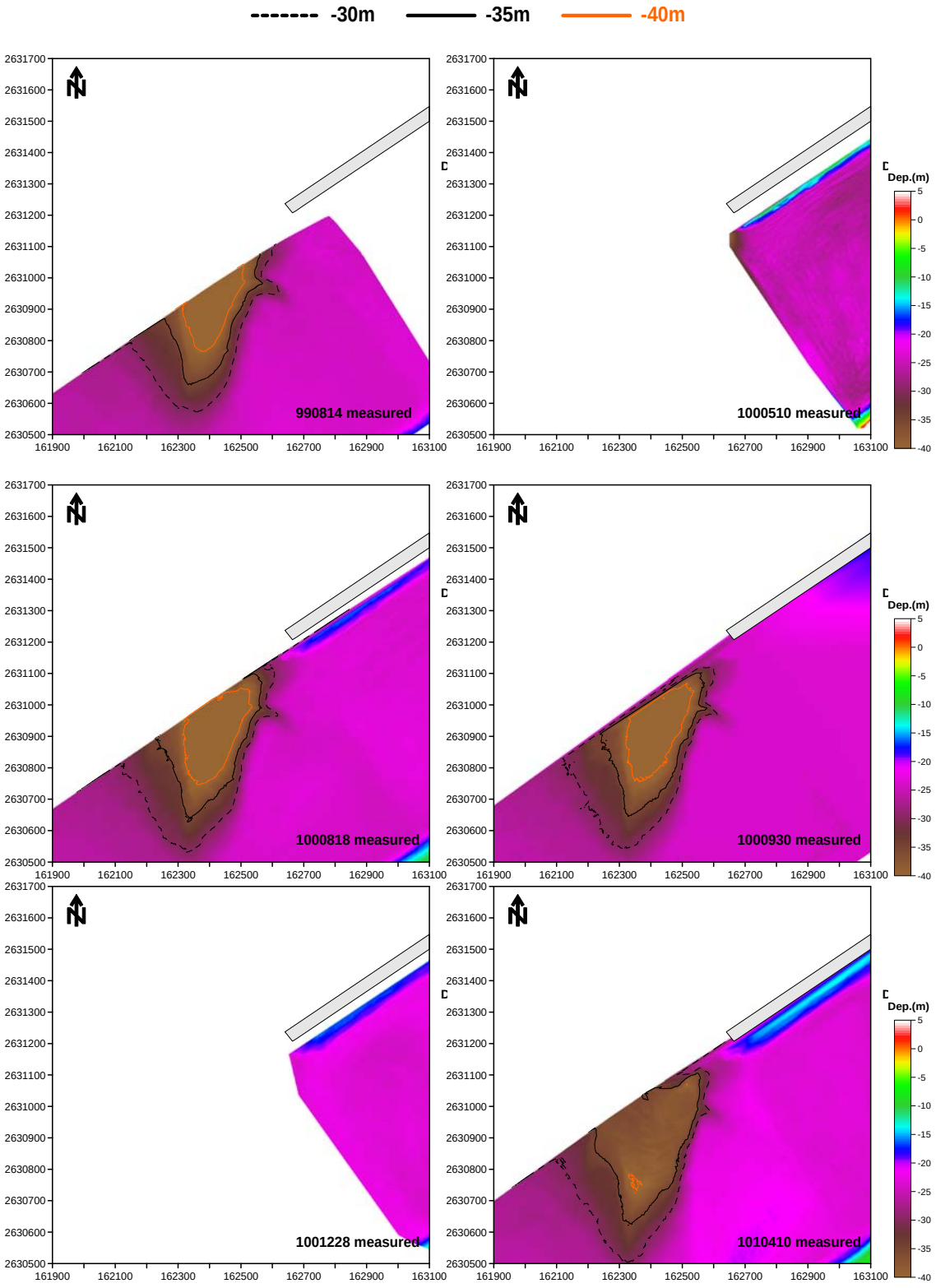


圖 6.10(續) 麥寮港西防波堤堤頭加密測量之等深線變化圖(96~101 年)

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 6.11 與表 6.3；-40m 沖刷洞體積與-40m 等深線截面積，亦列於圖 6.11 中。

由圖 6.11 與表 6.3 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。

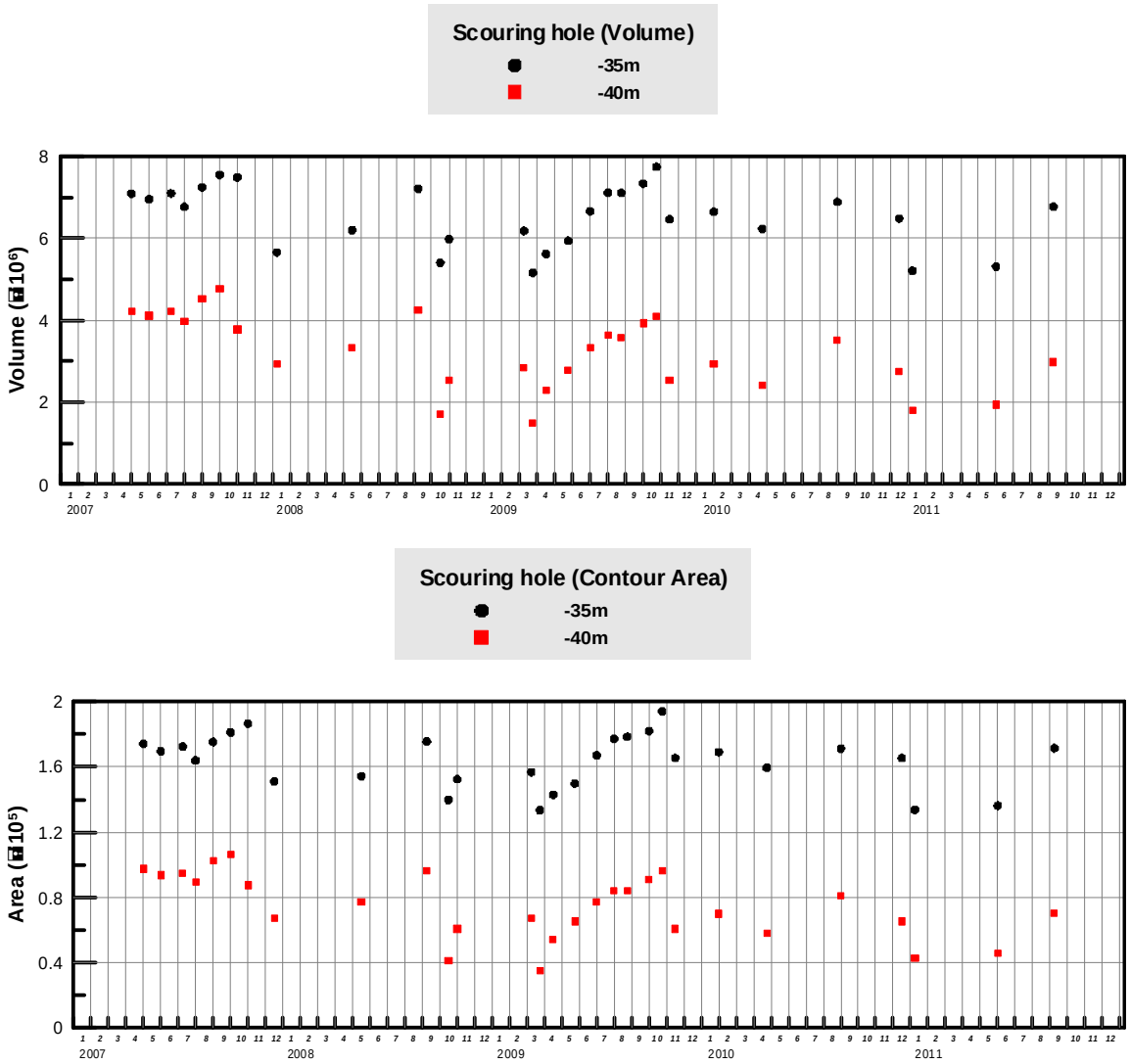


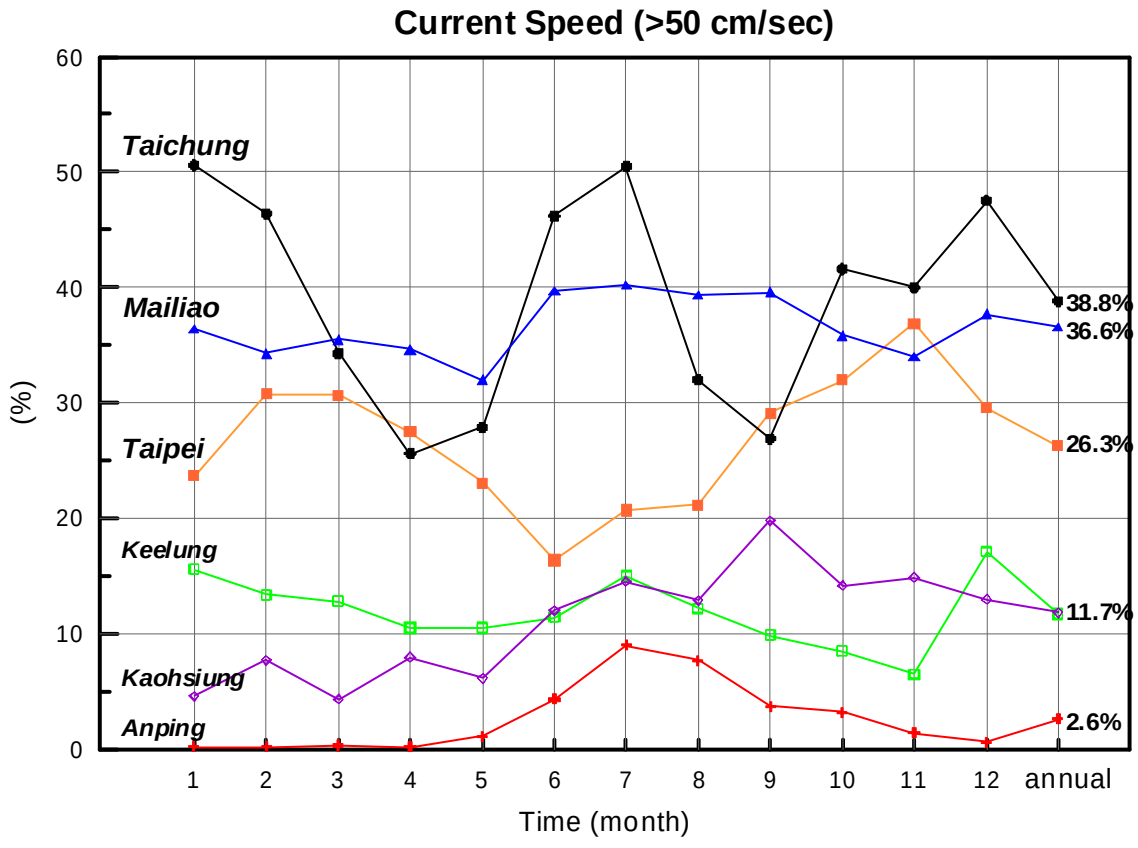
圖 6.11 麥寮港西堤堤頭加密測量之-35m 與-40m 沖刷洞變化量化圖

表 6.3 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

6.3 六大港海流特性分析

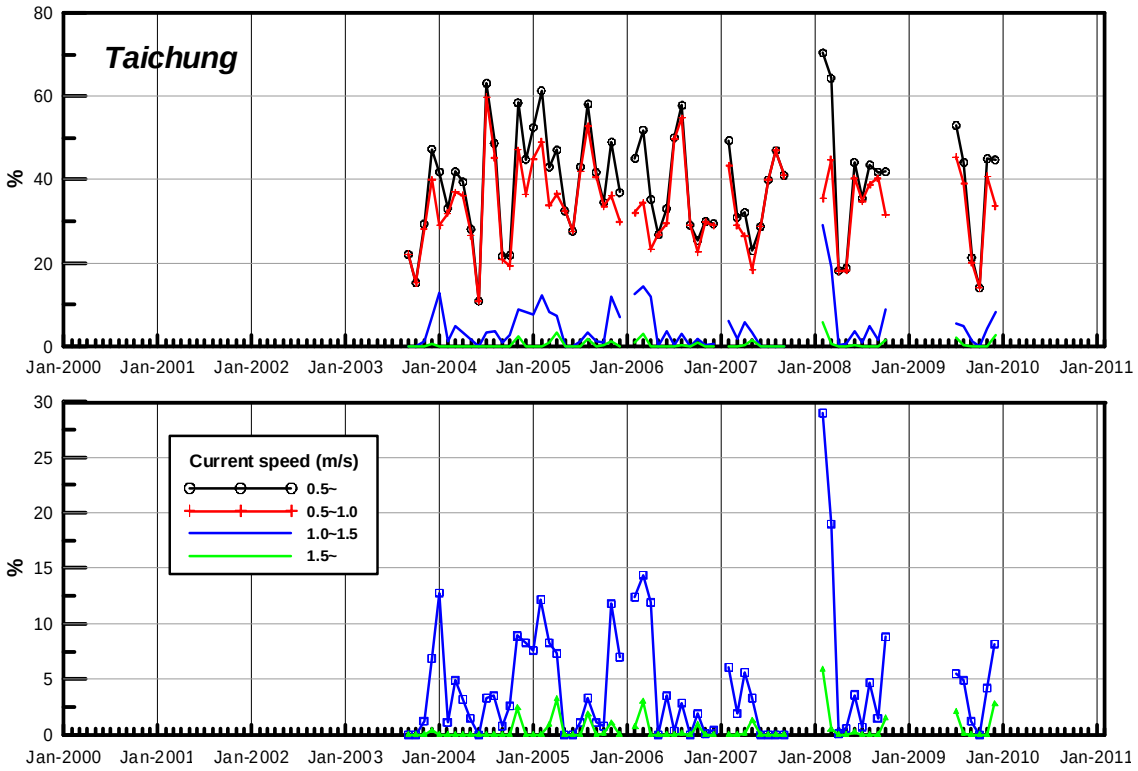
臺灣環島海域受到潮汐、風力、波浪與地形特性影響，北、中、南各商港附近海域的海流特性多有差異，本文收集基隆、臺北、臺中、麥寮、安平與高雄等六個港口歷年(至 2008 年為止)海流資料，統計分析各月份和全年的海流速度記錄超過 50cm/sec (約一節) 的發生機率，如圖 6.12 所示。由全年 (annual) 統計結果可知，臺中港和麥寮港的海流流速超過一節的發生機率各為 38.8%、36.6%，明顯大於其他港口；而臺中港在 1、7 月份流速超過一節的發生機率更超過 50%，麥寮港則在 6~9 月發生機率均接近 40%。在此種高速流況的深海域環境下，可說明臺中港和麥寮港防波堤之堤頭地形沖蝕的主要原因，應為海潮流經常性的作用所致。



數據來源：港灣技術研究中心；本計畫統計分析、繪製。

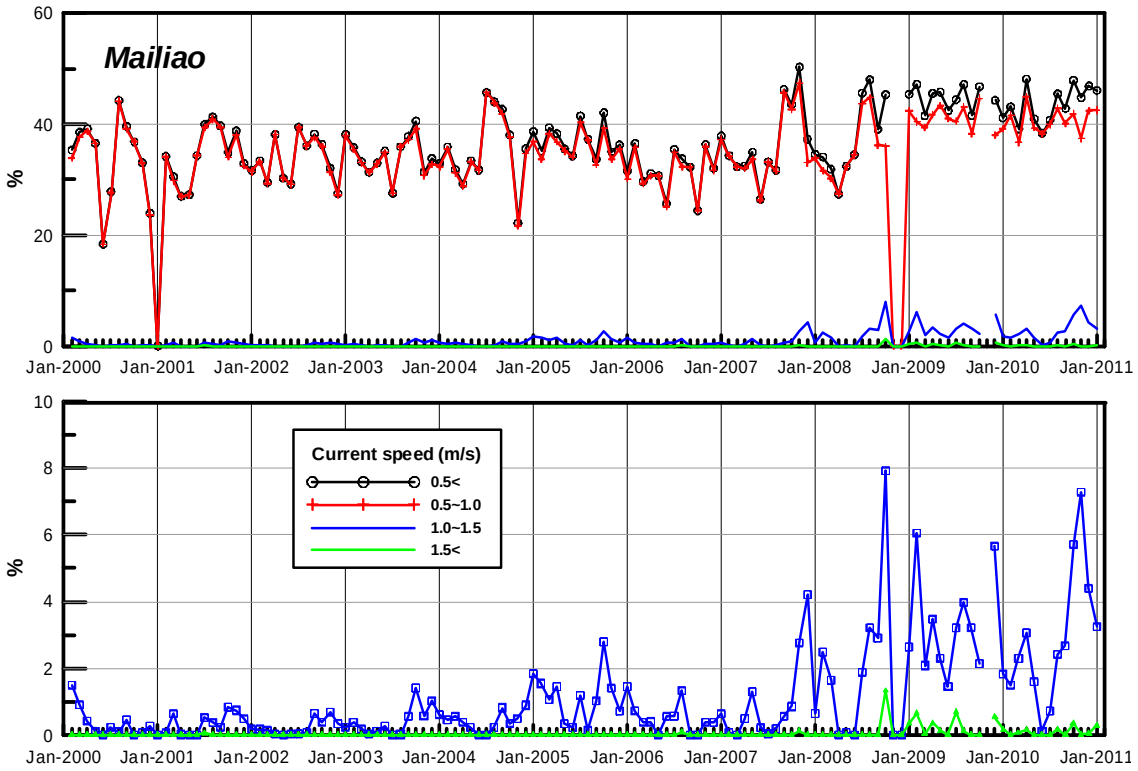
圖 6.12 臺灣六大港海域歷年流速大於 50cm/sec 發生機率圖

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 6.13 及圖 6.14 所示。由圖 6.13 (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 6.14 (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：港灣技術研究中心；本計畫統計分析、繪製。

圖 6.13 臺中港 2003~2009 年流速分佈發生機率圖



數據來源：港灣技術研究中心；本計畫統計分析、繪製。

圖 6.14 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 6.4、6.5 所示。由圖 6.12 至圖 6.14 與表 6.4、6.5 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 6.4 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 6.4 (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 6.5 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 6.5 (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 6.5 (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

6.4 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 2007 年 5 月份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 6.15 所示。YLCW 測站的海流大部分呈現南、北流向，圖 6.15 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 6.15 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 6.16 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 6.16 之第一欄與第二欄的黑色實線，最後可得 2007 年 5 月份於沿岸方向與向、離岸方向的淨流能量。圖 6.16 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 6.17 所示 (藍線為南、北方向，紅線為東、西方向)。由圖 6.17 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，故不予討論。

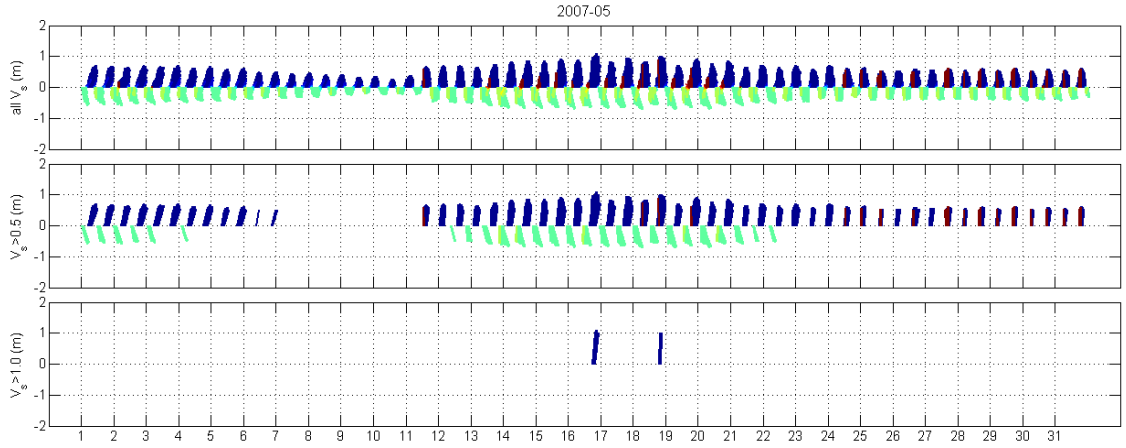


圖 6.15 麥寮港 YLCW 測站逐時流速與流矢分佈圖(2007/05)

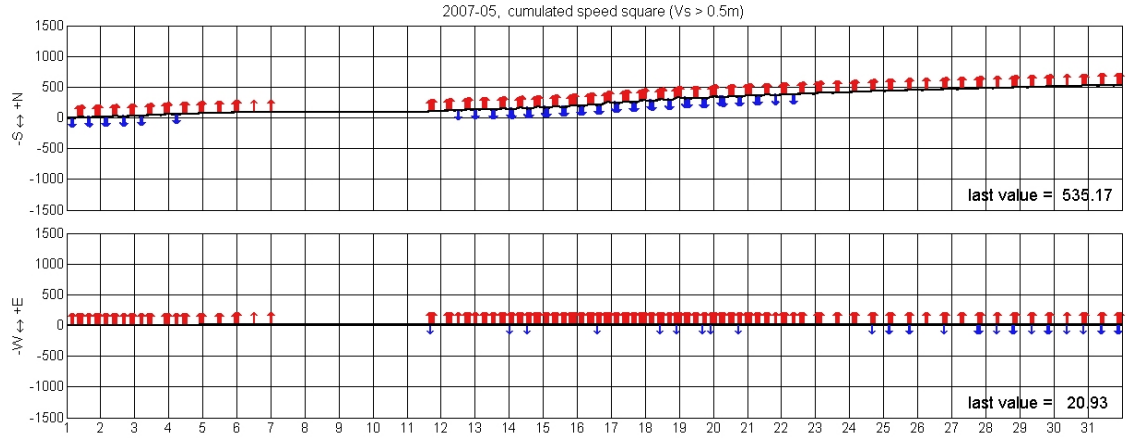


圖 6.16 麥寮港 YLCW 測站逐時流能量累積分佈圖(2007/05)

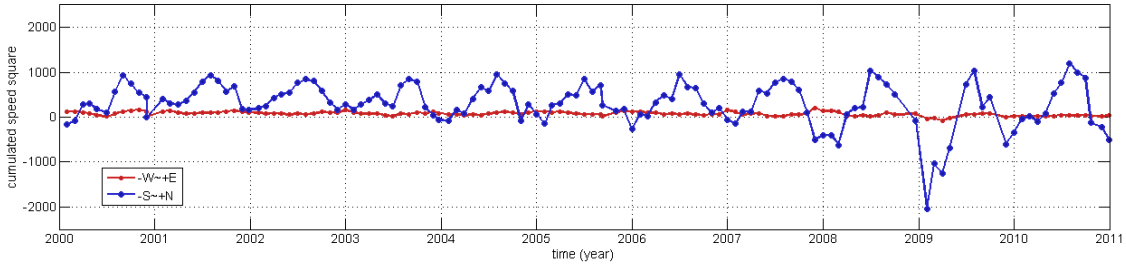


圖 6.17 麥寮港 YLCW 測站逐月淨流能量累積分佈圖(2000~2010 年)

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 6.18 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，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 (如圖 6.19 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 (可參考圖 5.8)，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 6.20 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 6.21 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 (可參考圖 5.8)，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 6.11)，與同期間的流能量累積分佈 (如圖 6.17 所示) 進行比較，如圖 6.22 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，後續仍需藉由數值模擬與水工模型試驗更深入分析探討。

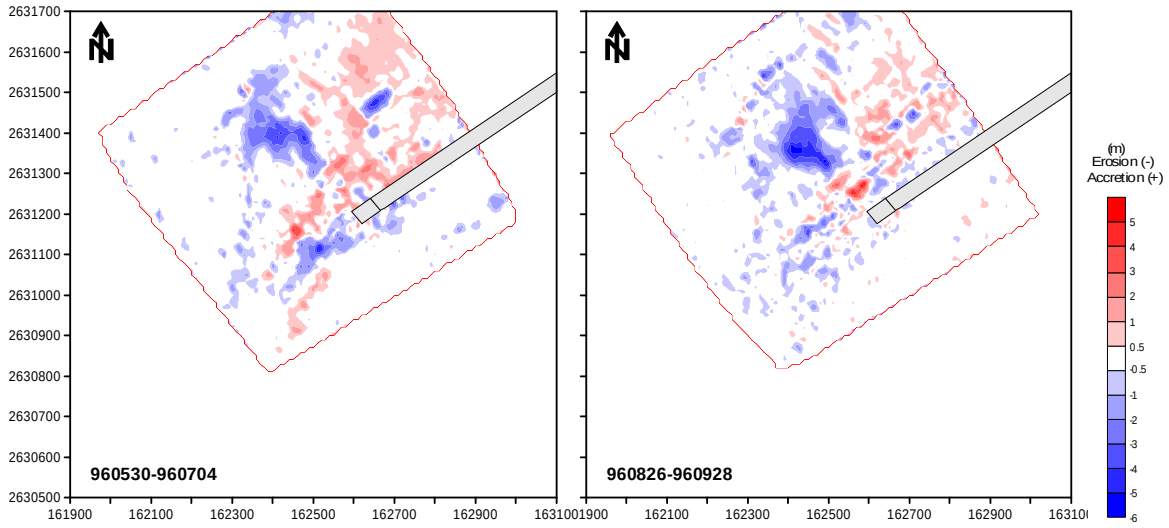


圖 6.18 麥寮港西防波堤堤頭地形夏季侵淤變化實例(96/05~96/09)

