102-67-7698
MOTC-IOT-101-H3DB005

整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究(2/4)

交通部運輸研究所

中華民國 102 年 4 月

102

整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究(2/4)

交通部運輸研究所

GPN: 1010200
定價 450 元

102-67-7698
MOTC-IOT-101-H3DB005

整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究(2/4)

著　者: 邱永芳、蘇青和、李俊穎、李兆芳
劉正琪、陳冠宇、李忠潘、曾以帆

交通部運輸研究所
中華民國 102 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究(2/4)/
邱永芳等著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運研所,
民 102.04 面 ; 公分

ISBN 978-986-03-6418-7(平裝)

1.海洋氣象 2.港埠資訊查詢系統

444.94 102005419

整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究(2/4)

著 者：邱永芳、蘇青和、李俊穎、李兆芳、劉正琪、陳冠宇、李忠潘、曾以帆
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 102 年 4 月
印 刷 者：承亞興企業有限公司
版(刷)次冊數：初版一刷 80 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： 450 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：1010200554 ISBN：978-986-03-6418-7 (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份內容者，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：整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究(2/4)</td></tr>
<tr><td>國際標準書號（或叢刊號）
ISBN978-986-03-6418-7（平裝）</td><td>政府出版品統一編號
1010200554</td><td>運輸研究所出版品編號
102-67-7698</td><td>計畫編號
101-H3DB005</td></tr>
<tr><td>本所主辦單位：港灣技術研究中心
主管：邱永芳
計畫主持人：邱永芳
共同主持人：蘇青和、李俊穎
研究人員：陳明宗、單誠基、鄭博今、劉清松、林珂如
參與人員：錢爾潔、陳正義、馬維倫
聯絡電話：04-26587175
傳真號碼：04-26564415</td><td colspan="2">合作研究單位：成功大學、中山大學
計畫主持人：李兆芳、劉正琪、陳冠宇、李忠潘
研究人員：陳陽益、曾以帆、涂力夫、陳信宏、林敬樺
地址：臺南市大學路一號;高雄市蓮海路 70 號
聯絡電話：06-2757575; 07-5255000</td><td>研究期間
自 101 年 01 月
至 101 年 12 月</td></tr>
<tr><td colspan="4">關鍵詞：預警系統、風浪預報、暴潮預報、流場預報、海嘯、防波堤堤頭、沖蝕</td></tr>
<tr><td colspan="4">摘要：

臺灣四周環海，開發海洋資源、發展航運、從事港灣建設及規劃等均需長期可靠之海氣地象資料作為依據。而為了躋身國際先進的海洋國家，兼顧海洋/海岸空間利用以及海洋/海岸環境生態復育的政策與措施亦是絕對必須的。我國除了戮力推動海岸生活圈的開發以外，也由於全球環境變遷所致，水災、風災、地震及海嘯等似乎都進入發生頻率高的時期，使得海岸災害的預警、防災與避災成為近年來必須列為政府首要施政方針之一。

本所為考量臺灣周遭水域的船舶與人員航行安全，以及水環境維護等，乃率先推動近岸/近海防救災相關海象預報系統，並配合已推動多年的海氣象觀測，協助建置港灣環境資訊室，提供相關海象觀測推算與預測的資料，讓港灣管理單位、國內外船舶業者及有關人員即時獲得港灣海氣象資訊與港灣水理資訊進而維護臺灣水域出港操航安全、提昇船席機動調配及港埠運作效率。但由於臺灣附近水域的地形與環境複雜，現階段仍有諸多影響因子值得並需要持續進行研究與改善。

本計畫目的為整合提昇海岸及港灣海域波浪模擬技術之研究，提昇海岸及港灣海域水位與海流模擬技術之研究，提昇海岸及港灣海嘯模擬技術，探討海岸及港灣地區海嘯影響範圍與預警系統，並探討港灣防波堤堤頭沖蝕特性及防制機制之研究。提供國內航運及國內各主要港口海域安全之風浪、暴潮、流場及海嘯等預警資訊。並進行海岸及港灣堤頭附近海底地形侵蝕現況的分析，並提供港灣堤頭侵蝕防制工法，改善建議方案。俾提供施政及工程單位之參酌，以達到港灣正常營運與海岸永續發展利用的目標。</td></tr>
</table>

出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
102 年 4 月	568	450	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定價價購。

機密等級：

□密 □機密 □極機密 □絕對機密

（解密條件：□ 年 月 日解密，□公布後解密，□附件抽存後解密，

□工作完成或會議終了時解密，□另行檢討後辦理解密）

■普通

備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。

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

TITLE: Integration of Taiwan coastal and harbor's oceanographic modeling systems (2/4)

ISBN	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
978-986-03-6418-7 (pbk)	1010200554	102-67-7698	101-H3DB005

DIVISION: Harbor & Marine Technology Center
DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-Fang
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiu Yung-Fang, Su Chin-Ho
PROJECT STAFF: Lee Chun-Ying, Chen Ming-Tzong, Shan Chen-Chi, Cheng Po-Chin, Liu Ching-Sung, Jenny Lin, Chien Er-Jier, Chen Cheng-Yi, Ma Wei-Lun
PHONE: (04) 26587175
FAX: (04) 26564415

PROJECT PERIOD
FROM January 2012
TO December 2012

RESEARCH AGENCY: NATIONAL CHENG KUNG UNIVERSITY; NATIONAL CHUNG SHAN UNIVERSITY
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Lee Jaw-Fang, Liu Cheng-Chi, Chen Guan-Yu, Lee Chung-Pan
PROJECT STAFF: Chen Yang-Yih, Tseng I-Fan,Tu Lih-Fu, Chen Hsin-Hung, Lin, Jing-hua
ADDRESS: No.1, University Rd., Tainan 701, Taiwan, R.O.C; No. 70, Lienhai Rd., Kaohsiung 80424, Taiwan, R.O.C.
PHONE: (06) 2757575; (07) 5255000

KEY WORDS: wave simulations, harmonic analysis, tidal modeling, tsunami early warning system, breakwater head, scouring

ABSTRACT:

Seas surround Taiwan. In order to explore marine resources, to develop shipping business, and to do marine construction and planning, these all need a long-term reliable oceanographic database to depend on. Because of global climate change, natural disasters such as floods, storms, earthquakes and tsunamis seem to happen frequently. The policy of an early warning system including prevention of coastal disasters has become one of governmental primary executive targets in recent years. Considering the safety of ships and individuals in nearby seawater around Taiwan and the protection of water environments, the first priority for HMTC is to promote the study of the "Taiwan Coastal Operational Modeling System". TaiCOMS is an abbreviation for the title. The long-term sea-monitoring data is combined with the oceanographic observation data through the "Harbor Environment Information Website System" to provide forecast data for harbor authorities and shipping company officials and some related engineers. However, the air atmosphere is very complicated in Taiwan's marine areas due to the topographical layout; there are many factors are supposed to be done further research and be modified at present stage. The objective of this project is to integrate waves, tides and currents into a numerical modeling operation system and maintain the computer program "TaiCOMS". The major tasks include operation system program maintenance, data analysis, hardware and software update testing, in comparison with forecast data and observation data and the improvement of the operation system performance.

The objective of this project is to integrate the "Enhancement of Wave Simulation Technology on the Coastal and Harbor Areas (2/4)"," Enhancement of water and current simulation technology on coastal and harbor areas (2/4)","Advance Tsunami Simulation Technology in the Coastal and Harbor Areas with Risk Analysis (2/4)" and "Scouring Mechanism and Prevention Method for Breakwater Head (2/4)". Supplying waves, tides, currents and tsunamis' information to major harbors in Taiwan, analyzing breakwater head morphology change, and making effective prevention strategies and giving suggestions is what we want to do. Last, we provide references for port authorities and engineering units to maintain normal operation of harbors and to maintain sustainable development of the coastal areas.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
April 2013	568	450	☐RESTRICTED ☐CONFIDENTIAL ☐SECRET ☐TOP SECRET ■UNCLASSIFIED

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

整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究(2/4)

目　錄

中文摘要.....I

英文摘要.....II

目錄.....III

表目錄.....VI

圖目錄.....X

第一章 緒論.....1-1

1.1 計畫緣起.....1-1

1.2 主要工作項目.....1-3

1.3 研究計畫內容.....1-11

1.4 本年度研究成果.....1-15

第二章 海象模擬作業化系統.....2-1

2.1 海象模擬作業化系統架構.....2-1

2.2 作業化流程.....2-9

2.3 臺灣主要港口海氣象現場觀測及蒐集.....2-36

2.4 港灣環境資訊系統概述.....2-51

第三章 波浪模擬系統之改善研究.....3-1

3.1 臺灣近岸波浪模擬系統簡述.....3-1

3.2 風浪作業化模擬技術改善研究.....3-23

3.3 港區風浪模擬預警子系統.....3-60
3.4 風浪預報作業化成果評估.....3-95
3.5 小結.....3-127
第四章 水動力模式及作業化預測評估.....4-1
4.1 水動力模式發展主要內容.....4-1
4.2 基本資料蒐集與分析.....4-2
4.3 臺中港水位與海流模擬.....4-48
4.4 布袋港水位與海流模擬.....4-73
4.5 作業化預測成果評估.....4-86
4.6 臺灣周圍海域暴潮模式之建置.....4-100
4.7 小結.....4-135
第五章 海嘯模式建置與分析.....5-1
5.1 環太平洋地震帶及我國海嘯紀錄.....5-1
5.2 海嘯速報系統之建置.....5-9
5.3 模式精進及實例探討.....5-37
5.4 系統作業化之運作情形.....5-56
5.5 海嘯災害風險評估.....5-63
5.6 小結.....5-91
第六章 臺中港及麥寮港港灣防波堤堤頭沖蝕特性分析.....6-1
6.1 背景資料蒐集與潮波流現場調查.....6-1
6.2 防波堤堤頭沖蝕數值模擬.....6-23

6.3 防波堤堤頭地形量測與沖蝕特性分析.....6-35
6.4 小結.....6-65
第七章 結論與建議.....7-1
7.1 結論.....7-1
7.2 建議.....7-5
參考文獻.....參-1
附錄一 風場及氣壓場模式.....附 1-1
附 1.1 中央氣象局預報 NFS 風場及氣壓場.....附 1-1
附 1.2 臺灣環島風場及氣壓模式.....附 1-4
附 1.3 年度侵臺颱風.....附 1-6

表　目　錄

表 2-1a 中央氣象局風場 NFS 風場資料格式 2-7
表 2-1b 作業系統內大尺度及中尺度風、波及流場資料格式 2-7
表 2-2　系統內主要應用軟體說明.....2-14
表 2-3　有限區域模式氣象資料彙整表.....2-15
表 2-4　每日所擷取風場資料以第 3 日模擬風場為範例說明表 2-18
表 2-5　近岸區域波浪模式數值計算網格資料 2-23
表 2-6a 台灣主要商港觀測風力資料蒐集概況表 2-44
表 2-6b 台灣主要商港觀測波浪資料蒐集概況表 2-46
表 2-6c 台灣主要商港觀測潮汐資料蒐集概況表 2-47
表 2-6d 台灣主要商港觀測海流資料蒐集概況表 2-49
表 3-1　TaiCOMS 各波浪數值模組之特性綜整表 3-5
表 3-1　(續)TaiCOMS 各波浪數值模組之特性綜整表 3-6
表 3-2　中央氣象局發布輕度颱風泰利之颱風資訊 3-33
表 3-3　中央氣象局發布中度颱風蘇拉之颱風資訊 3-38
表 3-4　中央氣象局發布中度颱風天秤之颱風資訊 3-46
表 3-5　臺中港海域夏季季風期間示性波高分布統計表 3-83
表 3-6　臺中港海域夏季季風期間平均波高分布統計表 3-83
表 3-7　臺中港海域冬季季風期間示性波高分布統計表 3-84
表 3-8　臺中港海域冬季季風期間平均波向分布統計表 3-84
表 3-9　2012 年中央氣象局發布侵臺颱風相關資訊表 3-96
表 3-10 冬季季風風浪作業化模擬成果評估之誤差分析表 3-112

表 3-11 夏季季風風浪作業化模擬成果評估之誤差分析表 3-114
表 4-1 基隆港驗潮站 2009-2011 年潮汐資料調和分析成果表 4-26
表 4-2 龍洞驗潮站 2009-2011 年潮汐資料調和分析成果表 4-27
表 4-3 麟山鼻驗潮站 2009-2011 年潮汐資料調和分析成果表 4-28
表 4-4 竹圍驗潮站 2009-2011 年潮汐資料調和分析成果表 4-29
表 4-5 臺中港驗潮站 2009-2011 年潮汐資料調和分析成果表 4-30
表 4-6 鹿港驗潮站 2009-2011 年潮汐資料調和分析成果表 4-31
表 4-7 箔仔寮驗潮站 2011 年潮汐資料調和分析成果表.....4-32
表 4-8 東石驗潮站 2011 年潮汐資料調和分析成果表.....4-33
表 4-9 將軍驗潮站 2011 年潮汐資料調和分析成果表.....4-34
表 4-10 臺中港海流觀測資料調和分析成果表 4-36
表 4-11 布袋港海流觀測資料調和分析成果表 4-40
表 4-12 本年度侵臺颱風相關資訊.....4-43
表 4-13 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報平均水位統計表 .....
.....4-93
表 4-14 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報潮位最高水位(日/時)
統計表.....4-93
表 4-15 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報潮位最低水位(日/時)
統計表.....4-94
表 4-16 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報水位偏差統計表 .....
.....4-94
表 4-17 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報海流平均流速統計
表.....4-95
表 4-18 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報海流主要流向(%)統
計表.....4-95
表 4-19 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報海流東西向分量平

均流速統計表.....4-96
表 4-20 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報海流南北向分量平均流速統計表.....4-96
表 4-21 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報流場最大流速(流向)統計表.....4-97
表 4-22 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報流場最大流速(日/時)統計表.....4-97
表 4-23 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報流速偏差統計表.....4-98
表 4-24 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報流向偏差統計表.....4-98
表 4-25 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報流速東西向分量偏差統計表.....4-99
表 4-26 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報流速南北向分量偏差統計表.....4-99
表 5-1 2004~2012 年間重大海嘯事件.....5-3
表 5-2 臺灣地區西元 1500~2012 年之海嘯事件.....5-7
表 5-3 本年度發生之海嘯事件.....5-9
表 5-4 本系統主要地震資料之網址及對應之資料提供範圍.....5-24
表 5-5 (5.30)及(5.31)式迴歸係數之建議值.....5-31
表 5-6 美國國家地震資訊中心發布最初發布之智利地震 FMT 解.5-45
表 5-7 美國國家地震資訊中心修正的智利地震 FMT 解.....5-47
表 6-1 臺中港 2003 至 2009 年示性波高、週期及波向資料統計表.6-7
表 6-2 臺中港外海各重現期之颱風波浪推算.....6-8
表 6-3 臺中港 2003 至 2009 年海流之流速及流向統計表.....6-8
表 6-4 麥寮港外海各重現期之颱風波浪推算.....6-12

表 6-5　雲林海域各潮位站之潮位統計值.....6-15
表 6-6　W 測站，底層海流流速、流向統計表.....6-19
表 6-7　W 測站，表層海流流速、流向統計表.....6-19
表 6-8　臺中港北堤堤頭-25m 沖刷洞變化量化表 (85~95 年).....6-50
表 6-9　麥寮港西堤堤頭-35m 沖刷洞變化量化表 (90~99 年).....6-56
表 6-10 麥寮港西堤加密測量堤頭-35m 沖刷變化量化表.....6-59
表 A-1　NFS 預報風場模式(RC/MC/HC)基本資料.....附 1-3
表 A-2　2012 年侵臺颱風記錄表.....附 1-6

圖　目　錄

圖 1.1　臺灣近海海象預報系統架構圖.....1-11
圖 1.2　海象模擬作業化系統整體架構圖.....1-12
圖 1.3　海象模擬作業化系統流程圖.....1-13
圖 1.4　海象模擬作業化系統下相關模式架構圖 1-14
圖 2.1　海象模擬作業化系統流程圖.....2-2
圖 2.2　海象模擬作業化系統下相關模式架構圖 2-3
圖 2.3　主要模式涵蓋範圍.....2-8
圖 2.4　海象模擬系統作業時間流程.....2-9
圖 2.5　海象數值模擬系統兩日作業流程範例圖 2-10
圖 2.6　海象數值系統線上作業成果評估流程 2-11
圖 2.7　風場模組作業流程圖.....2-16
圖 2.8　中央氣象局提供原始風場範圍圖.....2-17
圖 2.9　系統內風場輸出範圍圖.....2-17
圖 2.10 每日所擷取風場資料以第 3 日模擬風場為範例圖 2-19
圖 2.11 波浪模擬作業流程圖.....2-20
圖 2.12 大尺度及中尺度波場模擬範圍圖.....2-21
圖 2.13 近岸區域波浪模擬範圍圖.....2-24
圖 2.14 細尺度基隆港波浪模擬視窗畫面圖 2-25
圖 2.15 水動力模擬作業流程圖.....2-26
圖 2.16 大尺度及中尺度流場模擬範圍圖.....2-27
圖 2.17a 南瑪都颱風 8 月 28 日 20 時基隆港小尺度流速流向分布圖 .....
.....2-28

圖 2.17b南瑪都颱風 8 月 28 日 20 時臺北港小尺度流速流向分布圖 2-29
圖 2.18 臺灣國際商港海嘯速算系統流程圖 2-30
圖 2.19 視窗化系統之計算範圍圖.....2-31
圖 2.20 視窗化介面之計算成果圖.....2-32
圖 2.21a美國 USGS 資料庫 2-34
圖 2.21b中央氣象局網站之即時地震資料.....2-34
圖 2.21c日本防災科學技術研究所 F-net 即時地震資料.....2-35
圖 2.22a臺灣 10 個主要商港位置圖.....2-38
圖 2.22b基隆港海氣象觀測位置圖.....2-38
圖 2.22c臺北港海氣象觀測位置圖.....2-39
圖 2.22d臺中港海氣象觀測位置圖.....2-39
圖 2.22e安平港海氣象觀測位置圖.....2-40
圖 2.22f 高雄港海氣象觀測位置圖.....2-40
圖 2.22g花蓮港海氣象觀測位置圖.....2-41
圖 2.22h蘇澳港海氣象觀測位置圖.....2-41
圖 2.22i 布袋港海氣象觀測位置圖.....2-42
圖 2.22j 澎湖海氣象觀測位置圖.....2-42
圖 2.22k金門海氣象觀測位置圖.....2-43
圖 2.23 港灣環境資訊系統整體架構圖.....2-52
圖 2.24 港灣環境資訊網首頁.....2-52
圖 2.25 海氣象測站位置圖查詢畫面.....2-54
圖 2.26 海氣象歷線圖/資料表(以基隆港 風速歷線圖為例).....2-54
圖 2.27 海象模擬資訊網頁展示圖.....2-56

圖 2.28 展示基隆港波浪模擬 (大尺度、中尺度、小尺度) 歷線圖.2-58
圖 2.29 展示臺北港相對潮位歷線圖.....2-59
圖 2.30 展示臺北港流速及流向歷線圖.....2-59
圖 2.31 展示基隆港近岸波高分佈圖.....2-60
圖 2.32 展示臺北港流速向量場分佈圖.....2-60
圖 2.33 海嘯查詢網頁.....2-62
圖 2.34 展示基隆港海嘯水位變化歷線圖.....2-62
圖 3.1 大尺度西太平洋風浪模式之模擬範圍 3-7
圖 3.2 中尺度臺灣近岸海域風浪模式之模擬範圍 3-7
圖 3.3 國內七大港口位置及小尺度港區近岸波浪模式模擬範圍 3-8
圖 3.4 臺灣近岸海象數值模擬系統波浪模擬線上作業流程 3-9
圖 3.5 波浪能量由高頻向低頻傳遞之示意圖 3-14
圖 3.6 REF/DIF-1 數值計算網格座標系統 3-19
圖 3.7 港域波浪模式計算領域示意圖.....3-22
圖 3.8 大尺度西太平洋範圍風浪模組之操作流程 3-24
圖 3.9 波浪觀測資料之平均週期 T-1 與 Tz 對應關係.....3-28
圖 3.10 TaiCOMS 波浪週期模擬結果與觀測值之比較.....3-28
圖 3.11 TaiCOMS 風浪模式波浪譜峰週期模擬結果階梯狀.....3-29
圖 3.12 風浪模式波浪平均週期 Tm(圓圈)及 Tm02(三角形)與觀測波浪平均週期(圓點)之比較.....3-29
圖 3.13 西太平洋模擬模式風浪模擬結果之波譜輸出點位圖 3-30
圖 3.14 2012 年輕度颱風泰利(TALIM)侵臺路徑圖 3-33
圖 3.15 2012 年輕度颱風泰利(TALIM)侵臺期間中央氣象局發布以及 RC 及 MC 風壓場推估之颱風中心位置及路徑圖.....3-34
圖 3.16 2012 年輕度颱風泰利(TALIM)侵臺期間 RC 及 MC 每小時風壓

場資料於近颱風中心之最低氣壓值(上)及最大風速值(下)之變化情形.....3-34

圖 3.17 2012 年輕度颱風泰利之 RC 及 MC 風壓場預報資料之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/06/20 18:00) 3-35

圖 3.18 2012 年輕度颱風泰利之 RC 及 MC 風壓場預報資料之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/06/21 00:00) 3-35

圖 3.19 輕度颱風泰利(TALIM)侵臺期間大域 RC 及中域 MC 風場颱風波浪示性波高模擬結果與觀測資料之比較，(a)高雄港外海，(b)臺北港外海.....3-36

圖 3.20 2012 年輕度颱風泰利(TALIM)侵臺期間大域 RC 及中域 MC 風場颱風波浪平均週期模擬結果與觀測資料之比較，(a)高雄港外海，(b)臺北港外海.....3-36

圖 3.21 2012 年中度颱風蘇拉(SAOLA)侵臺路徑圖 3-39

圖 3.22 2012 年中度颱風蘇拉(SAOLA)侵臺期間中央氣象局發布以及 RC 及 MC 風壓場推估颱風中心位置之比較圖.....3-39

圖 3.23 2012 年中度颱風蘇拉(SAOLA)侵臺期間 RC 及 MC 每小時風壓場資料於近颱風中心之最低氣壓值(上)及最大風速值(下)之變化情形.....3-40

圖 3.24 2012 年中度颱風蘇拉大域 RC 及中域 MC 風壓場預報資料之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/01 00:00) 3-40

圖 3.24 (續 1)2012 年中度颱風蘇拉大域 RC 及中域 MC 風壓場預報資料之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/01 12:00) .3-41

圖 3.24 (續 2)2012 年中度颱風蘇拉大域 RC 及中域 MC 風壓場預報資料之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/02 00:00) .3-41

圖 3.24 (續 3)2012 年中度颱風蘇拉大域 RC 及中域 MC 風壓場預報資料之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/02 12:00) .3-42

圖 3.24 (續 4)2012 年中度颱風蘇拉大域 RC 及中域 MC 風壓場預報資料之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/03 00:00) .3-42

圖 3.25 中度颱風蘇拉侵臺期間大域 RC 及中域 MC 風場颱風波浪示性波高模擬結果與觀測資料之比較，(a)基隆港外海，(b)臺北港外海.....3-43

圖 3.25 (續)中度颱風蘇拉侵臺期間大域 RC 及中域 MC 風場颱風波浪示性波高模擬結果與觀測資料之比較，(c)蘇澳港外海，(d)花蓮港外海.....3-43

圖 3.26 中度颱風蘇拉侵臺期間大域 RC 及中域 MC 風場颱風波浪平均週期模擬結果與觀測資料之比較，(a)基隆港外海，(b)臺北港外海.....3-44

圖 3.26 (續)中度颱風蘇拉侵臺期間大域 RC 及中域 MC 風場颱風波浪平均週期模擬結果與觀測資料之比較，(c)蘇澳港外海，(d)花蓮港外海.....3-44

圖 3.27 2012 年中度颱風天秤(TEMBIN)侵臺路徑圖 3-47

圖 3.28 2012 年中度颱風天秤(TEMBIN)侵臺期間中央氣象局發布以及 RC 及 MC 風壓場推估颱風中心位置之比較圖.....3-47

圖 3.29 2012 年中度颱風天秤(TEMBIN)第一次侵臺期間 RC 及 MC 每小時風壓場資料於近颱風中心之最低氣壓值(上)及最大風速值(下)之變化情形.....3-48

圖 3.30 2012 年中度颱風天秤大域 RC 及中域 MC 風壓場預報資料之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/23 00:00) 3-48

圖 3.30 (續 1)2012 年中度颱風天秤大域 RC 及中域 MC 風壓場預報資料之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/23 12:00) .3-49

圖 3.30 (續 2)2012 年中度颱風天秤大域 RC 及中域 MC 風壓場預報資料之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/24 00:00) .3-49

圖 3.30 (續 3)2012 年中度颱風天秤大域 RC 及中域 MC 風壓場預報資料之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/24 12:00) .3-50

圖 3.31 西太平洋範圍風浪模式 6 弧分計算格網之水深分布 3-52

圖 3.32 西太平洋範圍風浪模擬結果之示性波高、平均週期分布及風場

向量圖.....3-53
圖 3.32 (續 1)西太平洋範圍風浪模擬結果之示性波高、平均週期分布及風場向量圖.....3-53
圖 3.32 (續 2)西太平洋範圍風浪模擬結果之示性波高、平均週期分布及風場向量圖.....3-54
圖 3.32 (續 3)西太平洋範圍風浪模擬結果之示性波高、平均週期分布及風場向量圖.....3-54
圖 3.33 基隆港附近海域西太平洋範圍風浪模式模擬之示性波高(上圖)及平均週期(下圖)變化每小時序列圖.....3-55
圖 3.34 臺北港附近海域西太平洋範圍風浪模式模擬之示性波高(上圖)及平均週期(下圖)變化每小時序列圖.....3-55
圖 3.35 臺中港附近海域西太平洋範圍風浪模式模擬之示性波高(上圖)及平均週期(下圖)變化每小時序列圖.....3-56
圖 3.36 布袋港附近海域西太平洋範圍風浪模式模擬之示性波高(上圖)及平均週期(下圖)變化每小時序列圖.....3-56
圖 3.37 安平港附近海域西太平洋範圍風浪模式模擬之示性波高(上圖)及平均週期(下圖)變化每小時序列圖.....3-57
圖 3.38 高雄港附近海域西太平洋範圍風浪模式模擬之示性波高(上圖)及平均週期(下圖)變化每小時序列圖.....3-57
圖 3.39 花蓮港附近海域西太平洋範圍風浪模式模擬之示性波高(上圖)及平均週期(下圖)變化每小時序列圖.....3-58
圖 3.40 蘇澳港附近海域西太平洋範圍風浪模式模擬之示性波高(上圖)及平均週期(下圖)變化每小時序列圖.....3-58
圖 3.41 平行化處理 SWAN 時間比較(72 小時模擬).....3-59
圖 3.42 臺中港地理位置示意圖.....3-65
圖 3.43 臺中港整體規劃平面配置圖.....3-66
圖 3.44 臺中港小尺度港區近岸波浪模組數值計算網格及地形水深分布

圖 3-67
圖 3.45 臺中港港區 100 年度水深調查資料及調查範圍 3-68
圖 3.46 臺中港域小尺度港區近岸波浪模組作業化之 72 小時模擬條件 3-69
圖 3.47 臺中港域小尺度港區近岸波浪模組每日作業化 72 小時預報成果圖 3-69
圖 3.47 (續 1)臺中港域小尺度港區近岸波浪模組每日作業化 72 小時預報成果圖 3-70
圖 3.47 (續 2)臺中港域小尺度港區近岸波浪模組每日作業化 72 小時預報成果圖 3-70
圖 3.47 (續 3)臺中港域小尺度港區近岸波浪模組每日作業化 72 小時預報成果圖 3-71
圖 3.47 (續 4)臺中港域小尺度港區近岸波浪模組每日作業化 72 小時預報成果圖 3-71
圖 3.47 (續 5)臺中港域小尺度港區近岸波浪模組每日作業化 72 小時預報成果圖 3-72
圖 3.48 臺中港波高觀測值(橫座標)與模式波高模擬結果(縱座標)比較. 3-72
圖 3.49 臺中港波高觀測值(橫座標)與模式波高模擬結果(縱座標)比較. 3-73
圖 3.50 臺中港 2011 年波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖 3-73
圖 3.50 (續 1)臺中港 2011 年波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖 3-74
圖 3.50 (續 2)臺中港 2011 年波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖 3-74
圖 3.50 (續 3)臺中港 2011 年波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平

均波向時序列圖.....3-75
圖 3.50 (續 4)臺中港 2011 年波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖.....3-75
圖 3.50 (續 5)臺中港 2011 年波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖.....3-76
圖 3.50 (續 6)臺中港 2011 年波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖.....3-76
圖 3.50 (續 7)臺中港 2011 年波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖.....3-77
圖 3.51 臺中港域近岸波場模擬結果在觀測點位 A 上波高及波向模擬值與觀測值之比較.....3-77
圖 3.52 臺中港域近岸波場模擬結果在觀測點位 A 上模擬值與觀測值之誤差分析.....3-78
圖 3.53 臺中港港域波浪模組三角元素之粗網格及水深分布圖 3-78
圖 3.54 臺中港港域波浪模組細網格三角元素分布圖(北防波堤堤頭附近) 3-79
圖 3.55 臺中港港域波浪場資料庫儲存之圖形資料 3-80
圖 3.56 臺中港外海夏季季風期間波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖.....3-85
圖 3.56 (續 1)臺中港外海夏季季風期間波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖.....3-85
圖 3.56 (續 2)臺中港外海夏季季風期間波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖.....3-86
圖 3.56 (續 3)臺中港外海夏季季風期間波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖.....3-86
圖 3.56 (續 4)臺中港外海夏季季風期間波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖.....3-87

圖 3.56 (續 5)臺中港外海夏季季風期間波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖.....3-87
圖 3.57 臺中港外海冬季季風期間波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖.....3-88
圖 3.57 (續 1)臺中港外海冬季季風期間波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖.....3-88
圖 3.57 (續 2)臺中港外海冬季季風期間波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖.....3-89
圖 3.57 (續 3)臺中港外海冬季季風期間波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖.....3-89
圖 3.57 (續 4)臺中港外海冬季季風期間波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖.....3-90
圖 3.58 布袋國內商港之地理位置圖.....3-92
圖 3.59 布袋國內商港未來發展之整體規劃藍圖 3-93
圖 3.60 布袋港附近海域水深測量實測測線軌跡 3-93
圖 3.61 布袋港鄰近海域水深分布圖.....3-94
圖 3.62 布袋港域小尺度港區近岸波浪模擬範圍示意圖 3-94
圖 3.63 2012 年中央氣象局發布侵臺颱風之行進路徑圖 3-96
圖 3.85 冬季季風期間臺灣周圍海域範圍風浪模式作業化模擬成果於基隆港(上)、臺北港(中)及臺中港(下)外海示性波高模擬值(實線)與觀測值(圓點)之比較.....3-115
圖 3.85 (續)冬季季風期間臺灣周圍海域範圍風浪模式作業化模擬成果於基隆港(上)、臺北港(中)及臺中港(下)外海示性波高模擬值(實線)與觀測值(圓點)之比較.....3-116
圖 3.86 冬季季風期間臺灣周圍海域範圍風浪模式作業化模擬成果於基隆港(上)、臺北港(中)及臺中港(下)外海波浪平均週期模擬值(實線)與觀測值(圓點)之比較.....3-117

圖 3.86 (續)冬季季風期間臺灣周圍海域範圍風浪模式作業化模擬成果於基隆港(上)、臺北港(中)及臺中港(下)外海波浪平均週期模擬值(實線)與觀測值(圓點)之比較 3-118

圖 3.87 冬季季風期間臺灣周圍海域範圍風浪模式作業化模擬成果於基隆港(上)、臺北港(中)及臺中港(下)外海波浪平均波向模擬值(實線)與觀測值(圓點)之比較.....3-119

圖 3.87 (續)冬季季風期間臺灣周圍海域範圍風浪模式作業化模擬成果於基隆港(上)、臺北港(中)及臺中港(下)外海波浪平均波向模擬值(實線)與觀測值(圓點)之比較 3-120

圖 3.88 夏季季風期間臺灣周圍海域範圍風浪模式作業化模擬成果於基隆港(上)、臺北港(中)及臺中港(下)外海示性波高模擬值(實線)與觀測值(圓點)之比較 3-121

圖 3.88 (續)夏季季風期間臺灣周圍海域範圍風浪模式作業化模擬成果於基隆港(上)、臺北港(中)及臺中港(下)外海示性波高模擬值(實線)與觀測值(圓點)之比較.....3-122

圖 3.89 夏季季風期間臺灣周圍海域範圍風浪模式作業化模擬成果於基隆港(上)、臺北港(中)及臺中港(下)外海波浪平均週期模擬值(實線)與觀測值(圓點)之比較.....3-123

圖 3.89 (續)夏季季風期間臺灣周圍海域範圍風浪模式作業化模擬成果於基隆港(上)、臺北港(中)及臺中港(下)外海波浪平均週期模擬值(實線)與觀測值(圓點)之比較 3-124

圖 3.90 夏季季風期間臺灣周圍海域範圍風浪模式作業化模擬成果於基隆港(上)、臺北港(中)及臺中港(下)外海波浪平均波向模擬值(實線)與觀測值(圓點)之比較.....3-125

圖 3.90 (續)夏季季風期間臺灣周圍海域範圍風浪模式作業化模擬成果於基隆港(上)、臺北港(中)及臺中港(下)外海波浪平均波向模擬值(實線)與觀測值(圓點)之比較 3-126

圖 4.1 臺中港模擬範圍及水深分佈圖.....4-3

圖 4.2 布袋港附近海域水深分佈圖.....4-4

圖 4.3　本年度潮位資料蒐集之潮位站位置示意圖 4-15
圖 4.4　基隆港 2008～2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖 4-16
圖 4.5　基隆港潮位(2009～2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖 4-16
圖 4.6　龍洞 2008～2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖 4-17
圖 4.7　龍洞潮位(2009～2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖 4-17
圖 4.8　麟山鼻潮位站 2008～2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖 4-18
圖 4.9　麟山鼻潮位(2009～2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖 4-18
圖 4.10 竹圍潮位站 2008～2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖 .4-19
圖 4.11 竹圍潮位(2009～2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖 4-19
圖 4.12 外埔潮位站 2008～2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖 .4-20
圖 4.13 臺中港潮位站 2008～2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖 4-20
圖 4.14 臺中港潮位(2009～2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖 4-21
圖 4.15 鹿港潮位站 2008～2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖 .4-21
圖 4.16 鹿港潮位(2009～2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖 4-22
圖 4.17 箔子寮潮位站 2008～2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖 4-22
圖 4.18 箔子寮潮位(2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖 4-23
圖 4.19 東石潮位站 2008～2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖 .4-23

圖 4.20 東石潮位(2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖....4-24
圖 4.21 將軍潮位站 2008～2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖 .4-24
圖 4.22 將軍潮位(2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖....4-25
圖 4.23 臺中港海氣象觀測站儀器安裝位置示意圖 4-37
圖 4.24 臺中港區海流與風速觀測資料時序列圖 4-38
圖 4.25 臺中港海流觀測資料 E-W 方向分量頻譜分析結果(2009/10/01~2010/03/31) 4-39
圖 4.26 臺中港海流觀測資料 N-S 方向分量頻譜分析結果(2009/10/01~2010/03/31) 4-39
圖 4.27 布袋港海域潮位與海流觀測點位示意圖 4-40
圖 4.28 布袋港海流觀測資料 E-W 方向分量頻譜分析結果(資料時間：2012/8/14~9/30).....4-41
圖 4.29 布袋港海流觀測資料 N-S 方向分量頻譜分析結果(資料時間：2012/8/14~9/30).....4-41
圖 4.30 泰利颱風行進路徑圖.....4-44
圖 4.31 杜蘇芮颱風行進路徑圖.....4-44
圖 4.32 蘇拉颱風行進路徑圖.....4-45
圖 4.33 海葵颱風行進路徑圖.....4-45
圖 4.34 啟德颱風行進路徑圖.....4-46
圖 4.35 天秤颱風行進路徑圖.....4-46
圖 4.36 杰拉華颱風行進路徑圖.....4-47
圖 4.37 臺中港區流場模擬範圍與水深分佈圖 4-49
圖 4.38 臺中港區流場模擬範圍之有限元素格網分佈圖 4-50
圖 4.39 臺中港水動力模式南、北開放邊界之水位邊界條件時序圖4-51
圖 4.40 臺中港水位及潮流模擬結果與潮流觀測資料調和分析結果之比

較.....4-53
圖 4.41 臺中港區大潮高平潮時段潮流流場模擬之流速向量圖 4-55
圖 4.42 臺中港區大潮退潮時段潮流流場模擬之流速向量圖 4-56
圖 4.43 臺中港區大潮低平潮時段潮流流場模擬之流速向量圖 4-57
圖 4.44 臺中港區大潮漲潮時段潮流流場模擬之流速向量圖 4-58
圖 4.45 臺中港區大潮高平潮時段潮流流場模擬之流速向量圖 4-59
圖 4.46 臺中港區風速為 12m/s 與 18m/s 情況下流速觀測值分布圖.4-60
圖 4.47 臺中港區風速為 18m/s 情況下參考點水位、流速與流向變化圖 4-60
圖 4.48 臺中港區風速為 12m/s 情況下參考點水位、流速與流向變化圖 4-61
圖 4.49 臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 18m/s).....4-62
圖 4.49 (續 1)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 18m/s) 4-63
圖 4.49 (續 2)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 18 m/s).. 4-64
圖 4.49 (續 3)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 18 m/s).. 4-65
圖 4.49 (續 4)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 18 m/s).. 4-66
圖 4.50 臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 12 m/s).....4-67
圖 4.50 (續 1)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 12 m/s).. 4-68
圖 4.50 (續 2)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 12 m/s).. 4-69
圖 4.50 (續 3)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 12 m/s)..

.....4-70
圖 4.50 (續 4)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 12 m/s) ..
.....4-71
圖 4.51 臺中港含風場效應潮流模擬結果與海流觀測資料之比較 ...4-72
圖 4.52 布袋港區流場模擬範圍與水深分佈圖 4-74
圖 4.53 布袋港區流場模擬範圍之有限元素格網分佈圖 4-75
圖 4.54 布袋港水動力模式南、北開放邊界之水位邊界條件時序圖4-75
圖 4.55 布袋港水位及潮流模擬結果與潮流觀測資料調和分析(O1、K1、N2、M2、S2)結果之比較.....4-77
圖 4.55 (續)布袋港水位及潮流模擬結果與潮流觀測資料調和分析(O1、K1、N2、M2、S2)結果之比較 4-78
圖 4.56 布袋港區高平潮時段流場模擬結果之流速向量圖 4-80
圖 4.57 布袋港區退潮時段流場模擬結果之流速向量圖 4-81
圖 4.58 布袋港區低平潮時段流場模擬結果之流速向量圖 4-82
圖 4.59 布袋港區漲潮時段流場模擬結果之流速向量圖 4-83
圖 4.60 布袋港區高平潮時段流場模擬結果之流速向量圖 4-84
圖 4.61 布袋港海流觀測流速與附近風場觀測風速時序圖 4-85
圖 4.62 布袋港海流觀測流速與含風場效應模擬流速比較圖 4-85
圖 4.63 布袋港含風場與不含風場效應模擬流速比較圖 4-85
圖 4.64 基隆港 2012 年 8 月水位觀測資料與模擬結果之比較(實線：model，細虛線：調和，粗虛線：觀測).....4-89
圖 4.65 基隆港 2012 年 9 月水位觀測資料與模擬結果之比較(實線：model，細虛線：調和，粗虛線：觀測).....4-89
圖 4.66 基隆港 2012 年 8 月海流觀測資料與模擬結果之比較(實線：model，虛線：調和) 4-90
圖 4.67 基隆港 2012 年 9 月海流觀測資料與模擬結果之比較(實線：

model，虛線：調和) 4-90

圖 4.68 臺北港 2012 年 8 月水位觀測資料與模擬結果之比較(實線：model，細虛線：調和，粗虛線：觀測) 4-91

圖 4.69 臺北港 2012 年 9 月水位觀測資料與模擬結果之比較(實線：model，細虛線：調和，粗虛線：觀測) 4-91

圖 4.70 臺北港 2012 年 8 月海流觀測資料與模擬結果之比較(實線：model，虛線：調和) 4-92

圖 4.71 臺北港 2012 年 9 月海流觀測資料與模擬結果之比較(實線：model，虛線：調和) 4-92

圖 4.72 臺灣周圍海域暴潮模式模擬範圍.....4-103

圖 4.73 臺灣周圍海域暴潮數值模式之計算網格分布圖 4-104

圖 4.74 臺灣周圍海域暴潮數值模式之地形水深分布圖 4-104

圖 4.75 臺灣周圍海域暴潮模式之天文潮邊界條件時序圖 4-105

圖 4.76 基隆港水位模擬結果與觀測資料之比較 4-107

圖 4.77 臺北港水位模擬結果與觀測資料之比較 4-107

圖 4.78 臺中港水位模擬結果與觀測資料之比較 4-108

圖 4.79 安平港水位模擬結果與觀測資料之比較 4-108

圖 4.80 高雄港水位模擬結果與觀測資料之比較 4-109

圖 4.81 花蓮港水位模擬結果與觀測資料之比較 4-109

圖 4.82 蘇澳港水位模擬結果與觀測資料之比較 4-110

圖 4.83 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/06/20 00:00) 4-113

圖 4.83 (續 1) 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/06/20 06:00) 4-113

圖 4.83 (續 2) 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/06/20 12:00) 4-114

圖 4.83 (續 3) 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/06/20 18:00) 4-114
圖 4.83 (續 4) 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/06/21 00:00) 4-115
圖 4.84 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/01 00:00) 4-115
圖 4.84 (續 1) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/01 06:00) 4-116
圖 4.84 (續 2) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/01 12:00) 4-116
圖 4.84 (續 3) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/01 18:00) 4-117
圖 4.84 (續 4) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/02 00:00) 4-117
圖 4.84 (續 5) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/02 06:00) 4-118
圖 4.84 (續 6) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/02 12:00) 4-118
圖 4.84 (續 7) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/02 18:00) 4-119
圖 4.84 (續 8) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/03 00:00) 4-119
圖 4.85 2012 年中度颱風天秤侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/23 00:00) 4-120
圖 4.85 (續 1) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/23 06:00) 4-120
圖 4.85 (續 2) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/23 12:00) 4-121

圖 4.85 (續 3) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/23 18:00) 4-121

圖 4.85 (續 4) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/24 00:00) 4-122

圖 4.85 (續 5) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/24 06:00) 4-122

圖 4.85 (續 6) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/24 12:00) 4-123

圖 4.86 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/06/20 06:00).....4-123

圖 4.86 (續 1) 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/06/20 12:00).....4-124

圖 4.86 (續 2) 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/06/20 18:00).....4-124

圖 4.86 (續 3) 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/06/21 00:00).....4-125

圖 4.86 (續 4) 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/06/21 03:00).....4-125

圖 4.87 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/01 12:00).....4-126

圖 4.87 (續 1) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/01 18:00).....4-126

圖 4.87 (續 2) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/02 00:00).....4-127

圖 4.87 (續 3) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/02 06:00).....4-127

圖 4.87 (續 4) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/02 12:00).....4-128

圖 4.87 (續 5) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/02 18:00).....4-128
圖 4.87 (續 6) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/03 00:00).....4-129
圖 4.87 (續 7) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/03 06:00).....4-129
圖 4.88 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/24 00:00).....4-130
圖 4.88 (續 1)2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/24 06:00).....4-130
圖 4.88 (續 2) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/24 12:00).....4-131
圖 4.88 (續 3) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/24 18:00).....4-131
圖 4.88 (續 4) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/25 00:00).....4-132
圖 4.89 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/28 00:00).....4-132
圖 4.89 (續 1) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/28 06:00).....4-133
圖 4.89 (續 2) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/28 12:00).....4-133
圖 4.89 (續 3) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/28 18:00).....4-134
圖 4.89 (續 4) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/29 00:00).....4-134
圖 5.1 板塊交界處發生錯動後引起海嘯之示意圖 5-2

圖 5.2　環太平洋地震帶及海溝分佈(紅點即是海溝位置).....5-2
圖 5.3　臺中港之放大率及海嘯潛勢波源區 5-5
圖 5.4　臺灣海嘯事件之震源分佈.....5-8
圖 5.5　電纜式海底地震儀觀測系統(媽祖計劃)之佈放位置.....5-10
圖 5.7　移動邊界示意圖.....5-16
圖 5.8　海嘯速報系統之規劃圖.....5-18
圖 5.9　現行海嘯數值模式之模擬程序.....5-18
圖 5.10 傳統海嘯之模擬結果.....5-19
圖 5.11 傳統格林函數與互逆格林函數之示意圖 5-21
圖 5.12 目前完成之即時地震擷取系統介面 5-24
圖 5.13 (a)MS 規模轉換之 MW 規模之對應圖(b) MB 規模轉換至 MW 規模之對應圖(Scordilis, 2006).....5-29
圖 5.14 斷層參數示意圖.....5-30
圖 5.15 (a)斷層幾何形狀及座標系統(b)斷層及映像斷層座標系統..5-32
圖 5.16 互逆格林函數與傳統海嘯模式之水位變化驗證 5-34
圖 5.17 GUI 程式設計環境.....5-35
圖 5.18 視窗化操作系統之建立與排版.....5-36
圖 5.19 視窗化介面之編譯完成圖.....5-36
圖 5.20 單點格林函數數值資料在時間上之分布型態 5-38
圖 5.21 (a)單點格林函數數值資料在空間上之分布型態(紅色部分為水域，藍色為陸域)(b)高雄港格林函數變更前後之水位變化驗證 5-38
圖 5.22 布袋港區之平面圖.....5-39
圖 5.23 臺中港區之平面圖(資料來源：臺中及高雄港務公司網頁).5-39
圖 5.24 (a)臺中港(b)布袋港之預報點位 5-40

圖 5.25 本中心基隆港觀測站儀器安裝位置 5-41
圖 5.26 測站之實測水位.....5-42
圖 5.27 分析用之實測水位資料.....5-43
圖 5.28 經過濾潮汐後之水位.....5-43
圖 5.29 由 EEMD 分解出較高頻的 IMF 分量(C1 至 C6).....5-44
圖 5.30 由 EEMD 分解出較低頻的 IMF 分量、餘訊 R 及潮位 5-44
圖 5.31 預報系統預測智利海嘯(Mw=8.6)於基隆港之預報結果.....5-46
圖 5.32 預報系統計算結果(Mw=8.6)與實測資料之比較圖。 5-46
圖 5.33 預報系統預測智利海嘯(Mw=8.8)於基隆港之預報結果.....5-48
圖 5.34 預報系統計算結果(Mw=8.8)與實測資料之比較圖。 5-48
圖 5.35 海嘯速報系統之介面.....5-50
圖 5.36 (a)USGS 日本 311 宮城海嘯參數(b)臺北港系統模擬水位(紅線)與濾潮後的實測水位(藍線)比較.....5-50
圖 5.37 以速算系統及新公佈之 0311 東日本海嘯之地震參數計算蘇澳港之海嘯波到達時間及水位時序分佈 5-53
圖 5.38 以速算系統及地震發生後 1 小時美國地質調查所公佈之地震參數計算.....5-54
圖 5.39 以速算系統根據美國地質調查所公佈之地震參數(地震矩規模 Mw8.9)及新公佈之地震參數(地震矩規模 Mw9.0)計算蘇澳港水位時序分佈與實測資料比較(0311 東日本海嘯事件).....5-55
圖 5.40 港灣環境資訊網之[海嘯模擬資訊]介面.....5-57
圖 5.41 [近期海嘯查詢]之展示介面.....5-57
圖 5.42 [近期海嘯查詢]之查詢結果展示.....5-58
圖 5.43 水位歷線圖之展示介面.....5-58
圖 5.44 [歷史海嘯查詢]之查詢結果.....5-59

圖 5.45 水位歷線圖之文字資料.....5-59
圖 5.46 (a)USGS 所公佈之地震參數(b)震央位址.....5-60
圖 5.47 利用第一組參數所預估之結果及報告單(a)花蓮港(b)高雄港(c)基隆港.....5-61
圖 5.48 利用第二組參數所預估之結果及報告單(a)花蓮港(b)高雄港 (c)基隆港.....5-62
圖 5.49 海嘯風險評估流程圖.....5-64
圖 5.54 計算範例之淺層海源地震分佈.....5-68
圖 5.58 布袋港之溢淹圖(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺.....5-72
圖 5.59a 臺中港之溢淹圖(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺.....5-73
圖 5.59b 臺中港之溢淹圖 (e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺.....5-74
圖 5.60 溢淹機率簡示圖.....5-76
圖 5.61 布袋港之溢淹點位分布圖(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺.....5-78
圖 5.63 布袋港在各種地震矩規模下之最大波高分佈.....5-84
圖 5.64 臺中港在各種地震矩規模下之最大波高分佈.....5-85
圖 5.65 布袋港在各種地震矩規模下之溢淹機率分佈.....5-86
圖 5.66 臺中港在各種地震矩規模下之溢淹機率分佈.....5-87
圖 6.1 直立堤堤頭附近水流流況示意圖.....6-3
圖 6.2 直立堤堤頭波流共生之掏深關係.....6-3
圖 6.3 防波堤堤頭露水高與掏深深度、寬度關係.....6-4
圖 6.4 具護基保護工之直立堤堤頭附近 KC 值與掏深關係.....6-4
圖 6.5 直立堤與斜坡拋石堤之堤前掏刷關係.....6-5
圖 6.6 臺中港海氣象觀測站位置圖.....6-6

圖 6.7　臺中港 2003~2009 年平均示性波高、週期之月統計 6-7
圖 6.8　臺中港 1999 至 2009 年之潮位統計分佈圖 6-9
圖 6.9　麥寮工業區各區段海堤位置圖.....6-10
圖 6.10 雲林縣離島工業區海氣象觀測站位置圖 6-10
圖 6.11 THL1、THL2B 測站之月平均與月最大示性波高分佈 6-12
圖 6.12 雲林海域 YLCW 測站歷年之流速流向玫瑰圖.....6-13
圖 6.13 雲林海域 YLCW 測站歷年之平均流速與流向變化圖.....6-14
圖 6.14 雲林海域自計式潮波流儀施放點位示意圖 6-16
圖 6.15 雲林 W 站，2012 年 05/03～05/24 實測與預報水位變化圖 6-17
圖 6.16 雲林 W 測站，2012 年 05/03～05/24 底層流速與流向變化圖 6-18
圖 6.17 雲林 W 測站，2012 年 05/03～05/24 表層流速與流向變化圖 6-18
圖 6.18 雲林 W 測站，底、表層之海流玫瑰圖.....6-18
圖 6.19 雲林 W 測站，底層 U、V 分量海流無因次化能譜圖.....6-20
圖 6.20 雲林 W 測站，底層 U、V 分量之潮流、風驅流時序列圖..6-20
圖 6.21 雲林 W 測站，表層 U、V 分量海流無因次化能譜圖.....6-21
圖 6.22 雲林 W 測站，表層 U、V 分量之潮流、風驅流時序列圖..6-21
圖 6.23 雲林 W 測站，波浪波高、週期玫瑰圖.....6-22
圖 6.24 雲林 W 測站，波浪波高、週期時序列圖.....6-22
圖 6.25 通度係數 FAVOR 流體界面與自由液面計算示意圖.....6-26
圖 6.26 臺中港與麥寮港數值模擬海域範圍示意圖 6-27
圖 6.27 引用之潮位與基隆、蘇澳、高雄及馬公實測資料比較圖 ...6-28
圖 6.28 2011/6/10~6/15 麥寮港附近海域漲退潮流況分佈(擷選) 6-29
圖 6.29 麥寮港波場數值模擬海域範圍及計算網格示意圖 6-30

圖 6.30 麥寮港北向、南向入射波浪水面變化示意圖(擷選).....6-30
圖 6.31 北側入射波場底床最大流速(Vmax)分佈圖 6-32
圖 6.32 北側入射波場底床最大流速前十分之一平均(V1/10)分佈圖6-32
圖 6.33 北側入射波場堤頭附近底床 Vmax、V1/10 等位圖.....6-32
圖 6.34 西側入射波場底床最大流速(Vmax)分佈圖 6-33
圖 6.35 西側入射波場底床最大流速前十分之一平均(V1/10)分佈圖6-33
圖 6.36 西側入射波場堤頭附近底床 Vmax、V1/10 等位圖.....6-33
圖 6.37 南側入射波場底床最大流速(Vmax)分佈圖 6-34
圖 6.38 南側入射波場底床最大流速前十分之一平均(V1/10)分佈圖6-34
圖 6.39 南側海域入射波場堤頭附近底床 Vmax 、 V1/10 等位圖6-34
圖 6.40 臺中港海域 85~95 年實測地形水深圖 6-36
圖 6.41 臺中港海域 85~95 年間斷面 (Sec.05) 地形變化.....6-36
圖 6.42 雲嘉海域歷年海岸線變遷.....6-37
圖 6.43 雲林離島工業區海域 80~89 年實測地形水深圖 6-38
圖 6.44 雲林離島工業區海域 82~99 年間斷面 (Sec.05) 地形變化..6-39
圖 6.45 臺中港北防波堤堤頭水深地形監測範圍示意圖 6-40
圖 6.46 臺中港北防波堤堤頭水深測量等深線水深色階圖 6-41
圖 6.47 臺中港堤頭地形測量 100/5~101/5 侵淤變化色階圖 6-42
圖 6.48 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6-43
圖 6.49 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量等深線水深色階圖 6-44
圖 6.50 麥寮工業港堤頭地形測量 100/6~101/5 侵淤變化色階圖 6-45
圖 6.51 臺中港北防波堤堤頭附近地形等深線變化圖 (85~95 年) ...6-47
圖 6.51 (續)臺中港北防波堤堤頭附近地形等深線變化圖 (85~95 年)....
.....6-48

圖 6.52 臺中港北防波堤堤頭海域-25m 沖刷洞地形變化圖 (85~95 年). 6-48
圖 6.52 (續)臺中港北防波堤堤頭海域-25m 沖刷洞地形變化圖 (85~95 年) 6-49
圖 6.53 堤頭-25m 沖刷洞心堤距、面積、體積變動圖 6-50
圖 6.54 (續)麥寮港西防波堤堤頭附近地形等深線變化圖 (80~99 年).... 6-53
圖 6.54 (續)麥寮港西防波堤堤頭附近地形等深線變化圖 (80~99 年).... 6-54
圖 6.55 麥寮港西防波堤堤頭海域-35m 沖刷洞地形變化圖 (90~99 年). 6-55
圖 6.55 (續)麥寮港西防波堤堤頭海域-35m 沖刷洞地形變化圖(90~99 年) 6-56
圖 6.56 堤頭-35m 沖刷洞心堤距、面積、體積變動圖 6-57
圖 6.57 臺灣六大港海域歷年流速大於 50cm/sec 發生機率圖 6-60
圖 6.58 臺中港 2003~2009 年流速分佈發生機率圖 6-61
圖 6.59 麥寮港 2000~2010 年流速分佈發生機率圖 6-61
圖 6.60 麥寮港 YLCW 測站逐月淨流能量累積分佈圖 (2000~2010 年). 6-62
圖 6.61 麥寮港西堤堤頭-35m 沖刷洞變化與流能量累積分佈之對應關係圖 6-63
圖 6.62 實測海流徐爾滋數與波浪徐爾滋數分佈圖 6-64
圖 A.1 中央氣象局提供原始風場範圍圖.....附 1-2
圖 A.2 系統內風場輸出範圍圖.....附 1-2
圖 A.3 中央氣象局蘇拉颱風衛星雲圖(08/02 02:00).....附 1-4
圖 A.4 蘇拉颱風 8 月 2 日 2 時 RC 風場向量圖 .....附 1-5

圖 A.5　蘇拉颱風 8 月 2 日 2 時 MC 風場向量圖 ..... 附 1-5
圖 A.6a 泰利颱風路徑圖 ..... 附 1-7
圖 A.6b 泰利颱風衛星雲圖(2012-06-20-14:32)..... 附 1-8
圖 A.7a 杜蘇芮颱風路徑圖 ..... 附 1-9
圖 A.7b 杜蘇芮颱風衛星雲圖(2012-06-28-20:32)..... 附 1-10
圖 A.8a 蘇拉颱風路徑圖 ..... 附 1-11
圖 A.8b 蘇拉颱風衛星雲圖(2012-08-02-02:32)..... 附 1-12
圖 A.9a 海葵颱風路徑圖 ..... 附 1-13
圖 A.9b 海葵颱風衛星雲圖(2012-08-06-08:32)..... 附 1-14
圖 A.10a 啟德颱風路徑圖 ..... 附 1-15
圖 A.10b 啟德颱風衛星雲圖(2012-08-15-08:32)..... 附 1-16
圖 A.11a 天秤颱風路徑圖 ..... 附 1-17
圖 A.11b 天秤颱風衛星雲圖(2012-08-24-14:32) ..... 附 1-18
圖 A.12a 杰拉華颱風路徑圖 ..... 附 1-19
圖 A.12b 杰拉華颱風衛星雲圖(2012-09-28-08:32)..... 附 1-20

第一章 緒論

1.1 計畫緣起

災害管理是一個跨領域、跨單位的整合性工作，涉及許多政府相關權責單位，其內容包含規劃、計畫實施、預警、緊急應變、救助...等措施。災害管理可分成災前的減災、整備，災時的應變(或緊急應變)，以及災後的復原等四階段。同時由於各種災害特性的不同，所以災害管理的需求亦有差異。因此災害管理的目的，在於根據所蒐集的資料，利用各種災害模式進行不同之管理、分析及研判，包括災前的規劃、整備及監測方法、災害潛勢分析、危險度分析、風險評估、早期預警、損失評估、救災管理及災後復原重建規劃等等，以減少其不確定性及降低災害發生之可能；同時促使管理者或決策者，在充分掌握災情資訊的情況下，可制訂適當的災害防救規劃與相關措施，做出最佳的決策。

基於我國環境特性、當前災害防救工作進展尚未臻完備之情形，並為解決前述亟待加強改善之問題，行政院災害防救委員會國家災害防救科技中心 與相關部會署及學者專家在經過數次討論後，乃進一步初擬「建構全國災害管理平臺」構想，期能延續過去既有成果，強化災害防救能量，提升整體作業效能。

總目標：建立全國性之災害管理平臺，有效整合災害防救相關研發能量與資源，提升整體運作效能。針對環境與社會變遷下，依據平時減災、災前整備、災時應變及災後復建等階段之災害防救工作流程，整合部會署之研發能量與資源，強化各級政府縱(橫)向之資訊、資料流通交換，建構全國性之災害管理平臺，內容包括災害境況設定、潛勢分析、災損分析、社經發展推估、風險分析、脆弱度地圖製作、體系法規研修訂、資料流通交換機制...等項目，以提升整體運作效能。分項目標說明如下：

1.提升災害應變作業效能

考慮未來災害類別包括颱洪、坡地/土石流、乾旱及地震...等應變所需之環境監測及模擬分析能力，運用先進科技，研發監測與傳輸技術，以及相關模擬分析方法...等。

2.健全災害風險評估與災害管理體制

研擬包括全球氣候變遷、都市化及高齡少子化趨勢等環境與社會變遷下之災害防救因應對策，參考國外作法及考量國內情況，探討重要觀念與措施，研發所需方法技術與運作體制；強化災害風險管理效能，檢討國內外大規模天然與人為災害處理經驗，以及我國未來可能面臨境況，考量減災整備與應變復建工作之決策評估需求及法規體制改善，研發改善管理體制所需方法與技術。

3.強化災害防救資訊共通平臺，落實資源共享

銜接部會署既有平臺，強化資料庫及決策支援系統；持續蒐集建置基礎資料、落實轉化災害防救成果、擴充知識庫；引進應用先進設施，針對國內相關單位所產製災害防救資料之維護管理與使用分享，建置共通性之交流平臺。

4.加強防災知識傳播與溝通認知

強化災害防救專業人員的培育機制與教材編撰，促進決策者、媒體及社會大眾的溝通認知，提升災害防救素養。

緣此，為因應前述科技發展政策與防災施政需要，交通部運輸研究(以下簡稱本所)所乃依行政院災害防救委員會通過「第二期『強化災害防救科技研發與落實運作方案』－建構全國災害管理平臺」(正依程序報行政院核定)，整體方案之總目標、重點工作、研發課題、執行期程與規劃經費等項目，於 100-103 年規劃執行「海岸及道路災害防救科技發展」計畫，並進行之「海岸及港灣災害防救研究」及「道路及橋樑災害防救研究」之計畫目標，為強化颱風(道路坡地崩塌及斷橋等)、地震(交通重要設施損毀)及各種人為災害(如阿瑪斯油輪污染事件、華

航澎湖空難)應變期間，各種道路及海岸災害，指揮調度人員、設備，有效降低人員傷亡，以達迅速搶救之目標。

1.2 主要工作項目

本計畫為海岸及港灣災害防救研究分項計畫之一「整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究」研究計畫，分項計畫內主要工作目的包含如下：

1.提昇海岸及港灣海域波浪模擬技術之研究:

精進海岸及港灣地區之颱風波浪預警系統，提供環島藍色公路及港務局各港口航運安全之風浪預警資訊。

2.提昇海岸及港灣海域水位與海流模擬技術之研究:

考慮氣候變遷效應，精進海岸及港灣地區之颱風暴潮預警系統，提供海岸溢淹預警資訊。流場預警系統，迅速提供緊急海難、港口航運安全之資訊。

3.提昇海岸及港灣海嘯模擬技術與淹水潛勢分析:

海岸及港灣地區海嘯影響範圍、淹水潛勢分析與預警系統，提供溢淹模型與風險評估，據以作民眾防災自救知識及緊急逃生用。

4.港灣防波堤堤頭沖蝕特性及防制機制之研究:

探討主要港口防波堤堤頭附近海底地形侵蝕特性及防制機制，進行海岸及港灣堤頭附近海底地形侵蝕現況的量測與分析、數值模擬及工模型試，並提供港灣堤頭侵蝕防制工法，改善建議方案，俾提供施政及工程單位之參酌，以達到港灣正常營運與海岸永續發展利用的目標。

本研究擬以計畫執行期間，結合相關合作計畫研究，藉由國外的發展經驗，持續擴充建置一套適用於臺灣海域之近岸海象預報系統。

因此本計畫為以作業化方式整合海岸及港灣海域風浪、潮汐及海流模式、海嘯模式等，分年預計執行之工作內容說明如後：

1、 提昇海岸及港灣海域波浪模擬技術之研究

(1) 100 年：

i. 精進基隆港及臺北港波浪自動化預報模擬精度：風場(氣壓)及波浪等數值模式，每日 72 小時模擬及即時模擬資訊，颱風侵臺時期颱風波浪為研究重點。

ii. 基隆港及臺北港風場(氣壓)、波浪預報模式作業化成果評估，以港灣技術研究中心及氣象局現場觀測資料進行校驗及精度評估等工作。

iii. 基隆港及臺北港長期風場及波場模擬結果特性分析及兩港設計波高檢核。

iv. 建立基隆港及臺北港風浪模擬預警子系統，系統轉移港務局，並進行教育訓練。

v. 作業系統維護與資料分析，軟硬體的更新測試，預報成果與實測的差異性進行可能的檢討與改進，模式作業化環境的改善及維護。

vi. 利用過去所模擬的水位場進行分析檢討，以瞭解臺灣附近海域的水位特性，以作為下一年度計畫的準備。

(2) 本年度(101 年)：

i. 精進臺中港及布袋港波浪自動化預報模擬精度：風場(氣壓)及波浪等數值模式，每日 72 小時模擬及即時模擬資訊，颱風侵臺時期颱風波浪為研究重點。

ii. 臺中港及布袋港風場(氣壓)、波浪預報模式作業化成果評估，以港灣技術研究中心及氣象局現場觀測資料進行校驗及精度評估等工作。

iii. 臺中港及布袋港長期風場及波場模擬結果特性分析及兩港設計波高檢核。

iv. 建立臺中港及布袋港風浪模擬預警子系統，系統轉移港務局，並進行教育訓練。

v. 作業系統維護與資料分析，軟硬體的更新測試，預報成果與實測的差異性進行可能的檢討與改進，模式作業化環境的改善及維護。

vi. 考慮引進水位場至波浪預報中，並評估其可能引起的差異性，討論將分常時的天文潮位及颱風時期的天文潮位與暴潮。

vii. 利用過去所模擬的水流場進行分析檢討，以瞭解臺灣附近海域的水流特性，以作為下一年度計畫的準備。

(3) 102 年：

i. 精進高雄港及安平港波浪自動化預報模擬精度：風場(氣壓)及波浪等數值模式，每日 72 小時模擬及即時模擬資訊，颱風侵臺時期颱風波浪為研究重點。

ii. 高雄港及安平港港風場(氣壓)、波浪預報模式作業化成果評估，以港灣技術研究中心及氣象局現場觀測資料進行校驗及精度評估等工作。

iii. 高雄港及安平港長期風場及波場模擬結果特性分析及兩港設計波高檢核。

iv. 建立高雄港及安平港風浪模擬預警子系統，系統轉移港務局，並進行教育訓練。

v. 作業系統維護與資料分析，軟硬體的更新測試，預報成果與實測的差異性進行可能的檢討與改進，模式作業化環境的改善及維護。

vi. 引進水流場至波浪預報中，並評估其可能引起的差異性，討論將分常時的天文潮位及颱風時期的天文潮位與暴潮。

(4) 103 年：

i. 精進蘇澳港及花蓮港波浪自動化預報模擬精度：風場(氣壓)及波浪等數值模式，每日 72 小時模擬及即時模擬資訊，颱風侵臺時期颱風波浪為研究重點。

ii. 蘇澳港及花蓮港風場(氣壓)、波浪預報模式作業化成果評估，以港灣技術研究中心及氣象局現場觀測資料進行校驗及精度評估等工作。

iii. 蘇澳港及花蓮港長期風場及波場模擬結果特性分析及兩港設計波高檢核。

iv. 建立蘇澳港及花蓮港風浪模擬預警子系統，系統轉移港務局，並進行教育訓練。

v. 作業系統維護與資料分析，軟硬體的更新測試，預報成果與實測的差異性進行可能的檢討與改進，模式作業化環境的改善及維護。

vi. 針對近岸波浪預報部分(包含港區的波浪預報)進行檢討，並尋求其他可能的替代方案，或資料庫的建置。

2、 提昇海岸及港灣海域水位與海流模擬技術之研究

(1) 100 年：

i. 精進基隆港及臺北港水位及流場自動化預報模擬精度：水位及流場等數值模式，每日 72 小時模擬及即時模擬資訊，颱風侵臺時期颱風暴潮為研究重點。

ii. 基隆港及臺北港水位及流場預報模式作業化成果評估，以港灣技術研究中心及氣象局現場觀測資料進行校驗及精度評估等工作，含潮位站觀測資料分析。。

iii. 基隆港及臺北港長期水位及流場模擬結果特性分析及兩港設計水位檢核。

iv. 建立基隆港及臺北港水位及流場模擬預警子系統，系統轉移港務局，並進行教育訓練。

v. 評估模擬範圍減小的可行性。

(2) 本年度(101 年)

i. 精進臺中港及布袋港水位及流場自動化預報模擬精度：水位及流場等數值模式，每日 72 小時模擬及即時模擬資訊，颱風侵臺時期颱風暴潮為研究重點。

ii. 臺中港及布袋港水位及流場預報模式作業化成果評估，以港灣技術研究中心及氣象局現場觀測資料進行校驗及精度評估等工作，含潮位站觀測資料分析。。

iii. 臺中港及布袋港長期水位及流場模擬結果特性分析及兩港設計水位檢核。

iv. 建立臺中港及布袋港水位及流場模擬預警子系統，系統轉移港務局，並進行教育訓練。

v. 評估模擬範圍減小的可行性。

(3) 102 年：

i. 精進高雄港及安平港水位及流場自動化預報模擬精度：水位及流場等數值模式，每日 72 小時模擬及即時模擬資訊，颱風侵臺時期颱風暴潮為研究重點。

ii. 高雄港及安平港水位及流場預報模式作業化成果評估，以港灣技術研究中心及氣象局現場觀測資料進行校驗及精度評估等工作，含潮位站觀測資料分析。。

iii. 高雄港及安平港長期水位及流場模擬結果特性分析及兩港設計水位檢核。

iv. 建立高雄港及安平港水位及流場模擬預警子系統，系統轉移港務局，並進行教育訓練。

v. 評估模擬範圍減小的可行性。

(4) 103 年：

i. 精進蘇澳港及花蓮港水位及流場自動化預報模擬精度：水位及流場等數值模式，每日 72 小時模擬及即時模擬資訊，颱風侵臺時期颱風暴潮為研究重點。

ii. 蘇澳港及花蓮港水位及流場預報模式作業化成果評估，以港灣技術研究中心及氣象局現場觀測資料進行校驗及精度評估等工作，含潮位站觀測資料分析。。

iii. 蘇澳港及花蓮港長期水位及流場模擬結果特性分析及兩港設計水位檢核。

iv. 建立蘇澳港及花蓮港水位及流場模擬預警子系統，系統轉移港務局，並進行教育訓練。

v. 評估模擬範圍減小的可行性。

3、 提昇海岸及港灣海嘯模擬技術與淹水潛勢分析

(1) 100 年：

i. 臺灣鄰近海域或遠區海域(如太平洋)之可能發生海嘯隱沒帶、斷層等資料蒐集及分析。

ii. 精進基隆港及臺北港海嘯數值模式之格林函數，評估港區影響可能範圍及危險程度之潛勢分析。

iii. 建立基隆港及臺北港海嘯之溢淹模型，模擬計算受不同高度的海嘯侵襲時之溢淹區域範圍。

iv. 建立基隆港及臺北港海嘯模擬預警子系統，系統轉移港務局，並進行教育訓練。

(2) 本年度(101 年)

i. 自動擷取太平洋海嘯預警中心(Pacific Tsunami Warning Center)或是 USGS 網站地震資料。建立自動化資料擷取系統之視窗化操作介面，整合成海嘯查詢系統。

ii. 精進臺中港及布袋港海嘯數值模式之格林函數，評估港區影響可能範圍及危險程度之潛勢分析。

iii. 建立臺中港及布袋港海嘯之溢淹模型，模擬計算受不同高度的海嘯侵襲時之溢淹區域範圍。

iv. 建立臺中港及布袋港海酵模擬預警子系統，系統轉移港務局，並進行教育訓練。

(3) 102 年：

i. 精進高雄港及安平港海嘯數值模式之格林函數，評估港區影響可能範圍及危險程度之潛勢分析。

ii. 建立高雄港及安平港海嘯之溢淹模型，模擬計算受不同高度的海嘯侵襲時之溢淹區域範圍。

iii. 建立高雄港及安平港海嘯模擬預警子系統，系統轉移港務局，並進行教育訓練。

(4) 103 年：

i. 精進蘇澳港及花蓮港海嘯數值模式之格林函數，評估港區影響可能範圍及危險程度之潛勢分析。

ii. 建立蘇澳港及花蓮港海嘯之溢淹模型，模擬計算受不同高度的海嘯侵襲時之溢淹區域範圍。

iii. 建立蘇澳港及花蓮港海嘯模擬預警子系統，系統轉移港務局，並進行教育訓練。

4、 港灣防波堤堤頭沖蝕特性及防制機制之研究

(1) 100 年：

i. 防波堤堤頭附近海底地形侵蝕的文獻收集與分析。

ii. 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。

iii. 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。

iv. 數值模式 Flow-3D 的測試,地形與結構物等邊界構件的建立。

(2) 本年度(101 年)

i. 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。

ii. 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。

iii. 波場數值模擬：Flow-3D 的參數率定與驗證，地形與結構物等邊界構件的更新。

iv. 流場數值模擬：Flow-3D 的參數率定與驗證，地形與結構物等邊界構件的更新。

v. 水工模型試驗的規畫。

(3) 102 年：

i. 波場作用下防波堤堤頭附近地形變化的數值模擬：Flow-3D 的參數率定與驗證

ii. 流場作用下防波堤堤頭附近地形變化的數值模擬：Flow-3D 的參數率定與驗證

iii. 波場或流場作用下防波堤堤頭附近地形變化的水工模型試驗

iv. 防波堤堤頭侵蝕防制工法研擬

(4) 103 年：

i. 堤頭侵蝕防制工法的數值模擬：Flow-3D

ii. 堤頭侵蝕防制工法的水工模型試驗

iii. 堤頭侵蝕防制工法的數值模擬與水工模型試驗比對驗證

iv. 堤頭侵蝕防制工法的數值模擬：Flow-3D 參數率定

1.3 研究計畫內容

在先期研究中參考各國近海海象預報系統的發展狀況，本計畫在以往研究期程已規劃完整的臺灣環島海象預報系統-TaiCOMS (Taiwan Coastal Operational Modeling System)，包括觀測網的架設、觀測資料即時監測、數值預報模式的建立、模式驗證及海氣象資料庫的整合等，原規劃系統架構如圖 1.1 所示。

目前 Taicoms 系統已經完全移轉在本中心執行，並逐步配合本所『港灣環境資訊網』展示相關數值成果，並建置及維護一個關聯式資料庫管理系統所構成的海情資料庫，以彙整主要商港現場觀測及數值模擬計算所得之港區附近海域海象預報資訊。故目前海象模擬作業化系統架構已調整成如圖 1.2 所示。

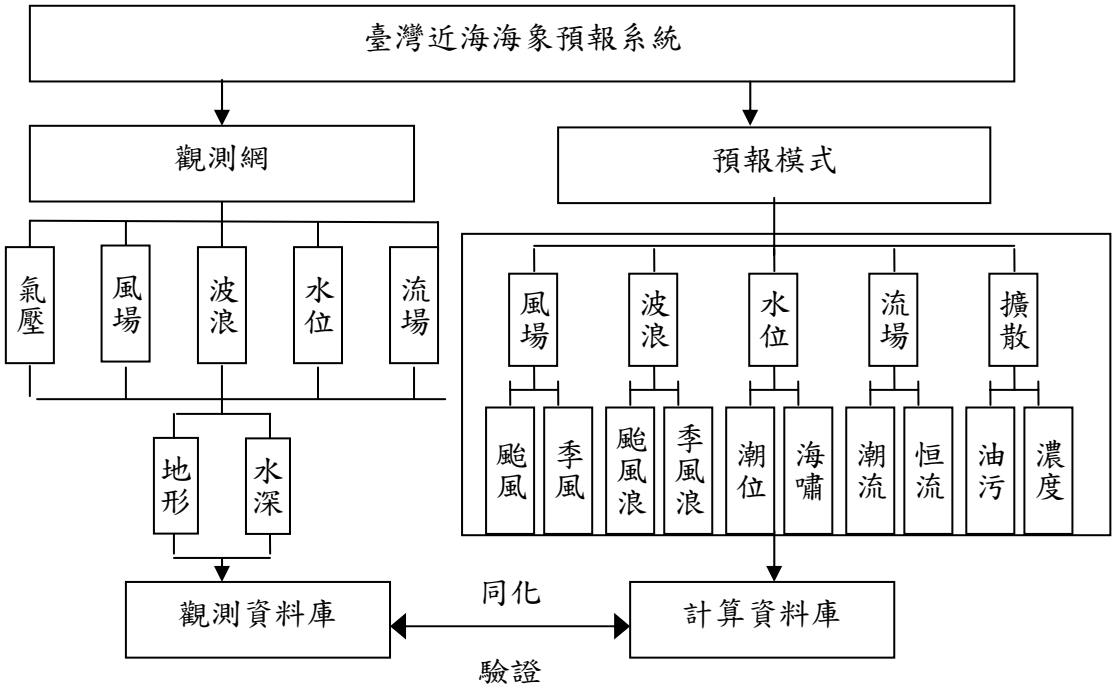


圖 1.1 臺灣近海海象預報系統架構圖

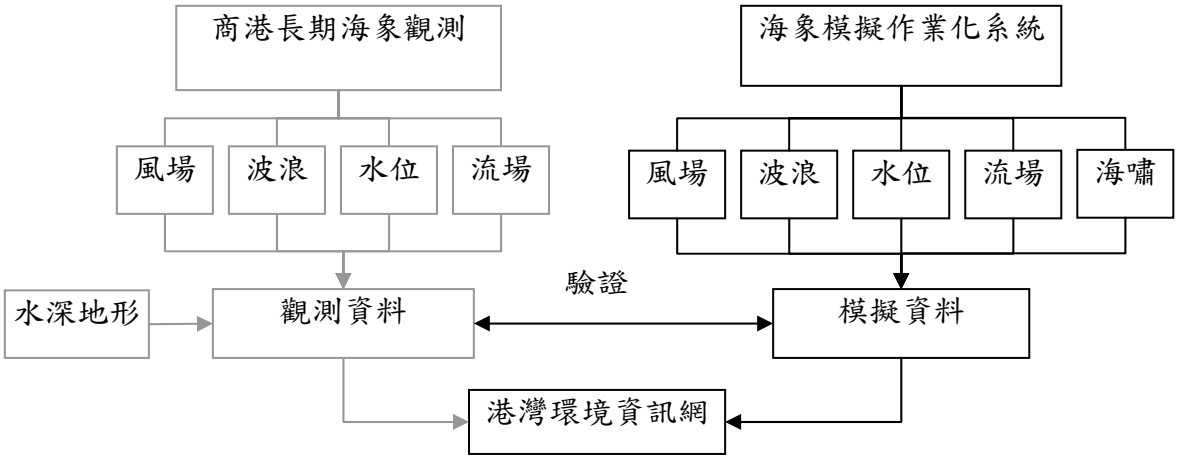


圖 1.2 海象模擬作業化系統整體架構圖

預報為觀測最重要的目標，而觀測為預報系統建立之基礎。過去幾年本中心在國內主要商港之即時海氣象觀測網已建置完成，歷年建置之海氣象資料庫內容豐富，海氣象資料及分析結果，除提供各港務局與其他公民營機構參考應用，並提供本計畫預報模式比對，以提昇預警精度。觀測網路部分預計可以得到的觀測資料為地形、水深、氣壓、颱風、風場(風速、風向)、波場(波高、週期及波向)、水位(天文潮位、暴潮位)及流場(流速、流向)等現場資料，多數已經同步連線回傳整理後統一輸入資料庫中以便未來提供查詢及模式的應用。

本所預報模式發展方面，為適用各種海象條件，前期整合規劃建置多種預報模式，包含了風場、波浪、水位、流場、擴散等模擬，其中風場的模擬包含了季風及颱風，同樣波浪的模擬包含了季風波浪及颱風波浪，水位的模擬則包含天文潮位、暴潮位潮位及地震產生之海嘯，海流的模擬則包含天文潮流、風驅流(暴潮流)等，擴散包含油汙擴散等。本計畫內為延續以往研究計畫並完成現階段實際可行作業方式，以計畫執行期間，結合相關合作計畫研究，持續擴充建置一套適用於臺灣海域之近岸海域防救災預報系統，包含風浪、潮汐、海流、海嘯模式，海象模擬作業化流程為圖 1.3 所示，相關模式架構圖如圖 1.4 所示。

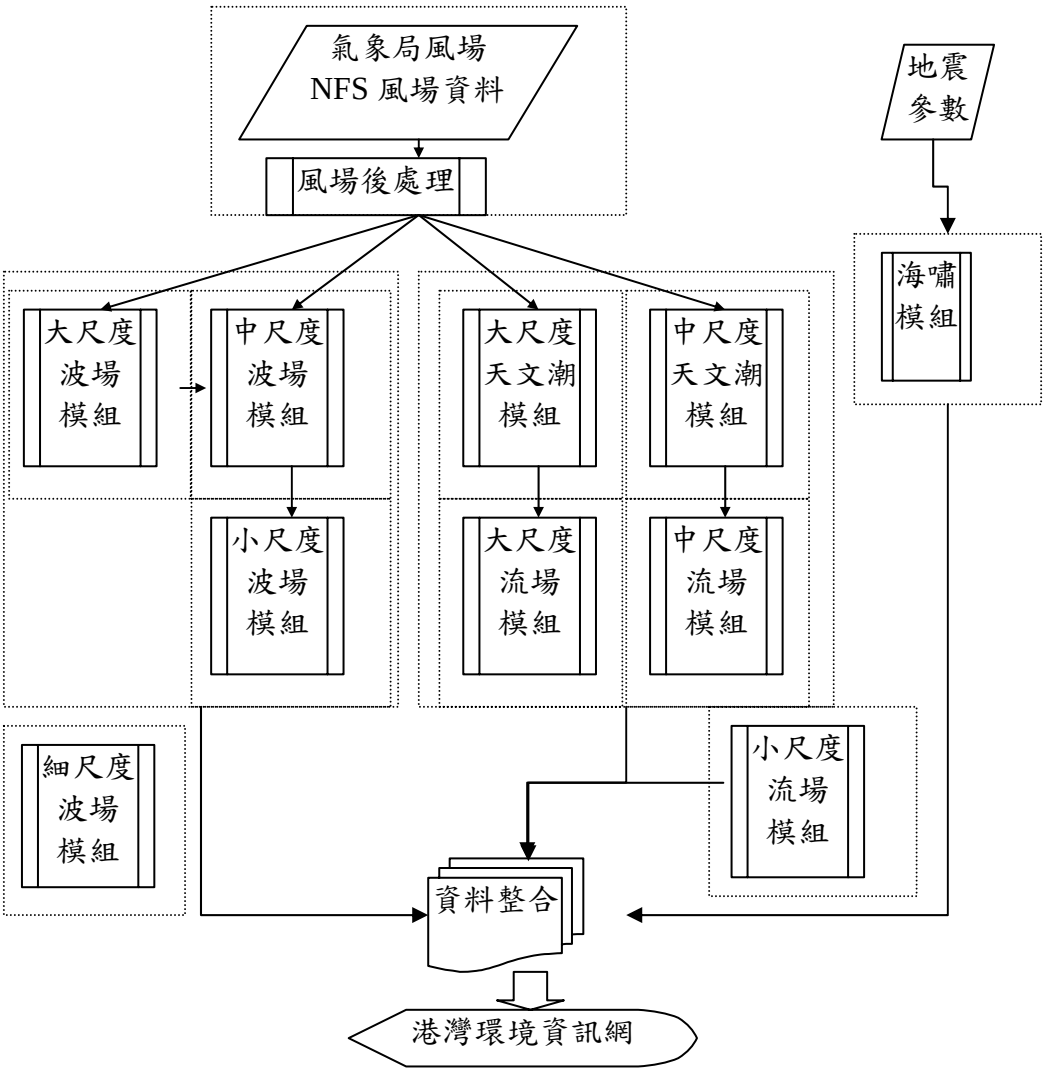


圖 1.3 海象模擬作業化系統流程圖

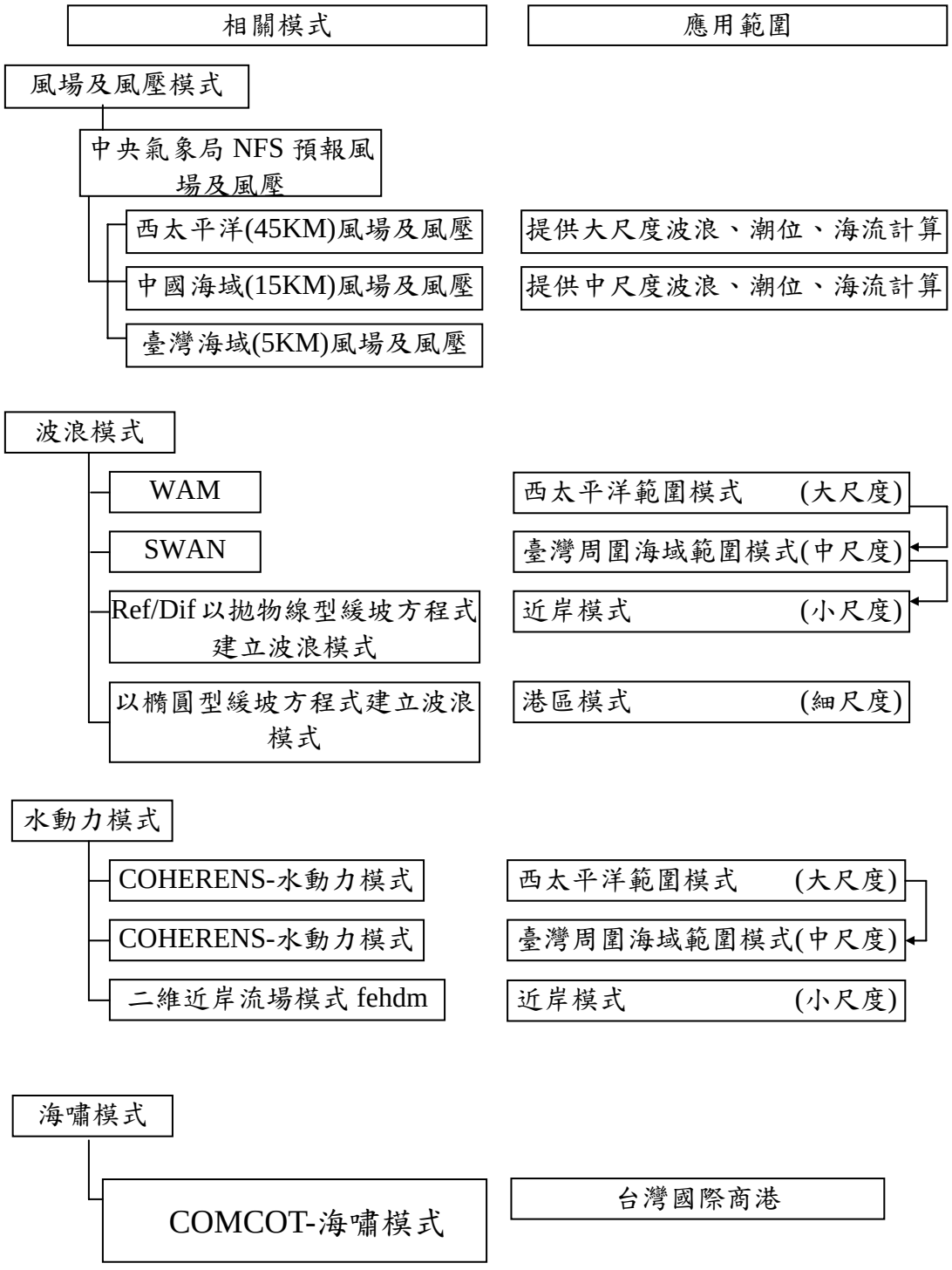


圖 1.4 海象模擬作業化系統下相關模式架構圖

1.4 本年度研究成果

本計作業化系統已實際運作於本所內部執行並配合本中心港灣環境資訊網站對外展示數值成果。本年度計畫主要研究成果

1. 本計畫在近海海象預報模擬系統的預報時間已能夠在完整取得中央氣象局提供風場及氣壓場預報後 5 小時之內完成大尺度及中尺度預報。包括風場(氣壓)、波浪、水位及流場等數值模式建置及自動化預報系統作業。

2. 風場方面：計畫內不執行風場的預報模擬，平時及颱風期間主要引用中央氣象局 NFS 海上風場模式配合風浪及水動力模式需求內插後所產生的全域預報風場及氣壓場，並長期進行各港區風場(氣壓)預報模式作業化成果評估。

3. 波浪模式方面:擴大中尺度風浪模式(SWAN)等提供將金門及馬祖等離島海面納入 TaiCOMS 風浪作業化模擬對象，完成建置臺中港及布袋港小尺度波浪模式作業化，並長期進行各港區波浪預報模式作業化成果評估。

4. 水位及海流模式方面：維護評估已建置大尺度及中尺度的全域環島作業化水動力模式，完成建置臺中港及布袋港小尺度波浪模式作業化並長期進行各港區水位及海流預報模式作業化成果評估。初步完成中尺度臺灣周圍海域範圍暴潮模式之建置，並以中區域 MC 預報風場及氣壓場資料為輸入條件，針對本年度發生的侵臺颱風模擬颱風引起的暴潮水位偏差。

5. 海嘯模式方面：精進臺中港域及布袋港域海嘯數值模式之格林函數，達到減少系統檔案大小並增進系統運算速度；並與港灣環境資料庫進行整合以達全自動化操作需求。

6. 配合本中心港灣環境資訊系統需求，協助建立海象模擬預報網頁，平時提供各港區(基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、

布袋港、臺中港、布袋港、澎湖)，包含風場、波浪、水位及流場等本系統可提供海象資訊，以供各港務局港口船舶交通航運安全及各相關單位參考使用。

7. 臺中港與麥寮港防波堤鄰近海域的地形侵於狀態，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。此現象反應出二處防波堤之堤頭沖蝕現象，主因可能為潮流所致。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。

第二章 海象模擬作業化系統

2.1 海象模擬作業化系統架構

臺灣近岸海象預報系統-TaiCOMS (Taiwan Coastal Operational Modeling System)，主要內容為包括臺灣近岸海象數值預報系統作業化的發展建置及與現場觀測資料比對驗證，本章節就本中心海象模擬作業化整體架構上說明。

近年主要研究目標為國內主要港灣近岸波潮流之預警精度及作業化功能改進。模式現階段發展方面，風場及氣壓場由中央氣象局提供即時預報資訊，而各項本土化波浪模式、水位模式、流場模式及海嘯模式，已推算應用於國內主要港口，並進行長期持續性模式校驗。研究目標為透過作業化預報模擬系統持續性驗證及校調近岸及港域模式，其作業化系統流程圖及架構圖如圖 2.1 及 2.2 所示。

本作業化系統最重要的工作便是提供臺灣主要港區每日 72 小時模擬(昨日、今日、明日)的風場、波浪、水位及海流資訊供使用者參考，目前已建置線上作業模式可參酌第三章至第四章，而大尺度及中尺度波浪及水動力模組作業化內大尺度及中尺度相關數值網格範圍間距如表 2-1a 及表 2-1b 所示，其大尺度及中尺度涵蓋範圍如圖 2.3 所示。

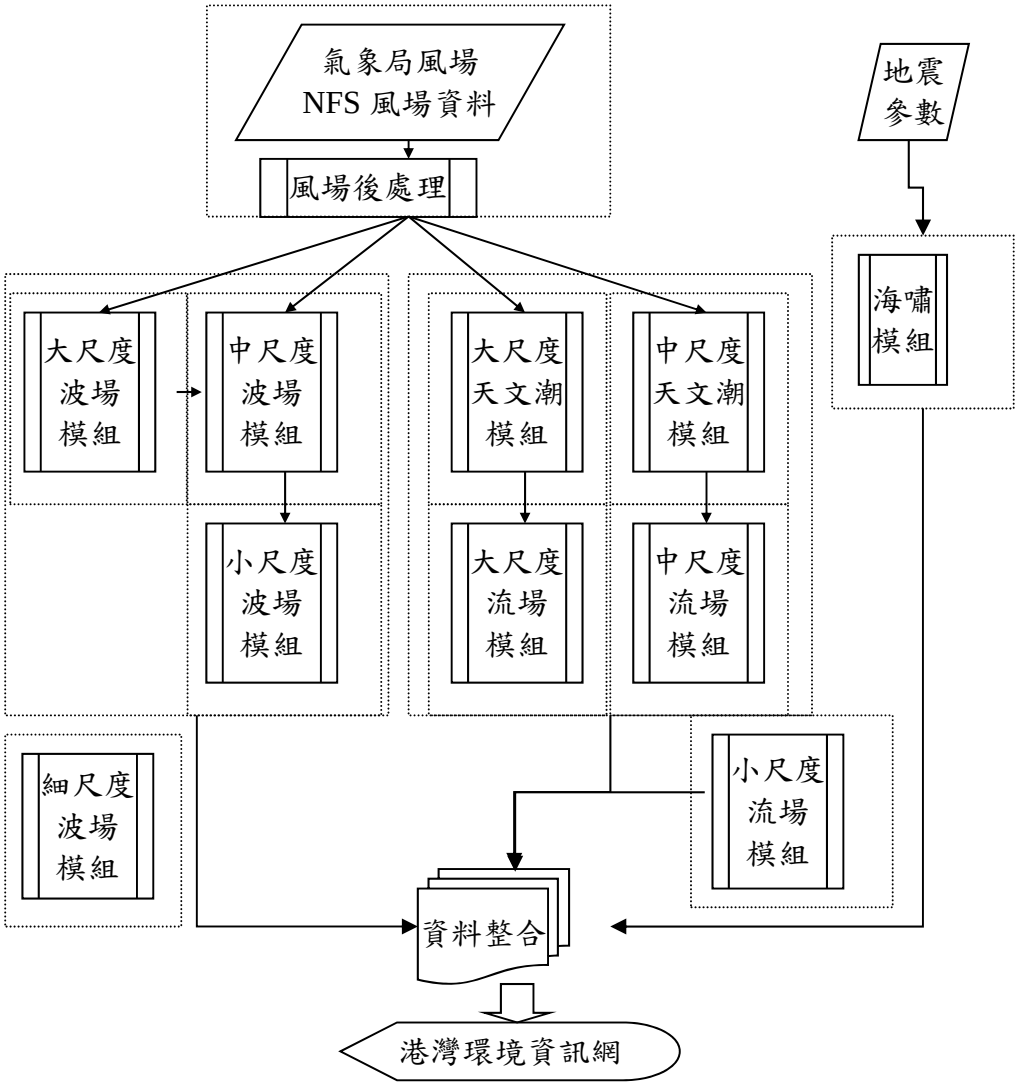


圖 2.1 海象模擬作業化系統流程圖

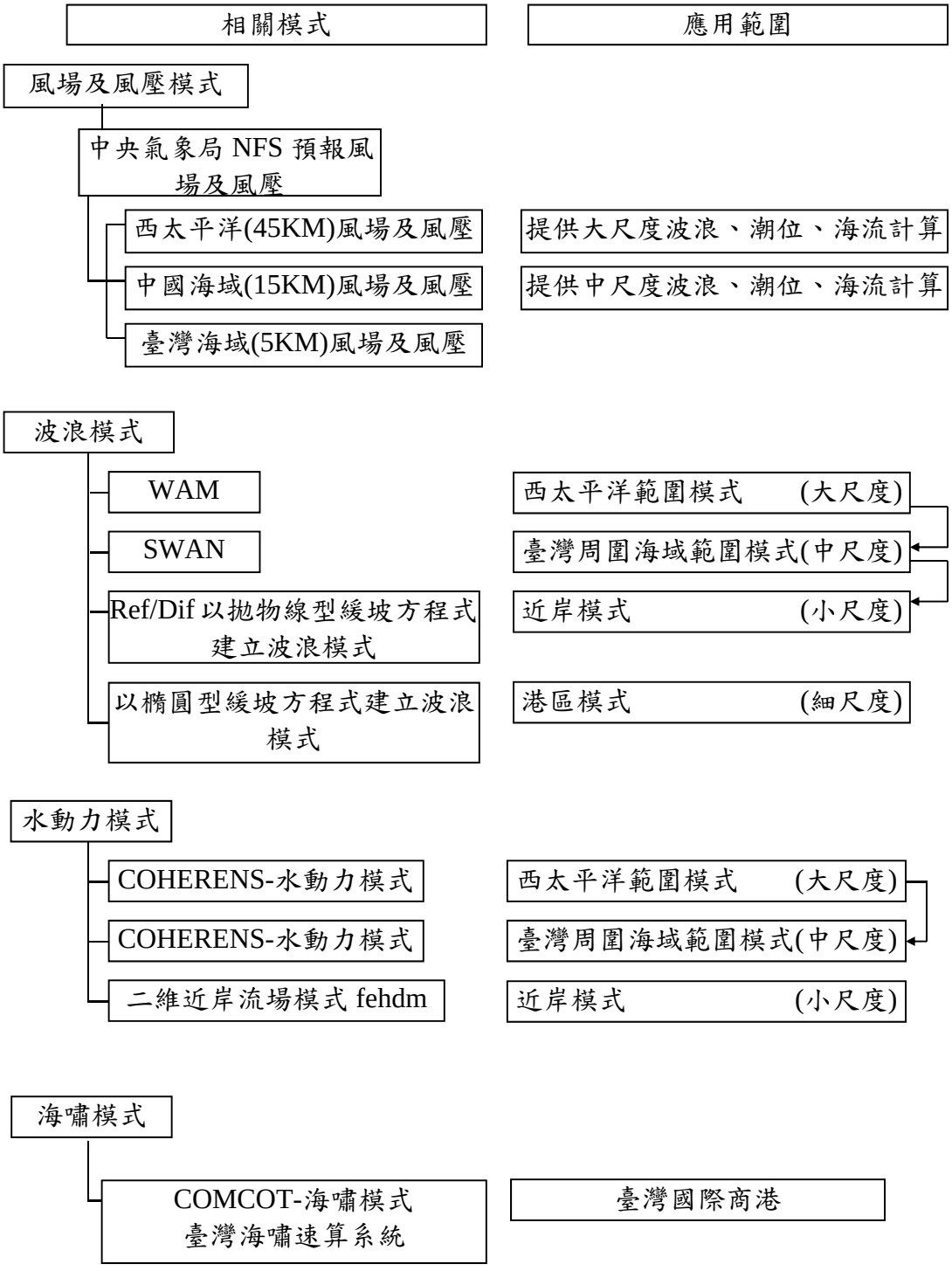


圖 2.2 海象模擬作業化系統下相關模式架構圖

1 波浪模式作業系統簡述

波浪模式系統共規劃四種尺度的範圍，包括西太平洋範圍(遠域)、臺灣周圍海域範圍(近域)、近岸海域範圍及港域範圍，以期將臺灣海域所有可能預報的的波浪狀況包含在其中。以下分別就各推算範圍的相關資料進行說明：

(一) 遠域波浪推算：以西太平洋海域為範圍，屬於大尺度的推算，其目的是希望得到較佳的近域波浪推算邊界參考輸入值，同時也考慮能涵蓋各種侵臺的颱風路徑。主要應用 WAM(WAve Model) 的波浪推算模式，與中央氣象局每日預報之動態風場結合。其模擬範圍由北緯 10°至 35°，東經 110°至 134°，數值計算格網解析度為 0.2°×0.2°(12 分網格)。

(二)近域波浪推算：指的是臺灣周圍海域模式範圍，屬於中尺度的推算，此部分模擬則可以提供近岸範圍模式的邊界條件，主要應用波浪推算模式採用以荷蘭 Delft 大學發展的近海風浪模式 SWAN(Simulating WAves Nearshore)做為基礎並以適合臺灣海域的模式參數改善。近域波浪推算的輸入邊界條件是以巢狀計算的觀念，自遠域浪推算結果中擷取近域波浪推算範圍的邊界，與中央氣象局每日預報之動態風場結合。其模擬範圍由北緯 21°至 27°，東經由 117°至 123°，數值計算格網解析度為 0.04°×0.04°(2.4 分網格)。

(三)近岸波浪推算：小尺度的近岸區域模式系統，主要應用 Kirby and Dalrymple (1983)依據拋物線型緩坡方程式所發展的波浪折、繞射模式(REF/DIF，波浪折繞射模式)，此模式的輸入邊界條件係承接近域波浪推算的結果，並依據各個商港地區不同特性來規劃計算範圍。

(四)港域波浪推算：細尺度的近岸區域模式系統，所使用的模式是以橢圓型緩坡方程式為基礎的有限元素法數值模式。本範圍的推算依據個各商港地區不同特性來規劃計算範圍，但由於模式特型及

執行時間的考量並未直接進行預報模式計算，而是發展成後續應用驗證模式。

2 水動力模式作業系統簡述

水動力模式系統共規劃三種尺度的範圍，包括西太平洋範圍(遠域)、臺灣周圍海域範圍(近域)、近岸海域範圍，以期將臺灣海域所有可能預報的的潮位、海流狀況包含在其中。以下分別就各推算範圍的相關資料進行說明：

(一) 遠域水動力推算：以西太平洋海域為範圍，屬於大尺度的推算。主要應用歐盟發展的模式 COHERENS (COupled Hydrodynamical Ecological model for REgioNal Shelf seas)作為水位及海流的計算工具，並配合發展適合臺灣海域颱風作用的颱風模式及參數率定，與中央氣象局每日預報之動態風場結合，成為本土化應用之潮汐及風暴潮複合動力模式。本計畫大尺度模式又稱為西太平洋模式，其模擬範圍為北緯 15°至 42°，東經 105°至 150°，數值計算網格大小為 10′×10′(10 分網格)。

(二)近域水動力推算：指的是臺灣周圍海域模式範圍，屬於中尺度的推算，主要應用歐盟發展的模式 COHERENS 作為水位及海流的計算工具，並配合發展適合臺灣海域颱風作用的颱風模式及參數率定，與中央氣象局每日預報之動態風場結合，成為本土化應用之潮汐及風暴潮複合動力模式，臺灣環島二維水位及海流模式，此部分為水深平均流速，主要驅動力為潮汐及風驅流，並無洋流的輸入。本計畫中尺度模式又稱為臺灣海域模式，其模擬範圍為北緯 21°至 26.5°，東經 116.5°至 125°，數值計算網格大小為 1′×1′(1 分網格)。

(三)近岸水動力推算：小尺度的近岸區域模式系統，主要應用的各港區近岸水動力模式則採用二維有限元素水動力模式 fehdm(有限元素水動力模式)，並依據各個商港地區不同特性來規劃計算範圍，各港口模擬範圍之選取主要以各港口為中心，配合海岸線及地形水深變化進行規劃，離岸之開放邊界則儘量與海岸線平行。基於此，

本計畫各港口水動力模式模擬範圍大小在沿岸方向約介於 20km～30km 之間，離岸距離在各港口約介於 10km～15km 之間。

3 海嘯模式作業系統簡述

由美國康乃爾大學之 COMCOT(COrnell Multigrid COupled Tsunami model)海嘯模式及利用互逆格林函數計算方式，建立海嘯波高資料庫，利用 Matlab 軟體撰寫而成之介面以及遠端擷取之功能，可結合為一「臺灣海嘯速算系統」，其可模擬地震發生區域範圍包含環太平洋地震帶，波高資料庫涵蓋國內各重要港口。透過作業化整合建置提供海嘯預警資訊。

表 2-1a 中央氣象局風場 NFS 風場資料格式

DMS FLAP	座標系統	DIMESION	RESOLUTION	格點位置
RC	Lambert conformal mapping	221*127	45KM	Center(120E), true(10N,40N) 座標(114,71)位置位於(30N,120E) 底圖 左下點(-5.34068N,77.91867E) 右上點(42.92812N,180.2034E)
MC	Lambert conformal mapping	181*193	15KM	Center(120E), true(10N,40N) 座標(76,148)位置位於(30N,120E) 底圖 左下點(9.28194N,109.7727E) 右上點(35.26665N,137.7342E) 座標(1,1)對應至 45KM MESH 之(89,22)座標位置
HC	Lambert conformal mapping	91*121	5KM	Center(120E), true(10N,40N) 座標(28,199)位置位於(30N,120E) 底圖 左下點(20.78609N,118.6597E) 右上點(26.33824N,123.2724E) 座標(1,1)對應至 15KM MESH 之(67,82)座標位置

表 2-1b 作業系統內大尺度及中尺度風、波及流場資料格式

	模式	DIMESION	模式格網	格點位置
風場	採用 NFS 之 RC 風場內插	307*211	1/6 度 =0.166667	底圖 左下點(0N,99E) 右上點(35N,150E)
	採用 NFS 之 MC 風場內插	301*301	1/12 度 =0.083333	底圖 左下點(10N,110E) 右上點(35N,134E)
波場	西太平洋範圍模式(WAM 模式)	121*126	0.2 度 (約 20 公里)	底圖 左下點(10N,110E) 右上點(35N,134E)
	臺灣周圍海域波浪模式(SWAN 模式)	101*126	0.04 度 (約 5 公里)	底圖 左下點(21N,119E) 右上點(26N,123E)
流場	西太平洋海域複合潮模式 COHERENS 模式)	541*325	1/12 度 =0.083333	底圖 左下點(15N,105E) 右上點(42N,150E)
	臺灣海域複合潮模式(COHERENS 模式)	511*331	1/60 度 =0.016667	底圖 左下點(21N,116.5E) 右上點(26.5N,125E)

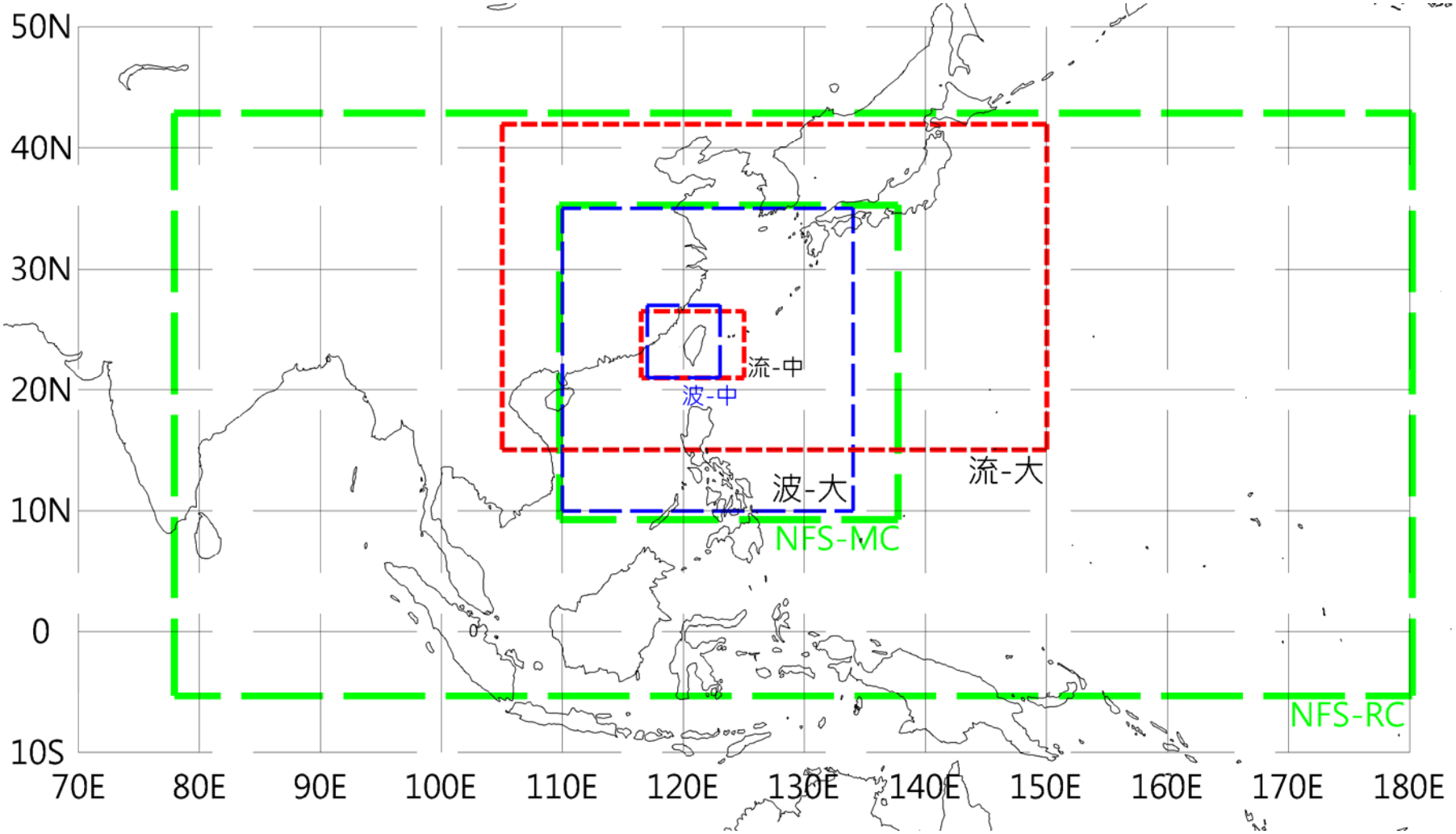


圖 2.3 主要模式涵蓋範圍

2.2 作業化流程

本系統之表面風場及氣壓資訊來源為接收中央氣象局每日 0 時及中午 12 時發布預報資訊為主，由於本系統氣象預報從取得資料至數值模擬完成並提供港灣環境資訊系統仍需數小時，為考量模擬計算預報的時效性,目前彙整前兩日發布的預報資料合成為72小時(昨日、今日、明日)作為本系統主要外力之氣象資料，因此可保留資料傳輸時間與減少因氣象局有時會發生少許氣象資料缺失而導致整體作業無法運作困擾。

本系統每日凌晨 3 時進行該日模擬計算，首先下載氣象資料，而後解碼重整及內插產出後續模式所需風場及氣壓場後，隨即開始進行各模式的計算作業，全部模擬結果會於上午 7 時以前完成並立即進行圖表製作及彙整固定資料夾，於每日 8 時由港灣環境資訊系統更新海象模擬資訊網頁，整體作業時間流程如圖 2.4 所示。現階段環境以達到若氣象資料取得後，已可約 5 小時內完成相關作業。

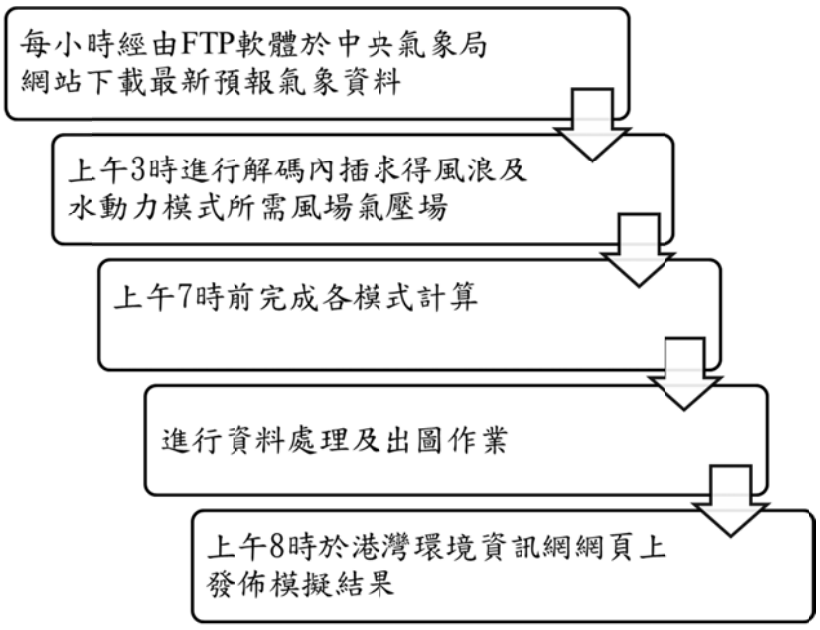


圖 2.4 海象模擬系統作業時間流程

系統每日線上作業每次模擬時間範圍為三天（72 小時，昨日、今日、明日），其中包含 24 小時追算模擬（模擬結果可與本所海象即時觀測系統資料比對展示以便使用者判斷本日模擬作業結果之可信度）及 48 小時預測模擬計算（僅提供模式計算結果）。圖 2.5 為作業流程範例圖，以 1 月 1 日及 1 月 2 日兩日模擬作業說明，1 月 1 日 8 時發佈的現報資料時間為 12 月 31 日 0 時至 1 月 3 日 0 時，此時會將 1 月 1 日 0 時的計算結果存檔，以作為 1 月 2 日的計算起始點(warm start data)，如此便可以直接將每日的氣象條件引入模式進行計算，無需重新啟動模式，因此可模擬時間不間斷的波浪、水位及潮流結果。該做法兼具作業化的考量與實際物理問題層面，會比模式重新計算每日海象模擬來的更具實質意義。

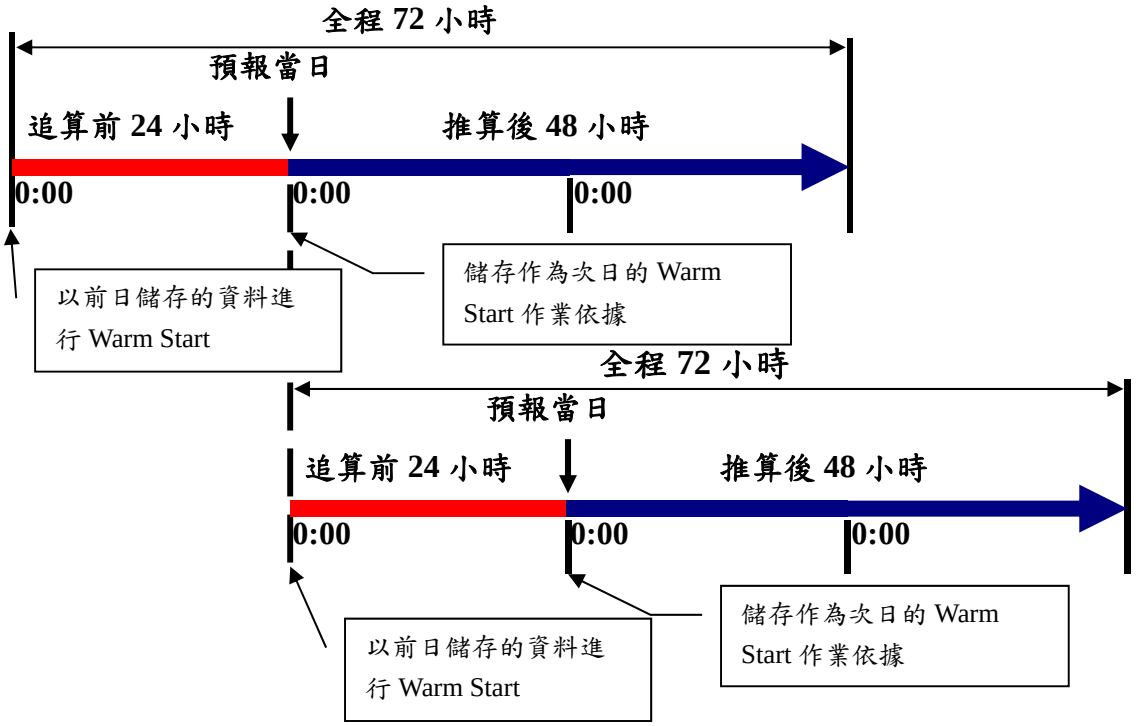


圖 2.5 海象數值模擬系統兩日作業流程範例圖

有關海象模擬作業化預報成果的評估分析主要分成兩個部份：其一為在本計畫駐點專案助理配合每日的預報作業彙整資料，並以月為單位整理相關報表，其二對於颱風的特殊事件則另建置分析報表進行評估。相關報表均亦放置於 FTP 網站提供計畫內參與人員下載評估及討論，並可瞭解臺灣環島主要港區近岸之風、波浪、潮、流的特性。

有關計畫成果的評估，今年度主要以海象大尺度及中尺度預報系統的推算成果評估為主，小尺度(基隆港及臺北港)波浪及海流部分，因從 8、9 月後才陸續完成作業化建置，僅就模式成果驗證說明。整體成果評估目前所採用為系統每天的預報資料,並彙整本中心的觀測資料，製作標準資料檔，包括風場、波場、水位場及流場等進行評估作業。本年度風力及波浪季評估報告及颱風期間評估報告成果彙集成專冊－2012 年海象作業化預報成果(風力及波浪部份)。而水位及海流季評估報告及颱風期間評估報告成果彙集成專冊－2012 年海象流作業化預報成果(水位及海流部份)。

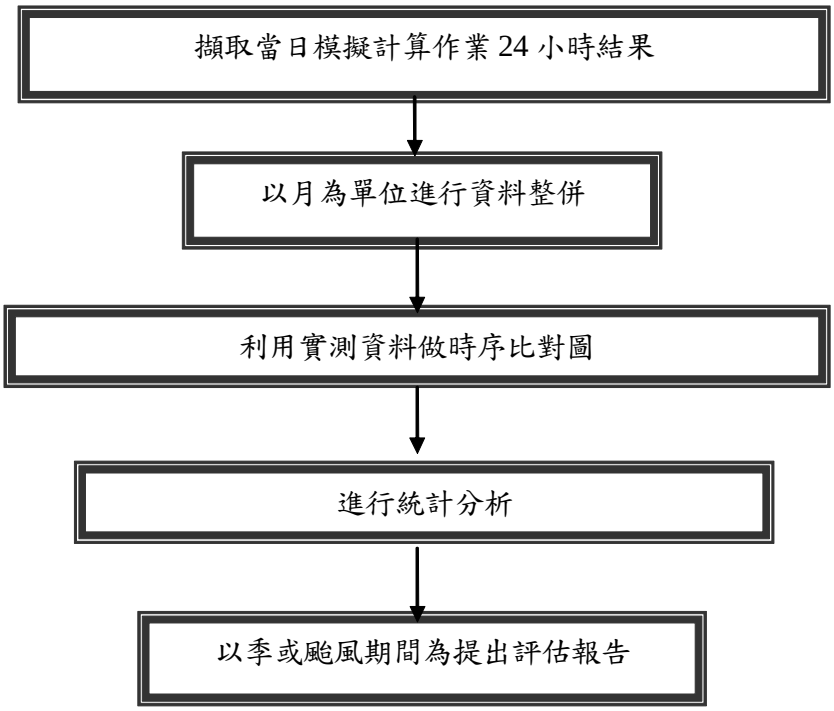


圖 2.6 海象數值系統線上作業成果評估流程

2.1.1 系統資料格式及應用軟體

海洋科學研究領域，常見以不同資料格式來處理其各類型資料如GRIB（GRidded In Binary）、NetCDF（Network Common Data Form）與 HDF（Hierarchical Data Format）等格式。GRIB 與 NetCDF 是一種跨平臺、自我描述格式的檔案，GRIB 多用於氣象科學領域（如 NCEP Global Tropospheric Analyses Wind Field），NetCDF 則普遍用於海洋氣象科學領域的觀測與數值模式輸出（如 COADS project data sets, NOAA World Ocean Atlas），HDF 則為 MODIS 衛星影像及 QuickSCAT 衛星風場格式。

本系統彙整相關模式資訊時，最常面臨的問題為各模式間資料格式複雜性，如中央氣象局所提供風場為 GRIB 格式則須利用 wgrib 軟體解碼使用，而波場模式及流場則產生一般文字檔(ASCII 格式)但隨模式產生資料格式均不相同，並且一般文字檔檔案過大不易長期備份及使用，因此仍須調整成制式二進位檔案較為便利及可供後續使用，於是整體系統資料現階段除非結構性網格檔案外統一調整成 NetCDF 格式。

整體作業流程在大尺度及中尺度包含風、波浪、水位、海流部分與有關小尺度波浪部分，延續前期系統架構主作業軟體建置於 SUSE linux 作業系統內，並將風、波浪及水動力分別建置於不同伺服器進行運作，作業環境利用 linux 系統內 shell script 程式語言撰寫，部分則利用 fortran 程式語言撰寫，過程中同時使用美國海洋大氣總署(NOAA)太平洋環境實驗室(PMEL)所發展 鼬(ferret)軟體，作為本系統作業化主要的排程包含資料格式建置及前後處理軟體繪圖等。鼬軟體目前發展到 6.72 版本，鼬軟體主要功能可分析其數值海洋模式的產出和網格化，並觀測數據進行比較。

小尺度海流模組及海嘯模組部分則配合目前發展合作團隊建置於微軟作業系統，此部分分別透過商用 tecplot 及 matlab 軟體進行後處理出圖。系統內有關應用到主要軟體如表 2-2 所示。

系統內除作業所需軟體外，有相當多共同資料必須透過區域網路由各伺服主機提供整合應用，系統必須兼具能存取遠端伺服主機資料及資料庫資料，於是在各伺服主機上分別建置不同軟體安裝及程式撰寫，大略可分為下列四個部分。

(1)系統聯外部分：如連接中央氣象局，由於氣象局以 FTP (File Transfer Protocol server)方式提供氣象資料，於是本系統內已建置 FTP 軟體及 linux 系統內 shell script 程式語言撰寫排程定時下載相關資料。

(2)系統連結區網內它臺電腦部分：由於系統內模擬資料必須讀取海象觀測資料庫內資料比對驗證，故在系統內安裝 freetds 及 sqsh 軟體，並撰寫資料庫語法建置相關程式後，可由 Linux 伺服主機直接讀取海象觀測所建置微軟資料庫伺服器。平時所內操作電腦則透過 SSH(Secure Shell)方式進行遠端登入，進行系統維護管理。

(3)在作業系統內部環境：主要透過 linux 作業系統內安裝 NFS 伺服器軟體(NFS 就是 Network FileSystem 的縮寫)。NFS 主要功能為透過網路，讓不同的電腦、可以彼此分享 NFS 伺服主機的檔案。所以本系統內主要檔案可以在其他伺服主機來將網路端的 NFS 伺服主機分享的目錄，掛載到本地端的主機中，在本地端的主機使用該目錄檔案就如同使用主機內的檔案。

(4)在 linux 作業系統及微軟作業系統資訊傳遞部分：該部分則是透過安裝 SAMBA 伺服器軟體的設定安裝的話，透過區域網路『網路芳鄰』的功能，直接連線遠端伺服器所提供的目錄。

表 2-2 系統內主要應用軟體說明

軟體套件	說明
一、作業系統：	
SUSE linux	作業系統
Window server 2003、2008	作業系統
二、原有 suse 套件	
gcc、gcc-fortran	編譯軟體
NFS server (NFS clicent)	提供各伺服器共同資料
samba	提供 linux 伺服器與 window 系統資料路徑網路芳鄰
三、個別安裝套件：	
pgi fortran	Fortran 語言編譯軟體
ferret	主要前後處理及繪圖工具
wgrib	讀取及解碼風場資料
gifsicle	產生 gif 動畫圖檔
freetds	為 linux 系統提供 TDS 協議的客戶端
sqsh	為資料庫系統提供交談介面
Tecplot(微軟作業系統)	繪圖軟體

2.1.2 風場作業化模組

在本系統設定架構下風場及氣壓場預報資料係採用中央氣象局所提供的全域即時預報風場及氣壓場資料，經由作業化系統處理成系統內其他模式所需之風場及氣壓場格式。所提供風場為每日兩組 73 小時資料，分別於當日 12 時及 24 時(0 時)於 FTP 網站發布資料，透過自行撰寫排程檔抓取資料，每小時資料約為 3MB，故每天風場原始資料共約 440MB，其資料格式採用 GRIB 格式，每小時檔案內資訊共包含 87 層相關風場、氣壓場及溫度資料如表 2-3 所示，相關解碼則須配合此格式擷取不同資訊，在進行內插作業。

表 2-3 有限區域模式氣象資料彙整表

氣象資料	解析度
海平面氣壓場	(45km, 15km,5km)
地表空氣溫度場	(45km, 15km,5km)
700 百帕溫度場高度場和風場	(45km, 15km,5km)
850 百帕溫度場高度場和風場	(45km, 15km,5km)
925 百帕溫度場高度場和風場	(45km, 15km,5km)
1000 百帕溫度場高度場和風場	(45km, 15km,5km)
10 米高風場	(45km, 15km,5km)
2 米高風場	(45km, 15km,5km)

有關風場模組作業流程如圖 2.7 所示。原始風場解碼及內插後提供波波浪模組及潮流模組網格格式可參考上小節表 2-1 及 2-2；所提供原始風場資料範圍及系統內輸出範圍請參考圖 2.8 及圖 2.9。

作業化所展示資料為 RC 及 MC 2 維資料及各港口 MC 風場歷線資料，其風場向量圖檔可參考附錄一。

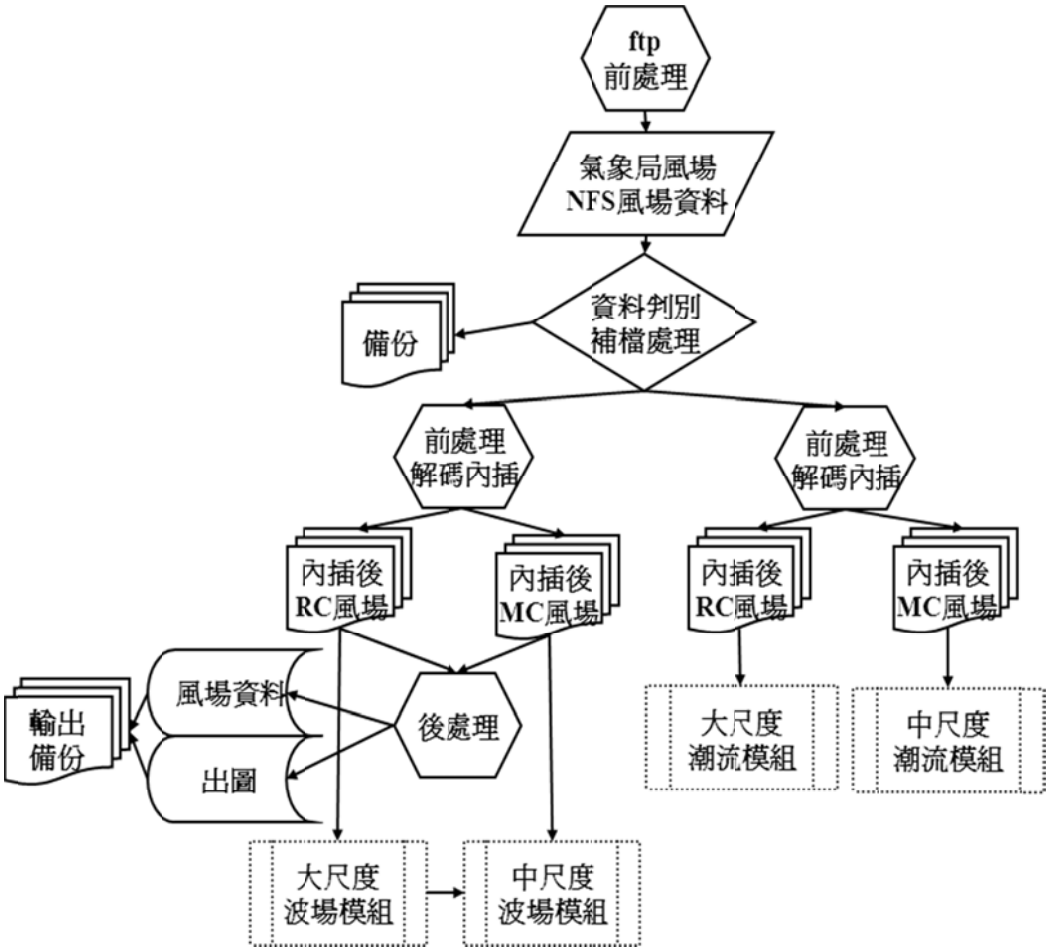


圖 2.7 風場模組作業流程圖

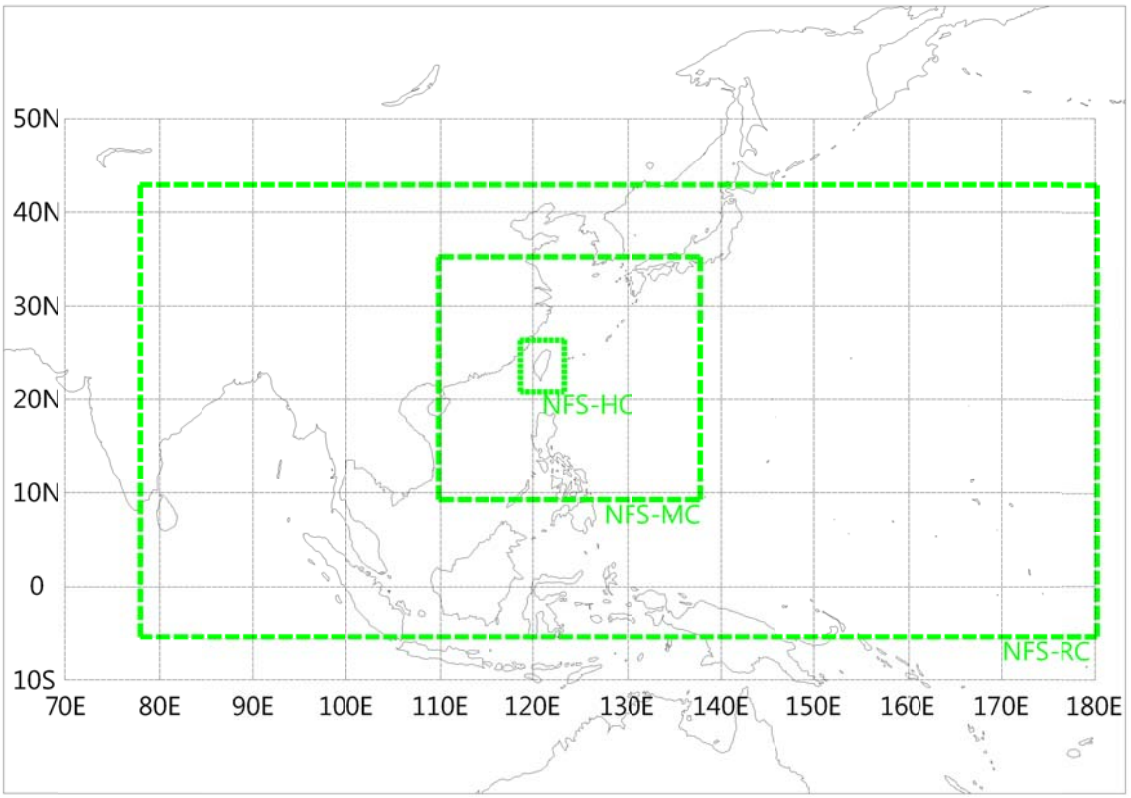


圖 2.8 中央氣象局提供原始風場範圍圖

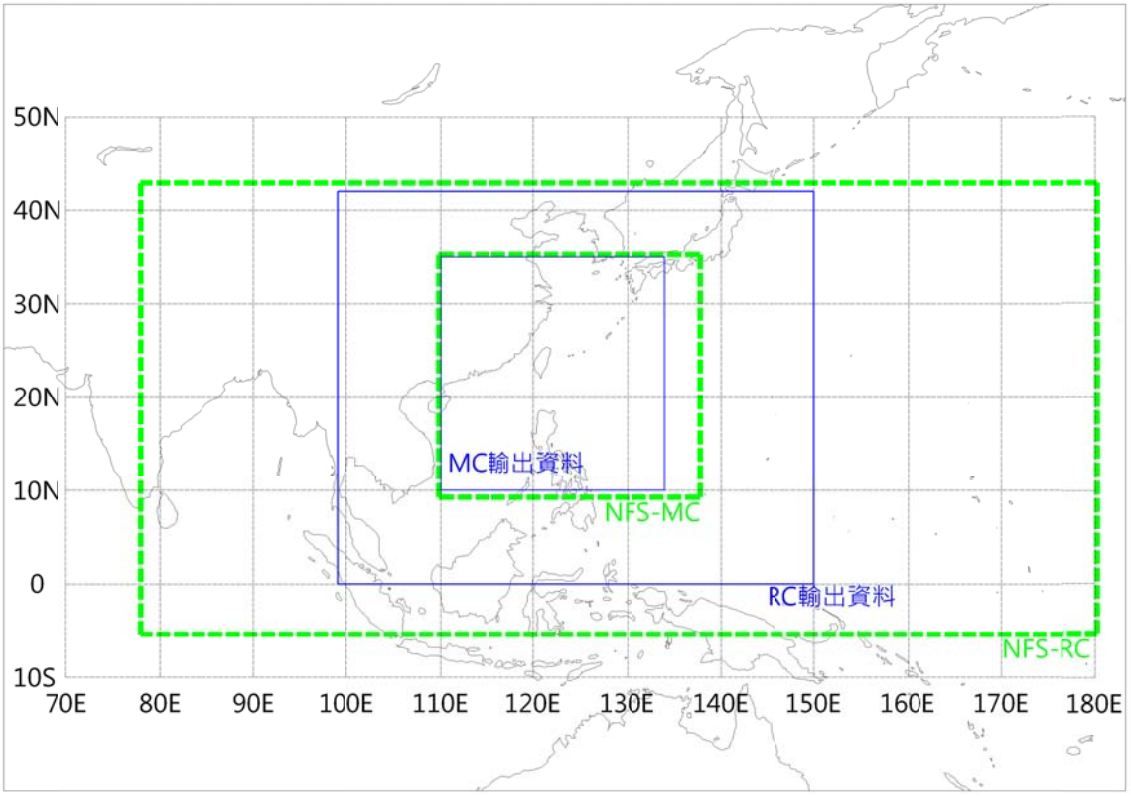
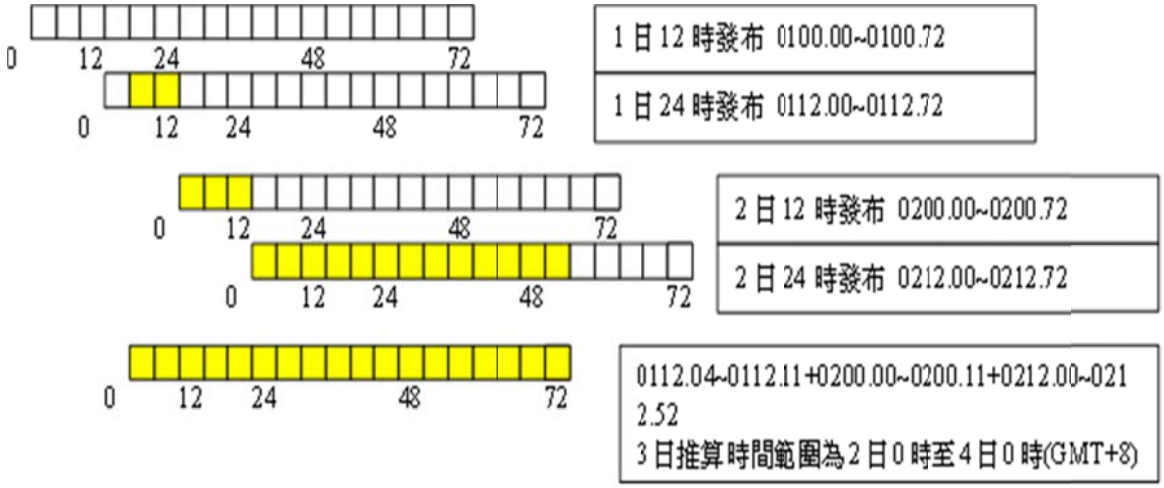


圖 2.9 系統內風場輸出範圍圖

每日預報風場作業化配合整體海象作業化流程將氣象局所提供風場資料以較接近預報時間資料為先擷取方式彙整，實際擷取方式可以第 3 日模擬作業進行範例說明如表 2-4 及圖 2.10 所示,3 日氣象模擬資料設定時間範圍為 2 日 0 時至 4 日 0 時(GMT+8)在氣象局提供檔案為，lbyyyymm0112.04~lbyyyymm0112.11+lbyyyymm0200.00~lbyyyymm0200.11+lbyyyymm0212.00~lbyyyymm0212.52。其中中央氣象局風場檔名命名方式為 lbyyyymmddHH.hhm，yyyy=西元年、mm=月、dd=日、HH+hh=時，檔案原始時間為 GMT(Greenwich Mean Time 格林威治標準時間)時間。

表 2-4 每日所擷取風場資料以第 3 日模擬風場為範例說明表

氣象局預報資料			海象模擬系統擷取資料	
氣象局發布時間(臺灣時間 GMT+8)	預報資料檔名 每小時一筆資料	檔名對應成臺灣時間(GMT+8)	03 日作業化擷取資料	03 日作業化擷取資料對應臺灣時間(GMT+8)
01 日 12：00 發布	lbyyyymm0100.00m ~lbyyyymm0100.72m	*0108.00~*0108.72 (等於 1 日 8 時至 4 日 20 時)		
01 日 24：00 發布(02 日 00：00)	lbyyyymm0112.00m ~lbyyyymm0112.72m	*0120.00~*0120.72 (等於 1 日 20 時至 5 日 08 時)	*0112.04m ~*0112.11m	0120.04 ~0120.11 (等於 2 日 0 時至 2 日 7 時)
02 日 12：00 發布	lbyyyymm0200.00m ~ lbyyyymm0200.72m	*0208.00~*0208.72 (等於 2 日 8 時至 5 日 20 時)	*0200.00m ~*0200.11m	0208.00 ~0208.11 (等於 2 日 8 時至 2 日 19 時)
02 日 24：00 發布(03 日 00：00)	lbyyyymm0212.00m ~lbyyyymm0212.72m	*0220.00~*0220.72 (等於 2 日 20 時至 6 日 08 時)	*0212.00m ~*0212.52m	0220.00 ~0220.52 (等於 2 日 20 時至 4 日 0 時)
			共擷取 73 筆資料	模擬計算時間範圍為 2 日 0 時至 4 日 0 時



註：灰階部分為擷取資料範圍

圖 2.10 每日所擷取風場資料以第 3 日模擬風場為範例圖

2.1.3 波浪作業化模組

在本系統設定架構下波浪作業化預報系統建構出三種不同尺度的波浪模組，分別為大尺度之西太平洋風浪模組，中尺度之臺灣周圍海域風浪模組，以及針對國內主要港口分別建置小尺度波浪模組。另外本年度細尺度模組以基隆港為範例，透過資料庫概念以及 MATLAB 的介面設計模組 GUIDE (Graphic User Interface Design Environment)介面發展建立港區波浪展示系統。有關波浪模擬作業流程如圖 2.11 所示。

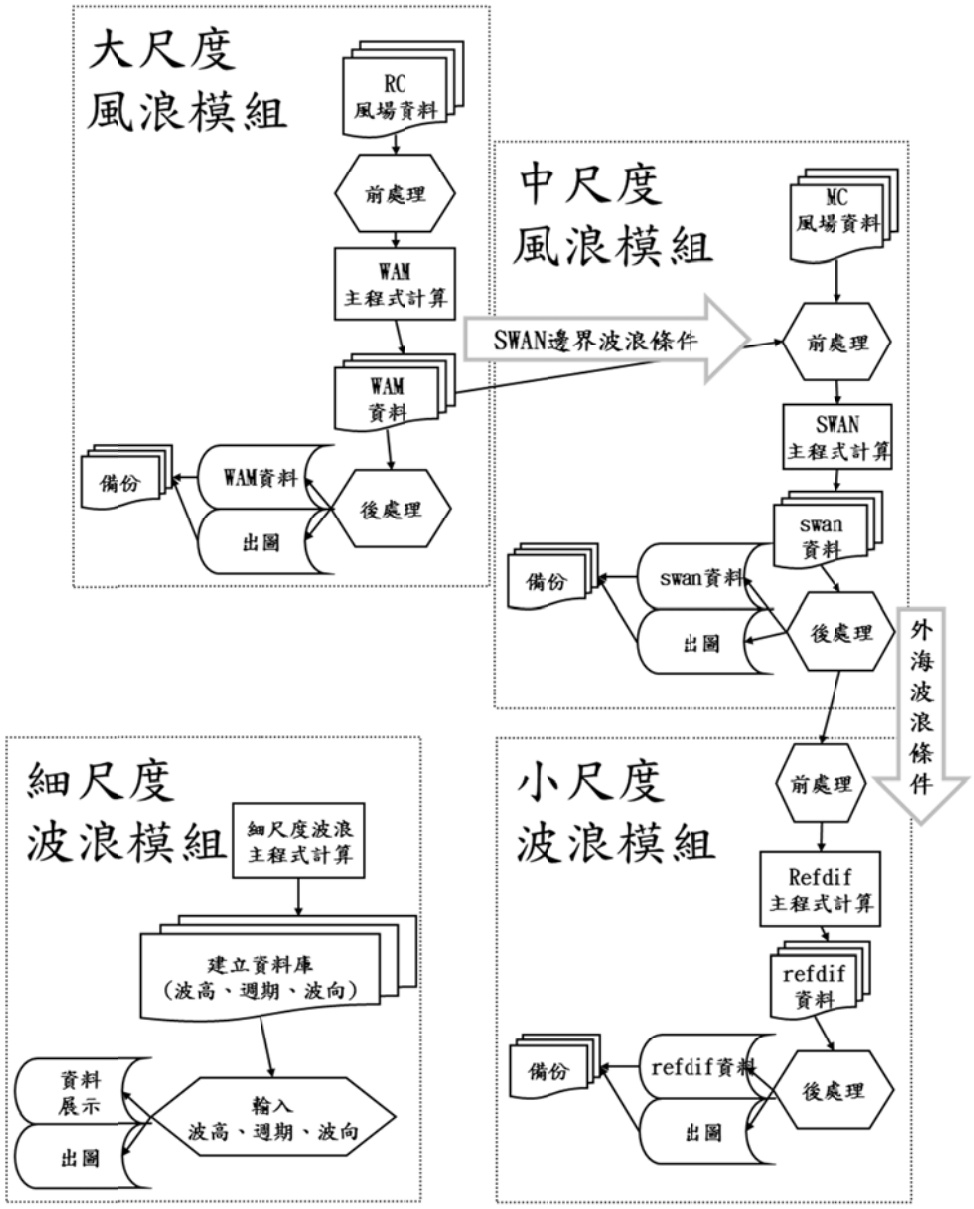


圖 2.11 波浪模擬作業流程圖

1.大尺度及中尺度風浪模組

大尺度及中尺度風浪模組為本系統內主要作業化風浪系統，每日取得內插後風場資料後即進行模擬，其中西太平洋風浪模式採用海洋波浪預測模式 WAM (Wave Modeling)為核心模式，目的在於產生中尺度臺灣周圍海域風浪模式所需之邊界條件，其模擬範圍涵蓋北緯 10 度至北緯 35 度及東經 110 度至 134 度，如圖 2.2 所示，網格大小為 12 分之地球弧形網格。中尺度之臺灣周圍海域風浪模式則採用荷蘭 Delft 大學所發展之近海風浪模式 SWAN (Simulating WAves Nearshore)為基礎，使其發展成適合於模擬臺灣周圍海域波浪特性之模式其模擬範圍以臺灣周圍海域為主，即北緯 21 度至 27 度以及東經 117 度至 123 度間海域，如圖 2.3 所示，模式網格解析度為 2.4 分網格。大尺度及中尺度模擬網格如表 2-2 所示，模擬範圍如圖 2.12。

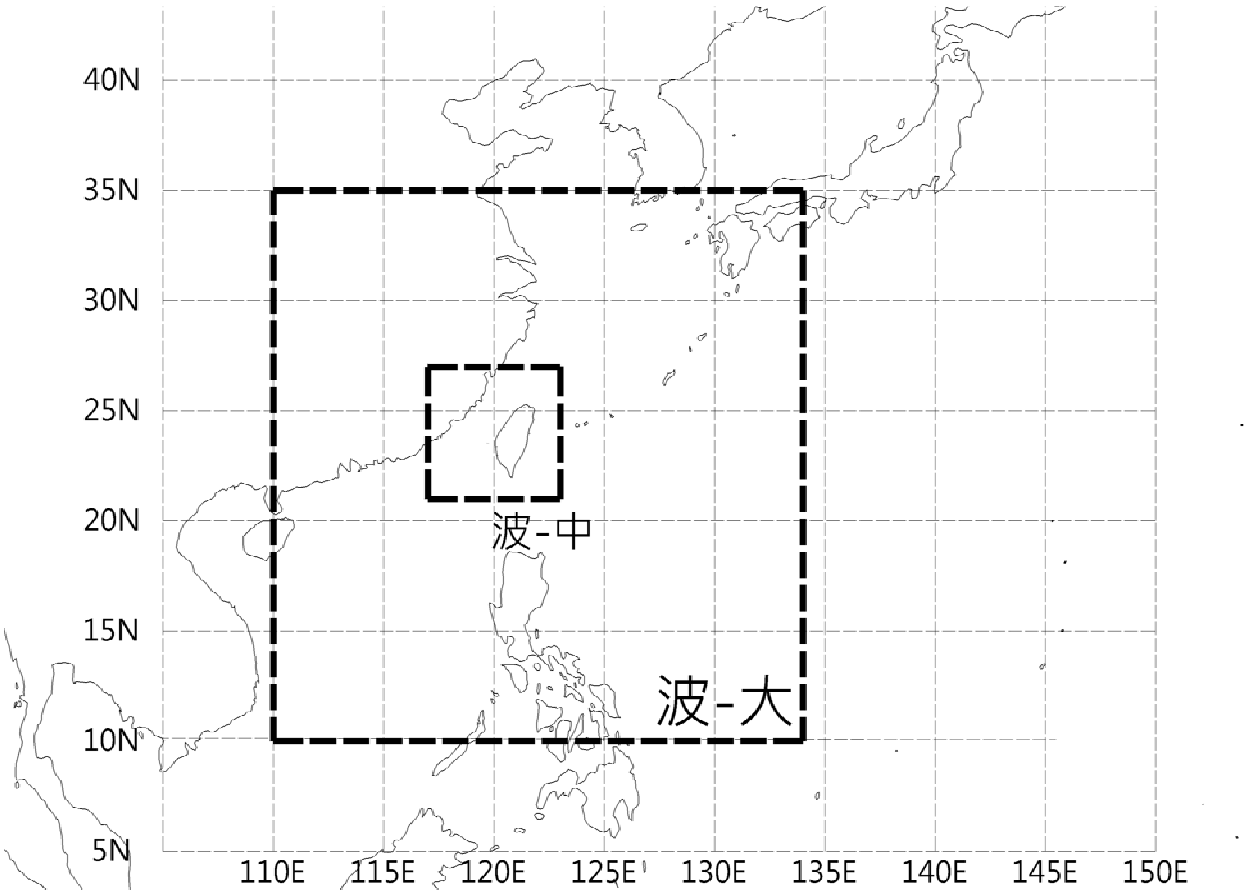


圖 2.12 大尺度及中尺度波場模擬範圍圖

其中大尺度西太平洋風浪模組利用昨日模擬第 24 小時結果作為初始資料並採用 RC 風場預報資料模擬海面上風浪之生成、發展及傳播過程；中尺度臺灣周圍海域風浪模式利用昨日模擬第 24 小時結果作為初始資料，使用 MC 風場預報資料，與當日 WAM 模組所提供邊界條件(波高、波浪週期、波向)，模擬臺灣周圍海域之風浪，並輸出主要港口外海波浪條件(波高、週期、波向)。模式模擬時間長度為三天(72 小時，昨日、今日、明日)。

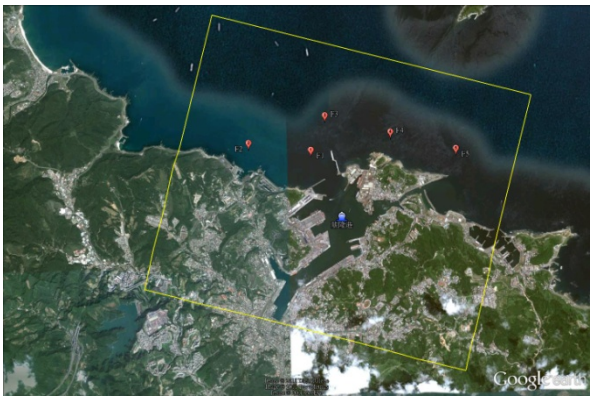
2.小尺度波浪模式

近岸波浪場模式以 Kirby 及 Dalrymple (1983)所發展的波浪折繞射(REF/DIF)模式為基礎，分別建構適合模擬臺北港、基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港及臺中港等七大港區近岸波浪場特性之波浪模式，本年度延續上期發展各港模式及網格資料成果，已完成七大港區銜接中尺度波場作業化系統，直接由中尺度風浪結果擷取港域外海波浪資料(波高、週期、波向)作為輸入條件。而且臺中港、布袋港，則配合今年度相關合作計畫調整網格及地形水深資料，更新近岸波浪模式之數值計算網格水深資料。

七大港區各港模式之網格解析度均提高為 10 公尺，其網格資料如表 2-5 所示，數值模擬範圍如圖 2.16 所示，今年度作業化建置已完成臺北港、基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港及臺中港並提供 2 維圖檔及各港域 5 點輸出點位歷線資料(其中一點配合本所海象觀測位置)至港灣環境資訊網。

表 2-5 近岸區域波浪模式數值計算網格資料

港口名稱	原點座標(二度分帶)		旋轉角度	座標系統(10m)
	X(m)	Y(m)		
臺北港	278577	2784690	-55	801×1301
基隆港	322539	2787360	256	621×731
蘇澳港	341180	2725933	185	601×801
花蓮港	316892	2655232	150	321×801
高雄港	177877	2487555	38	801×1701
安平港	162072	2533583	30	1001×501
臺中港	186945	2680791.6	-36	1001×1901

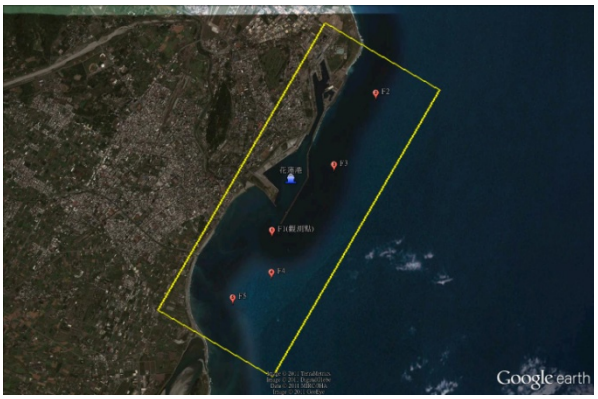





圖 2.13 近岸區域波浪模擬範圍圖

2.細尺度波浪模式

因應颱風波浪侵襲下為能夠快速清楚瞭解港內波浪狀況，並今年度建置基隆港區及臺中港港區規畫細尺度三角網格有限元素港域波浪模式(Finite Element Harbor wave model)，並使用資料庫概念建置不同波浪週期及波向資料之波浪進行波高變化數值模擬，快速獲得整體港區內波浪情形。波浪模擬輸入條件包括波浪資料，網格資料(節點座標、水深資料、節點代碼、元素節點連結資料等)以及邊界條件(如邊界節點之法線角度、反射係數等)。

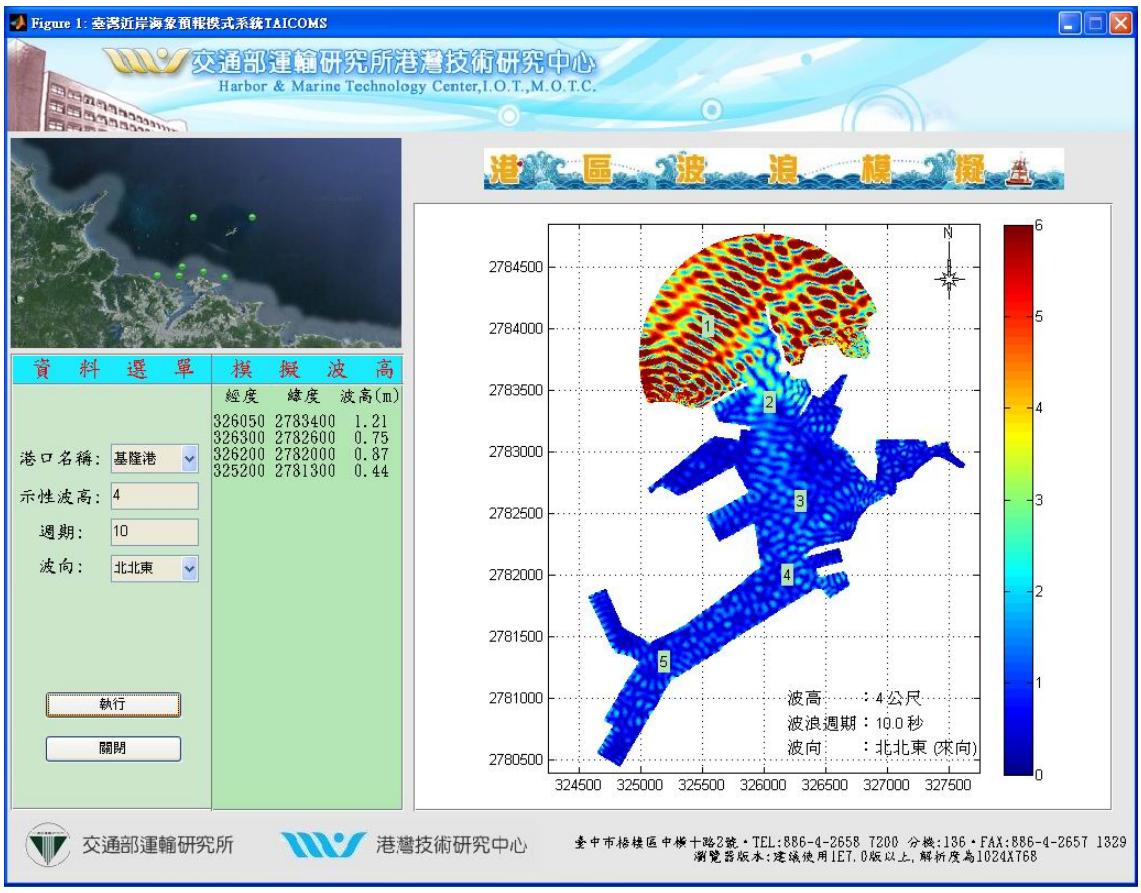


圖 2.14 細尺度基隆港波浪模擬視窗畫面圖

2.1.4 水動力作業化模組

在本系統設定架構下，水動力作業化預報建構出三種不同尺度的水動力模組，分別為大尺度之西太平洋水動力模組；中尺度之臺灣周圍海域水動力模組，以及針對國內主要港口分別建置小尺度水動力模式提供水位及海流變化以供參考，有關水動力模擬作業流程如圖 2.24 所示。

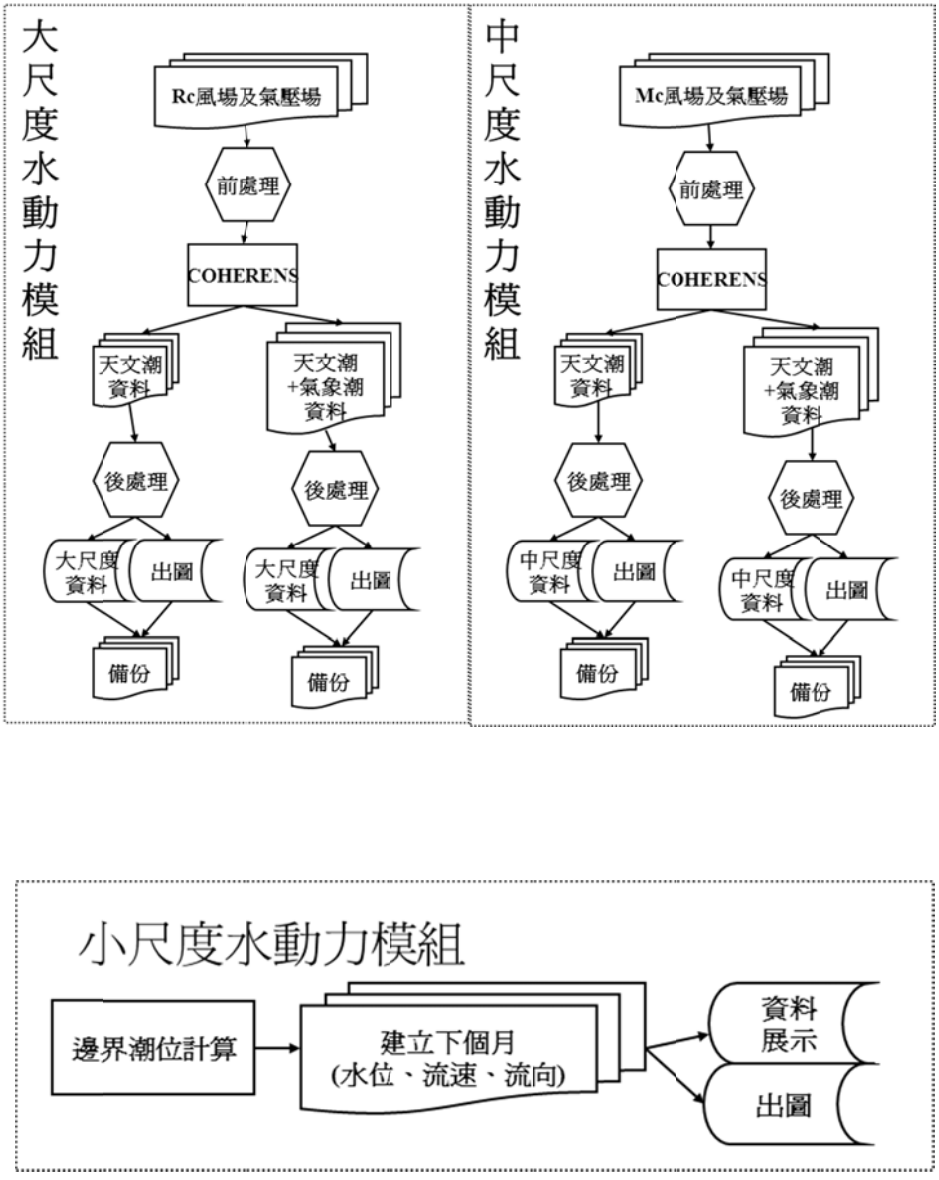


圖 2.15 水動力模擬作業流程圖

1.大尺度及中尺度水動力模組

本計畫前期已完成臺灣環島水位及海流計算二維全域流場的資料，並上線即時作業。計畫內所建置臺灣環島二維水位及海流模式，此部分為水深平均流速，主要驅動力為潮汐及風驅流，並無洋流的輸入。目前模式計算網格大小為 10 分及 1 分解析度，時間步長為 20 秒。模式範圍如圖 2.25 所示。數值模擬範圍及數值計算網格如下：(1)大尺度之西太平洋模組模擬範圍為北緯 0°至 35°，東經 105°至 150°，數值計算網格大小為 10′×10′(十分網格)。(2)中尺度之臺灣海域模組模擬範圍為北緯 21°至 26°，東經 116.5°至 125°，數值計算網格大小為 1′×1′(一分網格)。

本計畫範圍模式之潮汐邊界條件是利用全球潮汐模式 (Schwiderski, 1982) 資料產生邊界上各點之分潮振幅及相位，使用分潮為 O1、P1、Q1 及 K1 四個主要全日潮以及 N2、M2、S2 及 K2 四個主要半日潮，共 8 個分潮重組後輸入邊界。目前提供港灣環境資訊系統包含 2 維資料圖檔，並提供各港水位歷線資料，而港外模擬流場與觀測流場由於尺度差異其比對僅為內部參考，並改由小尺度水動力模擬資料提供港域流場資訊。

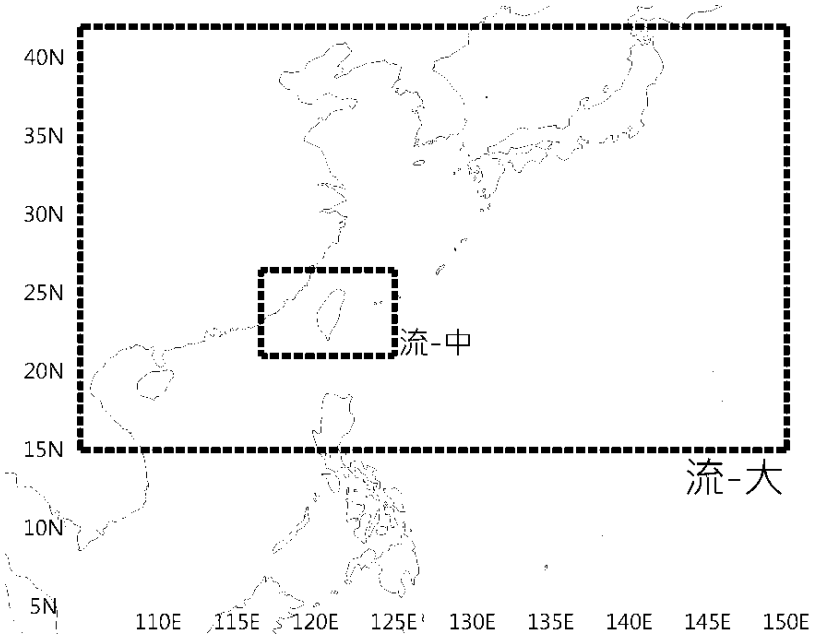


圖 2.16 大尺度及中尺度流場模擬範圍圖

2.小尺度水動力模組

由於近岸區域水動力模組主要模擬各港口潮汐水位及流場之變化情形，因此各港口模擬範圍之選取主要以各港口為中心，配合海岸線及地形水深變化進行規劃，離岸之開放邊界則儘量與海岸線平行。基於此，本計畫前期已發展臺北港、基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港及臺中港等七大港區水動力模式，模擬範圍大小在沿岸方向約介於 20km～30km 之間，離岸距離在各港口約介於 10km～15km 之間但前期並無完成作業化建置。本年度主要對於基隆港、臺北港、臺中港、布袋港，調整其地形水深並進行作業化模擬的建置，相關資料參考第四章內容。

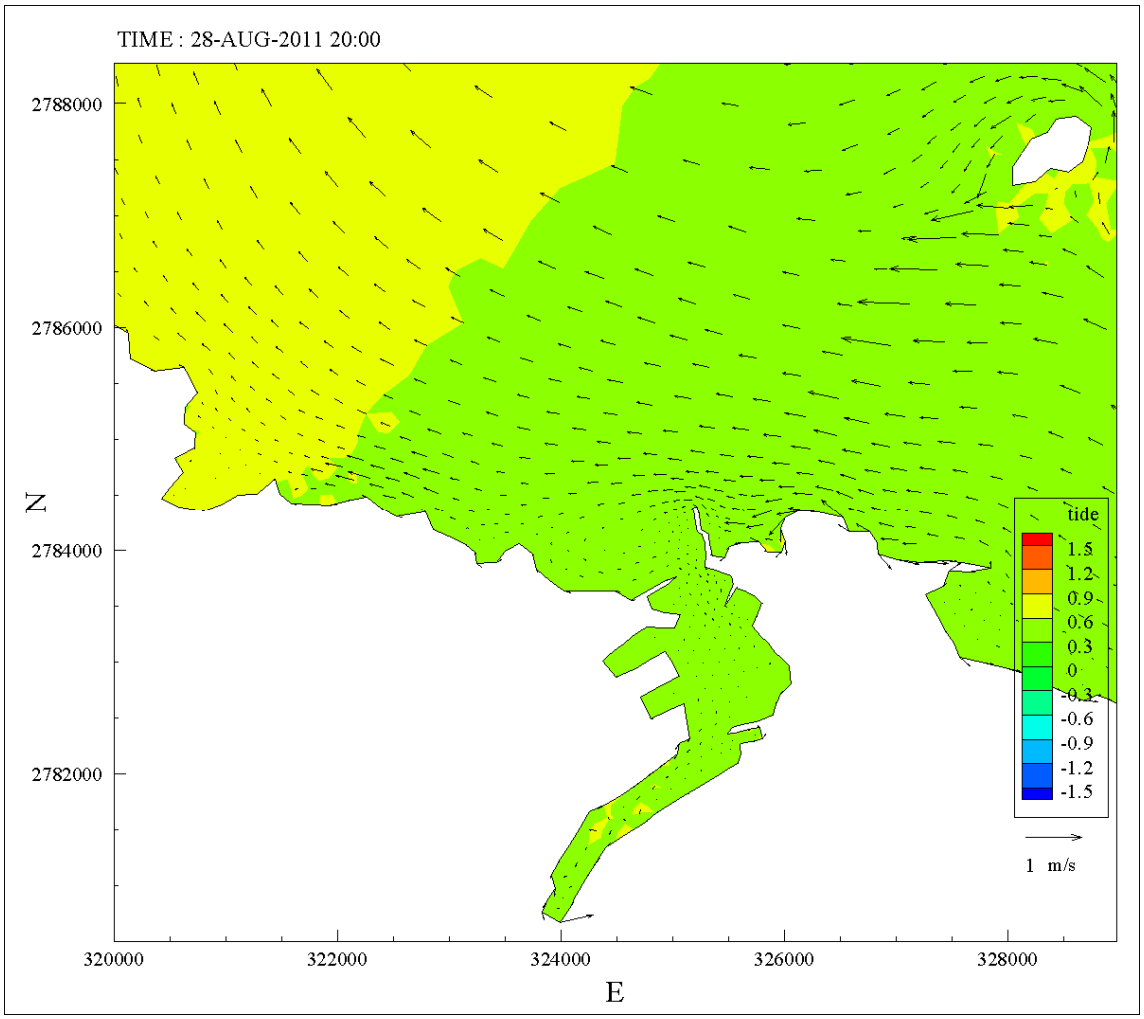


圖 2.17a 南瑪都颱風 8 月 28 日 20 時基隆港小尺度流速流向分布圖

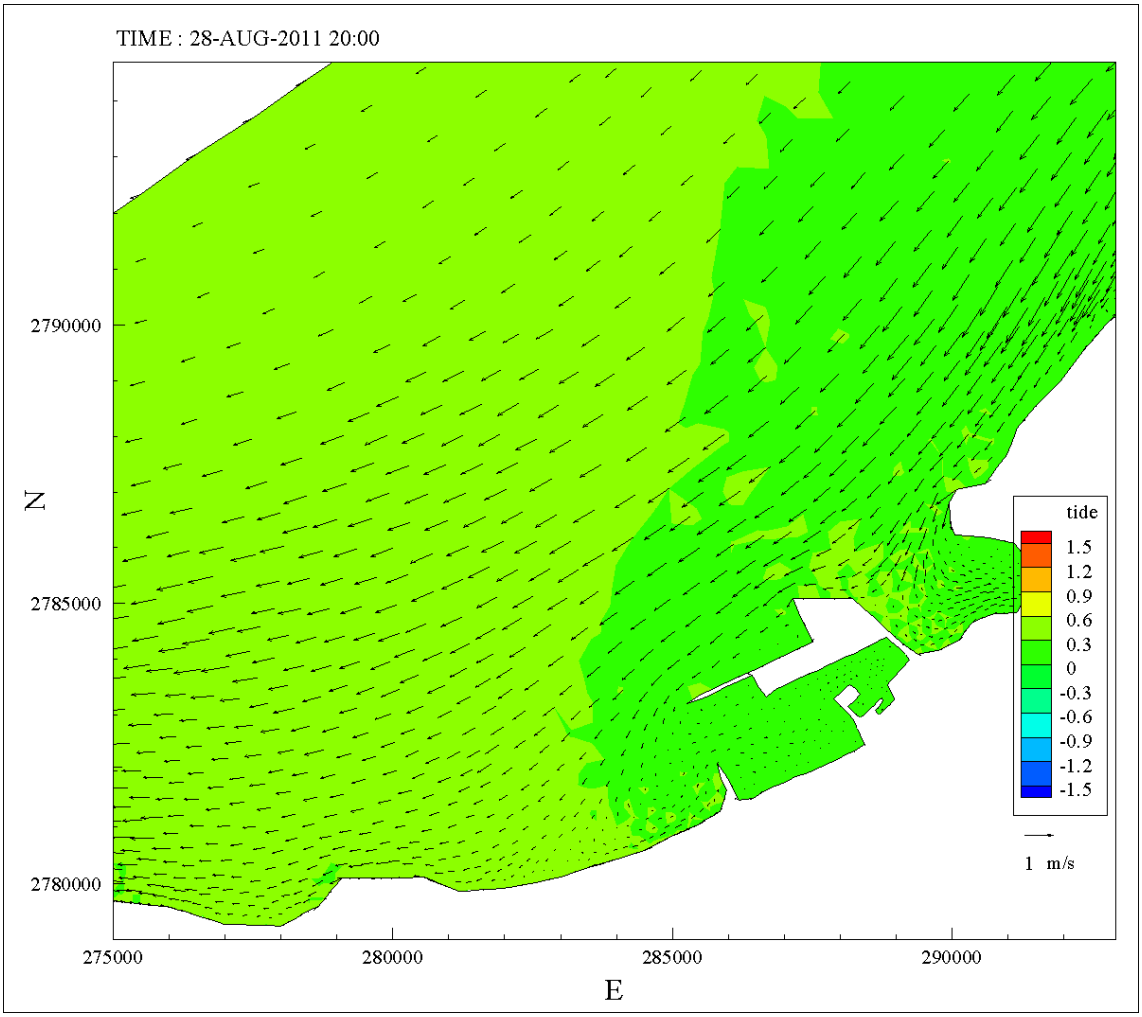


圖 2.17b 南瑪都颱風 8 月 28 日 20 時臺北港小尺度流速流向分布圖

2.1.5 海嘯作業化模組

在本系統設定架構下，延續前期成果有關海嘯模式作業化部份，目前主要有兩種方式，一種為建置於全自動作業化系統內固定時間(目前設定為 3 分鐘)於網上擷取相關地震資訊參數進行模擬並展示，另一種為視窗化手動可離線軟體，可由使用者輸入地震資訊參數輸出。

臺灣海嘯速算系統流程如下，即是利用互逆格林函數之高計算效率，在遠/近域海底地震引起海嘯後，能夠快速掌握可能之最大波高以及抵達時間，提供給各港務局作為後續應變之作為之參考。其預警系統主要流程如圖 2.18 所示：

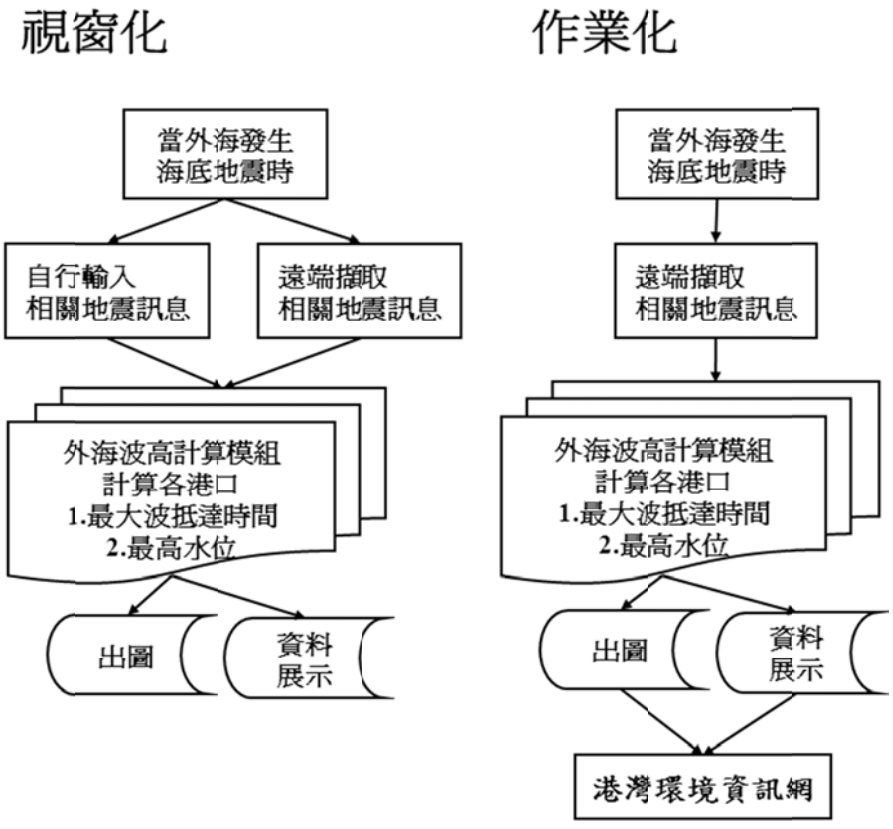


圖 2.18 臺灣國際商港海嘯速算系統流程圖

1.視窗化模組

本文發展的海嘯模擬預警系統基本運作分為地震引起初始波源生成與互逆格林函數計算預報水位兩部分。前者利用美國國家地震資訊中心(USGS)的 FMT 解代入 Mansinha and Smylie(1971)提出的彈性半空間錯移模型(elastic half-space dislocation model)，此斷層模式主要是計算走向滑距及傾向滑距在垂直地表方向的分量，即垂直位移的總量，藉以獲得地震引發的海嘯初始水位。

本視窗化模組操作系統是由 Matlab 軟體所建構而成，該軟體提供了方便之數學運算指令及圖形繪製，更提供了內建之操作者介面設定程序；使用者本身不須安裝 Matlab 軟體，僅須下載編譯器等基本套件即可於個人電腦上執行模擬作業，前期發展資料量較大每個港口點位需要建立資料量約為 120GB，但本年度已大幅下降資料量至每港口點 25GB，8 個港口共約 200GB 資料。下圖 2.33 為程式內有關視窗化系統之計算範圍圖，圖 2.34 為編譯完成操作介面

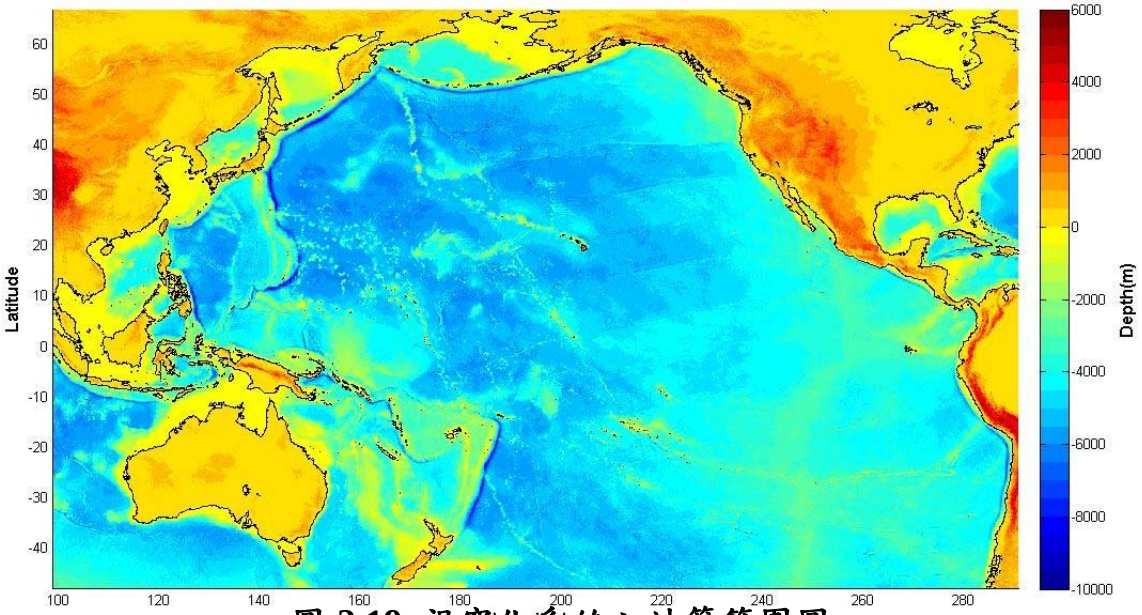


圖 2.19 視窗化系統之計算範圍圖

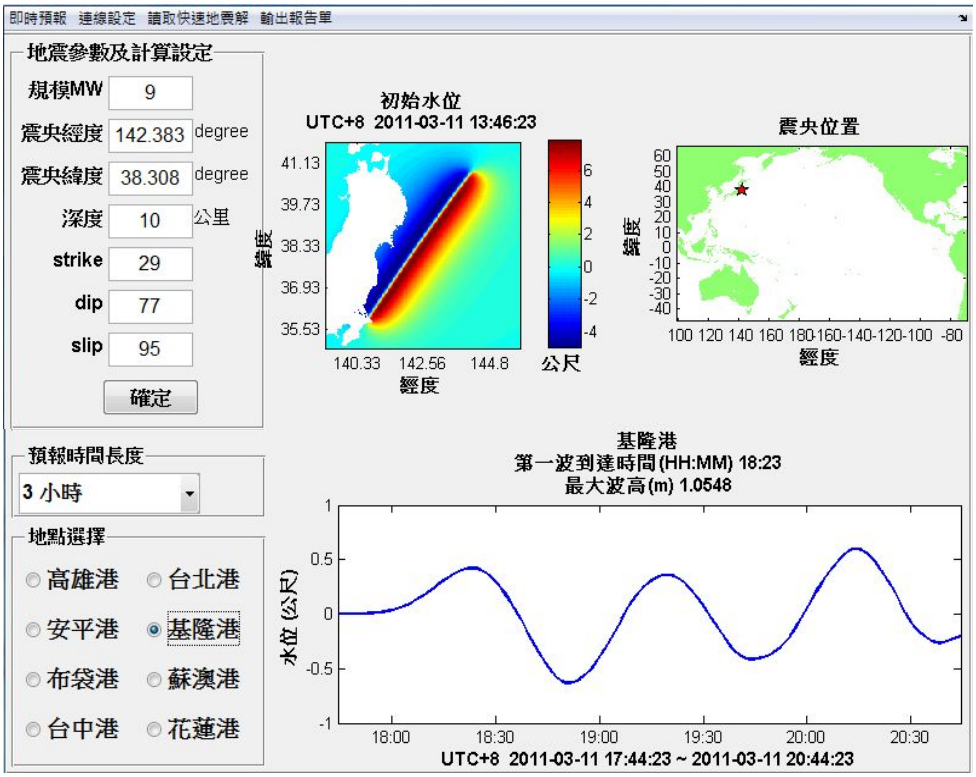


圖 2.20 視窗化介面之計算成果圖

本系統之參數輸入方式是直接輸入地震矩規模，反算斷層長度、寬度及滑移量。就地震警報而言，得知地震矩規模較為容易也較為一般人接受；斷層長度等資料由於海底斷層探測比較不易，故斷層尺度之換算通常也經由經驗公式得出，其他之斷層參數(例如走向等)可參考相關網站得知。

海嘯成因眾多，本系統僅適用於因海底地震所產生之海嘯；在計算效率方面，以恆春地震為例若不考慮近岸波浪非線性之模擬，則使用傳統海嘯數值模式進行全區域模擬且進行後續資料處理則約需 1~2 天；使用本系統計算相同案例，由於已事先完成資料庫運算及建置，故僅需於地震發生初期得知海嘯初始水位即可進行運算以及圖形畫輸出，依系統硬體設備不同僅需數秒到數分鐘即可完成單一港口計算作業。

2.作業化模組

由於日本 311 海嘯，所幸為平日上班時間，本所可透過前期已發展海嘯視窗系統即時利用手動方式計算，但若為其他時間防災應變將可能出現缺口，因此本年度海嘯作業化主要為利用現有模式改成全自動作業情形，並透過港灣環境資訊網展示。

海嘯作業化模組主程式均與視窗化模組相同，但此部分去除 GUI 介面，主要針對是作業化的建置，並加上作業排程，最大不同於視窗化部分為本系統為每隔 3 分鐘，當有地震資料時，系統可自動擷取即時資料進行後續預報作業，目前已建置系統可同時擷取下列三個網頁包含美國國家地震資訊中心、美國國家地震資訊中心及日本防災科學技術研究所其網址如下。

(1)USGS(U.S. Geological Survey) 美國國家地震資訊中心

http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/fm/

(2)CWB(Central Weather Bureu) 臺灣寬頻地震網資訊系統

http://cwbsnbb.cwb.gov.tw/

(3)Fnet(Full Range Seismograph Network of Japan) 日本防災科學技術研究所

http://www.fnet.bosai.go.jp/fnet/event/joho.php?LANG=en

USGS-NEIC 之地震資料庫範圍為全球(如圖 2.35)，但其資料擷取約在地震發生後約 1 小時才可遠端擷取。對於震央發生在臺灣周邊海域恐有不及，因此在臺灣區附近(東經 119 度~123 度，北緯 21 度~26 度)採用中央氣象局之地震即時資料(如圖 2.36 所示)，約在地震後 5 分鐘即可獲得相關訊息，而其他區域仍使用 NEIC 之資料。並增設日本防災科學技術研究所(National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention NIED)所提供之 F-net (Full Range Seismograph

Network of Japan)，其範圍在東經 120 度到 156 度，北緯 20 度到 49 度，以供地震資料參考（圖 3.37）。

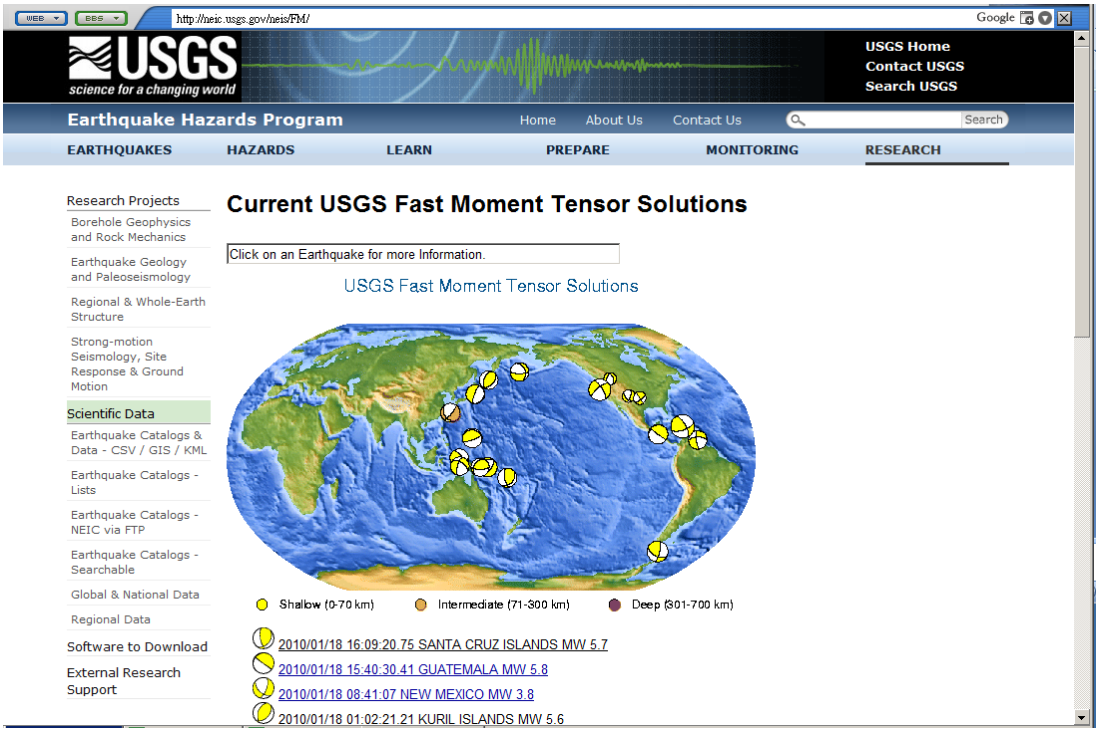


圖 2.21a 美國 USGS 資料庫

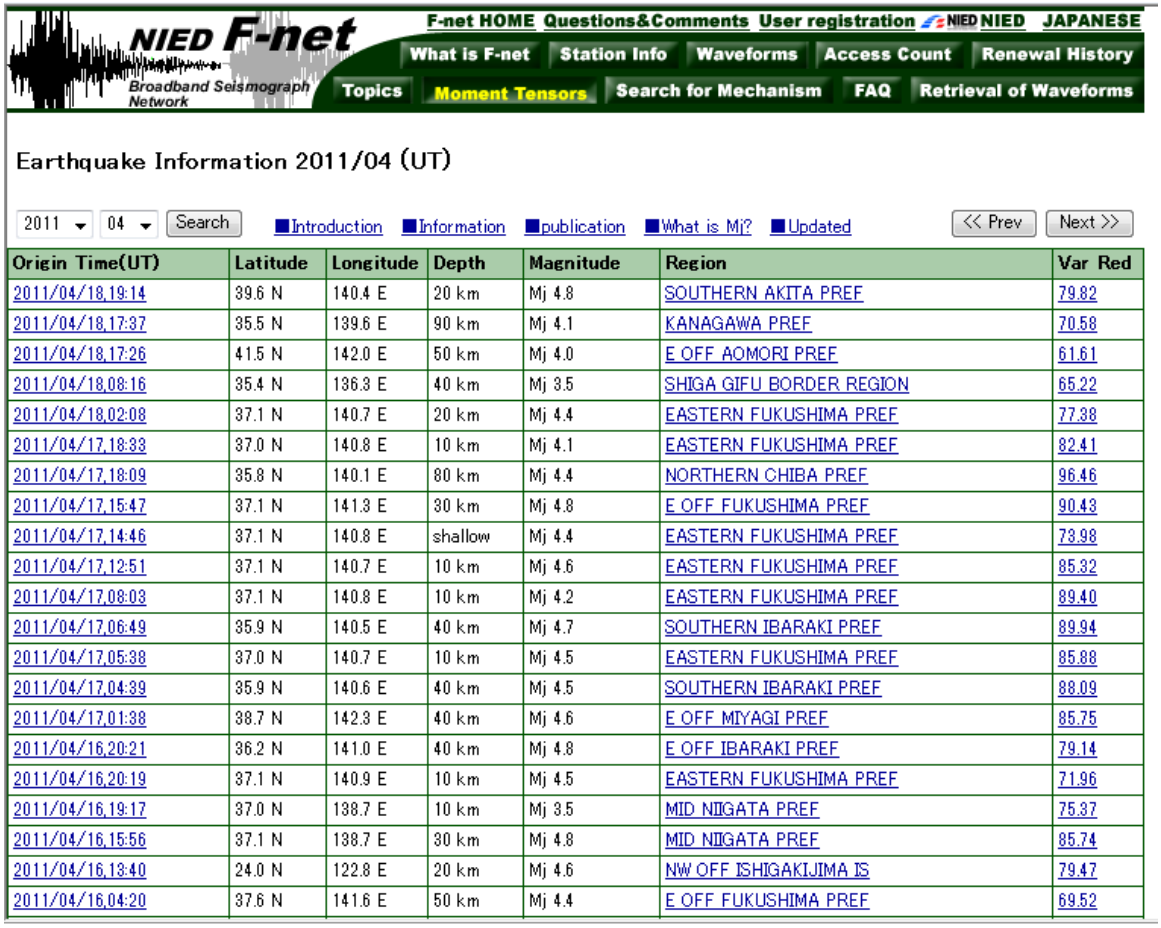
Quick CMT Reports:

Recent Qcmt Distribution In Taiwan

Subscribe Quick CMT

Date	Time(UT)	Lat.	Lon.	Dep.	Mw	Strike	Dip	Slip	Misfit	CMT	Detail
2010-11-10	9:36:58.70	22.87	121.26	18.00 18	3.70	216 344	39 63	135 60	0.504		Trace Map Image Solution
2010-11-09	18:30:52.90	24.55	121.82	9.80 12	3.70	96 6	71 89	1 161	0.581		Trace Map Image Solution
2010-11-08	13: 1:21.30	23.22	120.41	19.90 17	4.50	337 218	42 67	37 126	0.584		Trace Map Image Solution
2010-11-06	0:22: 6.50	24.04	121.93	57.30 59	3.40	127 27	64 69	23 152	0.651		Trace Map Image Solution
2010-11-04	18:22:25.50	22.05	121.61	42.20 44	3.60	257 11	33 75	153 60	0.712		Trace Map Image Solution

圖 2.21b 中央氣象局網站之即時地震資料



NIED F-net Broadband Seismograph Network

F-net HOME | Questions&Comments | User registration | NIED | JAPANESE

What is F-net | Station Info | Waveforms | Access Count | Renewal History

Topics | Moment Tensors | Search for Mechanism | FAQ | Retrieval of Waveforms

Earthquake Information 2011/04 (UT)

2011 | 04 | Search | Introduction | Information | publication | What is Mj? | Updated | << Prev | Next >>

Origin Time(UT)	Latitude	Longitude	Depth	Magnitude	Region	Var Red
2011/04/18,19:14	39.6 N	140.4 E	20 km	Mj 4.8	SOUTHERN AKITA PREF	79.82
2011/04/18,17:37	35.5 N	139.6 E	90 km	Mj 4.1	KANAGAWA PREF	70.58
2011/04/18,17:26	41.5 N	142.0 E	50 km	Mj 4.0	E OFF AOMORI PREF	61.61
2011/04/18,08:16	35.4 N	136.3 E	40 km	Mj 3.5	SHIGA GIFU BORDER REGION	65.22
2011/04/18,02:08	37.1 N	140.7 E	20 km	Mj 4.4	EASTERN FUKUSHIMA PREF	77.38
2011/04/17,18:33	37.0 N	140.8 E	10 km	Mj 4.1	EASTERN FUKUSHIMA PREF	82.41
2011/04/17,18:09	35.8 N	140.1 E	80 km	Mj 4.4	NORTHERN CHIBA PREF	96.46
2011/04/17,15:47	37.1 N	141.3 E	30 km	Mj 4.8	E OFF FUKUSHIMA PREF	90.43
2011/04/17,14:46	37.1 N	140.8 E	shallow	Mj 4.4	EASTERN FUKUSHIMA PREF	73.98
2011/04/17,12:51	37.1 N	140.7 E	10 km	Mj 4.6	EASTERN FUKUSHIMA PREF	85.32
2011/04/17,08:03	37.1 N	140.8 E	10 km	Mj 4.2	EASTERN FUKUSHIMA PREF	89.40
2011/04/17,06:49	35.9 N	140.5 E	40 km	Mj 4.7	SOUTHERN IBARAKI PREF	89.94
2011/04/17,05:38	37.0 N	140.7 E	10 km	Mj 4.5	EASTERN FUKUSHIMA PREF	85.88
2011/04/17,04:39	35.9 N	140.6 E	40 km	Mj 4.5	SOUTHERN IBARAKI PREF	88.09
2011/04/17,01:38	38.7 N	142.3 E	40 km	Mj 4.6	E OFF MIYAGI PREF	85.75
2011/04/16,20:21	36.2 N	141.0 E	40 km	Mj 4.8	E OFF IBARAKI PREF	79.14
2011/04/16,20:19	37.1 N	140.9 E	10 km	Mj 4.5	EASTERN FUKUSHIMA PREF	71.96
2011/04/16,19:17	37.0 N	138.7 E	10 km	Mj 3.5	MID NIIGATA PREF	75.37
2011/04/16,15:56	37.1 N	138.7 E	30 km	Mj 4.8	MID NIIGATA PREF	85.74
2011/04/16,13:40	24.0 N	122.8 E	20 km	Mj 4.6	NW OFF ISHIGAKIJIMA IS	79.47
2011/04/16,04:20	37.6 N	141.6 E	50 km	Mj 4.4	E OFF FUKUSHIMA PREF	69.52

圖 2.21c 日本防災科學技術研究所 F-net 即時地震資料

現階段作業情形，若有擷取到新的地震資訊時約 3 分鐘內即可完成推算出各港口資訊(預計抵達時間及水位歷時變化)，其模擬結果都將提供港灣環境資訊網進一步使用，有關海嘯資訊資料包含，產生即時預報的個別地震目錄名稱，目錄名稱依時間、地震矩、dep 及來源單位建置，例如 EQ20110805145238_Mw38_dep021_CWB，其目錄下內容有(1)地震參數：將網頁擷取的地震參數輸出成文字檔與 mat 檔，後者提供頂部選單讀取快速地震解。(2)報告單：輸出地震訊息及預報水位的報告單(jpg 圖檔)。(3)預報水位：將預報水位輸出成文字檔(txt)。介面擷圖：將預報主介面輸出成圖檔(jpg 圖檔)。

2.3 臺灣主要港口海氣象現場觀測及蒐集

二十多年來港本中心在臺灣地區幾個國內主商港，進行海氣地象等資料觀測站建立觀測系統，以期獲得較長期的海氣象資料，目前並已在各港口建立即時海氣象監測系統，將即時之海氣象資料，透過資訊網路提供各種方便的資訊服務。以下將簡略介紹風力、波浪、潮位及海流等海氣象資料，於 8 個主要商港(基隆港、臺中港、高雄港、花蓮港、蘇澳港、臺北港、布袋港及安平港)與離島澎湖及金門等設置觀測及蒐集情形，相關位置圖。

(1)風力現場觀測及蒐集

風力大小直接影響到船隻在碼頭卸貨等港埠作業，風力也直接作用於船隻，對船隻進港操船安全也有影響。其次風力也是造成波浪之主要外力，而風吹海面引起之風吹流，皆為影響整個海面及港池之靜穩重要因素。季節來分 12 月、1 月及 2 月份風速較大，為典型冬季東北季風；3 月、4 月屬春季季風型態；7 月及 8 月屬夏季季風型態；9 月、10 月及 11 月屬秋季為夏、冬間之轉換期。

本中心於基隆港、臺中港、高雄港、花蓮港、蘇澳港、臺北港、布袋港及安平港等 8 個主要港口，安裝以 Young Brand 風速計為主之風速計，各港安裝位置如圖 2.22a~圖 2.22k 所示，各測站歷年觀測風資料蒐集概況如表 2-6a。各港口也於隔年蒐集中央氣象局所屬之風速資料，氣象局各港安裝位置也如圖 2.22a~圖 2.22k 所示，同樣歷年觀測風資料蒐集概況如表 2-6a。

(2)波浪現場觀測及蒐集

波浪之觀測，本中心於基隆港、臺中港、高雄港、花蓮港、蘇澳港、臺北港及安平港等 7 個主要港口，安裝以 NORTEK 剖面海流表面波浪與潮汐監測系統(AWCP)為主之潮波儀，各港安裝位置如圖 2.22a~圖 2.22k 所示，各測站歷年觀測波浪資料蒐集概況如表 2-6b。

(3)潮位現場觀測及蒐集

潮汐觀測是海象調查中最基本的項目，也是港灣工程設計重要的參考數據，本中心於基隆港、臺中港、高雄港、花蓮港、蘇澳港、臺北港、布袋港及安平港等 8 個主要港，在港口碼頭附近安裝以 Water Log 之潮位計，在港口附近海域安裝以 NORTEK 剖面海流表面波浪與潮汐監測系統(AWCP)為主之潮波儀，各港安裝位置如圖 2.22a~圖 2.22k 所示，各測站歷年觀測潮汐資料蒐集概況如表 2-6c。各港口也於隔年蒐集中央氣象局所屬之潮汐資料，氣象局各港安裝位置也如圖 2.22a~圖 2.22k 所示，同樣歷年觀測潮汐資料蒐集概況如表 2-6c。

(4)海流現場觀測及蒐集

海流之觀測，本中心於基隆港、臺中港、高雄港、花蓮港、蘇澳港、臺北港及安平港等 7 個主要港口，安裝以 NORTEK 剖面海流表面波浪與潮汐監測系統(AWCP)為主之海流儀，各港安裝位置如圖 2.22a~圖 2.22k 所示，各測站歷年觀測波浪資料蒐集概況如表 2-6d。

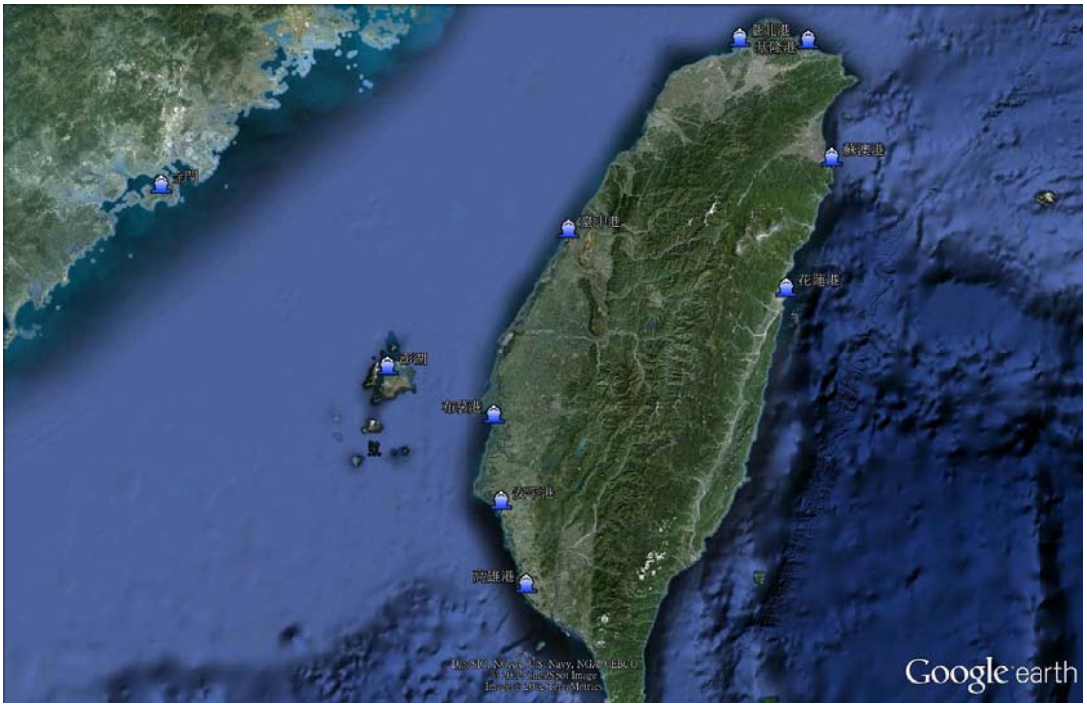


圖 2.22a 臺灣 10 個主要商港位置圖



☆風速儀 ◎潮位計 ◎波流儀

圖 2.22b 基隆港海氣象觀測位置圖



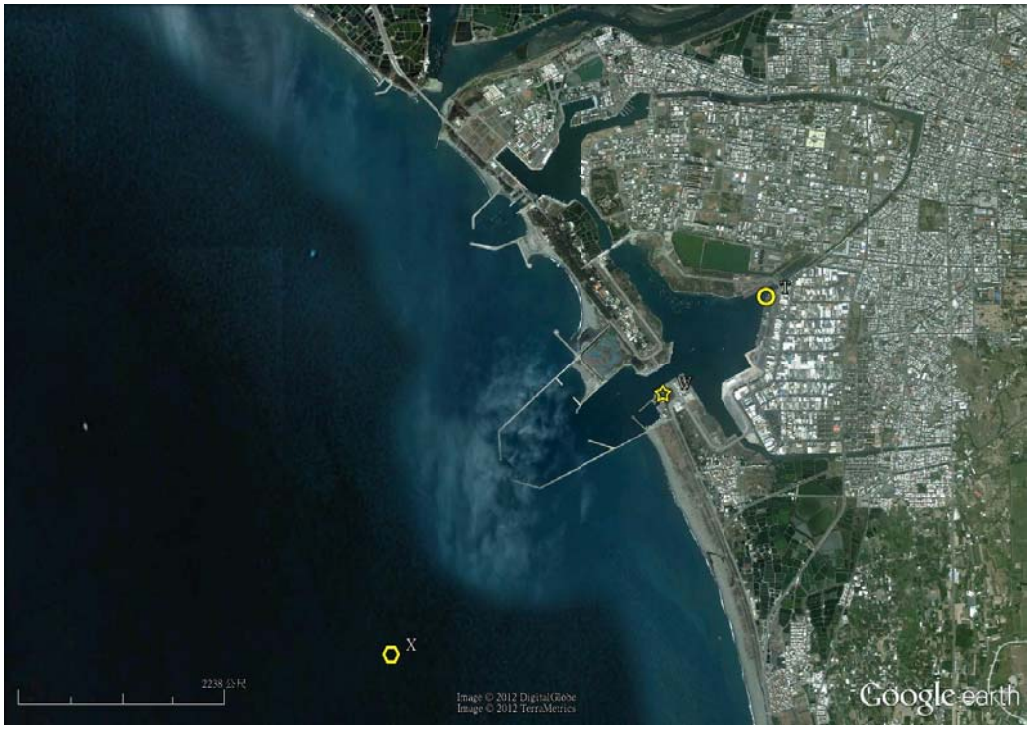
風速儀　潮位計　觀測樁

圖 2.22c 臺北港海氣象觀測位置圖



風速儀　潮位計　波流儀

圖 2.22d 臺中港海氣象觀測位置圖



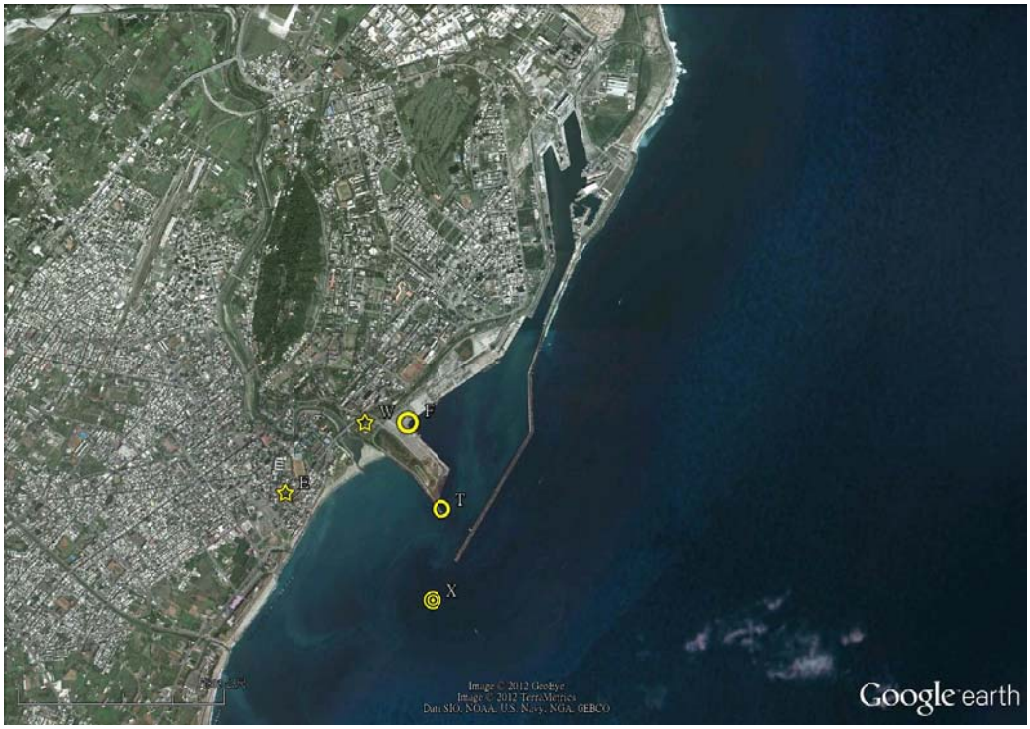
風速儀　潮位計　觀測樁

圖 2.22e 安平港海氣象觀測位置圖



風速儀　潮位計　波流儀

圖 2.22f 高雄港海氣象觀測位置圖



風速儀 潮位計 波流儀

圖 2.22g 花蓮港海氣象觀測位置圖



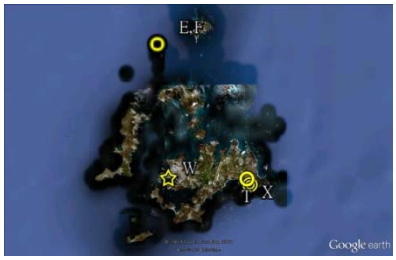
風速儀 潮位計 波流儀

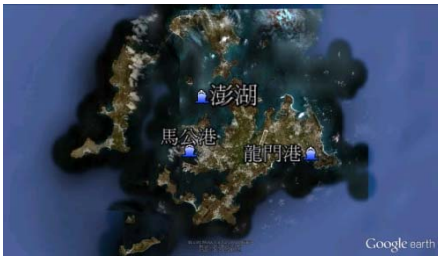
圖 2.22h 蘇澳港海氣象觀測位置圖



☆風速儀 ◎潮位計 ◎波流儀

圖 2.22i 布袋港海氣象觀測位置圖





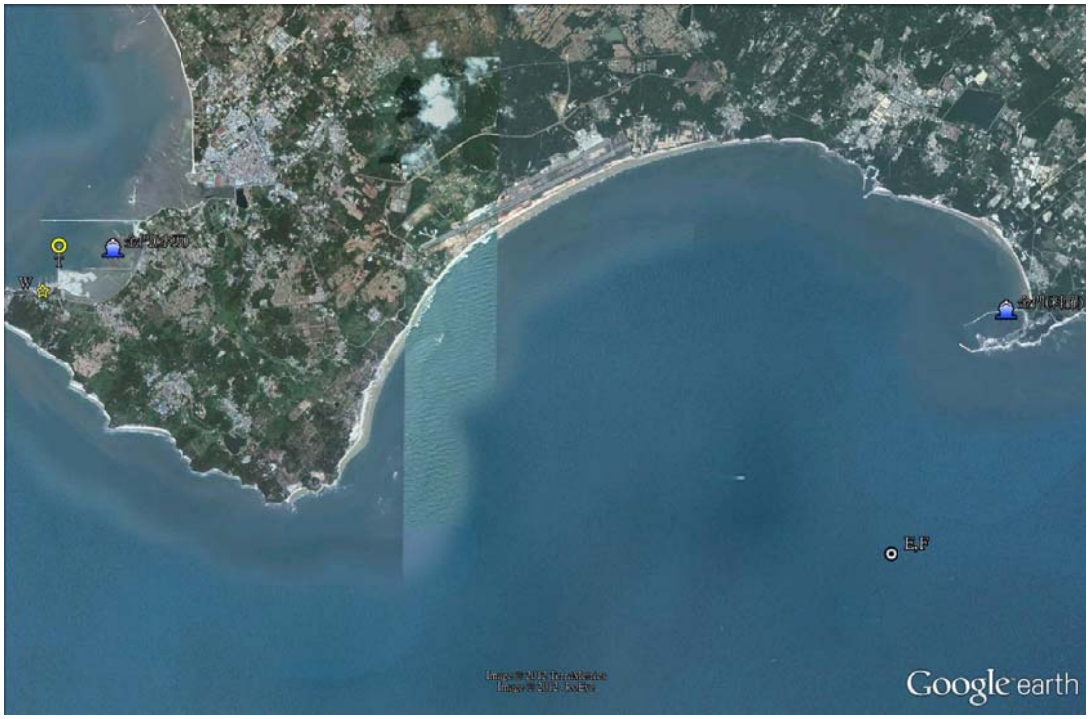




(馬公港) (龍門港)

☆風速儀 ◎潮位計 ◎波流儀 ◉氣象局浮標

圖 2.22j 澎湖海氣象觀測位置圖



風速儀　潮位計　氣象局浮標

圖 2.22k 金門海氣象觀測位置圖

表 2-6a 台灣主要商港觀測風力資料蒐集概況表

(統計至 2011 年 11 月)

序號	港區名稱	測站	經度	緯度	觀測期間	觀測單位	備註(觀測儀器)
1	基隆港(KL)	W	25°09'19"N	121°45'09"E	2002/06-2011/11 (觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計 2010/10 改超音波式風速風向儀
2	基隆港(KL)	E	25°07'58"N	121°44'26"E	1999/01-2011/11 (觀測中)	中央氣象局	
3	台北港(TP)	X0	25°10'44"N	121°22'41"E	1996/10-2004/09	港研中心	Young Brand 風速計
4	台北港(TP)	X1	25°10'54"N	121°22'32.7" E	2005/01-2011/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計
5	台北港(TP)	E	25°09'50"N	121°26'54"E	2004/01-2011/11(觀測中)	中央氣象局	Young Brand 風速計
6	台北港(TP)	W	25°09'23.7"N	121°22'18.6" E	2009/08-2011/1111(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計
7	臺中港(TC)	W	24°18'18"N	120°31'52"E	1981/02-2011/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計
8	臺中港(TC)	E	24°15'25"N	120°31'23"E	1996/09-2011/11 (觀測中)	中央氣象局	
9	臺中港(TC)	W1	24°17'59"N	120°29'12"E	2005/09-2011/11(觀測中)	港研中心	超音波風速風向儀
10	安平港(AP)	X	22°56'37"N	120°08'10"E	1999/10-2011/07	港研中心	Young Brand 風速計(觀測樁)
11	安平港(AP)	W	22°58'09"N	120°09'54"E	2009/08-2011/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計
12	高雄港(KH)	W	22°36'54"N	120°17'19"E	2002/06-2011/11 (觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計
13	高雄港(KH)	E	22°33'58"N	120°18'57"E	1999/01-2011/11 (觀測中)	中央氣象局	

序號	港區名稱	測站	經度	緯度	觀測期間	觀測單位	備註(觀測儀器)
14	高雄港 (KH)	W1	22°32'52" N	120°17'54" E	2010/09-2011/11 (觀測中)	港研中心	超音波風速風向儀
15	花蓮港 (HL)	W	23°58'50" N	121°37'12" E	2002/06-2011/11 (觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計 2007/12 改超音波風速風向儀
16	花蓮港 (HL)	E	23°58'30" N	121°36'47" E	1981/02-2011/11 (觀測中)	中央氣象局	
17	蘇澳港 (SA)	W	24°35'33" N	121°51'01" E	2003/06-2011/11 (觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計 2008/10 改超音波風速風向儀
18	蘇澳港 (SA)	E	24°35'48" N	121°51'26" E	1999/01-2011/11 (觀測中)	中央氣象局	
19	布袋港 (PT)	W	23°23'00" N	120°08'50" E	2006/08-2011/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計
20	澎湖 (PH)	W	23°33'46.4 "N	119°33'51.8" E	2009/12--2011/11 (觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計
21	澎湖 (PH)	E	23°43'37" N	119°33'07" E	-2011/11 (觀測中)	中央氣象局	
22	金門 (KM)	W	24°24'54.4 "N	118°17'13.0"E	2010/12--2011/11 (觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計
23	金門 (KM)	E	23°43'37" N	119°33'07" E	-2011/11 (觀測中)	中央氣象局	

表 2-6b 台灣主要商港觀測波浪資料蒐集概況表

(統計至 2011 年 11 月)

序號	港區名稱	測站	經度	緯度	觀測期間	觀測單位	備註(觀測儀器)
1	基隆港(KL)	X0	25°09'50"N	121°45'14"E	2001/06-2006/05	港研中心	AWCP
2	基隆港(KL)	X1	25°44'58"N	121°44'58"E	2006/08-2011/07	港研中心	AWCP
3	基隆港(KL)	X2	25°09'57"N	121°45'18"E	2011/08-2011/11(觀測中)	港研中心	AWCP
4	台北港(TP)	X0	25°10'44"N	121°22'41"E	1996/10-2004/09	港研中心	S4(舊觀測樁)
5	台北港(TP)	X1	25°10'54"N	121°22'32.7" E	2004/12-2011/11(觀測中)	港研中心	AWCP(新觀測樁)
6	臺中港(TC)	X0	24°17'54"N	120°29'39"E	1999/10-2000/08	港研中心	AWCP
7	臺中港(TC)	X1	24°18'04"N	120°28'59"E	2003/07-2011/11(觀測中)	港研中心	AWCP
8	安平港(AP)	X	22°56'37"N	120°08'10"E	1999/10-2011/07	港研中心	S4 及 AWCP(觀測樁)
9	高雄港(KH)	X0	22°34'23"N	120°16'09"E	2000/12-2005/08	港研中心	AWCP
10	高雄港(KH)	X1	22°32'20"N	120°17'31"E	2005/08-2011/11(觀測中)	港研中心	AWCP
11	花蓮港(HL)	X	23°57'59"N	121°37'33"E	2000/09-2011/11(觀測中)	港研中心	AWCP
12	蘇澳港(SA)	X	24°35'20"N	121°53'10"E	2002/08-2011/11(觀測中)	港研中心	AWCP
13	布袋港(PT)	X	23°22'49"N	120°07'29"E	2006/06-2010/03	港研中心	AWCP
14	布袋港(PT)	X1	23°22'49"N	120°07'29"E	2012/08-(觀測中)	港研中心	AWCP

