

104-61-7828  
MOTC-IOT-103-H3DB001

# 整合臺灣海岸及港灣海氣地象 模擬技術之研究(4/4)



交通部運輸研究所

中華民國 104 年 6 月

104-61-7828  
MOTC-IOT-103-H3DB001

# 整合臺灣海岸及港灣海氣地象 模擬技術之研究(4/4)

著者：邱永芳、蘇青和、李俊穎、李兆芳、劉正琪  
陳冠宇、陳明宗、單誠基、謝佳紘

交通部運輸研究所

中華民國 10 年 6 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.  
(4/4) / 邱永芳等著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運  
研所, 民 104.06

面 ; 公分

ISBN 978-986-04-5080-4(平裝)

1.海洋氣象 2.港埠資訊查詢系統

444.94

104009535

整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究(4/4)

著 者：邱永芳、蘇青和、李俊穎、李兆芳、劉正琪、陳冠宇

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](http://www.ihmt.gov.tw) (中文版 > 中心出版品)

電 話：(04) 26587176

出版年月：中華民國 104 年 6 月

印 刷 者：九易數碼科技印刷有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 70 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站

定 價：300 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市:10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02)25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1010400850 ISBN：978-986-04-5080-4 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，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

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(4/4)			
國際標準書號 ISBN 978-986-04-5080-4 (平裝)	政府出版品統一編號 1010400850	運輸研究所出版品編號 104-61-7828	計畫編號 103-H3DB001
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、謝佳紘、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	合作研究/共同研究單位：成功大學、中山大學 計畫主持人：李兆芳、劉正琪、陳冠宇 研究人員：陳陽益、涂力夫 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		研究期間 自 103 年 01 月 至 103 年 12 月
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			
摘要：  <p>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。由於全球環境變遷所致，水災、風災、地震及海嘯等似乎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首要施政方針之一。</p> <p>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。</p> <p>本計畫為整合提昇海岸及港灣海域海象模擬技術之研究，海嘯對港區及跨河橋樑之影響風險評估研究，港灣海氣象數值模擬作業化之研究計畫。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。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。本年度計畫主要以蘇澳港域及花蓮港域為研究對象，並整合本期研究成果，分別針對波浪、水位、海流及海嘯等海象作業化預報模擬技術改善進行相關研究。本研究提出的海象模擬及海嘯模擬作業成果，已於本所港灣環境資訊網對外展示應用，可供交通部航港局、臺灣港務股份有限公司以及經濟部水利署等主管港灣及海岸保護等單位，作為參考依據。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
104 年 6 月	368	300	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： <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 (解密條件： <input type="checkbox"/> 年 <input type="checkbox"/> 月 <input type="checkbox"/> 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密) <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			



# 整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究(4/4)

## 目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目錄.....	III
表目錄.....	V
圖目錄.....	VII
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.....	1-6
1.4 本年度研究成果.....	1-8
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說明.....	2-1
2.2 臺灣主要港口海氣象現場觀測及蒐集.....	2-51
2.3 港灣環境資訊系統.....	2-63
2.4 小結.....	2-85
第三章 波浪模擬與探討.....	3-1
3.1 臺灣周圍海域風浪模擬.....	3-1
3.2 主要商港小尺度港區近岸波浪場模擬.....	3-13

3.3 港域波浪場模擬與研究 .....	3-30
第四章 水動力模擬與探討 .....	4-1
4.1 主要商港水動力模組改善成果.....	4-1
4.2 小尺度花蓮港區水動力模組改善研究.....	4-25
4.3 小尺度蘇澳港區水動力模組改善研究.....	4-38
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.....	5-36
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 海嘯對跨河橋梁之影響模擬分析.....	5-88
5.7 小結.....	5-121
第六章 結論與建議 .....	6-1
6.1 結論 .....	6-1
6.2 建議 .....	6-3
參考文獻.....	參-1
附錄 2014 年度侵臺颱風.....	附 1-1

## 表 目 錄

表 2-1a 中央氣象局風場 NFS 風場資料格式 .....	2-2
表 2-1b 中央氣象局風場 WRF 風場資料格式 .....	2-2
表 2-2a 作業系統內大尺度及中尺度風、波及流場資料格式 .....	2-3
表 2-2b 作業系統內展示風場資料格式 .....	2-3
表 2-3a 本中心海象模擬伺服器主要功能說明 .....	2-11
表 2-3b Taicoms 各模組作業時間 .....	2-12
表 2-4 有限區域模式氣象主要資料彙整表 .....	2-13
表 2-5 每日所擷取風場資料以第 3 日模擬風場為範例說明表 .....	2-19
表 2-6 WRF 主要提供氣象資料彙整表 .....	2-21
表 2-7 近岸區域波浪模式數值計算網格資料 .....	2-28
表 2-8 臺灣主要商港細尺度波浪模組建置摘要表 .....	2-32
表 2-9 觀測風力資料蒐集概況表 .....	2-59
表 2-10 觀測波浪資料蒐集概況表 .....	2-60
表 2-11 觀測潮汐資料蒐集概況表 .....	2-61
表 2-12 觀測流場資料蒐集概況表 .....	2-62
表 2-13 海象模擬資訊展示內容彙整表 .....	2-74
表 3-1 主要商港港區近岸波浪模組之數值參考網格基本資料 .....	3-14
表 3-2 港域波浪模擬之數值計算細網格基本資料 .....	3-32
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 2012-2014 年發生之海嘯事件 .....	5-8

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 .....	5-23
表 5-5 (5.30)及(5.31)式迴歸係數之建議值 .....	5-30
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 5-8 各地震規模區間未來預估年可能發生之次數值 .....	5-68
表 5-9 海嘯地震發生次數期望值 .....	5-69
表 5-10 蘇澳港及花蓮港溢淹點數及機率 .....	5-82
表 5-11 8 個主要商港各入射波高下對應之溢淹機率 .....	5-86
表 5-11 8 個主要商港各入射波高下對應之溢淹機率(續).....	5-87
表 5-12 馬尼拉海溝 33 個子斷層之斷層參數表 .....	5-90
表 5-13 四種入射波情境在橋墩附近造成的地形變化極值。 .....	5-96
表 5-14 模式的流速和懸浮沉積物的邊界條件 .....	5-101
表 5.15 6 個模擬的條件差異 .....	5-102
表 5-16 橋墩附近特定區域的最大侵蝕與沉積厚度 .....	5-106
表 5-17 不同入射水位及原始水位之模擬結果 .....	5-114
表 5-18 不同入射水位於高屏溪模擬結果 .....	5-121
表 A-1 2014 年侵臺颱風記錄表.....	附 1-1

## 圖 目 錄

圖 1.1 臺灣近海海象預報系統架構圖.....	1-6
圖 1.2 海象模擬作業化系統整體架構圖.....	1-7
圖 2.1 風場輸出範圍.....	2-4
圖 2.2 波場及水動力場輸出範圍.....	2-5
圖 2.3 海象模擬系統作業時間流程.....	2-6
圖 2.4 海象數值模擬系統兩日作業流程範例圖.....	2-7
圖 2.5 海象數值系統線上作業成果評估流程.....	2-8
圖 2.6 系統新硬體及資料流程說明圖.....	2-10
圖 2.7 小尺度流場及海嘯系統硬體及資料備援流程說明圖.....	2-10
圖 2.8 風場模組作業流程圖.....	2-14
圖 2.9 中央氣象局風場 NFS 及 WRF 風場資料範圍圖.....	2-15
圖 2.10a NFS(RC)及 WRF(WA01)風場輸出範圍圖.....	2-15
圖 2.10b NFS(MC)及 WRF(WA02)風場輸出範圍圖.....	2-16
圖 2.10c WRF(WA03)風場輸出範圍圖.....	2-16
圖 2.11a 中央氣象局天兔颱風衛星雲圖(2013-09-21-14:32).....	2-17
圖 2.11b 天兔颱風 RC 風場向量圖.....	2-17
圖 2.11c 天兔颱風 9 月 21 日 14 時 MC 風場向量圖.....	2-18
圖 2.12 每日所擷取風場資料以第 3 日模擬風場為範例圖.....	2-19
圖 2.13a 鳳凰颱風 WRF(WA01)風場向量圖.....	2-22
圖 2.13b 鳳凰颱風 WRF(WA02)風場向量圖.....	2-22
圖 2.13c 鳳凰颱風 WRF(WA03)風場向量圖.....	2-23

圖 2.14 每日 WRF 擷取風場及提供每日波風場資料.....	2-23
圖 2.15 波浪模擬作業流程圖.....	2-24
圖 2.16 大尺度及中尺度波場模擬範圍圖.....	2-25
圖 2.17 鳳凰颱風大尺度波高分布圖.....	2-26
圖 2.18 鳳凰颱風中尺度波高分布圖.....	2-27
圖 2.19 近岸區域波浪模擬範圍圖.....	2-29
圖 2.20 近岸港區波浪模式地形水深分布圖.....	2-30
圖 2.21 作業化波高分布圖.....	2-31
圖 2.22a 細尺度波浪之地形水深分布圖 1.....	2-34
圖 2.22b 細尺度波浪之地形水深分布圖 2.....	2-35
圖 2.23a 細尺度波浪輸出視窗展示圖 1.....	2-36
圖 2.23b 細尺度波浪輸出視窗展示圖 2.....	2-37
圖 2.24 水動力模擬作業流程圖.....	2-38
圖 2.25 大尺度及中尺度流場模擬範圍圖.....	2-39
圖 2.26 鳳凰颱風大尺度水位分布圖.....	2-40
圖 2.27 鳳凰颱風中尺度水位分布圖.....	2-40
圖 2.28 鳳凰颱風大尺度流速流向分布圖.....	2-41
圖 2.29 鳳凰颱風中尺度流速流向分布圖.....	2-41
圖 2.30 小尺度潮流輸出展示圖.....	2-44
圖 2.31 臺灣國際商港海嘯速算系統流程圖.....	2-45
圖 2.32 海嘯系統計算範圍水深地形圖.....	2-46
圖 2.33a 視窗化介面之編譯完成圖.....	2-47
圖 2.33b 視窗化介面之計算成果圖.....	2-47
圖 2.34a 美國 USGS 資料庫.....	2-49

圖 2.34b 中研院地科所，臺灣地區寬頻地震觀測網.....	2-49
圖 2.34c 日本防災科學技術研究所 F-net 即時地震資料 .....	2-50
圖 2.35 商港位置圖 .....	2-53
圖 2.36 臺北港海氣象觀測位置圖 .....	2-53
圖 2.37 基隆港海氣象觀測位置圖 .....	2-54
圖 2.38 蘇澳港海氣象觀測位置圖 .....	2-54
圖 2.39 花蓮港海氣象觀測位置圖 .....	2-55
圖 2.40 高雄港海氣象觀測位置圖 .....	2-55
圖 2.41 安平港海氣象觀測位置圖 .....	2-56
圖 2.42 布袋港海氣象觀測位置圖 .....	2-56
圖 2.43 臺中港海氣象觀測位置圖 .....	2-57
圖 2.44 澎湖港海氣象觀測位置圖 .....	2-57
圖 2.45 金門海氣象觀測位置圖 .....	2-58
圖 2.46 馬祖海氣象觀測位置圖 .....	2-58
圖 2.47 港灣環境資訊系統架構圖 .....	2-64
圖 2.48 港灣環境資訊網功能方塊圖 .....	2-65
圖 2.49 港灣環境資訊網(首頁).....	2-65
圖 2.50 海氣象觀測及年報資料庫介接架構圖.....	2-67
圖 2.51 中央氣象局資料庫介接架構圖 .....	2-68
圖 2.52 即時觀測資訊整合(風力資料).....	2-69
圖 2.53 即時觀測資訊整合(綜合表).....	2-69
圖 2.54 海氣象歷線圖(以臺北港 風速+波高歷線圖為例).....	2-70
圖 2.55 中央氣象局觀測資料綜合表 .....	2-70
圖 2.56 海象數值模擬資料介接系統架構圖 .....	2-71

圖 2.57 海象模擬資訊網頁展示圖 .....	2-72
圖 2.58 海象模擬資訊(波浪資料) .....	2-73
圖 2.59 海象模擬資訊(綜合表) .....	2-73
圖 2.60 展示臺中港風力模擬歷線圖 .....	2-75
圖 2.61 展示臺中港波浪模擬 (大尺度、中尺度、小尺度) 歷線 圖 .....	2-76
圖 2.62 展示花蓮港相對潮位歷線圖 .....	2-77
圖 2.63 展示臺北港流速及流向歷線圖 .....	2-77
圖 2.64 WRF 模式-風場圖型動畫 .....	2-78
圖 2.65 展示花蓮港近岸波高分佈圖 .....	2-79
圖 2.66 展示布袋港流速向量場分佈圖 .....	2-79
圖 2.67 模擬區域海象動態資訊(波高、波向) .....	2-80
圖 2.68 港灣環境資訊網-藍色公路首頁 .....	2-81
圖 2.69 藍色公路海氣象數值模擬預報 .....	2-81
圖 2.70 海嘯模擬子系統網路架構圖 .....	2-82
圖 2.71 海嘯查詢網頁 .....	2-83
圖 2.72 展示海嘯震央位置圖 .....	2-83
圖 2.73 展示基隆港海嘯水位變化歷線圖 .....	2-84
圖 2.74 展示海嘯水位歷線表 .....	2-84
圖 3.1 大尺度西太平洋範圍風浪模組模擬範圍及水深分布圖 .....	3-4
圖 3.2 中尺度臺灣周圍近海範圍風浪模組模擬範圍與水深分布圖 ...	3-4
圖 3.3 TaiCOMS 架構下風浪作業化模擬預報流程圖 .....	3-5
圖 3.4 大尺度西太平洋範圍風浪模組模擬範圍及更新後水深分布圖	3-6
圖 3.5 原作業化程式碼模擬颱風期間之波高分佈情況圖 .....	3-6

圖 3.6 本計畫作業化程式碼修正後模擬颱風期間之波高分布情況圖(向 量為作業化 RC 風場之風速).....	3-7
圖 3.7 原作業化程式碼模擬颱風期間之平均週期分布圖.....	3-7
圖 3.8 本計畫作業化程式碼修正後模擬颱風期間之平均週期分布圖(向 量代表模式模擬之風浪去向).....	3-8
圖 3.9 TaiCOMS 每日線上作業程式模擬時間示意圖 .....	3-8
圖 3.10 模式風浪模擬之平均週期 T-1(圓圈)及 Tm02(三角形)與觀測波 浪平均週期(圓點)之比較.....	3-9
圖 3.11 中尺度臺灣周圍近海範圍風浪模組更新後模擬範圍及地形水深 分布圖 .....	3-11
圖 3.12 中尺度臺灣周圍近海範圍風浪模組原模擬範圍之地形水深資料 更新前後之差異分布圖.....	3-11
圖 3.13 平行化處理 SWAN 時間比較(72 小時模擬).....	3-12
圖 3.14 基隆港小尺度波浪模組參考網格大小及地形水深分布圖 ...	3-15
圖 3.15 臺北港小尺度波浪模組參考網格大小及地形水深分布圖 ...	3-16
圖 3.16 臺北港小尺度波浪模組邊界條件校驗前，點位 A 波高模擬值與 觀測值之對應關係圖.....	3-17
圖 3.17 臺北港小尺度波浪模組邊界條件校驗後，點位 A 波高模擬值與 觀測值之對應關係圖.....	3-17
圖 3.18 臺中港小尺度波浪模組參考網格大小及地形水深分布圖 ...	3-18
圖 3.19 臺中港小尺度波浪模組邊界條件校驗前，點位 A 波高模擬值與 觀測值之對應關係圖.....	3-19
圖 3.20 臺中港小尺度波浪模組邊界條件校驗後，點位 A 波高模擬值與 觀測值之對應關係圖.....	3-19
圖 3.21 布袋港小尺度波浪模組參考網格大小及地形水深分布圖 ...	3-20
圖 3.22 安平港小尺度波浪模組參考網格大小及地形水深分布圖 ...	3-21

圖 3.23	安平港小尺度波浪模組邊界條件校驗前，點位 O 波高模擬值與觀測值之對應關係圖.....	3-22
圖 3.24	安平港小尺度波浪模組邊界條件校驗後，點位 O 波高模擬值與觀測值之對應關係圖.....	3-22
圖 3.25	高雄港小尺度波浪模組參考網格大小及地形水深分布圖 ...	3-23
圖 3.26	高雄港小尺度波浪模組邊界條件校驗前，點位 A 波高模擬值與觀測值之對應關係圖.....	3-24
圖 3.27	高雄港小尺度波浪模組邊界條件校驗前，點位 A 波向模擬值與觀測值之對應關係圖.....	3-24
圖 3.28	蘇澳港小尺度波浪模組參考網格大小及地形水深分布圖 ...	3-26
圖 3.29	蘇澳港港區 102 年度水深調查結果之水深分布圖.....	3-26
圖 3.30	蘇澳港港區衛星影像圖.....	3-27
圖 3.31	蘇澳港小尺度波浪模組更新後參考網格之地形水深分布圖	3-27
圖 3.32	花蓮港小尺度波浪模組參考網格大小及地形水深分布圖 ...	3-29
圖 3.33	花蓮港港區 102 年度水深調查結果之水深分布圖.....	3-29
圖 3.34	基隆港區細尺度波浪模組模擬範圍及非結構粗網格分布圖	3-32
圖 3.35	臺北港細尺度波浪模組模擬範圍及非結構粗網格分布圖 ...	3-33
圖 3.36	臺中港細尺度波浪模組模擬範圍及非結構粗網格分布圖 ...	3-33
圖 3.37	布袋港細尺度波浪模組模擬範圍及非結構粗網格分布圖 ...	3-34
圖 3.38	安平港區細尺度波浪模組模擬範圍及非結構粗網格分布圖	3-34
圖 3.39	高雄港區一港口細尺度波浪模組模擬範圍及非結構粗網格分布圖.....	3-35
圖 3.39 (續)	高雄港區二港口細尺度波浪模組模擬範圍及非結構粗網格分布圖.....	3-35
圖 3.40	蘇澳港區細尺度波浪模組模擬範圍及非結構粗網格分布圖	3-36
圖 3.41	花蓮港區細尺度波浪模組模擬範圍及非結構粗網格分布圖	3-36

圖 3.42	基隆港區細尺度波浪場波高分布圖(週期 10s、NW).....	3-37
圖 3.43	布袋港區細尺度波浪場波高分布圖(週期 10s、SW) .....	3-37
圖 3.44	安平港區細尺度波浪場波高分布圖(週期 10s、SW) .....	3-38
圖 3.45	高雄港一港口區細尺度波浪場波高分布圖(週期 10s、W) ..	3-38
圖 3.46	基隆港港域波高規劃展示點位分布圖.....	3-39
圖 3.47	臺北港港域波高規劃展示點位分布圖.....	3-39
圖 3.48	臺中港港域波高規劃展示點位分布圖.....	3-40
圖 3.49	布袋港港域波高規劃展示點位分布圖.....	3-40
圖 3.50	安平港港域波高規劃展示點位分布圖.....	3-41
圖 3.51	高雄港一港口港域波高規劃展示點位分布圖.....	3-41
圖 3.52	高雄港二港口港域波高規劃展示點位分布圖.....	3-42
圖 3.53	蘇澳港港域波高規劃展示點位分布圖.....	3-42
圖 3.54	臺北港港域波高規劃展示點位分布圖.....	3-43
圖 3.55	蘇澳港港域平面配置圖.....	3-44
圖 3.56	蘇澳港細尺度波浪模組港池配置更新後，非結構粗網格及水深 分布圖.....	3-45
圖 3.57	蘇澳港區細尺度波浪場波高分布圖(週期 10s、ENE) .....	3-45
圖 3.58	蘇澳港區細尺度波浪場波高分布圖(週期 10s、E).....	3-46
圖 3.59	蘇澳港區細尺度波浪場波高分布圖(週期 10s、SE).....	3-46
圖 3.60	蘇澳港區細尺度波浪場波高分布圖(週期 10s、S).....	3-47
圖 3.61	花蓮港港域平面配置圖.....	3-48
圖 3.62	花蓮港區細尺度波浪場波高分布圖(週期 10s、ESE) .....	3-49
圖 3.63	花蓮港區細尺度波浪場波高分布圖(週期 10s、E).....	3-49
圖 3.64	花蓮港區細尺度波浪場波高分布圖(週期 10s、SW) .....	3-50

圖 3.65	基隆港港池共振數值分析檢核點位置圖.....	3-51
圖 3.66	基隆港港池共振數值分析檢核點 A 之波高放大率圖.....	3-52
圖 3.67	基隆港港池共振數值分析檢核點 B 之波高放大率圖.....	3-52
圖 3.68	基隆港港池共振數值分析檢核點 C 之波高放大率圖.....	3-53
圖 3.69	蘇澳港港池共振數值分析檢核點位置圖.....	3-54
圖 3.70	蘇澳港港池共振數值分析檢核點 A 之波高放大率圖.....	3-54
圖 3.71	蘇澳港港池共振數值分析檢核點 B 之波高放大率圖.....	3-55
圖 3.72	蘇澳港港池共振數值分析檢核點 C 之波高放大率圖.....	3-55
圖 3.73	花蓮港港池共振數值分析檢核點位置圖.....	3-56
圖 3.74	花蓮港港池共振數值分析檢核點 A 之波高放大率圖.....	3-57
圖 3.75	花蓮港港池共振數值分析檢核點 B 之波高放大率圖.....	3-57
圖 3.76	花蓮港港池共振數值分析檢核點 C 之波高放大率圖.....	3-58
圖 4.1	基隆港水動力模組之有限元素格網分佈圖.....	4-2
圖 4.2	基隆港水動力模組之地形水深分布圖.....	4-3
圖 4.3	基隆港水動力模式東、西開放邊界之水位邊界條件時序圖 ...	4-3
圖 4.4	基隆港水位及潮流模擬結果與潮流觀測資料調和分析(O1、K1、 M2、S2)結果之比較.....	4-4
圖 4.5	臺北港水動力模式之有限元素細格網分佈圖.....	4-6
圖 4.6	臺北港 99 年度水深地形量測結果之水深分佈圖.....	4-6
圖 4.7	臺北港水動力模式左、右開放邊界之水位邊界條件時序圖 ...	4-7
圖 4.8	臺北港水位及潮流模擬結果與潮流觀測資料調和分析 (O1、K1、 M2、S2)結果之比較.....	4-8
圖 4.9	臺中港區流場模擬範圍之有限元素格網分佈圖.....	4-10
圖 4.10	臺中港區流場模擬範圍與水深分佈圖.....	4-11
圖 4.11	臺中港水動力模式南、北開放邊界之水位邊界條件時序圖	4-11

圖 4.12 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.....	4-12
圖 4.13 布袋港區流場模擬範圍之有限元素格網分佈圖.....	4-14
圖 4.14 布袋港區流場模擬範圍與水深分佈圖.....	4-15
圖 4.15 布袋港水動力模式南、北開放邊界之水位邊界條件時序圖	4-15
圖 4.16 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.....	4-16
圖 4.17 安平港區近岸水動力模組之細網格三角形元素分佈圖 .....	4-18
圖 4.18 安平港港區近岸水動力模組模擬範圍及水深分布圖 .....	4-19
圖 4.19 本年度計畫安平港水動力模組南、北開放邊界近岸節點之水位時序圖 .....	4-19
圖 4.20 安平港水位及潮流模擬結果與海流觀測資料之調和分析 (O1、K1、M2、S2)結果比較圖.....	4-20
圖 4.21 高雄港水動力模組模擬範圍內有限元素網格圖.....	4-22
圖 4.22 高雄港水動力模組模擬範圍內等水深線分布圖.....	4-22
圖 4.23 高雄港水動力模組南、北開放邊界近岸節點之水位時序圖 ..	23
圖 4.24 高雄港水位與潮流模擬結果與海流觀測資料調和分析 (O1、K1、N2、M2、S2)之 E-W 及 N-S 向速度分量比較圖 .....	4-24
圖 4.25 花蓮港區近岸水動力模組之模擬範圍及地形水深分佈圖 ...	4-26
圖 4.26 花蓮港區近岸水動力模組之細網格三角形元素分佈圖 .....	4-27
圖 4.27 花蓮港港域及港口附近細網格之三角形元素分布圖 .....	4-27
圖 4.28 前期計畫花蓮港水動力模組南、北開放邊界近岸節點之水位時序圖 .....	4-29
圖 4.29 本年度計畫花蓮港水動力模組南、北開放邊界近岸節點之水位時序圖 .....	4-29
圖 4.30 花蓮港水位及潮流模擬結果與海流觀測資料之調和分析 (O1、	

K1、M2、S2)結果比較圖.....	4-31
圖 4.31 前期計畫花蓮港水位及潮流模擬結果與海流觀測資料之調和 分析(O1、K1、M2、S2)結果比較圖 .....	4-32
圖 4.32 花蓮港流場模擬結果之流速向量圖(2006/06/14 14:00) .....	4-33
圖 4.32 (續 1)花蓮港流場模擬結果之流速向量圖(2006/06/14 17:00)	4-34
圖 4.32 (續 2)花蓮港流場模擬結果之流速向量圖(2006/06/14 21:00)	4-34
圖 4.32 (續 3)花蓮港流場模擬結果之流速向量圖(2006/06/15 01:00)	4-35
圖 4.32 (續 4)花蓮港流場模擬結果之流速向量圖 (2006/06/15 05:00)..... .....	4-35
圖 4.32 (續 5)花蓮港流場模擬結果之流速向量圖(2006/06/15 08:00)	4-36
圖 4.32 (續 6)花蓮港流場模擬結果之流速向量圖(2006/06/15 12:00)	4-36
圖 4.32 (續 7)花蓮港流場模擬結果之流速向量圖(2006/06/15 15:00)	4-37
圖 4.33 蘇澳港水動力模式之有限元素格網分佈圖(98 年計畫).....	4-40
圖 4.34 蘇澳港水動力模組模擬範圍內等水深線分布圖.....	4-41
圖 4.35 蘇澳港水動力模組之模擬範圍及有限元素格網分佈圖 .....	4-42
圖 4.36 蘇澳港港域及港口附近細網格之三角形元素分布圖 .....	4-43
圖 4.37 蘇澳港水動力模組南、北開放邊界近岸節點之水位時序圖	4-43
圖 4.38 蘇澳港水位與潮流模擬結果與海流觀測資料調和分析 (O1、K1、 N2、M2、S2)之 E-W 及 N-S 向速度分量比較圖 .....	4-44
圖 4.39 蘇澳港流場模擬結果之流速向量圖(2006/05/26 12:00) .....	4-45
圖 4.39 (續 1)蘇澳港流場模擬結果之流速向量圖(2006/05/26 15:00)	4-45
圖 4.39 (續 2)蘇澳港流場模擬結果之流速向量圖(2006/05/26 18:00)	4-46
圖 4.39 (續 3)蘇澳港流場模擬結果之流速向量圖(2006/05/26 23:00)	4-46
圖 4.39 (續 4)蘇澳港流場模擬結果之流速向量圖(2006/05/27 02:00)	4-47
圖 4.39 (續 5)蘇澳港流場模擬結果之流速向量圖(2006/05/27 05:00)	4-47

圖 4.39 (續 6)蘇澳港流場模擬結果之流速向量圖(2006/05/27 09:00)	4-48
圖 4.39 (續 7)蘇澳港流場模擬結果之流速向量圖(2006/05/27 13:00)	4-48
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 蘇澳港及花蓮港之放大率及海嘯潛勢波源區.....	5-4
圖 5.4 臺灣海嘯事件之震源分佈.....	5-7
圖 5.7 移動邊界示意圖.....	5-15
圖 5.8 海嘯速報系統之規劃圖.....	5-17
圖 5.9 現行海嘯數值模式之模擬程序.....	5-17
圖 5.10 傳統海嘯之模擬結果.....	5-18
圖 5.11 傳統格林函數與互逆格林函數之示意圖.....	5-20
圖 5.12 目前完成之即時地震擷取系統介面.....	5-23
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.....	5-28
圖 5.14 斷層參數示意圖.....	5-29
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 ...	5-31
圖 5.16 互逆格林函數與傳統海嘯模式之水位變化驗證.....	5-33
圖 5.17 GUI 程式設計環境.....	5-34
圖 5.18 視窗化操作系統之建立與排版.....	5-35
圖 5.19 視窗化介面之編譯完成圖.....	5-35
圖 5.20 單點格林函數數值資料在時間上之分布型態.....	5-37
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.....	5-37
圖 5.22 蘇澳港區之平面圖.....	5-39

圖 5.23 花蓮港區之平面圖 .....	5-39
圖 5.24 (a)蘇澳港(b)花蓮港之預報點位.....	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 5.54 計算範例之淺層海源地震分佈.....	5-69
圖 5.58 蘇澳港之溢淹圖(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.....	5-74
圖 5.59a 花蓮港之溢淹圖(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺....	5-75
圖 5.59b 花蓮港之溢淹圖(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺.....	5-76
圖 5.60 溢淹機率簡示圖.....	5-78
圖 5.61 蘇澳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.....	5-80
圖 5.62 花蓮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.....	5-82
圖 5.63 蘇澳港在各種地震矩規模下之最大波高分佈.....	5-84
圖 5.64 花蓮港在各種地震矩規模下之最大波高分佈.....	5-84
圖 5.65 蘇澳港在各種地震矩規模下之溢淹機率分佈.....	5-85
圖 5.66 花蓮港在各種地震矩規模下之溢淹機率分佈.....	5-85
圖 5.67 馬尼拉海溝 33 個子區塊分佈圖.....	5-89
圖 5.68 參考 Megawati et al. (2009)之地震參數建立初始水位.....	5-91
圖 5.69a 模擬三個小時期間各地的最大水位高度分佈(第一層網格)5-91	

- 圖 5.69b 模擬三個小時期間各地的最大水位高度分佈(第二層網格)5-92
- 圖 5.69c 模擬三個小時期間各地的最大水位高度分佈(第三層網格)5-92
- 圖 5.70 模擬三個小時期間河道水位高度分佈(a)50cm(b)3m .....5-93
- 圖 5.71 結合 Google Earth 之溢淹圖 .....5-93
- 圖 5.72 馬蹄形渦流沖刷情形.....5-94
- 圖 5.73 19 組橋墩的侵蝕(紅色)與堆積(藍色)，由上至下各為入射鐘形波波高 3、4、6 以及 10 公尺的情況。 .....5-95
- 圖 5.74 19 組橋墩在地形解析度 5 公尺(藍色)與 1 公尺(紅色)的堆積厚度，由上至下各為入射鐘形波波高 3、4、6 以及 10 公尺的情況。 .....5-97
- 圖 5.75 入射波高 10 公尺入射之模擬於地形解析度 5 公尺(左)與 1 公尺(右)模擬的高程變化(第 7 組橋墩)。 .....5-98
- 圖 5.76 19 組橋墩附近地形的最大侵蝕(紅線)與最大堆積(藍線)隨時間的變化。左上、右上、左下、右下各為 COMCOT 鐘形波波高 3、4、6 以及 10 公尺的模擬。 .....5-98
- 圖 5.77 模式區域及網格配置。上圖為模式區域的俯視圖(距離西端 700 公尺的部分)，左下和右下圖為上圖紅色框框的俯視圖和水道中間的垂直剖面圖(垂直 8 層網格).....5-100
- 圖 5.78 COMCOT 模式中第 5 組橋墩附近的空間平均水位，a、b、c、d 各為入射鐘形波波高 3m、4m、6m、10m 的模擬結果.....5-100
- 圖 5.79 Fluidity 模式的底床載初始條件 .....5-101
- 圖 5.80 情境 3 模擬的橋墩附近水位變化。(橋墩附近長 80m、寬 80m 的區域) .....5-102
- 圖 5.81 (a)、(b) 為情境 3 在第 5 分鐘時，橋墩附近的水面 X、Y 分量流速，(c)、(d)為底部 X、Y 分量流速的水平剖面 .....5-103
- 圖 5.82 (a)、(b) 為情境 3 在第 5 分鐘時，橋墩附近的表面 X、Z 分量流速沿水道中央的垂直剖面，(c)、(d)為離底部 0.2 公尺的 X、Z

分量流速水平剖面.....	5-104
圖 5.83 情境 3 在第 5 分鐘的(a)底部剪應力和(b)底床載分佈。 ....	5-104
圖 5.84 模擬 40 分鐘後的底床載分佈，情境 1 到 6 各對應於(a)~(f).....	5-105
圖 5.85 情境 1、2、3、4 取西橋墩西南區(左)和東橋墩東區(右)的底床載變化最大點位的時序列。 .....	5-107
圖 5.86 情境 1、2、5、6 取西橋墩西南區(左)和東橋墩東區(右)的底床載變化最大點位的時序列.....	5-107
圖 5.87 墩柱受水流作用力之示意與流速與動壓力之關係.....	5-108
圖 5.88 計算壓力分佈之參數點位.....	5-109
圖 5.89(a) 入射波 3、4、6、10 公尺橋墩墩柱東面之最大總壓力紀錄..	5-109
圖 5.89(b) 入射波 3、4、6、10 公尺橋墩墩柱西面之最大總壓力紀錄..	5-110
圖 5.89(c) 入射波 3、4、6、10 公尺橋墩墩柱南面之最大總壓力紀錄..	5-110
圖 5.89(d) 入射波 3、4、6、10 公尺橋墩墩柱北面之最大總壓力紀錄..	5-111
圖 5.90 橋梁模型.....	5-112
圖 5.91 0.5 公尺之網格解析度.....	5-112
圖 5.92 模式設定之初始條件.....	5-114
圖 5.93 橋梁受壓力之三維模擬圖(T=5.8s).....	5-114
圖 5.94 模擬之剖面流速.....	5-115
圖 5.95 模擬之剖面壓力分佈圖.....	5-116
圖 5.96 橋面版迎水面壓力(T=5.8 秒至 6.4 秒).....	5-117
圖 5.97 橋面版下方受上舉力分佈圖(T=5.8 秒至 6.4 秒).....	5-118

圖 5.98 橋梁及橋墩所受側向力分佈圖(T=5.8 秒至 6.4 秒) .....	5-119
圖 5.99 橋面版迎水面總作用力 .....	5-120
圖 5.100 橋面版下方總上舉力 .....	5-120
圖 5.101 橋梁及橋墩總側向力 .....	5-120
圖 A.1a 哈吉貝颱風路徑圖 .....	附 1-2
圖 A.1b 哈吉貝颱風衛星圖 .....	附 1-3
圖 A.2a 麥德姆颱風路徑圖 .....	附 1-4
圖 A.2b 麥德姆颱風衛星圖 .....	附 1-5
圖 A.3a 鳳凰颱風路徑圖 .....	附 1-6
圖 A.3b 鳳凰颱風衛星圖 .....	附 1-7

# 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風、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，項下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海象模擬技術之研究：

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航港局及港務公司各港口航運安全之風浪預警資訊。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、油污擴散、港口航運安全之資訊。

### 2.海嘯對港區及跨河橋樑之影響風險評估研究：

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，建立跨河橋樑受海嘯影響數值模式，據提高港灣防災能力，及建立民眾自救知識與緊急逃生用。

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，分年執行之工作內容分期說明如後：

#### 1. 前期研究(100~102 年)

精進基隆港、臺北港、臺中港、布袋港、高雄港及安平港之波浪、水位及流場自動化預報模擬精度，進行每日 72 小時模擬及即時模擬資訊，以颱風侵臺時期颱風波浪為研究重點，並利用本所及氣象局現場觀測資料進行校驗及精度評估等工作，以及持續作業系統

維護與資料分析。另對主要商港基隆港、臺北港、臺中港、布袋港、高雄港及安平港，進行海嘯災害風險評估，精進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。模擬海嘯沿高屏溪口向上游傳遞時跨河橋樑所受之影響。

### 3. 本期研究(103 年)

#### (1) 提昇海岸及港灣海域海象模擬技術之研究

- i. 精進海象自動化預報模擬系統之預報精確度：以基隆、蘇澳、花蓮、高雄、安平、布袋、臺中及臺北等 8 個港域為對象，針對海象預報模擬系統每日執行 72 小時(含昨日、今日、明日)波浪、水位及流場等海象作業化模擬相關資訊進行改善研究，並以颱風侵臺時期之颱風波浪及暴潮為研究重點。
- ii. 波浪、水位及流場等海象預報作業化成果評估：以前述 8 個港域為對象，配合港灣技術研究中心(或中央氣象局)之現場觀測資料進行模擬結果之校驗及精度評估等工作。
- iii. 波浪、水位及流場等海象模擬結果之特性分析：針對前述 8 個港域進行包括典型夏季季風、典型冬季季風及颱風侵臺期間等海象分析成果。
- iv. 針對前述 8 個港域海象模擬預警系統辦理教育訓練，另對颱風發生期間之海象進行模擬作業演練。
- v. 建置臺灣周圍海域暴潮模式：以本年度或歷史颱風資料進行暴潮模擬與驗證。
- vi. 進行作業系統維護與資料分析、軟硬體之更新與測試、預報成果與實測之差異性檢討與改進、模式作業化環境之改善及維護等相關工作。

#### (2) 海嘯對港區及跨河橋樑之影響風險評估研究

- 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。
- ii. 蘇澳港域及花蓮港域 50 年及 100 年之海嘯災害風險評估。

- iii. 精進蘇澳港域及花蓮港域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。
- iv. 模擬海嘯沿高屏溪口向上游傳遞之溯上距離、跨河橋梁橋墩附近水位變化、流速及衝擊力等特性。
- v. 模擬海嘯沿高屏溪向上游傳遞時跨河橋梁橋墩週遭之沖刷特性。
- vi. 對於臺灣本島8個主要商港港域及高屏溪海嘯模擬成果進行教育訓練。

### 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。

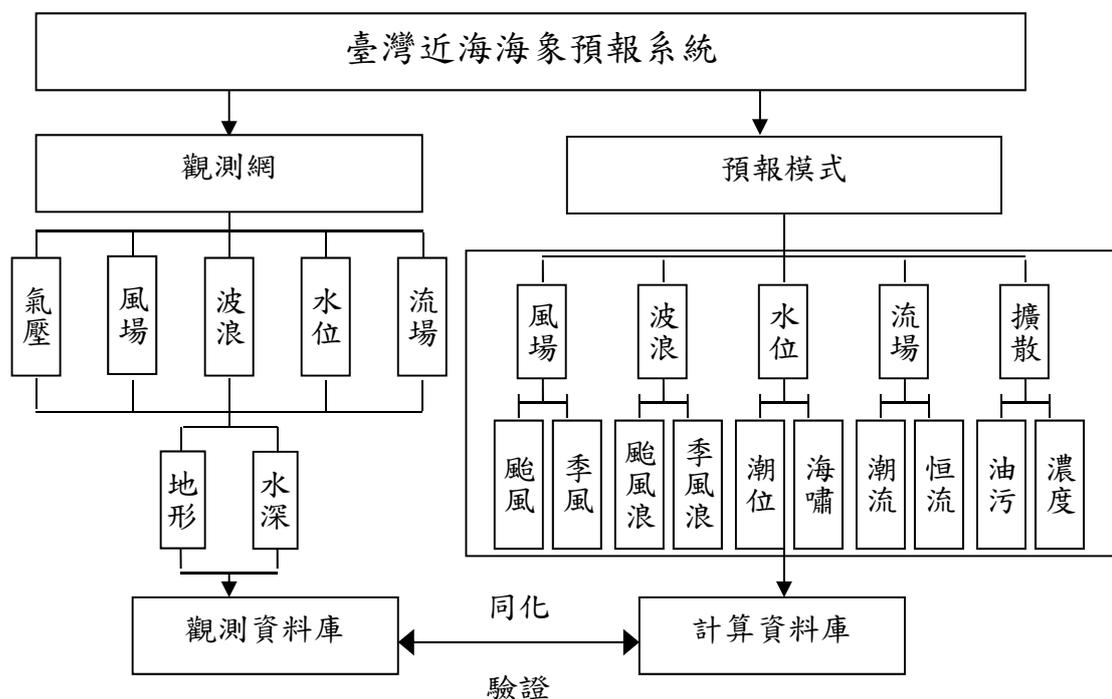


圖 1.1 臺灣近海海象預報系統架構圖

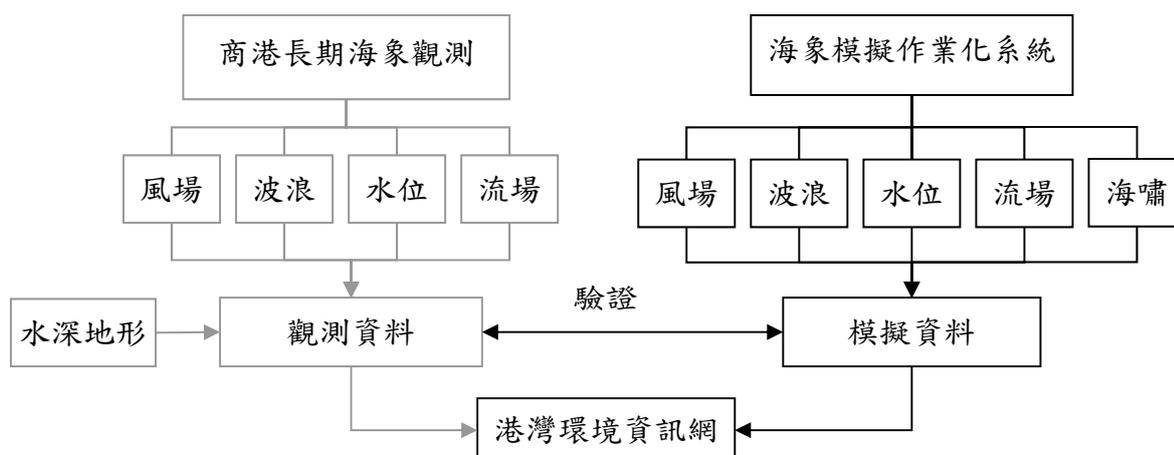


圖 1.2 海象模擬作業化系統整體架構圖

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，擴散包含油污擴散等。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。

## 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已由之前 5 小時所需運作時間提前至 3 小時之內可完成大尺度及中尺度預報，其中包括風場(氣壓)、波浪、水位及流場等自動化預報系統作業。而在海嘯模擬上擷取地震參數資訊後於 5 分鐘內完成自動化預報作業。
- (2) 風場部分：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 與 WRF 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) 在風浪作業化模擬方面，在主要商港波浪模擬方面：本四年期計畫已分年完成大、中尺度風浪模組改善研究，以及各主要商港小尺度及細尺度波浪模組更新等相關研究；同時，利用各港細尺度波浪模組完成主要商港港池共振特性分析。
- (4) 主要商港水位及流場模擬方面：本四年期計畫已分年完成各主要商港小尺度水動力模組改善相關研究，本年度計畫主要針對花蓮港與蘇澳港區進行研究，其中蘇澳港區水位及潮流驗證結果較具改善成效
- (5) 在海嘯作業模組上，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。已完成開發 8 個主要商港的海嘯速報系統/預報系統，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。
- (6) 有關海嘯溢淹部分，8 個主要商港在未來 50 年及 100 年海嘯災害風險評估，臺北港域評估結果分別為 2.79% 與 5.59%；基隆港

域評估結果分別為 3.25%與 6.49%，臺中港評估結果分別為 0.18%與 0.33%，布袋港評估結果分別為 0.1%與 0.2%，安平港評估結果分別為 9.84%與 19.43%；高雄港評估結果分別為 0.55%與 1.09%，蘇澳港評估結果分別為 0.24%與 0.47%；花蓮港評估結果分別為 0.67%與 1.29%。

- (7) 有關海嘯對跨河橋梁影響部分，以 COMCOT 分別模擬 0.5 公尺、1 公尺、2 公尺、3 公尺、4 公尺、6 公尺、10 公尺之入射波高，於高屏溪所溯上距離分別為 0.48 公里、1.38 公里、2.12 公里、3.07 公里、4.19 公里、6.17 公里、8.44 公里，其入射波大於 2.5 公尺，海嘯波會沿河道溯上至雙園大橋對其影響，入射波大於三公尺於雙園大橋之最大水位分別為 0.78 公尺、1.58 公尺、3.85 公尺、11.3373 公尺。以 10 公尺入射波高且河川有水的情境下橋墩墩柱所承受最大總壓力為 87.585kpa，三維模式作用於橋臺與橋面版接合處最大動壓力為 120kpa。
- (8) 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、臺北港、澎湖)、臺灣周圍海域及藍色公路，有關風場、波浪、水位及流場等海象資訊，以供交通部航港局、臺灣港務公司港口及各相關單位參考使用。

## 第二章 海象模擬作業化系統

### 2.1 海象模擬作業化系統說明

1. 本作業化系統最重要的工作便是每日進行模擬計算作業，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的運作模式包括下列 4 種模組所示，相關模式可參酌第 2 章，而前 3 項模組內有關大尺度及中尺度模組作業化內相關數值網格範圍及間距如表 2-1a、表 2-1b、表 2-2a 及表 2-2b 所示，其大尺度及中尺度涵蓋範圍圖如圖 2.1 及 2.2 所示。

(1) 風場模組：

2. 引用中央氣象局提供之有限區域模式之風場(氣壓場)資料(NonHydrostatic Model(簡稱 NFS))，進行解碼內插後供後續模式使用。更新氣象局 WRF (Weather Research and Forecasting model) 作業化預報風場資料，測試評估相關資料，以增加系統模式的預報能力。

(2) 波浪模組：

3. 包含大尺度西太平洋範圍模組(WAM 模式)、中尺度臺灣周圍海域波浪模組(SWAN 模式)、小尺度近岸波浪模組(REF/DIF 模式)(今年度建置蘇澳港、花蓮港為主)。另建置各港細尺度港區展示系統。

(3) 水動力模組：

4. 包含大尺度西太平洋海域複合潮模式(COHERENS 模式)、中尺度臺灣海域複合潮模式(COHERENS 模式)、小尺度近岸水動力模式(FEHDM 模式)(今年度建置蘇澳港、花蓮港為主)、臺灣海域暴潮模式(FEHDM 模式)。

(4) 海嘯模組：

5. 利用互逆格林函數在海底地震所引起海嘯發生後，能夠快速掌握主要港區外海可能之最大波高以及抵達時間，本模組同時發展視窗介面及全作業化系統。

**表 2-1a 中央氣象局風場 NFS 風場資料格式**

DMS FLAP	座標系統	dimension	relocation	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 中央氣象局風場 WRF 風場資料格式**

DMS FLAP	座標系統	dimension	relocation	格點位置
WA01	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)
WA02	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
WA03	Lambert conformal mapping	148×178	5KIM	Center(120E), true(10N,40N) 座標(55,214)位置位於(30N,120E) 底圖 左下點(20.07030 N, 117.3342 E) 右上點(28.24893°N, 124.9106°E) 座標(1,1)對應至 15KM MESH 之(59,78)座標位置

表 2-2a 作業系統內大尺度及中尺度風、波及流場資料格式

	模式	dimension	模式格網	格點位置
風場	採用 NFS/WRF 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/WRF 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,117E) 右上點(27N,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)

表 2-2b 作業系統內展示風場資料格式

模式	DIMESION	模式格網 度(°)	格點位置
採用 WRF 之 WA01 風場內插	101×71	1/2° =0.5°	左下點(5N,100E) 右上點(40N,150E)
採用 WRF 之 WA02 風場內插	145×151	1/6° =0.167°	左下點(10N,110E) 右上點(35N,134E)
採用 WRF 之 WA03 風場內插	169*181	1/24° =0.042°	左下點(20.5N,117.5E) 右上點(28N,124.5E)

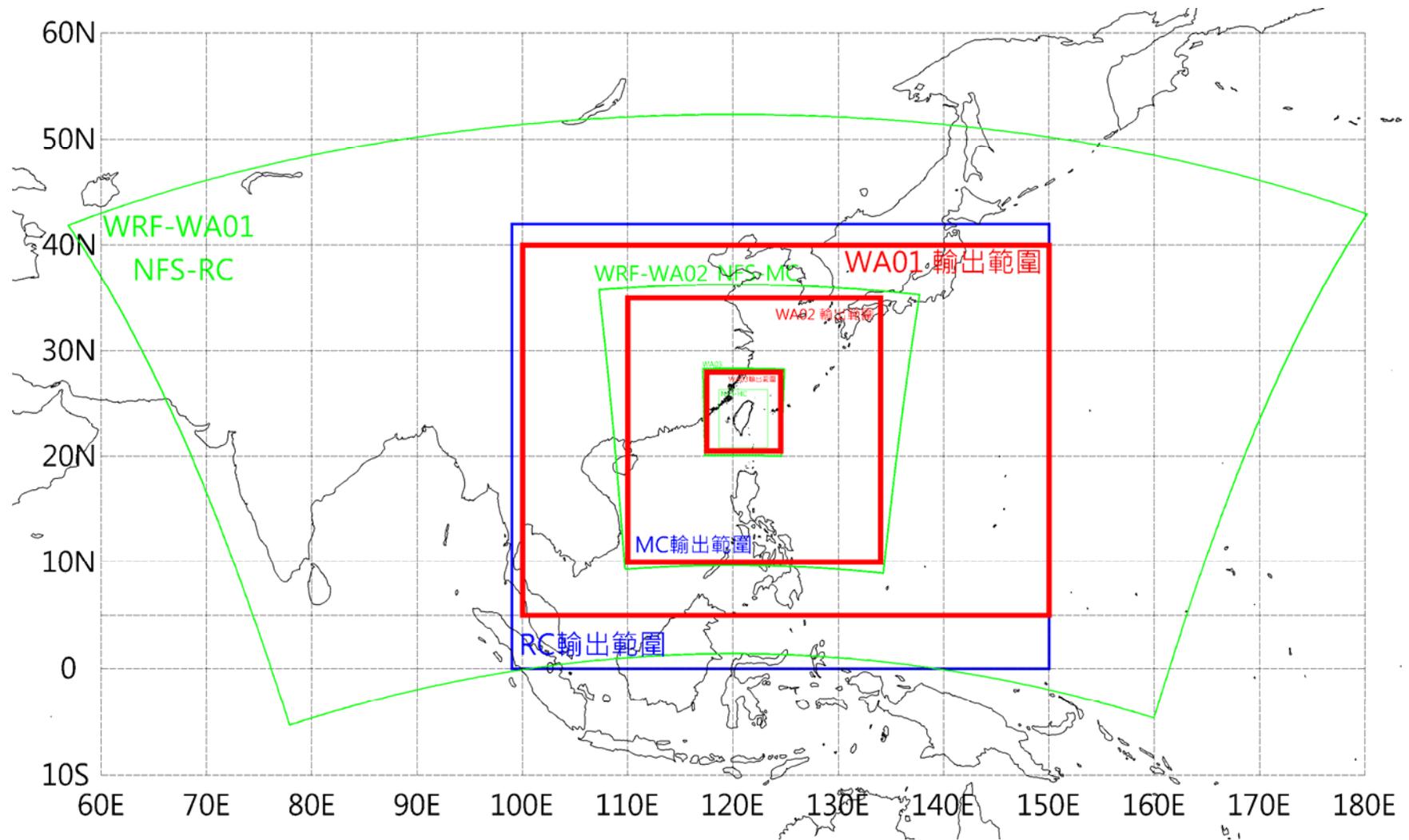


圖 2.1 風場輸出範圍

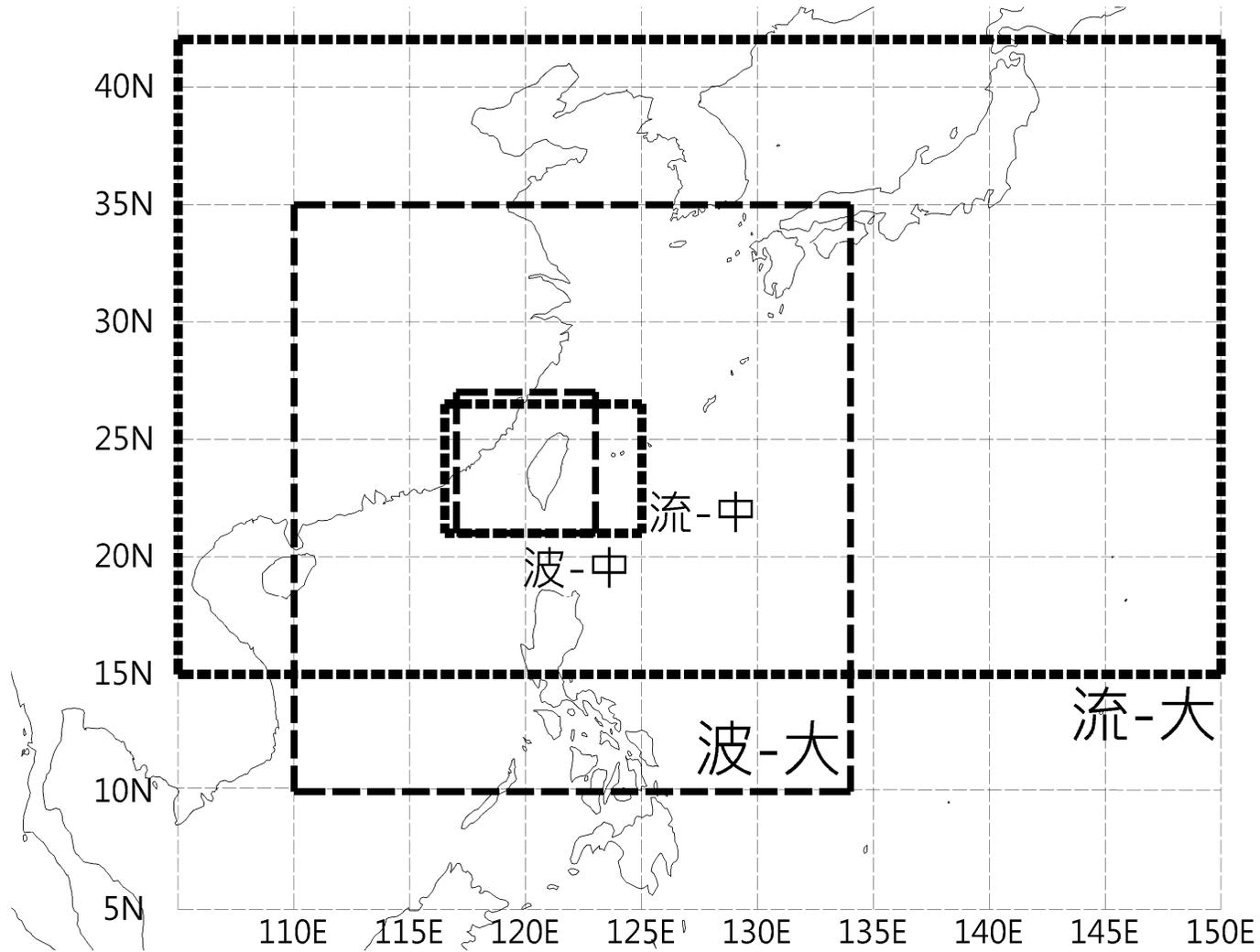


圖 2.2 波場及水動力場輸出範圍

### 2.1.1 整體作業化流程

本系統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，在 2014 年 5 月後改接收 WRF 風場，其中包含每日 0 時、6 時、12 時及 18 時等資料，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。各模組計算時間：風場模組(含資料取得傳送)約需 30 分鐘；波場模組部分大尺度模擬約 1 小時，中尺度模擬約 1 小時 30 分，小尺度模擬約 1 小時；流場模組部分大尺度模擬約 1 小時，中尺度模擬約 1 小時，小尺度模擬約 1 小時至 3 小時，作業時間可參考表 2-2b。

大尺度及中尺度結果會於上午 6 時前完成並立即進行圖表製作及彙整固定資料夾，本部分於並由港灣環境資訊系統更新海象模擬資訊網頁，其他配合小尺度計算延後產出，整體作業時間流程如圖 2.3 所示。現階段環境以達到若氣象資料取得後，除小尺度流場外，其他模組約 4 小時內完成相關作業。

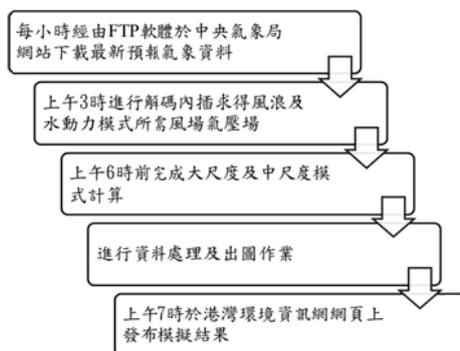


圖 2.3 海象模擬系統作業時間流程

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 2.4 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。

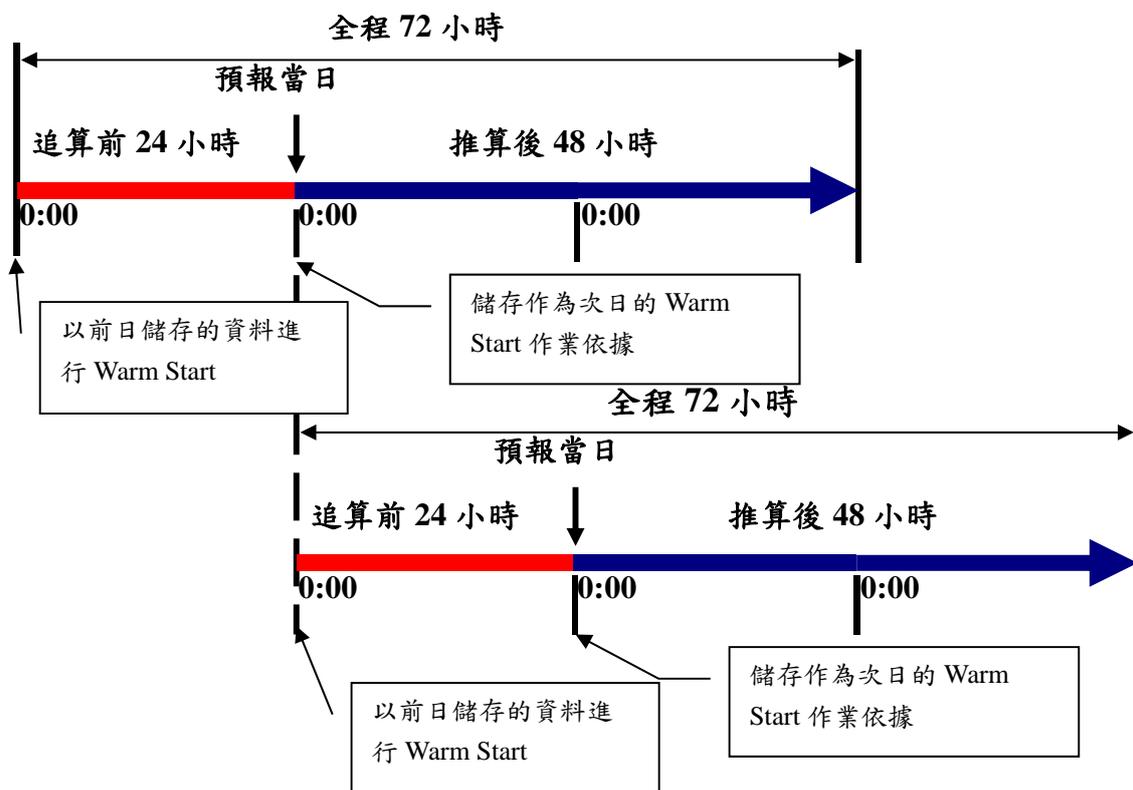


圖 2.4 海象數值模擬系統兩日作業流程範例圖

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，其評估流程如圖 2.5 所示。

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—2014 年海象預報作業化成果(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—2014 年海象預報作業化成果(水位及海流部份)。

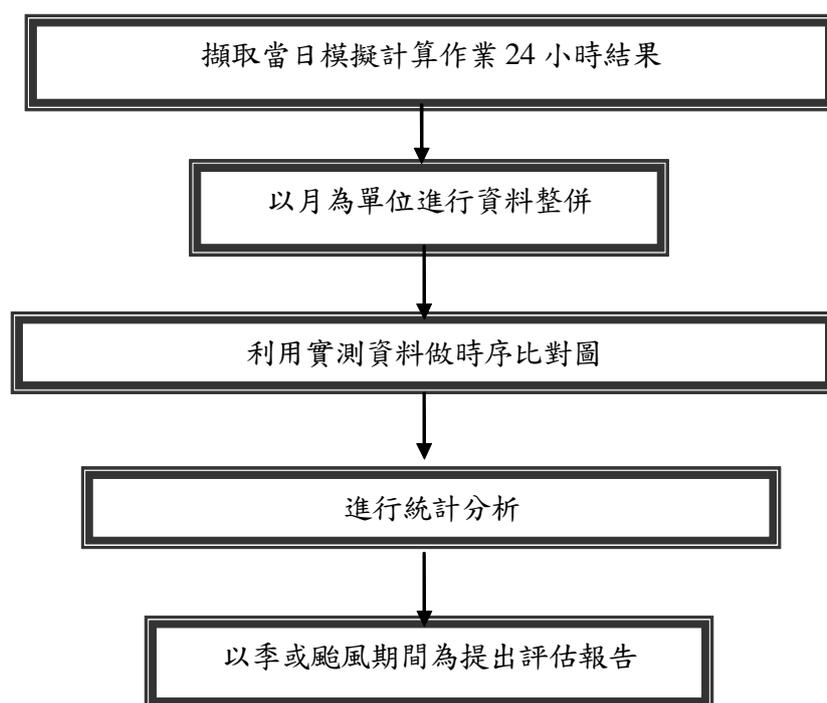


圖 2.5 海象數值系統線上作業成果評估流程

## 2.1.2 系統作業備援及資料說明

本計畫最主要工作項目之一就是維持每日定時各數值預報各子系統正常運作，提供數值資料包括 72 小時風場、波場、潮位及流等數值模擬結果。本年度為求系統長期有效管理，建置維護紀錄表。

本系統在 100 年於中心管控運作後，整體而言就以硬體區分方式將各主要模擬程式規劃成分工計算以節省部分時間並可確保整體系統資料不至於同時發生損毀情形，在中心伺服器內原規劃共區分為網頁、資料、風場、波場、水動力共五臺中低階伺服器計算。主要功能說明如下

- (1) 網頁伺服器：主要功能提供網頁展示平臺。
- (2) 資料伺服器：主要功能為讀取本中心各港口觀測資料。
- (3) 風場伺服器：主要功能為讀取氣象局的風場資料，解碼內插風場資料(昨日、今日、明日)，彙整本所相關觀測資料，做為本系統資料溝通平臺且提供波場伺服器及水動力伺服器相關計算所需風場資料及時間參數。
- (4) 水動力伺服器：主要功能為計算三日的水動力模擬(昨日、今日、明日)，其中包含了大尺度流場、中尺度流場及早期發展港域流場的即時模擬。
- (5) 波場伺服器：主要功能為提供三日的波場模擬(昨日、今日、明日)，其中包含了大尺度風浪模擬、中尺度風浪模擬、及早期發展小尺度和港域波場的即時模擬。
- (6) 資料儲存備份伺服器：主要功能為備份各模組程式及輸出結果。

各臺伺服器為確保資料安全，且由於經費及實際工作考量僅於硬碟部分採用硬碟陣列 RAID level 5 方式(RAID, Redundant Array of Independent Disks)，此方式可將多個硬碟組合起來，成為一個大的硬碟陣列組，其效能達到甚至超過一個價格昂貴、容量巨大的硬碟，並確

保當伺服器內硬碟若有一顆損壞時，並不影響整體系統資料，且可持續運作，另加入資料儲存備份伺服器來保全資料完整性。資料流程相關說明如圖 2.6 及 2.7 所示

本系統內各伺服器主要功能說明如表 2-3a 所示，主要分為風場、波浪、水動力、海嘯、資料等伺服器作業，而目前表 2-2b Taicomms 各模組各項作業時間如表 2-3b 所示。

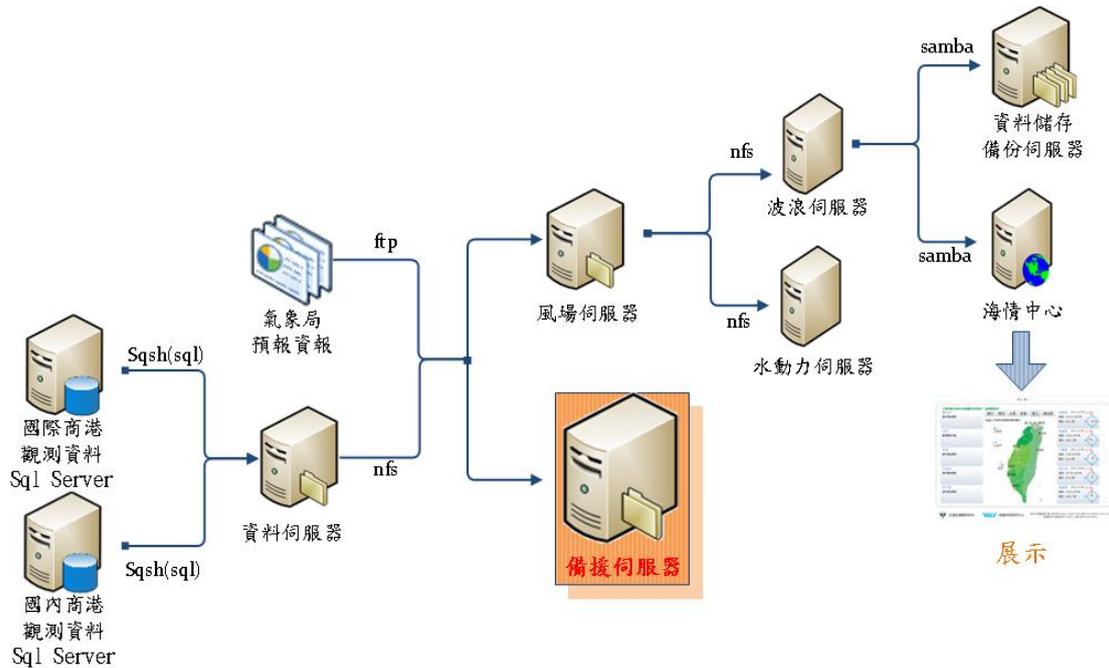


圖 2.6 系統新硬體及資料流程說明圖

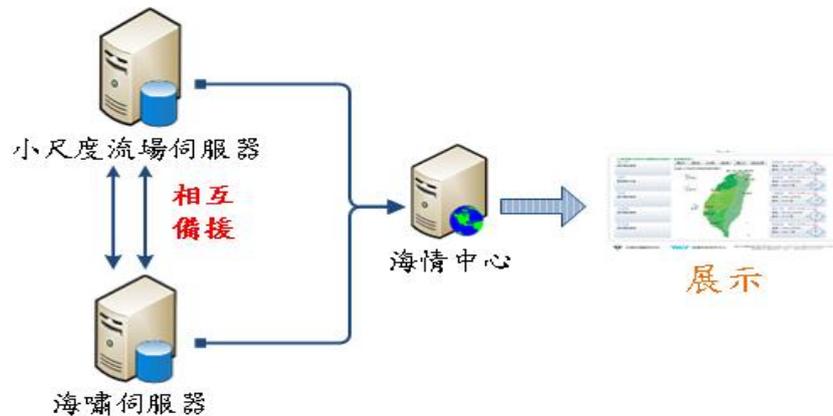


圖 2.7 小尺度流場及海嘯系統硬體及資料備援流程說明圖

表 2-3a 本中心海象模擬伺服器主要功能說明

伺服器	主要功能
風場伺服器	抓取氣象局風場資料並進行資料解碼內插(昨日、今日、明日)。 彙整本所相關觀測資料。 提供波場伺服器及水動力伺服器相關計算所需之風場資料。
資料伺服器	抓取各港口觀測資料。
水動力伺服器	大尺度流場、中尺度流場
波場伺服器	1. 資料平臺 2. 三日模擬：大尺度波場、中尺度波場、小尺度波場
備援伺服器	每日同步進行風場、波場及水動力模擬。
小尺度水動力伺服器	小尺度流場(作為海嘯伺服器備援)
海嘯伺服器	海嘯模擬計算(作為小尺度水動力伺服器備援)
資料儲存備份伺服器	主要功能為備份各模組程式及輸出結果

表 2-3b Taicoms 各模組作業時間

	模式	作業時間	每日作業(次)	
風場	NFS 風場解算 (不含網路擷取時間)	11 分	1 次	
	WRF 風場解算 (不含網路擷取時間)	3 分	4 次	
波浪	大尺度(WAM)	15 分	1 次	
	中尺度(SWAN)	36 分	1 次	
	小尺度波 (REFDIF)	臺北	37 分	1 次
		基隆	16 分	
		蘇澳	18 分	
		花蓮	11 分	
		高雄	48 分	
		安平	23 分	
		布袋	90 分	
		臺中	60 分	
細尺度波 (展示系統)	主要商港	10~30 秒	依需求使用	
水動力	大尺度	50 分	1 次	
	中尺度	60 分	1 次	
	小尺度	臺北	130 分	1 次
		基隆	120 分	
		蘇澳	130 分	
		花蓮	600 分	
		高雄	110 分	
		安平	900 分	
		布袋	80 分	
臺中	240 分			
海嘯	海嘯作業化系統	3 分鐘	每隔 5 分鐘，主動搜尋網頁 1 次。	

### 2.1.3 風場模組作業化架構

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。本年度除延續原系統 NFS 風場(2014 年 4 月底)，並整合 WRF 風場資料(2014 年 5 月後)進行評估比對。

#### 2.1.3.1 NFS 風場模組作業化架構

在本系統風場及氣壓場預報資料係採用中央氣象局所提供的 NFS 有限區域模式預報風場及氣壓場資料(2014 年 4 月底前)，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 2-4 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 2-4 有限區域模式氣象主要資料彙整表

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 2.8 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式，現階段所提供的資料包含代號 RC(解析度 45km)及 MC(解析度 45km)可參考上小節表 2-1；所提供原始風場資料範圍請參考圖 2.9 及系統內輸出 RC 及 MC 範圍如圖 2.10a 及圖 2.10b 所示。

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，其風場向量圖檔如圖 2.11b 及 2.11c 所示，另圖 2.11a 中央氣象局天兔颱風侵臺時衛星照片可作為相關比對。

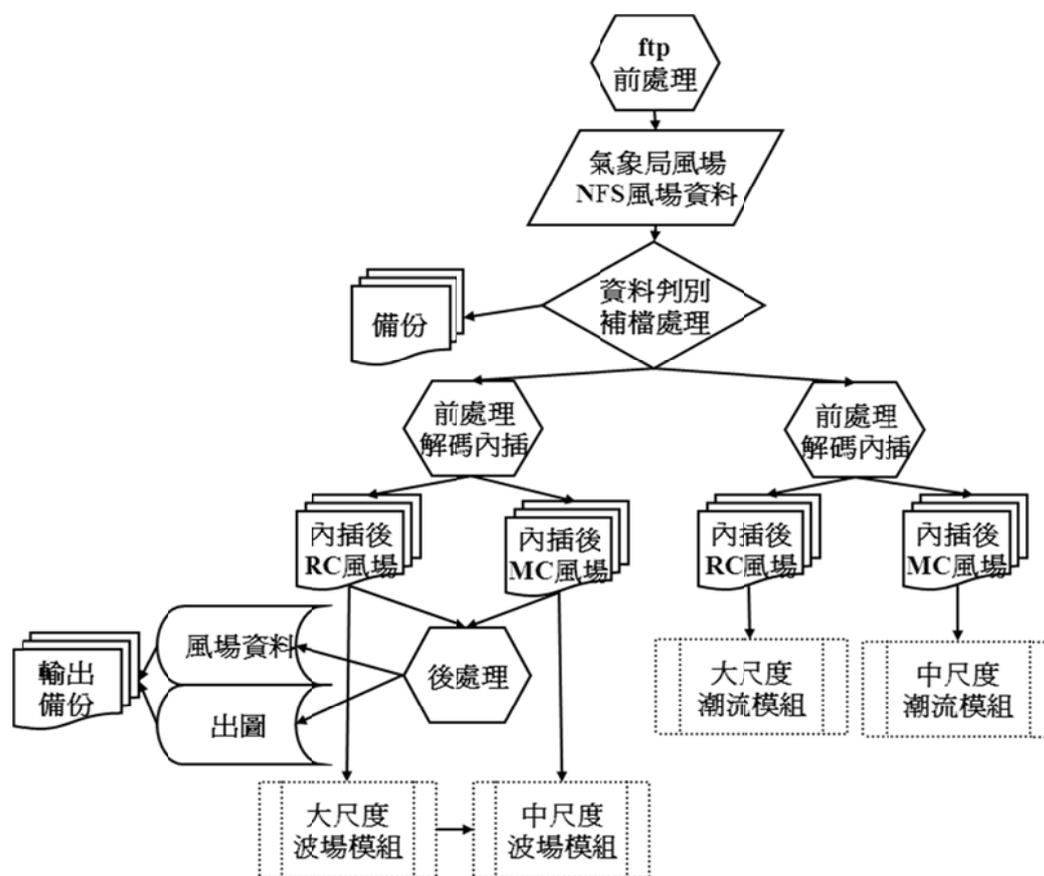


圖 2.8 風場模組作業流程圖

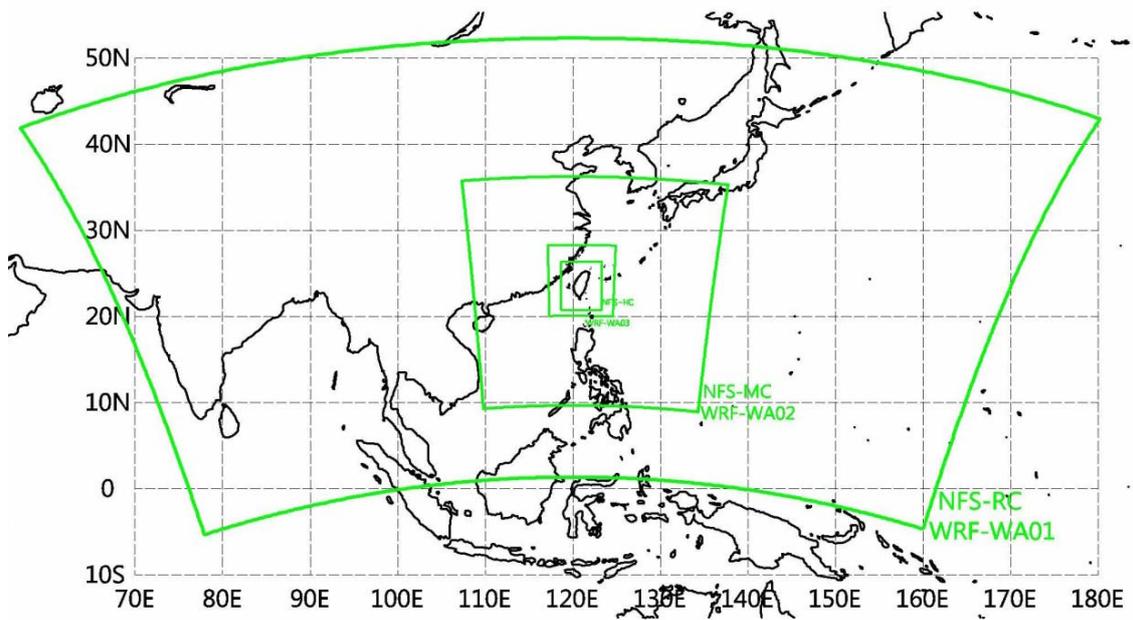


圖 2.9 中央氣象局風場 NFS 及 WRF 風場資料範圍圖

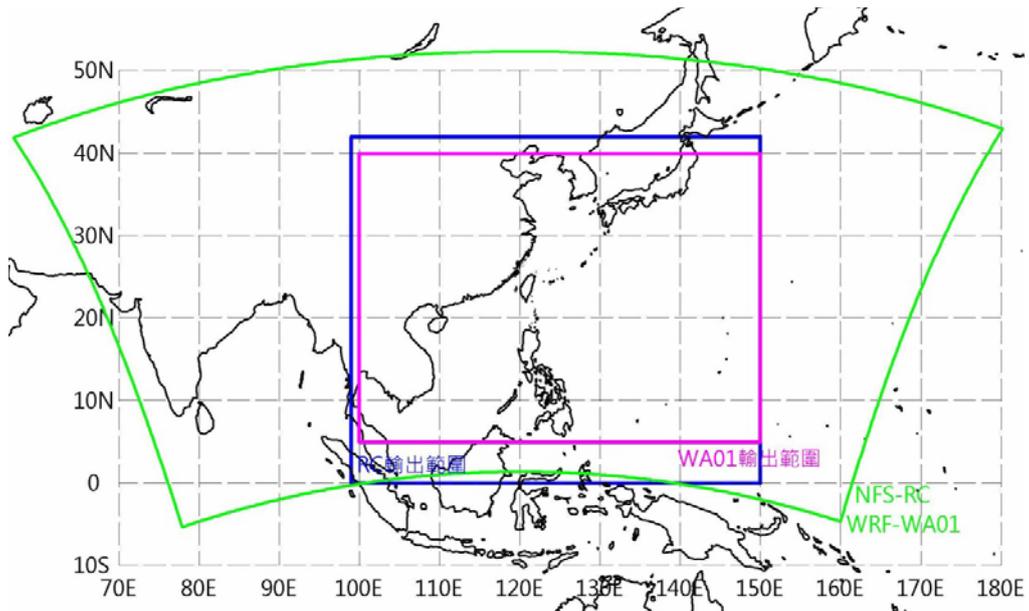


圖 2.10a NFS(RC)及 WRF(WA01)風場輸出範圍圖

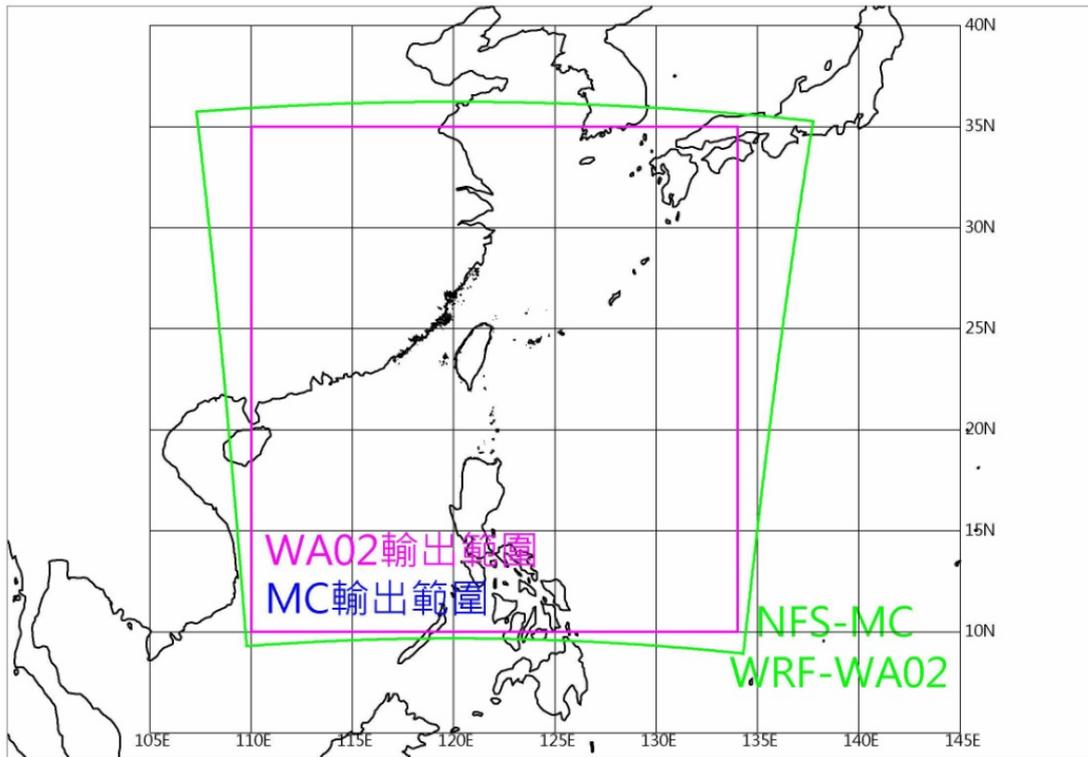


圖 2.10b NFS(MC)及 WRF(WA02)風場輸出範圍圖

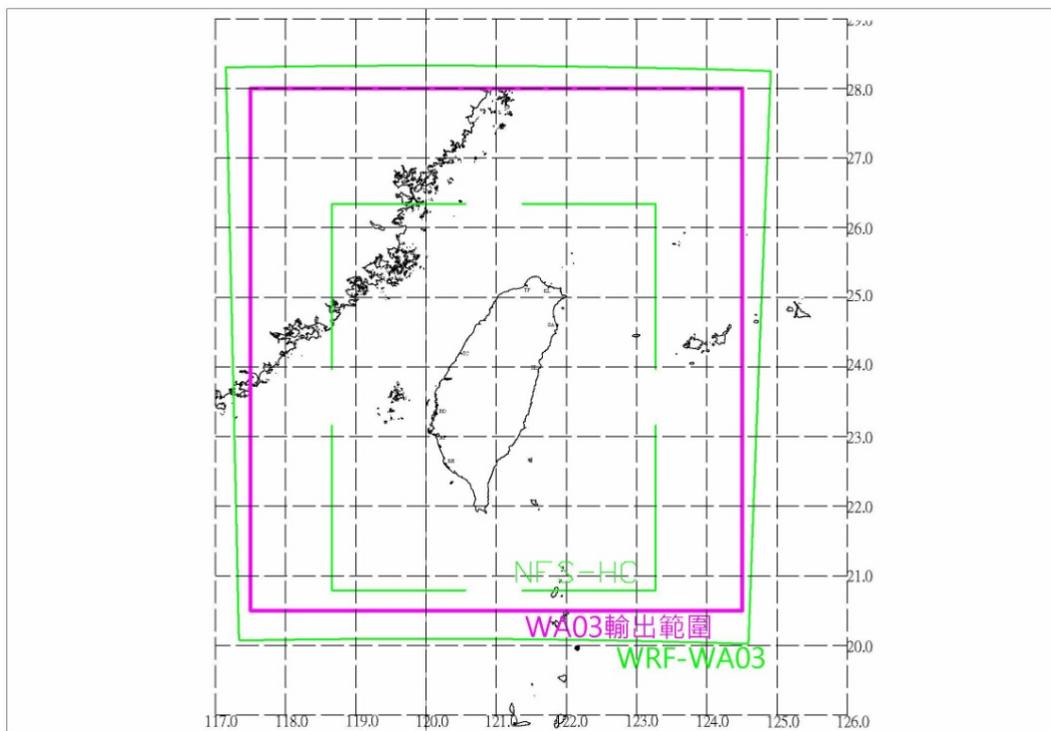


圖 2.10c WRF(WA03)風場輸出範圍圖

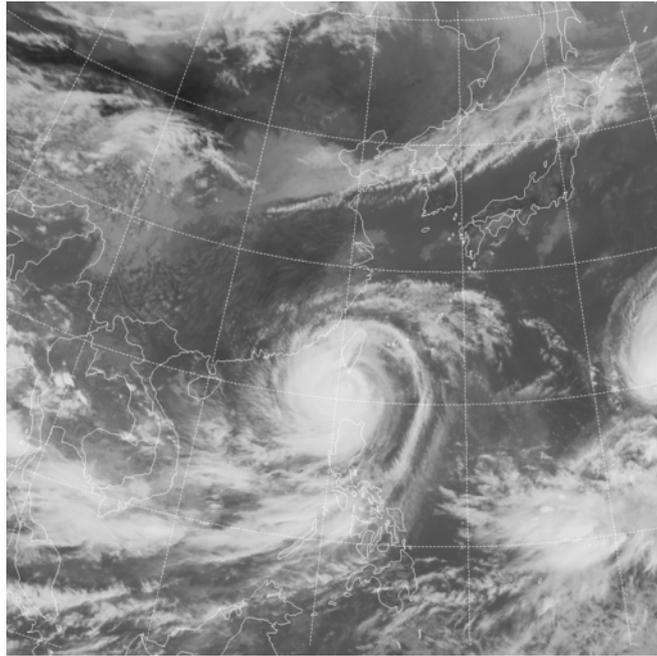
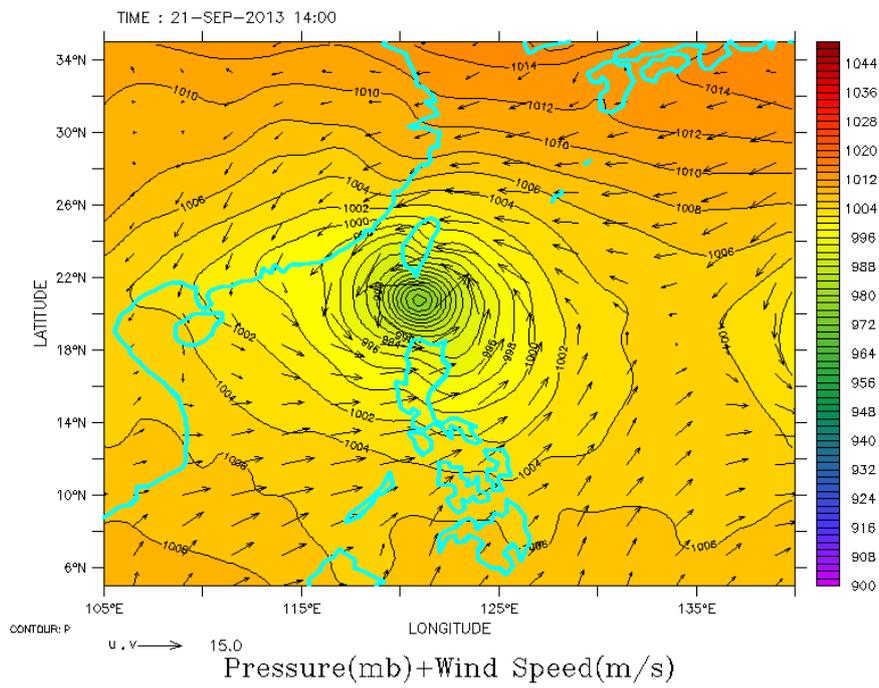
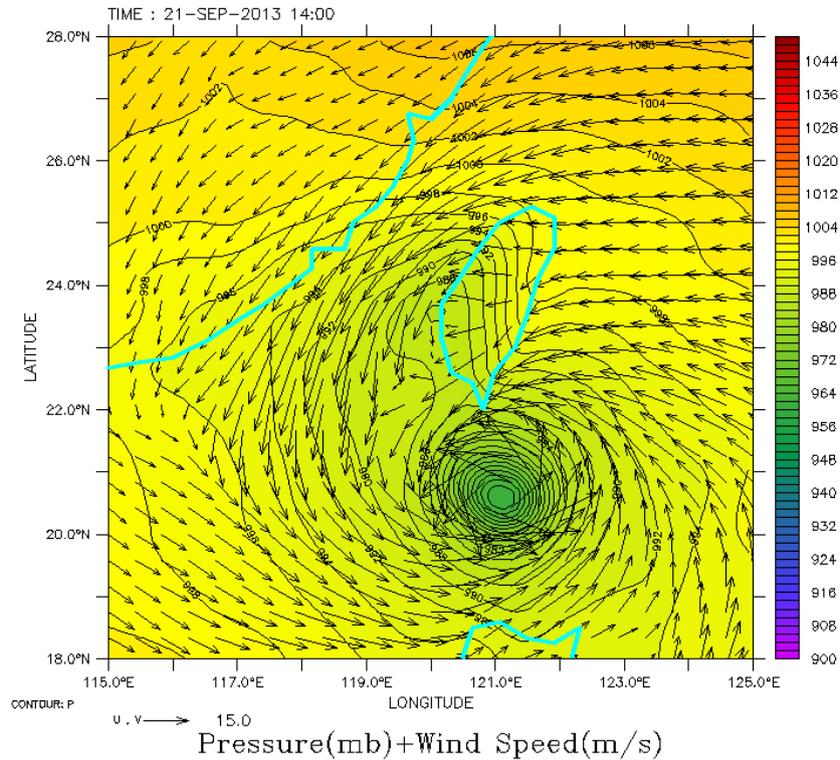


圖 2.11a 中央氣象局天兔颱風衛星雲圖(2013-09-21-14:32)



時間：2013 年 9 月 21 日 14 時

圖 2.11b 天兔颱風 RC 風場向量圖



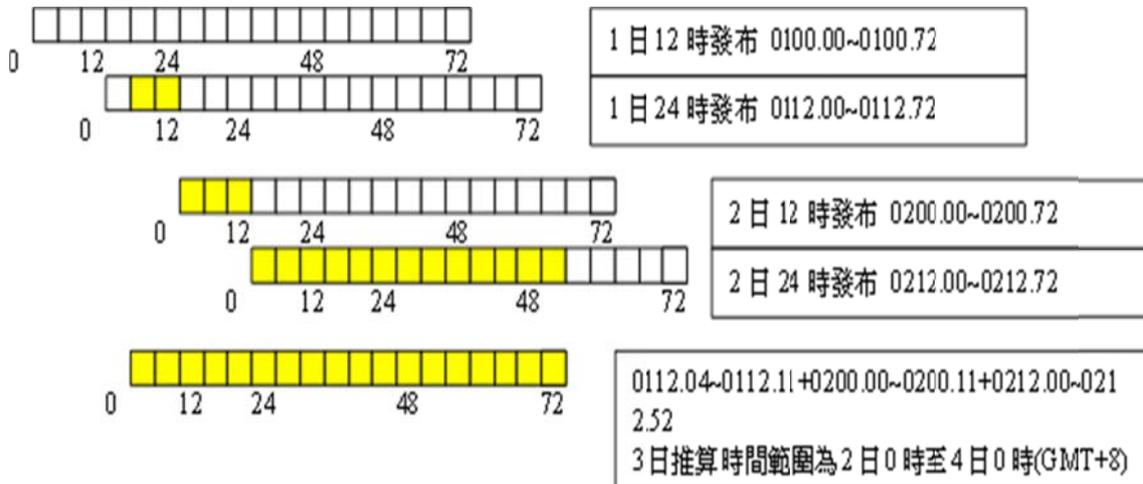
時間：2013年9月21日14時

圖 2.11c 天兔颱風 9 月 21 日 14 時 MC 風場向量圖

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 2-5 及圖 2.12 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 2-5 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 2.12 每日所擷取風場資料以第 3 日模擬風場為範例圖

### 2.1.3.2 WRF 風場模組作業化架構

由於 2014 年 5 月後，氣象局已無對外提供 NFS 風場資料，整體系統配合全面調整採用 WRF 風場(WRF\_M00)資料進行運作，並以作業化方式處理成系統內其他模式所需之風場及氣壓場格式。目前每日提供 4 組風場資料供出圖與網頁展示應用及每日提供 1 組供波場及水動力作業使用。

中央氣象局 WRF 風場所提供本中心檔名命名方式與 NFS 雷同為 wbyyyymmddHH.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。所提供風場為每日 4 組 84 小時資料(其 hh 為 00、01...、84)，分別於當日 0 時、6 時、12 時及 18 時於 FTP 網站開始發布資料，氣象局約需 90 分鐘至 2 小時才完成發布資料，本所於該日 2 時、8 時、14 時及 20 時進行解壓及內插計算，調整格式及製圖產出。現已透過自行撰寫批次排程檔擷取資料，每小時資料約為 3MB，故每天風場原始資料共約 876MB，其資料格式採用 GRIB 格式，每小時檔案內資訊共包含 82 層相關風場、氣壓場及溫度資料如表 2-6 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。

每日預報風場作業化不同於 NFS 風場處理方式，配合每日 4 筆資料，每日分時段提供 4 筆資料，整體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，實際擷取方式依 102 年度港灣海氣象數值模擬作業化之研究(1/2)計畫評估結果為求整體風場穩定扣除 00~05 等 6 筆資料，直接擷取 06 至 77 筆資料，提供風場模擬資料，每次可展示及提供未來 72 小時風場及氣壓場預報資料，表示 WRF 預報風場較 NFS 預報風場更密集且可供查詢預報時間會更多，可提供風浪及水動力模擬使用。作業化所展示資料為 WA01、WA02 及 WA03 之 2 維資料風場向量圖檔如圖 2.13a~圖 2.13c 所示，有關轉出資料格式如表 2-2d 所示，其展示畫面亦不同於 NFS 風場，提供風速

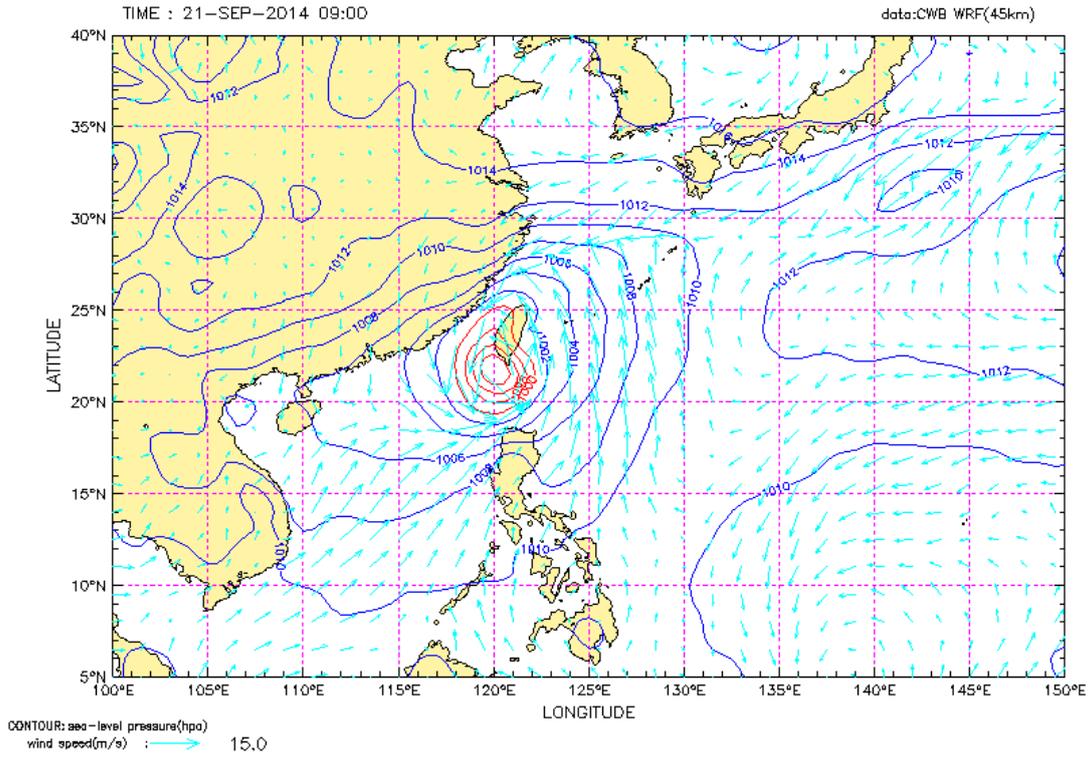
風向箭頭表示，將海平面氣壓場僅以輪廓線呈現，並將氣壓值小於 1000 百帕，改以紅色輪廓線標示，可增加颱風等低氣壓辨識度。

**表 2-6 WRF 主要提供氣象資料彙整表**

氣象資料	解析度
10 百帕風場	(45km, 15km,5km)
700 百帕風場	(45km, 15km,5km)
850 百帕風場	(45km, 15km,5km)
925 百帕風場	(45km, 15km,5km)
1000 百帕溫度場和風場	(45km, 15km,5km)
地表空氣氣壓場、溫度場和風場	(45km, 15km,5km)
相對濕度	(45km, 15km,5km)
10 米高風場	(45km, 15km,5km)
80 米高風場	(45km, 15km,5km)
平均海水面氣壓	(45km, 15km,5km)

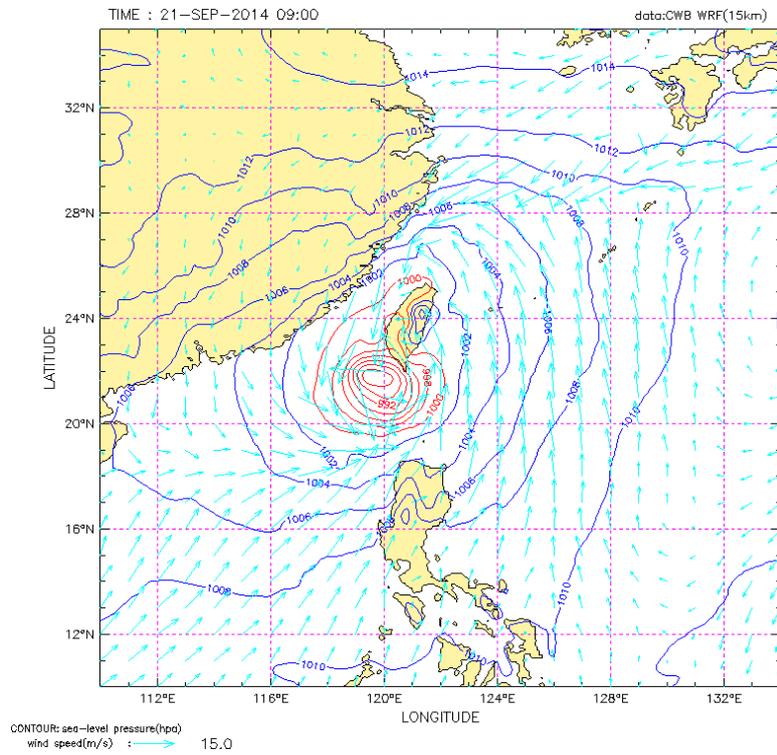
作業化所展示資料為 WA01、WA02 及 WA03 之 2 維資料風場向量圖檔如圖 2.13a~圖 2.13c 所示，其範圍如圖 2.10a~圖 2.10c 所示，其展示畫面亦不同於 NFS 風場，提供風速風向箭頭表示，將海平面氣壓場僅以輪廓線呈現，並將氣壓值小於 1000 百帕改以紅色線標示，可增加颱風辨識度。

為利於整體作業環境，利用 WA01 取代 RC 風場，WA02 取代 MC 風場進行每日 1 組風場產出，提供作為波場與水動力作業化使用，每日在上午 2 時收到最新 12.00~12.84 資料後，彙整之前預報資料成 73 小時風場模擬資訊，每日提供風浪及水動力所需資料 1 組，如同圖 2.14 所示，黃色為每次輸出部分，紅色為每日提供後續波流作業化部分。



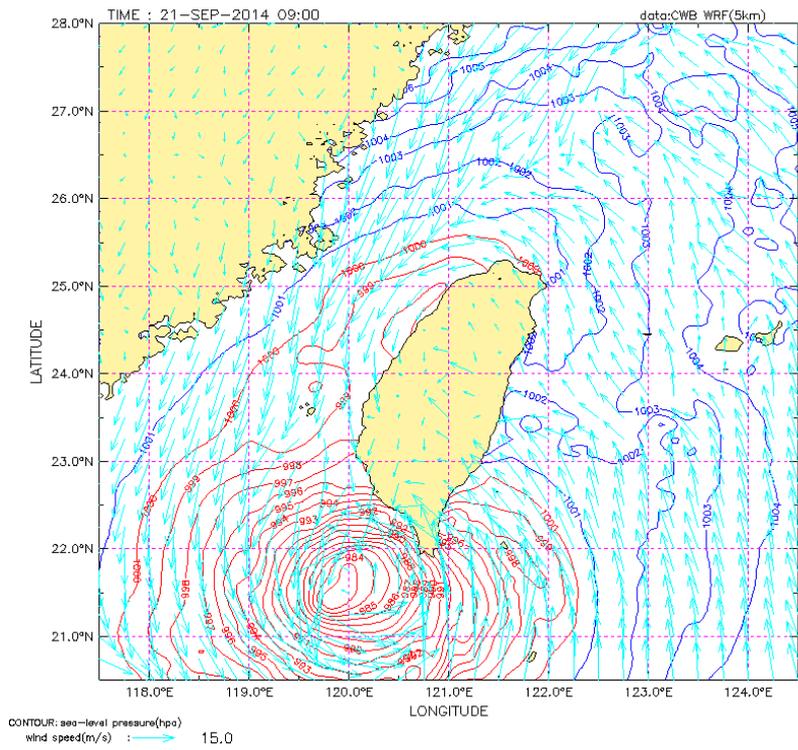
時間：2014年9月21日9時

圖 2.13a 鳳凰颱風 WRF(WA01)風場向量圖



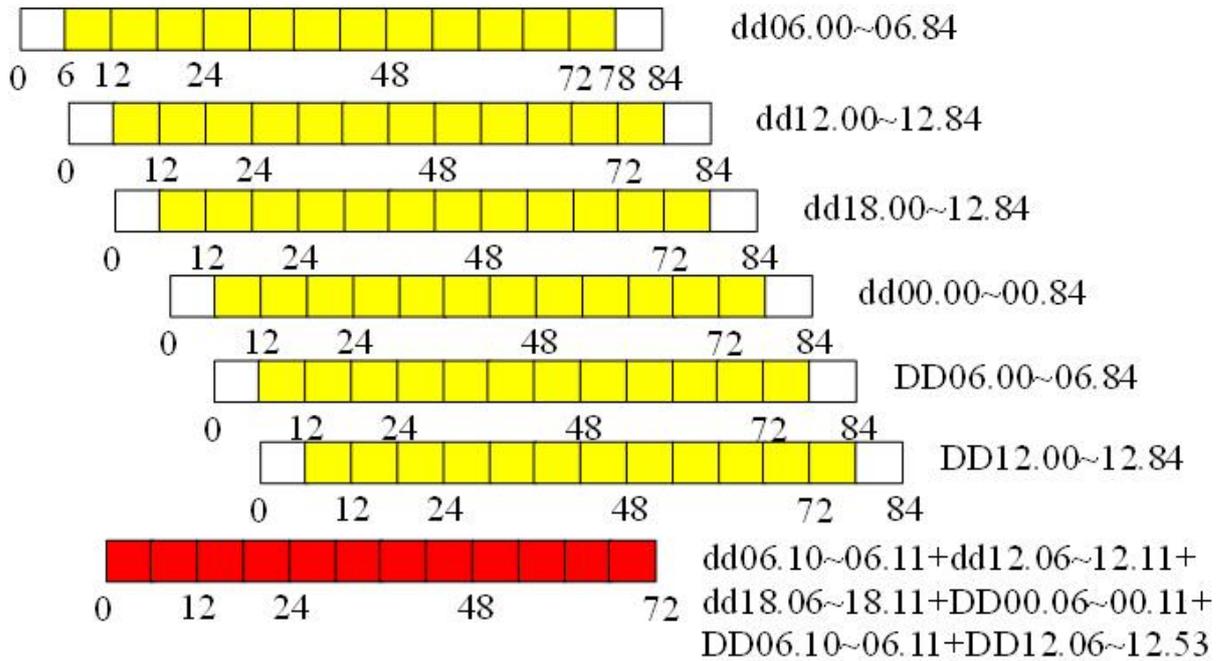
時間：2014年9月21日9時

圖 2.13b 鳳凰颱風 WRF(WA02)風場向量圖



時間：2014年9月21日9時

圖 2.13c 鳳凰颱風 WRF(WA03)風場向量圖



dd 為 DD 減 1 日

備註：風力預報(黃)，提供波浪及水動力預報(紅)每日 1 次

圖 2.14 每日 WRF 擷取風場及提供每日波風場資料

### 2.1.4 波浪模組作業化架構

在本系統設定架構下，波浪作業化預報系統涵蓋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，以及針對國內主要商港分別建置小尺度波浪模組。另外透過資料庫概念以及 MATLAB 的介面設計模組 GUIDE (Graphic User Interface Design Environment) 介面發展建立細尺度港區波浪展示系統。有關波浪模擬作業流程如圖 2.15 所示。

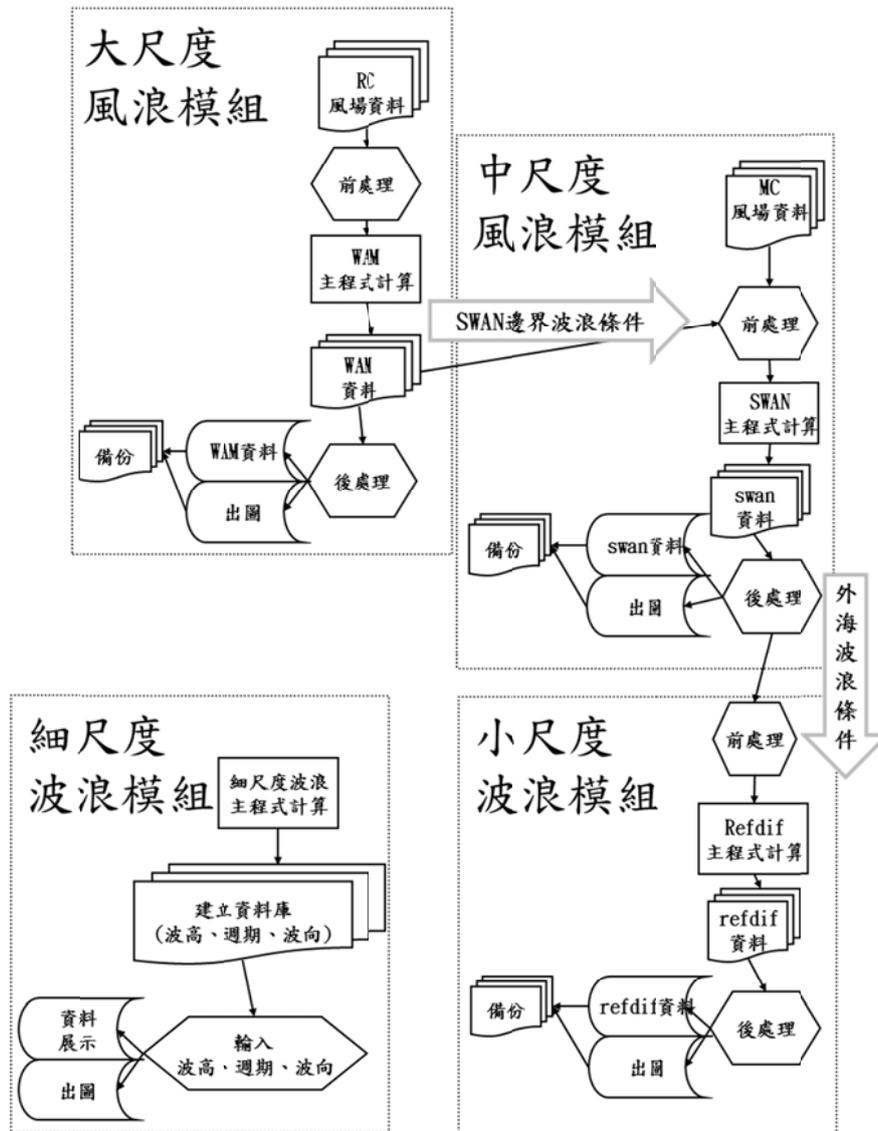


圖 2.15 波浪模擬作業流程圖

## 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 2.3 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，包含金門籍馬祖等離島範圍，如圖 2.16 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 2-2a 所示，模擬範圍如圖 2.16。

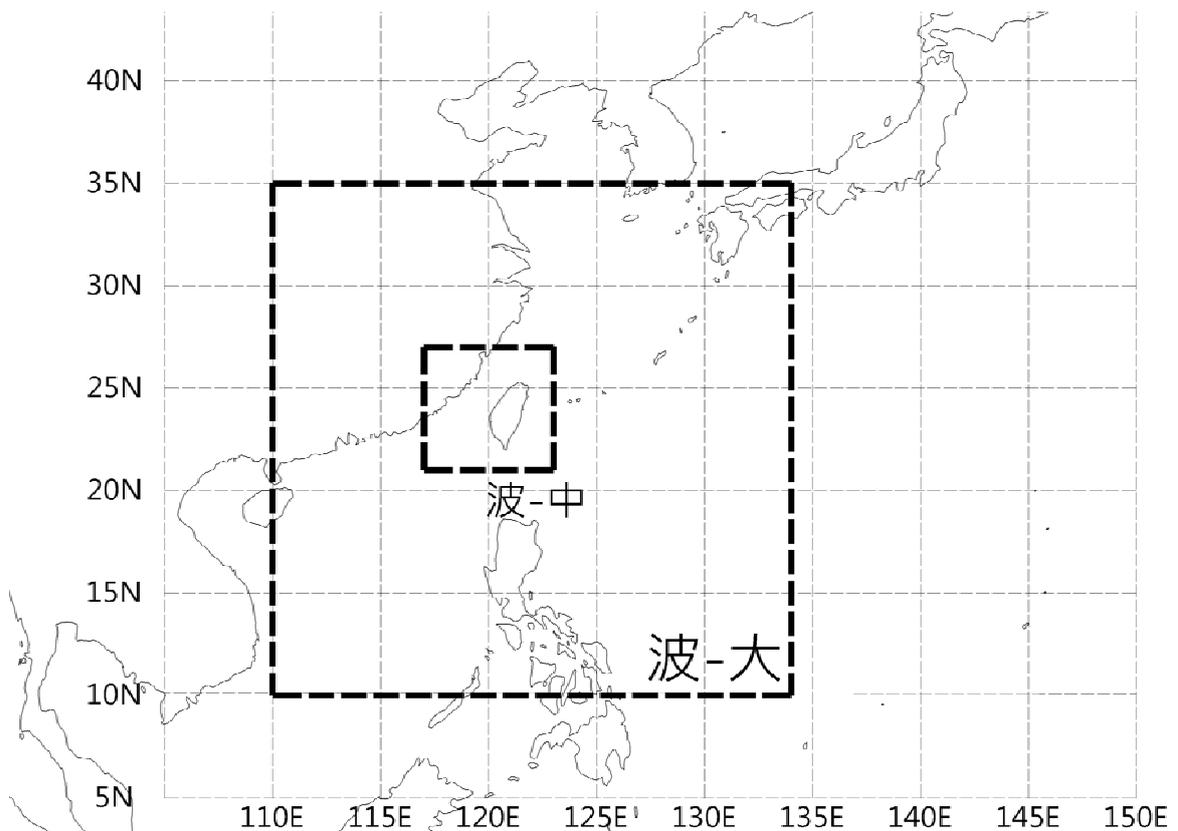
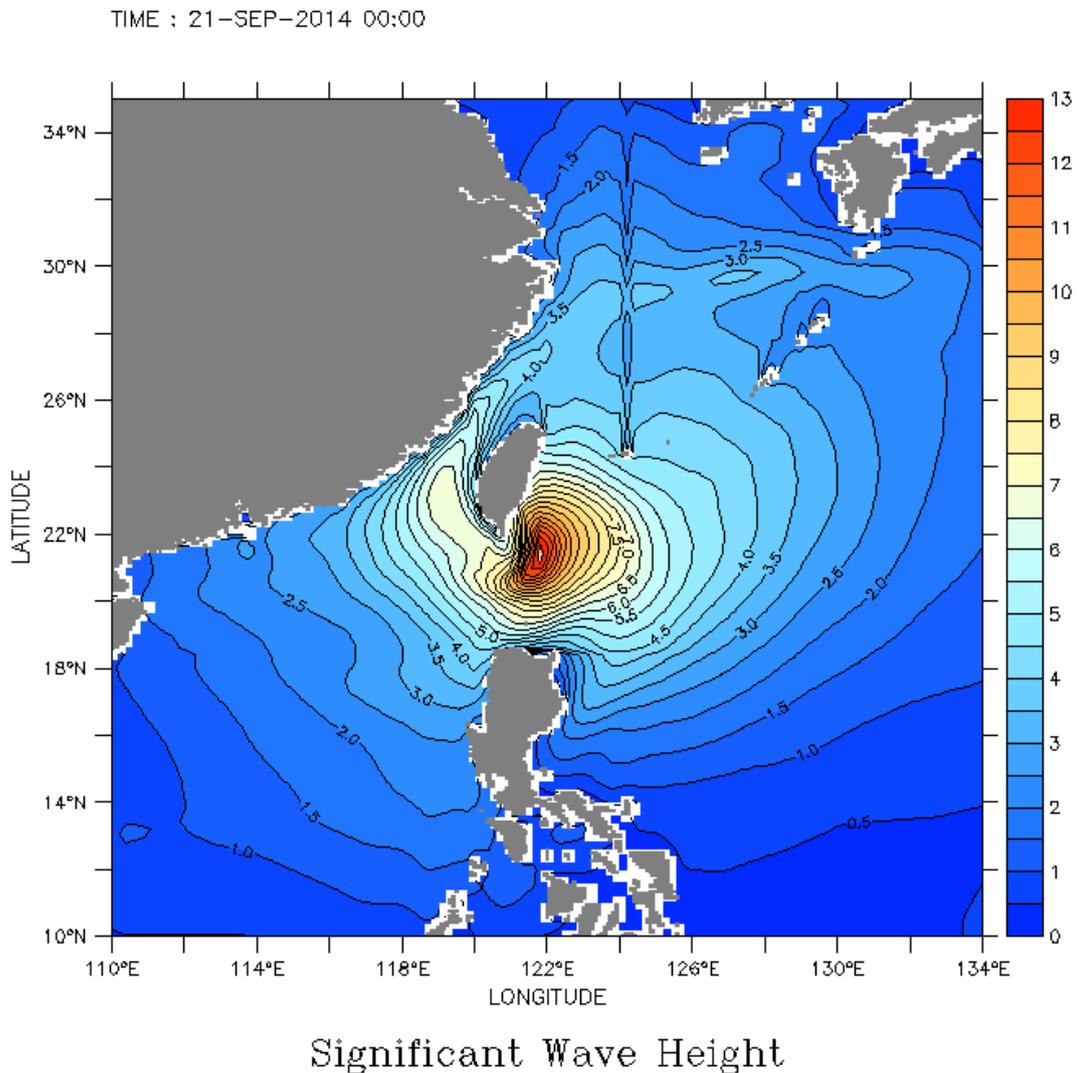