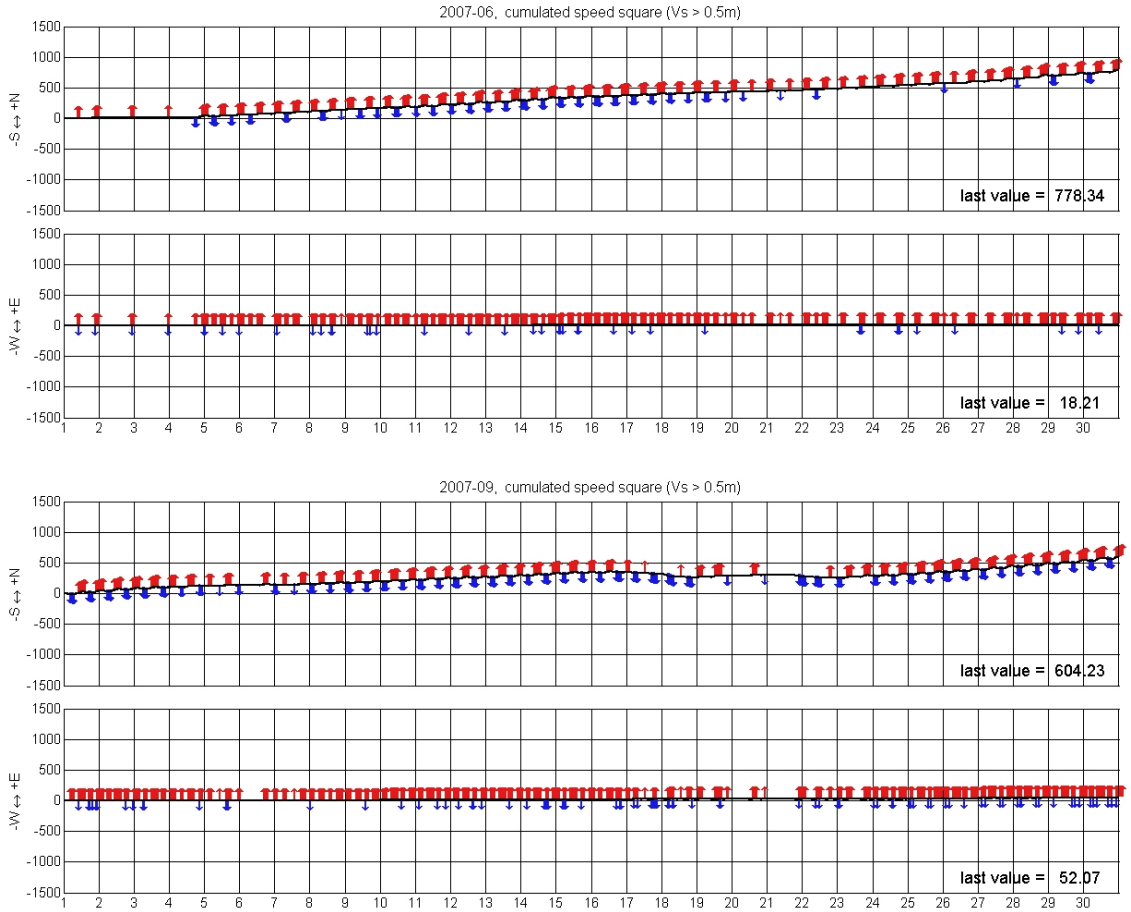


圖 6.19 麥寮港 YLCW 測站夏季流能量累積分佈實例(96/06、96/09)

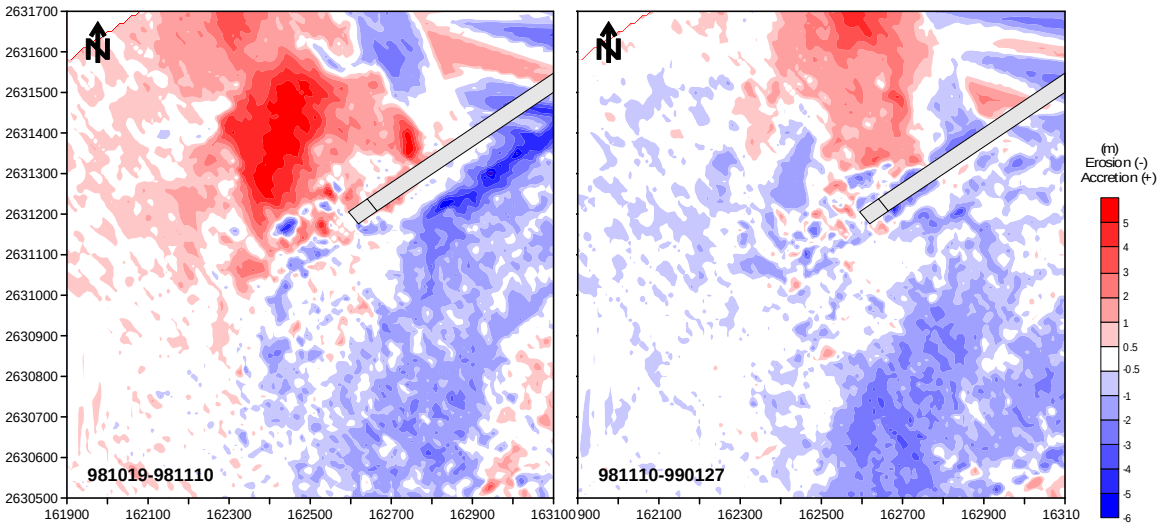


圖 6.20 麥寮港西防波堤堤頭地形冬季侵淤變化實例(98/10~99/01)

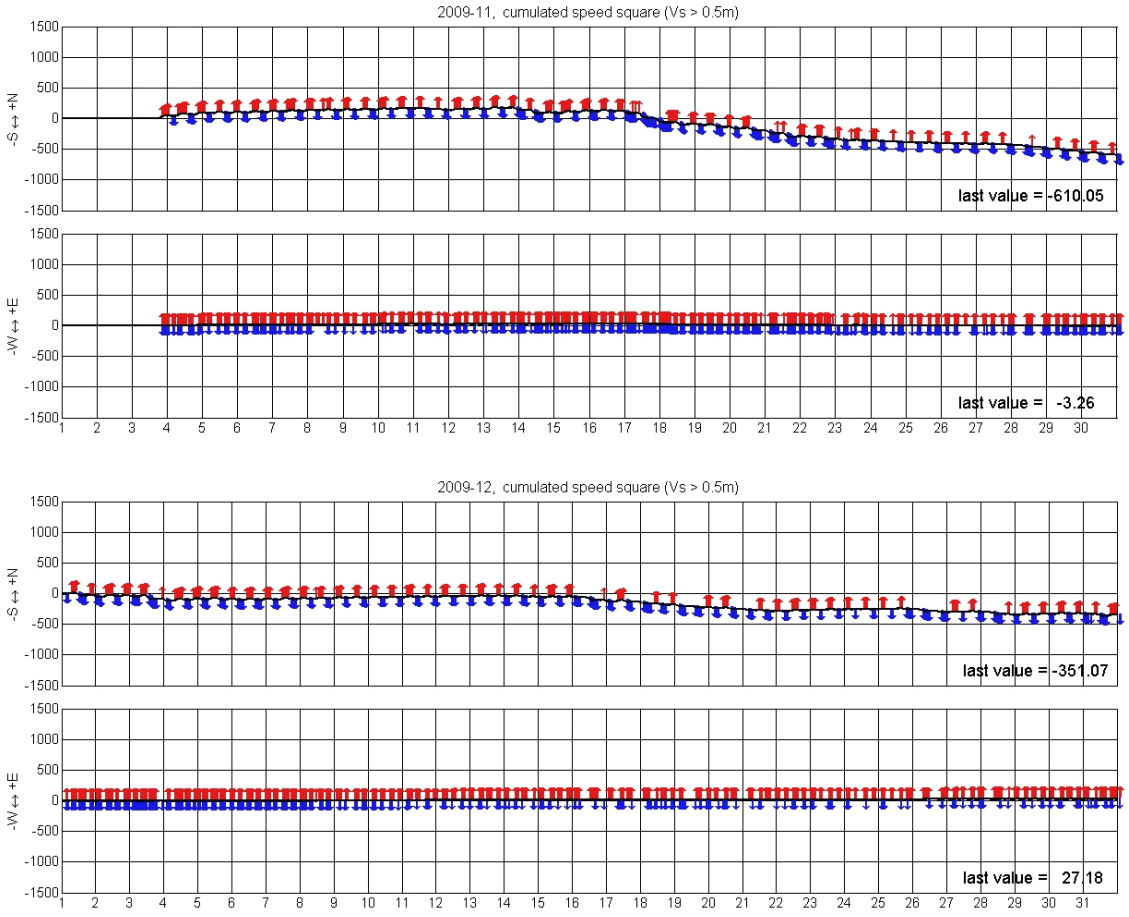


圖 6.21 麥寮港 YLCW 測站冬季流能量累積分佈實例(98/11、98/12)

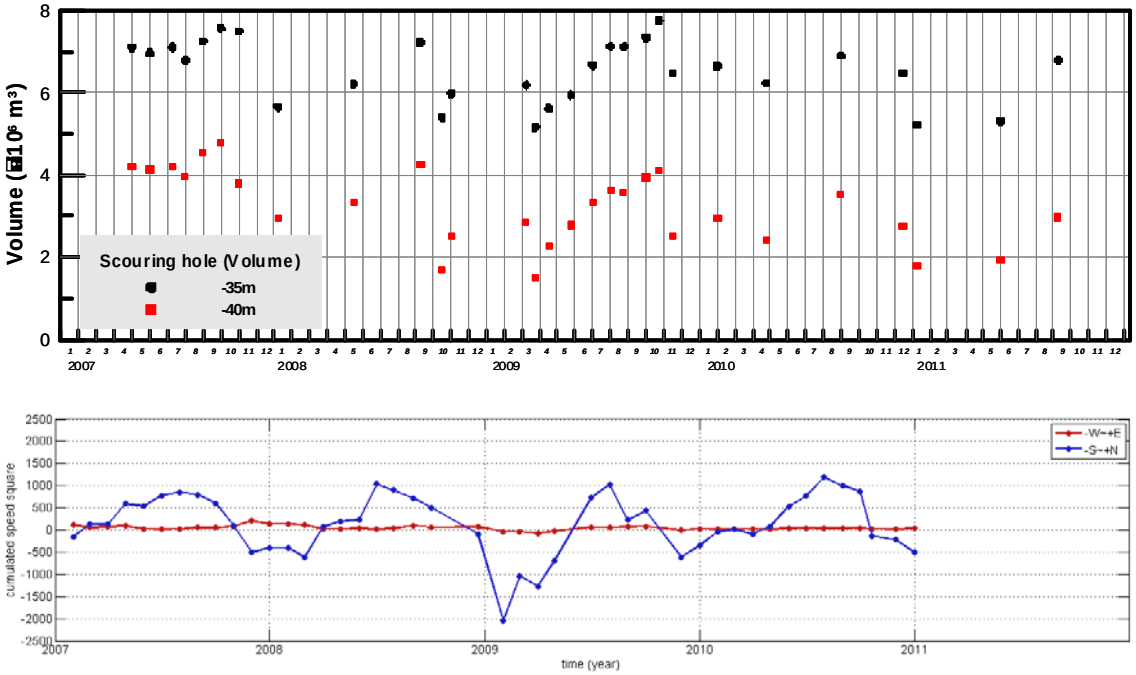


圖 6.22 麥寮港西堤堤頭加密測量之-35m 沖刷洞變化與流能量累積分佈之對應關係圖

6.3 防波堤堤頭侵蝕防制工法初步研擬

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之圖 1.9 所示。

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。選擇臺中港北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。原始臺中港北防波堤設計堤體寬度為 18 ~ 22 m，而堤頭外側護基寬度約 40m，相對護基寬度約為 2.0。因此初步研擬增加堤頭護基寬度增加至 60m (如圖 6.23 所示)，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。

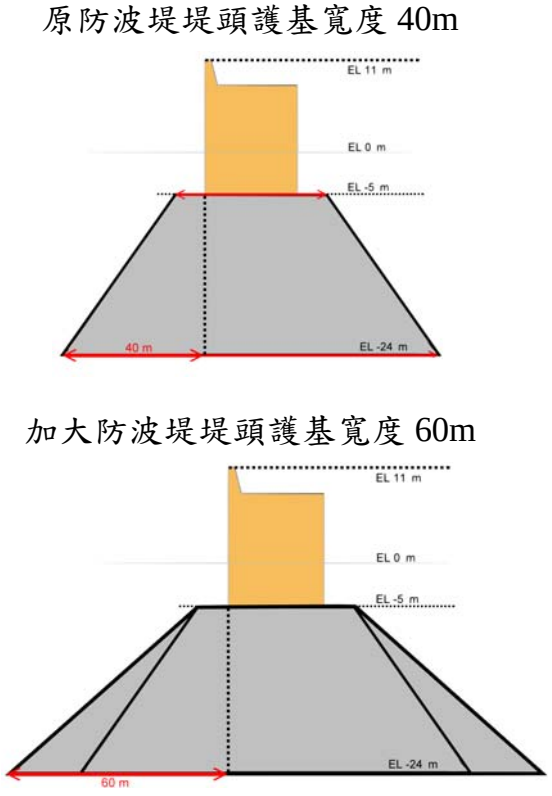


圖 6.23 堤頭護基防制工法初步研擬布置示意圖

第七章 防制工法的數值模擬與水工模型試驗的驗證

依初步擬定之堤頭侵蝕防制工法條件，調整臺中港北防波堤堤頭護基寬度，由原始護基寬度 40m，增加至 60m，透過臺中港北防波堤堤頭附近海域的數值模擬與水工模型試驗結果進行驗證比對。

1. 防波堤護基模型建立

模型設定如圖 7.1、圖 7.2 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。

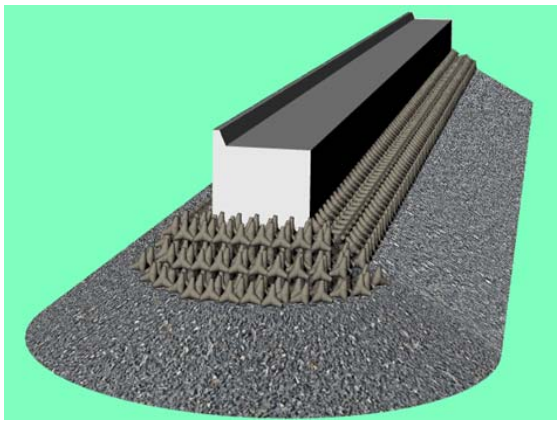


圖 7.1 防波堤原始護基(40m)

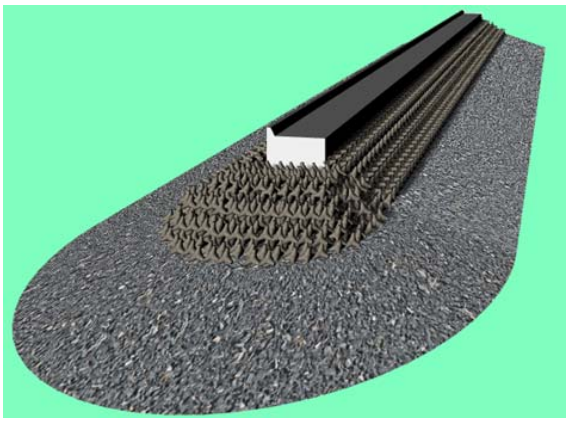


圖 7.2 防波堤 1.5 倍護基(60m)

2. 不同寬度護基模擬結果初步比對

以下選取臺中港 50 年迴歸期颱風浪條件下，不同寬度護基之數值模擬結果。比較原始護基與 1.5 倍護基，擷取資料位置離防波堤堤頭各為 32m 及 64m，每組資料包括 u、v、w、自由液面及底床速度等 5 個項目進行比對，結果如圖 6.3 至圖 6.7 所示。底床速度以原始護基離堤頭 32m 最大，1.5 倍護基離堤頭 64m 最小；自由液面並未有明顯之差異，原因是本次護基加寬只在基礎底部；u 方向速度底床速度以 1.5 倍護基離堤頭 64m 最大，原始護基離堤頭 32m 最小；v 方向速度則以 1.5 倍護基較大，原始護基離較小；w 方向速度則是距離比較近的影響較

大，反之較小。

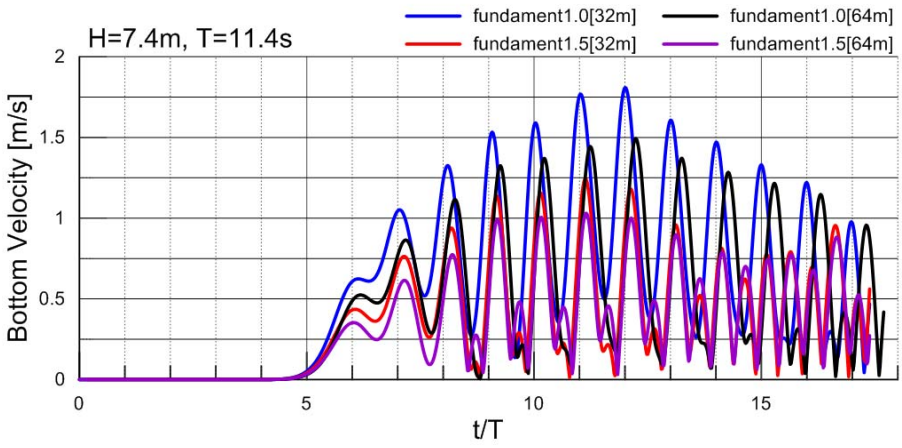


圖 7.3 防波堤護基 1 倍與 1.5 倍底床速度比較

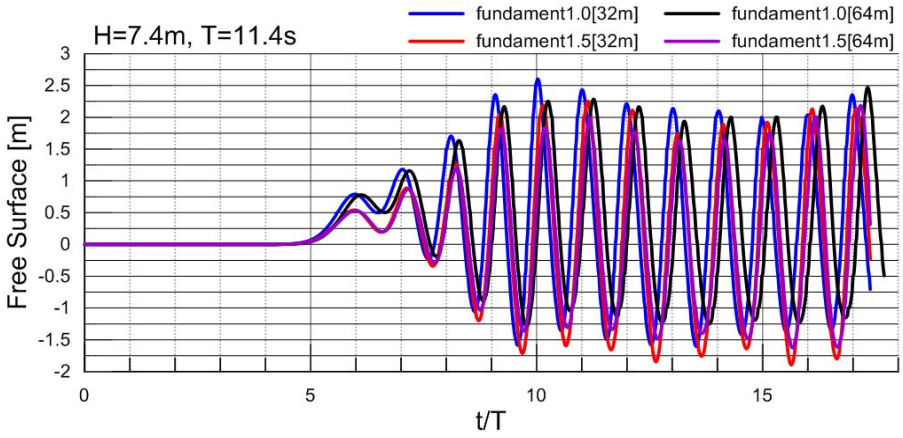


圖 7.4 防波堤護基 1 倍與 1.5 倍自由液面比較

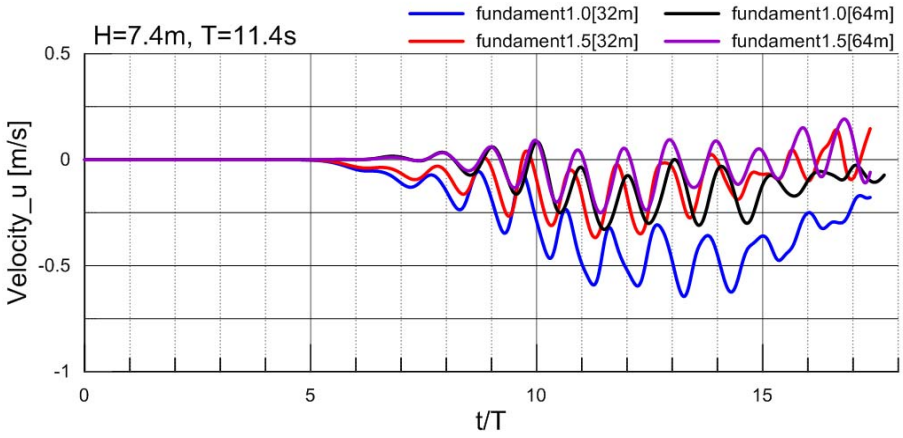


圖 7.5 防波堤護基 1 倍與 1.5 倍 u 方向速度比較

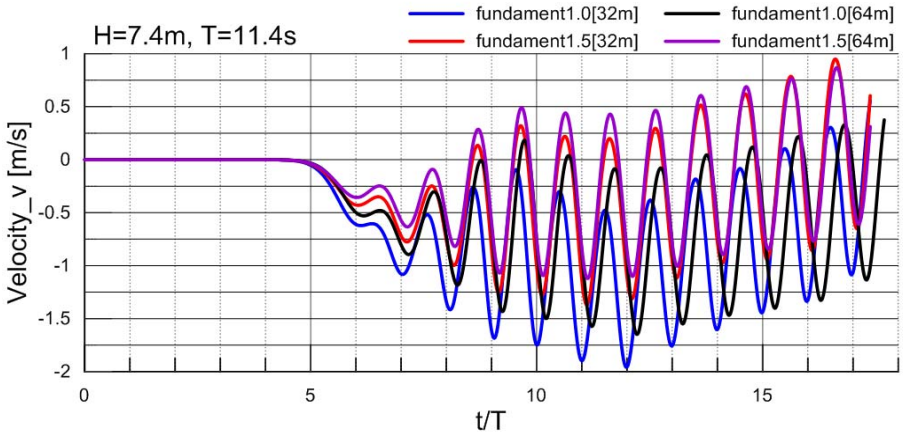


圖 7.6 防波堤護基 1 倍與 1.5 倍 v 方向速度比較

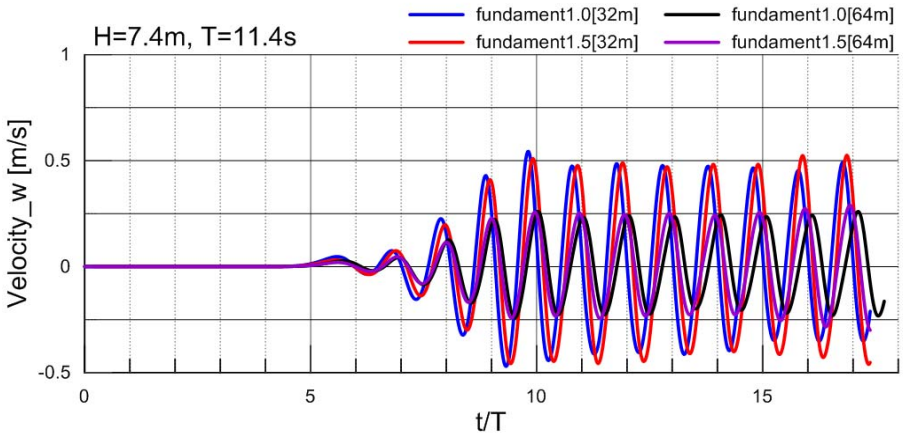


圖 7.7 防波堤護基 1 倍與 1.5 倍 w 方向速度比較

第八章 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。

8.1 結論

1. 海域地形測量結果 (臺中港北防波堤堤頭)：100 年與 101 年測量臺中港海域北防波堤堤頭附近地形，係以單音束測深系統進行水深測量，每年各一測次，消波塊群成像並不明顯。自 102 年起以多音束測深系統進行水深測量，頻率一年二次，堤頭附近消波塊成像較為明顯，略可看出堤頭附近之消波塊群分布，等深線於堤身附近大致呈現垂直海堤方向分布，堤頭附近因為波浪反射之掏刷而形成輻射狀之等深線分布。100/5 測得水深最淺約為-8m，堤頭附近掏刷最深處水深約-39m，位於堤頭向外海延伸方向約 140m 處；101/5 測得水深最淺約為-7.4m，堤頭附近掏刷最深處水深約-39m，同樣位於堤頭向外海延伸方向約 140m 處；102/5 測得水深最淺約為-6.5m，堤頭附近掏刷最深處水深約-33m，位於堤頭向外海延伸方向約 153m 處；102/10 測得水深最淺約為-8.4m，堤頭附近掏刷最深處水深約

-30m。侵淤比較上，101/5 與 100/5 結果相比，在堤頭北側有很明顯的淤積，高程差最大量約為 9.7m，在堤頭附近則有明顯之侵蝕情形，高程差最大量約為 6.4m，在堤頭附近有較明顯之侵淤趨勢外，其餘侵淤情形並不明顯，淤積量約 801,508m^3，平均高程增加約 9cm；102/5 與 101/5 結果相比，堤頭北側有很明顯的淤積，高程差最大量約為 6.9m，而在堤頭附近亦呈現淤積之情形，高程差最大量約為 5.6m，侵蝕部份高程差最大量約為 3m，在堤頭附近有較明顯之侵淤趨勢外，其餘侵淤情形並不明顯，淤積量約 1,190,049m^3，平均高程增加約 58cm；102/10 與 102/5 結果相比，堤頭前方與北側有很明顯的淤積，高程差最大量約為 3.1m，在堤頭附近呈現淤積之情形外，防波堤南北側之侵蝕情形明顯，其餘外海部分侵淤情形並不明顯，侵蝕量約 264,082m^3，平均高程降低約 25cm。