序號	港區名稱	測站	經度	緯度	觀測期間	觀測單位	備註(觀測儀器)
14	澎湖 (PH)	X	23°33'21.2"N	119°40'31.0" E	2011/01-2011/11 (觀測中)	港研中心	AWCP

表 2-6c 台灣主要商港觀測潮汐資料蒐集概況表

(統計至 2011 年 11 月)

序號	港區名稱	測站	經度	緯度	觀測期間	觀測單位	備註(觀測儀器)
1	基隆港 (KL)	T	25°09'19" N	121°45'09" E	2002/07-2011/11 (觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計
2	基隆港 (KL)	X0	25°9'50" N	121°45'14" E	2001/06-2006/05	港研中心	AWCP
3	基隆港 (KL)	X1	25°44'58" N	121°44'58" E	2006/08-2011/07	港研中心	AWCP
4	基隆港 (KL)	X2	25°09'57" N	121°45'18" E	2011/08-2011/11 (觀測中)	港研中心	AWCP
5	台北港 (TP)	T	25°09'56.2"N	121°23'35.3" E	2009/09-2011/11 (觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計
6	台北港 (TP)	X0	25°10'44" N	121°22'41" E	1996/10-2004/09	港研中心	S4 舊觀測樁
7	台北港 (TP)	X1	25°10'54" N	121°22'32.7" E	2005/01-2011/11 (觀測中)	港研中心	S4 新觀測樁
8	台北港 (TP)	F	25°10'58" N	121°24'37" E	1994/10-2011/11 (觀測中)	水利署	Water Log 潮位計
9	臺中港 (TC)	T	24°17'16" N	120°31'57" E	1989/12-2011/11 (觀測中)	港研中心	Water Log
10	臺中港 (TC)	X0	24°18'04" N	120°28'59" E	1999/10-2000/08	港研中心	AWCP
11	臺中港 (TC)	X1	24°17'54" N	120°29'39" E	2003/07-2011/11 (觀測中)	港研中心	AWCP

序號	港區名稱	測站	經度	緯度	觀測期間	觀測單位	備註(觀測儀器)
12	安平港(AP)	X	22°56'37"N	120°08'10"E	1999/10-2011/07	港研中心	觀測樁
13	安平港(AP)	T	22°58'43"N	120°10'33"E	1979/03-2008/11	港務局	
14	安平港(AP)	T	22°58'42.5"N	120°10'32.7"E	2008/08-2011/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計
15	高雄港(KH)	T	22°32'52"N	120°17'18"E	2003/06-2011/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計
16	高雄港(KH)	X0	22°34'23"N	120°16'09"E	2000/12-2005/08	港研中心	AWCP
17	高雄港(KH)	X1	22°32'20"N	120°17'31"E	2005/08-2011/11(觀測中)	港研中心	AWCP
18	高雄港(KH)	F	22°36'52"N	120°17'18"E	1988/01-2011/11(觀測中)	高雄港務局	
19	花蓮港(HL)	T	23°58'25"N	121°37'36"E	2001/07-2011/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計
20	花蓮港(HL)	X	23°57'59"N	121°37'33"E	2000/09-2011/11(觀測中)	港研中心	AWCP
21	花蓮港(HL)	F	23°58'50"N	121°37'25"E	1980/01-2011/11(觀測中)	中央氣象局	0
22	蘇澳港(SA)	T	24°35'33"N	121°51'56"E	2003/06-2011/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計
23	蘇澳港(SA)	X	24°35'20"N	121°53'10"E	2002/08-2011/11(觀測中)	港研中心	AWCP
24	蘇澳港(SA)	F	24°35'33"N	121°51'56"E	1981/01-2011/11(觀測中)	中央氣象局	
25	布袋港(PT)	T	23°23'03"N	120°09'20"E	2008/08-2011/07	港研中心	Water Log 潮位計
26	布袋港(PT)	T1	23°22'43"N	120° 8'18"E	2011/08-2011/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計
27	布袋港	X	23°22'49"	120°07'29"	2006/06-2010/03	港研中	AWCP

序號	港區名稱	測站	經度	緯度	觀測期間	觀測單位	備註(觀測儀器)
	(PT)		N	E		心	
28	布袋港(PT)	X1	23°22'49" N	120°07'29" E	2012/08-(觀測中)	港研中心	AWCP
29	澎湖(PH)	T	23°33'36.8 "N	119°40'05. 9" E	2011/01-2011/11 (觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計
30	澎湖(PH)	X	23°33'21.2 "N	119°40'31. 0" E	2011/01-2011/11 (觀測中)	港研中心	AWCP
31	澎湖(PH)	F	23°43'37" N	119°33'07" E	-2011/11 (觀測中)	氣象局	
32	金門(KM)	T	24°25'16.2 "N	118°17'21. 6"E	2011/01-2011/11 (觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計
33	金門(KM)	F	23°43'37" N	119°33'07" E	-2011/11 (觀測中)	氣象局	

表 2-6d 台灣主要商港觀測海流資料蒐集概況表

(統計至 2011 年 11 月)

序號	港區名稱	測站	經度	緯度	觀測期間	觀測單位	備註(觀測儀器)
1	基隆港(KL)	X0	25°09'50" N	121°45'14" E	2001/06-2006/05	港研中心	AWCP
2	基隆港(KL)	X1	25°44'58" N	121°44'58" E	2006/08-2011/11	港研中心	AWCP
3	基隆港(KL)	X2	25°09'57" N	121°45'18" E	2011/08-2011/11 (觀測中)	港研中心	AWCP
4	台北港(TP)	X0	25°10'44" N	121°22'41" E	1996/10-2004/09	港研中心	S4 舊觀測樁
5	台北港(TP)	X1	25°10'54" N	121°22'32. 7" E	2004/12-2011/11 (觀測中)	港研中心	S4 新觀測樁
6	臺中港	X0	24°17'54"	120°29'39"	1999/10-2000/08	港研中	AWCP

序號	港區名稱	測站	經度	緯度	觀測期間	觀測單位	備註(觀測儀器)
	(TC)		N	E		心	
7	臺中港(TC)	X1	24°18'04"N	120°28'59"E	2003/07-2011/11(觀測中)	港研中心	AWCP
8	安平港(AP)	X	22°56'37"N	120°08'10"E	1999/10-2011/07	港研中心	S4 及AWCP(觀測樁)
9	高雄港(KH)	X0	22°34'23"N	120°16'09"E	2000/12-2005/08	港研中心	AWCP
110	高雄港(KH)	X1	22°32'20"N	120°17'31"E	2005/08-2011/11(觀測中)	港研中心	AWCP
11	花蓮港(HL)	X	23°57'59"N	121°37'33"E	2000/09-2011/11(觀測中)	港研中心	AWCP
12	蘇澳港(SA)	X	24°35'20"N	121°53'10"E	2002/08-2011/11(觀測中)	港研中心	AWCP
13	布袋港(PT)	X	23°22'49"N	120°07'29"E	2006/06-2010/03	港研中心	AWCP
14	布袋港(PT)	X1	23°22'49"N	120°07'29"E	2012/08-(觀測中)	港研中心	AWCP
15	澎湖(PH)	X	23°33'21.2"N	119°40'31.0" E	2011/01-2011/11(觀測中)	港研中心	AWCP

2.4 港灣環境資訊系統概述

本所利用資訊技術將臺灣各港口之海氣象現場觀測即時資料與數值模式計算預報資訊加以系統整合以建置港灣環境資訊系統，提供港埠管理單位、全國災害防救中心及中央主管機關查詢，並且透過資訊網路即時提供給港灣管理單位、國內外船舶業者及有關人員查詢，可積極提升海上航行安全之整合性系統。

主要的應用功能系統建置於微軟資料庫(Microsoft SQL Server)，計有海象觀測資訊、海象模擬資訊、港區影像系統、港區地震系統、海嘯模擬資訊及港埠基本資料等。以網頁整合 Google Map 查詢、展示相關之資訊，相關資訊包含現場觀測之港區附近海域海象觀測資訊以及數值預報子系統等之資料；提供臺灣環島海域不同尺度之數值計算結果，包括數位資料、資料數據表、資料歷線圖、平面等值動畫圖、平面向量動畫圖及各類統計表、統計圖等之應用。整體系統架構圖如圖 2.23 所示，目前本系統已有對外展示網頁如圖 2.24 所示，網址為 http://isohe.ihmt.gov.tw，並已提供相關單位使用。

本系統對外展示部分已逐步整合於本所港灣環境資訊系統內，維持每日提供數值預報資訊及即時海嘯模擬資訊等相關資料包括 72 小時(昨日、今日、明日)模擬等預報資料相關風、波、潮及流數值模擬結果以及海嘯最大波抵達時間及最大值等，以提供外界使用，本節即對此系統及系統內對於海象觀測資訊、海象模擬資訊及海嘯模擬資訊如何介接做一概述說明。

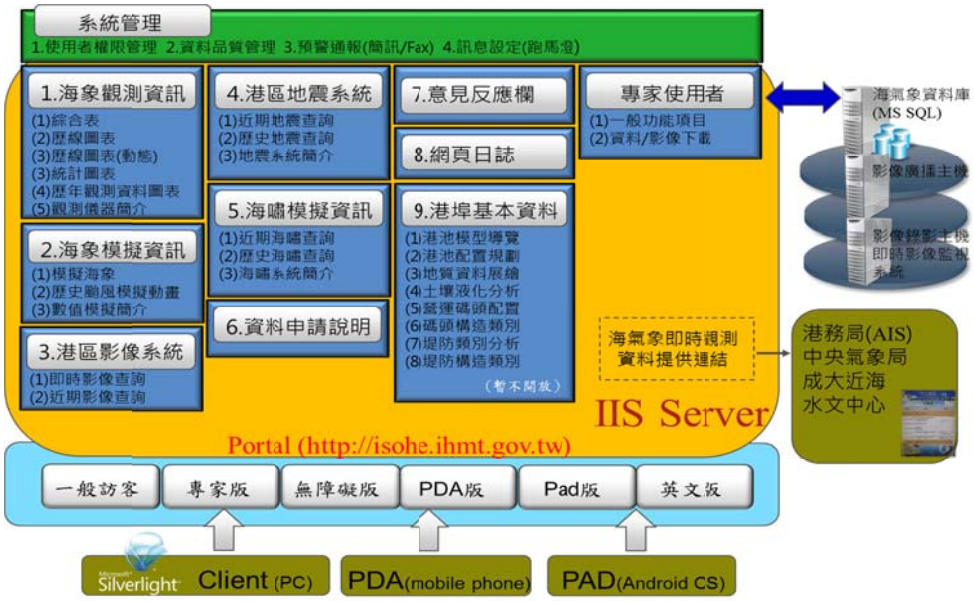


圖 2.23 港灣環境資訊系統整體架構圖



網址為：http://isohe.ihmt.gov.tw

圖 2.24 港灣環境資訊網首頁

2.3.2 海象觀測資訊

已完成建立資料庫連結中心即時海氣象資料包含臺北港、基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、臺中港、布袋港、澎湖等港口的海氣象資料會由資料庫同步程式定時擷取以及每年匯入上年度相關海象觀測年報資料。

1.資料庫介接架構

目前已完成建立資料庫連結包含臺北港、基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、臺中港、布袋港、澎湖等港口的海氣象資料會由資料庫同步程式定時擷取，將資料同步複製至海情暫存資料庫(Wap_Temp)，再藉由資料品管及匯入程式將國際港以及商港的海氣象即時資料(風力、潮汐、波浪、海流、水溫)匯入至海情正式資料庫(Wap_Formal)。

2.網頁展示

目前港灣環境資訊網點選頁籤中即時觀測系統主項目，即可進入海氣象歷線圖,此部分改善可直接切換瀏覽其他港口的海氣象歷線圖，並且將現有系統的海氣象項目和歷線圖種類作整合和調整查詢選項的順序，便於使用者查詢提高版面的簡潔度。

由於使用者不易在文字上辨識測站名稱的位置，為了讓使用者更清楚、進一步地了解港區地理位置以及觀測儀器測站/模擬測站位置，於海氣象測站位置圖頁面中如圖 2.25 所示，也增加了測站位置說明，採用 Google map 的互動呈現方式，同時標示觀測海氣象儀器之測站以及模擬測站的相關位置，使用者可明確地對照海氣象歷線圖的測站名稱，如圖 2.26 海氣象歷線圖/資料表。

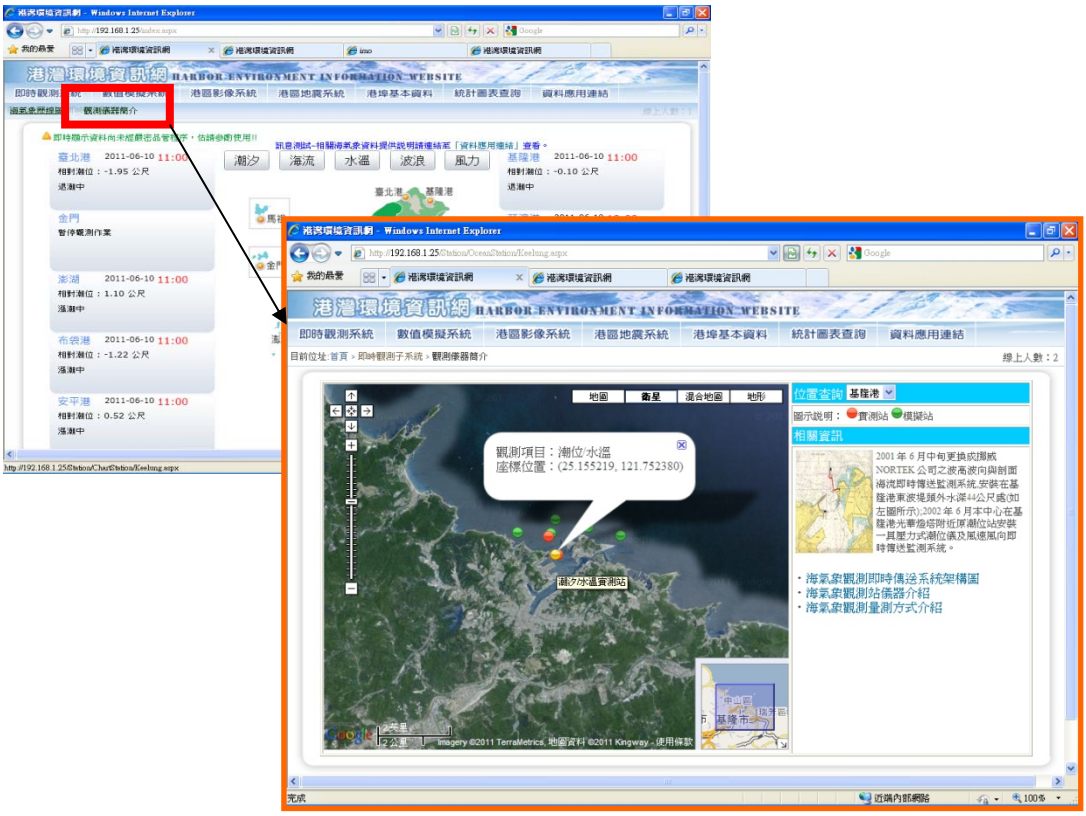


圖 2.25 海氣象測站位置圖查詢畫面



圖 2.26 海氣象歷線圖/資料表(以基隆港 風速歷線圖為例)

2.3.3 海象模擬資訊

近岸數值模擬系統將各海氣象相關的模組每日所計算的數值匯整成文字檔與圖片檔，而海情中心的伺服器以定時同步資料夾的程式，將相關的資料複製至伺服器的硬碟。並且將文字檔的資料透過程式匯入海情正式資料庫。而數值模擬資料則是用來提供海氣象歷線圖所使用的數據，且於網頁中與實測值套疊作展示，讓使用者查詢觀看。今年度新增波浪(Refdif 模式)數值模擬與小尺度的海流(Fehdm 模式) 數值模擬，並於港區附近挑選 5 個模擬測站，目前已完成有基隆港、臺北港、臺中港的模擬資料。另有關小尺度波浪已陸續建置完成主要港口包含基隆港、臺北港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、臺中港。

1.資料介接架構

有關港灣環境資訊系統每日定時自動蒐集數值預報子系統資料，每日定時由模擬資料同步程式複製近岸數值模擬系統之相關資料(文字檔和圖片檔)，其相關來源路徑連接及儲存位置設定，其來源資料會儲存於海情伺服器上的硬碟。接著再透過模擬資料品管及匯入程式，將近岸模擬之海氣象數值資料(風力、潮汐、波浪、海流)分別匯入至海情正式資料庫(Wap_Formal)。

2.網頁展示

海象模擬網頁展示加入套疊觀測及模擬資料之歷線圖表以及整合其相關的海氣象圖形動畫，並且依模擬尺度範圍(大、中以及小尺度)規劃區分做呈現，使用者可點選欲要瀏覽的模擬尺度範圍，做進一步的查詢(如圖 2.27 所示)，其內包含模擬資料如表 2-12 所示。且其模擬尺度範圍所提供的資料有歷線圖表查詢以及海氣象圖形動畫展現。而針對模擬測站查詢的部分，增加測站相關的詳細資訊呈現，讓使用者在查詢更具人性化以及便於清楚瀏覽相關資訊。有關其歷線圖展示以基隆港波浪模擬 (大尺度、中尺度、小尺度) 歷線圖及臺北港相對潮位歷線圖及流速歷線與流向歷線說明如圖 2.28、圖 2.29、圖 2.30 所示，

展示網頁內容包含港口名稱、圖形選擇、模擬資訊輸出位置點，日期、3 日歷線圖以及資料表。有關圖檔展示部分已小尺度波高及流場動畫圖如圖 2.59、3.60 為例，系統內展示當日 72 張圖檔並做動畫可任選時間點暫停，便於使用者了解該小時平面概略波流資訊。

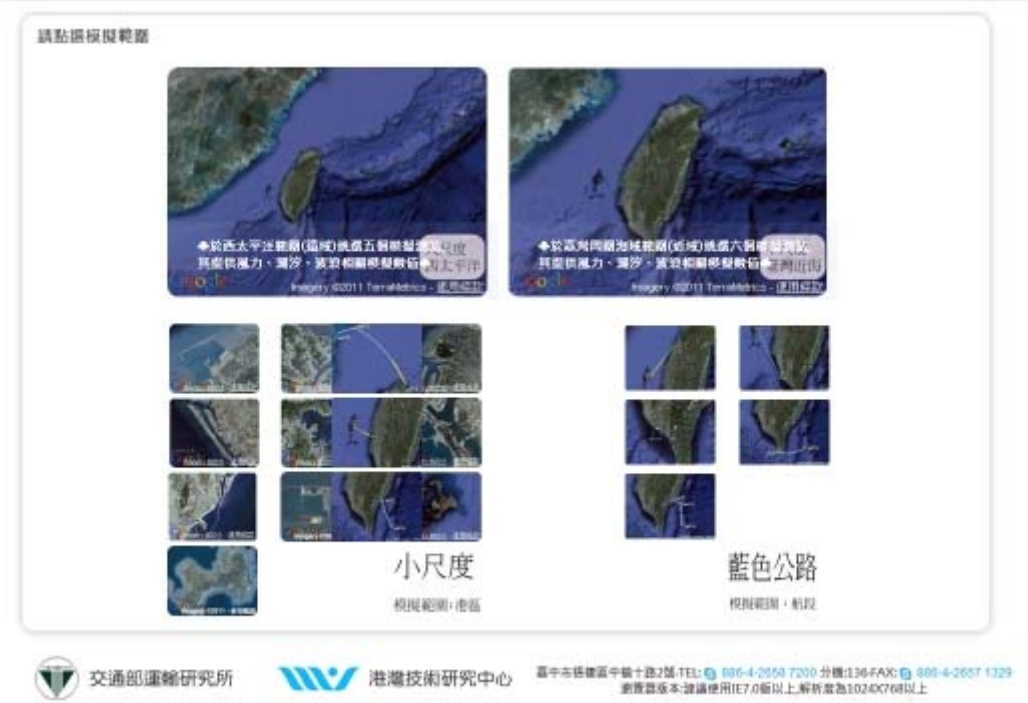


圖 2.27 海象模擬資訊網頁展示圖

表 2-12 海象模擬資訊展示內容彙整表

大尺度西太平洋範圍	歷線圖 (在外海選 5 點資料輸出)	風速歷線圖
		風向歷線圖
		相對潮位歷線圖
		波高歷線圖
		波向歷線圖
		波浪週期歷線圖
	平面圖	氣壓+風速向量場分佈圖
		水位分佈圖
		波高分佈圖
		波浪週期分佈圖
		波向分佈圖
		流速向量場分佈圖
中尺度臺灣近海範圍	歷線圖 (臺灣周圍海域選6點資料輸出)	風速歷線圖
		風向歷線圖
		相對潮位歷線圖
		波高歷線圖
		波向歷線圖
		波浪週期歷線圖
	平面圖	氣壓+風速向量場分佈圖
		水位分佈圖
		波高分佈圖
		波浪週期分佈圖
		波向分佈圖
		流速向量場分佈圖
小尺度港區範圍	歷線圖 (基隆港及臺北港海域選 5 點資料輸出)	風速歷線圖
		風向歷線圖
		相對潮位歷線圖
		波高歷線圖
		波向歷線圖
		波浪週期歷線圖
		流速歷線圖
		流向歷線圖
	平面圖 基隆港及臺北港海域)	近岸波高分佈圖
		近岸流速向量場分佈圖



圖 2.28 展示基隆港波浪模擬 (大尺度、中尺度、小尺度) 歷線圖



圖 2.29 展示臺北港相對潮位歷線圖

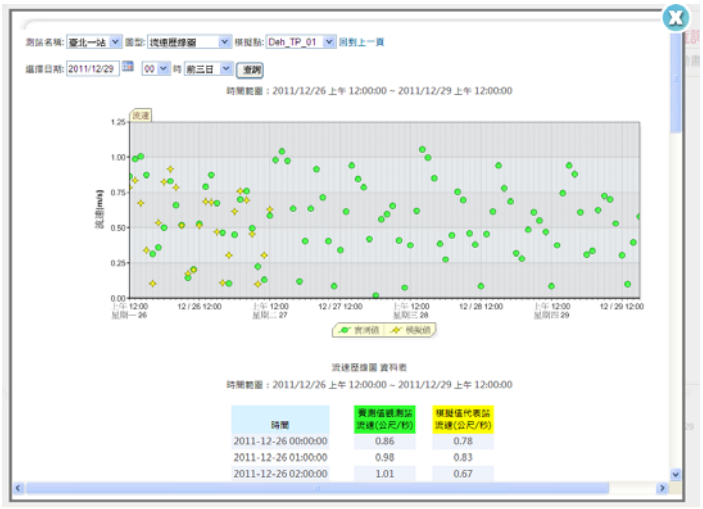
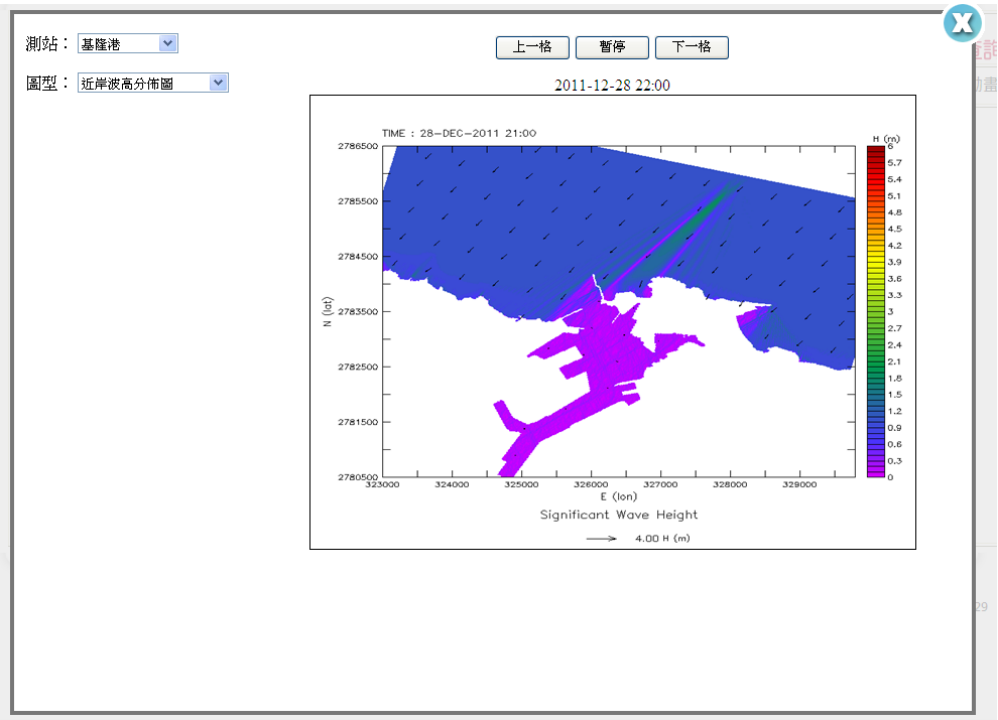




圖 2.30 展示臺北港流速及流向歷線圖



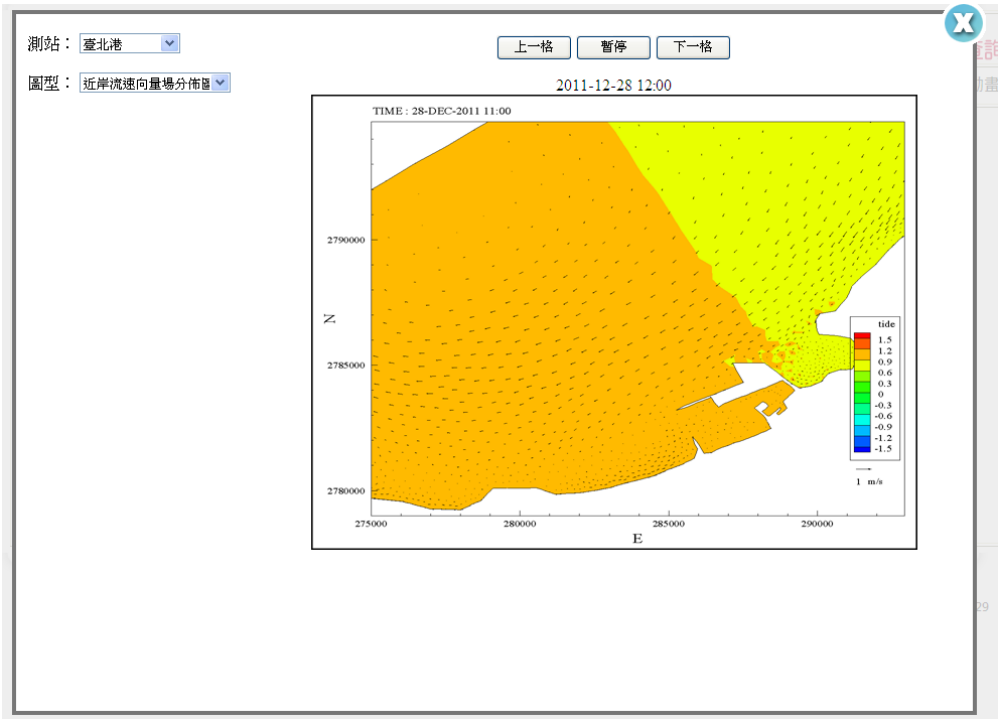


圖 2.32 展示臺北港流速向量場分佈圖

2.4.4 海嘯模擬資訊

海嘯模擬資訊將海嘯模擬數值所提供文字檔以及圖片檔彙整展示，而海情中心的伺服器以定時同步資料夾的程式，將相關的資料複製至伺服器的硬碟。並且將文字檔的資料透過程式匯入海情正式資料庫，此部分的作業會持續性方式執行，一旦資料更新則立即於網頁中作展示，讓使用者可隨時於網頁查詢觀看。

1.資料介接架構

每日定時由海嘯資料同步程式(批次檔)同步複製海嘯模擬系統之相關資料(文字檔和圖片檔)，其同步的訊息會記錄於檔案。而來源資料會儲放於海情伺服器上的硬碟，接著其地震相關詳細資訊、水位分析結果訊息、海嘯模擬數值，再透過海嘯模擬資料及匯入程式，將海嘯模擬之地震相關詳細資訊、水位分析結果訊息、數值資料分別匯入至海情正式資料庫(Wap_Formal)。

2.海嘯模擬資訊展示與查詢

目前建置以2011/03/11日本海嘯生成樣本做範例(如圖2.33所示)，匯整後之海嘯模擬資訊作業，大致可分為地震資訊、各港水位歷線及表，說明如下：

海嘯資訊於GoogleMap標示臺灣港區位置(基隆、臺北、臺中、安平、布袋、高雄、蘇澳以及花蓮)，網頁畫面如圖2.34所示。其包含了地震的相關詳給資訊、震央位置圖以及到達臺灣各港區的相關預警訊息資料海嘯模擬水位資訊查詢。

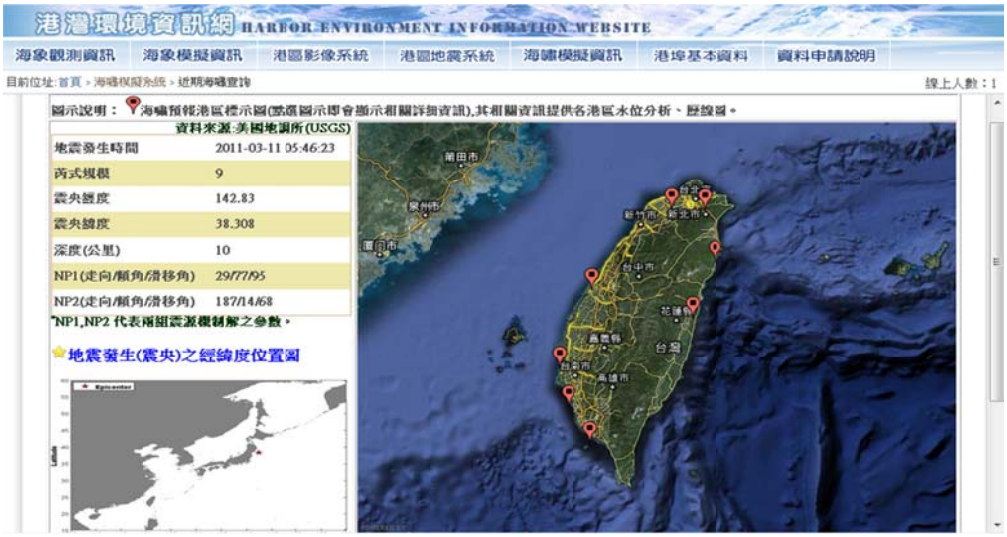


圖 2.33 海嘯查詢網頁

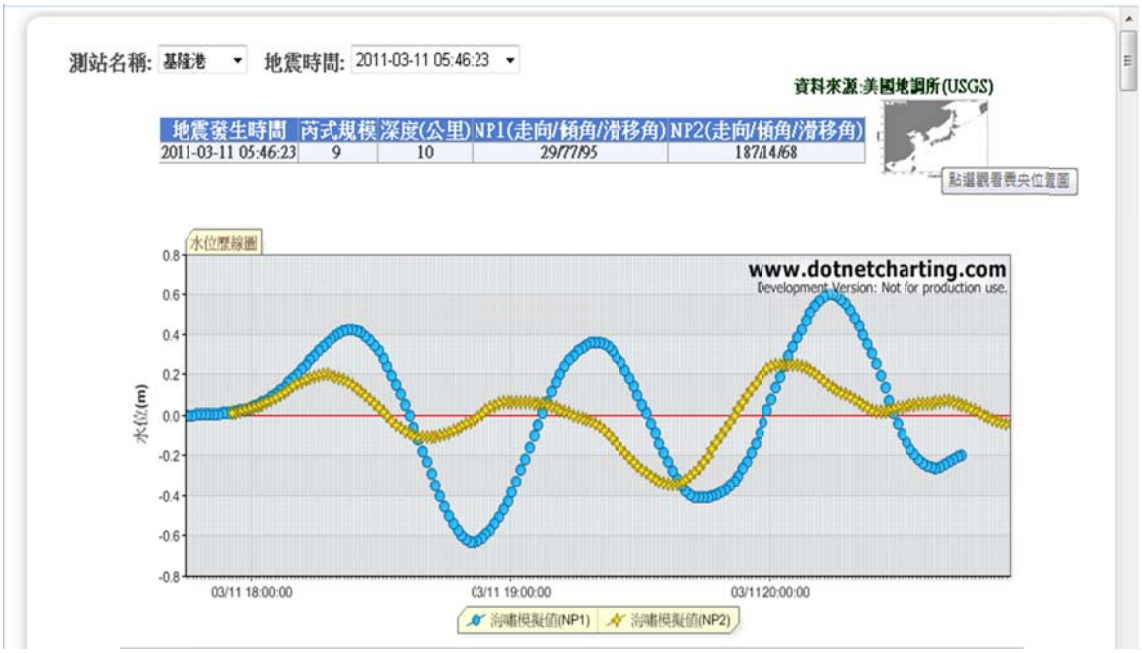


圖 2.34 展示基隆港海嘯水位變化歷線圖

第三章 波浪模擬系統之改善研究

目前臺灣環島海象預報系統(Taiwan Coastal Operational Modeling System，TaiCOMS)架構下波浪作業化模擬(預報)系統已分別建構大尺度西太平洋風浪模組(West Pacific wind-wave model)、中尺度臺灣周圍海域風浪模組(Taiwan Nearshore wind-wave model)、小尺度港區近岸波浪模組(Harbor Nearshore wave model)以及細尺度港域波浪模組(Finite Element Harbor wave model)等四組不同尺度的波浪模組。建構波浪作業化模擬(預報)系統目的在藉由輸入中央氣象局 NFS 預報風場資料模擬海面風浪之成長、減衰與傳遞，並透過大、中、小三種尺度的波浪模組連貫作業化模擬流程，達到對七大商港(即基隆港、臺北港、臺中港、安平港、高雄港、花蓮港及蘇澳港等)外海風浪及波浪場模擬預報之目標，以及提供環島藍色公路及航港局、港務公司及其分公司管轄之各港口航運安全之風浪預警資訊。

3.1 臺灣近岸波浪模擬系統簡述

3.1.1 波浪模擬系統架構說明

TaiCOMS 架構下波浪場模擬系統內各波浪模組依據模擬範圍大小或網格尺度大小可區分為大尺度西太平洋範圍風浪模組、中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組、小尺度港區近岸波浪模組以及細尺度港域波浪模組等四部份。其中大尺度西太平洋範圍風浪模組模擬範圍含蓋西太平洋北緯 10 度至北緯 35 度，東經 110 度至 134 度之區域，如圖 3.1 所示，圖中模式網格採用解析度為 12 分之地球弧形網格；中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組之模擬範圍係以臺灣本島為中心，南起於北緯 21 度，往北至北緯 26 度，西向至東經 119 度，往東至東經 123 度，如圖 3.2 所示，圖中模式採用網格解析度 0.04 度(2.4 分)方格網格；小尺度港區近岸波浪模組則分別依據七大商港港域大小及鄰近海岸地形水

深變化狀況建置適當的模擬範圍，如圖 3.3 所示，其中各港口小尺度港區近岸波浪模組之計算網格均採用 10 m 間距解析度之方格網格；至於細尺度港域波浪模組之模擬範圍則針對各港口外廓配置選取適當的假想半圓模擬邊界，其數值計算網格則採用隨港域水深變化建置的三角形元素網格，其中最小元素邊長可小至約 2 m 左右。

各尺度波浪模組之功能區分及目的說明如下：大尺度西太平洋範圍風浪模組其功能設定為 TaiCOMS 波浪模擬系統上游波浪模組，因受到模擬範圍較大、網格解析度較低之影響，故其建置目的主要因應颱風波浪模擬提供遠域颱風波浪(或湧浪)模擬資訊，以及提供中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組必要之邊界條件。中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組之功能設定為 TaiCOMS 波浪模擬系統之中游波浪模組，因其模擬範圍較小、網格解析度較高，故其以提供臺灣周圍海域較精確的風浪模擬資訊，及提供七大商港小尺度港區近岸波浪模組波浪場模擬條件為目的。小尺度港區近岸波浪模組在功能定位上設定為 TaiCOMS 波浪模擬系統之下游波浪模組，分別針對國內七大商港發展出適合各港區海岸特性之港區近岸波浪模擬模組，目的在於模擬各港區外海波浪向港口及向海岸傳播過程之波浪場，以期提供各港區近岸更精確或詳細的波浪場資料。至於細尺度港域波浪模組之功能定位同屬 TaiCOMS 波浪模擬系統之下游波浪模組，主要目的在針對颱風期間可能危及各港口營運及安全的颱風波浪進行港池靜穩模擬與分析，藉以瞭解港內波浪狀況及評估是否影響船舶泊靠安全。

各波浪模組選用的數值模式分述如下：大尺度西太平洋範圍風浪模組在兼顧模式模擬速度及穩定性等考量下，經評估採用較適合廣大海域風浪模擬的海洋波浪預測模式 WAM (WAve Modeling)為其核心模式。中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組考量其目的提供臺灣周圍海域較精確的風浪模擬資訊，故選用較能呈現海岸地形變化對風浪傳播影響的近海風浪模式 SWAN (Simulating WAves Nearshore)作為中尺度波浪模組之主體。上述二模式均為第三代波譜風浪模式，主要用於海面風浪之生成、傳播與減衰等現象。小尺度港區近岸波浪模組則基於模

擬運算速度考量而採用 Kirby 及 Dalrymple (1983)所發展的波浪折繞射模式(REF/DIF)為基礎建構適合各港口海岸特性之港區近岸波浪模組，細尺度域波浪模組則採用能夠模擬港內波浪反射現象之有限元素港域波浪模式，此二模式均屬建構於緩坡方程式(mild slop equation)基礎上之波浪模式，主要針對特定波浪條件(如波高、週期、波向等)模擬波浪向岸傳播過程的波浪變化。上述四種模式中除了有限元素港域波浪模式為研究團隊自行建置之程式碼外，WAM、SWAN 及 REF/DIF 均依據國際上公開之程式碼進行修編，使其適用於 TaiCOMS 之作業環境。

TaiCOMS 每日波浪作業化模擬流程，如圖 3.4 所示，內容主要包括執行大尺度西太平洋範圍風浪模組、中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組及七大商港小尺度港區近岸波浪模組等波浪模組連續 72 小時風浪(波浪)場模擬工作。

在 TaiCOMS 架構下海面風(氣壓)場資料係採用由中央氣象局提供非靜力區域預報模式(Nonhydrostatic Forecast System，簡稱 NFS) 72 小時預報風壓場數值資料，中央氣象局每日兩次預報作業分別於臺灣時區 08:00 及 20:00 執行。由 NFS 提供的數值資料包含 3 層不同範圍之巢狀網格，即以臺灣為中心由最外層大域至最內層小域之水平網格間距分別為 45 km、15 km 及 5 km，本計畫分別以大域 RC 風場資料、中域 MC 風場資料及小域 HC 風場資料稱之。其中大域 RC 風場設定為波浪模擬系統大尺度西太平洋範圍風浪模組之輸入資料，中域 MC 風場則設定為中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組之輸入資料，有關 TaiCOMS 系統風壓場資料之處理及組成說明如第二章所述。

基本上，波浪模擬系統每日風浪作業化模擬係依據系統每日產生的風場資料進行 72 小時模擬作業，其中前 24 小時屬於現報模擬，其結果將與各港口即時觀測波浪資料比對，以提供對作業化模擬結果之判斷或評估依據；後 48 小時屬於預測模擬計算，故僅呈現各波浪模組之模擬結果，作為本中心內部或港勤之參考。

以上有關 TaiCOMS 波浪模擬系統下不同屬性(大、中、小及細尺度)之波浪數值模組、模擬範圍與解析度、相關應用的波浪模式、模擬輸入資料及輸出結果綜整如表 3-1 所列

表 3-1 TaiCOMS 各波浪數值模組之特性綜整表

屬性	模組	模擬範圍/解析度	應用波浪模式	輸入	輸出
大尺度	西太平洋範圍風浪模式	東經：110°~134° 北緯：10°~35° 解析度：0.2°	海洋波浪預測模式 WAM	RC 風場(來源 NFS 預報之大域風場)	每日作業化模擬結果(72 小時平面波場資料、中尺度模組巢狀邊界風浪資料及各港區外海波浪資料)
中尺度	臺灣周圍海域範圍風浪模式	東經：110°~134° 北緯：10°~35° 解析度：0.2°	近海風浪模式 SWAN	MC 風場(來源 NFS 預報之中域風場) 巢狀邊界風浪條件(來源西太平洋範圍風浪模擬結果	每日作業化模擬結果(72 小時平面波場資料及各港區外海波浪資料)
小尺度	基隆港港區近岸波浪模式	向離岸：6.2 km 沿海岸：7.3 km 解析度：10 m	波浪折繞射模式 REF/DIF	港區外海波浪條件(來源臺灣周圍海域範圍風浪模擬結果)	每日作業化模擬結果(72 小時平面波場資料及各港區波浪觀測點位波高及波向)
	臺北港港區近岸波浪模式	向離岸：8.0 km 沿海岸：13.0 km 解析度：10 m			
	臺中港港區近岸波浪模式	向離岸：10.0 km 沿海岸：19.0 km 解析度：10 m			
	安平港港區近岸波浪模式	向離岸：10.0 km 沿海岸：5.0 km 解析度：10 m			
	高雄港港區近岸波浪模式	向離岸：8.0 km 沿海岸：17.0 km 解析度：10 m			
	花蓮港港區近岸波浪模式	向離岸：3.2 km 沿海岸：8.0 km 解析度：10 m			
	蘇澳港港區近岸波浪模式	向離岸：6.0 km 沿海岸：8.0 km 解析度：10 m			

表 3-1 (續)TaiCOMS 各波浪數值模組之特性綜整表

屬性	模組	模擬範圍/解析度	應用波浪模式	輸入	輸出
細尺度	基隆港港域波浪模式	假想邊界半徑：1000 m 元素數：59,694 節點數：30,679	有限元素港域波浪模式	波高、週期、波向	波高(或 KD 值)平面分布資料
	臺北港港域波浪模式	假想邊界半徑：3500 m 元素數：268,830 節點數：135,484			
	臺中港港域波浪模式	假想邊界半徑：3500 m 元素數：327,611 節點數：166,214			
	安平港港域波浪模式	假想邊界半徑：2000 m 元素數：100,728 節點數：51,159			
	花蓮港港域波浪模式	假想邊界半徑：2200 m 元素數：130,169 節點數：258,117			
	蘇澳港港域波浪模式	假想邊界半徑：826 m 元素數：70,797 節點數：36,436			

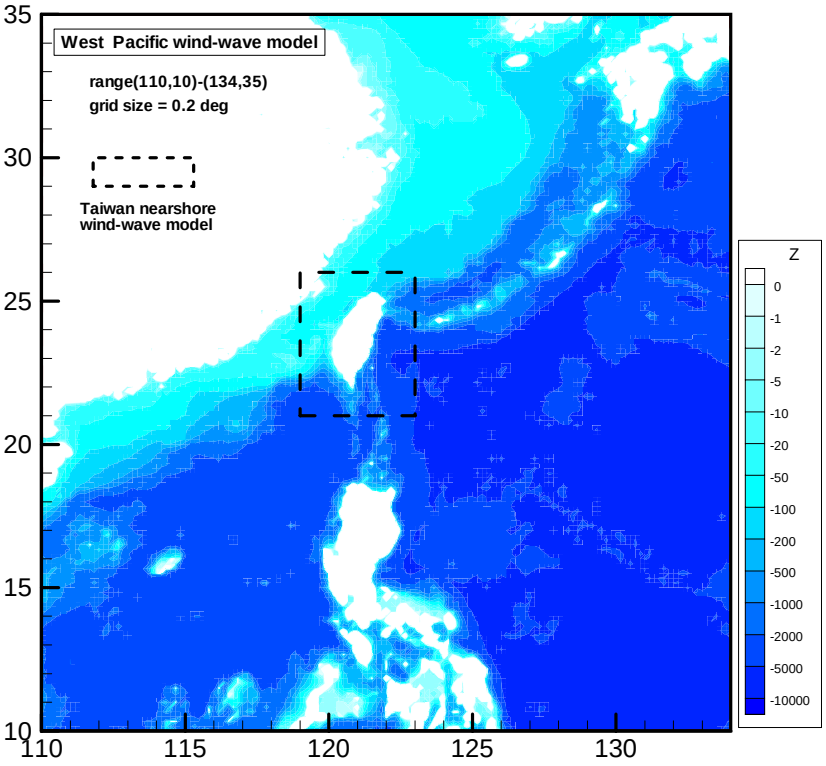


圖 3.1 大尺度西太平洋風浪模式之模擬範圍

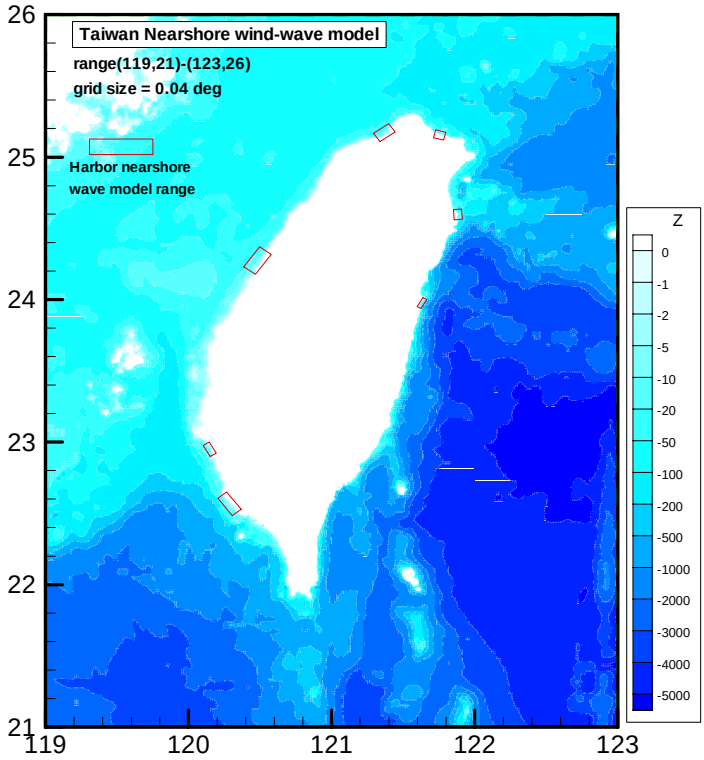


圖 3.2 中尺度臺灣近岸海域風浪模式之模擬範圍

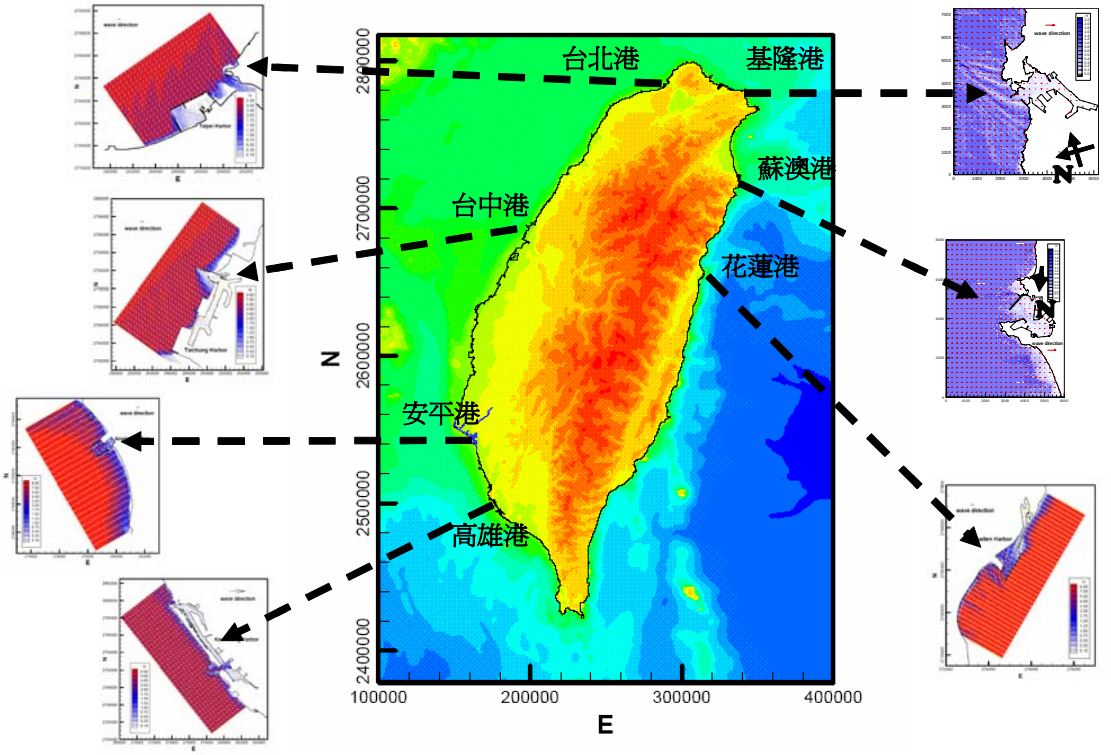


圖 3.3 國內七大港口位置及小尺度港區近岸波浪模式模擬範圍

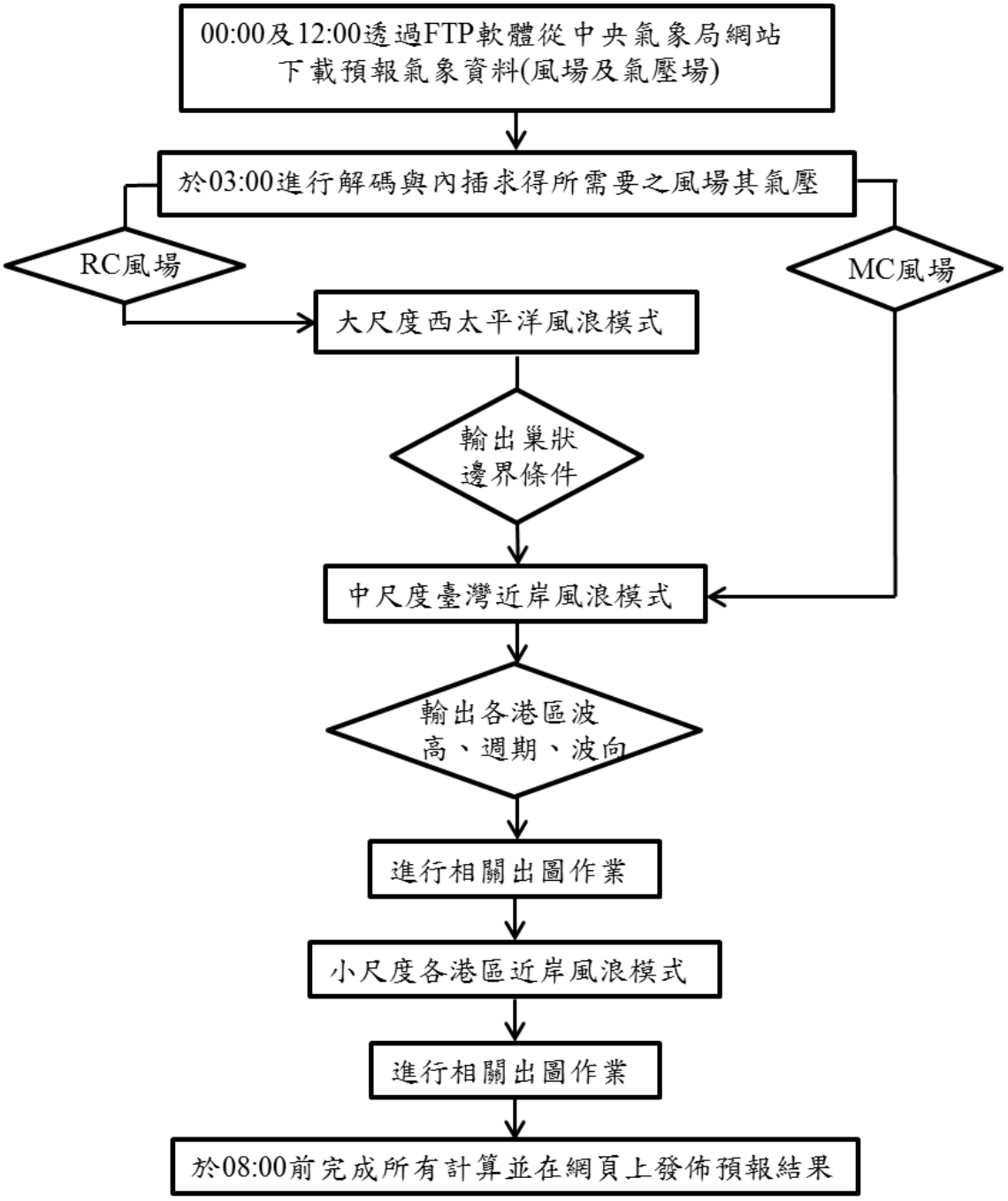


圖 3.4 臺灣近岸海象數值模擬系統波浪模擬線上作業流程

3.1.2 西太平洋範圍風浪模式基本理論介紹

對 TaiCOMS 而言，大尺度西太平洋範圍風浪模式是依據海洋波浪預測模式 WAM (WAve Modeling)為模式之基礎而建置的，目前 TaiCOMS 使用的版本係經由 WAMDI (The Wave Model Development and Implementation) Group (1988)改良的模式。WAM 模式所使用的基本方程式為二維波浪能量平衡方程式，此方程式能夠描述方向波譜在時間及空間上的變化過程。這些變化過程包括風浪的生成、波能的消散、底床摩擦效應，以及波與波之間非線性交互作用。其波浪能量平衡方程式可表示為：

$$\frac{\partial F}{\partial t}+\nabla\bullet\left(\vec{C}_g F\right)=S \quad \text{.....(3.1)}$$

式中 $F=F\left(f,\theta,\vec{x},t\right)$ 為波浪能量密度譜(spectral density)，f 為波浪的頻率，θ 定義為波浪的傳播方向，$\vec{x}$ 為位置，t 為時間，$\vec{C}_g$ 為波浪群速度(group velocity)，S 為源函數(source function)。

在大範圍波浪場計算時，因地球曲率會影響波浪的傳遞，因此常以球面座標系統(ϕ，λ)推導(3.1)式，得到下列描述二維波浪能量平衡方程式之球面座標表示式如下：

$$\frac{\partial F}{\partial t}+\frac{1}{\cos\phi}\frac{\partial}{\partial\phi}\left(C_\phi F\right)+\frac{\partial}{\partial\lambda}\left(C_\lambda F\right)+\frac{\partial}{\partial\theta}\left(C_\theta F\right)=S \quad \text{.....(3.2)}$$

式中 ϕ 為緯度，λ 為經度，C_ϕ、C_λ 與 C_θ 分別為波浪群速度 $\vec{C}_g$ 在球面座標 ϕ、λ 軸及波浪傳播方向 θ 之空間傳遞速率，其中：

$$C_\phi=\left|\vec{C}_g\right|\frac{\sin\theta}{R} \quad \text{.....(3.3)}$$

$$C_\lambda = \left|\vec{C}_g\right| \frac{\cos\theta}{R} \quad \text{.....(3.4)}$$

$$C_\theta = \frac{1}{k}\frac{\partial\omega}{\partial d}\left(\frac{\sin\theta}{\cos\phi}\frac{\partial d}{\partial\lambda} - \cos\theta\frac{\partial d}{\partial\phi}\right)\Big/ R \quad \text{.....(3.5)}$$

式中 R 為地球半徑(m)，ω 為波浪角頻率，k 為波數(wave number)，d 為水深。

在 WAM 模式(cycle 4 及 cycle 5)中，源函數 S 可表示成

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{dis} + S_{bot} \quad \text{.....(3.6)}$$

式中源函數 S_{in} 、S_{dis} 、S_{bot} 、S_{nl} 分別代表風浪之成長項、能量消散項、底床摩擦項及波浪間非線性交互作用項。

在 WAM 模式中風浪成長項 S_{in} 之計算係採用 Snyder et. al. (1981)提出的無因次摩擦速度 u_* 經驗式，依據風浪生成之近似線性理論(Janssen ，1989, 1991)得知，風浪成長項 S_{in} 可表示如下：

$$S_{in} = \gamma \cdot F \quad \text{.....(3.7)}$$

式中 γ 為波能成長率，WAM 模式之波能成長率 γ 計算採用 Janssen (1989, 1991)之經驗式，其結合了海表面摩擦速度與波齡來決定風浪的成長率，即

$$\gamma = \varepsilon\omega\beta\left(u_*/c\right)^2 \cos^2\left(\overline{\theta} - \theta_w\right), \quad \left|\overline{\theta} - \theta_w\right| < \pi/2 \quad \text{.....(3.8)}$$

式中 ε 為空氣與水之密度比率(=1.225×10^{-3})，β 為 Miles 常數(=1.2, Janssen 1991 或 Komen et. al. 1994)，u_* 為風作用於海面之摩擦速度，c 為波速(或為波浪位相速度)，$\overline{\theta}$ 為平均波向(指波浪傳播方向)，θ_w 為平均風向。另依據 Janssen (1991)之研究得知，Miles 常數 β 可由下列表示式計算得到

$$\beta = \frac{1.2}{\kappa^2}\mu \ln^4(\mu) \quad ，\ \mu \le\ 1.0 \qquad \text{.....(3.9)}$$

其中

$$\mu = \left(\frac{u_*}{\kappa c}\right)\left(\frac{g z_0}{u_*^2}\right)\exp\left[\left(\frac{\kappa c}{u_*}\right)\frac{1}{\cos(\theta - \theta_w)}\right] \qquad \text{.....(3.10)}$$

式中 κ 為 von Karman 常數(= 0.41)，z_0 海面粗糙長度(roughness length)，g 為重力加速度。

針對粗糙長度 z_0 之計算如下：

$$z_0 = \frac{\alpha\tau}{g} \qquad \text{.....(3.11)}$$

$$\alpha = \frac{\hat{\alpha}}{\sqrt{1 - (\tau_w/\tau)}} \qquad \text{.....(3.12)}$$

式中 α 為與海面狀況有關的 Charnock 參數，τ 為氣流通過海面波浪引起的運動應力(kinematic stress)，τ_w 為重力波引起的波應力。其中運動應力 τ 等於摩擦速度 u_* 之平方，其與海面上風速對數剖面及粗糙長度之關係如下

$$\tau = u_*^2 = \left(\frac{\kappa U(z_{obs})}{\ln(z_{obs}/z_0)}\right)^2 \qquad \text{.....(3.13)}$$

式中 z_{obs} 為在波浪上方之平均高度；至於，波浪引起的波應力 τ_w 之計算如下

$$\tau_w = 2\pi\varepsilon^{-1} g \int df d\theta \cdot S_{in}\vec{k} \qquad \text{.....(3.14)}$$

其中未知係數 $\hat{\alpha}$ 建議採用 0.01。

在 WAM 模式中波浪之能量消散機制是依據 Hasselmann (1974)所提出之準線性形式，其概念主要假設海面波浪的消散行為屬於平均衰減的，因此波浪能量消散項 S_{dis} 可表示成

$$S_{dis} = \gamma_{ds} \cdot F \quad \text{.....(3.15)}$$

其中

$$\gamma_{ds} = -C_{ds} \langle \omega \rangle \left[\langle k \rangle^2 E \right]^2 \left[\frac{k}{\langle k \rangle} + \left(\frac{k}{\langle k \rangle} \right)^2 \right] \quad \text{.....(3.16)}$$

式中係數 $C_{ds} = 4.5$，$\omega = 2\pi f$，符號 $\langle \bullet \rangle$ 代表對整個波浪之平均值，其中

$$E = \iint F(f,\theta) df \cdot d\theta \quad \text{.....(3.17)}$$

$$\langle \omega \rangle = E \left\{ \iint F(f,\theta) (2\pi f)^{-1} df \cdot d\theta \right\}^{-1} \quad \text{.....(3.18)}$$

$$\langle k \rangle = E \left\{ \iint F(f,\theta) k^{-1} df \cdot d\theta \right\}^{-1} \quad \text{.....(3.19)}$$

關於底床摩擦引起的能量損失項 S_{bot} ，其計算如下：

$$S_{bot} = -C_{bot} \frac{k \tanh(kd)}{g \sinh^2(kd)} F \quad \text{.....(3.20)}$$

式中 g 為重力加速度，k 為波數，d 為水深，C_{bot} 為底床摩擦係數；在 WAM 模式中對於床摩擦係數 C_{bot} 值建議採用 Hasselmann 等人 (1973) 在湧浪的條件下以 JONSWAP 的實驗求得之底床摩擦係數 C_{bot}= 0.038m^{2}s^{-3}。

至於非線性交互作用項 S_{nl} 之計算則採用 Hasselmann (1963)之四個波之波浪交互作用理論，即波譜的急劇成長是由波譜尖峰頻率從風獲得能量後再經由非線性作用使得波譜尖峰頻率的能量分別向高頻及

低頻處傳遞，且隨著風速加大導致尖峰頻率向低頻移動的現象，如圖 3.5 所示。當紛紜波浪中存在有四組波浪滿足下列共振(resonant)條件(3.21a,b)式時，則此四組波浪會產生能量之交換。

$$\vec{k}_1 + \vec{k}_2 = \vec{k}_3 + \vec{k}_4 \quad \text{.....(3.21a)}$$

$$\omega_1 + \omega_2 = \omega_3 + \omega_4 \quad \text{.....(3.21b)}$$

有關非線性交互作用項 S_{nl} 計算之詳細說明可參考 Komen et. al. (1994)。

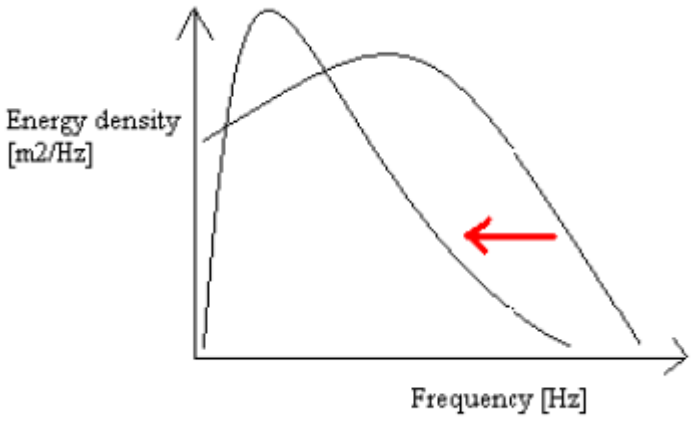


圖 3.5 波浪能量由高頻向低頻傳遞之示意圖

3.1.3 臺灣周圍海域範圍風浪模式基本理論介紹

本中心 TaiCOMS 中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模式採用荷蘭 Delft 技術大學發展的近海風浪模式 SWAN (Booij et al. 1996)作為模式建置之主體，目的在於利用 SWAN 風浪模式強大功能模擬臺灣近岸海域風浪場變化，藉以獲得更精確的近岸海域波浪資訊。SWAN 風浪模式不僅具有第三代風浪模式的特徵，且在能量成長與消散項的參數選擇上比其它模式更具彈性；SWAN 風浪模式可以計算波浪在時間及控間領域之傳遞、波與波之間非線性的交互作用、波浪受風之成長、碎波之能量消散、底床摩擦引起的能量損失、以及波浪受到海流及地形變化影響而產生的頻率位移、淺化與折射等物理過程。

總之，SWAN 風浪模式是一個利用風、海底底床及海流狀況獲得在海岸地區、湖泊或河口附近水域的合理預估的波浪參數的波浪數值模式，此數值模式基本上是依據波浪作用力平衡方程式(wave action balance equation)，如(3.22)式所示，以及源函數項等求解波浪作用力密度波譜(action density spectrum)，$N(\sigma,\theta)$，其中σ為相對的波浪頻率；θ為波浪方向角；因此 SWAN 本質上屬於第三代風浪預報模式。

$$\frac{\partial N}{\partial t}+\frac{\partial c_x N}{\partial x}+\frac{\partial c_y N}{\partial y}+\frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma}+\frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta}=\frac{\overline{S}}{\sigma} \quad \text{.....(3.22)}$$

式中 x，y 為直角座標系統之座標軸，c_x及c_y分別為波浪作用力在 x 及 y 空間之傳遞速度，c_θ代表波浪作用力在波向 θ 空間之傳遞速度，c_σ代表波浪作用力在波浪頻率 σ 空間之傳遞速度，S 代表波浪成長與消散之源函數項。其中

$$c_x=\frac{dx}{dt}=C_g\cos\theta+U_x \quad \text{.....(3.23)}$$

$$c_y=\frac{dy}{dt}=C_g\sin\theta+U_y \quad \text{.....(3.24)}$$

$$c_\theta=\frac{d\theta}{dt}=\frac{1}{k}\frac{\partial\sigma}{\partial d}(\sin\theta\frac{\partial d}{\partial x}-\cos\theta\frac{\partial d}{\partial y})+(\sin\theta\frac{\partial U_s}{\partial x}-\cos\theta\frac{\partial U_s}{\partial y}) \quad (3.25)$$

$$c_\sigma=\frac{d\sigma}{dt}=\frac{\partial\sigma}{\partial d}(\frac{\partial d}{\partial t}+U_x\frac{\partial d}{\partial x}+U_y\frac{\partial d}{\partial y})-C_g k(\cos\theta\frac{\partial U_s}{\partial x}+\sin\theta\frac{\partial U_s}{\partial y}) \quad (3.26)$$

式中 C_g 為波浪群速度，U_x及 U_y 分別為水流速度在 x-及 y-軸方向分量，k 為波浪之波數，d 為水深。

於(3.22)式中第一項代表波浪作用力密度譜 $N(\sigma,\theta)$隨時間之變化率；第二及第三項為波浪作用力密度譜$N(\sigma,\theta)$在平面空間上分別以c_x及c_y之速度在 x-及 y-軸方向傳遞；第四項代表波浪作用力密度譜 $N(\sigma,\theta)$

受到水深及流變化影響導致在相對頻率 σ-軸上以 c_σ 的速度位移；第五項代表波浪作用力密度譜 $N(\sigma,\theta)$ 因水深或流所引起的折射效應；等號右邊 $\overline{S}(\sigma,\theta)$ 代表以能量密度表示之源函數項，其包含能量的生成、衰減、及非線性的波浪交互作用(有關各項源函數計算之詳細理論說明可參考 SWAN 使用手冊)。

在 SWAN 風浪數值模式中，主要是利用有限差分法來求解(3.22)式；在邊界條件處理上，SWAN 模式假定波浪能量遇到陸地邊界為完全消散，亦即無任何波浪能量反射；外海開放邊界條件則假設沒有任何波浪能量可以由開放邊界外進入計算領域，但允許波浪能量可以由開放邊界內自由離開計算領域。

3.1.4 近岸波浪折繞射模式基本理論介紹

Radder (1979)依據線性緩坡方程式之理論基礎，將波浪場分離成向前之進行波與向後之進行波(忽略向後之散射波)等兩種成份波，發展出拋物線型緩坡波浪模式。相較於橢圓型緩坡方程式及雙曲線型緩坡方程式，拋物線型緩坡模式具有下列優點：(1)模式下游端之邊界條件不再是必要的，(2)具有高度數值運算效率。其缺點為受到垂直波向之橫向導數近似表示式之限制，波浪之傳播僅適用於給定波向之 45°範圍內。

Booij (1981)採用 Lagrangian 求解方法發展出含波、流交互作用影響之拋物線型緩坡方程式，同時引入較多的項次代表側向導數之近似解，將拋物線波浪模式適用範圍提升至給定波向之 60°範圍內。Kirby and Dalrymple (1983)先於 Booij (1981)之模式中增加非線性修正項，使其可以處理弱非線性波浪及較強流速等問題。模式之基本控制方程如下：

$$\left(C_g+U_x\right)A_x+U_yA_y+i\left(\bar{k}-k\right)\left(C_g+U_x\right)A+\frac{\sigma}{2}\left\{\left(\frac{C_g+U_x}{\sigma}\right)_{,x}+\left(\frac{U_y}{\sigma}\right)_{,y}\right\}A$$
$$-\frac{i}{2\sigma}\left[\left(p-U_y^2\right)A_y\right]_{,y}-\sigma\frac{k^2}{2}D|A|^2A=0 \quad \text{.... (3.27)}$$

式中 $A(x,y)$ 為複數型式之自由表面波形振幅，A_x 及 A_y 分別為 x 及 y 方向之振幅分量，$\sigma=\omega-kU$ 為相對頻率(intrinsic frequency)，ω 為波浪角頻率，$k(x,y)$ 為波浪波數，$\bar{k}$ 為參考波數(定義為沿 y 軸上波數之平均值)，U 為水流流速(此處通常為平均流)，U_x 及 U_y 分別為 x 及 y 方向之水流速度分量，參數 $p=CC_g$，C 為波浪之波速，C_g 為波浪群速度，D 為非線性影響項等於

$$D=\frac{\cosh(4kh)+8-2\tanh^2(kh)}{8\sinh^4(kh)} \quad \text{.....(3.28)}$$

式中 h 為靜水深。Kirby (1986)進一步依據 minimax 原則將 Booij 之近似解延伸以提升模式適用性之範圍，使得模式可以處理較大角度波浪傳播問題。因此，REF/DIF 模式之基本方程式如下：

$$\left(C_g+U_x\right)A_x-2\Delta_1U_yA_y+i\left(\bar{k}-a_0k\right)\left(C_g+U_x\right)A+\left\{\frac{\sigma}{2}\left(\frac{C_g+U_x}{\sigma}\right)_{,x}-\Delta_1\sigma\left(\frac{U_y}{\sigma}\right)_{,y}\right\}A$$
$$+i\Delta_3\left[\left(p-U_y^2\right)\left(\frac{A}{\sigma}\right)_{,y}\right]_{,y}-i\Delta_1\left\{\left[U_xU_y\left(\frac{A}{\sigma}\right)_{,y}\right]_{,x}+\left[U_xU_y\left(\frac{A}{\sigma}\right)_{,x}\right]_{,y}\right\}$$
$$+i\sigma\frac{k^2}{2}D|A|^2A+\frac{\upsilon}{2}A-\frac{b_1}{k}\left\{\left[\left(p-U_y^2\right)\left(\frac{A}{\sigma}\right)_{,y}\right]_{,yx}+2i\left[\sigma U_y\left(\frac{A}{\sigma}\right)_y\right]_{,x}\right\}$$
$$+b_1\vartheta\left\{2i\omega U_x\left(\frac{A}{\sigma}\right)_{,x}+2i\sigma U_y\left(\frac{A}{\sigma}\right)_{,y}-2U_xU_y\left(\frac{A}{\sigma}\right)_{,xy}+\left[\left(p-U_y^2\right)\left(\frac{A}{\sigma}\right)_{,y}\right]_{,y}\right\}$$
$$-\frac{i}{k}b_1\left[\left(\omega U_y\right)_{,y}+3\left(\omega U_x\right)_{,x}\right]\left(\frac{A}{\sigma}\right)_{,x}-\Delta_2\left[\omega U_x\left(\frac{A}{\sigma}\right)_{,x}+\frac{1}{2}\omega\left(\frac{A}{\sigma}\right)\left(U_x\right)_{,x}\right]$$
$$+ik\omega U_x\left(a_0-1\right)\left(\frac{A}{\sigma}\right)=0$$
$$\text{.....(3.29)}$$

式中

$$\vartheta = \frac{k_{,x}}{k^2} + \frac{\left[k\left(p - U_x^2\right)\right]_{,x}}{2k^2\left(p - U_x^2\right)} \quad \text{.....(3.30)}$$

$$\Delta_1 = a_1 - b_1 \ ,\quad \Delta_2 = 1 + 2a_1 - 2b_1 \ ,\quad \Delta_3 = a_1 - b_1\frac{\bar{k}}{k} \quad \text{.....(3.31)}$$

上述各式中，υ為波浪消散因子，可依據能量消散特性給定不同的型式。而係數a_0, a_1及b_1可依據所考慮的波浪入射角度範圍利用 Minimax approximation 決定之，此處模式所採用的係數值分別為 a_0= 0.994733，a_1=-0.890065，b_1=-0.451641。

當考慮波浪受到底床摩擦影響以及波浪碎波所產生的波能損失，模式採用具有消散項的線性緩坡方程式處理，即

$$\frac{\partial A}{\partial x} = \frac{i}{k}\frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + \upsilon A \quad \text{.....(3.32)}$$

式中$i = \sqrt{-1}$ 。

本計畫 REF/DIF-1 模式採用有限差分數值方法求解此一拋物線型方程式，亦即將計算領域分割成具Δx 及Δy 大小之矩形網格，並求解格點上之複數振幅$A(x,y)$，振幅A所在之位置係以(i, j)表示而非以座標(x,y) (x, y)，如圖 3.6 所示，惟模式計算所需之地形可以輸入具(x_i, y_j)座標，其中$x_i = (i-1)\Delta x$ ，$y_j = (j-1)\Delta y$ 。

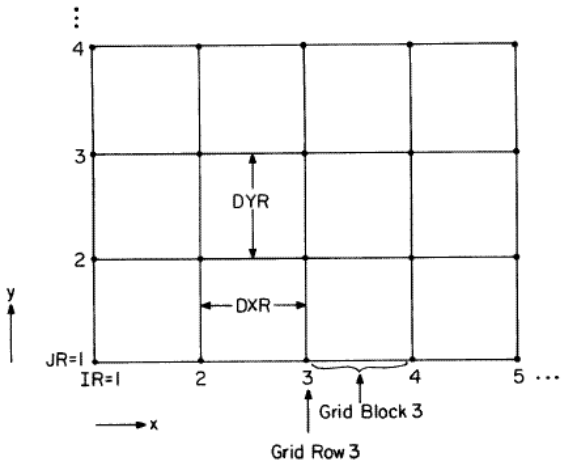


圖 3.6 REF/DIF-1 數值計算網格座標系統

3.1.5 港域波浪模式理論簡述

當波浪自外海傳播至港域時，受到水深地形變化以及海岸線、防波堤和港內岸壁等結構物之影響，波浪會產生繞射、折射及反射等現象。針對此一問題常見之求解方法是將整個問題的領域分為外海半無限領域和港池有限領域等兩個領域，如圖 3.7 所示；同時假設外海半無限領域為等水深，僅考慮港池有限領域則為緩變之不等深水域，且不考慮波浪的碎波現象。

如圖 3.7 所示，所取之直角座標系統為 X 軸與海岸線重合，Y 軸向外海為正，Z 軸垂直紙面向上為正，Z＝0 為靜水面。外海半無線領域及有限領域別以領域(I)及(II)稱之，領域(I)及領域(II)之相連邊界為半徑 R_0 之半圓，以 B_1 表示。領域(II)則包含了港池內及港外半徑 R_0 之半圓區內水域部分，其所包括的海岸邊界、防波堤邊界及港池岸壁邊界以 B_2 表示。假設領域(I)為等水深 h_1，領域(II)之水深變化為 $h_2(x,y)$。各領域內水位變化 $\eta_j(x,y;t)$ 可表示成

$$\eta_j(x,y,t)=\zeta_j(x,y)e^{i\omega t}\quad,\quad \mathrm{j}=1,2 \qquad \text{.....(3.33)}$$

式中$\varsigma_1(x,y)$及$\varsigma_2(x,y)$分別稱為領域(I)及領域(II)之波函數，ω為入射波之角頻率$\omega=2\pi/T$，T為入射波之週期。所欲求解之波函數$\zeta_j(x,y)$，$j=1,2$分別滿足下列控制方程式：

在在領域(I)內

$$\nabla^2\zeta_1+k_1^2\zeta_1=0 \quad \text{.....(3.34)}$$

在在領域(II)內

$$\nabla\cdot(C_2C_{2g}\nabla\zeta_2)+(C_2C_{2g}k_2^2+i\omega\mu+iC_{2g}\omega\gamma_b)\zeta_2=0 \quad \text{.....(3.35)}$$

式中$\nabla=(\partial/\partial x,\partial/\partial y)$為二維梯度運算子，$\mu$為摩擦因子，$\gamma_b$為波浪碎波之碎波參數，$k_1$及$k_2$分別為波浪在領域(I)及(II)內之波數，$C_2$為波浪在領域(II)內之波速($=L_2/T$)，$C_{2g}$為群速度($=nC_2$)。其中$n$定義為

$$n=\frac{1}{2}\left(1+\frac{2k_2h_2}{\sinh(2k_2h_2)}\right) \quad \text{.....(3.36)}$$

有關摩擦因子μ之計算可採用 Dalrymple et al. (1984)之表示式：

$$\mu=\frac{2n\omega}{k_2}\left(\frac{2C_r}{3\pi}\frac{\alpha k_2^2}{(2k_2h_2+\sinh 2k_2h_2)\sinh k_2h_2}\right) \quad \text{.....(3.37)}$$

式中，a為波浪之振幅，C_r為與雷諾數及底床粗糙度有關之摩擦係數。碎波參數γ_b可採用下列計算式

$$\gamma_b=\frac{\chi}{h_2}\left(1-\frac{\Gamma^2h_2^2}{4a^2}\right) \quad \text{.....(3.38)}$$

式中χ及Γ分別為經驗常數(其值可分別採用 0.15 及 0.4)。

在領域(I)及(II)之交接假想邊界(B_1)上須滿足下列連續條件：

$$\zeta_1 = \zeta_2 \quad , \quad \text{在假想邊界} B_1 \text{上} \quad \text{.....(3.39a)}$$

$$C_1 C_{1g} \frac{\partial \zeta_1}{\partial n} = -C_2 C_{2g} \frac{\partial \zeta_2}{\partial n} \quad , \quad \text{在假想邊界} B_1 \text{上} \quad \text{.....(3.39b)}$$

此外，在一般海岸線或結構物邊界(B_2)上須滿足下列部份反射邊界條件：

$$\frac{\partial \zeta_2}{\partial \vec{n}} = -i\alpha\, k_2 \zeta_2 \quad , \quad \text{在假想邊界} B_2 \text{上} \quad \text{.....(3.40)}$$

式中$\vec{n}$表示邊界面上離開領域向外之單位法線向量，α為消能係數，其值與波浪入射角、相位及港池岸壁之反射係數有關，$\alpha = 0$時表示港池岸壁為完全反射之情況(即$\partial \zeta_2 / \partial n = 0$)，而$\alpha = 1$則表示港池岸壁具有完全消能之作用。一般常用之計算式如下：

$$\alpha = \frac{1 - K_r}{1 + K_r} \quad \text{.....(3.41)}$$

式中K_r為邊界之反射係數。

在領域(I)內波浪之波函數ζ_1通常是由入射波ζ_I及受到直線海岸線影響產生的反射波ζ_R及受到防波堤配置和港池開口影響而向外傳播之散射波ζ_S等構成的，因此ζ_1可表示

$$\zeta_1 = \zeta_I + \zeta_R + \zeta_S \quad \text{.....(3.42)}$$

其中散射波ζ_S係由港池開口往外海方向輻射出去，在無窮遠處滿足波浪輻射條件：

$$\lim_{k_1 r \to \infty} \sqrt{r} \left(\frac{\partial}{\partial r} + ik_1 \right) \zeta_S = 0 \quad \text{.....(3.43)}$$

假設入射波浪$\eta^I(x,y;t)$之振幅為A^I，波長為L_1，週波數為k_1，波向為與正 x 軸成θ_0角度，其複數表示為：

$$\eta^I(x,y;t) = A^I e^{-i[k_1(x\cos\theta_0 + y\sin\theta_0) - \omega t]} \quad \text{.....(3.44)}$$

針對上述邊界值問題，一般常採用混合方法求解(Mei, 1989)，即對於領域(I)使用理論解析法，領域(II)使用有限元素法合併求解(詳細求解過程請參考 Mei, 1989，或李等, 2002)。

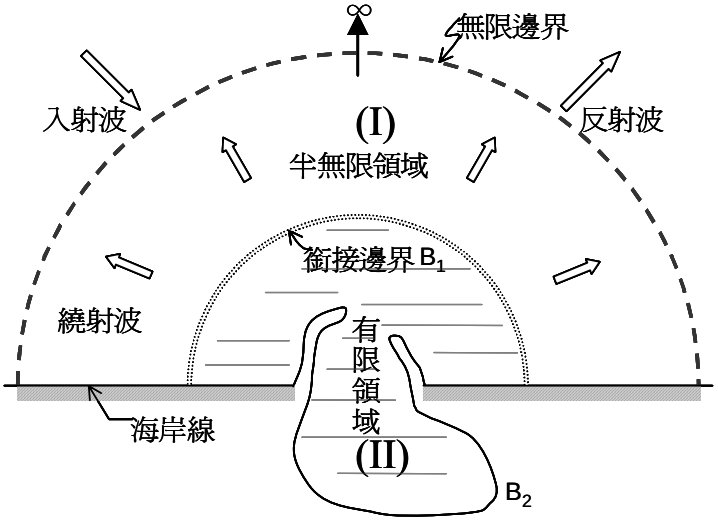


圖 3.7 港域波浪模式計算領域示意圖

3.2 風浪作業化模擬技術改善研究

本章節主要針對 TaiCOMS 波浪模擬系統以往作業化模擬過程出現的問題，說明相關改善研究成果。基於大尺度西太平洋範圍風浪模組位居波浪模擬系統作業化模擬預報上游端，亦是系統波浪模擬發生誤差之源頭，因此本年度風浪作業化模擬技術改善研究仍將大尺度西太平洋範圍風浪模組列為改善研究重點。相關研究成果說明如后：

3.2.1 西太平洋範圍風浪模作業化流程之修正

原完整的 WAM Model cycle 4 包含了前置處理模組(PREPROC 及 PRESET)、波浪模擬主程式(CHIEF 及 BOUINT)以及後處理模組(PGRID、PSWGRID、PSPEC 及 PSWSPEC)等三部份。其中 PREPROC 模組主要用於產生模式所有與時間無關之資料，包括網格資料(粗網格或巢狀網格)、地形水深資料、頻率及方向角陣列及、輸出邊界網格資料等(資料輸出檔案開頭名稱包括 grid、ubuf 及 bouc 等)；PRESET 模組用於波浪模擬屬於冷起動(cold start)狀態下，產生模式模擬所需之初始條件如計算格點之初始波譜資料(輸出檔案開頭名稱包括 blspanal 及 sLatanal)以及初始風場資料如 10 m 處風速及風向、海面摩擦速度 u_*、波浪引起的應力 τ_w、海面粗糙長度 z_0 等(輸出檔案開頭名稱為 lawianal)；CHIEF 模組為 WAM 模式之核心，BOUINT 為巢狀網格被模擬時之必要程式，用於處理巢狀網格之邊界波譜。

為建置能符合 TaiCOMS 架構及作業流程的西太平洋範圍風浪模組，因此本計畫乃檢討原模式之程式架構及模擬流程，並針對相關模組之關鍵連結點逐一修正，使其能滿足 TaiCOMS 波浪模擬系統每日作業化模擬架構，正確執行 72 小時風浪模擬預報(含前 24 小時追算模擬及後 48 小時預測模擬)。本年度大尺度西太平洋範圍風浪模組作業化模擬流程經重新修正後，如圖 3.8 所示，其中 PREPROC 及 PRESET 兩模組由目前每日執行狀態修正為僅需於首次或系統重新設定時才需執行

之程序；每日作業化模擬改以熱啟動模擬方式取代，即利用前一日第24小模擬結果輸出檔直接由主程式CHIEF模組執行接續模擬工作。修正後的西太平洋範圍風浪模組經測試後，已明顯善以往作業化模擬易產生初始模擬結果不連貫現象或誤差偏大之缺失。

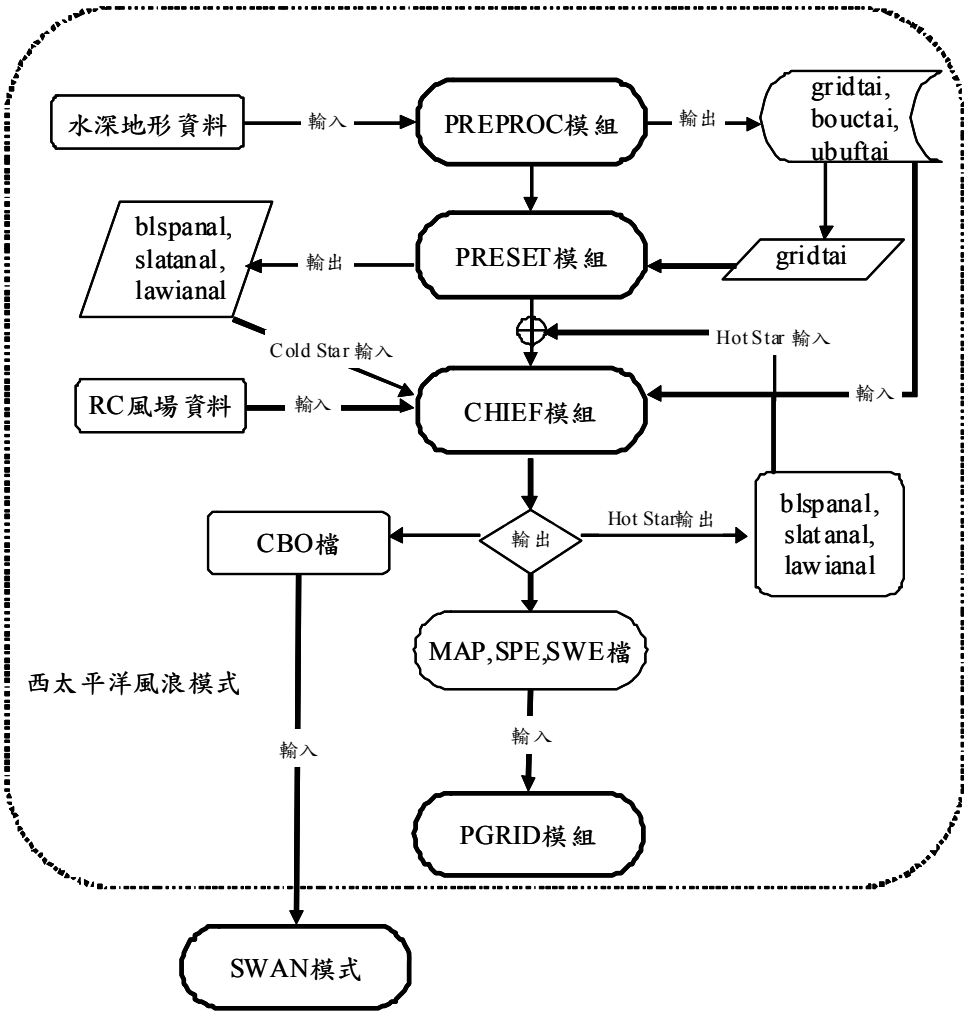


圖 3.8 大尺度西太平洋範圍風浪模組之操作流程

3.2.2 西太平洋範圍風浪模組波浪參數與輸出之修正

目前西太平洋範圍風浪模組針對波浪參數之計算，如風浪之示性波高(H_s)、平均波向(θ_m)、平均週期(T_m)及譜峰週期(T_p)等，係採用原WAM模式之定義，其中平均週期採用波浪能量密度譜(方向波譜)之負

一階動差定義模擬結果之風浪平均週期。有關模式波浪參數之定義與計算說明如下：

1. 波浪能量密度譜 $F(f,\theta)$之 n 階動差(moment)，M_n

$$M_n = \int f^n F(f,\theta) df \cdot d\theta \quad \text{.....(3.45)}$$

2. 波浪頻率譜 $E(f)$：為

$$E(f) = \int F(f,\theta) d\theta \quad \text{.....(3.46)}$$

3. 示性波高(significant wave height，H_s)：

$$H_s = 4\sqrt{E_0} = 4\sqrt{M_0} \text{，其中波浪總能量} E_0 = M_0 \quad \text{.....(3.47)}$$

4. 平均週期(T_m)：模式採用-1 階動差與零階動差比值定義波浪之平均週期，即

$$T_m = M_{-1}/M_0 \quad \text{.....(3.48)}$$

5. 平均波向(θ_m)：定義為

$$\theta_m = \tan^{-1}(SF/CF) \quad \text{.....(3.49)}$$

式中

$$SF = \int \sin\theta \cdot F(f,\theta) df \cdot d\theta \quad \text{.....(3.50)}$$

$$CF = \int \cos\theta \cdot F(f,\theta) df \cdot d\theta \quad \text{.....(3.51)}$$

6. 譜峰週期(T_p)：以不連續波浪能譜 $E(f_i)$之最大能量頻寬(bin)之不連續頻率 f_P 定義波浪之譜峰週期，即

$$T_p = 1/f_p \quad \text{.....(3.52)}$$

有鑑於，本中心波浪觀測資料呈現的波浪平均週期(T_{m02} 或 T_z)則是採用能譜零階動差與 2 階動差比值平方根之定義，即

$$T_{m02} = \sqrt{M_0/M_2} \quad \text{.....(3.53)}$$

(3.53)式與上述西太平洋範圍風浪模組所定義的平均週期 T_m 明顯不一致，導致以往(歷年)西太平洋範圍風浪作業化模擬成果評估不臻理想。關於以(3.48)式及(3.53)式定義之波浪平均週期 T_m 及 T_{m02}，二者之差異性如圖 3.9 所示，圖中橫軸代表以(3.53)式定義波浪平均週期(T_z)，縱軸代表以(3.48)式定義波浪平均週期(T_{-1})，顯示對同一組波浪觀測資料而言(3.48)式定義之波浪平均週期(T_{-1})是大於(3.53)式定義之波浪平均週期(T_z)。

本計畫為改善目前西太平洋範圍風浪模組在作業化成果評估上遭遇的問題，如平均週期高估(偏大)現象(如圖 3.10 所示)及譜峰週期不連續現象(如圖 3.11 所示)，提出下列改善研究方案：

1. 針對目前西太平洋範圍風浪模組於模式之計算及輸出部份，增列以能譜零階動差與 2 階動差比值平方根定義之平均週期 Tm02 項；如圖 3.12 所示顯示各港口波浪觀測資料之平均週期與本計畫增列能譜零階動差與 2 階動差比值平方根定義之平均週期 Tm02 或 T2 項相當接近，顯示在波浪平均週期成果評估上模式模擬結果採用平均週期 Tm02 可以改善以往模擬結果較觀測值顯著高估之現象。

2. 針對譜峰週期 TP 之輸出於後處理程式中增列以二次拋物線契合(fit)方法校正之譜峰週期 TP1 值；有關二次拋物線契合(fit)方法簡述如下：

   設原譜峰頻率及能量為 f_P 及 E_P，鄰近譜峰頻率 f_P 之上、下游頻率及能量分別為 f_u、E_u 及 f_d、E_d，令

   $$P = f_u + f_d \quad \text{.....(3.54)}$$

   $$Q = (E_d - E_u)/(f_d - f_u) \quad \text{.....(3.55)}$$

   $$R = f_d + f_p \quad \text{.....(3.56)}$$

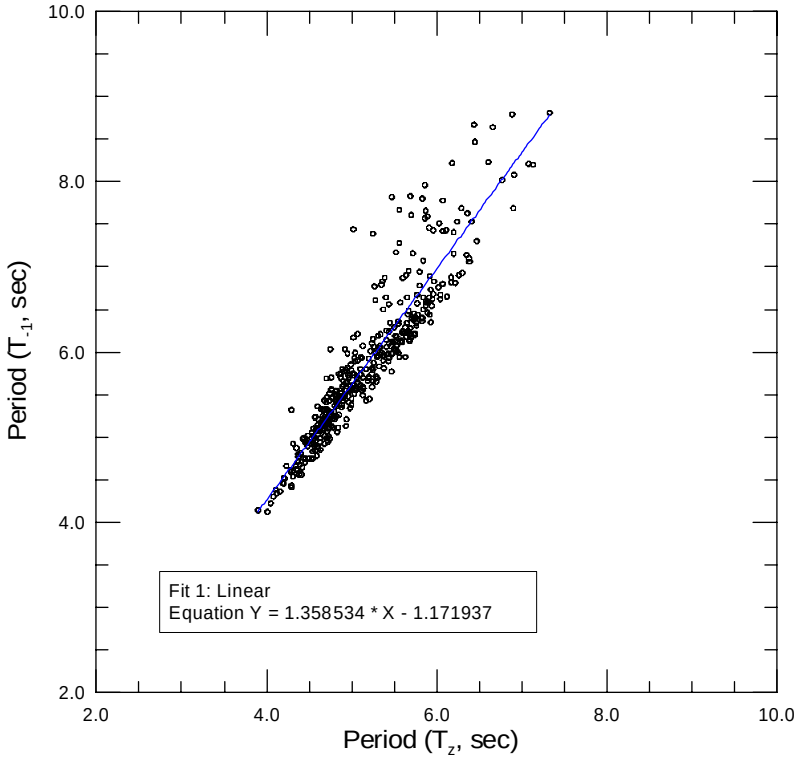
$$T = \left(E_d - E_p\right)/\left(f_d - f_p\right) \quad \text{.....(3.57)}$$

$$A = \left(T - Q\right)/\left(R - P\right) \quad \text{.....(3.58)}$$

$$f_p' = \begin{cases} A & ,\text{for } A \geq 0 \\ \left(-Q + P * A\right)/2A & ,\text{for } A < 0 \end{cases} \quad \text{.....(3.59)}$$

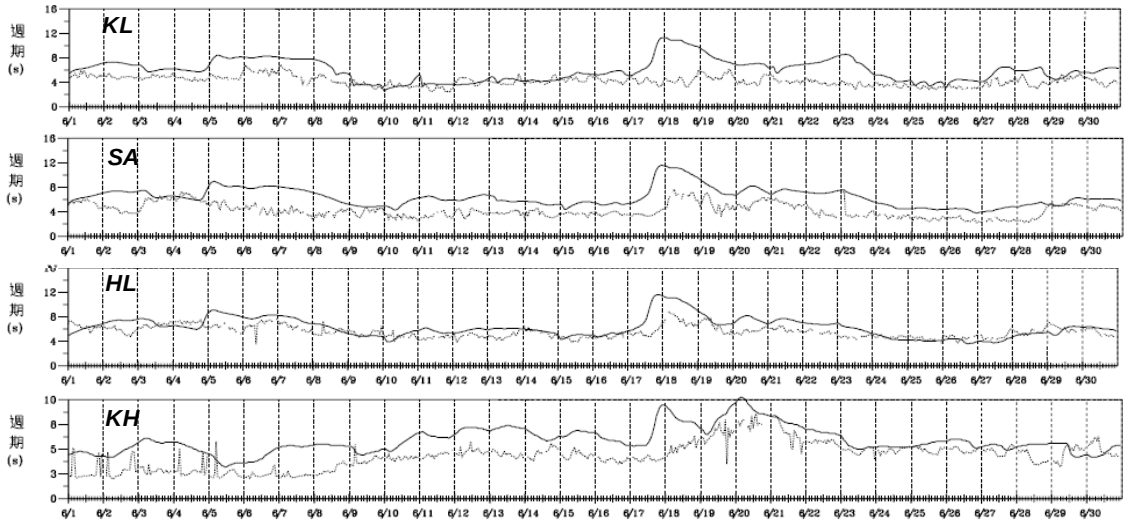
在模擬結果輸出部份，目前西太平洋範圍風浪模組仍沿用原 WAM 模式之輸出結果，即平面二維陣列資料輸出包括示性波高(H_s)、平均波向(θ_m)、平均週期(T_m)、風引起的摩擦速度(u_*)、風向(θ_w)、譜峰週期(T_p)、風曳力係數及無因次化波浪應力等 8 項(檔案名稱開頭為 MAP)，以及點位一維時間序列之二維波譜模擬結果(包括波浪總能量譜、風浪能量譜及湧浪能量譜等，上述檔案名稱開頭分別為 SPE、SWE 及 SWS)。此外，模式輸出尚包括巢狀網格邊界資料輸出，其內容為巢狀網格邊界格點之時間序列波譜資料(檔案名稱開頭為 CBO)，它除了可供模式本身進行解析度較高的巢狀網格波浪模擬外，亦可提供其他波浪模式如 SWAN 作為該模式波浪模擬之邊界條件使用。

目前西太平洋範圍風浪模組針對各港口波浪模擬結果之輸出係採用平面二維陣列輸出資料進行後處理，本年度則增加對各港輸出點位輸出一維時序列之波譜模擬結果(二維陣列)，再以後處理方式計算各港口模擬結果之波浪參數如示性波高(H_s)、平均波向(θ_m)、平均週期(T_m及T_{m02})、譜峰週期(T_p及T_{p1})等。此一改進不僅可以提供各港口數值波譜模擬結果外，亦可由數值波譜經後處理產生颱風期間湧浪資料。另在港口模擬結果輸出點位上，本年度除了提供原基隆港等 7 大商港風浪模擬結果外，亦增列布袋港及澎湖、金門及馬祖等離島海域在內共 11 個波譜輸出點位，其相關位置如圖 3.13 所示。



(波浪資料取自雲林臺西外海波浪觀測資料，由成大水工試驗所提供)

圖 3.9 波浪觀測資料之平均週期 T_{-1} 與 T_z 對應關係



(實線：西太平洋範圍風浪模式)

圖 3.10 TaiCOMS 波浪週期模擬結果與觀測值之比較

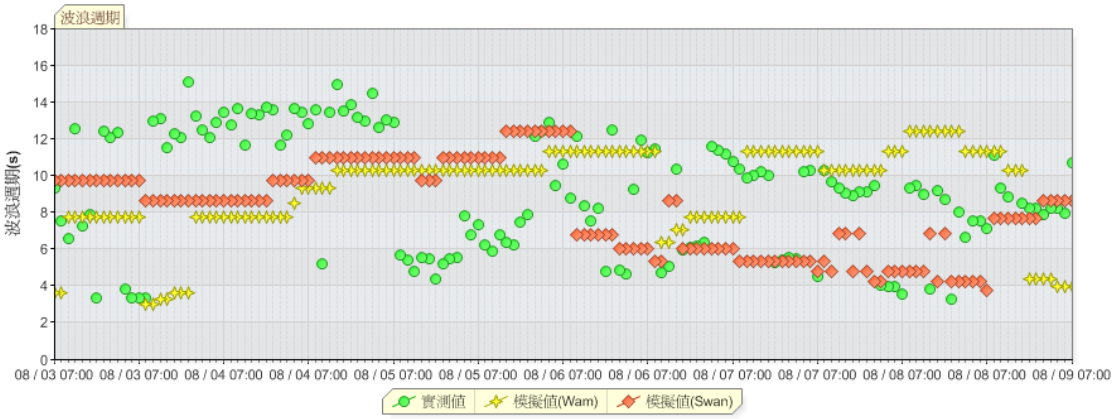


圖 3.11 TaiCOMS 風浪模式波浪譜峰週期模擬結果階梯狀

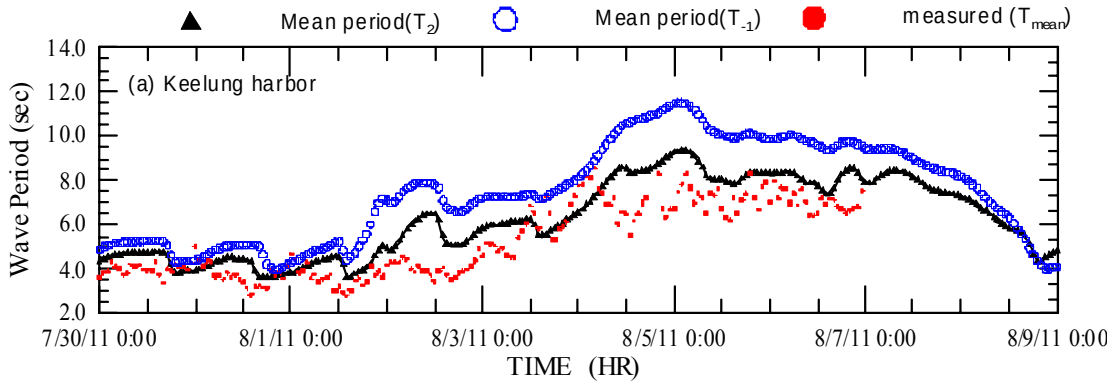


圖 3.12 風浪模式波浪平均週期 T_m(圓圈)及 T_{m02}(三角形)與觀測波浪平均週期(圓點)之比較

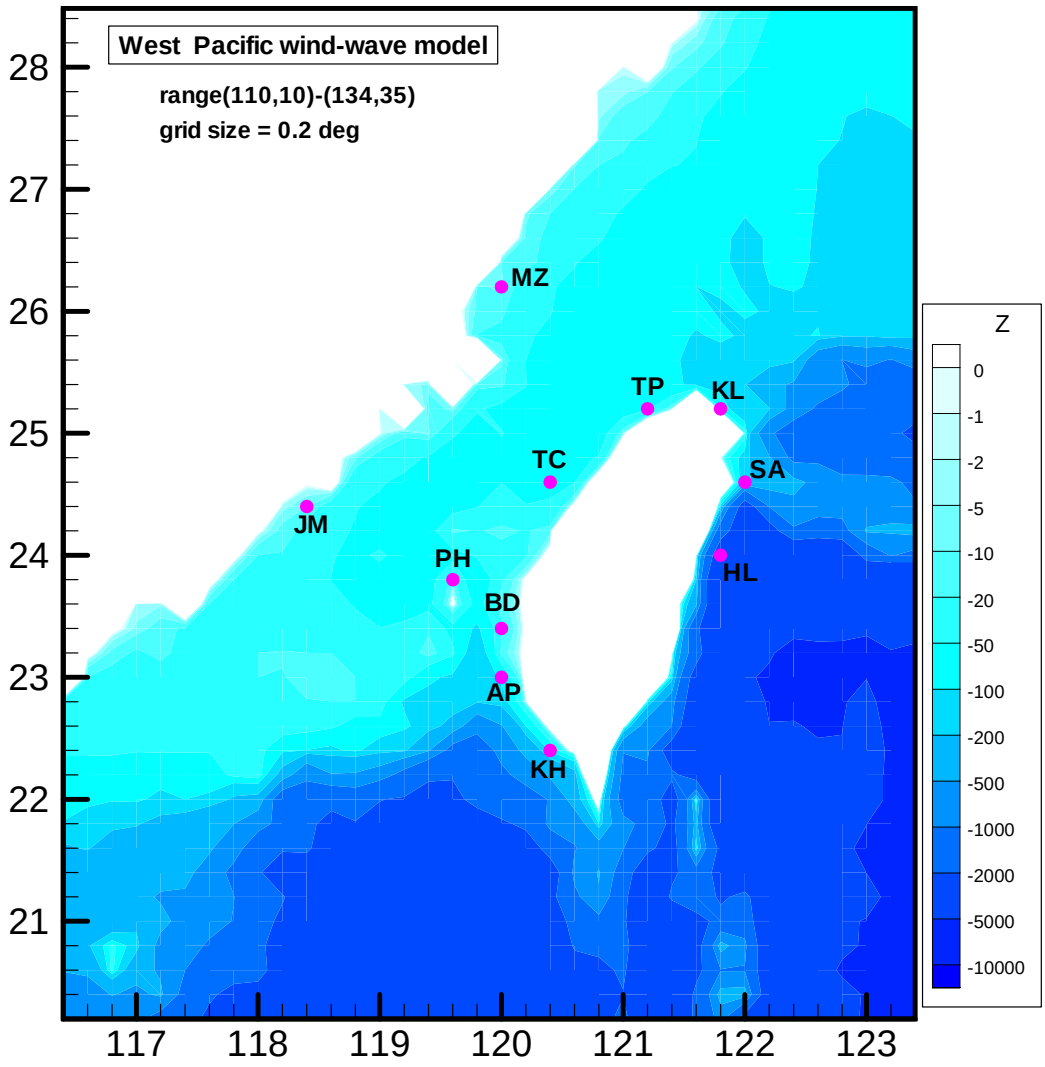


圖 3.13 西太平洋模擬模式風浪模擬結果之波譜輸出點位圖

3.2.3 西太平洋範圍風浪模組輸入風場之評估

在 TaiCOMS 波浪模擬系統架構下，大尺度西太平洋範圍風浪模組係採用中央氣象局 NFS 預報之大域風場資料(即本計畫前述 RC 風場)作為系統每日作業化風浪模擬之輸入條件。然而本計畫大域 RC 風場資料之網格解析度為 45 km 低於西太平洋範圍風浪模組網格解析度 0.2° (約 22 km)，加以中域 MC 風場資料範圍足以含蓋目前大尺度西太平洋範圍風浪模組之模擬範圍，且其網格解析度為 15 km 高於西太平洋範圍風浪模組之網格解析度，因此計畫以中域 MC 風場資料取代大域 RC

風場資料作為波浪模擬系統大尺度西太平洋範圍風浪模組之輸入風場。基於此，本年度針對對大域 RC 及中域 MC 風場預報資料之差異性及其對大尺度西太平洋範圍風浪模組風浪模擬之影響進行評估。

本計畫選取本年度(2012 年)侵臺輕度颱風泰利(TALIM)、中度颱風蘇拉(SAOLA)及中度颱風蘇拉天秤(TEMBIN)等三個侵臺颱風，分別探討 RC 及 MC 風壓場預報資料之差異性。風場評估重點主要針對預報風壓場資料之颱風中心位置及近颱風中心最低氣壓、最大風速等內容進行評估或探討，其中颱風中心位置判斷係以每小時 RC 及 MC 風壓場預報資料資料蒐尋其最低氣壓值位置為代表。

1. 2012 年輕度颱風泰利(TALIM)

輕度颱風泰利侵臺路徑圖如圖 3.14 所示，在颱風侵臺路徑分類上屬於第七類，此一侵臺路徑颱風數約佔歷年(1897～2011)侵臺颱風數之 7.92%。中央氣象局針對輕度颱風泰利發布之颱風資訊，如表 3-2 所列，其中颱風中心最低氣壓值來到 985 毫巴，近颱風中心最大平均風速可達 25m/s，約為 10 級風。圖 3.15 所示分別為中央氣象局發布之颱風路徑(黑粗實線)以及由 RC 及 MC 風壓場資料推估之颱風中心位置(如點線及粗虛線)，圖中菱形符號點代表每日 08:00 及 20:00 時 RC 及 MC 風壓場資料推估之颱風中心位置，此一時間風壓場資料屬於中央氣象局每日兩次發布 72 小時預報風壓場之第一組資料，研判應屬於經大氣資料校正後之風壓場資料，故資料所呈現的颱風中心位置與中央氣象局發布之颱風中心位置最為接近。

圖 3.16 所示分別為中央氣象局發布以及由 RC 及 MC 風壓場預報資料判斷得到近颱風中心之最低氣壓值及最大風速值之時列序變化情形，圖中 RC 風壓場資料近颱風中心最低氣壓值約為 989 毫巴，最大風速約為 24.6 m/s；MC 風壓場資料最低氣壓值約為 986 毫巴，最大風速約為 22.0 m/s。惟上述最低氣壓值及最大風速均出現於經大氣資料校正之 RC 及 MC 風壓場資料，故與中央氣象局發布輕度颱風泰利之颱風資訊相近似。由圖 3.16 所示每小時近颱風中心最低氣壓值及最大風速

值變化情形得知，與中央氣象局發布之颱風資訊相較，RC 或 MC 風壓場預報資料均呈現出小幅度低估現象，其中 RC 風壓場預報資料低估程度略大於 MC 風壓場預報資料。有關輕度颱風泰利侵臺期間大域 RC 及中域 MC 之預報風場及氣壓場之比較，如圖 3.17 及圖 3.18 所示；顯示當泰利颱風中心移動至臺灣海峽後，RC 風場及 MC 風場之風場及氣壓場分布出現顯著之差異。如圖 3.17 所示當泰利颱風中心在臺灣海峽上，MC 風場仍呈現出明顯的颱風風、壓場結構，但 RC 風場之颱風結構並不顯著；圖 3.18 所示泰利颱風中心移動至臺灣西北部海面時，MC 風壓場之颱風結構已不顯著，而 RC 風壓場仍顯示出較完整的颱風結構。

至於 RC 風場及 MC 風場在颱風風、壓場結構上的差異，對臺灣西部海域高雄港及臺北港風浪模擬結果之影響如圖 3.19 及圖 3.20 所示。圖 3.19 所示分別為高雄港及臺北港在 6 月 19 日 0 時至 22 日 12 時示性波高之模擬結果與觀測資料之時間序列圖，其中高雄港海域波高變化不論以大域 RC 或中域 MC 風場模擬結果均較波高觀測值呈現低估之趨勢，但在最大波高值發生的時間上，中域 MC 風場模擬結果似乎較為接近，但仍較觀測資料約延遲 3～4 小時。另就高雄港及臺北港海域波高大小之整體變化趨勢而言，中域 MC 風場模擬結果仍表現優於大域 RC 風場之模擬結果。

2. 中度颱風蘇拉(SAOLA)

中度颱風蘇拉(SAOLA)於 7 月 28 日 8 時生成於菲律賓東方海面，其移動行進路徑如圖 3.21 所示，屬於第二類侵臺路徑分類(即通過臺灣北部向西或西北進行)，此一侵臺路徑颱風數約佔歷年(1897 ~ 2011)侵臺颱風數之 12.87%。表 3-3 所列為中央氣象局針對中度颱風蘇拉發布之颱風資訊，其中颱風中心最低氣壓值來到 960 毫巴，近颱風中心最大平均風速可達 38m/s，約為 13 級風。

表 3-2 中央氣象局發布輕度颱風泰利之颱風資訊

時間	颱風中心位置		颱風中心最低氣壓 (毫巴)	近颱風中心最大風速 (m/s)
	經度	緯度		
06/19 08:00	114.6	19.4	992	20
06/19 20:00	116.0	20.4	990	23
06/20 00:00	116.6	21.1	985	25
06/20 04:00	117.1	21.6	985	25
06/20 08:00	117.7	22.5	990	23
06/20 12:00	118.8	23.6	990	23
06/20 16:00	119.3	24.3	990	23
06/20 20:00	120.2	24.8	993	20
06/21 00:00	121.7	25.4	993	20
06/21 05:00	123.2	27.1	1000	15

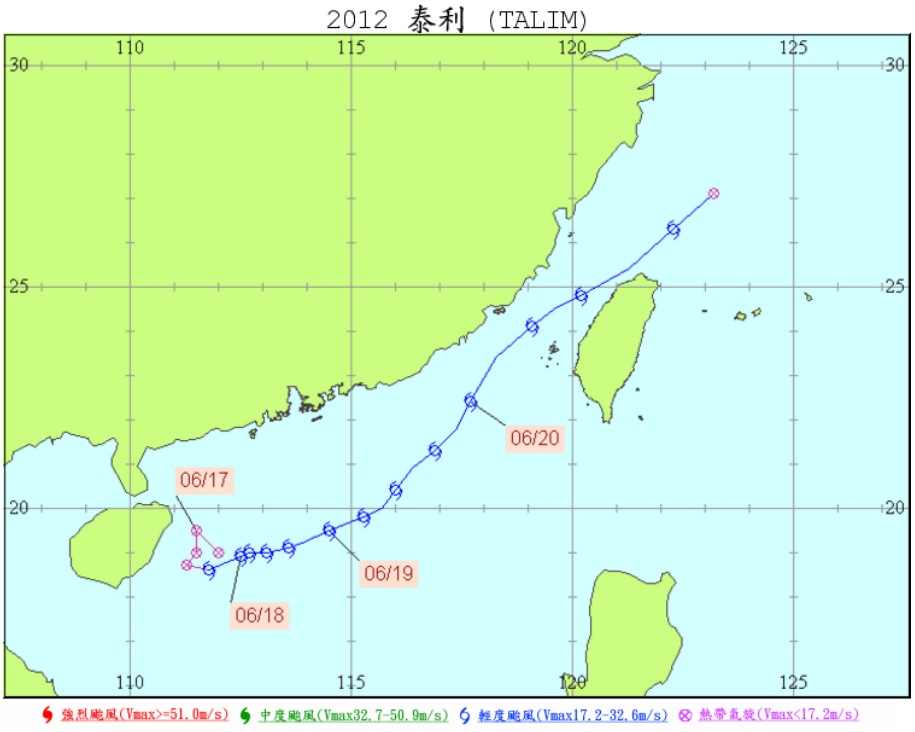


圖 3.14 2012 年輕度颱風泰利(TALIM)侵臺路徑圖

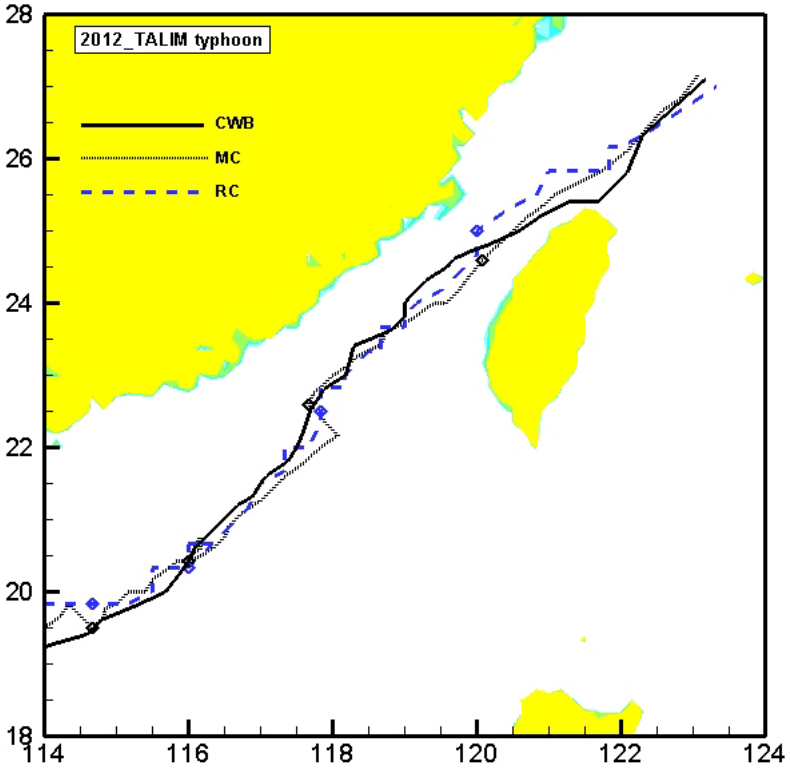


圖 3.15 2012 年輕度颱風泰利(TALIM)侵臺期間中央氣象局發布以及 RC 及 MC 風壓場推估之颱風中心位置及路徑圖

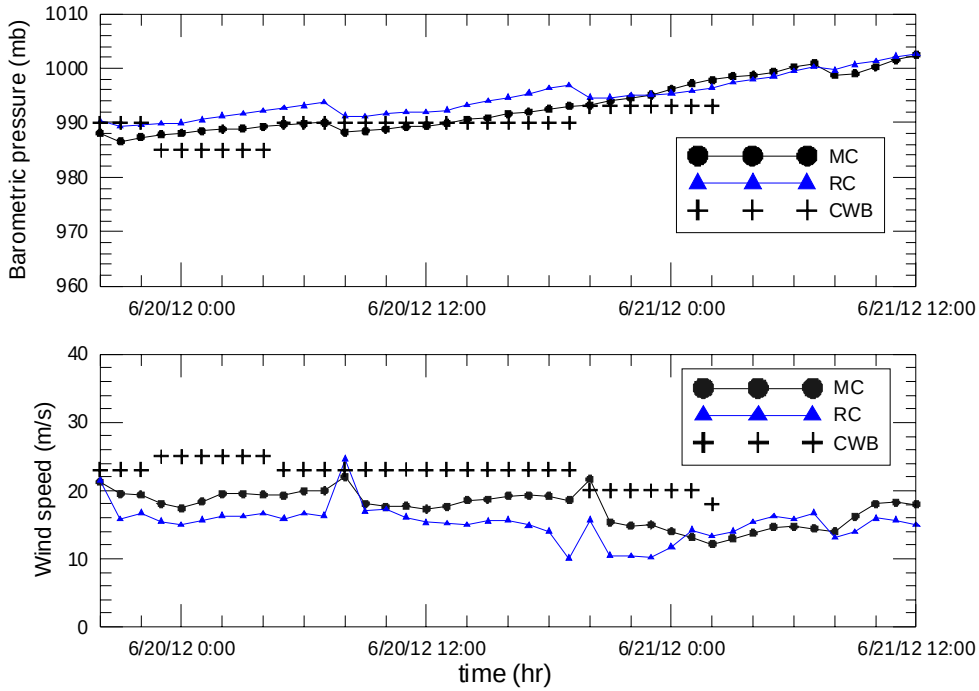


圖 3.16 2012 年輕度颱風泰利(TALIM)侵臺期間 RC 及 MC 每小時風壓場資料於近颱風中心之最低氣壓值(上)及最大風速值(下)之變化情形

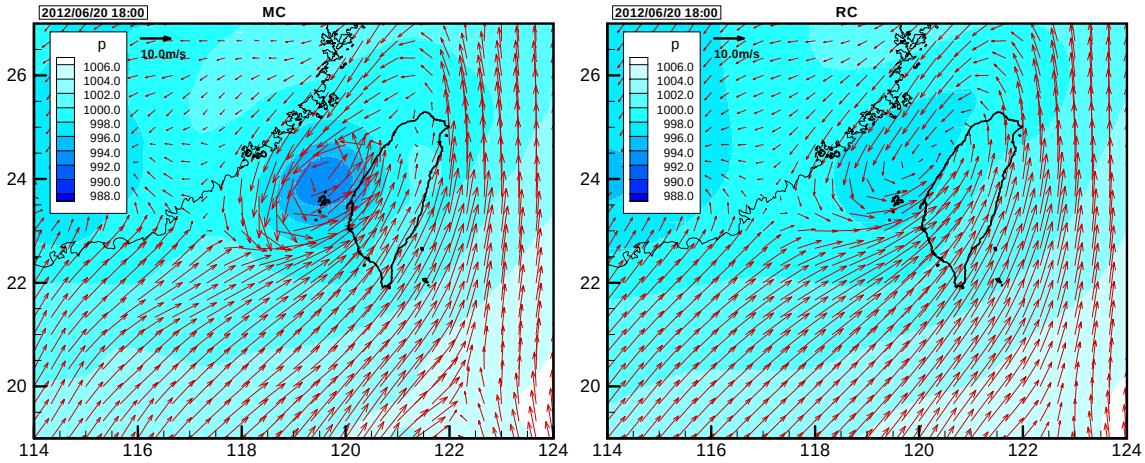


圖 3.17 2012 年輕度颱風泰利之 RC 及 MC 風壓場預報資料之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/06/20 18:00)

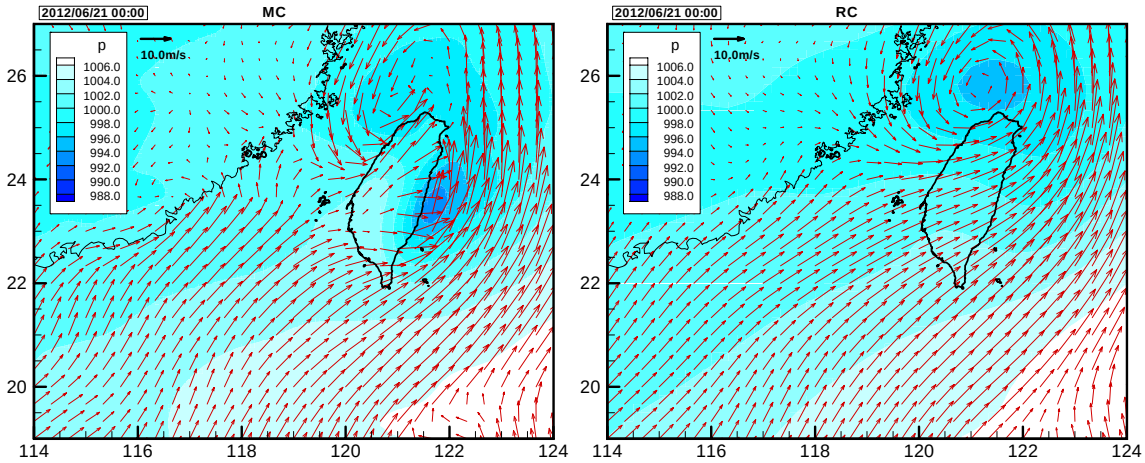


圖 3.18 2012 年輕度颱風泰利之 RC 及 MC 風壓場預報資料之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/06/21 00:00)

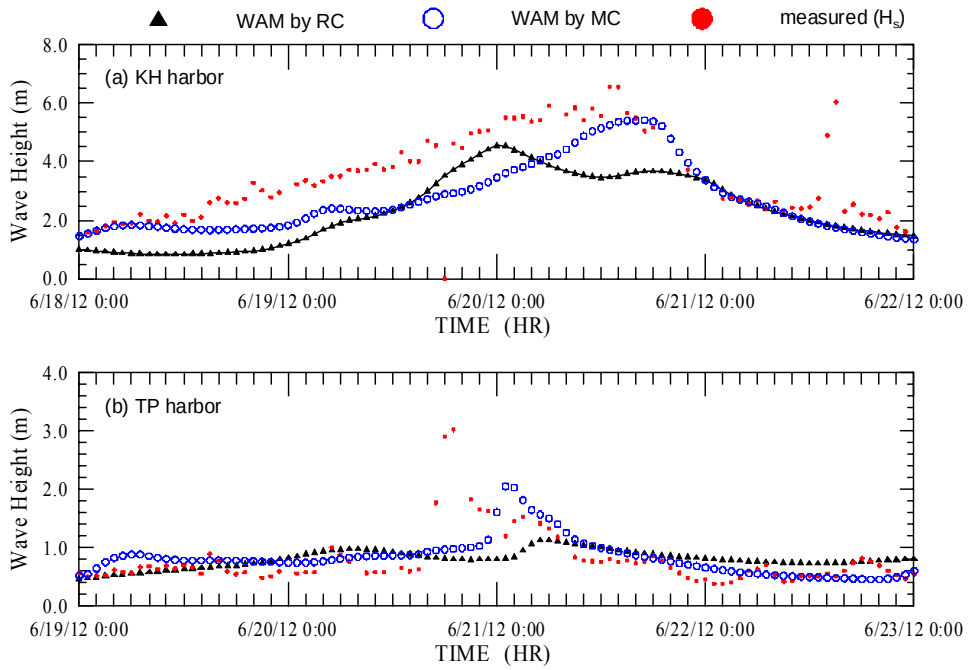


圖 3.19 輕度颱風泰利(TALIM)侵臺期間大域 RC 及中域 MC 風場颱風波浪示性波高模擬結果與觀測資料之比較，(a)高雄港外海，(b)臺北港外海

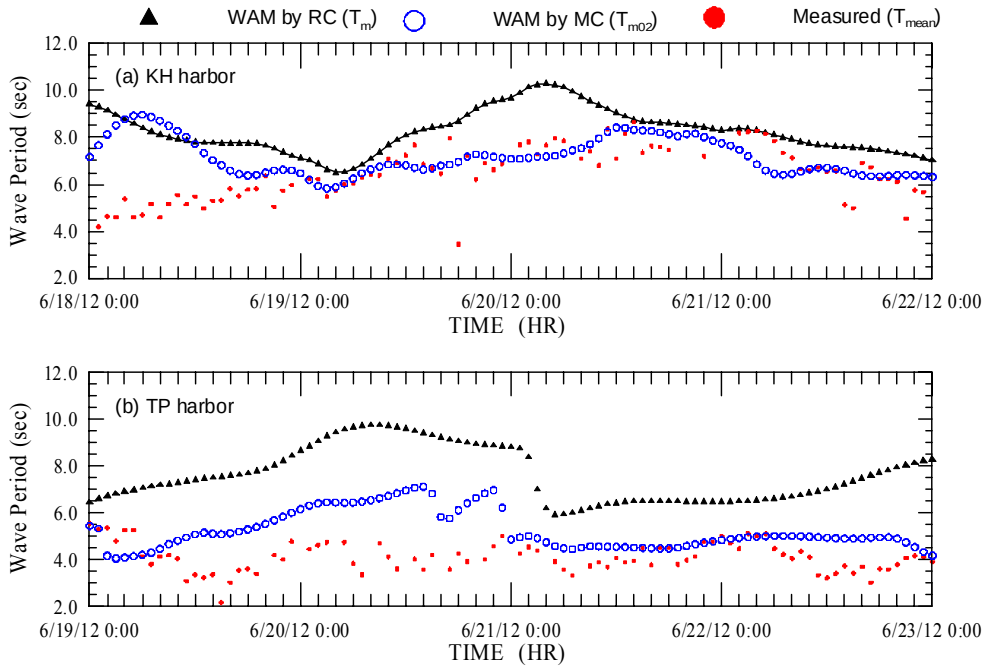


圖 3.20 2012 年輕度颱風泰利(TALIM)侵臺期間大域 RC 及中域 MC 風場颱風波浪平均週期模擬結果與觀測資料之比較，(a)高雄港外海，(b)臺北港外海

圖 3.22 所示分別為中度颱風蘇拉中央氣象局發布之颱風路徑(黑粗實線)以及由 RC 及 MC 風壓場預報資料推估之颱風中心位置(如點線及粗虛線)移動情形，顯示當中度颱風蘇拉尚未接近臺灣東北部陸地之前，RC 及 MC 風壓場預報資料之颱風中心位置是相近似的；惟 8 月 1 日 20 時至 2 日 20 時之風壓場預報資料則因蘇拉颱風接近陸地而呈現滯留與打轉情形，導致 RC 或 MC 風壓場預報資料所呈現的颱風中心位置移動情形均與中央氣象局最終發布的颱風中心移動路徑有極大的落差，且直到 8 月 2 日 20 時之後預報風壓場資料經由大氣資料校正而再度強制修正回颱風中心實際移動之路徑上。

圖 3.23 所示分別為本計畫依據中央氣象局發布中度颱風蘇拉之颱風資料、及由 RC 及 MC 風壓場預報資料判斷得到近颱風中心之最低氣壓值及最大風速值每小時變化情形，其中由 RC 風壓場資料近颱風中心最低氣壓值約為 977.5 毫巴，最大風速約為 25.3 m/s；MC 風壓場資料最低氣壓值約為 972.1 毫巴，最大風速約為 28.0 m/s。同樣地，上述中度颱風蘇拉 RC 及 MC 風壓場預報資料所得到的最低氣壓值及最大風速均出現於經大氣資料校正之 RC 及 MC 風壓場資料。與中央氣象局發布之颱風資訊相較，中度颱風蘇拉 RC 及 MC 風壓場預報資料對於近颱風中心之最低氣壓值及最大風速值均呈現出大幅度低估現象，尤期當蘇拉颱風強度愈大時，RC 及 MC 風壓場預報資料低估現象愈加顯著。針對近颱風中心之最低氣壓值而言，MC 風壓場預報資料普遍低於 RC 風壓場預報資料；反之，在近颱風中心之最大風速上，MC 風壓場預報資料普遍大於 RC 風壓場預報資料。

同樣地，中度颱風蘇拉侵臺期間 RC 風場及 MC 風場之預報風場及氣壓場分布比較，如圖 3.24 所示；分別為中度颱風蘇拉侵臺期間 8 月 1 日 0 時至 3 日 0 時每間隔 12 小時在臺灣周圍海域範圍內，RC 及 MC 之預報風場及氣壓場分布變化圖。顯示域 RC 風、壓場之颱風結構強度均明顯低於中域 MC 風、壓場之颱風結構強度，二者主要差異在於 RC 風、壓場呈現出風、壓場幾乎不受臺灣陸地之影響，而 MC 風、壓場則呈現出受到臺灣陸地效應之影響。

由於中度颱風蘇拉移動路徑屬於第二類颱風侵臺路徑，因此對臺灣東部及北部海域風浪影響最大，因此本計畫選取基隆港、臺北港、蘇澳港及花蓮港外海風浪模擬結果與各港口外海波浪觀測資料比較，如圖 3.25 及圖 3.26 所示。整體而言，以中域 MC 風場資料所模擬之風浪示性波高及平均週期變化趨勢，均較以大域 RC 風場資料模擬之波浪結果更較接近各港口波浪觀測資料之變化趨勢。

表 3-3 中央氣象局發布中度颱風蘇拉之颱風資訊

時間	颱風中心位置		颱風中心最低氣壓 (毫巴)	近颱風中心最大風速 (m/s)
	經度	緯度		
07/30 20:00	124.6	20.6	975	30
07/31 08:00	124.0	21.2	970	33
07/31 20:00	124.1	21.6	970	33
08/01 08:00	123.7	22.7	970	33
08/01 20:00	123.0	23.8	960	38
08/02 00:00	122.4	24.2	960	38
08/02 04:00	121.2	24.2	960	38
08/02 08:00	121.8	24.0	970	30
08/02 12:00	122.1	24.7	970	33
08/02 16:00	121.9	25.3	970	33

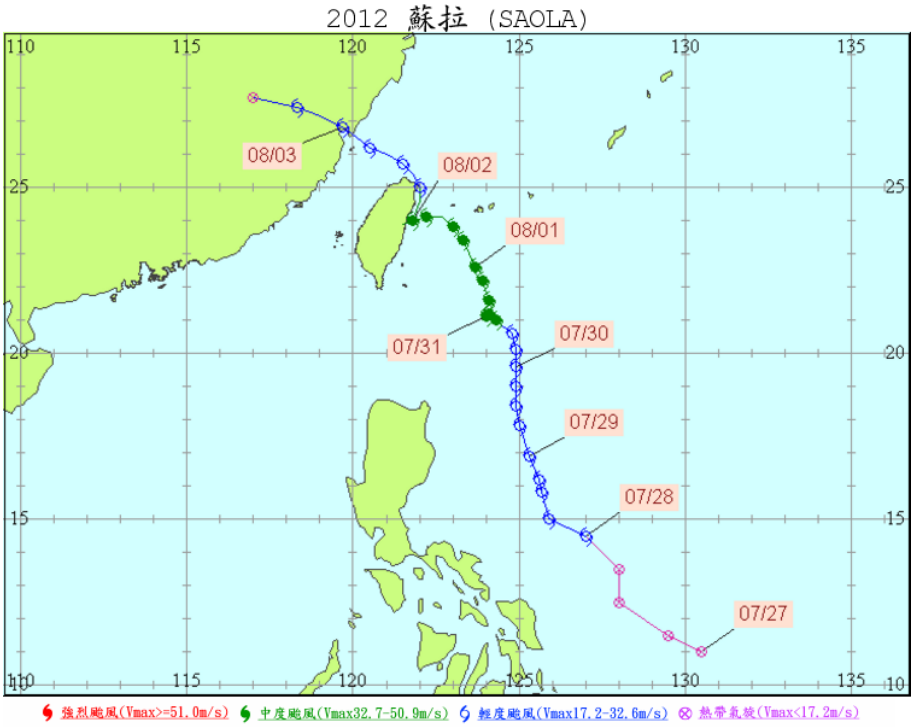


圖 3.21 2012 年中度颱風蘇拉(SAOLA)侵臺路徑圖

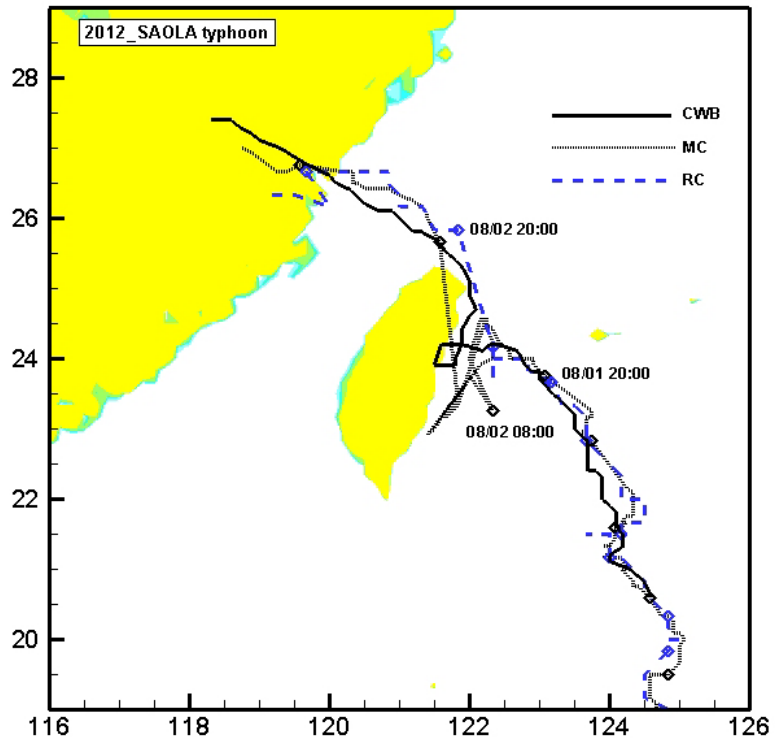


圖 3.22 2012 年中度颱風蘇拉(SAOLA)侵臺期間中央氣象局發布以及 RC 及 MC 風壓場推估颱風中心位置之比較圖

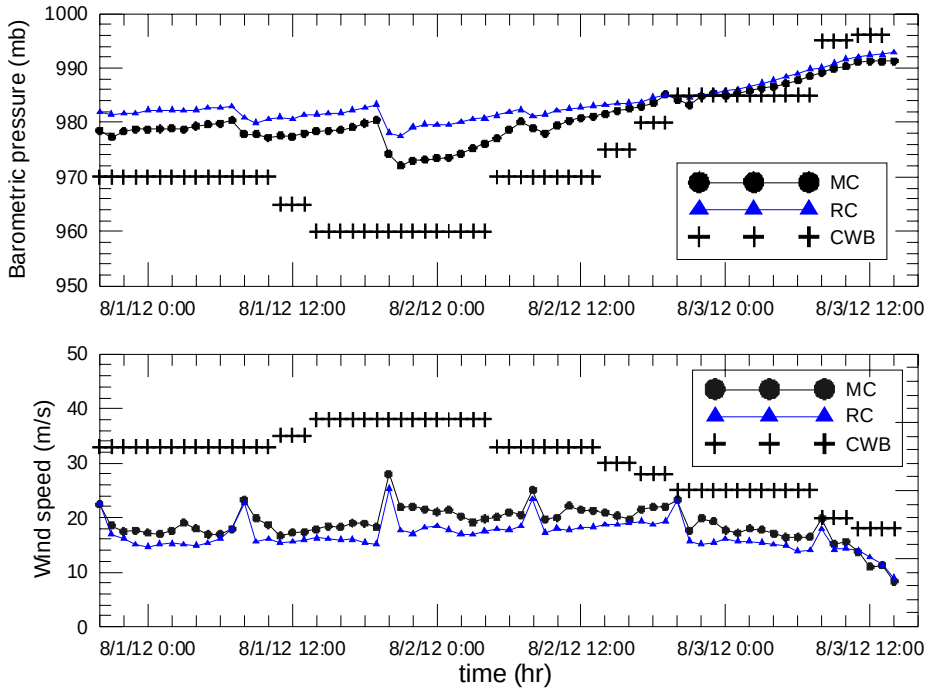


圖 3.23 2012 年中度颱風蘇拉(SAOLA)侵臺期間 RC 及 MC 每小時風壓場資料於近颱風中心之最低氣壓值(上)及最大風速值(下)之變化情形

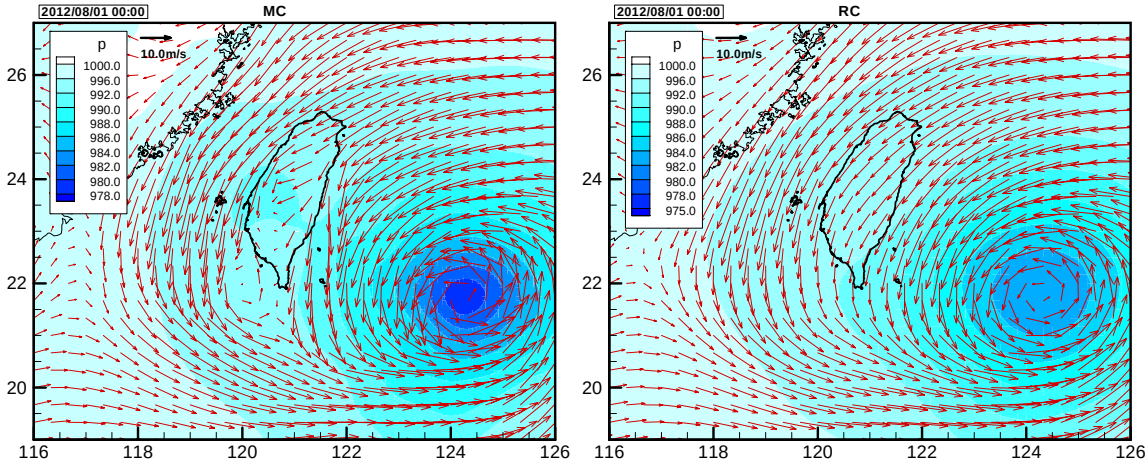


圖 3.24 2012 年中度颱風蘇拉大域 RC 及中域 MC 風壓場預報資料之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/01 00:00)

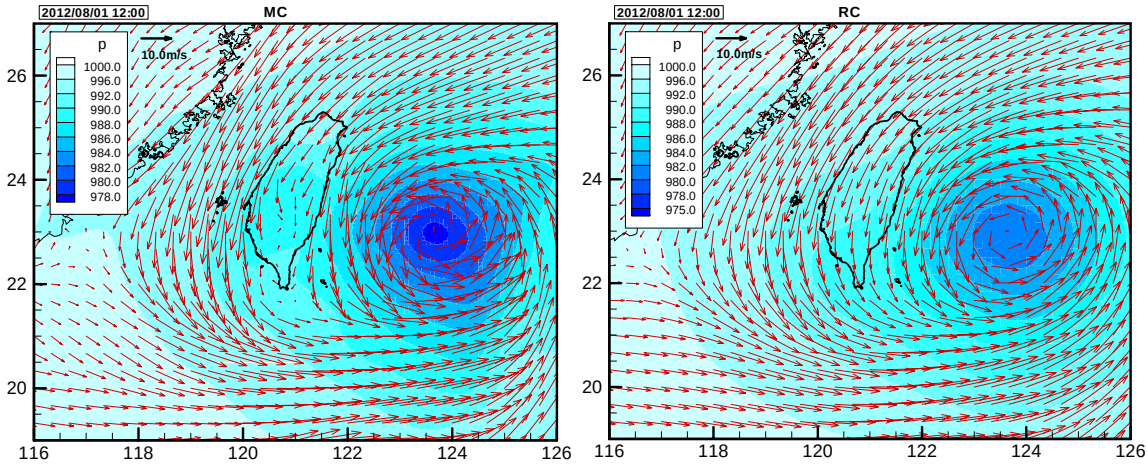


圖 3.24 (續 1)2012 年中度颱風蘇拉大域 RC 及中域 MC 風壓場預報資料之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/01 12:00)

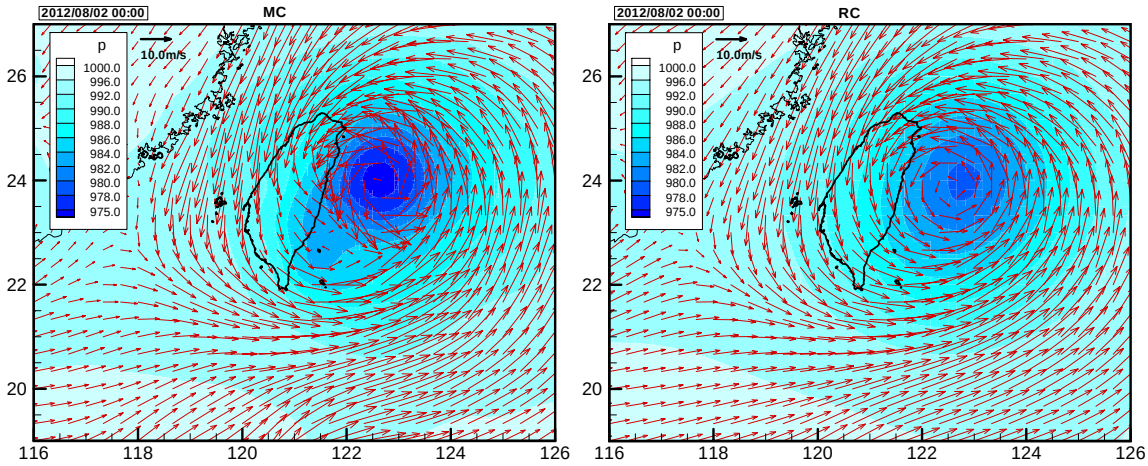


圖 3.24 (續 2)2012 年中度颱風蘇拉大域 RC 及中域 MC 風壓場預報資料之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/02 00:00)

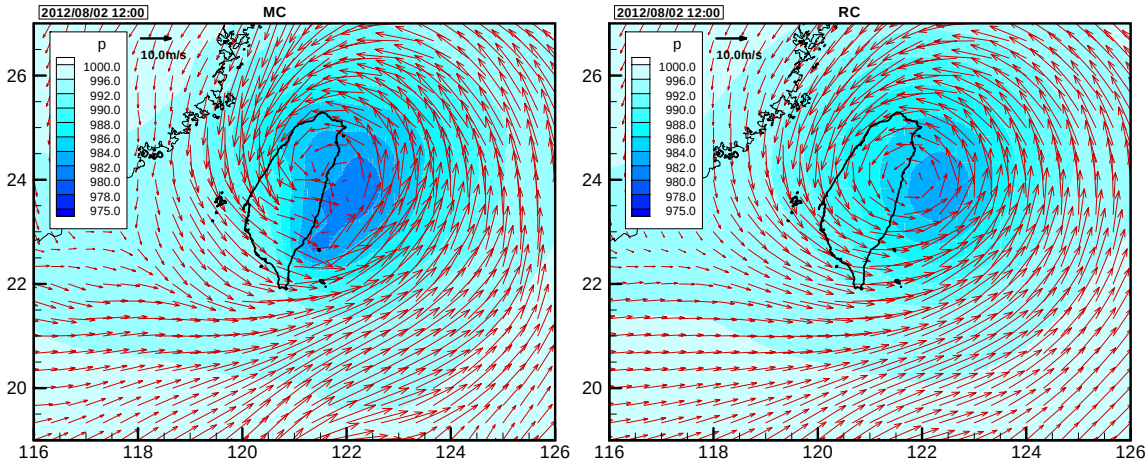


圖 3.24 (續 3)2012 年中度颱風蘇拉大域 RC 及中域 MC 風壓場預報資料之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/02 12:00)

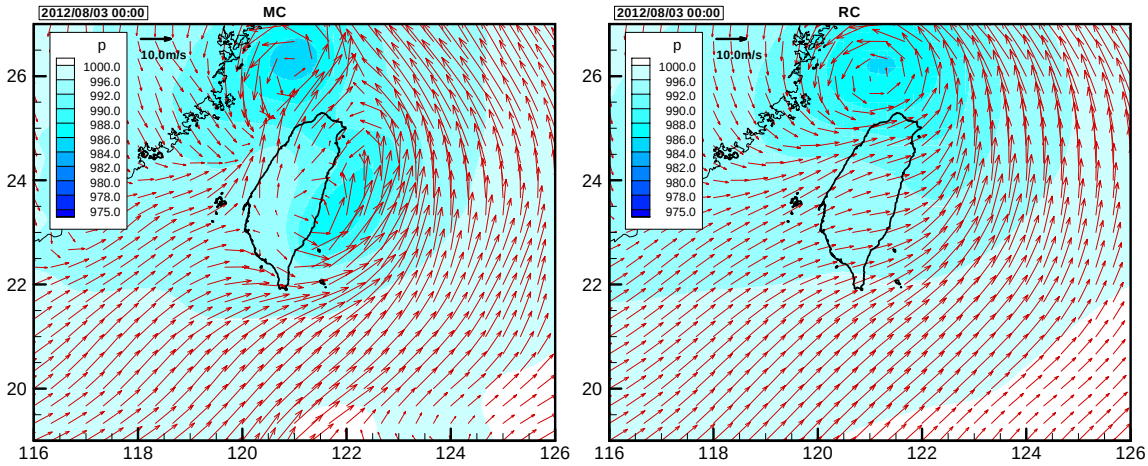


圖 3.24 (續 4)2012 年中度颱風蘇拉大域 RC 及中域 MC 風壓場預報資料之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/03 00:00)

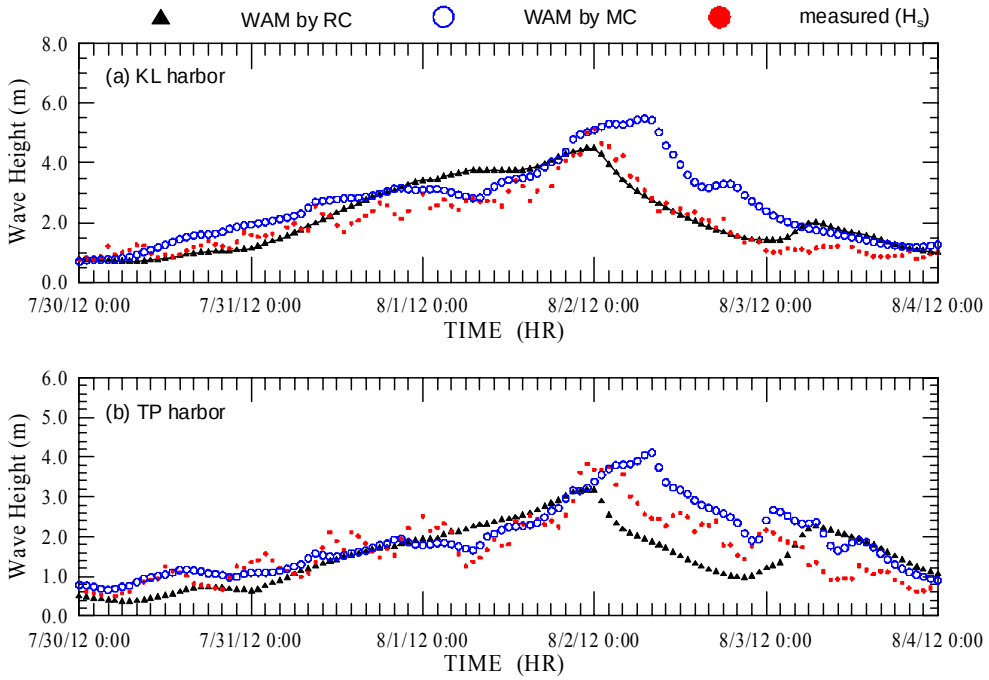


圖 3.25 中度颱風蘇拉侵臺期間大域 RC 及中域 MC 風場颱風波浪示性波高模擬結果與觀測資料之比較，(a)基隆港外海，(b)臺北港外海

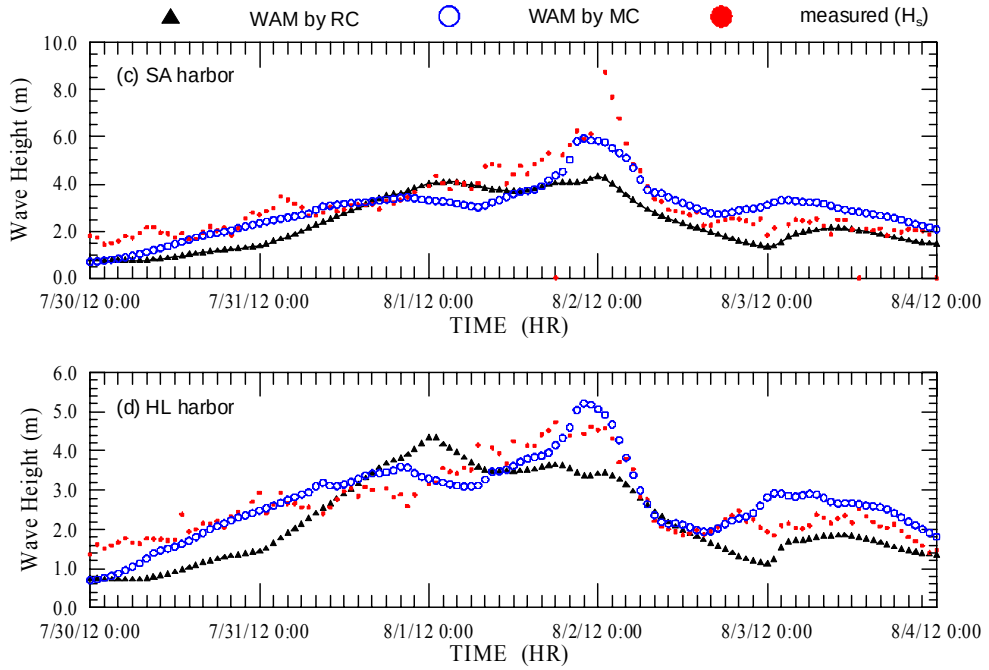


圖 3.25 (續)中度颱風蘇拉侵臺期間大域 RC 及中域 MC 風場颱風波浪示性波高模擬結果與觀測資料之比較，(c)蘇澳港外海，(d)花蓮港外海

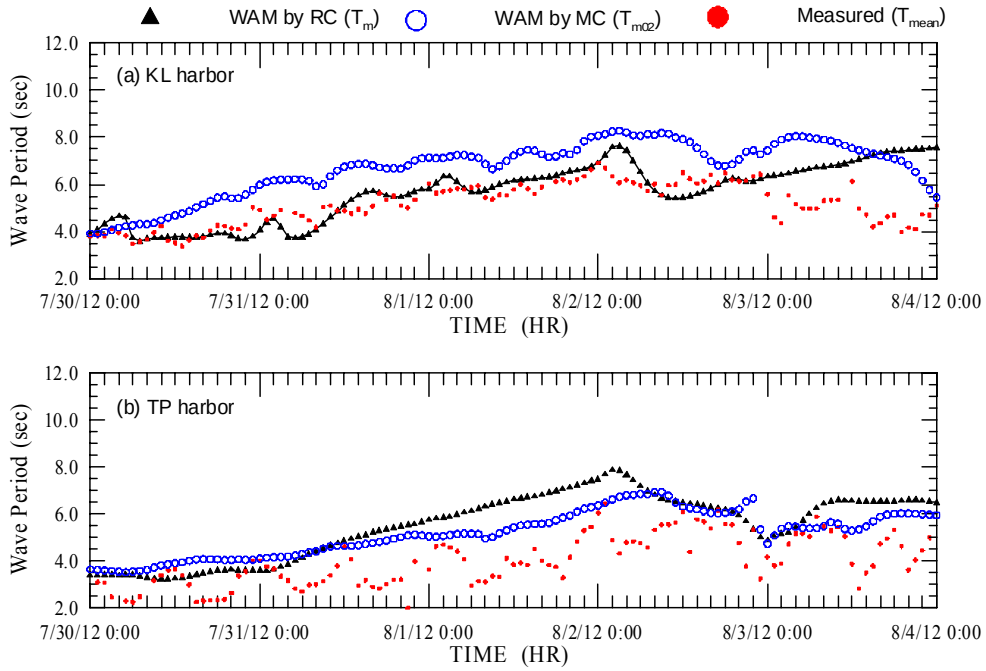


圖 3.26 中度颱風蘇拉侵臺期間大域 RC 及中域 MC 風場颱風波浪平均週期模擬結果與觀測資料之比較，(a)基隆港外海，(b)臺北港外海

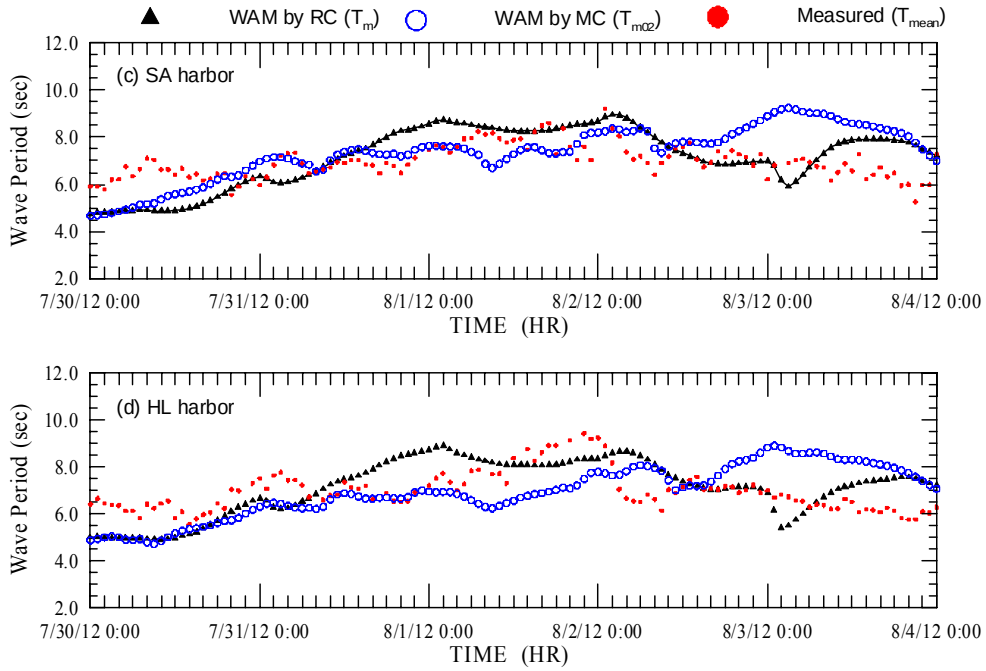


圖 3.26 (續)中度颱風蘇拉侵臺期間大域 RC 及中域 MC 風場颱風波浪平均週期模擬結果與觀測資料之比較，(c)蘇澳港外海，(d)花蓮港外海

3. 中度颱風天秤(TEMBIN)

中度颱風天秤(TEMBIN)於 8 月 18 日生成於菲律賓東方海面，其行進路徑如圖 3.27 所示；顯示其行至臺東東方近海，轉為西南西撲向恆春半島，於 24 日凌晨 5 時於屏東牡丹鄉附近登陸，並穿越恆春半島繼續往西南西方向離去，於 25 日解除警報；6 日晚間至 27 日清晨再次轉彎，向東轉東北東方向移動，對臺灣及附近海面再次造成威脅，28 日清晨 5 時其中心通過蘭嶼與綠島中間，並向北北東方移動。表 3-4 所列為中央氣象局針對中度颱風天秤發布之颱風資訊，其中颱風中心最低氣壓值來到 945 毫巴，近颱風中心最大平均風速可達 43m/s，約為 14 級風。

同理，本計畫整理中央氣象局針對中度颱風天秤發布之颱風路徑(黑粗實線)，以及本計畫由大域 RC 及中域 MC 風、壓場預報資料推估中度颱風天秤之颱風中心位置，如圖 3.28 所示。整體而言，由大域 RC 及中域 MC 風、壓場預報資料推估的颱風中心位置彼此相近似；與中央氣象局發布之颱風路徑比較，僅少部份時間段出現較大偏差外，大致均能與中央氣象局發布之颱風路徑近似。另由每小時大域 RC 及中域 MC 風、壓場預報資料判斷得到近颱風中心之最低氣壓值及最大風速值與中央氣象局發布颱風資訊比較結果，如圖 3.29 所示；結果顯示大域 RC 及中域 MC 風、壓場預報資料在近颱風中心之最低氣壓值及最大風速值上均呈現低估之趨勢，其中近颱風中心之最低氣壓值大域 RC 風、壓場低估幅度大於中域 MC 風、壓場，在近颱風中心最大風速值預測上，在 8 月 23 日 8 時之前 MC 風、壓場低估幅度大於 RC 風、壓場，8 月 23 日 8 時以後 MC 風、壓場低估情形逐漸小於 RC 風、壓場。有關天秤颱風侵臺期間臺灣周圍海域 RC 風場及 MC 風場之預報風場及氣壓場分布變化情形，如圖 3.30 所示。

表 3-4 中央氣象局發布中度颱風天秤之颱風資訊

時間	颱風中心位置		颱風中心最低氣壓 (毫巴)	近颱風中心最大風速 (m/s)
	經度	緯度		
08/21 20:00	125.3	21.9	950	43
08/22 08:00	124.5	22.4	955	40
08/22 20:00	124.2	22.6	955	40
08/23 08:00	123.6	22.5	955	40
08/23 12:00	123.4	22.6	955	40
08/23 16:00	123.0	22.7	945	43
08/23 20:00	122.5	22.7	945	43
08/24 00:00	121.7	22.5	945	43
08/24 04:00	121.1	22.2	945	43
08/24 08:00	120.6	22.2	960	38
08/24 12:00	120.3	22.4	970	33
08/24 16:00	119.9	22.1	970	33
08/24 20:00	119.8	22.3	975	30
08/25 00:00	119.0	22.4	975	30
08/25 08:00	118.2	22.3	980	28
08/25 20:00	117.1	21.9	975	30
08/26 08:00	116.8	21.1	970	33
08/26 20:00	116.8	20.8	965	35
08/27 04:00	117.7	20.4	965	35
08/27 08:00	118.2	20.4	965	35
08/27 12:00	118.5	20.6	965	35
08/27 16:00	119.0	21.2	970	33
08/27 20:00	119.8	21.2	970	33
08/28 00:00	120.5	21.6	970	33
08/28 04:00	121.3	22.1	970	33
08/28 08:00	121.9	22.9	970	33
08/28 12:00	122.6	23.7	975	30
08/28 16:00	123.2	24.5	975	30
08/28 20:00	123.6	25.3	980	28
08/28 23:00	123.8	26.0	980	28

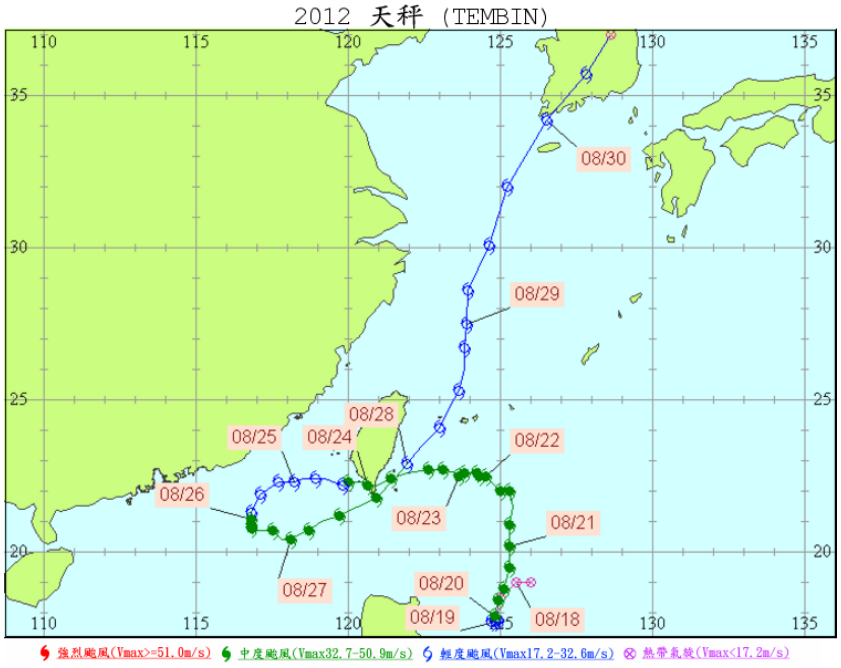


圖 3.27 2012 年中度颱風天秤(TEMBIN)侵臺路徑圖

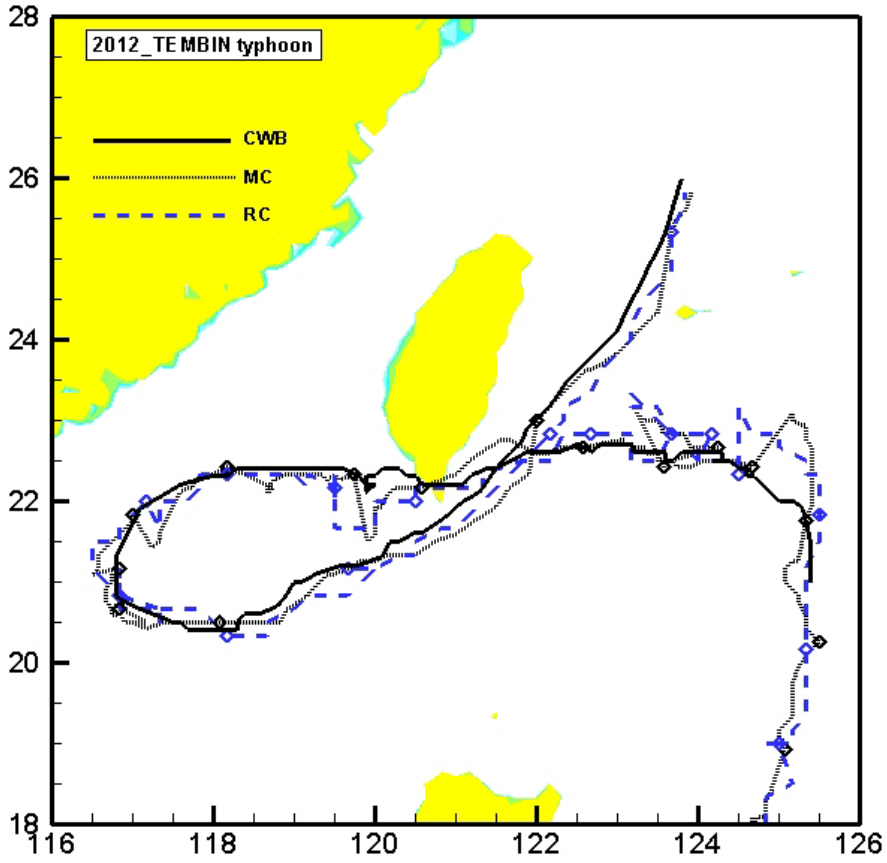


圖 3.28 2012 年中度颱風天秤(TEMBIN)侵臺期間中央氣象局發布以及 RC 及 MC 風壓場推估颱風中心位置之比較圖

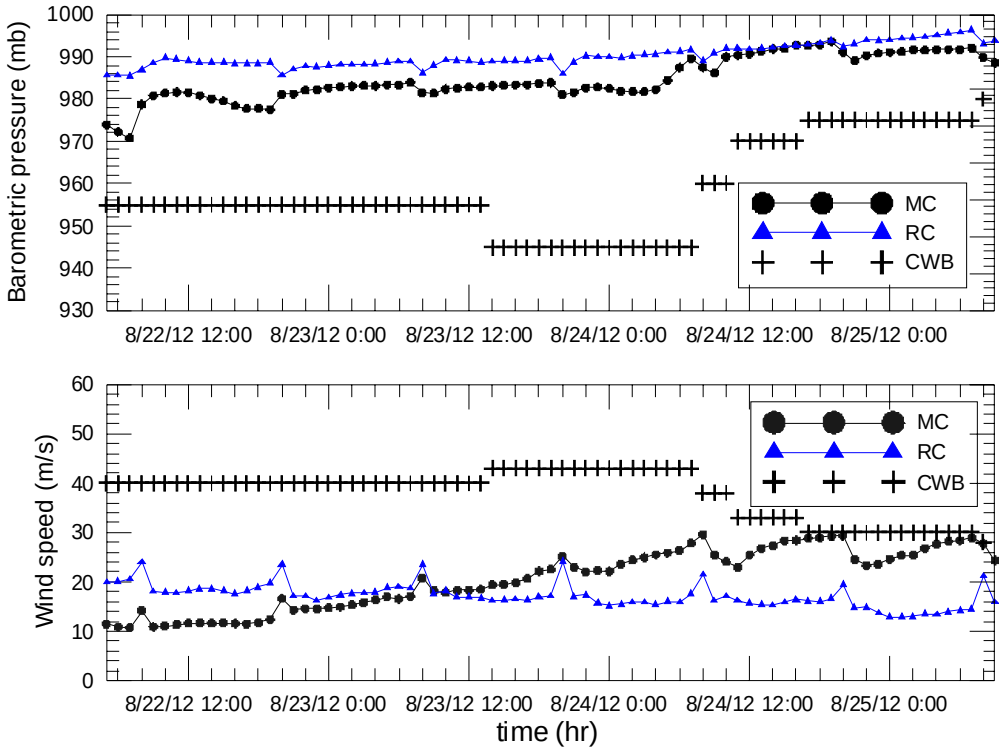


圖 3.29 2012 年中度颱風天秤(TEMBIN)第一次侵臺期間 RC 及 MC 每小時風壓場資料於近颱風中心之最低氣壓值(上)及最大風速值(下)之變化情形

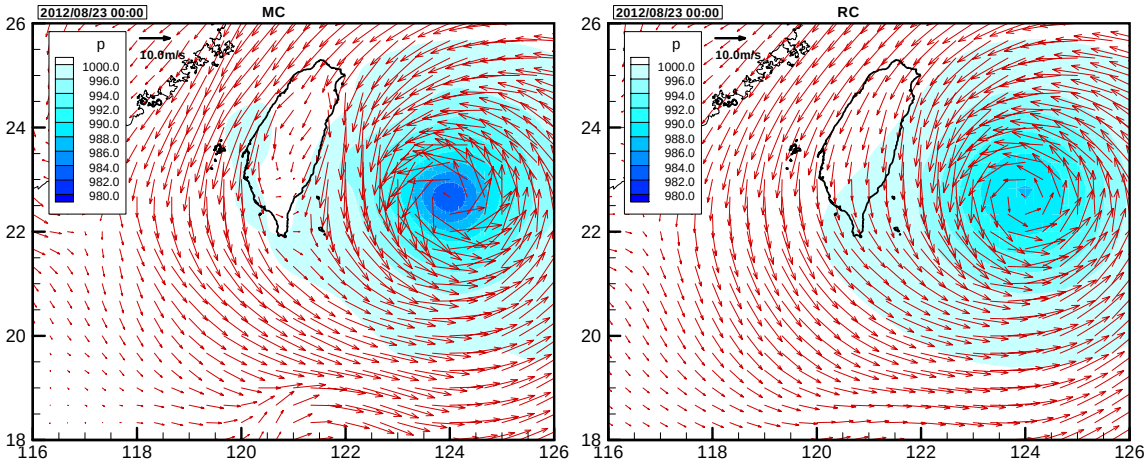


圖 3.30 2012 年中度颱風天秤大域 RC 及中域 MC 風壓場預報資料之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/23 00:00)

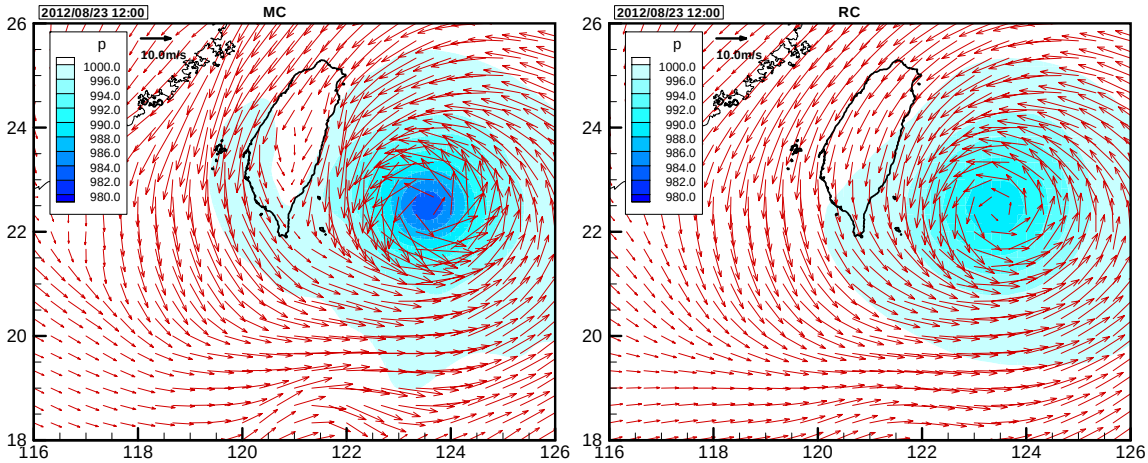


圖 3.30 (續 1)2012 年中度颱風天秤大域 RC 及中域 MC 風壓場預報資料之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/23 12:00)

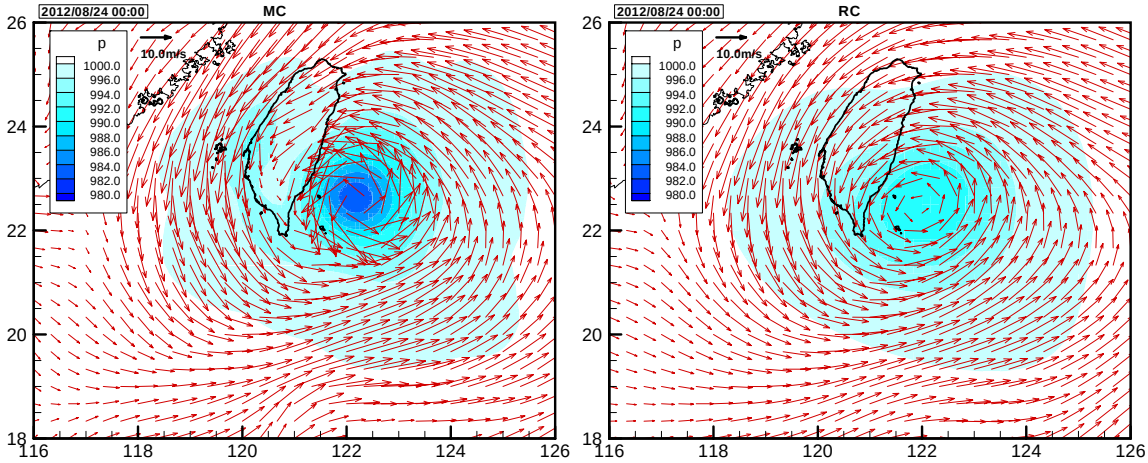


圖 3.30 (續 2)2012 年中度颱風天秤大域 RC 及中域 MC 風壓場預報資料之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/24 00:00)

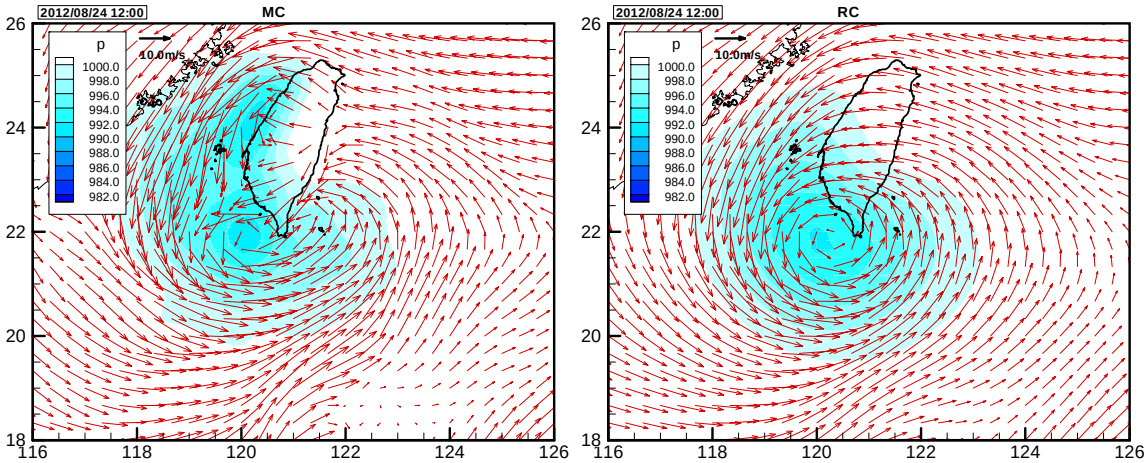


圖 3.30 (續 3)2012 年中度颱風天秤大域 RC 及中域 MC 風壓場預報資料之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/24 12:00)

綜合以上分析結果得知：由中央氣象局提供的 NFS 數值預報風場及氣壓場資料顯示大域 RC 風、壓場資料並未考慮陸地之效應與影響，中域 MC 風、壓場資料則有考慮陸地之效應與影響；此外，在颱風風場預報結果方面，除了少數特殊情況下大域 RC 風、壓場資料表現較優外，整體上仍以中域 MC 風、壓場資料與中央氣象局發布之颱風資料較為接近。因此，對臺灣周圍海域範圍風浪模擬而言，本計畫乃建議採用中域 MC 風場資料作為未來本計畫西太平洋範圍風浪模式之輸入條件應屬較佳之選擇。

3.2.4 西太平洋範圍網格解析度之評估與探討

一般而言，模式計算網格解析度之高、低通常會對數值模擬結果之精確性產生某種程度影響。然回顧歷年研究計畫得知西太平洋範圍風浪模組建置以來，曾經對該模組之模擬範圍進行調整，但未針對計算網格解析度進行評估。有鑑於此，本年度除了利用美國國家地球物理資料中心(National Geophysical Data Center, NGDC)公布的全球 1 弧分格網數值地形(Etopo1)更新目前西太平洋範圍風浪模式之地形水深資料外，另以 6 分(或 0.1°)網格間距大小建置大尺度風浪模組之數值計算網格，如圖 3.31 所示，模擬西太平洋範圍風浪之變化，藉以評估提昇西太平洋範圍風浪模式數值計算網格解析度對風浪模擬結果之影響，及在風浪作業化預報上之可行性及效益。

本計畫 12 分及 6 分數值計算網格差異性比較：1)網格大小陣列上：12 分及 6 分數值計算網格分別為 126x121 及 251x241，顯示 6 分數值計算網格所需之資料儲存空間將增加至 4 倍；2)模式實際運算使用的海洋水深網格點數目：12 分及 6 分數值計算網格分別為 11180 及 44373，其對模式運算速度之影響為 6 分數值計算網格所花費時間約為 12 分及 6 分數值計算網格之 4.3 倍。

為瞭解上述西太平洋範圍風浪模式採用 12 分或 6 分數值計算網格對西太平洋範圍風浪模擬結果之差異與影響，本計畫選取 2012 年 6 月 1 日 0 時至 6 月 21 日 0 時之作業化 MC 風場資料，分別模擬西太平洋範圍風浪場之變化情形。圖 3.32 所示分別為西太平洋範圍 6 弧分及 12 弧分數值計算網格風浪模擬結果之示性波高(H_s)及平均週期(T_m)分布情形，圖中黑色等值線代表示性波高值，色階代表平均週期，向量代表 MC 風場風速。由示性波高整體分布情形得知，除了在局部地區如陸地附近偶有較明顯差異外，6 弧分及 12 弧分數值計算網格模擬結果之示性波高分布是相當近似的；在風浪平均週期模擬結果上顯示 6 弧分及 12 弧分數值計算網格之平均週期分布會出現部份的差異性，尤其

是長週期分布範圍更加顯著。此外，由圖中近颱風中心附近之示性波高最大值以及颱風引起的平均週期最大值方面，得知 6 弧分數值計算網格之模擬結果均略高於 12 弧分數值計算網格。此外，針對八大商港(含本年度計畫之布袋商港)外海風浪模擬結果之比較，如圖 3.33 至 3.40 所示；結果顯示以 6 弧分及 12 弧分計算網格模擬之風浪，其示性波高值與平均週期值均相當接近，僅少數輸出點位如基隆港、高雄港等在某些時間段有較明顯的差異出現。

整體而言，採用較高網格解析度之 6 弧分數值計算網格模擬西太平洋範圍之風浪，與現行採用 12 弧分數值計算網格模擬西太平洋範圍風浪之結果相比較，二者在示性波高值之差異上並不顯著，僅在波浪平均週期上有較顯著的差異出現，特別是在出現平均週期較大之處。此外，考量採用較高網格解析度之 6 弧分數值計算網格模擬西太平洋範圍風浪不論硬體儲存空間或數值模擬時間均較目前採用 12 弧分數值計算網格之模擬結果至少增加 4 倍以上，此部份對目前波浪模擬作業化系統是一項相當之負荷，故建議未來就硬體設備更新後，再進一步評估是否採用較高解析度之數值計算網格進行風浪作業化模擬預報。

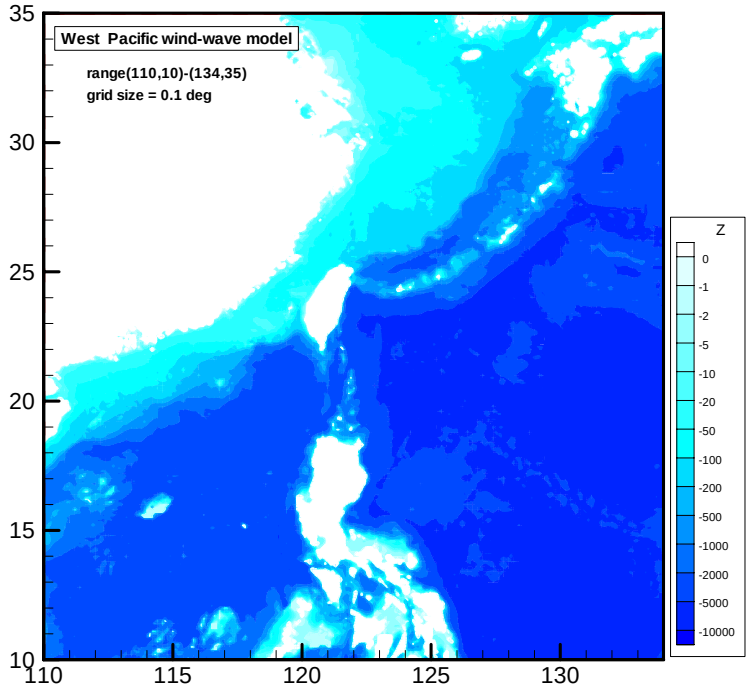
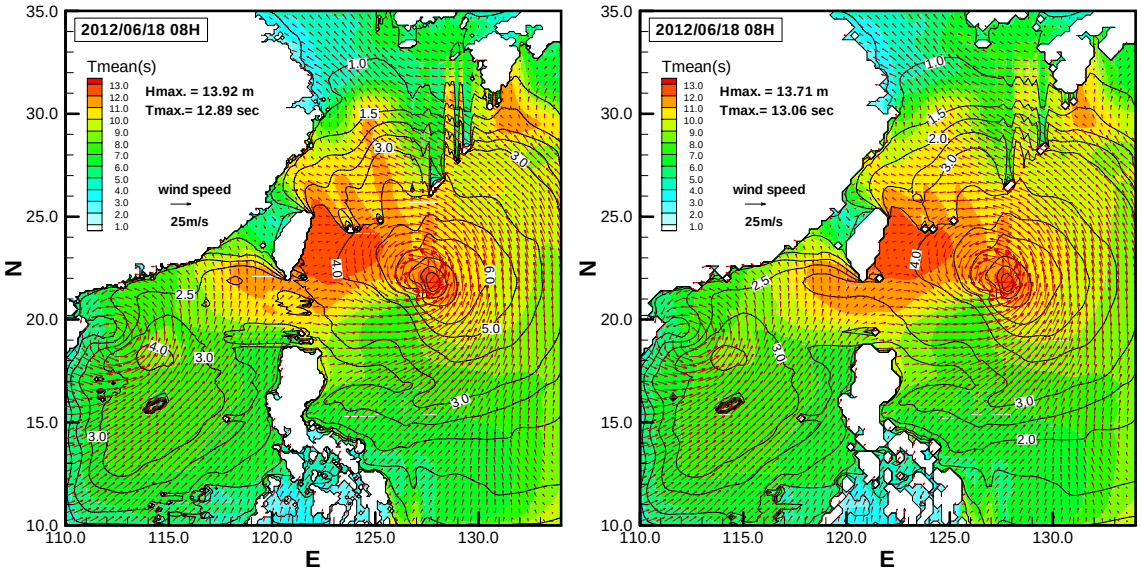
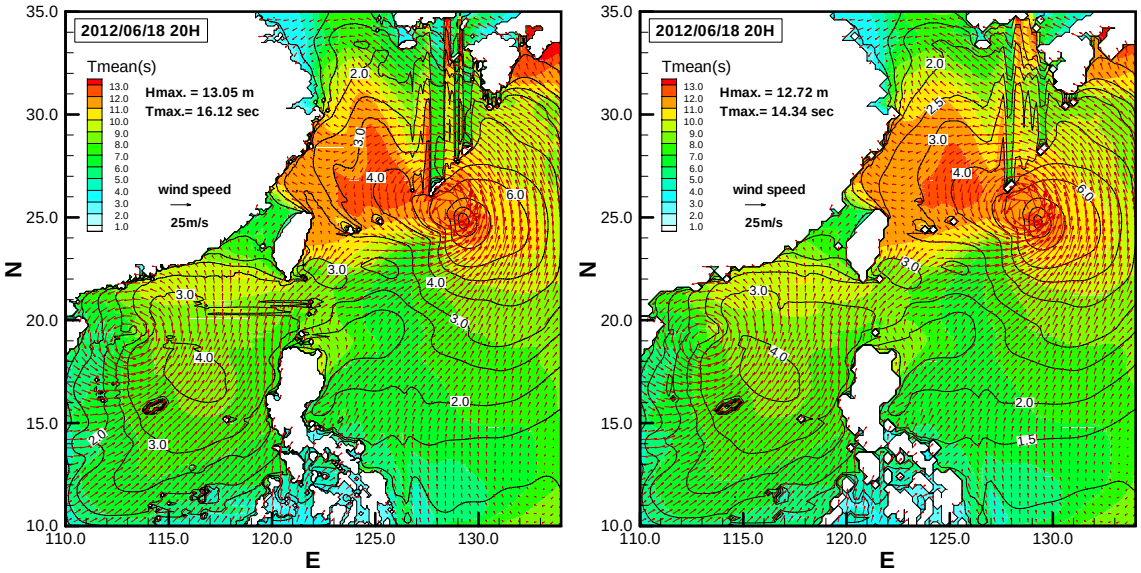


圖 3.31 西太平洋範圍風浪模式 6 弧分計算格網之水深分布



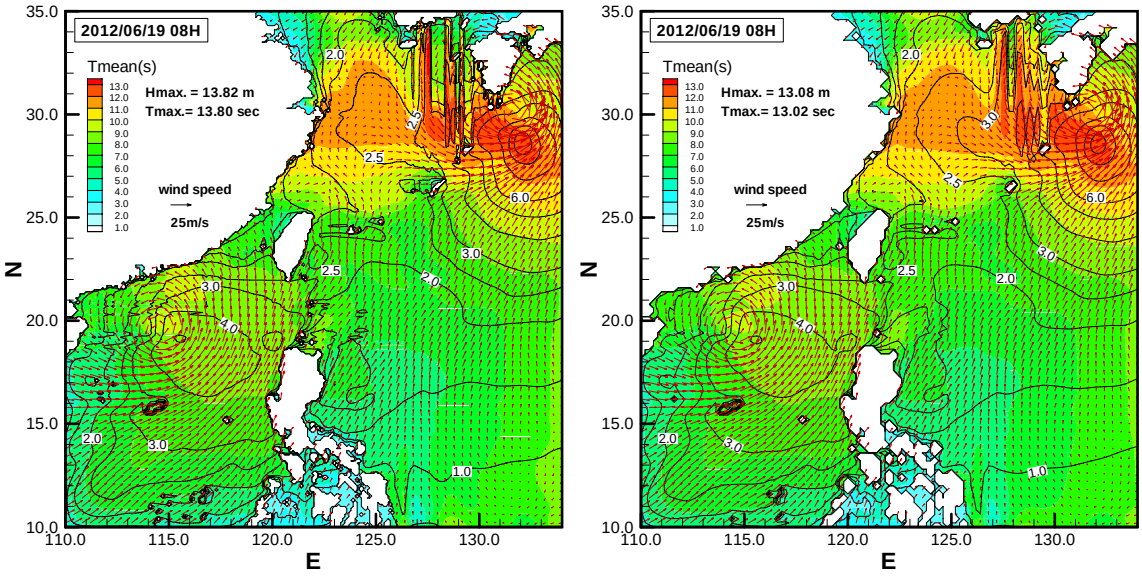
(a) 6分數值計算網格　　(b)12分數值計算網格

圖 3.32 西太平洋範圍風浪模擬結果之示性波高、平均週期分布及風場向量圖



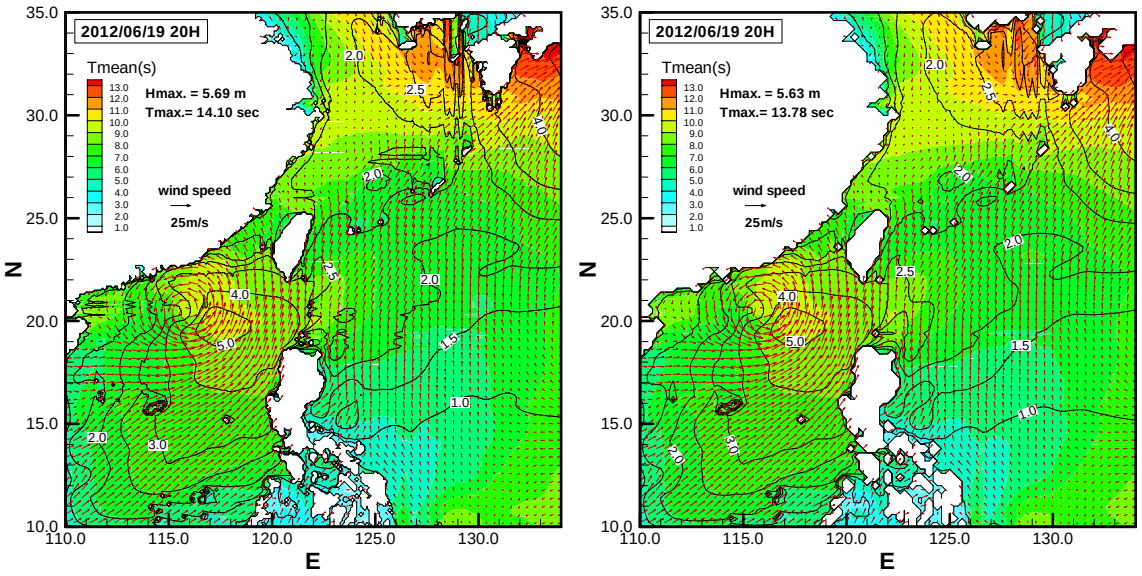
(a) 6分數值計算網格　　(b)12分數值計算網格

圖 3.32 (續 1)西太平洋範圍風浪模擬結果之示性波高、平均週期分布及風場向量圖



(a) 6分數值計算網格　　(b)12分數值計算網格

圖 3.32 (續 2)西太平洋範圍風浪模擬結果之示性波高、平均週期分布及風場向量圖



(a) 6分數值計算網格　　(b)12分數值計算網格

圖 3.32 (續 3)西太平洋範圍風浪模擬結果之示性波高、平均週期分布及風場向量圖

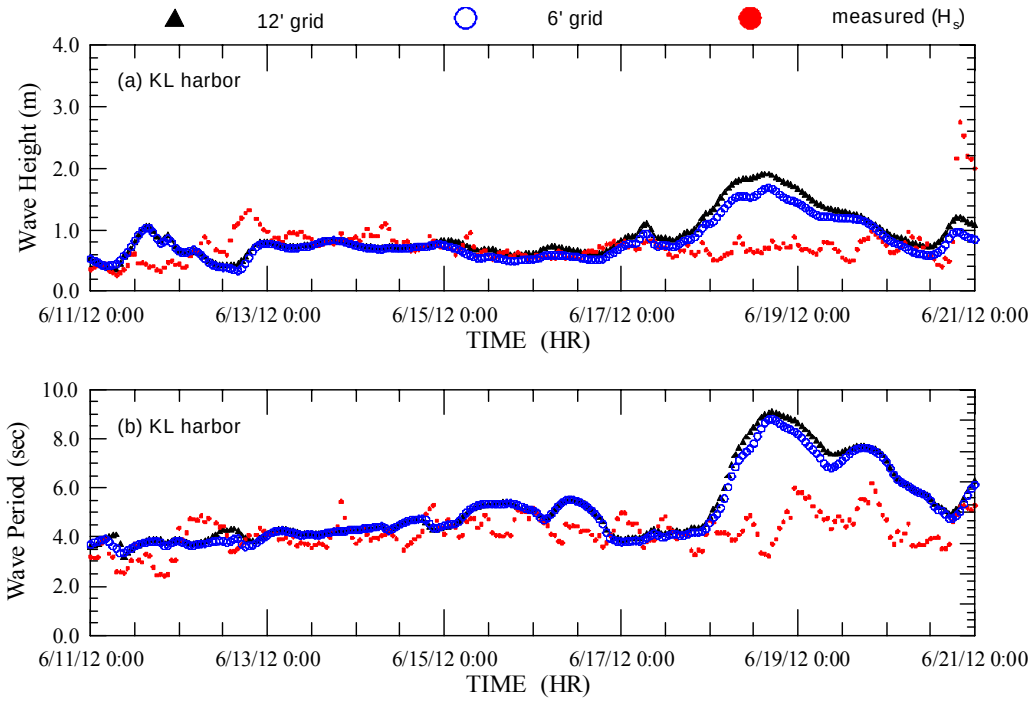


圖 3.33 基隆港附近海域西太平洋範圍風浪模式模擬之示性波高(上圖)及平均週期(下圖)變化每小時序列圖

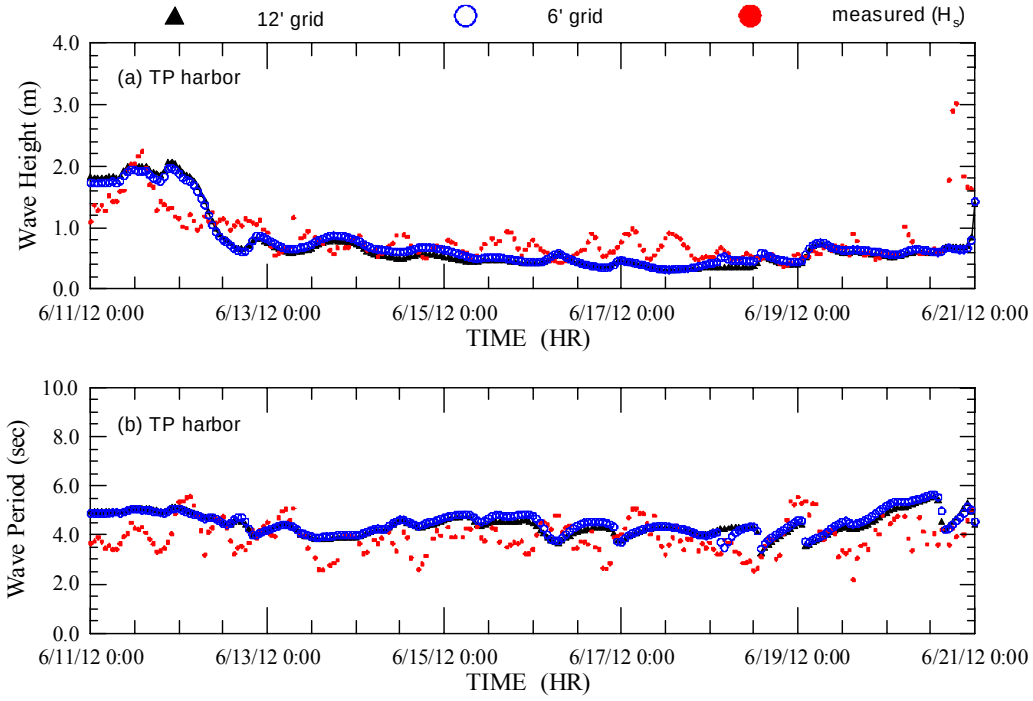


圖 3.34 臺北港附近海域西太平洋範圍風浪模式模擬之示性波高(上圖)及平均週期(下圖)變化每小時序列圖

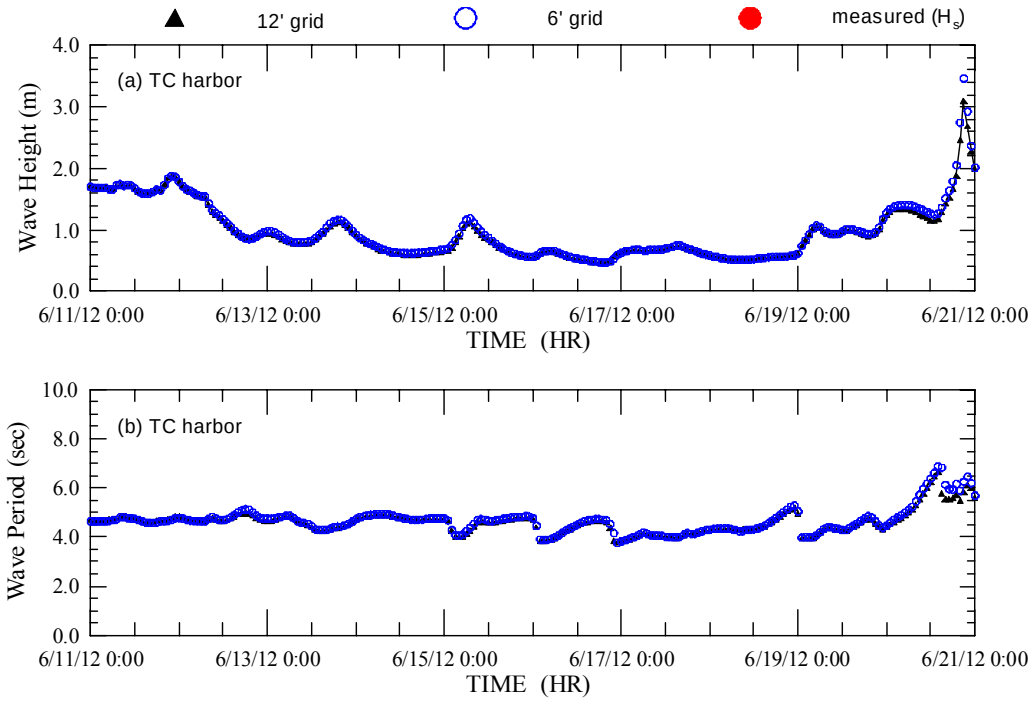


圖 3.35 臺中港附近海域西太平洋範圍風浪模式模擬之示性波高(上圖)及平均週期(下圖)變化每小時序列圖

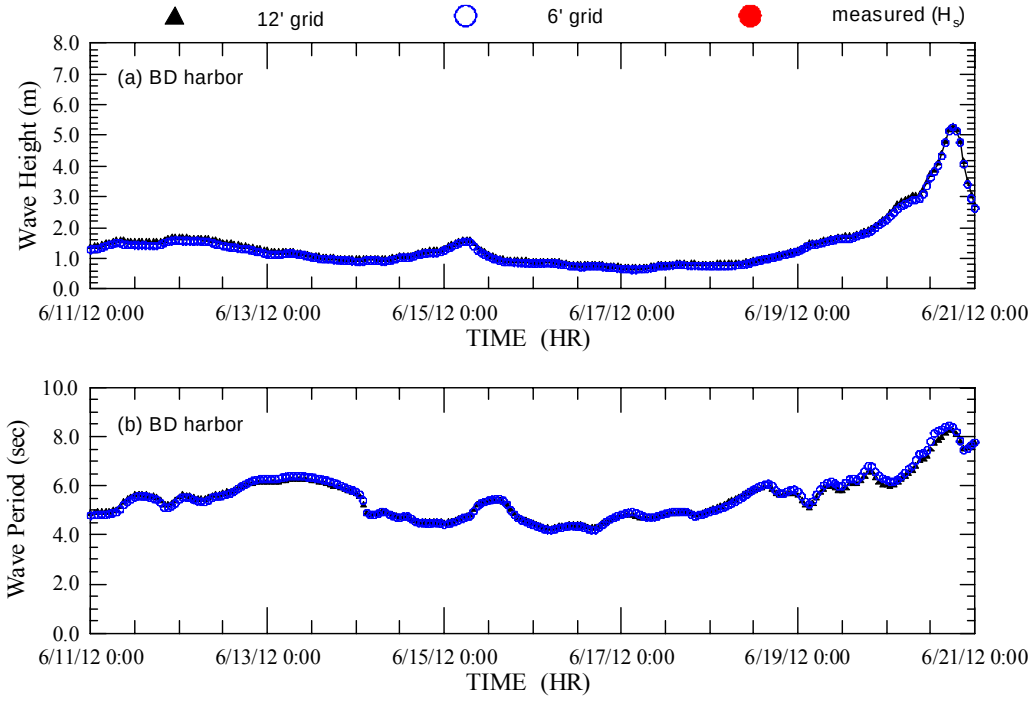


圖 3.36 布袋港附近海域西太平洋範圍風浪模式模擬之示性波高(上圖)及平均週期(下圖)變化每小時序列圖

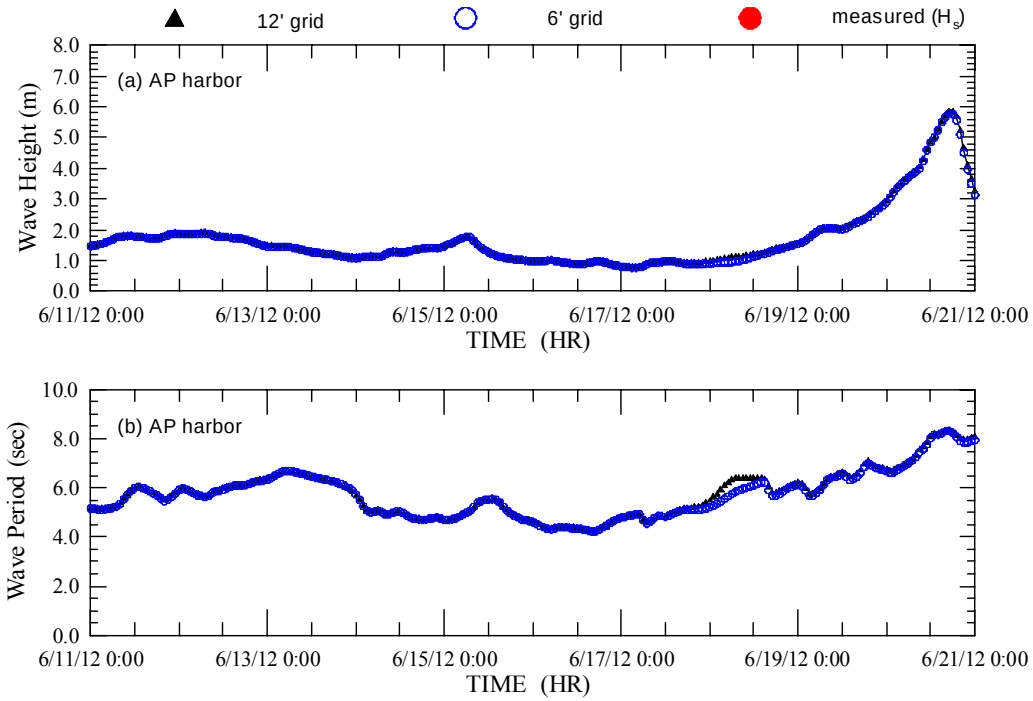


圖 3.37 安平港附近海域西太平洋範圍風浪模式模擬之示性波高(上圖)及平均週期(下圖)變化每小時序列圖

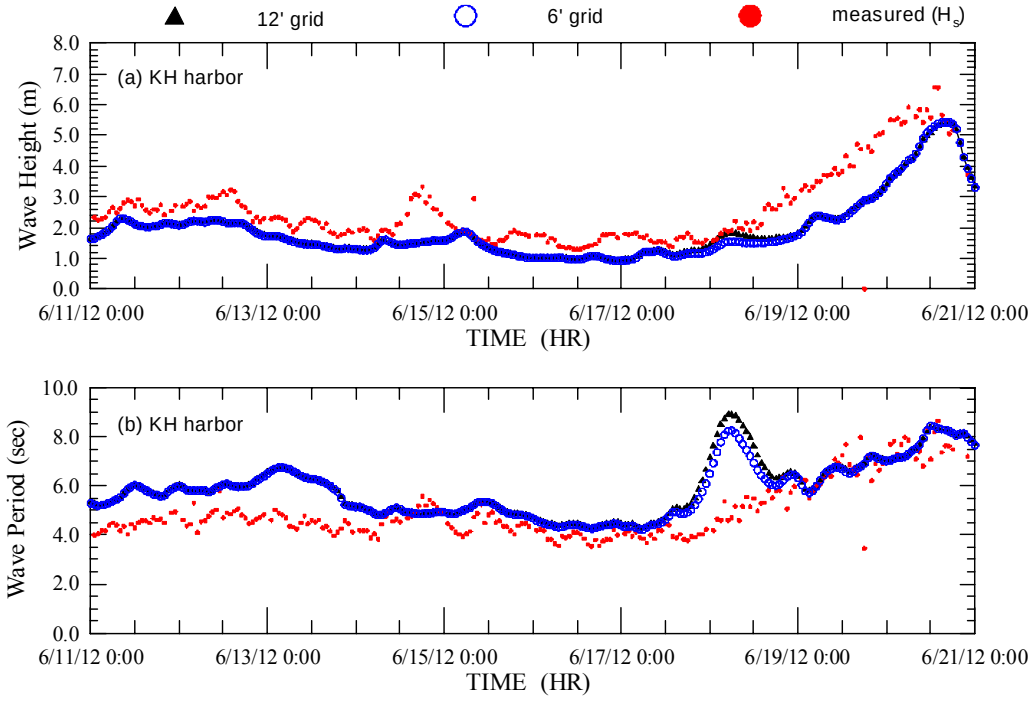


圖 3.38 高雄港附近海域西太平洋範圍風浪模式模擬之示性波高(上圖)及平均週期(下圖)變化每小時序列圖

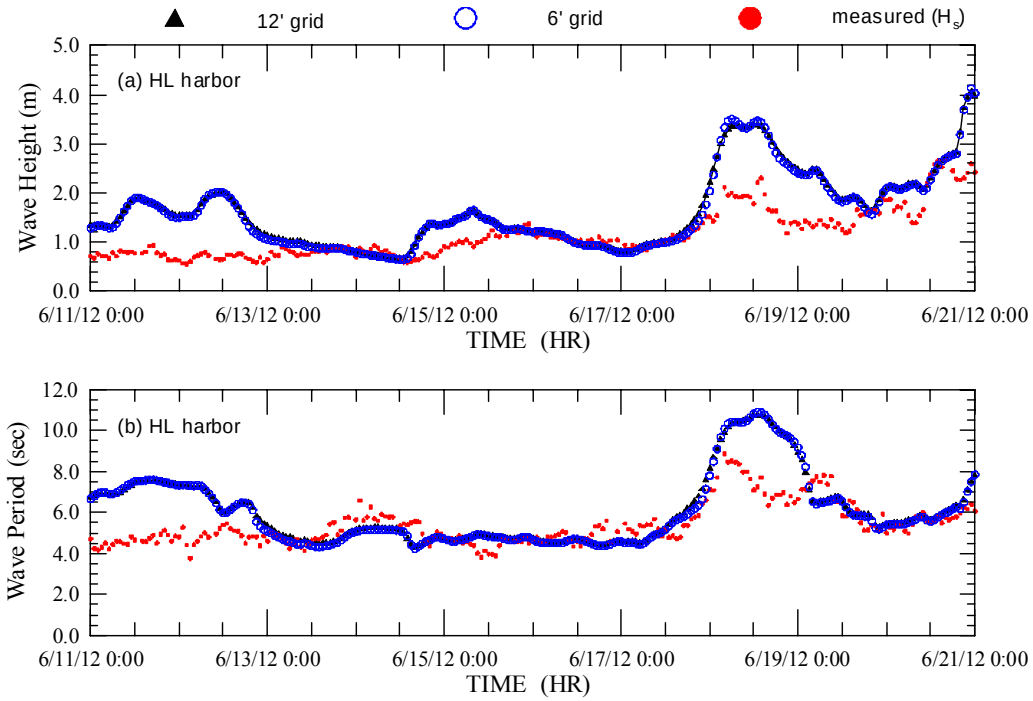


圖 3.39 花蓮港附近海域西太平洋範圍風浪模式模擬之示性波高(上圖)及平均週期(下圖)變化每小時序列圖

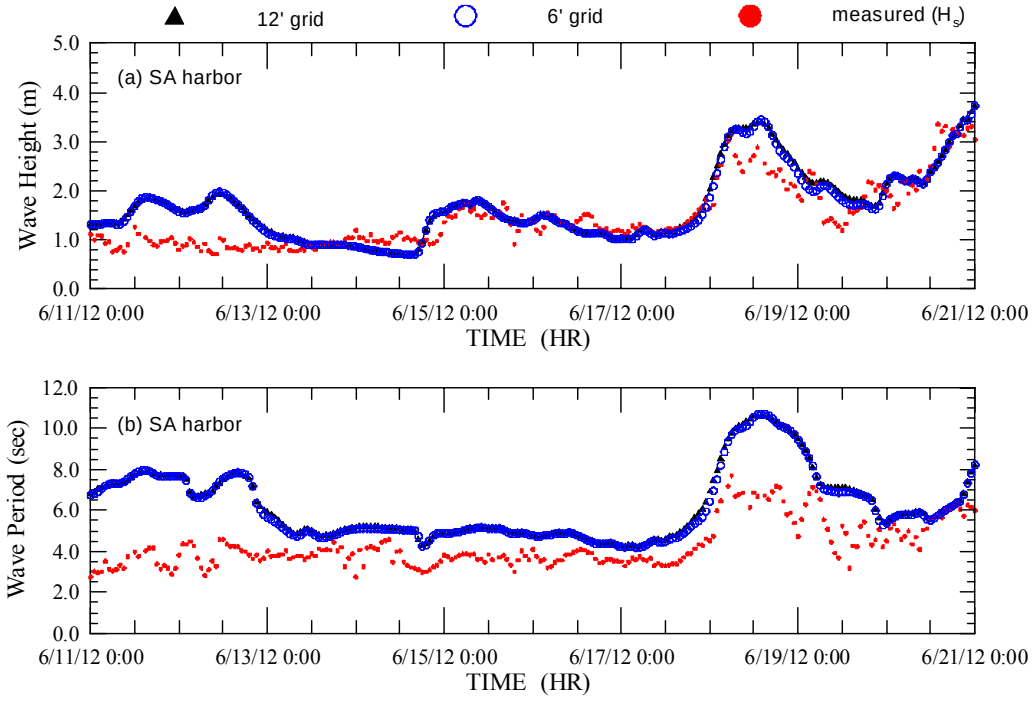


圖 3.40 蘇澳港附近海域西太平洋範圍風浪模式模擬之示性波高(上圖)及平均週期(下圖)變化每小時序列圖

3.2.5 臺灣周圍海域範圍風浪模式之多核心運算測試

基於中心計畫針對 TaiCOMS 運作之主機伺服器進行更新，因此本年度乃針對運算較為費時之臺灣周圍海域範圍風浪模式，配合新購置之主機伺服器進行模式多核心運算測試。其中主機伺服器為 2U 超薄型伺服器(Hexa-Core Intel Xeon 2.0GHz 二顆)，搭配 LINUX 系統 SUSE11 64 位元，記憶體為 8GB for DL380 G8 共 8 片等同 64GB。圖 3.41 所示為目前採用多核心運算測試模式運算時間之結果。顯示採用多核心運算方式執行本計畫臺灣周圍海域範圍風浪模擬所需時間在 cpu 數達 12 顆以後即不再減少而呈現增加之現象。另由模擬時間曲線之變化得知當 cpu 數達 8 顆以後，模式模擬時間縮短之趨勢明顯趨緩，多核心運算之效益顯著降低。

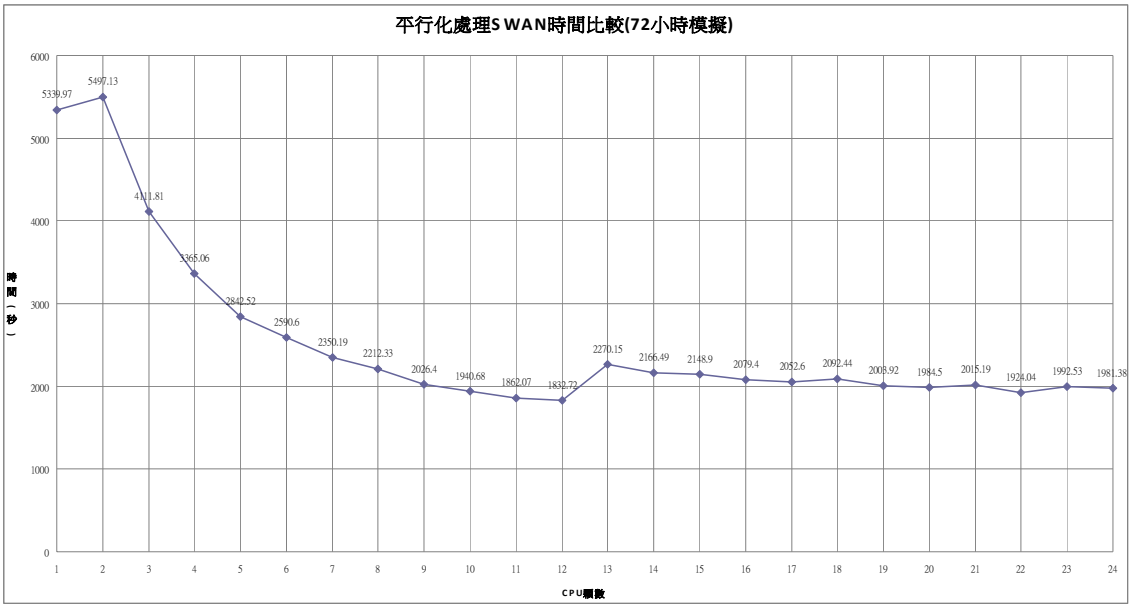


圖 3.41 平行化處理 SWAN 時間比較(72 小時模擬)

3.3 港區風浪模擬預警子系統

本年度計畫重點之一為建置臺中港域及布袋港域風浪模擬預警子系統，其中臺中港域風浪模擬預警子系統係依據前期計畫研究成果而建置，布袋港域風浪模擬預警子系統則屬於新建計畫，因此本年度將以建置小尺度港區近岸波浪模組並納入 TaiCOMS 波浪模擬系統列為研究重點。

3.3.1 臺中港港區風浪模擬預警子系統

臺中港地理位置位居臺灣西海岸的中央，西臨臺灣海峽，北起大甲溪，南至大肚溪，南北長 12.5 公里，港口距離「基隆港」約 110 浬，「高雄港」約 120 浬，如圖 3.42 所示，絕佳的地理位置使臺中港成為臺灣地區最重要的交通樞紐之一。臺中港屬於人工港，係由國人在臺灣西部平直沙岸上自行設計、施工之國際港。港口之經緯度座標為北緯 24 度 17 分 40 點 3 秒，東經 120 度 29 分 27 點 3 秒。

圖 3.43 所示為經行政院 98 年 12 月 4 日核定之臺中港整體規劃平面配置圍，其中臺中港域總面積約 3,793 公頃，陸域面積佔 2,820 公頃，水域面積佔 973 公頃；包括商港、工業港及漁港三部份。臺中港發展至今已興建之營運碼頭共 50 座，總長度為 12,329 公尺，其中貨櫃碼頭 8 座、客運碼頭 1 座、穀類碼頭 2 座、煤炭碼頭 4 座、管道碼頭 8 座、水泥碼頭 3 座、散雜貨碼頭 22 座、LNG 碼頭 1 座及廢鐵碼頭 1 座。