圖 2.16 大尺度及中尺度波場模擬範圍圖

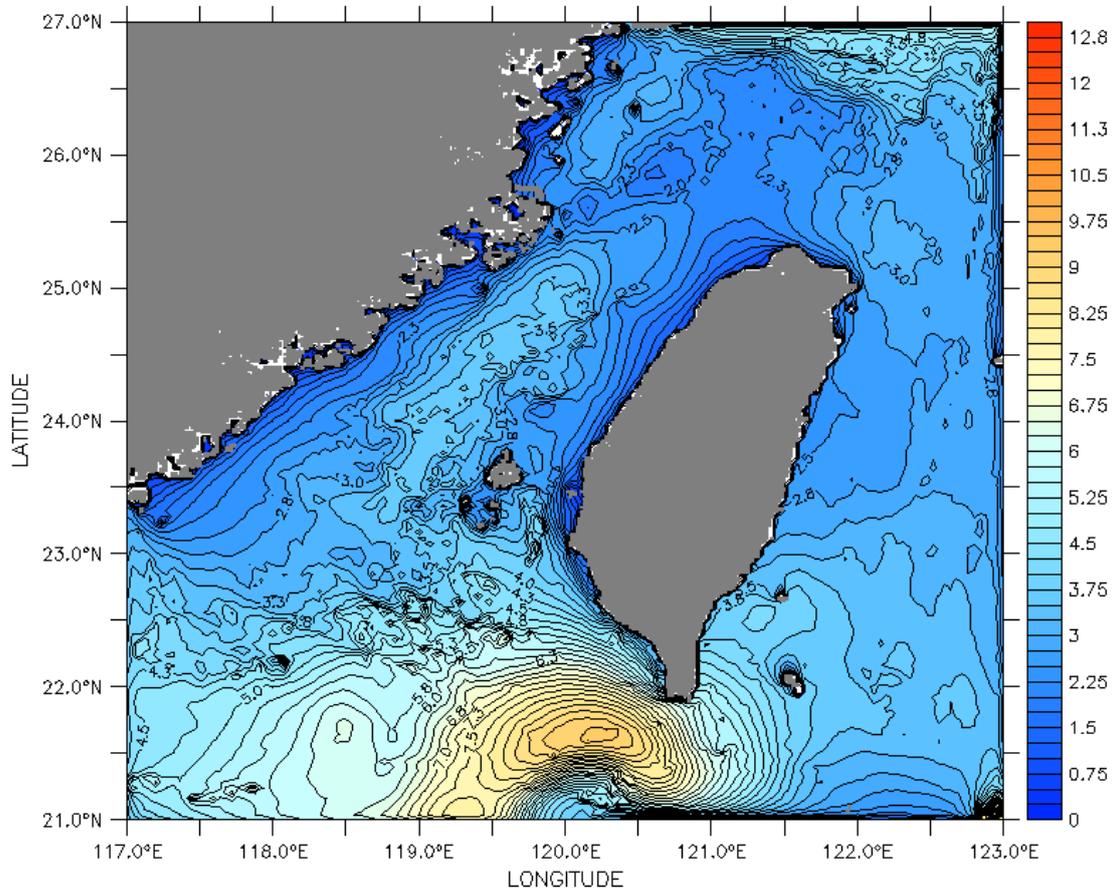
其中大尺度西太平洋風浪模組利用昨日模擬第 24 小時結果作為初始資料並採用 WA01 風場預報資料模擬海面上風浪之生成、發展及傳播過程；中尺度臺灣周圍海域風浪模式利用昨日模擬第 24 小時結果作為初始資料，使用 WA02 風場預報資料，與當日 WAM 模組所提供邊界條件(波高、波浪週期、波向)，模擬臺灣周圍海域之風浪，並輸出主要港口外海波浪條件(波高、週期、波向)。模式模擬時間長度為三天(72 小時，昨日、今日、明日)。下圖 2.17、圖 2.18 為作業化 2014 年 9 月 21 日 0 時鳳凰颱風產生波高分布圖。



時間：2014 年 9 月 21 日 0 時

圖 2.17 鳳凰颱風大尺度波高分布圖

TIME : 21-SEP-2014 00:00



Significant Wave Height

時間：2014年9月21日0時

圖 2.18 鳳凰颱風中尺度波高分布圖

## 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、布袋港及臺中港等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 8 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。

綜整近年主要商港(臺北港、基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、臺中港)建置整體作業化系統，其網格資料如表 2-7 所示，各港數值模擬範圍及各港作業化所擷取各點資料如圖 2.19 示，數值計算網格水深資料。

各港於模擬計算時，配合 REFDIF 模式，將港口旋轉至左側為水域部分，其各港旋轉角度如表將港口旋轉至左側均為水域部分，其各港旋轉角度如表 2-7 所示，旋轉後所計算水深地形如圖 2.20。進行模擬計算後所得結果，在 Ferret 後處理旋轉成正北方向輸出圖檔如圖 2.21 作業化波高分布圖所示，提供給港灣環境資訊網應用。

表 2-7 近岸區域波浪模式數值計算網格資料

港口名稱	原點座標 (TWD67 二度分帶)		旋轉角度	座標系統 (10m)
	X(m)	Y(m)		
基隆港	322539	2787360	256	621×731
蘇澳港	341180	2725933	185	601×801
花蓮港	316982	2655232	150	321×801
高雄港	177877	2487555	38	801×1701
安平港	160522	2531092	31.44	1401×1041
布袋港	162072	2533583	11	1601×901
臺中港	186945	2680791.6	-36	1001×1901
臺北港	278577	2784690	-55	801×1301

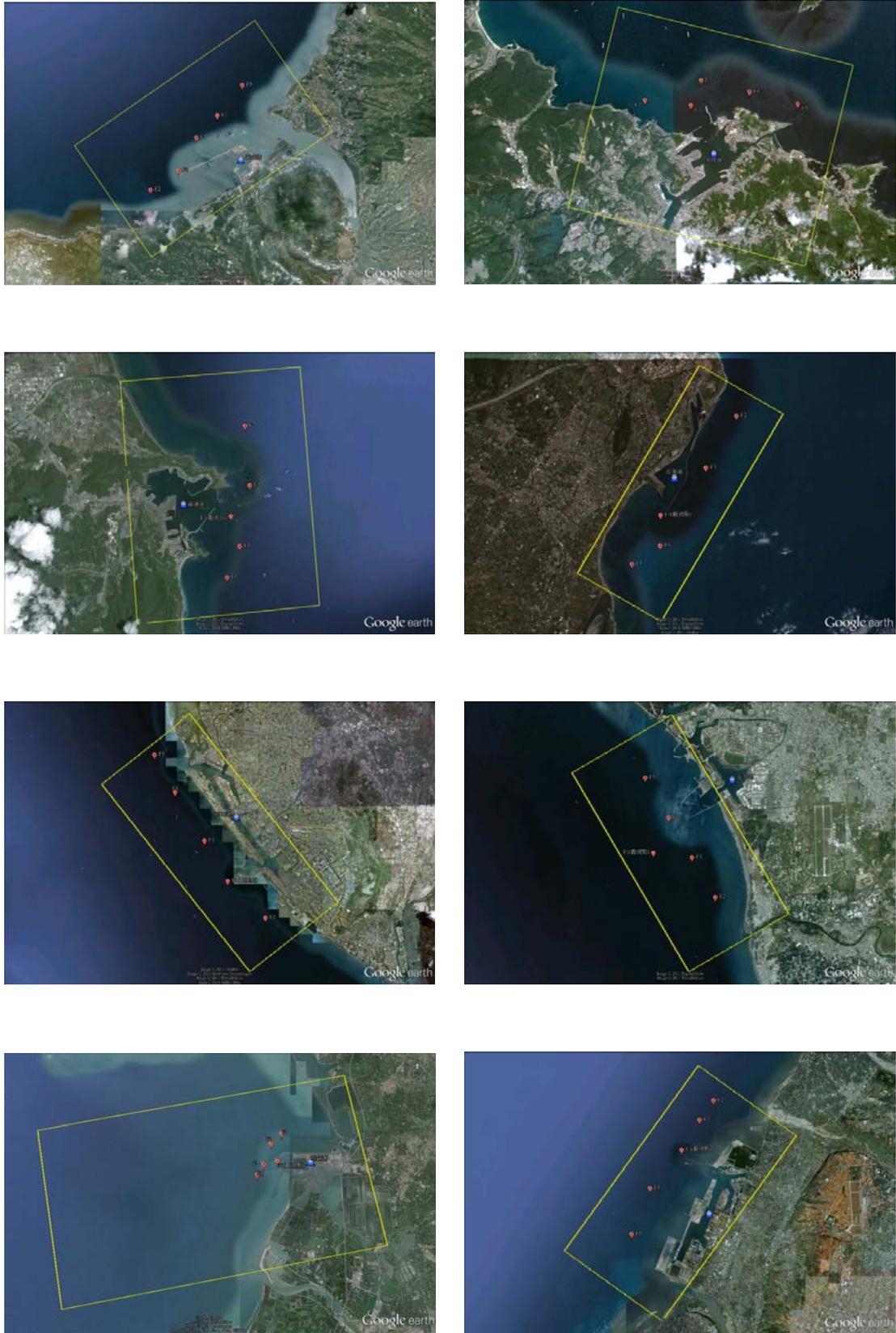


圖 2.19 近岸區域波浪模擬範圍圖

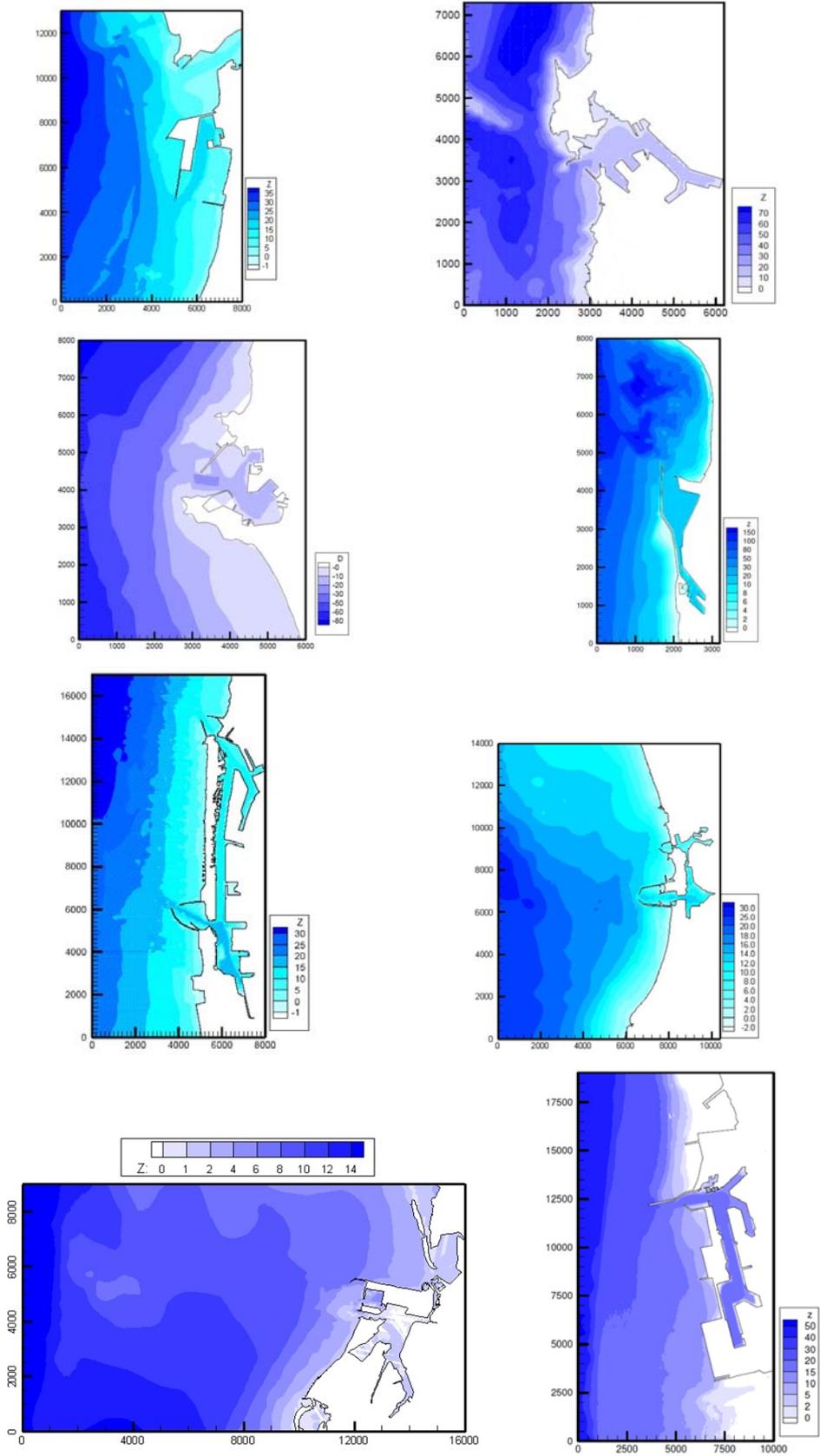


圖 2.20 近岸港區波浪模式地形水深分布圖

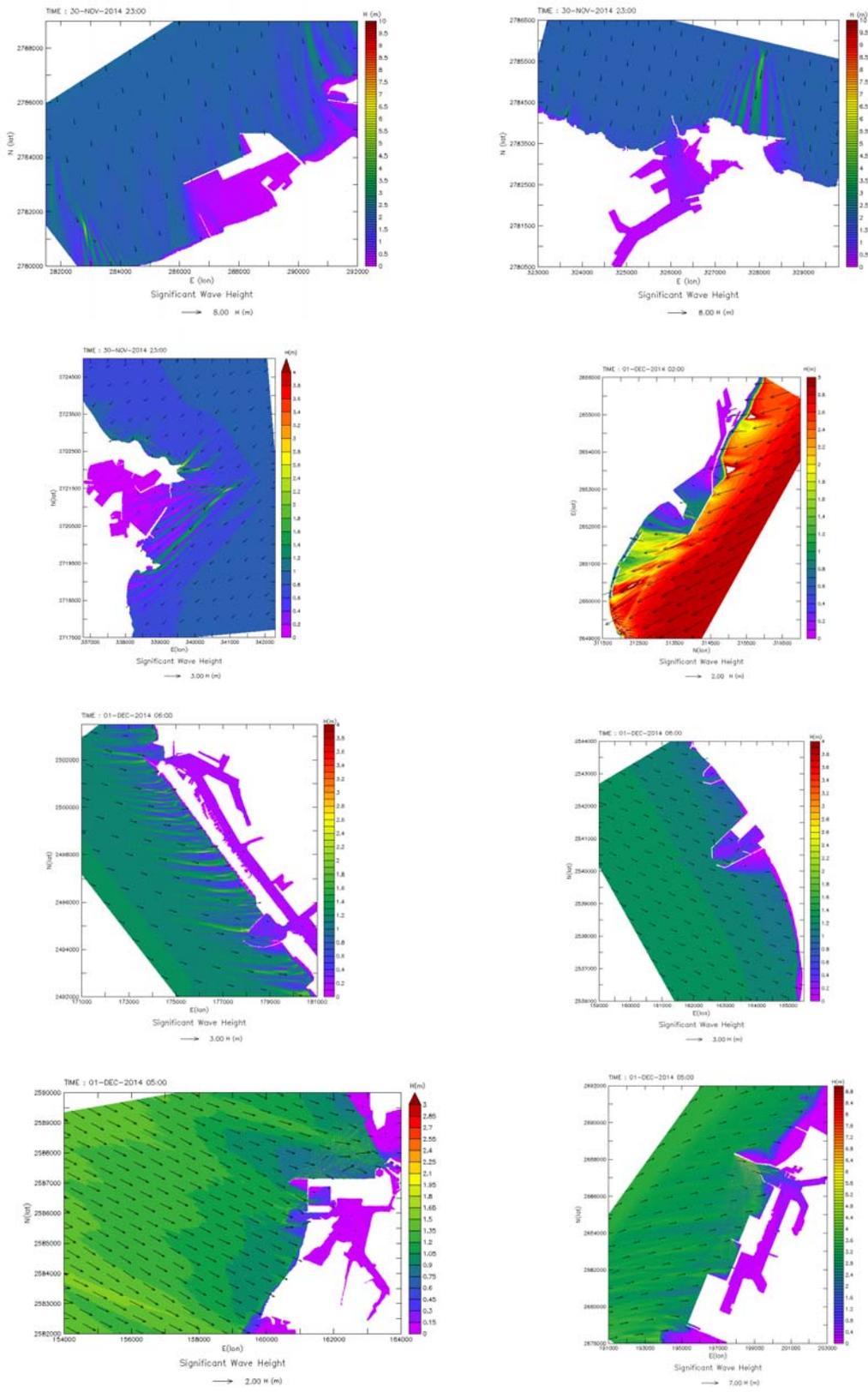


圖 2.21 作業化波高分布圖

## 2. 細尺度波浪模式

因應颱風波浪侵襲下為能快速掌握港內穩靜狀況，建置所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)。

目前已建置完成本島主要商港港域波浪模式之數值計算網格，本計畫選取波浪模擬必須滿足一個波長內至少涵蓋 8 個節點等條件，各港口細網格適用的最小波浪週期分別為：基隆港 8 秒、臺北港 10 秒、蘇澳港 8 秒、花蓮港 7 秒、臺中港 10 秒、安平港 10 秒、高雄港 10 秒及布袋港 8 秒等。再配合水深資料產生港域波浪模式之數值計算細網格，各港數值計算細網格可參考表 2-8 臺灣主要商港細尺度波浪模組建置摘要表。

表 2-8 臺灣主要商港細尺度波浪模組建置摘要表

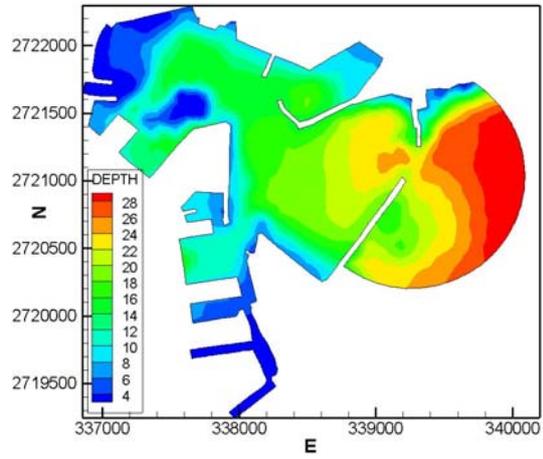
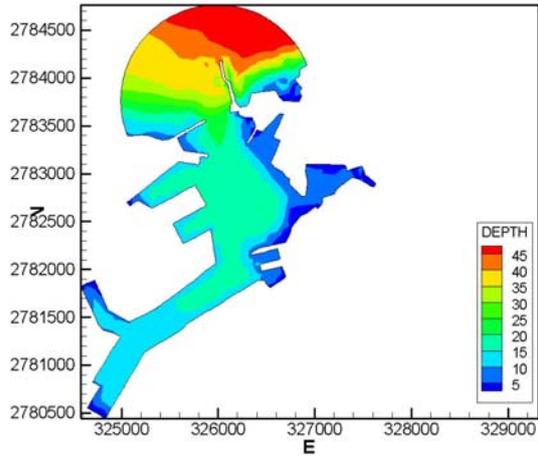
商港名稱	節點數	元素數目	格點範圍 TWD97	外海 假想 邊界 (m)	最大 水深 (m)	最小 波浪 週期 (秒)
基隆港	38554	74850	左下(324578.63, 2780441.25) 右上(329316.16, 2784764.68)	1000	50	8
蘇澳港	50843	99069	左下(336855.00, 2719245.00) 右上(340199.65, 2722297.31)	826	30	8
花蓮港	130,169	258,117	左下(311795.80, 2648490.00) 右上(319740.99, 2655740.73)	2200	100	7
高雄一港	64838	126709	左下(172359.90, 2498948.00) 右上(178207.48, 2504284.46)	2000	15	10
高雄二港	109157	214486	左下(175788.00, 2491979.00) 右上(185964.42, 2501265.93)	2800	18	10
安平港	107016	210394	左下(160612.90, 2538691.00) 右上(167238.64, 2544737.60)	2000	17	10
布袋港	65274	129023	左下(160764.00, 2584911.00) 右上(163597.97, 2587497.26)	1300	7	8
臺中港	166214	327611	左下(196226.98, 2679564.75)	3500	23	10

商港名稱	節點數	元素數目	格點範圍 TWD97	外海 假想 邊界 (m)	最大 水深 (m)	最小 波浪 週期 (秒)
			右上(208557.92, 2690817.88)			
臺北港	202234	401493	左下(284018.00, 2780191.00) 右上(290590.05, 2786188.60)	3500	25	10

所建置資料庫設定波浪模擬條件，將入射波浪波向(來向)選取 16 方位中各港港區可能的方向定義(即 N、NNE、NE、ENE、E、...等)，如基隆港為 NE、NNE、N、NNW 及 NW 等波向，當波浪來向超出各港口假想範圍即不被採用。即假設入射波高或振幅為 1.0，將波浪場模擬條件簡化為僅考慮波浪週期及外海無限領域之波浪來向(即採用波浪觀測資料之波向定義)等參數。其中波浪模擬週期之間隔為 0.1 秒，波浪週期模擬範圍上限為 20 秒，下限為各港口細網格解析度適用之最小波浪週期。

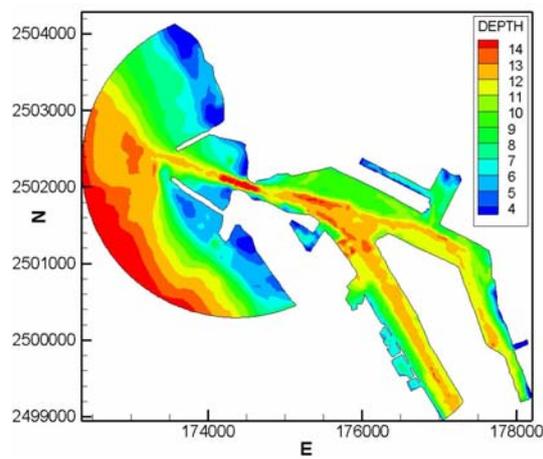
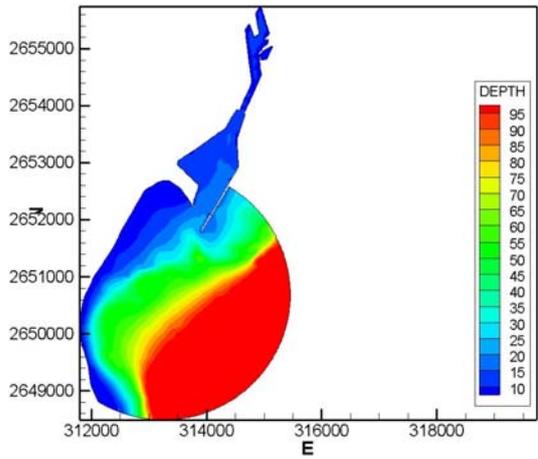
以前述波浪條件模擬結果建置成各港區波浪資料庫，共建置基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄一港、高雄二港、安平港、布袋港、臺中港、臺北港等 9 組資料，共產生約 9000 筆資料其單筆資料 4MB 至 30MB 不等，整體約 120GB 資料量。

透過本計畫內撰寫 MATLAB 的 GUI 介面發展建立港區波浪展示系統展示畫面，由輸入波高、週期、波向即可讀取檔案並立即輸出港區內波高分布，並可輸出不同點位的波高值，目前設定五點輸出資料。因各港區範圍大小不同，輸入後波浪模擬結果之波高分布情形及各點平均波高值，其展示計算使用個人電腦所需時間約 3~20 秒。各港範圍如表 2-8 臺灣主要商港細尺度波浪模組建置摘要表所示，其各港-細尺度波浪之地形水深分布圖及細尺度波浪展示輸出情形水深地形資料如圖 2.22a ~2.23b 。



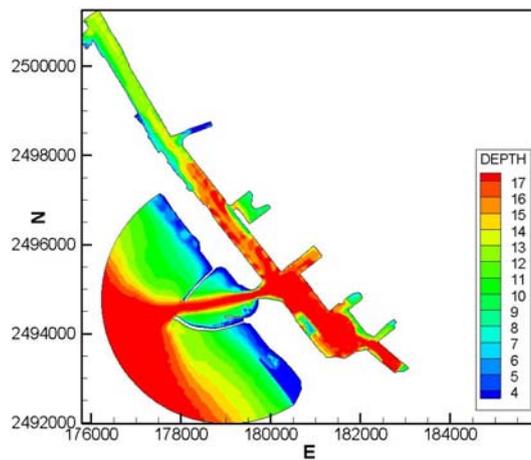
基隆港

蘇澳港



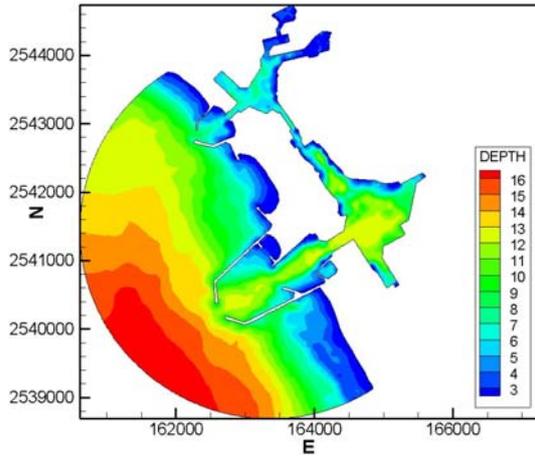
花蓮港

高雄港(一港口)

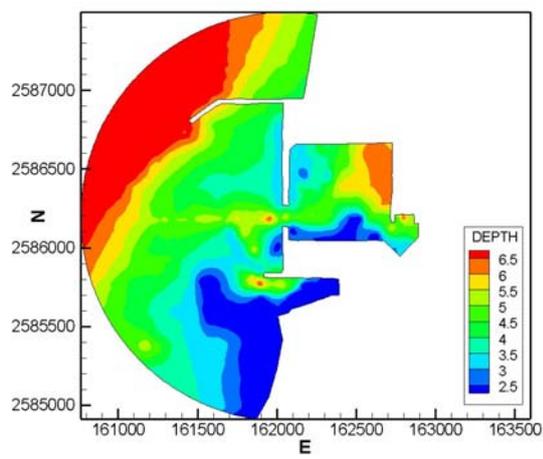


高雄港(二港口)

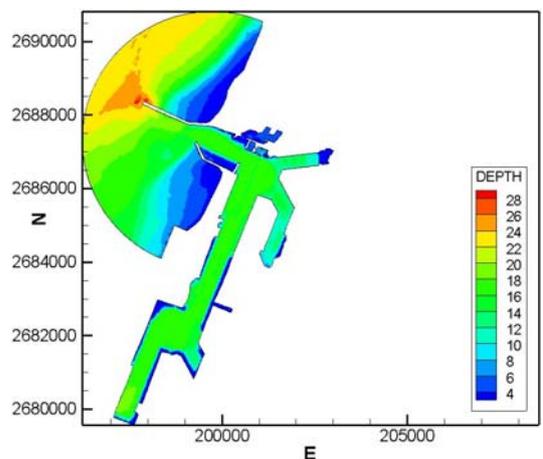
圖 2.22a 細尺度波浪之地形水深分布圖 1



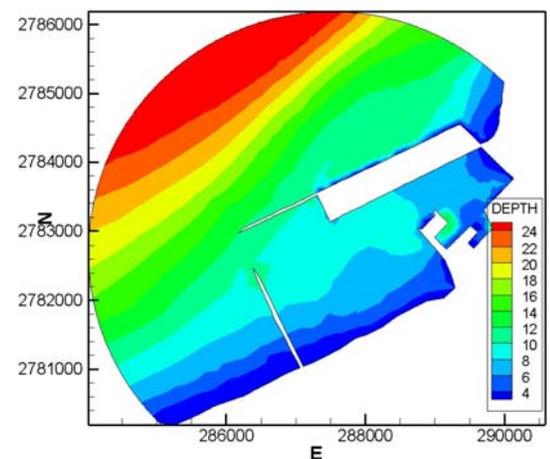
安平港



布袋港

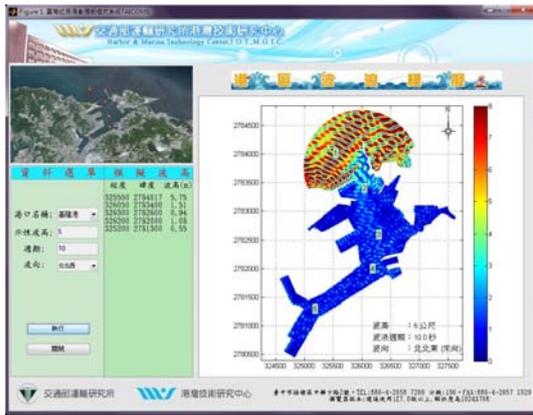


臺中港

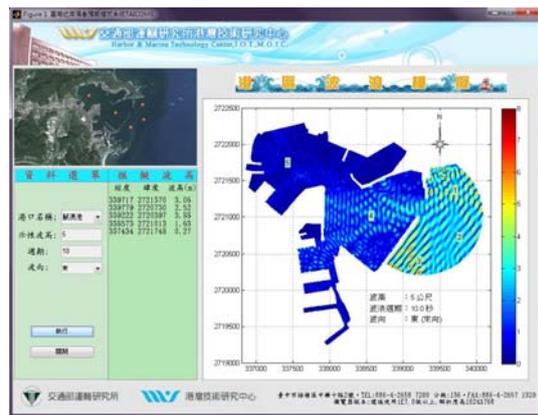


臺北港

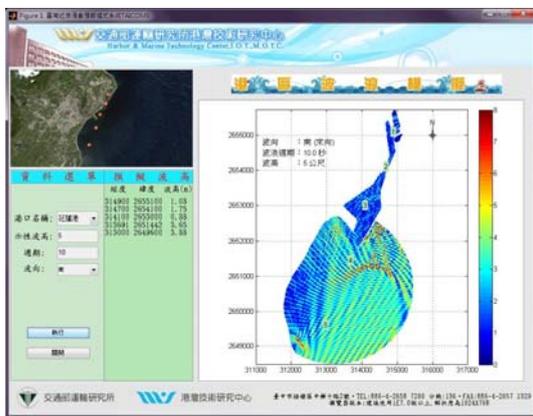
圖 2.22b 細尺度波浪之地形水深分布圖 2



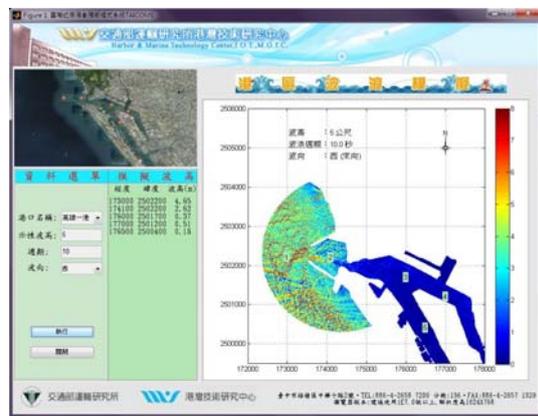
基隆港



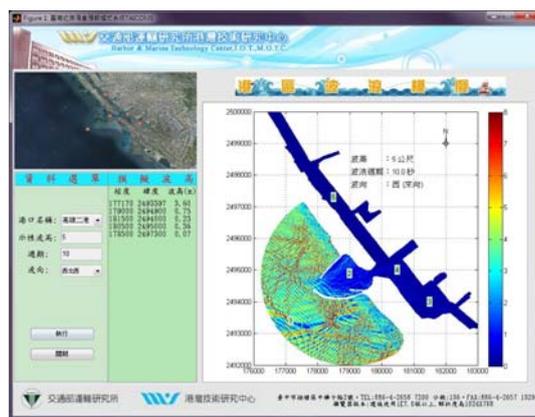
蘇澳港



花蓮港

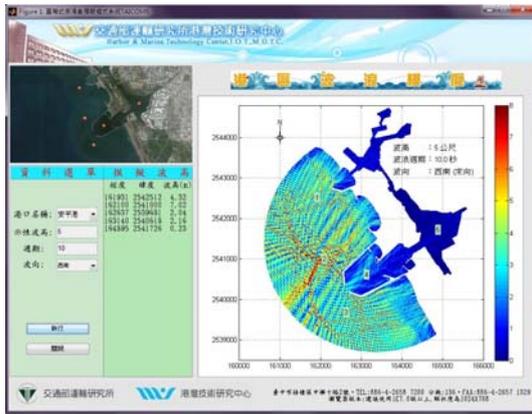


高雄港(一港口)



高雄港(二港口)

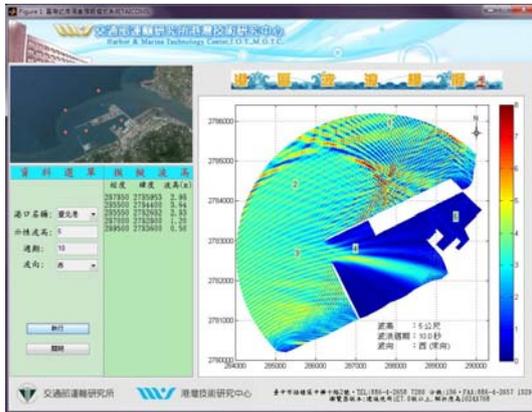
圖 2.23a 細尺度波浪輸出視窗展示圖 1



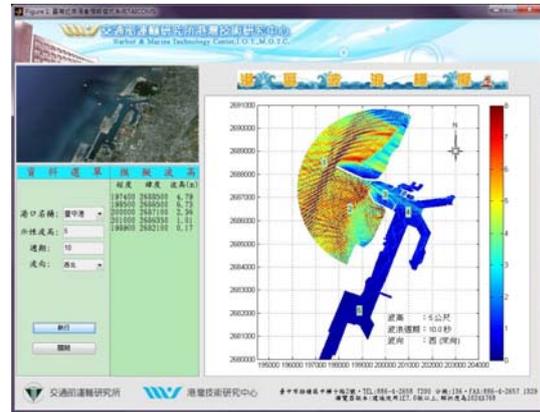
安平港



布袋港



臺中港



臺北港

圖 2.23b 細尺度波浪輸出視窗展示圖 2

### 2.1.5 水動力模組作業化架構

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。

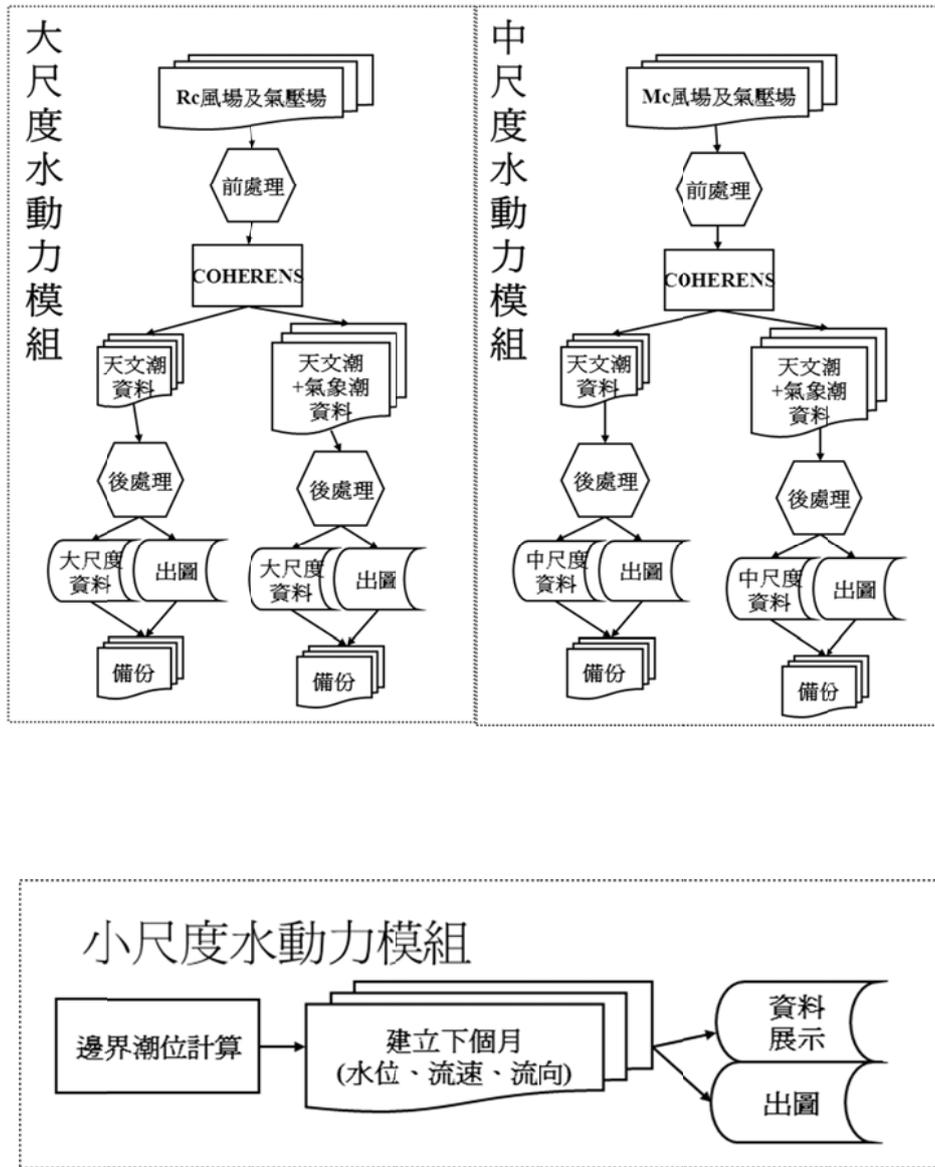


圖 2.24 水動力模擬作業流程圖

## 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 15°至 42°，東經 105°至 150°，數值計算網格大小為 10'×10'(10 分網格)。(2)中尺度之臺灣海域模組模擬範圍為北緯 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)。

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，如圖 2.26 及圖 2.27 為鳳凰颱風之大尺度及中尺度水位分布圖與圖 2.28 及圖 2.29 之之大尺度及中尺度流速流向分布圖所示及各港水位歷線資料，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。

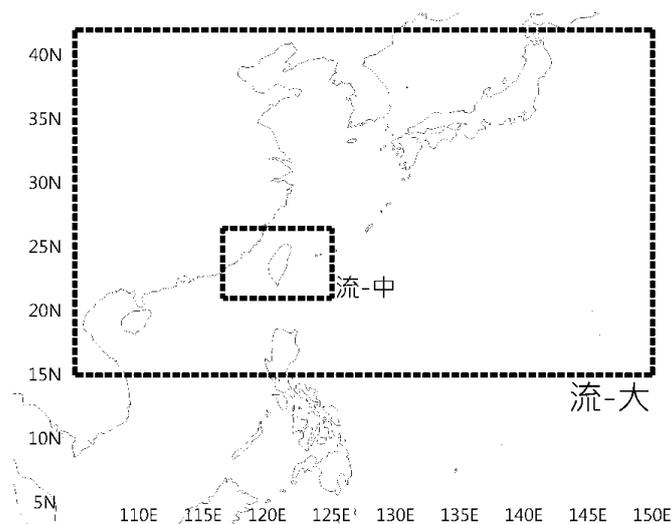
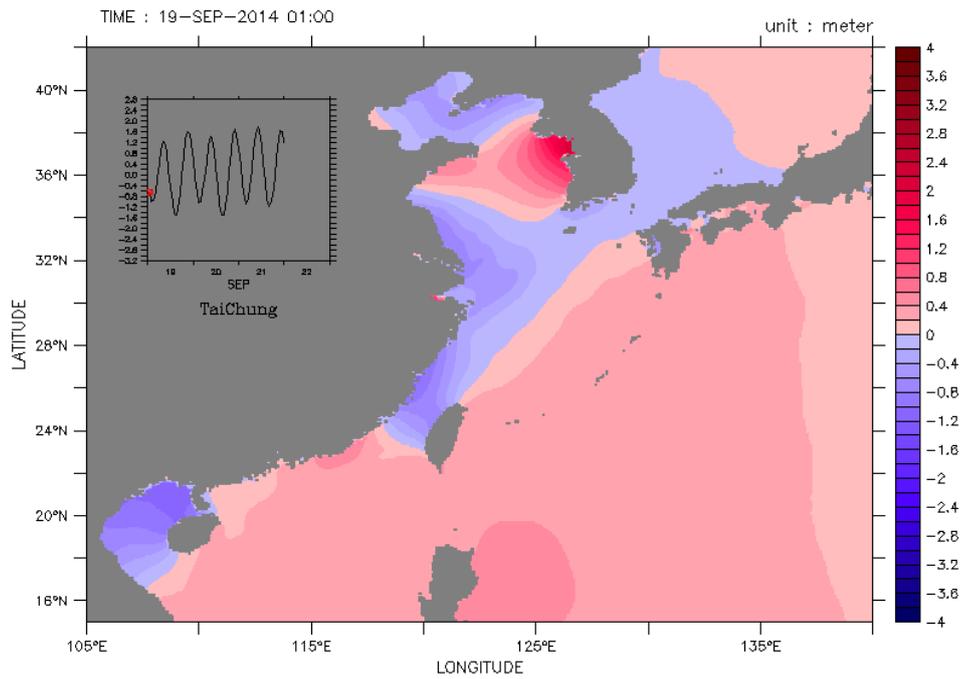


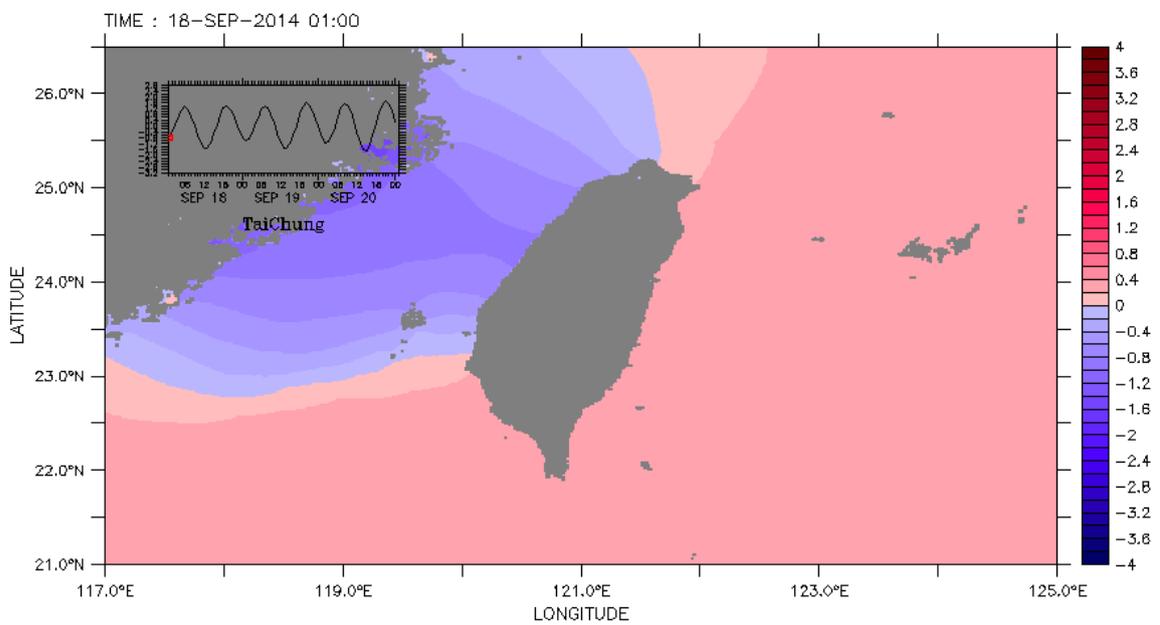
圖 2.25 大尺度及中尺度流場模擬範圍圖



Water-level (datum = M.S.L.)

時間：2014 年 9 月 22 日 1 時

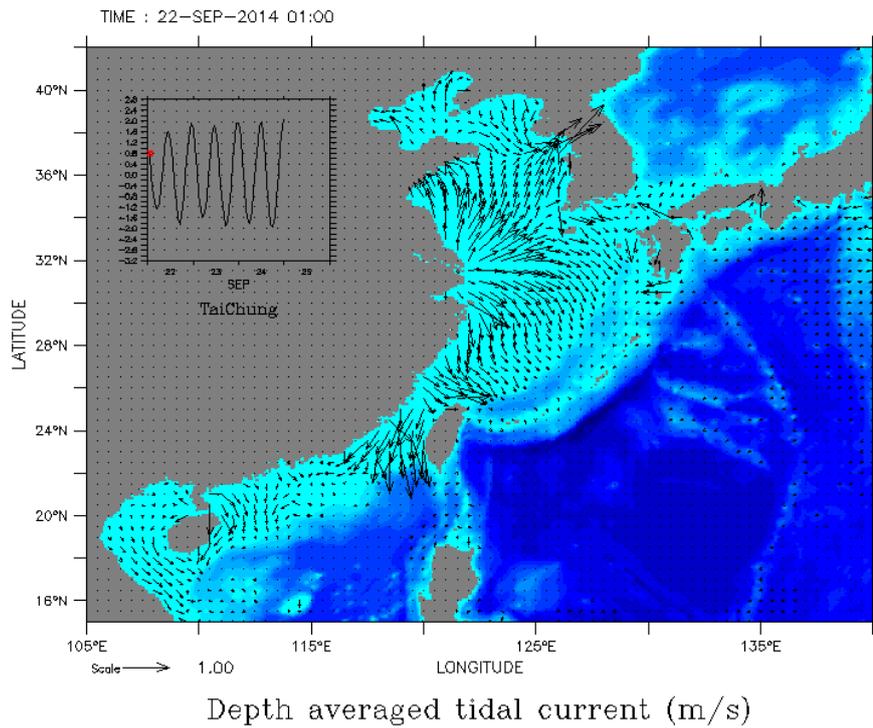
圖 2.26 鳳凰颱風大尺度水位分布圖



Water-level (datum = M.S.L.)

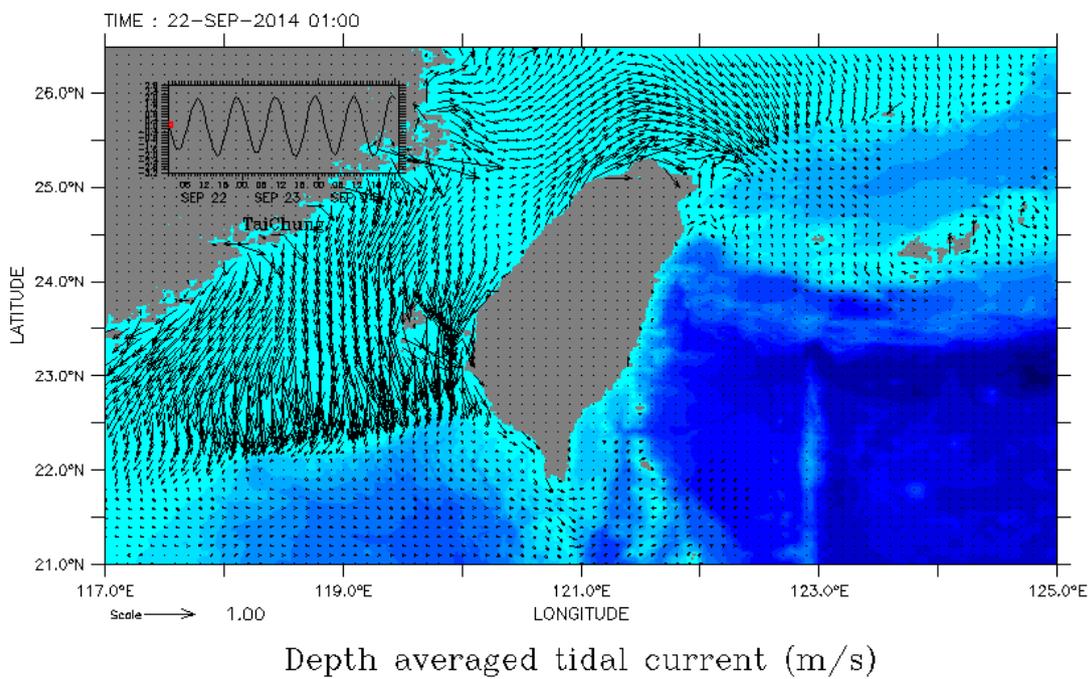
時間：2014 年 9 月 22 日 1 時

圖 2.27 鳳凰颱風中尺度水位分布圖



時間：2014年9月22日1時

圖 2.28 鳳凰颱風大尺度流速流向分布圖



時間：2014年9月22日1時

圖 2.29 鳳凰颱風中尺度流速流向分布圖

## 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，本計畫前期已發展基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、臺中港及臺北港等八大港區水動力模式，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。

主要商港(基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、臺中港、臺北港)共八個港區，其主要建置可參考表 2-9 臺灣主要商港小尺度水動力模組建置摘要表，表內包含模式內節點數、元素數目、格點範圍、範圍描述、邊界條件，其中基隆港及布袋港採用潮位站調和分析結果推算；蘇澳港、花蓮港、臺中港及臺北港採用 Matsumoto et al.(2000)所發展的 NAO.99b 模式建置模式之開放邊界條件；高雄港及安平港採用中尺度臺灣周圍海域水動力模組預測建置。各港小尺度潮流輸出情形，依不同港口如圖 2.30 所示。

表 2-9 臺灣主要商港小尺度水動力模組建置摘要表

商港名稱	節點數	元素數目	格點範圍 WGS84	範圍描述	邊界條件
基隆港	2160	4745	左下(121.53, 25.12) 右上(121.99, 25.50)	東起新北市瑞芳區鼻頭角海岸，西至新北市三芝區富貴角海岸，東西長約 43 公里；模式離岸邊界大致與基隆海岸平行，東側離岸距離約 20 公里，西側離岸距離約 17 公里，模式東側邊界鄰近龍洞潮位站，西側邊界鄰近麟山鼻潮位站。	東、西兩側水位邊界係分別龍洞及麟山鼻潮位調和分析(34 個分潮)預測值建立的。
蘇澳港	2132	3989	左下(121.83, 24.48) 右上(122.11, 24.71)	北起蘭縣壯圍鄉與五結鄉交界處，南至蘇澳鎮東澳里南邊；南北邊界相距約 25 km，離岸方向寬度約 20 km。	NAO.99b

商港名稱	節點數	元素數目	格點範圍 WGS84	範圍描述	邊界條件
花蓮港	1653	3014	左下(121.59, 23.81) 右上(121.98, 24.14)	北起花蓮縣新城鄉，南至花蓮縣壽豐鄉，南北邊界相距約 30 公里；外海離岸邊界以大約平行海岸線的方式向外延伸約 20 公里。	NAO.99b
高雄港	3499	6513	左下(120.16, 22.39) 右上(120.47, 22.66)	北起高雄市永安區，南至高屏溪口北岸，離岸方向之邊界則擴展至水深 150m 等水深線附近。	由中尺度臺灣周圍海域水動力模組預測建置，並調整模擬範圍南邊界上水位邊界條件之相位及振幅。
安平港	7481	13696	左下(120.00, 22.83) 右上(120.24, 23.04)	北起曾文溪出海口，南至高雄市茄萣區興達港北側。	由中尺度臺灣周圍海域水動力模組預測建置。
布袋港	3457	6519	左下(119.92, 23.21) 右上(120.39, 23.62)	北起雲林縣箔仔寮漁港，向西延伸約 25.5 公里，南至臺南市將軍漁港，向西延伸約 17.6 公里，南北邊界相距約 44.7 公里。	採用箔仔寮漁港及將軍漁港潮位觀測資料調和分析結果預測建置。
臺中港	4809	8983	左下(120.32, 24.15) 右上(120.64, 24.42)	北起苗栗縣大安鄉，南至彰化縣鹿港鎮。	NAO.99b
臺北港	1867	3388	左下(121.18, 25.12) 右上(121.50, 25.38)	北起新北市三芝區麟山鼻海岸，南至桃園縣蘆竹鄉竹圍海岸，南北距離約為 25.5 公里，離岸方向則由近岸往外海延伸約 9 公里。	NAO.99b

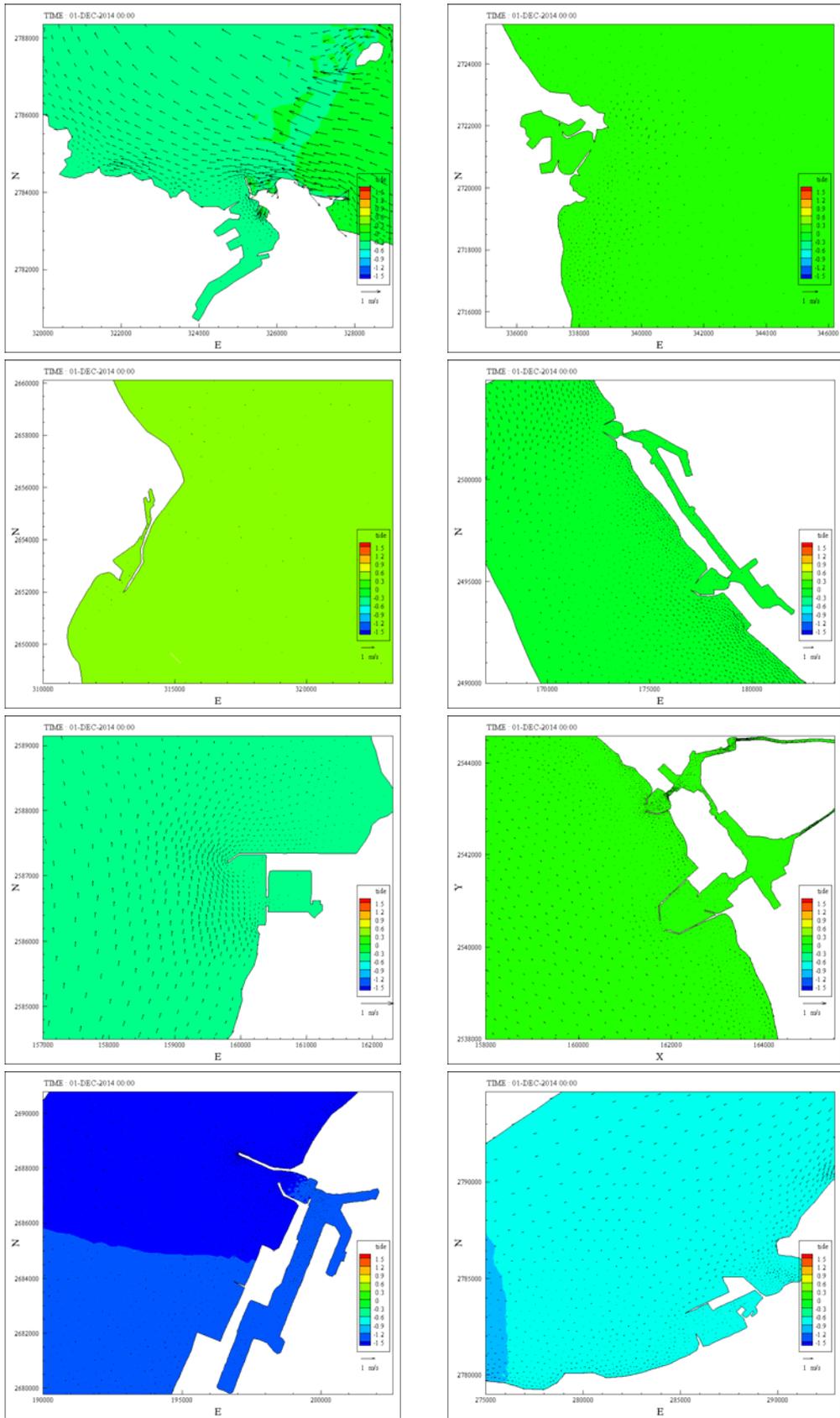


圖 2.30 小尺度潮流輸出展示圖

## 2.1.6 海嘯模組作業化架構

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 5 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，可利用一般電腦或小型伺服器即可完成計算，便能快速掌握可能之最大波高以及抵達時間，提供給各交通部航港局、臺灣港務公司及其分公司作為後續應變之作為之參考。其預警系統主要流程如圖 2.31 所示：

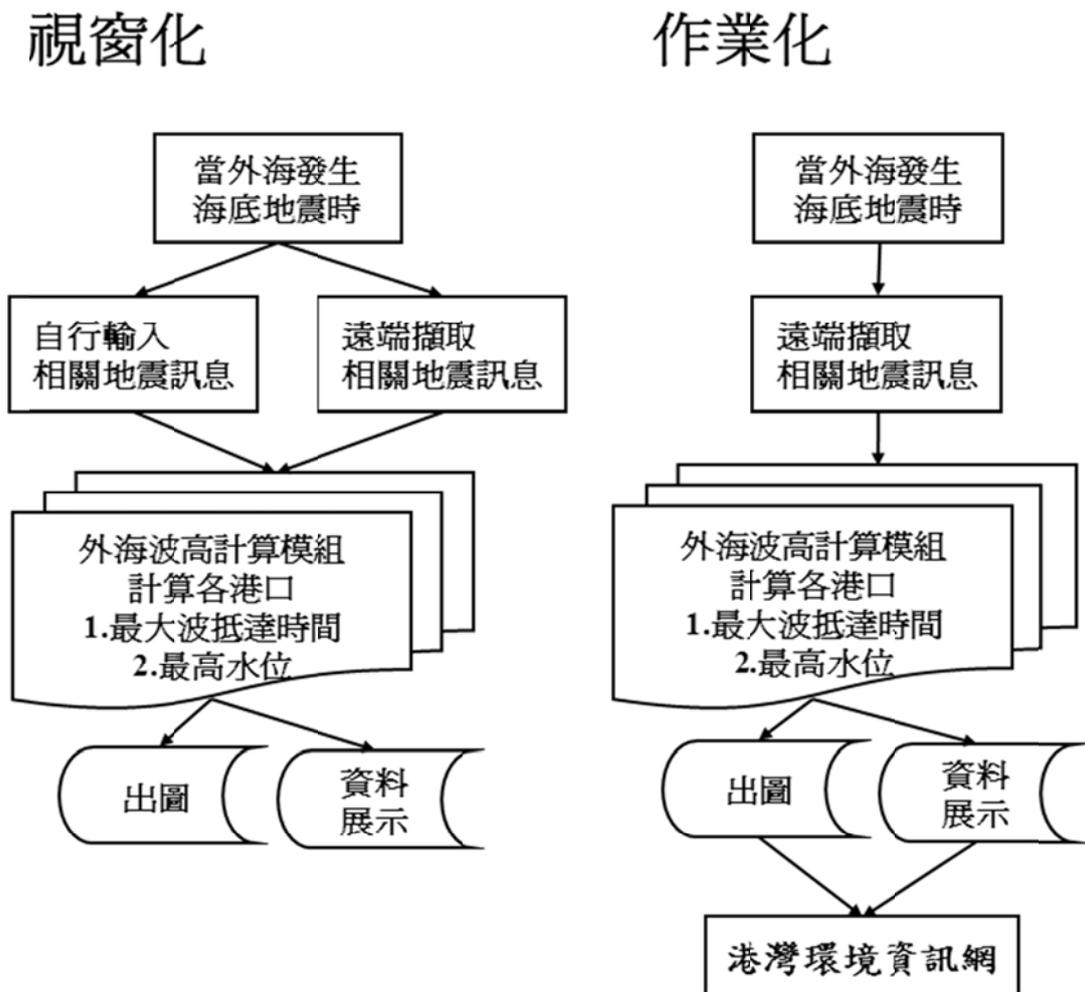


圖 2.31 臺灣國際商港海嘯速算系統流程圖

## 1.視窗化模組

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，8 個港口約要有 1TB 以上空間，但本年度已大幅下降資料量至每港口 25GB，8 個港口共約 200GB 資料。下圖 2.32 為計算範圍水深地形圖。

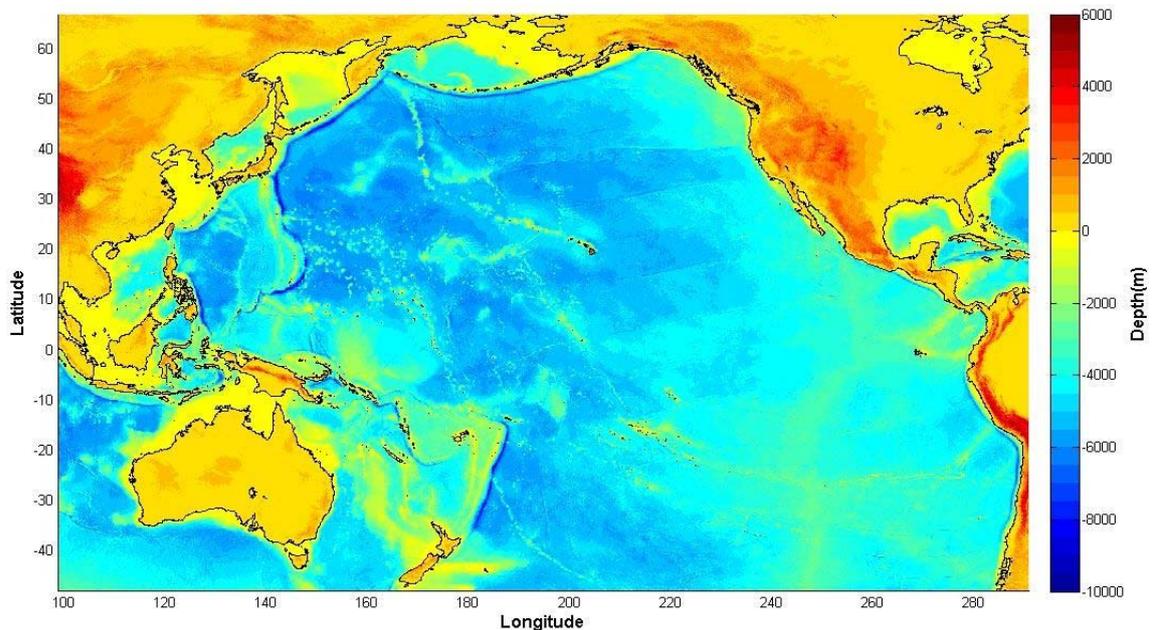


圖 2.32 海嘯系統計算範圍水深地形圖

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，建立臺灣國際商港海嘯速算系統。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，所建置視窗如圖 2.33a 及圖 2.33b 所示。

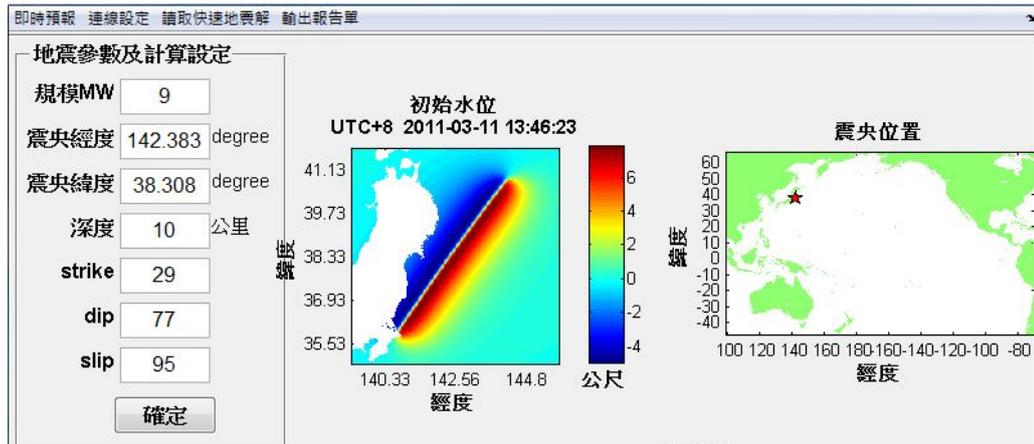


圖 2.33a 視窗化介面之編譯完成圖

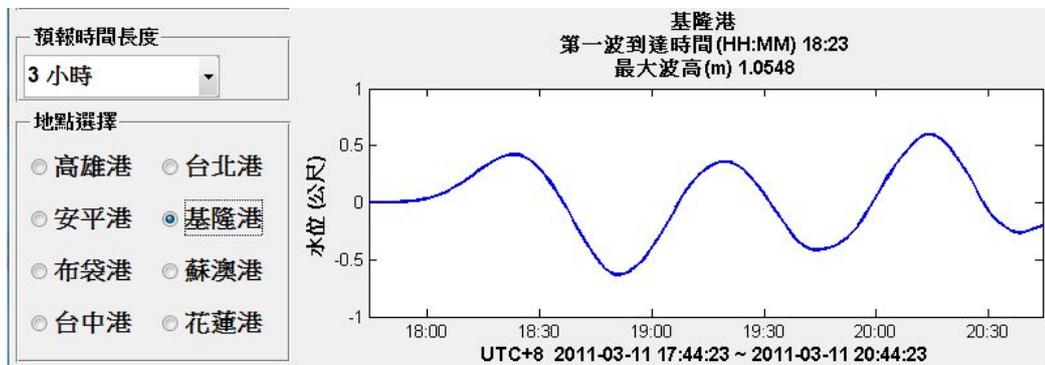


圖 2.33b 視窗化介面之計算成果圖

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，因此本期海嘯作業化主要為利用現有模式改成全自動作業情形，並整合於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 5 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，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、臺灣寬頻地震網及日本防災科學技術研究所，其原 2013 年以前為擷取中央氣象局地震即時資料，但該網站已於 2013 年 7 月後停止更新。

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

<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/>

- (2) 中研院地科所，臺灣地區寬頻地震觀測網(Broadband Array in Taiwan for Seismology (BATS))

<http://bats.earth.sinica.edu.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 3.34a)，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(2) 中研院地科所之地震即時資料(如圖 2.34b 所示)，而日本附近採用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 2.34c)。



圖 2.34a 美國 USGS 資料庫

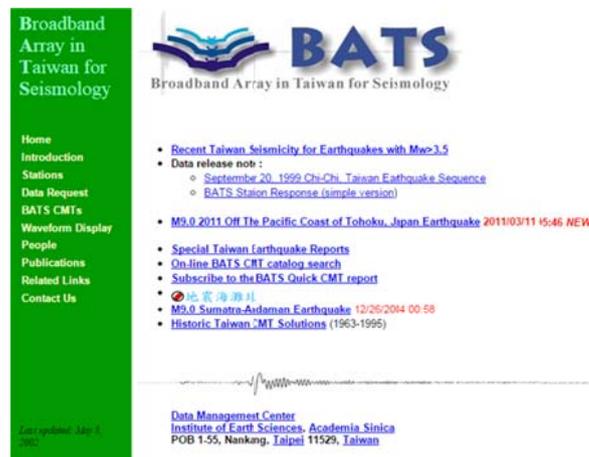


圖 2.34b 中研院地科所，臺灣地區寬頻地震觀測網

原產地時 (UT)	緯度	經度	深度	大小	區域	無功紅
2015/01 / 26,21:09	26.4°N	128.5°E	40公里	MJ 3.9	NEAR OKINAWAJIMA ISLAND	83.03
2015年 / 01 / 26,21:20	24.7°N	127.6°E	70公里	MJ 3.7	NEAR OKINAWAJIMA ISLAND	70.36
2015年 / 01 / 26,15:08	22.9°N	120.4°E	10公里	MJ 4.2	TAIWAN REGION	68.28
2015年 / 01 / 26,14:24	37.1°N	141.2°E	30公里	MJ 3.8	E OFF FUKUSHIMA PREF	74.10
2015年 / 01 / 26,09:26	21.0°N	122.6°E	深	MJ 3.9	FAR S OFF ISHIGAKIJIMA	63.27
2015年 / 01 / 26,04:08	23.6°N	122.7°E	50公里	MJ 3.7	NEAR ISHIGAKIJIMA ISLAND	85.05
2015年 / 01 / 26,01:31	38.2°N	141.7°E	50公里	MJ 3.8	KINKAZAN REGION	86.24
2015年 / 01 / 26,00:10	40.1°N	142.9°E	20公里	MJ 3.8	NE OFF IWATE PREF	74.08
2015/01 / 25,22:52	40.1°N	142.9°E	20公里	MJ 3.8	NE OFF IWATE PREF	75.35
2015年 / 01 / 25,22:34	35.9°N	140.5°E	40公里	MJ 3.8	SOUTHERN IBARAKI PREF	78.58

圖 2.34c 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 EQ20150330074831\_Mw75\_dep41\_USGS，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)。

本年度亦配合 USGS 網頁更新及變動，進行部分程式改寫，並已順利持續截取相關資料。

## 2.2 臺灣主要港口海氣象現場觀測及蒐集

二十多年來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，於基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、臺中港、臺北港與澎湖港及金門港等 10 個商港，其地理位置如圖 2.35 所示，其觀測及蒐集情形於本節簡述。

### (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。

本中心於臺北港、基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、臺中港、與澎湖港及金門港等 10 個主要港口，安裝以 Young Brand 風速計或 Gill 超音波式風速計，各港安裝位置依不同港口於圖 2.51a~圖 2.51k 所示，各測站歷年觀測風資料蒐集概況如表 2-9。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 2.36~圖 2.46 所示，同樣歷年觀測風資料蒐集概況如表 2-9。

### (2) 波浪現場觀測及蒐集

波浪之觀測，本中心於基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、臺中港、臺北港、澎湖港及金門港等 10 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 2.36~圖 2.46 所示，各測站歷年觀測波浪資料

蒐集概況如表 2-10。

### **(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、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、臺中港、臺北港、澎湖港及金門港等 10 個主要港口，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 2.36~圖 2.46 所示，各測站歷年觀測潮汐資料蒐集概況如表 2-12。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 2.36~圖 2.46 所示，同樣歷年觀測潮汐資料蒐集概況如表 2-11。

### **(4)海流現場觀測及蒐集**

海流之觀測，本中心於基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、臺中港、臺北港、澎湖港及金門港等 10 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 2.36~圖 2.46 所示，各測站歷年觀測波浪資料蒐集概況如表 2-12。

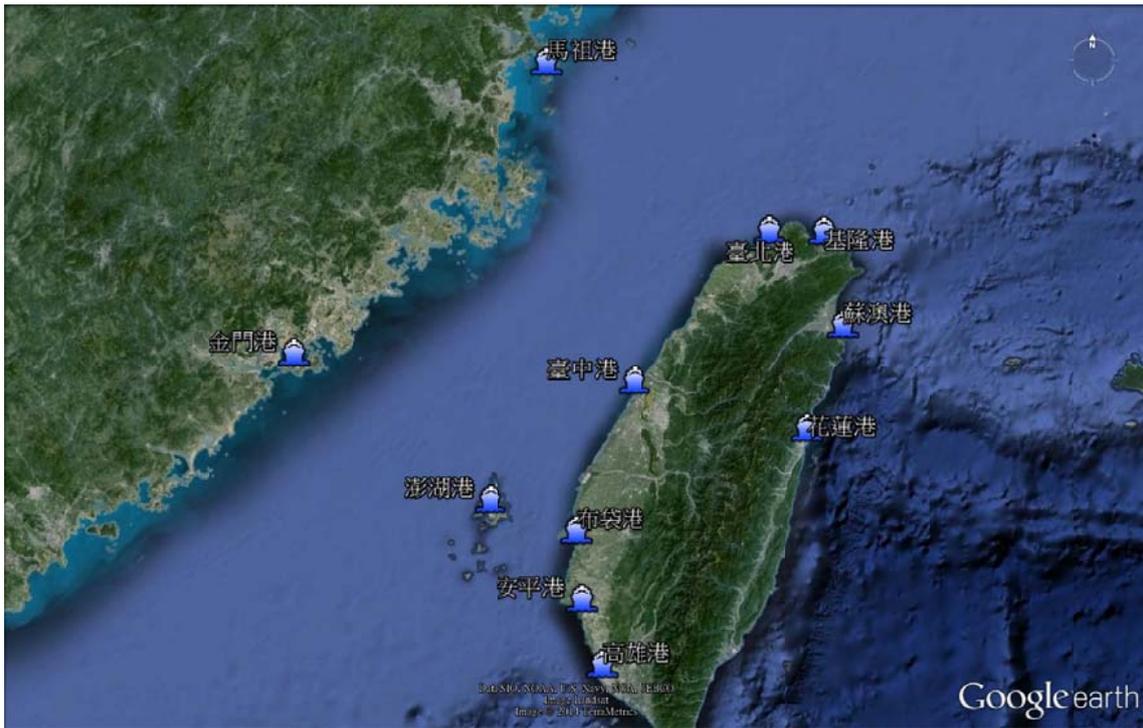


圖 2.35 商港位置圖



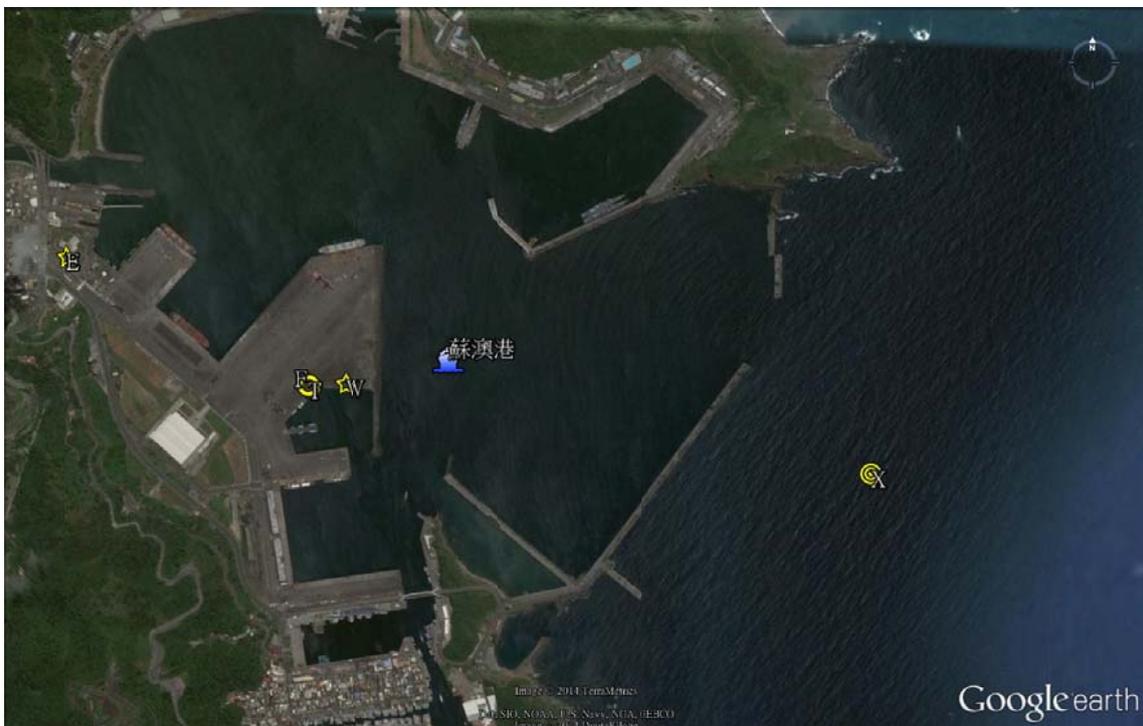
☆ 風速儀    ⊙ 潮位計    ⬡ 觀測樁

圖 2.36 臺北港海氣象觀測位置圖



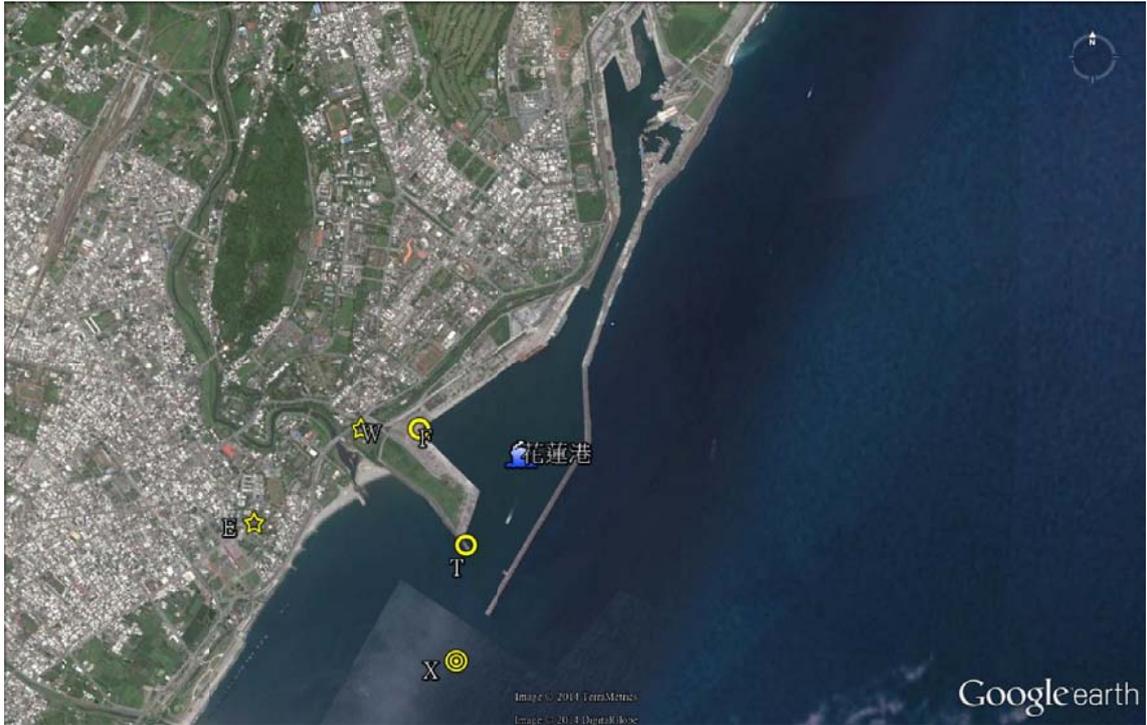
☆ 風速儀    ⊙ 潮位計    ⊙ 波流儀

圖 2.37 基隆港海氣象觀測位置圖



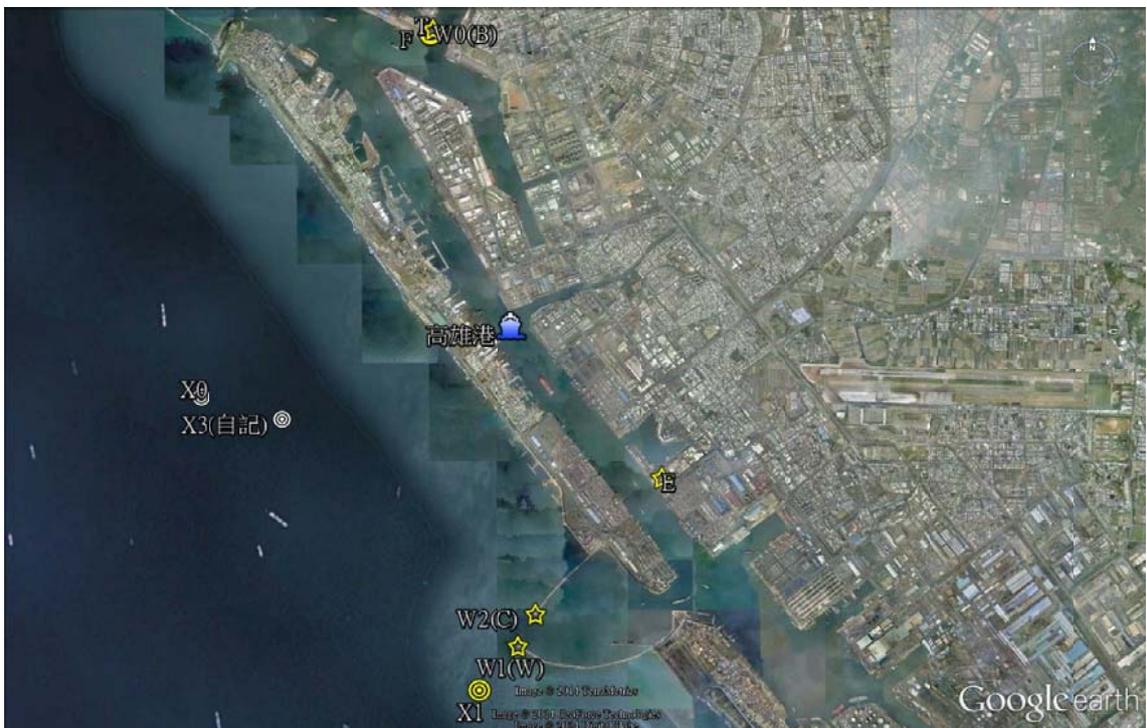
☆ 風速儀    ⊙ 潮位計    ⊙ 波流儀

圖 2.38 蘇澳港海氣象觀測位置圖



☆ 風速儀    ⊙ 潮位計    ⊗ 波流儀

圖 2.39 花蓮港海氣象觀測位置圖



☆ 風速儀    ⊙ 潮位計    ⊗ 波流儀

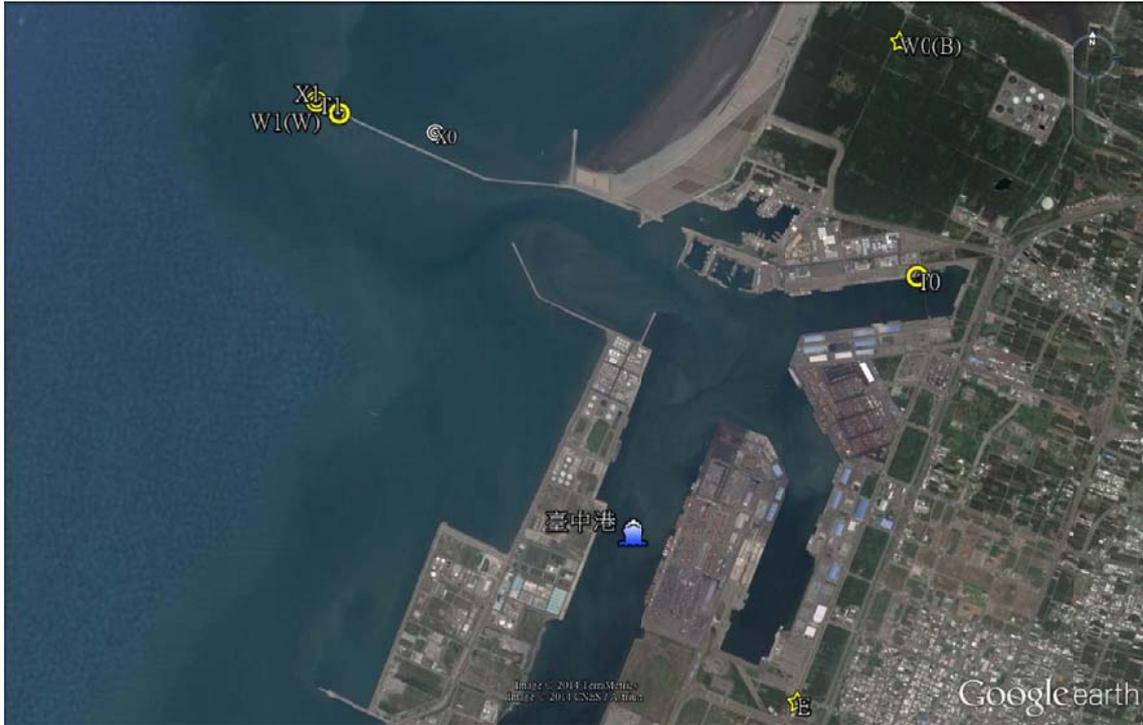
圖 2.40 高雄港海氣象觀測位置圖



☆ 風速儀    ⊙ 潮位計    ⬡ 觀測樁  
**圖 2.41 安平港海氣象觀測位置圖**

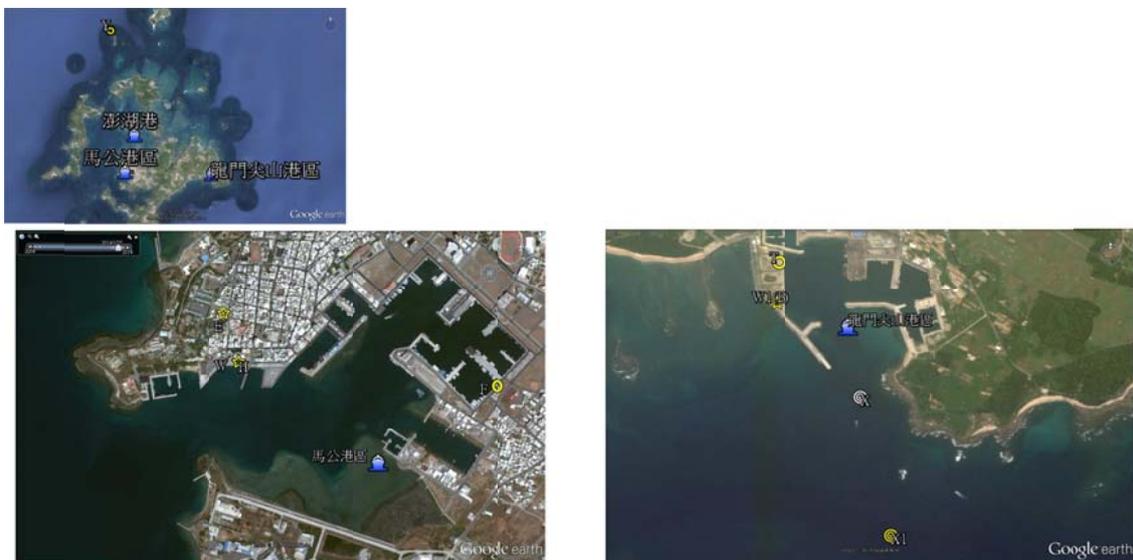


☆ 風速儀    ⊙ 潮位計    ⊙ 波流儀  
**圖 2.42 布袋港海氣象觀測位置圖**



☆ 風速儀    ⊙ 潮位計    ⊙ 波流儀

圖 2.43 臺中港海氣象觀測位置圖



☆ 風速儀    ⊙ 潮位計    ⊙ 波流儀    ⊙ 氣象局浮標

圖 2.44 澎湖港海氣象觀測位置圖



☆ 風速儀    ⊙ 潮位計    ⊙ 氣象局浮標

圖 2.45 金門海氣象觀測位置圖



☆ 風速儀    ⊙ 潮位計    ⊙ 氣象局浮標

圖 2.46 馬祖海氣象觀測位置圖

表 2-9 觀測風力資料蒐集概況表

序號	港區名稱	測站	觀測期間	觀測單位	備註
1	臺北港(TP)	X0	1996/10-2004/09	港研中心	Young Brand 風速計，舊觀測樁
2	臺北港(TP)	X1	2005/01-2013/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計，新觀測樁
3	臺北港(TP)	W	2009/08-2012/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計，北堤風速計
4	臺北港(TP)	E	2004/01-2013/11(觀測中)	中央氣象局	Young Brand 風速計
5	基隆港(KL)	W	2002/06-2013/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計 2011年10月改 Gill 二維超音波式風速計
6	基隆港(KL)	E	1999/01-2013/11(觀測中)	中央氣象局	
7	蘇澳港(SA)	W	2003/06-2013/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計 2012年10月改 Gill 二維超音波式風速計
8	蘇澳港(SA)	E	1999/01-2013/11(觀測中)	中央氣象局	
9	花蓮港(HL)	W	2002/06-2013/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計 2007年12月改 Gill 三維超音波式風速計
10	花蓮港(HL)	E	1981/02-2013/11(觀測中)	中央氣象局	
11	高雄港(KH)	W0	2002/06-2013/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計(B 站)，10 號碼頭 2010年10月改 Gill 二維超音波式風速計
12	高雄港(KH)	W1	2010/09-2013/11(觀測中)	港研中心	超音波風速計(W 站)，二港紅燈塔
13	高雄港(KH)	W2	2010/09-2013/11(觀測中)	港研中心	超音波風速計(C 站)，二港白燈塔
14	高雄港(KH)	E	1999/01-2013/11(觀測中)	中央氣象局	
15	安平港(AP)	X0	1999/10-2011/07	港研中心	Young Brand 風速計，觀測樁
16	安平港(AP)	X1	2010/12-2013/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計，南堤
17	安平港(AP)	W	2009/08-2013/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計，信號臺
18	布袋港(PT)	W	2006/08-2013/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計
19	臺中港(TC)	W0	1981/02-2013/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計(B 站)，北防風林 2009年9月改 Gill 二維超音波式風速計
20	臺中港(TC)	W1	1996/09-1997/11 2010/10-2013/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計(W 站)，北堤燈塔 2009年9月改 Gill 二維超音波式風速計
21	臺中港(TC)	E	1996/09-2013/11(觀測中)	中央氣象局	
22	澎湖港(PH)	W	2009/12-2013/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計，馬公港區

序號	港區名稱	測站	觀測期間	觀測單位	備註
23	澎湖港(PH)	W1	2009/12-2013/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計(B 站)，龍門尖山港區
24	澎湖港(PH)	E	-2013/11(觀測中)	中央氣象局	
25	澎湖港(PH)	Y	-2013/11(觀測中)	水利署	澎湖資料浮標
26	澎湖港(PH)	H	-2013/11(觀測中)	港務公司	
27	金門港(KM)	W	2010/12-2013/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計，水頭港區
28	金門港(KM)	W1	2012/08-2013/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計(B 站)，料羅港區
29	金門港(KM)	E	-2013/11(觀測中)	中央氣象局	
30	金門港(KM)	Y	-2013/11(觀測中)	水利署	金門資料浮標
31	馬祖港(MT)	W	-2013/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計，福澳港區
32	馬祖港(MT)	E	2004/01-2013/11(觀測中)	中央氣象局	

表 2-10 觀測波浪資料蒐集概況表

序號	港區名稱	測站	觀測期間	觀測單位	備註
1	臺北港(TP)	X0	1996/10-2004/09	港研中心	S4，舊觀測樁
2	臺北港(TP)	X1	2004/12-2013/11(觀測中)	港研中心	AWCP，新觀測樁
3	基隆港(KL)	X0	2001/06-2006/05	港研中心	AWCP，東堤外海
4	基隆港(KL)	X1	2006/08-2013/11(觀測中)	港研中心	AWCP，西堤外海
5	基隆港(KL)	X2	2011/08-2013/11(觀測中)	港研中心	AWCP，東堤外海
6	蘇澳港(SA)	X	2002/08-2013/11(觀測中)	港研中心	AWCP
7	花蓮港(HL)	X	2000/09-2013/11(觀測中)	港研中心	AWCP，東堤外海
8	高雄港(KH)	X0	2000/12-2005/08	港研中心	AWCP，中洲外海
9	高雄港(KH)	X1	2005/08-2013/11(觀測中)	港研中心	AWCP，2 港口外海
10	安平港(AP)	X0	1999/10-2011/07	港研中心	S4 及 AWCP，觀測樁
11	安平港(AP)	X1	2011/08-2013/11(觀測中)	港研中心	AWCP
12	布袋港(PT)	X	2006/06-2010/03	港研中心	AWCP
13	布袋港(PT)	X1	2012/08-2013/11(觀測中)	港研中心	AWCP
14	臺中港(TC)	X0	1999/10-2000/08	港研中心	AWCP，北堤外海(延伸前)
15	臺中港(TC)	X1	2003/07-2013/11(觀測中)	港研中心	AWCP，北堤外海
16	澎湖港(PH)	X	2011/01-2012/04	港研中心	AWCP，龍門尖山港區外海
17	澎湖港(PH)	X1	2013/06-2013/11(觀測中)	港研中心	AWCP，龍門尖山港區外海

表 2-11 觀測潮汐資料蒐集概況表

序號	港區名稱	測站	觀測期間	觀測單位	備註
1	臺北港(TP)	T	2009/09-2013/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計
2	臺北港(TP)	X0	1996/10-2004/09	港研中心	S4, 舊觀測樁
3	臺北港(TP)	X1	2005/01-2013/11(觀測中)	港研中心	S4、AWCP, 新觀測樁
4	臺北港(TP)	F	1994/10-2013/11(觀測中)	水利署	
5	基隆港(KL)	T	2002/07-2013/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計
6	基隆港(KL)	X0	2001/06-2006/05	港研中心	AWCP, 東堤外海
7	基隆港(KL)	X1	2006/08-2011/07	港研中心	AWCP, 西堤外海
8	基隆港(KL)	X2	2011/08-2013/11(觀測中)	港研中心	AWCP, 東堤外海
9	基隆港(KL)	F	1966/01-2013/11(觀測中)	中央氣象局	
10	蘇澳港(SA)	T	2003/06-2013/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計
11	蘇澳港(SA)	X	2002/08-2013/11(觀測中)	港研中心	AWCP
12	蘇澳港(SA)	F	1981/01-2013/11(觀測中)	中央氣象局	
13	花蓮港(HL)	T	2001/07-2013/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計
14	花蓮港(HL)	X	2000/09-2013/11(觀測中)	港研中心	AWCP, 東堤外海
15	花蓮港(HL)	F	1980/01-2013/11(觀測中)	中央氣象局	
16	高雄港(KH)	T	2003/06-2013/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計, 10 號碼頭
17	高雄港(KH)	X0	2000/12-2005/08	港研中心	AWCP, 中洲外海
18	高雄港(KH)	X1	2005/08-2013/11(觀測中)	港研中心	AWCP, 2 港口外海
19	高雄港(KH)	F	1988/01-2013/11(觀測中)	港務公司	
20	安平港(AP)	X0	1999/10-2011/07	港研中心	Water Log 潮位計, 觀測樁
21	安平港(AP)	X1	2011/08-2013/11(觀測中)	港研中心	AWCP
22	安平港(AP)	T	1979/03-1993/06	港務局	
23	安平港(AP)	T	2008/08-2013/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計
24	布袋港(PT)	T	2008/08-2011/07	港研中心	Water Log 潮位計
25	布袋港(PT)	T1	2011/08-2013/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計
26	布袋港(PT)	X	2006/06-2010/03	港研中心	AWCP
27	布袋港(PT)	X1	2012/08-2013/11(觀測中)	港研中心	AWCP
28	臺中港(TC)	T	1989/12-2013/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計, 4 號碼頭
29	臺中港(TC)	X0	1999/10-2000/08	港研中心	AWCP, 北堤外海(延伸前)
30	臺中港(TC)	X1	2003/07-2013/11(觀測中)	港研中心	AWCP, 北堤外海
31	澎湖港(PH)	T	2011/01-2013/11(觀測中)	港研中心	Water Log 龍門尖山港區潮位計
31	澎湖港(PH)	T1	2012/06-2013/11(觀測中)	港研中心	Water Log 馬公港區潮位計
32	澎湖港(PH)	X	2011/01-2012/04	港研中心	AWCP, 龍門尖山港區外海
33	澎湖港(PH)	X1	2013/06-2013/11(觀測中)	港研中心	AWCP, 龍門尖山港區外海
33	澎湖港(PH)	F	-2013/11(觀測中)	中央氣象局	澎湖潮位站

序號	港區名稱	測站	觀測期間	觀測單位	備註
34	金門港(KM)	T	2011/01-2013/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計，水頭港區
35	金門港(KM)	F1	-2013/11(觀測中)	水利署	水頭潮位站
36	金門港(KM)	F2	-2013/11(觀測中)	水利署	料羅灣潮位站
37	馬祖港(MT)	T	-2013/11(觀測中)	港研中心	福澳港潮位站
38	馬祖港(MT)	F	-2013/11(觀測中)	內政部	馬祖潮位站

表 2-12 觀測流場資料蒐集概況表

序號	港區名稱	測站	觀測期間	觀測單位	備註
1	臺北港(TP)	X0	1996/10-2004/09	港研中心	S4，舊觀測樁
2	臺北港(TP)	X1	2004/12-2013/11(觀測中)	港研中心	S4、AWCP，新觀測樁
3	基隆港(KL)	X0	2001/06-2006/05	港研中心	AWCP，東堤外海
4	基隆港(KL)	X1	2006/08-2011/08	港研中心	AWCP，西堤外海
5	基隆港(KL)	X2	2011/08-2013/11(觀測中)	港研中心	AWCP，東堤外海
6	蘇澳港(SA)	X	2002/08-2013/11(觀測中)	港研中心	AWCP
7	花蓮港(HL)	X	2000/09-2013/11(觀測中)	港研中心	AWCP，東堤外海
8	高雄港(KH)	X0	2000/12-2005/08	港研中心	AWCP，中洲外海
9	高雄港(KH)	X1	2005/08-2013/11(觀測中)	港研中心	AWCP，2 港口外海
10	安平港(AP)	X0	1999/10-2011/07	港研中心	S4 及 AWCP，觀測樁
11	安平港(AP)	X1	2011/08-2013/11(觀測中)	港研中心	AWCP
12	布袋港(PT)	X	2006/06-2010/03	港研中心	AWCP
13	布袋港(PT)	X1	2012/08-2013/11(觀測中)	港研中心	AWCP
14	臺中港(TC)	X0	1999/10-2000/08	港研中心	AWCP，北堤外(延伸前)
15	臺中港(TC)	X1	2003/07-2013/11(觀測中)	港研中心	AWCP，北堤外
16	澎湖港(PH)	X	2011/01-2012/04	港研中心	AWCP，龍門尖山港區外海
17	澎湖港(PH)	X1	2013/06-2013/11(觀測中)	港研中心	AWCP，龍門尖山港區外海

## 2.3 港灣環境資訊系統

本系統對外數值預報資訊及即時海嘯模擬資訊展示部分已逐步整合於本中心港灣環境資訊系統內，提供外界使用。本年度持續配合港灣環境資訊系統需求提供更多相關數值模擬成果。

港灣環境資訊系統之架構與功能需求等配合港灣環境工作擬定與規劃，包含本所中心港灣環境觀測及模擬成果，架構共區分為共區分為海氣象觀測資訊、海象模擬資訊、港區影像系統、港區地震系統及海嘯模擬資訊等子系統並持續擴充，詳細內容可參考本中心，104 年度研究計畫，港灣環境資訊服務系統功能提升規劃與建置(2/4)。本節僅針對港灣環境系統概述及港灣環境資訊系統於本計畫相關海象觀測資訊，與海象模擬資訊、海嘯模擬資訊及藍色公路模擬資訊介接說明。

### 2.3.1 港灣環境資訊系統概觀

港灣環境資訊系統架構主要是彙整本中心各項系統資料庫、文字及影像等所回傳接收彙整儲存之資料庫，利用網頁資訊結合 Google Map 之技術，整合空間與屬性資訊提供分析、展示、儲存、管理及之應用支援系統，以進行多元化的資料展示，亦可以充分提供管理單位多方面的資訊，以作為港區防救災政策研擬之參考依據，並提供管理者綜觀的港埠發展管理規劃參考；港灣環境資訊系統採用多階層式功能模組架構，以提昇系統效率及穩定性。依據目前港灣環境資訊系統硬體規劃架構，可區分現場觀測儀器、海情中心應用系統主機群及使用者三大部分。

現場觀測儀器主要負責觀測各種海氣象觀測資料，如風、潮汐、波浪、海流及溫度等即時觀測資料、地震監控、大地腐蝕、港區即時影像及船舶自動辨識系統 AIS(Automatic Identification system)信號等，目前港灣環境資訊系統與海氣象觀測資料之即時觀測資料、地震監控、

大地腐蝕及 AIS 資料庫是透過內部網路以資料庫複寫(SQL DB replication)方式進行相關系統資料同步與接收。

港灣環境資訊系統的資料接收模組於接收到資料後會進行資料品管加值處理後儲存於海氣象資料庫中，並且將即時觀測資訊提供近岸數值模擬系統模式演算應用。海氣象數值模擬及海嘯預報資訊投過固定文字格式載入資料庫內。於即時影像則透過政府網際服務網虛擬專用網路(GSN/VPN)，或專線進行各即時影像系統連接以提供港區域即時影像。以上之系統架構如下圖 2.47 港灣環境資訊系統架構圖所示：

港灣環境資訊系統網頁功能採用三層式架構建置，分別由網頁伺服器 IIS Server(Internet Information Services server)，包含使用者端的 Portal、網頁功能及管理模組與資料收集端等功能模組共同建構『港灣環境資訊網』如圖 2.48 港灣環境資訊網功能方塊圖所示：

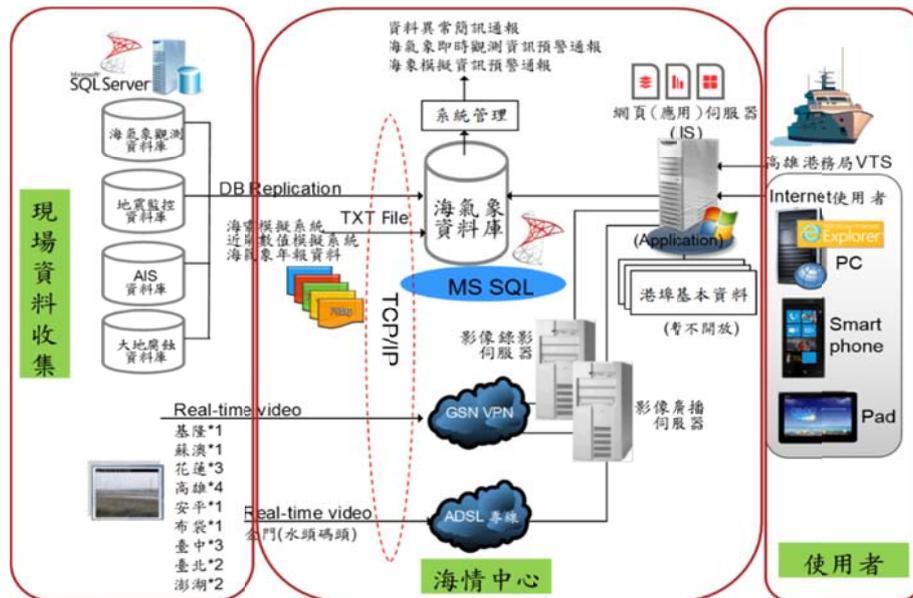


圖 2.47 港灣環境資訊系統架構圖

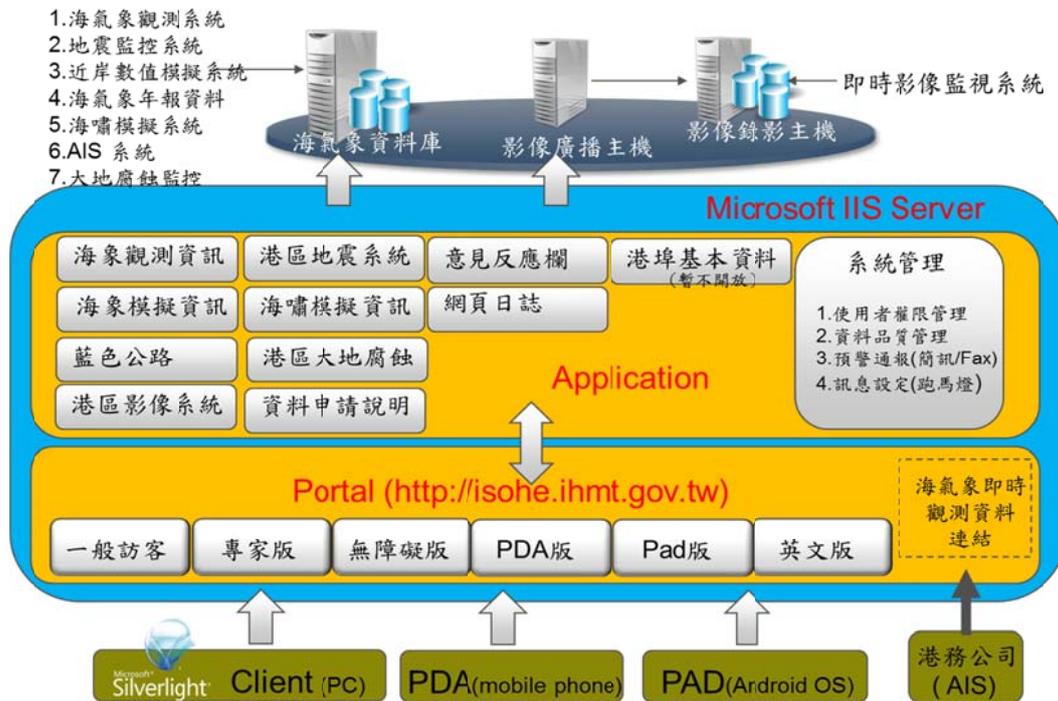


圖 2.48 港灣環境資訊網功能方塊圖

目前『港灣環境資訊網』已可提供使用者透過個人電腦(PC)、手持式裝置(PDA、智慧型手機)及平板電腦(Pad/Android)進行網頁資訊瀏覽等。『港灣環境資訊網』首頁如下圖 2.49 港灣環境資訊網(首頁)所示：



(<http://isohe.ihmt.gov.tw>)

圖 2.49 港灣環境資訊網(首頁)

### 2.3.2 海氣象觀測資訊

所完成建立資料庫連結中心即時海氣象資料包含基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、臺中港、臺北港、澎湖、金門、馬祖等港口的海氣象資料會由觀測資料庫同步程式定時擷取以及每年手動方式匯入上年度相關海象觀測年報資料，至 2013 年度增加匯入中央氣象局海氣象觀測資料。

#### 2.3.2.1 港口測站即時觀測及年報資料庫介接架構

資料介接各地區等港口的海氣象資料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，再藉由資料品管及匯入程式將各地區港口之海氣象即時資料(風力、潮汐、波浪、海流、水溫)匯入至正式資料庫。歷史年報資料提供統計圖表查詢所使用的數據，且於網頁中繪製成直方圖、玫瑰圖以及相對的統計數據表格，讓使用者查詢觀看。以下分為年度、港口以及海氣象項目，將目前資料庫中所匯入的年報資料做個分析與記錄資料的穩定性，目前港灣環境資訊網已匯入 2005/12~2012/11 的歷史年報資料至海情正式資料庫。

每年度亦將上年度相關海象觀測年報資料，彙整相關格式後匯入。資料庫介接架構圖如圖 2.50 海氣象觀測及年報資料庫介接架構圖所示：

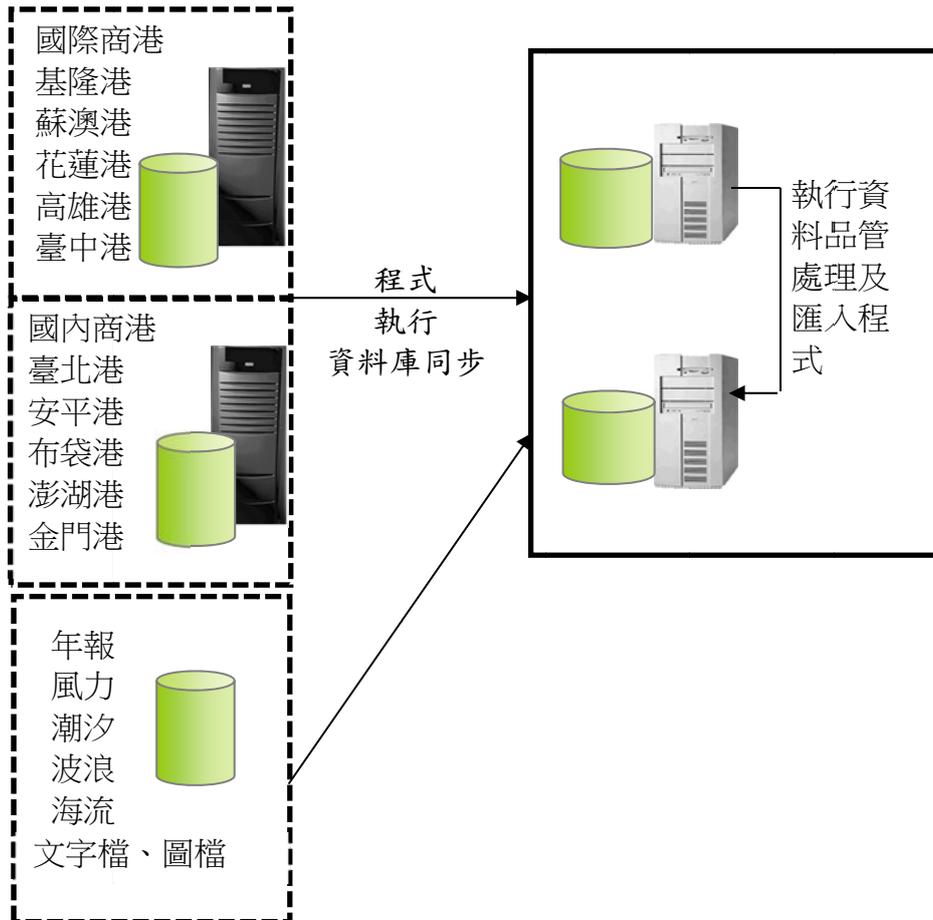


圖 2.50 海氣象觀測及年報資料庫介接架構圖

### 2.3.2.2 中央氣象局觀測資料介接架構

目前中央氣象局所提供相關的海氣象觀測資料，包含中央氣象局浮標(風力、波浪)及潮位站等觀測資料，並如圖 2.51 中央氣象局潮位站觀測資料所示，以固定資料文字檔格式，將相關資料之提供方式、擷取頻率與資料內容匯入於海情資料庫中。現階段資料介接本系統經由 FTP 方式，定時擷取中央氣象局提供的海氣象觀測資料於固定位置，而海情中心伺服器則採以自動化作業資料介接程式彙整。

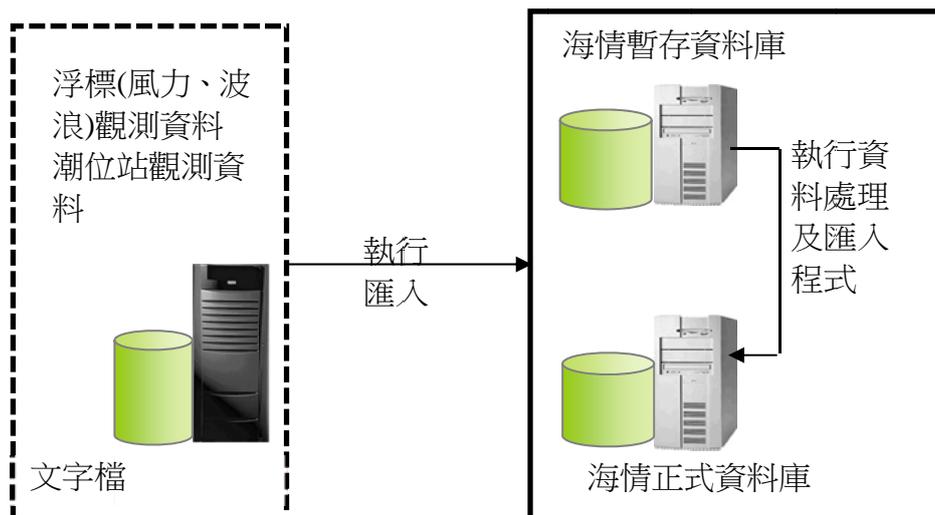


圖 2.51 中央氣象局資料庫介接架構圖

### 2.3.2.3 網頁展示

目前港灣環境資訊系統主要應用 Microsoft Silverlight 元件播放效果流暢及高清視頻品質整合開發與設計工具集合於首頁、動態歷線圖二個功能項目已可提供本所各港即時觀測資訊整合，包含風力、潮汐、波浪、海流如附圖 2.52 所示，並提供各港彙整資料如附圖 2.53 所示，便於使用者掌握各港海氣象資訊，

點選頁籤中即時觀測系統主項目，即可進入海氣象歷線圖，可直接切換瀏覽其他港口的海氣象歷線圖，並且將系統內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，圖 2.54 為查詢時臺北港海氣象波浪觀測歷線圖及資料表。

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了解港區地理位置以及觀測儀器測站位置，於海氣象測站位置圖頁面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。



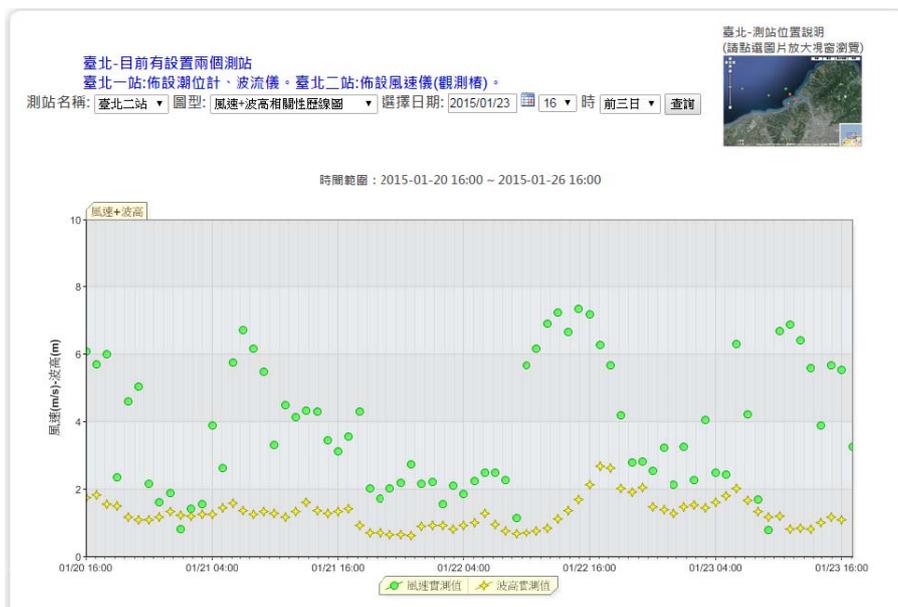


圖 2.54 海氣象歷線圖(以臺北港 風速+波高歷線圖為例)

另外現階段已將中央氣象局提供的資料檔案再透過同步、資料匯入程式將資料儲放於海情資料庫中，目前針對已取得之海氣象觀測資訊，做綜合表如下圖 2.55 中央氣象局觀測資料綜合表所示，此部分僅先內部使用，提供包含測站、觀測時間、風速、風向、水溫、波高、週期、波向、流速、流向、水位等資訊使用者瀏覽查詢，本部分仍在內部評估中。

圖 2.55 中央氣象局觀測資料綜合表

### 2.3.3 海象模擬資訊

本計畫所建置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。

波浪(REF/DIF 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，小尺度波浪及海流已陸續完成建置完成主要港口包含臺北港、基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港布袋港及臺中港。2013 年度開始提供新增風場模式(WRF)，與臺灣近岸區域及藍色公路路線之模擬資料，提供查詢及應用。

#### 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介接現況說明如圖 2.56 所示，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。

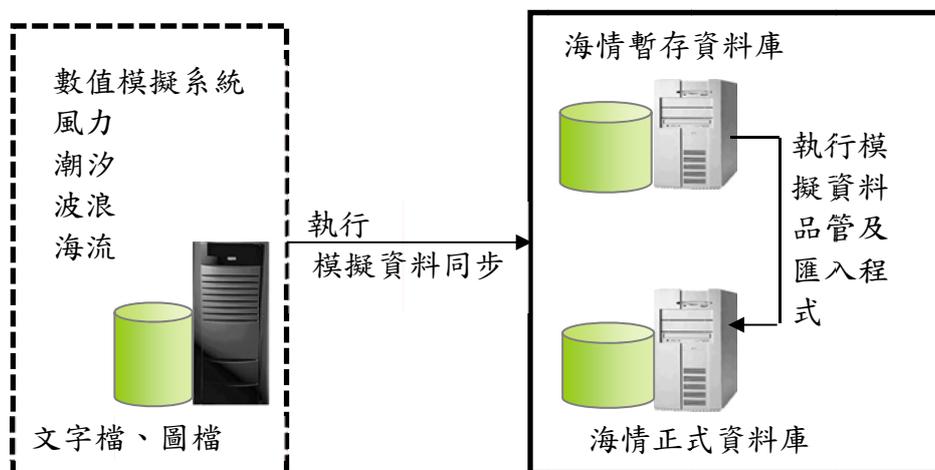


圖 2.56 海象數值模擬資料介接系統架構圖

## 2.網頁展示

海象模擬網頁展示，同時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 2.57 所示)與綜合查詢資訊如圖 2.58 及圖 2.59 所示，其內包含模擬資料如表 2-13 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臺中港風場模擬 (WRF(WA02)、WRF(WA03)) 歷線圖如圖 2.60 及臺中港波場模擬(大尺度、中尺度、小尺度) 如圖 2.61，布袋港相對潮位歷線圖如圖 2.62 及臺北港流速歷線與流向歷線說明如圖 2.63 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完成如圖 2.64WRF 風場、圖 2.65 花蓮港小尺度波場動畫圖及圖 2.66 高雄港小尺度流場動畫圖為例，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。另於系統內展示區域性質海氣象資料，目前展示波高、波向、風速及風向，展示方式如圖 2.67 所示，將沿海區域分區展示其各項目。

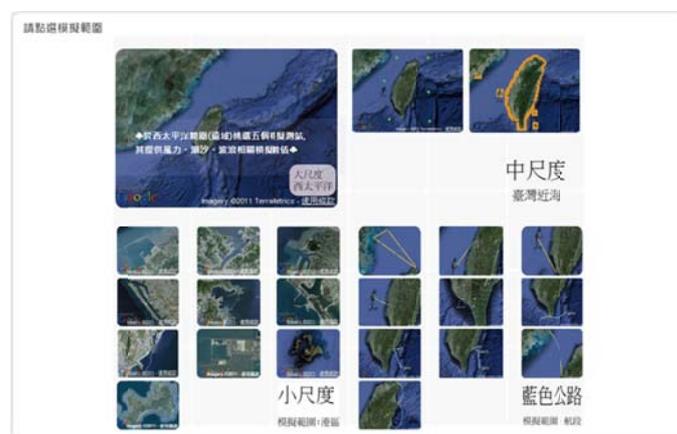


圖 2.57 海象模擬資訊網頁展示圖



圖 2.58 海象模擬資訊(波浪資料)

▲ 本網頁於整點更新頁面! 數值模擬資訊於每日8點更新，其顯示資料尚未經嚴密管程序，請參酌使用!