2. 海域地形測量結果 (麥寮工業港西防波堤堤頭)：麥寮工業港西防波堤堤頭附近地形，係以多音束測深儀進行測量，堤頭附近之護基消波塊成像相當明顯，距離堤頭約 90m ~ 150m 以及 160m ~ 230m 兩處隆起地形，可能是民國 94 年拋放於西防波堤堤頭前之地工砂袋，等深線於堤身北側港域外大致呈現垂直海堤方向分布，堤身南側港域內則以平行海堤方向分布為主，堤頭附近因為波浪反射之掏刷而形成輻射狀之等深線分布。100/6 測得水深最淺約為-6m ，堤頭附近掏刷最深處位於堤頭向外海西南方延伸約 400m 水深約-45m，消波塊群北側堤頭西方約 180m 處掏刷最深約-42m，南側則約-44m；101/5 測得水深最淺約為-4m，消波塊群北側掏刷最深處在堤頭向外海西方延伸約 170m 水深約-44m，堤頭西方約 180m 處亦有刷深現象，最深處約-37m；102/5 測得水深最淺約為-7m，堤頭附近掏刷最深處在堤頭西南方約 310m 水深約-44m；102/10 測得水深最淺約為-6.3m，掏刷最深處位於堤頭西南方約 400m 處水深約-47.8m 。在侵淤比較上，101/5 與 100/5 結果相比，在堤頭西南側有很明顯的淤積，高程淤積最大量約為 8.1m，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，淤積量約 420,627m^3，平均高程淤積約 36cm；102/5 與 101/5 結果相比，在堤頭西南側有很明顯的侵蝕，高程侵蝕最大量約為 7.6m，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，淤積量約 462,706m^3，平均高程淤積約 39cm；102/10 與 102/5 結果相比，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，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，侵蝕量約 649,855m^3，平均高程侵蝕約 55cm。

3. 潮汐調查結果：臺中港由底碇式都卜勒潮波流儀量測期間，潮型屬於半日潮型，主要分潮為 M2，次要成份是 S2，觀測期間最大潮差為 5.366m。雲林麥寮港由底碇式都卜勒潮波流儀量測期間，潮型亦屬於半日潮型，主要分潮為 M2，次要成份是 K1，觀測期間最大潮差為 3.896m。

4. 海流調查結果：臺中港測站底層（水下 15m）主要流向為 W、WSW、WNW（發生機率為 60.27%），逐時流速最大值為 49.9cm/s；表層（水下 2m）的主要流向則為 ENE、NE、NNE（發生機率為 70.55%），逐時流速最大值分別為 77.2cm/s；為瞭解底層與表層主要流向之差異，於中層水深 11 及水深 6m 處另行分析發現，於較靠近底層之水深 11m 處其流向分佈集中於 W、WSW、WNW、SW（發生機率為 47.84%），其流向特徵較接近底層；而於靠近表層之水深 6m 處其流向分佈集中於 ENE、E、NE（發生機率為 50.85%），其流向特徵較接近表層。由上述分析結果顯示臺中港海流監測區域海流流向由底層之流向 W 逐層轉向至表層流向 ENE 之趨勢。而於麥寮港測站底層和表層的主要流向皆為 N，逐時流速最大值分別為 108.3cm/s 及 121.8cm/s。

5. 波浪調查結果：臺中港測站主要波向 NNE、W，$H_{1/3}$ 介於 25~50cm 間者佔全體 65.65%，$T_{1/3}$ 集中於 4~5sec 間；H_{mean}=47.4cm，T_{mean}=4.86sec，H_{max}=1.27m，$T_{對應}$=6.30sec。麥寮港測站主要波向 SW、WSW、NW，$H_{1/3}$ 介於 25~50cm 間者佔全體 58.73%，$T_{1/3}$ 集中於 4~5sec 間；H_{mean}=35.2cm，T_{mean}=4.33sec，H_{max}=1.14m，$T_{對應}$=4.50sec。

6. 堤頭附近地形侵蝕原因探討：臺中港與麥寮港防波堤鄰近海域的地形侵淤狀態，隨著防波堤長度延伸、海潮流作用與上游河川砂源補注而有明顯的變化。臺中港與麥寮港海域流況明顯大於臺灣其他港域 (波浪並無此現象)，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。防波堤堤頭附近之漲退潮流速與流向不對稱形成淨流，水流經堤頭後轉向造成速度梯度，此等現象均引起之漂砂不平衡，導致堤頭發生沖刷。由麥寮港現場流況與沖蝕分析得知，夏季主要流況向北，沖刷洞在堤頭北側，但堤頭南側為較深的水域 (如航道)，無漂砂向北補注沖刷洞，以致沖蝕加劇。冬季主要流況向南，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補注，南向漂砂會逐漸將北側沖刷洞回填。如此週而復始，形成季節性的循環現象。又根據當時麥寮港西防波堤施工紀錄，每年東北季風期必須停工 5~7 個月，當重新開工時都發現堤頭地形大幅刷深現象。興建初期堤頭沖刷已形成，因北側濁水溪口向南的淤沙仍不明顯，無法大量填入堤頭沖刷洞中。西防波堤延伸完成後，北側的淤沙逐漸明顯，在潮流優勢方向為冬季向南、夏季向北的情形下，就形成上述麥寮港西防波堤堤頭附近季節性的變化。此等現象反應出二處防波堤之堤頭沖蝕現象，主要是海潮流所致。

7. 水工模型試驗 (波浪分佈)：模型底床採用定床布置，起始地形為 85 年臺中港北防波堤堤頭附近地形配合 91 年防波堤規模；波浪條件包括季風、颱風、50 年迴歸期颱風 (波高 7.4m、週期 11.4sec)；堤頭護基規模包括原設計寬度 40m 與加大寬度 60m；觀測重點包括堤頭附近之波場、流場。試驗結果顯示，50 年颱風波浪作用下，受到防

波堤互制影響，堤頭旁所測得的波高值明顯高出 2 m；冬季平均、冬季最大、夏季最大波浪條件下，堤頭所量測到最大波高值分別為 2 m、7 m、6 m。

8. 水工模型試驗 (流況分佈)：堤頭西側測得之流速 (V1 流速計)，在 50 年迴歸期颱風浪高造波下，堤頭護基寬度為 40m 時，水分子水平速度 V_{max} 為 0.5m/sec、$V_{1/10}$ 則是 0.39m/sec；垂直速度 V_{max} 為 0.07m/sec、$V_{1/10}$ 則是 0.03m/sec。當堤頭護基寬度為 60m 時，水分子水平速度 V_{max} 為 1.32m/sec、$V_{1/10}$ 為 1.22m/sec；垂直速度 V_{max} 為 0.32m/sec、$V_{1/10}$ 則是 0.28m/sec。因堤頭護基寬度加大，所造成的減衰效應會反應在較下游處。故在 N 向造波下，堤頭西側流速並未受到寬度加大的減衰的影響，反而在護基附近因波、流與結構物互制，導致流速增加。而在堤頭南側測得之流速 (V3 流速計)，護基寬度為 60m 時所得之平均流速就明顯小於護基寬度 40m 時。

9. 數值模擬部分：本研究以 Flow-3D 模組進行堤頭附近之水動力模擬，以理論值及試驗值進行一系列比較驗証。以 50 年期的颱風波浪 (臺中港波高 7.4m、週期 11.4sec；麥寮工業港波高 5.9m、週期 10.2sec)，並加上季風波浪條件模擬從不同入射波向的波場與底床水分子速度分佈。分析臺中港 50 年期颱風北側及西側入射波，波高 7.4m、週期 11.4sec 的極端波浪條件，計算造波週期 27 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，北側海域入射波浪受西防波堤北側阻擋形成反射波，東側沿岸亦同時形成反射波，此兩股反射波再與入射波交會，海況紛紜，也證明了防波堤的設置達到了保護港口的目的。至於堤趾附近海床水粒子的運動速度，同樣的波浪條件北側入射波比西側入射波大 0.44m/s，海床淺化和防波堤交會角度是主要原因，至於整體的平均值($V_{1/3}$、$V_{1/10}$)卻是西側入射波比北側入射波大，防波堤的反射與遮蔽是主要因素。分析麥寮工業港，波高 5.9m、週期 10.2sec 的極端颱風波浪條件，計算造波週期 30 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，而西防波堤南側海域受到堤體的遮蔽，波高變化與流速變化皆小於北側。

10.數值模擬部分 (不同寬度護基模擬結果初步比對)：選取臺中港 50 年迴歸期颱風浪條件下，不同寬度護基之數值模擬結果。比較原始護基與 1.5 倍護基，結果顯示底床速度以原始護基離堤頭 32m 最大，1.5 倍護基離堤頭 64m 最小；自由液面並未有明顯之差異，原因是本次護基加寬只在基礎底部；u 方向速度底床速度以 1.5 倍護基離堤頭 64m 最大，原始護基離堤頭 32m 最小；v 方向速度則以 1.5 倍護基較大，原始護基離較小；w 方向速度則是距離比較近的影響較大，反之較小。

11.數值模擬部分 (試驗結果與數值模式之驗證)：選取臺中港 50 年迴歸期颱風浪且 40m 護基寬度之試驗結果進行比對。波高計 H7 位置距離造波板 2m(一個波長)與深水區(水深-1.0m)，較不受側向邊界、底床邊界及波浪反射等因素的干擾，因此試驗波高、週期和數值解算有很好的一致性。但流速的部分，除了 u3 試驗值與數值解較一致，其餘皆顯示相當落差，後續模型縮尺、邊界布置與量測儀器的架設，仍需進一步檢討改進。

12.防波堤堤頭侵蝕的防制工法初步研擬：原臺中港北防波堤設計堤體寬度為 18 ~ 22 m，而堤頭外側護基寬度約 40m，相對護基寬度約為 2.0。初步研擬增加堤頭護基寬度增加至 60m，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。目前 FLOW-3D 數值模式經過初步的水工試驗結果與比對，能掌握關鍵的修正參數以獲得更精準的模擬結果，有利於本計畫後續的研究工作。

8.2 建議

1. 堤頭附近的潮波流觀測，基於執行經費與儀器保全的綜合考量下，

目前仍無法將觀測儀器緊鄰於堤頭處佈放。建議後續能提高現場潮波流觀測，增加堤頭觀測點佈設，增進本計畫防波堤堤頭處之流況分析與沖蝕特性研究之準確性。

2. 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，將朝向波流交互作用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。

8.3 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。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 已經完成港灣防波堤堤頭附近海域三維波場定床模式，可簡化後續三維波場動床模式預測等前置作業。

參考文獻

1. 湯麟武 (1970)，「淺灘海岸上波浪推算方法之研究」，成功大學土木水利學術彙刊，第 1 期，第 105~164 頁。

2. 井島武士 (1972)，「台中港設計波浪計算報告書」，日本港灣顧問公司。

3. 李兆芳 (1979)，「堤腳沖刷理論與試驗之研究」，國立成功大學水利暨海洋工程學系碩士論文。

4. 梁乃匡 (1982)，「颱風湧浪的預報方法」，第 6 屆海洋工程研討會論文集，第 5-1~5-19 頁。

5. 林銘崇、盧衍琪、梁乃匡、吳啟東 (1984)，「短峰波對防波堤基礎沖刷影響之研究」，第七屆海洋工程研討會論文集，pp44-1~44-21。

6. 王啟銘 (1990)，「人工魚礁配置之基礎研究」，國立臺灣海洋大學漁業研究所碩士論文。

7. 田文敏 (1994)，「由大地工程觀點探討人工魚礁的掩埋機制」，第十六屆海洋工程研討會論文集，高雄，D-79。

8. 涂盛文、邱惠萍 (1994)，「海堤最佳面坡之二維試驗研究」，第十六屆海洋工程研討會論文集，C-17~C-30。

9. 賴昱彰 (1994)，「變量流況下橋墩局部沖刷之研究」，私立逢甲大學土木及水利工程研究所碩士論文。

10. 曾明性 (1994)，「橋墩周圍流場與底床沖刷之模擬研究」，國立台灣大學土木工程學研究所博士論文。

11. 謝惠民 (1996)，「網路型河川擬似二維沖淤行為之數值模擬」，國立台灣大學土木工程學研究所博士論文。

12. 詹森、黃煌煇、張璠 (1997)，「台西近海流況特性與海流推測模式

之建立」，第十九屆海洋工程研討會論文集，台中，pp.423-430。

13.成大水工試驗所 (1997)，「雲林縣離島式基礎工業區整體開發規劃調查分析」，第一部份第二冊海流調查，國立成功大學水工試驗所研究報告第 202 號，經濟部工業局主辦。

14.林呈、顏光輝、陳謹偉、黃文彥 (1998)，「人工魚礁周邊之流場特性與沖刷機制之實驗研究」，第二十屆海洋工程研討會論文集，基隆，pp.305-312。

15.張文鎰 (1998)，「橋墩沖刷模式之改良與驗證」，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文。

16.成大水工試驗所 (1999)，「雲林縣離島式基礎工業區整體開發規劃調查分析」，摘要，國立成功大學水工試驗所研究報告第 226 號，經濟部工業局主辦。

17.劉景毅、洪逸銘、許明雄、高瑞琪 (1999)，「麥寮工業區專用港西防波堤 III 流況預測與地形變化原因探討分析」，國立成功大學水工試驗所研究試驗報告第 224 號。

18.賴明賢 (2000)，「台灣西南海域人工魚礁礁體工程行為分析」，國立中山大學海洋環境及工程研究所碩士論文。

19.劉景毅、黃煌煇 (2000)，「直立防波堤前海流造成之底床沖刷預測」，第二屆國際海洋大氣會議論文彙編，第 331-336 頁。

20.交通部運輸研究所 (2001~2009)，「港灣海氣地象觀測資料年報」，2000～2008 年度。

21.王建忠 (2002)，「多重網格法於河口沖淤模式之數值模擬」，國立中興大學土木工程學系碩士論文。

22.朱志誠、杜振宗、廖學瑞 (2002)，「防波堤堤頭刷深現象之分析探討」，第二十四屆海洋工程研討會論文集，pp.219-231。

23.張文鎰 (2002)，「圓形橋墩局部沖刷之模擬與試驗驗證」，國立臺灣大學土木工程學研究所博士論文。

24.黃俊維 (2002)，「不規則波作用下海堤堤趾沖淤特性之初步研究」，國立成功大學水利及海洋工程學系碩博士班論文。

25.成大水工試驗所 (2002a)，「雲林縣離島式基礎工業區整體開發規劃調查分析」，第二部份數值模擬第二冊工業區開發期間海岸地形變化數值模擬，國立成功大學水工試驗所研究報告第 287 號。

26..成大水工試驗所 (2002b)，「雲林縣離島式基礎工業區整體開發規劃調查分析」，第一部份第一冊波浪調查，國立成功大學水工試驗所研究報告第 287 號，經濟部工業局主辦。

27.劉景毅 (2003)，「直立防波堤前海流導致底床沖刷之數值模擬」，海洋工程學刊，第 3 卷，第 1 期，第 15-33 頁。

28.許泰文、黃清哲、藍元志、蔡金晏、曾以帆、謝志敏、林俊遠 (2003)，「防波堤堤前沖刷問題數值模擬研究」，財團法人中華顧問工程司主辦，中華民國 92 年 12 月。

29.林宏仁、許泰文、曾以帆 (2003)，「外傘頂洲海岸變遷機制之研究」，第二十五屆海洋工程研討會，第 735 頁-742 頁。

30.成大水工試驗所 (2007)，「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 冊波浪調查、海流調查、潮汐調查，經濟部工業局主辦。

31.成大水工試驗所 (2008)，「雲林縣離島式基礎工業區整體開發規劃調查分析」，國立成功大學水工試驗所研究報告第 422 號，經濟部工業局主辦。

32.財團法人成大水利海洋研究發展文教基金會 (2009)，「麥寮附近沿岸漂沙運動調查計畫 (期中報告)」，中華民國 98 年 11 月。

33.賴堅戊 (2009)，「波浪於粗粒徑斜坡底床傳遞之試驗與數值研究」，

國立成功大學水利及海洋工程研究所博士論文。

34.陳海鋒 (2009)，「波浪作用下的三維海床回應及液化分析」，天津大學建築工程學院碩士論文。

35.中興工程顧問公司 (2010)，「雲林海岸環境營造改善及海堤改善可行性檢討」，經濟部水利署第五河川局主辦，中華民國 99 年 4 月。

36.中興工程顧問公司 (2010)，「麥寮港西堤堤頭沖刷暨航道淤積海域地形變遷研究」，麥寮工業區專用港管理公司主辦，中華民國 99 年 2 月。

37.成大水工試驗所、中興工程顧問公司 (2010)，「雲林縣離島式基礎工業區整體開發規劃調查分析－第十年（摘要）」，國立成功大學水工試驗所研究試驗報告第 261 號，經濟部工業局主辦，中華民國 90 年 12 月。

38..成大水工試驗所、中興工程顧問公司 (2010)，「雲林離島式基礎工業區開發計畫施工期間環境監測九十九年度第一季報告」，經濟部工業局主辦，中華民國 99 年 4 月。

39.蔡立宏、溫志中、張憲國、劉勁成、陳蔚瑋 (2010)，「近岸漂沙機制與防治研究 (1/4)」，交通部運輸研究所主辦，中華民國 99 年 4 月。

40.賴志峰、江文山、葉柏志 (2010)，「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，成大水工試驗所主辦，中華民國 99 年 10 月。

41.蔡立宏、徐如娟 (2011)，「臺灣近岸港域地形變遷與環境調查研究 (2/4)」，交通部運輸研究所主辦，中華民國 100 年 1 月。

42.侯逸瑞、莊世璿、岳景雲 (2011)，「應用 FLOW-3D 模擬港內水面波動之研究」，第 33 屆海洋工程研討會論文集，高雄，pp.335-340。

43.馬煒倫 (2011)，「潛堤與海堤間波流場特性之數值模擬」，國立中興大學土木工程學系碩士論文。

44.陳信宏、楊瑞源、黃煌煇、尤上林、張欽森、郭少谷、呂介斌、陳國隆 (2011)，「金門跨海大橋橋墩地形沖刷之研究」，第 33 屆海洋工程研討會論文集，高雄，pp.359-364。

45.橋本宏、田中茂信、筒井保博 (1987)，「緩傾斜堤の局所洗掘と岸沖漂砂への影響」，第 30 回海岸工學講演會論文集，pp.249~253。

46.豐島修 (1987)，「緩傾斜岸工法」，第 34 回海岸工學講演會論文集，pp.447-451。

47.ACHARYA ANU, 2011, Experimental Study and Numerical Simulation of Flow and Sediment Transport around a Series of Spur Dikes, Ph.D. thesis, Univ. of Arizona.

48.Arneborg, L., Hansen, E.A., and Juhl, J., 1995, Numerical modeling of local scour at partially reflective structures, Final Proceedings of the project Rubble-Mound Breakwater Failure Models, MAST Contract No. MAS2-CT92-0047, Vol. 2. Commission of the European Communities, Directorate General for Science, Research and Development.

49.Bagnold, R.A., 1966, An approach to the sediment transport problem from general physics, Geological Survey Prof. Paper, 422-I, Washington.

50.Bijker, E.W., 1971, Longshore transport computations, Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division, Vol. 97, No. WW4.

51..Bretschneider, C.L., 1952, The generation and decay of wind waves in deep water, Transaction American Geophysical Union, Vol. 33, No. 3, pp. 381-389.

52.Breusers, H.N.C., and Raudkivi, A.J., 1991, Scouring, Balkema, Rotterdam, The Netherlands.

53.Burcharth, H.F., Morten Kramer, Alberto Lamberti, and Barbara Zanuttigh, 2006, Structural stability of detached low crested breakwaters, Coastal Engineering, Vol. 53, pp. 381-394.

54. Chang, H.H., and Hill, J.C., 1976, Computer modeling of erodible flood channels and deltas, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 102, No. HY10, pp. 132-140.

55. Csanady, G.T., 1973, Turbulence Diffusion in the Environment, D. Reidel Publ., Boston, 248p.

56. Dentale1 F., G. Donnarumma1, and E. Pugliese Carratelli, Wave Run Up and Reflection on Tridimensional Virtual Breakwater, Journal of Hydrogeology & Hydrologic Engineering, 2012, 1:1.

57. Eckert, J.W., 1983, Design of toe protection for coastal structures, In Coastal Structures 83. A Specialty Conference on the Design, Construction Maintenance and Performance of Port and Coastal Structures, Proceedings, Arlington, VA. pp. 331-341.

58. Fabio Dentale, E. Pugliese Carratelli, S.D. Russo, and Stefano Mascetti, 2009, Advanced Numerical Simulations on the Interaction between Waves and Rubble Mound Breakwaters, Journal of the Engineering Association for Offshore and Marine in Italy (translation from the Italian).

59. Einstein, H.A., 1950, The Bed-Load Function for Sediment Transportation in Open Channel Flow, Technical Bulletin, No. 1026, U. S. Dep. of Agriculture, Washington, D.C..

60. Ettema, R., 1980, Scour at bridge piers, Rep. No. 216, Univ. of Auckland, Auckland.

61. Fredsøe, J., and Sumer, B.M., 1997. Scour at the round head of a rubble-mound breakwater, Coastal Engineering, Vol. 29, pp. 231-262.

62. Gao, X., and Inouchi, K., 1998, The characteristics of scouring and depositing in front of vertical breakwaters by broken clapotis, Coastal Engineering Journal, Vol. 40, pp. 99-113.

63. Goda, Y., and Suzuki, Y., 1976, Estimation of incident and reflected waves in random wave experiments, Proceedings of 15th International Conference on Coastal Engineering, ASCE, pp. 828-845.

64. Gokce, T., Sumer, B.M., and Fredsøe J., 1994, Scour around the head of a vertical wall breakwater, Proc. International Conference on Hydro-Technical Engineering for Port and Harbor Construction, Hydro-Port' 94, Yokosuka, Japan, Vol. 2, pp. 1097-1116.

65. Gislason Kjartan, Jørgen Fredsøe, and B. Mutlu Sumer, 2009, Flow under standing waves: Part 2. Scour and deposition in front of breakwaters, Coastal Engineering, Vol.56,pp. 363-370.

66. Hales, L.Z., 1980, "Erosion control of scour during construction: Report 2. Literature survey of theoretical, experimental and prototype investigations, Technical Report HL-80-3. US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

67. Heribich, J.B. and S.C. Ko, 1967, Scour of sand beaches in front of seawall, Proc. 11th Int. Conf. on Coastal Eng., pp. 622-643.

68. Herbich, J.B., 1991, Handbook of Coastal and Ocean Engineering, Vol.2, Gulf Polishing Company, Houston, Texas, Ch. 1 & Ch. 8 & Ch.18.

69. Hirt, C.W. and B.D. Nichols, 1981, Volume of fluid method for the dynamics of free boundaries. J. comput. phys., Vol. 39, pp. 201–225.

70. Horikawa, K., 1988, Nearshore Dynamics and Coastal Process, University of Tokyo Press.

71. Hsu, J.R.C., Y. Tsuchiya, and R. Silvester, 1979, Third-order approximation to short-crested waves, J. Fluid Mech., Vol. 90, part 1, pp. 179-196.

72. Hsu, J.R.C., Silvester, R., and Y. Tsuchiya, 1980, Boundary-layer Velocities and Mass Transport in Short-crested Waves J. Fluid Mech., Vol. 99, pp. 321-342.

73. Irie, I., and Nadaoka, K., 1984, Laboratory reproduction of seabed scour in front of breakwaters, In Proceedings of 19th International Conference on Coastal Engineering, ASCE, Vol. 2 pp. 1715-1731, Chap. 116.

74. John W. Miles, 1977, Diffraction of Solitary Waves, Journal of Applied

Mathematics and Physics, Vol. 28.

75. Karim, M.F., and Kenndy, J.F., 1982, IALLUVIAL: A Computer-based Flow and Sediment Routing for Alluvial Streams and Its Application to the Missouri River, Iowa Institute of Hydraulic Research, Report, No.250, The University of Iowa, Iowa, USA.

76. Kothyari, U.C., 1989, Scour around bridge piers, PhD thesis, Univ. of Roorkee, Roorkee.

77. Kuo Ching-Ton, and Hwung-Hweng Hwung, Study on the scouring of seawall, Proc.16th.Conf. IAHR DELFT, Netherlands, pp17-1~17-10.

78. Lee Kwang-Ho, and Norimi Mizutani, 2008, Experimental study on scour occurring at a vertical impermeable submerged breakwater, Applied Ocean Research, Vol.30, pp. 92-99.

79. Lin M., and D.S. Jeng, 2004, A 3-Dmodel for ocean waves over a Columb-damping poroelastic seabed, Ocean Engineering, Vol.31, pp. 561–585.

80. Liu L.F., Philip. 1984, Diffraction of Solitary Waves, Journal of Waterway, Port, Coastal, Ocean Engineering, Vol.110(2), pp.201-214.

81. Melville, B.W., 1975, Local scour at bridge sites, Report No. 117, Department of Civil Engineering, University of Auckland, New Zealand.

82. Myrhaug Dag, Havard Rue, and Alf Tbrum, 2004, Tentative engineering approach to scour around breakwaters in random waves, Coastal Engineering, Vol.51, pp. 1051-1065.

83. Myrhaug Dag, and Muk Chen Ong, 2009, Random wave-induced scour at the trunk section of a breakwater, Coastal Engineering, Vol.56, pp.688-692.