在 TaiCOMS 架構下，針對臺中港域波浪模擬已分別建置小尺度港區近岸波浪模組及細尺度港域波浪模組，前者主要配合本計畫海象預報系統每日作業化波浪模擬進行 72 小時港區近岸波浪場模擬；後者尚未納入每日作業化波浪模擬流程中，而是應用於颱風期間針對臺中港外海發生的大波浪條件進行港域波浪場模擬，藉以評估颱風期間港域之靜穩及安全性。因此本計畫將參照上年度計畫結合中尺度臺灣周圍

海域範圍風浪模組及臺中港小尺度港區近岸波浪模組，以及臺中港區波浪觀測即時監測計畫構建成臺中港港區風浪模擬預警子系統。

3.3.1.1 臺中港小尺度港區近岸波浪模組

目前臺中港小尺度港區近岸波浪模組之模擬範圍如圖 3.44 所示，圖中小尺度港區近岸波浪場模擬範圍在沿臺中港域海岸線方向之距離為 19.0 km，離岸方向之距離為 10.0 km，外海邊界水深約介於 40m~50m 間。本計畫小尺度港區近岸波浪場模擬係以 Kirby 及 Dalrymple (1983) 所發展的波浪折繞射(REF/DIF)模式為之，而該模式使用的數值計算方法屬於有限差分法，因此必須先針對臺中港域選取的小尺度港區近岸波浪模擬範圍建置有限差分數值計算網格，如圖 3.45 所示。圖中計算網格之間距為 10.0 m，網格大小為 1901×1001，網格之原點二度分帶座標(TW67)為(198113.0，2696163.0)，網格 y 軸與方位正北之夾角為 54.0°。圖中點位 A ~ D 代表本計畫小尺度港區近岸波浪模組模擬結果之輸出點位，其中點位 A 亦為本計畫臺中港外海之波浪觀測位置。基於臺中港每年均會對其轄內港域進行水深調查，因此本年度計畫將依蒐集的臺中港 100 年港域水深調查資料，如圖 3.45 所示，更新本計畫臺中港域小尺度港區近岸波浪模組數值計算網格之水深資料。

依據波浪模式 REF/DIF 之特性得知，臺中港域小尺度港區近岸波浪模組之必要輸入條件分別為波浪週期、波高及波向等波浪條件；因此本計畫針對臺中港域小尺度港區近岸波浪場模擬之波浪條件規畫來源有二：一為依據 TaiCOMS 中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組每日作業化模擬之結果，輸出臺中港域外海 72 小時風浪之示性波高、平均週期與平均波向等資料(含前 24 小時風浪追算及後 48 小時風浪預報資料)作為臺中港港區近岸波浪模組輸入條件執行 72 小時港區近岸波場模擬工作；另一為依據臺中港外海波浪觀測即時傳輸回本中心之波浪資料，作為臺中港港區近岸波浪模組輸入條件即時執行每小時港區近岸波場模擬。其中前者已納入本中心規劃建置的臺中港港區風浪模擬預警子系統之作業化模擬，且此部份波場作業化模擬流程將與目前

TaiCOMS 每日作業化模擬預報 72 小時風浪模擬合併執行(如圖 3.45 所示)。

在系統作業化模擬部份，本計畫臺中港港區近岸波浪模組作業化模擬目前主要依據中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模式每日作業化 72 小時風浪模擬結果，執行小尺度港區近岸波浪模組作業化 72 小時波場模擬。如圖 3.46 所示為本計畫中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組每日作業化模擬結果，針對臺中港域外海風浪輸出 72 小時之波高、週期及波向模擬值，其中前 24 小時屬於追算性質資料，後 48 小時屬於預報性質資料。本計畫臺中港港區近岸波浪模組即依據圖 3.46 所示臺中港域風浪之波高、週期及波向模擬資料進行 72 小時作業化波場模擬，本報告摘錄前 48 小時模擬結果每間隔 3 小時之波高變化平面分布及波數向量圖，如圖 3.47 所示。

另針對利用臺中港外海波浪觀測資料模擬臺中港域小尺度港區近岸波浪場之研究，本計畫簡述前期計畫之作法及部份成果如下：

由於臺中港外海波浪觀測位置(如圖 3.44 中點位 A)位於本計畫臺中港港區近岸波浪模組模擬範圍之內部，其距離模組邊界輸入波浪模擬條件之邊界(如圖 3.44 中座標軸 x=0 之邊界)仍有相當之距離。因此，本計畫考量外海波浪由模式邊界(x=0)向岸傳播至波浪觀測位置時，波浪之波高及波向均可能受到海域地形水深變化之影響而產生折射改變波向，以及受底床摩擦影響導致波浪發生部份能量損失而導致波高減小等現象。為克服模式邊界上波浪條件(如波高與波向)與觀測點位置上波浪條件間存在的差異性問題，本計畫在利用每小時波浪觀測資料執行之波場模擬工作前，需針對波浪觀測資料與模式邊界上波浪輸入條件間先建立關連性，藉以校正模式利用波浪觀測資料模擬波浪場時實際應輸入之波浪模擬條件。圖 3.48 所示為臺中港港區近岸波浪模組外海邊界上波浪輸入條件未校正前，模式在波浪觀測點位上波高模擬結果與波高觀測值之對應關係，由於對應關係呈現高度之密集性，顯示波高模擬結果與觀測值間具有高度相關性，本計畫採用線性回歸方法

可得到一線性關係曲線，如圖中所示之直線。圖 3.49 所示為本計畫臺中港港區近岸波浪模組依據校正後的波浪輸入條件重新模擬波浪場，得到波浪觀測點位上波高模擬結果與波高觀測值之比較，顯示當臺中港外海波浪觀測資料經校正後，應用至臺中港小尺度港區近岸波浪模組執行波浪場模擬時，可得到波浪觀測點位之波高模擬值與觀測值相當吻合之結果。

由於本年度臺中港外海波浪觀測尚未恢復觀測，故本計畫僅依據 2011 年臺中港外海波浪觀測資料，如圖 3.50 所示，選取波浪週期大於 4.0sec，且波向介於西偏南 20°至北偏東 10°之波浪資料共 360 組，執行臺中港小尺度港區近岸波浪模組之波浪場模擬工作。依據模式模擬結果輸出波浪觀測點位 A 之波高、波向模擬值與波浪觀測值比較，如圖 3.51 所示，顯示臺中港港區近岸波浪模組之模擬結果在觀測點位 A 之波高、波向模擬值仍可與觀測值維持相當契合性。圖 3.52 所示別為觀測點位 A 波高、波向之模擬值與觀測值間之誤差，結果顯示波高模擬值與觀測值間最大偏差為 0.39 m，誤差之統計平均值約為 0.043 m，標準偏差值約為 0.109 m；波向模擬值與觀測值間最大偏差為 16.02°，波向誤差之統計平均值約為-6°，標準偏差值約為 3.5°。

3.3.1.2 臺中港細尺度港域波浪模擬

為能夠模擬港域內具有顯著反射波特性之波浪場，本計畫另以能夠模擬港內波浪反射現象之有限元素港域波浪模式建置臺中港域細尺度港域波浪模組。本計畫臺中港細尺度港域波浪模組之模擬範圍，如圖 3.53 所示，圖中細尺度港域波浪模組模擬範圍外海假想半圓邊界之半徑為 3,500 m。不同於上述小尺度波浪場模擬採用有限差分數值方法，本計畫細尺度港域波浪模組之數值求解方法為有限元素法，因此必須針對圖 3.53 所示之模擬範圍建置三角形有限元素計算網格。圖中三角形有限元素網格配置係以人工方式依港域配置形狀而建置的(簡稱粗網格)，共有 2344 個節點及 4041 個三角形元素。由於港域波浪模式所使用的三角形元素網格大小必須滿足模式計算精度之基本需求，即

一個波長內至少涵蓋 6 至 10 個節點才足以合理地描述波浪場變化之需求，因此本計畫依據粗網格及其節點水深等資料，利用三角網格自動生成程式產生滿足臺中港港域波場模擬所需之三角形有限元素網格資料(簡稱細網格)。目前臺中港港域波浪模組使用的細尺度數值計算網格係由 16,6214 個節點及 327,611 個三角形元素組成，圖 3.54 所示分別為本計畫臺中港細尺度港域波浪模組有限元素計算網格之局部區域三角形元素分布情形，圖中粗虛線代表網格水深資料之等水深線分，顯示三角形元素之大小會隨著水深而改變，即水深較大的海域其所組成的三角形元素亦較大，呈現出元素分布較疏現象。同樣地，本年度針對上述細網格之水深資料亦會配合 100 年臺中港港域水深調查資料更新網格節點水深值。

由於臺中港細尺度港域波浪模組係以求解橢圓型緩坡方程式為基礎之波場模式，模式本身所建置的有限元素計算網格量相當龐大，因此在波浪場模擬上相當耗費電腦運算時間，無法滿足 TaiCOMS 線上作業時間需求。針對臺中港細尺度港域波浪場模擬，本計畫參考以往作法，先依臺中港外海波浪觀測資料針對波浪週期及波向設定細尺度港域波浪模組模擬條件，執行臺中港港域波浪場模擬工作，並輸出每次模擬結果之港內波高與外海波高比值(即波高 KD 值)之分布結果，再將所模擬之結果存成資料庫，未來僅需由外海波浪條件即可查出港內任何位置上可能的波高值或繪出港內波高分布情形，展示於港灣資訊網站上。

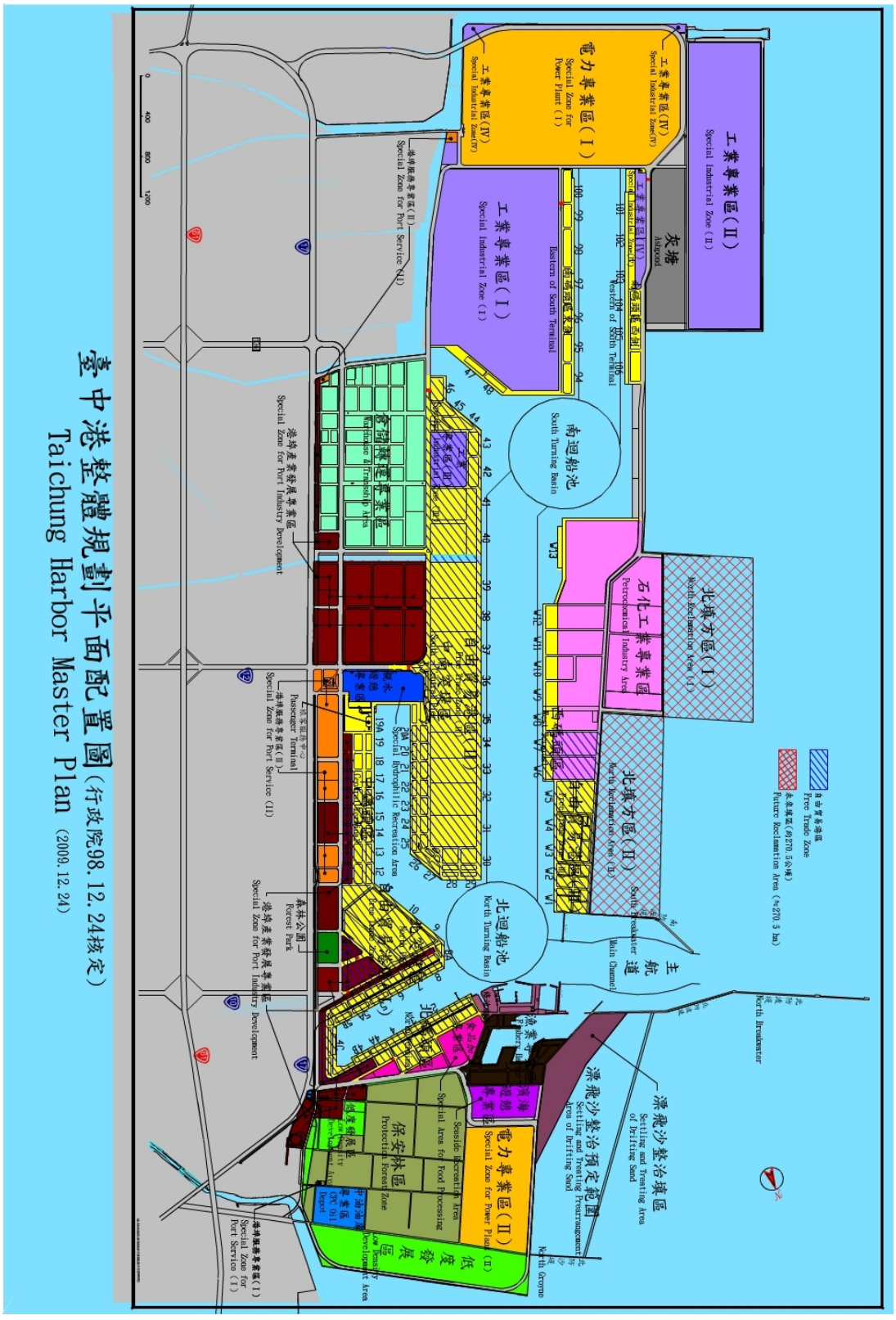
本計畫根據臺中港以往長期波浪觀測資料得知，觀測點波浪之波向以 NNW～NNE 為主，其次為W ～NW；週期分佈介於 4.0～12.0 sec 之間。由於目前臺中港細尺度港域波浪模組建置之數值計算網格對於波浪週期太短之波浪模擬結果可能無法滿足需求；因此目前臺中港細尺度港域波浪模組之波浪模擬條件設定如下：為週期範圍 8sec 至 16.5 sec，波浪週期間距為 0.1 sec；波向變化間距採用 22.5˚，波向模擬條件分別為 225˚(SW)至 360˚(N)以及 22.5˚(NNE)等共八個波向。本計畫依據上述波浪模擬條件分別進行臺中港域細尺度港域波浪場模擬，並將模

擬結果儲存成繪圖軟體 TECPLOT 之格式提供給本中心建置臺中港域細尺度港域波浪場資料庫。此外，本計畫亦針對臺中港細尺度港域波浪模組模擬結果建置資料圖檔，如圖 3.55 所示，圖中包含了波高、相位及水面波形分佈等三種圖檔。



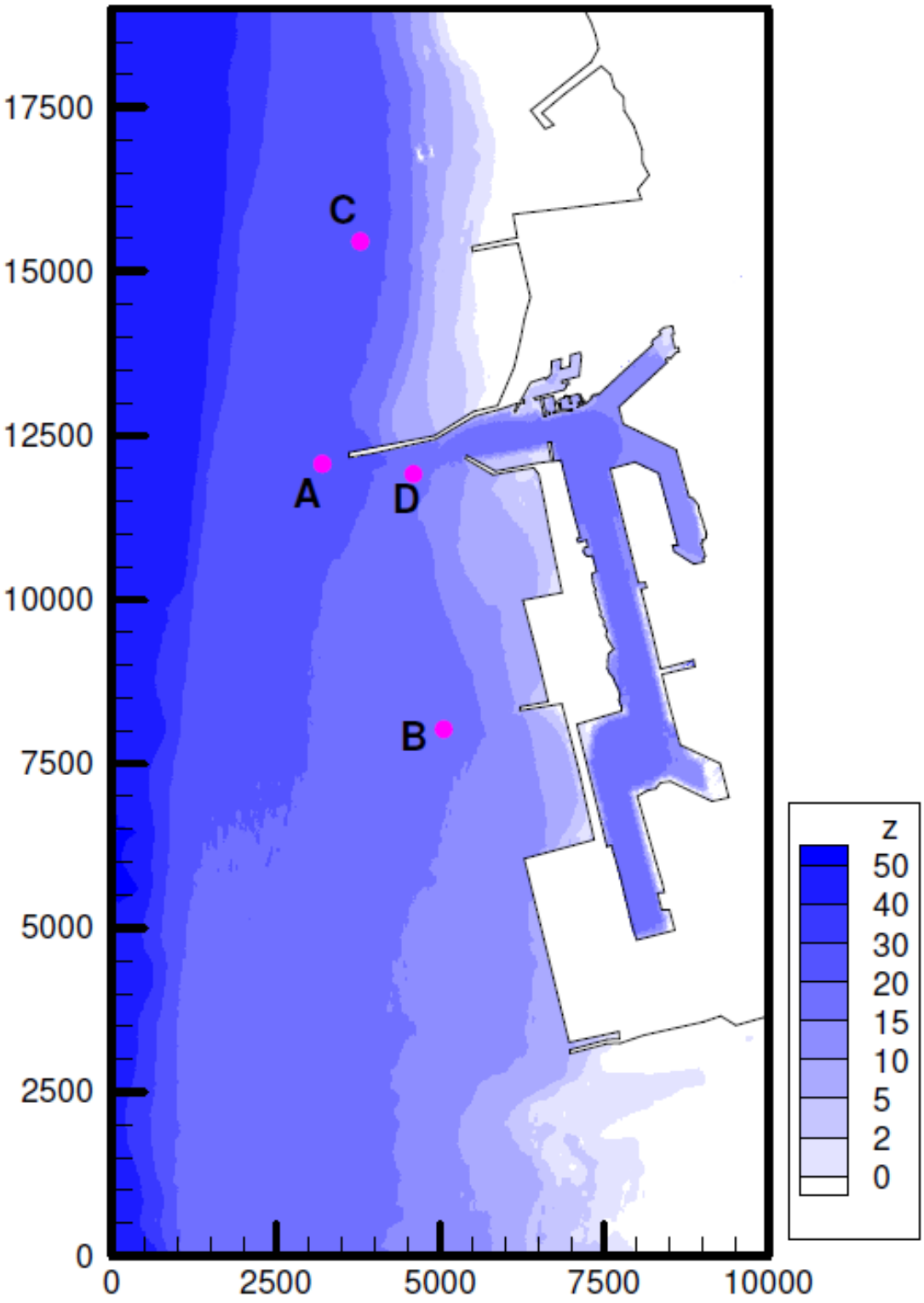
(下載自臺中港務公司網站)

圖 3.42 臺中港地理位置示意圖



(下載自臺中港務公司網站)

圖 3.43 臺中港整體規劃平面配置圖



(點位 A~D 為模式模擬結果之輸出點位)

圖 3.44 臺中港小尺度港區近岸波浪模組數值計算網格及地形水深分布圖

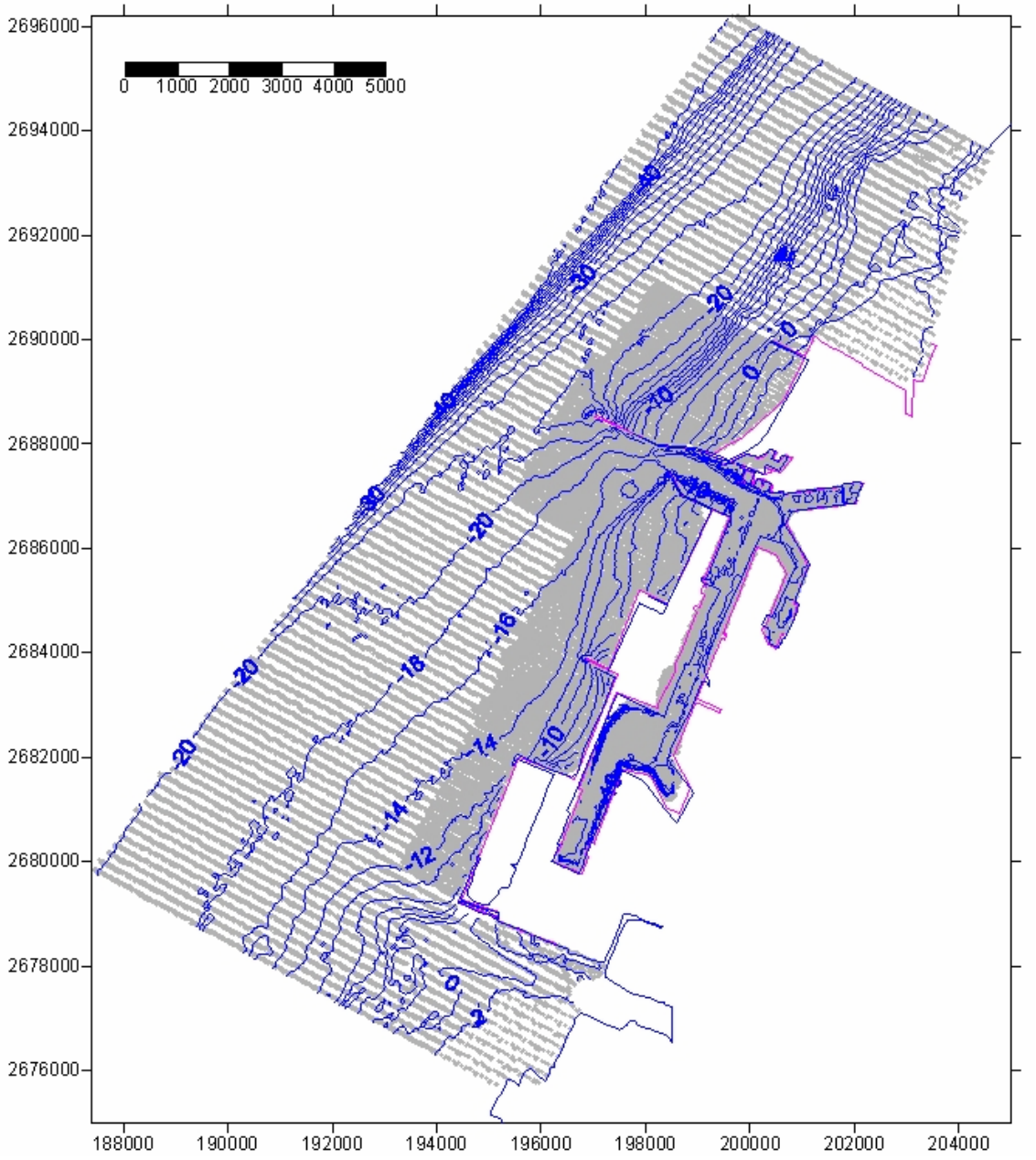


圖 3.45 臺中港港區 100 年度水深調查資料及調查範圍

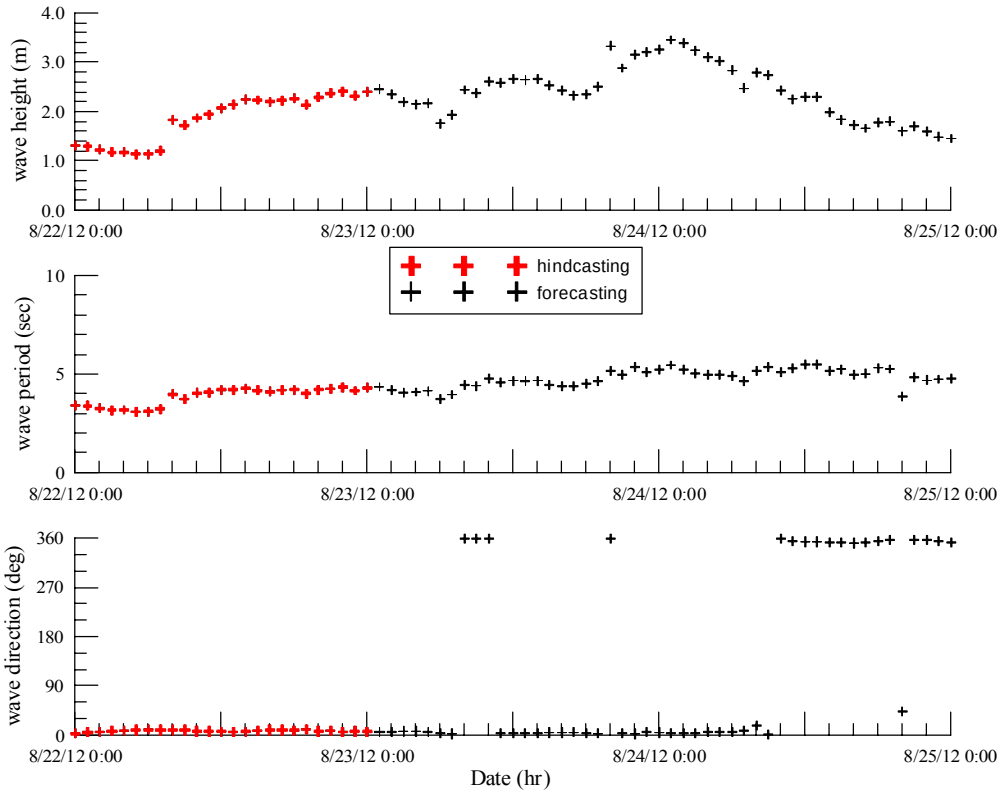


圖 3.46 臺中港域小尺度港區近岸波浪模組作業化之 72 小時模擬條件

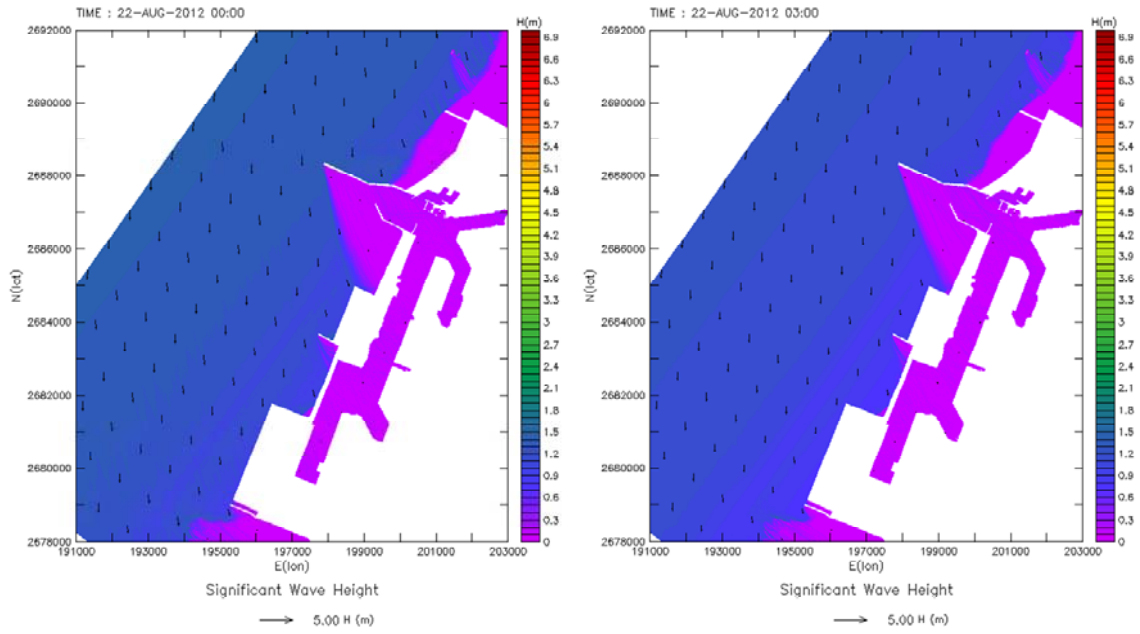


圖 3.47 臺中港域小尺度港區近岸波浪模組每日作業化 72 小時預報成果圖

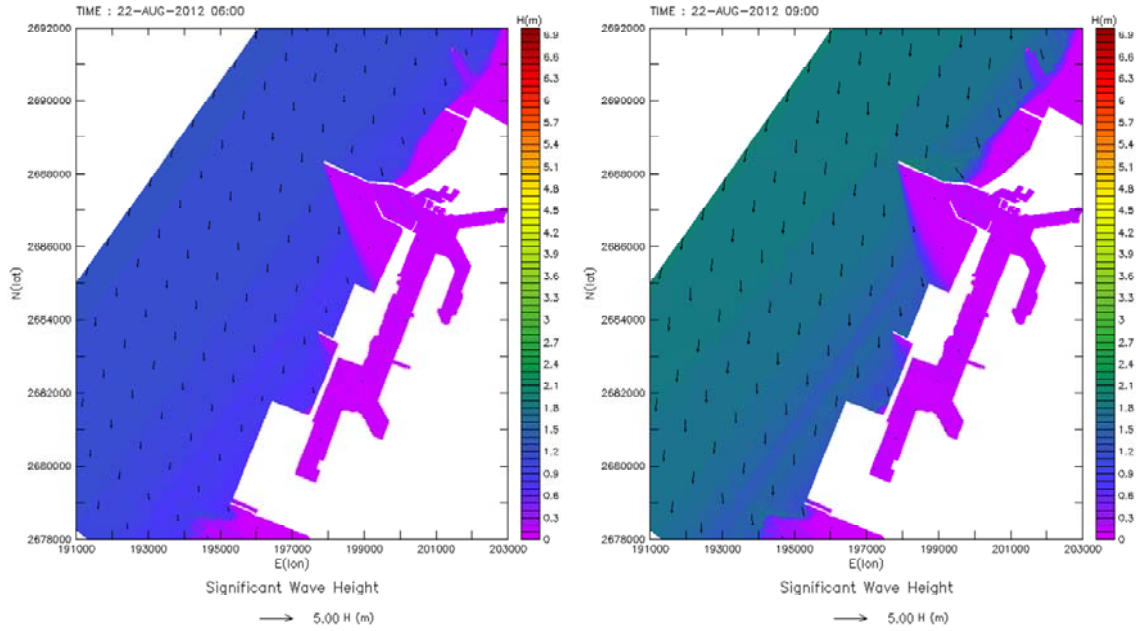


圖 3.47 (續 1)臺中港域小尺度港區近岸波浪模組每日作業化 72 小時預報成果圖

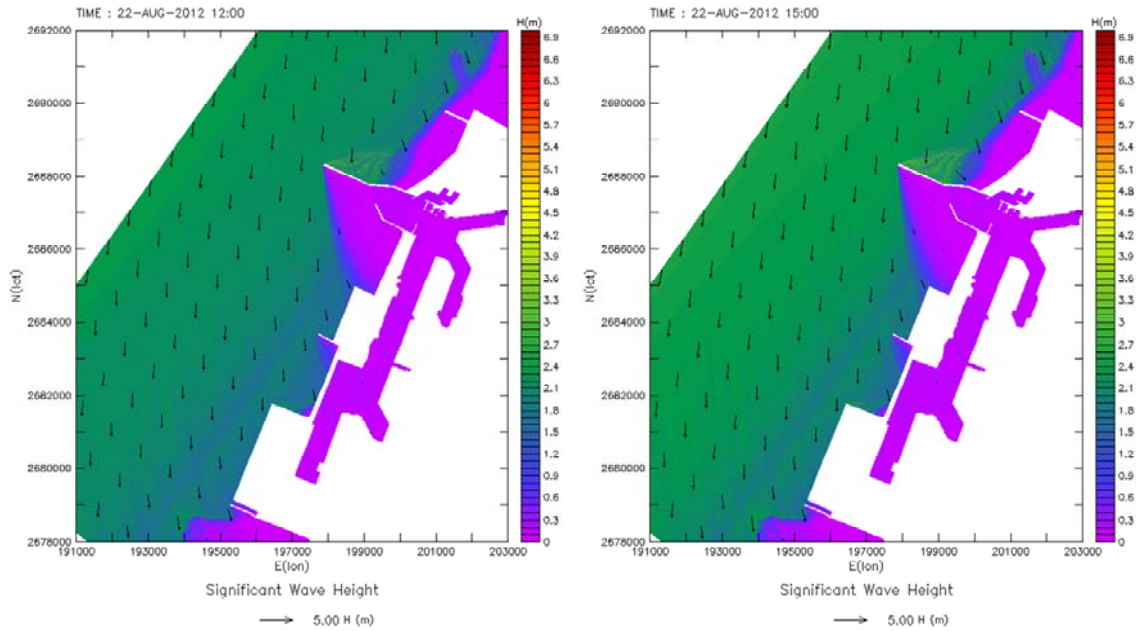


圖 3.47 (續 2)臺中港域小尺度港區近岸波浪模組每日作業化 72 小時預報成果圖

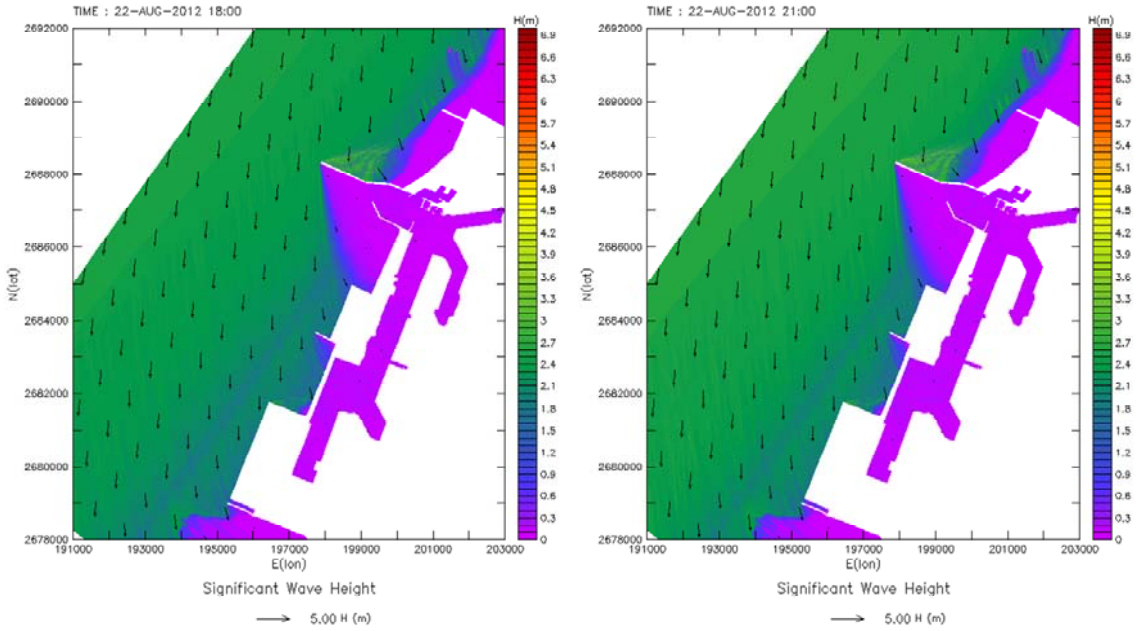


圖 3.47 (續 3)臺中港域小尺度港區近岸波浪模組每日作業化 72 小時預報成果圖

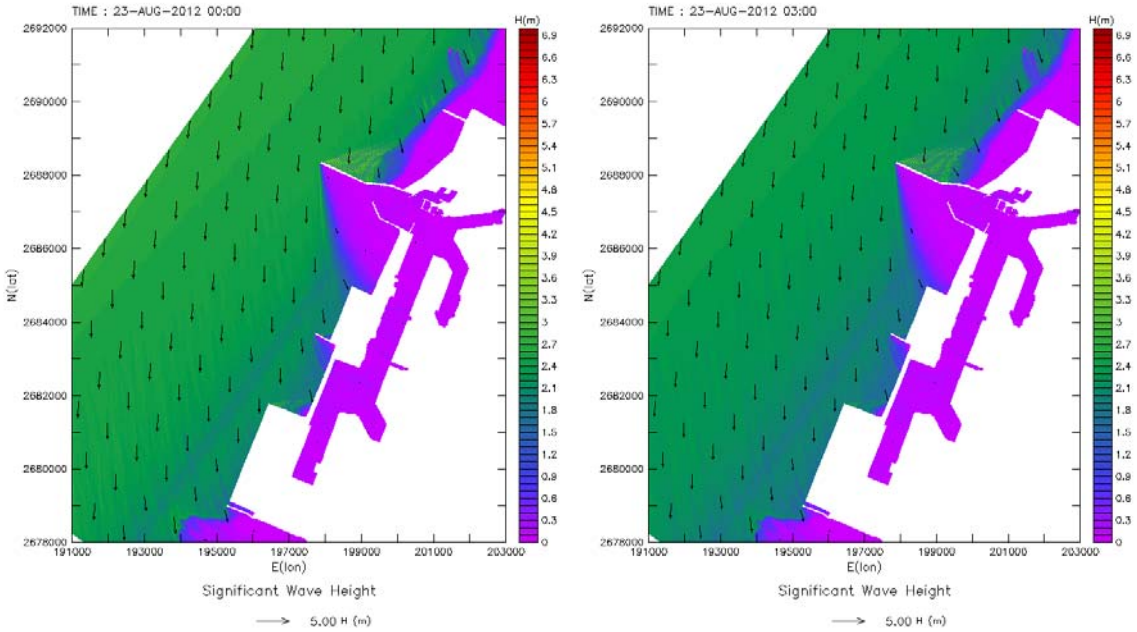


圖 3.47 (續 4)臺中港域小尺度港區近岸波浪模組每日作業化 72 小時預報成果圖

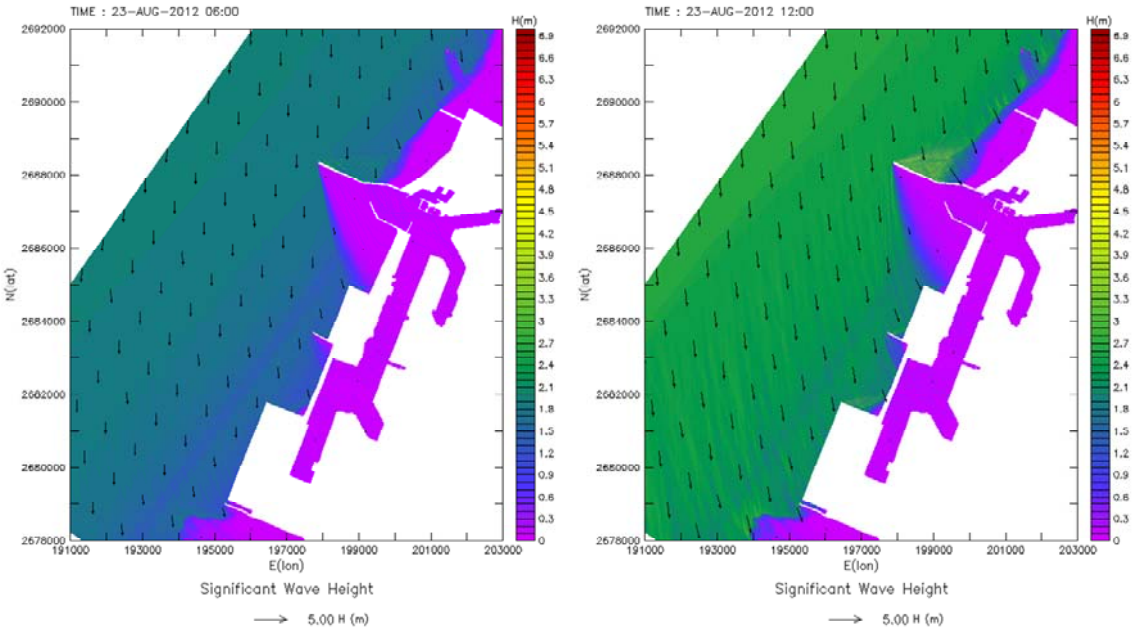


圖 3.47 (續 5)臺中港域小尺度港區近岸波浪模組每日作業化 72 小時預報成果圖

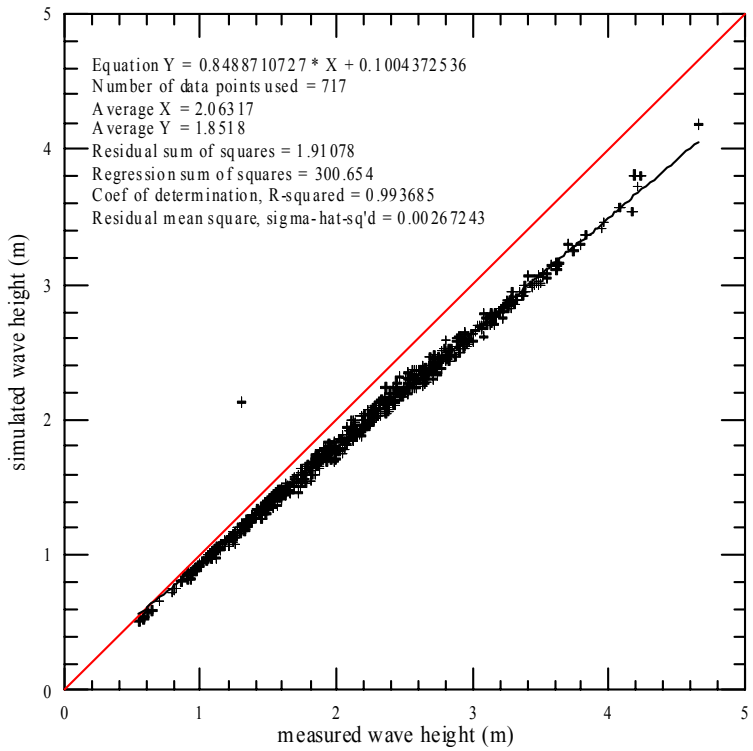


圖 3.48 臺中港波高觀測值(橫座標)與模式波高模擬結果(縱座標)比較

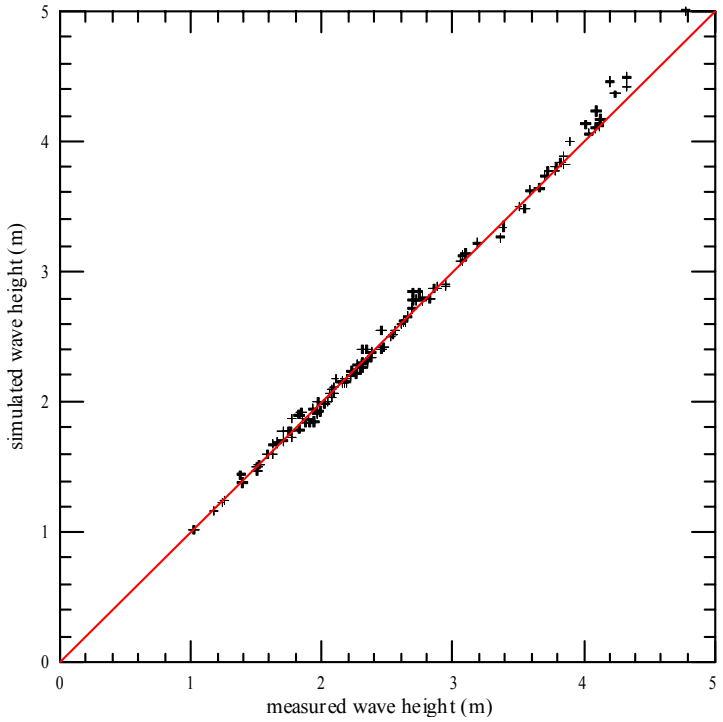


圖 3.49 臺中港波高觀測值(橫座標)與模式波高模擬結果(縱座標)比較

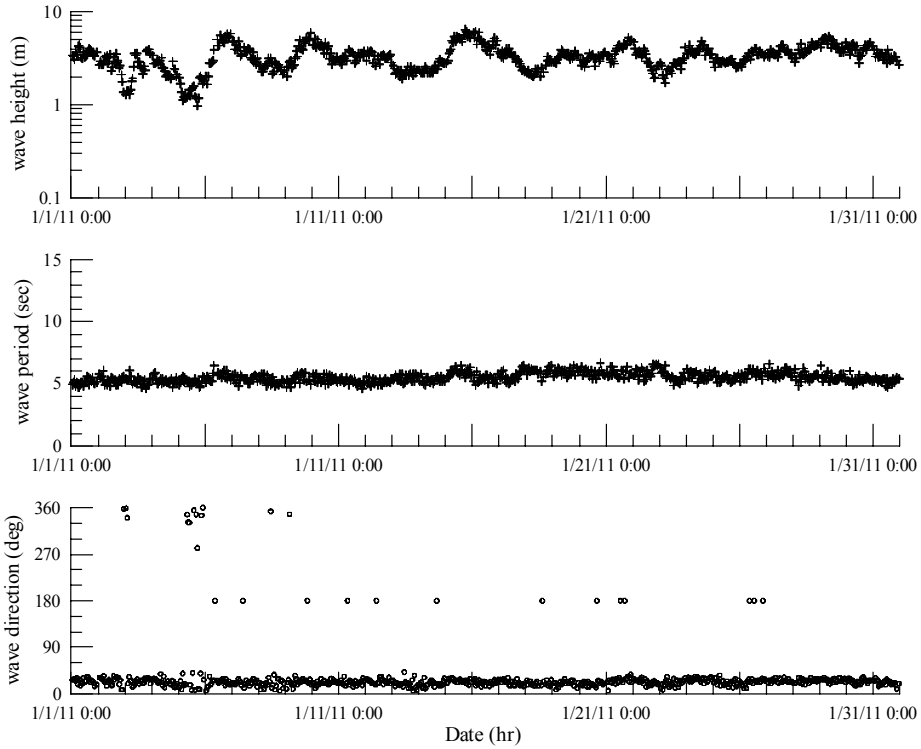


圖 3.50 臺中港 2011 年波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖

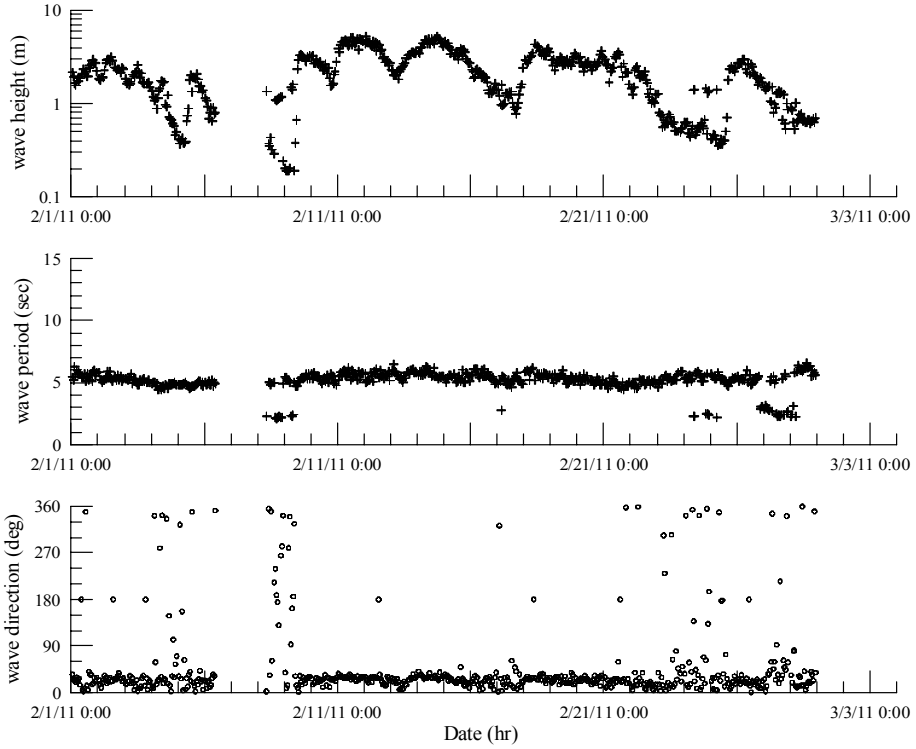


圖 3.50 (續 1)臺中港 2011 年波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖

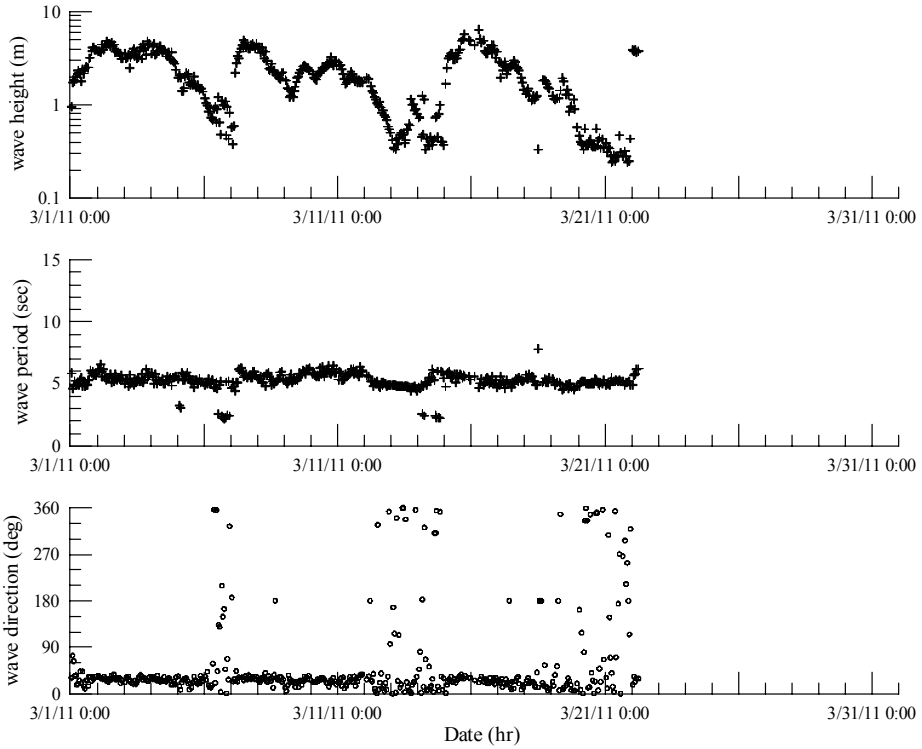


圖 3.50 (續 2)臺中港 2011 年波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖

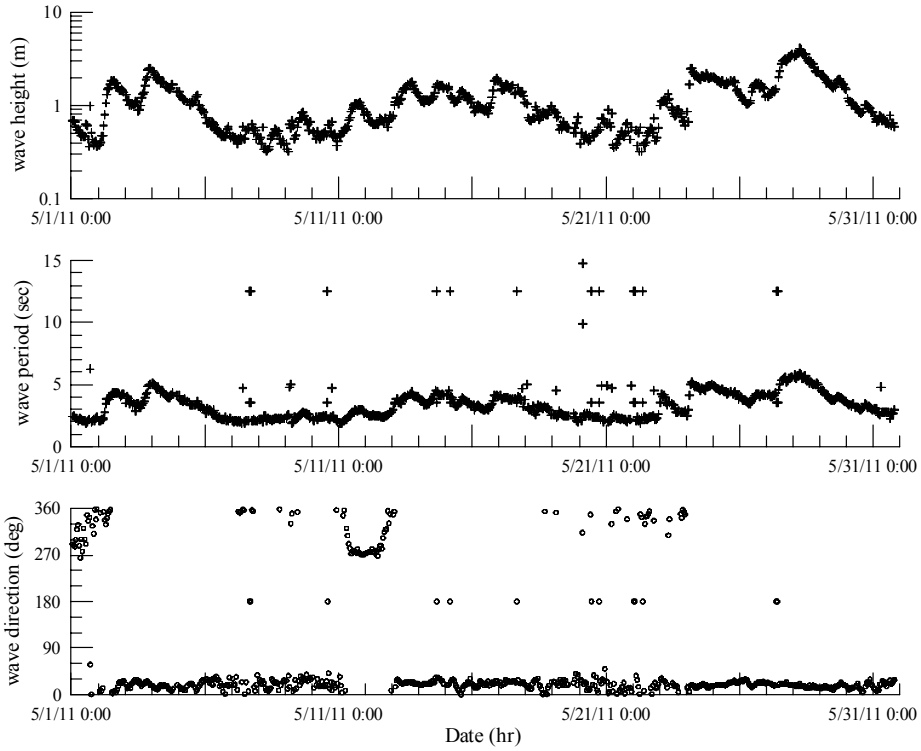


圖 3.50 (續 3)臺中港 2011 年波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖

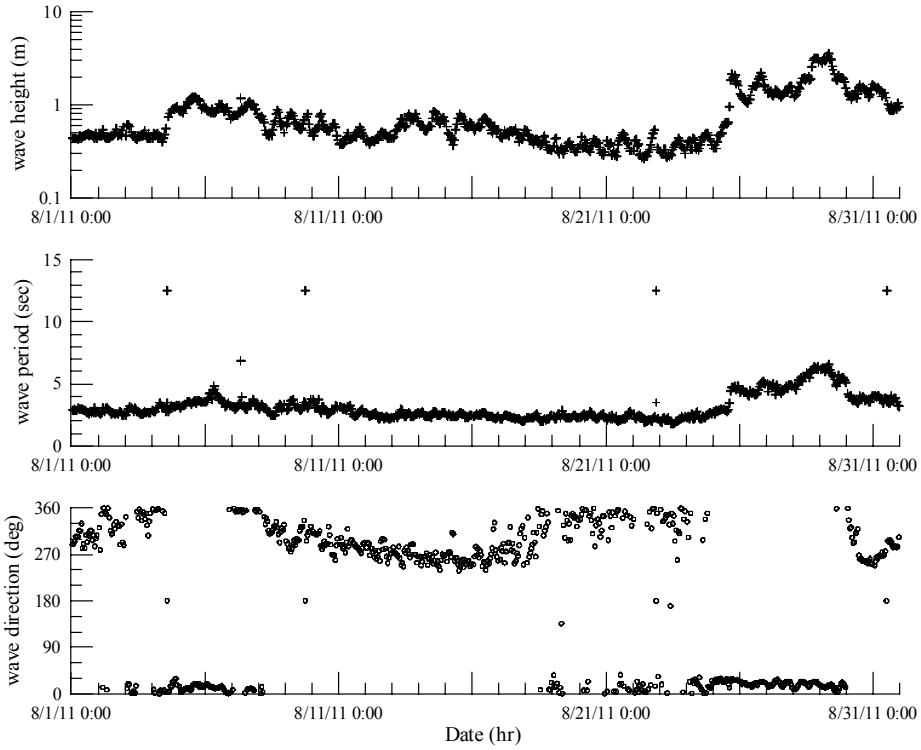


圖 3.50 (續 4)臺中港 2011 年波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖

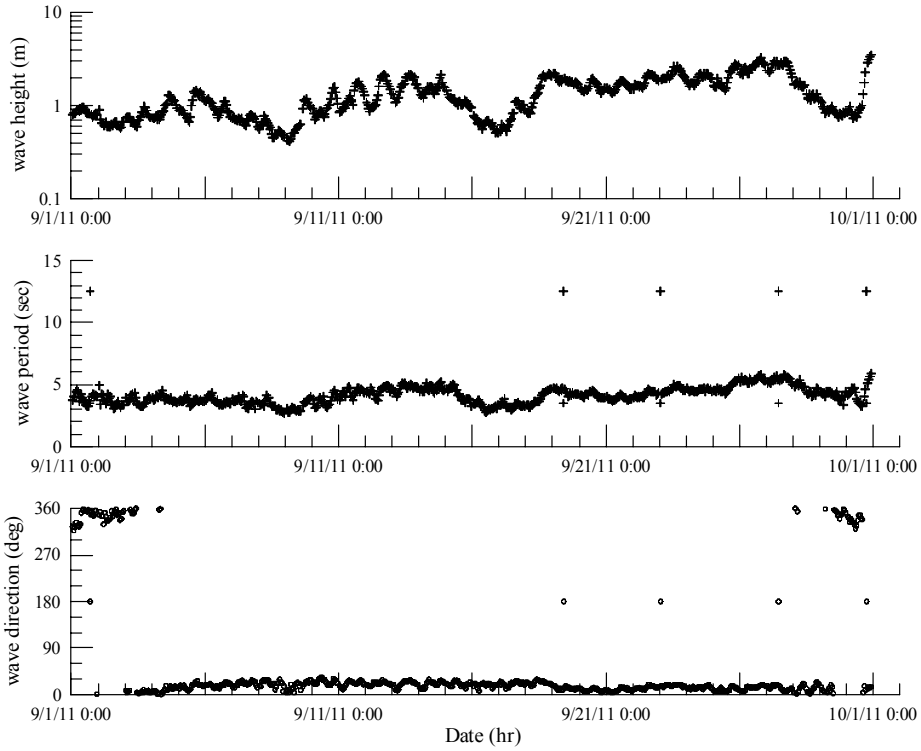


圖 3.50 (續 5)臺中港 2011 年波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖

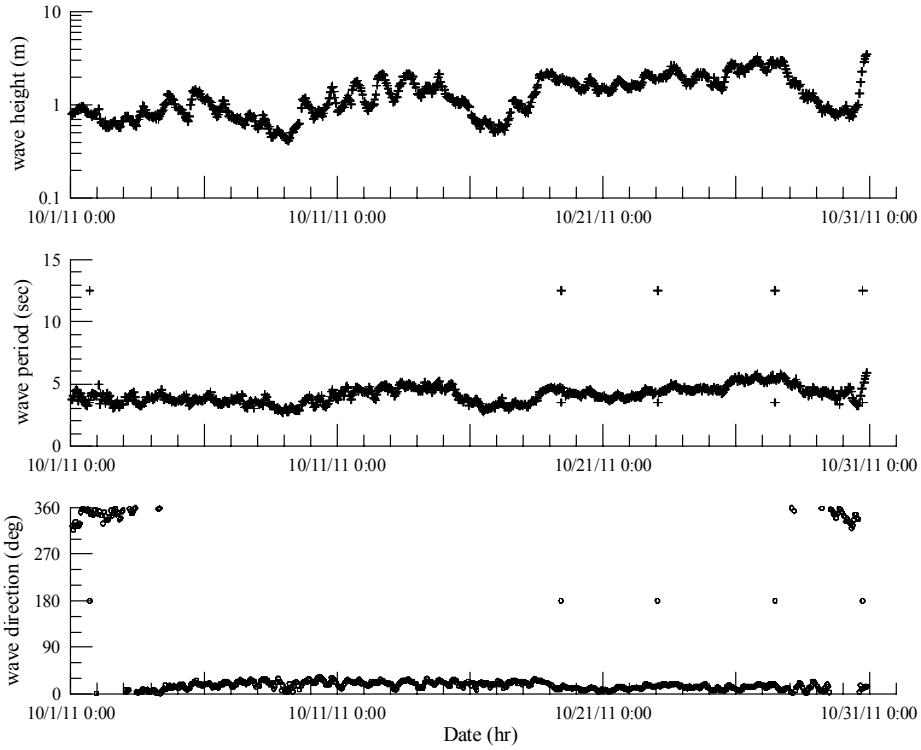


圖 3.50 (續 6)臺中港 2011 年波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖

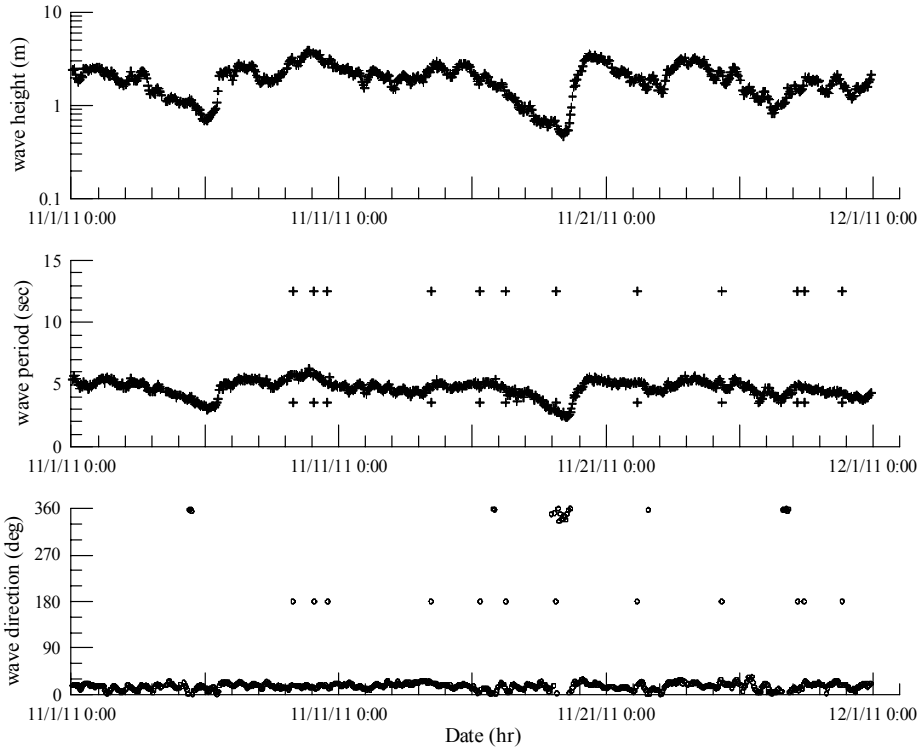


圖 3.50 (續 7)臺中港 2011 年波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖

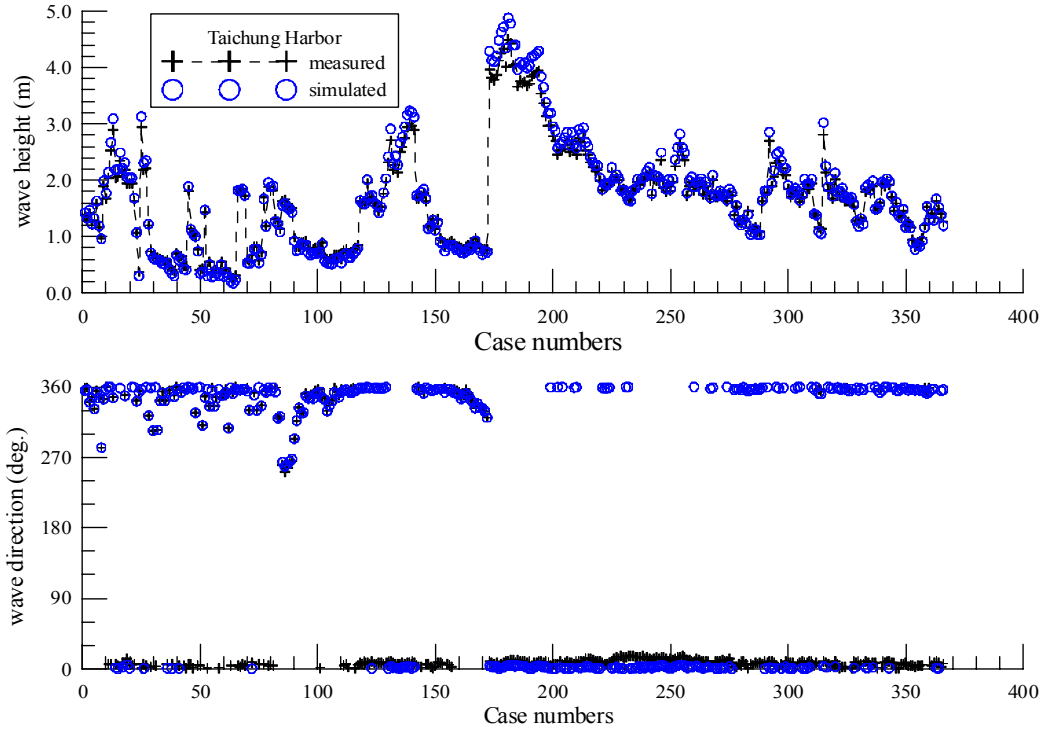


圖 3.51 臺中港域近岸波場模擬結果在觀測點位 A 上波高及波向模擬值與觀測值之比較

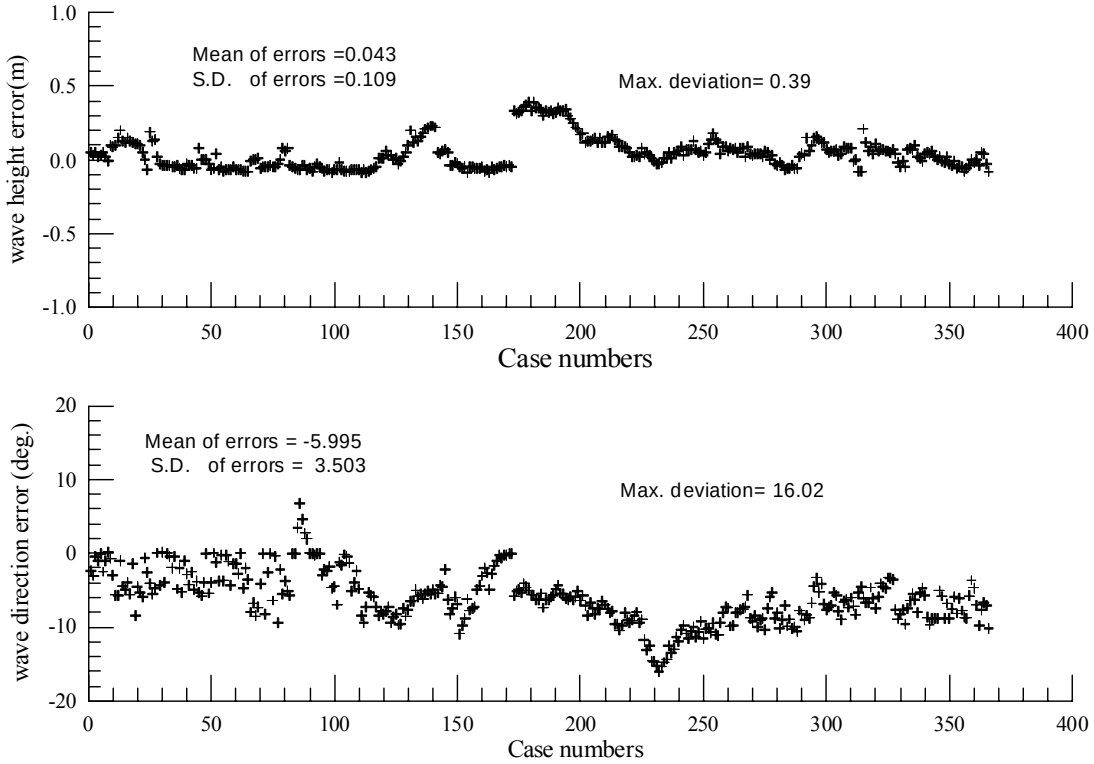


圖 3.52 臺中港域近岸波場模擬結果在觀測點位 A 上模擬值與觀測值之誤差分析

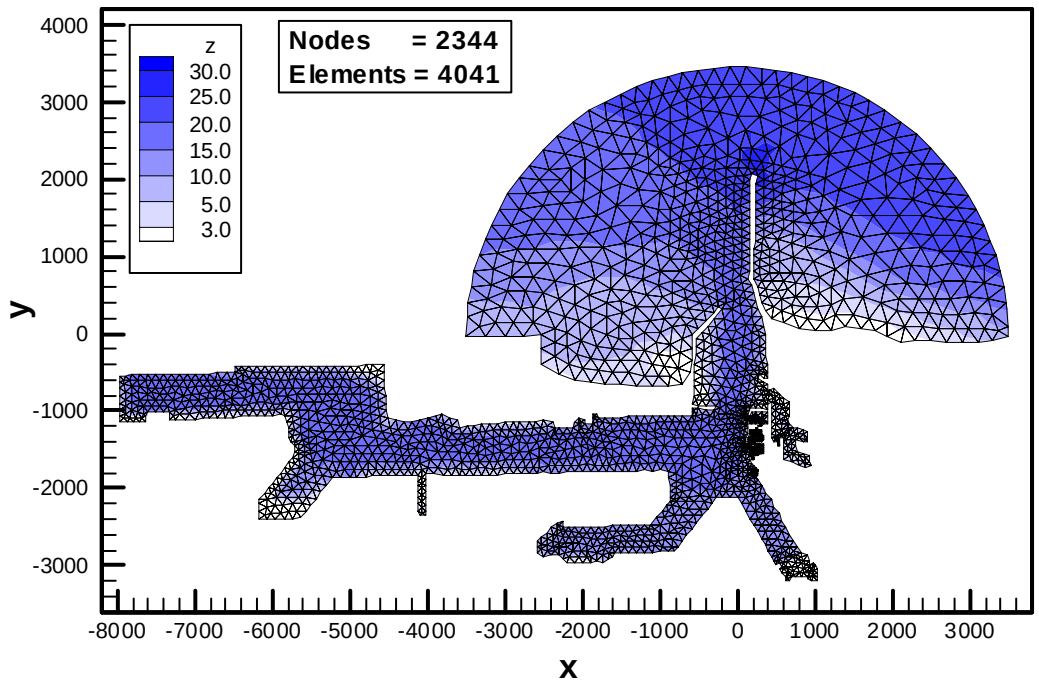


圖 3.53 臺中港港域波浪模組三角元素之粗網格及水深分布圖

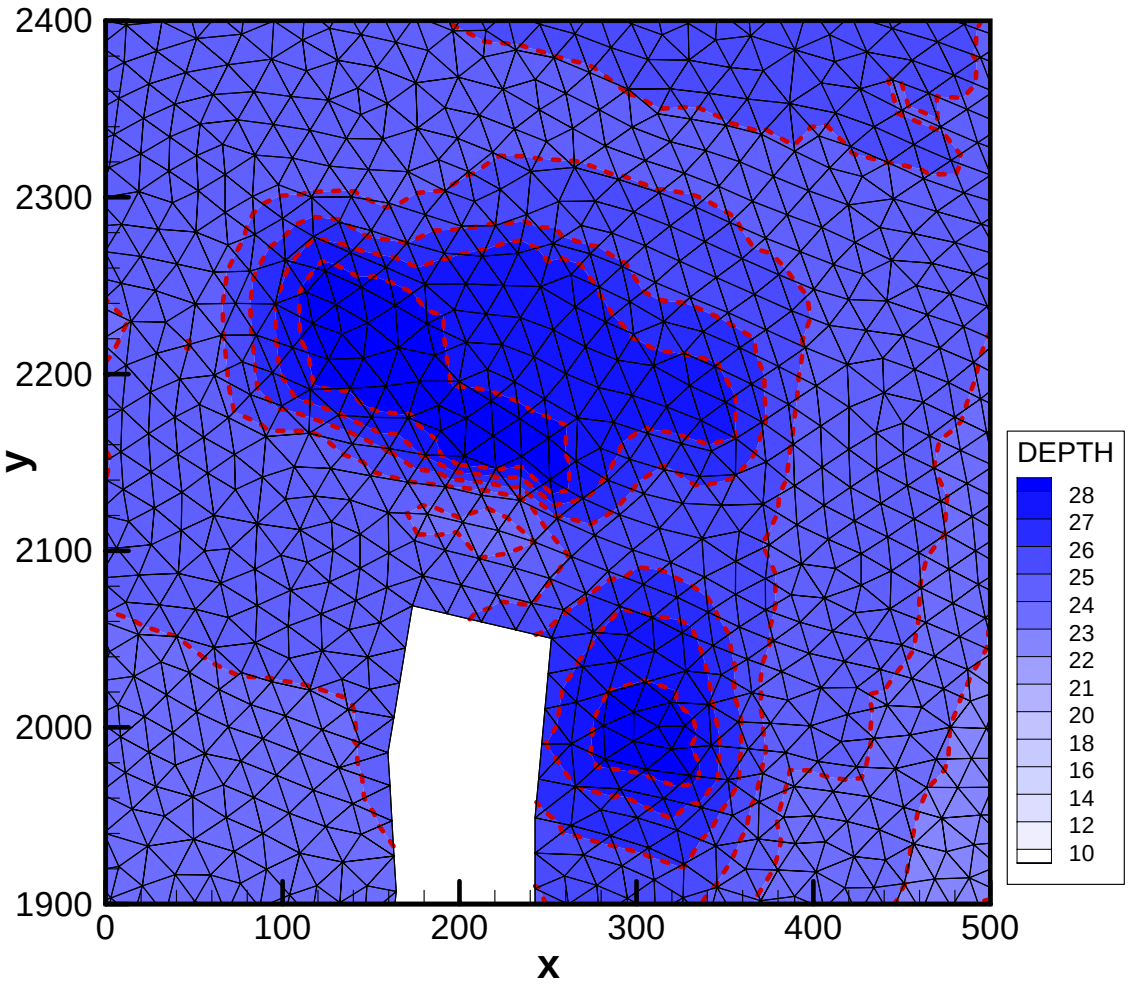
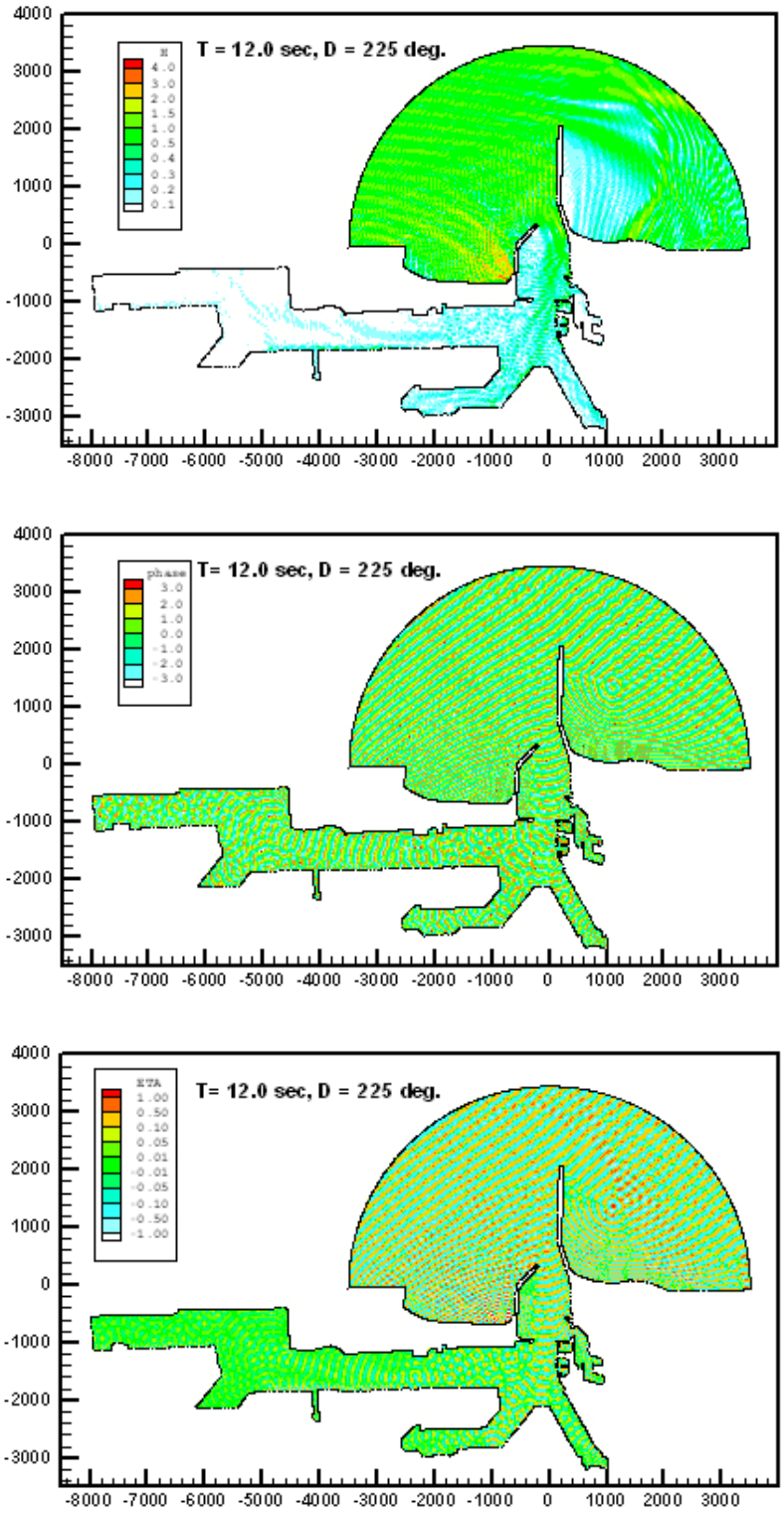


圖 3.54 臺中港港域波浪模組細網格三角元素分布圖(北防波堤堤頭附近)



(上：波高；中：相位；下：波形)

圖 3.55 臺中港港域波浪場資料庫儲存之圖形資料

3.3.2 臺中港港域波浪特性分析

3.3.2.1 波浪長期觀測資料特性分析

臺灣四周海域波浪狀況主要受到東北季風及西南季風兩個時期交替之影響，而呈現出顯著的季節性變化；此外，每年夏秋之季則易遭受颱風帶來的劇烈天氣系統影響，導致海面出現巨大颱風波浪及長週期湧浪。

依據本中心臺中港外海波浪長期觀測研究結果得知，臺中港海域因位居臺灣中部且海岸線走向為北北東－西南西，冬季東北季風期間，因東北季風吹襲至臺灣中部海域時受到地勢影響風力強勁，波高觀測結果普遍偏大，波向以北北東為主；夏季西南季風期間，風及浪均來自西南向，波浪觀測結果波高大都小於 1.0 m，波向以西向居多。

針對臺中港海域夏季季風期間波浪特性分析，本計畫選取 2008 年至 2010 年 7 月及 8 月份波浪觀測資料(如圖 3.56 所示)共 4334 組進行統計分析。表 3-5 所示為夏季季風期間示性波高分布範圍統計結果，顯示夏季季風期間示性波高小於 1.0 m 約佔全部觀測資料之 75.6%，此區間內波浪平均週期之平均值約為 3.5 sec；示性波高介於 1.0 m ~ 2.0 m 約佔 20.6%，此區間內波浪平均週期之平均值約為 3.7 sec；示性波高大於 2.0 m 者約僅佔 3.8%，且多發生於颱風侵臺期間。表 3-6 所示為夏季季風期間波浪平均波向分布範圍統計結果，觀測資料雖顯示在 16 個方向角內均有波浪觀測值(註：部份觀測值之波向可能為反射波引起均)，但受西南季風引起的波浪(SW ~ WNW)約佔三成以上。

在颱風波浪方面，示性波高最大值(如圖 3.56 所示)為 7.78 m (平均週期 6.1 sec、平均波向 263°)，發生於 2009 年 8 月中度颱風莫拉克侵臺期間。此外，2008 年 7 月中度颱風鳳凰登陸後經由中部海域出海，臺中港海域測得颱風波浪示性波高最大值為 6.24 m (平均週期 5.3 sec、平均波向約為 14°)。

關於臺中港海域冬季季風期間波浪特性分析，本計畫選取 2008 年至 2010 年 1 月及 12 月份波浪觀測資料，如圖 3.57 所示，其中 2009 年 1 月份因儀器檢修缺乏觀測資料。由圖 3.57 所示觀測資料研判 2008 年 12 月份及 2010 年 12 月 15 日以後之觀測資料可能有誤，因此本計畫僅選取 2008 年 1 月、2009 年 12 月及 2010 年 1 月觀測資料共 1793 組進行統計分析。表 3-7 所示為冬季季風期間示性波高分布範圍統計結果，顯示冬季季風期間示性波高小於 1.0 m 約僅佔全部觀測資料之 8.54%，示性波高介於 1.0 m ~ 2.0 m 約佔 33.47%，示性波高介於 2.0 m ~ 3.0 m 約佔 36.08%，示性波高介於 3.0 m ~ 4.0 m 約佔 16.89%，示性波高大於 4.0 m 以上則佔全部觀測資料之 5.02%。表 3-8 所示為冬季季風期間臺中港海域波浪平均波向之分布範圍統計結果，顯示冬季季風期間臺中港海域波浪平均波向顯著地以 N 及 NNE 向為主要波向約佔 97%以上。

整體而言，臺中港海域夏季季風波浪示性波高小於 1.0 m 者約佔四分之三，示性波高之平均值約為 0.84 m，波浪平均週期以小於 4.0 sec 者居多，5.0 ~ 6.0 sec 者居次，波浪週期之平均值約為 3.6 sec，波浪之平均波向則 NNE 向及 W 向居多分別約佔 20%及 16%。冬季季風波浪示性波高大於 1.0 m 者約佔 90%以上，示性波高之平均值約為 2.27 m，波浪平均週期主要介於 4.0 ~ 6.0 sec 之間，波浪週期平均值約為 4.4 sec，波浪之平均波向以 N 及 NNE 向為主分別約佔 53.7%及 43.8%。

3.3.2.2 波浪模擬結果特性分析

有關臺中港港區波浪模擬結果之特性分析，在小尺度臺中港港區近岸波浪模組方面，本計畫選取本年度中度颱風蘇拉侵臺期間以臺中港區波浪觀測資料為波浪場模擬輸入條件之模擬結果進行分析；另在細尺度港域波浪模組方面，本計畫將依據波浪場模擬結果討論臺中港港域波浪靜穩特性。

表 3-5 臺中港海域夏季季風期間示性波高分布統計表

波高範圍(m)	資料數目	週期平均值(sec)	百分率(%)
<0.5	987	3.44	22.73
0.5～1.0	2294	3.53	52.82
1.0～1.5	745	3.51	17.15
1.5～2.0	149	4.54	3.43
2.0～2.5	65	5.11	1.50
2.5～3.0	27	5.41	0.62
3.0～3.5	15	5.70	0.35
3.5～4.0	15	6.16	0.35
4.0～4.5	21	6.1	0.47
4.5～5.0	12	5.86	0.28
≥5.0	13	5.66	0.30
合計/平均值	4343	3.619	100
觀測期間示性波高最大值為 7.780 m 觀測期間平均週期最大值為 7.450 sec 觀測期間示性波高平均值為 0.839 m			

表 3-6 臺中港海域夏季季風期間平均波高分布統計表

波向	資料數目	百分率(%)	波向	資料數目	百分率(%)
N	452	10.41	S	37	0.85
NNE	868	19.99	SSW	111	2.56
NE	103	2.37	SW	164	3.78
ENE	69	1.59	WSW	392	9.03
E	71	1.63	W	694	15.98
ESE	89	2.05	WNW	614	14.14
SE	61	1.40	NW	326	7.51
SSE	49	1.13	NNW	243	5.60

表 3-7 臺中港海域冬季季風期間示性波高分布統計表

波高範圍(m)	資料數目	週期平均值(sec)	百分率(%)
<0.5	3	5.38	0.17
0.5～1.0	150	3.77	8.37
1.0～1.5	285	3.20	15.90
1.5～2.0	315	3.78	17.57
2.0～2.5	343	4.36	19.13
2.5～3.0	304	4.93	16.95
3.0～3.5	193	5.30	10.76
3.5～4.0	110	5.45	6.13
4.0～4.5	56	5.48	3.12
4.5～5.0	30	5.59	1.67
≥5.0	4	5.62	0.22
合計/平均值	1793	4.35	100
觀測期間示性波高最大值為 5.280 m 觀測期間平均週期最大值為 6.790 sec 觀測期間示性波高平均值為 2.272 m			

表 3-8 臺中港海域冬季季風期間平均波向分布統計表

波向	資料數目	百分率(%)	波向	資料數目	百分率(%)
N	963	53.71	S	0	0
NNE	789	43.84	SSW	2	0.11
NE	9	0.50	SW	5	0.28
ENE	3	0.17	WSW	1	0.06
E	0	0	W	3	0.17
ESE	0	0	WNW	0	0
SE	0	0	NW	3	0.33
SSE	2	0.11	NNW	13	0.73

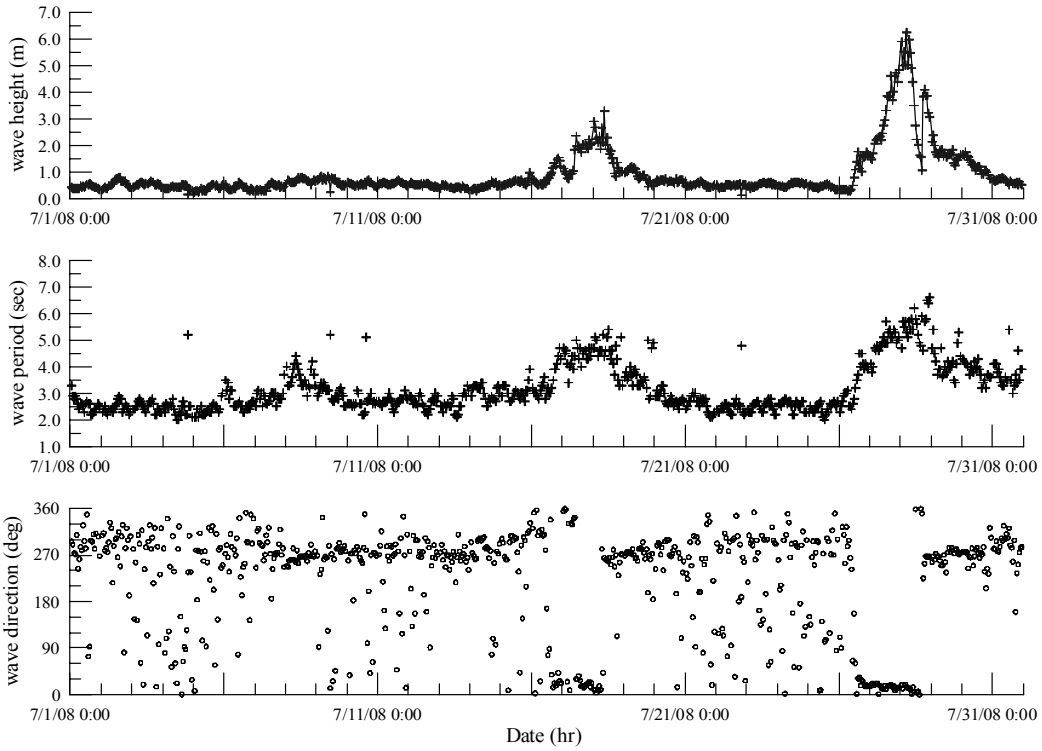


圖 3.56 臺中港外海夏季季風期間波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖

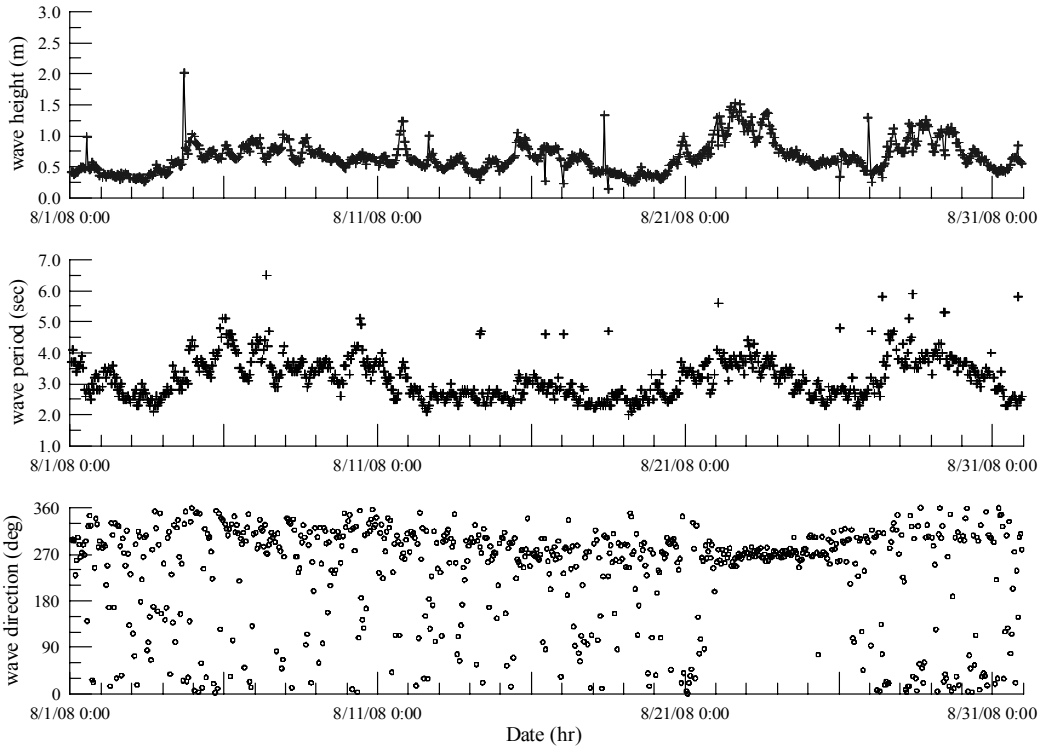


圖 3.56 (續 1)臺中港外海夏季季風期間波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖

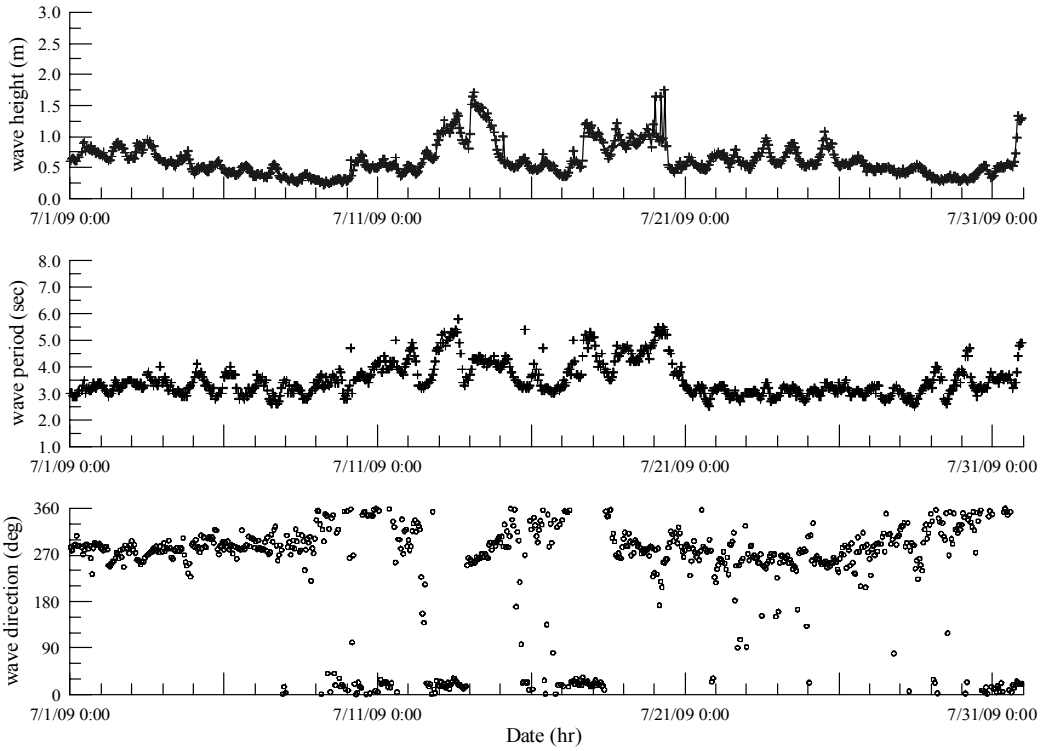


圖 3.56 (續 2)臺中港外海夏季季風期間波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖

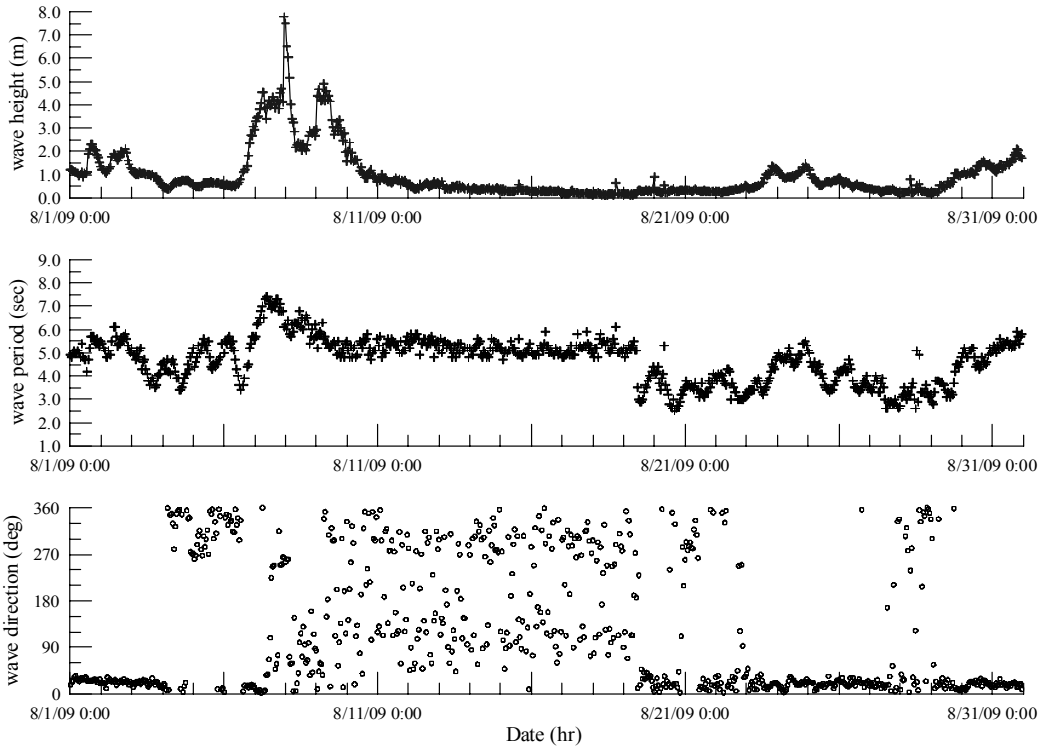


圖 3.56 (續 3)臺中港外海夏季季風期間波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖

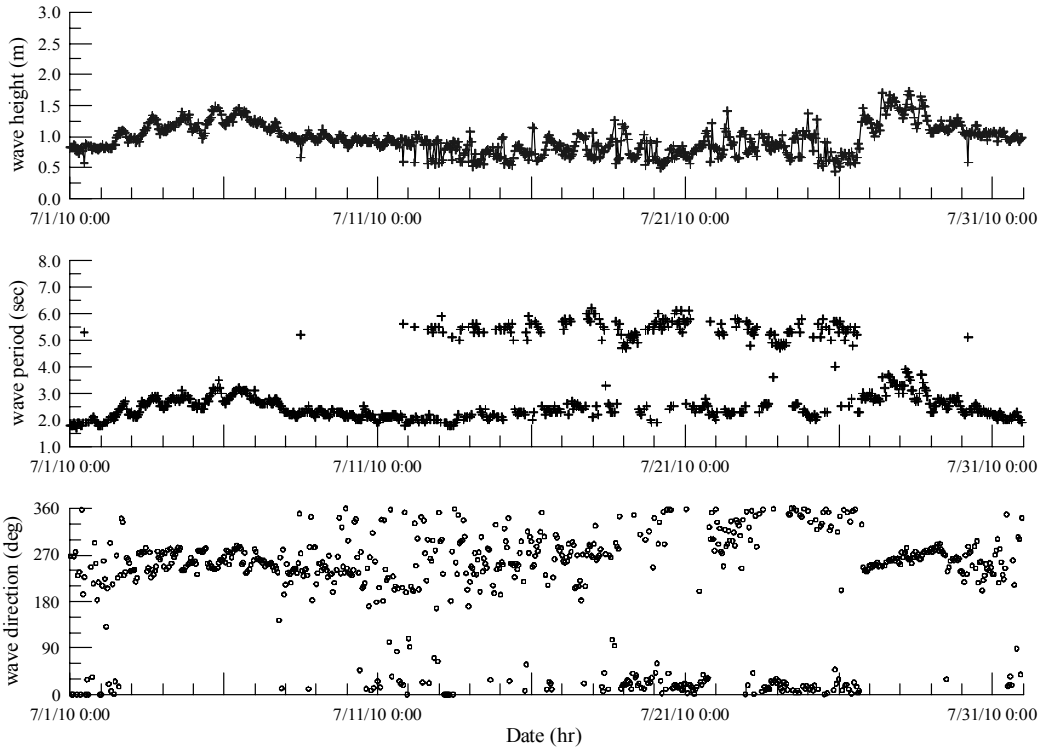


圖 3.56 (續 4)臺中港外海夏季季風期間波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖

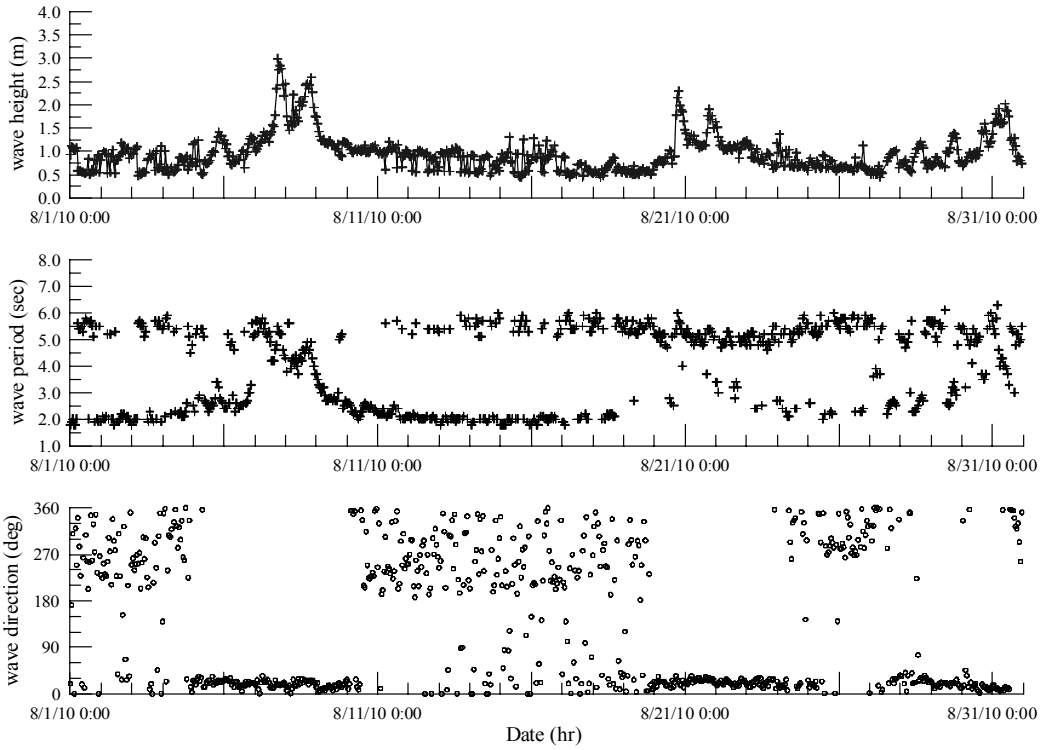


圖 3.56 (續 5)臺中港外海夏季季風期間波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖

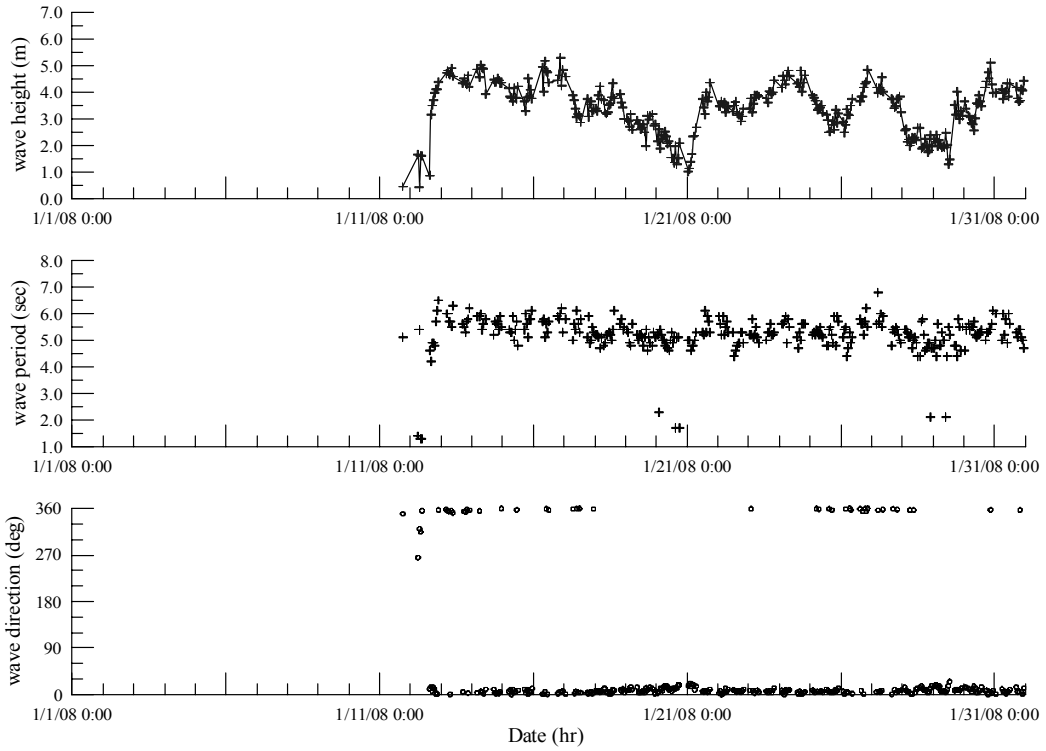


圖 3.57 臺中港外海冬季季風期間波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖

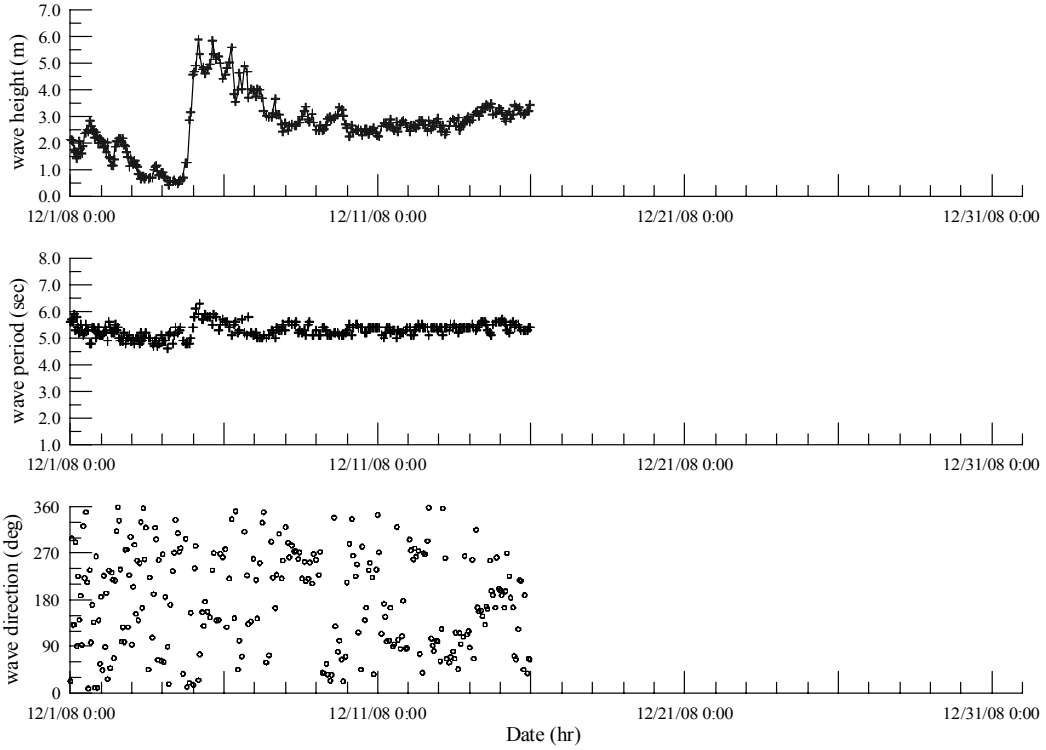


圖 3.57 (續 1)臺中港外海冬季季風期間波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖

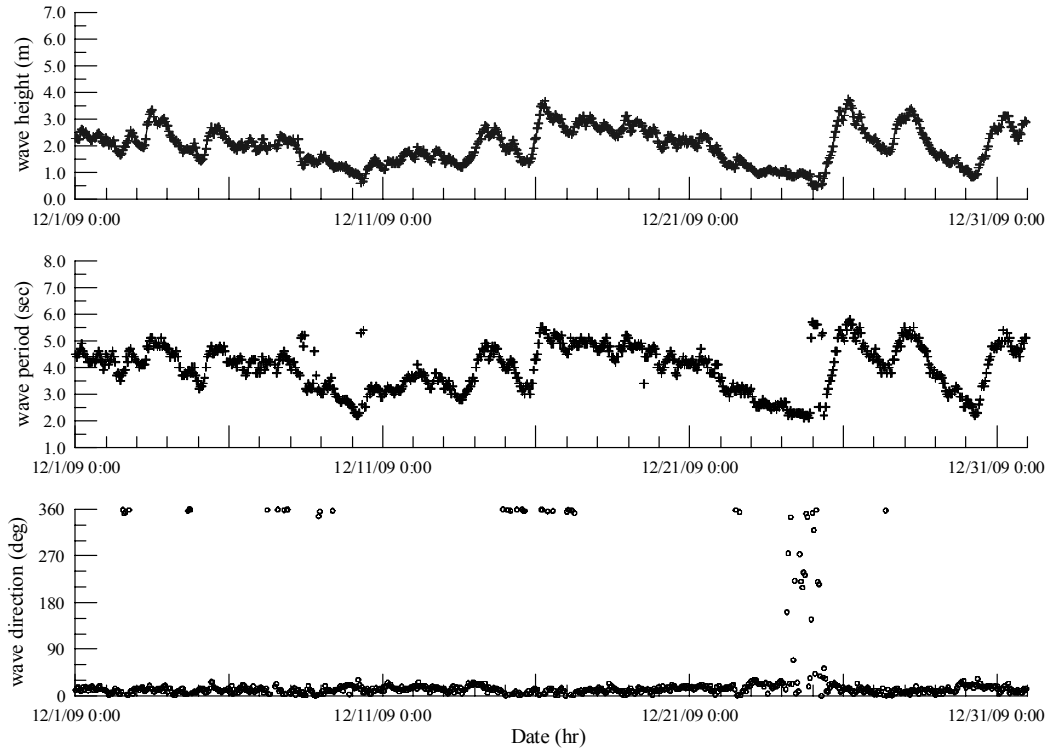


圖 3.57 (續 2)臺中港外海冬季季風期間波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖

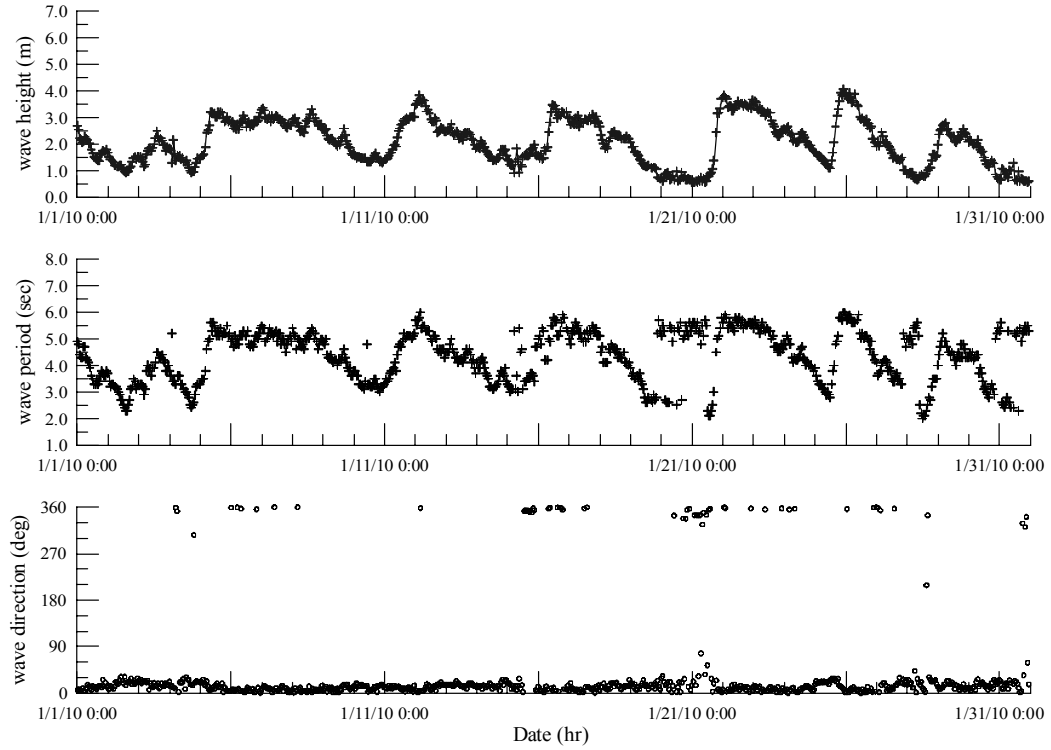


圖 3.57 (續 3)臺中港外海冬季季風期間波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖

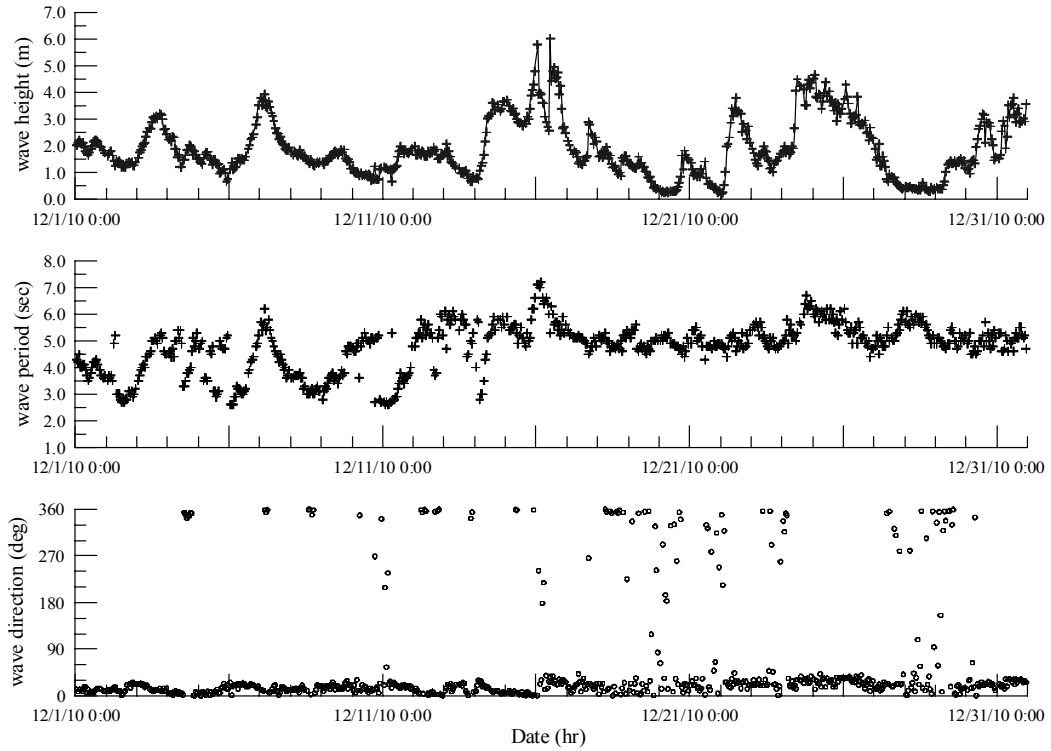


圖 3.57 (續 4)臺中港外海冬季季風期間波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖

3.3.3 布袋港港區風浪模擬預警子系統

布袋國內商港位於嘉義縣布袋鎮以西濱海地區，面臨臺灣海峽，北及西北方有統仙洲、箔仔寮洲、外傘頂洲所構成之狹長砂洲，形成天然屏障，如圖 3.58 所示。布袋港舊稱「布袋嘴」，港口外有沙洲包圍，形成瀉湖的地形，狀似布袋而得名。布袋港因 70 年代臺澎貨輪與客輪航線的開闢，重燃新的希望與生機。嘉義縣政府自 78 年度起修建防波堤 1050 m 及水深 6 m 之客貨碼頭 250 m。79 年度再延建防波堤 2253 m，在南側填築社區用新生地 66 公頃及遊憩用新生地 60 公頃。民國 87 年布袋國內商港正式掛牌啟用，圖 3.59 所示為布袋國內商港未來發展之整體規劃藍圖。

同樣地，本計畫規劃以結合中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組及布袋港小尺度港區近岸波浪模組，以及布袋港區波浪觀測即時監測計畫構建成布袋港港區風浪模擬預警子系統。

針對 TaiCOMS 波浪模擬系統，本計畫已分別於大尺度西太平洋範圍風浪模組及中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組增列布袋港區外海風浪模擬項目，因此有關本年度布袋商港小尺度港區近岸波浪模組建置工作說明如下：

3.3.3.1 布袋港基本資料蒐集

地形水深資料，本計畫除了蒐集本中心 92 年曾在本計畫海域施測的水深量測資料(如圖 3.60 所示)外，亦蒐集歷年相關單位針對本計畫海域及其鄰近海域施測之水深資料，如圖 3.61 所示為國立成功大學水工試驗於 94 年在計畫海域水深資料施測結果圖。此外，本計畫亦蒐集由高雄港務分公司提供 99 及 100 年度布袋港域水深調查查資料圖檔。

風速風向：本計畫海域同臺灣西海岸一般地區，具多風之氣象特性，冬春兩季季風期強風歷時甚久，夏秋季風期則僅於颱風或熱帶性氣壓形成時發生強風，平時風力較弱。每年 10 月至翌年 3 月為冬季季節風，其風向以 NNE 及 NE 為主，瞬間風速可達 29m/sec，普通風速多介於 11.0~17.5m/sec 之間，以吹風延時而言，五級強風(8.0/sec)以上強風，歷時年平均 486 小時。夏季季節風以 NNE 或 SSW 風向為主，期間為每年 4 月至 9 月，其風速在 5.0~10.0m/sec 佔多數，吹風延時平均約 20 小時。

在波浪方面：本計畫海域因位處外傘頂洲南側，因此冬季北浪盛行時，受外傘頂洲遮蔽之區域可往南至八掌溪口附近，此一現象早期雖無實測波浪資料可茲佐證，但與當地漁民之經驗相一致，代表本計畫近岸海域之夏季波浪反而較冬季時來得大，尤其是夏秋兩季颱風來襲時。有關波浪觀測，早期本中心曾於 79 年 10 月在外傘頂洲外海水深-13 m 處觀測波浪，主要波高分布介於 0.5~1.5 m，週期為 4~7 sec。另根據成大水利海洋研究發展基金會在好美寮附近海域之波浪調查分析指出 (簡等人，2002)，在西南季風轉東北季風期間，外傘頂洲南側

好美寮附近高域波高介於 0.25~0.7 m，週期主要分布為 6~9 sec，波向介於 WS ~ W 之間。

3.3.3.2 布袋港小尺度港區近岸波浪模組之建置

針對布袋港域建置小尺度港區近岸波浪模組，本計畫依據海域地形水深及波浪相關調查資料規劃出布袋港域小尺度港區近岸波浪模組之模擬範圍，如圖 3.62 所示。與其他港區小尺度波浪模組相同，本計畫布袋港域小尺度港區近岸波浪模組之有限差分網格解析度為 10. m，計算網格之水深資料則依據本計畫蒐集的海域水深資料以內插方式建置。

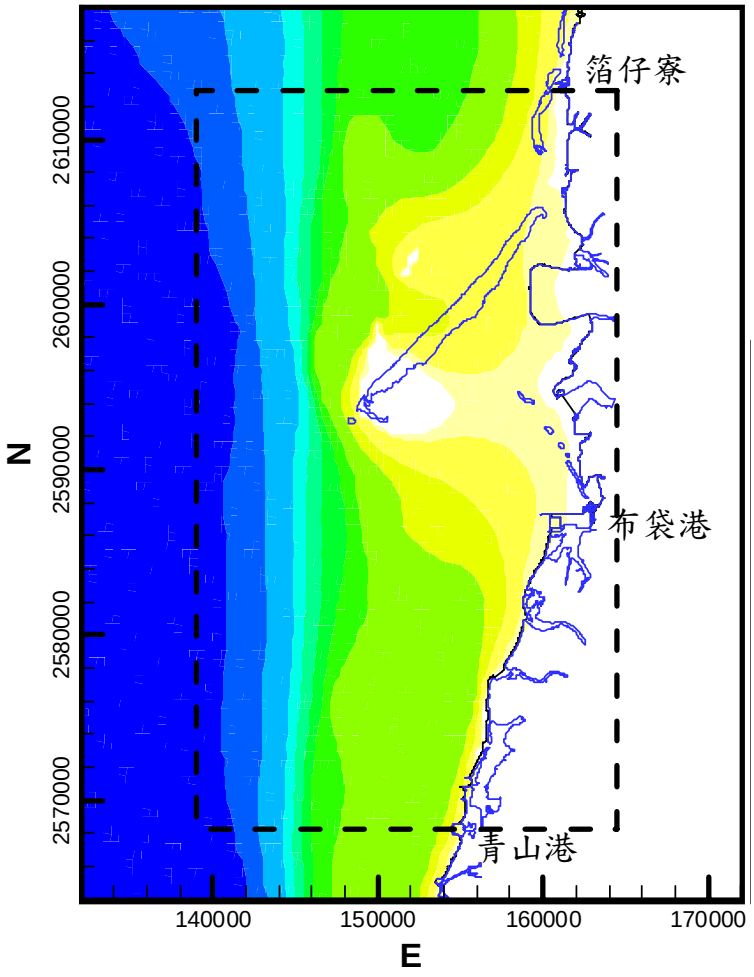


圖 3.58 布袋國內商港之地理位置圖

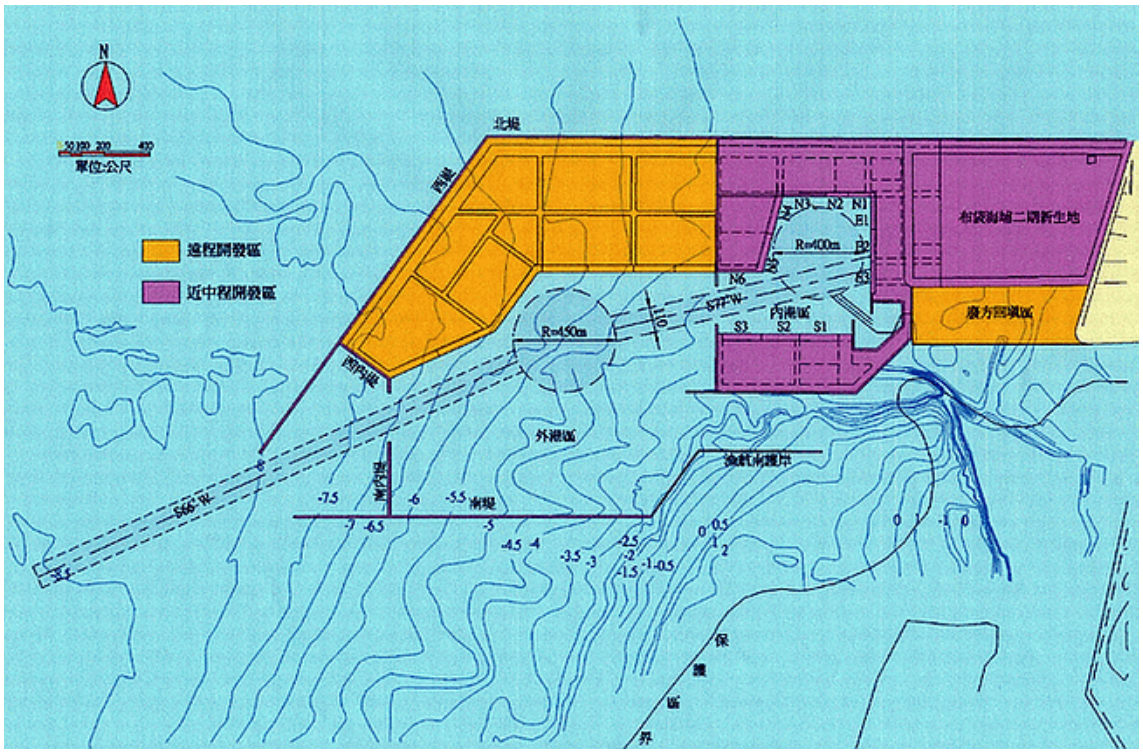


圖 3.59 布袋國內商港未來發展之整體規劃藍圖

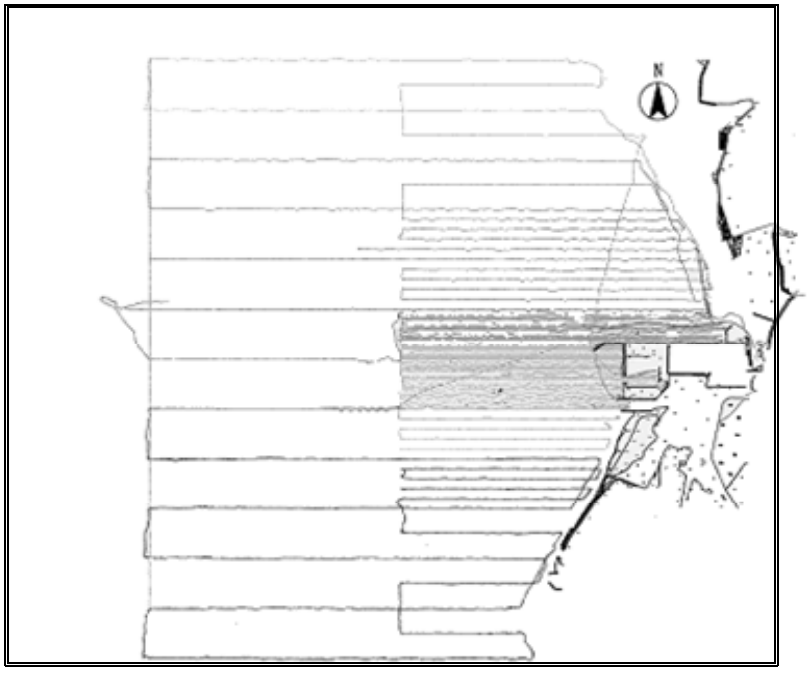


圖 3.60 布袋港附近海域水深測量實測測線軌跡

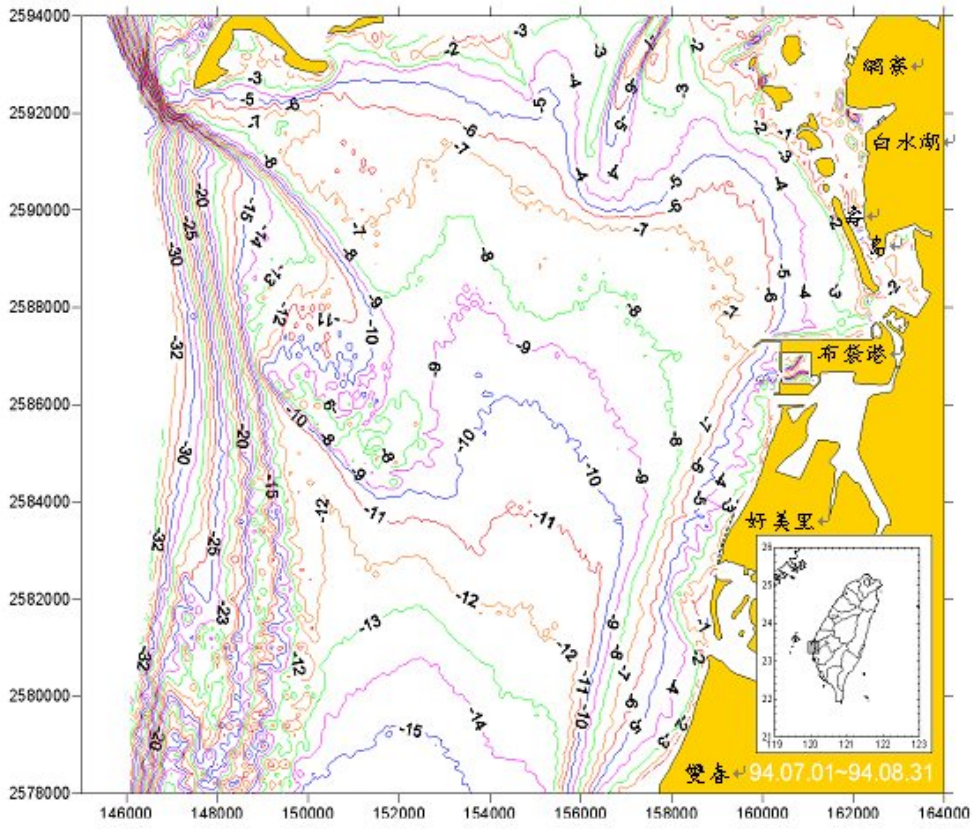


圖 3.61 布袋港鄰近海域水深分布圖

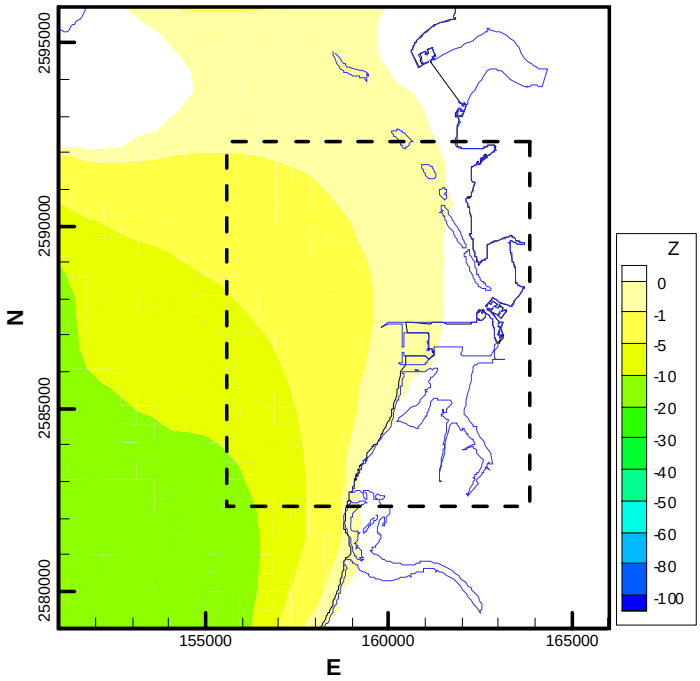


圖 3.62 布袋港域小尺度港區近岸波浪模擬範圍示意圖

3.4 風浪預報作業化成果評估

本年度風浪預報作業化成果包括上年度計畫執行對象基隆港區及臺北港區以及本年度計畫執行對象臺中港域及布袋港域，惟因布袋港域屬本年度新增研究之商港，目前 TaiCOMS 每日執行風浪預報作業化尚未納入，故本章節風浪預報作業化成果評估對象主要仍以基隆港區、臺北港區及臺中港區等港口為主。內容上包括本年度侵臺颱風期間風浪模擬成果以及長期風波浪模擬結果評估，其中長期風波浪模擬結果在冬季季風選取 2011 年 12 月至 2012 年 1 月為代表，夏季季風選取 2012 年 7、8 月為代表。

3.4.1 2012 年侵臺颱風資料

本年度中央氣象局發布颱風警報之颱風分別有輕度颱風泰利(6 月 19 日~6 月 21 日)、輕度颱風杜蘇芮(6 月 28 日~6 月 29 日)、中度颱風蘇拉(7 月 30 日~8 月 3 日)、中度颱風海葵(8 月 6 日~8 月 8 日)、輕度颱風啟德(8 月 14 日~8 月 15 日)、中度颱風天秤(8 月 21 日~8 月 25 日以及 8 月 26 日~8 月 28 日)、強烈颱風杰拉華(9 月 27 日~9 月 28 日)等七個，上述中央氣象局發布颱風警報之侵臺颱風移動路徑如圖 3.63 所示。其中輕度颱風泰利颱風中心雖未登陸臺灣，但因移動路徑沿臺灣海峽北上，故仍對臺灣西部海域造成一定程度之影響，其中本中心在高雄港及臺北港外海波浪觀測最大示性波高值分別為 6.57 m 及 3.02 m；中度颱風蘇拉及中度颱風天秤因颱風中心曾登陸臺灣造成較大的影響災害。針對上述侵臺颱風資訊，本計畫依據中央氣象局網站發布的颱風警報表列颱風相關資料，如表 3-9 所示。

由於上述侵臺颱風中僅輕度颱風泰利、中度颱風蘇拉及中度颱風天秤對臺灣周圍海域及陸地有實質之影響及致災，因此本報告僅針對上述三颱風之作業化成果評估說明如下：

表 3-9 2012 年中央氣象局發布侵臺颱風相關資訊表

中文名稱	英文名稱	警報期間	近臺強度	近臺颱風中心最低氣壓 (hPa)	近臺颱風中心最大風速 (m/s)	七級風暴風半徑 (km)	十級風暴風半徑 (km)
泰利	TALIM	6/19～6/21	輕度	985	25.0	150	--
杜蘇芮	DOKSURI	6/28～6/29	輕度	995	23.0	120	--
蘇拉	SAOLA	7/30～8/3	中度	960	38.0	220	80
海葵	HAIKUI	8/6～8/7	中度	960	35.0	180	50
啟德	KAI-TAK	8/14～8/15	輕度	995	20.0	150	--
天秤	TEMBIN	8/21～8/25	中度	945	45.0	180	50
天秤	TEMBIN	8/26～8/28	中度	965	35.0	180	50
杰拉華	JELAWAT	9/27~9/28	強烈	910	55.0	250	100

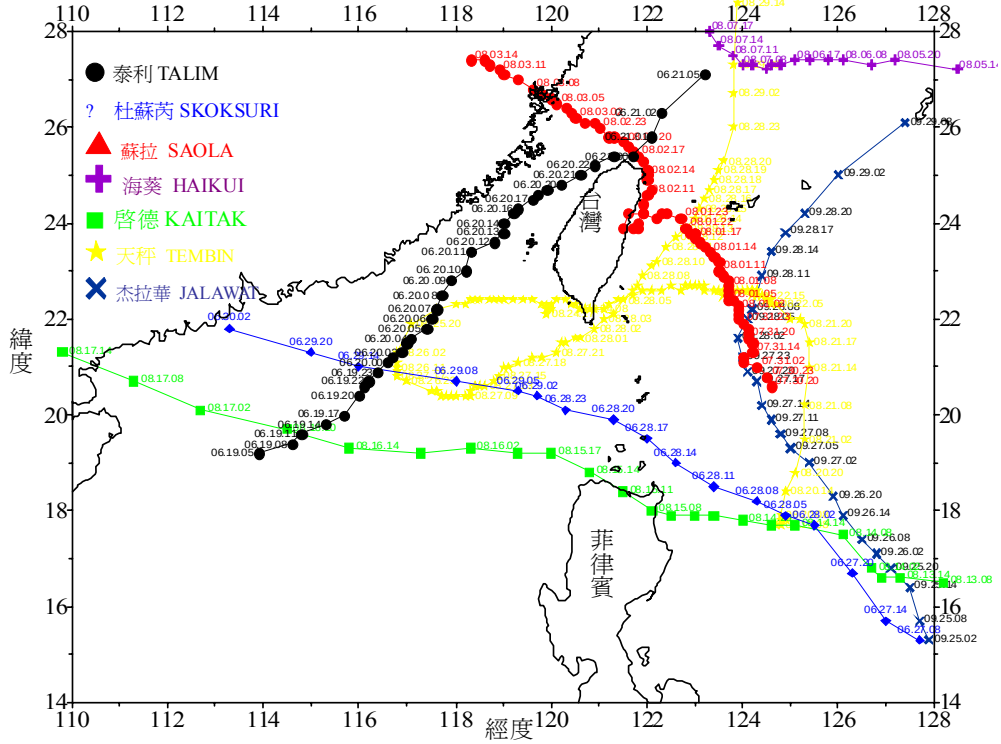


圖 3.63 2012 年中央氣象局發布侵臺颱風之行進路徑圖

3.4.2 2012 年颱風波浪模擬成果評估

3.4.2.1 輕度颱風泰利(6 月 19 日~6 月 21 日)

輕度颱風泰利之移動路徑如圖 3.63 所示，顯示其行進路徑係直接穿越臺灣海峽，但颱風中心並未與臺灣陸地接觸，屬於第 7 類侵臺路徑(指沿西岸或臺灣海峽北上者)。為評估 TaiCOMS 風浪作業化模擬成果，本計畫選取系統 6 月 19 日 0 時至 21 日 0 時西太平洋範圍模組及臺灣周圍海域範圍模組之風浪追算結果與波浪觀測資料分別進行比較，其中大尺度西太平洋範圍風浪模組模擬結果，針對基隆港區、臺北港區及臺中港區外海示性波高及平均週期模擬值與各港口波浪觀測資料之比較及誤差分析，如圖 3.64 及圖 3.65 所示；中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組模擬結果，針對基隆港區、臺北港區及臺中港區外海示性波高、平均週期及平均波向之模擬值與各港口波浪觀測值之比較及誤差分析，圖 3.66 至圖 3.68 所示。

就示性波高之變化趨勢而言，基隆港與臺北港波浪示性波高觀測資料在 6 月 20 月 18 時以後出現增大趨勢(註：此時泰利颱風中心已移至臺灣北部海域)，但本計畫西太平洋範圍風浪模組及臺灣周圍海域範圍風浪模組風浪模擬結果均無法呈現出此一變化趨勢，致使作業化模擬成果評估在該時段內呈現嚴重低估情況。其中西太平洋範圍風浪模組經改採用修正後的作業化流程及中域 MC 風場重新模擬後，臺北港外海示性波高變化趨勢雖已獲得改善，但與觀測值間仍存在波高值偏低及變化趨勢約落後 5 ~ 6 小時問題待改善(詳見圖 3.20)。至於模式模擬結果低估之原因推測應與該時段本計畫大域 RC 風場及中域 MC 風場對於輕度颱風泰利之移動方向預測出現較大誤差有關(詳見圖 3.15)，以及模式風場強度低估有關，如圖 3.69 及圖 3.70 所示。此外，週期模擬成果評估則顯示出中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模擬結果與觀測值較接近，但西太平洋範圍風浪模擬結果波浪週期則顯著偏大(原因詳見 3.2.2 節)。

3.4.2.2 中度颱風蘇拉(7 月 30 日~8 月 3 日)

中度颱風蘇拉行進路屬於第 2 類侵臺路徑(指通過臺灣北部向西或西北進行者)，因此對臺灣東、北部及中部海域均造成相當大影響。本計畫選取系統 7 月 30 日 12 時至 8 月 3 日 12 時共 97 小時作業化模擬資料及觀測資料進行成果評估，其中大尺度西太平洋範圍風浪模組作業化模擬結果與各港口波浪觀測值間示性波高及平均週期之比較(含誤差分析)，如圖 3.71 及圖 3.72 所示；中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組作業化模擬結果與各港口波浪觀測值間示性波高、平均週期及平均波向之比較(含誤差分析結果)，如圖 3.73 至圖 3.75 所示。另由觀測資料得知，中度颱風蘇拉侵臺期間基隆港、臺北港及臺中港外海示性波高最大值分別達到 5.15 m、3.38 m 及 5.49 m，其中臺中港波浪觀測資料自 8 月 1 日始恢復觀測。

就颱風期間示性波高之變化趨勢而言，本計畫大尺度西太平洋範圍風浪模組之評估結果顯示，基隆港及臺北港之模擬結果與觀測資料相當吻合，但臺中港之模擬結果在颱風登陸前、後均呈現出低估現象(此與颱風期間 RC 風場針對臺灣海峽預報之風場強度偏低有關，經採用修正後的中尺度模組配合中域 MC 風場重新模擬後，臺中港外海示性波高大小及變化趨勢均可獲得改善效益)；中尺度臺灣周圍海域範圍模組之評估結果顯示，基隆港、臺北港及臺中港之模擬結果均與觀測資料相當吻合。颱風期間波浪平均週期之評估結果顯示，本計畫中尺度臺灣周圍海域範圍模組之模擬結果與基隆港、臺北港及臺中港之觀測值均相當接近，其中誤差平均值分別為-0.30、0.22 及-0.08，誤差之均方根值(RMS)均可達到小於 1.0 sec 之目標。

另作業化系統所採用的大域 RC 風場及中域 MC 風場在颱風期間預報之風場資料，其在基隆港、臺北港及臺中港外海之風速預報值與港口風速站觀測值之比較，如圖 3.76 及圖 3.77 所示；其中觀測資料顯示中度颱風蘇拉雖然在臺灣北部登陸，但颱風期間臺中港實測風速值明顯高於基隆港及臺北港實測風速值，此一現象應與颱風風場受到臺

灣本島地形影響及大陸陸地效應有關；然而本計畫所採用的大域 RC 風場之預報風場似乎尚無法具體呈現出此一風場特性，致使本計畫西太平洋範圍風浪模組無法合理地模擬蘇拉颱風期間臺中港外海風浪示性波高之變化。

3.4.2.3 中度颱風天秤(8 月 21 日~8 月 28 日)

中度颱風天秤行進路徑如圖 3.63 所示，有關中度颱風天秤之介紹與颱風風場評估如本報告 3-3 節所述。由於中度颱風天秤不僅曾由南臺灣恆春半島登陸且移動路徑特殊，因此對臺灣周圍海域造成相當大的影響。針對天秤颱風侵臺期間作業化模擬成果之評估，本計畫則選取系統 8 月 21 日 12 時至 8 月 29 日 0 時共 1811 小時之作業化模擬資料與觀測資料進行比較；其中大尺度西太平洋範圍風浪模組作業化模擬結果與觀測值間示性波高及平均週期之比較(含誤差分析)，如圖 3.78 及圖 3.79 所示；中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組作業化模擬結果與觀測值間示性波高、平均週期及平均波向之比較(含誤差分析結果)，如圖 3.80 至圖 3.82 所示。

在示性波高之變化趨勢及誤差分析結果方面，結果顯示本計畫中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組作業化模擬結果與各港口觀測值較為接近；另在颱風波浪平均週期方面，本計畫中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組作業化模擬結果仍較各港口颱風波浪平均週期之觀測值略小。

另有關作業化系統採用的大域 RC 風場及中域 MC 風場在天秤颱風期間之預報風場資料，與基隆港、臺北港及臺中港等港口風速站觀測值之比較，如圖 3.83 及圖 3.84 所示；整體而言，中域 MC 風場之預報風速大小仍較大域 RC 風場之預報風速更接近各港口觀測值。

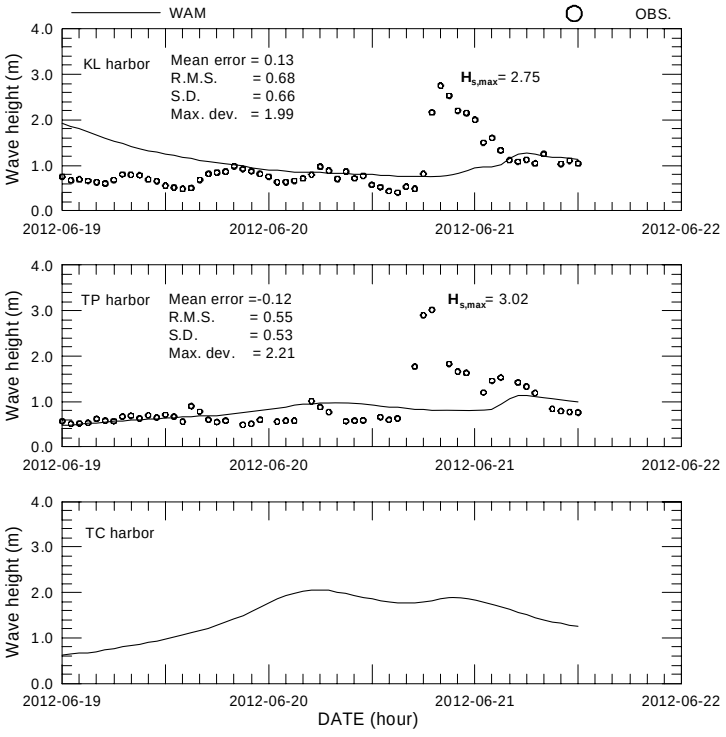


圖 3.64 輕度颱風泰利侵臺期間西太平洋範圍風浪示性波高(H_s)模擬結果與觀測值(◯)比較

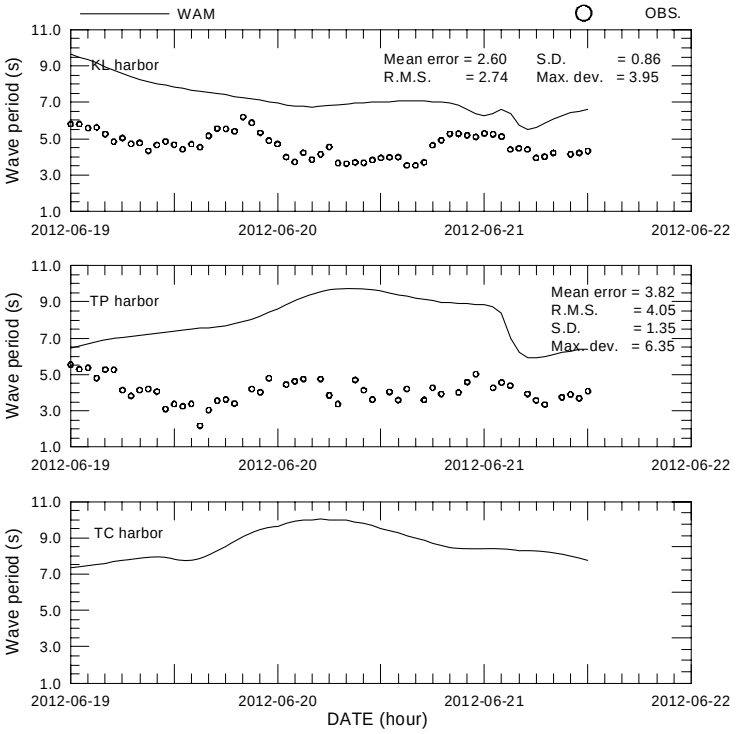


圖 3.65 輕度颱風泰利侵臺期間西太平洋範圍風浪平均週期(T_m)模擬結果與觀測值(◯)比較

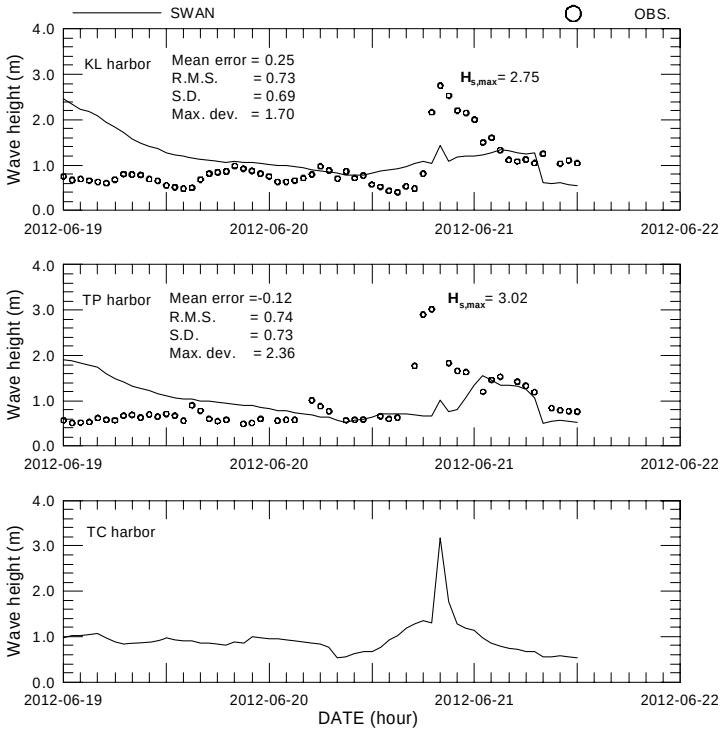


圖 3.66 輕度颱風泰利侵臺期間臺灣周圍海域範圍風浪示性波高(H_s)模擬結果與觀測值(◯)比較

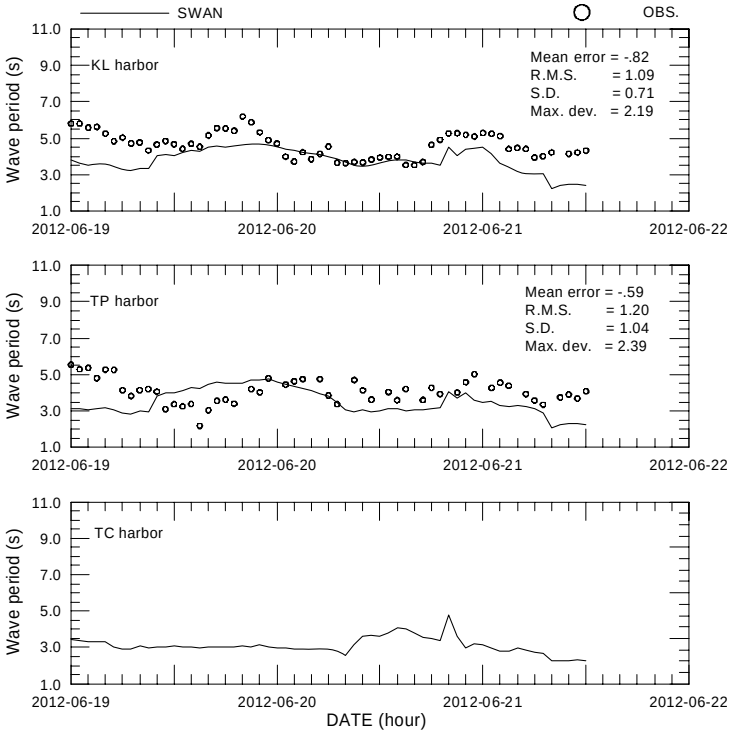


圖 3.67 輕度颱風泰利侵臺期間臺灣周圍海域範圍風浪平均週期(T_m)模擬結果與觀測值(◯)比較

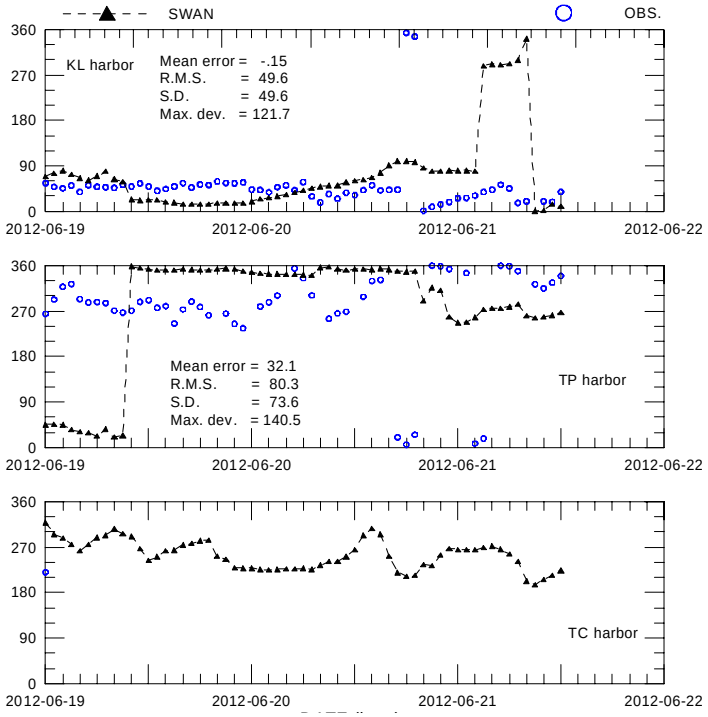


圖 3.68 輕度颱風泰利侵臺期間臺灣周圍海域範圍模組風浪平均波向(θ_m)模擬結果(▲)與觀測值(◯)比較

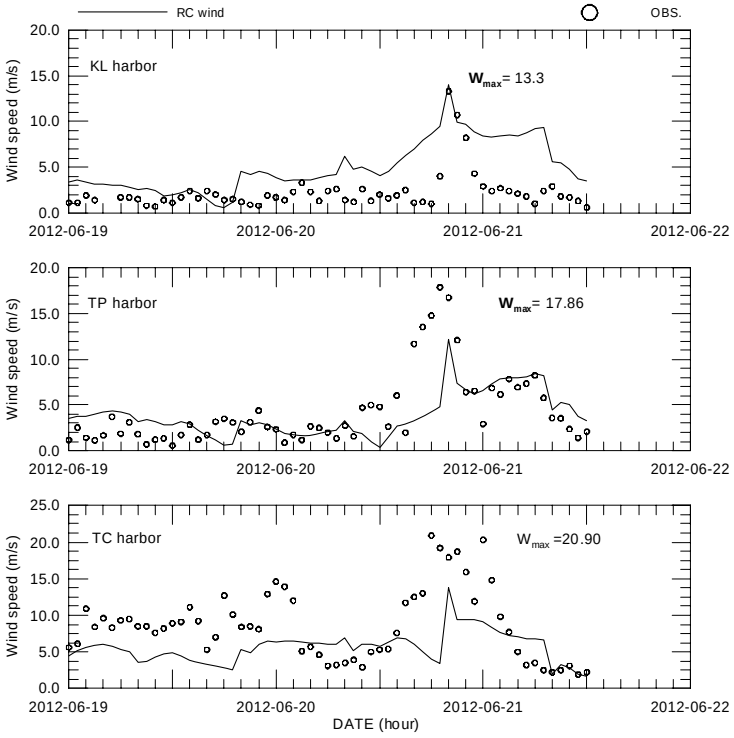


圖 3.69 輕度颱風泰利侵臺期間大域 RC 風場預報風速大小與觀測值(◯)比較

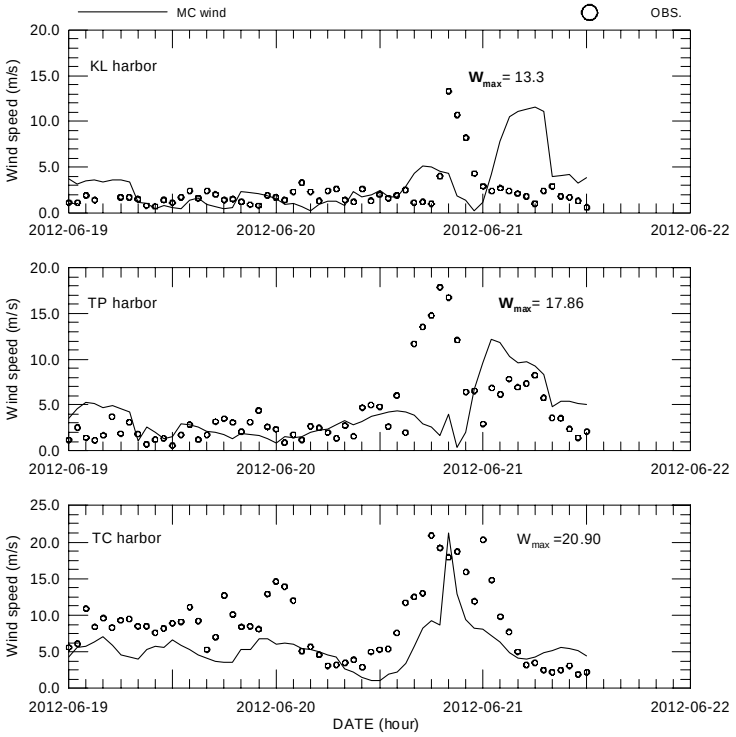


圖 3.70 輕度颱風泰利侵臺期間中域 MC 風場預報風速大小與觀測值(◯)比較

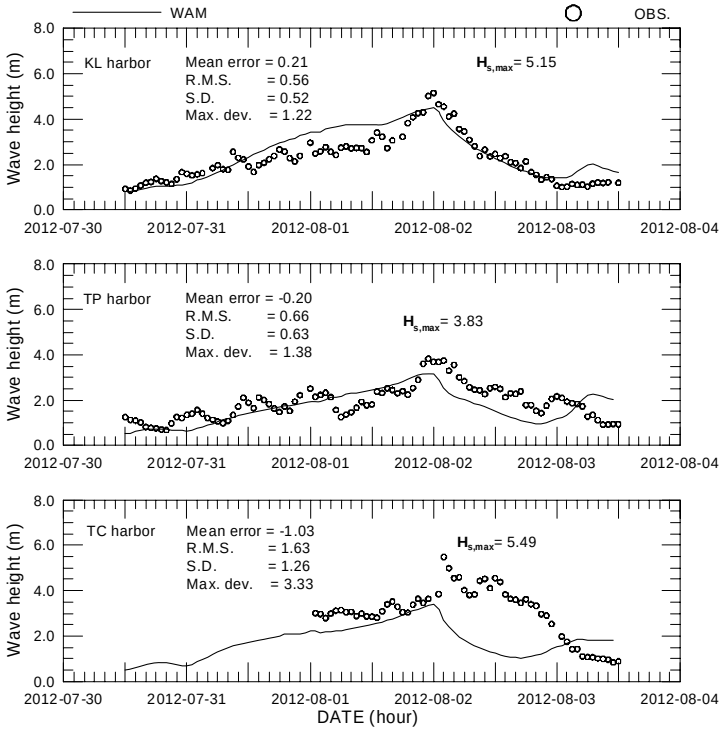


圖 3.71 中度颱風蘇拉侵臺期間西太平洋範圍模組風浪示性波高(H_s)模擬結果與觀測值(◯)比較

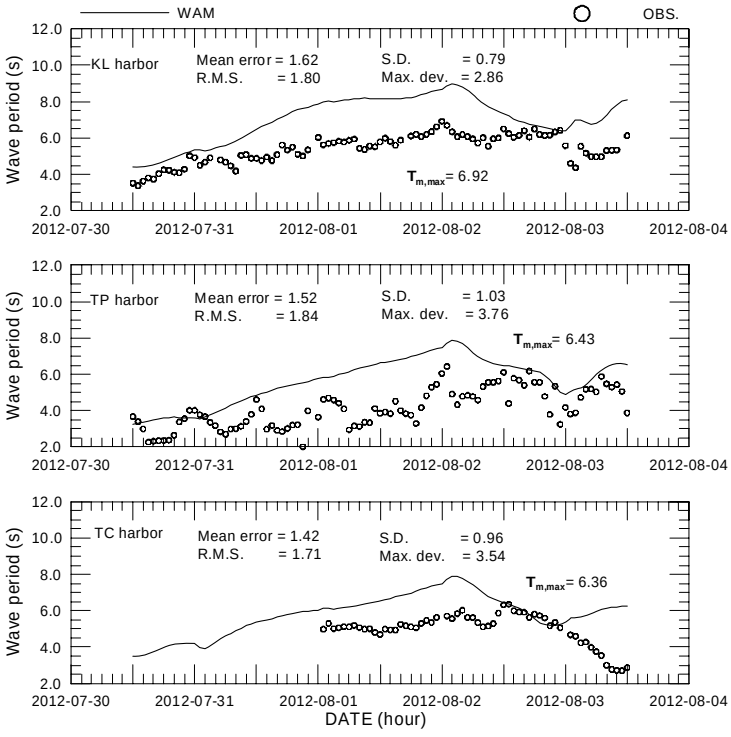


圖 3.72 中度颱風蘇拉侵臺期間西太平洋範圍模組風浪平均週期(T_m)模擬結果與觀測值(◯)比較

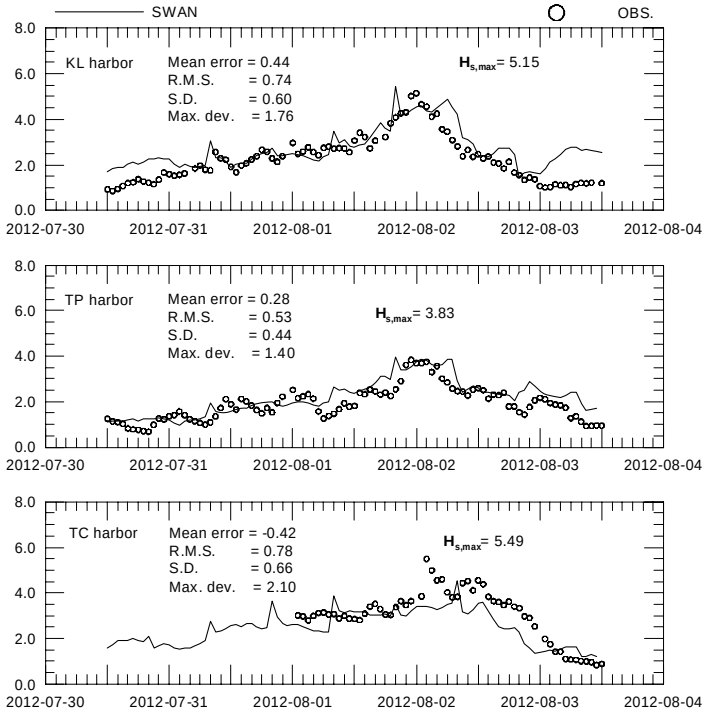


圖 3.73 中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域範圍模組風浪示性波高(H_s)模擬結果與觀測值(◯)比較

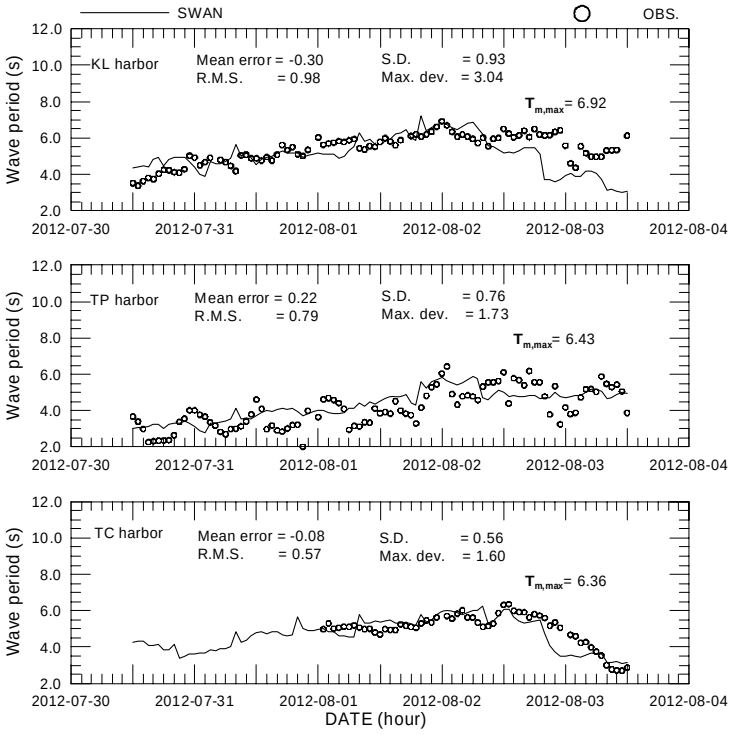


圖 3.74 中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域範圍模組風浪平均週期 (T_m)模擬結果與觀測值(◯)比較

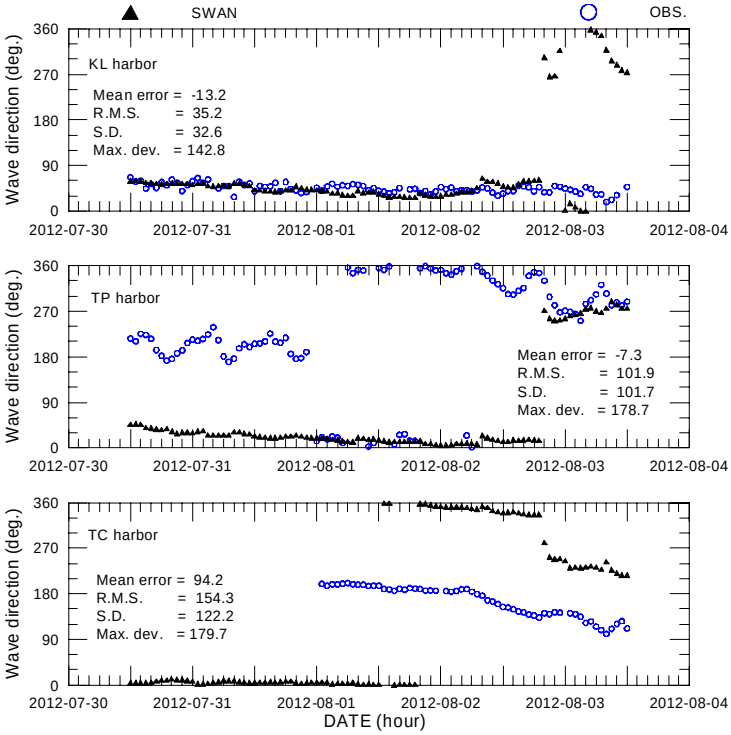


圖 3.75 中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域範圍模組風浪平均波向 (θ_m)模擬結果(▲)與觀測值(◯)比較

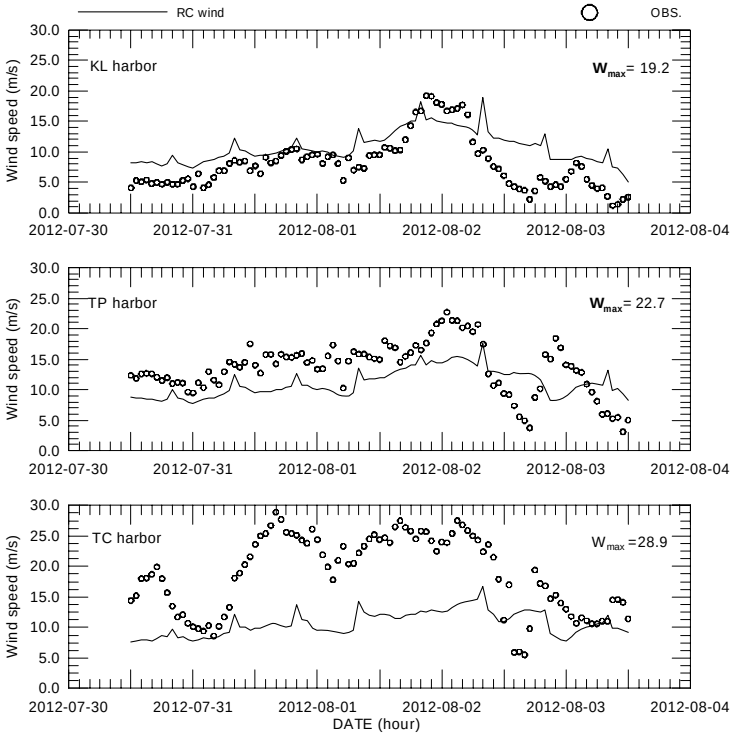


圖 3.76 中度颱風蘇拉侵臺期間大域 RC 風場預報風速大小與觀測值(◯)比較

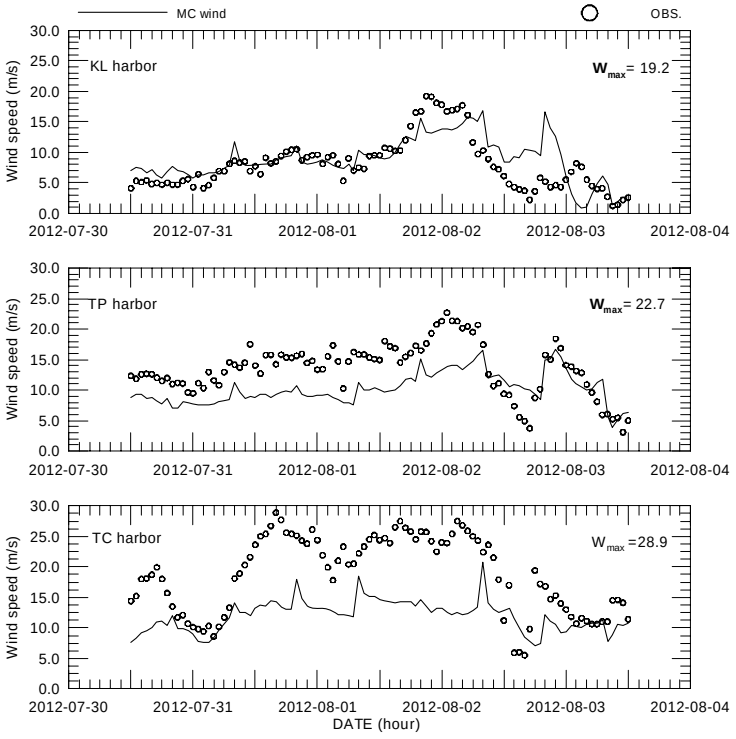


圖 3.77 中度颱風蘇拉侵臺期間大域 MC 風場預報風速大小與觀測值(◯)比較

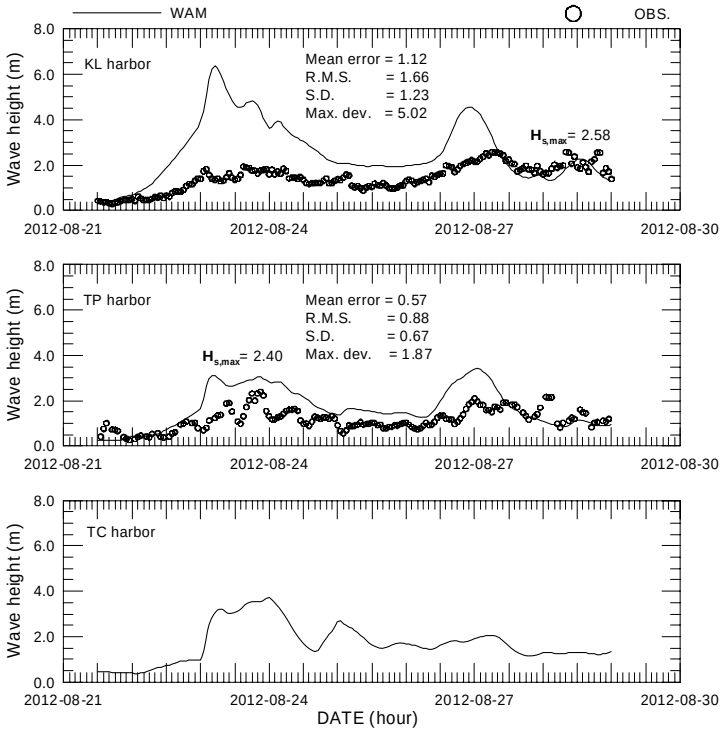


圖 3.78 中度颱風天秤侵臺期間西太平洋範圍模組風浪示性波高(H_s)模擬結果與觀測值(◯)比較

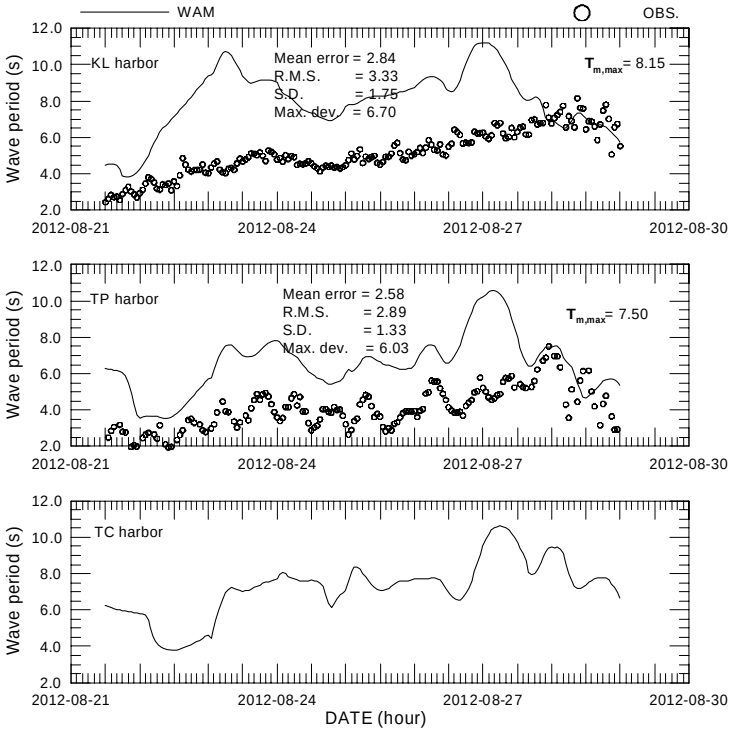


圖 3.79 中度颱風天秤侵臺期間西太平洋範圍模組風浪平均週期(T_m)模擬結果與觀測值(◯)比較

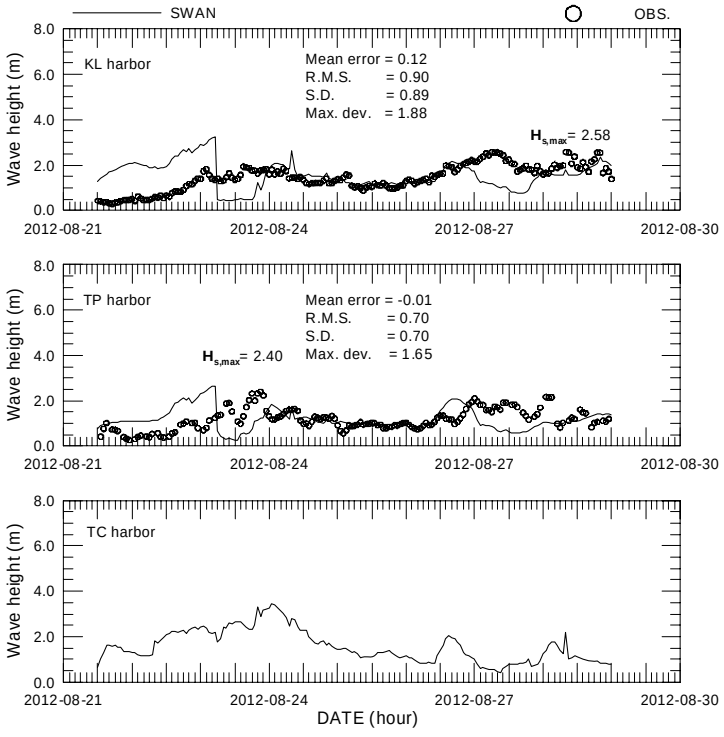


圖 3.80 中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域範圍模組風浪示性波高 (H_s)模擬結果與觀測值(◯)比較

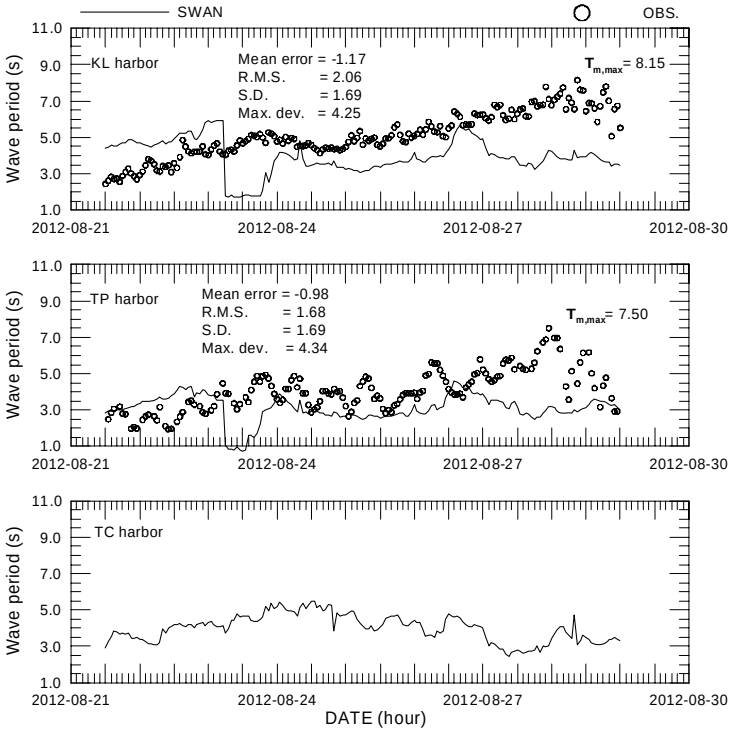


圖 3.81 中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域範圍模組風浪平均週期 (T_m)模擬結果與觀測值(◯)比較

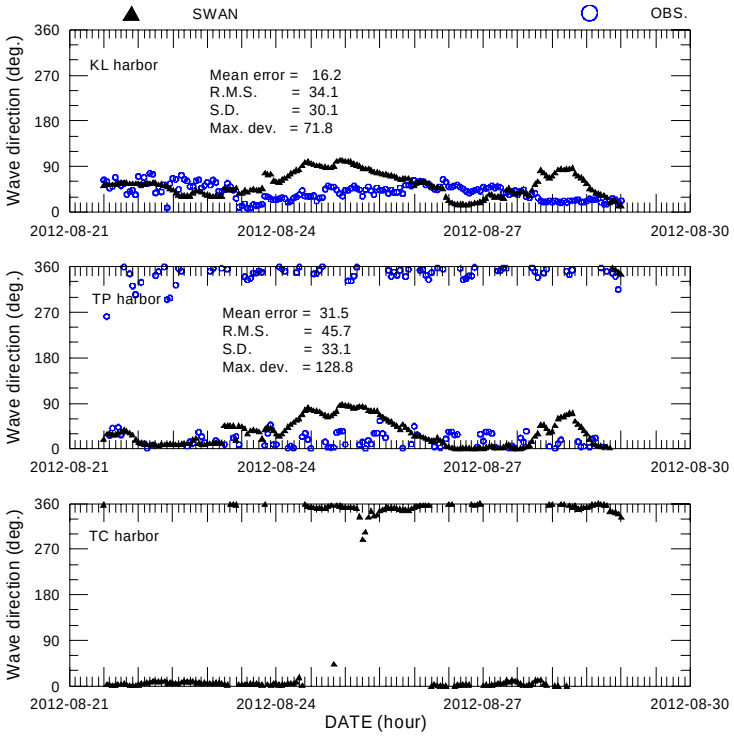


圖 3.82 中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域範圍模組風浪平均波向(θ_m)模擬結果(▲)與觀測值(◯)比較

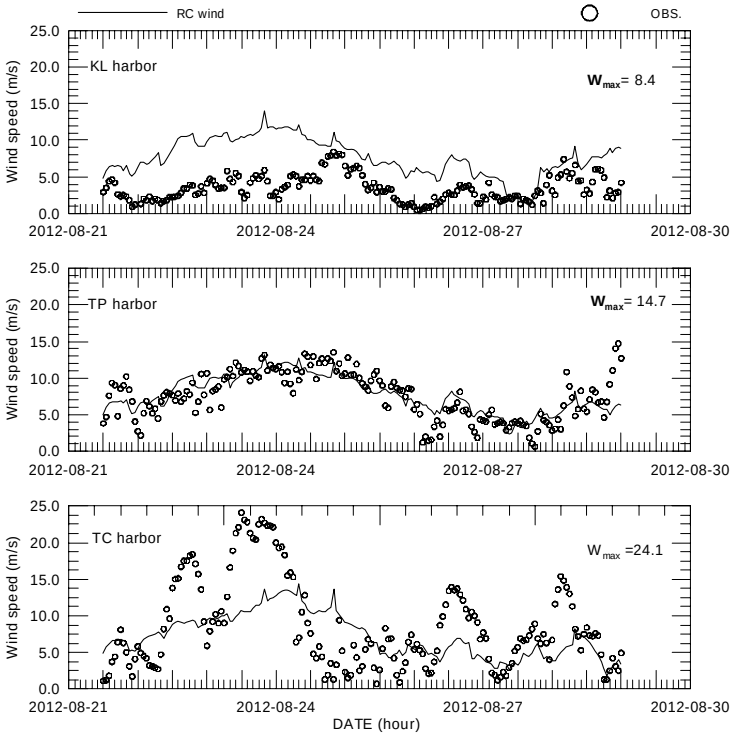


圖 3.83 中度颱風天秤侵臺期間大域 RC 風場預報風速大小與觀測值(◯)比較

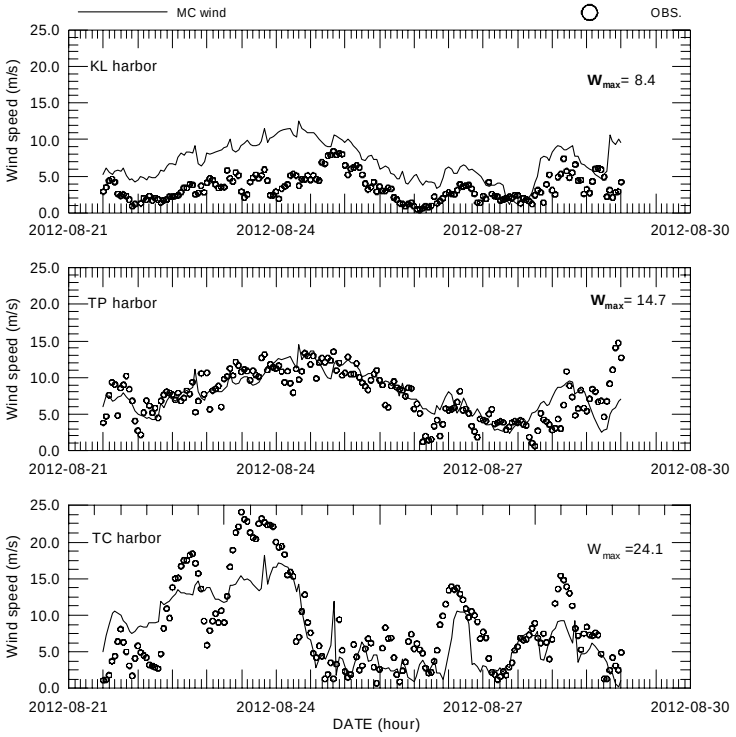


圖 3.84 中度颱風天秤侵臺期間大域 MC 風場預報風速大小與觀測值(◯)比較

綜合以上本年度侵臺颱風波浪模擬成果得知，本計畫中尺度臺灣周圍海域範圍模組風浪模擬結果普遍優於大尺度西太平洋範圍風浪模組模擬結果。中尺度臺灣周圍海域範圍模組之優勢原因，除了模式本身特性外，亦與中尺度模組網格解析度較高及其採用的中域 MC 風場之颱風預報風場與實際颱風風場較接近有關。

3.4.3 長期風浪模擬結果評估

本計畫長期風浪模擬結果評估主要以季風風浪為對象，分為冬季季風風浪及夏季季風風浪兩部份；因此本年度計畫報告選取冬季季風期(2011 年 12 月至 2012 年 1 月)與夏季季風期(2012 年 7 月至 2012 年 8 月)，中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組之作業化模擬結果與各港區(即基隆港區、臺北港區及臺中港區等)波浪觀測資料進行比較與分析。本報告評估內容主要分為風浪模擬結果與觀測值之比較及模擬值與觀測

值間之誤差分析等兩部份，有關本年度冬季季風風浪與夏季季風風浪之評估結果分述如下：

3.4.3.1 冬季季風風浪模擬結果評估

冬季季風期(2011 年 12 月至 2012 年 1 月)本計畫中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組作業化模擬結果與基隆港區、臺北港區及臺中港區外海風浪示性波高、平均週期及平均波向之觀測值比較，分別如圖 3.85 至圖 3.87 所示。由各港口冬季季風風浪之時序列變化歷線得知：基隆港區、臺北港區及臺中港區等港區風浪模擬值及觀測值之示性波高大小之變化趨勢，基本上與東北季風期鋒面強弱之變化趨勢呈現高度一致性；在風浪平均週期變化方面，基隆港區平均週期模擬值與觀測值之變化均呈現出受鋒面強弱影響之變化趨勢，而臺北港區平均週期僅模擬值變化呈現出受鋒面強弱影響之變化趨勢，其平均週期觀測值之變化與鋒面強弱之關係則不明顯；另各港區平均波向之模擬值與觀測值均無顯著的變化，亦即鋒面強弱之變化對風浪平均波向的改變甚微。上述冬季季風期間，基隆港區示性波高最大觀測值與模擬值分別為 4.74 m 及 3.66 m;臺北港區示性波高最大觀測值與模擬值分別為 4.36 m 及 3.14 m，臺中港區示性波高最大模擬值為 3.65 m。

在模擬值與觀測值間誤差分析上，因臺中港區波浪觀測值資料數不足，因此僅針對基隆港區及臺北港區進行冬季季風風浪模擬值與觀測值間誤差分析如表 3-10 所列，相關結果說明如下：

在基隆港區方面，其波浪觀測自 2011 年 12 月 21 日零時恢復觀測後至 2012 年 1 月 31 日 23 時共有 841 筆資料，其中 2012 年 1 月 4 日至 9 日間波浪觀測資料明顯有誤，因此在誤差分析上已將該時段資料捨棄，故實際用於誤差分析之觀測資料為 729 筆資料。由本年度基隆港區冬季季風風浪作業化模擬值與觀測值間誤差統計分析結果顯示：示性波高、平均週期及平均波向最大偏差值分別為 2.27 m、2.48 sec 及 60.8°，誤差平均值分別為−0.34 m、−0.81 sec 及 23.4°，標準偏差值分別

為 0.50 m、0.63 sec 及 15.9°；其中示性波高及平均週期間誤差平均值小於零，顯示基隆港區冬季季風期風浪模擬值處於略小於風浪觀測值狀態。

在臺北港區方面，本年度波浪觀測自 2011 年 12 月 1 日零時至 2012 年 1 月 31 日 23 時共有 1330 筆資料，經模擬值與觀測值間誤差分析後得知：臺北港風浪模擬值與觀測值間其示性波高、平均週期及平均波向之最大偏差值分別為 2.16 m、2.67 sec 及 104.8°，誤差平均值分別為 −0.48 m、−0.47 sec 及 11.0°，標準偏差值分別為 0.40 m、0.80 sec 及 18.3°；同樣地，上述示性波高及平均週期誤差平均值小於零之結果，代表臺北港區長期風浪模擬值處於略小於風浪觀測值狀態。

表 3-10 冬季季風風浪作業化模擬成果評估之誤差分析表

港區	誤差分析 項　目	示性波高 (m)	平均週期 (sec)	平均波向 (°)
基 隆 港	最大偏差	2.27	2.48	60.8
	誤差平均值	−0.34	−0.81	23.4
	標準偏差值	0.50	0.63	15.9
臺 北 港	最大偏差	2.16	2.67	104.8
	誤差平均值	−0.48	−0.47	11.0
	標準偏差值	0.41	0.80	18.3

3.4.3.2 夏季季風風浪模擬結果評估

夏季季風期(2012 年 7 月及 8 月)本計畫中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組作業化模擬結果與基隆港區、臺北港區及臺中港區外海風浪示性波高、平均週期及平均波向之觀測值比較，分別如圖 3.88 至圖 3.90 所示。在此期間中央氣象局曾針對臺灣海域發布五次侵臺颱風警報，分別為中度颱風蘇拉(7 月 30 日~8 月 3 日)、中度颱風海葵(8 月 6 日~8 月 8 日)、輕度颱風啟德(8 月 14 日~8 月 15 日)及中度颱風天秤(8 月 21 日~8 月 25 日以及 8 月 26 日~8 月 28 日)。由各港口夏季季風風浪之時序列變化歷線得知：非颱風期間基隆港區、臺北港區及臺中港區外海風浪示性波高之觀測值與模擬值普遍小於 1.0 m 以下，各港口風浪平均週期之模擬值亦普遍小於觀測值。上述夏季季風期間，基隆港區示性波高最大觀測值與模擬值分別為 5.15 m 及 5.43 m，臺北港區示性波高最大觀測值與模擬值分別為 3.83 m 及 3.94 m，臺中港區示性波高最大觀測值與模擬值分別為 5.49 m 及 4.53 m，以上示性波高最大值均發生於中度颱風蘇拉侵臺期間。

在模擬值與觀測值間誤差分析上，同理因本年度臺中港區波浪觀測值資料數不足，而僅針對基隆港區及臺北港區進行夏季季風期風浪(含颱風波浪)模擬值與觀測值間誤差分析如表 3-11 所列，相關分析結果說明如下：

在基隆港區方面，波浪觀測自 2012 年 7 月 1 日零時至 8 月 31 日 23 時共測得 1448 筆資料，經作業化模擬值與觀測值間誤差分析結果顯示：其示性波高、平均週期及平均波向最大偏差值分別為 2.18 m、6.39 sec 及 159.0°，誤差平均值分別為 0.08 m、−1.00 sec 及 13.8°，標準偏差值分別為 0.48 m、1.02 sec 及 53.0°；其中示性波高之誤差平均值顯著小於冬季季風期長期風浪模擬結果之誤差平均值原因，主要與非颱風期間夏季季風風浪模擬值與觀測值較小有關；平均週期之誤差平均

值為−1.00 sec，顯示基隆港區夏季季風期風浪模擬值小於風浪觀測值之現象，較冬季季風期長期風浪模擬結果呈現擴大狀態。

在臺北港區方面，本年度夏季季風期波浪觀測共測得 1338 筆資料，同理經由誤差分析後得知：臺北港風浪模擬值與觀測值間其示性波高、平均週期及平均波向之最大偏差值分別為 1.65 m、4.34 sec 及 180.0°，誤差平均值分別為−0.10 m、−0.47 sec 及−21.8°，標準偏差值分別為 0.35 m、0.84 sec 及 90.6°。與基隆港區分析結果相同，臺北港區夏季季風期波浪模擬結果誤差平均值亦顯著小於冬季季風期長期風浪模擬結果之誤差平均值；平均週期模擬值小於風浪觀測值之現象亦較冬季季風期長期風浪模擬結果呈現擴大狀。

表 3-11 夏季季風風浪作業化模擬成果評估之誤差分析表

港區	誤差分析項　目	示性波高 (m)	平均週期 (sec)	平均波向 (°)
基隆港	最大偏差	2.18	6.39	159.0
	誤差平均值	0.08	−1.00	13.8
	標準偏差值	0.48	1.02	53.0
臺北港	最大偏差	1.65	4.34	180.0
	誤差平均值	−0.10	−0.81	−21.8
	標準偏差值	0.35	0.84	90.6

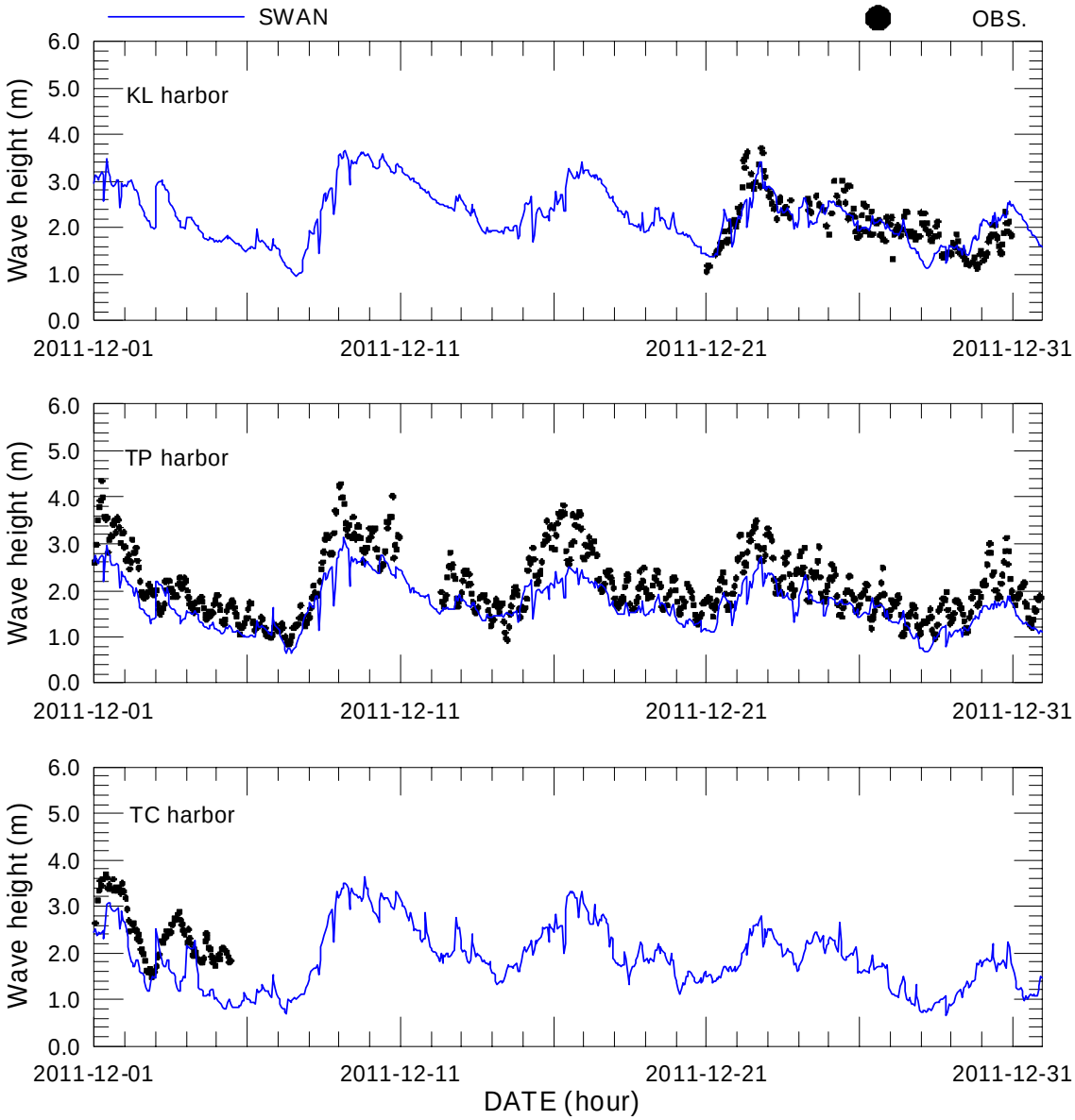


圖 3.85 冬季季風期間臺灣周圍海域範圍風浪模式作業化模擬成果於基隆港(上)、臺北港(中)及臺中港(下)外海示性波高模擬值(實線)與觀測值(圓點)之比較

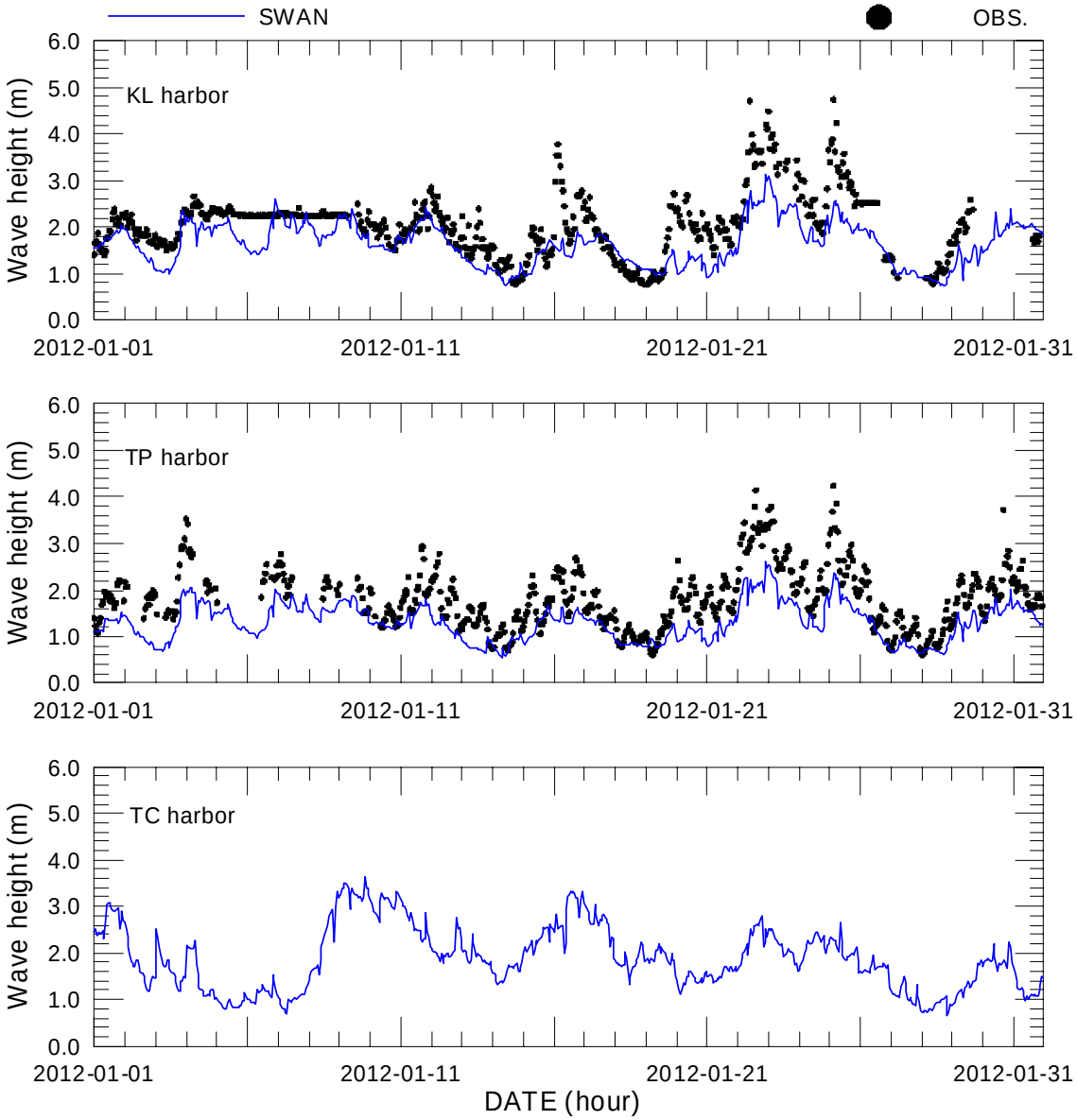


圖 3.85 (續)冬季季風期間臺灣周圍海域範圍風浪模式作業化模擬成果於基隆港(上)、臺北港(中)及臺中港(下)外海示性波高模擬值(實線)與觀測值(圓點)之比較

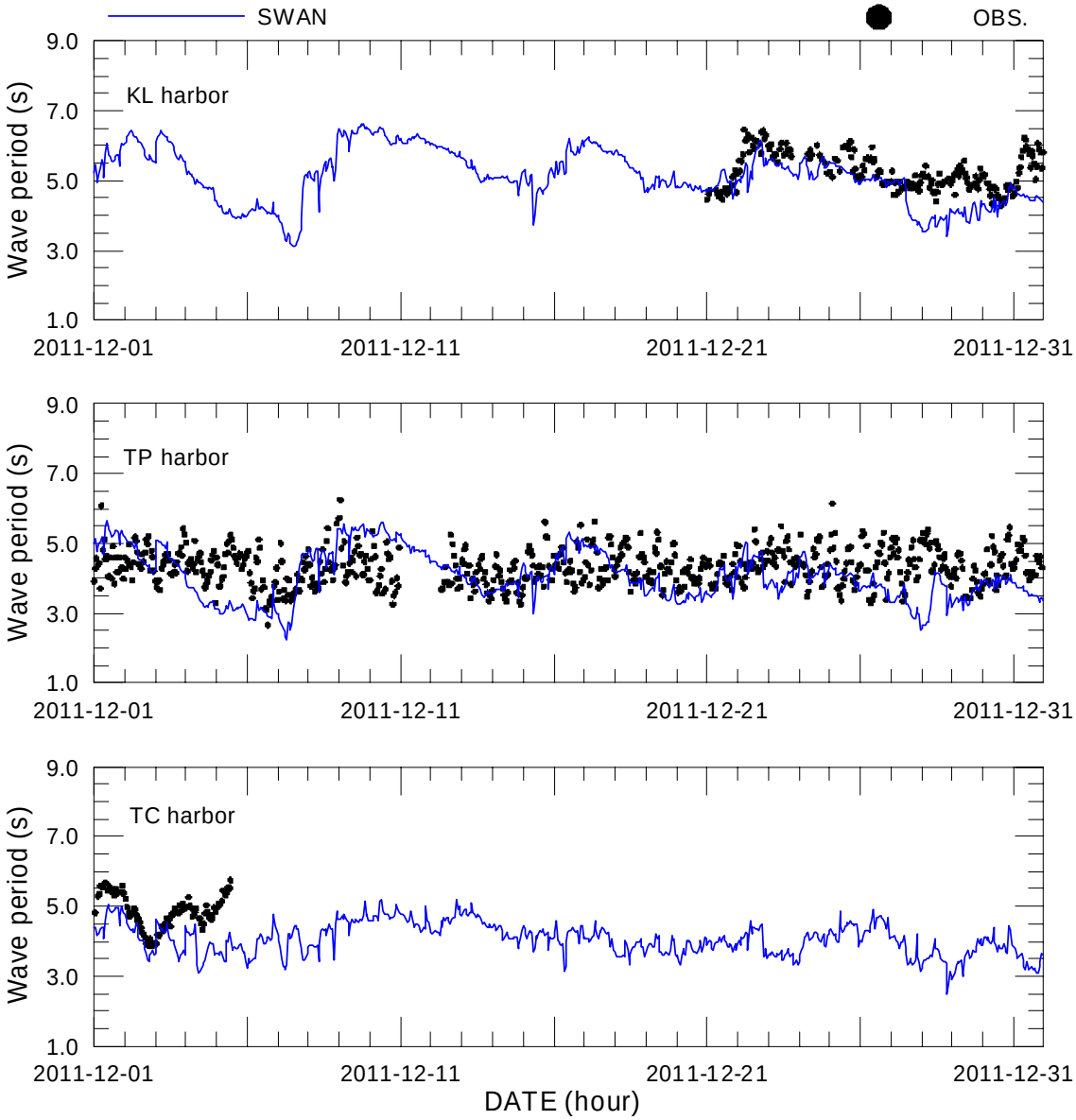


圖 3.86 冬季季風期間臺灣周圍海域範圍風浪模式作業化模擬成果於基隆港(上)、臺北港(中)及臺中港(下)外海波浪平均週期模擬值(實線)與觀測值(圓點)之比較

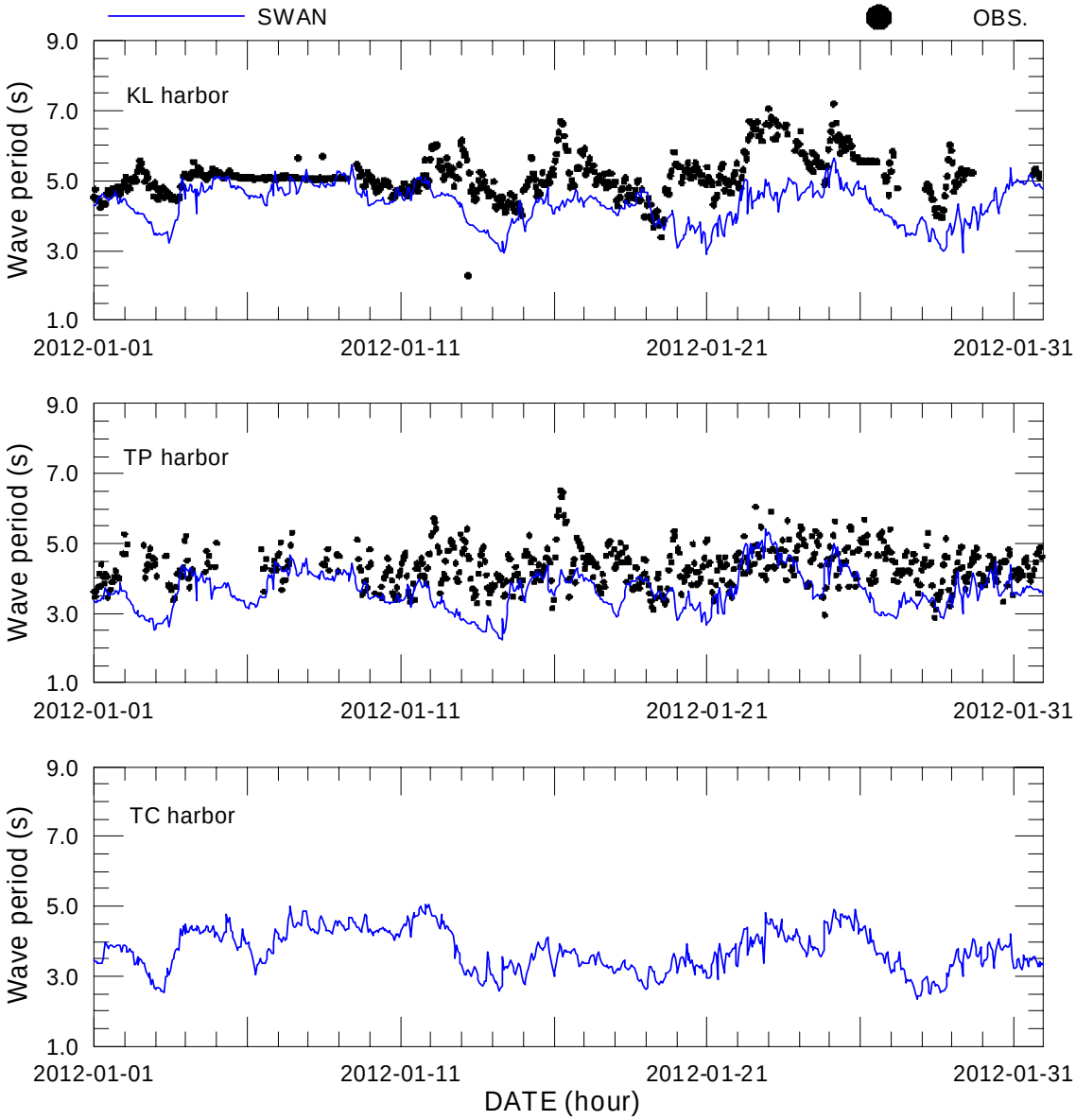


圖 3.86 (續)冬季季風期間臺灣周圍海域範圍風浪模式作業化模擬成果於基隆港(上)、臺北港(中)及臺中港(下)外海波浪平均週期模擬值(實線)與觀測值(圓點)之比較

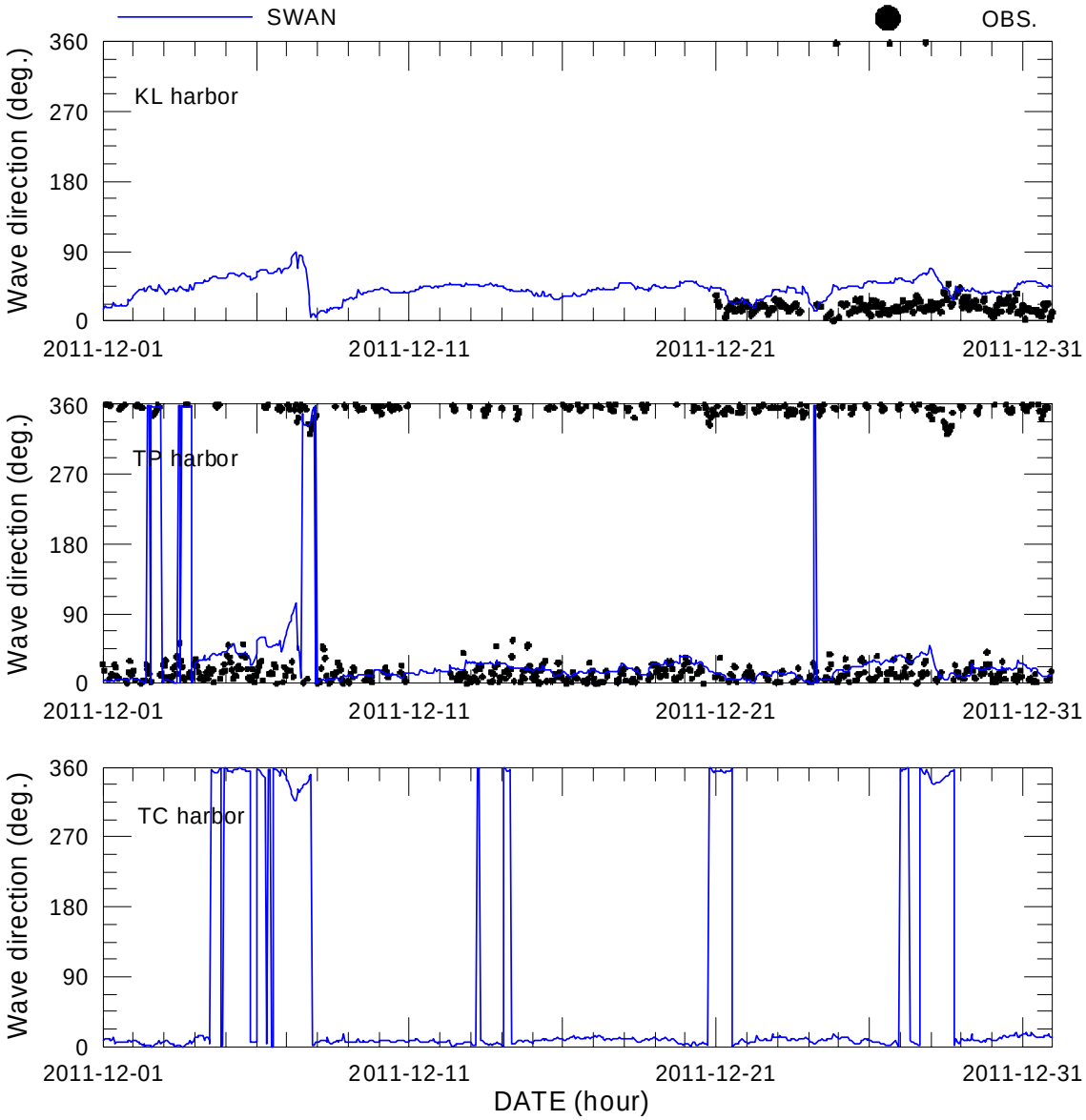


圖 3.87 冬季季風期間臺灣周圍海域範圍風浪模式作業化模擬成果於基隆港(上)、臺北港(中)及臺中港(下)外海波浪平均波向模擬值(實線)與觀測值(圓點)之比較

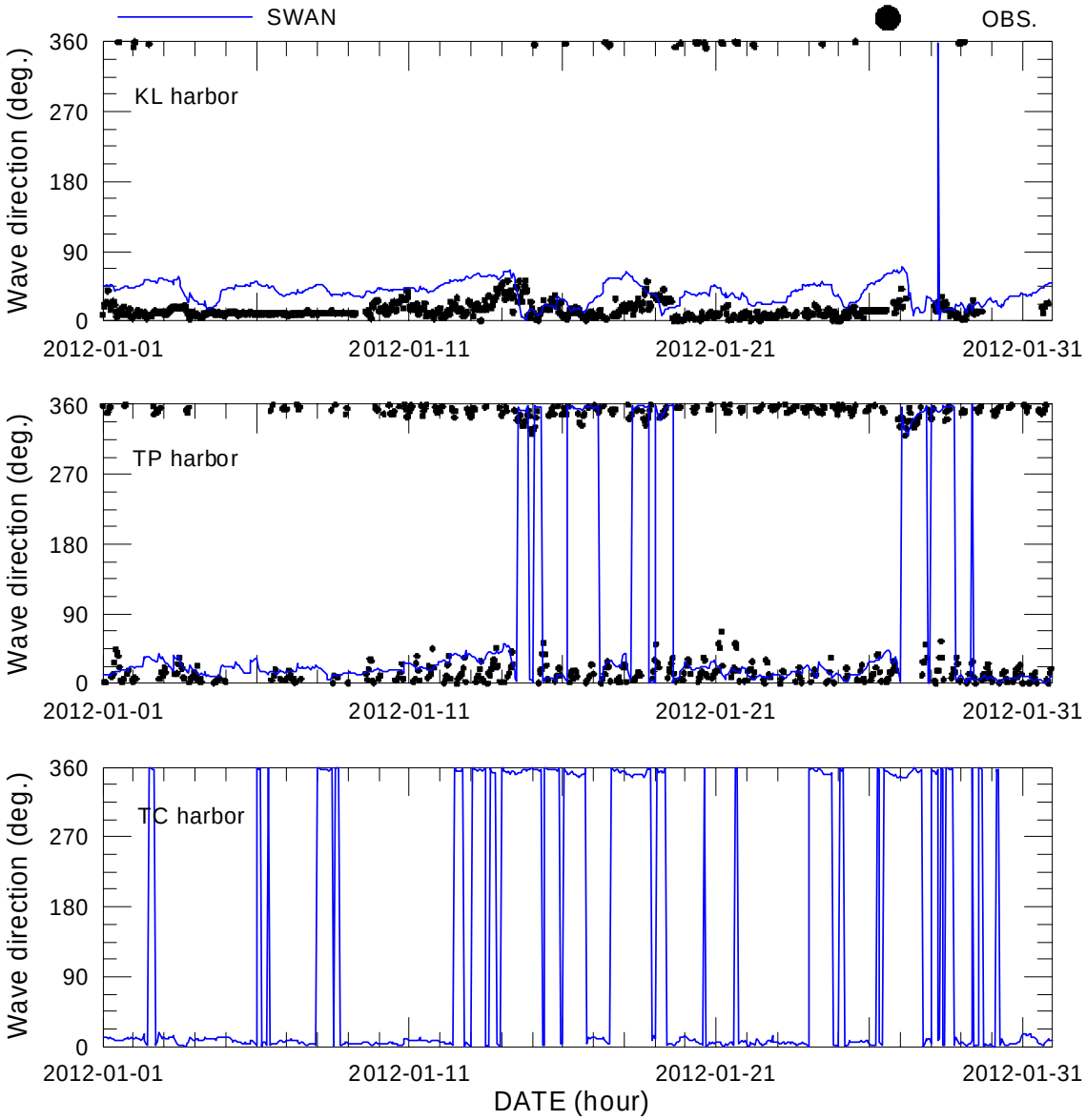


圖 3.87 (續)冬季季風期間臺灣周圍海域範圍風浪模式作業化模擬成果於基隆港(上)、臺北港(中)及臺中港(下)外海波浪平均波向模擬值(實線)與觀測值(圓點)之比較