回前頁

目前時間:2015-01-23 17:00:00

測站名稱	時間	模擬風力(Wind)		模擬潮汐(Tide)		模擬波浪(Wave)/模擬潮流(Current)					壓縮圖	
		模擬風速(公尺/秒)	模擬風向(度)	時間	模擬潮位(公尺)	時間	模擬波高(公尺)	模擬波向(度)	模擬週期(秒)	模擬流速(公尺/秒)		模擬流向(度)
基隆港	17:00	3.97	100.40	17:00	-0.15	17:00	1.23	57.64	7.59	0.03	114.27	壓縮圖
蘇澳港	17:00	1.01	147.10	17:00	0.13	17:00	2.32	57.40	7.58	x	x	壓縮圖
花蓮港	17:00	1.58	357.00	17:00	0.15	17:00	1.88	76.07	7.57	x	x	壓縮圖
高雄港	17:00	5.64	332.10	17:00	-0.03	17:00	0.38	272.10	2.92	0.20	139.38	壓縮圖
臺中港	17:00	8.24	10.70	17:00	-0.65	17:00	1.26	0.30	5.30	0.21	238.00	壓縮圖
臺北港	17:00	6.09	85.50	17:00	-0.51	17:00	1.03	17.70	7.77	0.37	51.69	壓縮圖
安平港	17:00	7.66	351.10	17:00	-0.21	17:00	0.37	290.20	3.57	x	x	壓縮圖
布袋港	17:00	8.21	3.20	17:00	-0.53	17:00	0.30	311.10	2.59	0.12	179.62	壓縮圖
澎湖	17:00	7.87	10.70	17:00	-0.36	17:00	0.77	35.20	4.97	x	x	壓縮圖
金門	17:00	6.90	66.80	17:00	0.38	17:00	1.04	66.80	4.75	x	x	壓縮圖

● 風力模擬資料採以中尺度範圍的WRF預報風場模式計算後之結果呈現、● 潮位模擬資料採以中尺度範圍計算後之結果呈現  
 ● 波浪模擬資料採以中尺度(金門、澎湖)SWAN模式/小尺度REF模式計算後之結果呈現  
 ● 潮流模擬資料採以小尺度範圍的fehdm模式計算後之結果呈現。  
 ☆ 「x」尚無數值模擬資料。

圖 2.59 海象模擬資訊(綜合表)

表 2-13 海象模擬資訊展示內容彙整表

範圍	資料及圖檔	展示內容
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(WA01、WA02、WA03)
		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、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、臺中港、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	近岸波高分佈圖(基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、臺中港、臺北港)
		近岸流速向量場分佈圖(基隆港、臺中港、布袋港、臺北港)

範圍	資料及圖檔	展示內容
動態資訊 模擬區域海象	動態自選點模擬資訊	港區海域範圍及離島-澎湖、金門、馬祖等範圍，提供相關之風力-(風速,風向)、波浪-(波高,波向)數值模擬資訊
藍色公路	航段海象預報	提供各航段上，風場-(風速,風向)及波浪-(波高,波向)數值模擬資料



WRF(WA02)



WRF(WA03)

圖 2.60 展示臺中港風力模擬歷線圖



圖 2.61 展示臺中港波浪模擬 (大尺度、中尺度、小尺度) 歷線圖

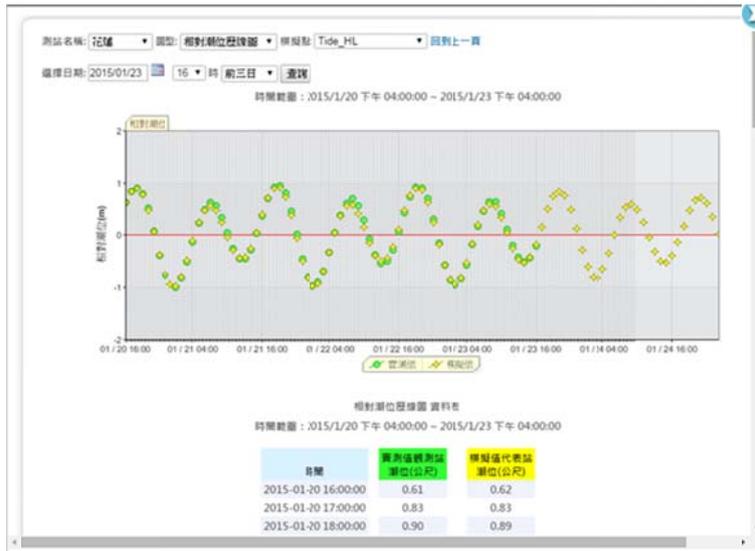
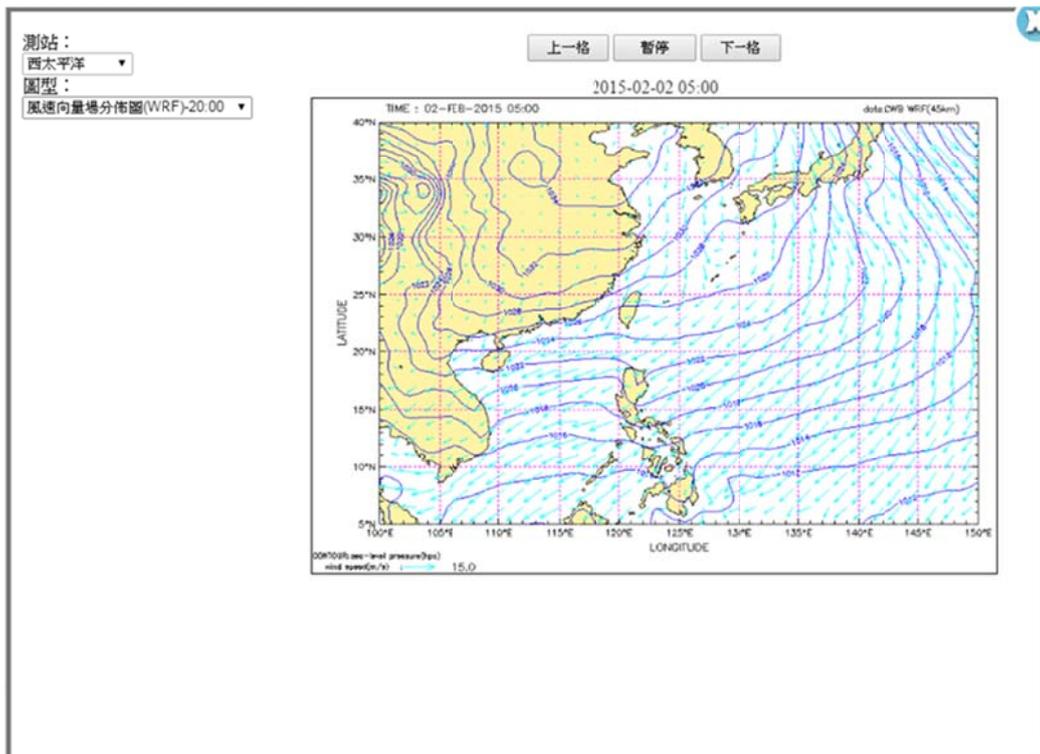


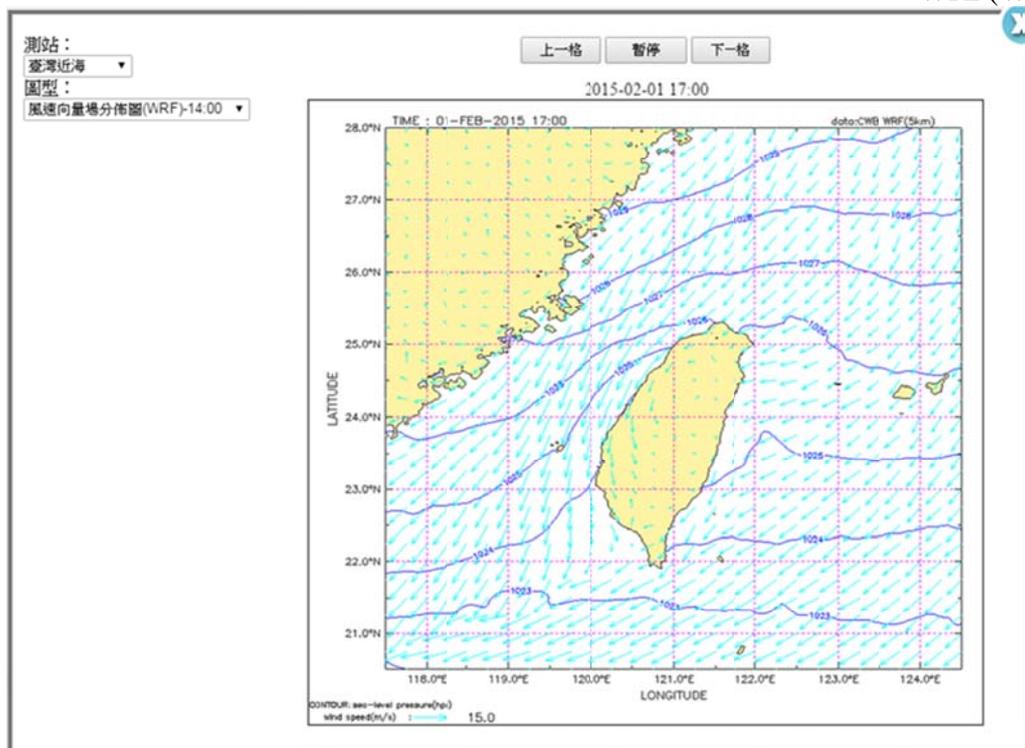
圖 2.62 展示花蓮港相對潮位歷線圖



圖 2.63 展示臺北港流速及流向歷線圖



WRF(WA01)



WRF(WA03)

圖 2.64 WRF 模式-風場圖型動畫

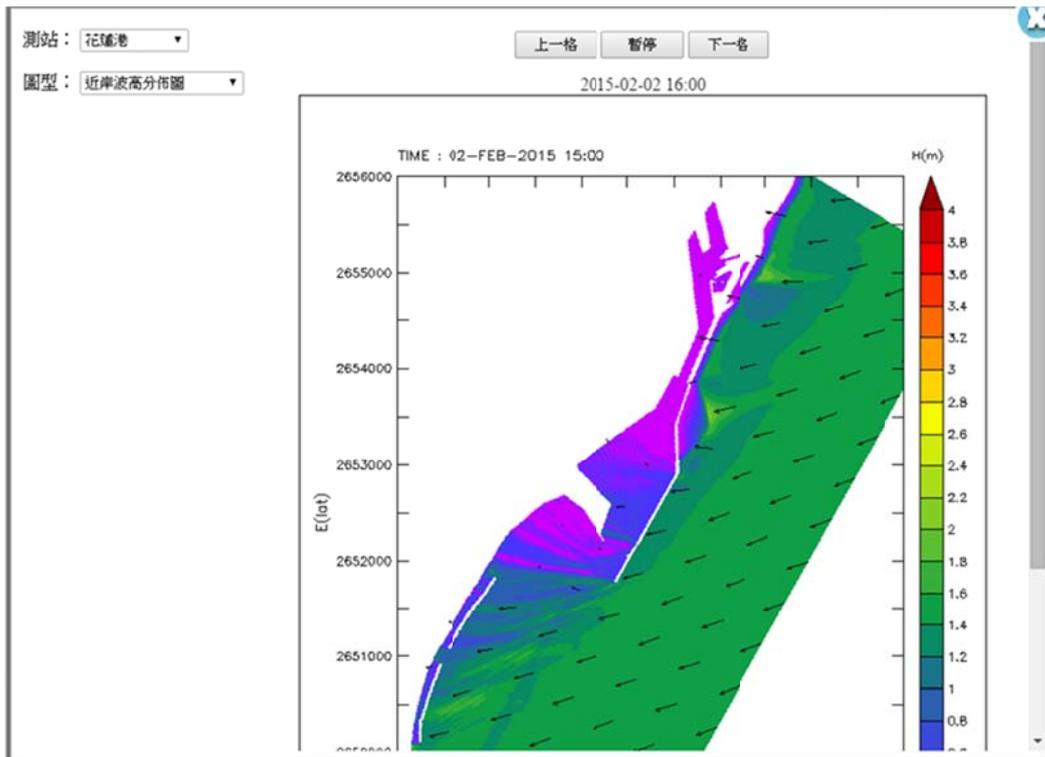


圖 2.65 展示花蓮港近岸波高分佈圖

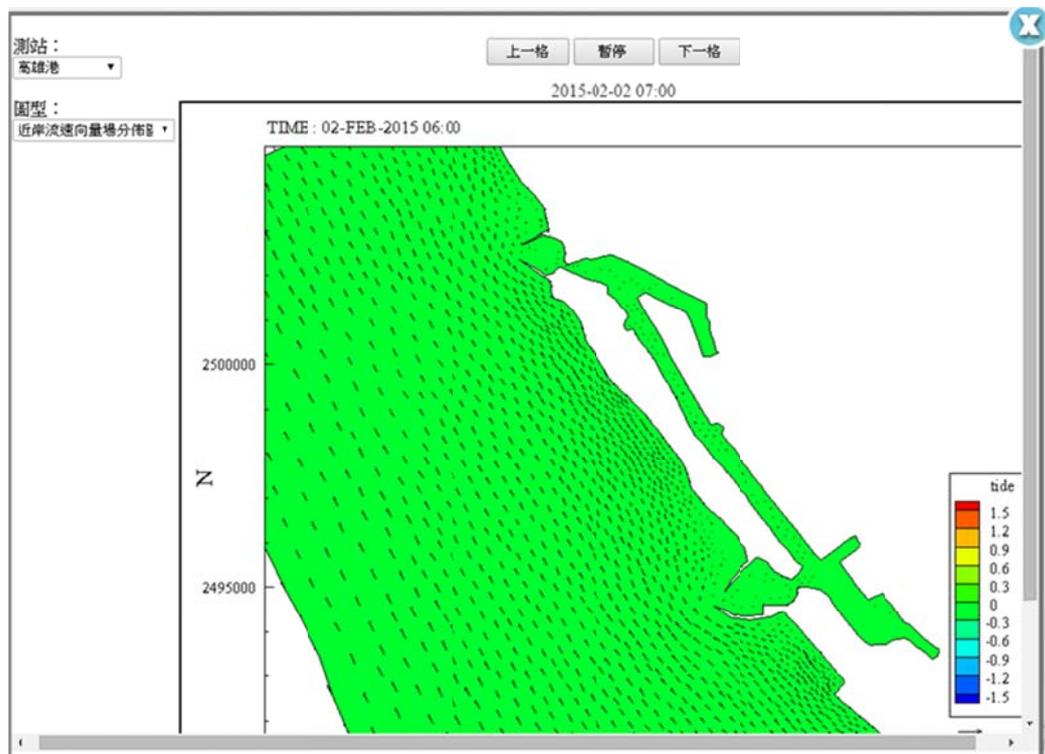


圖 2.66 展示布袋港流速向量場分佈圖

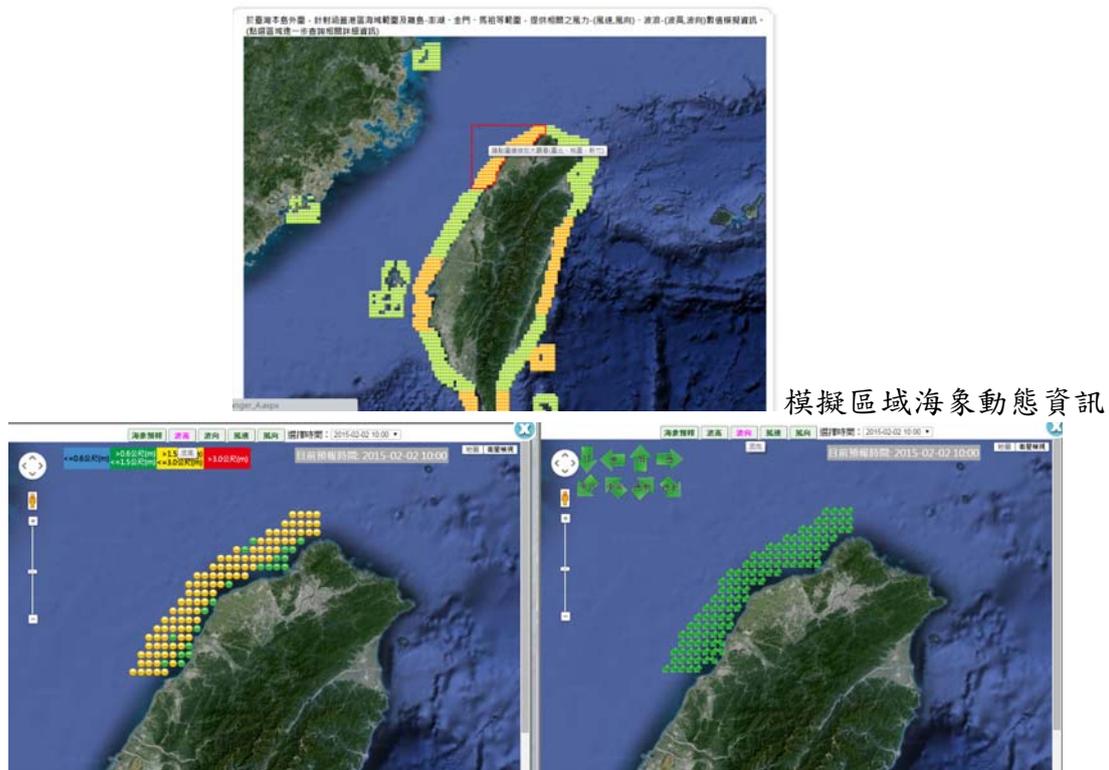


圖 2.67 模擬區域海象動態資訊(波高、波向)

### 2.3.5 藍色公路資訊

港灣環境資訊系統彙整海象數值資料及船舶自動辨識系統資料，提供航路之數值模擬資訊以及船舶動態資訊，目前提供 14 條藍色公路，如下圖 2.68 港灣環境資訊網-藍色公路首頁所示，提供正常固定航班之藍色公路整合納入船舶系統資訊。然藍色公路展示為固定航線軌道，實際船舶於航行中會因航路上的天氣變化及海氣象情況而導致航線些許變動，但大部分於正常行駛狀態下，船舶仍會於預先劃定之藍色公路套疊軌跡行駛。本計畫內提供中尺度海象模擬系統之風速、風向、波高、週期及波向等相關資料，供藍色公路網頁應用，其展示情形如圖 2.69 所示在網頁點選後提供相關海氣象資訊。



圖 2.68 港灣環境資訊網-藍色公路首頁

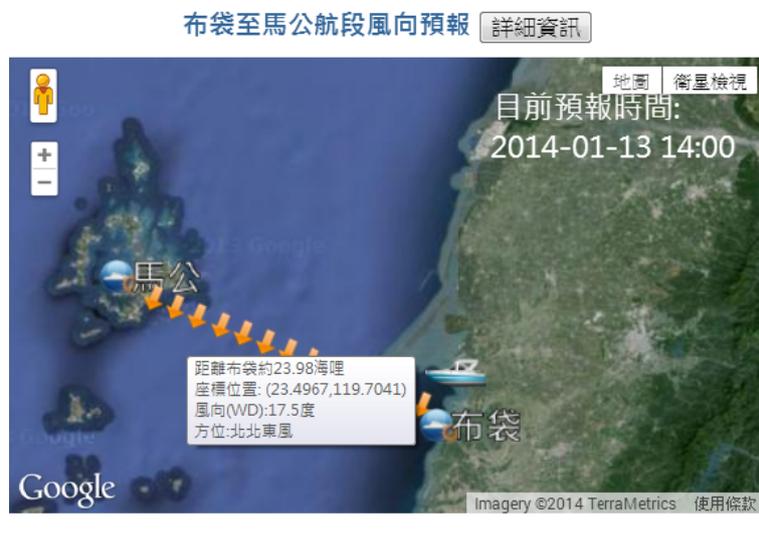


圖 2.69 藍色公路海氣象數值模擬預報

### 2.3.6 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，一旦本計畫海嘯模擬作業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，但為避免過多不必要海嘯訊息公布於網頁，設定網頁發佈條件需當波高大於 0.1 公尺或地震矩規模大於 7.0，才主動提供資訊。

## 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。網路架構如圖 2.70 所示。

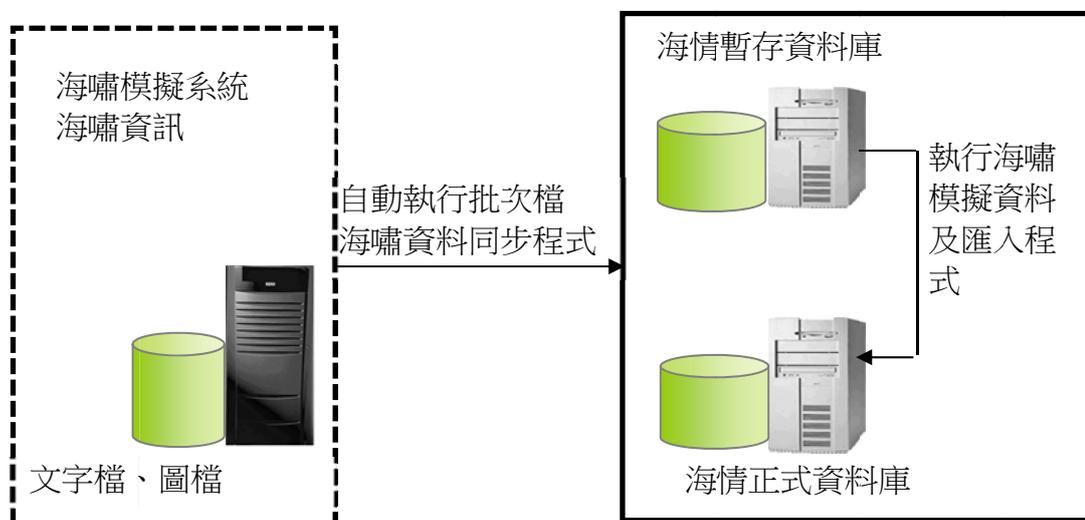


圖 2.70 海嘯模擬子系統網路架構圖

## 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：

海嘯資訊於套用 GoogleMap 元件後標示臺灣港區位置(基隆、蘇澳、花蓮、高雄、安平、布袋、臺中及臺北)，網頁畫面如圖 2.71 所示。其包含了地震的相關詳細資訊、震央位置圖如圖 2.73 所示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(如圖 2.73、2.74 所示)。

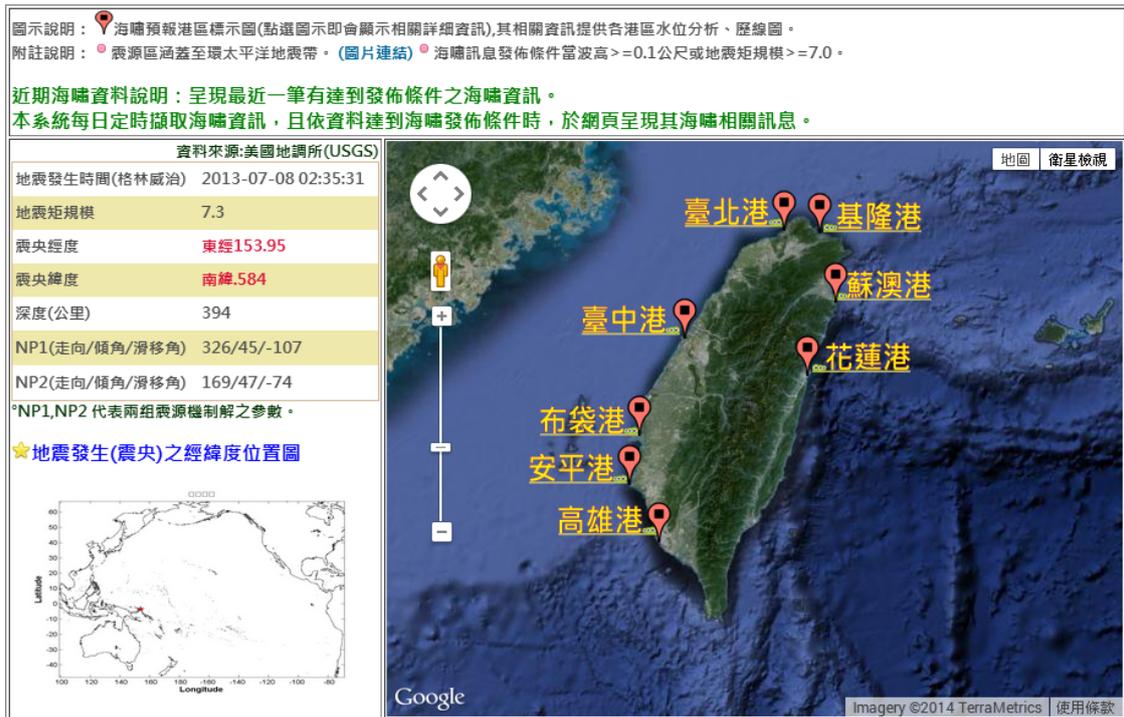


圖 2.71 海嘯查詢網頁

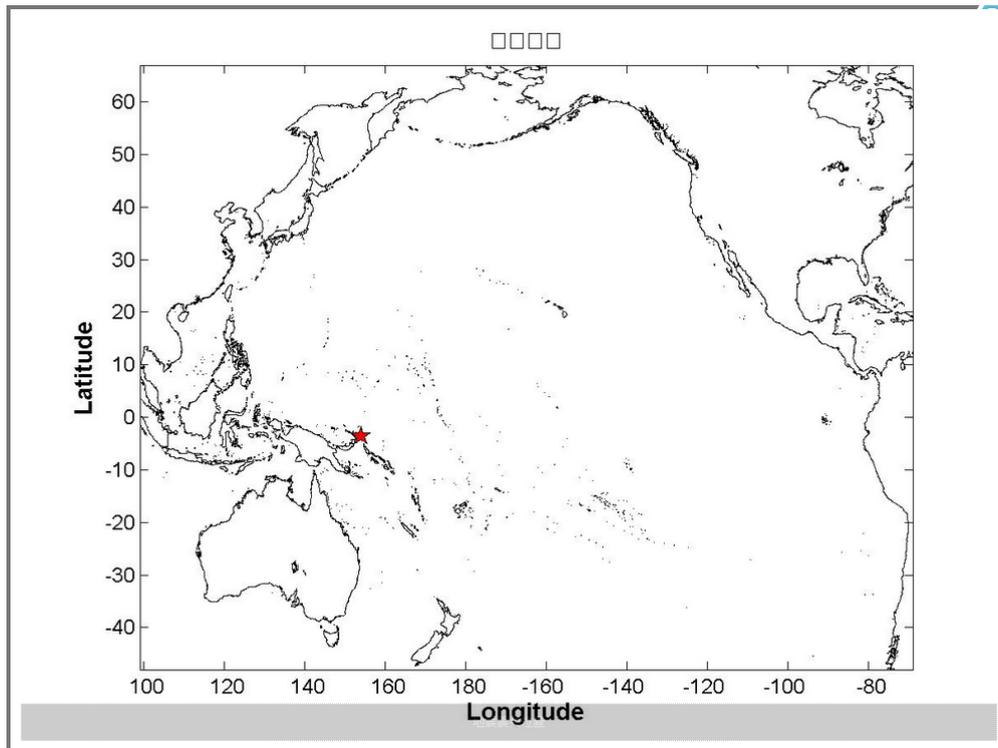


圖 2.72 展示海嘯震央位置圖

測站名稱: 基隆港 地震時間: 2011-03-11 05:46:23

資料來源: 美國地調所(USGS) ★ 地震發生(震央)之經緯度位置圖

測站	NP1海嘯資訊			NP2海嘯資訊	
基隆港	第一波到達時間(HH:MM) 18:24 最大波高(m) 0.328			第一波到達時間(HH:MM) 18:16 最大波高(m) 0.592	
地震發生時間 (格林威治)	地震矩 規模	深度 (公里)	NP1 (走向/傾角/滑移角)	NP2 (走向/傾角/滑移角)	
2011-03-11 05:46:23	9	10	29/77/95	187/14/68	

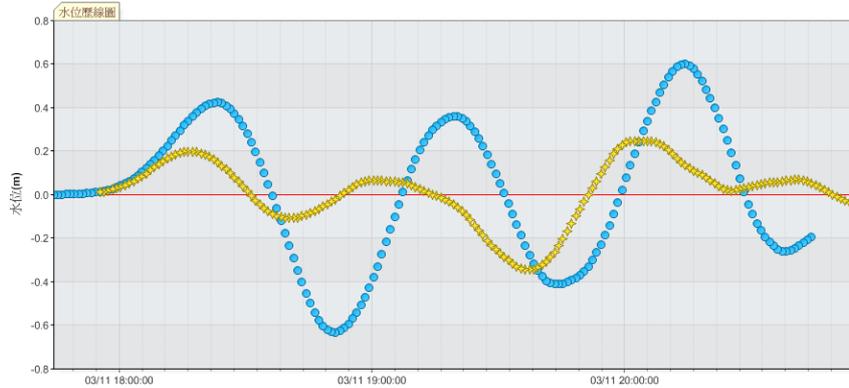



圖 2.73 展示基隆港海嘯水位變化歷線圖

● 海嘯模擬值(NP1) ★ 海嘯模擬值(NP2)

水位歷線圖 資料表

時間	海嘯模擬值(NP1) 潮位(公尺)	時間	海嘯模擬值(NP2) 潮位(公尺)
2011-03-11 17:44:23	0	2011-03-11 17:55:23	0.009
2011-03-11 17:45:23	0	2011-03-11 17:56:23	0.013
2011-03-11 17:46:23	0	2011-03-11 17:57:23	0.017
2011-03-11 17:47:23	0.001	2011-03-11 17:58:23	0.022
2011-03-11 17:48:23	0.001	2011-03-11 17:59:23	0.027
2011-03-11 17:49:23	0.002	2011-03-11 18:00:23	0.034
2011-03-11 17:50:23	0.002	2011-03-11 18:01:23	0.042
2011-03-11 17:51:23	0.004	2011-03-11 18:02:23	0.051
2011-03-11 17:52:23	0.005	2011-03-11 18:03:23	0.06
2011-03-11 17:53:23	0.007	2011-03-11 18:04:23	0.071
2011-03-11 17:54:23	0.009	2011-03-11 18:05:23	0.083
2011-03-11 17:55:23	0.012	2011-03-11 18:06:23	0.096
2011-03-11 17:56:23	0.016	2011-03-11 18:07:23	0.11
2011-03-11 17:57:23	0.02	2011-03-11 18:08:23	0.124
2011-03-11 17:58:23	0.026	2011-03-11 18:09:23	0.138
2011-03-11 17:59:23	0.032	2011-03-11 18:10:23	0.151
2011-03-11 18:00:23	0.04	2011-03-11 18:11:23	0.163
2011-03-11 18:01:23	0.049	2011-03-11 18:12:23	0.174
2011-03-11 18:02:23	0.06	2011-03-11 18:13:23	0.183
2011-03-11 18:03:23	0.072	2011-03-11 18:14:23	0.19
2011-03-11 18:04:23	0.086	2011-03-11 18:15:23	0.195
2011-03-11 18:05:23	0.102	2011-03-11 18:16:23	0.197
2011-03-11 18:06:23	0.119	2011-03-11 18:17:23	0.197
2011-03-11 18:07:23	0.137	2011-03-11 18:18:23	0.194

圖 2.74 展示海嘯水位歷線表

## 2.4 小結

本計畫維護系統工作包括大尺度(西太平洋模式)與中尺度(臺灣海域模式)風浪模式及水動力之作業化預報、並建置小尺度之近岸波浪及水動力海象波浪數值模擬系統建置，得到以下結論：

1. 本年度整體海象作業化系統維運正常，因中尺度風浪模式改由平行化運作縮短模擬時間，於 3 小時之內可完成大尺度及中尺度預報，其中包括風場(氣壓)、波浪、水位及流場等自動化預報系統作業，小尺度網格密度較細則受限於現有計算資源，在波浪小尺度部分約需 1 小時計算時間，水動力小尺度部份仍需要有 1 小時至 3 小時的計算時間。
2. 配合氣象局(2014 年 4 月底)停用 NFS 風場，並改 WRF 風場進行波流場模擬，目前系統提供每日 4 次 73 小時 WRF 預報風場資訊供港灣環境資訊系統應用，及每日 1 次作業化風場提供波浪及流場使用。
3. 小尺度波浪及水動力作業化預報模擬，本年度針對花蓮港及蘇澳港小尺度波浪及水動力模組建置外，並綜整建置主要商港臺北港、基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、臺中港之作業化模組。
4. 細尺度波浪模組本年度針對花蓮港及蘇澳港透過資料庫概念，以及 MATLAB 的介面設計模組發展建立港區波浪展示系統，並綜整建置主要商港完整展示系統。
5. 現階段已完成調整擷取地震資訊網頁可擷取下列三個網頁包含美國國家地震資訊中心、臺灣寬頻地震網及日本防災科學技術研究所，本年度配合 USGS 網頁更新及變動，進行部分程式改寫，並已順利持續截取相關資料。

6. 持續彙整本所各港海氣象即時觀測資料，本年度新增澎湖港資料進行資料比對及分析工作，
7. 持續提供有關風、波、潮、流及海嘯資訊等資料至港灣環境資訊系統展示，並配合局部調整增加位置，提供新增藍色公路及臺灣周邊海域相關海氣象資料。

## 第三章 波浪模擬與探討

本章主要針對臺灣環島海象預報系統(TaiCOMS)風浪及波浪模擬改善研究成果進行說明。

### 3.1 臺灣周圍海域風浪模擬

在 TaiCOMS 波浪模擬架構下，針對臺灣周圍海域風浪模擬規劃出兩種不同尺度的風浪模組，分別為大尺度西太平洋範圍風浪模組(簡稱大尺度風浪模組)及中尺度臺灣周圍近海範圍風浪模組(簡稱中尺度風浪模組)；其中大尺度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，數值計算網格採用解析度為 12 分之地球弧形網格(如圖 3.1 所示)；中尺度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，採用網格解析度 0.04 度(2.4 分)方格網格(如圖 3.2 所示)。

依據 TaiCOMS 風浪模擬預報作業化流程之規劃，如圖 3.3 所示，本計畫大尺度風浪模組在作業化上主要依據 TaiCOMS 風場模組所產生的 73 小時組合平面風場資料(NFS 第一層風場，簡稱 RC 風場)執行每日作業化模擬預報流程；並於大尺度風浪模組作業化模擬預報結束後，由中尺度風浪模組接續執行每日作業化近海風浪模擬預報，最後完成各主要港口小尺度波浪模組每日作業化風浪模擬預報。中尺度風浪模組輸入資料包括前述系統風場模組所產生的 73 小時組合平面風場資料(NFS 第二層風場，簡稱 MC 風場)及在開放邊界格點上由大尺度風浪模組所產生的逐時模擬預報風浪資料。

本四年期計畫風浪模擬具體改善研究成果綜整如下：

#### 3.1.1 大尺度西太平洋範圍風浪模組

本計畫大尺度風浪模組採用海洋波浪預測模式 WAM (Wave Modeling，參考附錄一所述)執行西太平洋範圍風浪模擬，由於 WAM

模式相當簡易且成熟，故常被用於大尺度的海洋風浪模擬。有關大尺度風浪模組之改善研究成果如下：

### 1. 提升數值計算網格之精確性

(1) 更新地形水深資料解析度：大尺度網格水深資料為原計畫採用美國國家地球物理資料中心(National Geophysical Data Center, NGDC)公布的全球 2 弧分格網數值地形資料(Etopo2)建置的，基於提昇地形水深資料解析度目的，本期計畫改以 NGDC 公布之全球 1 弧分格網數值地形資料(Etopo1)取代之，如圖 3.4 所示為本期計畫大尺度風浪模組之模擬範圍及地形水深分布情形。

(2) 提升數值計算網格之精度：為提升數值計算網格之精度，本計畫同時以 6 分(或  $0.1^\circ$ )網格間距大小建置大尺度風浪模組之數值網格，藉以評估數值計算網格解析度對風浪模擬結果之影響，及作業化模擬預報之可行性及效益。在效益評估上，12 分及 6 分數值計算網格實際運算的海洋格點數目分別為 11180 及 44373，運算時間相差約為 4.3 倍；基於作業化系統負荷及模擬時效性考量，目前硬體設備對於提升數值計算網格精度之可行性低。

### 2. 風浪模擬結果之改善研究：

針對數值模式 WAM 程式碼相關模擬功能進行模擬測試與研究，並提出修正的作業化程式碼，其中程式碼具體修正內容包括：

(1) 釐清模式程式碼風速、風向及風應力相關定義：前期計畫原作業化程式碼因風速、風向及風應力相關定義未能釐清，致模擬結果常與觀測資料不一致。圖 3.5 及圖 3.6 所示分別為原作業化程式碼採用錯誤的風向及風應力計算定義之模擬結果與程式碼修正後模式之模擬結果，比較二者波高分布狀顯示作業化程式碼修正後之颱風波高分布較為合理。圖 3.7 及圖 3.8 所示分別為原作業化程式碼模擬之平均週期分布結果與程式碼修正後模式模擬之平均週期分布結果，其中圖 3.8 所示模擬波浪之去向與圖 3.6 所示風場之風向具有高度的一致性。

- (2) 修正程式碼熱啟動輸出檔之輸出時間：原程式碼輸出熱啟動檔案之輸出時間為程式終止前，此與 TaiCOMS 作業化流程規劃採用第 24 小時計算結果為次日作業化模擬預報之熱啟動輸入資料有出入。圖 3.9 所示為 TaiCOMS 每日線上作業程式模擬時間示意圖。
- (3) 修正程式碼模擬結果輸出內容：於程式碼中增加以零階動差與 2 階動差比值平方根定義風浪之平均週期  $T_{m02}$ (註：原程式僅提供以負一階動差計算之平均週期  $T_{-1}$ )，以及利用二次拋物線契合(fit)方法計算模擬風浪之譜峰週期  $T_p$ (註：原程式僅提供波譜頻率數上的譜峰週期)，以改善風浪模擬週期輸出結果與觀測資料間之誤差。模式風浪模擬之平均週期  $T_{-1}$  及  $T_{m02}$  與基隆港波浪觀測之平均週期比較結果，如圖 3.10 所示，顯示模式模擬之平均週期  $T_{m02}$  值與觀測資料輸出之平均週期較為接近，有效降低以往作業化成果評估高估現象。

### 3. 精進數值風場改善風浪模擬結果：

在數值預報風場改善方面，包括

- (1) 以 MC 風場取代 RC 風場提升模式輸入風場精度：中央氣象局 NFS 風場之上層風場(即 RC 風場)其網格精度為 45 km，中層風場(即 MC 風場)其網格精度為 15 km；前者為本計畫大尺度風浪模組作業化模擬預報輸入風場，後者為中尺度風浪模組作業化模擬預報輸入風場；由於在颱風期間中央氣象局預報之 RC 及 MC 風場具有顯著差異，經由模擬測試結果顯示，在颱風接近臺灣本島時二風場模擬結果具有顯著差異，因此建議以 MC 風場取代現行以 RC 風場為大尺度風浪模組作業化模擬預報輸入風場。
- (2) 提升作業化風場為中央氣象局第四代天氣預報模式預報數值風場：NFS 數值風場及 WRF 數值風場分別為中央氣象局發展的第三代及第四代天氣預報模式所預報的數值風場，本年度因中央氣象局停止提供 NFS 數值風場措施，故以中央氣象局提供的 WRF 數值風場之第二層風場(即 WA02 風場)作為本計畫西太平洋範圍風浪模組作業化模擬之輸入風場(詳見第三章所述)。

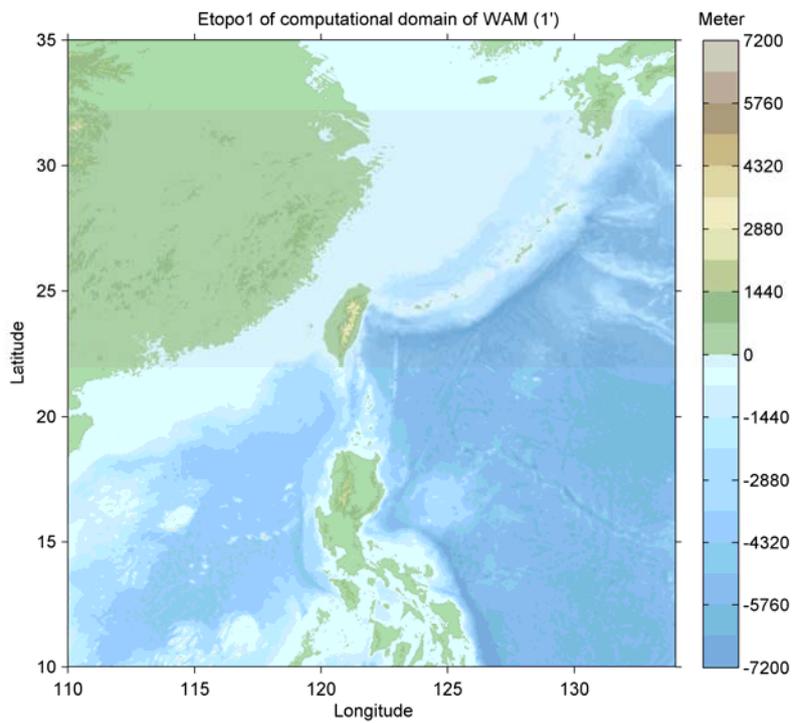


圖 3.1 大尺度西太平洋範圍風浪模組模擬範圍及水深分布圖

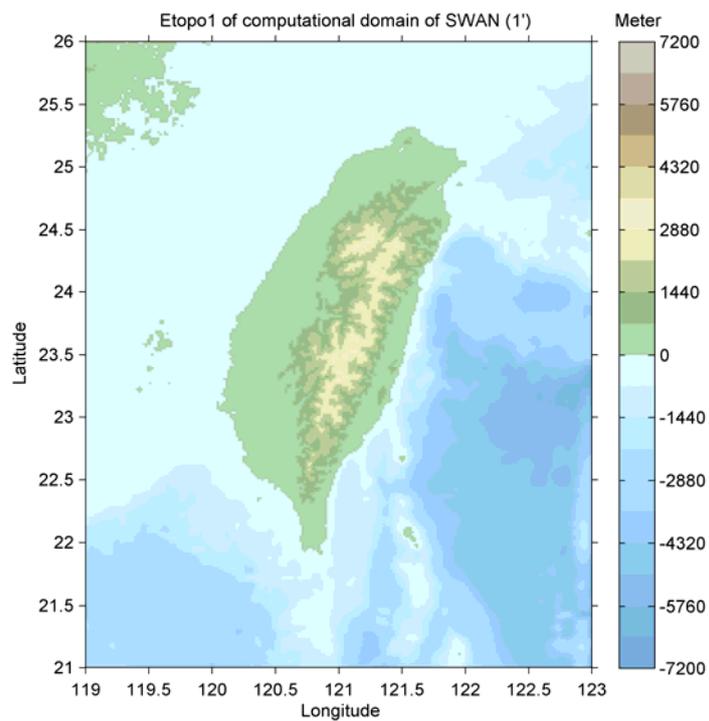


圖 3.2 中尺度臺灣周圍近海範圍風浪模組模擬範圍與水深分布圖

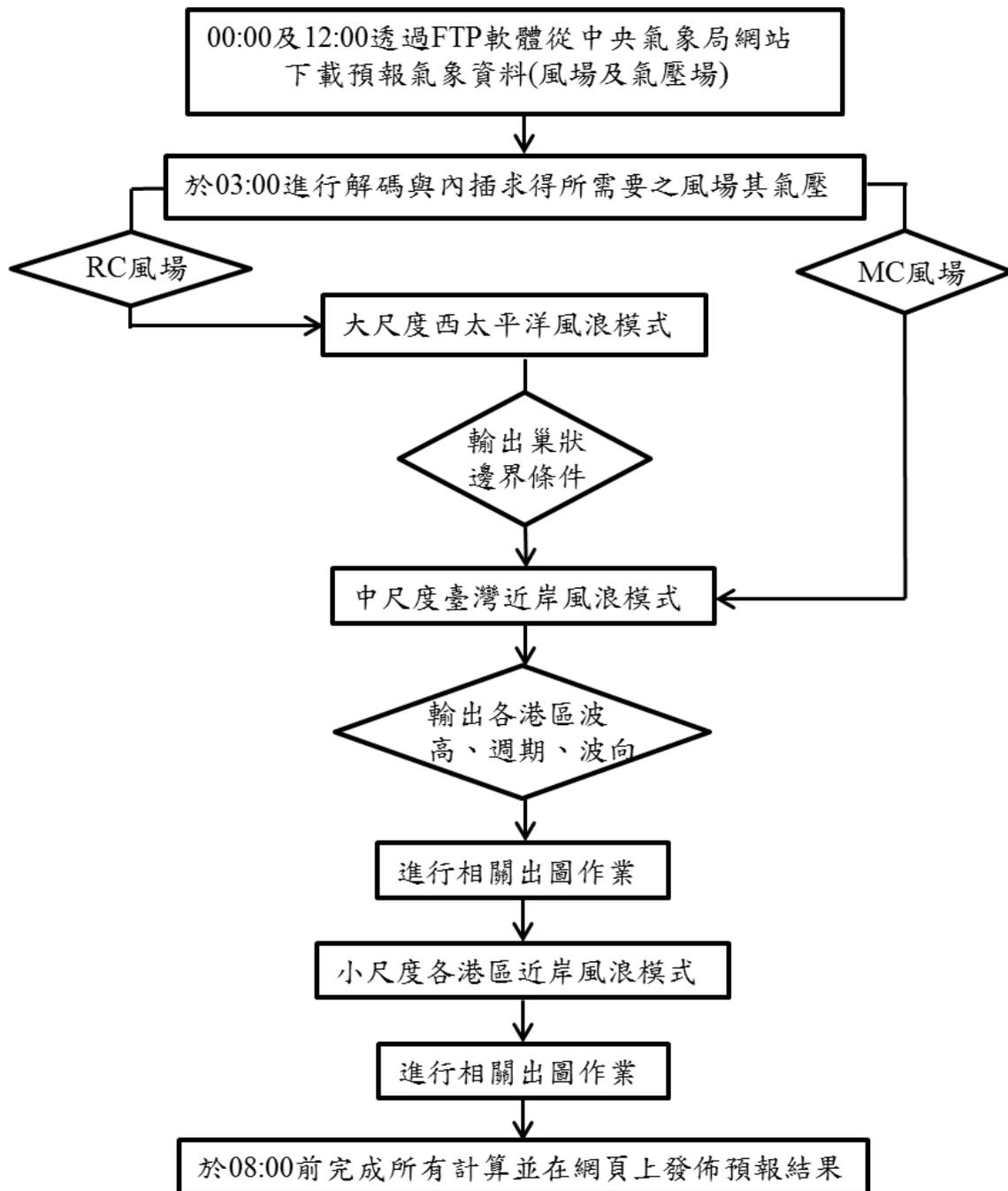


圖 3.3 TaiCOMS 架構下風浪作業化模擬預報流程圖

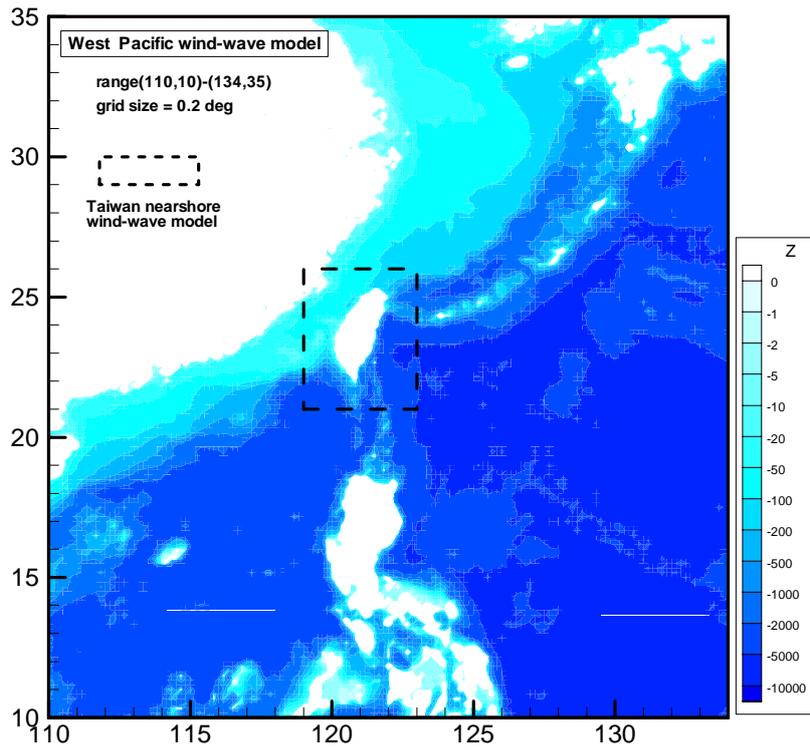


圖 3.4 大尺度西太平洋範圍風浪模組模擬範圍及更新後水深分布圖

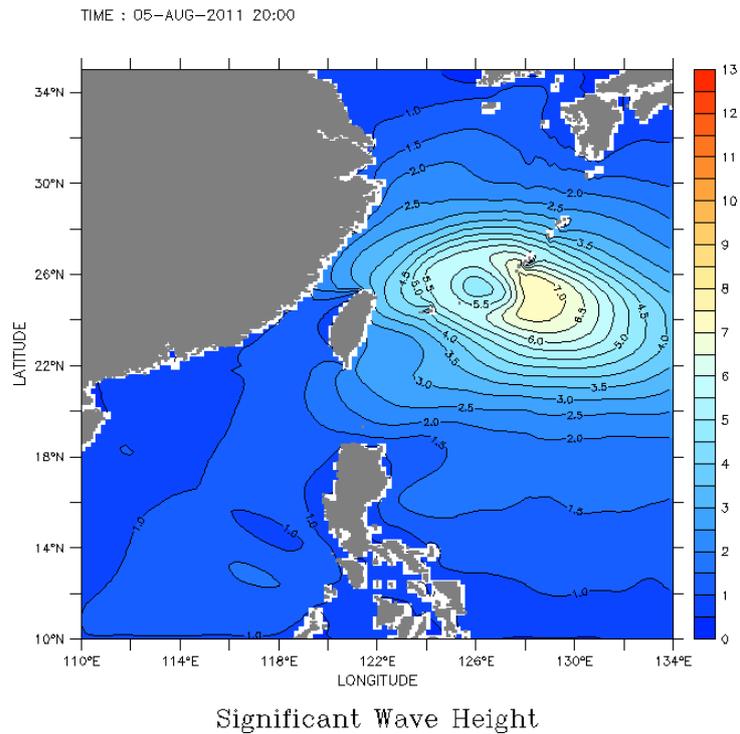


圖 3.5 原作業化程式碼模擬颱風期間之波高分布情況圖

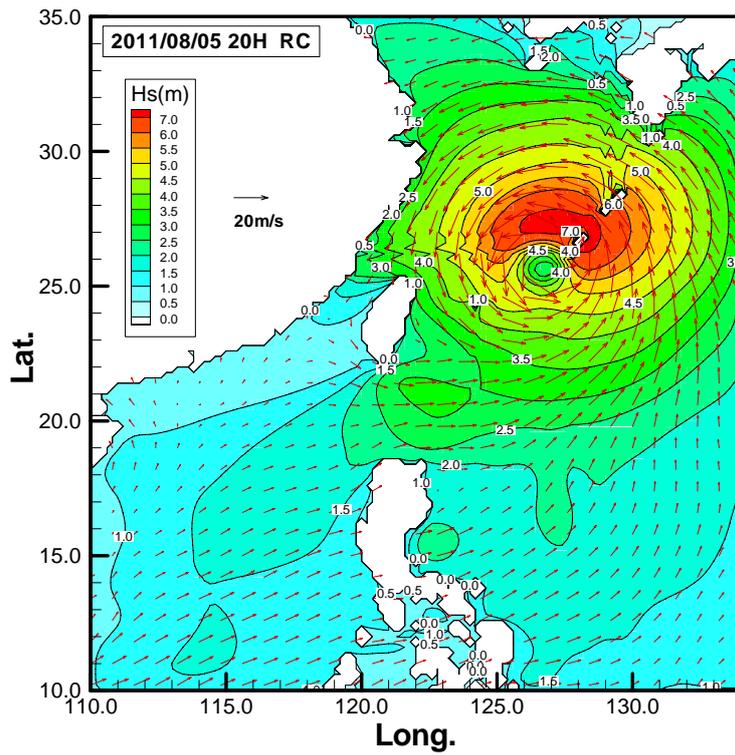


圖 3.6 本計畫作業化程式碼修正後模擬颱風期間之波高分布情況圖(向  
量為作業化 RC 風場之風速)

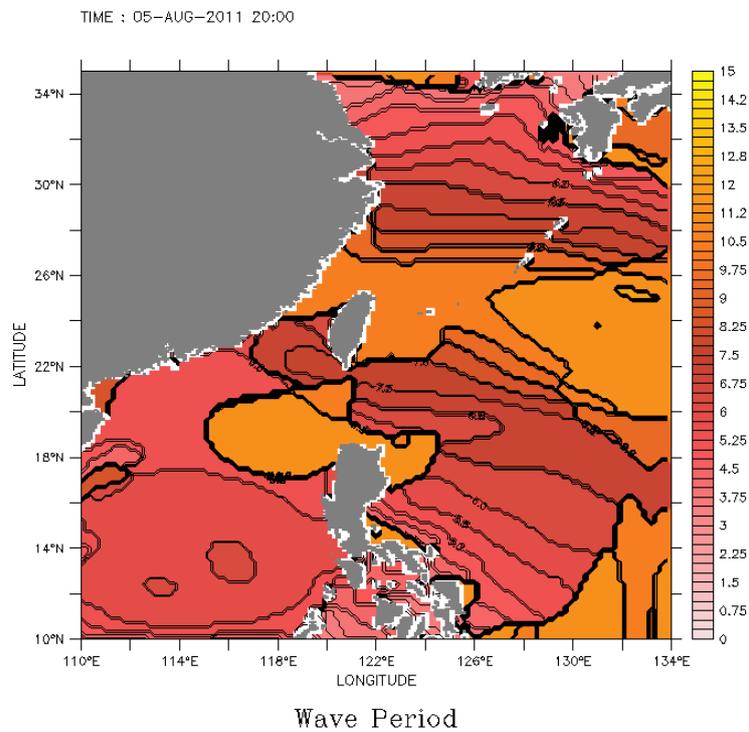


圖 3.7 原作業化程式碼模擬颱風期間之平均週期分布圖

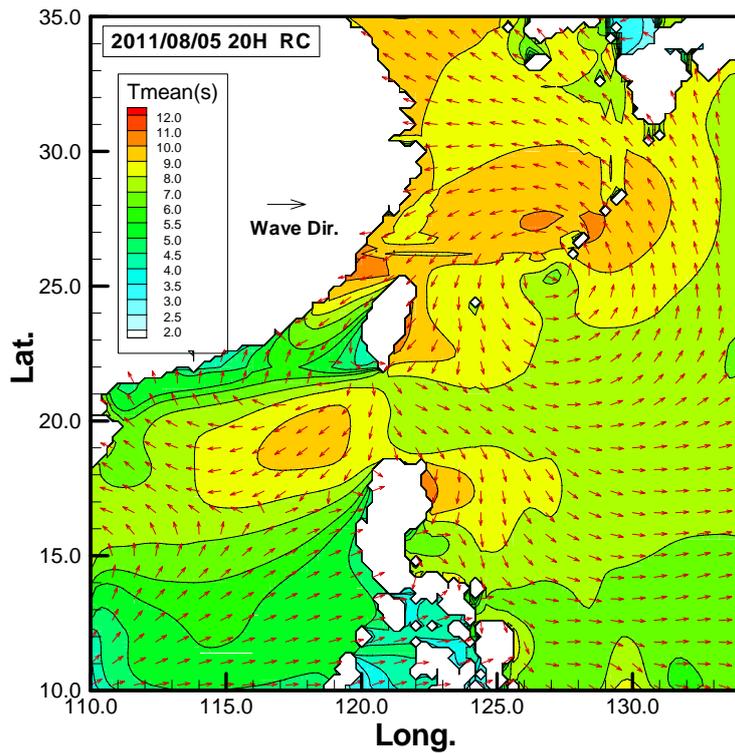


圖 3.8 本計畫作業化程式碼修正後模擬颱風期間之平均週期分布圖(向量代表模式模擬之風浪去向)

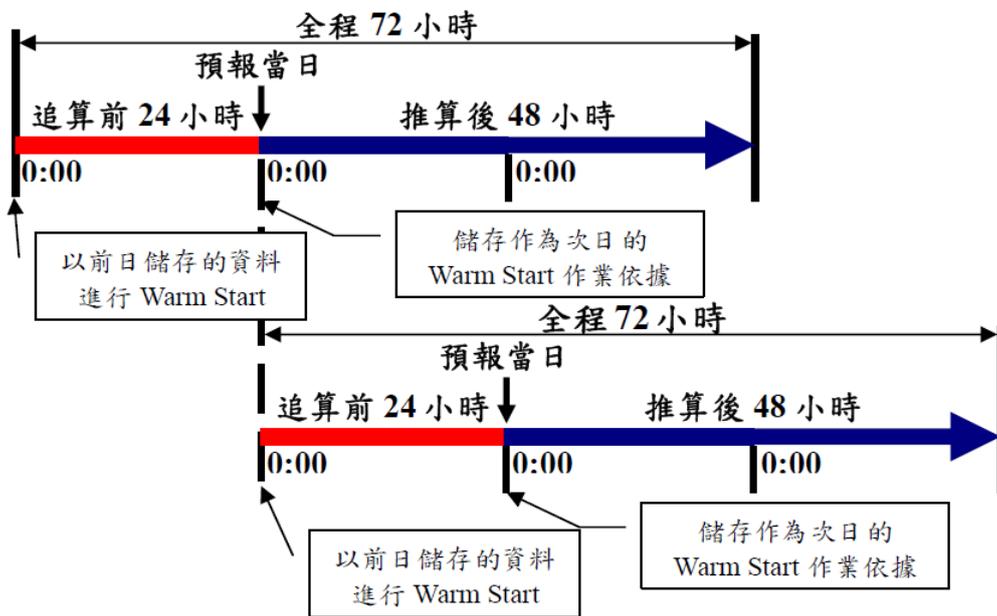


圖 3.9 TaiCOMS 每日線上作業程式模擬時間示意圖

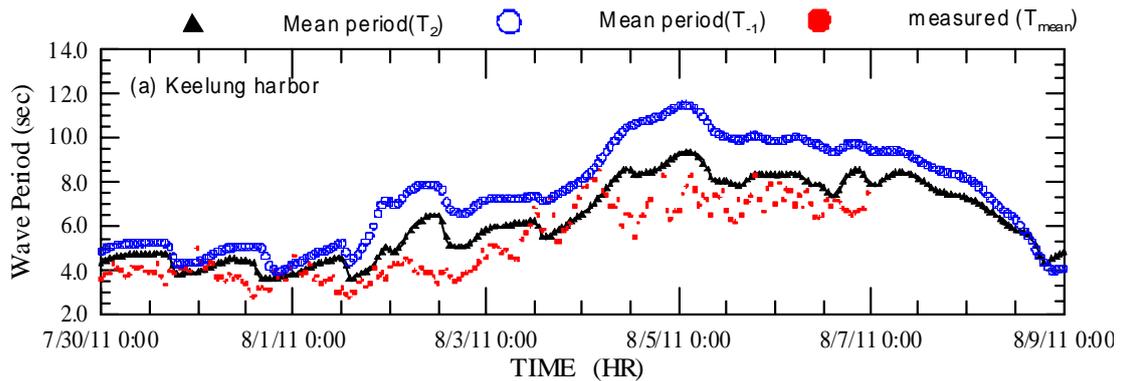


圖 3.10 模式風浪模擬之平均週期  $T_{m1}$ (圓圈)及  $T_{m02}$ (三角形)與觀測波浪平均週期(圓點)之比較

### 3.1.2 中尺度臺灣周圍近海範圍風浪模組

本計畫中尺度風浪模組採用荷蘭 Delft 大學所發展之近海風浪模式 SWAN (Simulating WAVes Nearshore) 為作業化程式(參考附錄一所述)，亦即透過 SWAN 模式執行臺灣周圍近海範圍風浪模擬。本期計畫針對中尺度風浪模組改善之研究成果如下：

#### 1. 提升數值計算網格之精確性

(1) 擴大風浪模擬範圍：本期計畫因應離島航運日顯重要，預期離島船舶航程之安全將為交通部未來議題之一，因此本期計畫配合港研中心需求，將中尺度風浪模組擴大至涵蓋金門與馬祖等離島地區及海域，如圖 3.11 所示，圖中修正後中尺度風浪模組模擬範圍為東經  $117^{\circ}\text{E}\sim 123^{\circ}\text{E}$  及北緯  $21^{\circ}\text{N}\sim 27^{\circ}\text{N}$  之海域。

(2) 提昇地形水深資料解析度：同樣基於提昇地形水深資料解析度之目的，本期計畫改以 NGDC 公布之全球 1 弧分格網數值地形資料 (Etopo1)，取代 2 弧分格網數值地形資料(Etopo2)更新資料。圖 3.12 所示為原中尺度風浪模組地形水深資料更新前、後之差值分布情形，顯示兩版本數值地形誤差大的區域，主要在臺灣周圍海域東側與南側之海溝區內。由於該處水深均相當大，惟對本計畫模擬之風浪而言，其影響應可以忽略。

#### 2. 風浪模擬系統軟硬體提升

- (1) 更新作業化程式版本及硬體：由於近海風浪模式 SWAN (Simulating Waves Nearshore)程式碼仍持續地發展及更新中；因此本期計畫配合港研中心 TaiCOMS 之主機伺服器更新計畫，同步更新作業化程式版本。
  - (2) 提昇作業化風浪模擬效率：配合港研中心 TaiCOMS 之主機伺服器更新計畫，利用模式多核心運算功能提升中尺度風浪作業化模擬之效率，達到縮短模擬預報作業化時間及計畫精進目標。圖 3.13 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近海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。
3. 精進數值風場改善風浪模擬結果：

為提升作業化風場預報資料精確性，本期計畫自 2013 年著手規劃以中央氣象局第四代天氣預報模式(WRF)預報數值風場取代原 NFS 數值風場之相關作業研究，並自本年度(2014 年)5 月正式上線。其中中尺度風浪模組採用的作業化預報風場為解析度 5 km 之 WA03 風場，即藉由精進的數值預報風場資料達到提昇風浪預報準確性之目的。

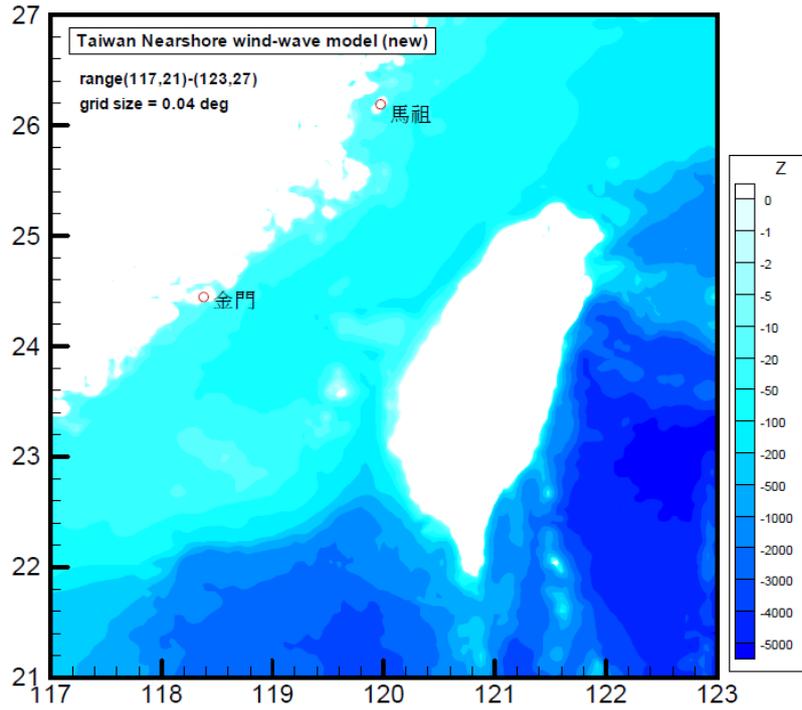


圖 3.11 中尺度臺灣周圍近海範圍風浪模組更新後模擬範圍及地形水深分布圖

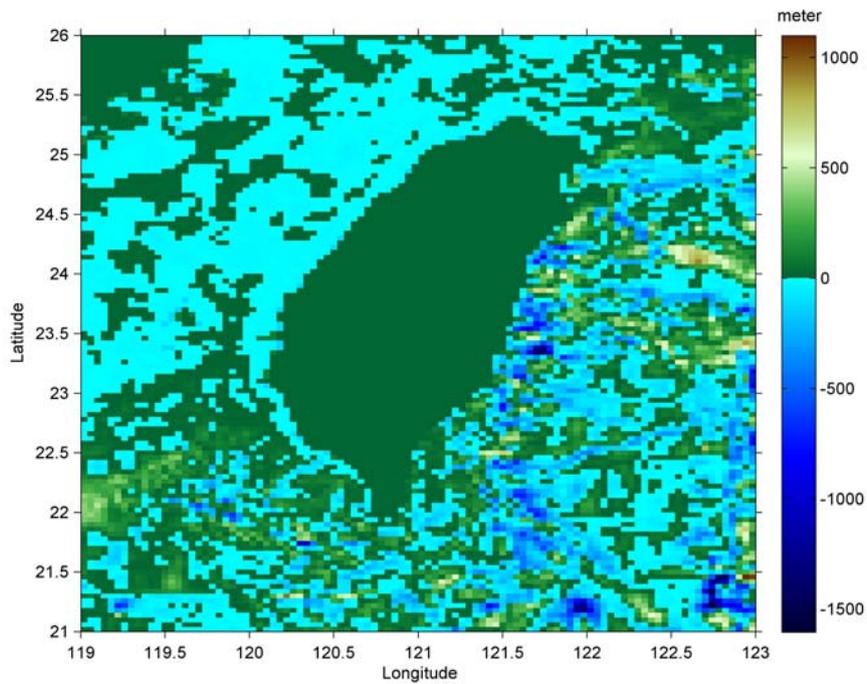


圖 3.12 中尺度臺灣周圍近海範圍風浪模組原模擬範圍之地形水深資料更新前後之差異分布圖

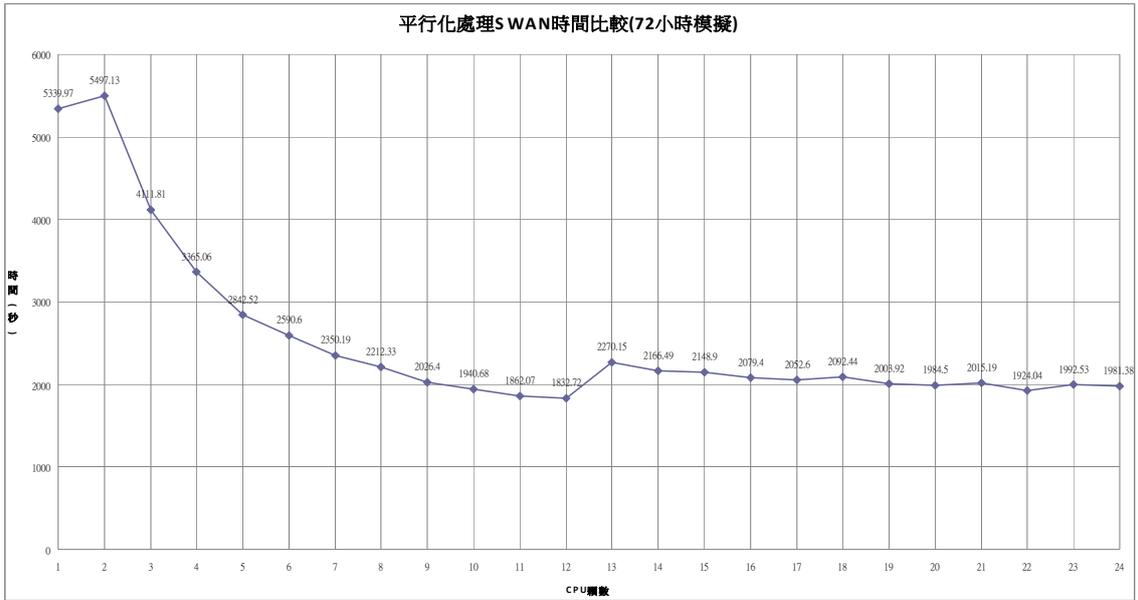


圖 3.13 平行化處理 SWAN 時間比較(72 小時模擬)

### 3.2 主要商港小尺度港區近岸波浪場模擬

在 TaiCOMS 波浪模擬架構下，波浪場模擬主要針對國內主要商港基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、臺中港及臺北港等八個港口，分別建置小尺度港區近岸波浪模組(簡稱小尺度波浪模組)，執行作業化模擬預報各港口外海近岸波浪場。目的為接續中尺度風浪模組模擬結果，分別針對各主要港口近岸海域模擬外海風浪向岸傳播之波場(波高及波向)變化情形，以提供港勤或船舶較詳細的波浪分布資訊，維護船舶進港安全。有關主要商港小尺度波浪模組之作業化模擬預報流程，如圖 3.3 所示，亦即每日小尺度波浪場作業化模擬係依據中尺度風浪模組每日作業化模擬預報之各港口風浪資料(含波高、週期及波向等)執行 73 小時之港區近岸波浪場模擬，並將波浪場模擬結果提供港灣資訊網展示。

小尺度波浪模組作業化程式為 Kirby 及 Dalrymple (1983)發展的波浪折繞射模式(REF/DIF 1)，此模式係以拋物線型緩坡方程式為理論基礎(參考附錄一所述)；REF/DIF 1 模式主要優點包括：(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；缺點有：(1)模式受到垂直波向之橫向導數近似表示式之限制，對於大角度入射波浪較不適用；(2)無法合理地反應波浪受到結構物影響產生的反射波現象等。各港口小尺度波浪模組建置的數值計算參考網格，主要依據各港口港域大小及海岸地形水深變化狀況選取其模擬範圍，各港口數值計算參考網格之基本資料，如表 3.1 所列。

依據四年期計畫期程規劃逐年針對基隆港及臺北港(100 年度)、臺中港及布袋港(101 年度)、安平港及高雄港(102 年度)、蘇澳港及花蓮港(103 年度)分別完成作業系統小尺度波浪模組更新與研究。因此本年度(103 年度)主要研究對象為蘇澳港及花蓮港，工作內容除了更新蘇澳港及花蓮港小尺度波浪模組之參考網格基本資料外，亦配合港研中心進行 TaiCOMS 小尺度波浪模組作業化流程更新，例如以中尺度風浪模組模擬風浪之譜峰週期( $T_p$ )取代風浪之平均週期( $T_m$ )，模擬各港口小尺度

波浪場等精進，以改善模擬風浪平均週期( $T_m$ )偏小對 TaiCOMS 作業化模擬成果之影響等。

**表 3-1 主要商港港區近岸波浪模組之數值參考網格基本資料**

港口 名稱	原點座標(tw97 二度分帶)		座標系統 旋轉角度	網格大小 (10m)
	X(m)	Y(m)		
基隆港	322539.0	2787360.0	256.0°	621× 731
蘇澳港	342011.8	2725729.3	185.00°	601× 801
花蓮港	316892.0	2655232.0	150.0°	321× 801
高雄港	177877.0	2487555.0	38.0°	801×1701
安平港	160526.8	2531091.8	31.44°	1401×1041
布袋港	150038.7	2579393.8	11.00°	1601× 901
臺中港	198113.0	2696163.0	-36.0°	1001×1901
臺北港	278577.0	2784690.0	-55.0°	801×1301

以下僅就本期計畫主要商港小尺度港區近岸波浪模組研究結果整理如下；

### 3.2.1 基隆港小尺度港區近岸波浪模組

基隆港小尺度波浪模組之波浪場模擬範圍及數值計算參考網格，如圖 3.14 所示，圖中沿岸方向(Y 軸)之距離為 7.3km，離岸方向(X 軸)之距離為 6.2km，外海邊界水深約介於 50m~60m 間。波浪場模擬使用的參考網格座標原點座標(TW67)為(322539.0, 2787360.0)，網格座標 Y 軸與方位正北之逆時針方向夾角 256.0°；參考網格間距為 10 m，網格維度(大小)為 621×731。

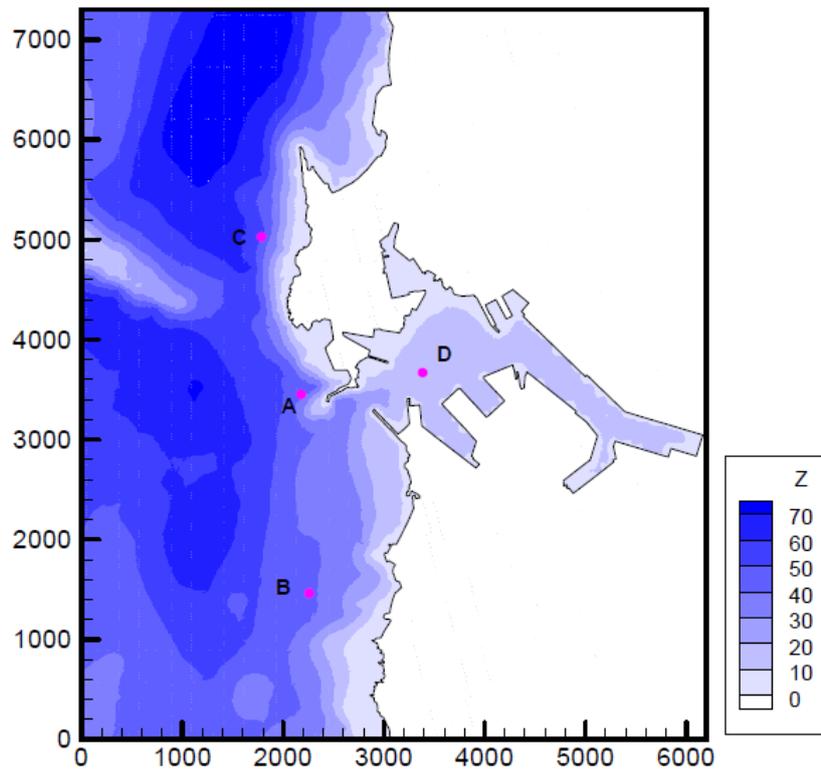


圖 3.14 基隆港小尺度波浪模組參考網格大小及地形水深分布圖

本期計畫 100 年度針對基隆港小尺度波浪模組研究成果包括配合基隆港東防波堤延伸工程及西 18、19 號貨櫃碼頭延建暨後線場地填建工程完工，分別修正小尺度波浪模組參考網格之東防波堤延長 200 公尺至水深 42 m 處，及港內西 18、19 號貨櫃碼頭附近參考網格相關資料。同時配合港研中心海象觀測位置東移，如圖 3.14 之點位 A，校驗模式邊界波高模擬條件與觀測資料波高之關係。

### 3.2.2 臺北港小尺度港區近岸波浪模組

臺北港小尺度波浪模組之波浪場模擬範圍及數值計算參考網格，如圖 3.15 所示，圖中沿岸方向(Y 軸)之距離為 13.0 km，離岸方向(X 軸)之距離為 8.0 km，外海邊界水深約介於 30m~35m 間。本期計畫臺北港小尺度波浪模組更新參考網格之維度(大小)、網格間距及網格座標與二度分帶座標系統(TW97)之關係，如表 3-2 所列。

100 年度本期計畫針對臺北港小尺度波浪模組更新內容包括：(1)修正參考網格中臺北港外廓邊界，如圖 3.15 所示；(2)更新臺北港港區

水深資料(99 年 10 月)，(3)配合臺北港海象觀測位置遷移，如圖 3.15 所示之輸出點位 A，校驗模式邊界模擬條件與波浪觀測資料間之關係，如圖 3.16 及圖 3.17 所示。

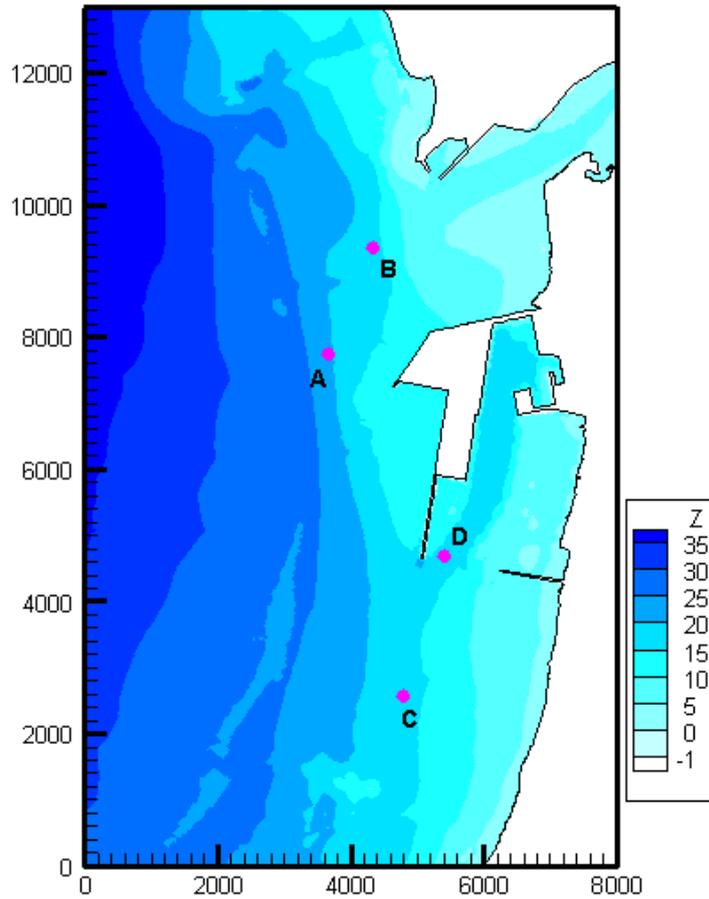


圖 3.15 臺北港小尺度波浪模組參考網格大小及地形水深分布圖

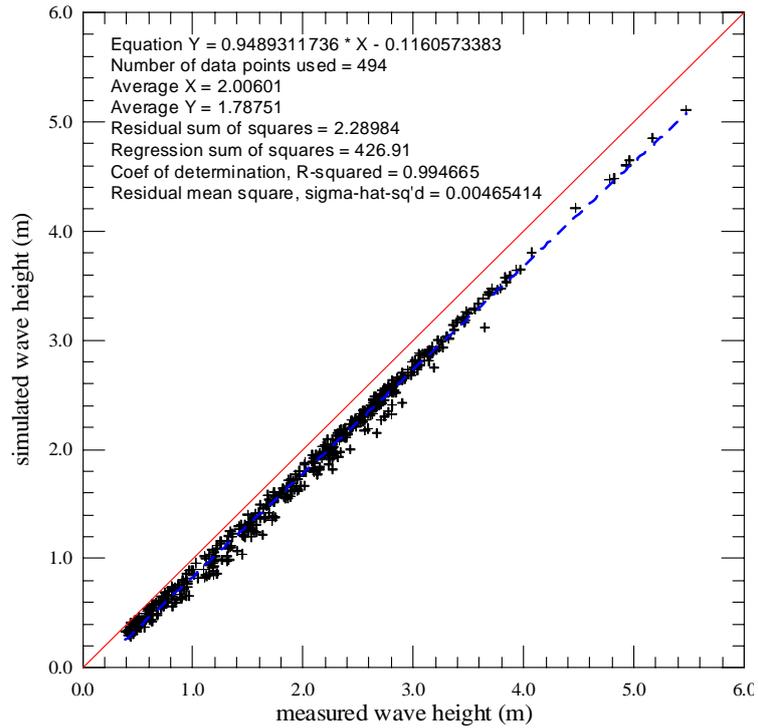


圖 3.16 臺北港小尺度波浪模組邊界條件校驗前，點位 A 波高模擬值與觀測值之對應關係圖

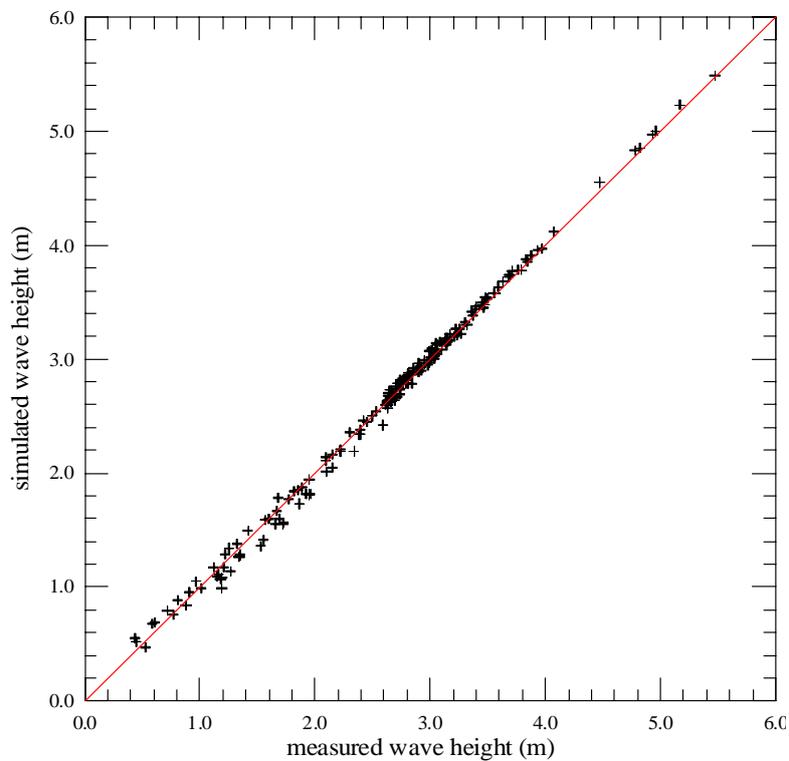


圖 3.17 臺北港小尺度波浪模組邊界條件校驗後，點位 A 波高模擬值與觀測值之對應關係圖

### 3.2.3 臺中港小尺度港區近岸波浪模組

臺中港小尺度波浪模組之模擬範圍及數值計算參考網格，如圖 3.18 所示，圖中沿岸方向(Y 軸)之距離為 19.0 km，離岸方向(X 軸)之距離為 10.0 km，外海邊界水深約 50.0m。本計畫臺中港小尺度波浪模組參考網格之維度(大小)、網格間距及網格座標與二度分帶座標系統(TW97)之關係，如表 3-2 所列。

101 年度本期計畫針對臺中港小尺度波浪模組進行更新研究，包括更新數值計算參考網格港區內水深資料以及檢驗模式邊界條件之修正參數，如圖 3.19 及圖 3.20 所示。

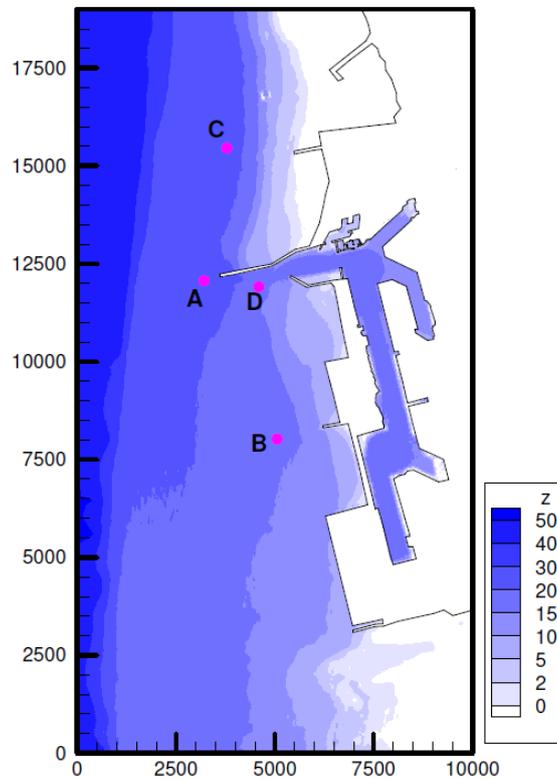


圖 3.18 臺中港小尺度波浪模組參考網格大小及地形水深分布圖

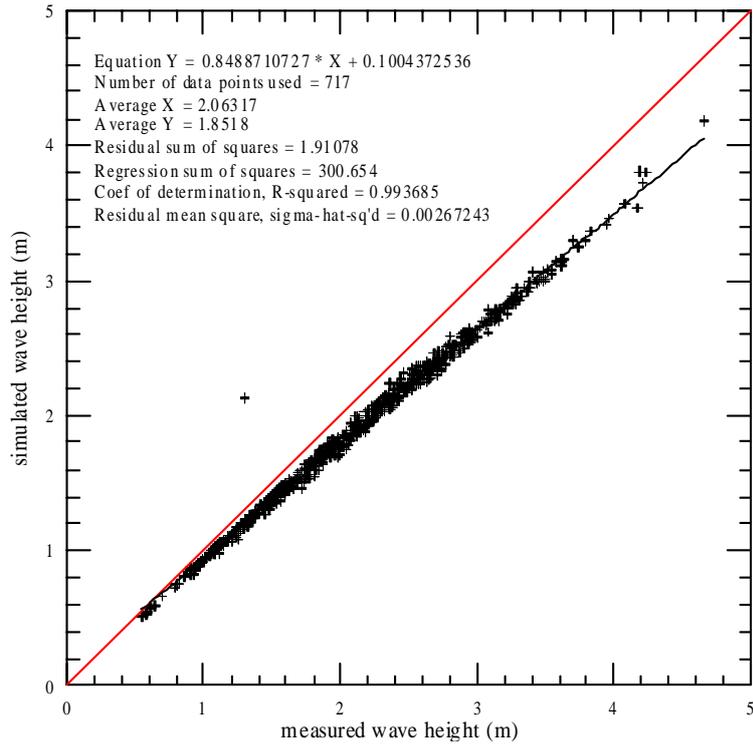


圖 3.19 臺中港小尺度波浪模組邊界條件校驗前，點位 A 波高模擬值與觀測值之對應關係圖

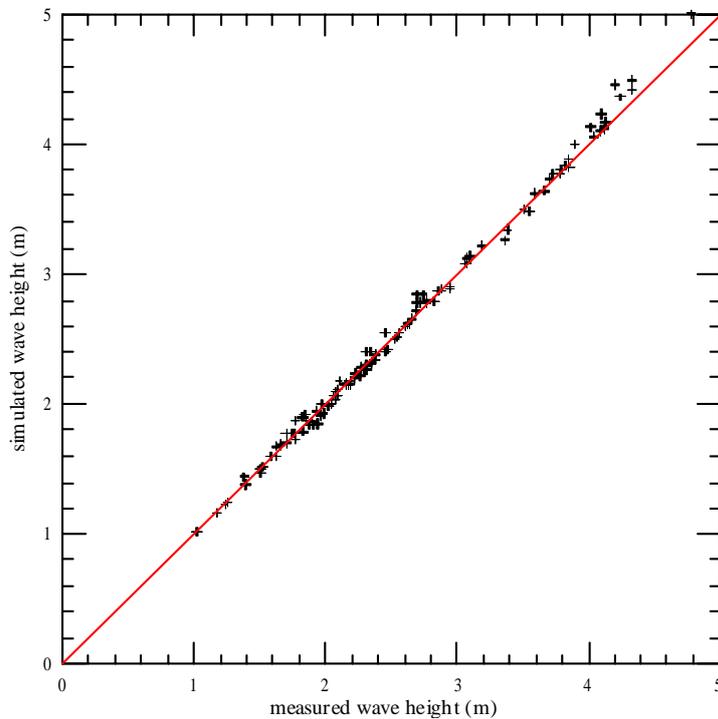


圖 3.20 臺中港小尺度波浪模組邊界條件校驗後，點位 A 波高模擬值與觀測值之對應關係圖

### 3.2.4 布袋港小尺度港區近岸波浪模組

布袋港小尺度港區近岸波浪模組之波浪場模擬範圍及數值計算參考網格，如圖 3.21 所示，圖中沿岸方向(Y 軸)之距離為 9.0 km，離岸方向(X 軸)之距離為 16.0 km，外海邊界水深約介於 15m~20m 間。有關本計畫布袋港小尺度波浪模組參考網格之維度(大小)、網格間距及網格座標與二度分帶座標系統(TW97)之關係，如表 3-2 所列。

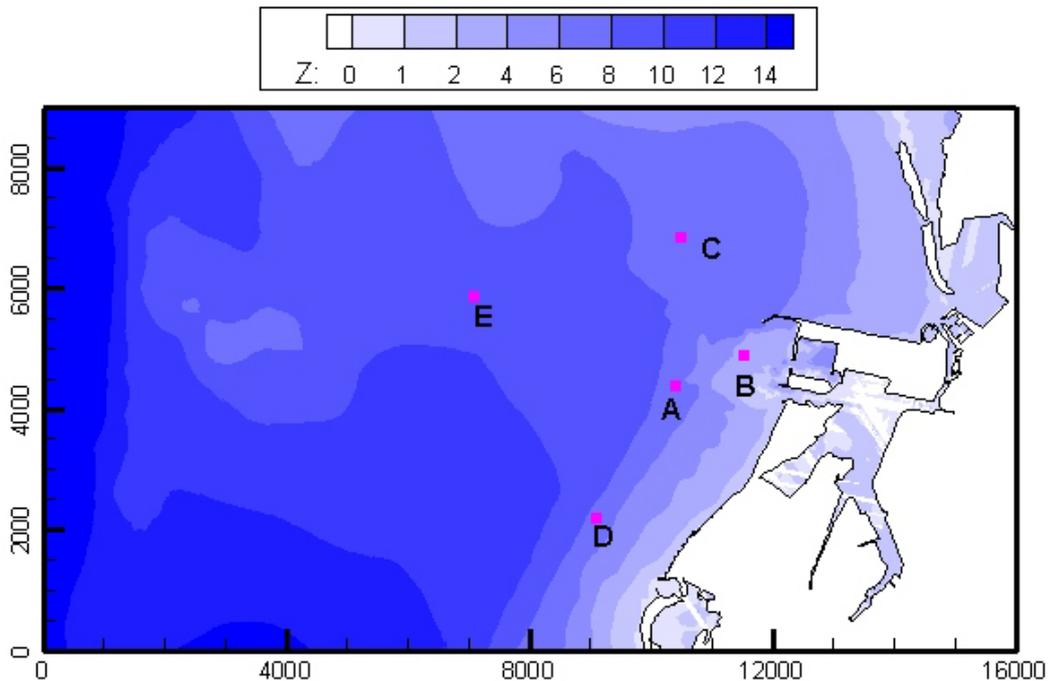


圖 3.21 布袋港小尺度波浪模組參考網格大小及地形水深分布圖

### 3.2.5 安平港小尺度港區近岸波浪模組

安平港小尺度波浪模組於 102 年度計畫配合安平漁港舊港口通航，修正波浪場模擬範圍及數值計算參考網格，如圖 3.22 所示，圖中沿岸方向(Y 軸)之距離為 14.0 km，離岸方向(X 軸)之距離為 10.2 km，外海邊界水深約介於 18m~30m 間。波浪場模擬使用的參考網格座標原點之二度分帶座標(TW97)分別為(160526.8，2531091.8)，其中網格座

標 X 軸之旋轉角度  $31.44^\circ$  (相對於二度分帶座標 E 軸); 參考網格維度(大小)為  $1401 \times 1041$ , 網格間距為 10 m。

同時配合安平港波浪觀測位置由舊觀測樁(水深約 17 m)移至安平港南外防波堤西南側海域(水深約 14 m), 重新校驗模式邊界條件修正參數, 如圖 3.23 及圖 3.24 所示。

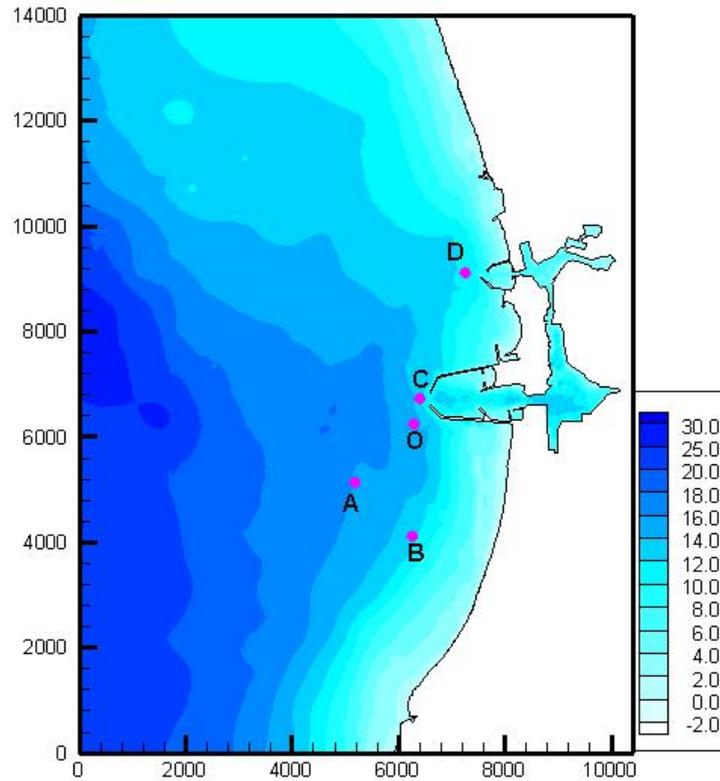


圖 3.22 安平港小尺度波浪模組參考網格大小及地形水深分布圖

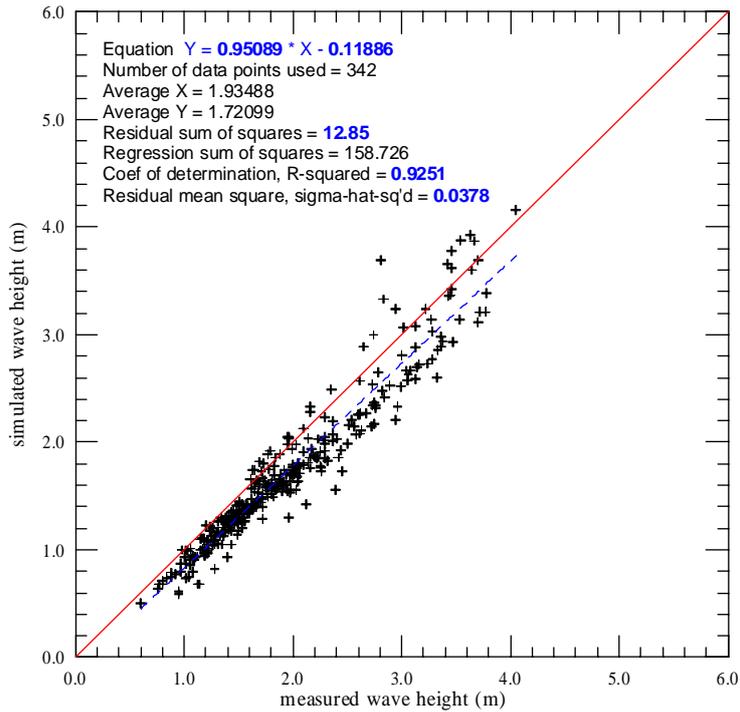


圖 3.23 安平港小尺度波浪模組邊界條件校驗前，點位 O 波高模擬值與觀測值之對應關係圖

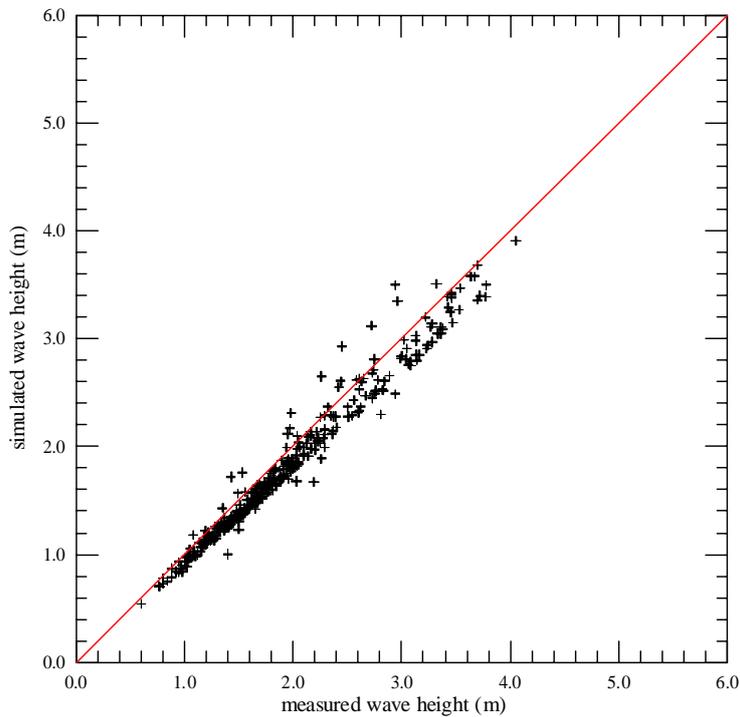


圖 3.24 安平港小尺度波浪模組邊界條件校驗後，點位 O 波高模擬值與觀測值之對應關係圖

### 3.2.6 高雄港小尺度港區近岸波浪模組

高雄港小尺度波浪模組之波浪場模擬範圍及數值計算參考網格，如圖 3.25 所示，圖中沿岸方向(Y 軸)之距離為 17.0 km，離岸方向(X 軸)之距離為 8.0 km，外海邊界水深約介於 20m~30m 間。波浪場模擬使用的參考網格座標原點之二度分帶座標(TW67)分別為(177877.0，2487555.0)，其中網格座標 X 軸之旋轉角度為 38.0°(相對於二度分帶座標 E 軸)；參考網格維度(大小)為 801×1701，網格間距為 10 m。

101 年度計畫針對高雄港小尺度波浪模組更新內容主要有港區水深資料更新及校驗波高、波向邊界條件之修正參數，分別如圖 3.26 及圖 3.27 所示。

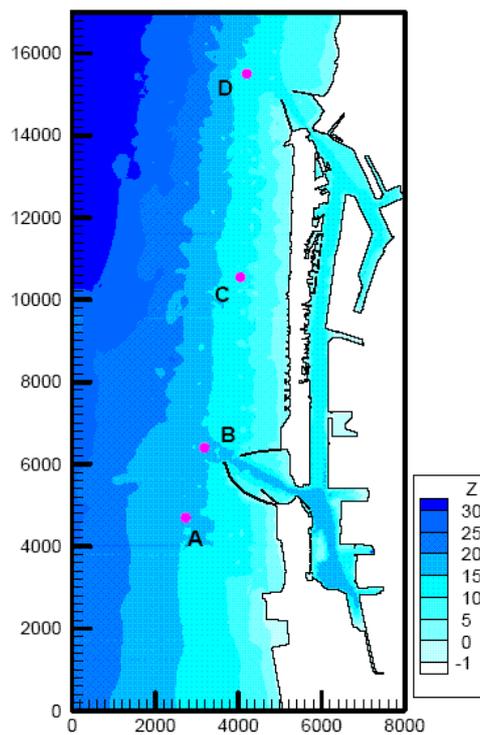


圖 3.25 高雄港小尺度波浪模組參考網格大小及地形水深分布圖

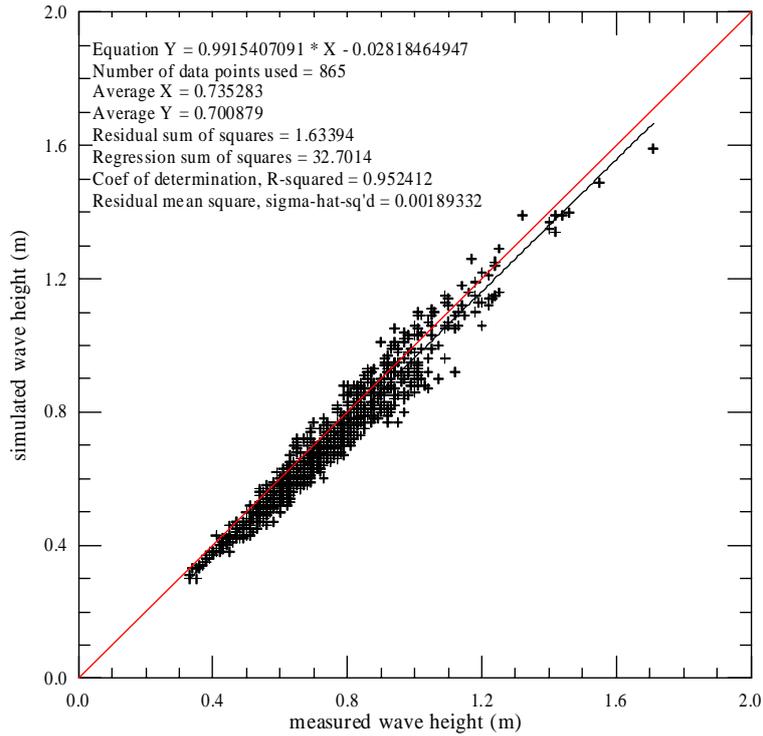


圖 3.26 高雄港小尺度波浪模組邊界條件校驗前，點位 A 波高模擬值與觀測值之對應關係圖

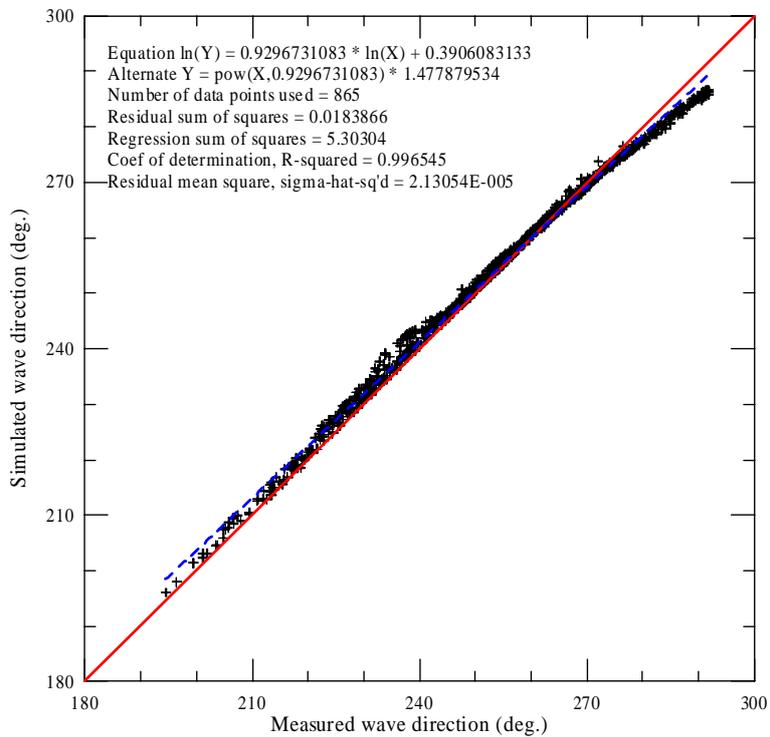


圖 3.27 高雄港小尺度波浪模組邊界條件校驗前，點位 A 波向模擬值與觀測值之對應關係圖

### 3.2.7 蘇澳港小尺度港區近岸波浪模組

蘇澳港小尺度港區近岸波浪模組之波浪場模擬範圍及數值計算參考網格，如圖 3.28 所示，圖中沿岸方向(Y 軸)之距離為 8.0 km，離岸方向(X 軸)之距離為 6.0 km，外海邊界水深約 80 m。波浪場模擬使用的參考網格座標原點之二度分帶座標(TW67)分別為(341180.0, 2725933.0)，其中網格座標 X 軸之旋轉角度為 185.0° (相對於二度分帶座標 E 軸)；參考網格維度(大小)為 601×801，網格間距為 10 m。圖示點位 A ~ D 代表蘇澳港小尺度波浪場模擬結果之輸出點位，其中點位 A 代表港灣技術研究中心設置波浪觀測之位置。

(1)更新參考網格相關資料：本項工作內容包括地形水深及港池配置等資料，其中地形水深資料包括 102 年度(2013 年)港域水深調查資料，如圖 3.29 所示，以及海軍大氣海洋局刊行的蘇澳港水道圖(圖號 04516)之水深資料；在港池配置方面，主要針對南方澳與東防波堤內側水域新增圍堤填土水域，如圖 3.30 所示，修正參考網格非計算格點資料。本年度蘇澳港小尺度參考網格更新之港池配置及地形水深分布情形，如圖 3.31 所示，其中參考網格邊界(Y 軸)上水深變化約介於-34 m 至-100 m 之間，以及北方澳鼻外海存在有潛礁地形，顯示原蘇澳港小尺度模組參考網格之水深資料與實際的地形水深差異相當大。

(2)校驗邊界條件之校正參數：本項工作計畫依據 2012 及 2013 年波浪觀測資料篩選具代表性波浪資料進行波浪場模擬，再依據觀測點位波高模擬值與觀測值間的對應關係，率定邊界波浪輸入條件之校正參數。同時，配合 TaiCOMS 以模擬風浪之譜峰週期取代模擬風浪之平均週期，更新小尺度波浪模組作業化模擬預報結果。

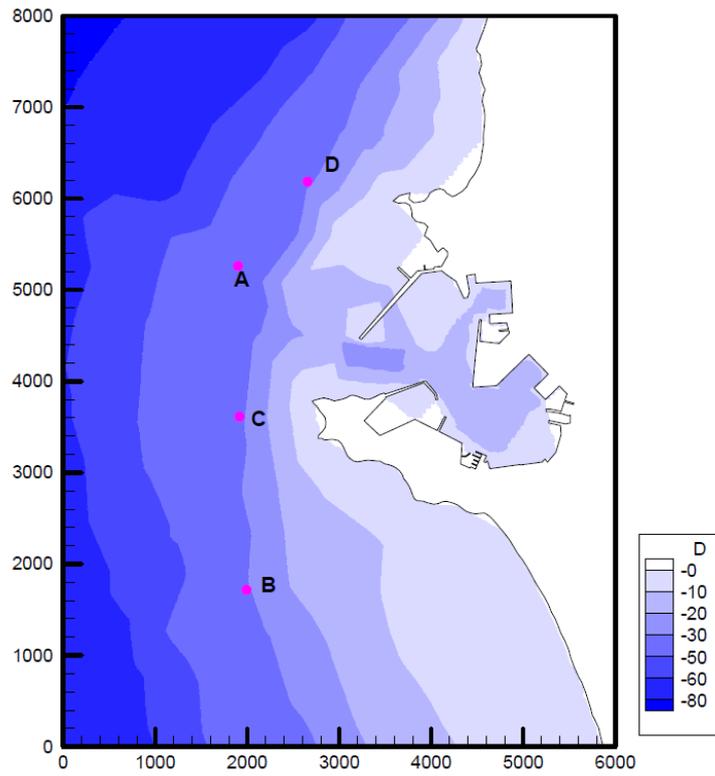


圖 3.28 蘇澳港小尺度波浪模組參考網格大小及地形水深分布圖

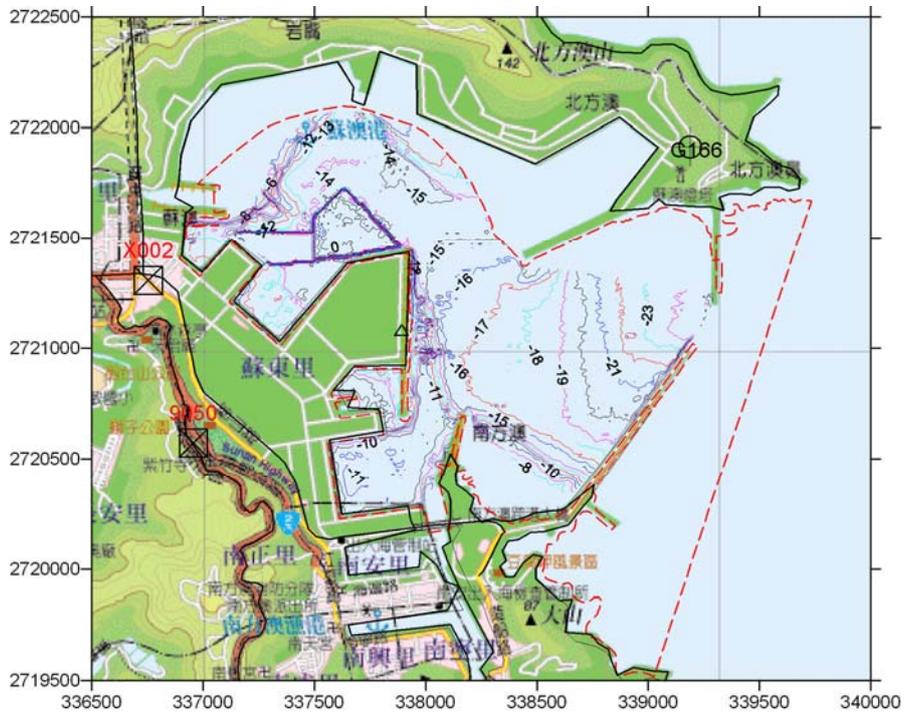


圖 3.29 蘇澳港港區 102 年度水深調查結果之水深分布圖



圖 3.30 蘇澳港港區衛星影像圖

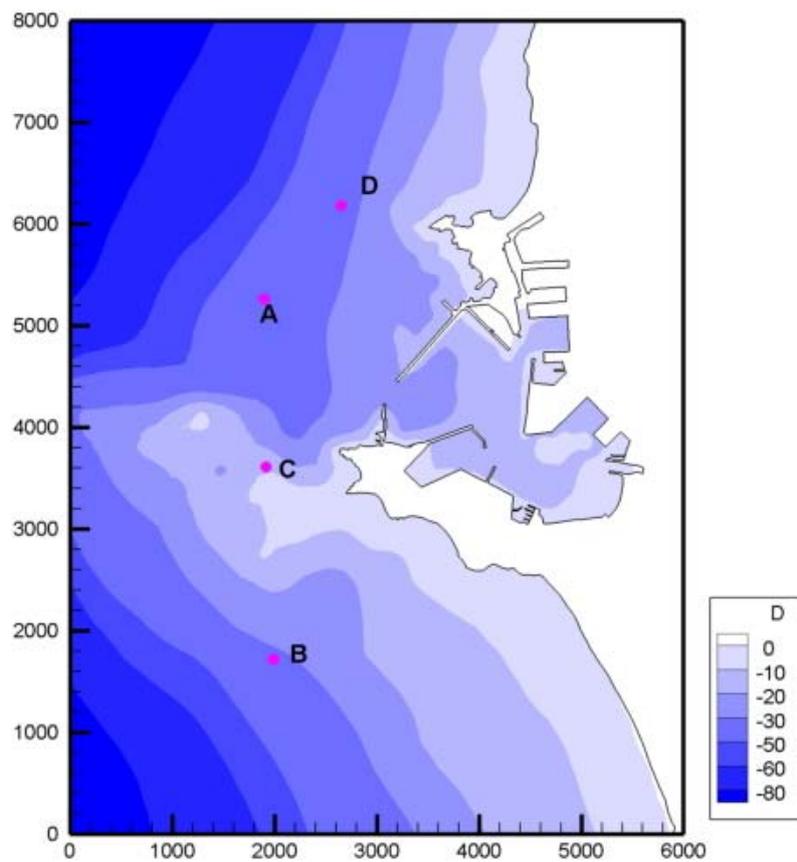


圖 3.31 蘇澳港小尺度波浪模組更新後參考網格之地形水深分布圖

### 3.2.8 花蓮港小尺度港區近岸波浪模組

花蓮港小尺度波浪模組波浪場模擬範圍及數值計算參考網格，如圖 3.32 所示，圖中沿岸方向(Y 軸)之距離為 8.0 km，離岸方向(X 軸)之距離為 3.2 km，外海邊界最大水超過 150 m。波浪場模擬使用的參考網格座標原點之二度分帶座標(TW67)分別為(316892.0, 2655232.0)，其中網格座標 X 軸之旋轉角度為 150.0°(相對於二度分帶座標 E 軸)；參考網格維度(大小)為 321×801，網格間距為 10 m。

