

105-059-7891  
MOTC-IOT-104-H3DB001

# 港灣海氣象模擬暨溢淹資訊 建置之研究(1/2)



交通部運輸研究所

中華民國 105 年 5 月

105-059-7891  
MOTC-IOT-104-H3DB001

# 港灣海氣象模擬暨溢淹資訊 建置之研究(1/2)

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 105 年 5 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

港灣海氣象模擬暨溢淹資訊建置之研究. (1/2) /  
邱永芳等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運研  
所，民 105.05

面；公分

ISBN 978-986-04-8642-1(平裝)

1.海洋氣象

444.94

105007446

港灣海氣象模擬暨溢淹資訊建置之研究(1/2)

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

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 105 年 5 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：1010500676 ISBN：978-986-04-8642-1 (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。

105

港灣海氣象模擬暨溢淹資訊建置之研究  
(1/2)

交通部運輸研究所

GPN: 1010500676

定價300 元

## 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：港灣海氣象模擬暨溢淹資訊建置之研究(1/2)			
國際標準書號 ISBN978-986-04-8642-1 (平裝)	政府出版品統一編號 1010500676	運輸研究所出版品編號 105-059-7891	計畫編號 104-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：劉俊志、張義偉 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 104 年 01 月 至 104 年 12 月
關鍵詞：預警系統、風浪預報、暴潮預報、流場預報、海嘯			
<p>摘要：</p> <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，推動近岸/近海防救災相關海象預報系統與海嘯速報系統，並配合商港長年海氣象觀測，協助建置港灣環境資訊室，提供相關海象推算的資料，讓港灣管理單位、國內外船舶業者及有關人員即時獲得充足港灣海氣象與水理資訊，進而維護臺灣水域航行、確保出入港操航安全、提昇船席機動調配及港埠運作效率。但由於港內外水域地形與環境複雜及發展離島航線所需較細緻模擬資料，仍有諸多變因需考量研究與改善。</p> <p>本計畫為整合「海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運」、「應用地理資訊系統建置臺灣主要商港溢淹災害潛勢圖之研究」、「港灣海象模擬技術及作業系統之研究」等三項計畫。提供國內航運及國內各主要港口海域之風浪、暴潮、流場及海嘯資訊。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。本年度計畫海象模擬主要以澎湖港域為主研究對象，而海嘯模擬以中南部商港區之海嘯溢淹區域為主並發展長浪對跨河橋樑通行安全等預警模式。計畫期間內整合本期各子計畫研究成果，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。</p> <p>本研究提出的海象模擬及海嘯模擬相關作業成果，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
105 年 5 月	380	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。			

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

TITLE: Harbor oceanographic simulation and inundation information (1/2)			
ISBN 978-986-04-8642-1 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010500676	IOT SERIAL NUMBER 105-059-7891	PROJECT NUMBER 104-H3DB001
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiu Yung-Fang, Su Chin-Ho PROJECT STAFF: Lee Chun-Ying, Chen Ming-Tzong, Shan Chen-Chi, Cheng Po-Chin, Liu Ching-Sung, Jenny Lin, Chien Er-Jier, Chen Cheng-Yi, Ma Wei-Lun PHONE: (04) 26587175 FAX: (04) 26564415			PROJECT PERIOD FROM January 2015 TO December 2015
RESEARCH AGENCY: NATIONAL CHENG KUNG UNIVERSITY; NATIONAL CHUNG SHAN UNIVERSITY PRINCIPAL INVESTIGATOR: Lee Jaw-Fang, Liu Cheng-Chi, Chen Guan-Yu PROJECT STAFF: Chen Yang-Yih, Tu Lih-Fu ADDRESS: No.1, University Rd., Tainan 701, Taiwan, R.O.C; No. 70, Lienhai Rd., Kaohsiung 80424, Taiwan, R.O.C. PHONE: (06) 2757575; (07) 5255000			
KEY WORDS: wave simulations, harmonic analysis, tidal modeling, tsunami early warning system			
ABSTRACT:  <p>Taiwan is surrounded by seas. In order to explore marine resource, to develop shipping business, and to do marine construction and planning, those all need a long-term sea meteorological database to depend on. Because of global climate change, natural disasters such as floods, typhoons, earthquakes and tsunamis seem to happen frequently. The policy of an early warning system putting aside prevention and avoidance of coastal disasters has become one of governmental primary executive target.</p> <p>Considering the safety of ships and seafarers in nearby waters around Taiwan, the protection of water environments, the promotion of near shore/near sea disaster prevention and rescue relating to sea meteorological forecast system and tsunami rapid computation system, IOT has installed a Harbor Environment Information Office to support a website with providing real-time marine meteorological information on screen to ensure the safety of maritime activities.</p> <p>The objective of this project is to combine the essence of three pieces such as “Operational calibration and maintenance of the marine meteorology automatic forecast simulation system”, “Constructing inundation map of commercial harbors around Taiwan under a geographic information system” and “Oceanographic simulation technique and operational function system” into one piece. Supplying wind-waves, tides, currents and tsunamis’ information of major harbors and domestic shipping routes to port authorizes and engineering units for references in keeping port business and coastal zone sustainable development. The yearly planning of oceanographic simulation is to take Penghu Harbor area as a major object. Tsunami simulation took harbors located in central and southern part of Taiwan that inundation maps after tsunami striking were shown with Google Map. The early warning system about crossing-river- bridge safety also discussed when a long-wave hit it from far away.</p> <p>The project presented simulation and relative achievements of oceanographic and tsunamic operational system that were shown by means of the Harbor Environment Information website to display. Those were applicable to Maritime and Port Bureau, MOTC, harbor companies, and Water Resource Agency that were in charge of harbor’s business and the protection of coastal areas as references.</p>			
DATE OF PUBLICATION May 2016	NUMBER OF PAGES 380	PRICE 300	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

# 港灣海氣象模擬暨溢淹資訊建置之研究(1/2)

## 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 計畫緣起及目的 .....	1-1
1.2 相關本計畫 .....	1-2
1.3 研究計畫內容 .....	1-4
1.4 主要工作項目 .....	1-5
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 整體作業化流程 .....	2-5
2.3 系統作業備援及資料說明 .....	2-8
2.3.1 風場處理模組 .....	2-12
2.3.2 波浪模擬模組 .....	2-14
2.3.3 水動力模組 .....	2-15
2.3.4 海嘯模組 .....	2-16

2.3.5	風場模組作業化架構 .....	2-17
2.3.6	波浪模組作業化架構 .....	2-21
2.3.7	水動力模組作業化架構 .....	2-34
2.3.8	海嘯模組作業化架構 .....	2-43
2.4	臺灣主要港口海氣象現場觀測及蒐集 .....	2-50
2.5	港灣環境資訊系統 .....	2-65
2.5.1	港灣環境資訊系統概觀 .....	2-65
2.5.2	海氣象觀測資訊 .....	2-70
2.5.3	海象模擬資訊 .....	2-77
2.5.4	藍色公路資訊 .....	2-86
2.5.5	郵輪航線納入藍色公路功能上線與展示 .....	2-87
2.5.6	海嘯模擬資訊 .....	2-90
2.6	小結 .....	2-93
第三章 風浪模擬與探討 .....		3-1
3.1	澎湖海域近岸風浪模式建置 .....	3-1
3.1.1	模式模擬範圍及數值計算網格 .....	3-1
3.1.2	數值計算網格 .....	3-2
3.1.3	作業化風場 .....	3-5
3.1.4	邊界條件設定 .....	3-5
3.1.5	風浪模組設定 .....	3-5
3.1.6	風浪模擬作業化系統安裝與模擬測試 .....	3-8

3.2	澎湖港龍門尖山港區港域波浪模式建置 .....	3-9
3.2.1	龍門尖山港區介紹 .....	3-9
3.2.2	數值計算網格建置 .....	3-9
3.2.3	邊界條件設定 .....	3-10
3.2.4	港域波浪場模擬 .....	3-10
第四章	水動力模擬與探討 .....	4-1
4.1	中尺度臺灣周圍海域水動力模式建置 .....	4-1
4.1.1	模擬範圍選取 .....	4-1
4.1.2	數值計算網格 .....	4-1
4.1.3	地形水深資料 .....	4-2
4.1.4	模式邊界條件及初始條件 .....	4-4
4.1.5	模式物理參數率定 .....	4-4
4.1.6	數值模擬風壓場 .....	4-6
4.1.7	臺灣周圍海域水動力模式模擬結果 .....	4-6
4.2	澎湖海域水動力模式建置 .....	4-44
4.2.1	模擬範圍選取 .....	4-44
4.2.2	數值計算網格 .....	4-44
4.2.3	邊界條件及初始條件 .....	4-44
4.2.4	模式物理參數設定 .....	4-45
4.2.5	澎湖海域水動力式初步模擬結果與驗證 .....	4-45
4.3	海象模擬作業化系統近岸水動力模組校修 .....	4-60

4.3.1 臺北港近岸水動力模式 .....	4-60
4.3.2 基隆港近岸水動力模式 .....	4-63
第五章 海嘯模式建置與分析 .....	5-1
5.1 海嘯災害及溢淹潛勢圖之必要性 .....	5-1
5.1.1 環太平洋地震帶及海嘯災害概述 .....	5-1
5.1.2 臺灣鄰近海域之海嘯紀錄 .....	5-4
5.1.3 遠域海嘯紀錄 .....	5-8
5.1.4 海嘯之預警與溢淹潛勢圖之必要性 .....	5-9
5.2 海嘯速報系統建置及實例探討 .....	5-10
5.2.1 海嘯速報系統及海嘯預警系統 .....	5-10
5.2.2 海嘯數值模式介紹 .....	5-12
5.2.3 系統建構 .....	5-23
5.2.4 數值模擬進行海嘯預警之方式 .....	5-38
5.3 溢淹潛勢圖整合地理資訊系統之應用 .....	5-46
5.3.1 溢淹潛勢圖 .....	5-46
5.3.2 地理資訊系統 .....	5-59
5.4 極端氣候下之跨河橋梁通行安全評估 .....	5-92
5.4.1 簡介 .....	5-92
5.4.2 波流交互作用 .....	5-93
5.4.3 數值地形 .....	5-94
5.4.4 模式設定 .....	5-97

5.4.5 模擬結果 .....	5-100
5.4.6 後龍觀海大橋附近波流交互作用的模擬 .....	5-124
第六章 結論與建議 .....	6-1
6.1 結論 .....	6-1
6.2 建議 .....	6-4
參考文獻 .....	參-1
附錄 2015 年度侵臺颱風警報資料 .....	附 1-1

## 表 目 錄

表 2-1 作業系統內大尺度及中尺度風、波及流場資料格式 .....	2-2
表 2-2 本中心海象模擬伺服器主要功能說明 .....	2-10
表 2-3 Taicom 各模組作業時間 .....	2-11
表 2-4 中央氣象局風場 WRF 風場資料格式 .....	2-13
表 2-5 作業系統內展示風場資料格式 .....	2-13
表 2-6 WRF 主要提供氣象資料彙整表 .....	2-18
表 2-7 近岸區域波浪模式數值計算網格資料 .....	2-25
表 2-8 臺灣主要商港細尺度波浪模組建置摘要表 .....	2-30
表 2-9 臺灣主要商港小尺度水動力模組建置摘要表 .....	2-39
表 2-10 觀測風力資料蒐集概況表 .....	2-52
表 2-11 觀測波浪資料蒐集概況表 .....	2-54
表 2-12 觀測潮汐資料蒐集概況表 .....	2-55
表 2-13 觀測海流資料蒐集概況表 .....	2-57
表 2-14 網頁功能項目說明表 .....	2-68
表 2-15 海象模擬資訊展示內容彙整表 .....	2-80
表 4-1 2015 年 1 月水位模擬結果與觀測值間統計量表 .....	4-7
表 4-2 2015 年 1 月水位模擬結果與調和分析預測值間統計量表 .....	4-8
表 5-1 2004~2015 年間重大海嘯事件 .....	5-3
表 5-2 臺灣地區西元 1500~2015 年之海嘯事件 .....	5-7
表 5-3 本研究所使用之斷層參數 .....	5-22
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 .....	5-27
表 5-5 (5.2.30)及(5.2.31)式迴歸係數之建議值 .....	5-34

表 5-6 交通部後龍觀海大橋的資料表 .....	5-96
表 5-7 後龍溪流域河道糙度係數採用值一覽表(水利署後龍溪治理規劃 檢討報告).....	5-98
表 5-8 COMCOT 8 個情境模擬 .....	5-99
表 5-9 臺中港 2003 年至 2013 年示性波高、週期及波向資料統計表 .....	5-100
表 5-10 情境 1 到 8 在後龍觀海大橋北、中、南位置的最大水位高程 .....	5-122
表 5-11 情境 5 到 8 波浪在後龍觀海大橋北、中、南位置造成的最大水 位抬昇 .....	5-122
表 5-12 不同入射波振幅、周期和背景流量在座標 $X=0$ km 發生的最大 水位值(公尺).....	5-133
表 5-13 不同入射波振幅、周期和背景流量在座標 $X=0$ km 的最大水位 值與入射波振幅的比值.....	5-134
表 5-14 不同入射波振幅、周期和背景流量在座標 $X=0$ km 出現最大水 位值的發生時間(秒).....	5-134
表 5-15 4 種入射波振幅在 5 種背景流量下，於 $X=0$ 處 2.4 公尺水位所 需的週期(秒).....	5-135
表 5-16 種入射週期在 5 種背景流量下，於 $X=0$ 處產生 2.4 公尺水位所 需的振幅(公尺).....	5-135

## 圖 目 錄

圖 1.1 澎湖群島、澎湖港與臺灣本島之相關位置圖.....	1-3
圖 1.2 臺灣近海海象預報系統架構圖.....	1-5
圖 1.3 海象模擬作業化系統整體架構圖.....	1-5
圖 2.1 風場輸出範圍.....	2-3
圖 2.2 波場及水動力場輸出範圍.....	2-4
圖 2.3 海象模擬系統作業時間流程.....	2-5
圖 2.4 海象數值模擬系統兩日作業流程範例圖.....	2-6
圖 2.5 海象數值系統線上作業成果評估流程.....	2-7
圖 2.6 系統新硬體及資料流程說明圖.....	2-9
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.....	2-9
圖 2.8 杜鵑颱風 WRF(WA01)風場向量圖.....	2-19
圖 2.9 杜鵑颱風 WRF(WA02)風場向量圖.....	2-19
圖 2.10 杜鵑颱風 WRF(WA03)風場向量圖.....	2-20
圖 2.11 每日 WRF 擷取風場及提供每日波風場資料.....	2-20
圖 2.12 波浪模擬作業流程圖.....	2-21
圖 2.13 大尺度及中尺度波場模擬範圍圖.....	2-22
圖 2.14 杜鵑颱風大尺度波高分布圖.....	2-23
圖 2.15 杜鵑颱風中尺度波高分布圖.....	2-24
圖 2.16 近岸區域波浪模擬範圍圖.....	2-26
圖 2.17 近岸港區波浪模式地形水深分布圖.....	2-27
圖 2.18 作業化波高分布圖.....	2-28

圖 2.19a	基隆港細尺度波浪模組-地形水深分布及展示畫面 .....	2-31
圖 2.19b	蘇澳港細尺度波浪模組-地形水深分布及展示畫面 .....	2-31
圖 2.19c	花蓮港細尺度波浪模組-地形水深分布及展示畫面 .....	2-31
圖 2.19d	高雄一港細尺度波浪模組-地形水深分布及波浪展示畫面	2-32
圖 2.19e	高雄二港細尺度波浪模組-地形水深分布及波浪展示畫面	2-32
圖 2.19f	安平港細尺度波浪模組-地形水深分布及波浪展示畫面 ....	2-32
圖 2.19g	布袋港細尺度波浪模組-地形水深分布及波浪展示畫面 ....	2-33
圖 2.19h	臺中港細尺度波浪模組-地形水深分布及波浪展示畫面 ....	2-33
圖 2.19i	臺北港細尺度波浪模組-地形水深分布及波浪展示畫面 ....	2-33
圖 2.20	水動力模擬作業流程圖 .....	2-34
圖 2.21	大尺度及中尺度流場模擬範圍圖 .....	2-35
圖 2.22a	杜鵑颱風大尺度水位分布圖 .....	2-36
圖 2.22b	杜鵑颱風中尺度水位分布圖 .....	2-36
圖 2.23a	杜鵑颱風大尺度流速流向分布圖 .....	2-37
圖 2.23b	杜鵑颱風時中尺度流速流向分布圖 .....	2-37
圖 3.24a	基隆港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形 .....	2-40
圖 2.24b	蘇澳港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形 .....	2-40
圖 2.24c	花蓮港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形 .....	2-40
圖 2.24d	高雄港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形 .....	2-41
圖 2.24e	布袋港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形 .....	2-41
圖 2.24f	安平港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形 .....	2-41
圖 2.24g	臺中港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形 .....	2-42
圖 2.24h	臺北港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形 .....	2-42
圖 2.25	臺灣國際商港海嘯速算系統流程圖 .....	2-43

圖 2.26 海嘯系統計算範圍水深地形圖.....	2-44
圖 2.27a GUI 程式設計環境.....	2-45
圖 2.27b 視窗化操作系統之建立與排版.....	2-46
圖 2.27c 視窗化介面之編譯完成圖.....	2-46
圖 2.27d 視窗化介面之計算成果圖.....	2-47
圖 2.28a 美國 USGS 資料庫.....	2-48
圖 2.28b 中研院地科所-台灣地區寬頻地震觀測網.....	2-49
圖 2.28c 中研院地科所-即時地震張量監測系統.....	2-49
圖 2.29 臺灣主要商港位置圖.....	2-58
圖 2.30 臺北港海氣象觀測位置圖.....	2-58
圖 2.31 基隆港海氣象觀測位置圖.....	2-59
圖 2.32 蘇澳港海氣象觀測位置圖.....	2-59
圖 2.33 花蓮港海氣象觀測位置圖.....	2-60
圖 2.34 高雄港海氣象觀測位置圖.....	2-60
圖 2.35 安平港海氣象觀測位置圖.....	2-61
圖 2.36 布袋港海氣象觀測位置圖.....	2-61
圖 2.37 臺中港海氣象觀測位置圖.....	2-62
圖 2.38 澎湖港海氣象觀測位置圖.....	2-62
圖 2.39 金門港海氣象觀測位置圖.....	2-63
圖 2.40 馬祖港海氣象觀測位置圖.....	2-63
圖 2.41 綠島海氣象觀測位置圖.....	2-64
圖 2.42 港灣環境資訊系統架構圖.....	2-66
圖 2.43 港灣環境資訊網(首頁).....	2-66
圖 2.44 港灣環境資訊網網頁功能架構圖.....	2-67

圖 2.45 海氣象觀測及年報資料庫介接架構圖.....	2-71
圖 2.46 中央氣象局資料庫介接架構圖.....	2-72
圖 2.47 經濟部水利署資料庫介接架構圖.....	2-72
圖 2.48 即時觀測資訊整合(風力資料).....	2-73
圖 2.49 即時觀測資訊整合(綜合表).....	2-74
圖 2.50 海氣象歷線圖(以臺北港 風速+波高歷線圖為例).....	2-74
圖 2.51a 中央氣象局觀測資料綜合表.....	2-75
圖 2.51b 經濟部水利署海氣象觀測資料綜合表.....	2-76
圖 2.52 海象數值模擬資料介接系統架構圖.....	2-77
圖 2.53 海象模擬資訊網頁展示圖.....	2-78
圖 2.54a 海象模擬資訊(波浪資料).....	2-79
圖 2.54b 海象模擬資訊(綜合表).....	2-79
圖 2.55 展示臺中港風力模擬歷線圖.....	2-81
圖 2.56 展示臺中港波浪模擬 (大尺度、中尺度、小尺度) 歷線圖.....	2-82
圖 2.57 展示花蓮港相對潮位歷線圖.....	2-83
圖 2.58 展示臺北港流速及流向歷線圖.....	2-83
圖 2.59 WRF 模式-風場圖型動畫.....	2-84
圖 2.60a 展示花蓮港近岸波高分佈圖.....	2-85
圖 2.60b 展示高雄港流速向量場分佈圖.....	2-85
圖 2.61 模擬區域海象動態資訊(波高、波向).....	2-86
圖 2.62a 港灣環境資訊網-藍色公路首頁.....	2-87
圖 2.62b 藍色公路海氣象數值模擬預報.....	2-87
圖 2.63 麗星郵輪(寶瓶星)-船舶動態+海氣象波高模擬資訊.....	2-88
圖 2.64 麗星郵輪(寶瓶星)-船舶動態+海氣象波向模擬資訊.....	2-88

圖 2.65 麗星郵輪(寶瓶星)-船舶動態+海氣象風速模擬資訊 .....	2-89
圖 2.66 麗星郵輪(寶瓶星)-船舶動態+海氣象風向模擬資訊 .....	2-89
圖 2.67 麗星郵輪(寶瓶星)-船舶最近三日內的航行軌跡 .....	2-90
圖 2.68 海嘯模擬子系統網路架構圖 .....	2-91
圖 2.69 海嘯查詢網頁 .....	2-91
圖 2.70 展示海嘯震央位置圖 .....	2-92
圖 2.71a 展示基隆港海嘯水位變化歷線圖 .....	2-92
圖 2.71b 展示海嘯水位歷線表 .....	2-92
圖 3.1 西太平洋範圍遠域風浪模組模擬範圍及水深分布圖 .....	3-2
圖 3.2 臺灣周圍海域近域風浪模組模擬範圍及水深分布圖 .....	3-3
圖 3.3 本計畫臺灣周圍海域近域風浪模組模擬範圍及水深分布圖 ...	3-3
圖 3.4 澎湖海域風浪模擬範圍示意圖 .....	3-4
圖 3.5 澎湖海域小尺度風浪模式計算網格之地形水深分布圖 .....	3-4
圖 3.6 遠域風浪模擬操作流程圖 .....	3-7
圖 3.7 近域風浪模擬操作流程圖 .....	3-8
圖 3.8 澎湖港地理位置圖 .....	3-12
圖 3.9 龍門尖山碼頭區平面規劃圖 .....	3-12
圖 3.10 澎湖港龍門尖山港區港域波浪模擬範圍示意圖 .....	3-13
圖 3.11 澎湖港龍門尖山港區水深資料圖 .....	3-13
圖 3.12 海軍大氣海洋局刊行海圖 61709 龍門及尖山漁港 .....	3-14
圖 3.13 海軍大氣海洋局刊行海圖 04529 澎湖群島東南部 .....	3-15
圖 3.14 澎湖港龍門尖山港區模擬範圍有限元素粗網格分布圖 .....	3-16
圖 3.15 澎湖港龍門尖山港區模擬範圍粗網格地形水深分布圖 .....	3-16
圖 3.16a 澎湖港龍門尖山港區 W 向波浪場模擬結果相位分布圖 ...	3-17

圖 3.16b 澎湖港龍門尖山港區 W 向波浪場模擬結果波高分布圖	....3-17
圖 3.17a 澎湖港龍門尖山港區 WSW 向波浪場模擬結果相位分布圖	.....3-18
圖 3.17b 澎湖港龍門尖山港區 WSW 向波浪場模擬結果波高分布圖	.....3-18
圖 3.18a 澎湖港龍門尖山港區 SW 向波浪場模擬結果相位分布圖	..3-19
圖 3.18b 澎湖港龍門尖山港區 SW 向波浪場模擬結果波高分布圖	.3-19
圖 3.19a 澎湖港龍門尖山港區 SSW 向波浪場模擬結果相位分布圖	.....3-20
圖 3.19b 澎湖港龍門尖山港區 SSW 向波浪場模擬結果波高分布圖	.....3-20
圖 3.20a 澎湖港龍門尖山港區 S 向波浪場模擬結果相位分布圖	....3-21
圖 3.20b 澎湖港龍門尖山港區 S 向波浪場模擬結果波高分布圖	....3-21
圖 3.21a 澎湖港龍門尖山港區 SSE 向波浪場模擬結果相位分布圖	.3-22
圖 3.21b 澎湖港龍門尖山港區 SSE 向波浪場模擬結果波高分布圖	.3-22
圖 3.22a 澎湖港龍門尖山港區 SE 向波浪場模擬結果相位分布圖	...3-23
圖 3.22b 澎湖港龍門尖山港區 SE 向波浪場模擬結果波高分布圖	...3-23
圖 4.1 中尺度臺灣周圍海域水動力模式模擬範圍	.....4-2
圖 4.2 臺灣周圍海域非結構性有限元素三角形網格配置圖	.....4-3
圖 4.3 臺灣周圍海域水動力模式數值計算網格水深分布圖	.....4-3
圖 4.4 中尺度臺灣周圍海域水動力模式採用的天文潮水位邊界 條件圖	.....4-5
圖 4.5 本計畫非結構三角形元素網格之風場及等壓線分布圖	.....4-6
圖 4.6 主要商港颱風暴潮模擬結果之輸出點位圖	.....4-8
圖 4.7 本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港 潮位觀測值(圓點)之比較圖	.....4-9

圖 4.7 (續 1)本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港 潮位 觀測值(圓點)之比較圖 .....	4-10
圖 4.7 (續 2)本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港 潮位 觀測值(圓點)之比較圖 .....	4-11
圖 4.7 (續 3)本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港 潮位 觀測值(圓點)之比較圖 .....	4-12
圖 4.7 (續 4)本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港 潮位 觀測值(圓點)之比較圖 .....	4-13
圖 4.7 (續 5)本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港 潮位 觀測值(圓點)之比較圖 .....	4-14
圖 4.8 本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港 天文潮位 調和分析預測值(圓點)之比較圖 .....	4-15
圖 4.8 (續 1)本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港 天文 潮位調和分析預測值(圓點)之比較圖 .....	4-16
圖 4.8 (續 2)本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港 天文 潮位調和分析預測值(圓點)之比較圖 .....	4-17
圖 4.8 (續 3)本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港 天文 潮位調和分析預測值(圓點)之比較圖 .....	4-18
圖 4.8 (續 4)本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港 天文 潮位調和分析預測值(圓點)之比較圖 .....	4-19
圖 4.8 (續 5)本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港 天文 潮位調和分析預測值(圓點)之比較圖 .....	4-20
圖 4.9 2015 年蘇迪勒颱風路徑圖 .....	4-23
圖 4.10 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模擬輸入預報風場及氣壓場圖 ...	4-23
圖 4.10 (續 2)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模擬輸入預報風場及氣壓場圖.. .....	4-24
圖 4.10 (續 3)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模擬輸入預報風場及氣壓場圖..	

.....	4-25
圖 4.10 (續 4)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模擬輸入預報風場及氣壓場圖..	4-25
.....	4-25
圖 4.11 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖...	4-26
.....	4-26
圖 4.11 (續 1)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布 圖.....	4-26
圖 4.11 (續 2)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布 圖.....	4-27
圖 4.11 (續 3)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布 圖.....	4-27
圖 4.11 (續 4)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布 圖.....	4-28
圖 4.11 (續 5)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布 圖.....	4-28
圖 4.11 (續 6)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布 圖.....	4-29
圖 4.11 (續 7)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布 圖.....	4-29
圖 3.11 (續 8)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布 圖.....	4-30
圖 4.11 (續 9)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布 圖.....	4-30
圖 4.11 (續 10)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分 布圖.....	4-31
圖 4.11 (續 11)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分 布圖.....	4-31

圖 4.12 2015 年中度颱風蘇迪勒侵臺期間主要商港水位模擬歷線與觀測資料之比較圖.....	4-32
圖 4.13 臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較，(a)天文潮，(b)颱風暴潮(含天文潮).....	4-33
圖 4.13 (續 1)臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較，(a)天文潮，(b)颱風暴潮(含天文潮).....	4-34
圖 4.13 (續 2)臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較，(a)天文潮，(b)颱風暴潮(含天文潮).....	4-35
圖 4.13 (續 3)臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較，(a)天文潮，(b)颱風暴潮(含天文潮).....	4-36
圖 4.13 (續 4)臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較，(a)天文潮，(b)颱風暴潮(含天文潮).....	4-37
圖 4.13 (續 5)臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較，(a)天文潮，(b)颱風暴潮(含天文潮).....	4-38
圖 4.13 (續 6)臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較，(a)天文潮，(b)颱風暴潮(含天文潮).....	4-39
圖 4.13 (續 7)臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較，(a)天文潮，(b)颱風暴潮(含天文潮).....	4-40
圖 4.14 臺灣周圍海域水動力模式水位模擬結果與 COHERENS 模式模擬結果及水位觀測值之比較圖.....	4-41
圖 4.14 (續 1)臺灣周圍海域水動力模式水位模擬結果與 COHERENS 模式模擬結果及水位觀測值之比較圖.....	4-42
圖 4.14 (續 2)臺灣周圍海域水動力模式水位模擬結果與 COHERENS 模式模擬結果及水位觀測值之比較圖.....	4-43
圖 4.15 澎湖海域水動力模式模擬範圍圖.....	4-47
圖 4.16 澎湖海域水動力模式使用的非結構性三角形元素網格圖 ...	4-47
圖 4.17 澎湖海域水動力模式數值計算網格之水深分布圖.....	4-48

圖 4.18 澎湖海域水動力模式開放邊界天文潮水位邊界條件(由本計畫中尺度臺灣周圍海域水動力模式產生).....	4-48
圖 4.18 (續)澎湖海域水動力模式開放邊界天文潮水位邊界條件(由本計畫中尺度臺灣周圍海域水動力模式產生).....	4-49
圖 4.19 澎湖海域水動力模式模擬結果與澎湖資料浮標潮流調和分析結果比較.....	4-50
圖 4.19 (續)澎湖海域水動力模式模擬結果與澎湖資料浮標潮流調和分析結果比較.....	4-51
圖 4.20 澎湖海域水動力模式流場模擬結果.....	4-52
圖 4.20 (續 1)澎湖海域水動力模式流場模擬結果.....	4-52
圖 4.20 (續 2)澎湖海域水動力模式流場模擬結果.....	4-53
圖 4.20 (續 3)澎湖海域水動力模式流場模擬結果.....	4-53
圖 4.20 (續 4)澎湖海域水動力模式流場模擬結果.....	4-54
圖 4.20 (續 5)澎湖海域水動力模式流場模擬結果.....	4-54
圖 4.20 (續 6)澎湖海域水動力模式流場模擬結果.....	4-55
圖 4.20 (續 7)澎湖海域水動力模式流場模擬結果.....	4-55
圖 4.20 (續 8)澎湖海域水動力模式流場模擬結果.....	4-56
圖 4.20 (續 9)澎湖海域水動力模式流場模擬結果.....	4-56
圖 4.20 (續 10)澎湖海域水動力模式流場模擬結果.....	4-57
圖 4.20 (續 11)澎湖海域水動力模式流場模擬結果.....	4-57
圖 4.20 (續 12)澎湖海域水動力模式流場模擬結果.....	4-58
圖 4.21 澎湖港龍門尖山港區外海水位及流速流向數值模擬結果 ...	4-59
圖 4.22 臺北港外廓及港池配置今昔圖.....	4-61
圖 4.23 臺北港近岸水動力模組前期計畫建置的數值計算網格圖 ...	4-62
圖 4.24 本期計畫更新臺北港港域配置及數值計算網格圖.....	4-62

圖 4.25 臺北港近岸水動力模組本期計畫建置的數值計算網格圖 ...	4-63
圖 4.26 基隆港近岸水動力模組模擬範圍及有限元素計算網格圖 ...	4-64
圖 4.27 基隆港海氣象觀測位置(2010 年).....	4-65
圖 4.28 基隆港海氣象觀測位置(2012 年).....	4-65
圖 4.29 基隆港水動力模組流速驗證點位修正前後模擬值之比較圖 .....	4-66
圖 5.1 環太平洋地震帶及海溝分佈(星點即是海溝位置).....	5-1
圖 5.2 1500-2015 年海嘯事件之地震規模分析 .....	5-2
圖 5.3 1500-2015 年海嘯事件之震源深度分析 .....	5-2
圖 5.4 板塊交界處發生錯動後引起海嘯之示意圖.....	5-4
圖 5.5 1867 年基隆海嘯事件，雞籠頭沿海遭受海嘯之侵襲.....	5-5
圖 5.6 1960 年基隆遭受智利海嘯襲擊之紀錄.....	5-9
圖 5.7 921 大地震造成地表斷層上下錯動.....	5-10
圖 5.8 電纜式海底地震儀觀測系統(媽祖計畫)之佈放位置.....	5-11
圖 5.9 交錯式有限差分網格.....	5-17
圖 5.10 移動邊界示意圖(a).....	5-19
圖 5.11 移動邊界示意圖(b).....	5-19
圖 5.12 巢狀網格示意圖.....	5-21
圖 5.13 模式計算區域水深地形圖.....	5-22
圖 5.14 模式計算區域水深地形剖面圖.....	5-22
圖 5.15 與馬爾地夫水位之比對.....	5-23
圖 5.16 海嘯速報系統之規劃圖.....	5-24
圖 5.17 美國 USGS 資料庫.....	5-25
圖 5.18 中央氣象局網站之即時地震資料.....	5-26

圖 5.19 遠端擷取 USGS 地震資料格式 .....	5-26
圖 5.20 日本防災科學技術研究所 F-net 即時地震資料 .....	5-27
圖 5.21 即時地震擷取系統介面 .....	5-27
圖 5.22 (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 .....	5-32
圖 5.23 斷層參數示意圖 .....	5-33
圖 5.24 (a)斷層幾何形狀及座標系統(b)斷層及映像斷層座標系統 ...	5-36
圖 5.25 現行海嘯數值模式之模擬程序 .....	5-39
圖 5.26 以基隆為例之格林函數所對應的初始水位 .....	5-40
圖 5.27 傳統格林函數與互逆格林函數之示意圖 .....	5-44
圖 5.28 海嘯模式所計算出之格林函數與互逆格林函數比較 .....	5-45
圖 5.29 互逆格林函數與直接的海嘯模擬之水位變化驗證 .....	5-45
圖 5.30 週期 20 分鐘波高 4m 高斯波 .....	5-47
圖 5.31 臺灣 500m 解析度水深地形資料 .....	5-48
圖 5.32 安平港 5m 解析度數值地形檔 .....	5-49
圖 5.33 安平港整合海陸域後之數值地形檔 .....	5-49
圖 5.34 安平港整併港內實際地形之數值地形檔 .....	5-50
圖 5.35 臺中港之溢淹圖，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺 .....	5-51
圖 5.35 臺中港之溢淹圖，入射波高：(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺 .....	5-52
圖 5.36 布袋港之溢淹圖，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺 .....	5-53
圖 5.36 布袋港之溢淹圖，入射波高：(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺 .....	5-54
圖 5.37 安平港之溢淹圖，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3	

公尺.....	5-55
圖 5.37 安平港之溢淹圖，入射波高：(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺 .....	5-56
圖 5.38 高雄港之溢淹圖，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺.....	5-57
圖 5.38 高雄港之溢淹圖，入射波高： (e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺 ....	5-58
圖 5.39 Google Earth 圖層 .....	5-59
圖 5.40(a) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 0.5 公尺.....	5-60
圖 5.40(b) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 1 公尺 .....	5-60
圖 5.40(c) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 2 公尺 .....	5-61
圖 5.40(d) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 3 公尺 .....	5-61
圖 5.40(e) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 4 公尺 .....	5-62
圖 5.40(f) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 6 公尺 .....	5-62
圖 5.40(g) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 10 公尺 .....	5-63
圖 5.41(a) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 0.5 公尺.....	5-64
圖 5.41(b) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 1 公尺 .....	5-64
圖 5.41(c) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 2 公尺 .....	

.....	5-65
圖 5.41(d) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 3 公尺	5-65
.....	5-66
圖 5.41(e) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 4 公尺	5-66
.....	5-66
圖 5.41(f) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 6 公尺	5-66
.....	5-67
圖 5.41(g) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 10 公尺	5-67
.....	5-68
圖 5.42(a) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 0.5 公尺	5-68
.....	5-68
圖 5.42(b) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 1 公尺	5-68
.....	5-69
圖 5.42(c) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 2 公尺	5-69
.....	5-69
圖 5.42(d) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 3 公尺	5-69
.....	5-70
圖 5.42(e) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 4 公尺	5-70
.....	5-70
圖 5.42(f) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 6 公尺	5-70
.....	5-71
圖 5.42 (g) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 10 公尺	5-71
.....	5-72
圖 5.43(a) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 0.5 公尺	5-72
.....	5-72
圖 5.43(b) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 1 公尺	5-72
.....	5-72

圖 5.43(c) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 2 公尺	5-73
圖 5.43 (d) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 3 公尺	5-73
圖 5.43(e) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 4 公尺	5-74
圖 5.43(f) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 6 公尺	5-74
圖 5.43(g) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 10 公尺	5-75
圖 5.44(a) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 0.5 公尺	5-76
圖 5.44(b) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 1 公尺	5-76
圖 5.44(c) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 2 公尺	5-77
圖 5.44(d) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 3 公尺	5-77
圖 5.44(e) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 4 公尺	5-78
圖 5.44(f) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 6 公尺	5-78
圖 5.44(g) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 10 公尺	5-79
圖 5.45(a) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 0.5 公尺	5-80
圖 5.45(b) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 1 公尺	5-80

圖 5.45(c) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 2 公尺	5-81
圖 5.45(d) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 3 公尺	5-81
圖 5.45(e) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 4 公尺	5-82
圖 5.45(f) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 6 公尺	5-82
圖 5.45(g) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 10 公尺	5-83
圖 5.46(a) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 0.5 公尺	5-84
圖 5.46(b) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 1 公尺	5-84
圖 5.46(c) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 2 公尺	5-85
圖 5.46(d) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 3 公尺	5-85
圖 5.46(e) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 4 公尺	5-86
圖 5.46(f) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 6 公尺	5-86
圖 5.46(g) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 10 公尺	5-87
圖 5.47(a) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 0.5 公尺	5-88
圖 5.47(b) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 1 公尺	5-88

圖 5.47(c) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 2 公尺	5-89
圖 5.47(d) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 3 公尺	5-89
圖 5.47(e) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 4 公尺	5-90
圖 5.47(f) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 6 公尺	5-90
圖 5.47 (g) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 10 公尺	5-91
圖 5.48 起始波形為波長 120m、波高 1m 之鐘形波，背景流速為 -1m/s	5-93
圖 5.49 鐘形波模擬經過 10 秒後的波形及流速。	5-94
圖 5.50 鐘形波模擬經 3 分鐘之後的波形及流速。	5-94
圖 5.51 後龍溪下游 5m 解析度的內政部 DEM 數值地形	5-95
圖 5.52 後龍溪出海口附近之海陸域整合數值地形	5-95
圖 5.53 後龍觀海大橋單組橋墩的平面幾何長度	5-97
圖 5.54 後龍觀海大橋 20 組橋墩的中心位置(左)及模式地形的橋墩配置(右)	5-97
圖 5.55 模式的曼寧係數配置，海洋地形為 0.02(藍色)，陸地地形為 0.03(深褐色)	5-98
圖 5.56 模式西邊界代入的正弦波水位時序列值，藍線的波高為 4.93m，週期為 12.1 秒，而紅線的波高為 8.44m，週期為 11.1 秒	5-100
圖 5.57 情境 1 在模擬時間第 0.5、12、23、24 小時，每個 X 點的 X 方向流量在 Y 方向的加總	5-101
圖 5.58 情境 1 在模擬時間第 0.5、12、23、24 小時的水位高程	5-102

圖 5.59 情境 1 在模擬時間第 23 小時和第 24 小時的水位差絕對值 .....	5-103
圖 5.60 情境 1 在後龍觀海大橋附近第 24 小時的水位值.....	5-103
圖 5.61 情境 2 在模擬時間第 0.5、12、23、24 小時，每個 X 點的 X 方向流量在 Y 方向的加總.....	5-104
圖 5.62 情境 2 在模擬時間第 0.5、12、23、24 小時的水位高程 ..	5-105
圖 5.63 情境 1 在模擬時間第 23 小時和第 24 小時的水位差絕對值 .....	5-105
圖 5.64 情境 2 在後龍觀海大橋附近第 24 小時的水位值.....	5-106
圖 5.65 情境 3 在模擬時間第 0.25、6、9、15 分鐘的水位高程 ....	5-107
圖 5.66 情境 4 在模擬時間第 0.25、6、12、15 分鐘的水位與初始水位差值.....	5-109
圖 5.67 情境 4 在 15 分鐘期間內，後龍觀海大橋的北、中、南三個位置的水位時序列.....	5-110
圖 5.68 情境 5 的起始水位.....	5-110
圖 5.69 情境 5 在模擬時間第 0.25、5、8.5、15 分鐘的水位與初始水位差值.....	5-111
圖 5.70 情境 5 在 15 分鐘期間內的最高水位高程空間分佈 .....	5-112
圖 5.71 情境 5 在 15 分鐘期間內，後龍觀海大橋附近最高水位高程分佈.....	5-112
圖 5.72 情境 5 在 15 分鐘期間內，後龍觀海大橋的北、中、南三個位置的水位時序列.....	5-113
圖 5.73 情境 6 的起始水位.....	5-113
圖 5.74 情境 6 在模擬時間第 0.25、5、9.25、15 分鐘的水位與初始水位差值.....	5-114
圖 5.75 情境 6 在 15 分鐘期間內的最高水位高程空間分佈 .....	5-115

圖 5.76	情境 6 在 15 分鐘期間內，後龍觀海大橋附近最大水位高程分佈.....	5-115
圖 5.77	情境 6 在 15 分鐘期間內，後龍觀海大橋的北、中、南三個位置的水位時序列.....	5-116
圖 5.78	情境 7 在模擬時間第 0.25、4.5、8.5、15 分鐘的水位與初始水位差值.....	5-117
圖 5.79	情境 7 在 15 分鐘期間內的最高水位高程空間分佈 .....	5-118
圖 5.80	情境 7 在 15 分鐘期間內，後龍觀海大橋附近最大水位高程分佈.....	5-118
圖 5.81	情境 7 在 15 分鐘期間內，後龍觀海大橋的北、中、南三個位置的水位時序列.....	5-118
圖 5.82	情境 8 在模擬時間第 0.25、5、9.25、15 分鐘的水位與初始水位差值.....	5-119
圖 5.83	情境 8 在 15 分鐘期間內的最高水位高程空間分佈 .....	5-120
圖 5.84	情境 8 在 15 分鐘期間內，後龍觀海大橋附近最大水位高程分佈.....	5-120
圖 5.85	情境 8 在 15 分鐘期間內，後龍觀海大橋的北、中、南三個位置的水位時序列.....	5-120
圖 5.86	情境 5(藍點)、情境 6(藍圈)、情境 7(紅點)和情境 8(紅圈)在後龍觀海大橋的北(上圖)、中(中圖)、南(下圖)三個位置的水位時序列比較.....	5-123
圖 5.87	由海科中心的海洋地形(500 公尺解析度)和內政部 DEM 陸地地形(5 公尺解析度) 內插所得到的地形，取紅色虛線的深度來評估平均坡度.....	5-124
圖 5.88	位於圖 5.87 紅虛線處的地形.....	5-125
圖 5.89	Fluidity 模式右邊界使用的 16 種入射波形.....	5-126
圖 5.90	不同條件組合的 80 個情境模擬.....	5-126

圖 5.91 Fluidity 模式模擬之 5 種背景流量所對應的初始水平流速(上圖) 以及模式地形(下圖).....	5-127
圖 5.92 入射波振幅 2 公尺、周期 30 秒在第 15 秒及 2、4、6、8 分鐘 的空間波形，由上至下的背景流量各為-6、-3、0、3、6 平方 公尺每秒.....	5-128
圖 5.93 入射波振幅 1 公尺、周期 90 秒在第 45 秒及 2、4、6、8 分鐘 的空間波形，由上至下的背景流量各為-6、-3、0、3、6 平方 公尺每秒.....	5-128
圖 5.94 入射波振幅 2 公尺、周期 30 秒於背景流量-6、-3、0、3、6 平 方公尺每秒的條件下在座標 X=0 的水位時序列 .....	5-129
圖 5.95 入射波振幅 1 公尺、周期 90 秒於背景流量-6、-3、0、3、6 平 方公尺每秒的條件下在座標 X=0 的水位時序列 .....	5-129
圖 5.96 4 種振幅和五種流量的周期對最大水位值.....	5-130
圖 5.97 4 種振幅和 5 種流量的周期對最大水位與振幅比.....	5-130
圖 5.98 4 種周期和 5 種流量的振幅對最大水位值.....	5-131
圖 5.99 4 種周期和 5 種流量的振幅對最大水位與振幅比.....	5-131
圖 5.100 4 種振幅和 4 種週期的流量對最大水位值.....	5-132
圖 5.101 4 種振幅和 4 種週期的流量對最大水位與振幅比.....	5-132
圖 5.102 入射波振幅 1 公尺、周期 10 秒於背景流量-6、-3、0、3、6 平方公尺每秒的條件下在座標 X=0 的水位時序列 .....	5-133

# 第一章 緒論

## 1.1 計畫緣起及目的

台灣四面環海，地狹人稠、陸上資源有限，為了能夠合理且有效地規劃與開發近岸生活圈，政府機構長期以來積極推動規劃近岸海域的開發利用，致力於保護與維護沿海的百姓生命財產及海上運輸的安全。基於保護臺灣周遭水域航行船舶與人員安全，以及水環境維護等考量，交通部運輸研究所乃於民國 92 年起著手推動近岸/近海防救災相關海象預報系統，配合已經推動多年的海氣象觀測，成立海情中心，提供相關海象觀測與預測的資料，協助相關單位維護臺灣水域的安全。

我國屬於海島型國家，臺灣本島與離島間各類物資及人員多需仰賴海洋運輸，因此發展藍色公路乃為政府長期推動的政策；維護船舶海上航行安全，乃為國家施政積極努力之目標。考量臺灣周圍海域海象變化莫測，時有船舶或漁船筏等海上事件發生，如近年來發生的海洋拉拉號、百麗客輪等客輪航行安全事件，前述事件雖未造成人員重大傷亡，但也突顯離島海運存在的風險實不容輕忽。

基於此，交通部運輸研究所長期推動發展近岸/近海防救災相關海象預報系統，配合海氣象觀測，除了提供各大商港海象觀測與預報的資料外，更以海洋國家格局，積極態度面對發展藍色公路，提供相關航線上海象數值預報資訊，確保航運安全，同時協助相關單位維護臺灣海域的安全。

因此，交通部運輸研究所乃於 104 年科技計畫「海洋防災科技及永續發展計畫」綱要計畫之分項計畫「臺灣主要商港海象暨溢淹資訊建置之研究」，推動本項合作研究子計畫「海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運」。

本計畫除了協助港灣技術研究中心針對現有的主要商港有關風力、波浪、潮位及海流等海象預報系統進行改善及維護，及相關預報與實測資料的比較分析外，在既有的系統及研究基礎上，本年度將針對離島澎湖港海域規劃與建置合適的波浪、水位及流場等海象模擬子系統，提供澎湖港與本島各港口間藍色公路相關的海象模擬資訊；另於颱風侵襲期間，藍色公路相關海象模擬結果亦可作為防災預警之評估依據，以確保藍色公路海上航行安全。

本計畫預期相關研究之成果及經驗將能夠應用至其他離島海域，達到完善臺灣週圍海域「海氣象模擬預報系統」之目標。

## 1.2 相關本計畫

整體研究之先期計畫係由中山大學陳陽益教授及李忠潘教授所組成的跨領域研究團隊及交通部運輸研究所港灣技術研究中心(以下簡稱港研中心)研究人員共同進行合作研究，除了參考國內外近海海象預報系統及相關海象數值模式的發展與應用外，並依據臺灣周圍海域海象特性及模擬需求，規劃不同尺度與解析度之數值計算網格及其適用的相關海象數值模式。在研究團隊整合研究下，陸續完成相關軟、硬體之建置，以及海象數值模擬相關作業化模組開發。之後，由港研中心與國立中山大學合作於民國 96 年取得「臺灣環島海象預報系統-TaiCOMS (Taiwan Coastal Operational Modeling System)」之專利權，並將整個近岸海象數值模擬作業化系統移轉至港研中心持續運作與維護至今。

由於臺灣附近水域的地形與環境複雜，仍有諸多影響因子需要持續進行研究與改善，港研中心乃於四年期計畫(民國 100~103 年)進行「整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究」分項研究計畫。計畫中先於 100 年及 101 年規劃了「提昇海岸及港灣海域波浪模擬技術之研究」與「提昇海岸及港灣海域水位與海流模擬技術之研究」等合作研究計畫，102 年規劃「提昇海岸及港灣海域海象模擬技術之研究」

及 103 年規劃「臺灣主要商港海象模擬技術之精進及系統維運」等合作研究計畫。目的為了提升海岸及港灣海域海象模擬技術之研究，除了進行現有波浪、潮位及海流等海象預報系統的維護，以及相關預報與實測資料的比較分析以外，並將進一步探討水位對風浪預報的影響與系統建置，此外也進行近岸海象預報系統的改善尋求其他可能方案。第一年(民國 100 年)計畫係以基隆港域及臺北港域為對象分別進行波浪、水位及流場等海象模擬結果精進之研究，第二年(民國 101 年)計畫則以臺中港域及布袋港域為對象分別進行波浪、水位及流場等海象模擬結果精進之研究，第三年(民國 102 年)計畫改以安平港域及高雄港域為對象分別進行波浪、水位及流場等海象模擬結果精進之研究，第四年(民國 103 年)計畫除了將蘇澳港域及花蓮港域列為主要研究對象外，同時針對前述基隆、臺北、高雄、安平、臺中及布袋等 6 個港域之研究成果進行整合。同時今年度以離島澎湖港海域為重點研究對象，規劃與建置合適的波浪、水位及流場等海象模擬子系統，提供澎湖港與本島各港口間藍色公路相關的海象模擬資訊。圖 1.1 所示為本計畫研究對象澎湖群島、澎湖港(馬公港區及龍門尖山港區)與臺灣本島之相關位置圖。

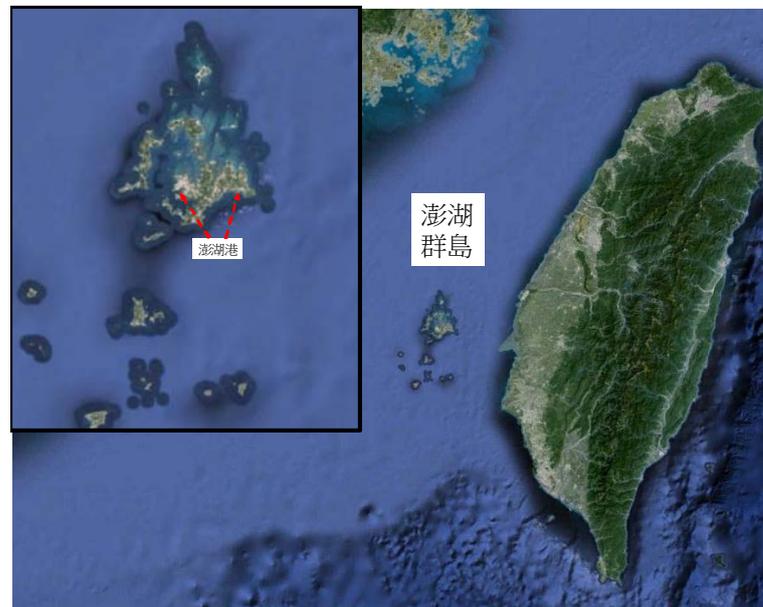


圖 1.1 澎湖群島、澎湖港與臺灣本島之相關位置圖

### 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 1.2 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 1.3 所示。

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。

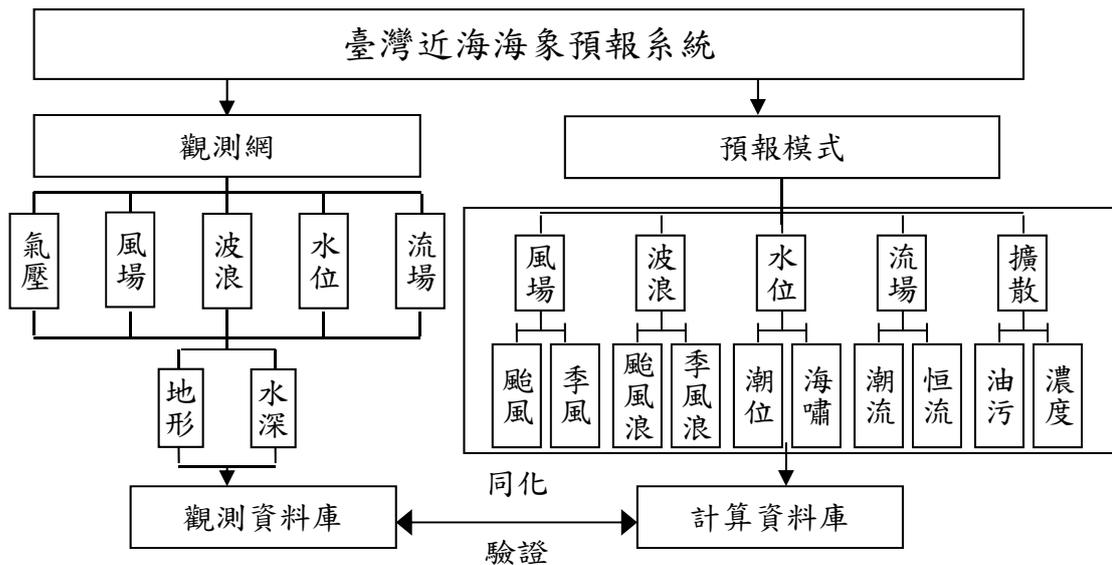


圖 1.2 臺灣近海海象預報系統架構圖

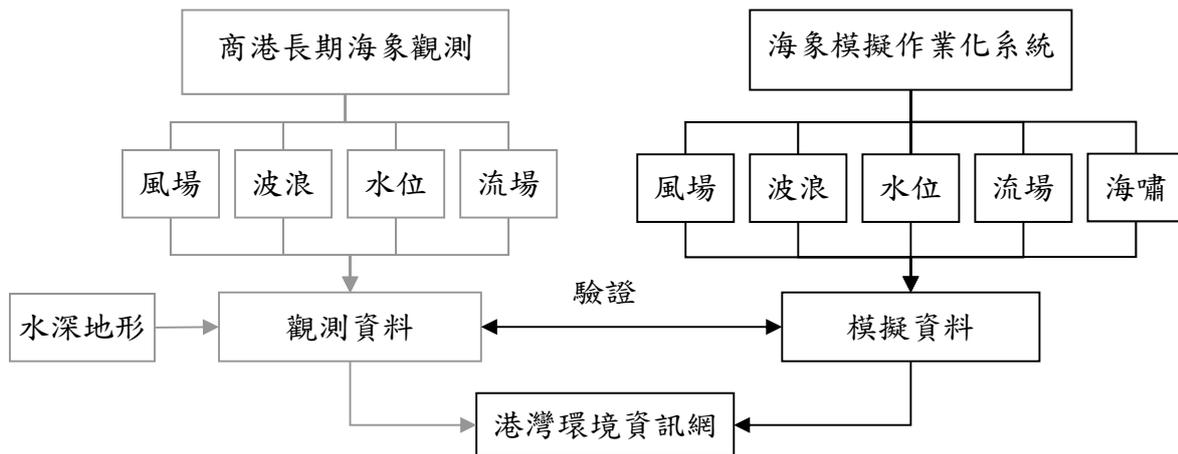


圖 1.3 海象模擬作業化系統整體架構圖

## 1.4 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. 海氣象自動化預報模擬系統校修與維運：配合港灣技術研究中心進行臺灣近岸海象模擬系統(TaiCOMS)之維護與資料更新、軟硬體更新與測試、模式作業化環境之改善及維護等相關工作。

2. 海象自動化預報模擬系統之預報精確度改善：臺灣本島主要商港海象作業化預報之精確度改善。
3. 波浪、水位及流場等海象預報作業化成果評估：配合港灣技術研究中心(或中央氣象局)臺灣本島主要商港之現場觀測資料，以進行年度預報成果評估。
4. 澎湖海域基本資料蒐集與分析：包括地形水深、風(壓)場、波浪、水位及海流等海象資料分析及藍色公路相關資訊蒐集與建置。
5. 澎湖海域近岸風浪模式建置：依據澎湖海域海象條件規劃與建置合適的風浪模式模擬澎湖海域近岸風浪，同時利用港灣技術研究中心(或中央氣象局)澎湖海域波浪觀測資料校驗模式相關參數及數值模擬結果。
6. 澎湖細尺度港域波浪模式建置：針對澎湖港龍門尖山港區現況建置合適的細尺度波浪模式模擬港區波浪場。
7. 澎湖海域近岸水動力模式建置：依據澎湖海域海象條件規劃與建置合適的水動力模式模擬澎湖海域近岸水位及流場，同時利用港灣技術研究中心澎湖海域水位及海流觀測資料校驗模式相關參數及數值模擬結果。
8. 中尺度臺灣周圍海域水動力模式校驗：依據港灣技術研究中心水位及海流觀測資料校驗模式模擬結果，作為後續模式修正之依據；並針對本年度或歷史颱風資料進行模擬與評估。
9. 海溢淹潛勢圖建置及極端氣候下之跨河橋梁通行安全評估：蒐集海嘯資料、海嘯數值模式實例探討及海嘯溢淹模擬，並整合地理資訊系統之圖資以展現溢淹模擬，分別評估臺中、布袋、安平、高雄等主要商港。並以後龍溪觀海大橋為例，建立河川水位暴漲與河川下游暴潮複合影響下之波流交互作用之數值模式，藉以評估橋梁安全性的參考，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。

## 第二章 海象模擬作業化系統

臺灣近岸海象預報系統-TaiCOMS (Taiwan Coastal Operational Modeling System)，包括臺灣近岸海象數值預報系統作業化的發展建置及與現場觀測資料比對驗證。近年主要研究目標為國內主要港灣近岸波潮流及海嘯之預警精度及作業化功能改進與應用面擴展。模式現階段發展方面，風場及氣壓場由中央氣象局提供即時預報資訊，而各項本土化波浪模式、水位模式、流場模式及海嘯模式，已推算應用於國內主要港口，並進行長期持續性模式校驗。近期研究目標為透過作業化預報模擬系統持續性驗證及校調近岸及港域模式並延伸至離島。

本章節主要目前整體作業系統及流程、系統內各項模組架構、所蒐集主要港口海氣象觀測資料與最後成果透過港灣環境資訊系統展示情形。

### 2.1 海象模擬作業化系統說明

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 2-1 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：

1. 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, NFS)，進行解碼內插後供後續模式使用。2014 年 5 月後改採氣象局 WRF(Weather Research and Forecasting model)之 WRF\_M00 模組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：

2. 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)(今年度建置澎湖港區為主)。另建置各港細尺度港區展示系統。

(3) 水動力模組：

3. 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) (今年度建置澎湖港區為主)，及臺灣海域暴潮模式(FEHDM 模式)。

(4) 海嘯模組：

4. 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 2-1 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 WRF 之 WA01 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 WRF 之 WA02 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)

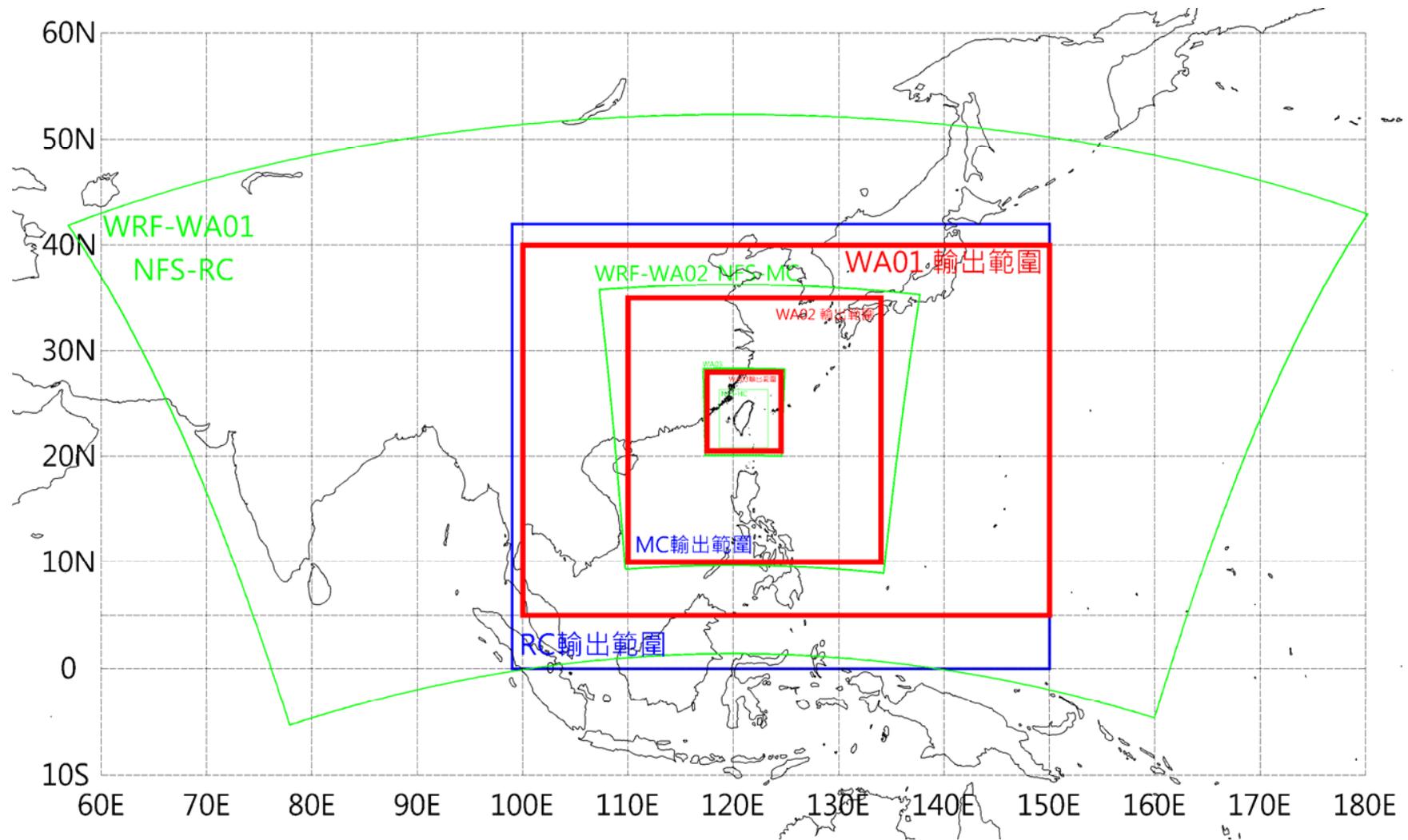


圖 2.1 風場輸出範圍

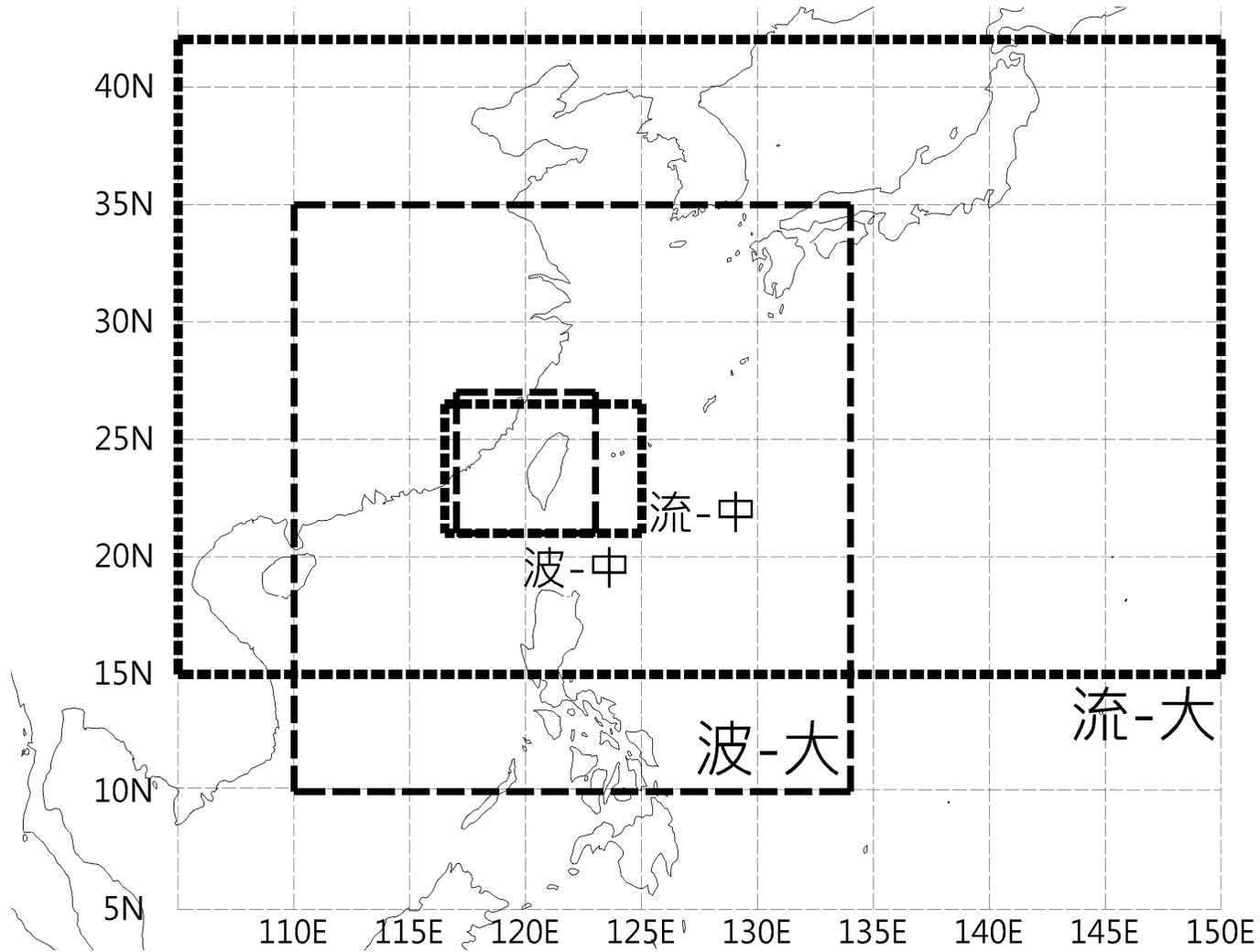


圖 2.2 波場及水動力場輸出範圍

## 2.2 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。

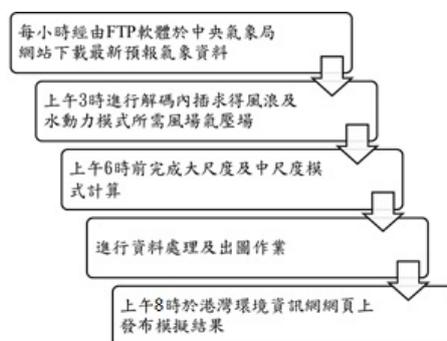


圖 2.3 海象模擬系統作業時間流程

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。

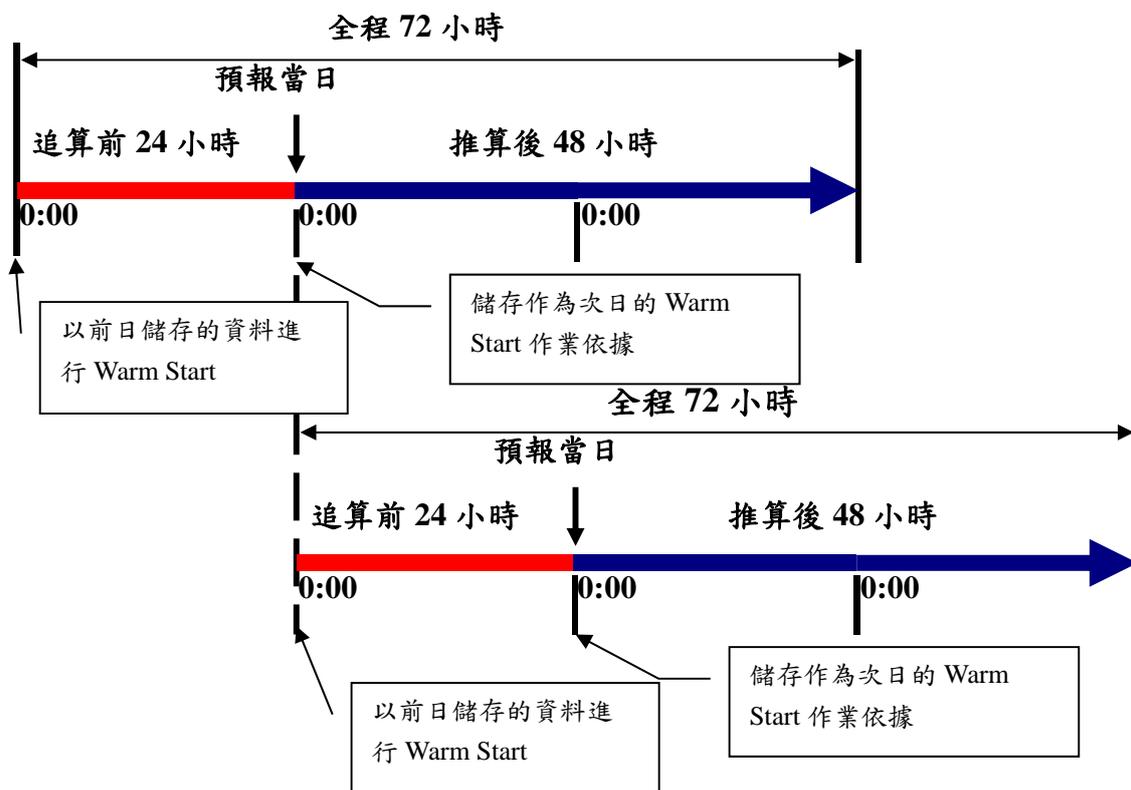


圖 2.4 海象數值模擬系統兩日作業流程範例圖

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)。

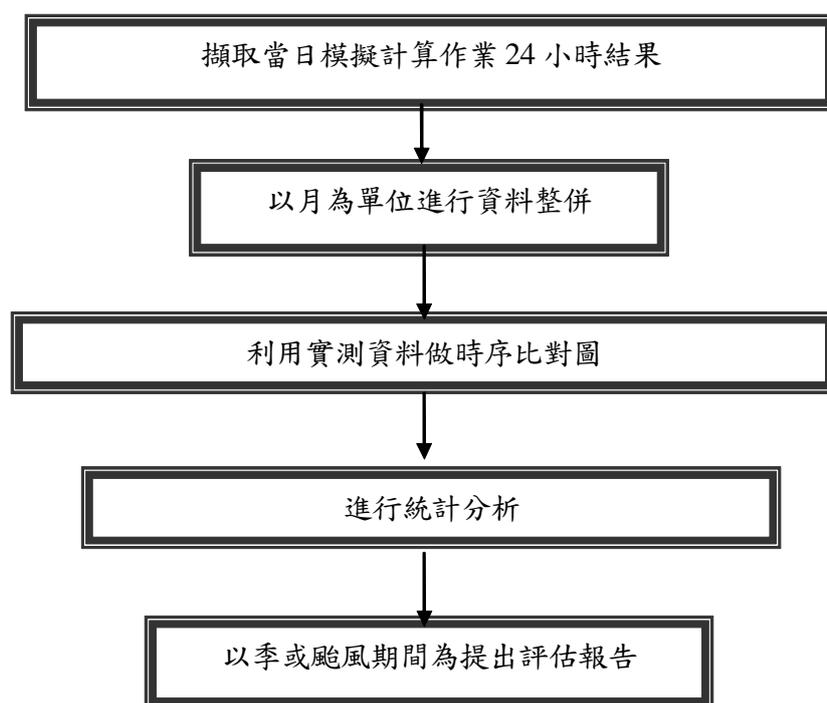


圖 2.5 海象數值系統線上作業成果評估流程

## 2.3 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 2-2 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 Taicom 各模組各項作業時間如表 2-3 所示。

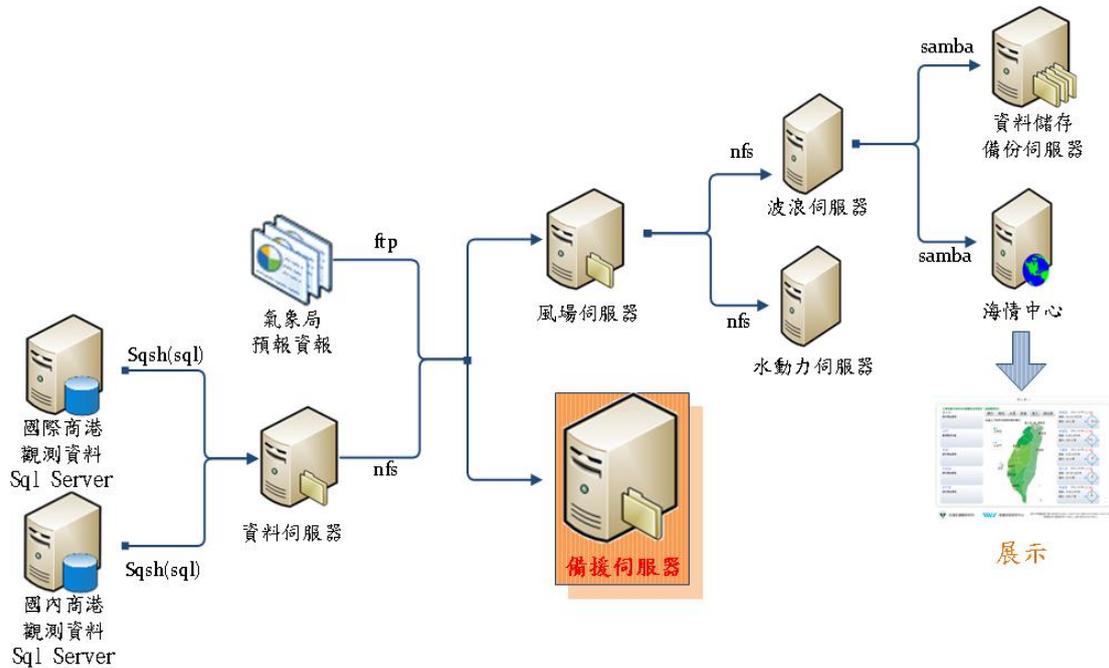


圖 2.6 系統新硬體及資料流程說明圖

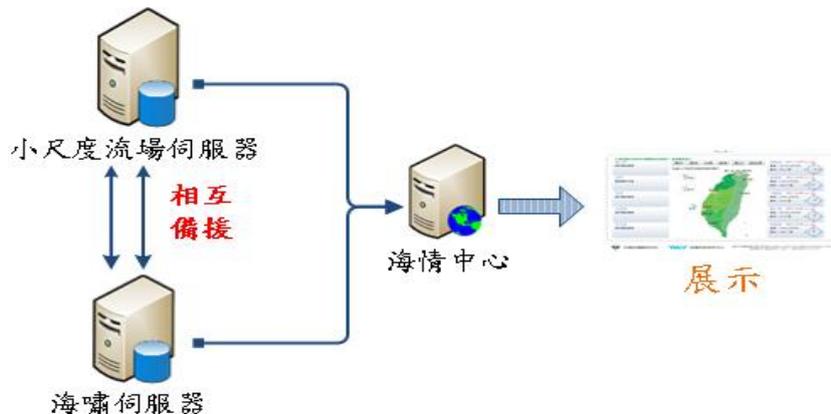


圖 2.7 小尺度流場及海嘯系統硬體及資料備援流程說明圖

表 2-2 本中心海象模擬伺服器主要功能說明

	伺服器	主要功能
1	資料伺服器	抓取各國際港及國內港之風、波、潮、流觀測資料。
2	風場伺服器	抓取氣象局 WRF 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每日風場資料。
3	水動力伺服器	大尺度流場、中尺度流場。
4	波場伺服器	資料整合平臺：提供海情中心每日風、波、潮、流模擬結果。 三日模擬：大尺度波場、中尺度波場、小尺度波場。
5	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。
6	備援伺服器	每日同步進行風場、波場及水動力模擬。
7	小尺度水動力伺服器	小尺度流場(作為海嘯伺服器備援)。
8	海嘯伺服器	海嘯模擬計算(作為小尺度水動力伺服器備援)。

表 2-3 Taicom 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)	基隆	16 分	1 次
		蘇澳	18 分	
		花蓮	11 分	
		高雄	48 分	
		安平	23 分	
		布袋	90 分	
		臺中	60 分	
		臺北	37 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	基隆	120 分	1 次
		蘇澳	130 分	
		花蓮	600 分	
		高雄	110 分	
		安平	900 分	
		布袋	80 分	
		臺中	240 分	
臺北	130 分			
海嘯	海嘯作業化系統	3 分鐘	每隔 5 分鐘，自動搜尋並截取網頁資訊 1 次	

### 2.3.1 風場處理模組

本系統採用有限區域預報系統風場預報，主要來源為中央氣象局，所採用風場屬於中央氣象局於第三代數值預報系統發展計畫時之非靜力平衡預報系統(Non- hydrostatical Forecast System)，簡稱 NFS，進行資料解碼及應用，作為後續海象預報應用。2014 年 5 月後改採氣象局 WRF (Weather Research and Forecasting model)之 WRF\_M00 模組作業化預報風場資料。因此風場處理系統主要目的為將下載的天氣數值預報之氣象資料解碼、重組及內插產生本系統海象模擬所需之格式化風、壓場資料。依據中央氣象局所提供 WRF 風場數值模擬使用的海面上 10 公風場及海面氣壓場資料，其三層網格(如表 2-4 所示)分別產生本系統定義的西太平洋風場及氣壓(WA01)、中國海域風場及氣壓(WA02)及臺灣海域風場及氣壓(WA03)等三種不同尺度模式預報資料。

1. 西太平洋風場及氣壓(WA01)：依據 WRF 水平第一層解析度 45km 網格之風(壓)場資料產生，資料輸出範圍為西太平洋北緯  $0^{\circ}$  至  $35^{\circ}$ ，東經  $99^{\circ}$  至  $150^{\circ}$ ，如表 2-5 中央氣象局風場格式表所示，其範圍可參考圖 2.2 所示。經處理後資料網格重新內插為解析度  $1/2^{\circ}$  及  $1/6^{\circ}$  之球面座標規則網格，前者提供西太平洋風場及氣壓(WA01)繪圖展示，後者提供遠域風浪模組及水動力模組作業化模擬所需之風(壓)場。
2. 中國海域風場及氣壓(WA02)：依據 WRF 水平第二層解析度 15km 網格之風(壓)場資料產生，資料輸出範圍為西太平洋北緯  $10^{\circ}$ ~ $35^{\circ}$ ，東經  $110^{\circ}$ ~ $135^{\circ}$ 。經處理後資料網格重新內插為解析度  $1/6^{\circ}$  及  $1/12^{\circ}$  之球面座標規則網格，前者提供中國海域風場及氣壓(WA02)繪圖展示，後者提供近域風浪模組及水動力模組作業化模擬所需之風(壓)場。
3. 臺灣海域風場及氣壓(WA03)：依據 WRF 水平第三層解析度 5km 網格之風(壓)場資料產生，資料輸出範圍為臺灣周圍海域北緯  $20.5$

°至 28°，東經 117.5°至 124.5°，參考圖 2.2 所示；資料網格為解析度 1/24°之球面座標規則網格，又稱為小尺度風壓場。臺灣海域風場及氣壓(WA03)主要功用為提供目前資料展示，與未來近域及小尺度風浪模組作業化模擬所需之風(壓)場。

表 2-4 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 2-5 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)

### 2.3.2 波浪模擬模組

波浪模式系統共規劃四種尺度的範圍，包括西太平洋範圍(遠域)、臺灣周圍海域範圍(近域)、近岸海域範圍及港域範圍，以期將臺灣海域所有可能預報的的波浪狀況包含在其中，其中波場及水動力場輸出範圍如圖 2-2b。以下分別就各推算範圍的相關資料進行說明：

- (一)遠域波浪推算：以西太平洋海域為範圍，屬於大尺度的推算，其目的是希望得到較佳的近域波浪推算邊界參考輸入值，同時也考慮能涵蓋各種侵臺的颱風路徑。主要應用 WAM(WAVE Model) 的波浪推算模式，與中央氣象局每日預報之動態風場結合。其模擬範圍由北緯  $10^{\circ}$  至  $35^{\circ}$ ，東經  $110^{\circ}$  至  $134^{\circ}$ ，數值計算格網解析度為  $0.2^{\circ} \times 0.2^{\circ}$  (12 分網格)。
- (二)近域波浪推算：以臺灣周圍海域模式範圍，屬於中尺度的推算，此部分模擬則可以提供近岸範圍模式的邊界條件，主要應用波浪推算模式採用以荷蘭 Delft 大學發展的近海風浪模式 SWAN(Simulating WAVES Nearshore) 做為基礎並以適合臺灣海域的模式參數改善。近域波浪推算的輸入邊界條件是以巢狀計算的觀念，自遠域浪推算結果中擷取近域波浪推算範圍的邊界，與中央氣象局每日預報之動態風場結合。其模擬範圍由北緯  $21^{\circ}$  至  $27^{\circ}$ ，東經由  $117^{\circ}$  至  $123^{\circ}$ ，數值計算格網解析度為  $0.04^{\circ} \times 0.04^{\circ}$  (2.4 分網格)。
- (三)近岸波浪推算：小尺度的近岸區域模式系統，主要應用 Kirby and Dalrymple (1983) 依據拋物線型緩坡方程式所發展的波浪折、繞射模式(REF/DIF，波浪折繞射模式)，此模式的輸入邊界條件係承接近域波浪推算的結果，並依據各個商港地區不同特性來規劃計算範圍。
- (四)港域波浪推算：細尺度的近岸區域模式系統，所使用的模式是以橢圓型緩坡方程式為基礎的有限元素法數值模式。本範圍的推算依據各個商港地區不同特性來規劃計算範圍，但由於執行時間的

考量並未直接進行預報模式計算，而是發展成後續應用驗證模式。

### 2.3.3 水動力模組

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

(一)遠域水動力推算：以西太平洋海域為範圍，屬於大尺度的推算。

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

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

(三)近岸水動力推算(FEHDM 模式)：小尺度的近岸區域模式系統，主要應用的各港區近岸水動力模式則採用二維有限元素水動力模式 fehdm(有限元素水動力模式)，並依據各個商港地區不同特

性來規劃計算範圍，各港口模擬範圍之選取主要以各港口為中心，配合海岸線及地形水深變化進行規劃，離岸之開放邊界則儘量與海岸線平行。基於此，本計畫各港口水動力模式模擬範圍大小在沿岸方向約介於 20km~30km 之間，離岸距離在各港口約介於 10km~15km 之間。

- (四) 臺灣周圍海域模式暴潮模擬(FEHDM 模式)：於 101 年度開始計畫規劃建置包屬於臺灣周圍海域模擬範圍的中尺度有限元素計算網格，2014 年 5 月後依據中央氣象局預報之數值風速及氣壓場資料 WRF 風場(WRF\_M00)進行運作，配合有限元素水動力模式建置新的中尺度臺灣周圍海域範圍暴潮模組，模擬颱風期間臺灣周圍海域暴潮變化現象，並作為發展後續近岸水動力模式之邊界條件，目前建置導入風場及其氣壓場作業化運作。

#### 2.3.4 海嘯模組

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

### 2.3.5 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。

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 組風場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 wayyyymmddHH.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 85 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，再進行內插作業。

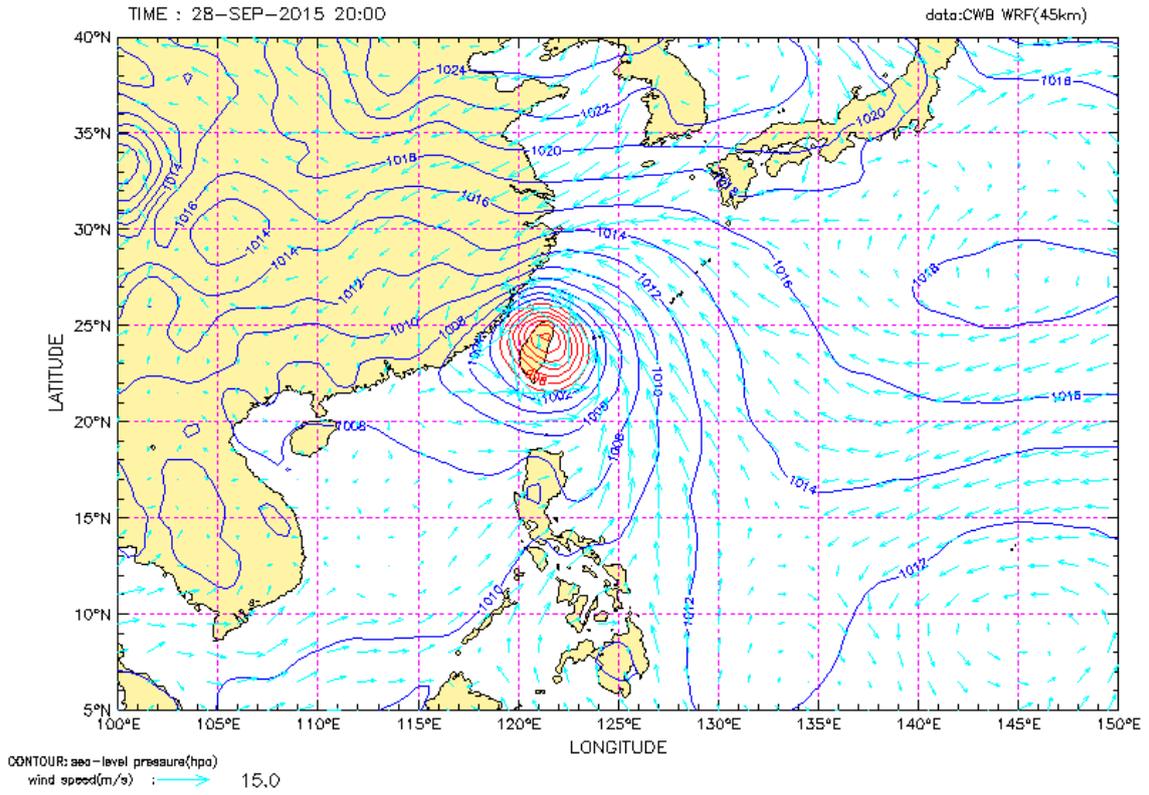
每日預報風場作業化配合每日 4 筆資料，每日分時段提供 4 筆資料，整體作業化流程將氣象局所提供風場資料以較接近預報時間資料為先擷取方式彙整，實際擷取方式依 102 年度「港灣海氣象數值模擬作業化之研究(1/2)」計畫評估結果為求整體風場穩定扣除 00~05 等 6 筆資料，直接擷取 06 至 77 筆資料，提供風場模擬資料，每次可展示及提供未來 72 小時風場及氣壓場預報資料，表示 WRF 預報風場較 NFS 預報風場更密集且可供查詢預報時間會更多，可提供風浪及水動力模擬使用。作業化所展示資料為 WA01、WA02 及 WA03 之 2 維資料風

場向量圖檔如圖 2.8~圖 2.10 所示，有關轉出資料格式如表 2-1 所示，其展示畫面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**

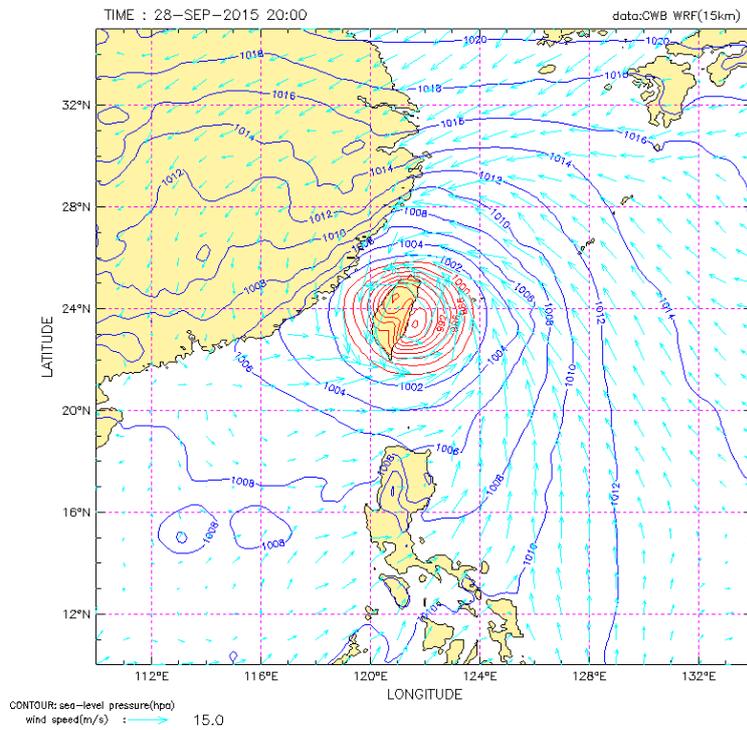
氣象資料	解析度
10 百帕風場	(45km, 15km,5km)
700 百帕風場	(45km, 15km,5km)
850 百帕風場	(45km, 15km,5km)
925 百帕風場	(45km, 15km,5km)
1000 百帕溫度場和風場	(45km, 15km,5km)
地表空氣氣壓場、溫度場和風場	(45km, 15km,5km)
相對濕度	(45km, 15km,5km)
10 米高風場	(45km, 15km,5km)
80 米高風場	(45km, 15km,5km)
平均海水面氣壓	(45km, 15km,5km)

為利於整體作業環境，利用 WA01、WA02 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 12.00~12.84m 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 2.11 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。



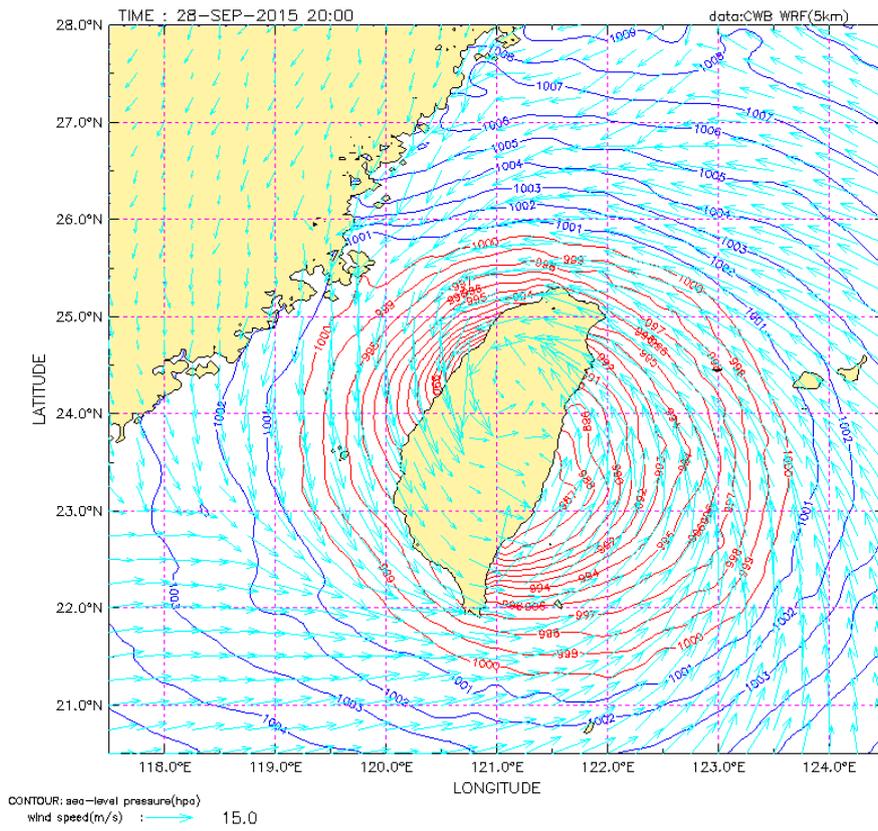
時間：2015年9月28日20時

圖 2.8 杜鵑颱風 WRF(WA01)風場向量圖



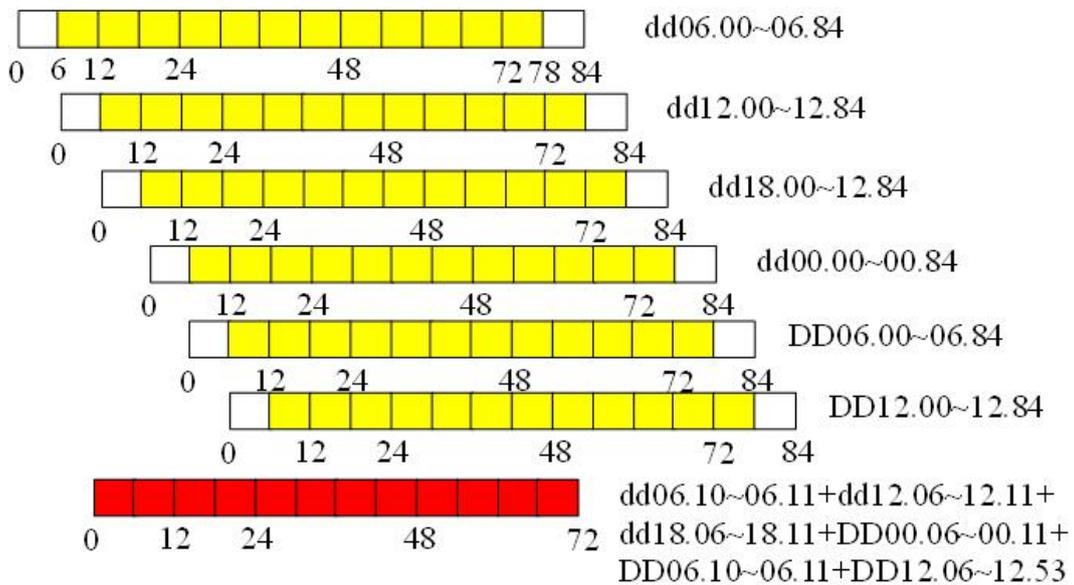
時間：2015年9月28日20時

圖 2.9 杜鵑颱風 WRF(WA02)風場向量圖



時間：2015年9月28日20時

圖 2.10 杜鵑颱風 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 2.11 每日 WRF 擷取風場及提供每日波風場資料

### 2.3.6 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 2.12 所示。

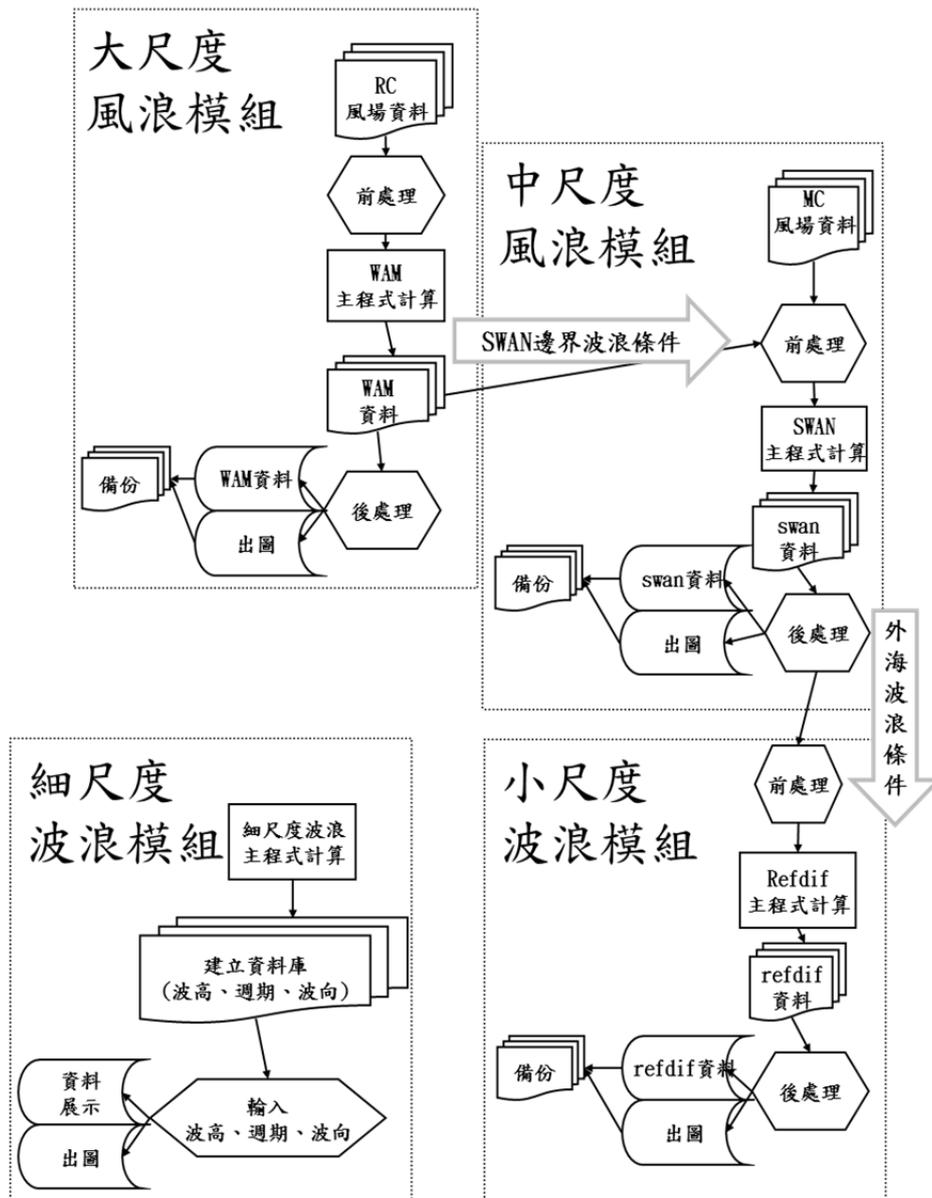


圖 2.12 波浪模擬作業流程圖

## 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，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，包含金門及馬祖等離島範圍，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 2-1 所示，模擬範圍如圖 2.13。

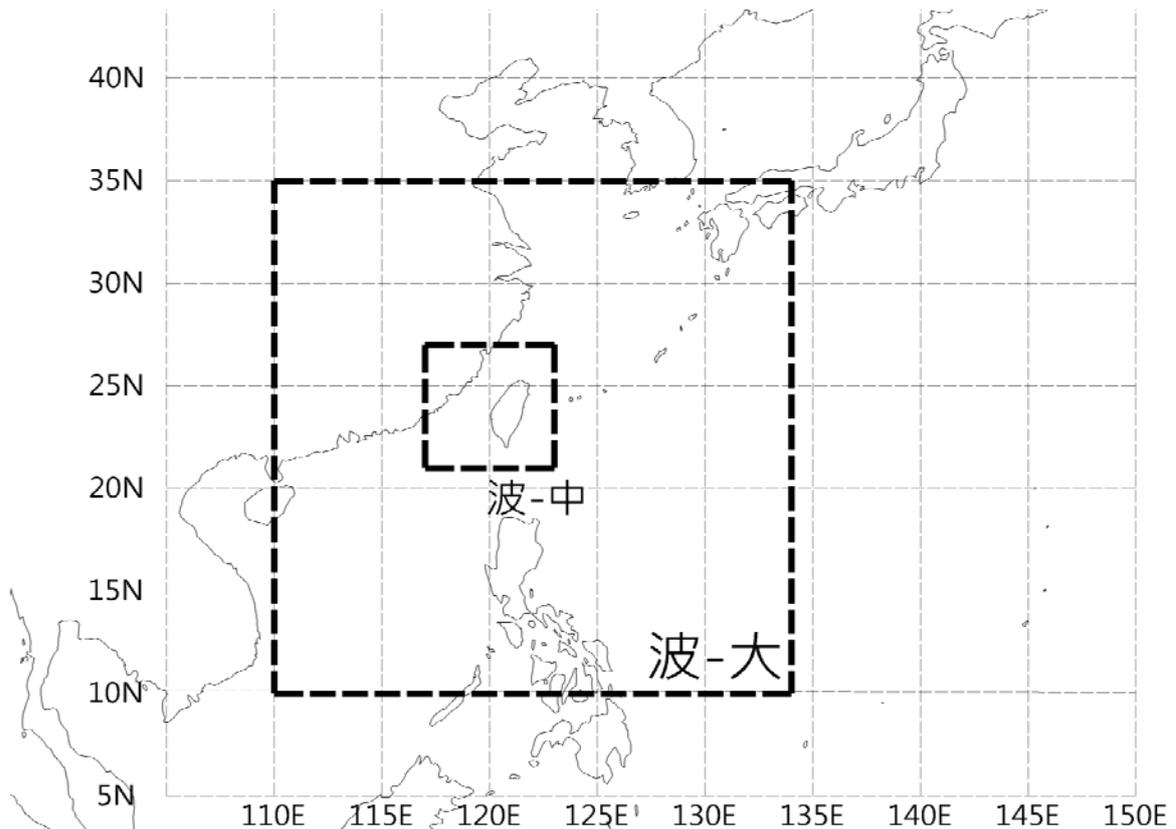
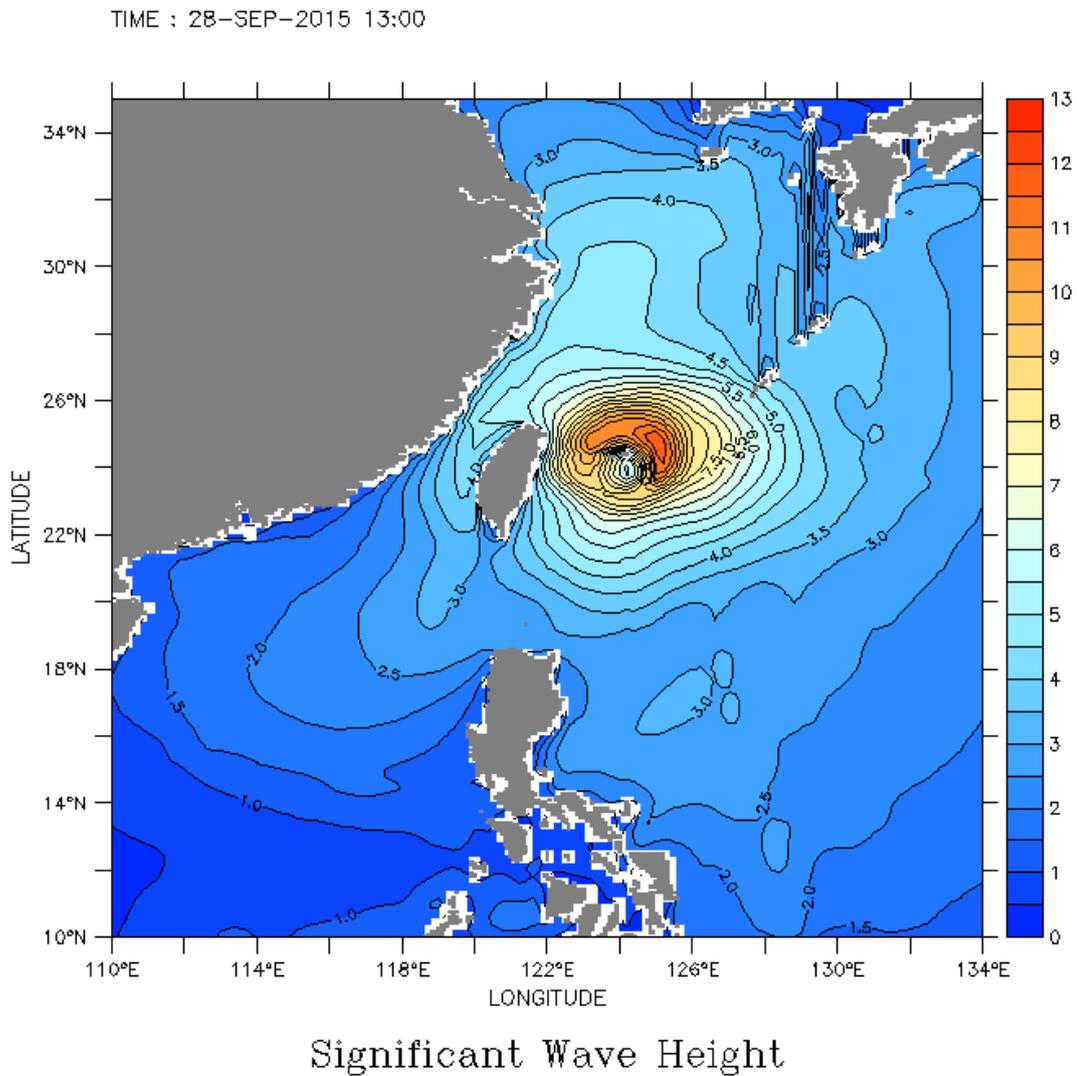


圖 2.13 大尺度及中尺度波場模擬範圍圖

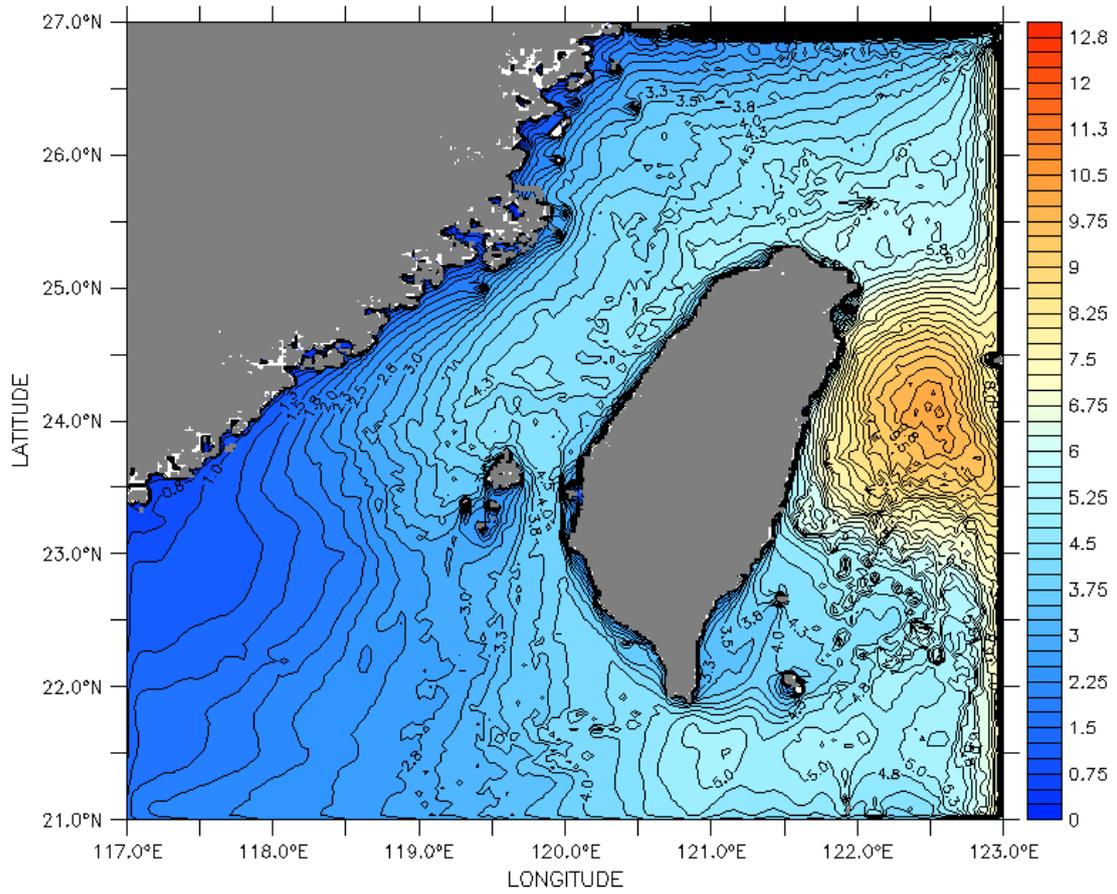
其中大尺度西太平洋風浪模組利用昨日模擬第 24 小時結果作為初始資料並採用 WA01 風場預報資料模擬海面上風浪之生成、發展及傳播過程；中尺度臺灣周圍海域風浪模式利用昨日模擬第 24 小時結果作為初始資料，使用 WA02 風場預報資料，與當日 WAM 模組所提供邊界條件(波高、波浪週期、波向)，模擬臺灣周圍海域之風浪，並輸出主要港口外海波浪條件(波高、週期、波向)。模式模擬時間長度為三天(72 小時，昨日、今日、明日)。下圖 2.14、圖 2.15 為作業化模式產生杜鵑颱風於 2015 年 9 月 28 日 13 時大尺度及中尺度波高分布圖。



時間：2015 年 9 月 28 日 13 時

圖 2.14 杜鵑颱風大尺度波高分布圖

TIME : 28-SEP-2015 13:00



Significant Wave Height

時間：2015年9月28日13時

圖 2.15 杜鵑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，已完成八大港區銜接中尺度波場作業化系統，直接由中尺度風浪結果擷取港域外海波浪資料(波高、週期、波向)作為輸入條件。

各港於模擬計算時，配合 REF/DIF 模式，將港口旋轉至左側為水域部分，各港旋轉角度如表 2-7 所示，各港數值模擬範圍及各港作業化所擷取點位資料如圖 2.16 所示、旋轉後波浪模式所計算之水深地形分布如圖 2.17。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 2.18 作業化波高分布圖所示。

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

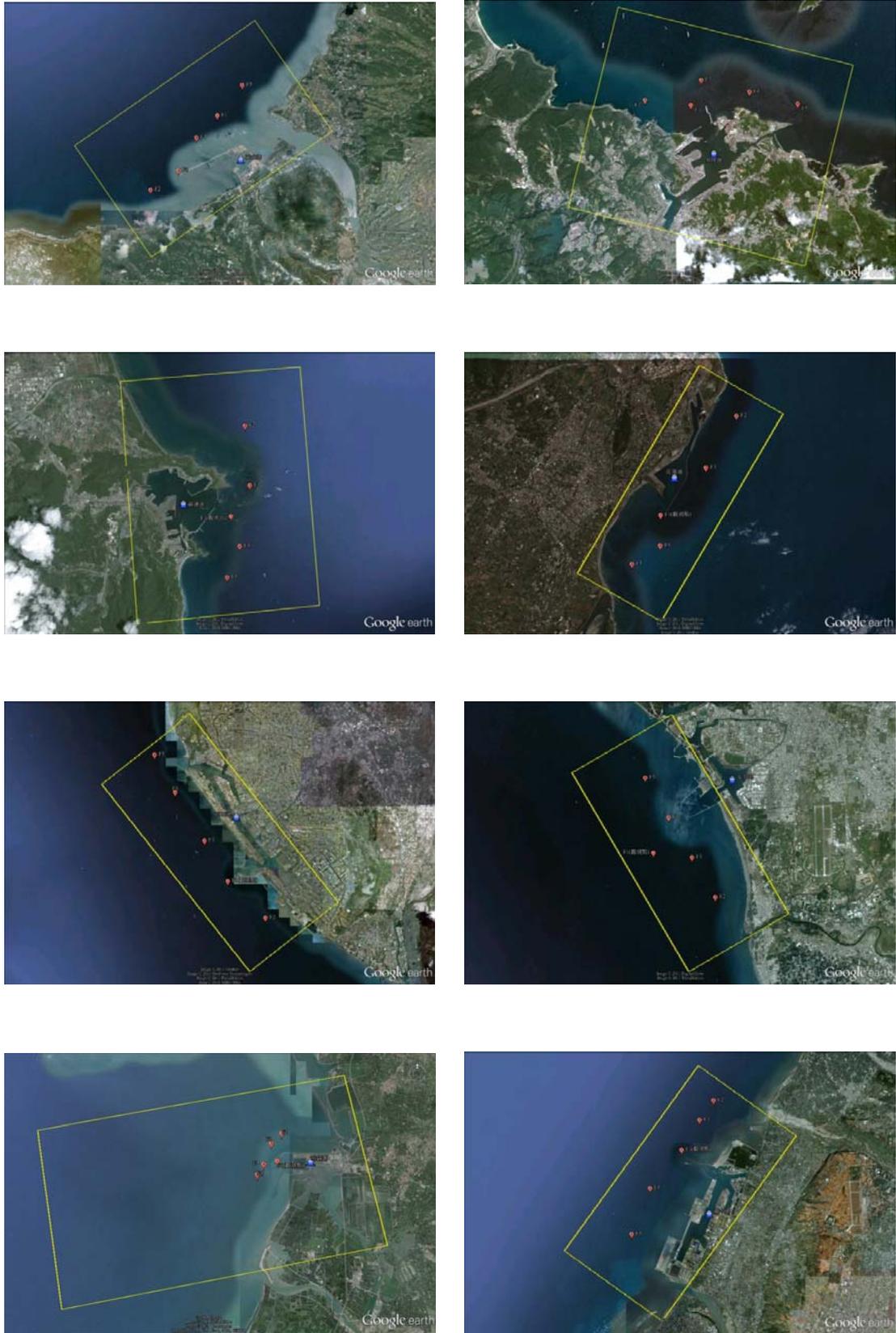


圖 2.16 近岸區域波浪模擬範圍圖

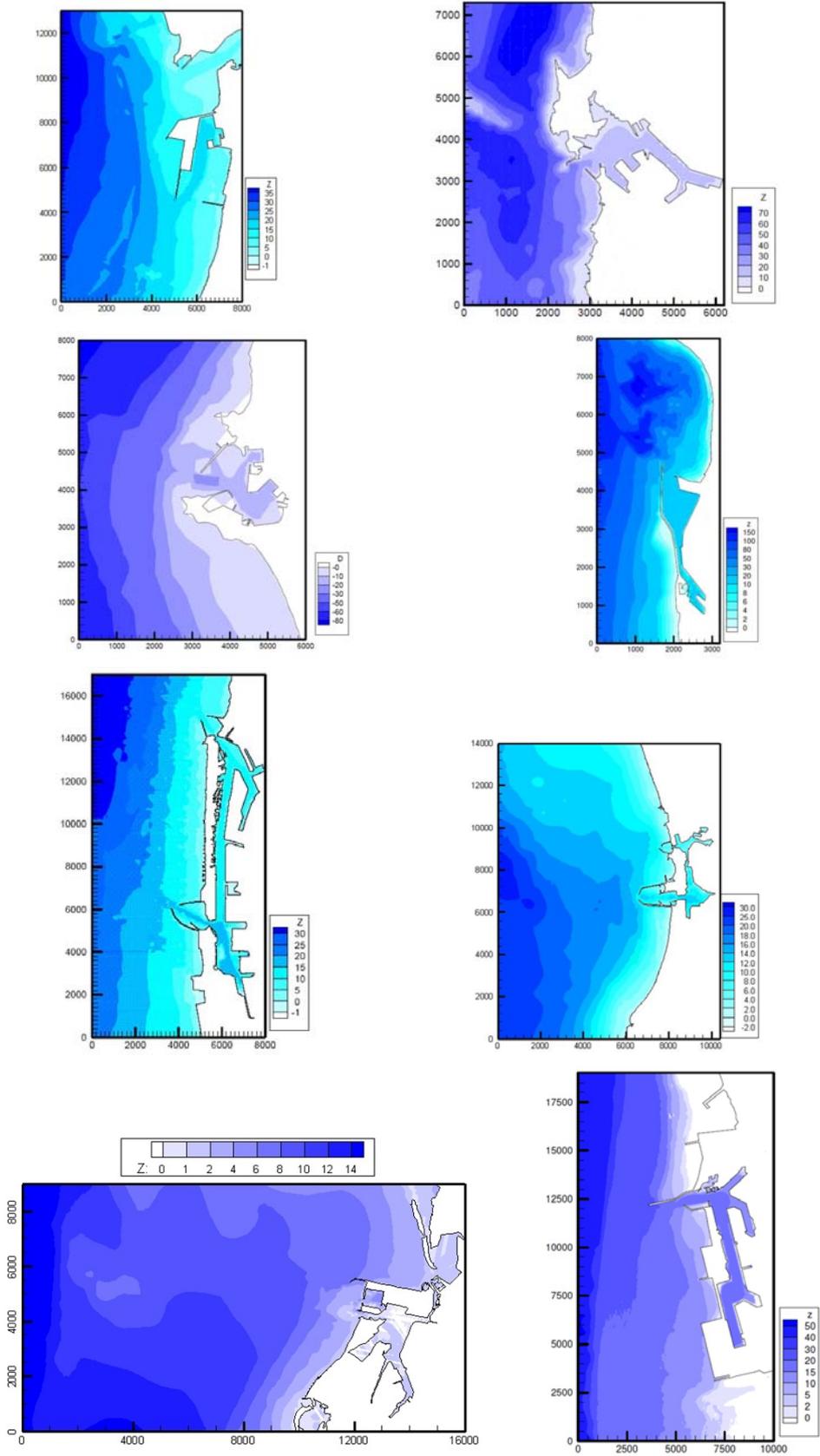


圖 2.17 近岸港區波浪模式地形水深分布圖

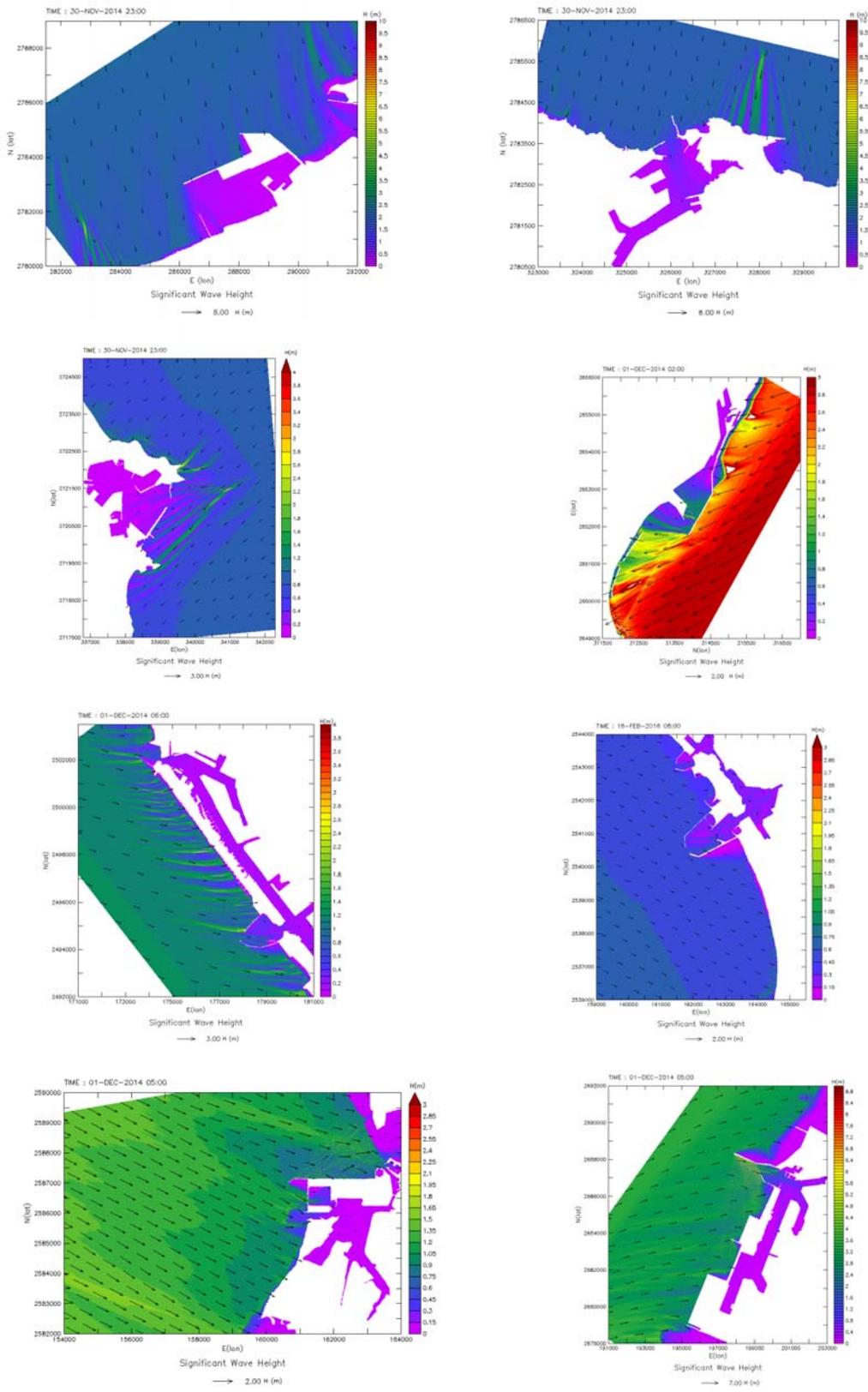


圖 2.18 作業化波高分布圖

### 3.細尺度波浪模式

因應颱風波浪侵襲下能快速掌握港內穩靜狀況，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 sec、臺北港 10 sec、蘇澳港 8 sec、花蓮港 7 sec、臺中港 10 sec、安平港 10 sec、高雄港 10 sec 及布袋港 8 sec 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。