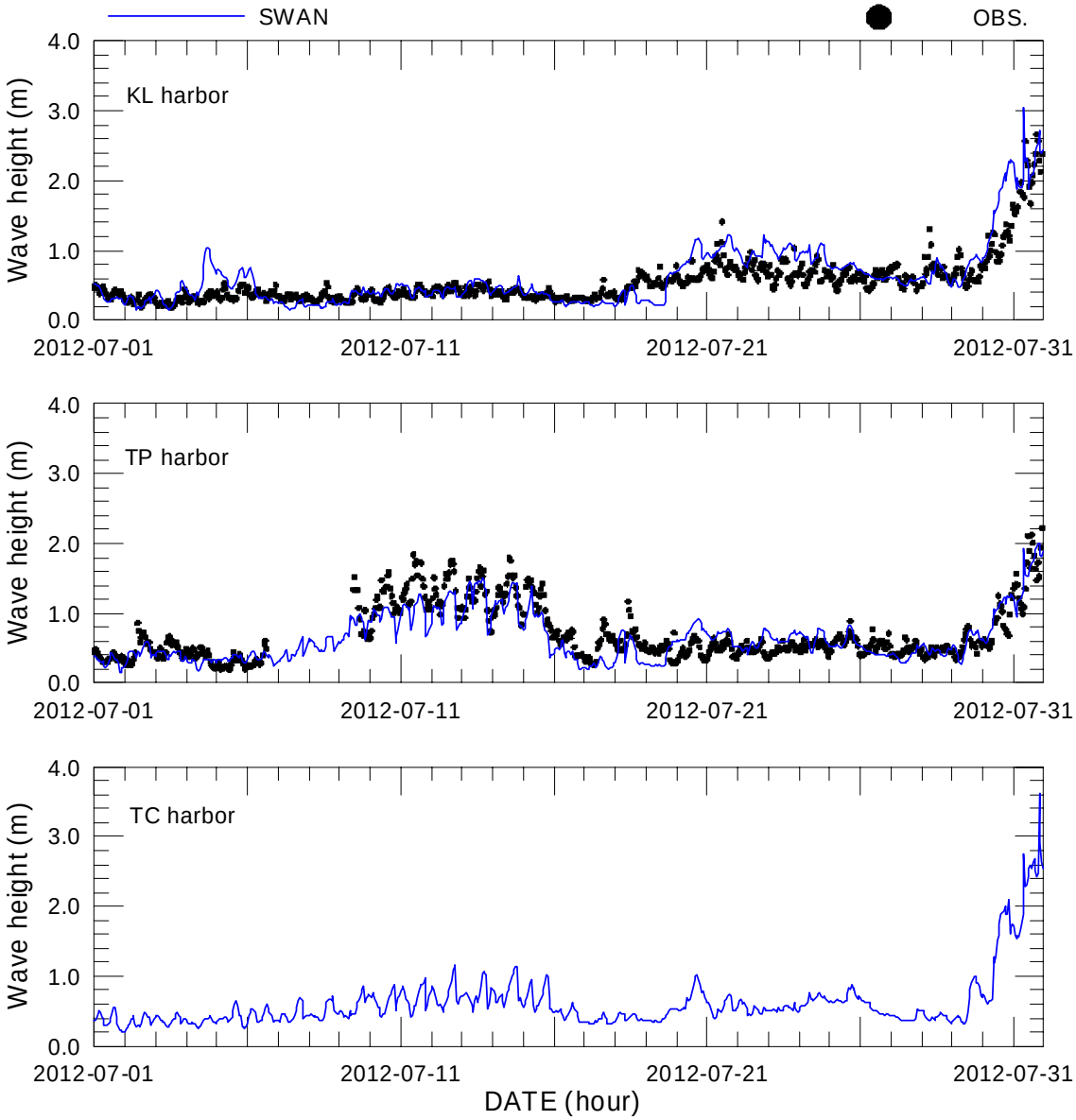


圖 3.88 夏季季風期間臺灣周圍海域範圍風浪模式作業化模擬成果於基隆港(上)、臺北港(中)及臺中港(下)外海示性波高模擬值(實線)與觀測值(圓點)之比較

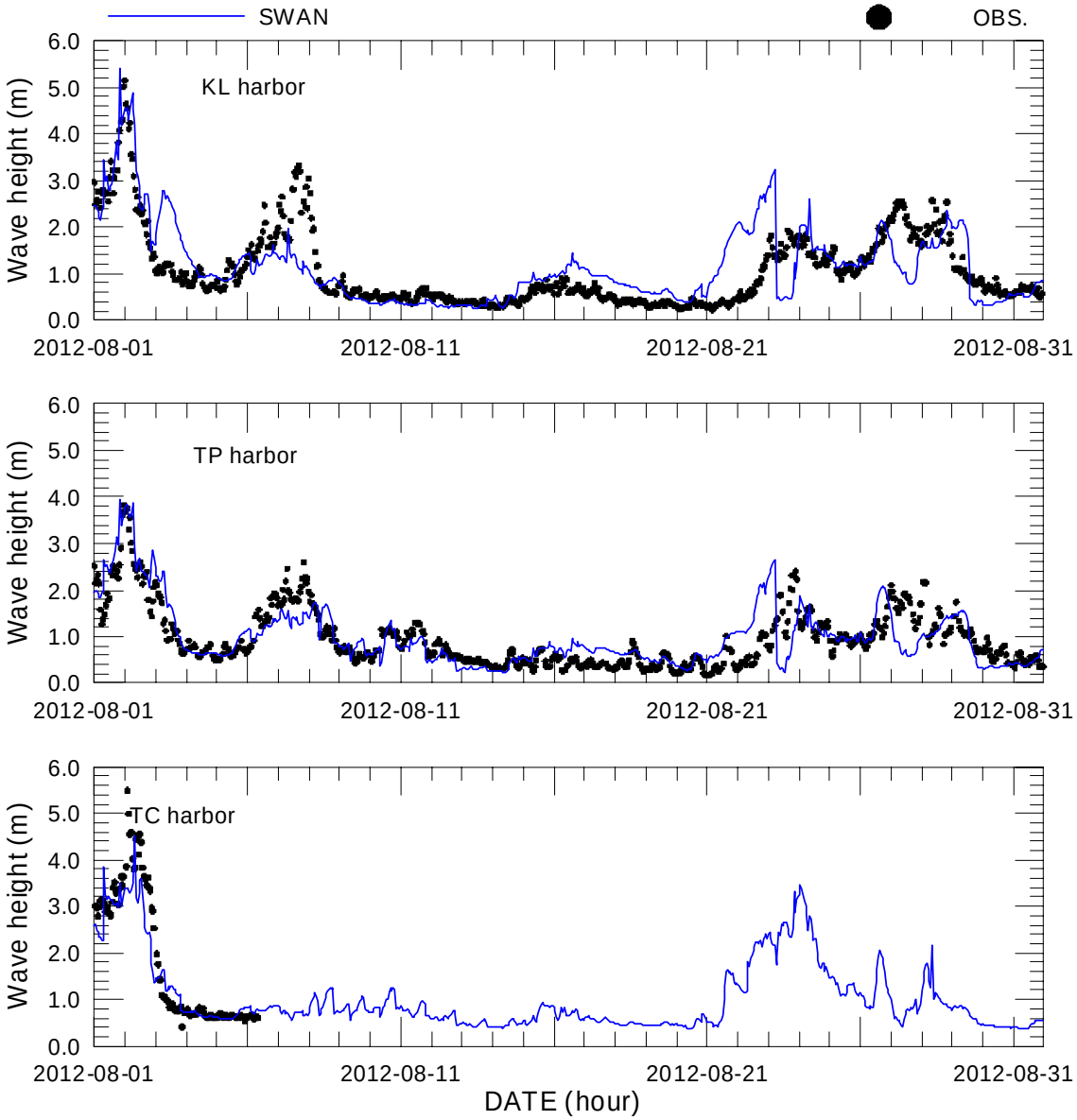


圖 3.88 (續)夏季季風期間臺灣周圍海域範圍風浪模式作業化模擬成果於基隆港(上)、臺北港(中)及臺中港(下)外海示性波高模擬值(實線)與觀測值(圓點)之比較

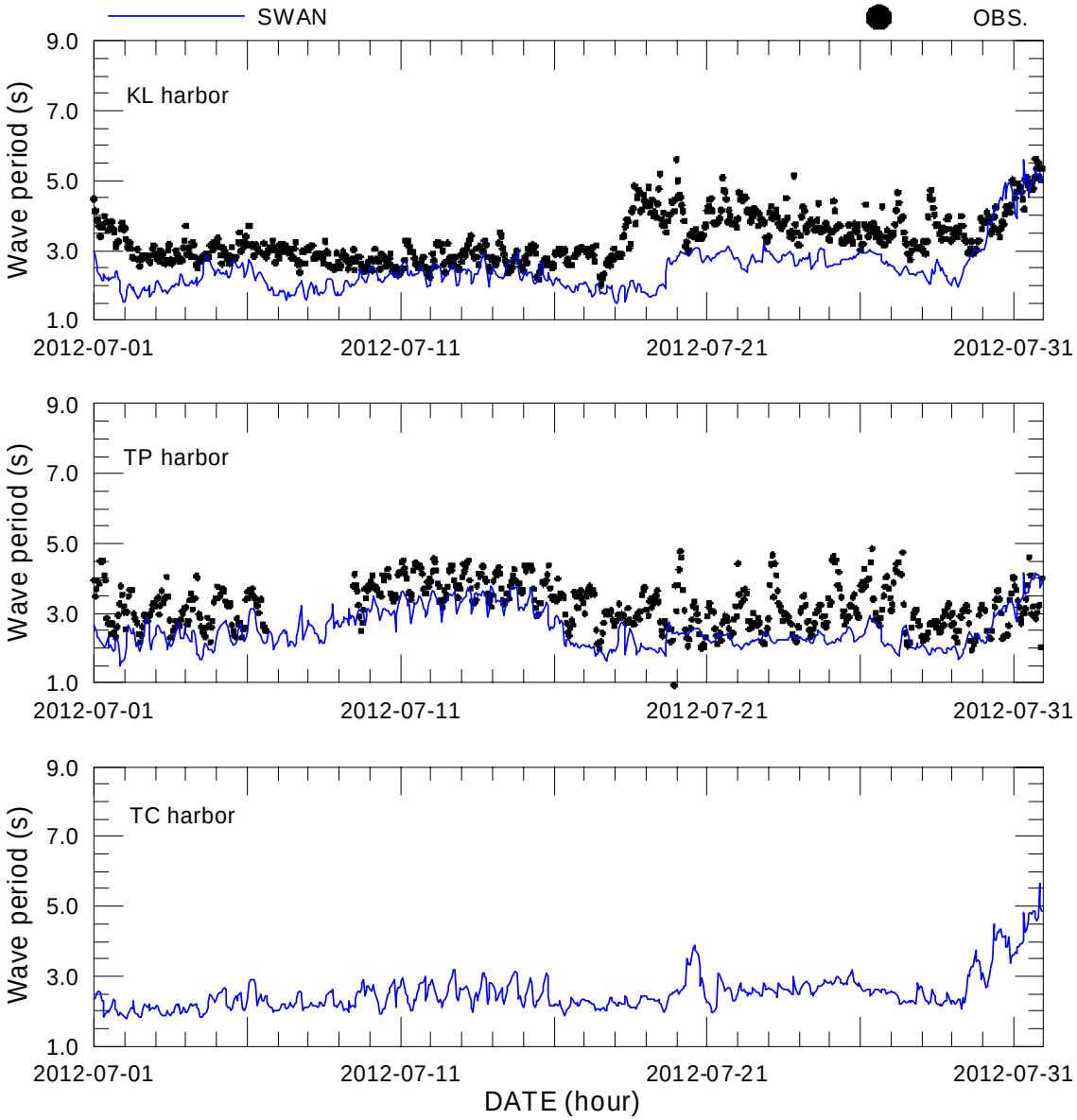


圖 3.89 夏季季風期間臺灣周圍海域範圍風浪模式作業化模擬成果於基隆港(上)、臺北港(中)及臺中港(下)外海波浪平均週期模擬值(實線)與觀測值(圓點)之比較

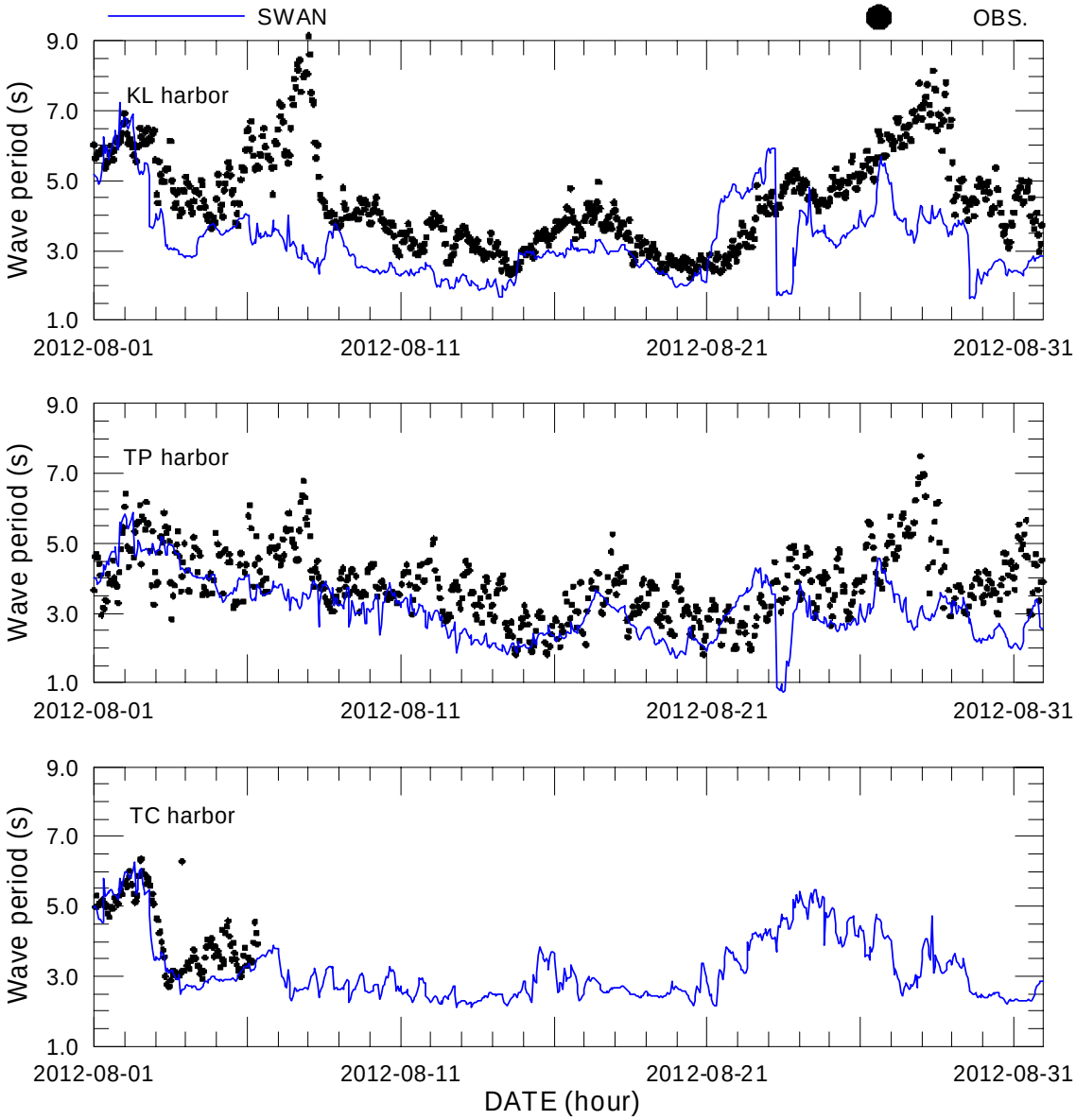


圖 3.89 (續)夏季季風期間臺灣周圍海域範圍風浪模式作業化模擬成果於基隆港(上)、臺北港(中)及臺中港(下)外海波浪平均週期模擬值(實線)與觀測值(圓點)之比較

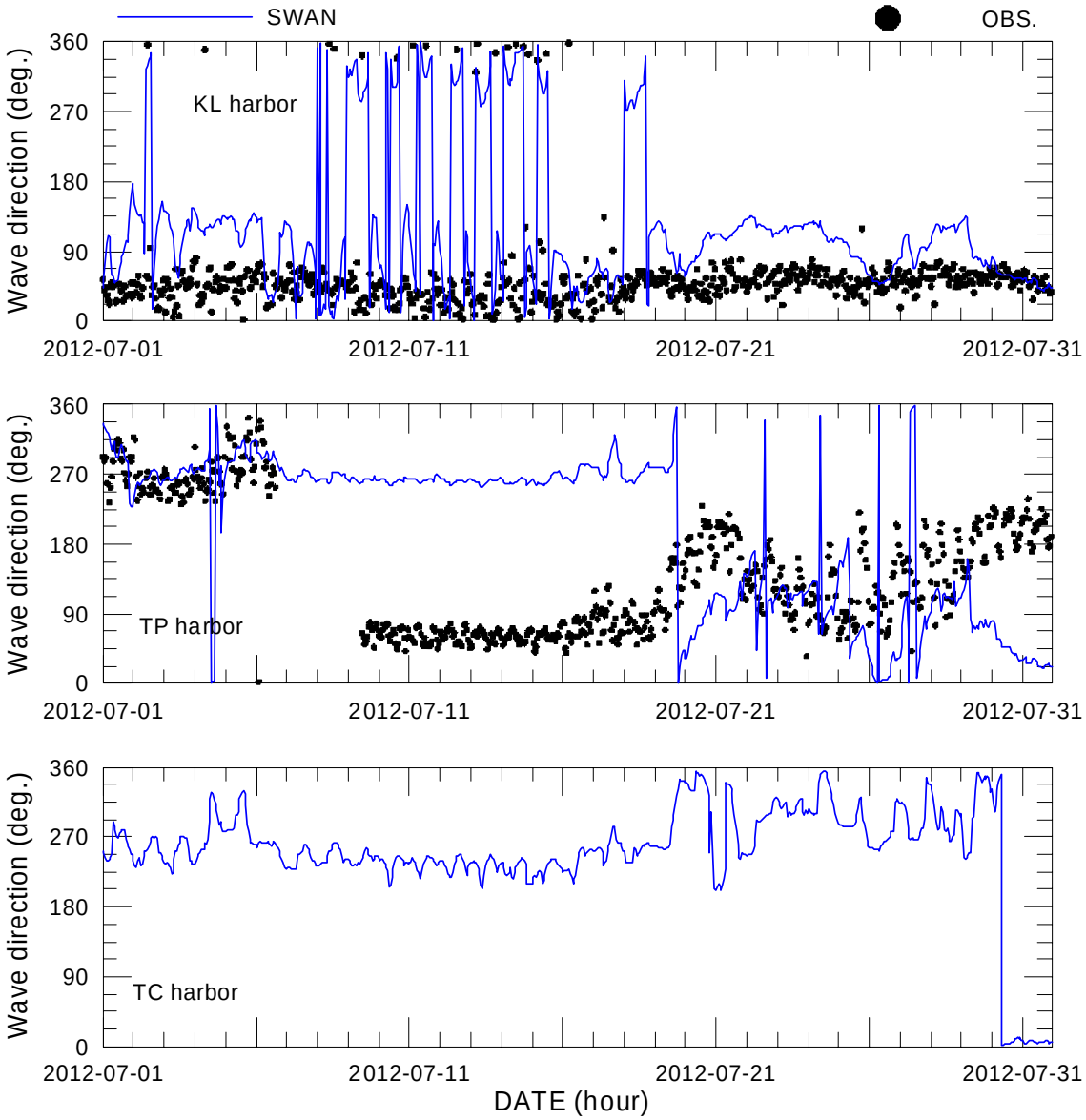


圖 3.90 夏季季風期間臺灣周圍海域範圍風浪模式作業化模擬成果於基隆港(上)、臺北港(中)及臺中港(下)外海波浪平均波向模擬值(實線)與觀測值(圓點)之比較

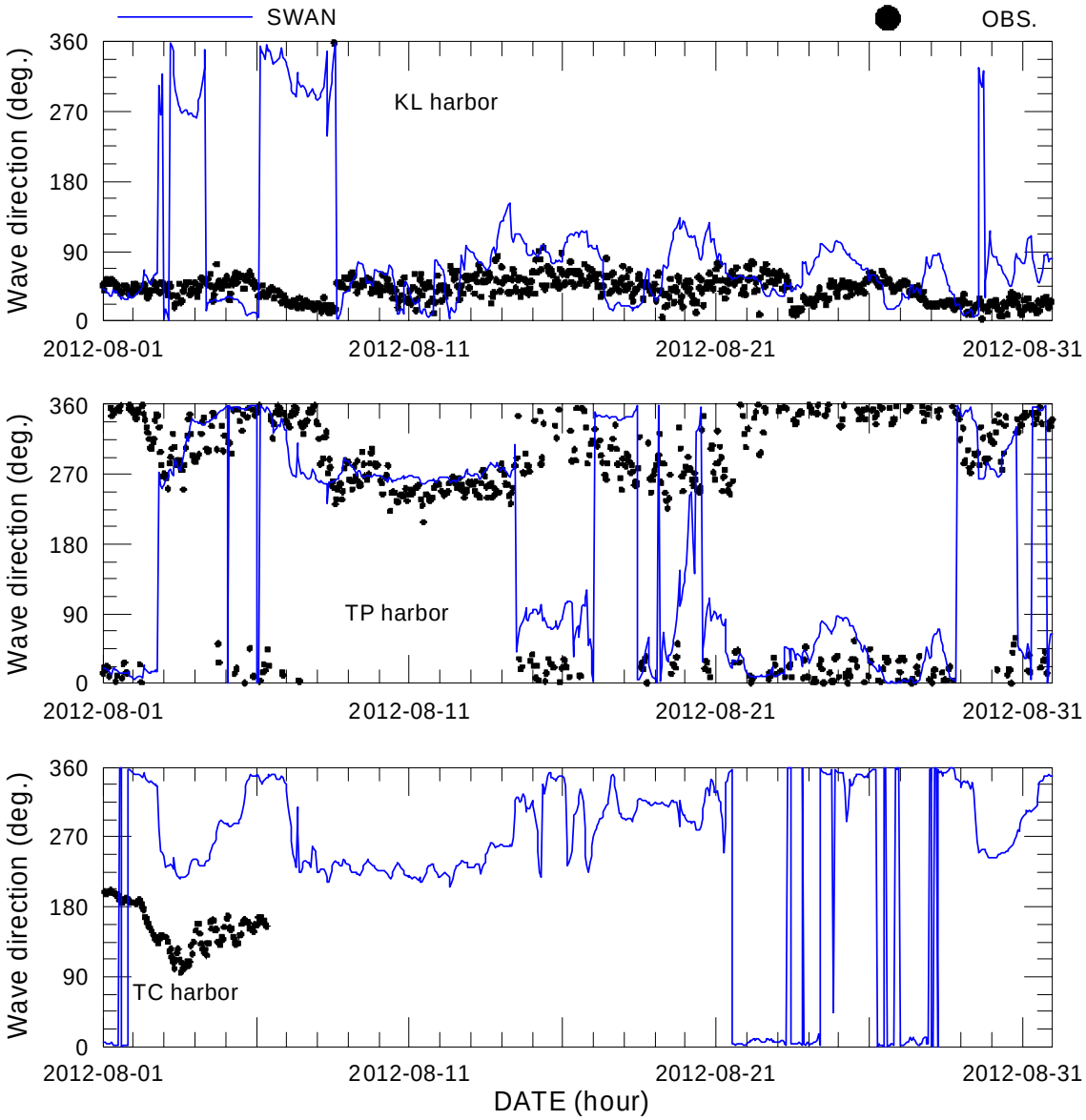


圖 3.90 (續)夏季季風期間臺灣周圍海域範圍風浪模式作業化模擬成果於基隆港(上)、臺北港(中)及臺中港(下)外海波浪平均波向模擬值(實線)與觀測值(圓點)之比較

3.5 小結

計畫內容除了維護現有作業化模擬系統外，另以臺中港域及布袋港域為研究對象，進行風浪及近岸波浪模擬改善研究。

1. 更新 TaiCOMS 作業系統大尺度西太平洋範圍風浪模組、中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組及小尺度港區近岸波浪模組之作業化程式及各模組之相關基本資料。

2. 大尺度西太平洋範圍風浪模組改善研究成果包括：1)修正該模組程式潛在缺點及作業化流程，降低作業化模擬過程因熱啟動可能產生誤差；2)針對模組模擬結果提出平均週期及譜峰週期計算方法改善研究，實質改進以往模擬值較觀測值偏大之假象；3)中域 MC 風場除了其解析度較大域 RC 風場高外，因其風場具有反映臺灣陸地對颱風風場影響的特性，因此建議未來作業化系統改採用中域 MC 風場資料作為本計畫大尺度西太平洋範圍風浪模組之輸入風場；4)提昇模組計算網格解析度之研究結果顯示，網格解析度增加 1 倍時，不僅模擬時間增加 4 倍且對改善模擬結果之效益並不顯著，因此暫不建議改變目前模組之網格解析度。

3. 中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組改善研究有二：1)考量未來建置藍色公路網風浪模擬資訊之需，因此將中尺度模組模擬範圍擴大為東經 117°至 123°、北緯 21°至 27°，將金門及馬祖等離島海面納入 TaiCOMS 風浪作業化模擬對象；2) 進行多核平行化模擬測試藉以提昇中尺度風浪模組之模擬效益。

4. 在小尺度港區近岸波浪模組研究方面除了持續維護基隆港及臺北港小尺度港區近岸波浪模組之運作外，主要成果有更新臺中港小尺度港區近岸波浪模組之基本資料及建置布袋港小尺度港區近岸波浪模組等成果。

5. 本報告風浪模擬作業化成果評估包括：1)本年度侵臺颱風作業化評估共有輕度颱風泰利、杜蘇芮、啟德、中度颱風蘇拉、海葵、天秤及強烈颱風杰拉華等七個，內容主要針對大尺度西太平洋範圍風浪模組及中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組之模擬結果與基隆港區、臺北港區及臺中港區波浪觀測值進行討論及誤差分析：2)長期風浪模擬作業化評估分別針對冬季季風期及夏季季風期等，內容以中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組之模擬結果與基隆港區及臺北港區波浪觀測值進行討論及誤差分析。整體評估結果顯示本計畫中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組之平均週期模擬值仍有較觀測值偏小的現象存在

第四章 水動力模式及作業化預測評估

4.1 水動力模式發展主要內容

目前臺灣環島海象預報系統(Taiwan Coastal Operational Modeling System，TaiCOMS)架構下水動力作業化模擬(預報)系統已架構涵蓋大尺度(西太平洋海域)、中尺度(臺灣周圍海域)及小尺度(基隆港、臺北港、臺中港、安平港、高雄港、花蓮港及蘇澳港等七大港口)等三種不同空間尺度之水動力模式。建構水動力作業化模擬(預報)系統目的在藉由輸入中央氣象局 NFS 預報風場資料模擬海面水位及海流變化，並透過大、中、小三種尺度的作業化模擬，達到對七大商港(即基隆港、臺北港、臺中港、安平港、高雄港、花蓮港及蘇澳港等)外海海流及近岸水位及流場模擬預報之目標，以及提供環島藍色公路及航港局、港務公司及其分公司管轄之各港口航運安全之預警資訊。其中大、中尺度水動力模式已分別於 2005 年度完成預報模擬之作業化程序，並由本所持續運作與維護中。

為延續前期計畫持續對小尺度港域水位和流場模擬、預測和評估進行改善，在作法上則針對個別商港港域進行即時觀測的潮流資料分析，並與模式預測結果比較，藉以檢討和修正所建立模式的計算範圍、邊界條件以及模式所使用各種參數值，除了讓數值模式預測更為精確可靠外，也讓模式預測作業化進行更為有效快速。本期計畫第一年(2011年)主要針對基隆港與臺北港水位及海流模擬子系統之建立提出基隆港與臺北港的水動力修正模式[9]。

本年度為執行本期計畫之第二年，選擇臺中港水位及海流模擬子系統之建立提出臺中港的水動力修正模式，以及建立提出布袋港的水動力修正模式，模式修正(或建立)內容包括模式模擬範圍、港池外廓配置、數值計算網格及邊界條件等。計算結果除提供臺中港與布袋港水動力模式的模擬結果外，並增加考慮風場效應的模擬結果。本研究則接續針對各個港域進行更仔細的潮流預測評估，針對臺中港域與布袋

港域，進行即時觀測的潮流資料分析，修訂計算邊界條件，重新作調整計算。另外，也可以檢討數值模式計算範圍，讓作業化進行的更快速。

4.2 基本資料蒐集與分析

本年度計畫除了針對臺中港持續蒐集近年海象觀測資料如地形水深、潮位及海流等外，另配合臺中港小尺度水動力模式邊界條件更新及布袋港小尺度水動力模式邊界條件建立之需，針對外埔(WP)、臺中港(TC)、鹿港(LK)、箔仔寮(BZ)、東石(DS)及將軍(JG)等潮位站蒐集 2008 年至 2011 年潮位觀測資料並進行潮汐分析。此外，為驗證臺中港及布袋港水動力模式，本計畫亦蒐集本年度(2012 年)臺中港及布袋港海象觀測資料以及侵臺颱風資料進行相關分析與研究。

4.2.1 地形水深

臺中港及布袋港港口附近地形水深資料簡述如下：

(1)臺中港

針對本計畫臺中港港域及其鄰近海域，本計畫蒐集海軍測量局刊行海圖圖號 04509 之水深數化資料及 2011 年臺中港港區全域水深測量資料，後者為臺中港務分公司定期監測資料，高程系統為臺中港築港高程系統，其測量範圍及地形水深如圖 4.1 所示。

(2)布袋港

針對布袋港港域及其鄰近海域，本計畫蒐集到布袋港北邊外傘頂洲附近海域 2003 年及 2011 年地形水深資料、2005 年急水溪至外傘頂洲南邊外海水深資料，以及 2010 年將軍漁港至急水溪外海水深資料，上述資料由成功大學水工試驗所監測；另外，本計畫亦蒐集 2011 年 11

月布袋港港區全域水深測量資料，此為定期監測資料。以上資料經數位化整理後如圖 4.2 所示。

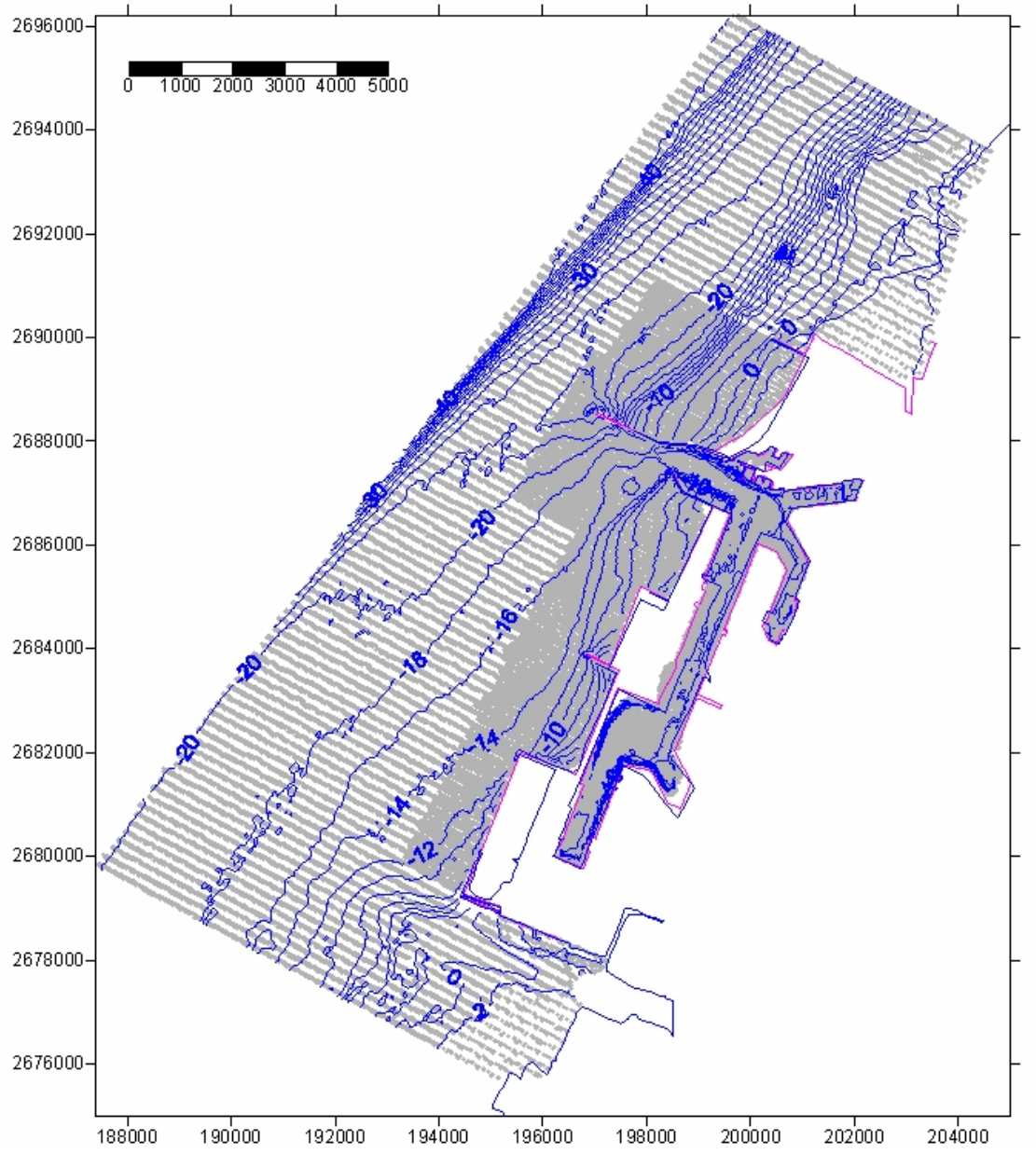


圖 4.1 臺中港模擬範圍及水深分佈圖

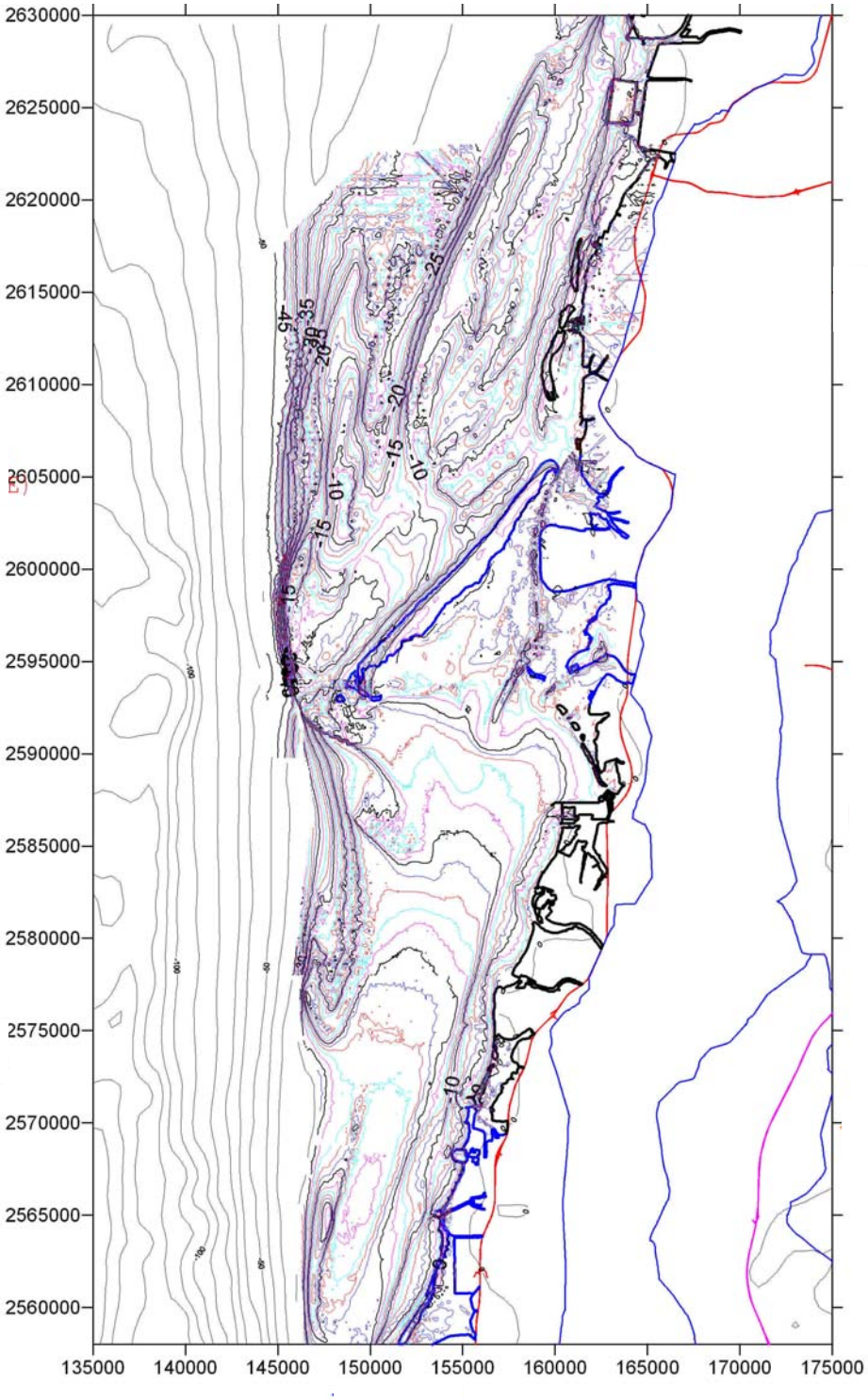


圖 4.2 布袋港附近海域水深分佈圖

4.2.2 潮汐資料分析

本計畫除了延續上年度計畫持續蒐集基隆港與臺北港以及鄰近潮位站(如龍洞、麟山鼻及竹圍漁港等) 2011 年中央氣象局潮汐逐時觀測資料外，並針對本年度計畫主要港口臺中港域及布袋港域鄰近之潮位站(如外埔、臺中港、鹿港、箔仔寮、東石及將軍等)蒐集中央氣象局 2008～2011 年潮汐逐時觀測資料(如附錄 I 所示)進行相關潮汐分析。圖 4.3 所示為上述潮位站位置示意圖，各潮位站潮位特性分述如下：

(1) 基隆港潮位

本計畫蒐集 2008～2011 年中央氣象局基隆港西 33 號碼頭潮位站之潮汐逐時觀測資料，逐月統計其平均潮位(MWL)及最高潮位(HHWL)、平均高潮位(MHWL)、平均低潮位(MLWL)、最低潮位(LLWL)等代表性潮位值，如圖 4.4 所示。2008～2011 年期間基隆港逐時之最高潮位觀測值為 0.957 m，發生於 2009 年 8 月 6 日 23 時(中度颱風莫拉克侵臺期間)。上述基隆港代表性潮位及潮差統計之平均值(2008～2011 年)如下：

最高高潮位(H.H.W.L.)	E.L.+0.957 m
平均高潮位(M.H.W.L.)	E.L.+0.319 m
平均潮位(M.W.L.)	E.L.+0.056 m
平均低潮位(M.L.W.L.)	E.L. –0.170 m
最低低潮位(L.L.W.L.)	E.L. –1.060 m
最大潮位差	1.590 m
平均潮位差	0.847 m

本計畫選取 2009~2011 年經調和分析方法補遺後之潮位資料，以常見 60 個天文分潮數進行調和分析，各分潮之調和常數(振幅及相位)

分析結果如表 4-1 所列；各分潮振幅大小之變化如圖 4.5 所示，圖中以不同符號分別代表低頻分潮、全日潮、半日分潮、1/3 日分朝及淺水分潮等。由調和分析結果顯示基隆港潮位在全日潮成份上以 K_1 分潮振幅較大，其次為 O_1 分潮振幅；在半日潮成份上則以 M_2 分潮振幅為最大，其次以 N_2 分潮振幅較大，S_2 分潮振幅則次之。如以潮型指標計算 $(O_1+K_1)/(M_2+S_2)$之振幅比可得到其值約為 1.231，代表基隆港潮型屬於偏向全日潮之混合潮型。(註：當潮型指標小於 0.5 者屬於半日潮型，大於 1.25 者屬於全日潮型，介於二者之間為混合潮型)

(2) 龍洞

根據 2008～2011 年中央氣象局龍洞南口遊艇港內潮位站之潮汐逐時觀測資料，經計算其逐月統計之平均潮位(MWL)及最高潮位(HHWL)、平均高潮位(MHWL)、平均低潮位(MLWL)、最低潮位(LLWL)等代表性潮位值，如圖 4.6 所示。2008～2011 年期間龍洞潮位站逐時之最高潮位觀測值為 1.308 m，發生於 2008 年 9 月 28 日 17 時主要受到強烈颱風薔蜜侵臺影響；其次，於 2009 年中度颱風莫拉克侵臺期間，龍洞港潮位亦曾出現 1.213 m 觀測值(8 月 7 日 9 時)。上述龍洞潮位站主要代表性潮位及潮差統計之平均值(2008～2011 年)如下：

最高高潮位(H.H.W.L.)	E.L.+1.308 m
平均高潮位(M.H.W.L.)	E.L.+0.302 m
平均潮位(M.W.L.)	E.L.+0.023 m
平均低潮位(M.L.W.L.)	E.L. –0.238 m
最低低潮位(L.L.W.L.)	E.L. –1.109 m
最大潮位差	1.874 m
平均潮位差	0.845 m

同上，本計畫選取龍洞潮位站 2009~2011 年經調和分析方法補遺後之潮位資料進行調和分析，得到各分潮之調和常數(振幅及相位)分析結果如表 4-2 所列，各分潮振幅大小之分布情形如圖 4.7 所示。由調和分析結果顯示龍洞潮位在全日潮成份上以 K_1 分潮振幅較大，其次為 O_1 分潮振幅；在半日潮成份上以 M_2 分潮振幅為最大，S_2 分潮振幅次之。以潮型指標計算$(O_1+K_1)/(M_2+S_2)$之振幅比可得到其值約為 1.152，顯示龍洞潮汐型態屬於混合潮型。相較於基隆港潮位調和分析結果得知，龍洞潮位調和分析結果以主要半日潮成份 S_2 分潮之振幅變大最為顯著，此亦導致龍洞潮位之潮型指標值小於基隆港潮型指標。

(3) 麟山鼻潮位站

根據 2008～2011 年中央氣象局麟山鼻漁港潮位站之逐時潮汐觀測資料，經計算其逐月統計之最高潮位(HHWL)、平均高潮位(MHWL)、平均潮位(MWL) 、平均低潮位(MLWL)、最低潮位(LLWL)等代表性潮位值，如圖 4.8 所示。顯示 2008～2011 年期間麟山鼻潮位站逐時最高潮位觀測值為 1.487 m，發生於 2009 年中度颱風莫拉克侵臺期間(8 月 7 日 0 時)。麟山鼻潮位站主要代表性潮位及潮差統計之平均值(2008～2011 年)如下：

最高高潮位(H.H.W.L.)	E.L.+1.487 m
平均高潮位(M.H.W.L.)	E.L.+0.830 m
平均潮位(M.W.L.)	E.L. –0.024 m
平均低潮位(M.L.W.L.)	E.L. –0.735 m
最低低潮位(L.L.W.L.)	E.L. –1.714 m
最大潮位差	2.954 m
平均潮位差	1.930 m

本計畫選取麟山鼻潮位站 2009~2011 年經調和分析方法補遺後之潮位資料進行調和分析，得到各分潮之調和常數(振幅及相位)分析結果如表 4-3 所列，各分潮振幅大小之分布情形如圖 4.9 所示。依據調和分析結果顯示麟山鼻潮位在全日潮成份上仍以 K_1 分潮振幅較大，其次為 O_1 分潮振幅，其振幅大小相較於基隆港與龍洞分析結果僅略微增加；在半日潮成份上則以 M_2 分潮振幅為最大(約為 0.76 m)，S_2 分潮振幅次之。依據表 4-3 分析結果得知麟山鼻潮位之潮型指標$(O_1+K_1)/(M_2+S_2)$振幅比值約為 0.4294，在潮型指標分類上屬於半日潮型。整體而言，麟山鼻潮位站為本島最北端之潮位站，天文潮由太平洋傳播至此，不僅半日潮振幅顯著增大外，受到淺水效應影響部份淺水分潮(如 M_4 及 MS_4 等)之振幅亦有顯著增大之現象發生。

(4) 竹圍潮位站

依據 2008～2011 年中央氣象局竹圍漁港潮位站之逐時潮汐觀測資料，得知其逐月之最高潮位(HHWL)、平均高潮位(MHWL)、平均潮位(MWL) 、平均低潮位(MLWL)、最低潮位(LLWL)等代表性潮位值，如圖 4.10 所示。2008～2011 年期間竹圍潮位站逐時最高潮位觀測值為 1.948 m，分別出現於 2008 年 6 月及 2008 年 11 月。竹圍潮位站主要代表性潮位及潮差統計之平均值(2008～2011 年)如下：

最高高潮位(H.H.W.L.)	E.L.+1.948 m
平均高潮位(M.H.W.L.)	E.L.+1.285 m
平均潮位(M.W.L.)	E.L.+0.041 m
平均低潮位(M.L.W.L.)	E.L. –1.160 m
最低低潮位(L.L.W.L.)	E.L. –2.291 m
最大潮位差	4.084 m
平均潮位差	2.851 m

本計畫依據竹圍潮位站 2009~2011 年經調和分析方法補遺後之潮位資料進行調和分析，可得到各分潮之調和常數(振幅及相位)分析結果如表 4-4 所列，各分潮振幅大小之分布情形如圖 4.11 所示。顯示竹圍潮位在全日潮成份上以 K_1 分潮振幅(約為 0.228 m)較大，其次為 O_1 分潮振幅(約為 0.195 m)；在半日潮成份上以 M_2 分潮振幅為最大(約為 1.207 m)，S_2 分潮振幅(約為 0.352 m)次之。另依據表 4-4 分析結果得知竹圍潮位之潮型指標$(O_1+K_1)/(M_2+S_2)$振幅比值約為 0.271，顯示竹圍海域潮位屬於半日潮型。

(5) 外埔潮位站

依據 2008～2011 年中央氣象局外埔漁港潮位站之逐時潮汐觀測資料，得知其逐月之最高潮位(HHWL)、平均高潮位(MHWL)、平均潮位(MWL)、平均低潮位(MLWL)、最低潮位(LLWL)等代表性潮位值，如圖 4.12 所示。由於外埔漁港潮位站在大潮期間潮位觀測明顯受到退潮影響，導致部份退潮時段觀測記錄失真而被移除，受此現象影響上述潮位逐月統計結果在平均低潮位(MLWL)及最低潮位(LLWL)上已失去參考價值。此外，2008～2011 年期間外埔潮位站逐時最高潮位觀測值為 2.933 m，發生於 2011 年 9 月 28 日 11 時；外埔潮位站之主要代表性潮位之統計平均值(2008～2011 年)如下：

最高高潮位(H.H.W.L.)	E.L.+2.933 m
平均高潮位(M.H.W.L.)	E.L.+1.633 m
平均潮位(M.W.L.)	E.L.+0.185 m
平均低潮位(M.L.W.L.)	E.L. –1.476 m
最低低潮位(L.L.W.L.)	E.L. –2.431 m
最大潮位差[*1]	5.267 m
平均潮位差[*1]	3.702 m

基於本計畫採用的調和分析方法並無法有效地將低水位資料補遺，因此本計畫未進一步針對外埔站潮位資料進行天文潮調和分析。

(6) 臺中港潮位站

由於港灣技術研究中心外海水位觀測資料無固定的潮位基準，因此本計畫蒐集2008～2011年中央氣象局臺中港4號碼頭潮位站(內政部設置)之逐時潮汐觀測資料，計算其逐月之最高潮位(HHWL)、平均高潮位(MHWL)、平均潮位(MWL)、平均低潮位(MLWL)、最低潮位(LLWL)等代表性潮位值，如圖 4.13 所示。2008～2011 年期間臺中港逐時之最高潮位觀測值為 3.075 m，發生於 2011 年 9 月 28 日 11 時。臺中港之主要代表性潮位及潮差之統計平均值(2008～2011 年)如下：

最高高潮位(H.H.W.L.)	E.L.+3.075 m
平均高潮位(M.H.W.L.)	E.L.+1.946 m
平均潮位(M.W.L.)	E.L.+0.137 m
平均低潮位(M.L.W.L.)	E.L. –1.679 m
最低低潮位(L.L.W.L.)	E.L. –3.184 m
最大潮位差	5.753 m
平均潮位差	4.059 m

本計畫依據上述臺中港潮位站 2009~2011 年經調和分析方法補遺後之潮位資料進行調和分析，可得到各分潮之調和常數(振幅及相位)分析結果如表 4-5 所列，各分潮振幅大小之分布情形如圖 4.14 所示。顯示臺中港潮位之全日潮成份以 K_1 分潮振幅(約為 0.254 m)較大，其次為 O_1 分潮振幅(約為 0.219 m)；半日潮成份以 M_2 分潮振幅為最大(約為 1.791 m)，S_2 分潮振幅(約為 0.526 m)次之。另依據表 4-5 分析結果得知臺中港潮位之潮型指標$(O_1+K_1)/(M_2+S_2)$振幅比值約為 0.204，顯示臺中港海域潮汐為典型的半日潮。

(7) 鹿港潮位站

本計畫蒐集國立成功大學水工試驗所 2008～2011 年在鹿港地區之逐時潮汐觀測資料，計算其逐月之最高潮位(HHWL)、平均高潮位(MHWL)、平均潮位(MWL)、平均低潮位(MLWL)、最低潮位(LLWL)等代表性潮位值，如圖 4.15 所示；結果顯示 2008～2011 年期間鹿港海域逐時之最高潮位觀測值為 3.29 m，分別發生於 2011 年 8 月 31 日 0 時及 9 月 28 日 11 時。鹿港海域之主要代表性潮位及潮差之統計平均值(2008～2011 年)如下：

最高高潮位(H.H.W.L.)	E.L.+3.290 m
平均高潮位(M.H.W.L.)	E.L.+2.244 m
平均潮位(M.W.L.)	E.L.+0.360 m
平均低潮位(M.L.W.L.)	E.L. –1.426 m
最低低潮位(L.L.W.L.)	E.L. –2.770 m
最大潮位差	5.630 m
平均潮位差	4.016 m

本計畫依據上述鹿港潮位站 2009~2011 年經調和分析方法補遺後之潮位資料進行調和分析，可得到各分潮之調和常數(振幅及相位)分析結果如表 4-6 所列，各分潮振幅大小之分布情形如圖 4.16 所示。顯示鹿港潮位之全日潮成份以 K_1 分潮振幅(約為 0.263 m)較大，其次為 O_1 分潮振幅(約為 0.227 m)；半日潮成份以 M_2 分潮振幅為最大(約為 1.782 m)，S_2 分潮振幅(約為 0.513 m)次之。相較於臺中港潮位分析結果顯示，鹿港潮位之全日潮分潮 K_1 及 O_1 振幅略增，但半日潮分潮 M_2 及 S_2 振幅則略減。依據表 4-6 分析結果計算鹿港潮位之潮型指標值約為 0.213，略大於臺中港海域之潮型指標值，亦為典型之半日潮型。

(8) 箔子寮潮位站

依據2008～2011年中央氣象局箔子寮漁港潮位站之逐時潮汐觀測資料，得知其逐月之最高潮位(HHWL)、平均高潮位(MHWL)、平均潮位(MWL)、平均低潮位(MLWL)、最低潮位(LLWL)等代表性潮位值，如圖 4.17 所示。2008～2011 年期間箔子寮漁港逐時之最高潮位觀測值為 2.488 m，發生於 2011 年 8 月 29 日 11 時。不同於前述外埔潮位站因大潮低潮位資料無法量測而失真，箔子寮漁港潮位站潮位觀測資料則呈現出高潮位資料失真現象，而此一現象直至 2011 年始有改善。因此本計畫僅以 2011 年潮位資料統計箔子寮潮位站之主要代表性潮位及潮差之平均值如下：

最高高潮位(H.H.W.L.)	E.L.+2.488 m
平均高潮位(M.H.W.L.)	E.L.+1.627 m
平均潮位(M.W.L.)	E.L.+0.483 m
平均低潮位(M.L.W.L.)	E.L. –0.520 m
最低低潮位(L.L.W.L.)	E.L. –1.355 m
最大潮位差	3.540 m
平均潮位差	2.531 m

本計畫依據上述箔子寮潮位站 2011 年經調和分析方法補遺後之潮位資料進行調和分析，可得到各分潮之調和常數(振幅及相位)分析結果如表 4-7 所列，各分潮振幅大小之分布情形如圖 4.18 所示。顯示箔子寮潮位之全日潮 K_1 分潮振幅約為 0.226 m，O_1 分潮振幅約為 0.191 m；半日潮 M_2 分潮振幅約為 1.056 m，S_2 分潮振幅約為 0.278 m。依據表 4-7 分析結果計算箔子寮潮位之潮型指標值約為 0.313，因此箔子寮海域潮汐型態屬於半日潮型。

(9) 東石潮位站

依據2008～2011年中央氣象局東石漁港潮位站之逐時潮汐觀測資料，得知其逐月之最高潮位(HHWL)、平均高潮位(MHWL)、平均潮位(MWL)、平均低潮位(MLWL)、最低潮位(LLWL)等代表性潮位值，如圖 4.19 所示。2008～2011 年期間東石漁港逐時之最高潮位觀測值為2.154 m，發生於 2011 年 8 月 29 日 11 時。東石潮位站之主要代表性潮位及潮差之統計平均值(2008～2011 年)如下：

最高高潮位(H.H.W.L.)	E.L.+2.154 m
平均高潮位(M.H.W.L.)	E.L.+1.175 m
平均潮位(M.W.L.)	E.L.+0.438 m
平均低潮位(M.L.W.L.)	E.L. –0.215 m
最低低潮位(L.L.W.L.)	E.L. –1.171 m
最大潮位差	2.722 m
平均潮位差	1.765 m

同上述箔子寮潮位站，本計畫選取東石潮位站 2011 年經調和分析方法補遺後之潮位資料進行調和分析，可得到各分潮之調和常數(振幅及相位)分析結果如表 4-8 所列，各分潮振幅大小之分布情形如圖 4.20 所示。依據調和分析結果得知東石潮位之全日潮 K_1 分潮振幅約為 0.207 m， O_1 分潮振幅約為 0.180 m；半日潮 M_2 分潮振幅約為 0.675 m)，S_2 分潮振幅約為 0.161 m。同理，依據表 4-8 分析結果計算東石潮位之潮型指標值約為 0.463，因此東石海域潮汐型態雖仍屬於半日潮型，但已偏向混合潮型。

(10) 將軍潮位站

依據2008～2011年中央氣象局將軍漁港潮位站之逐時潮汐觀測資料，得知其逐月之最高潮位(HHWL)、平均高潮位(MHWL)、平均潮位(MWL)、平均低潮位(MLWL)、最低潮位(LLWL)等代表性潮位值，如圖 4.21 所示。2008～2011 年期間將軍漁港逐時之最高潮位觀測值為1.522 m，發生於 2011 年 8 月 29 日 10 時。將軍潮位站之主要代表性潮位及潮差之統計平均值(2008～2011 年)如下：

最高高潮位(H.H.W.L.)	E.L.+1.522 m
平均高潮位(M.H.W.L.)	E.L.+0.885 m
平均潮位(M.W.L.)	E.L.+0.328 m
平均低潮位(M.L.W.L.)	E.L. –0.173 m
最低低潮位(L.L.W.L.)	E.L. –1.005 m
最大潮位差	2.199 m
平均潮位差	1.419 m

同上述箔子寮及東石等潮位站，本計畫選取將軍潮位站 2011 年經調和分析方法補遺後之潮位資料進行調和分析，可得到各分潮之調和常數(振幅及相位)分析結果如表 4-9 所列，各分潮振幅大小之分布情形如圖 4.22 所示。依據調和分析結果得知將軍潮位之全日潮 K_1 分潮振幅約為 0.208 m，O_1 分潮振幅約為 0.181 m；半日潮 M_2 分潮振幅約為 0.517 m)，S_2 分潮振幅約為 0.112 m。同理，依據表 4-9 分析結果計算將軍潮位之潮型指標值約為 0.617，因此將軍海域潮汐型態偏向半日潮之混合潮型。

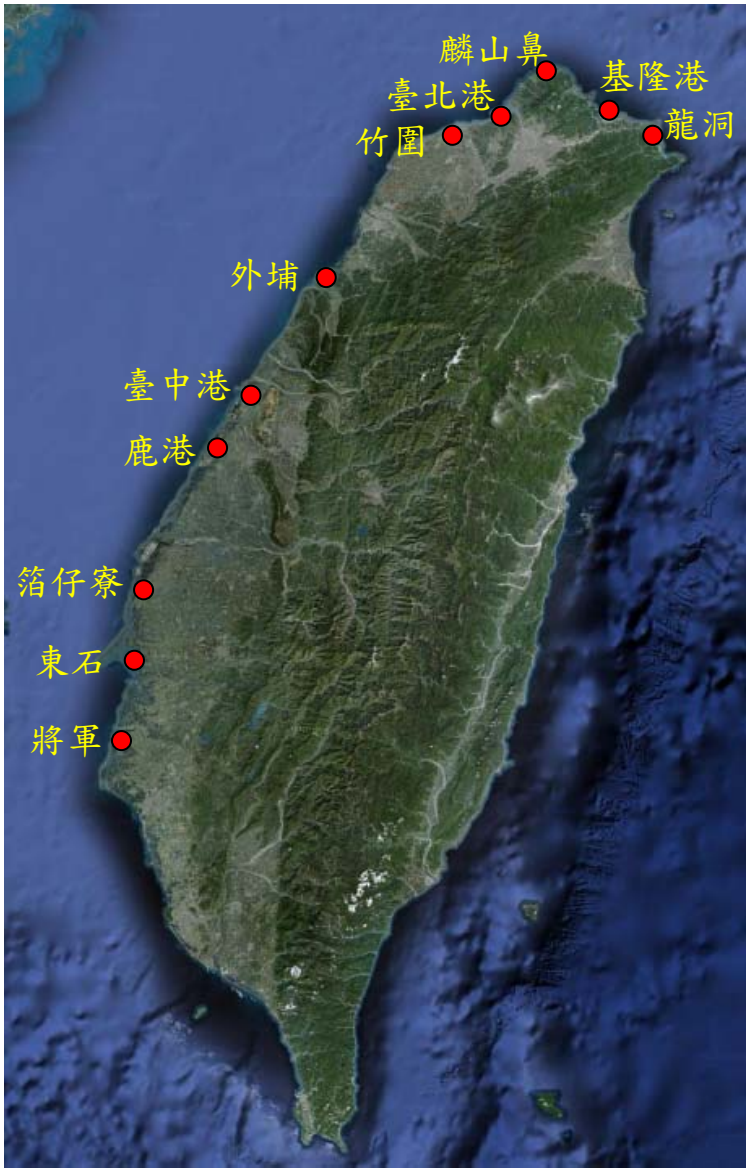


圖 4.3 本年度潮位資料蒐集之潮位站位置示意圖

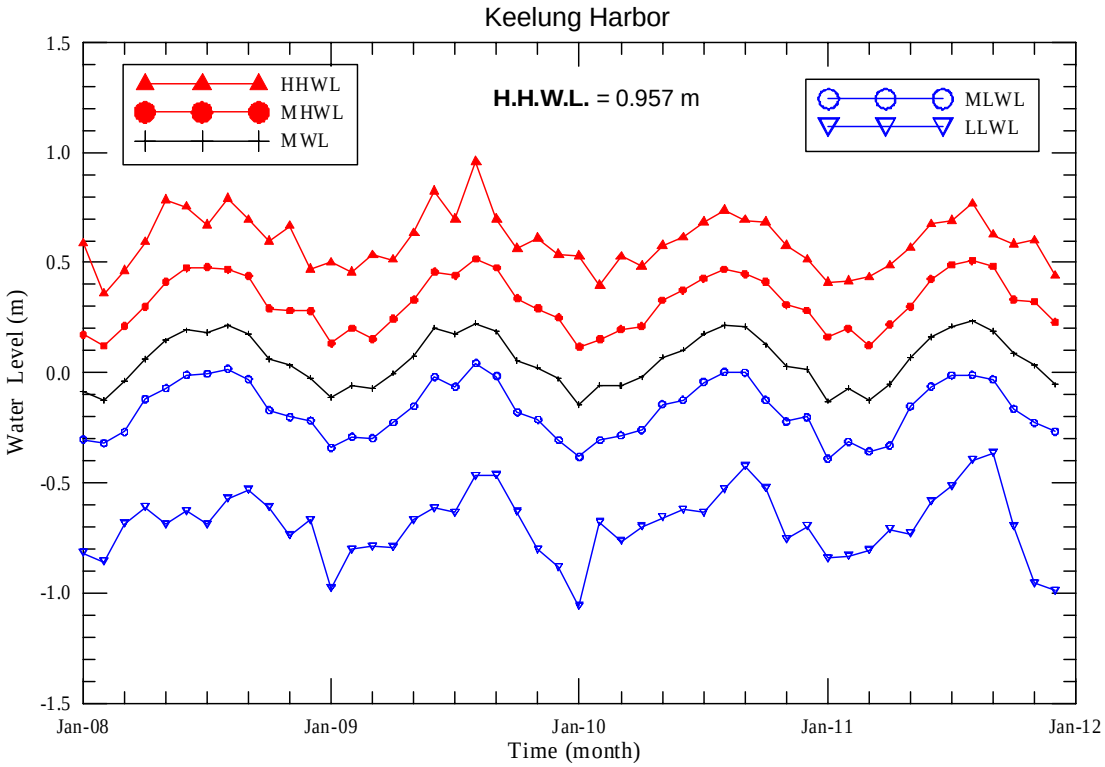


圖 4.4 基隆港 2008～2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖

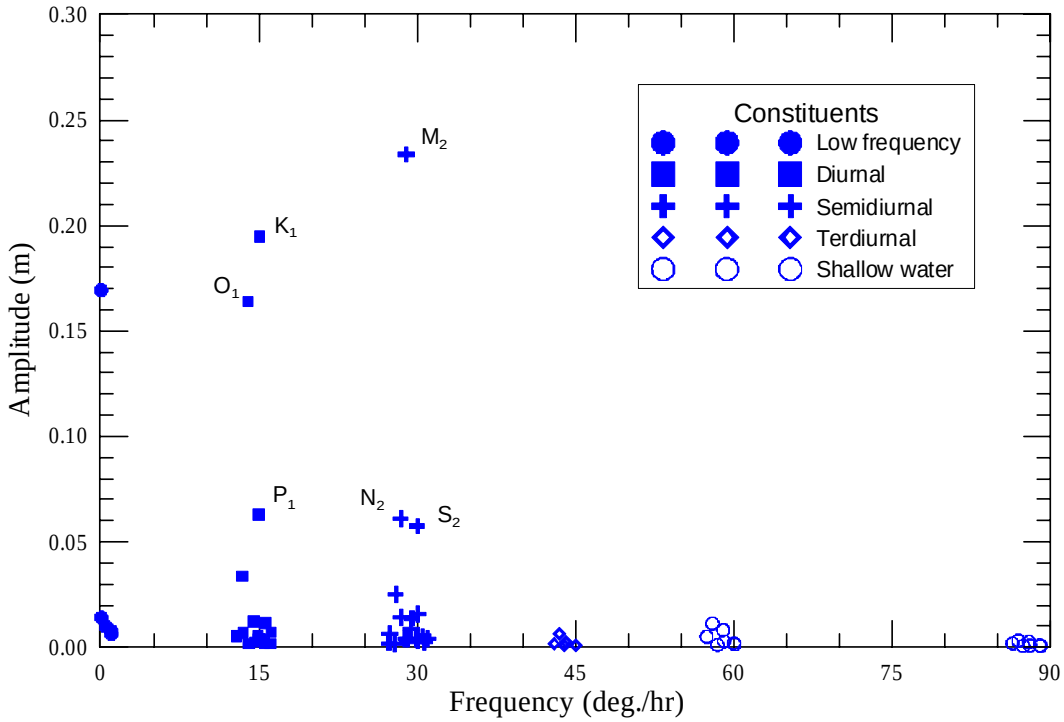


圖 4.5 基隆港潮位(2009～2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖

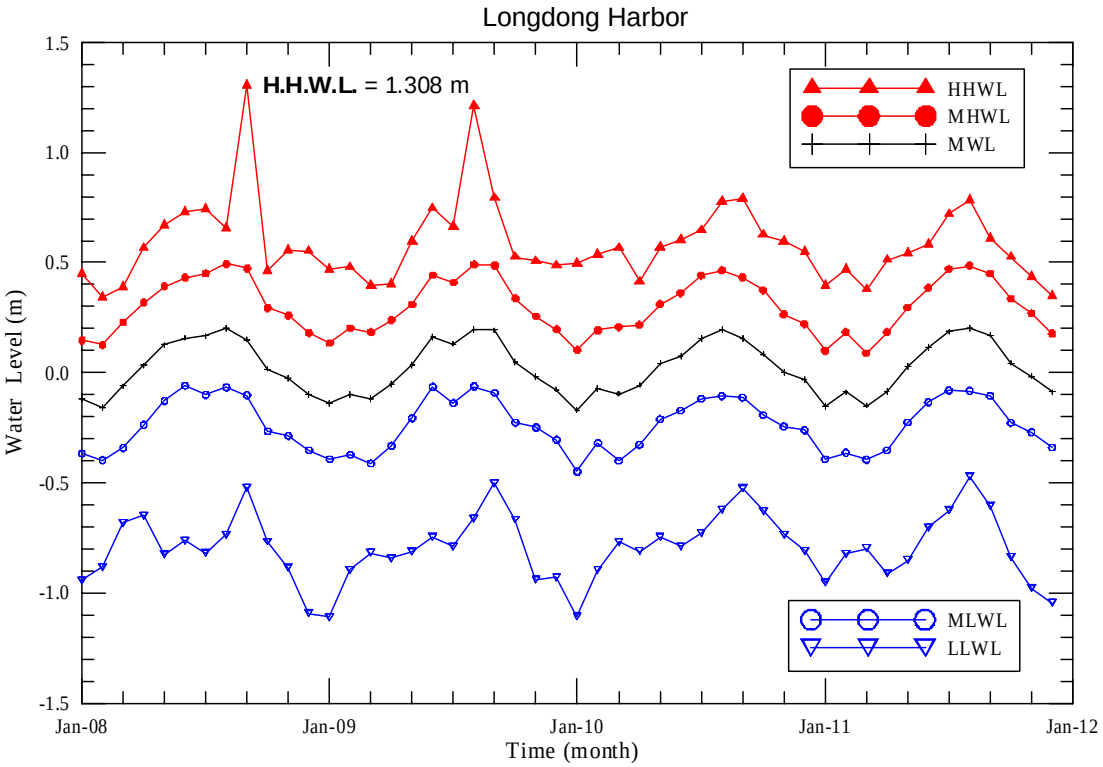


圖 4.6 龍洞 2008～2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖

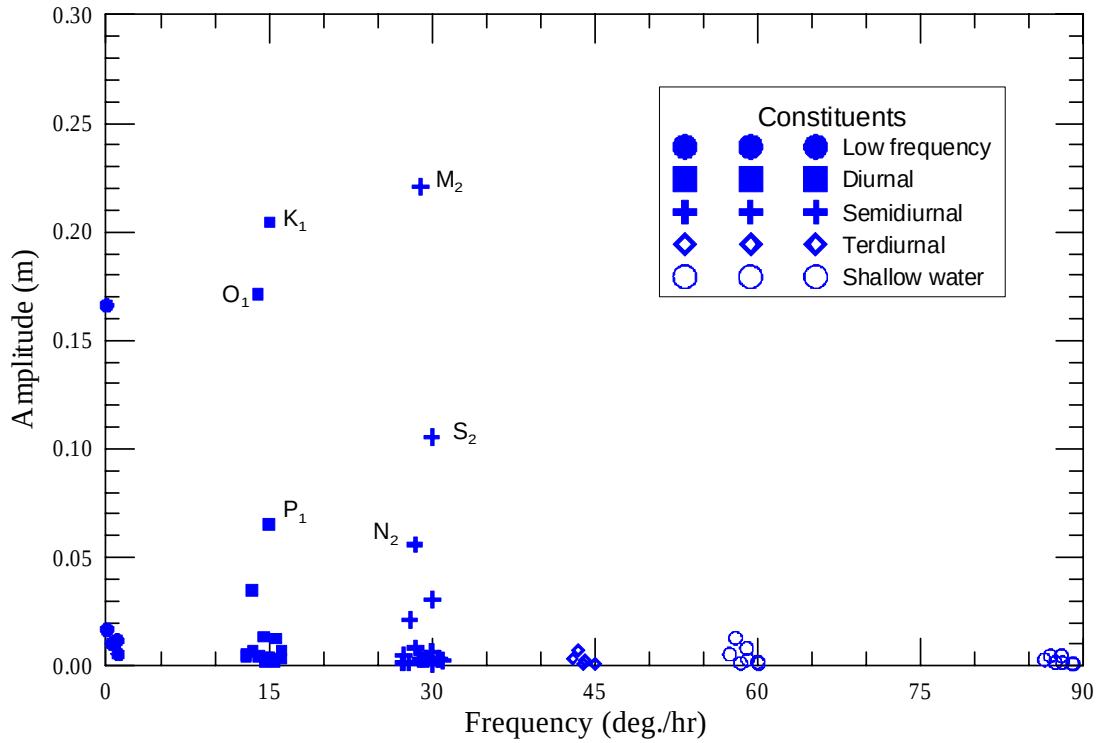


圖 4.7 龍洞潮位(2009～2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖

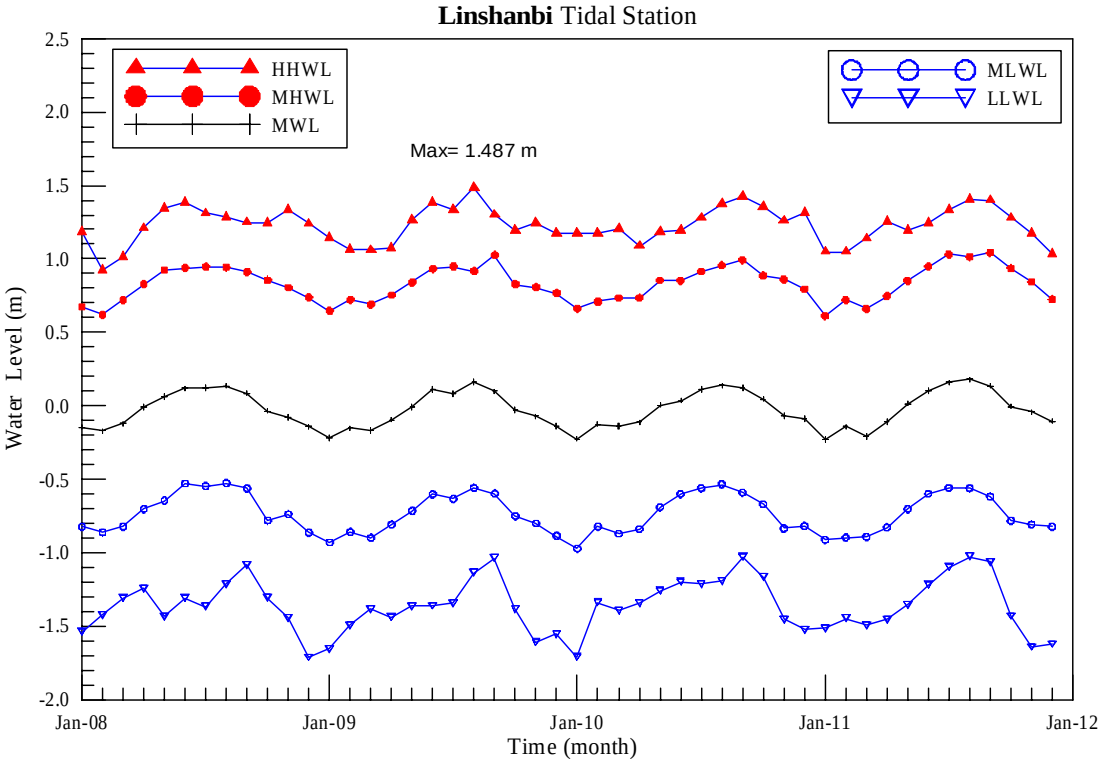


圖 4.8 麟山鼻潮位站 2008～2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖

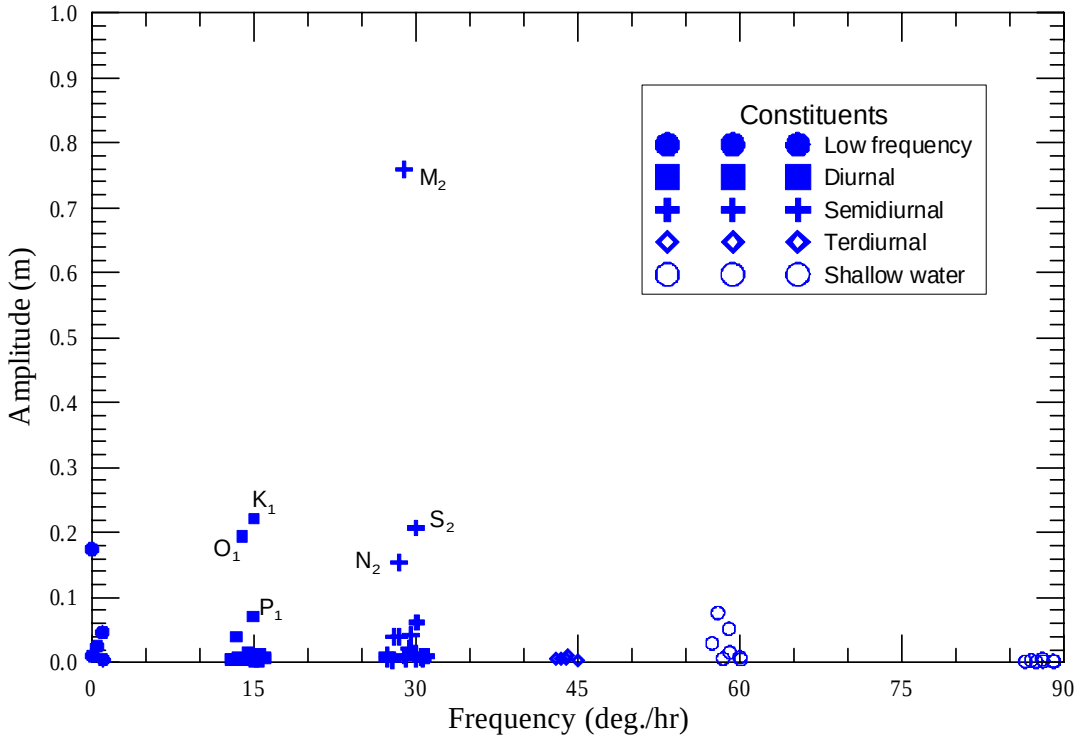


圖 4.9 麟山鼻潮位(2009～2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖

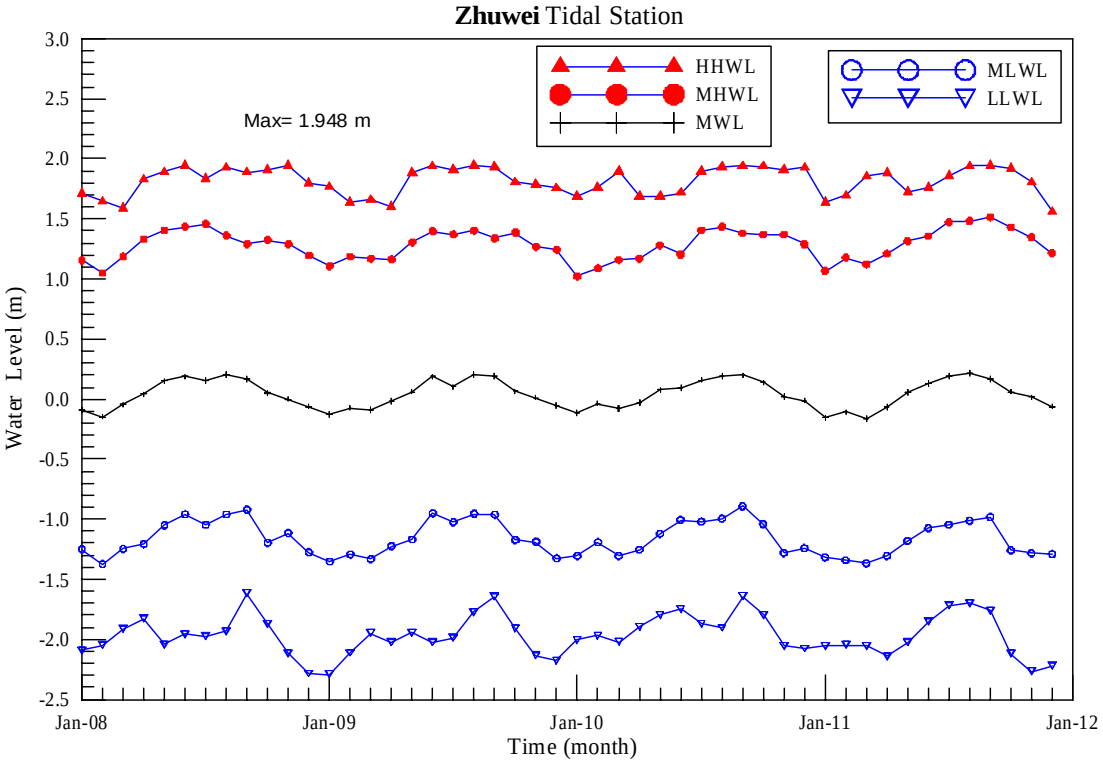


圖 4.10 竹圍潮位站 2008～2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖

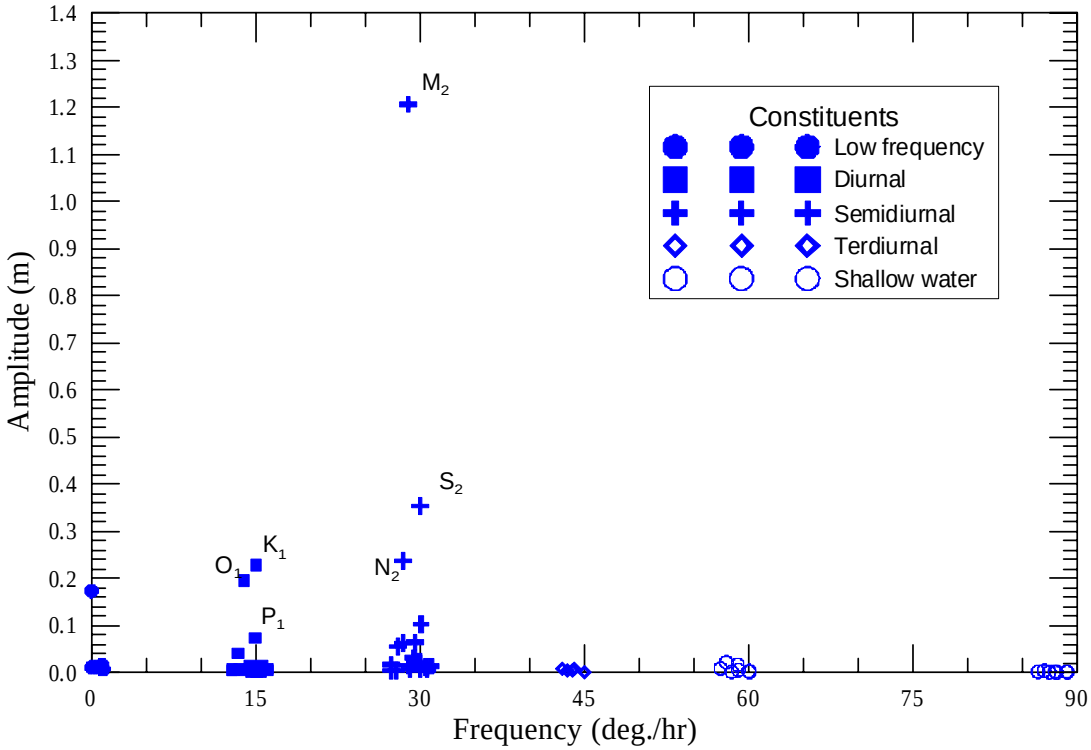


圖 4.11 竹圍潮位(2009～2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖

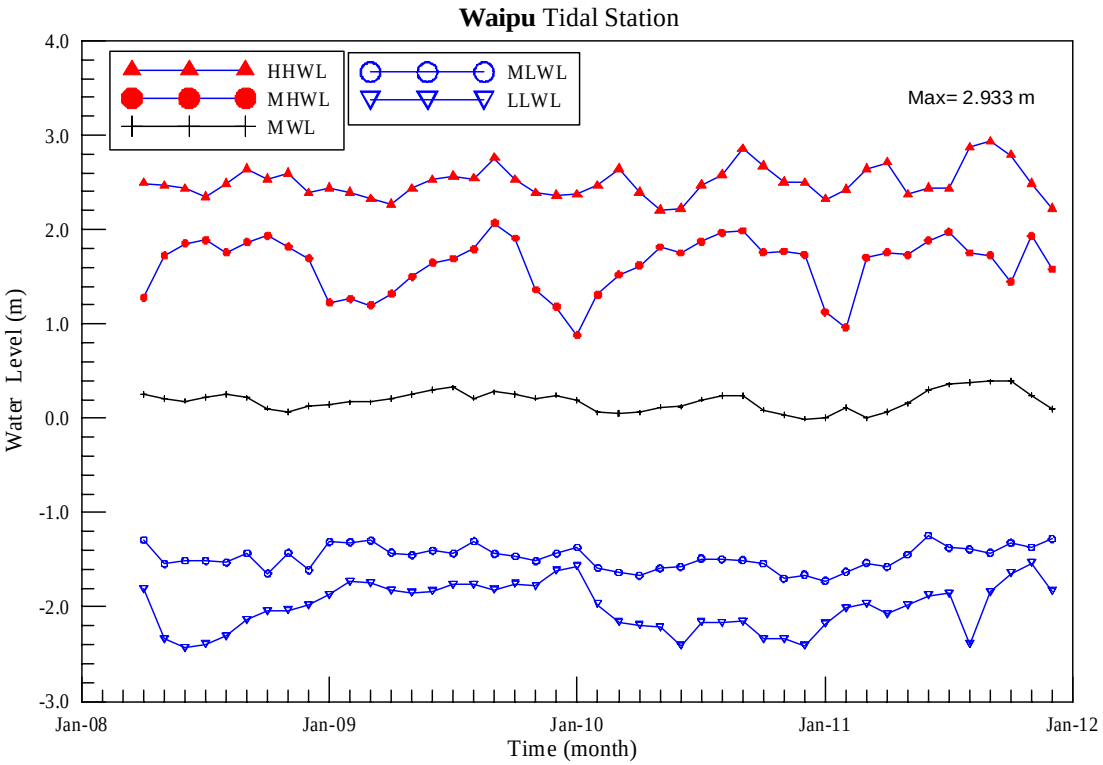


圖 4.12 外埔潮位站 2008～2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖

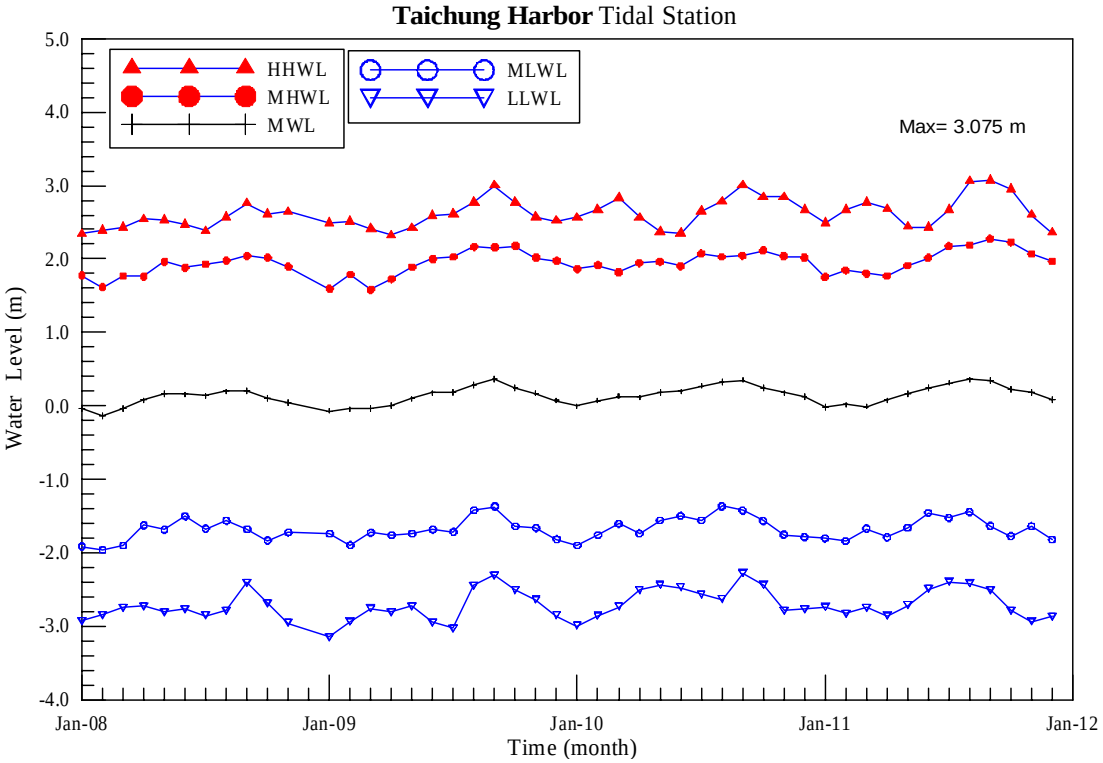


圖 4.13 臺中港潮位站 2008～2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖

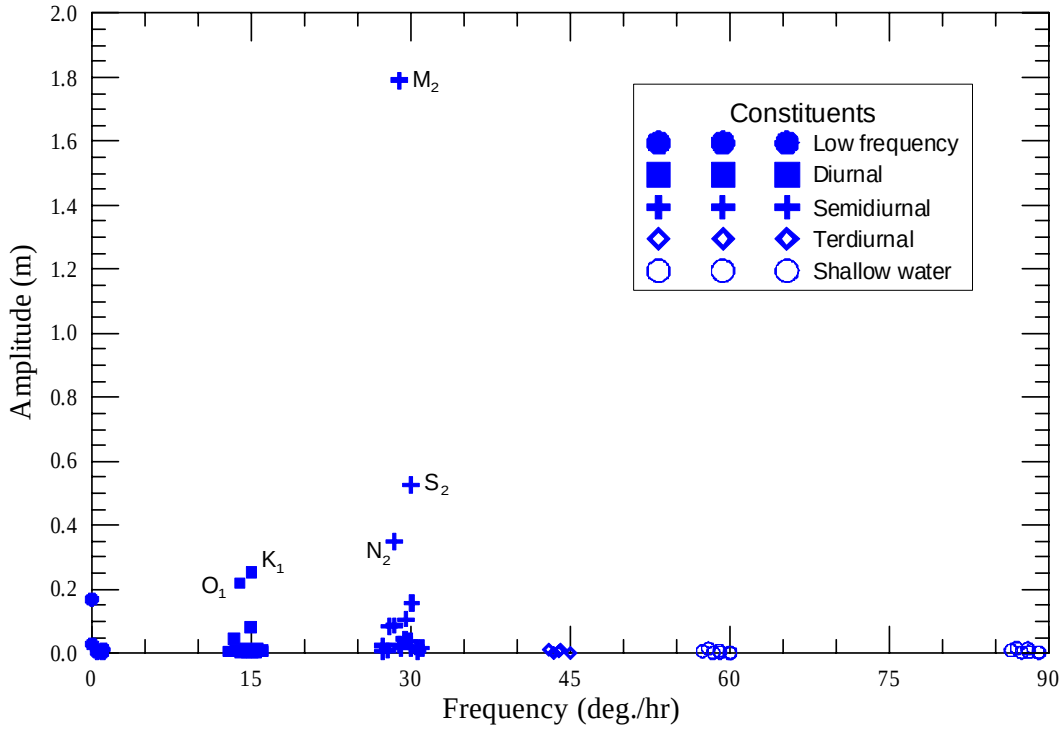


圖 4.14 臺中港潮位(2009～2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖

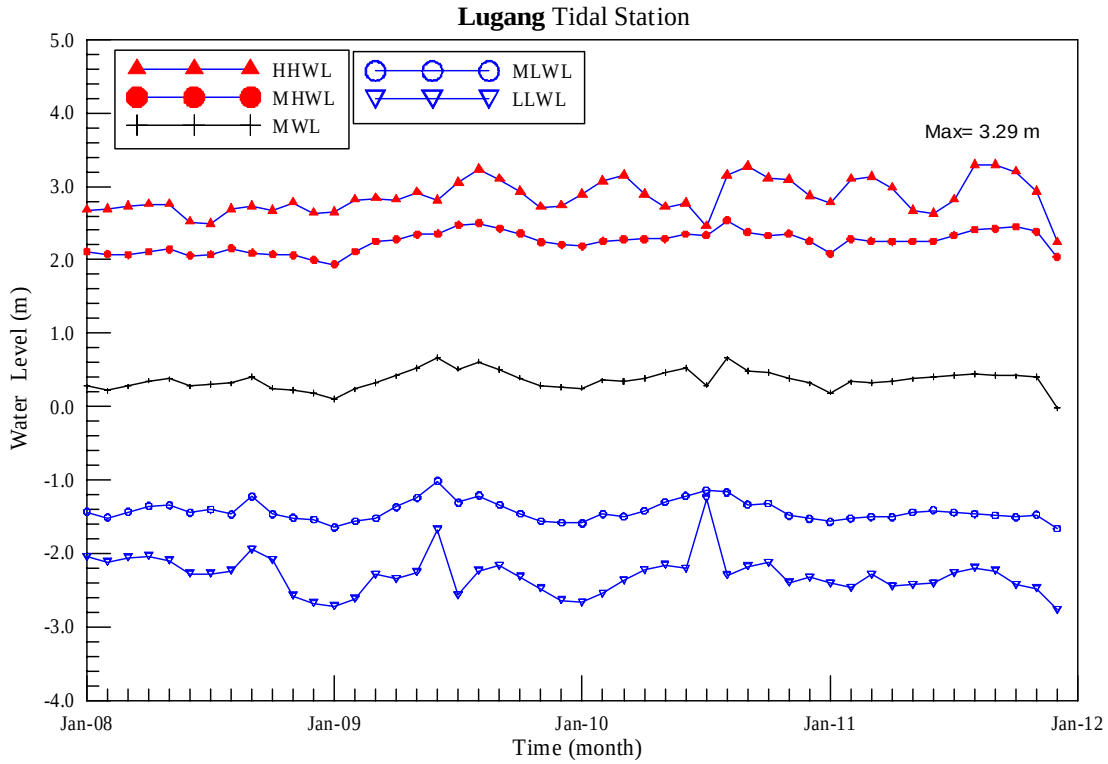


圖 4.15 鹿港潮位站 2008～2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖

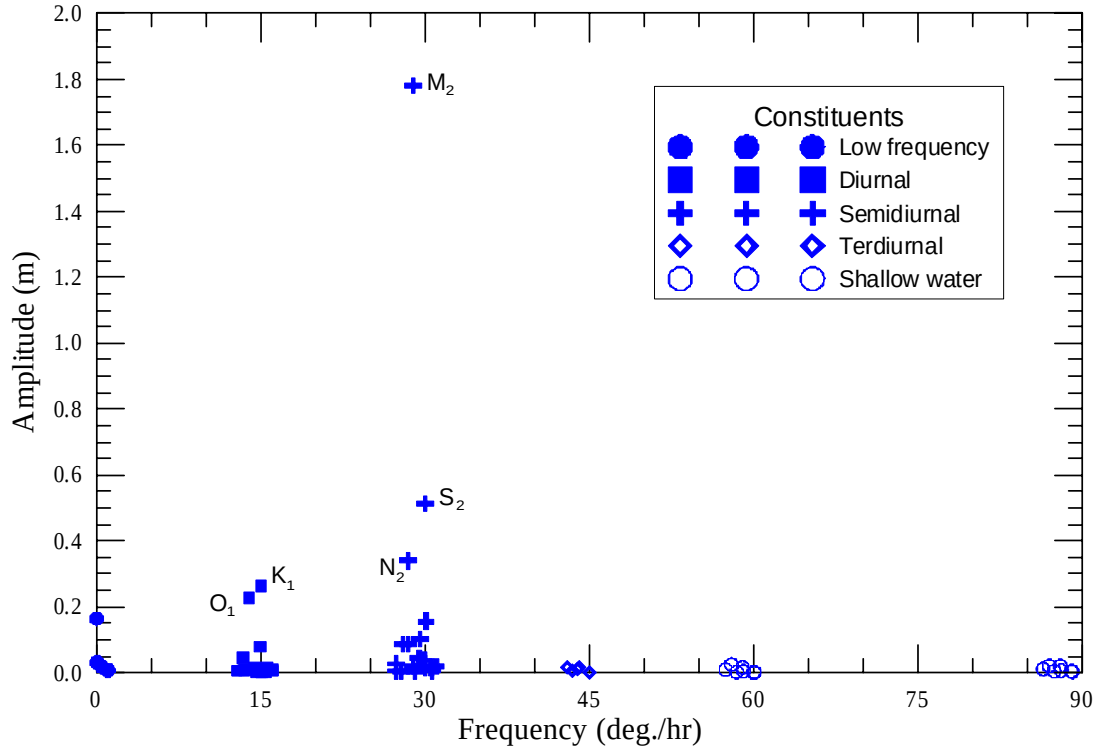


圖 4.16 鹿港潮位(2009～2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖

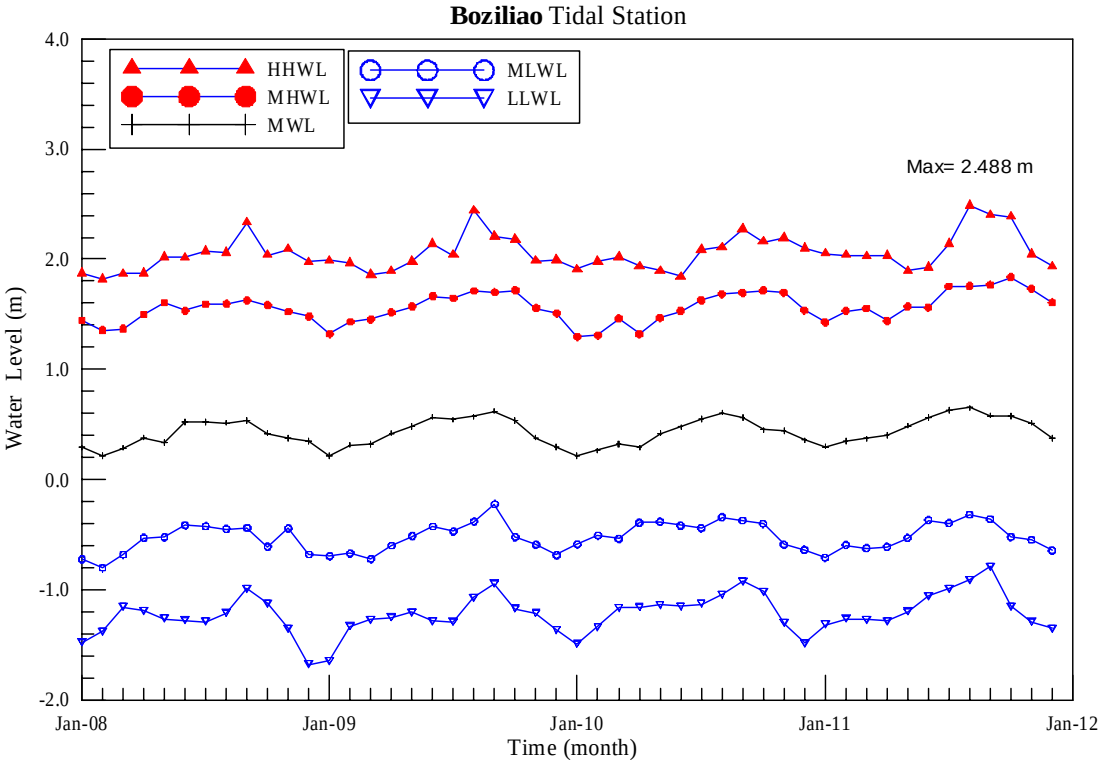


圖 4.17 箔子寮潮位站 2008～2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖

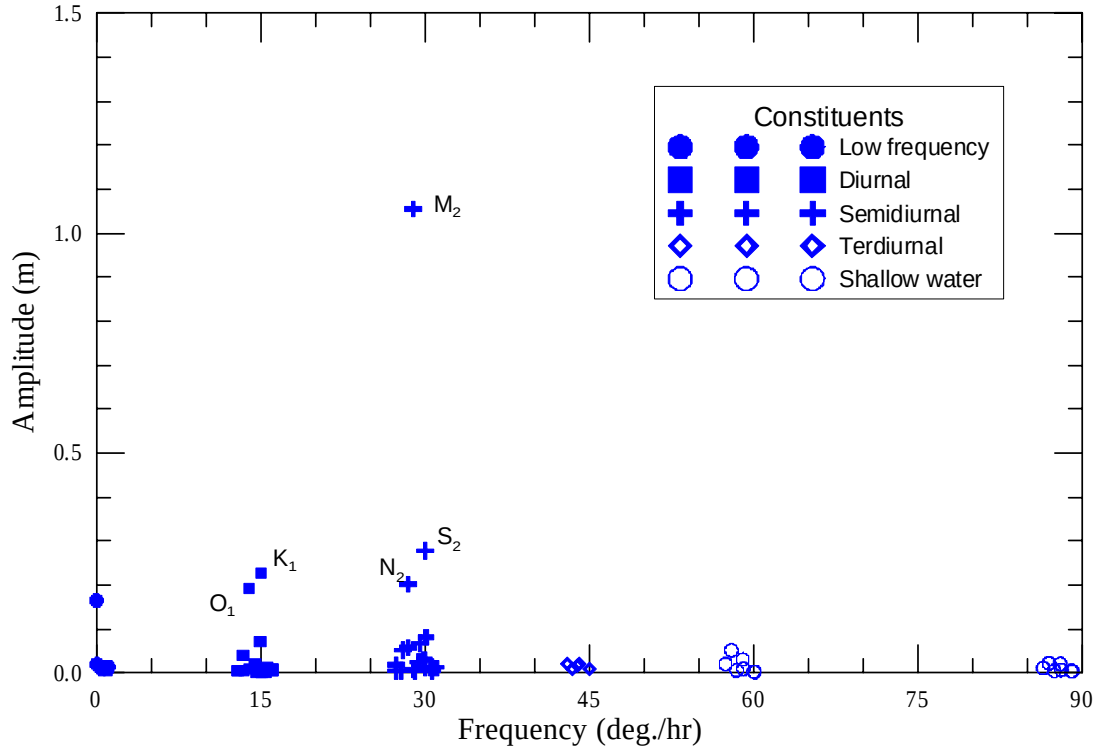


圖 4.18 箔子寮潮位(2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖

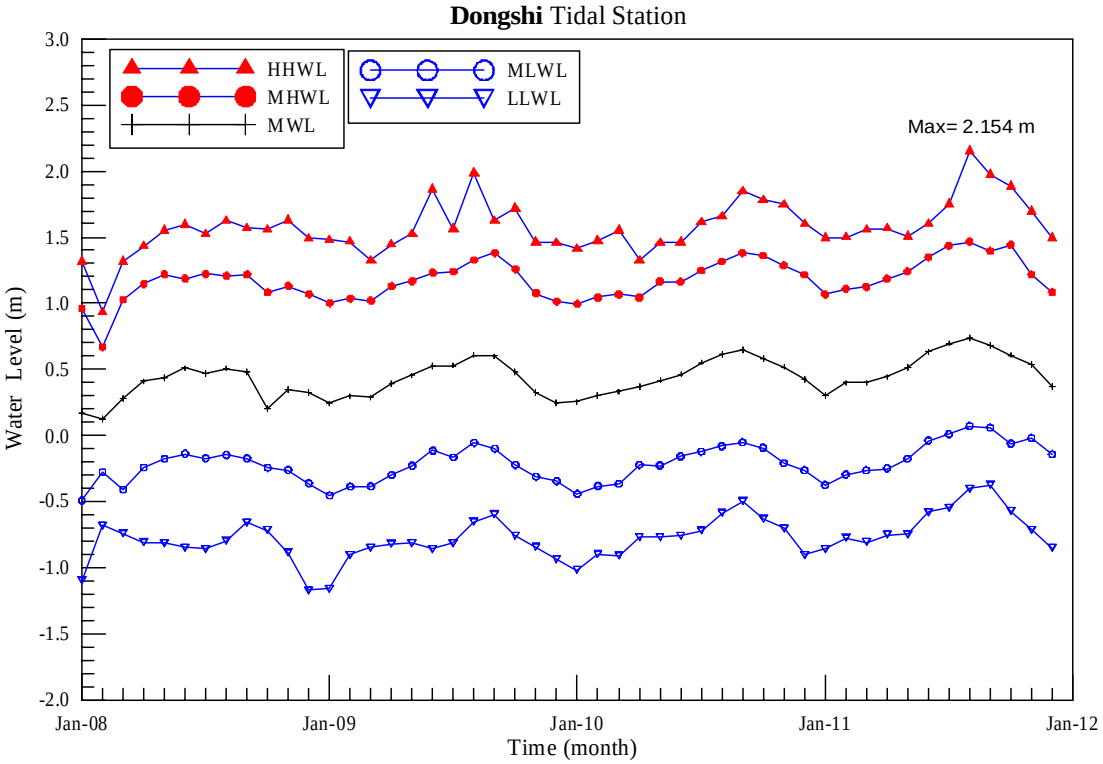


圖 4.19 東石潮位站 2008～2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖

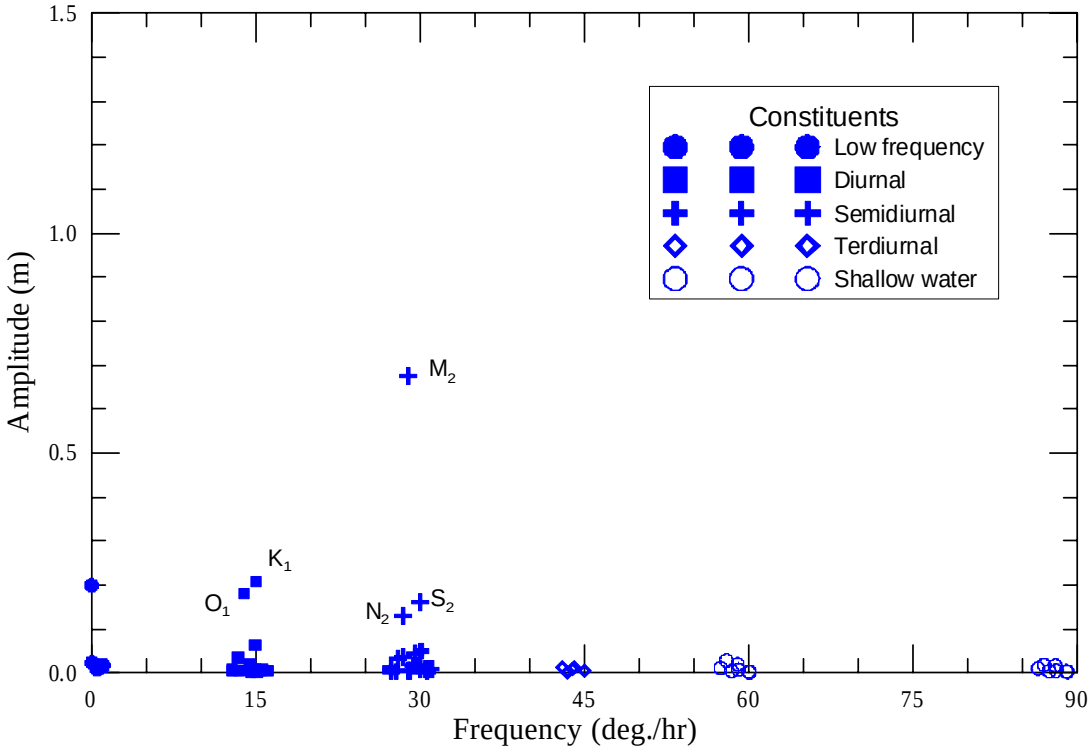


圖 4.20 東石潮位(2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖

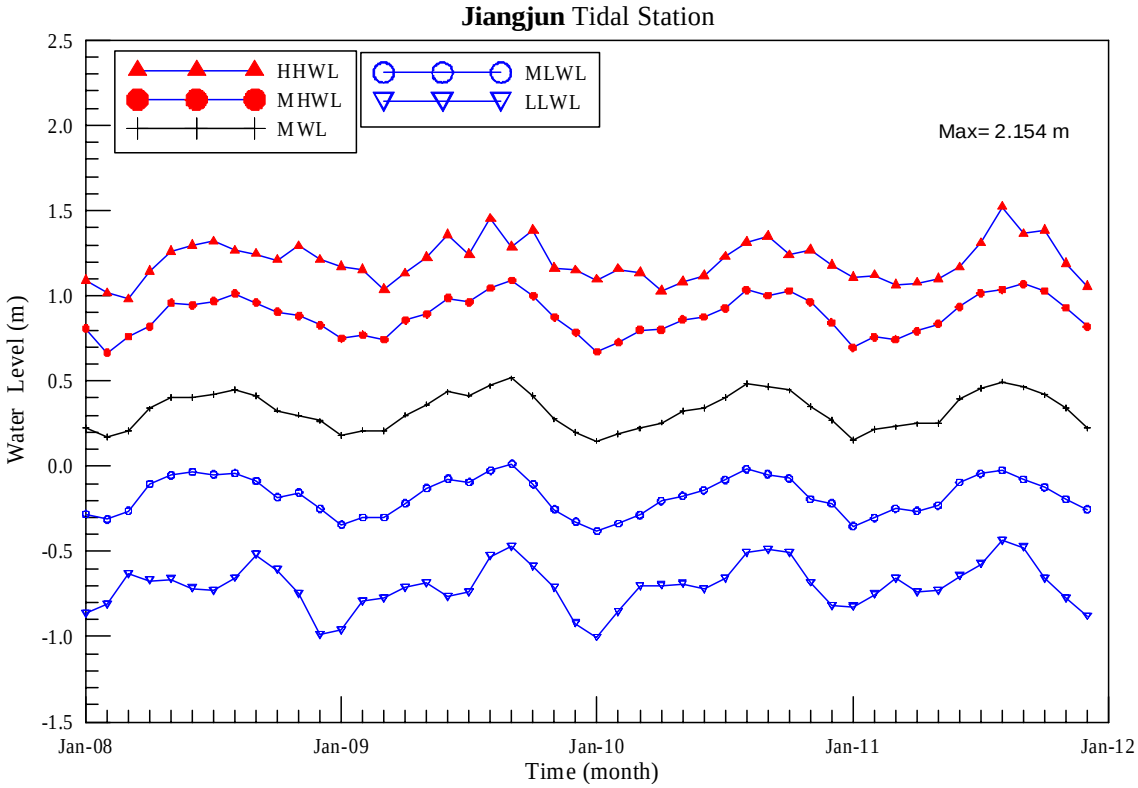


圖 4.21 將軍潮位站 2008～2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖

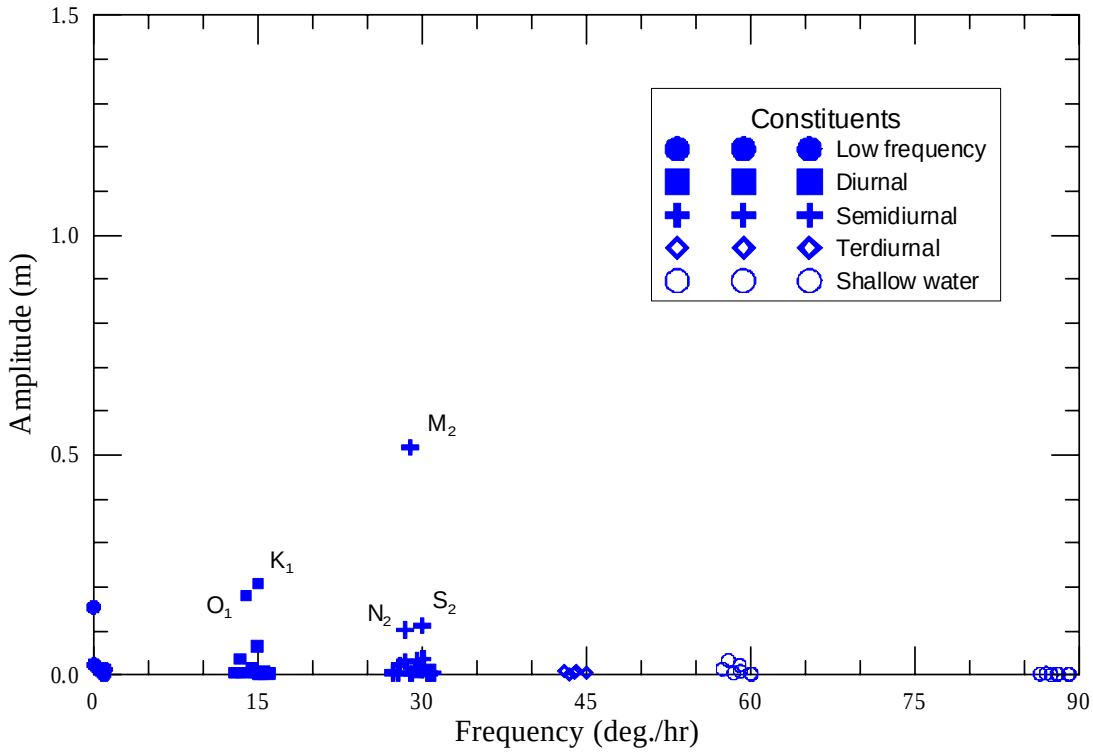


圖 4.22 將軍潮位(2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖

表 4-1 基隆港驗潮站 2009-2011 年潮汐資料調和分析成果表

序號	分潮名稱	角頻率(度/小時)	振幅(m)	位相角(度)	序號	分潮名稱	角頻率(度/小時)	振幅(m)	位相角(度)
1	M2	28.98410	0.2338	84.145	31	OP2	28.90197	0.0040	213.052
2	K1	15.04107	0.1947	224.105	32	2SM2	31.01590	0.0040	176.980
3	SA	0.04107	0.1692	36.175	33	S1	15.00000	0.0039	76.222
4	O1	13.94304	0.1639	6.387	34	T2	29.95893	0.0039	127.352
5	P1	14.95893	0.0629	249.016	35	MKS2	29.06624	0.0038	105.131
6	N2	28.43973	0.0609	252.617	36	VI1	15.12321	0.0037	350.897
7	S2	30.00000	0.0576	311.646	37	PHI1	15.08214	0.0036	136.112
8	Q1	13.39866	0.0339	186.858	38	M6	86.95232	0.0032	17.064
9	MU2	27.96820	0.0252	66.452	39	R2	30.04107	0.0030	208.591
10	K2	30.08214	0.0158	88.626	40	MK4	59.06624	0.0028	269.579
11	NU2	28.51258	0.0144	18.686	41	2MS6	87.96821	0.0025	320.506
12	SAA	0.08214	0.0140	88.495	42	KI1	14.56955	0.0024	153.192
13	L2	29.52848	0.0138	161.510	43	KJ2	30.62651	0.0023	246.741
14	M1	14.49203	0.0123	34.929	44	MK3	44.02517	0.0022	71.547
15	J1	15.58544	0.0116	41.572	45	MO2	42.92714	0.0020	299.527
16	M4	57.96821	0.0112	253.160	46	THE1	15.51259	0.0020	303.680
17	MM	0.54437	0.0097	22.656	47	OQ2	27.34170	0.0019	66.994
18	LAM2	29.45563	0.0087	52.158	48	S4	60.00000	0.0019	47.731
19	MS4	58.98410	0.0081	141.867	49	SO1	16.05696	0.0018	166.451
20	OO1	16.13910	0.0072	273.541	50	MP1	14.02517	0.0018	286.527
21	MF	1.09803	0.0072	53.506	51	2N2	27.85935	0.0018	77.445
22	RO1	13.47151	0.0067	293.287	52	2MN6	86.40794	0.0018	181.242
23	MNS2	27.42383	0.0065	225.832	53	SK4	60.08214	0.0014	166.705
24	MSF	1.01590	0.0063	65.434	54	SK3	45.04107	0.0013	337.388
25	M3	43.47616	0.0063	234.130	55	SN4	58.43973	0.0011	305.355
26	2Q1	12.85429	0.0056	3.480	56	SO3	43.94304	0.0010	133.859
27	PI1	14.91786	0.0056	67.958	57	2SM6	88.98411	0.0009	279.925
28	SGM1	12.92714	0.0051	113.732	58	2MK6	88.05035	0.0008	65.860
29	MSN2	30.54437	0.0051	79.206	59	MSN6	87.42384	0.0006	165.277
30	MN4	57.42383	0.0050	73.898	60	MSK6	89.06624	0.0006	20.226
平均潮位＝0.0541 m 調和分析原點資料時間： 2010/7/2 11:00:00									

表 4-2 龍洞驗潮站 2009-2011 年潮汐資料調和分析成果表

序號	分潮名稱	角頻率(度/小時)	振幅(m)	位相角(度)	序號	分潮名稱	角頻率(度/小時)	振幅(m)	位相角(度)
1	M2	28.98410	0.2209	17.286	31	PI1	14.91786	0.0040	80.617
2	K1	15.04107	0.2046	218.685	32	PHI1	15.08214	0.0038	176.486
3	O1	13.94304	0.1714	0.991	33	LAM2	29.45563	0.0036	52.620
4	SA	0.04107	0.1660	37.570	34	SO1	16.05696	0.0034	145.769
5	S2	30.00000	0.1056	256.820	35	OP2	28.90197	0.0034	181.717
6	P1	14.95893	0.0654	243.648	36	KJ2	30.62651	0.0033	206.427
7	N2	28.43973	0.0560	204.897	37	MSN2	30.54437	0.0030	78.029
8	Q1	13.39866	0.0347	182.096	38	MO2	42.92714	0.0030	274.829
9	K2	30.08214	0.0305	32.696	39	MKS2	29.06624	0.0029	177.241
10	MU2	27.96820	0.0214	78.252	40	MK4	59.06624	0.0028	287.499
11	SAA	0.08214	0.0165	84.884	41	2MN6	86.40794	0.0028	196.030
12	M1	14.49203	0.0135	32.938	42	L2	29.52848	0.0028	166.516
13	J1	15.58544	0.0128	32.564	43	MK3	44.02517	0.0026	103.507
14	M4	57.96821	0.0127	264.110	44	2SM2	31.01590	0.0026	175.543
15	MSF	1.01590	0.0118	75.253	45	S1	15.00000	0.0025	93.390
16	MM	0.54437	0.0102	17.885	46	VI1	15.12321	0.0024	351.537
17	NU2	28.51258	0.0083	327.708	47	THE1	15.51259	0.0021	283.517
18	MS4	58.98410	0.0081	153.938	48	KI1	14.56955	0.0020	124.949
19	OO1	16.13910	0.0073	265.514	49	S4	60.00000	0.0017	48.299
20	M3	43.47616	0.0072	244.963	50	MSN6	87.42384	0.0016	100.750
21	RO1	13.47151	0.0069	279.631	51	2MK6	88.05035	0.0015	65.946
22	T2	29.95893	0.0064	56.503	52	OQ2	27.34170	0.0015	84.304
23	MF	1.09803	0.0054	42.495	53	SK3	45.04107	0.0013	357.982
24	MN4	57.42383	0.0053	81.105	54	2N2	27.85935	0.0013	28.376
25	2Q1	12.85429	0.0050	358.413	55	SN4	58.43973	0.0012	309.916
26	MNS2	27.42383	0.0048	251.488	56	SK4	60.08214	0.0011	184.077
27	2MS6	87.96821	0.0046	301.527	57	2SM6	88.98411	0.0010	217.252
28	M6	86.95232	0.0046	24.246	58	SO3	43.94304	0.0010	129.881
29	SGM1	12.92714	0.0045	111.175	59	R2	30.04107	0.0009	318.095
30	MP1	14.02517	0.0043	312.097	60	MSK6	89.06624	0.0008	337.420
平均潮位＝0.0214 m 調和分析原點資料時間： 2010/7/2 11:00:00									

表 4-3 麟山鼻驗潮站 2009-2011 年潮汐資料調和分析成果表

序號	分潮名稱	角頻率(度/小時)	振幅(m)	位相角(度)	序號	分潮名稱	角頻率(度/小時)	振幅(m)	位相角(度)
1	M2	28.98410	0.7593	115.288	31	S4	60.00000	0.0076	3.072
2	K1	15.04107	0.2215	236.482	32	M3	43.47616	0.0066	206.484
3	S2	30.00000	0.2075	16.726	33	SO1	16.05696	0.0063	172.420
4	O1	13.94304	0.1936	17.161	34	PI1	14.91786	0.0061	74.412
5	SA	0.04107	0.1741	34.499	35	2Q1	12.85429	0.0060	8.230
6	N2	28.43973	0.1546	285.111	36	R2	30.04107	0.0057	232.166
7	M4	57.96821	0.0761	205.363	37	SN4	58.43973	0.0056	268.667
8	P1	14.95893	0.0707	261.614	38	MO2	42.92714	0.0055	180.511
9	K2	30.08214	0.0613	157.212	39	SO3	43.94304	0.0054	56.600
10	MS4	58.98410	0.0515	108.735	40	2MS6	87.96821	0.0051	23.431
11	MSF	1.01590	0.0461	80.194	41	MKS2	29.06624	0.0050	84.728
12	L2	29.52848	0.0421	149.221	42	MP1	14.02517	0.0049	11.775
13	Q1	13.39866	0.0400	196.324	43	SK4	60.08214	0.0046	142.145
14	NU2	28.51258	0.0398	38.039	44	PHI1	15.08214	0.0045	174.156
15	MU2	27.96820	0.0393	42.521	45	OQ2	27.3417	0.0044	74.822
16	MN4	57.42383	0.0292	18.605	46	SGM1	12.92714	0.0043	132.412
17	MM	0.54438	0.0247	6.116	47	MF	1.09803	0.0042	194.653
18	LAM2	29.45563	0.0211	47.052	48	KJ2	30.62651	0.0040	298.744
19	MK4	59.06624	0.0152	247.543	49	VI1	15.12321	0.0037	9.142
20	M1	14.49203	0.0147	49.706	50	2N2	27.85935	0.0033	95.604
21	T2	29.95893	0.0138	195.180	51	M6	86.95232	0.0030	102.265
22	J1	15.58544	0.0136	54.562	52	KI1	14.56955	0.0027	164.892
23	MNS2	27.42383	0.0117	202.252	53	SK3	45.04107	0.0027	291.923
24	SAA	0.08214	0.0102	82.617	54	S1	15.00000	0.0020	88.460
25	OP2	28.90197	0.0099	193.370	55	2SM6	88.98411	0.0020	308.684
26	MK3	44.02517	0.0098	28.970	56	THE1	15.51259	0.0019	294.965
27	2SM2	31.01590	0.0097	166.717	57	2MK6	88.05035	0.0017	157.329
28	MSN2	30.54437	0.0084	79.174	58	MSK6	89.06624	0.0013	89.045
29	OO1	16.13910	0.0084	285.266	59	2MN6	86.40794	0.0013	272.964
30	RO1	13.47151	0.0082	293.338	60	MSN6	87.42384	0.0011	207.226
平均潮位＝-0.0281 m 調和分析原點資料時間： 2010/7/2 11:00:00									

表 4-4 竹圍驗潮站 2009-2011 年潮汐資料調和分析成果表

序號	分潮名稱	角頻率(度/小時)	振幅(m)	位相角(度)	序號	分潮名稱	角頻率(度/小時)	振幅(m)	位相角(度)
1	M2	28.98410	1.2072	119.511	31	MF	1.09803	0.0064	53.307
2	S2	30.00000	0.3528	24.306	32	MK3	44.02517	0.0064	126.929
3	N2	28.43973	0.2363	291.161	33	R2	30.04107	0.0058	259.420
4	K1	15.04107	0.2279	243.541	34	PI1	14.91786	0.0058	88.262
5	O1	13.94304	0.1948	23.487	35	KJ2	30.62651	0.0058	313.274
6	SA	0.04107	0.1733	37.807	36	2Q1	12.85429	0.0056	13.276
7	K2	30.08214	0.1025	164.388	37	PHI1	15.08214	0.0052	199.196
8	P1	14.95893	0.0724	267.775	38	SGM1	12.92714	0.0050	153.192
9	L2	29.52848	0.0648	144.067	39	MK4	59.06624	0.0049	221.688
10	NU2	28.51258	0.0618	41.016	40	OQ2	27.34170	0.0048	65.174
11	MU2	27.96820	0.0547	28.796	41	SO1	16.05696	0.0043	198.663
12	Q1	13.39866	0.0398	202.680	42	M3	43.47616	0.0041	201.539
13	LAM2	29.45563	0.0310	42.626	43	2N2	27.85935	0.0037	116.191
14	T2	29.95893	0.0225	206.873	44	SO3	43.94304	0.0034	149.857
15	M4	57.96821	0.0214	190.218	45	M6	86.95232	0.0034	271.850
16	MS4	58.98410	0.0164	94.272	46	MP1	14.02517	0.0034	77.489
17	MNS2	27.42383	0.0163	183.621	47	VI1	15.12321	0.0032	23.544
18	M1	14.49203	0.0154	51.539	48	S4	60.00000	0.0027	355.693
19	MSF	1.01590	0.0153	71.787	49	KI1	14.56955	0.0024	177.853
20	OP2	28.90197	0.0143	195.501	50	THE1	15.51259	0.0023	287.173
21	2SM2	31.01590	0.0135	165.042	51	2MS6	87.96821	0.0022	139.805
22	J1	15.58544	0.0129	65.012	52	S1	15.00000	0.0021	329.394
23	MSN2	30.54437	0.0112	73.251	53	SN4	58.43973	0.0018	260.169
24	SAA	0.08214	0.0111	113.096	54	2SM6	88.98411	0.0017	3.531
25	MM	0.54437	0.0110	16.561	55	2MN6	86.40794	0.0017	86.641
26	MN4	57.42383	0.0082	2.872	56	SK4	60.08214	0.0015	118.228
27	MKS2	29.06624	0.0081	68.302	57	SK3	45.04107	0.0014	42.329
28	RO1	13.47151	0.0079	297.267	58	MSK6	89.06624	0.0010	138.958
29	OO1	16.13910	0.0075	299.309	59	MSN6	87.42384	0.0008	331.623
30	MO2	42.92714	0.0067	277.597	60	2MK6	88.05035	0.0005	246.307
平均潮位＝0.0441 m 調和分析原點資料時間： 2010/7/2 11:00:00									

表 4-5 臺中港驗潮站 2009-2011 年潮汐資料調和分析成果表

序號	分潮名稱	角頻率(度/小時)	振幅(m)	位相角(度)	序號	分潮名稱	角頻率(度/小時)	振幅(m)	位相角(度)
1	M2	28.98410	1.7908	128.217	31	2MN6	86.40794	0.0090	80.463
2	S2	30.00000	0.5257	37.145	32	RO1	13.47151	0.0089	316.189
3	N2	28.43973	0.3492	300.509	33	OO1	16.13910	0.0084	315.936
4	K1	15.04107	0.2535	262.209	34	2N2	27.85935	0.0080	81.559
5	O1	13.94304	0.2193	40.266	35	MS4	58.98410	0.0079	44.198
6	SA	0.04107	0.1685	48.747	36	OQ2	27.34170	0.0073	49.031
7	K2	30.08214	0.1560	180.529	37	PI1	14.91786	0.0071	93.310
8	L2	29.52848	0.1065	145.688	38	SGM1	12.92714	0.0069	153.028
9	NU2	28.51258	0.0864	50.155	39	SO3	43.94304	0.0068	158.064
10	MU2	27.96820	0.0828	21.892	40	MN4	57.42383	0.0064	293.153
11	P1	14.95893	0.0824	285.766	41	KJ2	30.62651	0.0060	308.126
12	LAM2	29.45563	0.0446	36.954	42	SO1	16.05696	0.0056	229.322
13	Q1	13.39866	0.0442	217.210	43	2Q1	12.85429	0.0051	30.793
14	T2	29.95893	0.0385	189.588	44	PHI1	15.08214	0.0048	171.106
15	SAA	0.08214	0.0281	167.839	45	KI1	14.56955	0.0044	211.092
16	OP2	28.90197	0.0268	163.638	46	2MK6	88.05035	0.0038	334.241
17	MNS2	27.42383	0.0247	183.205	47	M3	43.47616	0.0036	132.896
18	MSN2	30.54437	0.0192	76.417	48	MP1	14.02517	0.0030	117.547
19	2SM2	31.01590	0.0175	172.066	49	MSN6	87.42384	0.0029	10.448
20	R2	30.04107	0.0171	188.330	50	2SM6	88.98411	0.0028	95.753
21	M1	14.49203	0.0168	66.663	51	MM	0.54437	0.0027	97.718
22	M6	86.95232	0.0155	274.236	52	MK4	59.06624	0.0024	152.870
23	MKS2	29.06624	0.0149	40.103	53	MSK6	89.06624	0.0021	239.242
24	M4	57.96821	0.0142	130.232	54	SN4	58.43973	0.0018	168.352
25	J1	15.58544	0.0141	81.618	55	SK3	45.04107	0.0016	47.199
26	2MS6	87.96821	0.0139	190.047	56	THE1	15.51259	0.0016	291.490
27	MO2	42.92714	0.0121	242.213	57	MSF	1.01590	0.0016	123.062
28	MF	1.09803	0.0116	27.715	58	S4	60.00000	0.0014	287.134
29	MK3	44.02517	0.0110	119.023	59	VI1	15.12321	0.0013	347.623
30	S1	15.00000	0.0104	0.229	60	SK4	60.08214	0.0011	80.739
平均潮位＝0.1589 m 調和分析原點資料時間： 2010/7/2 11:00:00									

表 4-6 鹿港驗潮站 2009-2011 年潮汐資料調和分析成果表

序號	分潮名稱	角頻率(度/小時)	振幅(m)	位相角(度)	序號	分潮名稱	角頻率(度/小時)	振幅(m)	位相角(度)
1	M2	28.98410	1.7820	128.454	31	OO1	16.13910	0.0094	327.999
2	S2	30.00000	0.5134	39.009	32	MN4	57.42383	0.0094	94.171
3	N2	28.43973	0.3404	301.111	33	SO3	43.94304	0.0093	110.702
4	K1	15.04107	0.2626	265.582	34	RO1	13.47151	0.0091	309.819
5	O1	13.94304	0.2268	42.175	35	MSF	1.01590	0.0086	123.895
6	SA	0.04107	0.1644	17.830	36	MP1	14.02517	0.0070	109.006
7	K2	30.08214	0.1553	179.235	37	MF	1.09803	0.0070	35.686
8	L2	29.52848	0.1015	144.243	38	PI1	14.91786	0.0069	100.584
9	MU2	27.96820	0.0871	19.254	39	SGM1	12.92714	0.0067	166.541
10	NU2	28.51258	0.0863	46.772	40	OQ2	27.34170	0.0066	63.273
11	P1	14.95893	0.0794	287.545	41	PHI1	15.08214	0.0066	214.289
12	Q1	13.39866	0.0450	219.151	42	2MK6	88.05035	0.0062	348.134
13	LAM2	29.45563	0.0448	42.777	43	KJ2	30.62651	0.0059	329.270
14	T2	29.95893	0.0362	201.015	44	2Q1	12.85429	0.0058	26.283
15	SAA	0.08214	0.0313	158.140	45	SO1	16.05696	0.0058	232.522
16	MNS2	27.42383	0.0262	174.211	46	MSN6	87.42384	0.0050	16.455
17	M4	57.96821	0.0247	277.519	47	MK4	59.06624	0.0049	349.646
18	M6	86.95232	0.0205	282.045	48	2SM6	88.98411	0.0044	118.008
19	2MS6	87.96821	0.0202	203.748	49	2N2	27.85935	0.0038	126.731
20	OP2	28.90197	0.0195	196.413	50	M3	43.47616	0.0037	155.510
21	2SM2	31.01590	0.0191	171.083	51	MKS2	29.06624	0.0036	44.311
22	MM	0.54437	0.0177	11.788	52	MSK6	89.06624	0.0033	258.098
23	MSN2	30.54437	0.0177	67.424	53	SK3	45.04107	0.0031	6.285
24	M1	14.49203	0.0170	67.909	54	KI1	14.56955	0.0031	209.860
25	MO2	42.92714	0.0166	217.044	55	S1	15.00000	0.0029	16.959
26	MS4	58.98410	0.0161	185.614	56	VI1	15.12321	0.0028	4.648
27	MK3	44.02517	0.0154	94.833	57	SN4	58.43973	0.0026	357.940
28	J1	15.58544	0.0147	88.535	58	S4	60.00000	0.0018	64.132
29	R2	30.04107	0.0145	195.458	59	THE1	15.51259	0.0009	300.844
30	2MN6	86.40794	0.0113	87.605	60	SK4	60.08214	0.0008	230.943
平均潮位＝0.3939 m 調和分析原點資料時間： 2010/7/2 11:00:00									

表 4-7 箔仔寮驗潮站 2011 年潮汐資料調和分析成果表

序號	分潮名稱	角頻率(度/小時)	振幅(m)	位相角(度)	序號	分潮名稱	角頻率(度/小時)	振幅(m)	位相角(度)
1	M2	28.98410	1.0556	24.256	31	J1	15.58544	0.0105	14.875
2	S2	30.00000	0.2780	38.501	32	MK4	59.06624	0.0087	204.188
3	K1	15.04107	0.2261	277.689	33	MM	0.54437	0.0082	345.104
4	N2	28.43973	0.2012	287.082	34	MP1	14.02517	0.0082	22.273
5	O1	13.94304	0.1907	313.083	35	OP2	28.90197	0.0075	83.308
6	SA	0.04107	0.1644	44.921	36	SK3	45.04107	0.0072	269.256
7	K2	30.08214	0.0807	176.585	37	M3	43.47616	0.0072	139.832
8	P1	14.95893	0.0714	302.334	38	MSF	1.01590	0.0069	18.555
9	L2	29.52848	0.0662	309.488	39	2MK6	88.05035	0.0063	141.345
10	NU2	28.51258	0.0568	99.784	40	SO1	16.05696	0.0061	0.339
11	M4	57.96821	0.0510	29.803	41	S1	15.00000	0.0061	2.200
12	MU2	27.96820	0.0508	171.229	42	OO1	16.13910	0.0060	68.620
13	Q1	13.39866	0.0387	219.242	43	SGM1	12.92714	0.0056	314.700
14	T2	29.95893	0.0303	195.647	44	RO1	13.47151	0.0055	22.500
15	MS4	58.98410	0.0301	47.168	45	2Q1	12.85429	0.0055	130.909
16	LAM2	29.45563	0.0230	130.465	46	SN4	58.43973	0.0052	282.655
17	M6	86.95232	0.0214	339.253	47	MSN6	87.42384	0.0045	265.343
18	MK3	44.02517	0.0210	251.315	48	PI1	14.91786	0.0044	89.035
19	MO2	42.92714	0.0209	297.434	49	KJ2	30.62651	0.0039	223.539
20	M1	14.49203	0.0206	193.001	50	2SM6	88.98411	0.0039	48.990
21	2MS6	87.96821	0.0202	7.337	51	2N2	27.85935	0.0036	130.774
22	MN4	57.42383	0.0196	288.330	52	OQ2	27.34170	0.0035	356.213
23	SAA	0.08214	0.0190	172.560	53	MSK6	89.06624	0.0034	178.104
24	MNS2	27.42383	0.0181	64.614	54	MKS2	29.06624	0.0033	225.096
25	SO3	43.94304	0.0157	286.362	55	VI1	15.12321	0.0030	107.456
26	MF	1.09803	0.0136	153.364	56	THE1	15.51259	0.0029	158.261
27	R2	30.04107	0.0121	172.907	57	S4	60.00000	0.0026	28.395
28	MSN2	30.54437	0.0118	336.750	58	KI1	14.56955	0.0026	20.490
29	2SM2	31.01590	0.0112	245.903	59	PHI1	15.08214	0.0022	193.555
30	2MN6	86.40794	0.0106	238.383	60	SK4	60.08214	0.0019	188.051
平均潮位＝0.4969 m 調和分析原點資料時間： 2011/7/2 11:00:00									

表 4-8 東石驗潮站 2011 年潮汐資料調和分析成果表

序號	分潮名稱	角頻率(度/小時)	振幅(m)	位相角(度)	序號	分潮名稱	角頻率(度/小時)	振幅(m)	位相角(度)
1	M2	28.98410	0.6749	12.859	31	R2	30.04107	0.0080	182.989
2	K1	15.04107	0.2070	278.612	32	MM	0.54437	0.0074	12.483
3	SA	0.04107	0.1986	45.010	33	MSN2	30.54437	0.0072	334.840
4	O1	13.94304	0.1797	313.670	34	MK4	59.06624	0.0066	214.707
5	S2	30.00000	0.1606	25.471	35	2Q1	12.85429	0.0064	131.368
6	N2	28.43973	0.1304	275.175	36	S1	15.00000	0.0059	314.646
7	P1	14.95893	0.0625	301.859	37	MP1	14.02517	0.0057	34.037
8	K2	30.08214	0.0489	165.142	38	OO1	16.13910	0.0056	64.138
9	L2	29.52848	0.0443	303.420	39	RO1	13.47151	0.0052	14.530
10	NU2	28.51258	0.0363	90.192	40	MKS2	29.06624	0.0051	293.008
11	Q1	13.39866	0.0345	220.239	41	PI1	14.91786	0.0046	96.006
12	MU2	27.96820	0.0329	175.344	42	2MK6	88.05035	0.0046	150.928
13	M4	57.96821	0.0277	62.389	43	THE1	15.51259	0.0043	172.813
14	SAA	0.08214	0.0228	164.454	44	SN4	58.43973	0.0041	321.141
15	MS4	58.98410	0.0189	82.287	45	OP2	28.90197	0.0041	196.270
16	M1	14.49203	0.0178	195.558	46	SGM1	12.92714	0.0040	332.186
17	M6	86.95232	0.0177	339.916	47	SK3	45.04107	0.0039	277.716
18	MF	1.09803	0.0176	133.680	48	SO1	16.05696	0.0038	354.486
19	2MS6	87.96821	0.0163	9.242	49	PHI1	15.08214	0.0037	162.390
20	T2	29.95893	0.0157	195.479	50	MSN6	87.42384	0.0035	268.239
21	LAM2	29.45563	0.0153	124.303	51	2N2	27.85935	0.0033	138.434
22	MSF	1.01590	0.0137	13.320	52	2SM6	88.98411	0.0031	68.553
23	MO2	42.92714	0.0134	295.960	53	OQ2	27.34170	0.0030	356.606
24	MK3	44.02517	0.0130	259.709	54	VI1	15.12321	0.0027	131.040
25	MN4	57.42383	0.0107	322.238	55	M3	43.47616	0.0027	141.190
26	MNS2	27.42383	0.0106	65.284	56	MSK6	89.06624	0.0025	199.716
27	SO3	43.94304	0.0103	296.882	57	S4	60.00000	0.0023	106.003
28	2MN6	86.40794	0.0096	242.428	58	KJ2	30.62651	0.0020	196.847
29	2SM2	31.01590	0.0088	247.816	59	KI1	14.56955	0.0017	347.006
30	J1	15.58544	0.0087	11.303	60	SK4	60.08214	0.0015	219.637
平均潮位＝0.5458 m 調和分析原點資料時間： 2011/7/2 11:00:00									

表 4-9 將軍驗潮站 2011 年潮汐資料調和分析成果表

序號	分潮名稱	角頻率(度/小時)	振幅(m)	位相角(度)	序號	分潮名稱	角頻率(度/小時)	振幅(m)	位相角(度)
1	M2	28.98410	0.5169	0.321	31	2Q1	12.85429	0.0051	119.544
2	K1	15.04107	0.2077	272.787	32	S1	15.00000	0.0048	28.056
3	O1	13.94304	0.1805	308.571	33	SGM1	12.92714	0.0047	301.175
4	SA	0.04107	0.1535	44.344	34	SO3	43.94304	0.0045	320.090
5	S2	30.00000	0.1123	9.164	35	MP1	14.02517	0.0045	20.882
6	N2	28.43973	0.1029	261.449	36	PI1	14.91786	0.0041	83.857
7	P1	14.95893	0.0657	294.164	37	MSN2	30.54437	0.0041	328.996
8	Q1	13.39866	0.0361	213.041	38	2N2	27.85935	0.0036	129.227
9	K2	30.08214	0.0358	153.019	39	KI1	14.56955	0.0035	353.854
10	M4	57.96821	0.0326	58.030	40	VI1	15.12321	0.0034	100.582
11	L2	29.52848	0.0318	299.748	41	SN4	58.43973	0.0033	315.938
12	NU2	28.51258	0.0301	78.831	42	OP2	28.90197	0.0032	56.072
13	SAA	0.08214	0.0229	152.021	43	SK3	45.04107	0.0031	317.117
14	MS4	58.98410	0.0214	74.134	44	M6	86.95232	0.0029	249.493
15	MU2	27.96820	0.0214	181.272	45	THE1	15.51259	0.0024	144.490
16	M1	14.49203	0.0172	180.850	46	MKS2	29.06624	0.0024	195.767
17	LAM2	29.45563	0.0131	116.692	47	S4	60.00000	0.0023	89.655
18	MN4	57.42383	0.0126	320.216	48	SO1	16.05696	0.0022	293.379
19	MF	1.09803	0.0121	135.760	49	KJ2	30.62651	0.0020	159.494
20	MM	0.54437	0.0117	319.838	50	2MN6	86.40794	0.0018	111.433
21	T2	29.95893	0.0111	161.633	51	OQ2	27.34170	0.0018	321.203
22	R2	30.04107	0.0099	166.867	52	M3	43.47616	0.0017	298.942
23	J1	15.58544	0.0095	3.269	53	2MS6	87.96821	0.0017	337.612
24	MK4	59.06624	0.0076	220.538	54	SK4	60.08214	0.0017	224.196
25	MK3	44.02517	0.0074	295.990	55	MSK6	89.06624	0.0012	206.356
26	MO2	42.92714	0.0070	328.240	56	2MK6	88.05035	0.0011	171.318
27	MNS2	27.42383	0.0070	67.024	57	PHI1	15.08214	0.0011	194.807
28	OO1	16.13910	0.0054	52.927	58	2SM6	88.98411	0.0009	100.170
29	2SM2	31.01590	0.0053	247.277	59	MSF	1.01590	0.0004	301.266
30	RO1	13.47151	0.0053	28.743	60	MSN6	87.42384	0.0001	261.928
平均潮位＝0.3359 m 調和分析原點資料時間： 2011/7/2 11:00:00									

4.2.3 潮流資料分析

為瞭解臺中港與布袋港港口潮流之特性及提供該港口流場模擬之驗証所需資料，本計畫將針對本年度所蒐集的海流觀測資料進行分析與探討。

一般而言，海流觀測資料之主要組成成份包括恆流、潮流及區域性風吹流等，三者組成之強弱比率則視海域之特性及季節而定。潮流通常是指由潮汐漲退所引起的海洋水體週期性往復流動之現象，而潮流之強弱不僅會隨著月齡之不同而有所變化外，其流速大小及方向亦受到海底地形之影響，因此潮流現象各地區不同。本年度潮流資料分析除了延續上年度潮流資料分析方法，選取全日潮(O_1、K_1)及半日潮(M_2、S_2)等四個主要分潮針對觀測資料逐月進行調和分析，求取各分潮東西向及南北向之流速振幅及其相位角外，針對本年度所蒐集之臺中港及布袋港海流觀測資料相關分析結果說明如下：

臺中港海域海流長期觀測站設置於北防波堤堤頭外側 150m(67 二度分帶座標：E 196568.4、N 2688722.2)水深 25m 處以 AWCP 儀器量測海流資料，位置如圖 4.23 所示。依據港灣技術研究中心長期觀測結果顯示：臺中港夏季海流流速普遍小於冬季海流流速，其中冬季受東北季風影響最大流速可達 1.5m/sec 以上。本計畫蒐集整理 2009 年 10 月至 2010 年 11 月間海流觀測資料如圖附錄 II 所示，結果顯示民國 2009 年 11 月份有部份時段連續測得流速大於 1.5m/sec 以上之記錄。圖 4.24 所示為海流與風速觀測資料時序列圖，顯示當東北季風鋒面南下時，海流觀測流速通常會隨著增大，並且超越潮流漲退之影響，此時海流流向介於西南～西南西向之間。將上述蒐集資料經頻譜分析結果如圖 4.25 與圖 4.26 所示，得知海流觀測資料中，天文潮流成份所占比例不大，其中在海流東西向(E-W)分量半日潮成份流僅略大於全日潮成份流，而在南北向(N-S)分量全日潮成份流則大於半日潮成份流。本計畫選取 2010 年 1~2 月海流觀測資料分別針對東西向及南北向速度分量進行潮流調和分析，其中天文潮分潮之選取則參考潮汐調和分析結果選

取 K_1、O_1、N_2、M_2 及 S_2 等 5 個分潮；表 4-10 所列為 2010 年 1 月 1 日 0 時至 2 月 12 日 16 時(共 1025 筆資料)潮流調和分析結果，結果顯示各分潮之東西向或南北向速度振幅均小於 0.1 m/s，其中東西向平均流速達 0.2 m/s 以上應係海岸地形及北防波堤效應所產生的。

布袋港海域海流觀測站設置於航道出口西側約 800 m 處(67 二度分帶座標：E 159610.4、N 2586507.7)，其北邊距離北防波堤約 700 m，位置如圖 4.27 所示。由於此觀測站為港灣技術研究中心新設置，監測時間始於今年 8 月中旬，因此本計畫至目前為止僅蒐集到 2012 年 8 月 14 日至 9 月 30 日之海流觀測資料，整理蒐錄於附錄 III。依據此期間海流觀測資料，最大測得流速為 0.996 m/s，流向為西北方向(323.3 度)，發生於 8 月 29 日 14 時。將上述蒐集資料經頻譜分析結果如圖 4.28 與圖 4.29 所示，得知海流觀測資料中，東西向與南北向流速分量皆以半日潮成份流為最大，其次為全日潮成份流。四分之一日潮的成份流亦很明顯，其能量在東西向分量的大小接近全日潮成份流。由頻譜分析結果可知海流南北向分量主要分潮的能量較東西向分量大，顯示南北向分量的流速較東西向分量為大。將所蒐集布袋港海流觀測資料分別針對東西向及南北向速度分量進行潮流調和分析，其中天文潮分潮之選取亦參考潮汐調和分析結果選取 K_1、O_1、N_2、M_2 及 S_2 等 5 個分潮；表 4-11 所列為今年 8 月 14 日 16 時至 9 月 30 日 22 時(共 1135 筆資料)潮流調和分析結果，顯示布袋港觀測站南北向速度振幅以 M_2 分潮 0.271 m/s 為最大，南北向其餘分潮流速及東西向各分潮流速均小於 0.1 m/s。

表 4-10 臺中港海流觀測資料調和分析成果表

分潮名稱	角頻率(度/小時)	E-W		N-S	
		振幅(m/s)	位相角(度)	振幅(m/s)	位相角(度)
O1	13.94303513	0.0544	57.178	0.0431	39.299
K1	15.04106903	0.0598	257.877	0.0843	237.661
N2	28.43972969	0.0241	356.588	0.0095	321.453
M2	28.98410416	0.0812	127.992	0.0482	132.918
S2	30.00000000	0.0413	0.198	0.0375	341.527
平均流速		-0.2045 m/s		0.0295 m/s	
觀測資料時間		2010/01/01 00:00 ~ 2010/02/12 16:00			
原點時間		2010/01/22 08:00			

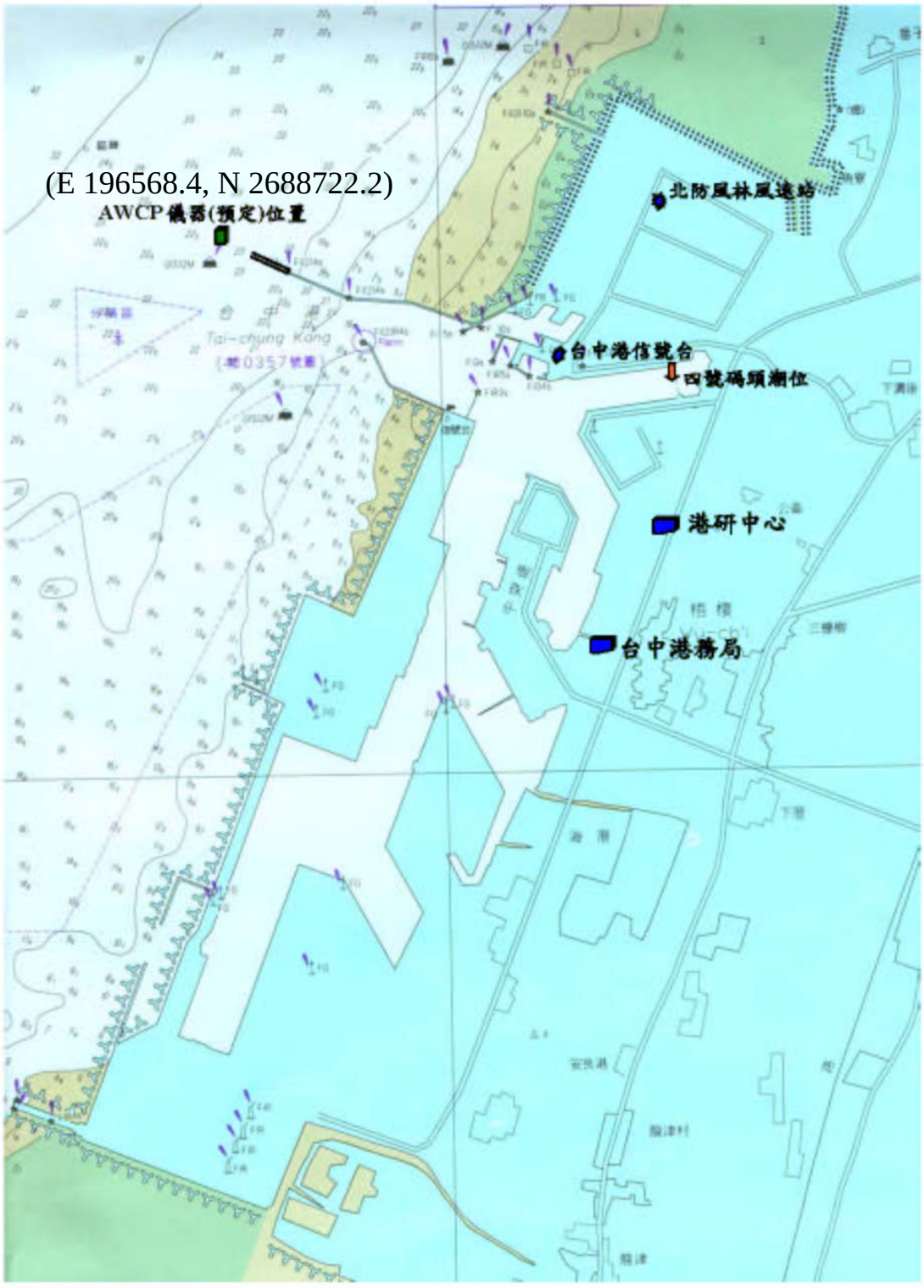


圖 4.23 臺中港海氣象觀測站儀器安裝位置示意圖

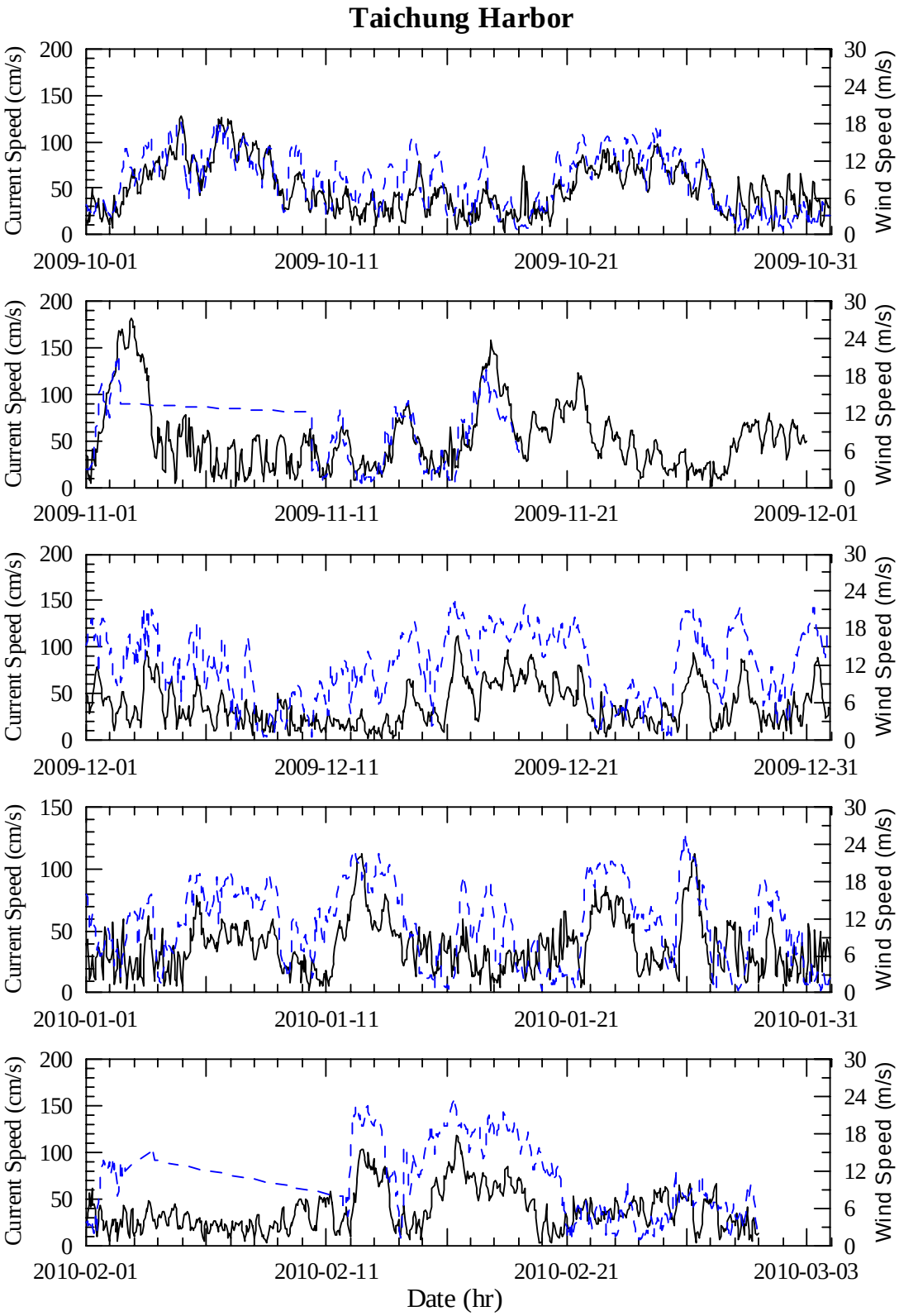


圖 4.24 臺中港區海流與風速觀測資料時序列圖

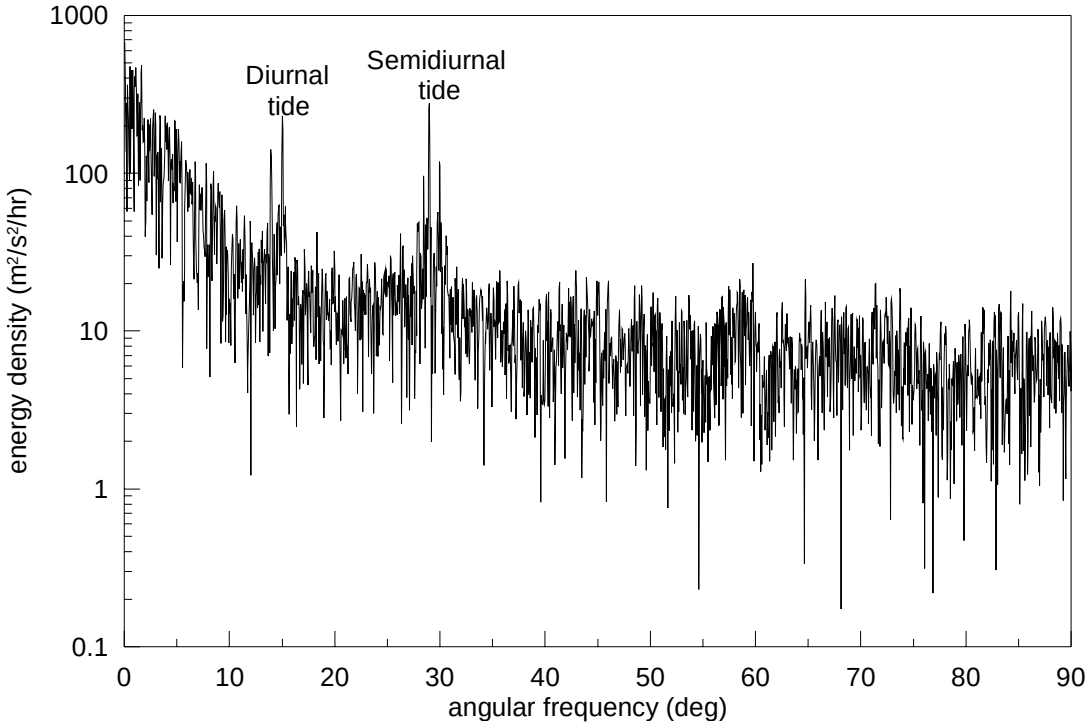


圖 4.25 臺中港海流觀測資料 E-W 方向分量頻譜分析結果
(2009/10/01~2010/03/31)

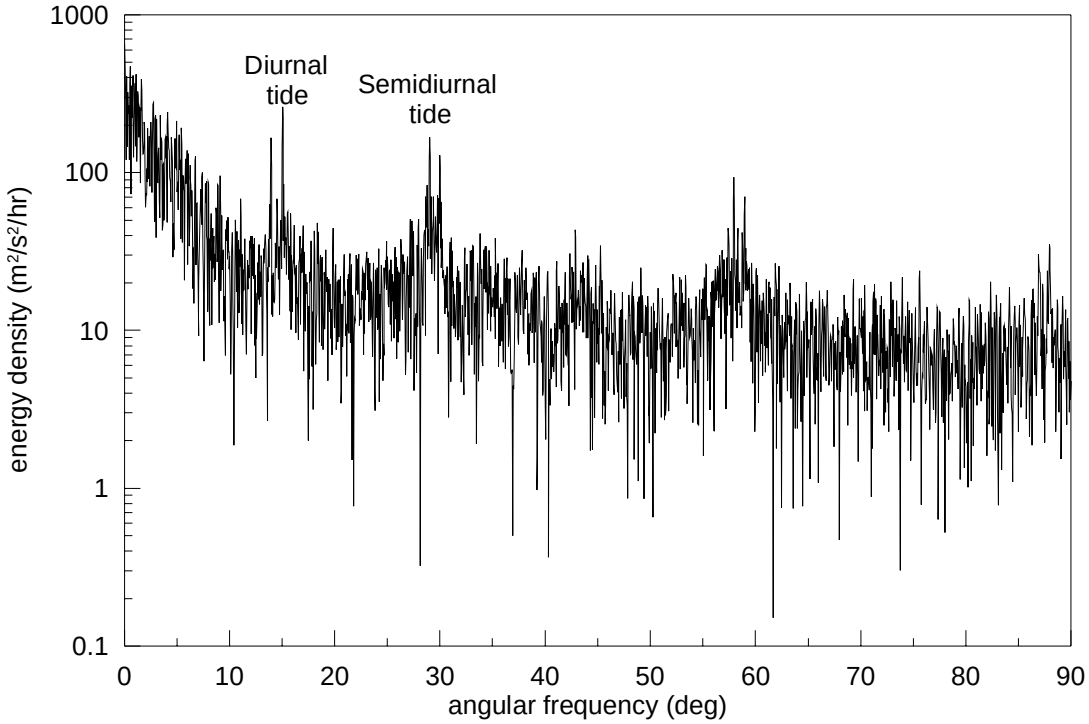


圖 4.26 臺中港海流觀測資料 N-S 方向分量頻譜分析結果
(2009/10/01~2010/03/31)



圖 4.27 布袋港海域潮位與海流觀測點位示意圖

表 4-11 布袋港海流觀測資料調和分析成果表

分潮名稱	角頻率(度/小時)	E-W		N-S	
		振幅(m/s)	位相角(度)	振幅(m/s)	位相角(度)
O1	13.94303513	0.014	205.933	0.037	358.944
K1	15.04106903	0.042	96.827	0.097	311.792
N2	28.43972969	0.013	326.851	0.032	233.901
M2	28.98410416	0.095	171.526	0.271	99.404
S2	30.00000000	0.011	136.691	0.081	7.825
平均流速		-0.0008 m/s		0.0021 m/s	
觀測資料時間		2012/08/14 16:00 ~ 2012/09/30 22:00			
原點時間		2012/09/07 00:00			

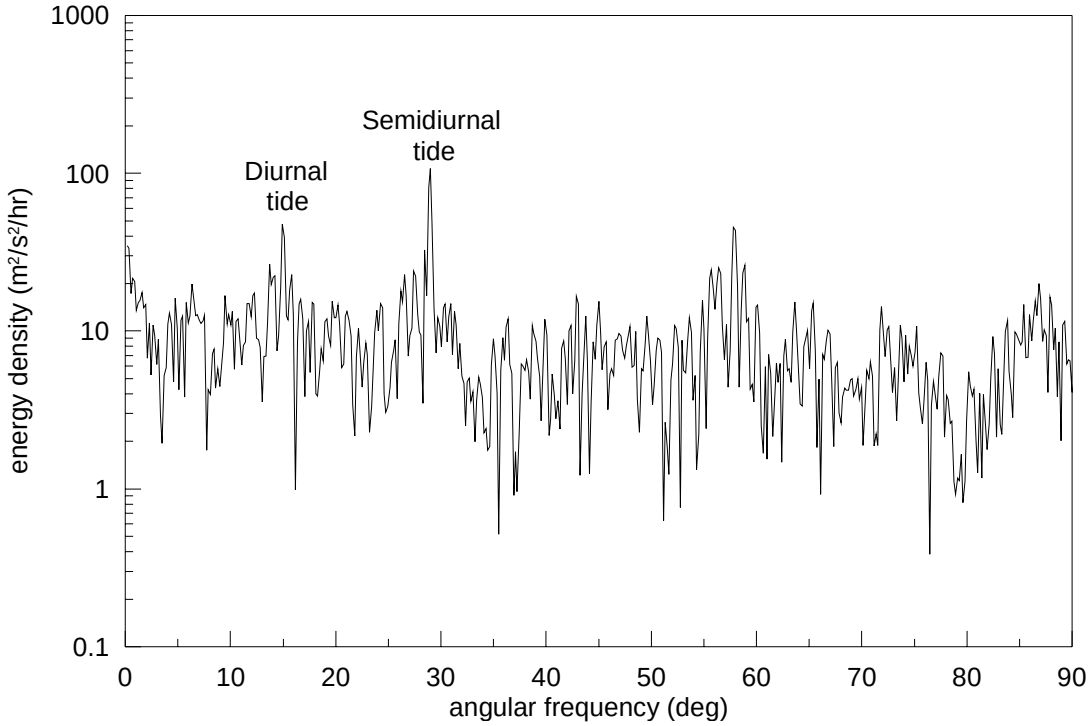


圖 4.28 布袋港海流觀測資料 E-W 方向分量頻譜分析結果(資料時間：2012/8/14~9/30)

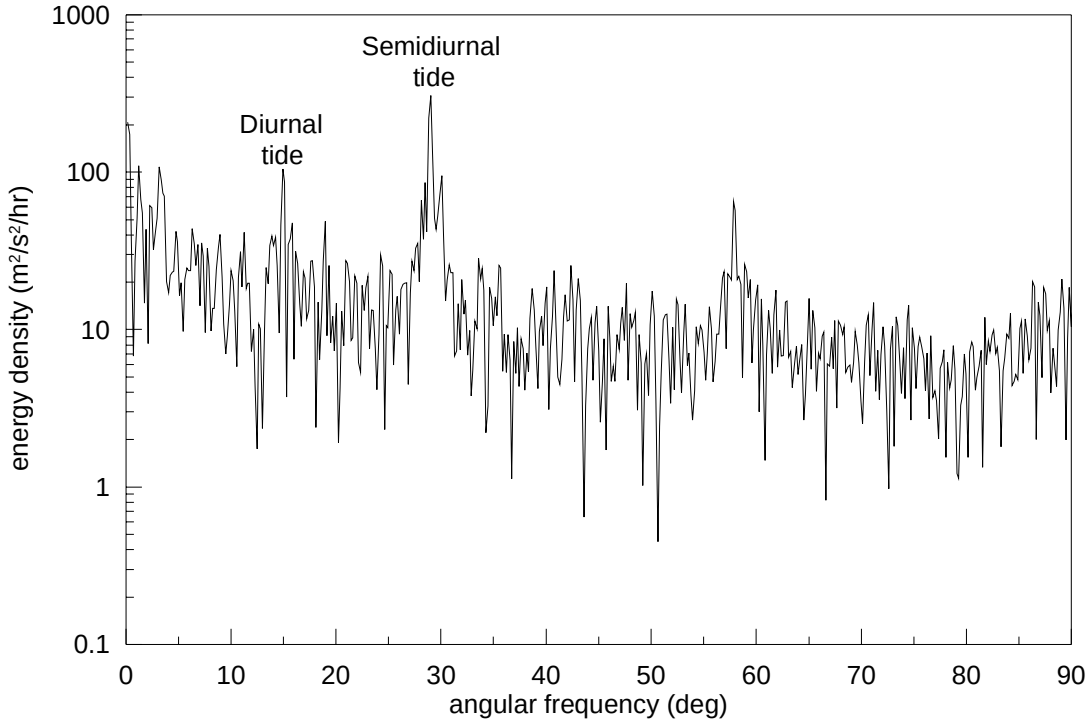


圖 4.29 布袋港海流觀測資料 N-S 方向分量頻譜分析結果(資料時間：2012/8/14~9/30)

4.2.4 颱風資料

根據中央氣象局發佈資料，本年度至 9 月底共計有 7 個颱風影響臺灣本島或附近海域，分別為泰利、杜蘇芮、蘇拉、海葵、啟德、天秤以及杰拉華颱風，其相關資訊，包括警報期間、強度、中心最低氣壓、最大風速及暴風半徑等，如表 4-12 所示。由表 4-12 顯示泰利與杜蘇芮颱風警報發佈期間發生在 6 月下旬，今年多數颱風警報發佈在 8 月，包括蘇拉、海葵、啟德與天秤颱風，而強烈颱風杰拉華警報則發佈在 9 月下旬，其接近臺灣時颱風中心最低氣壓皆為 920 hPa，近臺時中心最大風速以桑達颱風最大為 55 m/s，七級風暴風半徑以中度颱風梅花最大為 280 km，十級風暴風半徑則以桑達颱風最大為 100 km。

有關本年度發佈警報颱風之行進路徑如圖 4.30 至圖 4.36 所示，其中以泰利、蘇拉及天秤颱風之暴風圈曾籠罩本年度計畫之海域，以下分別做說明。泰利颱風 6 月 18 日凌晨 2 時於海南島附近生成，以東北方向逐漸往臺灣海峽附近移動，颱風強度維持在輕度颱風，20 日 14 時其中心於位於澎湖與金門之間，持續向東北快速移動，21 日 5 時於彭佳嶼東北方轉變為熱帶性低氣壓。根據中央氣象局 2012 年第 5 號颱風警報第 12-1 報，泰利颱風於 6 月 20 日 15 時左右中心位置距本年度計畫之海域最近，當時的中心位置在澎湖的北北西方約 80 公里之海面上，中心氣壓為 990 百帕，七級風暴風半徑為 150 公里，近中心最大風速每秒 23 公尺，相當於 9 級風；瞬間之最大陣風每秒 30 公尺，相當於 11 級風。蘇拉颱風於 7 月 28 日 8 時於菲律賓東方海面生成，初期往北至北北西移動，2 日凌晨 3 時 20 分於花蓮秀林鄉附近登陸，之後呈打轉現象，2 日下午 14 時左右掠過臺灣東北角進入北部海面，於 3 日 6 時左右在馬祖北方進入福建。根據中央氣象局 2012 年第 9 號颱風警報第 20 報，蘇拉颱風於 8 月 2 日 5 時左右中心位置距本年度計畫之海域最近，當時的中心位置在花蓮的西南方約 10 公里之處，中心氣壓為 970 百帕，七級風暴風半徑為 220 公里，十級風暴風半徑為 50 公里，近中心最大風速每秒 33 公尺，相當於 12 級風；瞬間之最大陣風每秒 43 公尺，相當於 14 級風。天秤颱風於 8 月中旬在呂宋島東方海

面形成後向北行進，至鵝鑾鼻東方海面後，向北北西轉西方向移動，至台東東方近海，又轉西南西撲向恆春半島，於 24 日凌晨 5 時於屏東牡丹鄉附近登陸，並穿越恆春半島繼續往西南西方向離去，25 日解除警報後向西南西轉向偏南方向移動，26 日晚間至 27 日清晨再次轉彎，向東轉東北東方向移動，對臺灣及附近海面再次造成威脅。28 日清晨 5 時其中心通過蘭嶼與綠島中間，並向北北東方移動，晚間其中心在宜蘭東北東方海面持續向北北東移動，臺灣陸續脫離其暴風圈。根據中央氣象局 2012 年第 14 號颱風警報第 24-2 報，天秤颱風於 8 月 24 日 13 時左右中心位置距本年度計畫之海域最近，當時的中心位置在高雄的西南方約 30 公里之海面上，中心氣壓為 970 百帕，七級風暴風半徑為 180 公里，十級風暴風半徑為 50 公里，近中心最大風速每秒 33 公尺，相當於 12 級風；瞬間之最大陣風每秒 43 公尺，相當於 14 級風。

表 4-12 本年度侵臺颱風相關資訊

(資料來源：中央氣象局網站)

中文名稱	英文名稱	警報期間	近臺強度	近臺颱風中心最低氣壓 (hPa)	近臺颱風中心最大風速 (m/s)	七級風暴風半徑 (km)	十級風暴風半徑 (km)
泰利	TALIM	6/19～6/21	輕度	985	25.0	150	--
杜蘇芮	DOKSURI	6/28～6/29	輕度	995	23.0	120	--
蘇拉	SAOLA	7/30～8/3	中度	960	38.0	220	80
海葵	HAIKUI	8/6～8/7	中度	960	35.0	180	50
啟德	KAI-TAK	8/14～8/15	輕度	995	20.0	150	--
天秤	TEMBIN	8/21～8/25	中度	945	45.0	180	50
天秤	TEMBIN	8/26～8/28	中度	965	35.0	180	50
杰拉華	JELAWAT	9/27~9/28	強烈	910	55.0	250	100

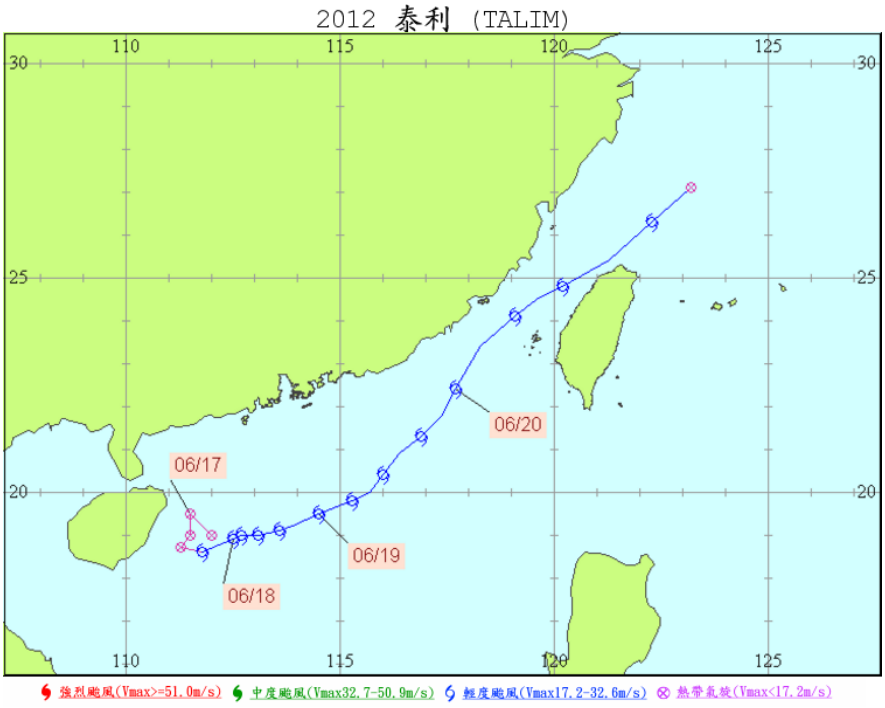


圖 4.30 泰利颱風行進路徑圖

資料來源：中央氣象局網站

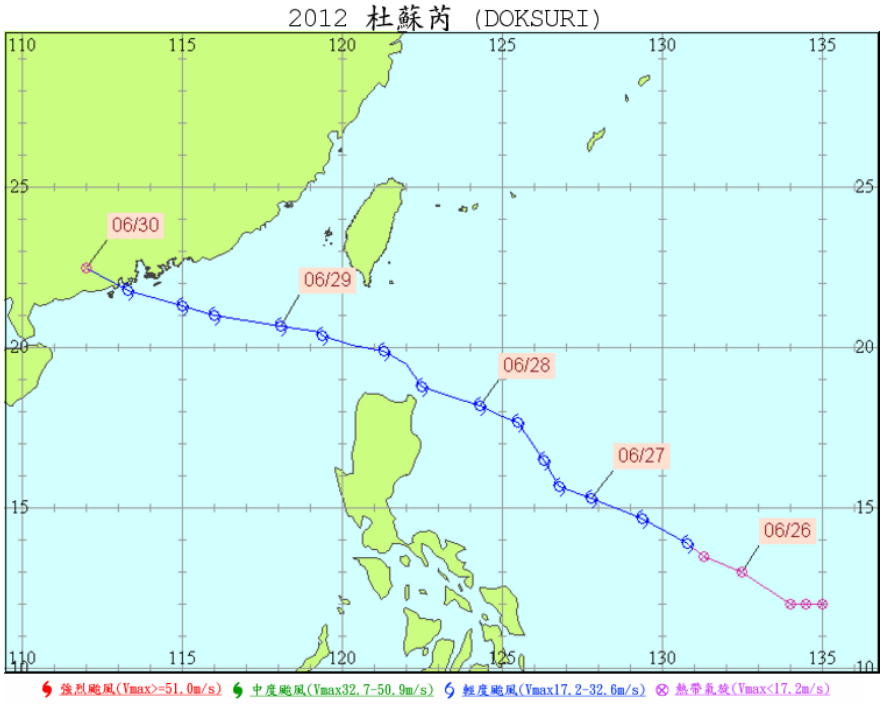


圖 4.31 杜蘇芮颱風行進路徑圖

資料來源：中央氣象局網站

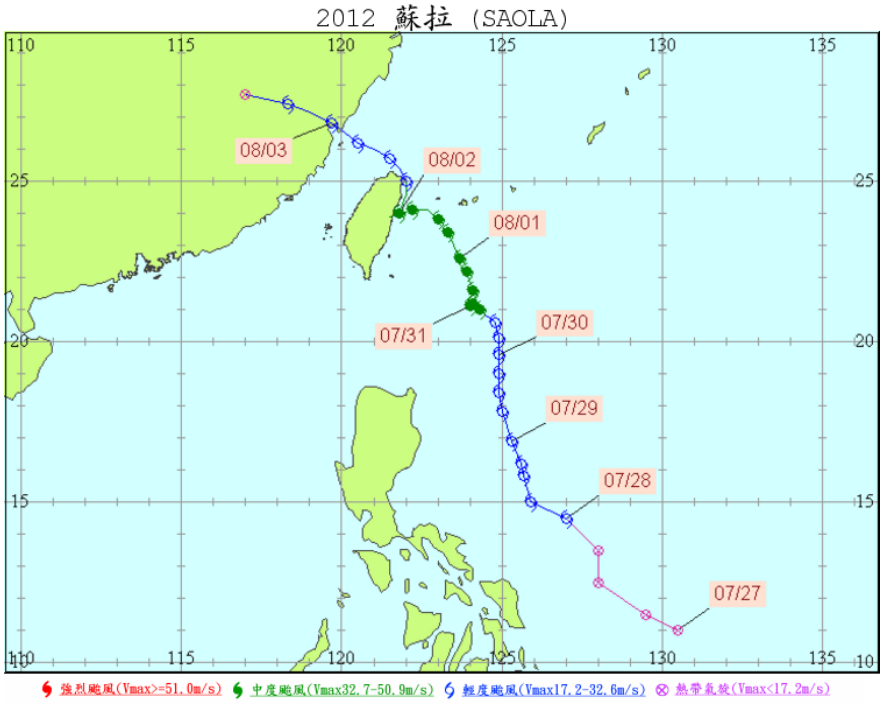


圖 4.32 蘇拉颱風行進路徑圖

資料來源：中央氣象局網站

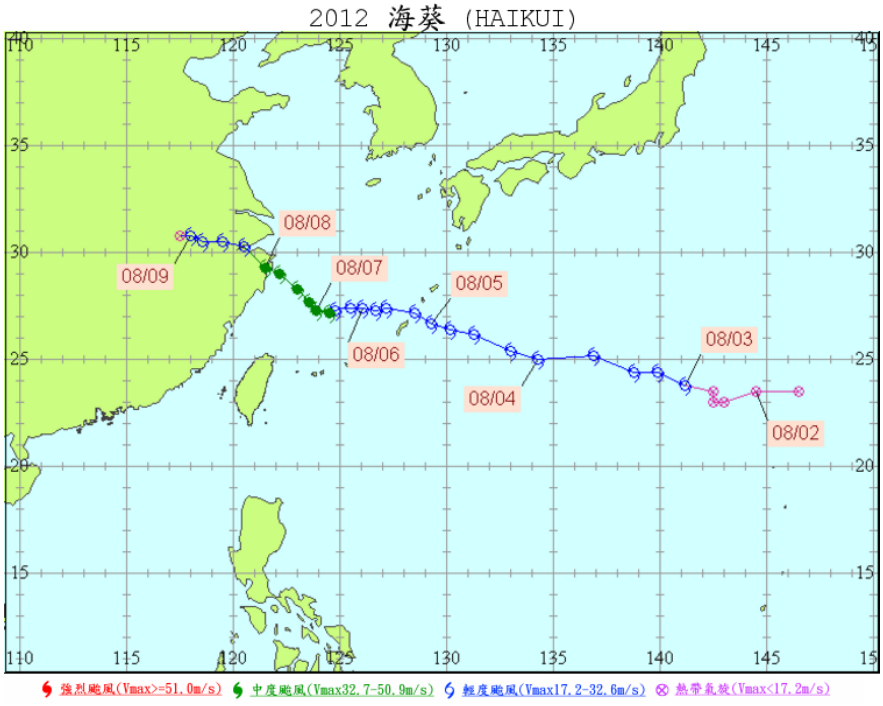


圖 4.33 海葵颱風行進路徑圖

資料來源：中央氣象局網站

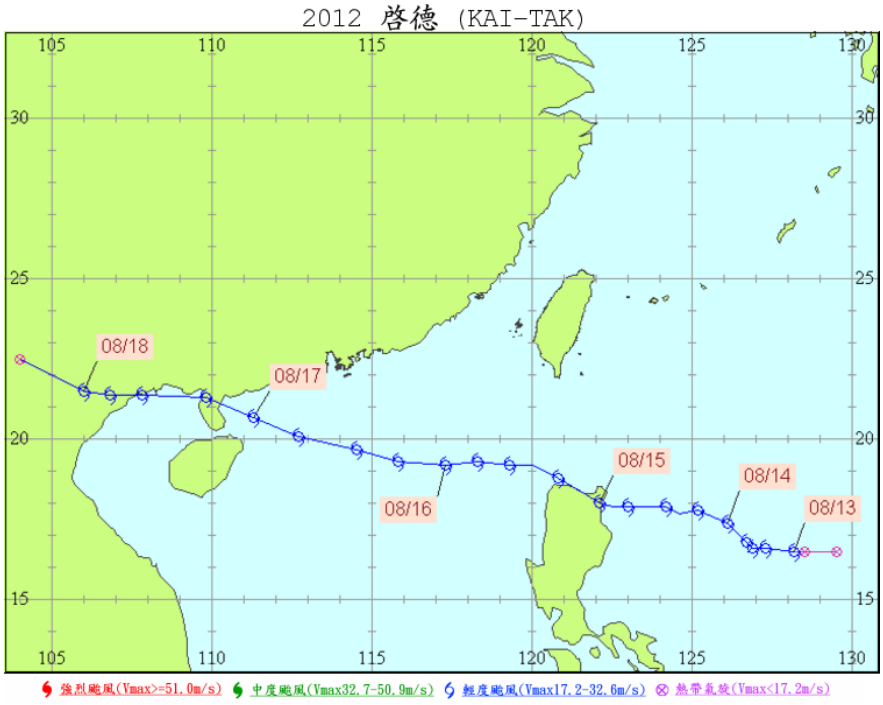


圖 4.34 啟德颱風行進路徑圖

資料來源：中央氣象局網站

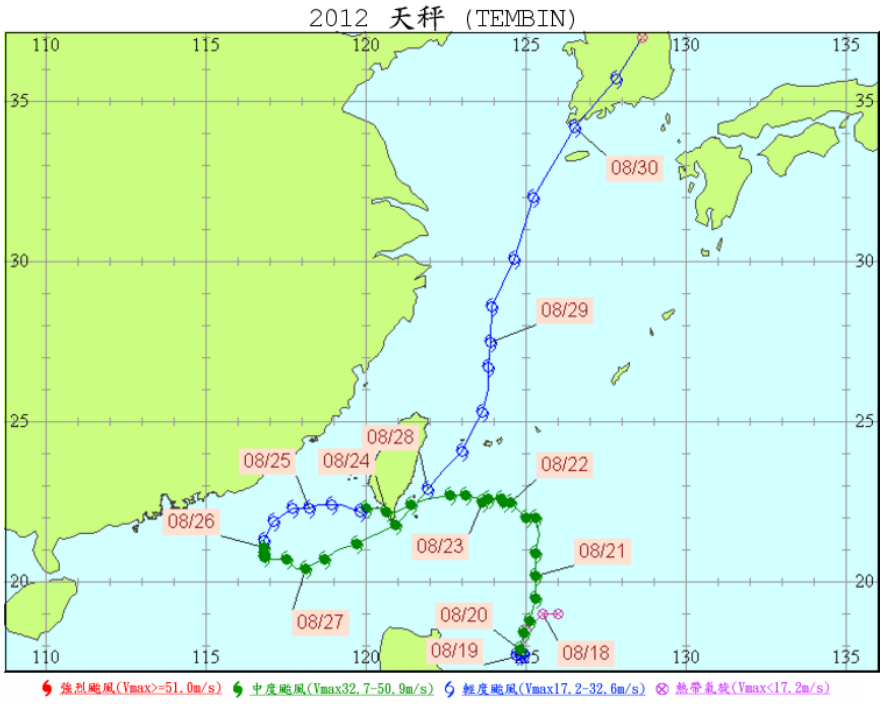


圖 4.35 天秤颱風行進路徑圖

資料來源：中央氣象局網站

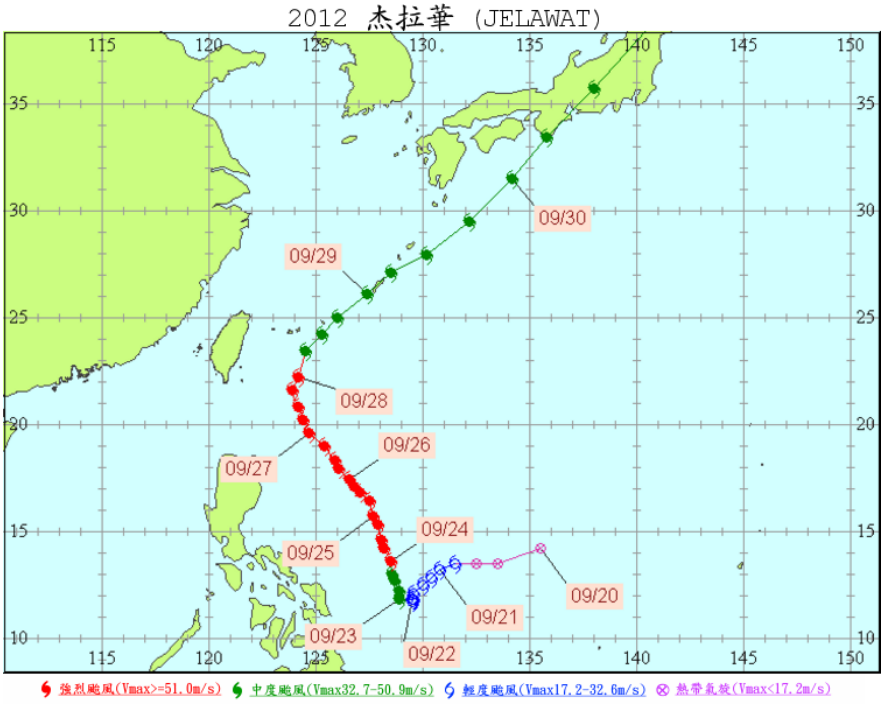


圖 4.36 杰拉華颱風行進路徑圖

資料來源：中央氣象局網站

4.3 臺中港水位與海流模擬

本章節主要依據 2009 年建置之臺中港水動力模擬子系統，配合本年度之工作項目進行 2012 年臺中港港區水位及流場模擬，內容包括地形與計算格網之建立、模式邊界條件之建立、模式參數率定與驗證以及臺中港流況模擬結果。有關水動力模式理論介紹與模式有限元素法求解過程及其相關數值計算則詳列於附錄 IV。

4.3.1 模式數值計算格網之修正

本計畫依據臺中港區第二期擴建工程及航道浚深拓寬工程完工後之港口及航道配置、臺中港區及其鄰近海域之地形水深資料選取適當之模式模擬範圍，如圖 4.37 所示；模擬範圍北起苗栗縣大安鄉，南至彰化縣鹿港鎮。本計畫依據前述選取之模擬範圍配合中泊渠水域航道、碼頭及護岸配置建置流場數值模擬所需之模式三角形格網如圖 4.38 所示；其中數值網格則由 4809 個節點及 8983 個三角元素所構成，目前方法所建置的細網格(模式 dt 約在 2 秒)據測試結果已具足夠代表性，可計算得到穩定結果。

4.3.2 水位邊界條件之修正

本計畫水動力數值模式之模式邊界型態分為海域開放邊界及陸地邊界兩種，其中陸地邊界條件分為不滑動邊界條件(即邊界節點流速等於零)及滑動邊界條件(即邊界節點垂直方向流速為零)，本計畫模式採用滑動邊界為陸地邊界條件。海域開放邊界通常採用水位(潮位)條件為模式之邊界條件，由於模式模擬範圍內僅臺中港區內有潮位資料，因此本計畫選用 Matsumoto et al.(2000)所發展的 NAO.99b 模式建置模式之開放邊界條件[11]，如圖 4.39 所示，為模式模擬範圍的南北開放邊界之水位邊界條件，在模式計算中南北開放邊界上的每個節點皆以此邊界條件代入，平行海岸之外海開放邊界上每個節點值則以南北邊界值取線性內插計算而得。由於潮汐在臺中港附近海域交會，因此模式南、北邊界之水位變化差異並不顯著。

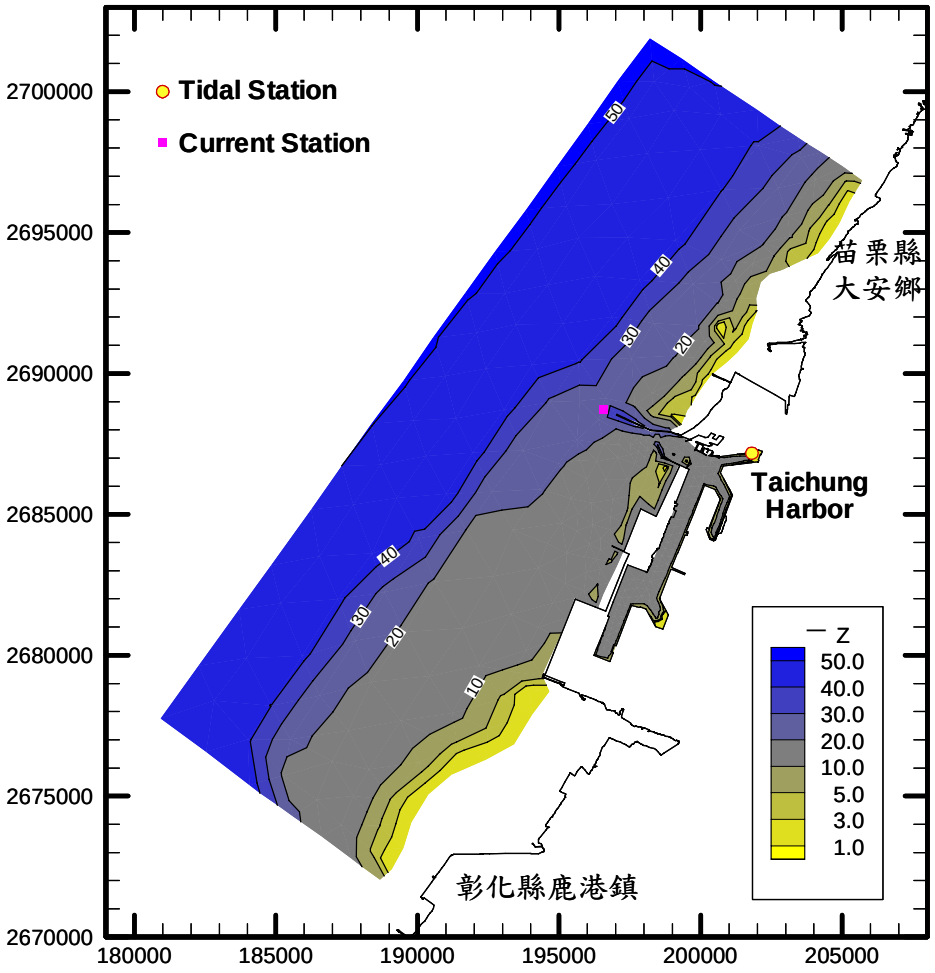


圖 4.37 臺中港區流場模擬範圍與水深分佈圖

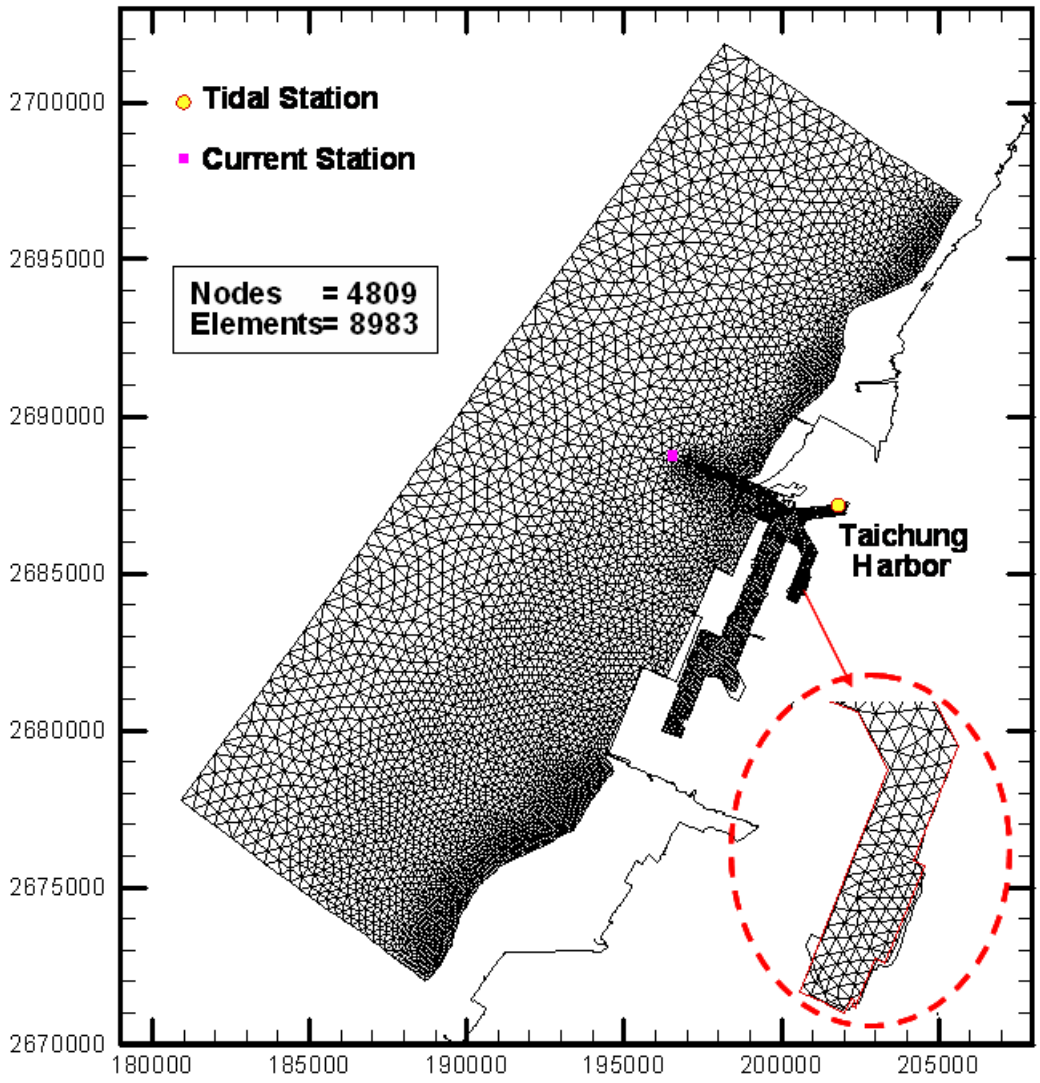


圖 4.38 臺中港區流場模擬範圍之有限元素格網分佈圖

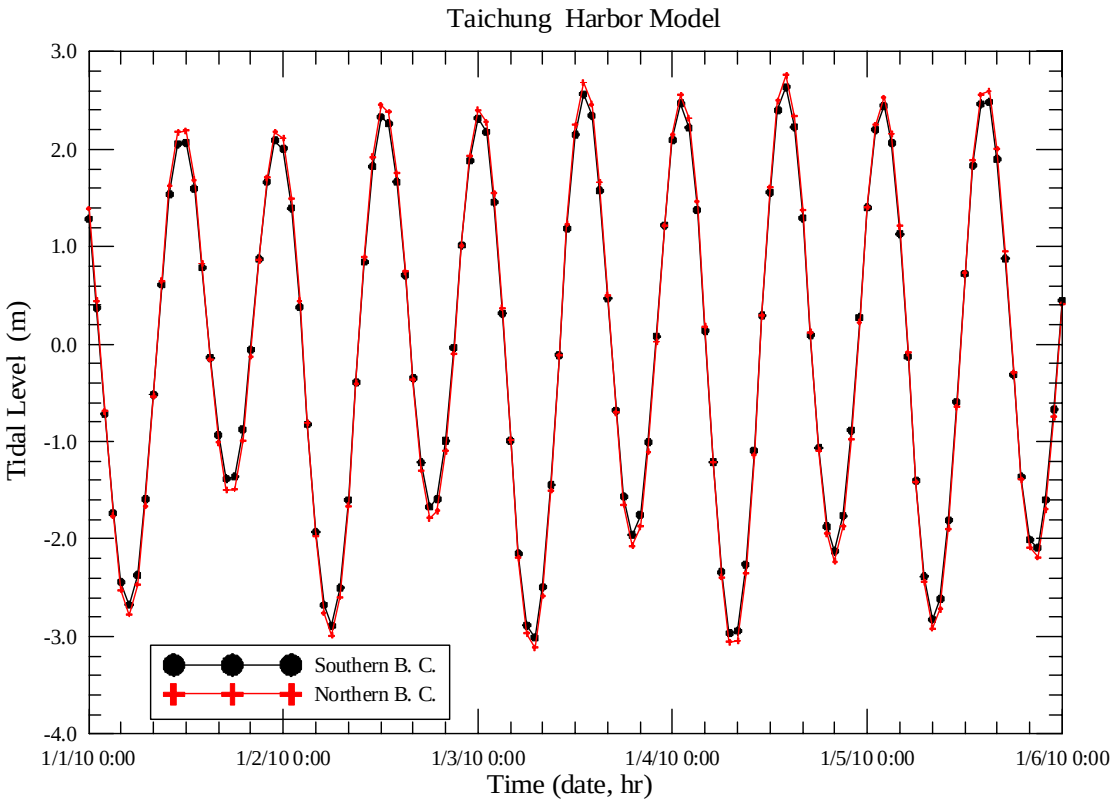


圖 4.39 臺中港水動力模式南、北開放邊界之水位邊界條件時序圖

4.3.3 模式參數率定與驗證

由於水動力模式數值計算之穩定性除了與三角元素大小、節點水深大小及時間項差分之間距△t 大小有關外，模式所使用的物理參數如渦動粘滯性係數及底床摩擦係數大小，以及模式模擬之起始條件等均會影響至模式計算之穩定性。因此相關參數值需進行率定與測試，而本計畫中臺中港水動力模式最終採用的時間間距△t 為 1.0 sec。渦動粘滯性係數本計畫參考 Connor and Wang (1974)之假設[10]，即

$$E_{xx} \sim ag(\tilde{\eta}/\tilde{u})\tilde{x} \quad \text{.....(4.3.1)}$$

式中 E_{xx} 為渦動粘滯性係數，其單位為 m^2/s，a 為無因次係數，其合理的範圍為 0.01~0.1 之間；g 為重力加速度，$\tilde{\eta}$ 為潮汐代表性潮差，$\tilde{u}$ 為潮流代表性流速，$\tilde{x}$ 為三角元素代表性邊界。經由模式之模擬與率定結果得知：模式渦動粘滯性係數計算無因次係數 a 為 0.02，代表性

流速$\tilde{u}$為 1.0m/s，代表性潮差$\tilde{\eta}$為 2.5m；底床摩擦係數隨水深而變，其值介於 0.005~0.020 之間。

為驗証模式模擬結果與率定模式相關參數，本計畫選取臺中港海流長期觀測資料與模式鄰近測點之節點模擬結果進行驗証。由於本計畫水動力模式模擬之流場主要為天文潮流，海流觀測資料除了天文潮流成份外，尚有其他成份流及觀測誤差存在。因此本計畫以 4.2 節臺中港海流觀測資料之調和分析結果預測東西向及南北向潮流流速再與本計畫同時段潮流流場模擬結果比較，如圖 4.40 所示，其中水位模擬結果與觀測資料間具有高度一致性，東西向流速大小及變化亦與天文潮流分析結果相符，南北向流速大小亦與天文潮流分析結果相當；但南北向流速之變化與天文潮流分析結果略有出入，其原因有部份為南北向流速潮流分析結果不佳所致，非全然是模式模擬上的問題。整體而言，模式驗証結果顯示本計畫針對臺中港域潮流流場之模擬結果具有高度之可信度。

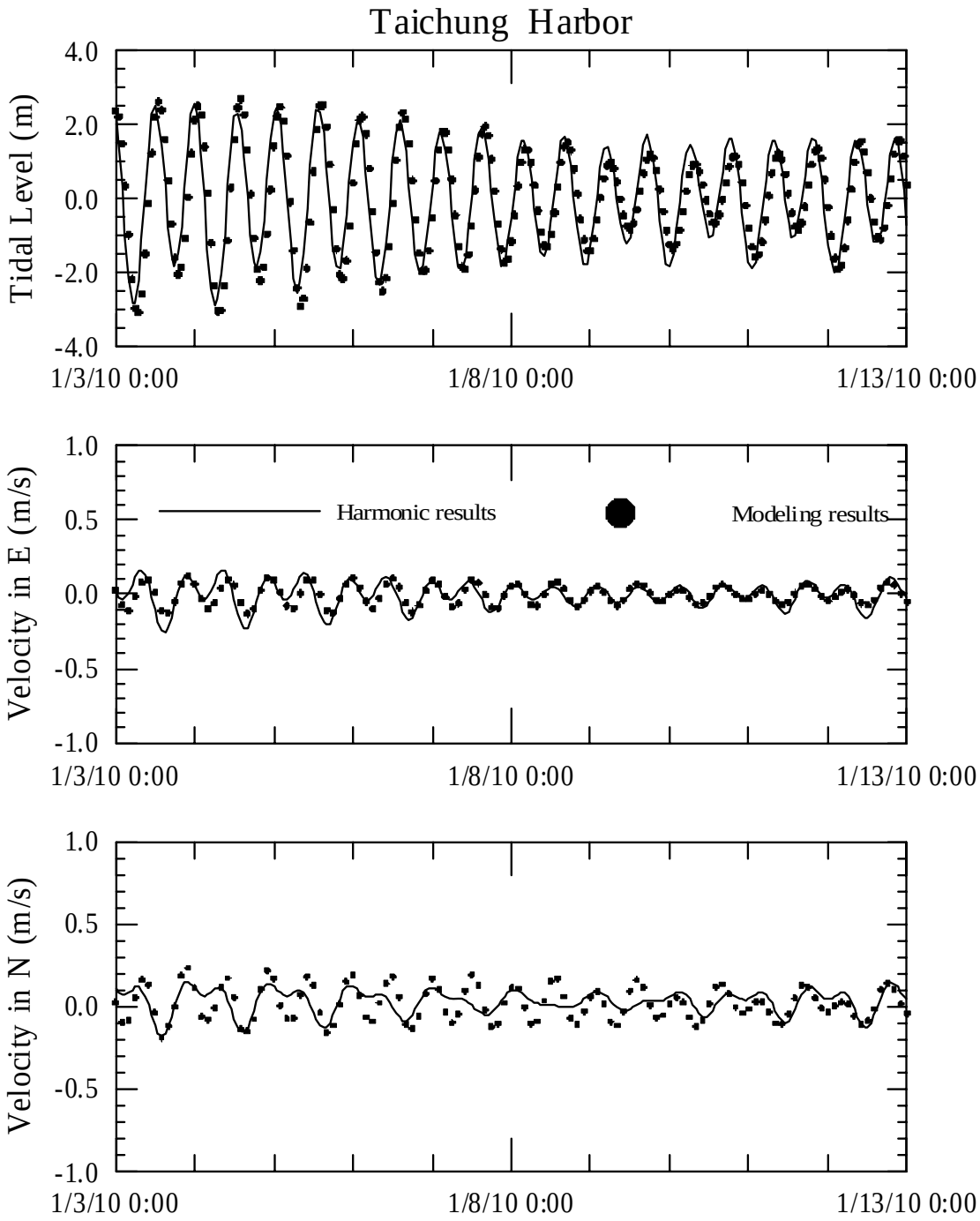


圖 4.40 臺中港水位及潮流模擬結果與潮流觀測資料調和分析結果之比較

4.3.4 流場模擬特性分析

本節依據風場之有無探討臺中港域附近模擬流場的特性，無風場時模式之水面剪應力項設定為零(參考附錄 IV 之式(附 4.2)及式(附 4.3))，考慮風場時則由式(附 4.4h)計算水面剪應力項。首先為無風場時之模擬結果，圖 4.41 至圖 4.45 所示分別為大潮期間不同潮位下臺中港區環境潮流流場之流矢向量圖，顯示在退平潮階段港內潮流向港口流出，港口外潮流流向大致上朝向西南至西南西之間；在漲平潮階段港口附近潮流流向港內，港口外潮流流向大致上朝向東北至北北東之間。

針對固定風場對流場之影響，本計畫選取風速 12 m/s 和 18 m/s、風向北北東(NNE)之風場條件模擬臺中港區海域的流場。因所計算流場均為固定風速、風向條件下之穩定流場，無法直接利用海流觀測時序列資料判斷流場數值模擬結果之合理性。有鑑於此，本計畫依據 2009 年 12 月至 2010 年 1 月份海流及風速觀測資料，分別選取風速為 12±0.5 m/s 及 18±0.5 m/s 時之流速觀測資料，如圖 4.46 所示，得知風速在 12 ±0.5 m/s 區間時，觀測資料最大流速可達 0.94 m/s；風速在 18±0.5 m/s 區間時，觀測資料最大流速可達 1.13 m/s。本計畫環境流場模擬將先依據風速為 18 m/s 之條件進行流場模擬，並以參考點最大流速 1.13 m/s 之條件率定模式相關係數(如風應力係數等)，確保參考點位之流速大小能滿足上述流速觀測條件。經由模式模擬結果之率定，本計畫模式參考點位之流速大小約介於 1.04~1.24 m/s 之間，流向約介於 218°~225° 之間，如圖 4.47 所示。之後，本計畫再依據相同的模式參數模擬風速條件為 12 m/s 時之流場，得到測點位置之流速大小約介於 0.48~0.8 m/s 之間，流向約介於 213°~225°之間，如圖 4.48 所示。本計畫依據模式數值模擬結果分別繪出在風速 18 m/s 及 12 m/s 條件下臺中港區環境流場之流矢向量圖，分別如圖 4.49 與圖 4.50 所示。流場模擬結果顯示在強風作用下，不論漲、退潮臺中港區外海流場均呈現沿海岸地形往南之流向；在南防波堤附近航道及港區內則呈現出漲潮時水流向港內流動，退潮時水流向港外流動。

另外對於瞬態風場對流場變化的效應，本計畫選取 2010 年 1 月上旬的風場逐時資料代入模式計算，並與同時間海流觀測資料比較如圖 4.51 所示，其中模式參數如下：曼寧係數 n 值為 0.02，無因次係數 a 為 0.022，潮汐代表性潮差 $\tilde{\eta}$ 為 1.25 m，代表性潮流流速為 0.4 m/s。計算結果顯示本計畫水動力模式可適時反映風場所引起的流速變化趨勢，多數流速、流向模擬結果與觀測數據接近。