(1)更新參考網格相關資料：本年度僅依據 102 年度(2013 年) 花蓮港港域水深調查資料，如圖 3.33 所示，更新小尺度波浪模組參考網格港內水深資料。

(2)校驗邊界條件之校正參數：本項工作計畫依據 2012 及 2013 年花蓮港波浪觀測資料篩選具代表性波浪資料進行波浪場模擬，再依據觀測點位波高模擬值與觀測值間的對應關係，率定邊界波浪輸入條件之校正參數。同前述蘇澳港，為配合 TaiCOMS 以模擬風浪之譜峰週期取代模擬風浪之平均週期之作業化更新，此處波浪觀測資料週期亦選取浪觀測資料之譜峰週期為模式輸入條件。

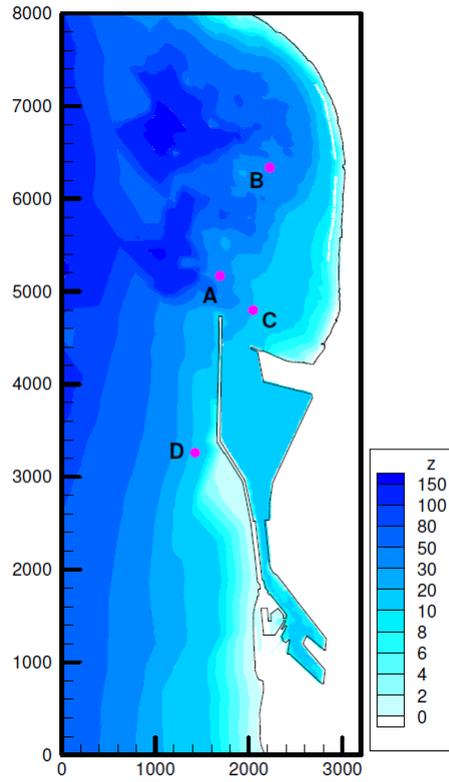


圖 3.32 花蓮港小尺度波浪模組參考網格大小及地形水深分布圖

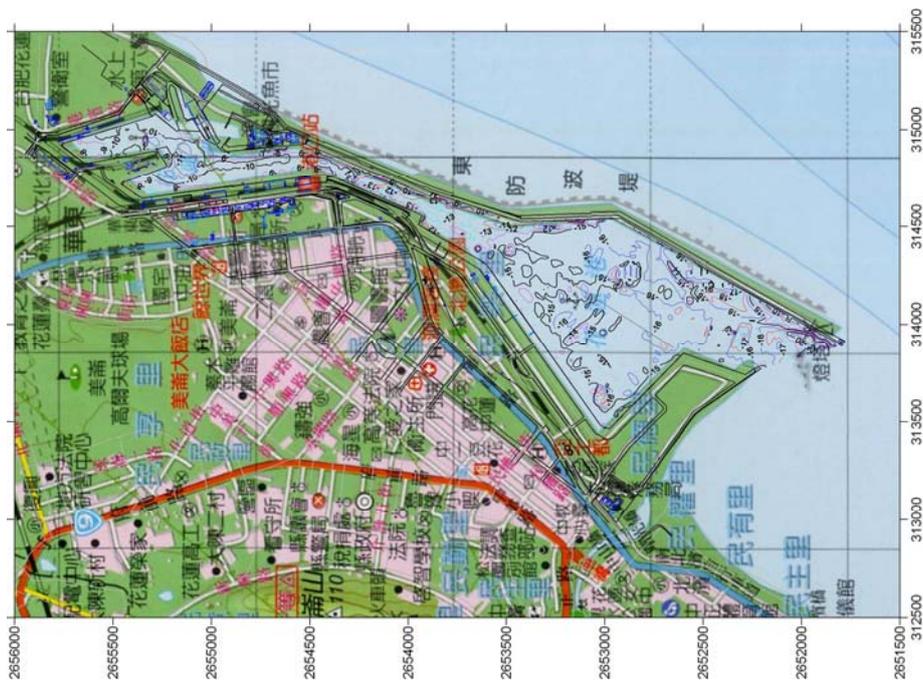


圖 3.33 花蓮港港區 102 年度水深調查結果之水深分布圖

### 3.3 港域波浪場模擬與研究

與 TaiCOMS 小尺度波浪模組建置架構相同，港域波浪場模擬主要針對國內主要商港基隆港、臺北港、蘇澳港、花蓮港、臺中港、安平港、高雄港及布袋港等八個主要港口為之；為與前述小尺度波浪模組區隔，細尺度港域波浪模組(簡稱細尺度波浪模組)主要應用範圍為港口及港內等水域，目的在於研究主要商港之遮蔽及共振等問題，並應用於模擬颱風波浪作用下港口及港內波浪狀況，藉以評估颱風侵臺期間港外颱風波浪是否可能影響船舶泊靠安全。

由於細尺度波浪模組必需具備能夠模擬波浪受結構物作用產生的折、繞射及反射現象的能力，因此 TaiCOMS 細尺度波浪模組採用的數值模式係以橢圓型緩坡方程式為控制方程式，以有限元素法為數值求解方法(參考附錄一所述)。由於細尺度波浪模組使用的數值計算網格不僅空間網格尺度小於小尺度波浪模組數值計算參考網格，且模式數值計算時間更為費時；由於細尺度波浪模組模擬效率無法符合 TaiCOMS 波浪模擬架構規劃之作業化模擬預報時程，因此各港口細尺度波浪模組並未納入 TaiCOMS 每日作業化模擬流程(參考圖 3.3)。

與 TaiCOMS 小尺度波浪模組規劃之研究期程相同，四年期計畫採逐年針對基隆港及臺北港(100 年度)、臺中港及布袋港(101 年度)、安平港及高雄港(102 年度)、蘇澳港及花蓮港(103 年度)分別進行細尺度波浪模組相關改善與研究，本年度(103 年度)主要研究對象為蘇澳港及花蓮港。各主要商港細尺度波浪模組規劃之模擬範圍分別如圖 3.34 至 4.41 所示，各港口數值模式計算採用的非結構性細網格基本資料，如表 3-2 所列，表中內容包括三角形元素及節點數目、外海假想邊界半徑及最大水深值等資訊。

由於本計畫有限元素數值模式要求數值計算網格解析度需滿足每個波長內節點數至少 8 個以上，因此本計畫各港口非結構性細網格的產生係依據粗網格節點水深資料，如圖 3.34 至 4.41 所示，配合波浪週期及波長內節點數(本計畫採用 8 或 10)等判斷條件，以電腦程式產生

非結構性細網格之節點位置，再以三角形元素組成非結構性細網格。故由表 3-2 所列各港口網格元素數目及節點數目組成的數值計算細網格，在波浪場模擬應用上均有適用波浪週期之限制，換言之，表 3.2 所列各港口細網格適用的最小波浪週期分別為：基隆港 8 sec、臺北港 10 sec、蘇澳港 8 sec、花蓮港 10 sec、臺中港 10 sec、安平港 10 sec、高雄港 10 sec 及布袋港 8 sec 等。

本計畫針對主要商港港域波浪場模擬所考慮的波浪條件主要有波高、週期及波向等參數，其中波高參數因本計畫數值模式屬於波浪線性理論，故港域波浪場之波高計算可以採用入射波高之無因次化方式表示，即假設入射波高或振幅為 1.0，將波浪場模擬條件簡化為僅考慮波浪週期及外海無限領域之波浪來向(即採用波浪觀測資料之波向定義)等參數。其中波浪模擬週期之間隔為 0.1 sec，波浪週期模擬範圍上限為 20 sec，下限為各港口細網格解析度適用之最小波浪週期(同上所述)；波向配合波浪觀測資料採用 16 個方向定義(即 N、NNE、NE、ENE、E、...等)，當波浪來向超出各港口假想半圓領域即不被採用或忽略。

此外，本計畫主要商港細尺度港域波浪場模擬結果，如圖 3.42 至圖 3.45 所示，將提供 TaiCOMS 建置成臺灣主要商港細尺度港域波浪場模擬資料庫，規劃於颱風期間利用各港口外海風浪模擬預報值推估港內波高分布狀況，呈現於港灣資訊網。另外，針對主要商港港內碼頭前波高變化展示，目前各港口規劃的波高展示碼頭區之分布如圖 3.46 至圖 3.54 所示。

以下各小節僅就本年度主要商港細尺度港域波浪模組研究成果整理如下；

表 3-2 港域波浪模擬之數值計算細網格基本資料

港口 名稱	數值計算之三角網格		外海假想邊界 半徑(m)	最大水深 (m)
	元素數目	節點數目		
基隆港	59,694	30,679	1000.0	50.0
蘇澳港	70,797	36,436	826.0	30.0
花蓮港	122481	62116	2200.0	100.0
高雄港一港口	126,709	64,838	2000.0	15.0
高雄港二港口	214,486	109,157	2800.0	18.0
安平港	210,394	107,016	2000.0	17.0
布袋港	287,564	144,968	1300.0	7.0
臺中港	327,611	166,214	3500.0	23.0
臺北港	268,830	135,484	3500.0	25.0

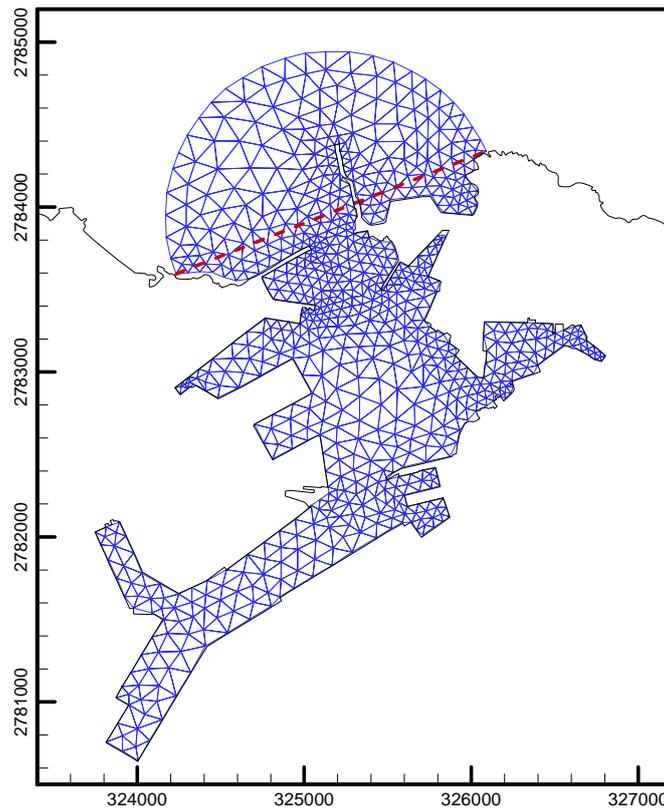


圖 3.34 基隆港區細尺度波浪模組模擬範圍及非結構粗網格分布圖

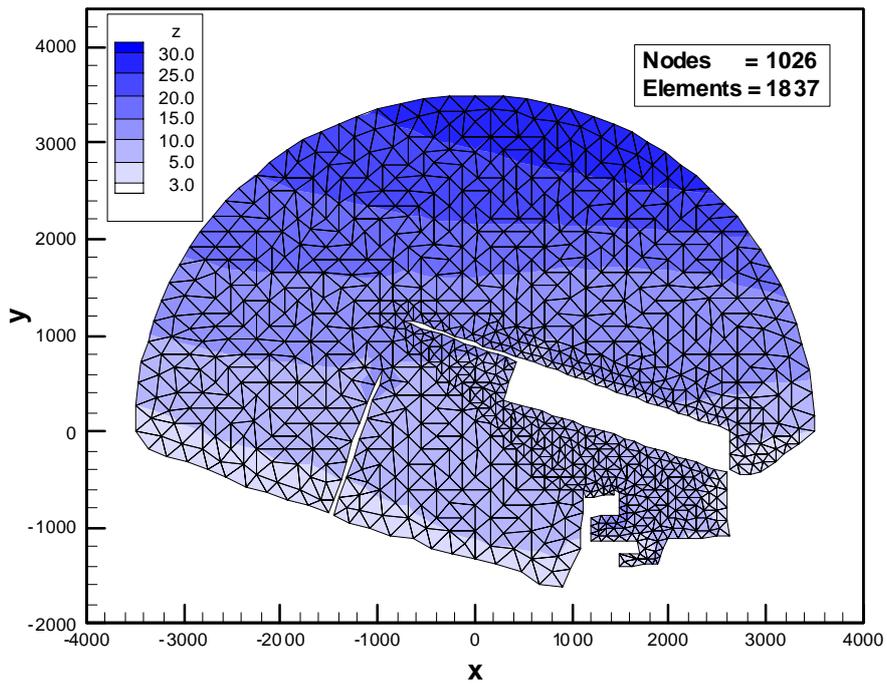


圖 3.35 臺北港細尺度波浪模組模擬範圍及非結構粗網格分布圖

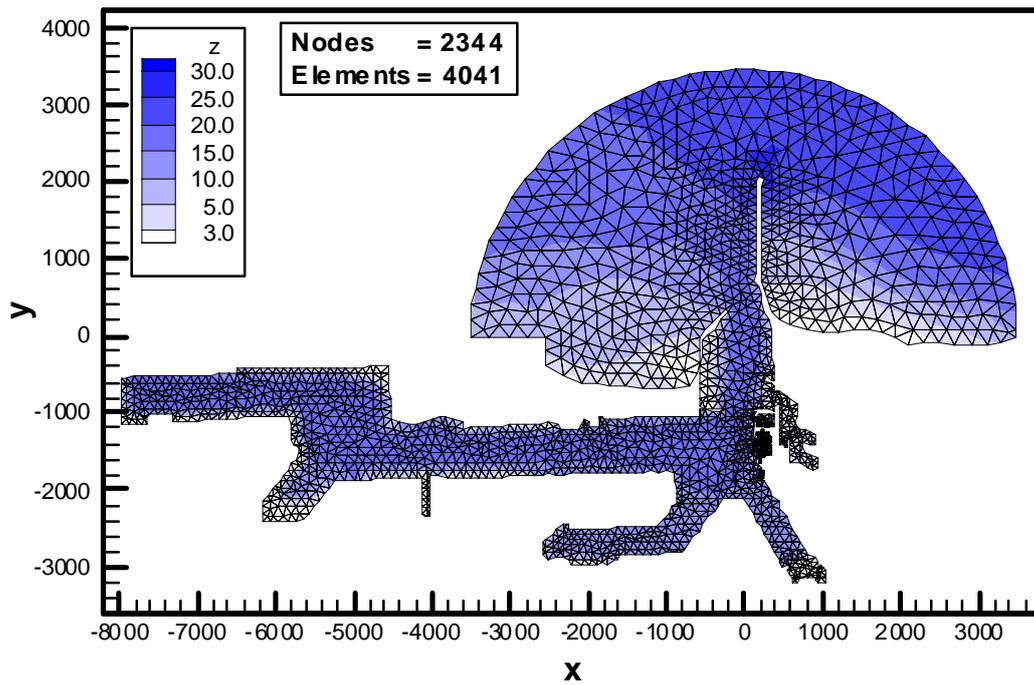


圖 3.36 臺中港細尺度波浪模組模擬範圍及非結構粗網格分布圖

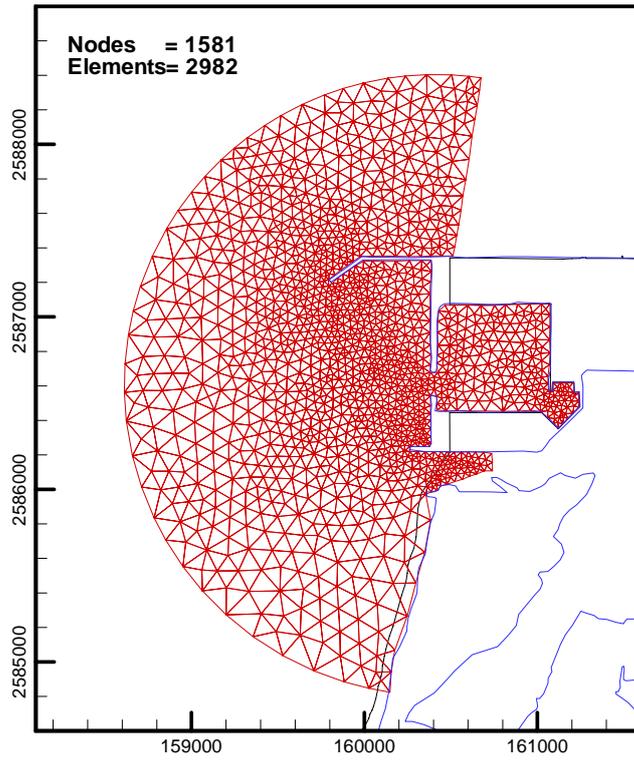


圖 3.37 布袋港細尺度波浪模組模擬範圍及非結構粗網格分布圖

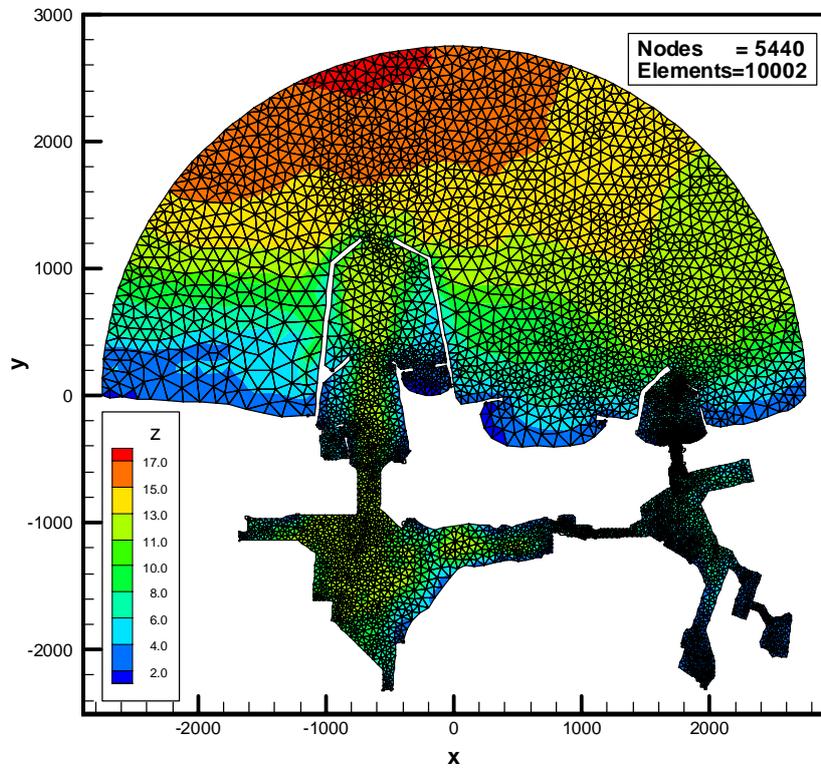


圖 3.38 安平港區細尺度波浪模組模擬範圍及非結構粗網格分布圖

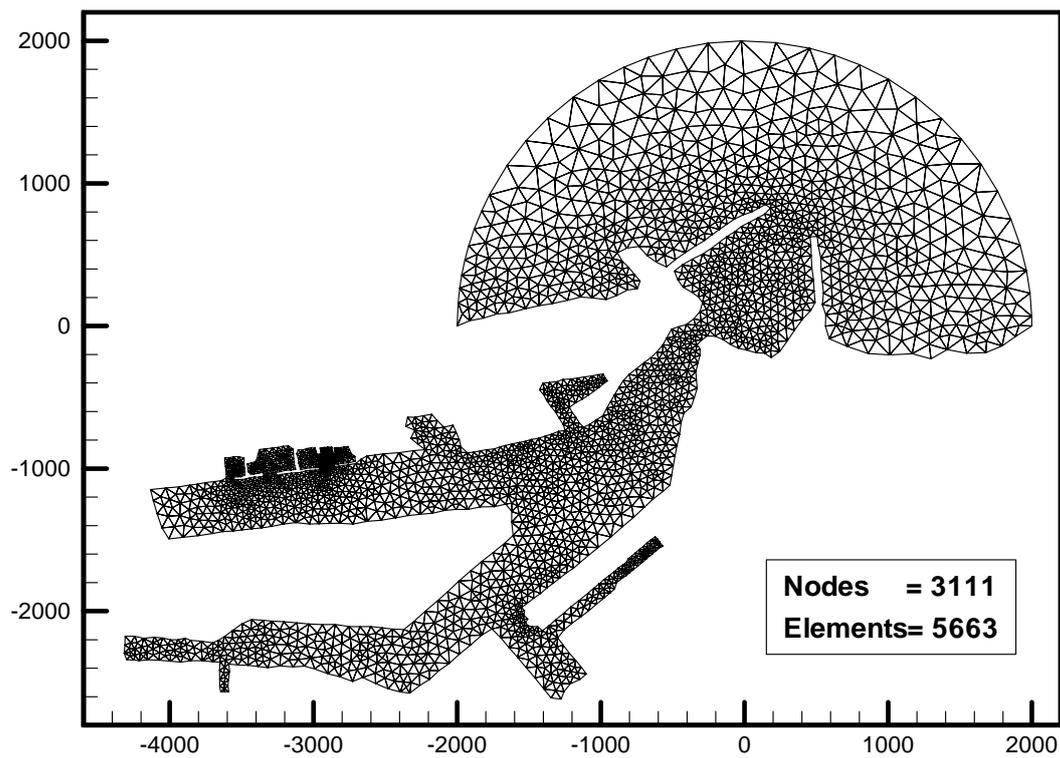


圖 3.39 高雄港區一港口細尺度波浪模組模擬範圍及非結構粗網格分布圖

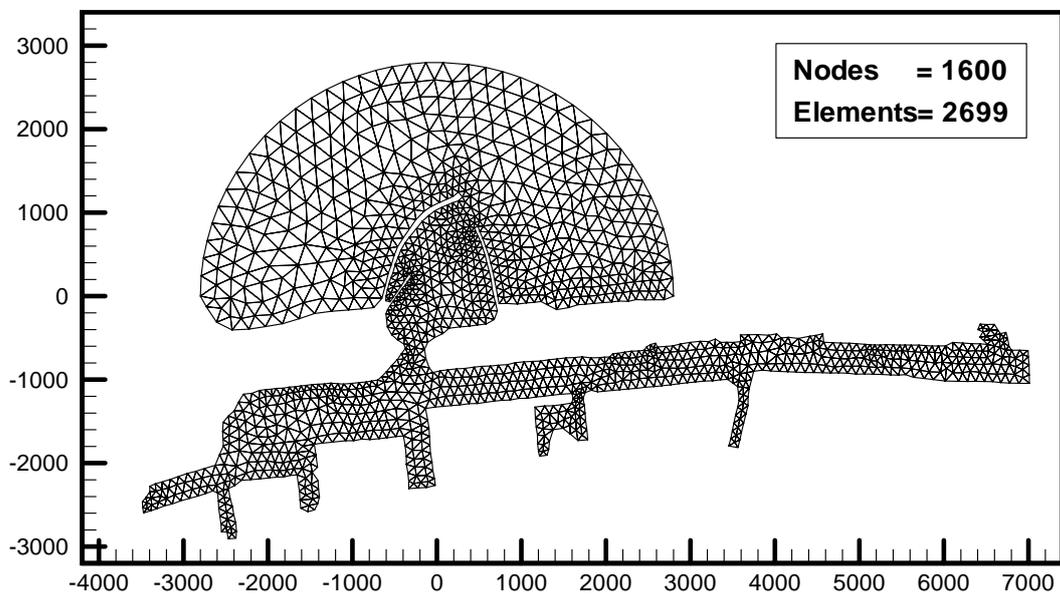


圖 3.39 (續)高雄港區二港口細尺度波浪模組模擬範圍及非結構粗網格分布圖

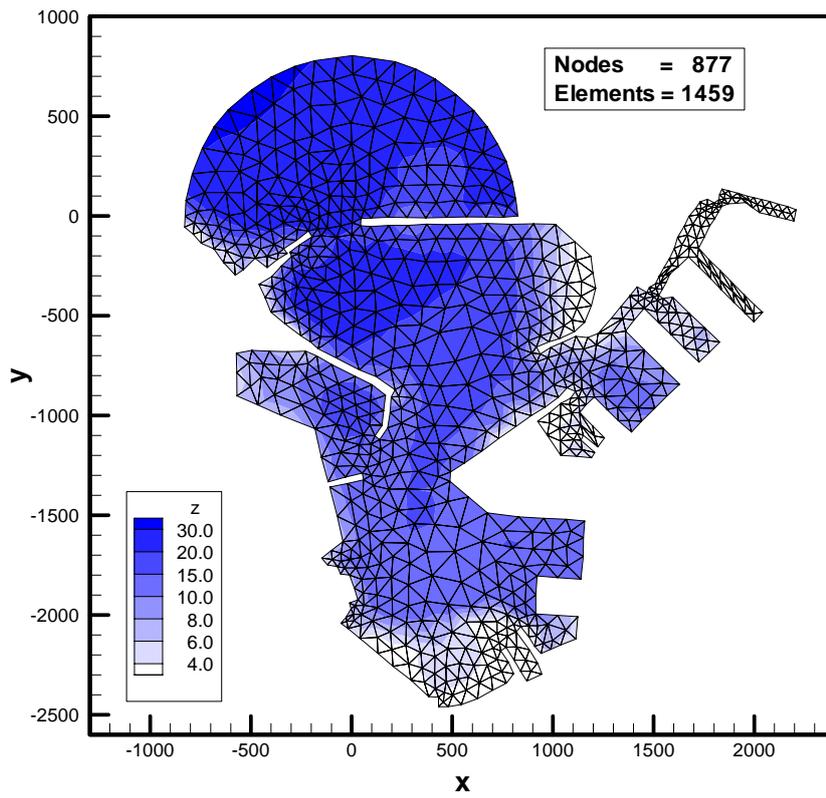


圖 3.40 蘇澳港區細尺度波浪模組模擬範圍及非結構粗網格分布圖

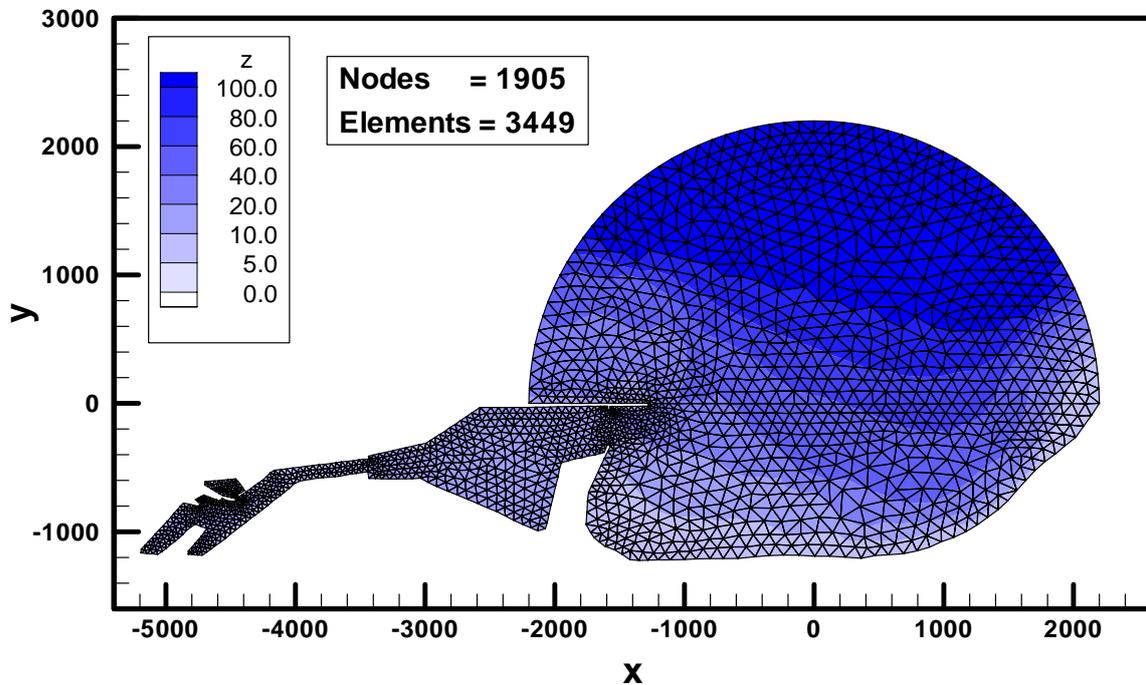


圖 3.41 花蓮港區細尺度波浪模組模擬範圍及非結構粗網格分布圖

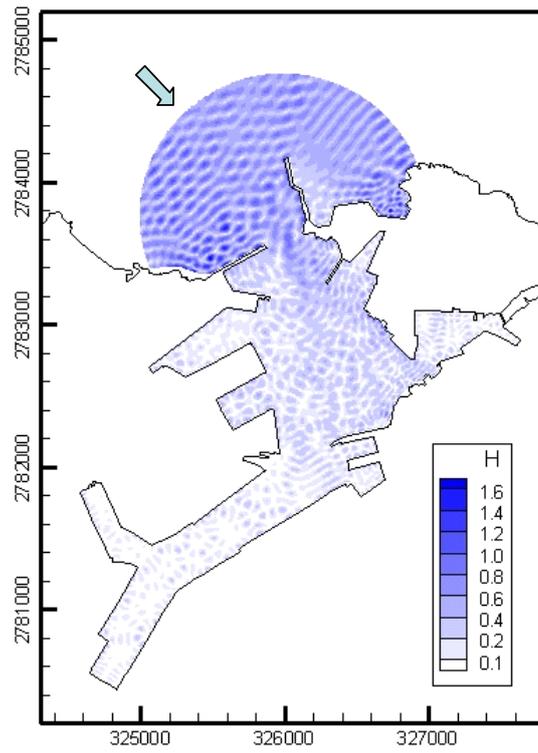


圖 3.42 基隆港區細尺度波浪場波高分布圖(週期 10s、NW)

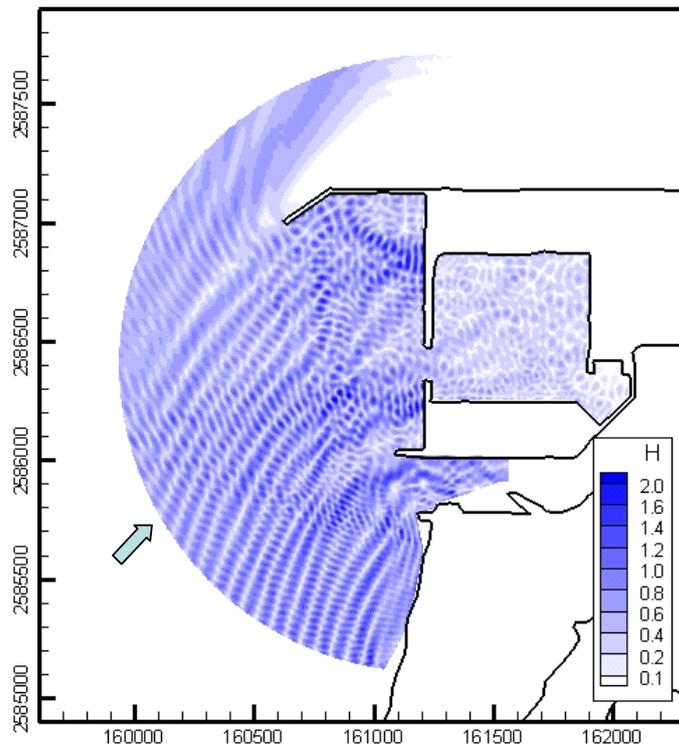


圖 3.43 布袋港區細尺度波浪場波高分布圖(週期 10s、SW)

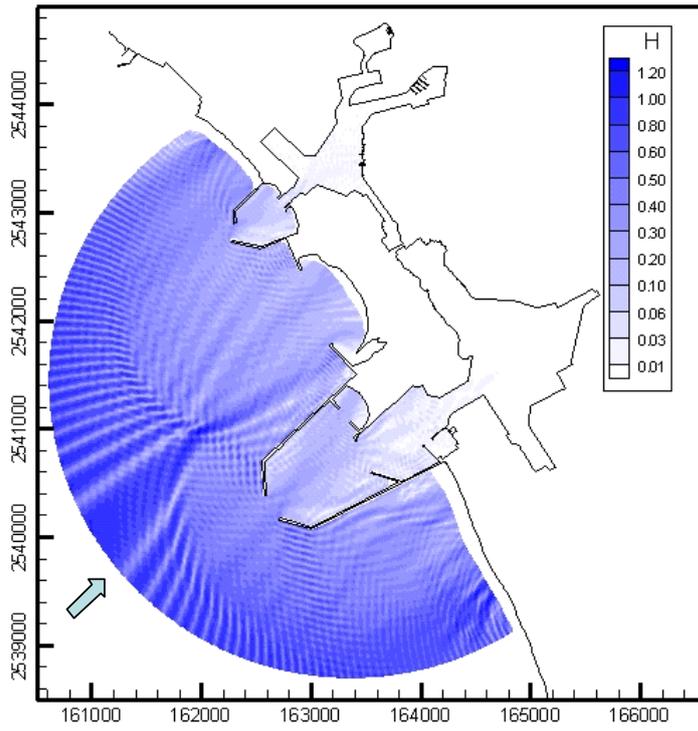


圖 3.44 安平港區細尺度波浪場波高分布圖(週期 10s、SW)

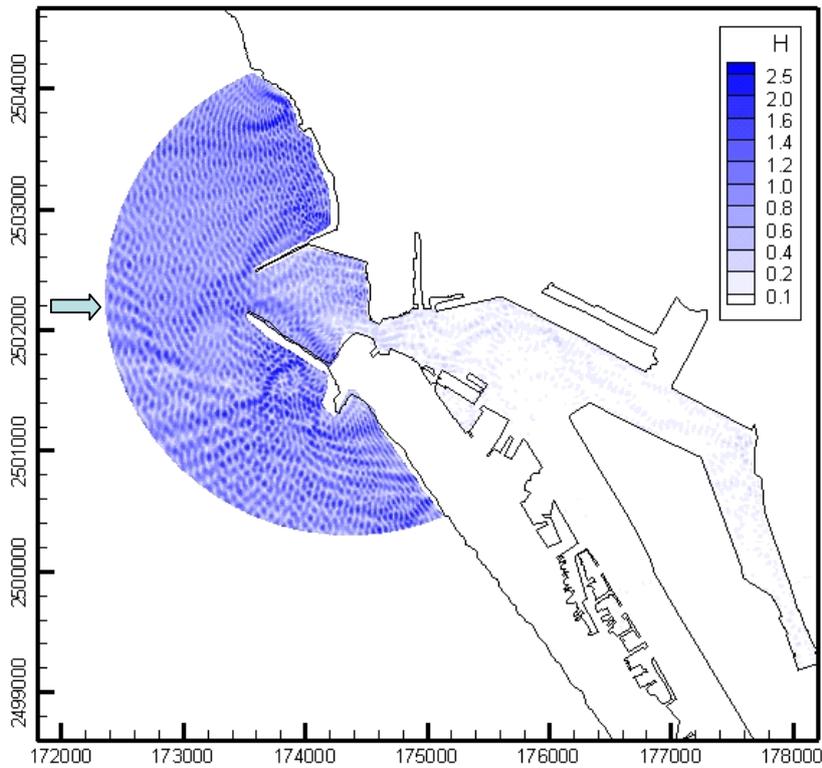


圖 3.45 高雄港一港口區細尺度波浪場波高分布圖(週期 10s、W)

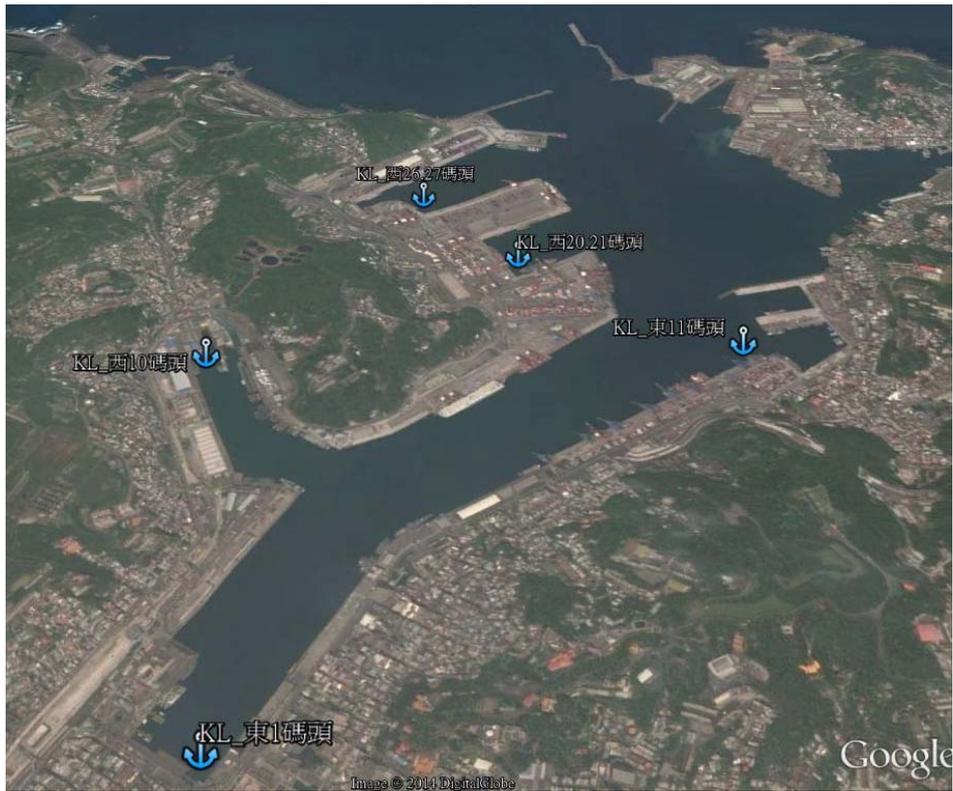


圖 3.46 基隆港港域波高規劃展示點位分布圖



圖 3.47 臺北港港域波高規劃展示點位分布圖



圖 3.48 臺中港港域波高規劃展示點位分布圖



圖 3.49 布袋港港域波高規劃展示點位分布圖

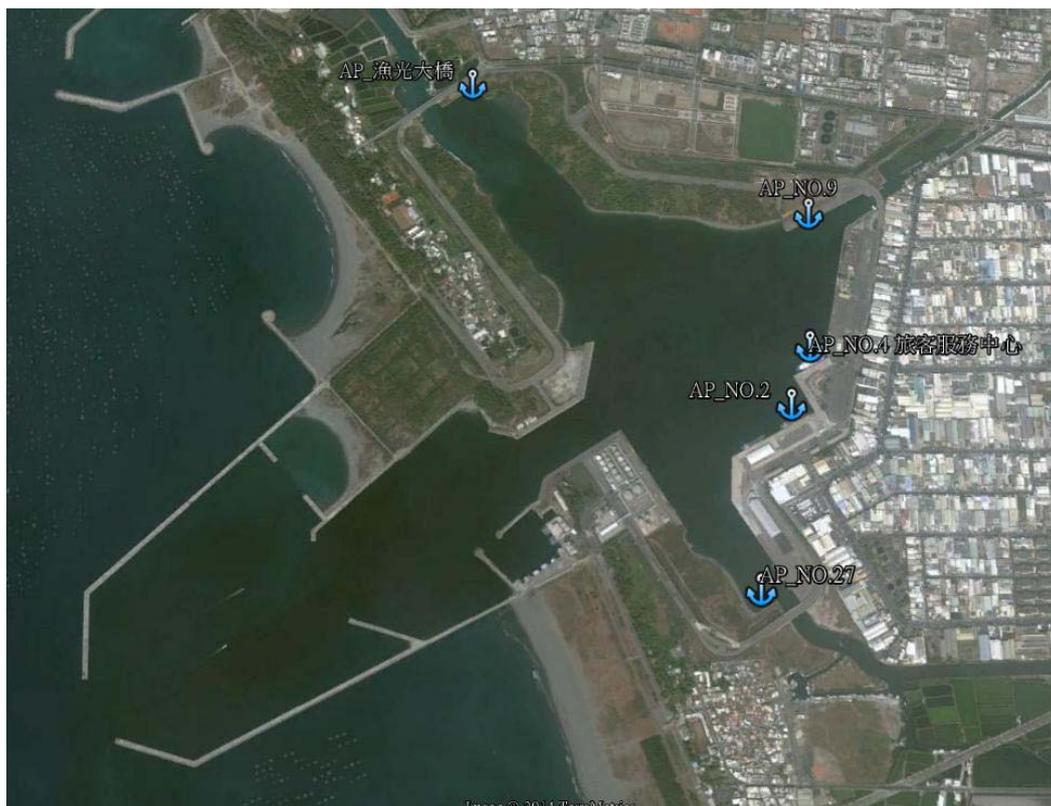


圖 3.50 安平港港域波高規劃展示點位分布圖



圖 3.51 高雄港一港口港域波高規劃展示點位分布圖



圖 3.52 高雄港二港口港域波高規劃展示點位分布圖

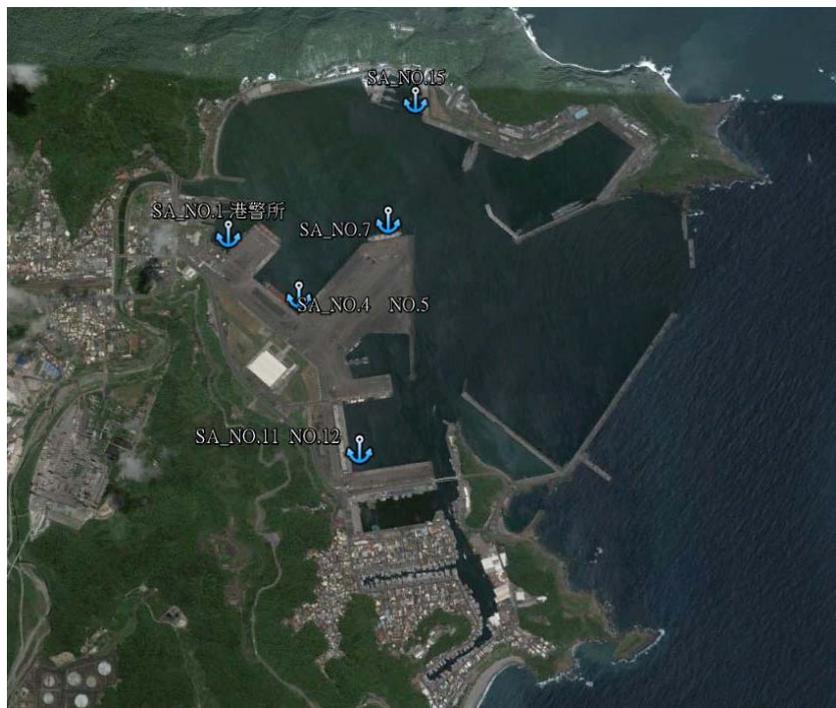


圖 3.53 蘇澳港港域波高規劃展示點位分布圖

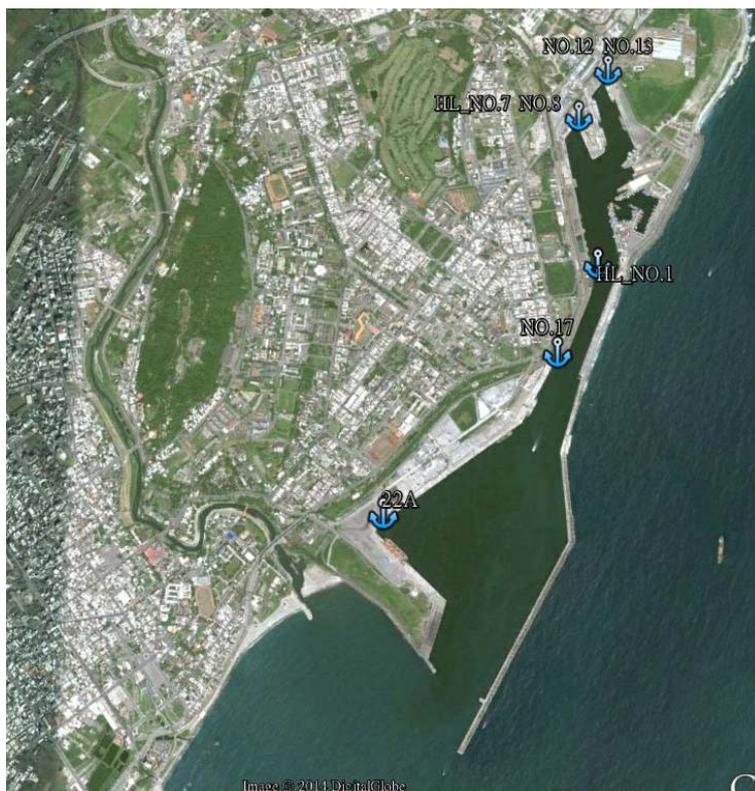


圖 3.54 臺北港港域波高規劃展示點位分布圖

### 3.3.1 蘇澳港細尺度港域波浪模擬

本年度計畫蘇澳港細尺度波浪模組之研究成果如下：

(1)更新波浪場模擬之非結構性細網格：針對蘇澳港港池配置現況(如圖 3.55 所示)與前期計畫蘇澳港港池配置之差異(參考圖 3.30 所示)，以及配合 102 年度港域水深調查資料(如圖 3.29 所示)，更新本年度蘇澳港細尺度波浪模組之非結構粗網格配置及網格節點水深資料，如圖 3.56 所示。圖中蘇澳港商港區之迴船池水域水深約介於 14 ~ 15 m，商港碼頭水深約介於 7 m ~ 12 m 之間；外海水深超過 30 m。同時依據蘇澳港波場模擬之最小波浪週期(8 sec)及波長內至少含 10 個節點等條件更新波浪場模擬之非結構細網格，其中三角元素數目為 99069，節點數目為 50843。與前期計畫波浪場模擬之非結構細網格(70,797 個三角元素及 36,436 節點)相較，本年度更新之非結構細網格解析度明顯提升，其中元素及節點數目約為表 3-2 所列之 1.4 倍。

(2)更新港池邊界反射係數：針對蘇澳港港池配置重新分類與修正其反射係數，其中具有消波功能之構造物包括外廓防波堤( $K_r=0.85$ )、港內消波設施(含內防波堤、導流堤及碎波堤等,  $K_r=0.75$ )、礁岩海岸( $K_r=0.9$ )及自然沙灘段( $K_r=0.65$ )等；此外，半無限領域岸線及碼頭區岸壁之反射率，本文假設其為全反射( $K_r=1$ )，完全透波邊界條件( $K_r=0$ )則應用於港內蘇澳溪出水口邊界。

(3)更新蘇澳港港域波浪場模擬結果：本計畫蘇澳港港域波浪場模擬條件係由外海波浪週期模擬範圍為 8 ~ 20 sec，週期間距為 0.1 sec；以及 NE、ENE、E、ESE、SE、SSE 及 S 等 7 個波向組合而成。此外，本計畫蘇澳港港域波浪場模擬結果將提供 TaiCOMS 建置成蘇澳港細尺度港域波浪場模擬資料庫。圖 3.57 至圖 3.60 所示分別為波浪週期 10 sec 不同波向(ENE、E、SE 及 S)模式模擬結果之波高分布圖，由港內波高分布情形可瞭解不同波向作用下蘇澳港港內波浪靜穩或遮蔽情況。

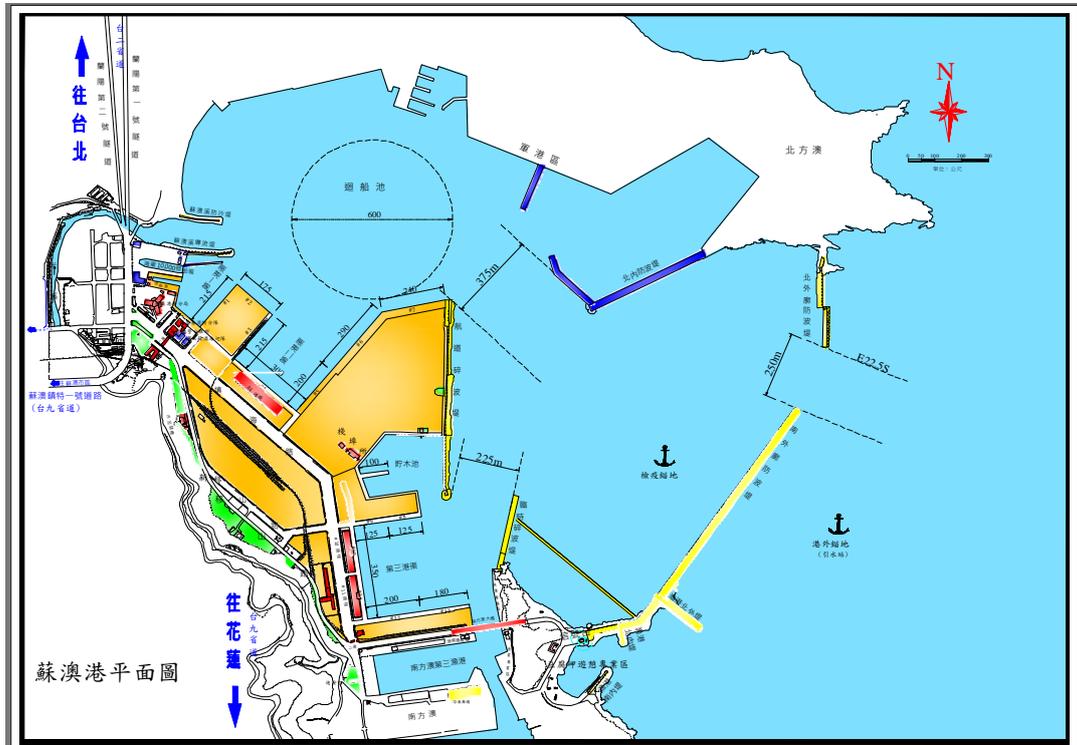


圖 3.55 蘇澳港港域平面配置圖

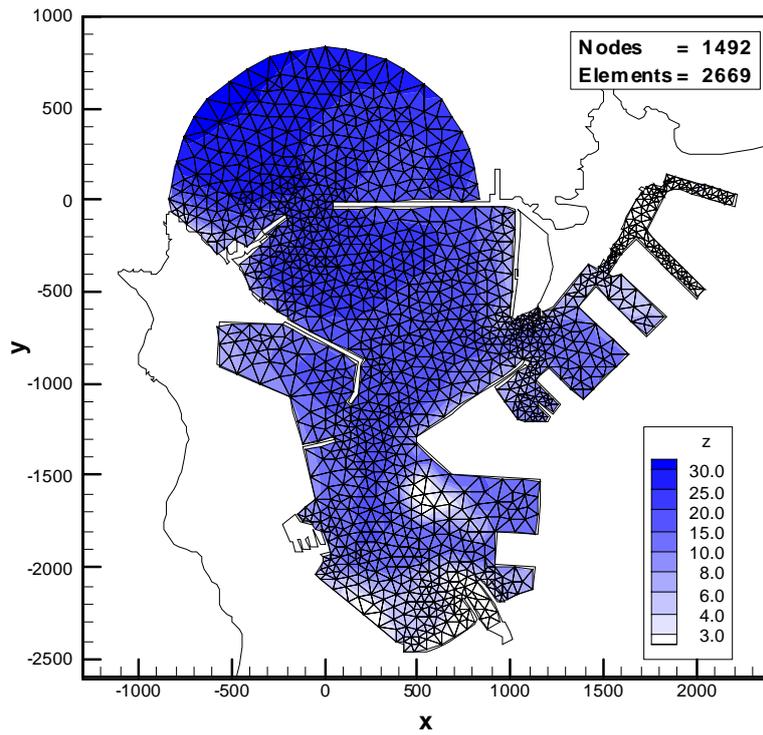


圖 3.56 蘇澳港細尺度波浪模組港池配置更新後，非結構粗網格及水深分布圖

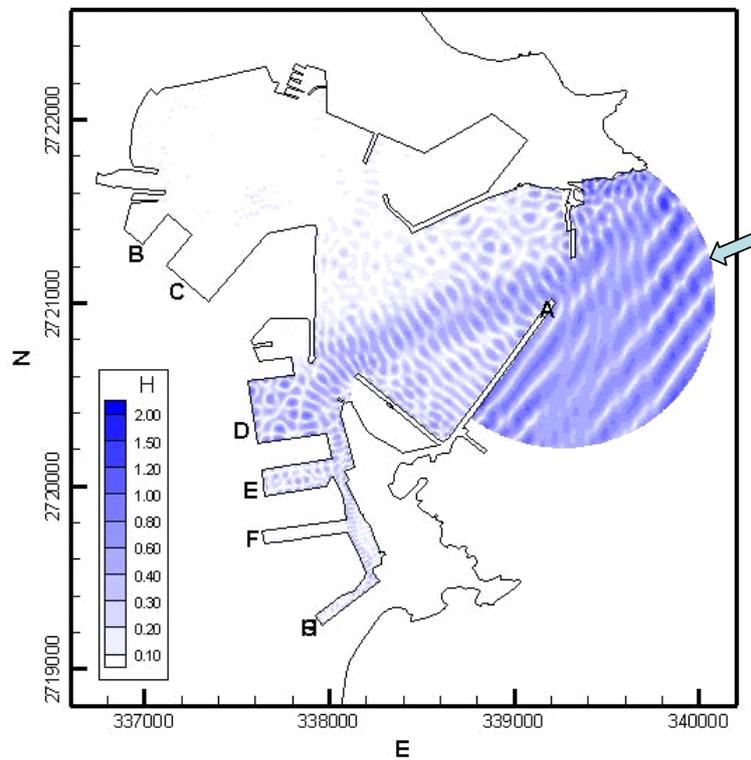


圖 3.57 蘇澳港區細尺度波浪場波高分布圖(週期 10s、ENE)

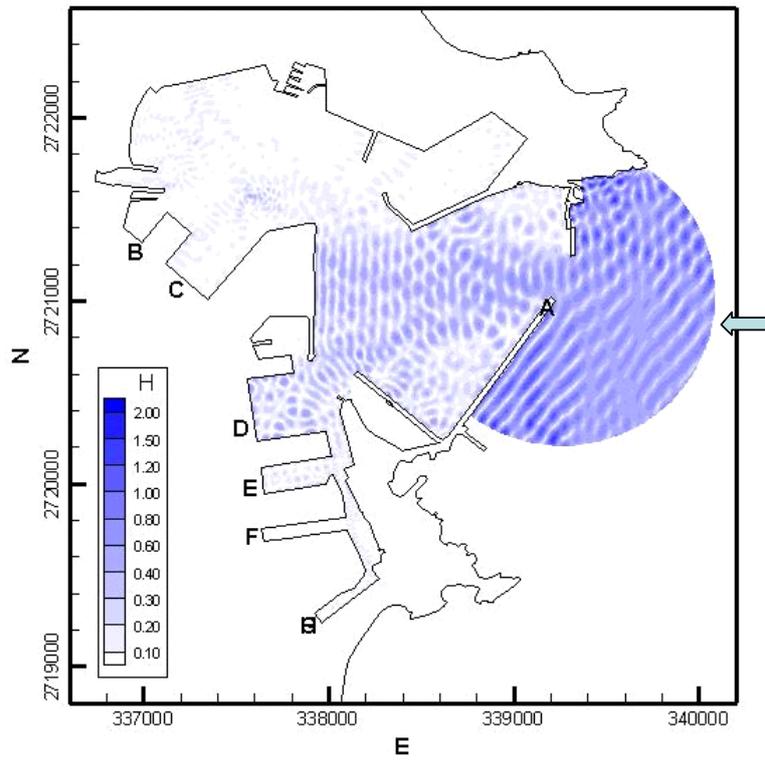


圖 3.58 蘇澳港區細尺度波浪場波高分布圖(週期 10s、E)

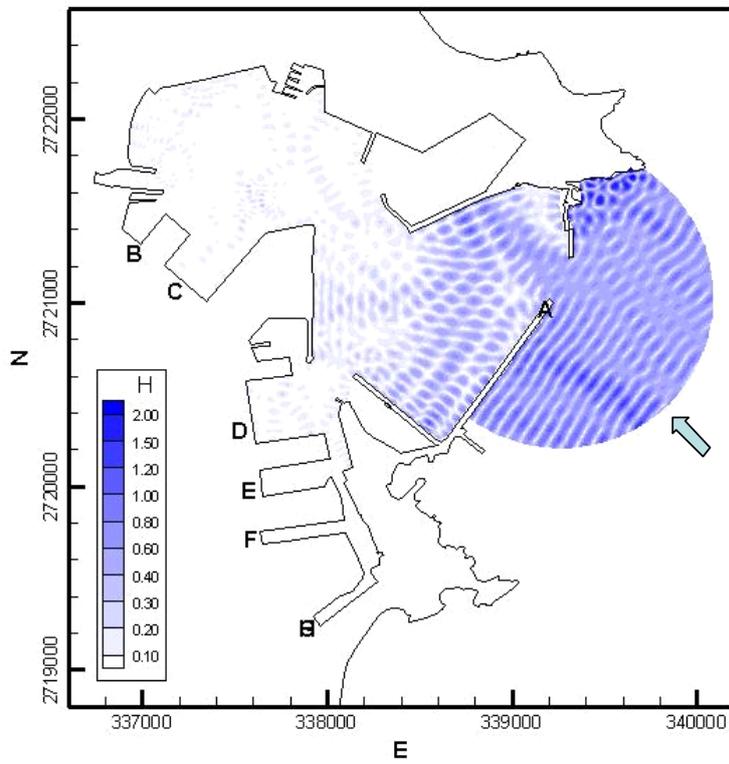


圖 3.59 蘇澳港區細尺度波浪場波高分布圖(週期 10s、SE)

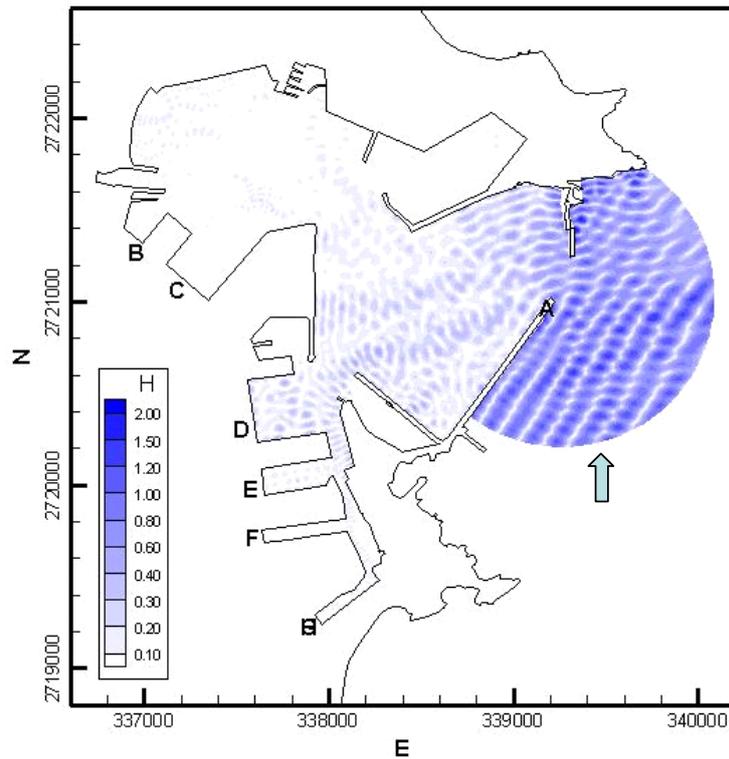


圖 3.60 蘇澳港區細尺度波浪場波高分布圖(週期 10s、S)

### 3.3.2 花蓮港細尺度港域波浪模擬

本年度計畫花蓮港細尺度波浪模組之研究成果如下：

(1)提升非結構性細網格之解析度：本年度計畫除了依據 102 年度花蓮港港域水深調查資料(如圖 3.33 所示)，更新花蓮港細尺度波浪模組之非結構粗網格節點水深資料外，同時採用最小波浪週期 7 sec 及波長內至少含 8 個節點等條件，建構新的非結構細網格作為本計畫花蓮港細尺度波浪模組數值計算網格之替代選項。高解析度之非結構細網格係由 258,117 個三角形元素及 130,169 個節點所組成，不僅三角形元素數目及節點數目均較原低解析度細網格(參考表 3-2)增加近 1.1 倍，且適用波浪模擬範圍可提昇至週期 7 sec 以上的波浪。

(2)更新港池邊界反射係數：針對花蓮港港池配置如圖 3.61，本年度重新分類與修正其反射係數，其中具有消波功能之構造物包括外廓防波堤( $K_r=0.85$ )、港內防波堤設施(東防波堤港內側段等， $K_r=0.98$ )及港

外自然沙灘段( $K_r=0.4$ )及離岸(潛)堤群( $K_r=0.65$ )等；此外，半無限領域岸線及碼頭區岸壁之反射率，本文假設其為全反射( $K_r=1$ )。

(3)更新花蓮港港域波浪場模擬結果：本計畫花蓮港港域波浪場模擬條件為外海波浪週期模擬範圍為 7 ~ 20 sec，週期間距為 0.1 sec；以及 NE、ENE、E、ESE、SE、SSE 及 S 等 7 個波向之組合。此外，本計畫花蓮港港域波浪場模擬結果將提供 TaiCOMS 建置成花蓮港細尺度港域波浪場模擬資料庫。圖 3.62 至圖 3.64 所示分別為波浪週期 10 sec 不同波向(ENE、E 及 SE)花蓮港港細尺度波浪場模擬結果之波高分布圖，同理由花蓮港港內波高分布情形本計畫可瞭解不同波向作用下花蓮港港內波浪靜穩或遮蔽情況。



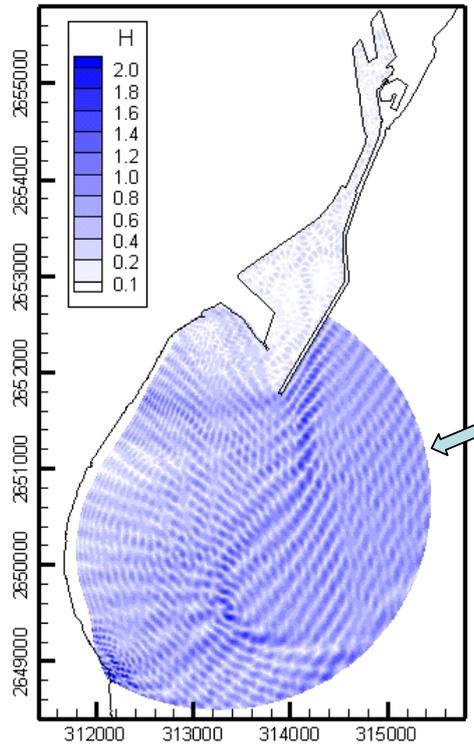


圖 3.62 花蓮港區細尺度波浪場波高分布圖(週期 10s、ESE)

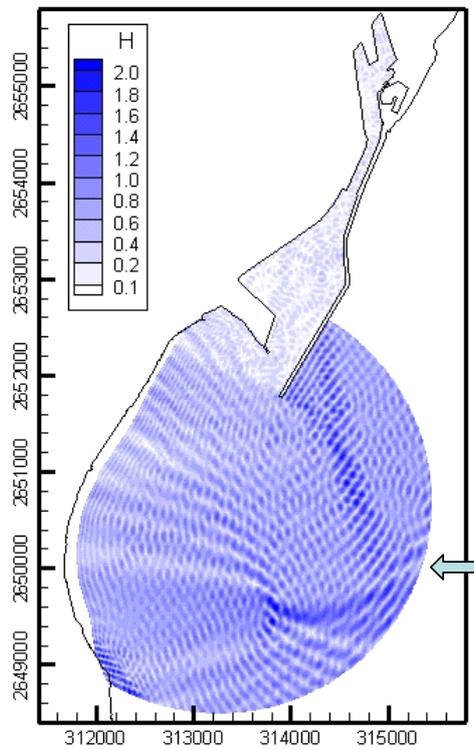


圖 3.63 花蓮港區細尺度波浪場波高分布圖(週期 10s、E)

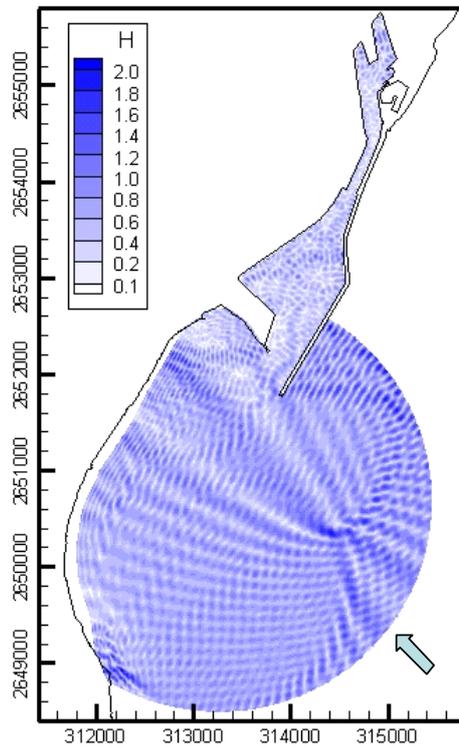


圖 3.64 花蓮港區細尺度波浪場波高分布圖(週期 10s、SW)

### 3.3.3 主要商港港池共振特性

一般而言，任意港池均存在特有之自然週期(natural periods,  $T_N$ )，其與港池形狀及地形(或水深)關係密切，對於不規則形狀或地形之港域則需要以數值方法探討港池共振問題。為瞭解本計畫主要商港各港池共振之特性，本計畫乃利用各港池已建置的細尺度波浪模組進行數值分析。

各港池共振數值分析之波浪計算條件範圍為  $kL=0.25 \sim 100$ ，其中  $k$  為波數， $L$  為港池特性長度。

#### (1)基隆港：

基隆港港池形狀如圖 3.65 所示，基本上屬於狹長型；圖中 A、B、C 點位為本計畫港池共振數值分析波高放大率之檢核點位置，其中基隆港港口至檢核點 A 之距離約 3700 m，因此本計畫假設此距離為基隆港港池特性長度，即  $L=3700$  m。本計畫假設外海無限領域水深為 45 m，外海假想海岸線反射率  $K_r=1$ ，有限領域底床摩擦係數假設為 0.001，

外海入射波波向為  $339^\circ$  (來向)；港內碼頭岸壁反射率  $K_r=1$ ，具消波作用之海岸線及海岸構造物反射率  $K_r=0.95$ 。在上述假設條件下港池內檢核點 A、B、C 之波高放大率與無因次參數  $kL$  之關係如圖 3.66 至圖 3.68 所示。數值分析結果顯示基隆港港池共振第一(或基本)共振模態約落在  $KL=0.845$  附近，此時檢核點 A、B 波高放大率最大值發生的外海波浪週期約為 1310 秒，檢核點 C 波高放大率最大值發生的外海波浪週期約為 1360 秒。

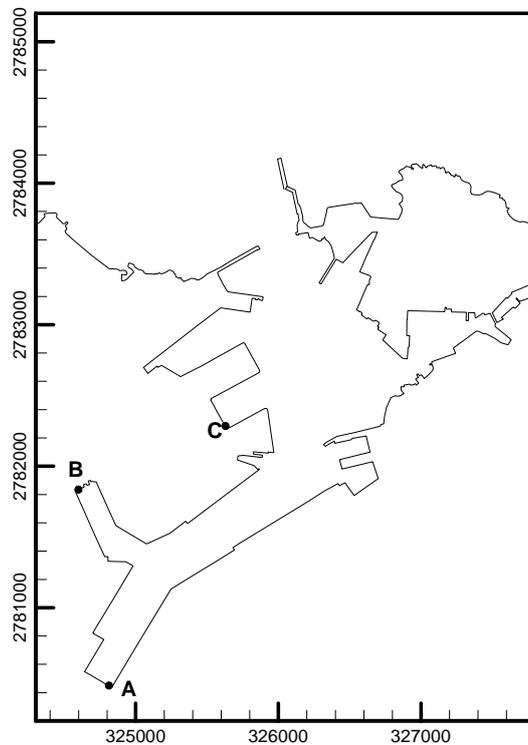


圖 3.65 基隆港港池共振數值分析檢核點位置圖

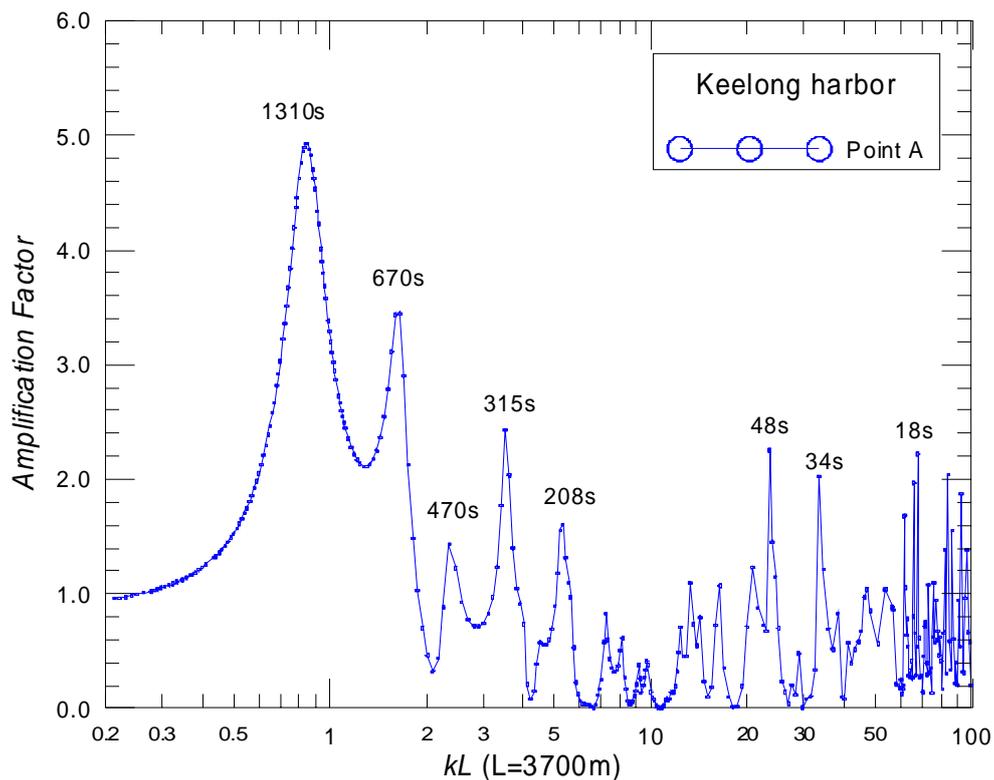


圖 3.66 基隆港港池共振數值分析檢核點 A 之波高放大率圖

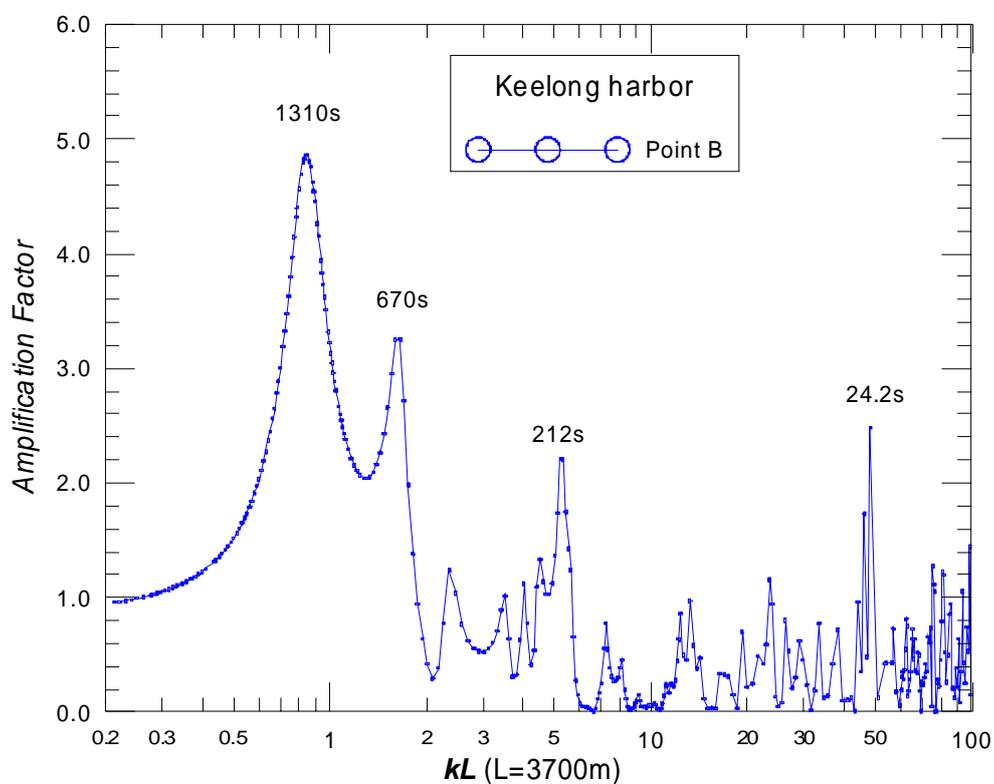


圖 3.67 基隆港港池共振數值分析檢核點 B 之波高放大率圖

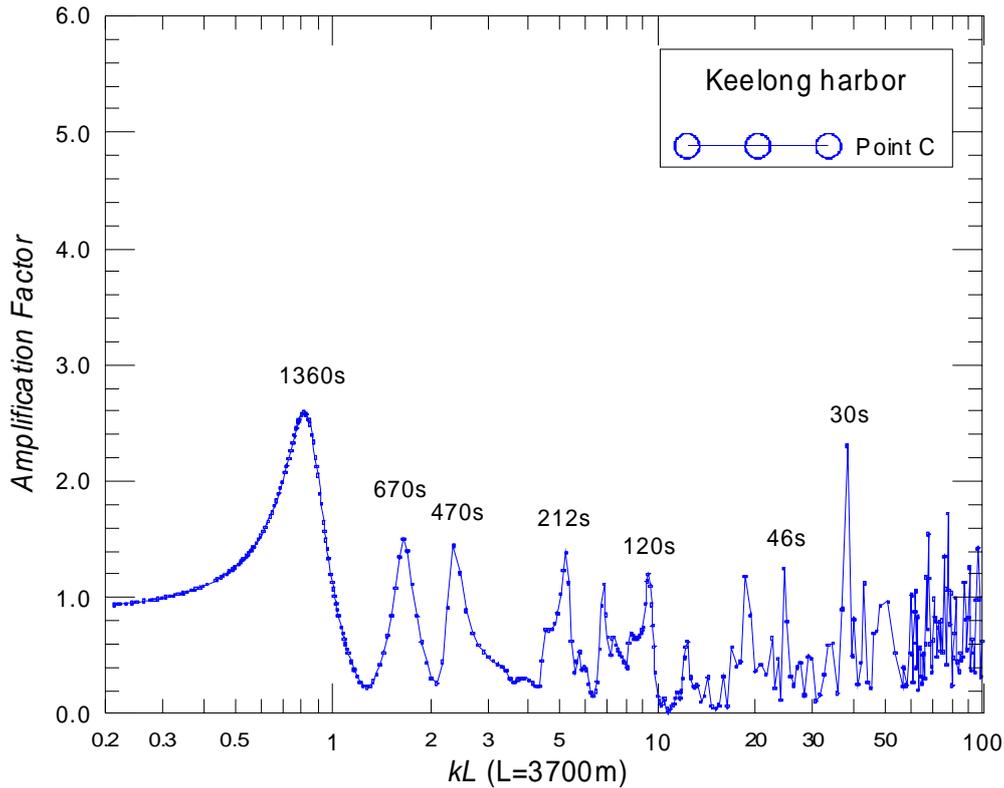


圖 3.68 基隆港港池共振數值分析檢核點 C 之波高放大率圖

(2)蘇澳港：

蘇澳港港池形狀如圖 3.69 所示，港池水域寬闊；圖中 A、B、C 點位為本計畫蘇澳港港池共振數值分析波高放大率之檢核點位置，其中蘇澳港港口至西側邊界之距離約 2460 m，因此本計畫假設此距離為蘇澳港港池特性長度，即  $L=2460$  m。本計畫假設蘇澳港外海無限領域水深為 30 m，外海假想海岸線反射率  $K_r=1$ ，有限領域底床摩擦係數假設為 0.001，外海入射波波向為  $127^\circ$  (來向)，與外海假想海岸線垂直；港內碼頭岸、具消波作用之海岸線及海岸構造物反射率  $K_r=0.98$ ，港內蘇澳溪出水口邊界反射率  $K_r=0$ 。在上述假設條件下蘇澳港港池內檢核點 A、B、C 之波高放大率與無因次參數  $kL$  之關係如圖 3.70 至圖 3.72 所示。數值分析結果顯示蘇澳港港池共振第一(或基本)共振模態約落在  $KL=0.69$  附近，此時檢核點 A、B 波高放大率最大值發生的外海波浪週期約為 1300 秒，檢核點 C 波高放大率最大值發生的外海波浪週期約為 1350 秒。

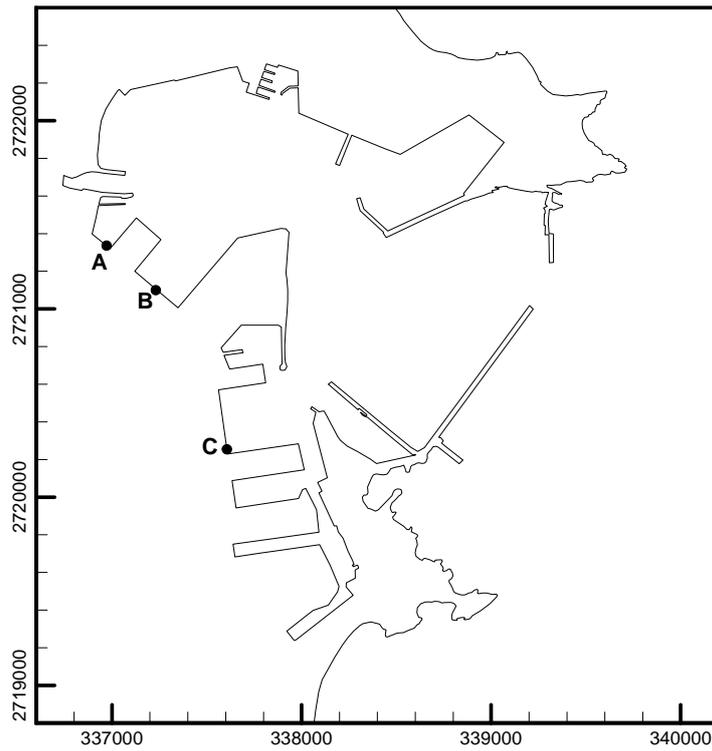


圖 3.69 蘇澳港港池共振數值分析檢核點位置圖

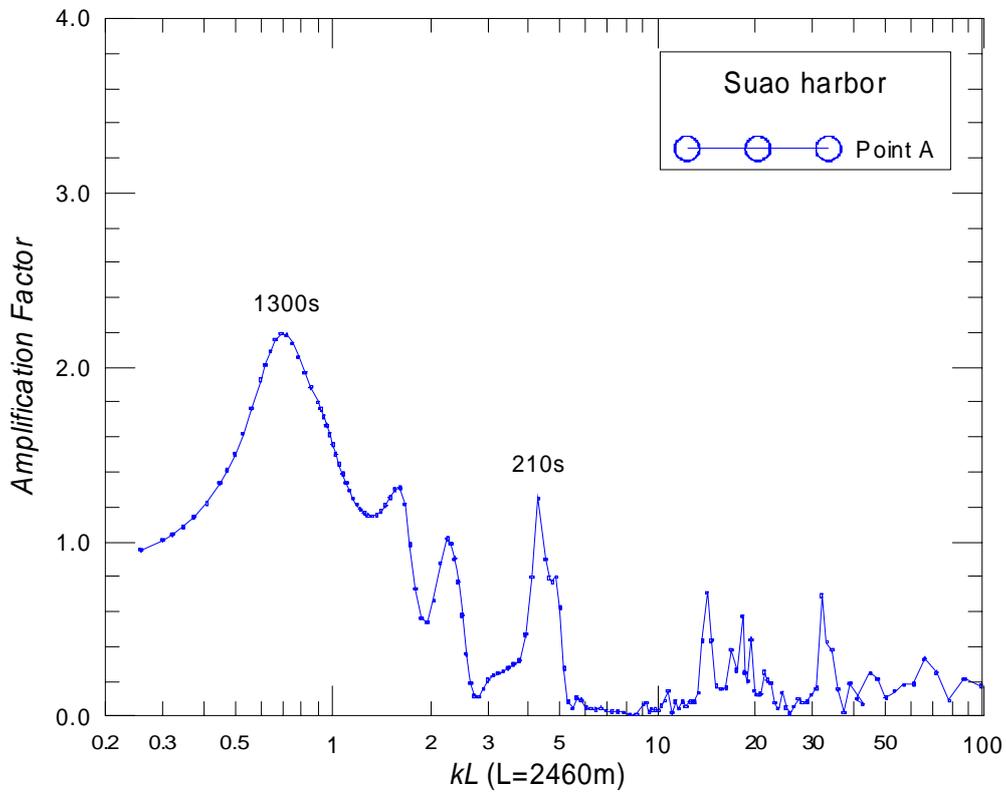


圖 3.70 蘇澳港港池共振數值分析檢核點 A 之波高放大率圖

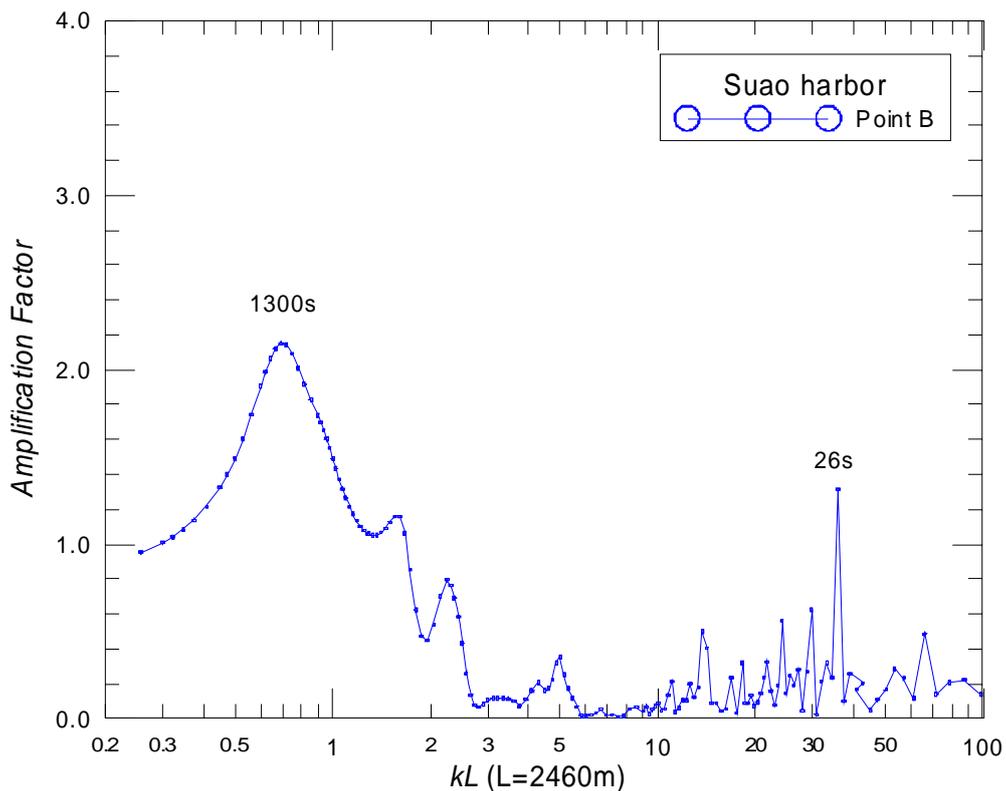


圖 3.71 蘇澳港港池共振數值分析檢核點 B 之波高放大率圖

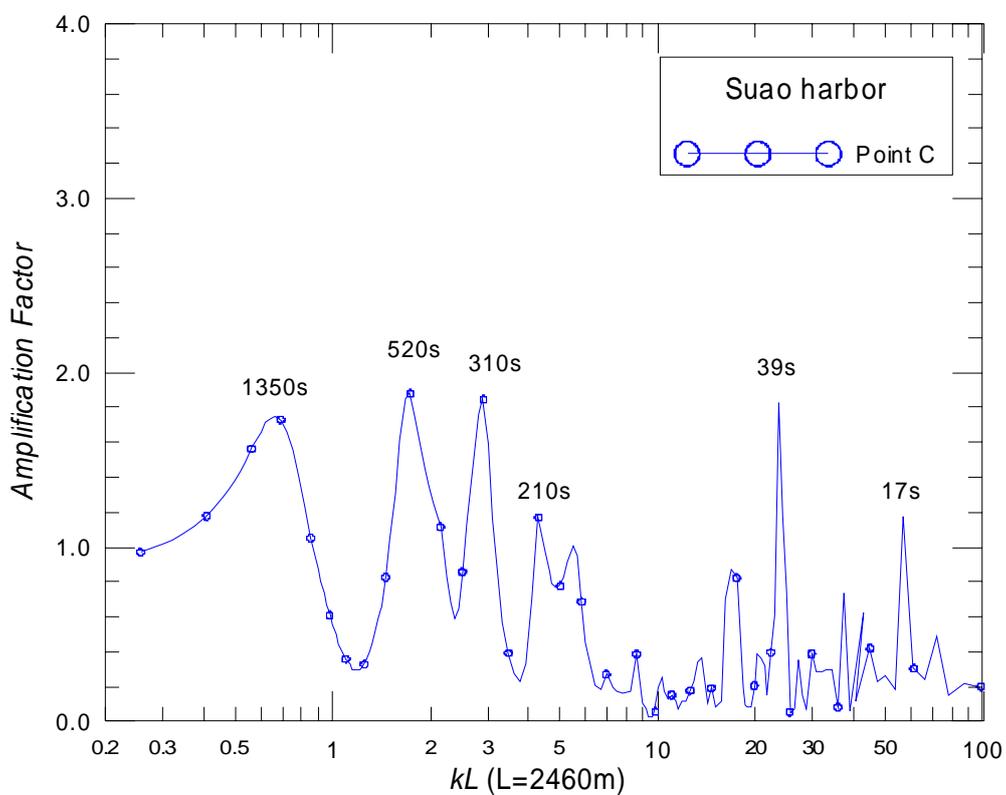


圖 3.72 蘇澳港港池共振數值分析檢核點 C 之波高放大率圖

### (3)花蓮港：

花蓮港港池形狀如圖 3.73 所示，屬於狹長型，其中外港池水域較寬闊；圖中 A、B、C 點位為本計畫花蓮港港池共振數值分析波高放大率之檢核點位置，其中花蓮港港口至檢核點 A 之距離約 4000 m，因此本計畫假設花蓮港港池特性長度  $L=4000$  m。本計畫假設花蓮港外海無限領域水深為 100 m，外海假想海岸線反射率  $K_r=1$ ，有限領域底床摩擦係數假設為 0.001，外海入射波波向為  $157.5^\circ$  (SSE 向)；港內碼頭岸壁反射率  $K_r=1$ 、具消波作用之海岸線及海岸構造物反射率  $K_r=0.98$ 。在上述假設條件下花蓮港港池內檢核點 A、B、C 之波高放大率與無因次參數  $kL$  之關係如圖 3.74 至圖 3.76 所示。數值分析結果顯示花蓮港港池共振第一(或基本)共振模態約落在  $kL=0.57$  附近，此時檢核點 A、B 波高放大率最大值發生的外海波浪週期約為 1400 秒。由於檢核點 C 位於外港池近港口位置，故波高放大率最大值並非出現在第一(或基本)共振模態，而是發生在第二共振模態上，此時外海波浪週期約為 725 秒。

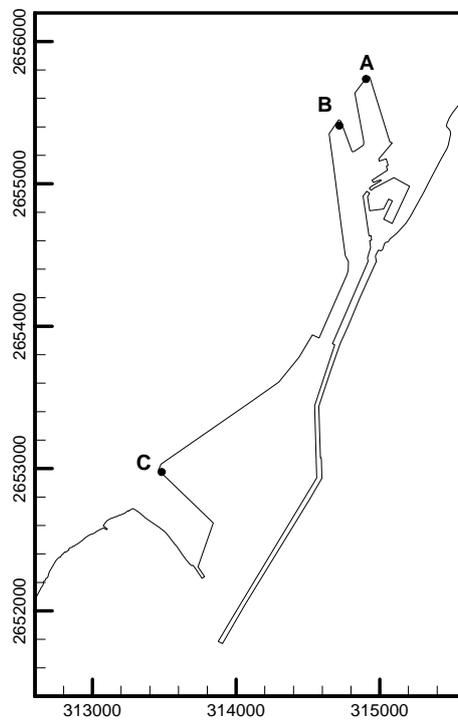


圖 3.73 花蓮港港池共振數值分析檢核點位置圖

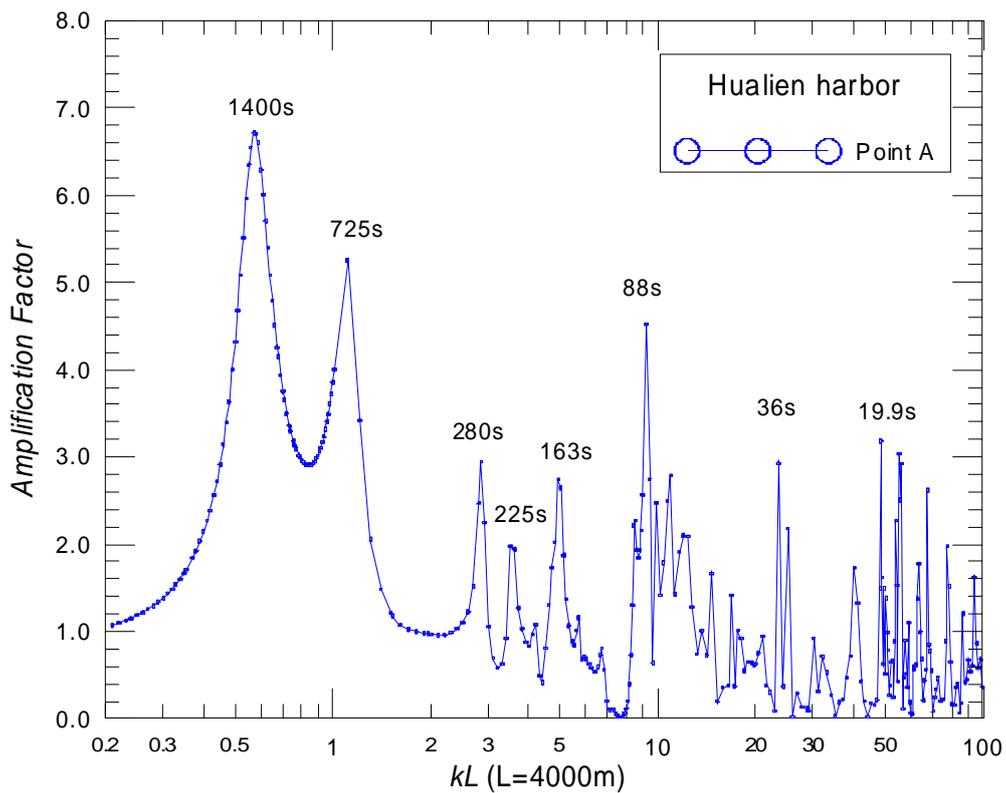


圖 3.74 花蓮港港池共振數值分析檢核點 A 之波高放大率圖

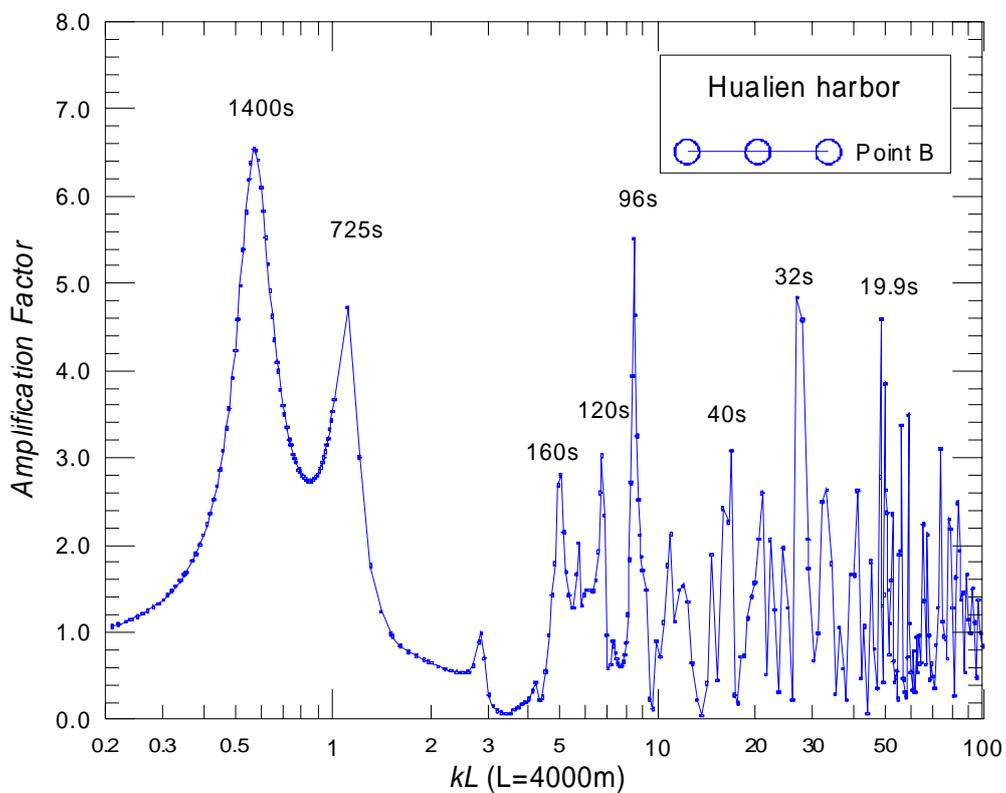


圖 3.75 花蓮港港池共振數值分析檢核點 B 之波高放大率圖

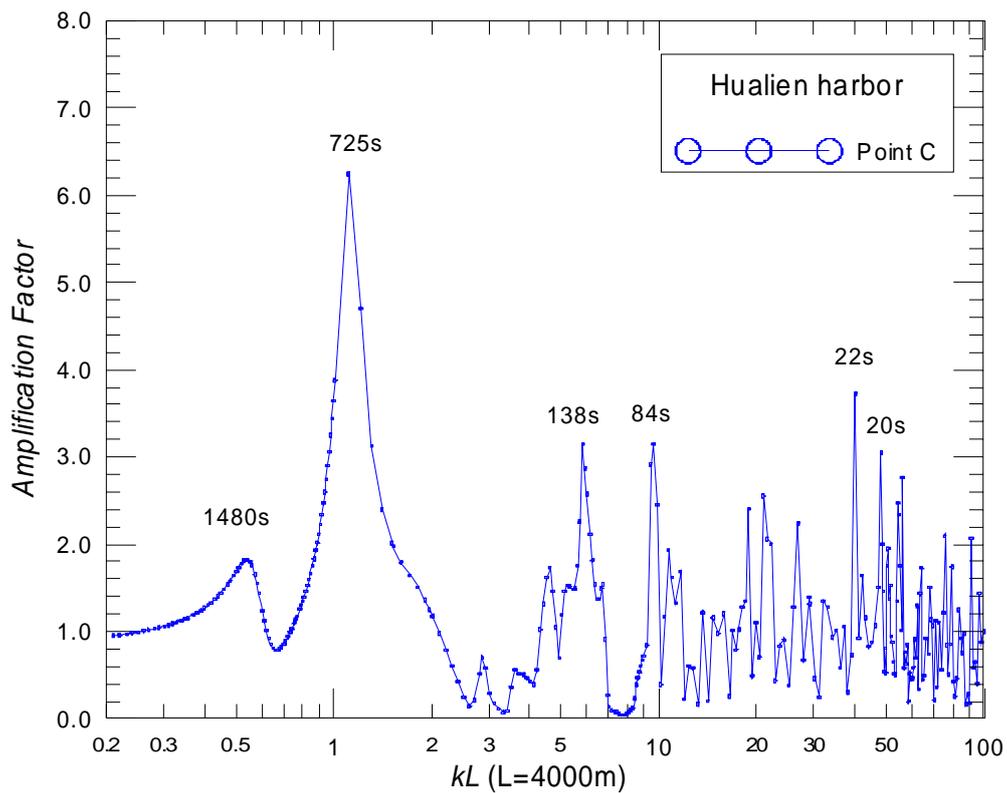


圖 3.76 花蓮港港池共振數值分析檢核點 C 之波高放大率圖

## 第四章 水動力模擬與探討

本章節主要針對四年期合作研究計畫「整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究」之各主要商港水位及流場模擬與研究內容進行說明，其中 4.1 節為前三年主要商港水動力模組之改善成果，包括基隆港、臺北港、臺中港、布袋港、安平港及高雄港。4.2 節與 4.3 節分別為本年度花蓮港及蘇澳港小尺度港區水動力模組之改善研究內容。

### 4.1 主要商港水動力模組改善成果

#### 4.1.1 基隆港

基隆港水動力模組主要依據 2010 年調整之基隆港水動力模擬子系統，配合 2011 年度之工作項目進行改善。基隆港水動力模組模擬範圍東起新北市瑞芳區鼻頭角海岸，西至新北市三芝區富貴角海岸，東西長約 43 公里；模式離岸邊界大致與基隆海岸平行，東側離岸距離約 20 公里，西側離岸距離約 17 公里，模式東側邊界鄰近龍洞潮位站，西側邊界鄰近麟山鼻潮位站。基隆港水動力模組數值計算格網係由 2610 個節點及 4745 個三角形元素構成，如圖 4.1 所示。模式之地形水深資料主要依據海軍測量局刊行之海軍水道圖圖號為 0352、0353A 與 04513 等水深資料建置得到，模式模擬範圍內之水深變化如圖 4.2 所示。

在海域開放邊界之水位邊界條件方面，依據所蒐集的潮位資料(基隆港、龍洞及麟山鼻潮位站)以 34 個分潮進行調和分析建立各分潮調和常數，預測每年 1 月 1 日零時至隔年 1 月 1 日零時模式各開放邊界節點之每小時水位變化資料建立模式水位邊界輸入檔。模式在執行時會依模擬時間由邊界水位檔案讀取該時段之邊界水位，由於邊界水位為每小時資料，因此模式新增時間內插功能，即每小時間之邊界水位值以線性內插方式得到。圖 4.3 所示為模式東、西兩側邊界水位變化之時間序列圖，其中東、西兩側水位邊界係分別龍洞及麟山鼻潮位調和分析(34 個分潮)預測值建立的。

本計畫選取基隆港外海水位及海流觀測資料與模式鄰近觀測點之節點模擬結果進行模式之驗證。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  $O_1$ 、 $K_1$ 、 $M_2$  及  $S_2$  等四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，再與基隆港水動力模組潮流預測模擬結果比較。如圖 4.4 所示為模式模擬預測基隆港 2011 年 3 月水位與潮流(東西向及南北向)之結果與觀測點天文潮流分析結果之比較，其中水位部分並未做調和分析，直接採用觀測資料與模式模擬結果比較。由驗證結果顯示模式最大流速發生時間與潮流最大流速發生時間約有 2~3 小時之延遲，大潮期間尤其顯著。整體而言，模式東西向及南北向的流速振幅與調和分析結果相當，模擬水位變化趨勢亦與觀測水位相近。

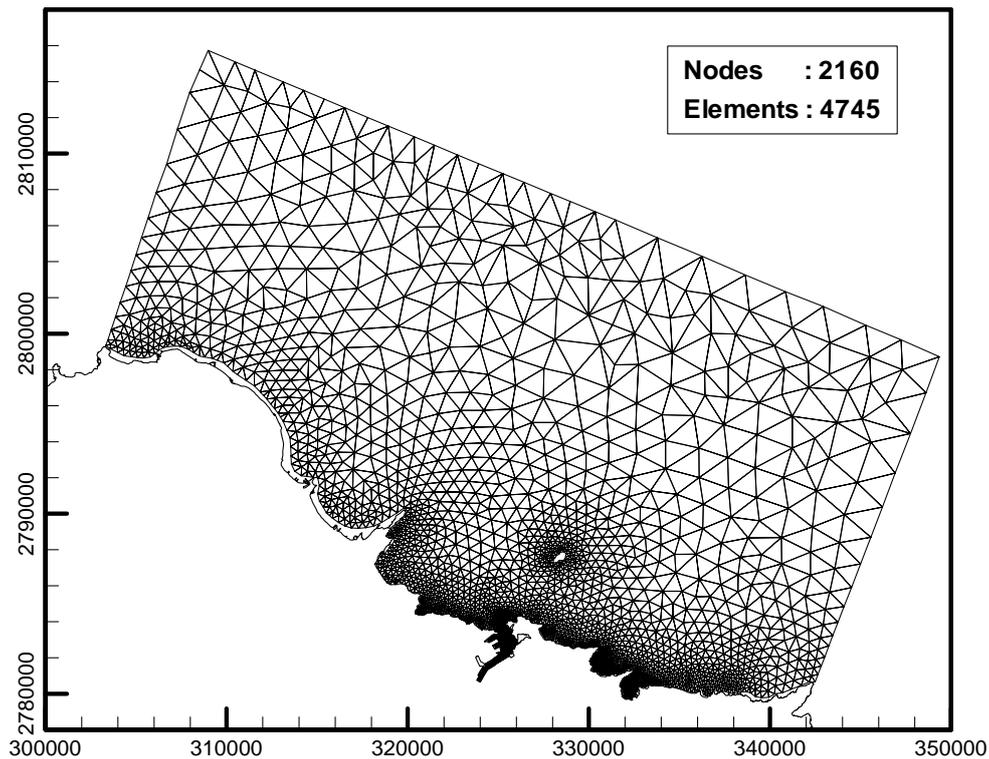


圖 4.1 基隆港水動力模組之有限元素格網分佈圖

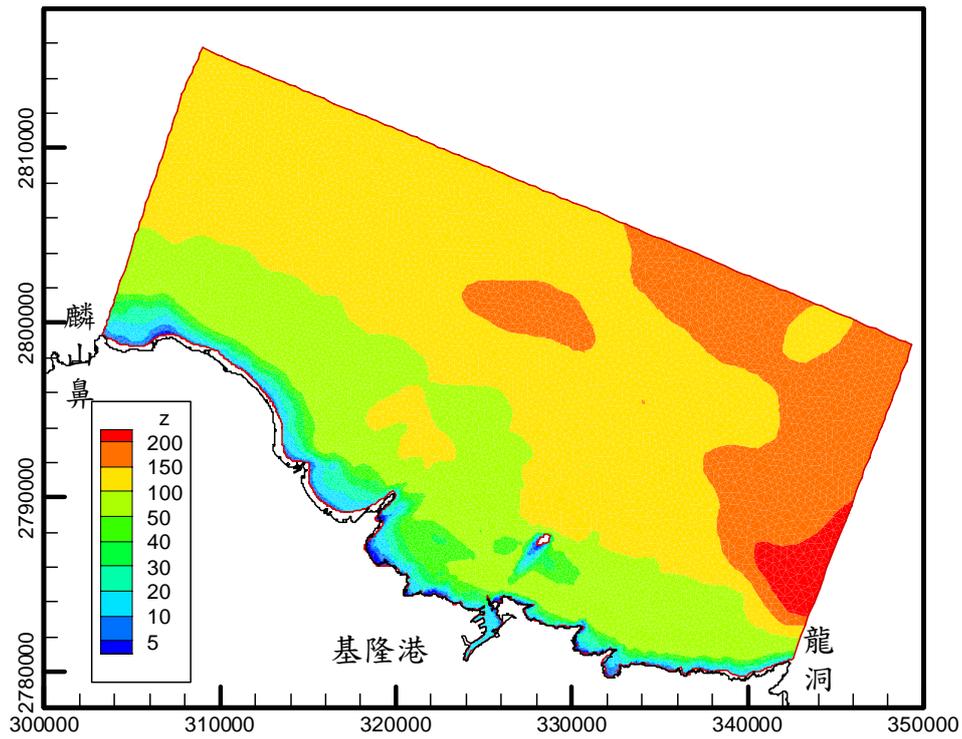


圖 4.2 基隆港水動力模組之地形水深分布圖

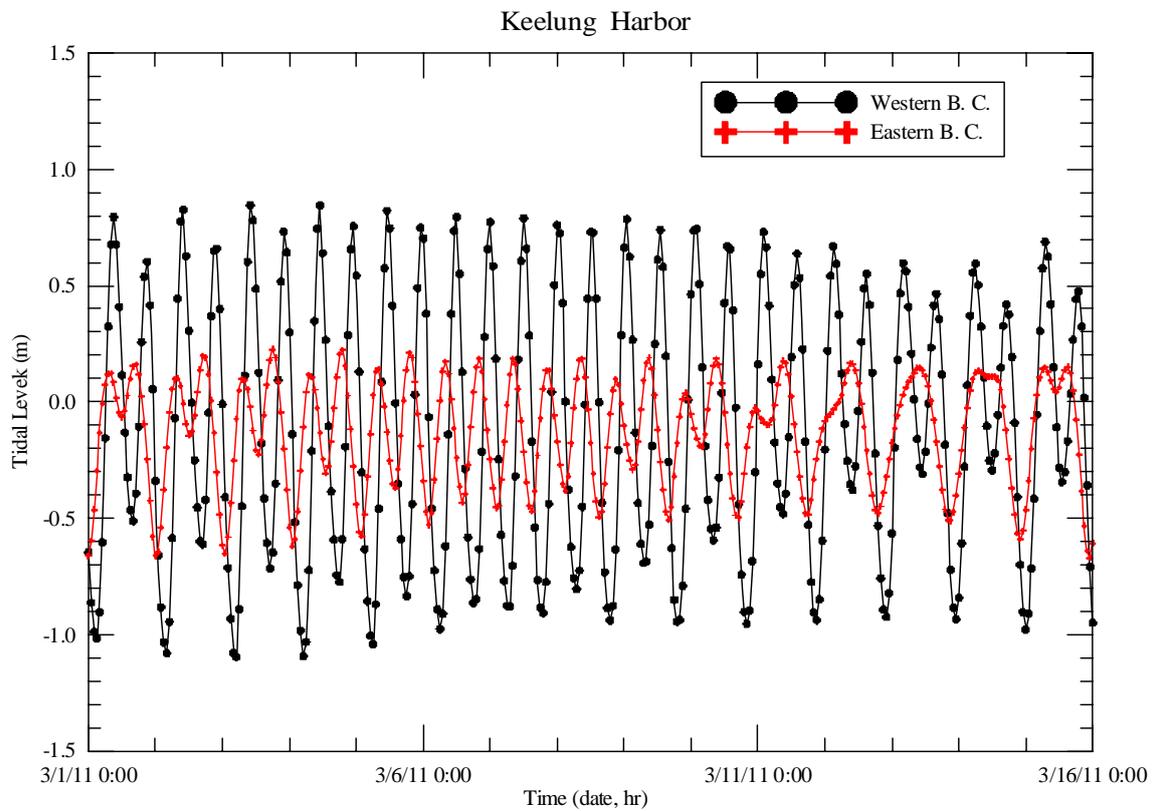


圖 4.3 基隆港水動力模式東、西開放邊界之水位邊界條件時序圖

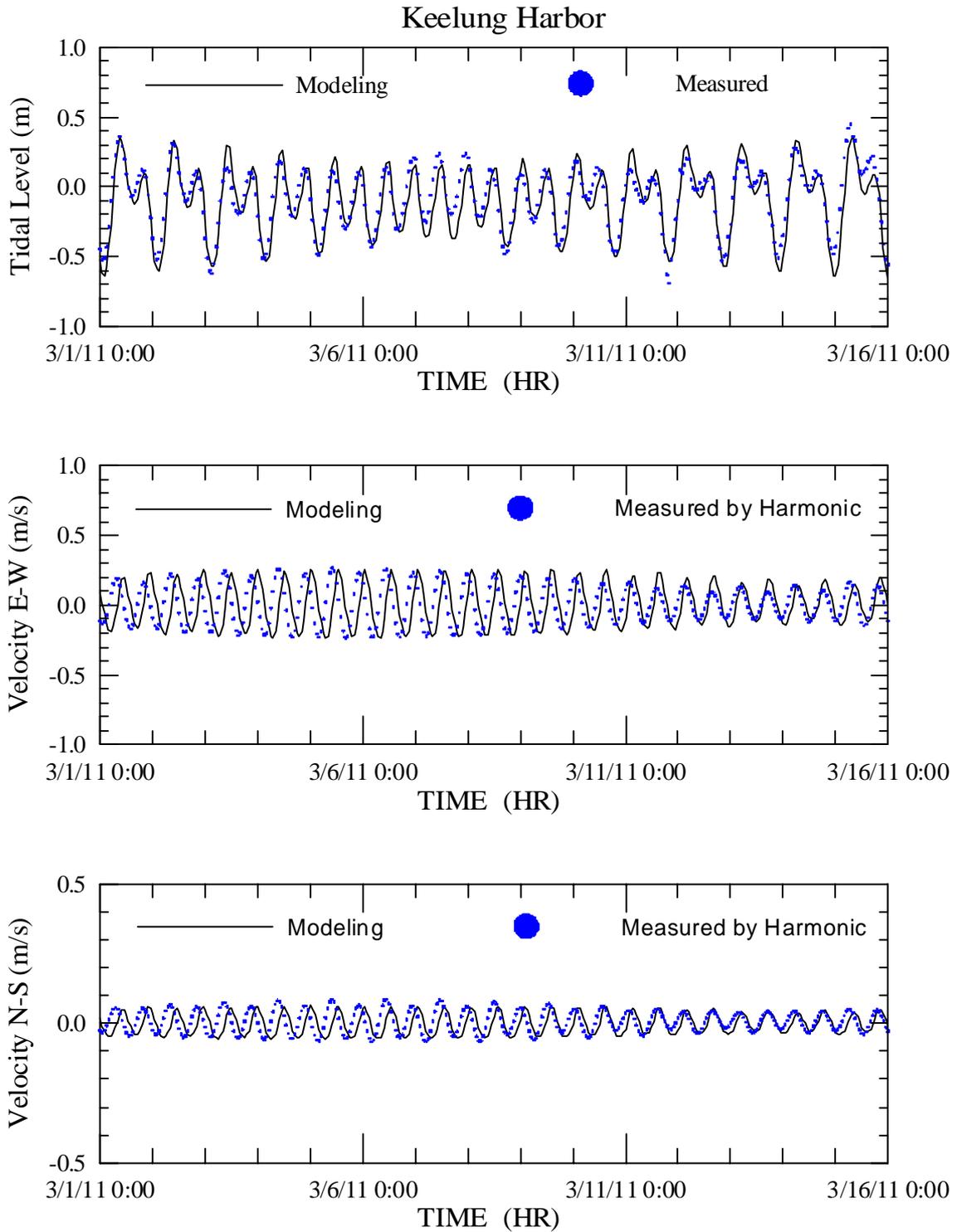


圖 4.4 基隆港水位及潮流模擬結果與潮流觀測資料調和分析( $O_1$ 、 $K_1$ 、 $M_2$ 、 $S_2$ )結果之比較

#### 4.1.2 臺北港

臺北港水動力模組主要針對 2009 年度建置之臺北港水動力模式進行修正，修正內容包括數值計算格網、模式邊界件及模式相關參數之率定。2009 年臺北港水動力模式之模擬範圍北起新北市三芝區麟山鼻海岸，南至桃園縣蘆竹鄉竹圍海岸，南北距離約為 25.5 公里，離岸方向則由近岸往外海延伸約 9 公里。由於臺北港外廓形狀相較於 2009 年模式初建時的形狀已有顯著改變，因此針對上述差異提出數值計算格網之修正，如圖 4.5 所示，圖中模式數值計算格網係由 1867 個節點及 3388 個三角形元素構成。圖 4.6 所示為 2010 年臺北港海域水深地形量測結果，模式之地形水深資料係由海軍測量局刊行之海軍水道圖圖號為 04512 與 04513 之水深資料及臺北港 2010 年 10 月水深量測資料內插得到。