波浪模式之邊界包括自然海岸線、防波堤、碼頭區及其他非碼頭區邊界等，由於邊界反射係數大小不僅與其構造有關，且與波浪週期關係密切，因此如何決定模式邊界反射係數大小在實際操作上相當困難，本計畫基於簡化考量，假設邊界反射係數為定值，且不受波浪週期影響而改變。目前港埠碼頭設施大多為直立壁，其反射率通常接近全反射，因此假設其反射係為 1.0；港口外防波堤及港內防波堤構造多為直立堤及消波塊，其反射率約介於 0.6~0.8 之間，對於外防波堤假設其反射係為 0.8，內防波堤反射係為 0.65；至於港內非碼頭區之其他邊界，則假設其反射係為 0.75。

計畫內所建置基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄一港、高雄二港、安平港、布袋港、臺中港及臺北港各港水深地形分布及展示畫面如圖 2.19a~圖 2.19i 所示

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) 右上(208557.92, 2690817.88)	3500	23	10
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 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)。

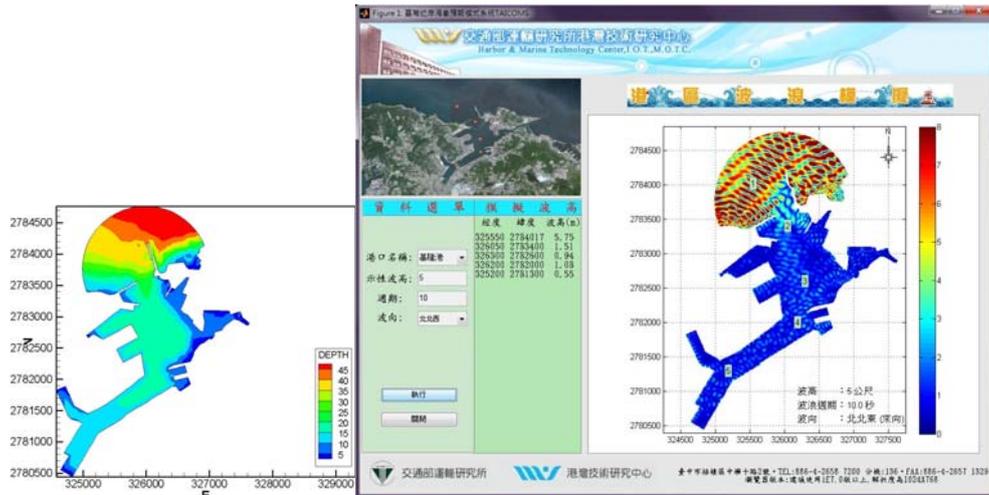


圖 2.19a 基隆港細尺度波浪模組-地形水深分布及展示畫面

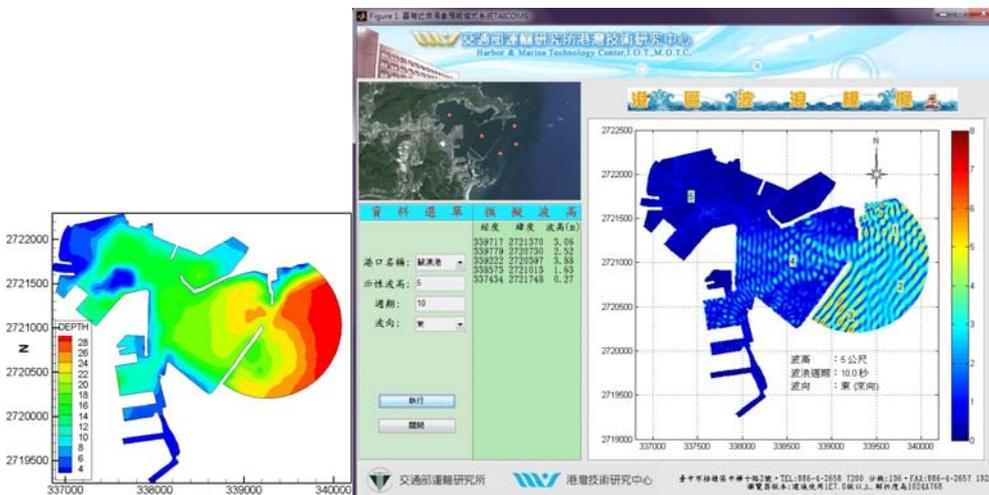


圖 2.19b 蘇澳港細尺度波浪模組-地形水深分布及展示畫面

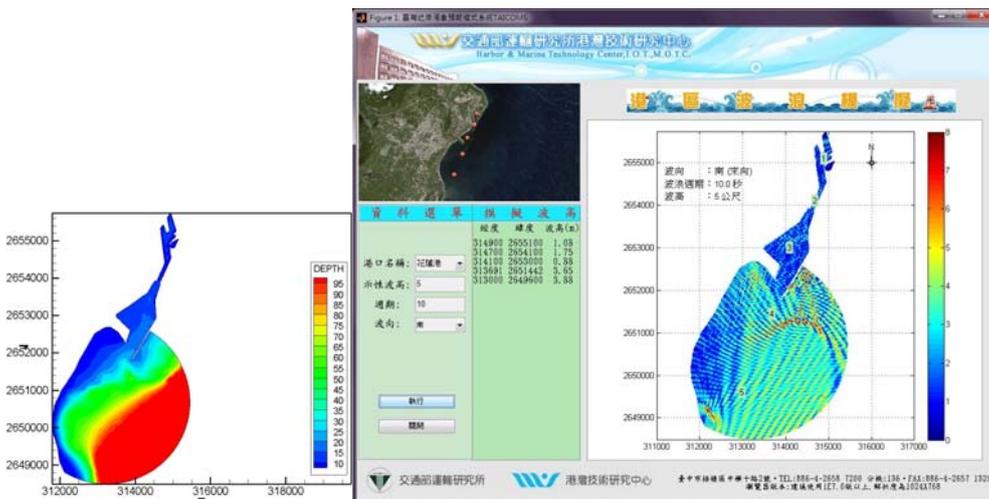


圖 2.19c 花蓮港細尺度波浪模組-地形水深分布及展示畫面

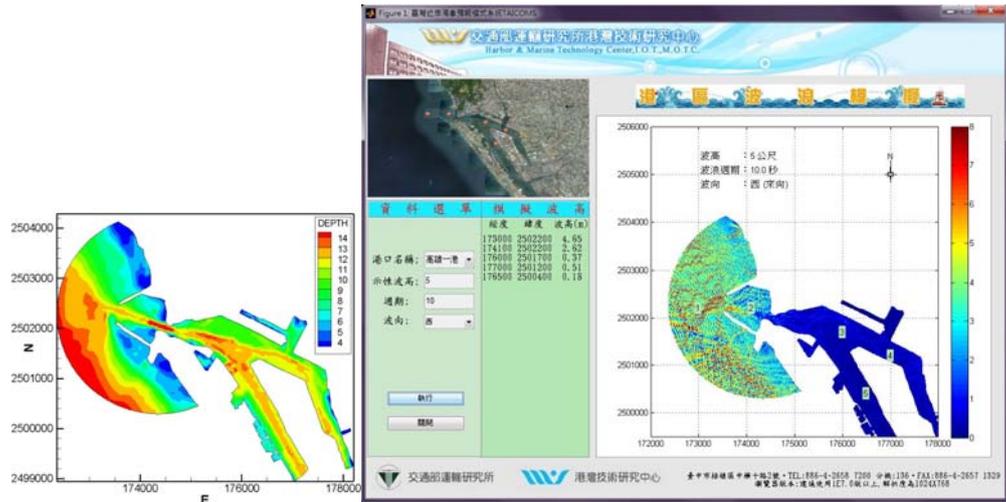


圖 2.19d 高雄一港細尺度波浪模組-地形水深分布及波浪展示畫面

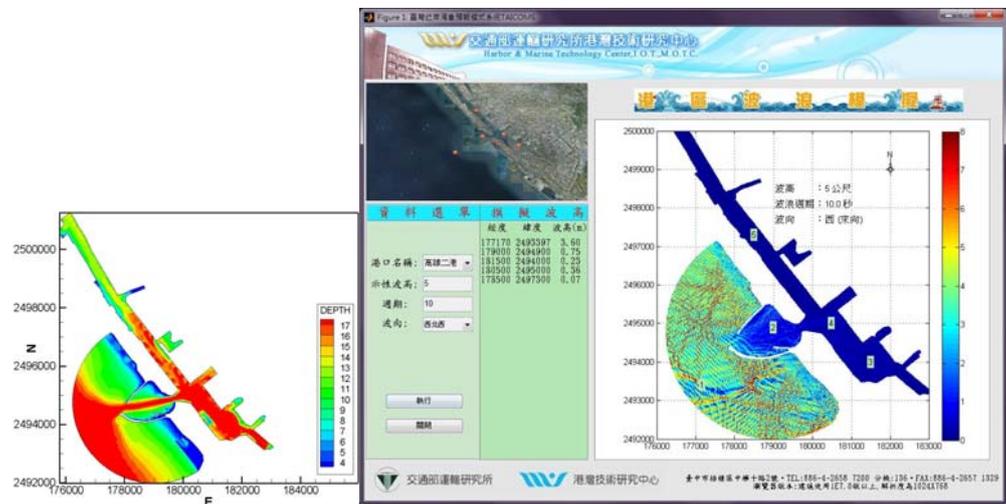


圖 2.19e 高雄二港細尺度波浪模組-地形水深分布及波浪展示畫面

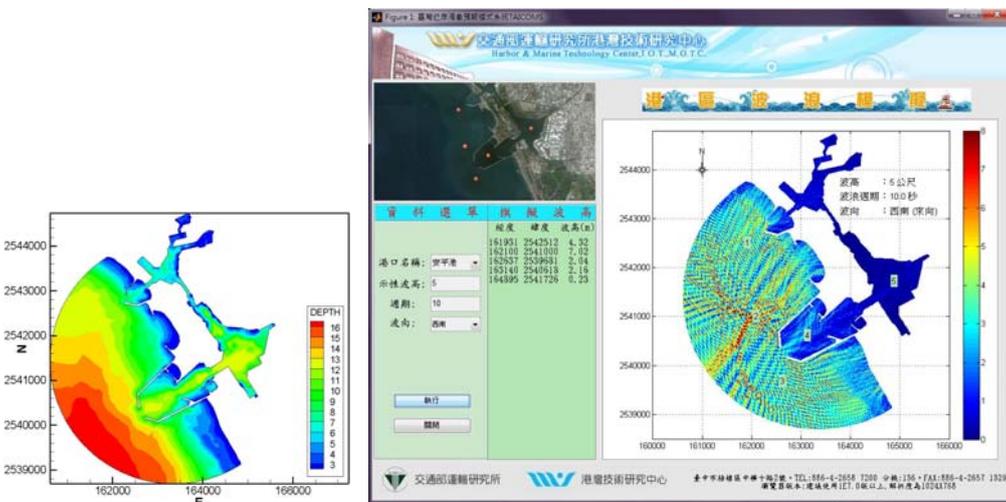


圖 2.19f 安平港細尺度波浪模組-地形水深分布及波浪展示畫面

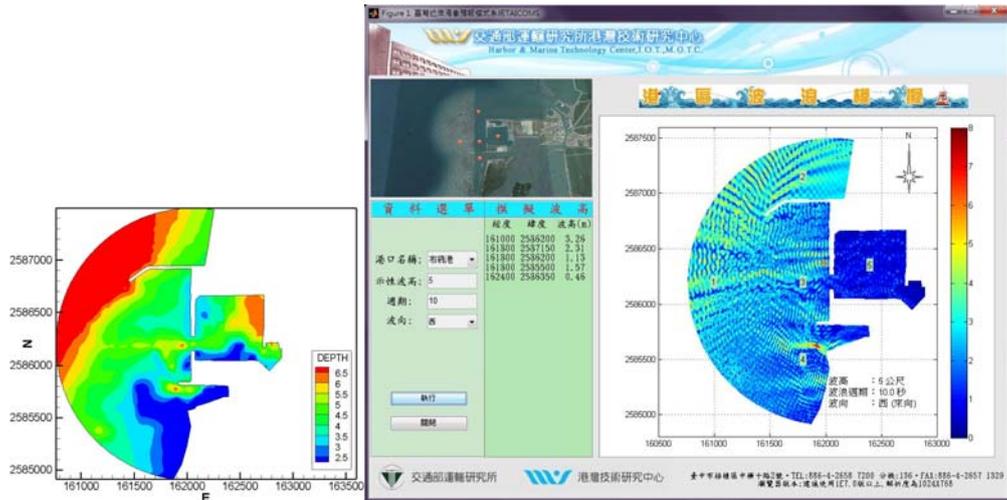


圖 2.19g 布袋港細尺度波浪模組-地形水深分布及波浪展示畫面

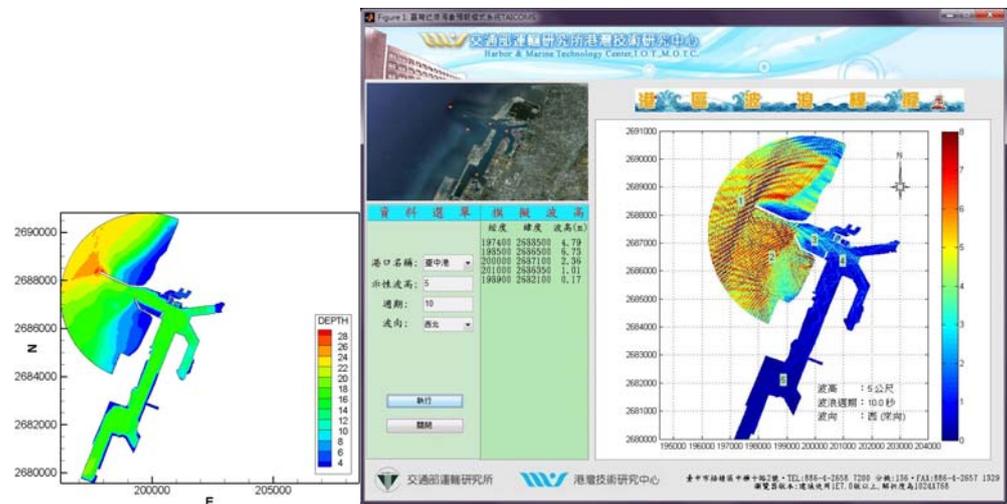


圖 2.19h 臺中港細尺度波浪模組-地形水深分布及波浪展示畫面

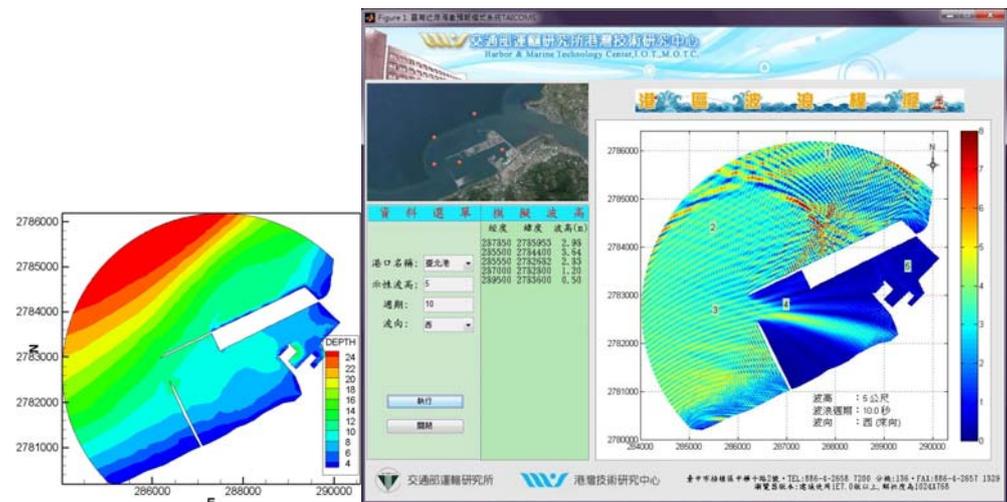


圖 2.19i 臺北港細尺度波浪模組-地形水深分布及波浪展示畫面

### 2.3.7 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 2.20 所示。

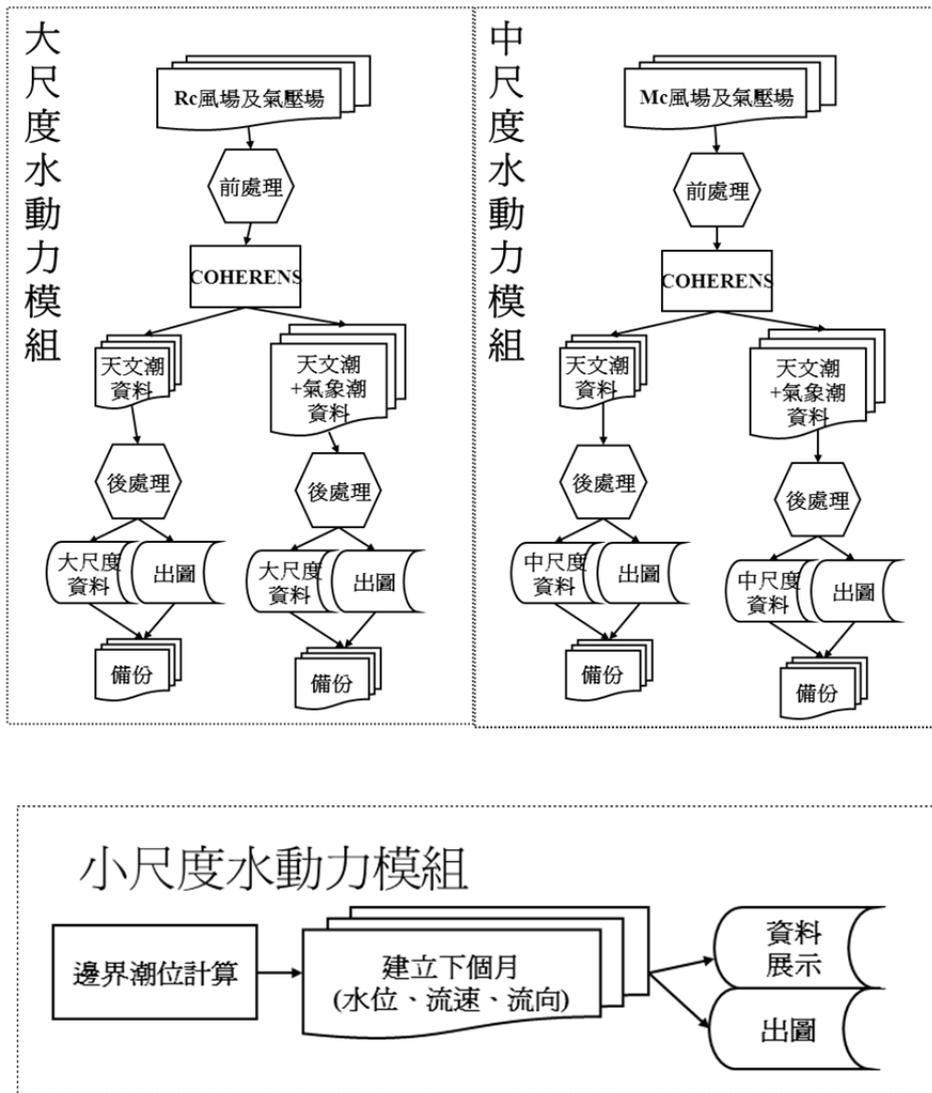


圖 2.20 水動力模擬作業流程圖

## 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 2.21 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 2.22a 及圖 2.22b 為作業化模式產生杜鵑颱風於 2015 年 9 月 28 日 13 時大尺度及中尺度水位分布，圖 2.23a 及圖 2.23b 為大尺度及中尺度流速流向分布圖，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。

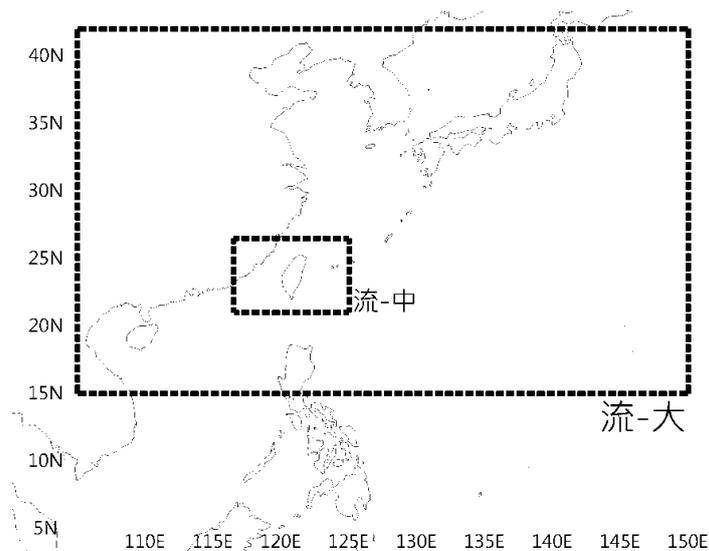
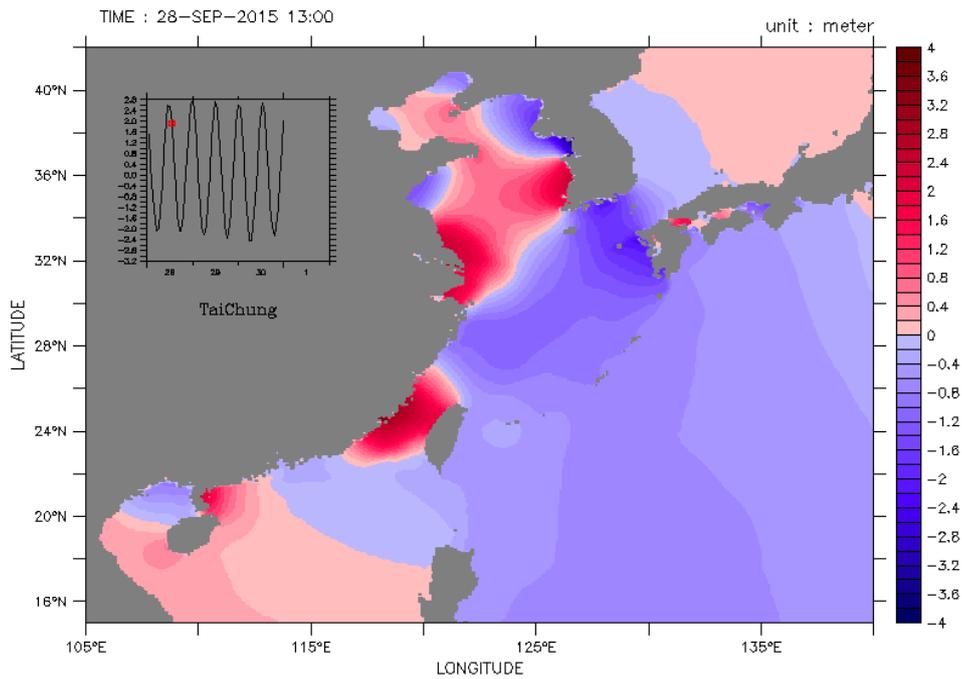


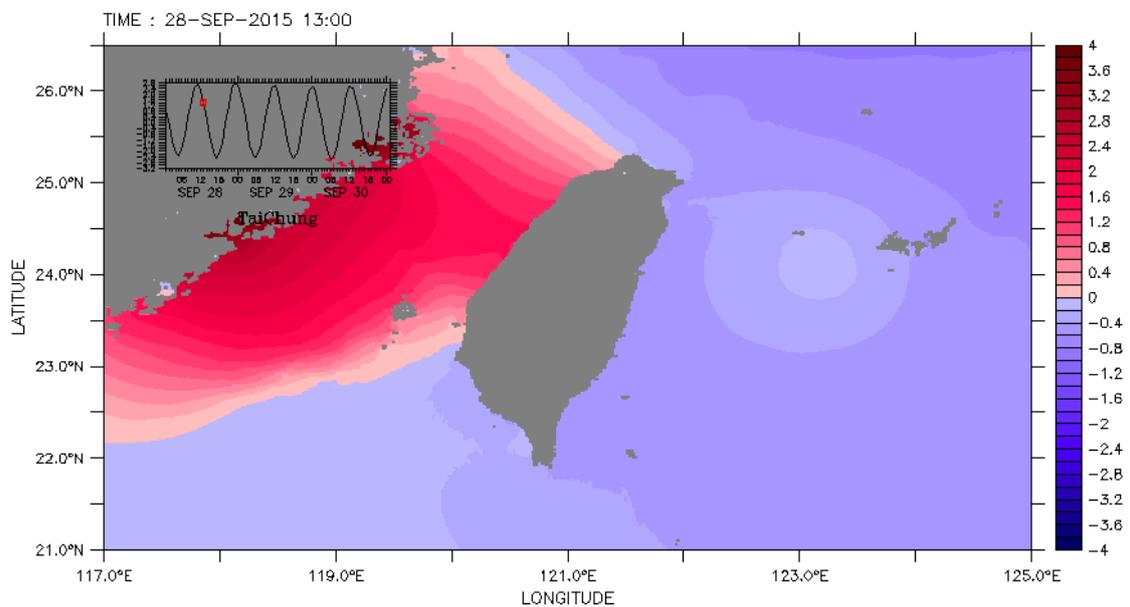
圖 2.21 大尺度及中尺度流場模擬範圍圖



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

時間：2015年9月28日13時

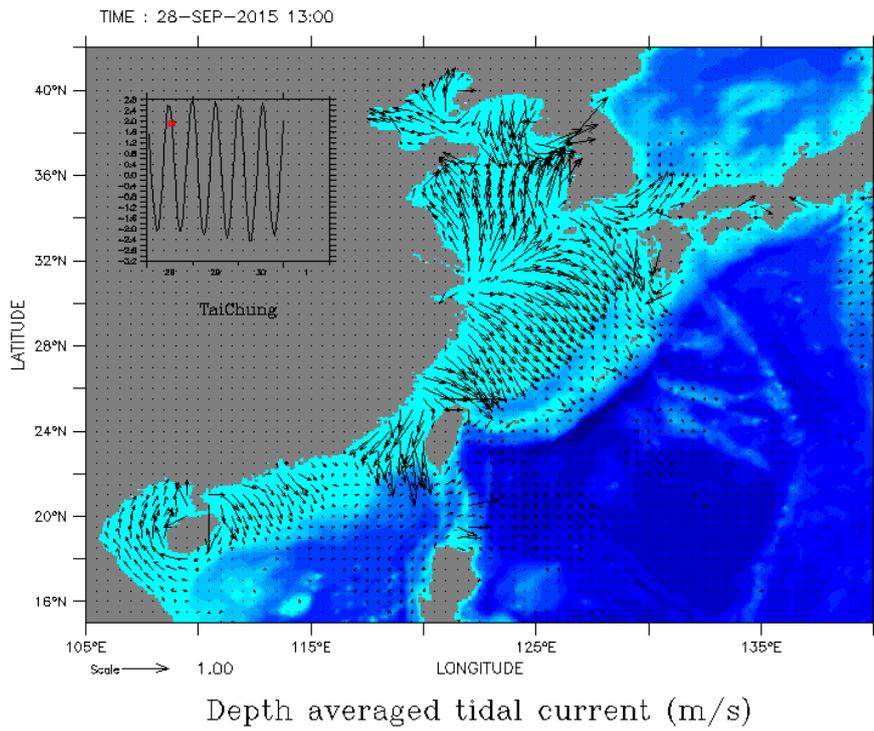
圖 2.22a 杜鵑颱風大尺度水位分布圖



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

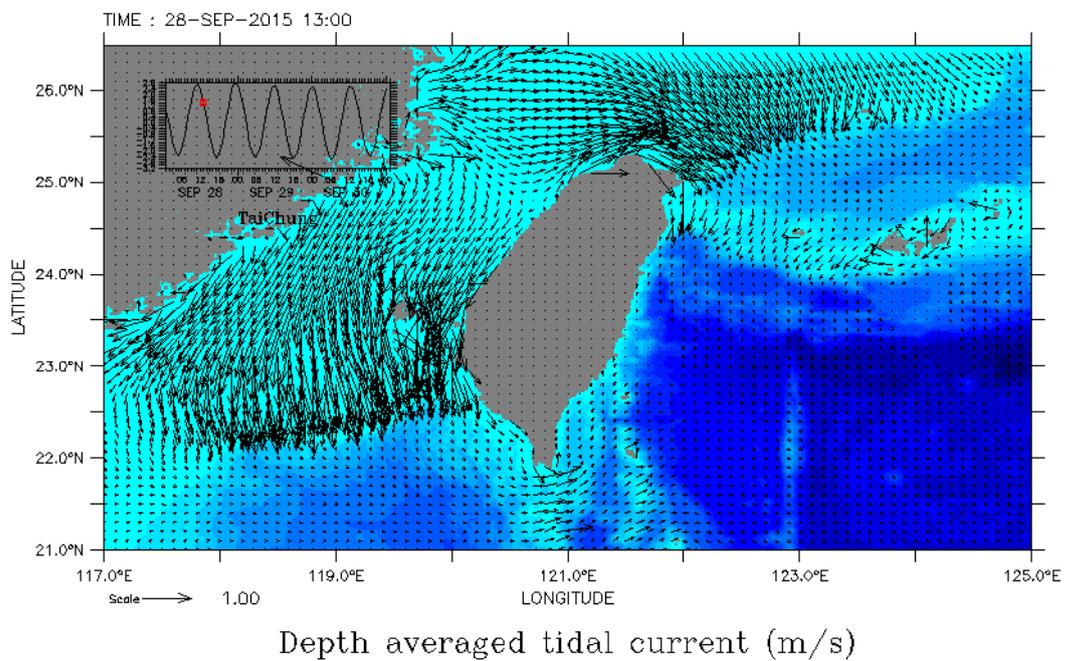
時間：2015年9月28日13時

圖 2.22b 杜鵑颱風中尺度水位分布圖



時間：2015年9月28日13時

圖 2.23a 杜鵑颱風大尺度流速流向分布圖



時間：2015年9月28日13時

圖 2.23b 杜鵑颱風時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。

各港區建置參考表 2-9 臺灣主要商港小尺度水動力模組建置摘要表，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。

各港有限元素格網分佈圖、不同港口之地形水深分布圖與小尺度潮流輸出情形，如圖 2.24a~圖 2.24h 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
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。	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

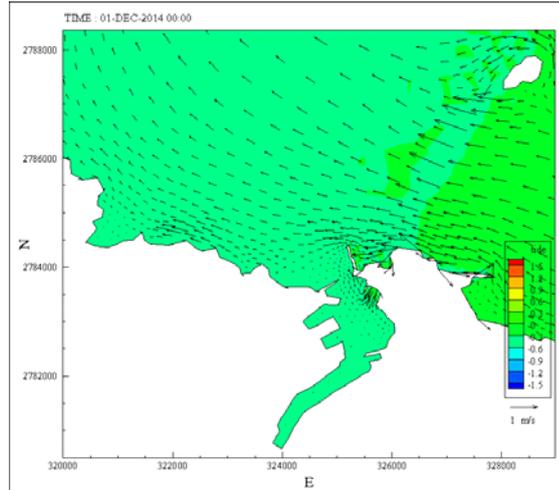
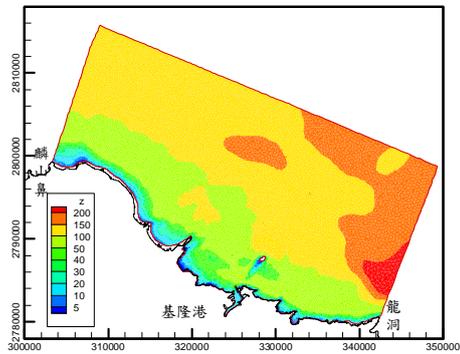


圖 3.24a 基隆港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形

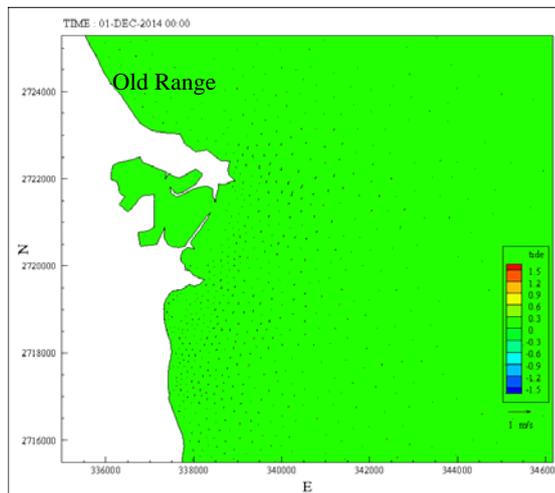
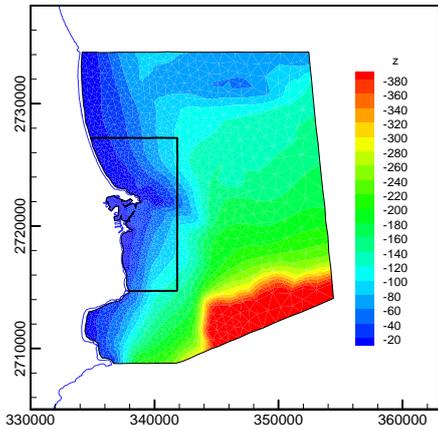


圖 2.24b 蘇澳港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形

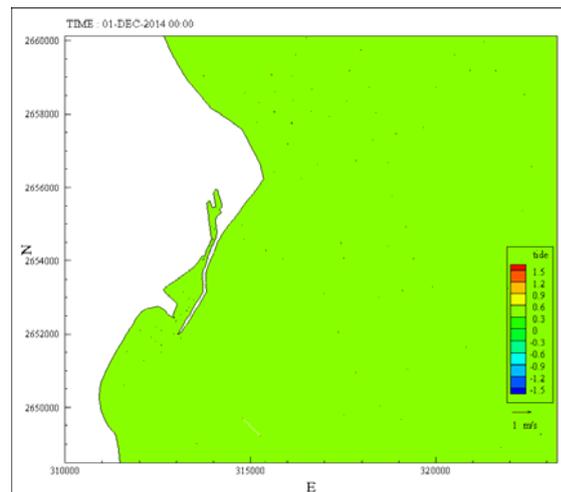
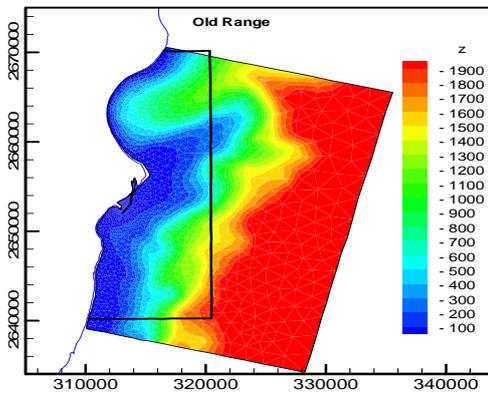


圖 2.24c 花蓮港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形

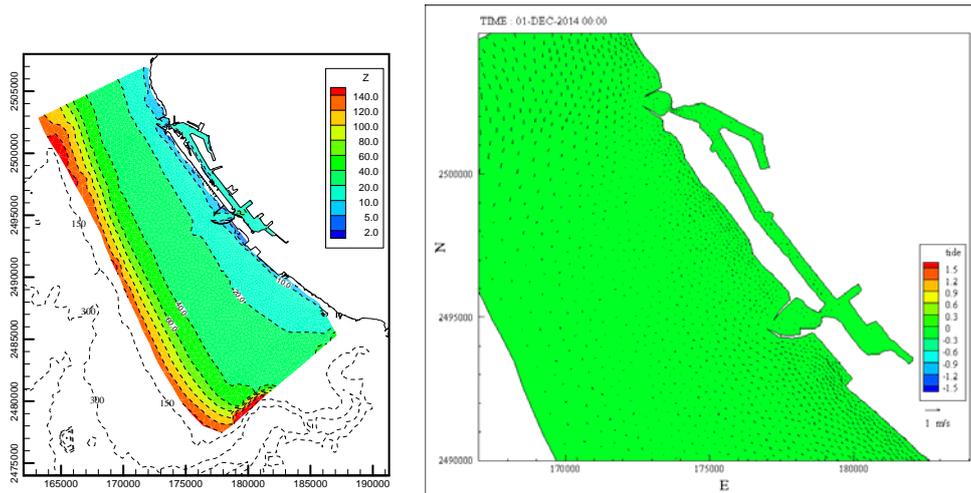


圖 2.24d 高雄港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形

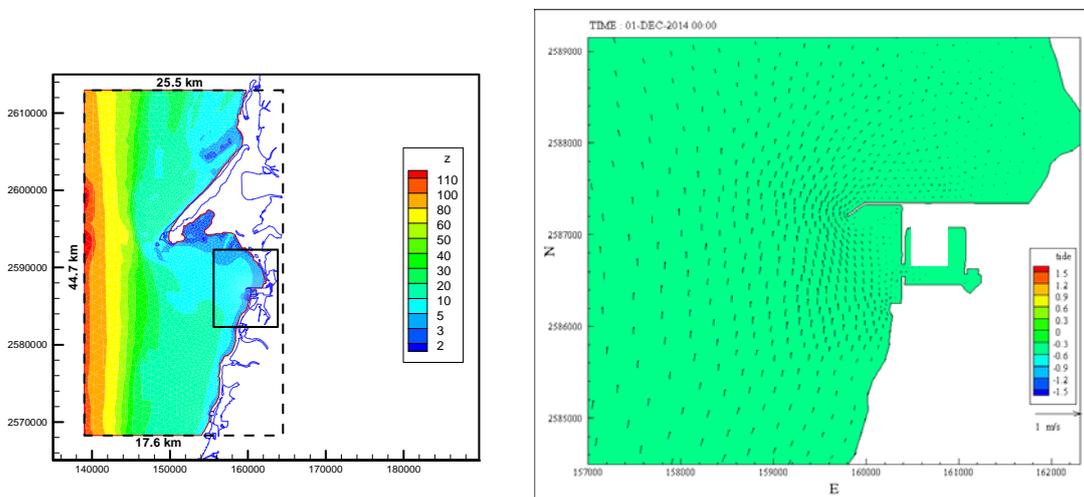


圖 2.24e 布袋港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形

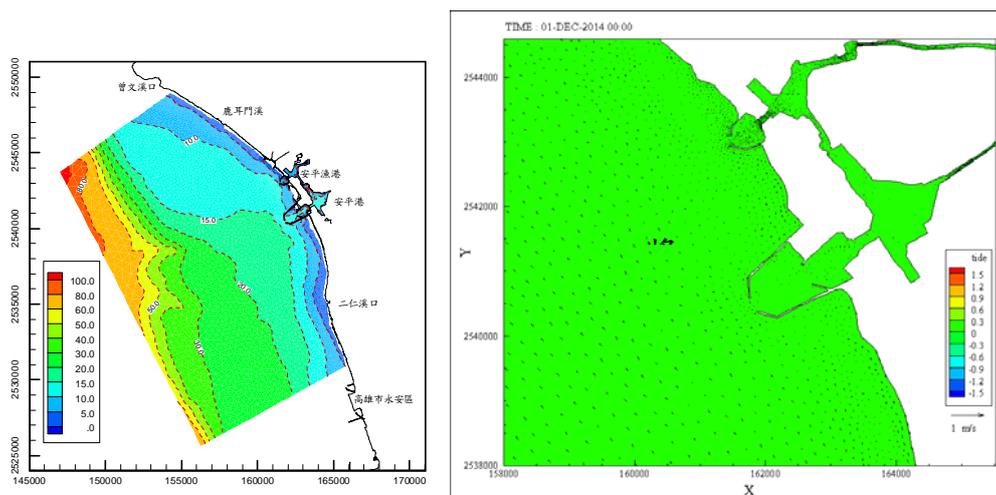


圖 2.24f 安平港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形

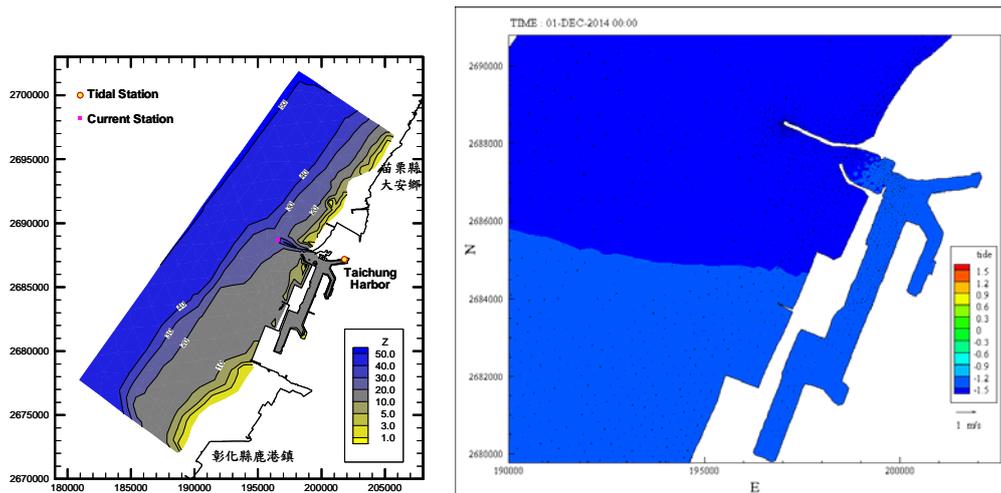


圖 2.24g 臺中港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形

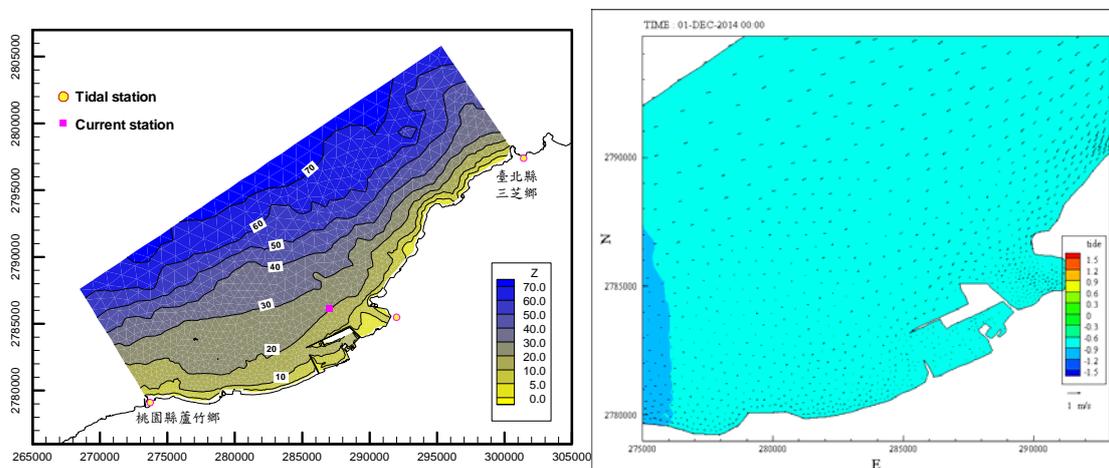


圖 2.24h 臺北港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形

### 2.3.8 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 2.25 所示：

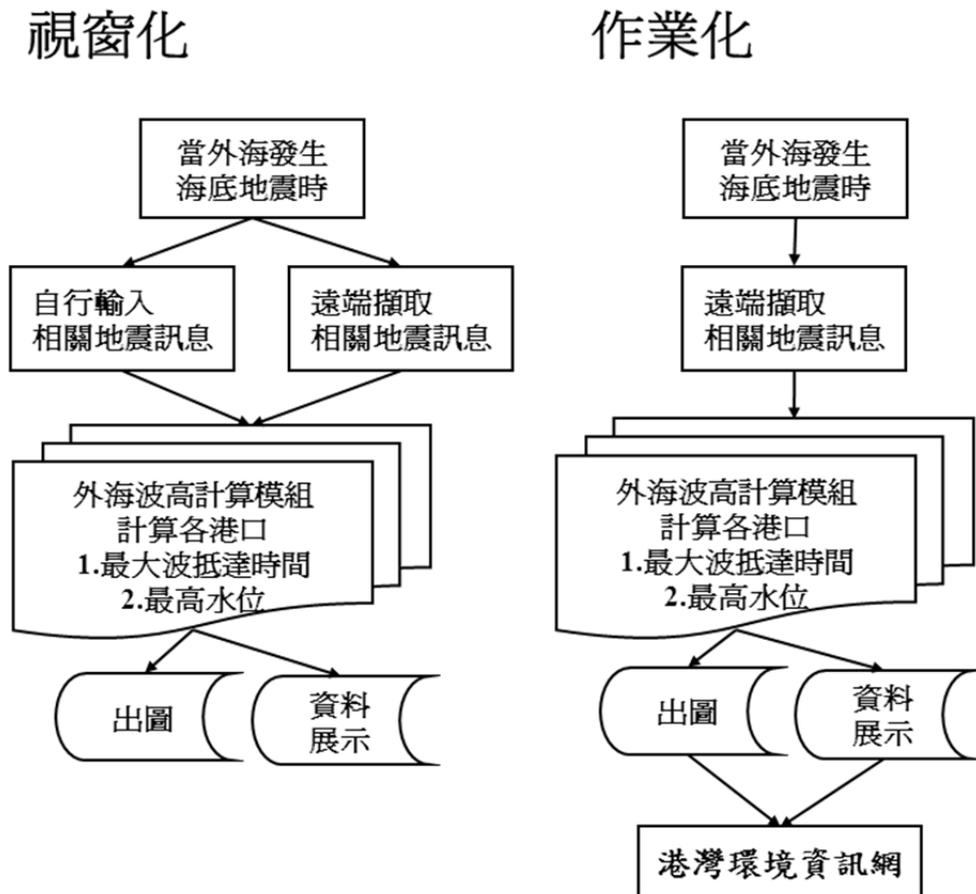


圖 2.25 臺灣國際商港海嘯速算系統流程圖

## 1.視窗化模組

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

本視窗化模組操作系統是由 Matlab 軟體所建構而成，該軟體提供了方便之數學運算指令及圖形繪製，更提供了內建之操作者介面設定程序；使用者本身不須安裝 Matlab 軟體，僅須下載編譯器等基本套件即可於個人電腦上執行模擬作業，前期發展資料量較大每個港口點位需要建立資料量約為 120GB，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 2.26 為計算範圍水深地形圖。

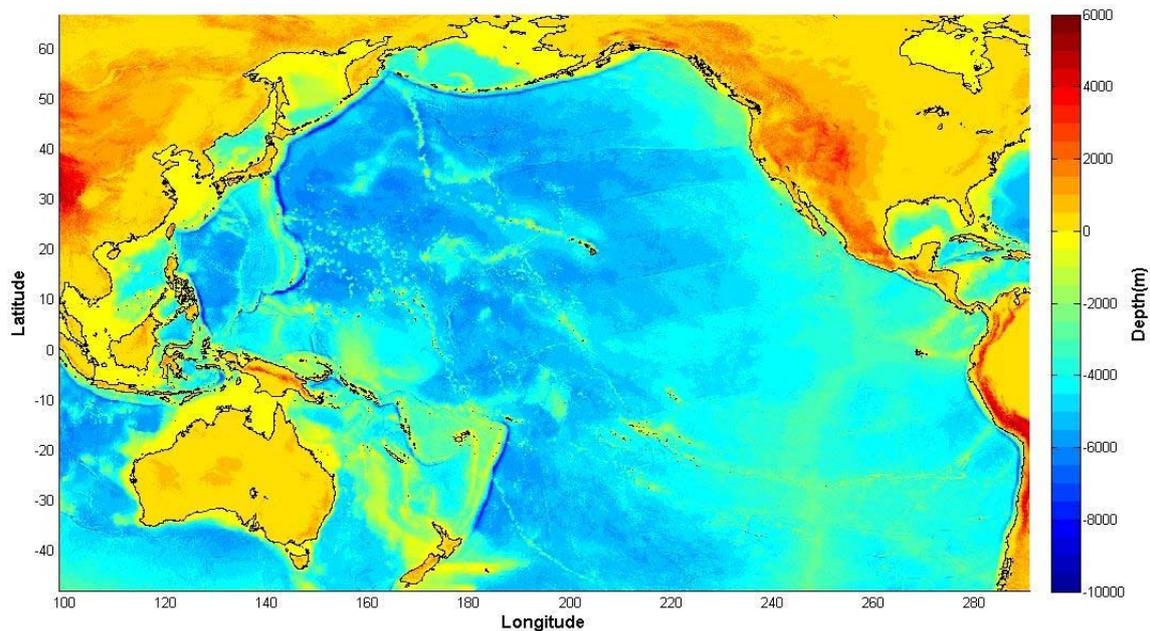


圖 2.26 海嘯系統計算範圍水深地形圖

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；類似 VB 的物件導向概念。其基本建立程序如下：

- (1)如圖 2.27a 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 2.27b 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。如圖 2.27c 所示。
- (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 2.27d 示。

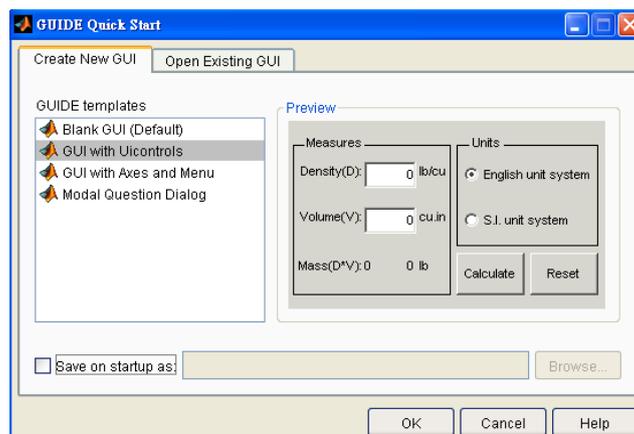


圖 2.27a GUI 程式設計環境

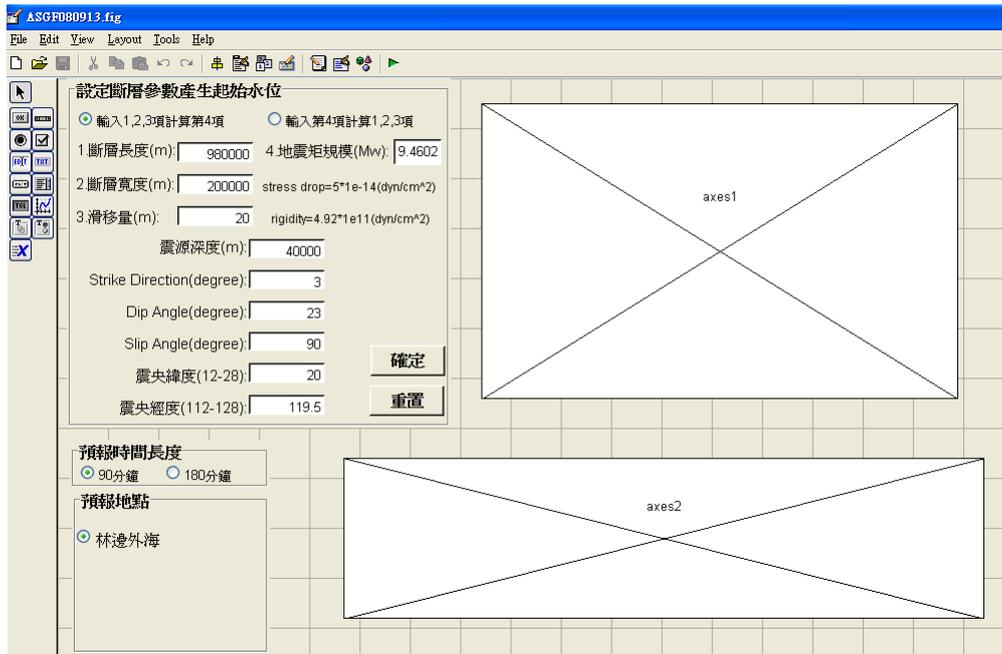


圖 2.27b 視窗化操作系統之建立與排版

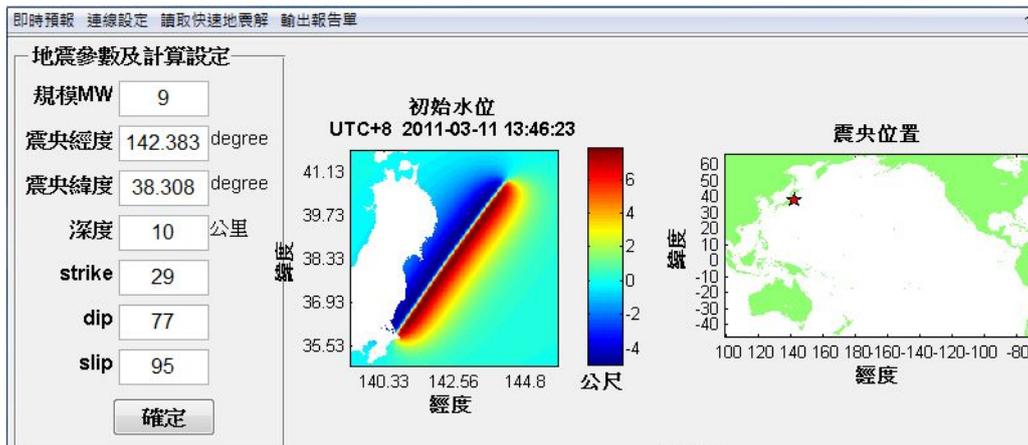


圖 2.27c 視窗化介面之編譯完成圖

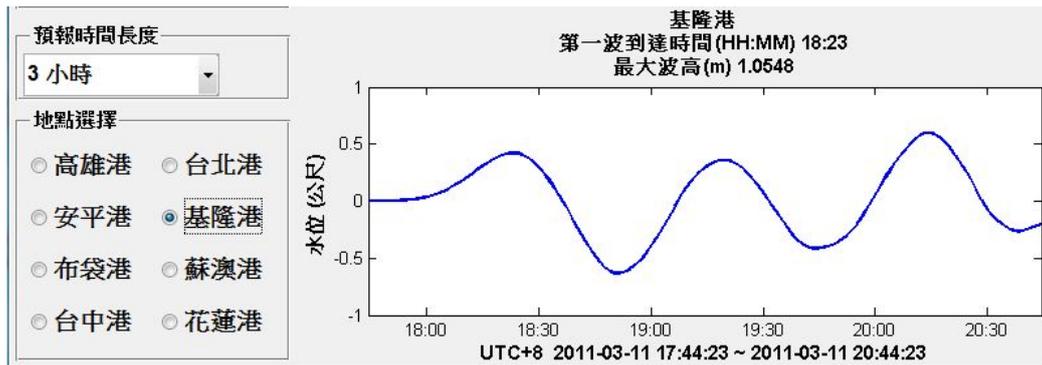


圖 2.27d 視窗化介面之計算成果圖

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

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 4 個網頁包含

美國國家地震資訊中心、臺灣寬頻地震網、即時地震張量監測系統及日本防災科學技術研究所。

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

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

(2) BATS (Broadband Array in Taiwan for Seismology) 中央研究院地球科學研究所—台灣地區寬頻地震觀測網

<http://bats.earth.sinica.edu.tw/>

(3) RMT (Real-Time Moment Tensor Monitoring System) 中央研究院地球科學研究所—即時地震張量監測系統

<http://rmt.earth.sinica.edu.tw/>

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

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

USGS-NEIC 之地震資料庫範圍為全球(如圖 2.28a)，但其資料擷取約在地震發生後約 1 小時才可遠端擷取。對於震央發生在臺灣周邊海域恐有不及，因此在臺灣區附近(東經 119 度~123 度，北緯 21 度~26 度)採用中研院地科所之地震即時資料及即時地震張量監測系統(如圖 2.28b 及 2.28c 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 2.28a 美國 USGS 資料庫

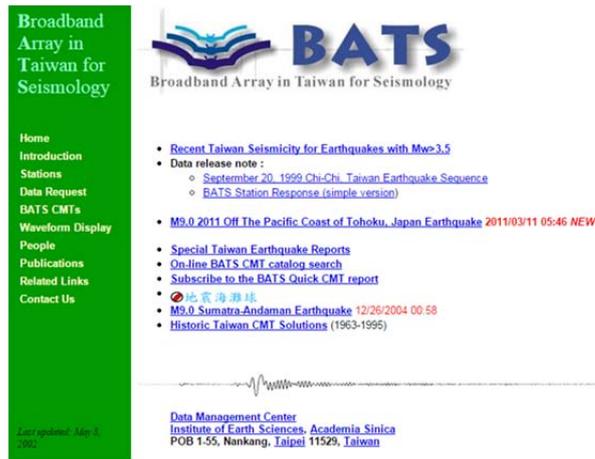


圖 2.28b 中研院地科所-台灣地區寬頻地震觀測網

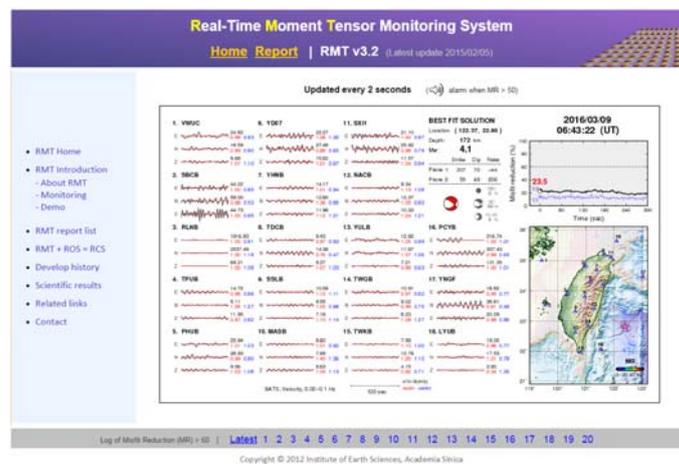


圖 2.28c 中研院地科所-即時地震張量監測系統

現階段作業情形，本系統為每隔 5 分鐘擷取各網頁發布新的地震資訊，約 3 分鐘內即可完成推算各港口海嘯波資訊(預計抵達時間及水位歷時變化)，其模擬結果將提供港灣環境資訊網進一步使用，包括產生即時預報的個別地震目錄名稱：依時間、地震矩規模、dep 震源深度及來源單位建置，例如 EQ20150917065431\_Mw83\_dep13\_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。

## 2.4 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、澎湖及金門等 10 個商港，其地理位置如圖 2.29 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、馬祖及綠島等 12 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 2.30~圖 2.41 所示，各測站歷年觀測風資料蒐集概況如表 2-10。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 2.30~圖 2.41 所示，同樣歷年觀測風資料蒐集概況如表 2-10。

### 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、澎湖及金門等 10 個主要港口，安裝 NORTEK 剖面海流表面波浪與潮汐監測系統(AWCP)為主之潮波儀，各港安裝位置圖 2.30~圖 2.41 所示，各測站歷年觀測波浪資料蒐集概況如表 2-11。

### 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、澎湖及金門等 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 2.51a~圖 2.51k 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 2.30~圖 2.41 所示，同樣歷年觀測潮汐資料蒐集概況如表 2-12。

### 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、澎湖及金門等 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 2.30~圖 2.41 所示，各測站歷年觀測波浪資料蒐集概況如表 2-13。

表 2-10 觀測風力資料蒐集概況表

(統計時間至 2015 年 11 月)

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	2005/01-2015/02	港研中心	Young Brand 風速計，新觀測樁
3	臺北港(TP)	W	2009/08-2015/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計，北堤風速計
4	臺北港(TP)	E	2004/01-2015/11(觀測中)	中央氣象局	Young Brand 風速計
5	基隆港(KL)	W	2002/06-2015/11(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	1999/01-2015/11(觀測中)	中央氣象局	
7	蘇澳港(SA)	W	2003/06-2015/11(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	1999/01-2015/11(觀測中)	中央氣象局	
9	花蓮港(HL)	W	2002/06-2015/11(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	1981/02-2015/11(觀測中)	中央氣象局	
11	高雄港(KH)	W0	2002/06-2015/11(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	2010/09-2015/11(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	2010/09-2015/11(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	1999/01-2015/11(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	2010/12-2015/09	港研中心	Young Brand 風速計，南堤
17	安平港(AP)	W	2009/08-2015/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計，信號臺
18	安平港(AP)	W1	2009/08-2015/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計，南堤紅燈塔站
19	布袋港(PT)	W	2006/08-2015/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計

序號	港區名稱	測站	觀測期間	觀測單位	備註
20	臺中港(TC)	W0	1981/02-2015/11(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
21	臺中港(TC)	W1	1996/09-1997/11 2010/10-2015/11(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
22	臺中港(TC)	E	1996/09-2015/11(觀測中)	中央氣象局	
23	澎湖港(PH)	W	2009/12-2015/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計, 馬公港區 2015 年 06 月改 Gill 二維超音波式風速計
24	澎湖港(PH)	W1	2009/12-2015/06	港研中心	Young Brand 風速計(B 站), 龍門尖山 港區
25	澎湖港(PH)	W2	2015/06-2015/11(觀測中)	港研中心	龍門尖山港區 2015 年 06 月改 Gill 二 維超音波式風速計(B 站)
26	澎湖港(PH)	E	-2015/11(觀測中)	中央氣象局	
27	澎湖港(PH)	Y	-2015/11(觀測中)	水利署	澎湖資料浮標
28	澎湖港(PH)	H	-2015/11 (觀測中)	港務公司	
29	金門港(KM)	W	2015/04-2015/11(觀測中)	港研中心	Gill 超音波式風速計, 水頭港區
30	金門港(KM)	W1	2012/08-2015/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計(B 站), 料羅港區
31	金門港(KM)	W2	2014/02-2015/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計, 九宮港區
32	金門港(KM)	E	-2015/11(觀測中)	中央氣象局	
33	金門港(KM)	Y	-2015/11(觀測中)	水利署	金門資料浮標
34	馬祖港(MT)	W	-2015/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計, 福澳港區
35	馬祖港(MT)	E	2004/01-2015/11(觀測中)	中央氣象局	
36	綠島(LD)	W	2014/01-2015/11(觀測中)	港研中心	Gill 超音波風速計, 南寮港區

表 2-11 觀測波浪資料蒐集概況表

(統計時間至 2015 年 11 月)

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	2004/12-2015/02	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	2006/08-2014/03	港研中心	AWCP，西堤外海
5	基隆港(KL)	X2	2011/08-2015/11(觀測中)	港研中心	AWCP，東堤外海
6	蘇澳港(SA)	X	2002/08-2015/11(觀測中)	港研中心	AWCP
7	花蓮港(HL)	X	2000/09-2015/11(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	2005/08-2015/10	港研中心	AWCP，2 港口南堤紅燈塔外海
10	高雄港(KH)	X2	2015/10-2015/11(觀測中)	港研中心	AWCP，2 港口北堤綠燈塔外海
11	安平港(AP)	X0	1999/10-2011/07	港研中心	S4 及 AWCP，觀測樁
12	安平港(AP)	X1	2011/08-2015/09	港研中心	AWCP
13	布袋港(PT)	X	2006/06-2010/03	港研中心	AWCP
14	布袋港(PT)	X1	2012/08-2013/06	港研中心	AWCP
15	臺中港(TC)	X0	1999/10-2000/08	港研中心	AWCP，北堤外海(延伸前)
16	臺中港(TC)	X1	2003/07-2015/11(觀測中)	港研中心	AWCP，北堤外海
17	澎湖港(PH)	X	2011/01-2012/04	港研中心	AWCP，龍門尖山港區外海
18	澎湖港(PH)	X1	2013/06-2015/11(觀測中)	港研中心	AWCP，龍門尖山港區外海
19	金門港(KM)	X1	2014/02-2015/11(觀測中)	港研中心	AWCP，水頭港區外海
20	金門港(KM)	X2	2014/02-2015/11(觀測中)	港研中心	AWCP，料羅港區外海
21	綠島(LD)	X	2014/10-2015/11(觀測中)	港研中心	AWCP，南寮港區外海

表 2-12 觀測潮汐資料蒐集概況表

(統計時間至 2015 年 11 月)

序號	港區名稱	測站	觀測期間	觀測單位	備註
1	臺北港(TP)	T	2009/09-2015/08	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	2005/01-2015/02	港研中心	S4、AWCP, 新觀測樁
4	臺北港(TP)	F	1994/10-2015/11(觀測中)	水利署	
5	基隆港(KL)	T	2002/07-2015/11(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	2006/08-2014/03	港研中心	AWCP, 西堤外海
8	基隆港(KL)	X2	2011/08-2015/11(觀測中)	港研中心	AWCP, 東堤外海
9	基隆港(KL)	F	1966/01-2015/11(觀測中)	中央氣象局	
10	蘇澳港(SA)	T	2003/06-2015/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計
11	蘇澳港(SA)	X	2002/08-2015/11(觀測中)	港研中心	AWCP
12	蘇澳港(SA)	F	1981/01-2015/11(觀測中)	中央氣象局	
13	花蓮港(HL)	T	2001/07-2015/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計
14	花蓮港(HL)	X	2000/09-2015/11(觀測中)	港研中心	AWCP, 東堤外海
15	花蓮港(HL)	F	1980/01-2015/11(觀測中)	中央氣象局	
16	高雄港(KH)	T	2003/06-2015/11(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	2005/08-2015/10	港研中心	AWCP, 2 港口南堤紅燈塔外海
19	高雄港(KH)	X2	2005/10-2015/11(觀測中)	港研中心	AWCP, 2 港口北堤綠燈塔外海
20	高雄港(KH)	F	1988/01-2015/11(觀測中)	港務公司	
21	安平港(AP)	X0	1999/10-2011/07	港研中心	Water Log 潮位計, 觀測樁
22	安平港(AP)	X1	2011/08-2015/09	港研中心	AWCP
23	安平港(AP)	T	1979/03-1993/06	港務局	
24	安平港(AP)	T	2008/08-2015/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計

序號	港區名稱	測站	觀測期間	觀測單位	備註
25	布袋港(PT)	T	2008/08-2011/07	港研中心	Water Log 潮位計
26	布袋港(PT)	T1	2011/08-2015/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計
27	布袋港(PT)	X	2006/06-2010/03	港研中心	AWCP
28	布袋港(PT)	X1	2012/08-2013/06	港研中心	AWCP
29	臺中港(TC)	T	1989/12-2015/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計，4 號碼頭
30	臺中港(TC)	X0	1999/10-2000/08	港研中心	AWCP，北堤外海(延伸前)
31	臺中港(TC)	X1	2003/07-2015/11(觀測中)	港研中心	AWCP，北堤外海
31	澎湖港(PH)	T	2011/01-2015/11(觀測中)	港研中心	Water Log 龍門尖山港區潮位計
32	澎湖港(PH)	T1	2012/06-2015/11(觀測中)	港研中心	Water Log 馬公港區潮位計
33	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	2013/06-2015/11(觀測中)	港研中心	AWCP，龍門尖山港區外海
34	澎湖港(PH)	F	-2015/11(觀測中)	中央氣象局	澎湖潮位站
35	金門港(KM)	T	2011/01-2015/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計，水頭港區
36	金門港(KM)	T1	-2015/11(觀測中)	港研中心	九宮港區
37	金門港(KM)	F1	-2015/11(觀測中)	水利署	水頭潮位站
38	金門港(KM)	F2	-2015/11(觀測中)	水利署	料羅灣潮位站
39	馬祖港(MT)	T	2013/10-2015/11(觀測中)	港研中心	福澳港潮位站
40	馬祖港(MT)	F	-2015/11(觀測中)	內政部	馬祖潮位站
41	綠島(LD)	T	2014/04-2015/11(觀測中)	港研中心	南寮港潮位站

表 2-13 觀測海流資料蒐集概況表

(統計時間至 2014 年 11 月)

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	2004/12-2015/02	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	2006/08-2014/03	港研中心	AWCP，西堤外海
5	基隆港(KL)	X2	2011/08-2015/11(觀測中)	港研中心	AWCP，東堤外海
6	蘇澳港(SA)	X	2002/08-2015/11(觀測中)	港研中心	AWCP
7	花蓮港(HL)	X	2000/09-2015/11(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	2005/08-2015/10	港研中心	AWCP，2 港口南堤紅燈塔外海
10	高雄港(KH)	X2	2015/10-2015/11(觀測中)	港研中心	AWCP，2 港口北堤綠燈塔外海
11	安平港(AP)	X0	1999/10-2011/07	港研中心	S4 及 AWCP，觀測樁
12	安平港(AP)	X1	2011/08-2015/09	港研中心	AWCP
13	布袋港(PT)	X	2006/06-2010/03	港研中心	AWCP
14	布袋港(PT)	X1	2012/08-2013/06	港研中心	AWCP
15	臺中港(TC)	X0	1999/10-2000/08	港研中心	AWCP，北堤外(延伸前)
16	臺中港(TC)	X1	2003/07-2015/11(觀測中)	港研中心	AWCP，北堤外
17	澎湖港(PH)	X	2011/01-2012/04	港研中心	AWCP，龍門尖山港區外海
18	澎湖港(PH)	X1	2013/06-2015/11(觀測中)	港研中心	AWCP，龍門尖山港區外海
19	金門港(KM)	X1	2014/02-2015/11(觀測中)	港研中心	AWCP，水頭港區外海
20	金門港(KM)	X2	2014/02-2015/11(觀測中)	港研中心	AWCP，料羅港區外海
21	綠島(LD)	X	2014/10-2015/11(觀測中)	港研中心	AWCP，南寮港區外海

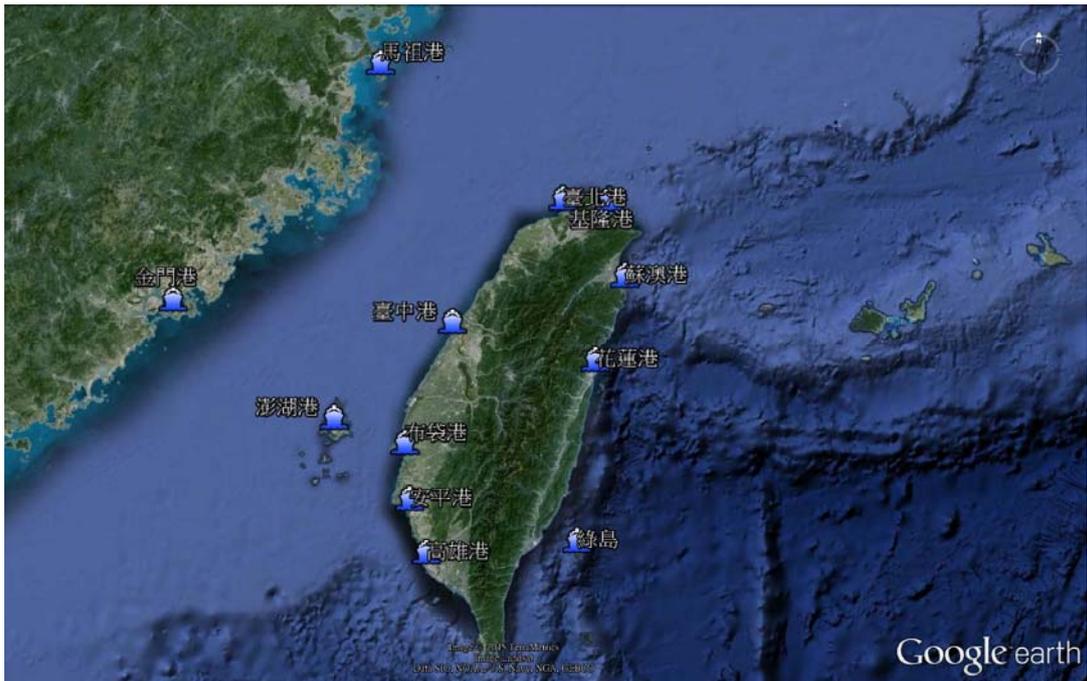
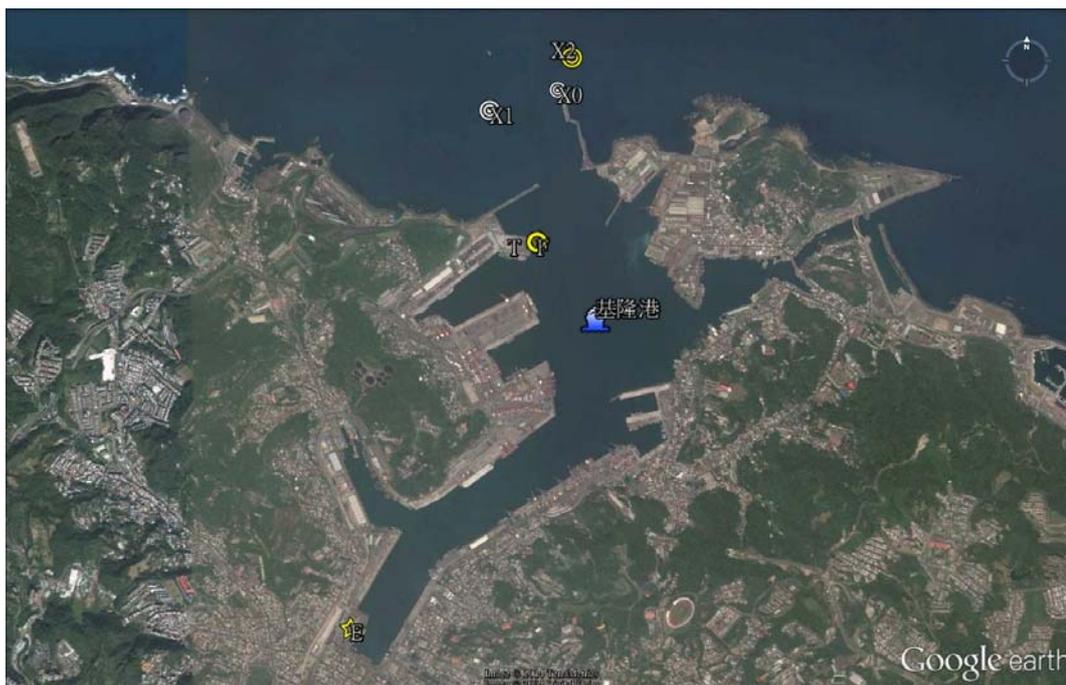


圖 2.29 臺灣主要商港位置圖



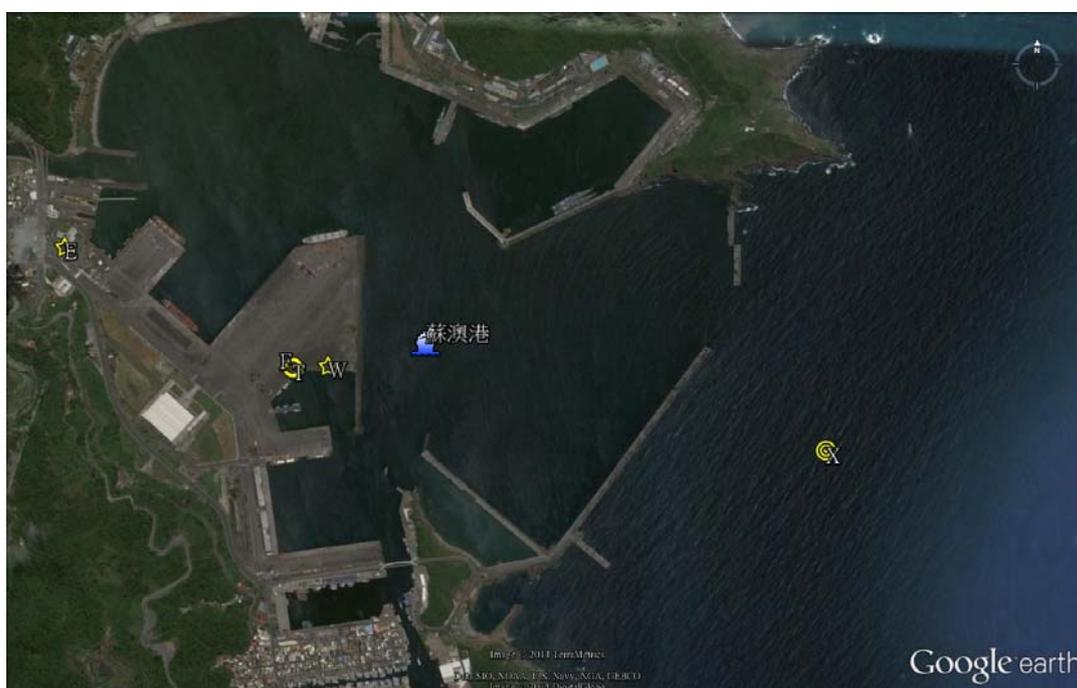
☆ 風速計   ◎ 潮位計   ⊕ 觀測樁

圖 2.30 臺北港海氣象觀測位置圖



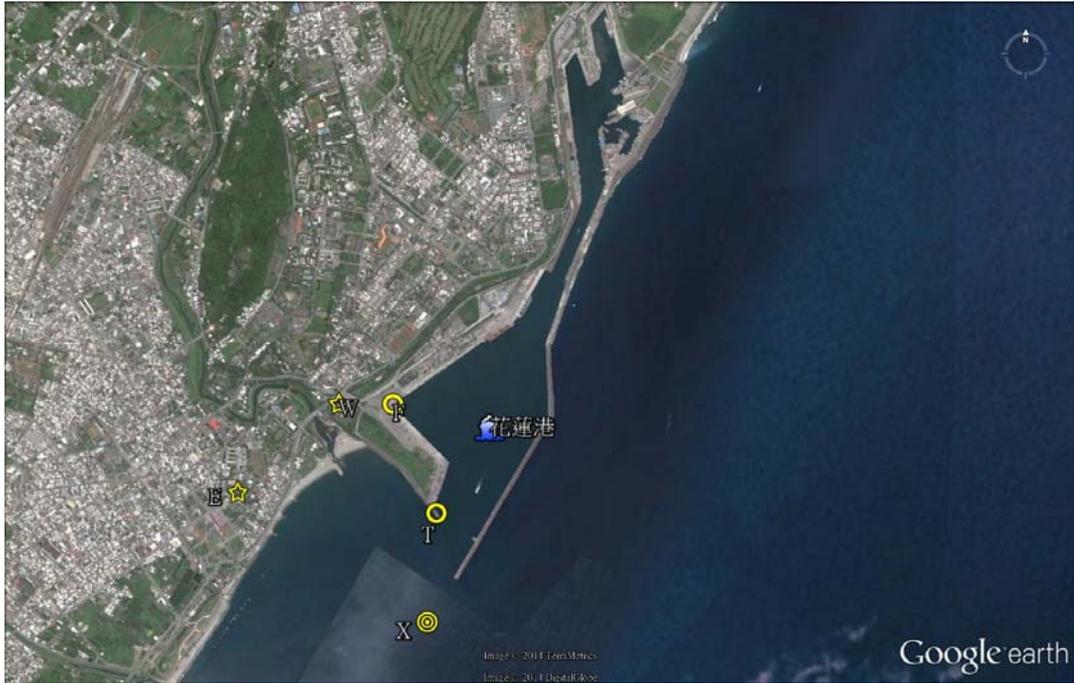
☆風速計 ◎潮位計 ⊙波流儀

圖 2.31 基隆港海氣象觀測位置圖



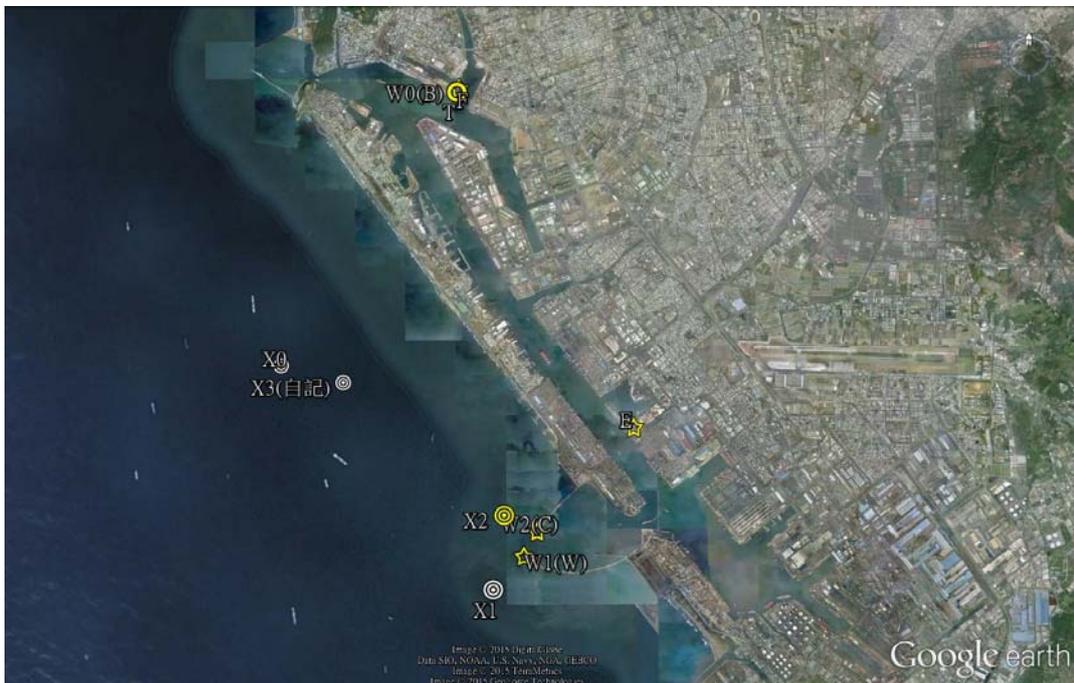
☆風速計 ◎潮位計 ⊙波流儀

圖 2.32 蘇澳港海氣象觀測位置圖



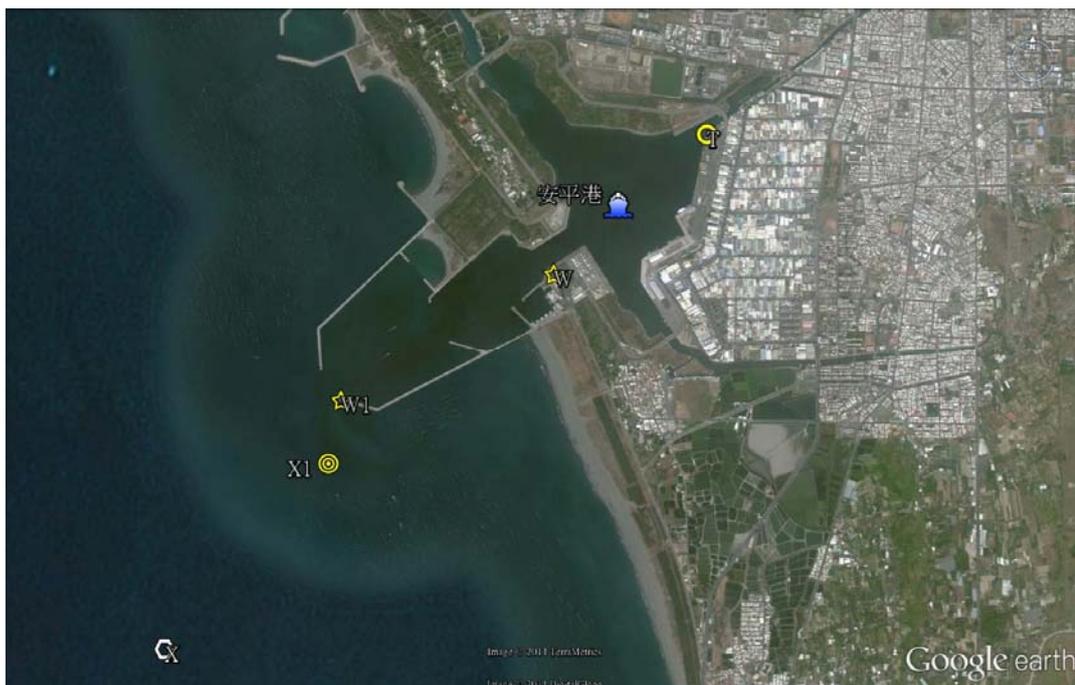
☆風速計 ◎潮位計 ⊙波流儀

圖 2.33 花蓮港海氣象觀測位置圖



☆風速計 ◎潮位計 ⊙波流儀

圖 2.34 高雄港海氣象觀測位置圖



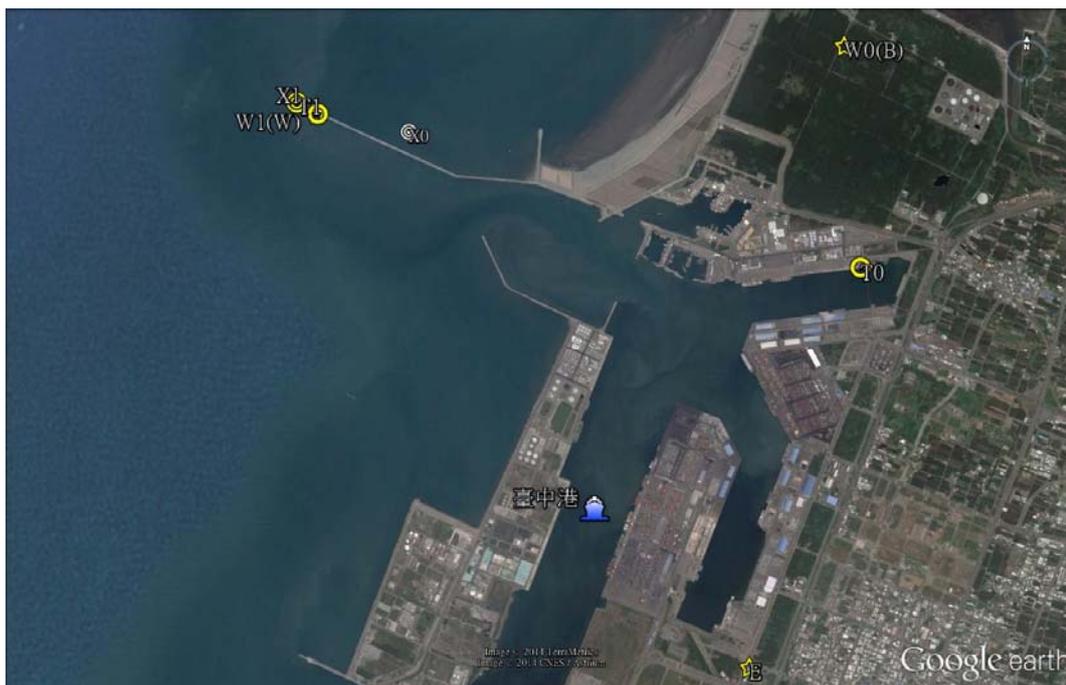
☆ 風速計 ⊙ 潮位計 ⊗ 波流儀 ⊞ 觀測樁

圖 2.35 安平港海氣象觀測位置圖



☆ 風速計 ⊙ 潮位計 ⊗ 波流儀

圖 2.36 布袋港海氣象觀測位置圖



☆風速計 ◎潮位計 ◎波流儀

圖 2.37 臺中港海氣象觀測位置圖



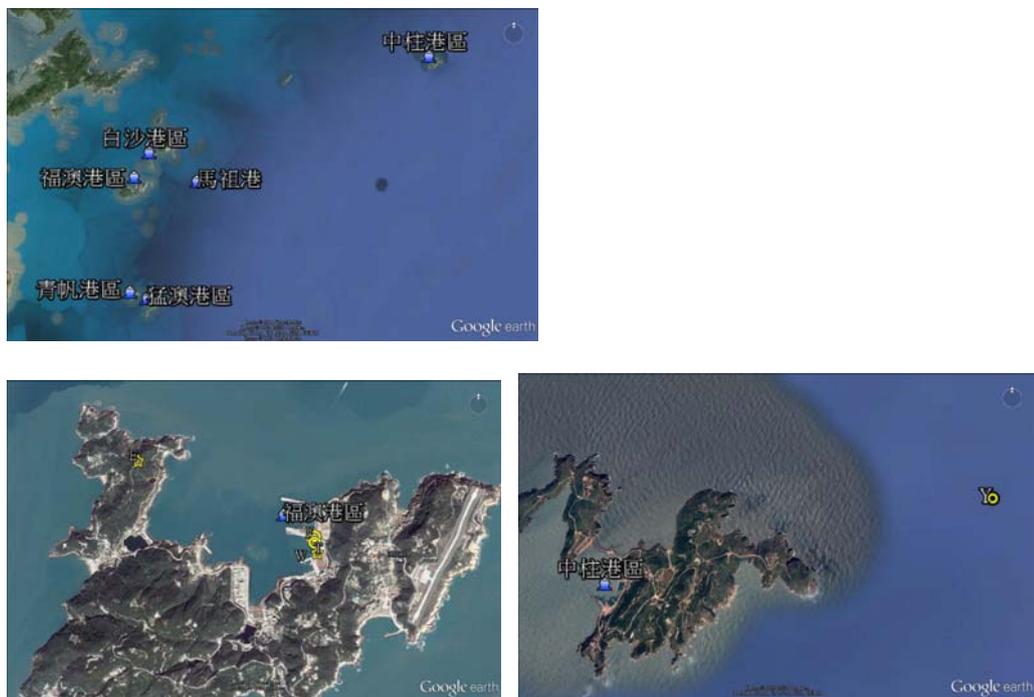
☆風速計 ◎潮位計 ◎波流儀 ◎氣象局浮標

圖 2.38 澎湖港海氣象觀測位置圖



☆ 風速計    ◎ 潮位計    ⊙ 氣象局浮標

圖 2.39 金門港海氣象觀測位置圖



☆ 風速計    ◎ 潮位計    ⊙ 氣象局浮標

圖 2.40 馬祖港海氣象觀測位置圖



☆ 風速計    ◎ 潮位計    ◎ 氣象局浮標

圖 2.41 綠島海氣象觀測位置圖

## 2.5 港灣環境資訊系統

港灣環境資訊系統之架構與功能持續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，架構共區分為港灣環境資訊網、海氣象觀測資訊、海象模擬資訊、藍色公路、港區影像系統、港區地震系統及海嘯模擬資訊大氣腐蝕監測等子系統並持續擴充，詳細內容可參考本中心，105 年度本中心研究計畫，港灣環境資訊服務系統功能提升規劃與建置(3/4)。本節僅針對港灣環境系統概述及港灣環境資訊系統所使用本計畫關聯海象觀測資訊、海象模擬資訊、海嘯模擬資訊及藍色公路模擬資訊等介接及展示說明。

### 2.5.1 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透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即時影像。上述之系統架構如圖 2.42 港灣環境資訊系統架構圖所示，港灣環境資訊網展示網頁如圖 2.43 所示。

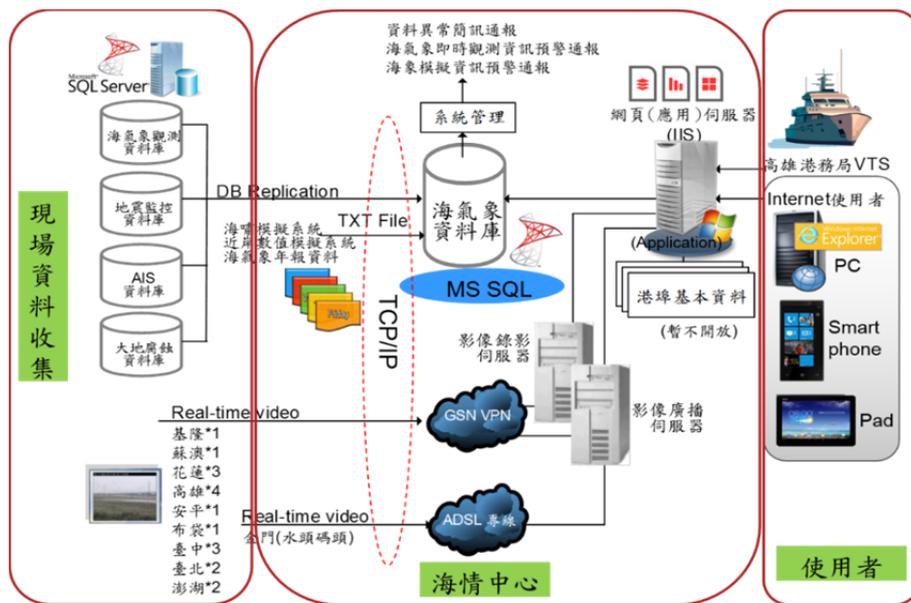


圖 2.42 港灣環境資訊系統架構圖



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

圖 2.43 港灣環境資訊網(首頁)

圖 2.44 為港灣環境資訊網網頁功能架構圖，網頁功能架構共區分為海象觀測資訊、海象模擬資訊、藍色公路、港區影像系統、港區地震系統、海嘯模擬資訊、港區大氣腐蝕、資料申請說明、意見反應欄及網頁日誌等共計 10 項子系統，詳細之說明如下表 2-14 網頁功能項目說明表所示：



圖 2.44 港灣環境資訊網網頁功能架構圖

表 2-14 網頁功能項目說明表

主項目	次項目	索引	說明
海象觀測資訊	海氣象即時資訊查詢	海氣象項目	顯示風力、潮汐、波浪、海流以及水溫即時資料。
	綜合表		整合所有港區之海氣象即時觀測資料、即時影像以及歷線圖表查詢、測站位置說明。
	歷線圖表	港口名稱	依港口/海氣象歷線圖種類/日期/資料筆數查詢相關資訊。
	歷線圖表(動態)	港口名稱	依港口/海氣象歷線圖種類/日期查詢相關資訊。
	統計圖表	海氣象項目	匯整 2005 年 12 月至 2013 年 11 月的圖表，並且提供整年度或月份的圖表查詢瀏覽，其整合表以顏色區分並標示資料有效百分比數據(觀測年報資料佔有效資料之比)。
	歷年觀測資料圖表	海氣象項目	彙整歷年港區現場觀測潮汐、海流、風、波浪等原始資料，透過統計分析後，提供包含觀測記錄表、月報表、原始資料及各項重要之統計圖表等。
	觀測儀器簡介	港口名稱	依港口查詢相關資訊。
	海氣象整合資訊		整合港研中心與中央氣象局觀測之海氣象即時資料以及歷線圖表查詢、測站位置說明。
	即時觀測資料傳輸	港口名稱	依港口/資料類型顯示相關資訊；此部分的資料下載需透過申請流程，待審核後才予以開放下載。
海象模擬資訊	模擬海象	網格大小	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、細尺度、藍色公路)規劃區分做呈現，使用者可點選欲瀏覽的模擬尺度範圍，做進一步的查詢。
	綜合表		整合所有港區之海氣象數值模擬資料以及歷線圖表查詢、測站位置說明。
	歷史颱風模擬動畫	網格大小	依網格/年度/颱風名稱/圖型動畫種類交叉查詢颱風期間的圖型動畫供使用者瀏覽。
	數值模擬簡介		提供數值模擬系統之相關介紹。
藍色公路			可查詢藍色公路之海氣象模擬資訊(風速、風向以及波高、波向)。
港區影像系統	即時影像查詢	港口名稱	以 Google map 展示其港口地理位置，並且於 map 中標示攝影機約略的安裝位置座標以及同時嵌入即時影像供使用者觀看。
	近期影像查詢	港口名稱	提供使用者可線上瀏覽前三日的錄影檔(每天 5:00~19:00)，錄影檔格式 1 小時 1 筆(24 小時制)。另外開放透過申請審核通過後即可下載錄影檔。
港區地震系統	近期地震查詢		於 Google map 中標示有設置地震儀器的港區，點選各港區的圖示，會顯示目前最近一筆的地震資訊(地震發生時間、地震震度、儀器設置位置以及 x,y,z 地表地震圖)。

主項目	次項目	索引	說明
	歷史地震查詢	港口名稱	依港口/地震發生時間查詢相關資訊(地震發生時間、地震震度、地表加速度以及 x,y,z 地表地震圖)。
	地震系統簡介		提供地震系統之相關介紹。
海嘯模擬資訊	近期海嘯查詢		於 GoogleMap 標示臺灣港區位置(基隆、臺北、臺中、安平、布袋、高雄、蘇澳以及花蓮)。提供包含地震的相關詳資訊、震央位置圖以及到達臺灣各港區的相關預警訊息資料、海嘯模擬水位資訊查詢。
	歷史海嘯查詢	港口名稱	依港口/地震發生時間查詢相關資訊(地震發生時間、地震矩規模、深度以及計算海嘯模擬水位資料之兩組機制解參數(NP1, NP2)與相關的水位歷線圖表。
	海嘯系統簡介		提供海嘯系統之相關介紹。
港區大氣腐蝕		試驗點	彙整離港區 0m, 100m, 300m 之試驗點資料, 提供腐蝕因子, 包含溼潤時間(%)、氣(mg/m <sup>2</sup> /day)、鋁(g/m <sup>2</sup> /yr)、銅(μm/yr)、鐵(μm/yr)、鋅(μm/yr)。
港埠基本資料 (暫時未對外開放)		港口名稱	提供港池模型導覽、港區配置規劃、地質資料展繪、土壤液化分析、營運碼頭配置、碼頭構造類別、堤防類別分佈、堤防構造類別之相關資訊。
資料申請說明			提供港灣環境資訊網相關文件、系統之說明和下載。
意見反應欄			提供線上問題反應, 並且針對使用者所提出的問題或建議進行討論回覆, 以強化港灣環境資訊網與使用者間之意見交流與互動。
滿意度調查			為能了解使用者瀏覽港灣環境資訊網之需求及服務滿意度, 提供線上填寫問卷服務, 內容包括滿意度、意見及使用習慣等多面向調查, 希望能獲知使用者的寶貴建議與意見。
網頁日誌			為了方便瀏覽者知悉港灣環境資訊網的更新狀態, 網頁日誌是依據時間做排序(最新到最舊), 提供使用者更清楚本系統網頁介面, 進而達到迅速並正確地找到所需資料。
英文版網頁			英文版港灣環境資訊網網頁。
PDA 系統		港口名稱	使用者可透過手持式智慧型無線裝置之無線上網功能連結至港灣環境資訊網行動版, 來瀏覽查詢所提供的資訊。
無障礙網頁		海氣象項目	顯示風力、潮汐、波浪、海流以及水溫的相關即時資料。
網站管理系統			提供給系統管理者設定系統之相關資訊。

主項目	次項目	索引	說明
後台管理系統			提供海氣象即時資料以及數值模擬資料介接的應用程式(同步作業)、品管作業、預警通報作業和網路監控管理等系統作業管理功能。 為了使資料達到穩定性，本系統也建置了備援機制，以因應系統不因單點失效而停止，並維持系統的正常運作。

## 2.5.2 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、綠島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，並自 2013 年取得中央氣象局海象觀測資料，至 2015 年度增加匯入經濟部水利署海氣象觀測資料。

### 2.5.2.1 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分析並記錄資料的穩定性，目前港灣環境資訊網已匯入 2005/12~2014/11 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，彙整成相關格式後匯入。資料庫介接架構圖如圖 2.45 海氣象觀測及年報資料庫介接架構圖所示：

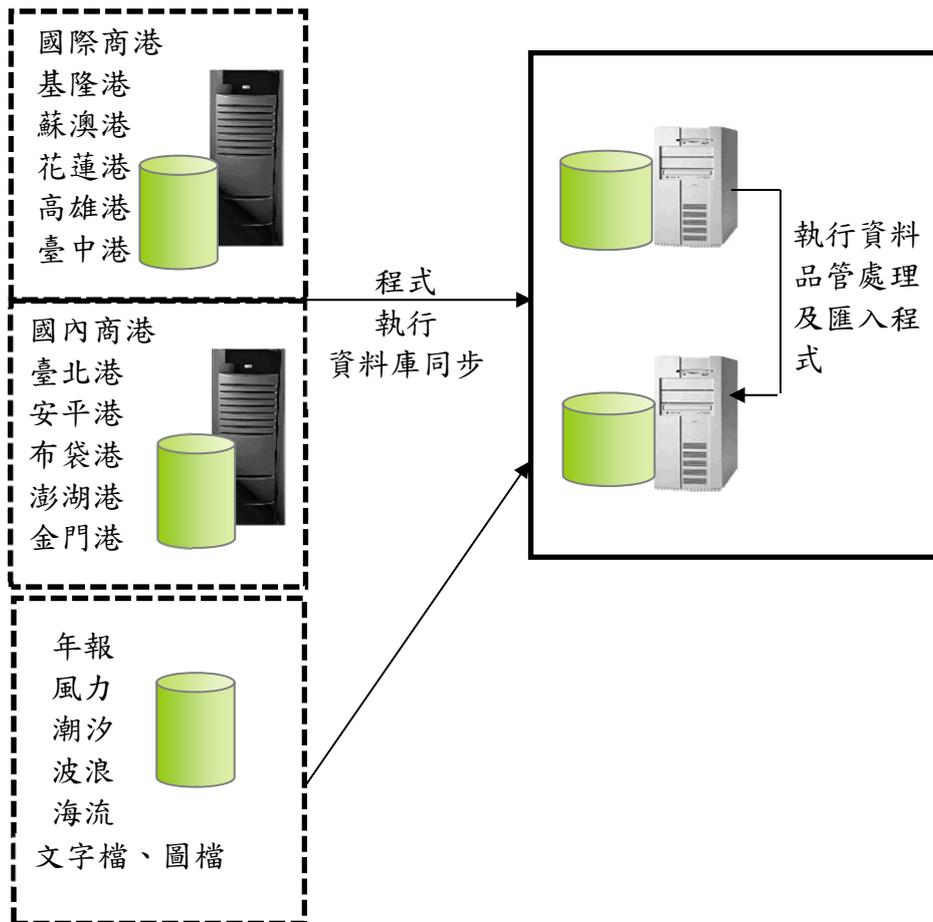


圖 2.45 海氣象觀測及年報資料庫介接架構圖

### 2.5.2.2 外部單位觀測資料介接架構

透過合作備忘錄簽署與長期合作關係，港灣環境資訊系統目前已整合納入中央氣象局及水利署之海氣象資料，並持續進行規劃與整合展示作業。

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 2.46 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。

整合水利署海氣象觀測資訊，雙方透過協調溝通取得共識，採用 MS SQL 資料庫介接如下圖 2.47 經濟部水利署海氣象觀測資料介接系統架構圖所示，透過固定 IP 及帳號權限登入，同步相關的海氣象觀測資料。

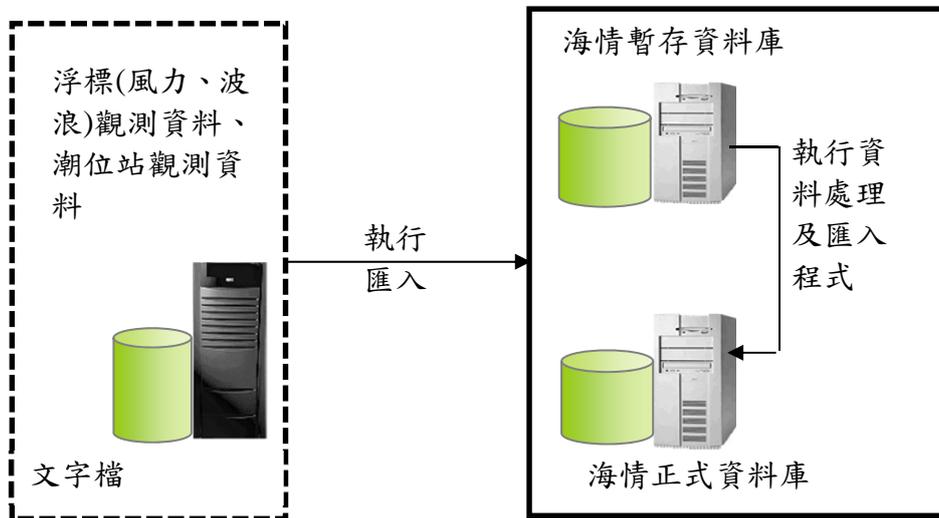


圖 2.46 中央氣象局資料庫介接架構圖

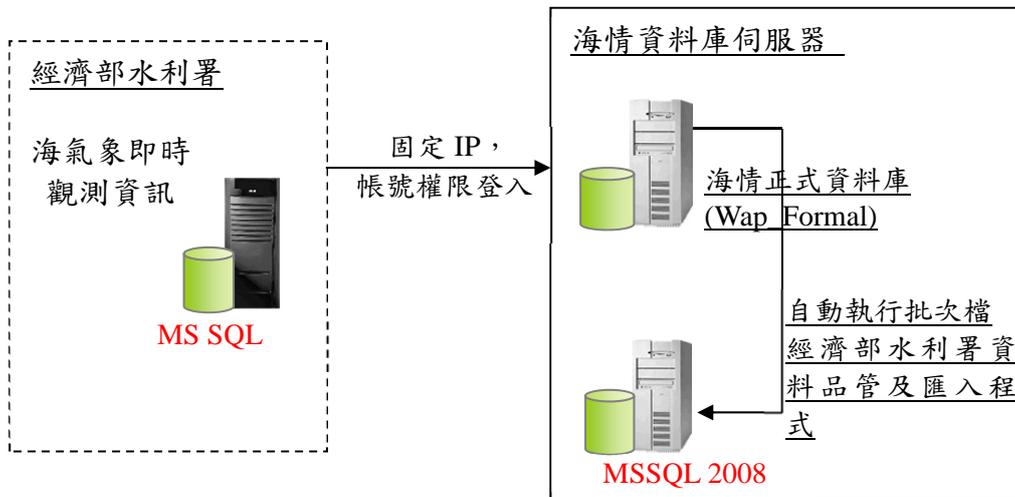


圖 2.47 經濟部水利署資料庫介接架構圖

### 2.5.2.3 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 2.48 所示，並提供各港彙整資料如附圖 2.49 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並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 2.50 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。

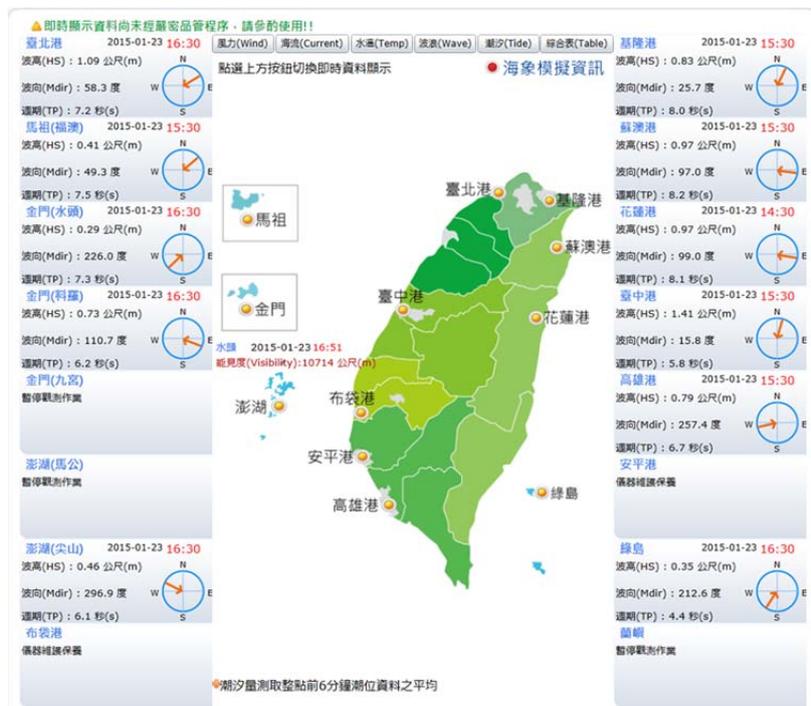


圖 2.48 即時觀測資訊整合(風力資料)

▲本網頁於整點更新頁面!! 即時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 16:00:00

風力(Wind)			潮汐(Tide)		波浪(Wave)/海流(Current)						能見度(Visibility)		水溫(Temp)		歷線圖	即時影像	
測站名稱	時間	風速(公尺/秒)	風向(度)	時間	相對潮位(公尺)	時間	波高(公尺)	波向(度)	週期(秒)	流速(公尺/秒)	流向(度)	時間	能見度(公尺)	時間	水溫(度)		
基隆港	-	-	-	16:00	-0.79	16:30	0.85	38.3	7.7	0.25	194.8	x	x	16:00	17.9	<a href="#">歷線圖</a>	<a href="#">即時影像</a>
蘇澳港	-	-	-	16:00	-0.62	16:30	1.00	101.1	8.1	0.12	319.4	x	x	16:00	12.9	<a href="#">歷線圖</a>	<a href="#">即時影像</a>
花蓮港	-	-	-	16:00	-0.22	16:30	1.06	99.4	7.9	0.00	63.4	x	x	16:00	22.7	<a href="#">歷線圖</a>	<a href="#">即時影像</a>
高雄港	-	-	-	16:00	-0.50	16:30	0.91	257.0	6.6	0.13	103.7	x	x	16:00	26.2	<a href="#">歷線圖</a>	<a href="#">即時影像</a>
臺中港	-	-	-	16:00	-0.08	15:30	1.41	15.8	5.8	0.39	237.1	x	x	15:00	18.5	<a href="#">歷線圖</a>	<a href="#">即時影像</a>
臺北港	16:50	3.58 [3級]	116.6	16:40	-0.65	16:30	1.09	58.3	7.2	0.56	41.9	x	x	16:50	16.9	<a href="#">歷線圖</a>	<a href="#">即時影像</a>
安平港	16:50	7.79 [4級]	24.3	16:50	-0.34	-	-	-	-	-	-	x	x	16:50	20.7	<a href="#">歷線圖</a>	<a href="#">即時影像</a>
布袋港	16:50	6.97 [4級]	50.8	16:50	-0.97	x	x	x	x	x	x	x	x	16:50	17.4	<a href="#">歷線圖</a>	<a href="#">即時影像</a>
澎湖(馬公)	16:50	6.62 [4級]	38.3	16:50	0.44	x	x	x	x	x	x	x	x	16:50	19.1	<a href="#">歷線圖</a>	<a href="#">即時影像</a>
澎湖(望山)	16:50	5.52 [4級]	211.7	16:50	-0.37	16:30	0.46	296.9	6.1	0.53	159.7	x	x	16:50	19.4	<a href="#">歷線圖</a>	<a href="#">即時影像</a>
金門(水頭)	16:50	3.11 [2級]	93.7	16:50	0.30	16:30	0.29	226.0	7.3	1.32	224.2	16:51	10714	16:50	14.7	<a href="#">歷線圖</a>	<a href="#">即時影像</a>
金門(烈嶼)	16:50	5.61 [4級]	86.9	16:40	0.40	16:30	0.73	110.7	6.2	0.60	184.5	16:52	12146	16:50	14.5	<a href="#">歷線圖</a>	<a href="#">即時影像</a>
金門(九宮)	16:50	3.99 [3級]	107.5	16:50	0.31	x	x	x	x	x	x	x	x	16:50	14.5	<a href="#">歷線圖</a>	<a href="#">即時影像</a>
馬祖(福澳)	16:40	1.68 [2級]	17.4	16:50	-1.25	15:30	0.41	49.3	7.5	0.13	72.4	16:30	5792	16:50	12.9	<a href="#">歷線圖</a>	<a href="#">即時影像</a>
綠島	-	-	-	16:50	-0.31	16:30	0.35	212.6	4.4	0.06	348.3	x	x	16:50	22.8	<a href="#">歷線圖</a>	<a href="#">即時影像</a>