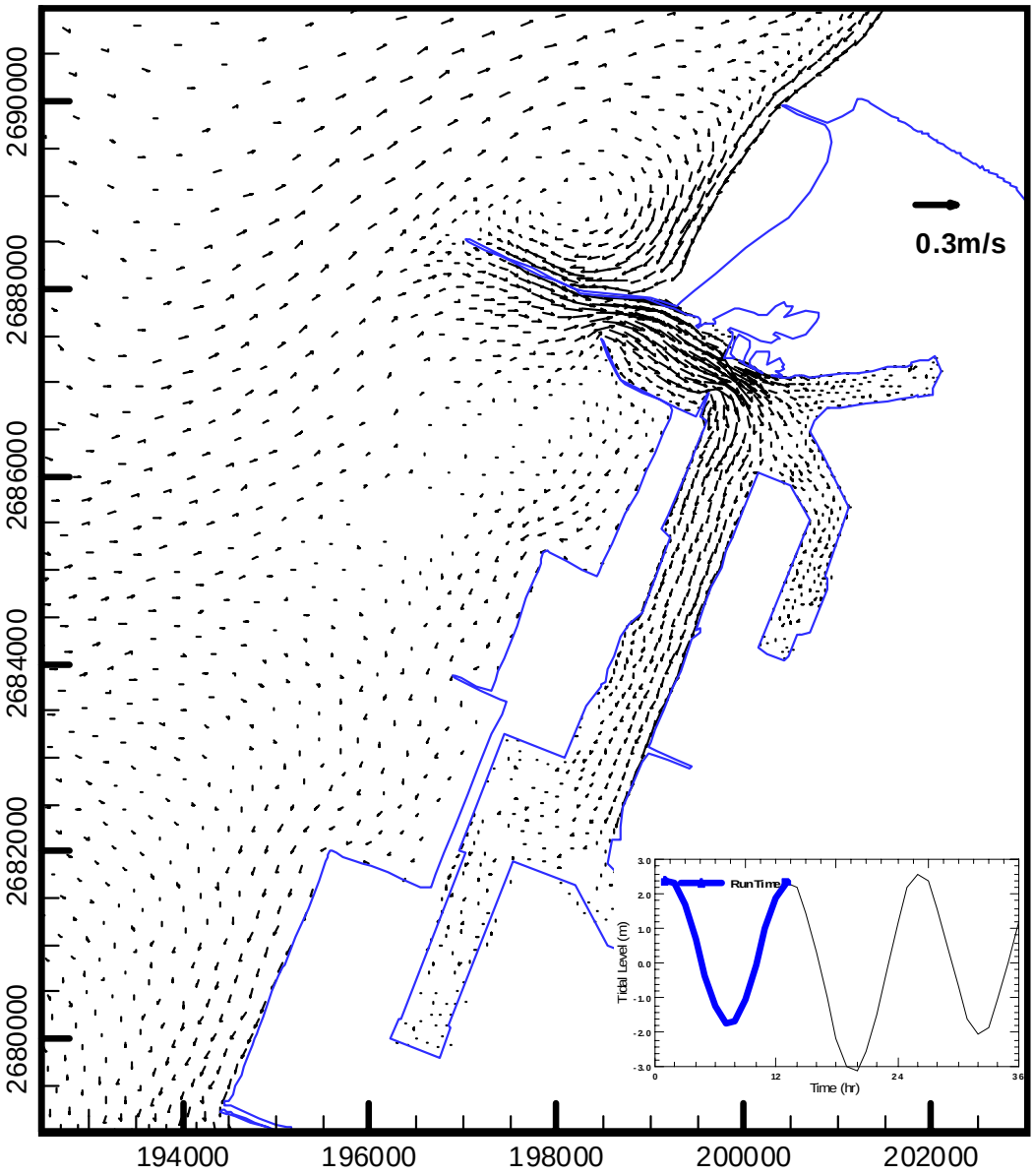


圖 4.41 臺中港區大潮高平潮時段潮流流場模擬之流速向量圖

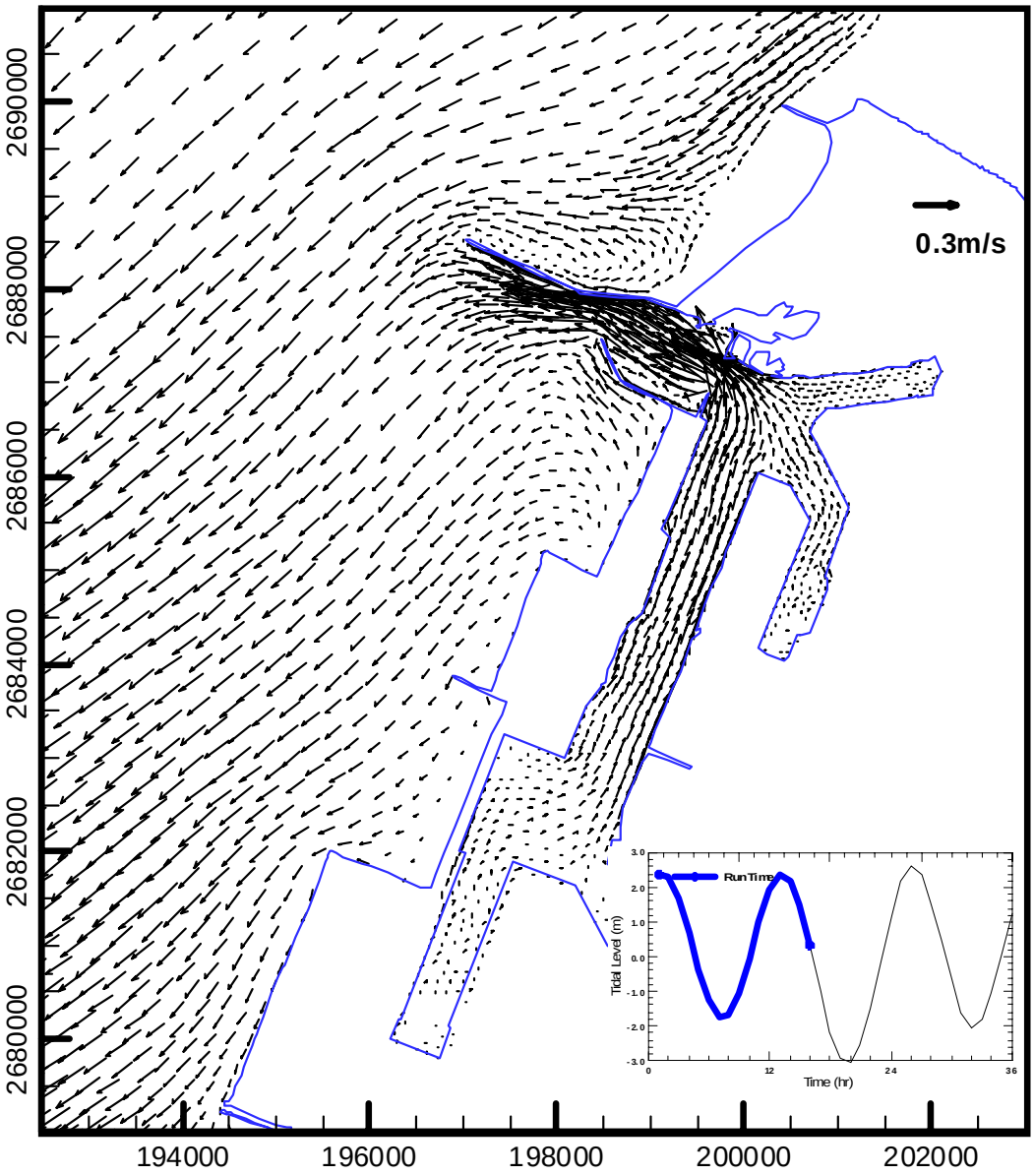


圖 4.42 臺中港區大潮退潮時段潮流流場模擬之流速向量圖

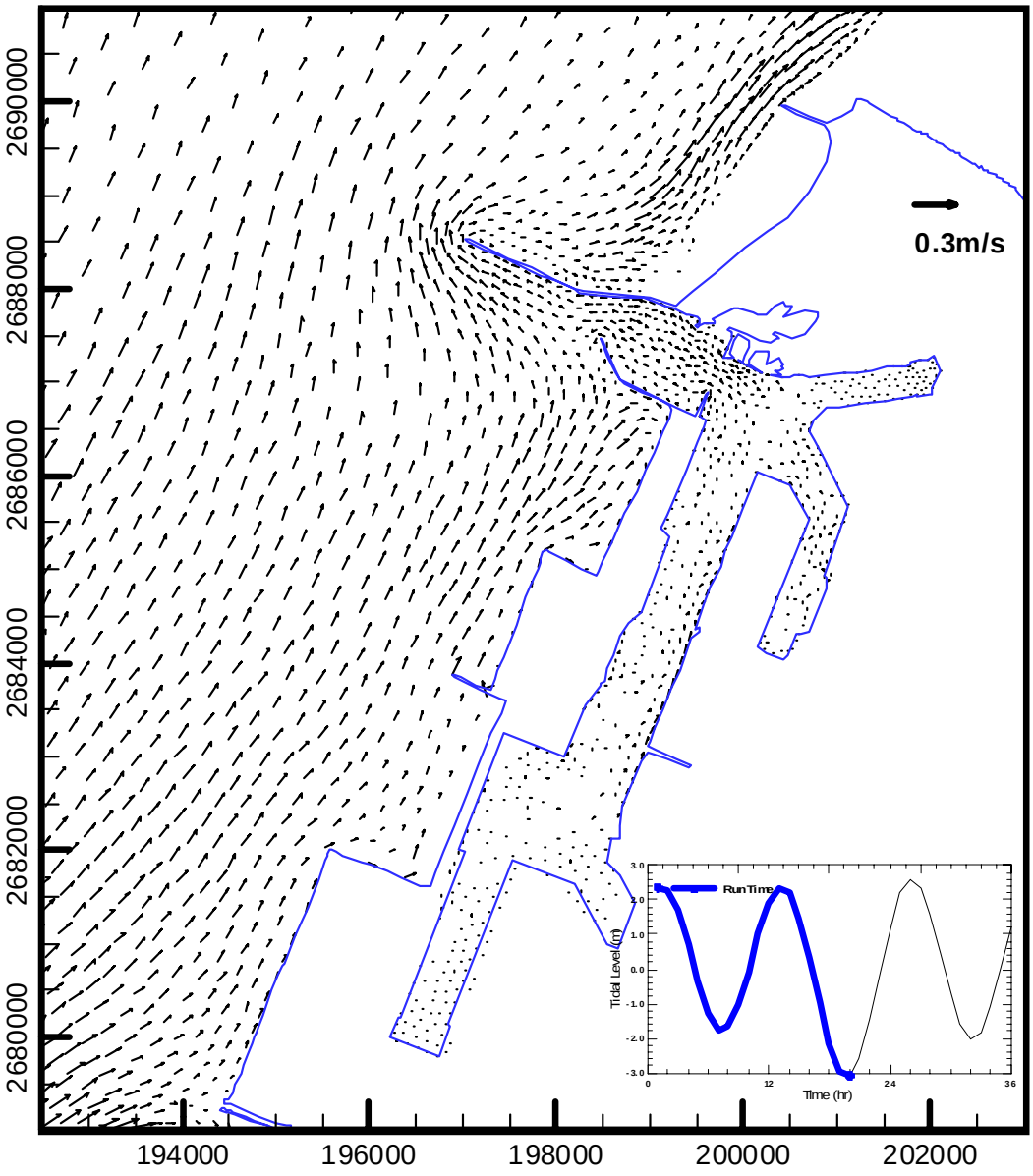


圖 4.43 臺中港區大潮低平潮時段潮流流場模擬之流速向量圖

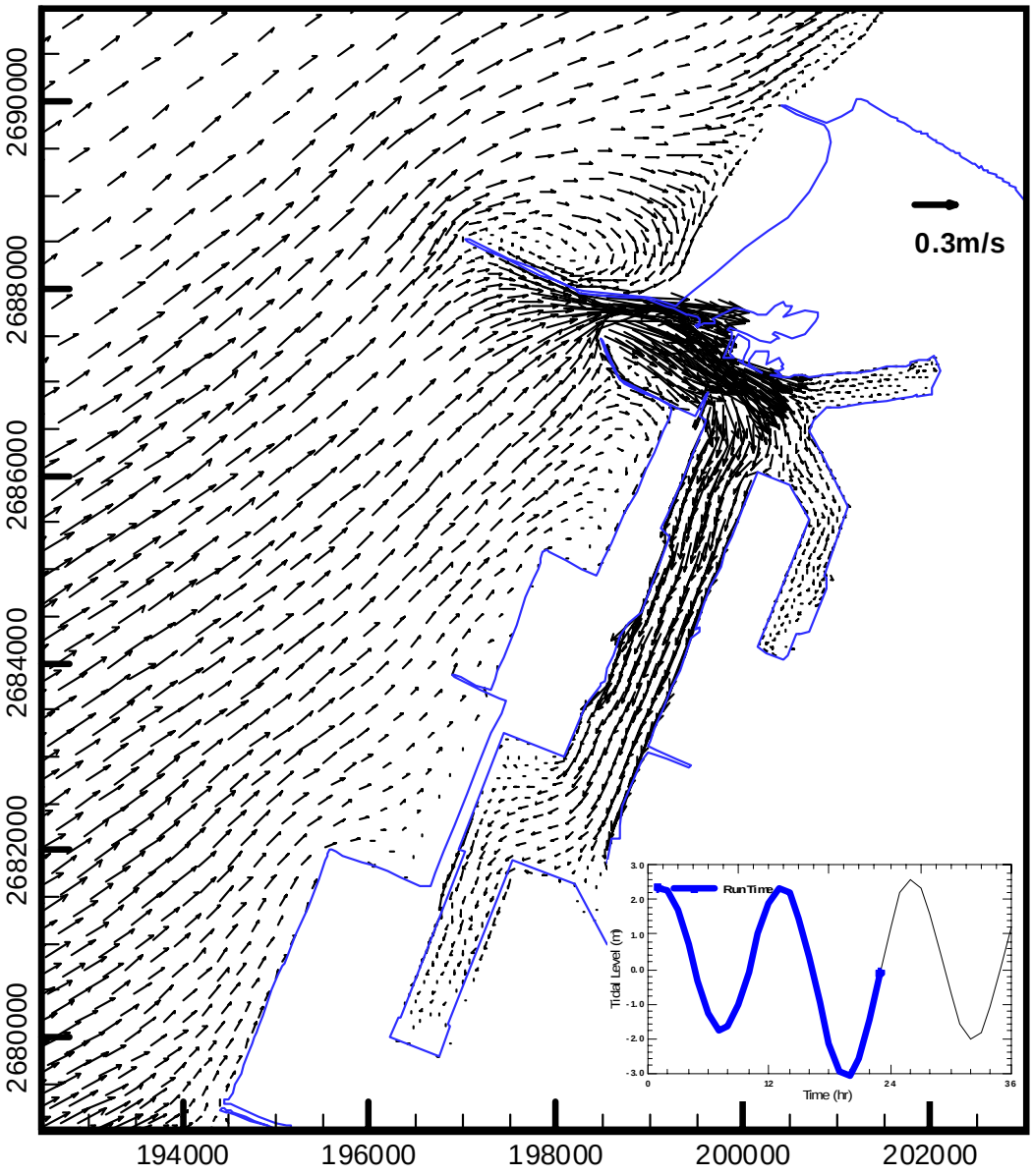


圖 4.44 臺中港區大潮漲潮時段潮流流場模擬之流速向量圖

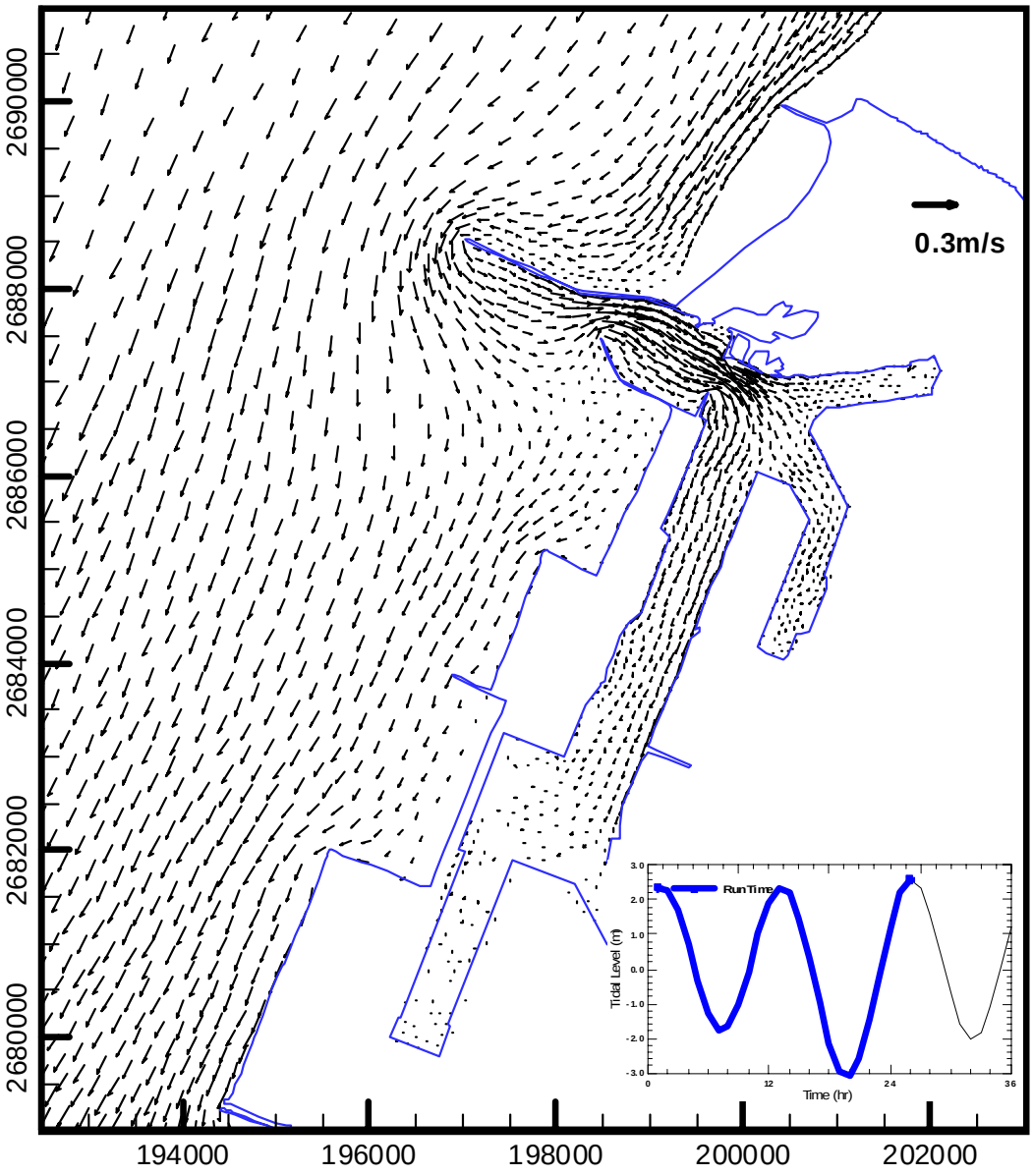


圖 4.45 臺中港區大潮高平潮時段潮流流場模擬之流速向量圖

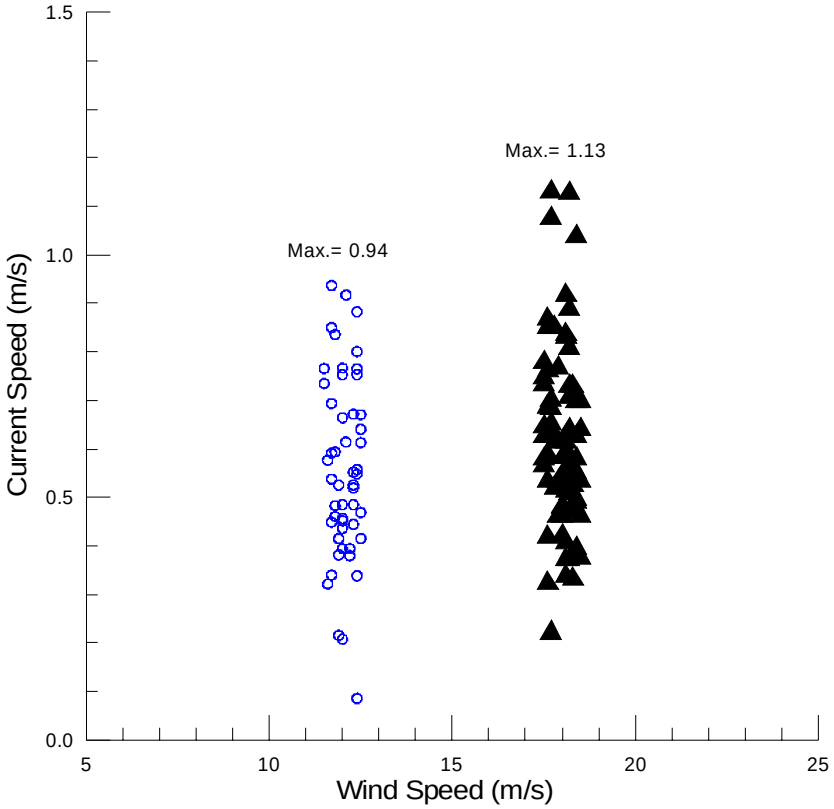


圖 4.46 臺中港區風速為 12 m/s 與 18m/s 情況下流速觀測值分布圖

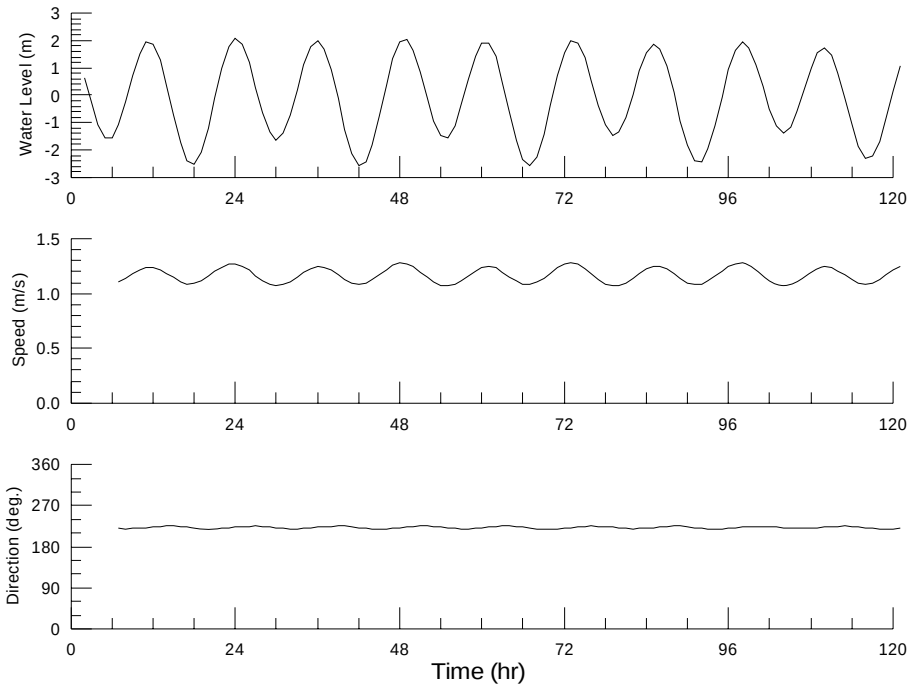


圖 4.47 臺中港區風速為 18 m/s 情況下參考點水位、流速與流向變化圖

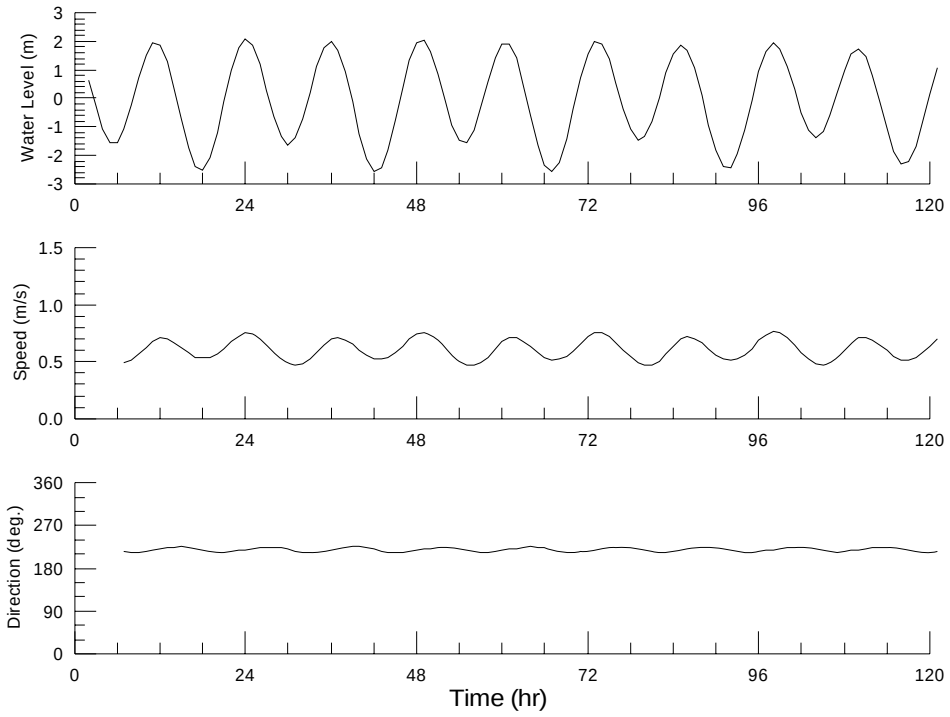


圖 4.48 臺中港區風速為 12 m/s 情況下參考點水位、流速與流向變化圖

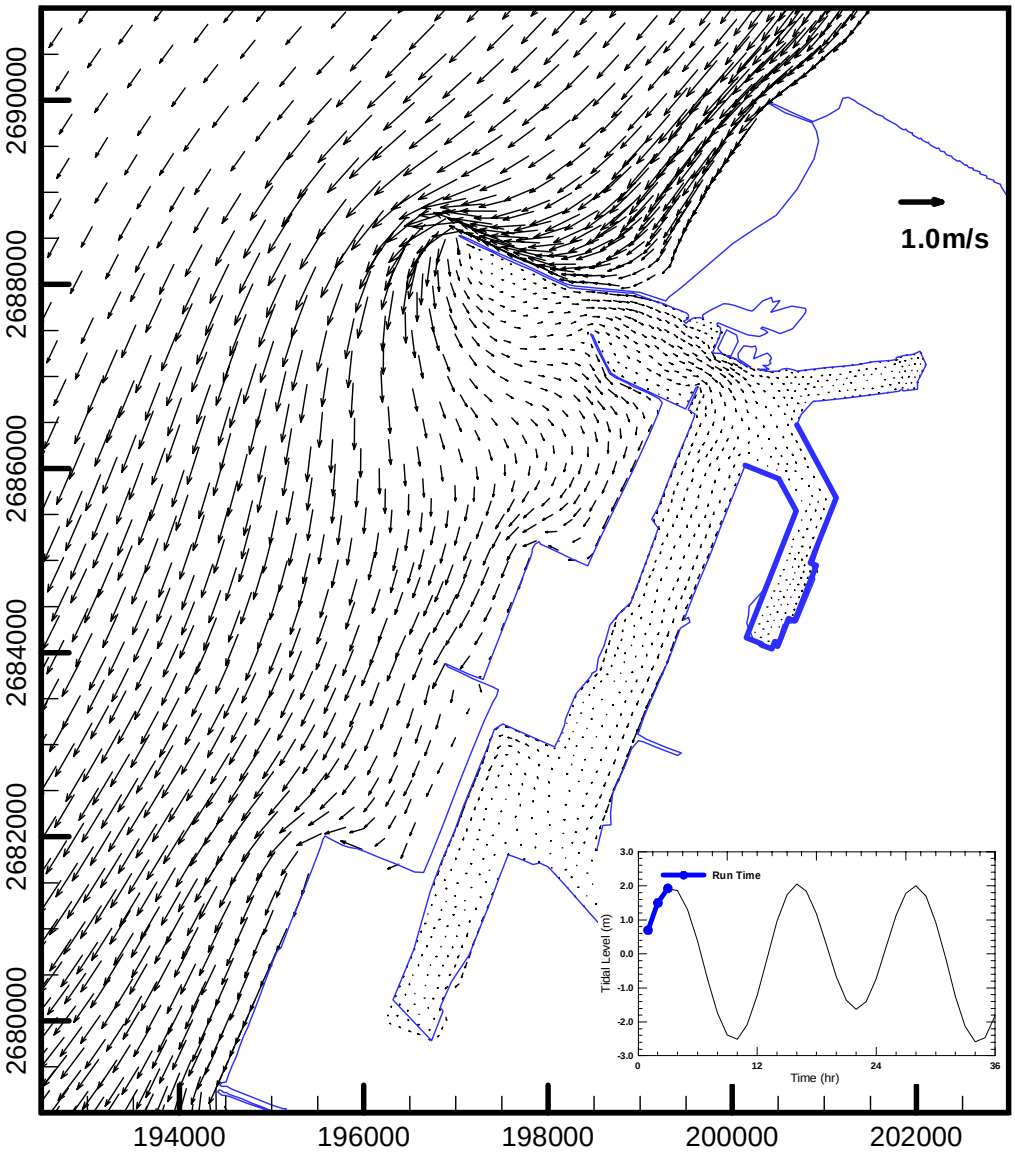


圖 4.49 臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 18 m/s)

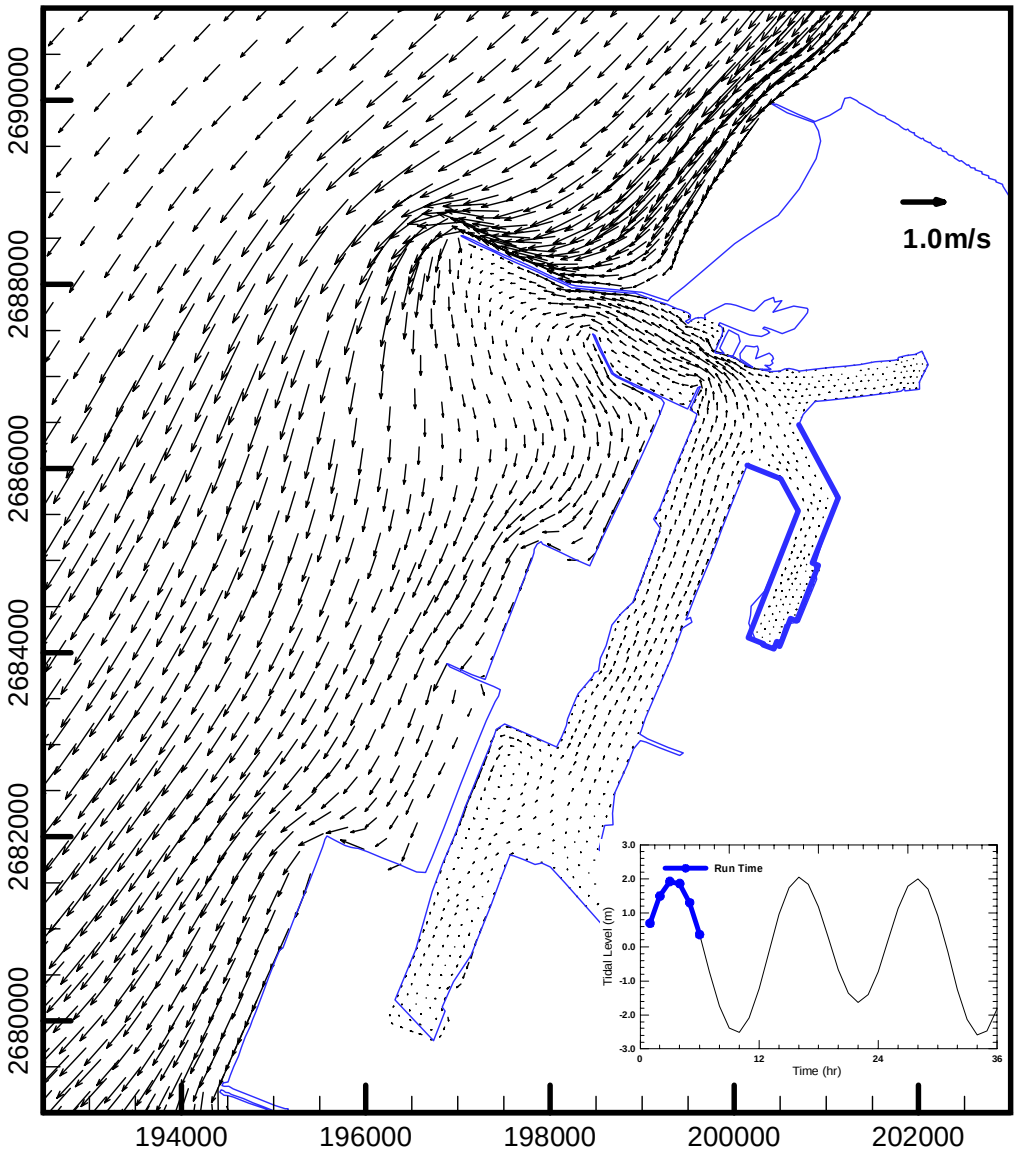


圖 4.49 (續 1)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 18 m/s)

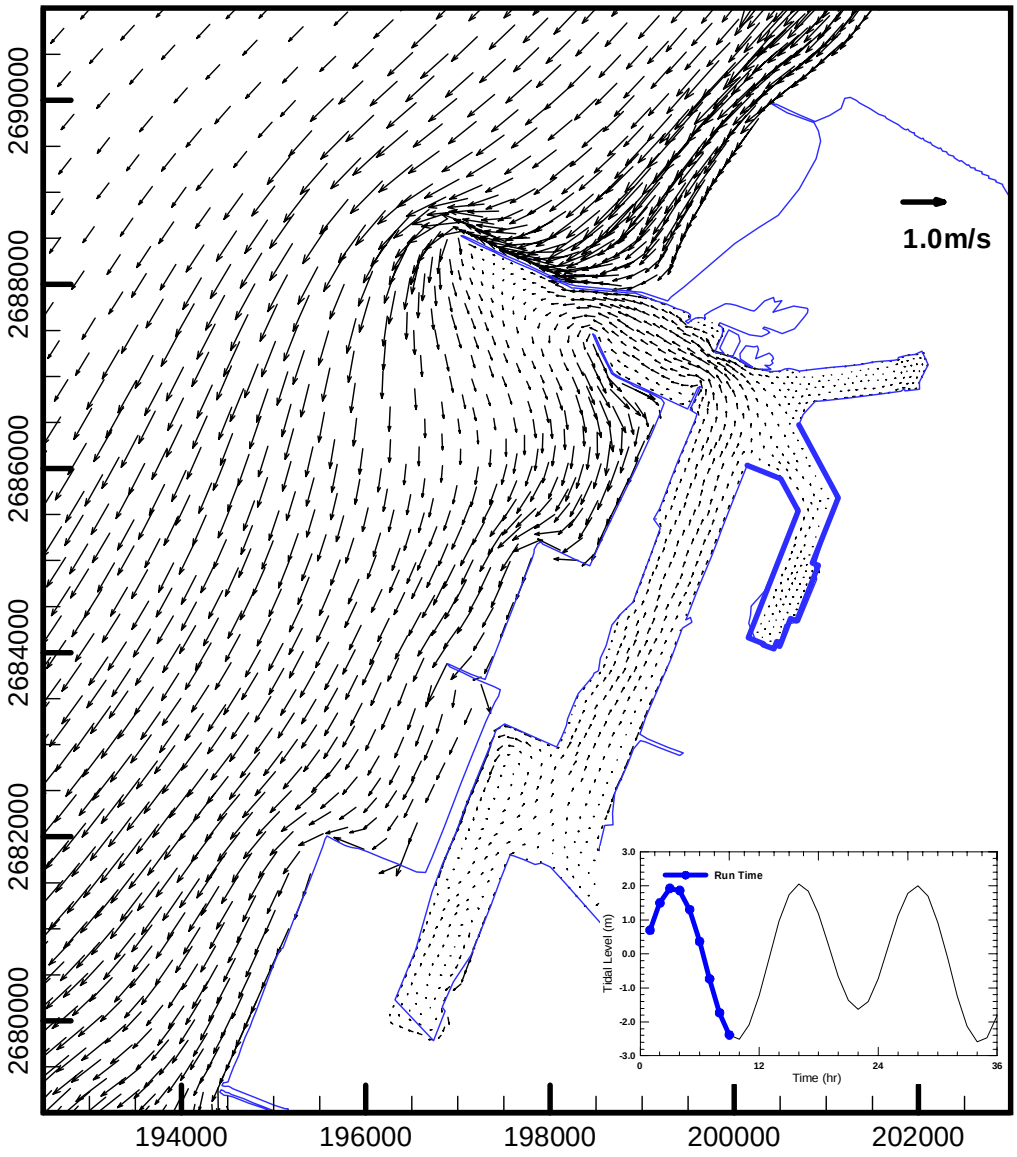


圖 4.49 (續 2)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 18 m/s)

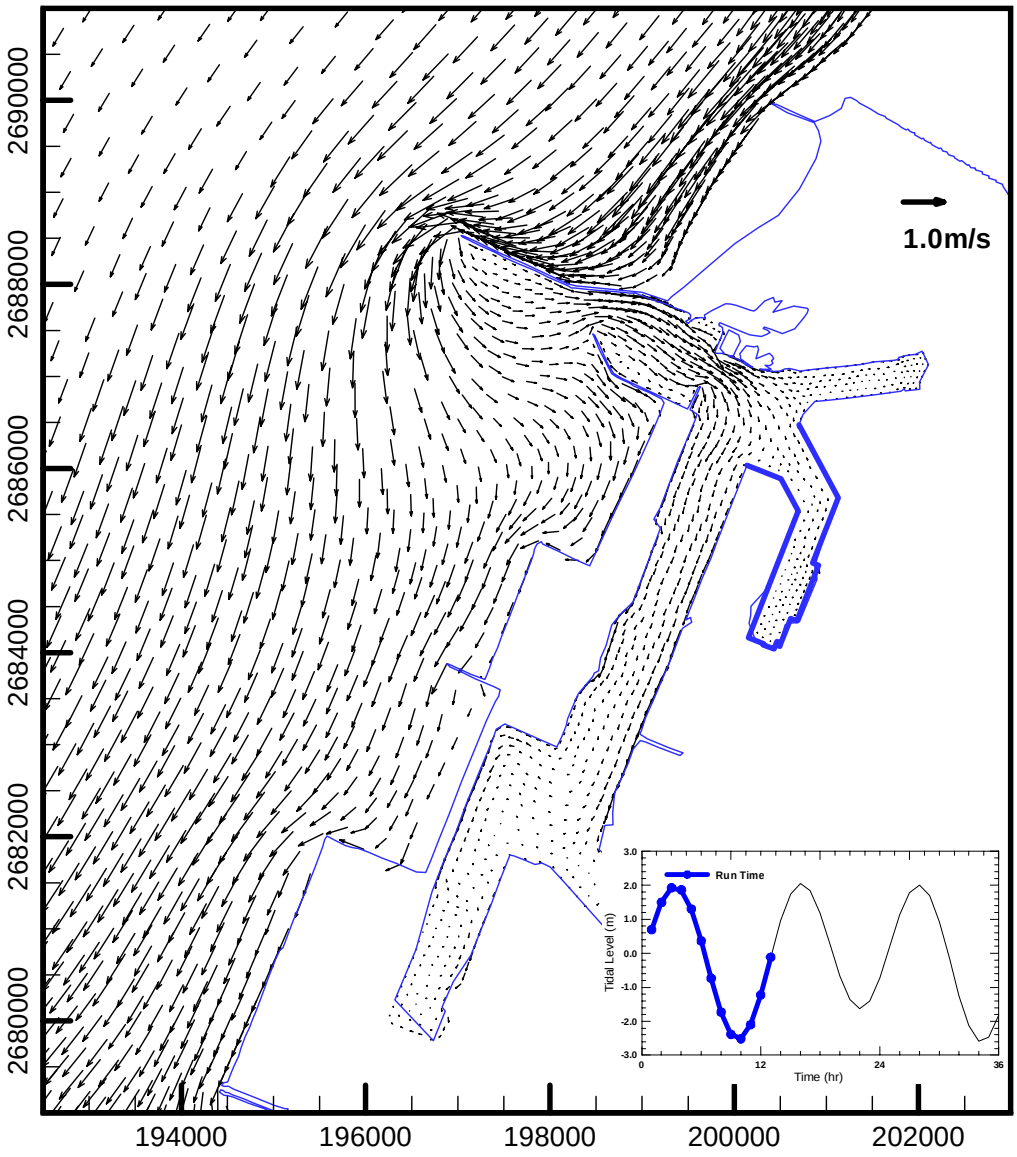


圖 4.49 (續 3)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 18 m/s)

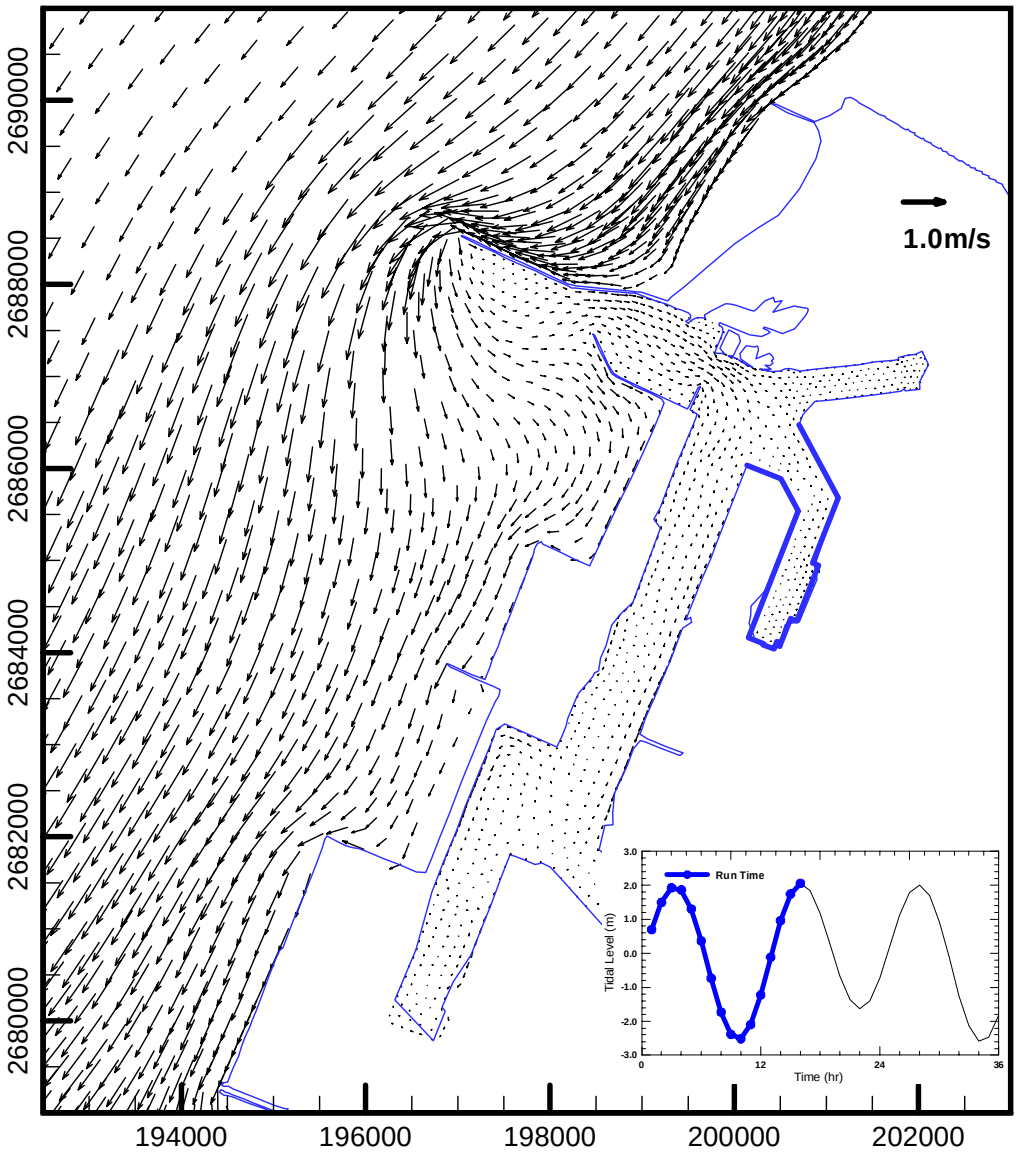


圖 4.49 (續 4)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 18 m/s)

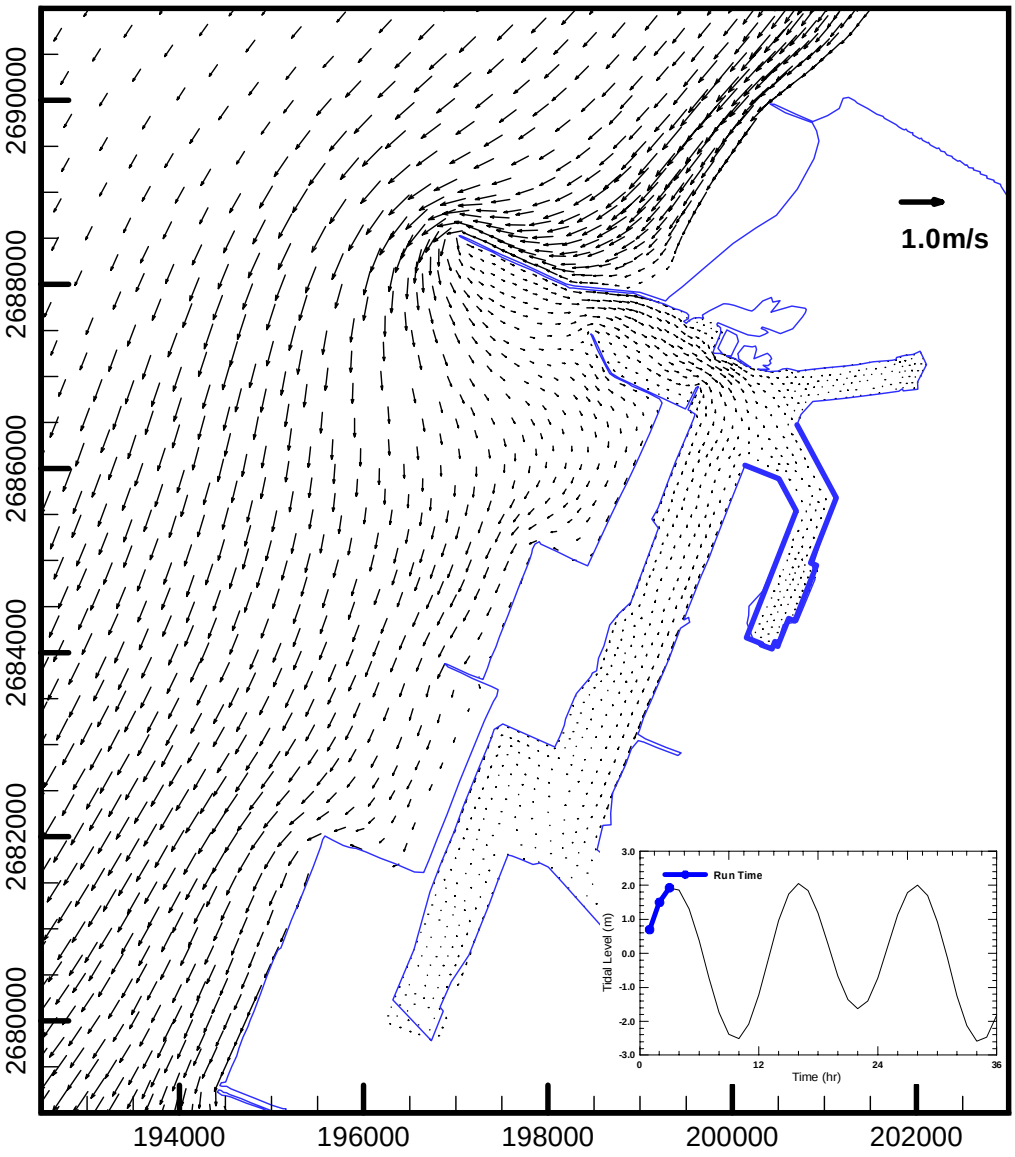


圖 4.50 臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 12 m/s)

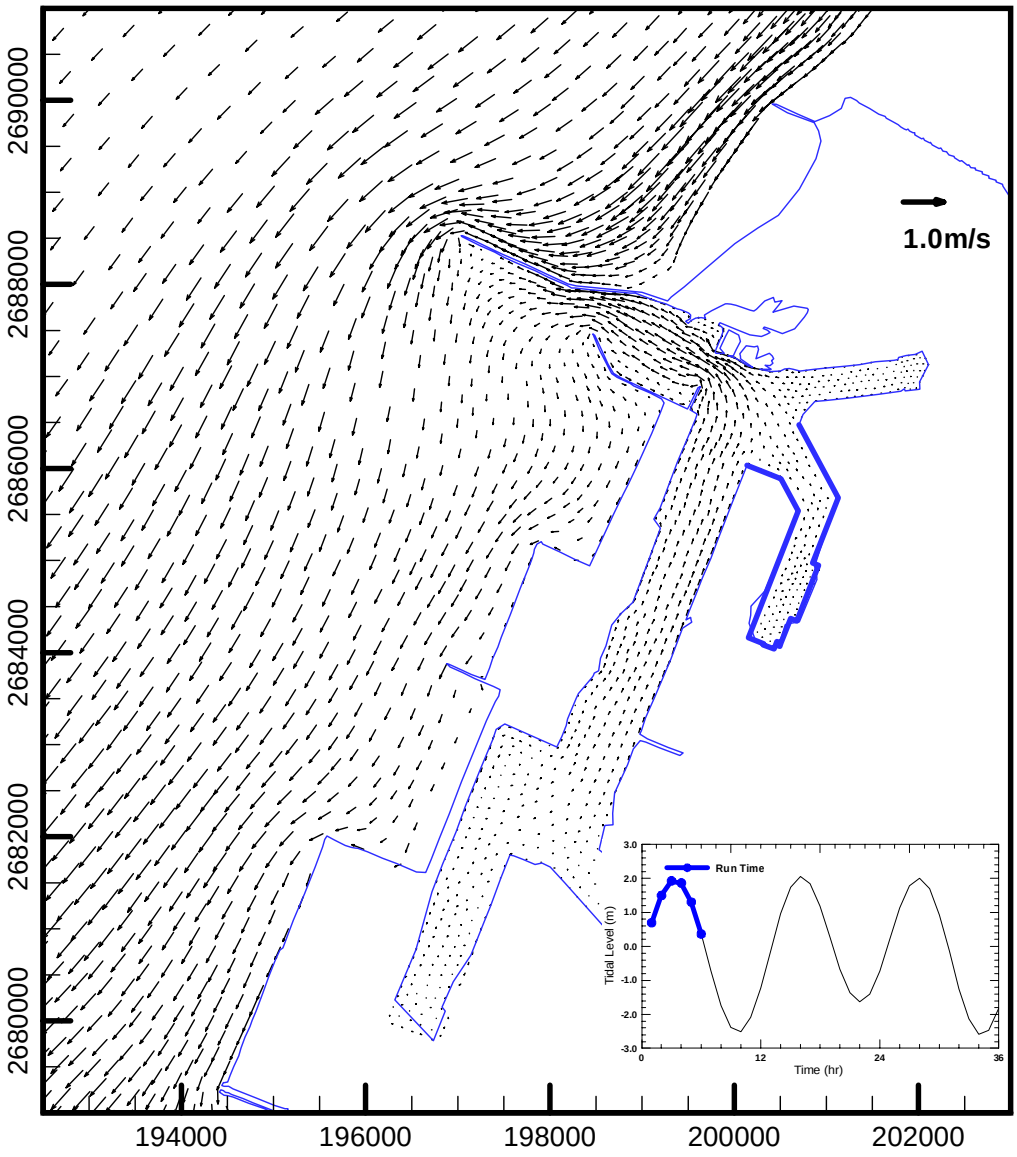


圖 4.50 (續 1)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 12 m/s)

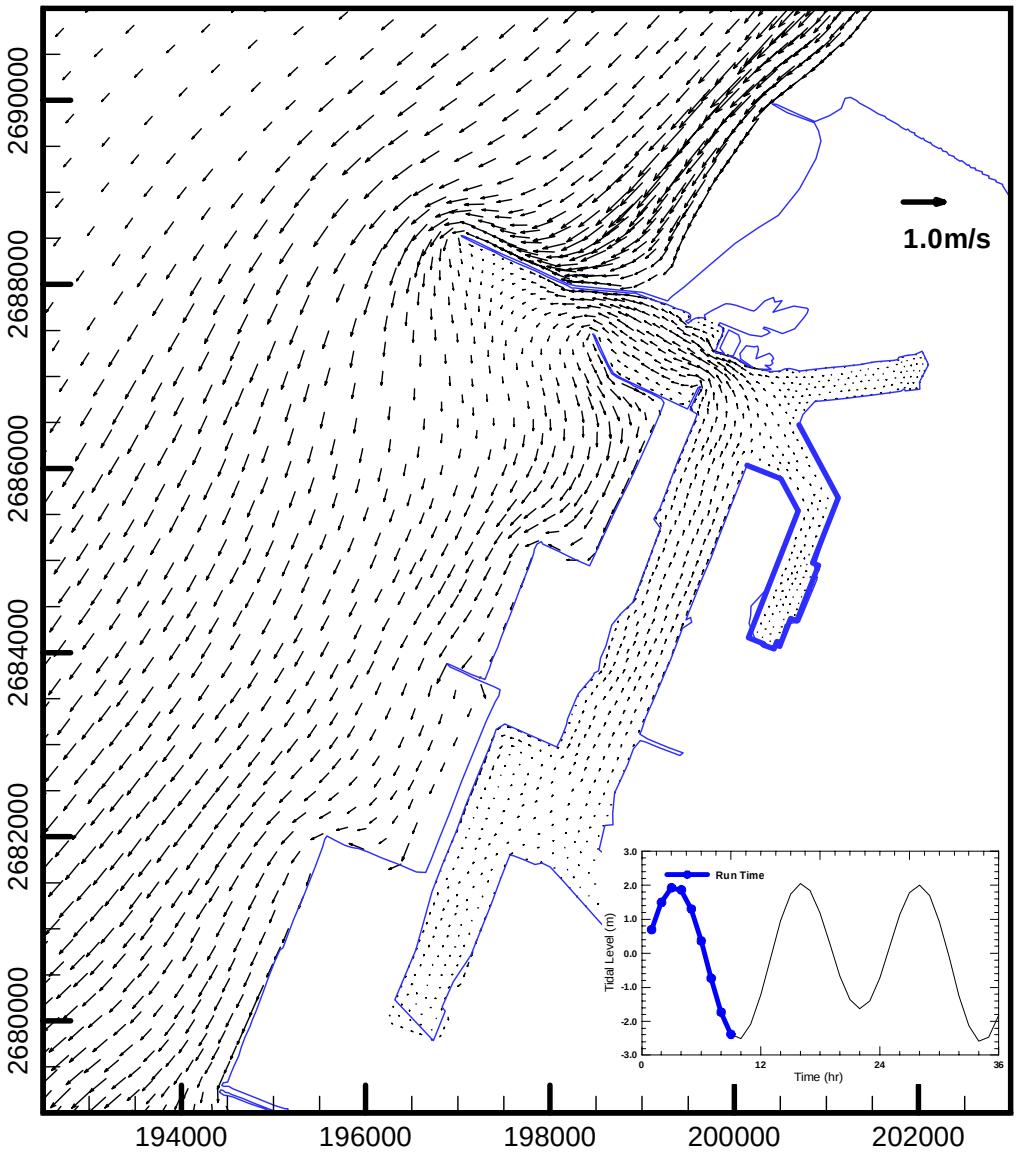


圖 4.50 (續 2)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 12 m/s)

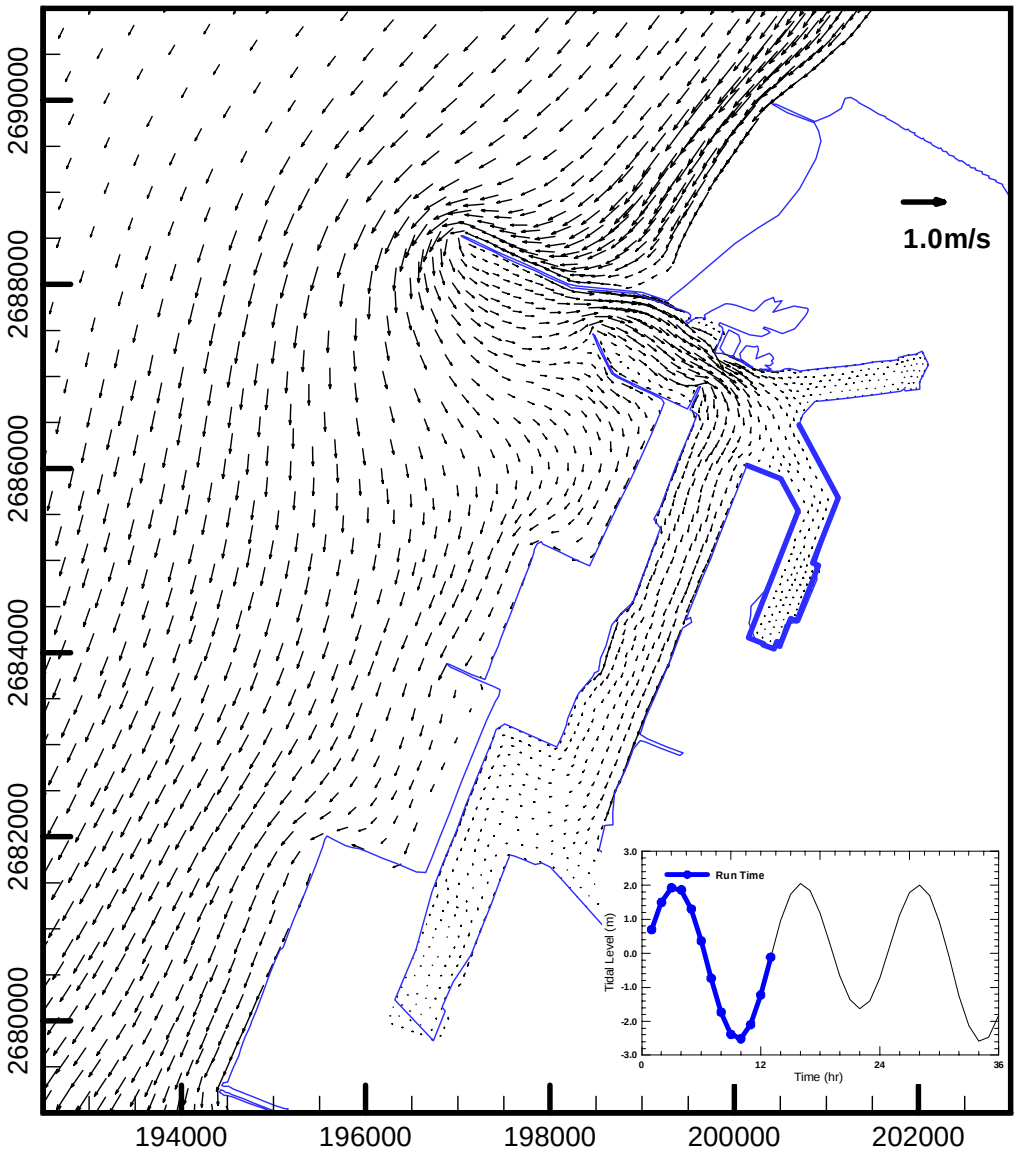


圖 4.50 (續 3)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 12 m/s)

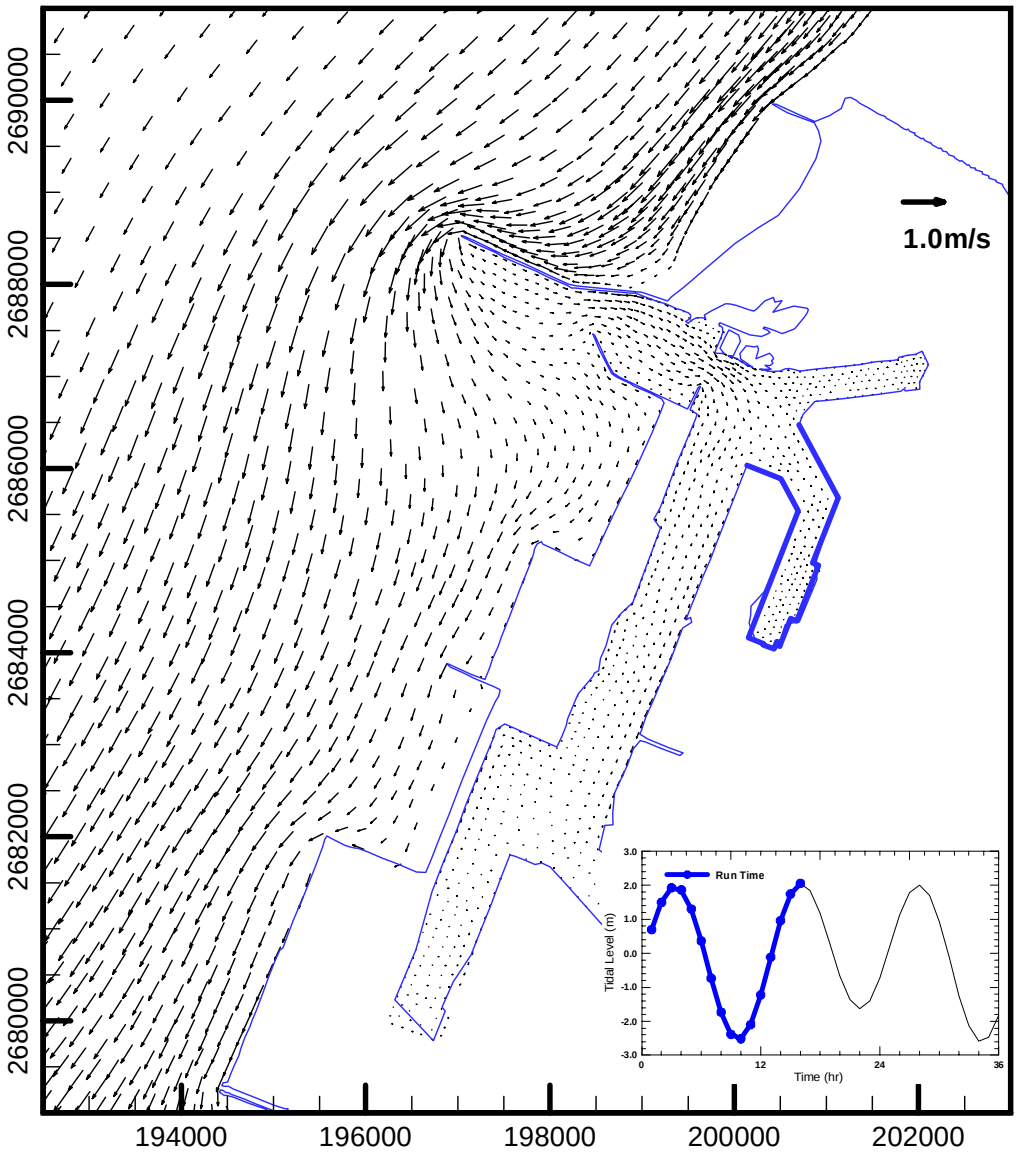


圖 4.50 (續 4)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 12 m/s)

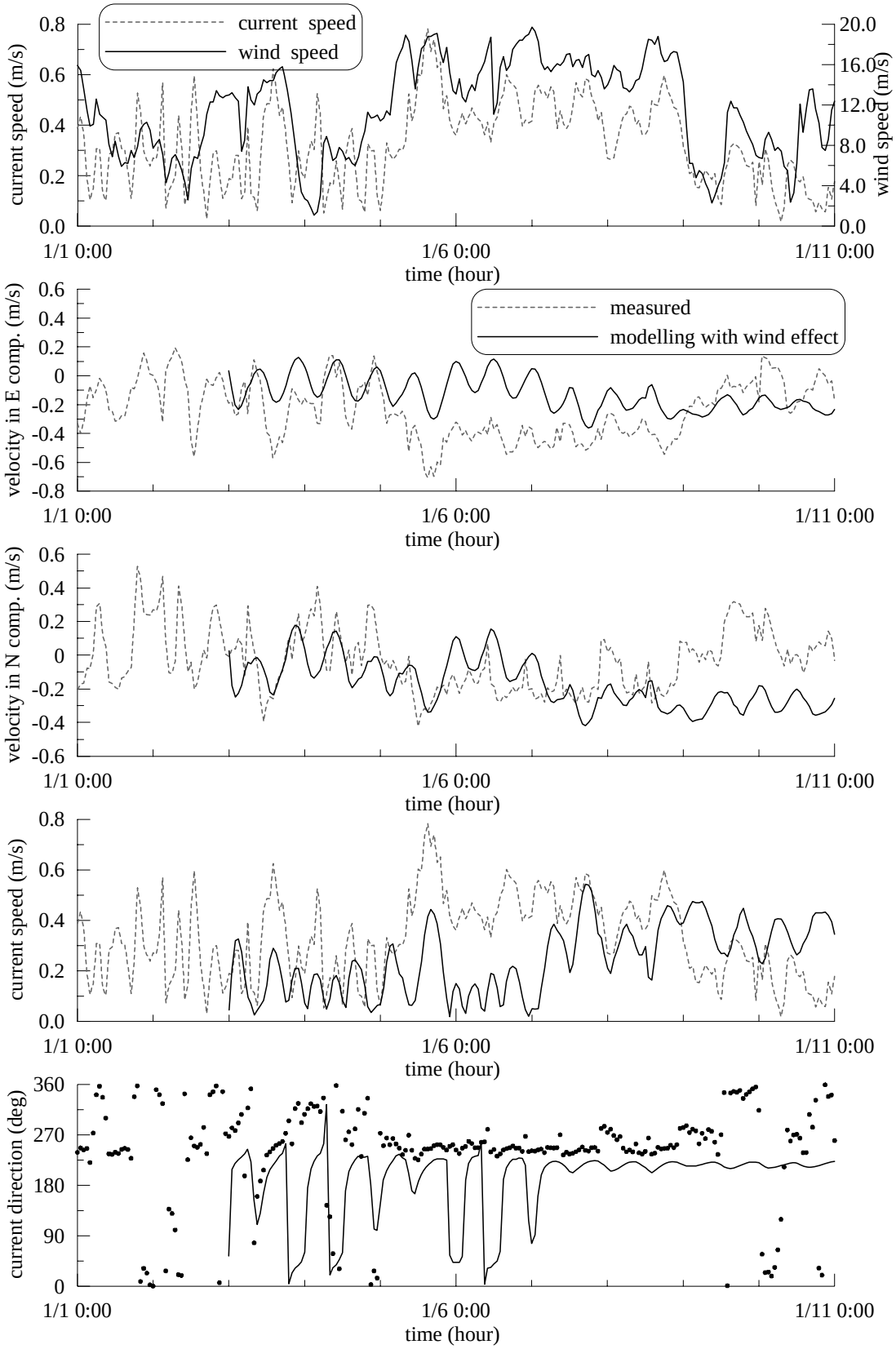


圖 4.51 臺中港含風場效應潮流模擬結果與海流觀測資料之比較

4.4 布袋港水位與海流模擬

本節主要配合本年度之工作項目進行2012年布袋港港區水位及流場模擬，建置適於布袋港區及附近海域之水動力模式，內容包括模式計算格網之建置、模式邊界條件之建置、模式參數率定與驗證以及布袋港流況模擬結果。

4.4.1 模式數值計算格網之建置

本計畫依據布袋港區1997年配置情形，加上布袋港區及其鄰近海域之地形水深資料選取適當之模式模擬範圍，如圖 4.52 所示；模擬範圍北起雲林縣箔仔寮漁港，向西延伸約25.5公里，南至台南市將軍漁港，向西延伸約17.6公里，南北邊界相距約44.7公里。本計畫依據前述選取之模擬範圍建置流場數值模擬所需之模式三角形格網如圖 4.53 所示，其中數值網格則由3457個節點及6519個三角元素所構成，目前方法所建置的細網格(模式 dt 約在 2 秒)據測試結果已具足夠代表性，可計算得到穩定結果。

4.4.2 水位邊界條件之建置

關於布袋港水動力數值模式之模式邊界型態亦分為海域開放邊界及陸地邊界兩種，其中陸地邊界條件本計畫亦採用滑動邊界為陸地邊界條件(即邊界節點垂直方向流速為零)。海域開放邊界通常採用水位(潮位)條件為模式之邊界條件，在模式模擬範圍的邊界上於箔仔寮漁港及將軍漁港港區內皆有潮位資料，因此本計畫採用上述兩漁港潮位觀測資料調和分析結果預測建置模式之開放邊界條件，如圖 4.54 所示，為模式模擬範圍的南北開放邊界之水位邊界條件，在模式計算中南北開放邊界上的每個節點水位值皆以此邊界條件代入，平行海岸之外海開放邊界上的每個節點水位值則以南北邊界的水位值取線性內插計算而得。由圖顯示北部邊界的水位變化較南部邊界大，但兩者相位則相當接近。

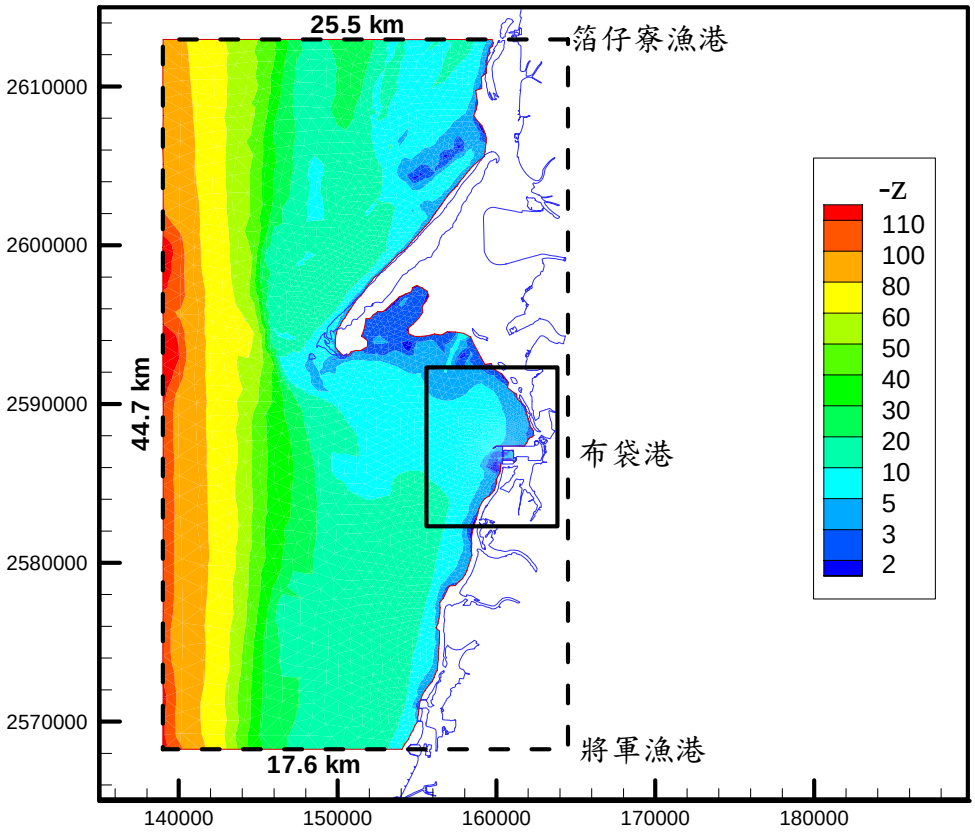


圖 4.52 布袋港區流場模擬範圍與水深分佈圖

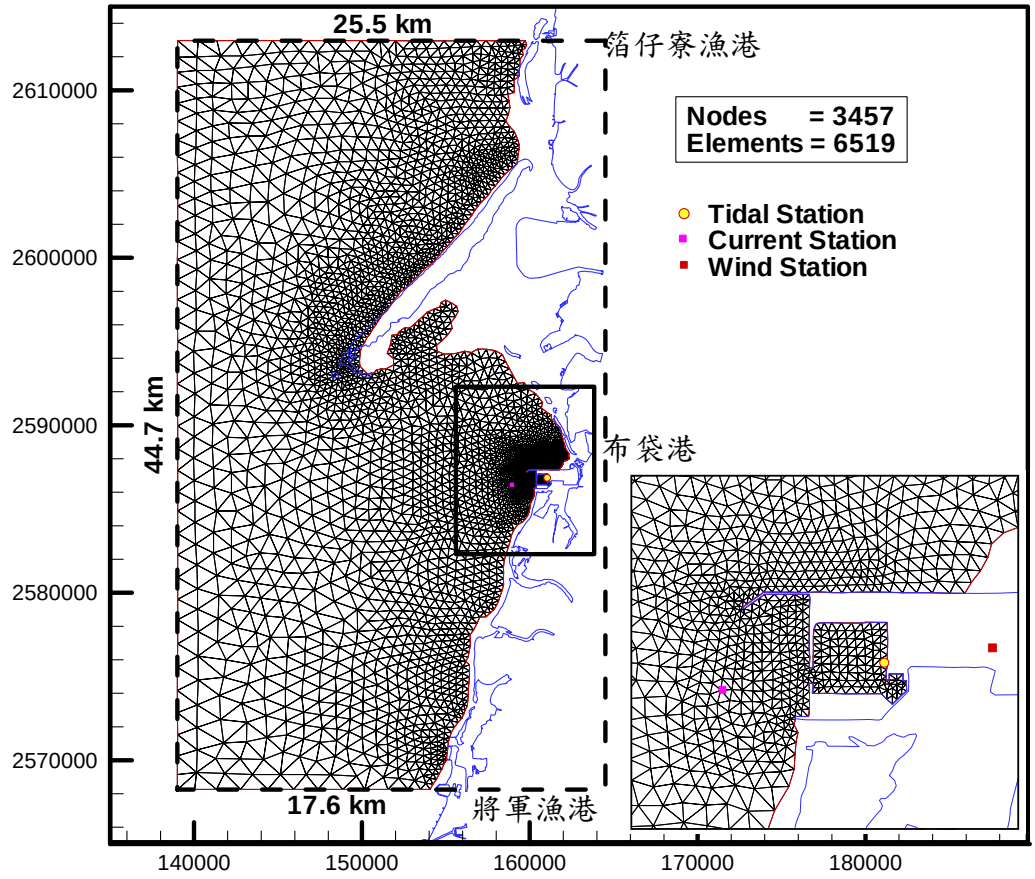


圖 4.53 布袋港區流場模擬範圍之有限元素格網分佈圖

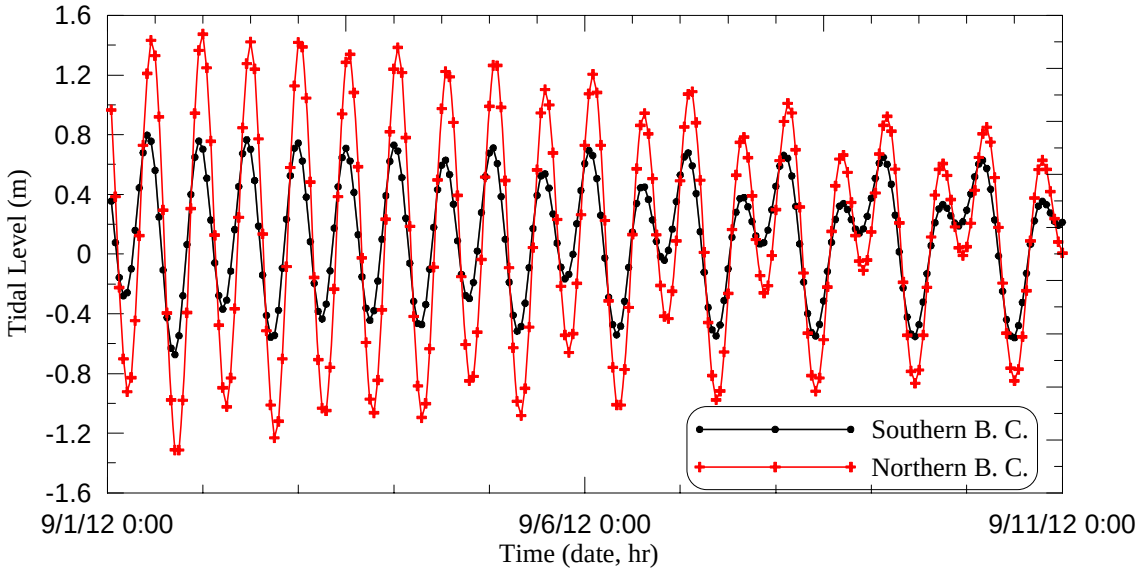


圖 4.54 布袋港水動力模式南、北開放邊界之水位邊界條件時序圖

4.4.3 模式參數率定與驗證

針對布袋港區水動力模式之參數率定與驗證，可參考 3.3 節。經由模式之模擬與率定結果得知：模式渦動粘滯性係數計算無因次係數 a 為 0.02，代表性流速 $\tilde{u}$ 為 0.5m/s，代表性潮差 $\tilde{\eta}$ 為 1.0m；底床摩擦係數隨水深而變，其值介於 0.003~0.022 之間。

本計畫選取 2012 年 9 月布袋港港內水位及港外海流觀測資料與鄰近觀測點之模式節點模擬結果進行模式之驗証，其中水位與海流觀測點位置示意圖如圖 4.53 所示。由於模式模擬結果主要為天文潮流成份，而海流觀測資料除了天文潮流成份外，尚有其他成份流及觀測誤差存在，因此本計畫先針對海流觀測資料採逐月方式選取 O_1、K_1、N_2、M_2 及 S_2 等五個主要分潮以調和分析方法得到觀測資料之天文潮流大小，再與本計畫布袋港水動力模式潮流模擬計算結果進行比較。如圖 4.55 所示為模式模擬預測布袋港 2012 年 9 月水位與潮流(東西向及南北向)之結果與觀測點天文潮流調和分析結果之比較，其中水位部分並未做調和分析，在排除部分品質不佳之資料後直接採用觀測資料與模式模擬結果比較。

由驗証結果顯示，水位觀測資料排除部分品質不佳之資料後與模式水位模擬結果相當吻合；潮流東西向分量與南北向分量比對結果顯示水動力模式模擬計算之東西向及南北向流速振幅皆小於調和分析結果，但其相位仍趨一致。由於布袋港鄰近海域有廣大的沙洲與淺灘地形，退潮時淺灘會露出水面之上，使得漲、退潮時段的陸地邊界會不一樣，在模擬上有其難度，本計畫在此問題的處理上目前以水深 2 m 處為數值模擬之固定邊界，與實際情況有些出入，因此針對此邊界問題的處理仍留待後續改善。

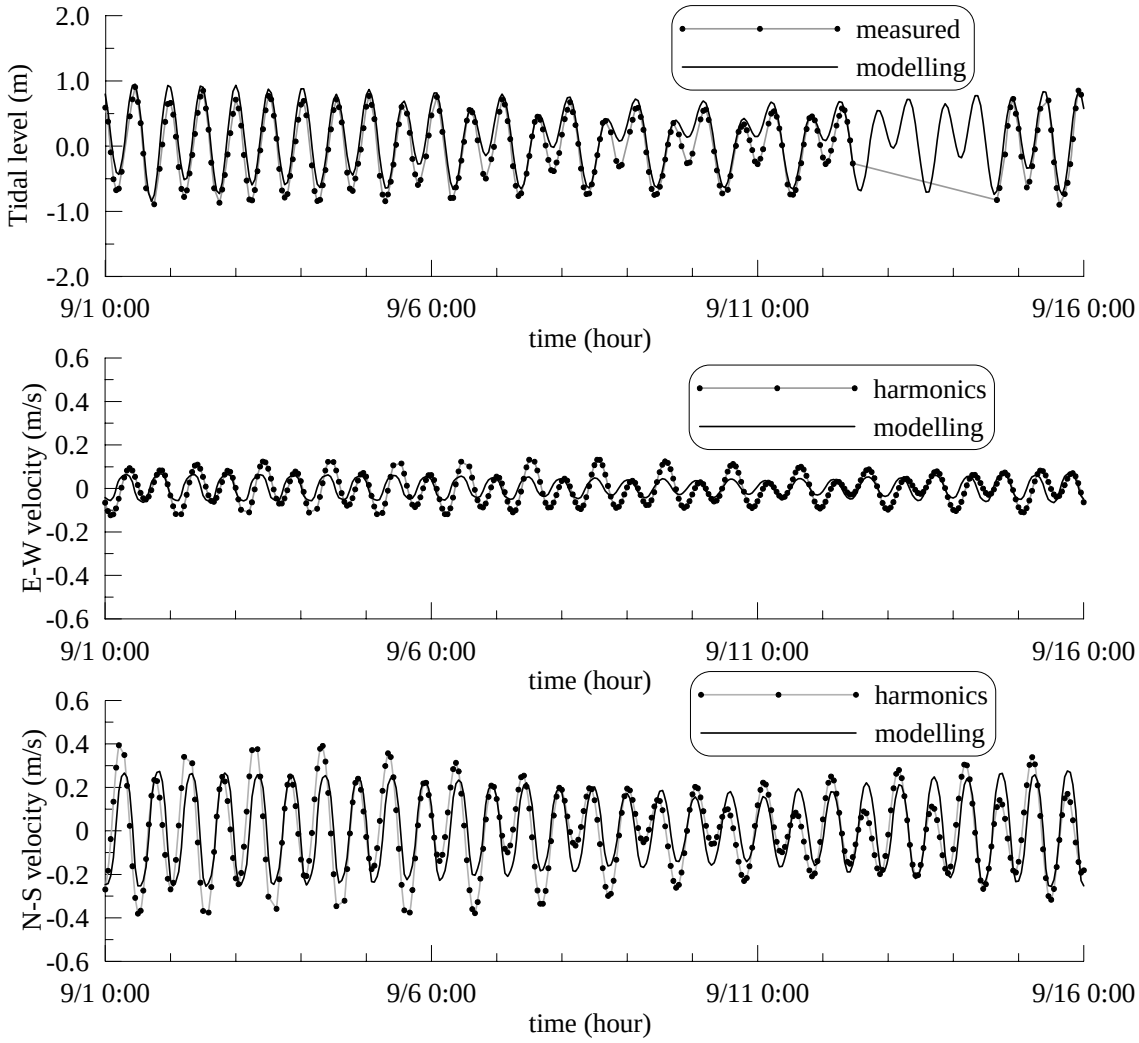


圖 4.55 布袋港水位及潮流模擬結果與潮流觀測資料調和分析(O_1、K_1、N_2、M_2、S_2)結果之比較

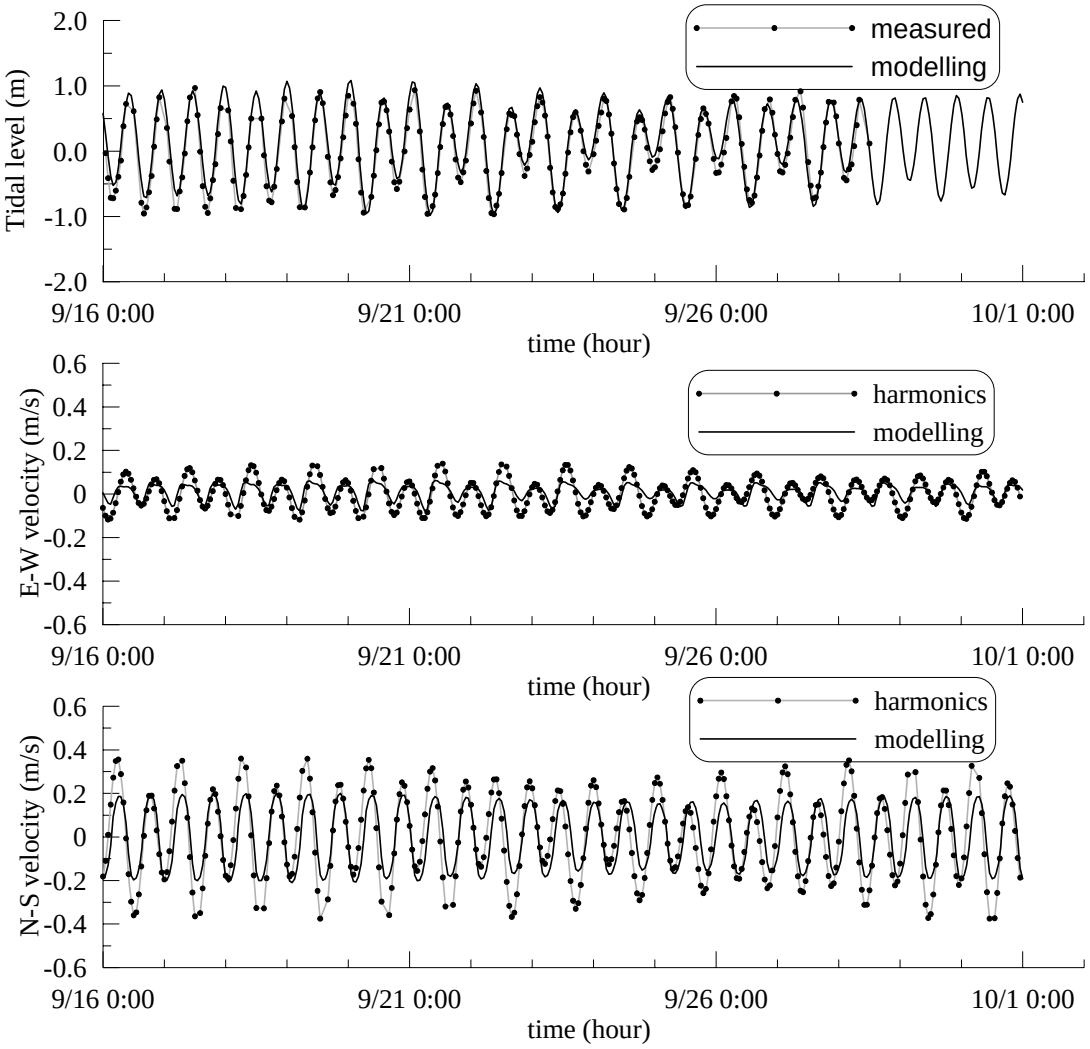


圖 4.55 (續)布袋港水位及潮流模擬結果與潮流觀測資料調和分析(O_1、K_1、N_2、M_2、S_2)結果之比較

4.4.4 流場模擬特性分析

本節依據上述所建立之布袋港水動力模式模擬港區附近海域的流場環境。本計畫選取農曆大潮期間(2012 年 9 月 1 日，農曆 8 月 16 日)數值模擬結果分別繪出布袋港區高、低平潮時段與漲、退時段之環境流場流矢向量圖，如圖 4.56 至圖 4.60 所示。由圖顯示高平潮時段，港口外側有微弱的東南向流場，部分流入港區內；退潮時段港口外側有明顯的南向流，此時海水由港區內往外流，在港口處有較強的流速；低平潮時段流向轉為向北，但整個港區附近流速不大；漲潮時段港口外側有較強的北向流，在港口亦有較強的流速流向港內，直至高平潮時段流向再轉為微弱的南向流。

針對風場的效應，本計畫選擇 2012 年 9 月觀測風場逐時資料代入模式進行模擬，風場觀測位置如圖 4.53 所示(座標系統 GRS67：緯度 23.38165、經度 120.13881)。布袋港海流觀測站流速資料與同時間附近風場觀測風速的時序變化如圖 4.61 所示，顯示該觀測點海流流速與附近風場風速的相關性並不明顯，即使在 9 月 14~15 日風速較大期間，流速並未明顯增加。將觀測風場時序資料代入水動力模式模擬結果與觀測流速資料比較如圖 4.62，顯示風速明顯增加時流速亦隨著明顯增加，但仍小於觀測流速。圖 4.63 為含風場時序變化效應與不含風場效應的模擬結果，顯示觀測風速約在 8 m/s 以下時流速差異不大，若風速增加至 8 m/s 以上時流速有明顯增加的現象。

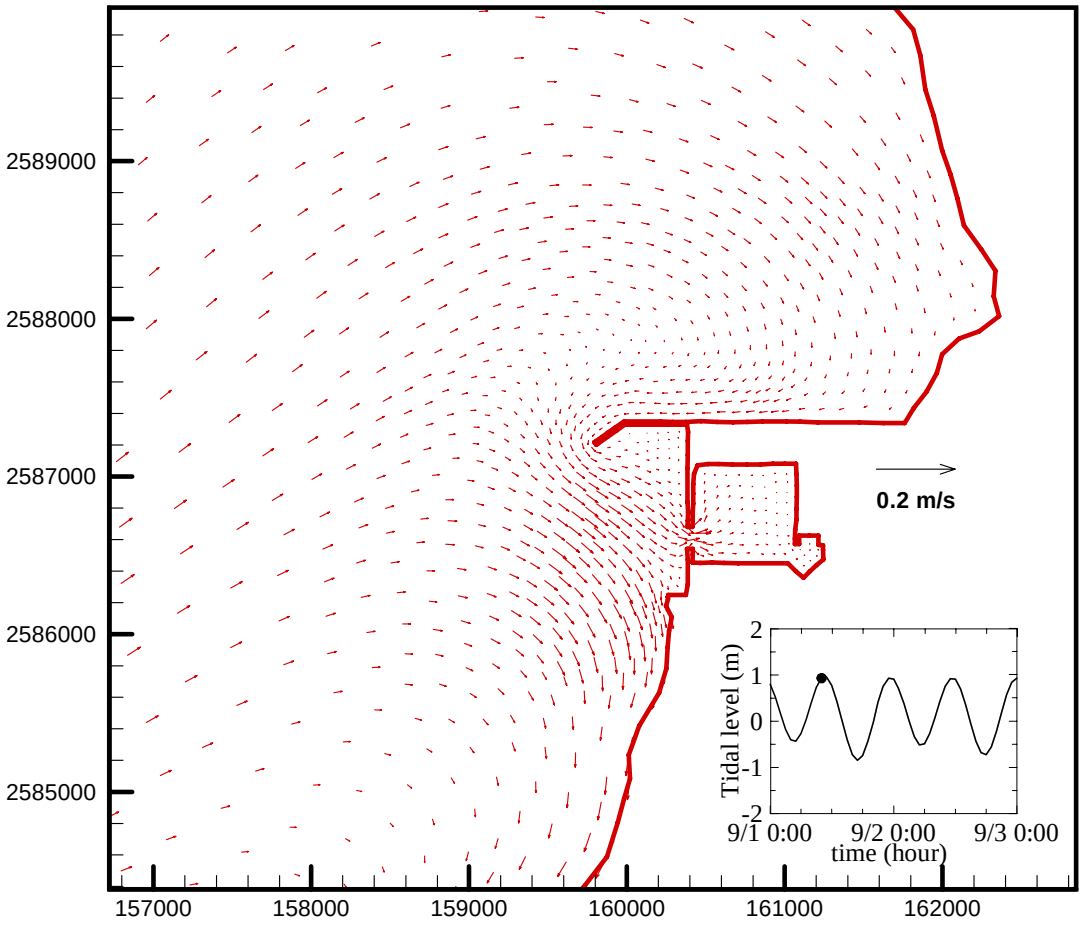


圖 4.56 布袋港區高平潮時段流場模擬結果之流速向量圖

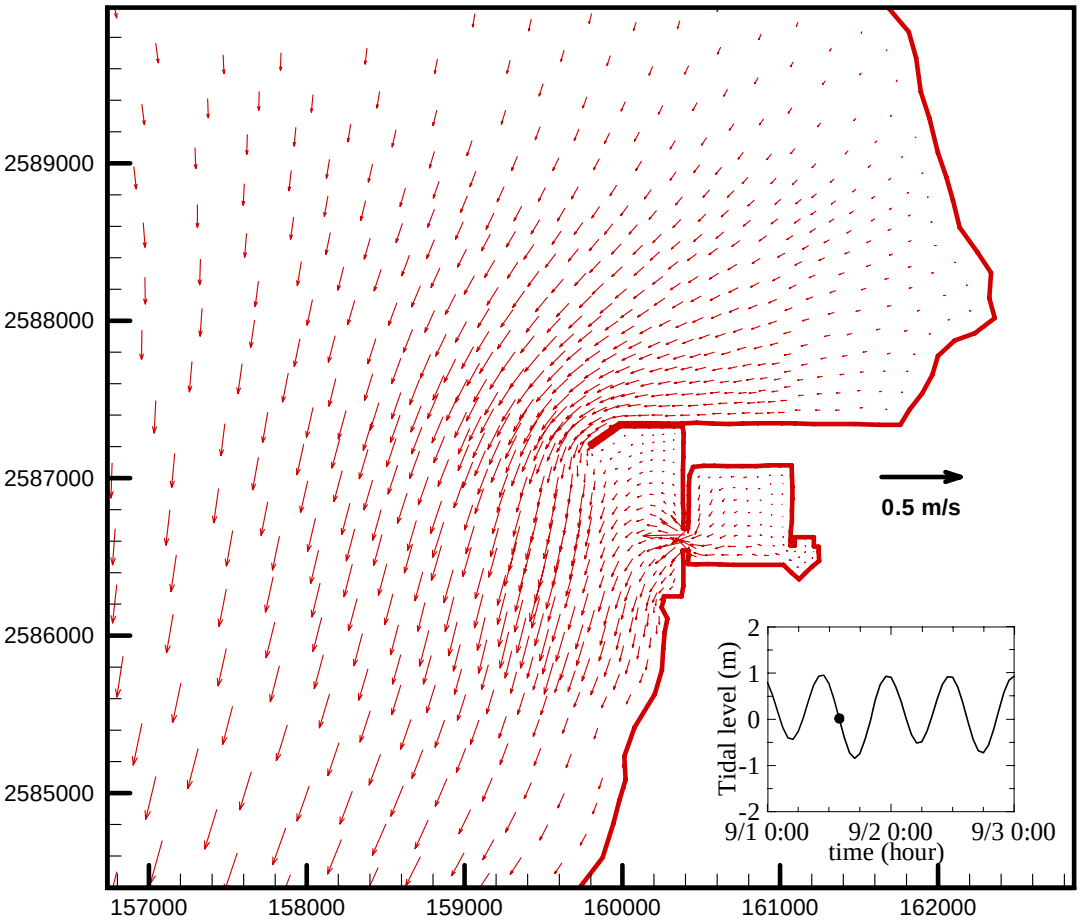


圖 4.57 布袋港區退潮時段流場模擬結果之流速向量圖

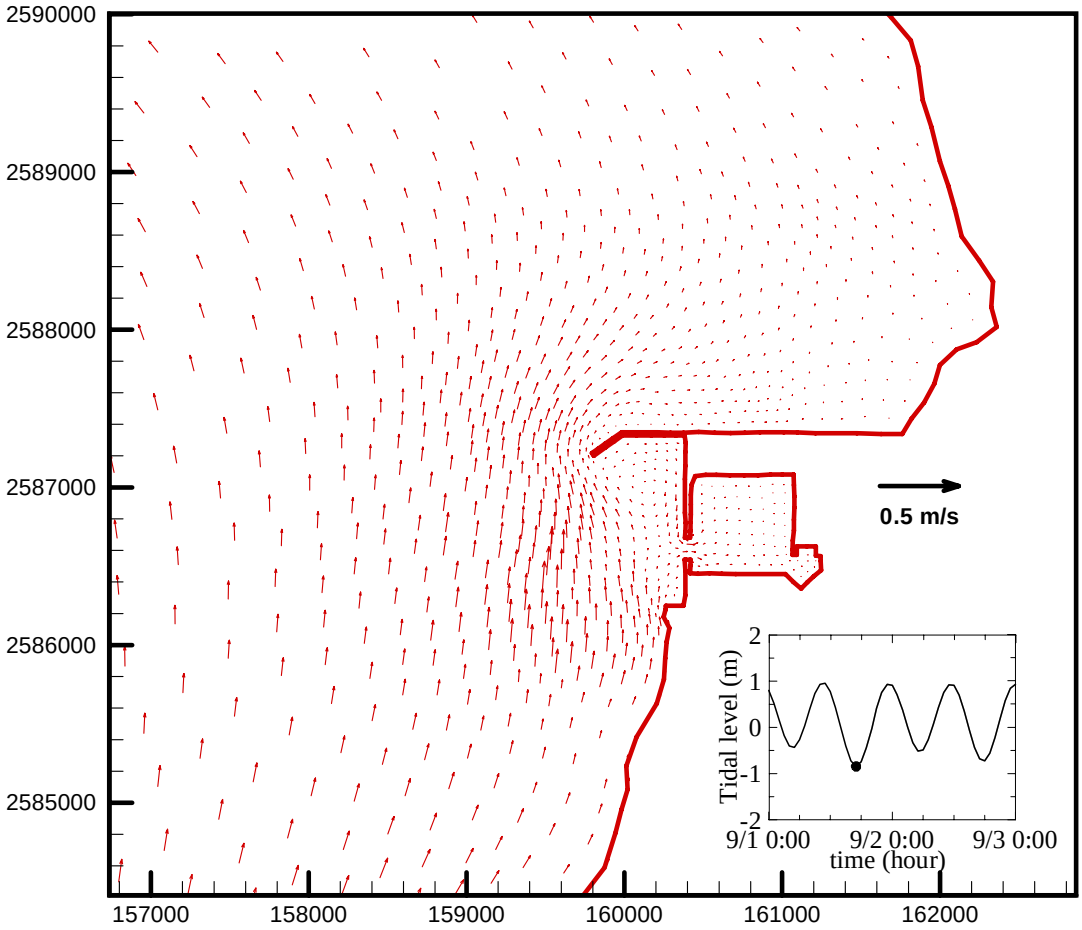


圖 4.58 布袋港區低平潮時段流場模擬結果之流速向量圖

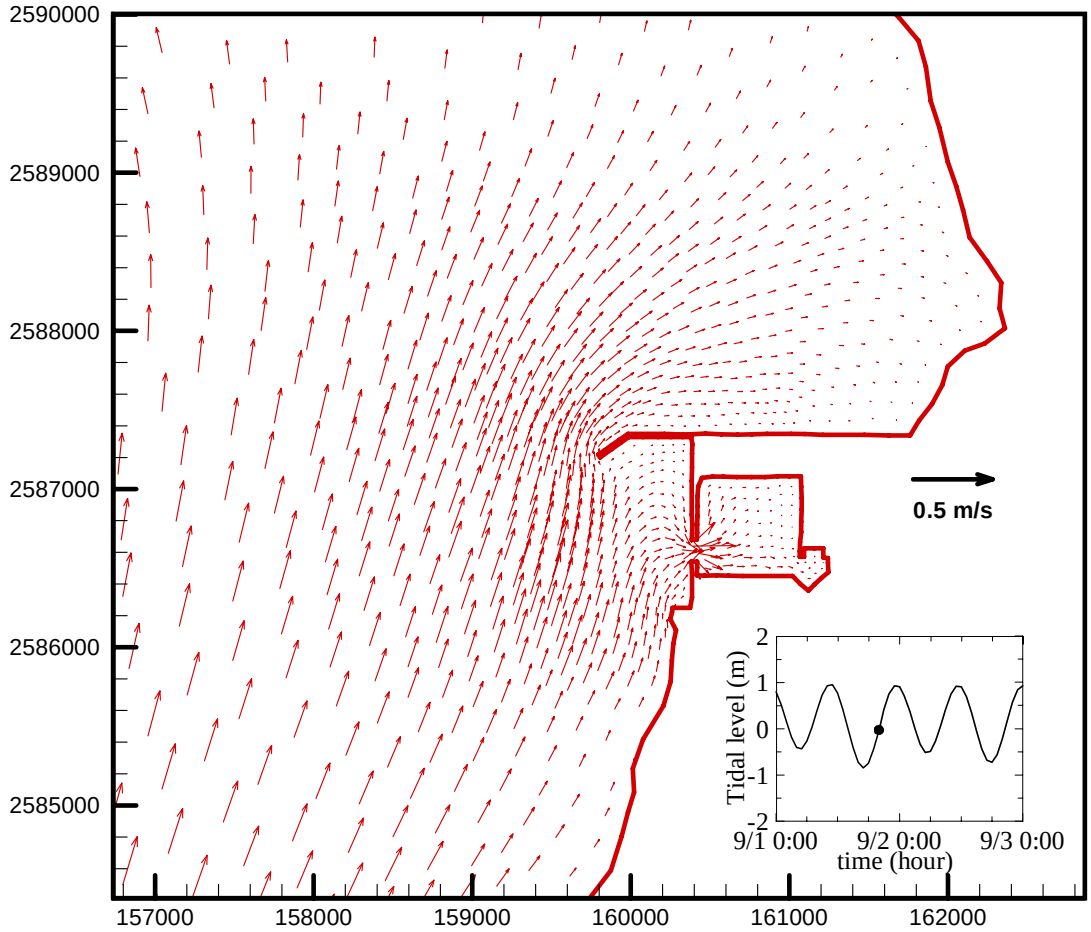


圖 4.59 布袋港區漲潮時段流場模擬結果之流速向量圖

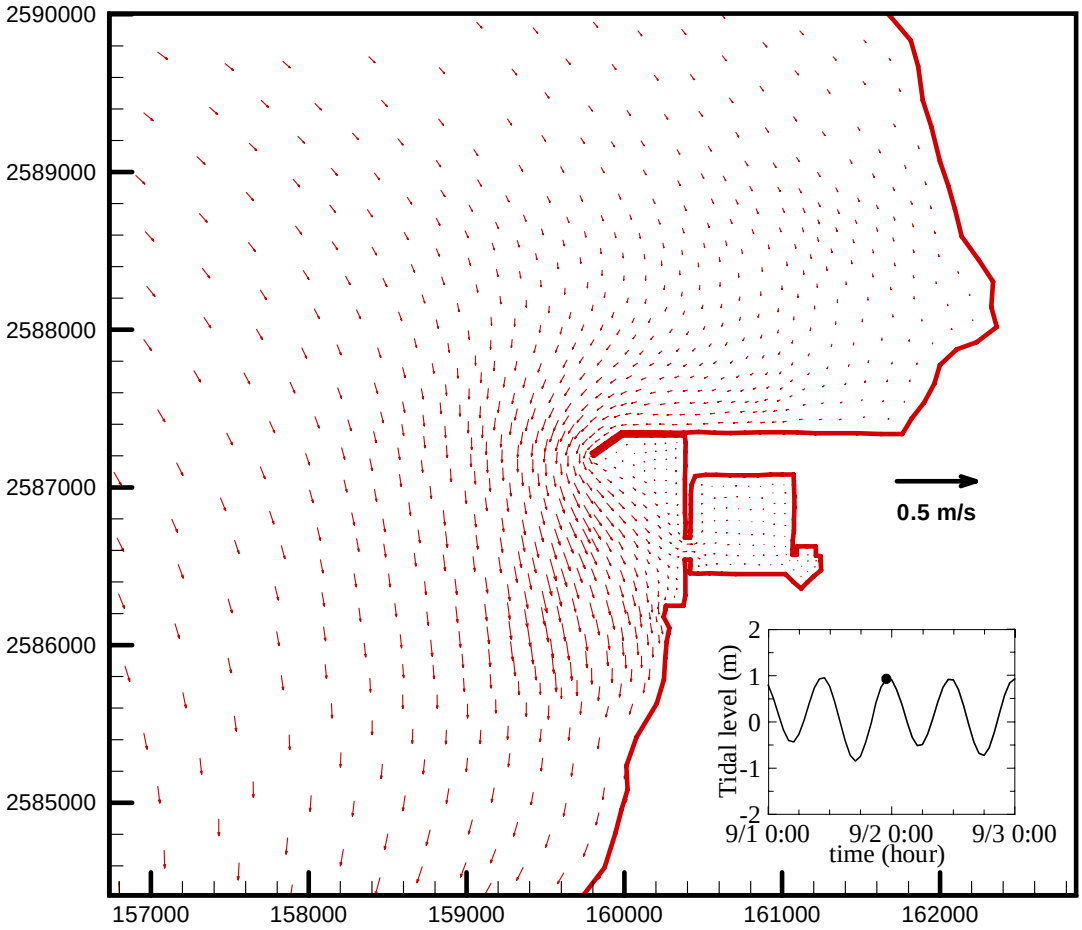


圖 4.60 布袋港區高平潮時段流場模擬結果之流速向量圖

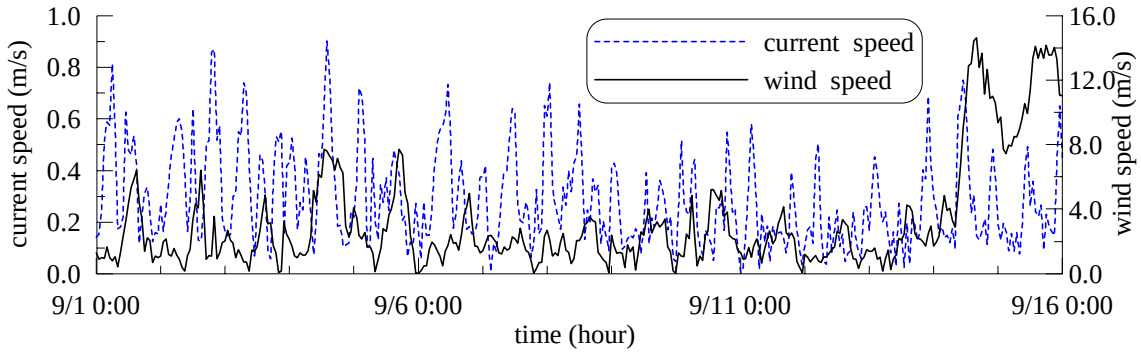


圖 4.61 布袋港海流觀測流速與附近風場觀測風速時序圖

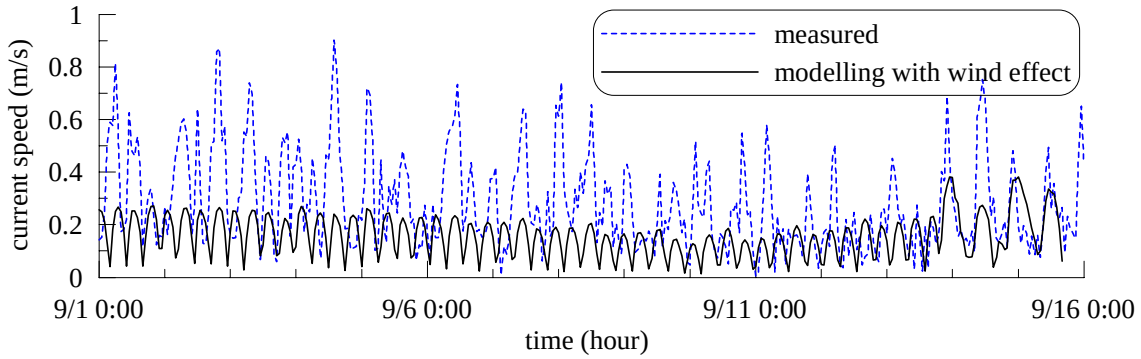


圖 4.62 布袋港海流觀測流速與含風場效應模擬流速比較圖

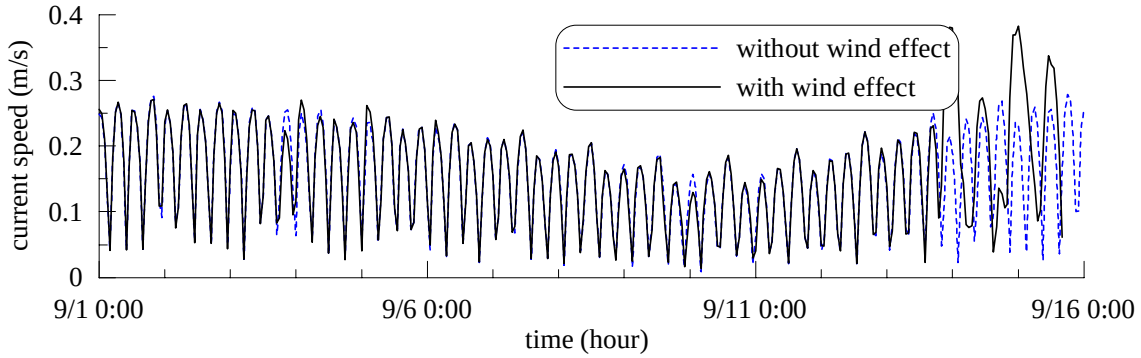


圖 4.63 布袋港含風場與不含風場效應模擬流速比較圖

4.5 作業化預測成果評估

本章節針對本計畫第一年度建立的基隆港與臺北港水位及海流模擬預警子系統作業化預測成果進行評估工作。本計畫選取今年 8 月(非東北季風期)及 9 月(東北季風期)期間基隆港和臺北港水位及海流觀測資料與預警子系統預報結果(圖 4-64 至圖 4-71)進行統計，其中水位項目包括平均水位、最高水位(日/時)、最低水位(日/時)及水位偏差等統計，分別如表 4-13 至表 4-16 所示；海流項目包括平均流速統計、主要流向統計、海流東西向及南北向分量平均流速、最大流速(流向、日/時)、流速偏差、流向偏差、流速東西向及南北向分量偏差等統計，分別如表 4-17 至表 4-26 所示。以下兩節分別就基隆港與臺北港子系統統計結果做說明。

4.5.1 基隆港子系統作業化預測成果評估

基隆港 8 月測得最高水位為 0.57 m(27 日/19 時)，模式預報最高為 0.52 m(1 日/22 時)，9 月測得最高水位為 0.54 m(17 日/9 時)，模式預報最高為 0.45 m(22 日/15 時)，相差皆在 0.1 m 以下；8 月測得最低水位為-0.70 m，模式預報最低為-0.72 m，9 月測得最低水位為-0.56 m，模式預報最低為-0.63 m，相差亦在 0.1 m 以下；觀測與預報潮位之間的偏差為預報值減去觀測值,8 月和 9 月的標準偏差分別為 0.10 m 與 0.11 m，最大偏差分別為-0.33 m 與-0.37 m。

海流方面，基隆港 8 月觀測平均流速 26.6 cm/s，模式預報平均流速 14.7 cm/s，9 月觀測平均流速 24.9 cm/s，模式預報平均流速 14.7 cm/s；8 月和 9 月觀測主要流向皆為東北東向(ENE)，分別占 18.2%與 16.9%，模式預報主要流向皆為東向(E)，占 44.4%；8 月和 9 月觀測海流東西向分量平均流速分別為 3.8 與 3.7 cm/s，模式預報潮流東西向分量平均流速皆為 0.4 cm/s；8 月和 9 月觀測海流南北向分量平均流速分別為 0.6 與 4.6 cm/s,模式預報潮流南北向分量平均流速皆為-0.1 cm/s；8 月測得最大流速 99.0 cm/s，流向東北東向(ENE)，發生時間 3 日 12 時，9 月測得最大流速 105.0 cm/s，流向東北東向(ENE)，發生時間 16

日 11 時，模式預報 8 月和 9 月最大流速約為 33 cm/s，發生時間分別為 5 日 13 時與 19 日 1 時，流向皆為東向(E)；8 月觀測流速與模式預報流速平均偏差為-11.9 cm/s，標準偏差為 20.5 cm/s，最大偏差-85.9 cm/s，平均比值 0.9，其中偏差為預報值減去觀測值，比值為預報值除觀測值，9 月觀測流速與模式預報流速平均偏差為-10.2 cm/s，標準偏差為 19.2 cm/s，最大偏差-80.3 cm/s，平均比值 1.0；8 月觀測流向與模式預報流向平均偏差為 51.7 度，標準偏差為 72.9 度，最大偏差 177.8 度，9 月份各項偏差亦與 8 月份相近；8 月觀測流速與模式預報流速東西向分量平均偏差為-3.4 cm/s，標準偏差為 20.4 cm/s，最大偏差-69.1 cm/s，9 月觀測流速與模式預報流速東西向分量平均偏差為-3.3 cm/s，標準偏差為 19.9 cm/s，最大偏差-71.3 cm/s；8 月觀測流速與模式預報流速南北向分量平均偏差為-0.8 cm/s，標準偏差為 15.0 cm/s，最大偏差 88.6 cm/s，9 月觀測流速與模式預報流速南北向分量平均偏差為-4.7 cm/s，標準偏差為 14.6 cm/s，最大偏差 57.0 cm/s。

4.5.2 臺北港子系統作業化預測成果評估

臺北港 8 月測得最高水位為 1.56 m(2 日/23 時)，模式預報最高為 1.43 m(5 日/0 時)，相差 0.13 m，9 月測得最高水位為 1.76 m(17 日/11 時)，模式預報最高為 1.52 m(19 日/12 時)，相差 0.24 m；8 月測得最低水位為-1.79 m(1 日/16 時)，模式預報最低為-1.67 m(3 日/17 時)，相差 0.12 m，9 月測得最低水位為-1.65 m(19 日/6 時)，模式預報最低為-1.54 m(21 日/7 時)，相差 0.11 m；8 月和 9 月觀測與預報潮位之間的標準偏差分別為 0.30 m 與 0.28 m，最大偏差分別為-0.85 m 與-0.71 m。

海流方面，臺北港 8 月觀測平均流速 49.7 cm/s，模式預報平均流速 40.7 cm/s，9 月觀測平均流速 44.3 cm/s，模式預報平均流速 41.1 cm/s；8 月和 9 月觀測主要流向皆為西南向(SW)，分別占 24.2%與 26.5%，模式預報主要流向皆為西南西向(WSW)，分別占 49.1%與 48.3%；8 月和 9 月觀測海流東西向分量平均流速分別為-5.4 與-3.1 cm/s，模式預報潮流東西向分量平均流速分別為-1.5 與-0.5 cm/s；8 月

和 9 月觀測海流南北向分量平均流速分別為 9.5 與 7.7 cm/s，模式預報潮流南北向分量平均流速分別為 0.3 與 1.2 cm/s；8 月測得最大流速 138.0 cm/s，流向東北向(NE)，發生時間 3 日 2 時，9 月測得最大流速 115.0 cm/s，流向東北向(NE)，發生時間 16 日 13 時，模式預報 8 月和 9 月最大流速分別為 86.7 與 88.5 cm/s，發生時間分別為 4 日 14 時與 19 日 2 時，流向皆為東北向(NE)；8 月觀測流速與模式預報流速平均偏差為-9.1 cm/s，標準偏差為 22.5 cm/s，最大偏差-94.1 cm/s，平均比值 1.0，9 月觀測流速與模式預報流速平均偏差為-3.2 cm/s，標準偏差為 18.9 cm/s，最大偏差-55.7 cm/s，平均比值 1.2；8 月觀測流向與模式預報流向平均偏差為 30.0 度，標準偏差為 46.2 度，最大偏差 173.8 度，9 月觀測流向與模式預報流向平均偏差為 31.8 度，標準偏差為 51.2 度，最大偏差 177.9 度；8 月觀測流速與模式預報流速東西向分量平均偏差為 3.9 cm/s，標準偏差為 21.3 cm/s，最大偏差 152.7 cm/s，9 月觀測流速與模式預報流速東西向分量平均偏差為 2.5 cm/s，標準偏差為 17.2 cm/s，最大偏差 72.4 cm/s；8 月觀測流速與模式預報流速南北向分量平均偏差為-9.1 cm/s，標準偏差為 22.2 cm/s，最大偏差-69.5 cm/s，9 月觀測流速與模式預報流速南北向分量平均偏差為-6.7 cm/s，標準偏差為 19.1 cm/s，最大偏差-53.2 cm/s。

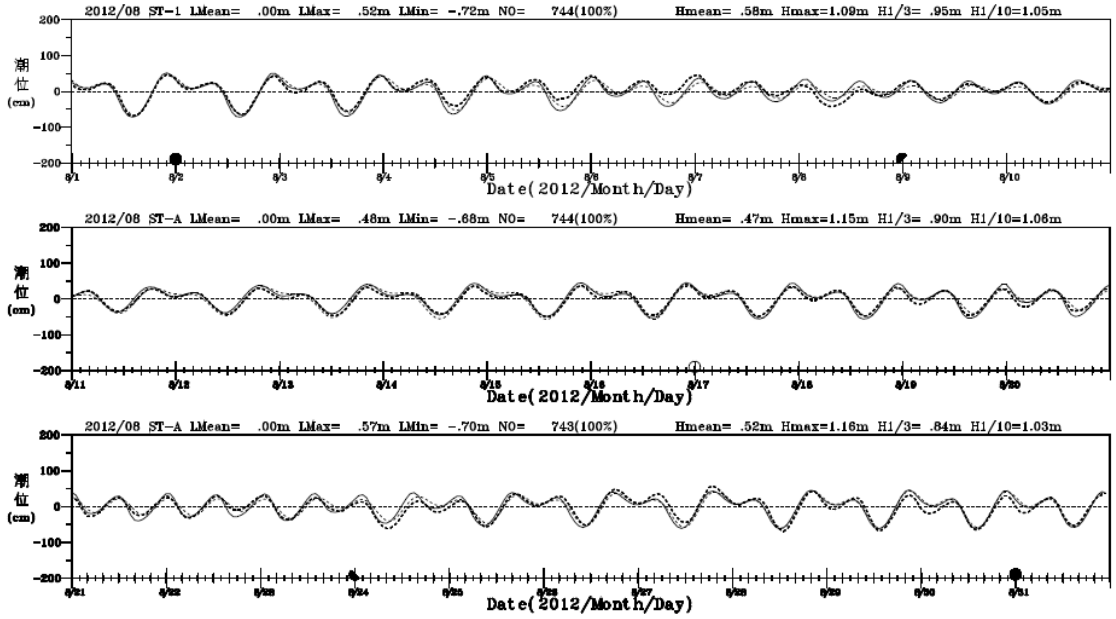


圖 4.64 基隆港 2012 年 8 月水位觀測資料與模擬結果之比較(實線：model，細虛線：調和，粗虛線：觀測)

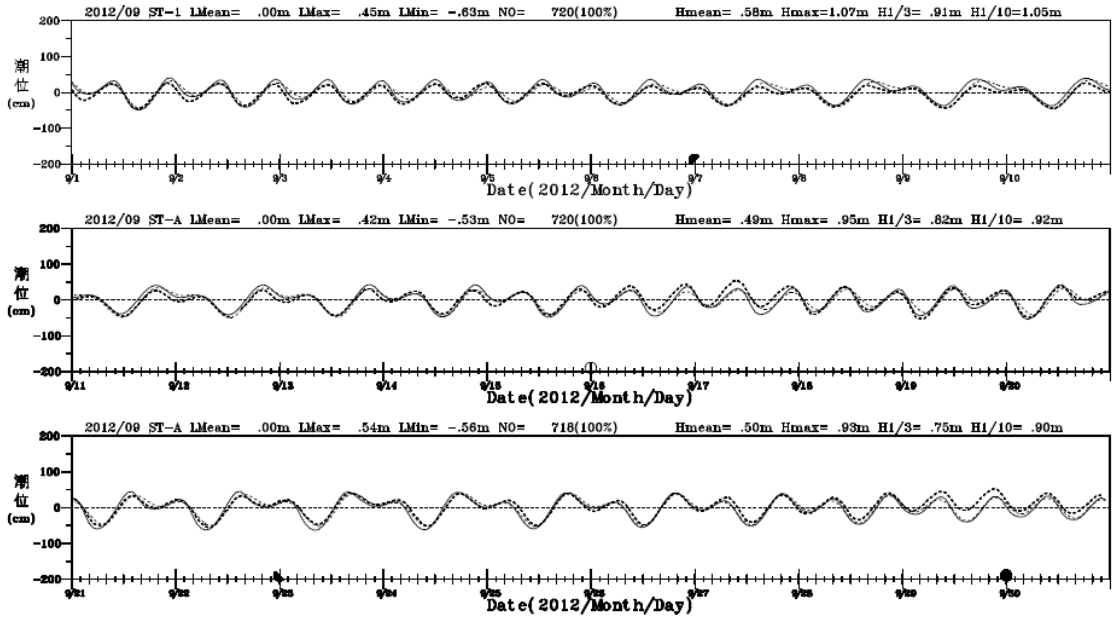


圖 4.65 基隆港 2012 年 9 月水位觀測資料與模擬結果之比較(實線：model，細虛線：調和，粗虛線：觀測)

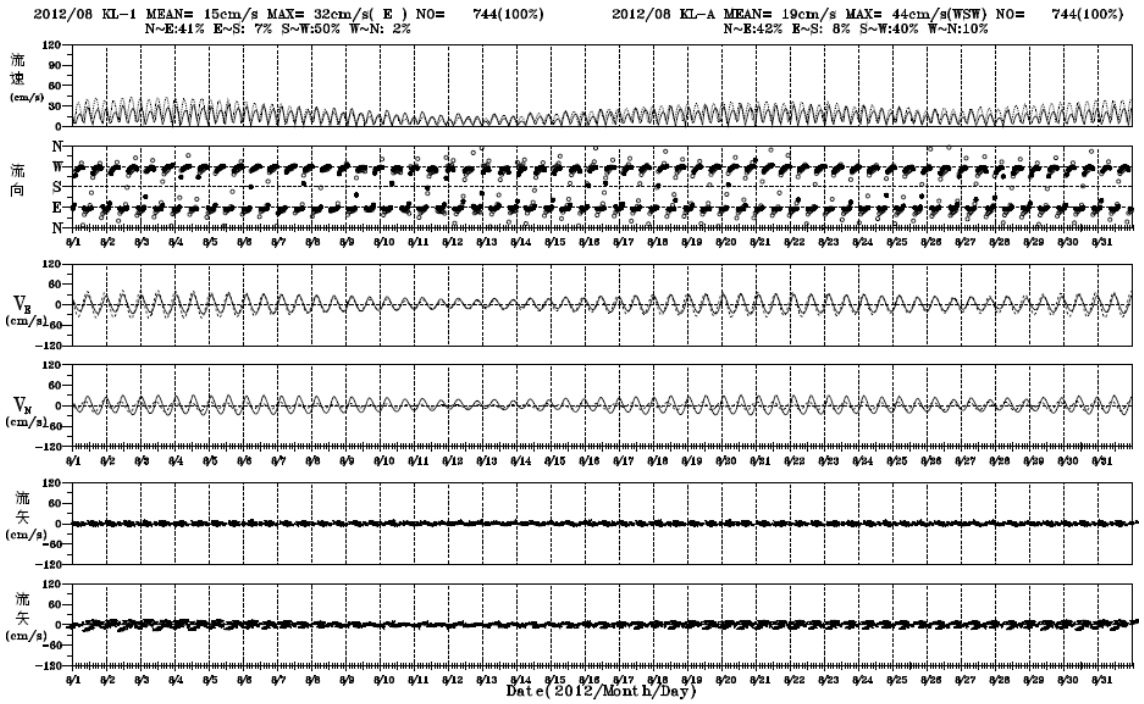


圖 4.66 基隆港 2012 年 8 月海流觀測資料與模擬結果之比較(實線：model，虛線：調和)

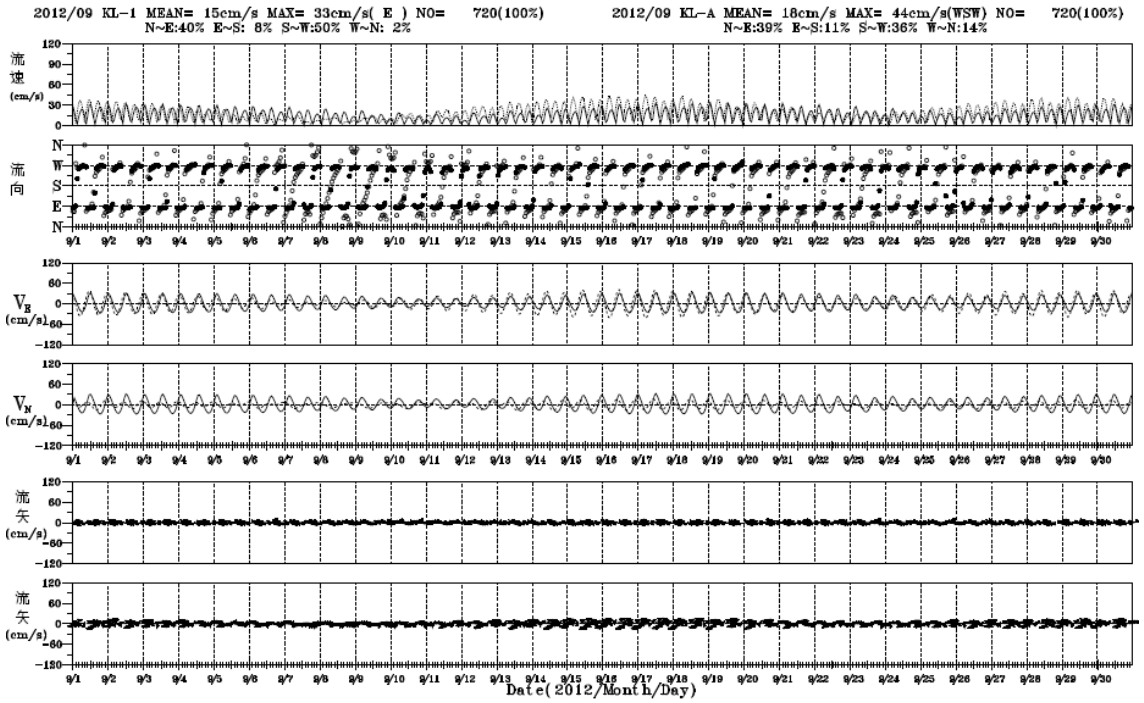


圖 4.67 基隆港 2012 年 9 月海流觀測資料與模擬結果之比較(實線：model，虛線：調和)

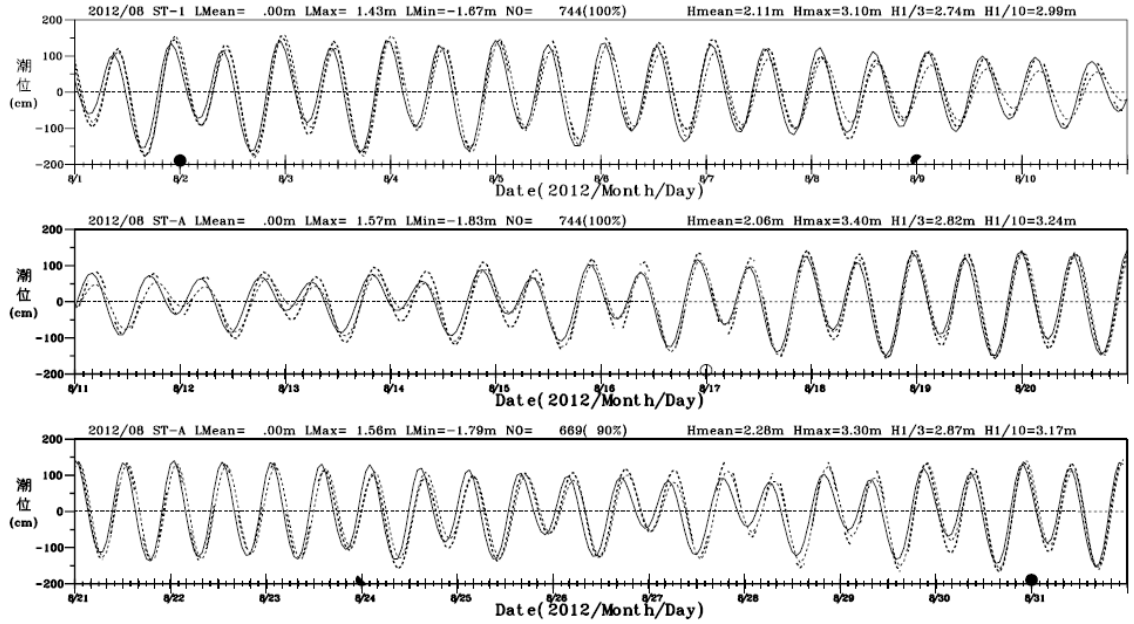


圖 4.68 臺北港 2012 年 8 月水位觀測資料與模擬結果之比較(實線：model，細虛線：調和，粗虛線：觀測)

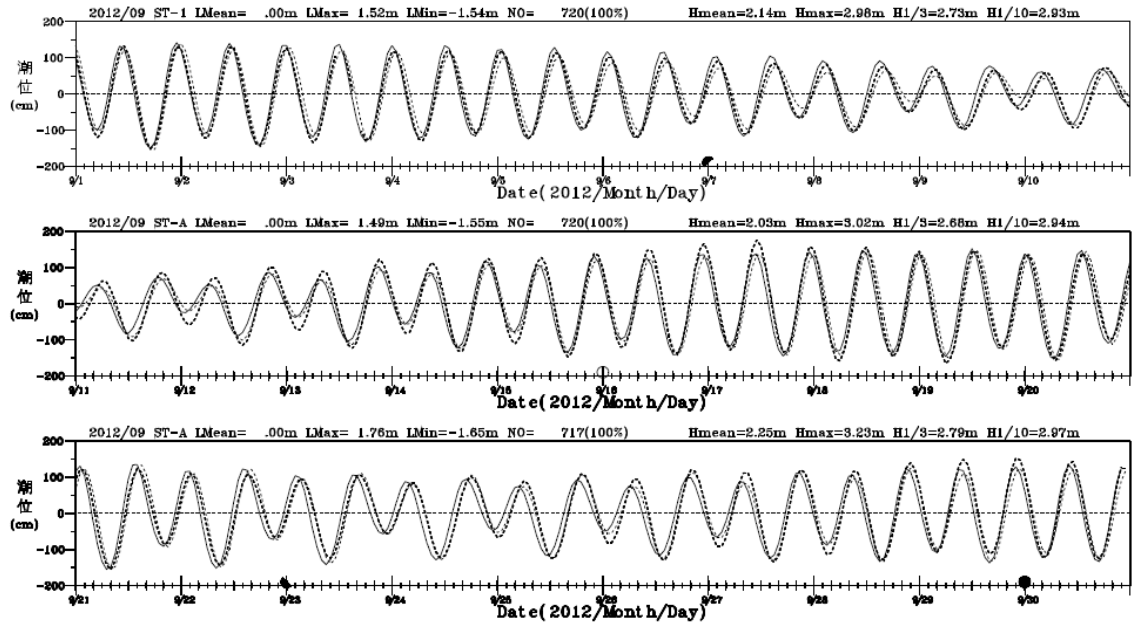


圖 4.69 臺北港 2012 年 9 月水位觀測資料與模擬結果之比較(實線：model，細虛線：調和，粗虛線：觀測)

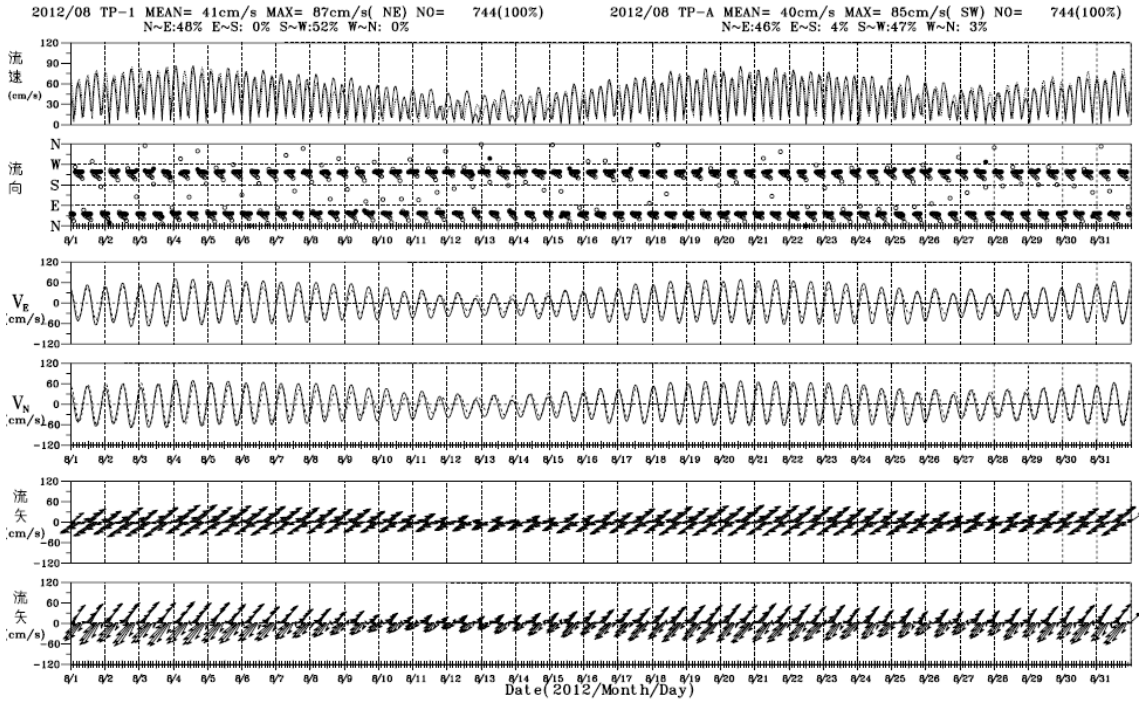


圖 4.70 臺北港 2012 年 8 月海流觀測資料與模擬結果之比較(實線：model，虛線：調和)

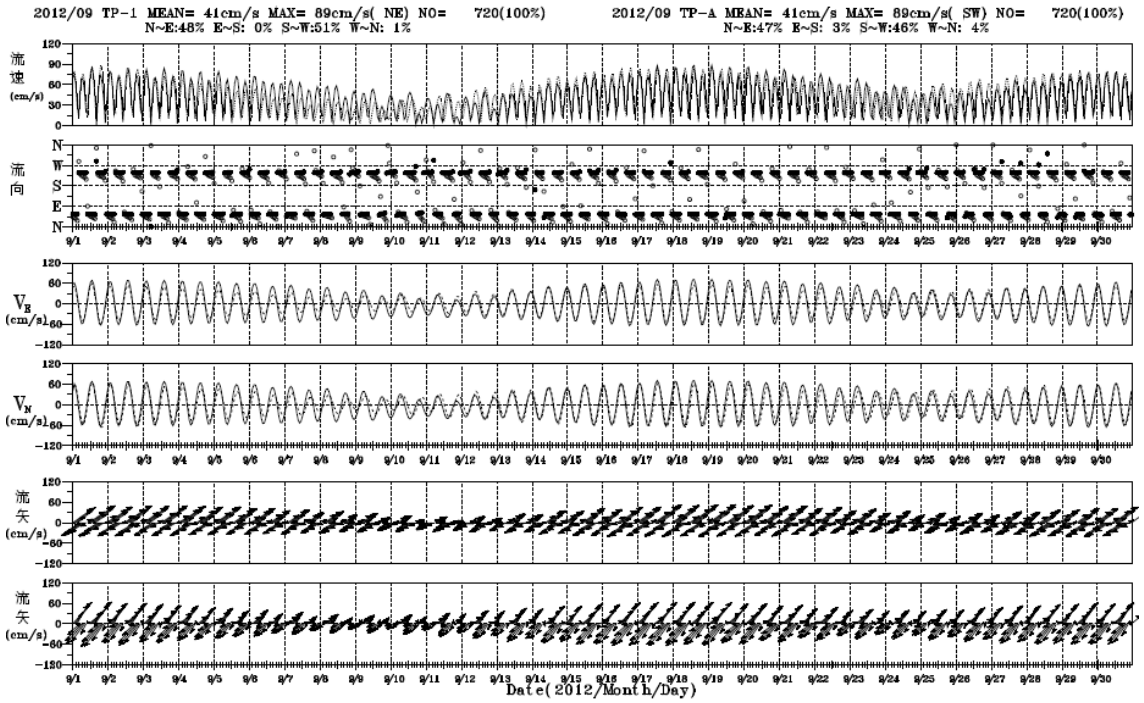


圖 4.71 臺北港 2012 年 9 月海流觀測資料與模擬結果之比較(實線：model，虛線：調和)

表 4-13 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報平均水位統計表

2012 年月份	方法	基隆港	臺北港
8	OBS1	.00 (99.9%)	.00 (89.9%)
	SMA	.00 (100%)	.00 (100%)
9	OBS1	.00 (99.7%)	.00 (99.6%)
	SMA	.00 (100%)	.00 (100%)

OBS1：港灣技術研究中心觀測 1 站潮位資料

SMA：小尺度水動力模式預報潮位資料

單位：m

表 4-14 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報潮位最高水位(日/時)統計表

2012 年月份	方法	基隆港	臺北港
8	OBS1	.57 (27/19)	1.56 (02/23)
	SMA	.52 (01/22)	1.43 (05/00)
9	OBS1	.54 (17/09)	1.76 (17/11)
	SMA	.45 (22/15)	1.52 (19/12)

OBS1：港灣技術研究中心觀測 1 站潮位資料

SMA：小尺度水動力模式預報潮位資料

單位：m (日/時)

表 4-15 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報潮位最低水位(日/時)統計表

2012 年月份	方法	基隆港	臺北港
8	OBS1	-.70 (28/13)	-1.79 (01/16)
	SMA	-.72 (01/14)	-1.67 (03/17)
9	OBS1	-.56 (22/08)	-1.65 (19/08)
	SMA	-.63 (23/08)	-1.54 (21/07)

OBS1：港灣技術研究中心觀測 1 站潮位資料

SMA：小尺度水動力模式預測結果

單位：m (日/時)

表 4-16 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報水位偏差統計表

2012 年月份	方法	基隆港	臺北港
8	平均偏差	.00 (99.5%)	00 (89.8%)
	標準偏差	.10 (99.5%)	.30 (89.8%)
	最大偏差	-.33 (99.5%)	-.85 (89.8%)
9	平均偏差	.00 (99.7%)	.00 (99.4%)
	標準偏差	.11 (99.7%)	.28 (99.4%)
	最大偏差	-.37 (99.7%)	-.71 (99.4%)

[註]：偏差 = 預測值 – 觀測值，單位：m

表 4-17 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報海流平均流速統計表

2012 年月份	方法	基隆港	臺北港
8	OBS1	26.6 (99.9%)	49.7 (89.9%)
	SMA	14.7 (100%)	40.7 (100%)
9	OBS1	24.9 (99.7%)	44.3 (99.6%)
	SMA	14.7 (100%)	41.1 (100%)

OBS1：港灣技術研究中心觀測 1 站流速資料

SMA：小尺度水動力模式預報流速資料

單位：cm/s

表 4-18 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報海流主要流向(%)統計表

2012 年月份	方法	基隆港	臺北港
8	OBS1	ENE (18.2%)	SW (24.2%)
	SMA	E (44.5%)	WSW (49.1%)
9	OBS1	ENE (16.9%)	SW (26.5%)
	SMA	E (44.4%)	WSW (48.3%)

OBS1：港灣技術研究中心觀測 1 站流速資料

SMA：小尺度水動力模式預報流速資料

表 4-19 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報海流東西向分量平均流速統計表

2012 年月份	方法	基隆港	臺北港
8	OBS1	3.8 (99.9%)	-5.4 (89.9%)
	SMA	.4 (100%)	-1.5 (100%)
9	OBS1	3.7 (99.7%)	-3.1 (99.6%)
	SMA	.4 (100%)	-.5 (100%)

OBS1：港灣技術研究中心觀測 1 站流速資料

SMA：小尺度水動力模式預報流速資料

單位：cm/s

表 4-20 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報海流南北向分量平均流速統計表

2012 年月份	方法	基隆港	臺北港
8	OBS1	.6 (99.9%)	9.5 (89.9%)
	SMA	-.1 (100%)	.3 (100%)
9	OBS1	4.6 (99.7%)	7.7 (99.6%)
	SMA	-.1 (100%)	1.2 (100%)

OBS1：港灣技術研究中心觀測 1 站流速資料

SMA：小尺度水動力模式預報流速資料

單位：cm/s

表 4-21 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報流場最大流速(流向)統計表

2012 年月份	方法	基隆港	臺北港
8	OBS1	99.0 (ENE)	138.0 (NE)
	SMA	32.1 (E)	86.7 (NE)
9	OBS1	105.0 (ENE)	115.0 (NE)
	SMA	33.2 (E)	88.5 (NE)

OBS1：港灣技術研究中心觀測 1 站流速資料

SMA：小尺度水動力模式預報流速資料

單位：cm/s (去向)

表 4-22 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報流場最大流速(日/時)統計表

2012 年月份	方法	基隆港	臺北港
8	OBS1	99.0 (03/12)	138.0 (03/02)
	SMA	32.1 (05/13)	86.7 (04/14)
9	OBS1	105.0 (16/11)	115.0 (16/13)
	SMA	33.2 (19/01)	88.5 (19/02)

OBS1：港灣技術研究中心觀測 1 站流速資料

SMA：小尺度水動力模式預報流速資料

單位：cm/s (日/時)

表 4-23 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報流速偏差統計表

2012 年月份	方法	基隆港	臺北港
8	平均偏差	-11.9 (99.7%)	-9.1 (89.9%)
	標準偏差	20.5 (99.7%)	22.5 (89.9%)
	最大偏差	-85.9 (99.7%)	-94.1 (89.9%)
	平均比值	.9 (99.7%)	1.0 (89.9%)
9	平均偏差	-10.2 (99.7%)	-3.2 (99.4%)
	標準偏差	19.2 (99.7%)	18.9 (99.4%)
	最大偏差	-80.3 (99.7%)	-55.7 (99.4%)
	平均比值	1.0 (99.7%)	1.2 (99.4%)

[註]：偏差 = 預報值 – 觀測值

比值 = 預報值 ÷ 觀測值

單位：cm/s

表 4-24 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報流向偏差統計表

2012 年月份	方法	基隆港	臺北港
8	平均偏差	51.7 (99.3%)	30.0 (89.9%)
	標準偏差	72.9 (99.3%)	46.2 (89.9%)
	最大偏差	177.8 (99.3%)	173.8 (89.9%)
9	平均偏差	55.7 (99.6%)	31.8 (99.4%)
	標準偏差	74.1 (99.6%)	51.2 (99.4%)
	最大偏差	179.0 (99.6%)	177.9 (99.4%)

[註]：偏差 = 預報值 – 觀測值

偏差大小範圍為 0-180 度

單位：度

表 4-25 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報流速東西向分量偏差統計表

2012 年月份	方法	基隆港	臺北港
8	平均偏差	-3.4 (98.9%)	3.9 (89.8%)
	標準偏差	20.4 (98.9%)	21.3 (89.8%)
	最大偏差	-69.1 (98.9%)	152.7 (89.8%)
9	平均偏差	-3.3 (99.6%)	2.5 (99.3%)
	標準偏差	19.9 (99.6%)	17.2 (99.3%)
	最大偏差	-71.3 (99.6%)	72.4 (99.3%)

[註]：偏差 = 預報值 – 觀測值

單位：cm/s

表 4-26 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報流速南北向分量偏差統計表

2012 年月份	方法	基隆港	臺北港
8	平均偏差	-.8 (98.3%)	-9.1 (89.9%)
	標準偏差	15.0 (98.3%)	22.2 (89.9%)
	最大偏差	88.6 (98.3%)	-69.5 (89.9%)
9	平均偏差	-4.7 (97.6%)	-6.7 (99.3%)
	標準偏差	14.6 (97.6%)	19.1 (99.3%)
	最大偏差	57.0 (97.6%)	-53.2 (99.3%)

[註]：偏差 = 預報值 – 觀測值　　單位：cm/s

4.6 臺灣周圍海域暴潮模式之建置

由於目前小尺度各港域水動力模式之水位模擬結果無法實際反映颱風引起的暴潮水位變化，因此本年度將利用本計畫有限元素水動力模式配合模型颱風之建置或中央氣象局大氣模式(NFS)數值預報的風速及氣壓場資料(如 MC 風壓場)，建置足以模擬颱風暴潮影響之中尺度臺灣周圍海域範圍暴潮模式，並選取本年度侵臺颱風如輕度颱風泰利(TALIM)、中度颱風蘇拉(SAOLA)及中度颱風天秤(TEMBIN)等進行颱風暴潮模擬工作。

4.6.1 模型風場模式

本計畫所採用的二維暴潮數值模式其基本控制方程式與求解方法(FEM)均與前述水動力模式相同(如附錄 IV 所述)，二者差異在於暴潮模式增加模型颱風風場及氣壓場計算副程式。有關本計畫暴潮數值模式所採用的颱風模型風場及氣壓場之計算說明如下：

假設颱風圈內等壓線幾近呈圓形分佈，則颱風之氣壓分佈可採用 Myers(1954)之經驗式，即

$$P = P_c + a_c \exp\left(-r_0/r\right) \quad \text{.....(4.6.1)}$$

式中 P_c 為颱風中心之氣壓(mb)，r_0 為颱風最大風速之半徑，a_c 為颱風中心氣壓常數。氣壓場之氣壓力梯度計算如下：

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{r_0\left(x - x_c\right)}{r^3} a_c \exp\left(-r_0/r\right) \quad \text{.....(4.6.2)}$$

$$\frac{\partial P}{\partial y} = \frac{r_0\left(y - y_c\right)}{r^3} a_c \exp\left(-r_0/r\right) \quad \text{.....(4.6.3)}$$

式中 x_c 及 y_c 為颱風中心之 x, y 座標。於(4.6.1)式中 r_0 及 a_c 值較不易估計，如有數站氣壓資料，便可由最小二乘法求出，惟海上颱風暴風

圈內之氣壓值通常不易獲得。因此a_c值之取定，通常採用假設$a_c = \Delta P_c = P_\infty - P_c$，$P_\infty$為遠離颱風中心之外圍氣壓，一般取其值為標準海平面氣壓約 1013.25 mb。

颱風最大風速半徑r_0值可根據 Graham 及 Nunn 提出之經驗公式如下：

$$r_0 = \left[28.52\tanh\left[0.0873(\phi - 28)\right]\right] + 12.22\exp\left[(P_c - 1013.2)/33.86\right] + 0.2V_F + 37.22 \quad \text{....(4.6.4)}$$

式中ϕ為緯度，V_F為颱風移動速度(km/hr)。

在颱風風場之計算上，本計畫模式考慮科氏力之影響計算颱風風場之傾度風風速W_g如下：

$$W_g = \left[\frac{a_c r_0}{\rho_a r}\exp(-r_0/r) + (rf/2)^2\right]^{1/2} - \frac{rf}{2} \quad \text{.....(4.6.5)}$$

式中ρ_a為空氣密度，a_c為颱風中心氣壓常數，f為科氏參數，r_0為颱風最大風速之半徑。當$r = r_0$時可得到最大傾度風$(W_g)_{\max}$。

此外，移動中之颱風除了因氣壓梯度引起的風速$\vec{W}'$外，尚有因颱風移動而產生的速度$\vec{W}''$。其中$\vec{W}'$與傾度風成正比，$\vec{W}''$與颱風進行速度$\vec{V}_f$成正比，即：

$W' = c_1 V_g$，其方向與等壓線切線夾角α約為 30°～35°；

$\vec{W}' = c_2 \vec{V}_f$，其方向與颱風進行方向同。

其中c_1值約為 0.5～0.7 之間，臺灣地區可用 0.6；$c_2 = \dfrac{0.6V_g}{(V_g)_{\max}}$。

因此颱風圈內，任何地點之海面上風速可表示如下：。

$$W_x = -\frac{c_1 W_g}{r}\left[(x-x_c)\sin\alpha + (y-y_c)\cos\alpha\right] + c_2 \frac{(V_f)_x}{(W_g)_{\max}} W_g \quad \text{.....(4.6.6)}$$

$$W_y = \frac{c_1 W_g}{r}\left[(x-x_c)\cos\alpha - (y-y_c)\sin\alpha\right] + c_2 \frac{(V_f)_y}{(W_g)_{\max}} W_g \quad \text{.....(4.6.7)}$$

4.6.2 數值計算網格之建置

本計畫臺灣周圍海域暴潮模式模擬範圍別以東經 116.5º及 125º經線為模式之東、西邊界，以北緯 21º及 26.5º為模式之南、北邊界，如圖 4.72 所示。由於本計畫有限元素水動力模式之座標系統為直角座標系統，因此本計畫數值計算網格乃採用六度分帶投影座標系統建置有限元素數值計算網格如圖 4.73 所示，圖中有限元素計算網格係由 6528 個節點及 12514 個三角形元素組成。模式之水深資料來源為海科中心臺灣附近海域格網數值地形資料及海軍測量局刊行之海軍水道圖(編號 0307)，如圖 4.74 所示。

4.6.3 邊界條件及初始條件

本計畫暴潮數值模式之邊界型態分為海域開放邊界及陸地邊界兩種，其中陸地邊界條件可為滑動或不滑動邊界條件，本計畫暴潮模式採用不滑動邊界為陸地邊界條件，亦即假設陸地邊界節點之流速等於零。

海域開放邊界通常採用水位條件為模式之邊界條件，當模式模擬對象僅為暴潮引起的水位偏差(即所謂的暴潮偏差)時，模式開放邊界之水位條件值可由邊界上氣壓差推估其水位值如下

$$\eta = \eta_a(t) = \frac{\Delta P(t)}{\rho g} \quad \text{.....(4.6.8)}$$

當模式模擬對象包含天文潮位變化時，模式開放邊界之水位條件值除了考慮上述氣壓差引起的水位抬昇(如 4.6.8 式)外，尚需加上天文潮產生的水位時間變化量。有關天文潮引起的水位變化邊界條件，本計畫採用 Matsumoto et al.(2000)所發展的 NAO.99b 模式建置臺灣周圍海域範圍暴潮模式開放邊界之天文潮水位條件，如圖 4.75 所示。圖中所示水位變化時序列資料分別為本計畫以 NAO.99Jb 模式預測臺灣周圍海域範圍數值計算網格開放邊界上四個角落節點(如圖 4.73 所示)之天文潮時序列資料，顯示靠近大陸陸地之開放邊界節點天文潮位呈現半日潮型，臺灣東部大平洋海上開放邊界節點之天文潮位屬於混合潮型態，模式計算網格西南角落開放邊界節點之天文潮位則呈現全日潮型態。

此外，模式之初始條件則假設流場初始速度及水位均為零。

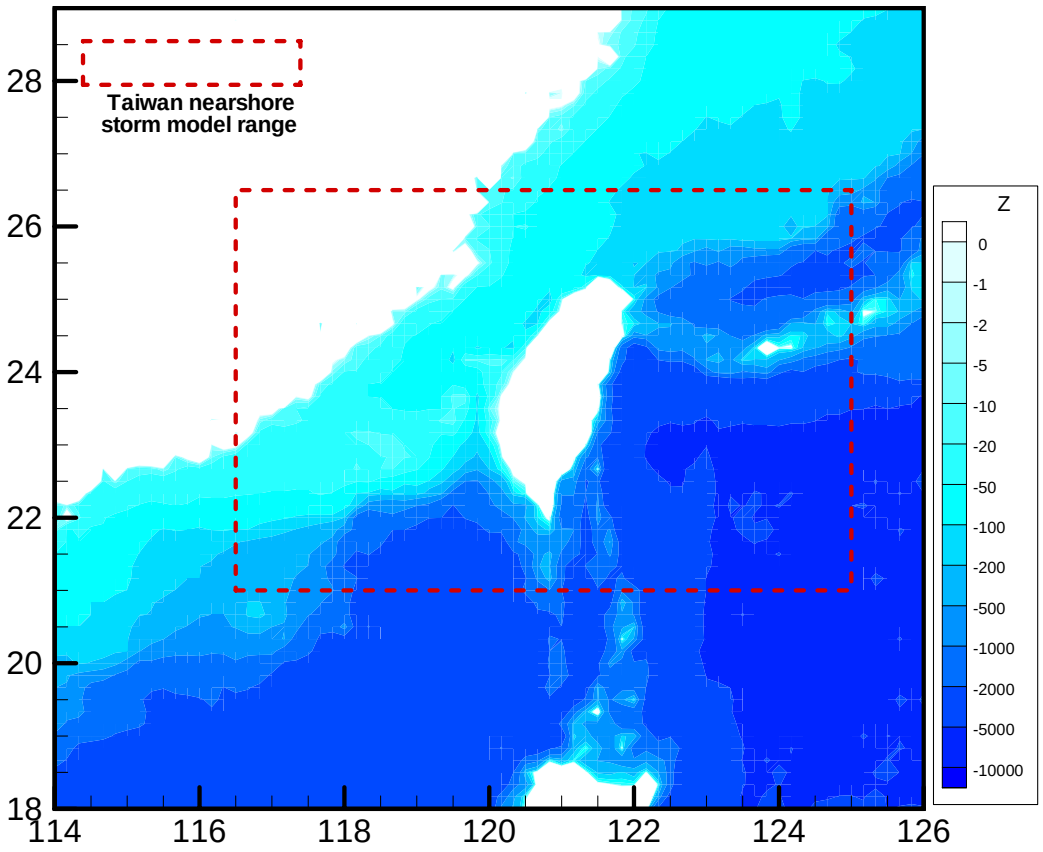


圖 4.72 臺灣周圍海域暴潮模式模擬範圍

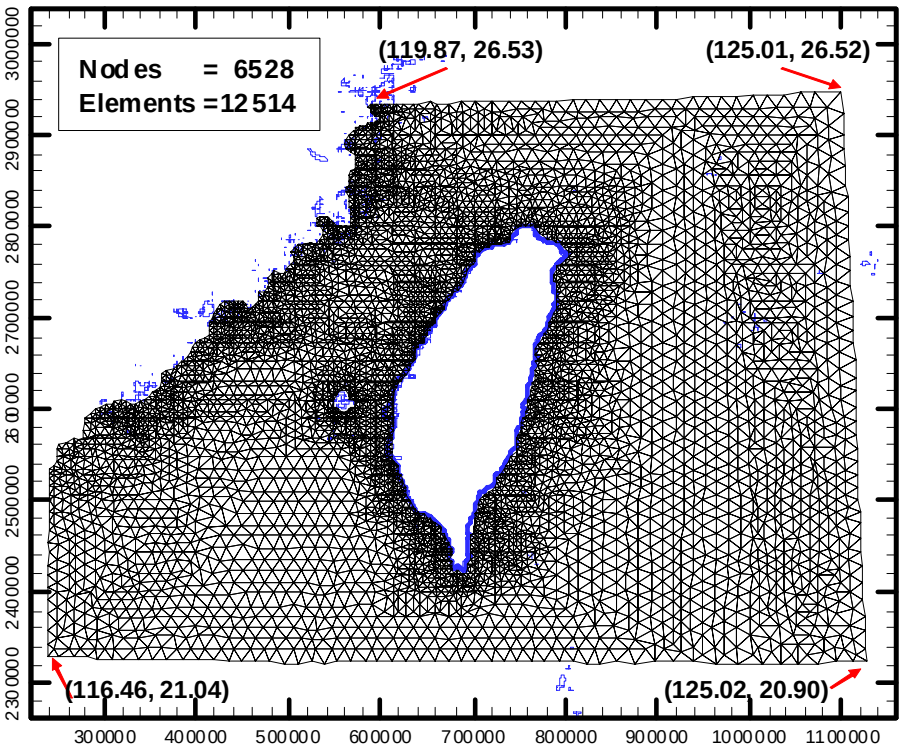


圖 4.73 臺灣周圍海域暴潮數值模式之計算網格分布圖

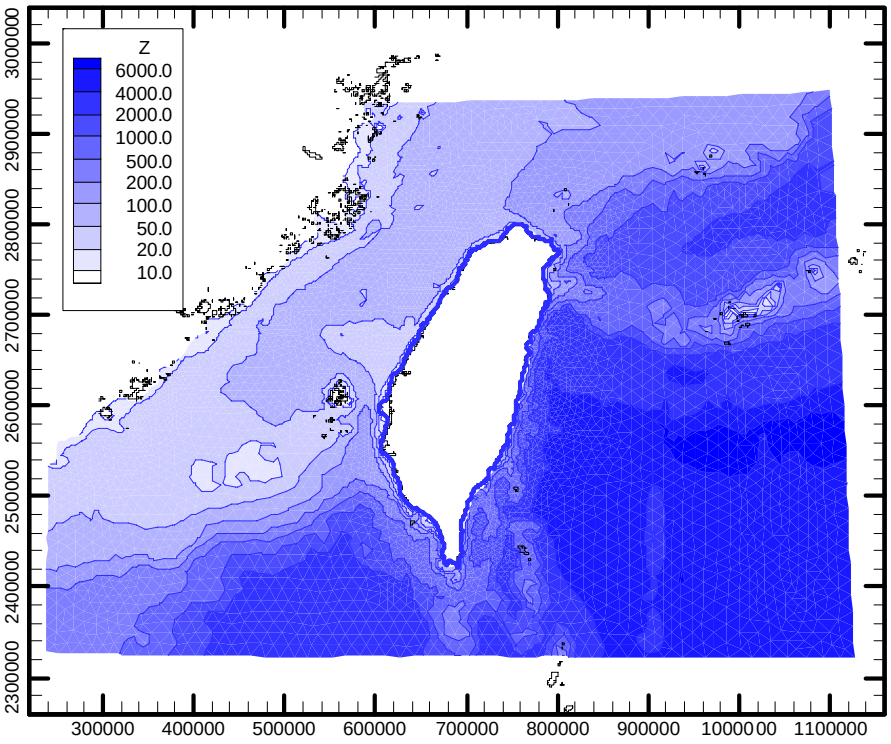


圖 4.74 臺灣周圍海域暴潮數值模式之地形水深分布圖

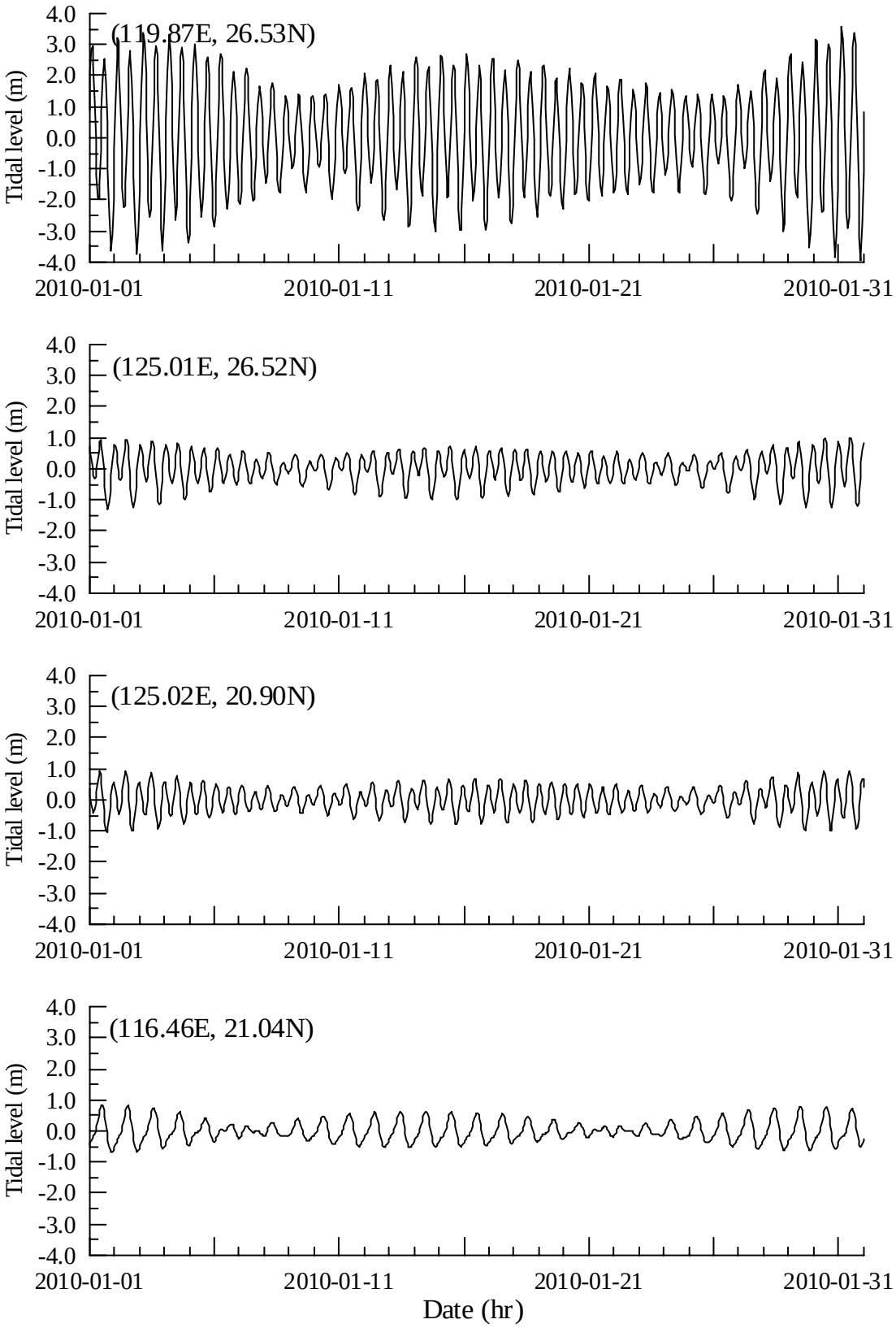


圖 4.75 臺灣周圍海域暴潮模式之天文潮邊界條件時序圖

4.6.4 模式參數率定與驗證

由於本計畫水動力模式數值計算之穩定性除了與三角元素大小、節點水深大小及時間項差分之間距$\triangle t$大小有關外，模式所使用的物理參數如渦動粘滯性係數及底床摩擦係數大小，以及模式模擬之起始條件等均會影響至模式計算之穩定性。因此本計畫在不考慮風場及氣壓變化之情況下，先依據圖 4.75 所示之天文潮邊界條件進行天文潮水位變化模擬，並依據水位模擬結果率定上述相關參數值。模式參數率定結果說明如下：模式模擬之時間間距$\triangle t$為 2.0 sec，底床摩擦係數採用曼寧公式計算，其中曼寧係數 n 值為 0.02；渦動粘滯性係數如前述採用(4.3.1)式計算，其中無因次係數 a 為 0.025，潮汐代表性潮差$\tilde{\eta}$為 1.25 m，代表性潮流流速為 0.5 m/s。

在水位模擬結果之驗証方面，本計畫選取基隆港、臺北港、臺中港、安平港、高雄港、花蓮港及蘇澳港等港口外海潮波儀觀測資料(港灣技術研究中心)與模式水位模擬結果比較，如圖 4.76 至圖 4.82 所示，結果顯示僅基隆港水位模擬結果與觀測資料偏差較大外，其餘各港口水位模擬結果之振幅及相位變化均與觀測值近似。

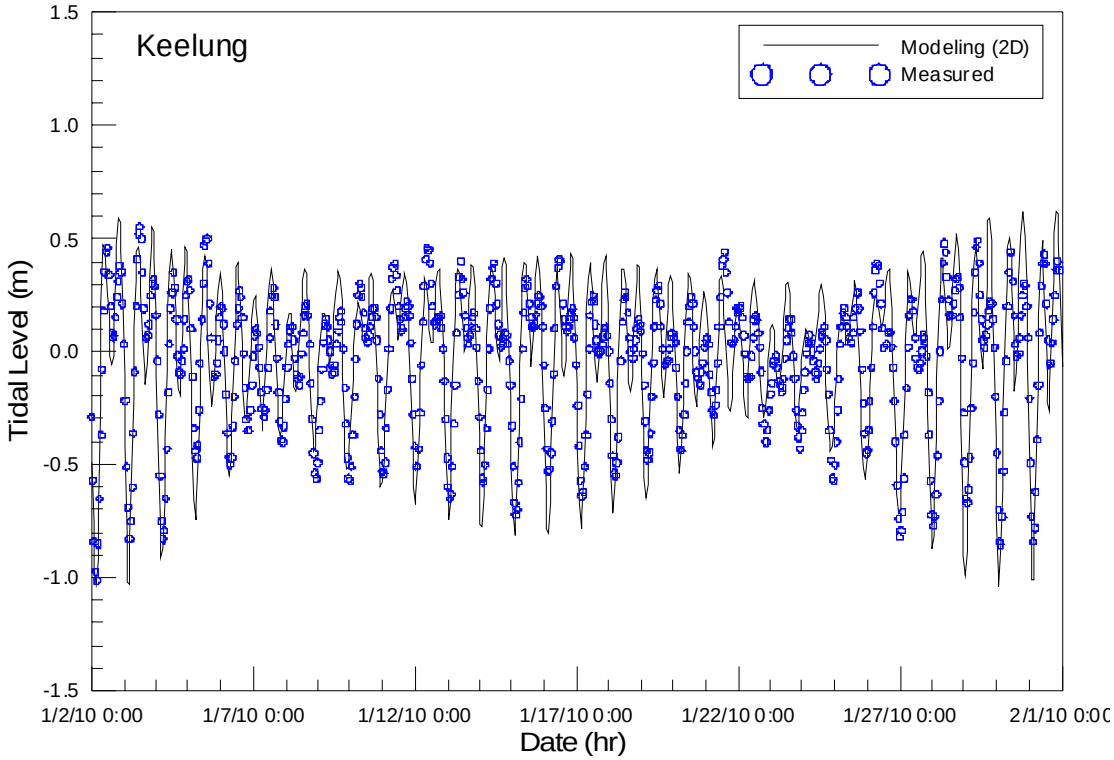


圖 4.76 基隆港水位模擬結果與觀測資料之比較

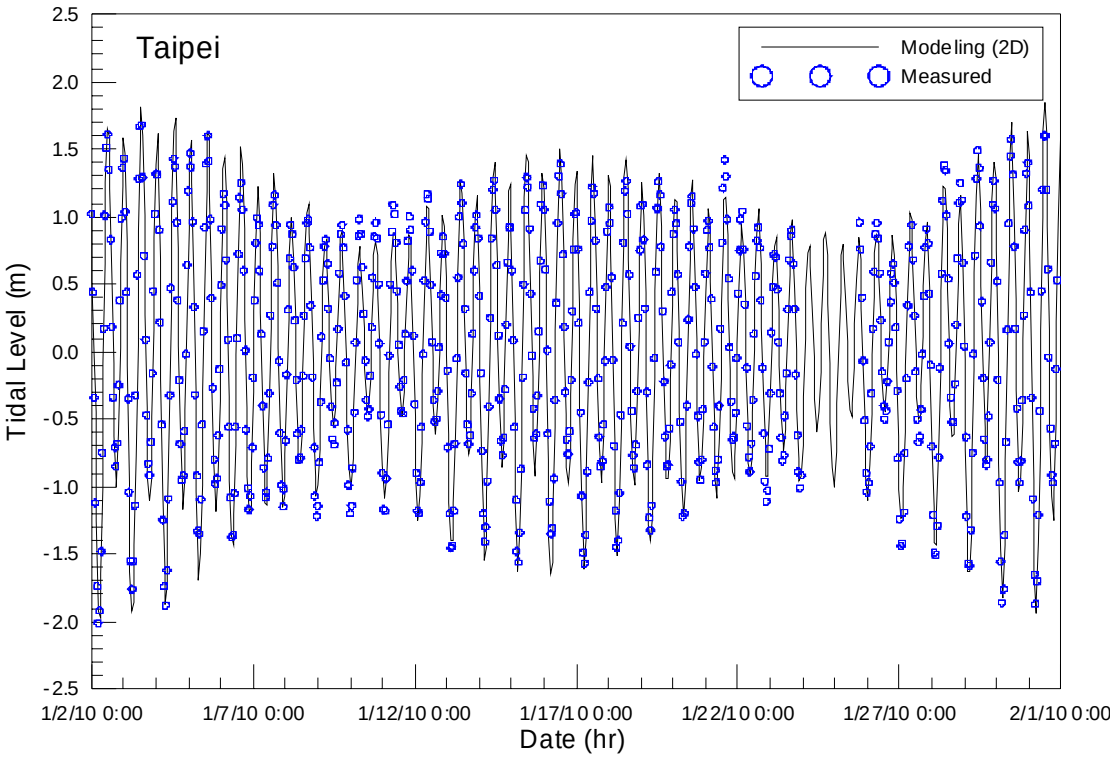


圖 4.77 臺北港水位模擬結果與觀測資料之比較

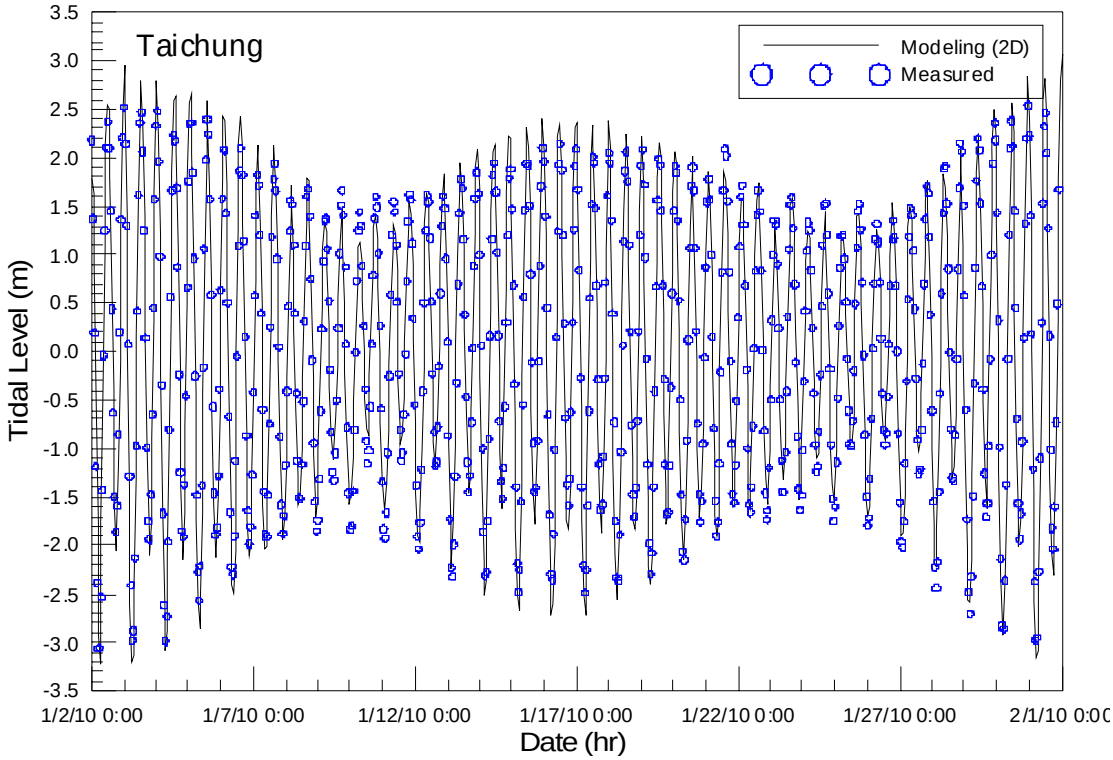


圖 4.78 臺中港水位模擬結果與觀測資料之比較

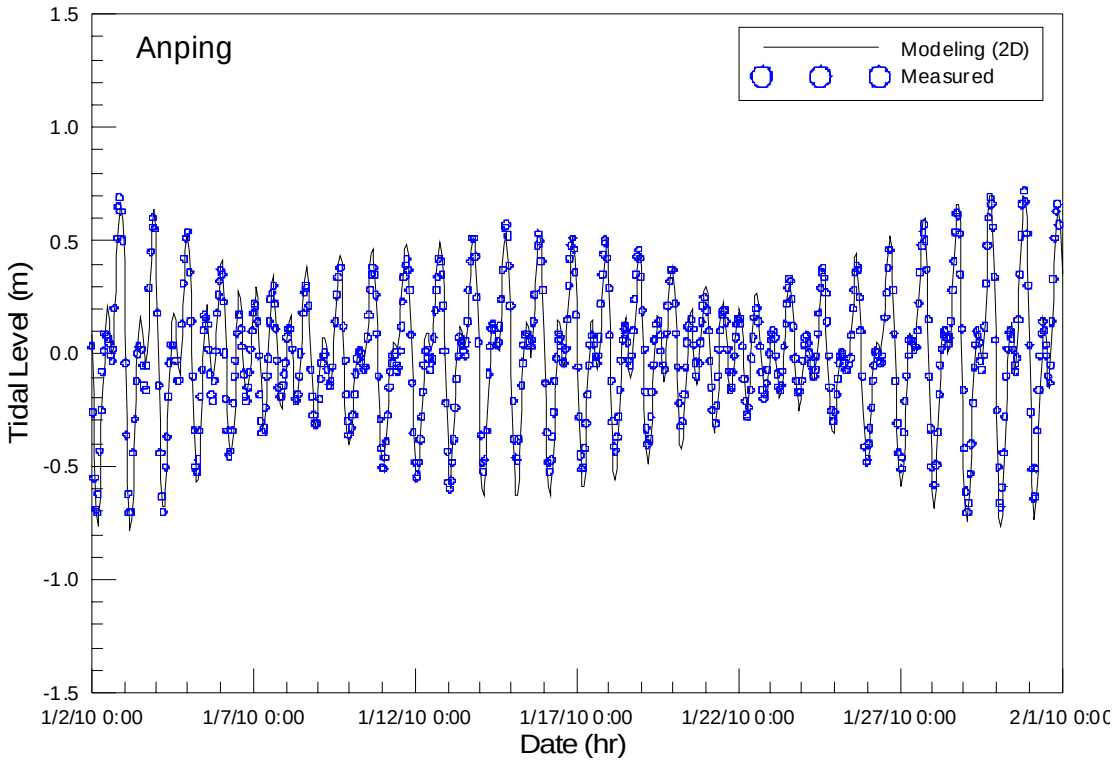


圖 4.79 安平港水位模擬結果與觀測資料之比較

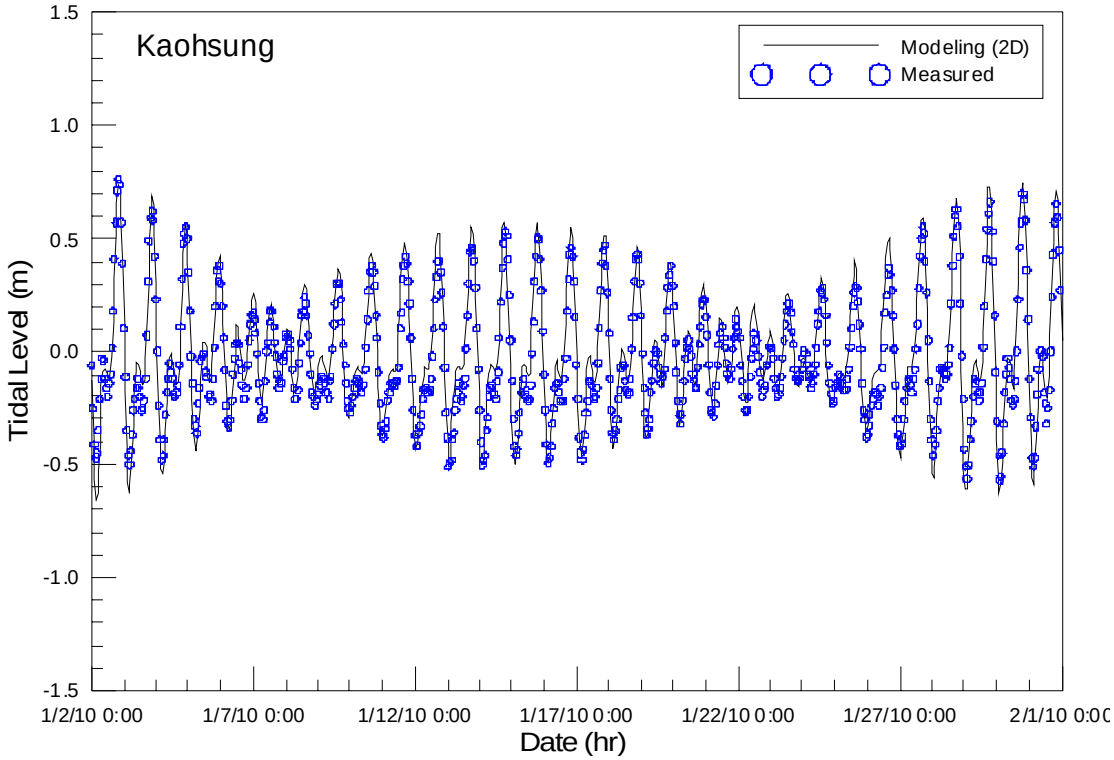


圖 4.80 高雄港水位模擬結果與觀測資料之比較

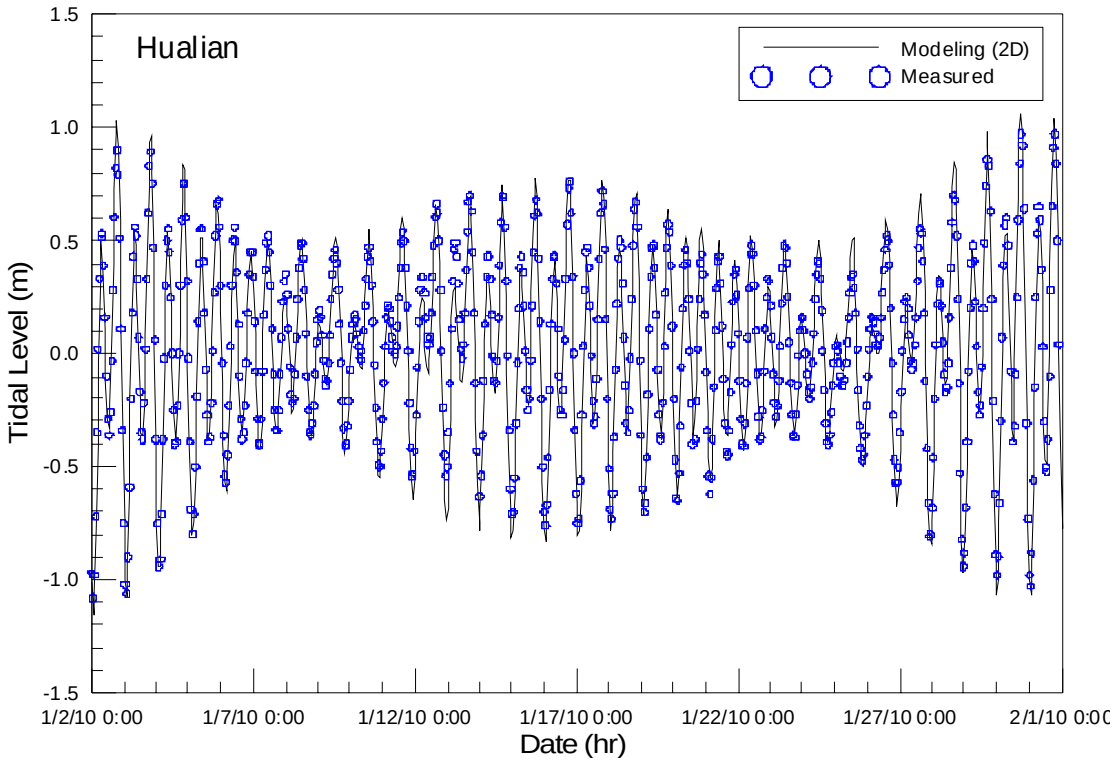


圖 4.81 花蓮港水位模擬結果與觀測資料之比較

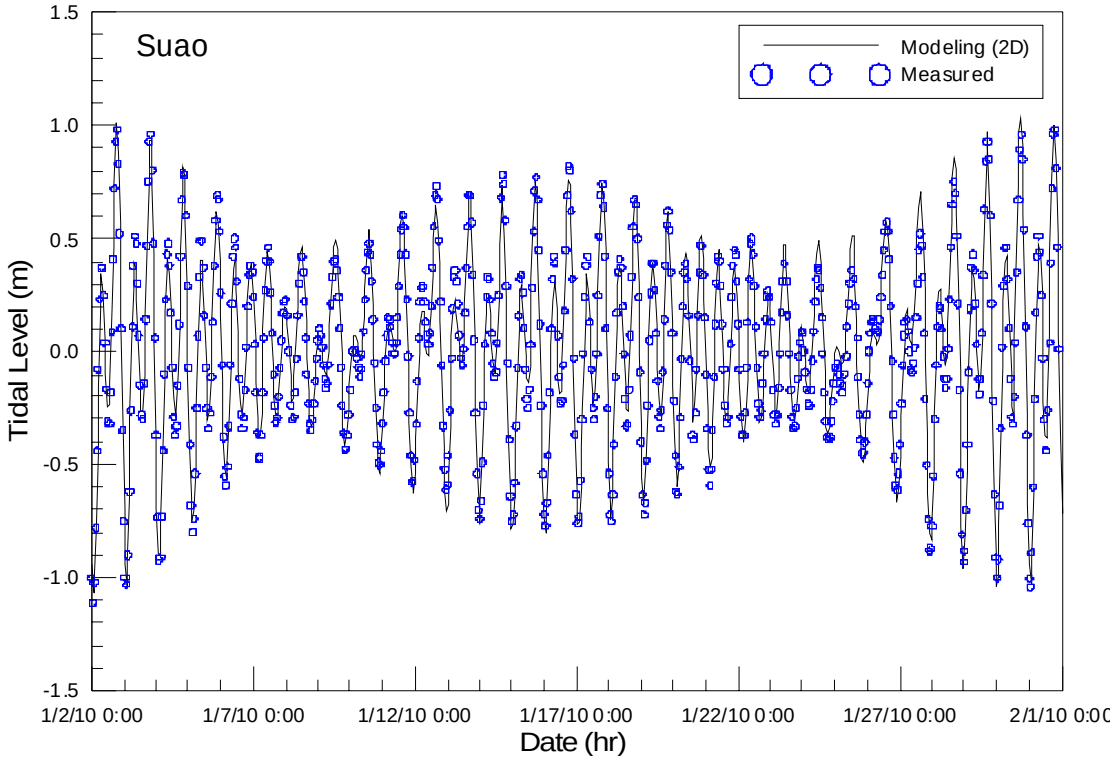


圖 4.82 蘇澳港水位模擬結果與觀測資料之比較

4.6.5 颱風暴潮數值模擬結果

本年度(101)侵臺颱風依據 9 月底前中央氣象局發佈颱風資料顯示，總計有泰利等 7 個侵臺颱風影響臺灣本島或附近海域(如 4.2.4 節所述)。本計畫選取對臺灣近岸海域影響較大的侵臺颱風如輕度颱風泰利(TALIM)、中度颱風蘇拉(SAOLA)及中度颱風天秤(TEMBIN)等進行颱風暴潮模擬工作，颱風移動路徑分別如圖 4.30、圖 4.32 及圖 4.35 所示。

(1) 颱風風場及氣壓場

基於本計畫臺灣周圍海域範圍暴潮模式建置目的之一為納入本中心 TaiCOMS 之作業系統，取代目前作業中之中尺度臺灣周圍海域範圍之暴潮水位模式(採用歐洲系統之數值模式 COHERENS 建置的)。因此本年度嘗試採用由中央氣象局提供大氣模式(NFS)數值預報的 MC 風場及氣壓場資料進行颱風暴潮模擬。關於本計畫數值模擬採用的風場及氣壓場資料說明如下。

目前中央氣象局每日會提供 08:00 及 20:00 (相當於格林威治時間的 0:00 及 12:00)執行的 72 小時天氣預報數值資料(風場及氣壓場)供本中心下載作為 TaiCOMS 相關模式使用之風場及氣壓場資料。因此本計畫乃配合 TaiCOMS 作業化風場及氣壓場資料建構本計畫颱風暴潮模擬所需風場及氣壓場資料，其中每日風場及氣壓場資料(0 時至 23 時)係由前一日 20 時及當日 8 時及 20 時之預報資料所組成的。

圖 4.83 所示為輕度颱風泰利侵臺期間 6 月 20 日 0 時至 6 月 21 日 0 時 MC 風場及氣壓場近臺灣周圍海域之氣壓分布及風速變化情形，圖 4.84 所示分別為中度颱風蘇拉侵臺期間 8 月 1 日 0 時至 8 月 3 日 0 時 MC 風場及氣壓場在臺灣周圍海域附近之氣壓分布及風速變化情形，圖 4.85 所示分別為中度颱風天秤侵臺期間 8 月 23 日 0 時至 8 月 24 日 12 時 MC 風場及氣壓場在臺灣周圍海域附近之氣壓分布及風速變化情形。

(2) 颱風暴潮模擬結果

輕度颱風泰利(TALIM)於 6 月 18 日凌晨 2 時生成於海南島附近，以東北方向逐漸往臺灣海峽附近移動，於 20 日 14 時颱風中心於位於澎湖與金門之間，至 6 月 21 日 5 時於彭佳嶼東北方轉變為熱帶性低氣壓，如圖 4.30 所示。因此，本計畫選取上述由中央氣象局提供的每日 MC 預報風場及氣壓場資料，組成 6 月 17 日 0 時至 6 月 23 日 0 時之風場及氣壓場資料進行泰利颱風暴潮模擬。圖 4.86 所示為輕度颱風泰利接近臺灣周圍海域時，本計畫暴潮模式模擬之暴潮水位偏差分布情形，圖中粗虛線表示由每小時風壓場資料推估的颱風中心移動路徑，箭頭位置表示颱風中心目前位置。

中度颱風蘇拉(SAOLA)於 7 月 28 日 8 時生成於菲律賓東方海面，初期往北至北北西移動，於 8 月 2 日凌晨 3 時 20 分於花蓮秀林鄉附近登陸，之後呈打轉現象，2 日下午 14 時左右掠過臺灣東北角進入北部海面，於 8 月 3 日 6 時左右在馬祖北方進入福建，如圖 4.32 所示。本計畫選取 7 月 28 日 0 時至 8 月 4 日 0 時之 MC 預報風場及氣壓場資料進行颱風暴潮模擬，模擬結果如圖 4.87 所示。

中度颱風天秤(TEMBIN)於 8 月 18 日生成於菲律賓東方海面，形成後向北行進，21 日行至鵝鑾鼻東方海面後，向北北西轉西方向移動，23 日行至台東東方近海，又轉西南西撲向恆春半島，於 24 日凌晨 5 時於屏東牡丹鄉附近登陸，並穿越恆春半島繼續往西南西方向離去。25 日解除警報後向西南西轉向偏南方向移動，26 日晚間至 27 日清晨再次轉彎，向東轉東北東方向移動，對臺灣及附近海面再次造成威脅。28 日清晨 5 時其中心通過蘭嶼與綠島中間，並向北北東方移動，晚間其中心在宜蘭東北東方海面持續向北北東移動，臺灣陸續脫離其暴風圈，其移動路徑如圖 4.35 所示。同樣地，本計畫選取 8 月 18 日 0 時至 8 月 29 日 0 時之 MC 預報風場及氣壓場資料進行颱風暴潮模擬，其中圖 4.88 所示為本計畫暴潮模式模擬結果於中度颱風天秤第一次侵臺期間 8 月 24 日 0 時至 8 月 25 日 0 時之暴潮水位偏差分布情形，圖 4.89 所示為中度颱風天秤第二次侵臺期間 8 月 28 日 0 時至 8 月 29 日 0 時之暴潮水位偏差分布情形。

本年度依據本計畫有限元素法水動力模式初步完成中尺度臺灣周圍海域範圍暴潮模式之建置，並以中央氣象局提供的中區域 MC 預報風場及氣壓場資料為輸入條件，針對本年度發生的侵臺颱風如輕度颱風泰利、中度颱風蘇拉及中度颱風天秤等模擬颱風引起的暴潮水位偏差。綜合上述颱風暴潮水位偏差模擬結果得知，當颱風在開闊海面上時近颱風中心暴潮水位偏差之等值線大致上呈現圓形狀分布，此與風場及氣壓場分布相近似；當颱風接近陸地時模式模擬結果之暴潮水位偏差分布情形，顯著受到大陸棚地形水深變淺之影響，此時暴潮水位偏差變化與風場及氣壓場分布之關聯性明顯地降低。

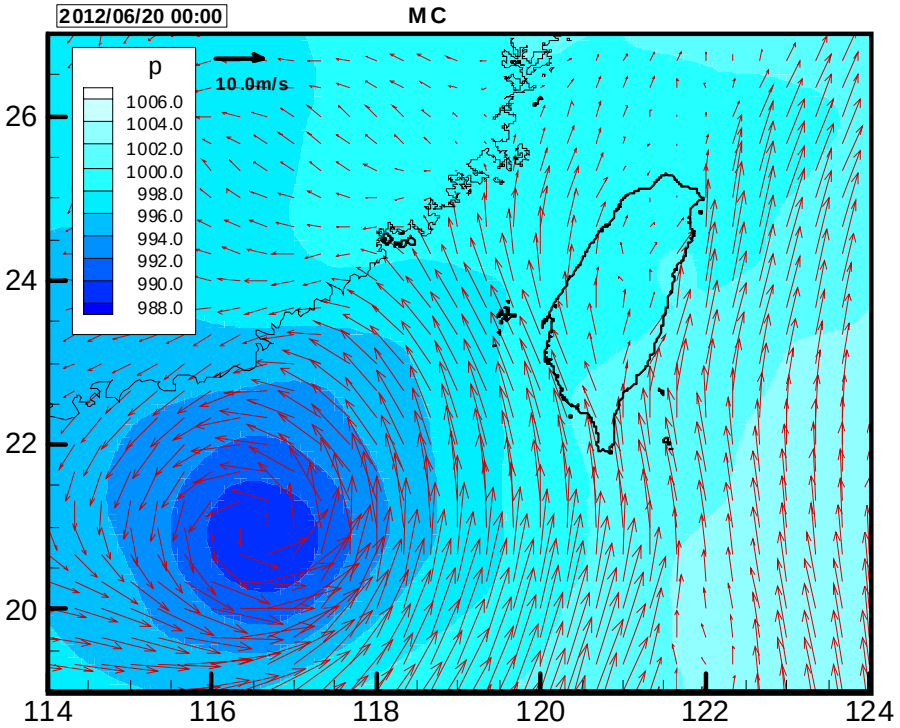


圖 4.83 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/06/20 00:00)

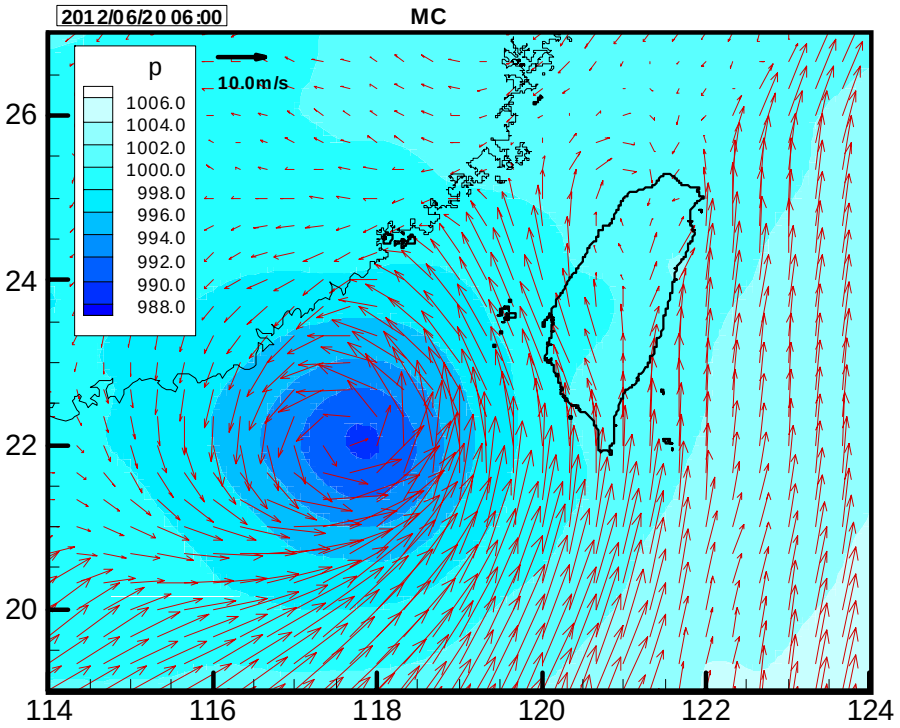


圖 4.83 (續 1) 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/06/20 06:00)

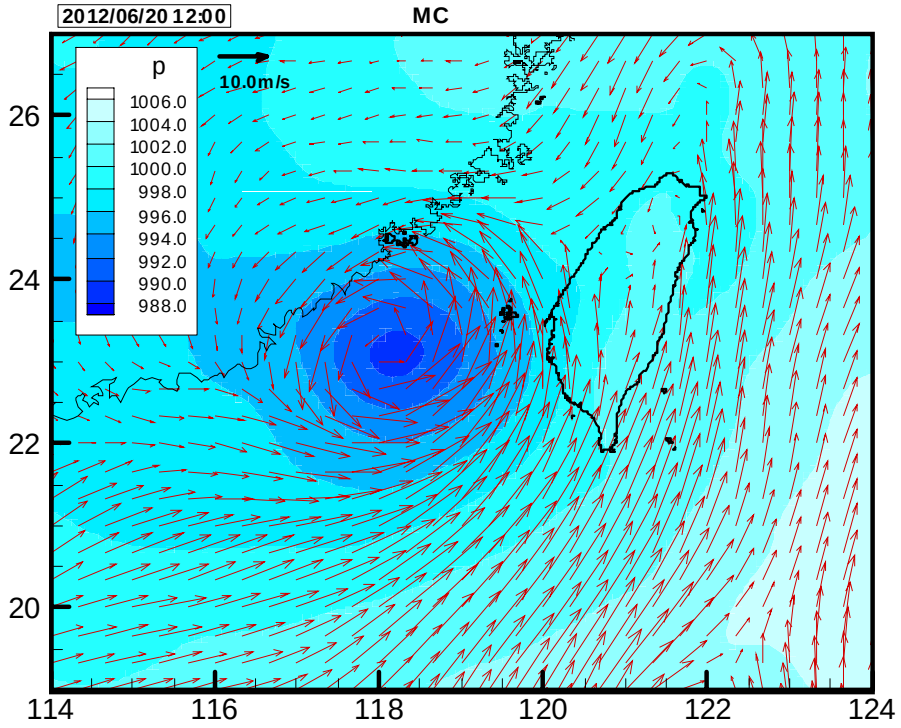


圖 4.83 (續 2) 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/06/20 12:00)

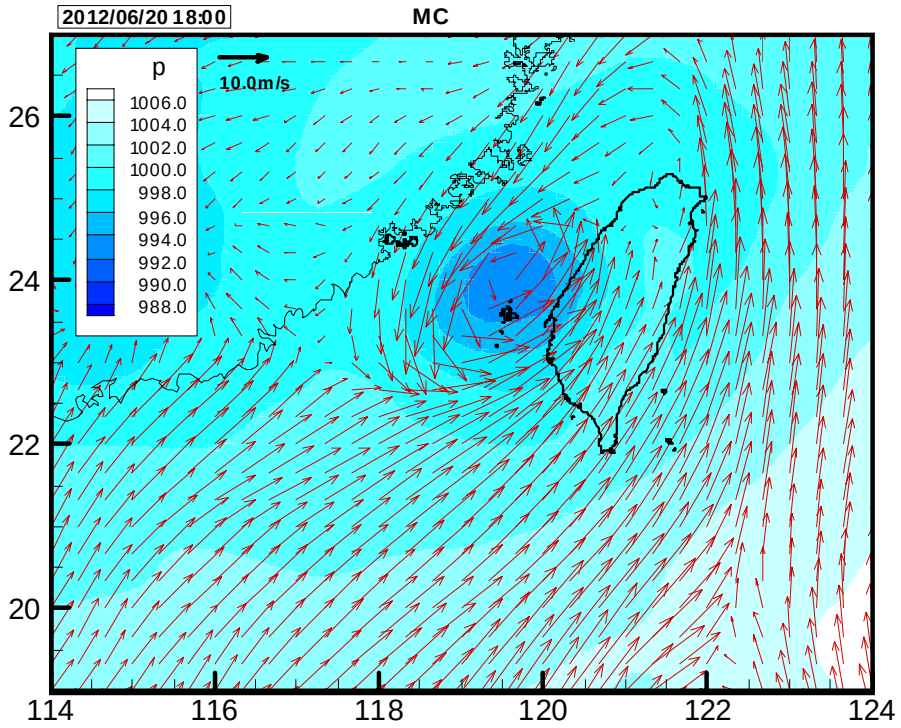


圖 4.83 (續 3) 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/06/20 18:00)

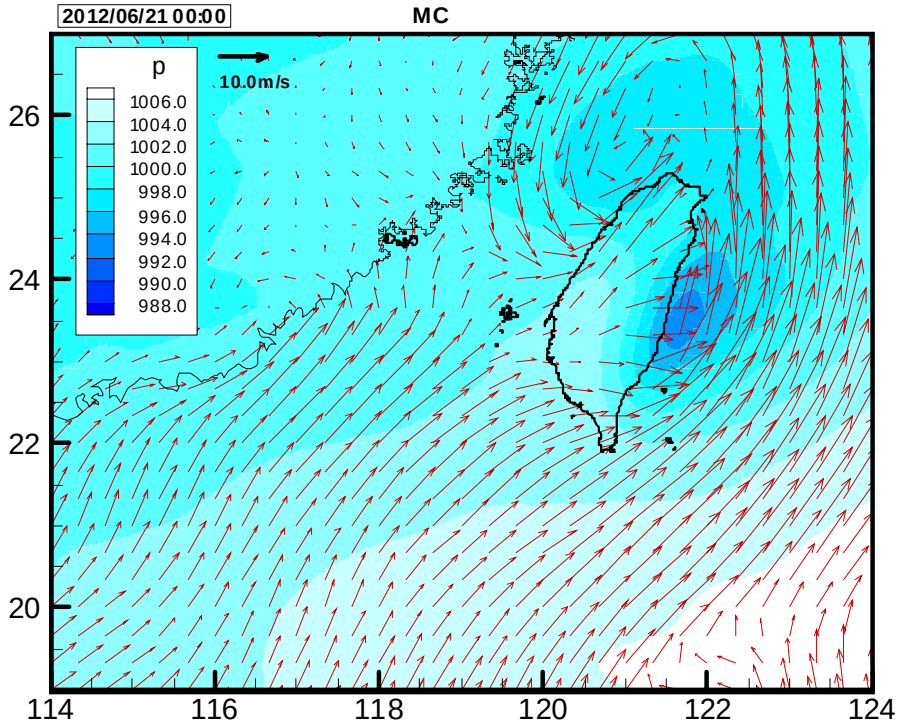


圖 4.83 (續 4) 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/06/21 00:00)

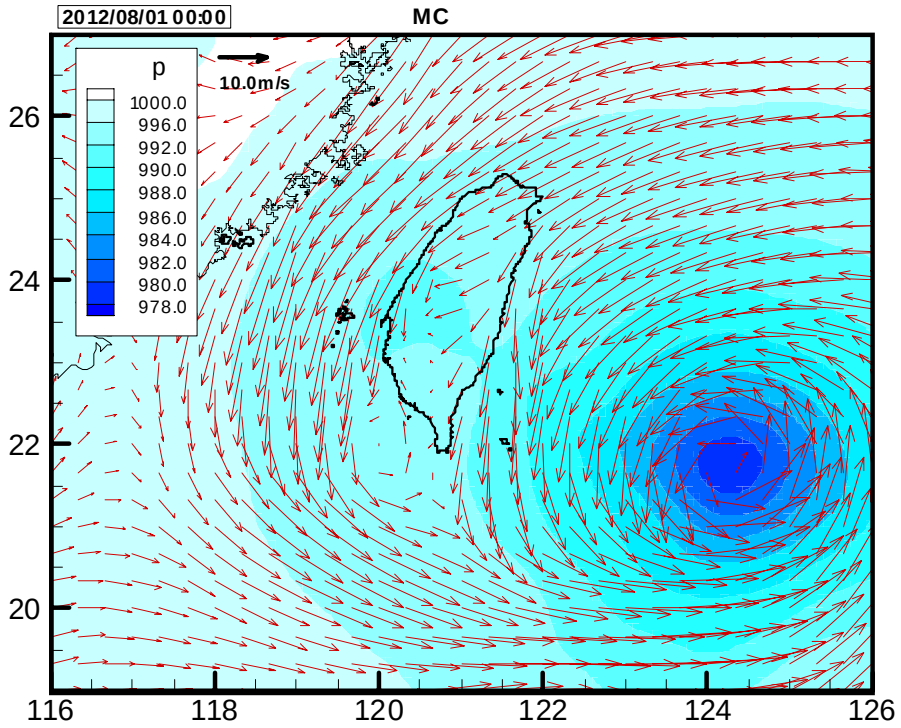


圖 4.84 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/01 00:00)

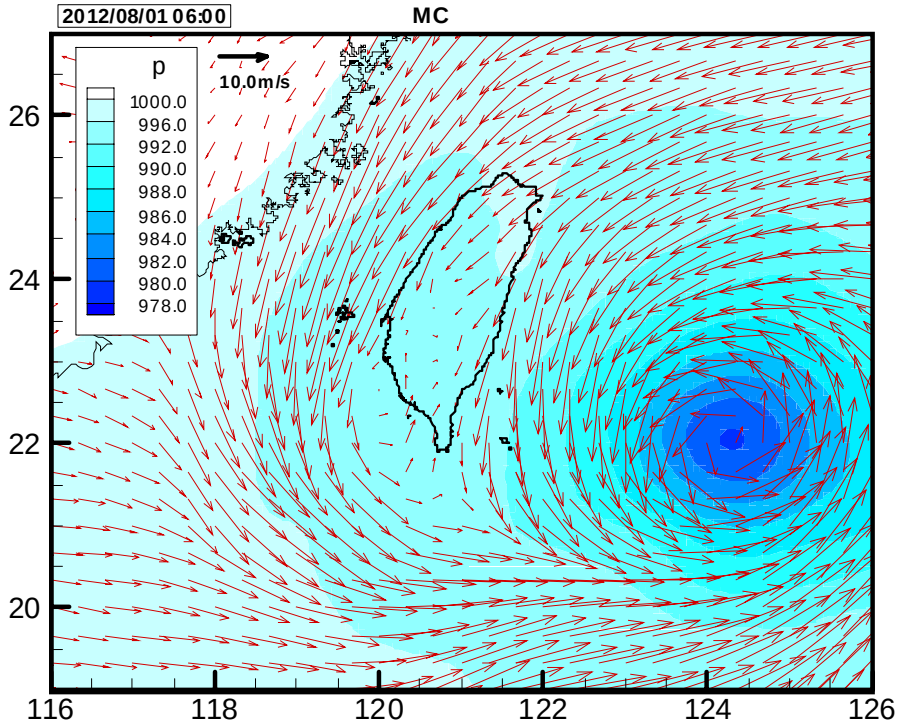


圖 4.84 (續 1) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/01 06:00)

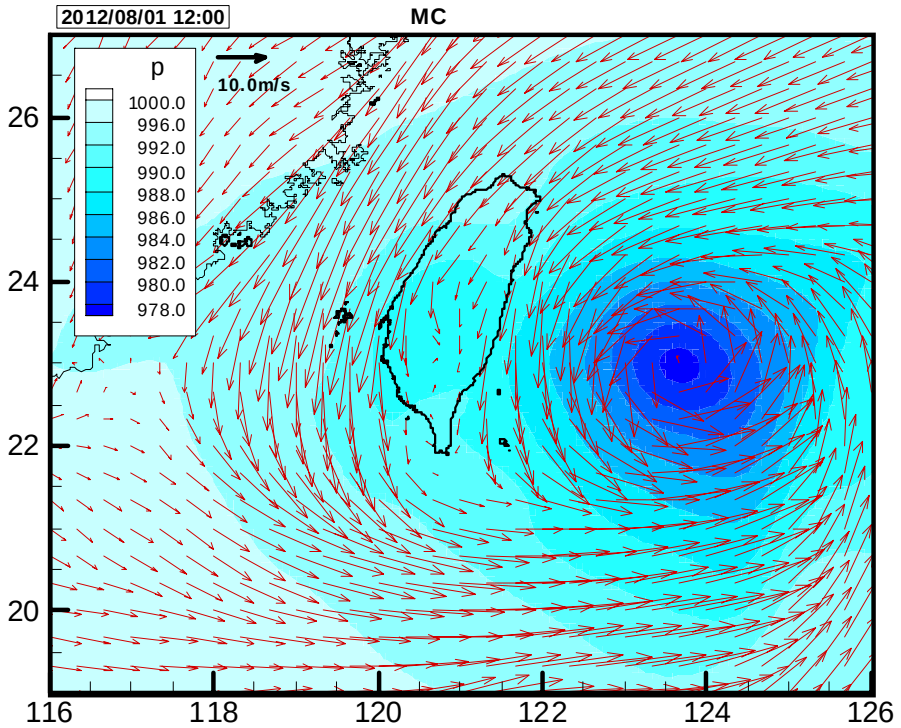


圖 4.84 (續 2) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/01 12:00)

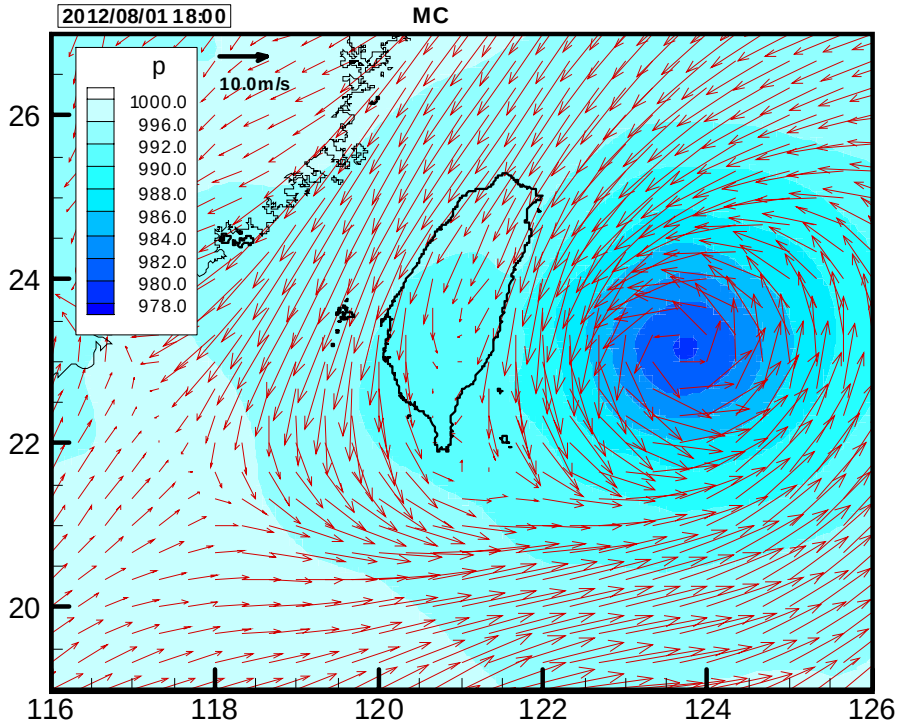


圖 4.84 (續 3) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/01 18:00)

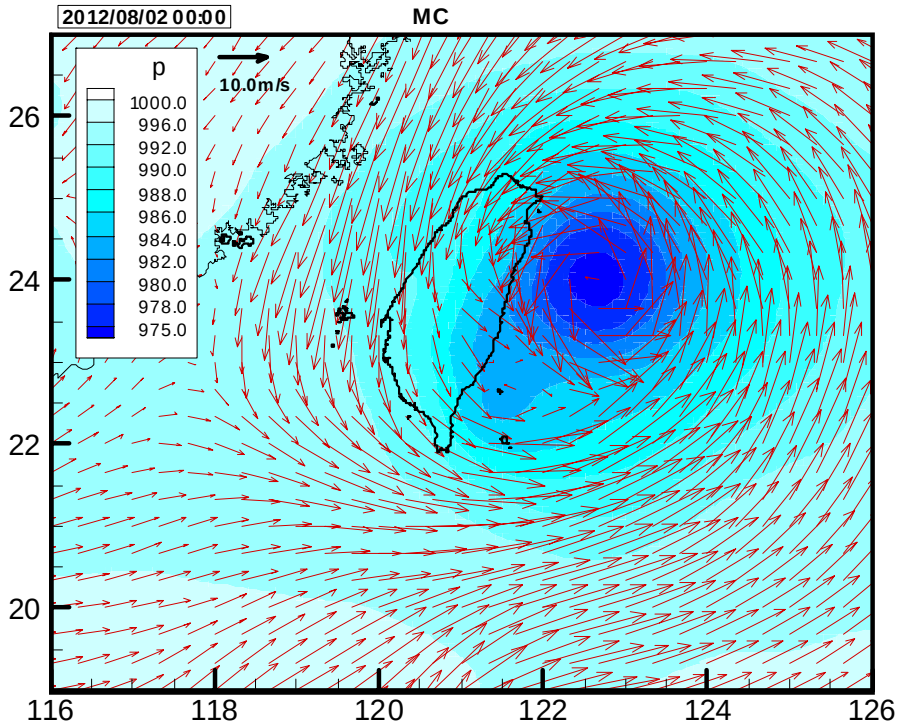


圖 4.84 (續 4) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/02 00:00)

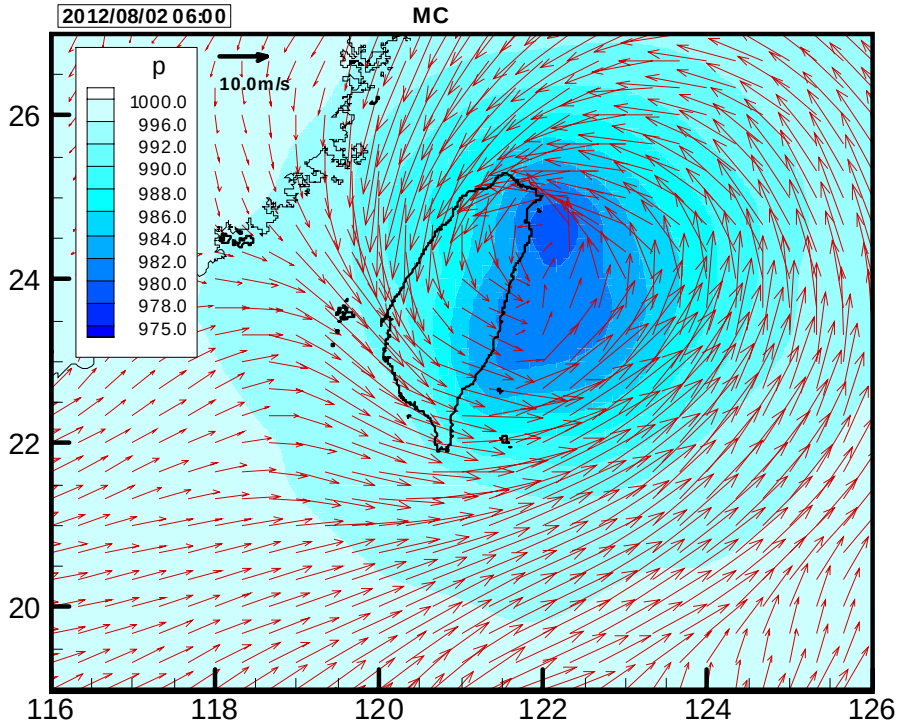


圖 4.84 (續 5) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/02 06:00)

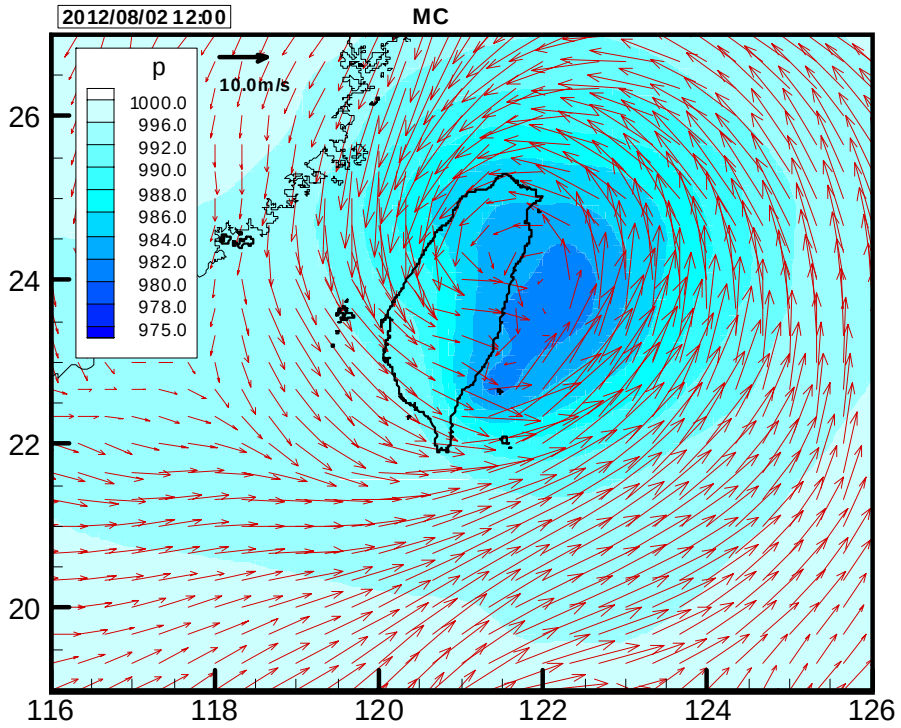


圖 4.84 (續 6) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/02 12:00)

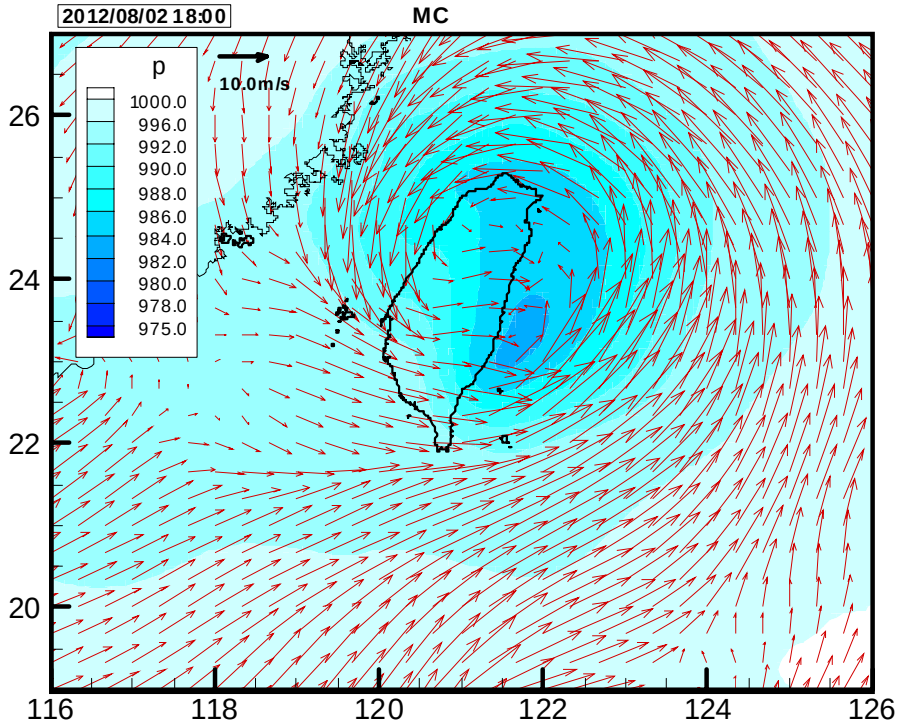


圖 4.84　(續 7) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/02 18:00)

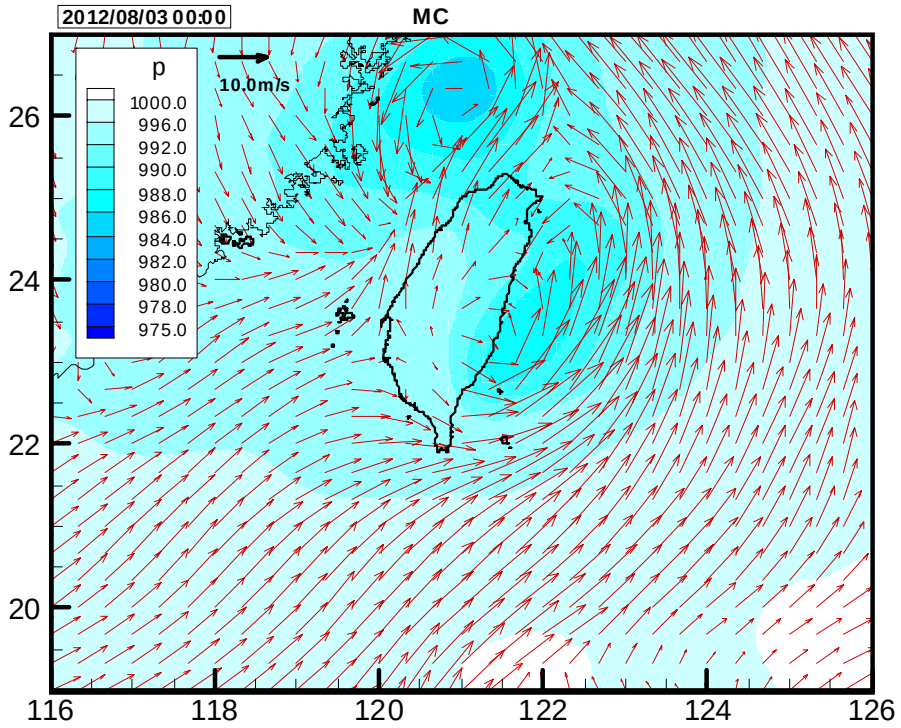


圖 4.84 (續 8) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/03 00:00)

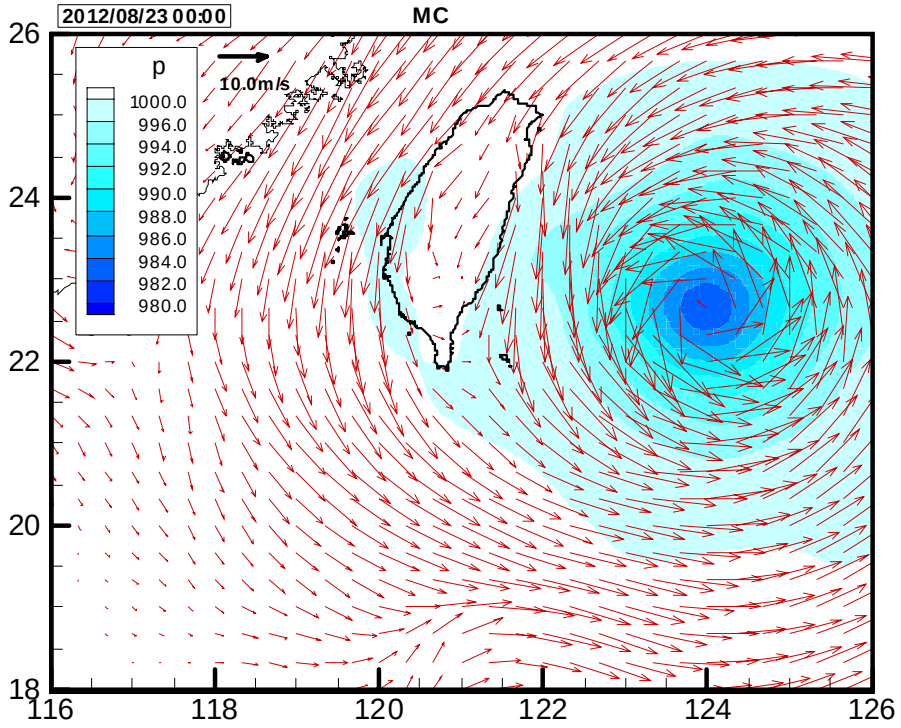


圖 4.85　2012 年中度颱風天秤侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/23 00:00)

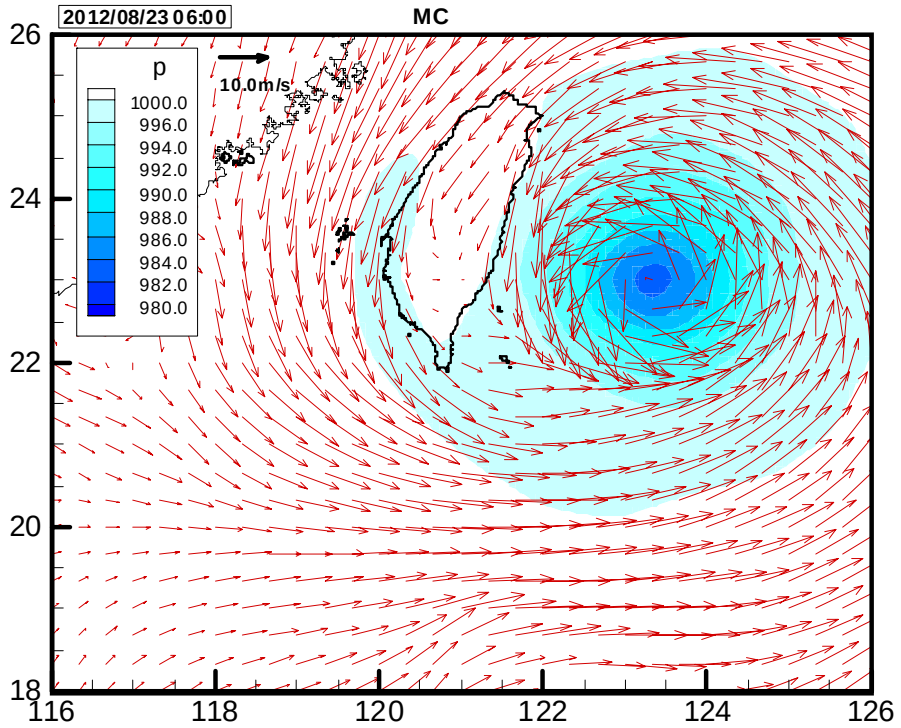


圖 4.85 (續 1) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/23 06:00)