本計畫利用 NAO.99b 模式計算臺北港水動力模組各開放邊界節點每小時水位變化資料做為本計畫臺北港水動力模組之邊界條件。圖 4.7 所示為臺北港水動力模組左、右開放邊界之水位邊界條件時序圖，顯示模式左、右兩側水位邊界潮汐型態相近似，但水位振幅差異相當大。

為驗證模式模擬結果與率定模式相關參數，本計畫選取臺北港外海觀測樁水位及海流觀測資料與模式鄰近觀測樁之節點模擬結果進行模式之驗證，其中臺北港外海觀測樁位置示意圖如圖 4.5 所示。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。同理本計畫先針對臺北港海流觀測資料採逐月方式選取  $O_1$ 、 $K_1$ 、 $M_2$  及  $S_2$  等四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，再與臺北港潮流流場模擬預測結果比較。圖 4.8 所示為模式模擬預測臺北港 2011 年 3 月水位與潮流(東西向及南北向)之結果與觀測樁天文潮流分析結果之比較，顯示模擬水位與觀測水位變化相當一致，模式模擬東西向流速振幅略小於觀測流速調和分析結果，南北向流速振幅則相當。整體而言，東西向及南北向流速的變化趨勢與調和分析結果一致，呈現良好的改善效果。

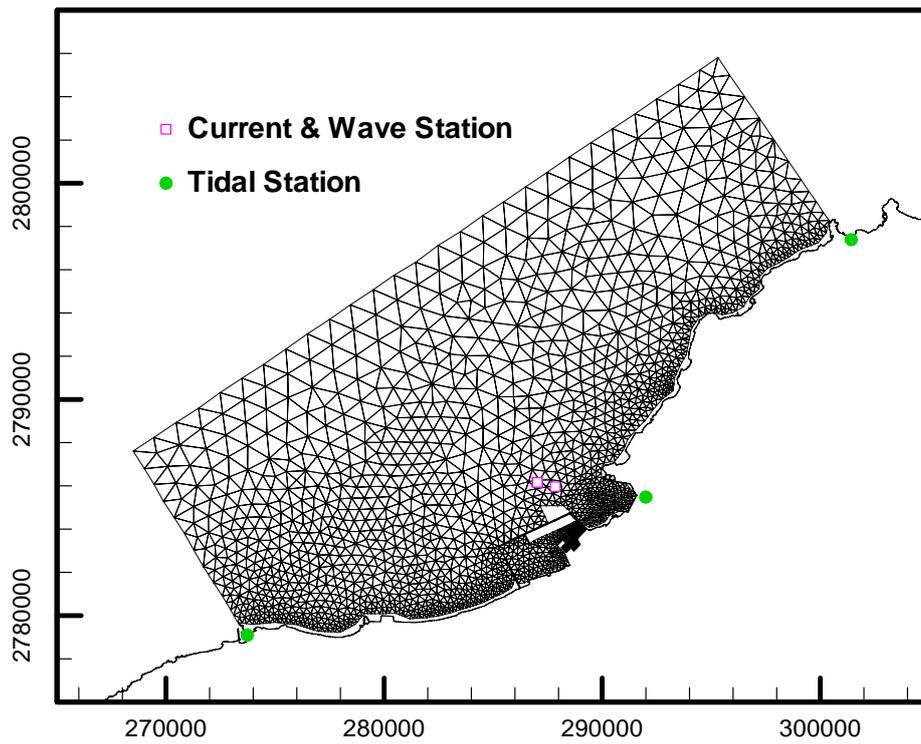


圖 4.5 臺北港水動力模式之有限元素細格網分佈圖

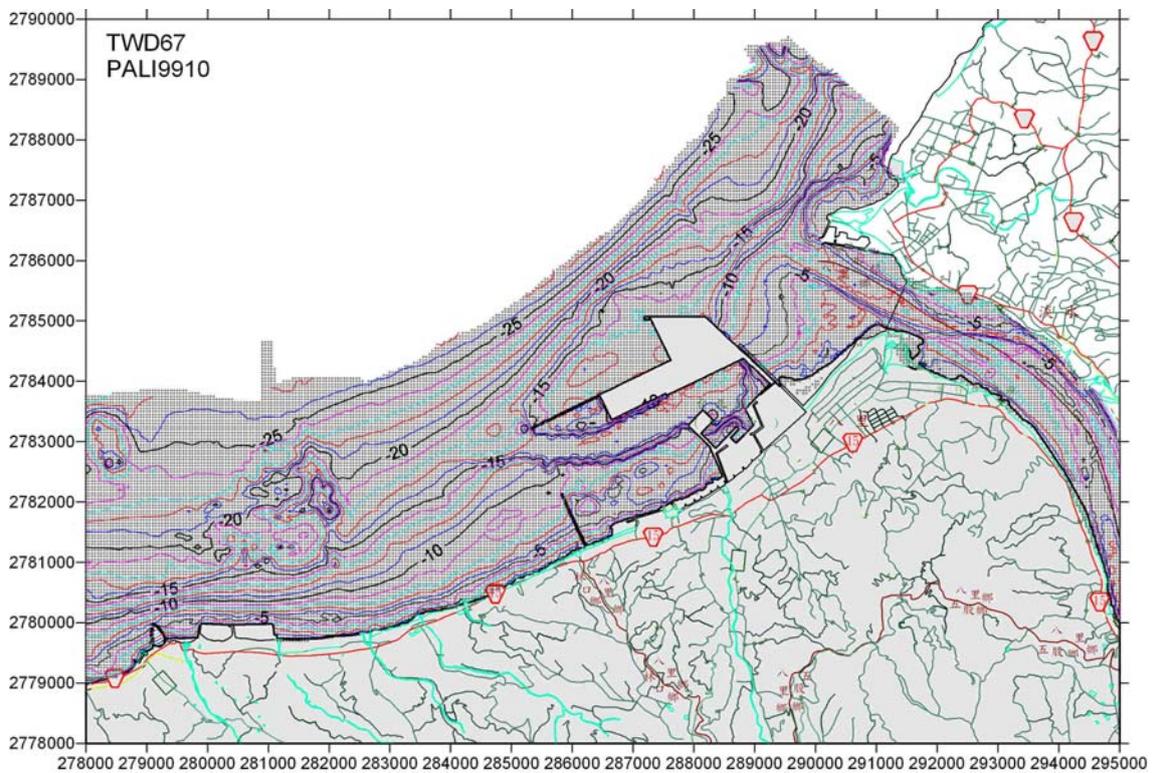


圖 4.6 臺北港 99 年度水深地形量測結果之水深分佈圖

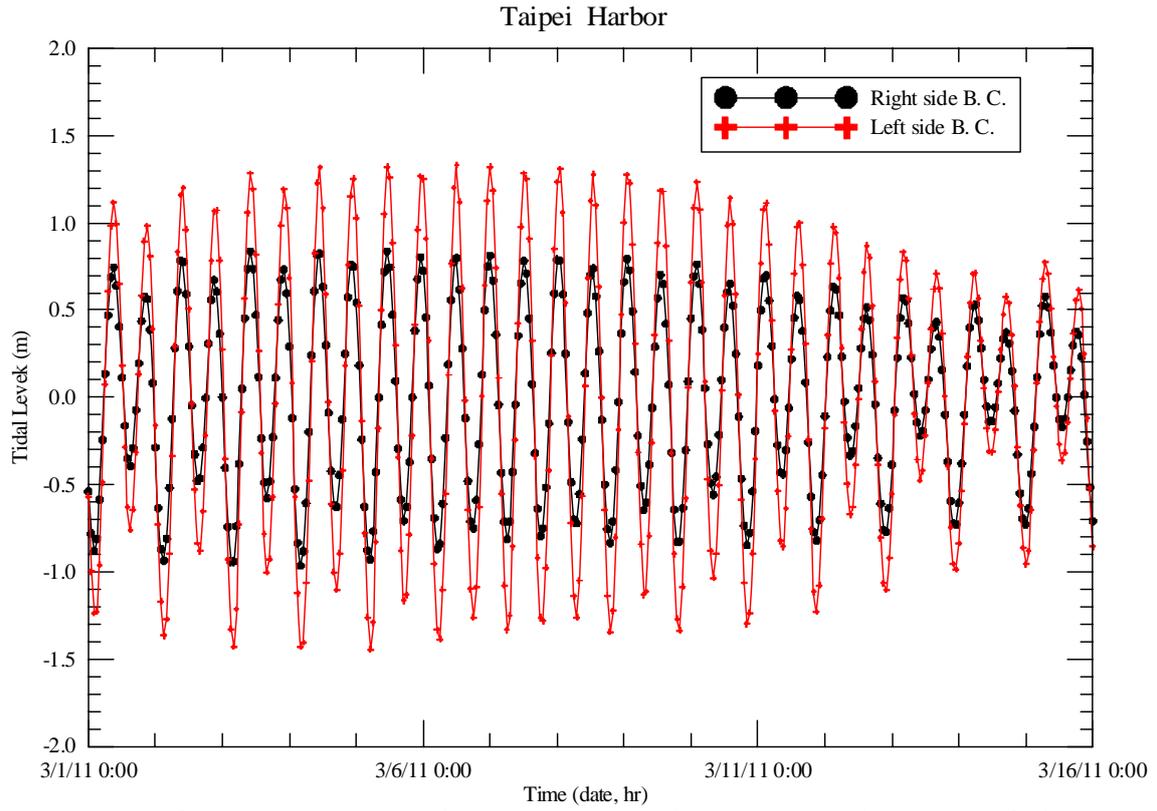


圖 4.7 臺北港水動力模式左、右開放邊界之水位邊界條件時序圖

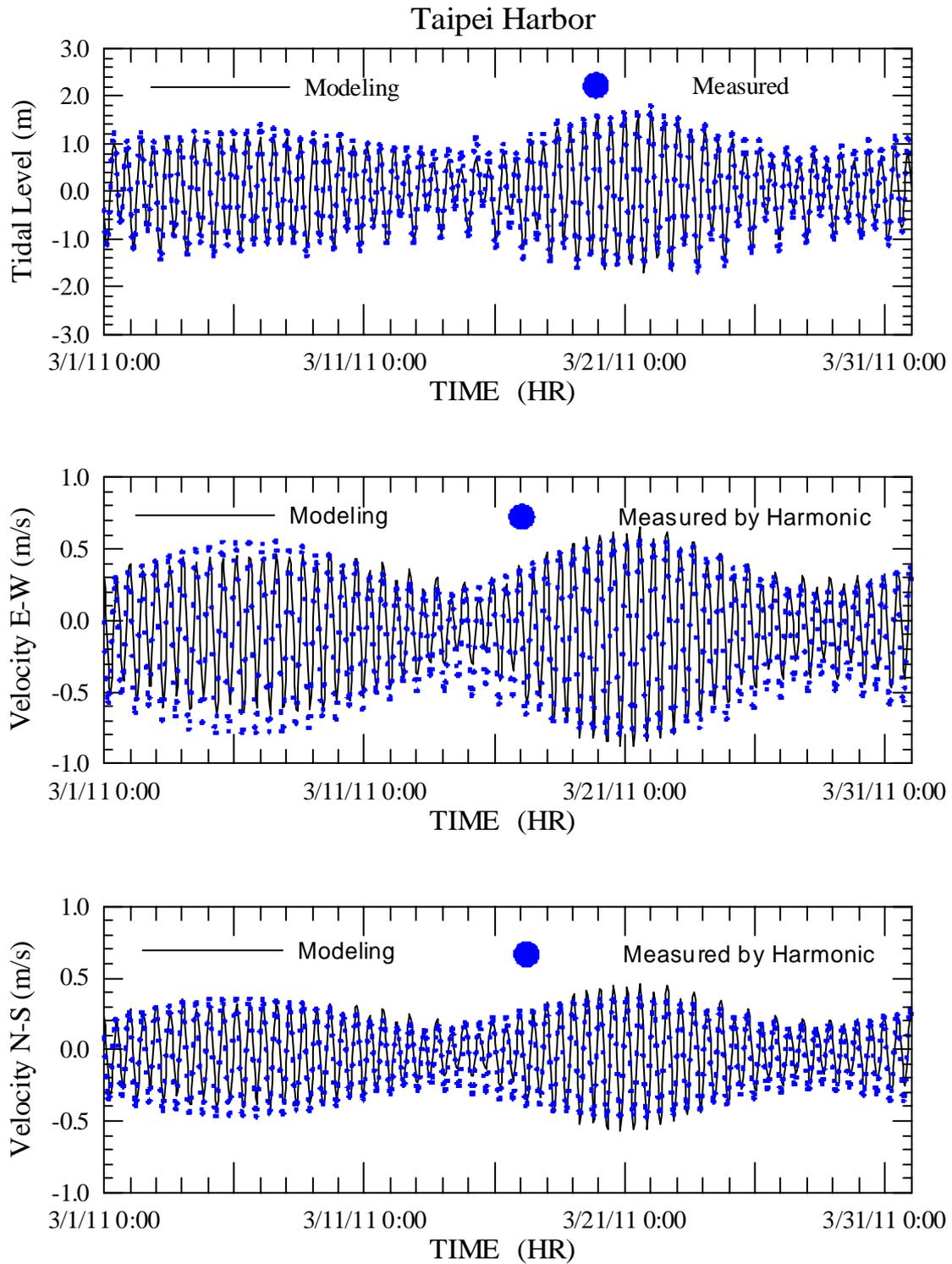


圖 4.8 臺北港水位及潮流模擬結果與潮流觀測資料調和分析  
( $O_1$ 、 $K_1$ 、 $M_2$ 、 $S_2$ )結果之比較

### 4.1.3 臺中港

臺中港水動力模組主要依據 2009 年建置之臺中港水動力模擬子系統進行改善，並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，模擬範圍北起苗栗縣大安鄉，南至彰化縣鹿港鎮。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 4.9 所示；其中數值網格則由 4809 個節點及 8983 個三角元素所構成，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。模擬範圍內之地形水深如圖 4.10 所示。

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，如圖 4.11 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。

為驗證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證。本計畫以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 4.12 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，模式驗證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。

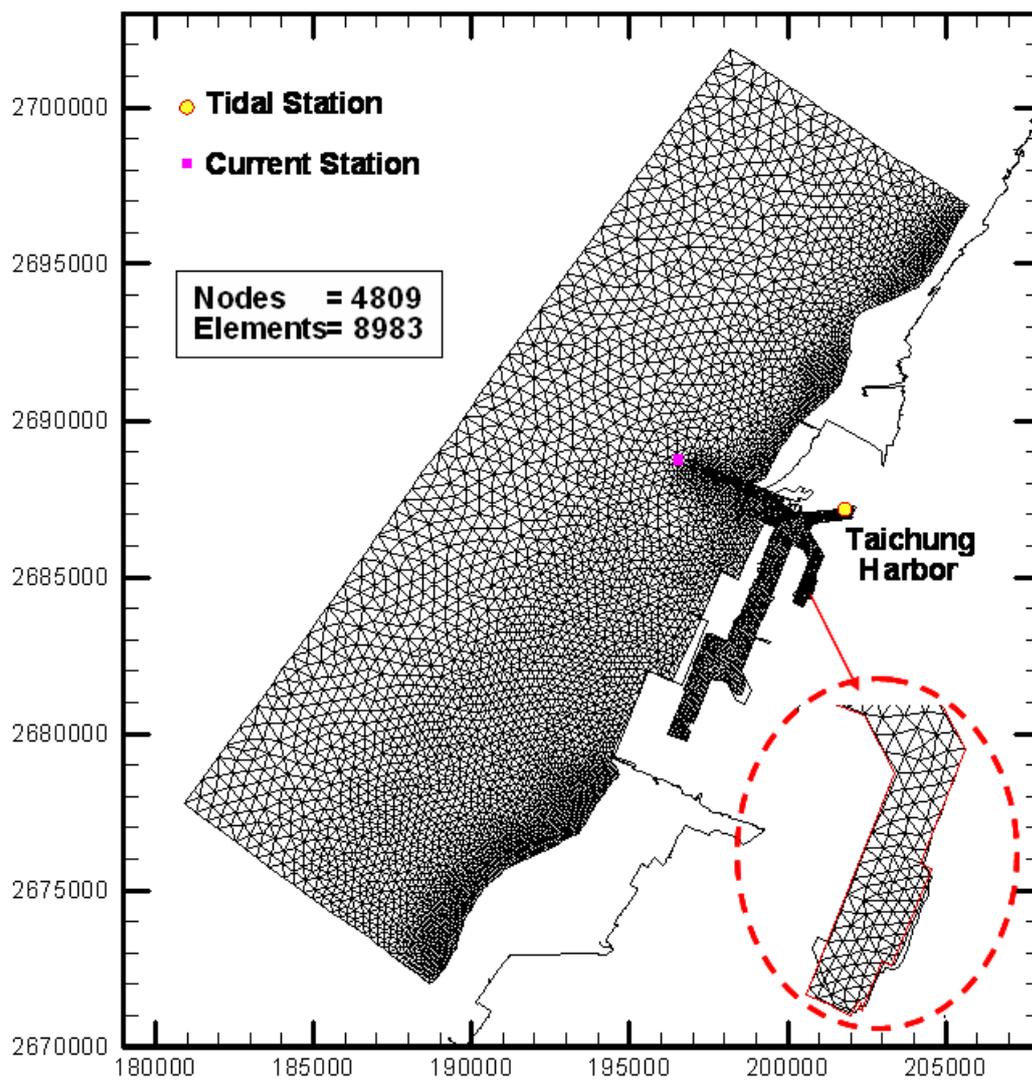


圖 4.9 臺中港區流場模擬範圍之有限元素格網分佈圖

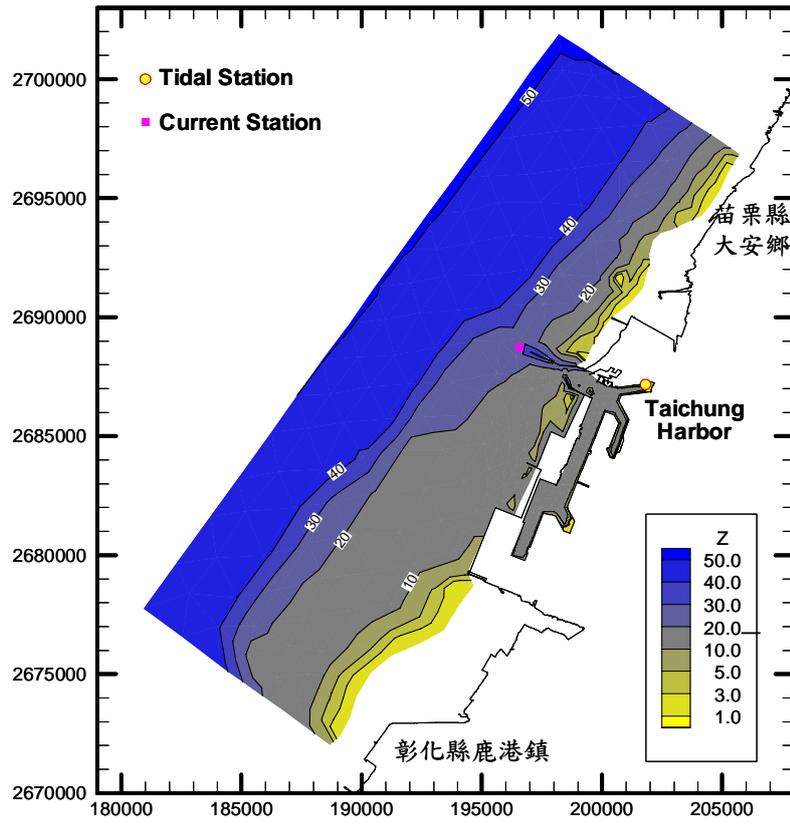


圖 4.10 臺中港區流場模擬範圍與水深分佈圖

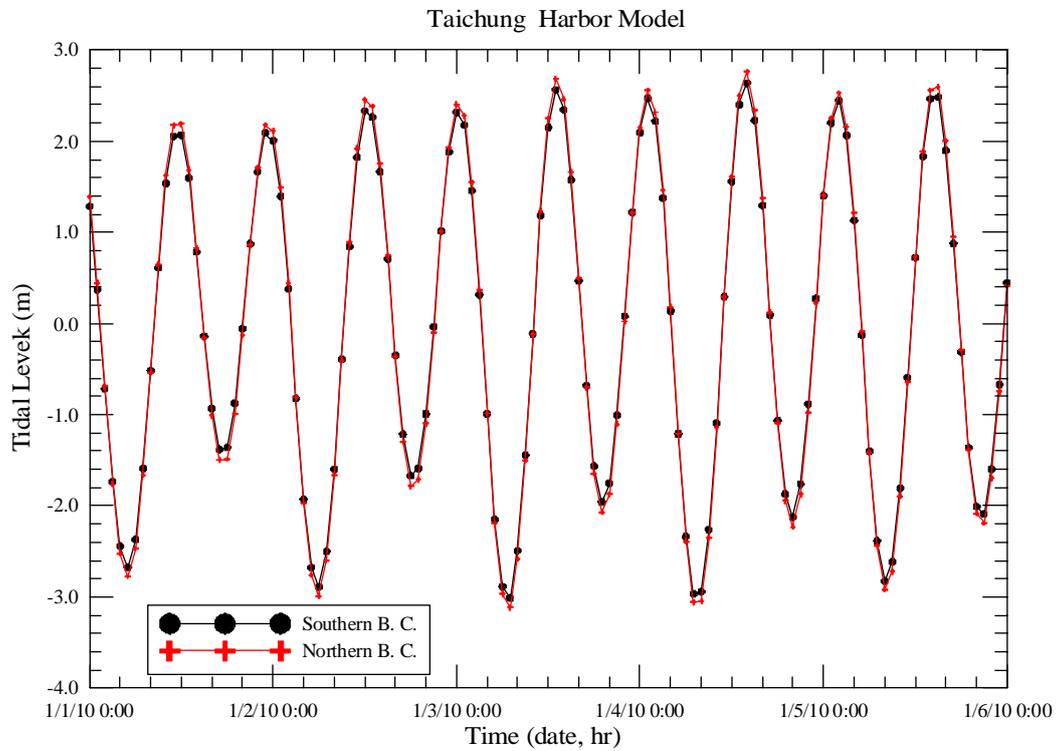


圖 4.11 臺中港水動力模式南、北開放邊界之水位邊界條件時序圖

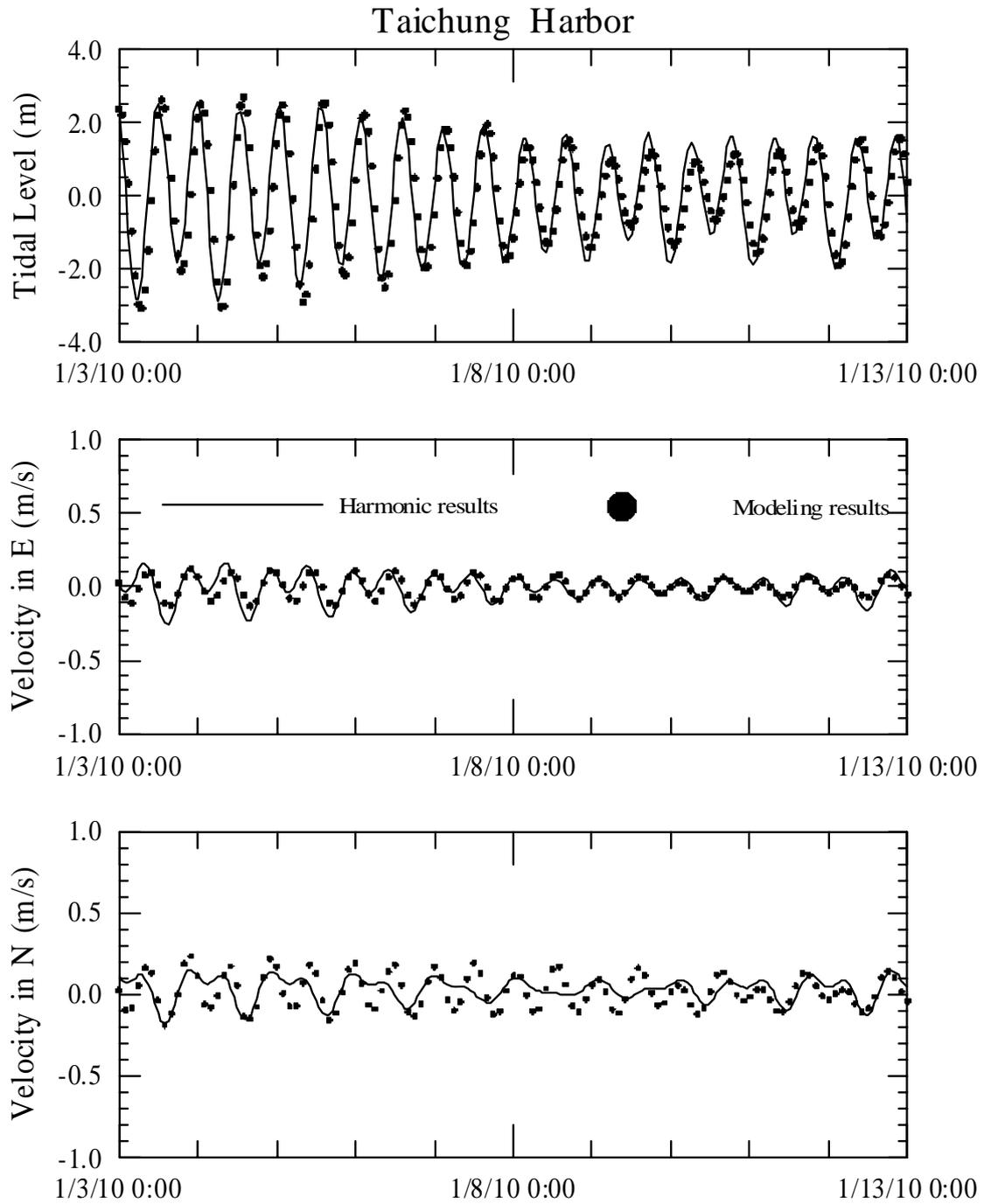


圖 4.12 臺中港水位及潮流模擬結果與潮流觀測資料調和分析結果之比較

#### 4.1.4 布袋港

布袋港水動力模組為依據布袋港區 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，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 4.13 所示，其中數值網格則由 3457 個節點及 6519 個三角元素所構成，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。模擬範圍內之地形水深如圖 4.14 所示。

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 4.15 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。

關於模式之驗證，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，再與布袋港水動力模式潮流模擬計算結果進行比較。如圖 4.16 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。由驗證結果顯示，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。

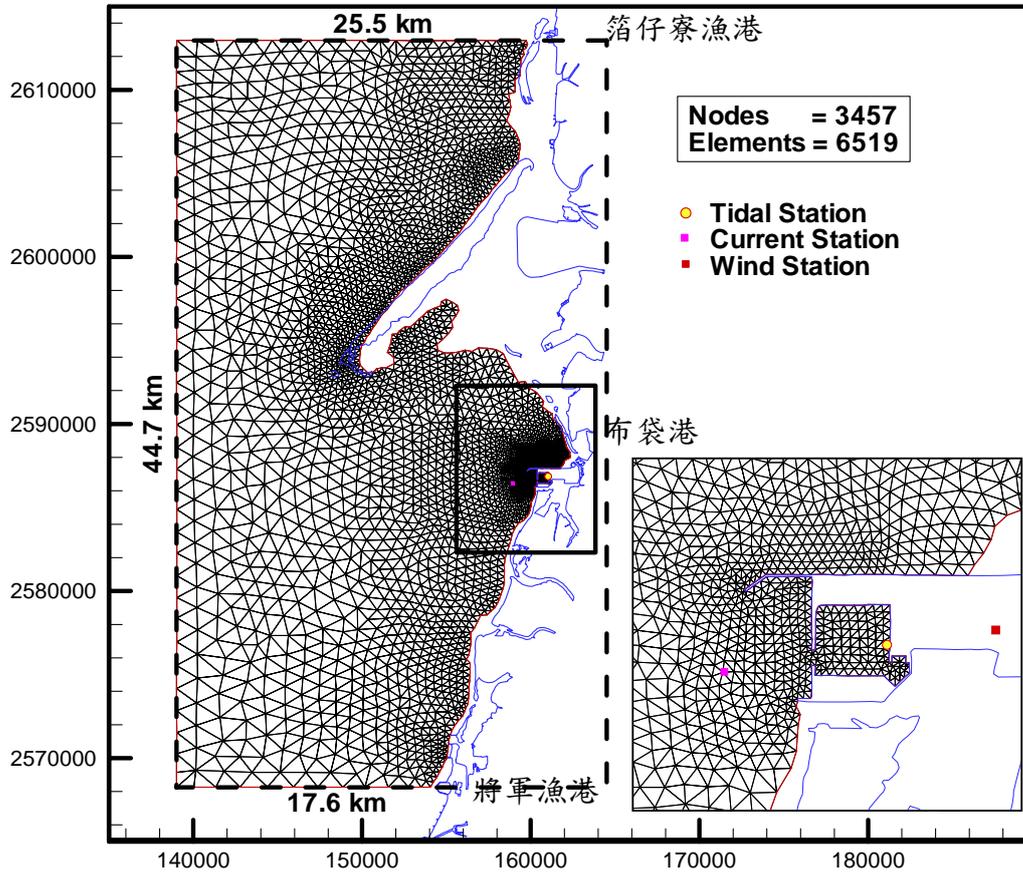


圖 4.13 布袋港區流場模擬範圍之有限元素格網分佈圖

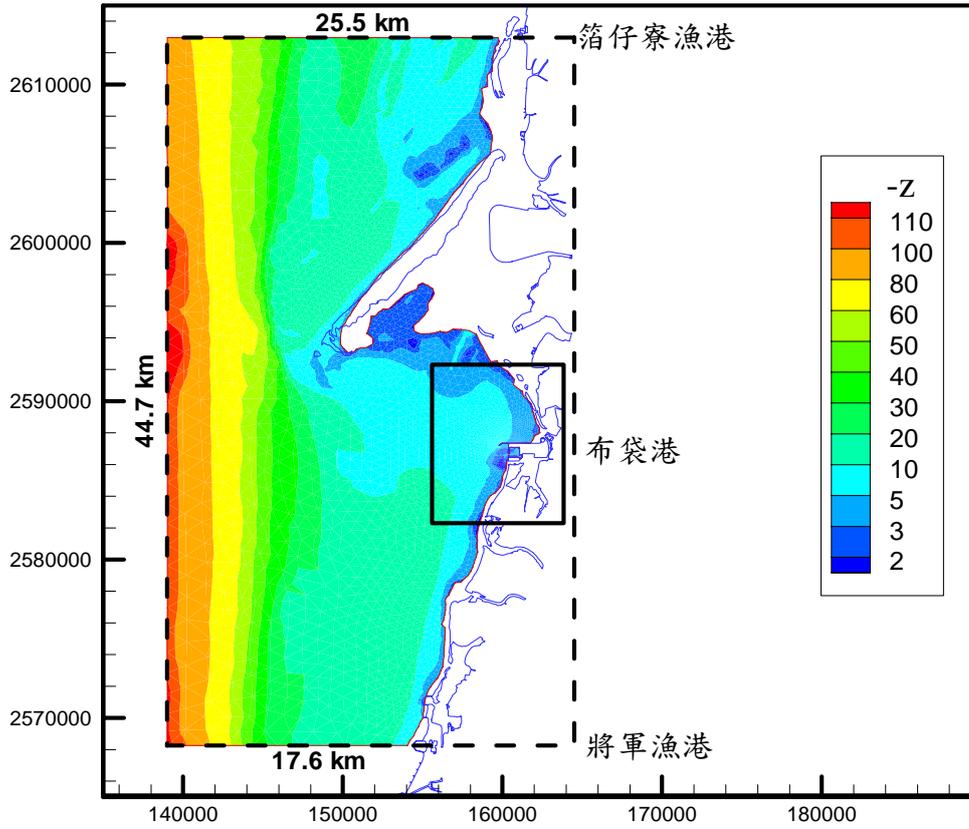


圖 4.14 布袋港區流場模擬範圍與水深分佈圖

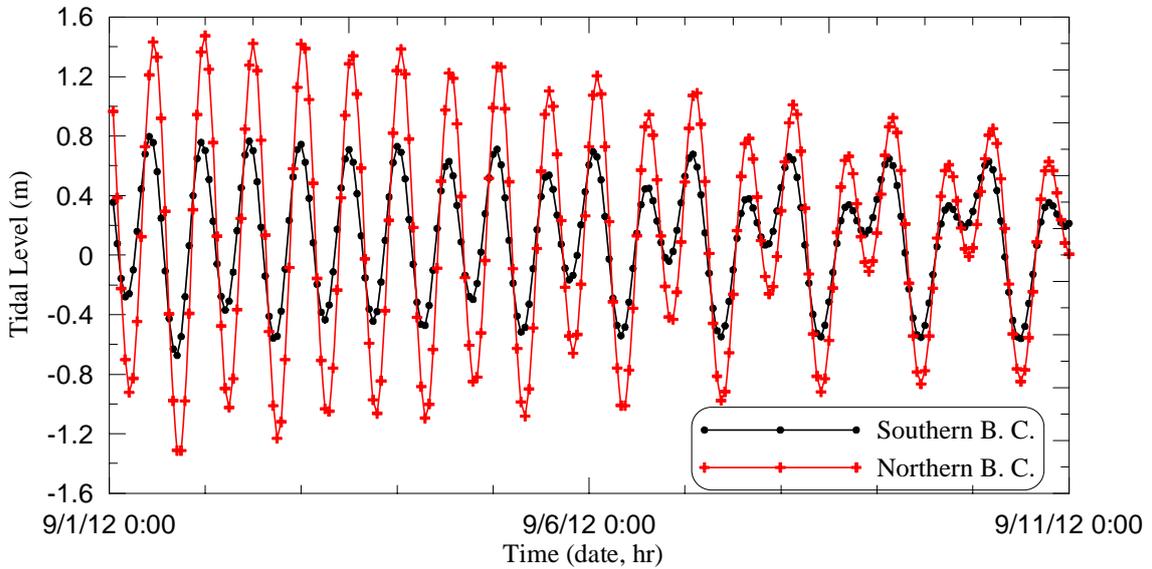


圖 4.15 布袋港水動力模式南、北開放邊界之水位邊界條件時序圖

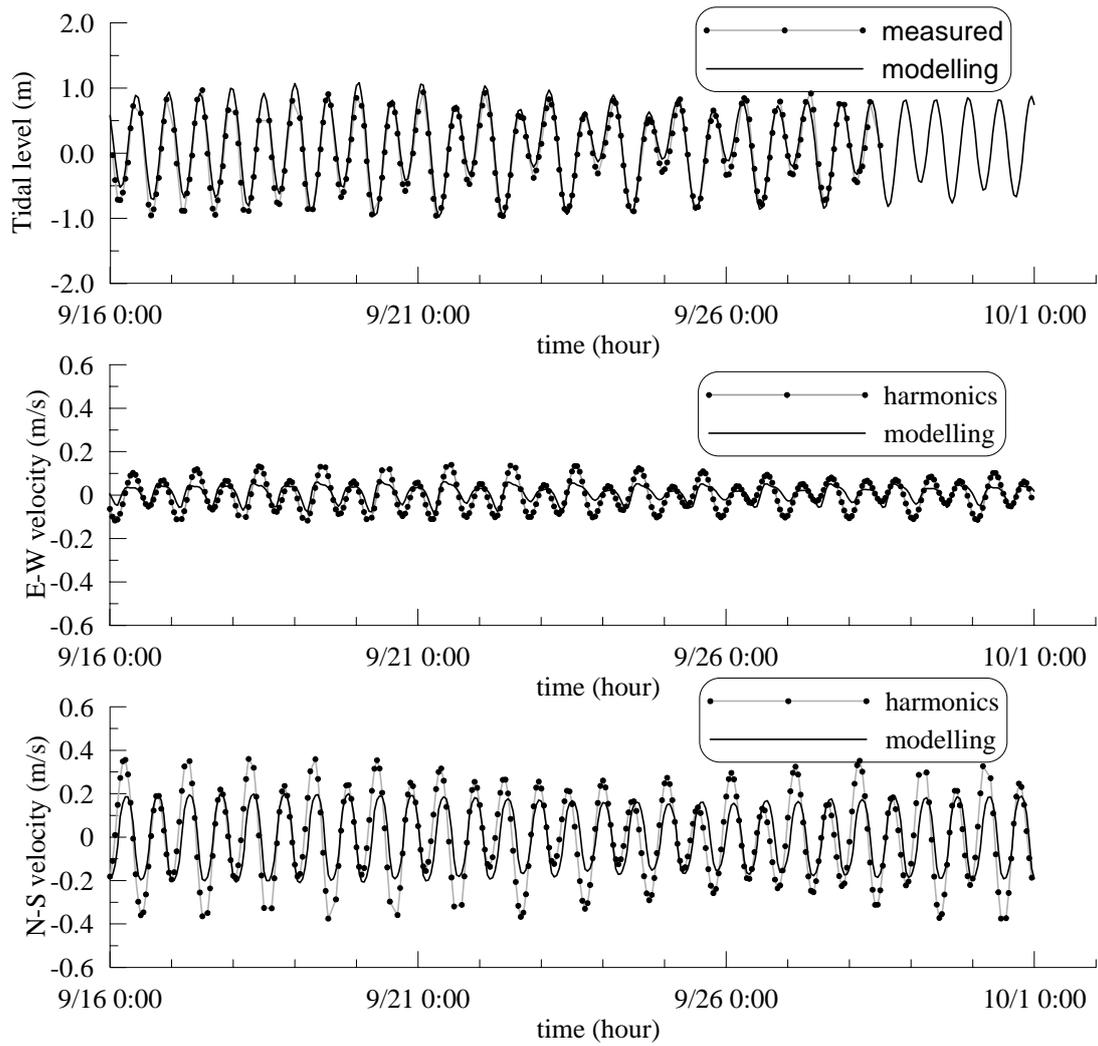


圖 4.16 布袋港水位及潮流模擬結果與潮流觀測資料調和分析( $O_1$ 、 $K_1$ 、 $N_2$ 、 $M_2$ 、 $S_2$ )結果之比較

#### 4.1.5 安平港

安平港水動力模組係在前期已建置的安平港港區近岸水動力模組之基礎下進行相關修正與改善。基於安平漁港舊港口已於 2009 年 1 月完工通航後，現況潮流分別經由安平港港口及安平漁港舊港口進出安平港水域及安平漁港水域之特性，以及改善前期計畫安平港水動力模組並未含蓋安平漁港港內水域之缺失；本期計畫修正前述安平港區近岸水動力模組之模擬範圍，使其模擬範圍擴及安平港、安平漁港及其支航道水域，形成雙開口港池水域，如圖 4.17 所示，圖中有限元素網格係由 5630 個節點及 10538 個三角形元素組成。模式模擬範圍內之地形水深分佈如圖 4.18 所示。

由於前期計畫安平港水動力模式在處理南、北開放邊界間之離岸開放邊界之水位條件上，通常較易產生不符合現況之誤差，往往需藉由試誤法不斷地修正或調整，導致過程相當花費時間且不易得到較精確的模擬結果。因此，本期計畫針對小尺度水動力模組開放邊界條件修正為：採用本計畫中尺度臺灣周圍海域水動力模組天文潮模擬結果，利用內插方法產生安平港域小尺度水動力模組開放海域邊界之水位時序列資料，如圖 4.19 所示，作為模擬安平港域水位及流場之開放邊界條件。據此，本計畫小尺度水動力模組將與中尺度水動力模組具有實際的連結。

在模擬結果之驗證上，本計畫選取 2012 年 5 月份安平港港內水位觀測資料及港外海流觀測資料之潮流分析結果為依據，其中水位以及 EW 及 NS 方向速度驗證結果如圖 4.20 所示；驗證結果顯示本計畫安平港水動力模組流速模擬結果在 EW 方向速度振幅明顯略大於觀測資料調和分析之潮流振幅，NS 方向速度振幅則與觀測資料調和分析之潮流振幅相當，僅在大潮期間 NS 方向速度振幅之模擬結果有偏小的現象。整體而言，本年度安平港水動力模組之水位及流速模擬與驗證結果均較前期計畫驗證結果明顯地改善許多。

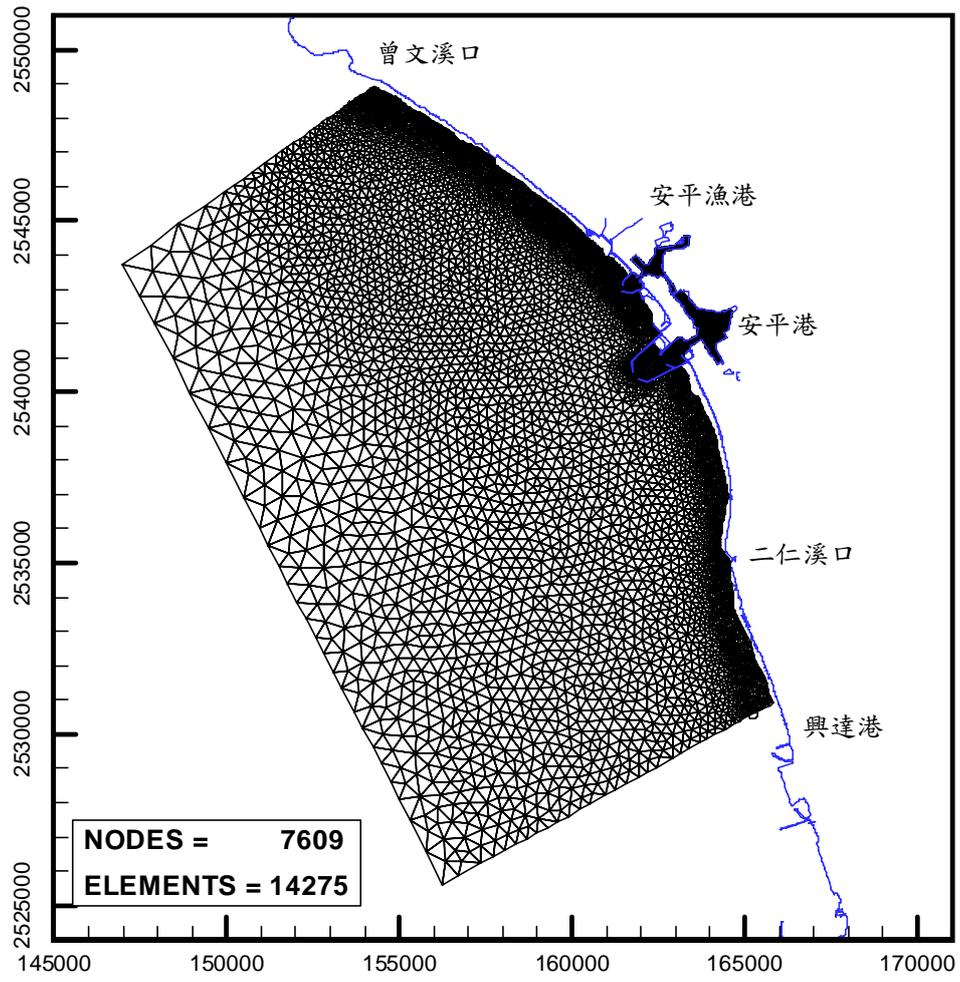


圖 4.17 安平港區近岸水動力模組之細網格三角形元素分佈圖

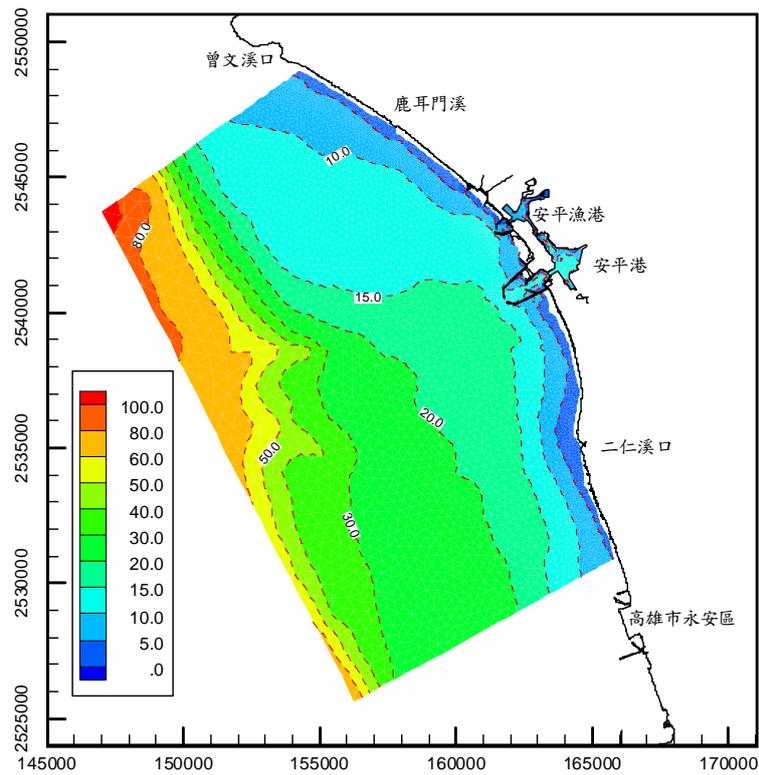


圖 4.18 安平港港區近岸水動力模組模擬範圍及水深分布圖

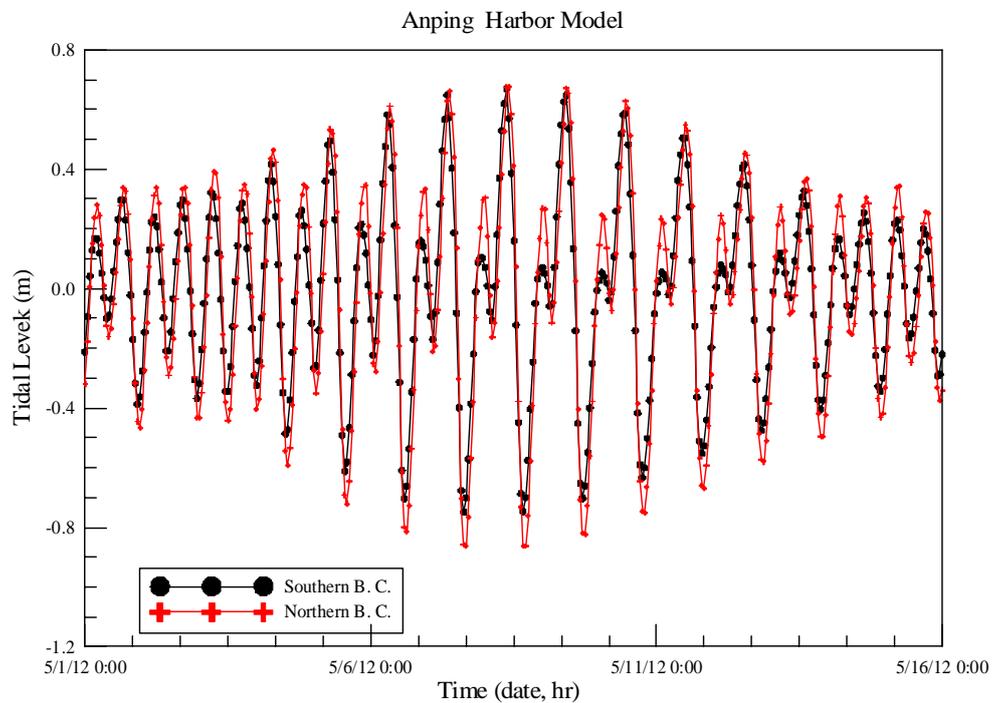


圖 4.19 本年度計畫安平港水動力模組南、北開放邊界近岸節點之水位  
時序圖

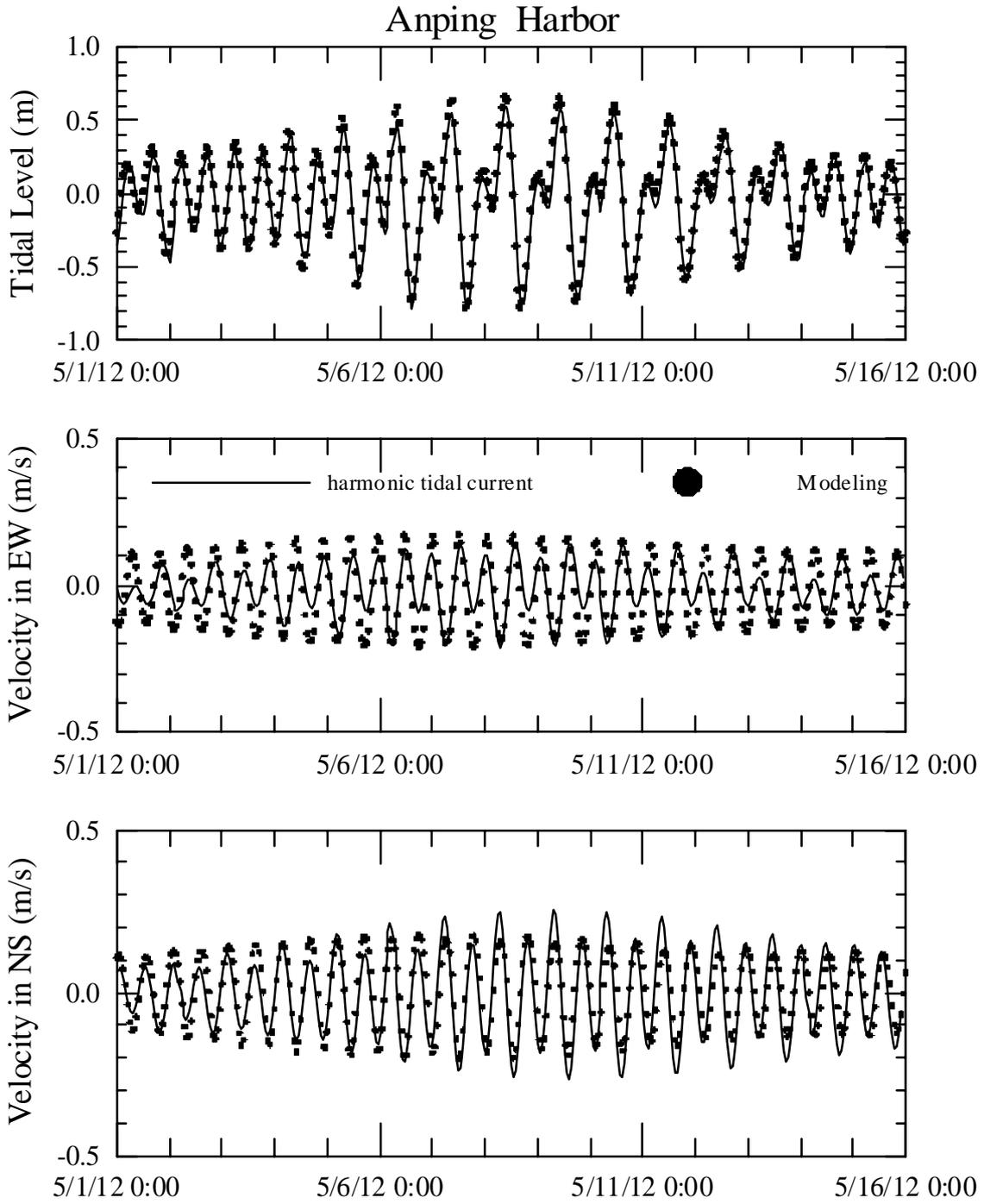


圖 4.20 安平港水位及潮流模擬結果與海流觀測資料之調和分析  
 $(O_1、K_1、M_2、S_2)$  結果比較圖

#### 4.1.6 高雄港

基於高雄港海流觀測資料分析結果顯示高雄港外海流況潮流特性與臺灣西部海岸迥異，以及前期計畫高雄港流況模擬結果無法呈現出高雄港潮流特性等因素考量，本期計畫針對小尺度高雄港水動力模組模擬範圍提出修正方案。方案之一為將模式模擬範圍向南延伸至高屏溪口北岸，離岸方向之邊界則擴展至水深 150m 等水深線附近，如圖 4.22 所示；依據新的模擬範圍，本計畫修正的有限元素計算網格，如圖 4.21 所示。圖中有限元素網格係由 3499 個節點及 6513 個三角形元素構成的。

同前述安平港水動力模組之邊界條件設定方式，高雄港區水動力模組開放海域邊界之水位條件建置修正為：依據本計畫中尺度臺灣周圍海域水動力模組天文潮模擬結果產生高雄港小尺度水動力模組開放海域邊界節點之水位時序列資料，作為模式之開放邊界條件模擬高雄港海域水位及流場。然在模擬結果驗證過程中，由模擬結果得知直接採用上述水位邊界條件實無法模擬出高雄海域潮流流況特性。針對此一問題，本計畫提出應變之方案，即調整模擬範圍南邊界上水位邊界條件之相位及振幅，以達到高雄港潮流流況模擬結果能與觀測資料之潮流特性相符之目的。經修正後的南北開放邊界之水位時序列資料如圖 4.23 所示，圖中北開放邊界之水位資料代表由中尺度水動力模組模擬結果轉出之水位資料，南開放邊界之水位資料則為經由相位及振幅修正後的水位資料。

本計畫選取 2012 年 10 月份高雄港港內水位觀測資料以及港外海流觀測資料之潮流分析結果，作為高雄港水動力模組模擬結果驗證之依據，模式相關驗證結果如圖 4.24 所示；驗證結果顯示高雄港水位模擬結果大致上仍與觀測資料相當近似，僅在全日潮水位轉折變化階段仍有較明顯地誤差；在流速 EW 及 NS 方向分量比較上，速度振幅及相位變位模擬值與觀測資料之調和分析結果仍有顯著之誤差存在，但流向及相位變位的趨勢上已能夠反應出潮流漲潮流向往東南及退潮流向往西北之特性。

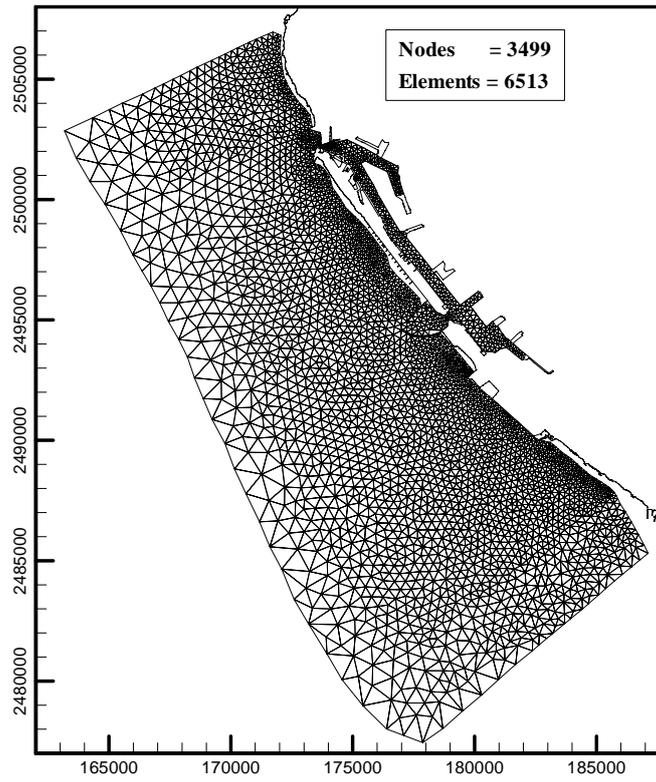


圖 4.21 高雄港水動力模組模擬範圍內有限元素網格圖

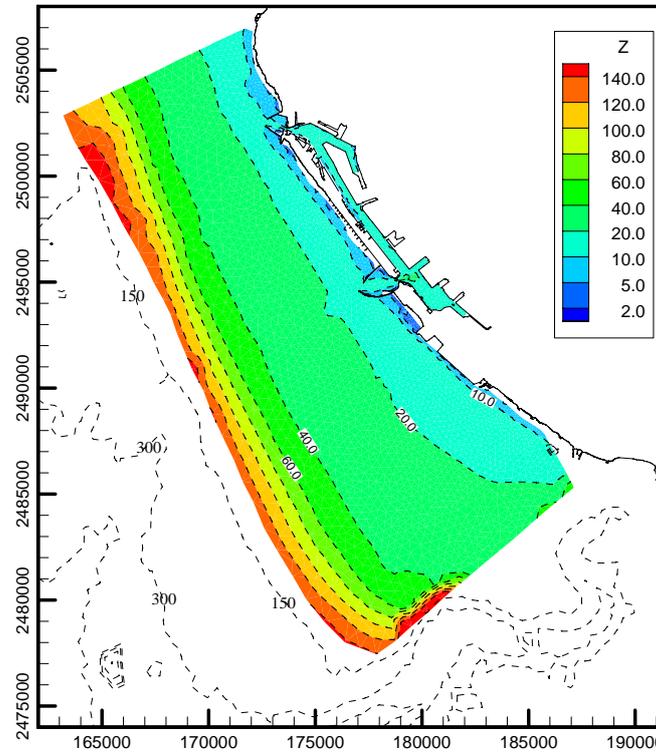


圖 4.22 高雄港水動力模組模擬範圍內等水深線分布圖

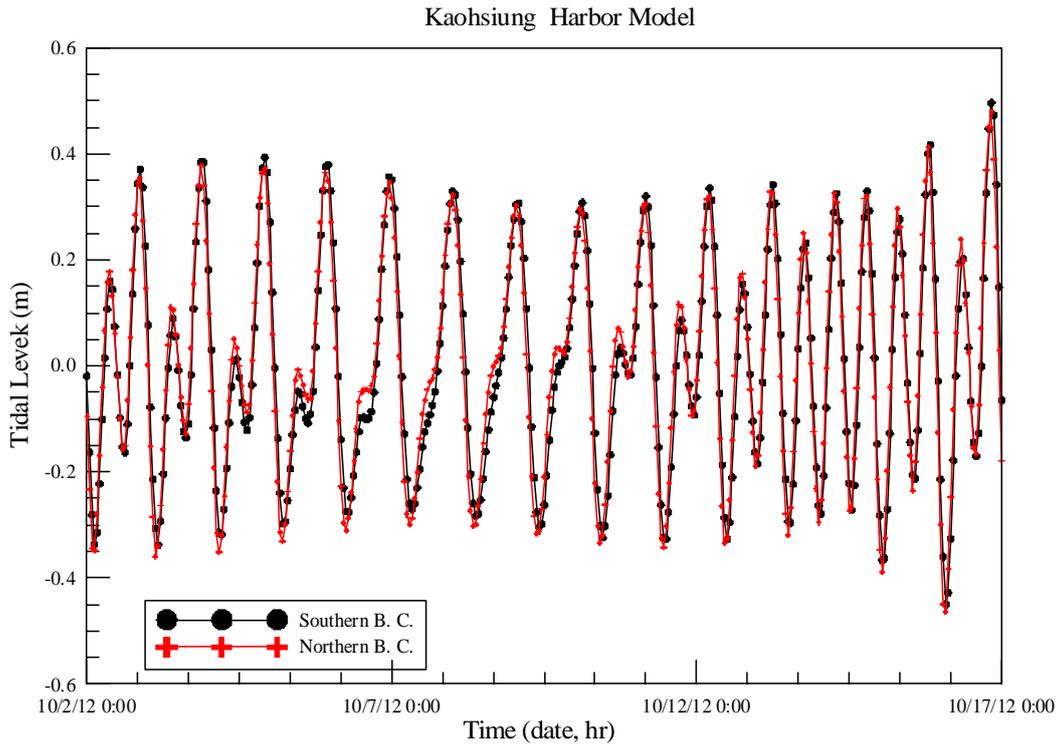


圖 4.23 高雄港水動力模組南、北開放邊界近岸節點之水位時序圖

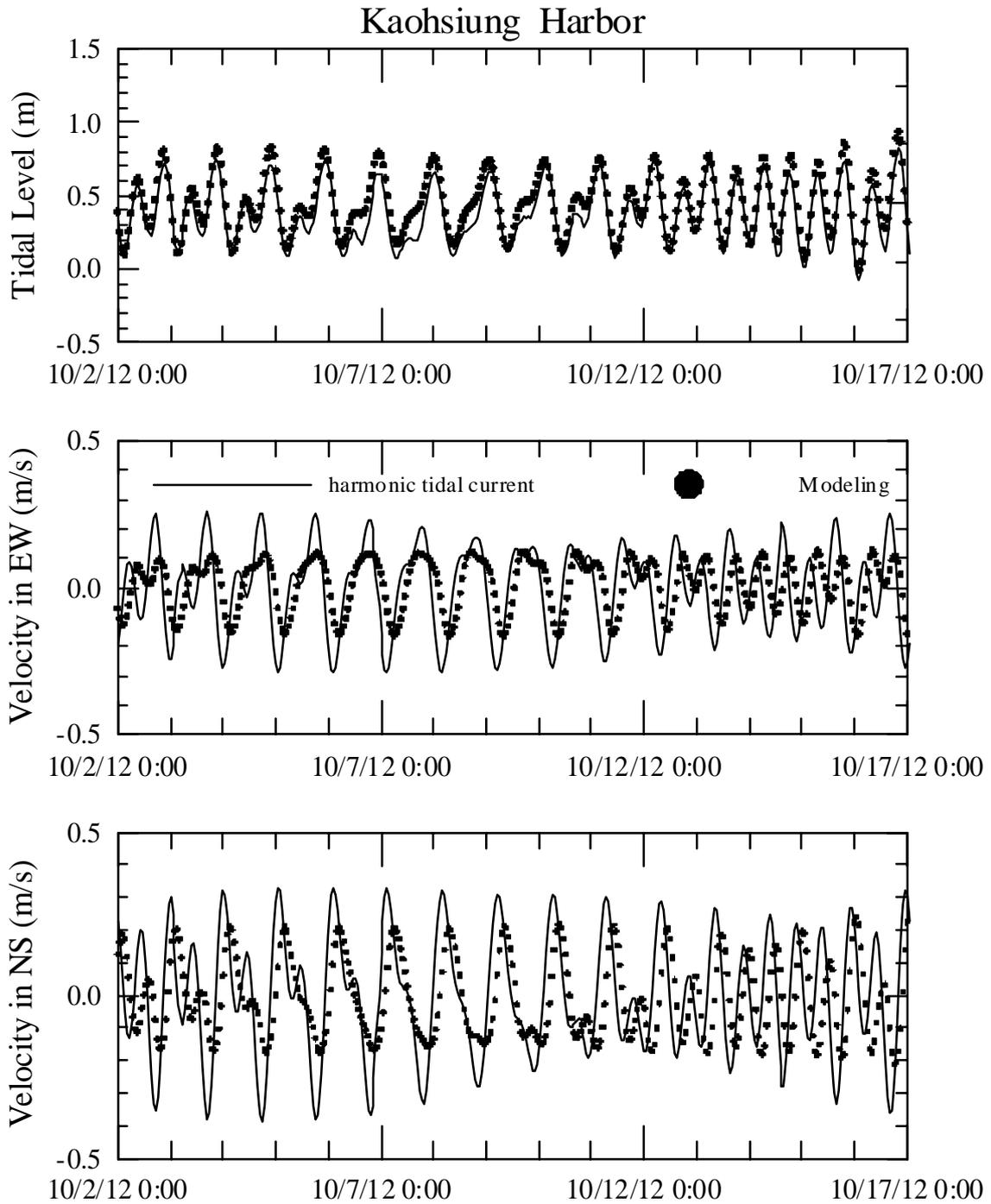


圖 4.24 高雄港水位與潮流模擬結果與海流觀測資料調和分析  
 $(O_1、K_1、N_2、M_2、S_2)$ 之 E-W 及 N-S 向速度分量比較圖

## 4.2 小尺度花蓮港區水動力模組改善研究

前期計畫「近岸海象數值模擬及預警系統之建立」(96年~99年)已規劃在 TaiCOMS 水位及流場架構下，針對各港區建置近岸水動力模組負責各港區近岸小尺度水位及流場模擬作業；並於 98 年度計畫分別針對各港區初步建置各港區近岸水動力模組，以及各港區近岸水位及流場模擬與驗證研究。本年度計畫係在前期已建置的花蓮港港區近岸水動力模組之基礎下進行相關修正與改善，內容包括水動力模組之模擬範圍及有限元素網格之修正、模式邊界條件之修正、模式相關參數率定與驗證、花蓮港港區近岸水位及流場現況模擬等工作。分述如下：

### 4.2.1 模擬範圍及有限元素網格之修正

圖 4.25 為本年度計畫花蓮港區近岸水動力模組之模擬範圍及地形水深分佈，圖中黑色粗實線為 98 年度計畫初步建置的花蓮港港區近岸水動力模組之模擬範圍。由圖顯示本年度計畫模擬範圍南、北邊界與前期計畫大致相同，北起花蓮縣新城鄉，南至花蓮縣壽豐鄉，南北邊界相距約 30 公里；外海離岸邊界以大約平行海岸線的方式向外延伸約 20 公里，相較於前期計畫的模擬範圍，新的模擬範圍較能凸顯地形在離岸方向的變化，以反應在模式的計算。

圖 4.26 所示為本年度計畫新建置的花蓮港港區近岸水動力模組之模擬範圍及模式三角形有限元素網格配置圖，圖中三角形有限元素數值計算網格係由 1653 個節點及 3014 個三角元素構成的。另外花蓮港港區內及港口附近之有限元素網格分布情形，如圖 4.27 所示，其中包括花蓮港潮汐及海流觀測站位置，將以此作為模式驗證輸出點位之參考。

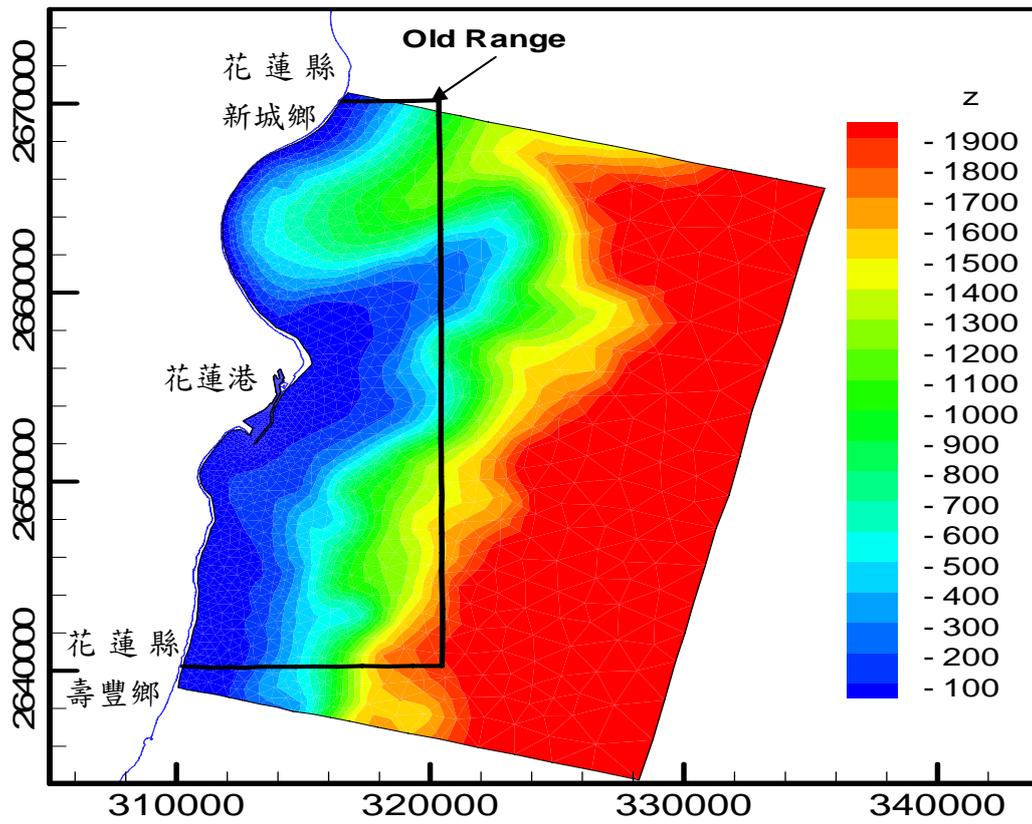


圖 4.25 花蓮港區近岸水動力模組之模擬範圍及地形水深分佈圖

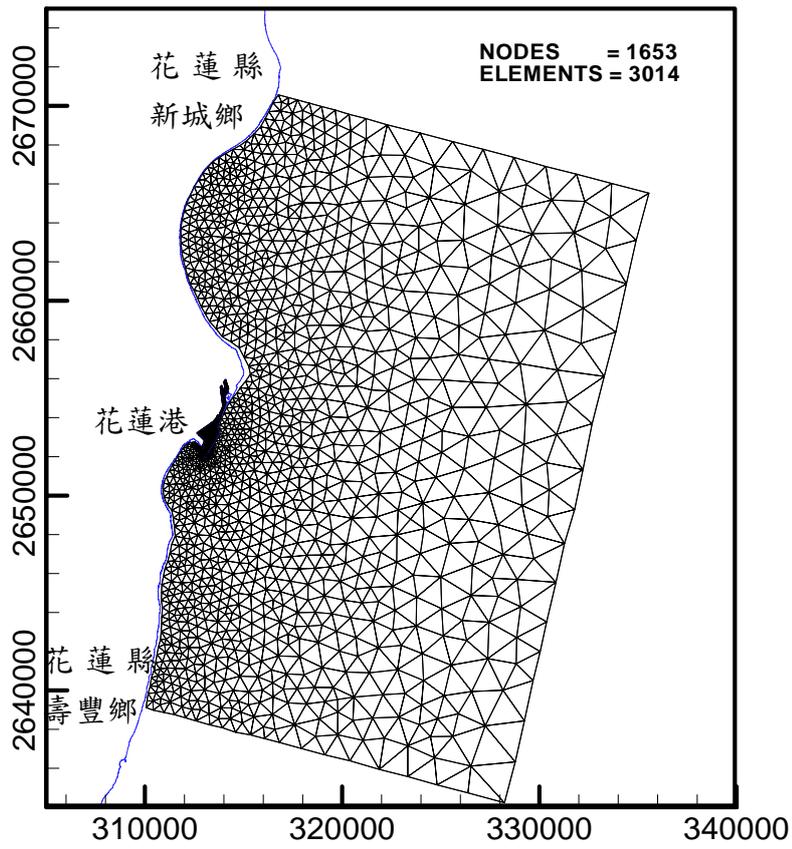


圖 4.26 花蓮港區近岸水動力模組之細網格三角形元素分佈圖

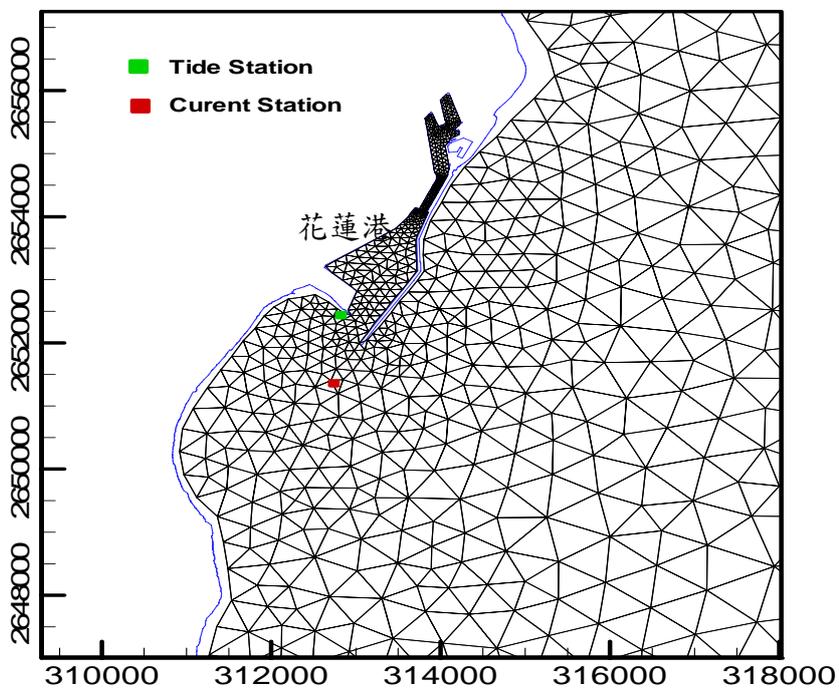


圖 4.27 花蓮港港域及港口附近細網格之三角形元素分布圖

#### 4.2.2 模式邊界條件修正

本計畫水動力數值模式之邊界型態分為海域(海洋)開放邊界及陸地邊界兩類型，其中陸地邊界之邊界條件選擇可區分為不滑動邊界條件(即假設邊界節點流速等於零)及滑動邊界條件(即假設邊界節點垂直方向流速為零)；至於，海域開放邊界則採用水位(或潮位)變化作為模式之開放邊界條件。

本研究採用上述滑動邊界條件作為花蓮港水動力模組之陸地邊界條件。另在開放邊界水位條件設定上，前期計畫先依據花蓮港及其鄰近潮位站(蘇澳港及石梯漁港)之潮汐資料，以及花蓮港口外海潮流觀測資料中，篩選出 2006 年 5 月 22 日至 2006 年 6 月 22 日之潮位及海流資料進行相關的資料分析。在水位調和分析上，選取  $O_1$ 、 $K_1$ 、 $N_2$ 、 $M_2$  及  $S_2$  等五個分潮進行各測站水位調和分析，依據蘇澳港及石梯漁港水位調和分析結果，利用線性內插方式建立各開放邊界節點上之潮汐分潮之振幅及相位差為模式開放邊界之水位邊界條件，模擬整個海域之水位及流場變化。圖 4.28 所示即為前期計畫花蓮港水動力模式數值計算網格之南、北邊界之水位變化時序列圖，結果顯示花蓮港水動力模式之南、北側邊界水位極為接近。

由於上述方法在處理南、北開放邊界間之離岸開放邊界(通常與海岸平行)之水位條件上，通常較易產生不符合現況之誤差，往往需藉由試誤法不斷地修正或調整，導致過程相當花費時間且不易得到較精確的模擬結果。由於模式模擬範圍內僅花蓮港區內有潮位紀錄，因此針對花蓮港小尺度水動力模組開放邊界條件修正為，本年度選用 Matsumoto et al.(2000)所發展的 NAO.99b 模式建置模式之開放邊界條件，如圖 4.29 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。

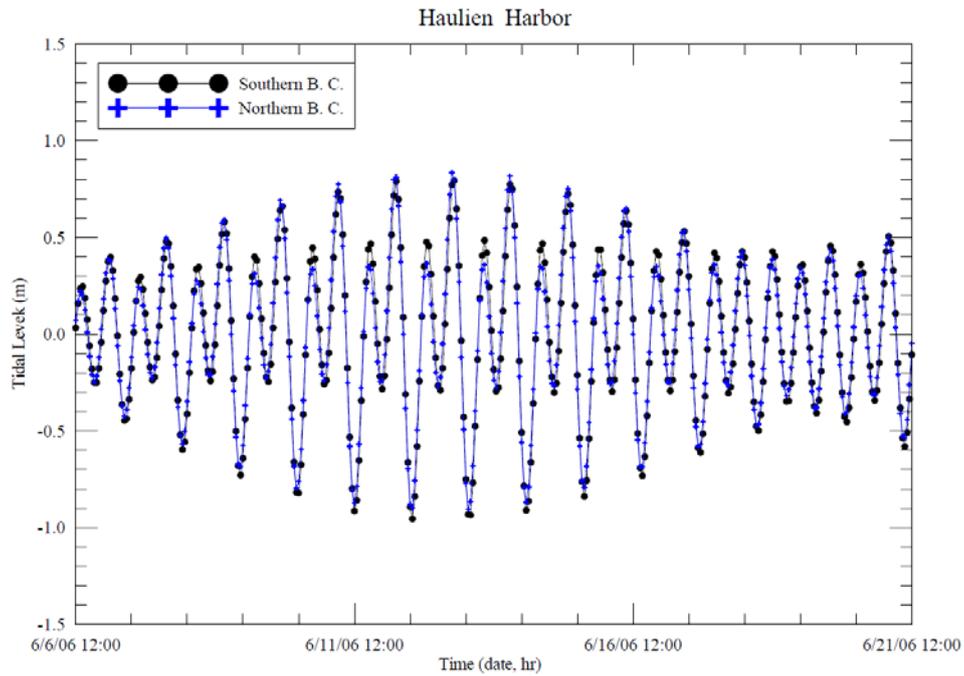


圖 4.28 前期計畫花蓮港水動力模組南、北開放邊界近岸節點之水位  
 時序圖

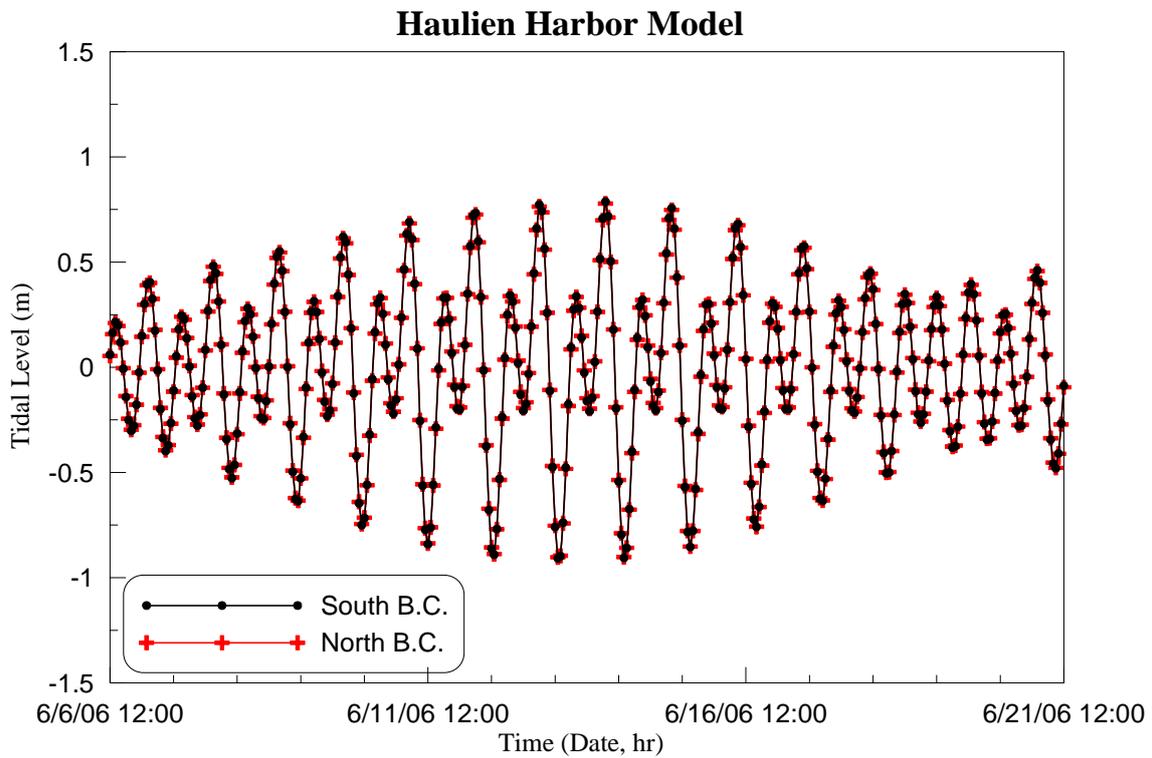


圖 4.29 本年度計畫花蓮港水動力模組南、北開放邊界近岸節點之水位  
 時序圖

### 4.2.3 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 $\Delta t$ 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，經本年度花蓮港港區近岸水動力模組採用更新數值計算網格測試後，得知採用時間間距 $\Delta t$ 為 2.0 sec 仍可使模式穩定的運算。渦動粘滯性係數則參考(A2.32)式計算各元素代表性渦動粘滯性係數，式中採用的參數值分別為無因次係數  $a$  值為 0.02，代表性流速  $\bar{u}$  值為 0.1 m/s，代表性潮差  $\bar{\eta}$  值為 0.6m。至於，底床摩擦係數則隨水深而變，其值介於 0.010~0.020 之間。

在模擬結果之驗證上，為了與前期計畫驗證結果相較，本計畫選取 2006 年 6 月份花蓮港港內水位觀測資料及港外海流觀測資料之潮流分析結果為依據，其中水位與潮流 EW 及 NS 方向速度驗證結果如圖 4.30 所示；驗證結果顯示本計畫花蓮港水動力模組流速模擬結果在 EW 方向速度振幅明顯小於觀測資料調和分析之潮流振幅，NS 方向速度振幅則與觀測資料調和分析之潮流振幅相當。整體而言，本年度花蓮港水動力模組之水位及流速模擬與驗證結果均較前期計畫驗證結果，如圖 4.31 所示，在流速變化的相位較接近調和分析的結果。

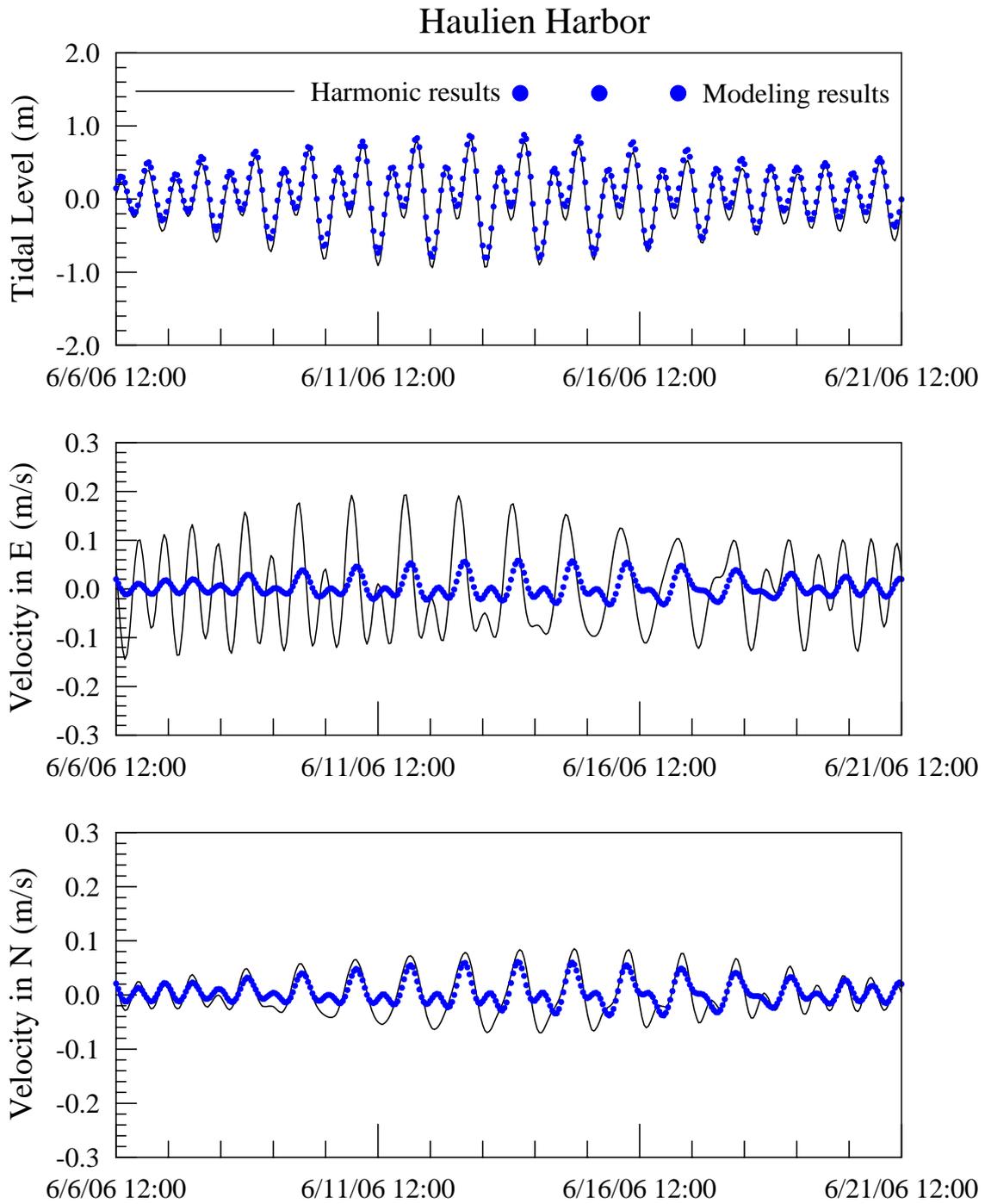


圖 4.30 花蓮港水位及潮流模擬結果與海流觀測資料之調和分析  
 $(O_1、K_1、M_2、S_2)$ 結果比較圖

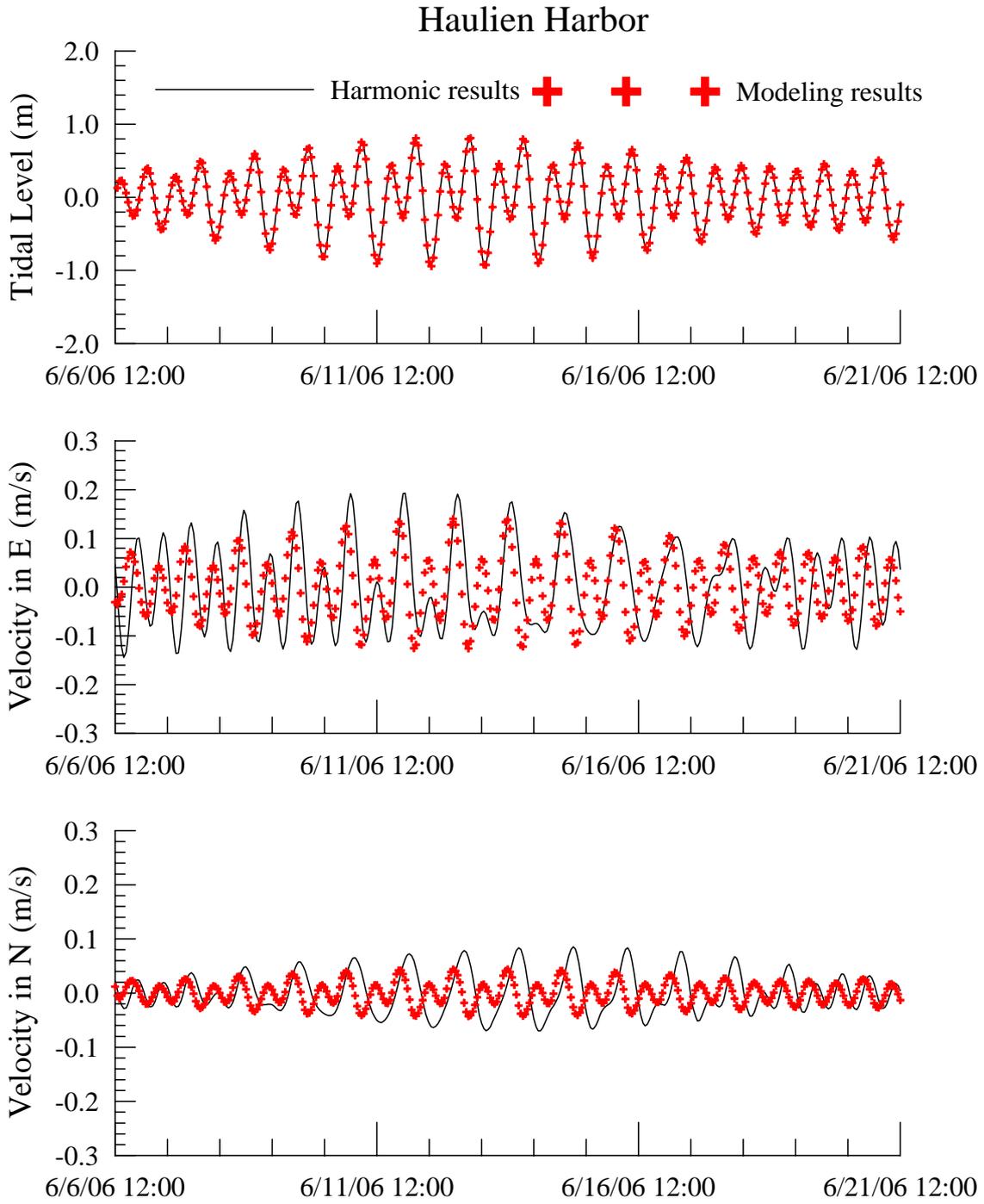


圖 4.31 前期計畫花蓮港水位及潮流模擬結果與海流觀測資料之調和分析( $O_1$ 、 $K_1$ 、 $M_2$ 、 $S_2$ )結果比較圖

#### 4.2.4 花蓮港海域流場模擬結果

本計畫依據上述所建立之花蓮港水動力模式模擬花蓮港區附近海域的流場環境，如圖 4.32 所示，為 2006 年 6 月 14 日(農曆 5 月 19 日) 花蓮港區附近海域流況變化情形及相對應的潮汐水位，可提供後續流場模擬分析結果參考。

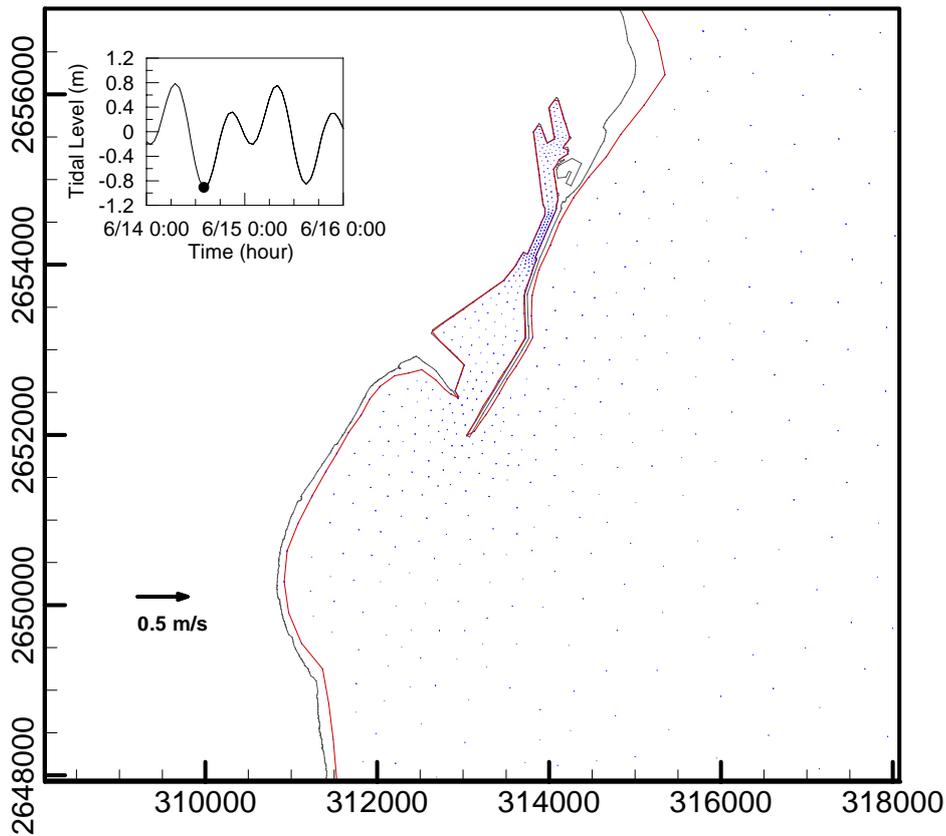


圖 4.32 花蓮港流場模擬結果之流速向量圖(2006/06/14 14:00)

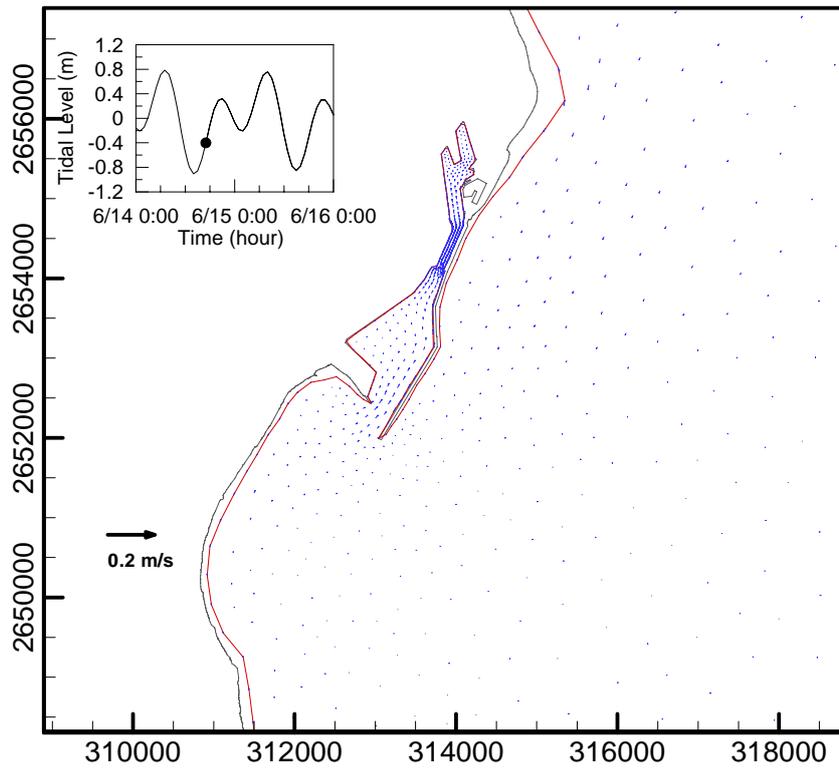


圖 4.32 (續 1) 花蓮港流場模擬結果之流速向量圖(2006/06/14 17:00)

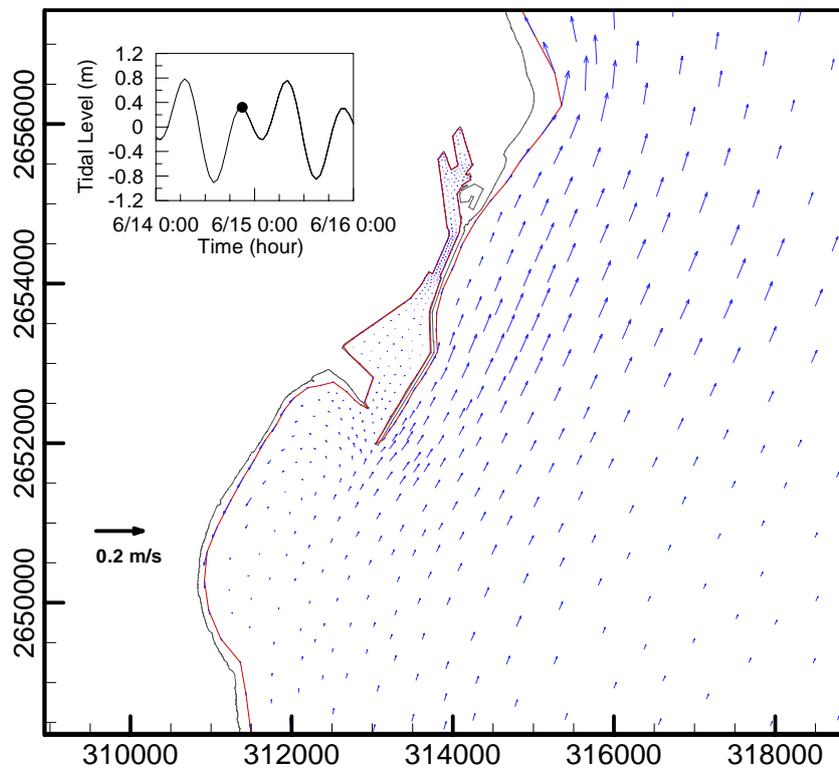


圖 4.32 (續 2) 花蓮港流場模擬結果之流速向量圖(2006/06/14 21:00)

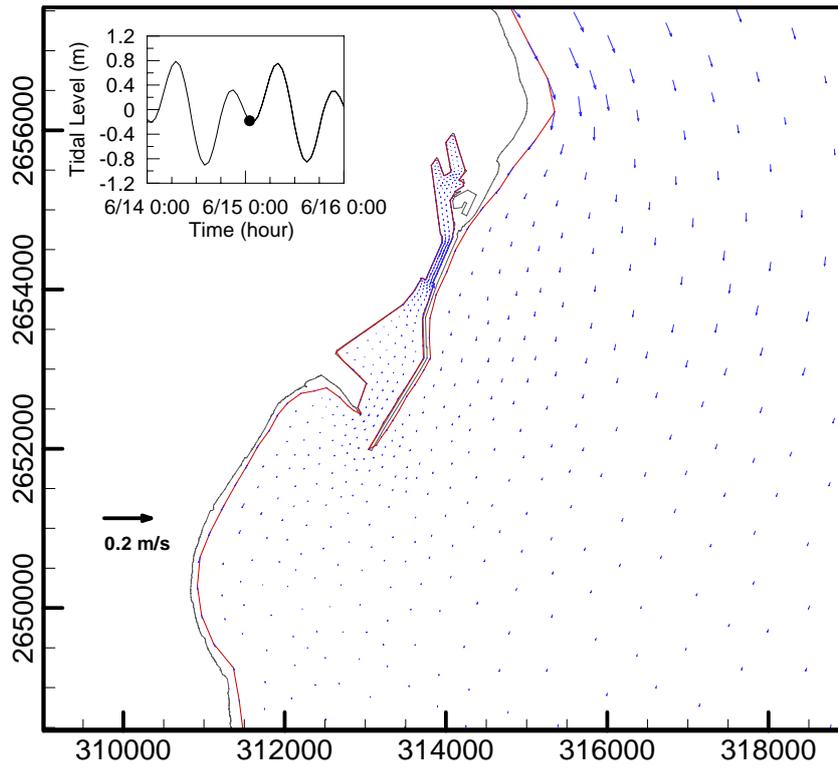


圖 4.32 (續 3)花蓮港流場模擬結果之流速向量圖(2006/06/15 01:00)

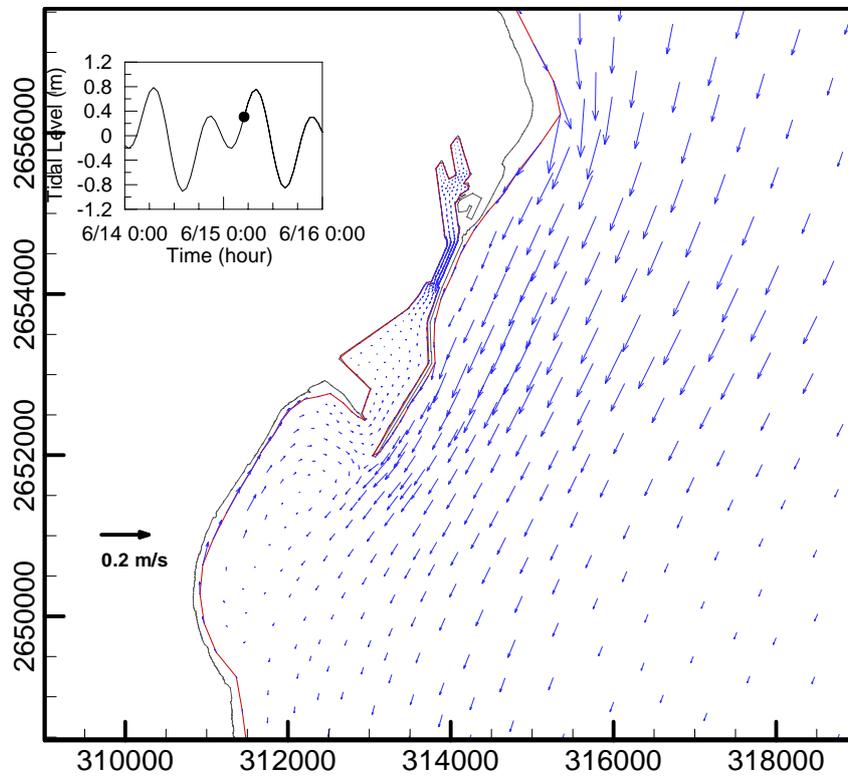


圖 4.32 (續 4)花蓮港流場模擬結果之流速向量圖 (2006/06/15 05:00)

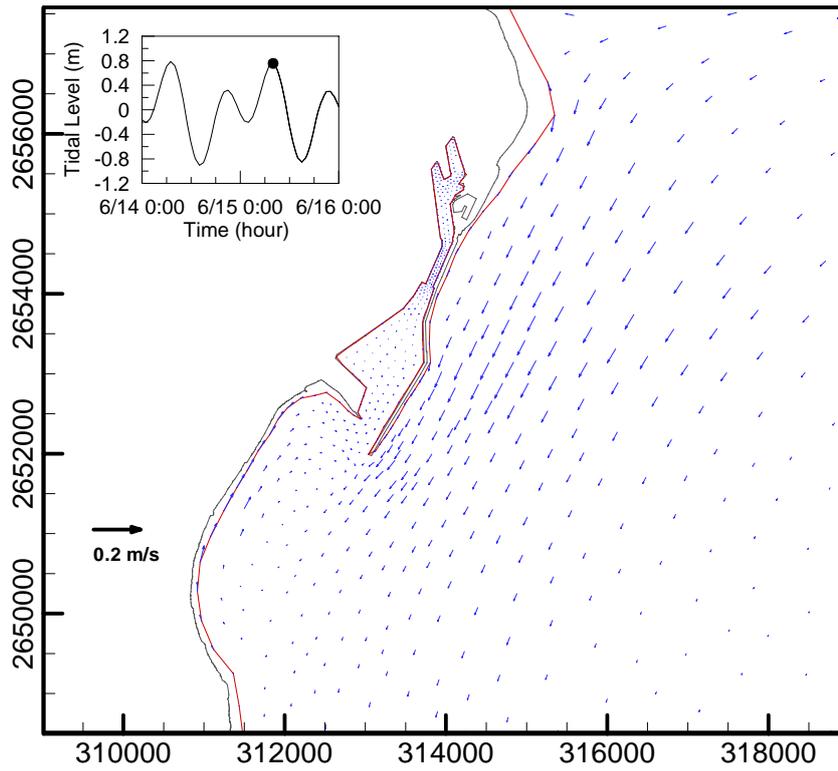


圖 4.32 (續 5) 花蓮港流場模擬結果之流速向量圖(2006/06/15 08:00)

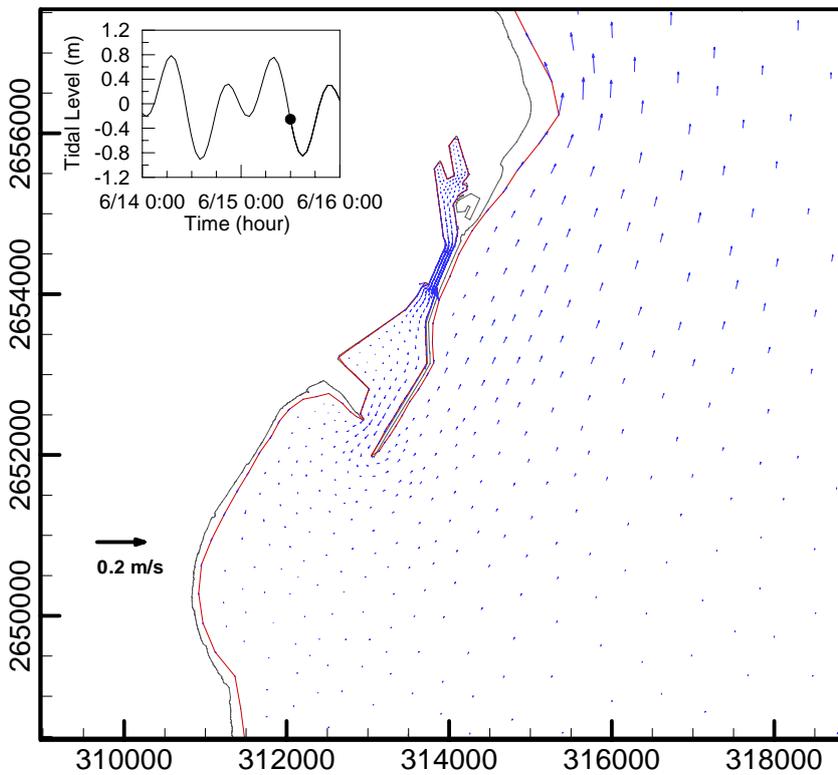


圖 4.32 (續 6) 花蓮港流場模擬結果之流速向量圖(2006/06/15 12:00)

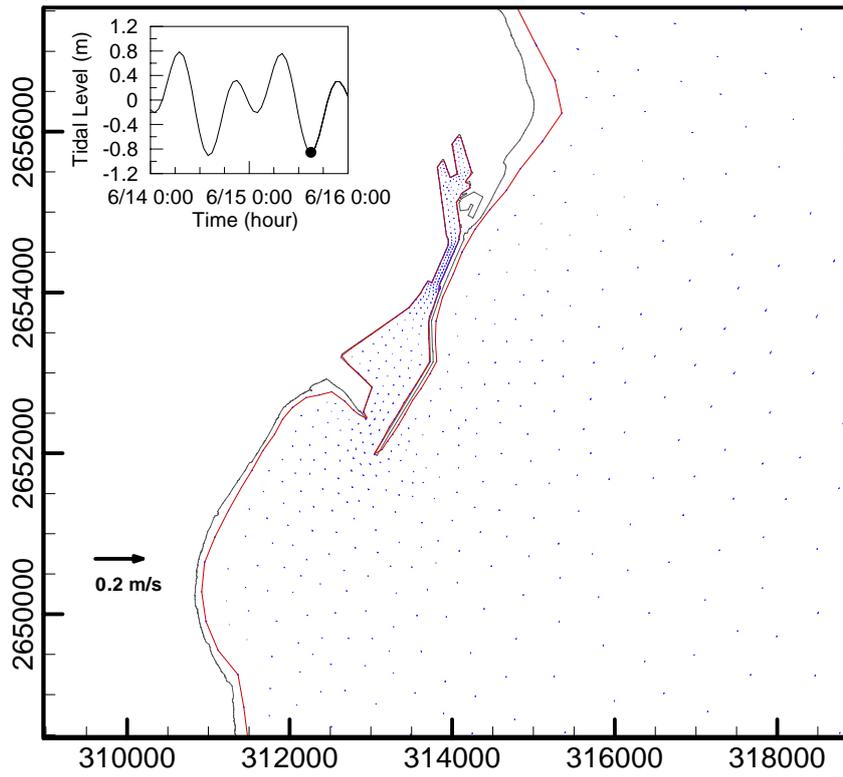


圖 4.32 (續 7)花蓮港流場模擬結果之流速向量圖(2006/06/15 15:00)

### 4.3 小尺度蘇澳港區水動力模組改善研究

同前述花蓮港區水動力模組說明，本計畫小尺度蘇澳港區水動力模組係前期計畫於 98 年度完成初步的小尺度蘇澳港區近岸水動力模組建置工作，其中蘇澳港區水動力模組之模擬範圍及有限元素網格配置如圖 4.33 所示，範圍北起宜蘭縣蘇澳鎮與五結鄉交界處附近，南至蘇澳鎮東澳里北邊；南北邊界相距約 12 km，離岸方向寬度約 4~7 km；圖中有限元素網格係由 1479 個節點及 2664 個三角形元素構成的。同樣地，針對蘇澳港區本年度計畫將依據前期計畫建置的蘇澳港港區近岸水動力模組進行相關修正與改善研究，本章節內容包括水動力模組之模擬範圍及地形水深知更新、有限元素格網之修正、模式邊界條件之修正、模式相關參數率定與驗證、蘇澳港港區近岸水位及流場模擬等工作。

#### 4.3.1 模擬範圍及有限元素網格之修正

由於臺灣東部海岸地形較為陡峭，前期計畫蘇澳港水動力模式模擬範圍較小，可能無法反應近岸陡峭地形因素對潮流特性之影響，本年度計畫針對小尺度蘇澳港水動力模組模擬範圍提出修正方案，除了地形水深資料更新之外，模擬範圍亦擴大，如圖 4.34 所示，模擬範圍北起蘭縣壯圍鄉與五結鄉交界處，南至蘇澳鎮東澳里南邊；南北邊界相距約 25 km，離岸方向寬度約 20 km；圖中顯示外海地形等深線與海岸線並未平行，東南方有較深的陸棚地形。

依據新的模擬範圍，本計畫修正的有限元素計算網格，如圖 4.35 所示。圖中有限元素網格係由 2132 個節點及 3989 個三角形元素構成的，有限元素網格之水深資料則依據本年度蒐集的水深資料予以更新。另外蘇澳港港區內及港口附近之有限元素網格分布情形，如圖 4.36 所示，圖中亦標示蘇澳港潮汐及海流觀測站位置。

#### 4.3.2 邊界條件修正

同前述本年度花蓮港水動力模組之邊界條件設定方式，以滑動邊界條件作為蘇澳港水動力模組之陸地邊界條件；開放海域邊界之水位條件建置方式亦選用 Matsumoto et al.(2000)所發展的 NAO.99b 模式計算建置模式之開放邊界條件，如圖 4.37 所示，為模式模擬範圍的南、北邊海陸交界處開放邊界之水位邊界條件，圖中南、北邊界潮汐變化的相位差異不大，南邊邊界的變化振幅略大於北邊邊界。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。

### 4.3.3 模式參數率定與驗證

經採用本年度蘇澳港區近岸水動力模組更新之有限元素網格測試後，得知模式之時間間距 $\Delta t$ 為 2.0 sec 可使模式穩定的運算。渦動粘滯性係數同樣參考(A2.32)式計算各元素代表性渦動粘滯性係數，式中採用的參數值分別為無因次係數  $a$  值為 0.02，代表性流速 $\bar{u}$ 值為 0.2 m/s，代表性潮差 $\bar{\eta}$ 值為 0.6m。有限元素網格之底床摩擦係數設定係隨水深而變，其值約介於 0.005~ 0.020 之間。

本年度計畫蘇澳港水動力模組模擬結果之驗證如圖 4.38 所示，其中潮位變化直接與觀測資料比對，潮流模擬結果則與觀測資料調和分析( $O_1$ 、 $K_1$ 、 $N_2$ 、 $M_2$ 、 $S_2$ )結果比對。驗證結果顯示蘇澳港水位模擬結果大致上仍與觀測資料相當近似；在流速 EW 及 NS 方向分量比較上，EW 方向流速振幅模擬值與觀測資料之調和分析結果相當，NS 方向流速振幅模擬值則小於觀測資料之調和分析結果，相位變位模擬值與觀測資料之調和分析結果仍存在約 1~2 小時差，但流向及相位變位的趨勢上已能夠反應出潮流漲潮及退潮之特性。

### 4.3.4 蘇澳港海域流場模擬結果

有關蘇澳港海域漲退時潮流變化情形，依據上述所建立之蘇澳港水動力模式模擬蘇澳港區附近海域的流場環境，如圖 4.39 所示，為 2006 年 5 月 26~27 日(農曆 4 月 29 日~5 月初一)蘇澳港區附近海域流況變化情形及相對應的潮汐水位，可提供後續流場模擬分析結果參考。

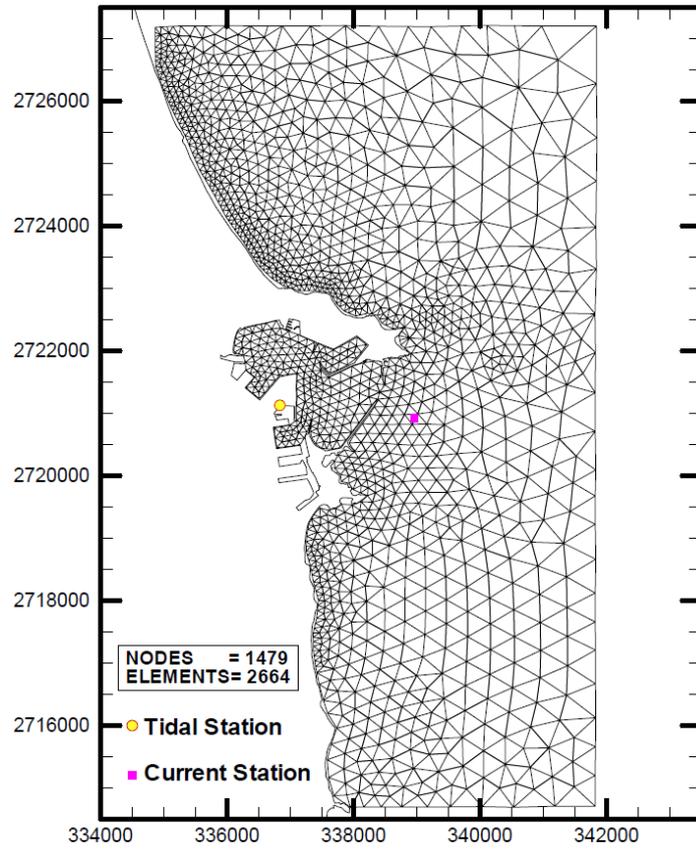


圖 4.33 蘇澳港水動力模式之有限元素格網分佈圖(98 年計畫)