84. Raudkivi A.J., 1991, Scour at bridge piers, Hydraulic Structures Design Manual, pp. 61-99.

85. Richardson, J.E., and Panchang, V.G., 1998, Three-dimensional

simulation of scour-inducing flow at bridge piers, J. Hydraulic Eng., 124(5), pp. 530-540.

86. Rijn, L.C. van, 1984a, Sediment transport, part I: bed load transport, Journal of Hydraulic Engineering, Vol.110, No.10, pp. 1431-1456.

87. Rijn, L.C. van, 1984b, Sediment transport, part II: suspended lo ad transport, Journal of Hydraulic Engineering, Vol.110, No.11, pp. 1613-1641.

88. .Rijn, L.C. van, 1987, Mathematical modeling of Morphological Processes in the Case of Suspended Sediment Transport, Delft Hydraulics Communication, No.382.

89. Rijn, L.C. van, 1989, Handbook Sediment Transport by Currents and Waves, Delft Hydraulics.

90. Roulund, A., Sumer, B.M., Fredsoe, J., and Michelsen, J., 1999, 3D mathematical modelling of scour around a circular pile in current, Proc. 7th Int. Symposium on River Sedimentation and 2nd Int. Symposium on Environmental Hydraulics‘98, Hong Kong.

91. Sato, S. Tanaka, N., and Irie, I., 1968, Study on scouring at the foot of coastal structures, Proceeding of 11th ICCE.pp579-598.

92. Sato, S., and Irie, I., 1968, Variation of topography of sea-bed caused by the construction of breakwaters, Coastal Engineering in Japan, Vol. B, pp141-152.

93. Sato, S., Tanaka, N., and Irie, I., 1969, Study on scouring at the foot of coastal structures, Coastal Engineering in Japan, Vol. 37, pp. 579-598.

94. Sato, S. and Irie, I., 1970, Variation of topography of sea-bed caused by the construction of breakwaters, Proc. 12th Int. Conf. Coastal Eng., ASCE, V. 2, 1301-1319.

95. Silvester, R., and Hsu, J.R.C., 1993, Coastal Stabilization.

96. Sumer, B.M., and Fredsøe, J., 1997, Scour at the head of a vertical-wall breakwater, Coastal Engineering, Vol. 29, pp. 201-230.

97. Sumer, B.M., and Fredsøe, J., 2000, Experimental study of 2D scour and its protection at a rubble-mound breakwater, Coastal Engineering, Vol. 40, pp. 59-87.

98. .Sumer, B.M., Richard J.S. Whitehouse, and Alf Tørum, 2001, Review Scour around coastal structures: a summary of recent research, Coastal Engineering, Vol. 44, Issue 2, December 2001, pp. 153-190.

99. Sumer, B.M., Jørgen Fredsøe, Alberto Lamberti, Barbara Zanuttigh, Martin Dixen, Kjartan Gislason, and Antonio F. Di Penta, 2005, Local scour at roundhead and along the trunk of low crested structures, Coastal Engineering, Vol.52, pp. 995-1025.

100. Teisson, C., 1992, Cohesive suspended sediment transport: feasibility and limitations of numerical modeling, Journal of Hydraulic Research, Vol.29, No.6.

101. Tsai Ching-Piao, Jiann-Shyang Wang, and Chang Lin, 1998, Downrush flow from waves on sloping seawalls, Ocean Engng,Vol.25Nos4-5,pp.295-308.

102. Xie, S.L., 1981, Scouring patterns in front of vertical breakwaters and their influence on the stability of the foundations of the breakwaters Report, Department of Civil Engineering, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, pp. 61.

103. Yang, C.T., 1984, Unit stream power equation for gravel, Journal of the Hydraulics Engineering, ASCE, Vol. 110, No.12, pp. 1679-1704

附錄一 潮位觀測記錄表

潮位觀測記錄表

工作名稱: 港灣防波堤堤頭三維沖蝕特性及防制機制之研究(1/4)

觀測日期: 102/10/29	天候狀況: 晴	觀測人員: 林照川
觀測地點: 麥寮港	自動驗潮儀:壓力式潮位計	檔案名稱: 20131029MaiLiao
感測器施放深度(m): 6.23	驗潮站高程(m):3.095	高程系統: 基隆中潮系統

時間	觀測值(m)	水位高(m)	時間	觀測值(m)	水位高(m)	時間	觀測值(m)	水位高(m)
10:12	2.979	-0.156	11:18	2.510	-0.625	12:24	2.365	-0.770
10:18	2.914	-0.221	11:24	2.499	-0.636	12:30	2.374	-0.761
10:24	2.851	-0.284	11:30	2.477	-0.658	12:36	2.369	-0.766
10:30	2.816	-0.319	11:36	2.459	-0.676	12:42	2.358	-0.777
10:36	2.795	-0.340	11:42	2.405	-0.730	12:48	2.370	-0.765
10:42	2.737	-0.398	11:48	2.384	-0.751	12:54	2.388	-0.747
10:48	2.689	-0.446	11:54	2.391	-0.744	13:00	2.407	-0.728
10:54	2.644	-0.491	12:00	2.401	-0.734	13:06	2.414	-0.721
11:00	2.627	-0.508	12:06	2.379	-0.756	13:12	2.428	-0.707
11:06	2.606	-0.529	12:12	2.340	-0.795	13:18	2.451	-0.684
11:12	2.559	-0.576	12:18	2.342	-0.793	13:24	2.476	-0.659

記錄: 林照川 校核: 王聖瀚

潮位觀測記錄表

工作名稱: 港灣防波堤堤頭三維沖蝕特性及防制機制之研究(1/4)

觀測日期: 102/10/30	天候狀況: 晴	觀測人員: 林照川
觀測地點: 台中港	自動驗潮儀:壓力式潮位計	檔案名稱: 20131030TaiChung
感測器施放深度(m): 5.56	驗潮站高程(m):3.243	高程系統: 基隆中潮系統

時間	觀測值(m)	水位高(m)	時間	觀測值(m)	水位高(m)	時間	觀測值(m)	水位高(m)
7:42	4.216	1.899	9:00	3.859	1.542	10:18	2.958	0.641
7:48	4.186	1.869	9:06	3.735	1.418	10:24	2.930	0.613
7:54	4.199	1.882	9:12	3.764	1.447	10:30	2.741	0.424
8:00	4.156	1.839	9:18	3.639	1.322	10:36	2.787	0.470
8:06	4.177	1.860	9:24	3.595	1.278	10:42	2.604	0.287
8:12	4.122	1.805	9:30	3.586	1.269	10:48	2.584	0.267
8:18	4.099	1.782	9:36	3.432	1.115	10:54	2.473	0.156
8:24	4.056	1.739	9:42	3.426	1.109	11:00	2.374	0.057
8:30	4.012	1.695	9:48	3.284	0.967	11:06	2.321	0.004
8:36	4.042	1.725	9:54	3.348	1.031	11:12	2.233	-0.084
8:42	3.946	1.629	10:00	3.141	0.824	11:18	2.124	-0.193
8:48	3.930	1.613	10:06	3.126	0.809	11:24	2.030	-0.287
8:54	3.875	1.558	10:12	3.062	0.745	11:30	1.996	-0.321
						11:36	1.873	-0.444
						11:42	1.822	-0.495

記錄: 林照川 校核: 王聖瀚

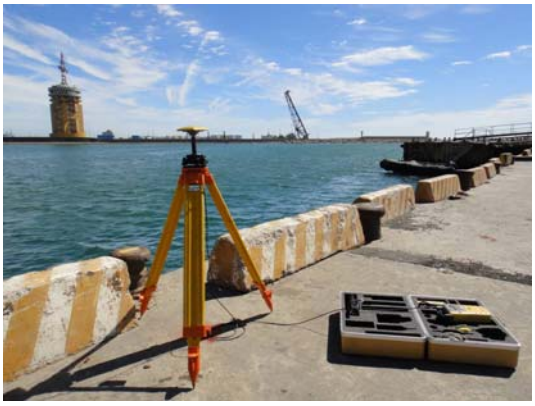
附錄二 聲速剖面記錄表

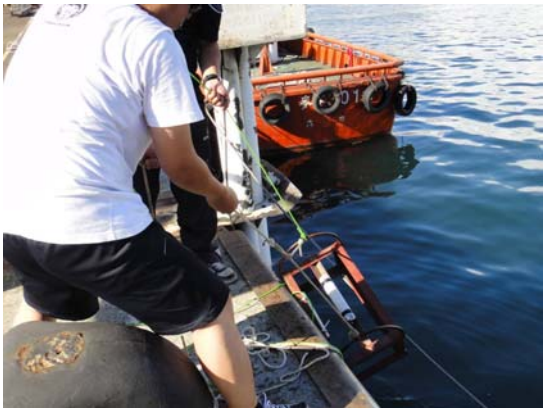
聲速剖面記錄表

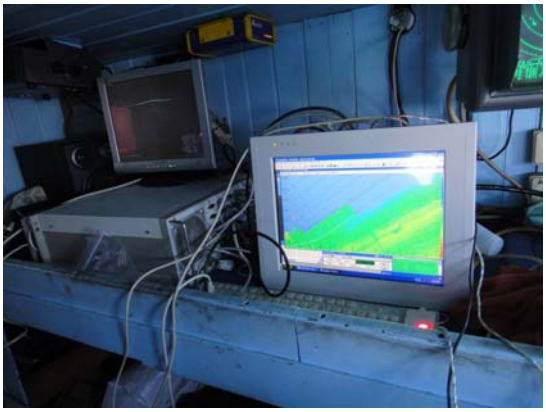
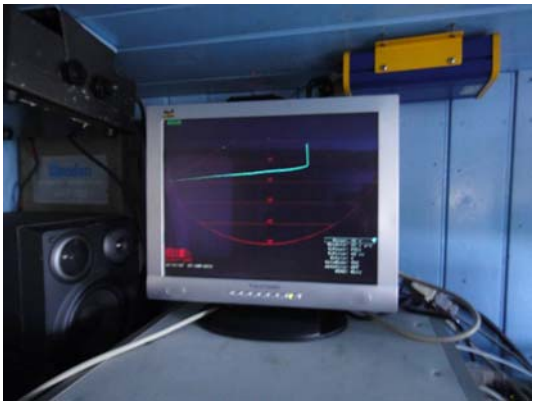
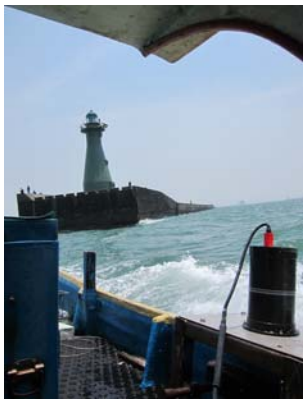
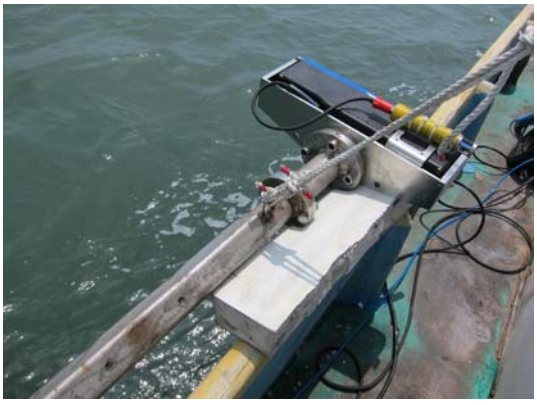
量測日期:	2012/10/29	量測日期:	2012/10/30
量測時間:	16:42:38	量測時間:	15:13:08
量測儀器:	Sea-Bird SBE19	量測儀器:	Sea-Bird SBE19
量測人員	王聖瀚	量測人員	吳泓毅
水深 (m)	聲速 (m/sec)	水深 (m)	聲速 (m/sec)
0.650	1530.84	0.501	1533.39
0.720	1530.81	0.541	1533.49
1.650	1530.73	0.914	1533.52
2.070	1530.69	1.451	1533.51
2.510	1530.64	2.106	1533.50
2.860	1530.62	2.769	1533.46
3.310	1530.61	3.398	1533.53
3.820	1530.56	3.980	1533.57
4.270	1530.33	4.524	1533.57
4.750	1530.18	4.959	1533.56
4.920	1530.11	5.380	1533.50
5.370	1530.06	5.859	1533.48
5.780	1530.00	6.423	1533.47
6.610	1529.94	7.044	1533.48
7.330	1529.94	7.683	1533.46
7.510	1529.94	8.306	1533.42
8.330	1529.95	8.919	1533.39
8.810	1529.96	9.517	1533.37
9.120	1529.96	10.102	1533.36
9.780	1529.97	10.729	1533.38
10.470	1529.96	11.359	1533.39
10.600	1529.96	11.947	1533.41
10.980	1529.97	12.527	1533.43
11.470	1529.96	13.131	1533.35
11.740	1529.95	13.774	1533.17
12.120	1529.95	14.439	1533.06
12.390	1529.95	15.113	1533.01
12.770	1529.94	15.778	1532.99
13.190	1529.93	16.414	1532.90
13.460	1529.92	17.044	1532.79
14.010	1529.91	17.686	1532.67
14.220	1529.90	18.340	1532.54
15.110	1529.89	18.957	1532.47
15.910	1529.89	19.541	1532.47
16.390	1529.90	20.179	1532.49
17.210	1529.91	20.829	1532.39
17.590	1529.91	21.421	1532.26
18.140	1529.92	21.959	1532.12
18.590	1529.93	22.479	1531.93
19.070	1529.94	23.022	1531.77
19.760	1529.95	23.599	1531.70
20.860	1529.96	23.601	1531.62
21.310	1529.97	23.887	1531.63
21.860	1529.97	24.127	1531.63
22.550	1529.98	24.315	1531.63
23.240	1529.96	24.579	1531.62
23.550	1529.96	25.055	1531.62
23.240	1529.96	25.634	1531.62
23.550	1529.96	25.887	1531.63
23.240	1529.96	25.917	1531.62
23.550	1529.96	25.929	1531.62
平均聲速：	**1530.08**	平均聲速：	**1532.78**

附錄三 臺中港與麥寮工業港水深測量與海流儀施放作業照片

<table>
<tr>
<td>
100/5/31 於本所港研中心之一等一級水準點為控制點 K400 進行水準與定位測量</td>
<td>

於本所港研中心 K400 水準點</td>
</tr>
<tr>
<td> 
100/5/31 於梧棲漁港鄰近安檢鎖碼頭側進行潮位站之引測</td>
<td>
單音束測深系統水深測量儀器架設</td>
</tr>
<tr>
<td>

於水深測量時進行聲速剖面資料收集</td>
<td> 
100/6/9 麥寮工業港潮位計施放</td>
</tr>
</table>

 麥寮工業港沿北堤方向進行水深測量之情形	 多音束測深系統儀器架設配置與資料收集
 多音束測深儀測量到麥寮工業港堤防堤址之回波影像	 102/5/8 於台中港北堤堤頭多音束測深情形，右側架上為船隻姿態收集儀
 Reson 7125 多音束測深儀音鼓與聲速測定儀(SVP)架設情形	 100/6/9 於農田水利會麥寮工作站之一等一級水準點為控制點 G037 進行水準與定位測量

 100/6/9 於麥寮工業港工作船渠碼頭面進行潮位站之引測	 100/6/9 於麥寮工業港進行海流儀佈放作業
 海流儀吊放入海底，再由潛水人員於水底固定	 聲速剖面資料收集

附錄四 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(1/4)**

執行單位：**國立中山大學**

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
(一) 林委員銘崇		
1. 研究主題甚具學術與實務之前瞻性，研究內容豐富，工作態度積極。	1. 感謝委員的肯定。	1. 符合。
2. 堤頭沖刷量測結果宜進行模式化，並予物理量化，並於水工模型試驗配合規劃量測。	2. 感謝委員的意見，本年度主要研究項目在於定床波場模擬，堤頭沖刷量之數值模擬結果及配合水工模型試驗驗證，將於第三年度呈現。	2. 依處理情形辦理。
3. Flow-3D 模式與堤頭沖刷現象之連結宜釐清。	3. 本年度數值模式重點在於堤頭附近定床波場模擬，將加強堤頭附近因波浪所引發的流場計算與分析，藉此釐清與潮流所引發的流場之間的差異。	3. 依處理情形辦理。
(二) 蔡委員清標		
1. 圖 2.20~圖 2.26，各圖中，臺中港之港口應有正確圖示。而港內地形變化，建議亦顯示。	1. 感謝委員的指正，缺少的港口圖示與港內地形將在期末報告中修正	1. 依處理情形辦理。
2. 圖 2.22~圖 2.25，各圖皆以 85 年為基準比較，建議也有逐年之侵淤，以分析其逐年之變	2. 將依照建議，增加台中港海域地形侵淤狀態的逐年變化分析。	2. 依處理情形辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
遷特性。		
3. 圖 3.14 及圖 3.15，三次測量結果，沖刷坑似有時侵時淤現象，建議分析其原因。而未來數值模擬及水工試驗，將以何次測量結果為基準？	3. 因麥寮港之地形與海象資料較為齊全，後續將利用麥寮港的沖刷坑資料進行原因探討。台中港數值模式與水工模型，則選擇 85 年尚未發生堤頭沖刷現象的地形，作為起始條件。	3. 依處理情形辦理。
4. 圖 3.30 及圖 3.31 三次測量結果亦時侵時淤現象。建議分析其侵淤變化，探討沖刷坑之變化情形，並探討成因，以為防治參考。(臺中港亦同)	4. 歷次沖刷坑的變化分析，將配合海象統計結果，於期末報告中進行成因分析。	4. 依處理情形辦理。
5. 圖 4.17 等，顯示本研究係以 Stokes 5 階解為入射波，但§4.1.2 却以線性波說明，請修正。	5. 遵照辦理。數值理論將依照現行採用的控制方程式說明。	5. 依處理情形辦理。
6. 本研究既以 Stokes 波模擬，但§4.2.1 却以孤立波作為模式驗證，似有所不妥。(表 4.3 符號意義為何？)	6. 數值模式後續將依現場調查成果與水工模型試驗資料進行驗證。表 4.3 各項參數將於期末報告增加說明。	6. 依處理情形辦理。
7. §4.2.4 波場中自由水面變化，係以靜止水面為初始條件，再分析第幾個波作用於堤頭及繞射波情形，可能太理想化，不符合實際情形。而§4.2.5 再討論其引發的流況變化，亦可能不	7. 感謝委員的建議。將增加模擬成果的特性穩定評估，以參數量化討論模式中各影響變數與誤理量是否已達到穩定狀態。	7. 依處理情形辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
符實際特性。		
8. 既為 3D 模擬，則 P.4-29，以 $(u^2+v^2+w^2)$ 開平方，其意義何在？	8. 因模式中三維正交座標流速儲存於不同陣列，$(u^2+v^2+w^2)$ 開平方計算結果代表三維座標網格中每個網格點流體的速率，報告中亦計算各格點的三維流向，將流速轉換成向量表示法。向量法亦符合日常之認知，僅是表示方法的不同。	8. 依處理情形辦理。
9. 第四章，目前係以颱風波浪條件模擬，是否意謂其為堤頭沖刷之主要影響機制，建議有所檢討。而未來堤頭沖刷動床模擬時，作用時間將如何考量？另，建議仍有季風波浪條件之模擬。	9. 期中報告中先完成了颱風波浪的計算，後續將完成本研究所規劃的各項設計波浪條件(颱風波浪與季風波浪)的模擬。	9. 依處理情形辦理。
10.模型試驗之歪比，應與試驗用砂有關，建議再審慎考慮。而(5-1)式~(5-5)式非歪比理論。	10. 感謝委員的意見。水工模型試驗的理論將再進一步檢討，並於期末報告中修正。	10. 依處理情形辦理。
(三) 岳委員景雲		
1. 防波堤頭三維沖刷特性及防制工法之研究對堤身安全與航行有其必要性與重要性。	1. 感謝委員的意見。本團隊將致力執行本研究，提升港灣結構物與航行安全。	1. 符合。
2. 資料搜集完整、豐富，中文 46 篇外文 57 合計 103 篇值得肯定，文中圖表彩色清晰，建議色階採一致	2. 感謝委員的肯定。將加強報告中圖表用色與編排的一致性，以減少閱讀的不便性。	2. 依處理情形辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
性方便比較。		
3. 工作項目(第一年)六大項，包含現場、數值、水工，主持人及團隊人員工作辛苦。	3. 感謝委員的肯定。	3. 符合。
4. 臺中港 91 年後是否有增加北堤長度？消波特性等？B、C 如何定？	4. 台中港 91 年後並未再增加北堤長度。本計畫已取得北防波堤之工程設計圖，圖中有詳細記載之堤身、堤頭尺寸與防護工。	4. 依處理情形辦理。
5. FLOW-3D 模式驗證與 Liu(1984)驗證孤立波其理由？	5. Liu(1984)中具有多種數值模式的驗證，亦有多篇研究與其比較驗證，因此初步選擇與 Liu(1984)之成果比較，作為檢驗 FLOW-3D 模擬成果之參考。期末報告中將以現場實測資料與本計畫之水工模型試驗資料之驗證為主。	5. 依處理情形辦理。
6. 水工模型歪度=8 是否過大？波流交會角度θ有幾組？	6. 受制於平面水槽尺寸和研究區域之範圍，水工模型比尺經多方面考量後而擇定。歪比所造成的影響，將藉由數值模擬加以檢討。波流交會視第一、二年度實際執行成果再評估是否進行。	6. 依處理情形辦理。
7. 建議加一章結論。	7. 感謝委員意見。期末報告中將會增加本年度之結論。	7. 依處理情形辦理。
(四) 陳委員文俊 1. 本案工作項目多，於目前期中進度於資料蒐	1. 感謝委員的肯定。	1. 依處理情形辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
集、現調、分析等皆非常完整給予肯定。		
2. P.2-38，2-39 麥寮港港口周邊地形於 85~96 年間呈侵、淤侵之特性，是否 89~93 為明顯淤積？抑或其他原因。	2. 寮港港口周邊的地形侵淤侵特性，將於期末報告中更深入探討補充。	2. 依處理情形辦理。
3. 由團隊分析結果顯示臺中港堤頭鄰旁地形 100/05~102/05 兩年期間大約平均淤高近 1m (97cm)，淤積量近 200 萬 m^3，原因為何？是否代表堤頭淘深現象有逐漸回淤情形。	3. 台中港北方沙源供應充沛 (大甲溪)，因此數年來在區域，大部分海域皆呈現淤積之趨勢。堤頭附近則是侵淤互現，說明侵蝕與淤積間仍持續互補，可以推論堤頭仍應有侵蝕現象。因影響條件復雜，最終地形結果，尚無法確是否已逐漸回淤。	3. 依處理情形辦理。
4. FLOW-3D 於砂質底床之模擬是以何種方式處理？能否模擬臺中港北側砂源之輸入？	4. FLOW-3D 藉由設定底床材質為砂質顆粒，調整沙粒比重、孔隙比、安息角等參數，再於物理模組啟用漂沙模式，即可計算砂質底床的水動力現象。FLOW-3D 本身並無砂源邊界條件，但可再於邊界外側建立砂源網格，並設定流速，模擬上游供砂現象。	4. 依處理情形辦理。
5. 由於試驗比尺稍小，且砂質無法縮尺化，建議後續試驗前能檢算波浪條件與漂砂啟動之條	5. 感謝委員的建議。波浪條件與試驗紀錄分析，後續會參考委員的意見，規劃動床水工模型	5. 依處理情形辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
件，並考慮碎波位置及型態之適合性及淘刷機制(深度)之代表性。	試驗的條件。	
(五) 蔡委員立宏		
1. 本研究工作項目多，內容充實，給予肯定。	1. 感謝委員的肯定。	1. 符合。
2. 針對水深剖面及地形侵淤，建議探討有明顯變化的原因，另侵淤量分析上，建議以明顯變化較小範圍作比較。	2. 台中港海域取得的水深地形監測時間間隔較大，將增加麥寮海域資料，以進行小範圍地形侵淤變化成因探討。	2. 依處理情形辦理。
3. P.3-75 海流分析上，建議可依漲退潮分析其差異。	3. 期末報告中將增加不同潮段的海流狀況分析。	3. 依處理情形辦理。
4. P.3-75 由表層流與底層流分佈，高低速時間似乎蠻一致，但方向相反，值得進一步分析探討。	4. 依第一次潮波流調查成果，研判應是表層海流記錄受到海面風吹影響，造成此流速垂直分佈的流向差別。	4. 依處理情形辦理。
5. 建議未來持續找出堤頭沖刷洞形成之原因，並能於水工模型試驗以及數值計算模擬出沖刷洞的形成。	5. 感謝委員的建議。藉由數值模式與水工模型得到堤頭沖蝕成因與影響參數，是本研究所關注的課題。	5. 依處理情形辦理。