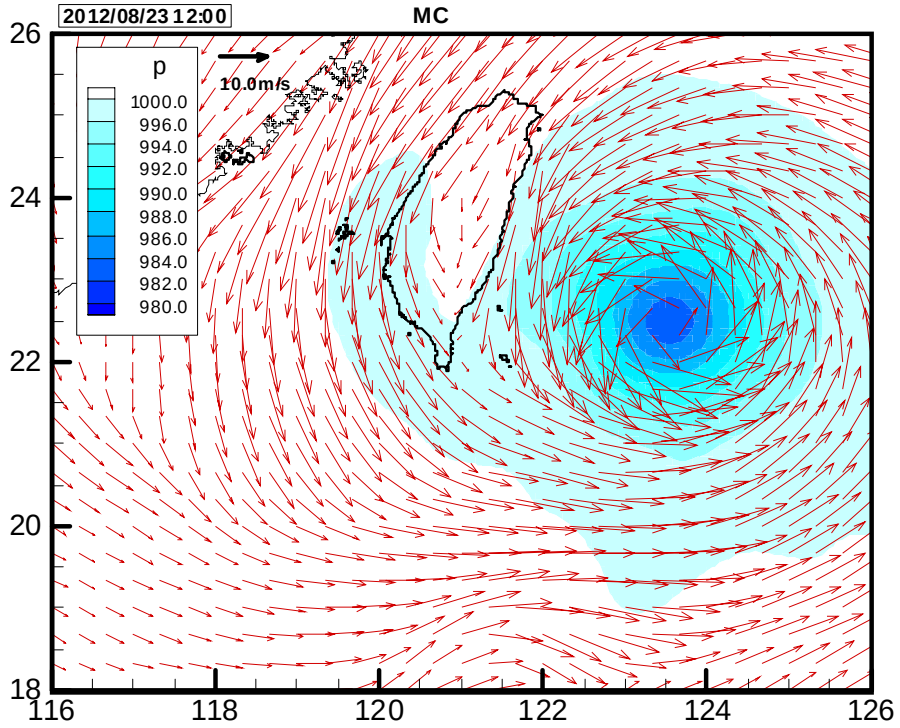


圖 4.85 (續 2) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/23 12:00)

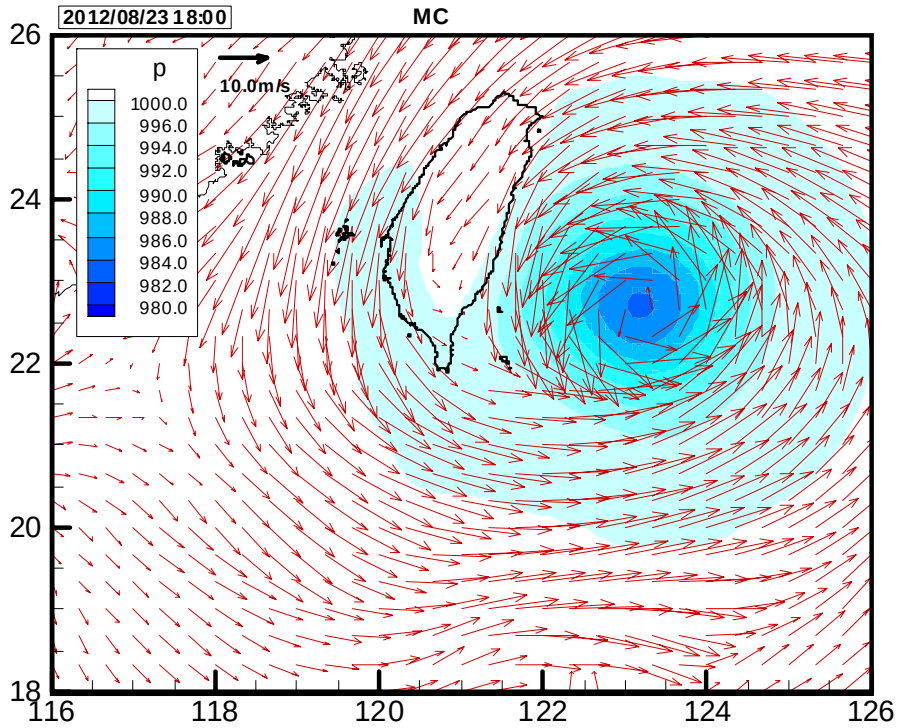


圖 4.85 (續 3) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/23 18:00)

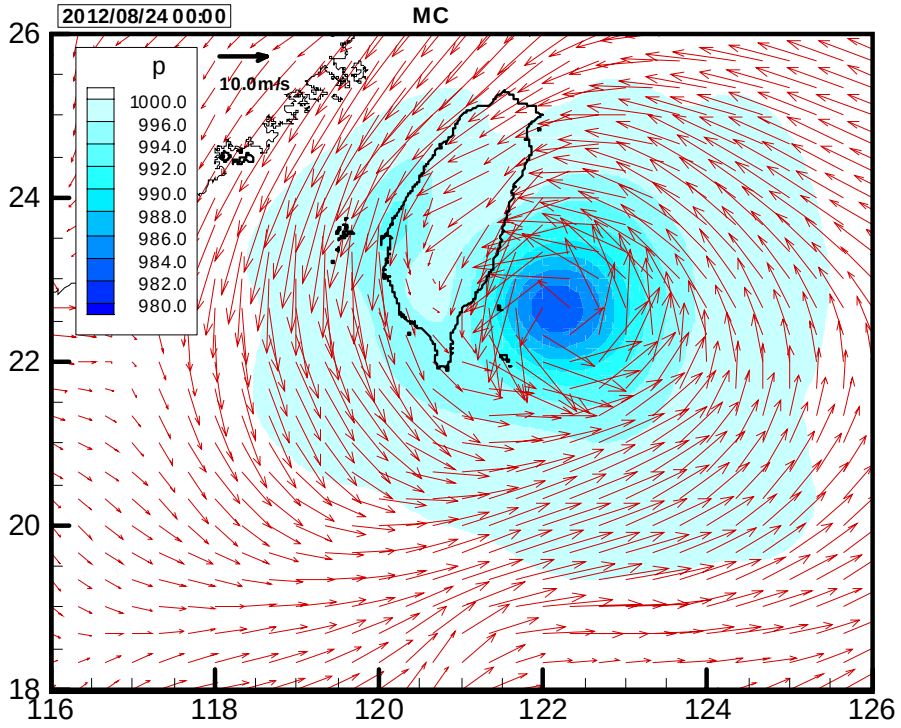


圖 4.85 (續 4) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/24 00:00)

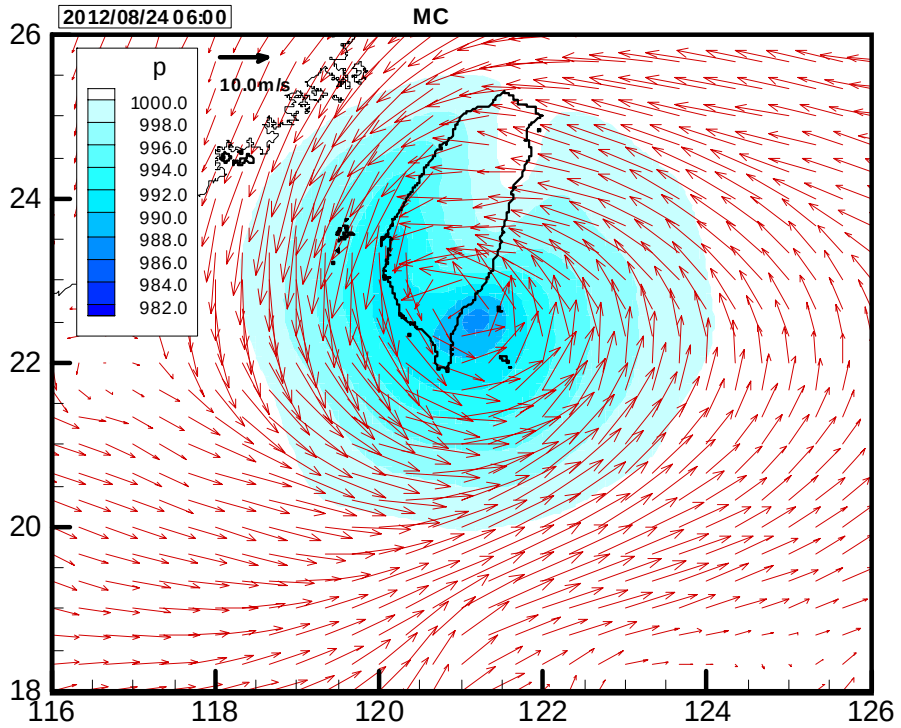


圖 4.85 (續 5) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/24 06:00)

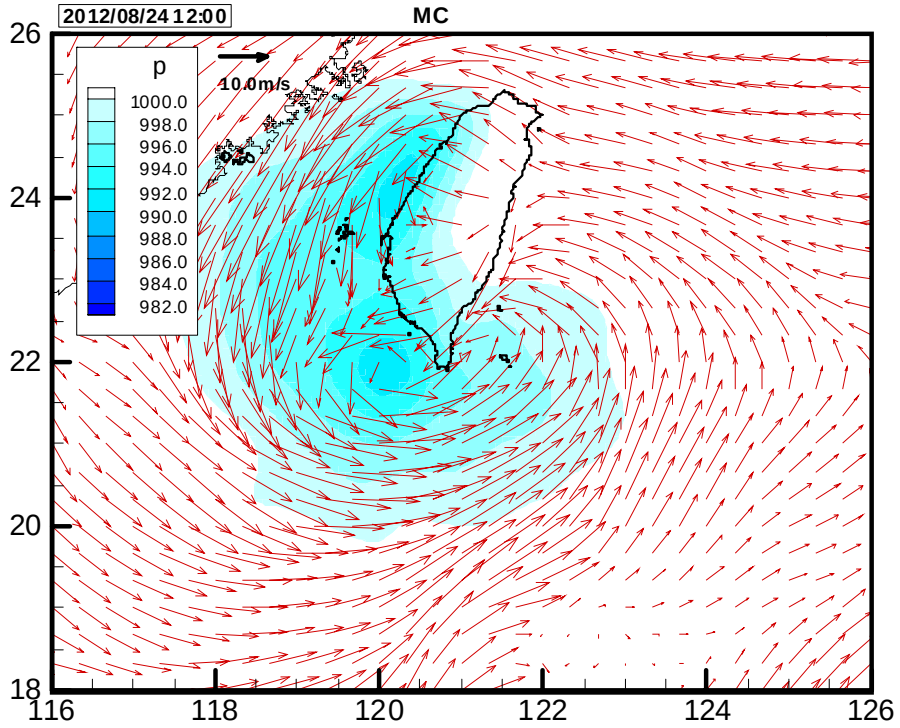


圖 4.85 (續 6) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/24 12:00)

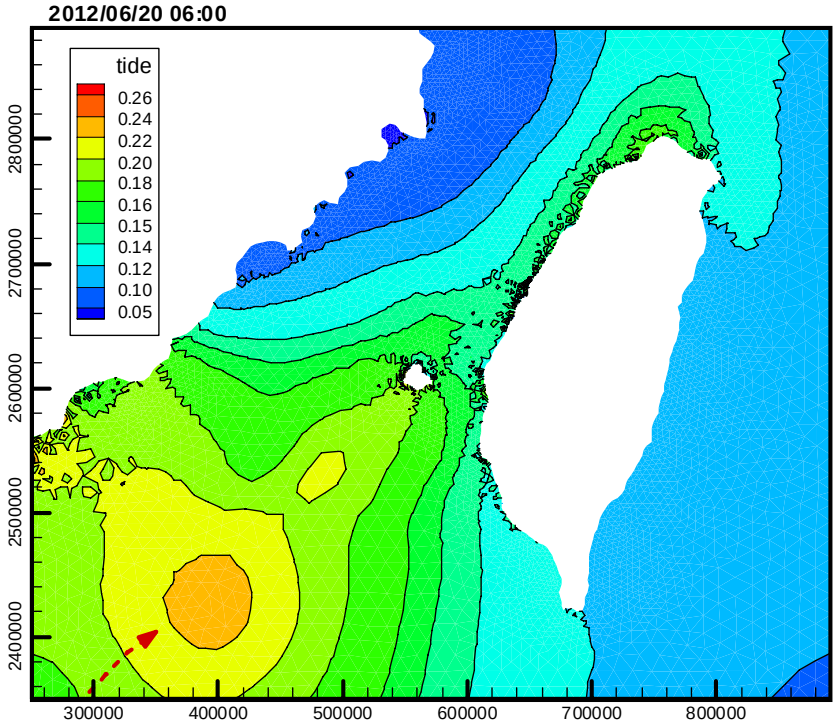


圖 4.86 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/06/20 06:00)

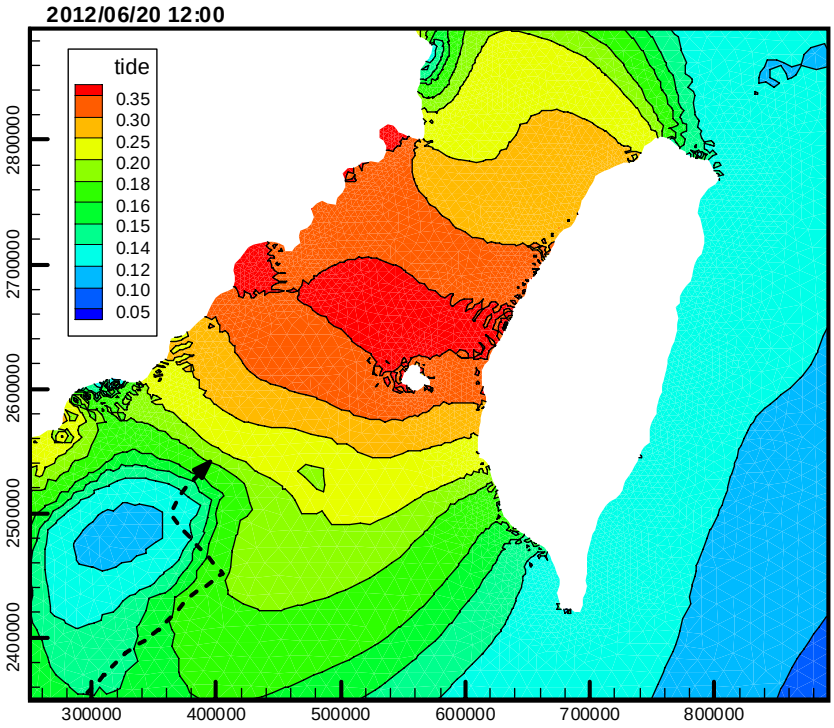


圖 4.86 (續 1) 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/06/20 12:00)

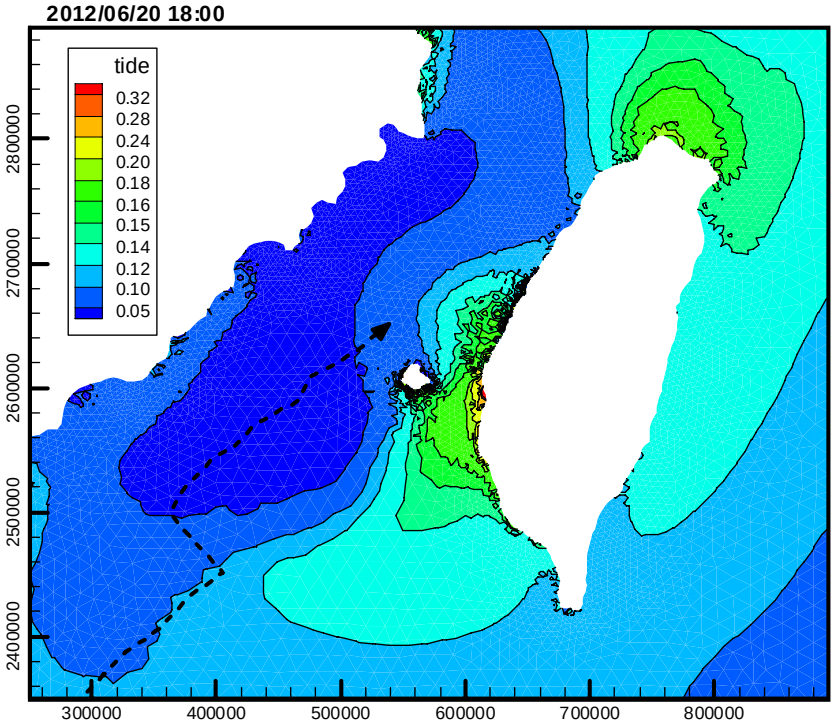


圖 4.86 (續 2) 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/06/20 18:00)

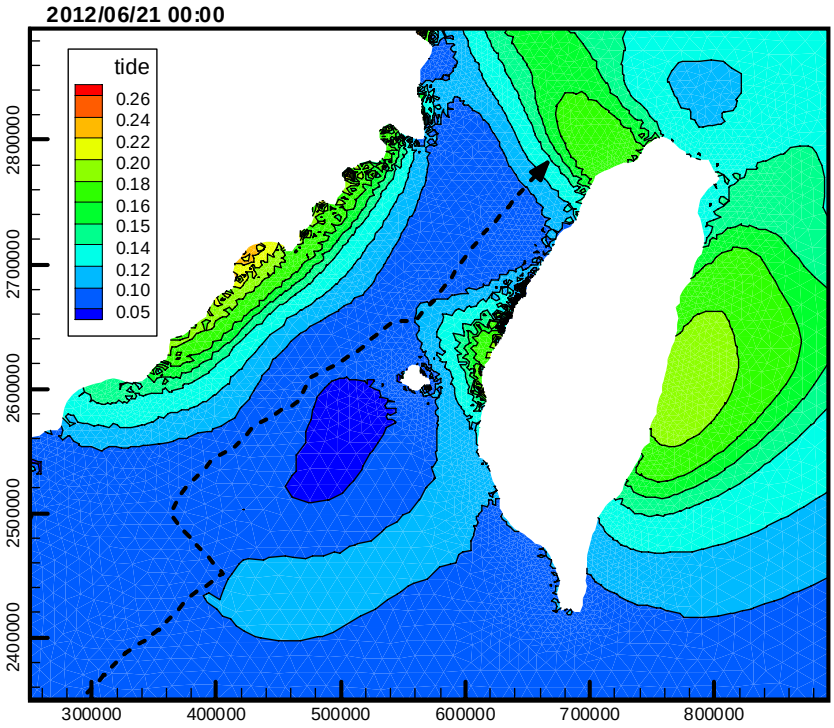


圖 4.86 (續 3) 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/06/21 00:00)

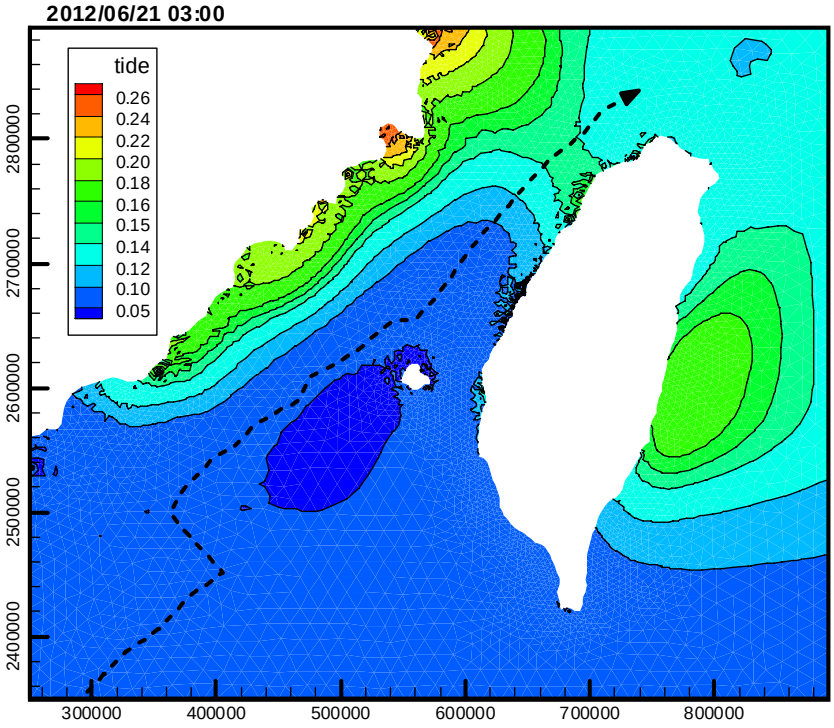


圖 4.86 (續 4) 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/06/21 03:00)

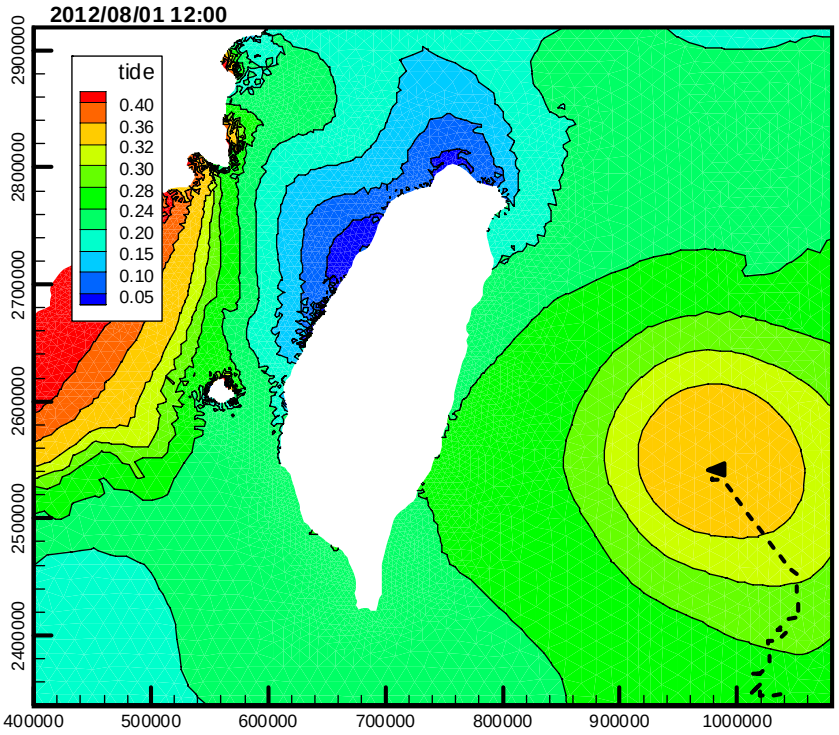


圖 4.87 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/01 12:00)

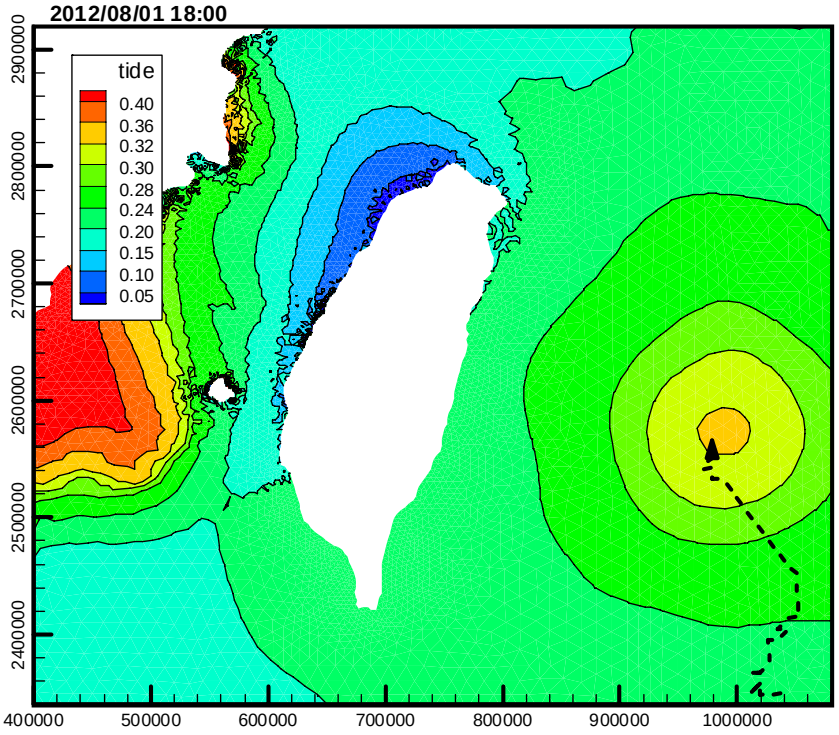


圖 4.87 (續 1) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/01 18:00)

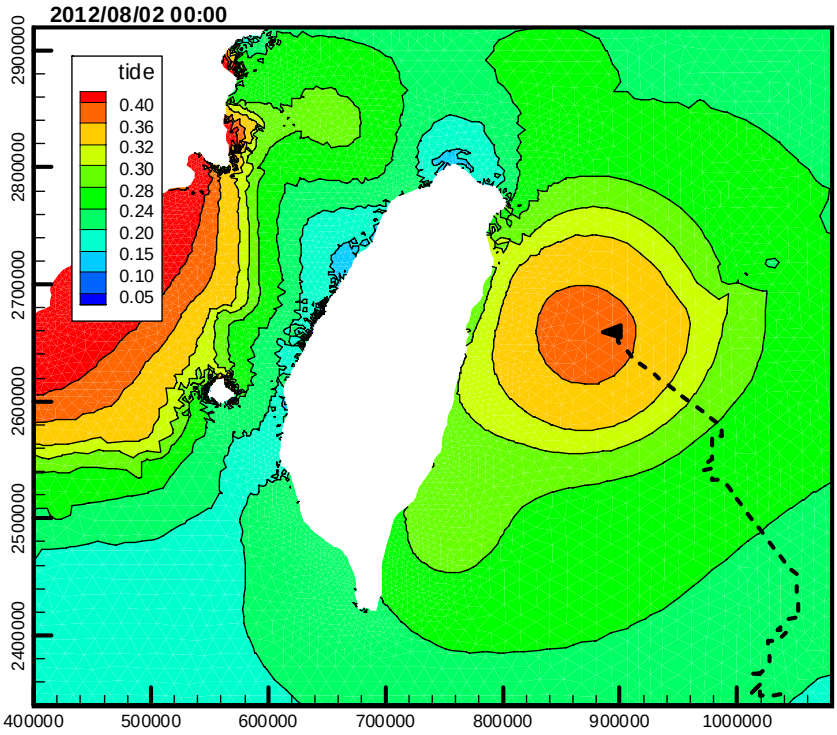


圖 4.87 (續 2) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/02 00:00)

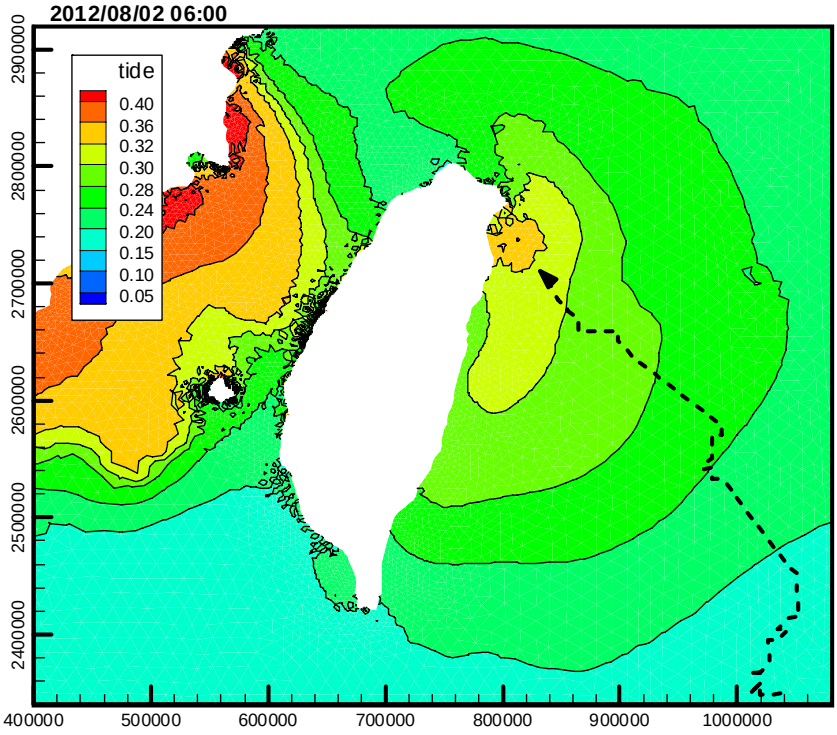


圖 4.87 (續 3) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/02 06:00)

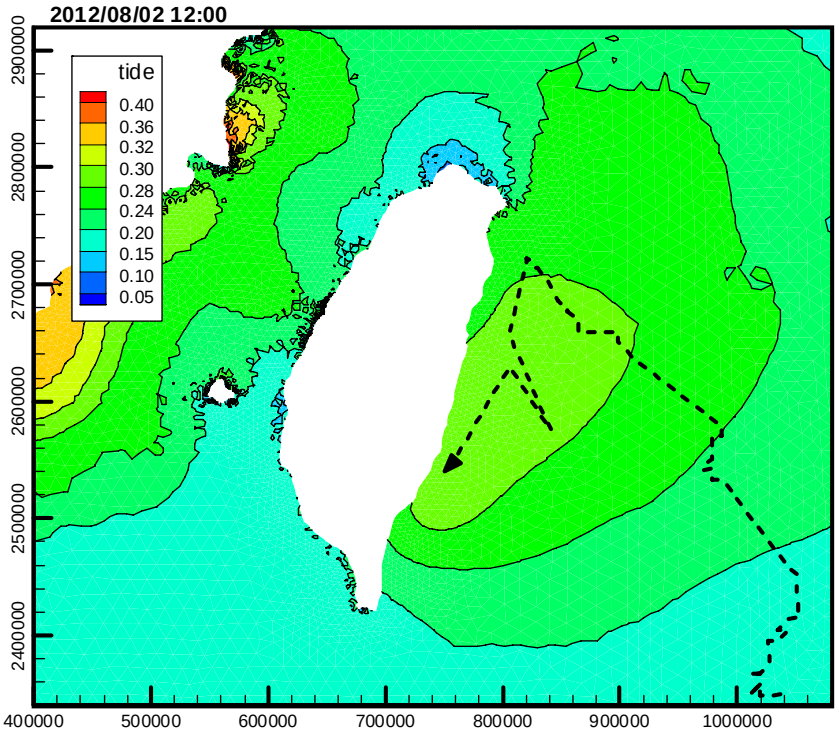


圖 4.87 (續 4) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/02 12:00)

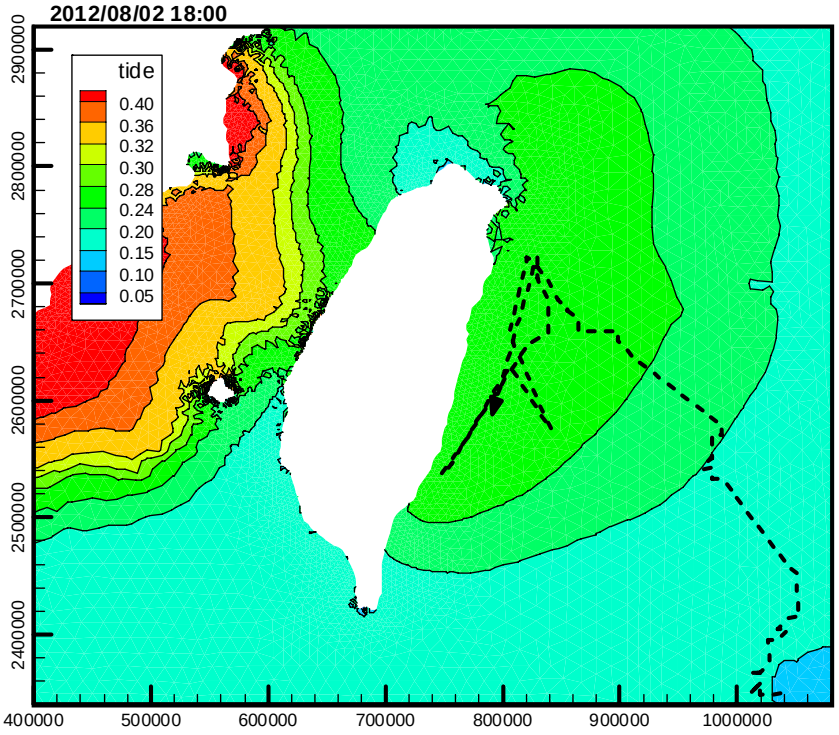


圖 4.87 (續 5) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/02 18:00)

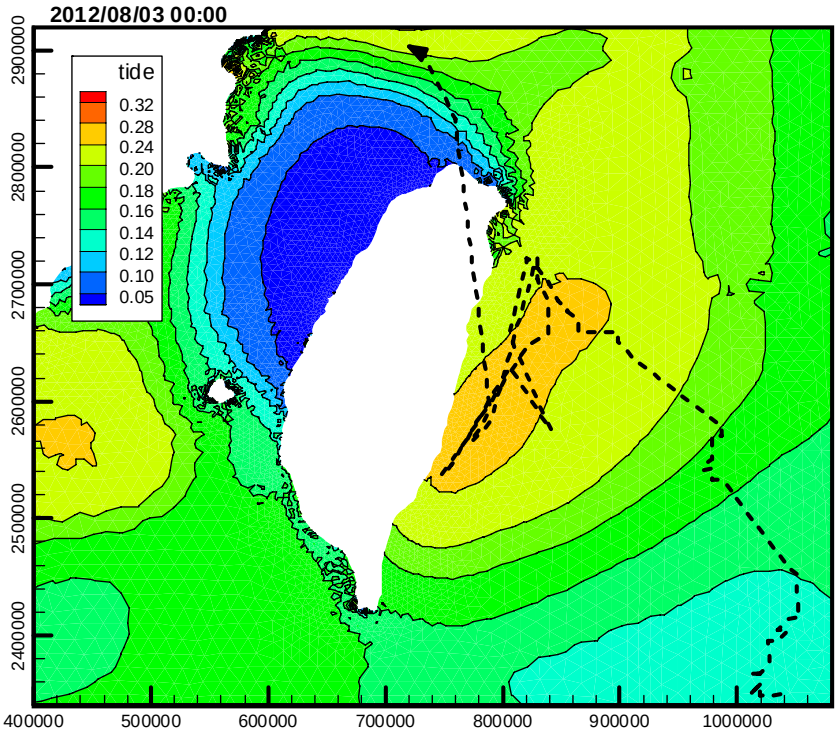


圖 4.87 (續 6) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/03 00:00)

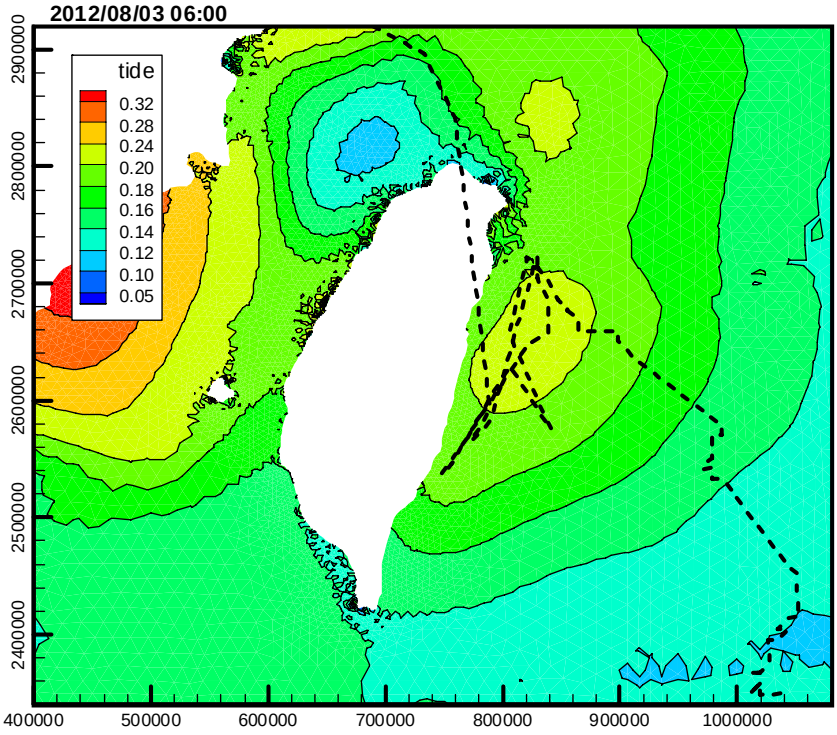


圖 4.87 (續 7) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/03 06:00)

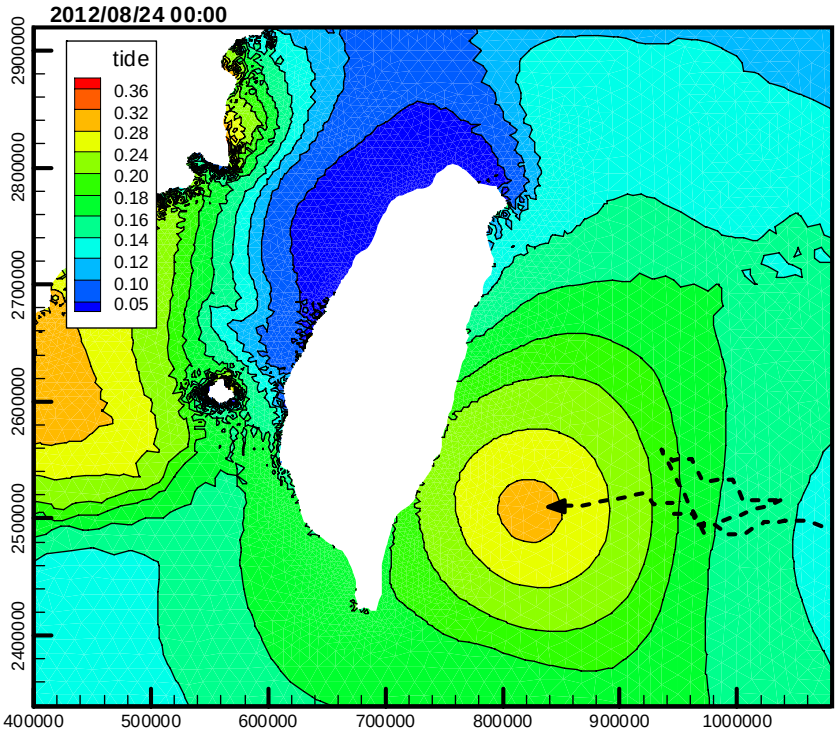


圖 4.88 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/24 00:00)

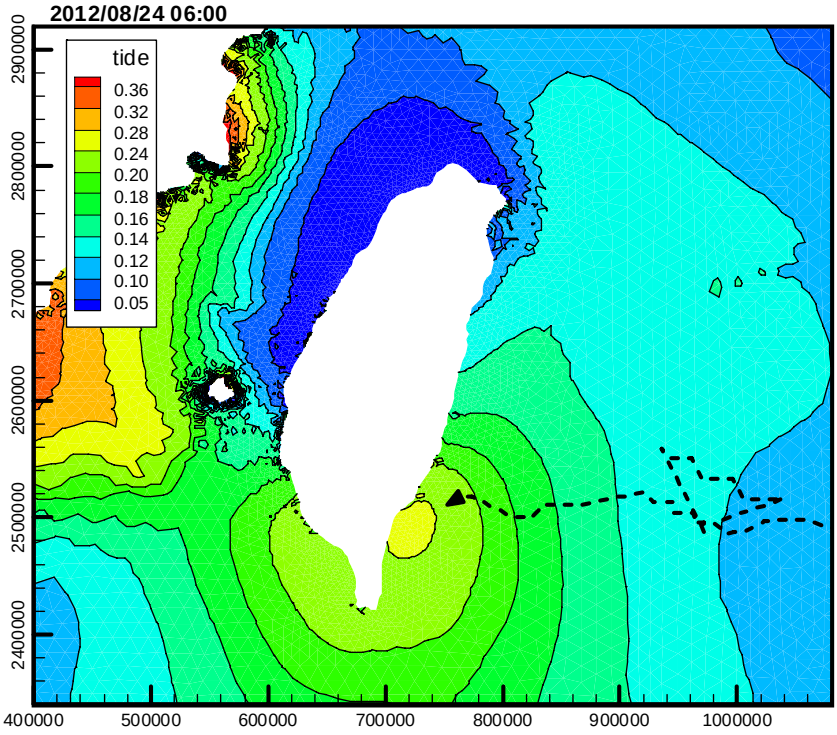


圖 4.88 (續 1) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/24 06:00)

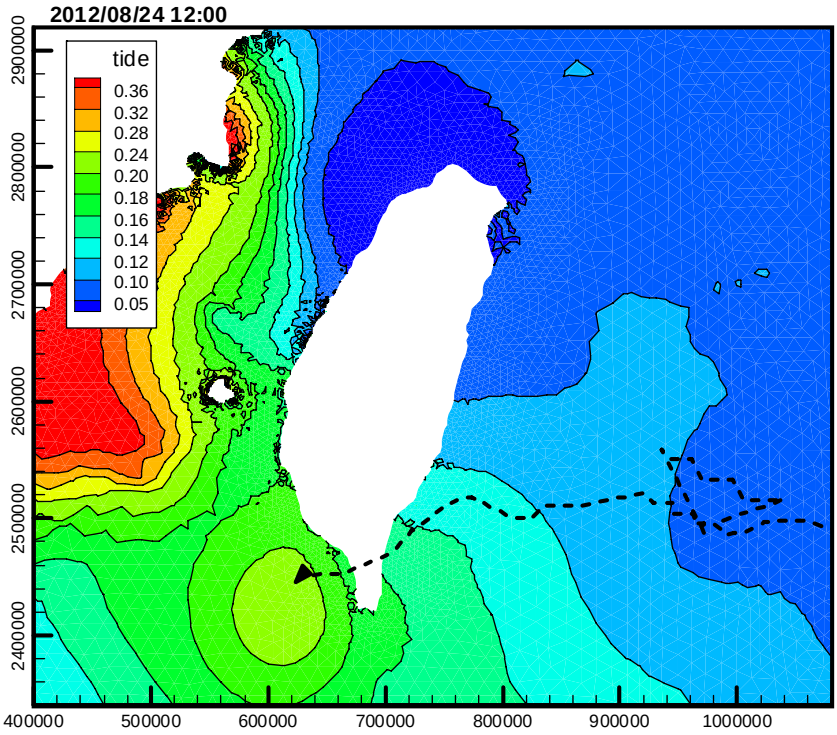


圖 4.88 (續 2) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/24 12:00)

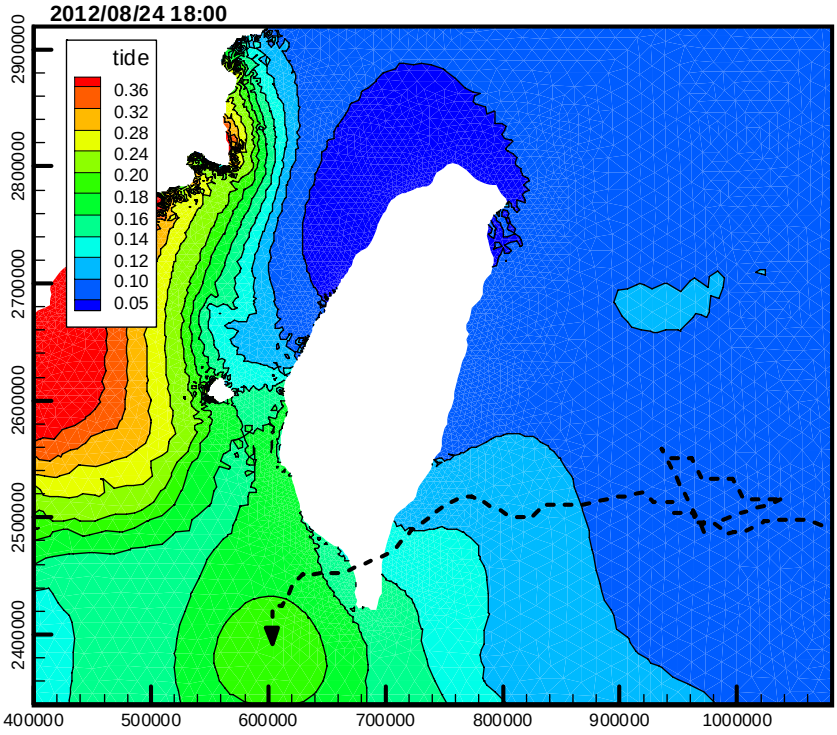


圖 4.88 (續 3) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/24 18:00)

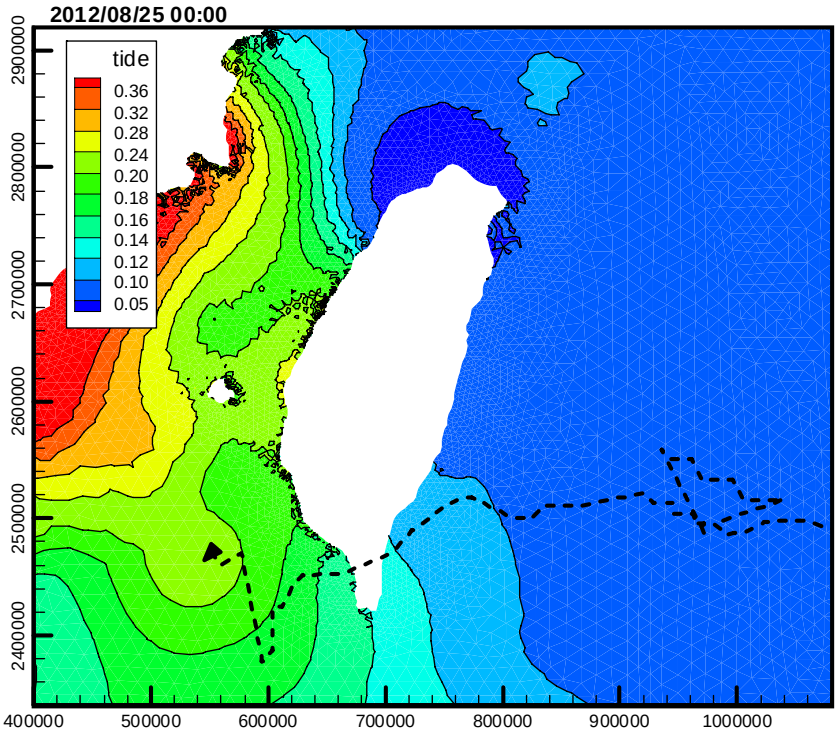


圖 4.88 (續 4) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/25 00:00)

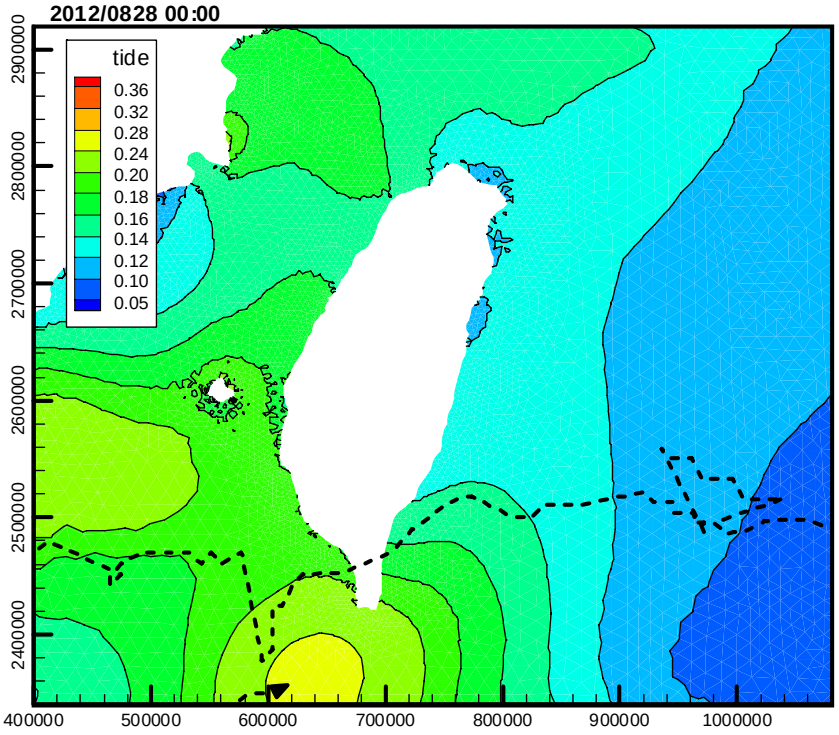


圖 4.89 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/28 00:00)

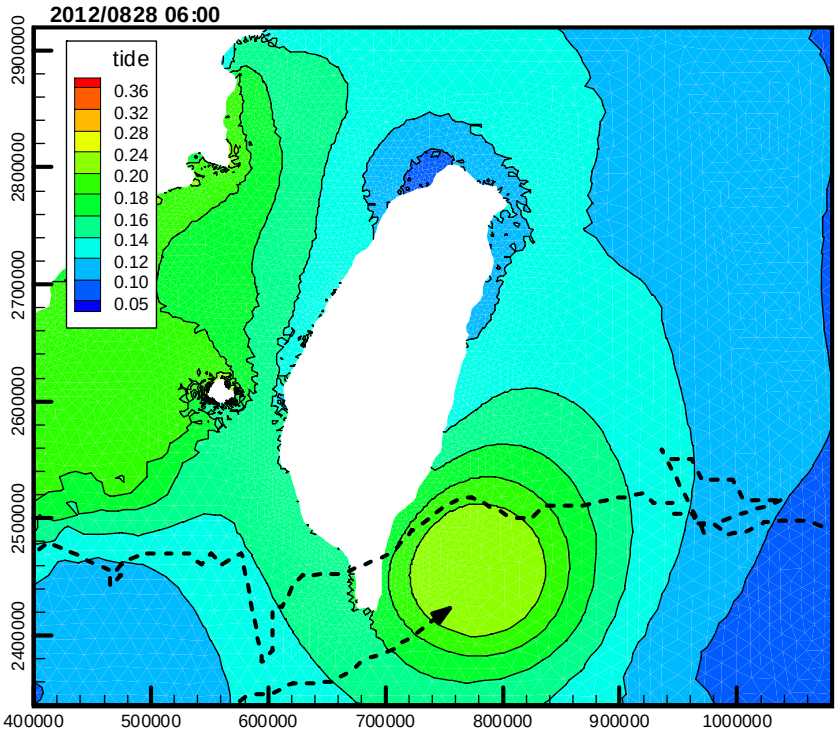


圖 4.89 (續 1) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/28 06:00)

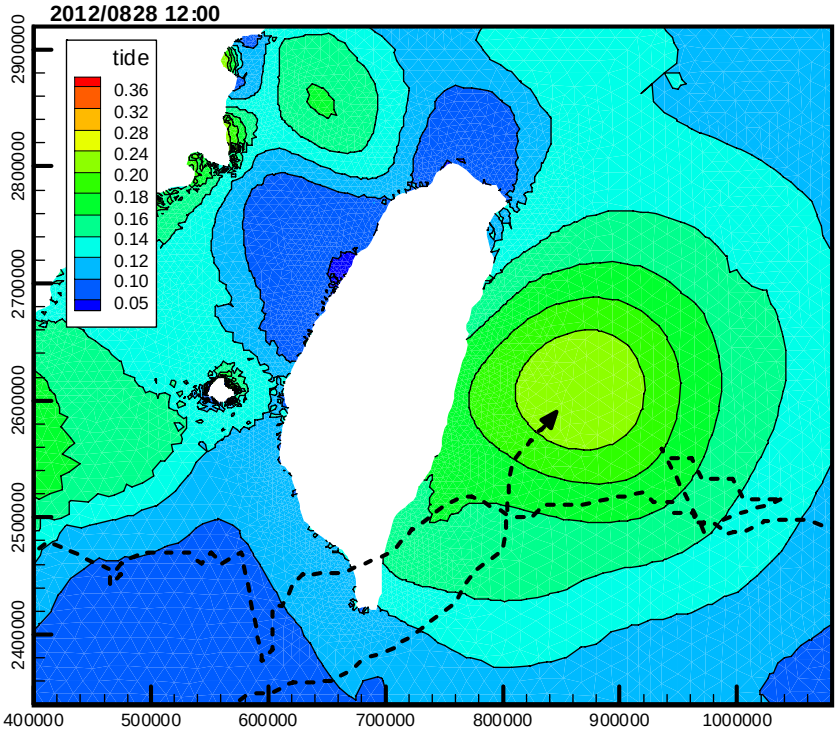


圖 4.89 (續 2) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/28 12:00)

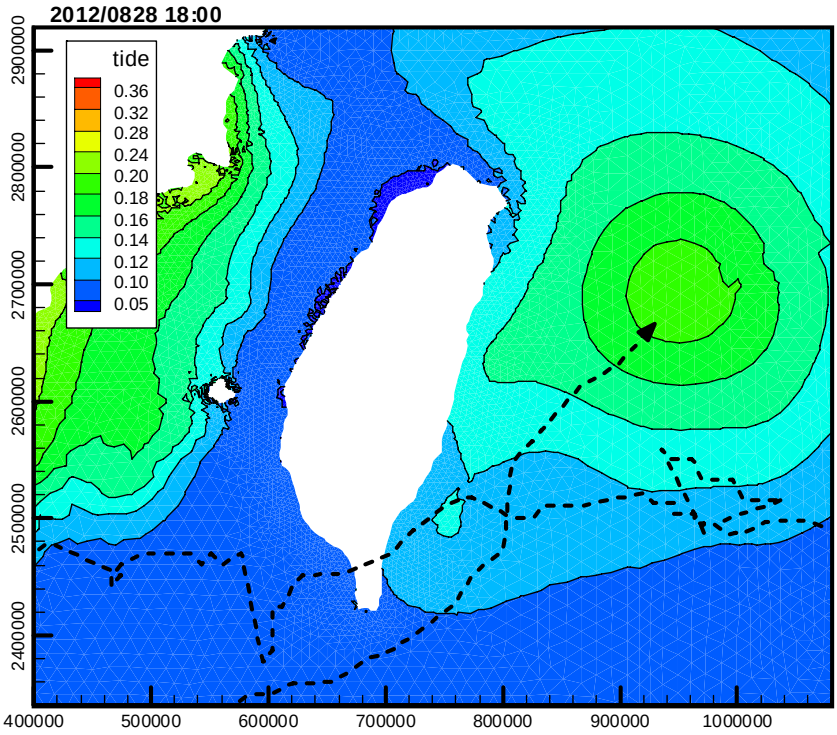


圖 4.89 (續 3) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/28 18:00)

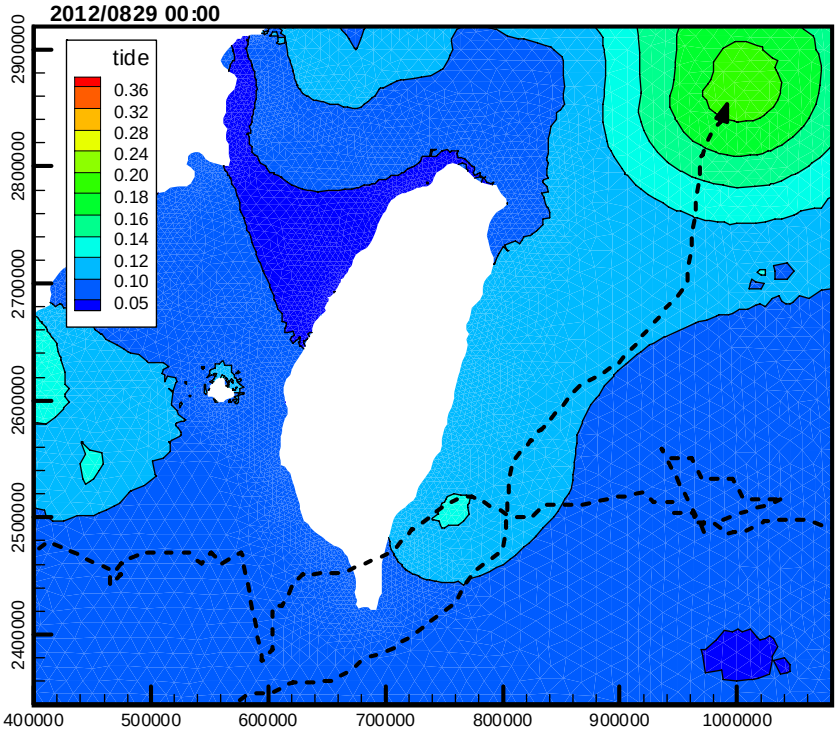


圖 4.89 (續 4) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/29 00:00)

4.7 小結

本期計畫為延續前期計畫持續對七大商港港域水位和流場模擬、預測和評估進行改善。特別針對臺中港潮流模擬精確性改進，以及建立布袋港的水動力模式。本章節內容整理得以下結論：

1. 蒐集更新臺中港及布袋港港區全域地形水深資料作為數值模擬使用；蒐集分析 2008 年至 2011 年龍洞、基隆港、麟山鼻、竹圍、外埔、臺中港、鹿港、箔仔寮、東石及將軍等潮位站之潮位資料進行分析，結果顯示基隆港潮型屬於偏向全日潮之混合潮型，龍洞潮汐型態屬於混合潮型，將軍海域潮汐型態屬於偏向半日潮之混合潮型，其餘皆屬於半日潮型。

2. 海流觀測資料之蒐集包括臺中港北防波堤堤頭外側長期測站之觀測資料，以及布袋港港口西側外海的海流觀測資料。臺中港海流長期觀測結果顯示：夏季海流流速普遍小於冬季海流流速，其中冬季受東北季風影響最大流速可達 1.5m/sec 以上；頻譜分析結果顯示，臺中港北防波堤堤頭外側長期測站之海流東西向分量半日潮成份流略大於全日潮成份流，而在南北向分量全日潮成份流則大於半日潮成份流。布袋港海流觀測期間，測得最大流速為 0.996 m/s，流向約為西北方向(323.3 度)；由布袋港海流觀測資料頻譜分析結果顯示，東西向與南北向流速分量皆以半日潮成份流為最大，其次為全日潮成份流，四分之一日潮的成份流亦很明顯，其能量在東西向分量的大小接近全日潮成份流。

3. 針對的臺中港水動力模式修正包括地形資料的更新、格網的建立與模式參數的率定，邊界條件選用 NAO.99b 模式建置模式之開放邊界條件。在無風的條件下流場模擬結果顯示在退平潮階段港內潮流向港口流出，港口外潮流流向大致上朝向西南至西南西之間；在漲平潮階段港口附近潮流流向港內，港口外潮流流向大致上朝向東北至北北東之間；在強烈的北北東之風場下，流場模擬結果顯示不論漲、退潮臺中港區外海流場均呈現沿海岸地形往南之流向；在南防

波堤附近航道及港區內則呈現出漲潮時水流向港內流動，退潮時水流向港外流動。

4. 布袋港的水動力模式為本年度新建立，包括地形資料、數值格網與邊界條件的建立。在無風的條件下流場模擬結果顯示高平潮時段，港口外側有微弱的東南向流場，部分流入港區內；退潮時段港口外側有明顯的南向流，此時海水由港區內往外流，在港口處有較強的流速；低平潮時段流向轉為向北，但整個港區附近流速不大；漲潮時段港口外側有較強的北向流，在港口亦有較強的流速流向港內。

5. 基隆港與臺北港水位及海流模擬子系統作業化預測成果評估，顯示本年度 8 月和 9 月基隆港觀測與預報潮位之間的標準偏差為 0.1 m 左右，最大偏差為-0.37 m；海流預報的平均流速小於觀測值，觀測主要流向為東北東向，模式預報主要流向為東向；觀測最大流速約 100 cm/s 左右，模式預報最大流速約 33 cm/s；觀測流速與模式預報流速標準偏差為 20 cm/s 左右，平均比值為 1.0 左右；觀測流向與模式預報流向標準偏差為 70 度左右。臺北港觀測與預報潮位之間的標準偏差為 0.3 m 左右，最大偏差為-0.71 m；海流預報的平均流速與觀測值相當，約 40~50 cm/s；觀測主要流向為西南向，模式預報主要流向為西南西向；觀測最大流速為 138.0 cm/s，模式預報最大流速為 88.5 cm/s，流向皆為東北向；觀測流速與模式預報流速標準偏差亦為 20 cm/s 左右，平均比值為 1.0~1.2；觀測流向與模式預報流向標準偏差為 50 度左右。

6. 初步完成中尺度臺灣周圍海域範圍暴潮模式之建置，並以中區域 MC 預報風場及氣壓場資料為輸入條件，針對本年度發生的侵臺颱風模擬颱風引起的暴潮水位偏差。綜合模擬結果得知，當颱風在開闊海面上時近颱風中心暴潮水位偏差之等值線大致上呈現圓形狀分布，此與風場及氣壓場分布相近似；當颱風接近陸地時模式模擬結果之暴潮水位偏差分布情形，顯著受到大陸棚地形水深變淺之影響，此時暴潮水位偏差變化與風場及氣壓場分布之關聯性明顯地降低。

第五章 海嘯模式建置與分析

5.1 環太平洋地震帶及我國海嘯紀錄

非天氣因素的海嘯發生成因甚多，例如強烈海底地震、海底火山爆發、海底邊坡滑動(landslide)或山崩、水下核爆；本研究僅探討由強烈海底較淺層地震所產生之海嘯，其生成機制如圖 5.1 所示(邱等，2005)。此種類型之海嘯之特點是通常地盤運動之垂直分量視同等於初始水位，海嘯波之能量不容易消散且能傳遞相當長之距離，而且具有方向性。本章所討論之海嘯僅限於由強烈之海底地震所引發者。

環太平洋地震帶(又稱環太平洋帶、環太平洋火山帶或火環；Circum-Pacific seismic zone)是一個圍繞太平洋經常發生地震和火山爆發的地區，全長 40,000 公里，呈馬蹄形，如圖 5.2 所示。環太平洋火山帶上有一連串海溝、列島和火山，板塊移動劇烈。其主要的國家及地區有：日本、臺灣、菲律賓、印尼、紐西蘭等。東岸由阿留申群島起，經北美、中美及南美，是一個環狀地帶。世界上約 80% 的震源深度小於 70 公里之地震、90% 震源深度介於 70 公里和 300 公里間之地震和幾乎所有的震源深度大於300公里之地震都發生在這個地震帶上。

地震是海嘯成因之一，近年四起海嘯事件，南亞海嘯、薩摩亞海嘯、智利海嘯及 2011 年 3 月份日本海嘯即是由強烈之海底地震所引起之海嘯。由統計分析顯示，約 10%是由火山活動或其他因素所造成，50%以上是由地震所引起的，即是大部分之海嘯事件仍舊是由地震活動所造成的，其中地震規模多在 4 以上，多半集中於 5~8.9 之區間。進一步分析引發海嘯之地震規模可發現，96%之海嘯事件之地震規模均達 6.0 以上，與一般認知引起海嘯之地震所需規模相符，同時分析也顯示超大地震的發生率甚小。

由於海嘯波在大洋傳遞時不易察覺，加以早期對於海嘯並無具體概念，往往在近岸抬升之過程中，造成許多傷亡。自 2004 年南亞海嘯事件後，至 2012 年 10 月為止，較具規模之海嘯事件共九起，如表 5-1 所示。

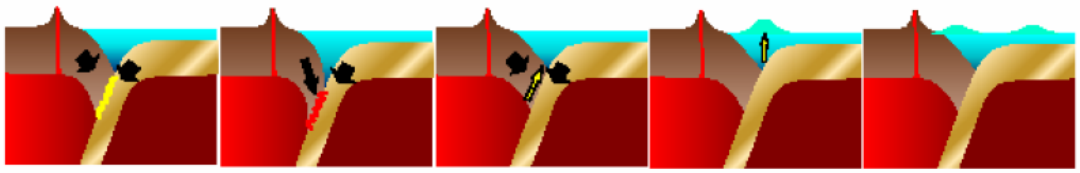


圖 5.1 板塊交界處發生錯動後引起海嘯之示意圖

(資料來源：邱等，2005)

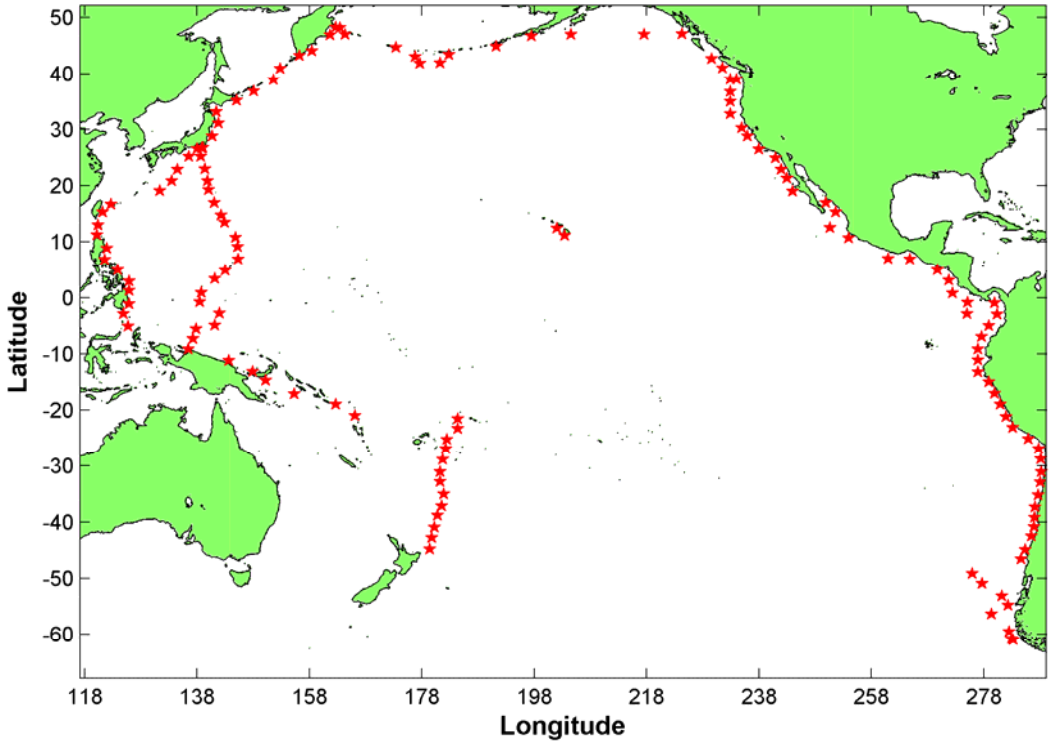


圖 5.2 環太平洋地震帶及海溝分佈(紅點即是海溝位置)

表 5-1 2004~2012 年間重大海嘯事件

資料來源: 美國 NGDC 之 Natural Hazard Database

Date	Country	Name	Max. wave height (m)	Death
2004/12/26(9.1)	Indonesia	Sumatra	50.9	226,898
2005/3/28(8.7)	Indonesia	Indonesia	3	10
2006/7/17(7.7)	Indonesia	Java	10	802
2007/4/1(8.1)	Solomon	Solomon	12.1	52
2007/4/21(6.2)	Chile	Chile	7.6	10
2009/9/29(8.0)	Samoa	Samoa	22.35	192
2010/2/27(8.8)	Chile	Chile	29	156
2010/10/25(7.8)	Indonesia	Sumatra	7	431
2011/3/11(9.0)	Japan	Honshu	55.88	15,749

海嘯所造成之災害不同於其他天然災害，由於海嘯是整個水體被帶動且波長甚長，故能攜帶之水體通常會造成大範圍之溢淹，以 2004 年南亞海嘯東斯里蘭卡為例，可造成長度約 2.5km 之溢淹；薩摩亞海嘯也有此一現象產生。後續衍生之衛生、心理及重建問題亦是甚為棘手之問題。其次是海嘯波之速度，2011 年 3 月 11 日日本海嘯事件中，由現場實況及事後調查報告均顯示即使海嘯波已經造成溢淹，其殘餘速度仍足夠衝跨目前現有之結構物。因為海嘯具有強大破壞性但也具備高度不可預測性，故自南亞海嘯之後，印度洋周邊國家開始建立區域性海嘯預警系統；美日兩國也加強與周邊國家之資訊交流，但在薩摩亞海嘯事件中證明現有之海嘯預警系統/流程對於近域海嘯幾乎無事先預警之功能。日本先前所建立之海嘯預警系統及應變措施在這次的海嘯事件中有發揮其功效，有效降低傷亡之人數。

海嘯所造成之災害是全面性的，日本海嘯事件即是一個案例；海嘯震源區約位於日本海溝，日本東岸又屬於人口稠密區，沿岸有核電廠等重要結構物，海嘯過後所引發之大火及核電廠冷卻失靈也造成了嚴重災情及難以收拾之復建作業；雖然當地雖建有號稱海上長城之防波堤，在海嘯來襲之時其原先預期的防禦功能因已超過設計值而無法抵擋海嘯來襲時之波高，雖有效降低海嘯流速及溢淹面積，但兩座防波堤也完全毀損，地形之效應使得海嘯最大溯升高度約達 40 公尺左右；在太平洋東岸之加州、墨西哥一帶也能感受本次海嘯之威力。

因為臺灣西部沿岸各港口是呈帶狀分佈，因此，對臺北及高雄兩港較具威脅性之潛勢震源也會對臺中港及布袋港產生影響，東海、澎湖及西南海域之海嘯也會對兩港產生威脅；根據互逆格林函數之放大率圖顯示，對臺中港及布袋港威脅性最大的是來自於發生在中國泉州附近海域之海嘯；如圖 5.3 所示，發生在中國泉州附近海域之海嘯對臺中港威脅性最大。該地在宋代有過疑似海嘯之紀錄。因此，就防災考量而言，也不能排除海嘯之可能性。

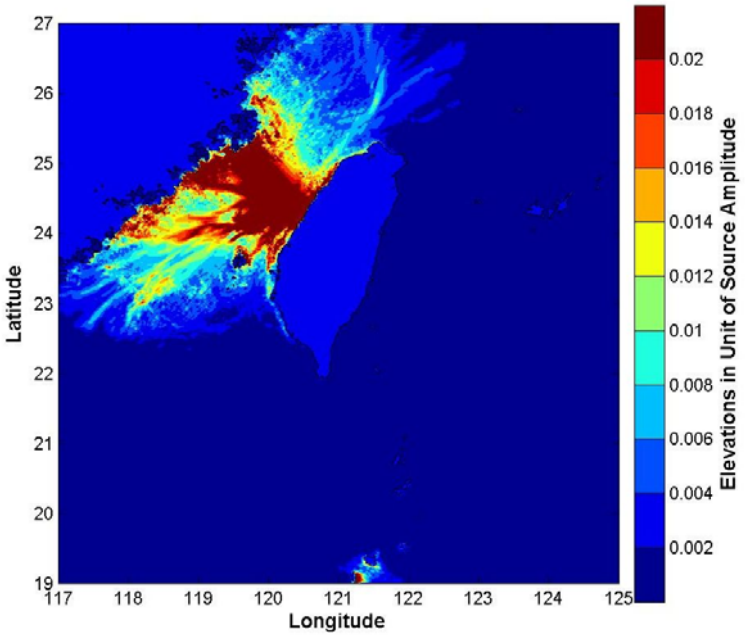


圖 5.3 臺中港之放大率及海嘯潛勢波源區

我國位於環太平洋地震帶，早期也有海嘯紀錄；在這些紀錄中，以發生在臺南(1721 年)、高雄(1781 年及 1866 年)、基隆(1867 年)及安平(1661 年)可信度較高(許明光、李起彤，1996)。以下摘錄歷史文件對古海嘯之文字記載(李昭興等，2006)：

(1) 1661(清順治 17 年，明永曆 14 年)年(1 月 8/9 日~2 月 15 日)安平

「中國海嘯歷史年表」：「臺灣安平大海嘯。“海潮至，淹廬舍無算 ”」。

(2) 1721 年(清康熙 59 年)1 月 5 日臺南

明清史料戊篇（第 1 本，21 葉上）「去年（康熙五十九年，西元 1721 年 1 月 5 日）.....因地震，海水冷漲，眾百姓合夥謝神唱戲」

(3) 1781 年(清乾隆 46 年)5 月間(4 月 24 日-6 月 21 日)高雄

「臺灣采訪冊」（頁 41）「祥異，地震」的記載。「(乾隆 46 年)鳳港西里有加藤港，多生加藤，可作澀，染工賴之，故名云。港有船通郡，往來潮汐無異。乾隆四十六年四、五月間，時甚晴霽，忽海水暴吼如雷，巨浪排空，水漲數十丈，近村人居被淹，皆攀援而上至尾，自分必死，不數刻，水暴退，人在竹上搖曳呼

救，有強力者一躍至地，兼救他人，互相引援而下。間有牧地甚廣及附近田園匄壑，悉是魚蝦，撥剌跳躍，十里內村民提籃契筒，往爭取焉。聞只淹斃一婦，婦素悍，事姑不孝，餘皆得全活。嗣聞是日有漁人獲兩，將歸，霎時間波濤暴起，二物竟趣，漁者乘筏從竹上過，遠望其家已成巨浸，至水汐時，茅屋數椽，已無有矣。」。

(4) 1867 年(清同治 6 年)12 月 18 日基隆

「淡水廳志」，「（同治六年）冬十一月，地大震。.....二十三日，雞籠頭、金包里沿海，山傾地裂，海水暴漲，屋宇傾壞，溺數百人。」。

臺灣北部海域有琉球海溝，長期以來由於缺乏相關震災紀錄，故一般咸信不會發生大地震；日本學者經過 GPS 之檢測，發現琉球海溝有發生地震規模 8 之潛在危機；鄰近臺灣宜蘭海域之八重山群島、宮古島一帶，也被認為有發生海嘯之疑慮；臺灣西南海域之馬尼拉海溝，經美國地調所(Kirby et al., 2005)認為是下一個「海嘯危險區」，經過海嘯模擬顯示，馬尼拉海溝發生海嘯時，其海嘯波在 30-40 分鐘內即可到達恆春半島；加以西南海域地形較為平緩，有利於海嘯之溯上，此區人口密集，重要設施林立，若有海嘯引起之災情，其嚴重程度可見一斑。

臺灣對於海嘯之相關史料或紀錄甚多，但因早期欠缺科學概念，故這些歷史紀錄目前有許多學者正利用不同科學方式驗證其可信度，但從歷史紀錄來看，有許多史料記載臺灣地區也曾發生災害性之海嘯，造成不小之傷亡。

近百年來，臺灣地區雖有海嘯事件發生，但均未對臺灣造成大規模之災害，加上海嘯發生機率較地震低，是故缺乏國內相關災害統計資料可供研究；根據美國 NGDC 之天然災害資料庫顯示臺灣地區自西元 1500~2012 年共有 19 起海嘯事件，詳見表 5-2 及圖 5.4 所示。花蓮海嘯事件屬於近域海嘯，在花蓮港產生約 2 公尺之波高(張等，1999)；表 5-2 中最後一筆之海嘯紀錄即為 2006.12.26 屏東恆春海嘯，造成大約 0.6 公尺之水位變化，恆春半島陸地區域並未遭受產生太大之災情，但

卻造成數條海底通訊電纜斷裂，使得對外連絡通訊蒙受嚴重之損失，其災損金額亦相當可觀。

表 5-2 臺灣地區西元 1500~2012 年之海嘯事件

發生時間	地震規模	國家	震央位址	
			緯度	經度
1661.1.8	6.4	臺灣	23.0	120.1
1661.2.15	6.0	臺灣	23.0	120.2
1721		臺灣	23.0	120.2
1792.8.9	6.0	臺灣	23.6	120.5
1853.10.29		臺灣		
1903.9.7		臺灣		
1917.5.6	5.8	臺灣	23.2	121.6
1922.9.1	7.6	臺灣	24.5	122.0
1951.10.22	7.3	臺灣	23.8	121.7
1963.2.13	7.3	臺灣	24.4	122.1
1966.3.12	7.6	臺灣	24.1	122.6
1972.1.25	7.5	臺灣	22.5	122.3
1978.7.23	7.4	臺灣	22.282	121.512
1986.11.14	7.8	臺灣	23.901	121.574
1990.12.13	6.3	臺灣	23.722	121.627
1998.5.3	7.5	臺灣	22.306	125.308
2001.12.18	6.8	臺灣	23.954	122.734
2002.3.31	7.1	臺灣	24.279	122.179
2006.12.26	7.0	臺灣	21.799	120.547

資料來源: 美國 NGDC 之 Natural Hazard Database.

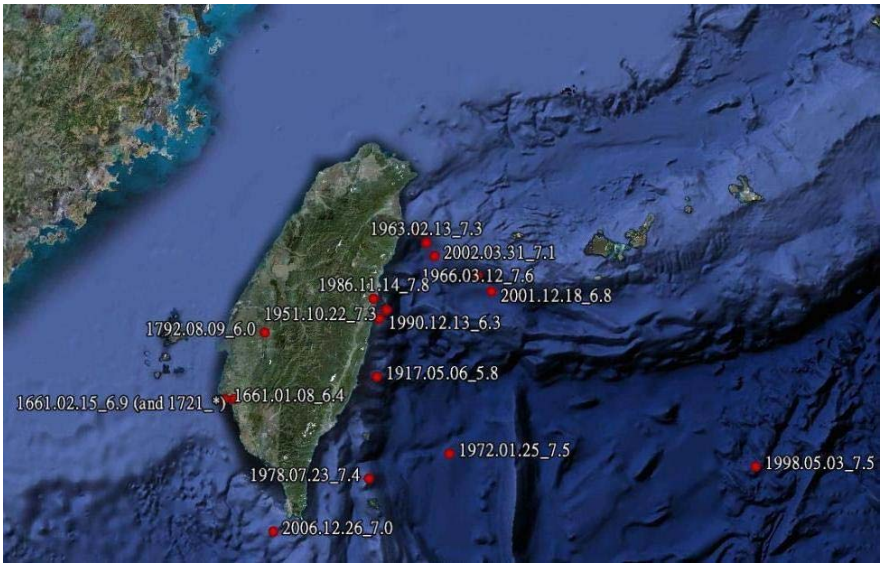


圖 5.4 臺灣海嘯事件之震源分佈

資料來源: 美國 NGDC 之 Natural Hazard Database

在近幾年所發生之著名海嘯事件，當屬 2004 年南亞大海嘯、2009 年薩摩亞海嘯、2010 年海地及智利海嘯及 2011 年日本海嘯；南亞海嘯及日本海嘯對於當地造成相當慘重的災情及傷亡，其餘三起海嘯事件對於當地也產生不小之災情；1960 智利海嘯及南亞海嘯之案例證明了海嘯可傳遞相當遠的距離，對於遠海域的國家而言仍是不可輕忽；1960 年智利海嘯橫跨太平洋，連太平洋西岸之日本也遭受波及，基隆港約有 1.9 公尺之波高變化，所幸無具體之災情傳出。2004 年南亞海嘯雖發生在印尼外海，海嘯波橫跨印度洋，2 小時後襲擊印度洋西岸各國，遠在 1600 公里外之斯里蘭卡也造成慘重之災情，此一案例也促成了印度洋周邊國家開始研擬海嘯預警作業；2011 年日本海嘯，對當地宮城縣、岩手縣沿海各地產生 5 至 15 公尺巨浪，日本受災地區約 400 平方公里，並造成多處火災災情，更影響沿海核能電廠安全，產生除了海嘯災情外的核災問題；東北沿岸地區各港口，如釜石港、仙台灣等地也蒙受不少之損失。

強烈之海底地震雖是發生海嘯之主因之一，但是否會引起具威脅性之海嘯仍需具備一定之條件；用 NOAA 之海嘯災害資料庫可搜尋到

本年度至今總共發生 10 起小規模之海嘯，可發現其最大波高約在 0.08~0.2m 之間，因此對鄰近區域並無產生顯著之災情，如表 5-3。

表 5-3 本年度發生之海嘯事件

Date						Tsunami Cause				Addl Tsu Info	Deposits	Tsunami Source Location				Tsunami Parameters				
Year	Mo	Dy	Hr	Mn	Sec	Val	Code	Earthquake Mag	Volcano			Country	Name	Latitude	Longitude	Max Water Height	Num. of Runups	Magnitude Abe	Magnitude Iida	Tsu Int
2012	2	2	13	34	40.6	4	1	7.0		*		VANUATU	VANUATU ISLANDS	-17.827	167.133	.08	1			
2012	3	14	9	8	35.1	4	1	6.9		*		JAPAN	HOKKAIDO ISLAND	40.887	144.944	.20	2			
2012	3	20	18	2	47.4	4	1	7.4		*		MEXICO	S. MEXICO	16.493	-98.231	.20	2			
2012	4	11	8	38	36.7	4	1	8.6		*		INDONESIA	OFF W. COAST OF N SUMATRA	2.327	93.063		20			
2012	4	11	10	43	10.8	4	1	8.2		*		INDONESIA	OFF W. COAST OF N SUMATRA	.802	92.463		4			
2012	4	14	22	5	26.4	4	1	6.3		*		VANUATU	VANUATU ISLANDS	-18.972	168.741		1			
2012	7	15				4	8			*		GREENLAND	ILULISSAT ICEFJORD	69.200	-51.300		0			
2012	8	27	4	37	20.0	4	1	7.3		*		EL SALVADOR	OFF THE COAST	12.278	-88.528	.10	6			
2012	8	31	12	47	34.0	4	1	7.6		*		PHILIPPINES	PHILIPPINE ISLANDS	10.838	126.704	.15	17			
2012	9	5	14	42	7.0	4	1	7.6		*		COSTA RICA	COSTA RICA	10.075	-85.309	.16	2			

資料來源: 美國 NGDC 之 Natural Hazard Database

5.2 海嘯速報系統之建置

5.2.1 海嘯速報系統及海嘯預警系統

自 2004 年南亞海嘯之後，各國有感於海嘯所帶來之天災，故開始致力研發或是佈置海嘯預警系統 (Tsunami warning system，簡稱 TWS)。經由發布警報以避免生命與財產的損失。主要由兩個元件所構成，一個是偵測海嘯的感測器，另一個是即時發布警報以疏散沿海區域避難的通信基礎設施。海嘯預警系統有區分為國際性及地域性，前者最著名的即是美國太平洋海嘯預警中心(PTWC)，環太平洋地區之海嘯警報大多數即是由該單位發布警報通知鄰近諸國，我國中央氣象局即是接收該單位所傳來的訊息進行海嘯警報發布，例如 2011 年 3 月 11 日東日本海嘯事件、2012 年 8 月 31 日菲律賓東方疑似海嘯事件；該單位會隨時發送最新訊息給鄰近國家；另一個即是印度洋海嘯預警系統。

地域性之海嘯預警系統最著名的範例即是日本，日本在沿海一帶佈設大量之監測器，可偵測異常之水位變化；一但有海嘯之疑慮，隨即利用廣播系統通知沿岸民眾盡速依指定路線往指定地點進行疏散作業；我國中央氣象局為強化東部外海地震之偵測能力，在東部外海利用長達45公里之海底光纖電纜連接地震儀及壓力計即時監測海底地震及海嘯，即是所謂 Marine Cable Hosted Observatory(MACHO；簡稱媽祖計劃)，其佈放位置圖如圖 5.5 所示。

媽祖計劃是屬於電纜式海底地震儀觀測系統，主要元件有寬頻地震儀(Broadband Sensor)、加速型地震儀(Accelerometer)、海嘯壓力計(Pressure Gauge)及陸上機房設施。

由於海嘯預警系統建置所需成本高昂，其所量測之訊號也需進一步判讀，且須包含通報程序及系統；依此定義而言，本計劃所開發之系統是一種「海嘯速報系統/預報系統」，其主要目的在於在海嘯發生初期即利用歷史參數或是即時地震參數計算各港口對應可能水位變化及到達時間，而後將資訊彙整至權責單位憑以進行後續程序；其優勢為在有限之成本及時效，可得出實用性甚高之海嘯初期評估資料。

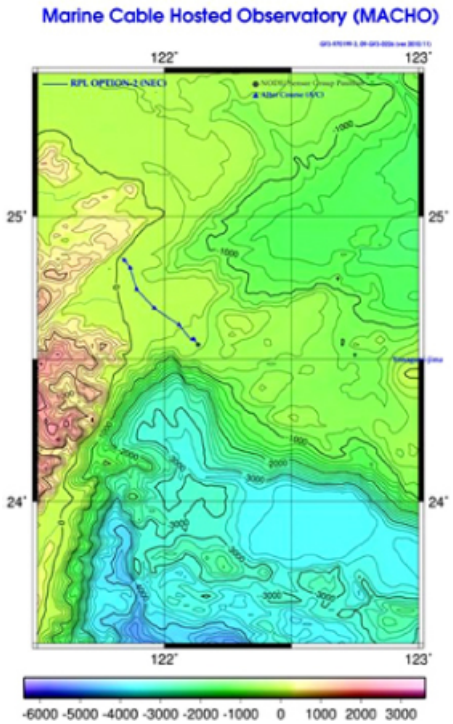


圖 5.5 電纜式海底地震儀觀測系統(媽祖計劃)之佈放位置

5.2.2 海嘯數值模式介紹

海嘯由於與強烈之海底地震有關，所以地震預測技術尚未進入實際應用階段，是以海嘯也無法事先進行預測作業；但海嘯波之速度遠小於彈性波之波速；因此，海嘯相較於地震有更多之應變時間。海嘯模擬通常藉由海嘯數值模式在獲知地震訊息時進行運算，雖說海嘯有較多之應變時間，但依我國週遭之海嘯潛勢震源分布特性而言，近域海嘯在 20-30 分鐘即可到達陸地，應變時間略顯急迫；因此，若能以資料庫之概念製作海嘯波高資料庫，以期在海嘯發生初期即可利用資料庫得知各港口可能之水位變化及到達時間，可大幅地提高防災應變之時效性。

要建置波高資料庫、溢淹模擬及機率分析必需借重海嘯數值模式。模式依頻散有無可分為兩種，一種是常見的淺水長波方程式，由於其方程式是假設流場於垂直方向為均勻分佈而忽略頻散效應；其二就是 Boussinesq 方程式，跟前者最大的差別，擁有波浪非線性項以及非靜水壓分佈。且由於模擬在大洋中的傳遞，其科氏力及地球曲面效應不可忽略，亦由於在大洋中振幅很小，非線性行為不明顯，故於大洋傳遞時，可考慮用球面座標下之淺水方程式；但在近岸時，由於波高放大及底床摩擦，使得非線性效應增加，此時科氏力及地球曲面效應相對較小，故應採用直角座標下之淺水方程式。

另一方面，模式的校驗及率定也是一個重要的考量；海嘯模式與其他水動力模式比較下，可供驗證之實際案例及資料較為不足；特別是臺灣本島之海嘯資料及案例多屬歷史文件記載，鮮少科學紀錄。故若引用國外已經發展完成之海嘯模式，則可免除許多模式校正及驗證之工作。

本計畫採用美國康乃爾大學土木與環境工程學系團隊發展出的 COrnell Multigrid COupled Tsunami model(COMCOT)模式作為主要模擬工具(Wang and Liu, 2007)。開發之初，經過智利海嘯、花蓮海嘯以及南亞海嘯之實例驗證，其成效尚稱滿意；其研究成果也常發表於國內外知名期刊，該模式也為國內其他相關學術單位所使用。故在臺灣

地區海嘯實測資料缺乏情況之下，本計畫後續利用南亞海嘯之案例作為校正之用。

COMCOT 數值模式是以程式語言 Fortran 撰寫，模式中提供計算由斷層錯動產生的海床垂直位移量以及海嘯波傳播的計算。與其它相似之模式相較之下，擁有下列之特點(張，2008)：

(1)使用巢狀網格系統(multi-grid nested system)計算，可保持遠域及近岸之計算速度與精確度。

(2)可依計算區域，選擇使用球狀或直角座標系統計算。

(3)可依計算區域，選擇使用線性或非線性方程式計算。

(4)使用蛙跳法(leap-frog)及有限差分方法來解淺水方程式(shallow water equation)。

(5)提供不同初始波形之方式：(例如地震、海底山崩、人工造波或起始水面資料檔等)。

球面座標下之淺水方程式可表示為

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t}+\frac{1}{R\cos\varphi}\left[\frac{\partial P}{\partial \psi}+\frac{\partial}{\partial \varphi}\left(\cos\varphi\ Q\right)\right]=0 \quad \text{.....(5.1)}$$

$$\frac{\partial P}{\partial t}+\frac{g\,h}{R\cos\varphi}\frac{\partial \zeta}{\partial \psi}-f\,Q = \frac{1}{R\cos\varphi}\frac{\partial}{\partial \psi}\left[\frac{h^3}{3R\cos\varphi}\frac{\partial}{\partial t}\left\{\frac{\partial}{\partial \psi}\left(\frac{P}{h}\right)+\frac{\partial}{\partial \varphi}\left(\cos\varphi\frac{Q}{h}\right)\right\}\right] \quad \text{.....(5.2)}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{g\,h}{R}\frac{\partial \zeta}{\partial \psi}+f\,P = \frac{1}{R}\frac{\partial}{\partial \varphi}\left[\frac{h^3}{3R\cos\varphi}\frac{\partial}{\partial t}\left\{\frac{\partial}{\partial \psi}\left(\frac{P}{h}\right)+\frac{\partial}{\partial \varphi}\left(\cos\varphi\frac{Q}{h}\right)\right\}\right] \quad \text{.....(5.3)}$$

上式中(ψ，φ)表示在地球表面的經度及緯度；目前臺灣地區採用的是國際橫麥卡托二度分帶座標系統(UTM2)，以(N，E)來表示，N 為

六位數，E 為七位數，由(5.1)式至(5.3)式消去 P 和 Q，且略去科氏力項，並假設水深為一常數，則可得到以 ζ 代表的關係式。

$$\frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} - \frac{g\,h}{R^2 \cos^2\varphi}\left[\frac{\partial^2 \zeta}{\partial \psi^2} + \cos\varphi \frac{\partial}{\partial \varphi}\left(\cos\varphi \frac{\partial \zeta}{\partial \varphi}\right)\right]$$
$$= \frac{g\,h^3}{3R^4 \cos^4\varphi}\frac{\partial^4 \zeta}{\partial \psi^4} + \frac{g\,h^3}{3R^4 \cos\varphi}\frac{\partial}{\partial \varphi}\left[\cos\varphi \frac{\partial}{\partial \varphi}\left\{\frac{1}{\cos\varphi}\frac{\partial}{\partial \varphi}\left(\cos\varphi \frac{\partial \zeta}{\partial \varphi}\right)\right\}\right] \qquad ..(5.4)$$
$$+ \frac{g\,h^3}{3R^4 \cos^3\varphi}\left[\frac{\partial^3}{\partial \psi^2 \partial \varphi}\left(\cos\varphi \frac{\partial \zeta}{\partial \varphi}\right) + \cos^2\varphi \frac{\partial}{\partial \varphi}\left\{\cos\varphi \frac{\partial}{\partial \varphi}\left(\frac{1}{\cos^2\varphi}\frac{\partial^2 \zeta}{\partial \psi^2}\right)\right\}\right]$$

COMCOT 中以交錯式顯性蛙跳法(staggered explicit leap-frog scheme)來處理線性淺水方程式，如圖 5.6 所示，利用前一時刻之體積流量及自由表面水位，用連續方程式計算網格(i, j)點在第 n+1/2 時刻之自由表面水位$\zeta_{i,j}^{n+1/2}$，接著計算體積流量$P_{i+1/2,j}^{n+1/2}$及$Q_{i,j+1/2}^{n+1/2}$，體積流量和水位是由不同的位置分別計算，基本上即是在網格中央計算水位，而在網格四周計算體積流量。波高及體積通量的計算是在不同的時間步上，利用物理量在空間上的交錯(staggered)方式來計算，可以減少誤差及增加數值穩定性。COMCOT 採用中央差分法，因此 COMCOT 具有二階的準確性及 O $((\Delta x)^2, (\Delta y)^2, (\Delta t)^2)$的截斷誤差(truncation error)。其離散式為(Liu et al., 1998)：

$$\frac{P_{i+1/2,j}^{n+1} - P_{i+1/2,j}^{n}}{\Delta t} + gH\frac{\zeta_{i+1,j}^{n+1/2} - \zeta_{i,j}^{n+1/2}}{\Delta x} = 0 \qquad .....(5.5)$$

$$\frac{Q_{i,j+1/2}^{n+1} - Q_{i,j+1/2}^{n}}{\Delta t} + gH\frac{\zeta_{i,j+1}^{n+1/2} - \zeta_{i,j}^{n+1/2}}{\Delta y} = 0 \qquad .....(5.6)$$

$$\frac{\zeta_{i,j}^{n+1/2} - \zeta_{i,j}^{n-1/2}}{\Delta t} + \frac{P_{i+1/2,j}^{n} - P_{i-1/2,j}^{n}}{\Delta x} + \frac{Q_{i,j+1/2}^{n} - Q_{i,j-1/2}^{n}}{\Delta y} = 0 \qquad .....(5.7)$$

若近岸地區時，改採直角坐標系統，考慮底部摩擦作用之非線性淺水方程式可以下列各式表示之(Liu et al., 1994)：

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0 \qquad .....(5.8)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{P^2}{H}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\frac{PQ}{H}\right]+gH\frac{\partial \zeta}{\partial x}-fQ+\tau_x H=0 \quad (5.9) \quad \text{.....(5.9)}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{PQ}{H}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\frac{Q^2}{H}\right]+gH\frac{\partial \zeta}{\partial y}+fP+\tau_y H=0 \text{.....(5.10)}$$

式中 t 為時間，ζ為自由表面之變動水位，H 是全水深(即水深加上波高)，P 代表 x 方向之流量 ，Q 代表 y 方向之流量，g 是重力加速度常數，f 為科氏力參數，τ_x 與τ_y 分別代表 x 及 y 方向剪應力。

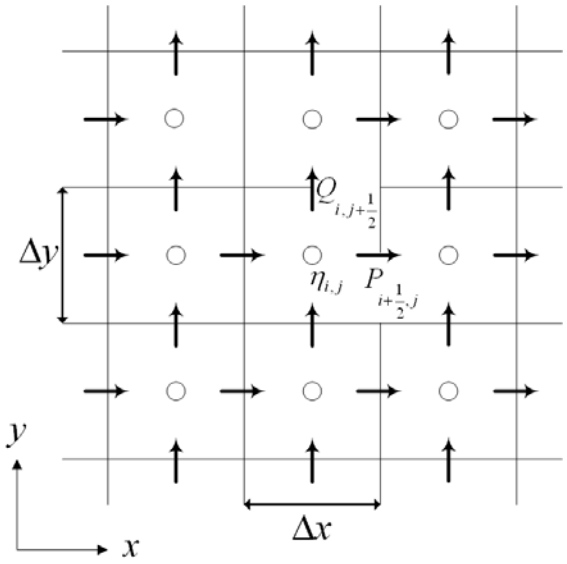


圖 5.6 交錯式有限差分網格

底部摩擦項可使用 Chezy 公式，

$$\tau_x=\frac{g}{C_f^2 H^3}\,P(P^2+Q^2)^{1/2},\quad \tau_y=\frac{g}{C_f^2 H^3}\,Q(P^2+Q^2)^{1/2} \text{.....(5.11)}$$

或曼寧公式

$$\tau_x=\frac{gn^2}{H^{10/3}}\,P(P^2+Q^2)^{1/2},\quad \tau_y=\frac{gn^2}{H^{10/3}}\,Q(P^2+Q^2)^{1/2} \text{.....(5.12)}$$

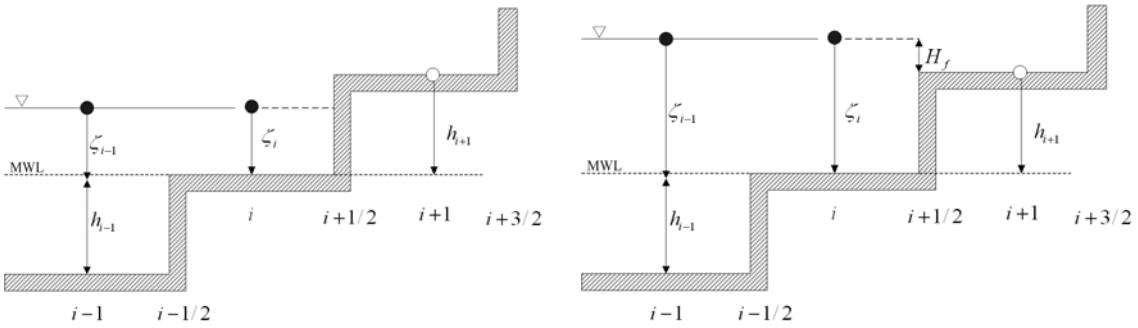
上式中的C_f 表示 Chezy 公式的摩擦係數，而 n 代表相對粗糙係數，與流動狀況及底部的表面粗糙度有關。

非線性方程式仍是採用蛙跳法為主，但此法對於對流項並不適用，故改採上風法(Upwind Scheme)處理，但精度僅達到空間網格大小的一階。

COMCOT 模式在近岸海陸(乾溼)交界處採用移動邊界條件；若波高足以進入陸地時，則容許海水進入陸地網格，則可模擬出長波於陸地上之溢淹範圍及溯上高度。移動邊界技巧可參考圖 5.17(a)(b)所示，將沿岸地形以階梯形式表示之，在網格 i-1、i 及 i+1 處計算全水深，而在 i-1/2、i+1/2 及 i+3/2 處計算流量；圖中 MWL 表示平均海水面 (mean water level)，ξ 表示自由邊界之水位，h 為平均靜水位到陸地的高度；在乾陸地(dry land)的網格中，總水深 $H = h + \xi$ 是為負值，於有水溢淹的溼陸地 (wet land)網格總水深以正值表示，位於乾網格與溼網格之間的交界則定義為海岸線。由連續方程式計算出全區域的自由表面水位，在陸地網格點的自由表面水位永遠為零，因為在鄰近網格點處流量為零，在此過程中須判斷網格點之全水深是否足以使水移往鄰近的陸地網格(即為移動邊界)。動量方程式則更新在水域部分之流量。波由外海計算到近陸區域，於海岸線交界處時，即 $H_i > 0$ 及 $H_{i+1} \le 0$ 的條件下，則開始進行移動邊界計算。

起始體積通量為零，利用連續方程式並配合移動邊界計算來找下個時間步長的波高，波高在乾的陸域網格中的值為 0，這是因為在鄰近的流量都為 0。原本在第 i 個網格點的總水深需上傳到第 i +1/2 個網格點，經由數值計算來決定總水深是否夠高足以溢淹到相鄰的乾陸域(dry land)網格，並調整海岸線位置。如果某一點網格在各方向的總水深為零或負值，則此網格視為乾網格 (dry cell)，如圖 5.7(a)中，第 i 個網格為溼陸域，其總水深為正值，第 i +1 個網格為乾陸域，其總水深為負值且體積通量為零，海岸線位於 i 與 i +1 之間，而賦予第 i +1/2 個網格點的體積通量為零。但在波高較高的例子中，如圖 5.7(b)所示，此時第 i +1/2 個網格點的體積通量為非零，海岸線也往陸地方向移動一個格點，而總水深由連續方程式中被更新。以下的計算為用來判斷海

岸線是否該移動，而先決條件在總水深由連續方程式更新後，即可由下列方式判斷海岸線是否會移動。



(a) **(b)**

圖 5.7 移動邊界示意圖

(1)若 $H_{i+1} \le 0$ 且 $h_{i+1} + \xi_i \le 0$，則海岸線保持不動，流量 $P_{i+1/2}$ 亦為零。

(2)若 $H_{i+1} \le 0$ 且 $h_{i+1} + \xi_i > 0$，則海岸線移往 $i+1$ 和 $i+2$ 之間，流量 $P_{i+1/2} > 0$ 可能為非零值，但 $P_{i+3/2}$ 仍為零，溢淹之深度 H_f 為 $h_{i+1} + \xi_i$ 和 $h_{i+1} + \xi_{i+1}$ 二者之較大者。

(3)若 $H_{i+1} > 0$，則海岸線移至 $i+1$ 和 $i+2$ 之間，流量 $P_{i+1/2} > 0$ 可能為非零值，但 $P_{i+3/2}$ 仍為零，溢淹深度 H_f 為 $h_{i+1} + \xi_i$ 和 $h_{i+1} + \xi_{i+1}$ 二者之較大者。

以上海岸線的移動過程中，不僅能滿足質量守衡，在移動邊界之處理亦能得到合理的結果。H 在模式內是兩個網格之平均值，一般出現在海陸地形交界處，在多起模擬案例中，目前尚未遇到剛好等於 0 的情形。為避免模式產生計算誤差，可考慮在模式加入條件式，設定 $H = 0$ 時，給予一極小值。

本模式在上下左右四側的邊界設定皆為幅射邊界條件，波浪傳遞至此處時，必須予以適當的計算處理，以消除波浪在此邊界產生之反射現象。計算過程中，假設網格邊界上之水流方向，令流出計算區域時之水位為負值，代表下降；流入計算區域時之水位為正值，代表上升，根據此方法來控制平衡網格邊界上之水位流量，順利解決此開放邊界上的干擾現象。

在模式計算中，為了差分模式的穩定性(C.F.L.條件)，必須採用相同的時間間隔 Δt，其設定必須在每個網格計算中滿足此條件。

$$\Delta t < \frac{\Delta s}{\sqrt{2gh_{\max}}} \tag{5.13}$$

其中，Δs 為網格間距，$h_{\max}$ 為各計算網格中最大水深值。

5.2.3 海嘯速報系統之建構

本計劃海嘯波高資料庫之建置構想及初始概念，即是尋找一個方法能提高海嘯計算之效率，在遠/近域海嘯發生後，能夠快速掌握可能之最大波高以及到達時間，提供給航港局、港務公司及其分公司作為後續應變之作為之參考，並將各個港口之資料庫整合在單一操作界面

之下，以方便使用者使用。其預警系統主要流程如圖 5.8 所示。本節將逐一介紹系統之建置方式。

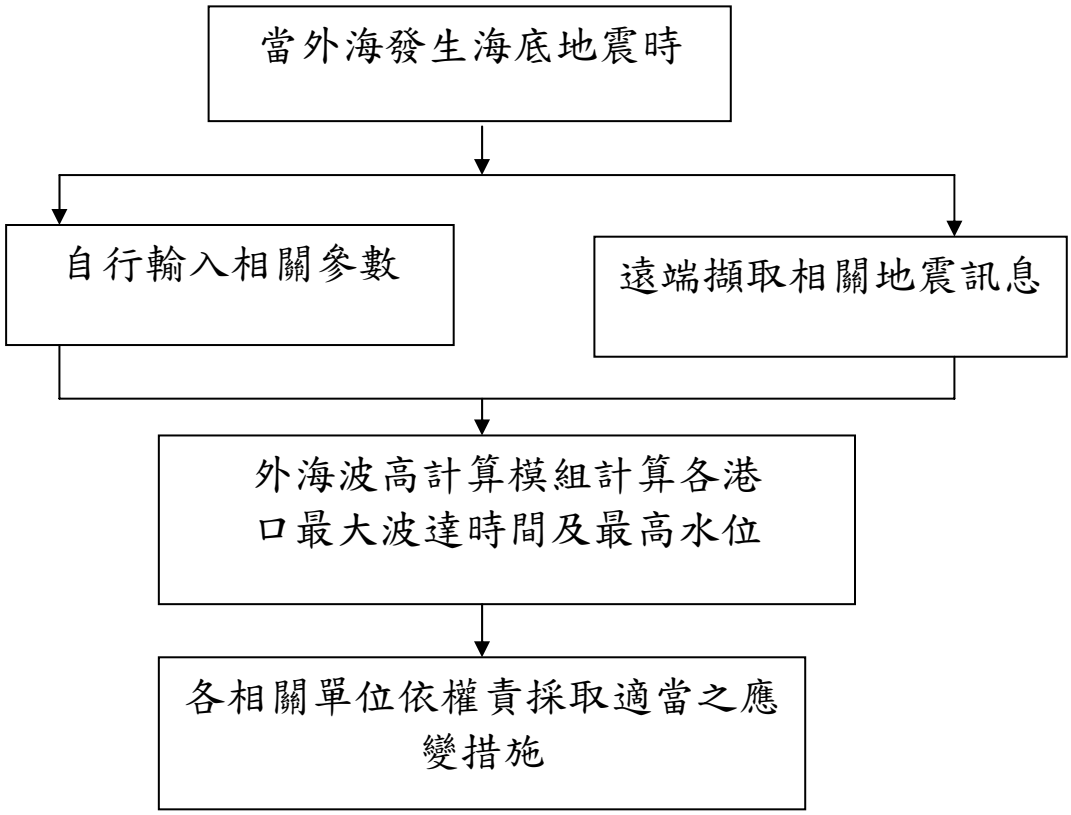


圖 5.8 海嘯速報系統之規劃圖

現行之海嘯數值模式之模擬程序(如圖 5.9)及計算效率由於地震測報技術未得以進入應用階段以及計算方式之問題，故應用在海嘯測報及早期預警上仍有實際上之困難；由於不論是遠域或是近域海嘯，爭取應變時間、提升計算效率及獲取早期之海嘯資訊是目前海嘯模擬技術能進一步精進之項目。故本計畫以互逆格林函數以提升目前海嘯模擬之計算效率。

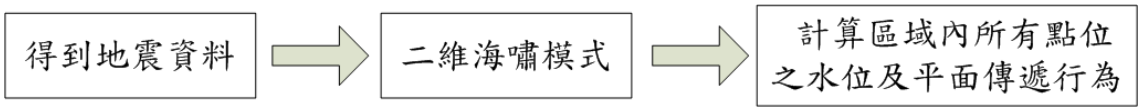


圖 5.9 現行海嘯數值模式之模擬程序

一般常見之海嘯數值模式是利用淺水方程式(shallow water equation)作為基礎，當海嘯發生後，輸入必要之參數即可模擬出計算區域內所有的傳遞行為及水位變化。由於海嘯波在大洋中之傳遞，波高相對於波長甚小，非線性效應可以忽略，所以可視為一個「線性系統」，

據此計算出各點之水位時序列變化，即稱為「格林函數」(Green's function)，如圖 5.10；以數學方式解釋，即是格林函數可視為是線性淺水方程式之基本解；由這個簡單之說明可知道這種計算方式很難應用在海嘯早期預警，因為必須「事前」得知一個可能之震源才得以模擬後續之傳遞行為；這種限制使得海嘯數值模擬必須依賴地震之初始條件，但目前地震是無法進行預測，因此這種方式有其限制；另一方面，海嘯防災以海嘯波源之生成與近岸時之波高變化最為重要，在大洋中之傳遞行為雖對於學術研究具有重要價值，但對於災害防治提供之訊息有限，計算過程也耗費太多之時間與儲存空間。上述的格林函數(Green's Function，以下以 GF 簡稱)是代表一個已知波源對區域內各點所產生的水位時序列變化。若 s 表示波源位置(source)，而 r 則為接收位置(receiver，即是計算點位)，其 GF 即是由 s 到 r 而其逆向的 GF 代表以 r 產生的單位波源振幅，在 s 所造成的反應。格林函數的運用在傳統上觀察線性系統中波源所造成的反應，而格林函數通常以波源振幅表示，如果區域內各點的格林函數已經求得，只要計算起始波源的水位與其格林函數的乘積後進行加總，便可得知波源對各點所引起的水位變化。

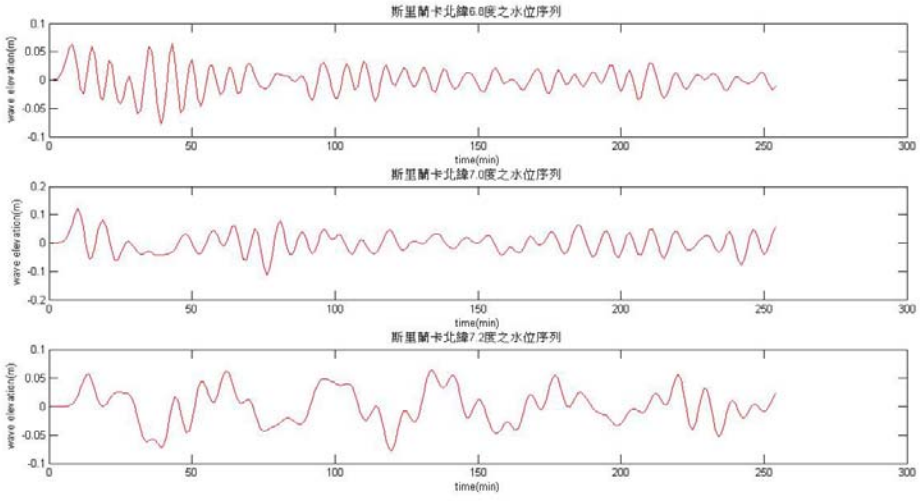


圖 5.10 傳統海嘯之模擬結果

線性系統之格林函數具有可逆性，這點就構成了互逆格林函數(reciprocal Green's function，RGF)之基本理論，其構想主要源自 Loomis (1979)與 Xu (2007)；這個方式主要用來利用線性系統中之可逆性來改進上述海嘯模擬之缺點，降低對初始條件之依賴性及提高計算效率。儘管海嘯波靠近近岸時會呈現高度非線性變化，但在水深深於 50m 的海域，線性淺水方程式依舊能適用於描述其傳播過程(Shuto, 1991)，故線性系統之可逆性仍可適用。

Loomis(1979)觀察到 GF 及其互逆 GF 對於 s 和 r 是呈現對稱的形式，亦即相同的波源出現在 s 所造成對 r 的反應相當於出現在 r 所造成對 s 的反應，Loomis 所提的互逆特性可以提高計算各點 GF 的效益，只要計算 s 傳播後對所有 r 的 GF，等同於得知當任何 r 出現波源時對 s 造成的反應。

以上由圖 5.11 說明其概念，對某一個接收點 r 而言，由於可能有許多未知震源，故用 si 來表示所有可能之震源，其 GF 即是由 si 到 r。由於格林函數具有可逆性，所以任一點 si 之單位振幅對 r 所造成之反應(即是格林函數)等於 r 之單位振幅對 si 所造成的反應；所以當海嘯發生時，僅需利用相關斷層參數得知起始水位後，做簡單之乘積加總後即可獲得與傳統海嘯模式運算後相同之結果。劉及陳(2008)即利用此一概念用來快速預估高雄港受海嘯侵襲時之最大高度。Chen et al.(2009)亦利用互逆格林函數來建議海嘯感測器於臺灣北海岸之最佳佈放位址。

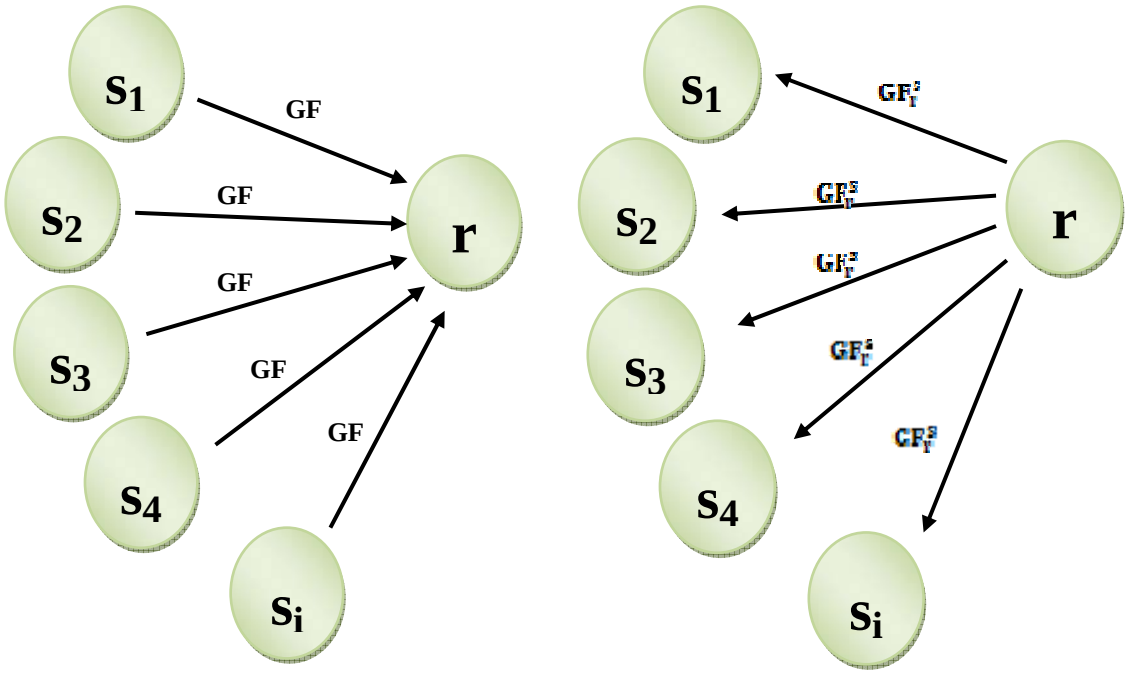


圖 5.11 傳統格林函數與互逆格林函數之示意圖

簡易之理論說明如下：為了解區域內任何 s 點發生海嘯時，其當地水位將對 r 點位置的造成多大的水位高度，故先計算所有 r 點對應 s 點的 GF。首先將某一時段內各 r 點的水位經(5.14)式正規化便是 r 點傳播至各點的 GF 值，又因波源振幅為 1m，所以模式計算後的水位值即為 GF 值。再根據 GF 的互逆性質，r 點對應 s 點的 GF 等同於 s 點對應 r 點的 GF(5.15)式。只要透過(5.16)式作簡單的乘積與加總就可到 s 點在海嘯發生後的該時段水位變化。

$$GF_r^s = \frac{r\text{點水位}}{\text{波源}s\text{之初始水位}} \quad \text{.....(5.14)}$$

$$\boldsymbol{GF_s^r(t) = GF_r^s(t)} \quad \text{.....(5.15)}$$

$$\boldsymbol{H_r(t) = \sum_{r=1}^{N} GF_r^s(t) \times H_s} \quad \text{.....(5.16)}$$

其中(5.16)式的 $H_r(t)$為各接收點(或是預報點位)r 在時間 t 的水位變化，$GF^s{}_r(t)$為各 r 點在時間 t 的 GF，H_s 為各波源點的初始水位高度，N 為所有預報點 r 的總數。$H_r(t)$即是傳統海嘯數值模式之結果，換句話

說，(5.16)式可以得到與傳統海嘯模式相符之結果；對於(5.15)式而言，$GF^{s}_{r}(t)$可以用海嘯數值模式在各個接收點處以單位振幅之方式計算出，故是一個已知之時序列資料；唯一的未知是波源點之初始水位 H_s，該項可由地震相關網站上即時擷取相關參數後帶入斷層模式中計算即可得到。透過互逆格林函數，由於水位基礎波形已經可以事前計算，可以以資料庫之方式先行計算單位波高之時序列變化，在海嘯發生後，即可初步了解最大波高及其到達時間，大幅度提升計算效率；由於僅儲存預報點位之時序列變化，因此也大幅度降低儲存空間之需求；這個優點也提供建置海嘯早期預警系統之有效方案。

格林函數之最適水深為 50m，但實際上受限於臺灣東西兩岸地形不同，東岸陡峭西岸平緩，且離陸地亦不能過遠；故實務上之點位選擇仍須配合當地地形條件。另一方面，(5.16)式顯示預報水位之好壞與初始水位生成之精度有相當大之關係，海嘯初始水位之生成模式目前僅有由斷層運動所產生之海面擾動有明確且常用之公式可資引用，其餘目前仍在研究中；因此，(5.16)式目前並不適用在非斷層運動所引起之海嘯。

由以上說明可知，唯一的未知是波源點之初始水位 H_s；這必須依靠可靠之斷層模式計算，而斷層模式所需之參數均來自於地震資料，以下將說明地震資料來源及擷取方式。

本計劃地震資料來源採用 United States Geological Survey(USGS)National Earthquake Information Center(NEIC)中所記錄地震資料，地震紀錄期間為自 1973 至 2011 年，搜尋範圍為整個太平洋區域。地震紀錄採用下限為 4.5，地形資料則採用 NOAA-ETOPO1 之數值資料。

USGS-NEIC 資料庫不同於 Harvard-CMT，在 NEIC 資料庫中含有 M_W、M_B、M_S…等不同地震規模的測值，可透過經驗式的轉換來彌補有些地震資料不足的情形。地震規模(earthquake magnitude)和地震震度(earthquake intensity)之表示略有不同。地震震度(earthquake intensity)是在地震儀發明之前，用來表示地震強度的指標。震度是指在發生地震

時，人們所感受到震動大小的程度或者是物體受到地震震動所遭到的破壞程度，距離地震震央愈接近，其震度大小就愈大，破壞力也愈強；世界各國在使用地震強度分級上，會因環境、背景的差異，所訂定的標準也會不同；現今地震儀器已經能描述地震的加速度，所以震度亦可由加速度值來劃分。

USGS-NEIC 之地震資料庫範圍為全球，但其資料擷取約在地震發生後約 1 小時才可遠端擷取其參數，本計劃採用自動擷取方式擷取即時之資料，當有地震資料時，系統可自動擷取即時資料進行後續預報作業。對於震央發生在臺灣周邊海域恐有不及，因此在臺灣區附近(東經 119 度~123 度，北緯 21 度~26 度)採用中央氣象局之地震即時資料(http://cwbsnbb.cwb.gov.tw/CMT/quick/quick.html) ，約在地震後 5 分鐘即可獲得相關訊息，而其他區域仍使用 NEIC 之資料。

擷取的方式為使用定時程式及 Matlab 裡面內附的 Java 套件，透過 http 的方式取得 USGS(或 F-net)的網頁資訊加以分析取得地震訊息，包括發生時間，震央以及震度等參數，如果發生時間較新且震央範圍在計劃範圍之內，便將該參數傳遞給系統做水位預報。其

目前計畫完成之即時地震擷取系統之資料來源為 USGS、CWB，並增設日本防災科學技術研究所(National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention NIED)所提供之 F-net (Full Range Seismograph Network of Japan)，其範圍在東經 120 度到 156 度，北緯 20 度到 49 度，以供地震資料參考，三個主要之地震資訊來源及提供範圍如表 5-4 所示。圖 5.12 為目前完成之即時地震擷取系統介面。在此要特別說明的是，實務上在擷取地震資料時會設定地震矩規模的下限，超過此一下限之資料，系統才會擷取；此舉是考量到地震必須有相當之強度才有發生海嘯之可能，此設定可避免過多之地震訊息所造成的誤解。

表 5-4 本系統主要地震資料之網址及對應之資料提供範圍

	機構名稱	網址及資料提供範圍
美國	地質調查所 (USGS)	http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/fm/ 資料提供範圍：全球
臺灣	中央氣象局 (CWB)	http://cwbsnbb.cwb.gov.tw/ 資料提供範圍：東經 119~123 度，北緯 21~26 度
日本	防災科學技術研究所 (NIED)	http://www.fnet.bosai.go.jp/top.php?LANG=en 資料提供範圍：東經 120~156 度，北緯 20~49 度

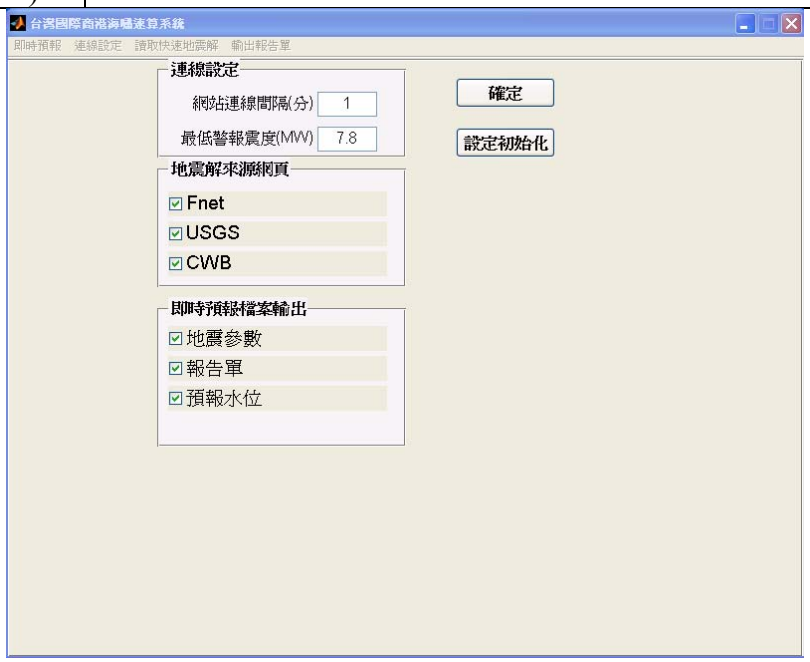


圖 5.12 目前完成之即時地震擷取系統介面

一般地震報告中所指的地震規模(earthquake magnitude)是依據地震的威力大小，此和其釋放出的能量多寡有關，故每當有地震發生時，地震規模只有單一值，不會因為觀測的位置不同而產生不同的數值。我國常使用之芮氏地震規模(Richter magnitude scale)，亦稱為近震規模(local magnitude,M_L)，是在 1935 年為了研究美國加州地區發生的地震而制定，使用伍德-安德森扭力式地震儀(Wood-Anderson torsion seismometer)來測量。由於當初設計芮氏地震規模的限制，當芮氏地震規模大於某數值(約 7.5)以上時會有「飽和」現象，也就是計算出來的所有地震規模值都趨近相同。此外，觀測點距離震央超過約 600 公里以上時，芮氏地震規模的計算會產生極大誤差而不適用。於是地震學

家發展出表面波規模(surface waves magnitude,M_S)和體波規模(body waves magnitude,m_B)來描述較遠距離的地震規模值，以地震波中特定波相的最大振幅來計算，但是這兩種計算規模的方法，對於大型地震也會有飽和的問題。

21 世紀初，地震學者採用更能直接反應地震破裂過程物理特性(如地層錯動的大小和地震的能量等)的表示方法即地震矩規模(Moment magnitude scale,M_w)來描述地震大小，地震矩規模的優點在於它不會發生飽和現象。亦即，大於某規模的所有地震之數值都相同的情況將不會發生。另外，此地震矩規模與震源的物理特性有較直接的聯繫。因此，地震矩規模已經取代芮氏地震規模成為全球地震學家估算大規模地震時最常用的尺度。以下為幾個常見的地震規模介紹：

(1)M_L：芮氏地震規模(Richter magnitude)

此種地震規模的概念是由加州理工學院(Caltech)的 C. F. Richter 教授於 1935 年所提出的，稱為芮氏地震規模 M_L，或近震規模(Local magnitude)。芮氏地震規模是以地震儀所記錄到的地震波振幅為基礎。倘落地震震源大小一定時，距離震源愈遠震波的振幅就愈小；而當與震源的距離一定時，則震波的振幅與震源的大小成正相關。

芮氏地震規模之定義為：一標準扭力式之伍德-安得生(Wood-Andersion)式地震儀(自由週期 0.8 秒，倍率 2800 倍，阻尼常數 0.8)在距震央 100 公里處所記錄的最大振幅以微米（μm）記的對數值。其公式為：

$$M_L = \log(A/A_0) = \log A - \log A_0 \quad \text{.....(5.17)}$$

M_L：芮氏(近震)地震規模。

A：伍德-安得生(Wood-Andersion)式地震儀在測站所觀測之最大幅。

A0：標準地震(ML= 0)時，同式地震儀在該測站所記錄之最大振幅。

地震規模是一個統一的數值，地震本身的大小與測站位置無關。但是地震並非都發生在距離測站 100 公里處，也因此在計算地震規模時，必須考慮離震央距離(即震央與測站之距離)。若考慮震央距的修正，則上式可以修正為：

$$M_L = \log(A) + 2.56\log(\Delta) - 5.12 \quad \text{.....(5.18)}$$

其中 A 為地震記錄最大振幅，以微米（μm）為單位，$\triangle$為距震央的距離，以度為單位。

(2)M_S：表面波規模(surface waves magnitude)

此為根據 Guttenburg 教授和 Richter 教授的研究所訂，因芮氏地震規模僅適用在離震央距離小於 600 公里的地震，而當距震央距離大於 600 公里時，以表面波來求地震規模較恰當。表面波規模是根據表面波之振幅(A)及週期(T)而定的，在定義中不指定使用何種儀器，僅選用週期 20 秒左右的最大水準地動合成振幅A(單位為μ)來定義 M_S。而在 1966 年蘇黎士國際地震學會上規定，除計算表面波規模(M_S)時，應考慮其最大振幅之外，還須考慮週期、振幅以及距離函數(亦稱檢定函數)σ，即

$$M_S = \log(A/T) + \sigma(\Delta) \quad \text{.....(5.19)}$$

$$\sigma(\Delta) = 1.66\log\Delta + 3.3 \quad \text{.....(5.20)}$$

上兩式可以合為：

$$M_S = \log(A/T) + 1.66\log(\Delta) + 3.3 \quad \text{.....(5.21)}$$

對於週期 20 秒的表面波,上式可修正為：

$$M_s = \log(A20) + 1.66\log\Delta + 3.3 \quad \text{.....(5.22)}$$

其中 A20 為週期 20 秒的表面波之最大振幅，值得注意的是須考慮實際地動的振幅量，即由記錄中的最大振幅量，再除去儀器的放大倍率，得到真正的地動量。表面波規模其優點為任何儀器皆可使用，缺點則為較深的地震則無法定出表面波規模。

(3)M_B：體波規模(body waves magnitude)

此為 1945 年 Guttenburg 研究體波之振幅衰減曲線 $Q(\Delta)$，所定義出的遠地地震體波規模 M_B。此定義根據體波之振幅(A)及週期(T)其為：

$$M_B=\log(A/T)+Q(\Delta) \quad \text{.....(5.23)}$$

由以上的地震規模(M_L、M_s、M_B)可用一個通式來表示之有

$$M=\log A+f(d,h)+C_s+C_R \quad \text{.....(5.24)}$$

其中M是規模，A是除去儀器效應後所記錄到之地震波的真實振幅，f(d，h)是一些計算關於震央距離及震源深度的函數；C_S，C_R是測站(station)及區域(region)計算出的修正值。因所記錄的週期不夠長或是有儀器使用限制上的關係，所以以上的地震規模對於能量較大或深度較深的地震，無法完全定出其規模，也就是說上述對於規模較大的地震有所限制，無法表示出來。因此，發展出一地震矩之概念(Seismic Moment) 來輔助。

(4)M_W：地震矩規模(Moment magnitude scale)

地震矩規模是由 Kanamori 教授所發展出的。因為芮氏地震規模(M_L)對於較大的地震有其界限且會受儀的器限制，故其對大地震無法正確描述，進而發展出由地震矩(M_0)來計算地震規模的方法。

地震的主要原因為地層的錯動，錯動處稱之為斷層。地震震源本身之大小與造成地層錯動的作用力有著直接的相關。因此，總力矩為表示震源大小的一個很重要且直接的參數。而震源機制之總力矩稱為地震矩(Seismic Moment)，造成單一斷層之地震的地震矩可簡化為：

$$M_0=\mu\times S\times\bar{D} \quad \text{.....(5.25)}$$

其中μ為斷層上物質的剛硬係數(rigidity 或 shear modulus)，S為斷層面積，$\bar{D}$為斷層的平均滑動量，地震矩(M_0)的單位為 dyne-cm(達因-公分)，一般地震的地震矩值約為 1012-1030 dyne-cm 。地震矩規模(M_w)是根據地震矩(M_0)所發展出的關係式為

$$M_w = 2/3 \log M_0 - 10.7 \quad \text{.....(5.26)}$$

即由計算所得的M_0得出其相對的M_w，就可適當的描述出地震的大小，此對大地震無界限限制的現象。

本研究出現最多資料的是 M_B(體波規模)，其他還有少數以 M_w、M_s、M_L 等者；另外，還有一個少見的單位 UK(在本研究不考慮此參數)。其本研究所採用之轉換公式為：Scordilis (2006)對地震規模轉換之經驗公式。

(1)M_S 轉換成 M_W 之迴歸公式(圖 5.13(a))：

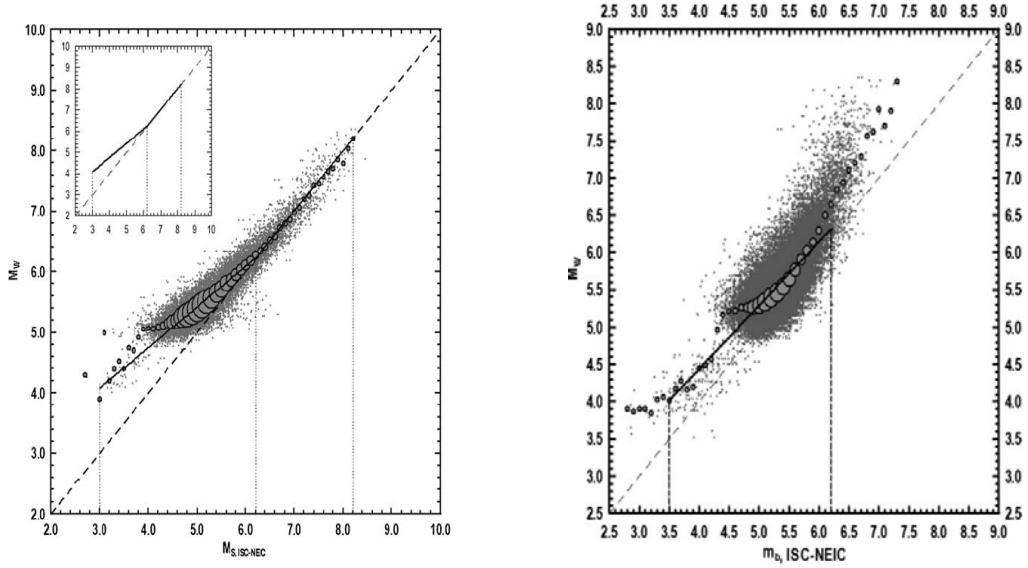
$$M_w = 0.67(\pm 0.005)M_s + 2.07(\pm 0.03)$$
$$3.0 \le M_s \le 6.1,$$
$$R^2 = 0.77, \quad \sigma = 0.17, \quad n = 23{,}921 \quad \text{.....(5.27)}$$

$$M_w = 0.99(\pm 0.02)M_s + 0.08(\pm 0.13)$$
$$6.2 \le M_s \le 8.2,$$
$$R^2 = 0.81, \quad \sigma = 0.20, \quad n = 2{,}328 \quad \text{.....(5.28)}$$

(2)m_B 轉換至 M_w 之迴歸公式(圖 5.13(b))

$$M_w = 0.85(\pm 0.04)M_B + 1.03(\pm 0.23)$$
$$3.5 \le M_B \le 6.2,$$
$$R^2 = 0.53, \quad \sigma = 0.29, \quad n = 39{,}784 \quad \text{.....(5.29)}$$

雖然由相關系數 R 之 R^2 值顯示轉換公式間的相關性不很高、且僅在 6.2 以下適用。但在找到更好的經驗式之前，即在尚未找到相關性更高的經驗轉換公式之前，本計劃將以此作為轉換公式之用。



(a) (b)

圖 5.13 (a)M_S 規模轉換之 M_W 規模之對應圖(b) M_B 規模轉換至 M_W 規模之對應圖(Scordilis, 2006)

5.2.4 海嘯初始水位之生成

前小節已說明互逆格林函數之基本理論及地震資料來源，初始水位 (即是海嘯波源之水位)之設定與產生，一般而言與(1)斷層參數，(2)斷層長度、寬度、震源深度有關。本小節將介紹海嘯初始水位 H_s 之生成、斷層參數之來源與設定方法。

圖 5.14 即是斷層參數之示意圖；strike 角$(0 \le \theta \le 360)$表示斷層之走向方向，為正北方順時針至斷層走向之夾角；dip 角$(0 < \delta < 90)$為傾斜角度，即是水平面與斷層面間的夾角，斷層面傾角 δ 與海嘯發生源擾動海水體積有關。slip 角$(0 \le \lambda \le 180)$表示斷層之滑動方向，代表斷層面上盤相對於下盤的滑動方向。本項資訊在美國地調所 USGS 網站中 http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/fm/，可在地震發生後公佈原始之斷層參數，提供全球之地震訊息；一般斷層參數會有兩組解；至於哪一組解之正確性較高，則必須視事後進行比較驗證才能得知。

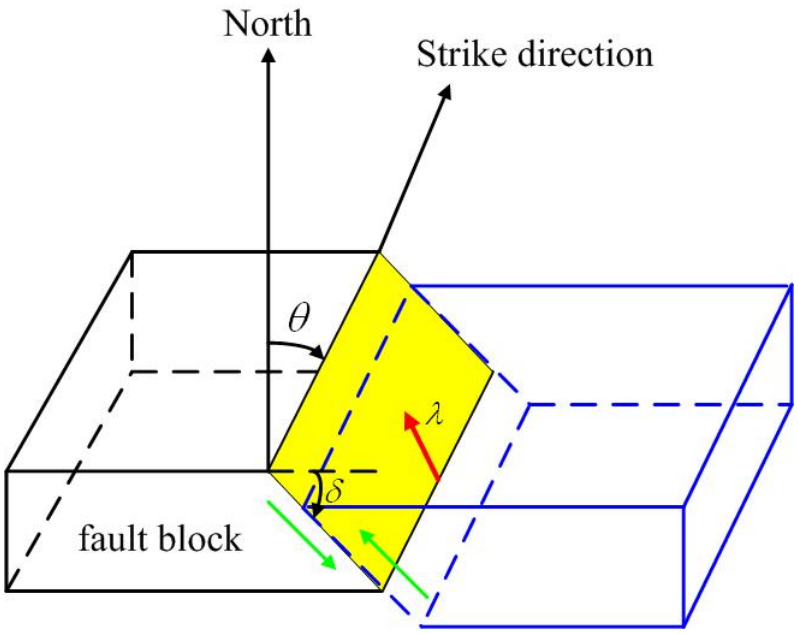


圖 5.14 斷層參數示意圖

利用資料庫匯整斷層參數之歷史資料雖可得到各個所需要之角度；但是以實務上而言，斷層之長度與寬度是未知，也就無法計算斷層平均滑移量；故本研究利用 Wells and Coppersmith (1994)蒐集1857-1993年間可信度較高之244起地震事件所歸納出之經驗公式(5.30)式~(5.31)式，計算地震規模下的長度(L)及寬度(W)。

$$\log(L) = a_1 + b_1 \times M_w \quad \text{.....(5.30)}$$

$$\log(W) = a_2 + b_2 \times M_w \quad \text{.....(5.31)}$$

M_w 為地震矩規模(Moment magnitude of earthquake)；a_1、b_1、a_2 及 b_2 為迴歸係數，如表 5-5 所示，統計分析顯示其相關係數均在 0.81 以上，信賴區間為 95%；然後，再將斷層長度及寬度代入地震矩公式(5.32)及(5.33)式(Hanks et al，1979)求得平均滑移量 D 。

$$M_w = \frac{2}{3}\log_{10} M_0 - 10.7 \quad \text{.....(5.32)}$$

$$M_0 = \mu WDL \quad \text{.....(5.33)}$$

M_0是地震矩大小(scalar moment of earthquake)，

$\mu = 3\times10^{11} dyne/cm^2$為剪力模數。得知斷層參數後即可利用彈性力學公式計算出海嘯初始水位。

表 5-5 (5.30)及(5.31)式迴歸係數之建議值

a_1	滑移走向 strike slip	-3.55	b_1	0.74
	逆斷層	-2.86		0.63
	正斷層	-2.01		0.50
	不分類	-3.22		0.69
a_2	滑移走向 strike slip	-0.76	b_2	0.27
	逆斷層	-1.61		0.41
	正斷層	-1.14		0.35
	不分類	-1.01		0.32

當斷層參數、斷層長寬及滑移量均求得後，就可利用斷層模式來生成海嘯波源區可能之初始水位。

由於大多數的海嘯成因起源於海底地震，所以一般海嘯數值模式之海嘯初始水位藉由海底斷層模式來驅動，基本上起始海水面的變動是利用海床位移量的計算來產生初始水位，假設海水為不可壓縮；當海床產生錯動，則垂直方向上的海水面也會產生瞬間的變動，亦即地震與海水面變動的發生視為同一時間。海床位移量是由走向滑距(strike-slip displacement)及傾向滑距(dip-slip displacement)所構成，本計劃使用的斷層模式是 Mansinha and Smylie(1971)的彈性半空間錯移模型(elastic half-space dislocation model)，主要是計算走向滑距及傾向滑距在垂直地表方向的分量，即垂直位移的總量。

簡單來說海床位移量是由走向滑距 (strike-slip displacement)及傾向滑距(dip-slip displacement)所構成，本研究所使用的斷層模式主要是計算走向滑距及傾向滑距在垂直地表方向的分量，即垂直位移的總量。彈性錯移理論(elastic dislocation theory)，即斷層在 j 方向的錯動造成均質均向的彈性半空間所產生 i 方向的位移場Δu_j，並對整個矩形斷層錯動範圍積分；其關係式為：

$$u_i = \int_{\Sigma} \Delta u_j \left[\lambda \delta_{jk} \frac{\partial u_i^l}{\partial \xi_l} + \mu \left(\frac{\partial u_i^j}{\partial \xi_k} + \frac{\partial u_i^k}{\partial \xi_j} \right) \right] v_k dS \quad \text{.....(5.34)}$$

其中v_k為Σ向外的垂直向量、λ與μ為拉梅常數(Lamé constants)、u_i^j為受到破裂面(ξ1，ξ2，ξ3)上 j 方向單位應力作用而在地表(x1，x2，x3)於 i 方向上的位移。

假設一矩形斷層座標系統如圖 5.15(a)所示，其中ξ 方向代表斷層傾角的正下方，而走向滑距(strike-slip displacement)和傾向滑距(dip-slip displacement)可分別用(5.35)與(5.36)式表示，其涵蓋範圍為$-L \le \xi_1 \le L$，以及$d \le \xi \le D$：有

$$u_{fs} = \mu U_1 \int_d^D \int_{-L}^{L} \left[\left(\frac{\partial u_i^1}{\partial \xi_2} + \frac{\partial u_i^2}{\partial \xi_1} \right) \sin\theta - \left(\frac{\partial u_i^1}{\partial \xi_3} + \frac{\partial u_i^3}{\partial \xi_1} \right) \cos\theta \right] d\xi_1 \, d\xi \quad \text{.....(5.35)}$$

$$u_{id} = \mu U \int_d^D \int_{-L}^{L} \left[2 \left(\sin\theta \frac{\partial u_i^2}{\partial \xi} - \cos\theta \frac{\partial u_i^3}{\partial \xi} \right) + \left(\frac{\partial u_i^3}{\partial \xi_2} - \frac{\partial u_i^2}{\partial \xi_3} \right) \right] d\xi_1 \, d\xi \quad \text{..... (5.36)}$$

其中，ξ=震源深度($\sin\theta$)+斷層寬度(w)、ξ_1=斷層長度/2、$\xi_2 = \xi \times \cos\theta$、$\xi_3 = \xi \times \sin\theta$。由於斷層面是位於地底下，為了計算地下錯動對地面上位移的關係，則須將斷層面作座標轉換，如下圖 5.15(b)所示，並有

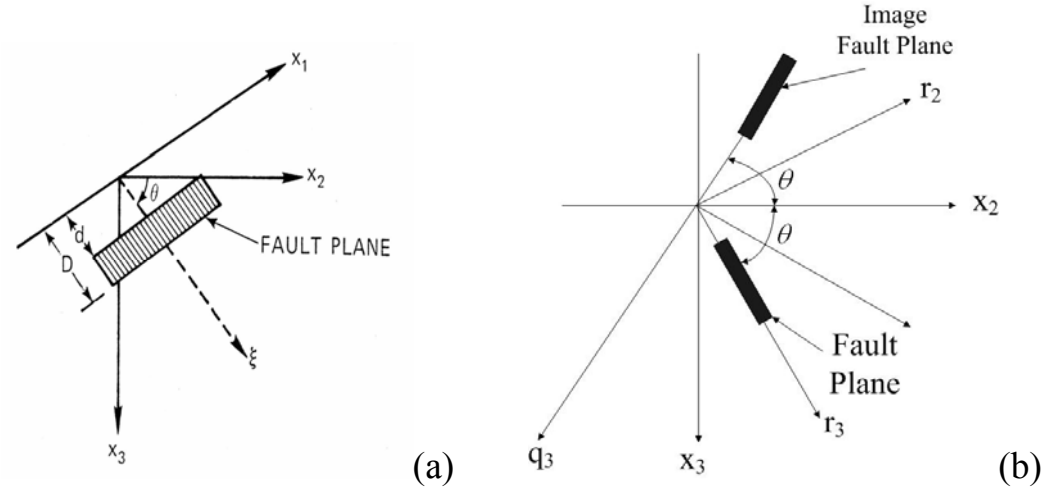


圖 5.15 (a)斷層幾何形狀及座標系統(b)斷層及映像斷層座標系統

$$S=\left[(x_1-\xi_1)^2+(x_2-\xi_2)^2+\left(x_3+\xi_3{}^2\right)\right]^{1/2}$$
$$R=\left[(x_1-\xi_1)^2+(x_2-\xi_2)^2+\left(x_3-\xi_3{}^2\right)\right]^{1/2}$$

$$r_2=x_2\sin\theta-x_3\cos\theta,\qquad r_3=x_2\cos\theta+x_3\sin\theta$$
$$q_2=x_2\sin\theta+x_3\cos\theta,\qquad q_3=-x_2\cos\theta+x_3\sin\theta \quad \text{.....(5.37)}$$

其中，R 和 S 分別代表斷層面上的震源點(ξ_1，ξ_2，ξ_3)至地表(x_1，x_2，x_3)的距離，以及對映像斷層面上的震源點(ξ_1，ξ_2，ξ_3)至地表(x_1，x_2，x_3)的距離。r_2、r_3 及 q_2、q_3 分別代表斷層面及映像面的垂直及向下傾斜之座標，由此可將 R 和 S 以新座標表示為：

$$S=\left[(x_1-\xi_1)^2+h^2\right]^{1/2}=\left[k^2+(q_3+\xi)^2\right]^{1/2}$$
$$R=\left[(x_1-\xi_1)^2+r_2^2+(r_3-\xi)^2\right]^{1/2}$$
$$h=\left[q_2^2+(q_3+\xi)^2\right]^{1/2}$$
$$k=\left[(x_1-\xi_1)^2+q_2^2\right]^{1/2} \quad \text{.....(5.38)}$$

其中，h 是 S 在 $x_1=0$ 平面即地表切平面上的投影，而 k 是在 $q_3=0$ 平面上的投影。最後經過座標轉換後，計算出斷層傾向滑距及走向滑距在地面上產生的垂直位移分量如下：

走向滑距(strike-slip displacement)在 x_3 方向之位移量為：

$$\frac{12\pi}{U_1}u_3=\cos\delta\left(a_1+b_1a_2-b_2a_4\right)+\frac{b_3}{R}+2\sin\delta\frac{b_4}{S}$$
$$-\frac{b_5}{R\exp(a_1)}+\frac{b_7-b_8}{S\exp(a_2)}+\frac{b_{10}b_{11}}{S^3}-\frac{b_{12}b_{13}}{b_{14}} \quad \text{.....(5.39)}$$

傾向滑距(dip-slip displacement)在 x_3 方向之位移量則為：

$$\frac{12\pi}{U}u_3 = \sin\delta\,(x_2-\xi_2)\left[\frac{2\,(x_3-\xi_3)}{R\exp(a_5)}+\frac{4\,(x_3-\xi_3)}{S\exp(a_6)}-4\,\xi_3\,x_3\,(x_3+\xi_3)\frac{S+\exp(a_6)}{S^3(\exp(a_6))^2}\right]$$
$$-3\sin\delta\left[2\tan^{-1}\left[\frac{(x_1-\xi_1)(x_2-\xi_2)}{(h+x_3+\xi_3)(S+h)}\right]-\tan^{-1}\left[\frac{(x_1-\xi_1)(r_3-\xi)}{r_2\,R}\right]\right]$$
$$-6\sin\delta\tan^{-1}\left[\frac{(x_1-\xi_1)(q_3+\xi)}{q_2\,S}\right]+\cos\delta\left[a_5-\mathrm{a}_6-\frac{2\,(x_3-\xi_3)^2}{R\exp(a_5)}\right]$$
$$-4\cos\delta\left[\frac{x_3^2+x_3\,\xi_3+\xi_3^2}{S\exp(a_6)}+\xi_3\,x_3\,(x_3+\xi_3)^2\,\frac{S+\exp(a_6)}{S^3(\exp(a_6))^2}\right]$$
$$+3\,x_3\sin 2\delta\left[\frac{2\,(q_3+\xi)}{S\exp(a_6)}+\frac{(x_1-\xi_1)}{S\exp(a_2)}+\frac{q_2\cos 2\,\delta}{S\exp(a_6)}\right]\quad。$$

.....(5.40)

一但初始水位 H_s 為已知，就可利用事先完成之互逆格林函數及(5.16)式得到與傳統海嘯模式相符之水位變化。故互逆格林函數可以在海嘯發生初期時即可獲得該點之時序列資料，可以得知最大波及到達時間；同時(5.16)式經與海嘯模式相互驗證下，可發現兩者甚為符合，如圖 5.16 所示。

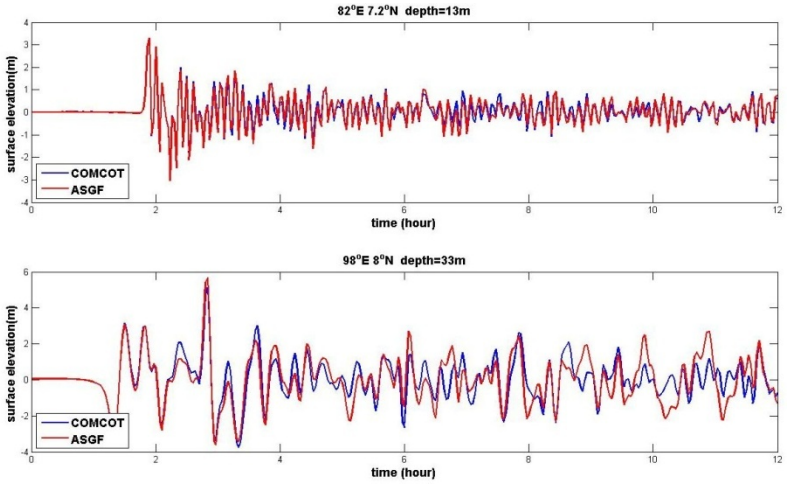


圖 5.16 互逆格林函數與傳統海嘯模式之水位變化驗證

5.2.5 系統介面說明

本操作系統是由 Matlab 軟體所建構而成，該軟體提供了方便之數學運算指令及圖形繪製，更提供了內建之操作者介面設定程序；使用者本身不須安裝 Matlab 軟體，僅須下載編譯器等基本套件即可於個人電腦上執行查詢作業。本計畫利用 Matlab 內建的介面設計模組 GUIDE (Graphic User Interface Design Environment)，提供使用者一個設計「圖

形使用者介面」（Graphical User Interface，GUI）的程式設計環境，建立近域之海嘯預警系統。它可以產生每一個控制物件的標準反應函式，使用者只要填入所需的指令或敘述。並利用滑鼠快速地拖曳出所需的介面物件及其大小；類似 VB 的物件導向概念。其基本建立程序如下：

(1) 如圖 5.17 所示。在 Matlab 的命令視窗鍵入'guide'便可啟動，GUIDE 設計模組並選擇起始介面的面板。

(2) 利用左列的物件選單將所需子面板及物件拖曳到面板並進行排版，在介面主程式內撰寫特定物件的介面互動程式。如圖 5.18 所示。

(3) 上圖為編譯完成後的執行畫面，於左上方的面板輸入相關斷層參數(斷層長度、寬度、滑移量等)。或是選擇直接輸入地震矩規模自動產生斷層經驗參數。

(4) 輸入完成後點選確定按鈕之後便會根據斷層參數計算起始波源，並於右上圖輸出波源的水位分佈。

(5) 起始波源設定完成後，在預報時間長度的面板(左中)選擇水位預報時間。

(6) 最後於左下角面板選擇預報地點進行水位預報。如圖 5.19 所示。

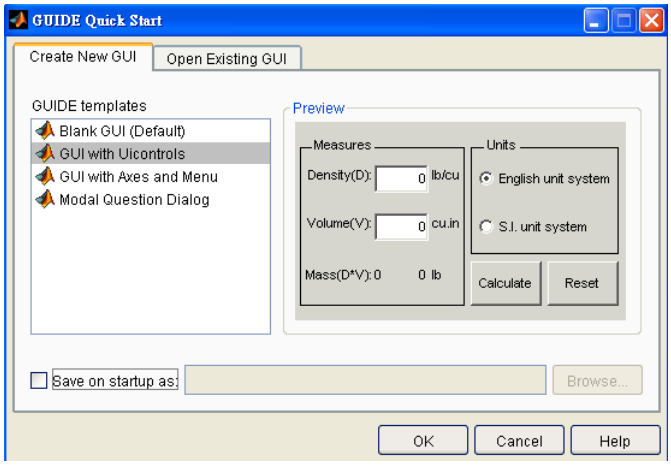


圖 5.17 GUI 程式設計環境

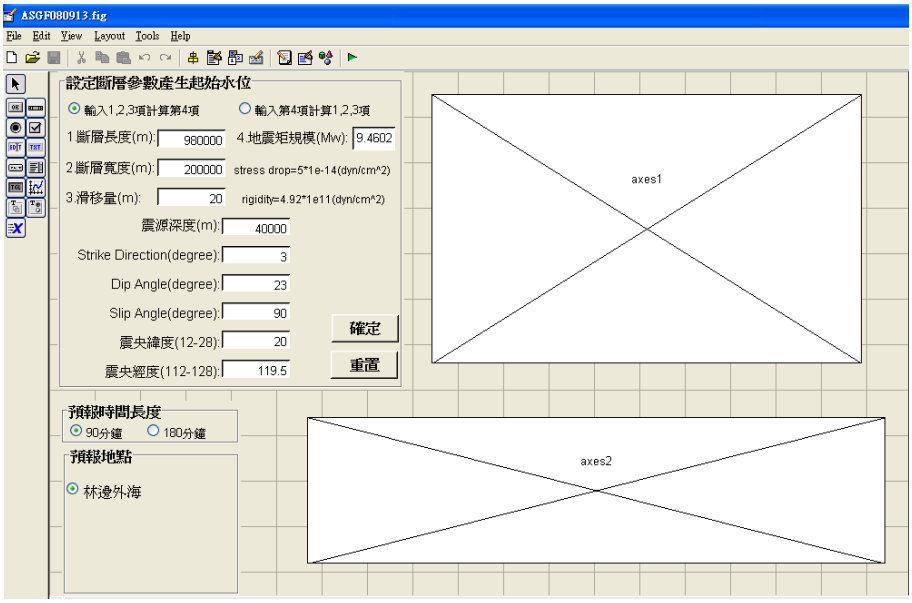


圖 5.18 視窗化操作系統之建立與排版

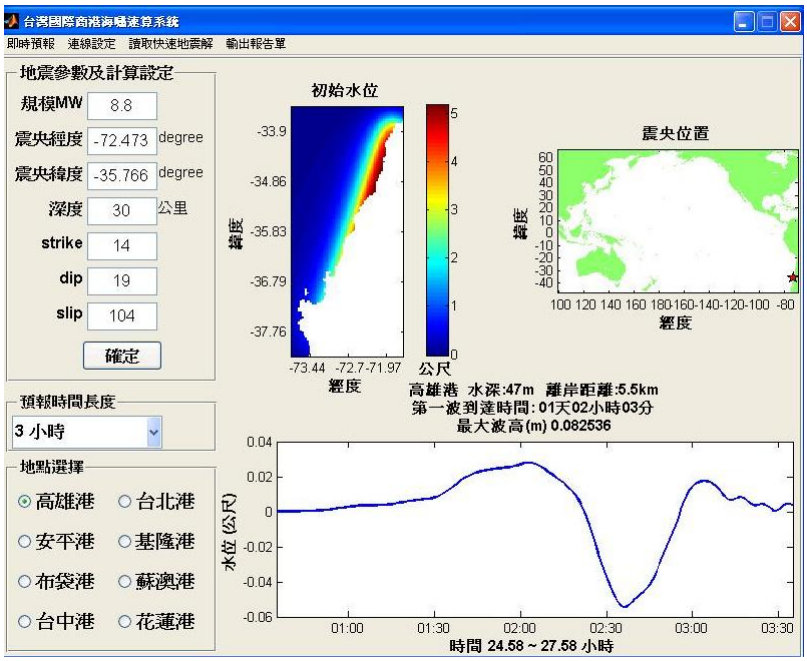


圖 5.19 視窗化介面之編譯完成圖

本系統之參數輸入方式是直接輸入地震矩規模，反算斷層長度、寬度及滑移量。就地震警報而言，得知地震矩規模較為容易也較為一般人所接受；斷層長度等資料由於海底斷層探測比較不易，故斷層尺度之換算通常也經由經驗公式得出，其他之斷層參數(例如走向等)可參考 HarvardCMT 等網站得知。

海嘯成因眾多，本系統目前僅適用於因海底地震所產生之海嘯；在計算效率方面，以恆春地震為例，若不考慮近岸波浪非線性之模擬，則使用傳統海嘯數值模式進行全區域模擬且進行後續資料處理則約需 1~2 天；使用本系統計算相同案例，由於已事先完成資料庫運算及建置，故僅需於地震發生初期得知海嘯初始水位即可進行運算以及圖形畫輸出，僅需數秒到數分鐘即可完成計算作業。要特別強調的是，本系統斷層參數並非由系統自動計算張量解，而是利用網路擷取；因此，取得斷層參數之時效仍然取決於美國 USGS 及其他擷取來源。

5.3 模式精進及實例探討

5.3.1 海嘯波高資料庫儲存方式及空間需求之精進

本計畫已完成互逆格林函數之海嘯波高資料庫涵蓋範圍擴展至太平洋海盆地區。由於計算範圍涵蓋整個環太平洋地震帶且時間長度甚長，即使以較具效率之 nc 檔格式進行儲存，也需要數百 GB(Gigabyte)，故單港所需之硬碟空間甚大，對儲存空間需求甚高，故有必要進一步改良其儲存方式，同時也可進一步提升計算效率。

目前海嘯波高資料庫中有相當多零值之數值資料，以時間上來說則包含第一波到達時間之前以及預報時間之後，如圖 5.20 所示；以空間上來說，陸地及陸地上未流通之水域(例如湖)則是不必要之資料，如圖 5.21(a)所示。這些零值資料是造成資料庫龐大的原因。因此對於單一預報點而言，第一波到達時間之前之資料可省略不予儲存，待確定第一到達時間時即予用零補齊即可；因此，利用等值線之觀念可以得知每一預報點之第一波到達時間，這稱之為「時間索引」；當預報點之格林函數出現不為零時即定義到達時間。這種資料儲存概念可有效降低時間長度之資料儲存量，僅為原先容量之 1/4。

另一方面，非水域之空間點位也是會佔據大量之儲存空間，因此，本計劃將陸域之點位自資料庫中除去，可再降低約 10GB(Gigabyte)之容量；故時間及空間均作儲存方式及點位精進後，約可減少 80%之儲存空間，同時也提高約 30%之計算速率。以高雄港為例，可由原

124GB(Gigabyte)降為 26GB(Gigabyte)，其水位時序列變化(圖 5.21(b))是一致的，故可說明本法之可行性，並可大幅度降低儲存空間之需求。減少了海嘯波高資料庫單筆檔案的容量大小，一方面資料庫所需硬碟空間減少，另一方面系統在讀取資料庫時能夠更加快速讀取完成用以後續計算；精進後結果與精進前結果一致，使系統能更加便利及完善。

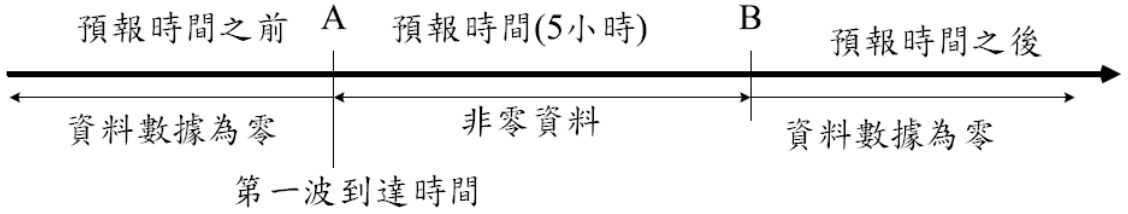


圖 5.20 單點格林函數數值資料在時間上之分布型態

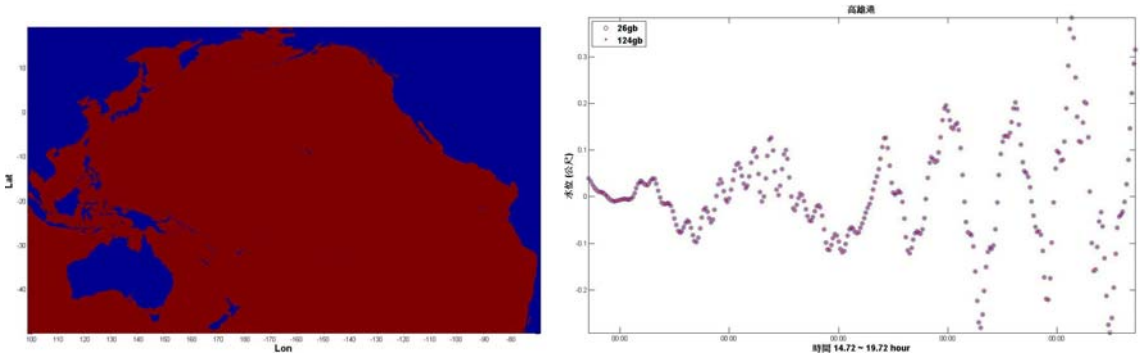


圖 5.21 (a)單點格林函數數值資料在空間上之分布型態(紅色部分為水域，藍色為陸域)(b)高雄港格林函數變更前後之水位變化驗證

5.3.2 臺中港域及布袋港域海嘯預警子系統

另一方面，臺中港及布袋港之海嘯模擬有助於防災應變措施之整體考量，使得防救災指揮作業時有明確之科學依據及模擬結果，在第一時間內利用簡單之系統提供具有可信度之資料是本期計畫之重點。

布袋國內商港位於嘉義縣布袋鎮以西濱海地區，面臨臺灣海峽，北及西北方有統仙洲、箔仔寮洲、外傘頂洲所構成之狹長砂洲，形成天然屏障，港口經緯度為北緯二十三度二十二分，東經一百二十度七分；北距臺中港約 50 海浬，南距安平港約 30 海浬、高雄港約 50 海浬，西距澎湖馬公港約 40 海浬、金門約 130 海浬。目前由高雄港務分公司代管，圖 5.22 為目前港區之平面圖。

臺中港位在臺灣西海岸的中央，距離北部的基隆港約 110 浬；南部的高雄港約 120 浬航程。是臺灣西部平直沙岸上，由國人自行設計、施工的國際港。南防波堤 1,397 公尺，北防波堤 2,818 公尺，港口為朝西北西方向，港區總面積為 3,793 公頃，其中水域面積有 973 公頃，陸地面積有 2,820 公頃。港口段主航道為寬度 350 公尺，水深低潮位下 16 公尺；港內南北向主航道，寬度 400 公尺，水深低潮位下 16 公尺。港區平面圖如圖 5.23 所示。臺中港及布袋港皆位於臺灣海峽中段，其水深約在 100 公尺左右，長波在此傳遞速度會變慢。

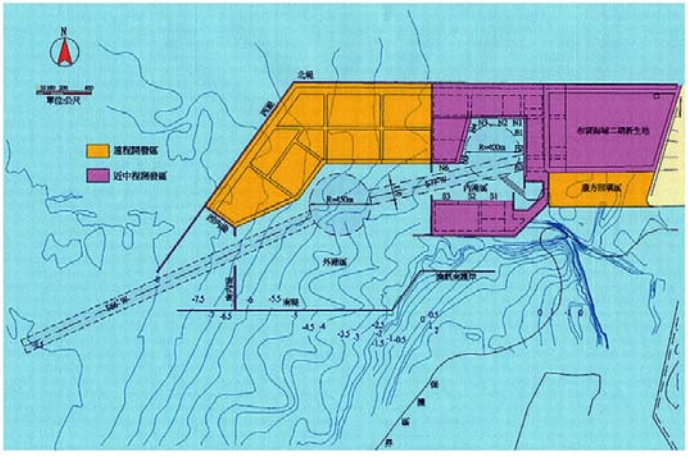


圖 5.22 布袋港區之平面圖

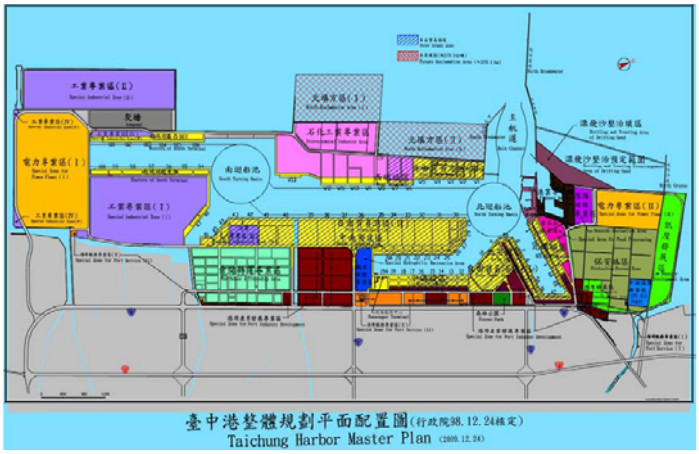
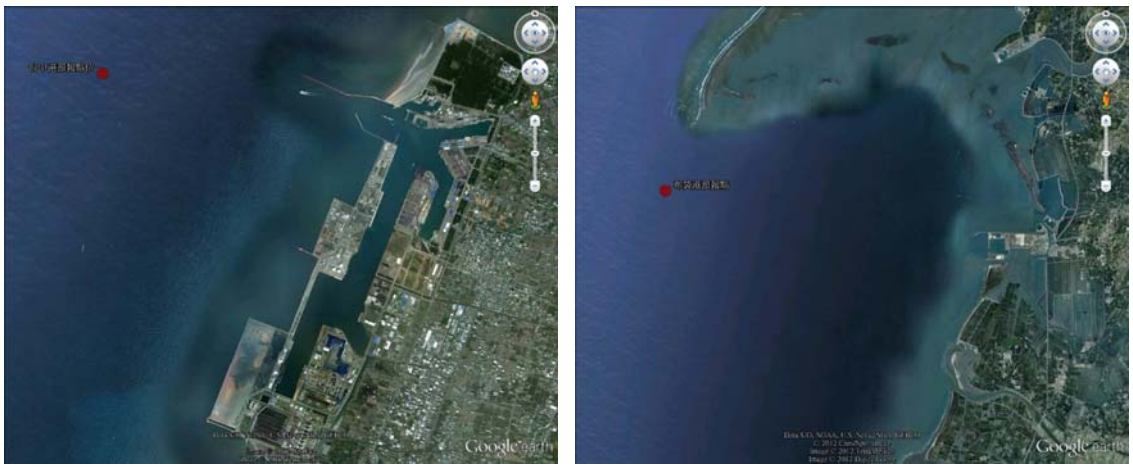


圖 5.23 臺中港區之平面圖(資料來源：臺中及高雄港務公司網頁)

互逆格林函數資料庫之建置，其預報點之位址需盡量滿足水深大於 50 公尺，但也不可離岸太遠；故實務上在配置預報點位時多盡可能接近岸邊，因此水深可能會較 50 公尺稍淺，但由於非線性效應並不強，故互逆格林函數仍然可以適用；臺中港之預報點位位於東經 120.43 度，北緯 24.3 度，水深 23 公尺，離岸約 7.5 公里；布袋港之預報點位位於東經 120 度，北緯 23.4 度，水深 27 公尺，離岸約 14 公里；如圖 5.24(a)(b)所示。



(a) (b)

圖 5.24 (a)臺中港(b)布袋港之預報點位

5.3.3 實例驗證—2010/02/27 智利海嘯事件之水位驗證

傳統之經驗模態分解法(EEMD)會產生混模(mode mixing)問題，即在同一個 IMF 裡會有不同尺度的訊號混雜，或者是同一尺度的訊號出現在不同的 IMF。產生混模的主要原因是部分訊號在整段時序資料中呈現斷斷續續的分布，而非連續性分布；加以海面水位變化的資訊常是非線性(nonlinear)與非穩態(nonstationary)，所以不適合傅立葉系列的分析方法，故本研究利用 EEMD 分析法。此方法能將原始訊號分解成多個本質模態函數(Intrinsic Mode Function，簡稱 IMF)。 EEMD 的基本作法就是把一組白噪序列(white noise series)加入目標訊號分解後可得到一組 IMF 分量，再將多組不同白噪序列分別加入目標訊號分解出各自的 IMF 分量組，分別將每個 IMF 分量組其相對應的 IMF 分量加總平均後求得一組 IMF 分量，此 IMF 組即為最終的結果。

本節將說明利用交通部港灣研究中心在基隆港外所佈放之 ADCP 系統所量測到 2010 年智利海嘯之水位變化，與本系統所計算之結果作為驗證。

臺灣時間 2010 年 2 月 27 日下午 2 點 34 分於智利發生芮氏規模 8.8 之大地震，夏威夷太平洋海嘯警報中心即針對智利與秘魯沿岸發布最高層級海嘯警報，另外環太平洋 53 個國家和地區，包括部分亞洲地沿岸區亦在警報範圍內。根據太平洋海嘯警報中心的紀錄智利沿海地區出現數十公分至 2 米多的海嘯高度，美國及墨西哥東海岸、夏威夷都觀測到數十公分的海嘯高度。而日本氣象廳的沿岸觀測紀錄有 1 米多的海嘯高度。

交通部港灣技術研究中心在基隆港東防波堤外水深 44m 處設置的剖面海流表面波浪與潮汐之監測系統(Acoustic Wave and Current Profile system，簡稱 AWCP 系統)，設置地點如圖 5.25 所示。儀器設定的觀測頻率為 1Hz，紀錄每小時的第 10 至第 44 分鐘觀測水位及水分子運動速度。根據中央氣象局預測，海嘯波從智利外海約需經過 26 小時後抵達基隆，其時間為 2010 年 2 月 28 日下午四點多。故此研究取 2010 年 2 月 28 日的水位資料(圖 5.26)來進行驗證海嘯的水位高度。



圖 5.25 本中心基隆港觀測站儀器安裝位置

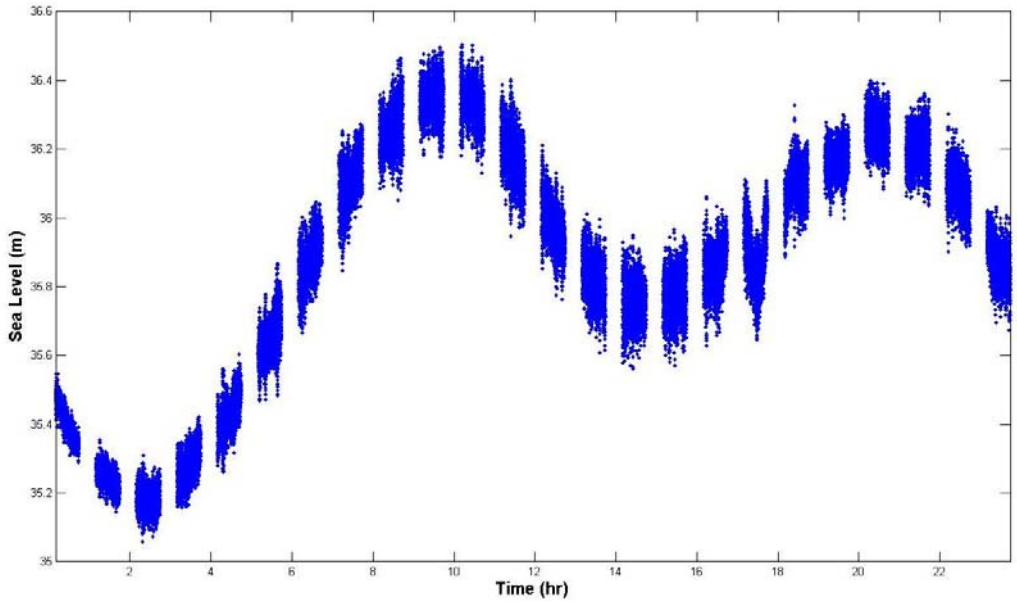


圖 5.26 測站之實測水位

海嘯波自太平洋傳至臺灣時，基隆港是由波谷先至；由水位資料(圖 5.27)大略可看出第一波海嘯較明顯的波谷到達時間在 2010 年 2 月 28 日的下午 5~6 點之間，故取下午 5 點 10~44 分之水位來分析海嘯水位。由於海嘯波及潮汐同屬於長週期波，若考慮海嘯的周期大於資料觀測的時間長度 34 分鐘，則 EEMD 分解水位所得的海嘯分量容易和長周期的潮汐分量的訊號一起被分到餘訊(residual signal)，故有必要先濾除潮汐訊號。

由圖 5.27 可知下午 3~7 點大致處於漲潮時期，為避開海嘯的影響，在此僅用下午 3 點 10~ 44 分和下午 6 點 10~44 分兩個時段的水位資料求取線性迴歸參數，藉以計算潮位(圖 5.27 之藍線)。將 5 點 10~44 分時段之水位扣除潮位後可得到濾潮後之水位(圖 5.28)，以該水位進行 EEMD 分析，此時的餘訊便可代表海嘯的訊號。

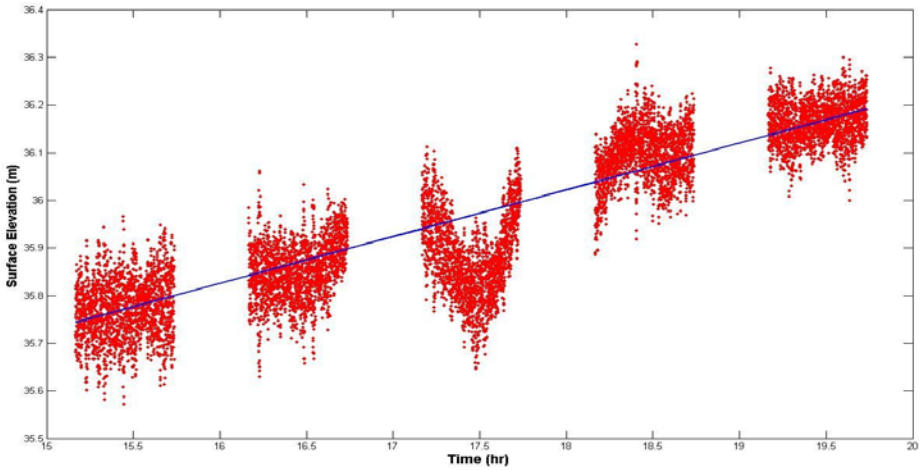


圖 5.27 分析用之實測水位資料

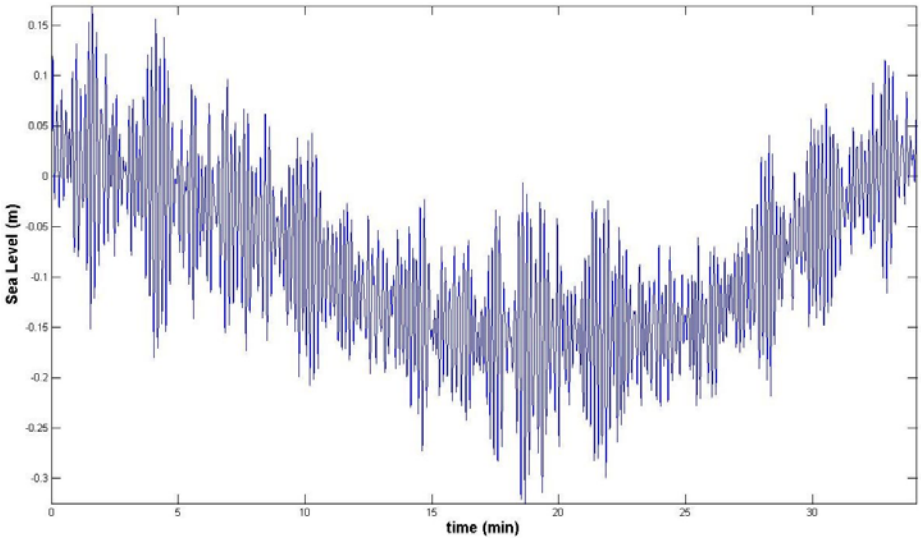


圖 5.28 經過濾潮汐後之水位

將濾潮後的水位經過 EEMD 分析的結果得到 8 個 IMF 分量和 1 個餘訊(C6、C7)，如圖 5.29 及圖 5.30 所示。由於海嘯屬於長周期的波動，故較高頻的 6 個 IMF 分量(C1 到 C6)應非海嘯的影響。另外低頻的兩個 IMF 分量 C7 和 C8，其周期約 20 分鐘，由於相位相近基本上可視為同一分量，兩者加乘的水位波高 2.8 公分，波谷 4.3 公分。與 C7、C8 相較起來，餘訊對水位的影響較大，其水位最大值 5 公分，最小值約 13.5 公分，基本上可視為海嘯造成的水位。

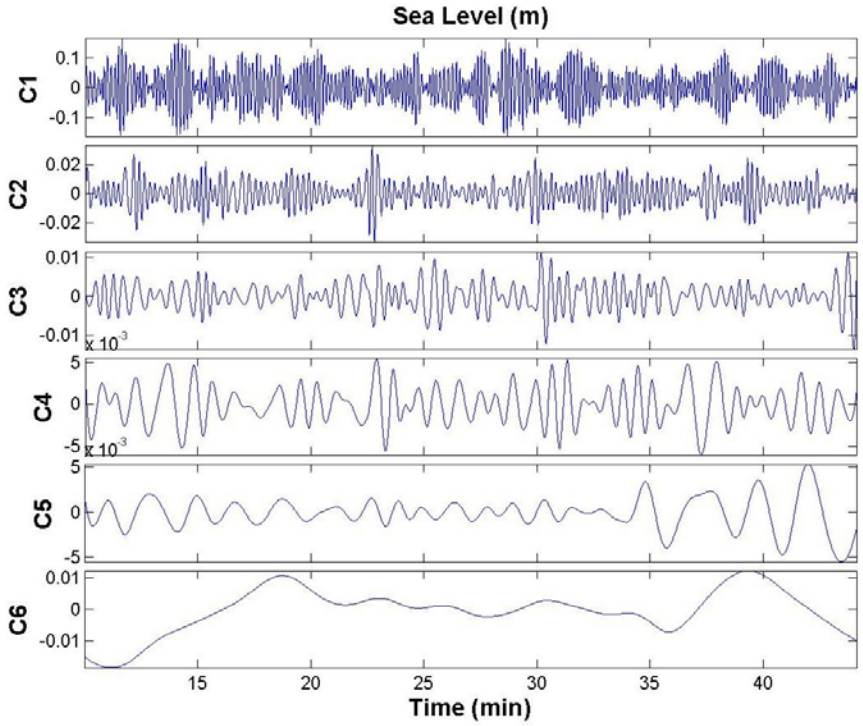


圖 5.29 由 EEMD 分解出較高頻的 IMF 分量(C1 至 C6)

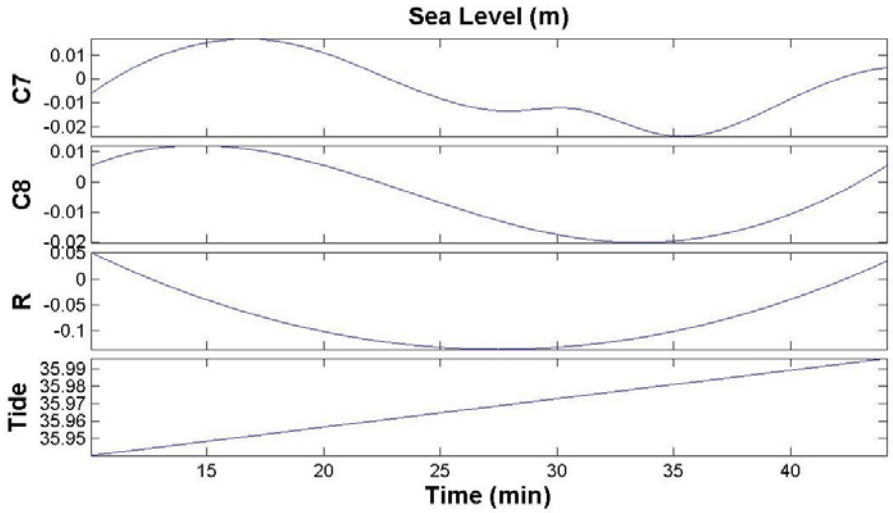


圖 5.30 由 EEMD 分解出較低頻的 IMF 分量、餘訊 R 及潮位

本文利用海嘯預報系統產生的海嘯發生後水位與之前 EEMD 所分解的海嘯水位作比較。根據美國國家地震資訊中心發布最初發布的 FMT 解(表 5-6)，輸入地震參數後，選擇預報時間長度為 5 小時(2010/2/28 13:34 至 18:34)，預報地點為基隆港。輸入結果如圖 5.31，結果顯示海嘯第一波的波峰為 7.1 公分，波谷為 14.2 公分，取下午 5 點 10~44 分的預報系統水位與 EEMD 的海嘯餘訊，以及下午 5 點 1~35 分的水位作比較(圖 5.32)，能清楚的了解波谷之水位相近，而預報時間比實際波谷到達時間先到 9 分鐘。

表 5-6 美國國家地震資訊中心發布最初發布之智利地震 FMT 解

USGS Centroid Moment Tensor Solution
10/02/27 06:34:09.75
BIO-BIO, CHILE
Epicenter: -35.988 -72.782
MW 8.6

USGS CENTROID MOMENT TENSOR
10/02/27 06:35:27.29
Centroid: -35.757 -72.389
Depth 36 No. of sta:189
Moment Tensor; Scale 10**21 Nm
Mrr= 7.40 Mtt=-0.53
Mpp=-6.87 Mrt= 0.06
Mrp=-5.95 Mtp=-0.76
Principal axes:
T Val= 9.57 Plg=69 Azm= 84
N -0.48 3 183
P -9.08 19 274

Best Double Couple:Mo=9.3*10**21
NP1:Strike= 11 Dip=25 Slip= 98
NP2: 182 65 86

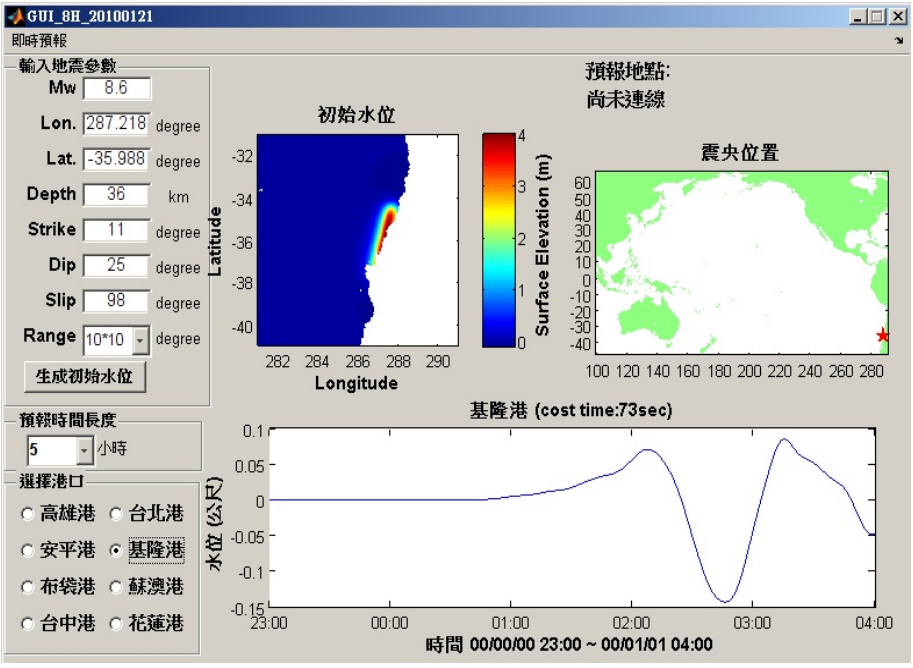
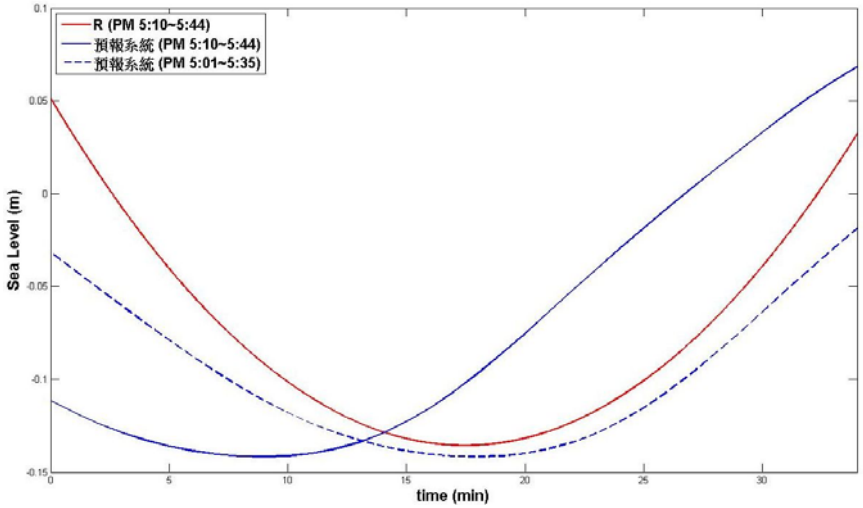


圖 5.31 預報系統預測智利海嘯(Mw=8.6)於基隆港之預報結果



(藍實線：下午 5 點 10~44 分預報系統計算結果；紅實線：EEMD 的海嘯餘訊；藍虛線：及下午 5 點 1~35 分預報系統計算結果)

圖 5.32 預報系統計算結果(Mw=8.6)與實測資料之比較圖。

美國國家地震資訊中心事後將智利地震規模由 8.6 重新上修成 8.8，在此將修正後的 FMT 解(表 5-7)同樣帶入作計算(輸入如圖 5.33 所示)，結果顯示海嘯第一波的波峰由 7.1 公分增為 12.4 公分，波谷由 14.2 公分增為 27 公分，另外與下午 5 點 10~44 分海嘯餘訊水位的比較(圖 5.34)可看出波高相差 13 公分，而預報系統比海嘯餘訊的波谷到達時間先到 11 分鐘。

表 5-7 美國國家地震資訊中心修正的智利地震 FMT 解

```
10/02/27 06:34:08.34
 OFFSHORE BIO-BIO, CHILE
 Epicenter: -36.027  -72.834
 MW 8.8

 USGS CENTROID MOMENT TENSOR
 10/02/27 06:35:27.50
 Centroid:  -35.766  -72.473
 Depth  30          No. of sta:187
 Moment Tensor;   Scale 10**22 Nm
   Mrr= 1.13        Mtt=-0.06
   Mpp=-1.07        Mrt= 0.09
   Mrp=-1.43        Mtp=-0.12
  Principal axes:
   T  Val=  1.84  Plg=63  Azm= 80
   N       -0.06       4      180
   P       -1.78      26     |272

 Best Double Couple:Mo=1.8*10**22
  NP1:Strike= 14 Dip=19 Slip= 104
  NP2:       179     71        85
```

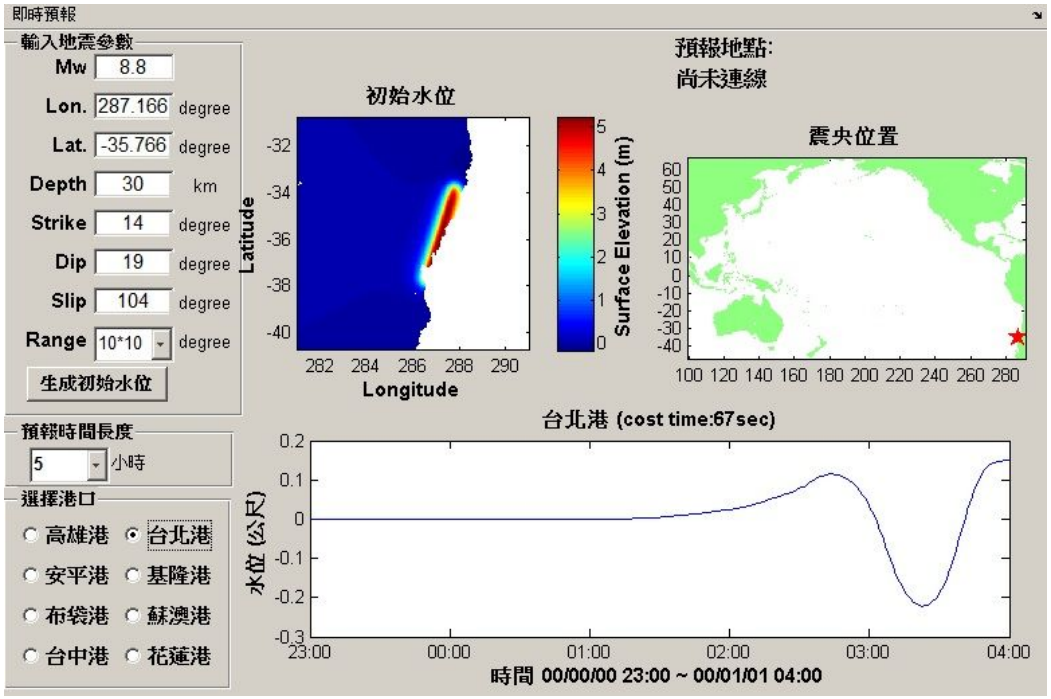
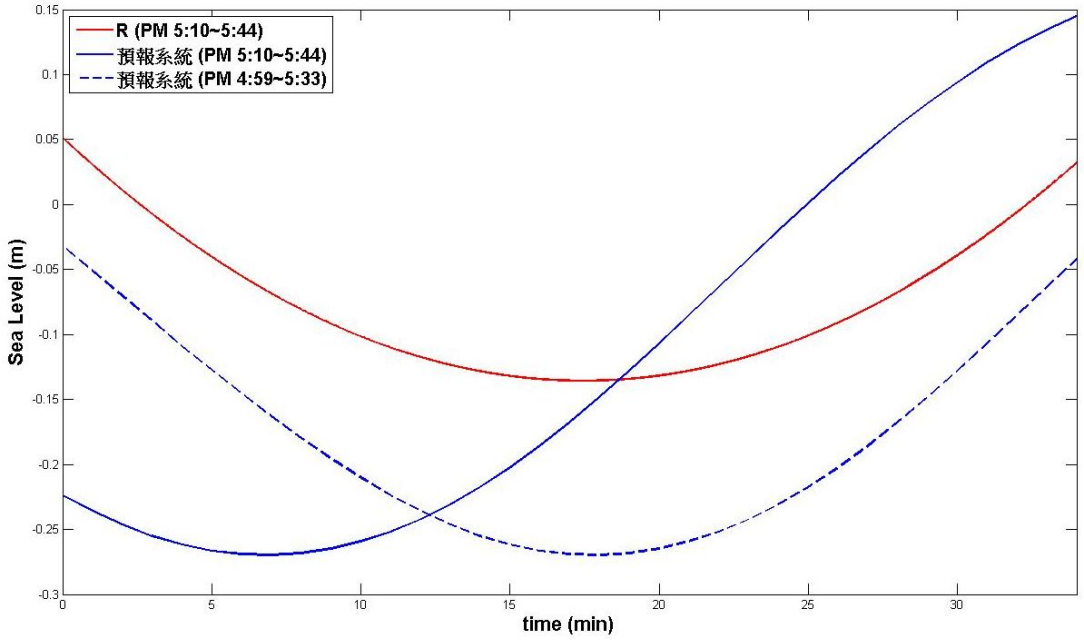


圖 5.33 預報系統預測智利海嘯(Mw=8.8)於基隆港之預報結果



(藍實線：下午 5 點 10~44 分預報系統計算結果；紅實線：EEMD 的海嘯餘訊；藍虛線：及下午 5 點 1~35 分預報系統計算結果)

圖 5.34 預報系統計算結果(Mw=8.8)與實測資料之比較圖。

圖 5.34 中，可看出系統預測之水位較實測水位為高；而與圖 5.32 之結果比較下，顯然地震矩規模 8.6 之結果較為接近實測值；這是因為海嘯初始水位與地震矩規模成正相關，故在地震矩規模 8.8 時系統計算出之海嘯水位會較大。在防災角度而言，預測之水位高於實測水位，其結果雖偏向於保守，但也增加了安全性。

5.3.4 海嘯速報系統之驗證--2011/03/11 東日本海嘯事件

臺灣時間 2011 年 3 月 11 日下午 1 點 46 分於日本發生芮氏規模 9.0 之大地震，交通部港灣研究中心以本系統提供災防中心海嘯在臺灣各大港口的水位變化，得到相當好的結果。本節利用交通部港灣研究中心提供臺北港 2011 年日本海嘯之水位變化，與本系統所計算之結果比較驗證。

日本氣象廳針對 311 東日本地震地震波等相關資料進行詳細分析後，發現這次地震的震央區域長達 500 公里，寬度約有 200 公里，地震斷層的破壞持續 5 分鐘以上。此地震造成數公尺高的巨浪，將沿岸許多房屋、汽車，夾雜大量碎片和土石沖進內陸數公里。至少 20 國政府和許多太平洋島嶼都發布海嘯警報。受海嘯威脅的國家和地區擴及俄羅斯、印尼、中南美洲國家如瓜地馬拉、薩爾瓦多和哥斯大黎加，以及美國領土夏威夷。

本文使用的海嘯速報系統(圖 5.35)基本運作分為地震引起初始波源生成與互逆格林函數計算預報水位兩部分。前者利用美國國家地震資訊中心(USGS)的 FMT 解代入 Mansinha and Smylie(1971)提出的彈性半空間錯移模型(elastic half-space dislocation model)，此斷層模式主要是計算走向滑距及傾向滑距在垂直地表方向的分量，即垂直位移的總量，藉以獲得地震引發的海嘯初始水位。使用 USGS 最新地震解帶入海嘯模擬預報系統中得到臺北港水位變化結果，與使用 EEMD 法濾潮後臺北港觀測水位資料比較，如圖 5.36(a)(b)。

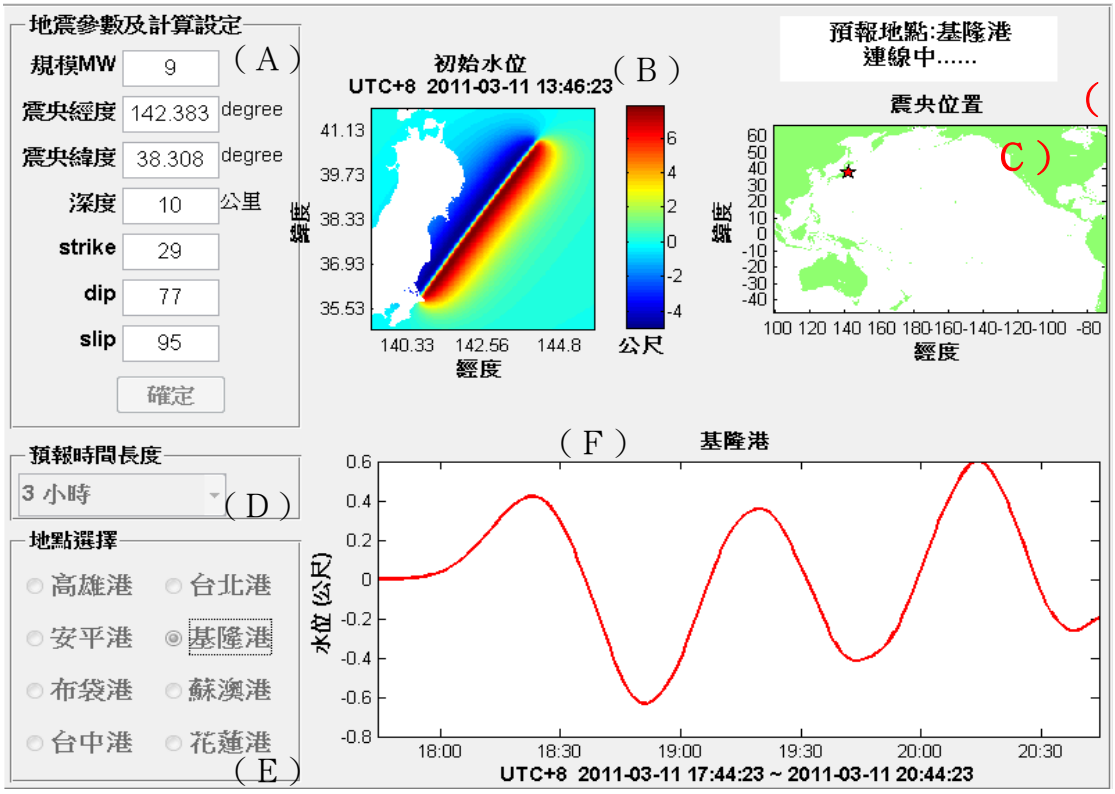


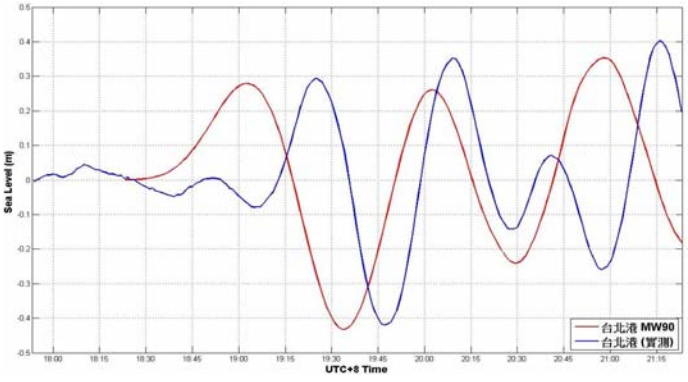
圖 5.35 海嘯速報系統之介面

```
Epicenter:   38.308   142.383
MW 9.0

USGS CENTROID MOMENT TENSOR
11/03/11 05:47:47.20
Centroid:   38.486   142.597
Depth   10          No. of sta: 151
Moment Tensor;    Scale 10**22 Nm
  Mrr= 2.03         Mtt=-0.16
  Mpp=-1.87         Mrt= 2.06
  Mrp= 3.49         Mtp=-0.60
 Principal axes:
  T  Val=   4.57  Plg=58  Azm=306
  N        -0.05       5       208
  P        -4.52      32       115

Best Double Couple:Mo=4.5*10**22
 NP1:Strike= 29 Dip=77 Slip=  95
 NP2:        187     14        68
```

(a)



(b)

圖 5.36 (a)USGS 日本 311 宮城海嘯參數(b)臺北港系統模擬水位(紅線)與濾潮後的實測水位(藍線)比較

此系統計算水位時間約數秒鐘到數分鐘，模擬結果臺北港部分波高大約一致，到達時間約提前十幾分鐘。系統為求快速預報，計算格林函數使用線性淺水方程，地形使用 2 分解析度的數值地形，及簡單的初始水位產生方式，都是產生誤差的可能原因，但其結果在運算速度與預報功能上應符合實際需求。

此次東日本大震災地震引發海嘯襲擊日本東北地區南部(宮城、仙台、千葉、福島一帶)；地震發生後一小時，美國地質調查所(USGS)公佈相關地震參數後，嘯速算系統計算出海嘯波到達臺灣各國際商港之抵達時間與水位變化，如圖 5.37 所示即為蘇澳港之抵達時間與水位變化。

速算系統計算出之水位變化與本所現場觀測結果之比較則如圖 5.38；圖中紅線為系統之預估值，藍線是現場實測資料利用 EEMD 法濾潮後後得出。其中速算系統計算出之抵達時間大致正確，基隆、花蓮、高雄、安平以及蘇澳之海嘯波形與現場觀測之波形相似，但有 15-20 分鐘的時間差。布袋港、臺中港及臺北港水位變化與現場觀測之波形相似度較差；由於三港皆位於臺灣海峽中間，此現象顯示臺灣海峽較淺的水深造成海嘯波變短，因此需要更準確的海底地形才能準確模擬。在海嘯高度的比較上，除臺灣海峽中間三港之波形相似度較差不予討論外，速算系統計算出之基隆港、花蓮港以及安平港水位變化較現場之海嘯高度大。反之，高雄港波高較現場觀測之波高小。

之後，美國地質調查所上修地震矩規模至 9.0 並及修正地震參數，速算系統計算所得之海嘯高度差異不大，波形也大同小異，如圖 5.39 為蘇澳港之例子。美國地質調查所在地震發生後一小時才公佈相關地震參數，之後又陸續修正，如上修地震矩規模至 9.0，震源深度也由 24km 修正為 20km，再修正為 10km。這些困難顯示地震參數並不易確定。

由(5.16)式可以知道系統預測水位之準確性與正確的地震參數及水深地形解析度有關。所以驗證時所發生之誤差之檢討作業也必須從這兩點著手，但實務上這兩點並不容易做到。以預報之觀點及東日本海嘯事件案例而言，氣象局能提供近域地震的參數，惟其正確性與對

時效之掌握都必須十分可靠。而目前除了美國地質調查所外，並無早期遠域地震參數之可靠來源；另一方面，本研究所使用之初始水位驅動模式是假設斷層是均勻錯動，而據日本學者研究顯示東日本海嘯之斷層運動式較為不均勻之錯動，錯動之模式及參數之正確性都會影響初始水位之準確度。而使用測站水位藉由水動力模式及逆推程序反算真實初始水位之具體方式及程序，目前仍在發展中。

由於臺灣海峽中段較淺，海嘯波自臺灣海峽北端進入時，模擬顯示其前導波之波長約為 1.2 度長，海嘯波高資料庫之水深地形解析度為 2min，故地形解析度/海嘯波長約為 1/36；雖然比值稍大，但仍具一定的影響量。目前水深地形資料來源及解析度十分有限，日後若能提出更為精細之斷層驅動模式藉以提高海嘯初始波形之準確性以及獲得高解析度之海底地形，應有助於提高實測之準確度。

海嘯波高的預測常有誤差。有的強震造成了海嘯，但波高卻又甚小，使原先發佈的警報成了假警報(false alarm)。例如 2010 年智利 8.8 強震後，太平洋沿岸國家，從夏威夷到紐西蘭、日本，接連發佈海嘯警報，各國忙著疏散民眾，沒想到成了假警報。久而久之，民眾戒心降低，因為以前的經驗，反而認為是假警報，或是認定自己居住的縣市不會有海嘯；倘若真有大海嘯來襲，生命損失更大。所以政府提供的資料越詳細，越能減少假警報的發生。如果大大小小的海嘯都一視同仁，民眾無法判斷，反而把所有警報都當作是假警報。

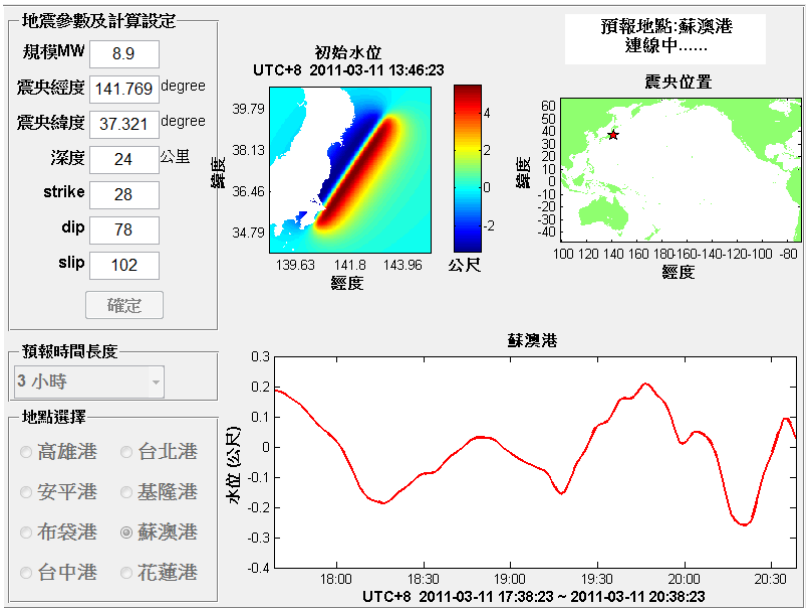
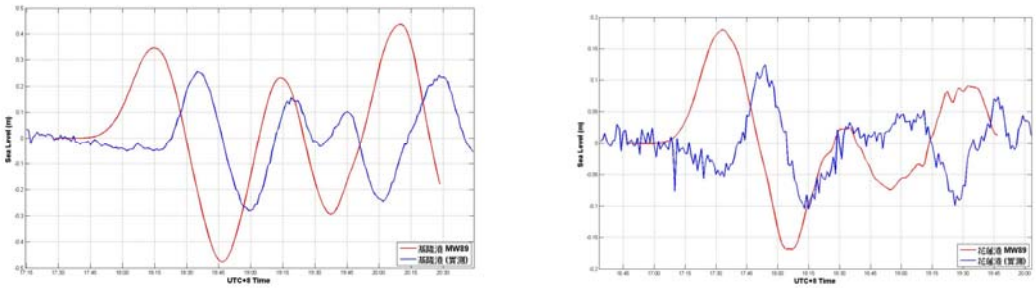
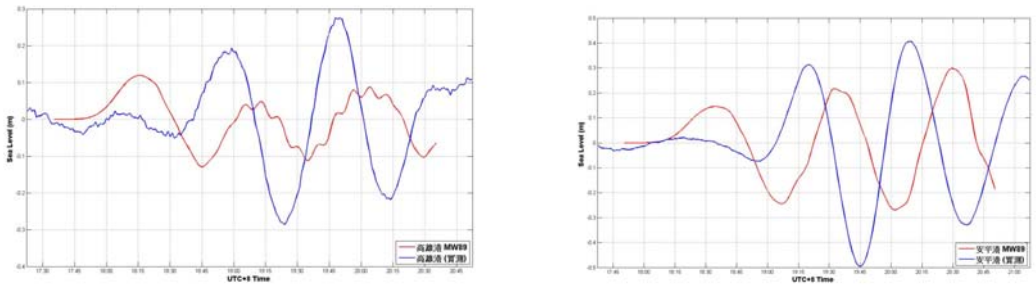


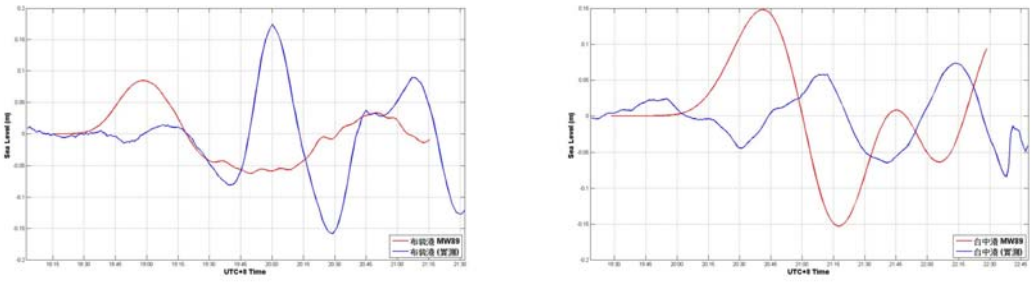
圖 5.37 以速算系統及新公佈之 0311 東日本海嘯之地震參數計算蘇澳港之海嘯波到達時間及水位時序分佈



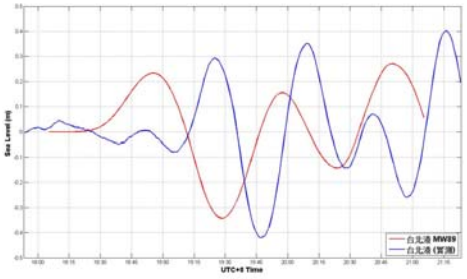
(a) (b)



(c) (d)



(e) (f)



(g)

(a)基隆港(b)花蓮港(c)高雄港(d)安平港(e)布袋港(f)臺中港及(g)臺北港水位時序分佈與實測資料比較(0311 東日本海 嘯事件)

圖 5.38 以速算系統及地震發生後 1 小時美國地質調查所公佈之地震參數計算

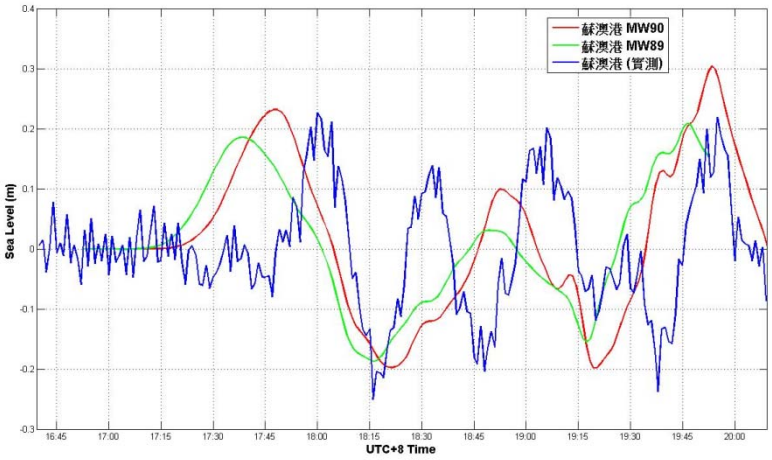


圖 5.39 以速算系統根據美國地質調查所公佈之地震參數(地震矩規模 Mw8.9)及新公佈之地震參數(地震矩規模 Mw9.0)計算蘇澳港水位時序分佈與實測資料比較(0311 東日本海嘯事件)

5.4 系統作業化之運作情形

本系統目前於本所港灣技術研究中心及中山大學均已架設完成，並提供即時運算，除定期軟硬體維護及更新外，其他時間均保持 24 小時全天候作業狀態；並設定地震矩規模之下限值，高於此一下限值之地震發生時，即時擷取環太平洋地震區之地震訊息進行後續計算作業，並將書面預估資料依程序送達相關單位做後續災情研判及應變做為之參考；依東日本海嘯事件之測試，單一預報點可在獲知地震參數後 1-2 分鐘之內得到初步之水位歷時變化。

本系統除了進行上述之精進措施外，為使該系統適合一般民眾使用及查詢，系統業已併入本所港灣技術研究中心之港灣環境資訊網並進行全自動化作業；港灣環境資訊網為一網頁版，可供查詢項目甚多，[海嘯模擬資訊]為其中一項查詢項目；該功能主要有三選擇可供選擇，分別為[近期海嘯查詢]、[歷史海嘯查詢]及[海嘯系統簡介]，如圖 5.40 所列。

[近期海嘯查詢]之功能為自動化擷取地震資訊後，隨即計算各港口之最大水位及到達時間，並於介面中顯示相關資訊(震央位址及地震參數資料)；右邊為與 Google-Earth 之整合(如圖 5.41)，使用者在所查詢之港口點兩下之後，隨即可顯示該港口可能之最大波高及到達時間(如圖 5.42)；若欲知更進一步之水位歷時變化，使用者可於[觀看水位歷線圖]點取後，會自動展示系統之預估結果(如圖 5.43)。目前該系統所呈現之資料為 2012 年 8 月 31 日晚間之菲律賓疑似海嘯事件。在此要特別說明的是:

(1) 為避免過多不具威脅性之海嘯預報，海嘯訊息發佈條件設定為當波高大於等於 0.1 公尺或地震矩規模大於等於 7.0。

(2) 由於斷層參數一般會有兩組解，至於海嘯是由哪一組解所造成的並無法在第一時間進行確認；因此，系統會展示由分別由兩組解所推估之水位。

(3) 本系統每日定時擷取海嘯資訊，且依資料達到海嘯發佈條件時，於網頁呈現其海嘯相關訊息。

[歷史海嘯查詢]之功能為展示近期較具規模之海嘯事件預估結果，在介面上方可選擇查詢較大之海嘯事件及測站名稱；選擇完畢之後，介面會顯示海嘯事件之資訊、震央位址及水位歷線圖(如圖 5.44)；水位歷線圖之下方會提供每分鐘一筆之水位紀錄(如圖 5.45)。

[海嘯系統簡介]之功能為以文字方式簡短說明本系統所使用之海嘯模式以供使用者參考。



圖 5.40 港灣環境資訊網之[海嘯模擬資訊]介面



圖 5.41 [近期海嘯查詢]之展示介面



圖 5.42 [近期海嘯查詢]之查詢結果展示

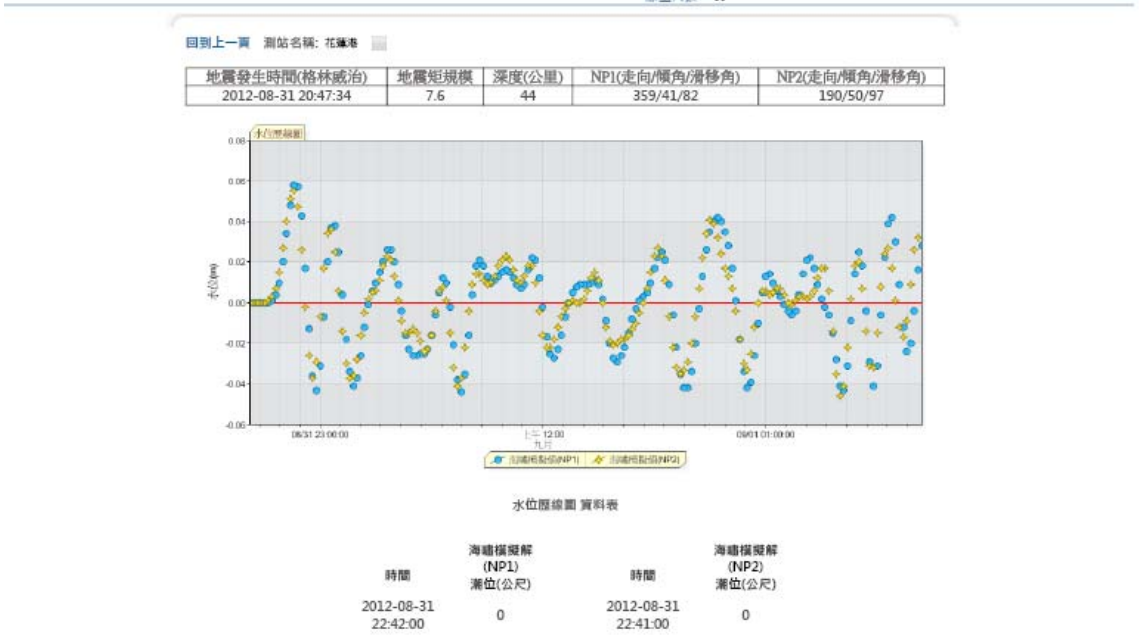


圖 5.43 水位歷線圖之展示介面

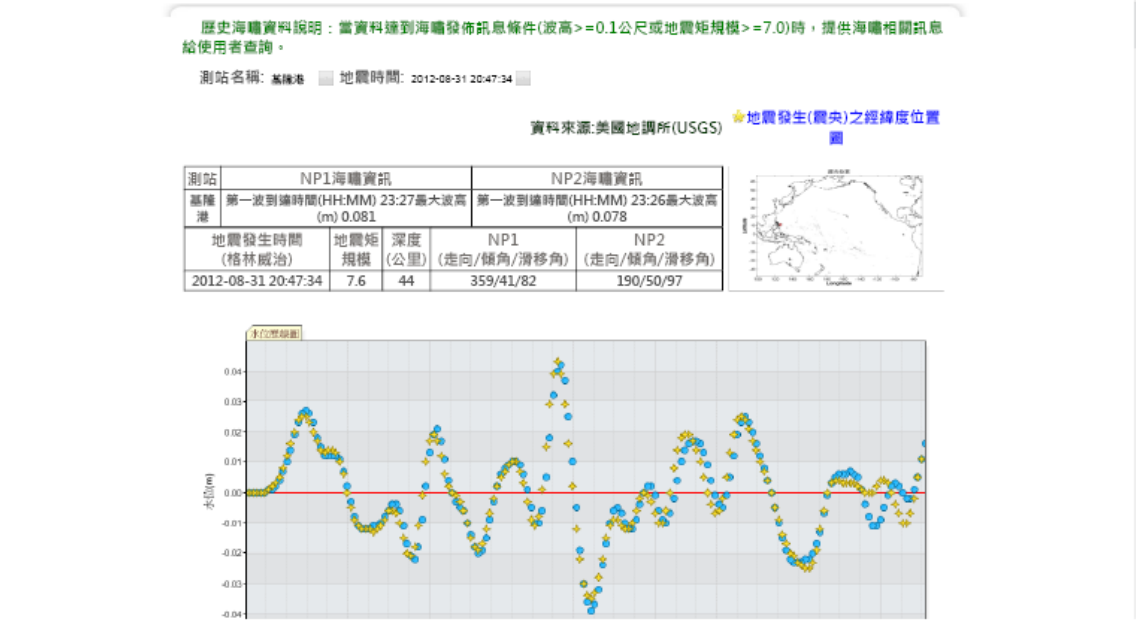


圖 5.44 [歷史海嘯查詢]之查詢結果

時間	海嘯模擬解(NP1)潮位(公尺)	時間	海嘯模擬解(NP2)潮位(公尺)
2012-08-31 23:12:00	0	2012-08-31 23:11:00	0
2012-08-31 23:13:00	0	2012-08-31 23:12:00	0
2012-08-31 23:14:00	0	2012-08-31 23:13:00	0
2012-08-31 23:15:00	0	2012-08-31 23:14:00	0
2012-08-31 23:16:00	0	2012-08-31 23:15:00	0
2012-08-31 23:17:00	0.001	2012-08-31 23:16:00	0
2012-08-31 23:18:00	0.001	2012-08-31 23:17:00	0.001
2012-08-31	0.002	2012-08-31	0.002

圖 5.45 水位歷線圖之文字資料

目前本系統採用全自動作業模式，可開啟即時預報選項後，進行海嘯預警作業；茲以在 8 月 31 日晚間於菲律賓外海發生地震矩規模 7.6 之海底地震作為實際案例。

臺北時間 2012 年 8 月 31 日晚間 8:47 於菲律賓東南方外海(東經 126.677 度，北緯 10.827 度)發生地震矩規模 7.6 之海底地震，深度為 50 公里，距離我國約 1400 公里；地震參數及震央位址分別見圖 5.46(a)(b)；系統於擷取 USGS 資料後進行高雄港、花蓮港及基隆港之最大波高及到達時間之預估，並輸出預估報告單至指定目錄中以方便查閱，各港之輸出結果如圖 5.47~圖 5.48；預估結果顯示雖然地震矩規模已達海嘯發生要因之標準，但由於震源深度過深、我國並非位處主要傳遞路徑之上，因此對三港並未造成任何威脅性。

USGS
science for a changing world

Earthquake Hazards Program

USGS WPhase Moment Solution

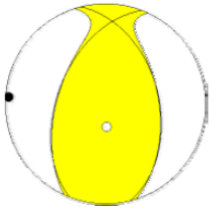
PHILIPPINE ISLANDS REGION

```
12/ 8/31 12:47:34.00

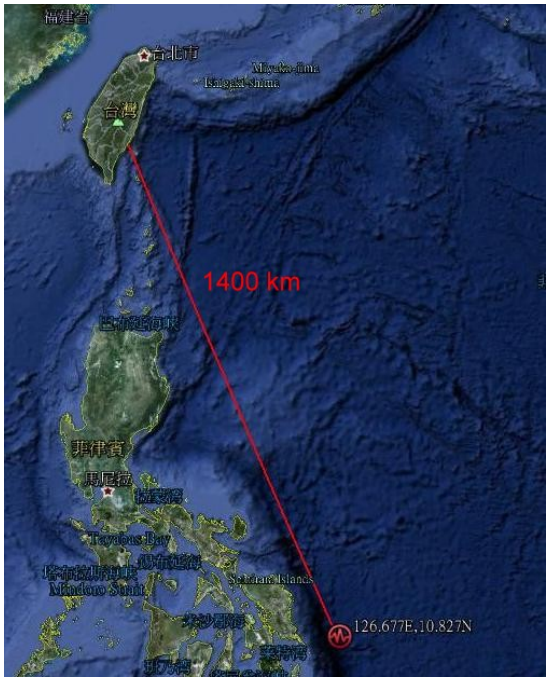
Epicenter:  10.827  126.677
MW 7.6

USGS/WPHASE CENTROID MOMENT TENSOR
12/ 8/31 12:47:34.00
Centroid:   10.927  126.982
Depth  50          No. of sta:100
Moment Tensor;   Scale 10**20 Nm
  Mrr= 2.69        Mtt= 0.47
  Mpp=-3.16        Mrt=-0.85
  Mrp=-0.17        Mtp=-0.22
 Principal axes:
  T  Val=  2.98  Plg=71  Azm=177
  N     =  0.20      18        4
  P     = -3.18       2      273

Best Double Couple:Mo=3.1*10**20
 NP1:Strike=346 Dip=46 Slip=  64
 NP2:       201     50       114
```



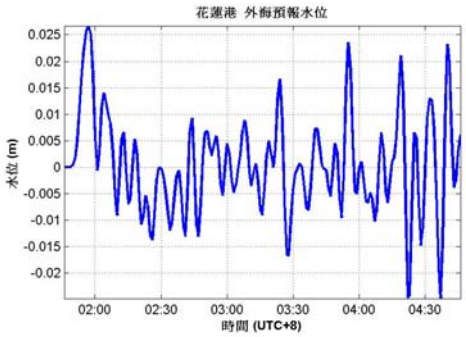
(a)



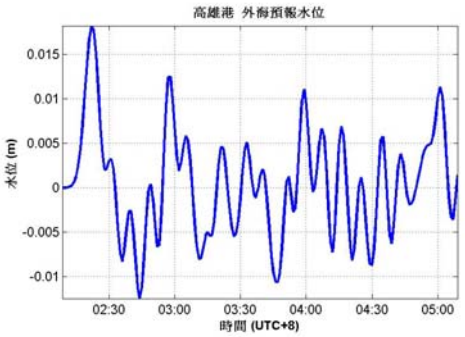
(b)

圖 5.46 (a)USGS 所公佈之地震參數(b)震央位址

地震解網址
地震發生時間 UTC+8：
震央位置 緯度10.827 經度126.677
地震規模(MW): 7.6 地震深度(km): 50
Strike=346 Dip=46 Slip=64
第一波到達時間:0000-01-00 01:57:00
最大波高(m):0.035784



地震解網址
地震發生時間 UTC+8：
震央位置 緯度10.827 經度126.677
地震規模(MW): 7.6 地震深度(km): 50
Strike=346 Dip=46 Slip=64
第一波到達時間:0000-01-00 02:22:00
最大波高(m):0.030603



地震解網址
地震發生時間 UTC+8：
震央位置 緯度10.827 經度126.677
地震規模(MW): 7.6 地震深度(km): 50
Strike=346 Dip=46 Slip=64
第一波到達時間:0000-01-00 02:40:00
最大波高(m):0.066535

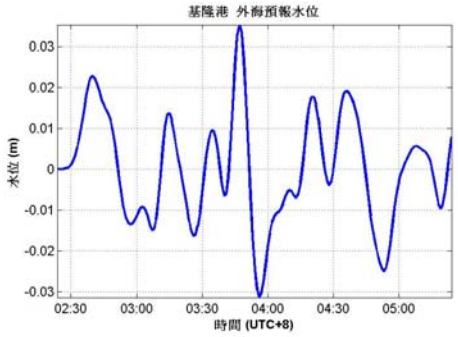
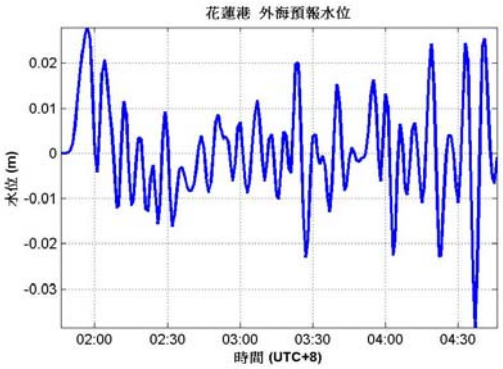
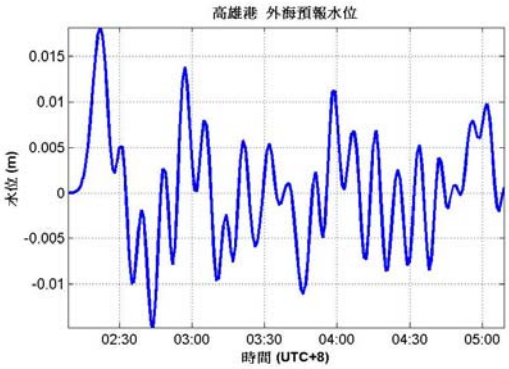


圖 5.47 利用第一組參數所預估之結果及報告單(a)花蓮港(b)高雄港(c)基隆港

地震解網址
地震發生時間 UTC+8：
震央位置 緯度10.827 經度126.677
地震規模(MW): 7.6 地震深度(km): 50
Strike=201 Dip=50 Slip=114
第一波到達時間:0000-01-00 01:57:00
最大波高(m):0.063922

地震解網址
地震發生時間 UTC+8：
震央位置 緯度10.827 經度126.677
地震規模(MW): 7.6 地震深度(km): 50
Strike=201 Dip=50 Slip=114
第一波到達時間:0000-01-00 02:22:00
最大波高(m):0.032928





地震解網址
地震發生時間 UTC+8：
震央位置 緯度10.827 經度126.677
地震規模(MW): 7.6 地震深度(km): 50
Strike=201 Dip=50 Slip=114
第一波到達時間:0000-01-00 02:40:00
最大波高(m):0.065143

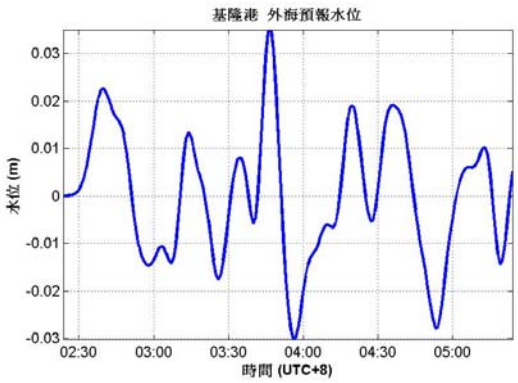


圖 5.48 利用第二組參數所預估之結果及報告單(a)花蓮港(b)高雄港 (c)基隆港

5.5 海嘯災害風險評估

5.5.1 風險評估流程及地震紀錄之統計

海嘯發生的主要原因為海底地震，雖然目前為止地震無法準確預測，地震發生後可能造成的災害評估技術也趨於成熟，在地震引發海嘯方面可包括(一)可能發生災害的地區(二)破壞發生的機率(三)破壞的程度等，對於提升救災效率、降低生命財產損失，有明顯的幫助，也是在目前最可預期的成效。

本研究採用 Chen et al.(2011)所建議之評估流程：「引發海嘯之地震期望數 Tsunamigenic Earthquake expectation Number, TEN 」，其方法由歷史地震紀錄推算未來可能發生的地震次數，配合海嘯的發生條件：海源(震央位置位於海洋)，且震源深度小於 30 公里之條件；以此條件推算未來可能發生海嘯的次數期望值。接著提出「海嘯溢淹機率 Tsunami Inundation Probability, TIP」，其方法使用二維海嘯模式計算若發生不同規模海嘯地震時，對於臺灣東南沿岸各鄉鎮所產生的最大波高，以及此波高以模式模擬對於陸地所產生的溢淹狀況，取溢淹高度 50 公分且離岸 50 公尺為溢淹點，再與模式模擬數值地形岸線點位長度作比值，定義為溢淹機率。綜合海嘯發生次數期望值，與發生海嘯地震所產生的溢淹機率，可得到研究區域發生不同規模海嘯地震且溢淹的機率，將不同區域、不同規模得到的機率加總，則可得到評估區域內發生海嘯且溢淹的機率值。以作為發生海嘯地震且溢淹的災害評估。整體之機率評估方式可寫為如(5.41)~(5.42)式所示：

$$\sum_i \sum_j TEN_j^i IP_j^i = \sum_i \sum_j EN_j^i P_{ocsh}^i IP_j^i \quad \text{.....(5.41)}$$

$$TEN_j^i = EN_j^i P_{ocsh}^i \quad \text{.....(5.42)}$$

式中，EN_j^i 代表子震源區 i 發生 j 地震級距主要地震次數的期望值，P_{ocsh}^i 則是指 EN_j^i 中發生震源深度小於 30 公里海底地震的機率。上

標 i 代表子震源區之數目；下標 j 代表地震級距。圖 5.49 為此一概念之計算流程圖。

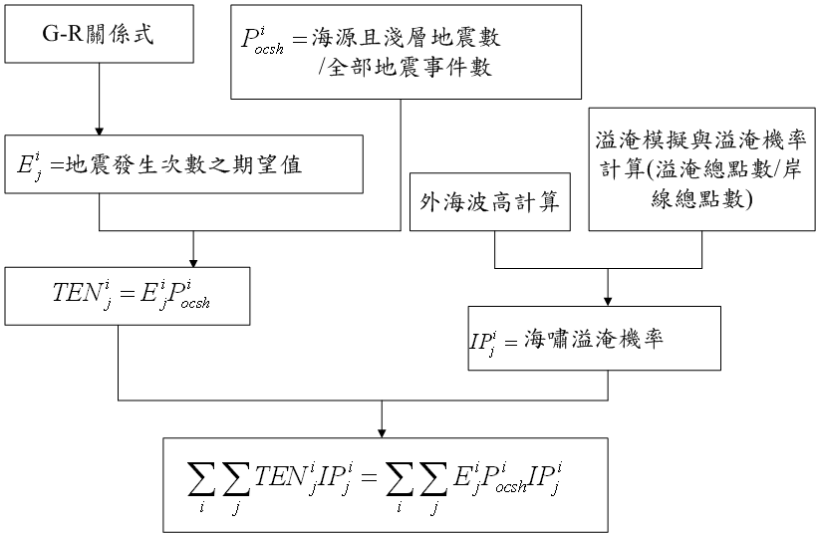
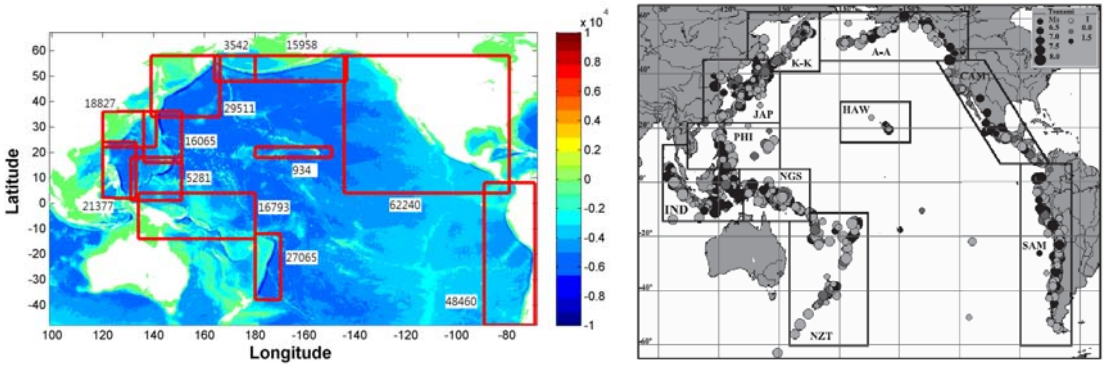


圖 5.49 海嘯風險評估流程圖

研究區域主要為環太平洋地震帶，全球有 80%的地震發生在此，而歷史海嘯記錄則有 85%發生在環太平洋地震帶的島弧-海溝地帶。環太平洋地震帶幅員廣闊，主要地震發生地大抵分為中央地區之南北太平洋及各版塊之海溝、島弧；自 USGS-NEIC 資料庫中所擷取之地震資料(含陸源及海源地震)總數約為十餘萬筆，其數量主要分佈概況如圖 5.50(a)所示，可以發現位於太平洋中央海底盆地之數量較少；東西兩岸之海溝還是主要地震發生地。其次，由於各版塊及海溝地質條件各異，為便利後續海嘯模擬及溢淹機率計算，需將各海溝做適當之分塊，Gusiakov(2005)建議以各主要海溝做為分類之依據，如圖 5.50(b)所示。本研究之分類則如圖 5.51(a)所示。

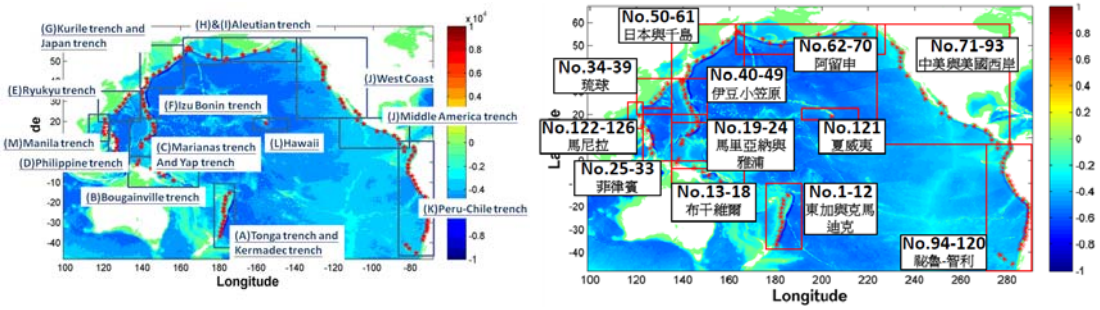
根據上述之建議，本研究進一步以緯度 2 度為一單位，將各主要海溝做細部分區；主要目的為由於海溝一般甚長(例如馬尼拉海溝)，在選取可能震源及計算機率時，若將一海溝視為一整體，會減少可能之震源數。因此本研究依主要海溝分為數個大區域總共 126 個區域點位，圖 5.51(b)。



(a) (b)

圖 5.50 (a)環太平洋地震數量分佈圖(b)太平洋區域之主要海溝分佈及

劃分建議(Gusiakov, 2005)



(a) **(b)**

圖 5.51 (a)本研究主要海溝分佈圖及名稱(b)本研究之假設震央點分佈

風險評估首先須由蒐集地震之資料開始，計算地震發生之期望數；本研究依主要海溝分為數個大區域總共 126 個區域點位，由美國地質調查所(U.S. Geological Survey,USGS)NEIC 資料庫，取得歷史地震資料，並依區域範圍與歷史年份等條件挑選地震資料，如圖 5.52。美國地質調查所 USGS 監測全球地震活動並發布地震消息，對於規模大於 3.5 的地震幾乎都已經使用地震矩規模來描述地震大小。因此在本研究主要以地震矩規模為挑選條件，若有其他地震規模則由先前章節介紹地震規模轉換經驗公式適當換算地震矩規模，以此條件取得記錄較完整之歷史地震資料(地震矩規模 M_w 記錄、震源深度記錄、震央位置記錄等)。



NEIC: Earthquake Search Results

U. S. GEOLOGICAL SURVEY

EARTHQUAKE DATA BASE

FILE CREATED: Mon Sep 5 01:33:27 2011
Geographic Grid Search Earthquakes= 19437
Latitude: 36.000N - 22.000N
Longitude: 141.000E - 120.000E
Catalog Used: PDE
Data Selection: Historical & Preliminary Data

CAT	YEAR	MO	DA	ORIG TIME	LAT	LONG	DEP	MAGNITUDE	IEM DTSVNWG DIST NFO TF	km
PDE	1973	01	05	053105.80	33.47	140.87	56	4.5 mbGS	... .	
PDE	1973	01	05	114837.50	33.16	140.91	33	3.9 mbGS	... .	
PDE	1973	01	06	102116.30	33.49	140.85	33	4.2 mbGS	... .	
PDE	1973	01	06	112154.70	33.27	140.93	46	4.5 mbGS	... .	
PDE	1973	01	06	145552.80	33.15	140.71	61	4.7 mbGS	... .	
PDE	1973	01	10	075113.60	33.62	140.51	103	4.1 mbGS	... .	
PDE	1973	01	12	074443.90	33.11	140.98	20	3.9 mbGS	... .	
PDE	1973	01	15	090258.30	27.08	140.10	477	6.0 UKBRK	1F.	
PDE	1973	01	15	091410.70	27.09	140.03	478	5.1 mbGS	... .	