★風速資訊提供風的級數(風之強弱程度), 係以蒲福風級為標準來表示呈現。★「-」符號代表資料傳送處理或儀器維護保養, 「x」符號代表暫停觀測作業。

圖 2.49 即時觀測資訊整合(綜合表)

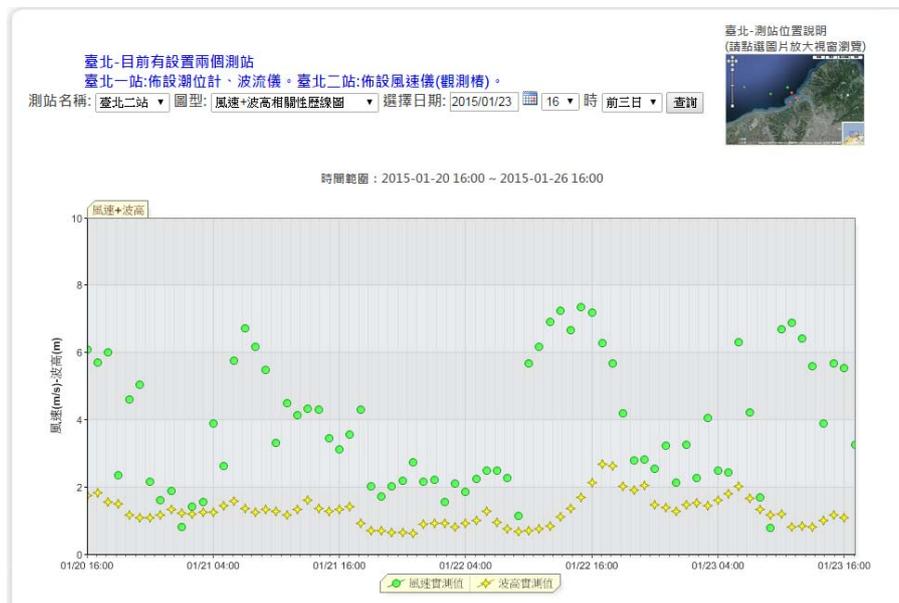


圖 2.50 海氣象歷線圖(以臺北港 風速+波高歷線圖為例)

中央氣象局及經濟部水利署所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, 並分別作綜合表如下圖 2.51 及圖 2.52 所示, 此部分僅先本中心

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、水位等資訊給使用者瀏覽查詢，本部分仍在內部評估中。



▲本網頁於整點更新頁面!!最新觀測資料來源為交通部中央氣象局提供。 [回首頁](#)

目前時間:2013-10-08 08:00

測站名稱	時間	風速(公尺/秒)	風向(度)	風速(公尺/秒)	風向(度)	水溫(度)	波高(公尺)	週期(秒)	波向(度)
花絲資料浮標	08:00	3.10	232.00	2.90	233.00	29.20	0.94	6.90	45.00
東沙島資料浮標	08:00	2.70	264.00	-	-	29.10	1.15	7.80	101.00
新竹資料浮標	08:00	3.70	220.00	3.50	220.00	28.70	0.81	5.30	337.00
龍洞資料浮標	08:00	2.60	16.00	2.90	16.00	25.30	1.24	7.30	90.00
小墾球資料浮標	08:00	-	-	-	-	28.50	0.56	3.70	281.00
東沙島資料浮標	08:00	2.70	264.00	-	-	29.10	1.15	7.80	101.00
馬祖資料浮標	08:00	4.70	30.00	4.30	27.00	26.30	1.27	6.60	247.00

測站名稱	時間	觀測水深(cm)	流速(公分/秒)	流向(度)
東石島發波站	08:00	750	1350	135
東石島發波站	08:00	1000	1300	61
東石島發波站	08:00	1250	1270	60

測站名稱	時間	水位(公尺)	水溫(度)	風速(公尺/秒)	風向(度)
淡水(壓力式水位計)	08:00	-0.42	26.20	-	-
竹圍(壓力式水位計)	08:00	-0.35	-	-	-
竹圍(舊式水位計)	08:00	-0.35	25.30	-	-
新竹(壓力式水位計)	08:00	-0.54	24.10	2.60	249.00
外壠(壓力式水位計)	08:00	-0.56	26.30	2.10	179.00
鴛子寮(壓力式水位計)	08:00	-0.20	-	-	-
鴛子寮(舊式水位計)	08:00	-0.20	25.60	2.40	178.00
東石(壓力式水位計)	08:00	-0.10	-	-	-
東石(舊式水位計)	08:00	-0.10	26.20	-	-
將軍(壓力式水位計)	08:00	-0.26	-	-	-
將軍(舊式水位計)	08:00	-0.26	26.10	-	-
東澳(壓力式水位計)	08:00	-0.20	-	-	-
東澳(舊式水位計)	08:00	-0.21	27.70	-	-
坑岸埔(壓力式水位計)	08:00	-	-	-	-
坑岸埔(舊式水位計)	08:00	-0.13	-	-	-
麟山鼻(壓力式水位計)	08:00	-0.48	25.50	-	-
龍洞浮筒式水位計	08:00	-0.24	-	-	-
龍洞(壓力式水位計)	08:00	1.13	-	-	-
龍洞(舊式水位計(測試用))	08:00	-0.20	-	-	-
龍洞(舊式水位計)	08:00	-0.24	24.80	1.90	171.00
龜石(壓力式水位計)	08:00	-0.12	-	-	-
龜石(舊式水位計)	08:00	-0.12	25.90	-	-
蘇澳(壓力式水位計)	08:00	-0.15	-	-	-
蘇澳(舊式水位計)	08:00	-0.15	25.80	-	-
花蓮(壓力式水位計)	08:00	-0.15	-	-	-
花蓮(舊式水位計)	08:00	-0.15	27.10	3.70	212.00
成功(壓力式水位計)	08:00	-0.16	-	-	-
成功(舊式水位計)	08:00	-0.15	27.60	0.90	211.00
台北港(壓力式水位計)	08:00	-0.53	-	-	-
台北港(舊式水位計)	08:00	-0.52	25.30	-	-
臺南(壓力式水位計)	08:00	-0.33	-	-	-
臺南(舊式水位計)	08:00	-0.33	25.70	-	-
埔里(壓力式水位計)	08:00	-0.70	-	-	-
埔里(舊式水位計)	08:00	-0.70	25.40	1.20	148.00
小墾球(壓力式水位計)	08:00	-0.33	-	-	-
小墾球(舊式水位計)	08:00	-0.33	27.50	-	-
鵝鑾(壓力式水位計)	08:00	-0.21	-	-	-
鵝鑾(舊式水位計)	08:00	-0.22	28.30	0.20	114.00
基隆(舊式水位計)	08:00	-0.15	-	2.40	305.00
基隆(壓力式水位計)	08:00	-0.15	-	-	-
瑞芳(舊式水位計)	08:00	-0.17	-	-	-
瑞芳(壓力式水位計)	08:00	-0.14	25.10	-	-

圖 2.51a 中央氣象局觀測資料綜合表

目前時間:2015-06-22 14:00:00

測站名稱	時間	風速(公尺/秒)	風向(度)	3秒陣風(公尺/秒)	
蘇澳浮標	2015-06-22 13:00	9.30	168.00	11.60	良好
金門浮標	2015-06-22 13:00	7.50	69.00	8.80	良好
新豐島浮標	2015-06-22 13:00	4.60	71.00	7.50	良好
花蓮浮標	2015-06-22 13:00	7.80	201.00	10.50	良好
新竹浮標	2015-06-22 13:00	5.10	347.00	6.10	良好
龍洞浮標	2015-06-22 13:00	5.50	144.00	6.50	良好
龜山島浮標	2015-06-22 13:00	7.60	157.00	10.60	良好
小琉球浮標	2015-06-22 13:00	9.10	161.00	10.70	良好
枋寮測氣象站	2015-06-22 13:00	4.80	67.00	7.20	良好
鼻息測氣站	2015-06-22 13:00	1.20	190.00	2.40	良好
石碇測氣站	2015-06-22 13:00	4.80	164.00	7.70	良好
大鵬灣測氣站	2015-06-22 13:00	5.20	162.00	7.40	良好
龜山測氣站	2015-06-22 13:00	2.10	191.00	3.40	良好
鼻仔測氣站	2015-06-22 13:00	0.70	60.00	1.40	良好
六武測氣站	2015-06-22 13:00	1.70	146.00	2.80	良好
永安測氣站	2015-06-22 13:00	17.00	178.00	15.00	良好
台東外洋浮標	2015-06-22 13:00	7.70	173.00	9.20	良好
澎湖浮標	2015-06-22 13:00	3.90	237.00	4.80	良好
蘇澳測氣象站	2015-06-22 13:00	1.70	125.00	5.10	良好
東沙島浮標	2015-06-22 13:00	8.60	181.00	10.70	良好
台東浮標	2015-06-22 13:00	3.70	174.00	4.80	良好
基隆浮標	2015-06-22 13:00	3.40	4.00	4.10	良好
澳沙浮標	2015-06-22 13:00	7.60	170.00	9.00	良好
水鏡測氣站	2015-06-22 13:00	3.70	105.00	5.00	良好
四草測氣站	2015-06-22 13:00	6.40	180.00	9.90	良好
小港測氣站	2015-06-22 13:00	4.70	187.00	7.30	良好
林邊測氣站	2015-06-22 13:00	4.80	266.00	7.40	良好
大鵬灣水質測氣站	2015-06-22 13:00	4.70	164.00	6.70	良好
新豐浮標	2015-06-22 13:00	4.00	17.00	5.30	良好
東沙島浮標	2015-06-22 12:00	8.90	169.00	11.50	良好
蘇澳浮標	2015-06-22 12:00	8.00	154.00	9.80	良好
金門浮標	2015-06-22 12:00	7.00	76.00	8.80	良好

測站名稱	時間	潮位(公分)	
蘇澳潮位站	2015-06-22 13:18	37	良好
龜山測氣站	2015-06-22 13:18	-3	良好
枋寮測氣站	2015-06-22 13:18	46	良好
鼻息測氣站	2015-06-22 13:18	6	良好
石碇測氣站	2015-06-22 13:18	-5	良好
六武測氣站	2015-06-22 13:18	9	良好
永安測氣站	2015-06-22 13:18	52	良好
水鏡測氣站	2015-06-22 13:18	44	良好
新豐測氣站	2015-06-22 13:18	127	良好
小港測氣站	2015-06-22 13:18	-13	良好
林邊測氣站	2015-06-22 13:18	29	良好
四草測氣站	2015-06-22 13:18	64	良好

測站名稱	時間	流速(公尺/秒)	流向(度)	
土城測氣站	2015-06-22 13:00	0	14	良好
蘇澳浮標	2015-06-22 13:00	0	356	良好
蘇澳浮標	2015-06-22 12:54	0	327	良好
新豐島浮標	2015-06-22 12:54	0	73	良好
新豐浮標	2015-06-22 12:54	0	45	良好
蘇澳浮標	2015-06-22 12:48	0	299	良好
新豐浮標	2015-06-22 12:48	0	227	良好
新豐島浮標	2015-06-22 12:48	0	66	良好
澳沙浮標	2015-06-22 12:48	0	305	良好

測站名稱	時間	波高(公尺)	波向(度)	週期(秒)	
土城測氣站	2015-06-22 13:00	0.7	225.00	4.20	良好
蘇澳浮標	2015-06-22 13:00	0.9	123.00	4.70	良好
金門浮標	2015-06-22 13:00	0.8	157.00	4.20	良好
新豐島浮標	2015-06-22 13:00	1.7	202.00	7.10	良好
蘇澳浮標	2015-06-22 13:00	0.5	146.00	5.10	良好
新竹浮標	2015-06-22 13:00	0.4	11.00	4.20	良好
龍洞浮標	2015-06-22 13:00	0.5	112.00	5.50	良好
龜山島浮標	2015-06-22 13:00	0.6	202.00	4.30	良好
小琉球浮標	2015-06-22 13:00	1.7	247.00	6.20	良好
台東外洋浮標	2015-06-22 13:00	1.7	135.00	5.70	良好
澎湖浮標	2015-06-22 13:00	0.5	247.00	5.10	良好
東沙島浮標	2015-06-22 13:00	2.4	157.00	6.20	良好
台東浮標	2015-06-22 13:00	1.0	168.00	6.90	良好
基隆浮標	2015-06-22 13:00	0.3	78.00	6.10	良好
澳沙浮標	2015-06-22 13:00	1.8	202.00	5.30	良好
南澳小浮標	2015-06-22 13:00	1.4	168.00	7.10	良好
新豐浮標	2015-06-22 13:00	0.4	33.00	4.40	良好
東沙島浮標	2015-06-22 12:00	2.4	180.00	5.90	良好
土城測氣站	2015-06-22 12:00	0.6	240.00	4.10	良好

圖 2.51b 經濟部水利署海氣象觀測資料綜合表

### 2.5.3 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。

#### 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 2.52 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，及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。

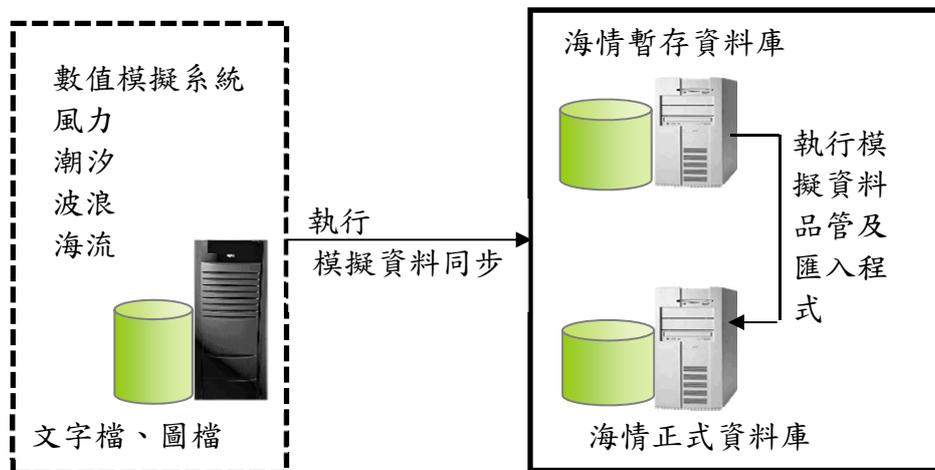


圖 2.52 海象數值模擬資料介接系統架構圖

#### 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 2.53 所示)與綜合查詢資訊如圖 2.54a 及圖 2.54b 所示，其

內包含模擬資料如表 2-16 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 2.55，及臺中港波場模擬(大尺度、中尺度、小尺度) 如圖 2.56，花蓮港相對潮位歷線圖如圖 2.57，及臺北港流速歷線與流向歷線說明如圖 2.58 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 WRF 風場圖檔展示部分已完成如圖 2.59，圖 2.60a 為花蓮港小尺度波場動畫圖及圖 2.60b 高雄港小尺度流場動畫圖，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 2.61 所示，將沿海區域分區展示其各模擬項目。

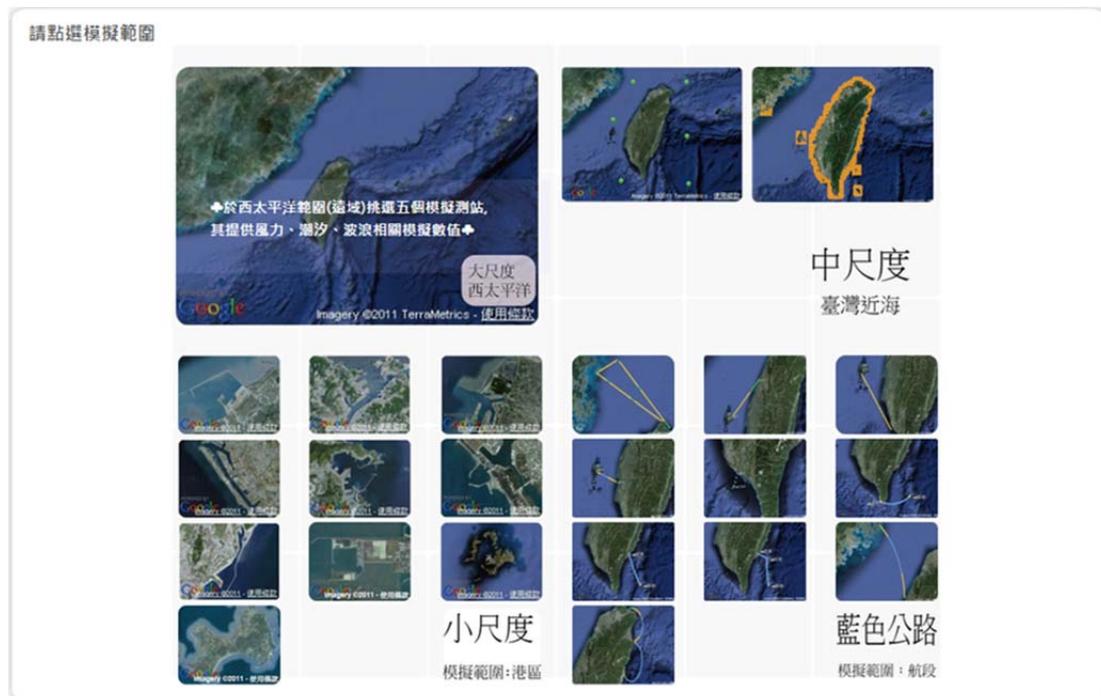


圖 2.53 海象模擬資訊網頁展示圖



圖 2.54a 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!!

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)/模擬海流(Current)				歷史圖		
		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	<a href="#">歷史圖</a>
蘇澳港	17:00	1.01	147.10	17:00	0.13	17:00	2.32	57.40	7.58	x	x	<a href="#">歷史圖</a>
花蓮港	17:00	1.58	357.00	17:00	0.15	17:00	1.88	76.07	7.57	x	x	<a href="#">歷史圖</a>
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	<a href="#">歷史圖</a>
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	<a href="#">歷史圖</a>
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	<a href="#">歷史圖</a>
安平港	17:00	7.66	351.10	17:00	-0.21	17:00	0.37	290.20	3.57	x	x	<a href="#">歷史圖</a>
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	<a href="#">歷史圖</a>
澎湖	17:00	7.87	10.70	17:00	-0.36	17:00	0.77	35.20	4.97	x	x	<a href="#">歷史圖</a>
金門	17:00	6.90	66.80	17:00	0.38	17:00	1.04	66.80	4.75	x	x	<a href="#">歷史圖</a>

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、  
 潮汐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  
 海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 2.54b 海象模擬資訊(綜合表)

表 2-16 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
		近岸流速向量場分佈圖
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

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	還蓋臺灣近海海域範圍及離島-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。



WRF(WA02)



WRF(WA03)

圖 2.55 展示臺中港風力模擬歷線圖



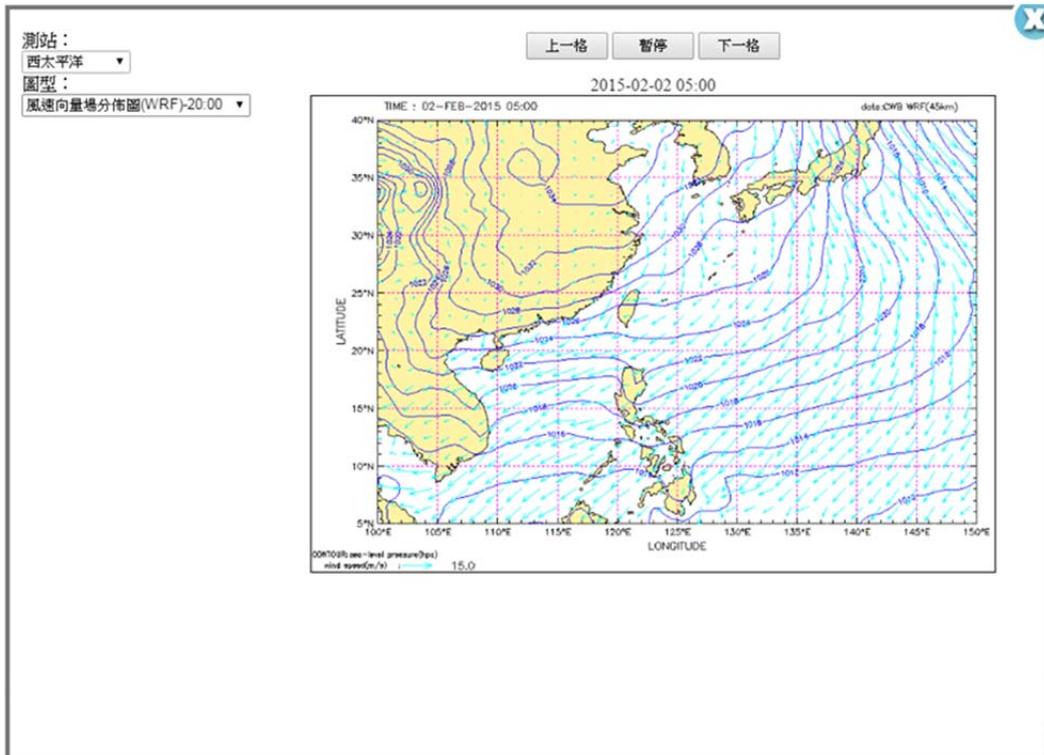
圖 2.56 展示臺中港波浪模擬 (大尺度、中尺度、小尺度) 歷線圖



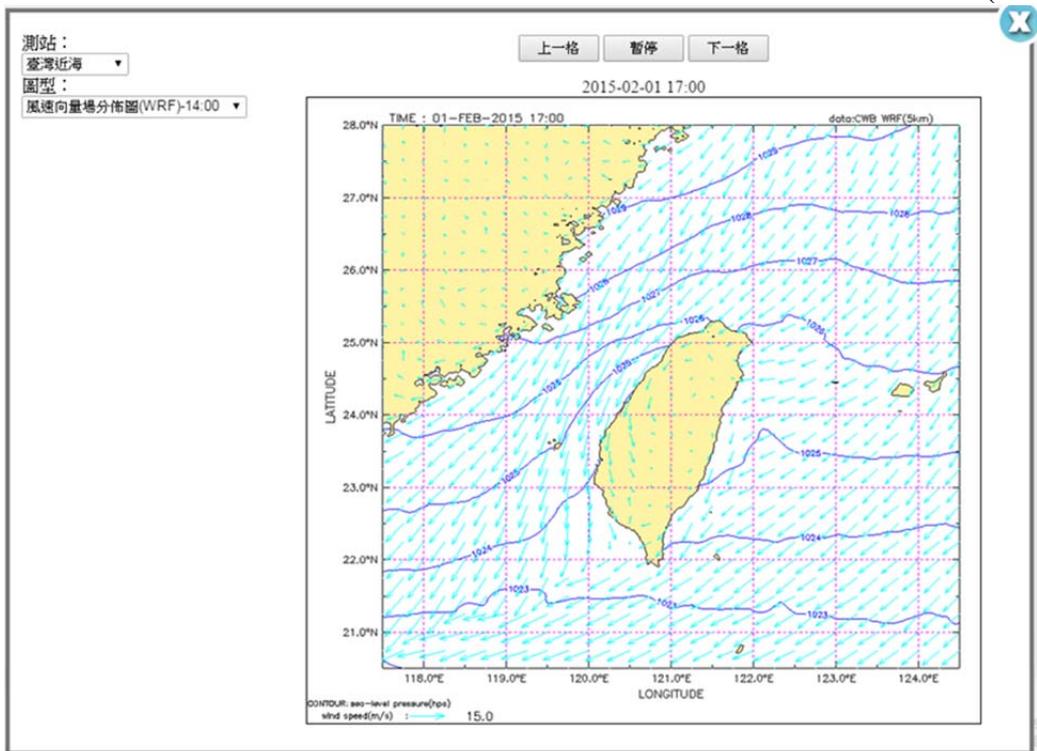
圖 2.57 展示花蓮港相對潮位歷線圖



圖 2.58 展示臺北港流速及流向歷線圖



WRF(WA01)



WRF(WA03)

圖 2.59 WRF 模式-風場圖型動畫

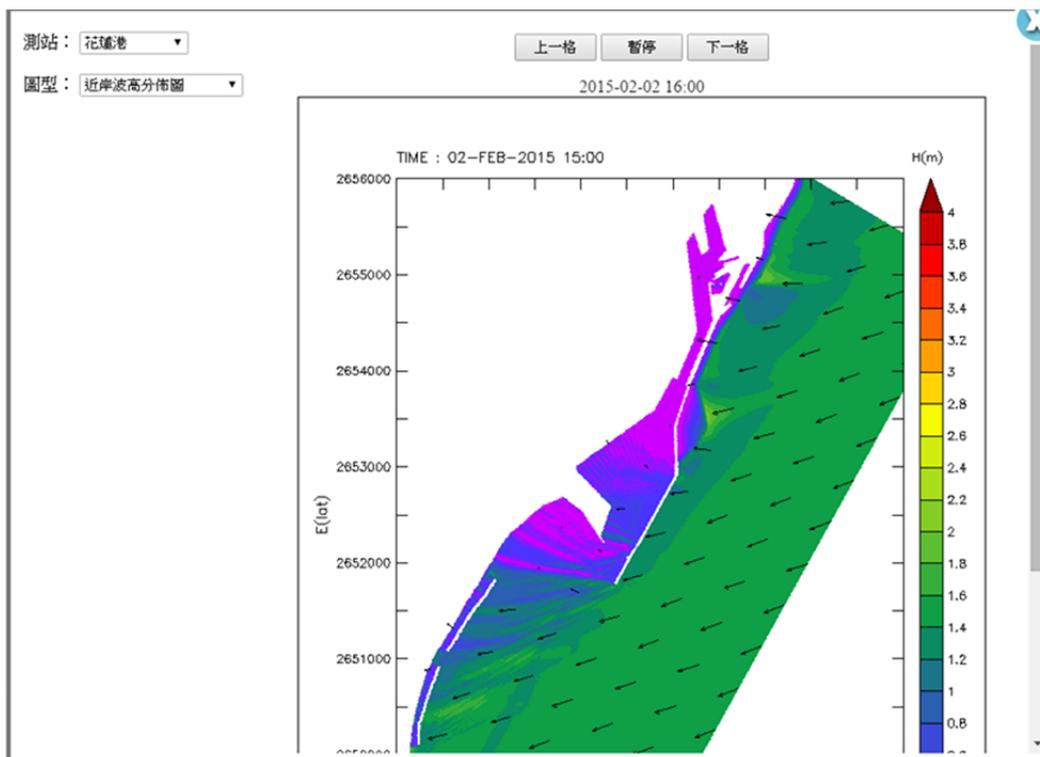


圖 2.60a 展示花蓮港近岸波高分佈圖

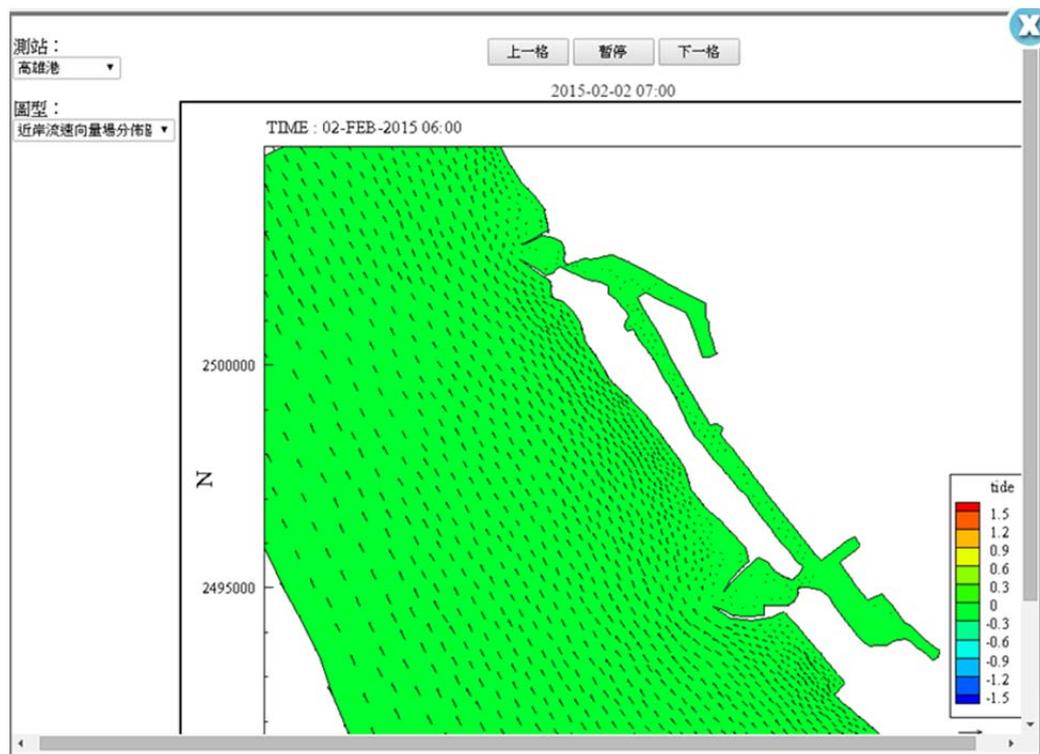
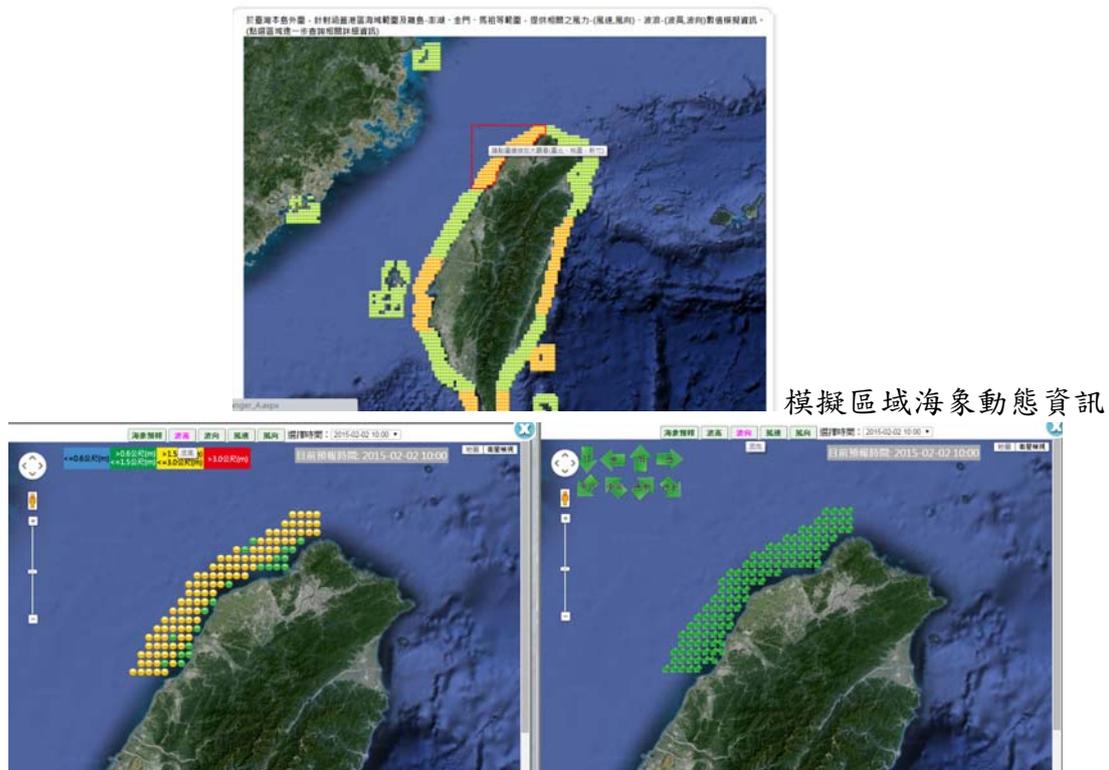


圖 2.60b 展示高雄港流速向量場分佈圖



模擬區域海象動態資訊

圖 2.61 模擬區域海象動態資訊(波高、波向)

#### 2.5.4 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 2.62a 港灣環境資訊網-藍色公路首頁所示，點選上面藍色公路，可提供如圖 2.62b 展示藍色公路特定船舶動態與航線上海象資訊。其中海象資訊為本計畫內提供中尺度該航線上海象模擬系統之風速、風向、波高及波向等相關資料。特定船舶動態則由船舶自動辨識系統即時展示船舶位置、航速及航向等資訊。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。



港灣環境資訊系統已將郵輪航線(麗星郵輪寶瓶星號)航班，並整合本計畫海象模擬資訊，並配合船舶辨識系統所提供的經緯度資訊，展示呈現郵輪目前位置之附近海氣象資訊以及航行軌跡。展示頁面如圖 2.63 及圖 2.64 麗星郵輪(寶瓶星)-船舶動態+海氣象波高、波向與圖 2.65 及圖 2.66 表示風速及風向模擬。

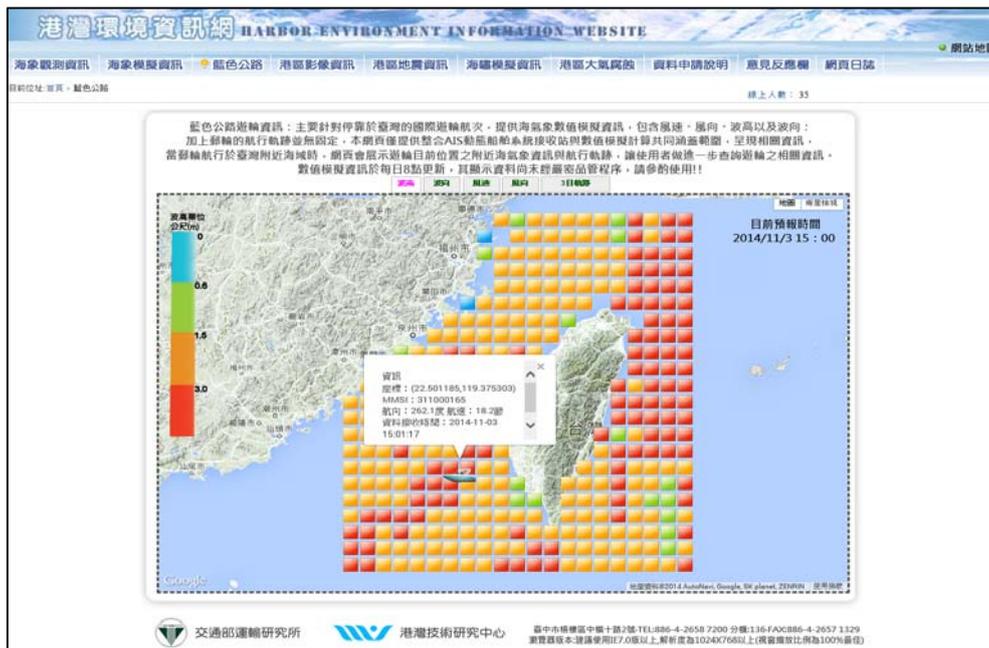


圖 2.63 麗星郵輪(寶瓶星)-船舶動態+海氣象波高模擬資訊



圖 2.64 麗星郵輪(寶瓶星)-船舶動態+海氣象波向模擬資訊

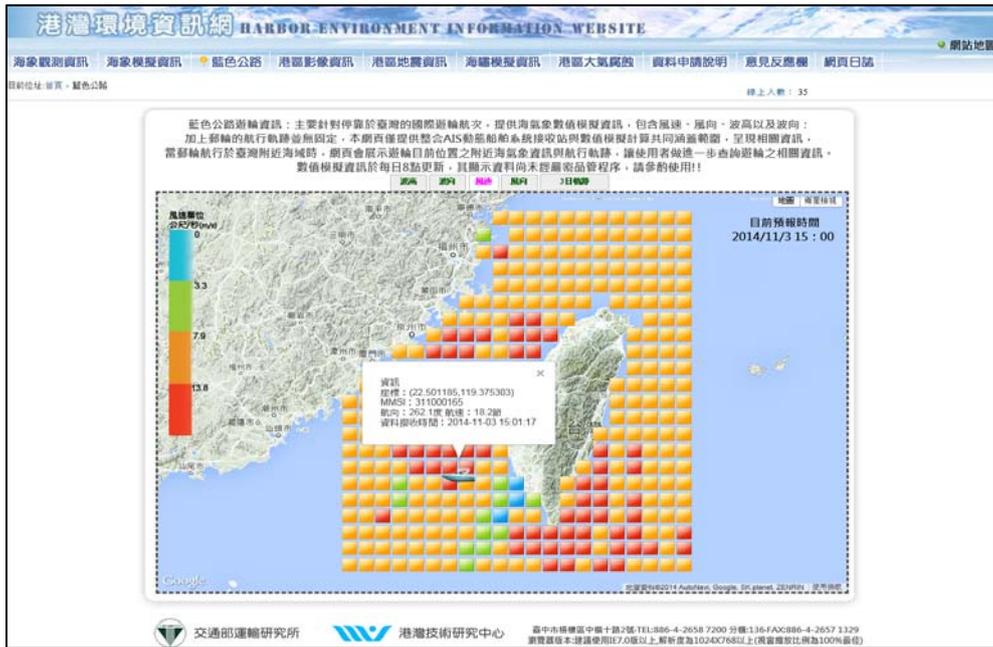


圖 2.65 麗星郵輪(寶瓶星)-船舶動態+海氣象風速模擬資訊



圖 2.66 麗星郵輪(寶瓶星)-船舶動態+海氣象風向模擬資訊

由於郵輪的航程時間都有固定航班，但不定期的停靠於臺灣的港口，因此港灣環境資訊系統將提供最近3日的軌跡資訊給使用者參考，如下圖 2-67 麗星郵輪(寶瓶星)-船舶最近三日內的航行軌跡所示。

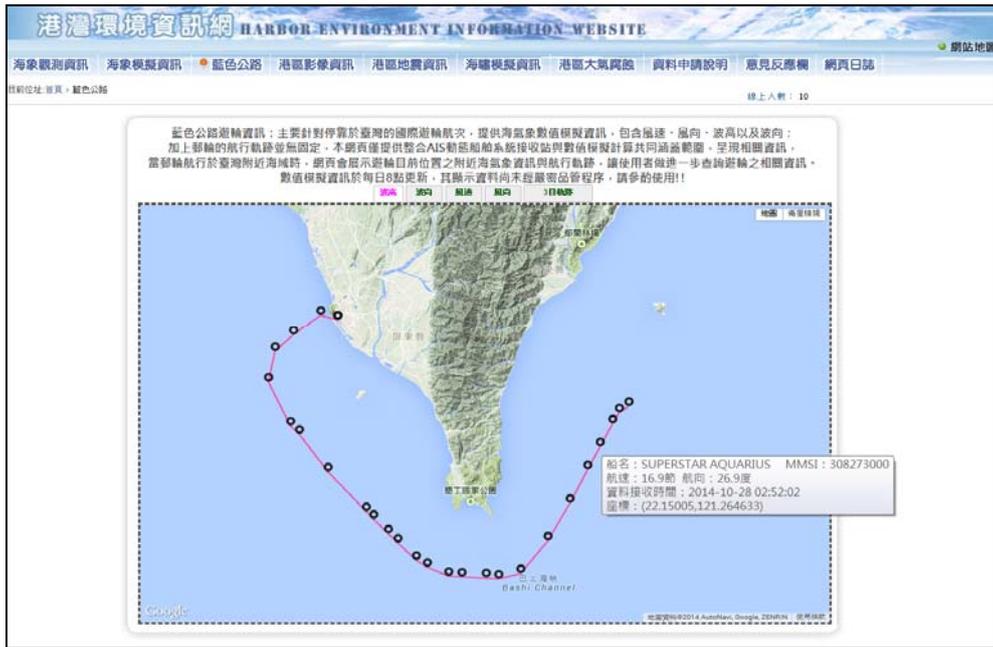


圖 2-67 麗星郵輪(寶瓶星)-船舶最近三日內的航行軌跡

## 2.5.6 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 $> 0.1$ 公尺或地震矩規模 $> 7.0$ ，才主動提供資訊。當地震矩規模 $\geq 6.5 \sim < 7.0$ ，則僅於網頁上顯示警告訊息。

### 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 2.68 所示。

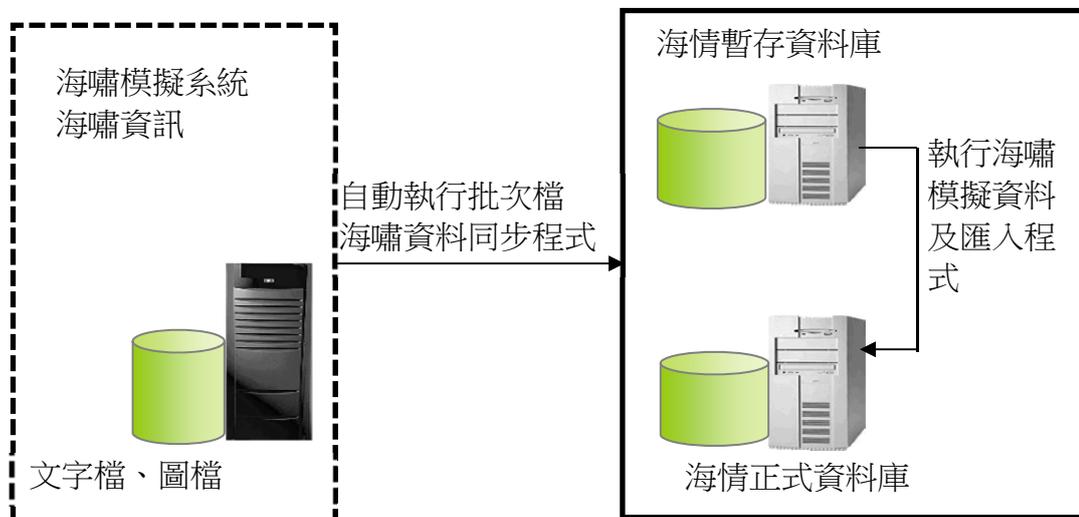


圖 2.68 海嘯模擬子系統網路架構圖

## 2.海嘯模擬資訊展示與查詢

海嘯資訊於套用 Google Maps 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 2.69 所示。其包含了地震的相關詳細資訊、震央位置圖如圖 2.70 所示，點選各測站可瞭解到達臺灣各港區的海嘯水位變化歷線圖及水位資訊 (如圖 2.71a、2.71b 所示)。



圖 2.69 海嘯查詢網頁

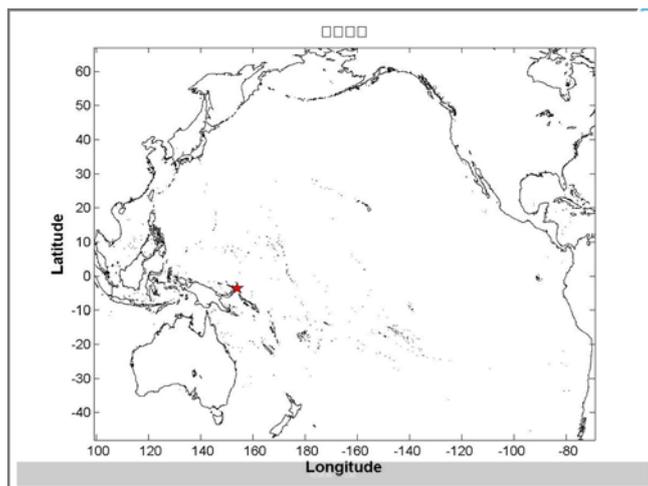


圖 2.70 展示海嘯震央位置圖

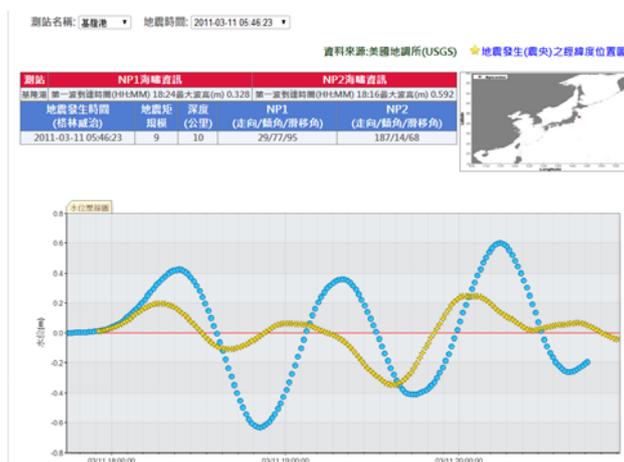


圖 2.71a 展示基隆港海嘯水位變化歷線圖

水位歷線圖 資料表

海嘯研發板(NP1)		海嘯研發板(NP2)	
時間	單位(公尺)	時間	單位(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 2.71b 展示海嘯水位歷線表

## 2.6 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、小尺度之近岸港區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，於 2 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，在各港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 1 小時至 3 小時的計算時間。
2. 風場處理模組：持續作業化取得氣象局 WRF 風場，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. 波浪模擬模組：持續每日 1 次大尺度、中尺度風浪模擬作業，並進行基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、臺中港及臺北港小尺度模擬作業。
4. 水動力模擬模組：持續每日 1 次大尺度、中尺度水動力模擬作業，並進行各港小尺度模擬作業。
5. 海嘯模擬模組：持續每 5 分鐘主動擷取國內外網站進行地震海嘯模擬作業。
6. 持續彙整本所各港海氣象即時觀測資料，本年度除基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、臺中港及臺北港，並新增澎湖(氣象局浮標)、金門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，本年度新增臺灣四周海域之風速、風向、波高、週期及波向等相關資料每小時 1764 筆資料。

## 第三章 風浪模擬與探討

### 3.1 澎湖海域近岸風浪模式建置

有鑑於 TaiCOMS 海象模擬作業化系統下遠域風浪模組及近域風浪模組數值計算網格之解析度無法模擬澎湖海域近岸風浪特性，因此本研究規劃在近域風浪模組下針對澎湖海域建置小尺近岸風浪模式，藉以模擬澎湖海域近岸風浪特性。由於新建的澎湖海域近岸風浪模式必需能夠銜接 TaiCOMS 波浪模擬系統近域風浪模組，因此本研究規劃採用風浪模式 SWAN 建置澎湖海域近岸風浪模組，並針對計畫之遠域風浪模擬、近域風浪模擬及澎湖海域近岸風浪模擬進行整體性規劃研究。

本年度(104)為此項研究工作第一年，工作內容以模式建置及測試為主。本年度相關工作成果說明如下：

#### 3.1.1 模式模擬範圍及數值計算網格

圖 3.1 及圖 3.2 分別為 TaiCOMS 遠域風浪模組及近域風浪模組之模擬範圍，其中遠域風浪模組模擬範圍含蓋西太平洋北緯  $10^{\circ}$  至  $35^{\circ}$ ，東經  $110^{\circ}$  至  $134^{\circ}$  之海域，數值計算網格解析度為  $0.2^{\circ}$  (或 12')；近域風浪模組模擬範圍含蓋臺灣周圍海域北緯  $21^{\circ}$  至  $27^{\circ}$ ，東經  $117^{\circ}$  至  $123^{\circ}$  之海域，數值計算網格解析度為  $0.04^{\circ}$  (或 2.4')。基於提昇 TaiCOMS 風浪模擬作業化風場資料精度考量，本年度計畫規劃遠域及近域風浪模擬分別改採用作業化風場 WA02 及 WA03 資料；同時，為配合作業化風場 WA03 資料範圍大小，本計畫將近域風浪模組模擬範圍調整為北緯  $21^{\circ}$  至  $27^{\circ}$ ，東經  $117.6^{\circ}$  至  $124^{\circ}$  之海域，如圖 3.3 所示。

澎湖海域近岸風浪模組模擬範圍，如圖 3.4 所示，圖中粗虛線矩形區域之左下及右上角經緯度座標分別為(119.0, 22.8)及(120.48, 24.2)。本計畫規劃澎湖海域近岸風浪模擬範圍含蓋臺灣本島西部陸地，係基於減少模式開放邊界條件數量及降低開放邊界對數值模擬之影響。

### 3.1.2 數值計算網格

澎湖海域近岸風浪模擬之數值計算網格座標採用經緯度表示，網格間距(或解析度)為  $0.008^\circ$  (或  $0.48'$ )，數值計算網格格點數為  $187 \times 177$ 。

本計畫遠域風浪模組、近域風浪模組及澎湖海域近岸風浪模組數值計算網格採用的地形水深資料為 ETOPO1 地形水深資料，圖 3.5 為澎湖海域近岸風浪模式數值計算網格數。各模組採用正值表示海域水深值，負值表示陸地高程，另以“-10.0”代表非計算格點。

由於澎湖群島南北長約 60 餘公里，東西寬約 40 餘公里，澎湖群島共有大小島嶼 90 座，海域地形極為複雜。

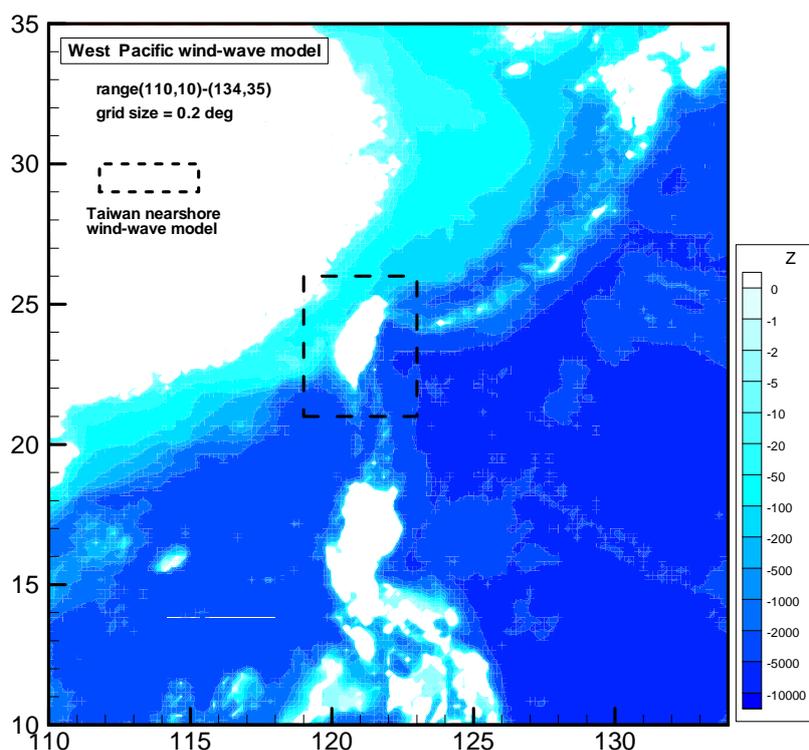


圖 3.1 西太平洋範圍遠域風浪模組模擬範圍及水深分布圖

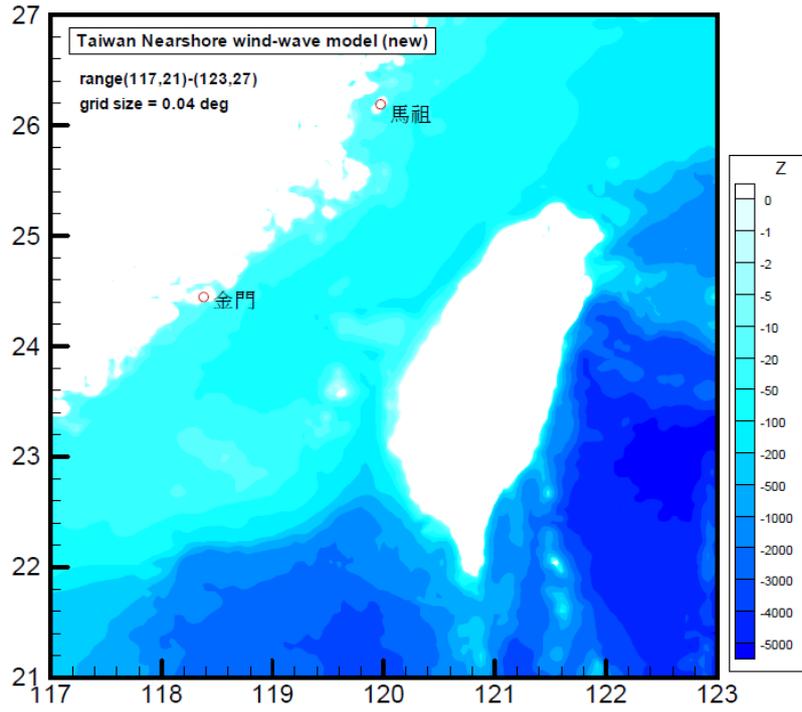


圖 3.2 臺灣周圍海域近域風浪模組模擬範圍及水深分布圖

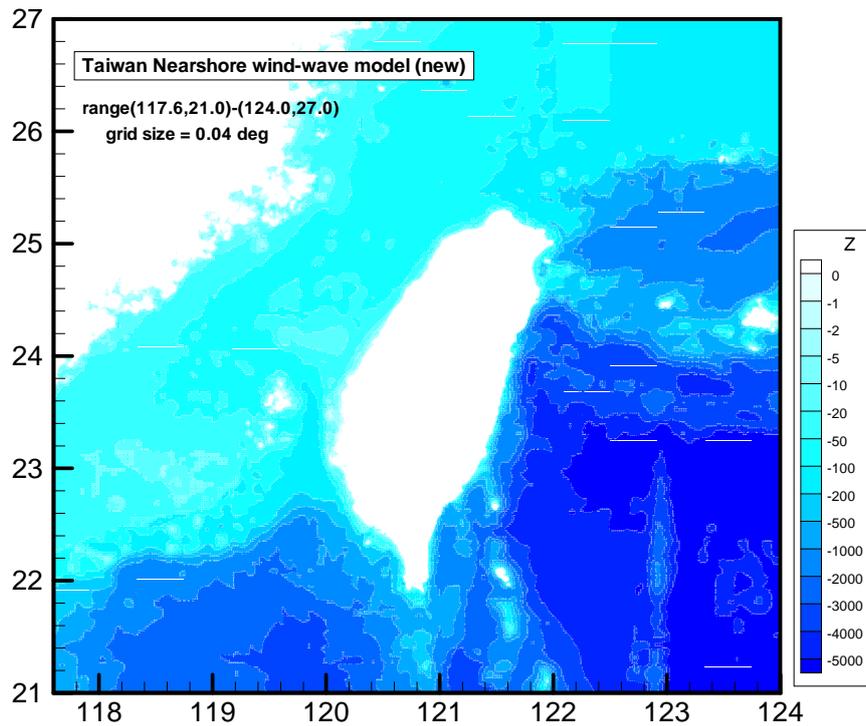
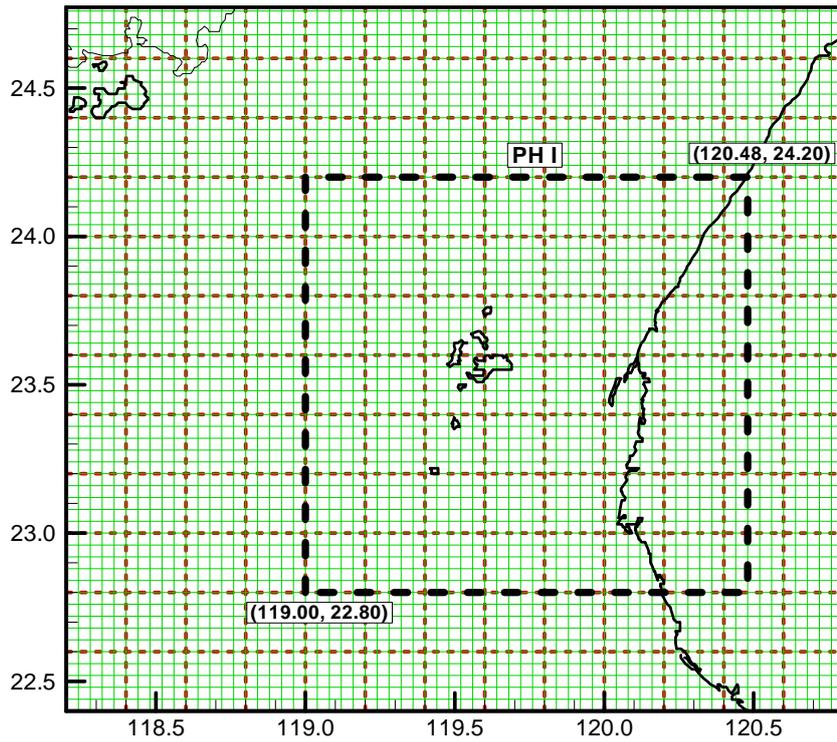


圖 3.3 本計畫臺灣周圍海域近域風浪模組模擬範圍及水深分布圖



(細虛線為遠域計算網格，實線為近域計算網格)

圖 3.4 澎湖海域風浪模擬範圍示意圖

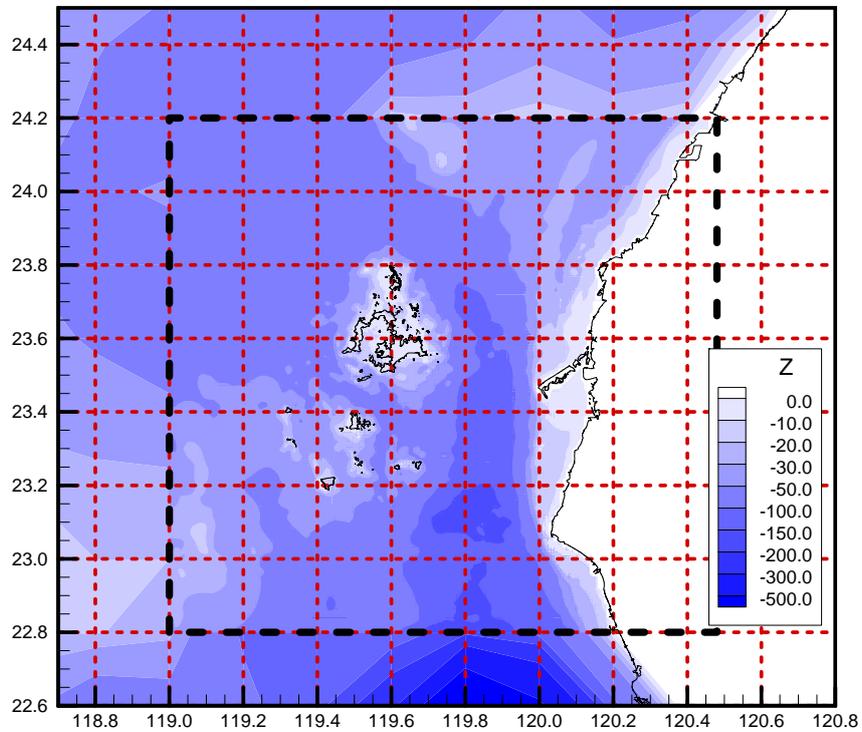


圖 3.5 澎湖海域小尺度風浪模式計算網格之地形水深分布圖

### 3.1.3 作業化風場

本計畫規劃以 TaiCOMS 作業化風場 WA02 資料作為遠域風浪模擬輸入風場，作業化風場 WA03 資料作為近域風浪模擬及澎湖海域近岸風浪模擬之輸入風場。

### 3.1.4 邊界條件設定

遠域風浪模擬：由於採用數值模式為 WAM，因此開放邊界允許採用自然邊界條件(natural boundary condition)，即假設在海岸網格點上無任何能量通率(energy flux)進入網格且能量以 free advection 方式傳到網格外。

近域風浪模擬：風浪模式 SWAN 開放邊界採用巢狀網格(nest)方式設定，由遠域風浪模組模擬過程產生巢狀網格數值計算波譜資料。(ps. 資料檔名開頭為“cbo”)

澎湖海域近岸風浪模擬：同近域風浪模擬，開放海域邊界採用巢狀網格(nest)方式設定，由近域風浪模組模擬過程產生巢狀網格數值計算波譜資料。

### 3.1.5 風浪模組設定

#### (一) 遠域風浪模組

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

lawianal)；CHIEF 模組為 WAM 模式之核心，BOUINT 為巢狀網格被模擬時之必要程式，用於處理巢狀網格之邊界波譜。

本計畫遠域波浪場離散化波譜設定如下：波譜頻率數( $ML$ )及波向數目( $KL$ )分別為 25 及 24，其中頻率譜之最小頻率為 0.05。頻寬之計算採用對數尺度，即  $\Delta f/f = 1.1$ ，模擬之波浪頻率範圍為  $f_{max}/f_{min} = (1.1)^{ML-1}$ ，因此波浪模擬之頻率介於 0.05 ~ 0.4925 之間或波浪週期約介於 2.0 ~ 20.0 sec 之間。

遠域風浪模擬輸出資料分為平面二維資料輸出及點位一維資料輸出兩種，其中一維及二維資料輸出主要內容包括示性波高( $H_s$ )、平均波向( $\theta_m$ )、平均週期( $T_m$ )、風引起的摩擦速度( $u_*$ )、風向( $\theta_w$ )、譜峰週期( $T_p$ )、風曳力係數及無因次化波浪應力等 8 項，以及湧浪資料(波高、波向及平均週期)、海面波譜及湧浪波譜等次要選項輸出。

模式中關於波浪之積分參數說明如下：

1. 波浪能譜  $E(f, \theta)$  之  $n$  階動差(moment)， $M_n$

$$M_n = \int f^n E(f, \theta) df \cdot d\theta \dots\dots\dots (3.1)$$

2. 頻率譜  $\bar{E}(f)$  為

$$\bar{E}(f) = \int E(f, \theta) d\theta \dots\dots\dots (3.2)$$

3. 示性波高(significant wave height， $H_s$ ) 為

$$H_s = 4\sqrt{E_0} = 4\sqrt{M_0} \quad , \quad \text{其中波浪能量 } E_0 = M_0 \dots\dots\dots (3.3)$$

4. 平均週期( $T_m$  或  $T_{-1}$ )：採用 -1 階動差計算波浪平均週期即

$$T_m = M_{-1}/M_0 \dots\dots\dots (3.4)$$

5. 平均週期( $T_{m02}$  或  $T_z$ )：採用能譜零階動差與 2 階動差比值平方根之定義，即

$$T_{m02} = \sqrt{M_0/M_2} \dots\dots\dots (3.5)$$

6. 平均波向定義為

$$\langle \theta \rangle = \tan^{-1}(SF/CF) \dots\dots\dots(3.6)$$

其中

$$SF = \int \sin \theta \cdot E(f, \theta) df \cdot d\theta, \quad CF = \int \cos \theta \cdot E(f, \theta) df \cdot d\theta \dots\dots\dots(3.7)$$

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

$$T_p = 1/f_p \dots\dots\dots(3.8)$$

本計畫遠域風浪模擬操作流程如圖 3.6 所示，圖中 PREPROC 及 PRESET 模組代表此二模組僅需於首次或系統重新設定時才執行。

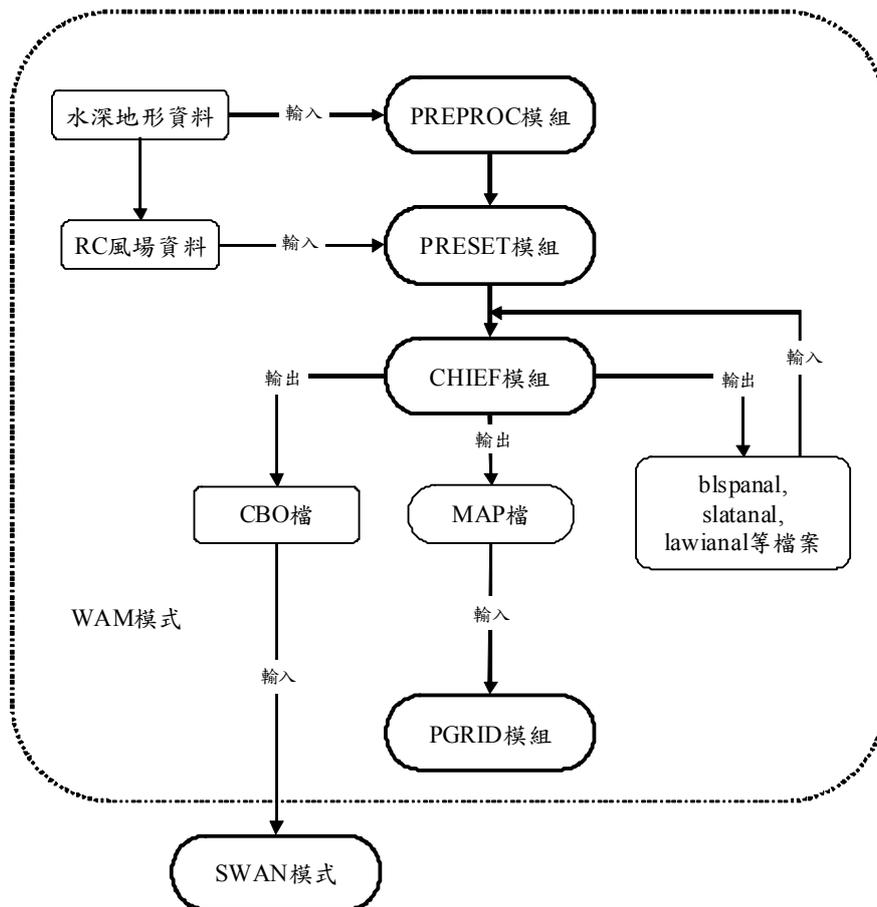


圖 3.6 遠域風浪模擬操作流程圖

(二) 近域風浪模組

有關 TaiCOMS 近域風浪模組使用風浪模式 SWAN 之參數設定，可參考附錄五所述。

本計畫近域風浪模擬利用遠域風浪模組(或 WAM)計算出來的二維波浪頻譜結果，作為近域風浪模組(或 SWAN)之邊界條件；即採用“WAM+SWAN”套疊網格進行計算，可清楚模擬出颱風波浪於臺灣周圍海域近岸處分佈情形。圖 3.7 為近域風浪模擬操作流程，其中“中繼檔”是給下一個時段波浪模擬所需的資料。

### (三) 澎湖海域近岸風浪模組

澎湖海域近岸風浪模擬有關 SWAN 參數設定同樣可參考附錄五所述。

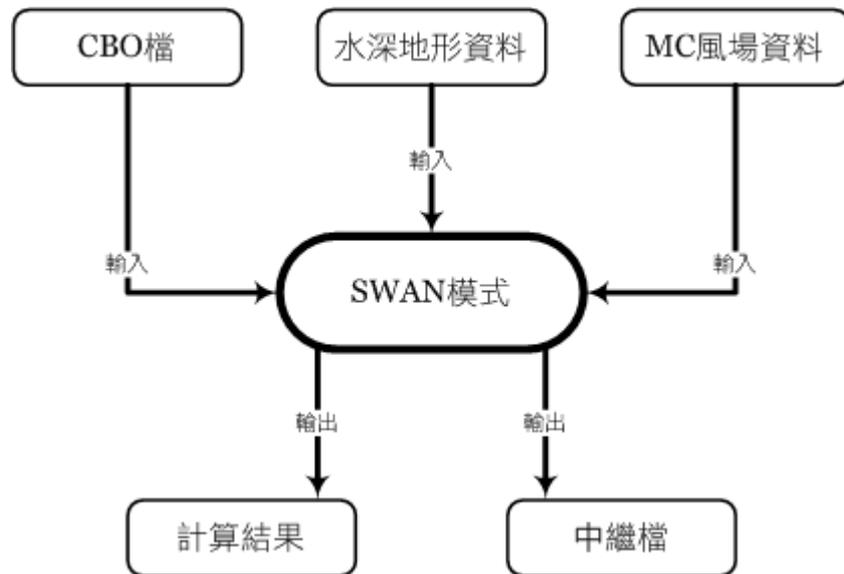


圖 3.7 近域風浪模擬操作流程圖

#### 3.1.6 風浪模擬作業化系統安裝與模擬測試

本計畫目前已於成大水工所完成 TaiCOMS 風浪模擬作業化系統安裝與模擬測試，並以本年度侵臺颱風蘇迪勒為例進行遠域風浪、近域風浪與澎湖海域近岸風浪作業化模擬測試。

## 3.2 澎湖港龍門尖山港區港域波浪模式建置

澎湖國內商港簡稱澎湖港，係由馬公港區及龍門尖山港區組成，本項研究工作係針對龍門尖山港區建置細尺度港域波浪模式，模擬龍門尖山港區波浪場及探討龍門尖山港區港池遮蔽及共振特性。本項研究工作屬於兩年期(104~105)研究項目，本年度(104)為此項研究工作第一年。

### 3.2.1 龍門尖山港區介紹

澎湖港龍門尖山港區位於澎湖縣湖西鄉，如圖 3.8 所示；定位為澎湖港散雜貨及油品等危險貨品裝卸碼頭區。龍門尖山碼頭區港區整體規劃，如圖 3.9 所示，龍門尖山碼頭區現有 8 座碼頭，碼頭岸線總長 1,003 公尺，包含一般散雜貨碼頭 6 座(1~6 號碼頭)、大宗散貨碼頭 1 座(9 號碼頭)、油品碼頭 1 座(10 號碼頭)。航道及迴船池深度為-7.5 公尺，可進 5,000 噸(DWT)級貨輪。

### 3.2.2 數值計算網格建置

#### (一) 模式模擬範圍

針對澎湖港龍門尖山港區港域波浪模擬，本計畫選取的數值模擬範圍，如圖 3.10 所示，圖中外海有限領域假想半圓之半徑為 1,600 m；港域面積除了龍門尖山港區水域外，亦含蓋龍門及尖山兩漁港水域。

#### (二) 地形水深資料

本計畫除了蒐集 103 年測繪澎湖港龍門尖山港區地形水深資料，如圖 3.11 所示外，同時蒐集海軍大氣海洋局刊行的海圖 61709 龍門及尖山漁港(比例尺 2,500 分之一)及海圖 04529 澎湖群島東南部(比例尺 50,000 分之一)，如圖 3.12 及圖 3.13 所示，建置地形水深資料。

#### (三) 有限元素網格建置

本計畫港域波浪模式數值計算有限元素網格採用三角形元素建構，如圖 3.14 所示為本計畫針對模式模擬範圍建構的有限元素粗網格，粗網格水深資料則利用蒐集的水深資料內插得到，模式模擬範圍內水深分布情形如圖 3.15 所示。由於本計畫港域波浪模式數值計算網格解析度，須滿足波長至少涵蓋 8 個網格節點，因此圖 3.14 建構的有限元素粗網格無法直接應用於本計畫港域波浪模式。

基於此，本計畫利用自行開發的三角形網格生成程式，輸入模擬波浪週期及波長涵蓋的網格節點數等條件；由程式依據前述粗網格邊界節點及內部節點之座標及水深等資料，自動產生符合波浪模擬條件及網格解析度要求的細尺度三角元素網格(簡稱細網格)。同時考量本計畫港域波浪模式未來模擬的對象主要限定為颱風波浪或長週期湧浪，因此本計畫選取波浪場模擬最小週期 7sec 以及波長至少涵蓋 10 個網格節點，為本計畫龍門尖山港區港域波浪模式細網格產生的條件。據此，本計畫建構的龍門尖山港區港域波浪模式採用的有限元素計算網格，係由 85,659 個節點及 169,308 個三角形元素所組成的。

### 3.2.3 邊界條件設定

本計畫港域波浪模式邊界條件設定分為四類，說明如下：

- (一)澎湖港龍門尖山港區現有外廓防波堤設施：假設  $K_r$  值為 0.85；
- (二)港池內具消波功能構造物：假設  $K_r$  值為 0.75；
- (三)碼頭區及漁港岸壁：假設為全反射， $K_r$  為 1.0；
- (四)外海及半無限領域海岸線：假設  $K_r$  為 0.50。

### 3.2.4 港域波浪場模擬

本計畫針對颱風波浪及湧浪規劃的波浪場模擬條件如下：

- (一)波浪週期：8 ~ 20sec，週期間距 0.1sec；
- (二)波向：W 向至 SE 向(逆時針方向)，方向間距 12.5°；
- (三)波高：假設為 1.0 m。

本報告針對波浪週期 9sec 數值模擬結果分別繪出波場相位分布圖及波高分布圖，如圖 7.16 至圖 7.22 所示；由波場相位分布圖可以判斷波浪傳播方向、受地形水深影響的折射現象、波浪通過結構物的繞射現象等，由波高分布可以判斷港區遮蔽現象及水域靜穩程度。

例如 W 波向波浪場數值模擬結果，如圖 7.16a,b 所示；相位分布圖顯示 W 向波浪大致沿著海岸傳播，於淺水區域波浪受到西防波堤阻礙產生反射波向外海傳播，基本上不會對港內水域產生影響；波浪通過西外防波堤延長段堤頭時，波浪場以堤頭為控制點形成繞射波現象，部份繞射波浪通過內港口時再度形成繞射現象，此時波浪繞射現象係以東、西防波堤頭為控制點。波高分布顯示 W 向波浪傳播過程明顯受到西防波堤阻礙，進入港內波浪主要為繞射波浪成份，因此港域內波高分布均小於 0.1m。

SW 波向波浪場數值模擬結果，如圖 7.18a,b 所示；相位分布圖顯示 SW 向波浪傳播方向大致上與西防波堤外海段堤線平行，沿深槽水域傳播波浪可以直接進入外港池水域；通過西外防波堤延長段堤頭之波浪會形成繞射波向內港口傳播，並以東、西防波堤頭為控制點形成繞射波向內港池傳播。波高分布顯示 SW 向波浪通過外港口進入外港池波浪能量明顯受到東防波堤阻礙，惟西防波堤對 SW 向波浪產生的遮蔽效應並不顯著，因此通過東、西防波堤頭進入港內的波浪，因反射波作用水域波高約 0.1~0.2m 左右。

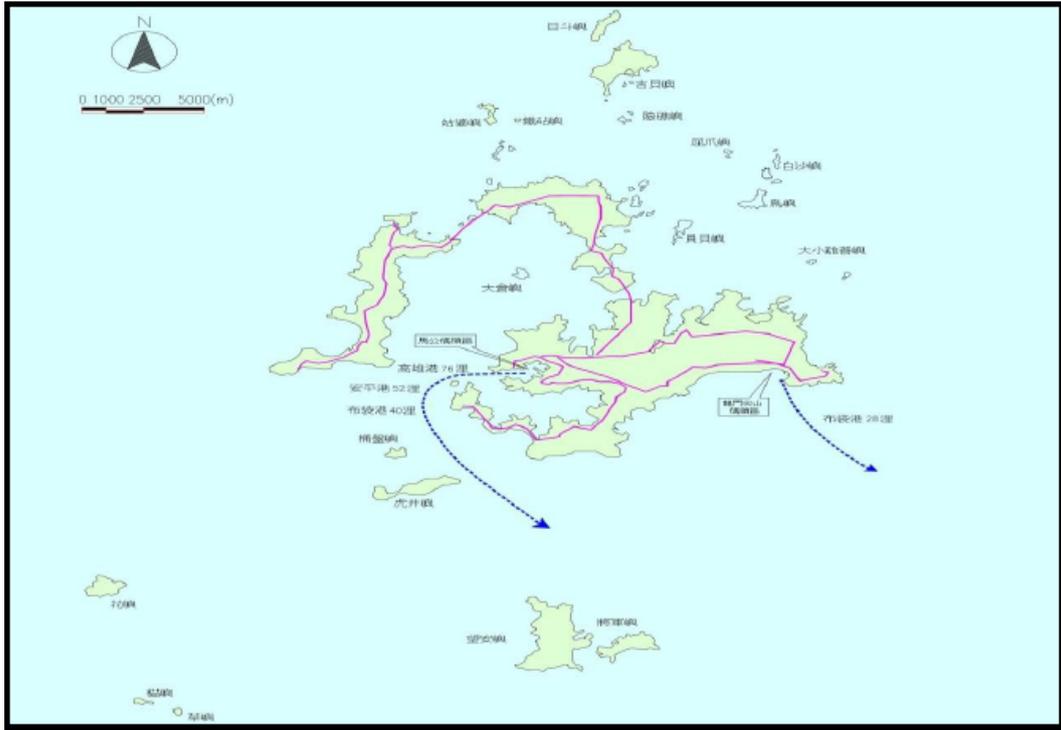


圖 3.8 澎湖港地理位置圖



龍門尖山碼頭區平面規劃圖

(資料來源：臺灣港務股份有限公司網站)

圖 3.9 龍門尖山碼頭區平面規劃圖



圖 3.10 澎湖港龍門尖山港區港域波浪模擬範圍示意圖

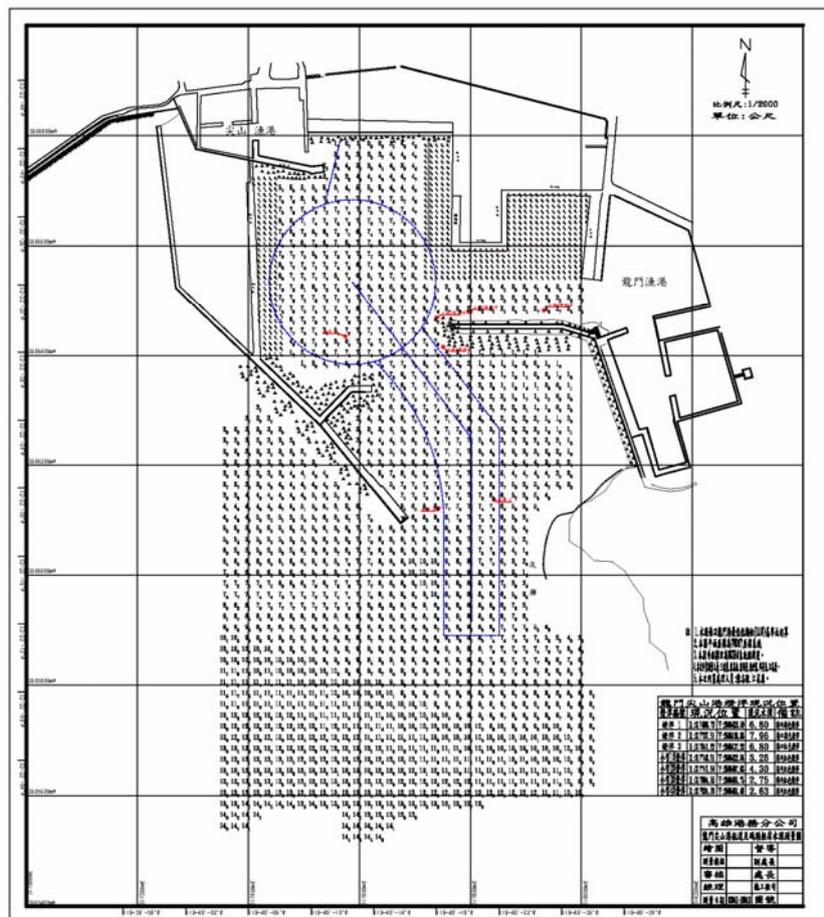


圖 3.11 澎湖港龍門尖山港區水深資料圖

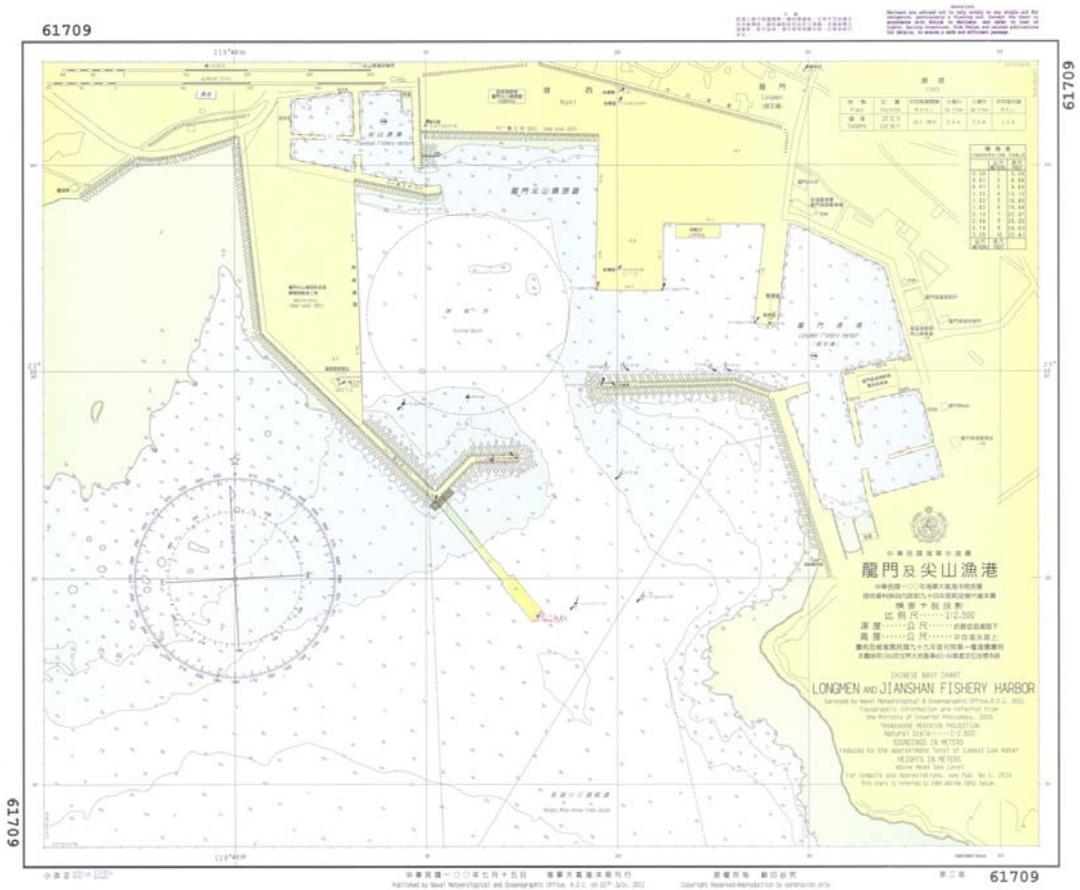


圖 3.12 海軍大氣海洋局刊行海圖 61709 龍門及尖山漁港

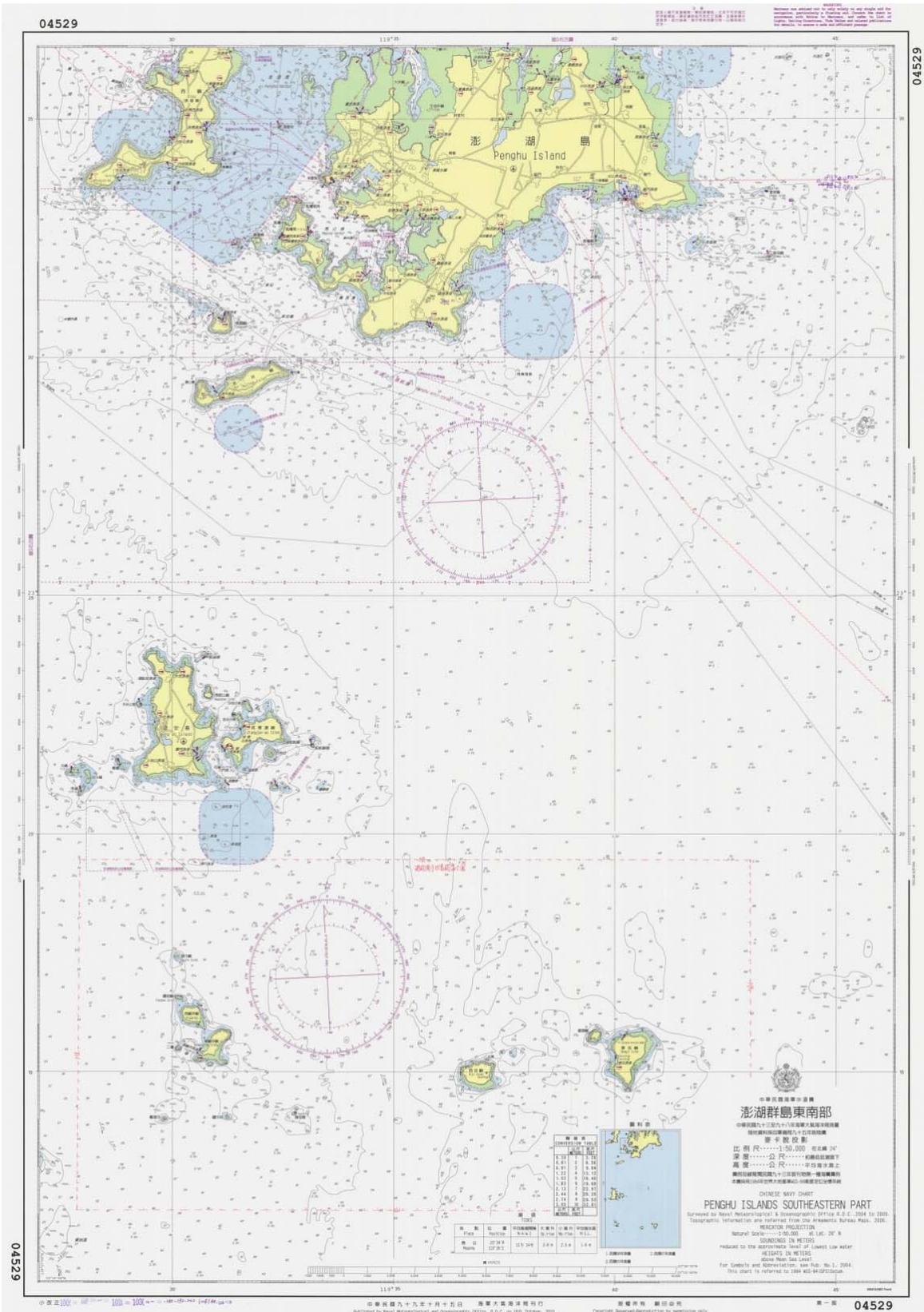


圖 3.13 海軍大氣海洋局刊行海圖 04529 澎湖群島東南部

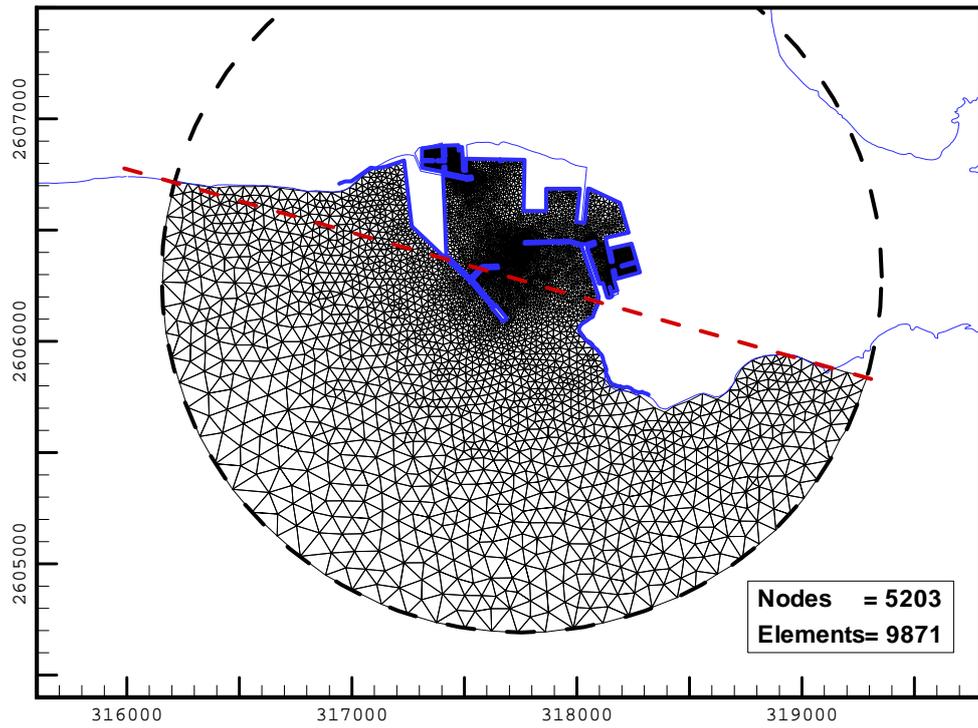


圖 3.14 澎湖港龍門尖山港區模擬範圍有限元素粗網格分布圖

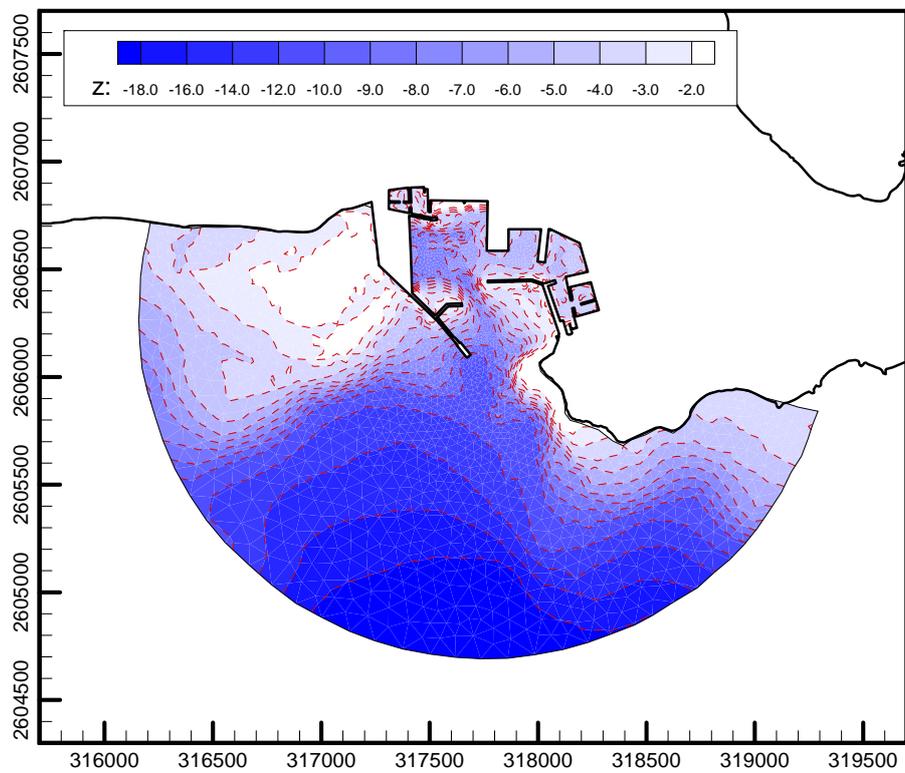


圖 3.15 澎湖港龍門尖山港區模擬範圍粗網格地形水深分布圖

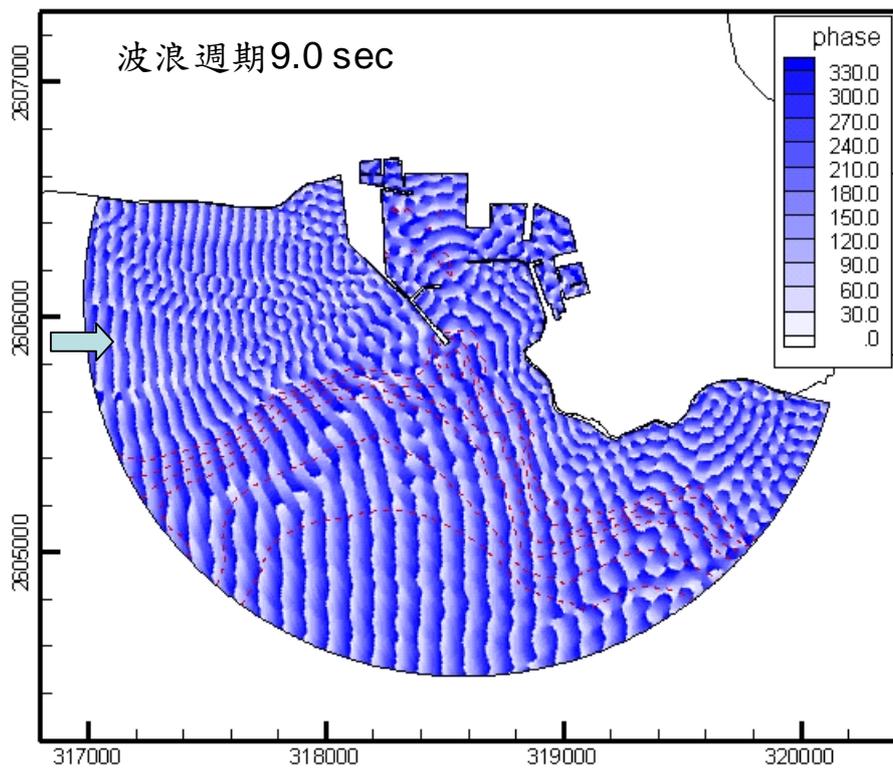


圖 3.16a 澎湖港龍門尖山港區 W 向波浪場模擬結果相位分布圖

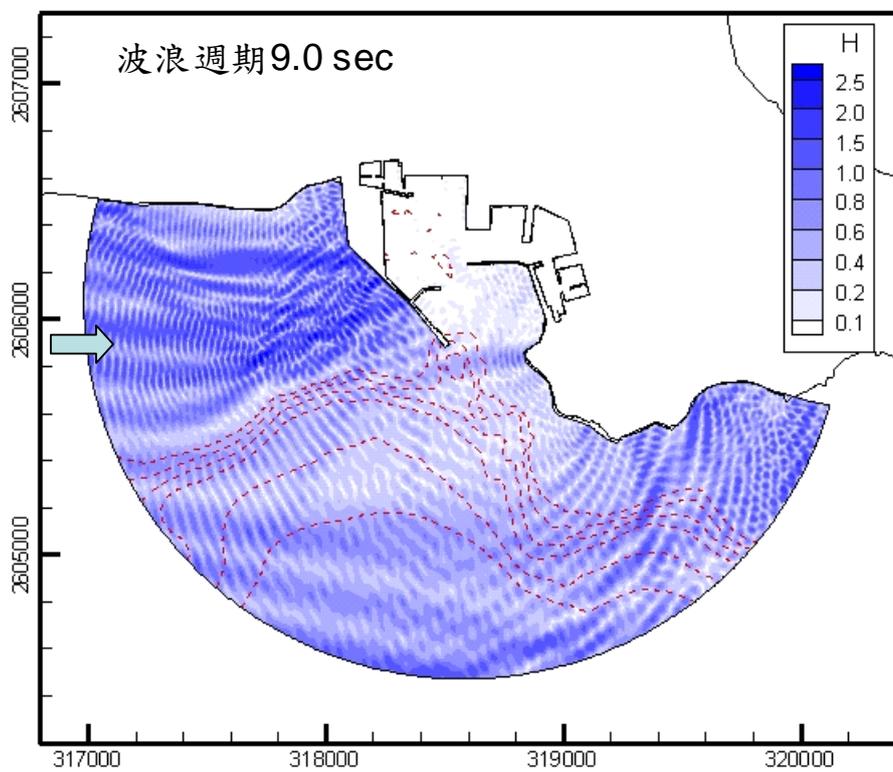


圖 3.16b 澎湖港龍門尖山港區 W 向波浪場模擬結果波高分布圖

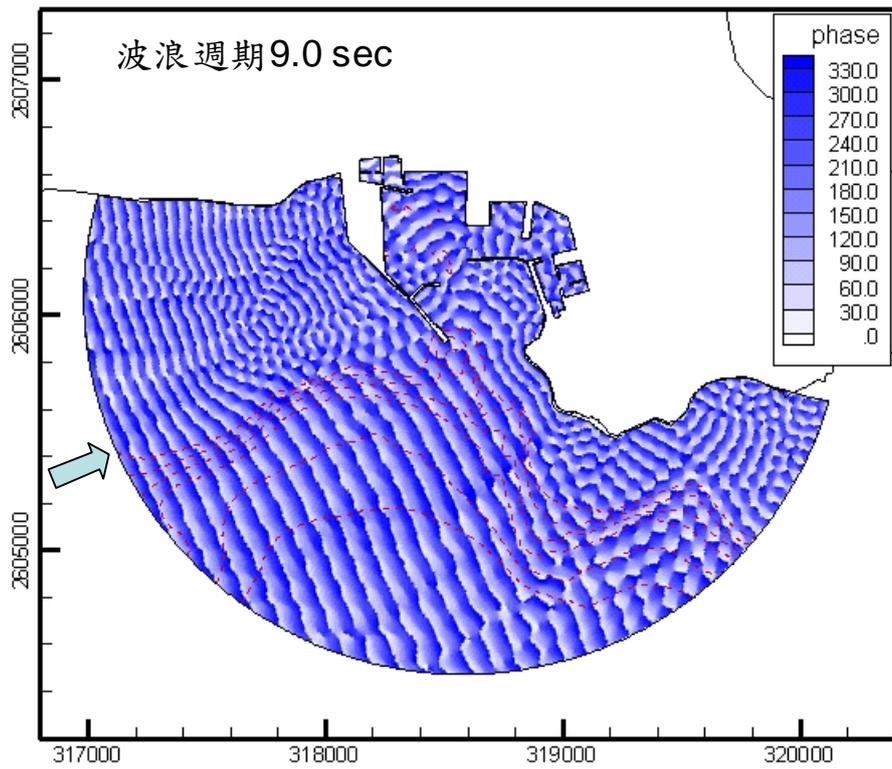


圖 3.17a 澎湖港龍門尖山港區 WSW 向波浪場模擬結果相位分布圖

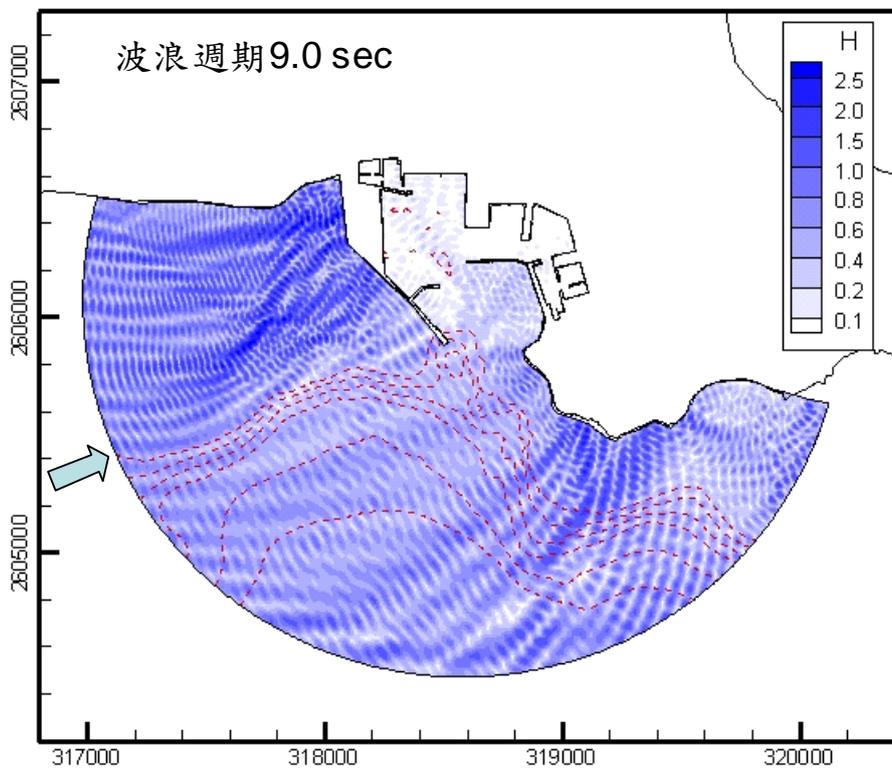


圖 3.17b 澎湖港龍門尖山港區 WSW 向波浪場模擬結果波高分布圖

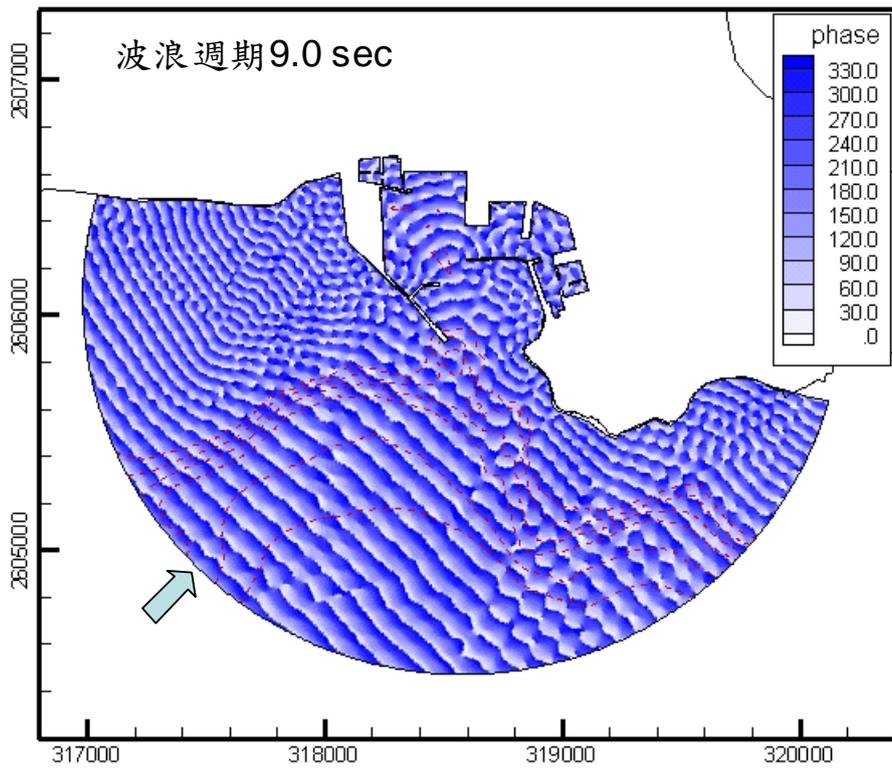


圖 3.18a 澎湖港龍門尖山港區 SW 向波浪場模擬結果相位分布圖

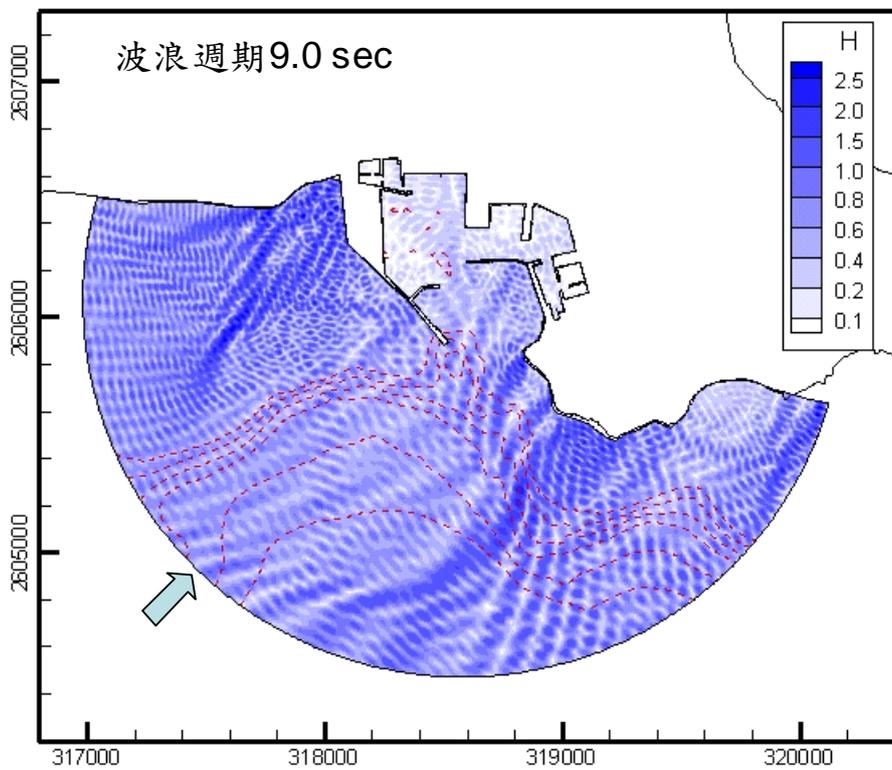


圖 3.18b 澎湖港龍門尖山港區 SW 向波浪場模擬結果波高分布圖

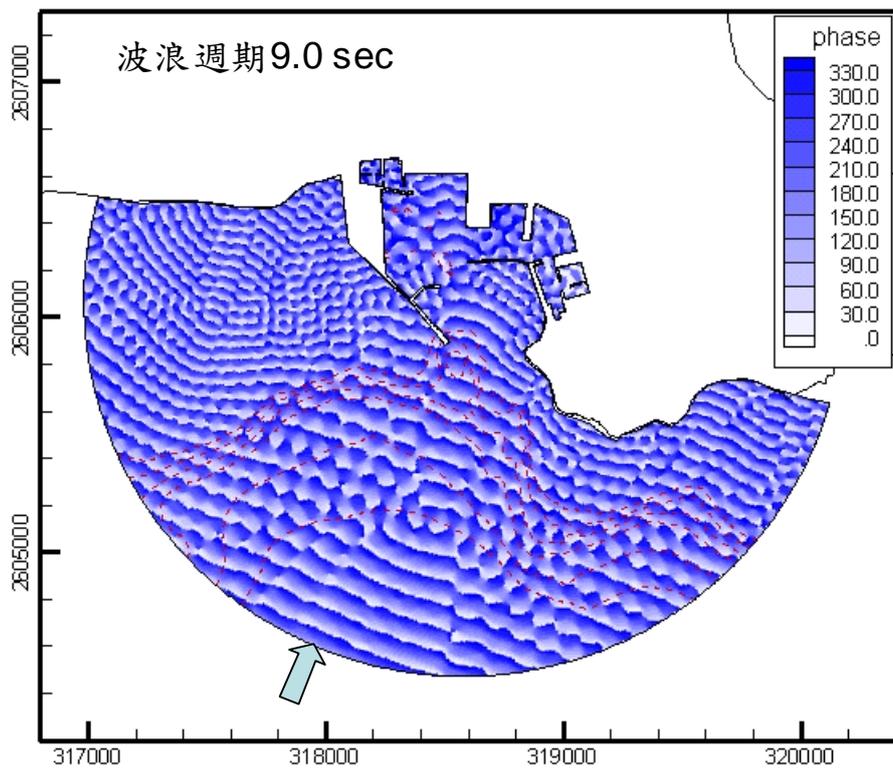


圖 3.19a 澎湖港龍門尖山港區 SSW 向波浪場模擬結果相位分布圖

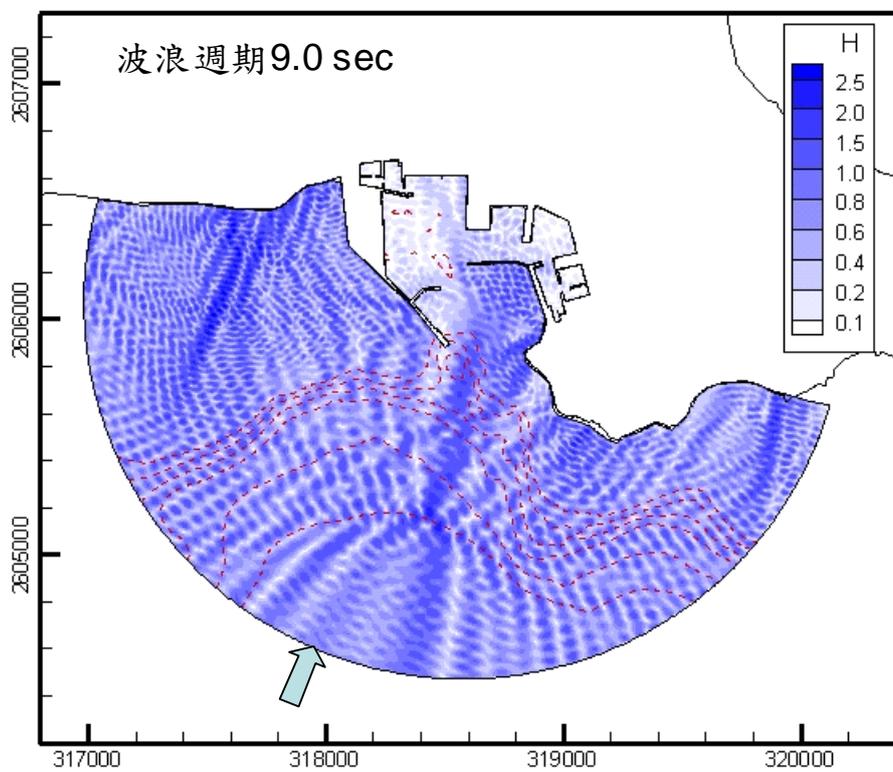


圖 3.19b 澎湖港龍門尖山港區 SSW 向波浪場模擬結果波高分布圖

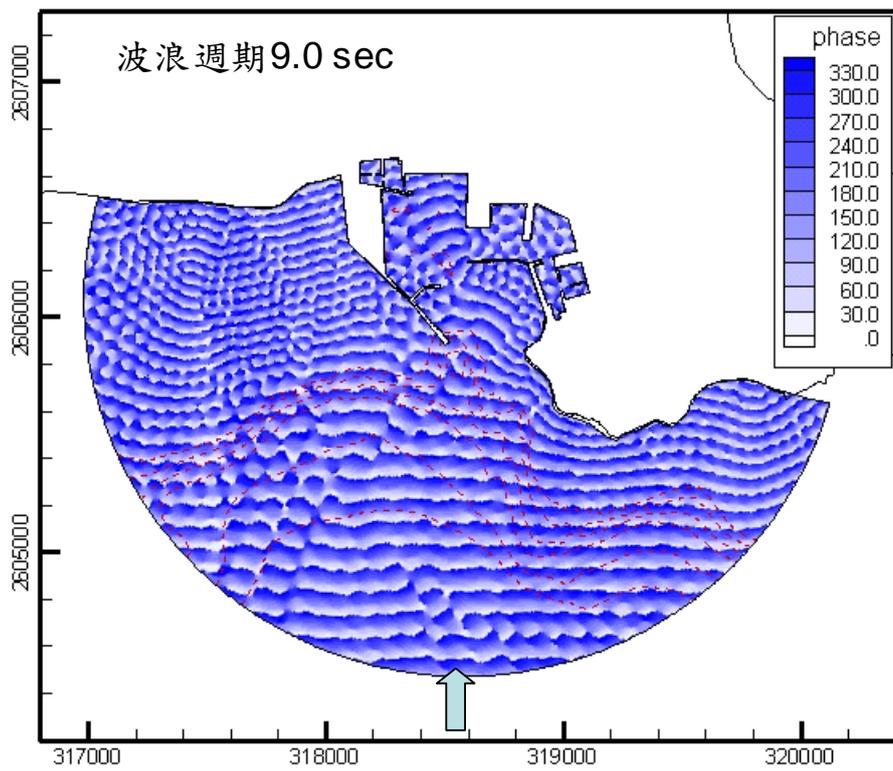


圖 3.20a 澎湖港龍門尖山港區 S 向波浪場模擬結果相位分布圖

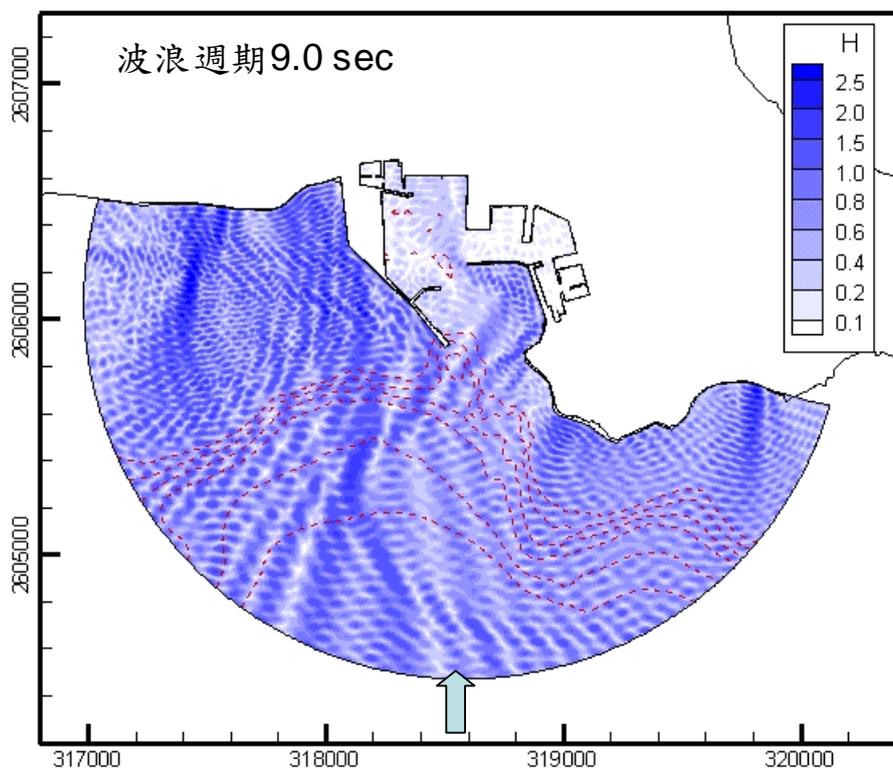


圖 3.20b 澎湖港龍門尖山港區 S 向波浪場模擬結果波高分布圖

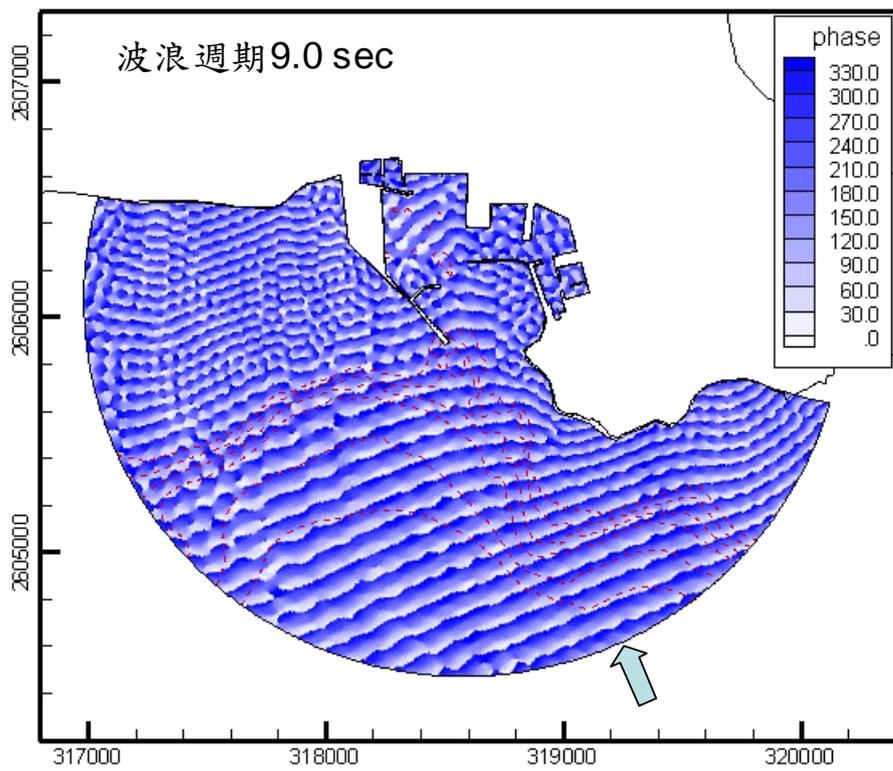


圖 3.21a 澎湖港龍門尖山港區 SSE 向波浪場模擬結果相位分布圖

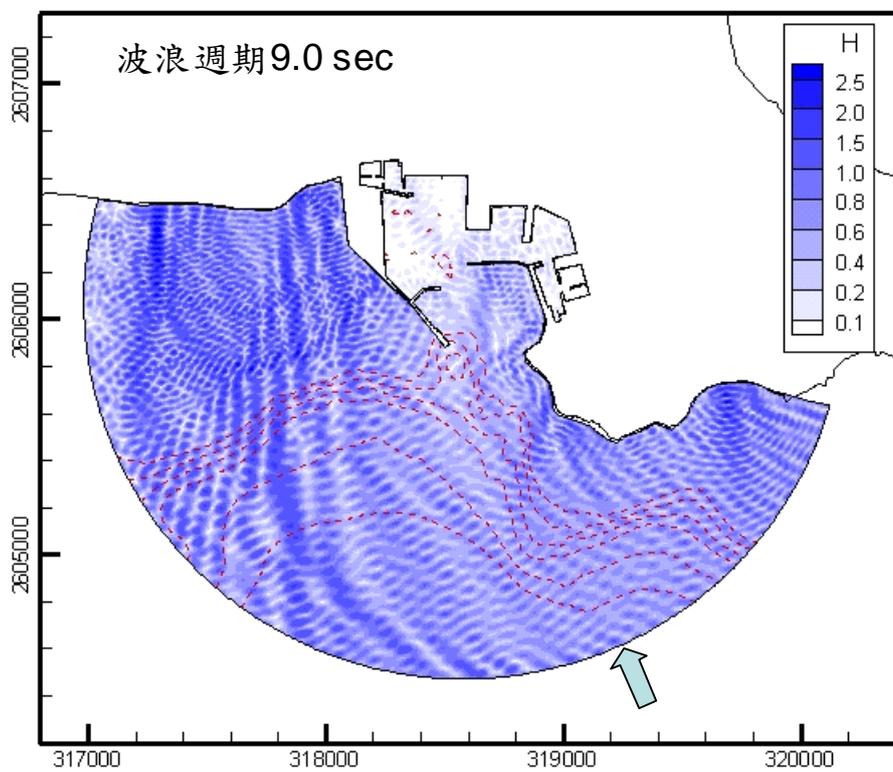


圖 3.21b 澎湖港龍門尖山港區 SSE 向波浪場模擬結果波高分布圖

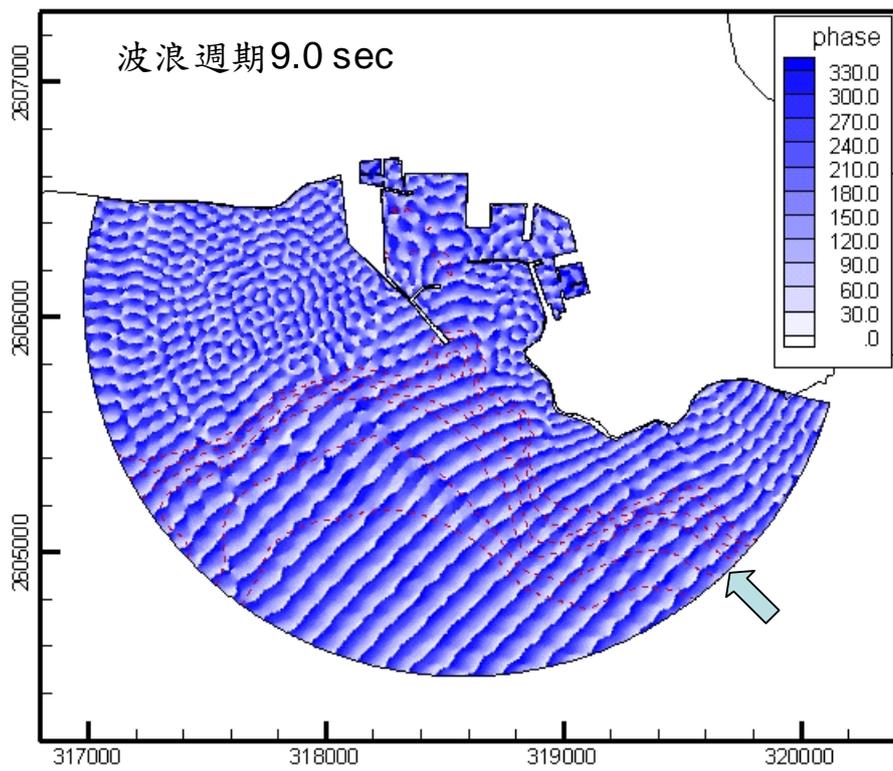


圖 3.22a 澎湖港龍門尖山港區 SE 向波浪場模擬結果相位分布圖

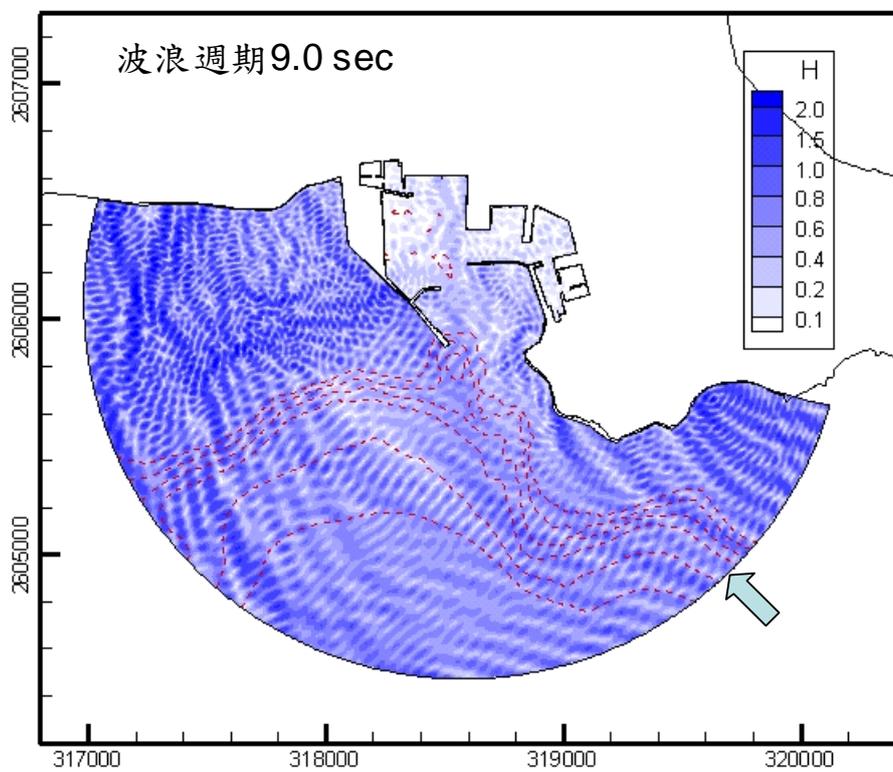


圖 3.22b 澎湖港龍門尖山港區 SE 向波浪場模擬結果波高分布圖

## 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，本年度水動力模擬研究內容主要有中尺度臺灣周圍海域水動力模式建置及澎湖海域小尺度水動力模式建置等兩項工作，前者為前期計畫中尺度臺灣周圍海域暴潮模式之延伸，目的為持續針對水位及流場模擬結果進行修正與改善，並針對本年度或歷史颱風資料進行模擬與評估；後者針對澎湖海域規劃與建置合適的小尺度水動力模式，模擬澎湖海域潮汐水位及流場。此外，本年度計畫亦針對海象模擬作業化系統中基隆港及臺北港小尺度水動力模式水位及流場模擬結果進行檢討，提改善研究成果。