附錄五 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(1/4)**

執行單位：**國立中山大學**

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
(一) 林委員銘崇		
1.現場或試驗測量之堤頭地形分析顯示堤頭有時沖刷有時淤積，與實況並不儘相同。	1. 本年度模型試驗是進行定床試驗，尚未模擬堤頭沖刷現象。後續執行動床試驗時，會與現場侵淤情形進行驗證比對。	1. 依處理情形辦理。
2.現場設置一個定點潮波流量測可能不易探討堤頭沖刷機制特性，於水工試驗宜儘可能進行平面流況甚至三維流況之量測。	2.謝謝委員建議，後續水工試驗將盡可能於堤頭附近掏刷區進行大範圍三維流況之量測。	2. 依處理情形辦理。
3.實測之堤頭沖蝕特性結果係波流可能作用，比較波浪作用效應宜審慎處理。	3.實測之堤頭沖蝕特性結果將依委員建議，根據波、流效應予以定量分析。	3. 依處理情形辦理。
(二) 蔡委員清標		
1.研究報告內容豐富，予以肯定。	1. 感謝委員的肯定。	1. 符合。
2.圖 3-18，各斷面示意建議加上箭頭方向，以利圖 3-19 以後各圖之判讀。而圖 3-19 以後各圖，100/05 及 102/10 顏色相近不易判別，建議改善。	2.謝謝委員建議，已修正圖資以利於判讀。	2. 依處理情形辦理。

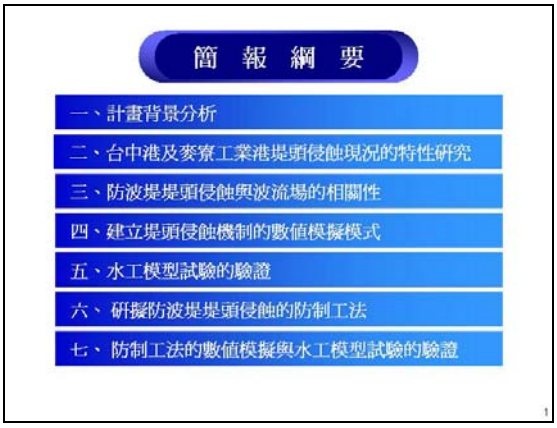
參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
4. 圖 3.28(b)及圖 3.50(b)為 102/5 與 102/10 之侵淤變化，顯示大部分呈現侵蝕狀態，是否為颱風波浪所造成，建議探討之。	3.102 年 7~9 月歷經蘇力與天兔等強烈颱風，以及東北季風之持續作用，可能對堤頭附近地形造成影響，將持續予以觀察注意。	3. 依處理情形辦理。
4.圖 3.79 與圖 3.80，顯示漲退潮之表層海流流場之流向幾乎都向外，請檢核，並說明其代表意義。	4.由現場施測海域因位於台中港北防波堤之大型人工結構物旁，故可能受結構物影響所致。	4. 依處理情形辦理。
5.圖 4.11，在 153 秒之後，速度有增大趨勢，為何？	5.在 153 秒(第 15 個造波週期)，波浪繞過堤頭傳遞速度增大趨勢所致。	5. 依處理情形辦理。
6.§4.2.5 節之模擬水深是否係依實測地形，建議有所說明。	5. 模擬水深係採用防坡堤堤頭附近海域實測地形資料，已經在§4.2.1 節說明。	6. 依處理情形辦理。
7.圖 4.22~4.25，建議加示波浪入射方向。	7.感謝委員意見，將遵照辦理，於圖 4.22~4.25 加示波浪入射方向。	7. 依處理情形辦理。
8.圖 5.30~5.45，模擬數值與試驗值誤差頗大，建議再予檢討。	8.感謝委員意見，後續將持續檢討與改進試驗結果與數值模擬的驗證工作。	8. 依處理情形辦理。
9.模型試驗入射波條件，建議使用等值深海波高值。	9.感謝委員意見，模型試驗入射波條件使用等值深海波高值。	9. 依處理情形辦理。
10.圖 6.3 之臺中港口，仍請修正。	10.遵照辦理。	10 依處理情形辦理。
(三) 岳委員景雲		
1.波浪水位時序列變化動畫清晰，工作內容多，簡報豐富值得肯定。	1.感謝委員的肯定。	1.符合。
2.水工模型季風、颱風波向都採 N 向有無其他波向？	2.因現場主要波向集中在 NNE 與 N 向，又因執行經	2. 依處理情形辦理。

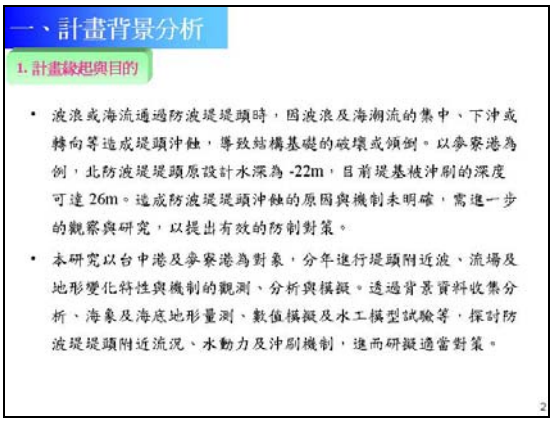
參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
H=1.02m 縮尺後是否會太小？經過一段距離會衰減？	費之故，造波波向都採用 N 向。後續水工試驗會盡可能增加其他波向以及放大垂直縮尺比例。	
3.水工模型採平面、定床、規則波、歪比模型是否有驗證碎波帶、沿岸流流速、越波、堤頭流速是否會重現(與現場一致)，預備試驗或驗證試驗。	3.後續水工模型試驗會盡可能增加碎波帶、沿岸流流速、越波等驗證工作。	3. 依處理情形辦理。
4.附錄三，現場水深測量與海流儀施放工作人員請注意安全穿著救生衣。	4.感謝委員的提醒。	4. 依處理情形辦理。
(四) 蔡委員立宏		
1.P.2-19 圖 2.5 臺中港波向在夏冬季均為東北向，但夏季為西南季風，波向應接近西南向，請說明。	1.此統計資料是依據港灣技術研究中心量測的歷史資料彙整統計而成，其造成原因仍需另行深入探討。	1.依處理情形辦理。
2.P.2-28 海流分析中請註明所分析資料為表層、平均、或底層流。	2.此統計資料，是依據港灣技術研究中心相關歷史資料彙整統計而成，其資料為表層資料。	2.依處理情形辦理。
3.高程地形分析討論，僅針對現象作討論，建議可朝造成變化的原因、相對應的海象作討論，如今年度臺中港堤頭坑洞有填補現象，原因為何？	3.由於臺中港地形歷史資料較為欠缺，所收集大多屬一年一測次之資料，較難與季節性之波流資料驗證比對；麥寮港因歷史季節性資料較為完備，於第七章中驗證地形侵淤變化及波流之相對應關係上，則相當吻合。現調臺中港堤頭坑洞有填補現象，應是沿岸漂沙造成。	3.依處理情形辦理。
4.P.3-34~P.3-38 “西” 防波	4.麥寮工業專用港管理(股)	4.依處理情形辦理。

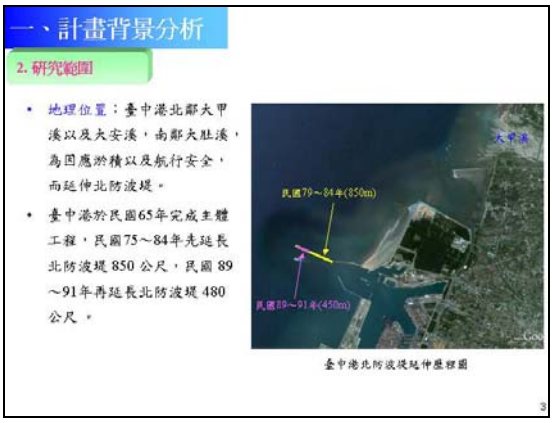
參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
堤是否為“北”防波堤，請再檢查。	公司統稱該堤為“西”防波堤，因此報告中對該提之稱呼係依據該公司之統稱。	

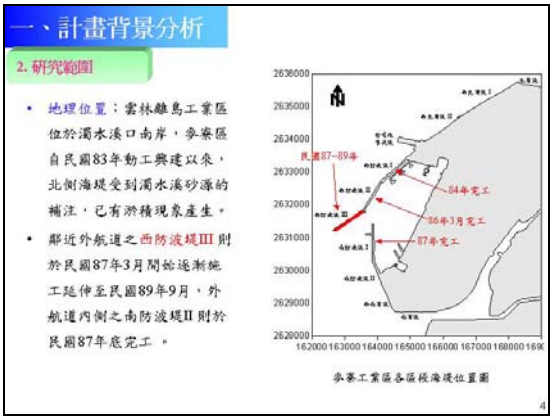
附錄六　期中簡報資料

港灣防波堤堤頭三維沖蝕特性
及防制機制之研究（1/4）
期　中　簡　報
主持人：李忠潘 教授
簡報人：廖奕鈞 博士
國立中山大學
中華民國 102 年 6 月 17 日


簡　報　綱　要
一、計畫背景分析
二、台中港及麥寮工業港堤頭侵蝕現況的特性研究
三、防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性
四、建立堤頭侵蝕機制的數值模擬模式
五、水工模型試驗的驗證
六、研擬防波堤堤頭侵蝕的防制工法
七、防制工法的數值模擬與水工模型試驗的驗證
1


一、計畫背景分析
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、計畫背景分析
2. 研究範圍
• 地理位置：臺中港北鄰大甲溪以及大安溪，南鄰大肚溪，為因應淤積以及航行安全，而延伸北防波堤。
• 臺中港於民國65年完成主體工程，民國75～84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。
大甲溪
民國79～84年(850m)
民國89～91年(480m)
臺中港北防波堤延伸歷程圖
3

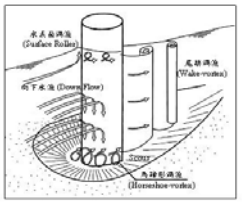

一、計畫背景分析
2. 研究範圍
• 地理位置：雲林離島工業區位於濁水溪口南岸，麥寮區自民國83年動工興建以來，北側海堤受到濁水溪砂源的補注，已有淤積現象產生。
• 鄰近外航道之西防波堤III則於民國87年3月開始逐漸施工延伸至民國89年9月，外航道內側之南防波堤II則於民國87年底完工。
民國87~89年
84年完工
86年3月完工
87年完工
麥寮工業區各區段海堤位置圖
4

一、計畫背景分析
3. 工作項目
本研究全期共計四年，第一年度 (102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.所設堤頭侵蝕與波流場的相關性－堤頭地形現況量測與侵蝕分析、波流場的現場觀測。
3.建立堤頭侵蝕機制的數值模擬模式－台中港波浪作用下數值模擬。
4.水工模型試驗的驗證－台中港波浪作用下定床三維水工模型試驗。
5.研擬防波堤堤頭侵蝕的防制工法－台中港波浪作用下堤頭侵蝕防制工法。
6.防制工法的數值模擬與水工模型試驗的驗證－驗證台中港浪作用下堤頭侵蝕防制工法。
第二年度 (103年)：
1. 堤頭地形、波流場量測分析
2. 台中港潮流數值模擬
3. 台中港潮流水工模型試驗
4. 驗證台中港潮流堤頭侵蝕防制工法
第三年度 (104年)：
1. 麥寮港波浪數值模擬
2. 麥寮港波浪水工模型試驗
3. 驗證麥寮港波浪堤頭侵蝕防制工法
第四年度 (105年)：
1. 麥寮港潮流數值模擬
2. 麥寮港潮流水工模型試驗
3. 驗證麥寮港波浪堤頭侵蝕防制工法
4. 堤頭侵蝕防制工法效益評估
5

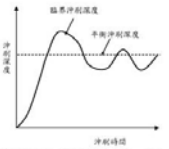
一、計畫背景分析

4. 相關研究文獻

- 橋墩或垂直柱沖刷：
  - ✓ 底床地形沖刷之研究，多以橋墩或海底管線沖刷為主。沖刷四種重要的流況：
    (1) 水表面渦流系統。
    (2) 向下水流系統。
    (3) 馬蹄形渦流系統。
    (4) 尾跡渦流系統。



直立柱附近流況 (Melville，1988)

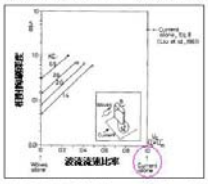


沖刷深度及時間關係 (A. J. Raudkivi, 1991)

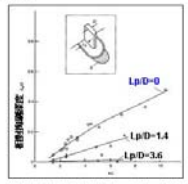
一、計畫背景分析

4. 相關研究文獻

- 波(流)作用下防波堤堤頭沖刷：
  - ✓ 波流同時(同向)，相對掏刷深度(S/B)與Uc/(Uc+Um)有關。相對掏刷深度隨著KC變大而加大；當只有純流進作用時(Um=0)，掏深程度更加劇烈。
  - ✓ 堤頭處未設置護基設施時(Lp=0)，掏刷深度增加最顯著。護基寬度與堤體寬度比(Lp/D)超過3.6之後，堤頭處的掏深可有效抑制。



波流交會最大掏深關係(Sumer and Fredsoe, 1997)

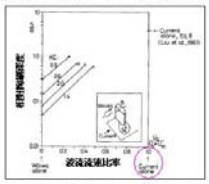


KC數最大掏深關係(Gokce et al.，1994)

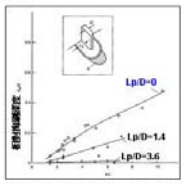
一、計畫背景分析

4. 相關研究文獻

- 波(流)作用下防波堤堤頭沖刷：
  - ✓ 波流同時(同向)，相對掏刷深度(S/B)與Uc/(Uc+Um)有關。相對掏刷深度隨著KC變大而加大；當只有純流進作用時(Um=0)，掏深程度更加劇烈。
  - ✓ 堤頭處未設置護基設施時(Lp=0)，掏刷深度增加最顯著。護基寬度與堤體寬度比(Lp/D)超過3.6之後，堤頭處的掏深可有效抑制。



波流交會最大掏深關係(Sumer and Fredsoe, 1997)



KC數最大掏深關係(Gokce et al.，1994)

一、計畫背景分析

4. 相關研究文獻

- 數值模擬部分：
  - ✓ 河川地形：由早期一維或二維定量流模式，演變為變量流模式。海岸地形：加入波浪對漂砂之影響，在潮流較大的水域則考慮非單一方向漂砂與延時問題。
  - ✓ 地形變化模式的主要架構，包括水動力模式與底床沖淤模式。水動力模式發展已較為成熟，但底床沖淤模式中輸砂量的估算較難處理。
  - ✓ Flow-3D 應用於波、流場 (及地形變化) 計算。
- 水工模型試驗部分：
  - ✓ 海堤沖刷：海堤堤趾沖刷與堤前波浪特性 (入射波、反射波與組峰波)、堤前波浪引致之流場、波浪入射角、堤面坡度、堤面粗糙度、波浪潮升 (降) 等有關。
  - ✓ 水中拋構物沖刷：海床上礁體 (管線) 沈陷之機制，應與礁體之尺寸 (重量)、底床沈積物性質、浪流作用 (角度) 有密切關係。另利用流場可視化法觀察，解析魚礁四周淘刷的過程。

二、台中港及麥寮港堤頭侵蝕現況特性研究

1.1 台中海域 海氣象觀測站

- 海、氣、地象觀測基本資料：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台中港海象分析資料、台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。

資料來源：Google Map

二、台中港及麥寮港堤頭侵蝕現況特性研究

1.1 台中海域 海氣象觀測站

- 海、氣、地象觀測基本資料：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台中港海象分析資料、台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。

資料來源：Google Map

二、台中港及麥寮港堤頭侵蝕現況特性研究

1.3 台中海域 颱風波浪推算

- 本研究以中央氣象局發佈之歷史颱風資料 (1940～2010年)，篩選通過台中港海域 (120.42°E，24.30°N) 資料，利用迴歸分析的方式求得 10年、20年、50年重現期之颱風波浪：

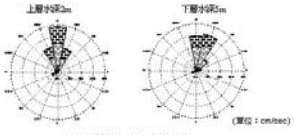
台中港外海各重現期之颱風波浪推算

重現期	50 年		20 年		10 年	
波向	波高	週期	波高	週期	波高	週期
N	7.4	11.4	6.4	10.6	5.6	9.9
NNW	7.2	11.3	6.1	10.4	5.2	9.6
NW	6.6	10.8	5.7	10.0	4.9	9.3
WNW	6.1	10.4	5.4	9.8	4.7	9.1
W	5.8	10.1	5.2	9.6	4.6	9.0
WSW	5.8	10.1	5.1	9.5	4.5	8.9
SW	5.2	9.6	4.5	8.9	4.0	8.4

二、台中港及麥寮港堤頭侵蝕現況特性研究

1.4 台中海域 海流

- 港灣技術研究中心自2003年8月至2009年12月之海流資料：主要流向為西至北向，約佔歷年觀測的56.6%；其次為南至西向，約佔歷年觀測的22.7%。歷年平均流速為45.9 cm/sec；最大流速為248.3 cm/sec，流向為西向。
- 根據「港灣防波堤堤頭沖蝕特性及防制機制之研究(1/4)」調查，2011年夏季台中港北堤外海的底層水深5 m及表層水深2 m實測海流，流速位於25~75 cm/sec區間者上下由層皆超過總體70%，主要流向N、NNE。

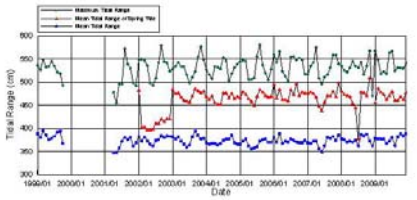


台中港2011年海流流速分佈

二、台中港及麥寮港堤頭侵蝕現況特性研究

1.5 台中海域 潮位

- 臺中海域屬於半日潮，自1999年-2009年期間，平均潮差為3.75m，大潮平均潮差為4.63m，最大潮差為6.19m。



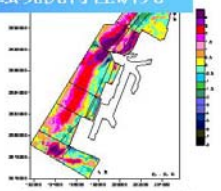
臺中港1999至2009年之潮位統計分佈圖

14

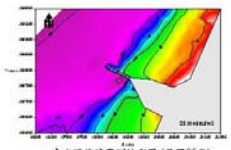
二、台中港及麥寮港堤頭侵蝕現況特性研究

1.6 台中海域 地形

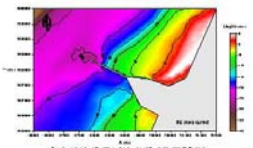
- 蔡等人(2011) 民國85至95年，北防波堤以北全面淤積，最大可達4m以上，並往港口南側延伸，港口南側近岸則維持些微侵蝕。北防波堤堤頭附近明顯侵蝕，侵蝕深度最大可達 5m 以上，目前侵蝕範圍大致維持穩定，並未持續刷深。



臺中港地形侵蝕變化圖(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）

15

二、台中港及麥寮港堤頭侵蝕現況特性研究

2.1 麥寮海域 海氣象觀測站

- 海、氣、地象觀測基本資料：以成大水工試驗所於雲林縣離島工業區海域設立之觀測樁，包含氣象、海象、水文及地形等調查資料。

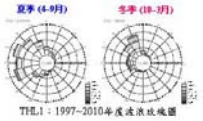
麥寮港海氣象觀測站位置圖（成大水工所，2010）

16

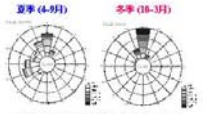
二、台中港及麥寮港堤頭侵蝕現況特性研究

2.2 麥寮海域 波浪

- THL1 (1997~2010年)：
  - ✓ 夏季：示性波高 1.0 m，週期 5.3 sec，主要波向 NNW~SW。
  - ✓ 冬季：示性波高1.3 m，週期 5.8 sec，主要波向 NNW、NW。
  - ✓ 最大波高 5.4 m，尖峰週期 8.3 sec，(2005/9/1，泰利颱風)
- THL2B (2001~2010年)：
  - ✓ 夏季：示性波高 1.3 m，週期 5.8 sec，主要波向 N~NNW、W~WSW。
  - ✓ 冬季：示性波高 2.4 m，週期 6.3 sec，主要波向 N、NNW。
  - ✓ 最大波高 6.4 m，尖峰週期 11.2 sec，波向NNW (2010/12/16，李風波浪)



THL1：1997~2010年度波浪玫瑰圖



THL2B：2001~2010年度波浪玫瑰圖

17

二、台中港及麥寮港堤頭侵蝕現況特性研究

2.3 麥寮海域 颱風波浪推算

- 本研究以中央氣象局發佈之歷史颱風資料 (1940～2010年)，篩選通過麥寮港海域 (120.10°E，23.76°N)資料，利用迴歸分析的方式求得 10年、20年、50年重現期之颱風波浪：

麥寮港外海各重現期之颱風波浪推算

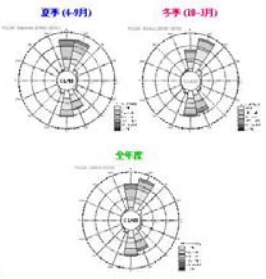
重現期	50 年		20 年		10 年	
波向	波高	週期	波高	週期	波高	週期
N	5.9	10.2	5.1	9.5	4.5	9.9
NNW	5.1	9.5	4.4	8.8	3.9	9.2
NW	4.9	9.3	4.3	8.7	3.8	8.2
WNW	5.2	9.8	4.6	9.0	4.0	8.4
W	5.3	9.7	4.7	9.1	4.2	8.6
WSW	5.4	9.8	4.6	9.0	4.0	8.4
SW	5.6	9.9	4.7	9.1	3.9	8.3

18

二、台中港及麥寮港堤頭侵蝕現況特性研究

2.4 麥寮海域 海流

- YLCW (2000~2010年)
  - ✓ 夏季：平均流速41.48cm/sec，主要流向NNE~N、S~SSE；最大流速 212.50 cm/sec，流向 N (2009/6/21，蓮花颱風)。
  - ✓ 冬季：平均流速40.60cm/sec，主要流向NNE~N、S~SSE；最大流速 227.43 cm/sec，流向 S (2010/12/16)。
  - ✓ 全年度：平均流速41.05cm/sec，主要流向NNE~N、S~SSE；最大流速為 227.43 cm/sec，流向 S (2010/12/16)。



YLCW：2000~2010年度海流玫瑰圖

19

二、台中港及麥寮港堤頭侵蝕現況特性研究

2.5 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

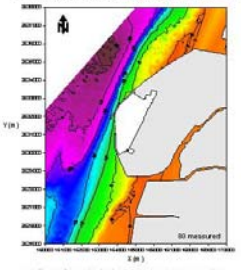
測站名稱	箔 子 寮	三 條 崙	麥 寮
潮 位	2002~2009年	1983~1990年	1998~2008年
最高高潮位 (HHWL)	+2.34	+2.43	+2.56
大潮平均高潮位 (HWOST)	N/A	+1.79	+2.10
平均高潮位 (MHWL)	+1.51	+1.42	+1.74
平均潮位 (MWL)	+0.39	+0.30	+0.35
平均低潮位 (MLWL)	-0.63	-0.80	-0.96
大潮平均低潮位 (LWOST)	N/A	-1.48	-1.62
最低低潮位 (LLWL)	-2.84	-2.42	-2.09
平均潮差 (MR)	2.14	2.22	2.70
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

20

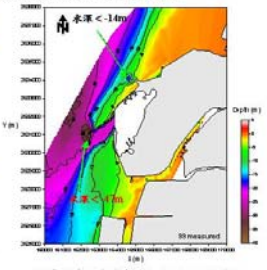
二、台中港及麥寮港堤頭侵蝕現況特性研究

2.6 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)



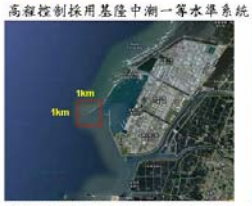
離島工業區海域實測地形圖(民國99年)

21

三、防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性

1. 防波堤堤頭地形量測

- 測量範圍：台中港北防波堤堤頭及臺塑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刷深處為中心點。
- 測量頻率 (施測一次)：水深地形測量每間隔 50 公尺規劃一條斷面測線。
- 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。



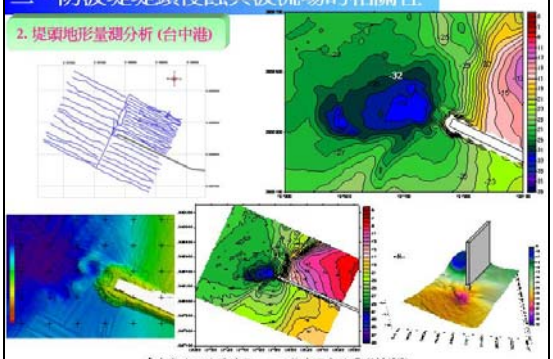
臺塑港西防波堤堤頭地形監測範圍示意圖

台中港北防波堤堤頭地形監測範圍示意圖

22

三、防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性

2. 堤頭地形量測分析 (台中港)

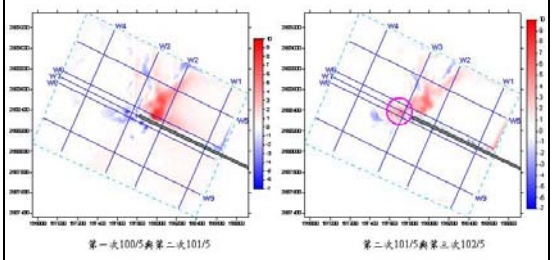


臺中港北防波堤堤頭二、三維水深色階圖 (102/5/8)

23

三、防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性

2. 堤頭地形量測分析 (台中港)