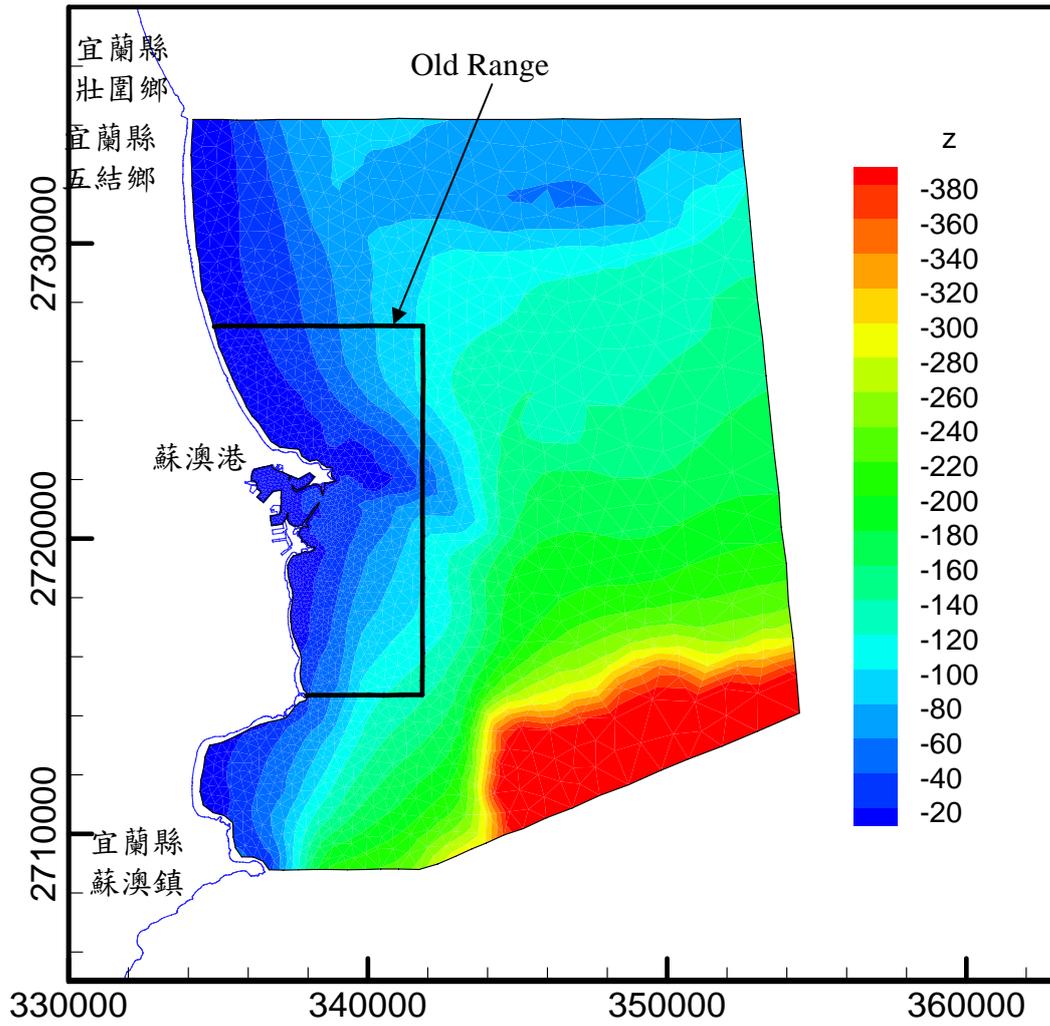


圖 4.34 蘇澳港水動力模組模擬範圍內等水深線分布圖

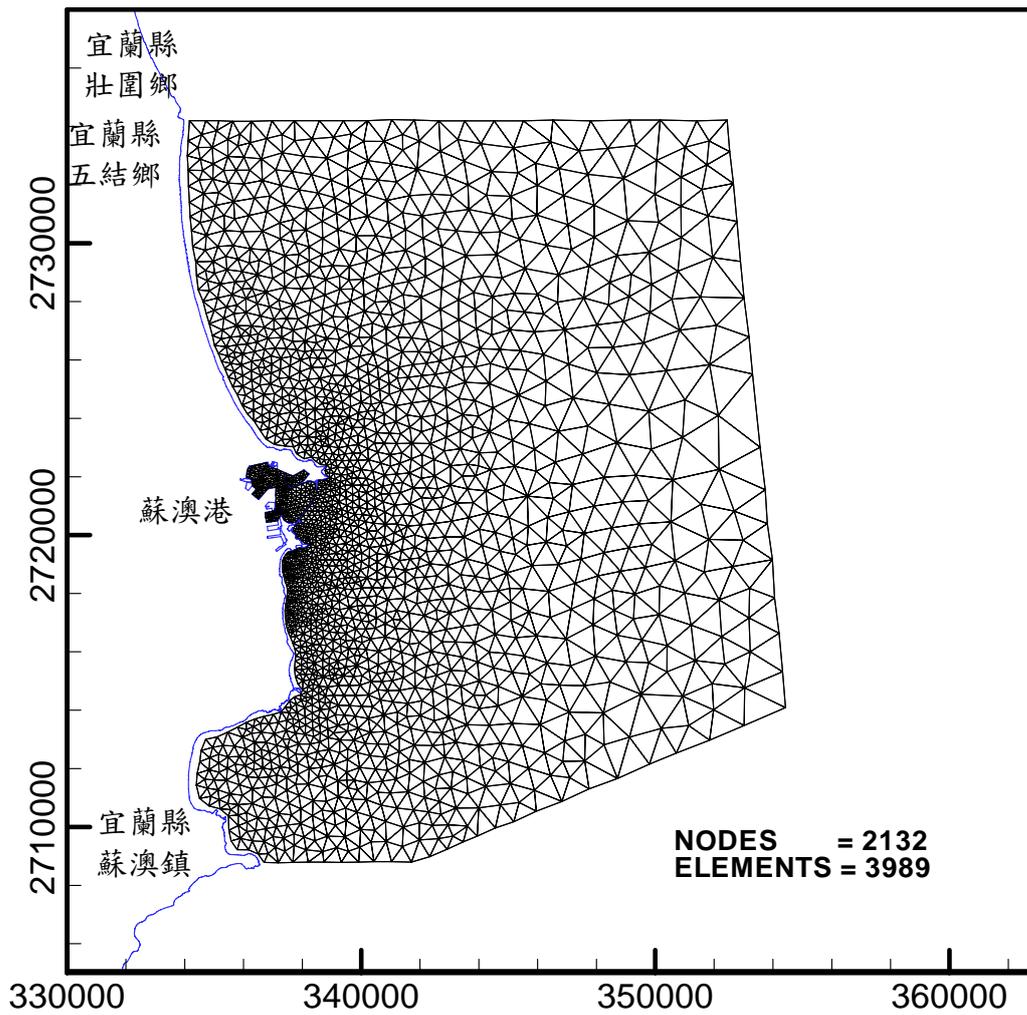


圖 4.35 蘇澳港水動力模組之模擬範圍及有限元素格網分佈圖

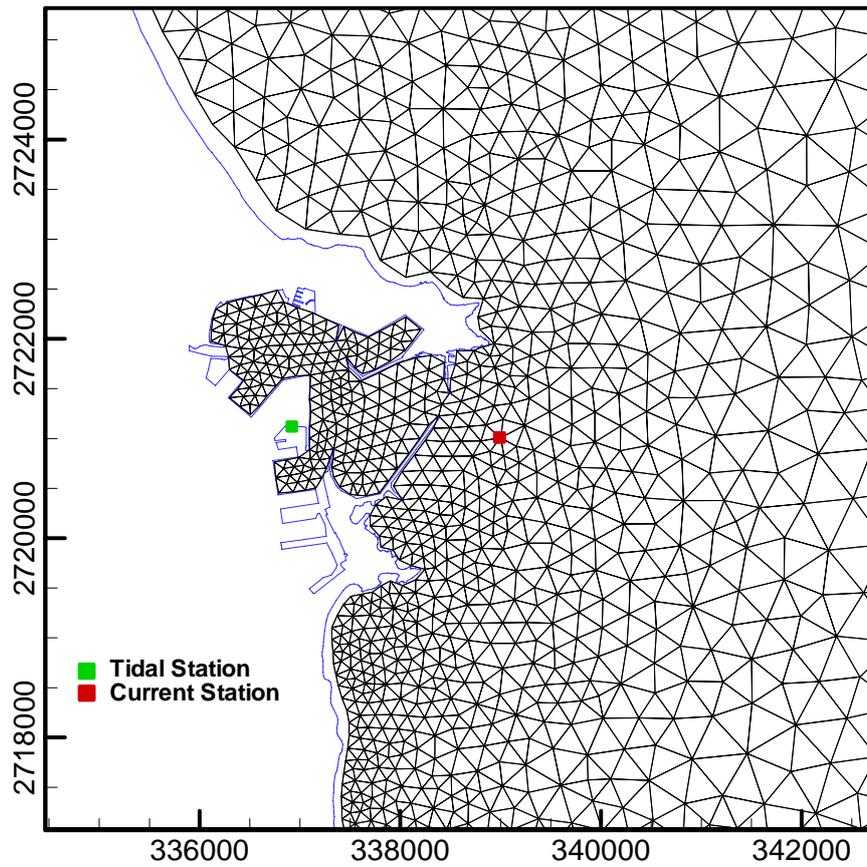


圖 4.36 蘇澳港港域及港口附近細網格之三角形元素分布圖

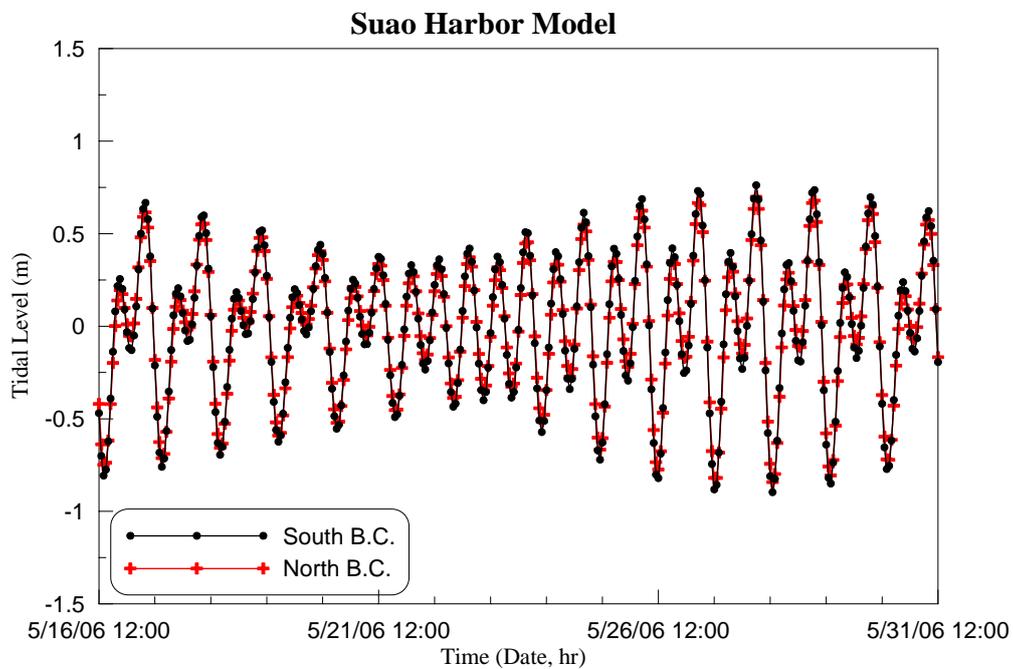


圖 4.37 蘇澳港水動力模組南、北開放邊界近岸節點之水位時序圖

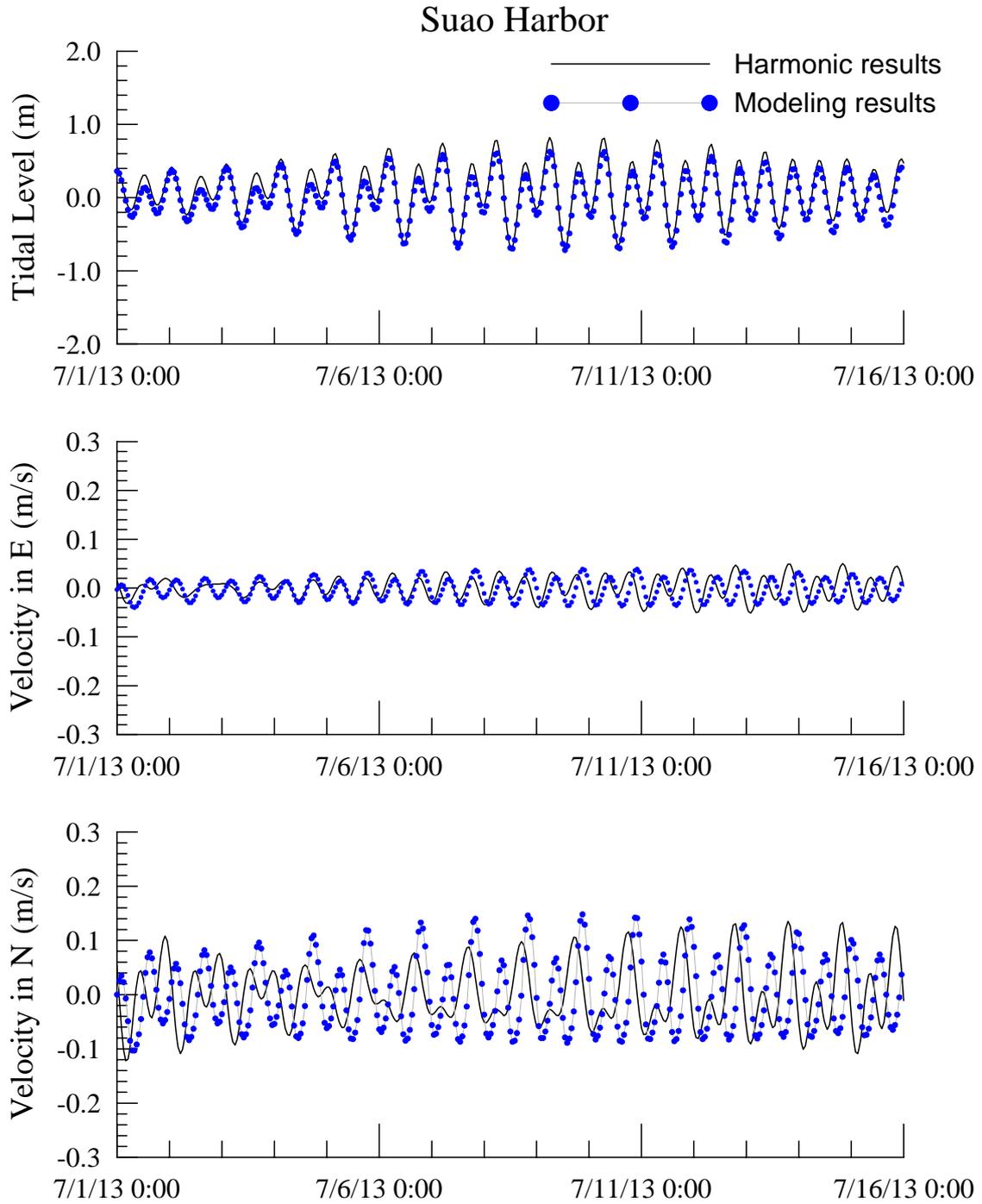


圖 4.38 蘇澳港水位與潮流模擬結果與海流觀測資料調和分析  
 $(O_1、K_1、N_2、M_2、S_2)$ 之 E-W 及 N-S 向速度分量比較圖

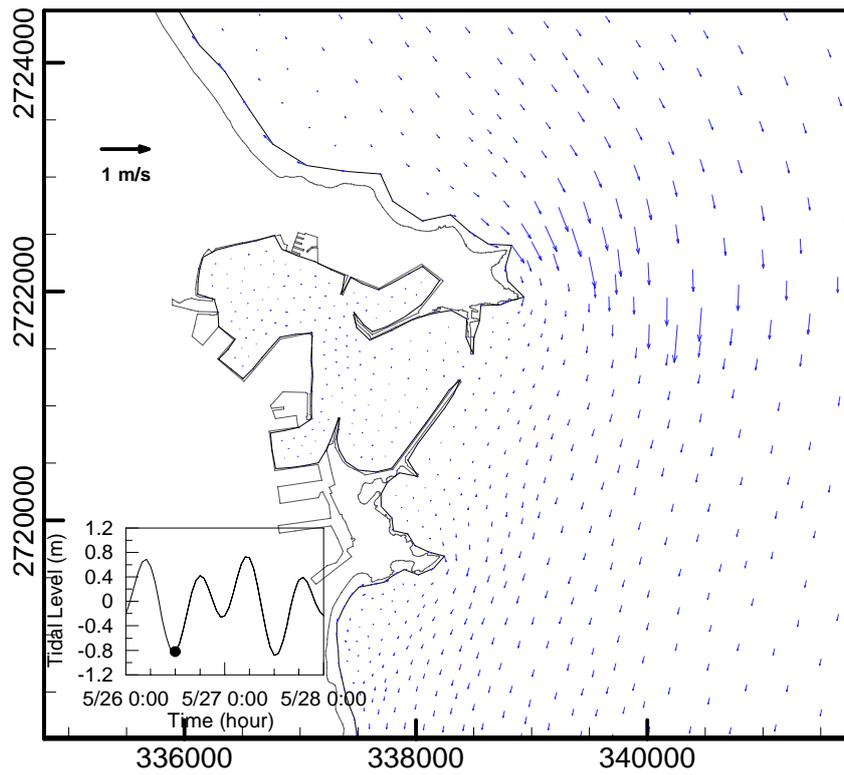


圖 4.39 蘇澳港流場模擬結果之流速向量圖(2006/05/26 12:00)

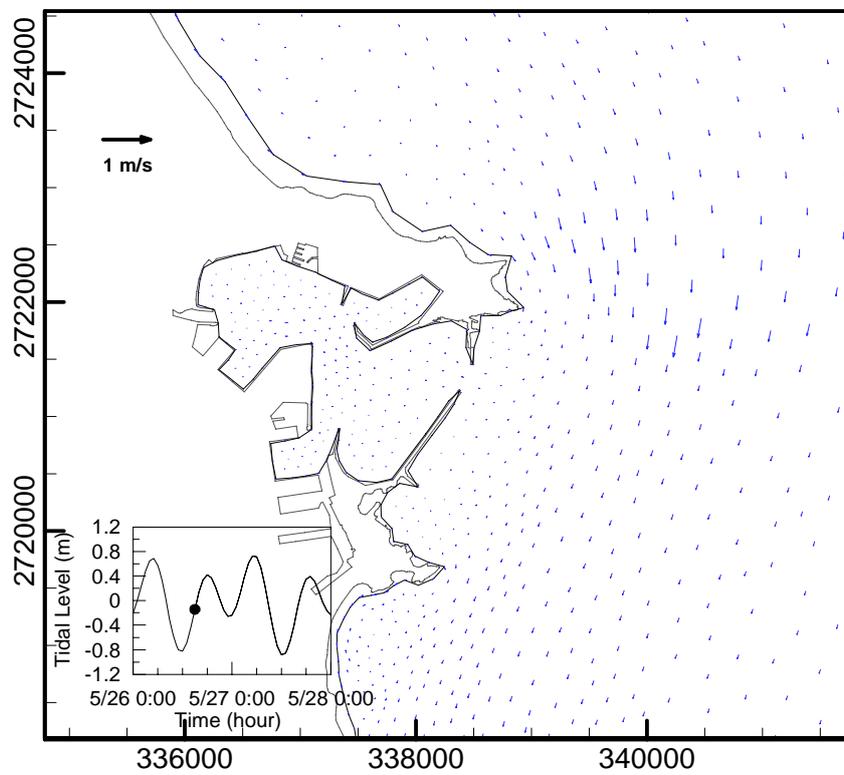


圖 4.39 (續 1) 蘇澳港流場模擬結果之流速向量圖(2006/05/26 15:00)

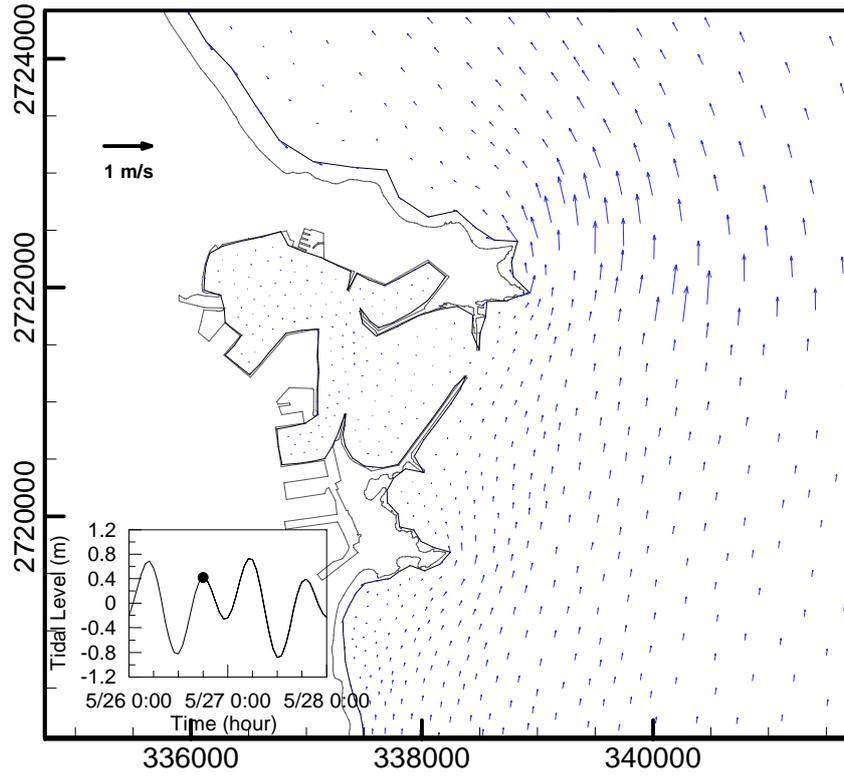


圖 4.39 (續 2) 蘇澳港流場模擬結果之流速向量圖(2006/05/26 18:00)

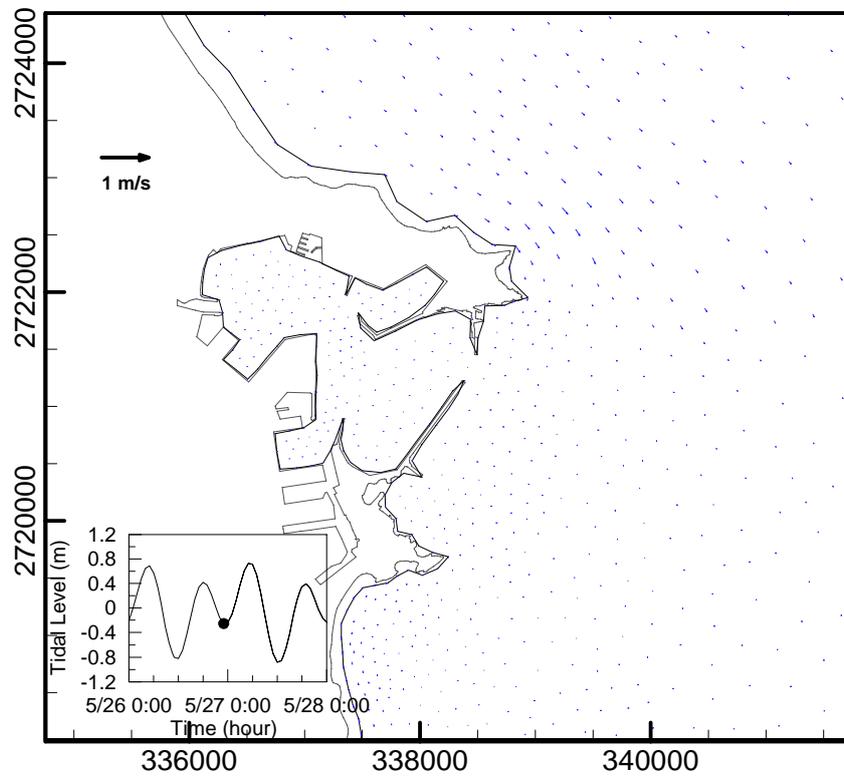


圖 4.39 (續 3) 蘇澳港流場模擬結果之流速向量圖(2006/05/26 23:00)

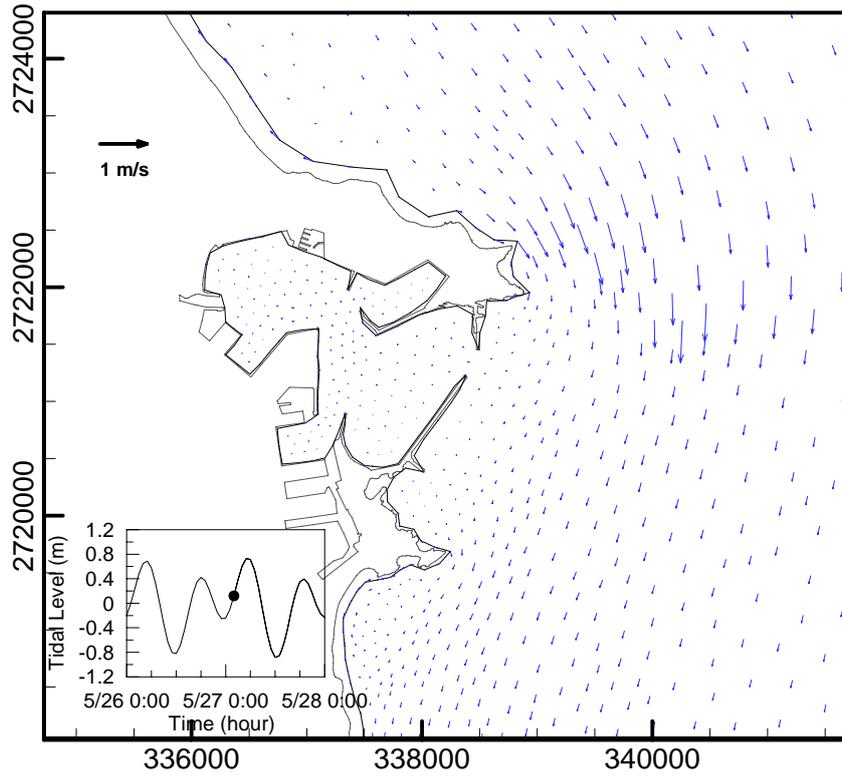


圖 4.39 (續 4) 蘇澳港流場模擬結果之流速向量圖(2006/05/27 02:00)

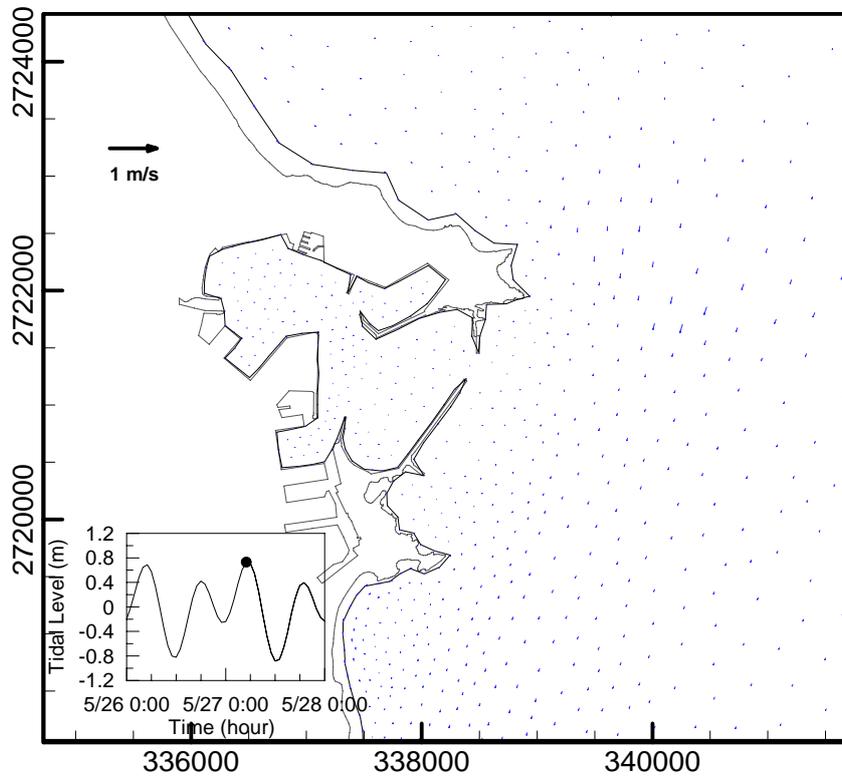


圖 4.39 (續 5) 蘇澳港流場模擬結果之流速向量圖(2006/05/27 05:00)

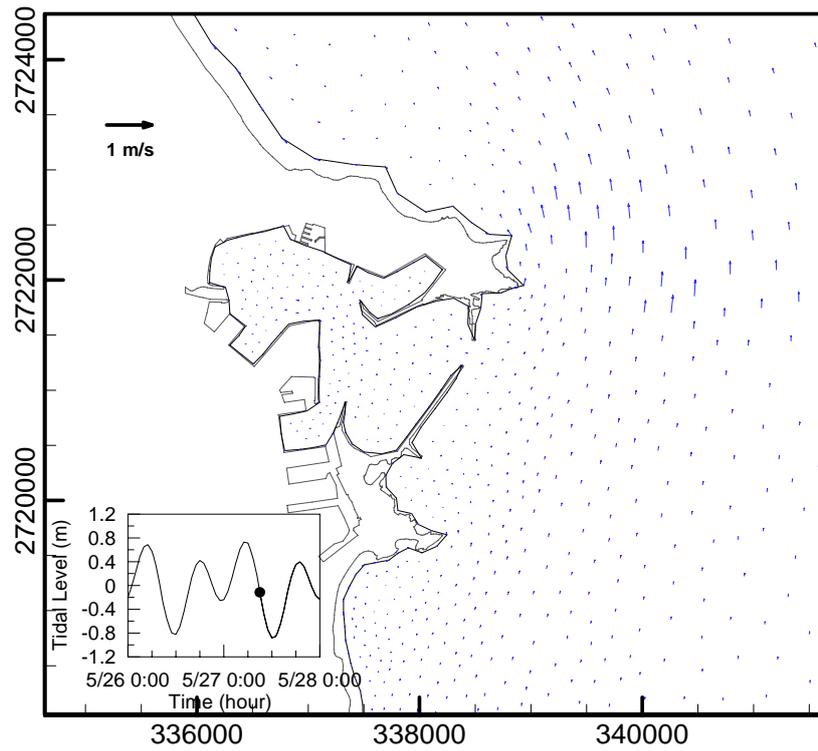


圖 4.39 (續 6) 蘇澳港流場模擬結果之流速向量圖(2006/05/27 09:00)

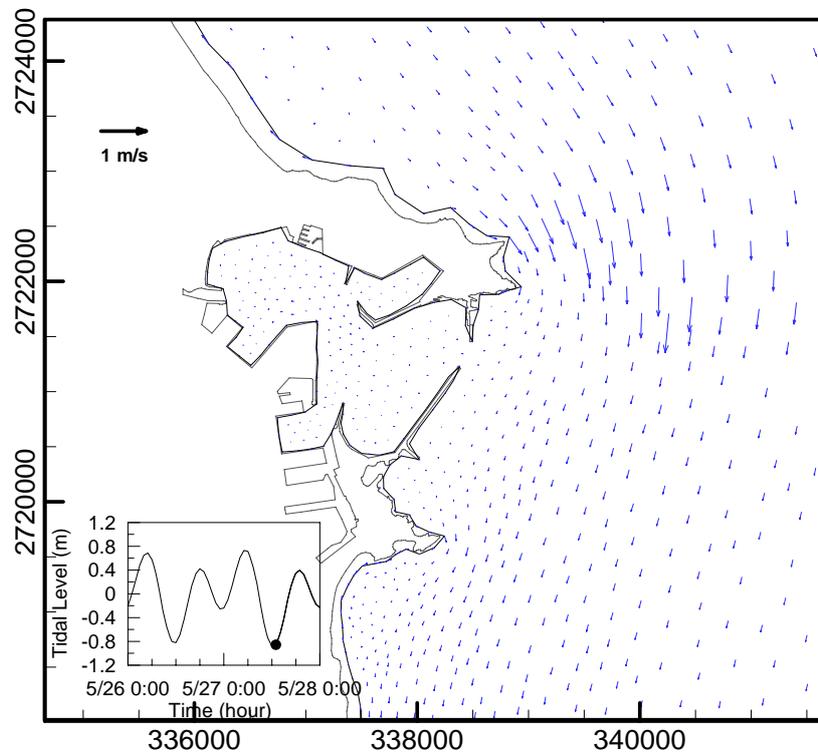


圖 4.39 (續 7) 蘇澳港流場模擬結果之流速向量圖(2006/05/27 13:00)

## 第五章 海嘯模式建置與分析

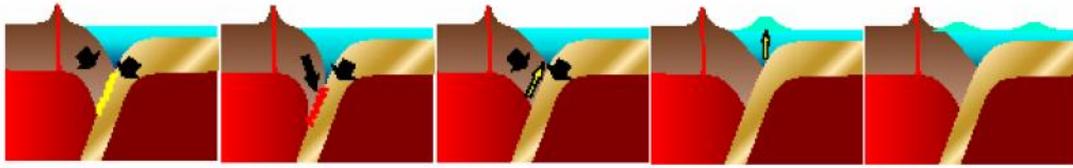
### 5.1 環太平洋地震帶及我國海嘯紀錄

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 4 起海嘯事件，南亞海嘯、薩摩亞海嘯、智利海嘯及 2011 年 3 月東日本海嘯即是由強烈之海底地震所引起之海嘯。利用美國 NOAA 之海嘯災難資料庫可大略看出海嘯事件之特性，檢索結果顯示自 1500~2014 年共有 2349 起海嘯事件，約 13% 是由火山活動或其他因素所造成，70% 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。

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 2014 年 5 月為止，較具規模之海嘯事件共 9 起，如表 5-1 所示。



(資料來源：邱等，2005)

圖 5.1 板塊交界處發生錯動後引起海嘯之示意圖

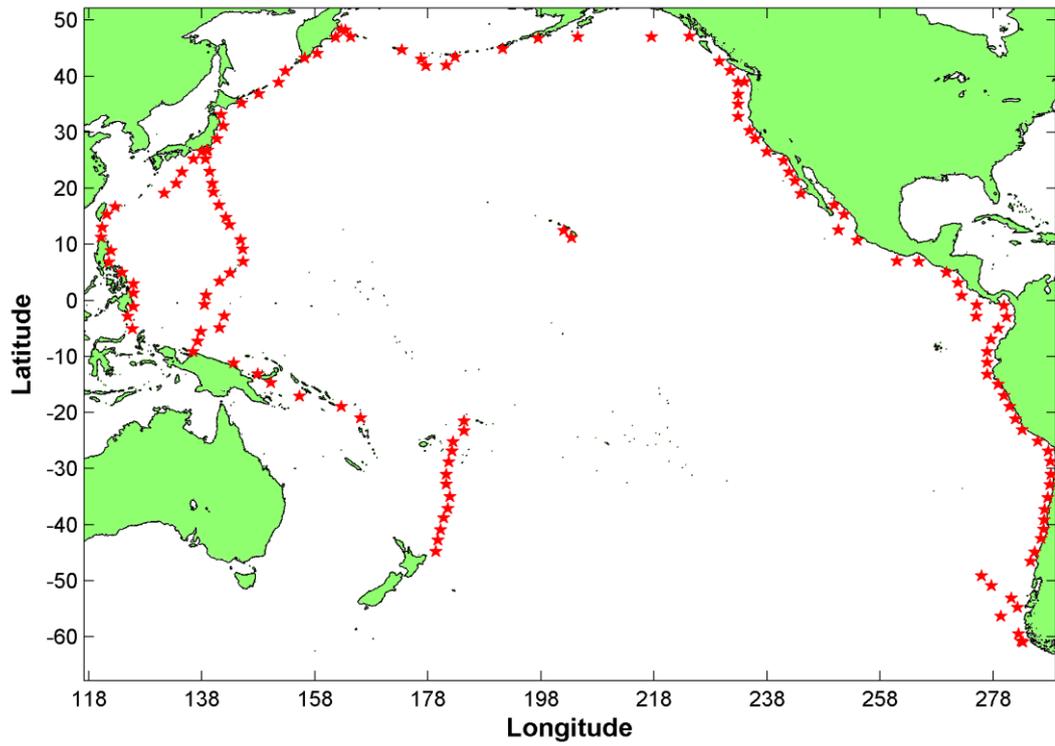


圖 5.2 環太平洋地震帶及海溝分佈(紅點即是海溝位置)

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
2013/2/6(8.0)	Solomon	Solomon Islands		10

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大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，海嘯過後所引發之火災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。

臺灣雖近數十年來並無顯著之海嘯災難案例發生，但根據歷史文獻紀錄，可信度甚高；西南地區之高雄(1781年及1866年)及安平(1721年)，東北地區之基隆(1867年)均有相關海嘯災情之文字記載；近年來也有1986年花蓮海嘯事件，在花蓮港內有觀測到水位2公尺之變化(張等，1999)。東部沿岸各鄉鎮所面臨之主要海嘯震源區是來自於太平洋東岸之遠域海嘯，雖然東部外海地形陡峭，提供天然之保護條件；但花東外海卻是我國海底地震及海嘯事件最多之地區。根據互逆格林函數之放大率圖顯示，如圖5.3所示。

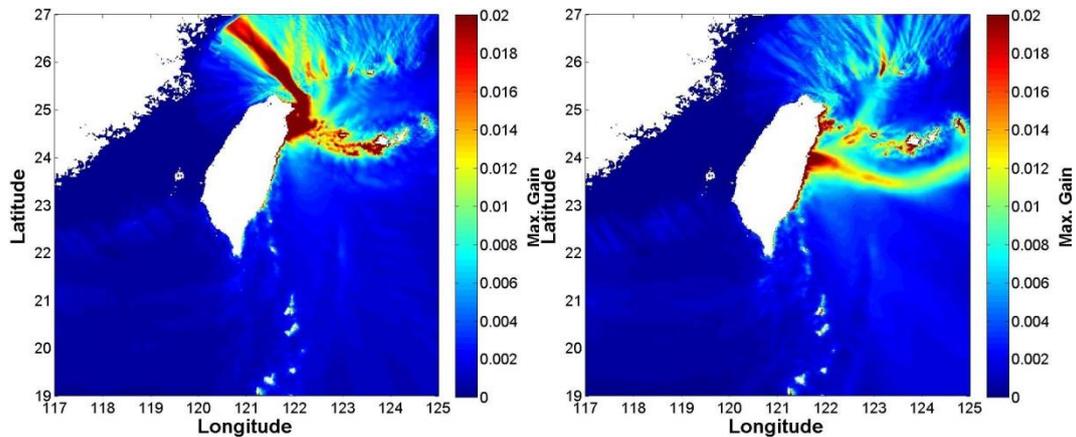


圖 5.3 蘇澳港及花蓮港之放大率及海嘯潛勢波源區

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句壑，悉是魚蝦，撥刺跳躍，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。

對於東北地區而言，最有名之古海嘯事件是為於現今石垣島之八重山海嘯(Yaeyama Tsunami)，雖然這起事件在琉球「球陽」以及宇佐美龍夫(1977 年)之「日本被害地震總覽」有詳細之記載但在臺灣之文獻資料卻沒有類似之記錄。八重山海嘯發生在 1771 年 4 月 24 日早上 8 時(琉球國第二尚氏王朝尚穆王二十年，清朝乾隆三十六年，日本明和八年)發生現今琉球群島南方之石垣島，震央位於今日本沖繩縣八重山群島石垣島東南方 40 公里，該起海嘯是琉球歷史上最具有破壞力的海嘯之一，也被視為日本史上最具有破壞力的海嘯之一。這次地震引起超過 80 公尺高的海嘯襲擊琉球列島，總計傷亡人數約 12000 人。

表 5-2 臺灣地區西元 1500~2012 年之海嘯事件

Date						Tsunami Cause					Tsunami Source Location				
						Val	Code	Earth-quake Mag	Vol-cano	Addl Tsu Info					Deposits
Year	Mo	Dy	Hr	Mn	Sec							Country	Name	Latitude	Longitude
1661	1	8				2	1	<u>6.0</u>		*		TAIWAN	SOUTH CHINA SEA	23.000	120.100
1721						1	1	*		*		TAIWAN	TAINAN	23.000	120.200
1754	4					3	1	<u>6.0</u>		*		TAIWAN	E. CHINA SEA	25.300	121.400
1782	5	22				2	1	<u>7.0</u>		*		TAIWAN	TAIWAN STRAIT	24.500	120.500
1792	8	9				2	1	<u>6.0</u>		*		TAIWAN	TAINAN	23.600	120.500
1853	10	29				1	6		Vol	*		TAIWAN	E. TAIWAN-RYUKYU ISLANDS	24.000	121.830
1882	12	9				0	1	<u>6.2</u>		*		TAIWAN	SOUTH CHINA SEA	24.500	120.500
1903	9	7				1	1	*		*		TAIWAN	TAIWAN		
1917	5	6	12	19		4	1	<u>5.8</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	23.200	121.600
1922	9	1	19	16	6.0	1	1	<u>7.6</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	24.500	122.000
1951	10	22	5	43	1.0	4	1	<u>7.3</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	23.800	121.700
1963	2	13	8	50	4.5	4	1	<u>7.3</u>		*		TAIWAN	E. TAIWAN-RYUKYU ISLANDS	24.400	122.100
1966	3	12	16	31	21.8	3	1	<u>7.6</u>		*		TAIWAN	E. TAIWAN-RYUKYU ISLANDS	24.100	122.600
1972	1	25	2	6	23.3	4	1	<u>7.5</u>		*		TAIWAN	E. TAIWAN	22.500	122.300
1978	7	23	14	42	36.9	3	1	<u>7.4</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	22.282	121.512
1986	11	14	21	20	10.5	4	1	<u>7.8</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	23.901	121.574
1990	12	13	19	50	17.8	4	1	<u>6.3</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	23.722	121.627
1994	5	24	4	0	42.1	1	1	<u>6.5</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	23.959	122.448
1998	5	3	23	30	21.9	4	1	<u>7.5</u>		*		TAIWAN	TAIWAN: SOUTHEAST OF	22.306	125.308
2001	12	18	4	2	58.2	4	1	<u>6.8</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	23.954	122.734
2002	3	31	6	52	50.4	4	1	<u>7.1</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	24.279	122.179
2006	12	26	12	26	21.4	4	1	<u>7.0</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	21.799	120.547

資料來源：美國 NGDC 之 Natural Hazard Database.

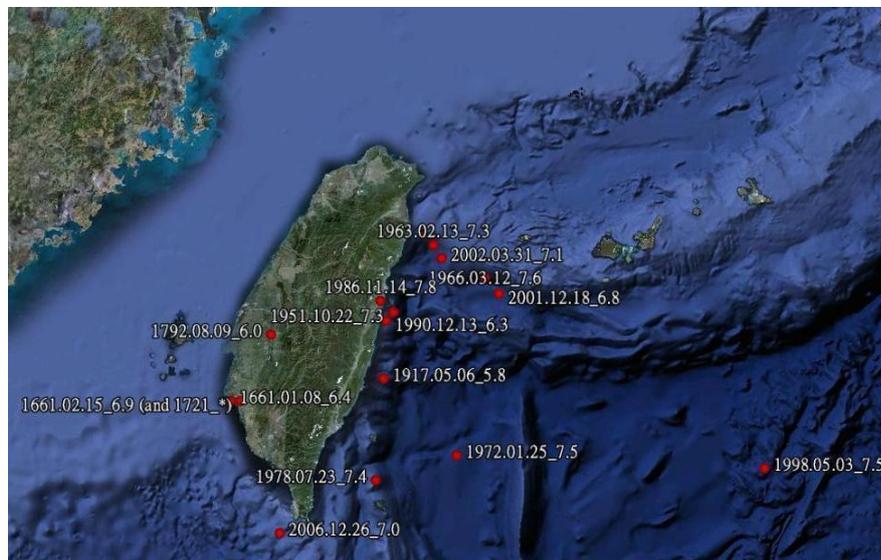


圖 5.4 臺灣海嘯事件之震源分佈

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，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 2012-2014 年發生之海嘯事件

Date				Tsunami Cause				Deposits	Tsunami Source Location				Tsunami Parameters				Tsunami Effects						Photos				
Year	Mo	Dy	Hr	Mn	Sec	Val	Code		Earthquake Mag	Volcano	Addl Tsu Info	Country	Name	Latitude	Longitude	Max Water Height	Num. of Runups	Magnitude	Tsu Int	Deaths Num	Injuries De	Damage \$Mill		Damage De	Houses Destroyed Num	Houses Damaged De	
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 ICEFIORD	69.200	-51.300		0											
2012	8	27	4	37	19.4	4	1	7.3	*	*	EL SALVADOR	OFF THE COAST	12.139	-88.590	-.36	11											
2012	8	31	12	47	33.3	4	1	7.6	*	*	PHILIPPINES	PHILIPPINE ISLANDS	10.811	126.638	-.15	17											
2012	9	5	14	42	7.8	4	1	7.0	*	*	COSTA RICA	COSTA RICA	10.085	-85.315	-.16	2											
2012	10	28	3	4	8.8	4	1	7.7	*	*	CANADA	BRITISH COLUMBIA	52.788	-132.101	12.98	176											
2012	11	7	16	35	46.9	4	1	7.3	*	*	GUATEMALA	GUATEMALA	13.988	-91.895	-.35	5											
2012	12	7	8	18	23.1	4	1	7.2	*	*	JAPAN	OFF EAST COAST OF HONSHU ISLAND	37.890	143.949	1.00	3											
2012	12	28				0	8		*	*	CHINA	ZHAOJUN BRIDGE, HUBEI PROVINCE	31.256	110.733		0											
2013	1	5	8	58	19.3	4	1	7.5	*	*	USA	SOUTHEASTERN ALASKA, AK	55.393	-134.652	1.50	8											
2013	2	6	1	12	25.8	4	1	7.9	*	*	SOLOMON ISLANDS	SANTA CRUZ ISLANDS	-10.766	165.114		129			10	1	15	1	2	588	3	478	3
2013	2	8	15	26	38.4	4	1	7.9	*	*	SOLOMON ISLANDS	SANTA CRUZ ISLANDS	-10.928	166.018		1											
2013	4	19	3	5	52.6	2	1	7.2	*	*	RUSSIA	S. KURIL ISLANDS	46.221	150.788	-.20	1											
2013	6	13				4	9		*	*	USA	NORTHWEST ATLANTIC OCEAN				24											
2013	7	21	5	9	31.4	4	1	6.5	*	*	NEW ZEALAND	COOK STRAIT	-41.704	174.337	-.07	2											
2013	8	16	2	31	7.0	4	1	6.5	*	*	NEW ZEALAND	WELLINGTON	-41.767	174.061		2											
2013	9	24				4	5	*	*	*	PAKISTAN	OFF COAST GWADAR	25.180	62.260	-.26	4											
2013	10	25	17	10	18.0	4	1	7.1	*	*	JAPAN	E. COAST HONSHU ISLAND	37.149	144.679	-.40	9											
2013	11	17	9	4	55.0	4	1	7.8	*	*	ANTARCTICA	SCOTIA SEA	-60.296	-46.362	-.15	2											
2014	3	16	21	16	30.0	4	1	6.7	*	*	CHILE	NORTHERN CHILE	-19.925	-70.628		7											
2014	4	1	23	46	46.0	4	1	8.2	*	*	CHILE	NORTHERN CHILE	-19.642	-70.817	4.40	163											
2014	4	3	2	43	17.0	4	1	7.6	*	*	CHILE	NORTHERN CHILE	-20.400	-70.135		5											
2014	4	12	20	14	39.0	4	1	7.6	*	*	SOLOMON ISLANDS	SOLOMON ISLANDS	-11.315	162.211		6											
2014	4	13	12	36	18.0	4	1	7.4	*	*	SOLOMON ISLANDS	SOLOMON ISLANDS	-11.451	162.069		7											
2014	4	18	14	27	26.0	4	1	7.2	*	*	MEXICO	GREYMOUTH	17.552	-100.816		2											
2014	4	19	13	27	59.0	4	1	7.5	*	*	PAPUA NEW GUINEA	SOLOMON SEA	-6.720	154.931		1											

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。

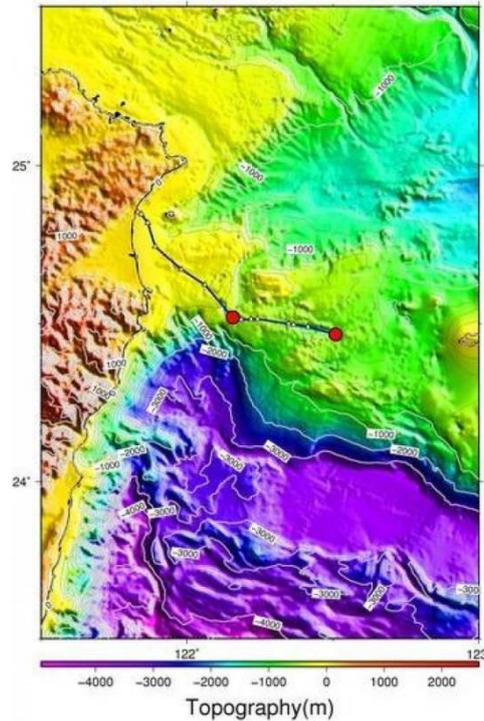


圖 5.5 電纜式海底地震儀觀測系統(媽祖計劃)之佈放位置  
(臺灣東部外海長達 45 公里)

### 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

壓分布。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

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \left[ \frac{\partial P}{\partial \psi} + \frac{\partial}{\partial \varphi} (\cos \varphi Q) \right] = 0 \dots \dots \dots (5.1)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{g h}{R \cos \varphi} \frac{\partial \zeta}{\partial \psi} - f Q \\ & = \frac{1}{R \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \psi} \left[ \frac{h^3}{3 R \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial t} \left\{ \frac{\partial}{\partial \psi} \left( \frac{P}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \cos \varphi \frac{Q}{h} \right) \right\} \right] \dots \dots \dots (5.2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{g h}{R} \frac{\partial \zeta}{\partial \varphi} + f P \\ & = \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left[ \frac{h^3}{3 R \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial t} \left\{ \frac{\partial}{\partial \psi} \left( \frac{P}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \cos \varphi \frac{Q}{h} \right) \right\} \right] \dots \dots \dots (5.3) \end{aligned}$$

上式中( $\psi$ ,  $\varphi$ )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  $\zeta$  代表的關係式。

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} - \frac{g h}{R^2 \cos^2 \varphi} \left[ \frac{\partial^2 \zeta}{\partial \psi^2} + \cos \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \cos \varphi \frac{\partial \zeta}{\partial \varphi} \right) \right] \\ & = \frac{g h^3}{3 R^4 \cos^4 \varphi} \frac{\partial^4 \zeta}{\partial \psi^4} + \frac{g h^3}{3 R^4 \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left[ \cos \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi} \left\{ \frac{1}{\cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \cos \varphi \frac{\partial \zeta}{\partial \varphi} \right) \right\} \right] \dots (5.4) \\ & + \frac{g h^3}{3 R^4 \cos^3 \varphi} \left[ \frac{\partial^3}{\partial \psi^2 \partial \varphi} \left( \cos \varphi \frac{\partial \zeta}{\partial \varphi} \right) + \cos^2 \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi} \left\{ \cos \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \frac{1}{\cos^2 \varphi} \frac{\partial^2 \zeta}{\partial \psi^2} \right) \right\} \right] \end{aligned}$$

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)：

$$\frac{P_{i+1/2,j}^{n+1} - P_{i+1/2,j}^n}{\Delta t} + gH \frac{\zeta_{i+1,j}^{n+1/2} - \zeta_{i,j}^{n+1/2}}{\Delta x} = 0 \dots\dots\dots(5.5)$$

$$\frac{Q_{i,j+1/2}^{n+1} - Q_{i,j+1/2}^n}{\Delta t} + gH \frac{\zeta_{i,j+1}^{n+1/2} - \zeta_{i,j}^{n+1/2}}{\Delta y} = 0 \dots\dots\dots(5.6)$$

$$\frac{\zeta_{i,j}^{n+1/2} - \zeta_{i,j}^{n-1/2}}{\Delta t} + \frac{P_{i+1/2,j}^n - P_{i-1/2,j}^n}{\Delta x} + \frac{Q_{i,j+1/2}^n - Q_{i,j-1/2}^n}{\Delta y} = 0 \dots\dots\dots(5.7)$$

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)：

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots(5.8)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{P^2}{H} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{PQ}{H} \right] + gH \frac{\partial \zeta}{\partial x} - fQ + \tau_x H = 0 \dots\dots\dots(5.9)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{PQ}{H} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{Q^2}{H} \right] + gH \frac{\partial \zeta}{\partial y} + fP + \tau_y H = 0 \dots\dots\dots(5.10)$$

式中  $t$  為時間， $\zeta$  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， $\tau_x$  與  $\tau_y$  分別代表  $x$  及  $y$  方向剪應力。

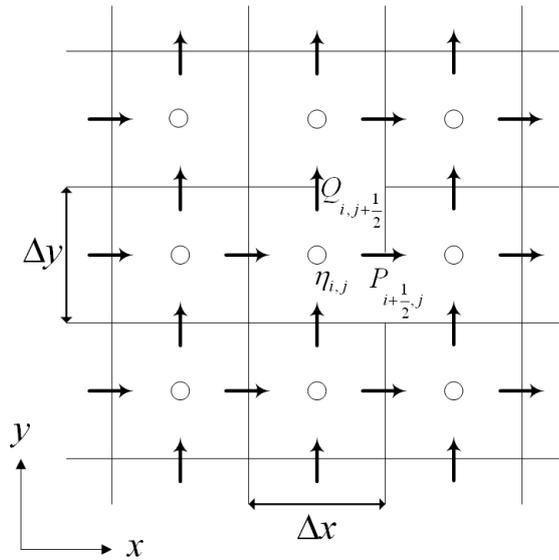


圖 5.6 交錯式有限差分網格

底部摩擦項可使用 Chezy 公式，

$$\tau_x = \frac{g}{C_f^2 H^3} P (P^2 + Q^2)^{1/2}, \quad \tau_y = \frac{g}{C_f^2 H^3} Q (P^2 + Q^2)^{1/2} \dots\dots(5.11)$$

或曼寧公式

$$\tau_x = \frac{g n^2}{H^{10/3}} P (P^2 + Q^2)^{1/2}, \quad \tau_y = \frac{g n^2}{H^{10/3}} Q (P^2 + Q^2)^{1/2} \dots\dots(5.12)$$

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)， $\xi$  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  $H = h + \zeta$  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  $H_{i+1} \leq 0$  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一個時間步長的波高，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。

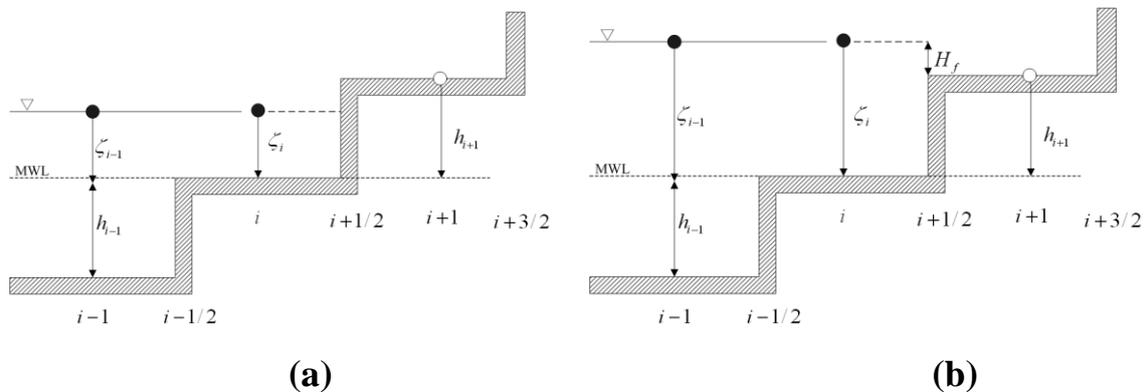


圖 5.7 移動邊界示意圖

(1)若  $H_{i+1} \leq 0$  且  $h_{i+1} + \xi_i \leq 0$ ，則海岸線保持不動，流量  $P_{i+1/2}$  亦為零。

(2)若  $H_{i+1} \leq 0$  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 multicell 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，給以一極小值。

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  $\Delta t$ ，其設定必須在每個網格計算中滿足此條件。

$$\Delta t < \frac{\Delta s}{\sqrt{2gh_{\max}}} \quad (5.13)$$

其中， $\Delta s$  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。

SHAPE \\* MERGEFORMAT  
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。

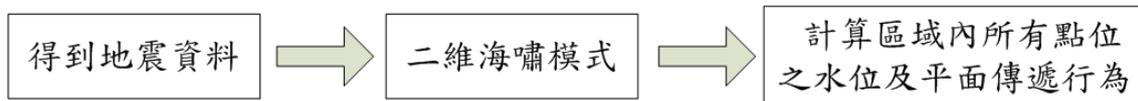


圖 5.9 現行海嘯數值模式之模擬程序

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。

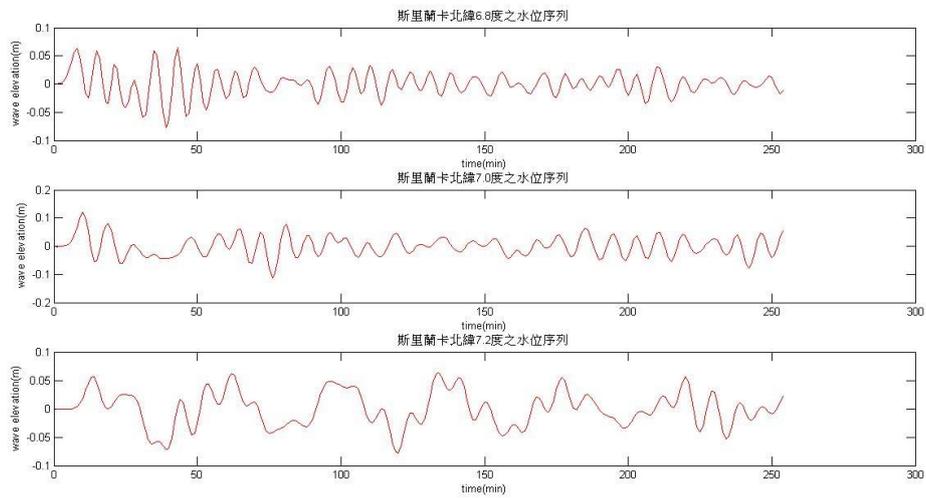


圖 5.10 傳統海嘯之模擬結果

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  $s_i$  來表示所有可能之震源，其 GF 即是由  $s_i$  到  $r$ 。由於格林函數具有可逆性，所以任一點  $s_i$  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  $s_i$  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。

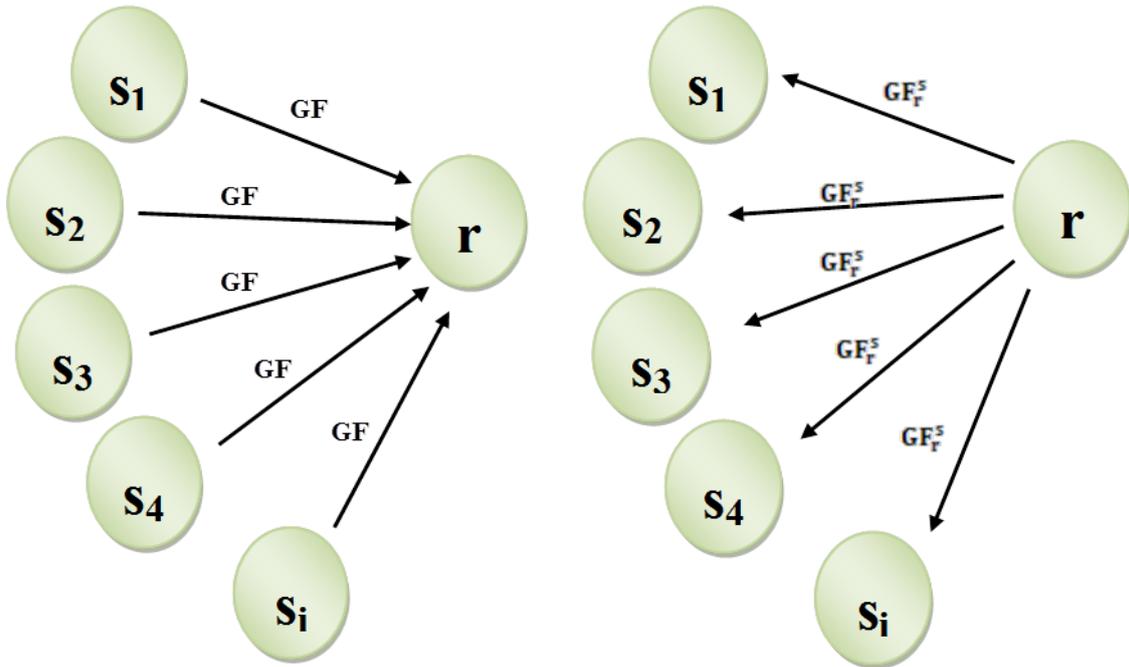


圖 5.11 傳統格林函數與互逆格林函數之示意圖

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  $r$  點的水位經驗(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。

$$GF_r^s(t) = \frac{r \text{ 點水位}}{\text{波源 } s \text{ 之初始水位}} \dots\dots\dots(5.14)$$

$$GF_s^r(t) = GF_r^s(t) \dots\dots\dots(5.15)$$

$$H_r(t) = \sum_{r=1}^N GF_r^s(t) \times H_s \dots\dots\dots(5.16)$$

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， $GF_r^s(t)$  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， $GF_r^s(t)$  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。

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)	<a href="http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/">http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/</a> 資料提供範圍：全球
臺灣	中研院地科所 寬頻地震網	<a href="http://bats.earth.sinica.edu.tw/Quick_CMT/cmtQ.html">http://bats.earth.sinica.edu.tw/Quick_CMT/cmtQ.html</a> 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)	<a href="http://www.fnet.bosai.go.jp/top.php?LANG=en">http://www.fnet.bosai.go.jp/top.php?LANG=en</a> 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-Anderson)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 ( $\mu m$ ) 記的對數值。其公式為：

$$M_L = \log(A/A_0) = \log A - \log A_0 \dots\dots\dots(5.17)$$

$M_L$ ：芮氏(近震)地震規模。

A：伍德-安得生(Wood-Anderson)式地震儀在測站所觀測之最大振幅。

$A_0$ ：標準地震( $M_L = 0$ )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：

$$M_L = \log(A) + 2.56 \log(\Delta) - 5.12 \dots\dots\dots(5.18)$$

其中 A 為地震記錄最大振幅，以微米 ( $\mu m$ ) 為單位， $\Delta$  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  $\mu$ )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) $\sigma$ ，即

$$M_S = \log(A/T) + \sigma(\Delta) \dots\dots\dots(5.19)$$

$$\sigma(\Delta) = 1.66 \log \Delta + 3.3 \dots\dots\dots(5.20)$$

上兩式可以合為：

$$M_S = \log(A/T) + 1.66 \log(\Delta) + 3.3 \dots\dots\dots(5.21)$$

對於週期 20 秒的表面波,上式可修正為：

$$M_s = \log(A_{20}) + 1.66 \log \Delta + 3.3 \dots\dots\dots(5.22)$$

其中  $A_{20}$  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  $Q(A)$ ，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：

$$M_B = \log(A/T) + Q(\Delta) \dots\dots\dots(5.23)$$

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

$$M = \log A + f(d, h) + C_s + C_R \dots\dots\dots(5.24)$$

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：

$$M_0 = \mu \times S \times \bar{D} \dots\dots\dots(5.25)$$

其中  $\mu$  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  $10^{12}$ - $10^{30}$  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：

$$M_w = 2/3 \log M_0 - 10.7 \dots\dots\dots(5.26)$$

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))：

$$M_w = 0.67(\pm 0.005)M_s + 2.07(\pm 0.03)$$

$$3.0 \leq M_s \leq 6.1,$$

$$R^2 = 0.77, \quad \sigma = 0.17, \quad n = 23,921 \dots\dots\dots(5.27)$$

$$M_w = 0.99(\pm 0.02)M_s + 0.08(\pm 0.13)$$

$$6.2 \leq M_s \leq 8.2,$$

$$R^2 = 0.81, \quad \sigma = 0.20, \quad n = 2,328 \dots\dots\dots(5.28)$$

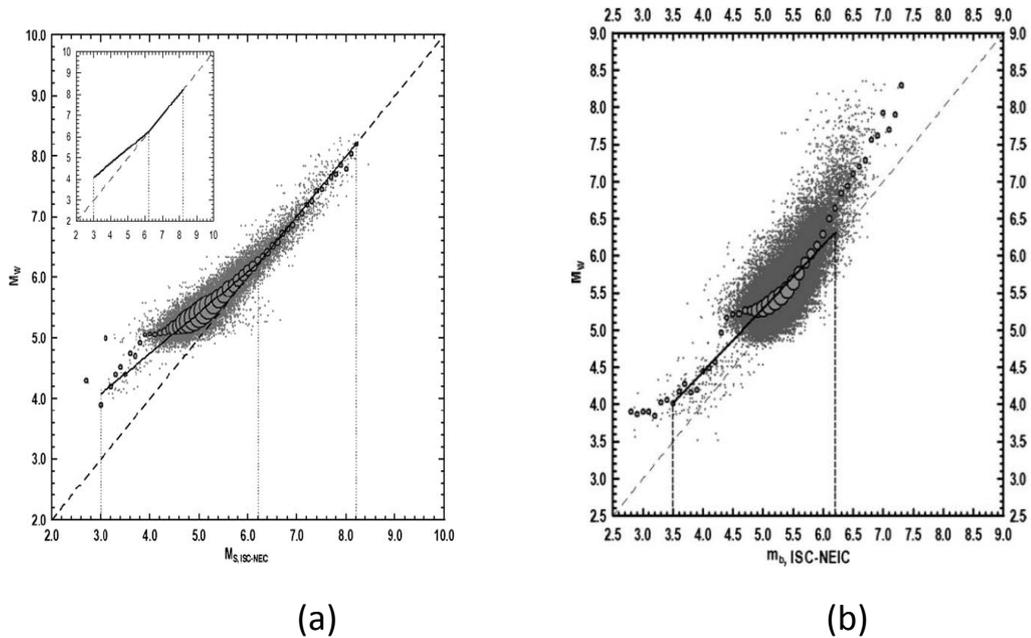
(2) $m_B$  轉換至  $M_w$  之迴歸公式(圖 5.13(b))

$$M_w = 0.85(\pm 0.04)M_B + 1.03(\pm 0.23)$$

$$3.5 \leq M_B \leq 6.2,$$

$$R^2 = 0.53, \quad \sigma = 0.29, \quad n = 39,784 \dots\dots\dots (5.29)$$

雖然由相關係數 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。



資料來源：Scordilis, 2006  
**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**

### 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( $0 \leq \theta \leq 360$ )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  $\delta$  與海嘯發生源擾動海水體積有關。slip 角( $0 \leq \lambda \leq 180$ )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/eqinthenews/>，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。

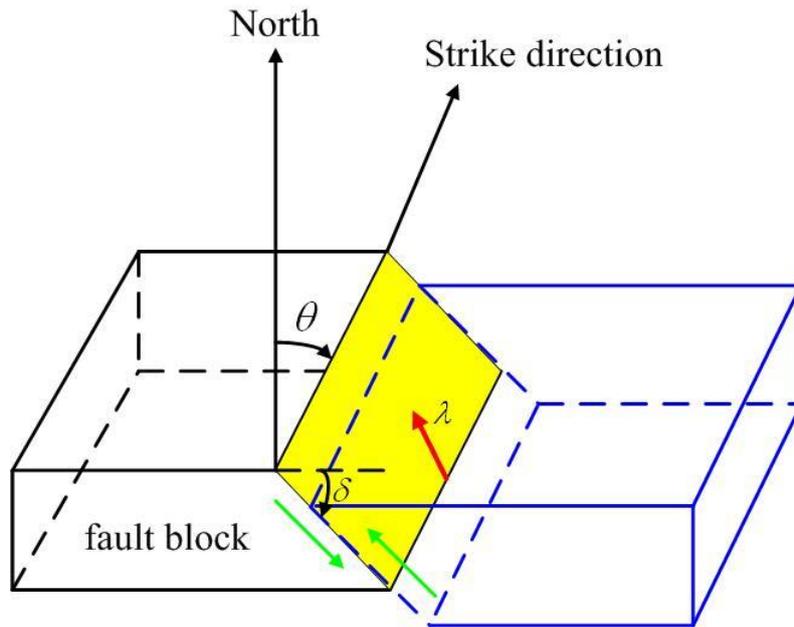


圖 5.14 斷層參數示意圖

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)。

$$\log(L) = a_1 + b_1 \times M_w \dots\dots\dots(5.30)$$

$$\log(W) = a_2 + b_2 \times M_w \dots\dots\dots(5.31)$$

$M_w$  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  $D$ 。

$$M_w = \frac{2}{3} \log_{10} M_0 - 10.7 \dots\dots\dots(5.32)$$

$$M_0 = \mu WDL \dots\dots\dots(5.33)$$

$M_0$  是地震矩大小 (scalar moment of earthquake) ,

$\mu = 3 \times 10^{11} \text{ dyne/cm}^2$  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  $\Delta u_j$ ，並對整個矩形斷層錯動範圍積分；其關係式為：

$$u_i = \int_{\Sigma} \Delta u_j \left[ \lambda \delta_{jk} \frac{\partial u_i^j}{\partial \xi_k} + \mu \left( \frac{\partial u_i^j}{\partial \xi_k} + \frac{\partial u_i^k}{\partial \xi_j} \right) \right] v_k dS \dots\dots\dots(5.34)$$

其中  $v_k$  為  $\Sigma$  向外的垂直向量、 $\lambda$  與  $\mu$  為拉梅常數(Lamé constants)、 $u_i^j$  為受到破裂面( $\xi_1, \xi_2, \xi_3$ )上  $j$  方向單位應力作用而在地表( $x_1, x_2, x_3$ )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  $\xi$  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  $-L \leq \xi_1 \leq L$ ，以及  $d \leq \xi_2 \leq D$ ：有

$$u_{is} = \mu U_1 \int_d^D \int_{-L}^L \left[ \left( \frac{\partial u_i^1}{\partial \xi_2} + \frac{\partial u_i^2}{\partial \xi_1} \right) \sin \theta - \left( \frac{\partial u_i^1}{\partial \xi_3} + \frac{\partial u_i^3}{\partial \xi_1} \right) \cos \theta \right] d\xi_1 d\xi_2 \dots\dots\dots(5.35)$$

$$u_{id} = \mu U \int_d^D \int_{-L}^L \left[ 2 \left( \sin \theta \frac{\partial u_i^2}{\partial \xi} - \cos \theta \frac{\partial u_i^3}{\partial \xi} \right) + \left( \frac{\partial u_i^3}{\partial \xi_2} - \frac{\partial u_i^2}{\partial \xi_3} \right) \right] d\xi_1 d\xi_2 \dots\dots\dots(5.36)$$

其中， $\xi$ =震源深度( $\sin\theta$ )+斷層寬度( $w$ )、 $\xi_1$ =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

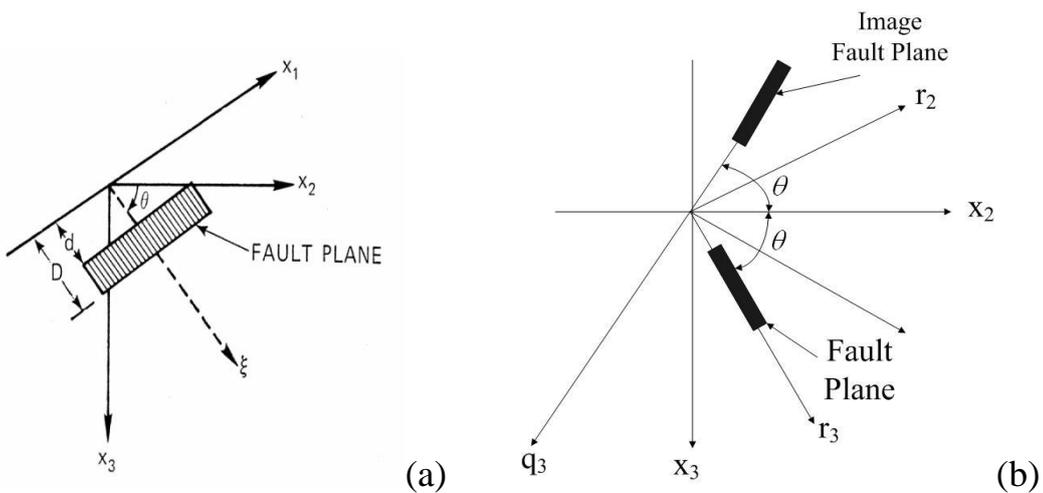


圖 5.15 (a)斷層幾何形狀及座標系統(b)斷層及映像斷層座標系統

$$\begin{aligned}
S &= \left[ (x_1 - \xi_1)^2 + (x_2 - \xi_2)^2 + (x_3 + \xi_3)^2 \right]^{1/2} \\
R &= \left[ (x_1 - \xi_1)^2 + (x_2 - \xi_2)^2 + (x_3 - \xi_3)^2 \right]^{1/2} \\
r_2 &= x_2 \sin \theta - x_3 \cos \theta, & r_3 &= x_2 \cos \theta + x_3 \sin \theta \\
q_2 &= x_2 \sin \theta + x_3 \cos \theta, & q_3 &= -x_2 \cos \theta + x_3 \sin \theta \dots\dots\dots(5.37)
\end{aligned}$$

其中，R 和 S 分別代表斷層面上的震源點(ξ<sub>1</sub>，ξ<sub>2</sub>，ξ<sub>3</sub>)至地表(x<sub>1</sub>，x<sub>2</sub>，x<sub>3</sub>)的距離，以及對映像斷層面上的震源點(ξ<sub>1</sub>，ξ<sub>2</sub>，ξ<sub>3</sub>)至地表(x<sub>1</sub>，x<sub>2</sub>，x<sub>3</sub>)的距離。r<sub>2</sub>、r<sub>3</sub> 及 q<sub>2</sub>、q<sub>3</sub> 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：

$$\begin{aligned}
S &= \left[ (x_1 - \xi_1)^2 + h^2 \right]^{1/2} = \left[ k^2 + (q_3 + \xi)^2 \right]^{1/2} \\
R &= \left[ (x_1 - \xi_1)^2 + r_2^2 + (r_3 - \xi)^2 \right]^{1/2} \\
h &= \left[ q_2^2 + (q_3 + \xi)^2 \right]^{1/2} \\
k &= \left[ (x_1 - \xi_1)^2 + q_2^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots(5.38)
\end{aligned}$$

其中，h 是 S 在 x<sub>1</sub> = 0 平面即地表切平面上的投影，而 k 是在 q<sub>3</sub> = 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<sub>3</sub> 方向之位移量為：

$$\begin{aligned}
\frac{12 \pi}{U_1} u_3 &= \cos \delta (a_1 + b_1 a_2 - b_2 a_4) + \frac{b_3}{R} + 2 \sin \delta \frac{b_4}{S} \\
&\quad - \frac{b_5}{R \exp(a_1)} + \frac{b_7 - b_8}{S \exp(a_2)} + \frac{b_{10} b_{11}}{S^3} - \frac{b_{12} b_{13}}{b_{14}} \dots\dots\dots(5.39)
\end{aligned}$$

傾向滑距(dip-slip displacement)在 x<sub>3</sub> 方向之位移量則為：

$$\begin{aligned}
\frac{12\pi}{U} u_3 = & \sin \delta (x_2 - \xi_2) \left[ \frac{2(x_3 - \xi_3)}{R \exp(a_5)} + \frac{4(x_3 - \xi_3)}{S \exp(a_6)} - 4 \xi_3 x_3 (x_3 + \xi_3) \frac{S + \exp(a_6)}{S^3 (\exp(a_6))^2} \right] \\
& - 3 \sin \delta \left[ 2 \tan^{-1} \left[ \frac{(x_1 - \xi_1)(x_2 - \xi_2)}{(h + x_3 + \xi_3)(S + h)} \right] - \tan^{-1} \left[ \frac{(x_1 - \xi_1)(r_3 - \xi)}{r_2 R} \right] \right] \\
& - 6 \sin \delta \tan^{-1} \left[ \frac{(x_1 - \xi_1)(q_3 + \xi)}{q_2 S} \right] + \cos \delta \left[ a_5 - a_6 - \frac{2(x_3 - \xi_3)^2}{R \exp(a_5)} \right] \\
& - 4 \cos \delta \left[ \frac{x_3^2 + x_3 \xi_3 + \xi_3^2}{S \exp(a_6)} + \xi_3 x_3 (x_3 + \xi_3) \frac{S + \exp(a_6)}{S^3 (\exp(a_6))^2} \right] \\
& + 3 x_3 \sin 2\delta \left[ \frac{2(q_3 + \xi)}{S \exp(a_6)} + \frac{(x_1 - \xi_1)}{S \exp(a_2)} + \frac{q_2 \cos 2\delta}{S \exp(a_6)} \right] .
\end{aligned}
\tag{5.40}$$

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。

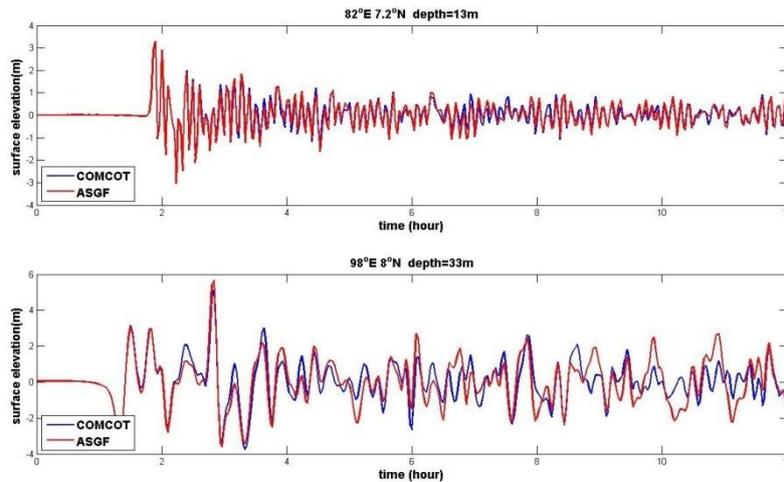


圖 5.16 互逆格林函數與傳統海嘯模式之水位變化驗證

### 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。

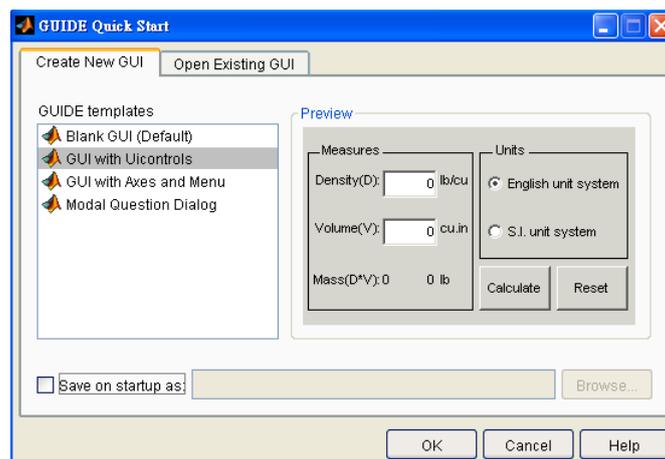


圖 5.17 GUI 程式設計環境

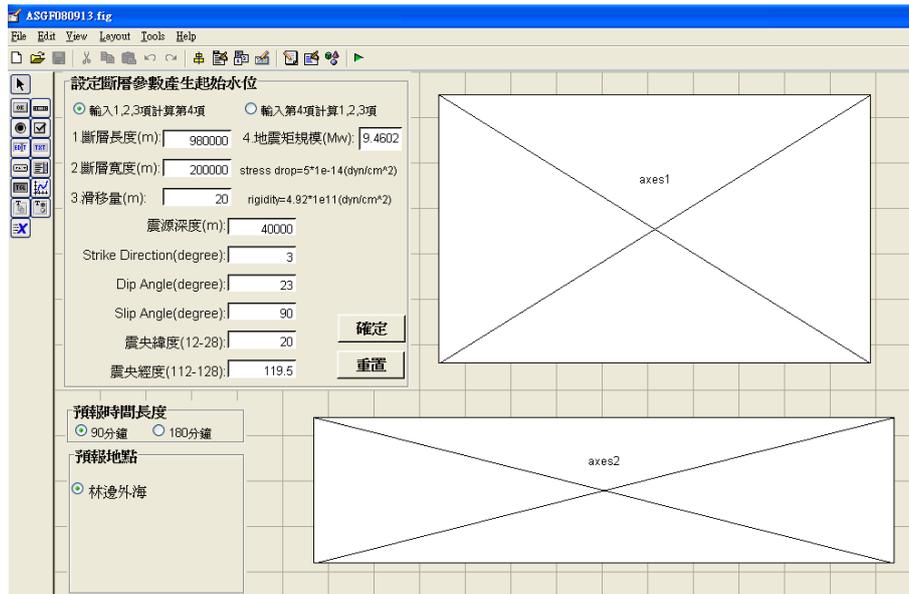


圖 5.18 視窗化操作系統之建立與排版

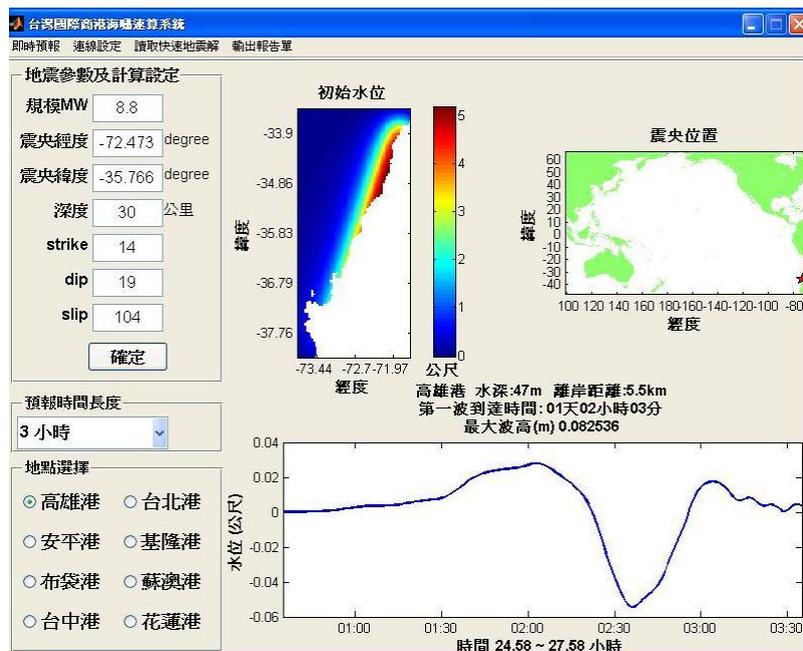


圖 5.19 視窗化介面之編譯完成圖

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。

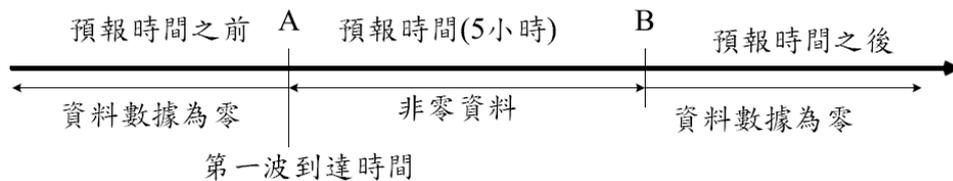


圖 5.20 單點格林函數數值資料在時間上之分布型態

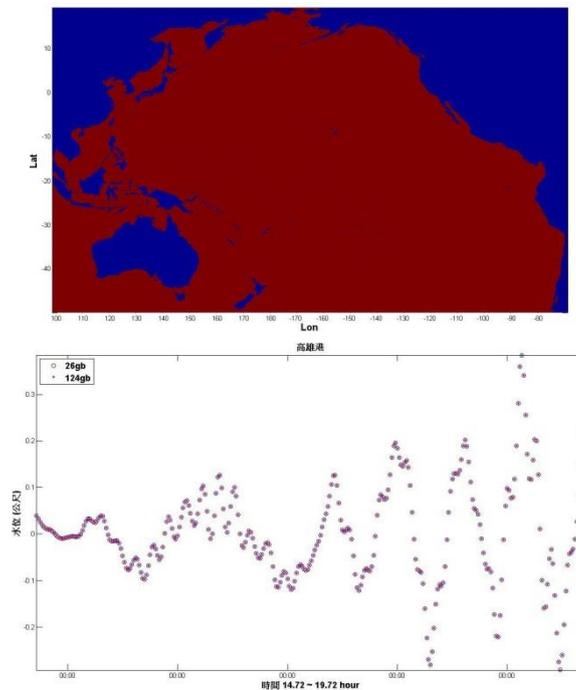


圖 5.21 (a)單點格林函數數值資料在空間上之分布型態(紅色部分為水域，藍色為陸域)(b)高雄港格林函數變更前後之水位變化驗證

### 5.3.2 蘇澳港域及花蓮港域海嘯預警子系統

另一方面，蘇澳港及花蓮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。

蘇澳港位於臺灣東北部，雄踞在蘭陽平原的蘇澳灣內，是一個地理形勢十分優良的海港，北距基隆港 50 海浬，南距花蓮港 40 海浬，蘇澳港商港水域面積 278.55 萬平方公尺，陸域面積 127.08 萬平方公尺。擁有 13 座碼頭，共長 2610 公尺。包括港勤船碼頭 1 座和營運碼頭 12 座(包括散雜貨碼頭 6 座、煤碼頭 1 座、油品碼頭 1 座、水泥碼頭 2 座、化學品碼頭 2 座)水深自 -7.5~-15 公尺，長度由 125 公尺至 300 公尺不等，可泊靠巴拿馬極限型船舶。進口以煤、燃油、對二甲苯、爐渣、鋼胚等，出口則以水泥、純對二甲苯酸、硫酸鉀等為大宗，其作業方式以船邊提貨(或裝貨)方式辦理為主。各項業務與日俱增，已邁向國際商港發展之型態。圖 5.22 為目前港區之平面圖。花蓮港北距蘇澳港 40 海浬，位於北緯 23 度 59 分 11 秒、東經 121 度 37 分 35 秒，於花蓮市區東北方，東濱太平洋，西依美崙山。花蓮港係屬人工開鑿，東西兩防波堤左右環抱，開口西南，區分為內、外港，自外港往北經狹長航道而進入內港。水域外港面積 99.58 萬平方公尺，水深 -14~-16.5 公尺；水域內港面積 37.26 萬平方公尺，水深 -6.5~-10.5 公尺，合計 136.84 萬平方公尺，陸域面積 171.98 萬平方公尺，發展策略為配合東部水泥、礦(砂)石輸出、及石材之儲運，整備港埠基礎建設，進行相關港埠設施改造，發展觀光遊憩等港埠多元化業務，並推展兩岸客輪或國際郵輪進駐花蓮港。圖 5.23 為目前港區之平面圖。



緯 24.6 度，水深 25 公尺，離岸約 1.5 公里；花蓮港之預報點位於東經 121.633 度，北緯 23.9667 度，水深 118 公尺，離岸約 1 公里；如圖 5.24(a)(b) 所示。



圖 5.24 (a)蘇澳港(b)花蓮港之預報點位

### 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

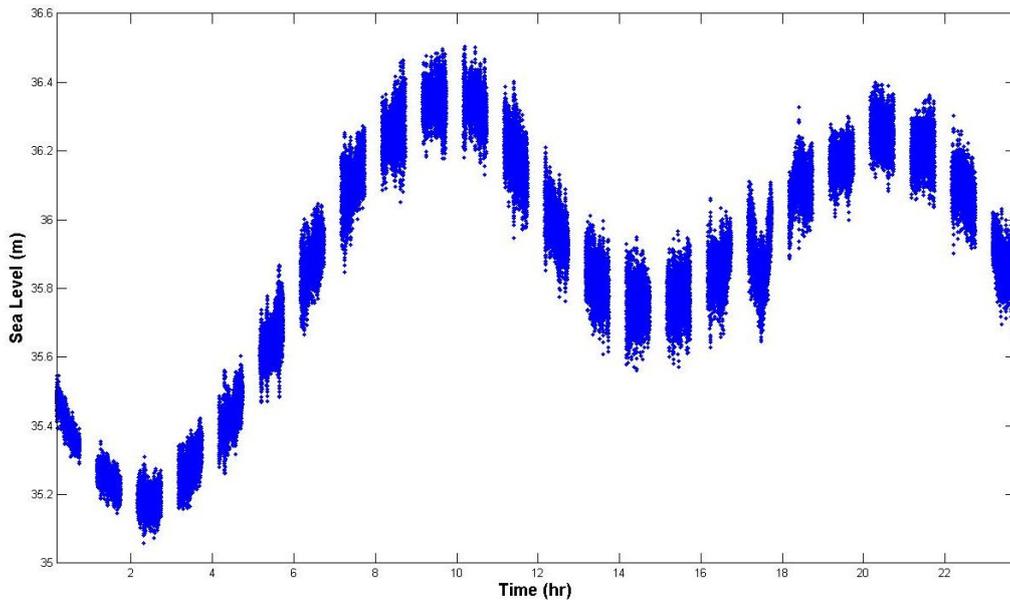


圖 5.26 測站之實測水位

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。

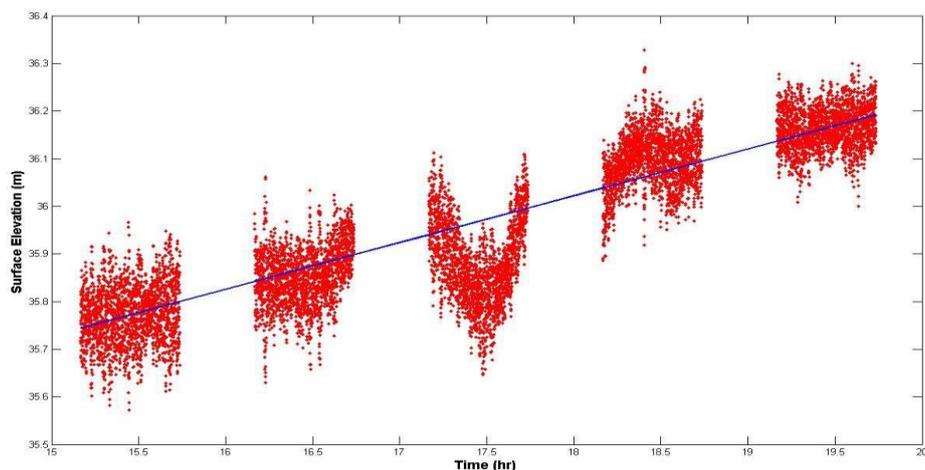


圖 5.27 分析用之實測水位資料

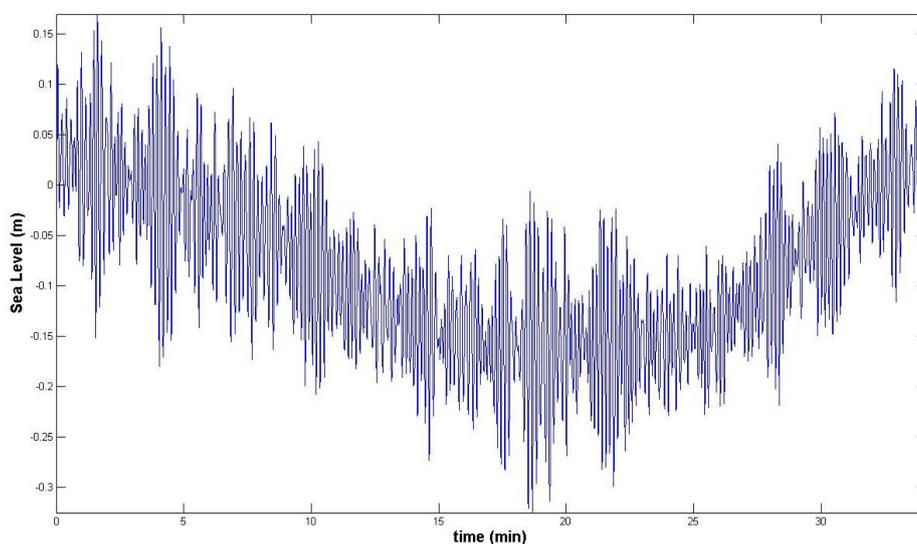


圖 5.28 經過濾潮汐後之水位

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。

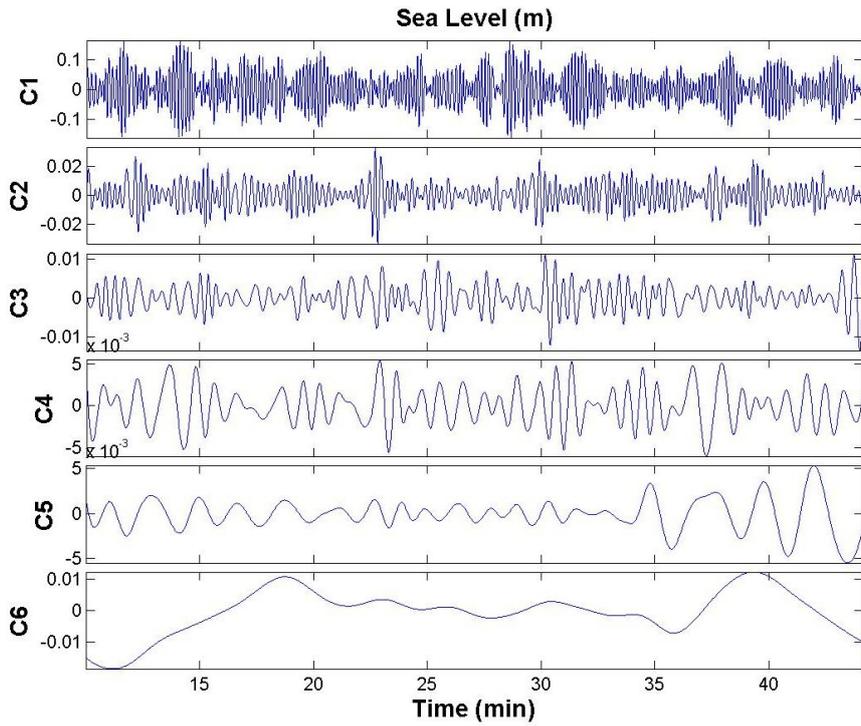


圖 5.29 由 EEMD 分解出較高頻的 IMF 分量(C1 至 C6)

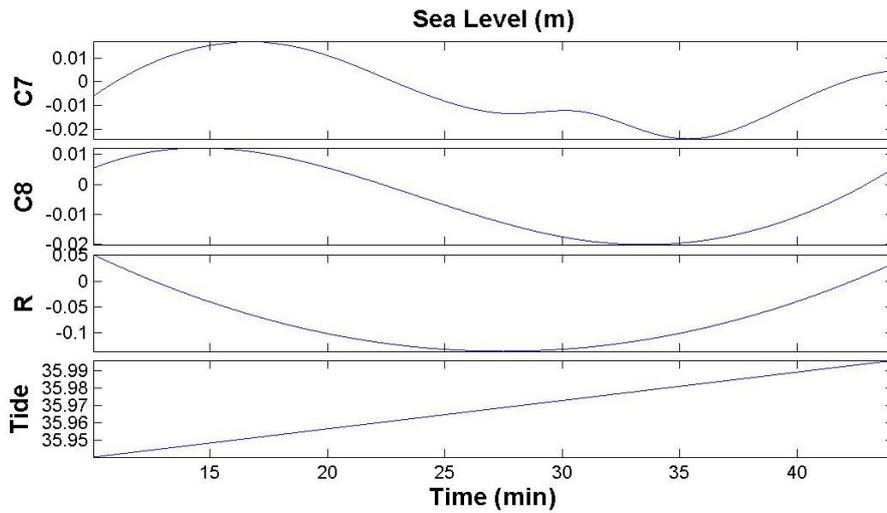


圖 5.30 由 EEMD 分解出較低頻的 IMF 分量、餘訊 R 及潮位

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

```

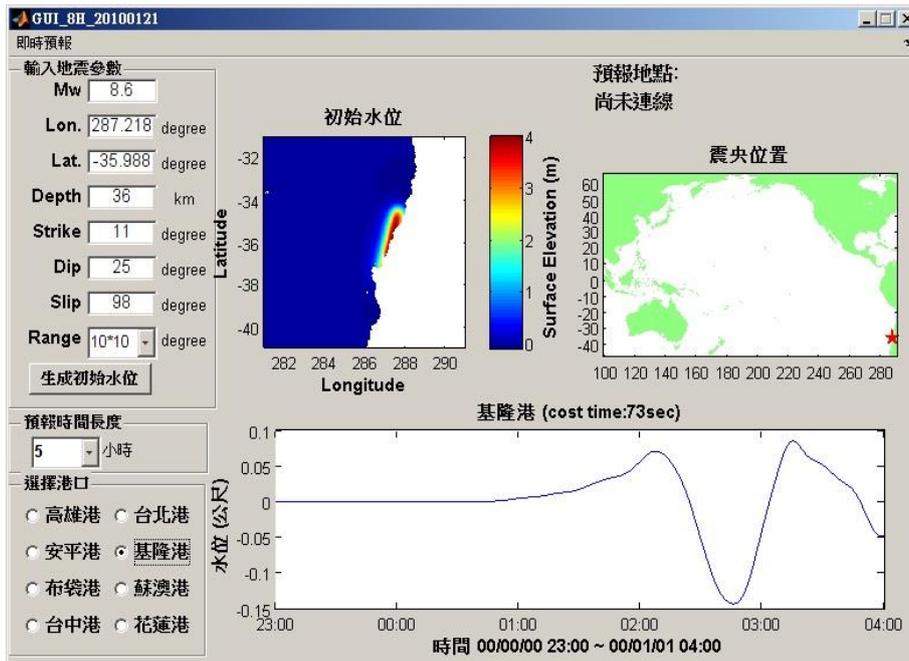
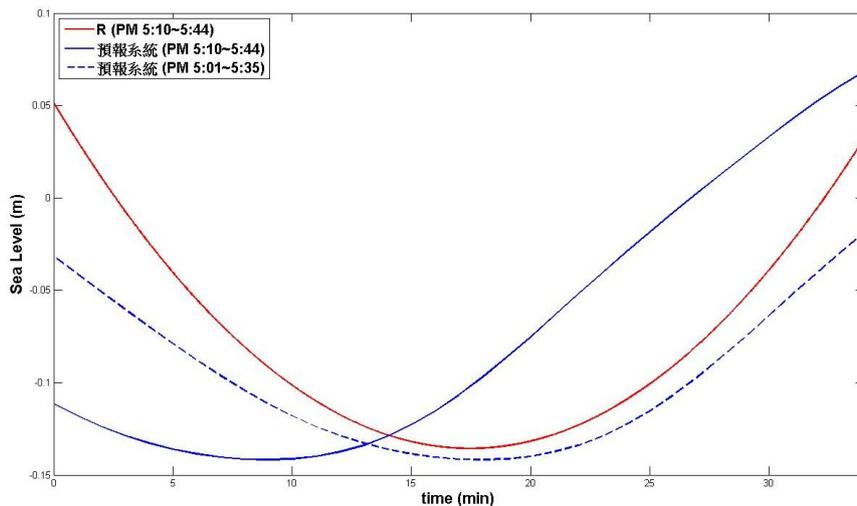


圖 5.31 預報系統預測智利海嘯(Mw=8.6)於基隆港之預報結果



(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

```

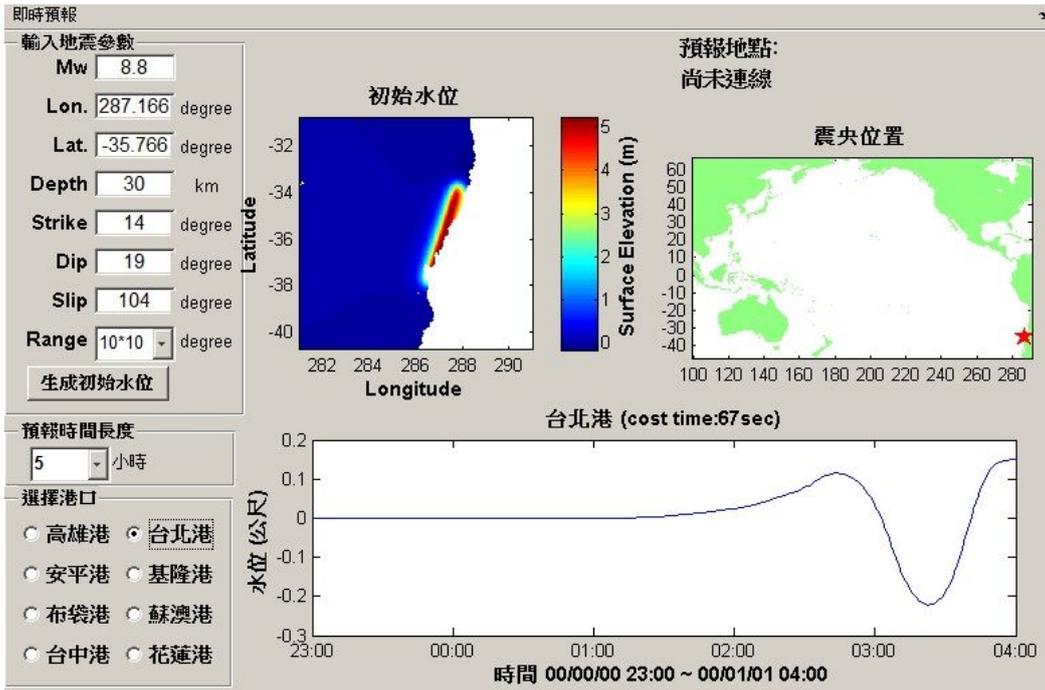
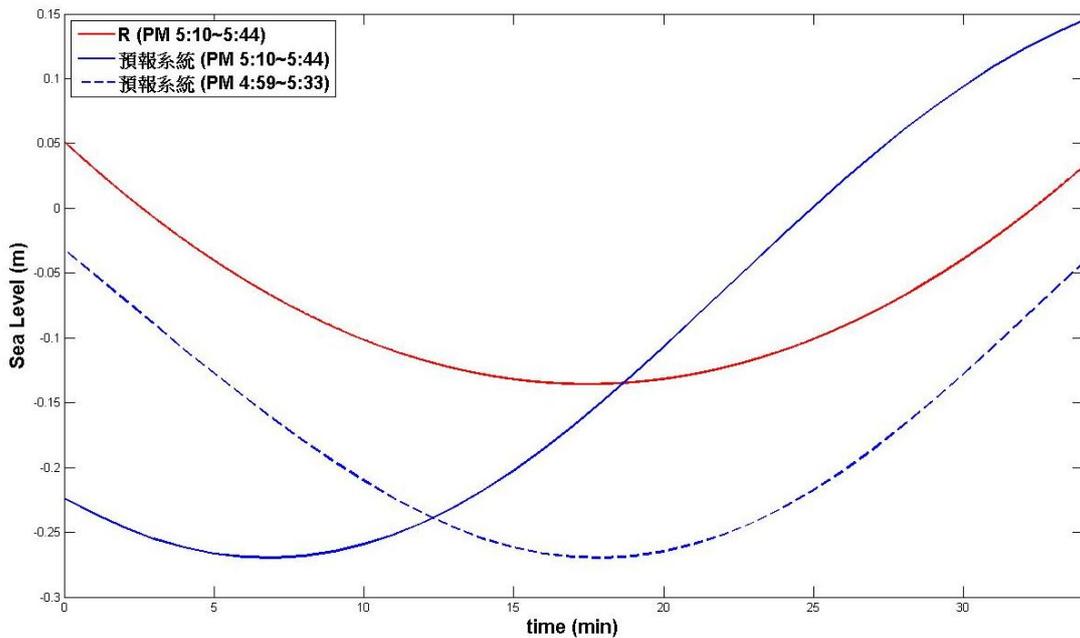


圖 5.33 預報系統預測智利海嘯(Mw=8.8)於基隆港之預報結果



(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)。

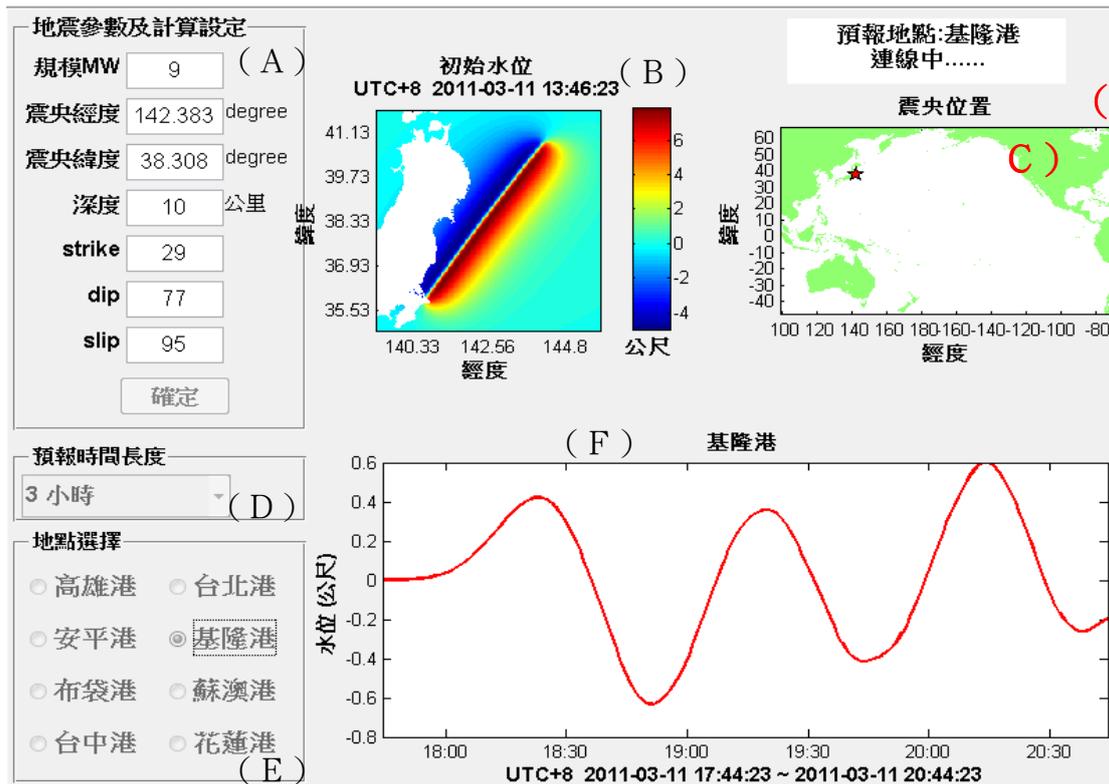
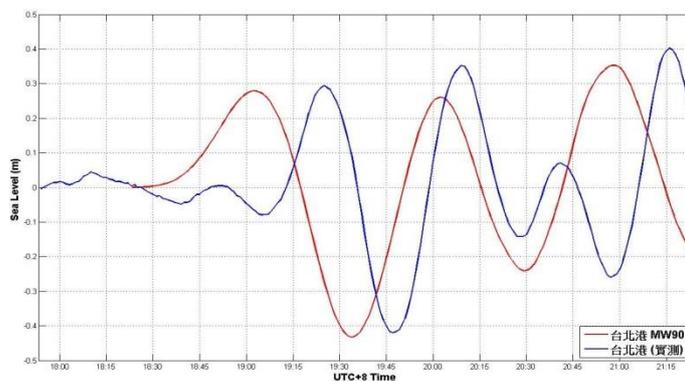


圖 5.35 海嘯速報系統之介面

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= $4.5 \times 10^{22}$   
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，但仍具有一定的影響量。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。

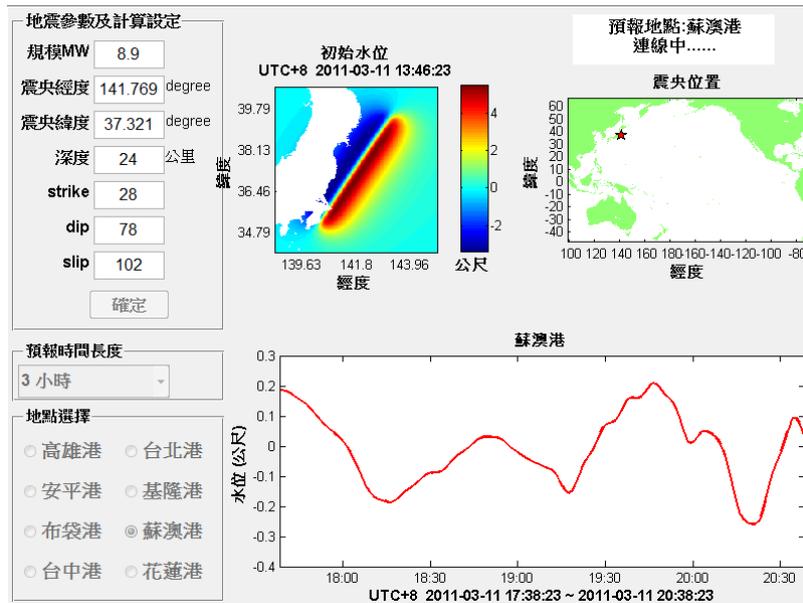
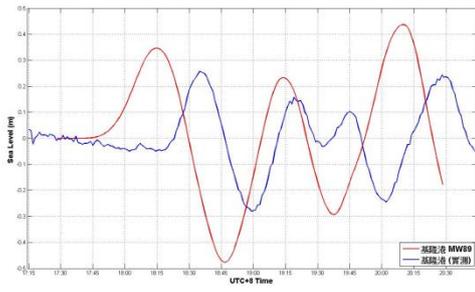
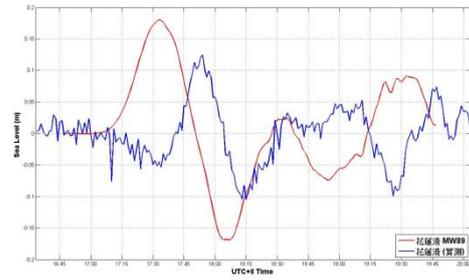


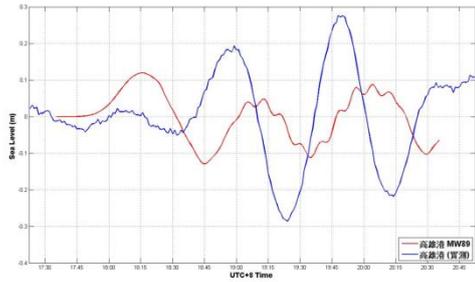
圖 5.37 以速算系統及新公佈之 0311 東日本海嘯之地震參數計算蘇澳港之海嘯波到達時間及水位時序分佈



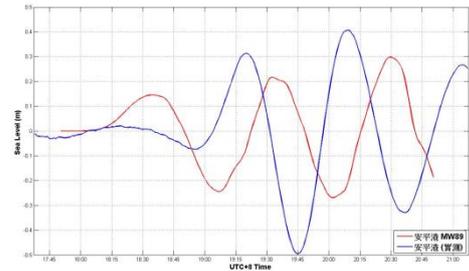
(a)



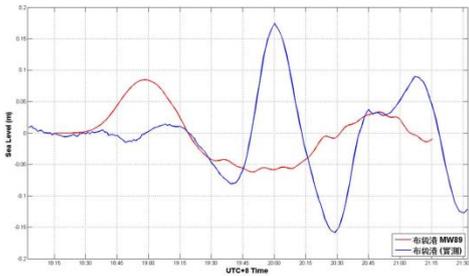
(b)



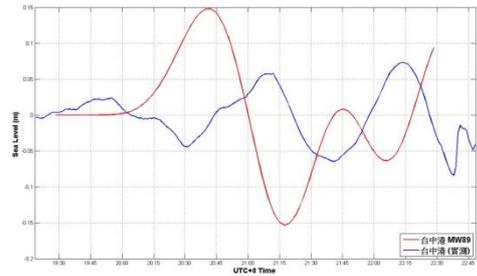
(c)



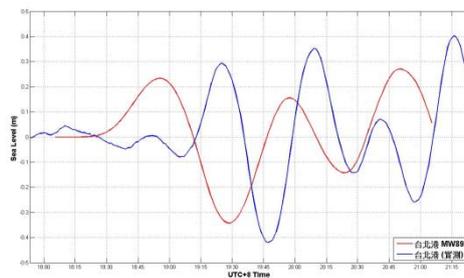
(d)



(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  
 水位時序分布與實測資料比較(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