### 4.1 中尺度臺灣周圍海域水動力模式建置

中尺度臺灣周圍海域水動力模式建置內容包括數值模式模擬範圍選取、數值計算網格、海域地形水深資料蒐集、模式邊界條件及初始條件、模式物理參數率定、數值模擬風壓場及數值模擬結果討論等，相關內容說明如下：

#### 4.1.1 模擬範圍選取

本計畫中尺度臺灣周圍海域水動力模式選取的模擬範圍，如圖 4.1 所示，含蓋東經  $116.5^{\circ}\sim 125^{\circ}$  及北緯  $21^{\circ}\sim 26.5^{\circ}$  之海域，陸地包括臺灣本島、澎湖本島、中國大陸東南沿海等。

#### 4.1.2 數值計算網格

本計畫針對模式模擬範圍內海域建置有限元素數值計算網，如圖 4.2 所示，圖中非結構性三角形元素網格係由 8237 個格點及 15800 個三角形元素組成。圖中臺灣本島陸地邊界布置 359 個計算格點，網格解析度較之前版本(103 年度)提昇約 37%；其中西部海岸線較密集，平均約 2 公里有一計算格點；東部海岸較少較疏，除平原地區外，平均

約 4~5 公里布置一計算格點。

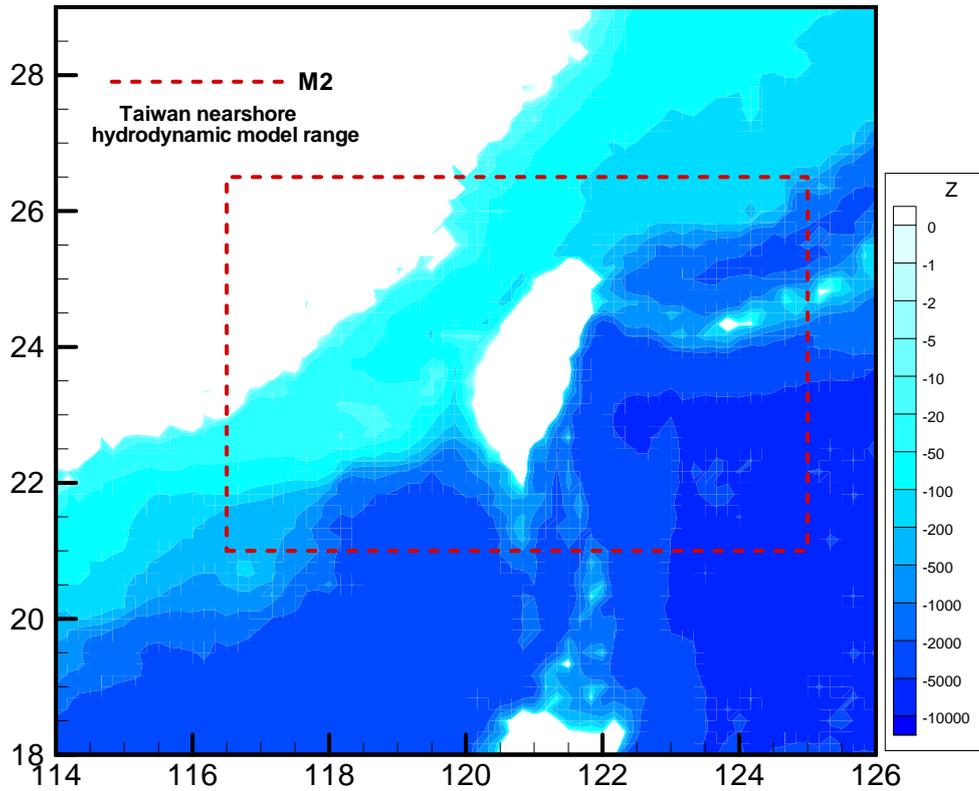


圖 4.1 中尺度臺灣周圍海域水動力模式模擬範圍

#### 4.1.3 地形水深資料

本計畫數值計算網格水深分布，如圖 4.3 所示，水深資料來源包括美國國家地球物理資料中心(National Geophysical Data Center, NGDC)公布的全球 1 弧分格網數值地形資料(Etopo1)、海科中心臺灣附近海域格網數值地形資料(TaiDBM V5)以及海軍測量局刊行的五萬分之一比例尺海軍水道圖等資料整合。

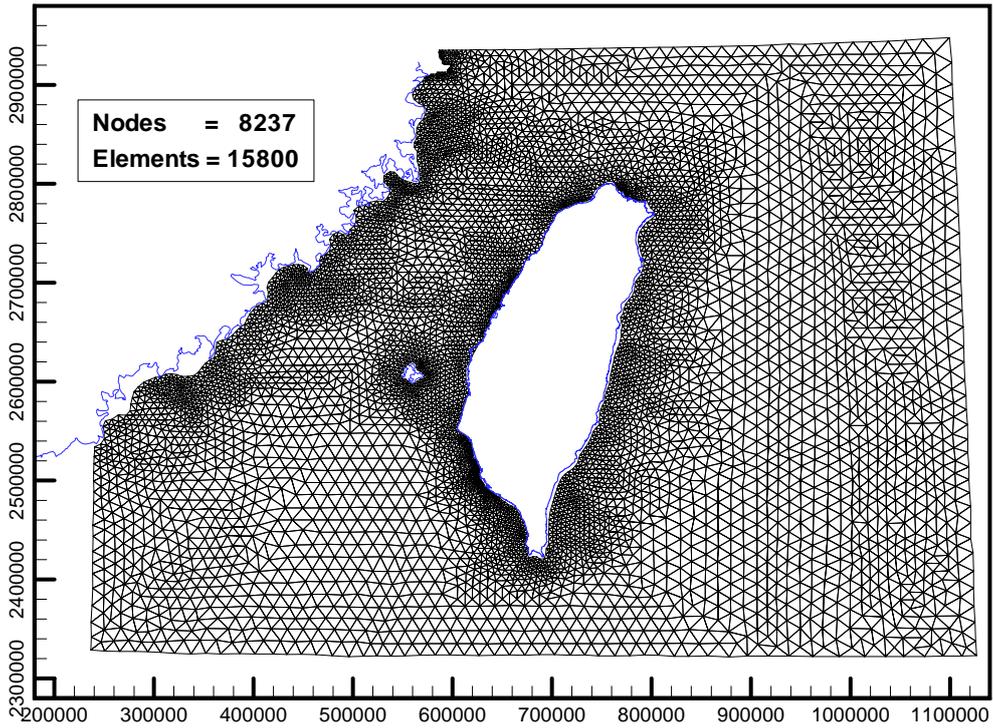


圖 4.2 臺灣周圍海域非結構性有限元素三角形網格配置圖

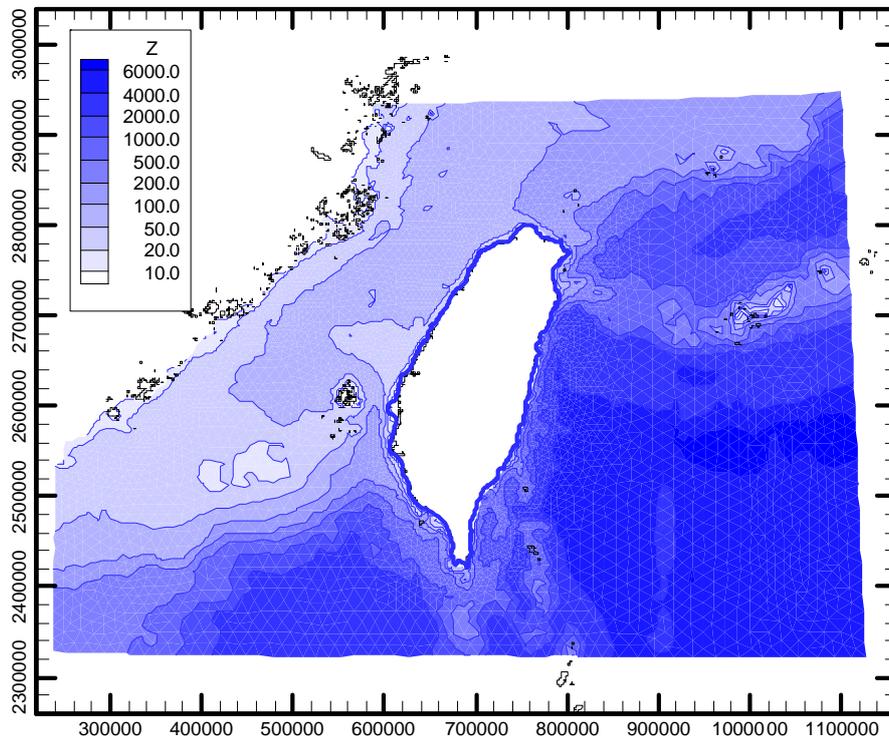


圖 4.3 臺灣周圍海域水動力模式數值計算網格水深分布圖

#### 4.1.4 模式邊界條件及初始條件

本計畫中尺度臺灣周圍海域水動力模式之邊界型態分為海域開放邊界及陸地邊界兩種，其中陸地邊界採用不滑動邊界條件，即假設陸地邊界節點之流速等於零。海域開放邊界則採用水位邊界條件，即

$$\eta = \eta_a(t) + \frac{\Delta P(t)}{\rho g} \dots\dots\dots(4.1)$$

式中  $\eta_a(t)$ 代表天文潮引起的水位變化，第二項代表氣壓變化引起的水位變化。其中天文潮引起的水位變化，本計畫採用 Matsumoto et al.(2000)發展的 NAO.99Jb 模式(註：網格間距為 1 分)，預測本計畫數值計算網格開放邊界各節點天文潮水位時序列資料，如圖 4.4 所示。圖 4.4 所示水位時序列變化分別為數值計算網格開放邊界上四個角落(左上、右上、右下及左下)節點之天文潮時序列資料，顯示數值計算網格左上角臨近陸地(中國大陸)之開放邊界節點天文潮位呈現半日潮型，臺灣東部太平洋海上開放邊界節點之天文潮位屬於混合潮型態，網格西南角落開放邊界節點之天文潮位則呈現全日潮型態。

模式模擬之初始條件在冷啟動模擬(cold start)狀況下模式假設流場之初始速度及水位均為零，另在熱啟動模擬(hot start)狀況下模式採用前次模擬結果儲存的流場速度及水位值為初始條件。

#### 4.1.5 模式物理參數率定

在中尺度臺灣周圍海域水動力模式中，需要設定或率定的物理參數包括時間間距、底床摩擦係數及渦動粘滯性係數等，本計畫採用前期計畫參數率定結果：即模式計算的時間間距 $\Delta t$  為 2.0 sec，計算底床摩擦係數值之曼寧係數  $n = 0.022$  (註：部份元素之底床摩擦係數值則視模擬結果予以適度地修正)；渦動粘滯性係數計算則選取無因次係數  $a = 0.025$ ，代表性潮差  $= 1.20$  m，潮流代表性流速為 0.5 m/s，分別計算各個元素代表性的渦動粘滯係數值。

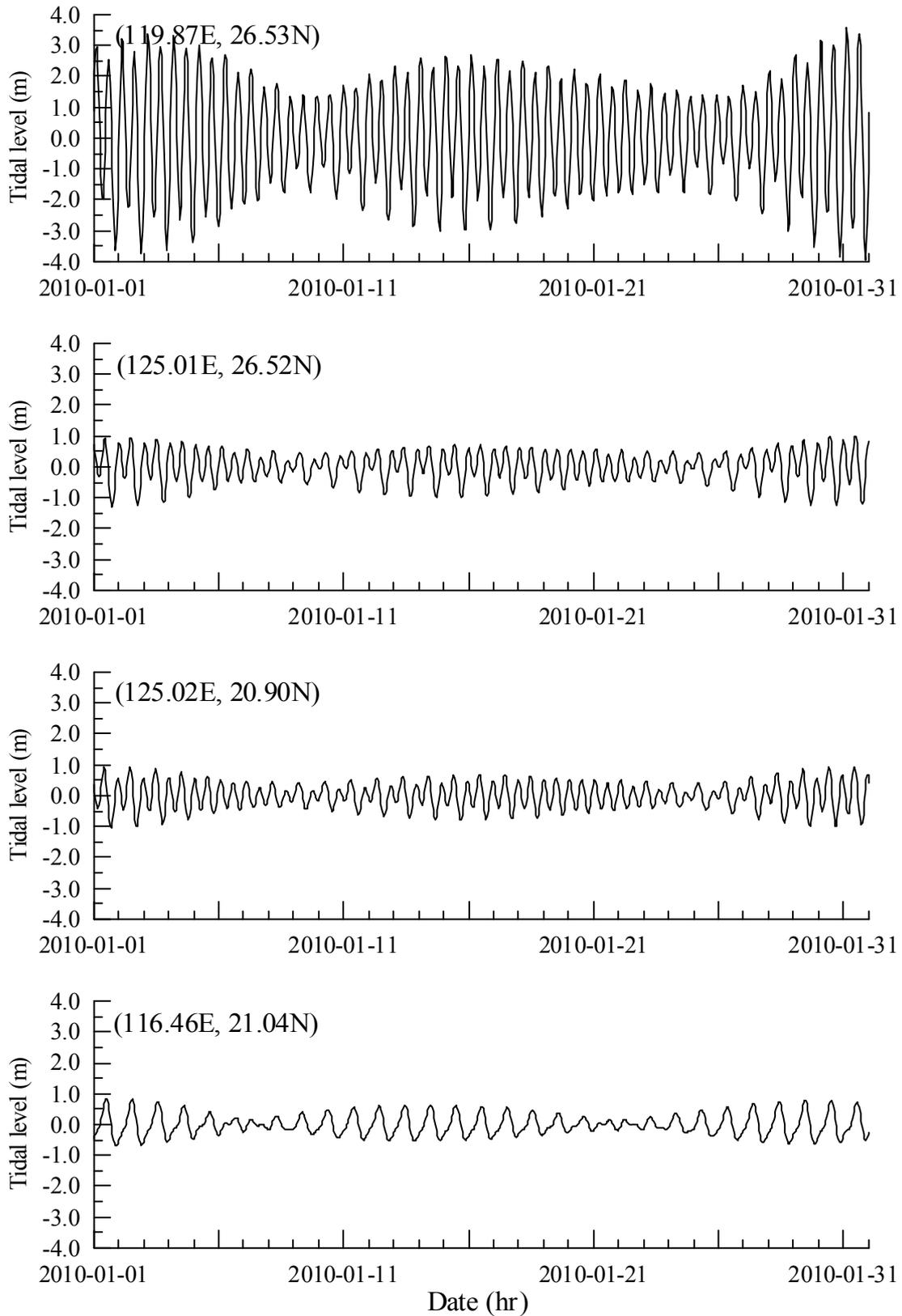


圖 4.4 中尺度臺灣周圍海域水動力模式採用的天文潮水位邊界條件圖

#### 4.1.6 數值模擬風壓場

本計畫水動力模式風壓場輸入方式有二：(1)利用程式碼內建之模型颱風數值風壓場，(2)由外部輸入中央氣象局天氣預報模式提供的數值風壓場資料，後者為本年度計畫研究重點。

目前 TaiCOMS 作業化模擬使用的風壓場資料，分為大尺度西太平洋範圍風場 WA01、中尺度中國海域風場 WA02 及小尺度臺灣海域風場 WA03，臺灣海域風場 WA03 資料雖然解析度最高，但因其資料範圍略小於本計畫臺灣周圍海域水動力模式模擬範圍，因此本計畫採用網格解析度為  $1/12^\circ$  (或  $5'$ ) 之 WA02 風場資料，透過前處理程式將逐時矩形方格網資料轉換成非結構三角形元素網格風(壓)場逐時資料，如圖 4.5 所示。

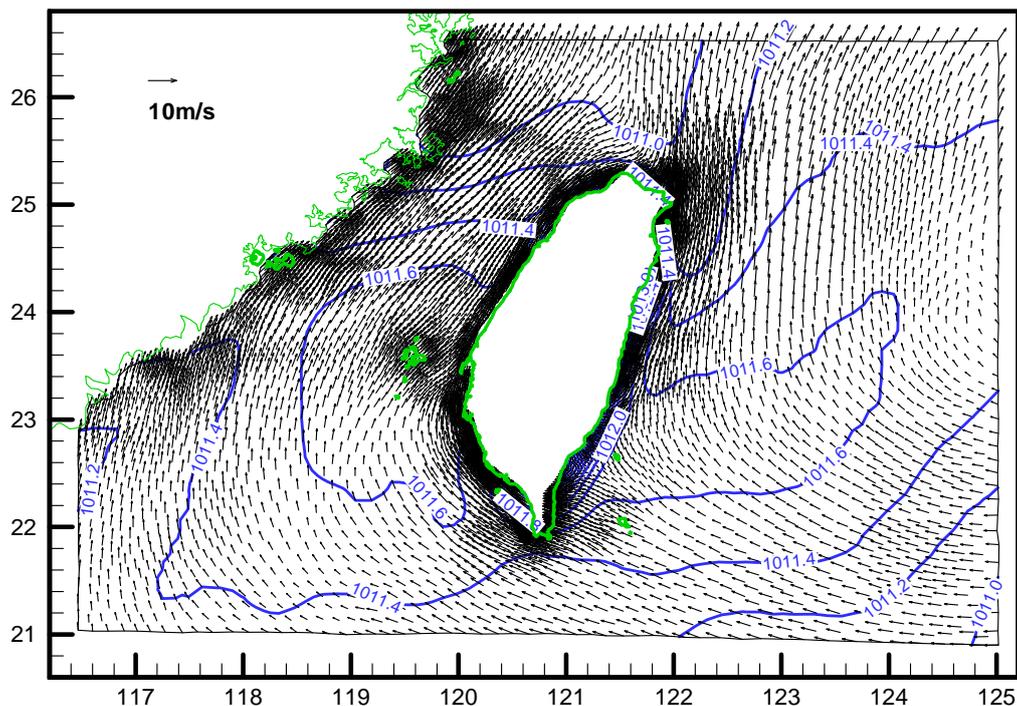


圖 4.5 本計畫非結構三角形元素網格之風場及等壓線分布圖

#### 4.1.7 臺灣周圍海域水動力模式模擬結果

##### (一) 天文潮模擬

在不考慮氣象因素(如風場及氣壓場)情況下，本計畫以水動力模式模擬 2015 年臺灣周圍海域因天文潮引起的潮汐水位及流場變化。針對

天文潮水位模擬結果，本計畫選取主要商港如基隆港、臺北港、臺中港、布袋港、安平港、高雄港、花蓮港及蘇澳港等港口輸出一維逐時潮汐水位模擬結果，各港口於模式計算網格中輸出點位置，如圖 4.6 所示。本計畫同時選取基隆港等六個商港天文潮水位模擬結果(1~6 月)，分別與各港口水位觀測資料及天文潮調和分析預測值進行比較，如圖 4-7 及圖 4-8 所示。圖 4-7 與圖 4-8 比較結果顯示：各港口天文潮變化模擬型態均水位觀測資料及天文潮調和分析預測結果相吻合，唯潮汐變化振幅大小於臺北港及臺中港模擬結果有明顯偏小現象，針對潮汐變化振幅偏小缺失，擬於下年度(105)計畫中尋求解決方法。

各港口模擬結果與觀測值、調和分析預測值間統計量分析結果如表 4-1 及表 4-2 所列，顯示各港口模式模擬值與觀測值間相關係數值僅基隆港較低約為 0.82，其餘各港口相關係數值均可達到 0.97 以上，呈現高度相關性；各港口模式模擬值與調和分析預測值間相關係數值均高於 0.98。

表 4-1 2015 年 1 月水位模擬結果與觀測值間統計量表

	基隆港	蘇澳港	花蓮港	高雄港	臺中港	臺北港	澎湖
MWL_M	-0.00891	-0.00007	0.00130	0.00167	0.01079	-0.01016	0.00019
MWL_O	0.19409	1.11520	0.95736	0.83199	2.52950	2.54507	2.59773
RMSQ	0.07735	1.24954	0.91434	0.69264	6.39536	6.57464	6.76203
S.D.	0.19012	0.07558	0.06547	0.05790	0.22681	0.20393	0.12183
R <sup>2</sup>	0.81811	0.98783	0.98924	0.97059	0.98752	0.98835	0.98945

註：M：模式、O：觀測值

表 4-2 2015 年 1 月水位模擬結果與調和分析預測值間統計量表

	基隆港	蘇澳港	花蓮港	高雄港	臺中港	臺北港	澎湖
MWL_M	-0.00891	-0.00007	0.00130	0.00167	0.01079	-0.01016	0.00019
MWL_H	-0.09906	-0.02161	0.01741	0.11507	-0.00155	0.38395	-0.49067
RMSQ	0.01020	0.00231	0.00181	0.01469	0.02884	0.18724	0.25615
S.D.	0.04555	0.04296	0.03936	0.04284	0.16938	0.17866	0.12328
R <sup>2</sup>	0.98664	0.99691	0.99640	0.98523	0.99307	0.99166	0.98766

註：M：模式、H：調和分析預測值

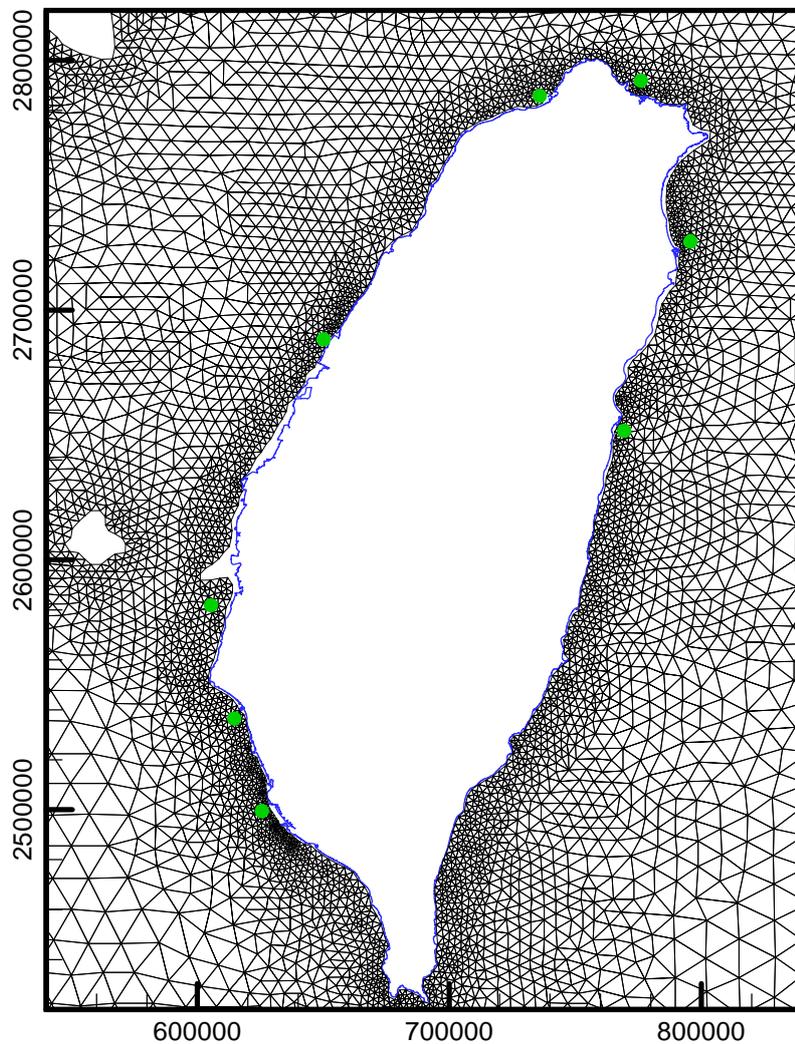


圖 4.6 主要商港颱風暴潮模擬結果之輸出點位圖

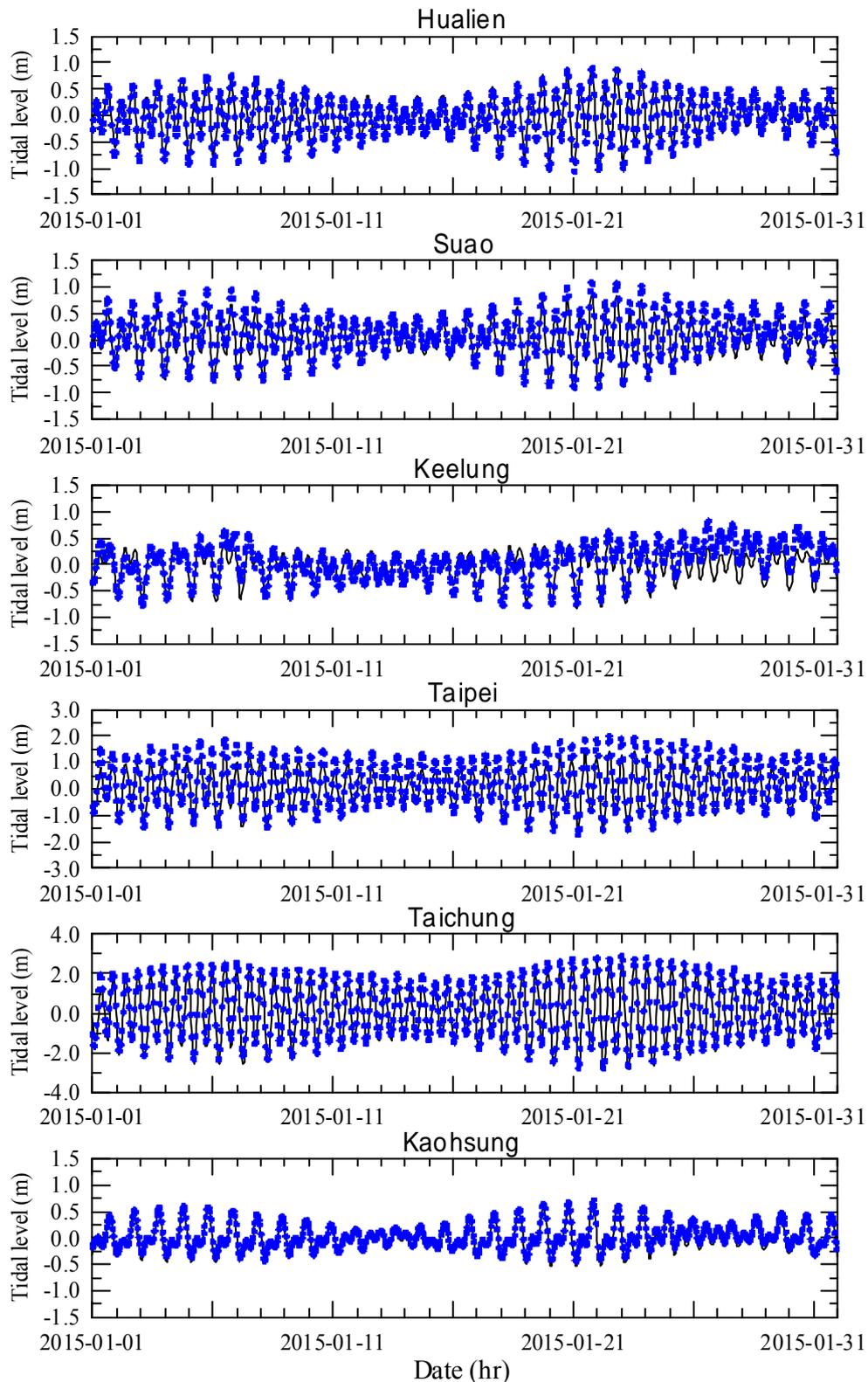


圖 4.7 本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港潮位觀測值(圓點)之比較圖

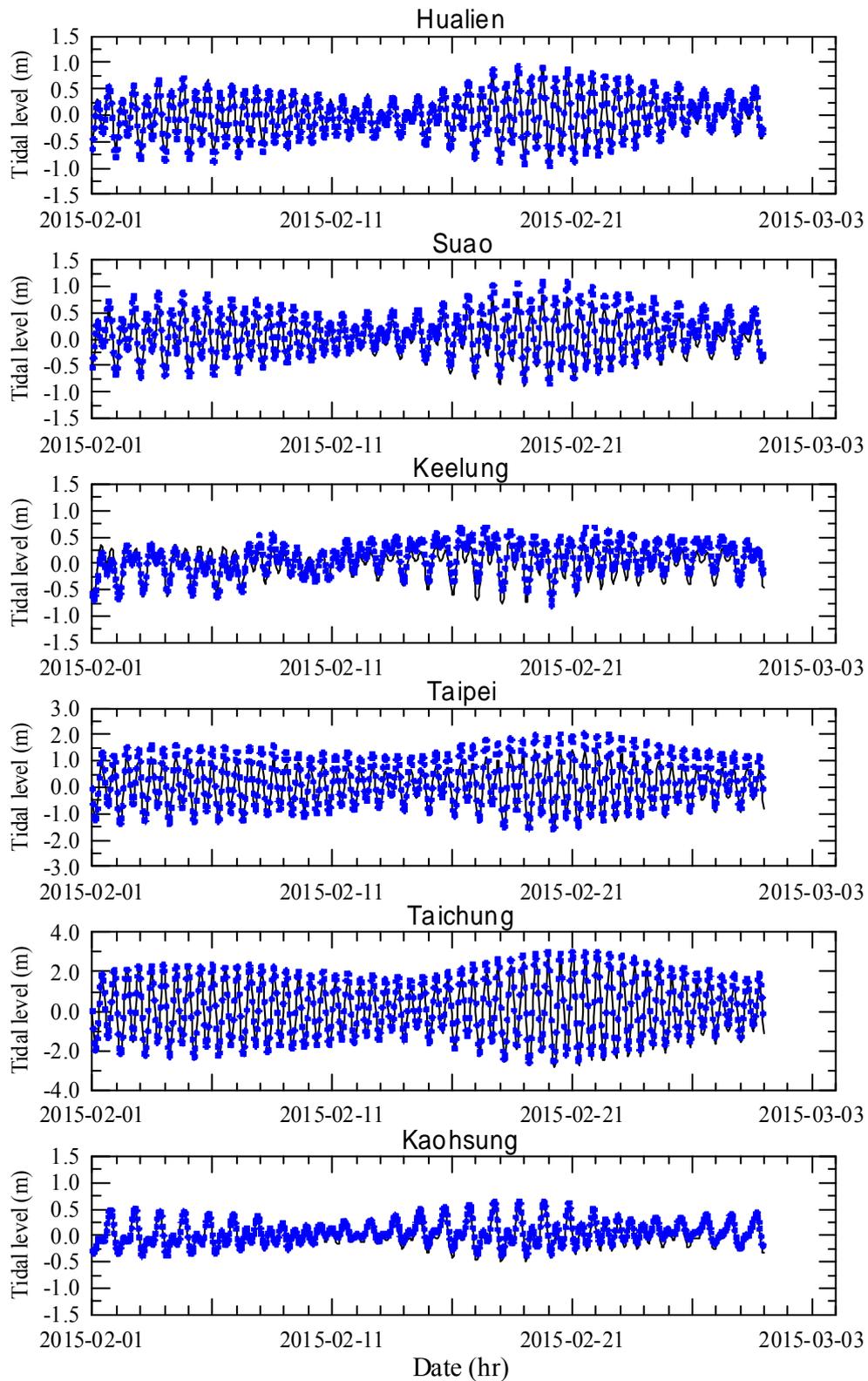


圖 4.7 (續 1) 本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港潮位觀測值(圓點)之比較圖

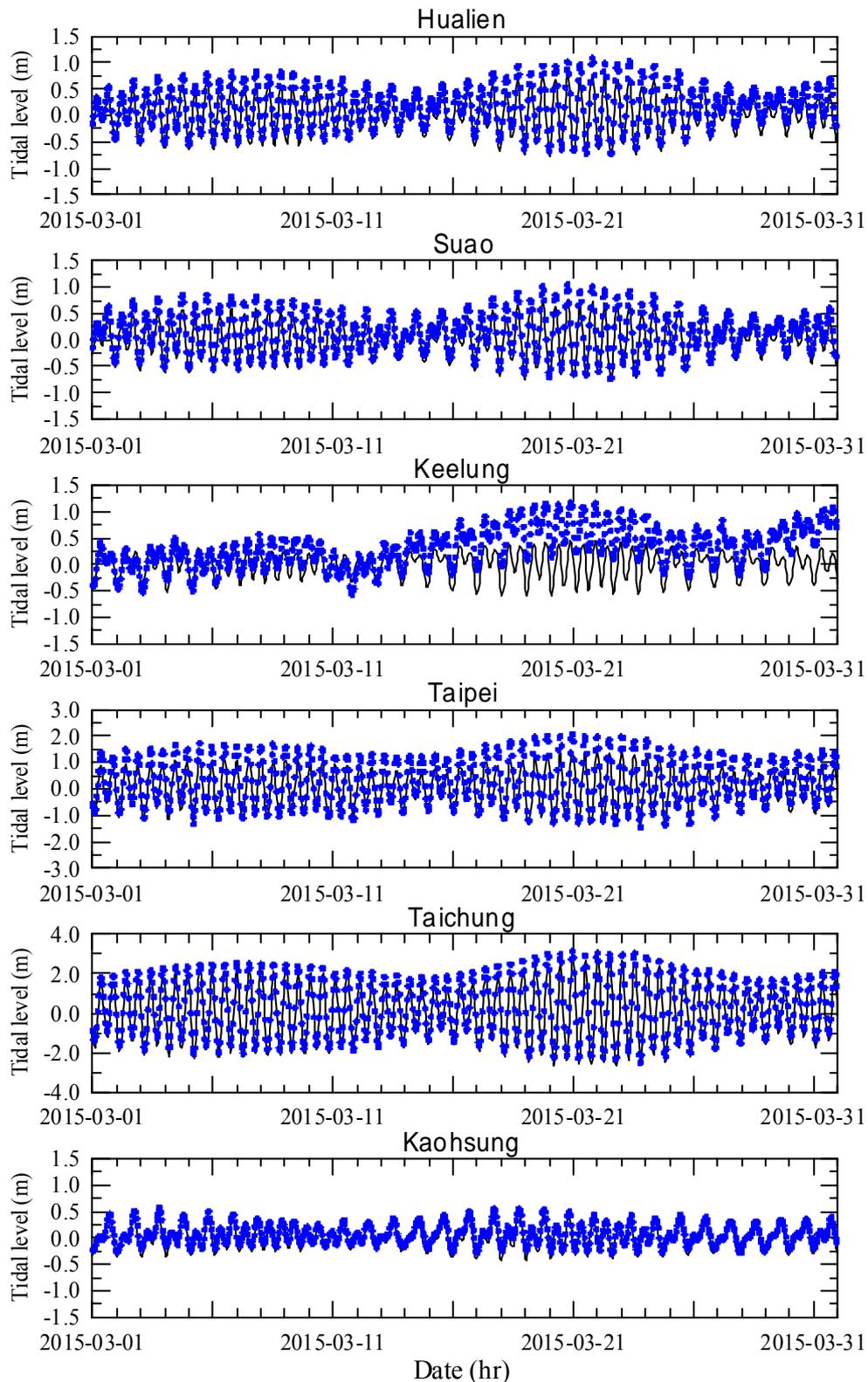


圖 4.7 (續 2) 本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港潮位觀測值(圓點)之比較圖

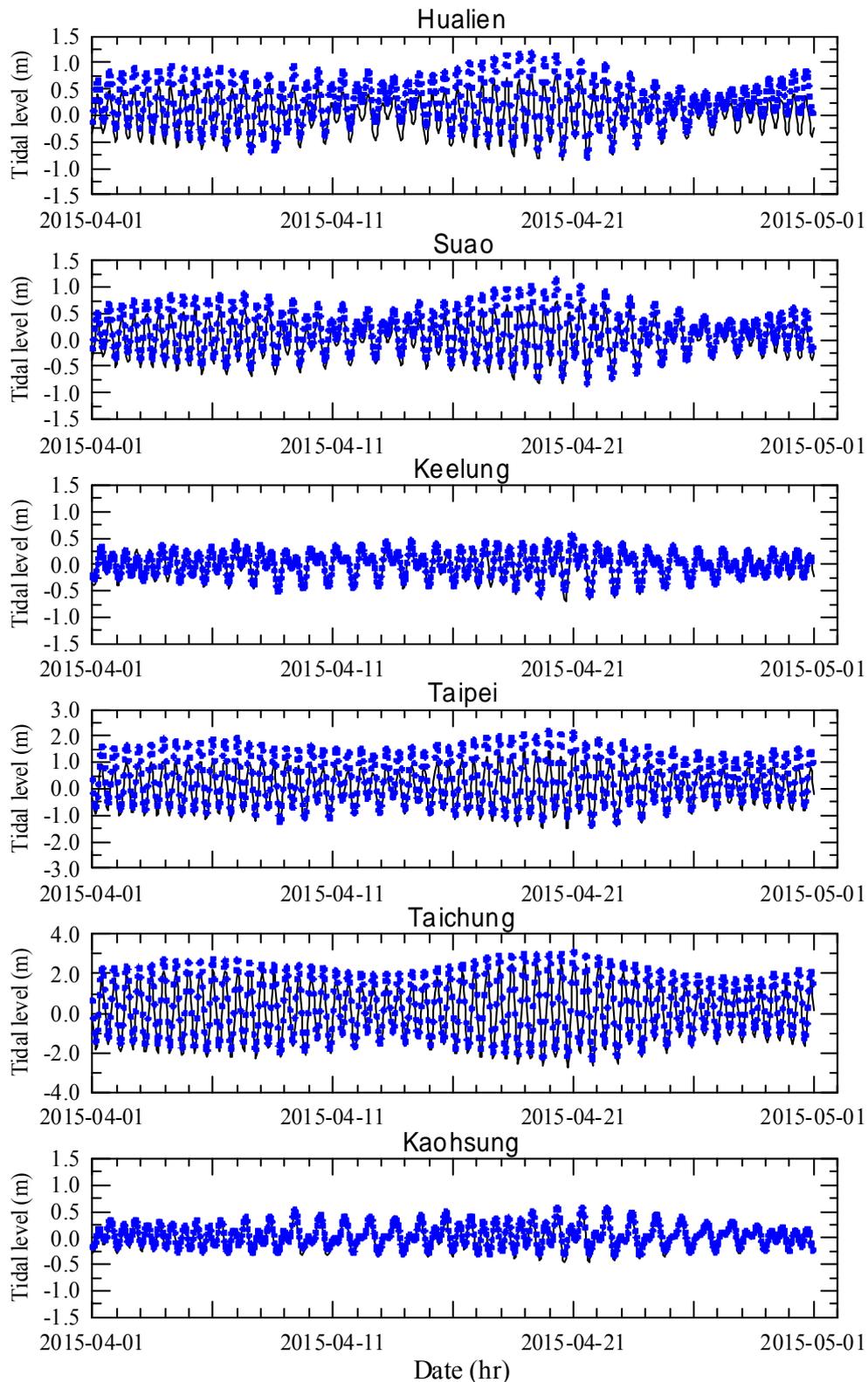


圖 4.7 (續 3) 本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港潮位觀測值(圓點)之比較圖

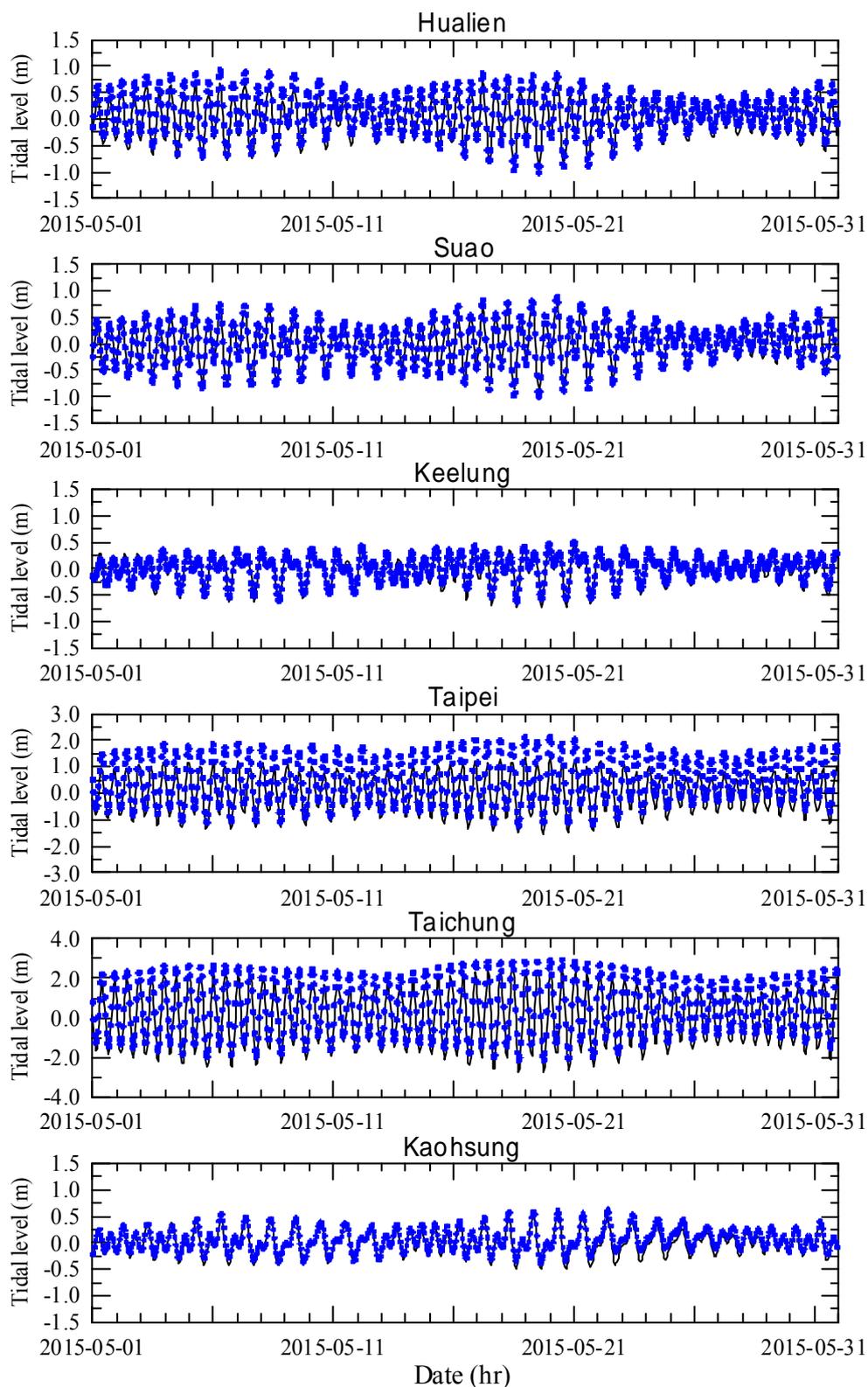


圖 4.7 (續 4) 本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港潮位觀測值(圓點)之比較圖

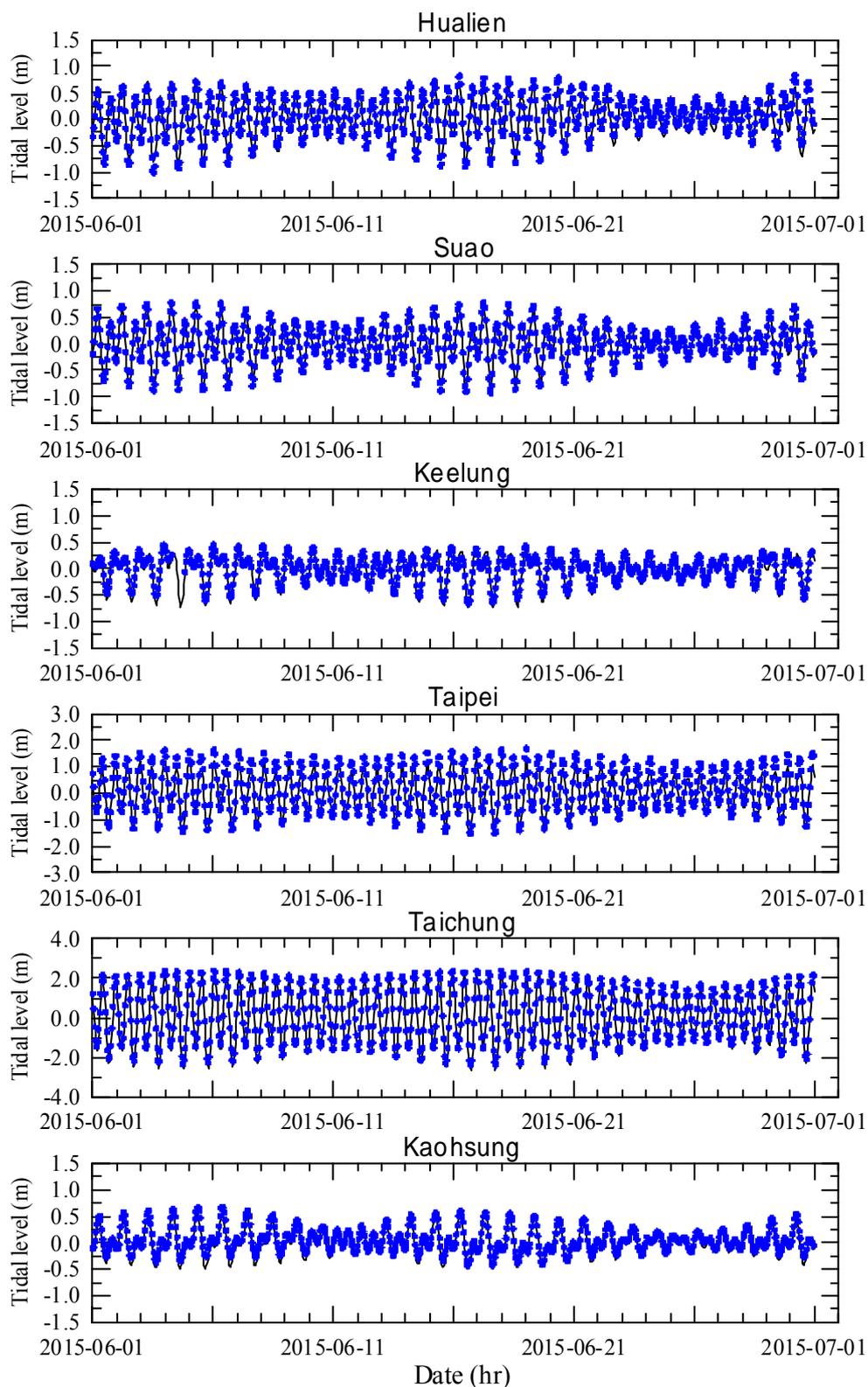


圖 4.7 (續 5) 本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港潮位觀測值(圓點)之比較圖

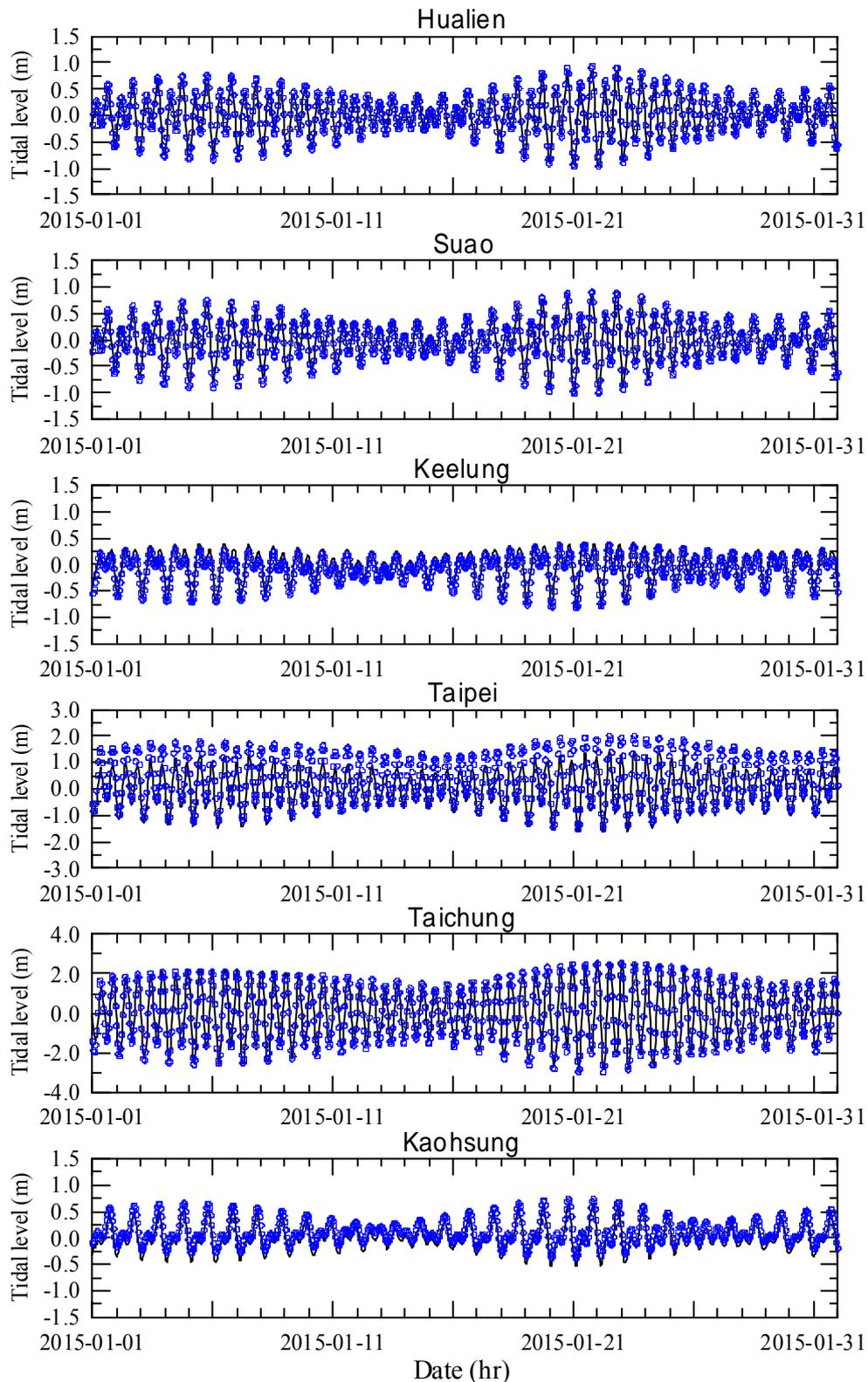


圖 4.8 本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港天文潮位調和分析預測值(圓點)之比較圖

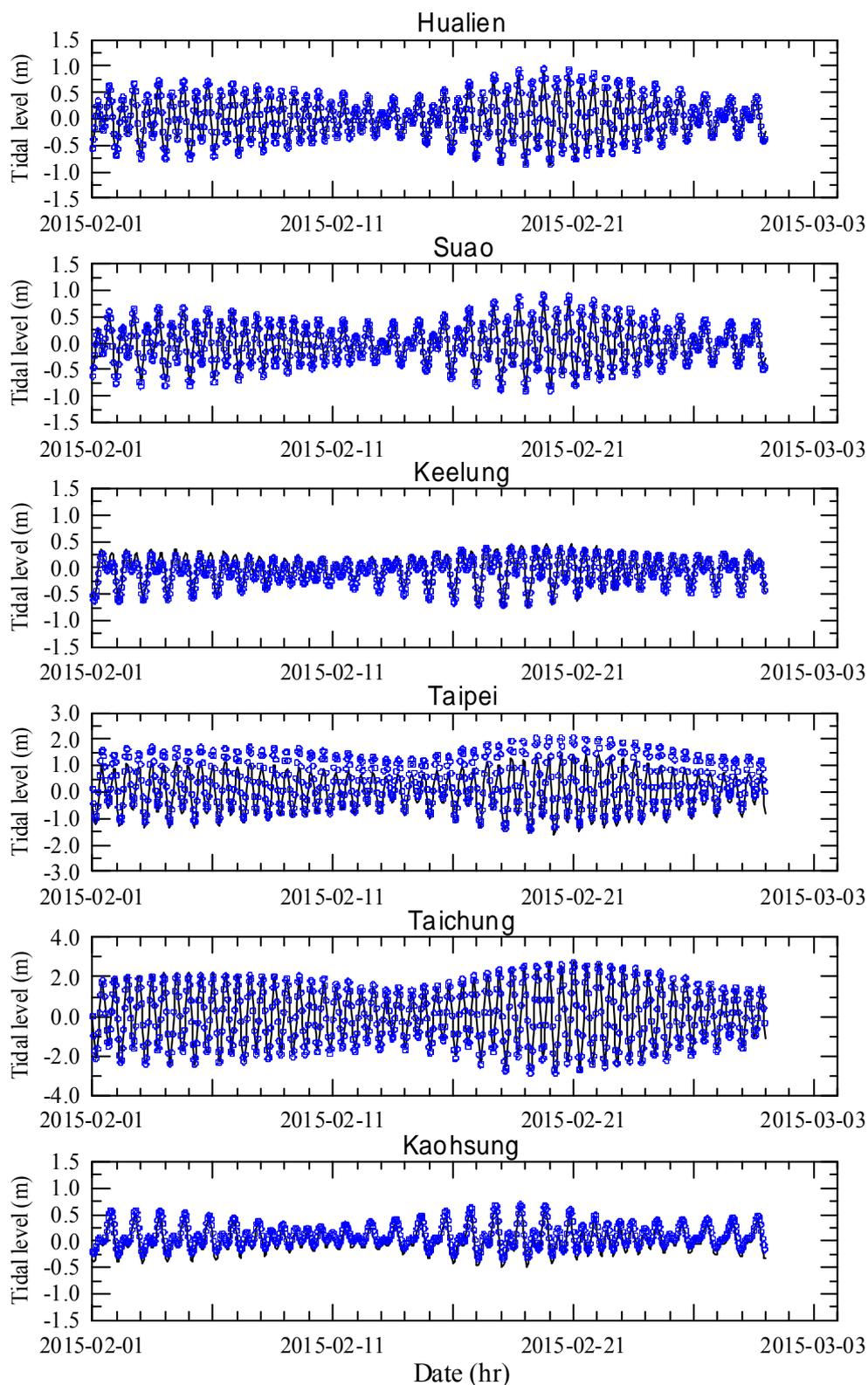


圖 4.8 (續 1) 本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港天文潮位調和分析預測值(圓點)之比較圖

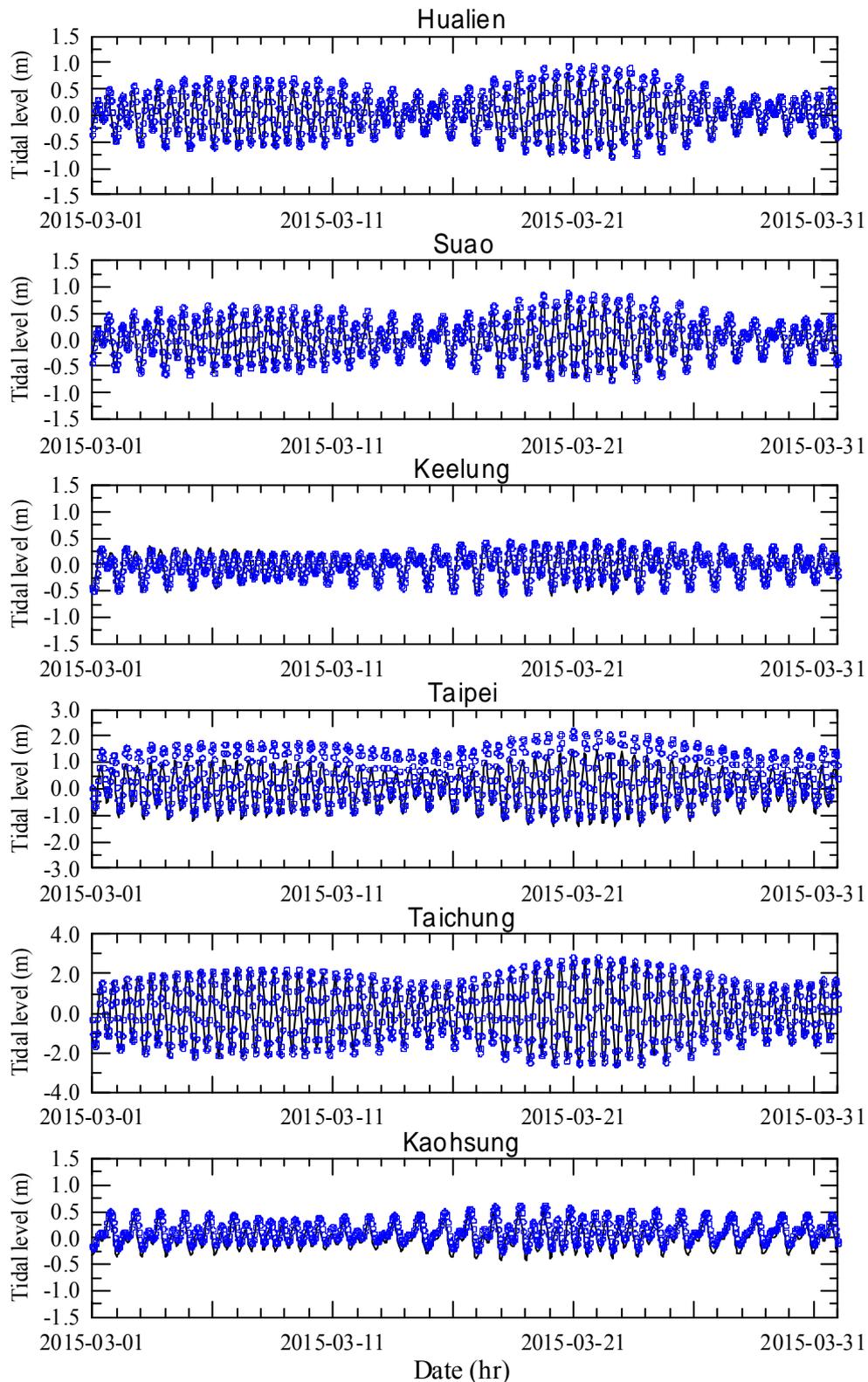


圖 4.8 (續 2) 本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港天文潮位調和分析預測值(圓點)之比較圖

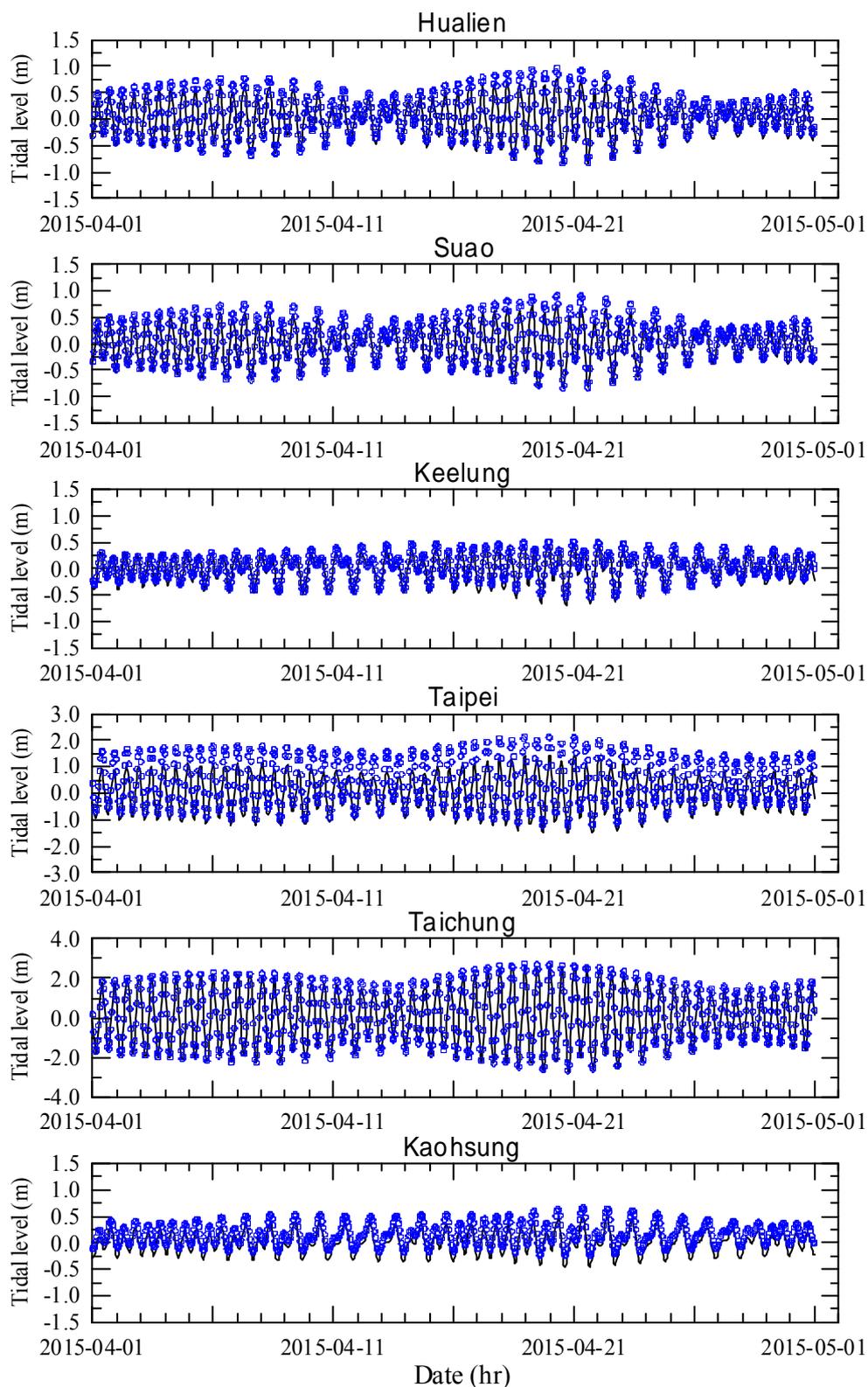


圖 4.8 (續 3) 本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港天文潮位調和分析預測值(圓點)之比較圖

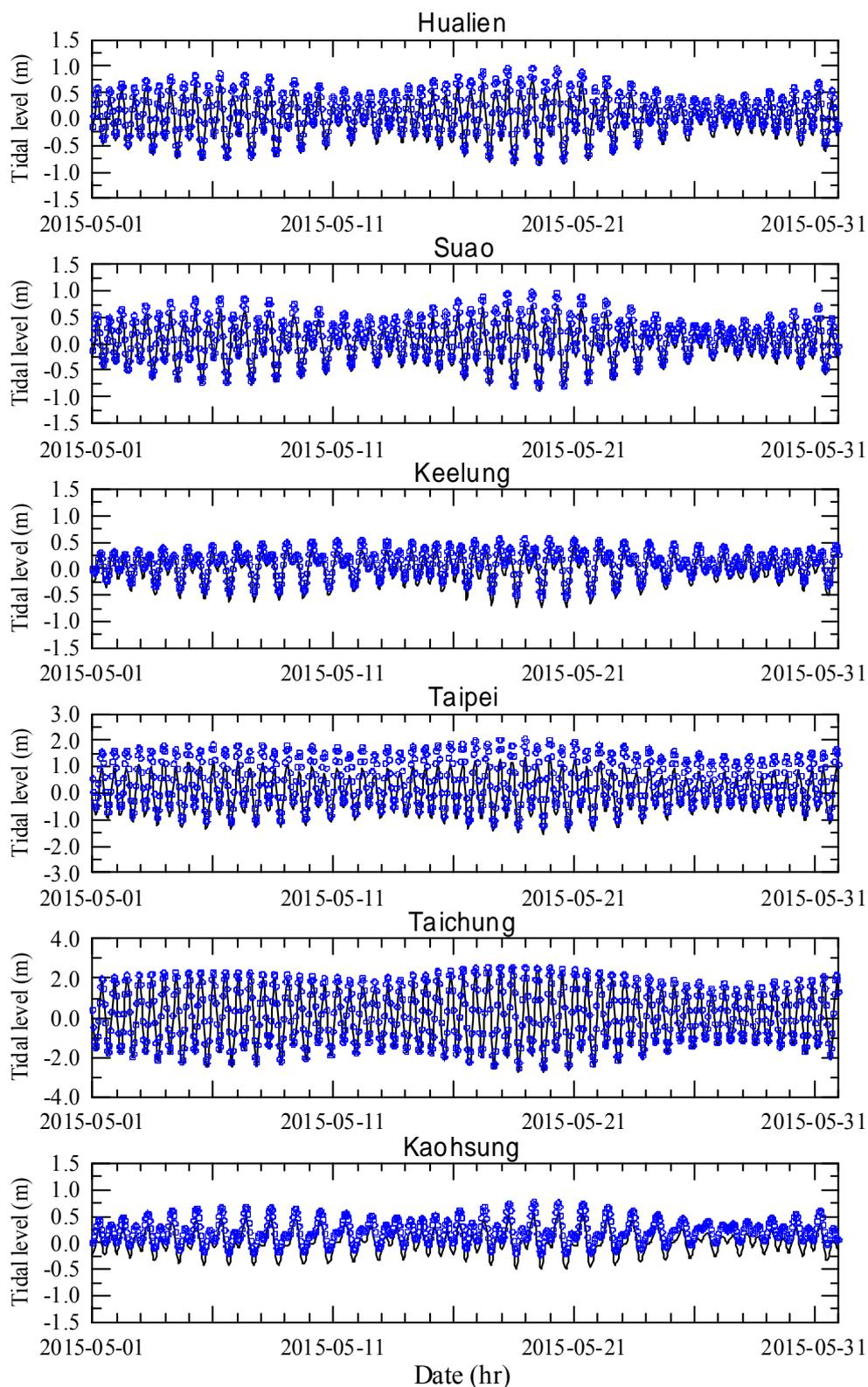


圖 4.8 (續 4) 本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港天文潮位調和分析預測值(圓點)之比較圖

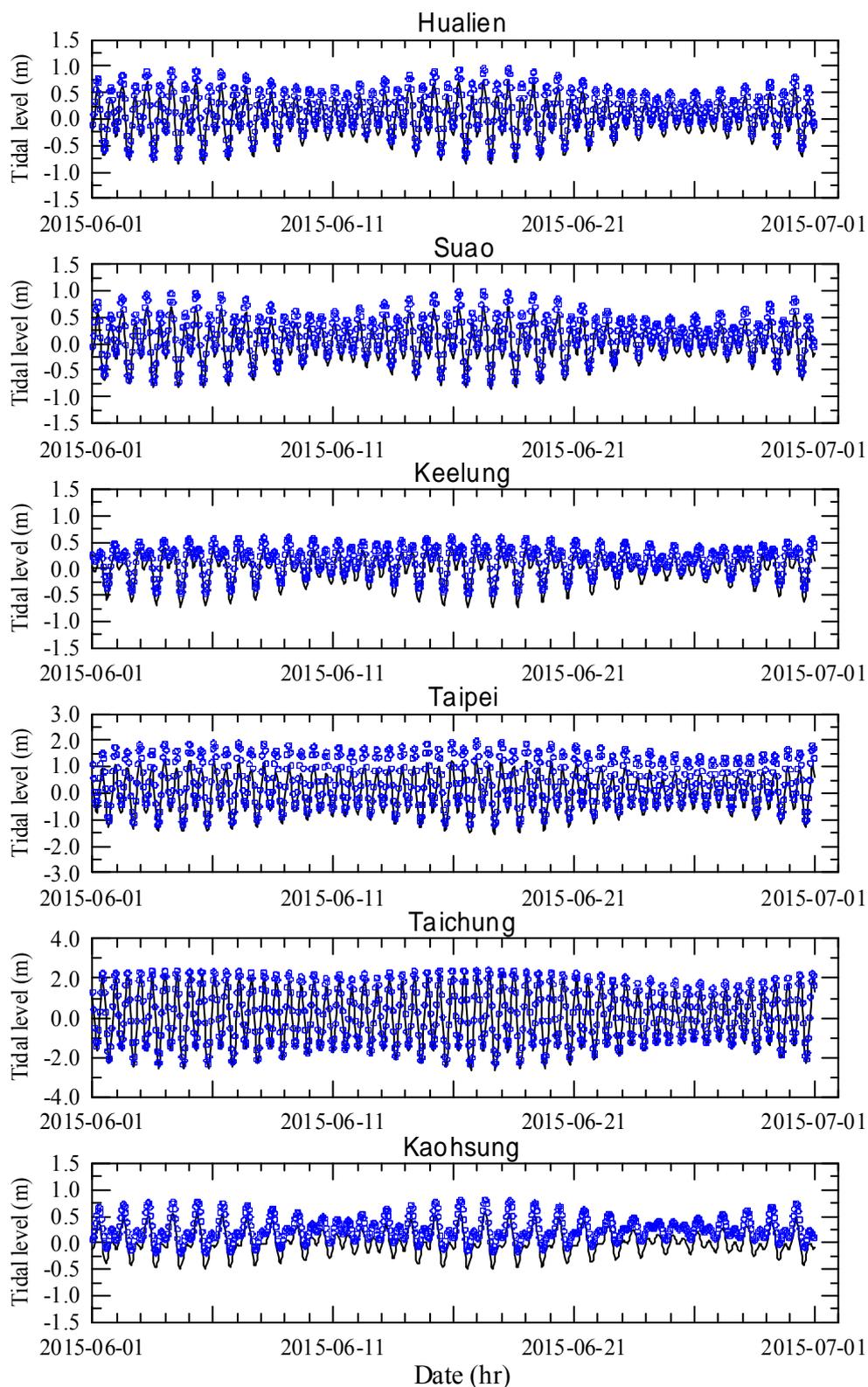


圖 4.8 (續 5) 本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港天文潮位調和分析預測值(圓點)之比較圖

## (二) 颱風暴潮偏差模擬(不含潮汐)

本計畫以本年度(104年)侵臺颱風中度颱風蘇迪勒(SOUDELOR)為例說明模式暴潮偏差模擬結果。

圖 4.9 為中颱蘇迪勒颱風行進之路徑，顯示蘇迪勒颱風在 8 月 1 日形成輕度颱風，行進過程增強為強烈颱風，最後以中度颱風規模侵襲臺灣陸地。圖 4.10 為本計畫依據 TaiCOMS 作業化風(壓)場資料 WA02 產生的數值模式非結構網格風場及氣壓場資料，顯示中颱蘇迪勒颱風結構在受到臺灣陸地影響前近似圓形風場模型。

在不考慮天文潮作用情況下(即模式開放邊界條件僅考慮氣壓與標準氣壓差引起的水位變動量)，本計畫水動力模式水位模擬結果相當於颱風風壓場作用引起的暴潮偏差。圖 4.11 為本計畫模式針對蘇迪勒颱風作業化風壓場模擬的流場及暴潮偏差分布情形，其中 8 月 7 日 23 時颱風風壓場模擬結果顯示，臺灣東部海域海面暴潮偏差分布情形與颱風風壓場結構相當近似，颱風中心附近海面暴潮偏差超過 0.6m，臺灣東部海岸地區暴潮偏差超過 0.3m；

西部海域受到陸地及臺灣海峽效應影響，除了流場流速顯著增加外，暴潮偏差分布多呈現不規則狀，尤其近岸海域暴潮偏差分布更為複雜。模擬結果顯示大陸沿海地區蘇迪勒颱風引起的暴潮偏差明顯較臺灣周圍海域嚴重，部份地區暴潮偏差最大值超過 1.2m 以上，如圖 4.11 (續 9)所示。

## (三) 颱風期間水位及流場模擬

當考慮天文潮與颱風風壓場耦合作用時，基隆港等六個商港颱風期間水位模擬值(實線)與觀測值(圓點)比較，如圖 4.13 所示；顯示在颱風中心與陸地接觸前，各港口水位模擬歷線與觀測值相當接近；在颱風中心登陸期間水位模擬歷線與觀測值間出現明顯偏差現象，主要與模式採用的天氣預報數值風壓場與實際颱風引起的風壓場有顯著誤差有關。由於水位抬昇主要受到氣壓外力所主導，因此當水位模擬歷線低於觀測值時，通常代表該時段天氣預報的數值氣壓場較實際發生的

氣壓場高，導致模式水位模擬值偏低，如花蓮港及蘇澳港等；反之，當水位模擬值低於觀測值時，代表該時段天氣預報的數值氣壓場低於實際發生的氣壓場，導致模式水位模擬值偏高，如高雄港。

颱風期間臺灣周圍海域數值模擬結果之流場及水位分布情形，與僅考慮天文潮效應數值模擬結果之流場及水位分布情形比較，如圖 4.14 所示；先將數值模式模擬結果與前述僅考慮天文潮汐作用模擬結果繪出流場及水位分布比較，顯示因為模式具有非線性效應因素，因此颱風期間水位模擬結果扣除天文潮水位模擬結果並不等於上述暴潮偏差水位模擬結果。