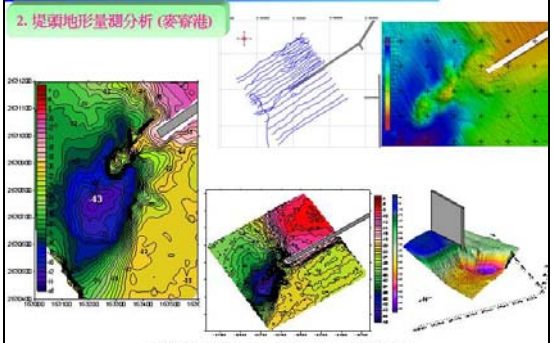
第一次100/5與第二次101/5　　第二次101/5與第三次102/5

臺中港堤頭地形測量侵淤變化色階圖

24

三、防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性

2. 堤頭地形量測分析 (臺塑港)

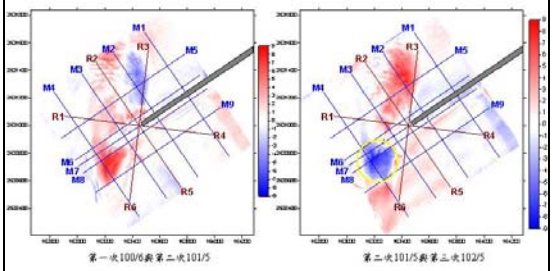


臺塑港西防波堤堤頭二、三維水深色階圖 (102/5/7)

25

三、防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性

2. 堤頭地形量測分析 (臺塑港)



第一次100/6與第二次101/5　　第二次101/5與第三次102/5

臺塑港堤頭地形測量侵淤變化色階圖

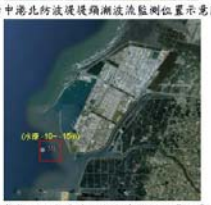
26

三、防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性

3. 堤頭波流場觀測

- 測量範圍與內容：於台中港北防波堤與臺塑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，同步觀測波浪、水位、流速與流向。
- 測量日期：台中港自102年5月9日至5月28日止共20天。臺塑港102年5月10日至5月29日止共20天。
- 測量方式：採自記式潮波流儀 RDI ADCP，佈放時以DGPS作定位，以底錨方式安置。

台中港北防波堤堤頭潮波流監測位置示意圖

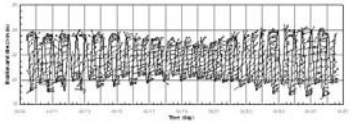

臺塑港西防波堤堤頭潮波流監測位置示意圖

27

三、防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性

4. 堤頭波流場分析 (台中港)

- 潮汐：
  - 台中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21.510m，最大水深24.039m (5月25日10時)，最小水深18.610m (5月27日18時)，最大潮差5.366m。
  - 調合分析主要分潮為M2，振幅為1.811m，次要分潮S2，振幅0.416m。

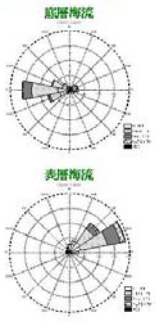

TC測站實測潮汐水位變化圖 (2013年05/09~05/28)

28

三、防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性

4. 堤頭波流場分析 (台中港)

- 海流：
  - 表層：平均流速 16.6 cm/sec，主要流向 ENE，最大值為 77.2 cm/sec (N向)。
  - 底層：平均流速 15.2 cm/sec，主要流向 W，最大值為 49.9 cm/sec (WSW向)。
  - 流速分佈以0～25 cm/sec為主，表、底層之發生機率各為 80.59% 與 87.68%。



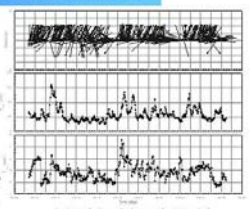
102年5/9~5/28 (單位：cm/sec)
台中港海域流速流向玫瑰圖

29

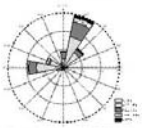
三、防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性

4. 堤頭波流場分析 (台中港)

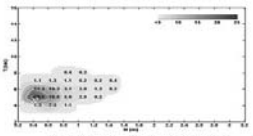
- 波浪：
  - 主要波向為NNE、W，示性波高為67.7 cm，示性週期為4.97 sec。
  - 平均波高47.4 cm，平均週期4.86 sec。
  - 最大波高127.0 cm，週期6.30 sec，波浪方向為NNE (5月11日14時)。



台中港波向、波高、週期時序列圖



波高分佈玫瑰圖101年5/9~5/28 (單位：cm)

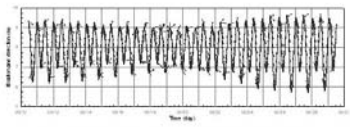


台中港示性波高、週期聯合機率分佈圖

三、防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性

4. 堤頭波流場分析 (麥寮港)

- 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7.908m。最大水深9.632m(5月26日11時)，最小水深5.723m(5月27日18時)，最大潮差3.896m。
  - 調合分析主要分潮為M2，振幅為1.255m，次要分潮K1，振幅0.282m。

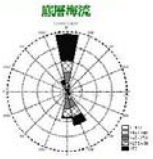


ML測站實測潮汐水位變化圖 (2013年05/10~05/29)

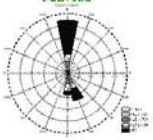
三、防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性

4. 堤頭波流場分析 (麥寮港)

- 海流：
  - 表層：平均流速 44.7cm/sec，主要流向 N，最大值為121.8 cm/sec (N向)。
  - 底層：平均流速 38.3 cm/sec，主要流向N，最大值為108.3 cm/sec (N向)。
  - 流速分佈以大於37.5 cm/sec為主，表、底層之發生機率各為50.46%與 60.28%。



底層海流



表層海流

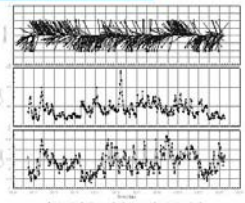
102年5/10~5/29 (單位：cm/sec)

麥寮港海域流速流向玫瑰圖

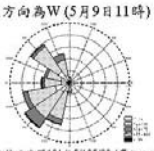
三、防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性

4. 堤頭波流場分析 (麥寮港)

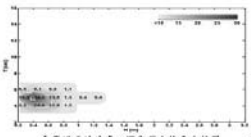
- 波浪：
  - 主要波向為SW、WSW、NW，示性波高為51.3 cm，示性週期為4.25 sec。
  - 平均波高35.2 cm，平均週期4.33 sec。
  - 最大波高114.0cm，週期4.5 sec，波浪方向為W (5月9日11時)。



麥寮港波向、波高、週期時序列圖



波高分佈玫瑰圖101年5/105/29 (單位：cm)



麥寮港示性波高、週期聯合機率分佈圖

四、建立堤頭侵蝕機制的數值模擬模式

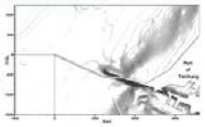
1. 模式介紹

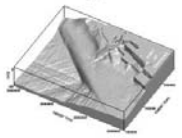
- 1985 年 Flow-3D® 商業版流體分析軟體正式推出，主要核心技術：多重區塊網格 (Multi-Block Grids)、FAVOR 陣碰物體積分率表示法、VOF自由液面處理法，適合處理流體和固體耦合運動的模型模擬計算。基於 Navier-Stokes Equation之連續方程式、動量方程式等完整的理論基礎及數值結構，已廣泛應用於不同領域，如航太工業、水利與環境工程等。
- 藉由選擇適當之水動力、泥沙及波浪等計算模組，FLOW-3D 亦適用於海岸、港灣工程領域之模擬。
- 今年度主要工作內容：模擬防波堤堤頭鄰近海域波、流場的時空分佈和演變。

四、建立堤頭侵蝕機制的數值模擬模式

2. 堤頭造波數值模擬

- 計算範圍：
  - (1) 台中港：4.3 x 3.8km，採85年實測水深。
  - (2) Δy網格為1/20波長，Δx為1/10波長，Δz為1/180波長。
- 模式設定：
  - (1) 邊界條件：開放水域，上游邊界設定造波條件、下游邊界設定Outflow。封閉水域，港域設施與陸地外廓邊界內的範圍，分別使用 Symmetry及Outflow。
  - (2) 初始條件：設定 z 方向靜水壓與邊界初始水位。
  - (3) 模擬24個入射波浪。





台中港數值模擬海域範圍地形

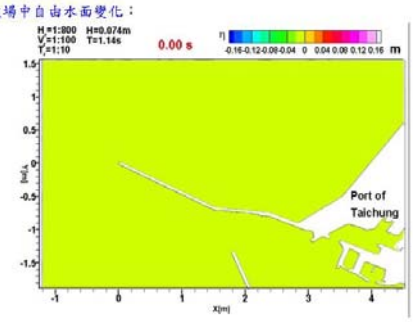
造波條件

海域	H(波高)	T(週期)	波向	模擬時間
台中港	7.4m	11.4s	N	24T

四、建立堤頭侵蝕機制的數值模擬模式

3. 數值模擬初步成果

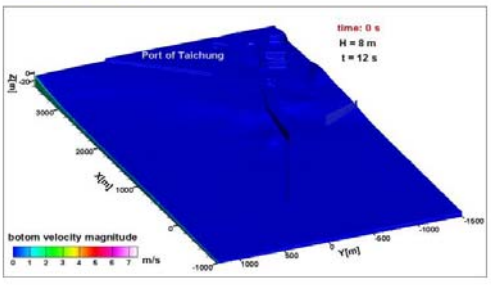
- 波場中自由水面變化：



四、建立堤頭侵蝕機制的數值模擬模式

3. 數值模擬初步成果

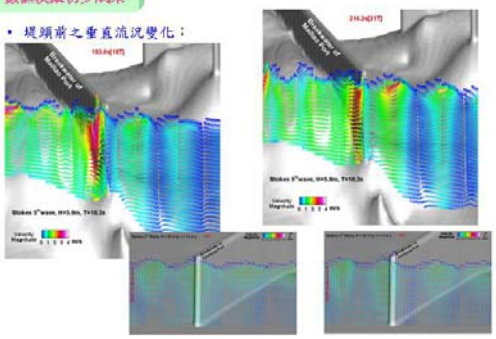
- 海床底層之流速變化：



四、建立堤頭侵蝕機制的數值模擬模式

3. 數值模擬初步成果

- 堤頭前之垂直流況變化：



38

五、水工模型試驗的驗證

1. 試驗設備與儀器

- 試驗設備儀器 (中山大學海工系水工模型實驗室)：

平面試驗水池 (20m×40m)　DHI 設計造波機組(5m×1.4m×2)　試驗地形掃瞄方式

造波控制系統　造波主機與訊號處理器　試驗地形掃瞄方式

39

五、水工模型試驗的驗證

1. 試驗設備與儀器

- 試驗設備儀器 (中山大學海工系水工模型實驗室)：

平面試驗水池 (20m×40m)　DHI 設計造波機組(5m×1.4m×2)　試驗地形掃瞄方式

造波控制系統　造波主機與訊號處理器　試驗地形掃瞄方式

39

五、水工模型試驗的驗證

2. 試驗條件與比尺

1. 波浪條件

(1) 季風浪。(2) 颱風波浪：50 年重現期。

2. 水位條件

(1) 季風浪：設計水位使用平均潮位進行試驗。

(2) 颱風浪：設計水位以大潮平均高潮位 (+2.15 m) 進行試驗。

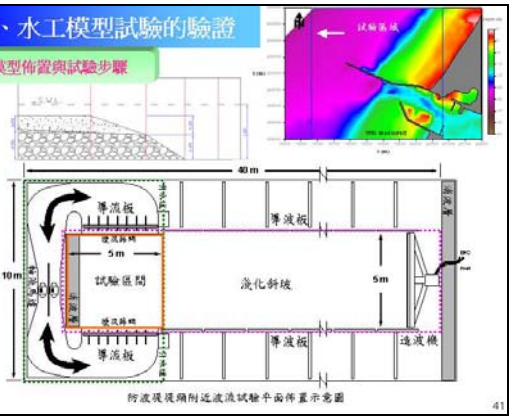
3. 試驗比尺

(1) 模型比尺：水平比尺 λ=1/800，垂直比尺 μ=1/100。
(2) 波浪比尺：以波浪尖銳度相似律計算(H / L)，波高比尺 N_H = 1/100，週期比尺 N_T = 1/10。

40

五、水工模型試驗的驗證

3. 模型佈置與試驗步驟



防波堤堤頭附近波流試驗平面佈置示意圖

41

五、水工模型試驗的驗證

3. 模型佈置與試驗步驟

鋪設試驗區開基礎　標定坐標方格控制點　調整模型底床地形

底床覆蓋鋼材　設置導波板　防波堤模型與儀器設置

42

五、水工模型試驗的驗證

4. 台中港北防波堤颱風波場

1. 波浪條件

50 年重現期現場(模型)颱風波浪，

波向正北，

波高7.4 m (7.4 cm)，

週期11.4 sec (1.14 sec)。

2. 水位條件

大潮平均高潮位 +2.15 m (2.15cm)

，

外海最大水深 102.15 m (1.02 m)

。

43

五、水工模型試驗的驗證

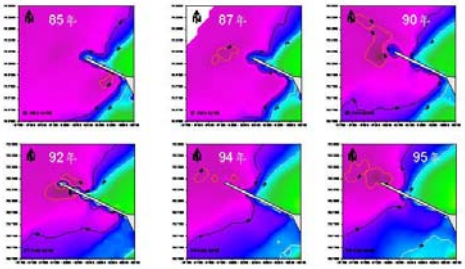
5. 後續試驗工作

- 完成波場下之水工模型試驗：進行季風與颱風波浪作用下，堤頭水工模型試驗，觀測並記錄水位變化、堤頭附近流速變化與堤頭附近懸浮顆粒流場觀察。
- 波場試驗資料之驗證：分析量測之波浪與近岸流資料，並與數值模式模擬成果比較，交互驗證。
- 堤頭侵蝕防治工法水工模型試驗：依研擬之侵蝕防治工法進行試驗，分析與探討改善成效。

44

六、研擬防波堤堤頭侵蝕的防制工法

1. 防波堤堤頭沖蝕特性



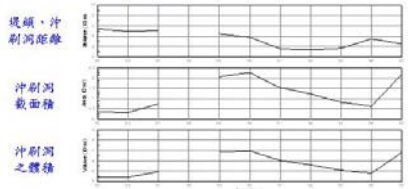
臺中港北防波堤堤頭附近水深地形 (85~95年)

45

六、研擬防波堤堤頭侵蝕的防制工法

1. 防波堤堤頭沖蝕特性

- 台中港北堤以-25m水深計算沖刷洞特性。最大沖刷截面積為226,200m^2 (90年)，最大沖刷體積5,903,893m^3；心堤距在90年之後縮小為158~379m；平均沖刷則介於25~27m之間。



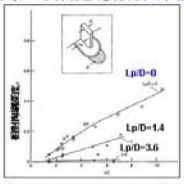
臺中北堤堤頭-25m沖刷洞狀態變化歷程圖

46

六、研擬防波堤堤頭侵蝕的防制工法

2. 防制工法的研擬

- 選擇台中港北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 的相對沖刷深度。
- 原始北防波堤設計堤寬為 18m，堤頭外側護基寬度 24m，相對護基寬度為1.33。初步研擬增加堤頭護基寬度使相對護基寬度 超越1.33。



KC與最大沖深關係(Golce et al.，1994)

47

七、防制工法的數值模擬與水工模型試驗的驗證

- 依規畫條件分別以數值模式及水工模型試驗進行侵蝕防制工法的驗證。

防制工法數值模型模擬

順次	底床特性	起始地形	波浪條件	相對護基寬度	模擬現象
1	定床	無沖刷洞	常風、颱風	Lp/B=0	波場、流場
2	定床	無沖刷洞	常風、颱風	Lp/B =1.33	波場、流場
3	定床	無沖刷洞	常風、颱風	Lp/B >1.33	波場、流場
4	定床	有沖刷洞	常風、颱風	Lp/B=0	波場、流場
5	定床	有沖刷洞	常風、颱風	Lp/B =1.33	波場、流場
6	定床	有沖刷洞	常風、颱風	Lp/B >1.33	波場、流場

防制工法水工模型試驗

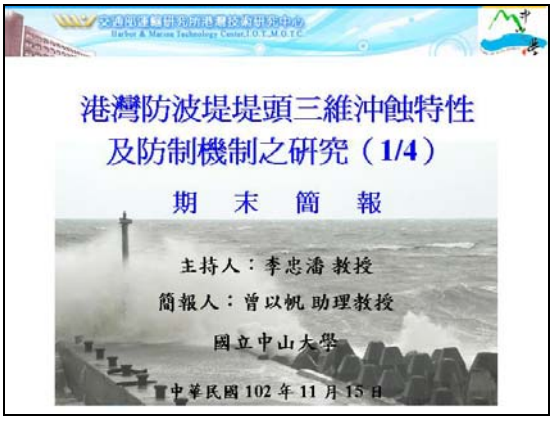
順次	底床特性	起始地形	波浪條件	相對護基寬度	模擬現象
1	定床	無沖刷洞	常風、颱風	Lp/B=0	波場、流場
2	定床	無沖刷洞	常風、颱風	Lp/B =1.33	波場、流場
3	定床	無沖刷洞	常風、颱風	Lp/B >1.33	波場、流場
4	定床	有沖刷洞	常風、颱風	Lp/B=0	波場、流場
5	定床	有沖刷洞	常風、颱風	Lp/B =1.33	波場、流場
6	定床	有沖刷洞	常風、颱風	Lp/B >1.33	波場、流場

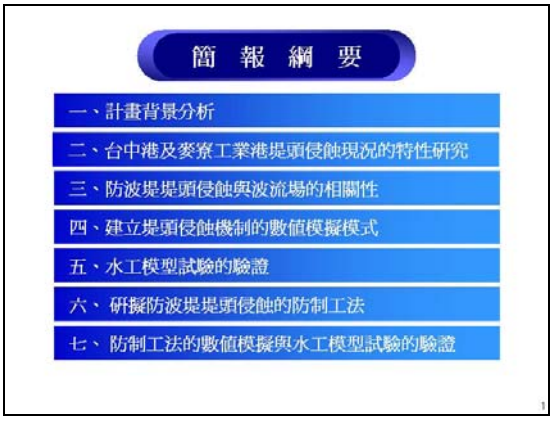
48

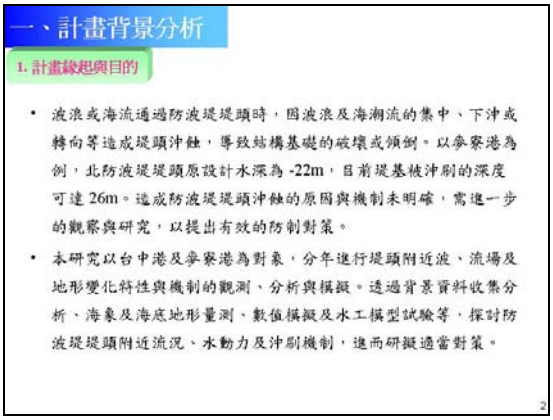
簡報完畢
敬請指正

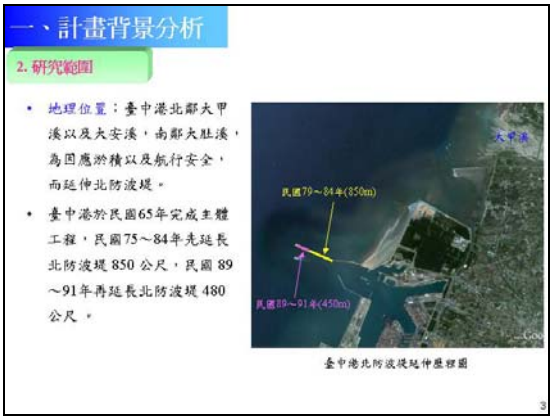
49

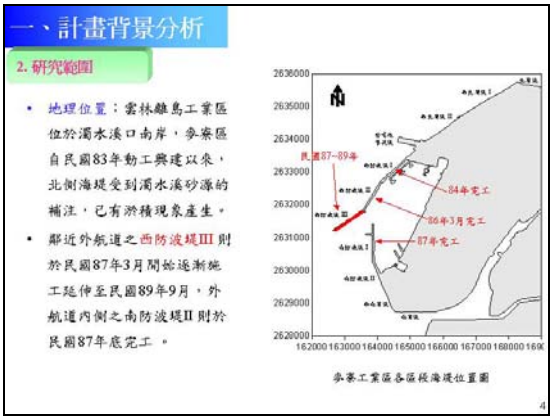
附錄七　期末簡報資料


港灣防波堤堤頭三維沖蝕特性
及防制機制之研究（1/4）
期　末　簡　報
主持人：李忠潘 教授
簡報人：曾以帆 助理教授
國立中山大學
中華民國 102 年 11 月 15 日


簡　報　綱　要
一、計畫背景分析
二、台中港及麥寮工業港堤頭侵蝕現況的特性研究
三、防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性
四、建立堤頭侵蝕機制的數值模擬模式
五、水工模型試驗的驗證
六、研擬防波堤堤頭侵蝕的防制工法
七、防制工法的數值模擬與水工模型試驗的驗證
1


一、計畫背景分析
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、計畫背景分析
2. 研究範圍
• 地理位置：臺中港北鄰大甲溪以及大安溪，南鄰大肚溪，為因應淤積以及航行安全，而延伸北防波堤。
• 臺中港於民國65年完成主體工程，民國75～84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 。
大甲溪
民國79～84年(850m)
民國89～91年(450m)
臺中港北防波堤延伸歷程圖
3

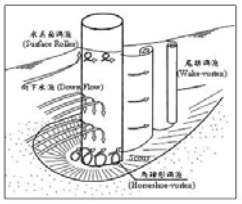

一、計畫背景分析
2. 研究範圍
• 地理位置：雲林離島工業區位於濁水溪口南岸，麥寮區自民國83年動工興建以來，北側海堤受到濁水溪砂源的補注，已有淤積現象產生。
• 鄰近外航道之西防波堤III 則於民國87年3月開始逐漸施工延伸至民國89年9月，外航道內側之南防波堤II 則於民國87年底完工 。
民國87~89年
84年完工
86年3月完工
87年完工
麥寮工業區各區段海堤位置圖
4

一、計畫背景分析
3. 工作項目
本研究全期共計四年，第一年度 (102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－堤頭地形現況量測與侵蝕分析、波流場的現場觀測。
3. 建立堤頭侵蝕機制的數值模擬模式－台中港波浪作用下數值模擬。
4. 水工模型試驗的驗證－台中港波浪作用下定床三維水工模型試驗。
5. 研擬防波堤堤頭侵蝕的防制工法－台中港波浪作用下堤頭侵蝕防制工法。
6. 防制工法的數值模擬與水工模型試驗的驗證－驗證台中港浪作用下堤頭侵蝕防制工法。
第二年度 (103年)：
1. 堤頭地形、波流場量測分析
2. 台中港潮流數值模擬
3. 台中港潮流水工模型試驗
4. 驗證台中港潮流堤頭侵蝕防制工法
第三年度 (104年)：
1. 麥寮港波浪數值模擬
2. 麥寮港波浪水工模型試驗
3. 驗證麥寮港波浪堤頭侵蝕防制工法
第四年度 (105年)：
1. 麥寮港潮流數值模擬
2. 麥寮港潮流水工模型試驗
3. 驗證麥寮港波浪堤頭侵蝕防制工法
4. 堤頭侵蝕防制工法效益評估
5

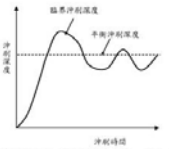
一、計畫背景分析

4. 相關研究文獻

- 橋墩或垂直柱沖刷：
  - ✓ 底床地形沖刷之研究，多以橋墩或海底管線沖刷為主。沖刷四種重要的流況：
    (1) 水表面渦流系統。
    (2) 向下水流系統。
    (3) 馬蹄形渦流系統。
    (4) 尾跡渦流系統。



直立柱附近流況 (Melville，1988)

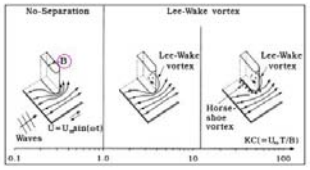


沖刷深度及時間關係 (A. J. Raudkivi, 1991)

一、計畫背景分析

4. 相關研究文獻

- 波浪作用下防波堤堤頭沖刷：
  - ✓ 波浪入射方向與防波堤堤體垂直時，堤側所形成的渦流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)。
  - ✓ 實驗結果顯示，波浪作用下堤頭底床剪應力為未受堤頭擾動處的10~15倍。

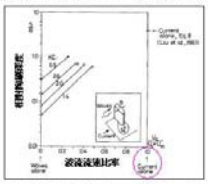


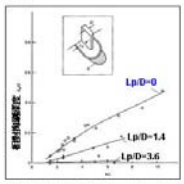
(Sumer and Fredsoe, 1997)

一、計畫背景分析

4. 相關研究文獻

- 波(流)作用下防波堤堤頭沖刷：
  - ✓ 波流同時(同向)，相對掏刷深度(S/B)與Uc/(Uc+Um)有關。相對掏刷深度隨著KC變大而加大；當只有純流通作用時(Um=0)，掏深程度更加劇烈。
  - ✓ 堤頭處未設置護基設施時(Lp=0)，掏刷深度增加最顯著。護基寬度與堤體寬度比(Lp/D)超過3.6之後，堤頭處的掏深可有效抑制。





KC與最大掏深關係(Gokce et al.，1994)