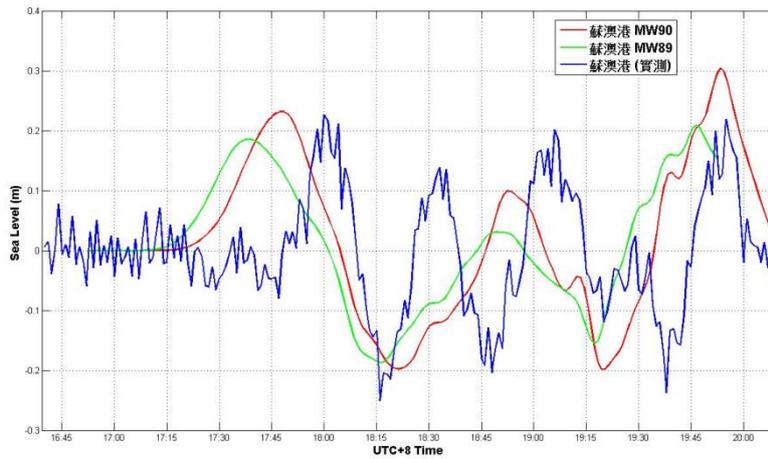


圖 5.39 以速算系統根據美國地質調查所公佈之地震參數(地震矩規模 Mw8.9)及新公佈之地震參數(地震矩規模 Mw9.0)計算蘇澳港水位時序分佈與實測資料比較(0311 東日本海嘯事件)

## 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

港灣環境資訊網 HARBOR ENVIRONMENT INFORMATION WEBSITE

海象觀測資訊 海象模擬資訊 港區影像資訊 港區地震資訊 海嘯模擬資訊 資料申請說明 意見反應欄

目前位址 首頁 > 海嘯模擬系統 > 近期海嘯查詢 線上人數：10

圖示說明：海嘯預報港區標示圖(點選圖示即會顯示相關詳細資訊),其相關資訊提供各港區水位分析、歷線圖。  
 附註說明：震源區涵蓋至環太平洋地震帶。(圖片連結) 海嘯訊息發佈條件當波高 $\geq 0.1$ 公尺或地震矩規模 $\geq 7.0$ 。

近期海嘯資料說明：呈現最近一筆有達到發佈條件之海嘯資訊。  
 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。

資料來源:美國地調所(USGS)

地震發生時間(格林威治)	2012-08-31 20:47:34
地震矩規模	7.6
震央經度	127.028
震央緯度	10.992
深度(公里)	44
NP1(走向/傾角/滑移角)	359/41/82
NP2(走向/傾角/滑移角)	190/50/97

花蓮港海嘯資訊

NP1:第一波到達時間(HH:MM) 22:53最大波高(m) 0.092  
 NP2:第一波到達時間(HH:MM) 22:53最大波高(m) 0.101  
 觀看水位歷線圖

圖 5.42 [近期海嘯查詢]之查詢結果展示

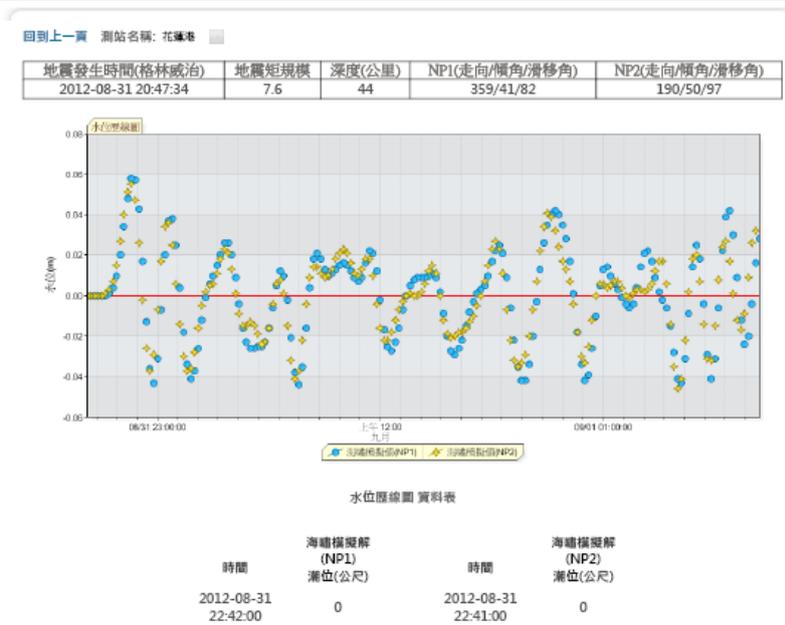


圖 5.43 水位歷線圖之展示介面

歷史海嘯資料說明：當資料達到海嘯發佈訊息條件(波高>=0.1公尺或地震矩規模>=7.0)時，提供海嘯相關訊息給使用者查詢。

測站名稱: 基隆港 地震時間: 2012-08-31 20:47:34

資料來源: 美國地調所(USGS) 地震發生(震央)之經緯度位置

測站	NP1海嘯資訊			NP2海嘯資訊				
基隆港	第一波到達時間(HH:MM)	23:27	最大波高(m)	0.081	第一波到達時間(HH:MM)	23:26	最大波高(m)	0.078
	地震發生時間(格林威治)	地震矩規模	深度(公里)	NP1(走向/傾角/滑移角)	NP2(走向/傾角/滑移角)			
	2012-08-31 20:47:34	7.6	44	359/41/82	190/50/97			

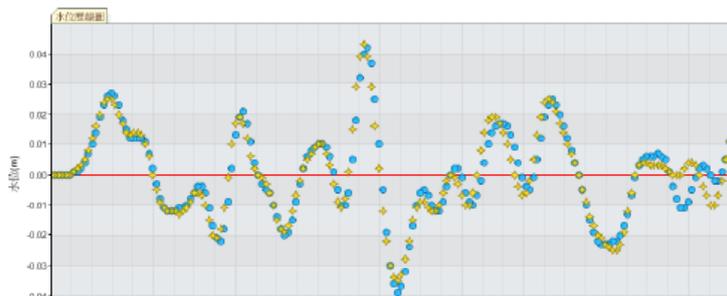


圖 5.44 [歷史海嘯查詢]之查詢結果

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 23:19:00	0.002	2012-08-31 23:18:00	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。



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

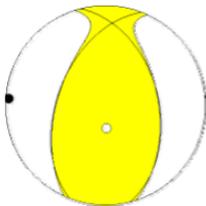
N = 0.20 18 4

P = -3.18 2 273

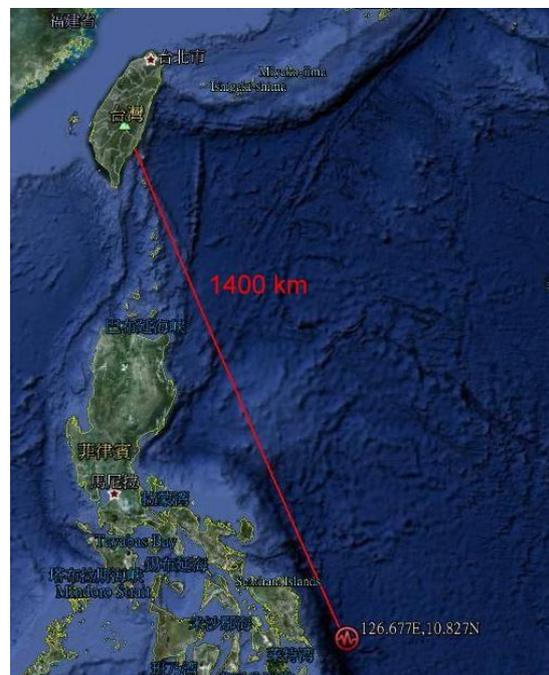
Best Double Couple:Mo=3.1\*10\*\*20

NP1:Strike=346 Dip=46 Slip= 64

NP2: 201 50 114



(a)

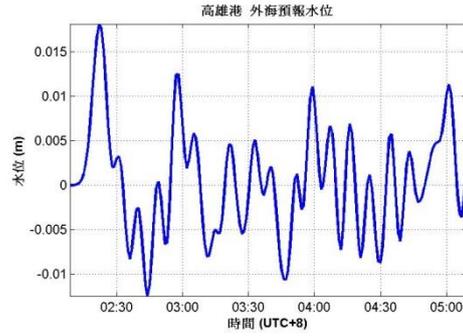
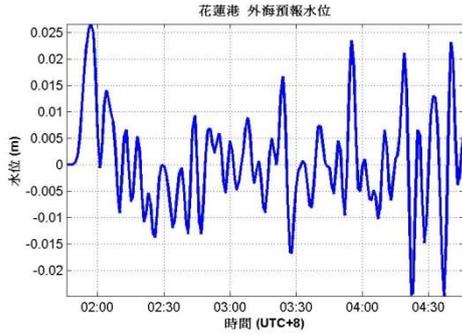


(b)

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

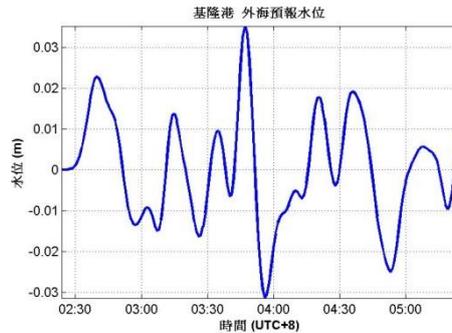
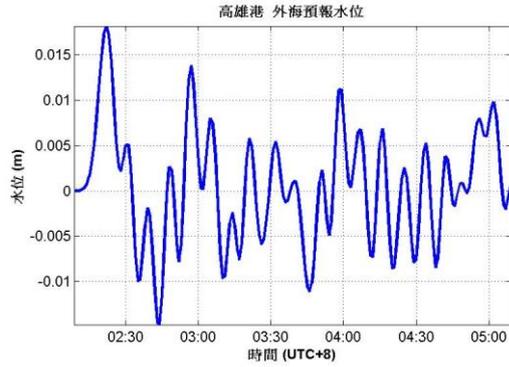
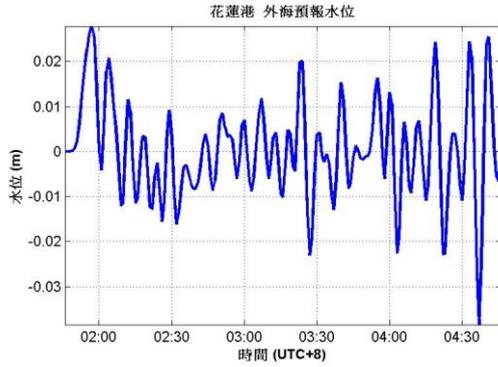


圖 5.47 利用第一組參數所預估之結果及報告單(a)花蓮港(b)高雄港(c)基隆港

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

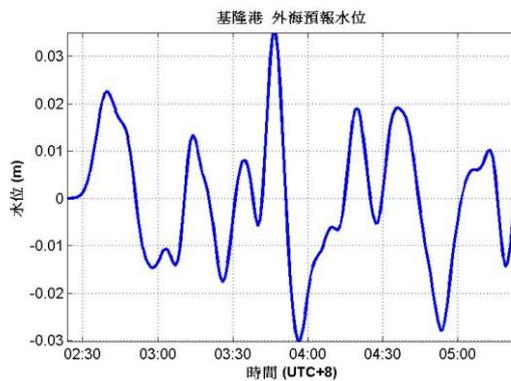


圖 5.48 利用第二組參數所預估之結果及報告單(a)花蓮港(b)高雄港(c)基隆港

## 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，災害風險為災害破壞損失及社會經濟的破壞影響有多大，而在此將可能發生災害的地區、脆弱度、社會因子等其他因子統稱為曝險度，評估地震引發海嘯其曝險度、破壞發生的機率、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。本系統所提供之資訊可於海嘯發生初期獲知可能之水位及其到達時間，供應變決策單位早期預判災情之用，溢淹潛勢圖之應用可以供防災單位提前疏散及後勤整備之用，亦可提供工程單位於資產之保險費用的估算參考。

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。接著以「海嘯溢淹機率 Earthquake-induced Tsunami Inundation Probability, ETIP」Chen et al.(2014)，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：

$$\sum_i \sum_j TEN_j^i ETIP_j^i = \sum_i \sum_j EN_j^i P_{ocsh}^i ETIP_j^i \dots\dots\dots(5.41)$$

$$TEN_j^i = EN_j^i P_{ocsh}^i \dots\dots\dots(5.42)$$

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。

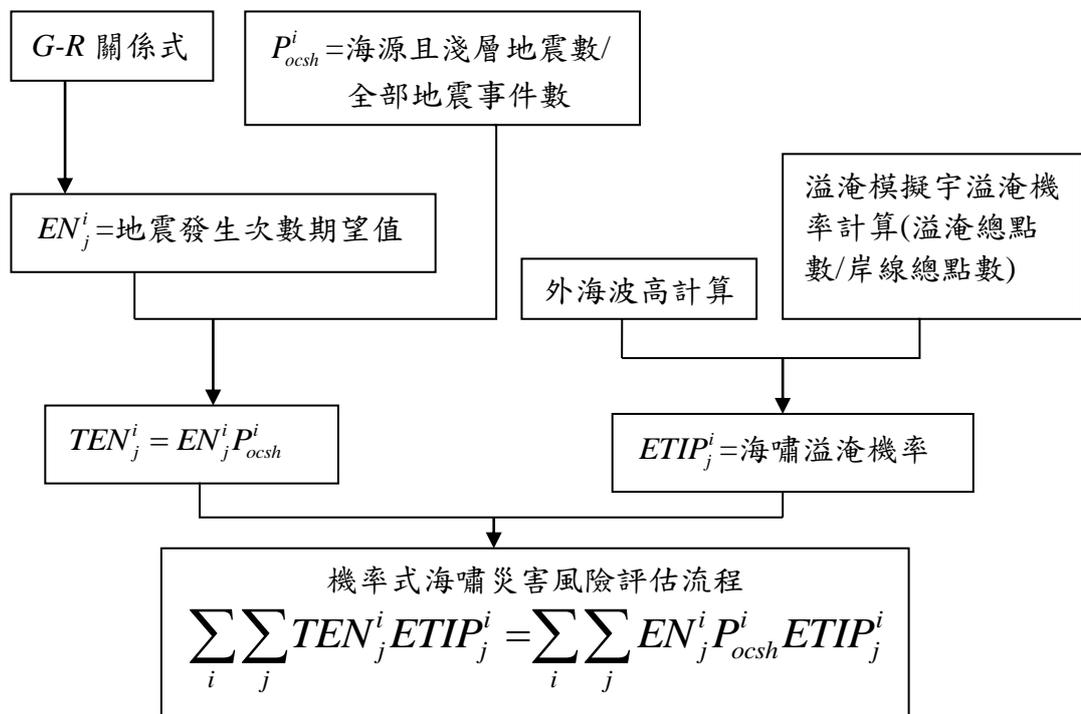


圖 5.49 海嘯風險評估流程圖

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)。

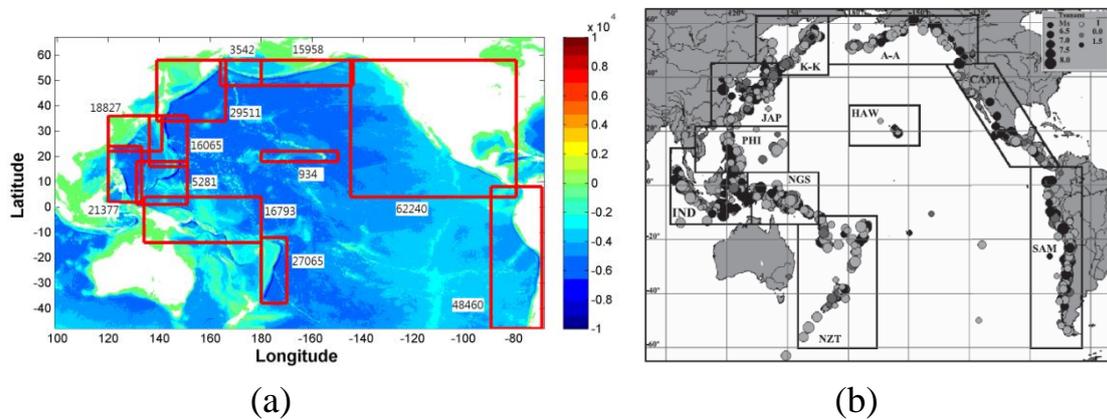


圖 5.50 (a)環太平洋地震數量分佈圖(b)太平洋區域之主要海溝分佈及劃分建議(Gusiakov, 2005)

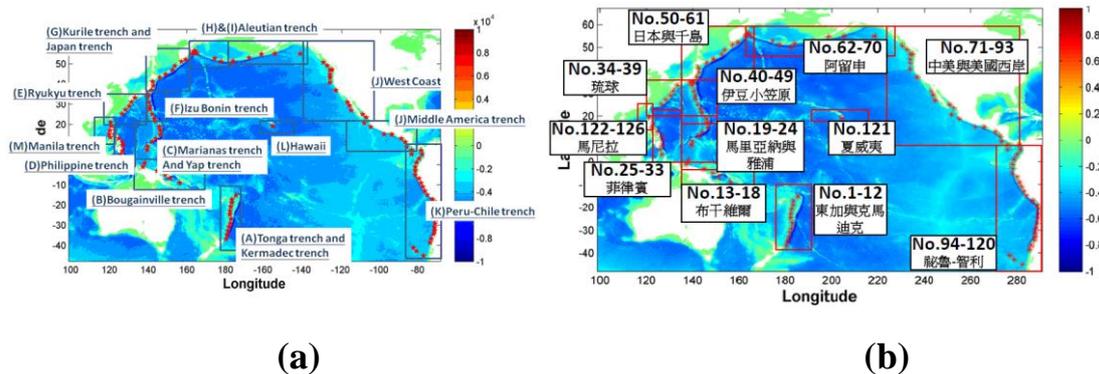


圖 5.51 (a)本研究主要海溝分佈圖及名稱(b)本研究之假設震央點分佈

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		km
									TF		
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	090288.30	27.08	140.10	477	6.0 UKBRK	1F	.....	
PDE	1973	01	15	091410.70	27.09	140.03	478	5.1 mbGS	...	.....	

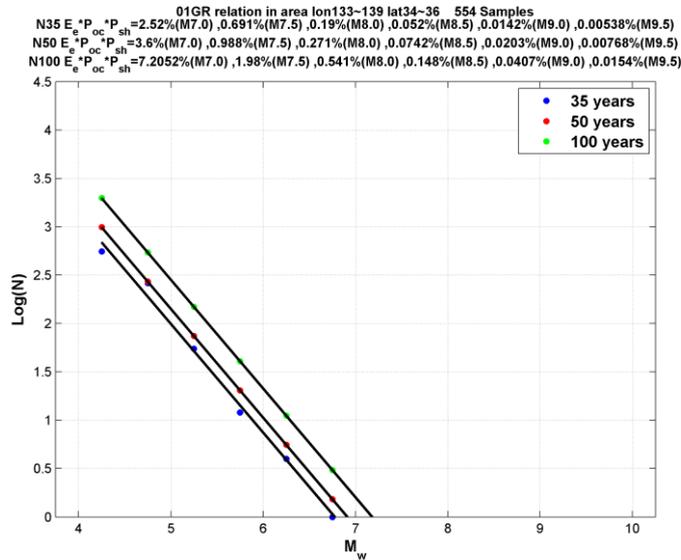
圖 5.52 USGS-NEIC 地震資料庫

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：

$$\log(N) = a - bM \quad (5.43)$$

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  $\geq M_b$  (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

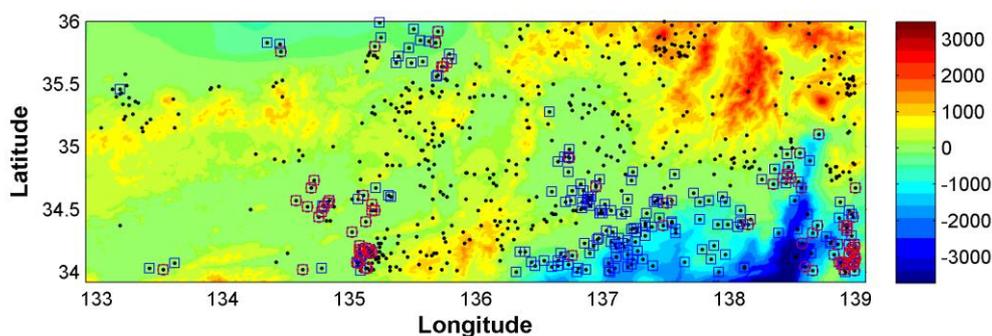
表 5-8 各地震規模區間未來預估年可能發生之次數值

$M_w$	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	$9.86 \times 10^{-3}$	$2.69 \times 10^{-3}$	$7.33 \times 10^{-3}$
100 年	0.96	0.26	0.073	0.0197	$5.4 \times 10^{-3}$	$1.48 \times 10^{-3}$

### 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，港區之水深亦採用港研中心所提供之船測資料加以校正。陸域地形資料是由內政部地政司所提供之  $5m \times 5m$  之 DSM 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)為蘇澳及花蓮港之陸域數值地形。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。並將港研中心所提供之港內實測地形資料整併至數值地形圖 5.56(a)(b)為海陸域整合後之數值地形檔。

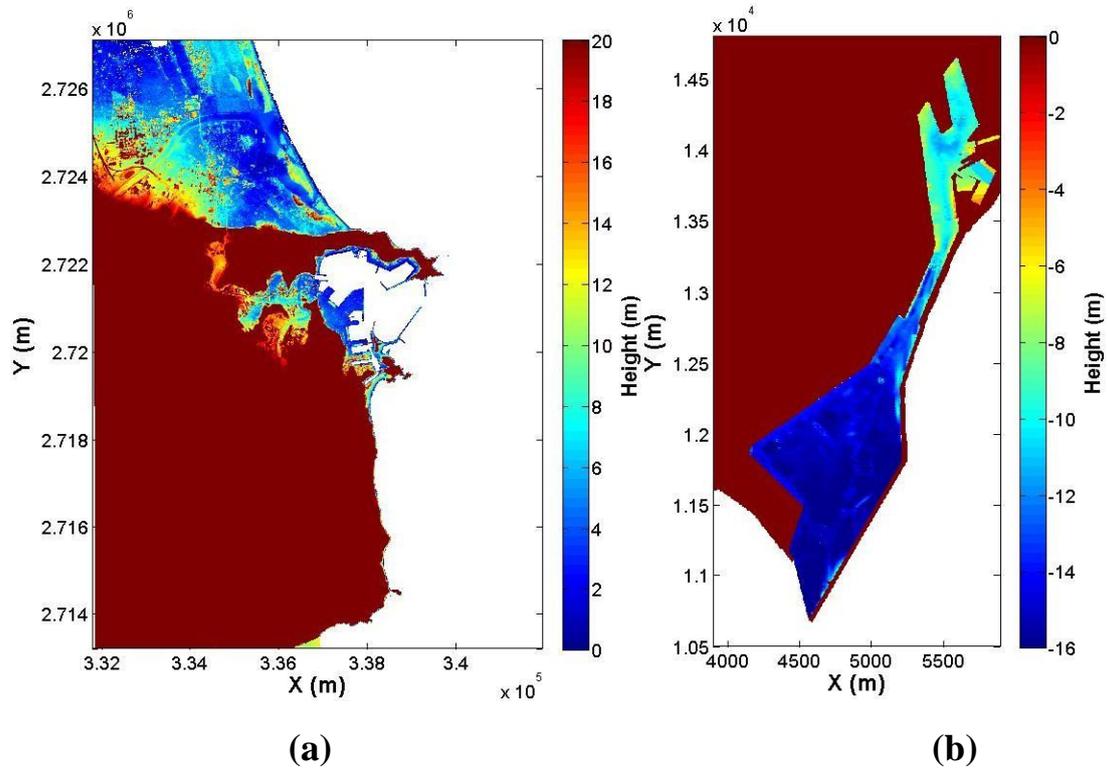


圖 5.55 (a)蘇澳港(b)花蓮港 5m 解析度數值地形檔

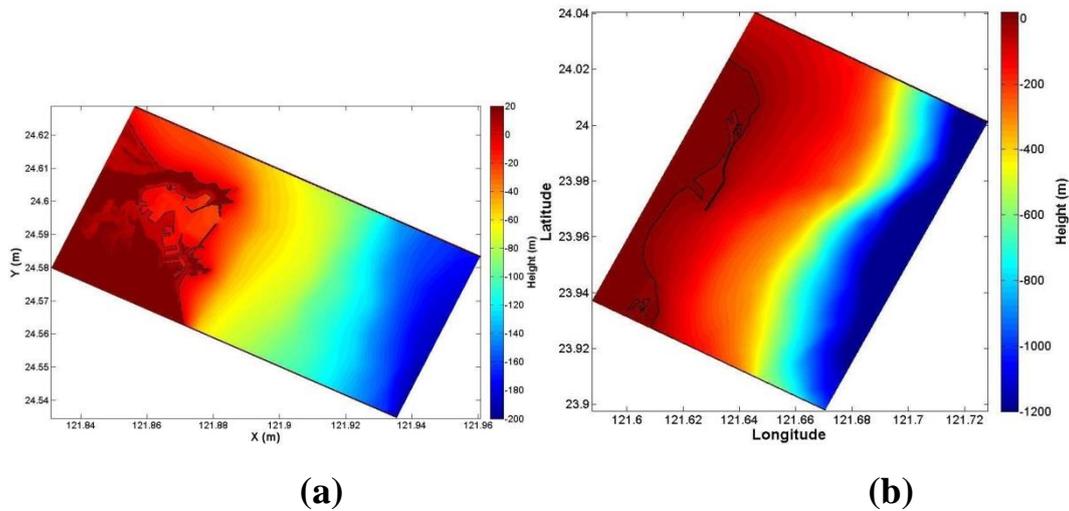


圖 5.56 (a)蘇澳港(b)花蓮港整合海陸域後之數值地形檔

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 為蘇澳港在各種不同入射波高下之溢淹圖。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 6 公尺以上時)。

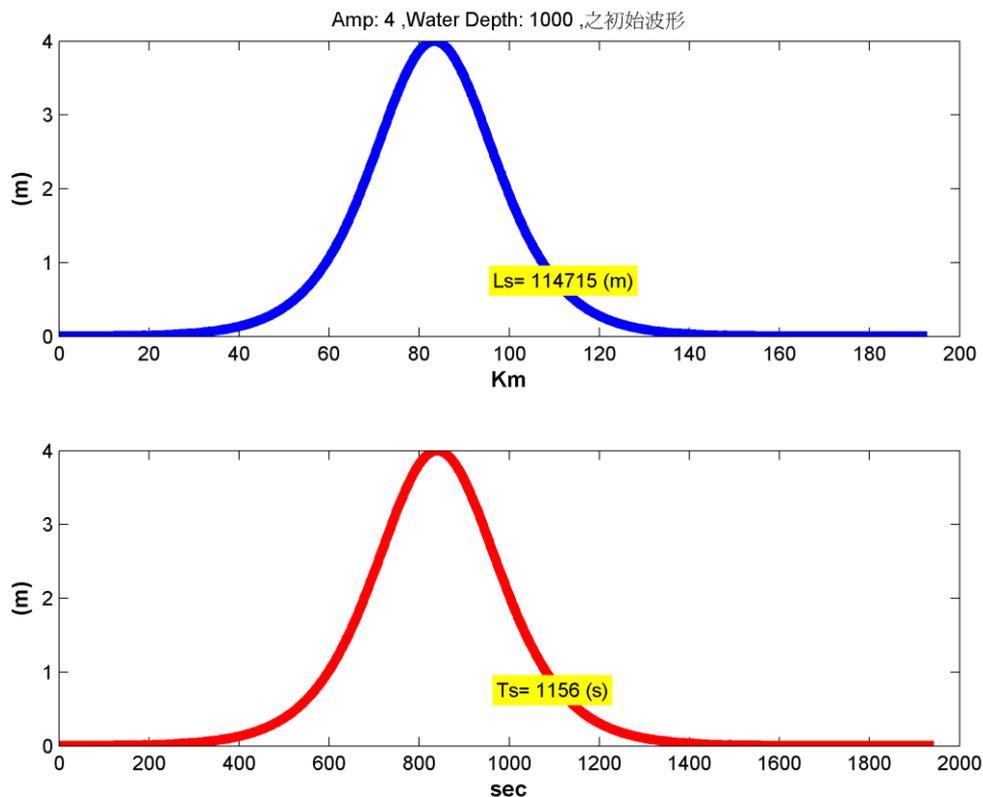
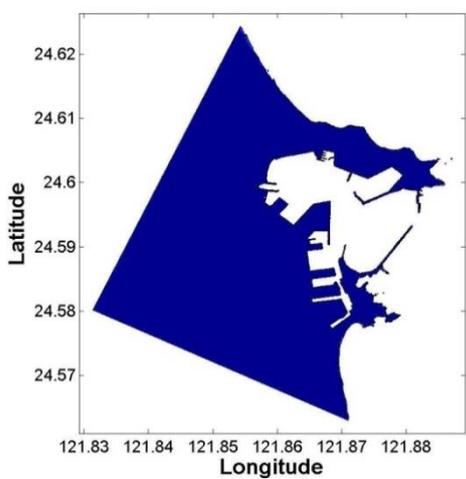
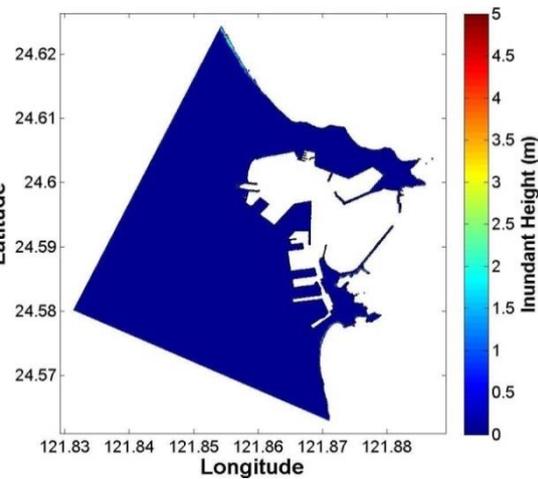


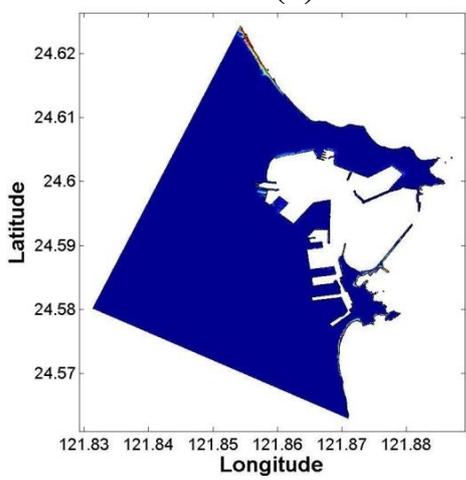
圖 5.57 週期 20 分鐘波高 4m 孤立波



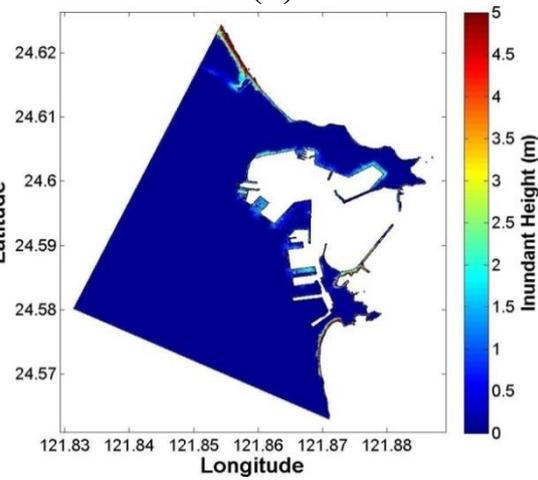
(a)



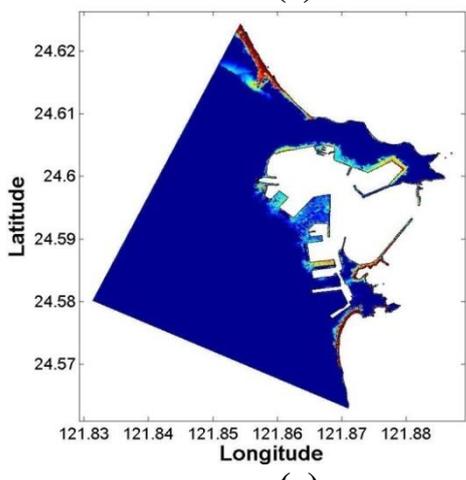
(b)



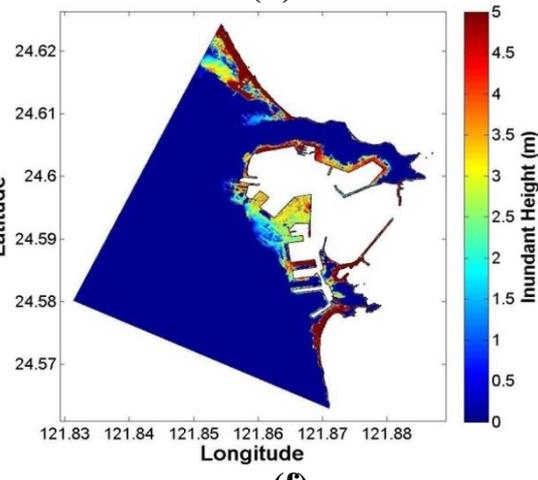
(c)



(d)



(e)



(f)

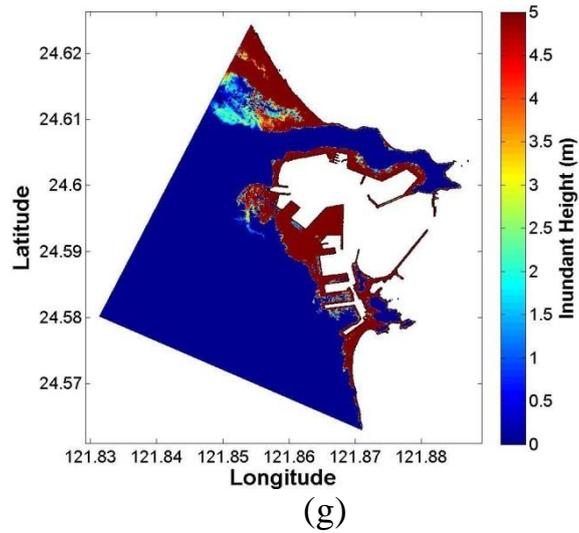


圖 5.58 蘇澳港之溢淹圖(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺  
(f)6 公尺(g)10 公尺

圖 5.59 為為花蓮港在各種不同入射波高下之溢淹圖。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 6 公尺以上時)。

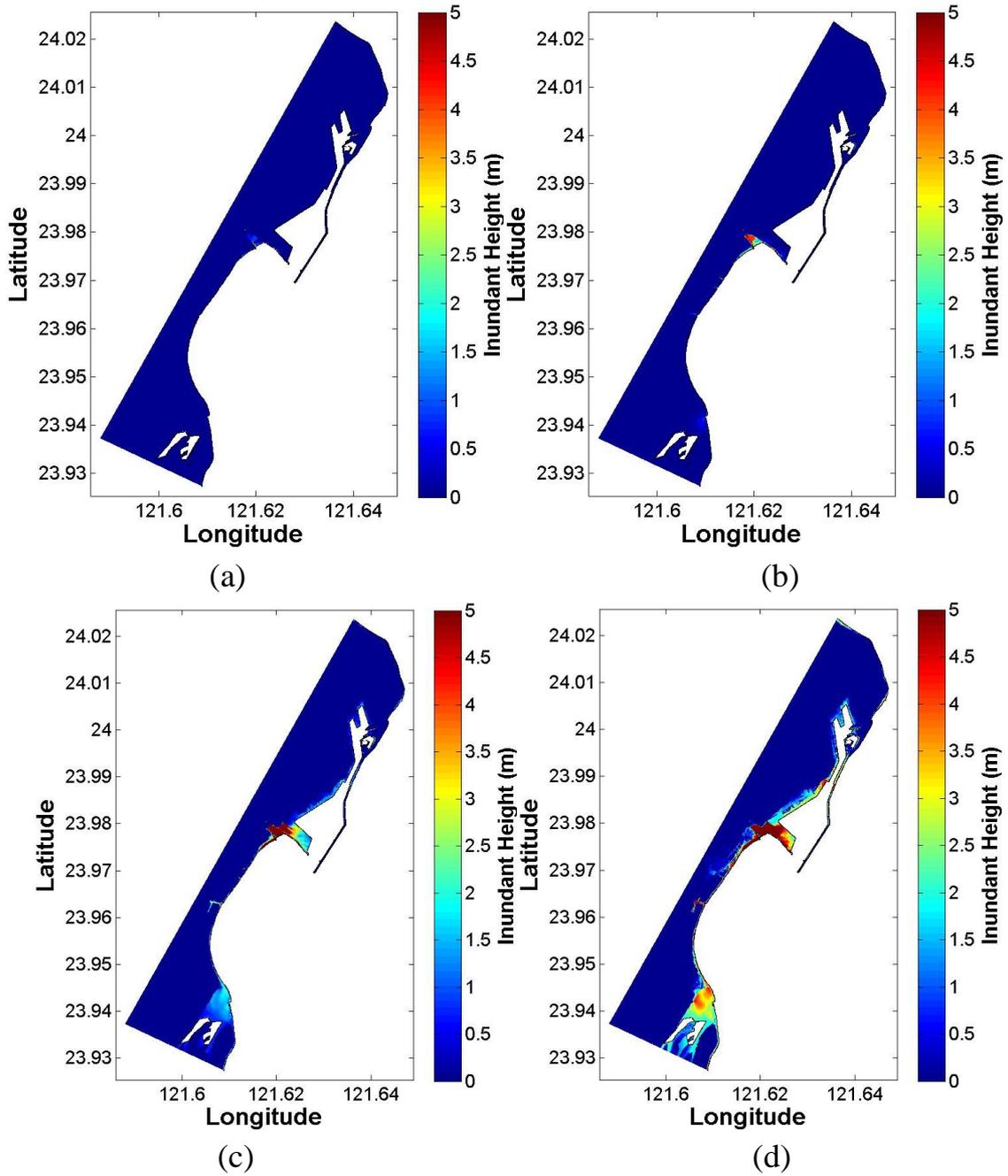
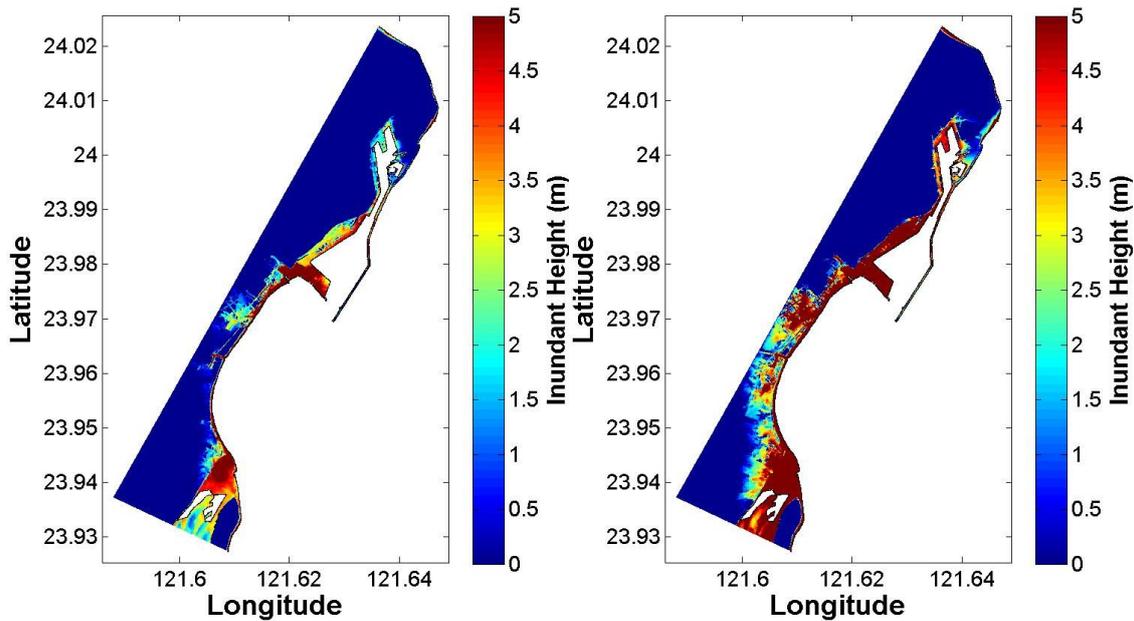
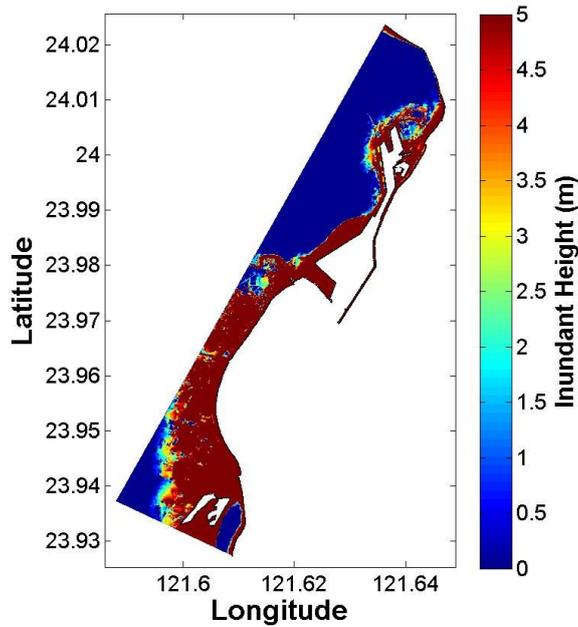


圖 5.59a 花蓮港之溢淹圖(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺



(e)

(f)



(g)

圖 5.59b 花蓮港之溢淹圖(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。

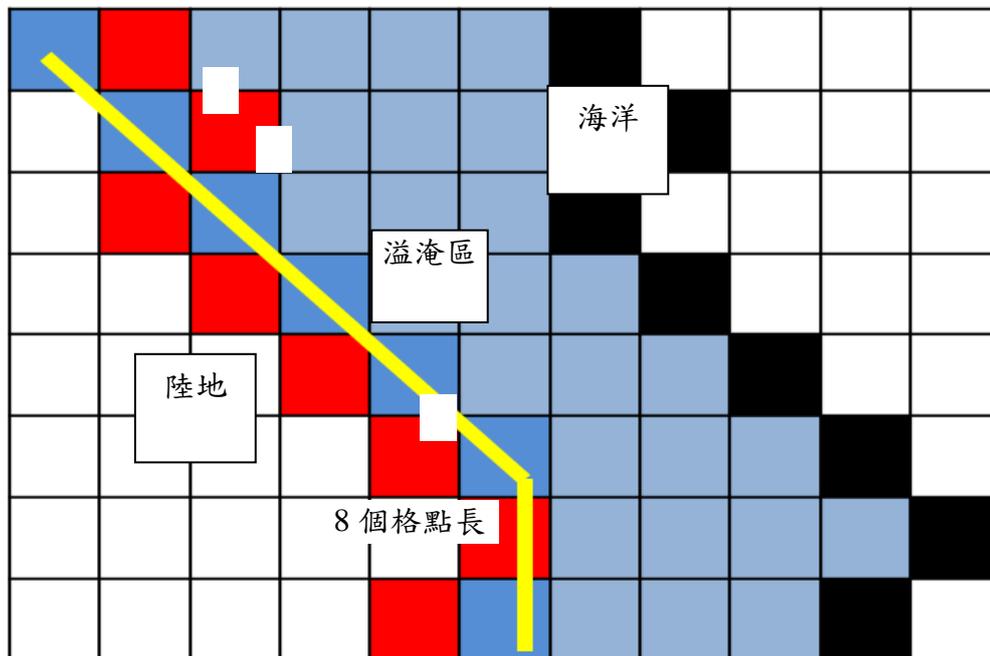
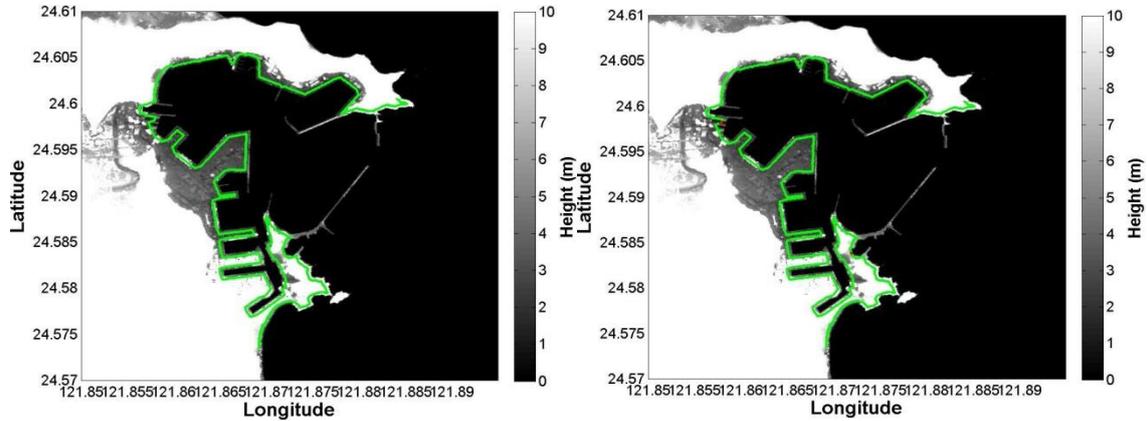


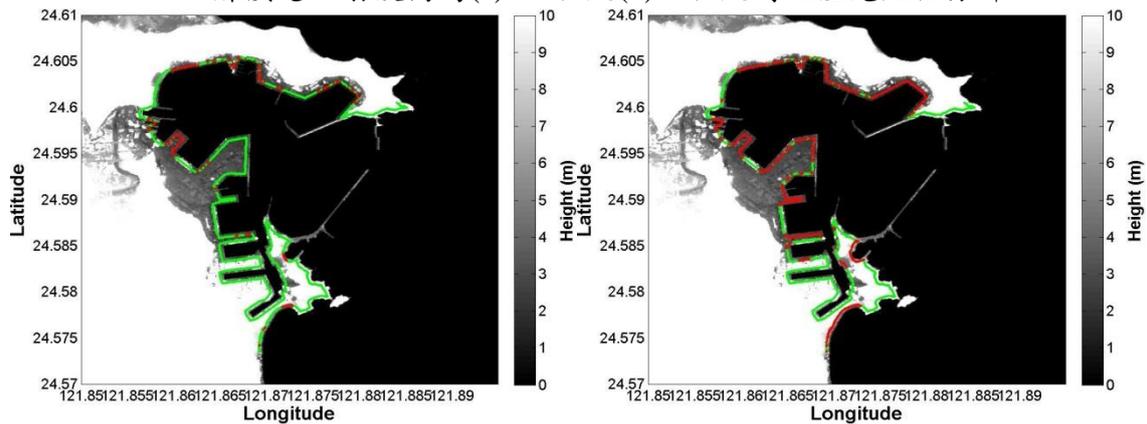
圖 5.60 溢淹機率簡示圖

### 5.5.5 蘇澳港及花蓮港之溢淹點位分佈及機率

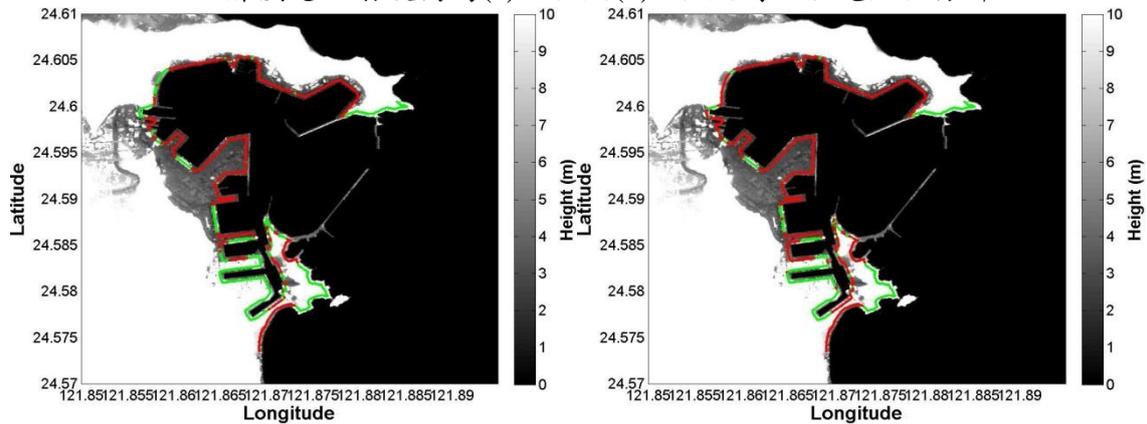
圖 5.61 及圖 5.62 分別為布袋港及臺中港分別在入射波高 0.5~10 公尺時之溢淹點位分佈；紅色點表示離岸 50 公尺且溢淹高程達 50 公分之點位。計算結果則列於表 5-10。



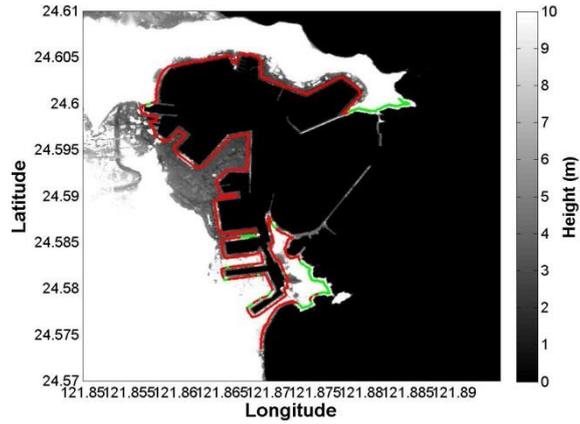
蘇澳港入射波高為(a)0.5公尺(b)1公尺時之溢淹點位分佈



蘇澳港入射波高為(c)2公尺(d)3公尺時之溢淹點位分佈

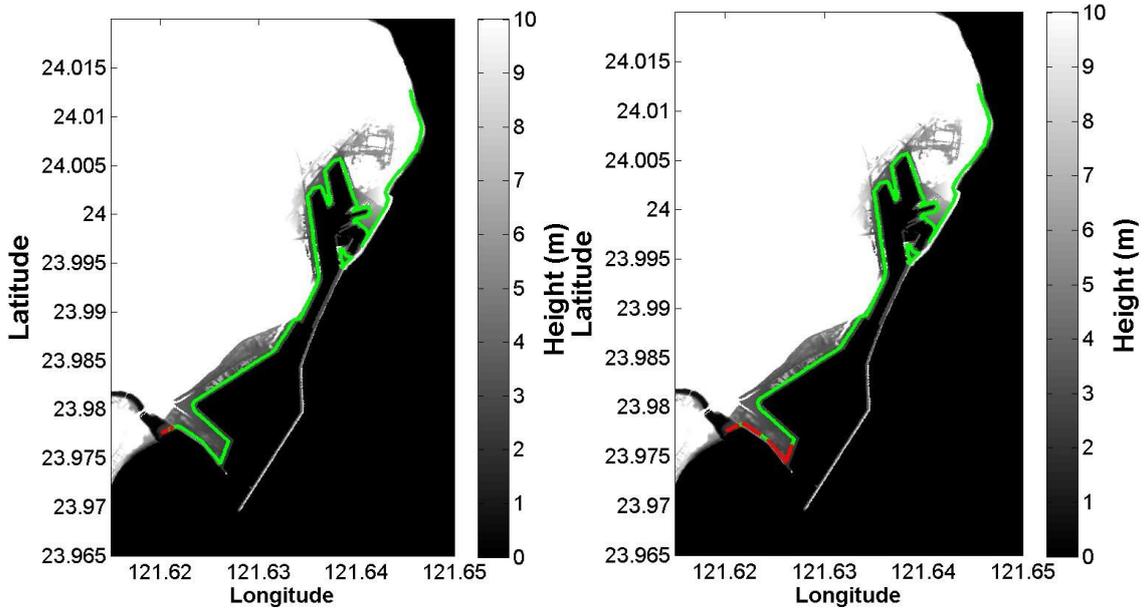


蘇澳港入射波高為(e)4公尺(f)6公尺時之溢淹點位分佈

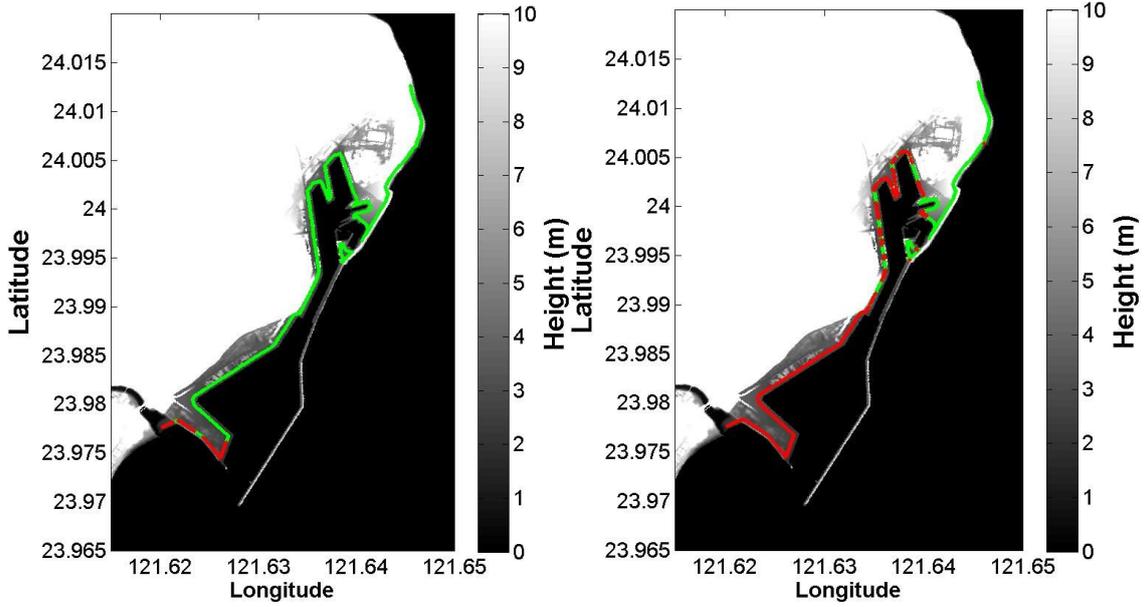


(g) 蘇澳港入射波高為 10 公尺時之溢淹點位分佈

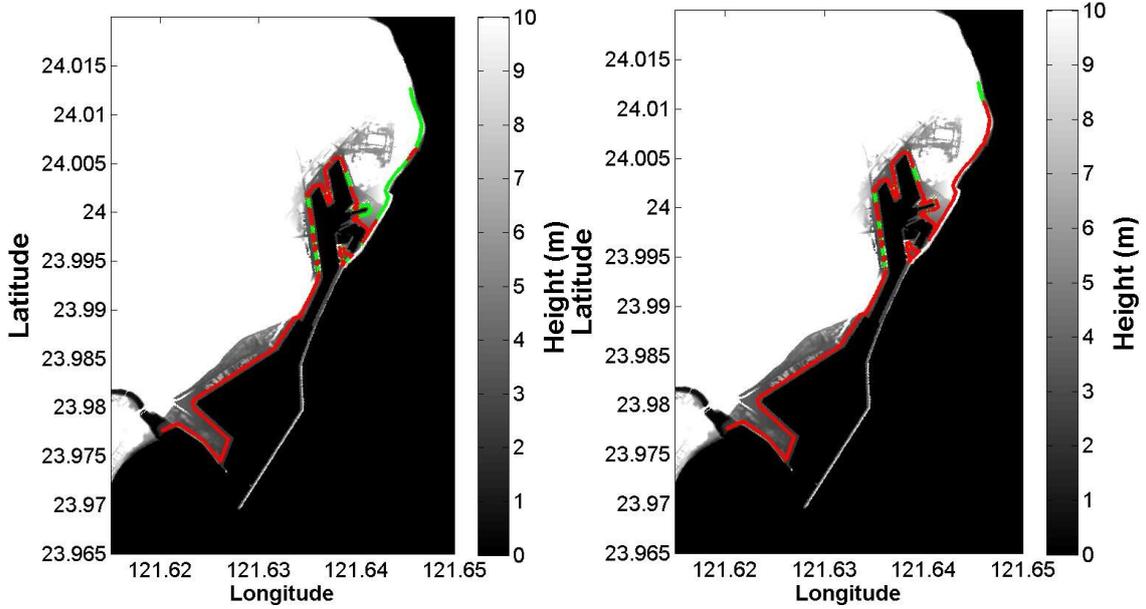
圖 5.61 蘇澳港之溢淹點位分布圖(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺



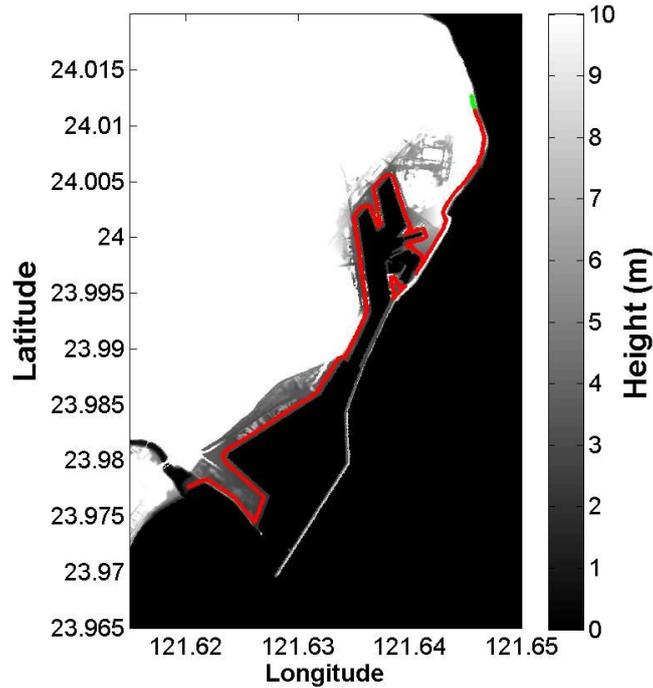
花蓮港入射波高為(a)0.5 公尺(b) 1 公尺時之溢淹點位分佈



花蓮港入射波高為(c) 2 公尺(d)3 公尺時之溢淹點位分佈



花蓮港入射波高為(e)4 公尺(f)6 公尺時之溢淹點位分佈



(g) 花蓮港入射波高為 10 公尺時之溢淹點位分佈

圖 5.62 花蓮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 蘇澳港及花蓮港溢淹點數及機率

地點	蘇澳港			花蓮港		
	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	2780	0	0.00%	1681	15	0.89%
1		11	0.40%		158	9.40%
2		346	12.45%		915	54.43%
3		1174	42.23%		1086	64.60%
4		1503	54.06%		1162	69.13%
6		1780	64.03%		1509	89.77%
10		2289	82.34%		1645	97.86%

蘇澳港及花蓮港在 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；蘇澳港在地震矩規模 7.0 時，其最大波高值未超過 7 公分；在地震矩規模 8.0 以上則最大波高可達 1.2 公尺；地震矩規模為 8.5 以上時，最大波高值超過 3 公尺；而分析結果顯示馬里亞納海溝、琉球海溝及伊豆小笠原海溝對蘇澳港口產生較大之外海波高，另亞普海溝及馬尼拉海溝地震矩規模 9.0 時亦對蘇澳港口產生較大之外海波高。

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。

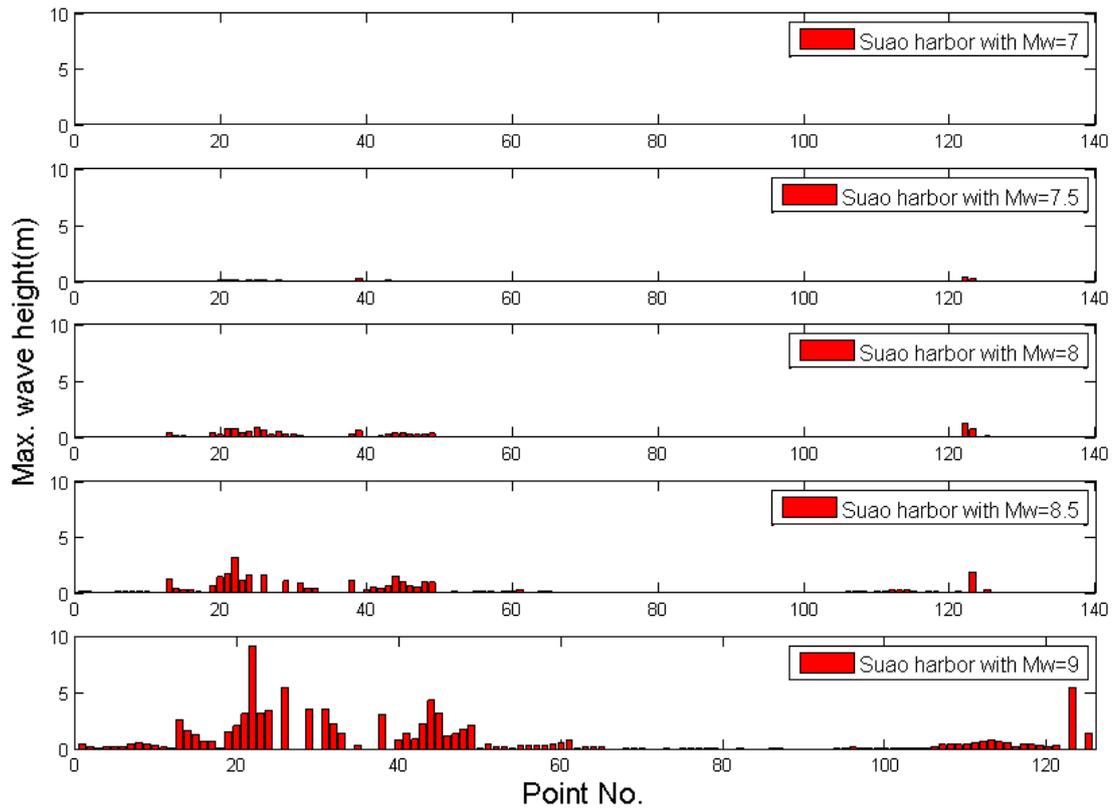


圖 5.63 蘇澳港在各種地震矩規模下之最大波高分佈

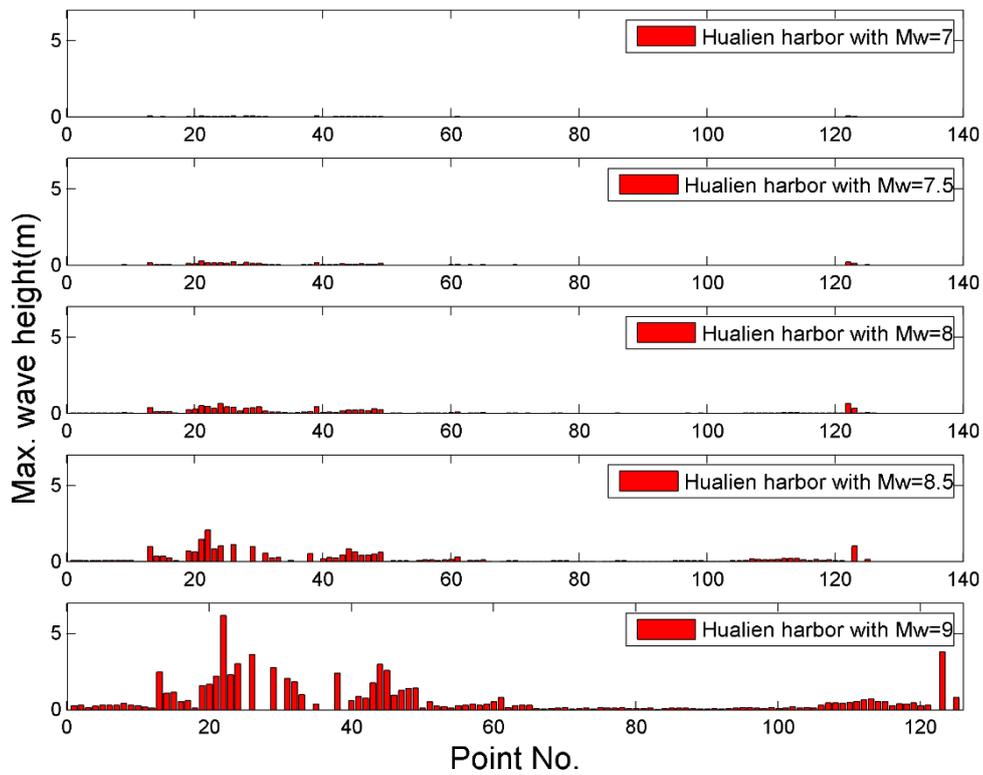


圖 5.64 花蓮港在各種地震矩規模下之最大波高分佈

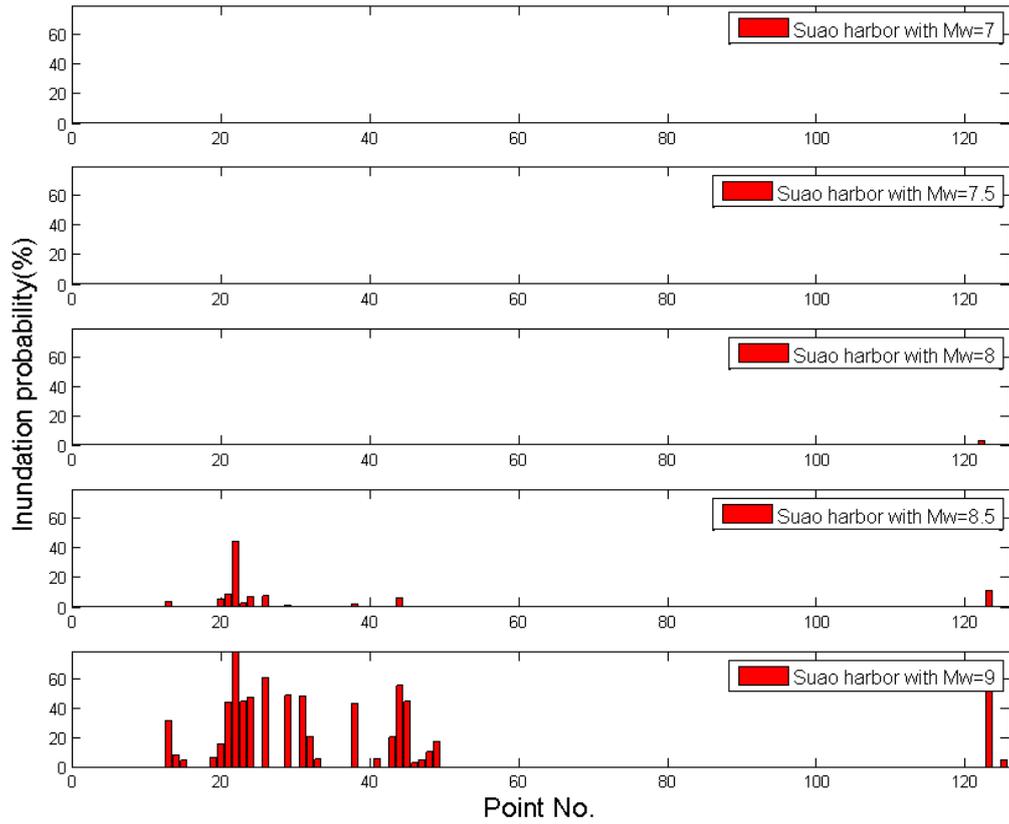


圖 5.65 蘇澳港在各種地震矩規模下之溢淹機率分佈

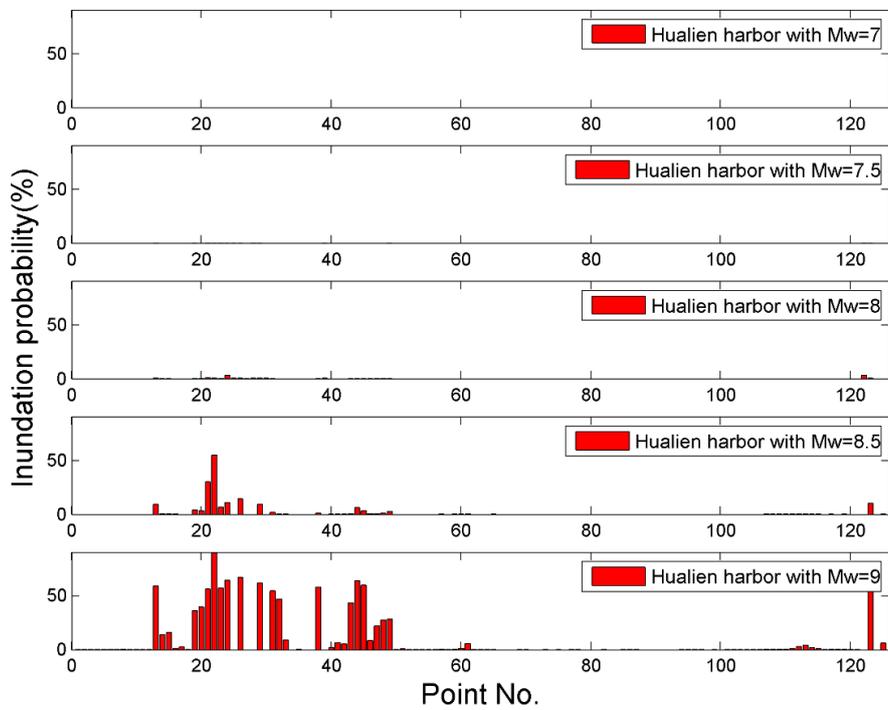


圖 5.66 花蓮港在各種地震矩規模下之溢淹機率分佈

### 5.5.6 蘇澳港及花蓮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、海嘯對蘇澳港及花蓮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，加總各分量即得蘇澳及花蓮港未來 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」。

計算結果為蘇澳港在未來 50 年間發生海嘯且溢淹之機率為 0.24%，100 年為 0.47%；花蓮港在未來 50 年間發生海嘯且溢淹之機率為 0.67%，100 年為 1.29%。

表 5-11 8 個主要商港各入射波高下對應之溢淹機率

地點	臺北港		基隆港		臺中港		布袋港	
離海 50 米的岸線點數	2637		3829		10730		2422	
入射波波高 (m)	溢淹高度大於 0.5m 的點數	溢淹機率						
0.5	74	2.81%	9	0.24%	205	1.91%	14	0.58%
1	311	11.79%	64	1.67%	420	3.91%	20	0.83%
2	1133	42.97%	265	6.92%	2883	26.85%	415	17.13%
3	1845	69.97%	867	22.64%	2883	46.12%	415	24.32%
4	2165	82.10%	1416	36.98%	6377	59.39%	833	34.39%
6	2452	92.98%	2251	58.79%	8327	77.55%	1404	57.97%
10	2510	95.18%	3161	82.55%	10593	98.66%	2275	93.93%

表 5-11 8 個主要商港各入射波高下對應之溢淹機率(續)

地點	安平港		高雄港		花蓮港		蘇澳港	
離海 50 米的岸線點數	1725		4165		1681		2780	
入射波波高 (m)	溢淹高度大於 0.5m 的點數	溢淹機率						
0.5	447	25.91%	64	1.54%	15	0.89%	0	0.00%
1	1104	64.00%	192	4.61%	158	9.40%	11	0.40%
2	1477	85.62%	836	20.07%	915	54.43%	346	12.45%
3	1574	91.25%	2163	51.93%	1086	64.60%	1174	42.23%
4	1644	95.30%	3169	76.09%	1162	69.13%	1503	54.06%
6	1714	99.36%	3864	92.77%	1509	89.77%	1780	64.03%
10	1721	99.77%	3994	95.89%	1645	97.86%	2289	82.34%

## 5.6 海嘯對跨河橋梁之影響模擬分析

海嘯與地震息息相關，但一般只有強烈之淺層地震方有引起海嘯之可能。美國地質調查所認為馬尼拉海溝是南中國海及呂宋海峽一帶危險性被低估之震源區，海嘯波傳遞至水深較淺的近岸時，受到淺化效應的影響，波高放大進而入侵沿岸地區造成溢淹；當海嘯波遇海陸交界上的河口地形，所攜帶的龐大水體除了會跨過河道溢淹至內陸外，也會隨著河道繼續逆流而上，在溪溯升過程中，會產生強烈水流，會對河道產生沖刷與淤積的現象，並對河川中的結構物(如橋梁、攔砂壩或堤防等)之基底造成沖刷，對其橋梁造成安全上之威脅。

以參考 Megawati et al. (2009)所建立之馬尼拉海溝的地震參數，其結果第一波海嘯約 20 分鐘抵達高屏溪口，海嘯波沿高屏溪河道上溯約 9 公里遠，溯上高度最高水位有 3 公尺高，雙園大橋首當其衝；並模擬潮汐為高潮位及低潮位兩種不同邊界之條件並對其溯上之水位無較大影響；當入射波高大於 3 公尺，其海嘯波才會沿高屏溪河道上溯至雙園大橋，其水流對橋墩、墩柱引致作用力，對橋墩受水流衝擊面(南面)之最大總壓力為 87.5kPa。橋墩之鄰近地形最高堆積為 0.21 公尺，最大侵蝕為 0.53 公尺。本研究延續前期模擬結果強化解析度來進一步探討海嘯對跨河橋梁之影響。

參考 Megawati et al. (2009)所建立之馬尼拉海溝 33 個子區塊地震參數(圖 5.67、表 5-12)，將此地震參數帶入模式中建立馬尼拉海溝斷層帶所產生之初始水位(圖 5.68)。模擬結果第一波海嘯約 20 分鐘抵達高屏溪口，模擬三個小時期間各地的最大水位高度分佈如圖 5.69a~c，海嘯波沿高屏溪河道上溯約 9 公里遠，溯上高度最高水位有 3 公尺高(圖 5.70(a)~(b))，並將模擬結果與 Google Earth 地圖疊加製成溢淹地圖，要注意的為高屏溪為南北走向，其首當其衝的為雙園大橋(圖 5.71)。並整合及結合 Google Earth 地圖之溢淹潛勢圖，以利用 Google Earth 圖資系統顯示出學校及醫療等救災所需資源，有助於研判海嘯發生時之安全地點及避難路徑。(陳和陳，2012)。

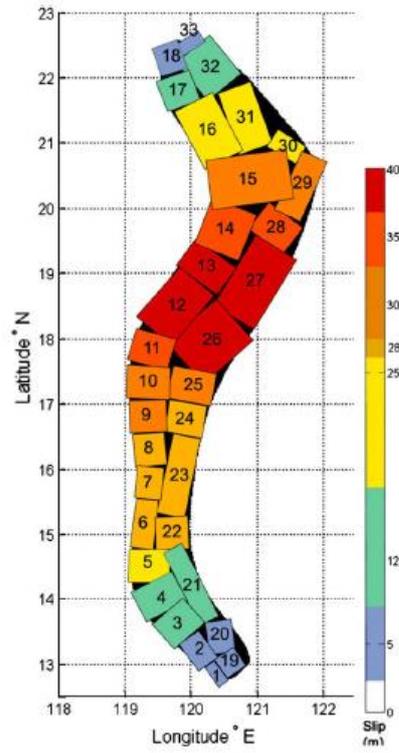


Fig. 5. The discretized model for computation of sea floor displacement.

參考資料：Megawati et al., 2009

圖 5.67 馬尼拉海溝 33 個子區塊分佈圖

表 5-12 馬尼拉海溝 33 個子斷層之斷層參數表

Depth (km)	Length (km)	Width (km)	Dislocation (m)	Epicenter (Longitude)	Epicenter (Latitude)	Moment Magnitude (Mw)
7.5	40.41	19.3	5	E120.4	N12.84	3.982091612
7.5	54.19	38.68	5	E120.12	N13.2	4.26833125
7.5	54.09	66.93	12	E119.8	N13.61	4.680026871
7.5	54	75.68	12	E119.52	N14.04	4.715118256
7.5	53.89	67.52	25	E119.36	N14.5	4.894001254
7.5	80.59	37.51	28	E119.28	N15.18	4.873138337
7.5	53.56	43.13	28	E119.34	N15.84	4.795266208
7.5	53.43	51.06	28	E119.38	N16.32	4.84343018
7.5	53.28	60.09	30	E119.36	N16.84	4.909739286
7.5	53.14	69.93	30	E119.36	N17.32	4.952885059
7.5	52.99	65.93	35	E119.4	N17.82	4.979644196
7.5	105.57	72.15	40	E119.76	N18.5	5.243972069
7.5	52.6	79.67	40	E120.24	N19.1	5.070974538
7.5	78.62	74.61	35	E120.52	N19.68	5.129679586
7.5	78.24	129.36	30	E120.6	N20.44	5.242980905
7.5	103.81	67.36	25	E120.28	N21.14	5.083135022
7.5	51.68	54.86	12	E119.8	N21.8	4.609253873
7.5	46.82	41.97	5	E119.68	N22.30	4.249641092
35	37.5	37.27	5	E120.6	N13.04	4.150987946
35	54.14	43.11	5	E120.42	N13.42	4.299458356
35	134.88	34.22	12	E120	N14.2	4.750353376
35	53.76	53.11	28	E119.72	N15	4.856609898
35	133.84	45.09	28	E119.8	N15.92	5.073296966
35	53.29	61.36	28	E119.92	N16.76	4.895873571
35	53.15	70.96	30	E120.4	N17.28	4.957172923
35	105.9	88.63	40	E120.3	N17.92	5.304438637
35	131.68	75.92	40	E120.96	N18.84	5.322704842
35	52.41	67.88	35	E121.26	N19.7	4.984896862
35	104.39	44.85	30	E121.66	N20.36	5.019775903
35	51.99	31.66	25	E121.44	N20.96	4.664327994
35	103.67	55.05	25	E120.8	N21.38	5.024314457
35	77.33	67.83	12	E120.24	N22.12	4.787381552
35	21.26	41.86	5	E120	N22.48	4.020302495

參考資料：Megawati et al., 2009

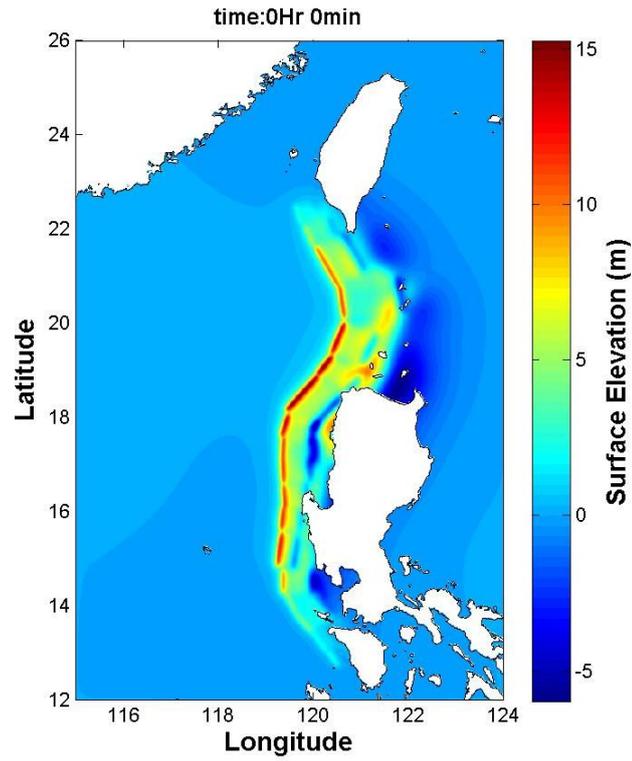


圖 5.68 參考 Megawati et al. (2009) 之地震參數建立初始水位

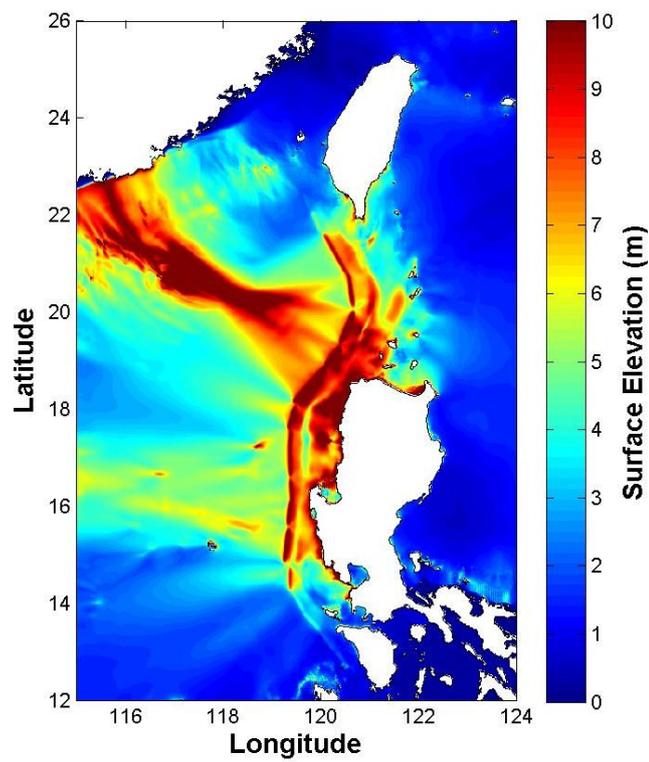


圖 5.69a 模擬三個小時期間各地的最大水位高度分佈(第一層網格)

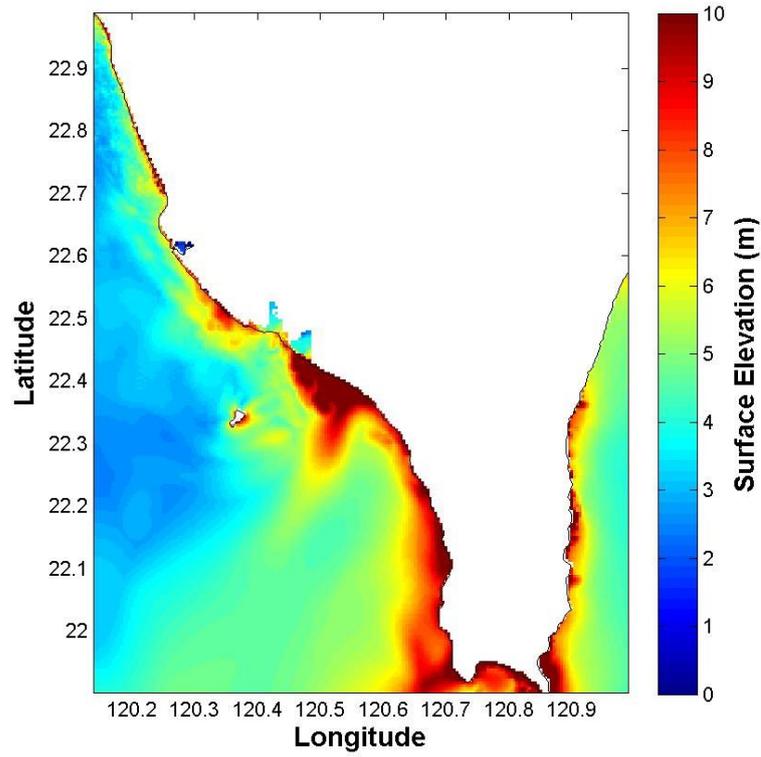


圖 5.69b 模擬三個小時期間各地的最大水位高度分佈(第二層網格)

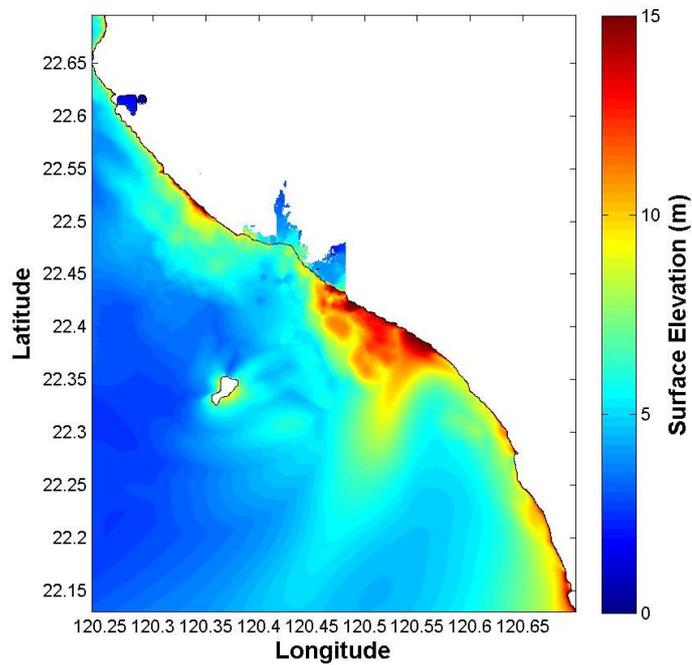
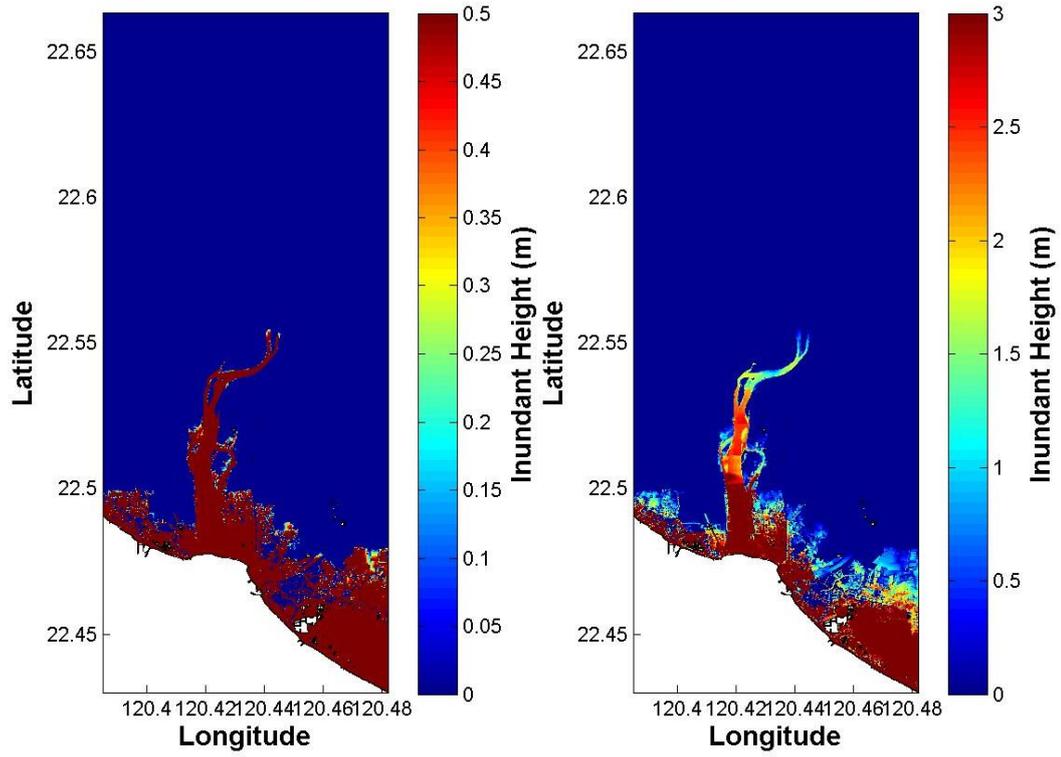


圖 5.69c 模擬三個小時期間各地的最大水位高度分佈(第三層網格)



(a)

(b)

圖 5.70 模擬三個小時期間河道水位高度分佈(a)50cm(b)3m

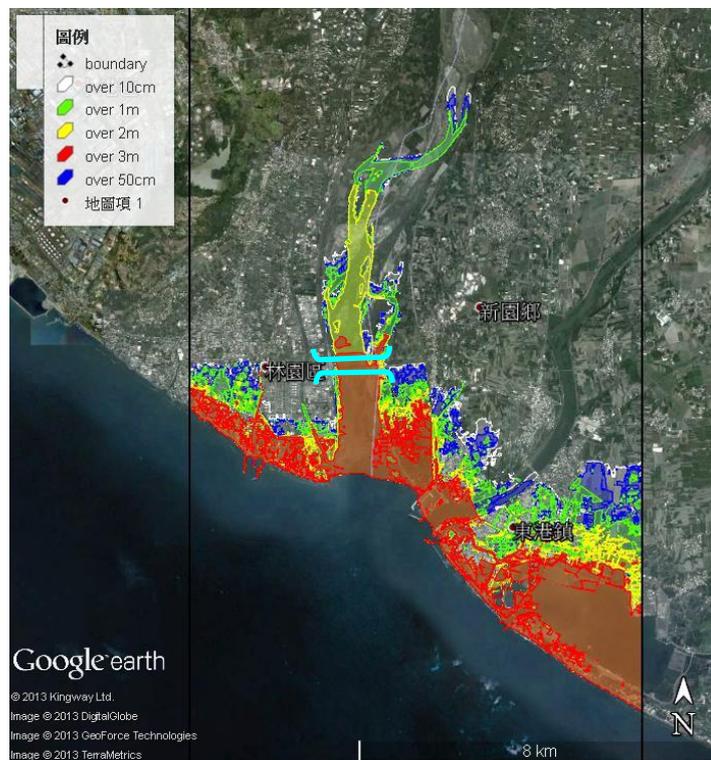


圖 5.71 結合 Google Earth 之溢淹圖

本研究模式計算上將考慮高屏溪水域的沉積物的粒徑來對橋梁橋墩週遭的沖刷影響；當來自橋墩前方的水流因受到橋墩的阻擋，於橋墩迎水面會產生停滯現象，但由於後方水流的繼續推擠，會分別朝上下兩側轉移，朝上的水流在橋墩前產生擁水，朝下產生向下射流衝擊底床，於底床和橋墩之間形成渦流系統，此渦流系統稱為馬蹄形渦流系統(horseshoe vortex system)。此渦流系統會對橋墩周圍底床產生淘刷作用形成沖刷坑，並隨時間而加深且擴大(圖 5.72)。

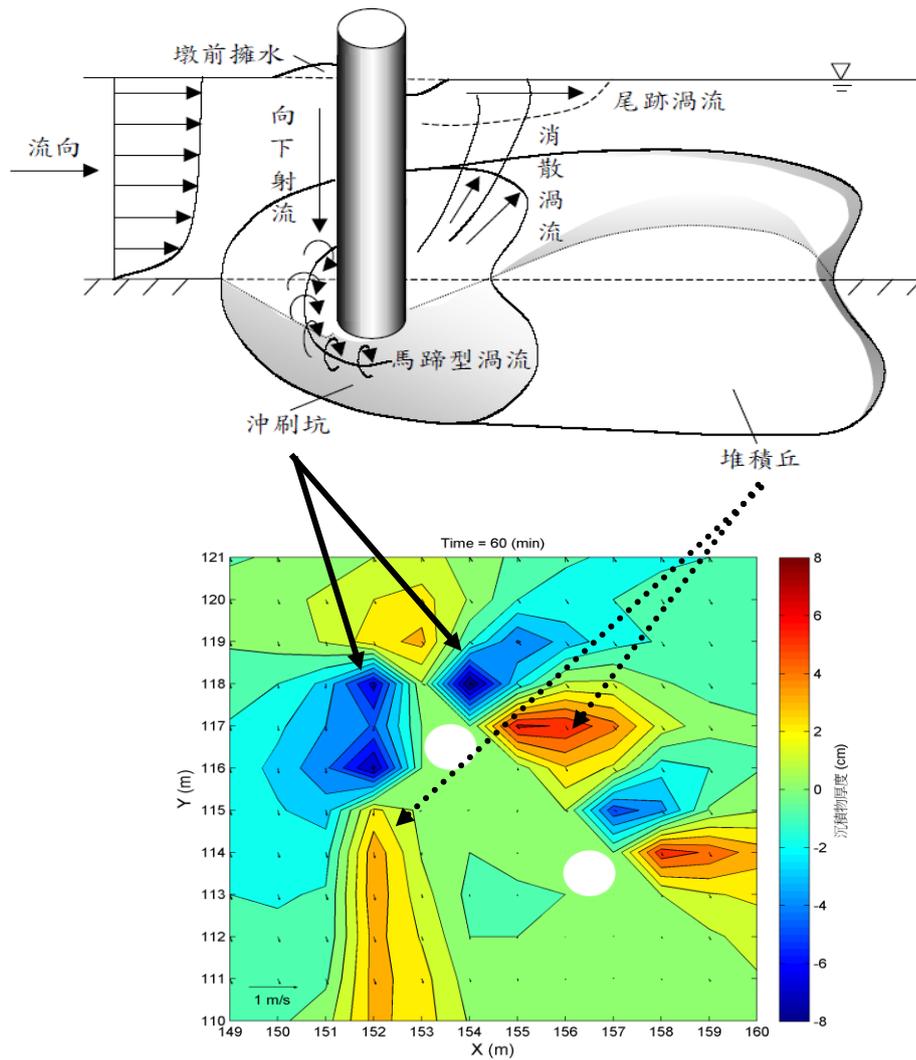


圖 5.72 馬蹄形渦流沖刷情形

將兩並聯之橋墩墩柱為一組，編號 1 及編號 20 墩柱為組號 1，依此類推，計算入射波高 3、4、6、10 公尺，從 4 種情境的沉積物模擬中，取出橋墩中心附近寬 21 公尺、長 31 公尺的地形區域內的地形變化極值，其結果如圖 5.73。共同的趨勢是最大侵蝕和最大堆積隨入射鐘形波波高的增加而增加，且每種情境的各橋墩附近的最大侵蝕皆大於最大堆積。因為地形高程較高的關係，第 11 組到第 19 組橋墩在較大波高的入射情境下，才會出現侵蝕和堆積。在 3 公尺入射的情境下，對第 1 到 10 組橋墩造成不到 5 公分的地形變化。在 4 公尺入射的情境中，第 1 到 11 組橋墩中最多只有 12 公分的地形變化。在 6 公尺入射的情境中，對第 1 到 12 組橋墩造成地形影響，其中以第 2 組橋墩的 62 公分侵蝕最多。而 10 公尺入射的情境則對全部橋墩皆有影響，其中 7 組橋墩(第 2、3、4、5、7 和 10 組)出現超過 1 公尺的侵蝕。詳細的資料如表 5-13。

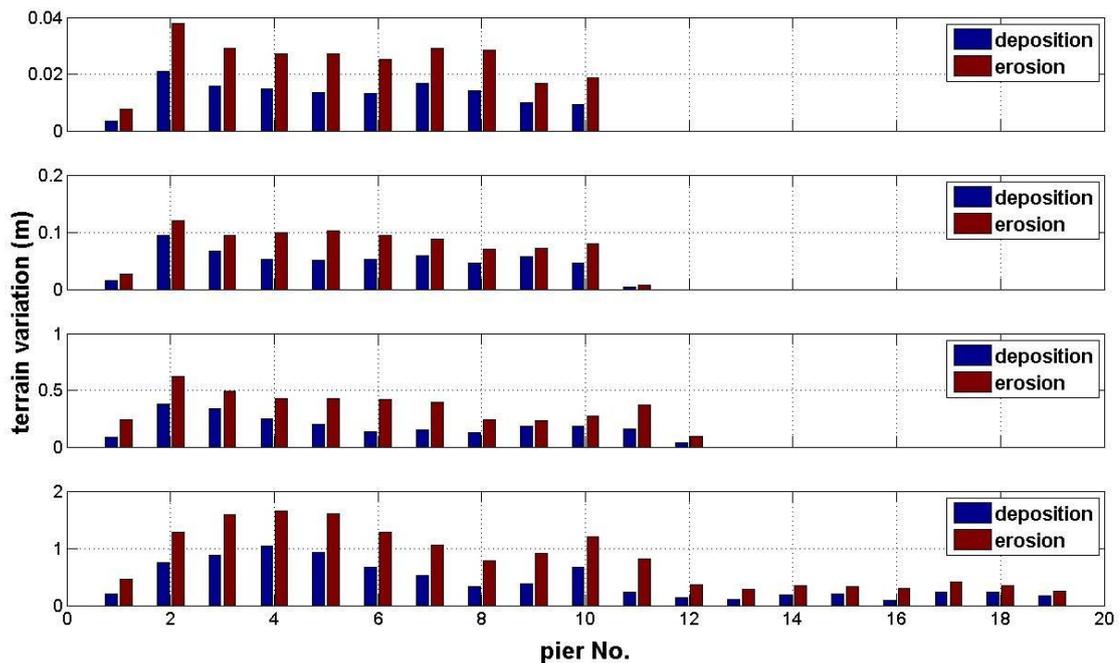


圖 5.73 19 組橋墩的侵蝕(紅色)與堆積(藍色)，由上至下各為入射鐘形波波高 3、4、6 以及 10 公尺的情況。

表 5-13 四種入射波情境在橋墩附近造成的地形變化極值。

	3m		4m		6m		10m		
	地形變化最小值(m)	地形變化最大值(m)	地形變化最小值(m)	地形變化最大值(m)	地形變化最小值(m)	地形變化最大值(m)	地形變化最小值(m)	地形變化最大值(m)	
橋墩組編號	1	-0.008	0.003	-0.027	0.016	-0.240	0.087	-0.461	0.206
	2	-0.038	0.021	-0.121	0.095	-0.618	0.378	-1.284	0.751
	3	-0.029	0.016	-0.095	0.067	-0.492	0.338	-1.595	0.881
	4	-0.027	0.015	-0.099	0.052	-0.427	0.246	-1.652	1.041
	5	-0.027	0.013	-0.102	0.051	-0.426	0.196	-1.602	0.927
	6	-0.025	0.013	-0.095	0.052	-0.415	0.132	-1.283	0.674
	7	-0.029	0.017	-0.088	0.058	-0.397	0.150	-1.050	0.524
	8	-0.029	0.014	-0.070	0.046	-0.243	0.126	-0.780	0.329
	9	-0.017	0.010	-0.072	0.057	-0.232	0.182	-0.912	0.380
	10	-0.019	0.009	-0.079	0.046	-0.269	0.181	-1.199	0.669
	11	0.000	0.000	-0.008	0.004	-0.368	0.156	-0.813	0.230
	12	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.096	0.038	-0.363	0.142
	13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.288	0.108
	14	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.346	0.186
	15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.324	0.195
	16	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.295	0.093
	17	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.410	0.226
	18	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.344	0.238
	19	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.255	0.164

橋墩附近 5 公尺與 1 公尺不同網格解析度的地形最大堆積厚度比較如圖 5.74，地形最大侵蝕厚度比較如圖 6.17。不論是侵蝕或是堆積，大致上 1 米網格的值皆比 5 米網格大兩倍以上。圖 5.75 為橋墩附近 5 米與 1 米的堆積和侵蝕分佈，大致的侵蝕和堆積型態類似，而 1 米網格則提供了較多的細節。圖 5.76 為 19 組橋墩附近地形的最大侵蝕(紅線)與堆積(藍線)隨時間的變化。從圖可知鐘形波波高 3、4、6 及 10 公尺的入射模擬中，其地形變化值發生改變的起始時間各在第 25 分鐘、第 20 分鐘、第 15 分鐘和第 15 分鐘之後(紀錄的時間解析為 5 分鐘，基

本上和第一波水體最先到達時間相同)，且 4 種情境的地形變化主要都發生在起始時間之後的 20 分鐘內，之後隨時間產生的改變不大。

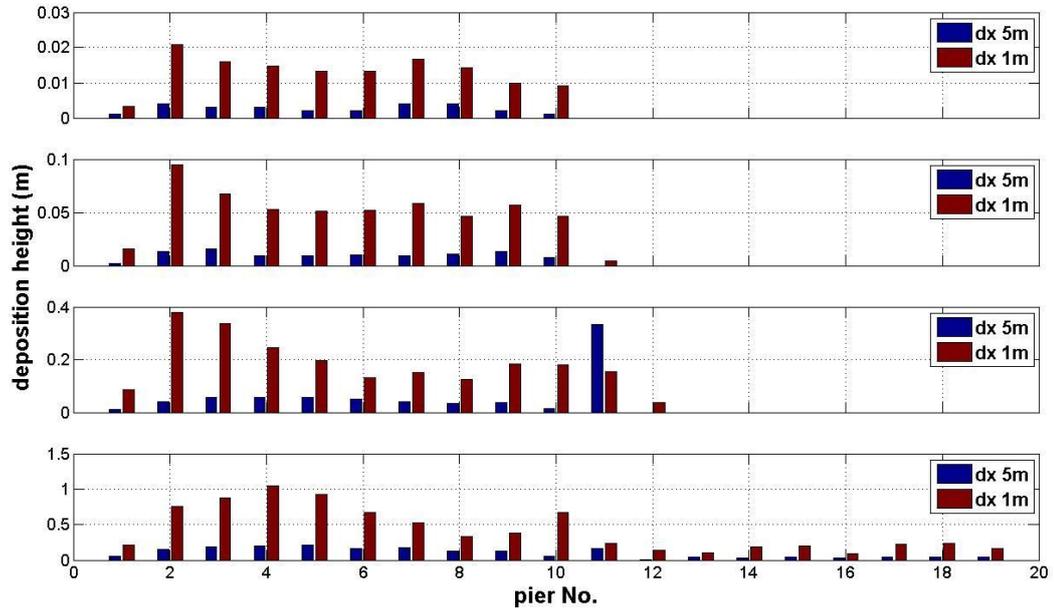


圖 5.74 19 組橋墩在地形解析度 5 公尺(藍色)與 1 公尺(紅色)的堆積厚度，由上至下各為入射鐘形波波高 3、4、6 以及 10 公尺的情況。

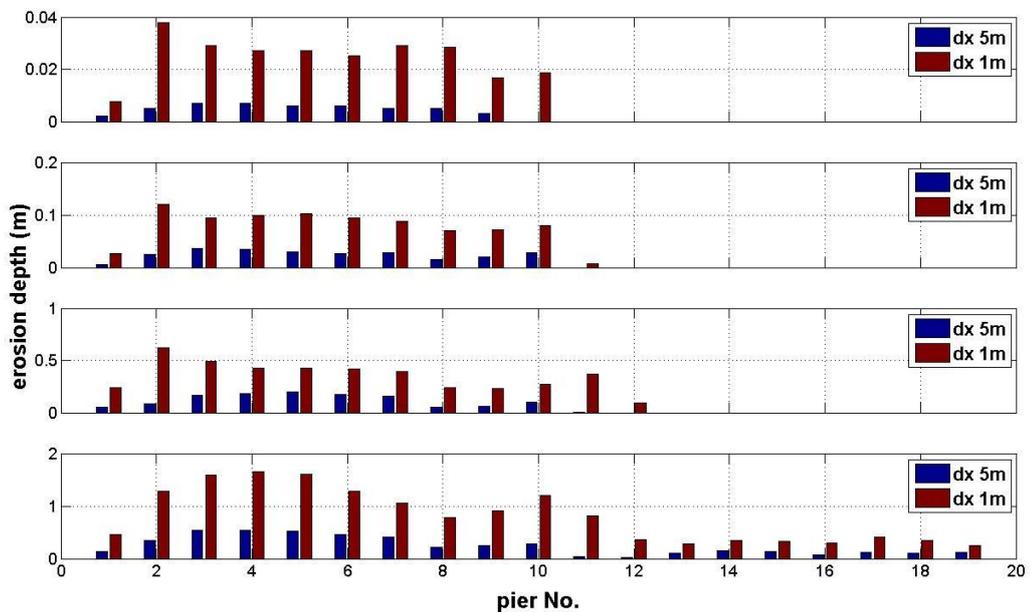


圖 6.17 19 組橋墩在地形解析度 5 公尺(藍色)與 1 公尺(紅色)的侵蝕厚度，由上至下各為入射鐘形波波高 3、4、6 以及 10 公尺的情況。

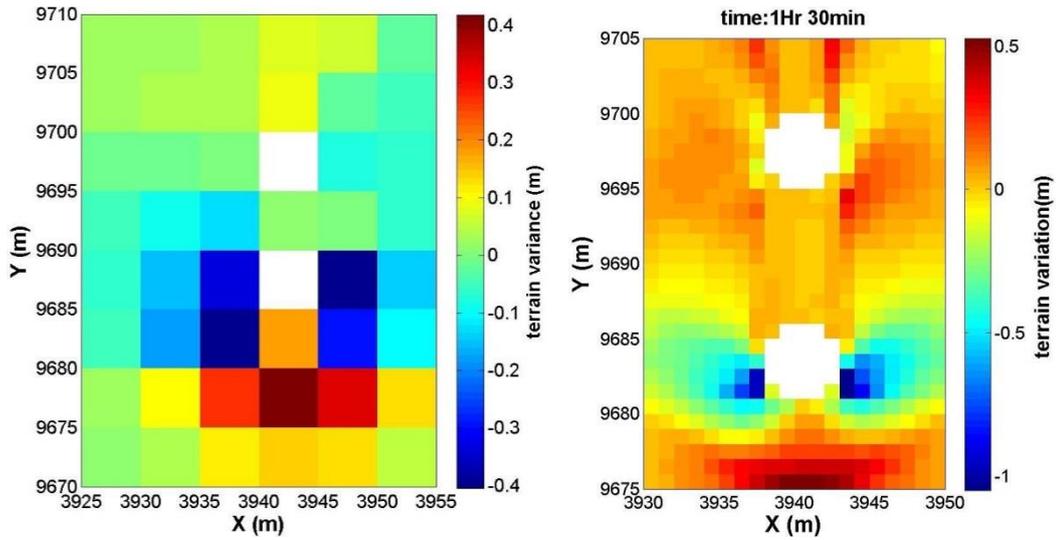


圖 5.75 入射波高 10 公尺入射之模擬於地形解析度 5 公尺(左)與 1 公尺(右)模擬的高程變化(第 7 組橋墩)。

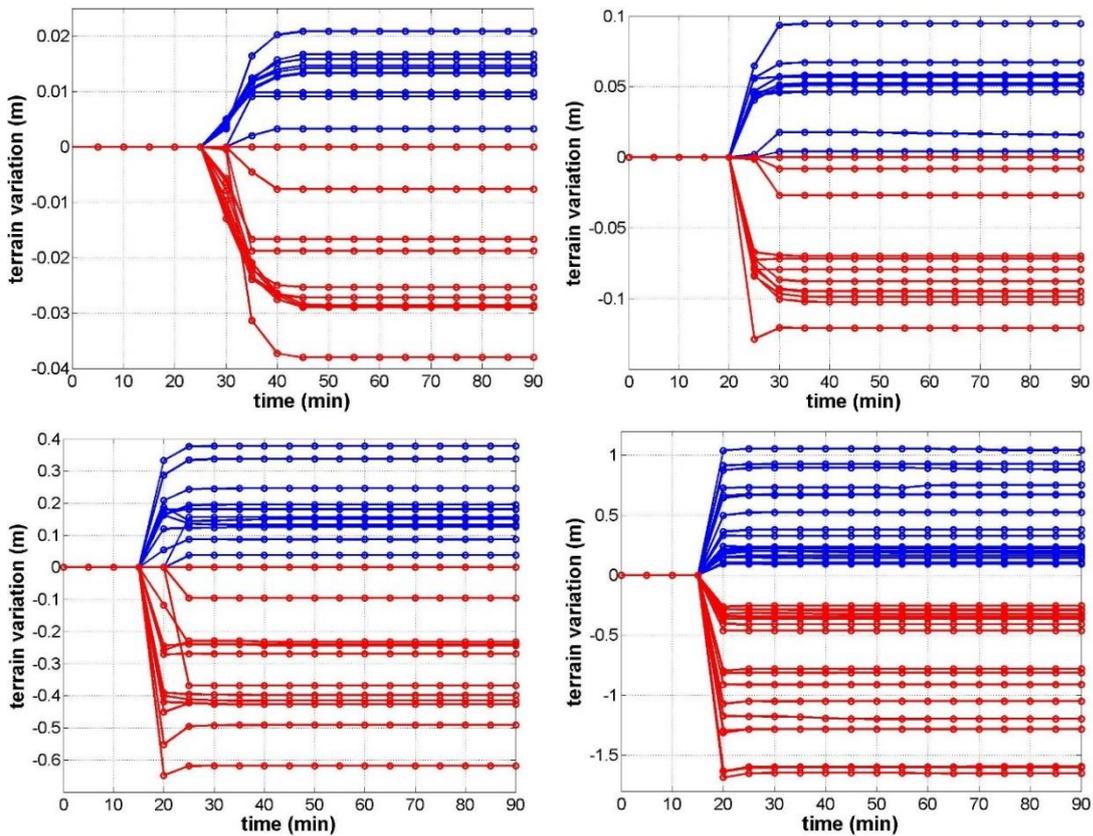


圖 5.76 19 組橋墩附近地形的最大侵蝕(紅線)與最大堆積(藍線)隨時間的變化。左上、右上、左下、右下各為 COMCOT 鐘形波波高 3、4、6 以及 10 公尺的模擬。

另使用英國倫敦帝國理工學院 (Imperial College London) 的三維模式，該模式為英國倫敦帝國理工學院 (Imperial College London) 發展的流體數值模式 Fluidity，藉由 Fluidity 模式的沉積物功能，探討河流中的橋墩受到特定的水位溢淹時，對橋墩附近的底床沉積物所造成的影響。模擬方式以前述 COMCOT 模式所模擬的第 5 組橋墩附近平均水位當成特定的入射條件，取鐘形波造成的溢淹水體到達橋墩之後的 40 分鐘水位時序列，將其代入水道的西邊界。於模擬結束後，分析橋墩附近沉積物厚度的侵蝕和堆積狀況，並與 COMCOT 的沉積物結果作比較。

模式的水平區域設定為長 30.5 公里、寬 80 公尺的東西向水道。水平方向網格使用有限元素的可變解析三角網格，其解析度變化範圍在西邊界和東邊界各為 50 公尺、5000 公尺，越往橋墩方向解析度越高，距離橋墩 4.2 米範圍內的解析度約 0.5 公尺。為了避免西邊界傳入的水位在到達東邊界後可能產生反射的干擾，橋墩與東邊界的長度距離約 30 公里。此設定在可變解析度的情況下，不至於對電腦計算量造成太大的負擔。另外在距離西邊界 500 公尺處的水道中間設置兩個圓心相距 13.2 公尺且直徑為 4.2 公尺的橋墩(圖 5.77)。

在垂直方向網格配置為 sigma 網格，網格解析隨能水深作等比例變化。為了比較不同水深所造成的影響，此處設定的垂直網格分成兩種。第一種為起始水深 3 米且垂直分層有 8 層，起始的解析度由表面向下各為 0.5、0.5、0.5、0.5、0.4、0.3、0.2、0.1 公尺。第二種為起始水深 1.5 米且垂直分層有 5 層，起始的解析度由表面向下各為 0.5、0.4、0.3、0.2、0.1 公尺。

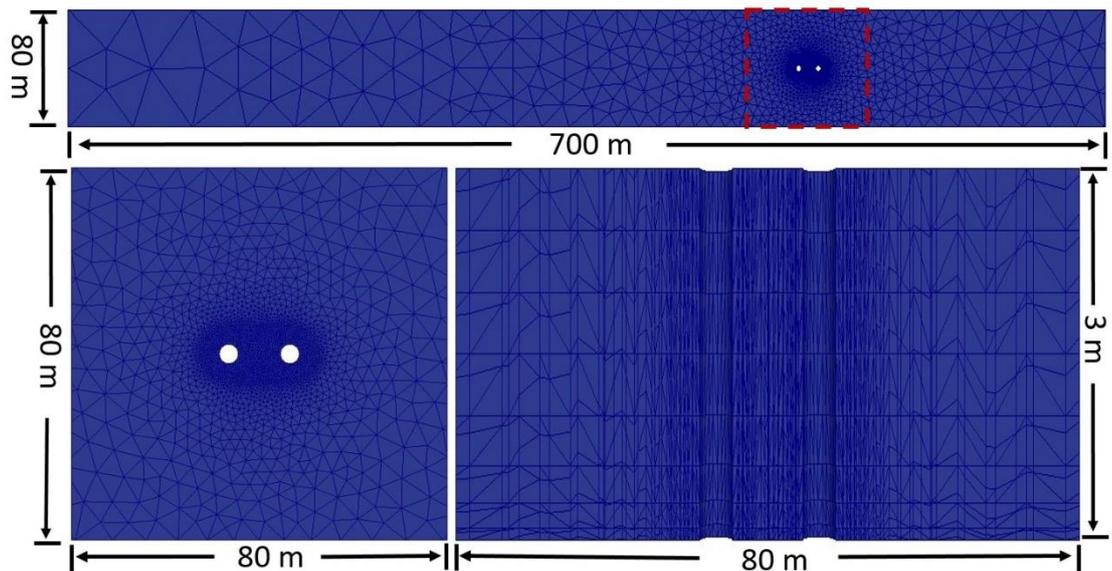


圖 5.77 模式區域及網格配置。上圖為模式區域的俯視圖(距離西端 700 公尺的部分)，左下和右下圖為上圖紅色框框的俯視圖和水道中間的垂直剖面圖(垂直 8 層網格)

本模擬的動力主要來自於西邊界的水位入射(壓力驅動)。圖 5.78 為西邊界隨時間代入的 COMCOT 模擬鐘形波波高 3m(a)、4m(a)、6m(c)、10m(d)入射時，在第 5 組橋墩附近所得的四種水位時序列，提供 Fluidity 作為水位邊界條件。在流速和懸浮沉積物的邊界設定如表 5-14。