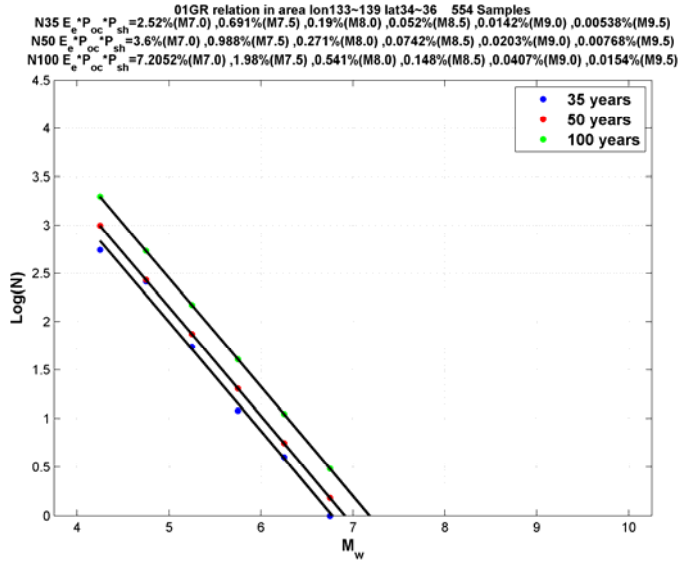
圖 5.52 USGS-NEIC 地震資料庫

當一般區域震源可用指數規模分佈模式來表示，而此模式中之地震規模與再現頻率關係式 (Gutenberg and Richter, 1944)，稱為 G-R 關係式，其形式為：

$$\log(N) = a - bM \tag{5.43}$$

G-R 關係式中，b 值是地震危害分析中一個極為重要的參數，其表示地震在某一地震規模內的大地震與小地震間的比例關係。b 值隨著研究區域內的地質分佈、構造、地溫與應力...等條件的不同而有所變化。此一回歸分析法，即是在一區域內對於地震規模≧M_b(設定之地震下限)而言的，式中 M 代表地震矩規模，並依小而大之順序排列，式中之 N 表示規模大於或是等於 M 之次數，在本研究中地震矩規模 M 的區間為 4.25、4.75、5.25、5.75、6.25、6.75、7.25、7.75、8.25、8.75、9.25 取各區間內累計數即為 N，而 a、b 則為線性迴歸係數。以日本東側東經 133 到 139 度，北緯 34 到 36 度為例，圖 5.53 藍點為各地震矩累計次數，35 年為過去地震次數記錄的時間長度，將此回歸線上各點除以統計年時間長度 35 乘上評估年時間長度 50、100 再轉換回 G-R 關係式，則可得到圖 5.53 上未來 50 年及未來 100 年的回歸係數與回歸線，紅點

線(50 年)及綠點線(100 年)，此回歸線為評估未來 50 年及未來 100 年，可能發生之累計次數，進而可得到各地震矩規模區間的可能發生次數，如表 5-8 所示。



(東經 133 到 139 度，北緯 34 到 36 度)

圖 5.53 G-R 關係式之計算範例

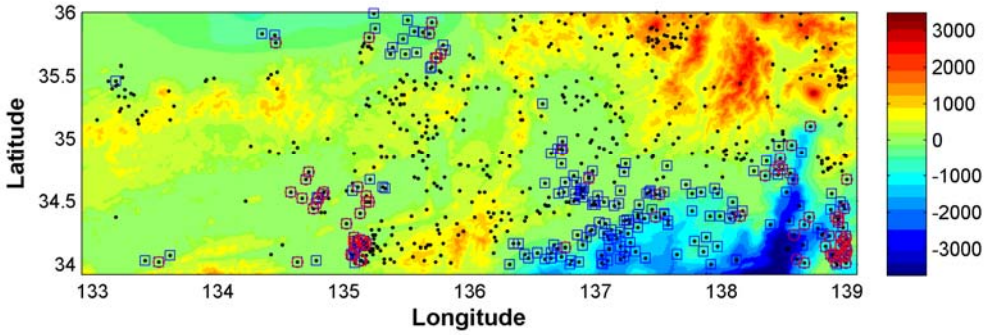
表 5-8 各地震規模區間未來預估年可能發生之次數值

M_w	6.5	7	7.5	8	8.5	9
50 年	4.0552	1.1116	0.3047	0.0835	0.0228	0.0062
100 年	8.1099	2.2231	0.6094	0.1670	0.0457	0.0125

5.5.2 海嘯發生條件

由統計資料可以發現，海嘯之發生並不一定與強烈之海底地震有必然之關係；因此，海嘯的發生是一種條件機率(conditional probability)；在討論地震引發海嘯時，一般會引發海嘯的地震震源通常發生在較淺層的海底斷層；G-R 關係式求得地震發生次數期望值，再給與海嘯發生條件 P_{ocsh}^{i}，即是表示震央位置位於海洋且震源深度小於 30 公里才有引發海嘯之可能，以此方法求得在特定回歸期內可能發生海嘯次數之期望值。圖 5.54 為挑選海源地震，海源地震的定義為震央

位置記錄在海洋，圖 5.54 中藍色方框點位置。接著在海源地震中挑選震源深度小於 30 公里條件下地震，圖 5.54 中紅色圈圈點位置。海源且極淺層數目除上統計總數，即可得海源且震源深度小於 30 公里比值。此區域地震資料總數為 702 筆，海源且震源深度在 30km 以內數為 83 筆，因此比值 83/702=0.1182。該值與表 5-8 各地震規模區間發生次數期望值相乘，即可得在未來 50 年及 100 年各地震矩規模區間發生由地震引發海嘯之可能發生次數，即是(5.42)式中的 TEN；如下表 5-9。



(東經 133 到 139 度，北緯 34 到 36 度)

圖 5.54 計算範例之淺層海源地震分佈

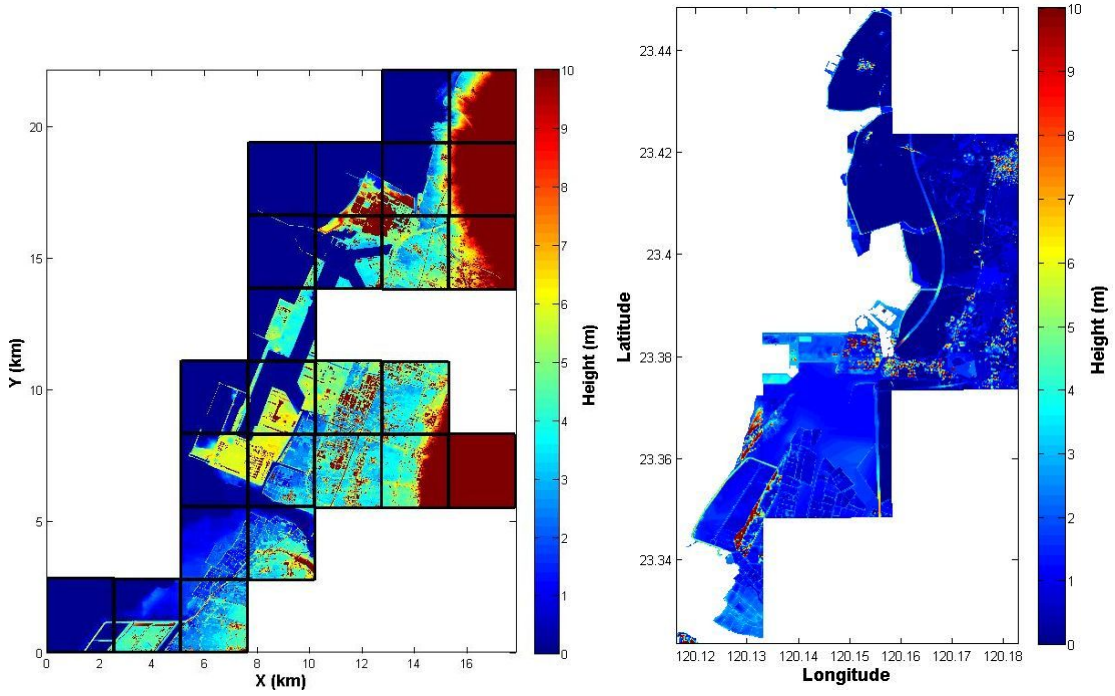
表 5-9 海嘯地震發生次數期望值

M_w	6.5	7	7.5	8	8.5	9
50 年	0.48	0.13	0.036	9.86×10^{-3}	2.69×10^{-3}	7.33×10^{-3}
100 年	0.96	0.26	0.073	0.0197	5.4×10^{-3}	1.48×10^{-3}

5.5.3 臺中港及布袋港之溢淹模擬

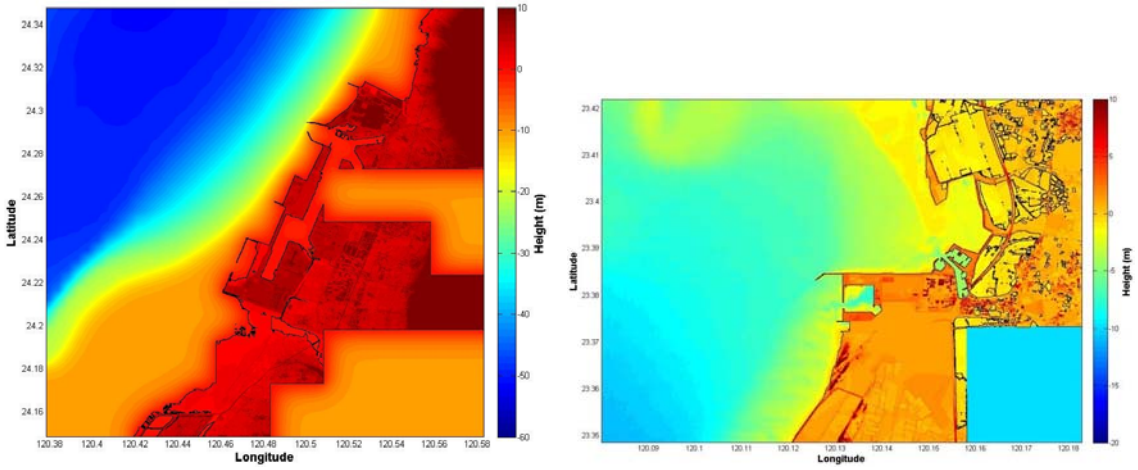
海域地形主要是採用海科中心網格間距為 500 公尺之水深資料(TaiDBMV6)；除了 TaiDBMV6 外，港區之水深亦採用本中心之實測資料加以校正及比對。陸域地形資料是由內政部地政司所提供之 5m×5m 之 DSM 及 DEM 數值地形資料，其中平面坐標採內政部 1997 臺灣大地基準(TWD97)，高程坐標採內政部 2001 臺灣高程基準(TWVD2001)。即是定義在 1990 年 1 月 1 日標準大氣環境下，並採用基隆潮位站(基隆平均海水面)1957 年至 1991 年之潮汐資料化算而得，即為中潮系統。每一網格點是一組 E、N、H 三個坐標值，組成右旋坐標系的三個 X、Y、Z 坐標(如 250000 2670000 123.0，坐標之間以一空格隔開)；遇到無

法測製區及湖泊、水庫等水體區則以影像當時邊界線高度測製。無法測製區及水體區則依地形特徵資料檔格式加測並儲存記錄邊界線。海域水體部分以海岸線及圖幅邊界組成邊界線。陸域地形需轉成經緯度座標。5m×5m 數值地形資料之測繪在實務上實屬不易，雖然無法表示局部地區之建物構造特色與實際情況，但是此一解析度已可做為溢淹圖資之用，圖 5.55(a)(b)為臺中港及布袋港之陸域數值地形。由於兩者解析度不同，在無其他較為精細海底地形之來源時，將海域地形以內插之方式製作成與陸域地形資料相同解析度之數值地形。圖 5.55(a)(b)為海陸域整合後之數值地形檔。



(a) **(b)**

圖 5.55 (a)臺中港(b)布袋港 5m 解析度數值地形檔



(a) **(b)**

圖 5.56 (a)臺中港(b)布袋港整合海陸域後之數值地形檔

海嘯溢淹模擬最佳之方式就是確切得知發生一已知之震源或是一組斷層參數，得知初始水位高度後據以模擬海嘯之溢淹行為及特性。但實務上，上述之方法有其困難度：

(1) 首先是震源位址，目前並無法準測預測地震之發生，故也就無法得知震央；其次，斷層參數之來源也極其有限，除了少數較為引人注目之斷層(例如馬尼拉海溝)有較為嚴密之地球科學探測資料外，其餘甚少有較為詳盡之參數資料；故在有限之條件下以實際海嘯波形進行海嘯溢淹模擬有其實務上之困難。

(2) 另一方面，目前也無法確知各個可能震源點所能產生之最大地震矩規模及海嘯波之來向。

由以上兩點可知，在許多必要條件均缺乏之情況下進行海嘯於近岸地區之數值模擬是相當不便的，加以防災需求宜作較為保守之推估；因此，利用單一波形及情境模擬方式來進行溢淹模擬除了可獲得較為保守之結果外，更可匯集成一資料庫，在實際海嘯事件發生時，得知外海波高後，即可得知對應可能之海嘯資訊。

本研究使用 COMCOT 溢淹模式，以不同波高之鐘型波模擬海嘯波垂直岸線入射(0.5m、1m、2m、3m、4m、6m、10m)；海嘯波為長週期之重力波，一般週期約為 15~30 分鐘，前期基隆港與臺北港之模擬為

採用之週期為 20 分鐘，本計劃亦沿用此一週期；以臺中港為例，海嘯波模擬採用之週期為 20 分鐘，圖 5.57 為波高 4m 週期 20 分鐘之鐘型波波形，以此波形在模式地形邊界上入射，模擬此情境下陸地之溢淹狀況。圖 5.58(a)~(g)為布袋港在各種不同鐘型波入射波高下之溢淹圖。計劃中所設定之海嘯潛勢波源區為整個環太平洋地震帶；另外要特別說明的是，本研究僅限於由海嘯造成溢淹模擬，利用 COMCOT 並無法適當模擬臺灣海峽中之震盪行為。

圖 5.58 為布袋港區在入射波高 0.5~10 公尺時之溢淹區域及溢淹高程分佈；分析顯示，在入射波高 3 公尺以下，溢淹範圍侷限於內港區之下方，溢淹高程約為 1.5 公尺以下。3 公尺以上之波高時，溢淹範圍會逐漸向內陸擴大，在內港區上下之溢淹高程也會提高至 8 公尺左右(入射波高為 10 公尺時)。

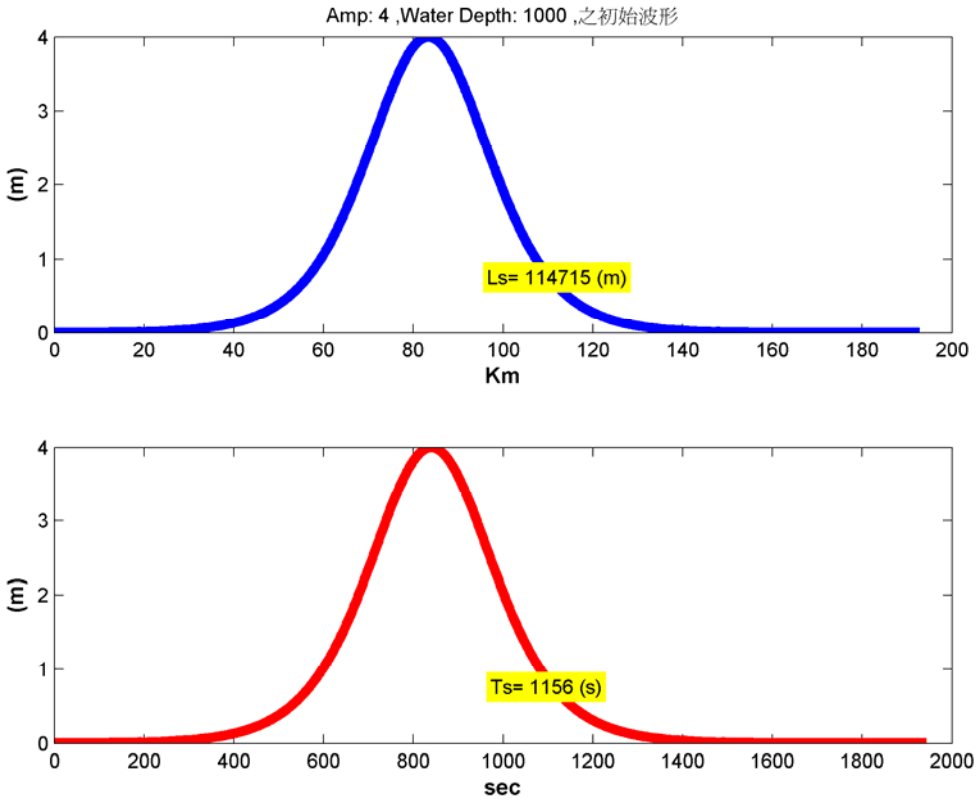


圖 5.57 週期 20 分鐘波高 4m 孤立波

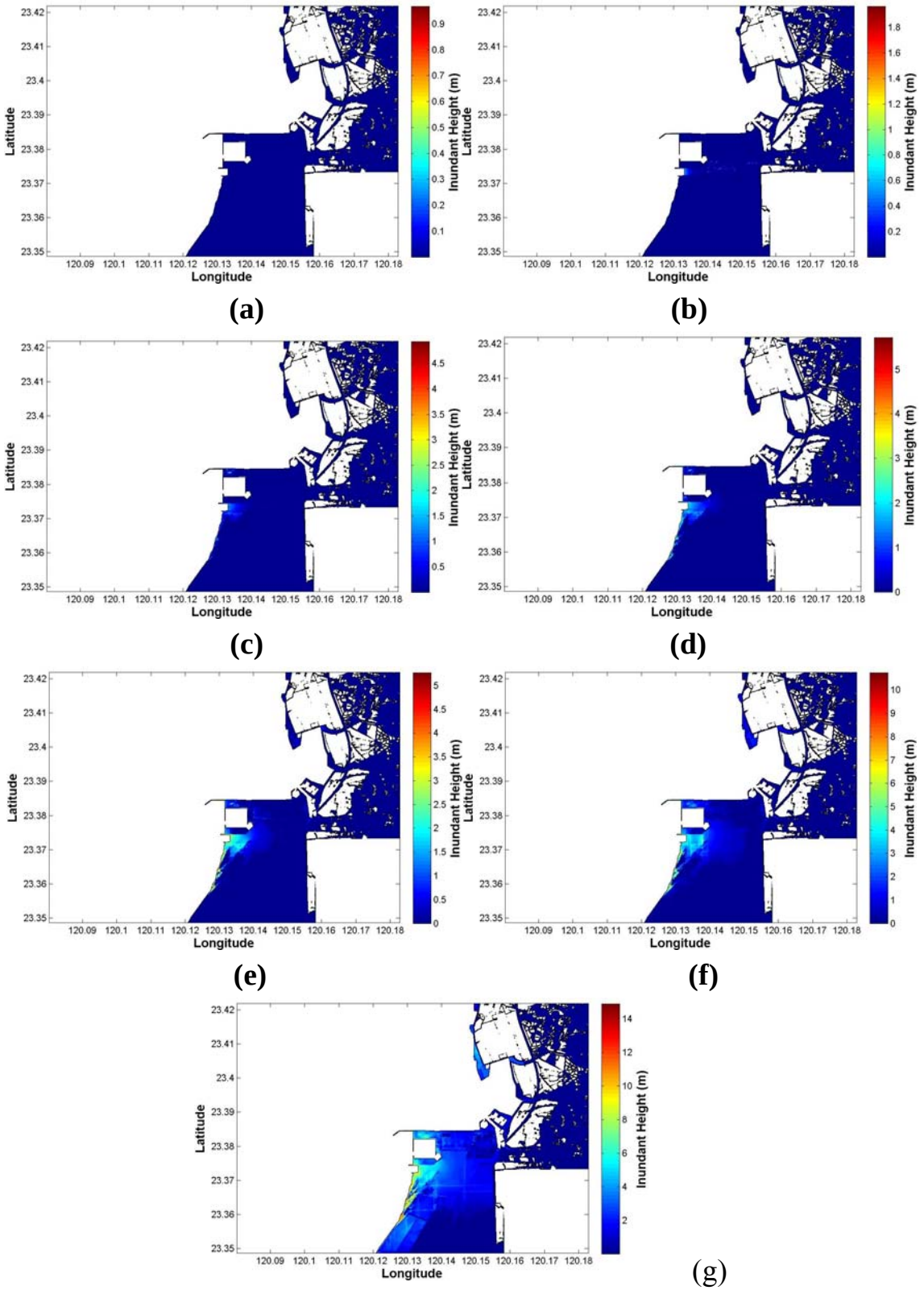


圖 5.58 布袋港之溢淹圖(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺

圖 5.59 為臺中港區在入射波高 0.5~10 公尺時之溢淹區域及溢淹高程分佈；分析顯示，在入射波高 3 公尺以下，溢淹範圍侷限於港區南方，溢淹高程約為 1.5 公尺以下，對主要港區威脅性不大。4 公尺以上之波高時，主要港區會受到影響，其溢淹高程約 8 公尺左右(入射波高為 10 公尺時)；由於內陸部份地形資料未取得，因此無法準確預估溢淹範圍為何。

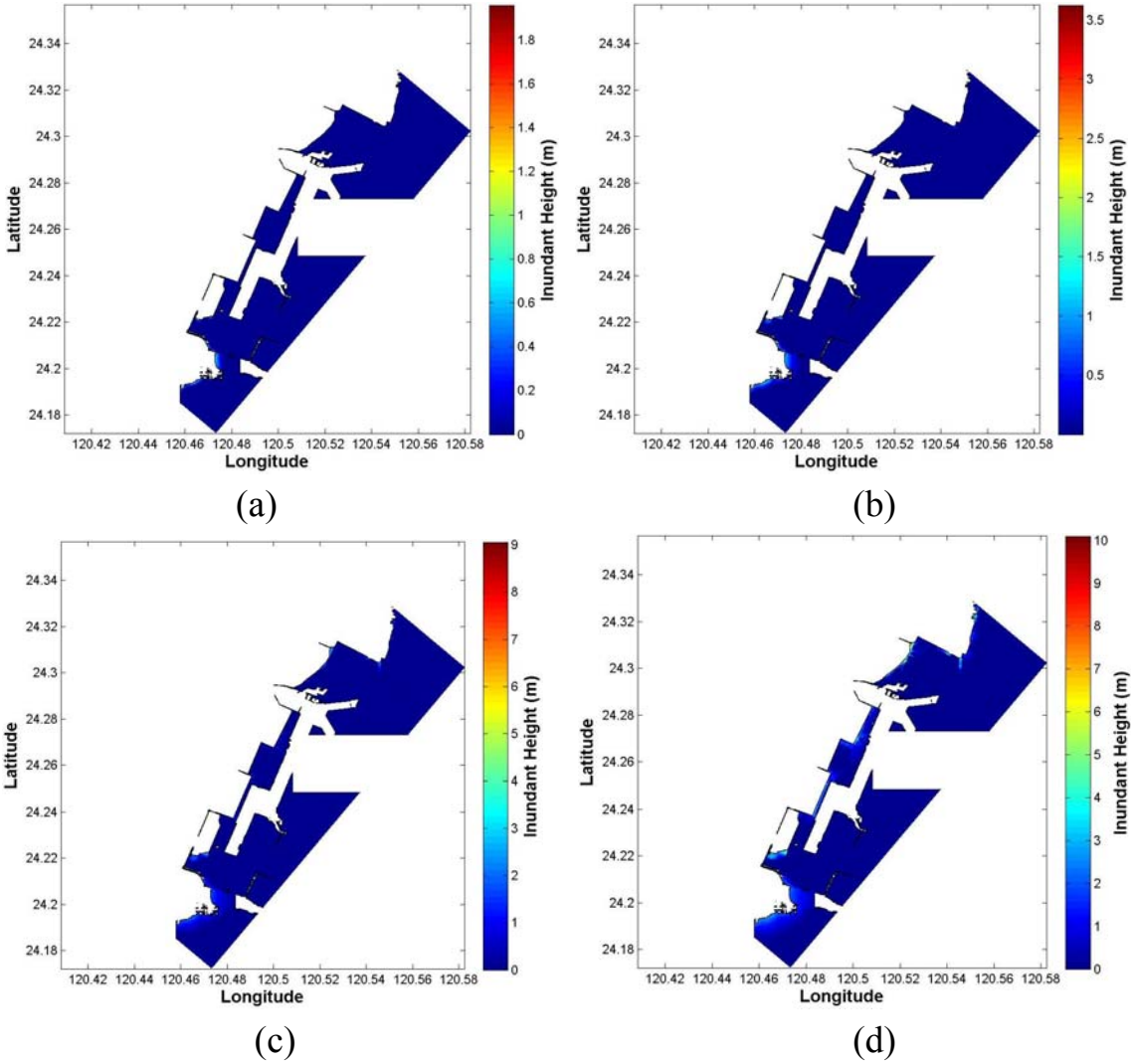


圖 5.59a 臺中港之溢淹圖(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺

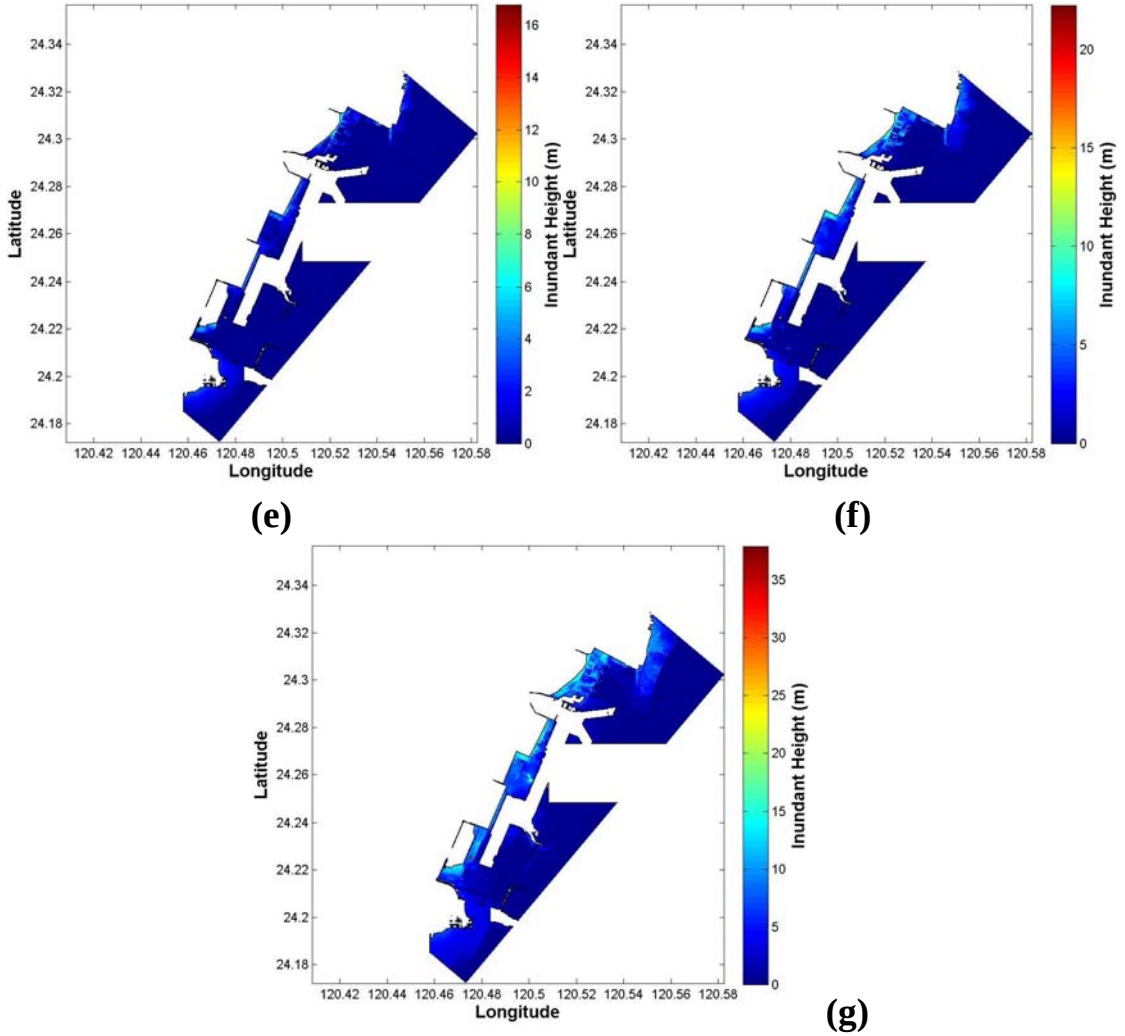


圖 5.59b 臺中港之溢淹圖((e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺

5.5.4 溢淹機率

當大洋中發生海嘯時，對於近岸及內陸未必會造成災情，是否對陸域造成顯著影響端視最大波高與當地高程之關係。波高因緩坡地形而產生波高沿陸地方向急遽抬升之現象，稱為淺化效應(shoaling effect)；對應之海嘯波高稱為溯上高度(Run-up height)。如果溯上高度小於當地陸地高程或是海岸保護結構物，就可能不造成溢淹；也可能是溯上波高僅在內陸小範圍內造成數公分之溢淹情況，造成些許的災情。因此，對內陸地區而言，是否會造成溢淹是一種條件機率也是一種危害度；常見之危害度或是或然率分析可用機率來表示，例如地震危害度分析或是氣象預報中之降雨機率等等。

本節所提出之海嘯溢淹機率(Tsunami induced inundation probability)，意指海嘯發生後所造成之陸地溢淹機率，；若發生有如南亞海嘯或是日本海嘯規模之海嘯時，海嘯所攜帶之水體及漂流物可長驅直入至內陸達數公里之遙。在此要特別說明的是，海嘯具有強大的動量，因此即使在海岸地區發生小規模之溯上或是溢淹，仍可能造成人命之損失。

由實務案例可以發現，即使外海的海嘯波高甚小，到達近岸時仍舊有可能越過堤防，惟小波高所造成之溢淹範圍及溢淹深度也較小；有鑑於此，本研究之海嘯溢淹機率(TIP)定義為當海嘯溢淹超過離岸50公尺，溢淹高度超過50公分時，即表示該處為發生溢淹。取50公尺是因為港區沿海地帶有較緩坡度之沿海沙灘或是礫灘地形，而在海堤地區若造成海水高過防波堤而溢淹，往往都會溢淹超過50公尺，因此本研究定義以50公尺為溢淹災害發生應當合適。由於目前為止並無類似之定義，依國內不同港區海岸特性可做適當之調整。

本研究定義溢淹條件為溢淹高度超過50公分，主要考量到海水溢淹陸地後要產生危害需要一定的溢淹高度與強度，因此在定義選取溢淹的條件下，以溢淹入陸地50公尺且溢淹高度超過50公分為溢淹條件。此兩條件與模式模擬地形的離岸50公尺岸線網格數長度比值，定義為溢淹機率，圖5.60 為溢淹機率定義之簡示圖：黑點為岸線，紅點為離岸50公尺線，藍點為水溢淹的點位，黃線為溢淹範圍線，此例紅點與藍點相疊的點位總計有3點，紅點總數為8點，因此溢淹機率為3/8=0.375。本研究中溢淹機率之定義不採用面積之主因在於每個港區之面積均不一，有可能產生每個港區皆會得出相同之溢淹機率，會無法反映實際上海嘯之溢淹風險；而用海岸線作為溢淹機率之定義，主因是本研究認為此種方式較能反映出海嘯是否造成內陸溢淹仍須視當地高程而定之物理意義。

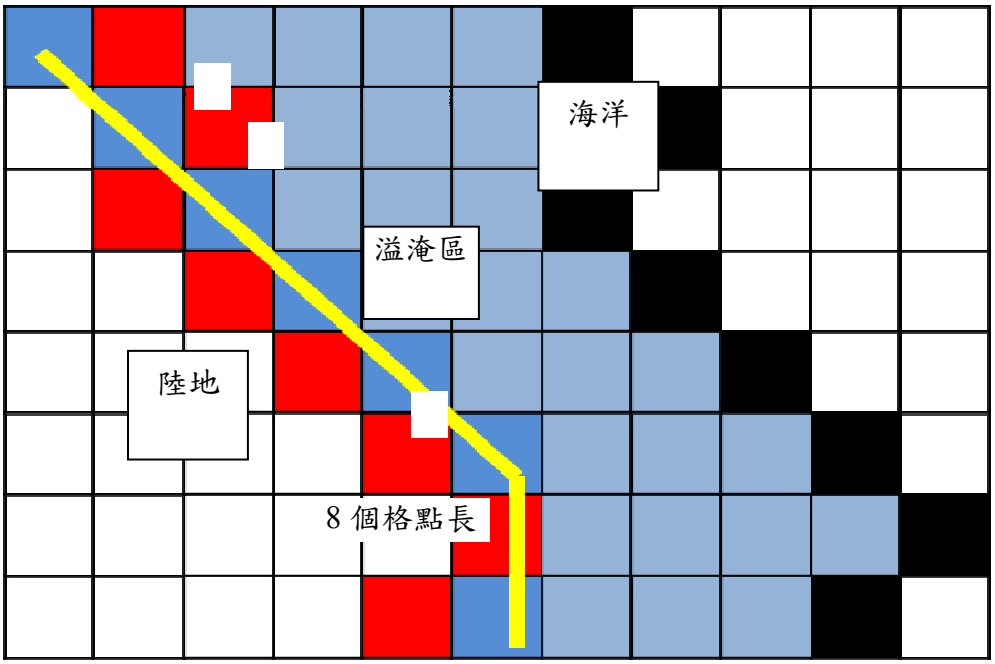
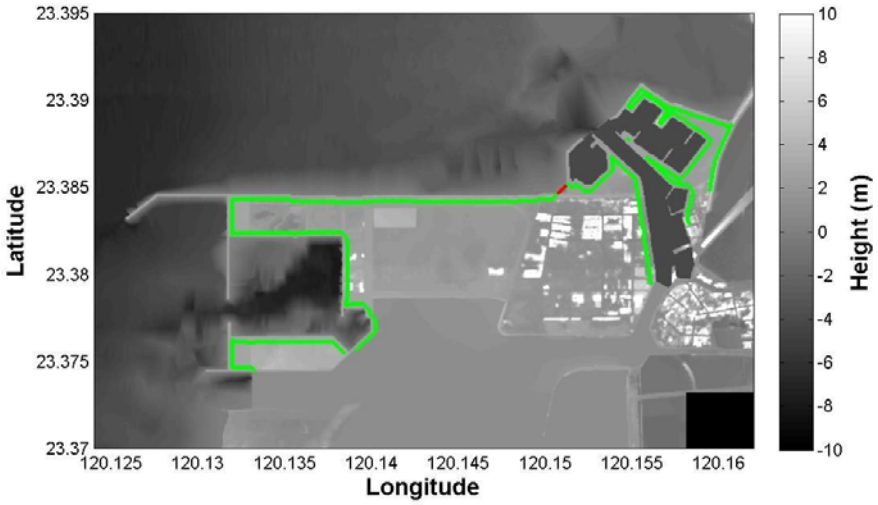


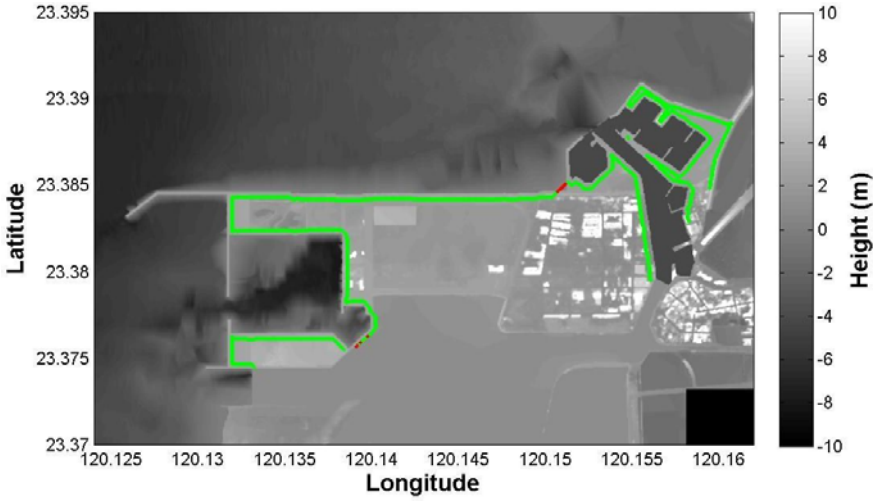
圖 5.60 溢淹機率簡示圖

5.5.5 布袋港及臺中港之溢淹點位分佈及機率

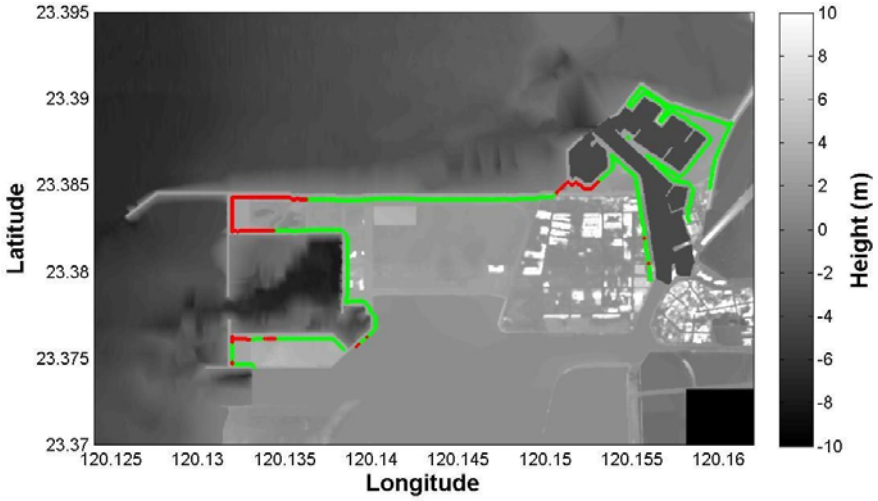
圖 5.61 及圖 5.62 分別為布袋港及臺中港分別在入射波高 0.5~10 公尺時之溢淹點位分佈；紅色點表示離岸 50 公尺且溢淹高程達 50 公分之點位。計算結果則列於表 5-10。



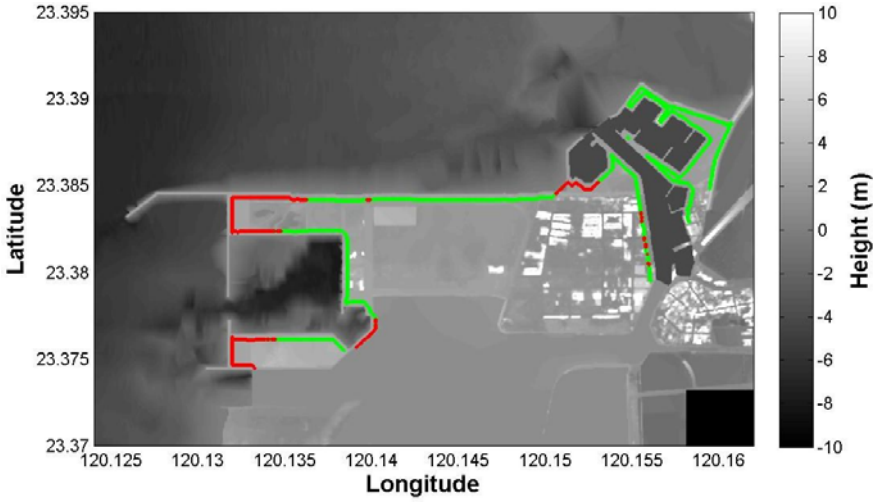
(a) 布袋港入射波高為 0.5 公尺時之溢淹點位分佈



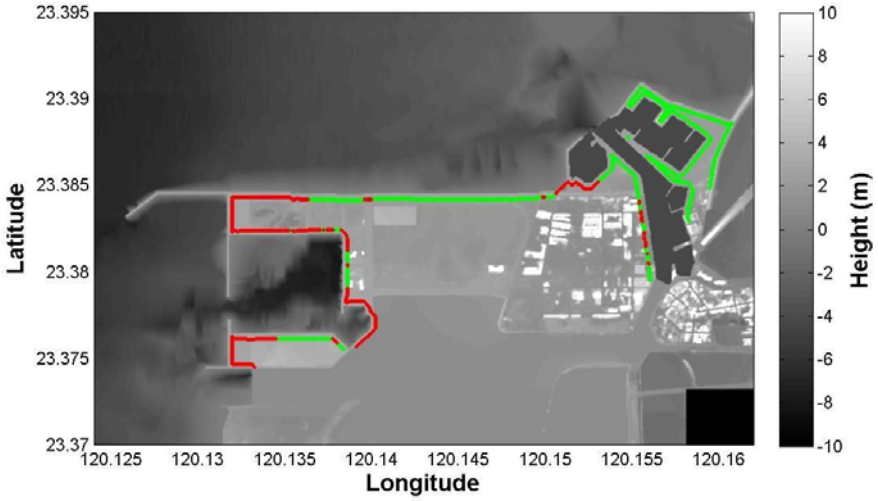
(b) 布袋港入射波高為 1 公尺時之溢淹點位分佈



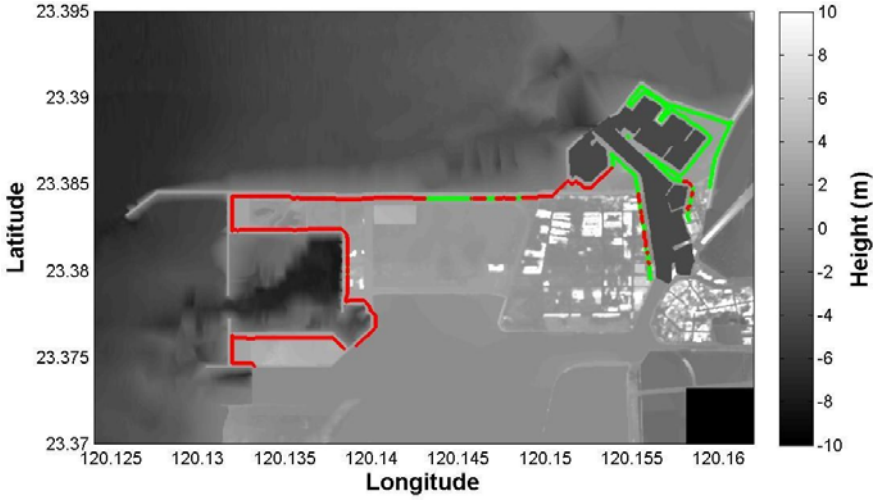
(c) 布袋港入射波高為 2 公尺時之溢淹點位分佈



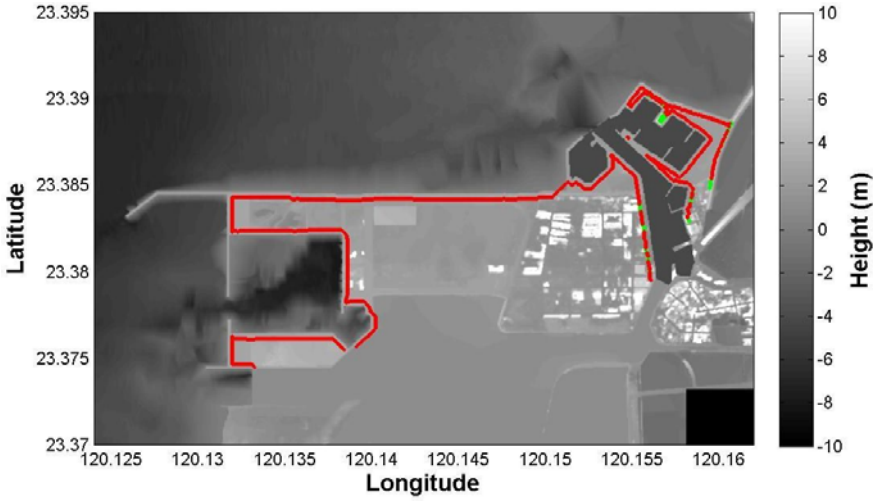
(d) 布袋港入射波高為 3 公尺時之溢淹點位分佈



(e) 布袋港入射波高為 4 公尺時之溢淹點位分佈

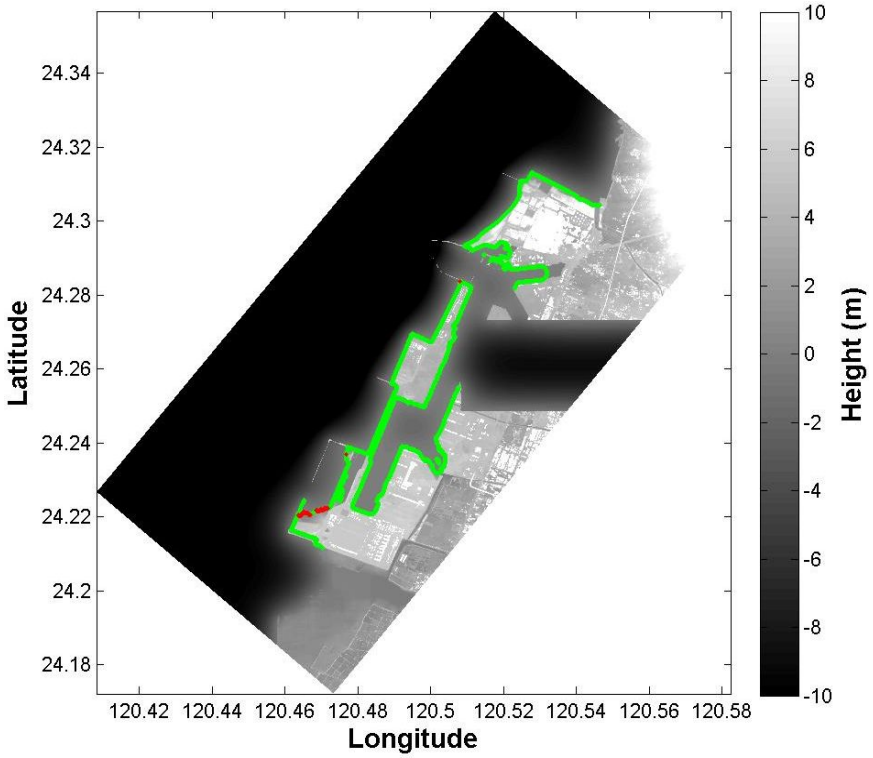


(f) 布袋港入射波高為 6 公尺時之溢淹點位分佈

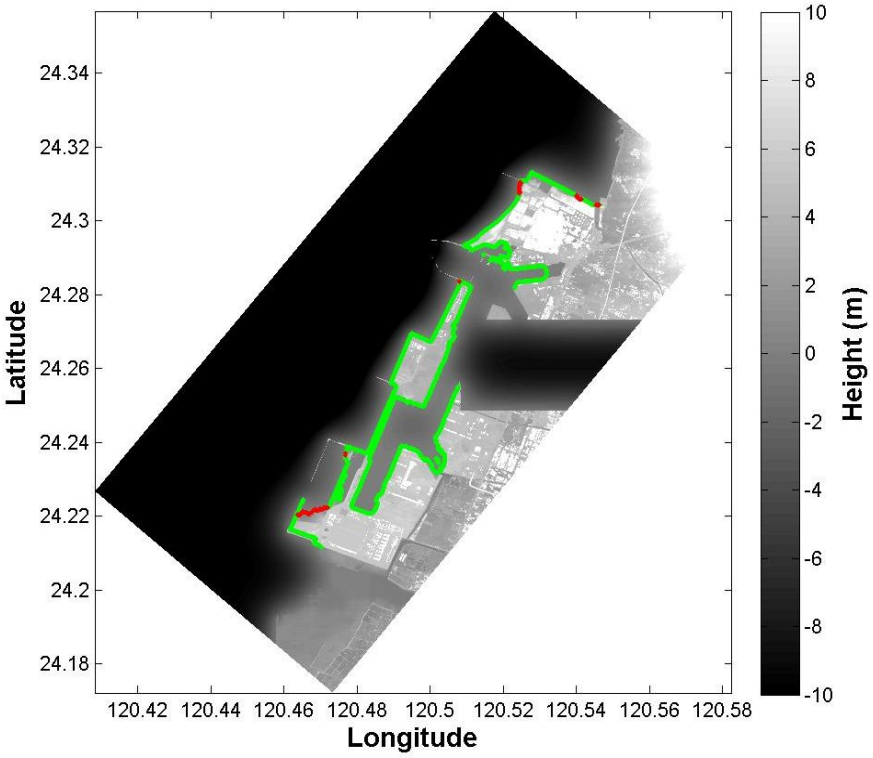


(g) 布袋港入射波高為 10 公尺時之溢淹點位分佈

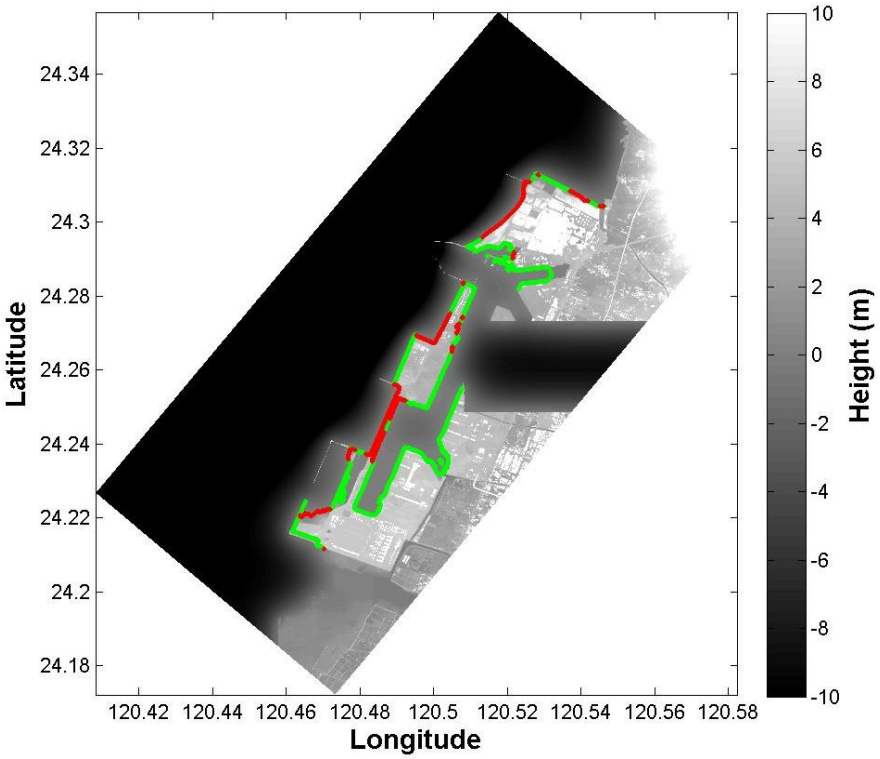
圖 5.61 布袋港之溢淹點位分布圖(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺



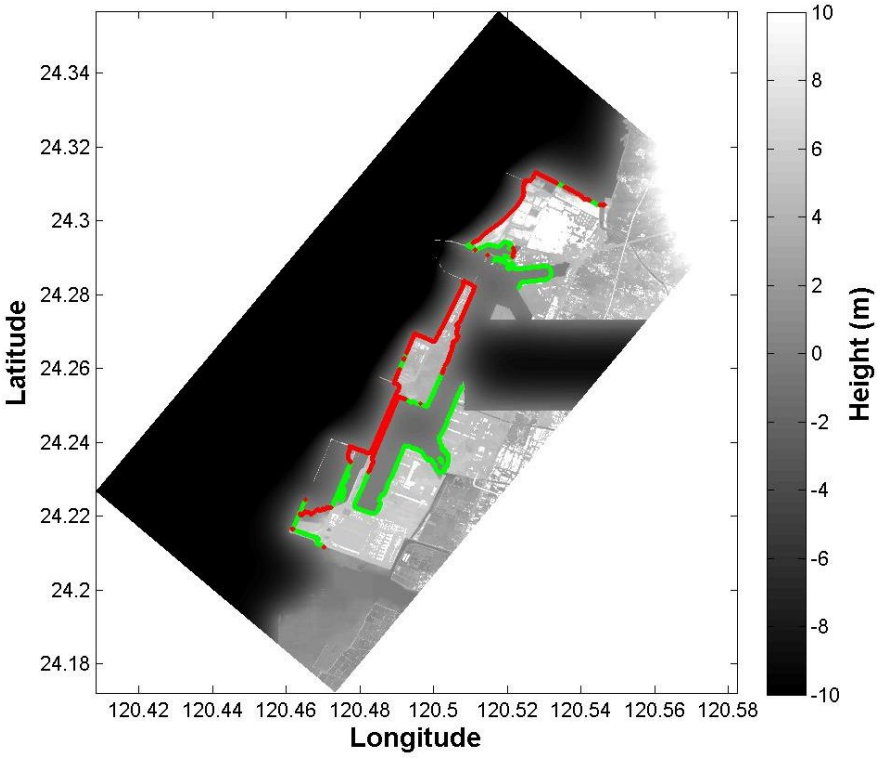
(a) 臺中港入射波高為 0.5 公尺時之溢淹點位分佈



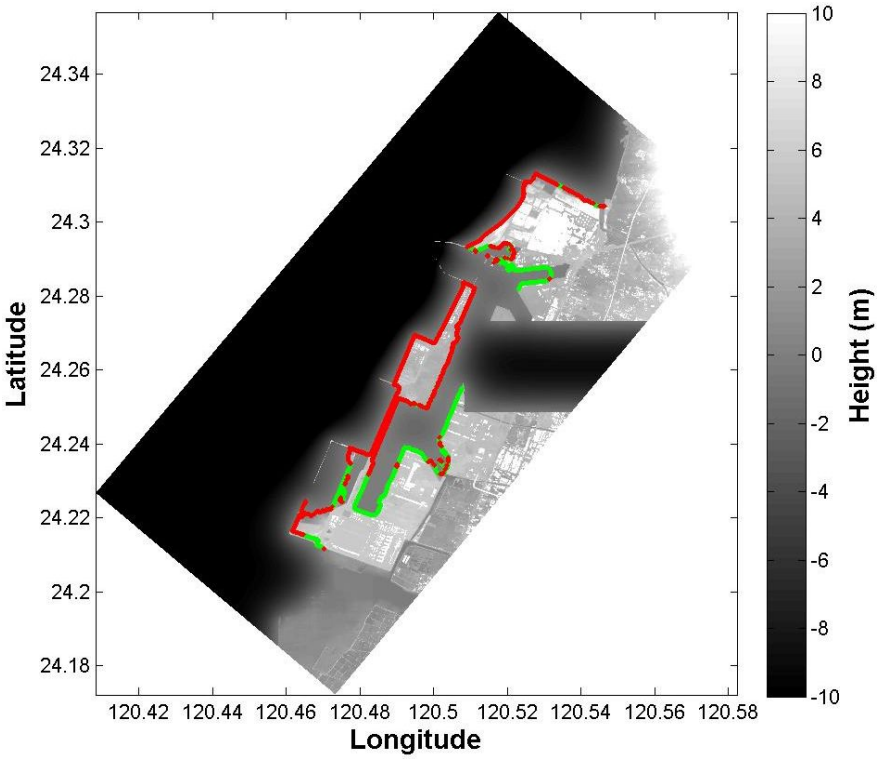
(b) 臺中港入射波高為 1 公尺時之溢淹點位分佈



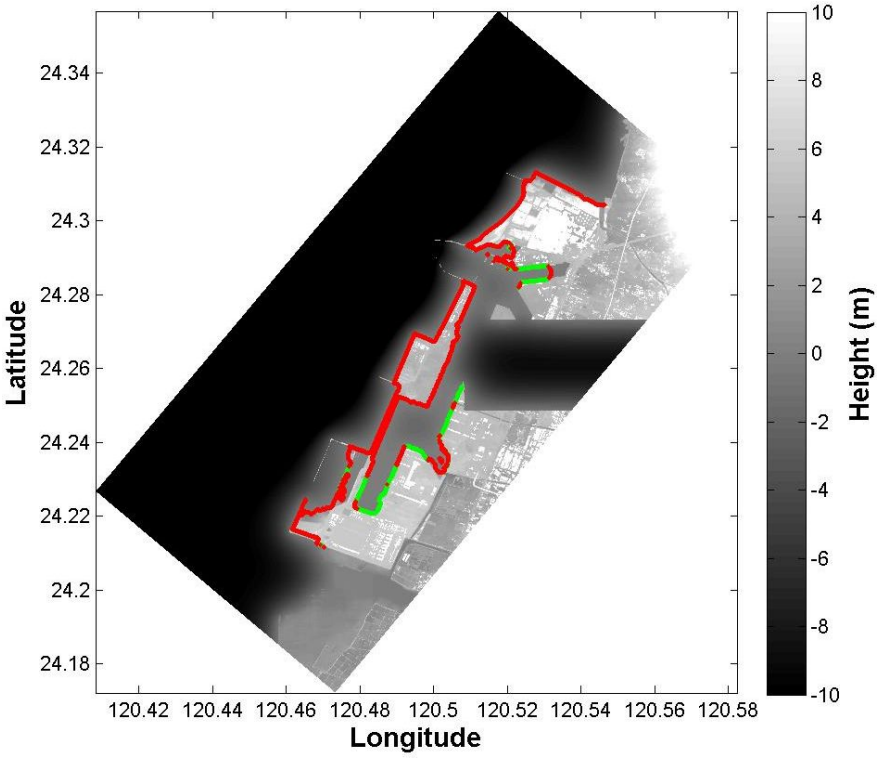
(c) 臺中港入射波高為 2 公尺時之溢淹點位分佈



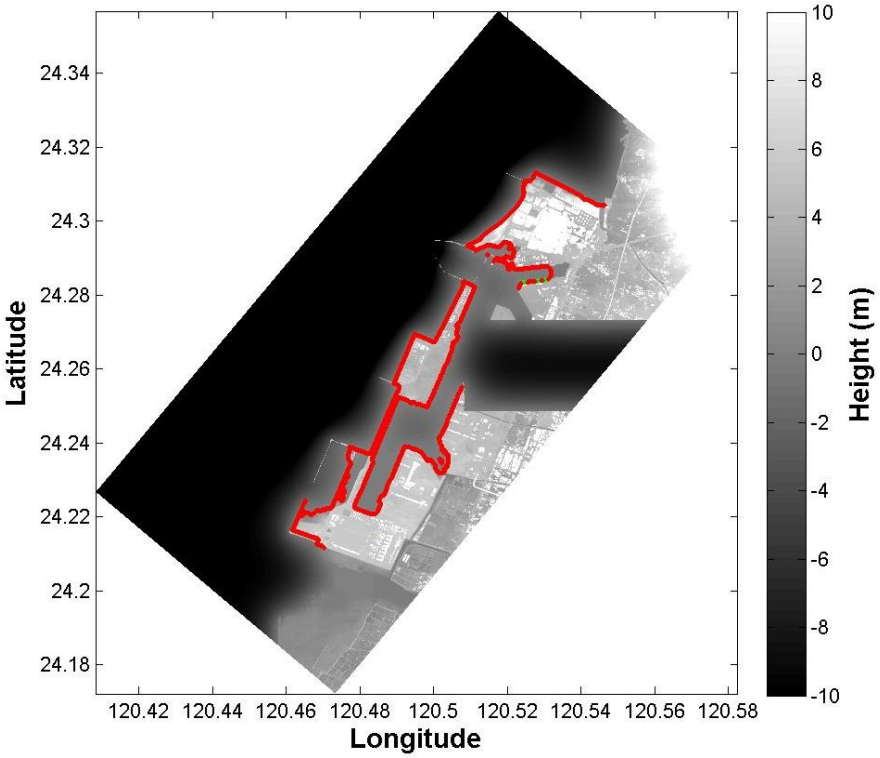
(d) 臺中港入射波高為 3 公尺時之溢淹點位分佈



(e) 臺中港入射波高為 4 公尺時之溢淹點位分佈



(f) 臺中港入射波高為 6 公尺時之溢淹點位分佈



(g) 臺中港入射波高為 10 公尺時之溢淹點位分佈

圖 5.62 臺中港之溢淹點位分布圖(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺

表 5-10 臺中港及布袋港各入射波高下對應之溢淹機率

地點	臺中港			布袋港		
入射波波高(m)	離海 50 米的岸線點數	溢淹高度大於 0.5m 的點數	溢淹機率	離海 50 米的岸線點數	溢淹高度大於 0.5m 的點數	溢淹機率
0.5	10730	205	1.91%	2422	14	0.58%
1		420	3.91%		20	0.83%
2		2883	26.85%		415	17.13%
3		2883	46.12%		415	24.32%
4		6377	59.39%		833	34.39%
6		8327	77.55%		1404	57.97%
10		10593	98.66%		2275	93.93%

布袋港及臺中港在 126 個假設震央各地震矩規模下之最大波高分佈如圖 5.63 及圖 5.64；布袋港在地震矩規模 7.0 時，其最大波高值不會超過 10 公分；在地震矩規模 7.5 以上則最大波高可達 6 公尺以上(地震矩規模 9.0 時)；分析結果顯示馬里亞納海溝(含亞普海溝)、伊豆小笠原海溝會對中部兩港口產生較大之外海波高；2011 年 3 月 11 日之東日本海嘯位於東經 142.597 度，北緯 38.486 度，地震矩規模 9，布袋港實測最大波高約為 0.35 公尺，臺中港實測最大波高約為 0.16 公尺，與本計畫假設震央位址 142.88 度，北緯 39.06 度(編號 59)，利用假設之參數計算出預測值，布袋港預測最大波高為 0.2 公尺，臺中港預測最大波高為 0.27 公尺，相較之下仍屬相當吻合。

另外，評估結果也顯示臺中港在大地震矩規模下外海最大波高不超過 2 公尺；雖然遠低於溢淹潛勢圖之入射波高，但因考量防災需求及建立各港統一之標準評估程序，故在本研究中臺中港之溢淹潛勢圖及相關分析，仍與布袋港一致，採用較高之入射波高作為模擬之條件。

根據表 5-10 之計算結果，可以以內插方式計算本計算假設地震矩規模下及斷層參數所產生之最大波高對應之溢淹機率，其分佈如圖 5.65 及圖 5.66 所示。是否造成溢淹仍然要視外海波高及現地高程而定，由計算結果顯示，即使在地震矩規模 9 之情況下，溢淹範圍及機率仍非常有限。

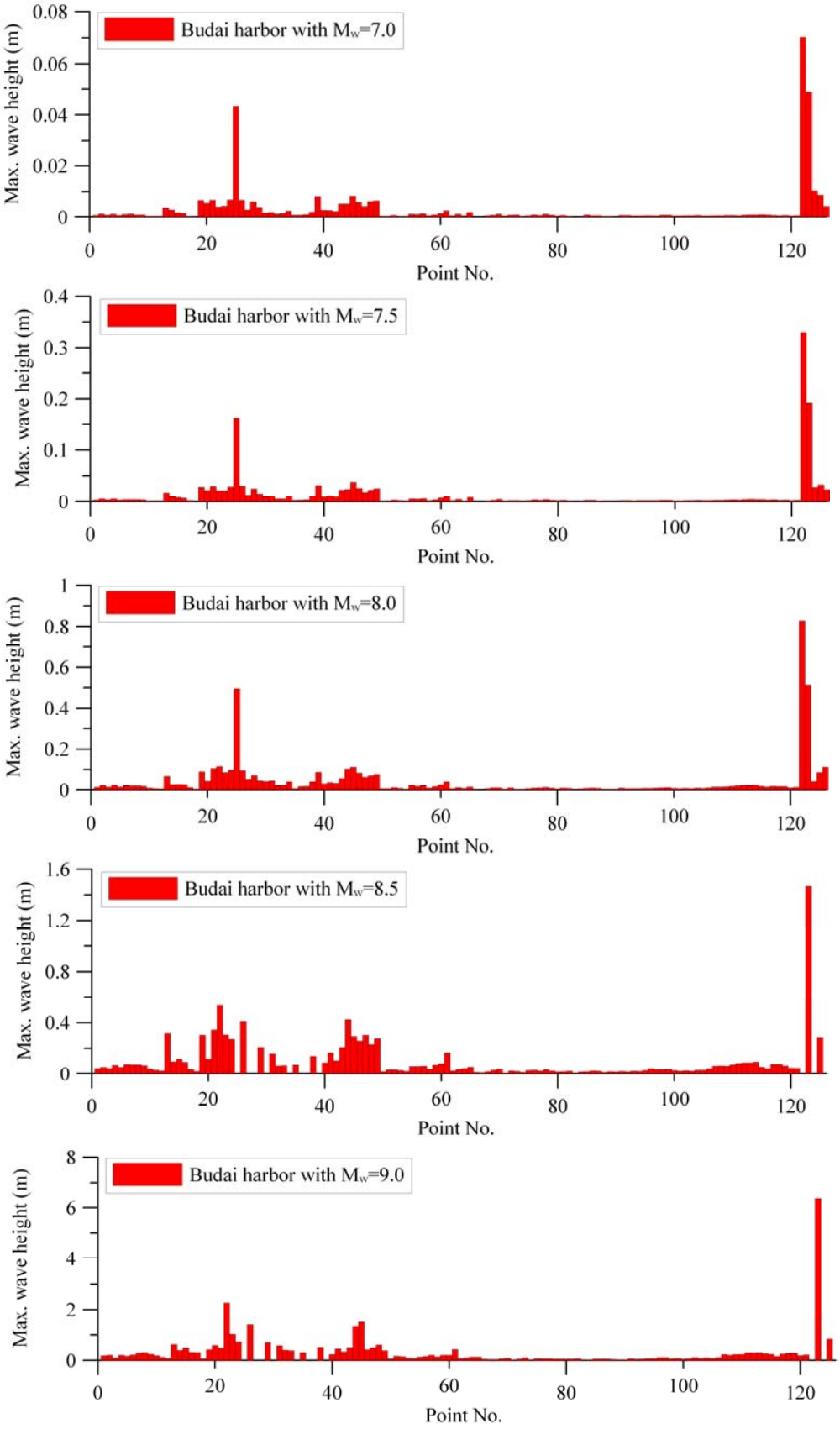


圖 5.63 布袋港在各種地震矩規模下之最大波高分佈

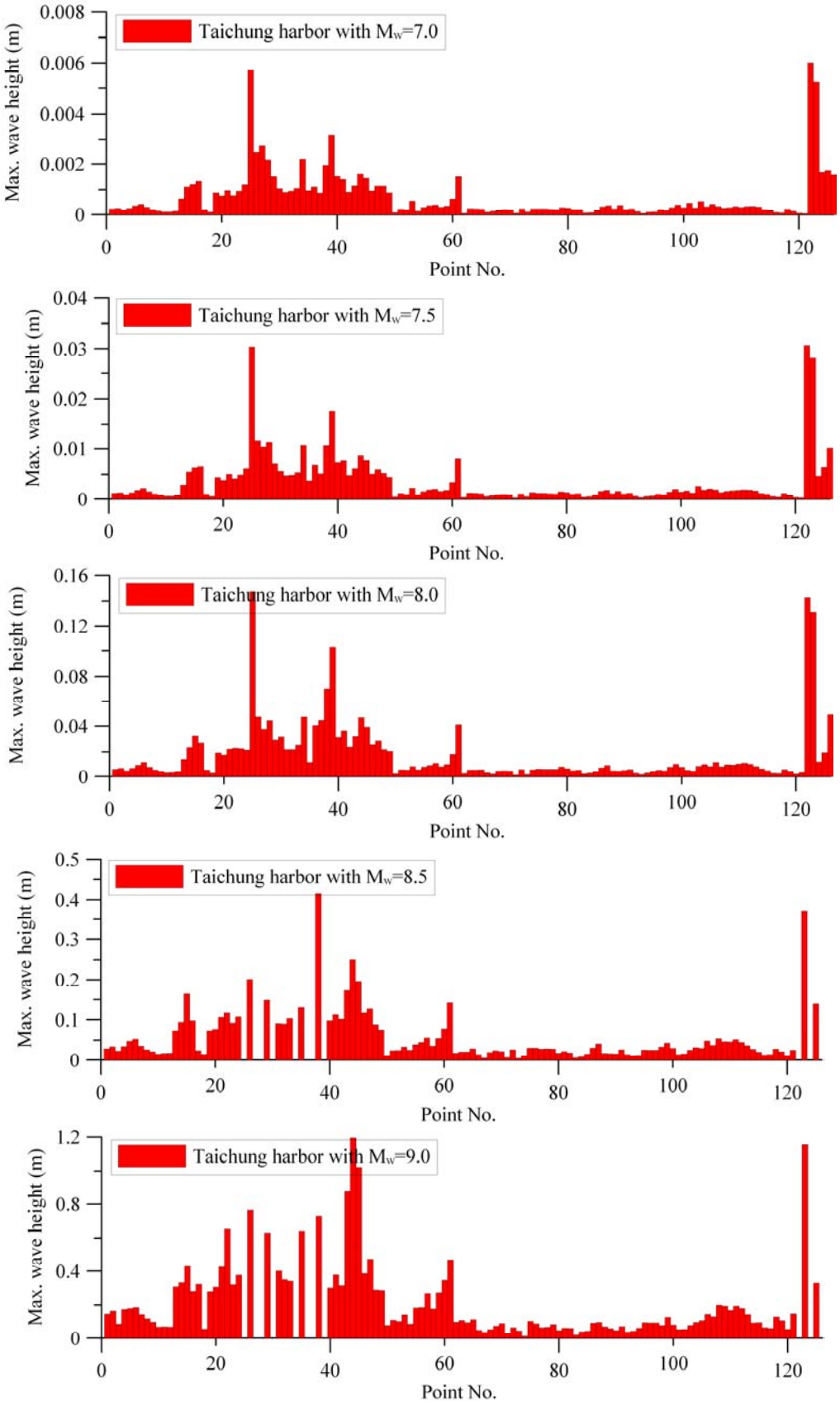


圖 5.64 臺中港在各種地震矩規模下之最大波高分佈

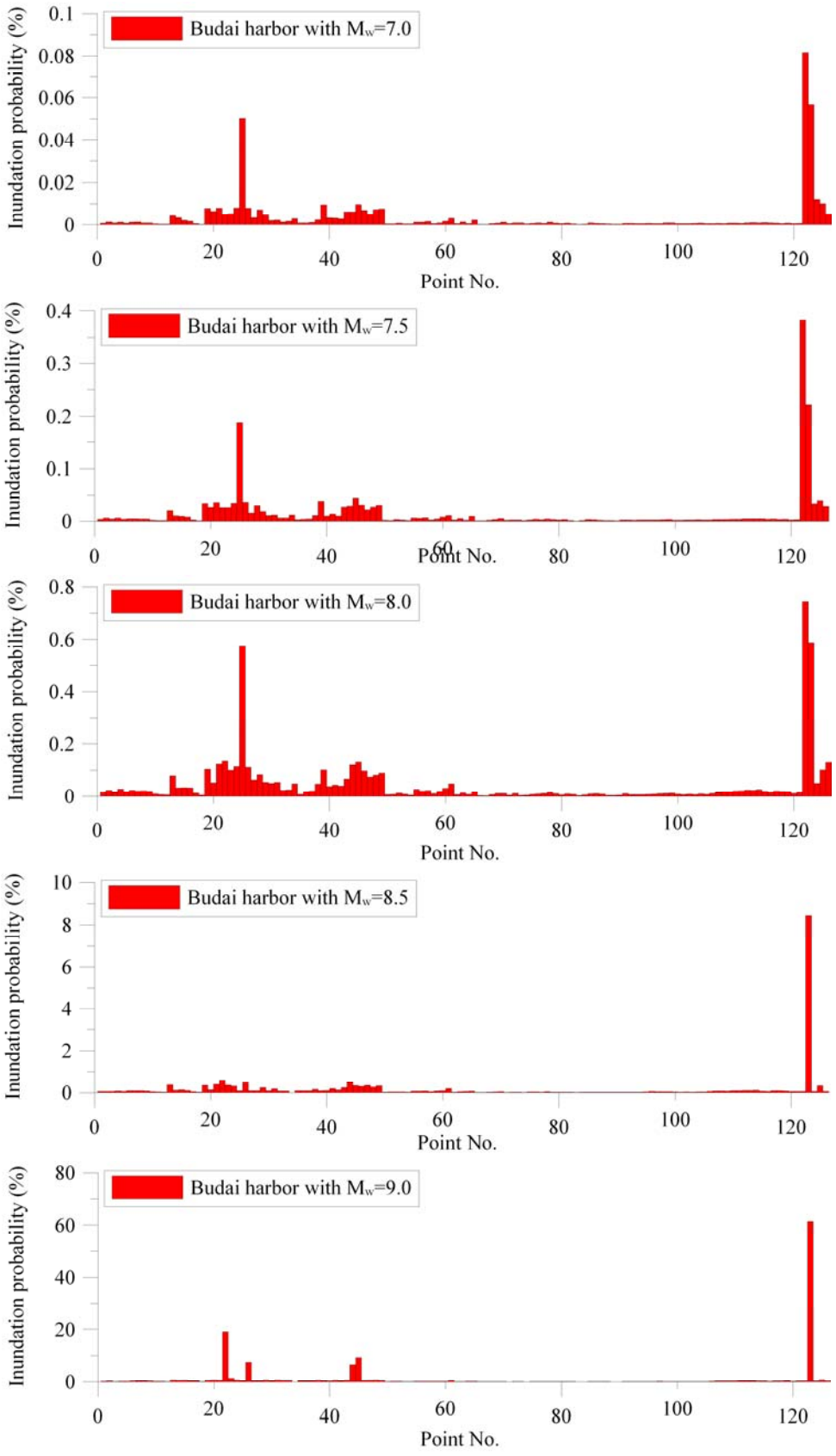


圖 5.65 布袋港在各種地震矩規模下之溢淹機率分佈

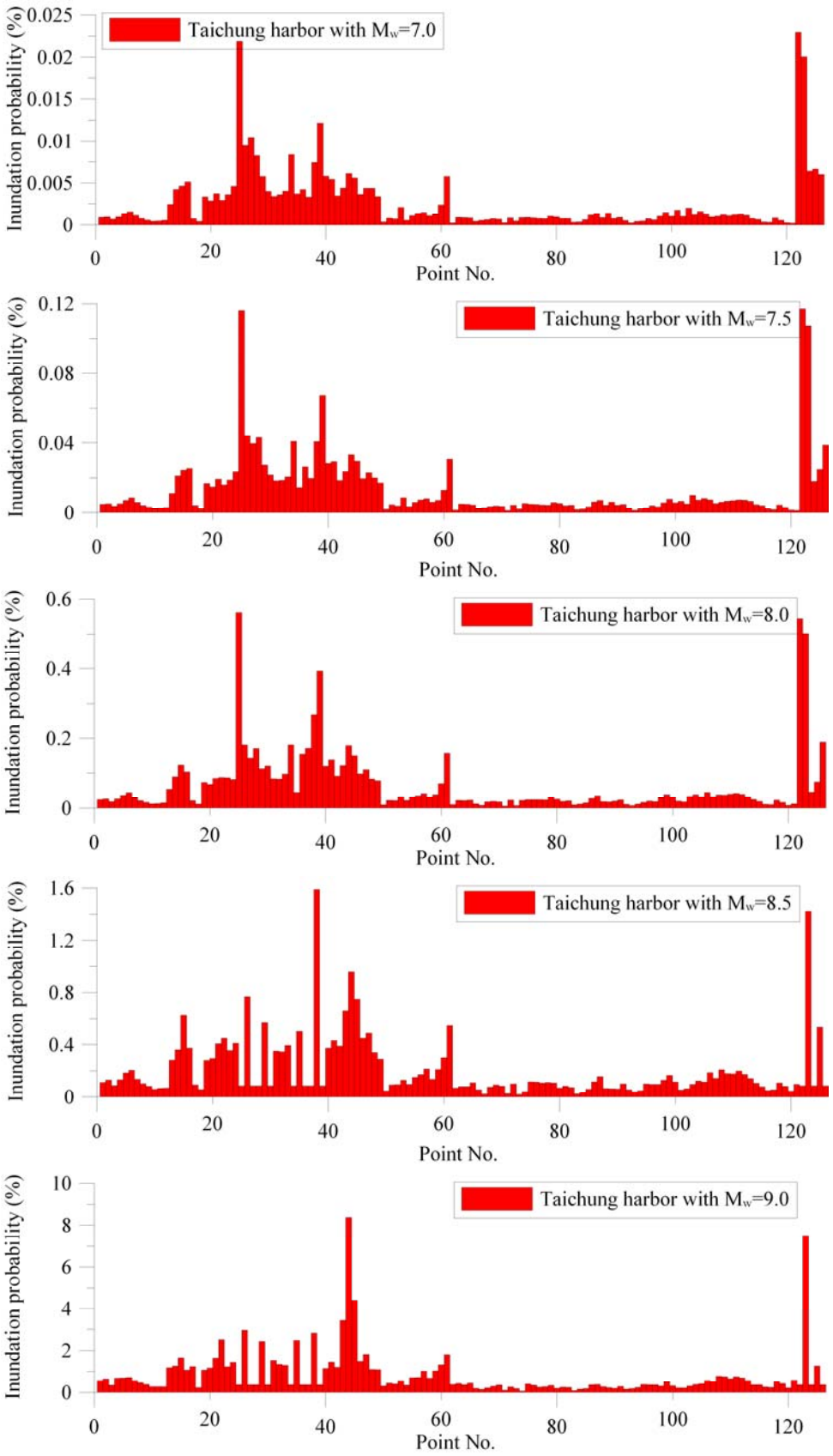


圖 5.66 臺中港在各種地震矩規模下之溢淹機率分佈

5.5.6 臺中港及布袋港海嘯地震且溢淹機率

完成各區域海嘯地震發生次數期望值之評估、海嘯對臺中港及布袋港產生之水位變化及使用模式模擬不同程度波高溢淹各鄉鎮之狀況並定義溢淹機率後，最後將五個規模(7、7.5、8、8.5、9)海嘯地震次數期望值，乘上淺層海源地震機率及五個規模發生海嘯產生之溢淹機率，加總各分量即得臺中及布袋港未來 50 年及 100 年發生海嘯且溢淹之機率；其統計上之意義即是「某個特定點位面對所有潛勢震源點在未來 50 年及 100 年間發生超過地震矩規模 7 之海嘯且溢淹之或然率」

計算結果為布袋港在未來 50 年間發生海嘯且溢淹之機率為 0.1%，100 年為 0.2%；臺中港未來 50 年間發生海嘯且溢淹之機率為 0.18%，100 年為 0.33%。分析結果遠小於基隆港及臺北港之風險值，主要是因為臺中港及布袋港現有之高程可抵擋大部分震源及地震矩規模所產生之波高；也就是暗示雖然部份震源雖對臺中及布袋港之外海產生較大之波高，但因為高程之影響不至於產生溢淹，故其風險值甚低。

5.6 小結

1. 有鑑於近來太平洋區域發生多起重大之海嘯事件，且現今預報機制多依賴美日等鄰國之資訊，為增進臺灣海嘯警報之可信度、減少假警報以及提供較充裕之預警時間及海嘯資訊，將近岸海嘯預警系統拓展至遠海域，並建立子系統已達到強化應變海嘯風險之能力。
2. 精進臺中港域及布袋港域海嘯數值模式之格林函數，達到減少系統檔案大小並增進系統運算速度；並與港灣環境資料庫進行整合以達全自動化操作需求。
3. 完成海嘯模擬預警即時地震資料擷取系統，並增加日本防災科學技術研究所(NIED)所提供之 F-net 即時地震資料庫，以供與 USGS 與 CWB 資料庫結果比較。
4. 計算結果為布袋港在未來 50 年間發生海嘯且溢淹之機率為 0.1%，100 年為 0.2%；臺中港未來 50 年間發生海嘯且溢淹之機率為 0.18%，100 年為 0.33%。分析結果遠小於基隆港及臺北港之風險值，主要是因為臺中港及布袋港現有之高程可抵擋大部分震源及地震矩規模所產生之波高；也就是暗示雖然部份震源雖對臺中及布袋港之外海產生較大之波高，但因為高程之影響不至於產生溢淹，故其風險值甚低。

第六章 臺中港及麥寮港港灣防波堤堤頭沖蝕特性分析

波浪或海流通過海中結構物時，會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。

6.1 背景資料蒐集與潮波流現場調查

6.1.1 相關文獻

對於沖刷之研究，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。

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。雖探討的範圍並非深水域，但仍可提供本研究實質的參考。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)：

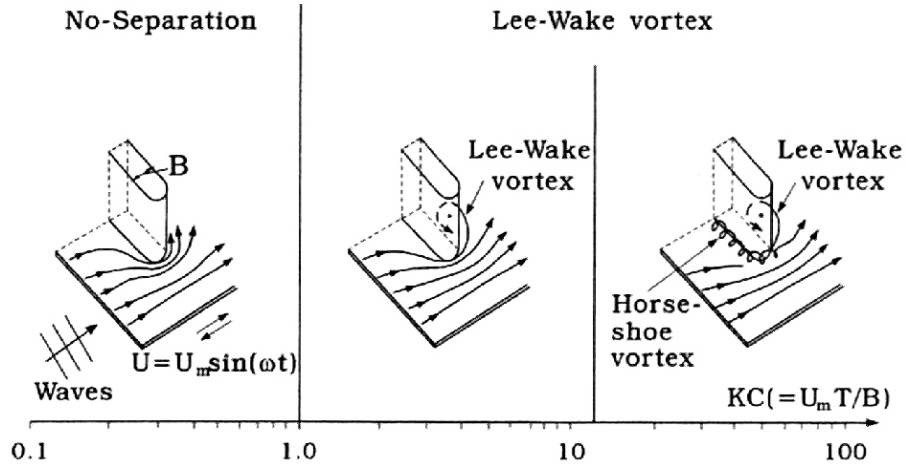
如圖 6.1 所示，當波浪入射方向與防波堤堤體垂直時，堤側所形成的渦流 (Vortex) 是造成沖刷的主要機制。波浪特性 (或引發的底床流) 與堤體尺寸的關係，可以 KC 參數 (= UmT/B) 表示。KC<1 時，流場並無明顯渦流產生。1<KC<12 時，流場形成堤後尾跡渦流。KC>12 時，除了形成堤後尾跡渦流，堤前亦伴隨馬蹄形渦流 (Horseshoe Vortex)。如圖 6.2 所示，若波流同時(同向)作用時，掏刷深度與純海流除以波浪引發的底床流速有關聯。當徐爾斯數大於臨界值，底床相對掏刷深度 (掏深和堤寬比) 隨著 KC 數變大而加大；當只有純流速作用時，掏深程度更劇烈。圖 6.3 中不同型式防波堤(含潛堤)的露出高 (F, freeboard; 當 F>0 時堤頂高於水面，為防波堤，F<0 時，堤頂低於水面，則是潛堤) 波高 (H) 比於不同 KC 的最大深度 (S) 與最大寬度 (Ly) 關係圖。

2. 波浪作用於有護基保護防波堤堤頭沖刷 (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 6.4 所示，當堤頭處未設置護基設施時，護基寬度與堤體寬度比 Lp/D = 0，掏刷深度增加最顯著。當護基寬度與堤體寬度比 Lp/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。

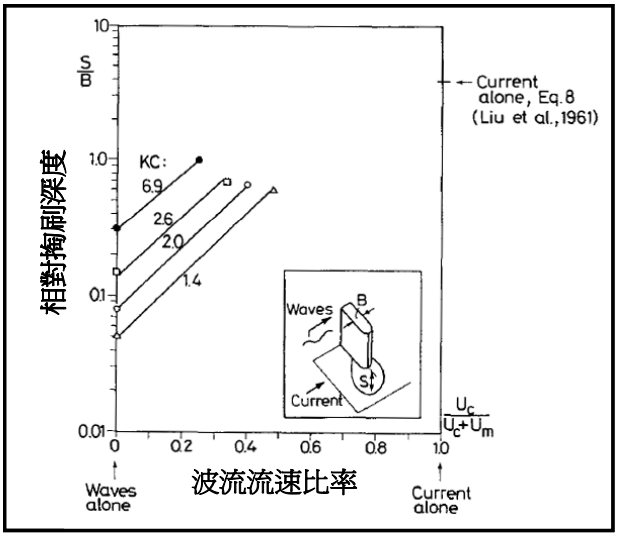
3. 波浪作用於直立堤與斜坡拋石堤之防波堤堤頭沖刷 (Sumer et al., 2001)：

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 6.5 所示。



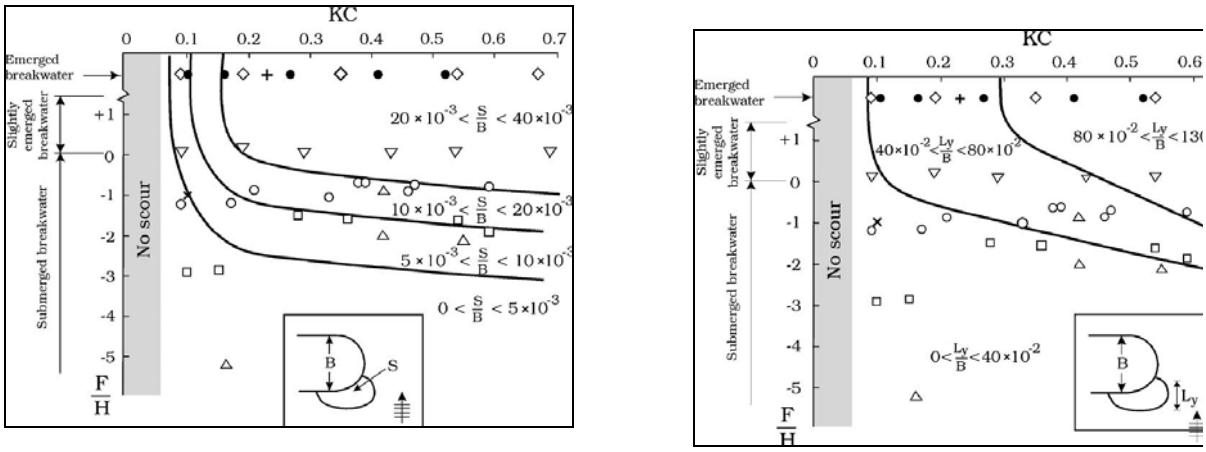
(Sumer and Fredsøe, 1997)

圖 6.1 直立堤堤頭附近水流流況示意圖



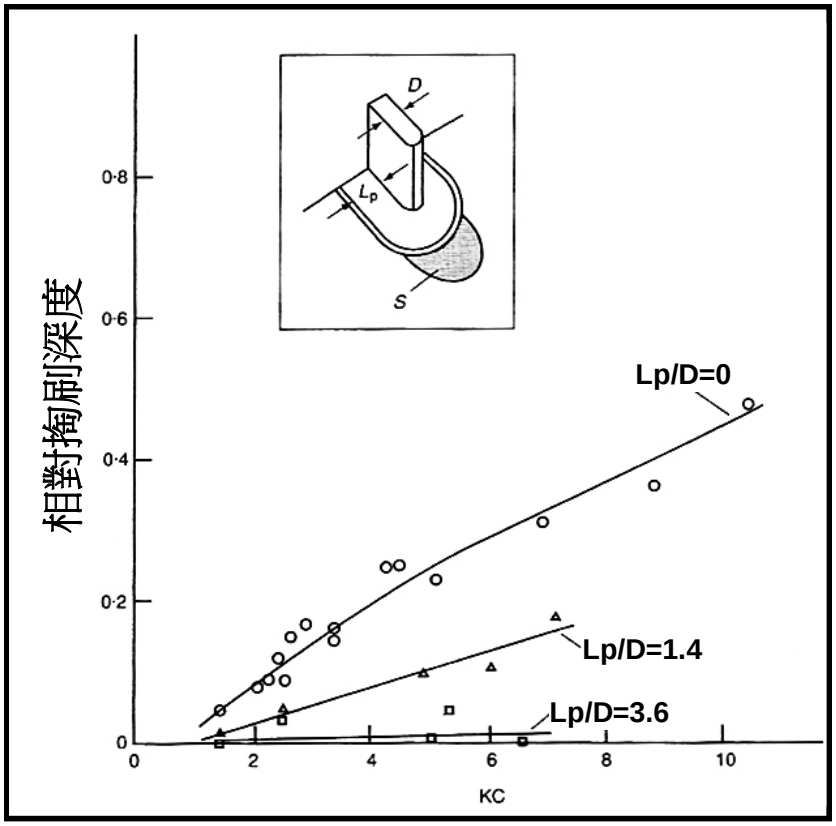
(Sumer and Fredsøe, 1997)

圖 6.2 直立堤堤頭波流共生之掏深關係



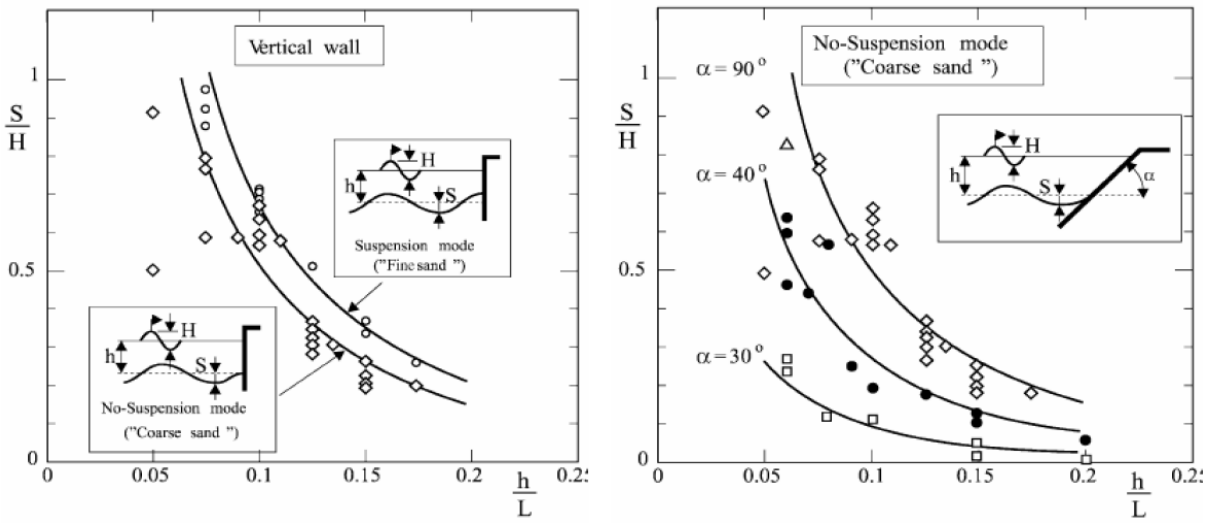
(Sumer et al., 2005)

圖 6.3 防波堤堤頭露水高與掏深深度、寬度關係



(Gokce et al., 1994、Sumer and Fredsøe, 1997)

圖 6.4 具護基保護工之直立堤堤頭附近 KC 值與掏深關係



(Sumer et al., 2001)

圖 6.5 直立堤與斜坡拋石堤之堤前掏刷關係

6.1.2 背景資料收集

一、臺中港

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、本中心之臺中港海象分析資料、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 6.6 所示



資料來源：Google Map、本所

圖 6.6 臺中港海氣象觀測站位置圖

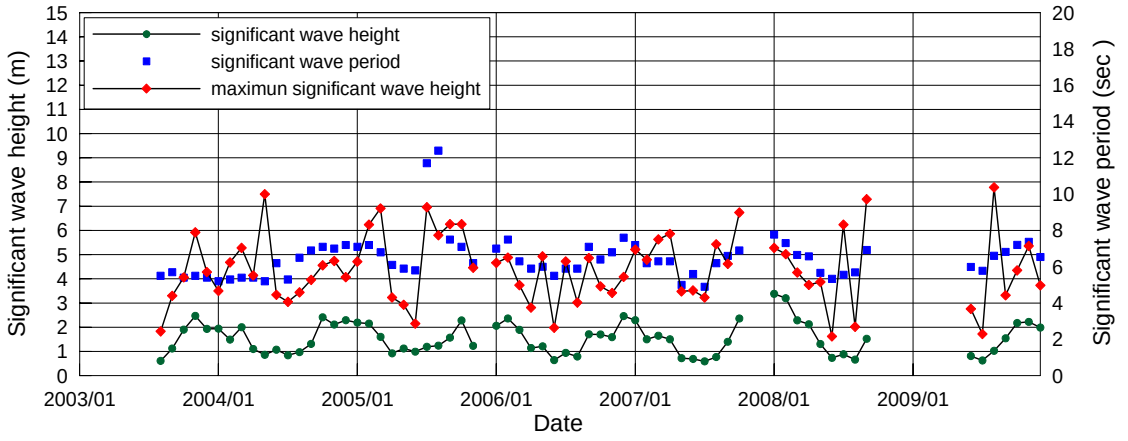
根據中央氣象局梧棲氣象站 2001 年 1 月~2008 年 2 月之觀測資料，梧棲地區歷年主要風向為 N 向，約佔 36.6%。9 月至翌年 5 月主要風向為 N 向，而 7、8 月份受颱風影響造成風向分佈以 SSE 向為最多。梧棲地區冬季期間主要風向為 N 向，約佔 54.67%，風速小於 12 m/sec 之累積機率約佔 97.65%。夏季期間主要風向為 N 向，約佔 21.83%；其次為 SSE 向，約佔 11.45%，風速小於 12 m/sec 之累積機率約佔 99.21%。

蔡及徐 (2011) 分析自 2003 年 8 月至 2009 年 12 月間波浪觀測資料，歷年之波高、週期及波向的統計結果如表 6-1，夏季波向介於西至北向之比例較大，冬季波向介於北至東向之比例較大。波向由北至東向，約佔觀測的 64.2%。$H_{1/3}$ 小於 1 m 以下者，約佔歷年觀測的 40.8%；$H_{1/3}$ 介於 1m 至 5 m 之間者，約佔歷年觀測的 58.8%；$H_{1/3}$ 大於 5 m 以上者，約佔觀測的 0.3%。$T_{1/3}$ 小於 6 sec 以下者約佔觀測的 42.3%；介於 6 sec 至 8 sec 之間者，約佔歷年觀測的 48.3%。歷年之平均 $H_{1/3}$ 為 1.54 m；平均 $T_{1/3}$ 為 6.4 sec；歷年最大 $H_{1/3}$ 為 7.78 m，週期為 8.7 sec，發生於 2009 年 8 月 7 日莫拉克 (Morakot) 颱風期間。圖 6.7 為歷年逐月統計圖，月平均 $H_{1/3}$ 小於 3 m，月平均 $T_{1/3}$ 介於 4.9 sec 至 7.8 sec 之間。

表 6-1 臺中港 2003 至 2009 年示性波高、週期及波向資料統計表

年份	H1/3 平均值 (m)	T1/3 平均值 (sec)	H1/3			H1/3 <0.5m (%)	H1/3 0.5~1m (%)	H1/3 1~5m (%)	H1/3 >5m (%)	T1/3 <6sec (%)	T1/3 6~8sec (%)	T1/3 8~10sec (%)	T1/3 >10sec (%)
			最大值 (m)	週期 (sec)	波向								
2003	1.61	5.5	5.92	5.6	NNE	16.7	23.4	59.9	0.0	83.0	17.0	0.0	0.0
2004	1.53	6.1	7.50	6.2	WSW	17.7	21.8	60.4	0.1	56.1	35.3	7.6	1.0
2005	1.50	7.6	6.96	8.9	N	12.8	25.8	60.8	0.5	29.6	60.9	7.6	0.5
2006	1.54	6.5	4.93	12.1	N	7.7	26.8	65.6	0.0	32.0	54.3	12.9	0.9
2007	1.35	6.1	6.74	9.8	-	16.4	32.8	50.3	0.6	35.7	57.9	6.1	0.0
2008	1.79	6.4	7.29	10.8	N	11.7	30.4	57.3	0.6	31.8	55.8	11.8	0.5
2009	1.48	6.6	7.78	8.7	-	13.8	27.0	58.8	0.4	28.1	56.8	13.7	1.4
統計值	1.54	6.4	7.78	8.7	-	13.8	26.8	59.0	0.3	42.3	48.3	8.5	0.6

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



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

圖 6.7 臺中港 2003~2009 年平均示性波高、週期之月統計

以中央氣象局曾發佈之侵臺歷史颱風資料 (1940～2010 年)，篩選通過以臺中港海域 (120.42˚E，24.30˚N) 為中心、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，並利用迴歸分析的方式求得不同重現期之颱風波浪，如表 6-2 所示。

表 6-2 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。

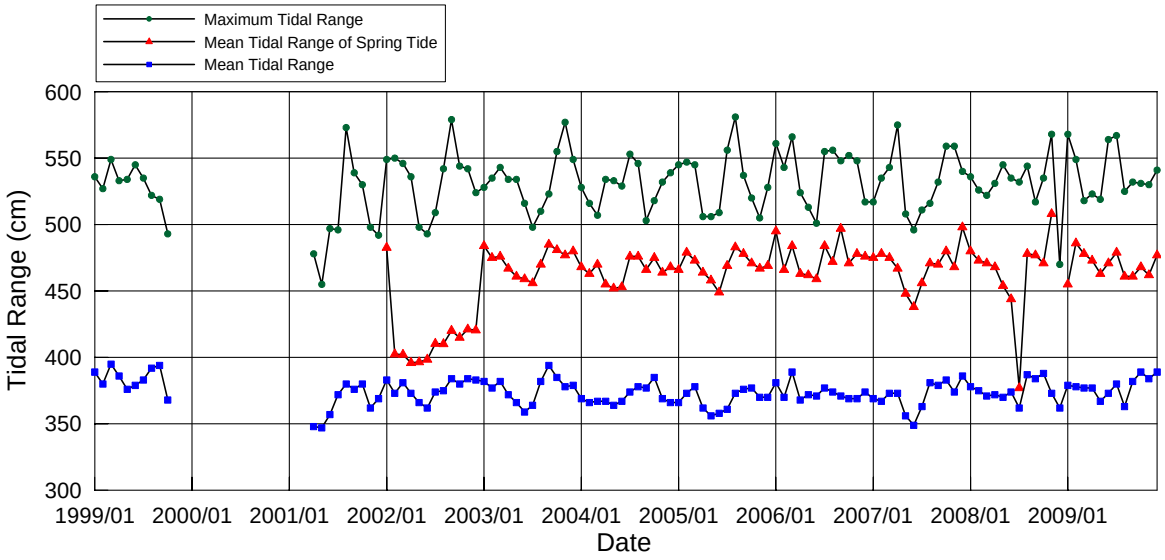
臺中港海岸流況主要由沿岸流、風驅流、潮流及黑潮所組成，港研中心自 2003 年 8 月至 2009 年 12 月期間的海流觀測資料，歷年海流之流速及流向的統計結果如表 6-3 所示。港區附近主要流向為西至北向，約佔歷年觀測的 56.6%；其次為南至西向，約佔歷年觀測的 22.7%。歷年平均流速 45.9 cm/sec；最大流速 248.3 cm/sec，流向為西向。

表 6-3 臺中港 2003 至 2009 年海流之流速及流向統計表

年份	平均流速 (cm/s)	最大流速		流速 <25cm/s (%)	流速 25~50cm/s (%)	流速 50~100cm/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 (°)								
2003	40.8	153.8	W	34.6	34.9	26.3	4.3	23.7	7.2	18.8	50.3
2004	45.3	173.0	W	27.0	34.3	34.7	4.0	10.2	7.6	19.1	63.1
2005	49.2	248.3	W	19.9	36.9	37.7	5.5	9.3	1.4	16.2	73.2
2006	45.9	171.9	W	26.1	35.4	32.8	5.7	5.4	0.7	26.8	67.1
2007	43.5	193.9	WSW	24.7	38.8	34.2	2.3	10.8	2.1	22.1	64.9
2008	51.3	240.2	WNW	23.0	33.8	35.0	8.1	17.5	19.4	26.1	37.0
2009	45.5	189.0	WNW	24.9	39.4	31.5	4.2	28.1	0.9	30.1	41.0
統計值	45.9	248.3	W	25.7	36.2	33.2	4.9	15.0	5.6	22.7	56.6

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。

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，其中 1999 年 11 月至 2002 年 12 月因碼頭改建暫停潮位觀測，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 6.8 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)」，本所，100 年 1 月。

圖 6.8 臺中港 1999 至 2009 年之潮位統計分佈圖

二、麥寮工業港

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 6.9 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。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 6.10 所示。

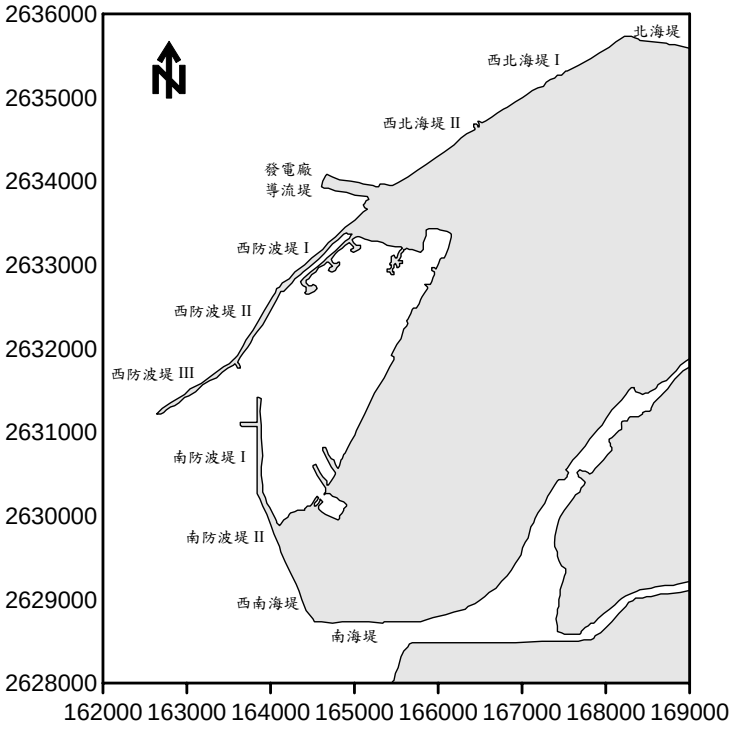
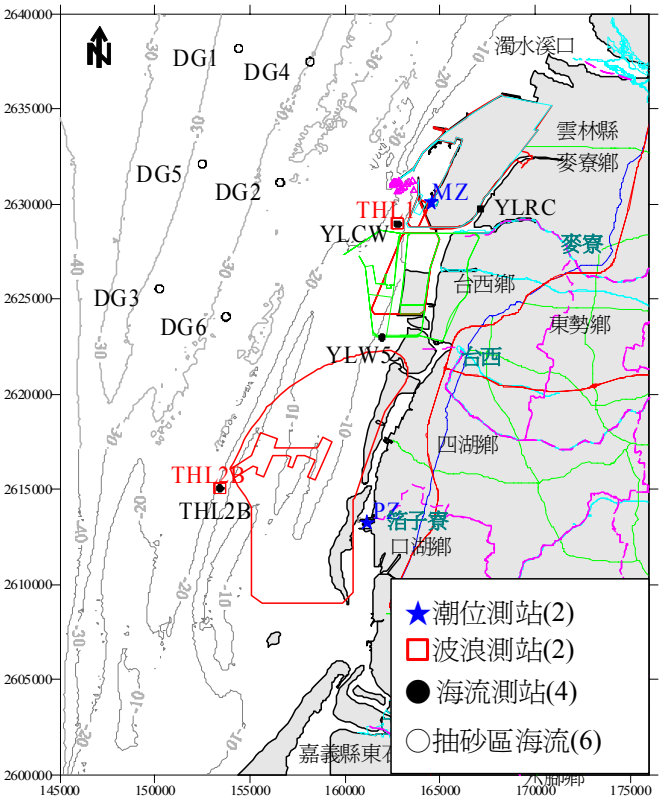


圖 6.9 麥寮工業區各區段海堤位置圖



(成大水工所，2010)

圖 6.10 雲林縣離島工業區海氣象觀測站位置圖

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。

成大水工所 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，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。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。而 THL2B 測站又稱四湖測站，位於箔子寮外海 5km 處，水深約-18m。根據成大水工所提供之 2001～2010 年度 THL2B 站海象觀測資料，本測站夏季平均示性波高 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。

THL1、THL2B 兩站歷年月平均與最大示性波高分佈如圖 6.11 所示，其中夏秋季颱風與東北季風鋒面為主要測得時期。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)。

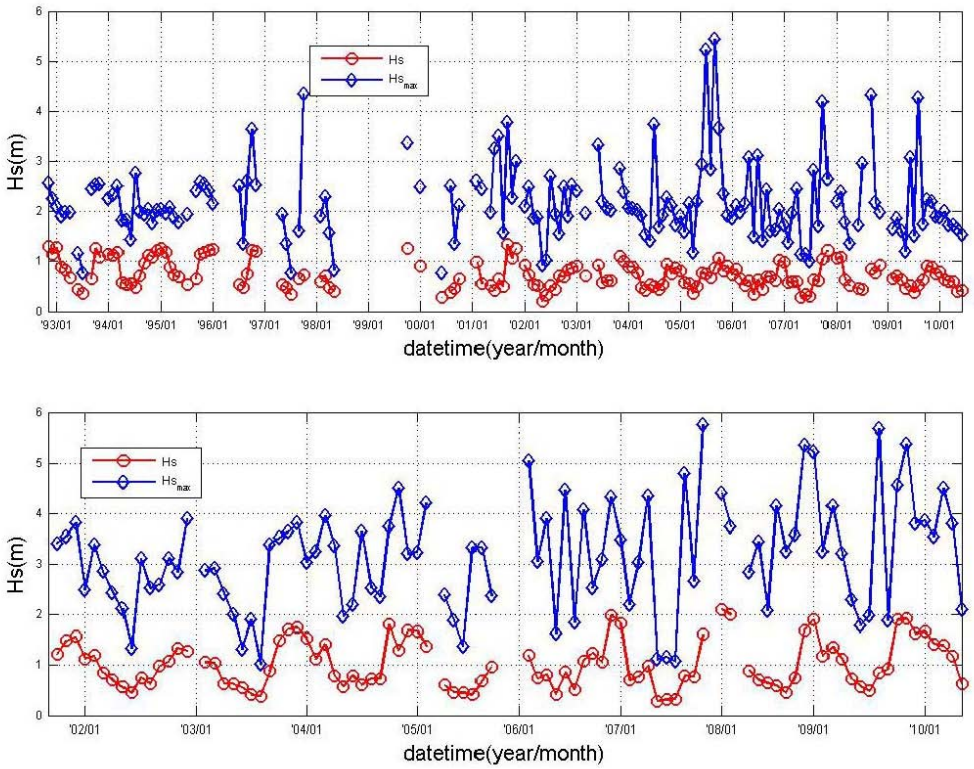


圖 6.11 THL1、THL2B 測站之月平均與月最大示性波高分佈

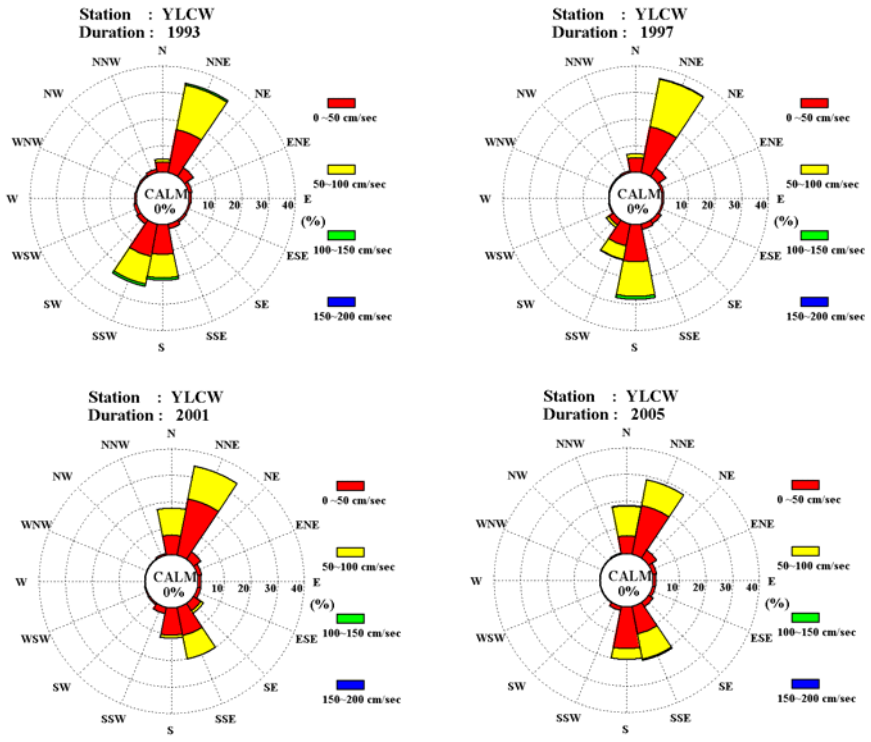
篩選通過以麥寮港海域 (120.10°E，23.76°N) 為中心、所求得不同重現期之颱風波浪，如表 6-4 所示。

表 6-4 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。

麥寮港的海流觀測可由 YLCW 測站分析。YLCW 測站自 1993～2006 年之海流玫瑰圖如圖 6.12 所示，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。



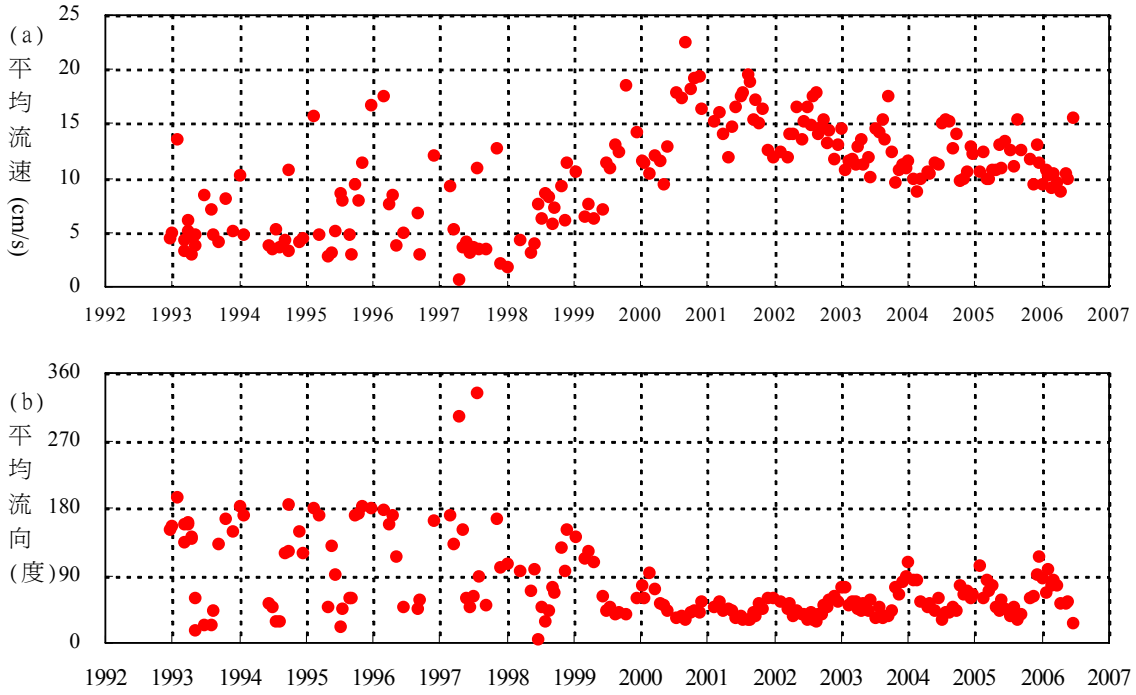
資料來源：「雲林離島式基礎工業區整體環境資源管理評估－96 年度(第 16 年)－(96 年 1 月～96 年 12 月)」第 1 部份第 1 冊，96 年 12 月。

圖 6.12 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如圖 6.13 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。

而雲林麥寮海域在 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)。



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 6.13 雲林海域 YLCW 測站歷年之平均流速與流向變化圖

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。其中麥寮及箔子寮潮位站隸屬經濟部工業局，委託成功大學水工所進行潮位監測，目前仍持續監測中，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。箔子寮、三條崙及麥寮三個潮位站之歷年潮位統計結果，如表 6-5 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 6-5 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。

6.1.3 潮波流現場調查

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，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。麥寮港港嘴監測點，其標號為 W，該點位的坐標為 TWD97

E 120°09’ 08.22” ，N 23°45’ 37.98” ，位置如圖 6.14 所示。自計式潮波流儀設置於水深約 10.0 公尺，觀測海面表層及海床底層之流速、波浪及潮位。觀測日期自 101 年 05 月 03 日至 05 月 24 日止共 22 天

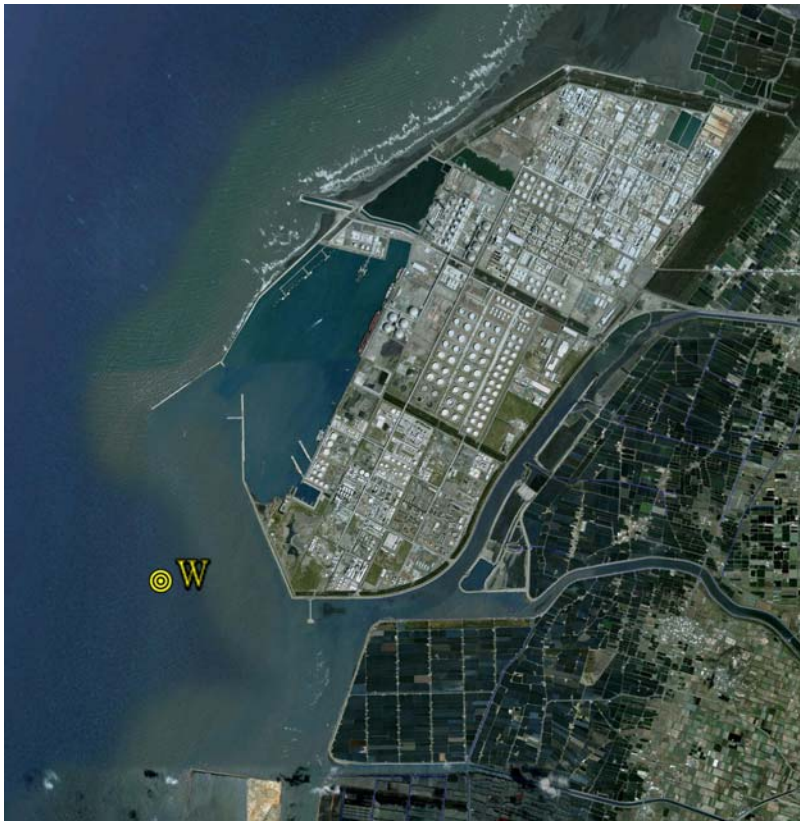


圖 6.14 雲林海域自計式潮波流儀施放點位示意圖

測站的水位時序變化繪圖如圖 6.15 所示。施測時間為 2012 年 05/03～05/24，共 21 日期間的平均水深為 8.356m。05 月 07 日 11 時，記錄最大水深 10.134m，05 月 08 日 18 時記錄最小水深 6.132m，最大潮差 4.002m。由表 4.2 潮位調合分析顯示，主要分潮為 M2，振幅為 1.287m，次要分潮 S2，振幅 0.289m。以法國 (Defant, 1958)潮型因子(form factor，$F_f=(a_{K1}+a_{O1})/(a_{M2}+a_{S2})$)分析，$F_f$ 值為 0.28，屬於半日潮型。以美國 (Diertrich, 1980)潮型因子($F_a=(a_{K1}+a_{O1})/(a_{M2})$)分析，$F_a$ 值為 0.35，屬於半日潮型。

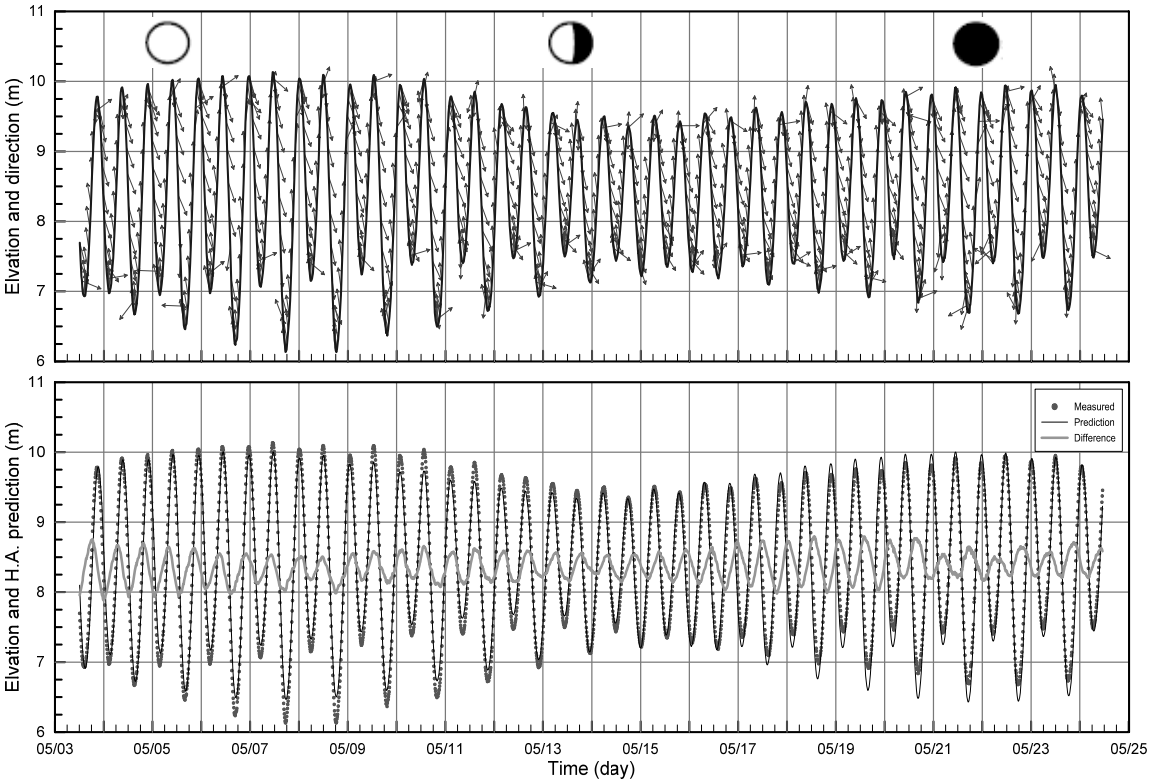


圖 6.15 雲林 W 站，2012 年 05/03～05/24 實測與預報水位變化圖

W 測站的海流觀測每 10 分鐘紀錄 1 筆資料。每 1 筆資料共含有效剖面資料 10 筆，各剖面間距 0.5m，以所測資料之底層水深 5m 及表層水深 1m，分別繪製流速與流向時序列資料如圖 6.16、圖 6.17 所示。W 測站底層平均流速為 39.8cm/s，主要流向為 N，此流向中測得流速最大值為 106.2cm/s，發生於 05 月 08 日 20 時。資料記錄中，流速最大值為 106.2cm/s，流向為 N，發生於 05 月 08 日 20 時。W 測站表層平均流速為 46.3cm/s，主要流向為 N，此流向中測得流速最大值為 115.4cm/s，發生於 05 月 08 日 20 時。資料紀錄中，流速最大值為 117.6cm/s，流向為 SSE，發生於 05 月 22 日 01 時。海流點位實測資料之底、表層統計資料如表 6-6 與表 6-7，而統計資料玫瑰圖如圖 6.18 所示。W 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 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%。W 測站底、表層無因次化能譜分別如圖 6.19、圖 6.21 所示，而 U(沿岸方

向)、V(向離岸方向)分量的潮流、風趨流成份時序圖則如圖 6.20 與圖 6.22 所示。

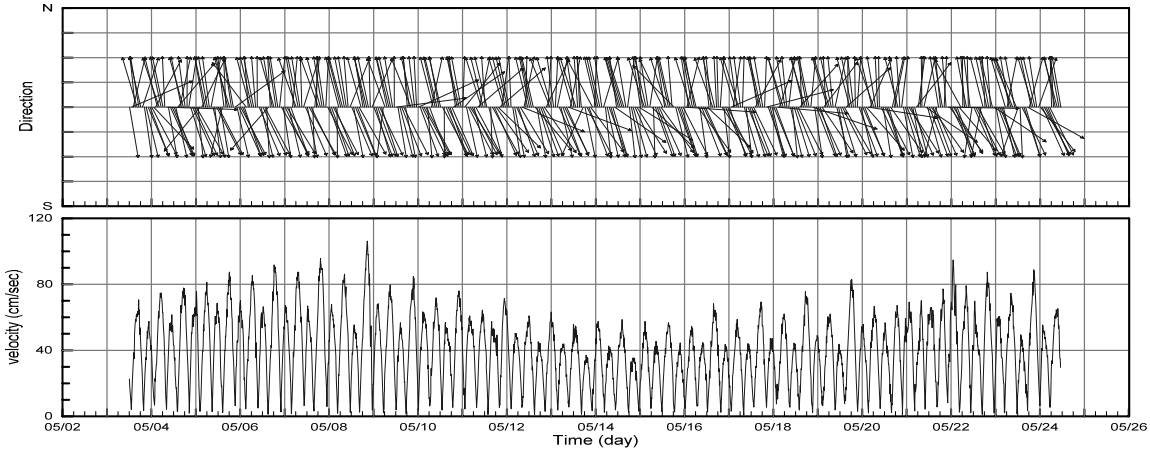


圖 6.16 雲林 W 測站，2012 年 05/03～05/24 底層流速與流向變化圖

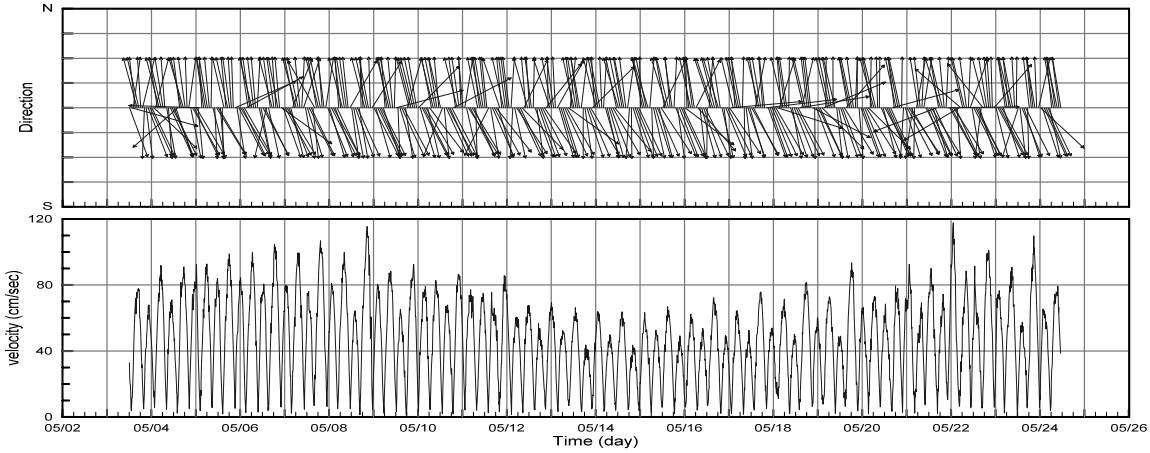
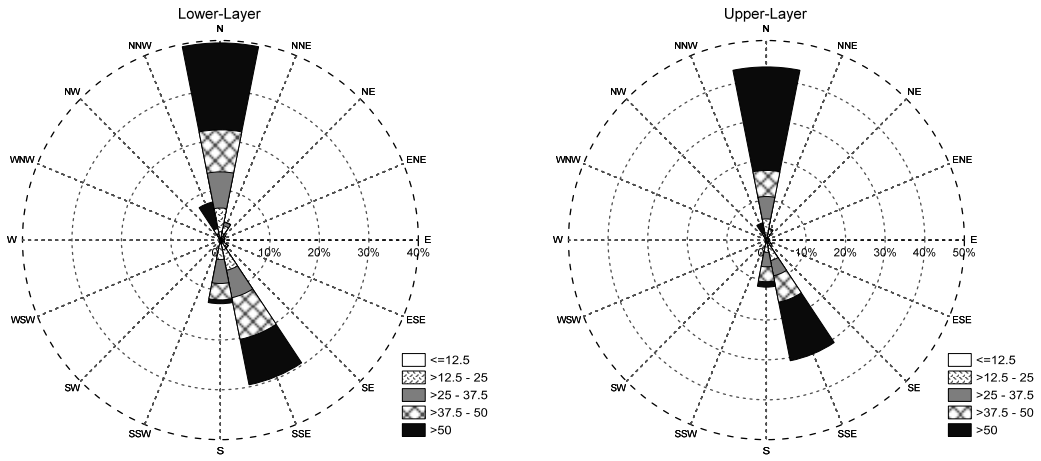


圖 6.17 雲林 W 測站，2012 年 05/03～05/24 表層流速與流向變化圖



單位：cm/sec

圖 6.18 雲林 W 測站，底、表層之海流玫瑰圖

表 6-6 W 測站，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	1.66	4.77	7.25	8.41	17.42	39.52
NNE	1.32	1.59	0.73	0.10	-	3.74
NE	1.03	0.30	-	-	-	1.32
ENE	0.89	0.07	-	-	-	0.96
E	0.66	0.07	-	-	-	0.73
ESE	0.83	0.03	-	-	-	0.86
SE	1.49	0.33	0.13	-	-	1.95
SSE	2.02	4.17	5.56	8.51	9.31	29.58
S	0.76	3.11	4.84	3.28	0.76	12.75
SSW	0.40	0.13	-	-	-	0.53
SW	0.07	-	-	-	-	0.07
WSW	0.03	-	-	-	-	0.03
W	0.07	-	-	-	-	0.07
WNW	-	-	-	-	-	0.00
NW	0.10	-	-	-	-	0.10
NNW	0.40	0.43	0.50	1.06	5.40	7.78
發生率(%)	11.73	15.00	19.01	21.36	32.89	100.00

表 6-7 W 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	1.29	4.01	5.60	6.56	25.94	43.39
NNE	1.59	1.13	0.23	0.03	-	2.98
NE	0.66	0.07	-	-	-	0.73
ENE	0.73	0.03	-	-	-	0.76
E	0.76	0.07	-	-	-	0.83
ESE	0.79	0.13	-	-	-	0.93
SE	1.32	0.40	-	-	-	1.72
SSE	1.42	3.81	3.88	6.76	14.97	30.84
S	0.76	2.29	3.64	3.74	1.36	11.79
SSW	0.40	0.20	0.07	-	-	0.66
SW	0.23	0.03	-	-	-	0.26
WSW	0.03	0.03	-	-	-	0.07
W	0.23	-	-	-	-	0.23
WNW	0.20	0.03	-	-	-	0.23
NW	0.10	0.03	0.03	-	-	0.17
NNW	0.40	0.56	0.40	0.40	2.65	4.41
發生率(%)	10.93	12.82	13.85	17.49	44.92	100.00

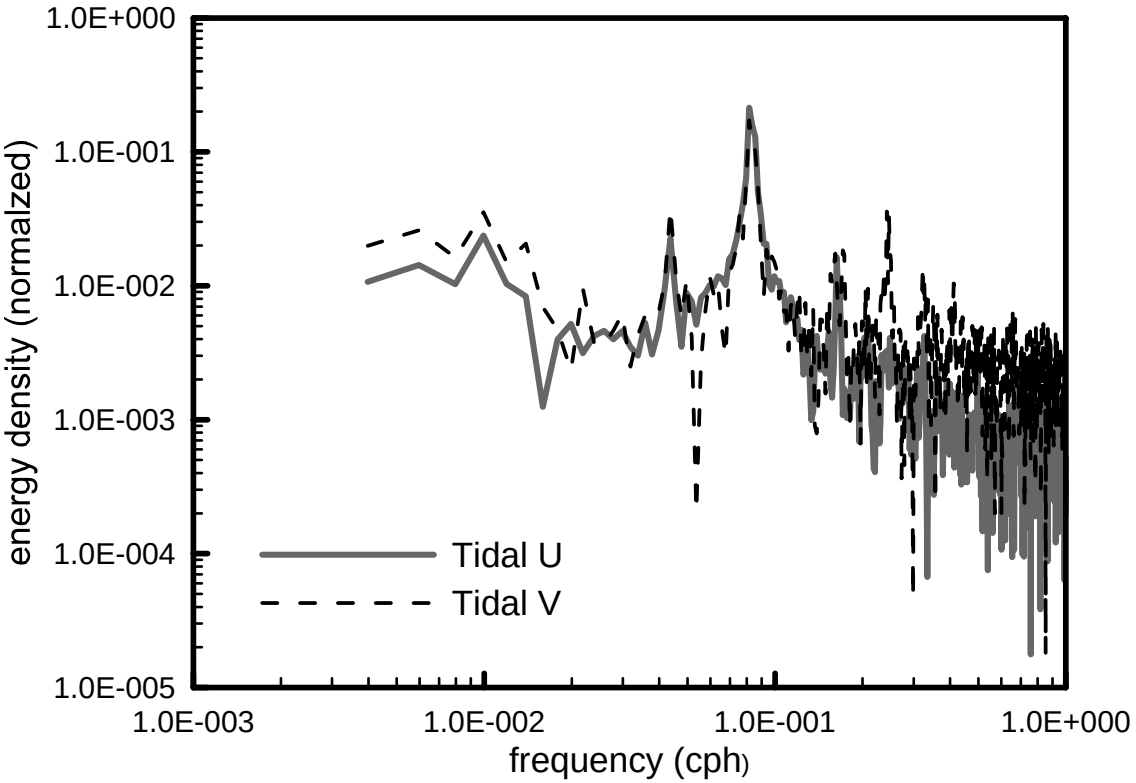


圖 6.19 雲林 W 測站，底層 U、V 分量海流無因次化能譜圖

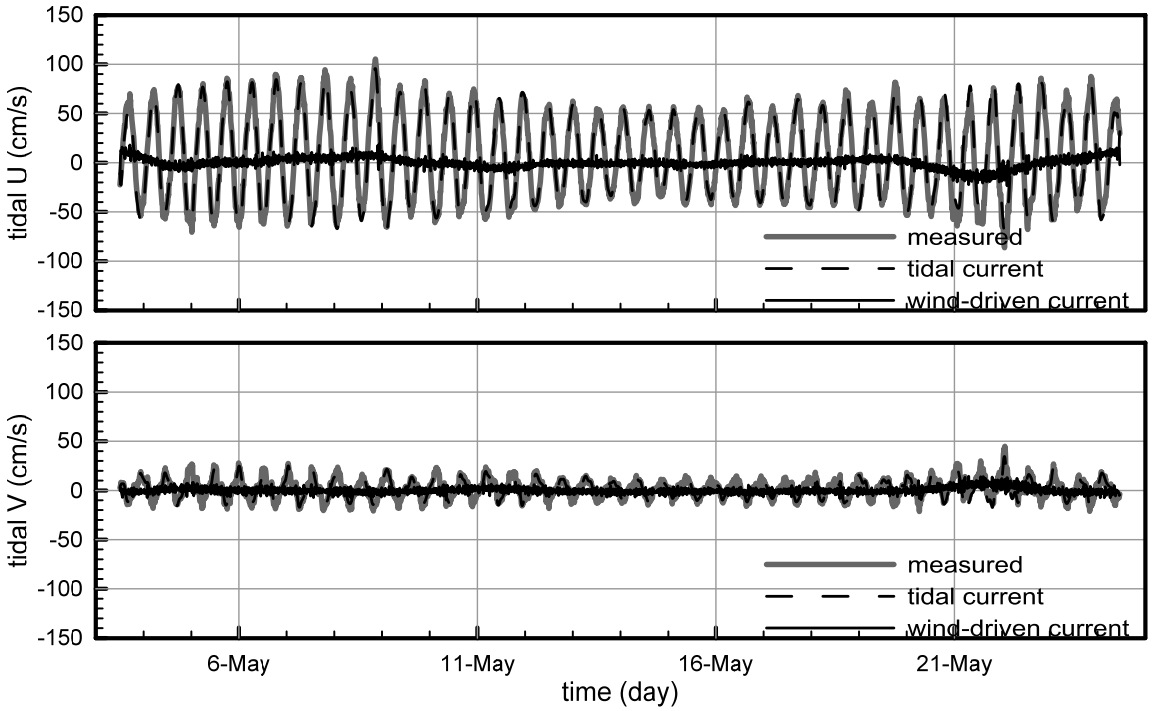


圖 6.20 雲林 W 測站，底層 U、V 分量之潮流、風驅流時序列圖

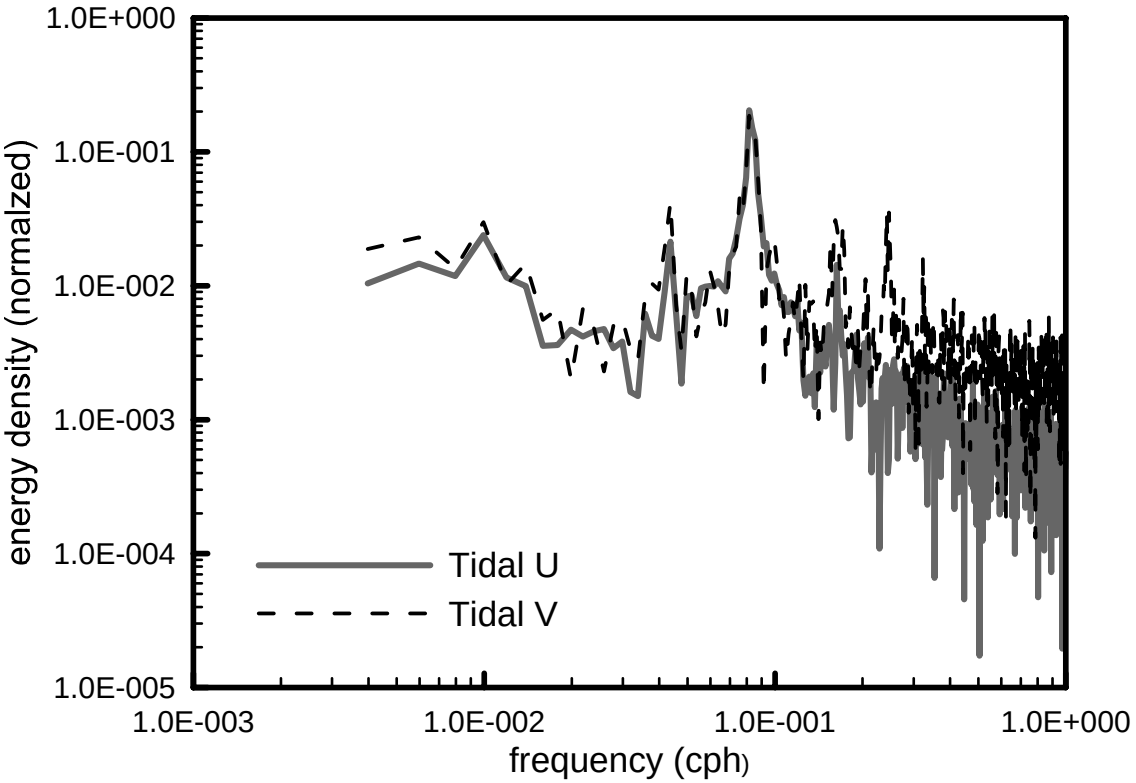


圖 6.21 雲林 W 測站，表層 U、V 分量海流無因次化能譜圖

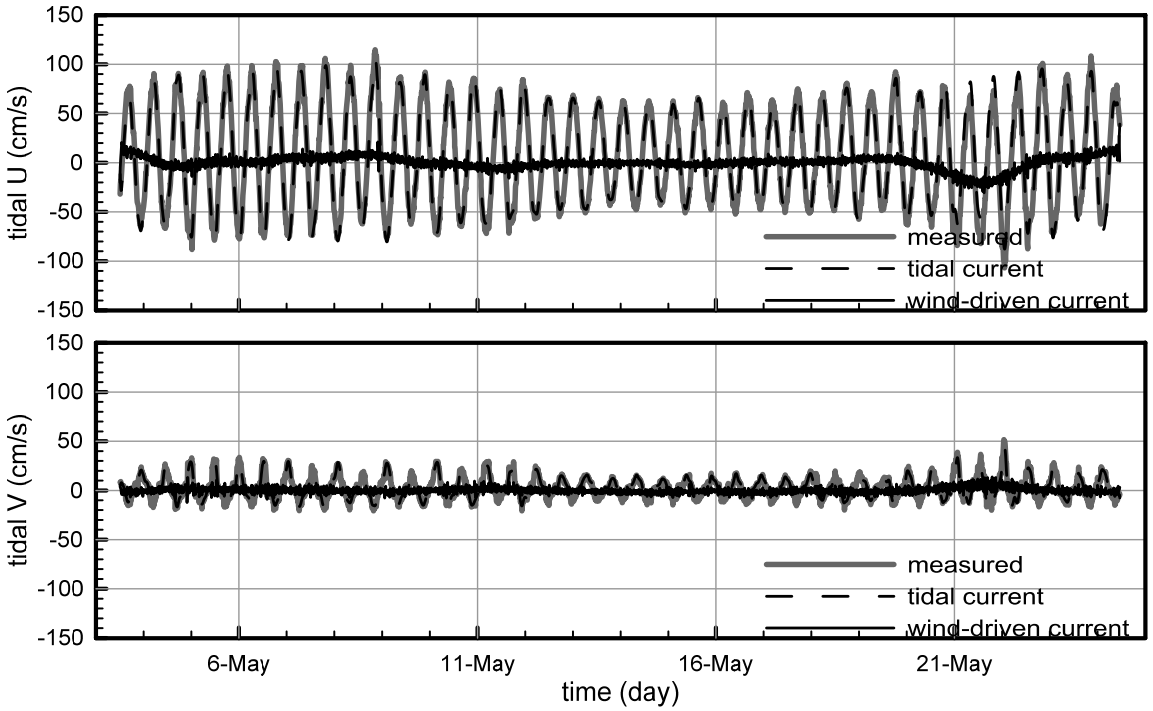
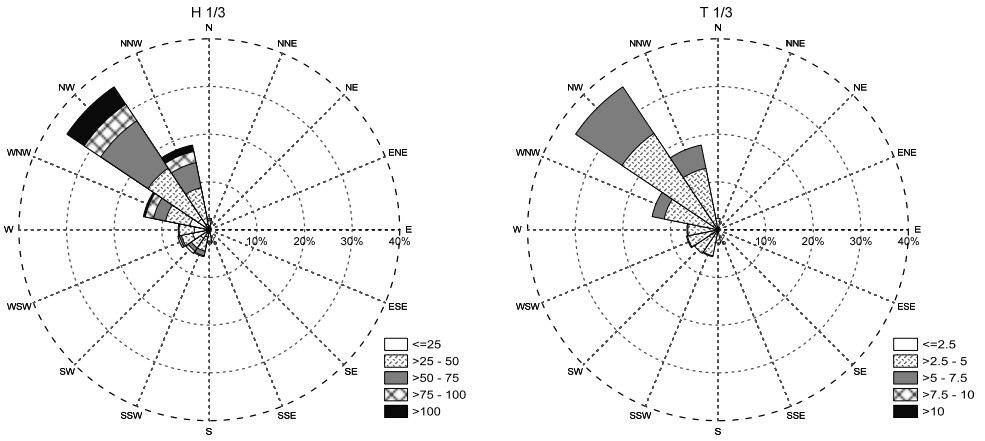


圖 6.22 雲林 W 測站，表層 U、V 分量之潮流、風驅流時序列圖

W 測站的波浪玫瑰圖如圖 6.23 所示，波高及週期時序圖如圖 6.24 所示。主要波向為 NW、NNW，觀測期間內的示性波高($H_{1/3}$)為 79.5cm，示性週期($T_{1/3}$)為 5.04sec。以每小時為統計區間，示性波高主要分佈於 25～75cm，佔約全體的 62.62%，示性週期則集中於 4～5sec 區間。平均波高為 48.1cm，平均週期 4.65sec。最大波高 162.0cm，週期 6.40sec，對應波浪方向為 NW，此記錄發生的時間為 5 月 21 日 21 時。



單位：cm　　單位：sec

圖 6.23 雲林 W 測站，波浪波高、週期玫瑰圖

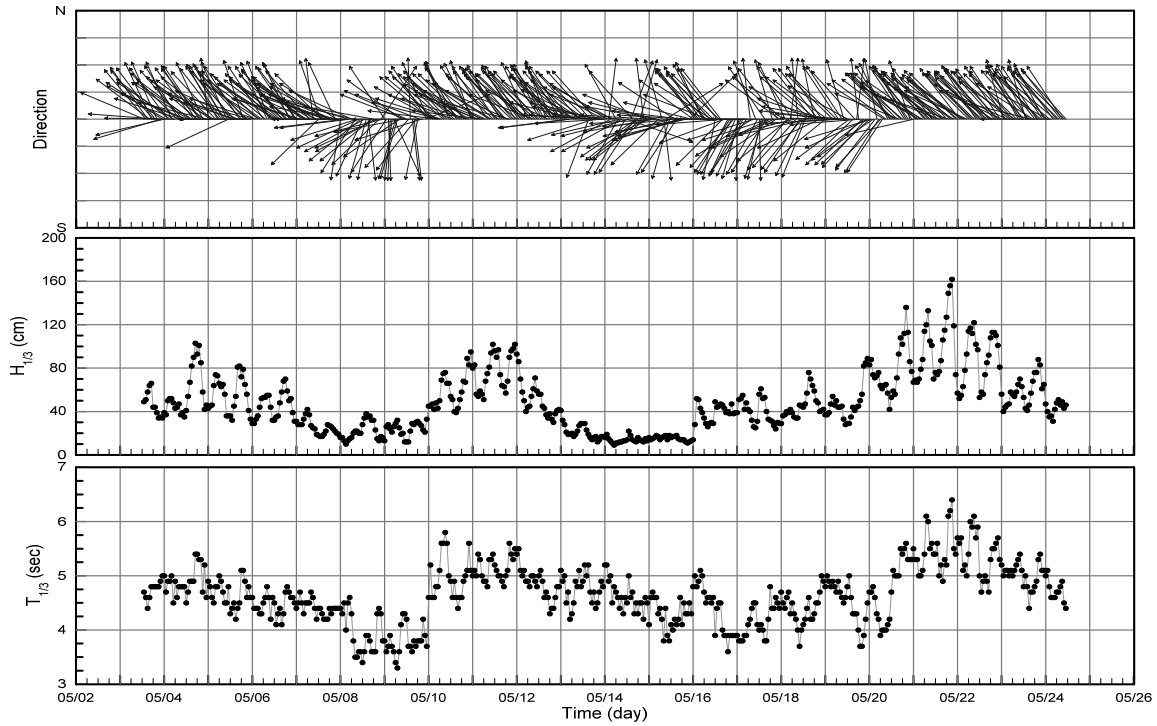


圖 6.24　雲林 W 測站，波浪波高、週期時序列圖

去年度在 W 測點亦曾進行潮波流調查。記錄上底層平均流速為39.4cm/s，主要流向為 N，此流向中測得流速最大值為 109.3cm/s，發生於 2011 年 06 月 11 日 15 時。資料記錄中，流速最大值為 109.3cm/s，流向為 N，發生於 2011 年 6 月 11 日 15 時。去年度表層平均流速為46.4cm/s，主要流向為 N，此流向中測得流速最大值為 120.0cm/s，發生於 2011 年 06 月 11 日 15 時。去年度主要波向為 WSW、W，觀測期間內的示性波高($H_{1/3}$)為 87.1cm，對應的示性週期($T_{1/3}$)為 5.08sec。以每小時為統計區間，示性波高主要分佈於 25～75cm，佔約全體的63.06%，示性週期則集中於 4～5sec 區間。平均波高為 54.1cm，平均週期 4.87sec。最大波高 182.0cm，週期 5.40sec，對應波浪方向為 WSW，此記錄發生的時間為 2011 年 06 月 11 日 12 時。

6.2 防波堤堤頭沖蝕數值模擬

6.2.1 FLOW-3D 模式

1985 年 Flow Science 公司推出 FLOW-3D®商業版流體分析軟體，主要核心技術為：多重區塊網格 (Multi-Block Grids)、FAVOR（Fractional Area/Volume Obstacle Representation）障礙物體積分率表示法、VOF (Volume of Fluid Method)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。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，針對研究的物理現象，為水動力學問題，其運動方程式為 Naiver-Stokes 方程式。FLOW-3D 控制方程式，質量連續方程式為

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u A_x) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w A_z) = R_{DIF} + R_{SOR} \quad \text{..... (6-1)}$$

式中 VF 是流體體積比，ρ 是流體密度，RDIF 是紊流擴散項，RSOR 是質量源項，(u, v, w)是(x, y, z)座標方向的速度，Ax , Ay , Az 分別是 X, Y, Z 方向流動的通量面積比。

$$R_{DIF} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\upsilon_\rho A_x \frac{\partial \rho}{\partial x}\right) + R\frac{\partial}{\partial y}\left(\upsilon_\rho A_y R\frac{\partial \rho}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\upsilon_\rho A_z \frac{\partial \rho}{\partial z}\right) + \xi\frac{\rho\upsilon_\rho A_x}{x} \quad (6\text{-}2)$$

式中係數υ_ρ等於$c_p\mu/\rho$，μ是動量分佈的係數(例如黏度)，c_p是參照紊流施密特數(turbulent Schmidt number)倒數的常數項。

$$R_{SOR} = \frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial}{\partial x}(uA_x) + R\frac{\partial}{\partial y}(vAy) + \frac{\partial}{\partial z}(wAz) + \xi\frac{uA_x}{x}\right) \quad \text{..... (6-3)}$$

而動量方程式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)

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

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

..... (6-4)

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

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

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

..... (6-5)

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

..... (6-6)

$$\rho V_F f_z = wsz - \left\{\frac{\partial}{\partial x}(A_x\tau_{xz}) + R\frac{\partial}{\partial y}(A_y\tau_{yz}) + \frac{\partial}{\partial z}(A_z\tau_{zz}) + \frac{\xi}{x}(A_x\tau_{xz})\right\} \text{.. (6-7)}$$

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：

$$\tau_{xx} = -2\mu\left\{\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{1}{3}\left(\frac{\partial u}{\partial x} + R\frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\xi u}{x}\right)\right\} \quad \text{(6-8)}$$

$$\tau_{yy} = -2\mu\left\{R\frac{\partial v}{\partial y} + \xi\frac{u}{x} - \frac{1}{3}\left(\frac{\partial u}{\partial x} + R\frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\xi u}{x}\right)\right\} \quad \text{(6-9)}$$

$$\tau_{zz} = -2\mu\left\{\frac{\partial w}{\partial z} - \frac{1}{3}\left(\frac{\partial u}{\partial x} + R\frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\xi u}{x}\right)\right\} \quad \text{(6-10)}$$

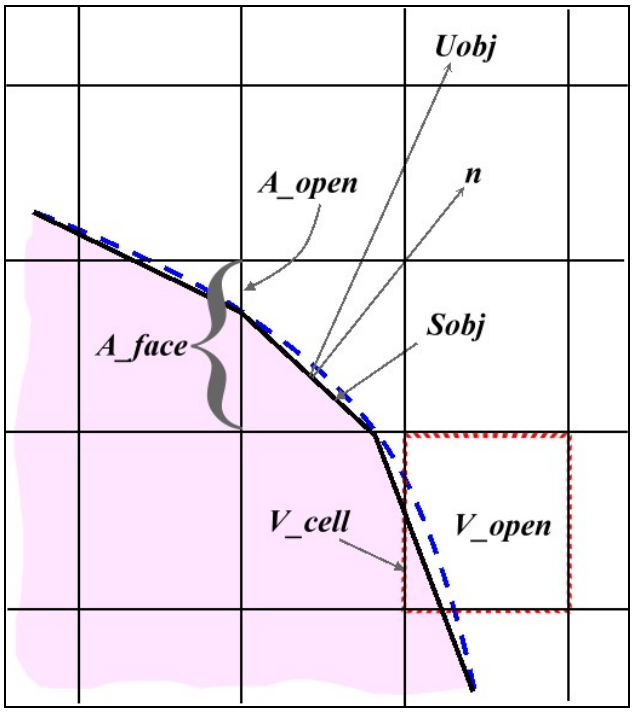
$$\tau_{xy} = -\mu\left\{\frac{\partial v}{\partial x} + R\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\xi v}{x}\right\} \quad , \quad \tau_{xz} = -\mu\left\{\frac{\partial u}{\partial z} + R\frac{\partial w}{\partial x}\right\} \quad ,$$

$$\tau_{yz} = -\mu\left\{\frac{\partial v}{\partial z} + R\frac{\partial w}{\partial y}\right\} \quad \text{(6-11)}$$

另外，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。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。

FAVOR 表示法（Fractional Area/Volume Obstacle Representation）及控制體積（Control Volume）的觀念，可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 6.25。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：

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

圖 6.25 通度係數 FAVOR 流體界面與自由液面計算示意圖

6.2.2 防波堤鄰近海域流場數值模擬

數值模擬以臺中港和麥寮港附近海域為計算範圍，如圖 6.26 所示。臺中港計算範圍為 13km × 17km，平均垂直深度 20m，北防堤堤頭約於計算領域的中心點偏東 1.5km 處；麥寮港計算範圍則是 7km × 7km 的區域，平均垂直深度 20m，西防波堤堤頭約在計算領域中心點偏北 0.5km 處。X、Y 水平方向之網格距離 50m，垂直方向之網格距離則為 1m。

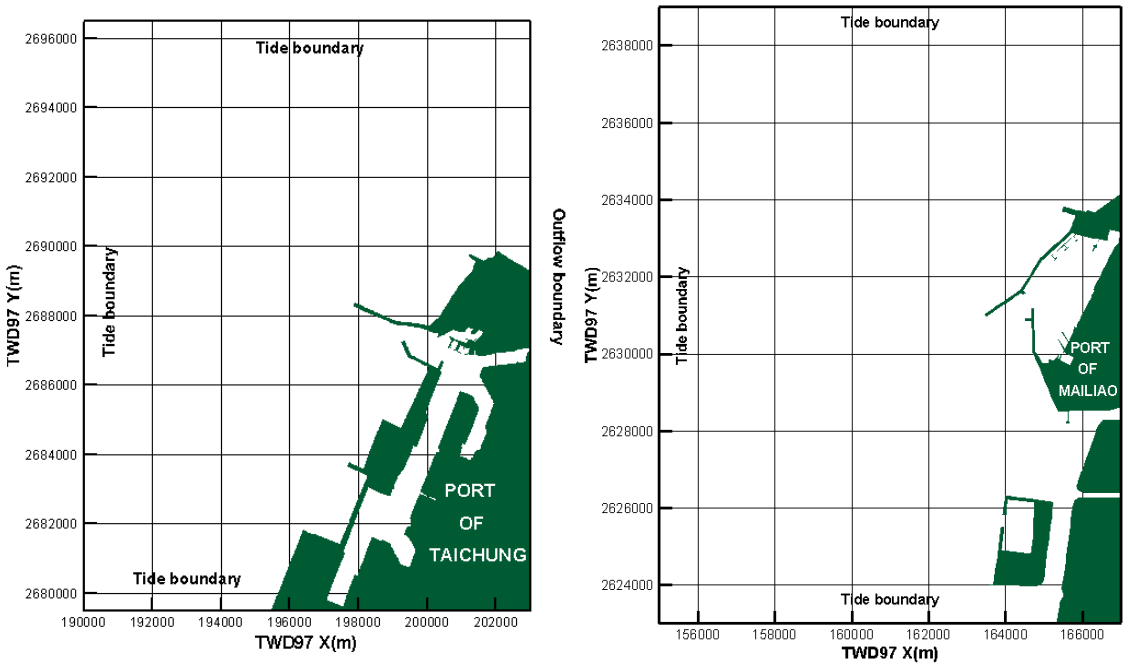
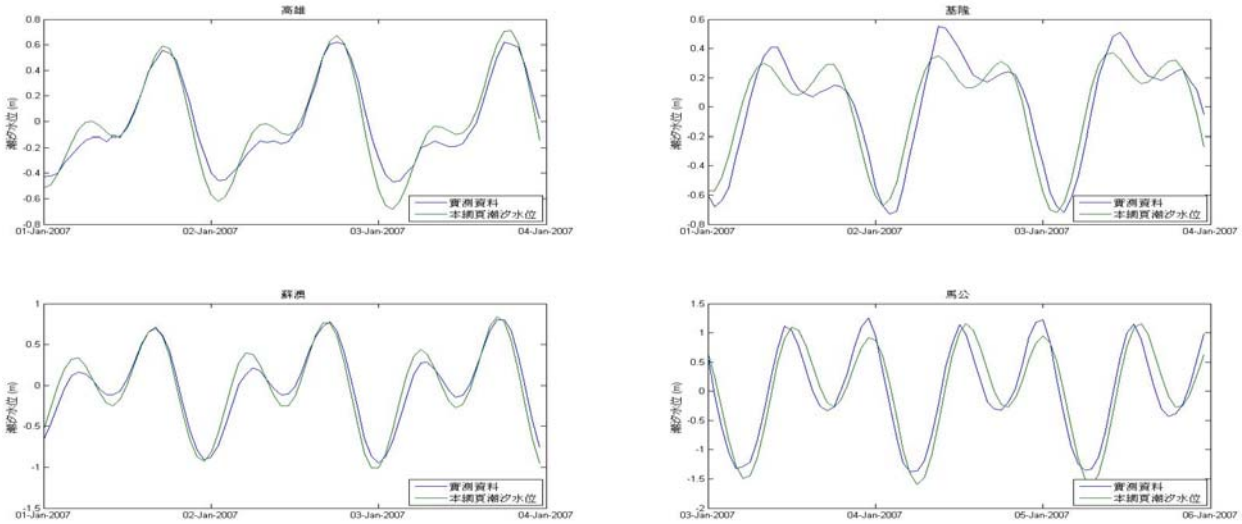


圖 6.26 臺中港與麥寮港數值模擬海域範圍示意圖

現階段潮位邊界引用海洋大學海洋環境資訊系海岸模式應用研究室網站所公布的臺灣附近海域潮汐水位，小區域網格解析度達 50m × 50m，每一網格潮汐調和常數包括 M2、S2、K1、O1、N2、P1 六個分潮，其結果與臺灣沿岸各驗潮站現有之調和常數比較，整體差異不大，實測資料驗證結果如圖 6.27 所示。



資料來源：海洋大學海洋環境資訊系海岸模式應用研究室

圖 6.27 引用之潮位與基隆、蘇澳、高雄及馬公實測資料比較圖

使用數值潮位 2011 年 6 月 10 日至 6 月 15 日間計算結果，輸入建置的數值模型，用以模擬麥寮港附近海域漲退潮的流況，擷選部分計算結果如圖 6.28 所示。漲潮時自西防波堤堤頭，向北形成流速大於 1.25m/sec 的帶狀區，至高潮時流速迅速減小，但堤頭北側渦流的流速仍有 0.5m/sec；退潮時，超過 1.25m/sec 的高速流場以堤頭為起點向南延伸，至低潮之時麥寮港的西南側有大範圍流速趨近於 0.75m/sec。

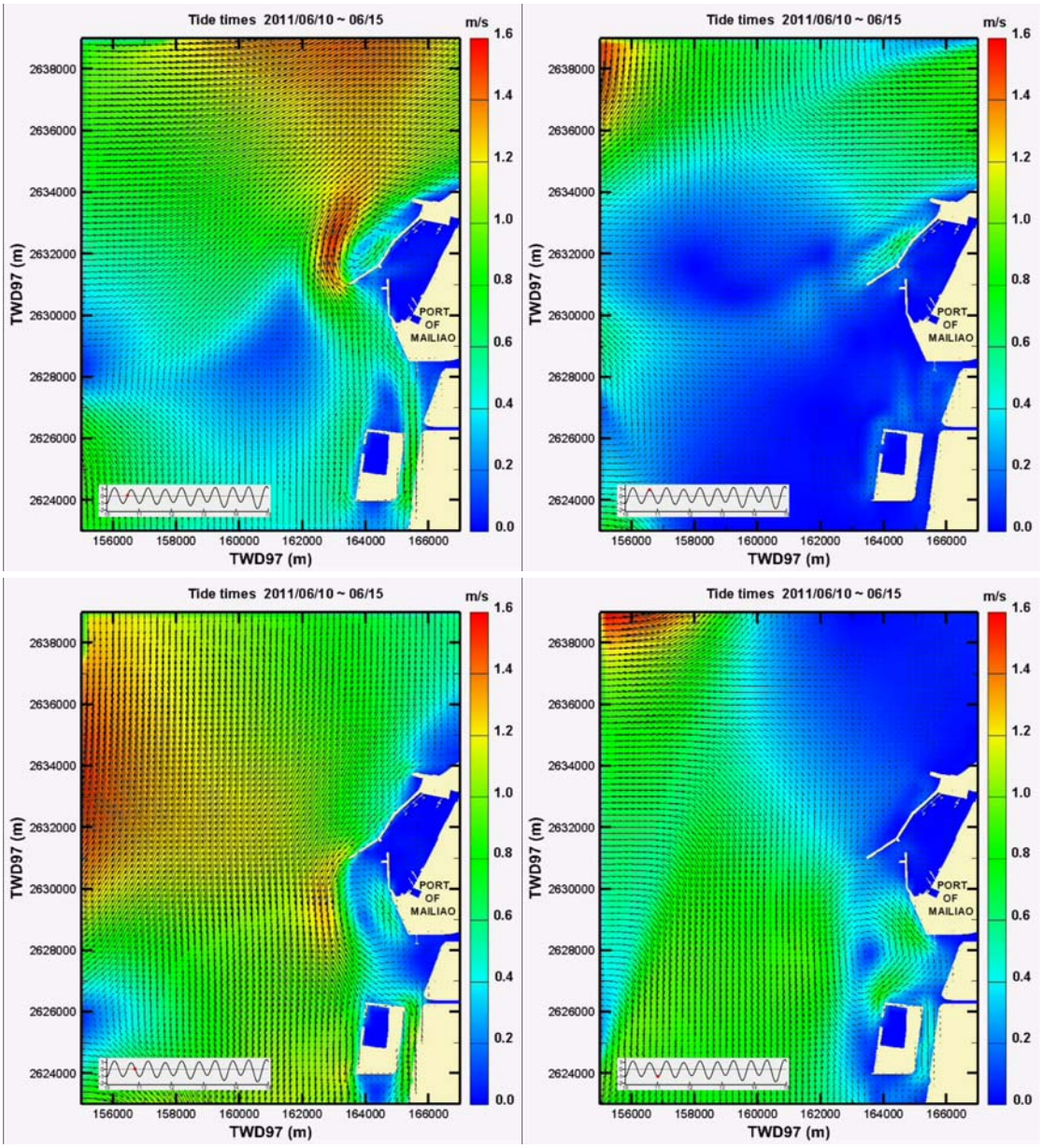


圖 6.28 2011/6/10~6/15 麥寮港附近海域漲退潮流況分佈(擷選)

6.2.3 防波堤鄰近海域造波數值模擬

波場數值模擬以麥寮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 6.29 所示。防波堤堤頭附近計算範圍為 2.3 km × 2 km。為兼顧自由水面的準確與電腦運算的效率，垂直入射波向網格設定 4 m ，平行入射波向網格設定 10 m，例如西側海域入射波，其 x=4m，y=10m，而垂直水層網格則設定 1m。初步給定波高 6m、週期 12sec 的颱風波浪條件，以西防波堤為原點，包含北、西北、西、西南與南等

五個方向的入射波。擷選模擬至第 240 秒時，北向與南向波浪入射水面變化，如圖 6.30 所示。

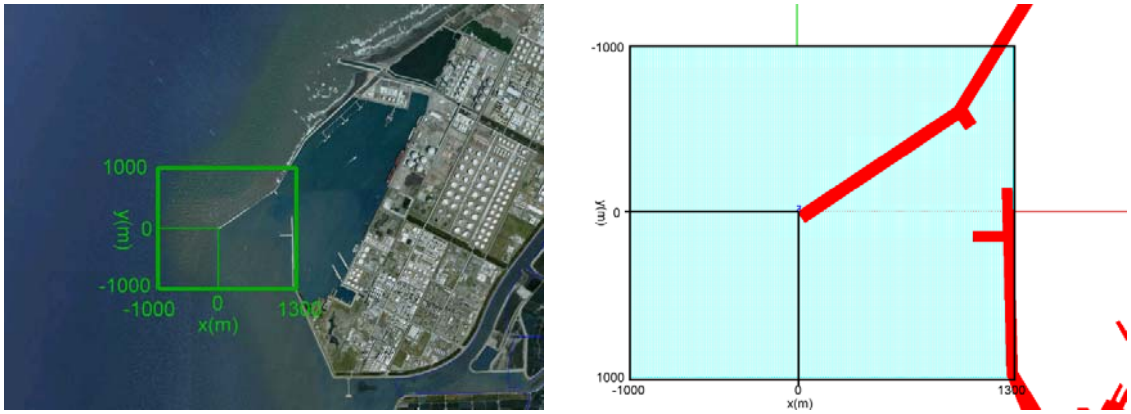


圖 6.29　麥寮港波場數值模擬海域範圍及計算網格示意圖

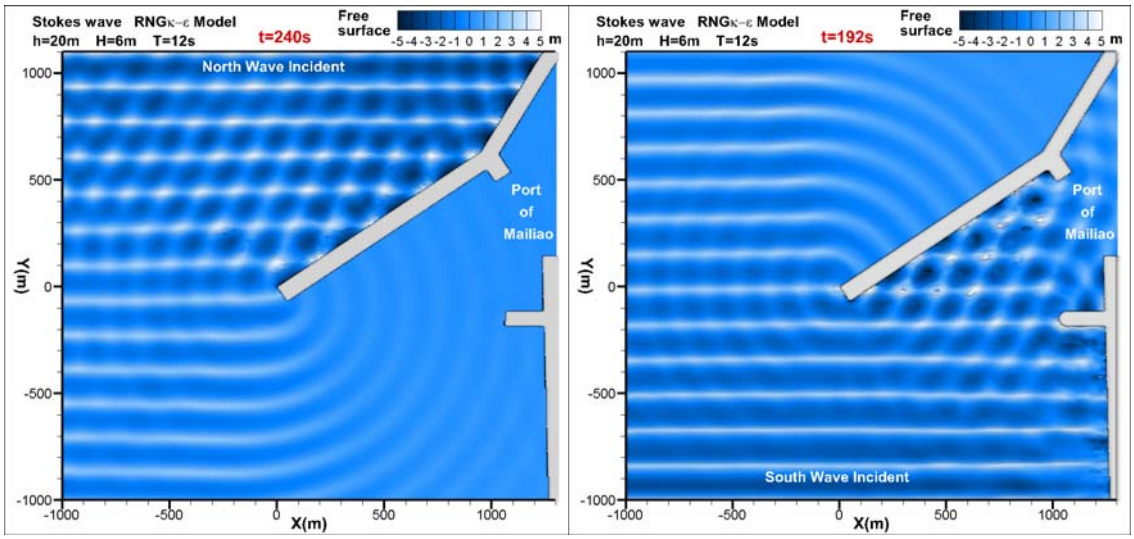


圖 6.30 麥寮港北向、南向入射波浪水面變化示意圖(擷選)

為了進一步瞭解數值模型波場內的流況，將網格以每 40m 間距取樣，用以代表此 40x40m2 的小區域的流場，對該小區域內所有模擬時間步階的流速由大至小進行排序，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流速平均值 ($V_{1/10}$)。

北向入射波浪模擬結果的最大統計值如圖 6.31 所示，流速極值排序前十分之一的平均值則如圖 6.32 所示。在同樣區域，北側領域的 $V_{1/10}$ 約為 V_{max} 的 90%，南側則 $V_{1/10}$ 約為 V_{max} 的 80%，推測北方區域的流速分佈較為集中。單就流速最大值而言，模擬過程中產生的最大流速

為 3.63m/sec，位於西防波堤堤頭的北端點小區域，其北方緊鄰的區域，亦產生有 2.82m/sec 的流速最大值。對照 $V_{1/10}$ 堤頭北端點處，平均值為 3.15m/sec。比對西防波堤南北兩側的統計值，南側海域的 $V_{1/10}$ 皆小於 1.5m/sec，北側則皆大於 1.5m/sec。將統計結果繪製流速等值線，結果如圖 6.33 所示。等流速線繞著防波堤變化，由堤身南側開始，呈現順時鐘方向漸增的現象，並且在堤頭北端點則形成流速梯度變化劇烈的區域。西向入射波浪模擬結果的最大統計值如圖 6.34 所示，流速極值排序前十分之一的平均值則如圖 6.35 所示。所有區域的 $V_{1/10}$ 約為 V_{max} 的 90%，即兩者速度分佈的統計結果相當接近。所求得的速度最大值發生於西防波堤堤頭的西方頂點區域，V_{max} 值為 2.15m/sec，周圍的區域並無超過 2m/sec 的流速，整個計算範圍內最大流速多在 1~1.5m/sec 間變動。$V_{1/10}$ 與 V_{max} 的流速等值線如圖 6.36 所示。結果顯示等流速區域在西防波堤的西南外海分割成兩區域，而堤頭的端點則是流速梯度變化較為明顯的封閉區。南向入射波浪模擬結果的最大統計值如圖 6.37 所示，流速極值排序前十分之一的平均值則如圖 6.38 所示。此入射波向的最大流速值也是發生在西防波堤堤頭北端點的小區域，最大的極值達到 3.27m/sec，$V_{1/10}$ 則是 2.87m/sec。最大流速值除了西防波堤北方海域與接近港口處小於 1m/sec，整體皆是超過 2m/sec。$V_{1/10}$ 與 V_{max} 的流速等值線如圖 6.39 所示，圖中在堤頭的端點與堤身的南側都有著緊密的等速度變化曲線。雖該波向下的流場流速極值較高，除了此二處外，計算範圍內的速度極值變化幅度呈現平緩。

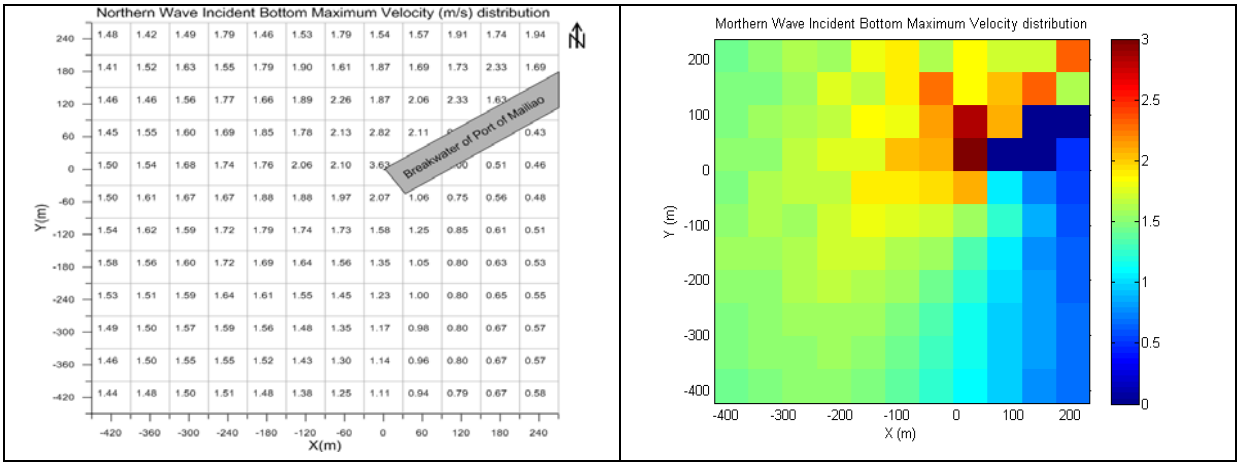


圖 6.31 北側入射波場底床最大流速(Vmax)分佈圖

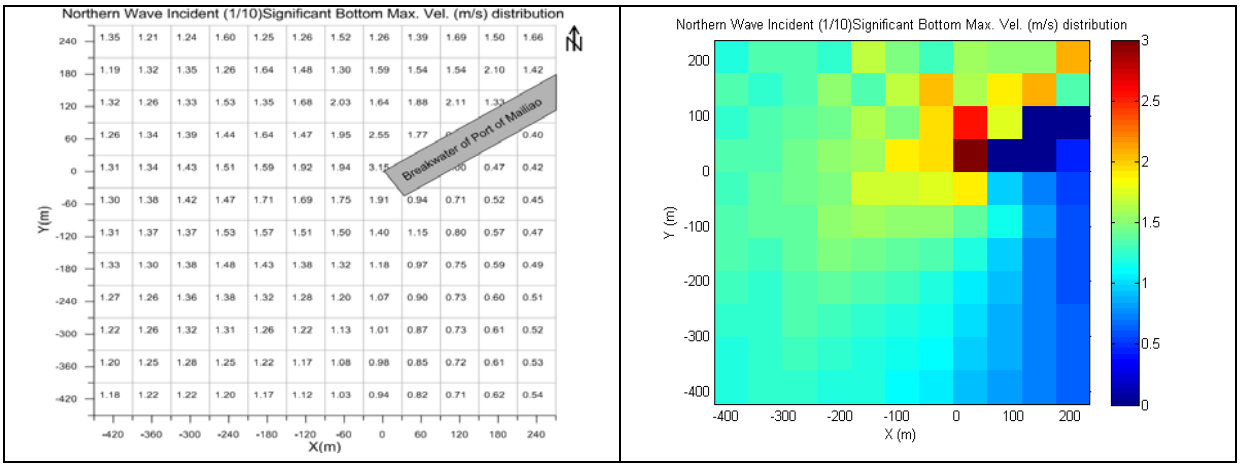


圖 6.32 北側入射波場底床最大流速前十分之一平均(V1/10)分佈圖

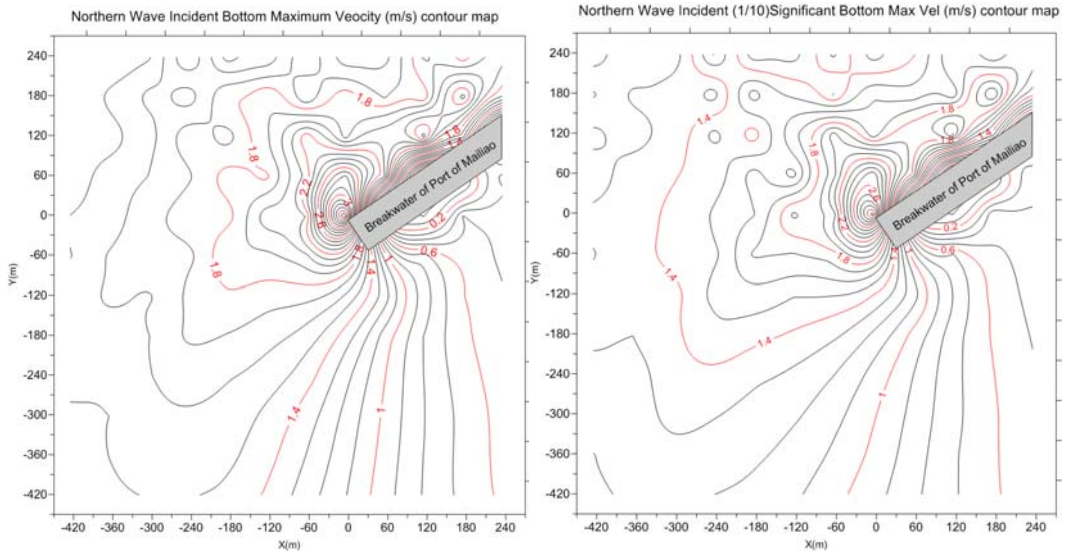


圖 6.33 北側入射波場堤頭附近底床 Vmax、V1/10 等位圖

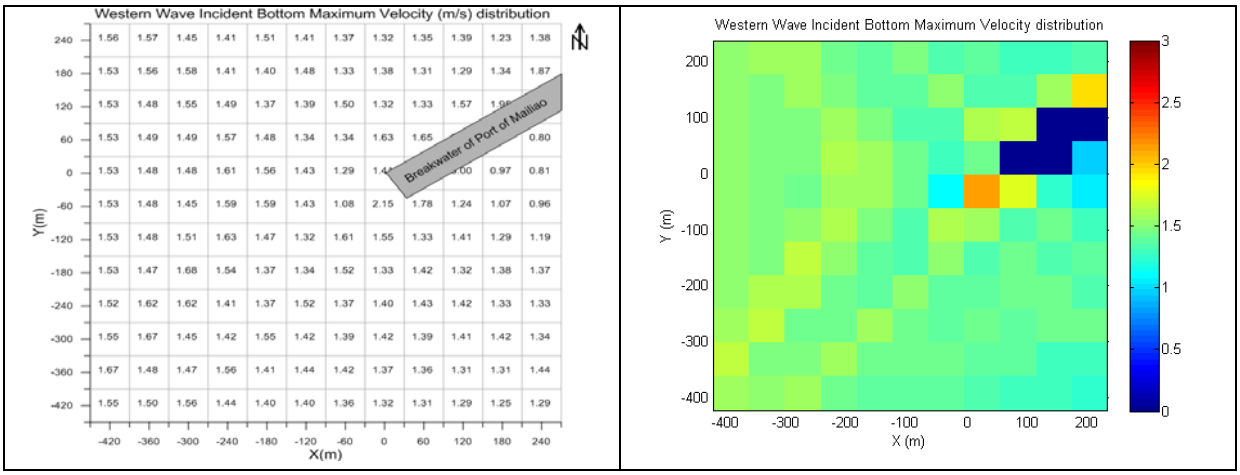


圖 6.34 西側入射波場底床最大流速(V_{max})分佈圖

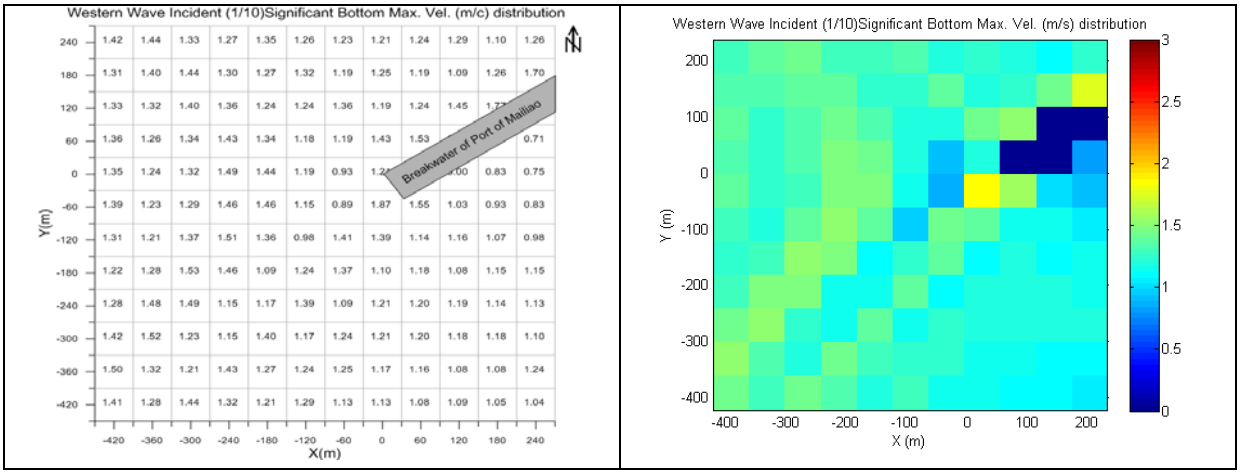


圖 6.35 西側入射波場底床最大流速前十分之一平均($V_{1/10}$)分佈圖

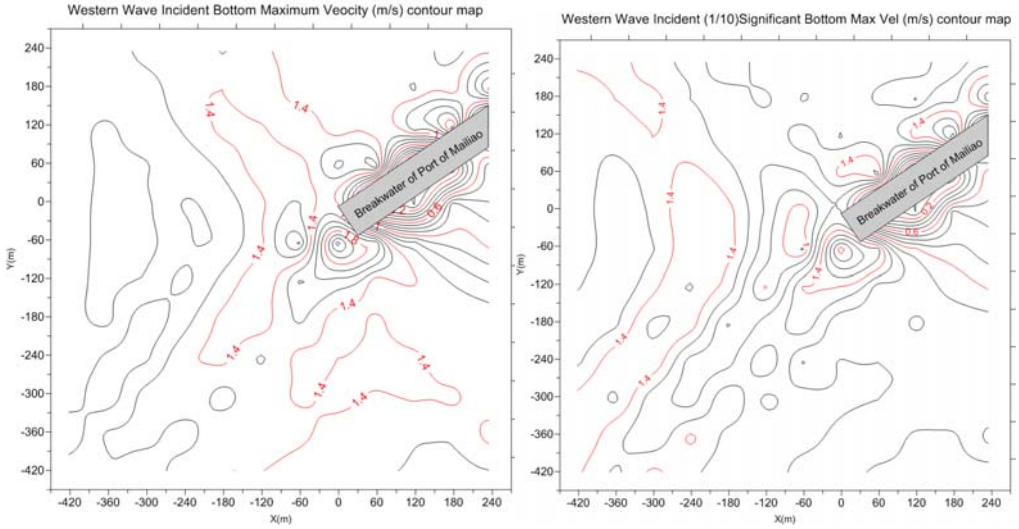


圖 6.36 西側入射波場堤頭附近底床 V_{max}、$V_{1/10}$ 等位圖

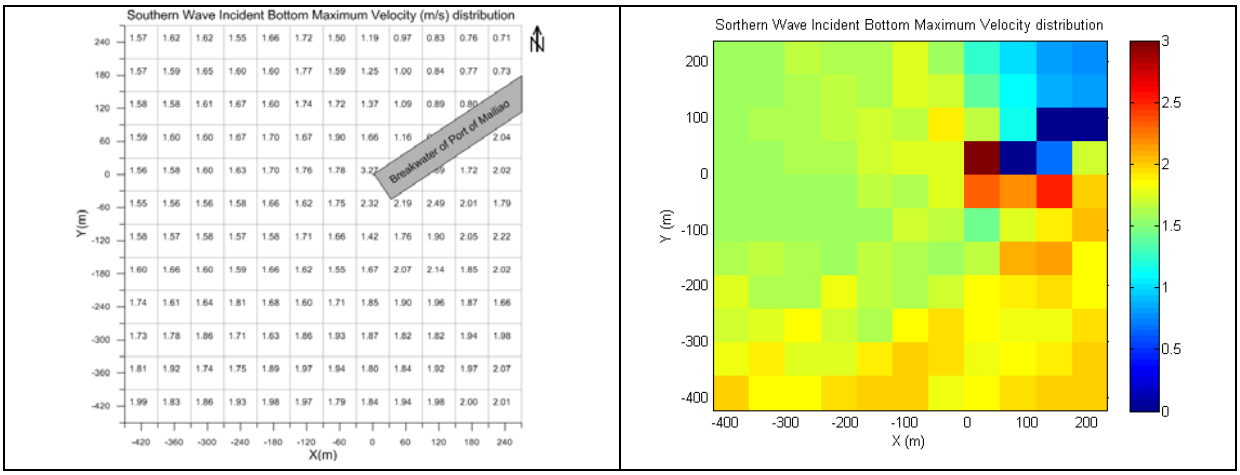


圖 6.37 南側入射波場底床最大流速(V_{max})分佈圖

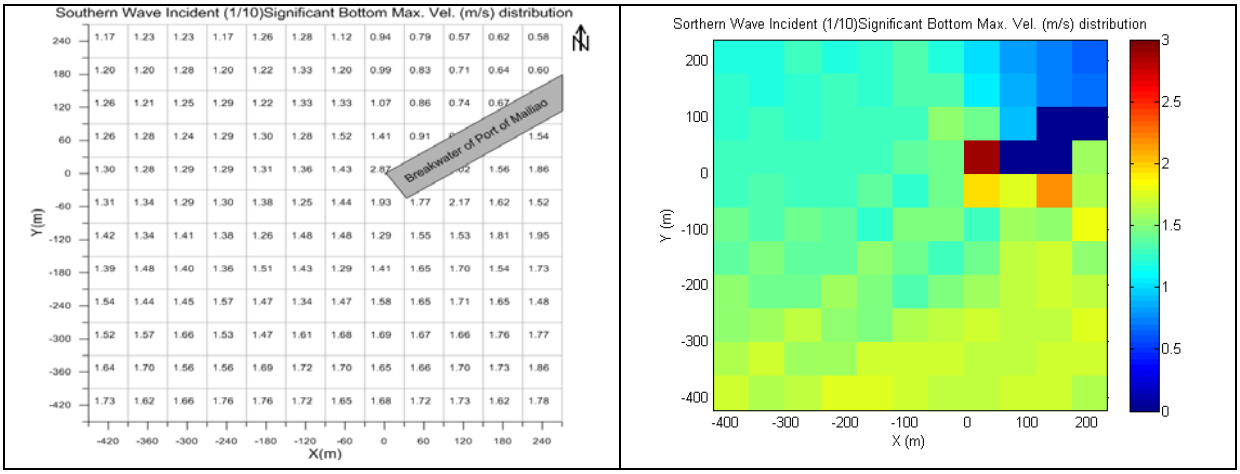


圖 6.38 南側入射波場底床最大流速前十分之一平均($V_{1/10}$)分佈圖

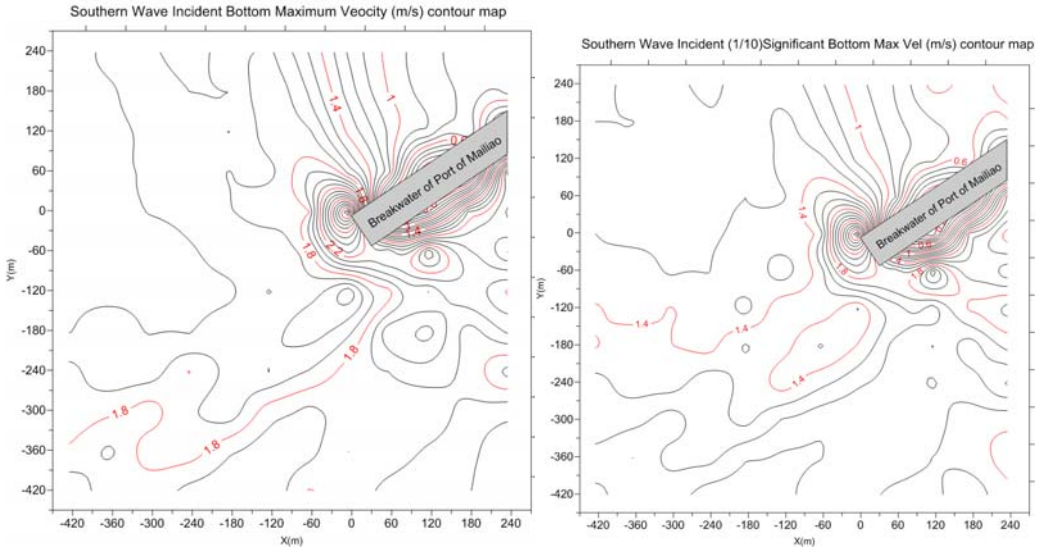


圖 6.39 南側海域入射波場堤頭附近底床 V_{max} 、 $V_{1/10}$ 等位圖

6.3 防波堤堤頭地形量測與沖蝕特性分析

6.3.1 海域地形變化歷年資料

一、臺中港

圖 6.40 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。

根據蔡等人 (2011) 之研究 (民國 85 年～95 年間)，進行相關之海岸地形變遷趨勢之分析。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。民國 89 年至 91 年間，北防波堤進行延長工程，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。臺中港擴建完成後，北防波堤至北防沙堤間皆全面淤積，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。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。

依歷年 (民國 85~95 年) 臺中港海域地形資料，繪製地形斷面圖，其中標號 Sec.05 為北防波堤走向延伸斷面，斷面的變地形變化如圖 6.34 所示。圖 6.41 中，Sec.05 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。

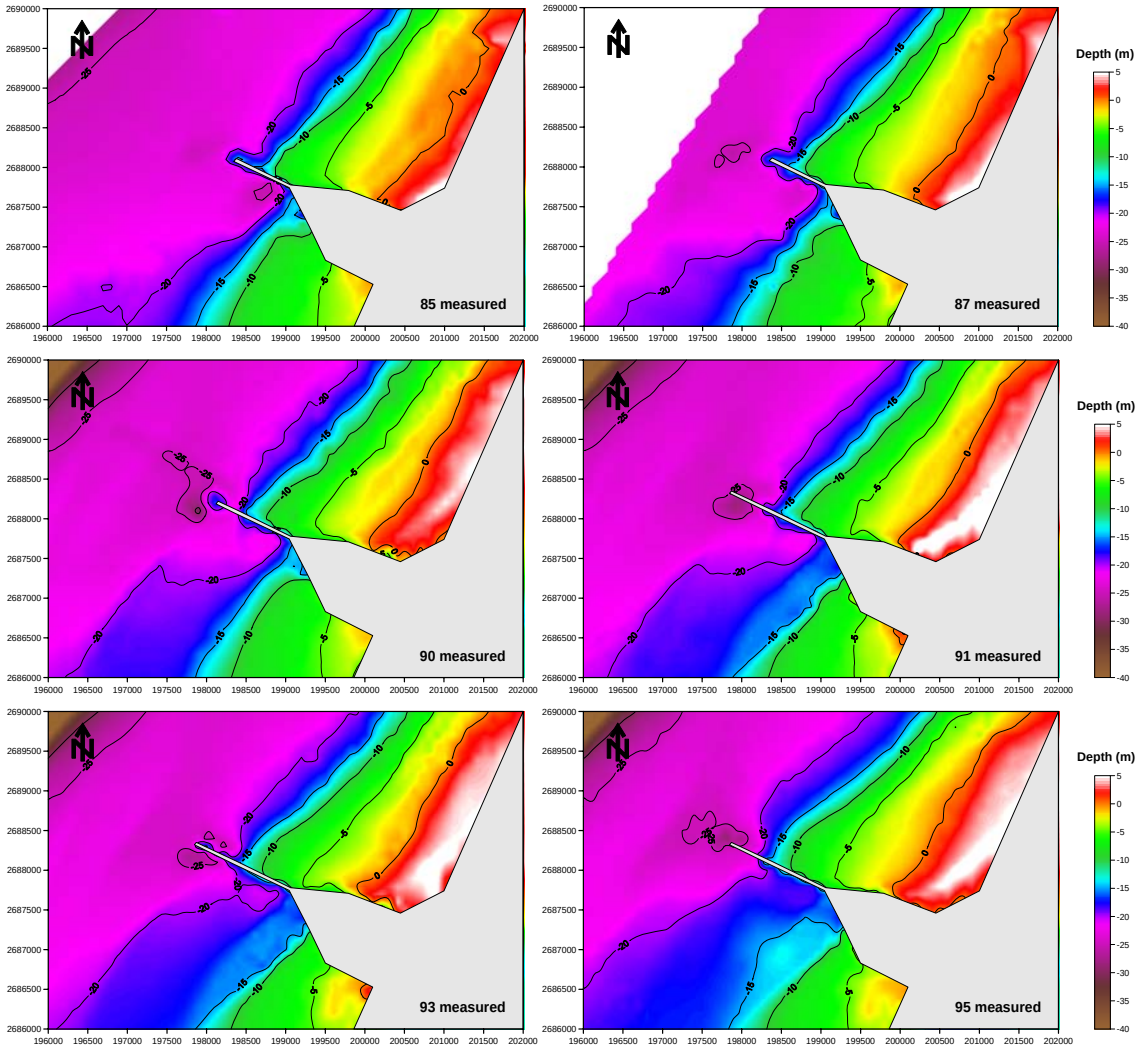


圖 6.40 臺中港海域 85~95 年實測地形水深圖

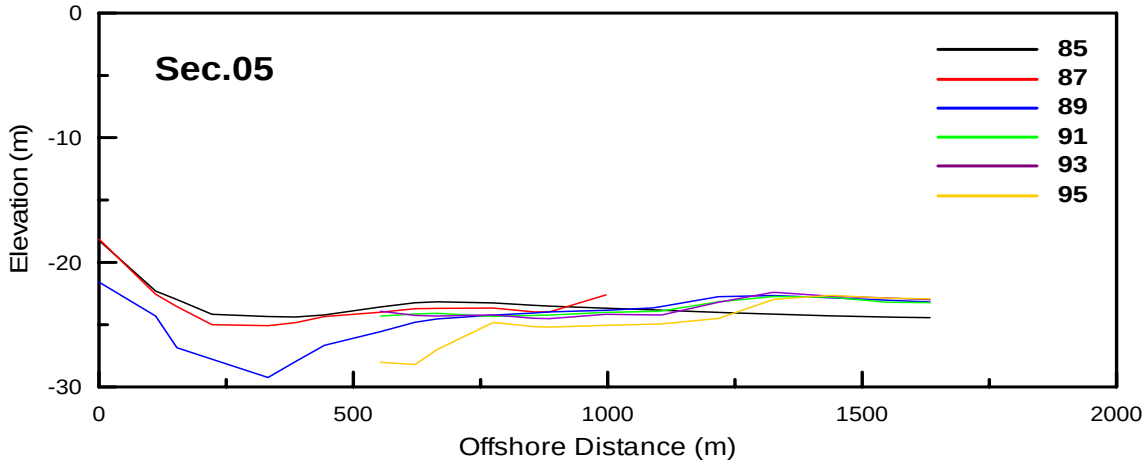


圖 6.41 臺中港海域 85~95 年間斷面 (Sec.05) 地形變化

二、麥寮港

圖 6.42 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)，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。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 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。