一、計畫背景分析

4. 相關研究文獻

- 數值模擬部分：
  - ✓ 河川地形：由早期一維或二維定量流模式，演變為變量流模式。海岸地形：加入波浪對漂砂之影響，在潮流較大的水域則考慮非單一方向漂砂與延時問題。
  - ✓ 地形變化模式的主要架構，包括水動力模式與底床沖淤模式。水動力模式發展已較為成熟，但底床沖淤模式中輸砂量的估算較難處理。
  - ✓ Flow-3D 應用於波、流場(及地形變化)計算。
- 水工模型試驗部分：
  - ✓ 海堤沖刷：海堤堤趾沖刷與堤前波浪特性(入射波、反射波與短峰波)、堤前波浪引致之流場、波浪入射角、堤面坡度、堤面粗糙度、波浪潮升(降)等有關。
  - ✓ 水中結構物沖刷：海床上礁體(管線)沈陷之機制，應與礁體之尺寸(重量)、底床沈積物性質、浪流作用(角度)有密切關係。另利用流場可視化法觀察，解析魚礁四周淘刷的過程。

二、台中港及麥寮港堤頭侵蝕現況特性研究

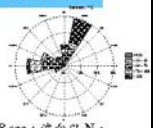
1.1 台中海域 海氣象觀測站

- 海、氣、地象觀測基本資料：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台中港海象分析資料、台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。

資料來源：Google Map

二、台中港及麥寮港堤頭侵蝕現況特性研究

1.2 台中海域 波浪



- 根據港灣技術研究中心所出版之2000～2008年度「港灣海氣象觀測資料年報」統計分析台中港波浪特性：
  - ✓ 夏季(4~9月)：平均示性波高1.02 m，月平均示性週期5.8 sec，波向以N、NNE、W為主；最大示性波高為7.50 m，其對應週期為6.0 sec，發生於2004年5月28日。
  - ✓ 冬季(10~3月)：平均示性波高2.08 m，月平均示性週期6.3 sec，波向集中在NNE、N。最大示性波高為6.91 m，其對應週期為6.0 sec，發生於2005年3月1日。
  - ✓ 歷年最大波高為7.78 m，其週期為8.7 sec，發生於2009年8月7日莫拉克颱風期間。
- 根據「港灣防波堤堤頭沖蝕特性及防制機制之研究(1/4)」調查，2011年夏季台中港北堤外海主要波向為NNE與W，波高大於1 m者達22.59%，波浪週期集中於4~7sec。

二、台中港及麥寮港堤頭侵蝕現況特性研究

1.3 台中海域 颱風波浪推算

- 本研究以中央氣象局發佈之歷史颱風資料(1940～2010年)，篩選通過台中港海域(120.42°E，24.30°N)資料，利用迴歸分析的方式求得 10年、20年、50年重現期之颱風波浪：

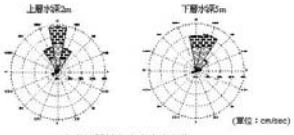
台中港外海各重現期之颱風波浪推算

重現期	50 年		20 年		10 年	
波向	波高	週期	波高	週期	波高	週期
N	7.4	11.4	6.4	10.6	5.6	9.9
NNW	7.2	11.3	6.1	10.4	5.2	9.6
NW	6.6	10.8	5.7	10.0	4.9	9.3
WNW	6.1	10.4	5.4	9.8	4.7	9.1
W	5.8	10.1	5.2	9.6	4.6	9.0
WSW	5.8	10.1	5.1	9.5	4.5	8.9
SW	5.2	9.6	4.5	8.9	4.0	8.4

二、台中港及麥寮港堤頭侵蝕現況特性研究

1.4 台中海域 海流

- 港灣技術研究中心自2003年8月至2011年11月之海流資料：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%。歷年平均流速為44.3cm/sec；最大流速為248.3 cm/sec，流向為西向。
- 根據「港灣防波堤堤頭沖蝕特性及防制機制之研究(1/4)」調查，2011年夏季台中港北堤外海的底層水深5 m及表層水深2 m實測海流，流速位於25~75 cm/sec區間者上下兩層皆超過總體70%，主要流向N、NNE。

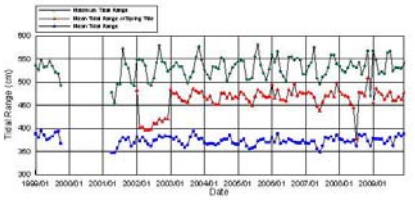


台中港2011年海流流速分佈

二、台中港及麥寮港堤頭侵蝕現況特性研究

1.5 台中海域 潮位

- 臺中海域屬於半日潮，自1999年-2009年期間，平均潮差為3.75m，大潮平均潮差為4.63m，最大潮差為6.19m。

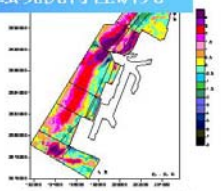


臺中港1999至2009年之潮位統計分佈圖

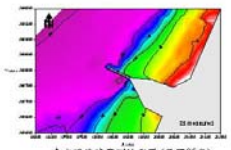
二、台中港及麥寮港堤頭侵蝕現況特性研究

1.6 台中海域 地形

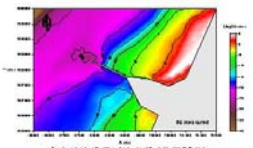
- 蔡等人(2011) 民國85至95年，北防波堤以北全面淤積，最大可達4m以上，並往港口南側延伸，港口南側近岸則維持些微侵蝕。北防波堤堤頭附近明顯侵蝕，侵蝕深度最大可達 5m 以上，目前侵蝕範圍大致維持穩定，並未持續刷深。



臺中港地形侵蝕變化圖(民國85～95年)



臺中港海域實測地形圖（民國85年）

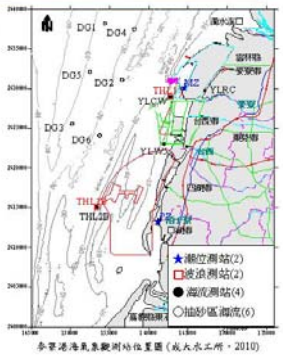


臺中港海域實測地形圖（民國95年）

二、台中港及麥寮港堤頭侵蝕現況特性研究

2.1 麥寮海域 海氣象觀測站

- 海、氣、地象觀測基本資料：以成大水工試驗所於雲林縣離島工業區海域設立之觀測樁，包含氣象、海象、水文及地形等調查資料。

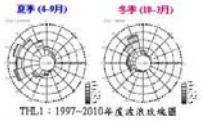


麥寮港海氣象觀測站位置圖（成大水工所，2010）

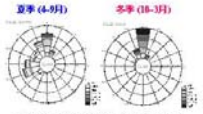
二、台中港及麥寮港堤頭侵蝕現況特性研究

2.2 麥寮海域 波浪

- THL1 (1997~2010年)：
  - ✓ 夏季：示性波高 1.0 m，週期 5.3 sec，主要波向 NNW~SW。
  - ✓ 冬季：示性波高1.3 m，週期 5.8 sec，主要波向 NNW、NW。
  - ✓ 最大波高 5.4 m，尖峰週期 8.3 sec，(2005/9/1，泰利颱風)
- THL2B (2001~2010年)：
  - ✓ 夏季：示性波高 1.3 m，週期 5.8 sec，主要波向 N~NNW、W~WSW。
  - ✓ 冬季：示性波高 2.4 m，週期 6.3 sec，主要波向 N、NNW。
  - ✓ 最大波高 6.4 m，尖峰週期 11.2 sec，波向NNW (2010/12/16，李風波浪)



THL1：1997~2010年度波浪玫瑰圖



THL2B：2001~2010年度波浪玫瑰圖

二、台中港及麥寮港堤頭侵蝕現況特性研究

2.3 麥寮海域 颱風波浪推算

- 本研究以中央氣象局發佈之歷史颱風資料 (1940～2010年)，篩選通過麥寮港海域 (120.10°E，23.76°N)資料，利用迴歸分析的方式求得 10年、20年、50年重現期之颱風波浪：

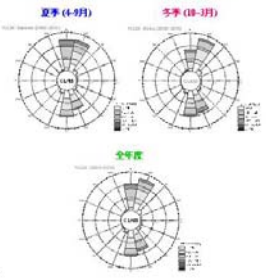
麥寮港外海各重現期之颱風波浪推算

重現期	50 年		20 年		10 年	
波向	波高	週期	波高	週期	波高	週期
N	5.9	10.2	5.1	9.5	4.5	9.9
NNW	5.1	9.5	4.4	8.8	3.9	9.2
NW	4.9	9.3	4.3	8.7	3.8	8.2
WNW	5.2	9.8	4.6	9.0	4.0	8.4
W	5.3	9.7	4.7	9.1	4.2	8.6
WSW	5.4	9.8	4.6	9.0	4.0	8.4
SW	5.6	9.9	4.7	9.1	3.9	8.3

二、台中港及麥寮港堤頭侵蝕現況特性研究

2.4 麥寮海域 海流

- YLCW (2000~2010年)
  - ✓ 夏季：平均流速41.48cm/sec，主要流向NNE~N、S~SSE；最大流速 212.50 cm/sec，流向 N (2009/6/21，蓮花颱風)。
  - ✓ 冬季：平均流速40.60cm/sec，主要流向NNE~N、S~SSE；最大流速 227.43 cm/sec，流向 S (2010/12/16)。
  - ✓ 全年度：平均流速41.05cm/sec，主要流向NNE~N、S~SSE；最大流速為 227.43 cm/sec，流向 S (2010/12/16)。



YLCW：2000~2010年度海流玫瑰圖

二、台中港及麥寮港堤頭侵蝕現況特性研究

2.5 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。

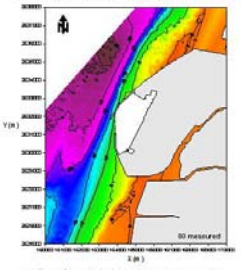
雲林海域各潮位站之潮位統計值

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

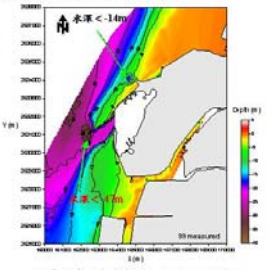
二、台中港及麥寮港堤頭侵蝕現況特性研究

2.6 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)

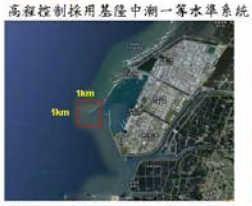


離島工業區海域實測地形圖(民國99年)

三、防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性

1. 防波堤堤頭地形量測

- 測量範圍：台中港北防波堤堤頭及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刷深處為中心點。
- 測量頻率 (施測一次)：水深地形測量每間隔 50 公尺規劃一條斷面測線。
- 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。

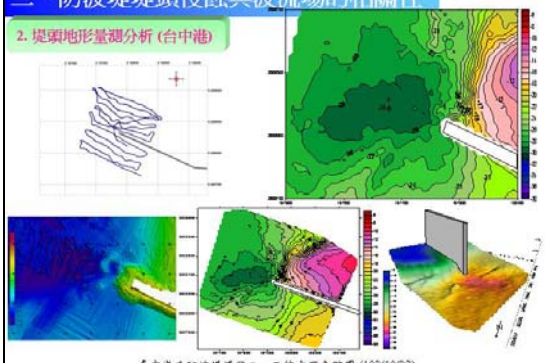


麥寮港西防波堤堤頭地形監測範圍示意圖

台中港北防波堤堤頭地形監測範圍示意圖

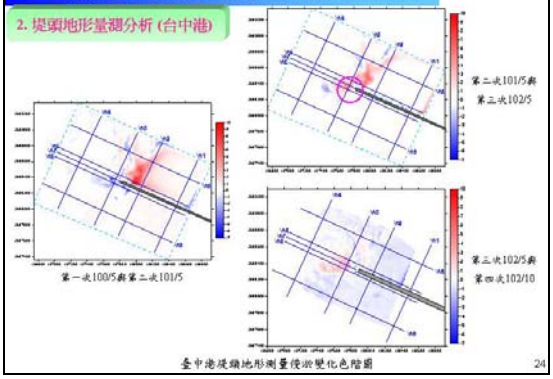
三、防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性

2. 堤頭地形量測分析 (台中港)


台中港北防波堤堤頭二、三維水深色階圖 (102/10/23)

三、防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性

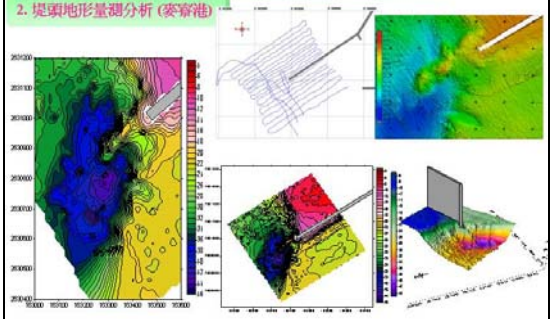
2. 堤頭地形量測分析 (台中港)



台中港堤頭地形測量侵淤變化色階圖

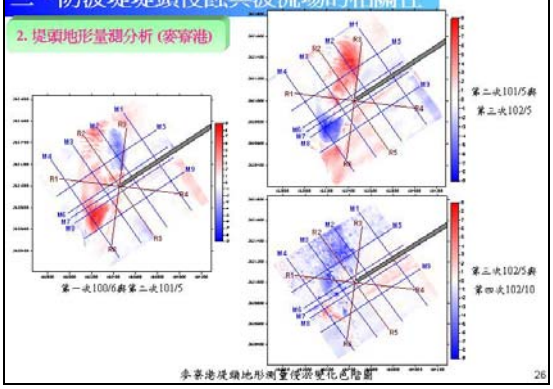
三、防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性

2. 堤頭地形量測分析 (麥寮港)


麥寮港西防波堤堤頭二、三維水深色階圖 (102/10/22)

三、防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性

2. 堤頭地形量測分析 (麥寮港)



麥寮港堤頭地形測量侵淤變化色階圖

三、防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性

3. 堤頭波流場觀測

- 測量範圍與內容：於台中港北防波堤與麥寮港西防波堤堤頭附近各擇取一處施測，設置 1 個定點測波流觀測儀器，同步觀測波浪、水位、流速與流向。
- 測量日期：台中港自102年5月9日至5月28日止共20天。麥寮港102年5月10日至5月29日止共20天。
- 測量方式：採自記式測波流儀 RDI ADCP，佈放時以DGPS作定位，以底錠方式安置。

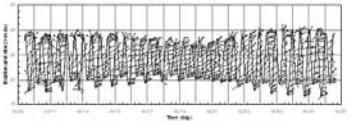
台中港北防波堤堤頭測波流監測位置示意圖

麥寮港西防波堤堤頭測波流監測位置示意圖

三、防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性

4. 堤頭波流場分析 (台中港)

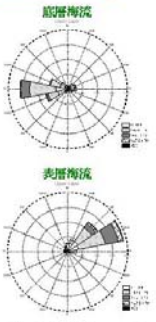
- 潮汐：
  - 台中港海域潮汐屬於半日潮潮型。
  - 實測潮位統計(以當地平均潮位為基準)：平均水深為21.510m，最大水深24.039m (5月25日10時)，最小水深18.610m (5月27日18時)，最大潮差5.366m。
  - 調合分析主要分潮為M2，振幅為1.811m，次要分潮S2，振幅0.416m。


TC測站實測潮汐水位變化圖 (2013年05/09~05/28)

三、防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性

4. 堤頭波流場分析 (台中港)

- 海流：
  - 表層：平均流速 16.6 cm/sec，主要流向 ENE，最大值為 77.2 cm/sec (NE向)。
  - 底層：平均流速 15.2 cm/sec，主要流向 W，最大值為 49.9 cm/sec (WSW向)。
  - 流速分佈以0～25 cm/sec為主，表、底層之發生機率各為 80.59% 與 87.68%。

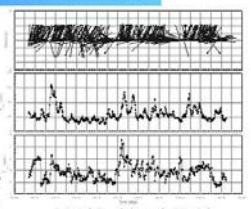


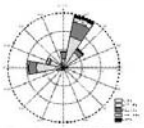
102年5/9~5/28 (單位：cm/sec)
台中港海域流速流向玫瑰圖

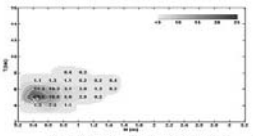
三、防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性

4. 堤頭波流場分析 (台中港)

- 波浪：
  - 主要波向為NNE、W，示性波高為67.7 cm，示性週期為4.97 sec。
  - 平均波高47.4 cm，平均週期4.86 sec。
  - 最大波高127.0 cm，週期6.30 sec，波浪方向為NNE (5月11日14時)。



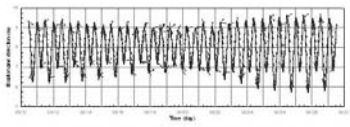

波高分佈玫瑰圖101年5/9~5/28 (單位：cm)


台中港示性波高、週期聯合機率分佈圖

三、防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性

4. 堤頭波流場分析 (麥寮港)

- 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7.908m。最大水深9.632m(5月26日11時)，最小水深5.723m(5月27日18時)，最大潮差3.896m。
  - 調合分析主要分潮為M2，振幅為1.255m，次要分潮K1，振幅0.282m。

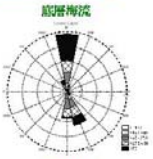


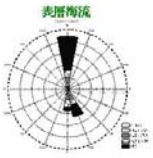
ML測站實測潮汐水位變化圖 (2013年05/10~05/29)

三、防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性

4. 堤頭波流場分析 (麥寮港)

- 海流：
  - 表層：平均流速 44.7cm/sec，主要流向 N，最大值為121.8 cm/sec (N向)。
  - 底層：平均流速 38.3 cm/sec，主要流向N，最大值為108.3 cm/sec (N向)。
  - 流速分佈以大於37.5 cm/sec為主，表、底層之發生機率各為60.28%與 50.46% 。



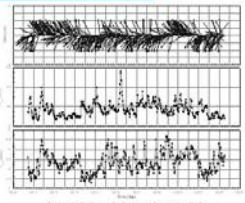


102年5/10~5/29 (單位：cm/sec)
麥寮港海域流速流向玫瑰圖

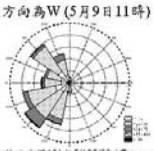
三、防波堤堤頭侵蝕與波流場的相關性

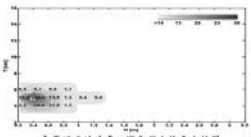
4. 堤頭波流場分析 (麥寮港)

- 波浪：
  - 主要波向為SW、WSW、NW，示性波高為51.3 cm，示性週期為4.25 sec。
  - 平均波高35.2 cm，平均週期4.33 sec。
  - 最大波高114.0cm，週期4.5 sec，波浪方向為W (5月9日11時)。



麥寮港波向、波高、週期時序列圖


波高分佈玫瑰圖101年5/105/29 (單位：cm)


麥寮港示性波高、週期聯合機率分佈圖

四、建立堤頭侵蝕機制的數值模擬模式

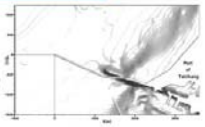
1. 模式介紹

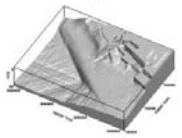
- 1985 年 Flow-3D® 商業版流體分析軟體正式推出，主要核心技術：多重區塊網格 (Multi-Block Grids)、FAVOR 陣礙物體積分率表示法、VOF自由液面處理法，適合處理流體和固體耦合運動的模型模擬計算。基於 Navier-Stokes Equation之連續方程式、動量方程式等完整的理論基礎及數值結構，已廣泛應用於不同領域，如航太工業、水利與環境工程等。
- 藉由選擇適當之水動力、泥沙及波浪等計算模組，FLOW-3D 亦適用於海岸、港灣工程領域之模擬。
- 今年度主要工作內容：模擬防波堤堤頭鄰近海域波、流場的時空分佈和演變。

四、建立堤頭侵蝕機制的數值模擬模式

2. 堤頭造波數值模擬

- 計算範圍：
  - (1) 台中港：4.3 x 3.8km，採85年實測水深。
  - (2) Δy網格為1/20波長，Δx為1/10波長，Δz為1/180波長。
- 模式設定：
  - (1) 邊界條件：開放水域，上游邊界設定造波條件、下游邊界設定Outflow。封閉水域，港域設施與陸地外廓邊界內的範圍，分別使用 Symmetry及Outflow。
  - (2) 初始條件：設定 z 方向靜水壓與邊界初始水位。
  - (3) 模擬24個入射波浪。





台中港數值模擬海域範圍地形

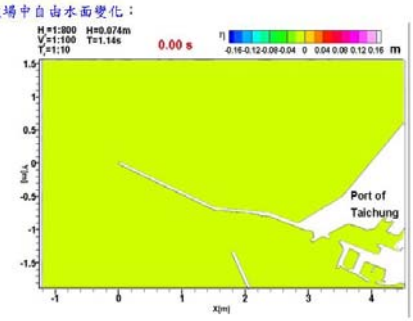
造波條件

海域	H(波高)	T(週期)	波向	模擬時間
台中港	7.4m	11.4s	N	24T

四、建立堤頭侵蝕機制的數值模擬模式

3. 數值模擬初步成果

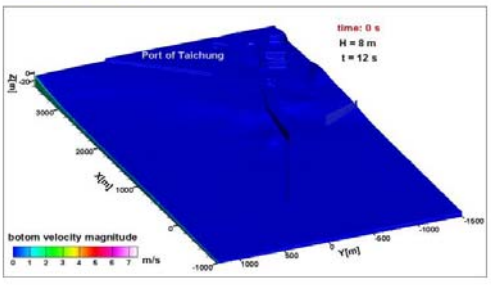
- 波場中自由水面變化：



四、建立堤頭侵蝕機制的數值模擬模式

3. 數值模擬初步成果

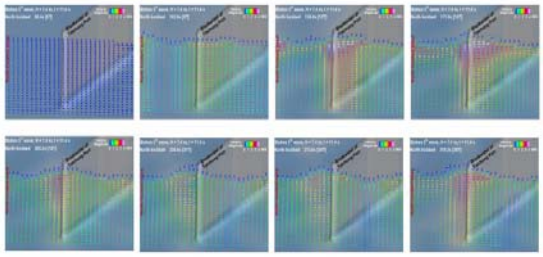
- 海床底層之流速變化：



四、建立堤頭侵蝕機制的數值模擬模式

3. 數值模擬初步成果

- 堤頭前之垂直流況變化：



38

四、建立堤頭侵蝕機制的數值模擬模式

4. 堤頭造波數值模擬

- 計算範圍：

(1)臺泰工業港：2.3 × 2.6km，採85年實測水深。

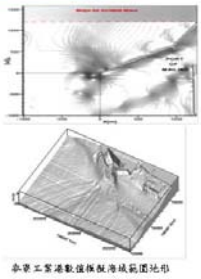
(2) Δy網格為1/20波長，Δx為1/10波長，Δz為1/130波長。

- 模式設定：

(1) 邊界條件：開放水域，上游邊界設定造波條件、下游邊界設定Outflow。封閉水域，港域設施與陸地外廓邊界內的範圍，分別使用 Symmetry及Outflow。

(2) 初始條件：設定 z 方向靜水壓與邊界初始水位。

(3) 模擬24個入射波浪。



臺泰工業港數值模擬海域範圍地形

造波條件

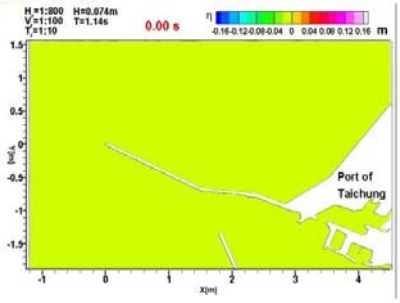
海域	H(波高)	T(週期)	波向	模擬時間
台中港	5.9m	10.2s	N	30T

39

四、建立堤頭侵蝕機制的數值模擬模式

5. 數值模擬初步成果

- 波場中自由水面變化：

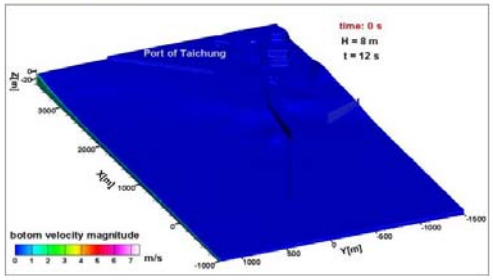


40

四、建立堤頭侵蝕機制的數值模擬模式

5. 數值模擬初步成果

- 海床底層之流速變化：

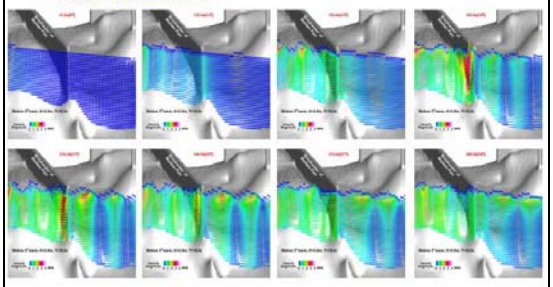


41

四、建立堤頭侵蝕機制的數值模擬模式

5. 數值模擬初步成果

- 堤頭前之垂直流況變化：



42

四、建立堤頭侵蝕機制的數值模擬模式

6. 數值模擬初步結論

•台中港海域分析計算結果，以西防波堤堤頭為原點，北側海域入射波浪受西防波堤北側阻擋形成反射波，東側沿岸亦同時形成反射波，此兩股反射波再與入射波交會，海況紛紜也證明了防波堤的設置達到了保護港口的目的。至於堤趾附近海床水粒子的運動速度，同樣的波浪條件北側入射波比西側入射波大0.44m/s，海床淤化和防波堤交會角度是主要原因並於整體的平均值($V_{1/3}$、$V_{1/10}$)卻是西側入射波比北側入射波大，防波堤的反射與遮蔽是主要因素。