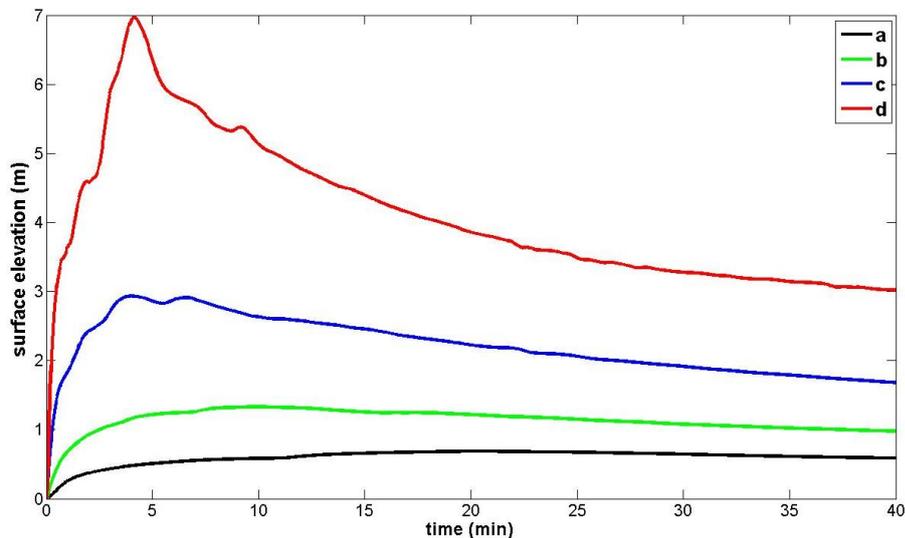


圖 5.78 COMCOT 模式中第 5 組橋墩附近的空間平均水位，a、b、c、d 各為入射鐘形波波高 3m、4m、6m、10m 的模擬結果

表 5-14 模式的流速和懸浮沉積物的邊界條件

模式 邊界	流速邊界條件	懸浮沉積物 邊界條件
西	Neumann	濃度 0
東	Neumann	濃度 0
南	自由滑動的牆	通量 0
北	自由滑動的牆	通量 0
表面	自由表面	通量 0
底部	橋墩西方 200 公尺以東設定曼寧係數 0.02	再懸浮
橋墩	不可滑動的牆	通量 0

沉積物的初始條件為在橋墩的西方 200 公尺以東的底部設定 1 公尺厚度的沉積物底床載 (bedload)，如圖 5.79。而懸浮載 (suspension load) 的初始值設定為 0。當沉積物因沉降作用通過底床表面時，模式會移除離開模擬區域內的沉積量，且將移除的量儲存在一個與區域分離的底床載。

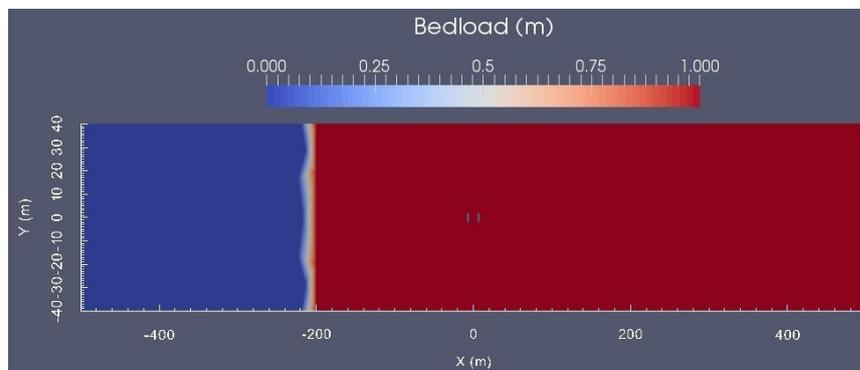


圖 5.79 Fluidity 模式的底床載初始條件

利用進行 6 個不同條件的模擬，各對應於情境 1 到 6，如表 5.15。在此以情境 3 作為流況探討的例子。圖 5.80 為情境 3 在橋墩附近的水位模擬結果，時間由 0 到 300 秒期間，西橋墩西側 (迎流面) 的自由表面水位最大值從 0 公尺上升到約 3.7 公尺，經過 40 分鐘後下降到約 2 公

尺。橋墩附近的水位差約從第 5 分鐘的 1.5 公尺下降到第 40 分鐘 0.5 公尺。

表 5.15 6 個模擬的條件差異

模擬情境	西邊界水位條件	起始水深 (m)
1	A	3
2	B	3
3	C	3
4	D	3
5	A	1.5
6	B	1.5

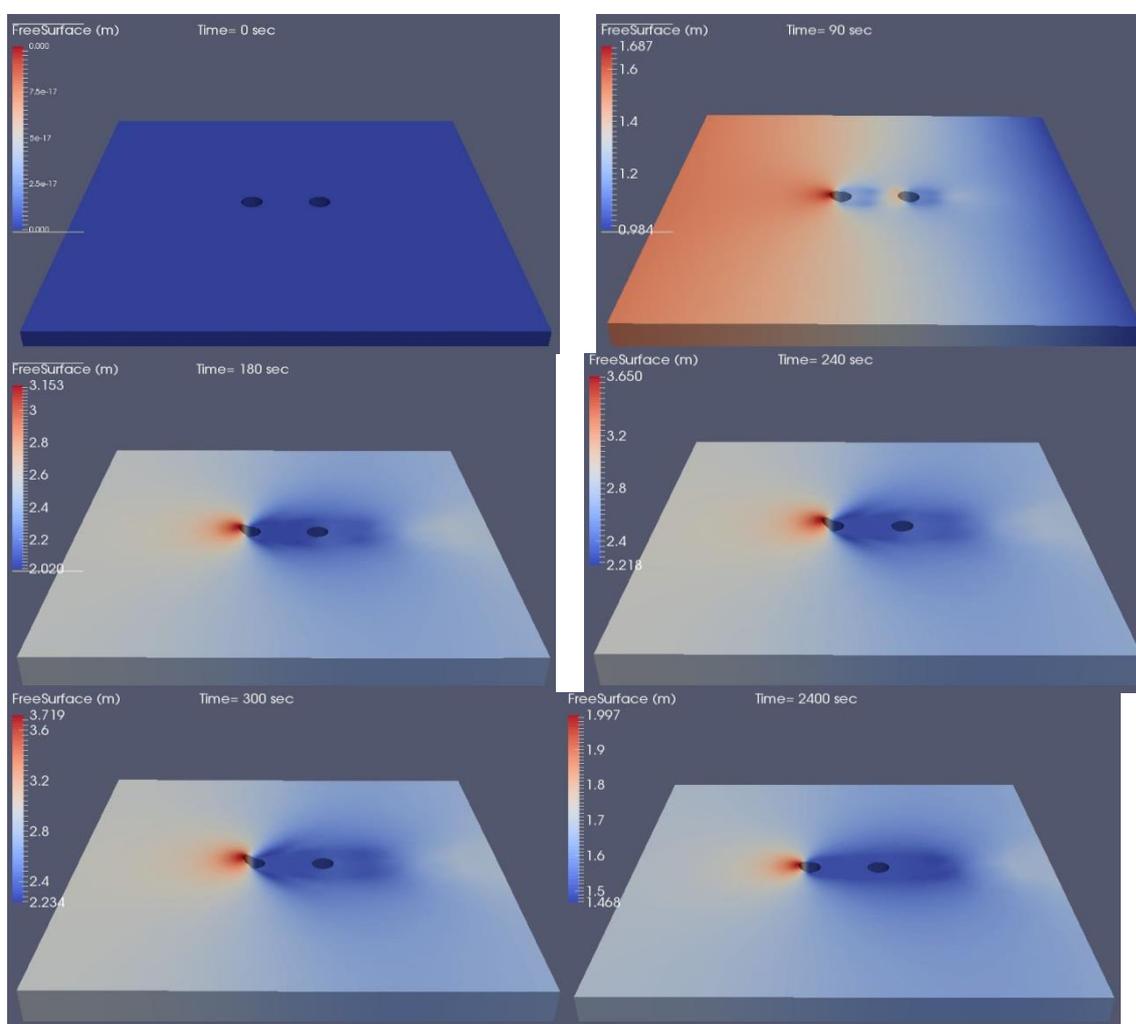


圖 5.80 情境 3 模擬的橋墩附近水位變化。(橋墩附近長 80m、寬 80m 的區域)

圖 5.81、5.82 和 5.83 各為情境 3 於第 5 分鐘在橋墩附近的流速和底床載空間分佈，圖 5.81(a)顯示橋墩的南北兩側表面和底部的 X 分量最大流速達到 5.2 m/s 和 4.4 m/s，而回流在表面則是出現在西橋墩以東的迎流面後方(最大約 2.5m/s)。圖 5.81(c)顯示西橋墩西側(迎流面)的底部回流，其最大值約 1.6m/s。從圖 6.25(b)的垂直剖面可知接進西橋墩西側的 Z 分量流速在上層流向往上，而中、下層流向往下。而圖 5.82 (d)顯示西橋墩西、南、北兩側的 Z 分量流速在離底部 20 公分的流向往下。圖 5.83(a)為底床剪應力分佈，較大的值主要分布在西橋墩西南西方以及東橋墩的東北和東南方，因為底床剪應力為底床侵蝕動力，所以底床侵蝕區和較大的底床剪應力分布類似，主要的沉積區在東橋墩的東方(圖圖 5.83(b))。

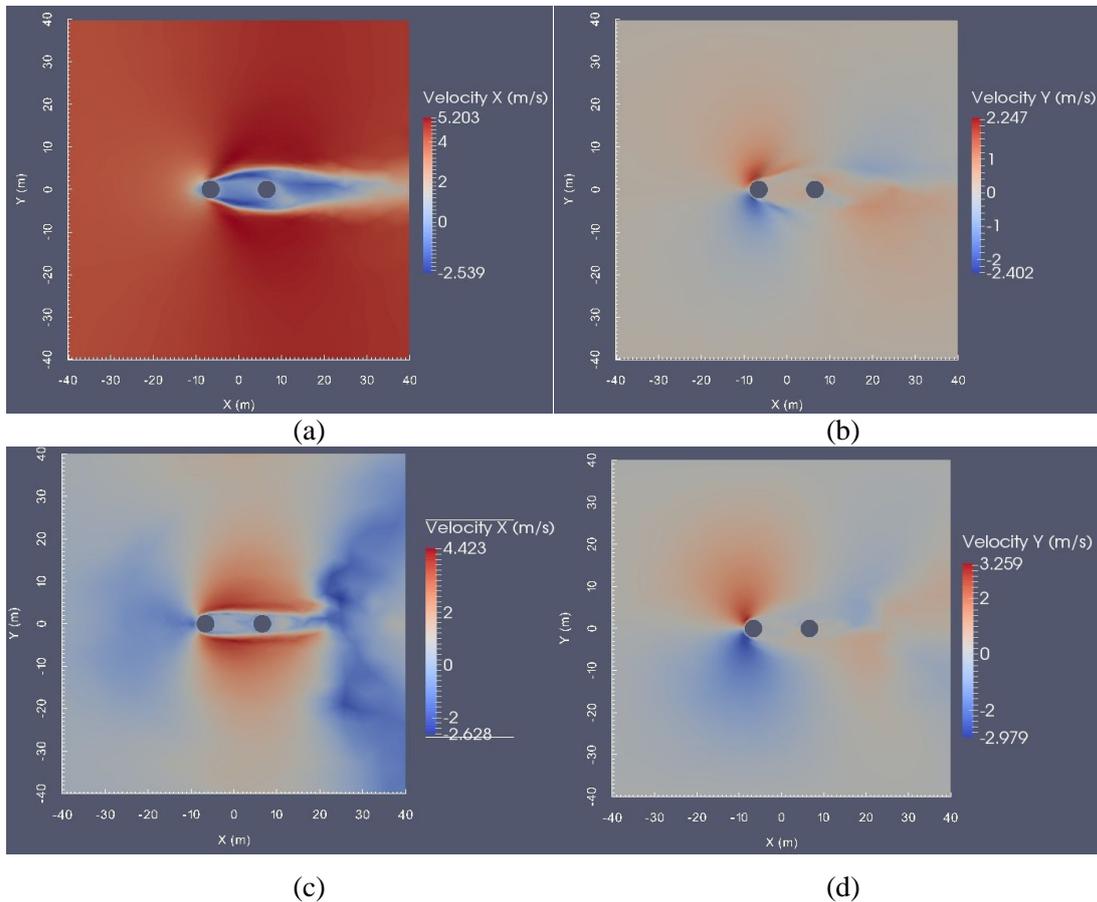
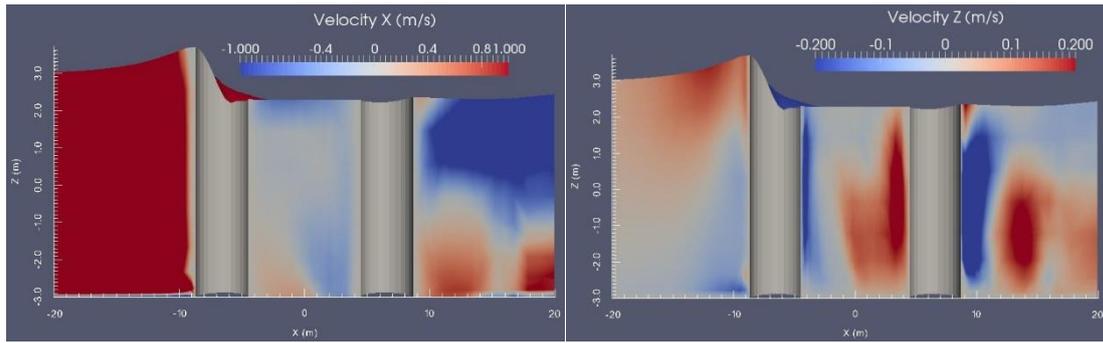
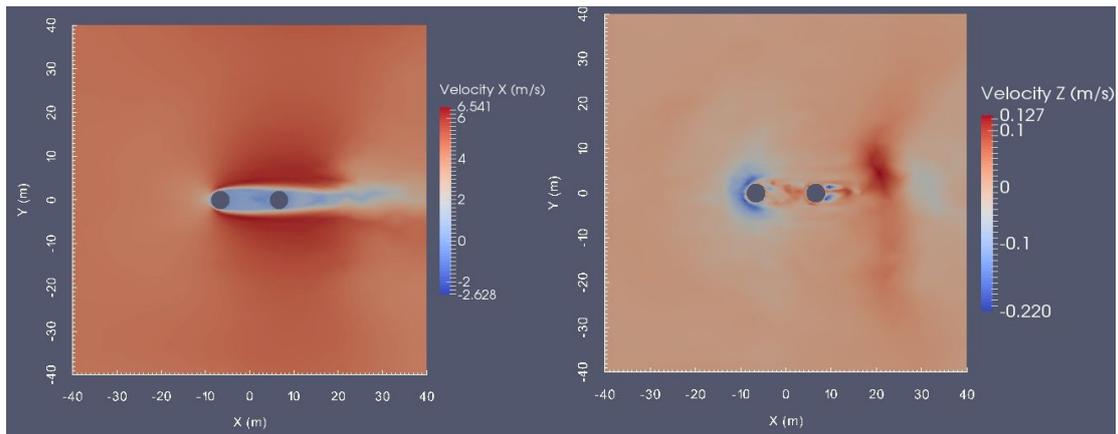


圖 5.81 (a)、(b) 為情境 3 在第 5 分鐘時，橋墩附近的水面 X、Y 分量流速，(c)、(d)為底部 X、Y 分量流速的水平剖面



(a)

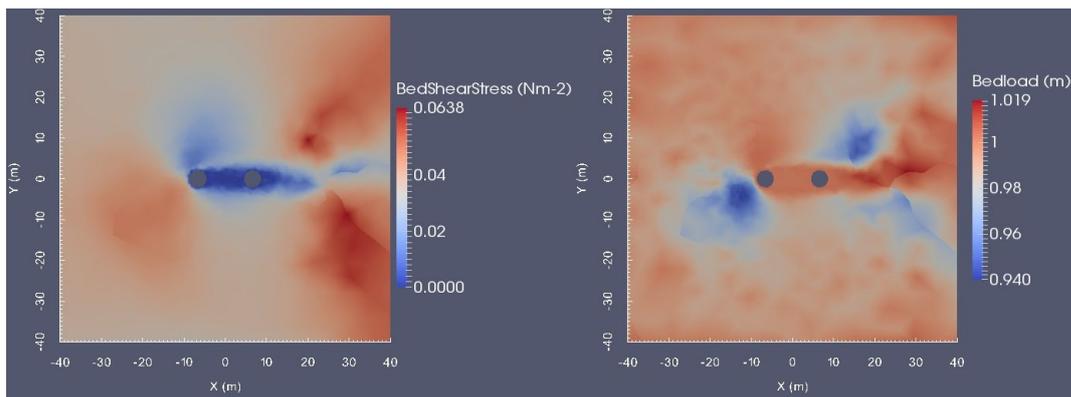
(b)



(c)

(d)

圖 5.82 (a)、(b) 為情境 3 在第 5 分鐘時，橋墩附近的表面 X、Z 分量流速沿水道中央的垂直剖面，(c)、(d) 為離底部 0.2 公尺的 X、Z 分量流速水平剖面



(a)

(b)

圖 5.83 情境 3 在第 5 分鐘的(a)底部剪應力和(b)底床載分佈。

以 6 種情境所得的最後結果在橋墩附近底床厚度如圖 5.84，6 種結果的侵蝕沉積型態類似，大致上的差異只在侵蝕和沉積的厚度有

所不同。主要的侵蝕區域分布在西橋墩的西南區，但隨邊界條件水位的增高，東橋墩的東北和東南區亦有侵蝕增強的趨勢。主要的沉積區域分布在東橋墩的東方。

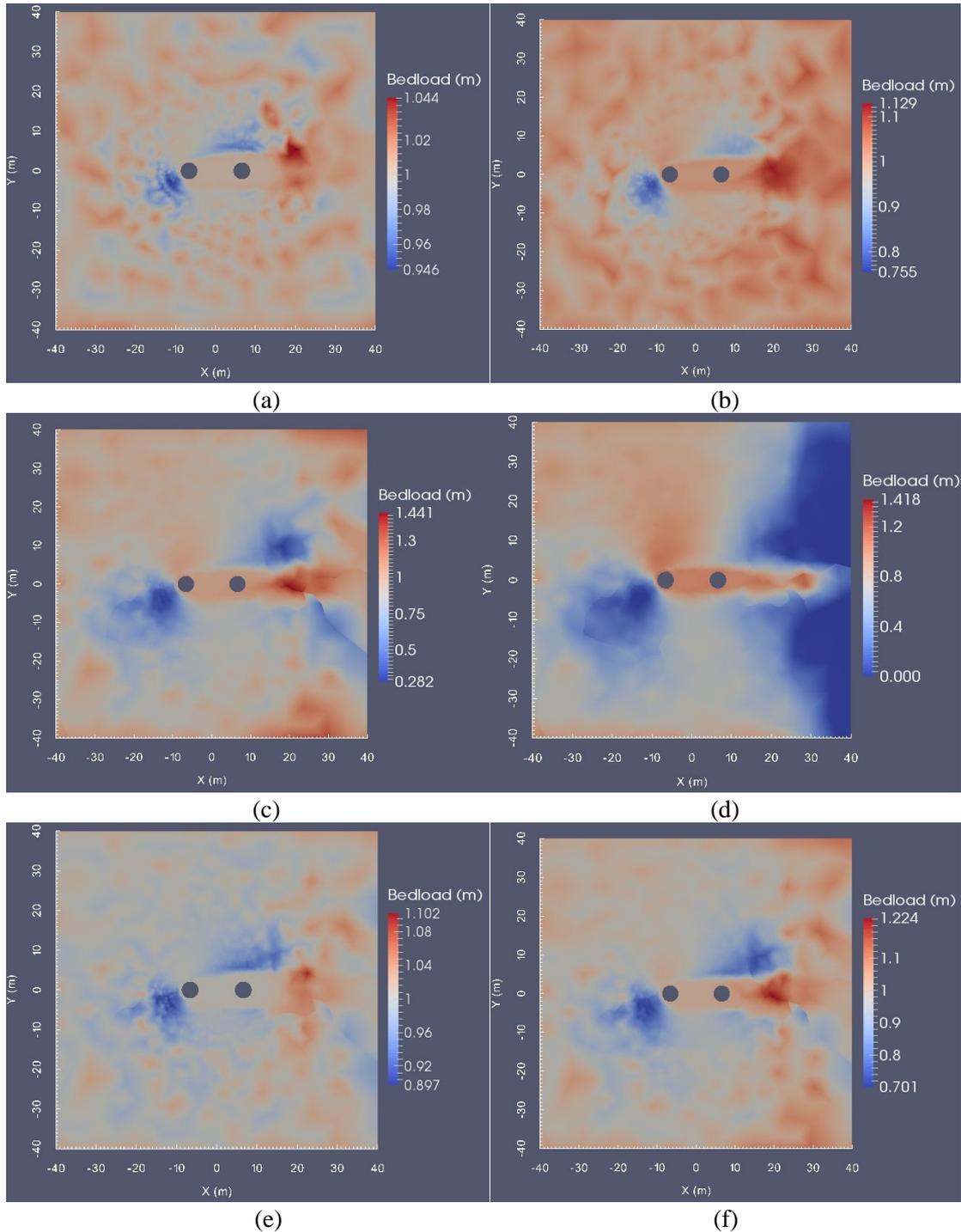


圖 5.84 模擬 40 分鐘後的底床載分佈，情境 1 到 6 各對應於(a)~(f)

表 5.16 列出西橋墩的西南區最大侵蝕值，以及東橋墩東區的最大沉積值。在情境 1 到 4 的最大侵蝕值為 0.054、0.234、0.718 和 1 公尺，最大沉積值為 0.044、0.129、0.437 和 0.163 公尺，大致上邊界傳入的水位越高所造成的侵蝕越大。在最嚴重的情境 4 之下，底床載的 1 公尺厚度於接近 40 分鐘時被完全侵蝕。最大沉積值亦隨邊界水位越高而越大，除了情境 4 之外。情境 4 在 X 座標 20 公尺以東的區域(圖 5.84(d))的底床載為 0，顯示有較大的侵蝕作用，該作用可能降低了東橋墩東區的最大沉積值，從圖 5.85 右圖顯示原本的沉積區約在第 13 分鐘以前主要為侵蝕作用，第 13 分鐘之後才轉為沉積作用。

當河道初始水位為 1.5 公尺的情境 5 和 6 所得到的最大侵蝕為 0.103 和 0.285 公尺，最大沉積為 0.091 和 0.219 公尺，其值皆大於初始水位 3 公尺的情境 1 和 2(表 5-16)，表示河道的初始水位較低時，可能會帶來更強的侵蝕和沉積作用。各從西橋墩西南區和東橋墩東區取出底床載變化最大的點位，其值的時間序列如圖 5.85 和圖 5.86。

**表 5-16 橋墩附近特定區域的最大侵蝕與沉積厚度**

	模擬情境	西橋墩西南區	東橋墩東區
		最大侵蝕厚度(m)	最大沉積厚度(m)
FLUIDITY	1	0.054	0.044
	2	0.234	0.129
	3	0.718	0.437
	4	1.000	0.163
	5	0.103	0.091
	6	0.285	0.219

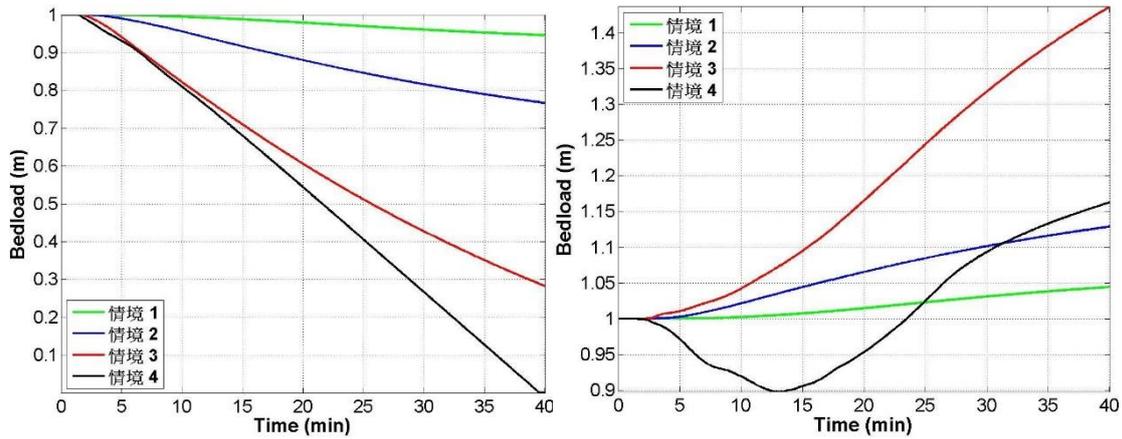


圖 5.85 情境 1、2、3、4 取西橋墩西南區(左)和東橋墩東區(右)的底床載變化最大點位的時序列。

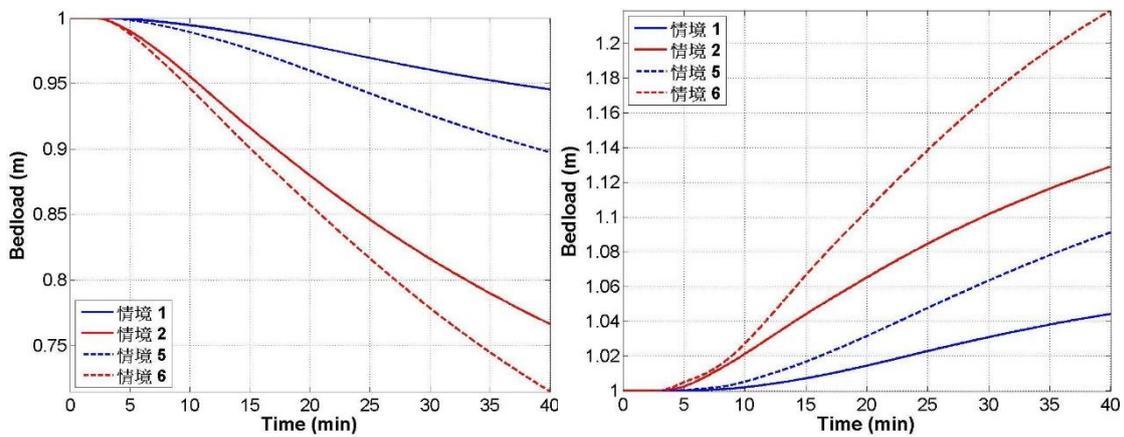


圖 5.86 情境 1、2、5、6 取西橋墩西南區(左)和東橋墩東區(右)的底床載變化最大點位的時序列

本節參考交通部頒布之「公路橋梁設計規範」(交通部，2009)之公路橋梁橋墩設計為設計準則，並以該規範的適用性，探討雙園大橋橋梁橋墩所受海嘯沿河道溯上所承受之水流壓力，根據「公路橋梁設計規範」採用之計算橋梁受水流作用力，如下式所示：

$$P_{avg} = 515K(V_{avg})^2 \quad (5.44)$$

式中  $P_{avg}$  = 平均流水壓力(Pa)

$V_{avg}$  = 平均水流速m/sec，以流量速率除於流水面積計算之。

$K$  = 水流作用力常數。平頭墩用1.4，圓頭墩用0.7，尖頭墩其角度為 $30^\circ$ 或小於 $30^\circ$ 者用0.5。本研究 $K$ 採用0.7。

最大流水壓  $P_{max}$  為上式計算得之平均流水壓力  $P_{avg}$  之兩倍。流水壓力以自水位面頂部為  $P_{max}$  變化到流線處為 0 之三角型方式分佈如圖 5.87。

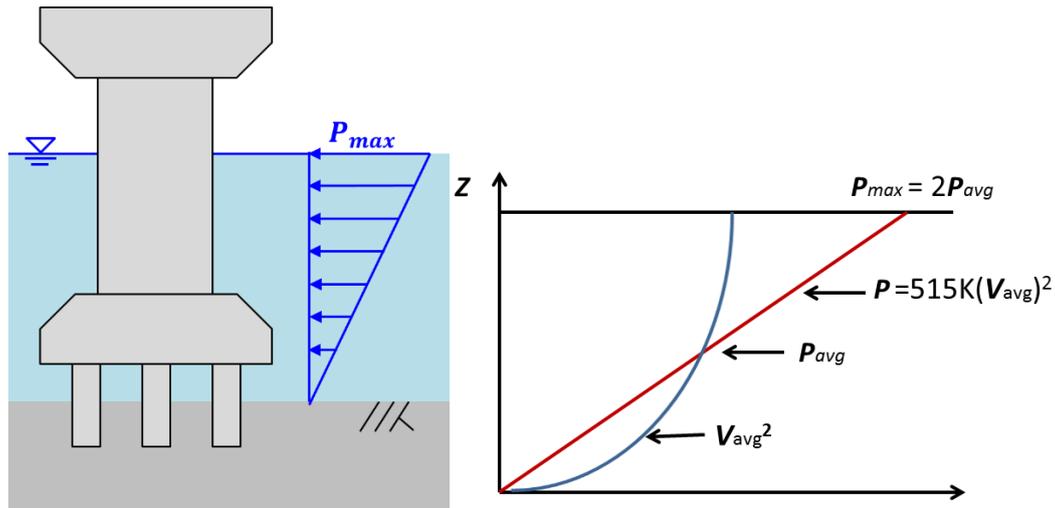


圖 5.87 墩柱受水流作用力之示意與流速與動壓力之關係

而靜壓力  $P_s = \rho gh$  式中  $\rho$  為水密度  $1000 \text{ kg/m}^3$ ， $g$  為重力加速度  $9.8 \text{ m/sec}^2$ ， $h$  為水深(m)，總壓( $P_t$ )=動壓( $P_d$ )+靜壓( $P_s$ )來表示水流於橋墩墩柱上之壓力分佈，其 COMCOT 模擬之水位、流速，便可計算靜壓力( $P_s$ )及動壓力( $P_d$ )，進而求得水流於橋墩與墩柱上之總壓力分佈，圖 5.88 說明模式之計算點位，黑色網格為橋墩，以橋墩墩柱南面的壓力計算來說，其  $Z_s$  的位置為計算靜壓力的水深，以  $V_s$  的位置為計算動態壓力的流速。

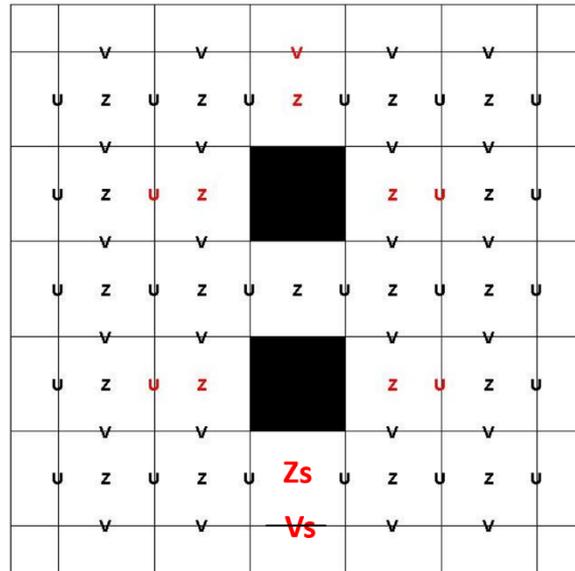


圖 5.88 計算壓力分佈之參數點位

計算結果分析，入射波高要大於三公尺，海嘯湧潮才會沿河道至雙園大橋，紀錄入射波高 3、4、6、10 公尺，其編號 1 至編號 38 橋墩墩柱各面向之最大靜壓力、最大平均動壓力及最大總壓力，圖 5.89(a)、(b)、(c)、(d)為最大總壓力紀錄，將最大總壓力列表於附錄六。

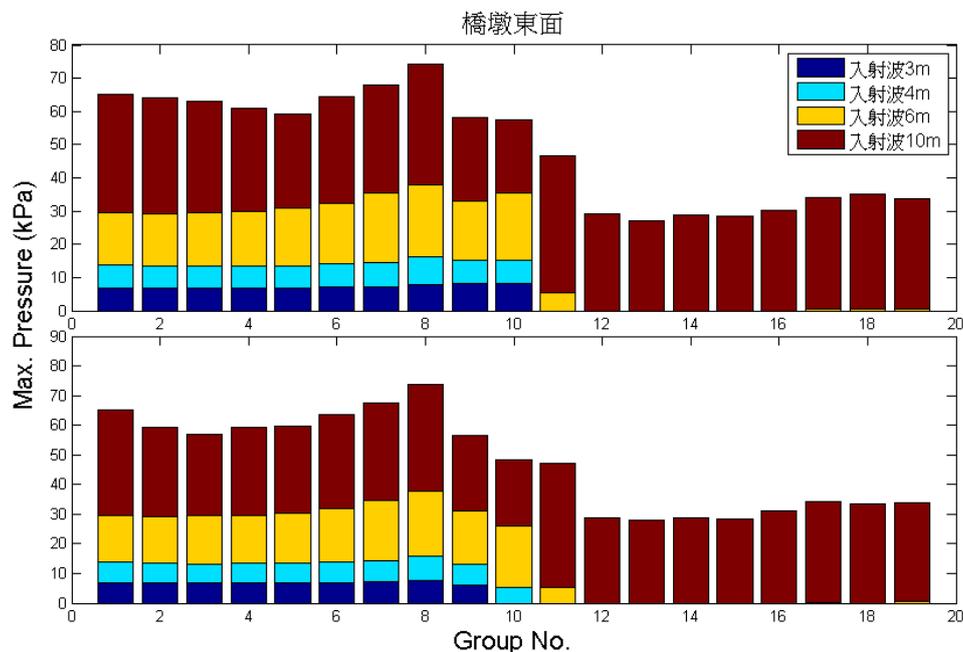


圖 5.89(a) 入射波 3、4、6、10 公尺橋墩墩柱東面之最大總壓力紀錄

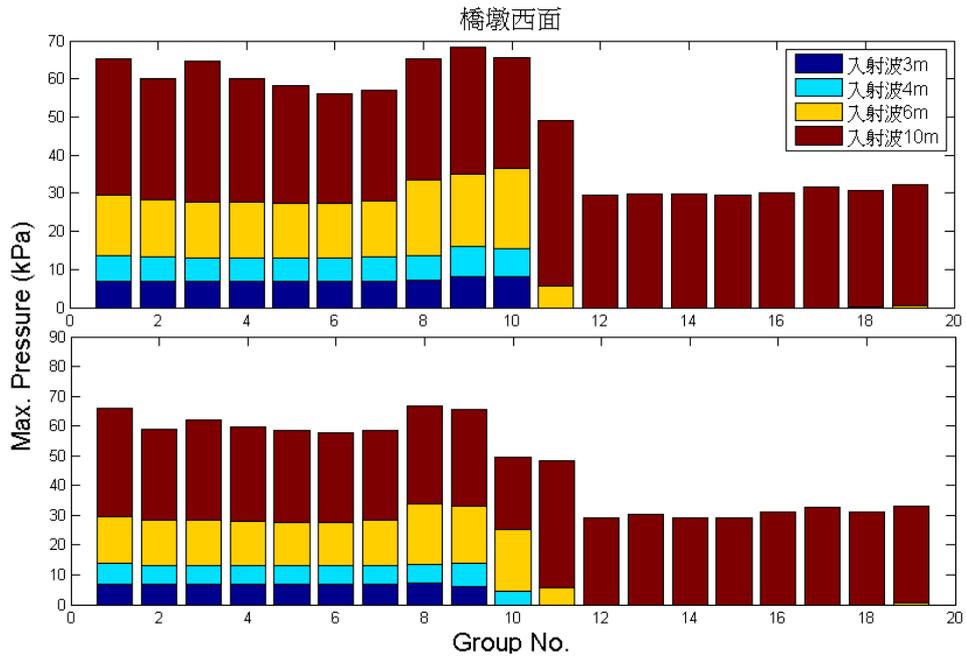


圖 5.89(b) 入射波 3、4、6、10 公尺橋墩墩柱西面之最大總壓力紀錄

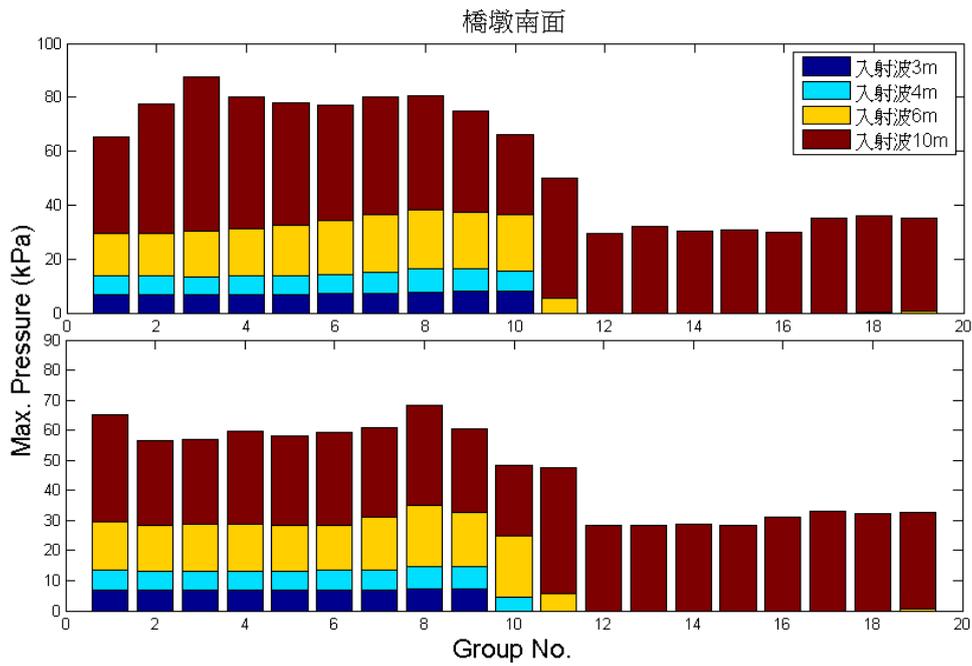


圖 5.89(c) 入射波 3、4、6、10 公尺橋墩墩柱南面之最大總壓力紀錄

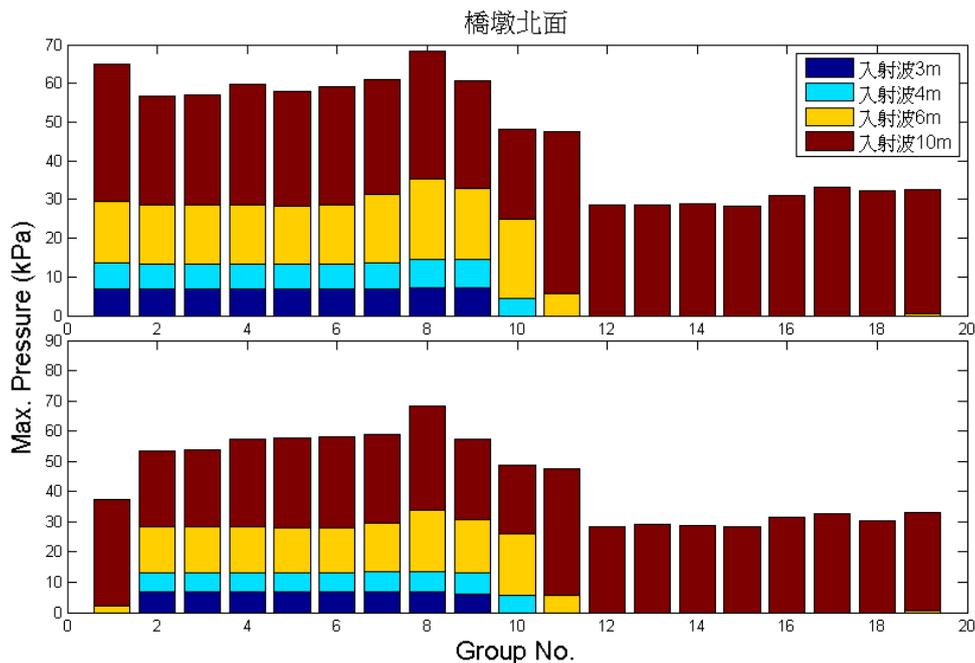


圖 5.89(d) 入射波 3、4、6、10 公尺橋墩墩柱北面之最大總壓力紀錄

另使用美國 Los Alamos 國家實驗室(Los Alamos National Lab, LANL) 所發展的計算流體程式(CFD)，TRUCHAS 三維數值模式模擬及探討海嘯湧潮對橋墩及橋梁之衝擊力，對橋梁、橋面版、橋墩之水流側向力，藉由模擬來觀察海嘯與橋梁互相作用下之壓力場及流場的變化。

模式區域以橋梁中心向下游延伸 80 公尺，向上游延伸 20 公尺，計總長 100 公尺，其模擬寬度為 120 公尺，採半域模擬來代表最大跨距 120 公尺，此可增加模擬時間長度；橋梁寬度為 26 公尺，橋墩高度 9 公尺，橋面版高度 2 公尺如 圖 5.90，在將此模型轉換為模式的座標並使用模式內之幾何建立橋梁模型，網格為正交網格，網格數 120x200x40，網格解析度為 0.5 公尺(圖 5.91)；因 Truchas 尚無時序水位邊界模組，雖 COMCOT 至橋墩附近最大水位為 3 公尺高，以東日本海嘯許多橋梁受損為參考，故以重力塌陷法模擬入射水位 6 公尺、7 公尺、8 公尺、10 公尺，而重力塌陷法相似於潰壩，利用位能差來產生湧潮，並分別模擬原始河床無水位、有水位及上下游不同流速等 8 種不同情境，來探討水位多高其橋梁才會受影響。其下游向上游入射流速係參考 COMCOT 模式最大入射條件中第 5 組橋墩附近所模擬平均

流速 6m/s 當此模式入射邊界條件，另河床在有水位情境下其上游向下游的入射流速為假定有流速及無流速，此模擬假設一 2m/s 向下游流，藉此模擬對橋梁橋墩週遭的三維流速與受力之影響。

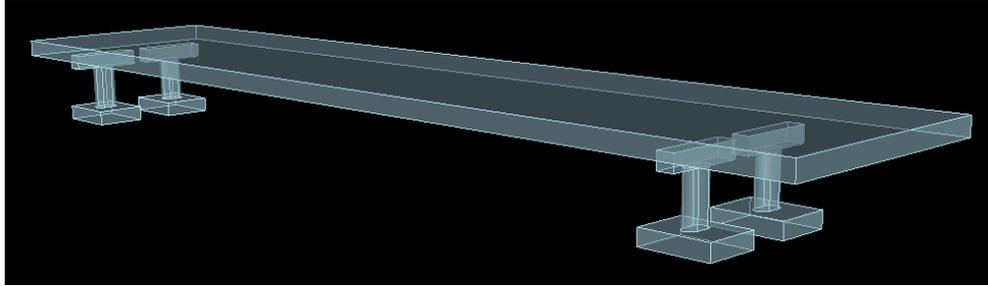


圖 5.90 橋梁模型

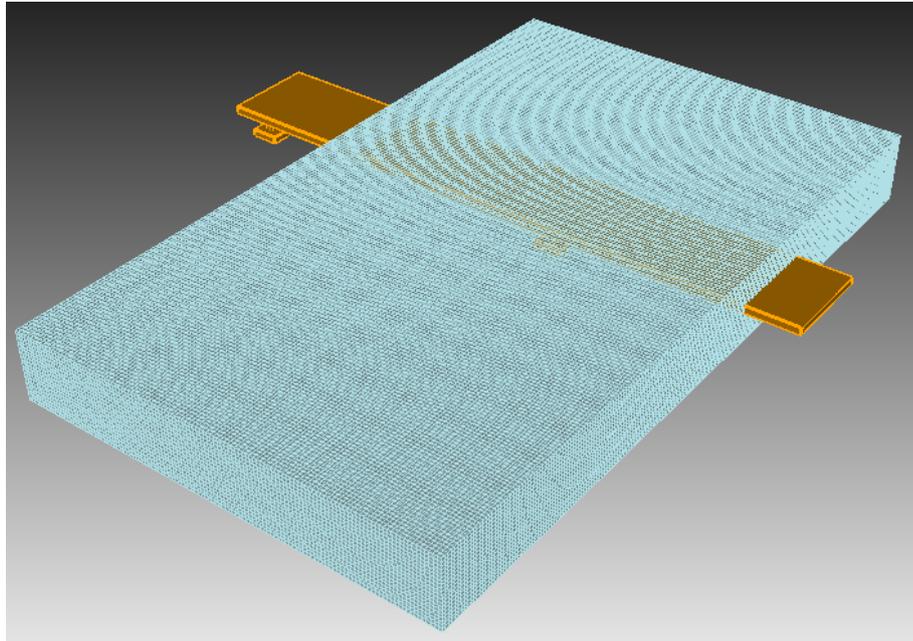


圖 5.91 0.5 公尺之網格解析度

當模擬河川無水位時其水體對橋面版無衝擊之影響，而當河川有水位 2 公尺，入射水位小於 8 公尺後水體僅至橋面版下方，對橋面版無衝擊之影響，河川水位 3 公尺，入射水位大於 6 公尺對橋面版即有衝擊之影響，如表 5-17。以表 6.8 第 6 組模擬結果分析，於橋梁前方 50 公尺設定依 8 公尺之水體，以重力塌陷法方式湧向上游，網格下游邊界持續以 6m/s 流速流入，上游邊界 0 至 3 公尺高度邊界為 2m/s 向下游流入，上游邊界 3 至 20 公尺高度為開放邊界(壓力=0)，網格兩側(YZ 面)邊界條件設定為 free-slip，網格底部為 no-slip，如圖 5.92。圖 5.93 為局部放大橋梁所受壓力分佈圖。觀察其流場與壓力場來做為討論之參考，圖 5.94 為剖面流速分布圖，色階為 Y 方向之流速速度，單位為 m/s。圖中黑色實線為水位面線，紅色為橋墩及橋梁，當水體塌陷後以湧潮方式向上游傳遞，並衝擊橋墩及橋面版，並形成碎波，流速最高達到 12m/s。圖 5.95 為 YZ 平面之壓力分布圖，單位為 Pa。圖中黑色實線為水位面線，紅色為橋墩及橋梁，當水體衝擊橋墩，時間 6.2 秒時，橋墩前方有較大的壓力。橋梁所受壓力其水體由下往上衝擊橋面版，於橋臺與橋面版接合處壓力為最大 120kpa，由模擬結果可知，水體衝擊橋梁結構時，橋梁結構所承受最大壓力之位置為橋墩及橋面版接合處，其後壓力最大值位置會逐漸轉移至橋墩底部。說明水體撞擊初期，受力以動壓為主，後期則轉變為靜壓力。將模擬結果作用於橋梁及橋墩上之作用力繪成剖面圖，圖 5.96 為橋面版側面(迎水面) 5.8 秒至 6.4 秒之作用力，因解析度為 0.5 公尺，橋面版位於模擬區域之 9 公尺至 11 公尺之高度，其作用力分佈以橋面版下緣受力較大，圖 5.97 為橋面版下側所受水體第 5.8 秒至 6.4 秒之作用力，當水體撞擊橋墩後因墩前擁水，作用力分佈集中於橋墩及橋面版接合處，隨著湧潮向前推進，第 6.2 秒作用力分佈集中於第二座橋墩及橋面版接合處，圖 5.98 為橋梁及橋墩所受側向力分佈圖，其中墩柱為圓形柱體，橋面版及橋墩為平頭形狀，垂直於入流方向，其所受作用力橋面版及橋墩較大於柱體。圖 5.99 為橋面版迎水面隨時間總作用力變化，圖 5.100 為橋面版下方總上舉力隨時間總作用力變化，圖 5.101 為橋梁及橋墩總側向力隨時間總作用力變化。表 5-18 為不同入射水位於高屏溪模擬結果。

表 5-17 不同入射水位及原始水位之模擬結果

	入射水位	入射流速	原始水位	向下游流速	結果
1	6m	8m/s	0m	0m/s	水體無衝擊至橋面版
2	8m	8m/s	0m	0m/s	水體無衝擊至橋面版
3	12m	8m/s	0m	0m/s	水體無衝擊至橋面版
4	10m	8m/s	2m	2m/s	水體衝擊至橋面版
5	8m	8m/s	2m	2m/s	水體衝擊至橋面版下
6	8m	6m/s	3m	2m/s	水體衝擊至橋面版
7	7m	6m/s	3m	2m/s	水體衝擊至橋面版
8	6m	6m/s	3m	2m/s	水體衝擊至橋面版

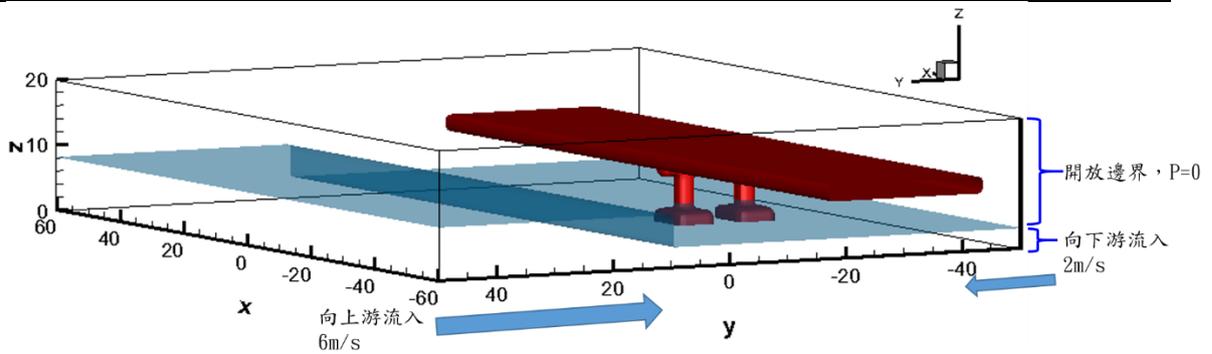


圖 5.92 模式設定之初始條件

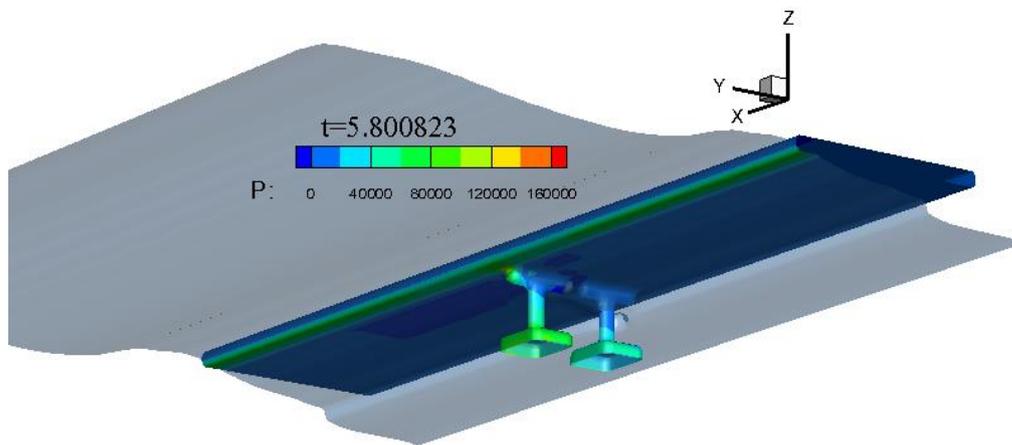


圖 5.93 橋梁受壓力之三維模擬圖(T=5.8s)

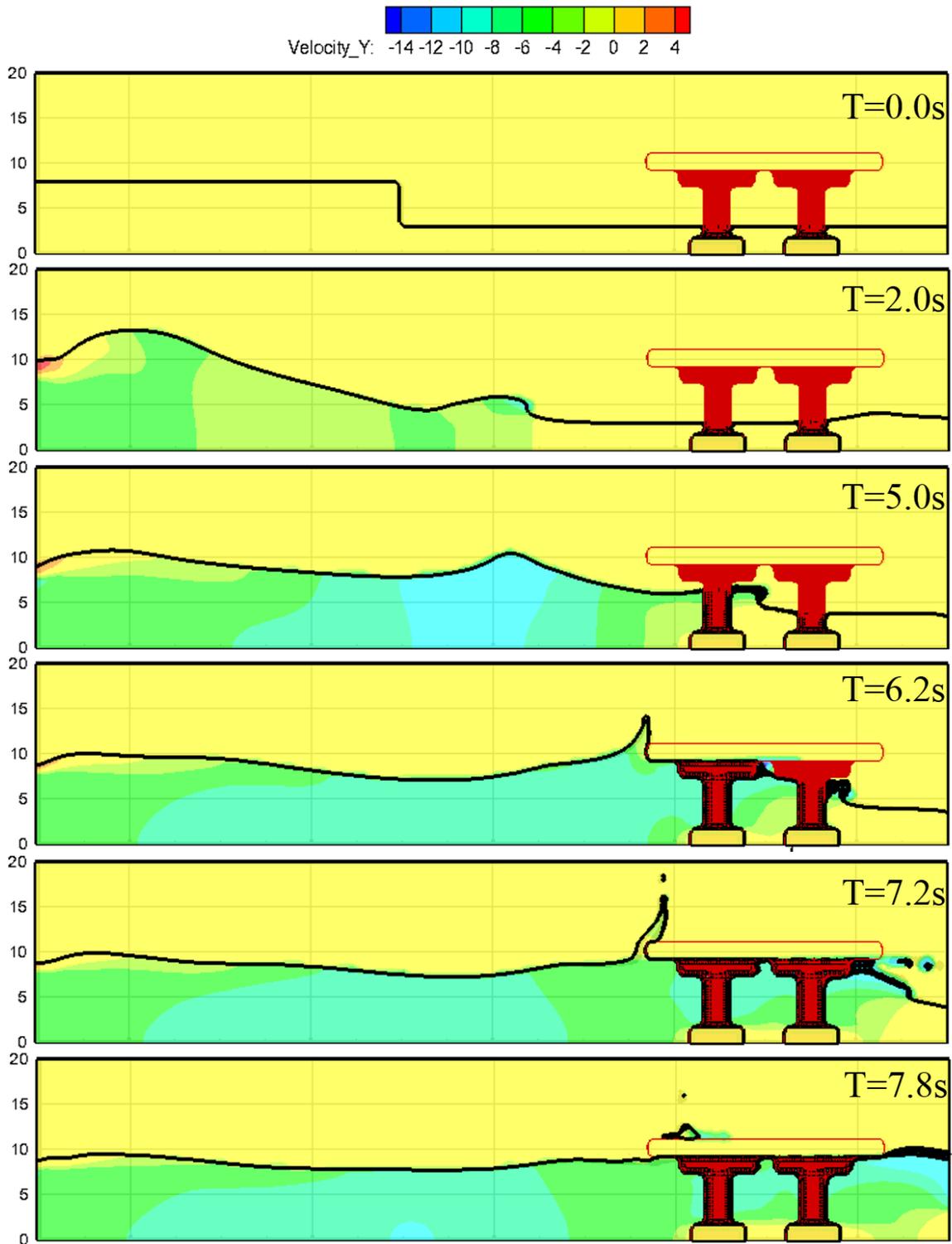


圖 5.94 模擬之剖面流速

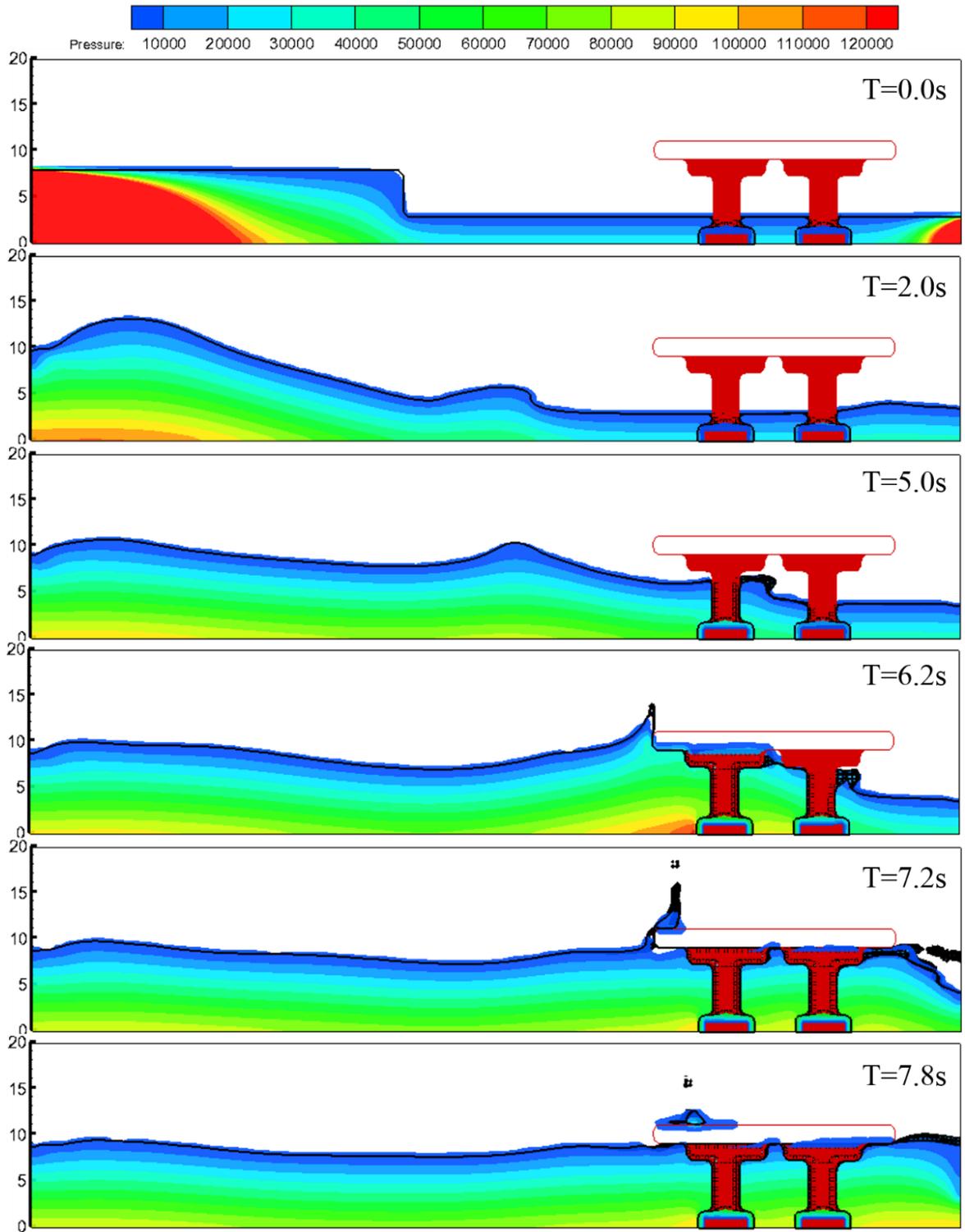


圖 5.95 模擬之剖面壓力分佈圖

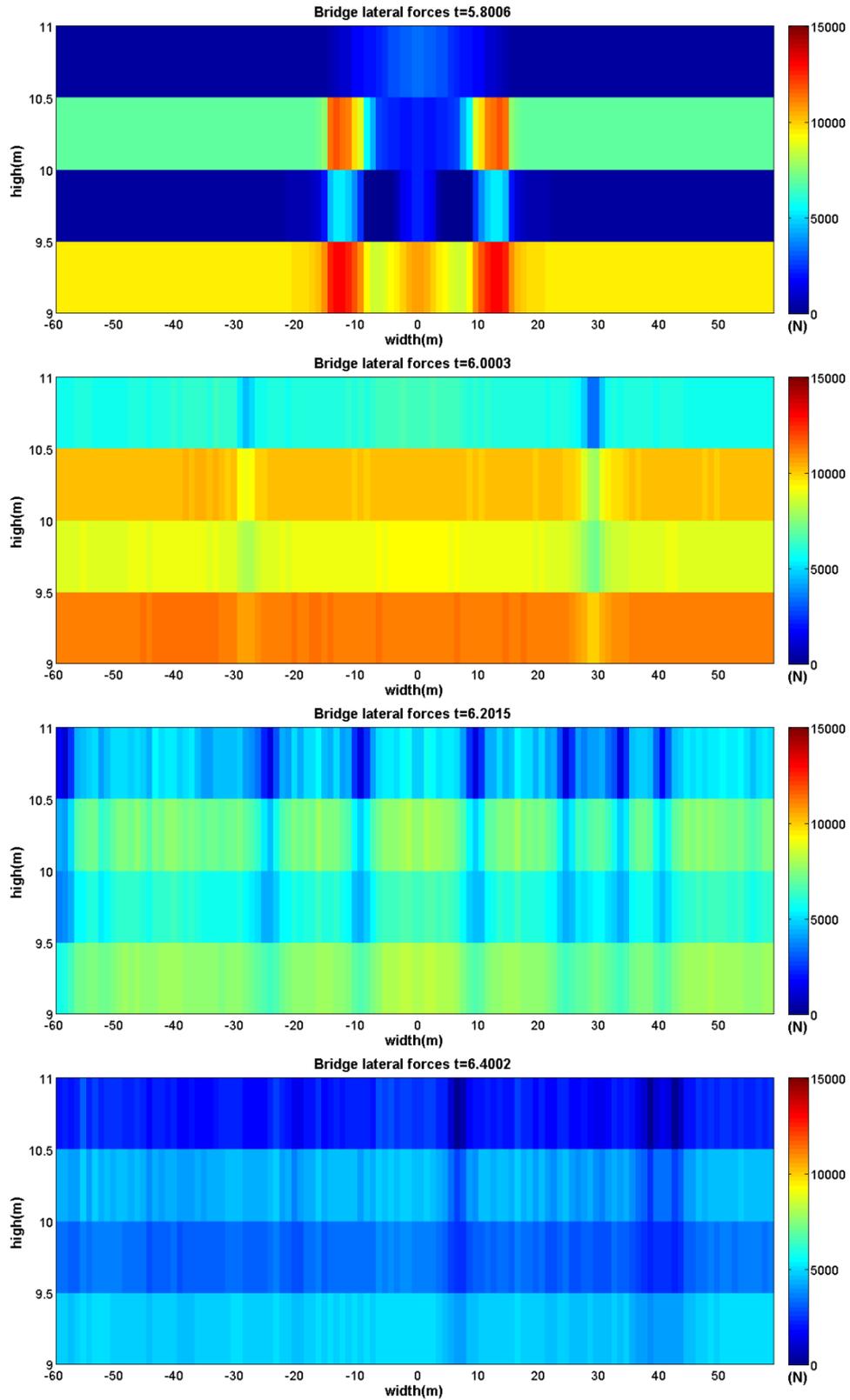


圖 5.96 橋面版迎水面壓力(T=5.8 秒至 6.4 秒)

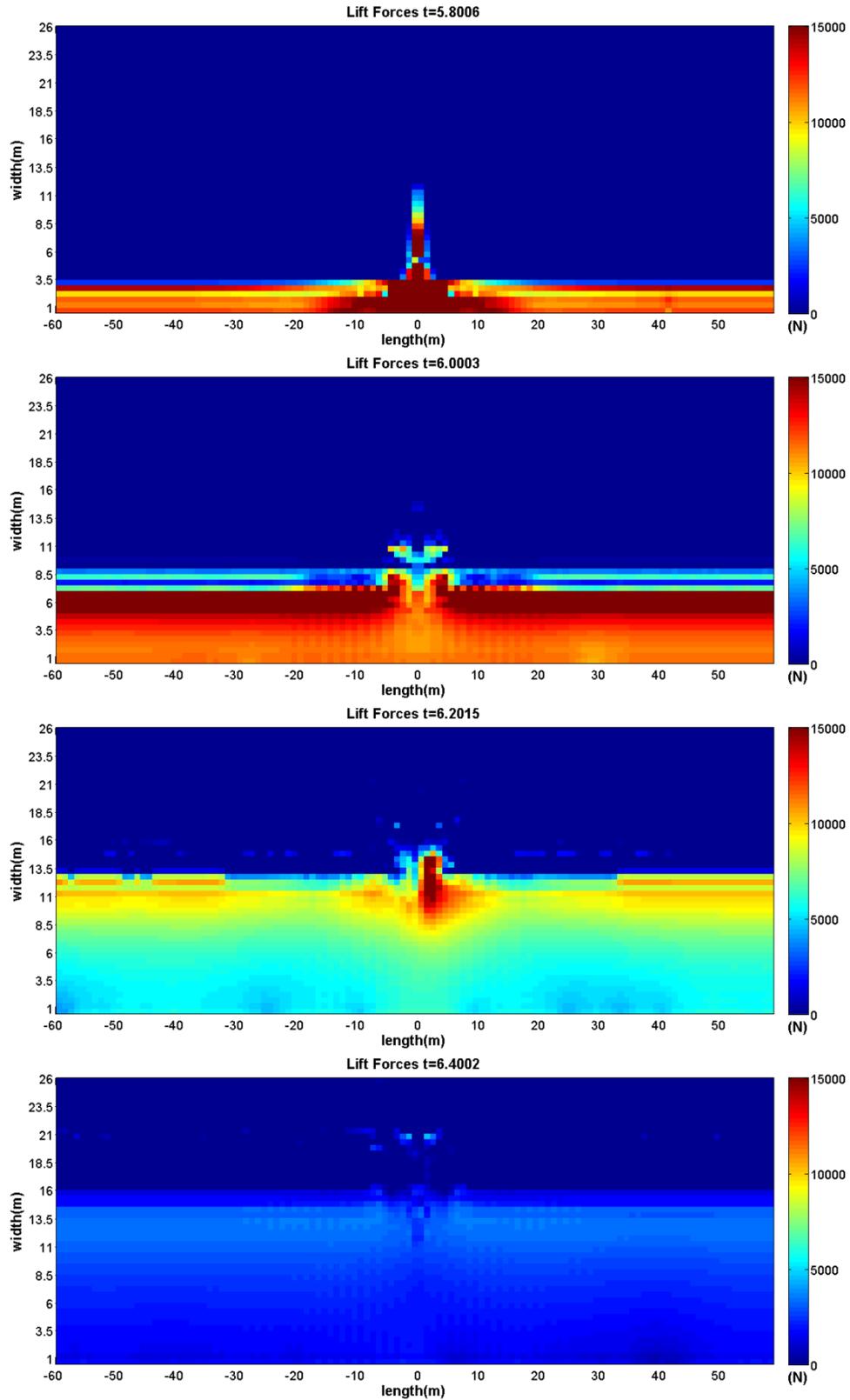


圖 5.97 橋面版下方受上舉力分佈圖(T=5.8 秒至 6.4 秒)

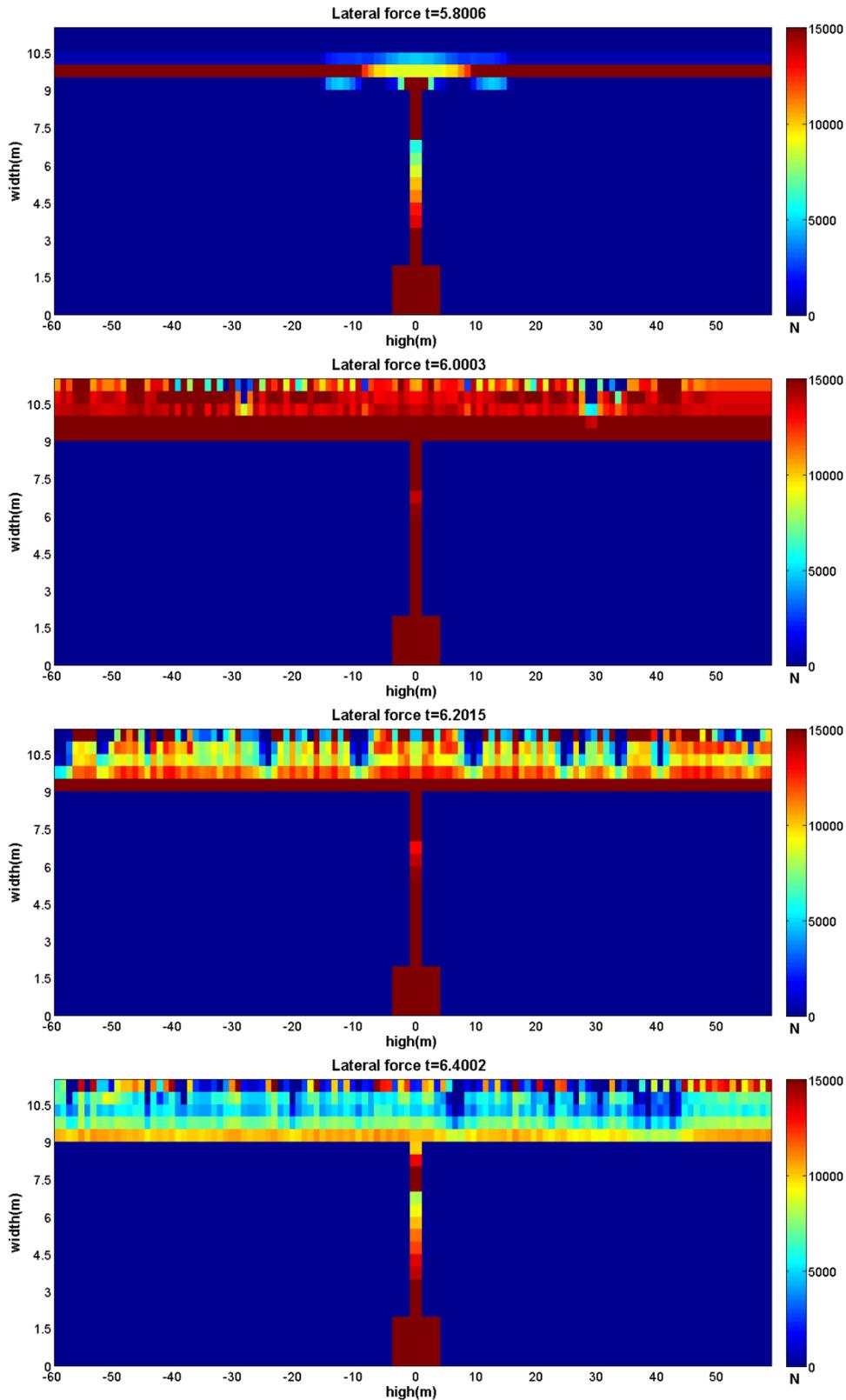


圖 5.98 橋梁及橋墩所受側向力分佈圖(T=5.8 秒至 6.4 秒)

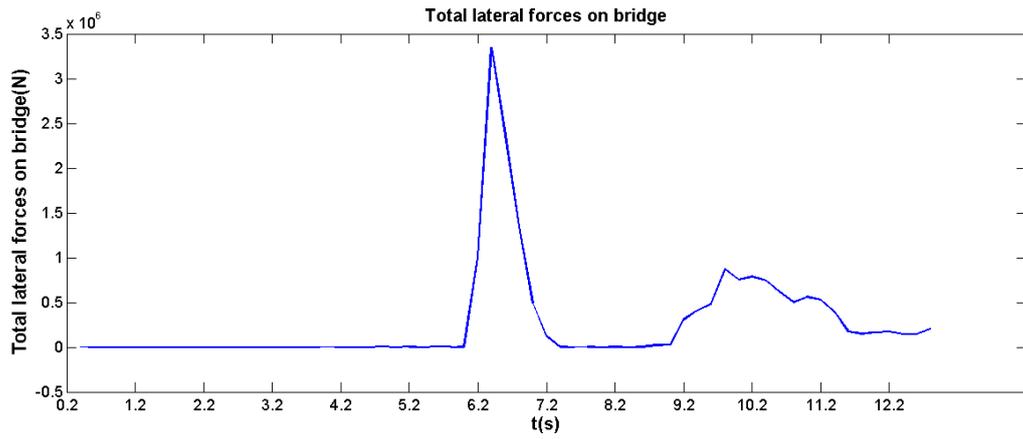


圖 5.99 橋面版迎水面總作用力

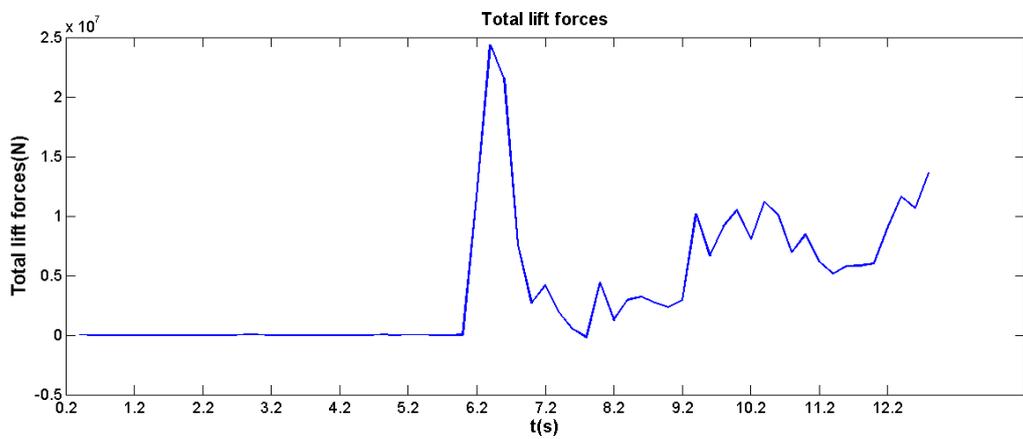


圖 5.100 橋面版下方總上舉力

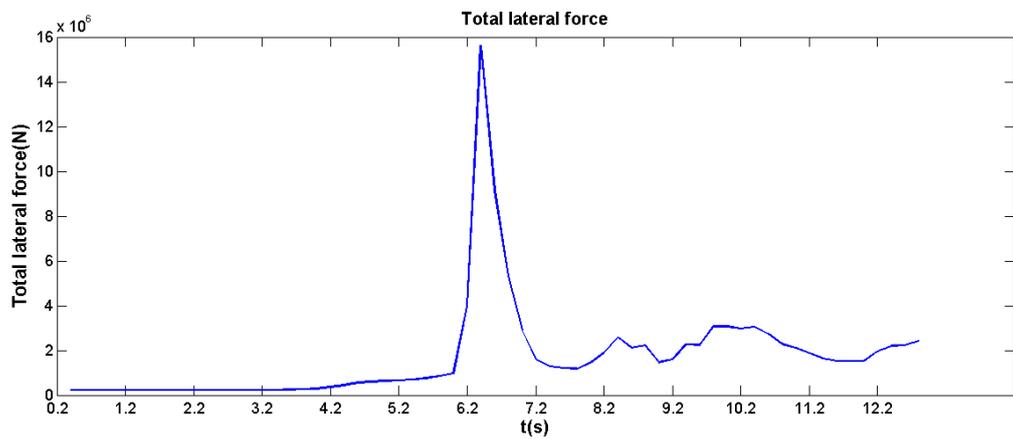


圖 5.101 橋梁及橋墩總側向力

表 5-18 不同入射水位於高屏溪模擬結果

入射水位	溯上距離	跨河橋梁最大水位	COMCOT 沖刷大小		FLUDITY 沖刷大小	
			最大堆積厚度	最大侵蝕厚度	最大堆積厚度	最大侵蝕厚度
0.5m	0.48km	0m	0m	0m	0m	0m
1m	1.38 km	0m	0m	0m	0m	0m
2m	2.12 km	0m	0m	0m	0m	0m
3m	3.07 km	0.78m	0.013m	0.025 m	0.044m	0.054 m
4m	4.19 km	1.58m	0.052 m	0.095 m	0.129 m	0.234 m
6m	6.17 km	3.85m	0.132 m	0.415 m	0.437 m	0.718 m
10m	8.44 km	11.3373m	0.674 m	1.283 m	0.163 m	1.000 m

## 5.7 小結

本研究探討海嘯模擬技術為主軸，經由前期成果、海嘯資料蒐集、海嘯速報系統之建置、海嘯數值模式精進及實例探討和海嘯災害風險評估，並加入海嘯沿河道溯上對跨河橋梁之模擬評估，整合前 3 年度 8 個主要商港分析成果，可供為臺灣港務公司及其各港務分公司之海嘯來襲應變參考。茲將本研究所獲致之結論與建議分成兩節來陳述。

- (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。已完成開發 8 個主要商港的海嘯速報系統/預報系統，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。
- (2) 整合先前 3 個年度的成果，8 個主要商港在未來 50 年及 100 年海嘯災害風險評估，臺北港域評估結果分別為 2.79%與 5.59%；基隆港域評估結果分別為 3.25%與 6.49%，臺中港評估結果分別為 0.18%與 0.33%，布袋港評估結果分別為 0.1%與 0.2%，安平港評估結果分別為 9.84%與 19.43%；高雄港評估結果分別為 0.55%與 1.09%，蘇澳港評估結果分別為 0.24%與 0.47%；花蓮港評估結果分別為 0.67%與 1.29%。

- (3) 以 COMCOT 分別模擬 0.5 公尺、1 公尺、2 公尺、3 公尺、4 公尺、6 公尺、10 公尺之入射波高，於高屏溪所溯上距離分別為 0.48 公里、1.38 公里、2.12 公里、3.07 公里、4.19 公里、6.17 公里、8.44 公里，其入射波大於 2.5 公尺，海嘯波會沿河道溯上至雙園大橋對其影響，入射波大於三公尺於雙園大橋之最大水位分別為 0.78 公尺、1.58 公尺、3.85 公尺、11.3373 公尺。以 10 公尺入射波高且河川有水的情境下橋墩墩柱所承受最大總壓力為 87.585kpa，三維模式作用於橋臺與橋面版接合處最大動壓力為 120kpa。
- (4) 使用 COMCOT 以 4 種情境的沉積物模擬中共同的趨勢是最大侵蝕和最大堆積隨入射波波高增加而增加，且每種情境的各橋墩附近的最大侵蝕皆大於最大堆積。因為地形高程較高的關係，第 11 組到第 19 組橋墩在較大波高的入射情境下，才會出現侵蝕和堆積。在 3 公尺入射的情境下，對第 1 到 10 組橋墩造成不到 5 公分的地形變化。在 4 公尺入射的情境中，第 1 到 11 組橋墩中最多只有 12 公分的地形變化。在 6 公尺入射的情境中，對第 1 到 12 組橋墩造成地形影響，其中以第 2 組橋墩的 62 公分侵蝕最多。而 10 公尺入射的情境則對全部橋墩皆有影響，其中 7 組橋墩(第 2、3、4、5、7 和 10 組)出現超過 1 公尺的侵蝕。藉由英國倫敦帝國理工學院(Imperial College London) 的三維模式 Fluidity 模式的沉積物功能，進行 6 個不同條件的模擬，探討河流中的橋墩受到特定的水位溢淹時，對橋墩附近的底床沉積物所造成的影響，在情境 1 到 4 的最大侵蝕值為 0.054、0.234、0.718 和 1 公尺，最大沉積值為 0.044、0.129、0.437 和 0.163 公尺，大致上邊界傳入的水位越高所造成的侵蝕越大。使用美國 Los Alamos 國家實驗室(Los Alamos National Lab, LANL) 所發展的計算流體程式 TRUCHAS 模擬海嘯湧潮對橋墩及橋梁之衝擊力，分別模擬原始河床無水位、有水位及上下游不同流速等 8 種不同情境，其結果為當原始河川有水位及水流時，其湧潮會因擁水而使橋面版受水體作用力影響，因 COMCOT 模擬結果至橋墩附近最大水位為 3 公尺高，對於雙園大橋影響以地形影響較大。

## 第六章 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，另以花蓮港域及蘇澳港域為研究對象，並整合本期研究成果，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。

本年度主要成果為：完成配合中央氣象局 WRF 風場更新，完成主要商港(臺北港、基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、臺中港)小尺度波浪及水動力模組建置。完成細尺度港區波浪主要商港展示建置。完成主要商港海嘯模擬系統更新建置工作。本研究提出的海象模擬及海嘯模擬作業成果，已於本所港灣環境資訊網對外展示應用，可供交通部航港局、臺灣港務股份有限公司以及經濟部水利署等主管港灣及海岸保護等單位，作為參考依據。

### 6.1 結論

1. 有關海氣象長期觀測與預報系統之整合，除風場及氣壓場預報模式，由氣象局提供即時預報資訊，包括相關觀測資料蒐集分析、各種模組(波浪模組、水動力模組及海嘯模組)整合計算結果比對等皆是重點工作。有關預報模式作業化成果評估，各種海氣象模式精確度、計算速度改進及成果評估，皆以自動作業化方式進行全年逐日預報結果，並取用本所主要商港現場觀測資料進行校驗及評估等工作。
2. 風場部分：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 及 WRF 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。改善現

有系統預報密度及時效性，並將作為後續風浪及水動力模式作業化使用。

3. 在主要商港波浪模擬方面：本四年期計畫已分年完成大、中尺度風浪模組改善研究，以及各主要商港小尺度及細尺度波浪模組更新等相關研究；同時，利用各港細尺度波浪模組完成主要商港港池共振特性分析。
4. 主要商港水位及流場模擬方面：本四年期計畫已分年完成各主要商港小尺度水動力模組改善相關研究，本年度計畫主要針對對花蓮港與蘇澳港區進行研究，其中蘇澳港區水位及潮流驗證結果較具改善成效。
5. 在海嘯作業模組上，精進花蓮港與蘇澳港區海嘯數值模式之互逆格林函數資料庫並建立子系統，達到減少系統檔案大小並增進系統運算速度。
6. 有關海嘯溢淹部分，整合先前 3 個年度的成果，8 個主要商港在未來 50 年及 100 年海嘯災害風險評估，臺北港域評估結果分別為 2.79% 與 5.59%；基隆港域評估結果分別為 3.25% 與 6.49%，臺中港評估結果分別為 0.18% 與 0.33%，布袋港評估結果分別為 0.1% 與 0.2%，安平港評估結果分別為 9.84% 與 19.43%；高雄港評估結果分別為 0.55% 與 1.09%，蘇澳港評估結果分別為 0.24% 與 0.47%；花蓮港評估結果分別為 0.67% 與 1.29%。
7. 以 COMCOT 分別模擬 0.5 公尺、1 公尺、2 公尺、3 公尺、4 公尺、6 公尺、10 公尺之入射波高，於高屏溪所溯上距離分別為 0.48 公里、1.38 公里、2.12 公里、3.07 公里、4.19 公里、6.17 公里、8.44 公里，其入射波大於 2.5 公尺，海嘯波會沿河道溯上至雙園大橋對其影響，入射波大於三公尺於雙園大橋之最大水位分別為 0.78 公尺、1.58 公尺、3.85 公尺、11.3373 公尺。以 10 公尺入射波高且河川有水的情境下

橋墩墩柱所承受最大總壓力為 87.585kpa，三維模式作用於橋臺與橋面版接合處最大動壓力為 120kpa。

8. 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、澎湖港、金門港、馬祖港)、今年度完成臺灣周圍海域及藍色公路，有關風場、波浪、水位及流場等海象資訊，以供交通部航港局、臺灣港務公司港口及各相關單位參考使用。

## 6.2 建議

1. 在預報次數增加、數值模擬精度、數值網格細緻及離島數值模擬加入等，持續越多的需求下，發展作業仍須有更多計算資源才能提昇整體海象預報時效。
2. 本年度本島各波浪及水動力建置研究雖然已能夠提供較精確的模擬值，但對於離島的細部模擬及展示，仍部份存在技術問題需持續研究改善與驗證。

## 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. 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。
3. 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。
4. 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。
5. 邱永芳、蘇青和、李俊穎、李兆芳等， 2013， "整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究(2/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，MOTC-IOT- 102 H3DB005。
6. 邱永芳、蘇青和、李俊穎、李兆芳等， 2014， "整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究(3/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，MOTC-IOT- 102 H3DB005。
7. 邱永芳、蘇青和、李俊穎， 2014， "港灣海氣象數值模擬作業化之研究(1/2)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，MOTC-IOT- 102 H3DA001c。
8. 吳蕙如、張庭槐、林宗翰、李淑玲，2014，「中央氣象局數值天氣預報作業控制系統現況介紹」，103 天氣分析與預報研討會論文集，A2-50。
9. 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。
10. 陳冠宇、陳陽益、邱永芳、蘇青和等，2013， "提升海岸及港灣海嘯模擬技術與淹水潛勢分析(2/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，MOTC-IOT- 101- H3DB005c。
11. 陳冠宇、陳陽益、邱永芳、蘇青和等，2014，"海嘯對港區及跨河橋梁之影響風險評估研究(1/2)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，MOTC-IOT- 102- H3DB001b。
12. 陳冠宇、陳陽益、邱永芳、蘇青和等，2015，"海嘯對港區及跨河橋梁之影響風險評估研究(2/2)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，MOTC-IOT- 103- H3DB001b。

13. 劉正琪、李兆芳、邱永芳、蘇青和等，2013，"提昇海岸及港灣海域海象模擬技術之研究(1/2)" 交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告。
14. 劉正琪、李兆芳、邱永芳等，2014，"提昇海岸及港灣海域海象模擬技術之研究(1/2)" 交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告。MOTC-IOT-102-H3DB001a。
15. 劉正琪、李兆芳、邱永芳等，2015，"臺灣主要商港海象模擬技術之精進及系統維運" 交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告。MOTC-IOT-103-H3DC001。
16. 劉正琪、李兆芳、邱永芳、李俊穎，2014，「安平港雙開口對於港池波浪場之影響」，海洋工程學刊 第十四卷 第三期 (2014)，第 161-176 頁。
17. 簡仲璟、劉清松、林廷燦、劉益琦、林珂如等，2014，"港灣環境資訊服務系統功能提升規劃與建置(1/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，MOTC-IOT-102-H3DB003a。
18. 簡仲璟、劉清松、林廷燦、劉益琦、林珂如等，2015，"港灣環境資訊服務系統功能提升規劃與建置(2/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，MOTC-IOT-103-H3DB003a。
19. 曾相茂、何良勝、曾俊傑，2014，「臺灣國際港口海氣象觀測技術及資料分析」，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，MOTC-IOT-102-H2DA001a。
20. 廖慶堂、徐如娟、林受勳、陳志弘、黃茂信、衛紀淮、何良勝，2014，「102 年臺灣國內商港海域海氣象觀測分析研究」，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，MOTC-IOT-102-H2DA001b。
21. 葉天降 馮欽賜 柳再明 陳得松 黃康寧 陳雯美 汪鳳如 洪景山，2012，中央氣象局數值天氣預報作業系統(二)預報模式概況。氣象學報，第 48 卷第 4 期 69-95。
22. 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。
23. 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。
24. 許明光、李起彤(1996)，「台灣及其臨近地區之海嘯」，台灣海洋學刊，第 35 期，第 1 號，pp.1-16。
25. 張國棟、許明光、Philip. L. F. Liu、S. B. Woo (1999)，「東台灣海嘯溢淹模擬」，第 21 屆海洋工程研討會論文集。
26. 邱永芳、王慶福、富田孝史(2005)，「海嘯發生與傳播特性之研究」，港灣報導，72 期，pp.13-22。
27. 全球地震矩網頁 Global CMT <http://www.globalcmt.org/>.

28. 日本防災科學技術研究所 National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention(NIED) <http://www.bosai.go.jp/>
29. 中央氣象局 <http://www.cwb.gov.tw/>.
30. 美國 NGDC 資料庫 <http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/hazards.shtml>.
31. 美國地調所 USGS 資料庫 <http://www.usgs.gov/>.
32. 美國地調所 USGS 國家地震訊息中心 NEIC 資料庫 <http://earthquake.usgs.gov/regional/neic/>.
33. 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).
34. Booij, 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.
35. 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).
36. Booij, N., Holthuijsen, L. H. and Haagsma, IJ. G., "Comparing the secondgeneration HISWA wave model with the third-generation SWAN wave model," *5<sup>th</sup> International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting*, Melbourne, Florida, 215-222 (1998).
37. Booij, N., Haagsma, J.G., Holthuijsen, L.H., Kieftenburg, A. T. M. M., Ris, R. C., van der Westhuysen, A. J. and Zijlema, M., *SWAN Cycle III version 40.41 USER MANUAL*, Delft University of Technology (2004).
38. Dingemans, M. W., *Water wave propagation over uneven bottoms. Part 1 –linear wave propagation*, Advanced Series on Ocean Engineering, 13, World Scientific, 471p (1997).
39. Fredsøe, J., and Sumer, B.M., 1997. Scour at the round head of a rubble-mound breakwater, *Coastal Engineering*, Vol. 29, pp. 231-262.
40. 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. 2<sup>nd</sup> ERS-1 Symp.*, ESA SP-361, 21-25.
41. 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.

42. Hasselmann, K. "On the spectral dissipation of ocean waves due to whitecapping," *Bound.-layer Meteor.*, 6, 1-2, 107-127 (1974).
43. 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).
44. 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.
45. Kirby, J. T. and Dalrymple R. A., 1983, The propagation of weakly nonlinear waves in the presence of varying depth and currents, *Proc. 20<sup>th</sup> Congress I.A.H.R.*, Moscow.
46. 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.
47. 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.
48. 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).
49. Lee, T.L., and D.S. Jeng, 2002. Application of artificial neural networks in tide forecasting, *Ocean Engineering*, Vol. 29, pp. 1003-1022.
50. Liu, P. L.-F., S. Monserrat, M. Marcos, and A. B. Rabinovich, "Coupling between two inlets: Observation and modeling," *J. Geophys. Res.*, 108(C3), 3069, (2003).
51. Loomis, H.G. (1979), "Tsunami prediction using the reciprocal property of Green's functions," *Mar. Geod.*, 2(1), pp.27-39.
52. Mei, C. C., *The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves*, John Wiley, New York (1989).
53. Miles, J. W., "On the generation of surface waves by shear flows," *J. Fluid Mech.*, 3, 185-204 (1957).
54. Radder, A. C., "On the parabolic equation method for water-wave propagation," *J. Fluid. Mech.*, Vol. 95, 159-176 (1979).

55. Sumer, B.M., and Fredsøe, J., 1997, Scour at the head of a vertical-wall breakwater, *Coastal Engineering*, Vol. 29, pp. 201-230.
56. 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.
57. 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.
58. Phillips, O. M., "On the generation of waves by turbulent wind," *J. Fluid Mech.*, 2, 417-445 (1957).
59. WAMDI group, "The WAM model – a third generation ocean wave prediction model," *J. Phys. Oceanogr.*, 18, 1775-1810 (1988).
60. Whitham, G. B., *Linear and nonlinear waves*, Wiley, New York, 636 p (1974).
61. X. Wang and Liu, P. L.-F.(2007): Cornell Multigrid Coupled Tsunami model (COMCOT) User Manual, Cornell University.
62. 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 2014 年度有發警報颱風資料

2014 年中央氣象局發布颱風警報共計 3 個，其中 2 個(麥德姆、鳳凰)發布海上及陸上颱風警報，1 個(哈吉貝)僅發布海上颱風警報；麥德姆近臺強度為中度颱風，如表 1，中央氣象局發佈之颱風路徑圖(包括概況表)如圖 1~圖 3 所示，包含該颱風資料表、颱風路徑圖、及接近臺灣時之颱風衛星圖。

**表 A-1 2014 年侵臺颱風記錄表**

編號	中文名稱	英文名稱	警報期間	近臺強度	侵臺路徑分類	近臺近中心最低氣壓 (hPa)	近臺近中心最大風速 (m/s)	七級風暴風半徑 (km)	十級風暴風半徑 (km)	警報發布報數
201407	哈吉貝	HAGIBIS	06/14 ~ 06/15	---	輕度	992	20	100	---	7
201410	麥德姆	MATMO	07/21 ~ 07/23	3	中度	960	38	200	80	19
201416	鳳凰	FUNG-WONG	09/19 ~ 09-22	特殊	輕度	985	25	150	---	25

(摘自中央氣象局網站 <http://www.cwb.gov.tw>)

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	哈吉貝 (HAGIBIS)
編號	201407
生成地點	東沙島附近海面
侵(近)臺日期	2014年06月15日
發布時間	海上 2014-06-14 23:30
解除時間	海上 2014-06-15 17:30
發布報數	7
最大強度	輕度
近中心最大風速	20(公尺/秒)
侵臺路徑分類	---
登陸地段	---
動態	6月14日東沙島附近海面生成，中心往北移動。6月15日5時暴風圈進入臺灣海峽南部，持續向北移動，17時左右進入廣東並轉向東北移動。16日減弱為熱帶性低氣壓。
災情	未有災情傳出。

註 1：資料範圍取自警報發布至警報解除。

註 2：災情節錄自內政部消防署及行政院農委會資料。

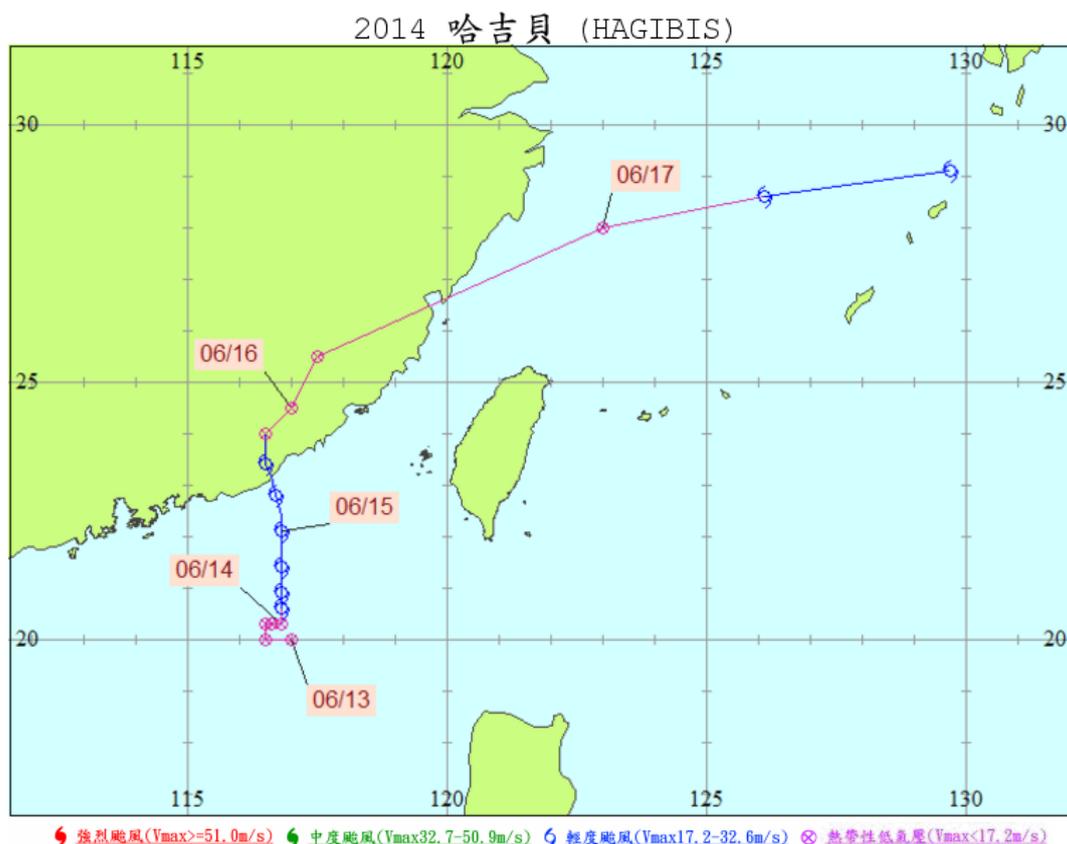
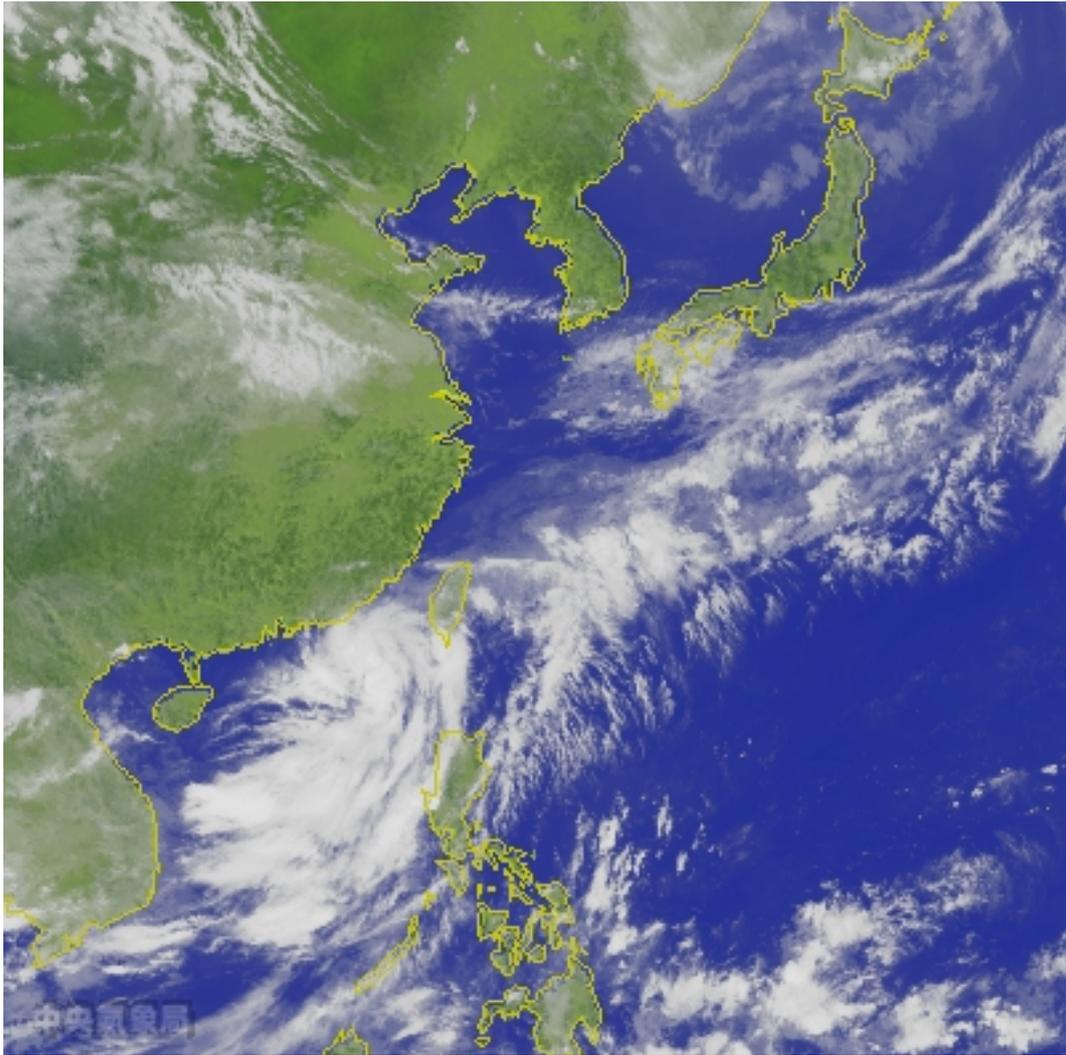


圖 A.1a 哈吉貝颱風路徑圖



(Satellite\_slp.201406141300)

圖 A.1b 哈吉貝颱風衛星圖

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	麥德姆 (MATMO)
編號	201410
生成地點	關島西南方海面
侵(近)臺日期	2014年07月23日
發布時間	海上 2014-07-21 17:30、陸上 2014-07-22 02:30
解除時間	海上 2014-07-23 23:30、陸上 2014-07-23 23:30
發布報數	19
最大強度	中度
近中心最大風速	38(公尺/秒)
侵臺路徑分類	3
登陸地段	臺東長濱
動態	颱風在關島西南方海面形成後往西北轉北北西移動，21日17時其中心在鵝鑾鼻東南方海面，暴風圈逐漸接近巴士海峽，22日17時其暴風圈開始進入臺灣陸地，23日0時10分左右於臺東長濱登陸，4時20分由彰化附近出海，於15時左右在馬祖南方進入福建。
災情	受颱風影響，造成部分地區淹水、鐵公路交通中斷等災情。農損逾新臺幣3千萬元。

註1：資料範圍取自警報發布至警報解除。

註2：災情節錄自內政部消防署及行政院農委會資料。

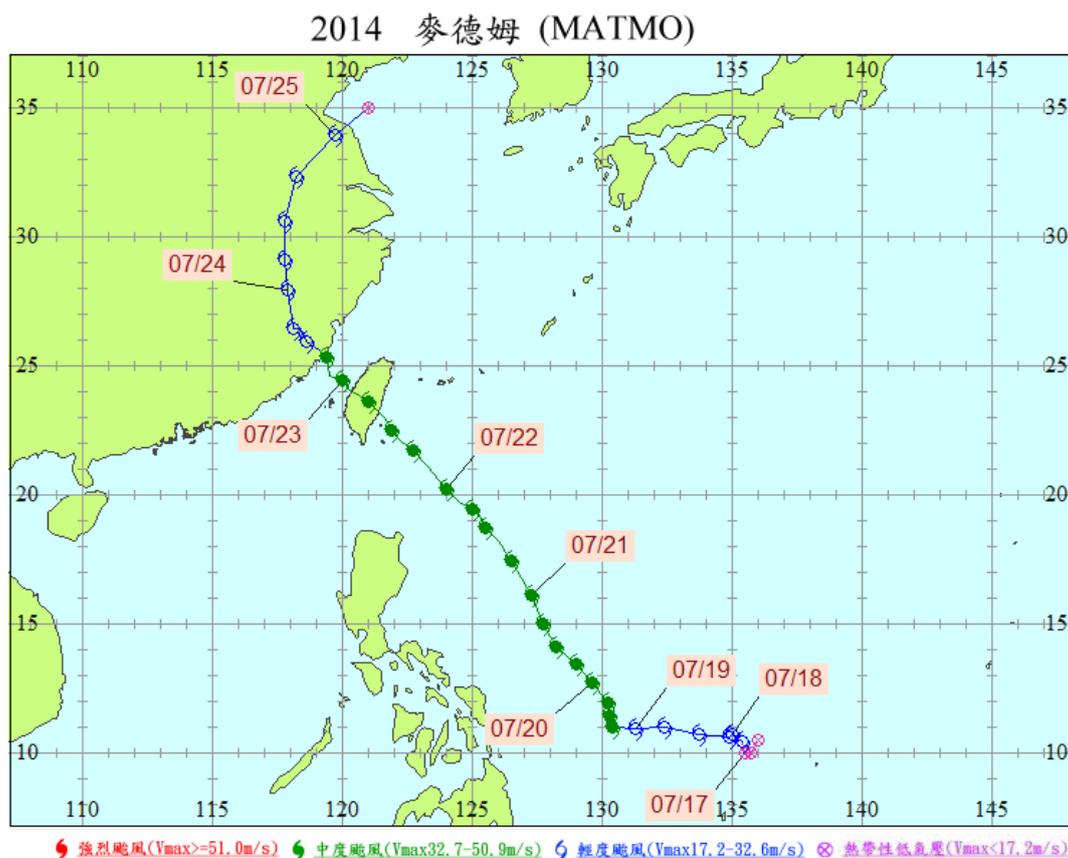
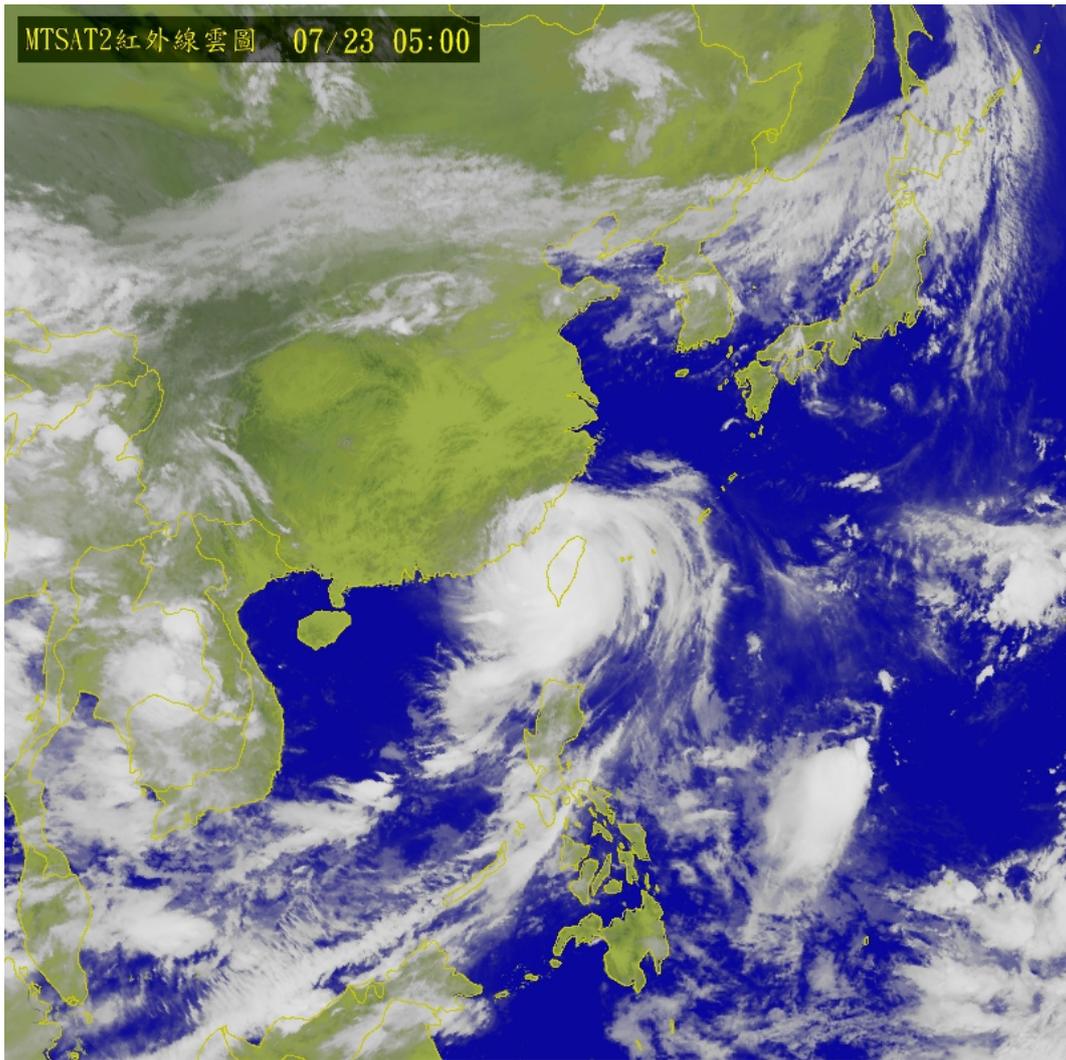


圖 A.2a 麥德姆颱風路徑圖



(Satellite\_HS1P-201407230500)

圖 A.2b 麥德姆颱風衛星圖

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	鳳凰 (FUNG-WONG)
編號	201416
生成地點	菲律賓東方海面
侵(近)臺日期	2014年09月21日
發布時間	海上 2014-09-19 08:30、陸上 2014-09-19 20:30
解除時間	海上 2014-09-22 05:30、陸上 2014-09-22 08:30
發布報數	25
最大強度	輕度
近中心最大風速	25 (公尺/秒)
侵臺路徑分類	特殊
登陸地段	鵝鑾鼻、三貂角
動態	19日形成後向西北轉北北東方向移動，20日20時其中心在鵝鑾鼻西南方海面，暴風圈開始進入臺灣南部陸地。21日10時左右其中心掠過鵝鑾鼻，之後向北北東沿東部近海轉北移動，並於22時左右掠過三貂角後，中心進入北部海面繼續往北移動。
災情	受颱風影響，略有災情。計有1人死亡，4人受傷。

註1：資料範圍取自警報發布至警報解除。

註2：災情節錄自內政部消防署及行政院農委會資料。

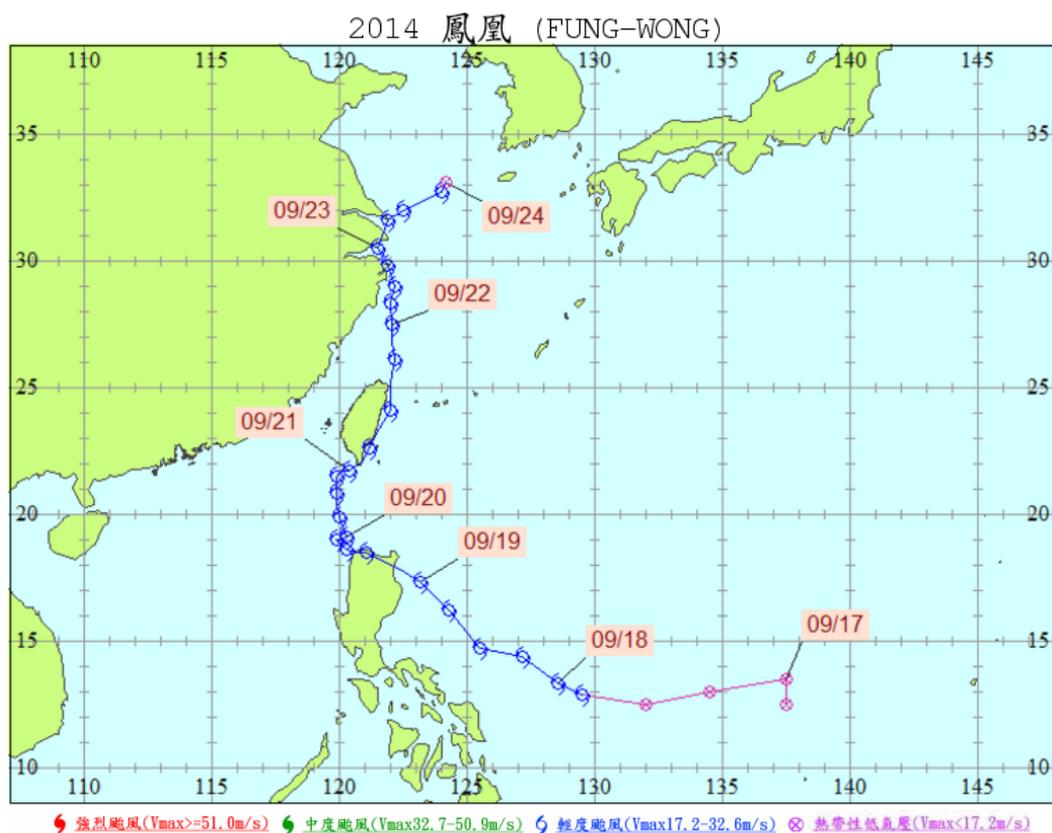
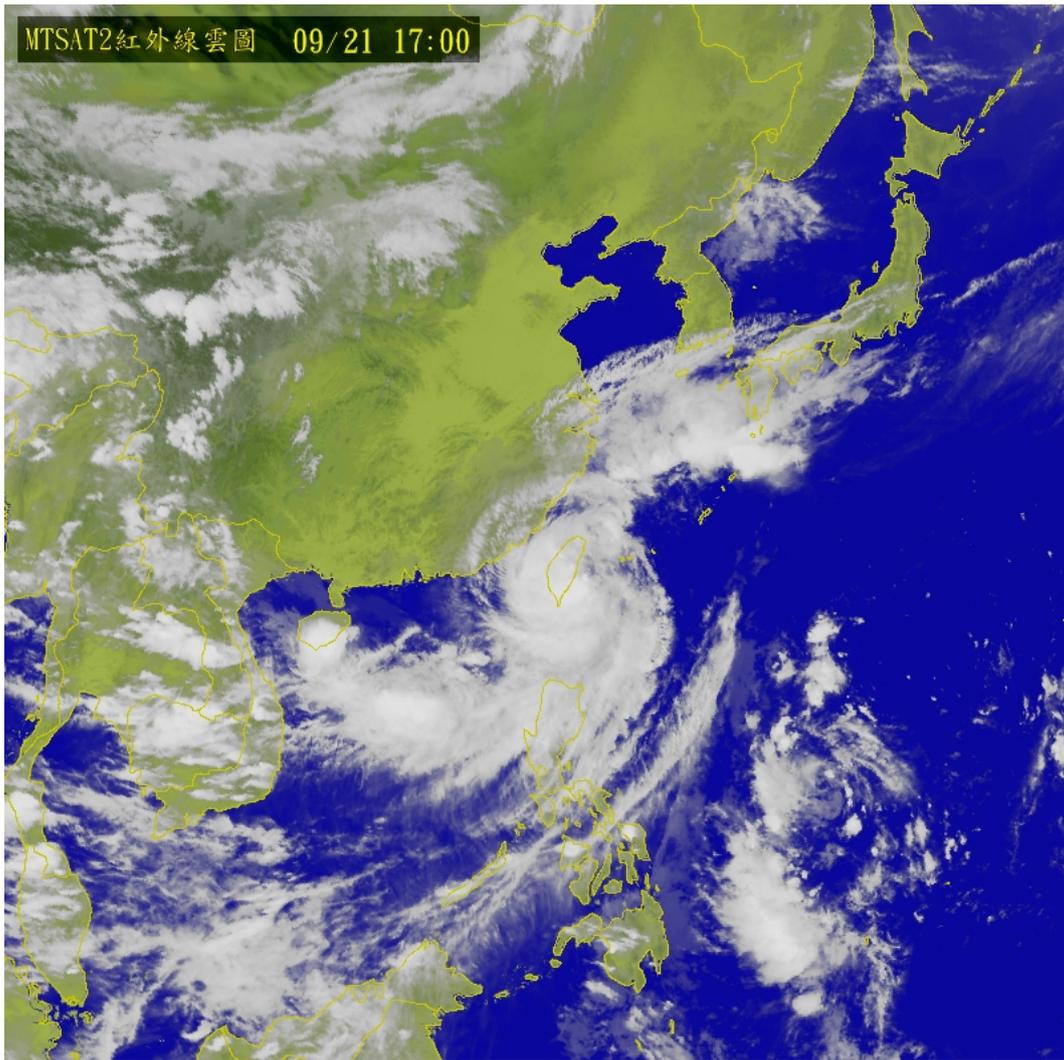


圖 A.3a 鳳凰颱風路徑圖



(Satellite\_s1p-201409211700)

圖 A.3b 鳳凰颱風衛星圖