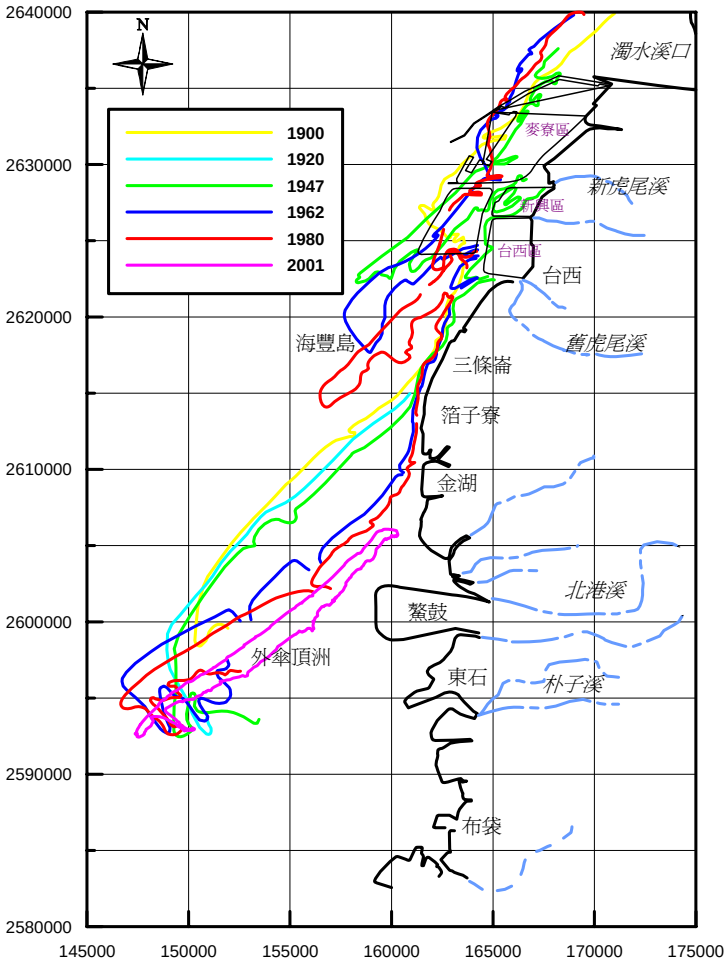


圖 6.42 雲嘉海域歷年海岸線變遷

圖 6.43 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。

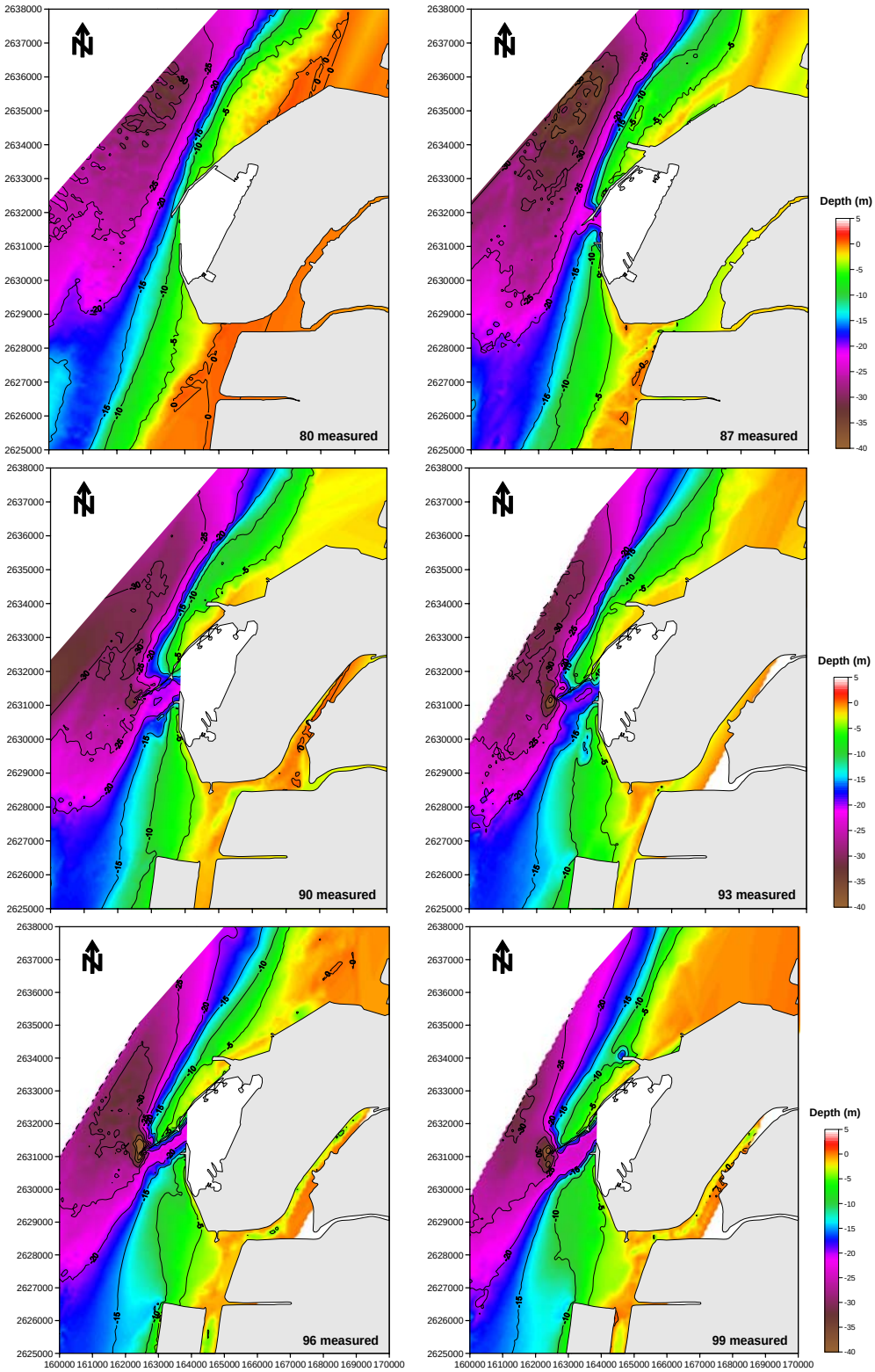


圖 6.43 雲林離島工業區海域 80~89 年實測地形水深圖

根據歷年 (民國 82~99 年) 麥寮海域地形資料繪製斷面圖，選擇通過堤頭處的斷面 (標號 Sec.05)，如圖 6.44 所示。圖 6.44 中在離岸 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。在離岸 3.0km 附近，地形則呈現逐年淤積現象。

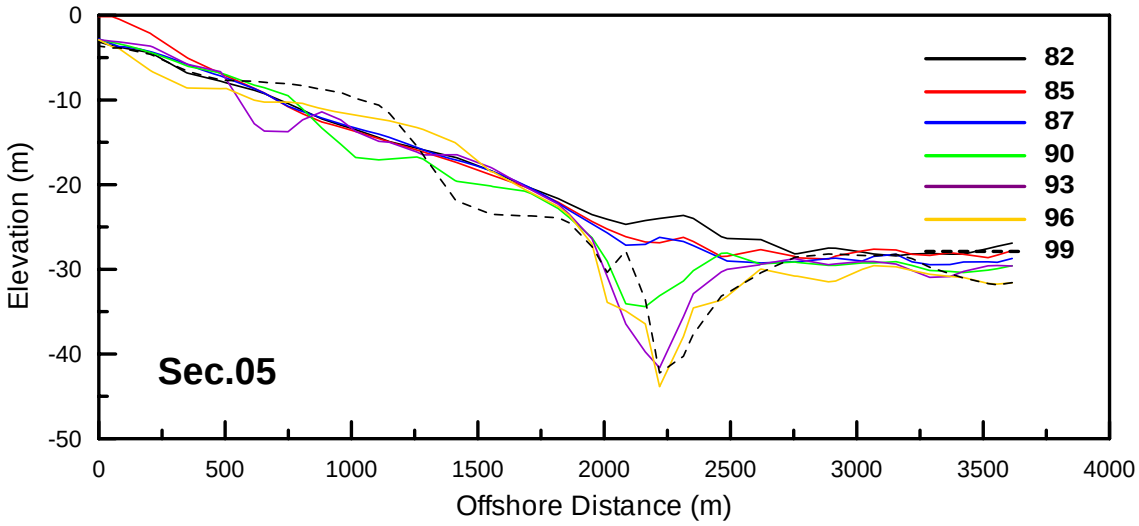


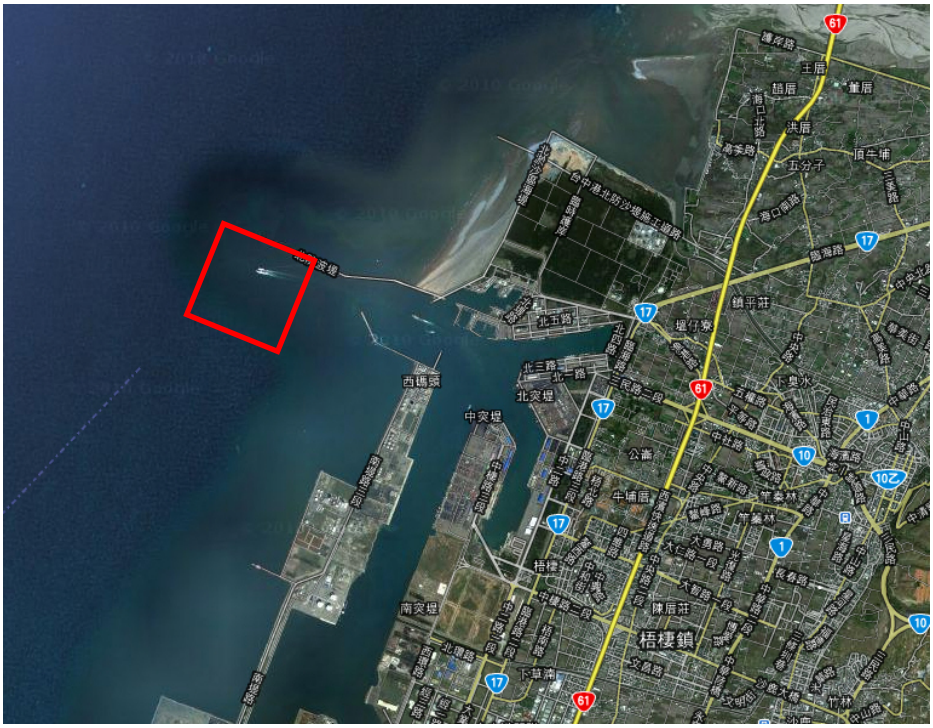
圖 6.44 雲林離島工業區海域 82~99 年間斷面 (Sec.05) 地形變化

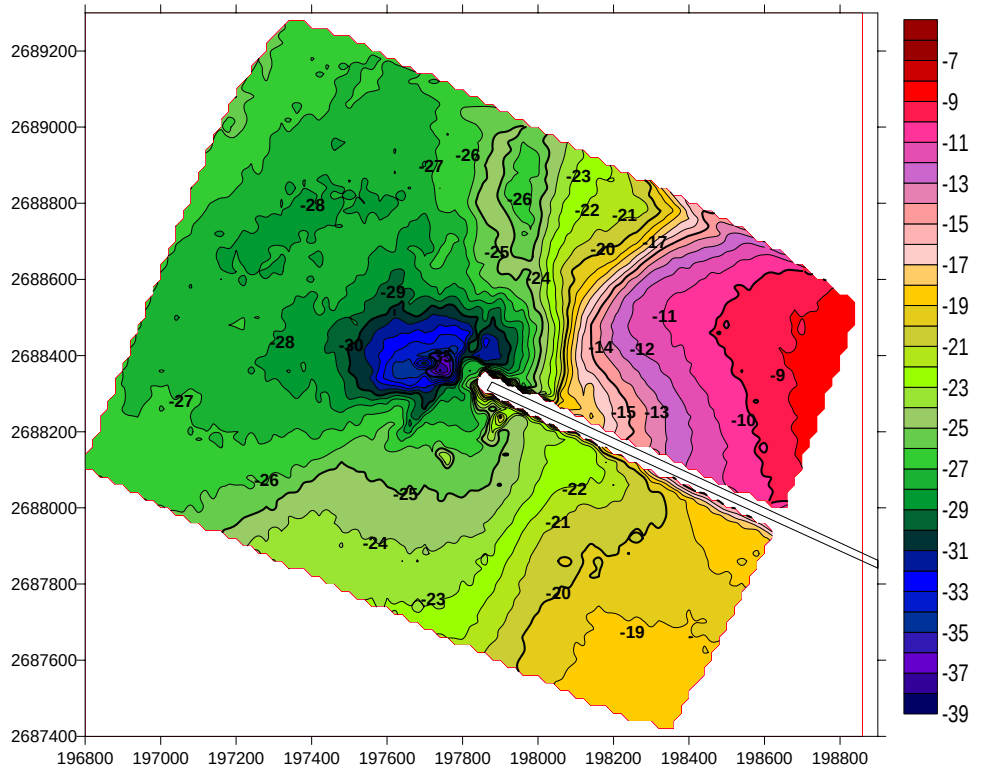
6.3.2 防波堤堤頭地形量測

一、臺中港海域

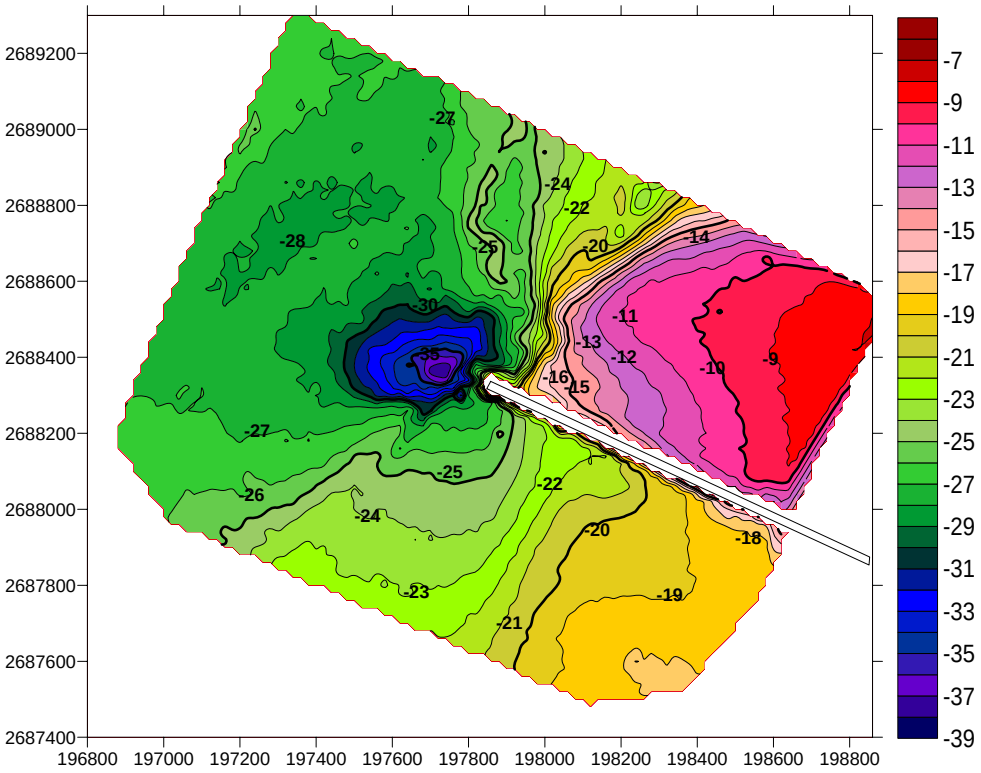
堤頭地形測量區域為臺中港北防波堤堤頭約 1 公里見方之範圍，如圖 6.45 所示，作業於 100/5/31 完成第一次臺中港之潮位站引測與水深測量，第二次則在 101/5/7 完成。平面控制系統採用採用臺灣二度分帶 97 坐標系統(TWD97)，即橫麥卡脫 TM 坐標系統，經差二度分帶，中央子午線尺度比率為 0.9999，坐標原點以東經 121 度為中央子午線與赤道之交點，橫坐標西移 250,000m。高程控制採用基隆中潮一等水準系統。海域水深測量採用單音束測深儀 (ODOM Hydrotrac 測深儀)，測深成果須達到 IHO SP-44 第 4 版規範標準；若作業時之波高超過 50 cm，則於測量作業時以船隻姿態收集校正船隻受波浪之起伏偏差。同時引測 (或收集) 施測水域附近之水準點以求出即時之水位修正值。於水深量測作業前，將於出發前進行現場檢核板 (Bar check) 校

正，以確認測深儀之精度。所得資料經由潮汐水位修正後，同時以聲速剖面儀或 CTD 施測測區當時之聲速剖面進行聲速校正，正確地量測出施測海域之三度空間資料。


北堤
北突堤
中突堤
南突堤
西碼頭
梧棲鎮
梧棲
北三路
北一路
北五路
中山路
中央路
臨海路
港口路
五分子
牛埔
鎮平莊
堤仔寮
陳厝莊
下草湳
竹林
竹秦林
牛埔厝
公園
大仁一段
大勇路
大智路
大義路
大德路
大興路
大仁路
中華路一段
中華路二段
中華路三段
中華路四段
中華路五段
中華路六段
中華路七段
中華路八段
中華路九段
中華路十段
中華路十一段
中華路十二段
中華路十三段
中華路十四段
中華路十五段
中華路十六段
中華路十七段
中華路十八段
中華路十九段
中華路二十段
中華路二十一段
中華路二十二段
中華路二十三段
中華路二十四段
中華路二十五段
中華路二十六段
中華路二十七段
中華路二十八段
中華路二十九段
中華路三十段
中華路三十一段
中華路三十二段
中華路三十三段
中華路三十四段
中華路三十五段
中華路三十六段
中華路三十七段
中華路三十八段
中華路三十九段
中華路四十段
中華路四十一段
中華路四十二段
中華路四十三段
中華路四十四段
中華路四十五段
中華路四十六段
中華路四十七段
中華路四十八段
中華路四十九段
中華路五十段
中華路五十一段
中華路五十二段
中華路五十三段
中華路五十四段
中華路五十五段
中華路五十六段
中華路五十七段
中華路五十八段
中華路五十九段
中華路六十段
中華路六十一段
中華路六十二段
中華路六十三段
中華路六十四段
中華路六十五段
中華路六十六段
中華路六十七段
中華路六十八段
中華路六十九段
中華路七十段
中華路七十一段
中華路七十二段
中華路七十三段
中華路七十四段
中華路七十五段
中華路七十六段
中華路七十七段
中華路七十八段
中華路七十九段
中華路八十段
中華路八十一段
中華路八十二段
中華路八十三段
中華路八十四段
中華路八十五段
中華路八十六段
中華路八十七段
中華路八十八段
中華路八十九段
中華路九十段
中華路九十一段
中華路九十二段
中華路九十三段
中華路九十四段
中華路九十五段
中華路九十六段
中華路九十七段
中華路九十八段
中華路九十九段
中華路一百段
中華路一百一段
中華路一百二段
中華路一百三段
中華路一百四段
中華路一百五段
中華路一百六段
中華路一百七段
中華路一百八段
中華路一百九段
中華路一百十段
中華路一百十一段
中華路一百十二段
中華路一百十三段
中華路一百十四段
中華路一百十五段
中華路一百十六段
中華路一百十七段
中華路一百十八段
中華路一百十九段
中華路一百二十段
中華路一百二十一段
中華路一百二十二段
中華路一百二十三段
中華路一百二十四段
中華路一百二十五段
中華路一百二十六段
中華路一百二十七段
中華路一百二十八段
中華路一百二十九段
中華路一百三十段
中華路一百三十一段
中華路一百三十二段
中華路一百三十三段
中華路一百三十四段
中華路一百三十五段
中華路一百三十六段
中華路一百三十七段
中華路一百三十八段
中華路一百三十九段
中華路一百四十段
中華路一百四十一段
中華路一百四十二段
中華路一百四十三段
中華路一百四十四段
中華路一百四十五段
中華路一百四十六段
中華路一百四十七段
中華路一百四十八段
中華路一百四十九段
中華路一百五十段
中華路一百五十一段
中華路一百五十二段
中華路一百五十三段
中華路一百五十四段
中華路一百五十五段
中華路一百五十六段
中華路一百五十七段
中華路一百五十八段
中華路一百五十九段
中華路一百六十段
中華路一百六十一段
中華路一百六十二段
中華路一百六十三段
中華路一百六十四段
中華路一百六十五段
中華路一百六十六段
中華路一百六十七段
中華路一百六十八段
中華路一百六十九段
中華路一百七十段
中華路一百七十一段
中華路一百七十二段
中華路一百七十三段
中華路一百七十四段
中華路一百七十五段
中華路一百七十六段
中華路一百七十七段
中華路一百七十八段
中華路一百七十九段
中華路一百八十段
中華路一百八十一段
中華路一百八十二段
中華路一百八十三段
中華路一百八十四段
中華路一百八十五段
中華路一百八十六段
中華路一百八十七段
中華路一百八十八段
中華路一百八十九段
中華路一百九十段
中華路一百九十一段
中華路一百九十二段
中華路一百九十三段
中華路一百九十四段
中華路一百九十五段
中華路一百九十六段
中華路一百九十七段
中華路一百九十八段
中華路一百九十九段
中華路二百段
中華路二百一段
中華路二百二段
中華路二百三段
中華路二百四段
中華路二百五段
中華路二百六段
中華路二百七段
中華路二百八段
中華路二百九段
中華路二百十段
中華路二百十一段
中華路二百十二段
中華路二百十三段
中華路二百十四段
中華路二百十五段
中華路二百十六段
中華路二百十七段
中華路二百十八段
中華路二百十九段
中華路二百二十段
中華路二百二十一段
中華路二百二十二段
中華路二百二十三段
中華路二百二十四段
中華路二百二十五段
中華路二百二十六段
中華路二百二十七段
中華路二百二十八段
中華路二百二十九段
中華路二百三十段
中華路二百三十一段
中華路二百三十二段
中華路二百三十三段
中華路二百三十四段
中華路二百三十五段
中華路二百三十六段
中華路二百三十七段
中華路二百三十八段
中華路二百三十九段
中華路二百四十段
中華路二百四十一段
中華路二百四十二段
中華路二百四十三段
中華路二百四十四段
中華路二百四十五段
中華路二百四十六段
中華路二百四十七段
中華路二百四十八段
中華路二百四十九段
中華路二百五十段
中華路二百五十一段
中華路二百五十二段
中華路二百五十三段
中華路二百五十四段
中華路二百五十五段
中華路二百五十六段
中華路二百五十七段
中華路二百五十八段
中華路二百五十九段
中華路二百六十段
中華路二百六十一段
中華路二百六十二段
中華路二百六十三段
中華路二百六十四段
中華路二百六十五段
中華路二百六十六段
中華路二百六十七段
中華路二百六十八段
中華路二百六十九段
中華路二百七十段
中華路二百七十一段
中華路二百七十二段
中華路二百七十三段
中華路二百七十四段
中華路二百七十五段
中華路二百七十六段
中華路二百七十七段
中華路二百七十八段
中華路二百七十九段
中華路二百八十段
中華路二百八十一段
中華路二百八十二段
中華路二百八十三段
中華路二百八十四段
中華路二百八十五段
中華路二百八十六段
中華路二百八十七段
中華路二百八十八段
中華路二百八十九段
中華路二百九十段
中華路二百九十一段
中華路二百九十二段
中華路二百九十三段
中華路二百九十四段
中華路二百九十五段
中華路二百九十六段
中華路二百九十七段
中華路二百九十八段
中華路二百九十九段
中華路三百段
中華路三百一段
中華路三百二段
中華路三百三段
中華路三百四段
中華路三百五段
中華路三百六段
中華路三百七段
中華路三百八段
中華路三百九段
中華路三百十段
中華路三百十一段
中華路三百十二段
中華路三百十三段
中華路三百十四段
中華路三百十五段
中華路三百十六段
中華路三百十七段
中華路三百十八段
中華路三百十九段
中華路三百二十段
中華路三百二十一段
中華路三百二十二段
中華路三百二十三段
中華路三百二十四段
中華路三百二十五段
中華路三百二十六段
中華路三百二十七段
中華路三百二十八段
中華路三百二十九段
中華路三百三十段
中華路三百三十一段
中華路三百三十二段
中華路三百三十三段
中華路三百三十四段
中華路三百三十五段
中華路三百三十六段
中華路三百三十七段
中華路三百三十八段
中華路三百三十九段
中華路三百四十段
中華路三百四十一段
中華路三百四十二段
中華路三百四十三段
中華路三百四十四段
中華路三百四十五段
中華路三百四十六段
中華路三百四十七段
中華路三百四十八段
中華路三百四十九段
中華路三百五十段
中華路三百五十一段
中華路三百五十二段
中華路三百五十三段
中華路三百五十四段
中華路三百五十五段
中華路三百五十六段
中華路三百五十七段
中華路三百五十八段
中華路三百五十九段
中華路三百六十段
中華路三百六十一段
中華路三百六十二段
中華路三百六十三段
中華路三百六十四段
中華路三百六十五段
中華路三百六十六段
中華路三百六十七段
中華路三百六十八段
中華路三百六十九段
中華路三百七十段
中華路三百七十一段
中華路三百七十二段
中華路三百七十三段
中華路三百七十四段
中華路三百七十五段
中華路三百七十六段
中華路三百七十七段
中華路三百七十八段
中華路三百七十九段
中華路三百八十段
中華路三百八十一段
中華路三百八十二段
中華路三百八十三段
中華路三百八十四段
中華路三百八十五段
中華路三百八十六段
中華路三百八十七段
中華路三百八十八段
中華路三百八十九段
中華路三百九十段
中華路三百九十一段
中華路三百九十二段
中華路三百九十三段
中華路三百九十四段
中華路三百九十五段
中華路三百九十六段
中華路三百九十七段
中華路三百九十八段
中華路三百九十九段
中華路四百段
中華路四百一段
中華路四百二段
中華路四百三段
中華路四百四段
中華路四百五段
中華路四百六段
中華路四百七段
中華路四百八段
中華路四百九段
中華路四百十段
中華路四百十一段
中華路四百十二段
中華路四百十三段
中華路四百十四段
中華路四百十五段
中華路四百十六段
中華路四百十七段
中華路四百十八段
中華路四百十九段
中華路四百二十段
中華路四百二十一段
中華路四百二十二段
中華路四百二十三段
中華路四百二十四段
中華路四百二十五段
中華路四百二十六段
中華路四百二十七段
中華路四百二十八段
中華路四百二十九段
中華路四百三十段
中華路四百三十一段
中華路四百三十二段
中華路四百三十三段
中華路四百三十四段
中華路四百三十五段
中華路四百三十六段
中華路四百三十七段
中華路四百三十八段
中華路四百三十九段
中華路四百四十段
中華路四百四十一段
中華路四百四十二段
中華路四百四十三段
中華路四百四十四段
中華路四百四十五段
中華路四百四十六段
中華路四百四十七段
中華路四百四十八段
中華路四百四十九段
中華路四百五十段
中華路四百五十一段
中華路四百五十二段
中華路四百五十三段
中華路四百五十四段
中華路四百五十五段
中華路四百五十六段
中華路四百五十七段
中華路四百五十八段
中華路四百五十九段
中華路四百六十段
中華路四百六十一段
中華路四百六十二段
中華路四百六十三段
中華路四百六十四段
中華路四百六十五段
中華路四百六十六段
中華路四百六十七段
中華路四百六十八段
中華路四百六十九段
中華路四百七十段
中華路四百七十一段
中華路四百七十二段
中華路四百七十三段
中華路四百七十四段
中華路四百七十五段
中華路四百七十六段
中華路四百七十七段
中華路四百七十八段
中華路四百七十九段
中華路四百八十段
中華路四百八十一段
中華路四百八十二段
中華路四百八十三段
中華路四百八十四段
中華路四百八十五段
中華路四百八十六段
中華路四百八十七段
中華路四百八十八段
中華路四百八十九段
中華路四百九十段
中華路四百九十一段
中華路四百九十二段
中華路四百九十三段
中華路四百九十四段
中華路四百九十五段
中華路四百九十六段
中華路四百九十七段
中華路四百九十八段
中華路四百九十九段
中華路五百段
中華路五百一段
中華路五百二段
中華路五百三段
中華路五百四段
中華路五百五段
中華路五百六段
中華路五百七段
中華路五百八段
中華路五百九段
中華路五百十段
中華路五百十一段
中華路五百十二段
中華路五百十三段
中華路五百十四段
中華路五百十五段
中華路五百十六段
中華路五百十七段
中華路五百十八段
中華路五百十九段
中華路五百二十段
中華路五百二十一段
中華路五百二十二段
中華路五百二十三段
中華路五百二十四段
中華路五百二十五段
中華路五百二十六段
中華路五百二十七段
中華路五百二十八段
中華路五百二十九段
中華路五百三十段
中華路五百三十一段
中華路五百三十二段
中華路五百三十三段
中華路五百三十四段
中華路五百三十五段
中華路五百三十六段
中華路五百三十七段
中華路五百三十八段
中華路五百三十九段
中華路五百四十段
中華路五百四十一段
中華路五百四十二段
中華路五百四十三段
中華路五百四十四段
中華路五百四十五段
中華路五百四十六段
中華路五百四十七段
中華路五百四十八段
中華路五百四十九段
中華路五百五十段
中華路五百五十一段
中華路五百五十二段
中華路五百五十三段
中華路五百五十四段
中華路五百五十五段
中華路五百五十六段
中華路五百五十七段
中華路五百五十八段
中華路五百五十九段
中華路五百六十段
中華路五百六十一段
中華路五百六十二段
中華路五百六十三段
中華路五百六十四段
中華路五百六十五段
中華路五百六十六段
中華路五百六十七段
中華路五百六十八段
中華路五百六十九段
中華路五百七十段
中華路五百七十一段
中華路五百七十二段
中華路五百七十三段
中華路五百七十四段
中華路五百七十五段
中華路五百七十六段
中華路五百七十七段
中華路五百七十八段
中華路五百七十九段
中華路五百八十段
中華路五百八十一段
中華路五百八十二段
中華路五百八十三段
中華路五百八十四段
中華路五百八十五段
中華路五百八十六段
中華路五百八十七段
中華路五百八十八段
中華路五百八十九段
中華路五百九十段
中華路五百九十一段
中華路五百九十二段
中華路五百九十三段
中華路五百九十四段
中華路五百九十五段
中華路五百九十六段
中華路五百九十七段
中華路五百九十八段
中華路五百九十九段
中華路六百段
中華路六百一段
中華路六百二段
中華路六百三段
中華路六百四段
中華路六百五段
中華路六百六段
中華路六百七段
中華路六百八段
中華路六百九段
中華路六百十段
中華路六百十一段
中華路六百十二段
中華路六百十三段
中華路六百十四段
中華路六百十五段
中華路六百十六段
中華路六百十七段
中華路六百十八段
中華路六百十九段
中華路六百二十段
中華路六百二十一段
中華路六百二十二段
中華路六百二十三段
中華路六百二十四段
中華路六百二十五段
中華路六百二十六段
中華路六百二十七段
中華路六百二十八段
中華路六百二十九段
中華路六百三十段
中華路六百三十一段
中華路六百三十二段
中華路六百三十三段
中華路六百三十四段
中華路六百三十五段
中華路六百三十六段
中華路六百三十七段
中華路六百三十八段
中華路六百三十九段
中華路六百四十段
中華路六百四十一段
中華路六百四十二段
中華路六百四十三段
中華路六百四十四段
中華路六百四十五段
中華路六百四十六段
中華路六百四十七段
中華路六百四十八段
中華路六百四十九段
中華路六百五十段
中華路六百五十一段
中華路六百五十二段
中華路六百五十三段
中華路六百五十四段
中華路六百五十五段
中華路六百五十六段
中華路六百五十七段
中華路六百五十八段
中華路六百五十九段
中華路六百六十段
中華路六百六十一段
中華路六百六十二段
中華路六百六十三段
中華路六百六十四段
中華路六百六十五段
中華路六百六十六段
中華路六百六十七段
中華路六百六十八段
中華路六百六十九段
中華路六百七十段
中華路六百七十一段
中華路六百七十二段
中華路六百七十三段
中華路六百七十四段
中華路六百七十五段
中華路六百七十六段
中華路六百七十七段
中華路六百七十八段
中華路六百七十九段
中華路六百八十段
中華路六百八十一段
中華路六百八十二段
中華路六百八十三段
中華路六百八十四段
中華路六百八十五段
中華路六百八十六段
中華路六百八十七段
中華路六百八十八段
中華路六百八十九段
中華路六百九十段
中華路六百九十一段
中華路六百九十二段
中華路六百九十三段
中華路六百九十四段
中華路六百九十五段
中華路六百九十六段
中華路六百九十七段
中華路六百九十八段
中華路六百九十九段
中華路七百段
中華路七百一段
中華路七百二段
中華路七百三段
中華路七百四段
中華路七百五段
中華路七百六段
中華路七百七段
中華路七百八段
中華路七百九段
中華路七百十段
中華路七百十一段
中華路七百十二段
中華路七百十三段
中華路七百十四段
中華路七百十五段
中華路七百十六段
中華路七百十七段
中華路七百十八段
中華路七百十九段
中華路七百二十段
中華路七百二十一段
中華路七百二十二段
中華路七百二十三段
中華路七百二十四段
中華路七百二十五段
中華路七百二十六段
中華路七百二十七段
中華路七百二十八段
中華路七百二十九段
中華路七百三十段
中華路七百三十一段
中華路七百三十二段
中華路七百三十三段
中華路七百三十四段
中華路七百三十五段
中華路七百三十六段
中華路七百三十七段
中華路七百三十八段
中華路七百三十九段
中華路七百四十段
中華路七百四十一段
中華路七百四十二段
中華路七百四十三段
中華路七百四十四段
中華路七百四十五段
中華路七百四十六段
中華路七百四十七段
中華路七百四十八段
中華路七百四十九段
中華路七百五十段
中華路七百五十一段
中華路七百五十二段
中華路七百五十三段
中華路七百五十四段
中華路七百五十五段
中華路七百五十六段
中華路七百五十七段
中華路七百五十八段
中華路七百五十九段
中華路七百六十段
中華路七百六十一段
中華路七百六十二段
中華路七百六十三段
中華路七百六十四段
中華路七百六十五段
中華路七百六十六段
中華路七百六十七段
中華路七百六十八段
中華路七百六十九段
中華路七百七十段
中華路七百七十一段
中華路七百七十二段
中華路七百七十三段
中華路七百七十四段
中華路七百七十五段
中華路七百七十六段
中華路七百七十七段
中華路七百七十八段
中華路七百七十九段
中華路七百八十段
中華路七百八十一段
中華路七百八十二段
中華路七百八十三段
中華路七百八十四段
中華路七百八十五段
中華路七百八十六段
中華路七百八十七段
中華路七百八十八段
中華路七百八十九段
中華路七百九十段
中華路七百九十一段
中華路七百九十二段
中華路七百九十三段
中華路七百九十四段
中華路七百九十五段
中華路七百九十六段
中華路七百九十七段
中華路七百九十八段
中華路七百九十九段
中華路八百段
中華路八百一段
中華路八百二段
中華路八百三段
中華路八百四段
中華路八百五段
中華路八百六段
中華路八百七段
中華路八百八段
中華路八百九段
中華路八百十段
中華路八百十一段
中華路八百十二段
中華路八百十三段
中華路八百十四段
中華路八百十五段
中華路八百十六段
中華路八百十七段
中華路八百十八段
中華路八百十九段
中華路八百二十段
中華路八百二十一段
中華路八百二十二段
中華路八百二十三段
中華路八百二十四段
中華路八百二十五段
中華路八百二十六段
中華路八百二十七段
中華路八百二十八段
中華路八百二十九段
中華路八百三十段
中華路八百三十一段
中華路八百三十二段
中華路八百三十三段
中華路八百三十四段
中華路八百三十五段
中華路八百三十六段
中華路八百三十七段
中華路八百三十八段
中華路八百三十九段
中華路八百四十段
中華路八百四十一段
中華路八百四十二段
中華路八百四十三段
中華路八百四十四段
中華路八百四十五段
中華路八百四十六段
中華路八百四十七段
中華路八百四十八段
中華路八百四十九段
中華路八百五十段
中華路八百五十一段
中華路八百五十二段
中華路八百五十三段
中華路八百五十四段
中華路八百五十五段
中華路八百五十六段
中華路八百五十七段
中華路八百五十八段
中華路八百五十九段
中華路八百六十段
中華路八百六十一段
中華路八百六十二段
中華路八百六十三段
中華路八百六十四段
中華路八百六十五段
中華路八百六十六段
中華路八百六十七段
中華路八百六十八段
中華路八百六十九段
中華路八百七十段
中華路八百七十一段
中華路八百七十二段
中華路八百七十三段
中華路八百七十四段
中華路八百七十五段
中華路八百七十六段
中華路八百七十七段
中華路八百七十八段
中華路八百七十九段
中華路八百八十段
中華路八百八十一段
中華路八百八十二段
中華路八百八十三段
中華路八百八十四段
中華路八百八十五段
中華路八百八十六段
中華路八百八十七段
中華路八百八十八段
中華路八百八十九段
中華路八百九十段
中華路八百九十一段
中華路八百九十二段
中華路八百九十三段
中華路八百九十四段
中華路八百九十五段
中華路八百九十六段
中華路八百九十七段
中華路八百九十八段
中華路八百九十九段
中華路九百段
中華路九百一段
中華路九百二段
中華路九百三段
中華路九百四段
中華路九百五段
中華路九百六段
中華路九百七段
中華路九百八段
中華路九百九段
中華路九百十段
中華路九百十一段
中華路九百十二段
中華路九百十三段
中華路九百十四段
中華路九百十五段
中華路九百十六段
中華路九百十七段
中華路九百十八段
中華路九百十九段
中華路九百二十段
中華路九百二十一段
中華路九百二十二段
中華路九百二十三段
中華路九百二十四段
中華路九百二十五段
中華路九百二十六段
中華路九百二十七段
中華路九百二十八段
中華路九百二十九段
中華路九百三十段
中華路九百三十一段
中華路九百三十二段
中華路九百三十三段
中華路九百三十四段
中華路九百三十五段
中華路九百三十六段
中華路九百三十七段
中華路九百三十八段
中華路九百三十九段
中華路九百四十段
中華路九百四十一段
中華路九百四十二段
中華路九百四十三段
中華路九百四十四段
中華路九百四十五段
中華路九百四十六段
中華路九百四十七段
中華路九百四十八段
中華路九百四十九段
中華路九百五十段
中華路九百五十一段
中華路九百五十二段
中華路九百五十三段
中華路九百五十四段
中華路九百五十五段
中華路九百五十六段
中華路九百五十七段
中華路九百五十八段
中華路九百五十九段
中華路九百六十段
中華路九百六十一段
中華路九百六十二段
中華路九百六十三段
中華路九百六十四段
中華路九百六十五段
中華路九百六十六段
中華路九百六十七段
中華路九百六十八段
中華路九百六十九段
中華路九百七十段
中華路九百七十一段
中華路九百七十二段
中華路九百七十三段
中華路九百七十四段
中華路九百七十五段
中華路九百七十六段
中華路九百七十七段
中華路九百七十八段
中華路九百七十九段
中華路九百八十段
中華路九百八十一段
中華路九百八十二段
中華路九百八十三段
中華路九百八十四段
中華路九百八十五段
中華路九百八十六段
中華路九百八十七段
中華路九百八十八段
中華路九百八十九段
中華路九百九十段
中華路九百九十一段
中華路九百九十二段
中華路九百九十三段
中華路九百九十四段
中華路九百九十五段
中華路九百九十六段
中華路九百九十七段
中華路九百九十八段
中華路九百九十九段
中華路一千段
中華路一千一段
中華路一千二段
中華路一千三段
中華路一千四段
中華路一千五段
中華路一千六段
中華路一千七段
中華路一千八段
中華路一千九段
中華路一千十段
中華路一千十一段
中華路一千十二段
中華路一千十三段
中華路一千十四段
中華路一千十五段
中華路一千十六段
中華路一千十七段
中華路一千十八段
中華路一千十九段
中華路一千二十段
中華路一千二十一段
中華路一千二十二段
中華路一千二十三段
中華路一千二十四段
中華路一千二十五段
中華路一千二十六段
中華路一千二十七段
中華路一千二十八段
中華路一千二十九段
中華路一千三十段
中華路一千三十一段
中華路一千三十二段
中華路一千三十三段
中華路一千三十四段
中華路一千三十五段
中華路一千三十六段
中華路一千三十七段
中華路一千三十八段
中華路一千三十九段
中華路一千四十段
中華路一千四十一段
中華路一千四十二段
中華路一千四十三段
中華路一千四十四段
中華路一千四十五段
中華路一千四十六段
中華路一千四十七段
中華路一千四十八段
中華路一千四十九段
中華路一千五十段
中華路一千五十一段
中華路一千五十二段
中華路一千五十三段
中華路一千五十四段
中華路一千五十五段
中華路一千五十六段
中華路一千五十七段
中華路一千五十八段
中華路一千五十九段
中華路一千六十段
中華路一千六十一段
中華路一千六十二段
中華路一千六十三段
中華路一千六十四段
中華路一千六十五段
中華路一千六十六段
中華路一千六十七段
中華路一千六十八段
中華路一千六十九段
中華路一千七十段
中華路一千七十一段
中華路一千七十二段
中華路一千七十三段
中華路一千七十四段
中華路一千七十五段
中華路一千七十六段
中華路一千七十七段
中華路一千七十八段
中華路一千七十九段
中華路一千八十段
中華路一千八十一段
中華路一千八十二段
中華路一千八十三段
中華路一千八十四段
中華路一千八十五段
中華路一千八十六段
中華路一千八十七段
中華路一千八十八段
中華路一千八十九段
中華路一千九十段
中華路一千九十一段
中華路一千九十二段
中華路一千九十三段
中華路一千九十四段
中華路一千九十五段
中華路一千九十六段
中華路一千九十七段
中華路一千九十八段
中華路一千九十九段
中華路一千一百段
中華路一千一百一段
中華路一千一百二段
中華路一千一百三段
中華路一千一百四段
中華路一千一百五段
中華路一千一百六段
中華路一千一百七段
中華路一千一百八段
中華路一千一百九段
中華路一千一百十段
中華路一千一百十一段
中華路一千一百十二段
中華路一千一百十三段
中華路一千一百十四段
中華路一千一百十五段
中華路一千一百十六段
中華路一千一百十七段
中華路一千一百十八段
中華路一千一百十九段
中華路一千一百二十段
中華路一千一百二十一段
中華路一千一百二十二段
中華路一千一百二十三段
中華路一千一百二十四段
中華路一千一百二十五段
中華路一千一百二十六段
中華路一千一百二十七段
中華路一千一百二十八段
中華路一千一百二十九段
中華路一千一百三十段
中華路一千一百三十一段
中華路一千一百三十二段
中華路一千一百三十三段
中華路一千一百三十四段
中華路一千一百三十五段
中華路一千一百三十六段
中華路一千一百三十七段
中華路一千一百三十八段
中華路一千一百三十九段
中華路一千一百四十段
中華路一千一百四十一段
中華路一千一百四十二段
中華路一千一百四十三段
中華路一千一百四十四段
中華路一千一百四十五段
中華路一千一百四十六段
中華路一千一百四十七段
中華路一千一百四十八段
中華路一千一百四十九段
中華路一千一百五十段
中華路一千一百五十一段
中華路一千一百五十二段
中華路一千一百五十三段
中華路一千一百五十四段
中華路一千一百五十五段
中華路一千一百五十六段
中華路一千一百五十七段
中華路一千一百五十八段
中華路一千一百五十九段
中華路一千一百六十段
中華路一千一百六十一段
中華路一千一百六十二段
中華路一千一百六十三段
中華路一千一百六十四段
中華路一千一百六十五段
中華路一千一百六十六段
中華路一千一百六十七段
中華路一千一百六十八段
中華路一千一百六十九段
中華路一千一百七十段
中華路一千一百七十一段
中華路一千一百七十二段
中華路一千一百七十三段
中華路一千一百七十四段
中華路一千一百七十五段
中華路一千一百七十六段
中華路一千一百七十七段
中華路一千一百七十八段
中華路一千一百七十九段
中華路一千一百八十段
中華路一千一百八十一段
中華路一千一百八十二段
中華路一千一百八十三段
中華路一千一百八十四段
中華路一千一百八十五段
中華路一千一百八十六段
中華路一千一百八十七段
中華路一千一百八十八段
中華路一千一百八十九段
中華路一千一百九十段
中華路一千一百九十一段
中華路一千一百九十二段
中華路一千一百九十三段
中華路一千一百九十四段
中華路一千一百九十五段
中華路一千一百九十六段
中華路一千一百九十七段
中華路一千一百九十八段
中華路一千一百九十九段
中華路一千二百段
中華路一千二百一段
中華路一千二百二段
中華路一千二百三段
中華路一千二百四段
中華路一千二百五段
中華路一千二百六段
中華路一千二百七段
中華路一千二百八段
中華路一千二百九段
中華路一千二百十段
中華路一千二百十一段
中華路一千二百十二段
中華路一千二百十三段
中華路一千二百十四段
中華路一千二百十五段
中華路一千二百十六段
中華路一千二百十七段
中華路一千二百十八段
中華路一千二百十九段
中華路一千二百二十段
中華路一千二百二十一段
中華路一千二百二十二段
中華路一千二百二十三段
中華路一千二百二十四段
中華路一千二百二十五段
中華路一千二百二十六段
中華路一千二百二十七段
中華路一千二百二十八段
中華路一千二百二十九段
中華路一千二百三十段
中華路一千二百三十一段
中華路一千二百三十二段
中華路一千二百三十三段
中華路一千二百三十四段
中華路一千二百三十五段
中華路一千二百三十六段
中華路一千二百三十七段
中華路一千二百三十八段
中華路一千二百三十九段
中華路一千二百四十段
中華路一千二百四十一段
中華路一千二百四十二段
中華路一千二百四十三段
中華路一千二百四十四段
中華路一千二百四十五段
中華路一千二百四十六段
中華路一千二百四十七段
中華路一千二百四十八段
中華路一千二百四十九段
中華路一千二百五十段
中華路一千二百五十一段
中華路一千二百五十二段
中華路一千二百五十三段
中華路一千二百五十四段
中華路一千二百五十五段
中華路一千二百五十六段
中華路一千二百五十七段
中華路一千二百五十八段
中華路一千二百五十九段
中華路一千二百六十段
中華路一千二百六十一段
中華路一千二百六十二段
中華路一千二百六十三段
中華路一千二百六十四段
中華路一千二百六十五段
中華路一千二百六十六段
中華路一千二百六十七段
中華路一千二百六十八段
中華路一千二百六十九段
中華路一千二百七十段
中華路一千二百七十一段
中華路一千二百七十二段
中華路一千二百七十三段
中華路一千二百七十四段
中華路一千二百七十五段
中華路一千二百七十六段
中華路一千二百七十七段
中華路一千二百七十八段
中華路一千二百七十九段
中華路一千二百八十段
中華路一千二百八十一段
中華路一千二百八十二段
中華路一千二百八十三段
中華路一千二百八十四段
中華路一千二百八十五段
中華路一千二百八十六段
中華路一千二百八十七段
中華路一千二百八十八段
中華路一千二百八十九段
中華路一千二百九十段
中華路一千二百九十一段
中華路一千二百九十二段
中華路一千二百九十三段
中華路一千二百九十四段
中華路一千二百九十五段
中華路一千二百九十六段
中華路一千二百九十七段
中華路一千二百九十八段
中華路一千二百九十九段
中華路一千三百段
中華路一千三百一段
中華路一千三百二段
中華路一千三百三段
中華路一千三百四段
中華路一千三百五段
中華路一千三百六段
中華路一千三百七段
中華路一千三百八段
中華路一千三百九段
中華路一千三百十段
中華路一千三百十一段
中華路一千三百十二段
中華路一千三百十三段
中華路一千三百十四段
中華路一千三百十五段
中華路一千三百十六段
中華路一千三百十七段
中華路一千三百十八段
中華路一千三百十九段
中華路一千三百二十段
中華路一千三百二十一段
中華路一千三百二十二段
中華路一千三百二十三段
中華路一千三百二十四段
中華路一千三百二十五段
中華路一千三百二十六段
中華路一千三百二十七段
中華路一千三百二十八段
中華路一千三百二十九段
中華路一千三百三十段
中華路一千三百三十一段
中華路一千三百三十二段
中華路一千三百三十三段
中華路一千三百三十四段
中華路一千三百三十五段
中華路一千三百三十六段
中華路一千三百三十七段
中華路一千三百三十八段
中華路一千三百三十九段
中華路一千三百四十段
中華路一千三百四十一段
中華路一千三百四十二段
中華路一千三百四十三段
中華路一千三百四十四段
中華路一千三百四十五段
中華路一千三百四十六段
中華路一千三百四十七段
中華路一千三百四十八段
中華路一千三百四十九段
中華路一千三百五十段
中華路一千三百五十一段
中華路一千三百五十二段
中華路一千三百五十三段
中華路一千三百五十四段
中華路一千三百五十五段
中華路一千三百五十六段
中華路一千三百五十七段
中華路一千三百五十八段
中華路一千三百五十九段
中華路一千三百六十段
中華路一千三百六十一段
中華路一千三百六十二段
中華路一千三百六十三段
中華路一千三百六十四段
中華路一千三百六十五段
中華路一千三百六十六段
中華路一千三百六十七段
中華路一千三百六十八段
中華路一千三百六十九段
中華路一千三百七十段
中華路一千三百七十一段
中華路一千三百七十二段
中華路一千三百七十三段
中華路一千三百七十四段
中華路一千三百七十五段
中華路一千三百七十六段
中華路一千三百七十七段
中華路一千三百七十八段
中華路一千三百七十九段
中華路一千三百八十段
中華路一千三百八十一段
中華路一千三百八十二段
中華路一千三百八十三段
中華路一千三百八十四段
中華路一千三百八十五段
中華路一千三百八十六段
中華路一千三百八十七段
中華路一千三百八十八段
中華路一千三百八十九段
中華路一千三百九十段
中華路一千三百九十一段
中華路一千三百九十二段
中華路一千三百九十三段
中華路一千三百九十四段
中華路一千三百九十五段
中華路一千三百九十六段
中華路一千三百九十七段
中華路一千三百九十八段
中華路一千三百九十九段
中華路一千四百段
中華路一千四百一段
中華路一千四百二段
中華路一千四百三段
中華路一千四百四段
中華路一千四百五段
中華路一千四百六段
中華路一千四百七段
中華路一千四百八段
中華路一千四百九段
中華路一千四百十段
中華路一千四百十一段
中華路一千四百十二段
中華路一千四百十三段
中華路一千四百十四段
中華路一千四百十五段
中華路一千四百十六段
中華路一千四百十七段
中華路一千四百十八段
中華路一千四百十九段
中華路一千四百二十段
中華路一千四百二十一段
中華路一千四百二十二段
中華路一千四百二十三段
中華路一千四百二十四段
中華路一千四百二十五段
中華路一千四百二十六段
中華路一千四百二十七段
中華路一千四百二十八段
中華路一千四百二十九段
中華路一千四百三十段
中華路一千四百三十一段
中華路一千四百三十二段
中華路一千四百三十三段
中華路一千四百三十四段
中華路一千四百三十五段
中華路一千四百三十六段
中華路一千四百三十七段
中華路一千四百三十八段
中華路一千四百三十九段
中華路一千四百四十段
中華路一千四百四十一段
中華路一千四百四十二段
中華路一千四百四十三段
中華路一千四百四十四段
中華路一千四百四十五段
中華路一千四百四十六段
中華路一千四百四十七段
中華路一千四百四十八段
中華路一千四百四十九段
中華路一千四百五十段
中華路一千四百五十一段
中華路一千四百五十二段
中華路一千四百五十三段
中華路一千四百五十四段
中華路一千四百五十五段
中華路一千四百五十六段
中華路一千四百五十七段
中華路一千四百五十八段
中華路一千四百五十九段
中華路一千四百六十段
中華路一千四百六十一段
中華路一千四百六十二段
中華路一千四百六十三段
中華路一千四百六十四段
中華路一千四百六十五段
中華路一千四百六十六段
中華路一千四百六十七段
中華路一千四百六十八段
中華路一千四百六十九段
中華路一千四百七十段
中華路一千四百七十一段
中華路一千四百七十二段
中華路一千四百七十三段
中華路一千四百七十四段
中華路一千四百七十五段
中華路一千四百七十六段
中華路一千四百七十七段
中華路一千四百七十八段
中華路一千四百七十九段
中華路一千四百八十段
中華路一千四百八十一段
中華路一千四百八十二段
中華路一千四百八十三段
中華路一千四百八十四段
中華路一千四百八十五段
中華路一千四百八十六段
中華路一千四百八十七段
中華路一千四百八十八段
中華路一千四百八十九段
中華路一千四百九十段
中華路一千四百九十一段
中華路一千四百九十二段
中華路一千四百九十三段
中華路一千四百九十四段
中華路一千四百九十五段
中華路一千四百九十六段
中華路一千四百九十七段
中華路一千四百九十八段
中華路一千四百九十九段
中華路一千五百段
中華路一千五百一段
中華路一千五百二段
中華路一千五百三段
中華路一千五百四段
中華路一千五百五段
中華路一千五百六段
中華路一千五百七段
中華路一千五百八段
中華路一千五百九段
中華路一千五百十段
中華路一千五百十一段
中華路一千五百十二段
中華路一千五百十三段
中華路一千五百十四段
中華路一千五百十五段
中華路一千五百十六段
中華路一千五百十七段
中華路一千五百十八段
中華路一千五百十九段
中華路一千五百二十段
中華路一千五百二十一段
中華路一千五百二十二段
中華路一千五百二十三段
中華路一千五百二十四段
中華路一千五百二十五段
中華路一千五百二十六段
中華路一千五百二十七段
中華路一千五百二十八段
中華路一千五百二十九段
中華路一千五百三十段
中華路一千五百三十一段
中華路一千五百三十二段
中華路一千五百三十三段
中華路一千五百三十四段
中華路一千五百三十五段
中華路一千五百三十六段
中華路一千五百三十七段
中華路一千五百三十八段
中華路一千五百三十九段
中華路一千五百四十段
中華路一千五百四十一段
中華路一千五百四十二段
中華路一千五百四十三段
中華路一千五百四十四段
中華路一千五百四十五段
中華路一千五百四十六段
中華路一千五百四十七段
中華路一千五百四十八段
中華路一千五百四十九段
中華路一千五百五十段
中華路一千五百五十一段
中華路一千五百五十二段
中華路一千五百五十三段
中華路一千五百五十四段
中華路一千五百五十五段
中華路一千五百五十六段
中華路一千五百五十七段
中華路一千五百五十八段
中華路一千五百五十九段
中華路一千五百六十段
中華路一千五百六十一段
中華路



第一次 100/5/31



第二次 101/5/7

圖 6.46 臺中港北防波堤堤頭水深測量等深線水深色階圖

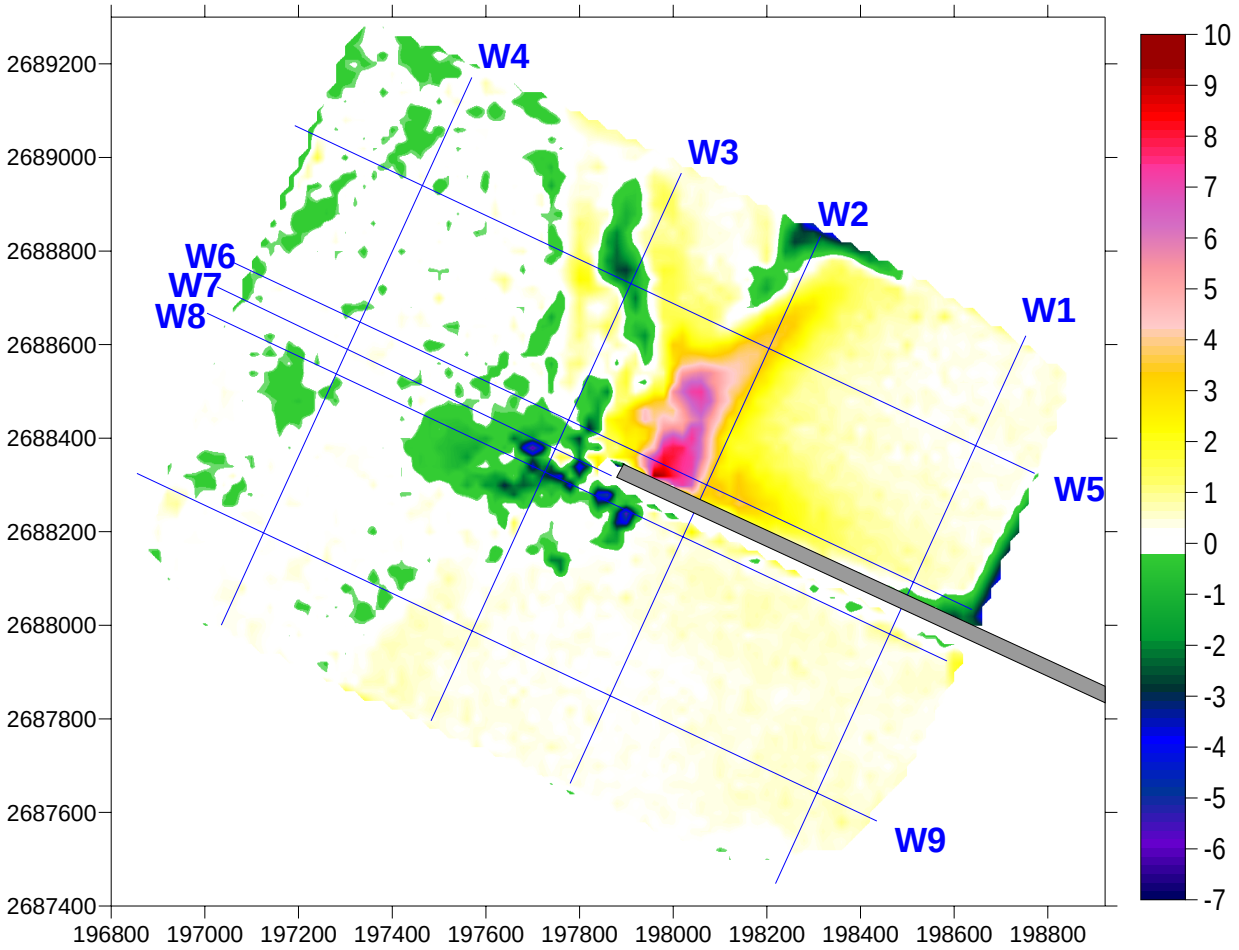


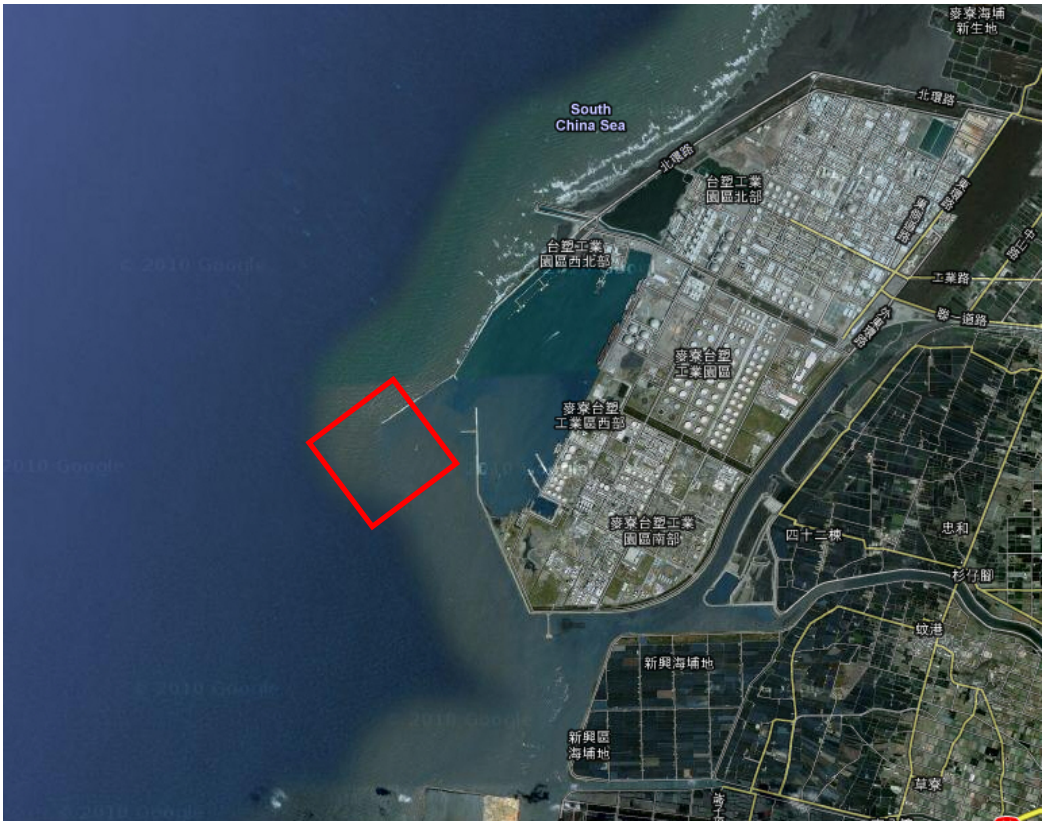
圖 6.47 臺中港堤頭地形測量 100/5~101/5 侵淤變化色階圖

二、麥寮港海域

麥寮港北堤堤頭海域地形之劇烈變化特性，該處水深地形特地以多音束測深系統進行測量，以取得更為精確之地形資料。麥寮港堤頭地形測量區域為麥寮工業區專用港西防波堤堤頭約 1 公里見方之範圍，如圖 6.48 所示，第一次作業於 100/6/9 完成麥寮港之潮位站引測與水深測量，101/5/8 完成第二次之水深測量作業。

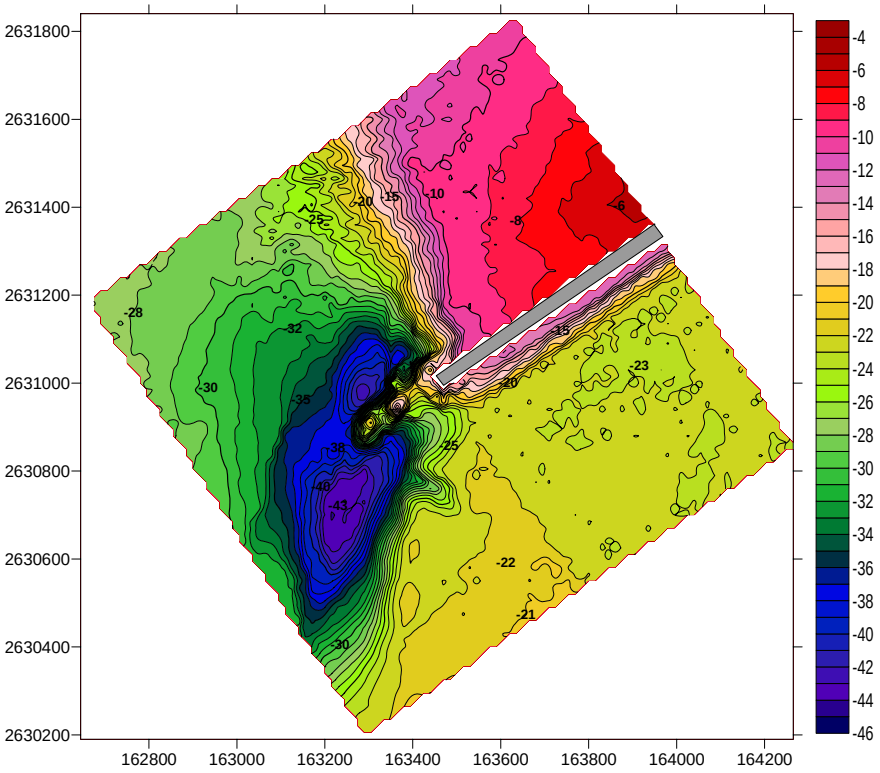
兩測次的海域地形水深等值圖如圖 6.49 所示。由於消波塊群最遠佈置位置離堤頭約 230m ，並形成約 100m 之帶寬，因此掏刷區受消波塊之分布影響，形成一 U 字形之刷深區域，消波塊群北側掏刷最深約 -42m，南側則約 -44m。麥寮工業港西堤水深測量區域所測得水深最淺約為 -6m，堤頭附近掏刷最深處水深約 -45m ，等深線於堤身北

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，堤頭附近則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。西防波堤北側海域淤積現象明顯，堤內港域水深較深，防波堤內、外之海域地形高低差約可達 8～10m。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 6.50 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；而在堤頭北側有明顯之侵蝕情形，高程侵蝕最大量約為 8.33m。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，101/6 較 100/5 淤積約 465,058m^3，平均淤積高程約為 34cm。

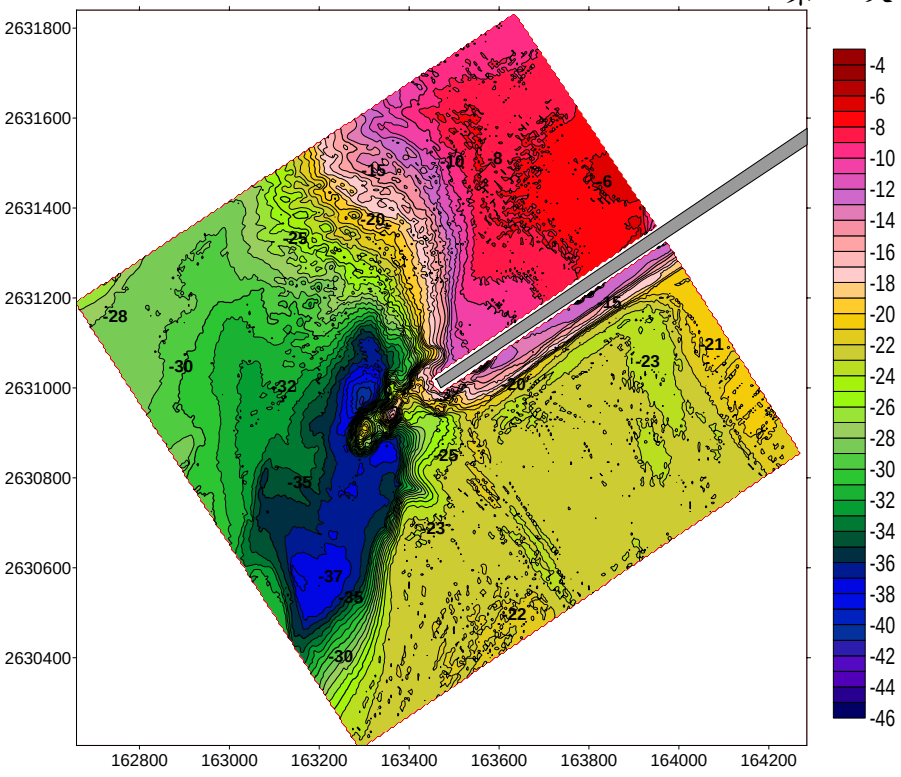


（底圖來源：Google Earth）

圖 6.48 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



第一次 100/6/9



第二次 101/5/8

圖 6.49 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量等深線水深色階圖

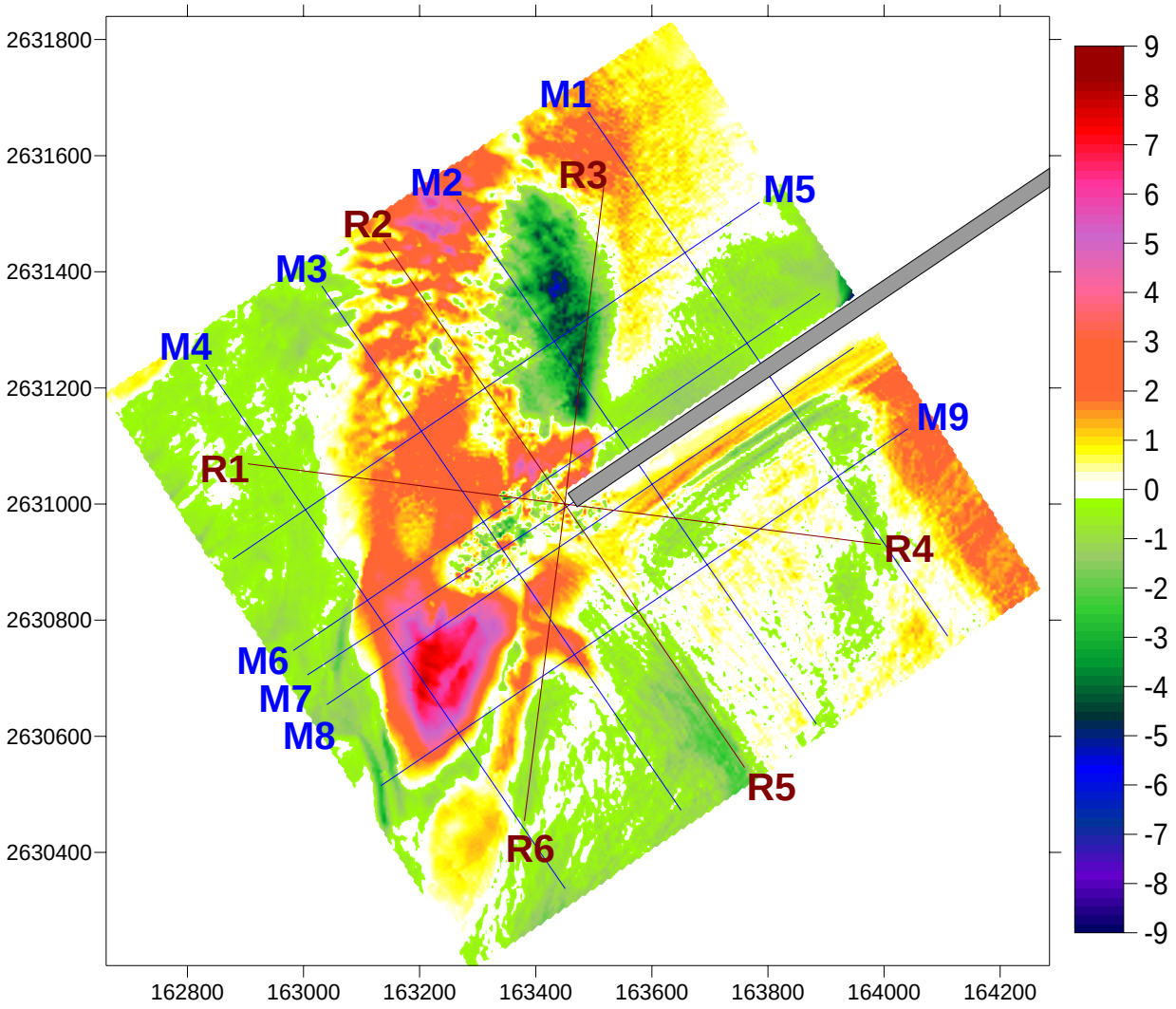


圖 6.50 麥寮工業港堤頭地形測量 100/6~101/5 侵淤變化色階圖

6.3.3 防波堤堤頭沖蝕特性分析

一、臺中港海域

臺中港海域歷年的侵淤變化，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 6.51 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)。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 6.52 所示。各年度之形心與堤頭距離 (心堤距)、-25m 沖刷洞體積、-25m 等深線截面積與平均沖刷 (沖刷洞體積除以截面積) 等，如表 6-8 與圖 6.53 所示。由表 6-8 可知，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；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。

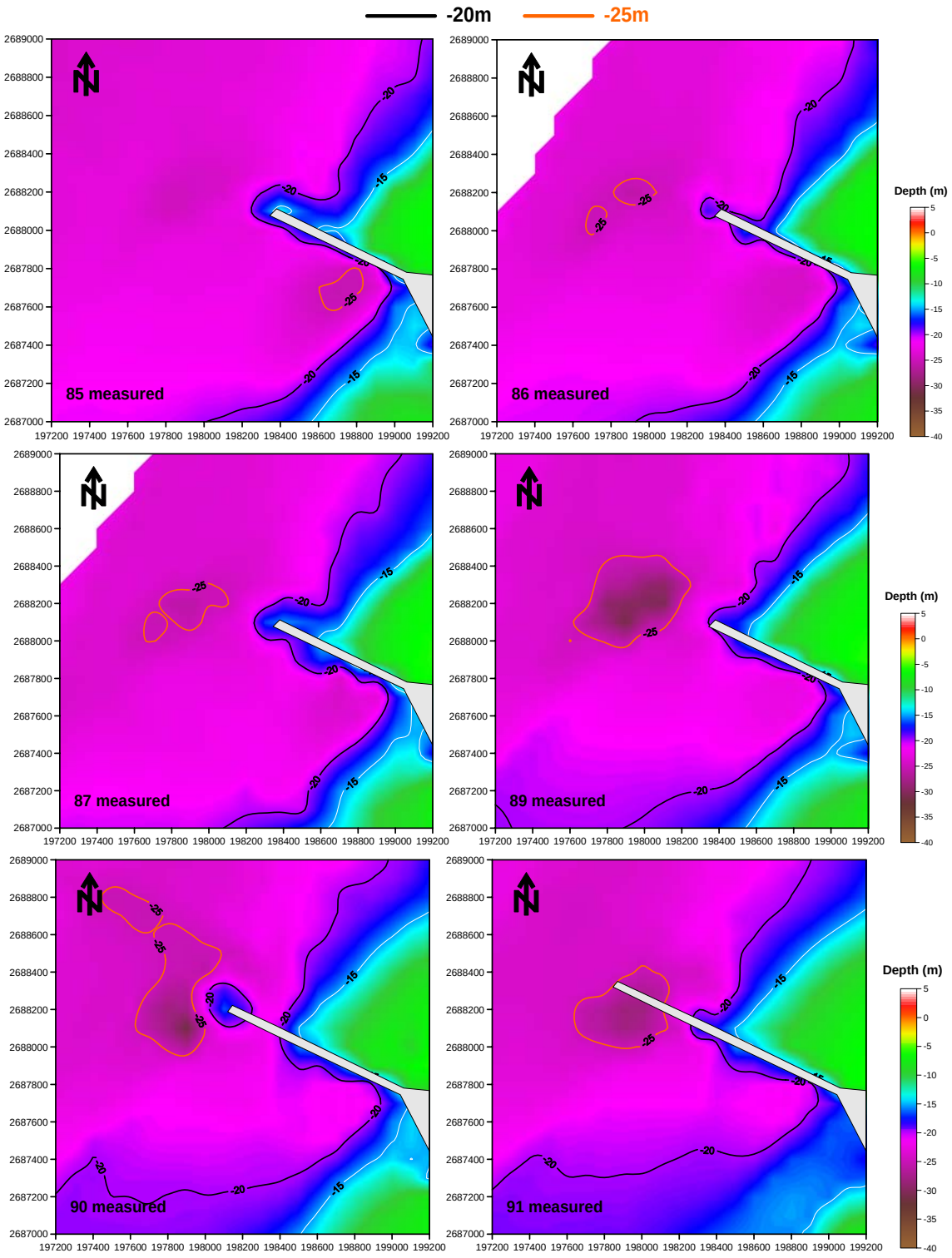


圖 6.51 臺中港北防波堤堤頭附近地形等深線變化圖 (85~95 年)

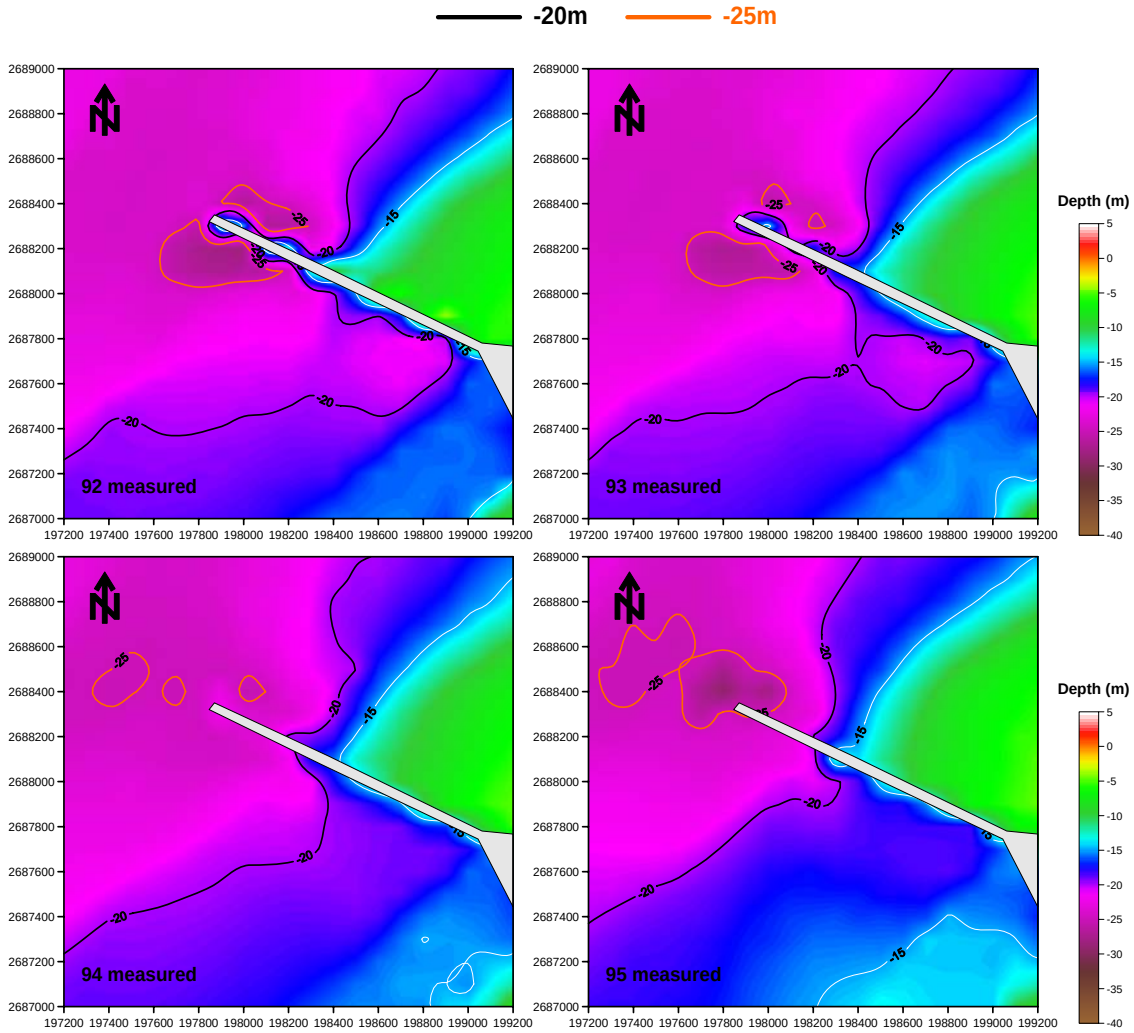


圖 6.51(續) 臺中港北防波堤堤頭附近地形等深線變化圖 (85~95 年)

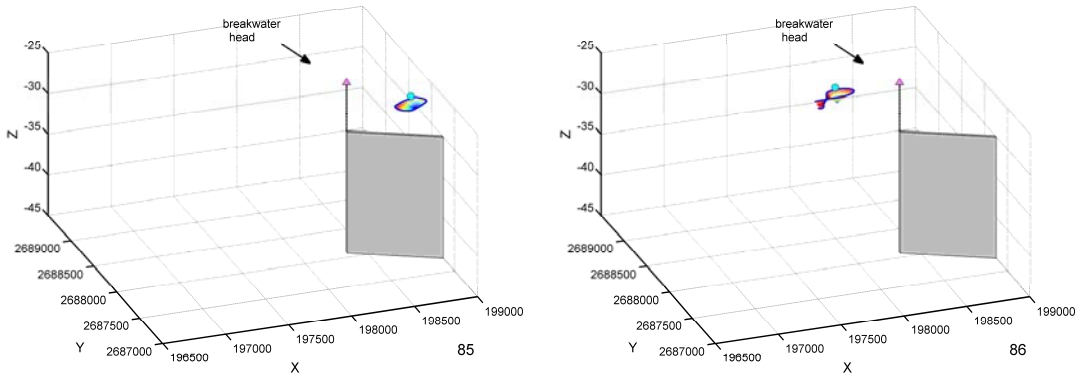


圖 6.52 臺中港北防波堤堤頭海域-25m 沖刷洞地形變化圖 (85~95 年)

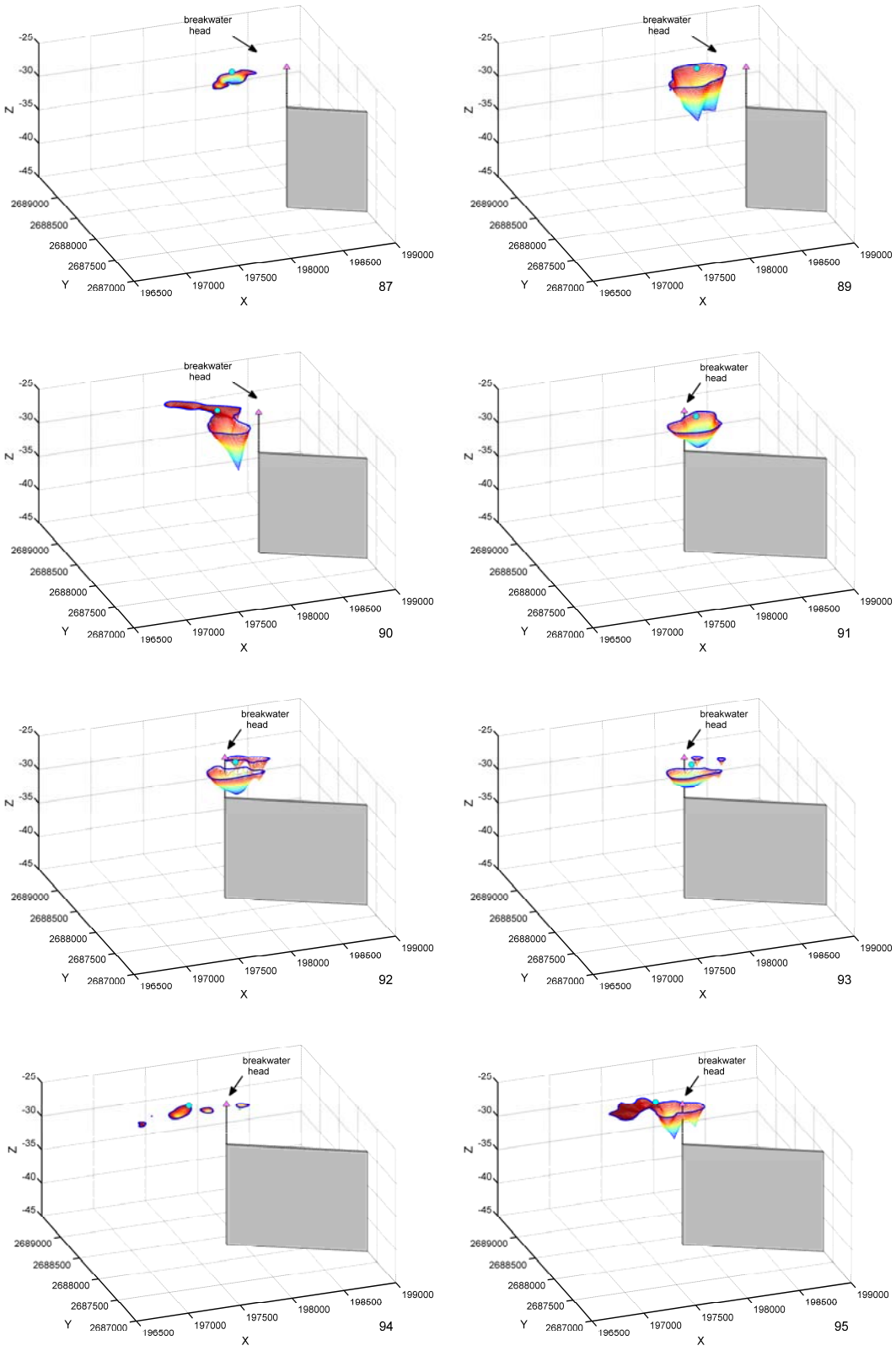


圖 6.52(續) 臺中港北防波堤堤頭海域-25m 沖刷洞地形變化圖 (85~95 年)

表 6-8 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 (m2)	沖刷體積 (m3)	最大沖刷深度 (m)	平均沖刷 (m)
85	198365, 2688099	198722, 2687691	542	37100	941345	25.86	25
86	198365, 2688099	197875, 2688171	495	33800	854299	26.16	25
87	198365, 2688099	197859, 2688161	510	75100	1902325	26.05	25
89	198365, 2688099	197933, 2688217	448	206900	5671288	31.19	27
90	198136, 2688207	197798, 2688378	379	226200	5903893	31.57	26
91	197863, 2688339	197916, 2688190	158	153800	4070127	28.48	27
92	197863, 2688339	197911, 2688211	137	123300	3233921	28.47	26
93	197863, 2688339	197865, 2688171	168	83200	2160492	27.25	26
94	197863, 2688339	197528, 2688431	347	63500	1593984	25.63	25
95	197863, 2688339	197646, 2688469	253	217800	5607723	29.40	26

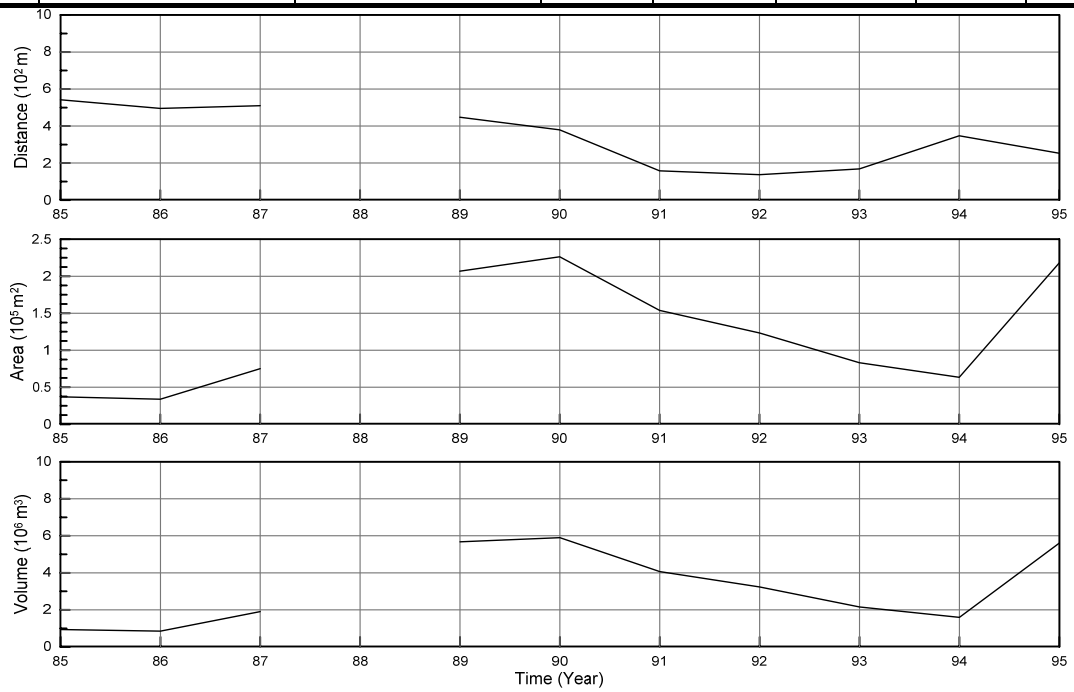


圖 6.53 堤頭-25m 沖刷洞心堤距、面積、體積變動圖

二、麥寮港海域

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 6.54 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)。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 6.55 所示。各年度-35m 沖刷洞之形心與堤頭距離 (心堤距)、-35m 沖刷洞體積、-35m 等深線截面積與平均沖刷幅度 (沖刷洞體積除以截面積) 等數據，詳列於表 6-9。由表 6-9 與圖 6.56 可知，-35m 沖刷洞的面積與體積都在民國 96 年時達到最大，各為 197,300m^2 與 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。由圖 6.46 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。

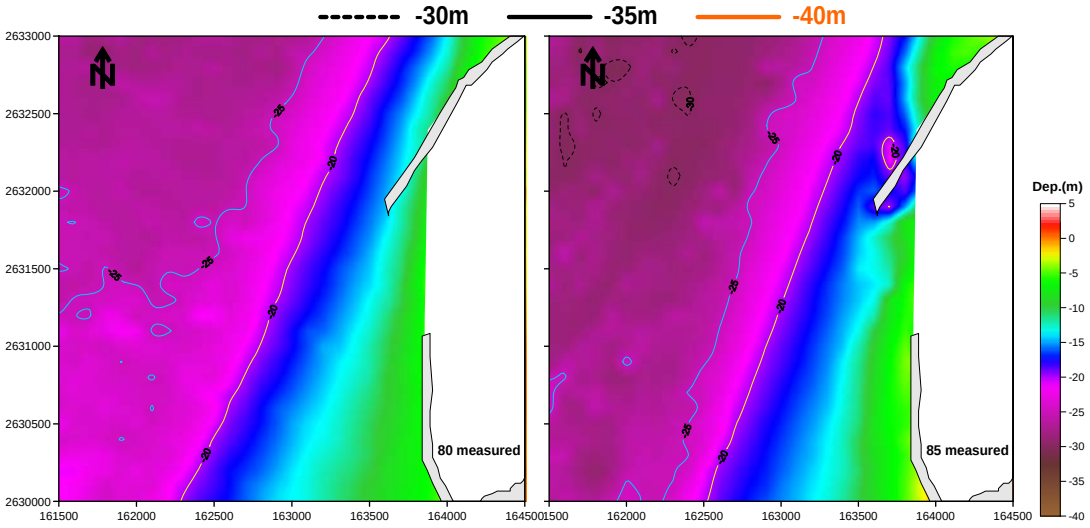


圖 6.54 麥寮港西防波堤堤頭附近地形等深線變化圖 (80~99 年)

-30m -35m -40m

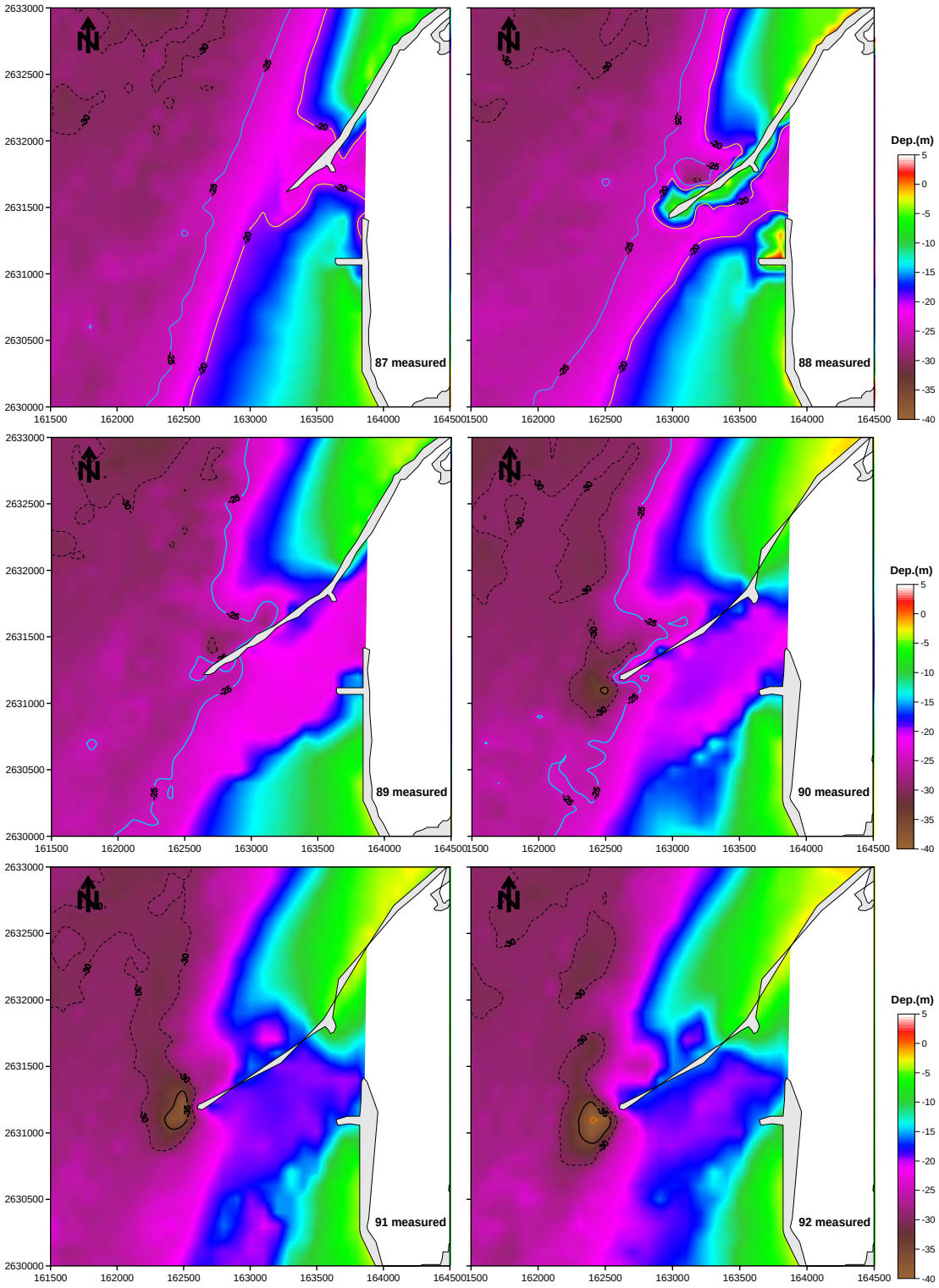


圖 6.54(續) 麥寮港西防波堤堤頭附近地形等深線變化圖 (80~99 年)

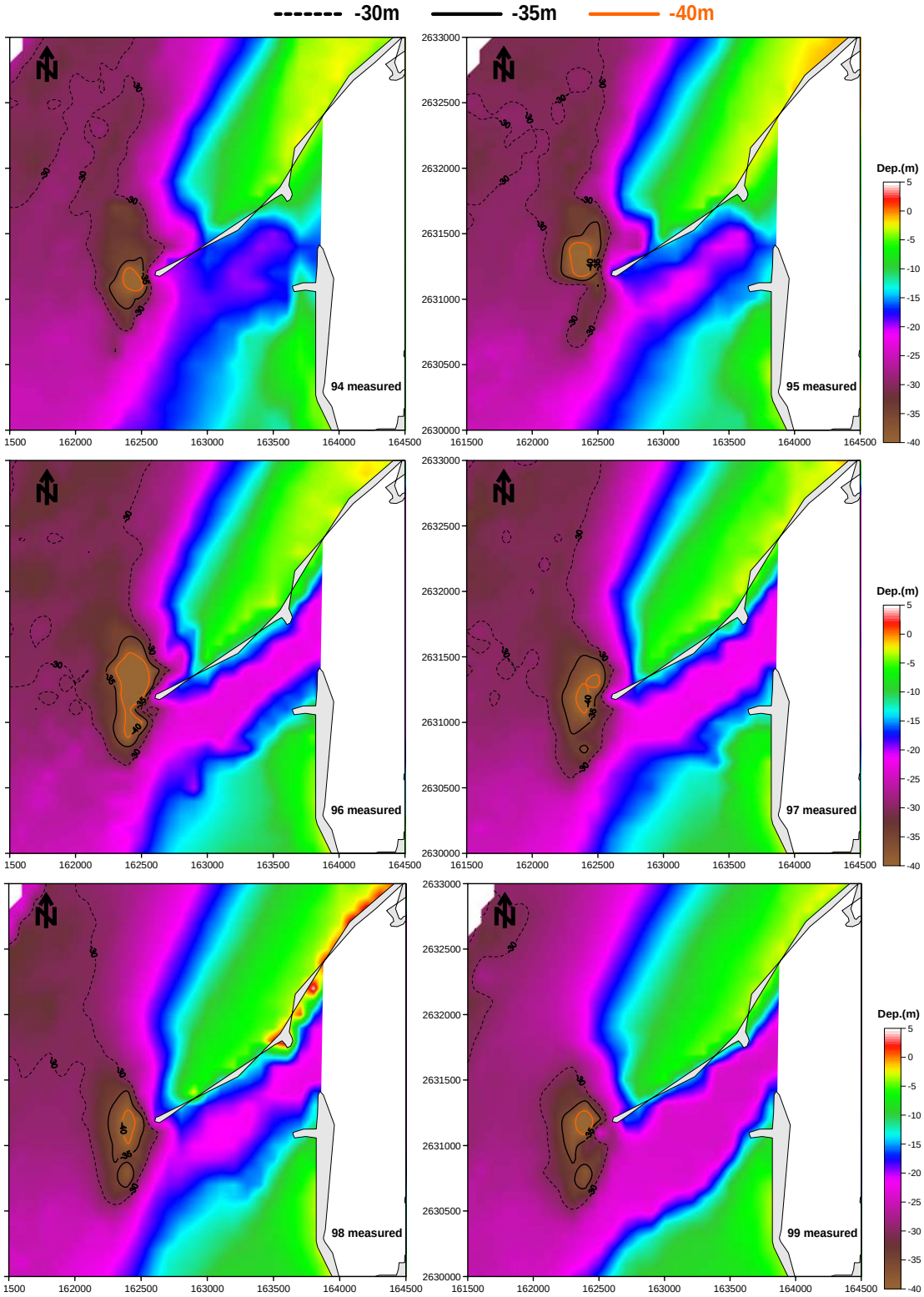


圖 6.54(續) 麥寮港西防波堤堤頭附近地形等深線變化圖 (80~99 年)

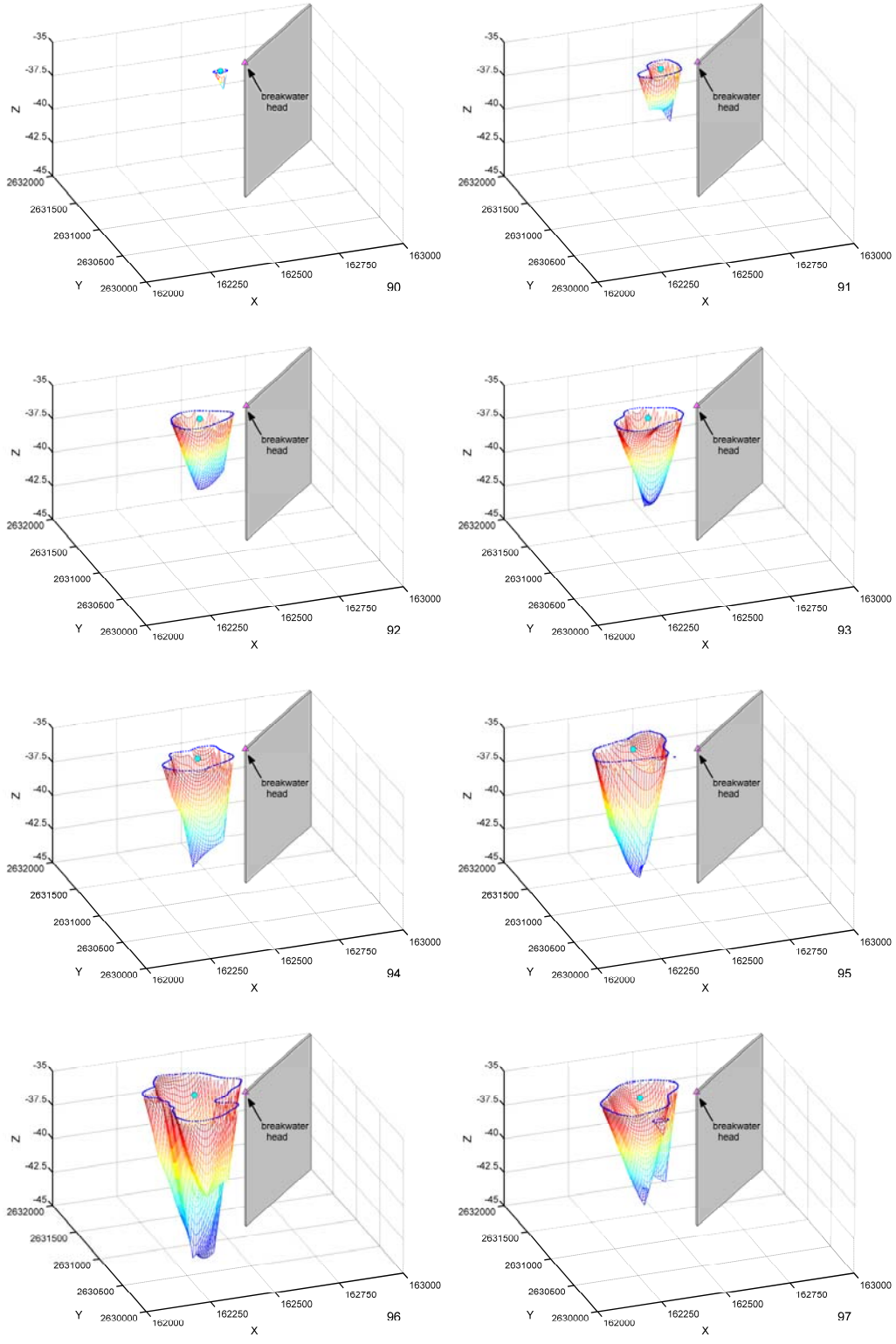


圖 6.55 麥寮港西防波堤堤頭海域-35m 沖刷洞地形變化圖 (90~99 年)

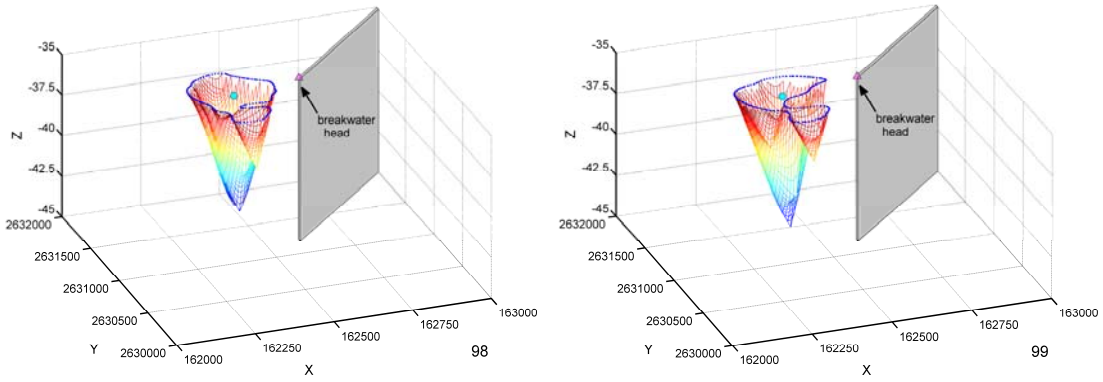


圖 6.55(續) 麥寮港西防波堤堤頭海域-35m 沖刷洞地形變化圖(90~99 年)

表 6-9 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 (m2)	沖刷體積 (m3)	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	3788176	43.64	38

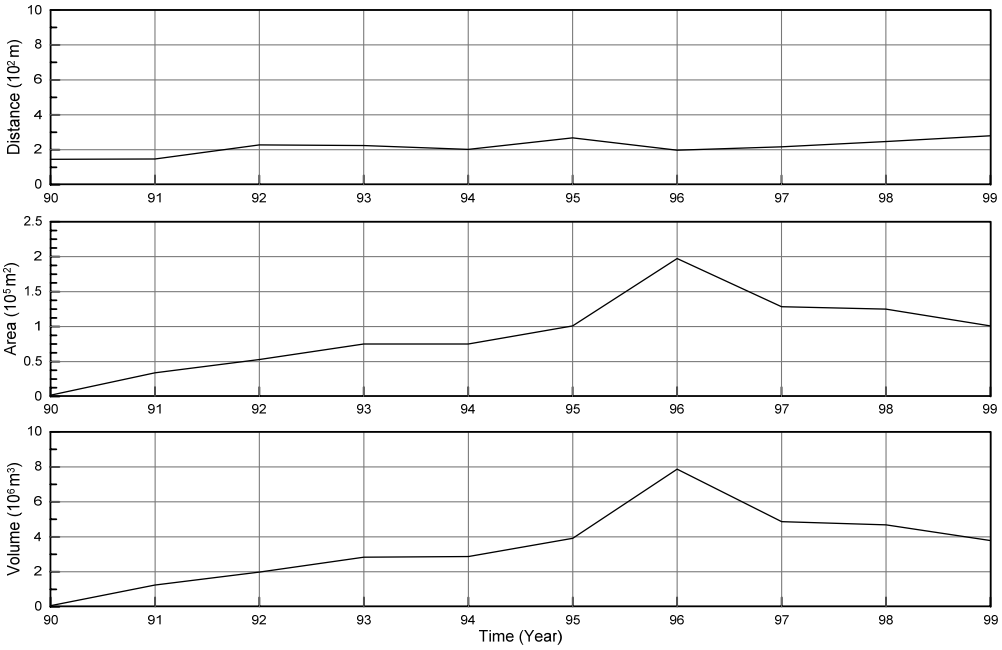


圖 6.56 堤頭-35m 沖刷洞心堤距、面積、體積變動圖

另收集麥寮工業區專用港管理公司所提供自 96/04 至 100/09 五年期間共進行 30 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。民國 96~100 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 6-9 與圖 6.56 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。

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，詳列於表 6-10。由表 6-10 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，

受惠於觀測次數較為頻繁，加密水深測量資料中，有 6 次測量空檔期間中央氣象局發佈單一颱風警報，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，單次颱風對於麥寮港西防波堤鄰近海域地形並非直接對地形造成嚴重的侵蝕，其所造成的效應需結合區域性效應相互考量。

表 6-10 麥寮港西堤加密測量堤頭-35m 沖刷變化量化表 (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 (m2)	沖刷體積 (m3)	最大沖刷深度 (m)	平均沖刷 (m)
960426	162601, 2631186	162432, 2631265	226	174200	7092162	49.13	41
960530	162601, 2631186	162428, 2631268	230	169600	6957173	51.41	41
960704	162601, 2631186	162424, 2631268	234	172300	7100376	51.68	41
960728	162601, 2631186	162424, 2631268	234	163800	6767751	50.93	41
960826	162601, 2631186	162420, 2631273	240	175200	7244358	50.48	41
960928	162601, 2631186	162417, 2631275	243	181100	7550382	51.89	42
961025	162601, 2631186	162419, 2631264	238	186500	7489763	47.25	40
961210	162601, 2631186	162413, 2631172	245	151000	5966028	46.00	40
970107	162601, 2631186	162419, 2631184	237	141900	5657946	45.79	40
970508	162601, 2631186	162413, 2631184	243	154200	6201111	49.14	40
970905	162601, 2631186	162408, 2631199	246	175500	7211237	50.88	41
971008	162601, 2631186	162409, 2631110	267	139700	5406748	43.88	39
971031	162601, 2631186	162410, 2631143	255	152400	5981821	46.36	39
980302	162601, 2631186	162408, 2631107	270	156800	6181458	45.53	39
980320	162601, 2631186	162412, 2631048	297	133400	5163883	45.49	39
980414	162601, 2631186	162414, 2631070	282	142900	5620852	45.76	39
980522	162601, 2631186	162412, 2631093	273	149800	5939969	46.68	40
980626	162601, 2631186	162408, 2631128	262	167000	6663965	49.84	40
980727	162601, 2631186	162405, 2631145	259	177100	7113313	48.87	40
980818	162601, 2631186	162405, 2631147	259	178300	7108445	48.79	40
980925	162601, 2631186	162405, 2631160	256	181900	7337210	50.70	40
981019	162601, 2631186	162402, 2631154	260	194000	7745400	46.64	40
981110	162601, 2631186	162402, 2631097	280	165400	6465426	44.66	39
990127	162601, 2631186	162400, 2631091	284	169000	6650347	45.05	39
990423	162601, 2631186	162404, 2631078	287	159500	6236126	43.86	39
990825	162601, 2631186	162405, 2631116	270	171200	6887158	50.83	40
991215	162601, 2631186	162396, 2631075	295	165400	6485458	45.45	39
1000105	162601, 2631186	162401, 2631017	323	133600	5207864	45.12	39
1000530	162601, 2631186	162399, 2631004	334	136200	5308712	45.37	39
1000907	162601, 2631186	162394, 2631082	294	171400	6770072	49.74	40

三、堤頭沖蝕與海流的關係分析

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 6.57 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，實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，應為海潮流所致。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 6.58 及圖 6.59 所示。由圖 6.58 (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 6.59 (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 %。

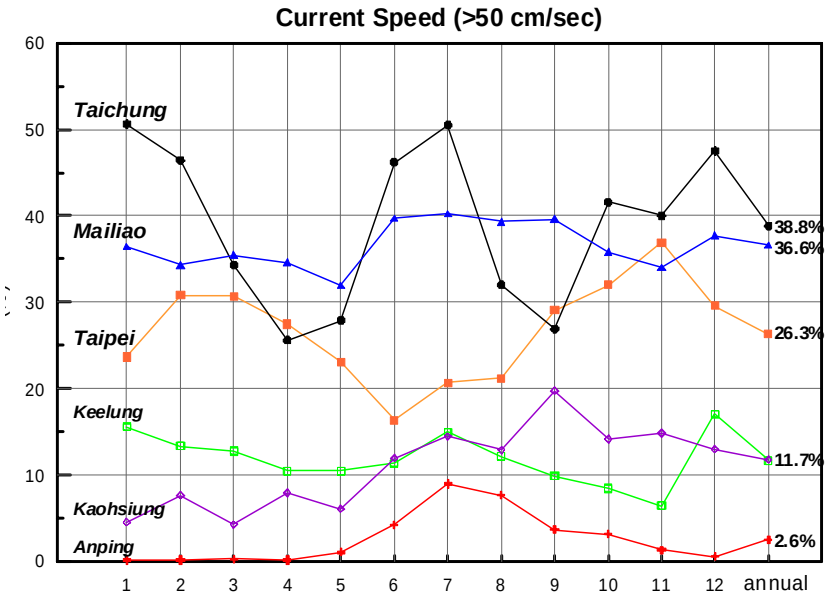


圖 6.57 臺灣六大港海域歷年流速大於 50cm/sec 發生機率圖

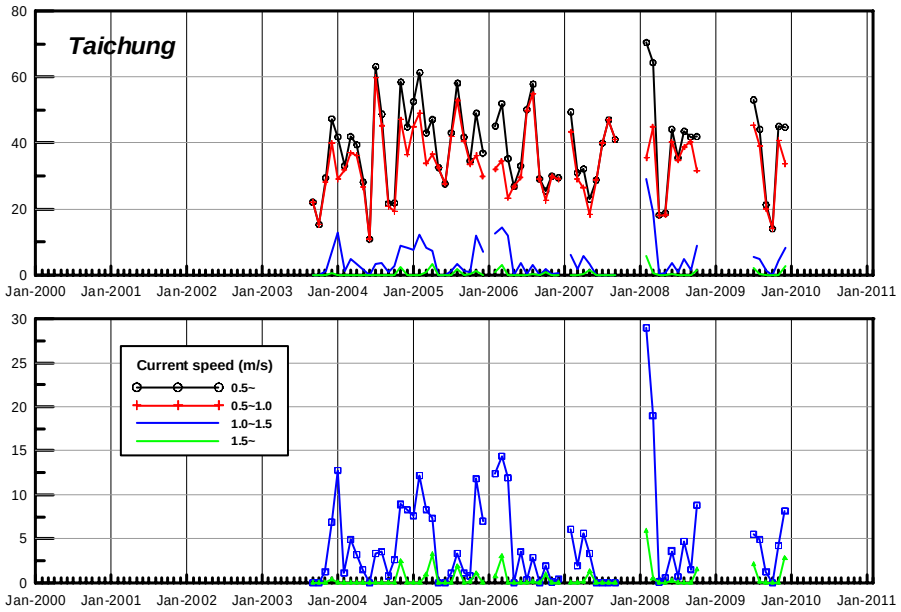


圖 6.58 臺中港 2003~2009 年流速分佈發生機率圖

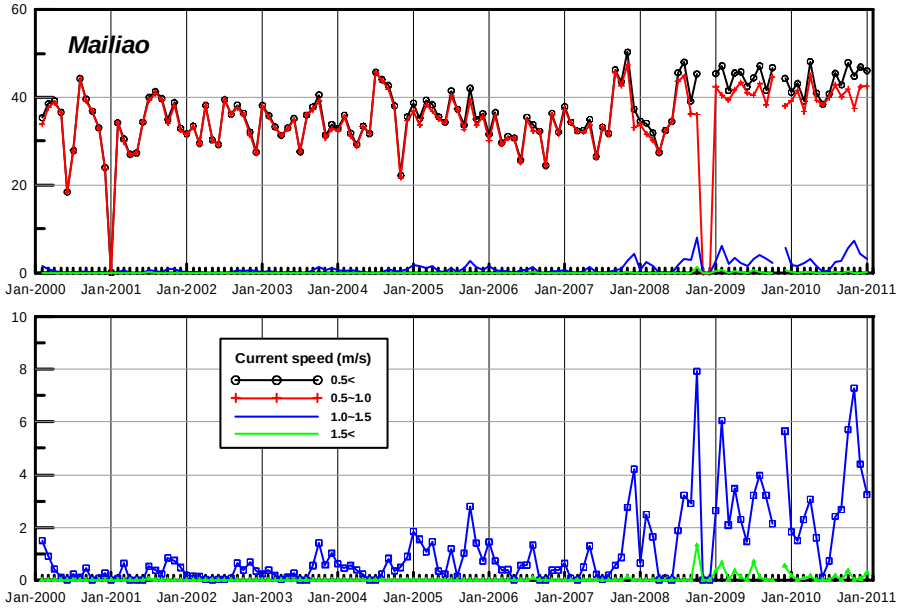


圖 6.59 麥寮港 2000~2010 年流速分佈發生機率圖

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。而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。若以麥寮港為例，分析 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。

首先從流能量探討，而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，並僅選取流速大於 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 $E_i \approx V_i^2$)。

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 6.60 所示 (藍線為南、北方向，紅線為東、西方向)。由圖 6.60 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。

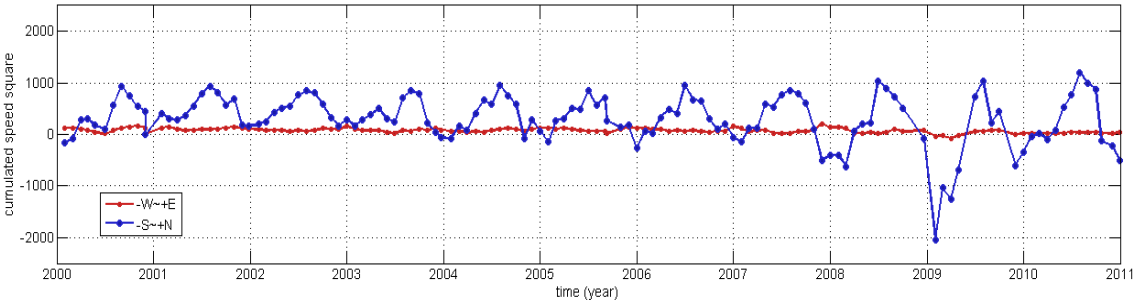


圖 6.60 麥寮港 YLCW 測站逐月淨流能量累積分佈圖 (2000~2010 年)

由上述分析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，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。將 96/04~100/09 期間所有的堤頭 -35m 沖刷洞資，與同期間的流能量累積分佈進行比較，如圖 6.61 所示。結果可證實，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。

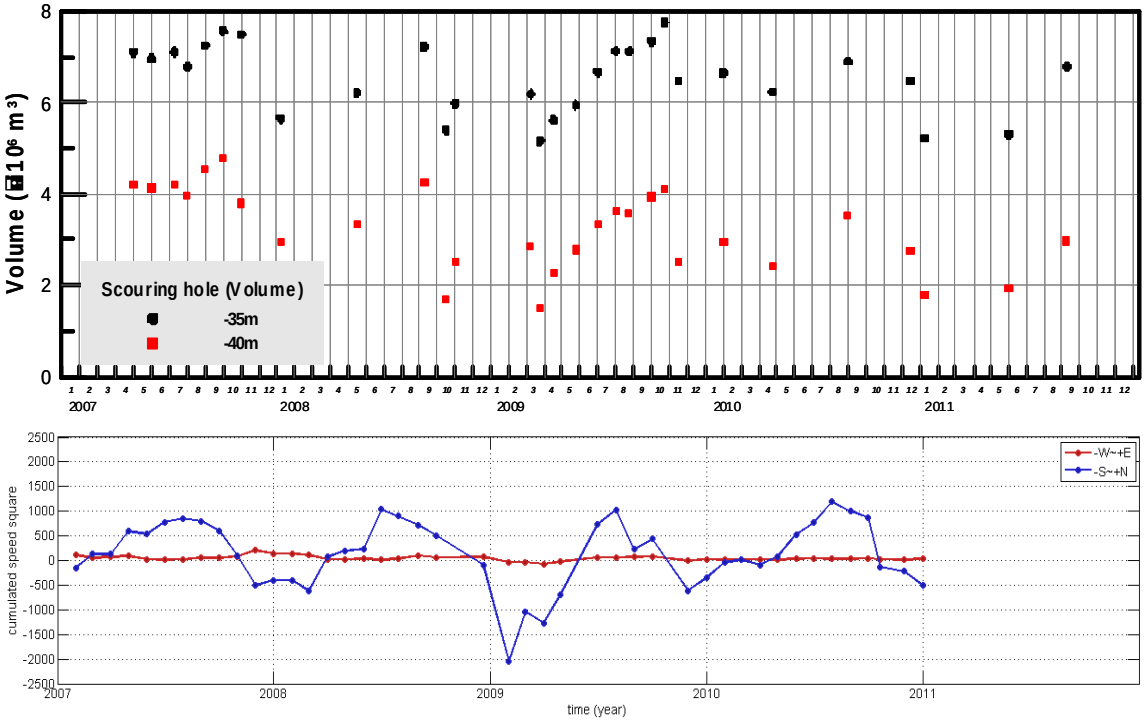


圖 6.61 麥寮港西堤堤頭-35m 沖刷洞變化與流能量累積分佈之對應關係圖

參考統計方法所推算之颱風波浪條件 (波高 6 m、週期 12 sec)，當平均底床深度為 20 m 時，粒徑小於 0.40 mm 的顆粒即會受到波浪的影響，而產生移動，此粒徑是極端條件下的推論，若颱風浪無法帶動

此種粒徑的顆粒，則平時的波浪條件亦不可能驅動之。使用此平均粒徑以徐爾滋數(Ψ_m，Shields number)計算實測海流、波浪資料對於底質的影響量。

$$\Psi_m = \frac{\tau_m}{SgD_{50}} = \frac{U_{fm}^2}{SgD_{50}} = \frac{\left(\sqrt{f_w/2}U_{bm}\right)^2}{SgD_{50}} = \frac{\left(\sqrt{f_w/2}Uw\right)^2}{SgD'} \quad \text{..... (6-12)}$$

其中 $S=(\rho_s/\rho-1)$，f_w 為摩擦係數，U_{bm} 為底床最大流速，於波浪場中即相當於先前所求得的Uw。使用今年度實測資料進行計算，海流的底床摩擦剪力(τ_b)，Horikawa (1978) 建議使用半經驗式推算

$$\tau_b = \rho f_b^2 Uc^2 \quad \text{..... (6-13)}$$

$$f_b^2 = 0.214\left(\frac{z_o}{h}\right)^{1/6} \quad \text{..... (6-14)}$$

f_b 為摩擦係數經驗式，使用底床粗糙長度(z_o)計算。海流(Ψc)與波浪(Ψw)的徐爾滋數計算結果如圖 6.62 所示。當徐爾滋數偏大時，代表底質較易受到驅動力的影響而產生移動，比較同一時間的比例($\Psi c/(\Psi c+\Psi w)$，海流徐爾滋數/總徐爾滋數比)，則可發現雖然兩者的隨時間變化的倍數差異大，但所佔比率並無如流速振幅般偏向單一成分，觀測期間內海流徐爾滋數/總徐爾滋數比所佔平均值為 40.14%。

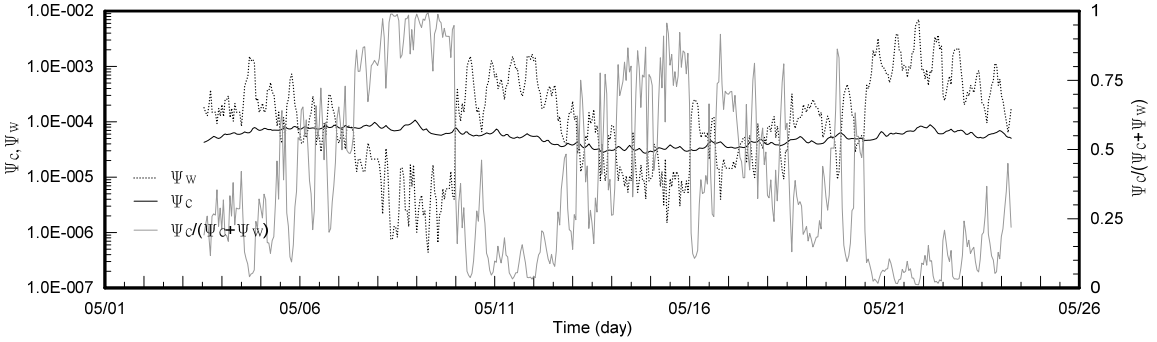


圖 6.62 實測海流徐爾滋數與波浪徐爾滋數分佈圖

6.4 小結

本章針對臺中港及麥寮港防波堤堤頭沖蝕現象，進行詳盡的研究。其中臺中港自民國 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。另由 96/04 至 100/09 五年期間麥寮港西防波堤堤頭附近 30 次加密測量之地形資料得知，在夏季期間 (約 4~9 月)，-35m 沖刷洞的面積與體積逐漸加大 (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)。

由本章研究成果可知，臺中港與麥寮港防波堤鄰近海域的地形侵於狀態，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。此現象反應出二處防波堤之堤頭沖蝕現象，主因可能為潮流所致。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，但堤頭北側有來自河口的沖積沙，南向漂砂會先將原北側沖刷洞逐漸回填。如此週而復始，在近期形成一個循環的現象。

第七章 結論與建議

本計畫包含不同子計畫。整合本所多年來已累積對海象模擬研究經驗，並完成持續建置相關海象模擬(波浪、水動力、海嘯)等系統作業化，計畫內容除了維護現有作業化模擬系統外，另以臺中港域及布袋港域為研究對象，進行波浪、水動力、海嘯等模擬改善研究，與配合本所港灣環境資訊網建置計畫，提供海象模擬資訊，隨時提供各相關單位參考，提昇港埠營運效能，同時對於各種突發狀況，快速研擬緊急因應對策；並延伸至模擬臺中港及麥寮港防波堤堤頭沖蝕現象，進行詳盡的研究，探究其沖刷特性。

7.1 結論

1. 中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組改善研究有二：

   (1) 考量未來建置藍色公路網風浪模擬資訊之需，因此將中尺度模組模擬範圍擴大為東經 117°至 123°、北緯 21°至 27°，將金門及馬祖等離島海面納入 TaiCOMS 風浪作業化模擬對象。

   (2) 進行多核平行化模擬測試藉以提昇中尺度風浪模組之模擬效益。

2. 在小尺度港區近岸波浪模組研究方面除了持續維護基隆港及臺北港小尺度港區近岸波浪模組之運作外，主要成果有更新臺中港小尺度港區近岸波浪模組之基本資料及建置布袋港小尺度港區近岸波浪模組等成果。

3. 風浪模擬作業化成果評估包括：

   (1) 本年度侵臺颱風作業化評估共有輕度颱風泰利、杜蘇芮、啟德、中度颱風蘇拉、海葵、天秤及強烈颱風杰拉華等七個，內容主要針對大尺度西太平洋範圍風浪模組及中尺度臺灣周圍

海域範圍風浪模組之模擬結果與基隆港區、臺北港區及臺中港區波浪觀測值進行討論及誤差分析。

(2) 長期風浪模擬作業化評估分別針對冬季季風期及夏季季風期等，內容以中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組之模擬結果與基隆港區及臺北港區波浪觀測值進行討論及誤差分析。整體評估結果顯示本計畫中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組之平均週期模擬值仍有較觀測值偏小的現象存在。

4. 針對的臺中港水動力模式修正包括地形資料的更新、格網的建立與模式參數的率定，邊界條件選用 NAO.99b 模式建置模式之開放邊界條件。在無風的條件下流場模擬結果顯示在退平潮階段港內潮流向港口流出，港口外潮流流向大致上朝向西南至西南西之間；在漲平潮階段港口附近潮流流向港內，港口外潮流流向大致上朝向東北至北北東之間；在強烈的北北東之風場下，流場模擬結果顯示不論漲、退潮臺中港區外海流場均呈現沿海岸地形往南之流向；在南防波堤附近航道及港區內則呈現出漲潮時水流向港內流動，退潮時水流向港外流動。

5. 布袋港的水動力模式為本年度新建立，包括地形資料、數值格網與邊界條件的建立。在無風的條件下流場模擬結果顯示高平潮時段，港口外側有微弱的東南向流場，部分流入港區內；退潮時段港口外側有明顯的南向流，此時海水由港區內往外流，在港口處有較強的流速；低平潮時段流向轉為向北，但整個港區附近流速不大；漲潮時段港口外側有較強的北向流，在港口亦有較強的流速流向港內。

6. 初步完成中尺度臺灣周圍海域範圍暴潮模式之建置，並以中區域 MC 預報風場及氣壓場資料為輸入條件，針對本年度發生的侵臺颱風模擬颱風引起的暴潮水位偏差。綜合模擬結果得知，當颱風在開闊海面上時近颱風中心暴潮水位偏差之等值線大致上呈現圓形狀分布，此與風場及氣壓場分布相近似；當颱風接近陸地時模式模擬結果之暴潮水位偏差分布情形，顯著受到大陸棚地形水深變淺之影

響，此時暴潮水位偏差變化與風場及氣壓場分布之關聯性明顯地降低。

7. 本計畫初步完成中尺度臺灣周圍海域範圍暴潮模式之建置，並以中區域 MC 預報風場及氣壓場資料為輸入條件，針對本年度發生的侵臺颱風模擬颱風引起的暴潮水位偏差。綜合模擬結果得知，當颱風在開闊海面上時近颱風中心暴潮水位偏差之等值線大致上呈現圓形狀分布，此與風場及氣壓場分布相近似；當颱風接近陸地時模式模擬結果之暴潮水位偏差分布情形，顯著受到大陸棚地形水深變淺之影響，此時暴潮水位偏差變化與風場及氣壓場分布之關聯性明顯地降低。

8. 基隆港與臺北港水位及海流模擬子系統作業化預測成果評估，顯示本年度 8 月和 9 月基隆港觀測與預報潮位之間的標準偏差為 0.1 m 左右，最大偏差為-0.37 m；海流預報的平均流速小於觀測值，觀測主要流向為東北東向，模式預報主要流向為東向；觀測流速與模式預報流速標準偏差為 20 cm/s 左右，平均比值為 1.0 左右；觀測流向與模式預報流向標準偏差為 70 度左右。臺北港觀測與預報潮位之間的標準偏差為 0.3 m 左右，最大偏差為-0.71 m；海流預報的平均流速與觀測值相當，約 40~50 cm/s；觀測主要流向為西南向，模式預報主要流向為西南西向；觀測流速與模式預報流速標準偏差亦為 20 cm/s 左右，平均比值為 1.0~1.2；觀測流向與模式預報流向標準偏差為 50 度左右。

9. 精進臺中港域及布袋港域海嘯數值模式之格林函數，達到減少系統檔案大小並增進系統運算速度；並與港灣環境資料庫進行整合以達全自動化操作需求。

10. 完成海嘯模擬預警即時地震資料擷取系統，並增加日本防災科學技術研究所(NIED)所提供之 F-net 即時地震資料庫，以供與 USGS 與 CWB 資料庫結果比較。

11.計算結果為布袋港在未來 50 年間發生海嘯且溢淹之機率為 0.1%，100 年為 0.2%；臺中港未來 50 年間發生海嘯且溢淹之機率為 0.18%，100 年為 0.33%。分析結果遠小於基隆港及臺北港之風險值，主要是因為臺中港及布袋港現有之高程可抵擋大部分震源及地震矩規模所產生之波高；也就是暗示雖然部份震源雖對臺中及布袋港之外海產生較大之波高，但因為高程之影響不至於產生溢淹，故其風險值甚低。

12.針對臺中港及麥寮港防波堤堤頭沖蝕現象，進行詳盡的研究。其中臺中港自民國 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 年期間沖刷洞逐漸回淤。另由 96 至 100 五年期間麥寮港西防波堤堤頭附近 30 次加密測量之地形資料得知，在夏季期間 (約 4~9 月)，-35m 沖刷洞的面積與體積逐漸加大 (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)。

13.臺中港與麥寮港防波堤鄰近海域的地形侵於狀態，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。此現象反應出二處防波堤之堤頭沖蝕現象，主因可能為潮流所致。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，但堤頭北側有來自河口的沖積沙，南向漂砂會

先將原北側沖刷洞逐漸回填。如此週而復始，在近期形成一個循環的現象。

7.2 建議

1. 有鑑於風浪模擬預報結果與模式輸入之風場資料關係密切，尤其颱風期間風浪模擬結果受到預報颱風風場資料之正確性影響甚鉅。惟目前作業化系統採用的大域RC風場或中域MC風場對近颱風中心之預報風速均呈現低估現象(惟低估程度有差異)，因此如何針對近颱風中心預報風速低估現象提出修正，應是未來改善颱風風浪模擬預報結果研究方向之一。

2. 針對中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組，部份颱風波浪作業化模擬結果呈現波高偏小及週期偏低之原因探討及改善研究，建議列為下年度計畫優先研究重點。

3. 目前各港區小尺度港區近岸波浪模組對於週期偏小之風浪模擬易發生錯誤訊息造成作業化流程中斷之問題，亦建議納入下年度計畫改善研究之重點。

4. 海嘯系統應用格林函數之可逆性值，加速海嘯模擬之時間，以提供災防之參考依據，爭取海嘯侵襲時的警報時間，建議持續擴充至其他港口。

5. 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。

參考文獻

1. 李兆芳、劉正琪、邱永芳、蘇青和等， 2011， "近岸海象數值模擬及預警系統之建立 –水動力部分(4/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，MOTC-IOT- 99- H3DB001b。

2. 李兆芳、劉正琪、邱永芳、蘇青和等， 2010， "近岸海象數值模擬及預警系統之建立 –水動力部分(3/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，MOTC-IOT- 98- H3DB001b。

3. 李兆芳、劉正琪、張憲國，2001，港池振盪之數值模擬計算，海洋工程學刊，第一卷，第一期，1-22 頁。

4. 李忠潘、陳陽益、薛憲文、曾以帆等， 2012， "港灣防波堤堤頭沖蝕特性及防制機制之研究(1/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，MOTC-IOT- 100- H3DB005d。

5. 何良勝、蘇青和等，2011，"台灣主要港口海域長期性海象觀測及資料特性應用研究(2/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，基本研究報告，MOTC-IOT-99-H2DA001。

6. 何良勝、蘇青和等，2010，"台灣主要港口海域長期性海象觀測及資料特性應用研究(1/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，基本研究報告，MOTC-IOT-98-H2DA001。

7. 林廷燦、曾惠君、簡仲璟等，2011， "港灣環境資訊服務系統整合及建置(3/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告， MOTC-IOT- 99- H3DB003。

8. 林廷燦、曾惠君、簡仲璟等，2010， "港灣環境資訊服務系統整合及建置(1/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告， MOTC-IOT- 96- H3DB003。

9. 林炤圭、劉正琪、邱永芳、蘇青和等， 2011， "近岸海象數值模擬及預警系統之建立 –波浪部分(4/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心， 研究報告，MOTC-IOT- 99- H3DB001a。

10. 林炤圭、劉正琪、邱永芳、蘇青和等， 2010， "近岸海象數值模擬及預警系統之建立 --波浪部分(3/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心， 研究報告，MOTC-IOT- 98- H3DB001a。

11. 邱永芳、劉正琪、蘇青和、陳明宗等， 2012， "提升海岸及港灣海域波浪模擬

技術之研究(1/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心， 研究報告，MOTC-IOT- 100- H3DB005a。

12. 邱永芳、李兆芳、蘇青和、陳明宗等， 2012， "提升海岸及港灣海域水位與海流模擬技術之研究(1/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心， 研究報告，MOTC-IOT- 100- H3DB005b。

13. 邱永芳、蘇青和、李俊穎、李兆芳等， 2012， "整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究(1/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心， 研究報告，MOTC-IOT- 100- H3DB005。

14. 邱永芳、蘇青和、李俊穎等，2011，"臺灣近岸防救災預警系統技術與作業化之研究(4/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，基本研究報告，MOTC-IOT-99-H3DA005。

15. 邱永芳、蘇青和等，2010，"臺灣近岸防救災預警系統技術與作業化之研究(3/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，基本研究報告，MOTC-IOT-98-H3DA003。

16. 陳冠宇、陳陽益、邱永芳、蘇青和等，2012， "提升海岸及港灣海嘯模擬技術與淹水潛勢分析(1/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，MOTC-IOT- 100- H3DB005c。

17. 陳冠宇、陳陽益、邱永芳、蘇青和等，2011， "臺灣沿岸海嘯影響範圍與淹水潛勢分析(4/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告， MOTC-IOT-99- H3DB002。

18. 陳冠宇、陳陽益、邱永芳、蘇青和等，2010， "臺灣沿岸海嘯影響範圍與淹水潛勢分析(3/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告， MOTC-IOT-96- H3DB002。

19. 劉俊志、陳冠宇，2008，“以格林函數快速預報高雄港外海嘯高度”中華民國第 30 屆海洋工程研討會。

20. 劉俊志、陳冠宇，2008，“以逆向格林函數快速預報高雄港外海嘯高度”天氣分析與預報研討會，中央氣象局。

21. 廖建明、歐善惠、許泰文、方介群、臧效義，2002，應用 SWAN 模式模擬臺灣附近颱風波浪之特性，臺中，第二十四屆海洋工程研討會論文集，第 469-476 頁。

22. 歐善惠、許泰文、臧效義、方介群、廖建明，1999，「應用 SWAN 波浪模式推算臺灣附近海域颱風波浪之研究」，第二十一屆海洋工程研討會論文集，87頁–95 頁。

23. 歐善惠、許泰文、臧效義、廖建明、方介群，2000，「應用 SWAN 模式於臺灣西部海岸之波浪預測」，第二屆國際海洋大氣會議論文集，台北，183 頁–188頁。

24. 簡仲璟、劉清松、林廷燦、劉益琪、林珂如等，2011， "港灣環境資訊服務系統整合及建置(3/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，MOTC-IOT- 100- H3DB003a。

25. 蘇青和、吳基、廖慶堂、徐如娟，2003，「台北港港口區域潮汐及海流特性研究」，第二十五屆海洋工程研討會論文集，23 頁-30 頁。

26. 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 (2002b)。

27. 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。

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. 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。

30. Battjes, J. A. and Janssen, J. P. F. M., “Energy loss and set-up due to breaking of random waves,” *Proc. 16th Int. Conf. Coastal engineering, ASCE*, 569-587 (1978).

31. Booji, N., 1981, Gravity waves on water with non-uniform depth and current, Department of Civil Engineering, Delft University of Technique, Delft, The Netherlands, Report No. 81-1.

32. Booij, N., Holthuijsen, L. H. and Ris, R. C., “The “SWAN” wave model for shallow water,” *Proc. 25th Int. Conf. Coastal Engng*., Orlando, 668-676 (1996).

33. Booij, N., Holthuijsen, L. H. and Haagsma, IJ. G., “Comparing the secondgeneration HISWA wave model with the third-generation SWAN wave

model," *5th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting*, Melbourne, Florida, 215-222 (1998).

34. Dingemans, M. W., *Water wave propagation over uneven bottoms. Part 1 –linear wave propagation*, Advanced Series on Ocean Engineering, 13, World Scientific, 471p (1997).

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

36. Hasselmann, S., C. Brüning and P. Lionell, 1994, Towards a generalized optimal interpolation method for the assimilation of ERS-1 SAR retrieved wave spectra in a wave model, *Proc. 2nd ERS-1 Symp.*, ESA SP-361, 21-25.

37. Hasselmann, S., P. Lionello and K. Hasselmann, 1997, An Optimal Interpolation Scheme for the Assimilation of Spectral Wave Data, *J. Geophys. Res.*, 102, 15823-15836.

38. Holthuijsen, L. H., Booij, N., Ris, R., Andorka Gal, J. H. and de Jong, J. C. M., "A verification of the third-generation wave model "SWAN" along the southern North Sea coast," *Proceedings 3rd International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis*, *WAVES '97, ASCE*, 49-63 (1997).

39. 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 Portand Harbor Construction*, Hydro-Port' 94, Yokosuka, Japan, V ol. 2, pp. 1097-1116.

40. Kirby, J. T. and Dalrymple R. A., 1983, The propagation of weakly nonlinear waves in the presence of varying depth and currents, *Proc. 20th Congress I.A.H.R.*, Moscow.

41. Kirby, J. T., 1986, Higher-order approximations in the parabolic equation method for water waves, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 91, No. C1, pp. 933-952.

42. Komen, G.J., 1985, Introduction to Wave Models and Assimilation of Satellite Data in Wave Models, In: The Use of Satellite Data in Climate Models, *Proc. Alpbach Conference*, *ESA Pub.*, *ESA SP*, 244, 21-26.

43. Komen, G. J., Cavaleri, L., Donelan, M. Hasselmann, K., Hasselmann, S. and Janssen, P. A. E. M., *Dynamics and modeling of Ocean Waves*. Cambridge Univ. Press, Cambridge UK (1994).

44. Lee, T.L., and D.S. Jeng, 2002. Application of artificial neural networks in tide forecasting, *Ocean Engineering*, Vol. 29, pp. 1003-1022.

45. Loomis, H.G. (1979), “Tsunami prediction using the reciprocal property of Green's functions,” Mar. Geod., 2(1), pp.27-39.

46. Mei, C. C., *The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves*, John Wiley, New York (1989).

47. Miles, J. W., “On the generation of surface waves by shear flows,” *J. Fluid Mech.*, 3, 185-204 (1957).

48. Radder, A. C., “On the parablic equation method for water-wave propagation,” *J. Fluid. Mech*., Vol. 95, 159-176 (1979).

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

50. 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.

51. 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.

52. WAMDI group, “The WAM model − a third generation ocean wave prediction model,” *J. Phys. Oceanogr*., 18, 1775-1810 (1988).

53. Whitham, G. B., *Linear and nonlinear waves*, Wiley, New York, 636 p (1974).

54. X. Wang and Liu, P. L.-F.(2007): Cornell Multigrid Coupled Tsunami model (COMCOT) User Manual, Cornell University.

55. Xu, Z.(2007), “The All-source Green's Function and its Applications to Tsunami,” Science of Tsunami Hazards, 26(1), pp.59-69.

附錄一 風場及氣壓場模式

由於波浪及水位的預報皆會受到氣象條件的影響，特別是風速及氣壓的影響最大，因此本附錄說明這兩個因子的取得方法以及模擬的結果，並檢附本年度有關侵台颱風資訊。全域風場方面主要以引用中央氣象局 NFS 預報風場為主。氣壓場的部分也取得中央氣象局預報 NFS 氣壓場。

附 1.1 中央氣象局預報 NFS 風場及氣壓場

本中心透過合作關係取得中央氣象局目前所使用的風場共有三種，分別為 RC、MC 及 HC 風場(自 2004 年 4 月開始啟用)。各風場的解析度 RC 為 45km，MC 為 15km，而 HC 為 5km，計算領域也各有不同，如圖 A.1 所示，依據中央氣象局所提供的風場基本資料整理如表 2-1。

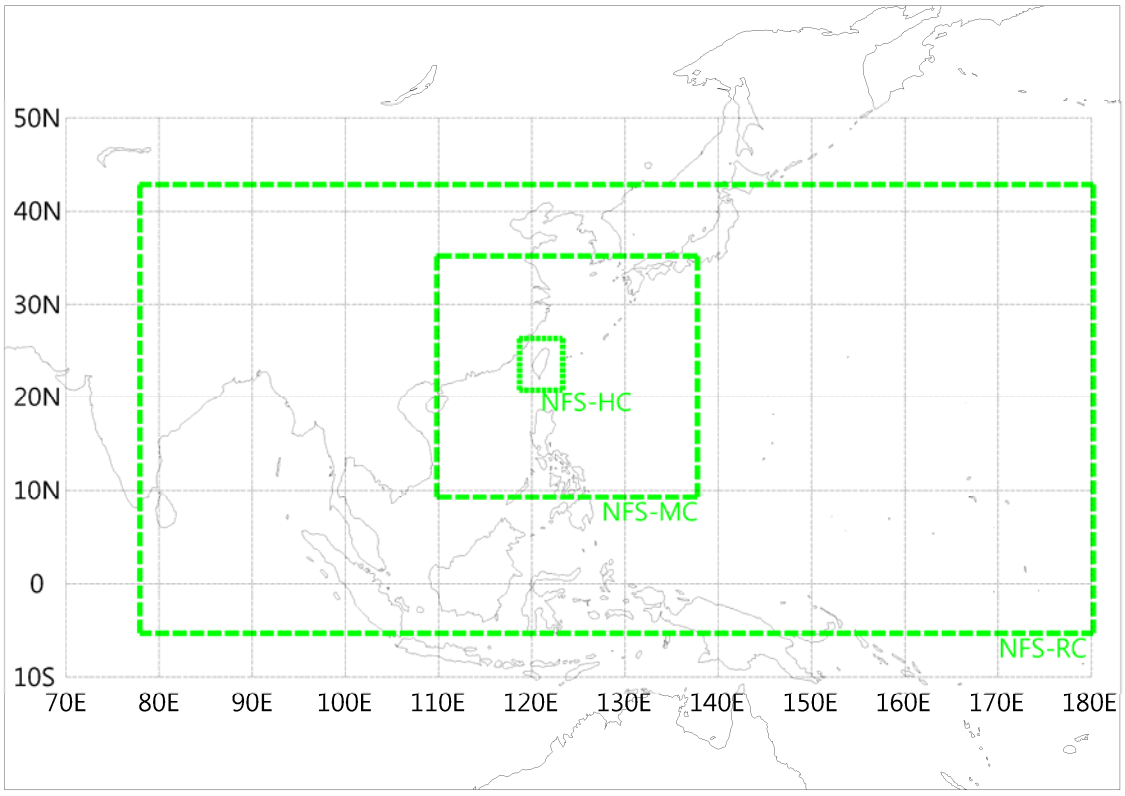


圖 A.1 中央氣象局提供原始風場範圍圖

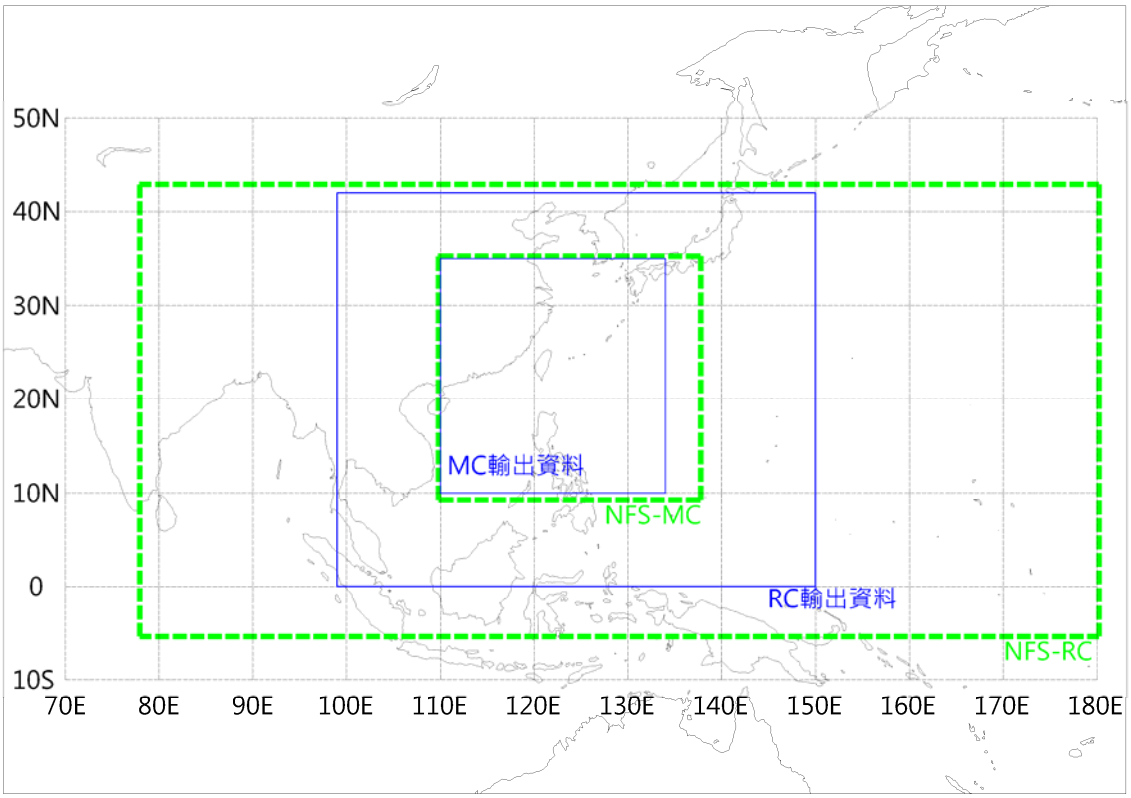


圖 A.2 系統內風場輸出範圍圖

表 A-1 NFS 預報風場模式(RC/MC/HC)基本資料

資料整理：中央氣象局柳再明(2004/2/25)

Version	
Operational Status	•Semi operaton in 2000 •Operation from 2001/01/08
Operational/Research Group	NWP Group of Central Weather Bureau (CWB) in Taiwan
Model	Nonhydrostatic Forecast System (NFS)
Basic equations	Primitive equations
Grid type	Arakawa C-grid staggering with leap-frog time integration scheme
Integration domain	Regional, over the western North Pacific and Southern Chinese Sea 221*127(45km) , 181*193(15km) ,91*121(5km)
Projection	Lambert conformal mapping
Mapping information	Center (120E), true (10N, 40N) •45KM MESH 座標(114,71)位置位於(30°N，120°E) 底圖　下點(-5.34068°N，77.91867°E) 右上點(42.92812°N，180.2034°E) •15KM MESH 座標(76,148)位置位於(30°N，120°E) 底圖 左下點(9.28194°N，109.7727°E) 右上點(35.26665°N，137.7342°E) 座標(1,1)位置對應至 45KM MESH 之(89,22)座標位置 •5KM MESH 座標(28,199)位置位於(30°N，120°E) 底圖 左下點(20.78609°N，118.6597°E) 右上點(26.33824°N，123.2724°E) 座標(1,1)位置對應至 15KM MESH 之(67,82)座標位置
Horizontal resolution	45/15/5 km
Vertical levels	30 vertical levels on sigma coordinates
Nested grids	level of nesting is 3 , one-way interactive
Forecast time	72 hour
Run time	00Z / 12Z (72h), 06Z/18Z(6h)
Initial fields	Last run of 6h forecast, keep 6h update cycle
First-guess analysis	Optimal Interpolation(OI)
Boundary conditions	GFS forecast to NFS 45km domain
Horizontal diffusion	4^{th} order diffusion
Moisture physics	Kuo's cumulus parameterization, Cloud ice&water microphysics
Planetary boundary layer	TKE-εPBL scheme
Radiation parameterization	Longwave : Sasamori Shortwave : Katayama
Land surface	Force restore method
Ocean surface	Optimal Interpolation with GFS reanalysis
Reference	Conference on Weather Analysis and Forecasting, 2000, p303-308
Remarks	This model configuration is used to simulate the weather pattern

附 1.2 臺灣環島風場及氣壓模式

現在歐洲（ECMWF）與美國（NOAA）皆有大型的氣象預報模式來預報全球的氣象資料，中央氣象局也在 2002 年完成臺灣海域動態氣象預報模式預報即時全域海上風場，目前本中心已透過合作取得中央氣象局 NFS 預報風場即時資料。

中央氣象局 NFS 預報風場模式提供三種不同尺度範圍之風場(如圖 A.1)。為符合中心作業化需求，後處理所提供 NFS 二進位數值資料，並內插相關風場及氣壓場提供後續風浪計算及潮位計算使用，圖 A.1 至圖 A.2 為中央氣象局 NFS 預報風場模式提供 RC(大尺度)及 MC(中尺度)範圍資料，後續作業化後之預報風場向量及氣壓分佈圖，時間為 2012 年 8 月 2 日中度颱風蘇拉侵臺期間。

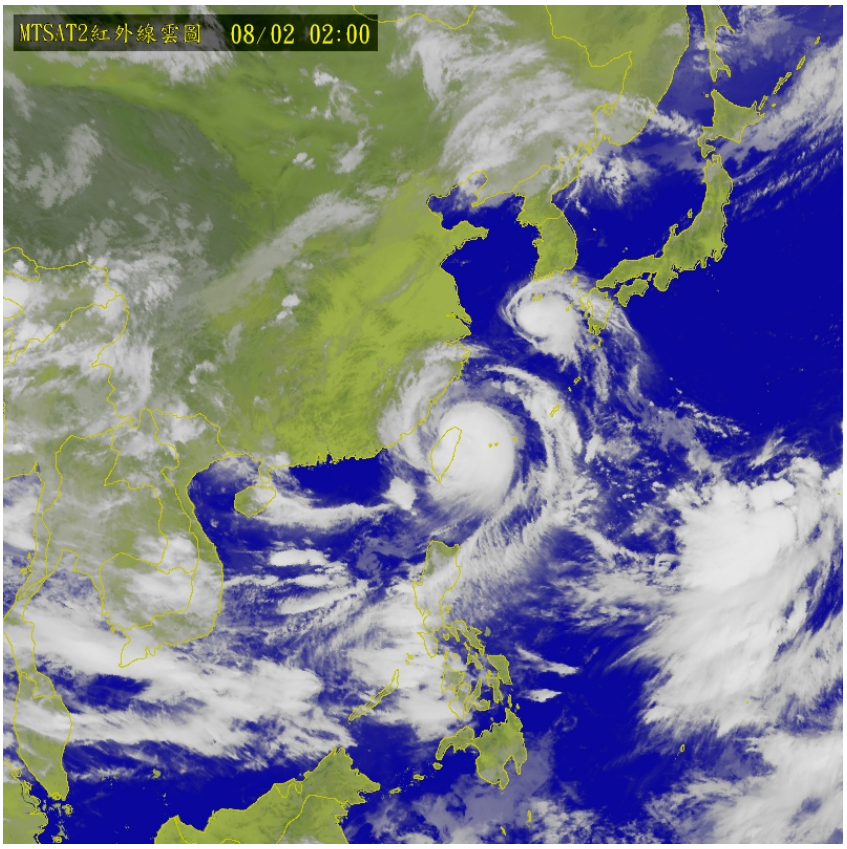


圖 A.3 中央氣象局蘇拉颱風衛星雲圖(08/02 02:00)

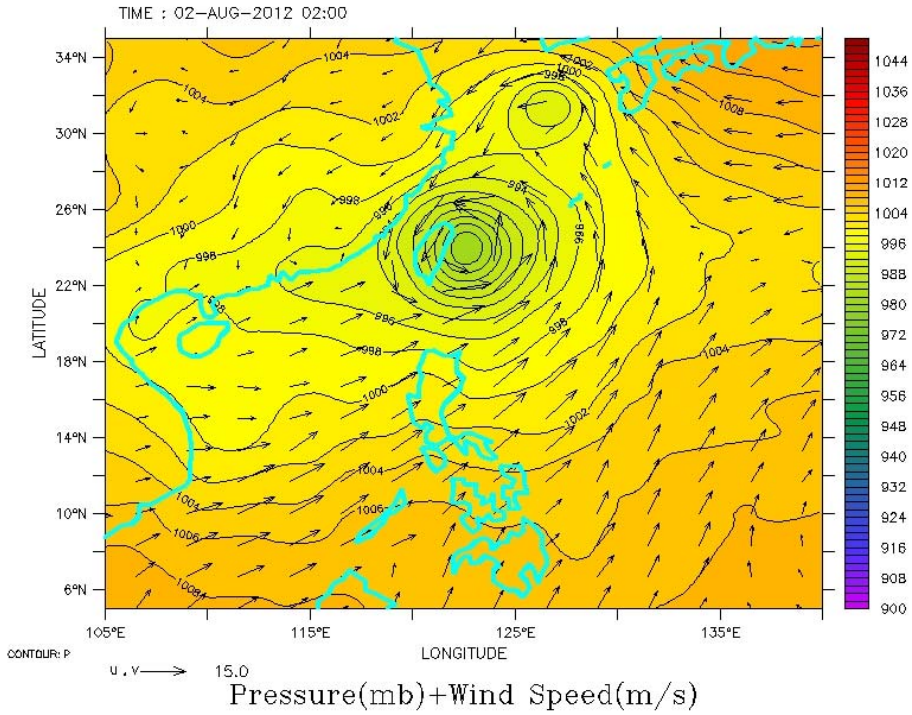


圖 A.4 蘇拉颱風 8 月 2 日 2 時 RC 風場向量圖

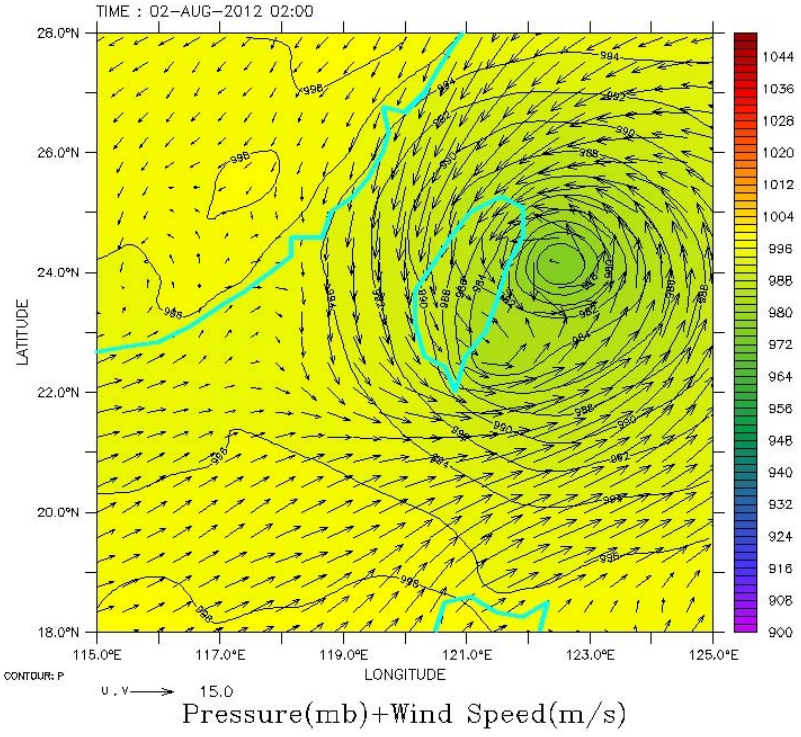


圖 A.5 蘇拉颱風 8 月 2 日 2 時 MC 風場向量圖

附 1.3 年度侵臺颱風

2012 年中央氣象局發布颱風警報計有 7 個，如表 2.3.1，中央氣象局發佈之颱風路徑圖(包括概況表)及衛星雲圖如圖 A.6a~圖 A.12b。

表 A-2 2012 年侵臺颱風記錄表

(摘自中央氣象局網站 http://www.cwb.gov.tw)

編號	中文名稱	英文名稱	警報期間	近台強度	侵台路徑分類	近台近中心最低氣壓 (hPa)	近台近中心最大風速 (m/s)	七級風暴風半徑 (km)	十級風暴風半徑 (km)	警報發布報數
1217	杰拉華	JELAWAT	09/27～09/28	強烈	--	910.0	55.0	250	100	15
1214	天秤	TENBIN	08/26～08/28	中度	特殊路徑	965.0	35.0	180	50	21
1214	天秤	TENBIN	08/21～08/25	中度	特殊路徑	945.0	45.0	180	50	33
1213	啟德	KAI-TAK	08/14～08/15	輕度	--	995.0	20.0	150	--	10
1211	海葵	HAIKUI	08/06～08/07	中度	--	960.0	35.0	180	50	11
1209	蘇拉	SAOLA	07/30～08/03	中度	2	960.0	38.0	220	80	31
1206	杜蘇芮	DOKSURI	06/28～06/29	輕度	--	995.0	23.0	120	--	10
1205	泰利	TALIM	06/19～06/21	輕度	9	985.0	25.0	150	--	17

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	泰利(TALIM)
編號	1205
生成地點	海南島附近
侵(近)台日期	2012 年 6 月 20 日
發布時間	海上:2012 年 6 月 19 日 5 時 30 分　陸上:2012 年 6 月 19 日 20 時 30 分
解除時間	海上:2011 年 5 月 10 日 17 時 30 分　陸上:2012 年 6 月 21 日 2 時 30 分
發布報數	17
最大強度	輕度
近中心最大風速	25.0 (公尺/秒)
侵台路徑分類	9
登陸地段	--
動態	6 月 18 日凌晨 2 時於海南島附近生成，以東北方向逐漸往臺灣海峽附近移動。颱風強度維持在輕度颱風，20 日 14 時其中心於位於澎湖與金門之間，持續向東北快速移動，21 日 5 時於彭佳嶼東北方轉變為熱帶性低氣壓。
災情	--

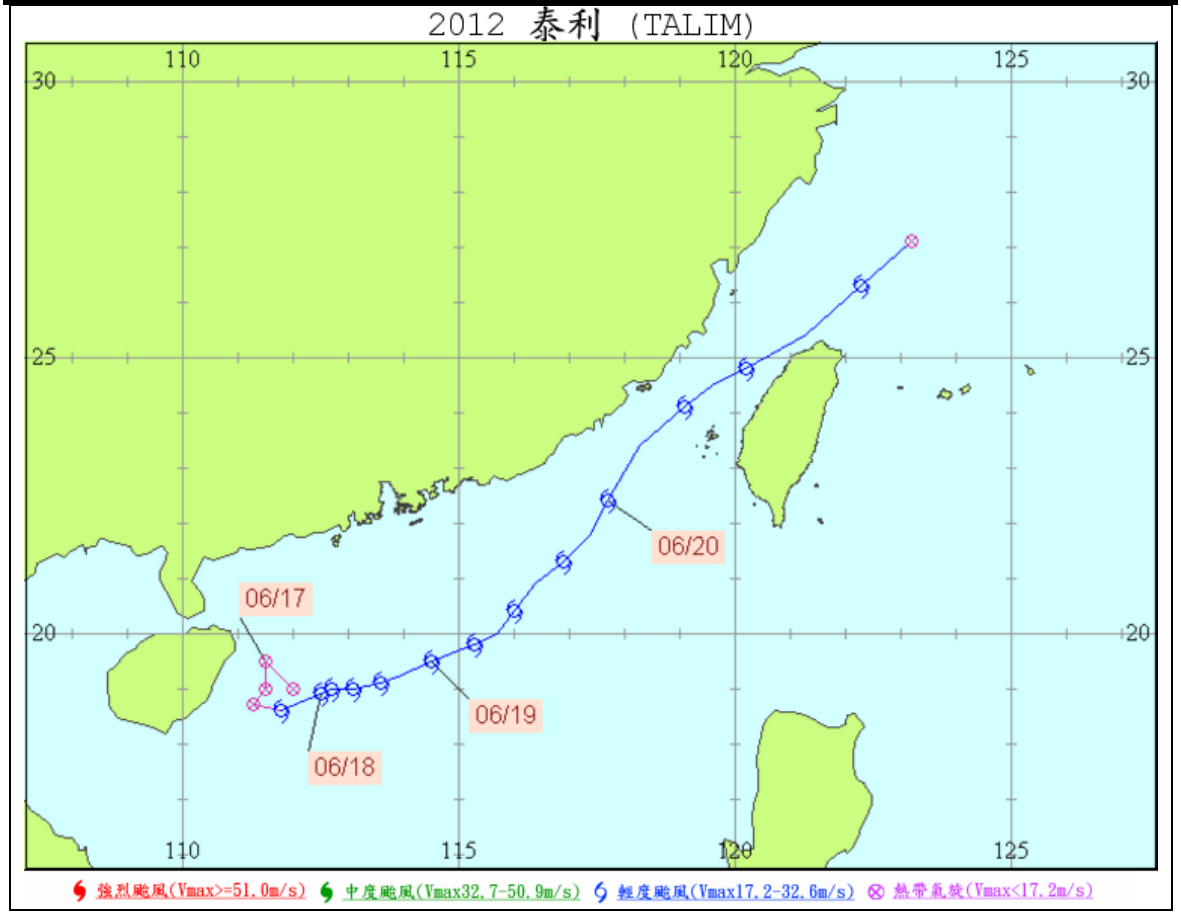


圖 A.6a 泰利颱風路徑圖

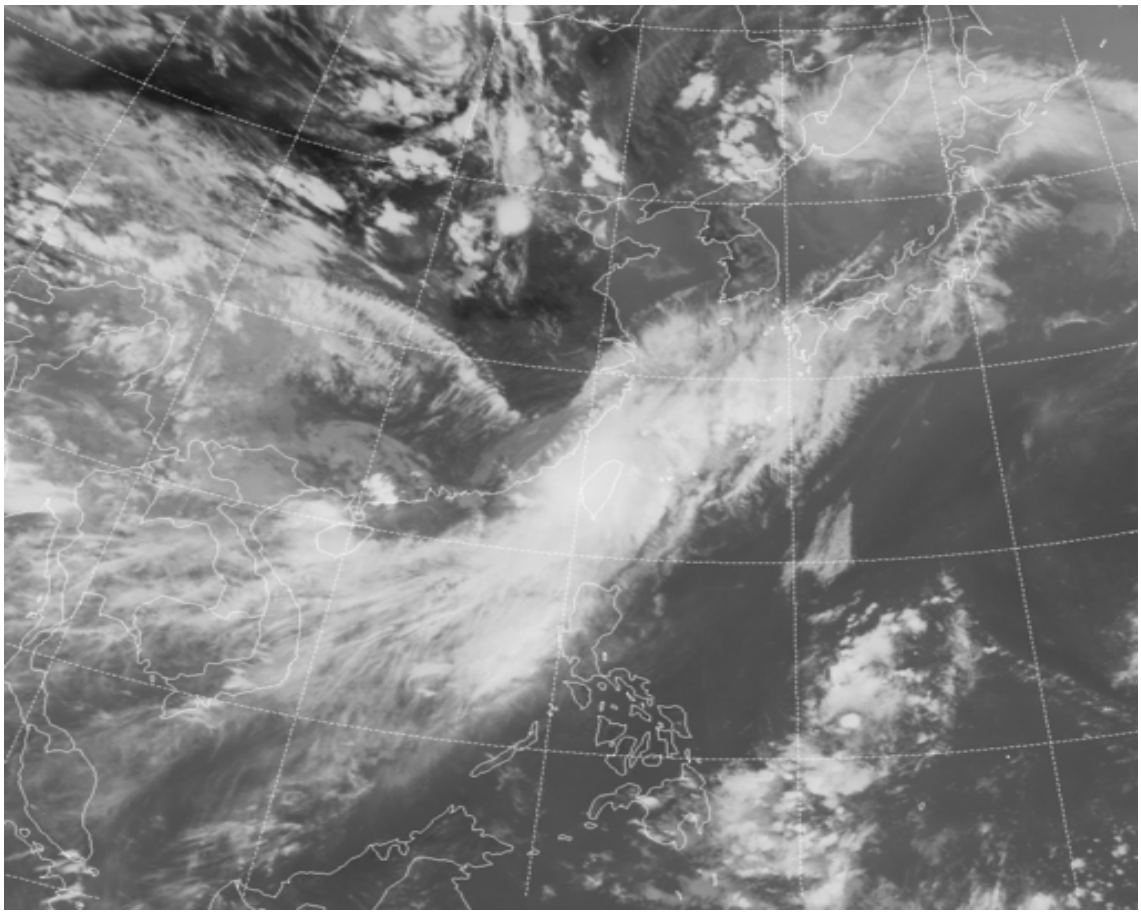


圖 A.6b 泰利颱風衛星雲圖(2012-06-20-14:32)

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	杜蘇芮(DOKSURI)
編號	1206
生成地點	菲律賓東方海面
侵(近)台日期	2012 年 6 月 28 日
發布時間	海上:2012 年 6 月 28 日 5 時 30 分
解除時間	海上:2012 年 6 月 29 日 8 時 30 分
發布報數	10
最大強度	輕度
近中心最大風速	23.0 (公尺/秒)
侵台路徑分類	--
登陸地段	--
動態	6 月 26 日晚上 8 時於菲律賓東方海面生成，生成後向西北西移動，通過巴士海峽南部後朝東沙島海面前進。
災情	--

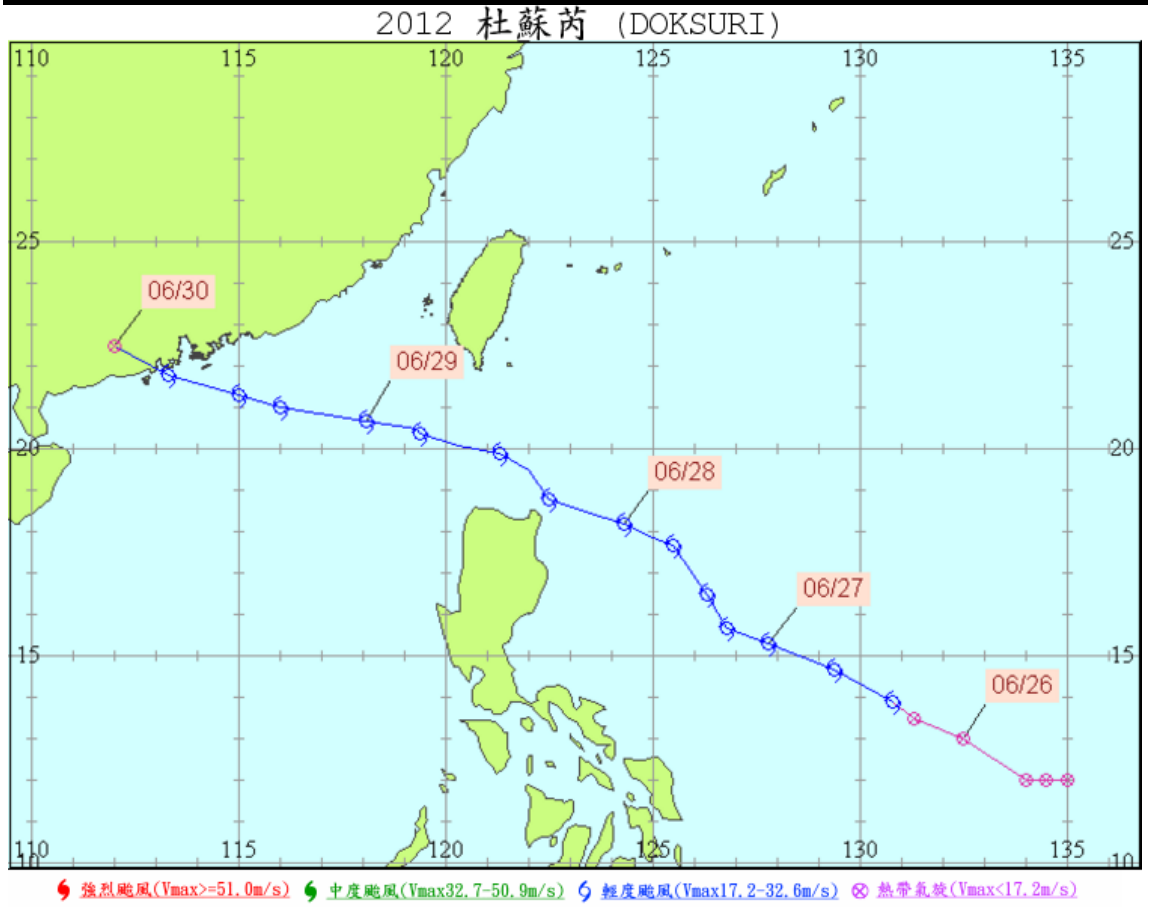


圖 A.7a 杜蘇芮颱風路徑圖

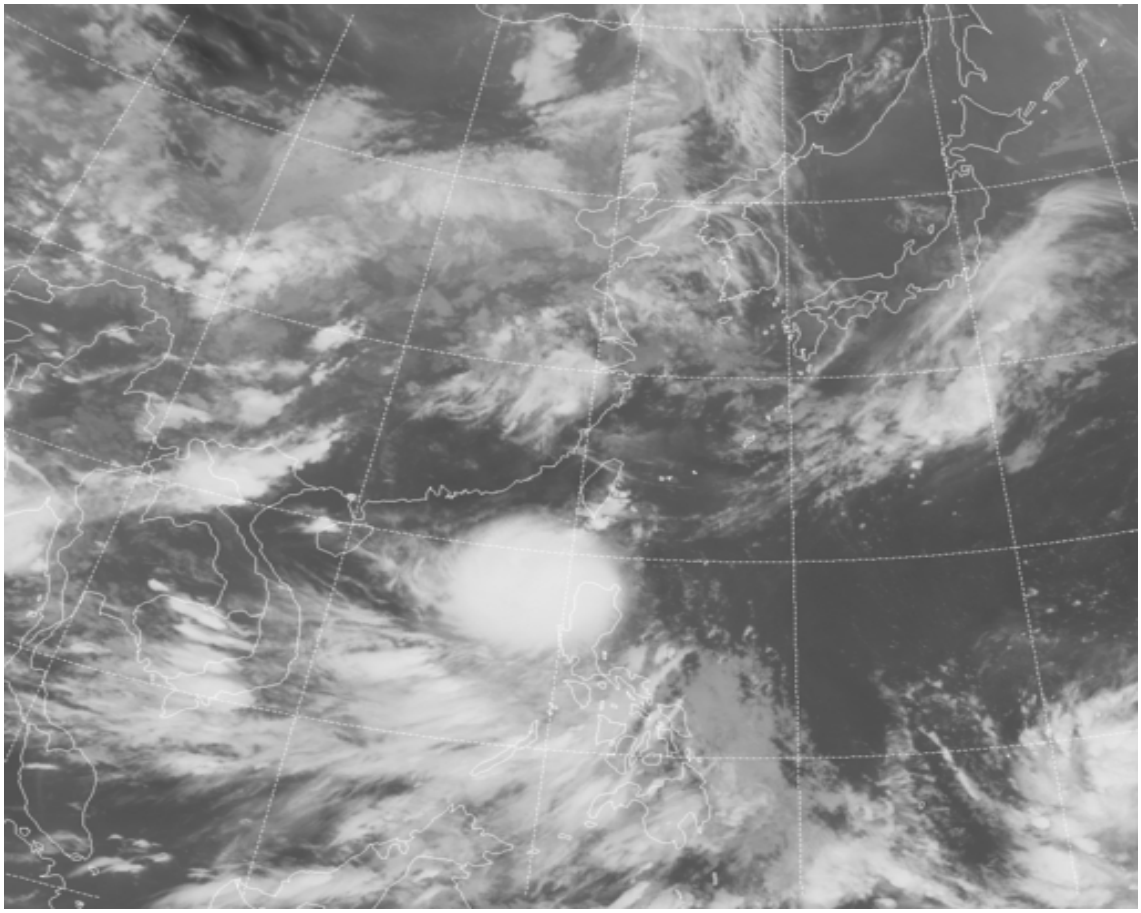


圖 A.7b 杜蘇芮颱風衛星雲圖(2012-06-28-20:32)

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	蘇拉(SAOLA)
編號	1209
生成地點	菲律賓東方海面
侵(近)台日期	2012 年 8 月 2 日
發布時間	海上:2012 年 7 月 30 日 20 時 30 分 陸上:2012 年 7 月 31 日 20 時 30 分
解除時間	海上:2012 年 8 月 3 日 14 時 30 分 陸上:2012 年 8 月 3 日 14 時 30 分
發布報數	31
最大強度	中度
近中心最大風速	38.0 (公尺/秒)
侵台路徑分類	2
登陸地段	花蓮秀林鄉
動態	7 月 28 日 8 時於菲律賓東方海面生成，初期往北至北北西移動，2 日凌晨 3 時 20 分於花蓮秀林鄉附近登陸，之後呈打轉現象，2 日下午 14 時左右掠過臺灣東北角進入北部海面，於 3 日 6 時左右在馬祖北方進入福建。
災情	--

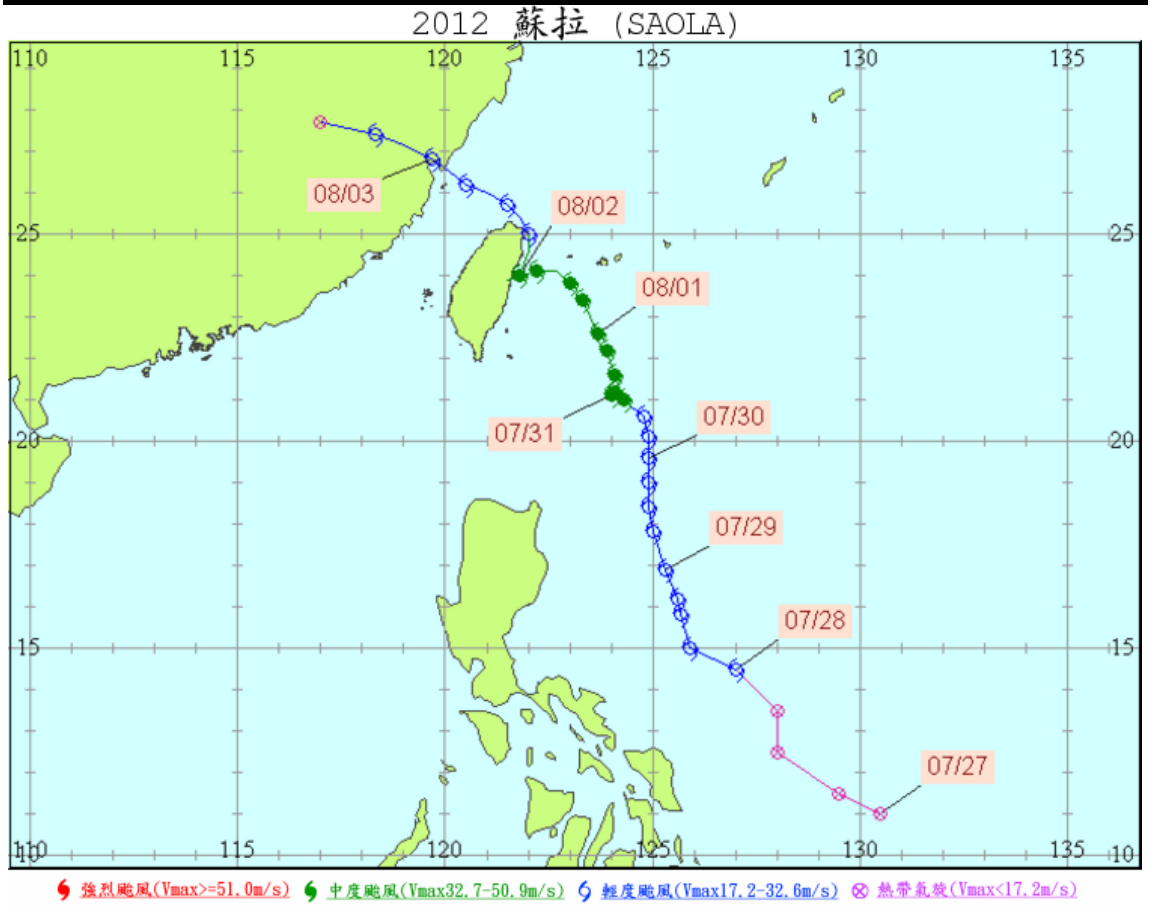


圖 A.8a 蘇拉颱風路徑圖

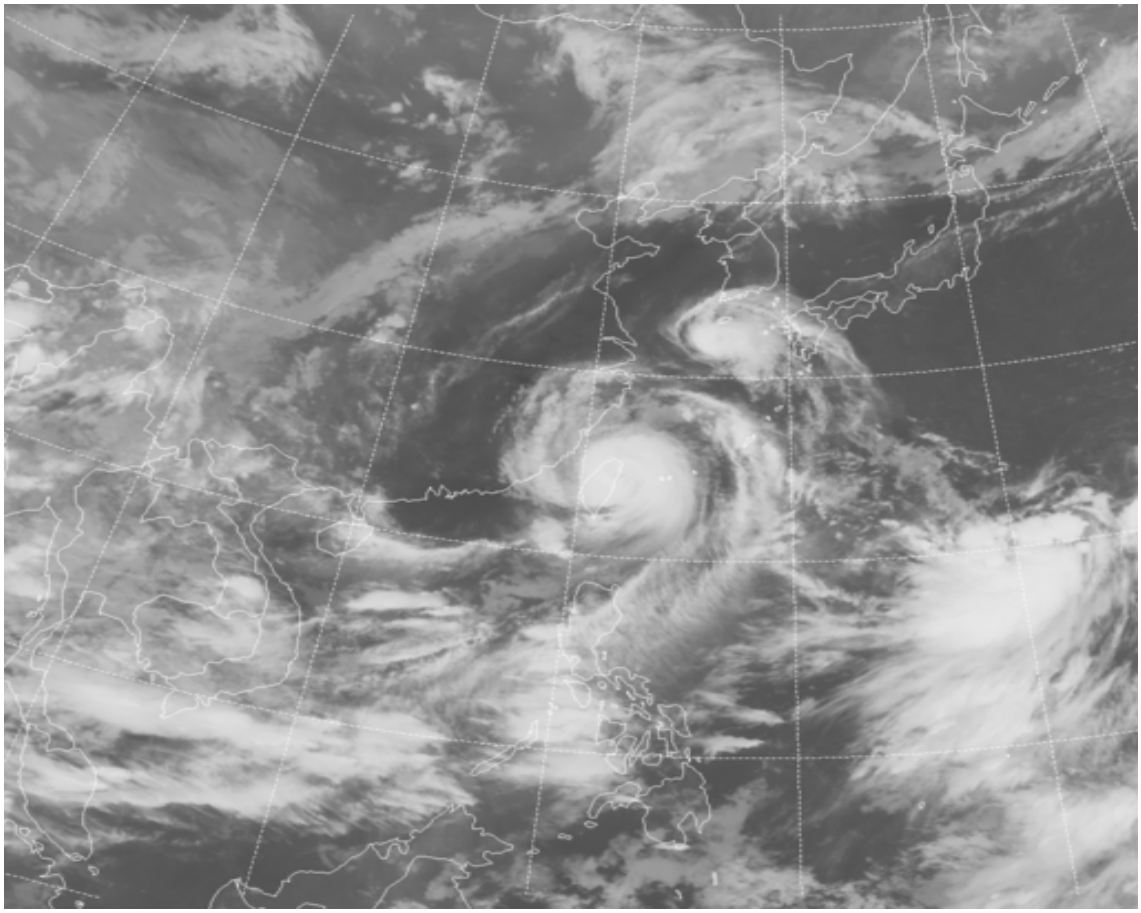


圖 A.8b 蘇拉颱風衛星雲圖(2012-08-02-02:32)

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	海葵(HAIKUI)
編號	1211
生成地點	西北太平洋
侵(近)台日期	2012 年 8 月 7 日
發布時間	海上:2012 年 8 月 6 日 11 時 30 分
解除時間	海上:2012 年 8 月 7 日 17 時 30 分
發布報數	11
最大強度	中度
近中心最大風速	35.0 (公尺/秒)
侵台路徑分類	--
登陸地段	--
動態	8 月 3 日 8 時於西北太平洋洋面生成，初期往西移動，6 日 23 時其強度增強為中度颱風，8 日凌晨於中國浙江登陸。
災情	--

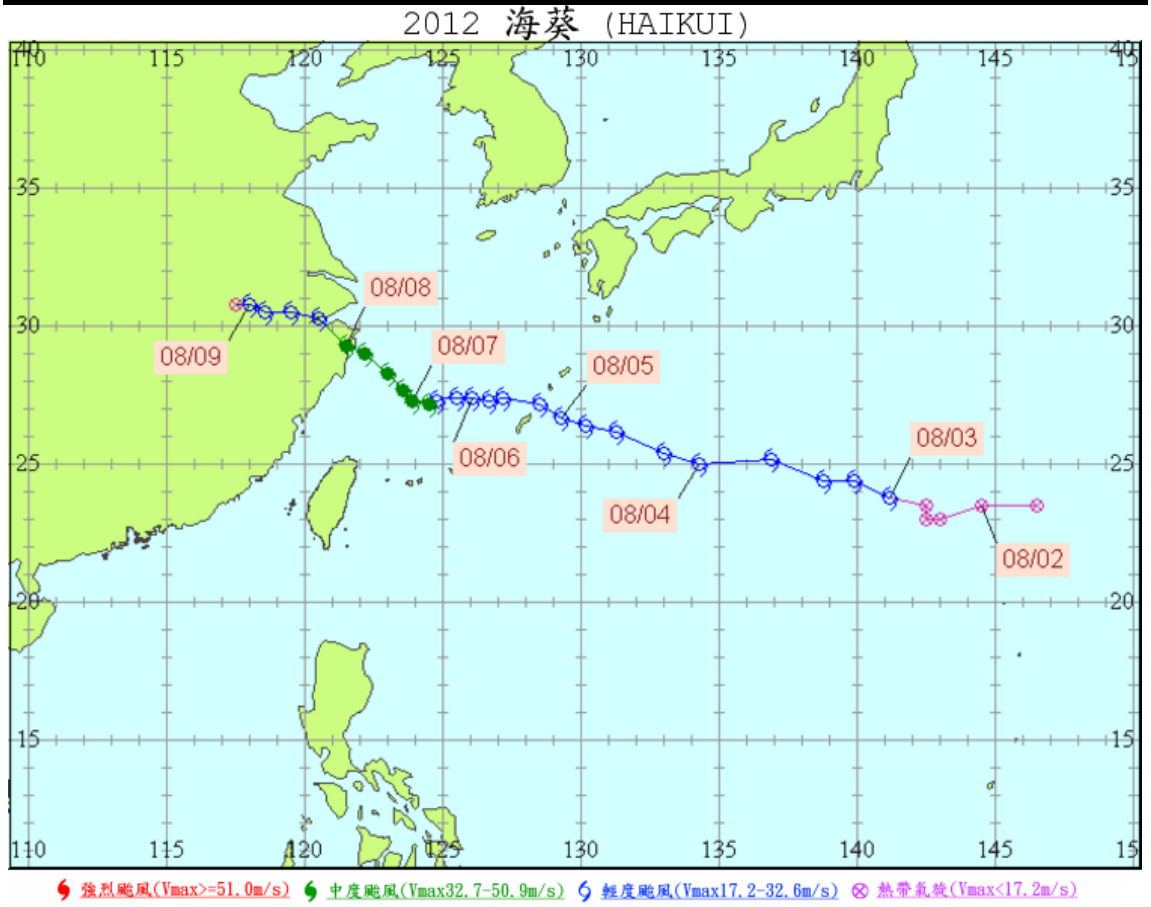


圖 A.9a 海葵颱風路徑圖

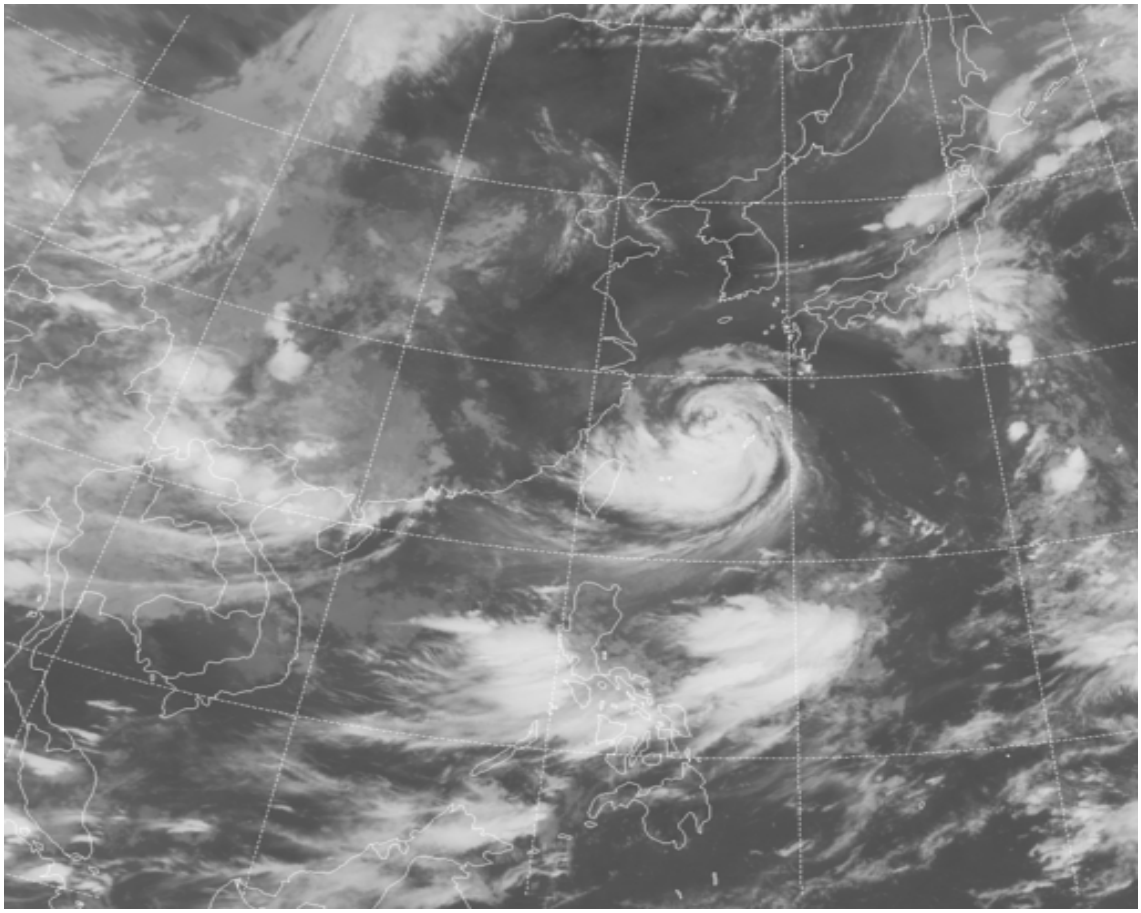


圖 A.9b 海葵颱風衛星雲圖(2012-08-06-08:32)

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	啟德(KAI-TAK)
編號	1213
生成地點	菲律賓東方海面
侵(近)台日期	2012 年 8 月 15 日
發布時間	海上:2012 年 8 月 14 日 14 時 30 分
解除時間	海上:2012 年 8 月 15 日 17 時 30 分
發布報數	10
最大強度	輕度
近中心最大風速	20.0 (公尺/秒)
侵台路徑分類	--
登陸地段	--
動態	8 月 13 日 08 時於菲律賓東方海面生成，初期往西移動，15 日 8 時其中心進入菲律賓呂宋島北部，至 17 時其中心在巴士海峽南方，向西北西移動，對臺灣近海的威脅已解除。
災情	--

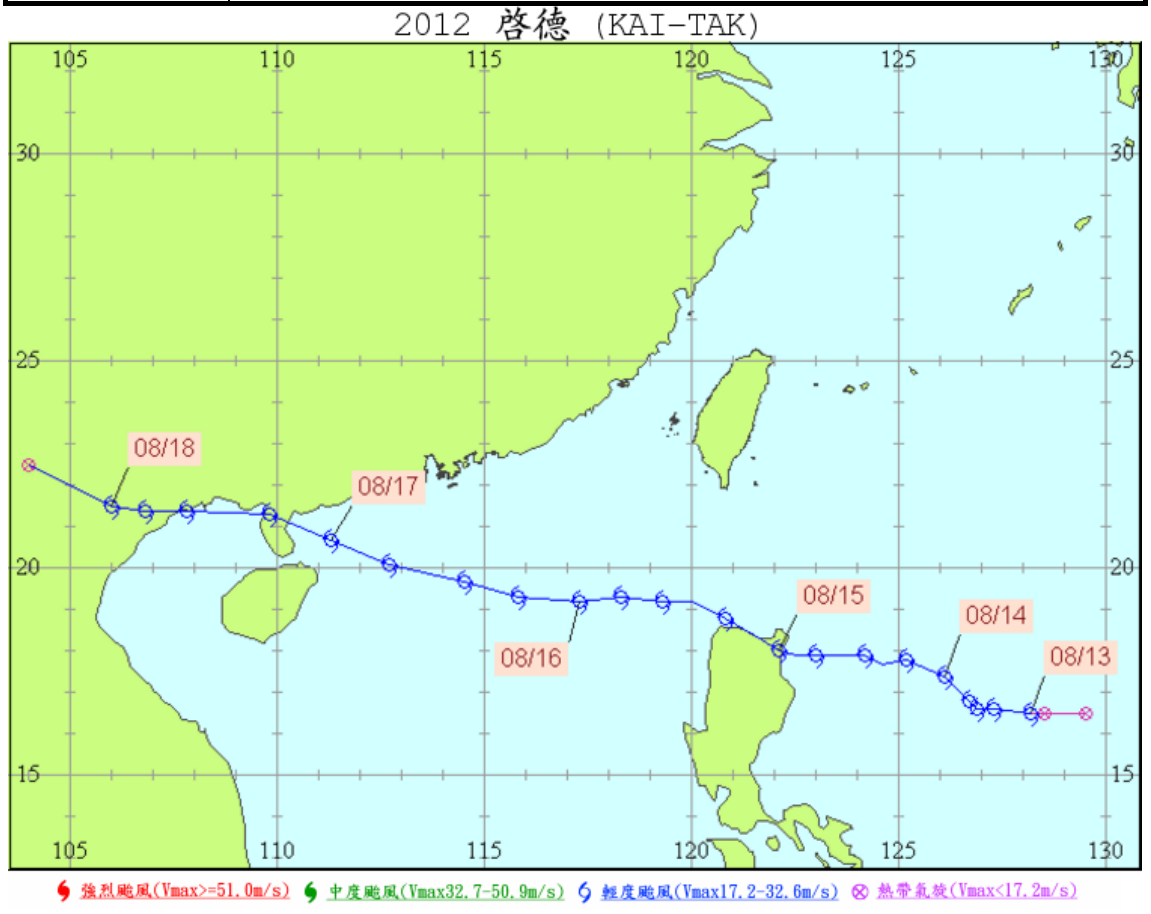


圖 A.10a 啟德颱風路徑圖

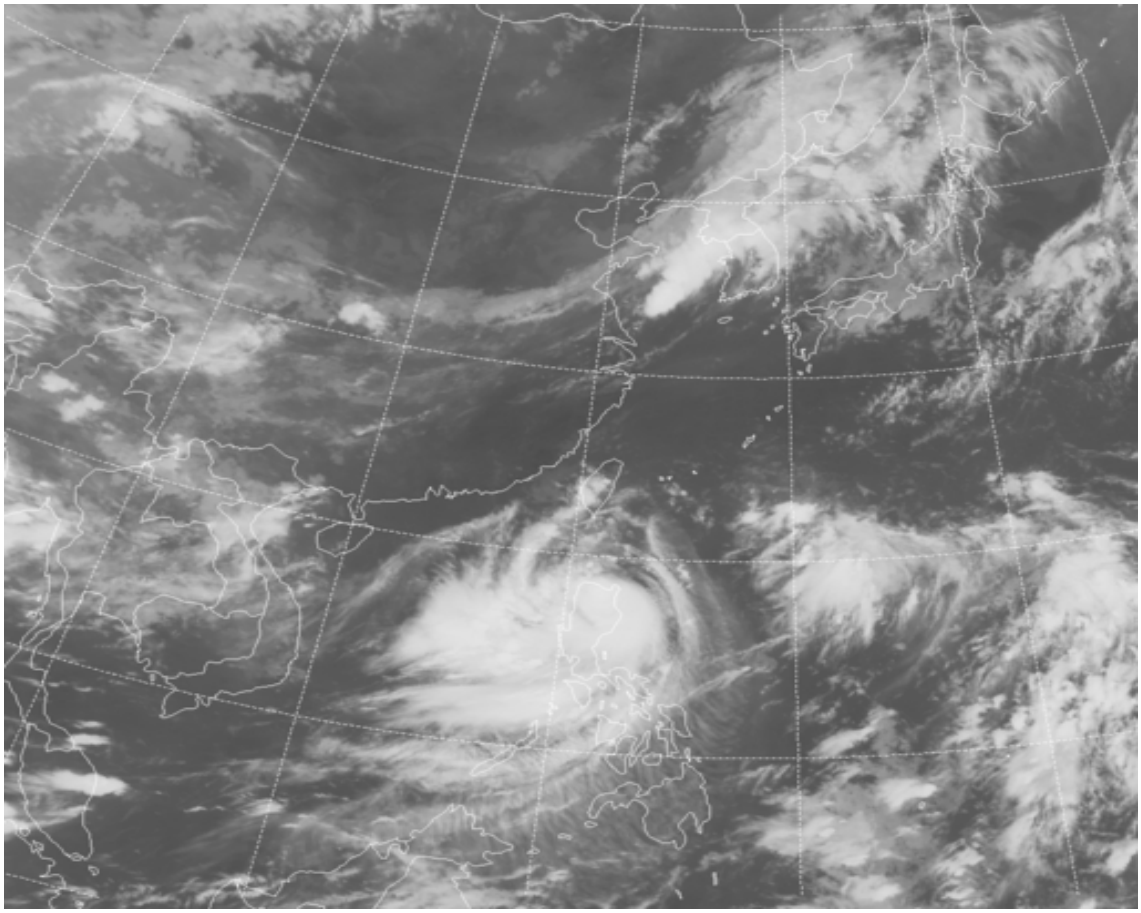


圖 A.10b 啟德颱風衛星雲圖(2012-08-15-08:32)

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	天秤(TEMBIN)
編號	1214
生成地點	【第 1 次】：呂宋島東方海面　【第 2 次】：呂宋島東方海面
侵(近)台日期	【第 1 次】：2012 年 8 月 24 日 【第 2 次】：2012 年 8 月 28 日
發布時間	【第 1 次】： 海上:2012 年 8 月 21 日 14 時 30 分 陸上:2012 年 8 月 22 日 5 時 30 分 【第 2 次】： 海上:2012 年 8 月 26 日 11 時 30 分 陸上:2012 年 8 月 27 日 2 時 30 分
解除時間	【第 1 次】： 海上:2012 年 8 月 25 日 14 時 30 分 陸上:2012 年 8 月 25 日 8 時 30 分 【第 2 次】： 海上:2012 年 8 月 28 日 23 時 30 分 陸上:2012 年 8 月 28 日 20 時 30 分
發布報數	【第 1 次】：33　【第 2 次】：21
最大強度	【第 1 次】：中度　【第 2 次】：中度
近中心最大風速	【第 1 次】：45.0 (公尺/秒)　【第 2 次】：35.0 (公尺/秒)
侵台路徑分類	【第 1 次】：特殊路徑　【第 2 次】：特殊路徑
登陸地段	【第 1 次】：屏東牡丹鄉附近　【第 2 次】：--
動態	【第 1 次】：形成後向北行進，至鵝鑾鼻東方海面後，向北北西轉西方向移動，至台東東方近海，又轉西南西撲向恆春半島，於 24 日凌晨 5 時於屏東牡丹鄉附近登陸，並穿越恆春半島繼續往西南西方向離去。 【第 2 次】：25 日解除警報後向西南西轉向偏南方向移動，26 日晚間至 27 日清晨再次轉彎，向東轉東北東方向移動，對臺灣及附近海面再次造成威脅。28 日清晨 5 時其中心通過蘭嶼與綠島中間，並向北北東方移動，晚間其中心在宜蘭東北東方海面持續向北北東移動，臺灣陸續脫離其暴風圈。
災情	【第 1 次】：--　【第 2 次】：--

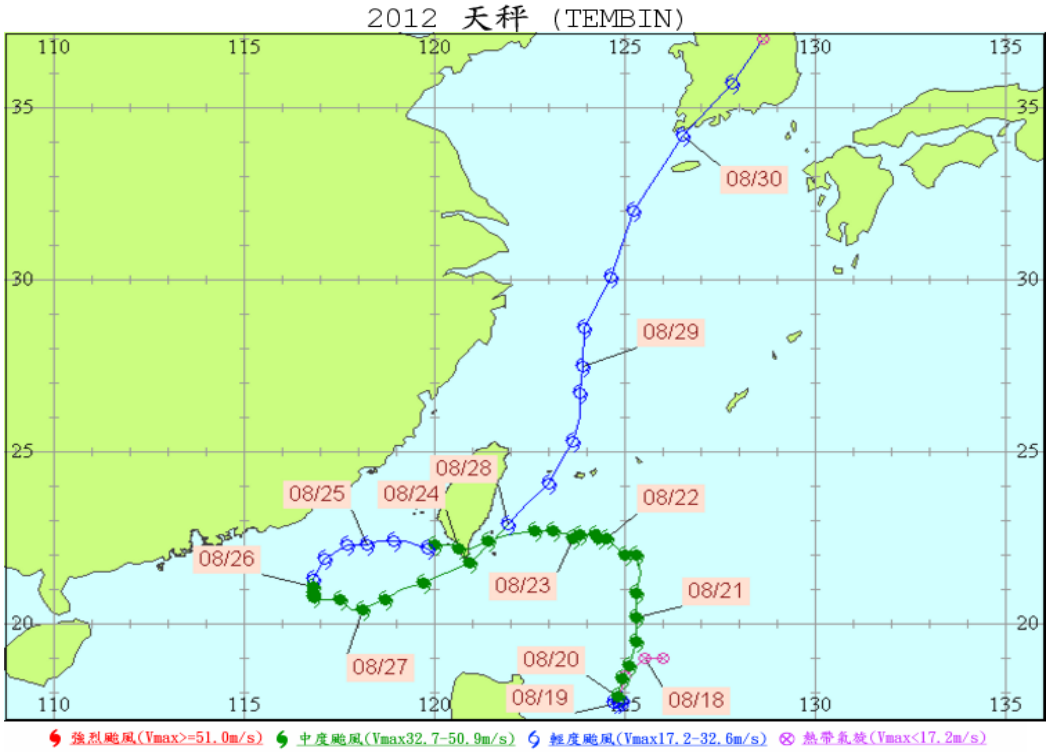


圖 A.11a 天秤颱風路徑圖

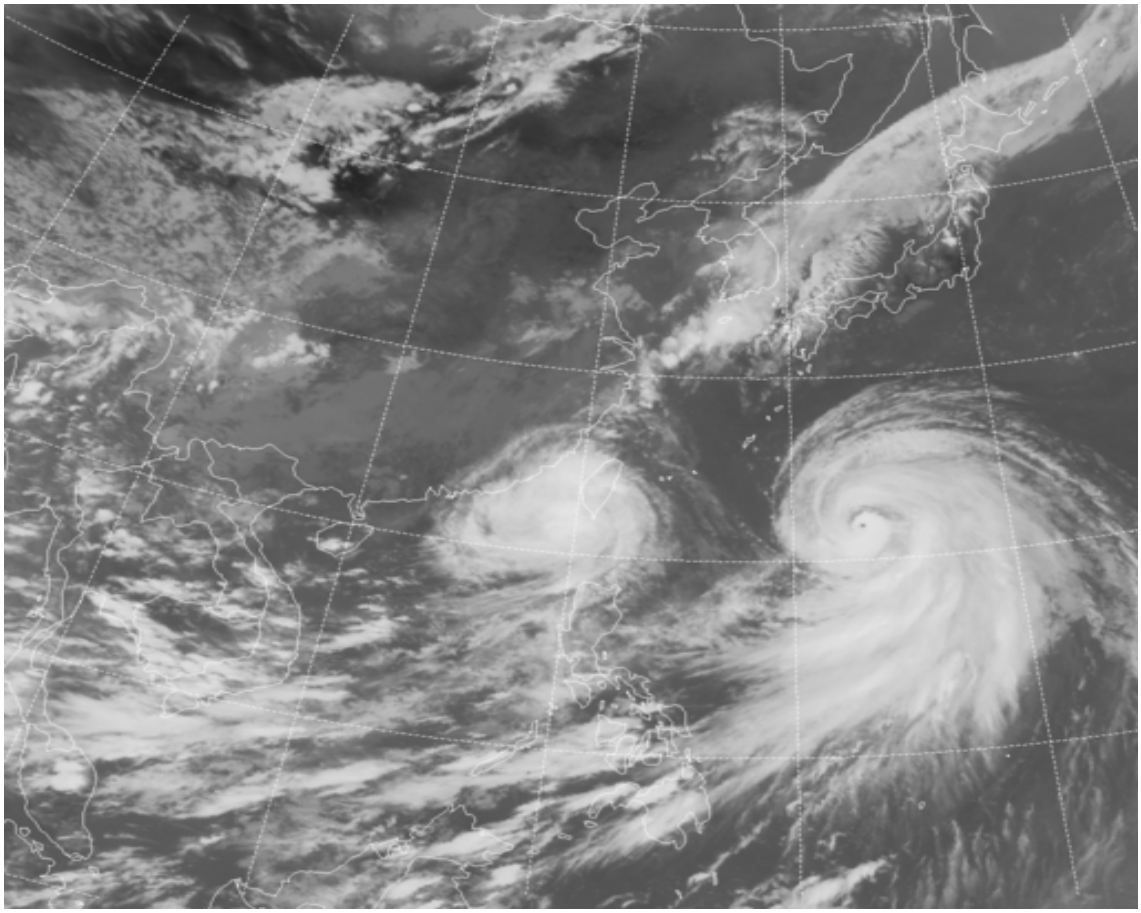


圖 A.11b 天秤颱風衛星雲圖(2012-08-24-14:32)

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	杰拉華(JELAWAT)
編號	1217
生成地點	菲律賓東方海面
侵(近)台日期	2012 年 9 月 28 日
發布時間	海上:2012 年 9 月 27 日 2 時 30 分
解除時間	海上:2012 年 9 月 28 日 20 時 30 分
發布報數	15
最大強度	強烈
近中心最大風速	55.0 (公尺/秒)
侵台路徑分類	--
登陸地段	--
動態	9 月 21 日 02 時於菲律賓東方海面生成，27 日 2 時其中心在鵝鑾鼻東南東方海面，向西北移動，28 日 2 時其中心逐漸轉向東北方向，至 20 時其中心在花蓮東方海面，對臺灣近海的威脅已解除。
災情	--

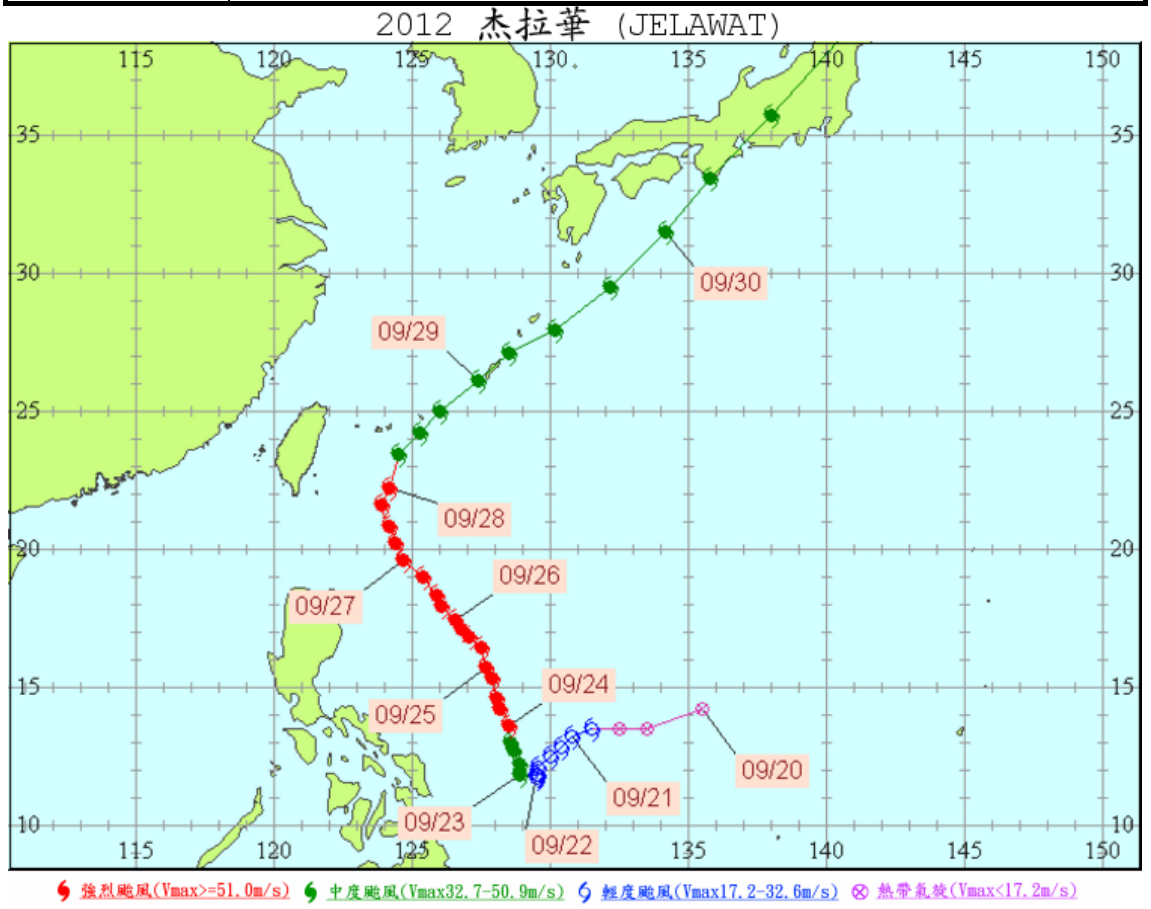


圖 A.12a 杰拉華颱風路徑圖

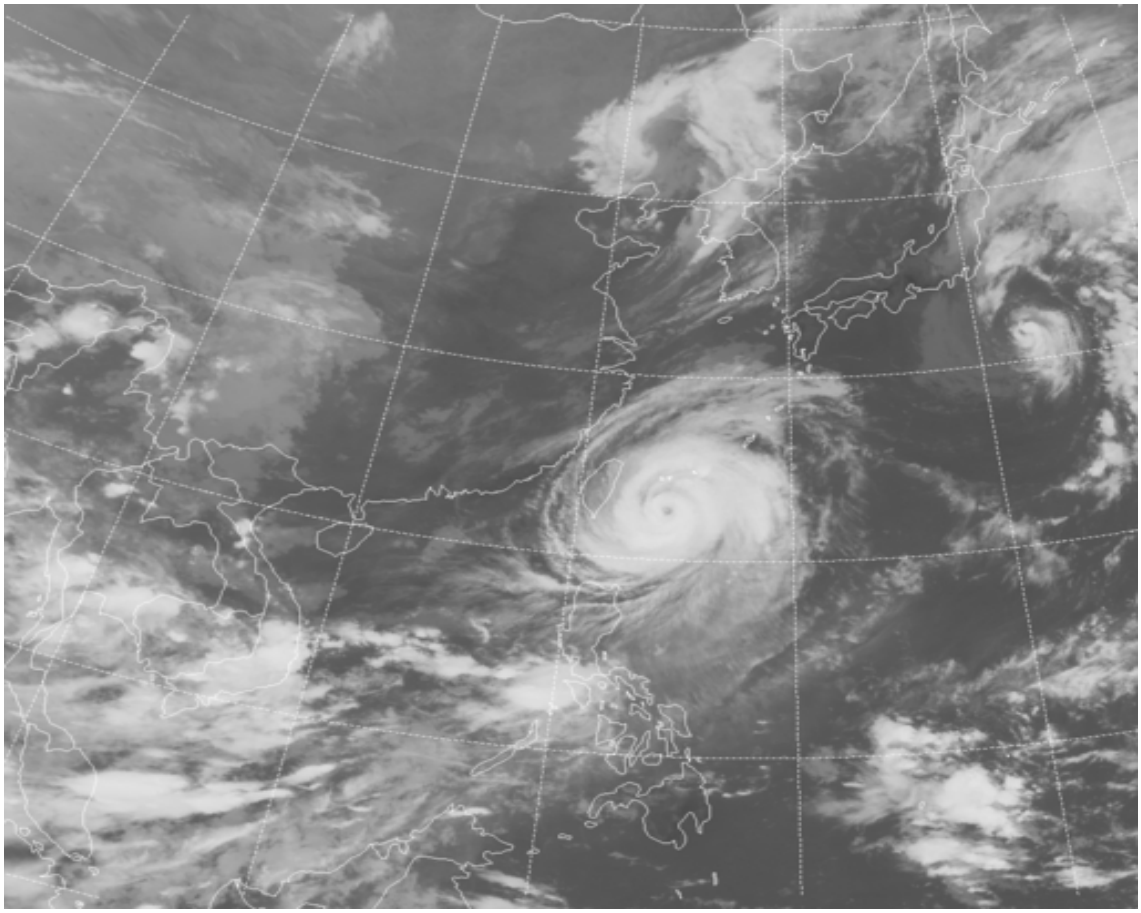


圖 A.12b 杰拉華颱風衛星雲圖(2012-09-28-08:32)