•臺泰工業港發現波高5.9m，週期10.2sec的極端颱風波浪條件，計算造波週期30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，而西防波堤南側海域受到堤體的遮蔽，波高變化與流速變化皆小於北側。

43

五、水工模型試驗的驗證

1. 試驗設備與儀器

- 試驗設備儀器 (中山大學海工系水工模型實驗室)：

平面試驗水池 (20m×40m)　　DHI 設計造波機組(5m×1.4m×2)

造波控制系統　　造波主機與訊號處理器　　波高計

44

五、水工模型試驗的驗證

2. 試驗條件與比尺

1. 波浪條件

(1) 季風浪。(2) 颱風波浪：50 年重現期。

2. 水位條件

(1) 季風浪：設計水位使用平均潮位進行試驗。

(2) 颱風浪：設計水位以大潮平均高潮位 (+2.15 m) 進行試驗。

3. 試驗比尺

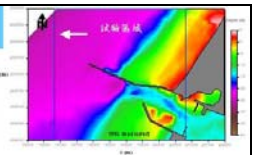
(1) 模型比尺：水平比尺 λ=1/200，垂直比尺 μ=1/100。

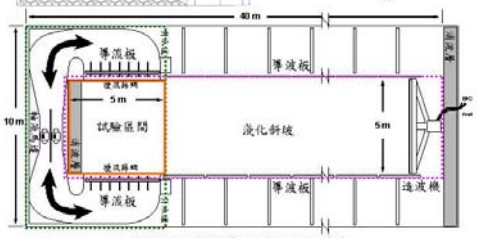
(2) 波浪比尺：以波浪尖銳度相似律計算(H / L)，波高比尺 N_H = 1/100，週期比尺 N_T = 1/10。

45

五、水工模型試驗的驗證

3. 模型佈置與試驗步驟





防波堤堤頭附近波流試驗平面佈置示意圖

46

五、水工模型試驗的驗證

3. 模型佈置與試驗步驟

鋪設試驗區開基礎　標定坐標方格控制點　調整模型底床地形

鋪蓋水泥層　佈置波高計與流速計　平面造波水槽造水

47

五、水工模型試驗的驗證

4. 台中港北防波堤颱風波場

1. 波浪條件

試驗案例	海象條件	H(波高)	T(週期)	波向	造波時間
Case1	台中港30年頻率颱風	7.4cm	1.14s	N	60s
Case2	台中港夏季平均	1cm	0.58s	N	60s
Case3	台中港夏季最大	7.5cm	0.60s	N	60s
Case4	台中港冬季平均	2.1cm	0.62s	N	60s
Case5	台中港冬季最大	6.9cm	0.60s	N	60s

2. 水位條件

大潮平均高潮位 +2.15 m (2.15cm)，

外海最大水深 102.15 m (1.02 m)。

3.防制工法水工模型試驗項目

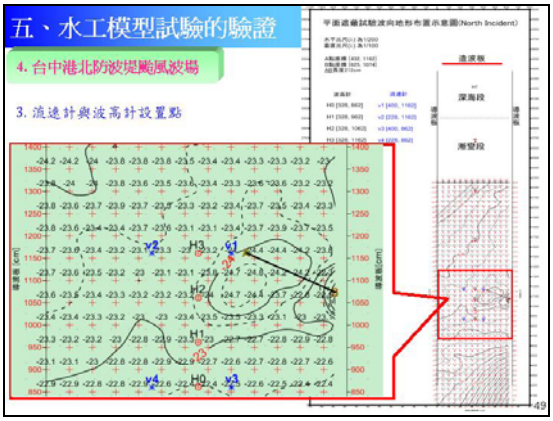
構造物種類	堤軸線配置	試驗條件	原型重現期	觀測項目
混凝土	65年堤軸+1.5年防波堤	波浪、潮流	50年	越堤、流場
混凝土	65年堤軸+1.5年防波堤	波浪、潮流	50年	越堤、流場

48

五、水工模型試驗的驗證

4. 台中港北防波堤颱風波場

3. 流速計與波高計設置點

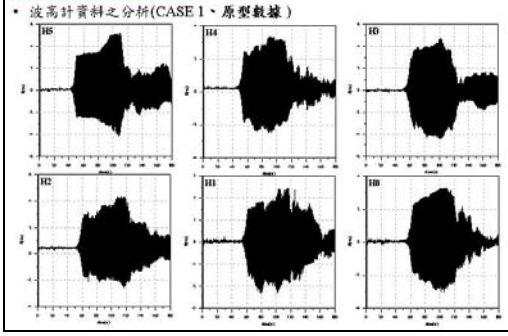


49

五、水工模型試驗的驗證

5. 波場試驗資料之分析

- 波高計實測之分析(CASE 1、原型數據)

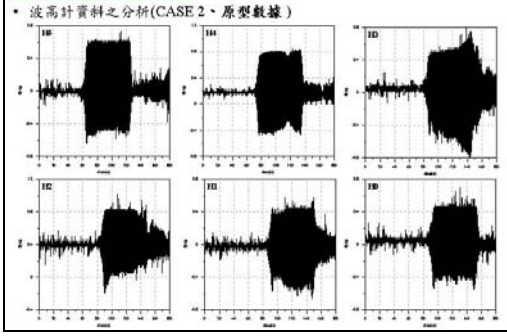


50

五、水工模型試驗的驗證

5. 波場試驗資料之分析

- 波高計實測之分析(CASE 2、原型數據)

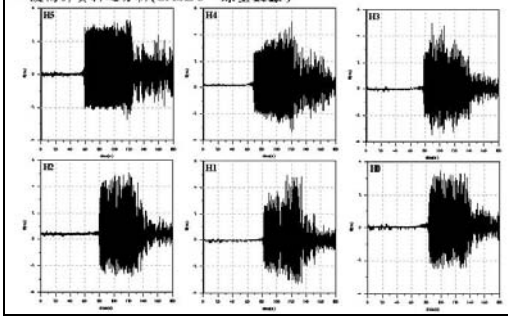


51

五、水工模型試驗的驗證

5. 波場試驗資料之分析

- 波高計實測之分析(CASE 3、原型數據)

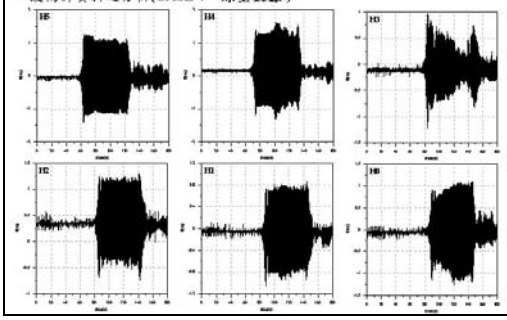


52

五、水工模型試驗的驗證

5. 波場試驗資料之分析

- 波高計實測之分析(CASE 4、原型數據)

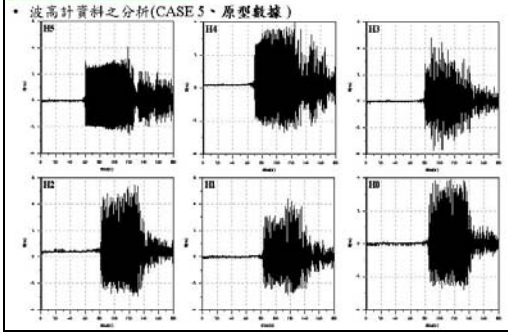


53

五、水工模型試驗的驗證

5. 波場試驗資料之分析

- 波高計資料之分析(CASE 5、原型數據)

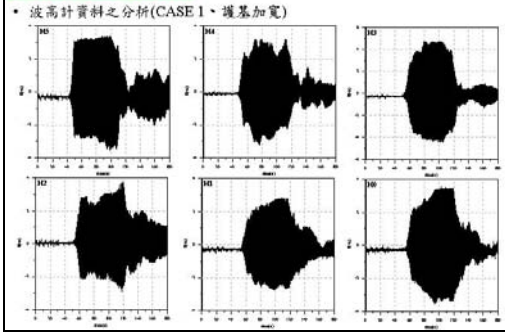


54

五、水工模型試驗的驗證

5. 波場試驗資料之分析

- 波高計資料之分析(CASE 1、護基加寬)

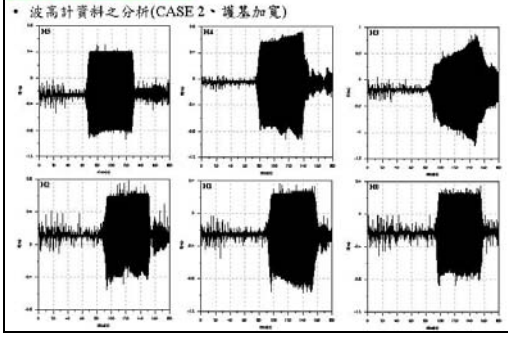


55

五、水工模型試驗的驗證

5. 波場試驗資料之分析

- 波高計資料之分析(CASE 2、護基加寬)

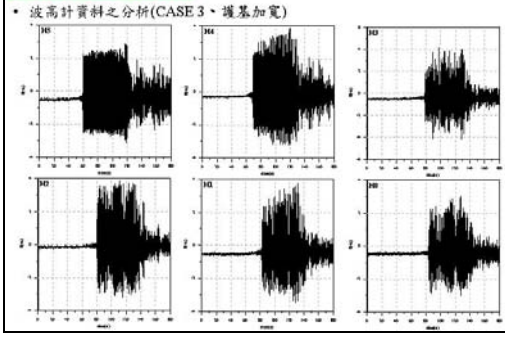


56

五、水工模型試驗的驗證

5. 波場試驗資料之分析

- 波高計資料之分析(CASE 3、護基加寬)

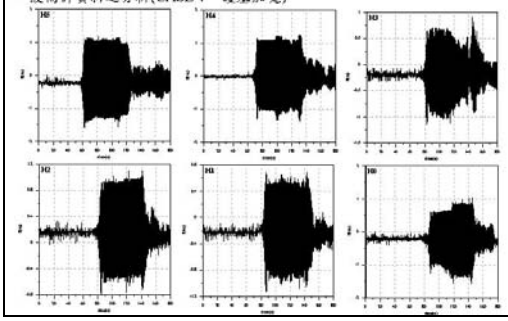


57

五、水工模型試驗的驗證

5. 波場試驗資料之分析

- 波高計資料之分析(CASE 4、護基加寬)

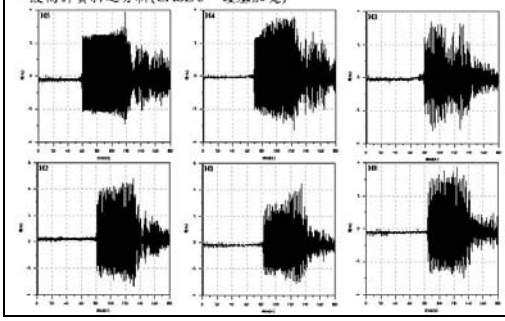


58

五、水工模型試驗的驗證

5. 波場試驗資料之分析

- 波高計資料之分析(CASE 5、護基加寬)

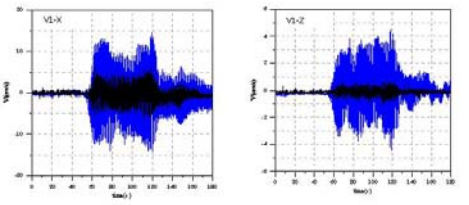


59

五、水工模型試驗的驗證

5. 波場試驗資料之分析

- 流速計資料之分析(CASE 1 、黑: 40m護基寬、藍: 60m護基寬)

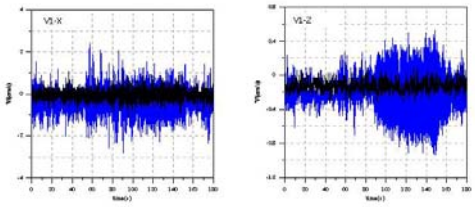


60

五、水工模型試驗的驗證

5. 波場試驗資料之分析

- 流速計資料之分析(CASE 2、黑: 40m護基寬、藍: 60m護基寬)

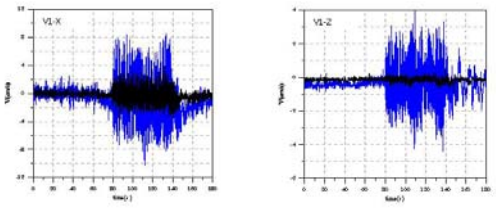


61

五、水工模型試驗的驗證

5. 波場試驗資料之分析

- 流速計資料之分析(CASE 3 、黑: 40m護基寬、藍: 60m護基寬)

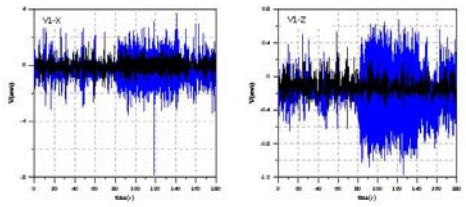


62

五、水工模型試驗的驗證

5. 波場試驗資料之分析

- 流速計資料之分析(CASE 4 、黑: 40m護基寬、藍: 60m護基寬)

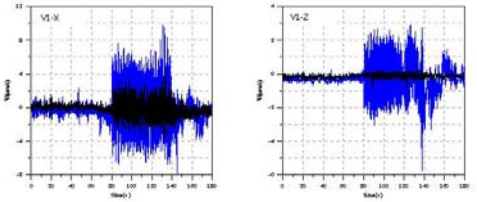


63

五、水工模型試驗的驗證

5. 波場試驗資料之分析

- 流速計資料之分析(CASE 5 、黑: 40m護基寬、藍: 60m護基寬)



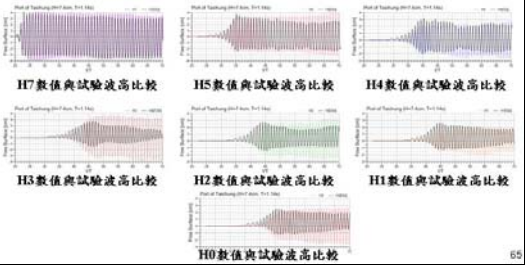
64

五、水工模型試驗的驗證

6. 試驗結果與數值模式之驗證

1. 波高驗證

以台中港50年迴歸期颱風浪（CASE 1）且40m護基寬度之試驗結果進行比對，波高計以H7、H5、H4、H3、H2、H1所擷取之波高值與FLOW-3D計算結果的比對



H7數值與試驗波高比較　H5數值與試驗波高比較　H4數值與試驗波高比較
H3數值與試驗波高比較　H2數值與試驗波高比較　H1數值與試驗波高比較
H0數值與試驗波高比較

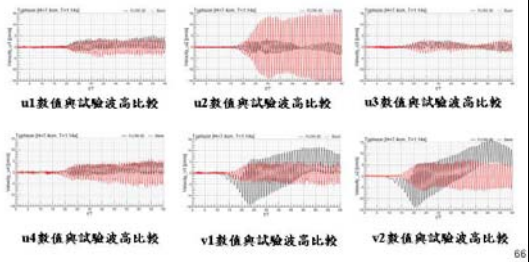
65

五、水工模型試驗的驗證

6. 試驗結果與數值模式之驗證

2. 波場流速驗證

u、v、w代號等的意義，除了u3試驗值與數值解較一致，其餘皆顯示相當落差後續模型縮尺、邊界布置與量測儀器的架設。

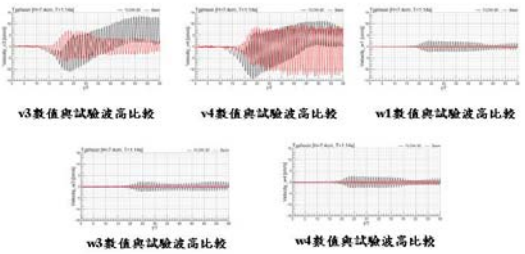


u1數值與試驗波高比較　u2數值與試驗波高比較　u3數值與試驗波高比較
u4數值與試驗波高比較　v1數值與試驗波高比較　v2數值與試驗波高比較

66

五、水工模型試驗的驗證

6. 試驗結果與數值模式之驗證

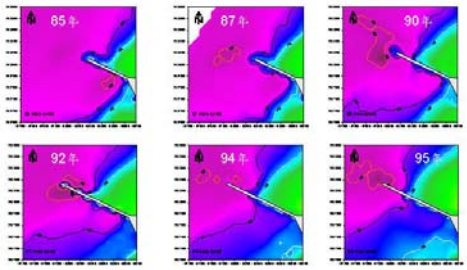


v3數值與試驗波高比較　v4數值與試驗波高比較　w1數值與試驗波高比較
w3數值與試驗波高比較　w4數值與試驗波高比較

67

六、研擬防波堤堤頭侵蝕的防制工法

1. 防波堤堤頭沖蝕特性



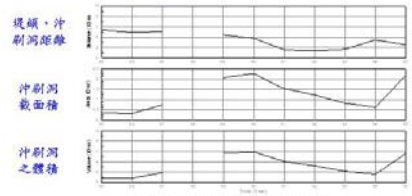
臺中港北防波堤堤頭附近水深地形(85~95年)

68

六、研擬防波堤堤頭侵蝕的防制工法

1. 防波堤堤頭沖蝕特性

- 台中港北堤以-25m水深計算沖刷洞特性。最大沖刷截面積為226,200m^2(90年)，最大沖刷體積5,903,893m^3；心堤距在90年之後縮小為158~379m；平均沖刷則介於25~27m之間。



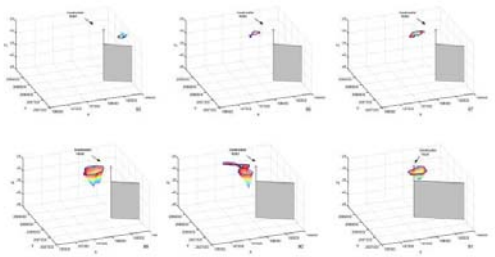
臺中北堤堤頭-25m沖刷洞形態變化歷程圖

69

六、研擬防波堤堤頭侵蝕的防制工法

1. 防波堤堤頭沖蝕特性

- 85-95年臺中港北防波堤堤頭海域-25m沖刷洞地形變化圖

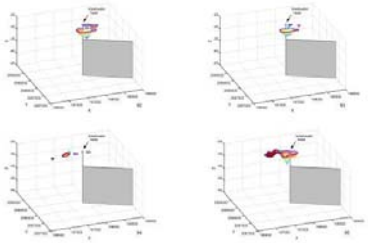


70

六、研擬防波堤堤頭侵蝕的防制工法

1. 防波堤堤頭沖蝕特性

- 85-95年臺中港北防波堤堤頭海域-25m沖刷洞地形變化圖



71

六、研擬防波堤堤頭侵蝕的防制工法

1. 防波堤堤頭沖蝕特性

- 85-95年臺中港北堤堤頭-25m沖刷洞變化量化表

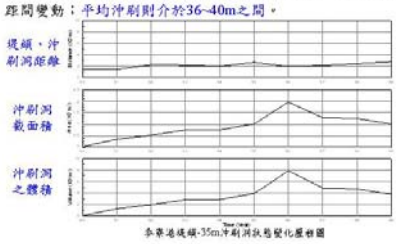
年度	最大沖刷位置 (X, Y)	形心位置 (X, Y)	心線距 (m)	沖刷截面積 (m^2)	沖刷體積 (m^3)	最大沖刷深度(m)	平均沖刷 (m)
85	188285, 2688099	188122, 2687801	342	31100	841345	25.88	25
89	188285, 2688099	187875, 2688171	495	33800	854209	28.18	25
87	188285, 2688099	187859, 2688181	510	75100	1802325	28.85	25
88	188285, 2688099	187933, 2688217	448	206900	5811288	31.18	27
90	188136, 2688207	187788, 2688378	378	228200	6803883	31.57	28
91	187863, 2688339	187816, 2688180	158	152800	4870127	28.48	27
92	187863, 2688339	187811, 2688211	131	123300	3233821	28.47	26
93	187863, 2688339	187865, 2688171	168	82700	2166492	27.25	26
94	187863, 2688339	187528, 2688431	341	83500	1903884	25.83	23
95	187863, 2688339	187848, 2688489	252	211800	5801723	28.40	28

72

六、研擬防波堤堤頭侵蝕的防制工法

1. 防波堤堤頭沖蝕特性

- 麥寮港北堤以-35m水深計算沖刷洞特性。最大沖刷截面積為197,300m^2、(96年)，最大沖刷體積7,868,464m^3；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。



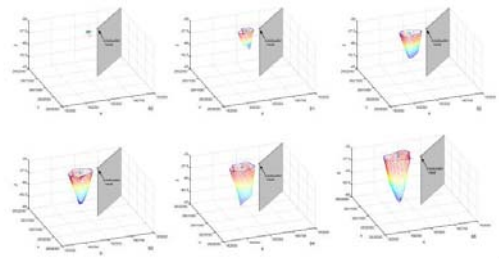
麥寮港堤頭-35m沖刷洞特性變化歷時圖

73

六、研擬防波堤堤頭侵蝕的防制工法

1. 防波堤堤頭沖蝕特性

- 90-99年麥寮港西防波堤堤頭海域-35m沖刷洞地形變化圖

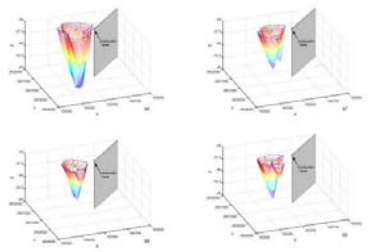


74

六、研擬防波堤堤頭侵蝕的防制工法

1. 防波堤堤頭沖蝕特性

- 90-99年麥寮港西防波堤堤頭海域-35m沖刷洞地形變化圖



75

六、研擬防波堤堤頭侵蝕的防制工法

1. 防波堤堤頭沖蝕特性

- 90-99年麥寮港西堤堤頭-35m沖刷洞變化量化表

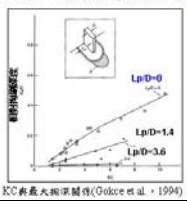
年度	最大沖刷位置 (X, Y)	形心位置 (X, Y)	心線距 (m)	沖刷截面積 (m^2)	沖刷體積 (m^3)	最大沖刷深度 (m)	平均沖刷 (m)
90	162601, 2631186	162488, 2631095	145	1800	63944	36.36	36
91	162601, 2631186	162456, 2631163	147	33900	1240470	39.16	37
92	162601, 2631186	162403, 2631073	228	52900	1979967	40.36	37
93	162601, 2631186	162395, 2631097	224	75200	2832137	42.08	38
94	162601, 2631186	162406, 2631135	202	75200	2869033	43.38	38
95	162601, 2631186	162381, 2631339	268	100900	3914629	44.53	39
96	162601, 2631186	162417, 2631259	198	197300	7868464	47.45	40
97	162601, 2631186	162388, 2631225	217	128400	4863288	42.94	38
98	162601, 2631186	162378, 2631080	247	125100	4686380	42.25	37
99	162601, 2631186	162349, 2631065	280	101000	3783176	43.64	38

76

六、研擬防波堤堤頭侵蝕的防制工法

2. 防制工法的研擬

- 選擇台中港北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 的相對沖刷深度。
- 原始北防波堤設計堤寬為 20m，堤頭外側護基寬度 30m，相對護基寬度為1.5。初步研擬增加堤頭護基寬度使相對護基寬度 超越1.5。



KC與最大沖深關係(Gokce et al.，1994)

77

七、防制工法的數值模擬與水工模型試驗的驗證

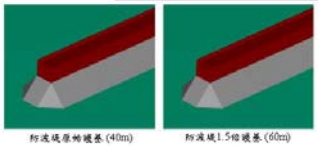
- 依規畫條件分別以數值模式及水工模型試驗進行優秀防制工法的驗證。

防制工法數值模型模擬

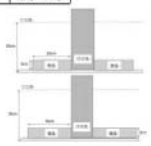
基床特性	地形地形	波浪條件	消浪寬度	觀測現象
定床	無沖刷洞	季風・颱風	40m	波陡・波陡
定床	無沖刷洞	季風・颱風	60m	波陡・波陡

防制工法水工模型試驗

基床特性	地形地形	波浪條件	相對消浪寬度	觀測現象
定床	無沖刷洞	季風・颱風	40m	波陡・波陡
定床	無沖刷洞	季風・颱風	60m	波陡・波陡



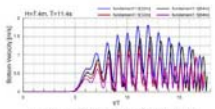
防波堤原始護基 (40m)　防波堤1.5倍護基 (60m)



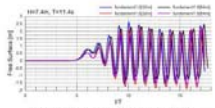
78

七、防制工法的數值模擬與水工模型試驗的驗證

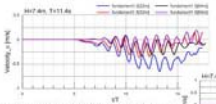
- 不同寬度護基模擬結果初步比對

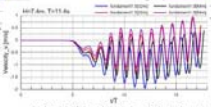


防波堤護基1倍與1.5倍底床速度比較

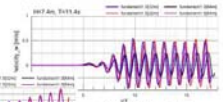


防波堤護基1倍與1.5倍自由液面比較





防波堤護基1倍與1.5倍U方向速度比較



防波堤護基1倍與1.5倍W方向速度比較

防波堤護基1倍與1.5倍V方向速度比較

79

簡報完畢
敬請指正

80