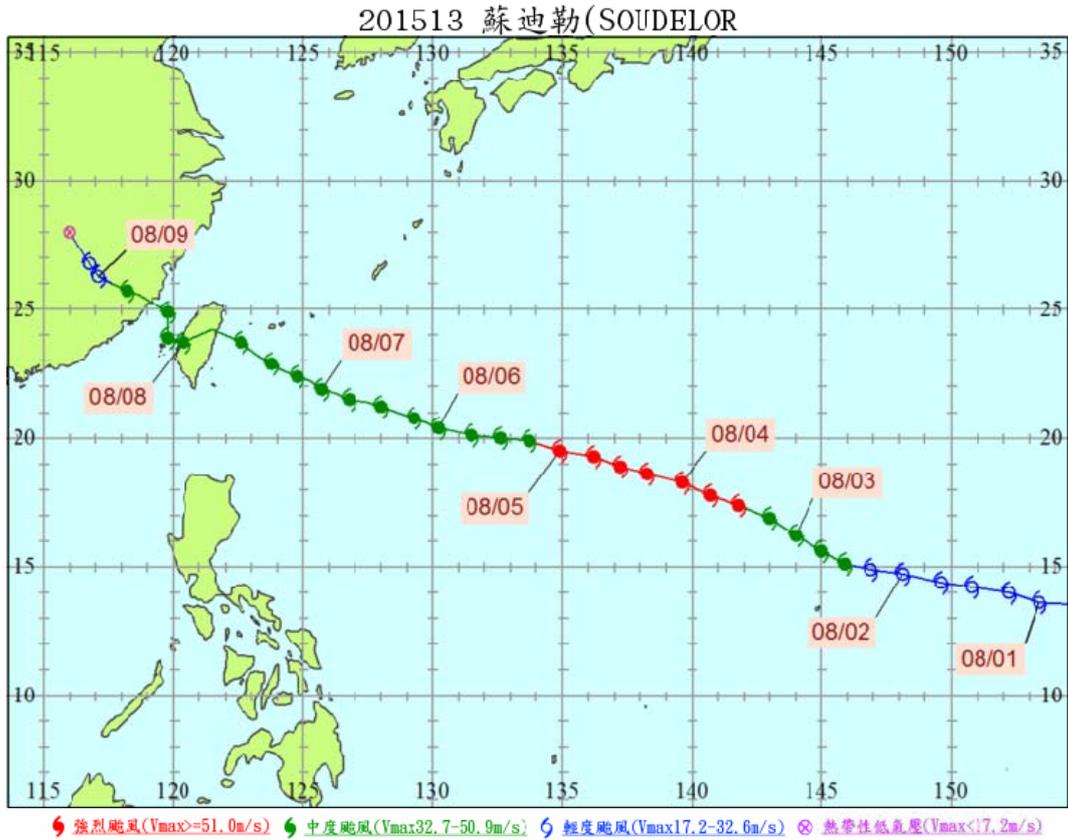


圖 4.9 2015 年蘇迪勒颱風路徑圖

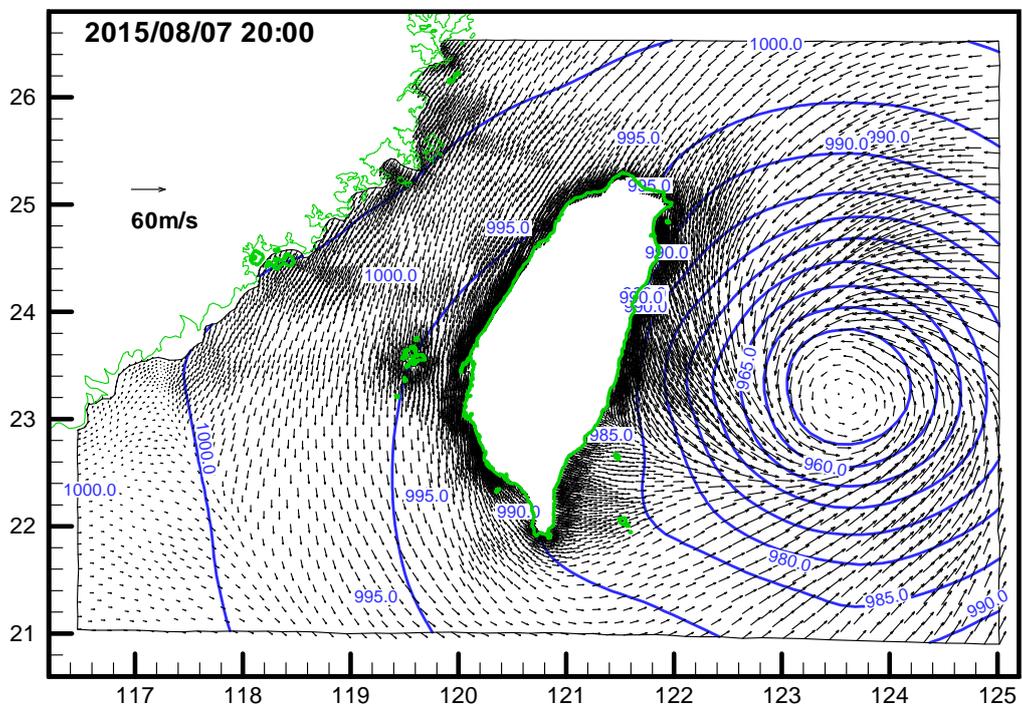


圖 4.10 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模擬輸入預報風場及氣壓場圖

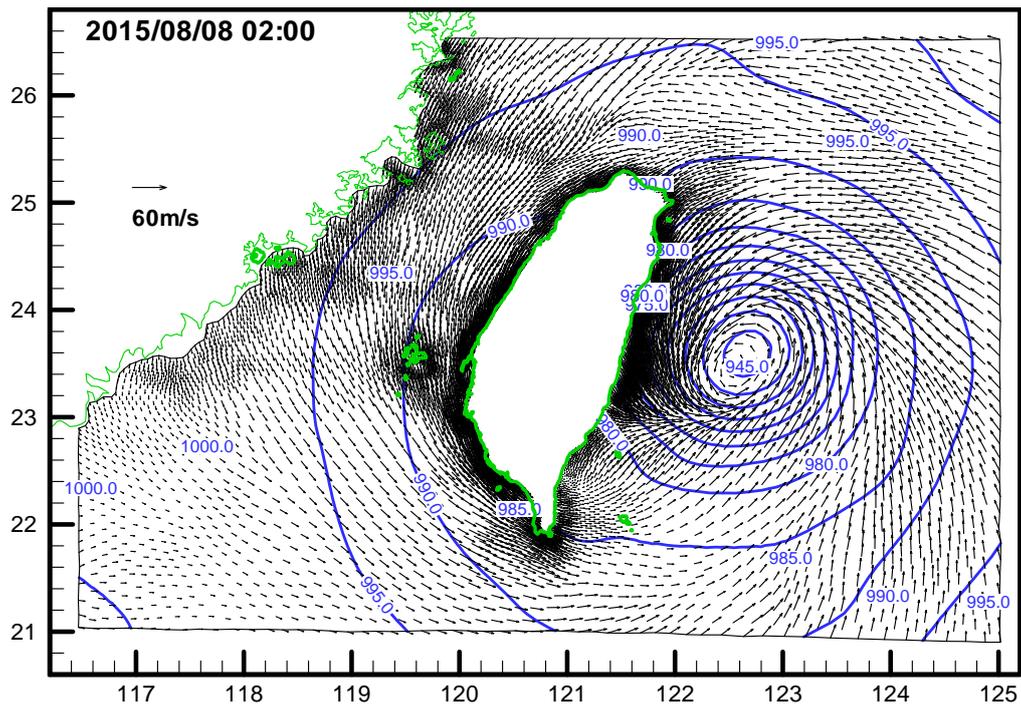


圖 4.10 (續 1) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模擬輸入預報風場及氣壓場圖

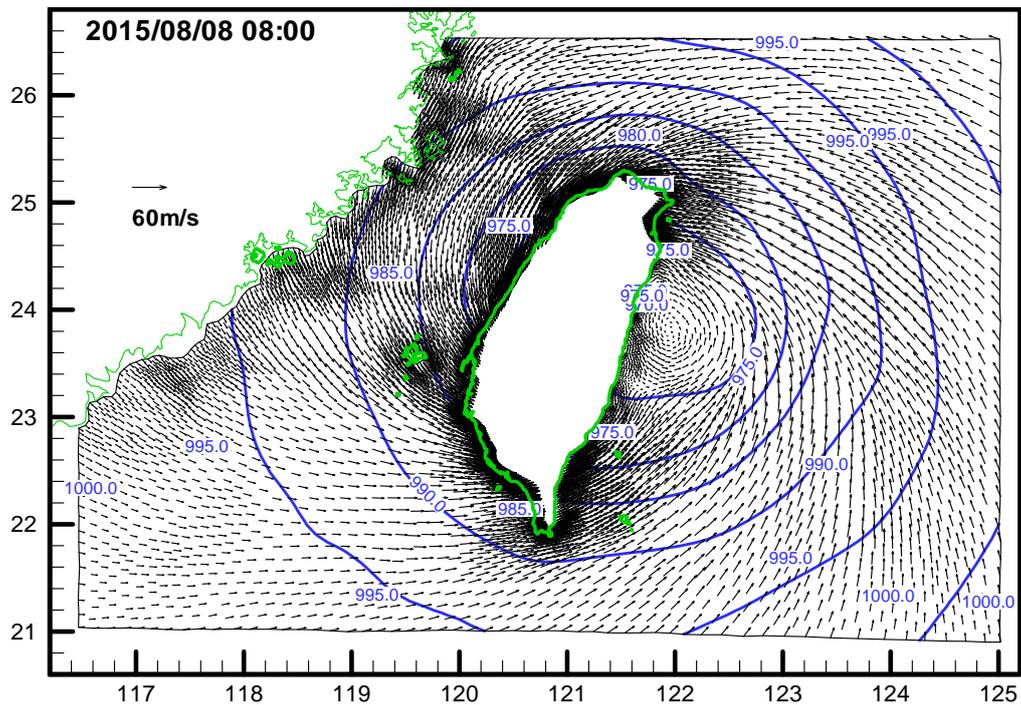


圖 4.10 (續 2) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模擬輸入預報風場及氣壓場圖

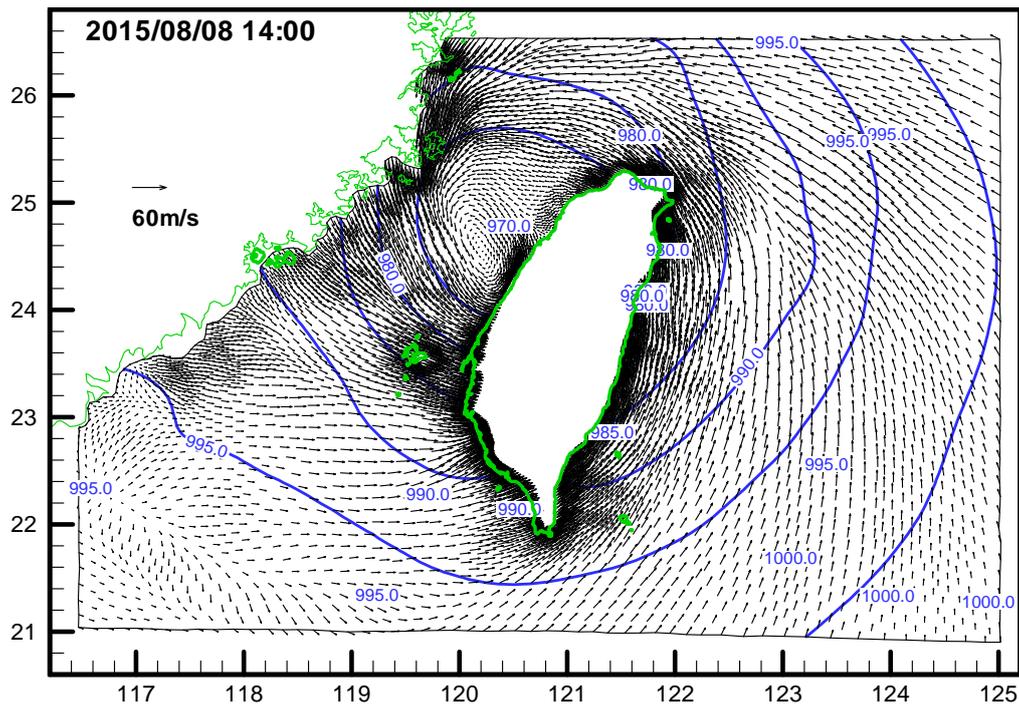


圖 4.10 (續 3) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模擬輸入預報風場及氣壓場圖

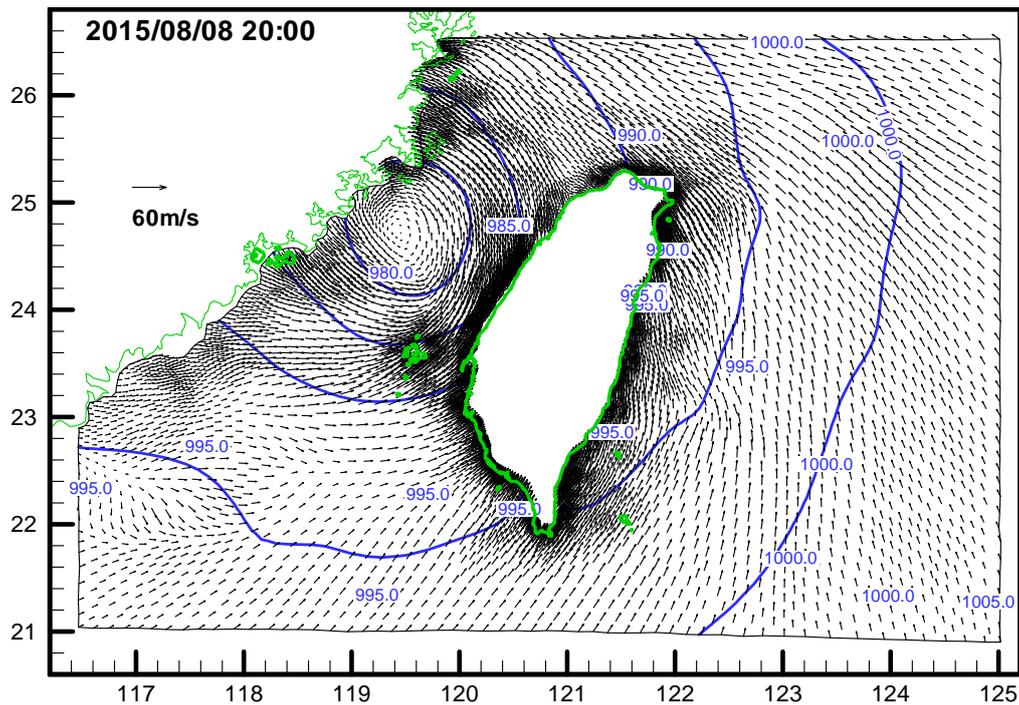


圖 4.10 (續 4) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模擬輸入預報風場及氣壓場圖

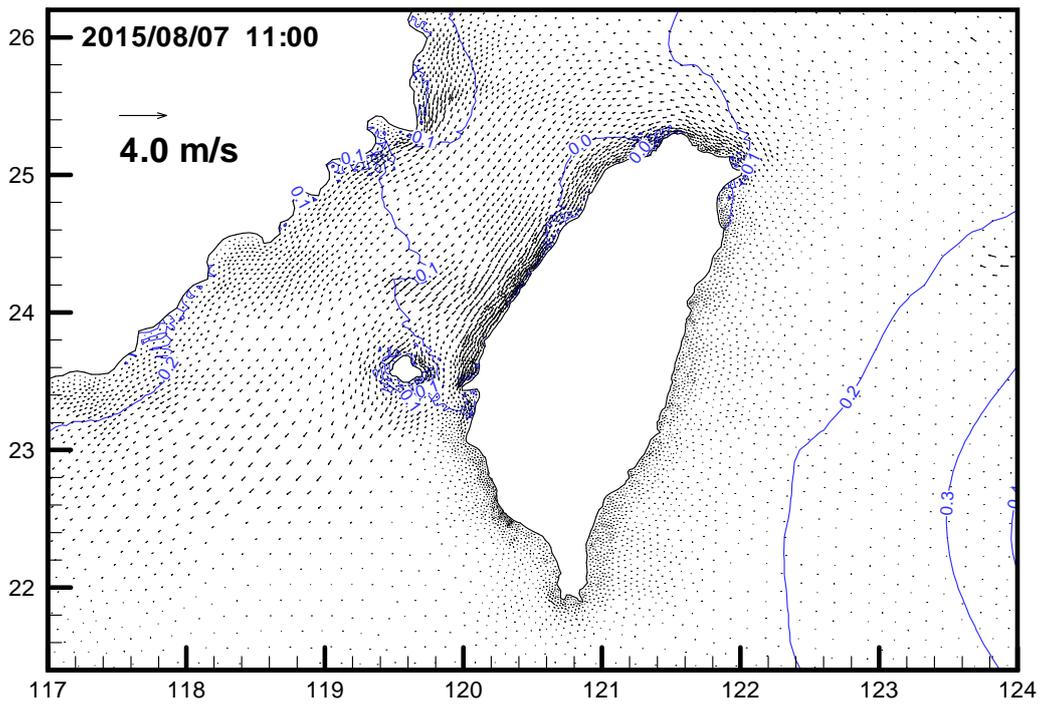


圖 4.11 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

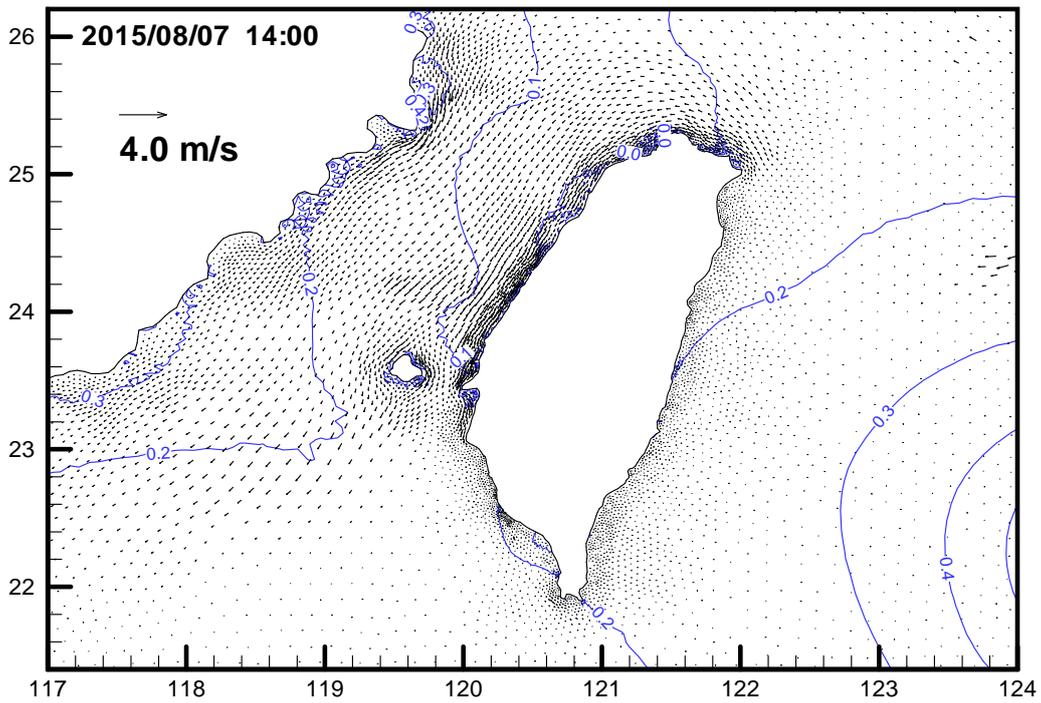


圖 4.11 (續 1) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

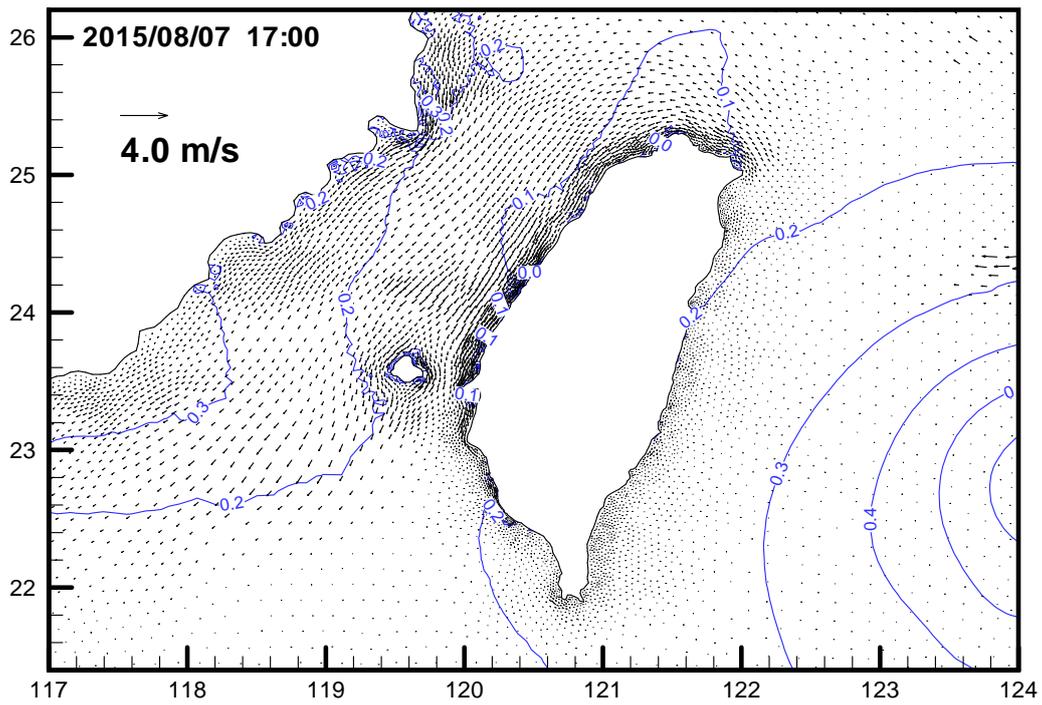


圖 4.11 (續 2) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

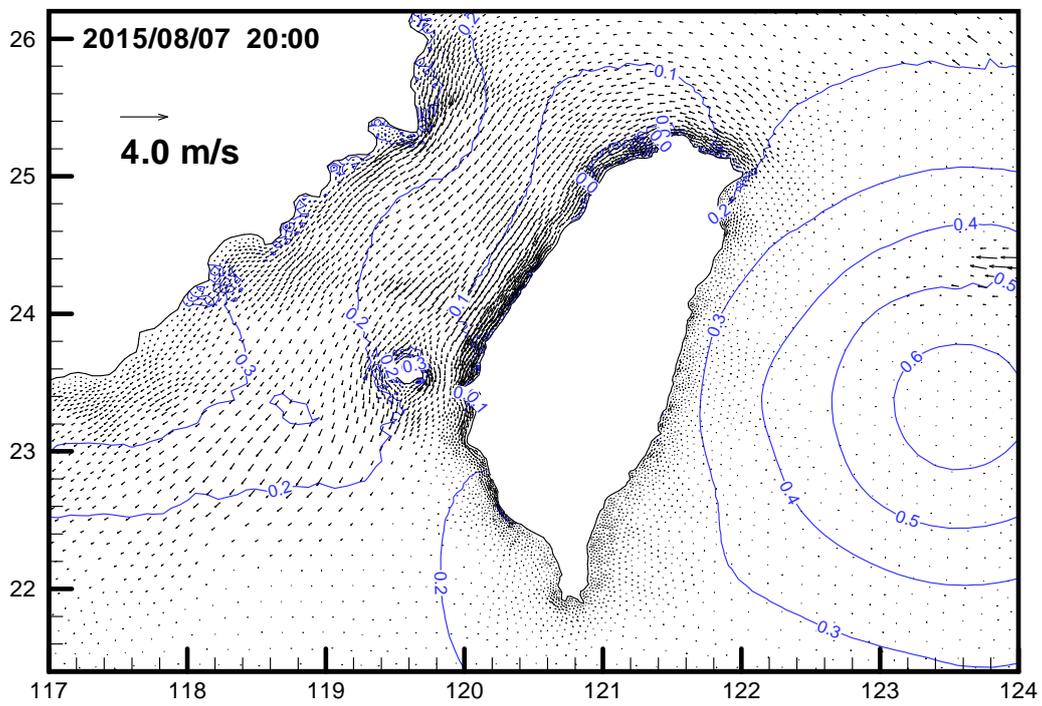


圖 4.11 (續 3) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

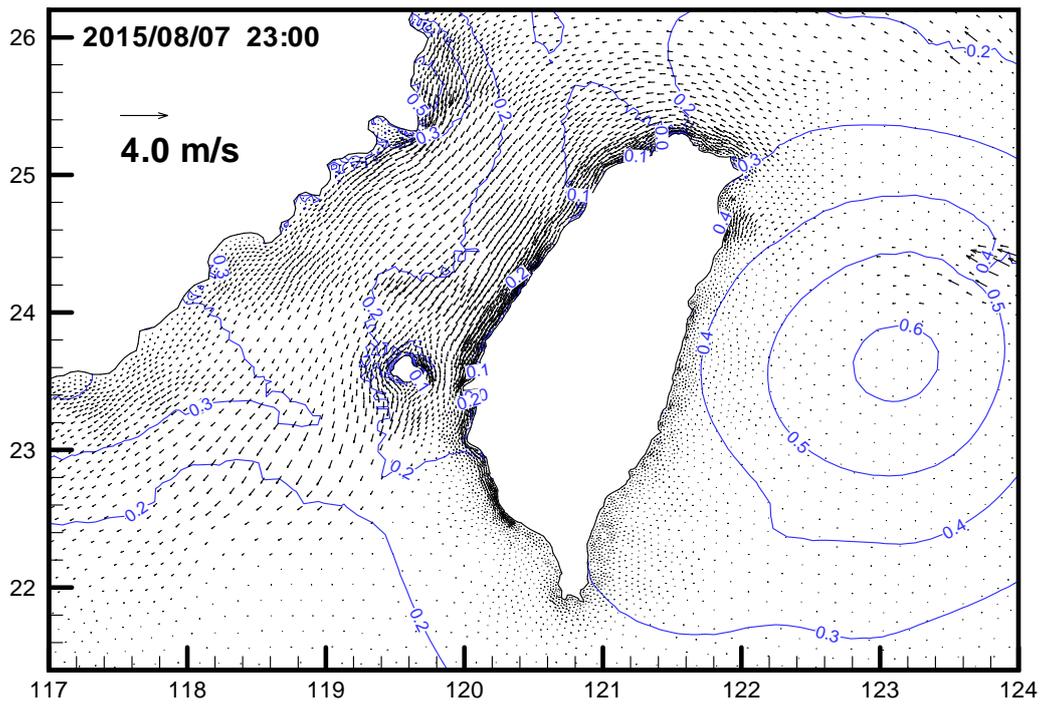


圖 4.11 (續 4) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

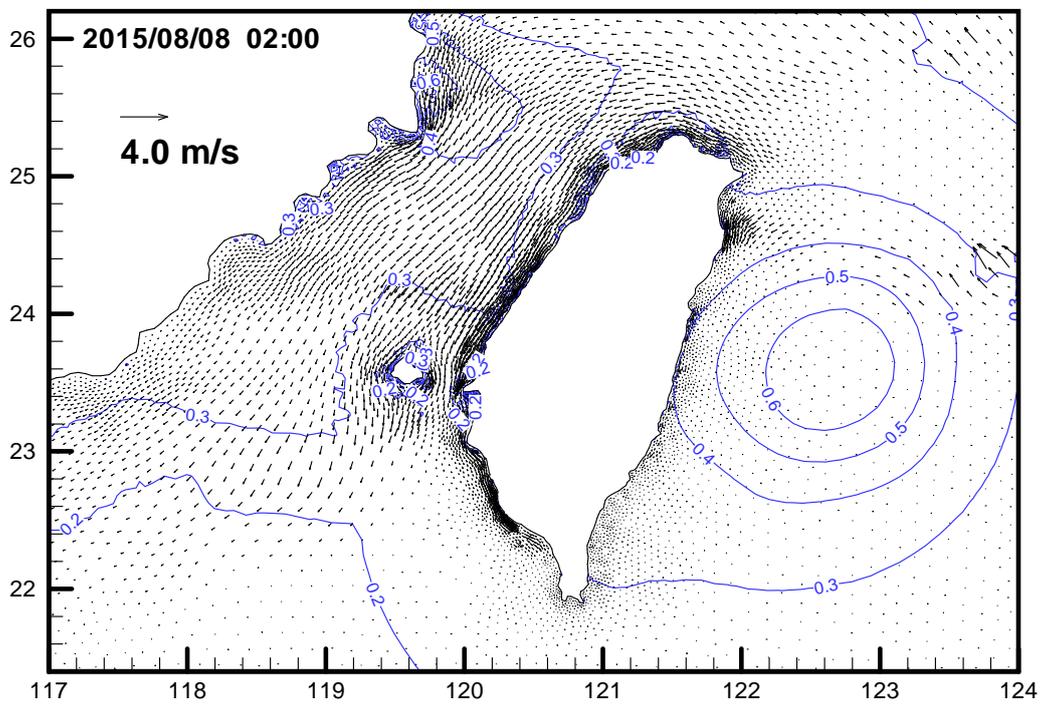


圖 4.11 (續 5) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

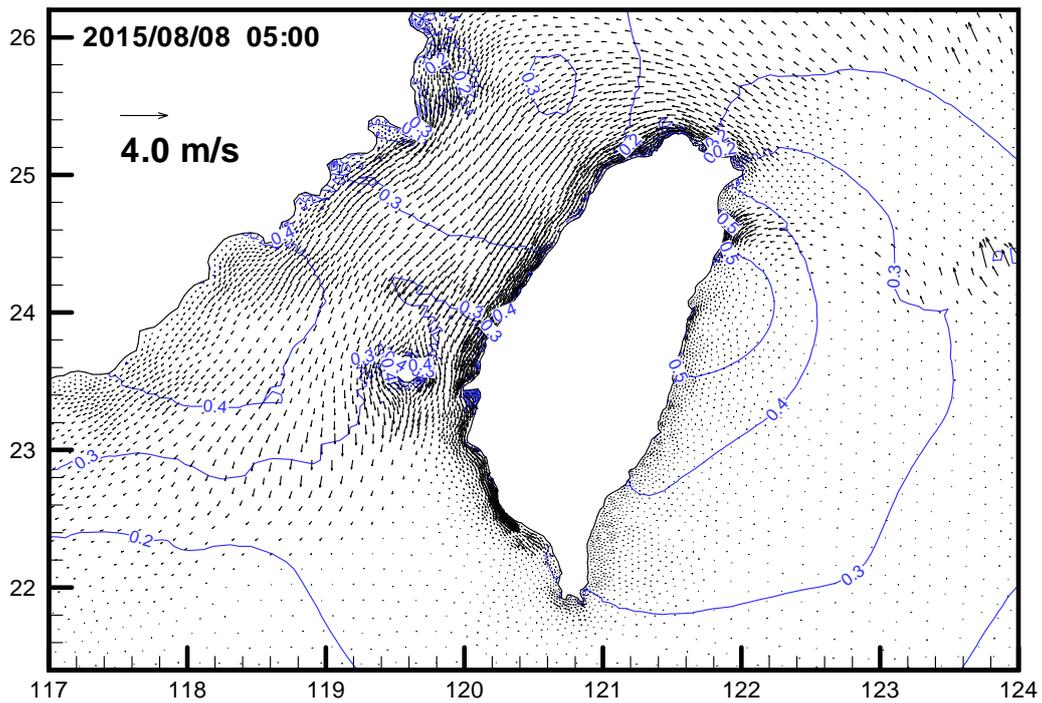


圖 4.11 (續 6) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

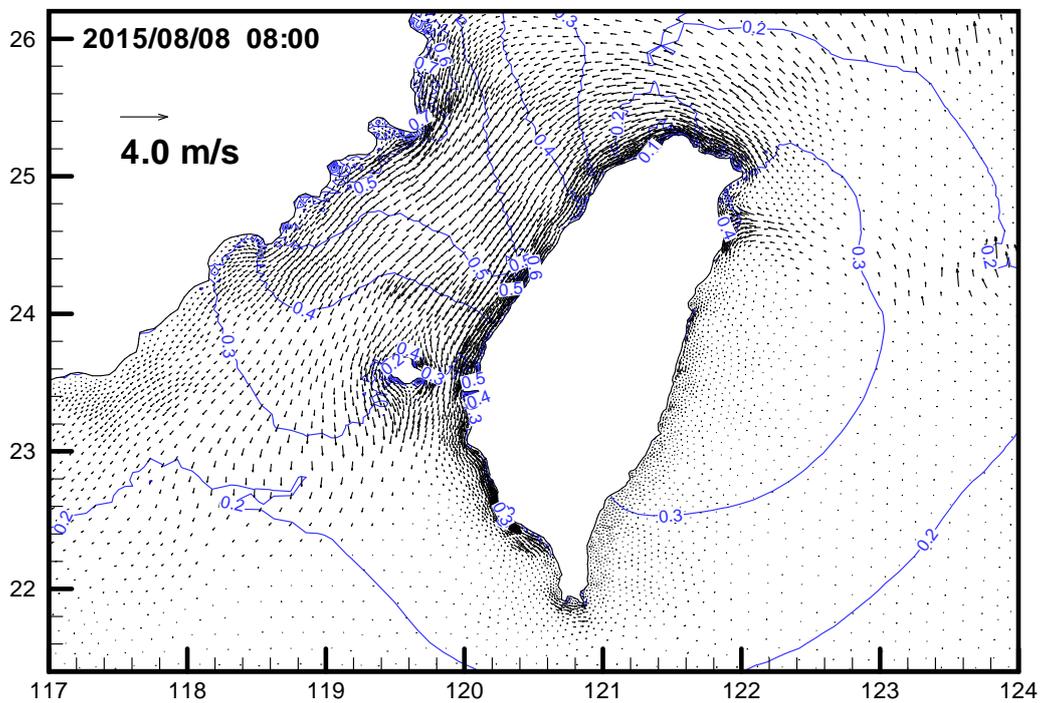


圖 4.11 (續 7) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

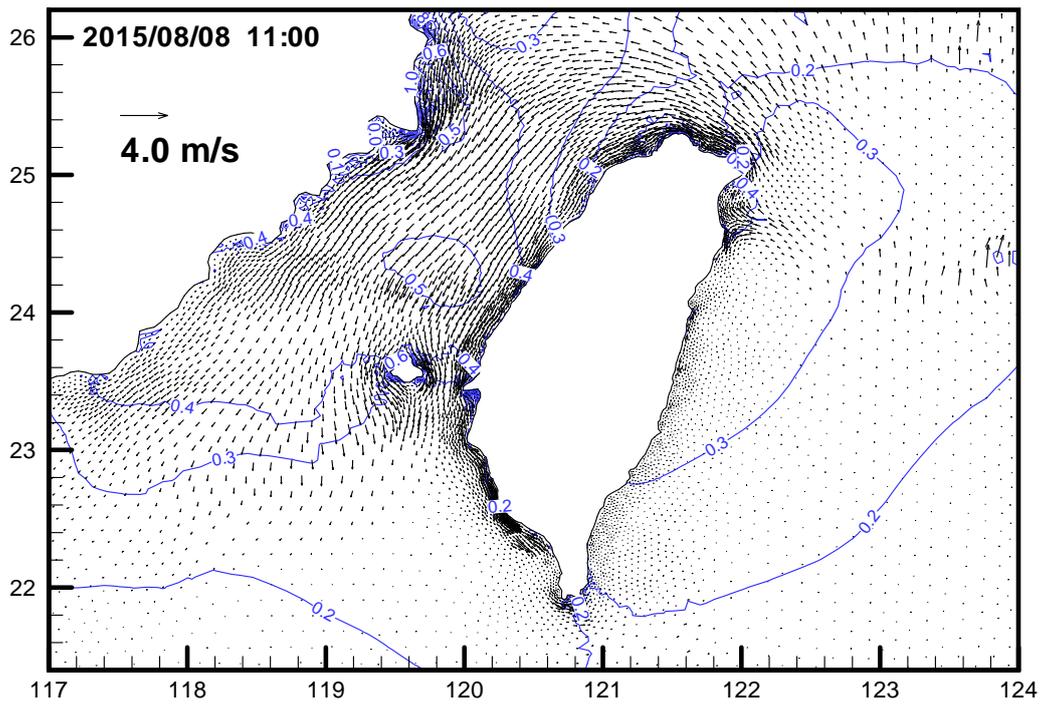


圖 3.11 (續 8) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

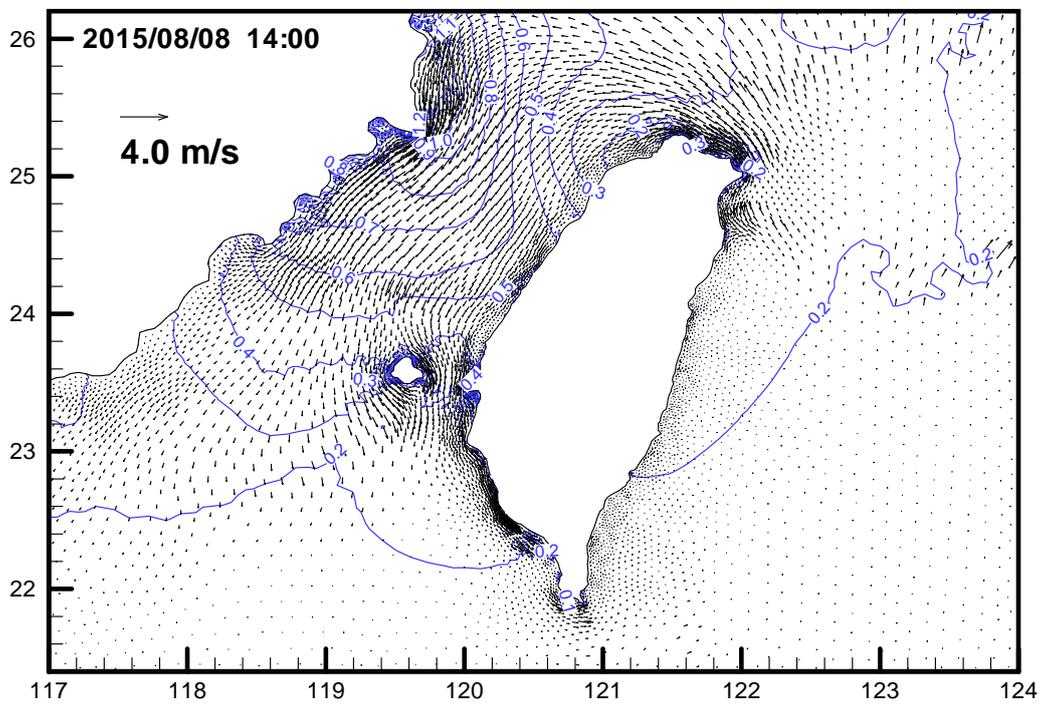


圖 4.11 (續 9) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

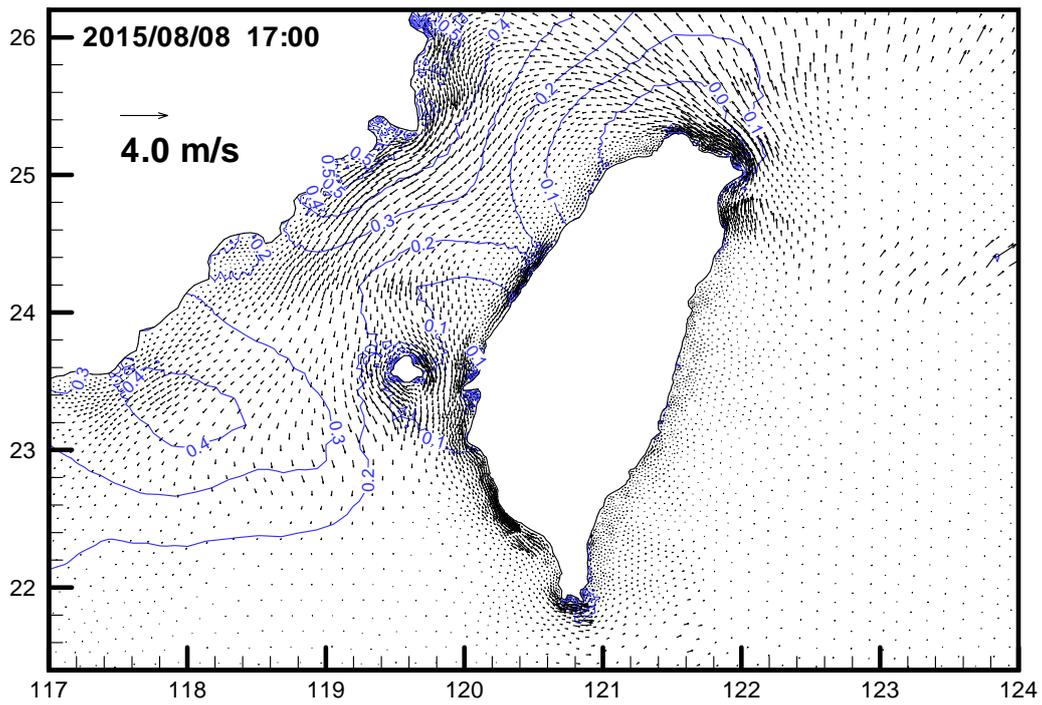


圖 4.11 (續 10) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

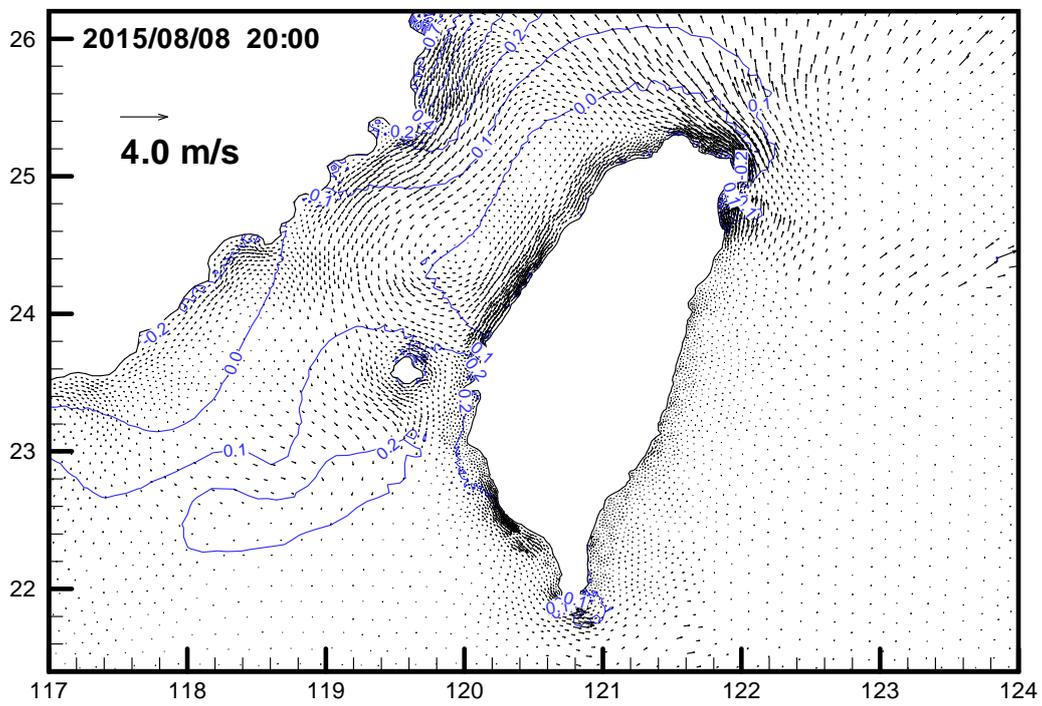


圖 4.11 (續 11) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

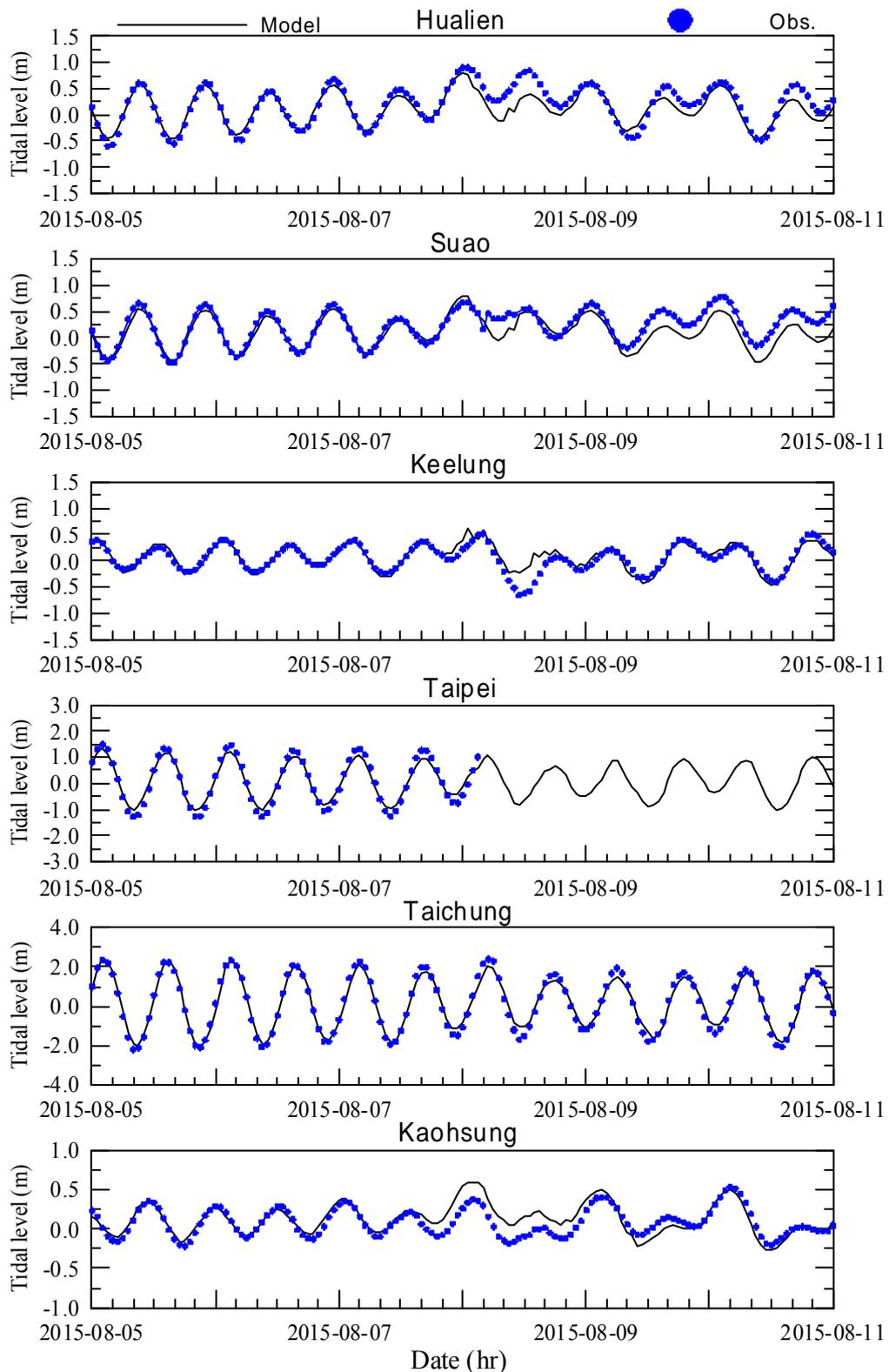


圖 4.12 2015 年中度颱風蘇迪勒侵臺期間主要商港水位模擬歷線與觀測資料之比較圖

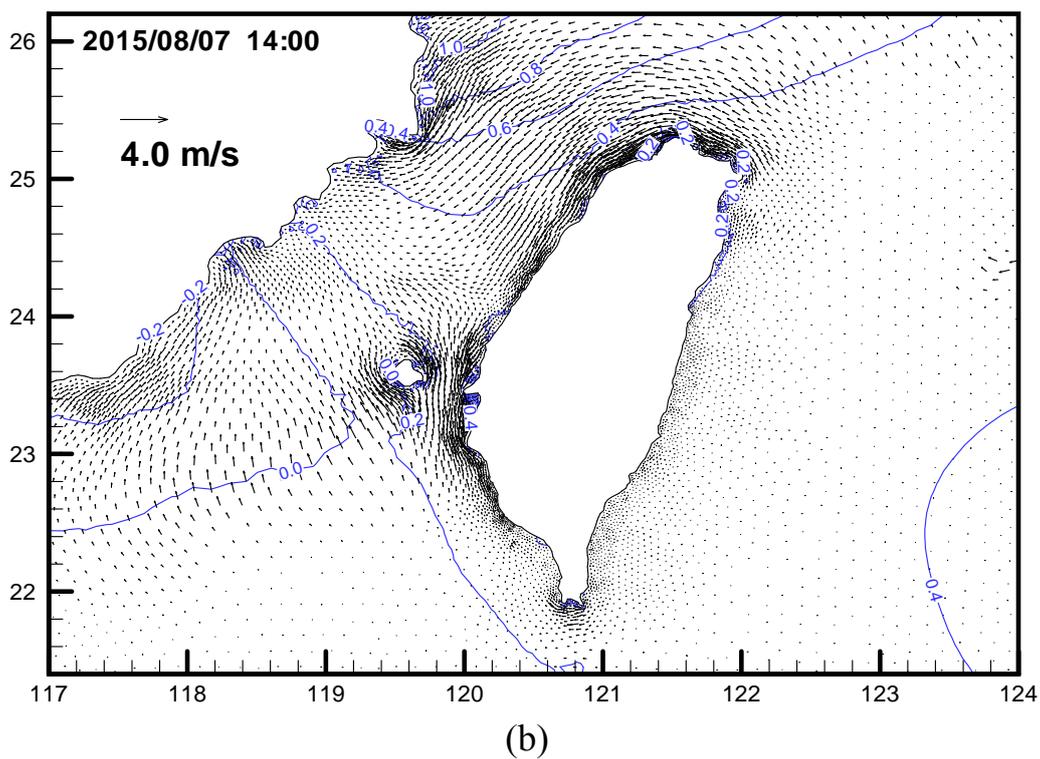
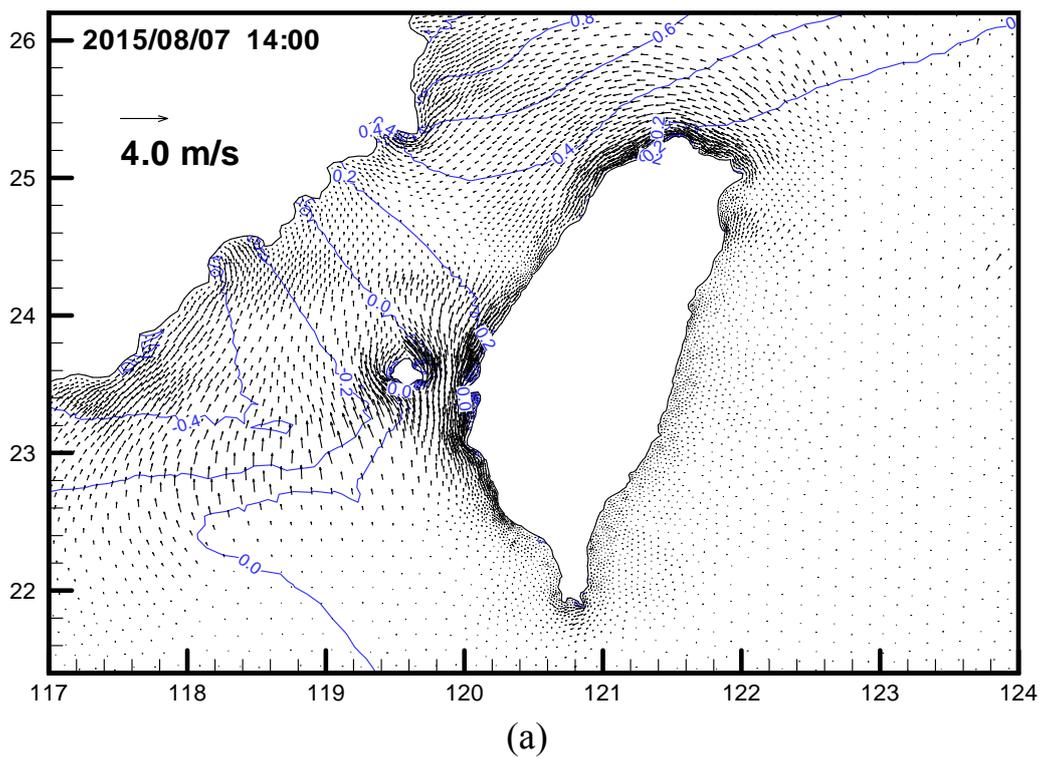


圖 4.13 臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較，  
(a)天文潮，(b)颱風暴潮(含天文潮)

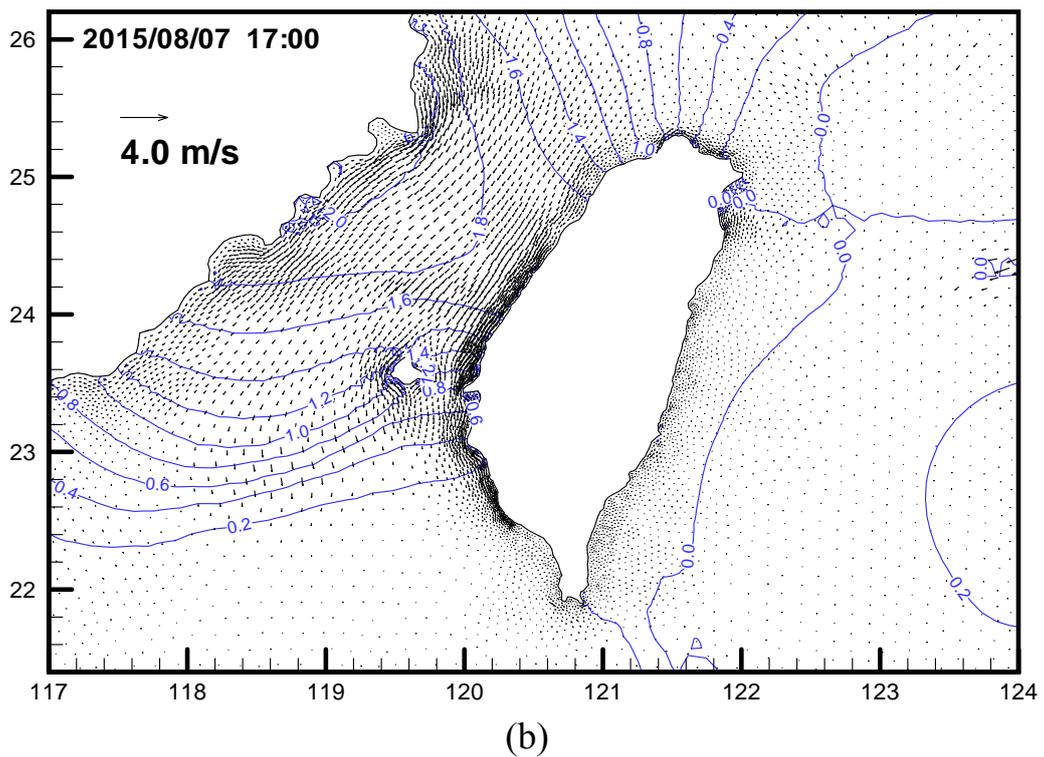
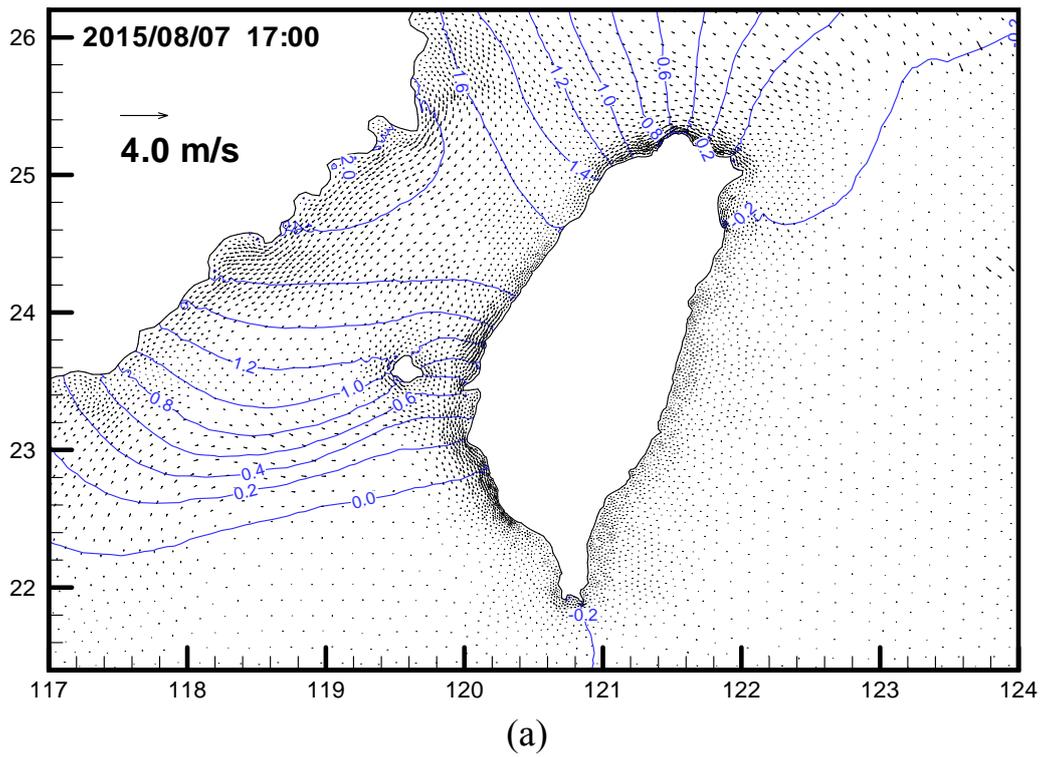
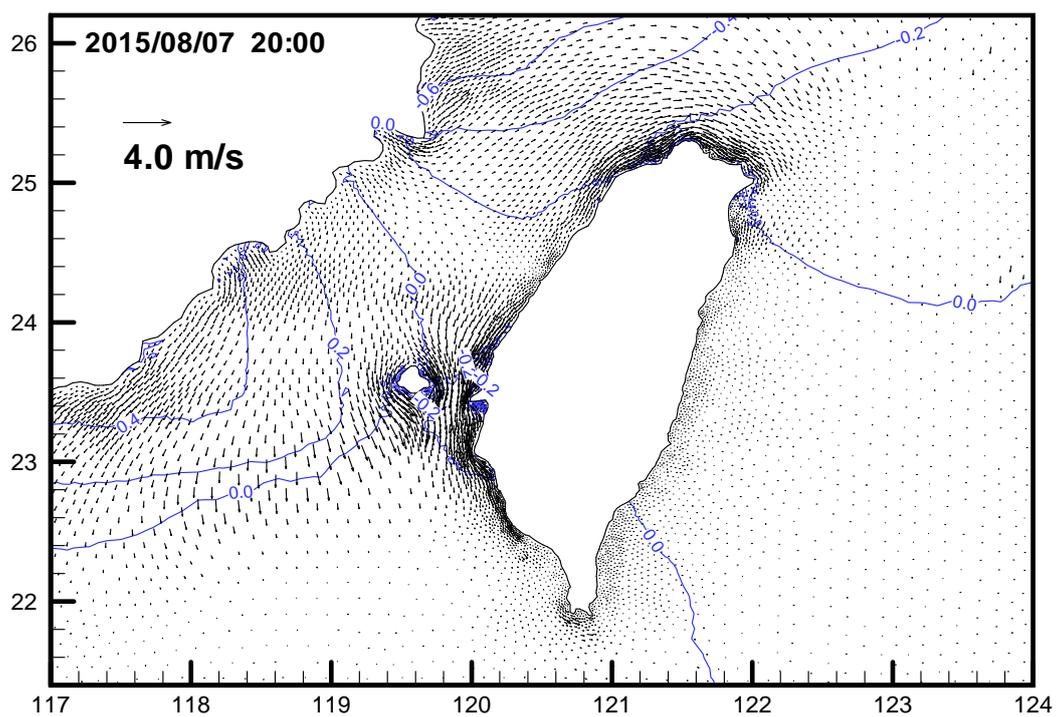
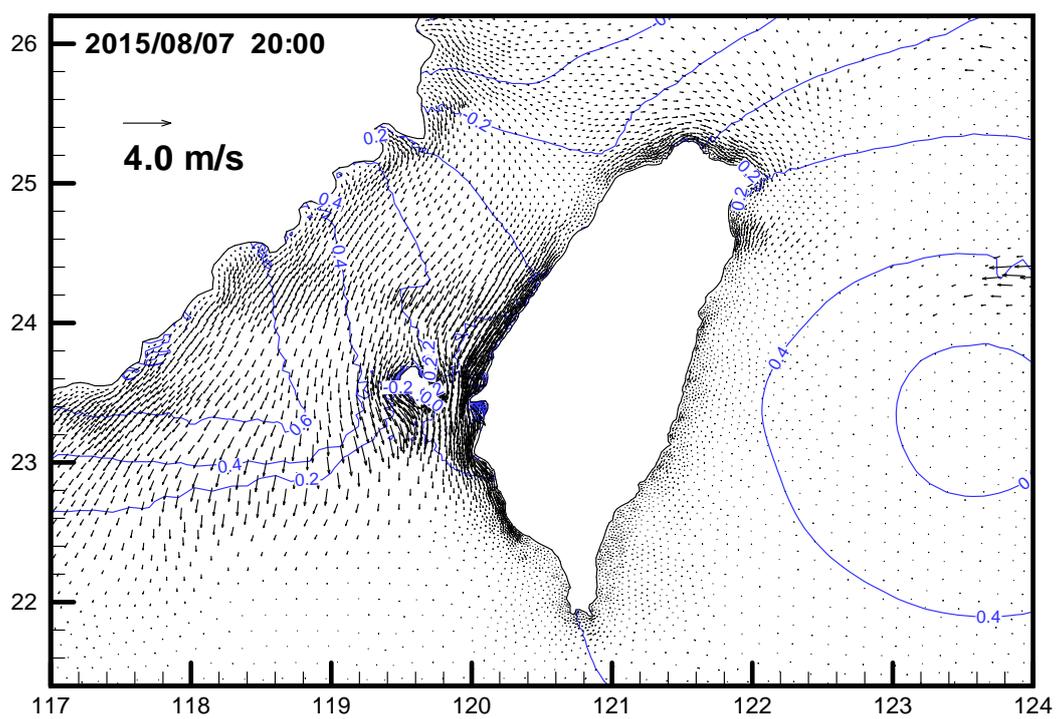


圖 4.13 (續 1) 臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較，  
(a) 天文潮，(b) 颱風暴潮(含天文潮)

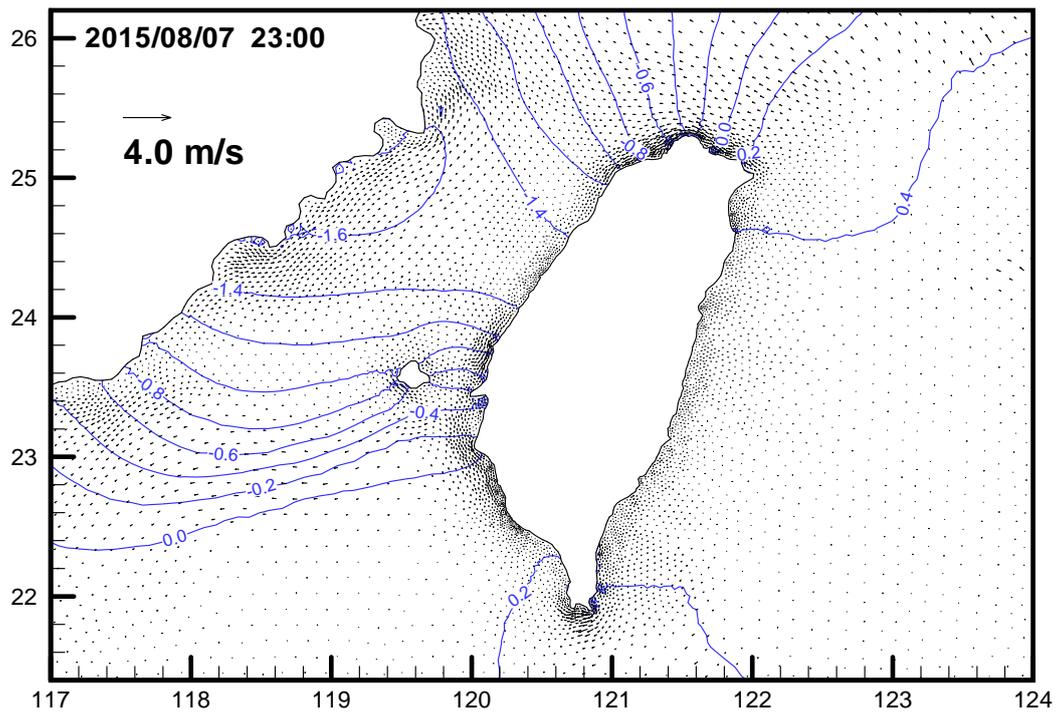


(a)

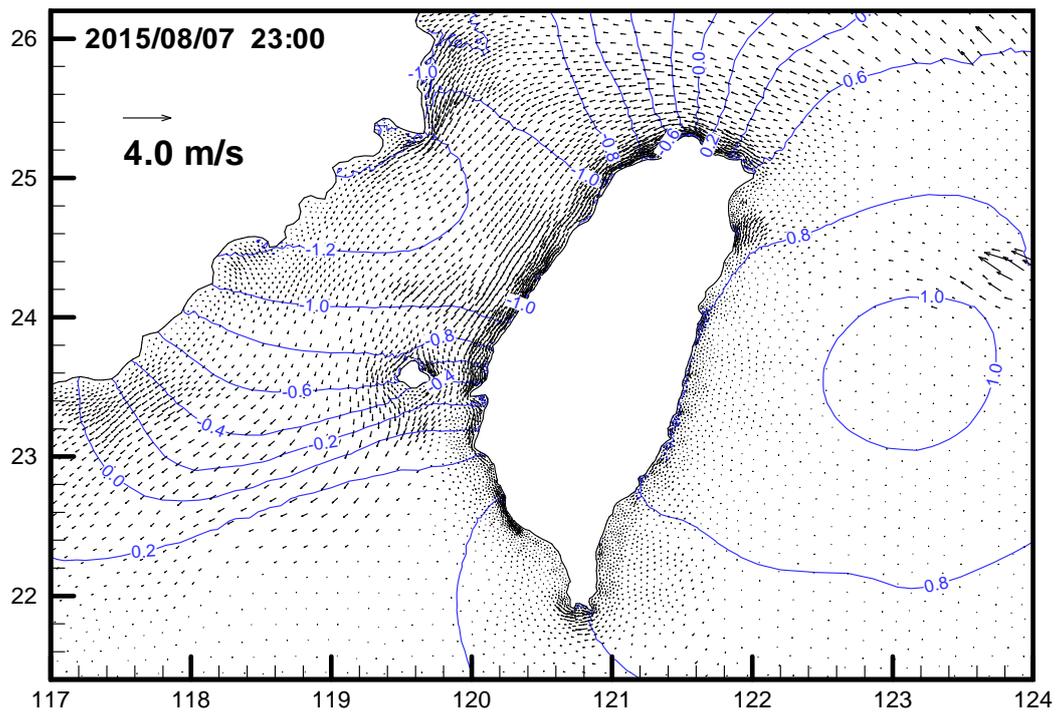


(b)

圖 4.13 (續 2) 臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較，  
(a) 天文潮，(b) 颱風暴潮(含天文潮)

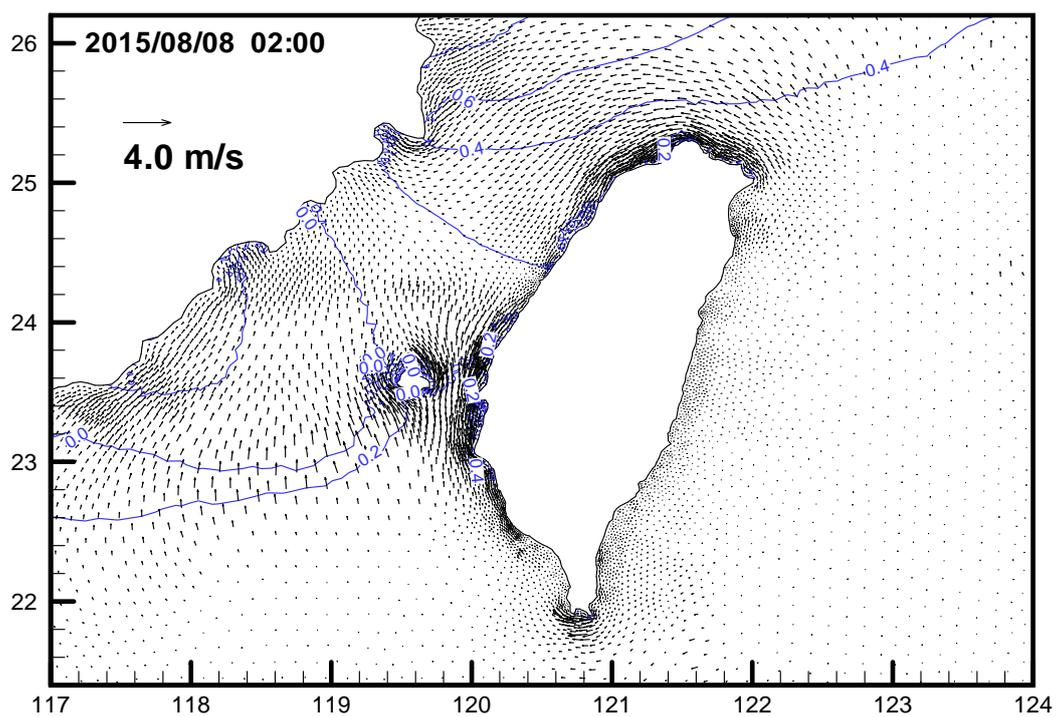


(a)

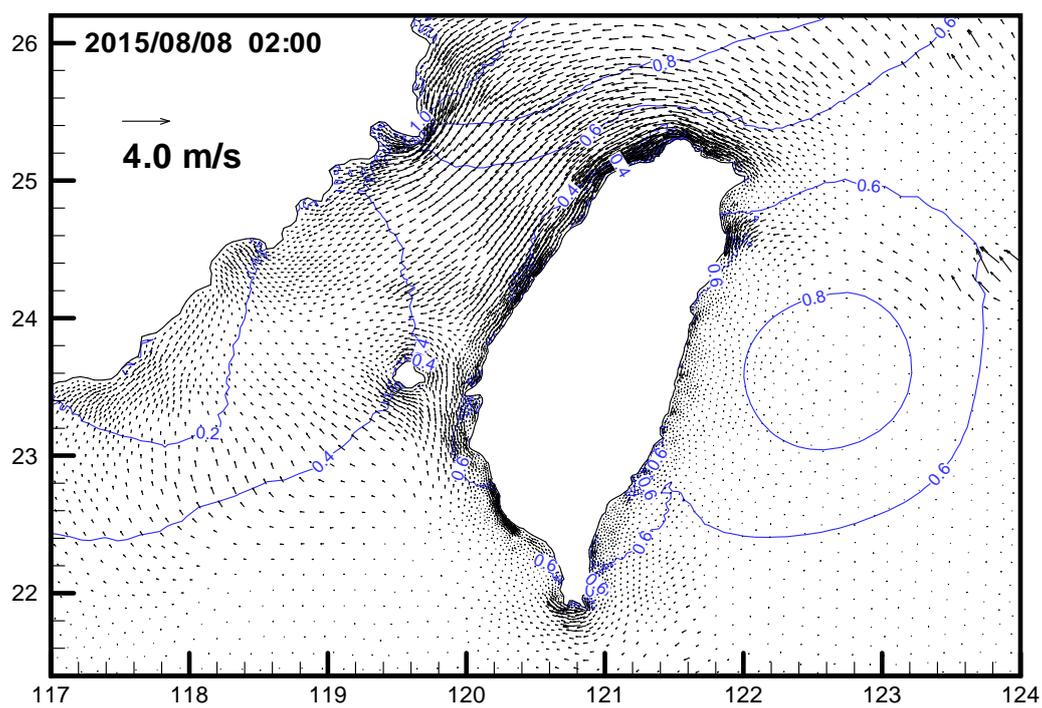


(b)

圖 4.13 (續 3) 臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較，  
(a) 天文潮，(b) 颱風暴潮(含天文潮)

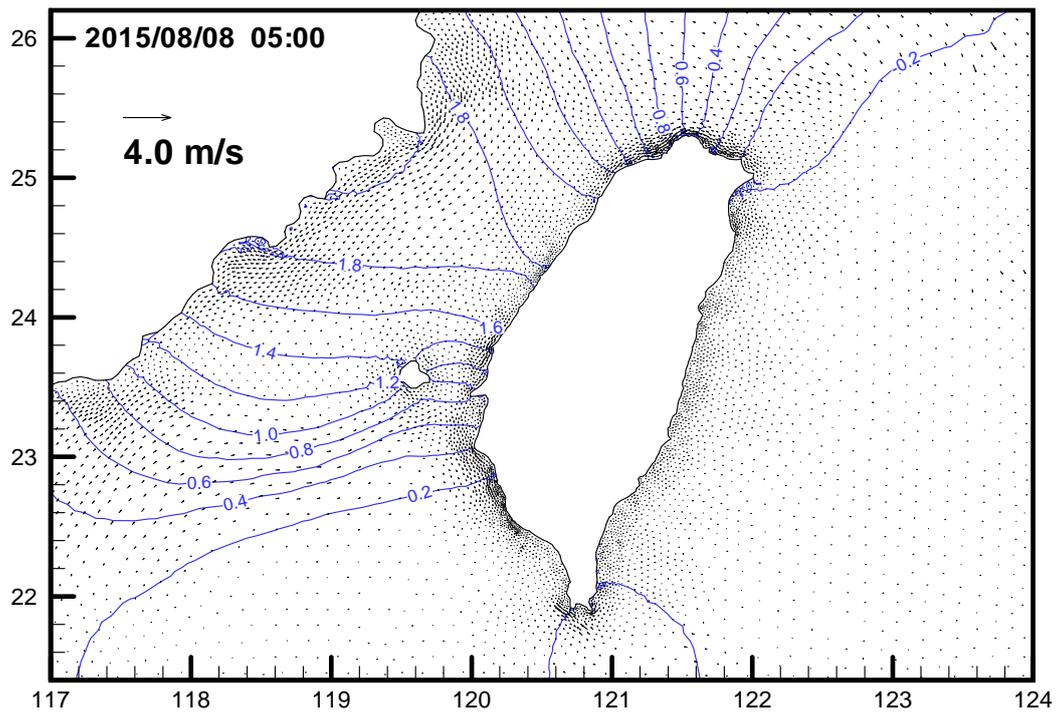


(a)

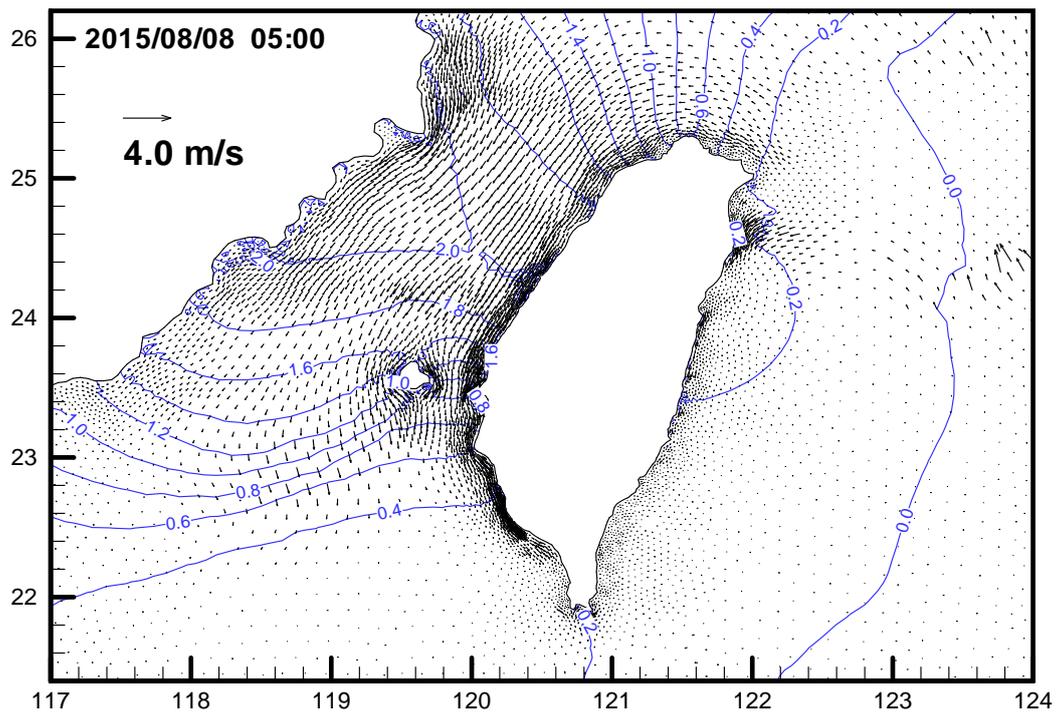


b)

圖 4.13 (續 4) 臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較，  
(a) 天文潮，(b) 颱風暴潮(含天文潮)

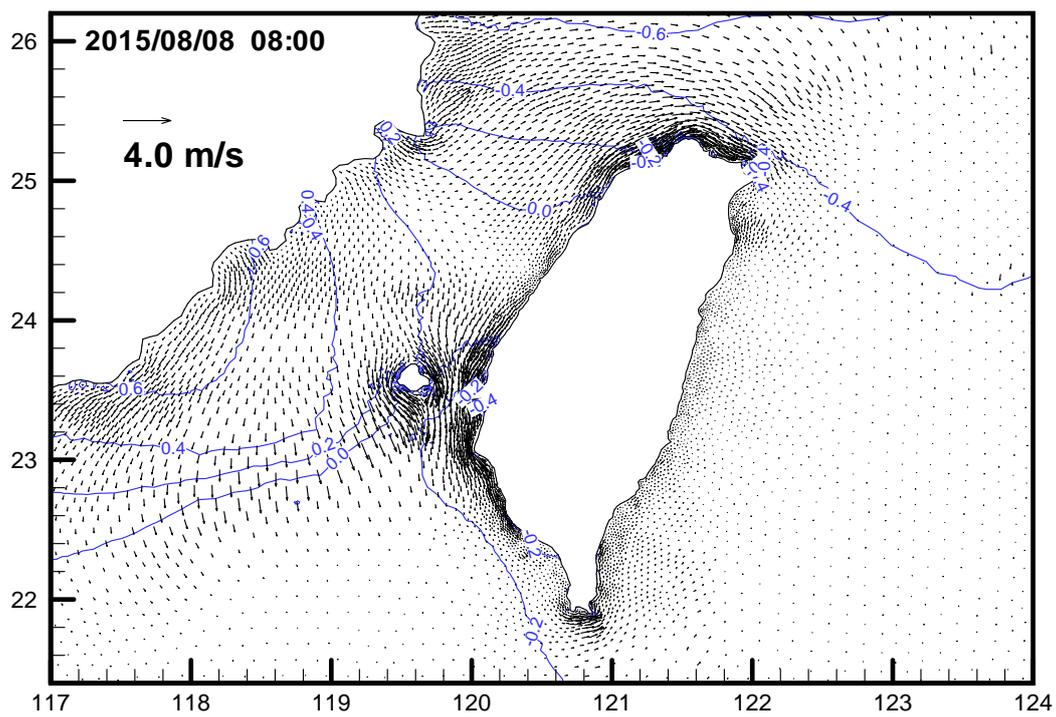


(a)

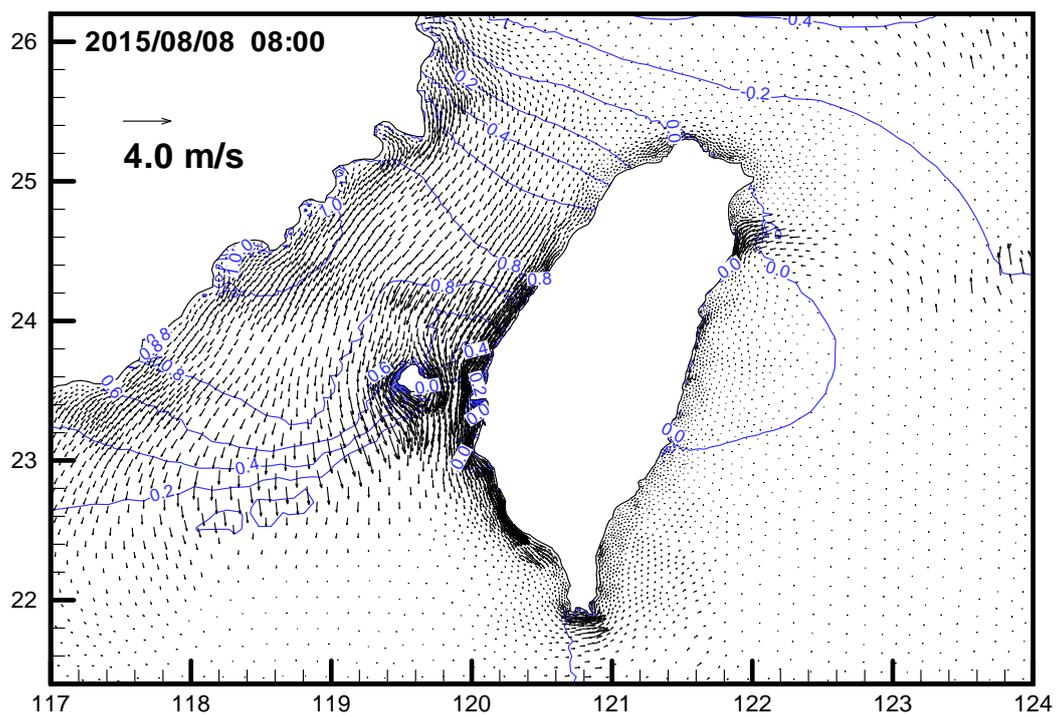


(b)

圖 4.13 (續 5) 臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較，  
(a) 天文潮，(b) 颱風暴潮(含天文潮)

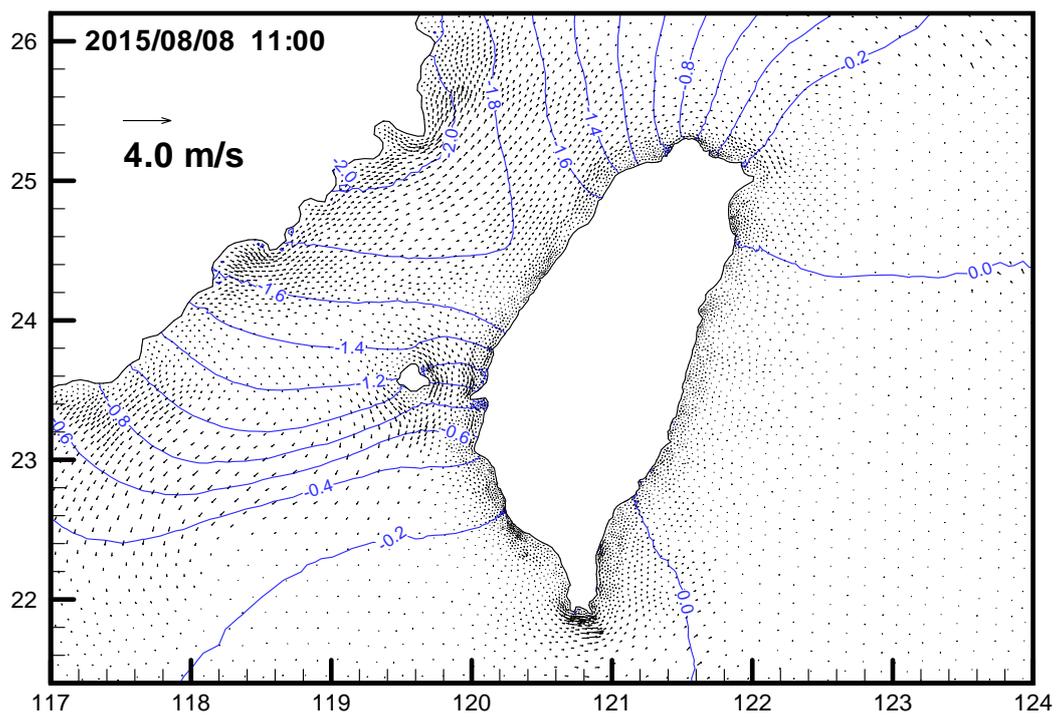


(a)

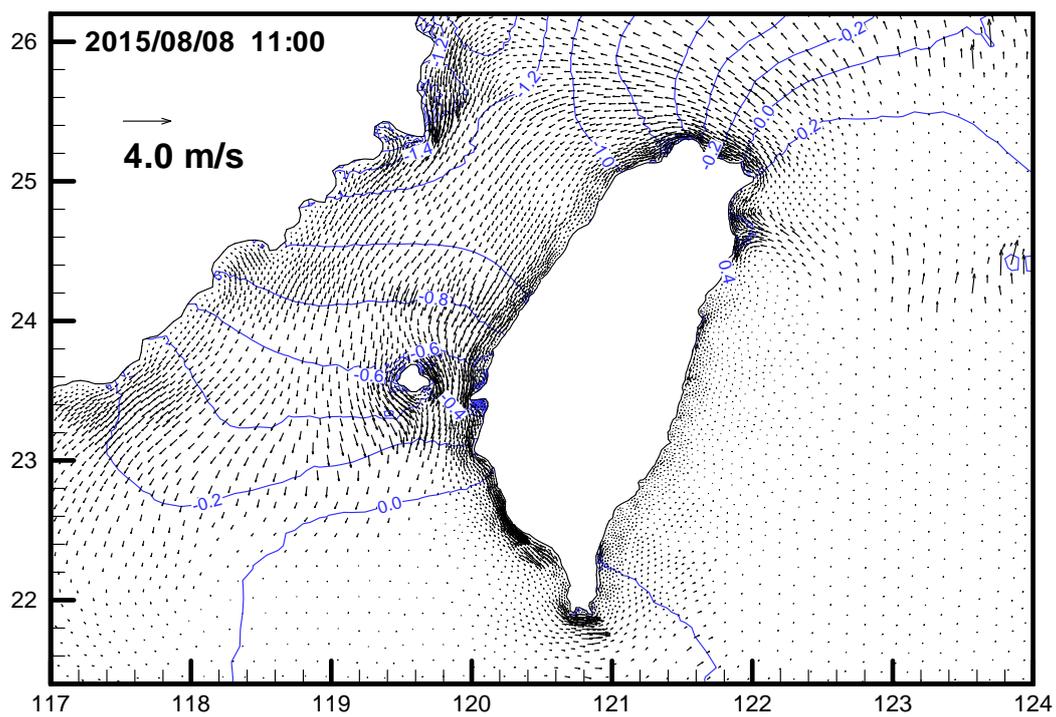


(b)

圖 4.13 (續 6) 臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較，  
(a) 天文潮，(b) 颱風暴潮(含天文潮)



(a)



(b)

圖 4.13 (續 7) 臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較，  
(a) 天文潮，(b) 颱風暴潮(含天文潮)

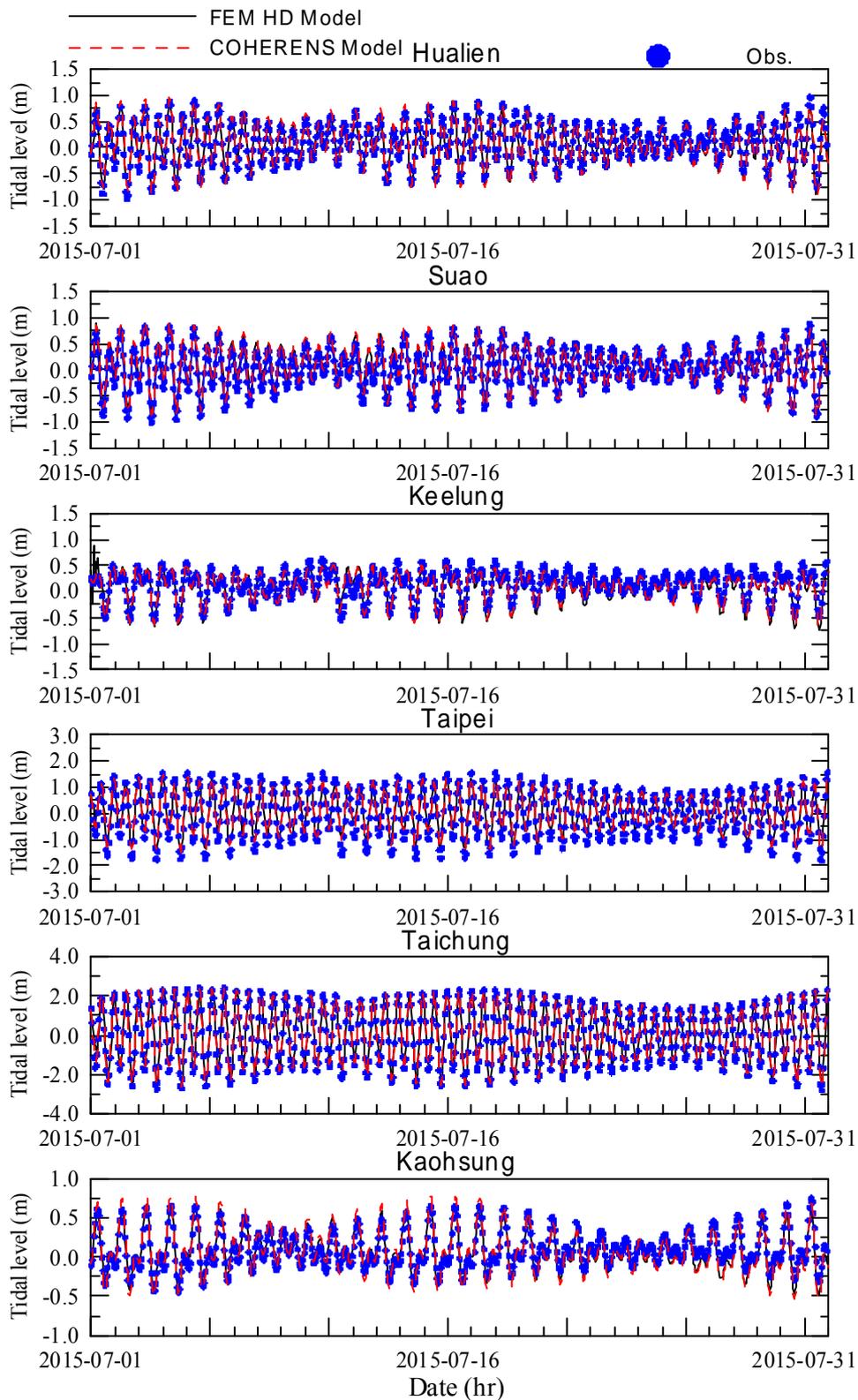


圖 4.14 臺灣周圍海域水動力模式水位模擬結果與 COHERENS 模式模擬結果及水位觀測值之比較圖

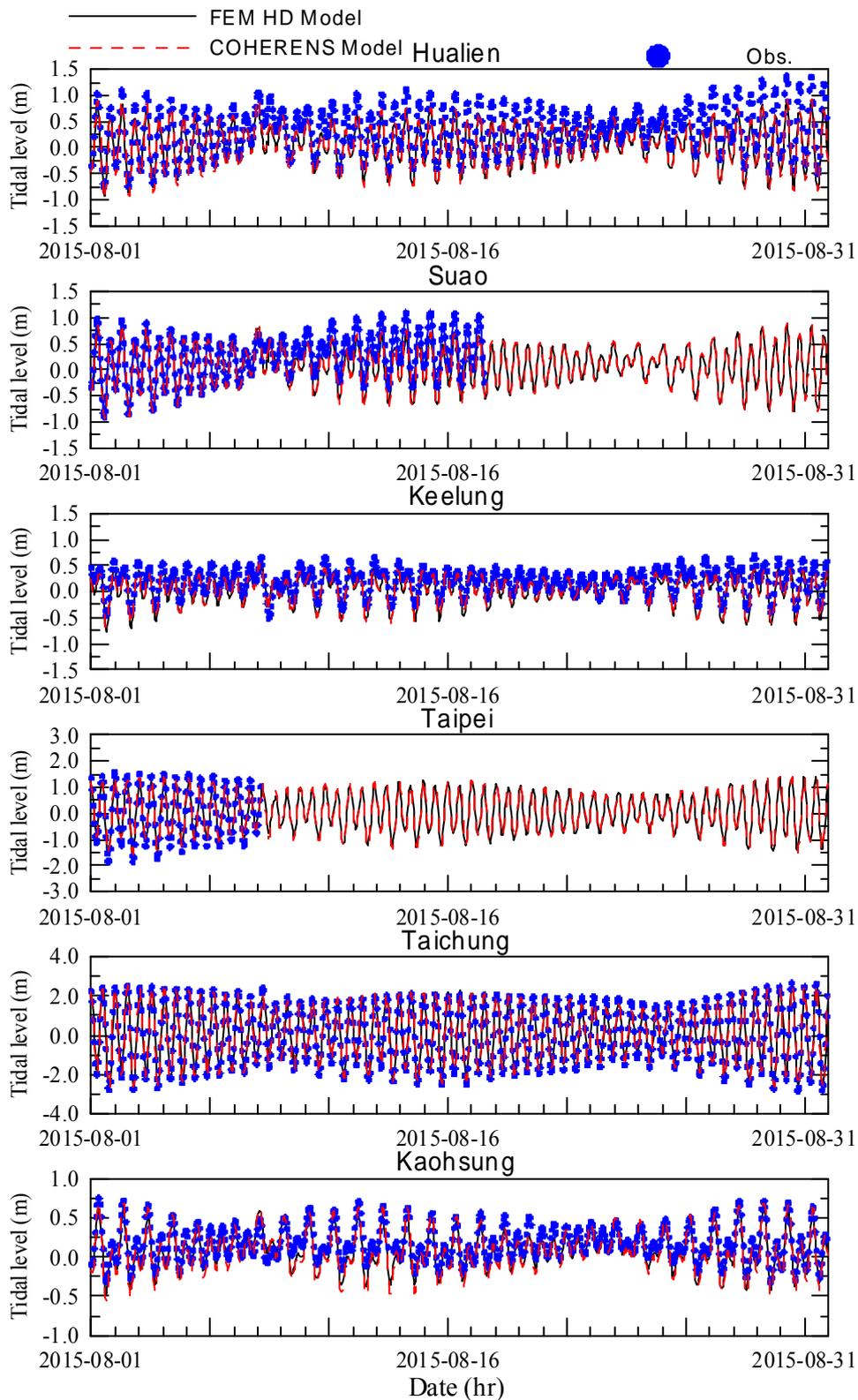


圖 4.14 (續 1) 臺灣周圍海域水動力模式水位模擬結果與 COHERENS 模式模擬結果及水位觀測值之比較圖

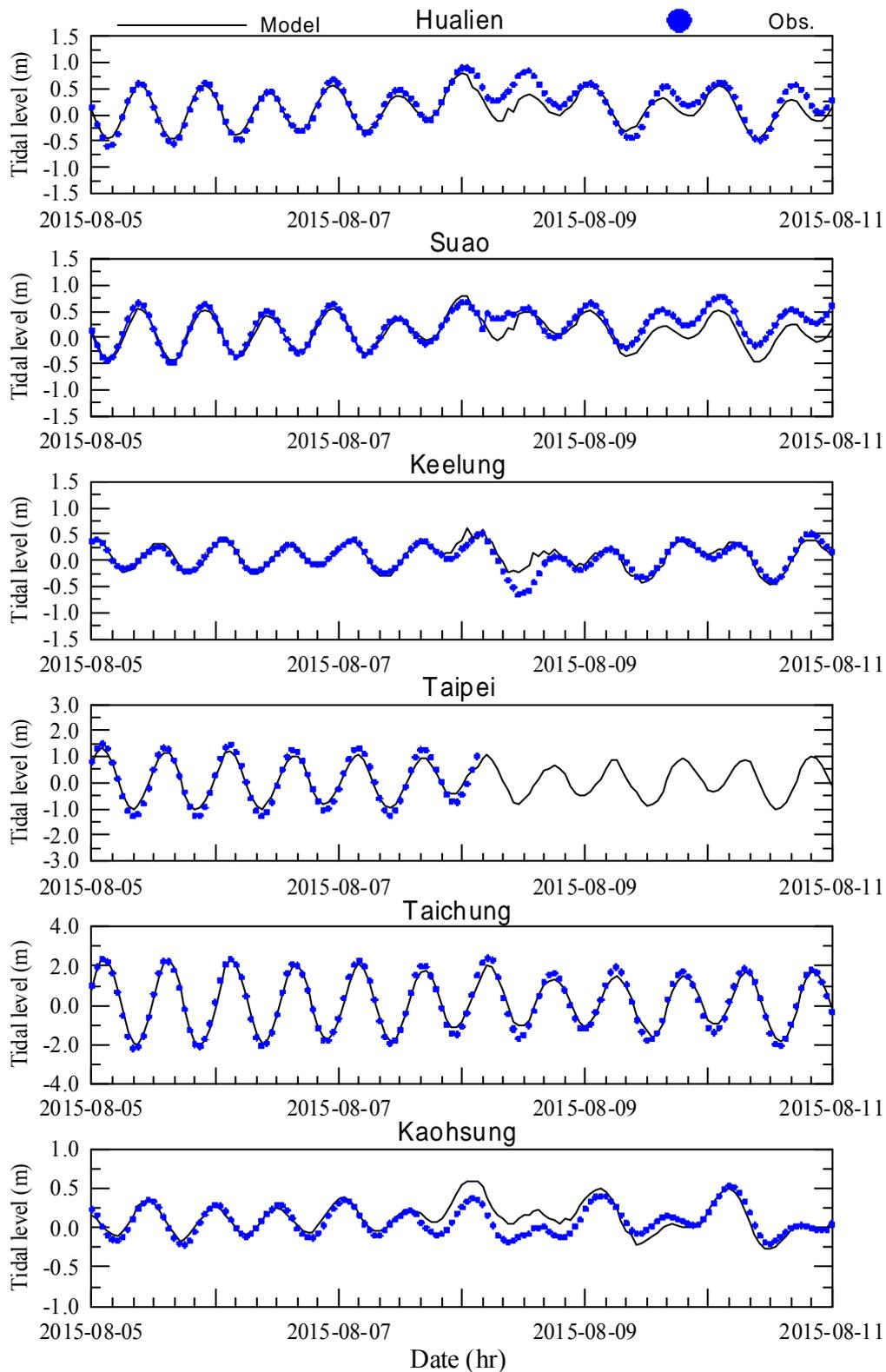


圖 4.14 (續 2) 臺灣周圍海域水動力模式水位模擬結果與 COHERENS 模式模擬結果及水位觀測值之比較圖

## 4.2 澎湖海域水動力模式建置

參照 TaiCOMS 主要商港小尺度水動力模組及中尺度臺灣周圍海域暴潮模組，本計畫採用以有限元素法(FEM)建構的二維水動力數值模式，著手建置澎湖海域水動力模組，模擬澎湖海域潮汐水位及流場，並以蒐集的水位及流速資料進行模擬結果驗證。

### 4.2.1 模擬範圍選取

本計畫澎湖海域水動力模擬範圍，如圖 4.15 所示，模擬範圍介於北緯 23.2° 至 23.955°，東經 119.17° 至 120.3° 之間。模式東側以臺灣本島西部海岸線為陸地邊界，可降低模式開放邊界條件之需求量，有利於將澎湖海域水位及流場模擬問題簡單化；南北邊界與西部海岸線交界分別選在台南將軍及彰化王功海岸，因鄰近海域均設有潮位站可提供潮位水位觀測資料驗證本計畫模式開放邊界條件之正確性。

### 4.2.2 數值計算網格

本計畫採用二度分帶投影座標系統(TWD97)建置非結構三角形元素計算網格，如圖 4.16 所示，計有 4,159 個節點及 7,807 個三角形元素。圖中澎湖群島陸地部份除了考慮澎湖本島外，尚包含了吉貝嶼、桶盤嶼、虎井嶼、望安島及將軍嶼等鄰近島嶼。本計畫數值計算網格水深資料，如圖 4.17 所示，顯示澎湖群島東側澎湖水道水深 100 m 之等水深往北漸縮且轉為西北向；澎湖群島島嶼周圍水深普遍小於 10 m。

### 4.2.3 邊界條件及初始條件

水動力模式邊界型態分為海域開放邊界及陸地邊界兩種，其中陸地邊界條件又可分為滑動邊界條件及不滑動邊界條件，本計畫假設模式之陸地邊界為滑動邊界條件，亦即假設陸地邊界節點垂直方向之流速等於零(即允許切線方向流速存在)。海域開放邊界則採用水位條件為模式之開放邊界條件，即直接給定節點水位時序列資料，如式(4.2)。

$$\eta = \eta_a(t) \dots \dots \dots (4.2)$$

其中邊界節點水位給定方式係利用 4-1 節中尺度臺灣周圍海域水動力模式模擬結果，輸出澎湖海域小尺度水動力模式數值計算網格開放邊界節點逐時水位資料，如圖 4.18 所示。

此外，模式模擬之初始條件在冷啟動模擬(cold start)狀況下模式假設流場之初始速度及水位均為零，另在熱啟動模擬(hot start)狀況下模式採用前次模擬結果儲存的流場速度及水位值為初始條件。

#### 4.2.4 模式物理參數設定

模式相關物理參數率定包括時間間距( $\Delta t$ )、底床摩擦係數( $C_f$ )及渦動粘滯性係數等，其中模式模擬之時間間距與網格三角形元素最小尺度有關，且需滿足下列條件式(4.3)

$$\Delta t < 1.5\Delta t_{cr} = 1.5\Delta s^*/U^* \dots\dots\dots(4.3)$$

式中  $\Delta s^*$  為代表性網格大小， $U^* = \sqrt{2gH}$ ， $H$  為水深(m)， $g$  為重力加速度；經由測試後，本計畫模式選用的時間間距  $\Delta t = 3.0 \text{ sec}$ 。

渦動粘滯性係數則採用 Connor and Wang (1974)提出的經驗公式(4.4)推估，

$$E_{xx} \sim ag(\tilde{\eta}/\tilde{u})\tilde{x} \dots\dots\dots(4.4)$$

式中  $E_{xx}$  為渦動粘滯性係數，其單位為  $m^2/s$ ， $a$  為無因次係數，其合理的範圍為 0.01~0.1 之間； $g$  為重力加速度， $\tilde{\eta}$  為潮汐代表性潮差， $\tilde{u}$  為潮流代表性流速， $\tilde{x}$  為三角元素代表性邊界。同樣地，經由測試後，本計畫採用無因次係數  $a = 0.02$ ，代表性潮差  $\tilde{\eta} = 1.50 \text{ m}$ ，潮流代表性流速  $\tilde{u} = 0.5 \text{ m/s}$ ，推估各元素之渦動粘滯係數值；之後，再依據模式模擬結果之穩定性測試進行修正。此外，各元素之底床摩擦係數初步假設其值為定值(0.025)；之後，再經由模擬結果驗證程序予以修正。

#### 4.2.5 澎湖海域水動力式初步模擬結果與驗證

本年度計畫選取 2014 年 1 月份澎湖馬公潮位站潮位觀測資料與澎湖資料浮標海流觀測資料之調和分析結果進行模式模擬水位與流速之

驗證。

圖 4.19 所示為本計畫澎湖海域水動力模式模擬結果與馬公潮位站潮位觀測資料、澎湖資料浮標海流調和分析資料之比較，圖中潮位逐時觀測資料為觀測值扣除月平均潮位值(-0.522m)之結果，觀測值調和分析資料為選取  $O_1$ 、 $K_1$ 、 $M_2$ 、 $S_2$  及  $M_4$  等主要天文分潮調和分析之結果。顯示水位模擬結果與馬公港潮位變化趨勢相當近似；潮流漲退流速大小的變化亦與澎湖資料浮標海流調和分析資料相近似，惟在流向變化的角度上，數值模擬結果與測站間均存在有近似固定的流向誤差，此應與數值計算網格解析度與地形水深變化無法反映出實際現況有關。

本計畫依據澎湖海域水動力模式模擬結果，繪出 2014 年 1 月 2 日 0 時至 3 日 0 時平面流場圖，如圖 4.20 所示；整體上，澎湖海域漲潮階段潮流流向往北，退潮時潮流流向往南。圖 4.21 所示為澎湖港龍門尖山港區外海水位及流速流向模擬結果之時序列圖，模擬結果顯示龍門尖山港區外海受到島嶼地形屏障，潮流流經港口附近時流速相當小，最大流速約 0.1 m/sec，此與港研中心在龍門尖山港區外海測站(MG)海流觀測現象相近似。

本年度計畫已初步完成澎湖海域水動力模式建置、水位及流場模擬結果驗證，下年度(105 年)研究重點包括持續加強流場模擬驗證，如澎湖資料浮標、龍門尖山港區及東吉島等海流觀測資料，以及測站附近海域數值計算網格及水深資料修正等。

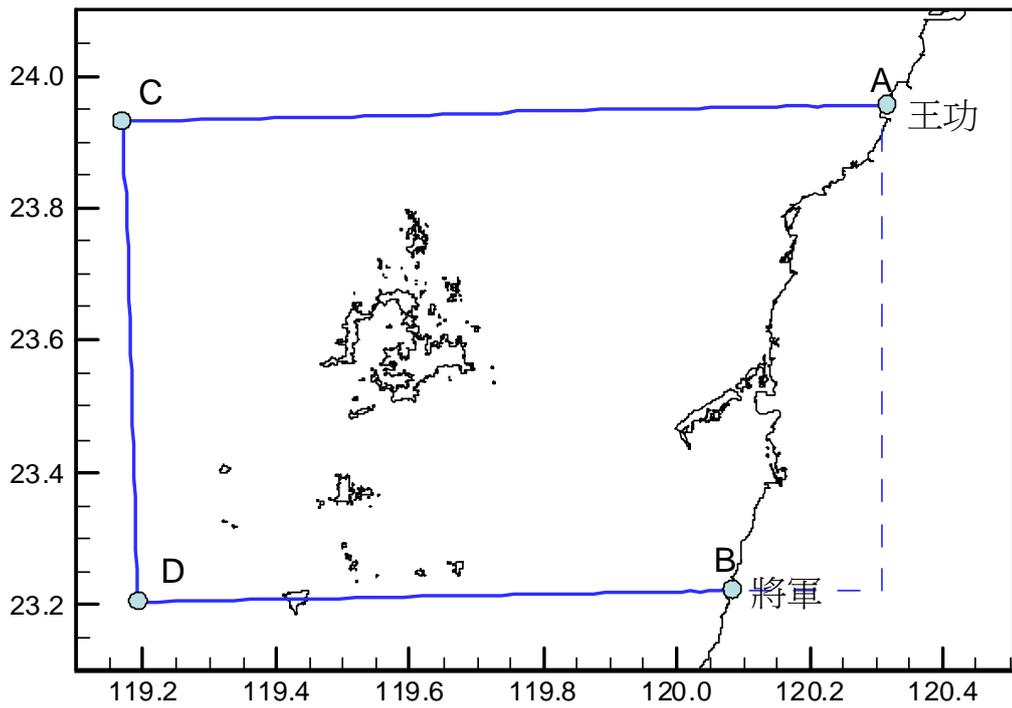


圖 4.15 澎湖海域水動力模式模擬範圍圖

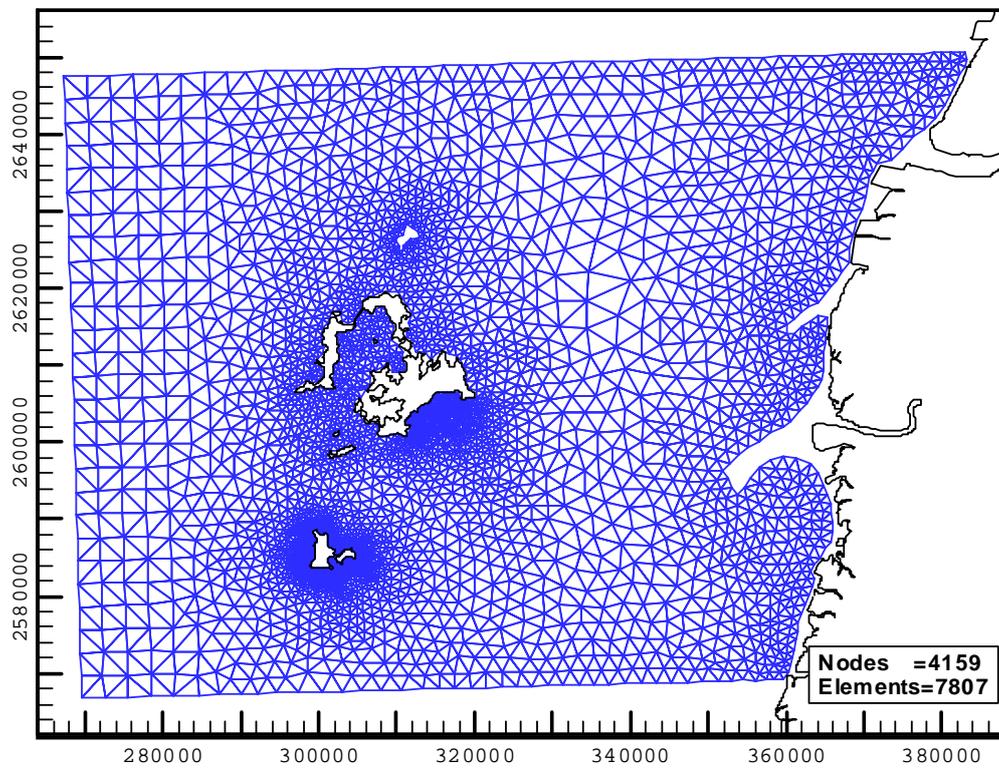


圖 4.16 澎湖海域水動力模式使用的非結構性三角形元素網格圖

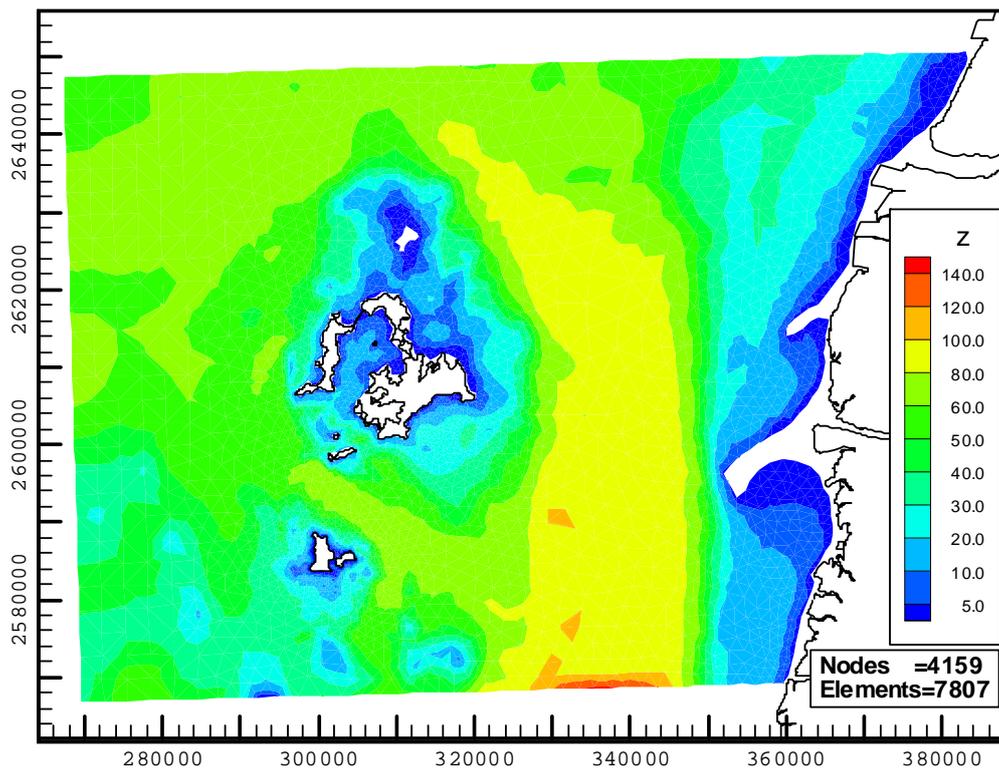


圖 4.17 澎湖海域水動力模式數值計算網格之水深分布圖

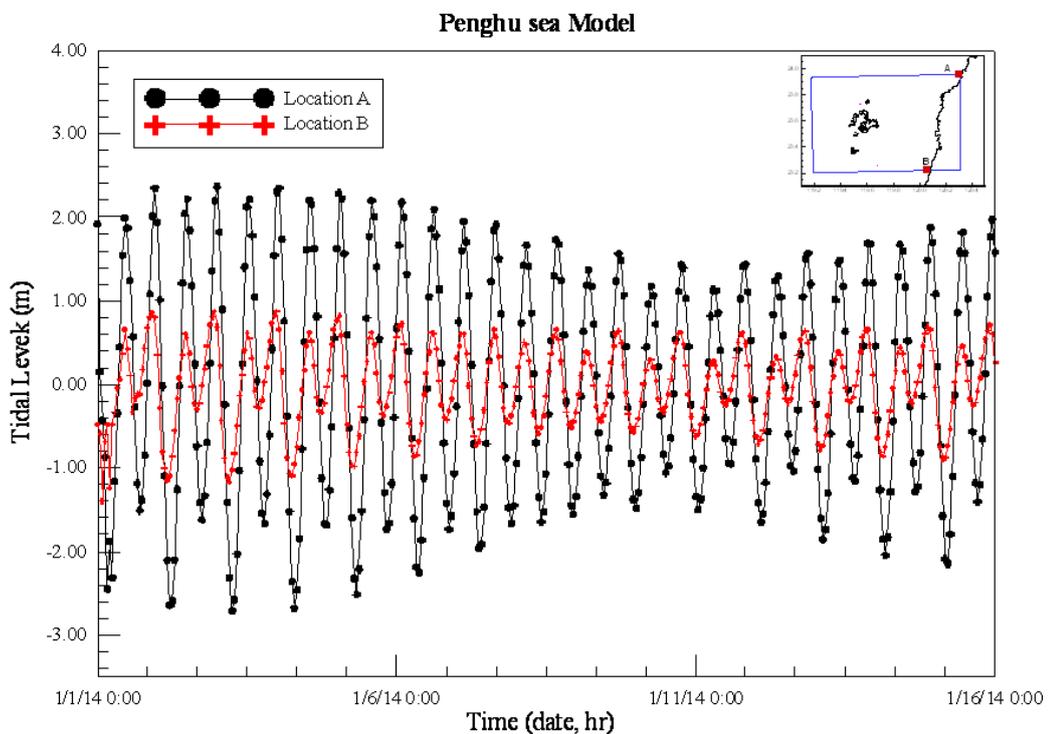


圖 4.18 澎湖海域水動力模式開放邊界天文潮水位邊界條件(由本計畫中尺度臺灣周圍海域水動力模式產生)

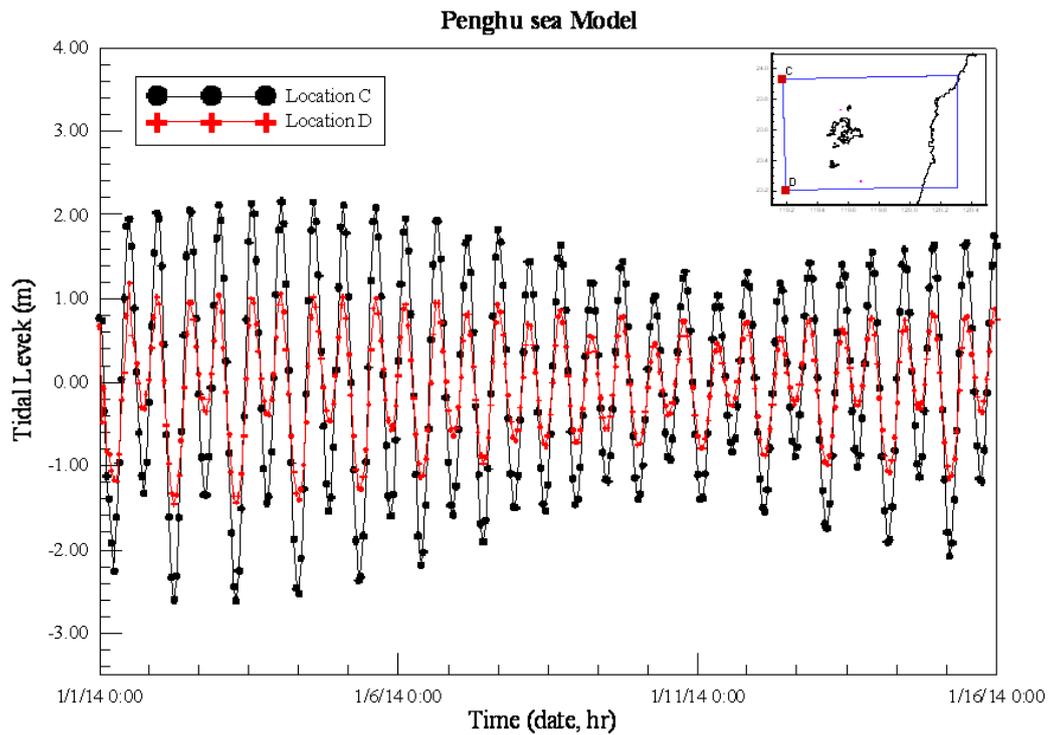


圖 4.18 (續)澎湖海域水動力模式開放邊界天文潮水位邊界條件(由本計畫中尺度臺灣周圍海域水動力模式產生)

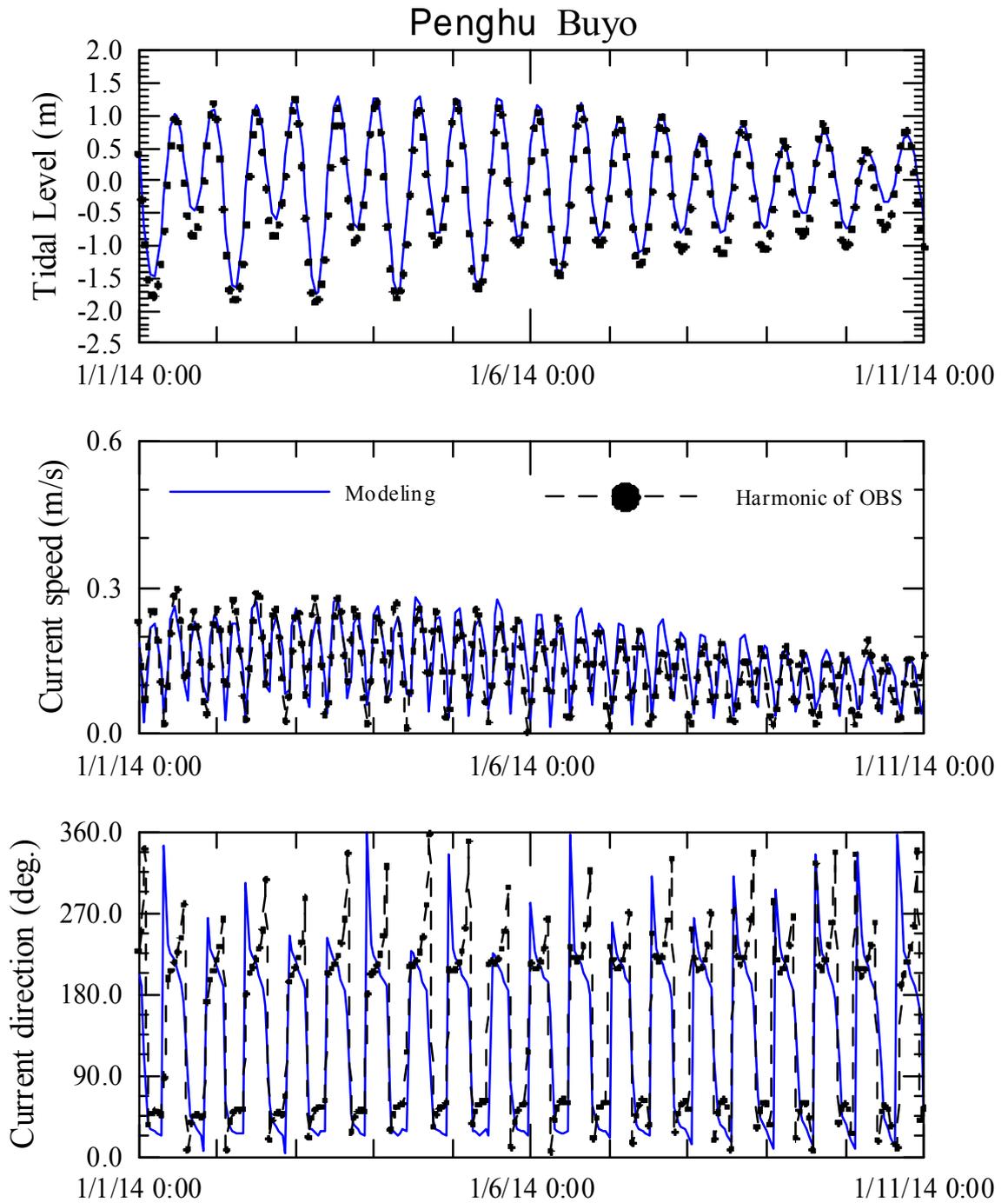


圖 4.19 澎湖海域水動力模式模擬結果與澎湖資料浮標潮流調和分析  
結果比較

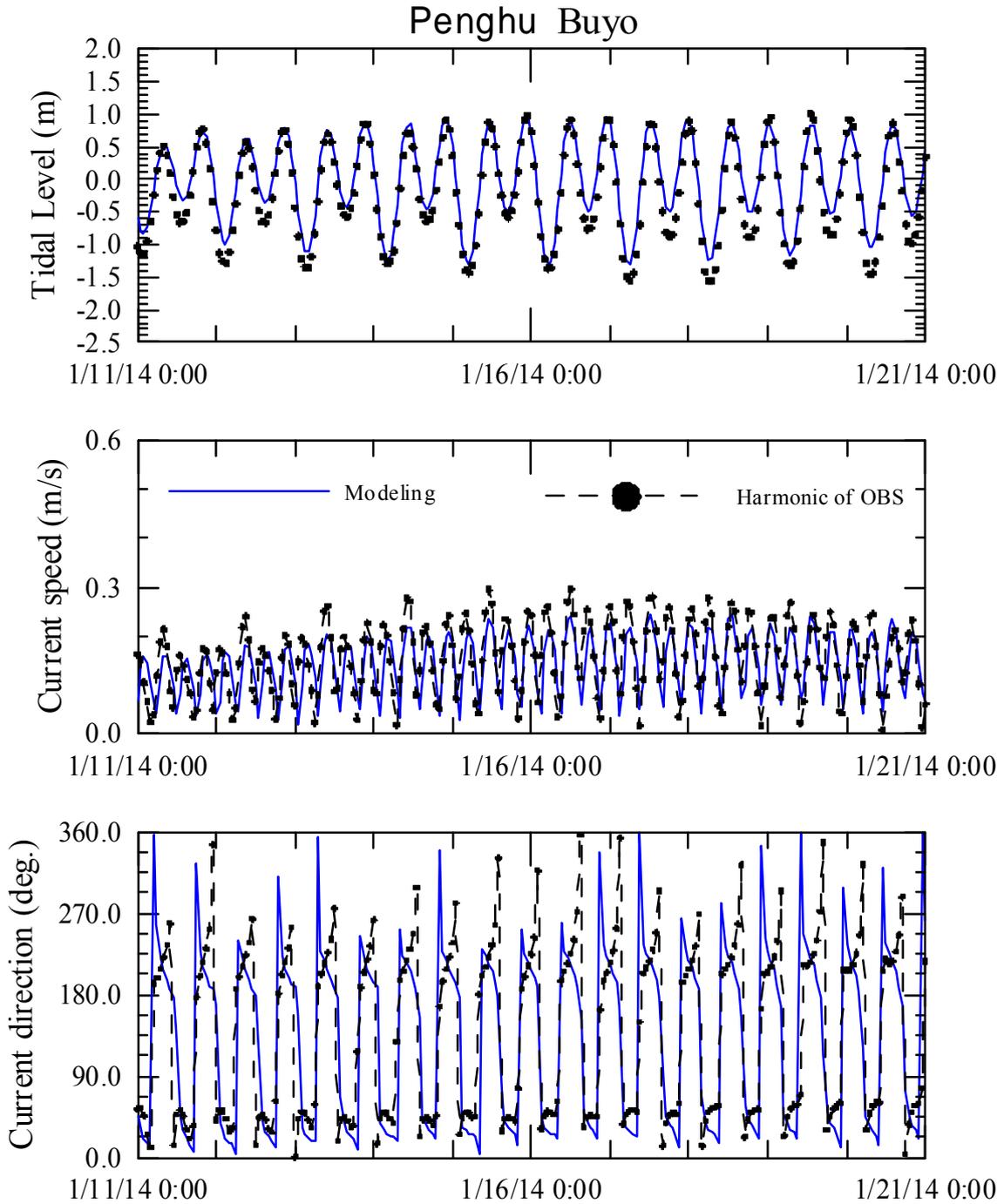


圖 4.19 (續)澎湖海域水動力模式模擬結果與澎湖資料浮標潮流調和分析結果比較

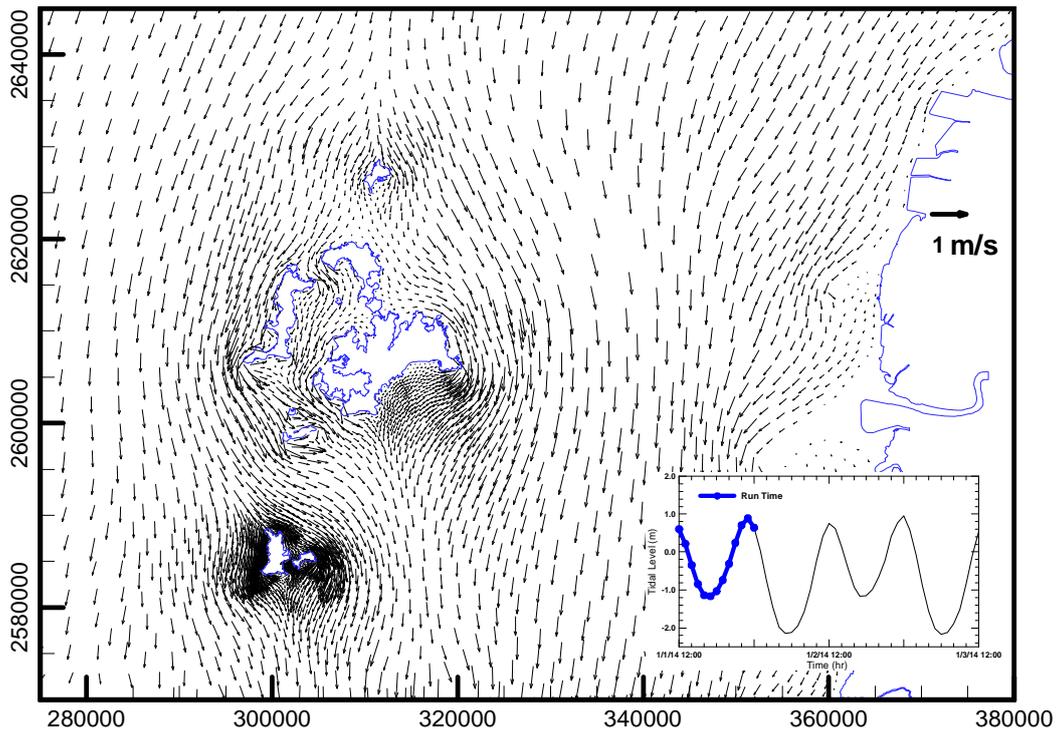


圖 4.20 澎湖海域水動力模式流場模擬結果

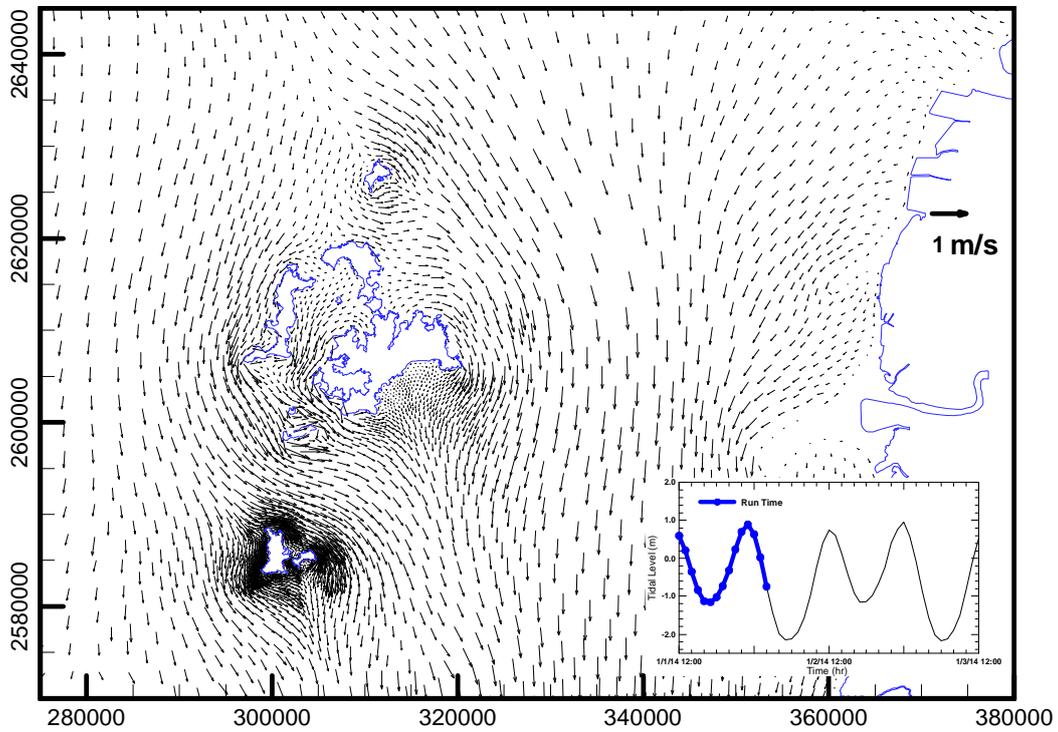


圖 4.20 (續 1)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

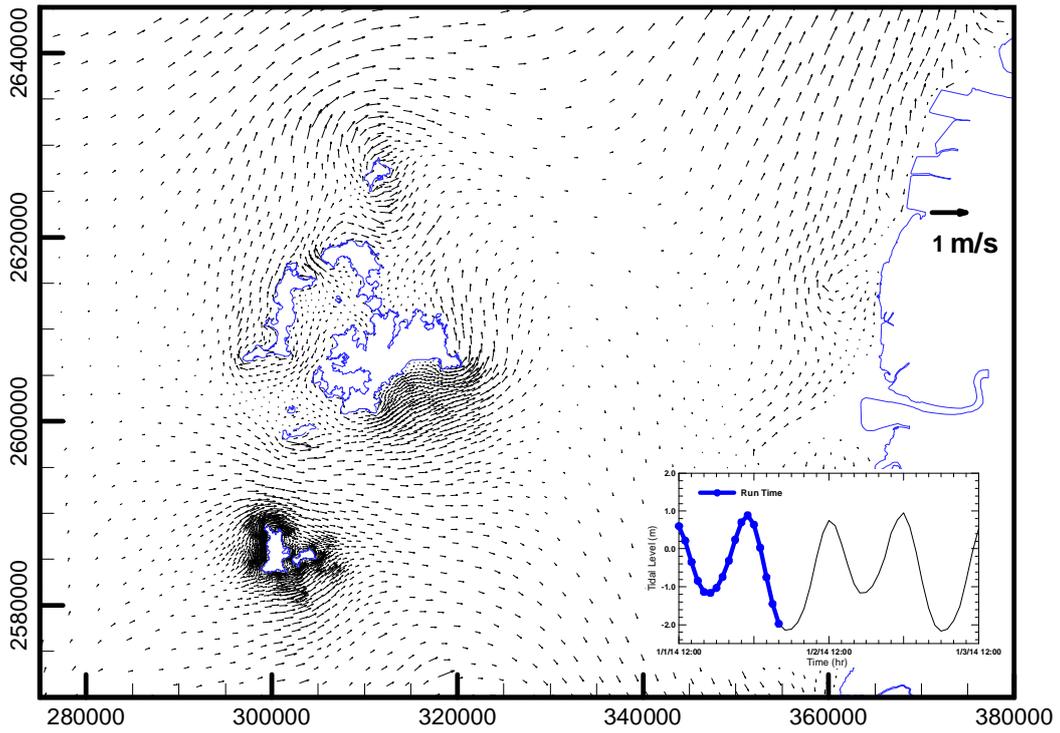


圖 4.20 (續 2)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

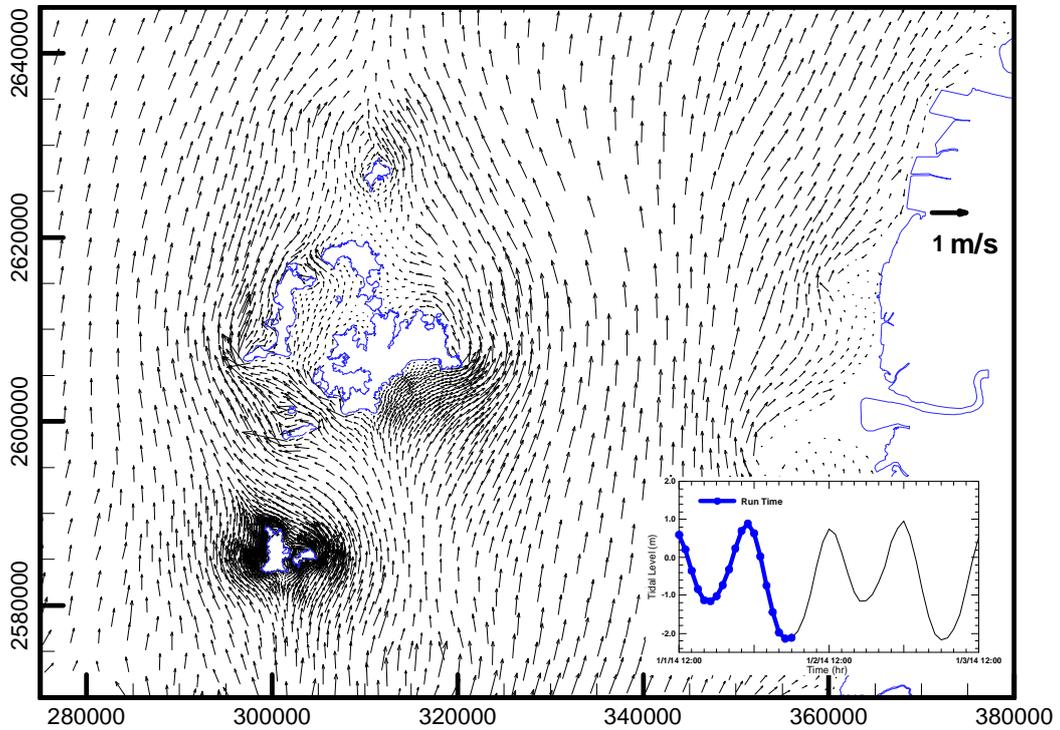


圖 4.20 (續 3)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

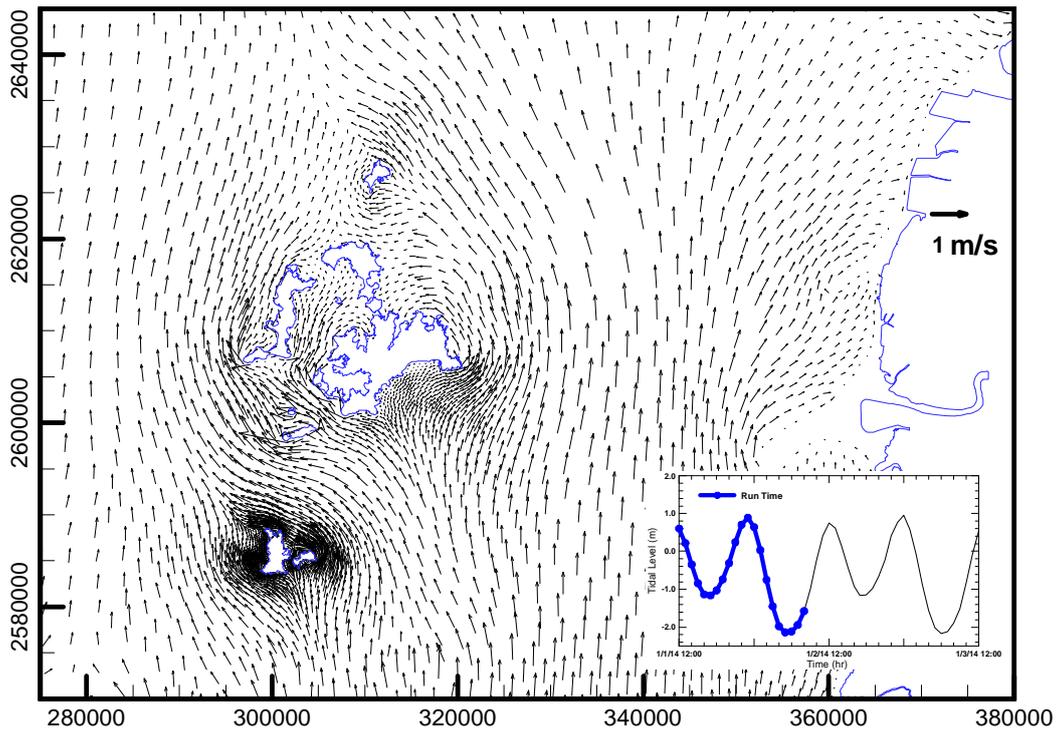


圖 4.20 (續 4)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

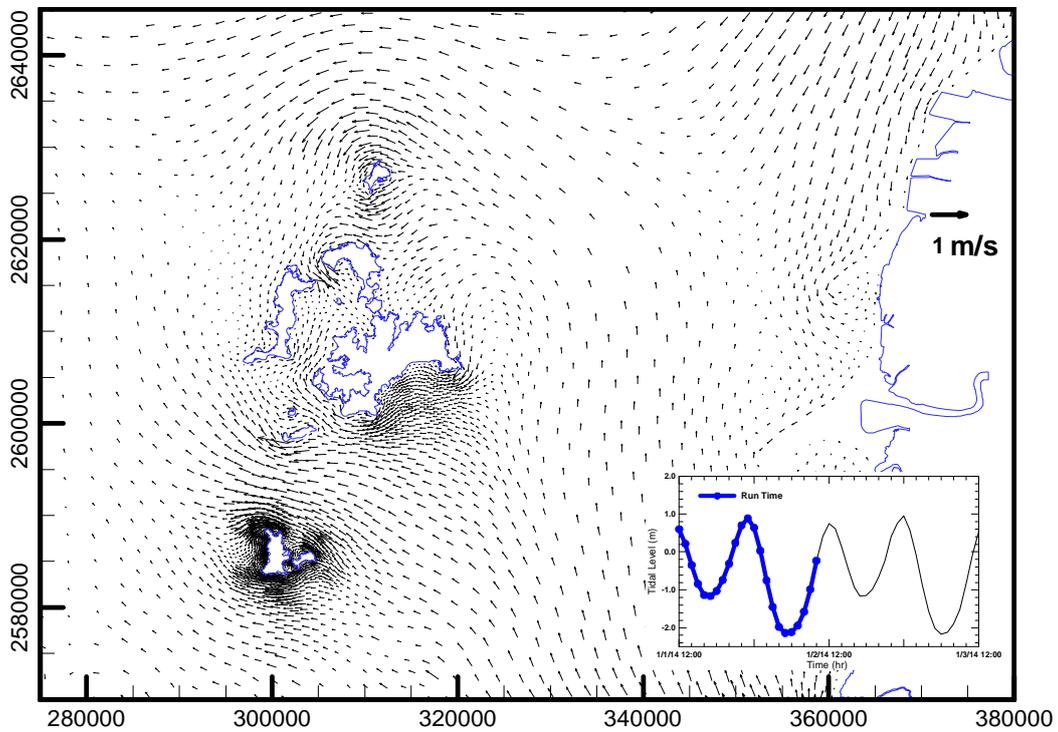


圖 4.20 (續 5)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

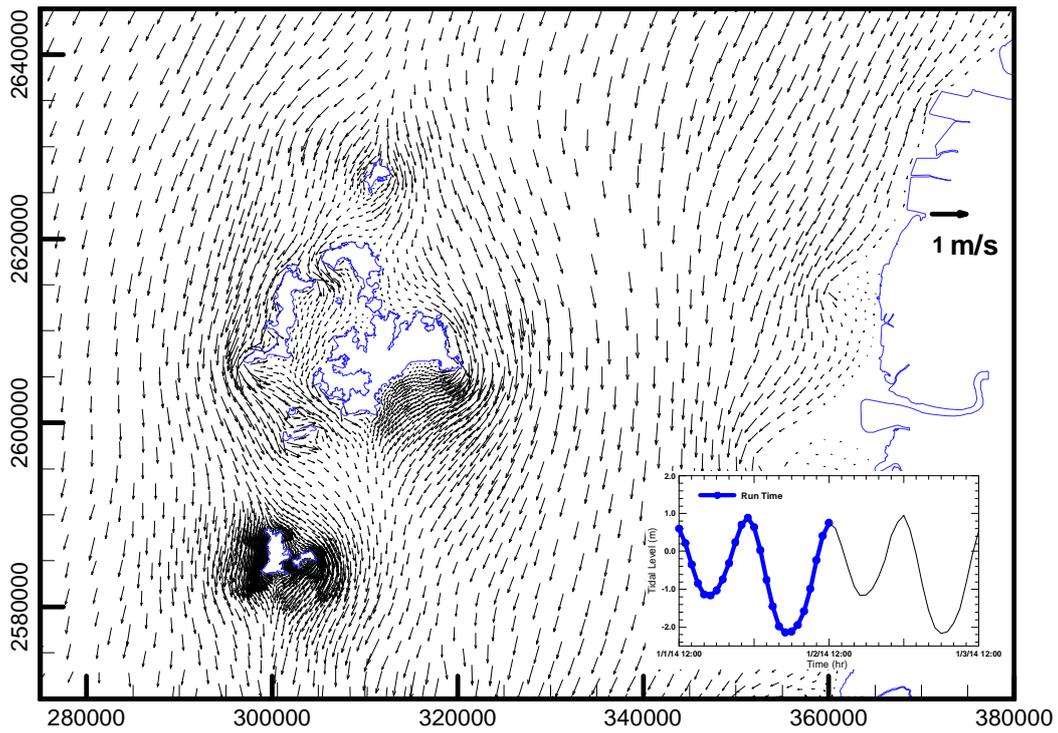


圖 4.20 (續 6)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

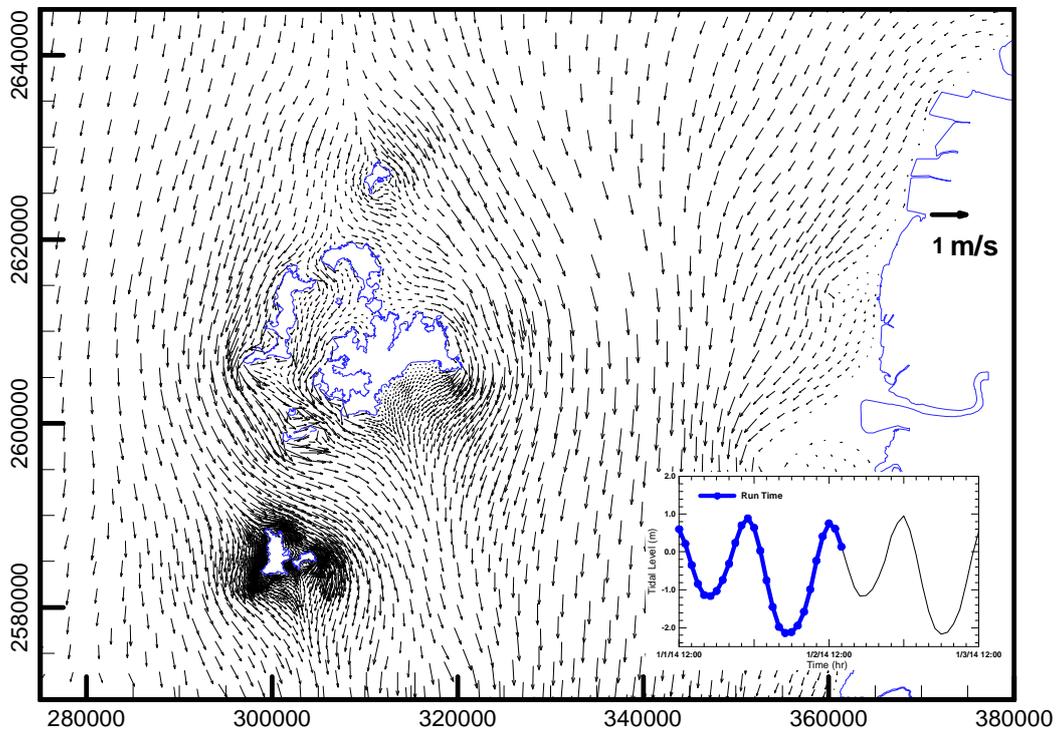


圖 4.20 (續 7)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

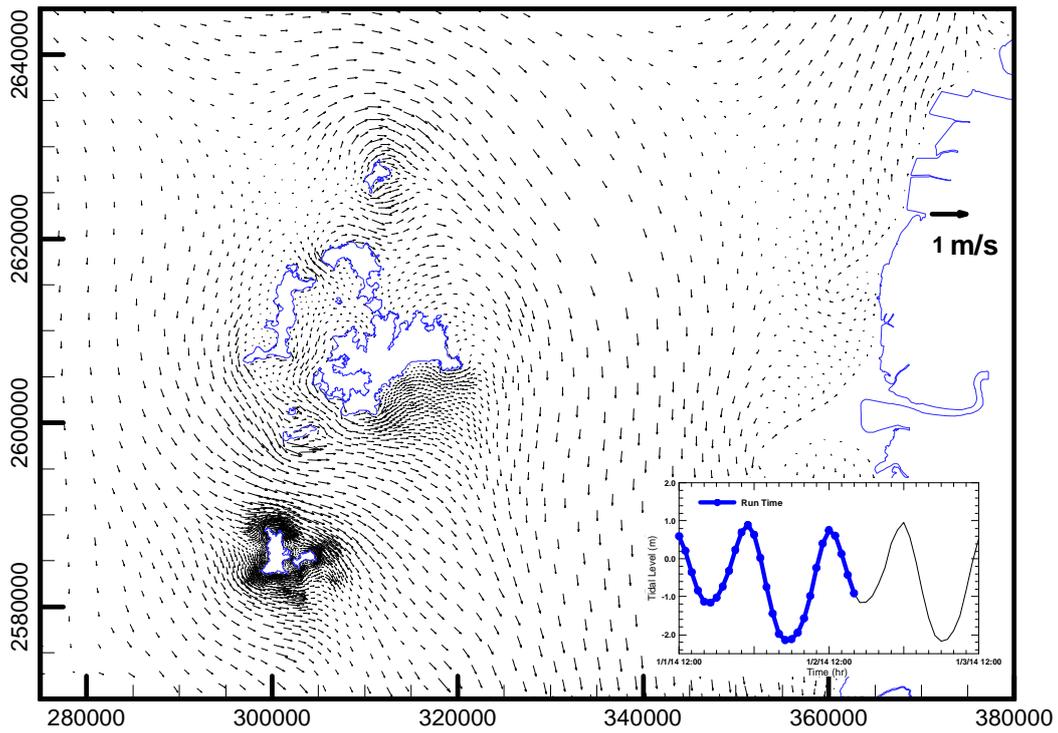


圖 4.20 (續 8)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

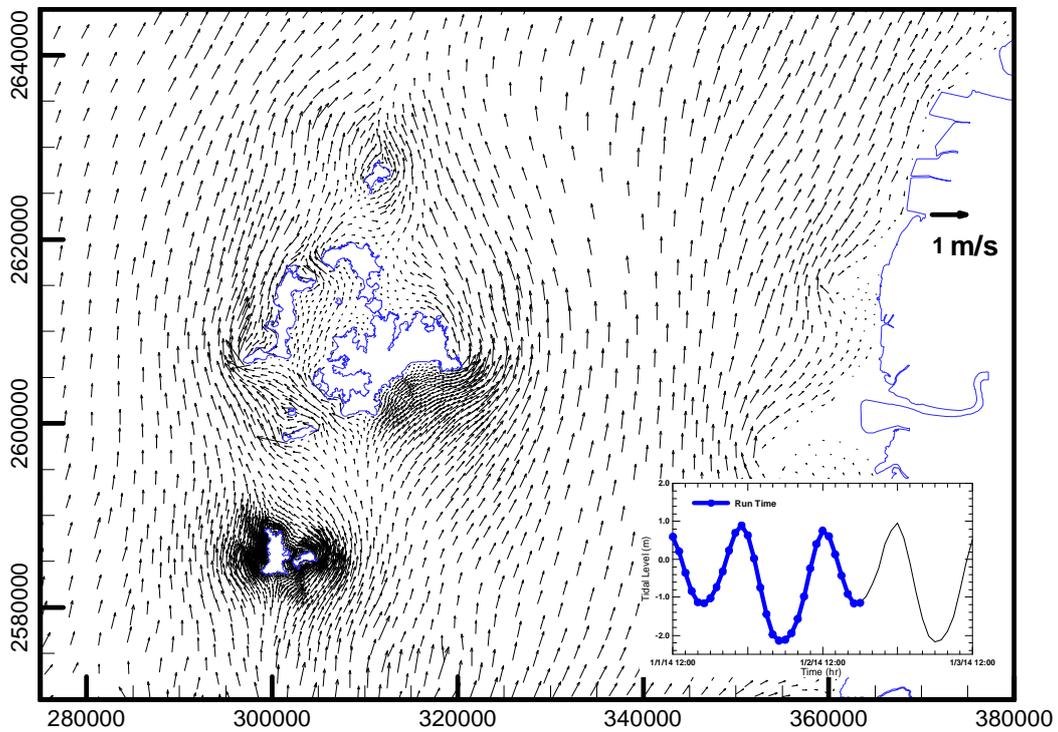


圖 4.20 (續 9)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

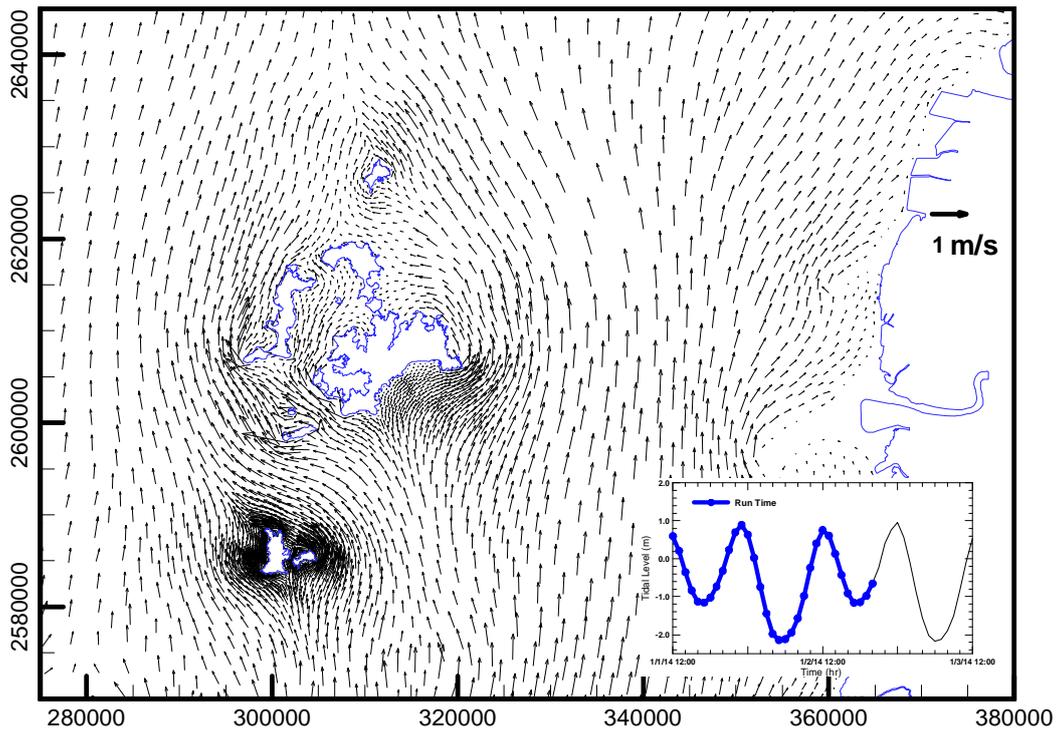


圖 4.20 (續 10)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

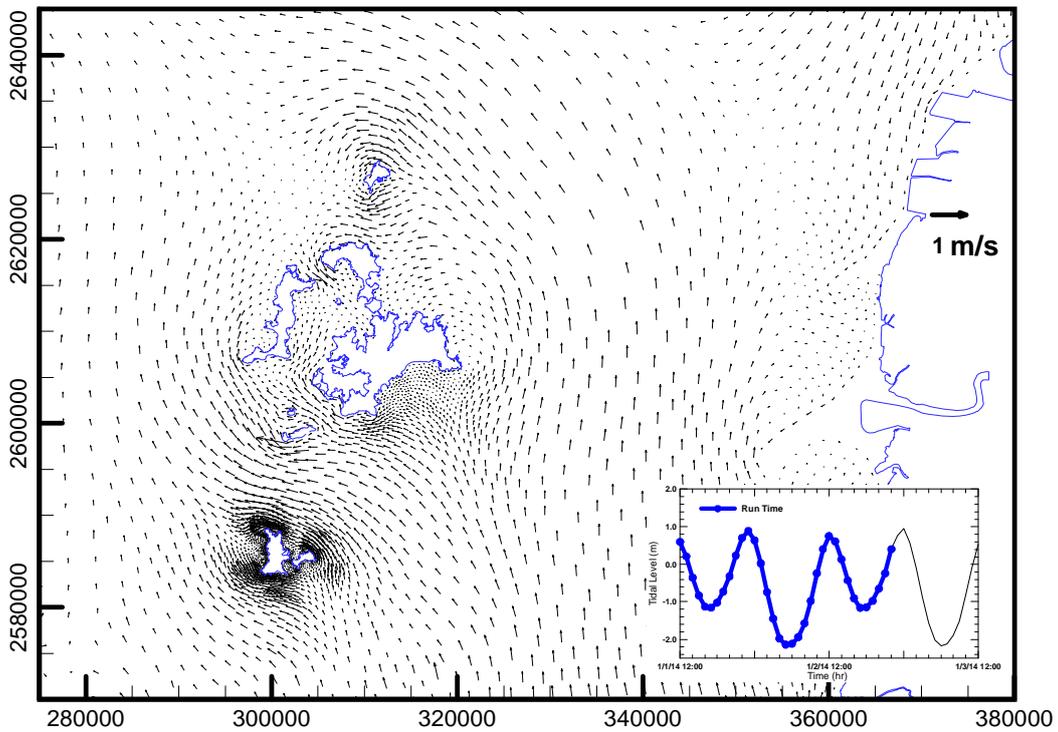


圖 4.20 (續 11)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

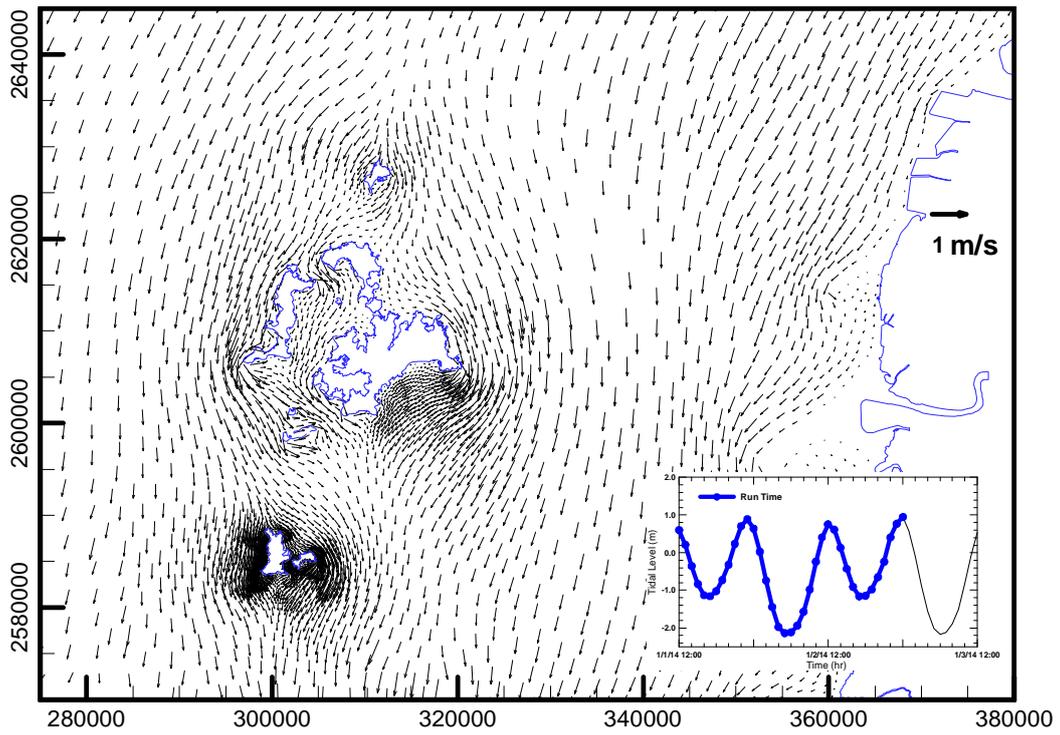


圖 4.20 (續 12)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

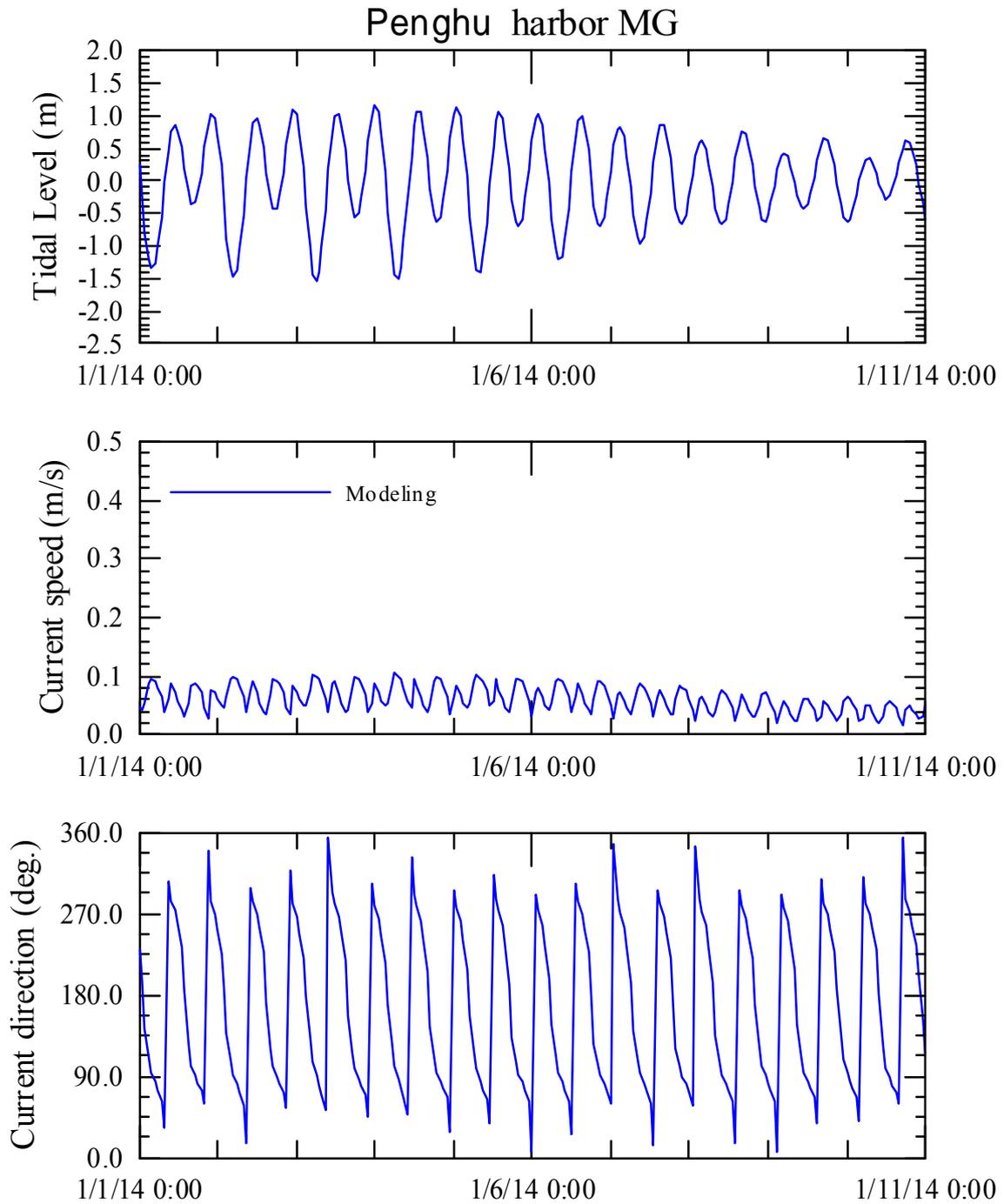


圖 4.21 澎湖港龍門尖山港區外海水位及流速流向數值模擬結果

## 4.3 海象模擬作業化系統近岸水動力模組校修

### 4.3.1 臺北港近岸水動力模式

臺北港近岸水動力模組自 2011 年建置與運作以來，港池外廓及港內構造物形狀已有顯著變化，如圖 4.22 所示；因此本年度先針對臺北港近岸水動力模組提出改善研究，內容包括數值計算網格更新、地形水深資料更新、模式邊界條件修正以及模式輸出後處理等。

1. 數值計算網格更新：臺北港近岸水動力模組目前採用的數值計算網格，如圖 4.23 所示，係由 1867 個節點及 3388 個三角形元素組成；本年度計畫依據港池現況配置修正原數值計算網格港域周圍三角元素網格配置如圖 4.24 所示，更新後的數值計算網格計有 2389 個節點及 4341 個三角形元素，如圖 4.25 所示。此外，數計網格座標系統亦更新為 TWD97 二度分帶座標系統。
2. 港域水深資料更新：本計畫利用 2013 年 11 月臺北港地形水深調查資料更新港域數值計算網格水深值。
3. 模式邊界條件修正：目前臺北港近岸水動力模組輸入的開放邊界水位資料係利用 NAO.99b 模式建立的，本年度則針對利用本計畫中尺度臺灣周圍海域水動力模式模擬結果建立小尺度近岸水動力模組開放邊界條件進行改善研究。
4. 模式輸出後處理：目前水動力模式模擬結果輸出資料內容包括逐時的一維網格節點水位及流速資料檔及含網格資料之水位及流速繪圖資料檔，前者用於直接讀取節點水位、東西向流速及南北向流速時序列資料，或利用建構的後處理程式利用有限元素網格資料檔，計算模擬範圍內海域任意位置之水位及流速(東西分量、南北分量、流速大小及流向)等時序列資料；後者除了可以直接利用繪圖軟體 TECPLOT 繪出流場向量圖及水位分布圖，亦可透過 TECPLOT 繪圖軟體查詢模擬領域內平面空間上任意點位之模擬值及其流線走向。



圖 4.22 臺北港外廓及港池配置今昔圖

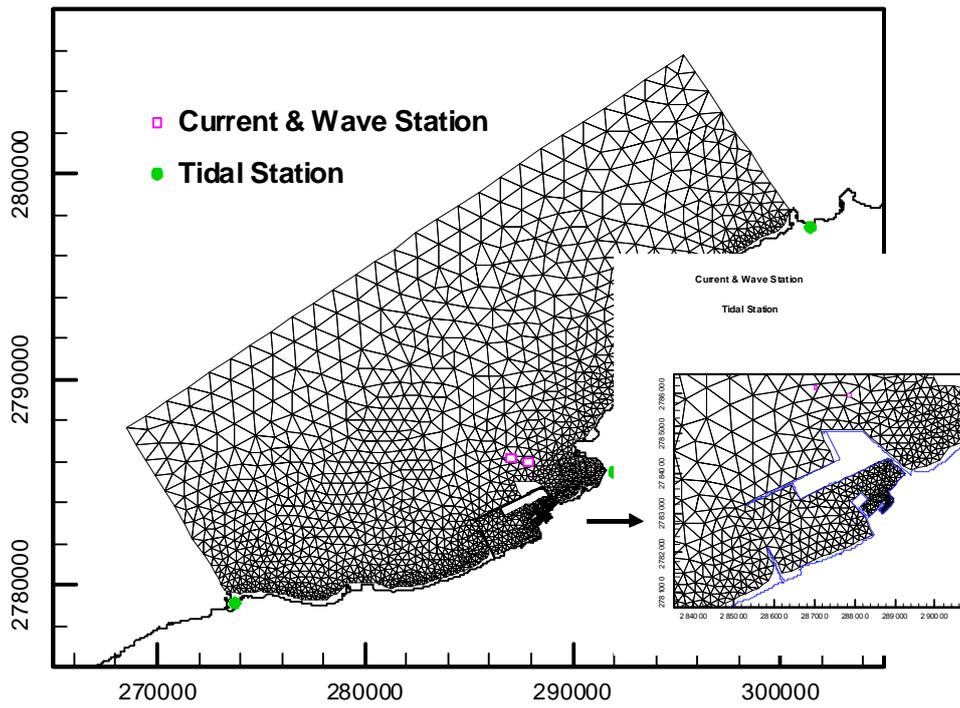


圖 4.23 臺北港近岸水動力模組前期計畫建置的數值計算網格圖

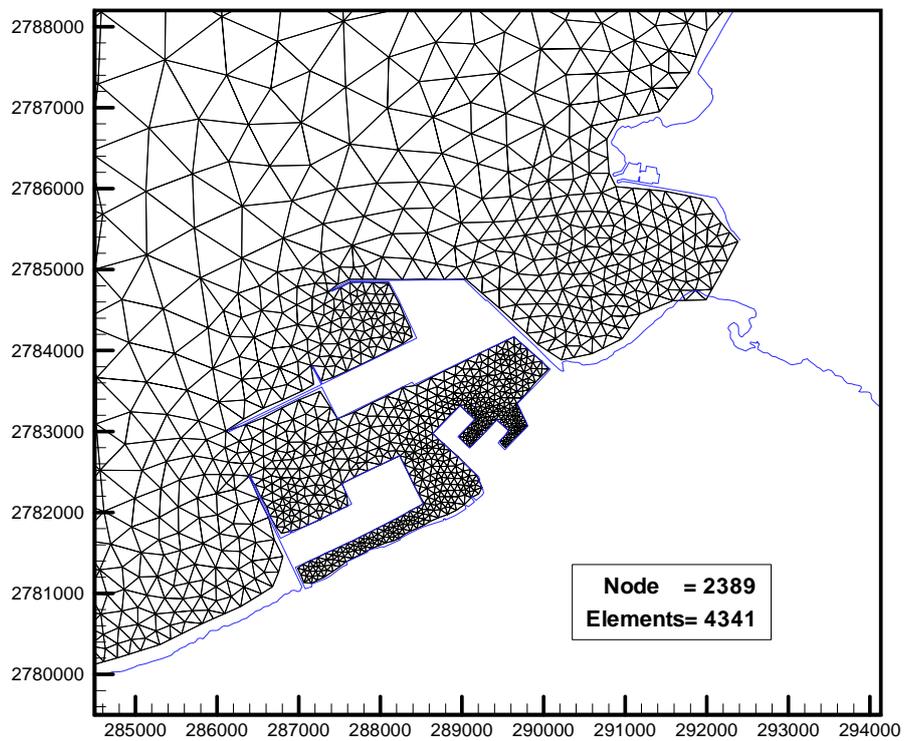


圖 4.24 本期計畫更新臺北港港域配置及數值計算網格圖

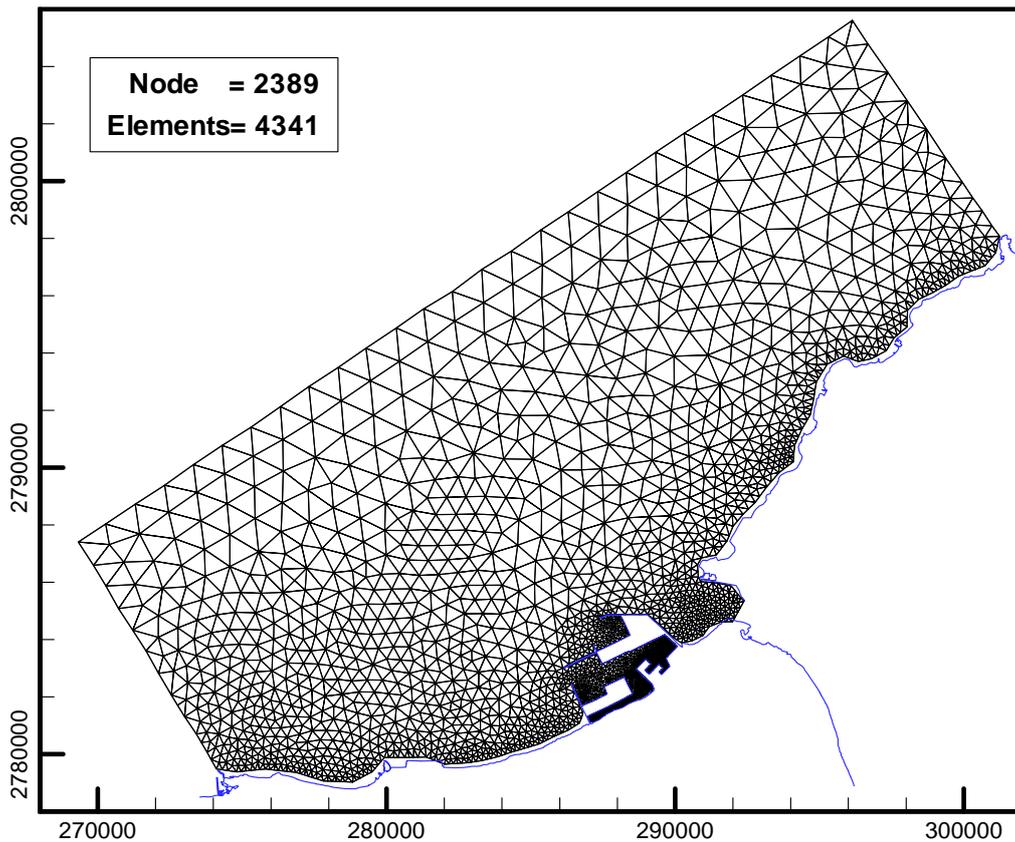


圖 4.25 臺北港近岸水動力模組本期計畫建置的數值計算網格圖

#### 4.3.2 基隆港近岸水動力模式

基隆港近岸水動力模組建置於 2011 年，模式模擬範圍及有限元素非結構性計算網格，如圖 4.26 所示，圖中數值計算網格係由 2160 個節點及 4745 個三角形元素組成。模式流場模擬結果驗證點位係參考當時波流儀施放位置，如圖 4.27 所示，圖中波流儀施放位置位於西防波堤外海處。本年度計畫針對基隆港流場模擬成果評估不佳原因進行檢討，查覺問題出自於基隆港波流儀施放位置已於 2012 年移至東防波堤延長段堤頭外海，如圖 4.28 所示，而海象模擬作業化系統基隆港近岸水動力模組水位及流場模擬結果之後處理流程未能及時配合修正所致。針對問題修正模式模擬結果驗證點位後，模式模擬結果與海流觀測資料調和分析潮流流速大小及流向比較，如圖 4.29 所示，顯示模式模擬結果與觀測資料之調和分析結果間誤差現象有明顯的改進。

此外，本年度亦針對利用中尺度臺灣周圍海域水動力模組水位模擬結果建構基隆港近岸水動力模組開放邊界水位條件方式進行研究，目的建構中尺度臺灣周圍海域水動力模組與基隆港近岸水動力模組間耦合關連性。

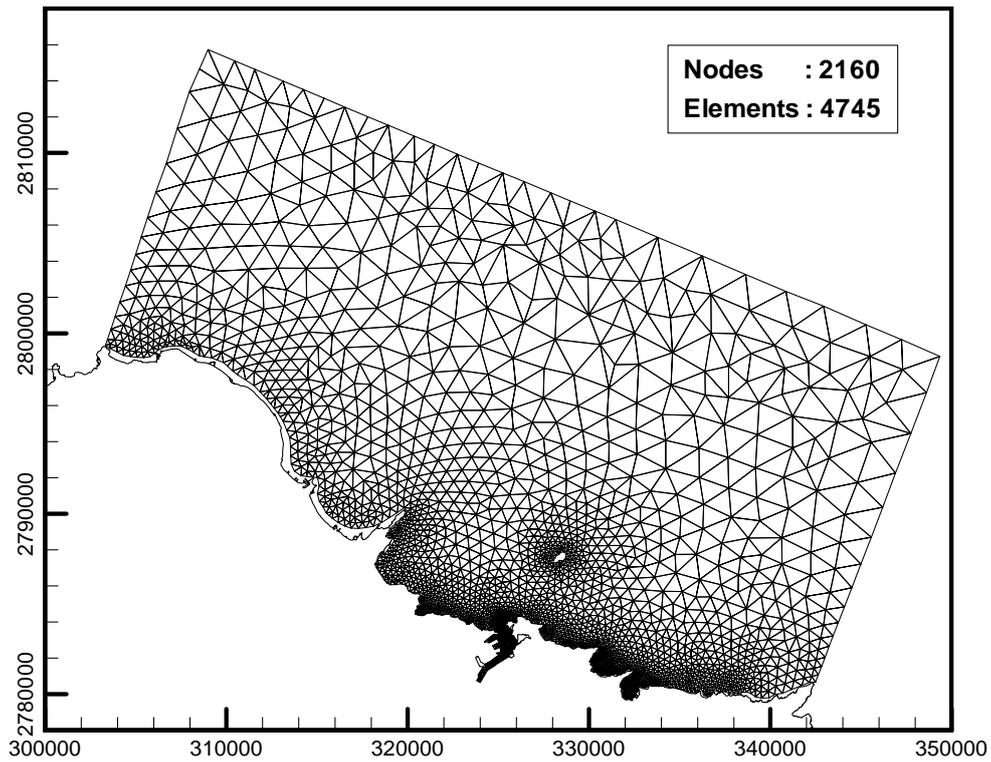


圖 4.26 基隆港近岸水動力模組模擬範圍及有限元素計算網格圖



☆ 風速儀    ◎ 潮位計    ◎ 波流儀

圖 4.27 基隆港海氣象觀測位置(2010 年)



☆ 風速儀    ◎ 潮位計    ◎ 波流儀

圖 4.28 基隆港海氣象觀測位置(2012 年)

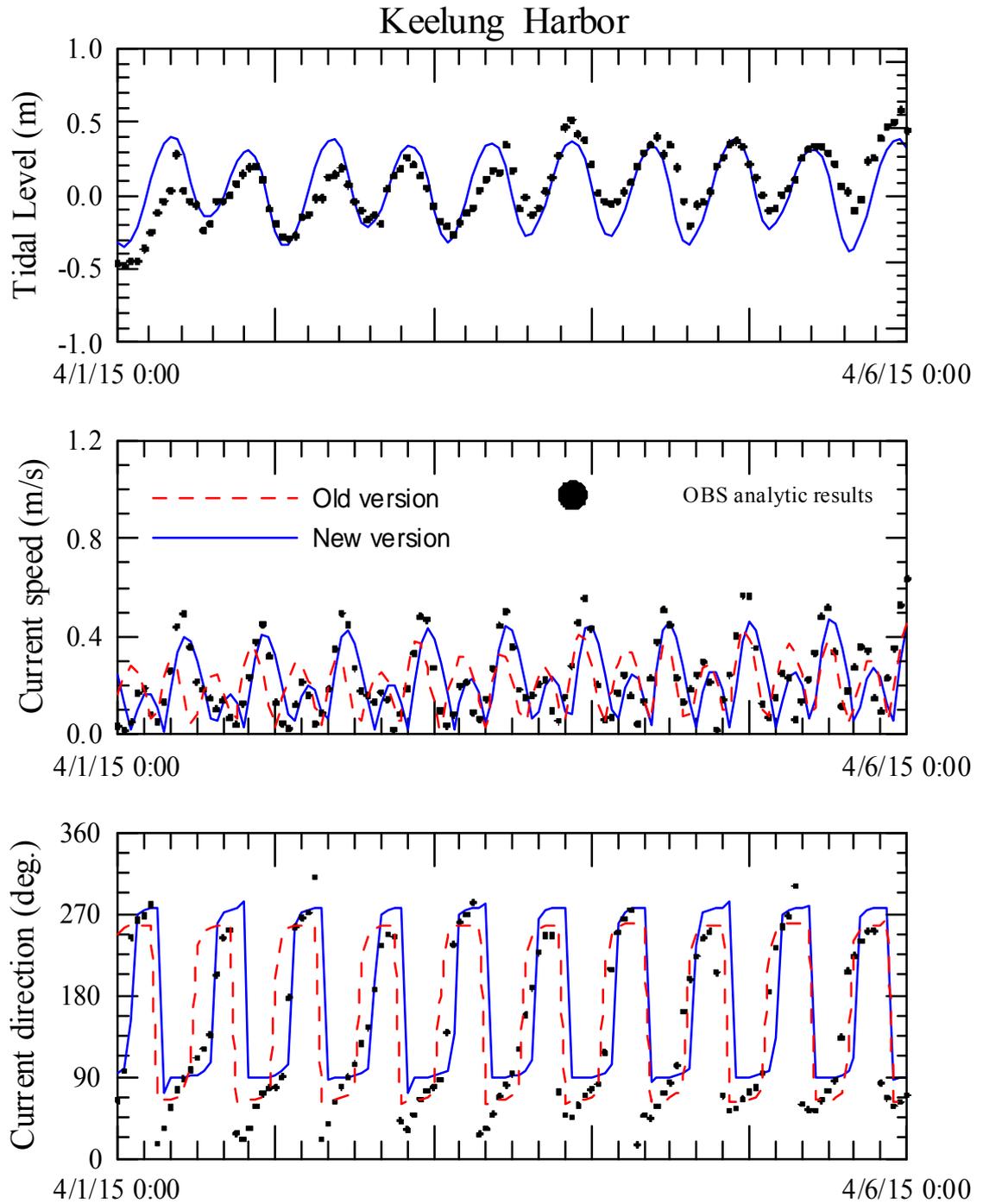


圖 4.29 基隆港水動力模組流速驗證點位修正前後模擬值之比較圖

## 第五章 海嘯模式建置與分析

### 5.1 海嘯災害及溢淹潛勢圖之必要性

#### 5.1.1 環太平洋地震帶及海嘯災害概述

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 5.1 所示。環太平洋火山帶上有一連串海溝、列島和火山，板塊移動劇烈。其主要的國家及地區有：日本、臺灣、菲律賓、印尼、紐西蘭等。東岸由阿留申群島起，經北美、中美及南美，是一個環狀地帶。世界上約 80%的震源深度小於 70 公里之地震、90%震源深度介於 70 公里和 300 公里間之地震和幾乎所有的震源深度大於 300 公里之地震都發生在這個地震帶上。

地震是海嘯成因之一，近年四起海嘯事件，南亞海嘯、薩摩亞海嘯、智利海嘯及 2011 年 3 月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 1500~2015 年共有 2361 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。

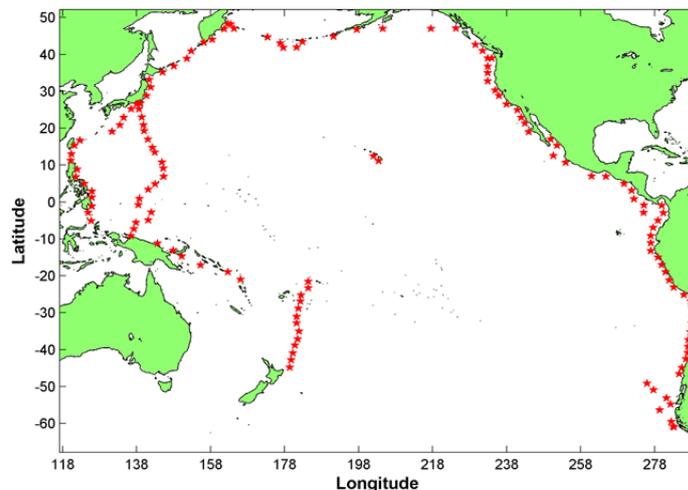
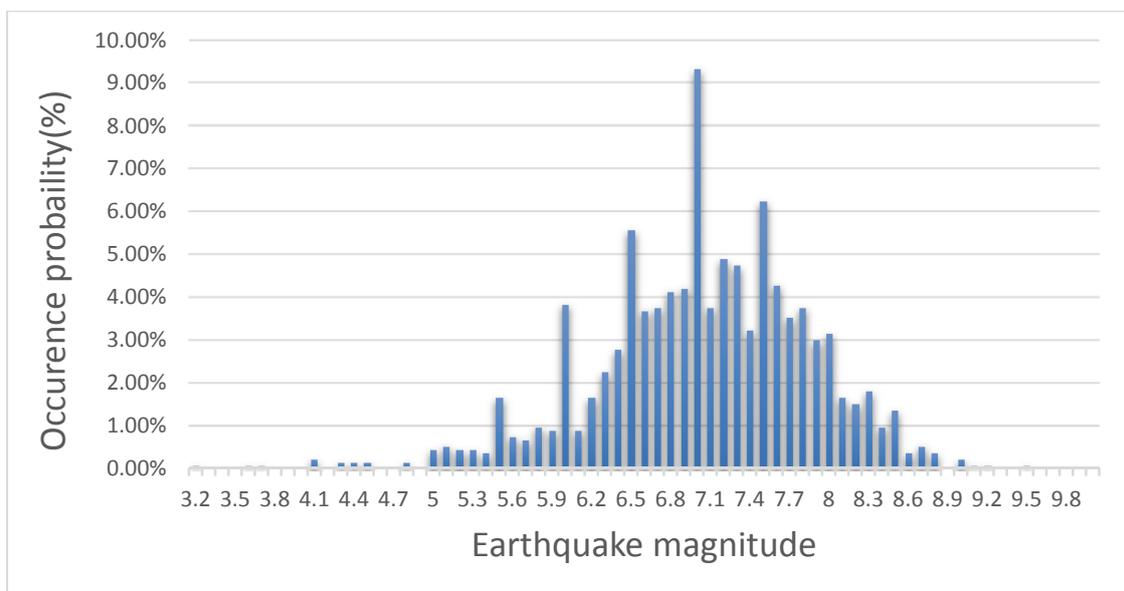


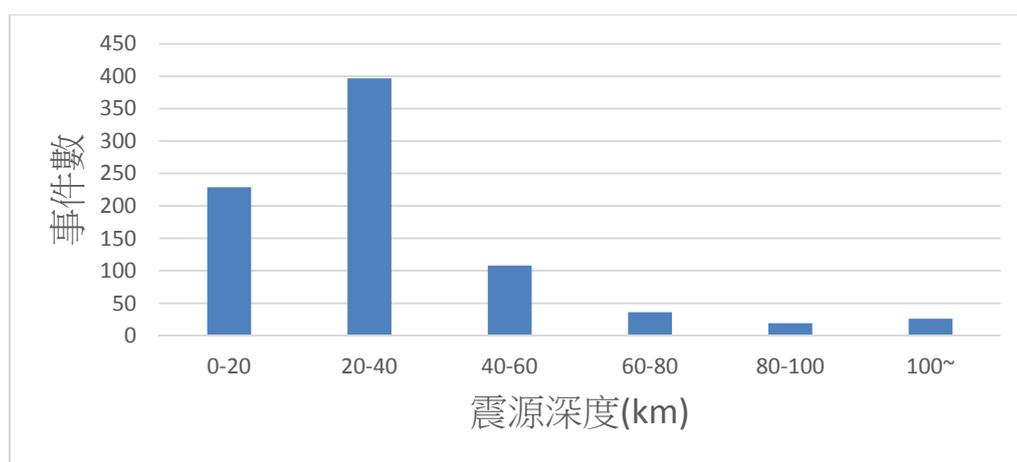
圖 5.1 環太平洋地震帶及海溝分佈(星點即是海溝位置)

圖 5.2 為海嘯事件中之地震規模分佈圖，92%之海嘯事件之地震規模均達 6.0 以上，與一般認知引起海嘯之地震所需規模相符，該圖同時也顯示超大地震的發生率甚小。在 2361 起海嘯事件，有 1342 起有紀錄震源強度，其中僅有 827 起有紀錄震源深度，震源深度 90%均發生在 60 公里以內，如圖 5.3。



資料來源：美國 NGDC/WDS 之 Global Historical Tsunami Database.

圖 5.2 1500-2015 年海嘯事件之地震規模分析



資料來源：美國 NGDC/WDS 之 Global Historical Tsunami Database.

圖 5.3 1500-2015 年海嘯事件之震源深度分析

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 12 月為止，較具規模之海嘯事件共十起，如表 5-1 所示。

表 5-1 2004~2015 年間重大海嘯事件

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	38.9	15,854
2013/2/6(8.0)	Solomon	Solomon Islands		10
2014/4/1(8.2)	Chile	Chile	4.40	

資料來源：美國 NGDC/WDS 之 Global Historical Tsunami Database.

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 日東日本海嘯事件中，由現場實況及事後調查報告均顯示即使海嘯波已經造成溢淹，其殘餘速度仍足夠衝跨目前現有之結構物。因為海嘯具有強大破壞性但也具備高度不可預測性，故自南亞海嘯之後，印度洋周邊國家開始建立區域性海嘯預警系統；美日兩國也加強與周邊國家之資訊交流，但在薩摩亞海嘯事件中證明現有之海嘯預警系統/流程對於近域海嘯幾乎無事先預警之功能。日本先前所建立之海嘯預警系統及應變措施在這次的海嘯事件中有發揮其功效，有效降低傷亡之人數。

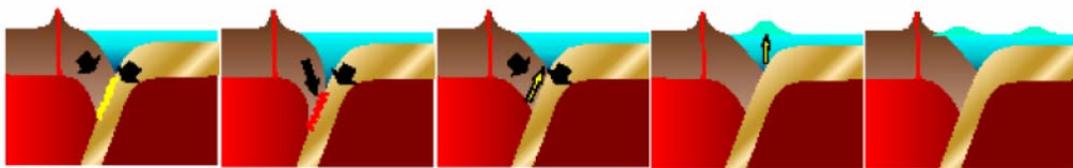
海嘯所造成之災害是全面性的，日本海嘯事件即是一個案例；海嘯震源區約位於伊豆小笠原海溝，日本東岸又屬於人口稠密區，沿岸有核電廠等重要結構物，海嘯過後所引發之火災及核電廠冷卻失靈也造成了嚴重災情及難以收拾之復建作業；雖然當地雖建有號稱海上長城之防波堤，在海嘯來襲之

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。

### 5.1.2 臺灣鄰近海域之海嘯紀錄

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。

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 5.4 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。



(資料來源：邱等，2005)

圖 5.4 板塊交界處發生錯動後引起海嘯之示意圖

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，如圖 5.5)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 年(清順治 17 年，明永曆 14 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鼈，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。」。



圖 5.5 1867 年基隆海嘯事件，雞籠頭沿海遭受海嘯之侵襲

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，其嚴重程度可見一般。

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 1500~2015 年共有 22 起海嘯事件，詳見表 5-2。花蓮海嘯事件，芮氏地震規模(ML)6.8，規模屬於近域海嘯，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 1500~2015 年之海嘯事件

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

資料來源：美國 NGDC/WDS 之 Global Historical Tsunami Database.

根據已知歷史文件記載，基隆於 1867 年發生過災難性海嘯；對於西南方而言，呂宋島、馬尼拉海溝是一個高風險之震源區域。東北方海域主要是在宜蘭龜山島附近海域、基隆外海之金山斷層及琉球海溝。蘭陽平原位於臺灣的東北部，外形為一個三角形向東開口的沖積盆地。由於沖繩海槽緊鄰在其東側，而且直觀上沖繩海槽與蘭陽平原間的地形特徵幾乎是相連接的，故研究認為蘭陽平原的構造成因應與沖繩海槽一致，即菲律賓海板塊沿著琉球弧溝系統向西北方向隱沒時，所引起沖繩海槽弧後張裂機制可往西延伸到蘭陽平原；其他的地質及地球物理觀測似乎也支持這一個模式(江，1976)。

臺灣西南方之馬尼拉海溝是研究海嘯學者認為是高風險之潛勢震源區。臺灣西南部與南部海域雖然較少活動斷層，地震頻率及規模均較少，但 2006 年兩起規模 6 以上之地震在此區產生，既有科學文獻也顯示臺灣西南海域有許多斷層帶。再加上位於臺灣南方的菲律賓與臺灣同屬於菲律賓海板塊與歐亞板塊的聚合帶，地震頻繁，呂宋島有許多活動斷層延伸至海域，大規模斷

層活動可能引發海嘯，於數十分鐘至一小時即可到達臺灣西南部海域，衝擊臺灣南部及西南部海岸。地質文獻可以看出臺灣陸地斷層其實往南延伸至海底，故對某些海底斷層，可以從陸地露頭推測之性質(陳等，2007)。

### 5.1.3 遠域海嘯紀錄

遠域海嘯部分需注意由日本北海道一帶以及由東太平洋傳遞而來之海嘯。但為利於資料之蒐集，本研究將以範圍擴展至整個環太平洋地震帶，如此上述兩個遠域海嘯之波源區亦可包含在其中(陳等，2011)。

在近幾年所發生之著名海嘯事件，當屬 2004 年南亞大海嘯、2009 年薩摩亞海嘯、2010 年海地及智利海嘯及 2011 年日本海嘯。南亞海嘯及日本海嘯對於當地造成相當慘重的災情及傷亡，其餘三起海嘯事件對於當地也產生不小之災情；1960 智利海嘯及南亞海嘯之案例證明了海嘯可傳遞相當遠的距離，對於遠海域的國家而言仍是不可輕忽；1960 年智利海嘯橫跨太平洋，連太平洋西岸之日本也遭受波及，基隆港約有 1.9 公尺之波高變化，所幸無具體之災情傳出，相關報導如圖 5.1.6 所示。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、仙臺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 2012 年至今總共發生 31 起小規模之海嘯，2013 年 2 月 6 日索羅門群島(Solomon Islands)造成 10 人死亡、15 受傷、588 房屋遭損毀，而其中 2012 年 10 月 28 日加拿大(Canada)所產生 12.98 公尺的最大波高及 2014 年 1 月 23 日智利(Chile)4.4 公尺最大波高，其震源深度分別為 14 公里及 20 公里，均屬極淺地震。



圖 5.6 1960 年基隆遭受智利海嘯襲擊之紀錄

#### 5.1.4 海嘯之預警與溢淹潛勢圖之必要性

海底火山或山崩造成的海嘯十分罕見，因此本研究以探討斷層發生地震造成的海嘯為主。根據歷史資料，會產生海嘯的地震至少要 6.7 級以上，震源深度最多不超過 100 公里。地震時，斷層可能左右運動，也可能上下運動；目前一般的看法認為海底地震若是左右運動，對海水影響不大，但海底若是上下運動，可能引起海嘯。然而即使在斷層接近水平錯動的 2008 年海地地震，也有三位民眾因海嘯而死亡(Fritz 等人, 2012)；可見地震造成海嘯的可能性絕不能輕忽。

海嘯是海底地震、海底火山或海底山崩等作用造成的長週期波，小行星、彗星的撞擊也會產生海嘯；但一般以地震斷層運動造成的情形最常見。臺灣位於環太平洋地震帶，地震頻仍；較近的例子如 921 大地震，地表斷層上下運動(如圖 5.7)最大可達十公尺，同樣的斷層運動萬一發生在海上，將產生大海嘯，造成重大傷亡。因此吾人須正視臺灣可能的海嘯風險。



圖 5.7 1921 大地震造成地表斷層上下錯動

## 5.2 海嘯速報系統建置及實例探討

### 5.2.1 海嘯速報系統及海嘯預警系統

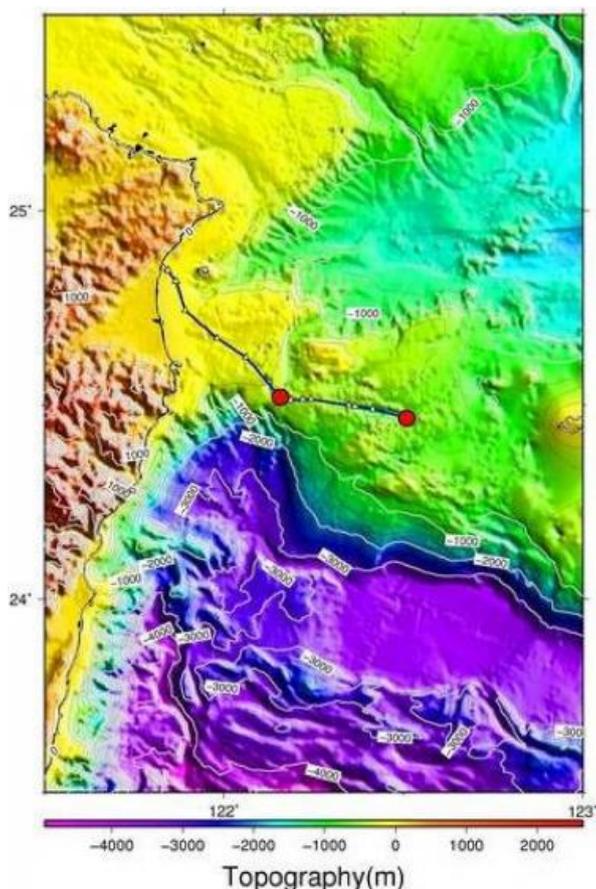
自 2004 年南亞海嘯之後，各國有感於海嘯所帶來之天災，故開始致力研發或是佈置海嘯預警系統 (Tsunami Warning System, 簡稱 TWS)。經由發布警報以避免生命與財產的損失。主要由兩個元件所構成，一個是偵測海嘯的感測器，另一個是即時發布警報以疏散沿海區域避難的通信基礎設施。海嘯預警系統有區分為國際性及地域性，前者最著名的即是美國太平洋海嘯預警中心(Pacific Tsunami Warning Center)，環太平洋地區之海嘯警報大多數即是由該單位發布警報通知鄰近諸國，我國中央氣象局即是接收該單位所傳來的訊息進行海嘯警報發布，例如 2011 年 3 月 11 日東日本海嘯事件、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；簡稱媽祖計畫)，其佈放位置圖如圖 5.8 所示。

媽祖計畫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，本計畫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。



(臺灣東部外海長達 45 公里)

圖 5.8 電纜式海底地震儀觀測系統(媽祖計畫)之佈放位置

## 5.2.2 海嘯數值模式介紹

海嘯由於與強烈之海底地震有關，所以地震預測技術尚未進入實際應用階段，是以海嘯也無法事先進行預測作業；但海嘯波之速度遠小於彈性波之波速；因此，海嘯相較於地震有更多之應變時間。海嘯模擬通常藉由海嘯數值模式在獲知地震訊息時進行運算，雖說海嘯有較多之應變時間，但依我國週遭之海嘯潛勢震源分布特性而言，近域海嘯在 20-30 分鐘即可到達陸地，應變時間略顯急迫；因此，若能以資料庫之概念製作海嘯波高資料庫，以期在海嘯發生初期即可利用資料庫得知各港口可能之水位變化及到達時間，可大幅地提高防災應變之時效性。要建置波高資料庫、溢淹模擬及機率分析必需借重海嘯數值模式。其速報精度及效率，依東日本海嘯之實例測試顯示，系統能於 1-2 分鐘之內完成單一點模擬。

### 5.2.2.1 海嘯水動力數值模式

數值模式以數值方式解析物理方程式，其解析能力主要由物理方程式所決定。依物理方程式的解析能力來分，海嘯水動力數值模式可簡單分為一維、二維與三維三種類型。早期海嘯模擬採用類似於海岸工程之射線(ray)法的一維海嘯模式；一維模式在電腦普及後，因較費人工，且對繞射、邊緣波等現象無法處理，現已無人使用。

三維海嘯水動力模式最為全面、完整，但也最複雜、耗時。所幸最常見的海嘯成因--地震，其引致海嘯的機制是由斷層錯動推動海水面的升降，從而引發重力波所致。此重力波之波速遠小於地震的彈性波，故可假設水面是瞬間抬升或陷落；此種抬升或陷落之初始條件很容易在二維海嘯水動力模式給定，因此海嘯之波源、傳播及溯上、溢淹皆可以二維海嘯模式加以模擬。根據學者研究 (Murty, 1979) 也證明海水的層化效應對海嘯的影響甚微。因此就海嘯傳播而言，模擬的方式僅限於二維模式；除非探討細部的流況或受力，才有採用三維模擬的必要。由於上述的因素，一般所謂海嘯模式皆指二維模式，而本文也只討論二維海嘯模式。

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(陳等,

2011; 陳等, 2012)。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。

而 COMCOT 模式之基本理論是淺水方程組(shallow water equations)，由康乃爾大學劉立方教授領導建立(Liu 等人, 1998)，至今已進行多次改版。1 版到 1.4 版之發展時間可上溯至 1993-2002，較新的 COMCOT 1.6 版發展時間則為 2003-2007；最新的 COMCOT 1.7 版發展時間由 2008 到現在。COMCOT 1.6 版與 1.7 版皆為康乃爾大學畢業生王曉民(Xia-ming Wang)博士發展與維護。我們研究團隊前期採用 COMCOT 1.6 版為基礎，加入 OpenMP 平行運算語法，檔案輸出由文字檔更動為 nc 檔(netcdf)；近期則採用 COMCOT 1.7 版(陳與陳, 2012; 陳等, 2013)。

除了 COMCOT 模式之外，日本東北大學的 TUNAMI(Tohoku University Numerical Analysis Model for Investigation of tsunamis) 模式脫胎於 1991 開始的 TIME (Tsunami Inundation Modeling Exchange) 計畫，使用的機構遍佈全世界；NOAA 的 MOST (Method Of Splitting Tsunami) 模式也有不少使用者。模式之基本理論同樣是淺水方程組。在卡氏座標中非線性之淺水方程組可寫為：

$$\eta_t + P_x + Q_y = 0 \quad (5.2.1)$$

$$P_t + \left(\frac{P^2}{H}\right)_x + \left(\frac{PQ}{H}\right)_y + gH\eta_x - fQ + \tau_x H = 0 \quad (5.2.2)$$

$$Q_t + \left(\frac{PQ}{H}\right)_x + \left(\frac{Q^2}{H}\right)_y + gH\eta_y + fP + \tau_y H = 0 \quad (5.2.3)$$

式中  $t$  是時間， $\eta$  為自由表面之變動水位， $H$  為全水深， $P$  及  $Q$  分別為  $x$  與  $y$  方向之流量， $g$  為重力加速度， $f$  為科氏參數， $\tau_x$ 、 $\tau_y$  分別為  $x$  與  $y$  方向底部摩擦力。

除淺水方程組外，Boussinesq 方程式也是二維，但比淺水方程組多出了非靜水壓的頻散(nonhydrostatic dispersion)效應。惟 Boussinesq 方程式為解析頻散效應，引入高階微分項，容易造成數值不穩定。再者，如陳(2007)所述，一般使用於海嘯傳播模擬的網格尺度並無法顯示頻散效應，因此無論使用哪一種方程式結果都差不多；故在深海的粗網格架構下使用 Boussinesq 方程式意義不大。

至於溯上、溢淹的模擬，Synolakis & Skjelbreia(1993)曾證明採用靜水壓近似的淺水方程組模式可以描述表面波與海底地形交互作用之碎波、溯上過程中的波高變化；這是由於斜坡距離有限，在短暫的溯上過程中，非靜水壓效應引起的頻散不足以發揮影響。故在近岸的溯上模擬使用 Boussinesq 方程式也無重要意義，使用非線性之淺水方程組即足以描述其過程。而模擬在大洋中的傳遞，其科氏力及地球曲面效應不可忽略，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。

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：

- (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：

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \left[ \frac{\partial P}{\partial \psi} + \frac{\partial}{\partial \varphi} (\cos \varphi Q) \right] = 0 \quad (5.2.4)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{gh}{R \cos \varphi} \frac{\partial \zeta}{\partial \psi} - fQ \\ & = \frac{1}{R \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \psi} \left[ \frac{h^3}{3R \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial t} \left\{ \frac{\partial}{\partial \psi} \left( \frac{P}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \cos \varphi \frac{Q}{h} \right) \right\} \right] \end{aligned} \quad (5.2.5)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{gh}{R} \frac{\partial \zeta}{\partial \varphi} + fP \\ & = \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left[ \frac{h^3}{3R \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial t} \left\{ \frac{\partial}{\partial \psi} \left( \frac{P}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \cos \varphi \frac{Q}{h} \right) \right\} \right] \end{aligned} \quad (5.2.6)$$

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(5.2.4)式至(5.2.6)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。

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} - \frac{gh}{R^2 \cos^2 \varphi} \left[ \frac{\partial^2 \zeta}{\partial \psi^2} + \cos \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \cos \varphi \frac{\partial \zeta}{\partial \varphi} \right) \right] \\
&= \frac{gh^3}{3R^4 \cos^4 \varphi} \frac{\partial^4 \zeta}{\partial \psi^4} + \frac{gh^3}{3R^4 \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left[ \cos \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi} \left\{ \frac{1}{\cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \cos \varphi \frac{\partial \zeta}{\partial \varphi} \right) \right\} \right] \quad (5.2.7) \\
&+ \frac{gh^3}{3R^4 \cos^3 \varphi} \left[ \frac{\partial^3}{\partial \psi^2 \partial \psi} \left( \cos \varphi \frac{\partial \zeta}{\partial \varphi} \right) + \cos^2 \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi} \left\{ \cos \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \frac{1}{\cos^2 \varphi} \frac{\partial^2 \zeta}{\partial \psi^2} \right) \right\} \right]
\end{aligned}$$

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，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，如圖 5.9 所示。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)：

$$\frac{P_{i+1/2,j}^{n+1} - P_{i+1/2,j}^n}{\Delta t} + gH \frac{\zeta_{i+1,j}^{n+1/2} - \zeta_{i,j}^{n+1/2}}{\Delta x} = 0 \quad (5.2.8)$$

$$\frac{Q_{i,j+1/2}^{n+1} - Q_{i,j+1/2}^n}{\Delta t} + gH \frac{\zeta_{i,j+1}^{n+1/2} - \zeta_{i,j}^{n+1/2}}{\Delta y} = 0 \quad (5.2.9)$$

$$\frac{\zeta_{i,j}^{n+1/2} - \zeta_{i,j}^{n-1/2}}{\Delta t} + \frac{P_{i+1/2,j}^n - P_{i-1/2,j}^n}{\Delta x} + \frac{Q_{i,j+1/2}^n - Q_{i,j-1/2}^n}{\Delta y} = 0 \quad (5.2.10)$$

若近岸地區時，改採卡氏坐標系統，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)：

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0 \quad (5.2.11)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} P + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{P^2}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{PQ}{H} \right) + gH \frac{\partial \zeta}{\partial x} - fQ + \tau_x H = 0 \quad (5.2.12)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{PQ}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{Q^2}{H} \right) + gH \frac{\partial \zeta}{\partial y} + fP + \tau_y H = 0 \quad (5.2.13)$$

式中  $t$  是時間， $\zeta$  為自由表面之變動水位， $H$  為全水深， $P$  及  $Q$  分別為  $x$  與  $y$  方向之流量， $g$  為重力加速度， $f$  為科氏力參數， $\tau_x$ 、 $\tau_y$  分別為  $x$  與  $y$  方向底部摩擦力。

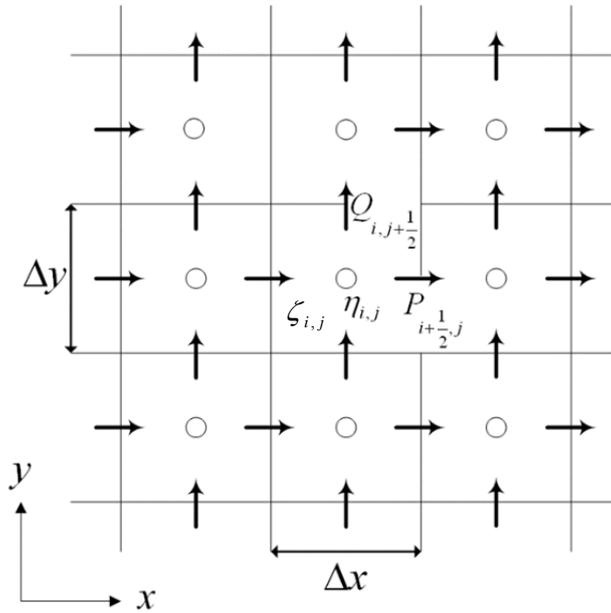


圖 5.9 交錯式有限差分網格

底部摩擦項可使用 Chezy 公式，

$$\tau_x = \frac{g}{C_f^2 H^3} P (P^2 + Q^2)^{1/2}, \quad \tau_y = \frac{g}{C_f^2 H^3} Q (P^2 + Q^2)^{1/2} \quad (5.2.14)$$

或曼寧公式

$$\tau_x = \frac{gn^2}{H^{10/3}} P (P^2 + Q^2)^{1/2}, \quad \tau_y = \frac{gn^2}{H^{10/3}} Q (P^2 + Q^2)^{1/2} \quad (5.2.15)$$

(5.2.14)式中的  $C_f$  表示 Chezy 公式的摩擦係數，而(5.2.15)式  $n$  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 4.10 及圖 4.11 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)， $\zeta$  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 5.10 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 5.11 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。

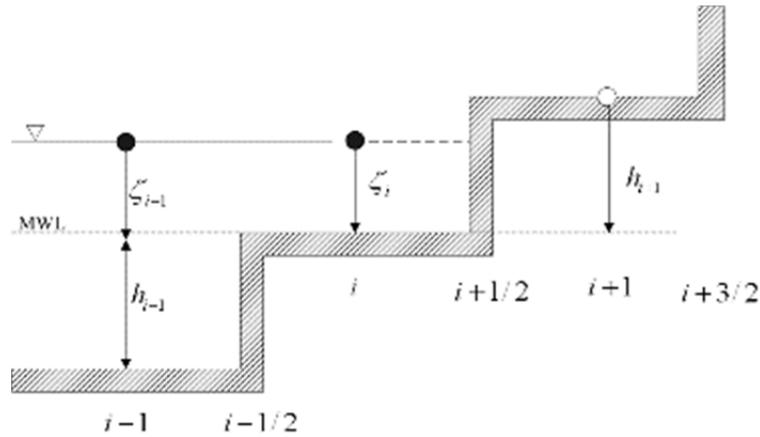


圖 5.10 移動邊界示意圖(a)

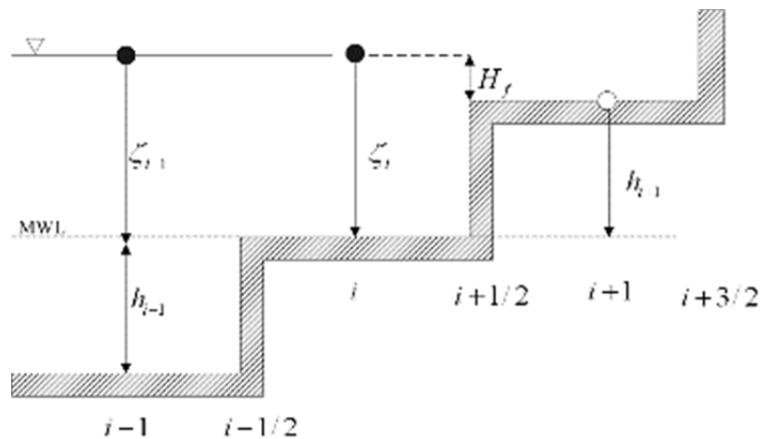


圖 5.11 移動邊界示意圖(b)

(1) 若  $H_{i+1} \leq 0$  且  $h_{i+1} + \zeta_i \leq 0$ ，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  $h_{i+1} + \zeta_i > 0$ ，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  $h_{i+1} + \zeta_i$  和  $h_{i+1} + \zeta_{i+1}$  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  $h_{i+1} + \zeta_i$  和  $h_{i+1} + \zeta_{i+1}$  二者之較大者。

以上海岸線的移動過程中，不僅能滿足質量守衡，在移動邊界之處理亦能得到合理的結果。 $H$  在模式內是兩個網格之平均值，一般出現在海陸地形交界處，在多起模擬案例中，目前尚未遇到剛好等於 0 的情形。為避免模式產生計算誤差，可考慮在模式加入條件式，設定  $H = 0$  時，給予一極小值。

本模式在上下左右四側的邊界設定皆為幅射邊界條件，波浪傳遞至此處時，必須予以適當的計算處理，以消除波浪在此邊界產生之反射現象。計算過程中，假設網格邊界上之水流方向，令流出計算區域時之水位為負值，代表下降；流入計算區域時之水位為正值，代表上升，根據此方法來控制平衡網格邊界上之水位流量，順利解決此開放邊界上的干擾現象。

### 5.2.2.2 海嘯數值模擬與巢狀網格

海嘯在大洋的波長尺度較大，其模擬可容許使用較粗的網格；因此如果模式計算的區域相當大，通常會將網格數減少，網格間距加大，以節省模式的運算時間。到了近海，水深變淺，海嘯的波長尺度下降，其模擬必須使用較細的網格。故一般在大洋使用較粗的網格，到近海增加網格數、網格間格縮小，到近岸再用更細的網格；如此一層套疊一層，近似鳥巢般的網格配置，稱為巢狀網格(nested grid)。在計算及運作上則是在模式內設定好巢狀網格，模式會將第一層網格的水位帶進第二層計算以此類推，而巢狀網格可以滿足大小區域之需求，在遠洋區域及近岸區域選用不同的網格大小進行海嘯的傳播模擬，藉此細部描述海嘯於小區域之溯上計算，也提高海嘯模式的效率。以下以圖 5.12 為例說明，模擬海嘯在大洋中傳遞時所使用的大網格，共包括了第一與第二區域，且第二區域的網格是在第一區域的網格之中。由於第一區域計算範圍大，其中考慮了地球曲面效應及科氏力造成的偏轉效應，因此在此區域所使用之座標系統為球面座標系統，而模式的計算是依據球面座標之線性淺水方程組(5.2.4 式至 3.6 式)。第二區域使用的網格系統則改為直角座標系統，使用直角座標之線性淺水方程組(5.2.12 至 3.14 式)。然而，當模擬海嘯於近岸第三與第四區域溯上時，則必須考慮到近岸的非線性效應與海底底部摩擦項的影響，模式的計算改為使用非線性淺水方程組(5.2.1 至 3.3 式)。上述處理過程可分別滿足海嘯在大洋中傳遞，以及在近岸地區溯上的兩種需求。

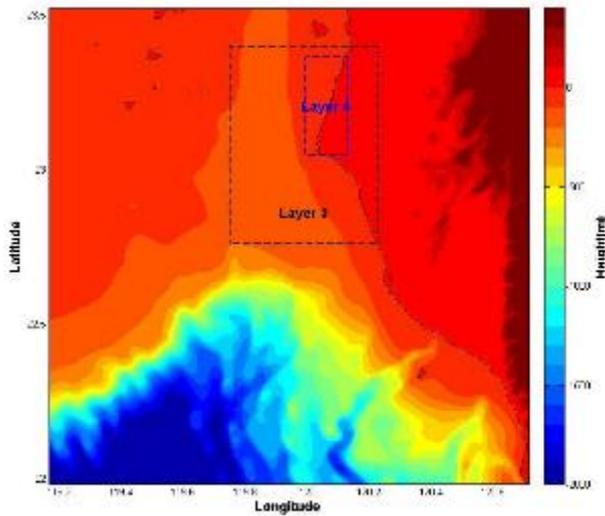


圖 5.12 巢狀網格示意圖

模式的顯式數值積分必須滿足 CFL(Courant, Friedrich, Levy)穩定條件，即物理速度小於等於數值訊號的傳播速度；對二維海嘯模式，此條件可表示為

$$\Delta t \leq \frac{\sqrt{2}}{c} \Delta x = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{gh_{\max}}} \Delta x \quad (5.2.16)$$

其中  $\Delta t$  為時間步長(time step)， $\Delta x$  為網格間距， $h_{\max}$  為各計算網格中最大水深值。由以上可知數值積分之最大容許時間步長隨網格間距而改變，最細的網格模擬最耗時。

本研究以 2004 年南亞海嘯作為進行模擬，其地震矩規模(Mw)為 9.0，目的為驗證模式的可用性。由於蘇門達臘地震源區的海底地震板塊交界處以接近南北向的方式綿延一千多公里左右，因此模擬計算時，模式上共分成三段海底斷層(如表 5-3 所示)的方式來表示震源區域的海底斷層錯動。印度洋之地形資料來源為 NOAA，如圖 5.13~5.14 所示。

模式中最重要之參數為斷層參數，本研究採用之參數如表 5-3 所列，並與馬爾地夫潮位站比對，與實測資料相比相當符合。如圖 5.2.8 所示。

表 5-3 本研究所使用之斷層參數

Source parameters	Fault Plane 1	Fault Plane 2	Fault Plane 3
Fault depth	5 km	5 km	5 km
Length of fault plane	200 km	670 km	300 km
Width of fault plane	150 km	150 km	150 km
Strike/Dip/ Slip	300°/13°/90°	345°/13°/90°	365°/13°/90°
Dislocation	15 m	15 m	15 m

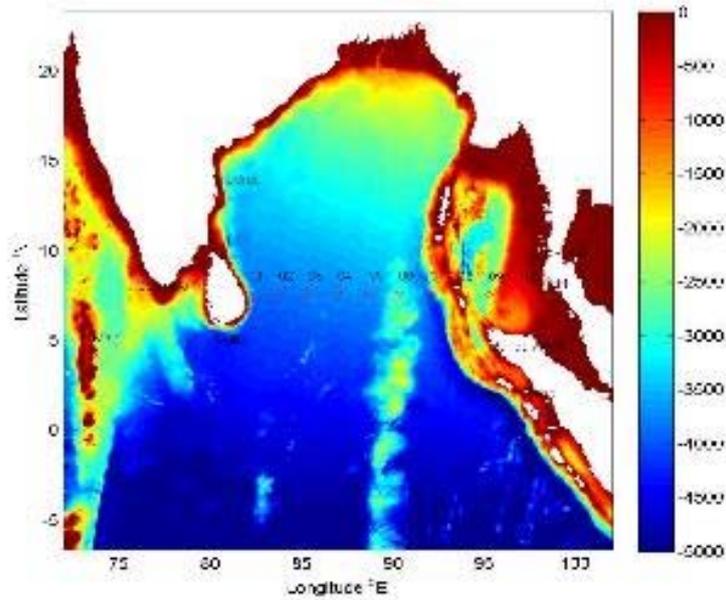


圖 5.13 模式計算區域水深地形圖

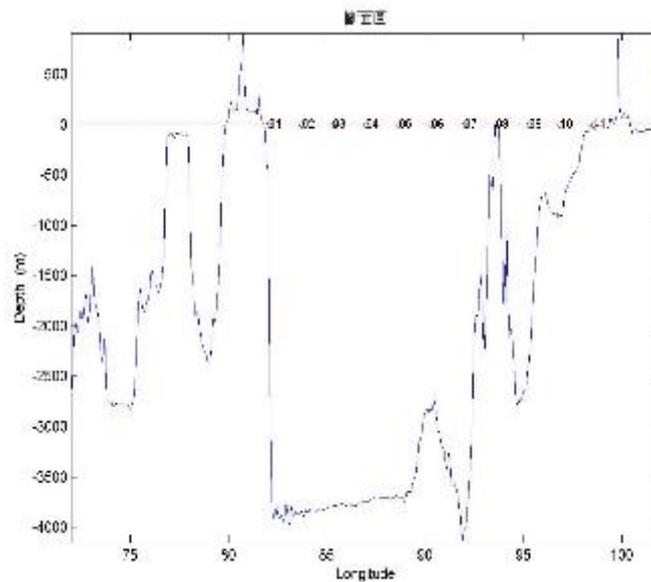


圖 5.14 模式計算區域水深地形剖面圖

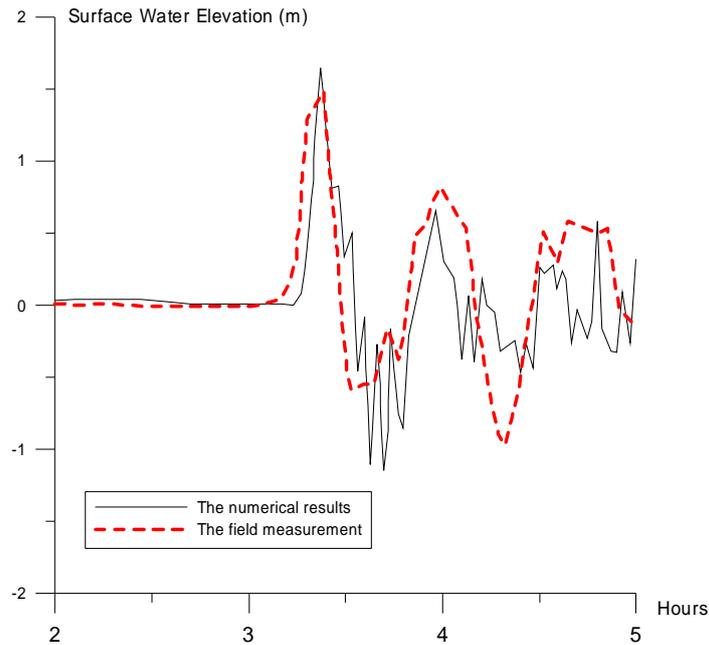


圖 5.15 與馬爾地夫水位之比對

### 5.2.3 系統建構

延伸先前計畫所建構之海嘯波高資料庫，其構想及初始概念，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，提供給各港務(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，本研究將應用地理資訊系統整合溢淹潛勢圖，使能在 Google Earth 讀取，標註主要道路、醫院、學校等重要地點供防災應變之用，其預警系統主要流程如圖 5.16 所示。本節將逐一介紹系統之建置方式。

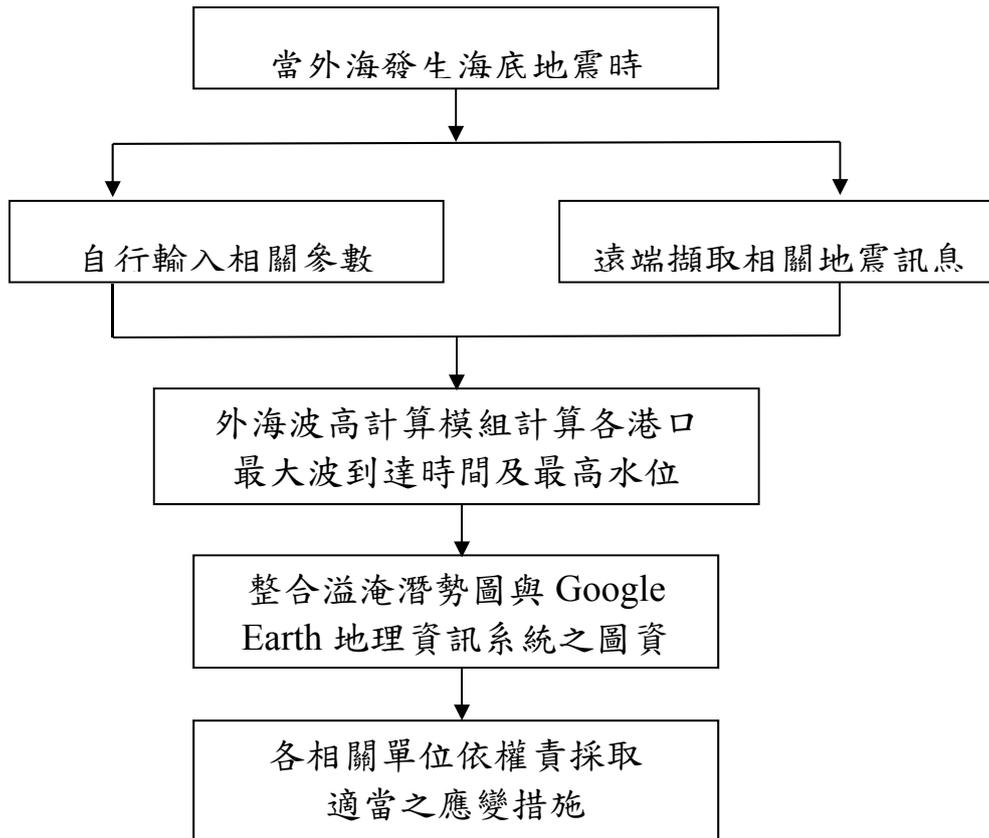


圖 5.16 海嘯速報系統之規劃圖

### 5.2.3.1 地震資料來源與擷取

大多數的海嘯成因起源於海底地震，所以海嘯初始水位主要是計算斷層錯動推動海水面的升降；而斷層模式所需之參數均來自於地震資料，故本小節將說明地震資料來源及擷取方式。

本計畫地震資料來源採用 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 2013 年，搜尋範圍為整個太平洋區域，如圖 5.17 所示。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。

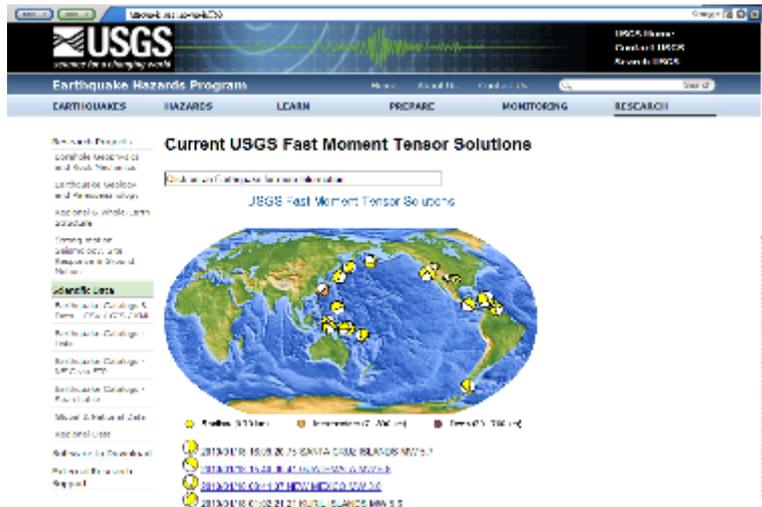


圖 5.17 美國 USGS 資料庫之即時地震資料

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，本計畫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>，如圖 5.18 所示)，約在地震後 5 分鐘即可獲得相關訊息，而其他區域仍使用 NEIC 之資料。

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畫範圍之內，便將該參數傳遞給系統做水位預報。其抓取後之格式，如圖 5.19 所示。

Quick CMT Reports:

[Recent Qcmt Distribution In Taiwan](#) [Subscribe Quick CMT](#)

Date	Time(UT)	Lat.	Lon.	Dep.	Mw	Strike	Dip	Slip	Misfit	CMT	Detail
2013-07-24	15:32:15.08	23.91	121.53	9.32 13	4.40	215 57	34 58	71 102	0.405		<a href="#">Trace</a> <a href="#">Map</a> <a href="#">Image</a> <a href="#">Solution</a>
2013-07-24	14:47:5.76	23.91	121.51	9.63 15	4.30	217 50	31 60	79 97	0.402		<a href="#">Trace</a> <a href="#">Map</a> <a href="#">Image</a> <a href="#">Solution</a>
2013-07-18	0:28:23.26	22.97	120.91	4.29 13	3.30	334 136	45 46	-77 -103	0.575		<a href="#">Trace</a> <a href="#">Map</a> <a href="#">Image</a> <a href="#">Solution</a>
2013-07-16	10:11:35.00	24.28	121.50	4.92 12	4.70	335 146	40 50	-83 -96	0.490		<a href="#">Trace</a> <a href="#">Map</a> <a href="#">Image</a> <a href="#">Solution</a>

圖 5.18 中央氣象局網站之即時地震資料

```

http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/fm/neic_b000d65a_fmt.php
yr | mon | day | hr | min | sec | mw | lon | lat | dep | strike/dip/slip strike/dip/slip
2012 10 15 17 52 2.160000e+001 5.5 -90.866 14.147 68 253/9/37 127/85/97

```

圖 5.19 遠端擷取 USGS 地震資料格式

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(圖 5.20)，三個主要之地震資訊來源及提供範圍如表 5-4 所示。圖 5.21 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。而在地震初期或是通訊中斷而資訊不明時，作為系統之參考輸入條件；實務上，地震之震央無法事先預知，會造成海嘯初始水位預測之困難，也影響系統預估水位之準確度；因此，在此一情況下，採用附錄三依不同地震矩規模輸入建議之地震參數作為替代條件，雖與實際狀況有所差異，但不失為一可行之方法。

Origin Time(UT)	Latitude	Longitude	Depth	Magnitude	Region	View Detail
2011/04/11 01:11:01	34.6° N	143.1° E	50 km	M4.3	SOUTH KURIL ISLANDS EE	18.02
2011/04/11 01:12:02	35.5° N	143.8° E	50 km	M4.1	SOUTH KURIL ISLANDS EE	18.02
2011/04/11 01:17:04	47.8° N	143.8° E	50 km	M4.0	SOUTH KURIL ISLANDS EE	18.02
2011/04/11 04:49:16	37.4° N	143.8° E	40 km	M4.5	SOUTH KURIL ISLANDS EE	18.02
2011/04/11 04:59:00	37.1° N	147.7° E	50 km	M4.1	SOUTH KURIL ISLANDS EE	18.02
2011/04/11 05:03:00	37.8° N	143.8° E	40 km	M4.1	SOUTH KURIL ISLANDS EE	18.02
2011/04/11 05:04:00	36.8° N	144.7° E	50 km	M4.4	SOUTH KURIL ISLANDS EE	18.02
2011/04/11 05:07:00	37.1° N	143.8° E	50 km	M4.8	SOUTH KURIL ISLANDS EE	18.02
2011/04/11 05:46:00	37.1° N	147.8° E	40 km	M4.1	SOUTH KURIL ISLANDS EE	18.02
2011/04/11 05:57:00	37.1° N	147.7° E	40 km	M4.5	SOUTH KURIL ISLANDS EE	18.02
2011/04/11 06:03:00	37.1° N	143.8° E	40 km	M4.2	SOUTH KURIL ISLANDS EE	18.02
2011/04/11 06:44:00	36.5° N	144.8° E	40 km	M4.7	SOUTH KURIL ISLANDS EE	18.02
2011/04/11 06:58:00	37.0° N	144.7° E	40 km	M4.5	SOUTH KURIL ISLANDS EE	18.02
2011/04/11 06:59:00	37.6° N	147.5° E	40 km	M4.5	SOUTH KURIL ISLANDS EE	18.02
2011/04/11 07:07:00	37.5° N	145.3° E	40 km	M4.5	SOUTH KURIL ISLANDS EE	18.02
2011/04/11 07:09:00	36.2° N	144.8° E	40 km	M4.3	SOUTH KURIL ISLANDS EE	18.02
2011/04/11 07:20:00	37.1° N	143.8° E	40 km	M4.6	SOUTH KURIL ISLANDS EE	18.02
2011/04/11 07:10:17	37.0° N	147.7° E	40 km	M4.5	SOUTH KURIL ISLANDS EE	18.02
2011/04/11 07:56:00	37.1° N	147.7° E	50 km	M4.3	SOUTH KURIL ISLANDS EE	18.02
2011/04/11 08:00:00	37.8° N	145.8° E	50 km	M4.8	SOUTH KURIL ISLANDS EE	18.02
2011/04/11 08:54:00	37.8° N	144.8° E	50 km	M4.4	SOUTH KURIL ISLANDS EE	18.02

圖 5.20 日本防災科學技術研究所 F-net 即時地震資料

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/eqarchives/fm/">http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/fm/</a> 資料提供範圍：全球
臺灣 中央氣象局 (CWB)	<a href="http://cwbsnbb.cwb.gov.tw/">http://cwbsnbb.cwb.gov.tw/</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 5.21 即時地震擷取系統介面

### 5.2.3.2 地震級數之轉換

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：

$$M_L = \log(A / A_0) = \log A - \log A_0 \quad (5.2.17)$$

$M_L$ ：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：

$$M_L = \log(A) + 2.56 \log(\Delta) - 5.12 \quad (5.2.18)$$

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 Gutenberg 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  $\mu m$ )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

$$M_s = \log(A / T) + \sigma(\Delta) \quad (5.2.19)$$

$$\sigma(\Delta) = 1.66 \log \Delta + 3.3 \quad (5.2.20)$$

上兩式可以合為：

$$M_s = \log(A/T) + 1.66 \log \Delta + 3.3 \quad (5.2.21)$$

對於週期 20 秒的表面波,上式可修正為：

$$M_s = \log(A20) + 1.66 \log \Delta + 3.3 \quad (5.2.22)$$

其中 A20 為週期 20 秒的表面波之最大振幅，值得注意的是須考慮實際地動的振幅量，即由記錄中的最大振幅量，再除去儀器的放大倍率，得到真正的地動量。表面波規模其優點為任何儀器皆可使用，缺點則為較深的地震則無法定出表面波規模。

### (3) $M_B$ ：體波規模(body waves magnitude)

此為 1945 年 Guttenburg 研究體波之振幅衰減曲線  $Q(\Delta)$ ，所定義出的遠地地震體波規模  $M_B$ 。此定義根據體波之振幅( $A$ )及週期( $T$ )其為：

$$M_B = \log(A/T) + Q(\Delta) \quad (5.2.23)$$

由以上的地震規模( $M_L$ 、 $M_s$ 、 $M_B$ )可用一個通式來表示之有

$$M = \log A + f(d, h) + C_s + C_r \quad (5.2.24)$$

其中  $M$  是規模， $A$  是除去儀器效應後所記錄到之地震波的真實振幅， $f(d, h)$  是一些計算關於震央距離及震源深度的函數； $C_s$ ， $C_r$  是測站(station)及區域(region)計算出的修正值。因所記錄的週期不夠長或是有儀器使用限制上的關係，所以以上的地震規模對於能量較大或深度較深的地震，無法完全定出其規模，也就是說上述對於規模較大的地震有所限制，無法表示出來。因此，發展出一地震矩之概念(Seismic Moment) 來輔助。

(4) $M_w$ ：地震矩規模(Moment magnitude scale)

地震矩規模是由 Kanamori 教授所發展出的。因為芮氏地震規模( $M_L$ )對於較大的地震有其界限且會受儀的器限制，故其對大地震無法正確描述，進而發展出由地震矩( $M_0$ )來計算地震規模的方法。

地震的主要原因為地層的錯動，錯動處稱之為斷層。地震震源本身之大小與造成地層錯動的作用力有著直接的相關。因此，總力矩為表示震源大小的一個很重要且直接的參數。而震源機制之總力矩稱為地震矩(Seismic Moment)，造成單一斷層之地震的地震矩可簡化為：

$$M_0 = \mu \times S \times \bar{D} \quad (5.2.25)$$

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<sup>12</sup>-10<sup>30</sup> dyne-cm。地震矩規模( $M_w$ )是根據地震矩( $M_0$ )所發展出的關係式為

$$M_w = 2 / 3 \log M_0 - 10.7 \quad (5.2.26)$$

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 5.22(a))：

$$\begin{aligned} M_w &= 0.67(\pm 0.005)M_s + 0.27(\pm 0.03) \\ & \quad 3.0 \leq M_s \leq 6.1, \quad (5.2.27) \\ R^2 &= 0.77, \quad \sigma = 0.17, \quad n = 23,921 \end{aligned}$$

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

$$6.2 \leq M_s \leq 8.2, \quad (5.2.28)$$

$$R^2 = 0.81, \quad \sigma = 0.20, \quad n = 2,328$$

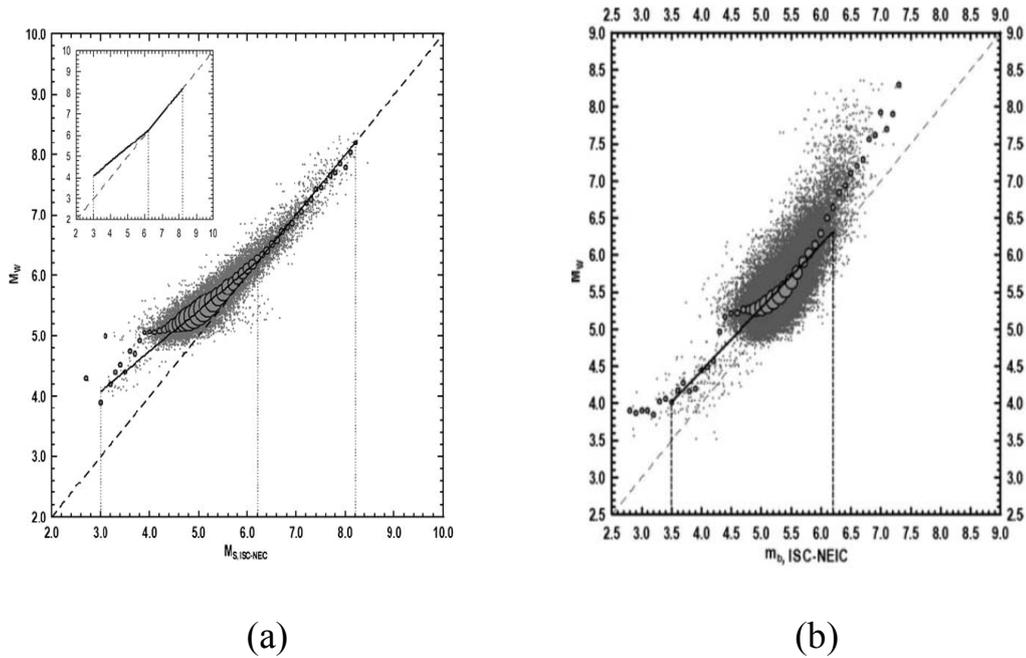
(2)  $M_B$  轉換至  $M_w$  之迴歸公式(圖 5.22(b))

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

$$3.5 \leq M_B \leq 6.2, \quad (5.2.29)$$

$$R^2 = 0.53, \quad \sigma = 0.29, \quad n = 39,784$$

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，本計畫將以此作為轉換公式之用。



(Scordilis, 2006)

圖 5.22 (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

### 5.2.3.3 斷層參數

圖 5.23 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。

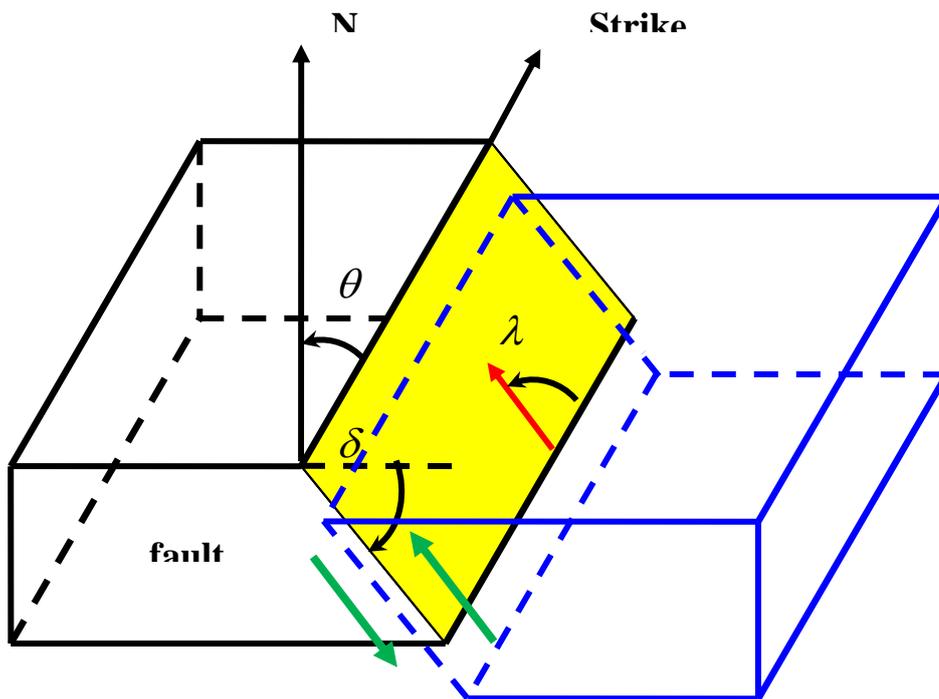


圖 5.23 斷層參數示意圖

本項資訊在美國地調所 USGS 網站中 <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/fm/>，可在地震發生後公佈原始之斷層參數，提供全球之地震訊息；一般斷層參數會有兩組解；至於哪一組解之正確性較高，則必須視事後進行比較驗證才能得知。

### 5.2.3.4 斷層長寬及震源深度之設定

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(5.2.30)式~(5.2.31)式，計算地震規模下的長度(L)及寬度(W)。

$$\log(L)=a_1 + b_1 \times M_w \quad (5.2.30)$$

$$\log(W)=a_2 + b_2 \times M_w \quad (5.2.31)$$

$M_w$  為地震矩規模(Moment magnitude scale)； $a_1$ 、 $b_1$ 、 $a_2$  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(5.2.32)及(5.2.33)式(Hanks et al, 1979)求得平均滑移量  $\bar{D}$ 。

$$M_w = \frac{2}{3} \log_{10} M_0 - 10.7 \quad (5.2.32)$$

$$M_0 = \mu W L \bar{D} \quad (5.2.33)$$

$M_0$  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 (5.2.30)及(5.2.31)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

### 5.2.3.5 海嘯初始水位之生成

前小節已說明地震資料的來源、擷取、地震級數轉換，當斷層參數、斷層長度及滑移量均求得後，就可以利用斷層模式來生成海嘯波源區可能的初始水位。

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，本計畫使用的斷層模式是 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：

$$u_i = \int_{\Sigma} \Delta u_j \left[ \lambda \delta_{jk} \frac{\partial u_i^l}{\partial \xi} + \mu \left( \frac{\partial u_i^j}{\partial \xi_k} + \frac{\partial u_i^k}{\partial \xi_j} \right) \right] v_k dS \quad (5.2.34)$$

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 5.24(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(5.2.36)與(5.2.37)式表示，其涵蓋範圍為 $-L \leq \xi_1 \leq L$ ，以及 $d \leq \xi \leq D$ ：有

$$u_{is} = \mu U \int_d^D \int_{-L}^L \left[ \left( \frac{\partial u_i^1}{\partial \xi_2} + \frac{\partial u_i^2}{\partial \xi_1} \right) \sin \theta - \left( \frac{\partial u_i^1}{\partial \xi_3} + \frac{\partial u_i^3}{\partial \xi_1} \right) \cos \theta \right] d\xi_1 d\xi \quad (5.2.35)$$

$$u_{id} = \mu U \int_d^D \int_{-L}^L \left[ 2 \left( \sin \theta \frac{\partial u_i^2}{\partial \xi} - \cos \theta \frac{\partial u_i^3}{\partial \xi} \right) + \left( \frac{\partial u_i^3}{\partial \xi_2} + \frac{\partial u_i^2}{\partial \xi_3} \right) \right] d\xi_1 d\xi \quad (5.2.36)$$

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 5.24(b)所示，並有

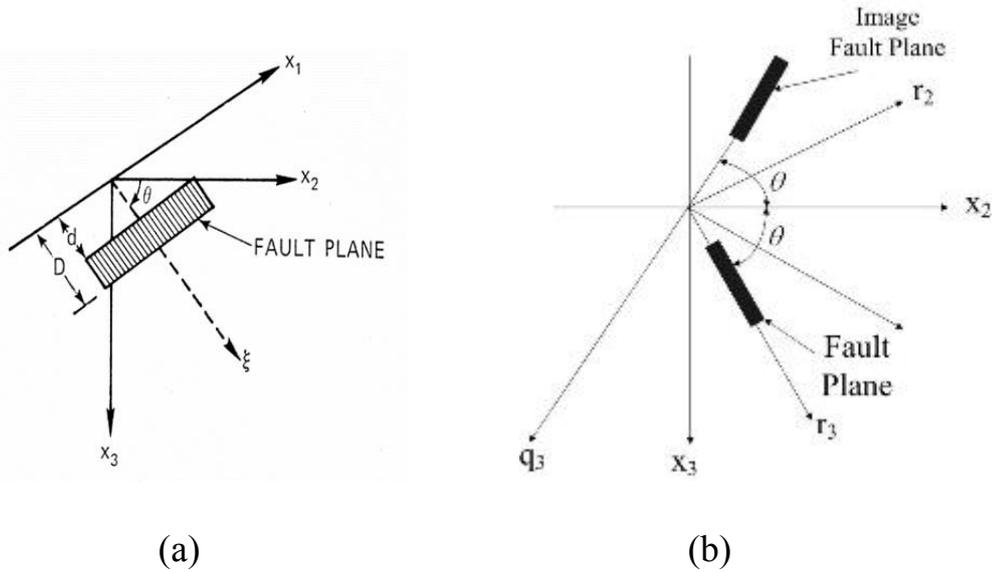


圖 5.24 (a)斷層幾何形狀及座標系統(b)斷層及映像斷層座標系統

$$R = \left[ (x_1 - \xi_1)^2 + (x_2 - \xi_2)^2 + (x_3 - \xi_3)^2 \right]^{1/2}$$

$$S = \left[ (x_1 - \xi_1)^2 + (x_2 - \xi_2)^2 + (x_3 + \xi_3)^2 \right]^{1/2} \quad (5.2.37)$$

$$r_2 = x_2 \sin \theta - x_3 \cos \theta, \quad r_3 = x_2 \cos \theta - x_3 \sin \theta$$

$$q_2 = x_2 \sin \theta - x_3 \cos \theta, \quad q_3 = -x_2 \cos \theta + x_3 \sin \theta$$

其中， $R$  和  $S$  分別代表斷層面上的震源點 $(\xi_1, \xi_2, \xi_3)$ 至地表 $(x_1, x_2, x_3)$ 的距離，以及對映像斷層面上的震源點 $(\xi_1, \xi_2, \xi_3)$ 至地表 $(x_1, x_2, x_3)$ 的距離。 $r_2$ 、 $r_3$  及  $q_2$ 、 $q_3$  分別代表斷層面及映像面的垂直及向下傾斜之座標，由此可將  $R$  和  $S$  以新座標表示為：

$$\begin{aligned}
 R &= \left[ (x_1 - \xi_1)^2 + r_2^2 + (r_3 - \xi)^2 \right]^{1/2} \\
 S &= \left[ (x_1 - \xi_1)^2 + h^2 \right]^{1/2} = \left[ k^2 + (q_3 + \xi)^2 \right]^{1/2} \\
 h &= \left[ q_2^2 + (q_3 + \xi)^2 \right]^{1/2} \\
 k &= \left[ q_2^2 + (x_1 - \xi_1)^2 \right]^{1/2}
 \end{aligned} \tag{5.2.38}$$

其中， $h$  是  $S$  在  $x_1 = 0$  平面即地表切平面上的投影，而  $k$  是在  $q_3 = 0$  平面上的投影。最後經過座標轉換後，計算出斷層傾向滑距及走向滑距在地面上產生的垂直位移分量如下：

走向滑距(strike-slip displacement)在  $x_3$  方向之位移量為：

$$\begin{aligned}
 \frac{12\pi}{U_1} u_3 &= \cos \delta (a_1 + b_1 a_2 - b_2 a_4) + \frac{b_3}{R} + 2 \sin \delta \frac{b_4}{S} \\
 &\quad - \frac{b_5}{R \exp(a_1)} + \frac{b_7 - b_8}{S \exp(a_2)} + \frac{b_{10} b_{11}}{S^3} - \frac{b_{12} b_{13}}{b_{14}}
 \end{aligned} \tag{5.2.39}$$

傾向滑距(dip-slip displacement)在  $x_3$  方向之位移量則為：

$$\begin{aligned}
\frac{12\pi}{U_1} u_3 = & \sin \delta (x_2 - \xi_2) \left[ \frac{2(x_3 - \xi_3)}{R \exp(a_5)} + \frac{4(x_3 - \xi_3)}{S \exp(a_6)} - 4\xi_3 x_3 (x_3 + \xi_3) \frac{S + \exp(a_6)}{S^3 (\exp(a_6))^2} \right] \\
& - 3 \sin \delta \left[ 2 \tan^{-1} \left[ \frac{(x_1 - \xi_1)(x_2 - \xi_2)}{(h + x_3 + \xi_3)(S + h)} \right] - \tan^{-1} \left[ \frac{(x_1 - \xi_1)(r_3 - \xi)}{r_2 R} \right] \right] \\
& - 6 \sin \delta \tan^{-1} \left[ \frac{(x_1 - \xi_1)(q_3 + \xi)}{q_2 S} \right] + \cos \delta \left[ a_5 - a_6 - \frac{2(x_3 - \xi_3)^2}{R \exp(a_5)} \right] \\
& - 4 \cos \delta \left[ \frac{x_3^2 + x_3 \xi_3 + \xi_3^2}{S \exp(a_6)} + \xi_3 x_3 (x_3 + \xi_3)^2 \frac{S + \exp(a_6)}{S^3 (\exp(a_6))^2} \right] \\
& + 3x_3 \sin 2\delta \left[ \frac{2(q_3 + \xi)}{S \exp(a_6)} + \frac{(x_1 - \xi_1)}{S \exp(a_2)} + \frac{q_2 \cos 2\delta}{S \exp(a_6)} \right]
\end{aligned} \tag{5.2.40}$$

#### 5.2.4 數值模擬進行海嘯預警之方式

海嘯預警必須在海底地震發生後提供是否有海嘯發生、是否有威脅性、海嘯何時抵達等資訊；如何得到這些資訊，則可分為事先算好的海嘯預報系統資料庫以及海嘯的實時(real time)模擬兩種方式。海嘯預報系統資料庫統整模擬結果成一資料庫，在海嘯發生時運用此資料庫預測海嘯的大小，節省海嘯數值模擬所需之時間，使海嘯警報得儘快發佈。海嘯的實時模擬則是俟取得地震資料後，利用斷層模式求得海嘯初始水位，再進行海嘯模擬。

海嘯模擬資料庫的構成又可細分為三種方法，即海嘯情境的數值模擬、格林函數法與互逆格林函數法。海嘯情境的資料庫是在地震發生後，搜尋資料庫中與此地震最接近的情境作為海嘯的預測情況。格林函數與互逆格林函數則是在地震發生後，利用斷層模式求得波源區各點的海嘯初始水位，再分別乘上相對應的格林函數或互逆格林函數來求得海嘯的大小。

現行之海嘯數值模式之模擬程序(如圖 5.25)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。

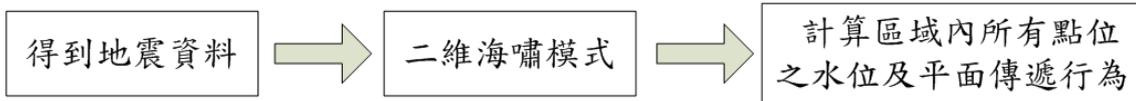


圖 5.25 現行海嘯數值模式之模擬程序

#### 5.2.4.1 傳統格林函數

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，將(5.2.1)式至(5.2.3)式之非線性淺水方程組，經線性化後簡化而成以下線性淺水方程組：

$$\eta_t + P_x + Q_y = 0 \quad (5.2.41)$$

$$P_t + gd\eta_x = 0 \quad (5.2.42)$$

$$Q_t + gd\eta_y = 0 \quad (5.2.43)$$

其中 $\eta$ 為水面高， $P$ 與 $Q$ 為 $x$ 與 $y$ 方向的單位寬度質量通量， $d$ 為平均水深，而下標代表偏微分。

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，以下以GF簡稱)，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；對線性淺水方程組的連續方程取時間微分，再對方程組的兩個動量方程分別取空間 $x$ 與 $y$ 的微分，可消去質量通量，從而簡化線性淺水方程組成為以下之方程：

$$\eta_{tt} - g \left[ (d\eta_x)_x + (d\eta_y)_y \right] = 0 \quad (5.2.44)$$

故格林函數 $G_s^r = G(t, x_r, y_r, x_s, y_s)$ 即以下方程之解

$$\eta_{tt} - g \left[ (d\eta_x)_x + (d\eta_y)_y \right] = \delta(t, x - x_s, y - y_s) \quad (5.2.45)$$

對實際的海洋地形，此方程無解析解，只能以數值方式求解，故此格林函數為滿足相關邊界條件的數值解，與一般邊界積分法常見的無限域下解析形式之基本解稍有差異，可稱之為數值格林函數；而 $\delta$ 函數亦須離散化，即於初始時間  $t=0$  時除  $(x_s, y_s)$  的初始水位為 1 之外，計算領域內之每一點的初始水位皆為零；而格林函數即為此單位初始水位引致的計算領域內每一點隨時間的震盪。此離散化 $\delta$ 函數其形式為

$$\delta(t, x - x_s, y - y_s) = \begin{cases} 1 & \text{for } t = 0, x = x_s \text{ and } y = y_s \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5.2.46)$$

圖 5.26 即為以基隆為例之格林函數所對應的初始水位。

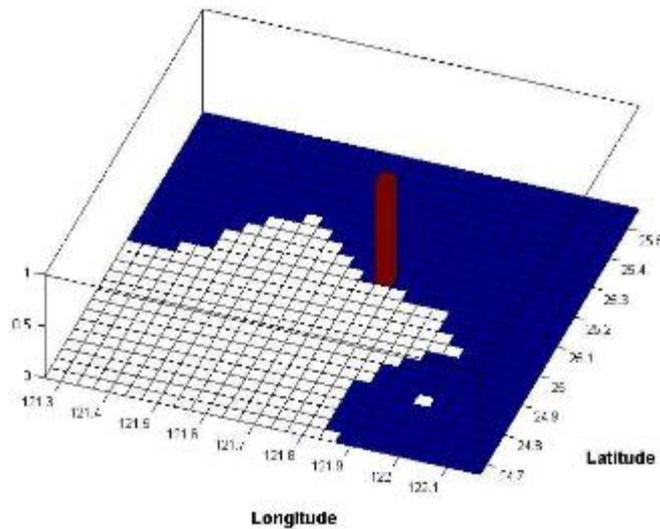


圖 5.26 以基隆為例之格林函數所對應的初始水位

若對所有波源區共  $N$  個點的每個點  $s$  予以編號  $1, 2, 3, \dots, N$ ，其對應之初始水位記為  $H^s$ ，則一海嘯事件須包含此  $N$  個點的每個點造成的海嘯，而波源初始水位可以表示為

$$\sum_{s=1}^N H^s \delta(t, x - x_s, y - y_s) \quad (5.2.47)$$

對每個點  $s$  及其初始水位  $H^s$  所引致的全域水位變化可以由下式求得

$$\eta^s_{tt} - g \left[ (d\eta^s_x)_x + (d\eta^s_y)_y \right] = H^s \delta(t, x - x_s, y - y_s) \quad (5.2.48)$$

其中下標代表偏微分， $\eta^s(t, x, y)$  表示  $s$  點的初始水位  $H^s$  造成的計算區域水位變化。由(5.2.45)、(5.2.48)兩式可知，對  $r$  點 ( $x = x_r, y = y_r$ ) 而言， $\eta^s$  相對於格林函數  $G^r_s$  之  $H^s$  倍，即

$$\eta^s(t, x_r, y_r) = G^r_s \times H^s \quad (5.2.49)$$

將編號  $1, 2, 3, \dots, N$  的每個點  $s$  對應之方程式(5.2.49)相加總，即

$$\sum_{s=1}^N \eta^s_{tt} - \sum_{s=1}^N g \left[ (d\eta^s_x)_x + (d\eta^s_y)_y \right] = \sum_{s=1}^N H^s \delta(t, x - x_s, y - y_s) \quad (5.2.50)$$

連加符號  $\Sigma$  與時、空之偏微分運算可以互換，故得

$$\left( \sum_{s=1}^N \eta^s \right)_{tt} - g \left[ \left( d \left( \sum_{s=1}^N \eta^s \right) \right)_x + \left( d \left( \sum_{s=1}^N \eta^s \right) \right)_y \right] = \sum_{s=1}^N H^s \delta(t, x - x_s, y - y_s) \quad (5.2.51)$$

此方程式左側為(5.2.44)式，右側則為海底地震錯動引起的初始水位變化(5.2.48)式，亦即引致海嘯的初始條件。因此(5.2.51)式的解

$$\eta(t, x, y) = \sum_{s=1}^N \eta^s \quad (5.2.52)$$

即為海底地震引起的海嘯。由以上 (5.2.49)式可知，對  $r$  點而言， $\eta^s$  相對於格林函數  $G^r_s$  之  $H^s$  倍；故  $r$  點的海嘯水位  $H^r$  可表示為

$$H^r = \eta(t, x, y) = \sum_{s=1}^N \eta^s(t, x, y) = \sum_{s=1}^N G^r_s \times H^s \quad (5.2.53)$$

其中  $\eta^s$  表示  $s$  點的初始水位  $H^s$  造成全區水位變化，但是海嘯快速預報只需要  $r$  點的水位；所以格林函數  $G^r_s$  對  $r$  點而言只是一時間序列(time series)，利用此格林函數，事先計算完成並以資料庫方式儲存，即可進行海嘯快速預報(參見Wei等人, 2003; Sa´nchez & Cheung, 2007)。

大海嘯的波源區可能長達數百公里以上，海嘯可能的波源區更是涵蓋大多數海域，因此事先要算好的格林函數數目十分驚人，可能達百萬個以上。為減少格林函數的計算量及其儲存空間，有學者以減低波源區解析度的方式因應，此即所謂單位海嘯法(unit tsunami method)。目前中央氣象局即採用此法，可參見陳等人(2009)。格林函數或單位海嘯可在未確定初始水位前針對可能的波源區先行計算後並以資料庫方式儲存；當地震發生獲得地震參數後，利用斷層模式計算初始水位 $H^s$ ，與格林函數(或單位海嘯)相乘之後即可得到與海嘯模式一致之結果。與情境分析方式相比，以格林函數或單位海嘯建立單位振幅下之海嘯波高資料庫顯然更為經濟方便，且是在地震參數取得後再根據前節的斷層模式計算所得之海嘯初始水位 $H^s$ 所導得，因此不會被海嘯的情境分析所採用的地震斷層參數所限。

由此可知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 GF 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。

#### 5.2.4.2 互逆格林函數

傳統的格林函數和直接的海嘯模擬都可以給出全域的海嘯波分布；前者雖然較省時間，但耗費的計算量及儲存空間仍相當可觀，還可能發生計算區域未包括某次海嘯的波源區、抑或某次海嘯波源區的格林函數未事先計算等問題。另一方面，如果我們只需要某個位置的海嘯水位 (如(5.2.54)式所示) 而不是全域的海嘯分布，這些格林函數的計算量及儲存空間則顯得多餘。而

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，降低對地震斷層參數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。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。

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。

簡易之理論說明如下：為了解區域內任何  $s$  點發生海嘯時，其當地水位將對  $r$  點位置的造成多大的水位高度，故先計算所有  $r$  點對應  $s$  點的 GF。首先將某一時段內各  $r$  點的水位經(5.2.54)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(5.2.55)式。只要透過(5.2.56)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。

$$G_r^s = \frac{r\text{點水位}}{\text{波源}s\text{之初始水位}} \quad (5.2.54)$$

利用格林函數與互逆格林函數的互逆性

$$G_r^s = G_s^r \quad (5.2.55)$$

(5.2.53)式可改寫為

$$H^r = \eta(t, x, y) = \sum_{s=1}^N G_r^s \times H^s \quad (5.2.56)$$

以上由圖 5.27 說明其概念，對某一個接收點  $r$  而言，由於可能有許多未知震源，故用  $si$  來表示所有可能之震源，其 GF 即是由  $si$  到  $r$ 。由於格林函

數具有可逆性，所以任一點  $s_i$  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。

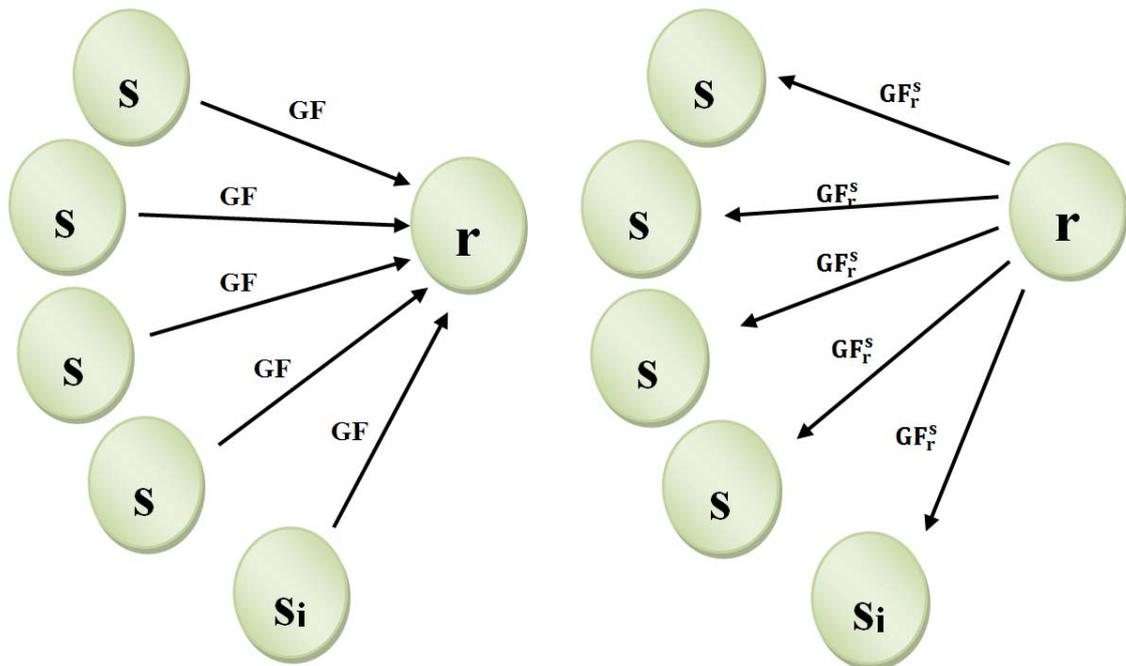


圖 5.27 傳統格林函數與互逆格林函數之示意圖

亦即對一接收點  $r$ ，只要一個互逆格林函數 即可快速計算其水位變化，故能大量減少計算量及儲存空間。此觀念由 Loomis (1979)所提出，我們研究團隊則實際將它應用在海嘯預警(參見劉與陳, 2008)。

(5.2.56)式經與直接的海嘯模擬相互驗證下，可發現兩者甚為符合，如圖 5.28、5.29 所示

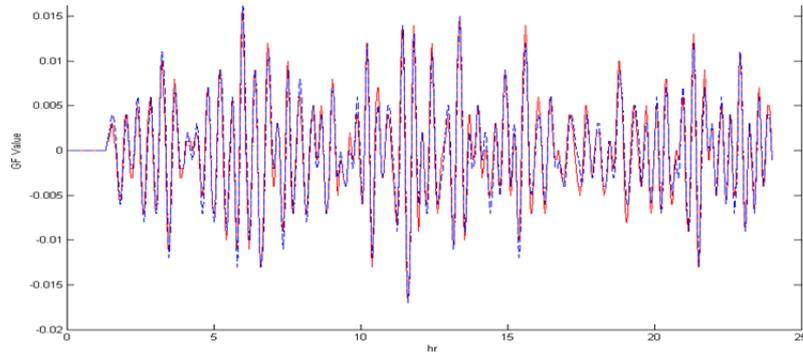


圖 5.28 海嘯模式所計算出之格林函數與互逆格林函數比較

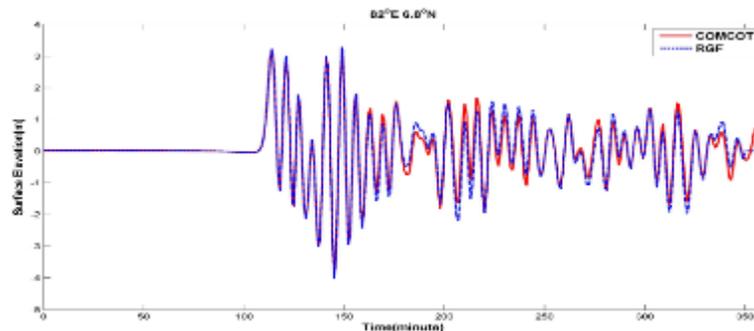


圖 5.29 互逆格林函數與直接的海嘯模擬之水位變化驗證

(5.2.56) 式唯一的未知是波源點之初始水位  $H^s$ ，該值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。故利用互逆格林函數，由於水位基礎波形已經可以事前計算，可以資料庫之方式先行計算單位波高之時間序列變化資料，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，(5.2.56)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，(5.2.56)式目前並不適用在非斷層運動所引起之海嘯。互逆格林函數之應用及驗證案例，請參見(陳等, 2012; 陳等, 2013)。

## 5.3 溢淹潛勢圖整合地理資訊統之應用

### 5.3.1 溢淹潛勢圖

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：

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(例如琉球海溝)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。

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。採以 COMCOT 模式模擬孤立波入射溢淹區域，紀錄模擬期間內每個空間點所發生的最大水位高度來當作溢淹高度。其溢淹高度為進水水位高度減到原地形高度。

本研究使用 COMCOT 溢淹模式，以不同波高之高斯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，其所攜帶之水量遠大於季風所引起之短週期風浪，而孤立波之高度及寬度有一固定關係，故本研究所稱之高斯波為說明其週期與波高的不同而定義，採用之週期為約 20 分鐘，以安平港為例，海嘯波模擬採用之週期為約 20 分鐘，圖 5.30 為波高 4m 週期約 20 分鐘之高斯波，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。而計劃中所

設定之海嘯潛勢波源區為整個環太平洋地震帶。進而評估臺中、布袋、安平、高雄等 4 個商港港域。

本系統目前於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，為使該系統適合一般民眾使用及查詢，本系統業已併入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，可以於網頁導入系統所輸出之 KML 檔，即可以透過 Google Earth 軟體查看溢淹資訊。

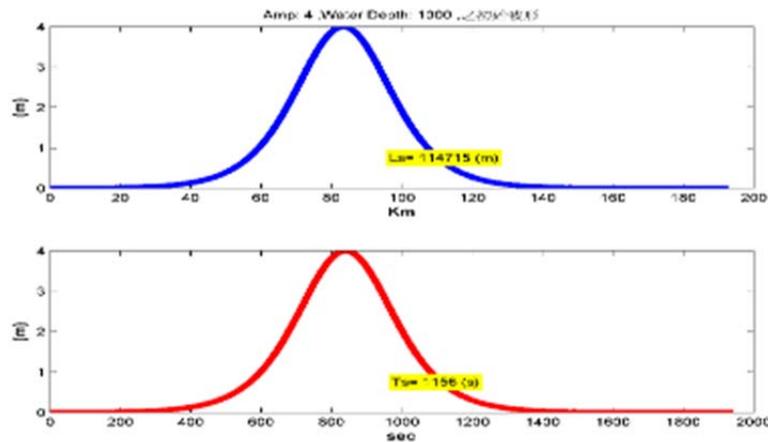


圖 5.30 週期 20 分鐘波高 4m 高斯波

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)，如圖 5.31；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×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)；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，以安平港為例，圖 5.32 為安平港之陸域數值地形。由於兩者解析度不同，在無其他較為精細海底地形之來源時，將海域地形以內插之方式製作成與陸域地形資料相同解析度之數值地形。圖 5.33 為海陸域整合後之數值地形檔。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 5.34。各港均以此方法建構其模擬用之數值地形。本研究為考量 DSM 數值地形資料，於港區的貨櫃容易被誤判成建築，另以陸域地形資料是由內政部地政司所提供之 5m×5m 之 DEM 數值地形資料，無建物之地形資料來模擬，以代表所有建築物被一掃而空之最糟情況。其中 DSM (Digital Surface Model) 則指的是地表上所有地物，包含人工構造物或自然森林或人工作物覆蓋地面的高程，DEM(Digital Elevation Model) 經由大量自動與人工的植生濾除過程以得到原始地表高程。

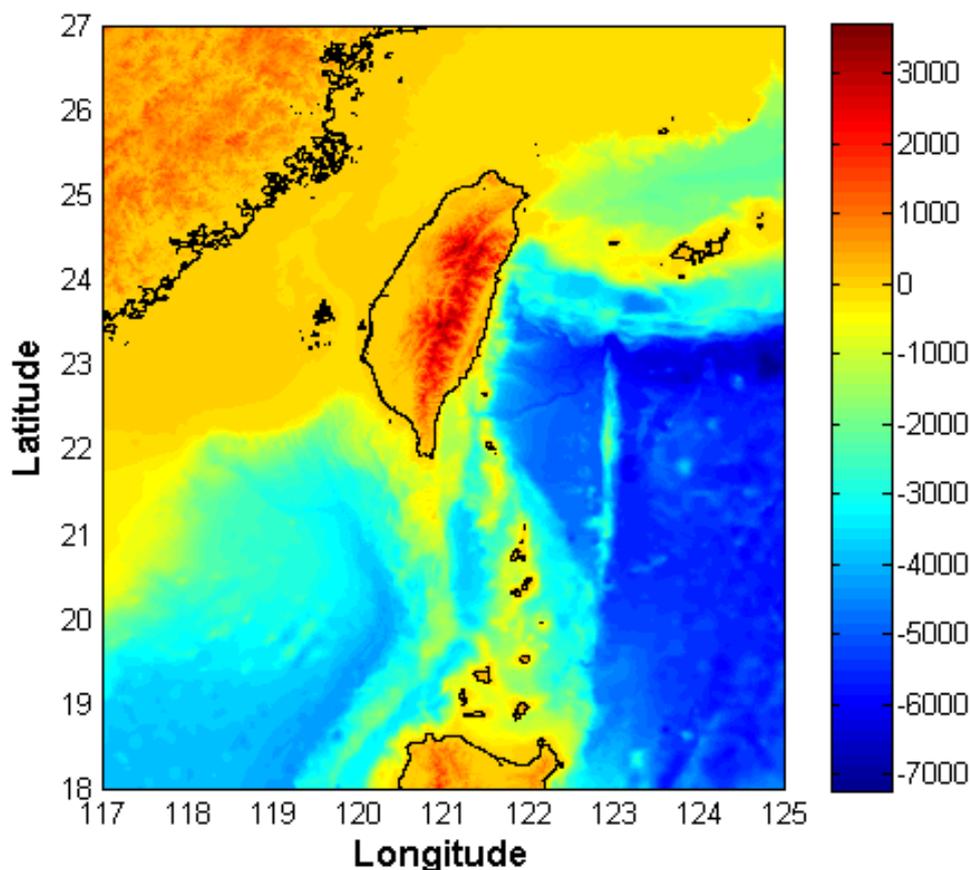


圖 5.31 臺灣 500m 解析度水深地形資料

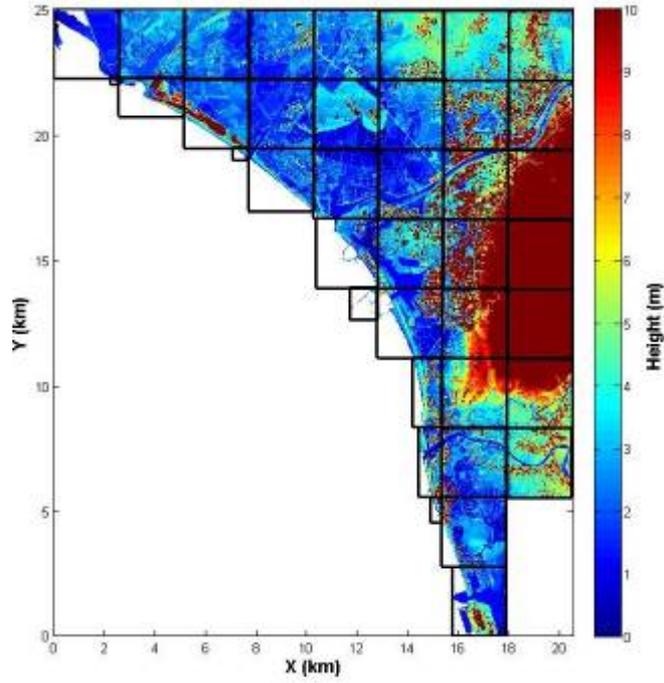


圖 5.32 安平港 5m 解析度數值地形檔

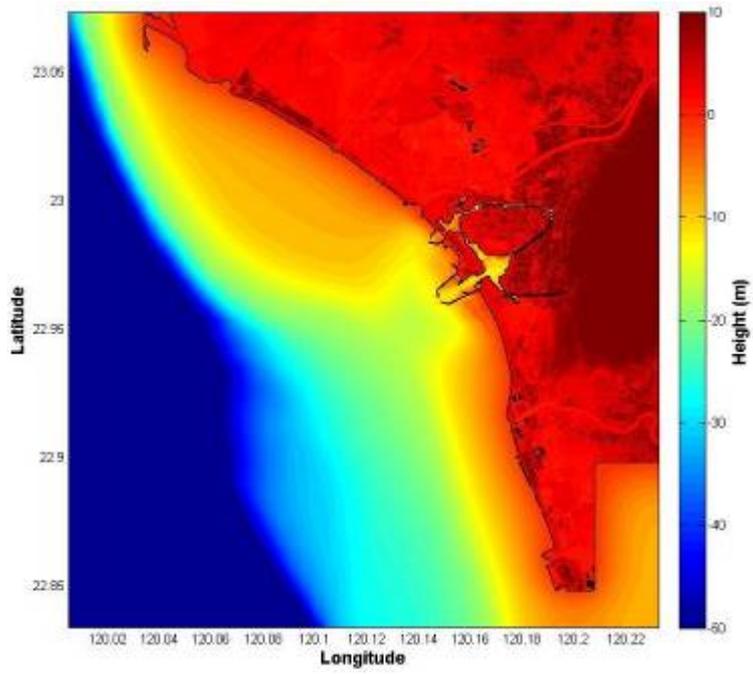


圖 5.33 安平港整合海陸域後之數值地形檔

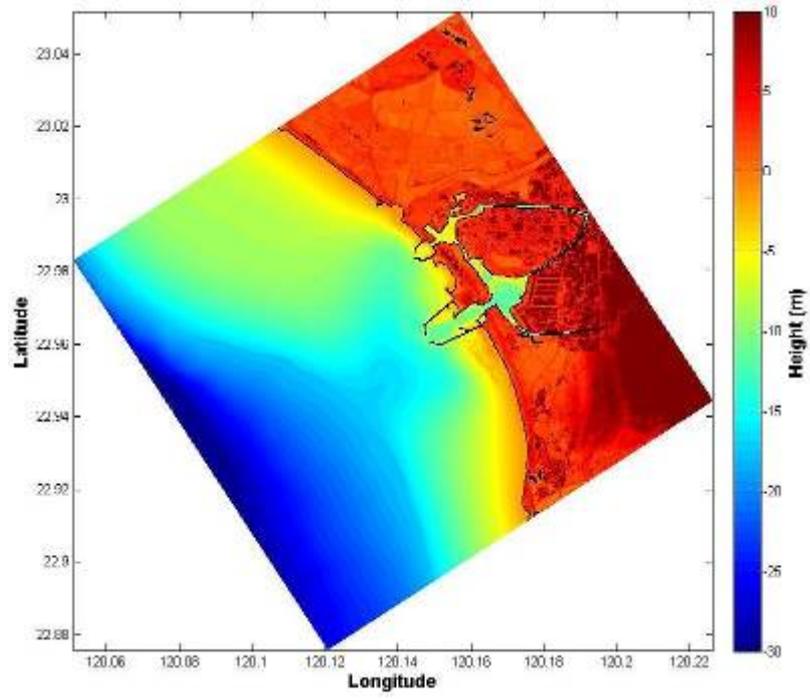
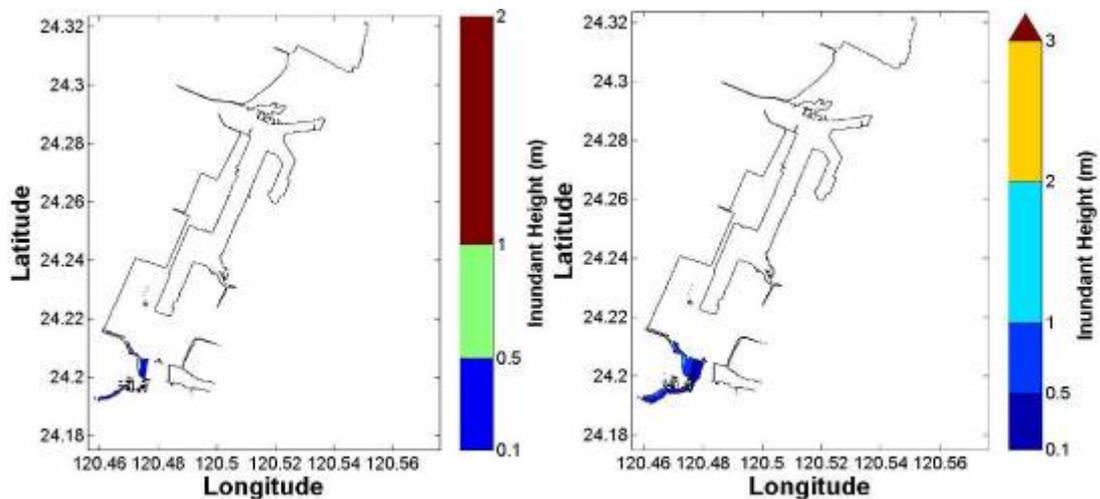


圖 5.34 安平港整併港內實際地形之數值地形檔

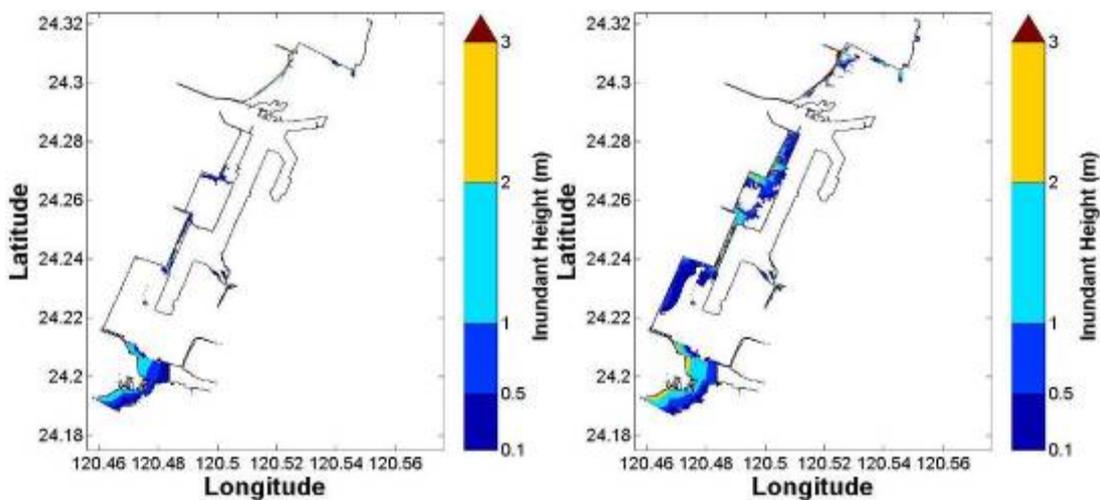
### 5.3.1.1 臺中港之模擬結果

圖 5.35(a)~(g)為臺中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。



(a) 臺中:0.5 公尺

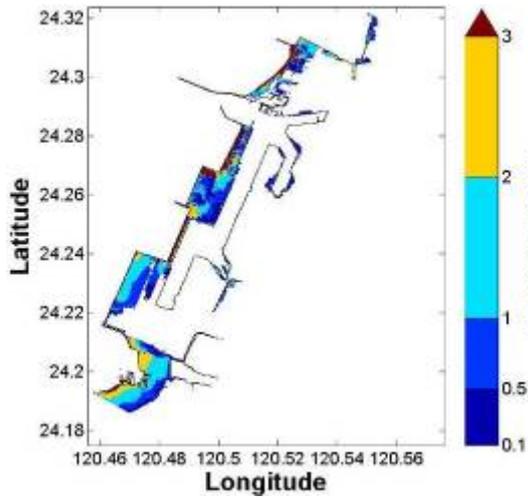
(b) 臺中:1 公尺



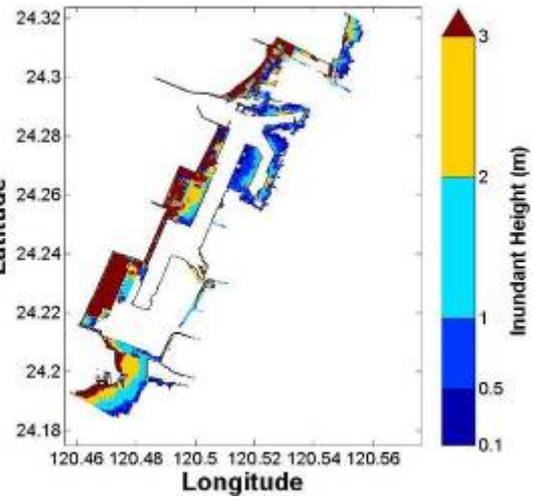
(c) 臺中:2 公尺

(d) 臺中:3 公尺

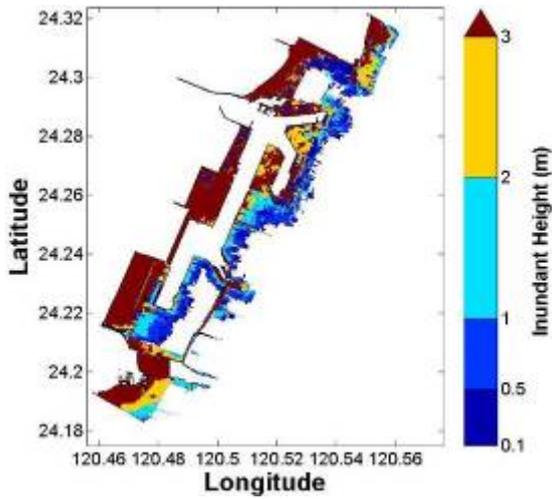
圖 5.35 臺中港之溢淹圖，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺



(e) 臺中:4 公尺



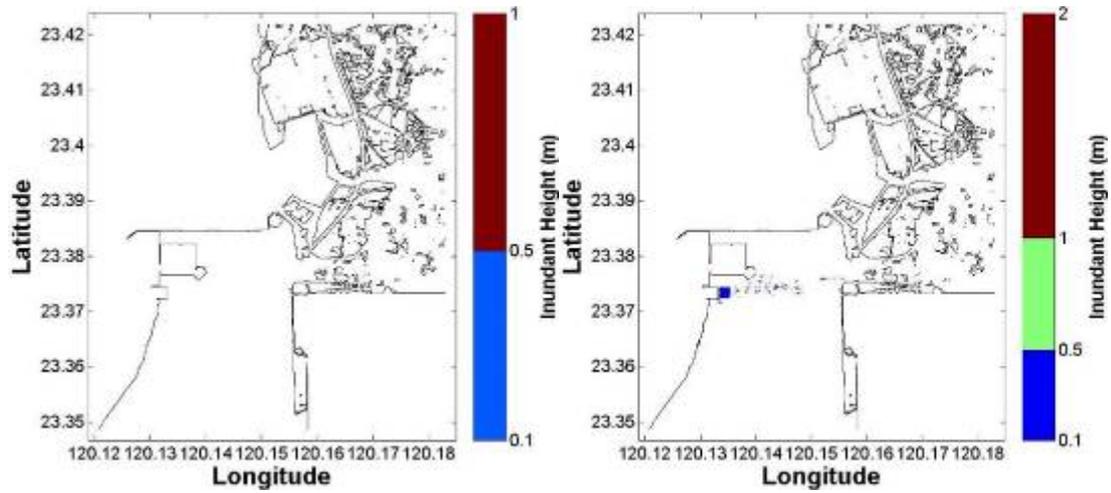
(f) 臺中:6 公尺



(g) 臺中:10 公尺

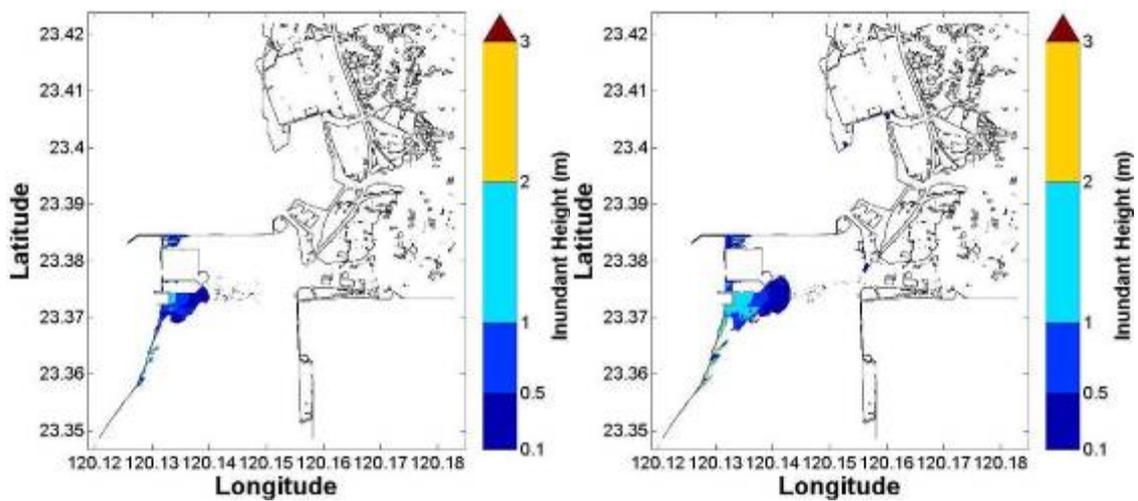
圖 5.35 臺中港之溢淹圖，入射波高：(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺

### 5.3.1.2 布袋港之模擬結果



(a) 布袋:0.5 公尺

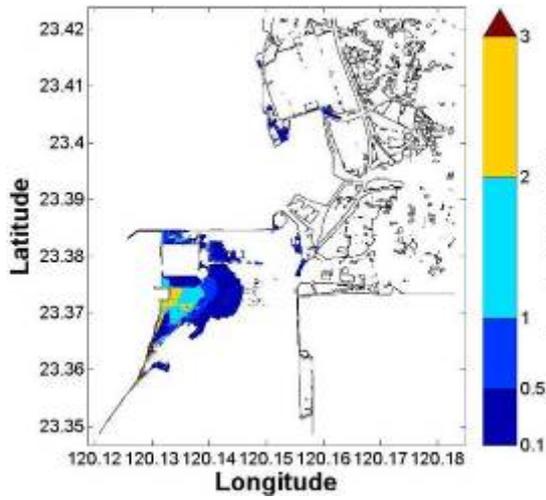
(b) 布袋:1 公尺



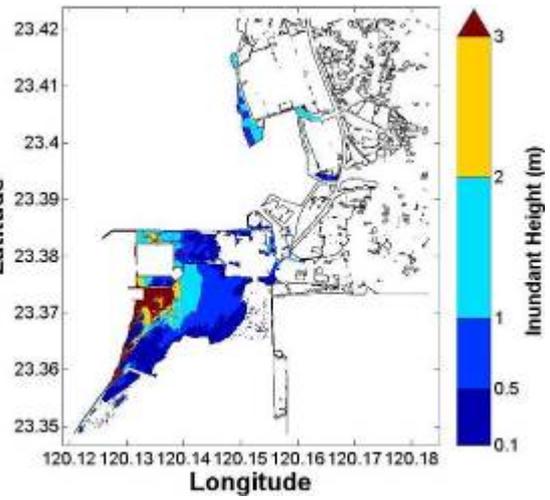
(c) 布袋:2 公尺

(d) 布袋:3 公尺

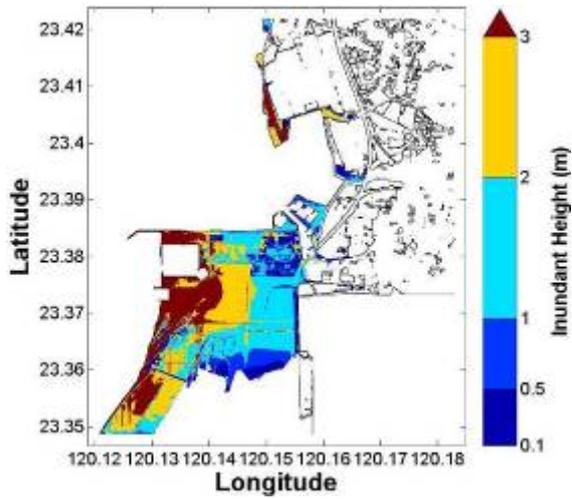
圖 5.36 布袋港之溢淹圖，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺



(e) 布袋:4 公尺



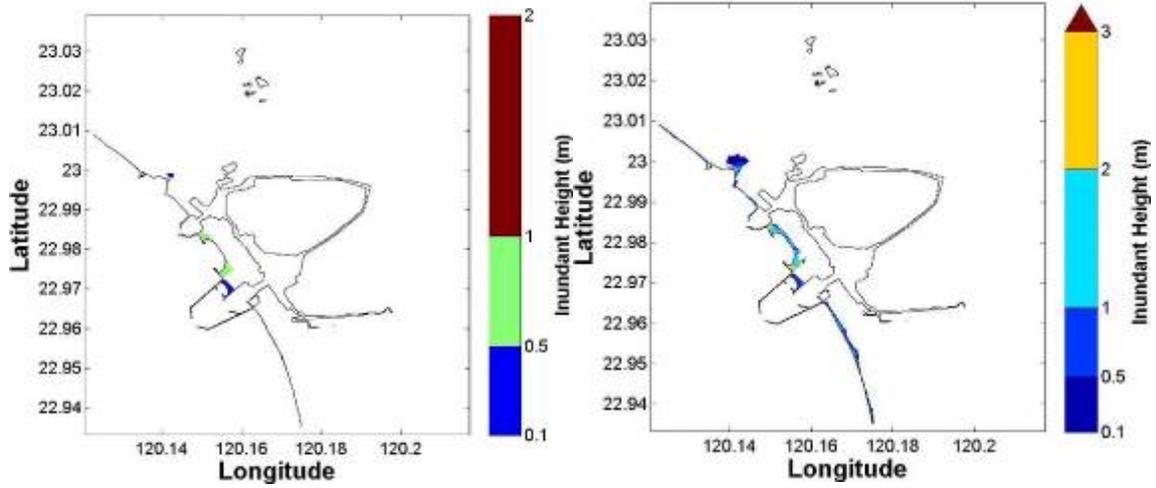
(f) 布袋:6 公尺



(g) 布袋:10 公尺

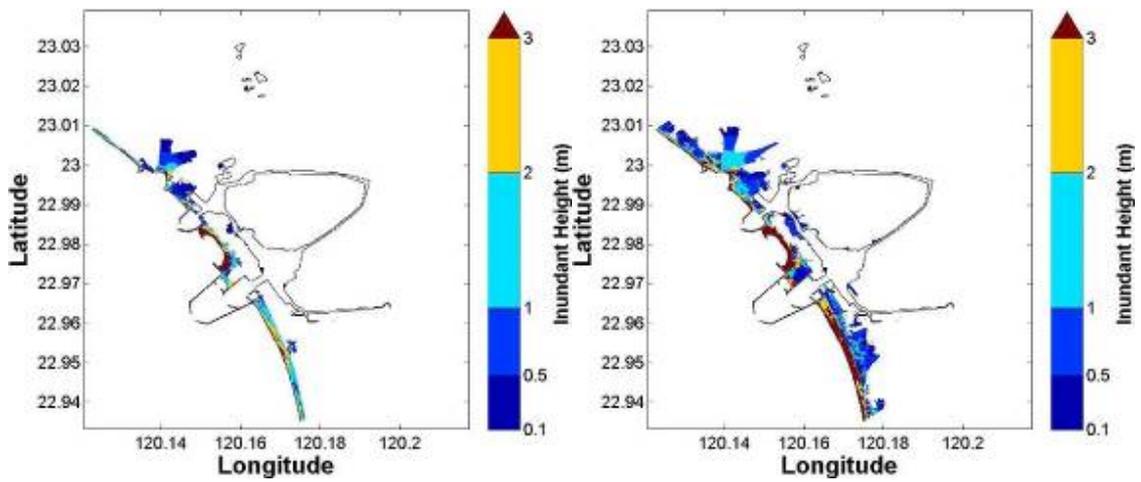
圖 5.36 布袋港之溢淹圖，入射波高：(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺

### 5.3.1.3 安平港之模擬結果



(a) 安平:0.5 公尺

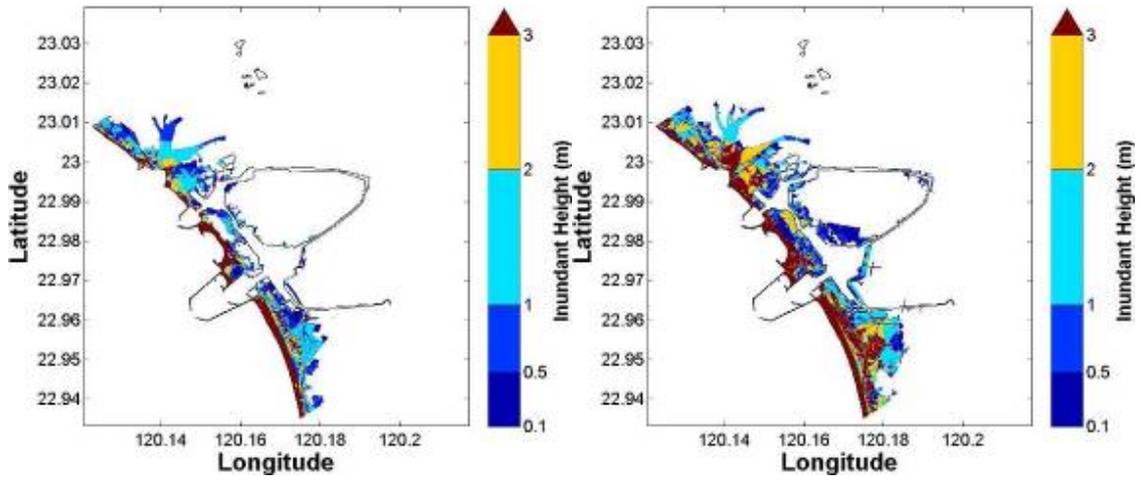
(b) 安平:1 公尺



(c) 安平:2 公尺

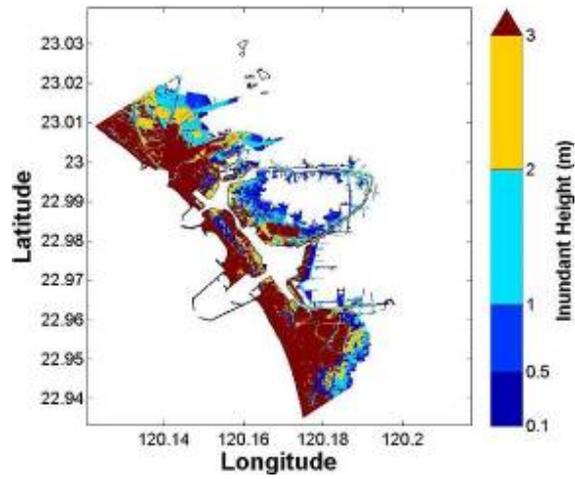
(d) 安平:3 公尺

圖 5.37 安平港之溢淹圖，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺



(e) 安平:4 公尺

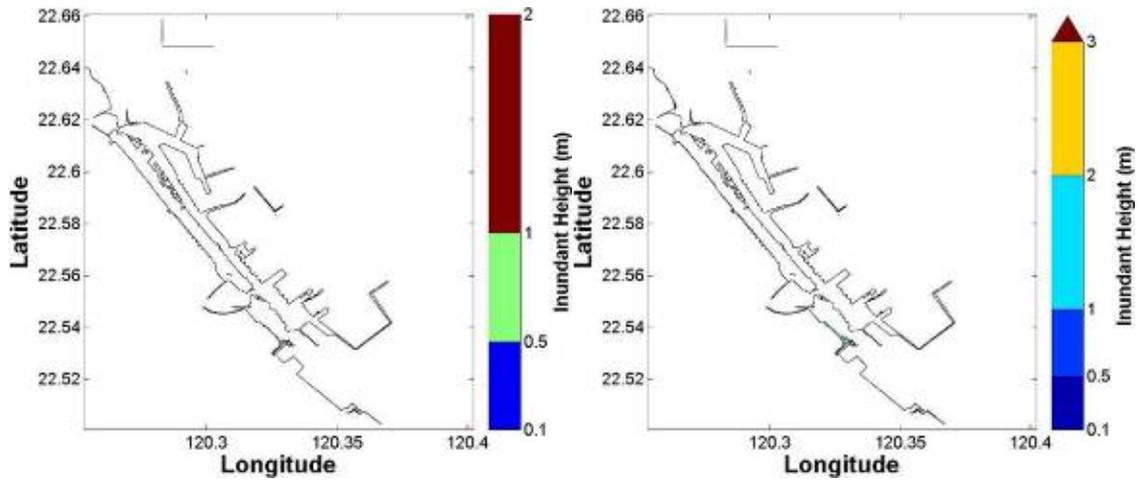
(f) 安平:6 公尺



(g) 安平:10 公尺

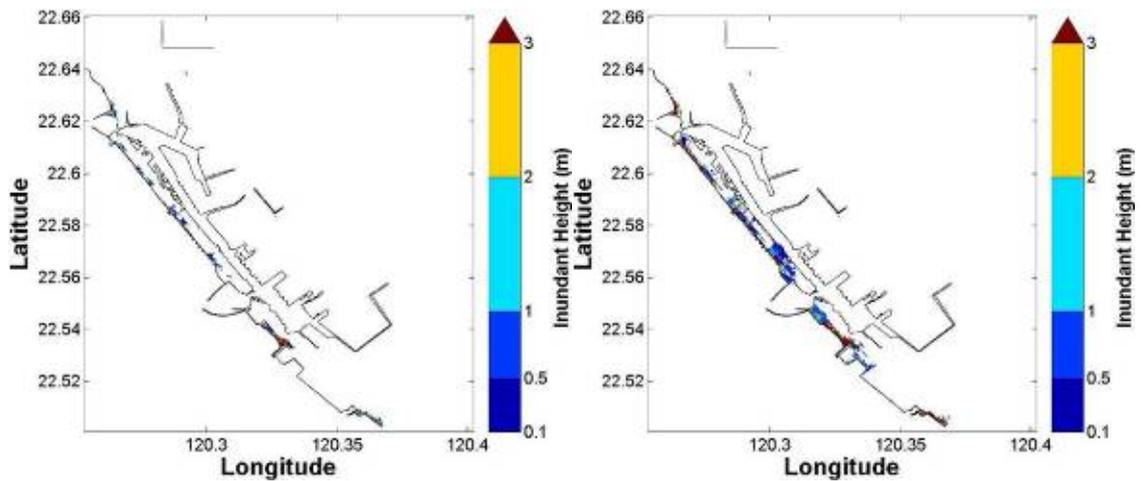
圖 5.37 安平港之溢淹圖，入射波高：(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺

### 5.3.1.4 高雄港之模擬結果



(a) 高雄:0.5 公尺

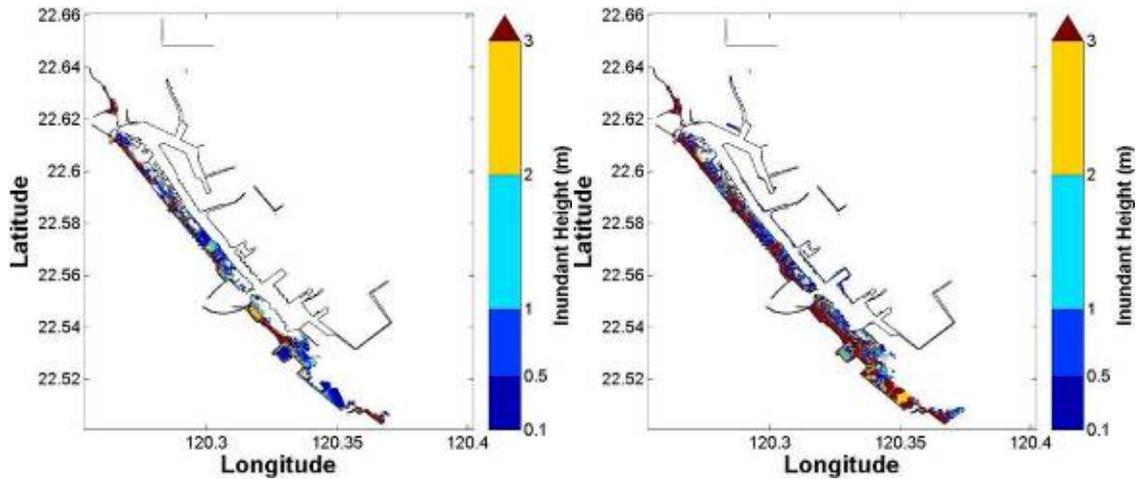
(b) 高雄:1 公尺



(c) 高雄:2 公尺

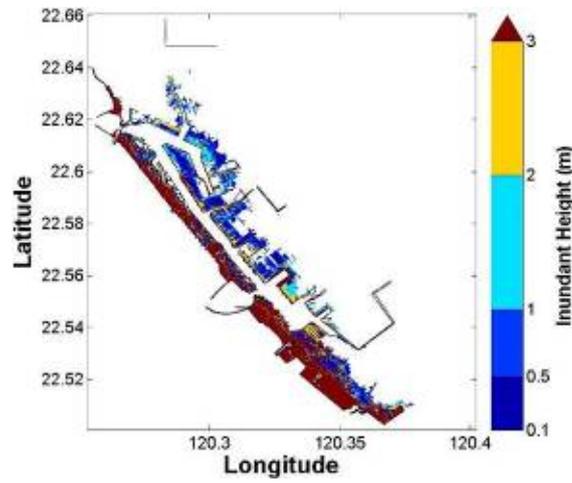
(d) 高雄:3 公尺

圖 5.38 高雄港之溢淹圖，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺



(e) 高雄:4 公尺

(f) 高雄:6 公尺



(g) 高雄:10 公尺

圖 5.38 高雄港之溢淹圖，入射波高：(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺

### 5.3.2 地理資訊系統

前期研究所建構之預報系統只提供外海波高，未能提供港內可能的受災狀況，故各港務分公司不知如何應變。本研究將結合前節所呈現之視覺化之防災溢淹潛勢圖(Inundation Map) 並整合地理資訊系統之圖資一起展現，以建立 Google Earth 地理資訊系統圖資之視窗化操作介面，則不論一般民眾或是主管機關都能快速掌握港內受災狀況，大幅降低災害之威脅，也作為海嘯警報發布時各港務分公司之應變參考。

其方法將每一網格水位的高度已製做成溢淹的範圍並顯示水位高度，藉此將所計算出來的水位資料疊加原始的地形資料，並轉將其經緯度座標轉換成地理資訊系統座標，與地理資訊系統(GIS)相結合，配合各種圖層(圖 5.41)，依照每個溢淹潛勢圖的功能，以最一目了然的方式呈現。各地理資訊系統中尤其以 Google Earth 最方便經濟，系統使用者可直接於網路上下載使用應用軟體，同時可以免除建立基本圖層及數位資料之困擾，其強大之多圖層功能可應用於防災圖資之建立，做為溢淹潛勢圖的展示平臺，因此海嘯速報系統將可輸出 Google Earth 圖資地形用之 kmz 檔。圖 5.40 至圖 5.43 分別為臺中、布袋、安平、高雄之 DSM 地形數值模擬結果，圖 5.44 至圖 5.47 分別為臺中、布袋、安平、高雄之 DEM 地形數值模擬結果。

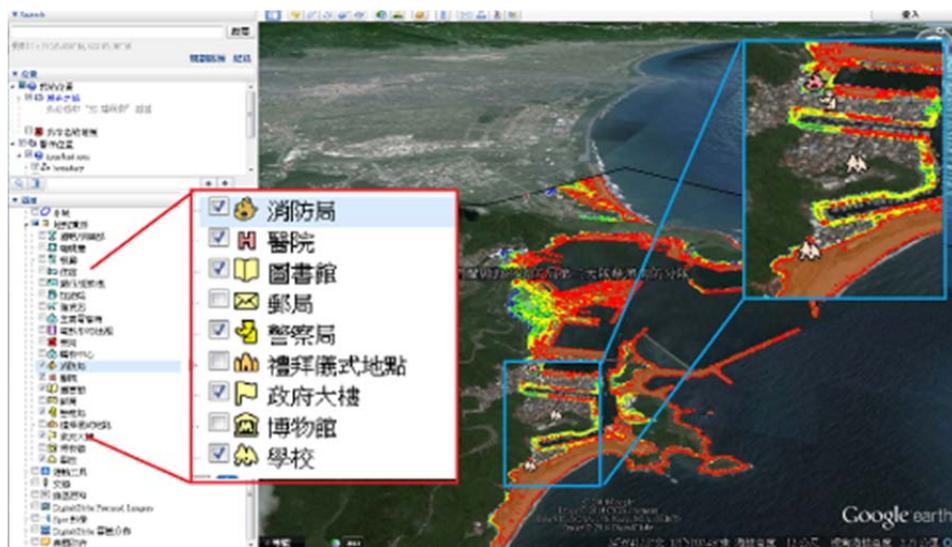


圖 5.39 Google Earth 圖層

### 5.3.2.1 臺中港結合 Google Earth 之溢淹潛勢圖(DSM)

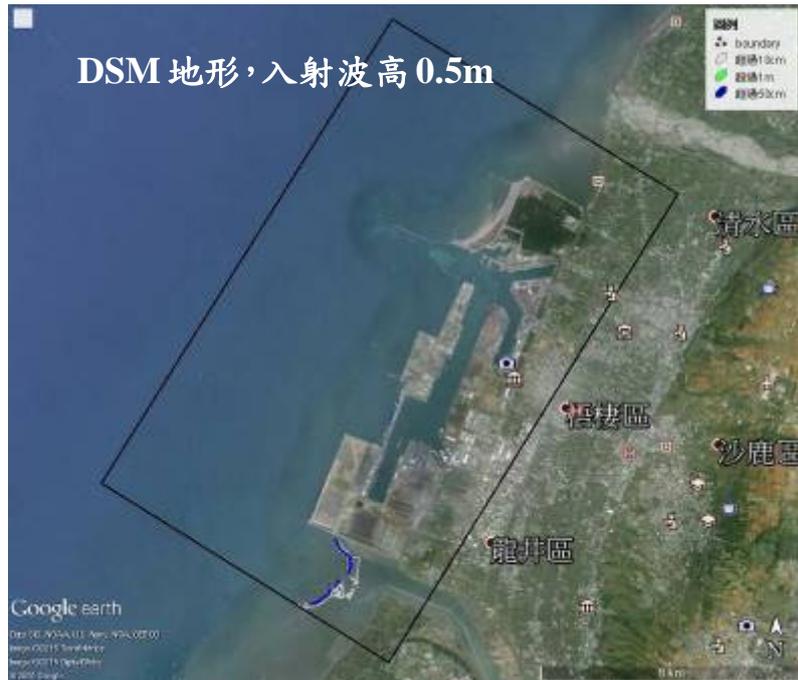


圖 5.40(a) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM), 入射波高 0.5 公尺



圖 5.40(b) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM), 入射波高 1 公尺

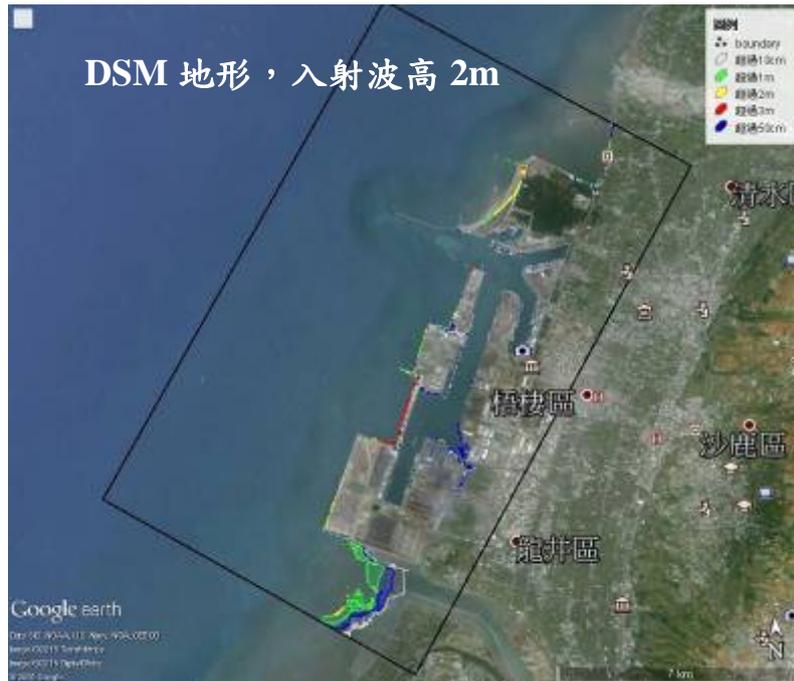


圖 5.40(c) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 2 公尺

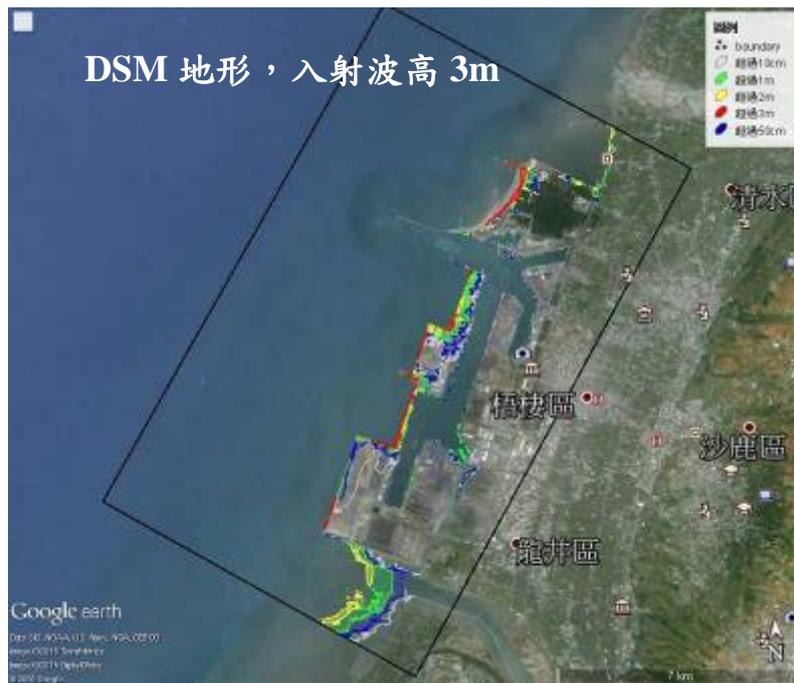


圖 5.40(d) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 3 公尺

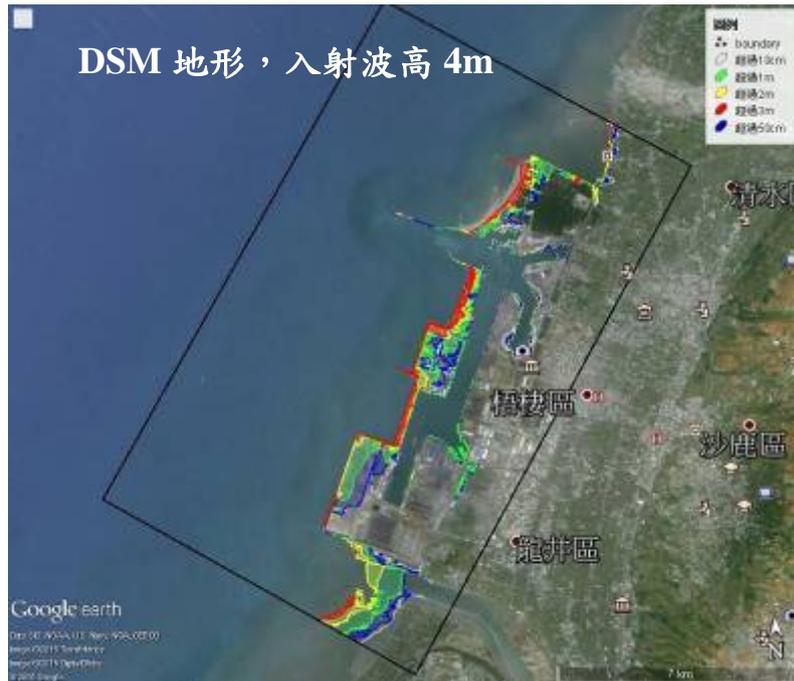


圖 5.40(e) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 4 公尺

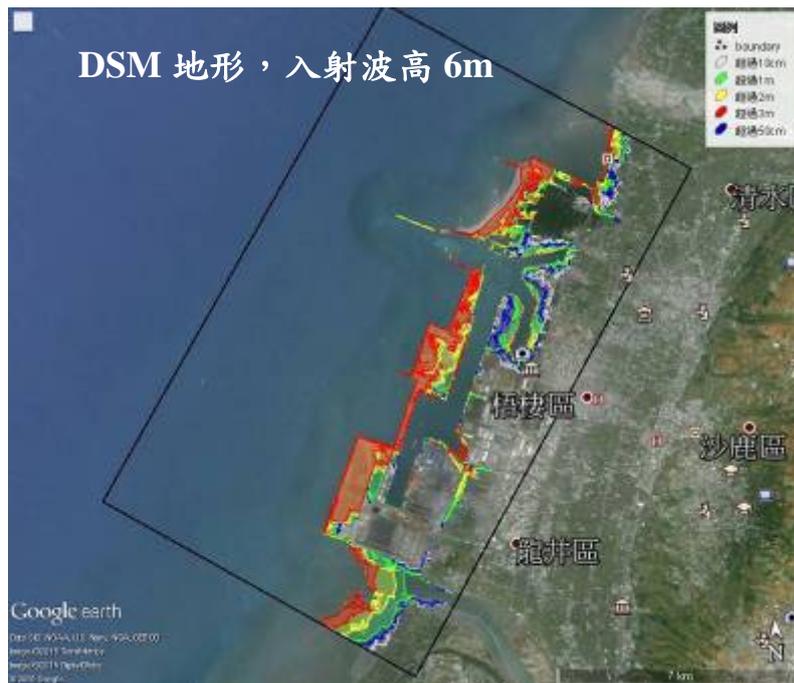


圖 5.40(f) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 6 公尺

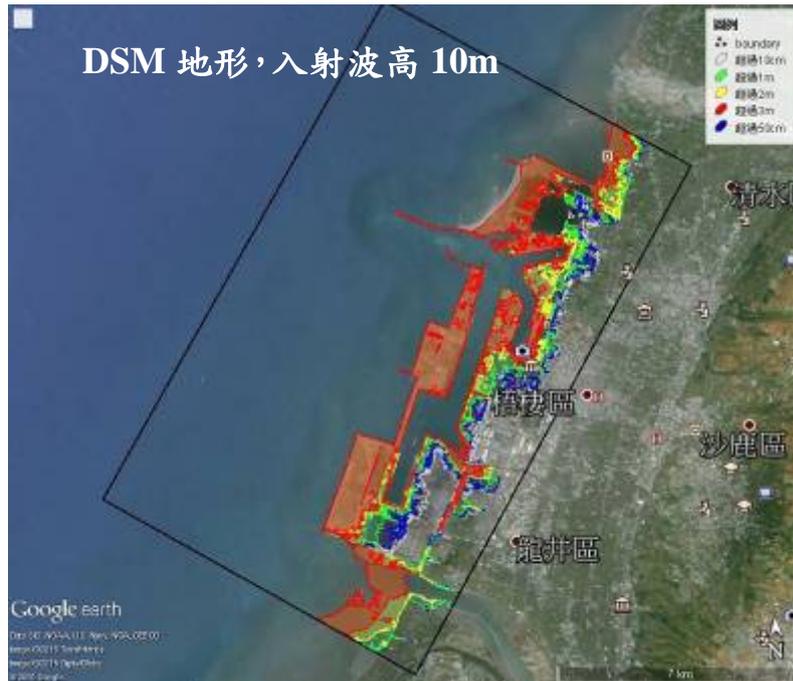


圖 5.40(g) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 10 公尺

圖 5.40 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高：  
 (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

### 5.3.2.2 布袋港結合 Google Earth 之溢淹潛勢圖(DSM)



圖 5.41(a) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 0.5 公尺



圖 5.41(b) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 1 公尺

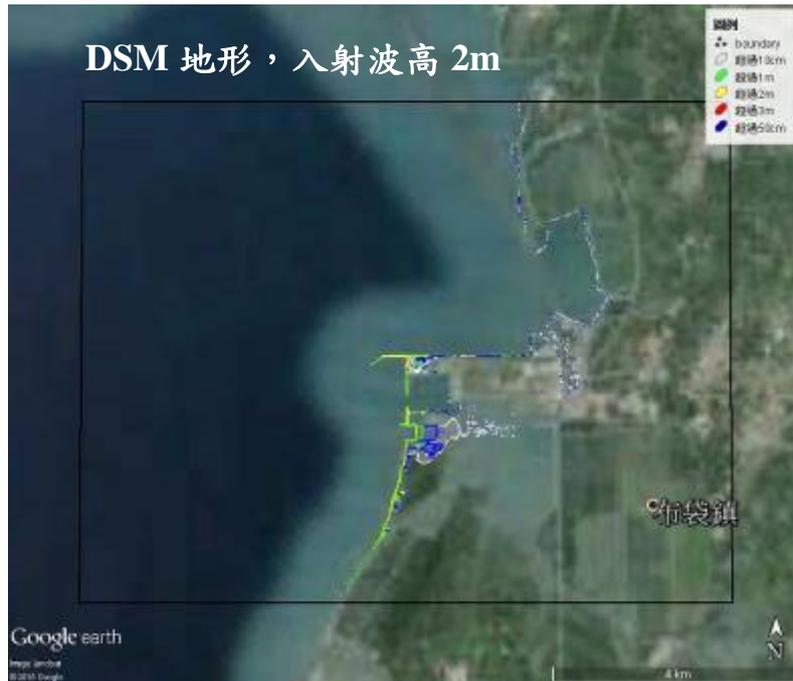


圖 5.41(c) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 2 公尺



圖 5.41(d) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 3 公尺

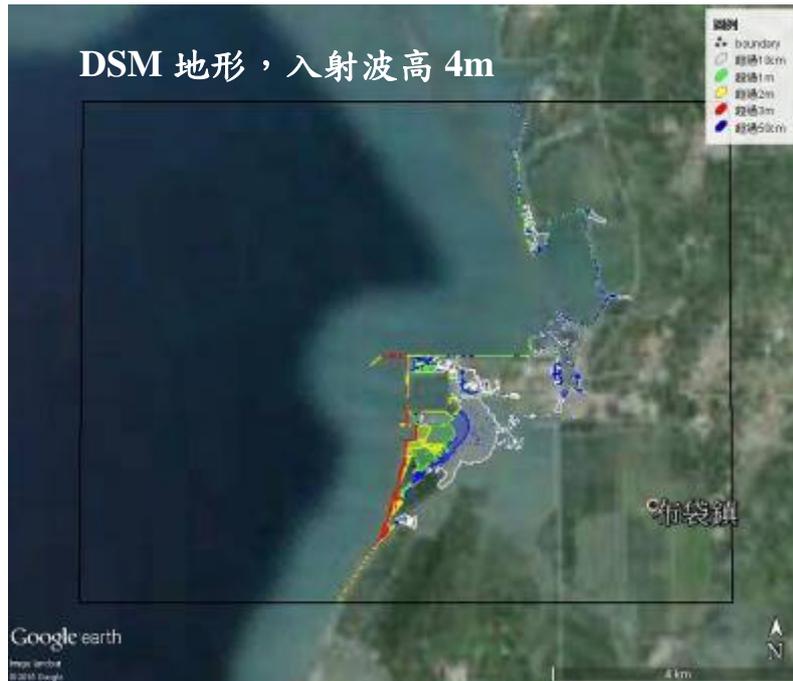


圖 5.41(e) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 4 公尺

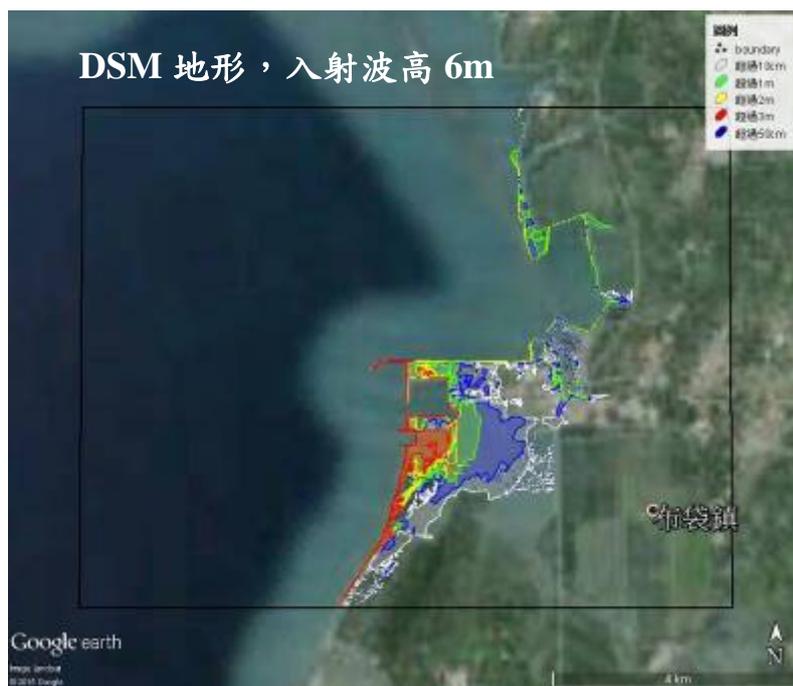


圖 5.41(f) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 6 公尺

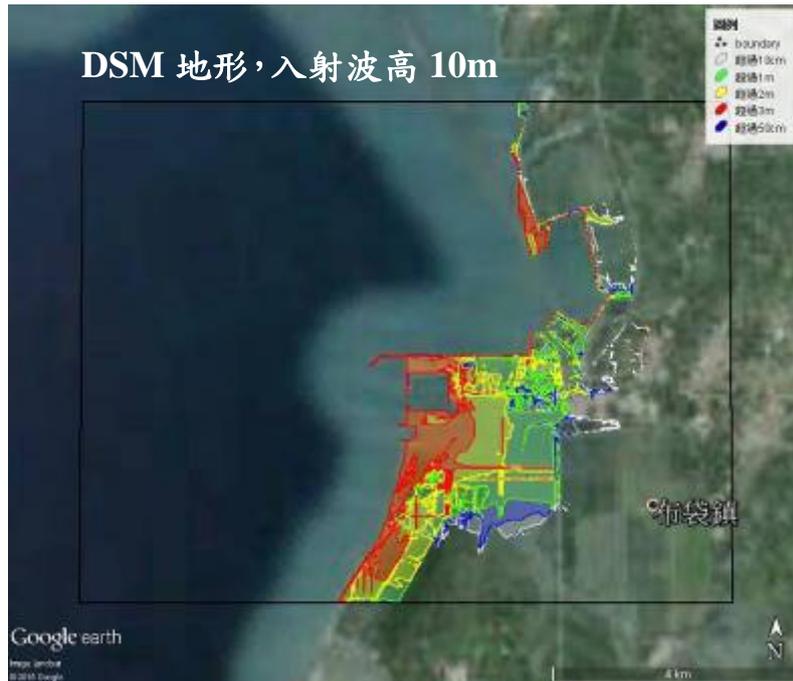


圖 5.41(g) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 10 公尺

圖 5.41 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高：  
 (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

### 5.3.2.3 安平港結合 Google Earth 之溢淹潛勢圖(DSM)



圖 5.42(a) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 0.5 公尺

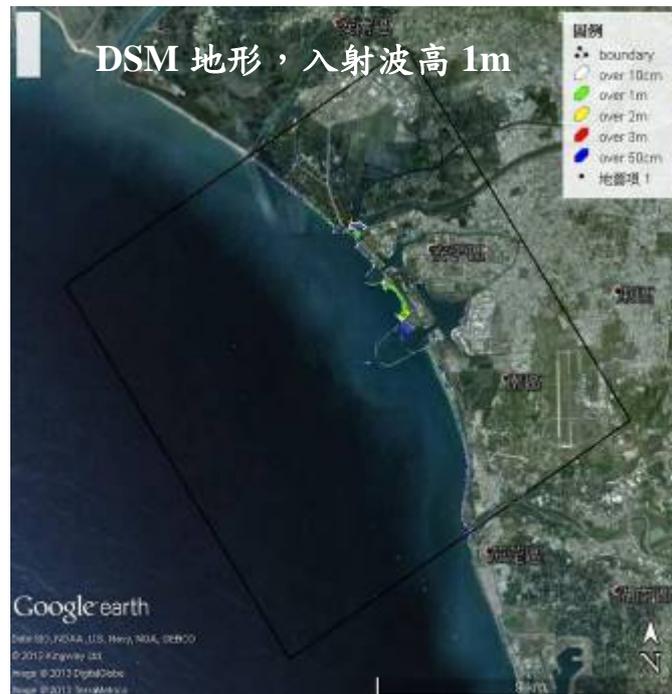


圖 5.42(b) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 1 公尺

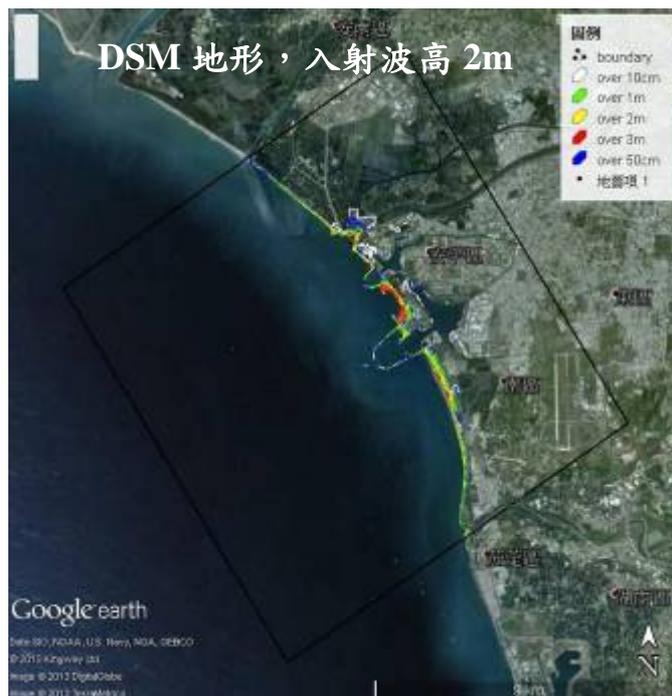


圖 5.42(c) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 2 公尺



圖 5.42(d) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 3 公尺



圖 5.42(e) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 4 公尺

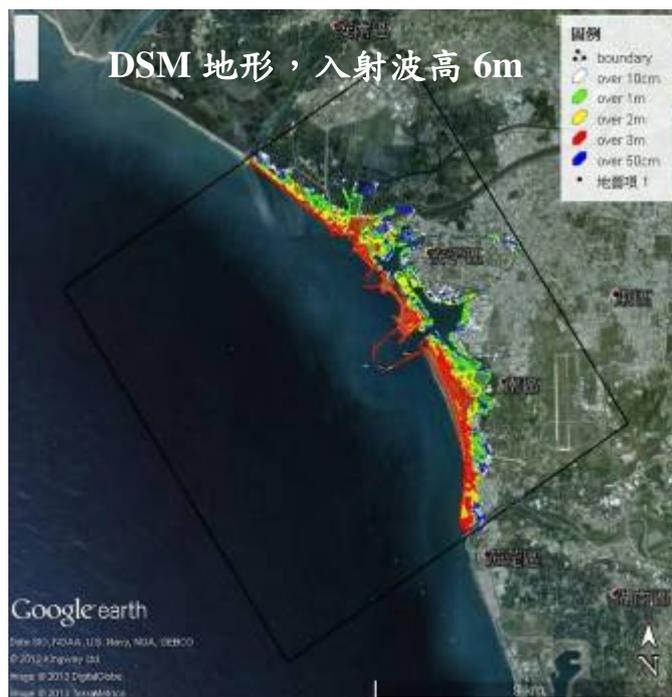


圖 5.42(f) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 6 公尺

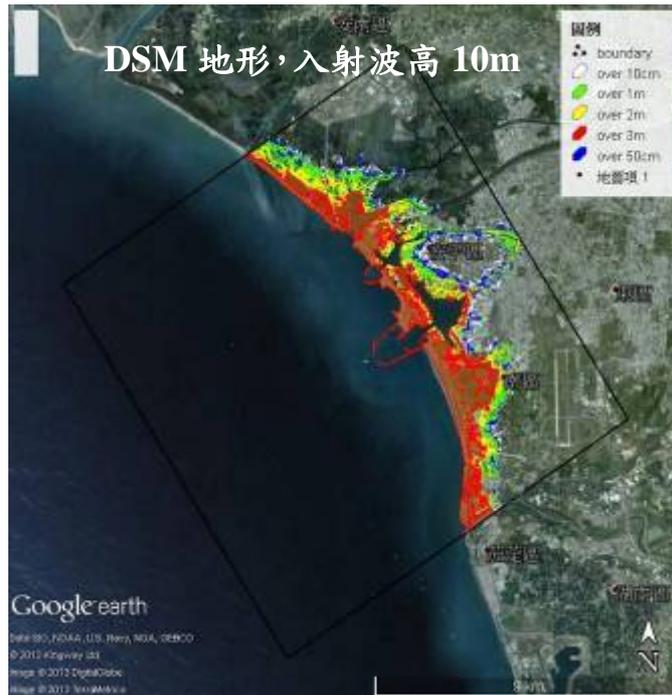


圖 5.42 (g) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 10 公尺

圖 5.42 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高：  
 (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

### 5.3.2.4 高雄港結合 Google Earth 之溢淹潛勢圖(DSM)

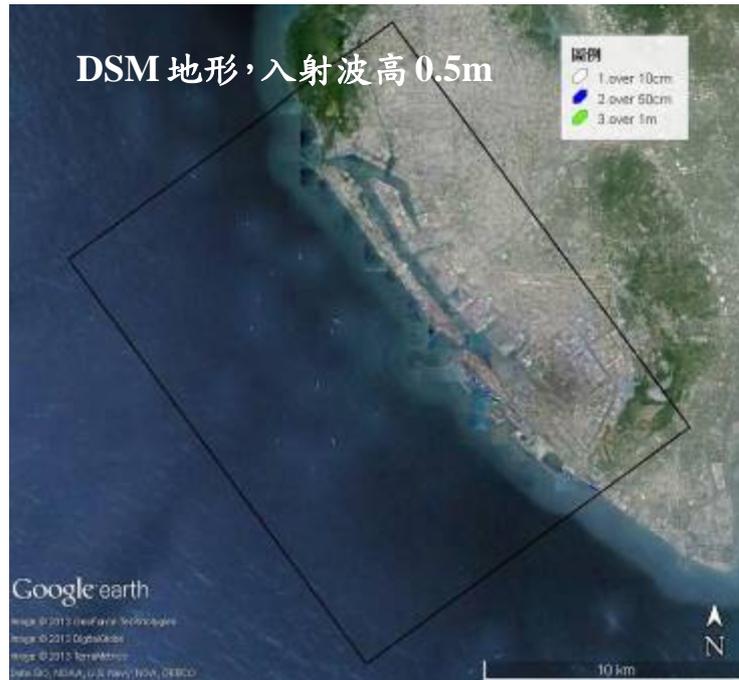


圖 5.43(a) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 0.5 公尺

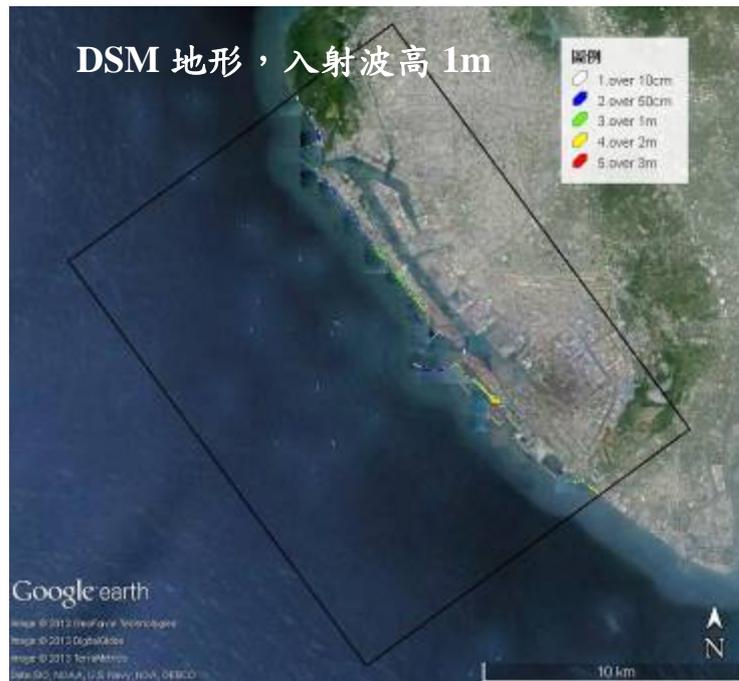


圖 5.43(b) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 1 公尺

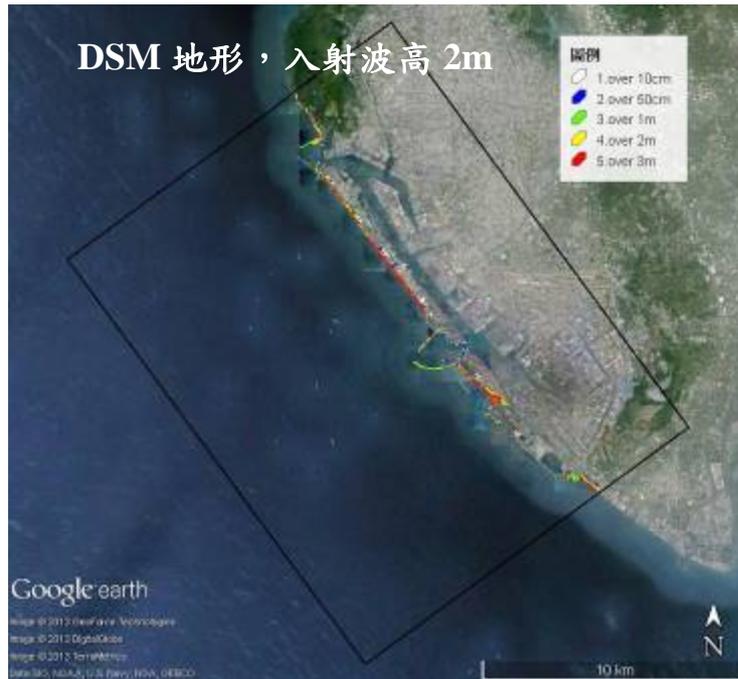


圖 5.43(c) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 2 公尺

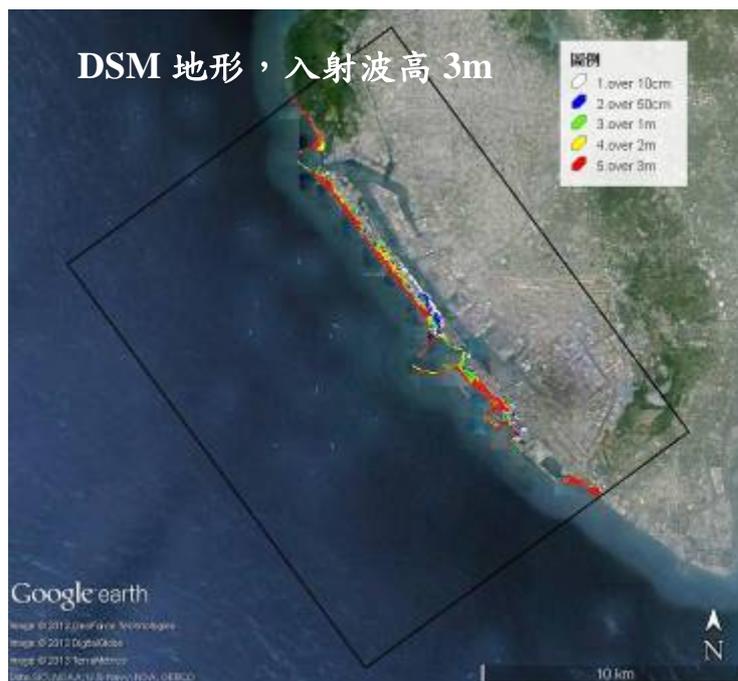


圖 5.43 (d) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 3 公尺

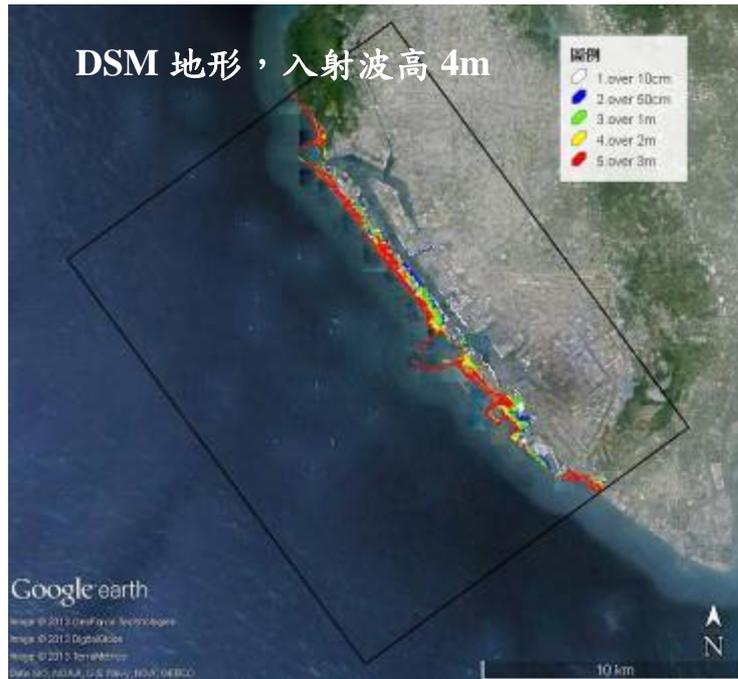


圖 5.43(e) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 4 公尺

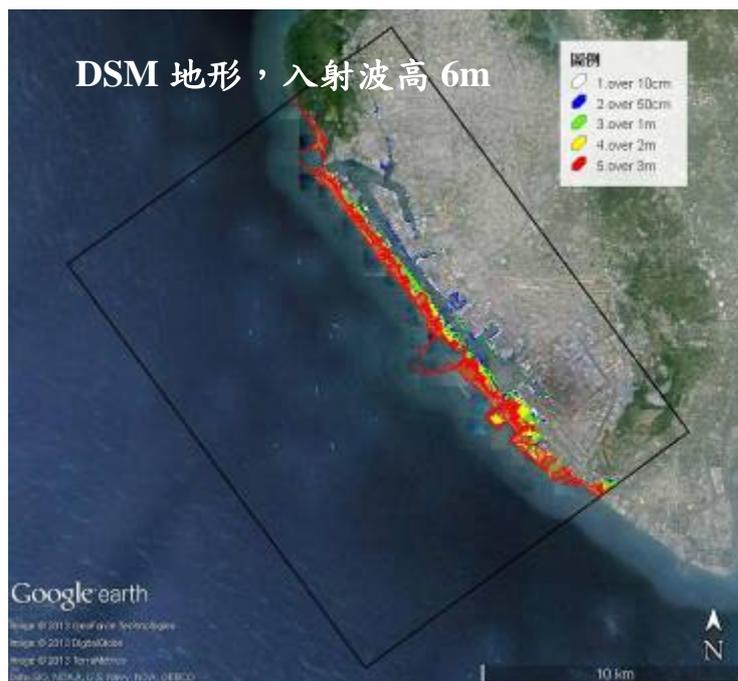


圖 5.43(f) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 6 公尺

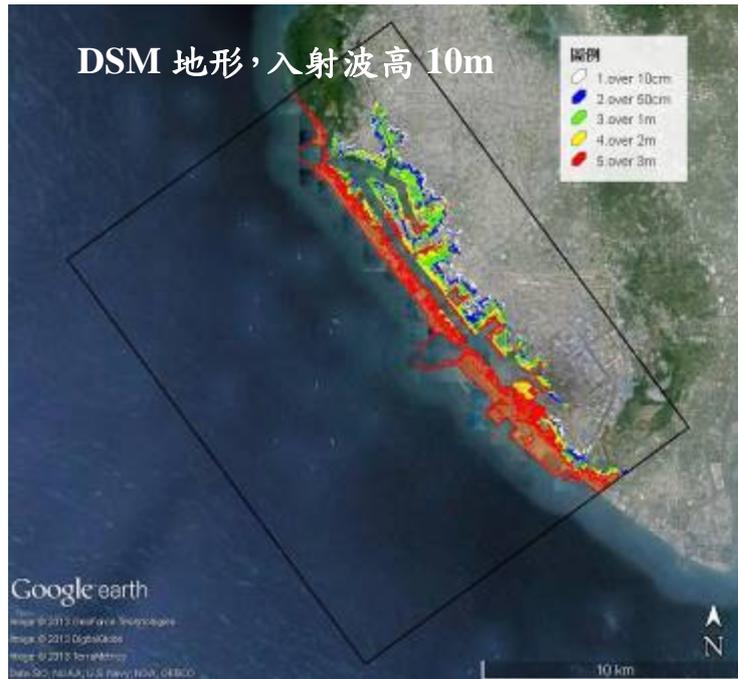


圖 5.43(g) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 10 公尺

圖 5.43 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高：  
(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

以上四個商港(臺中、布袋、安平、高雄)之溢淹圖顯示，此地形採用 DSM 之數值地形，入射波若大於 2 公尺，均對四個港有超過 1 公尺的溢淹，若透過 Google Earth 地理資訊系統的圖資，可以提供給各港務(分)公司相關溢淹的資訊，進一步可由相關的地理資訊圖資作支援決策。

### 5.3.2.5 臺中港結合 Google Earth 之溢淹潛勢圖(DEM)

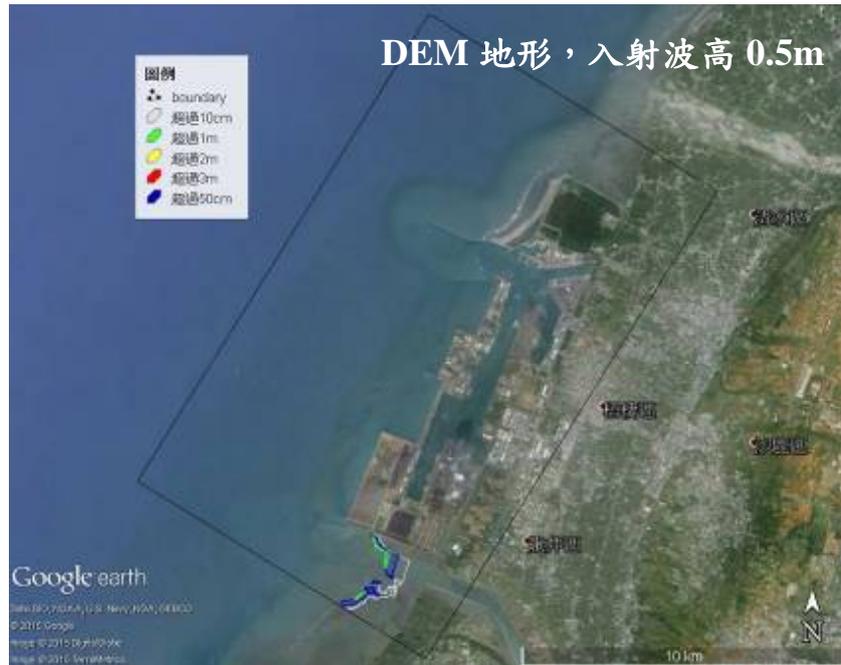


圖 5.44(a) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 0.5 公尺

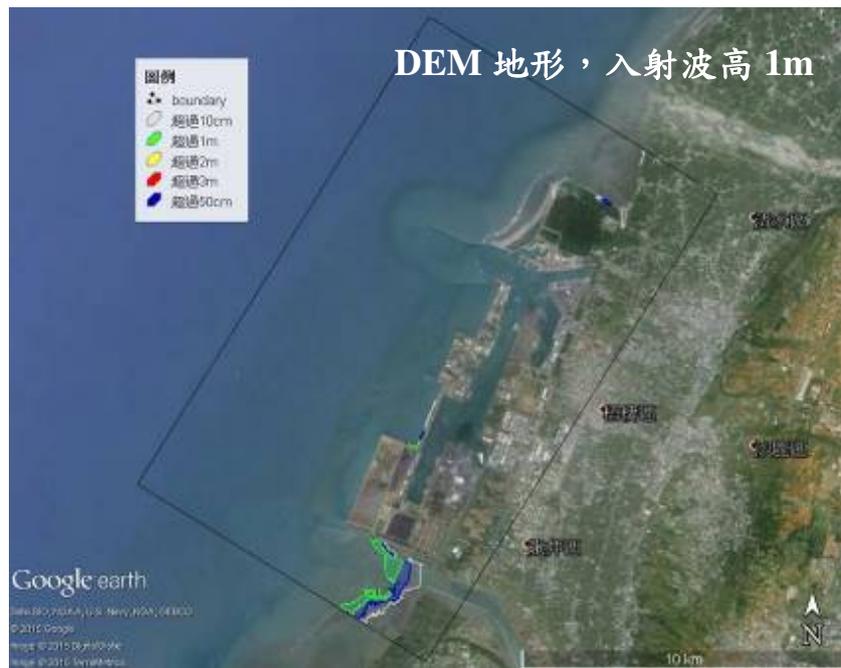


圖 5.44(b) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 1 公尺



圖 5.44(c) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 2 公尺

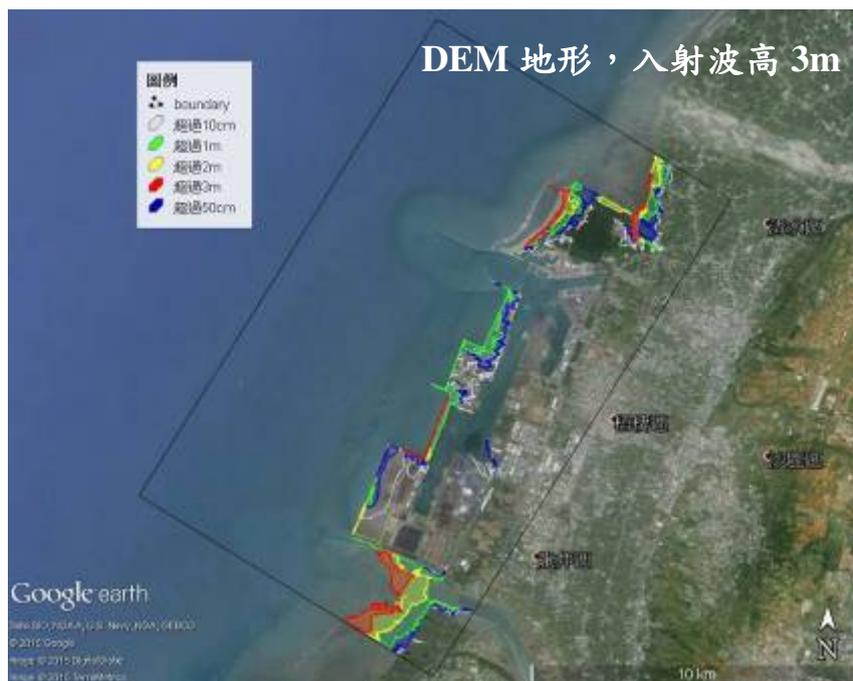


圖 5.44(d) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 3 公尺

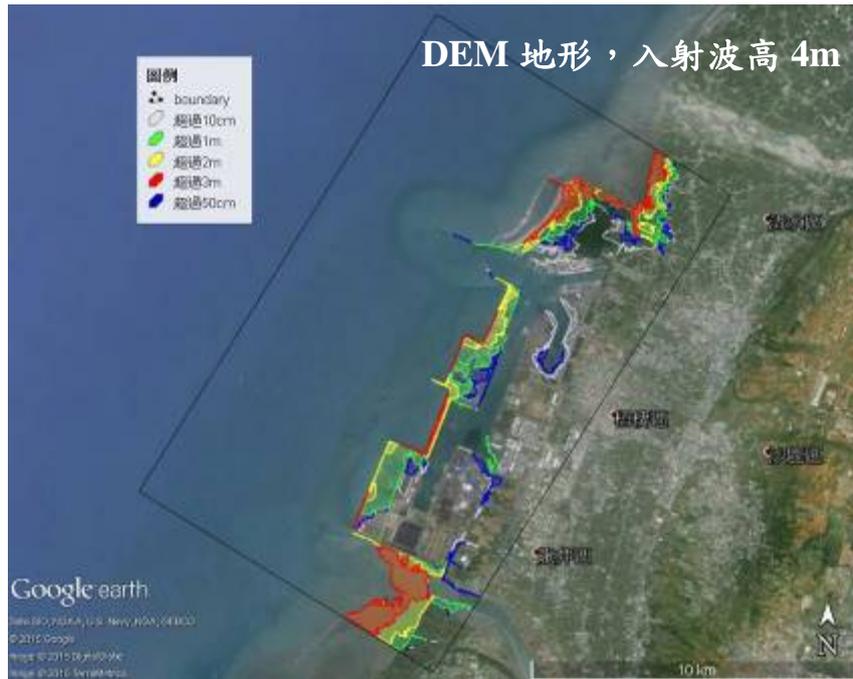


圖 5.44(e) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 4 公尺

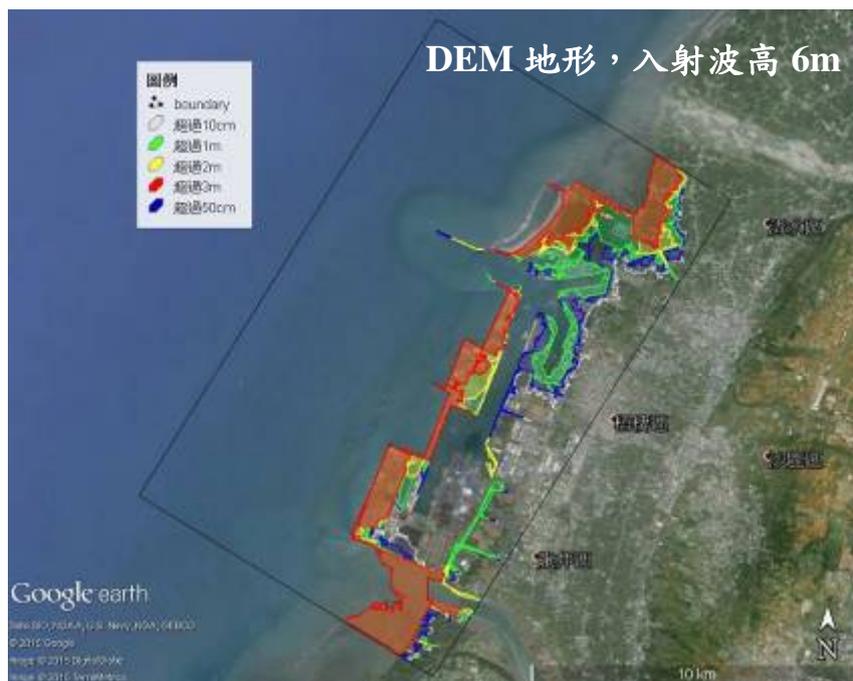


圖 5.44(f) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 6 公尺

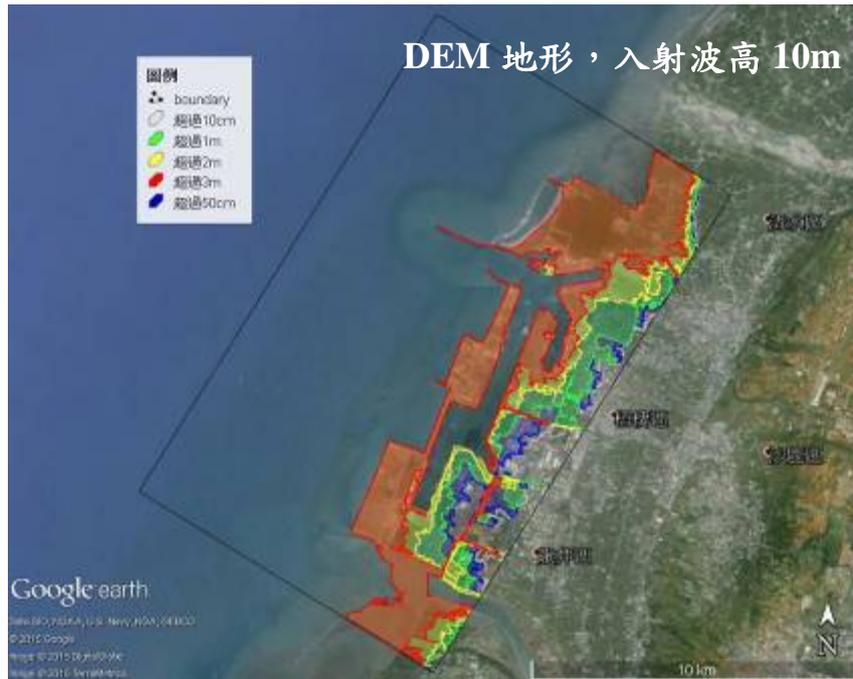


圖 5.44(g) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 10 公尺

圖 5.44 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高：  
 (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

### 5.3.2.6 布袋港結合 Google Earth 之溢淹潛勢圖(DEM)



圖 5.45(a) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 0.5 公尺



圖 5.45(b) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 1 公尺



圖 5.45(c) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 2 公尺

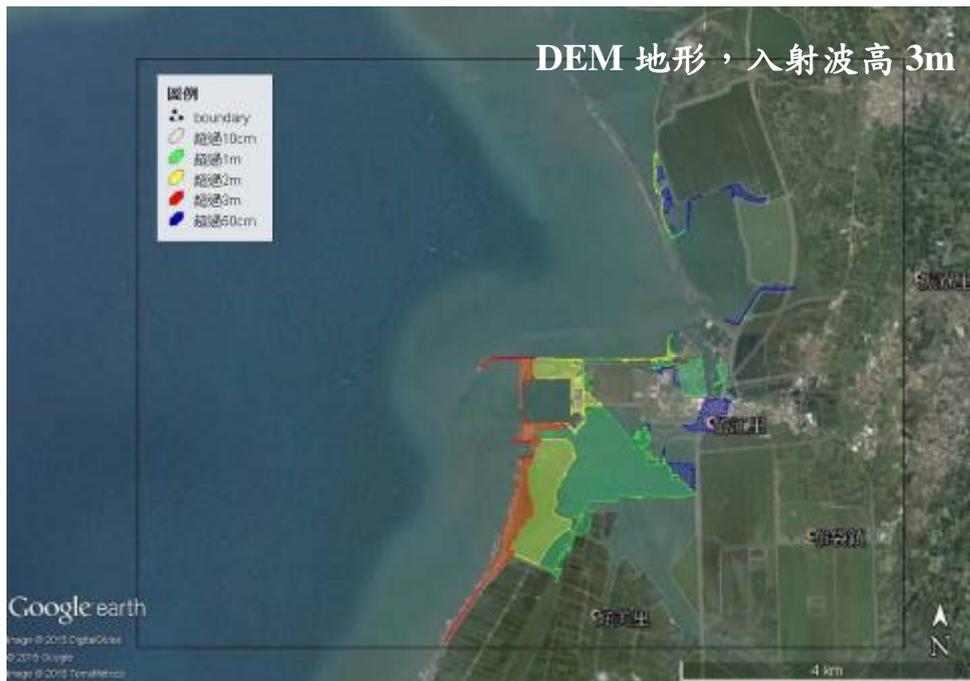


圖 5.45(d) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 3 公尺

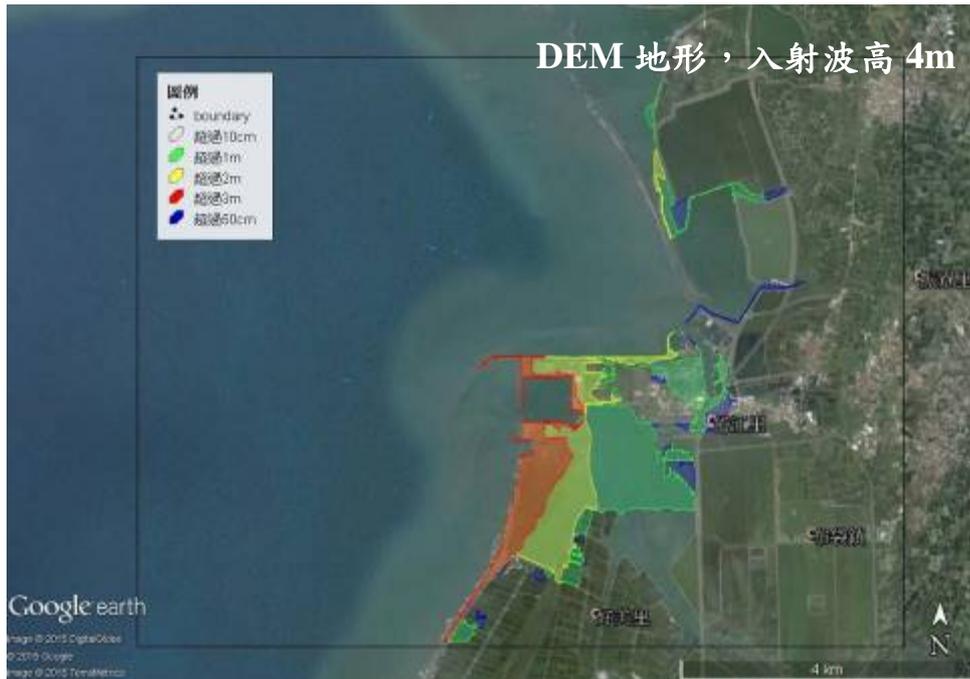


圖 5.45(e) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 4 公尺

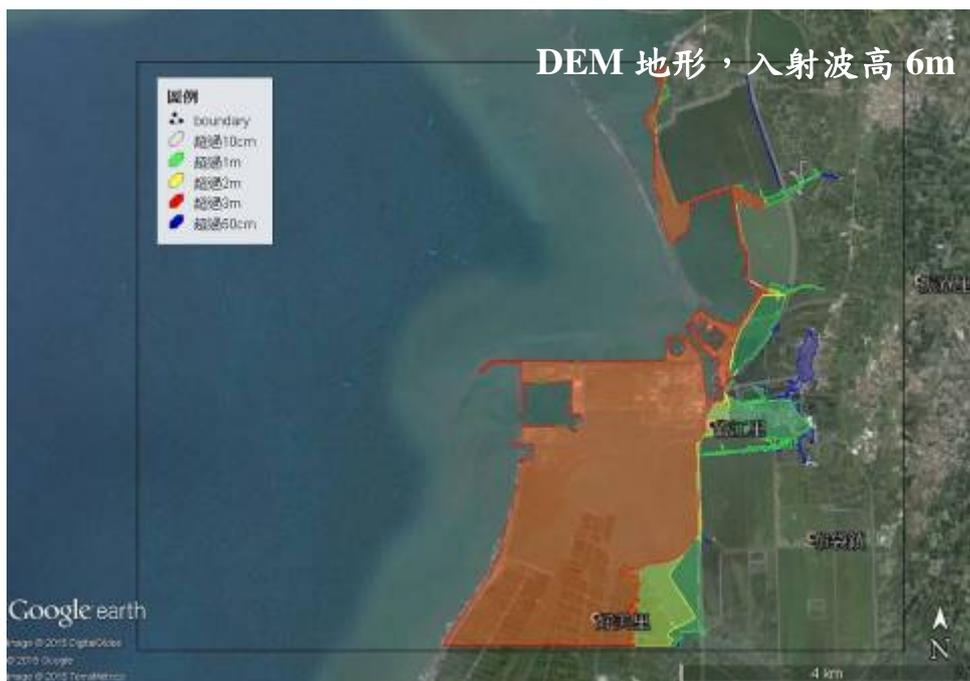


圖 5.45(f) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 6 公尺

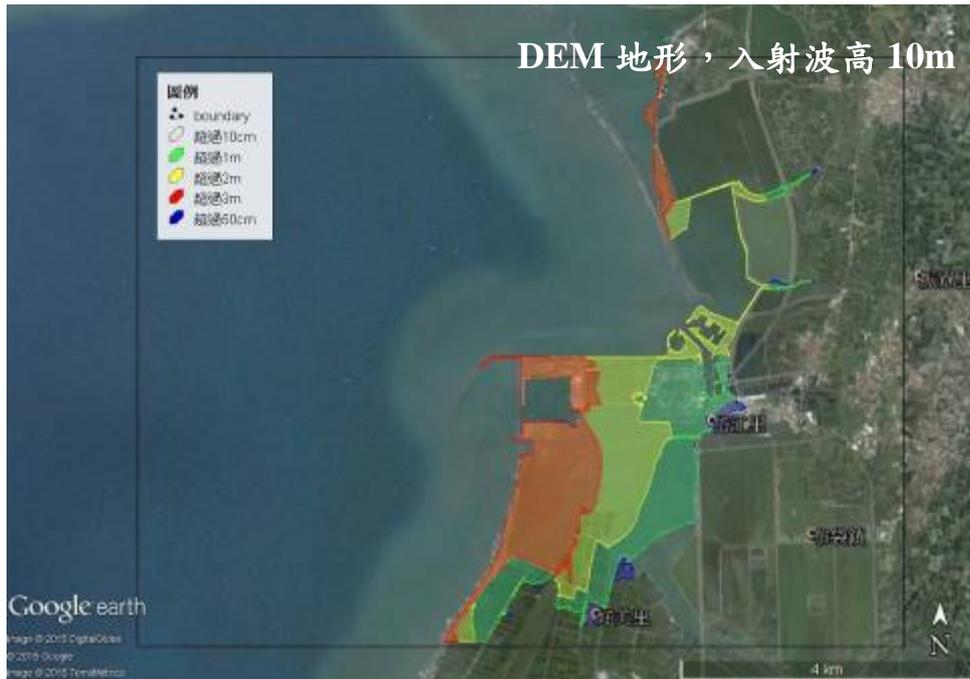


圖 5.45(g) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 10 公尺

圖 5.45 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高：  
 (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

### 5.3.2.7 安平港結合 Google Earth 之溢淹潛勢圖(DEM)

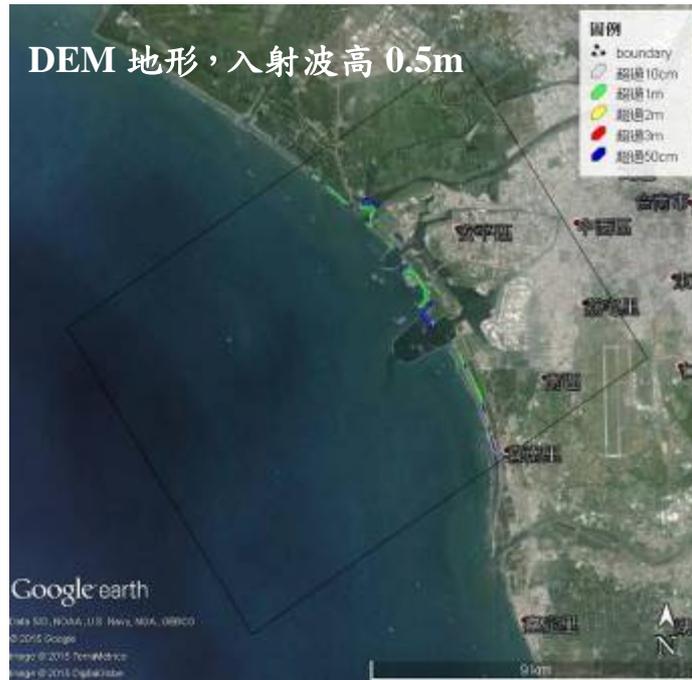


圖 5.46(a) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 0.5 公尺

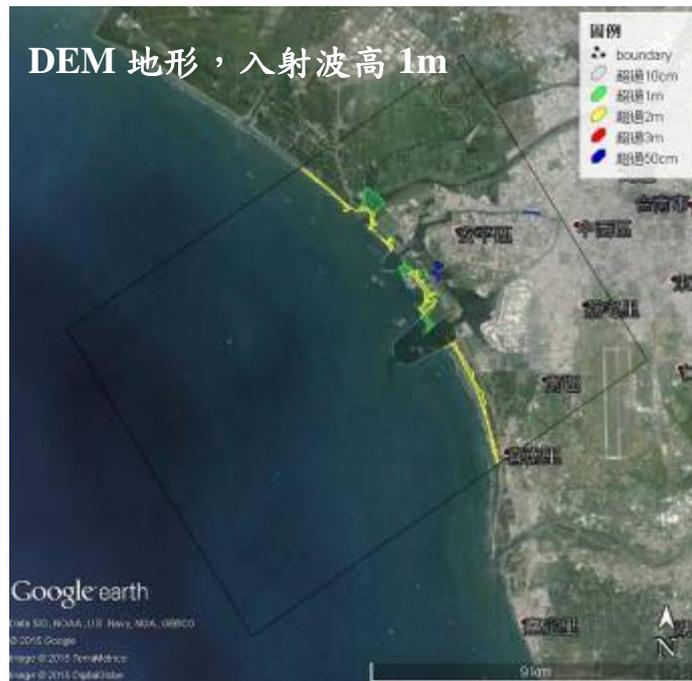


圖 5.46(b) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 1 公尺

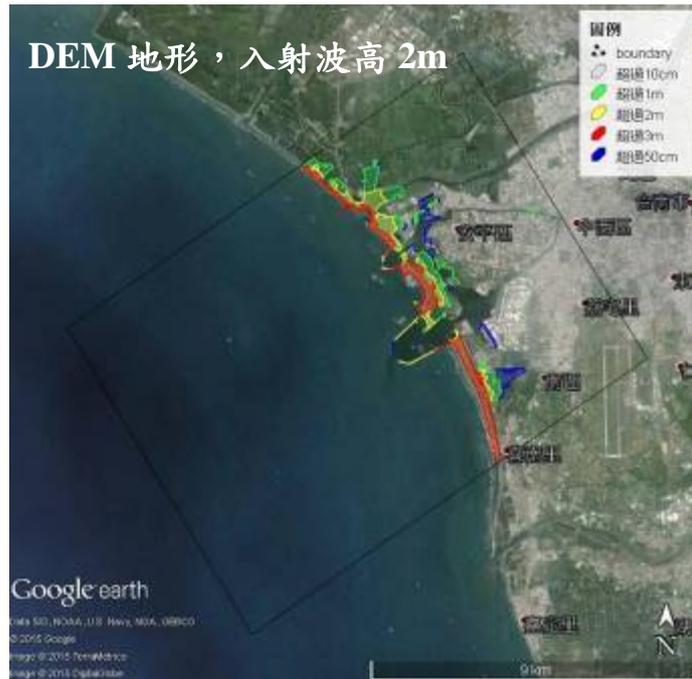


圖 5.46(c) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 2 公尺

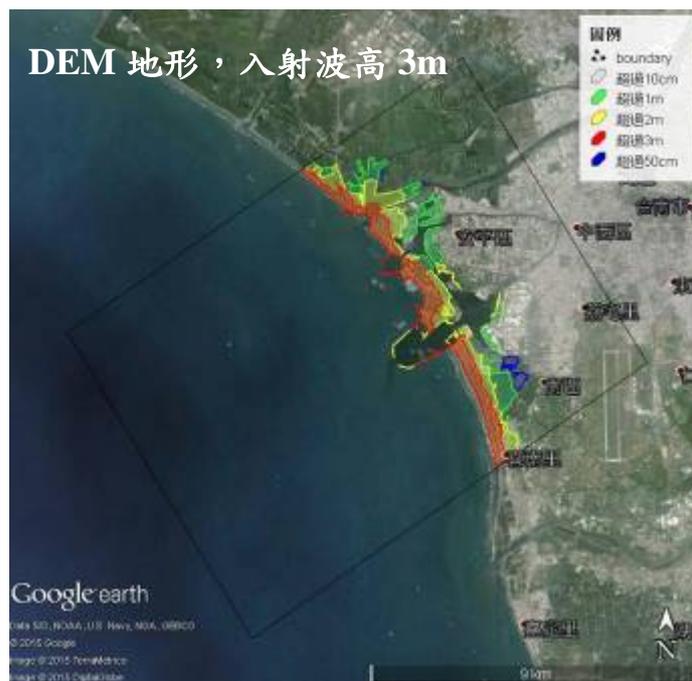


圖 5.46(d) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 3 公尺

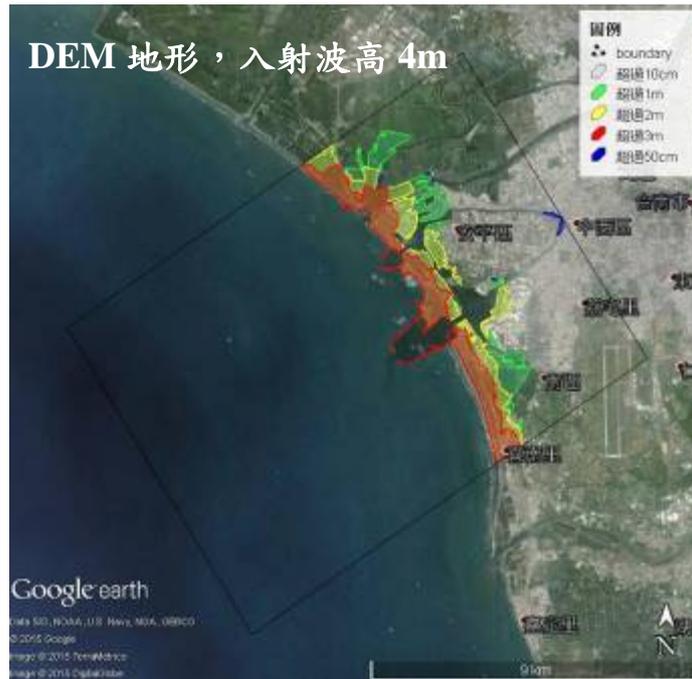


圖 5.46(e) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 4 公尺

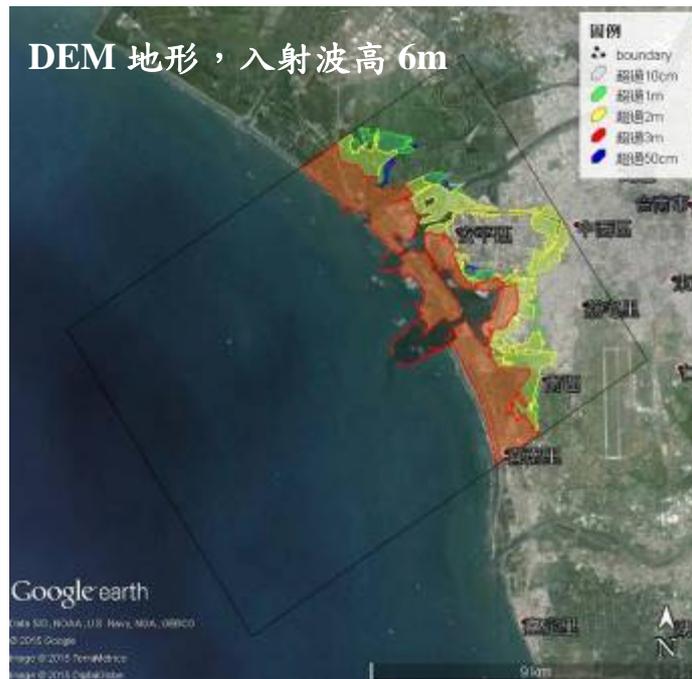


圖 5.46(f) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 6 公尺

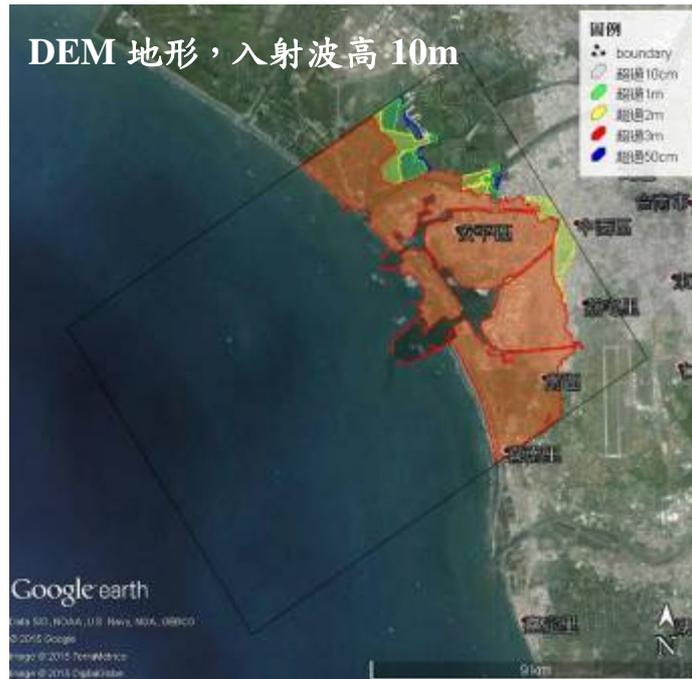


圖 5.46(g) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 10 公尺

圖 5.46 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高：  
 (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

### 5.3.2.8 高雄港結合 Google Earth 之溢淹潛勢圖(DEM)

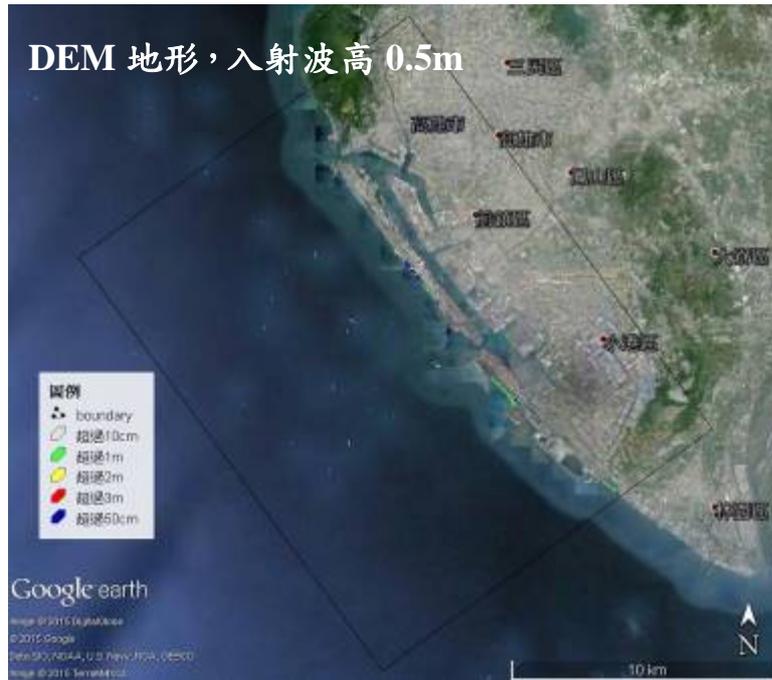


圖 5.47(a) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 0.5 公尺



圖 5.47(b) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 1 公尺

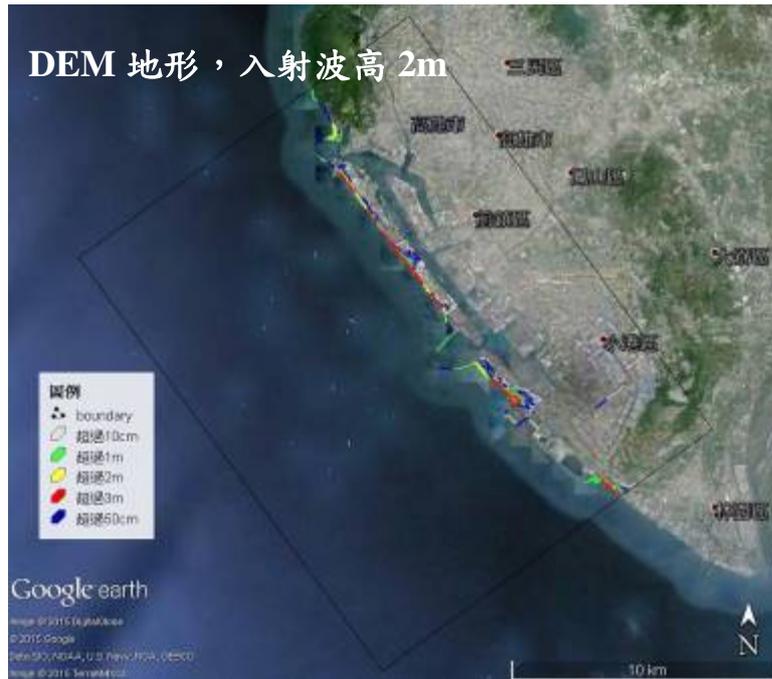


圖 5.47(c) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 2 公尺

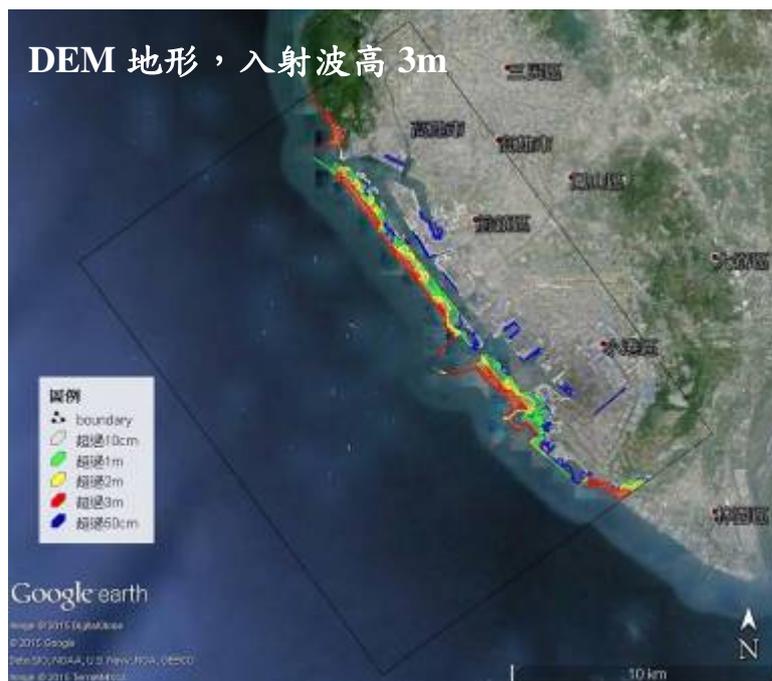


圖 5.47(d) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 3 公尺

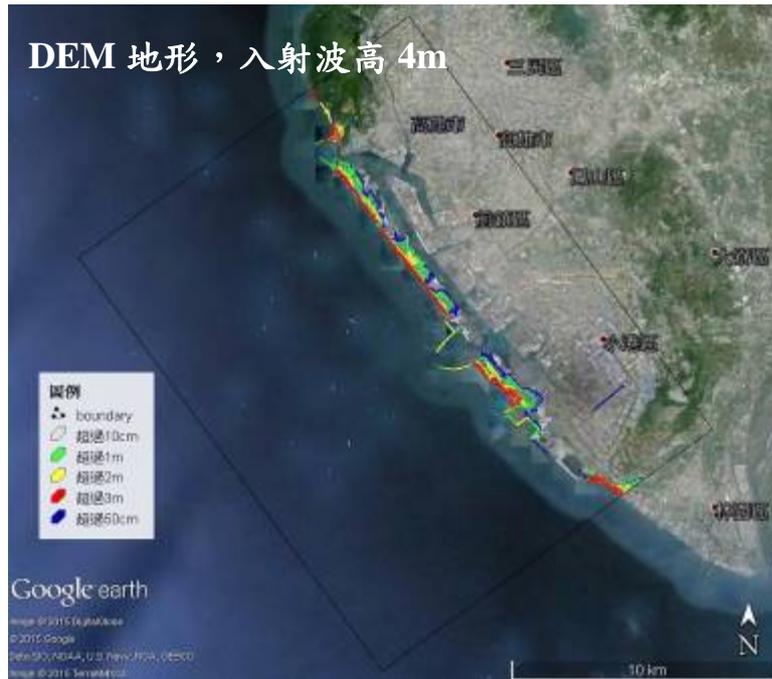


圖 5.47(e) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 4 公尺

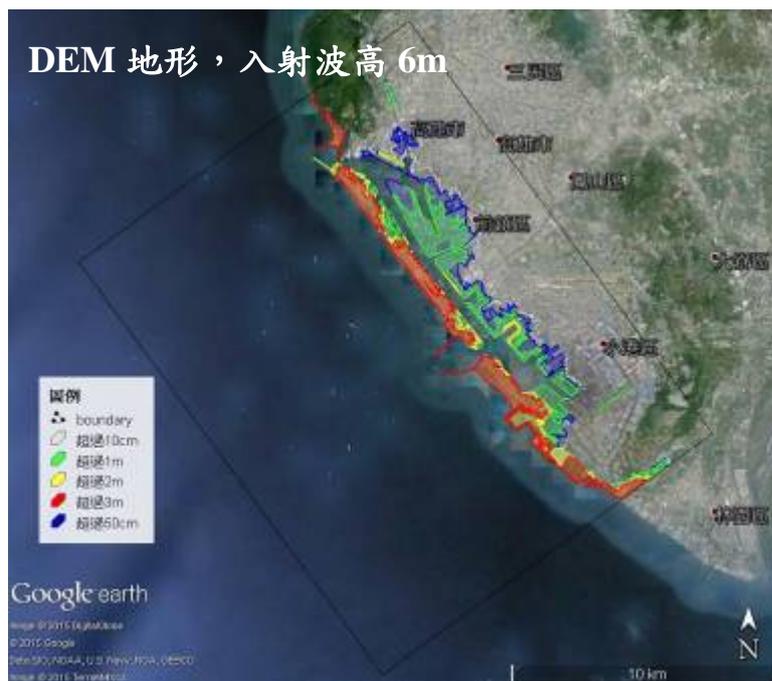


圖 5.47(f) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 6 公尺

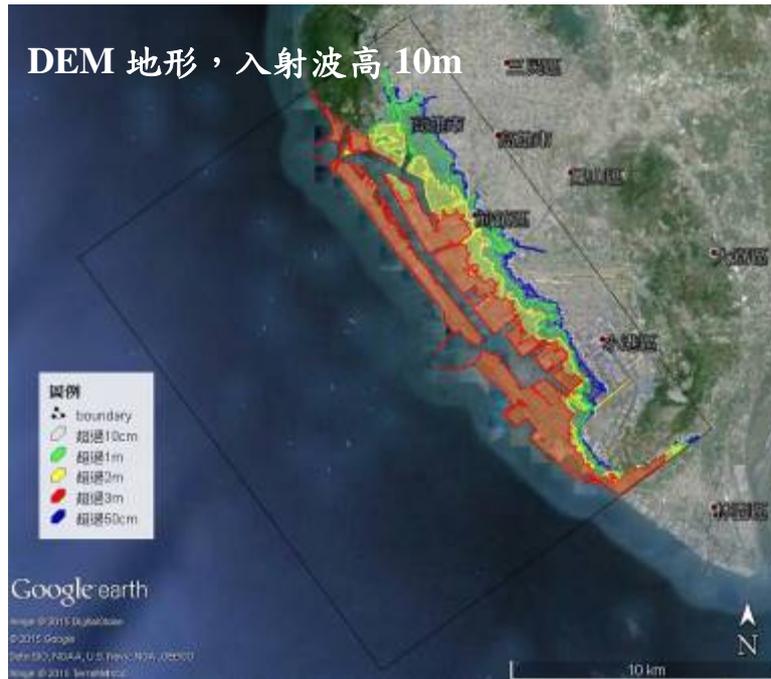


圖 5.47 (g) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 10 公尺

圖 5.47 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高：  
 (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

以上四個商港(臺中、布袋、安平、高雄)之溢淹圖顯示，此地形採用 DEM 之數值地形，入射波若大於 1 公尺，均對四個港有超過 1 公尺的溢淹，因 DEM 數值地形資料，是無建物之地形資料，此溢淹圖代表所有建築物被一掃而空之最糟情況。若透過 Google Earth 地理資訊系統的圖資，可以提供給各港務(分)公司相關溢淹的資訊，進一步可由相關的地理資訊圖資作支援決策。

## 5.4 極端氣候下之跨河橋梁通行安全評估

### 5.4.1 簡介

極端氣候的定義為當區域的氣候狀態嚴重偏離其常態，亦即根據過去的氣候統計資料來看，出現了發生率極低的天候狀況，包括洪水、旱災、熱浪、颶風和強降雨頻繁出現等現象，對原本區域產生農產量變化、夏天的河流流量減少、物種消失及疾病肆虐等問題。在臺灣最明顯的例子就是 2009 年的莫拉克颱風為臺灣帶來接近 3000 毫公尺的降雨量，為目前降雨量最多的極端強降雨颱風。而聯合國跨政府氣候變遷小組 (IPCC) 和世界氣象組織 (WMO) 都認為全球暖化將增加這些極端氣候的出現頻率與強度。

根據中央氣象局的颱風統計資料顯示，臺灣每年平均受到 3 至 4 個颱風所侵襲，颱風通過海岸時，除了氣壓下降及向岸的強風會造成海水位上升，形成暴潮現象之外。其強大風勢同時會在海面上形成較大的風浪。一般情況下，這些風浪和暴潮不易對濱海地區的橋梁結構和濱海橋梁設施附近活動的人民安全產生威脅。但受到極端氣候的影響，在風浪和暴潮的強度被提高的情況下，需要加以重視其威脅性。故本研究以後龍觀海大橋為例，藉出海口附近之水位模擬進行通行安全評估。

當海浪從生成到傳遞至河口的過程中會受地形淺化及折射效應影響之外，當其接近河口時，也會開始受到河川流速而產生波流交互作用。本研究利用 COMCOT 水動力模式的模擬來探討特定風浪在一個極端的暴潮位，以及與河川產生波流交互作用的情況下，其風浪能在後龍觀海大橋造成多大的水位，藉以提供橋梁安全性的參考。

後龍溪全流域位於臺灣西部之苗栗縣境，約占苗栗縣 29.5%，北接中港溪，西南與西湖溪為鄰、南臨大安溪，此溪發源於加裡山山脈之鹿場大山(標高 2,616 公尺)，溪流成汶水溪，經清安於桂竹林匯合發源於東洗水山(標高 2,342 公尺)，之後龍溪上游幹流大湖溪後稱之為後

龍溪，至福基流入平地，於後龍鎮公司寮附近出海，注入臺灣海峽，河口主要橋樑為後龍觀海大橋(省道臺 61 線)。

#### 5.4.2 波流交互作用

本研究以 COMCOT 模式中之淺水方程組，圖 5.48 到圖 5.50 為利用 COMCOT 模式模擬波流交互作用的例子，起始波形為波長 120m、波高 1m 的鐘形波且背景流速為  $-1\text{ m/s}$  (圖 5.4.1)，在均一水深 5m，曼寧係數 0.001 的條件下，經過 10 秒後分開產生往+X 和-X 兩個方向傳播的波形(圖 5.4.2)。在模擬 3 分鐘之後，往+X 方向傳播的波峰移動 1.05km 距離，波高為 0.3m，而往-X 方向傳播的波峰移動 1.75 km 距離，波高為 0.16m(圖 5.4.3)。

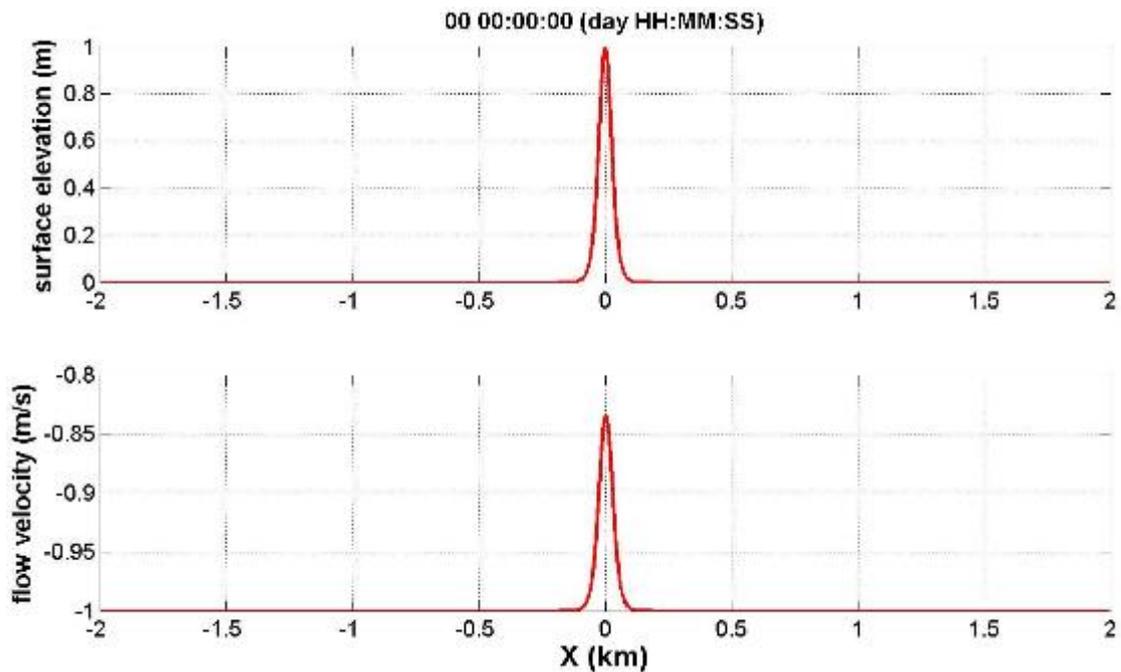


圖 5.48 起始波形為波長 120m、波高 1m 之鐘形波，背景流速為  $-1\text{m/s}$

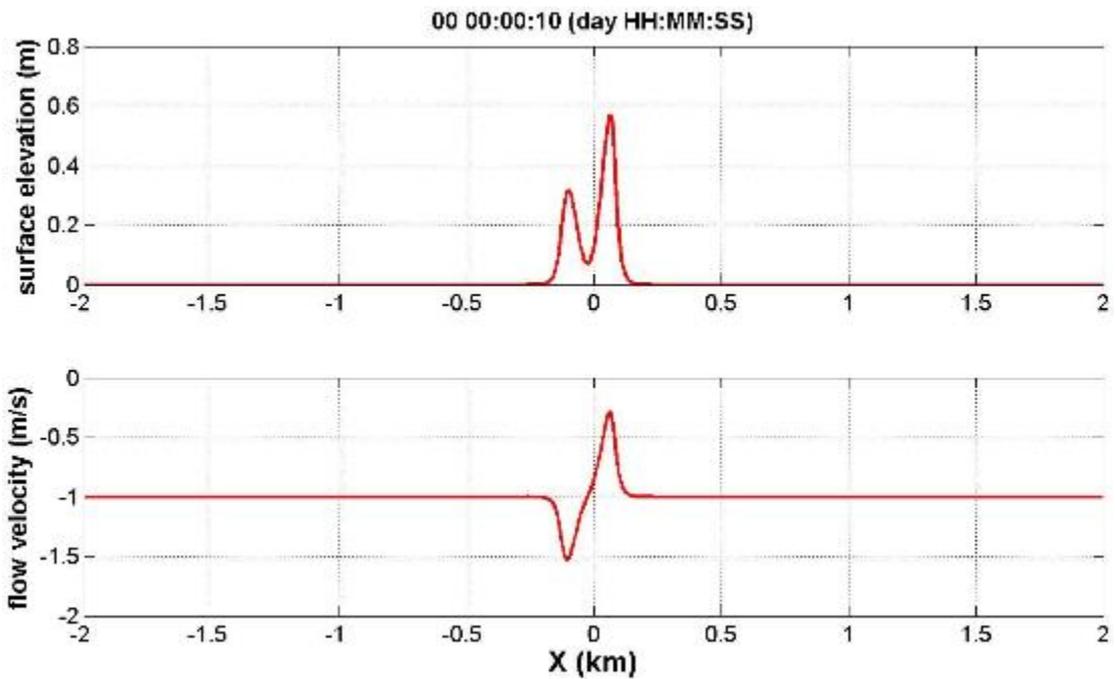


圖 5.49 鐘形波模擬經過 10 秒後的波形及流速。

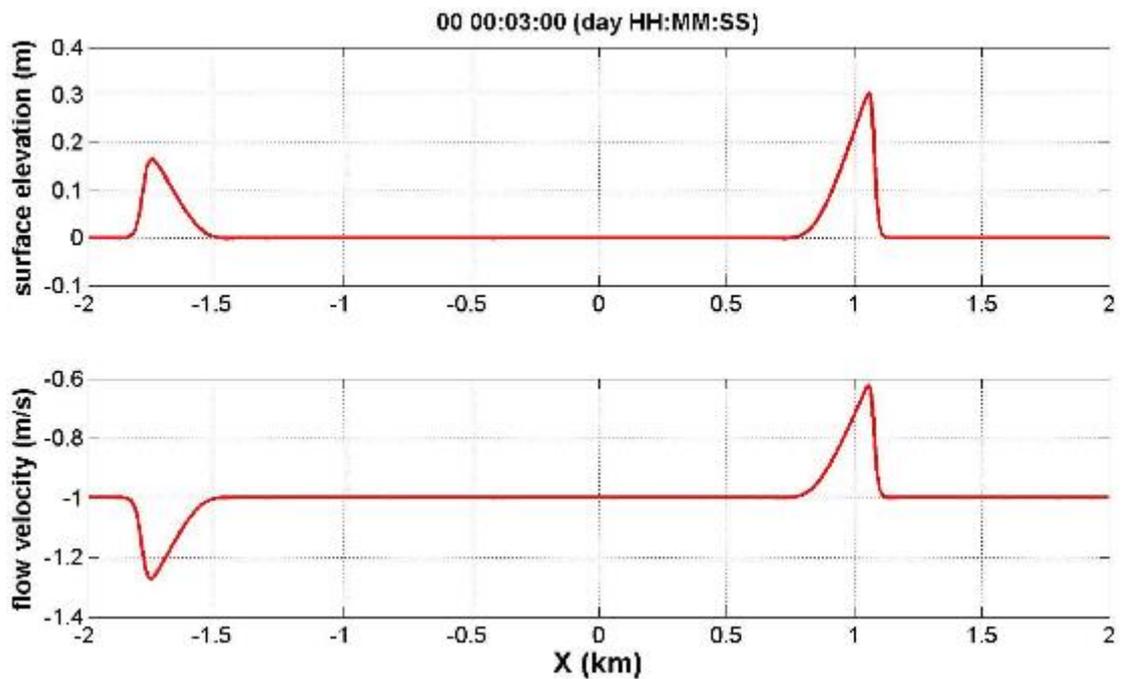


圖 5.50 鐘形波模擬經 3 分鐘之後的波形及流速。

### 5.4.3 數值地形

數值地形建構以第四章建構方法為基礎。後龍溪之陸域地形如圖 5.51 所示，於 COMCOT 模式中，為了讓入射波同時垂直於入射邊界以

及海岸線，所以將卡氏座標逆時針旋轉 34 度。另外將地形的南北邊界設定為牆，讓入射波的能量無法從南北邊傳出。圖 5.52 即為 5m 解析度的海陸域整合地形檔，提供給模式使用。

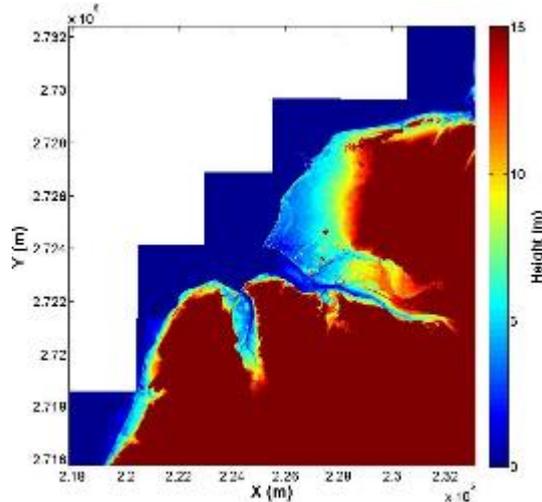


圖 5.51 後龍溪下游 5m 解析度的內政部 DEM 數值地形

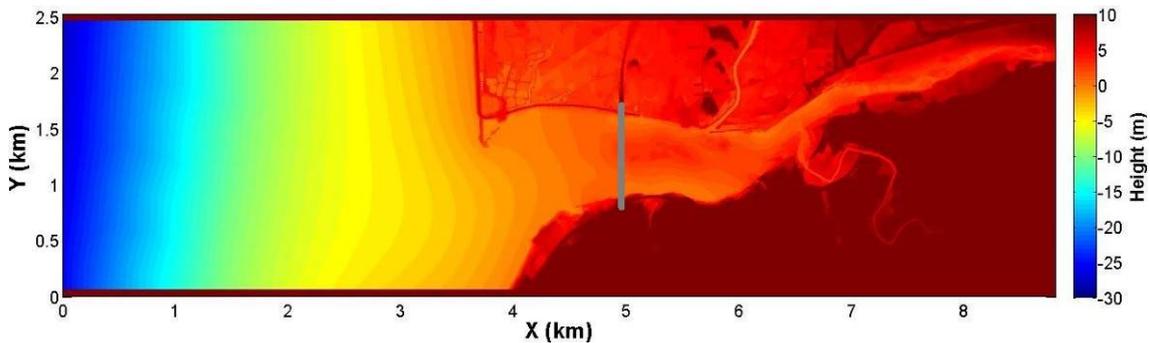


圖 5.52 後龍溪出海口附近之海陸域整合數值地形

根據後龍溪觀海大橋現場調查和交通部後龍觀海大橋的資料表(表 5-6)，跨河道的橋梁長度共 755m，其橋墩組數共 20 組，每組包含 2 根橋墩，單組橋墩的平面幾何如圖 5.53 所示。每組橋墩的跨距，除了編號 1 到 2 的跨距為 35m 外，其餘的跨距皆為 40m。另外由現場量測第 1 和第 20 組橋墩的 GPS 經緯度位置，再由橋墩跨距進行線性內插可推得第 2 到 19 組橋墩的位置(圖 5.54 左圖)。由於內政部的 DEM 地形並不包含地表建築物高程，所以需將橋墩加入模式地形中。考慮模式地形的解析度 5m，在此將每組橋墩設定為單根長 10m、寬 5m 的長方形柱體，且兩根橋墩的間距為 10m，加入後的地形如圖 5.54 右圖所示。

橋梁附近地形高程約在 0.5m 到 2.5m 之間，在兩側較為低窪，越往中間越高。

表 5-6 交通部後龍觀海大橋的資料表

交通部全國橋梁基本資料表							
橋梁名稱	後龍觀海大橋	橋梁編號	0610-0002	使用狀態	正常使用	設施種類	橋梁
管 理 資 料							
管理機關	交通部公路總局	養護工程處	公路總局第二區養護工程處	養護工務段	苗栗工務段		
所在縣市	苗栗縣	所在區鄉	後龍	道路等級	省道	路線	臺61線
橋頭里程	104K+150M	橋尾里程	105K+125M	竣工年月	84年12月	最近維修年月	103年3月
原始造價	1691280000元	合約編號	不詳	起始橋墩編號P		是否有做地電阻	否
交流/匝道	否	匝道編號				是否有竣工圖	是
設計單位	不詳	監造單位	工務所	施工單位	第二區養護工程處	竣工圖說保存地點	第二區養護工程處
檢測週期	6月/次	跨越物體	溪河	改道長度	無	年平均每日交通量	22653
參考地標	無						
河 川 資 料							
是否為跨河橋	是	跨越河川類別	中央管河川	河川管理單位	第二河川局	河川名稱	後龍溪
上游500公尺構造物	無						
下游500公尺構造物	無						
上游最近水位站	北勢大橋左岸	計畫洪水位	4.4EL	計畫河寬	825M		
計畫堤頂高程	不詳EL	設計河床高程	0.7EL	設計橋梁出水高	不詳M		
幾 何 資 料							
橋梁總長	975M	A1進橋版長度	6M	A2進橋版長度	6M		
最大淨寬	36M	最小淨寬	36M	橋版投影面積	16913M <sup>2</sup>		
總車道數	8	總橋孔數	25	最大跨距	36M		
跨距分配	20@40M+2@25M+1@50M+1@35M+1@40M						
最高橋墩高度	18M	最低橋上淨高	橋上無跨越物M	最低橋下淨高	5.4M		
橋頭GPS經度	120.76579	橋頭GPS緯度	24.6181216666	橋尾GPS經度	120.7596116666	橋尾GPS緯度	24.61126

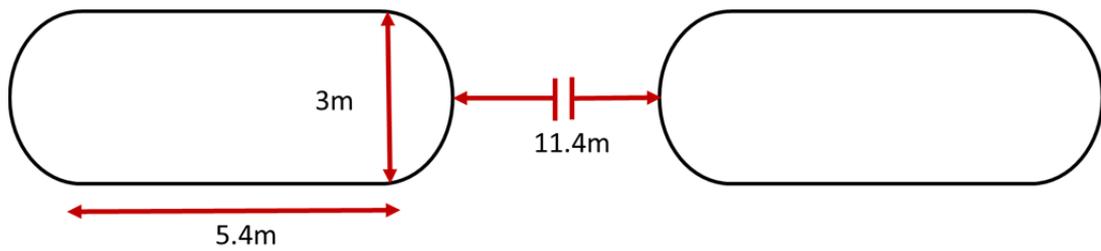


圖 5.53 後龍觀海大橋單組橋墩的平面幾何長度

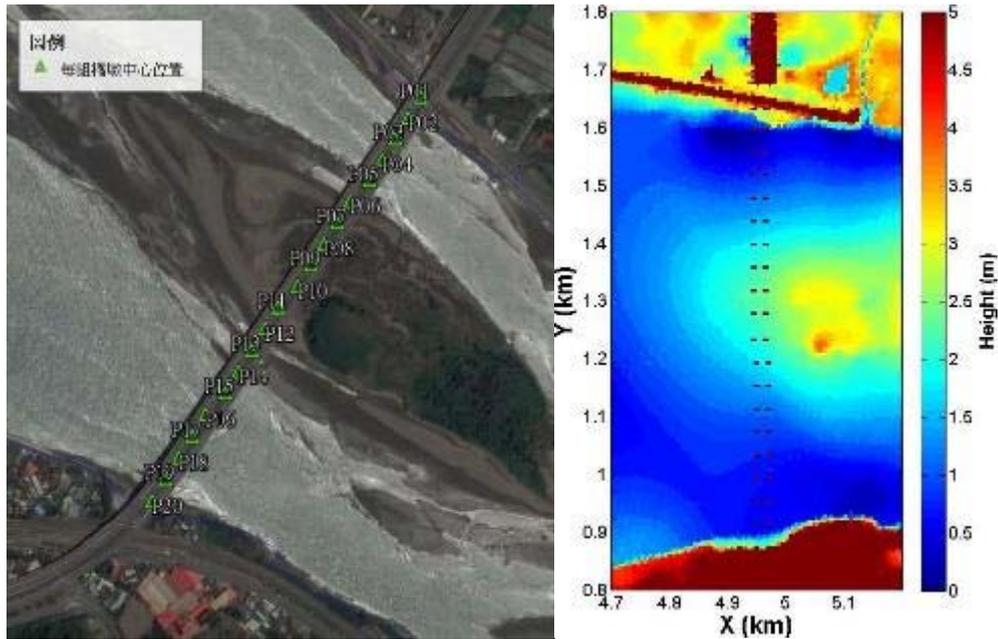


圖 5.54 後龍觀海大橋 20 組橋墩的中心位置(左)及模式地形的橋墩配置(右)

#### 5.4.4 模式設定

模式區域為長 8.82 公里、寬 2.52 公里的範圍，計算的網格數為 1764\*504，網格解析度為 5m。COMCOT 模式的控制方程提供線性淺水方程組和非線性淺水方程組兩種選擇，在此採用非線性淺水方程組。模式的曼寧摩擦係數設定在海洋地形為 0.02，而陸地地形則參考水利署的後龍溪治理規劃檢討報告(表 5-7)，由於斷面 1~7 範圍為河口至後龍溪橋的區間，涵蓋了模式主要模擬的下游區段，因此選用該範圍的曼寧係數 0.03，模式的曼寧係數空間設定如圖 5.55。另外為了讓入射波的能量不會通過南、北邊界而傳出，因此模式區域的南、北設定為牆。

表 5-7 後龍溪流域河道糙度係數採用值一覽表(水利署後龍溪治理規劃  
檢討報告)

斷面編號	斷面 1~7	斷面 8~15.2	斷面 16.1~51	斷面 52~64	斷面 65~96
曼寧糙度係數 n 值	0.030	0.035	0.045	0.050	0.055

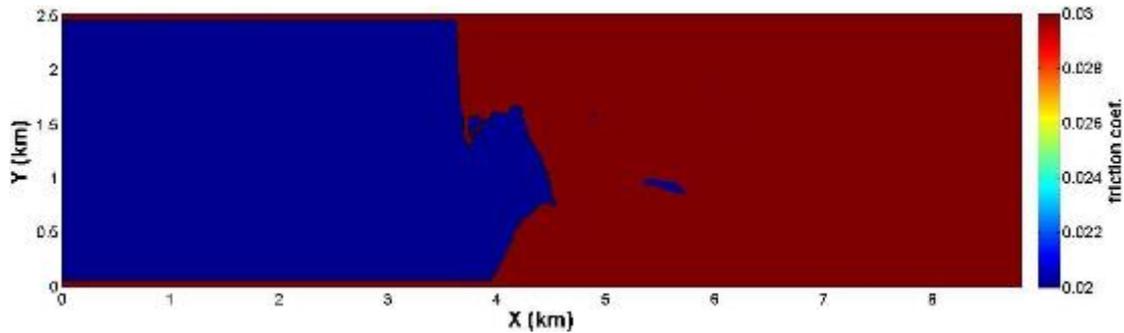


圖 5.55 模式的曼寧係數配置，海洋地形為 0.02(藍色)，陸地地形為  
0.03(深褐色)

研究目的為對後龍觀海大橋附近的水位作即時預報，因不規則波的模擬需要當時波浪觀測的統計資料，考慮其時效性，故以簡單的規則波(正弦波)模擬。在模式計算中使用的為歷年資料中，以暴潮潮位加上示性波高來計算模擬。

為了瞭解不同條件下，後龍觀海大橋附近所產生的水位變化，本研究依不同初始條件及邊界條件，進行 8 個情境模擬(表 5-8)。其中情境 1、2 主要模擬只有河流以及河流加暴潮的條件所產生的水位背景擬，利用長達 24 小時的模擬時間取得穩定的空間水位值，該背景值的主要目的在於提供情境 5 到 8 作為初始水位，以探討波浪在特定河流流量的條件(情境 5)，以及波浪在特定河流流量和暴潮水位的條件(情境 6)下，對波浪傳播產生的影響。除此之外可與情境 3(無河流和暴潮)、情境 4(僅暴潮水位)的情況作比較。

情境 1 所採用的河道流量邊界條件(東邊界)使用 2006 年水利署報告中的後龍溪河口 2 年的重現期距，其洪峰流量 1490 秒立方公尺。而情境 2 除了情境 1 的流量之外，另外同樣參考該報告提到的河口附近

歷年來最高暴潮位 3.57m，作為暴潮水位。由於 COMCOT 模擬的波浪從邊界入射開始，直到通過後龍觀海大橋所需的時間不到 15 分鐘，由於一般暴潮位的短期變動不大，因此將暴潮水位假設為定值。本模式中將海水面由 0 m 直接提高到 3.57m 來當作暴潮條件。情境 3 到 6 所模擬波浪入射的波高和周期參考表 5-9 在 2006 年的示性波高和示性周期，使用波高 4.93m，週期 12.1 秒的正弦波。而情境 7 和 8 則是使用 2010 年的示性波高和週期，使用波高 8.44m，週期 11.1 秒的正弦波。情境 3 到 8 皆假設波浪為接近垂直海岸的正向入射，其隨時間帶入模式的西邊界水位時序列如圖 5.56。如果是在暴潮條件下的正弦波水位時序列需再加上水位值 3.57m。當模擬的正弦波傳入模式區域之後，再將西邊界條件調整為開放邊界，讓區域內的反射波能從西邊界離開。

表 5-8 COMCOT 8 個情境模擬

情境編號	東邊界	西邊界	初始海面高度(m)	模擬時間	備註
1	河道固定流量 1490 m <sup>3</sup> /s	開放邊界	0	24 小時	河流
2	河道固定流量 1490 m <sup>3</sup> /s	開放邊界	3.57		河流、暴潮
3	開放邊界	正弦波入射 (波高 4.93m，週期 12.1 秒)	0	15 分鐘	波浪
4	河道固定流量 1490 m <sup>3</sup> /s	正弦波入射 (波高 4.93m，週期 12.1 秒)	情境 1 的水位結果		波浪、河流
5	開放邊界	正弦波入射 (波高 4.93m，週期 12.1 秒)	3.57		波浪、暴潮
6	河道固定流量 1490 m <sup>3</sup> /s	正弦波入射 (波高 4.93m，週期 12.1 秒)	情境 2 的水位結果		波浪、河流、暴潮
7	開放邊界	正弦波入射 (波高 8.44m，週期 11.1 秒)	3.57		波浪、暴潮
8	河道固定流量 1490 m <sup>3</sup> /s	正弦波入射 (波高 8.44m，週期 11.1 秒)	情境 2 的水位結果		波浪、河流、暴潮

表 5-9 臺中港 2003 年至 2013 年示性波高、週期及波向資料統計表

年份	H1/5 平均値 (m)	T1/5 平均値 (sec)	H1/5		H1/5 <0.5m (%)	H1/5 0.5~1m (%)	H1/5 1~5m (%)	H1/5 >5m (%)	波向 N-E (%)	波向 E-S (%)	波向 S-W (%)	波向 W-N (%)	T1/5 <6sec (%)	T1/5 6~8sec (%)	T1/5 8~10sec (%)	T1/5 >10sec (%)	
			最大値 (m)	週期 (sec)													波向
2003	1.61	5.5	5.92	5.6	NNE	16.7	23.4	39.9	0.0	79.0	0.5	3.3	17.2	83.0	17.0	0.0	0.0
2004	1.53	6.1	7.50	6.2	WSW	17.7	21.8	60.4	0.1	71.7	0.3	4.6	23.4	56.1	35.3	7.6	1.0
2005	1.50	7.6	6.96	8.9	N	12.8	25.8	60.8	0.5	63.3	0.2	8.1	28.5	29.6	60.9	7.6	0.5
2006	1.54	6.5	4.93	12.1	N	7.7	26.8	65.6	0.0	67.9	0.1	4.8	27.0	32.0	54.3	12.9	0.9
2007	1.35	6.1	6.74	9.8	-	16.4	32.8	50.3	0.6	42.5	1.5	5.1	30.8	35.7	57.9	6.1	0.0
2008	1.79	6.4	7.29	10.8	N	11.7	30.4	57.3	0.6	57.0	0.9	12.1	30.0	31.8	55.8	11.8	0.5
2009	1.48	6.6	7.78	8.7	-	13.8	27.0	58.8	0.4	68.3	0.0	3.6	28.2	28.1	56.8	13.7	1.4
2010	1.65	6.4	8.44	11.1	S	1.2	28.9	69.6	0.2	72.2	0.1	7.6	20.2	36.7	49.1	13.6	0.6
2011	1.18	6.3	4.31	10.7	1.40	16.7	36.8	46.5	0.0	64.7	11.3	14.7	9.4	40.4	46.5	11.7	1.4
2012	1.35	6.6	5.5	8.9	S	13.4	29.7	57.0	0.0	74.0	7.2	5.1	13.7	28.3	55.6	14.1	2.0
2013	1.39	6.5	4.58	8.2	WNW	9.6	34.5	55.9	0.0	63.1	1.7	10.4	24.7	31.3	51.7	15.6	1.3
統計值	1.5	6.4	8.44	11.1	5.4	12.5	28.9	58.4	0.2	65.8	2.2	7.2	23.0	39.4	49.2	10.4	0.9

資料來源：本所港灣技術研究中心

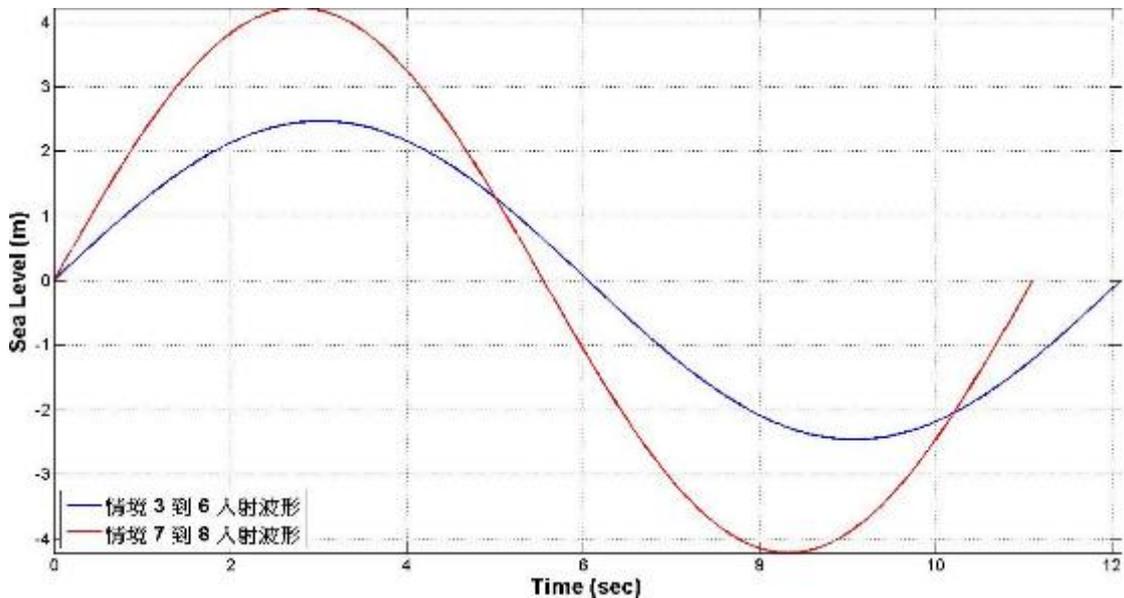


圖 5.56 模式西邊界代入的正弦波水位時序列值，藍線的波高為 4.93m，週期為 12.1 秒，而紅線的波高為 8.44m，週期為 11.1 秒

#### 5.4.5 模擬結果

情境 1 由東邊界提供一個 1490 立方公尺每秒的固定流量，對每個 X 座標沿 Y 方向作 X 方向流量的加總可得每個 X 點在 Y 方向剖面的 X 總流量。在模擬經過 24 小時後，雖然上游部分仍有較大的震盪(圖 5.57 的 X 軸 7 到 9 公里部分)，其它部分的流量值趨近於穩定(介於 1480 至 1500 立方公尺每秒)。在模擬時間第 0.5、12、23、24 小時，每個 x 點沿 y 方向的 x 方向流量加總值如圖 5.57。另外圖 5.58 為在模擬時間第

0.5、12、23、24 小時的水位高程。第 23 和第 24 小時的水位差值(圖 5.59)和流量的情況一致，在 X 範圍介於 0 到 7 公里的水位差極小，表示該區域的水位呈現穩定的狀況。在該穩定水位之下，後龍觀海大橋附近的水位空間分佈如圖 5.60。

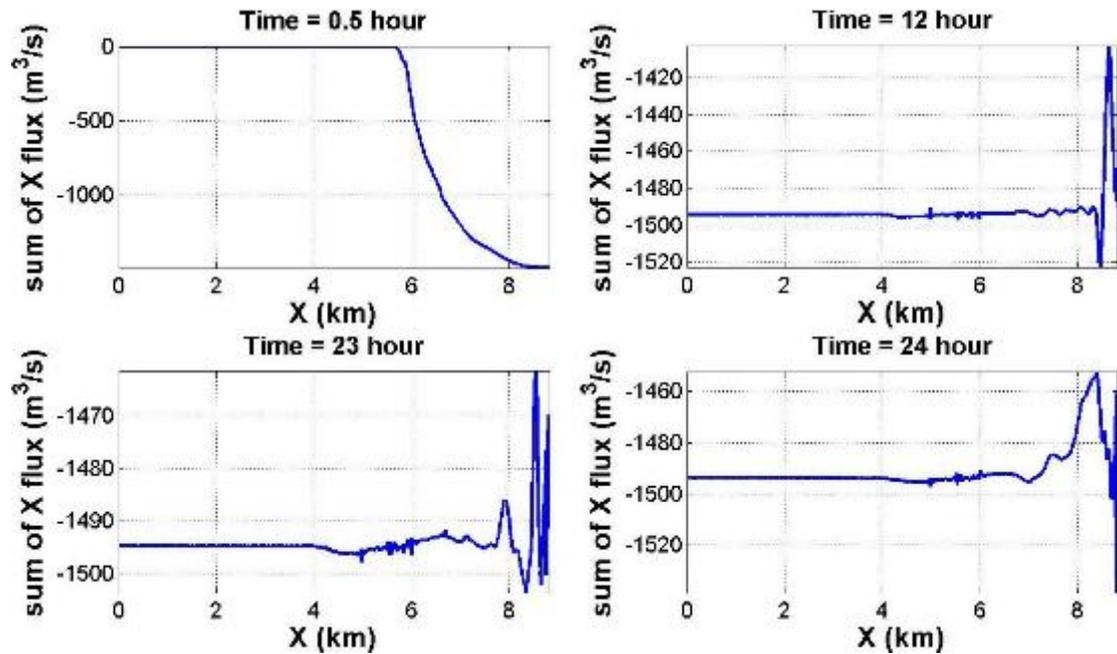


圖 5.57 情境 1 在模擬時間第 0.5、12、23、24 小時，每個 X 點的 X 方向流量在 Y 方向的加總

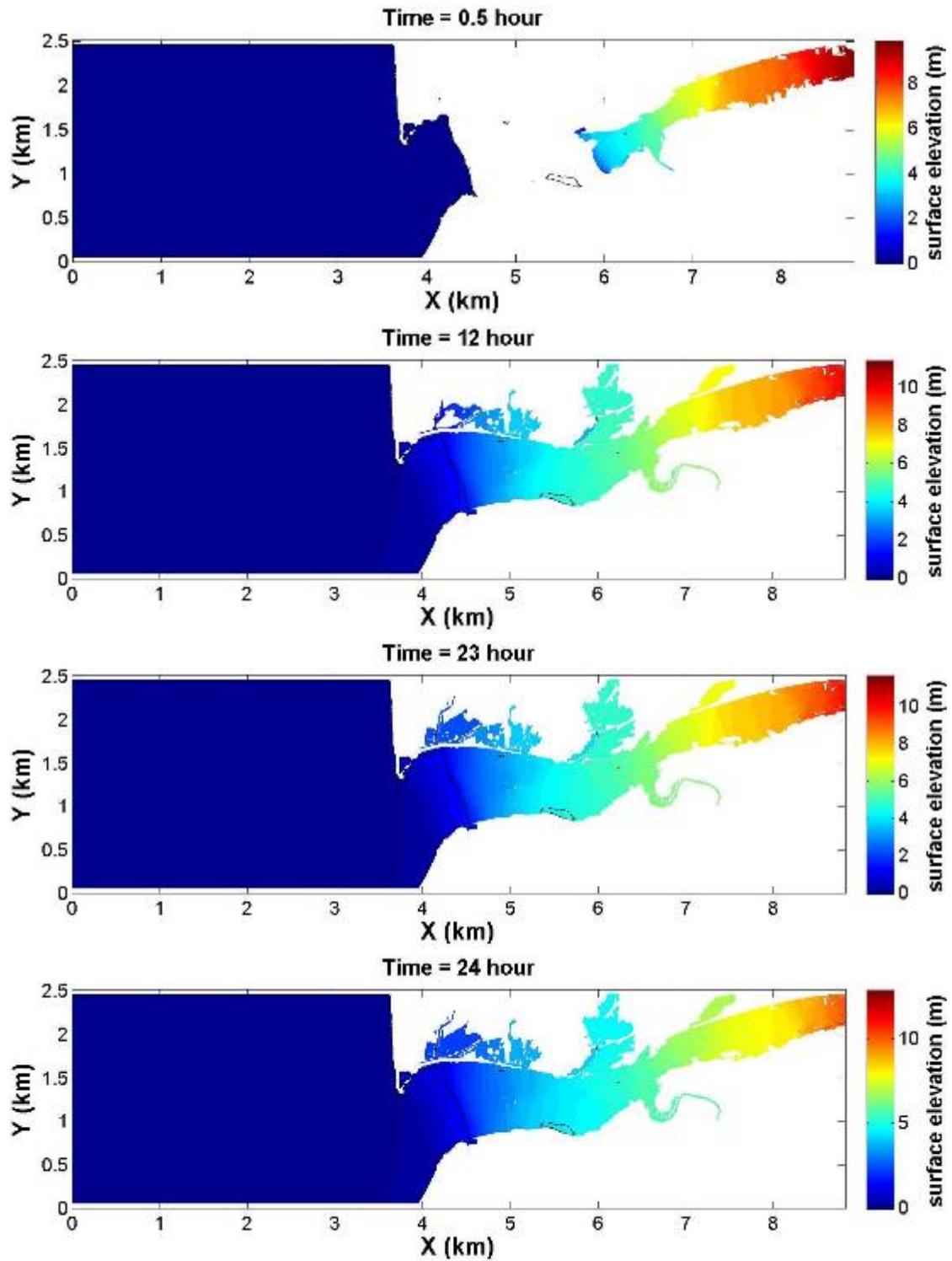


圖 5.58 情境 1 在模擬時間第 0.5、12、23、24 小時的水位高程

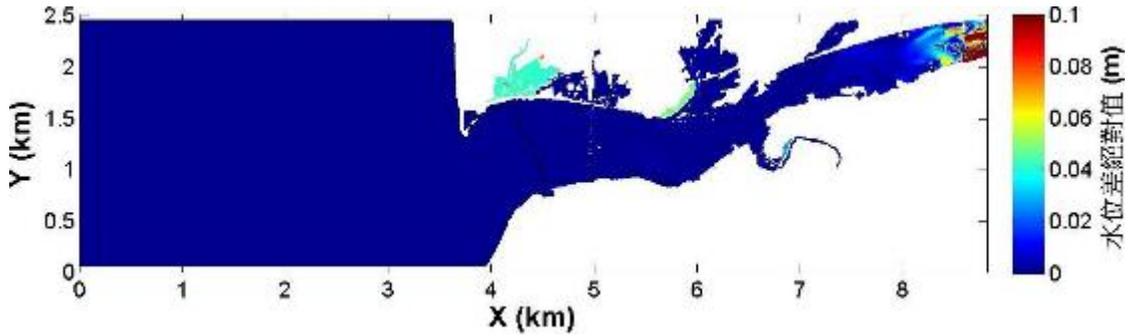


圖 5.59 情境 1 在模擬時間第 23 小時和第 24 小時的水位差絕對值

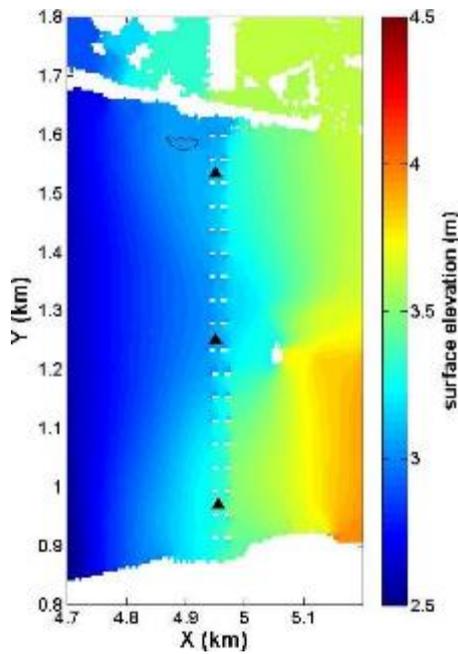


圖 5.60 情境 1 在後龍觀海大橋附近第 24 小時的水位值

情境 2 除了由東邊界提供一個 1490 立方公尺每秒的固定流量之外，另外以 3.57m 作為起始的暴潮水位高度。和情境 1 一樣計算每個 X 點在 Y 方向剖面的 X 總流量來判斷流量穩定性。在模擬 24 小時後，和情境 1 的情況類似，在 X 軸 0 到 7 公里的流量會固定介於 1480 至 1500 立方公尺每秒之間。在模擬時間第 0.5、12、23、24 小時，每個 X 點沿 Y 方向的 X 方向流量加總值如圖 5.61。另外圖 5.62 為在模擬時間第 0.5、12、23、24 小時的水位高程。第 23 和第 24 小時的水位差值(圖 5.63)和流量的情況一致，在 X 範圍介於 0 到 7 公里的水位差極小，表

示該區域的水位呈現穩定的狀況。在該穩定水位之下，後龍觀海大橋附近的水位空間分佈如圖 5.64。

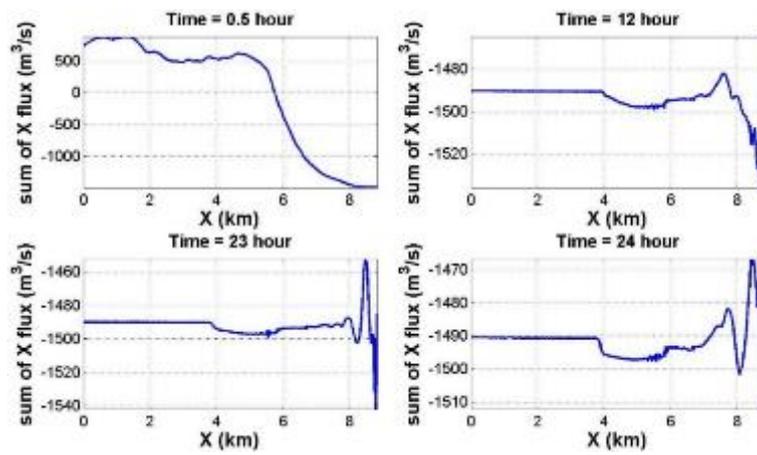


圖 5.61 情境 2 在模擬時間第 0.5、12、23、24 小時，每個 X 點的 X 方向流量在 Y 方向的加總

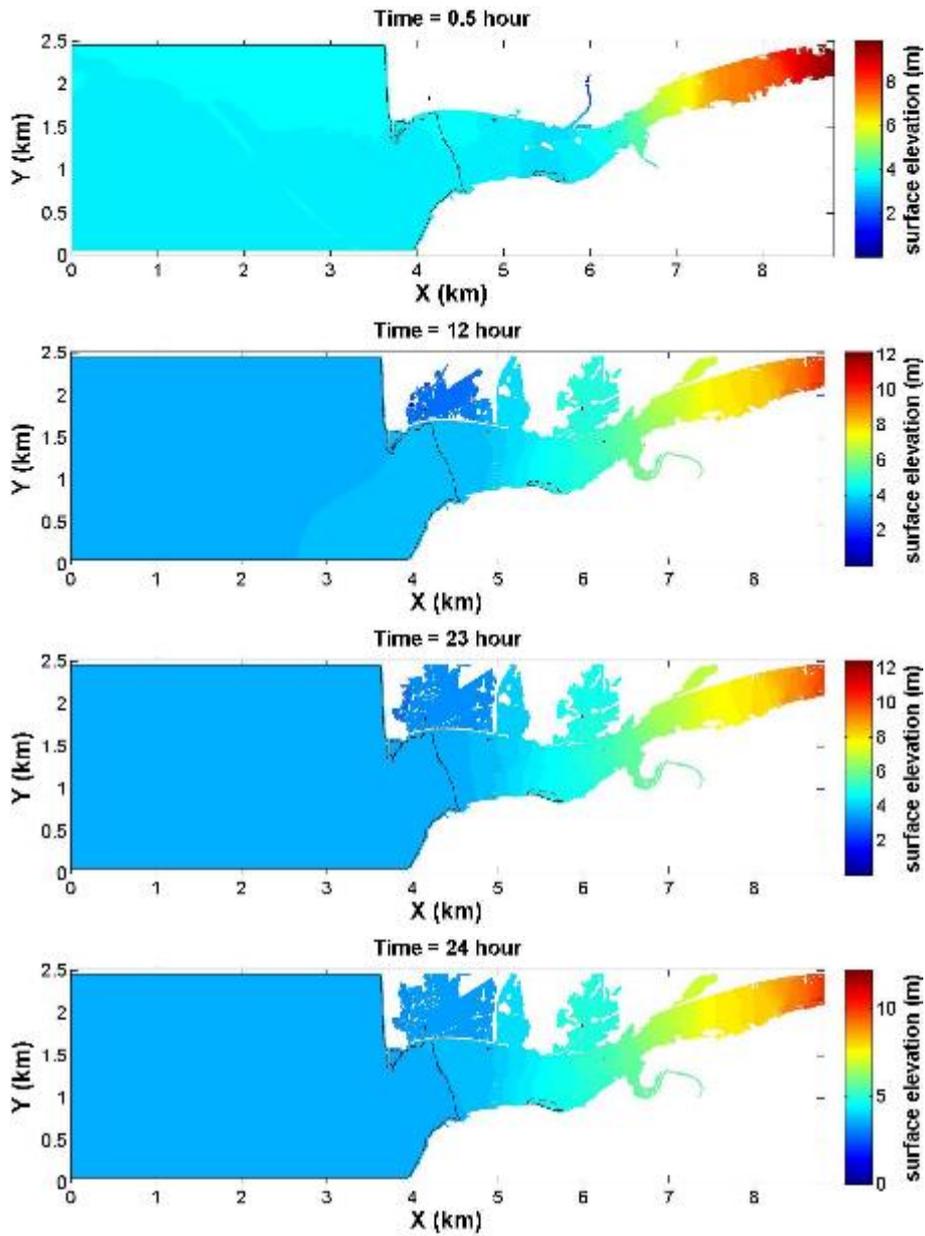


圖 5.62 情境 2 在模擬時間第 0.5、12、23、24 小時的水位高程

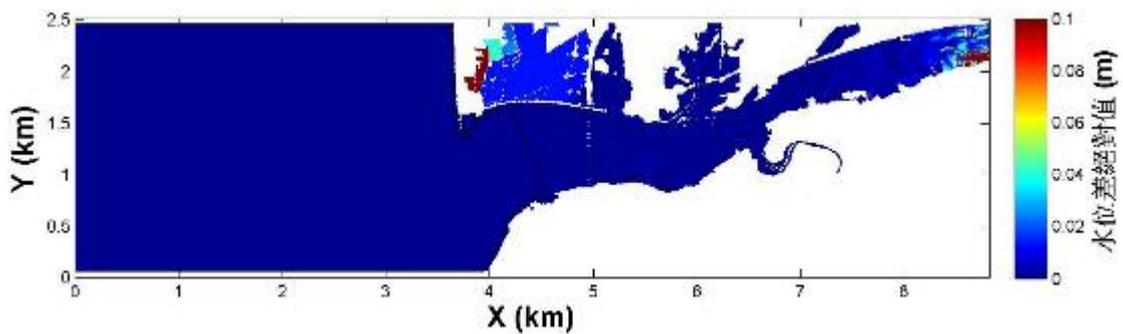


圖 5.63 情境 1 在模擬時間第 23 小時和第 24 小時的水位差絕對值

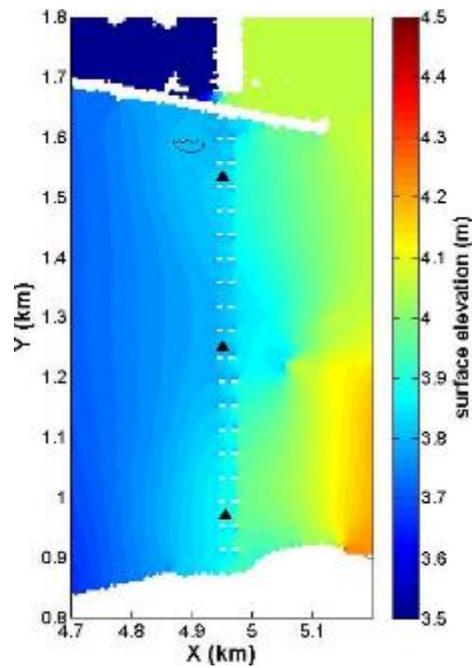


圖 5.64 情境 2 在後龍觀海大橋附近第 24 小時的水位值

情境 3 的模擬沒有河流和暴潮位，純粹由西邊界代入一個波高 4.93m，週期 12.1 秒的正弦波(圖 5.56)，波浪在模擬時間第 0.25、6、9、15 分鐘的水位傳播如圖 5.65。該情境無法在高程大於 0 的地形產生水位。

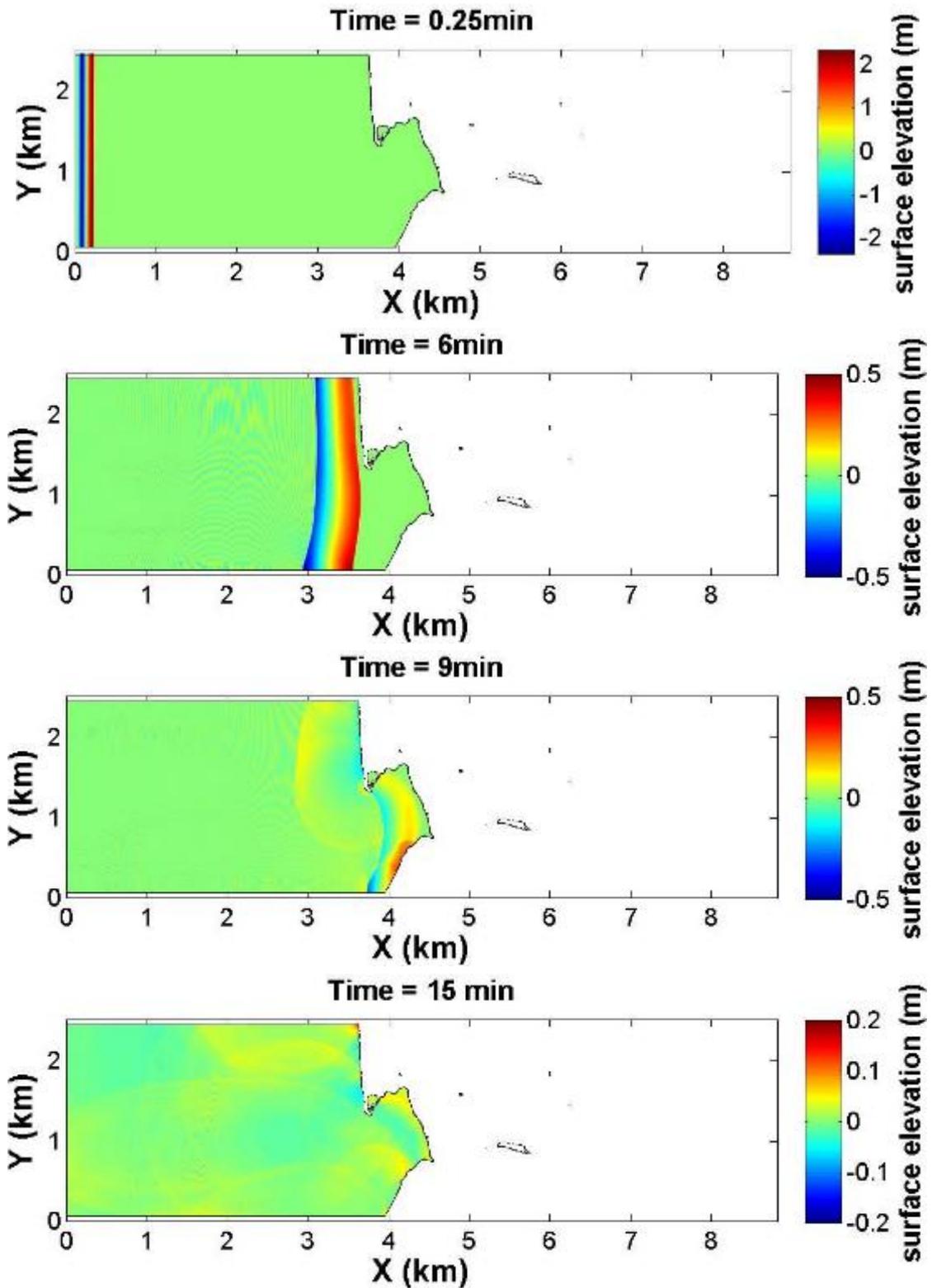


圖 5.65 情境 3 在模擬時間第 0.25、6、9、15 分鐘的水位高程

情境 4 為西邊界代入一個波高 4.93m，週期 12.1 秒的正弦波，另外加上情境 1 的河流模擬 24 小時後作為起始條件。在此計算水位與初始水位的差值，以了解波浪在傳播過程中對水位造成的影響。圖 5.66 為該差值在模擬時間第 0.25、5、8.5、15 分鐘的空間分佈。從後龍觀海大橋的北、中、南三個位置(圖 5.64 由北到南 3 個三角標示)在 15 分鐘期間內水位時序列如圖 5.67。不管是水位差值的空間分佈還是水位時序列，皆顯示後龍觀海大橋附近不受影響。

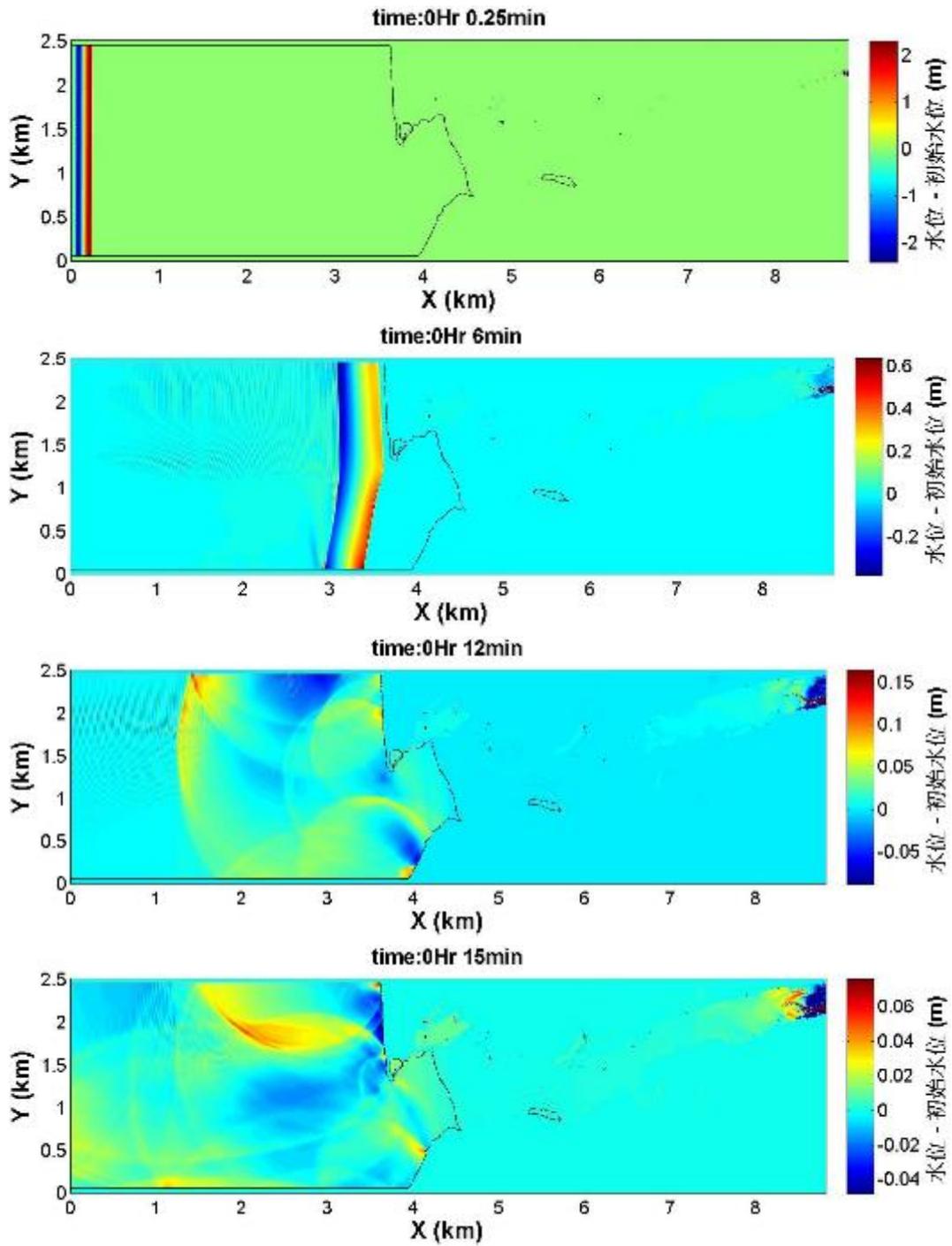


圖 5.66 情境 4 在模擬時間第 0.25、6、12、15 分鐘的水位與初始水位差值

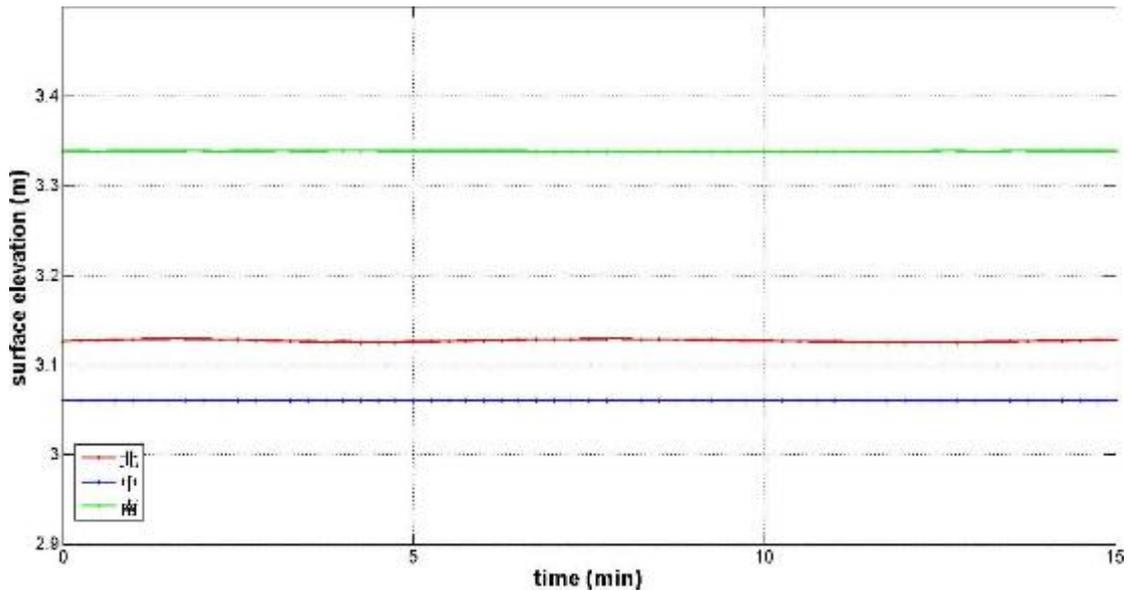


圖 5.67 情境 4 在 15 分鐘期間內，後龍觀海大橋的北、中、南三個位置的水位時序列

情境 5 為西邊界代入一個波高 4.93m，週期 12.1 秒的正弦波，另外加上起始水位 3.57m(圖 5.68)作為暴潮位。在此計算水位與初始水位的差值，便於了解波浪在空間的傳播及對水位造成的影響。圖 5.69 為該差值在模擬時間第 0.25、5、8.5、15 分鐘的空間分佈。另外模擬 15 分鐘期間內的最大水位高程空間分佈如圖 5.70、5.24 所示。從後龍觀海大橋所在地取出北、中、南三個位置(圖 5.71 由北到南 3 個三角標示)，三個位置在 15 分鐘期間內水位時序列(圖 5.72)顯示到達時間約在 8 到 9 分鐘之間，並造成接近 30 公分的水位抬昇。

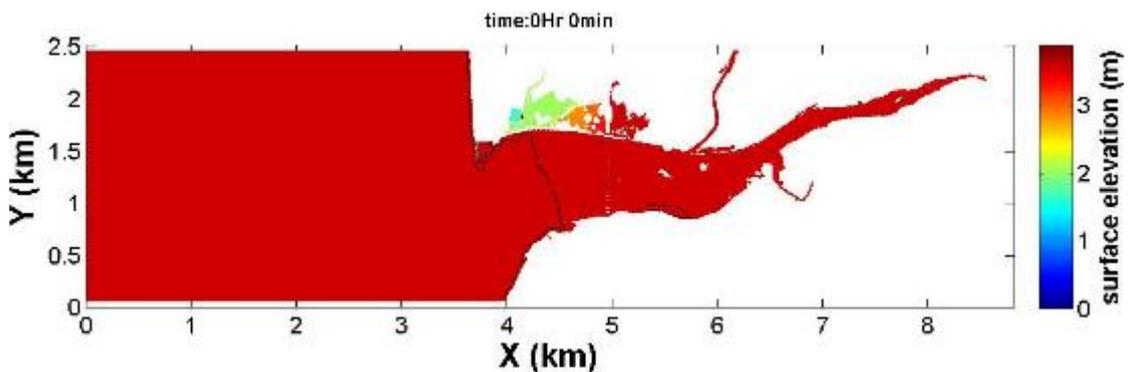


圖 5.68 情境 5 的起始水位

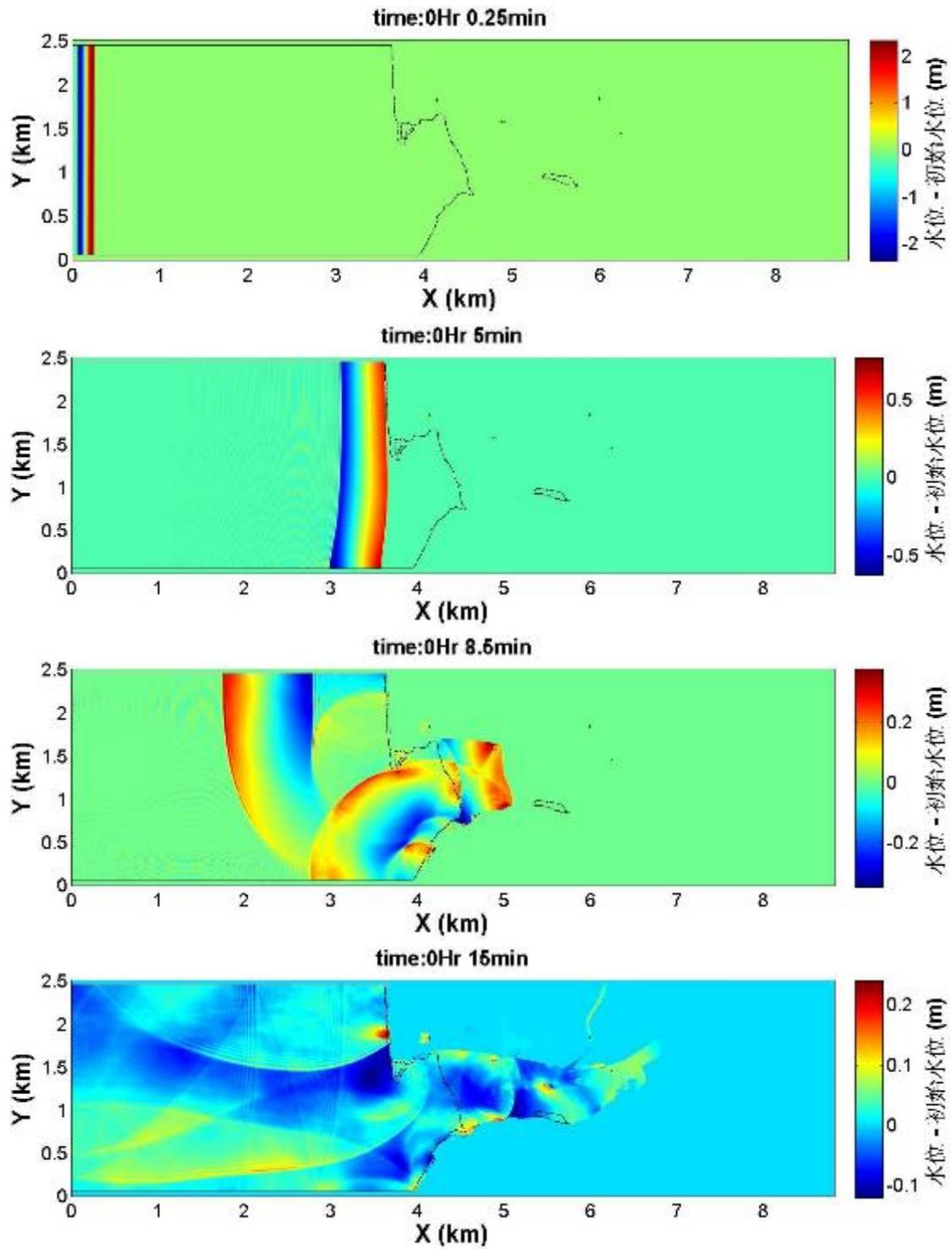


圖 5.69 情境 5 在模擬時間第 0.25、5、8.5、15 分鐘的水位與初始水位差值

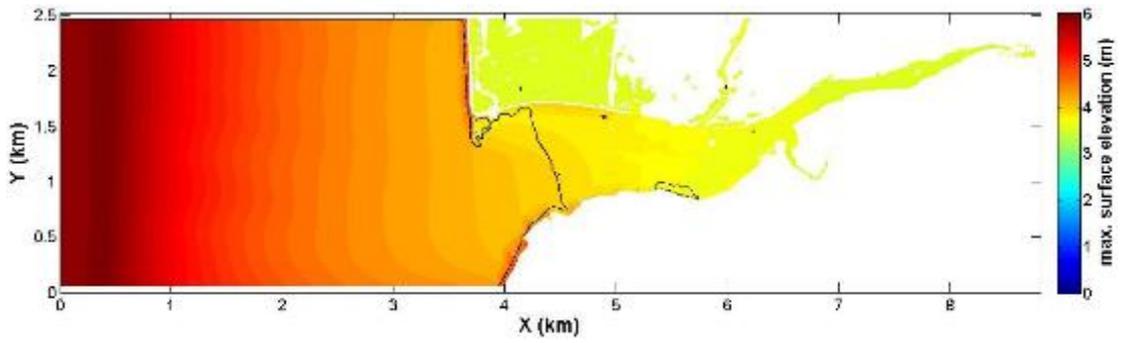


圖 5.70 情境 5 在 15 分鐘期間內的最大水位高程空間分佈

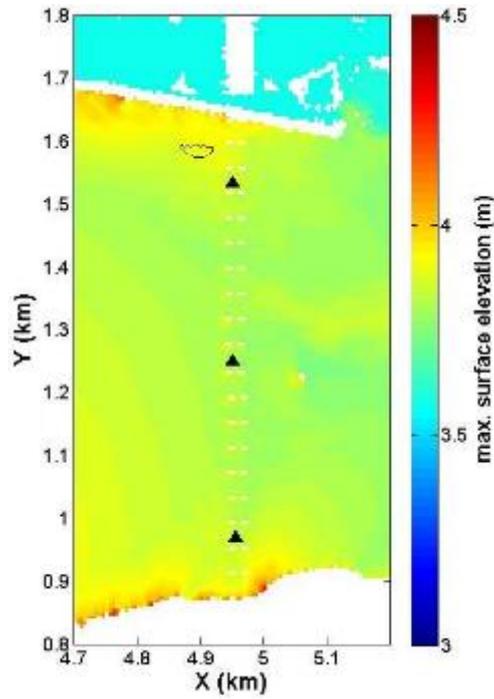


圖 5.71 情境 5 在 15 分鐘期間內，後龍觀海大橋附近最大水位高程分佈

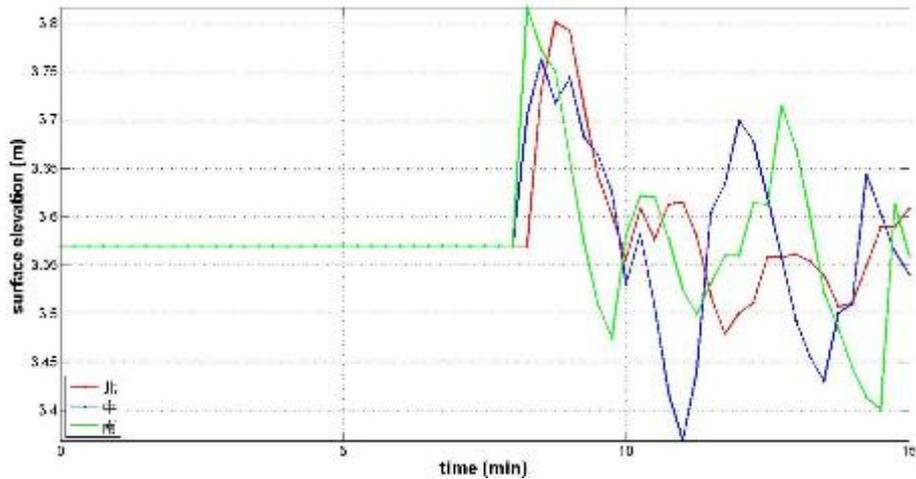


圖 5.72 情境 5 在 15 分鐘期間內，後龍觀海大橋的北、中、南三個位置的水位時序列

情境 6 為西邊界代入一個波高 4.93m，週期 12.1 秒的正弦波，另外加上情境 2(河流加暴潮)模擬 24 小時後作為起始條件，情境 6 的起始水位如圖 5.73。在此同樣透過水位與初始水位的差值來了解波浪在空間的傳播及對水位造成的影響。圖 5.74 為該差值在模擬時間第 0.25、5、8.5、15 分鐘的空間分佈。另外模擬 15 分鐘期間內的最大水位高程空間分佈如圖 5.74、5.28 所示。從後龍觀海大橋所在地的北、中、南三個位置(圖 5.75 由北到南 3 個三角標示)的水位時序列(圖 5.76)顯示到達時間 9 分鐘左右，並造成 20 公分左右的水位抬昇。

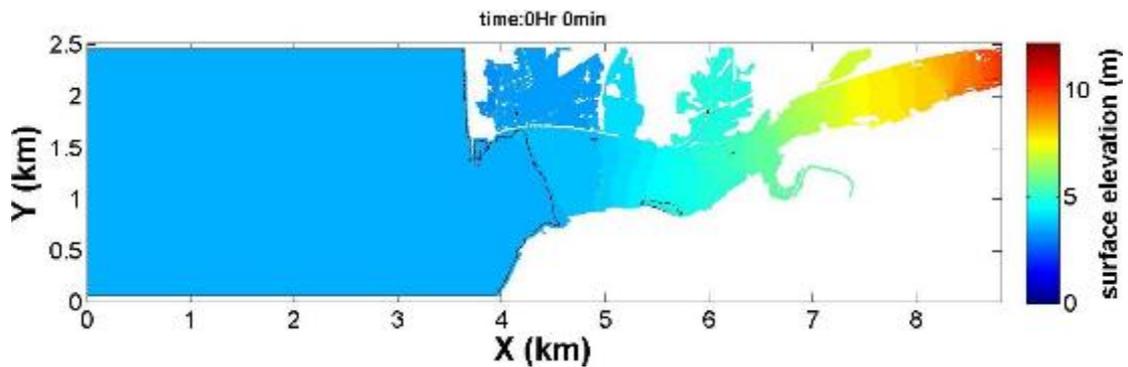


圖 5.73 情境 6 的起始水位

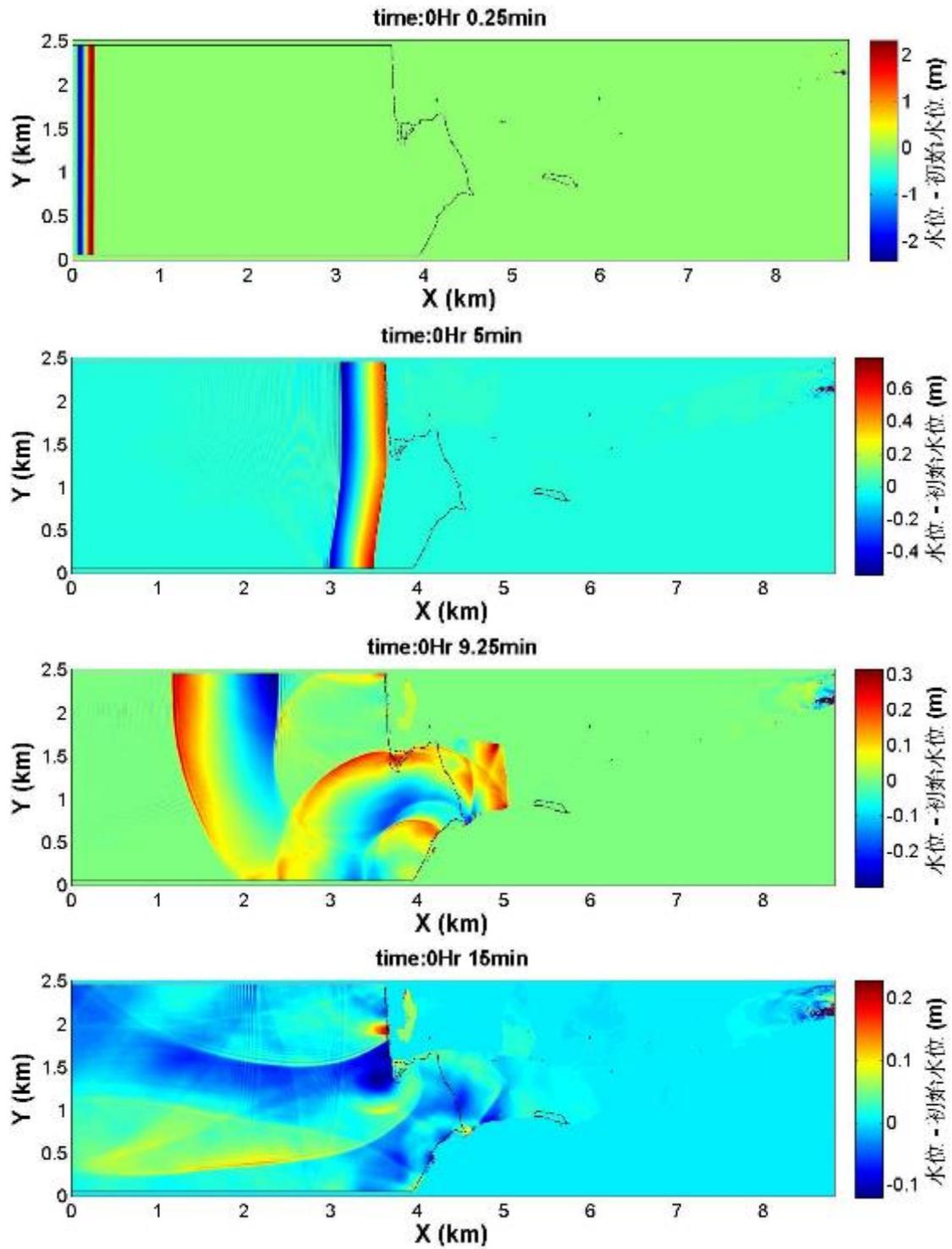


圖 5.74 情境 6 在模擬時間第 0.25、5、9.25、15 分鐘的水位與初始水位差值

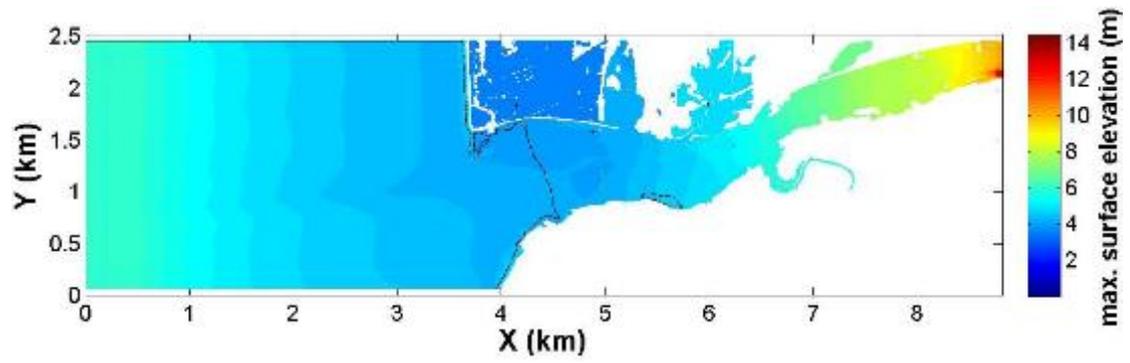


圖 5.75 情境 6 在 15 分鐘期間內的最大水位高程空間分佈

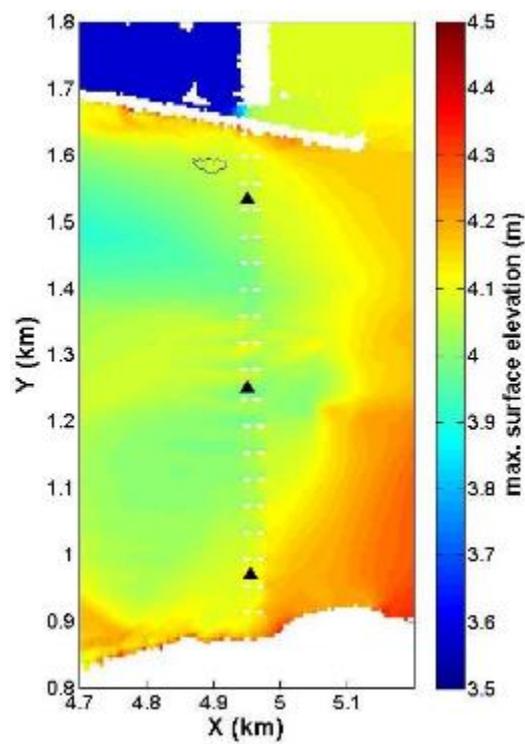


圖 5.76 情境 6 在 15 分鐘期間內，後龍觀海大橋附近最大水位高程分佈

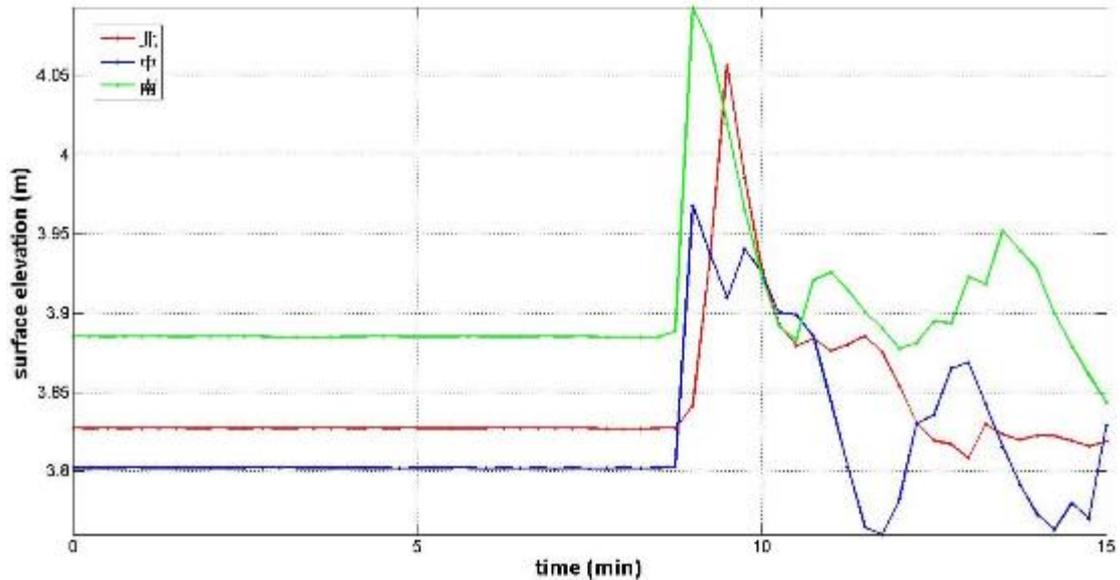


圖 5.77 情境 6 在 15 分鐘期間內，後龍觀海大橋的北、中、南三個位置的水位時序列

情境 7 為西邊界代入一個波高 8.44m，週期 11.1 秒的正弦波，和情境 5 的起始水位相同，皆以 3.57m(圖 5.68)作為暴潮位。在此利用水位與初始水位的差值來了解波浪的傳播過程中，對水位所造成的影響。圖 5.78 為該差值在模擬時間第 0.25、4.5、8.5、15 分鐘的空間分佈。另外模擬 15 分鐘期間內的最大水位高程空間分佈如圖 5.79、5.33 所示。從後龍觀海大橋所在地取出北、中、南三個位置(圖 5.80 由北到南 3 個三角標示)，三個位置在 15 分鐘期間內水位時序列(圖 5.81)顯示時間經過將近 8 分鐘後到達，並造成 30 公分左右的水位抬昇。

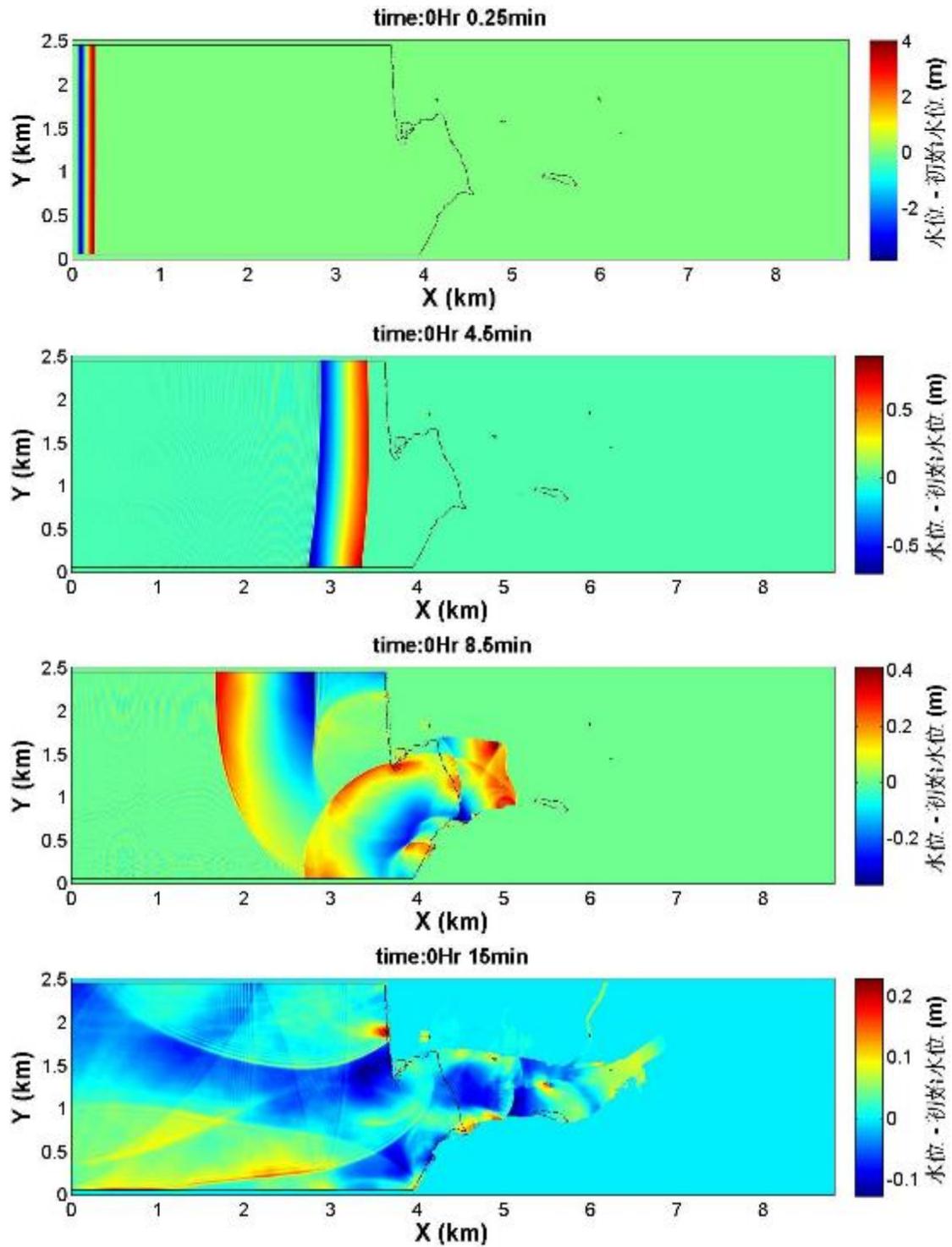


圖 5.78 情境 7 在模擬時間第 0.25、4.5、8.5、15 分鐘的水位與初始水位差值

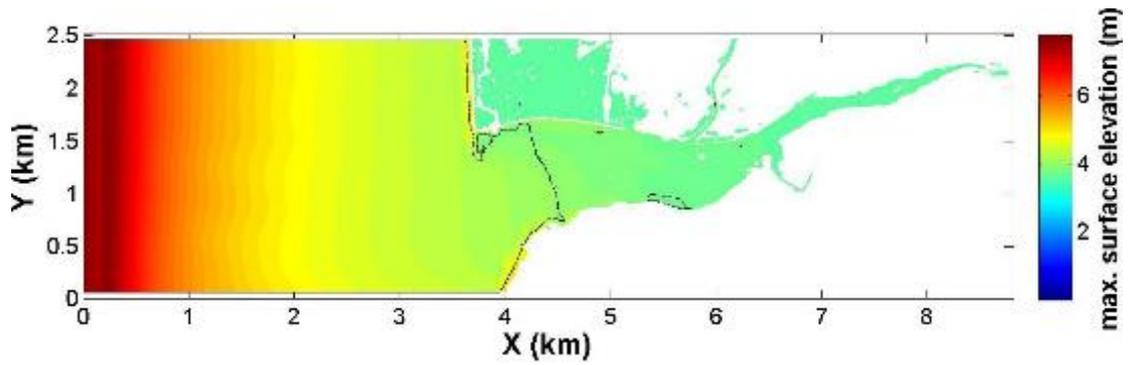


圖 5.79 情境 7 在 15 分鐘期間內的最大水位高程空間分佈

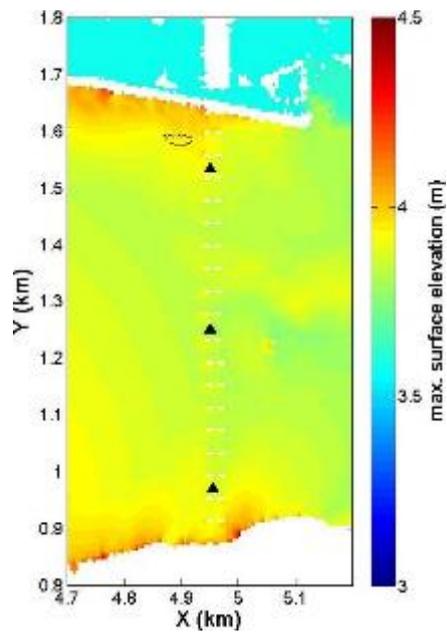


圖 5.80 情境 7 在 15 分鐘期間內，後龍觀海大橋附近最大水位高程分佈

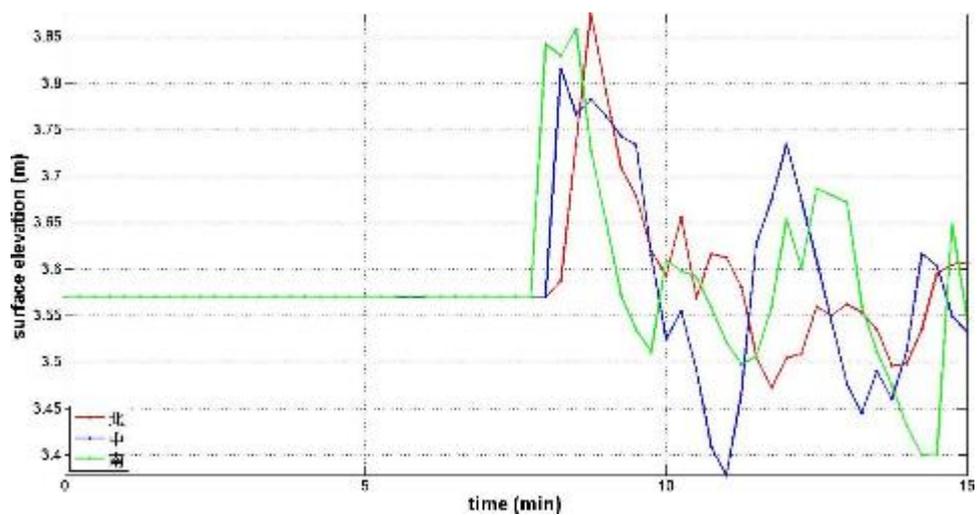


圖 5.81 情境 7 在 15 分鐘期間內，後龍觀海大橋的北、中、南三個位置的水位時序列

情境 8 為西邊界代入一個波高 8.44m，週期 11.1 秒的正弦波，另外加上情境 2(河流加暴潮)模擬 24 小時後作為起始條件，起始水位和情境 6 相同(圖 5.73)。透過水位與初始水位的差值來了解波浪在空間的傳播及對水位造成的影響。圖 5.74 為該差值在模擬時間第 0.25、4.5、8.5、15 分鐘的空間分佈。另外模擬 15 分鐘期間內的最大水位高程空間分佈如圖 5.74、5.75 所示。從後龍觀海大橋所在地的北、中、南三個位置(圖 5.75 由北到南 3 個三角標示)的水位時序列(圖 5.76)顯示到達時間 8 分鐘左右，並造成 21 公分左右的水位抬昇。

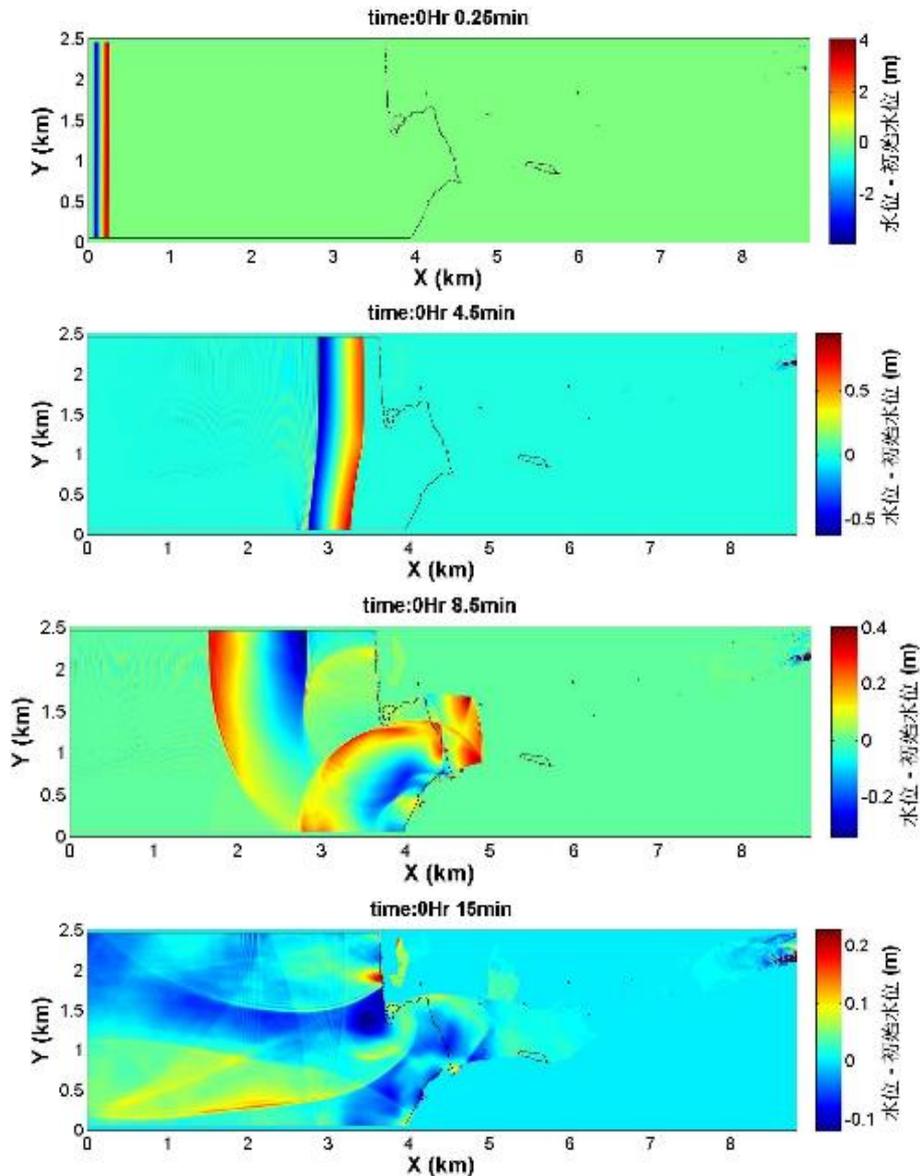


圖 5.82 情境 8 在模擬時間第 0.25、5、9.25、15 分鐘的水位與初始水位差值

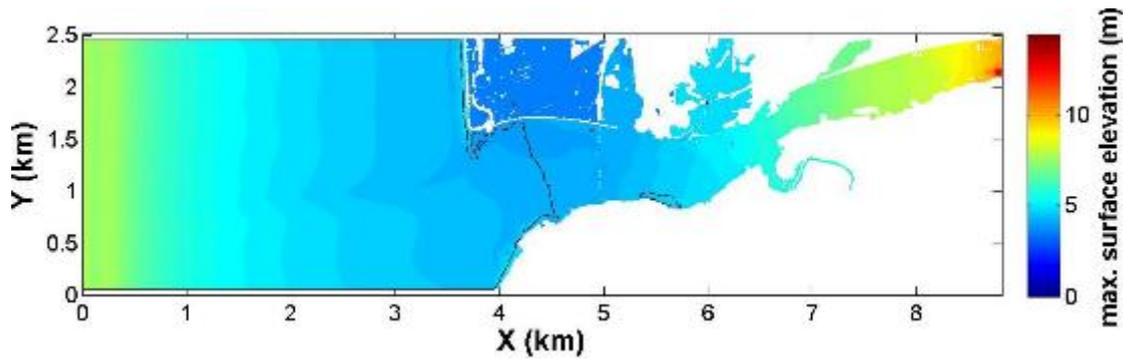


圖 5.83 情境 8 在 15 分鐘期間內的最大水位高程空間分佈

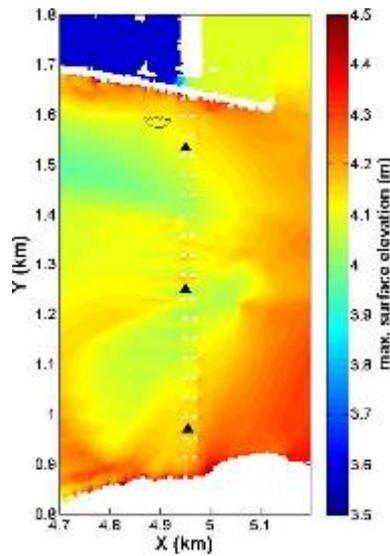


圖 5.84 情境 8 在 15 分鐘期間內，後龍觀海大橋附近最大水位高程分佈

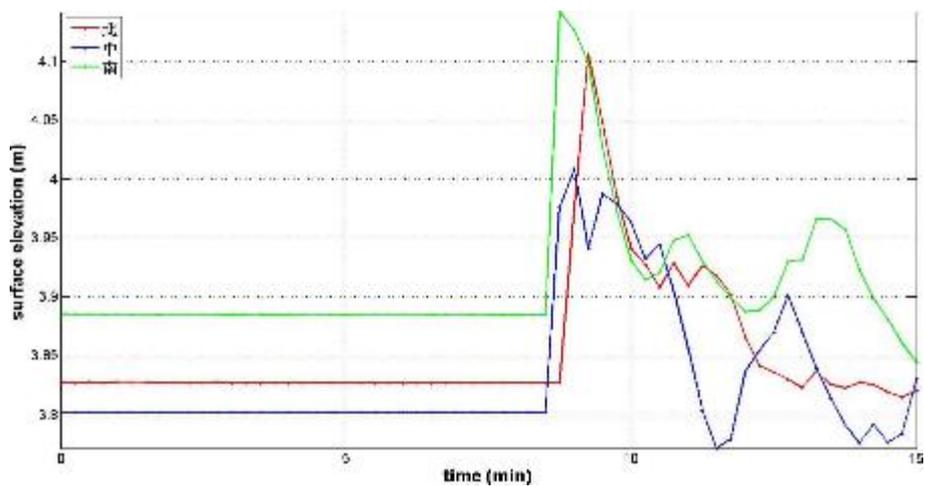


圖 5.85 情境 8 在 15 分鐘期間內，後龍觀海大橋的北、中、南三個位置的水位時序列

表 5-10 為情境 1 到 8 在後龍觀海大橋北、中、南位置的最大水位高程。由表可知在情境 3 純粹正弦波入射(波高 4.93m、週期 12.1 秒)條件下，其波浪到達不了大橋。另外情境 1 和情境 4 的最大水位高程相同，亦即以情境 1 為初始水位的情境 4，在沒有 3.57m 的暴潮位條件下，即使河川提供了流量 1490 立方公尺每秒，入射的波浪也到達不了大橋位置。在情境 5 和 7 中，要計算由波浪所造成的最大水位增加，可直接由對大水位高程減掉暴潮位 3.57m，而情境 6 和 8 則可由自身最大水位高程減去情境 2 的最大水位高程來求得，其結果如表 5-11。

從表 5-11 可知情境 5 和情境 6 雖同樣在 3.57m 的暴潮條件，不同的是後者加入河川流量。情境 5 的入射波在北、中、南三個位置各造成 0.29m、0.24m 和 0.28m 的水位提昇，情境 6 的入射波則造成 0.23m、0.21m 和 0.22m 的水位提昇。河流的作用除了讓入射波的最大水位抬昇值降低之外，亦讓入射波的到達時間約延遲 60 秒(圖 5.86)。相較於情境 5 和 6 的入射波高 4.93m，情境 7 和 8 的入射波高雖然達 8.44m，但造成的水位抬昇只比情境 5 和 6 增加 3 到 7 公分。而由圖 30 的情境 7 和 8 的波浪到達時間來看，河流的作用使入射波延遲 30 到 45 秒，且和無河流的狀態比較起來，最大水位抬昇值亦有減少。

本次情境模擬的結果顯示暴潮位的高度可能對波浪的能量傳播至後龍觀海大橋的過程影響較大，而河流的流量可能會抑制波浪引起的水位抬昇。所有情境在橋梁附近產生的水位最大值以情境 8 的 4.17m 最大，根據交通部的橋梁資料(表 5-10)，離該橋的最低橋下淨高 5.4m 尚有 1.33m 的差距，所以此次所有的情境模擬皆不會對橋上的行車安全造成威脅。

**表 5-10 情境 1 到 8 在後龍觀海大橋北、中、南位置的最大水位高程**

位置 <sup>*2</sup> \ 情境 <sup>*1</sup>	最大水位高程 (m)							
	情境 1	情境 2	情境 3	情境 4	情境 5	情境 6	情境 7	情境 8
北	3.13	3.83	0.00	3.13	3.86	4.06	3.90	4.11
中	3.06	3.80	0.00	3.06	3.81	4.01	3.84	4.08
南	3.34	3.89	0.00	3.34	3.85	4.11	3.89	4.17

\*1.情境 1 為河流，情境 2 為河流加暴潮，情境 3 為波浪，情境 4 為波浪加河流，情境 5 為波浪加暴潮，情境 6 為波浪加河流和暴潮。

\*2.位置北、中、南在模式的座標為各為(4.95 km, 1.535 km)、(4.95 km, 1.250 km)、(4.955 km, 0.970 km)

**表 5-11 情境 5 到 8 波浪在後龍觀海大橋北、中、南位置造成的最大水位抬昇**

位置	波浪造成最大的水位抬昇 (m)			
	情境 5	情境 6	情境 7	情境 8
北	0.29	0.23	0.33	0.28
中	0.24	0.21	0.27	0.28
南	0.28	0.22	0.32	0.28

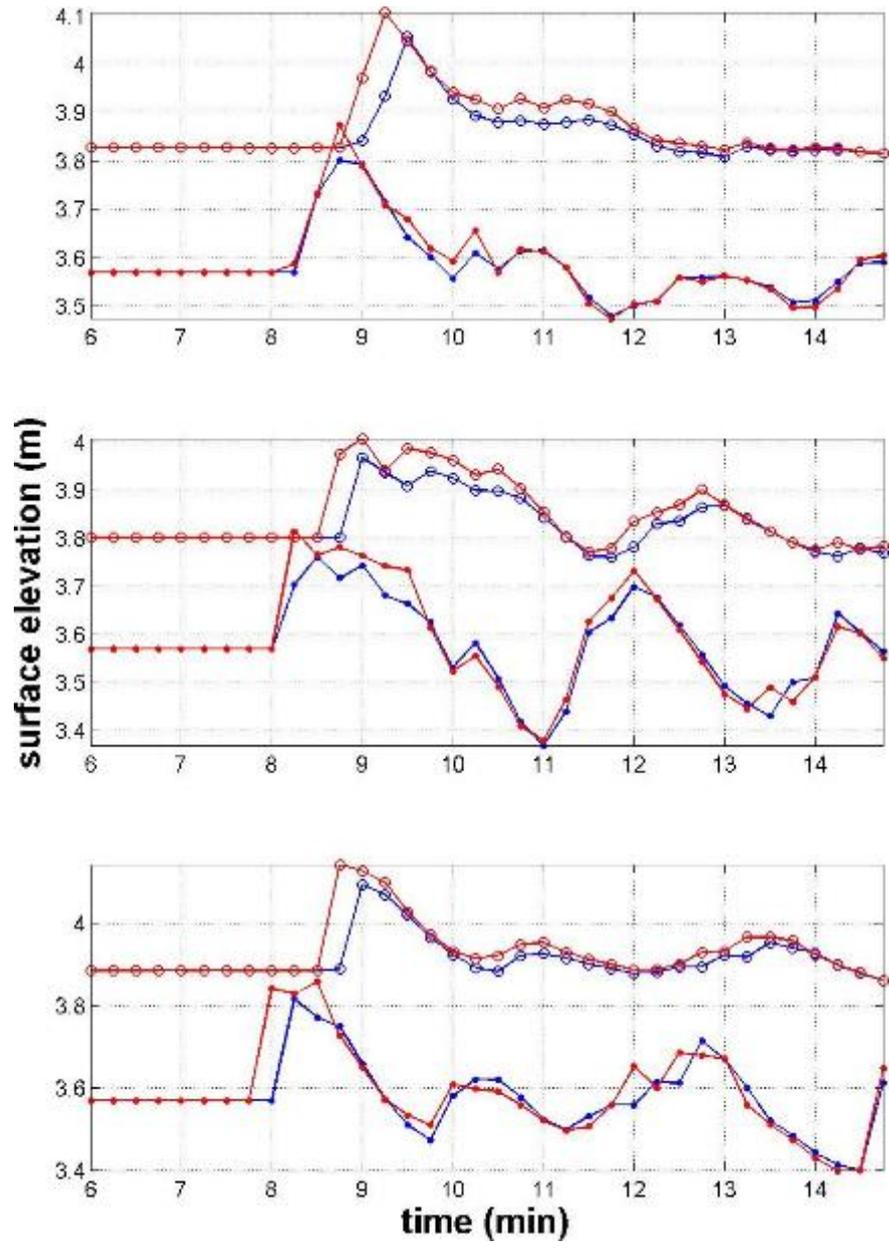


圖 5.86 情境 5(藍點)、情境 6(藍圈)、情境 7(紅點)和情境 8(紅圈)在後龍觀海大橋的北(上圖)、中(中圖)、南(下圖)三個位置的水位時序列比較

## 5.4.6 後龍觀海大橋附近波流交互作用的模擬

### 5.4.6.1 研究目的

前小節 COMCOT 模擬的初步結果，為了進一步釐清各種波浪周期與振幅於河口入射時，在受到波流交互作用後所產生的各種可能結果。在此將模式地形從原本水平 2 維的實際地形(圖 5.87)簡化成 1 維單一坡度地形，而坡度值則根據圖 5.87 紅虛線所得的地形值(圖 5.88)，由於圖 5.88 的 0 km 處代表後龍觀海大橋的所在位置，在此取 -3 km 到 0 km 的長度範圍求得平均坡度約 0.003。考慮 4 種振幅、4 種週期的鐘形波入射，搭配 5 種背景流量的情況下，以 FLUIDITY 模式模擬 80 個情境，藉由模擬各條件下波浪從邊界入射到抵達橋墩時的波高變化，從而了解其威脅性。其考量情境不可能包括所有發生的狀況，主要情境的選擇除了測試模式，中間較細的部分可以利用這些情境模擬結果來內插，利用極限的狀況來(最好及最差)來概括情境的可能。

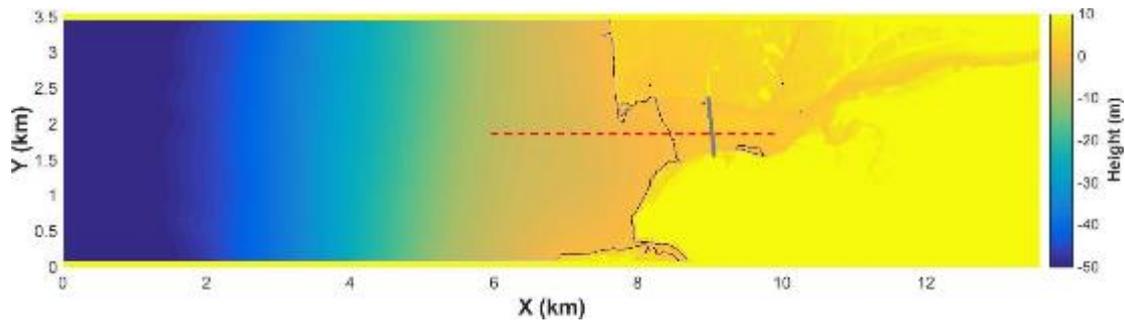


圖 5.87 由海科中心的海洋地形(500 公尺解析度)和內政部 DEM 陸地地形(5 公尺解析度) 內插所得到的地形，取紅色虛線的深度來評估平均坡度

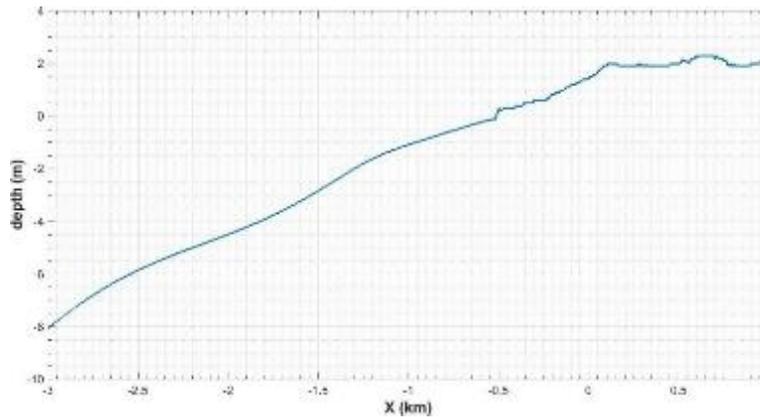


圖 5.88 位於圖 5.87 紅虛線處的地形

#### 5.4.6.2 FLUIDITY 模式簡介

本研究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，是一個開放性原始碼，多用途的多相流計算流體力學模式，能使用一維、二維或三維的非結構性有限元素網格來解析數值化的 Navier-Stokes 方程式，以其附加的場方程。移動式的有限元素法或控制體積能根據問題，隨著時間的變化來調整網格。它亦能混用有限元素和控制體積元素來解決問題。Fluidity 結合網格最佳化的資料庫，具備動力學的網格適應性，並且能使用 MPI 平行化處理。可應用的領域包括地球流體力學、計算流體力學、海洋模擬以及地函對流。

#### 5.4.6.3 模式設定

模式區域設定為長 5 公里的水道地形如圖 5.91 下圖，為了讓模式背景水位於 10 分鐘的模擬期間保持穩定，在此設定最小水深為 3 公尺，其中 x 座標 -2 km 到 0 km 為均一深度 3m，x 座標 0 km 到 3 km 為均一坡度 0.003(圖 5.88 求得的平均坡度)，深度由 3m 到 12m。模式計算的網格數為 1000\*1，網格解析度為 5m。利用右方邊界提供波浪入射，經過 3km 的傳播距離後到達座標 0 km 處的波浪變化來判斷該波浪是否對後龍觀海大橋造成威脅。

Fluidity 模式提供非線性淺水方程式及 Boussinesq 方程式等控制方程，本文選用 Boussinesq 控制方程式來模擬波流交互作用，且將水分子的黏滯係數設定為 0。邊界條件在表層為自由表面邊界，底床為自由滑動的牆(曼寧摩擦係數為 0)。左邊界各以 4 種不同振幅，以及 4 種不同周期的鐘形波入射(圖 5.89)。右邊界為搭配特定 5 種背景流量，而有 -2 m/s、-1 m/s、0 m/s、1 m/s、2 m/s 固定的流速，且水位值固定為 0。初始條件同樣因應背景流量而有 5 種初始水平流速(圖 5.91)。所有模擬條件如圖 5.90，共 80 個情境模擬。

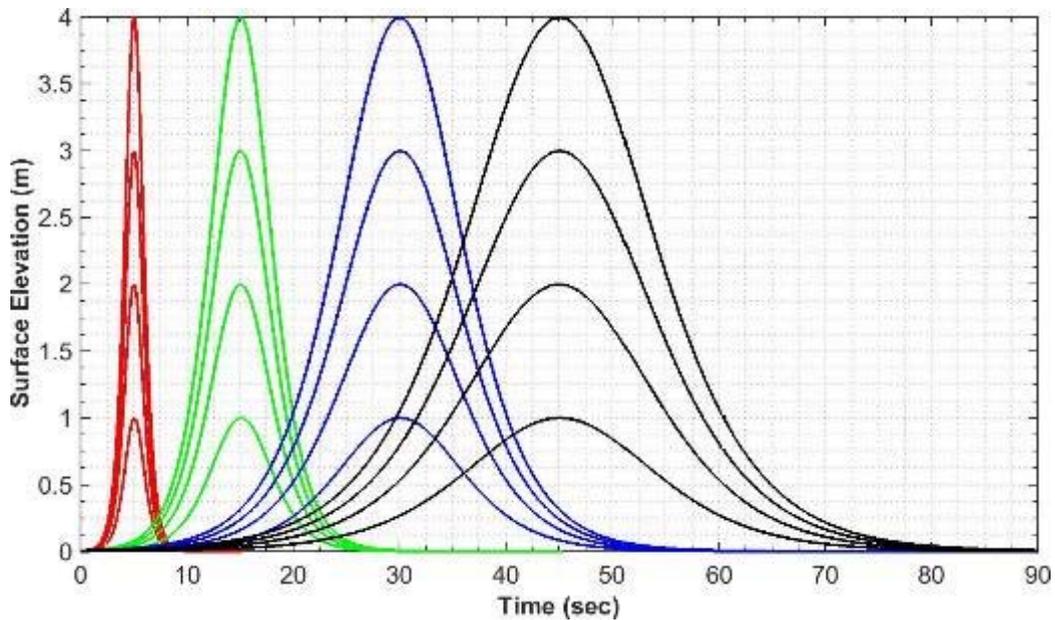


圖 5.89 Fluidity 模式右邊界使用的 16 種入射波形

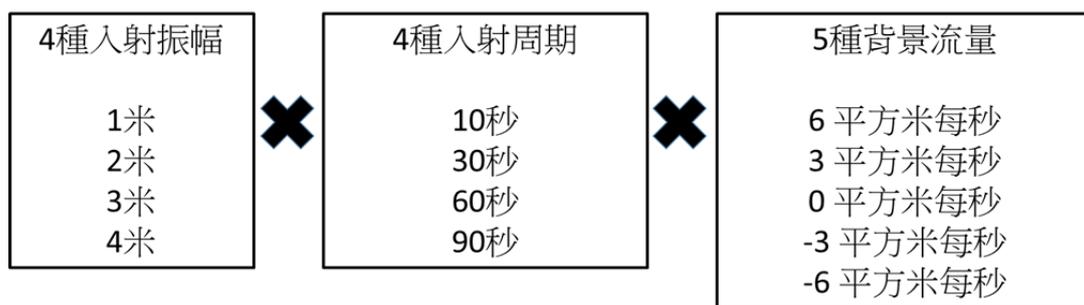


圖 5.90 不同條件組合的 80 個情境模擬

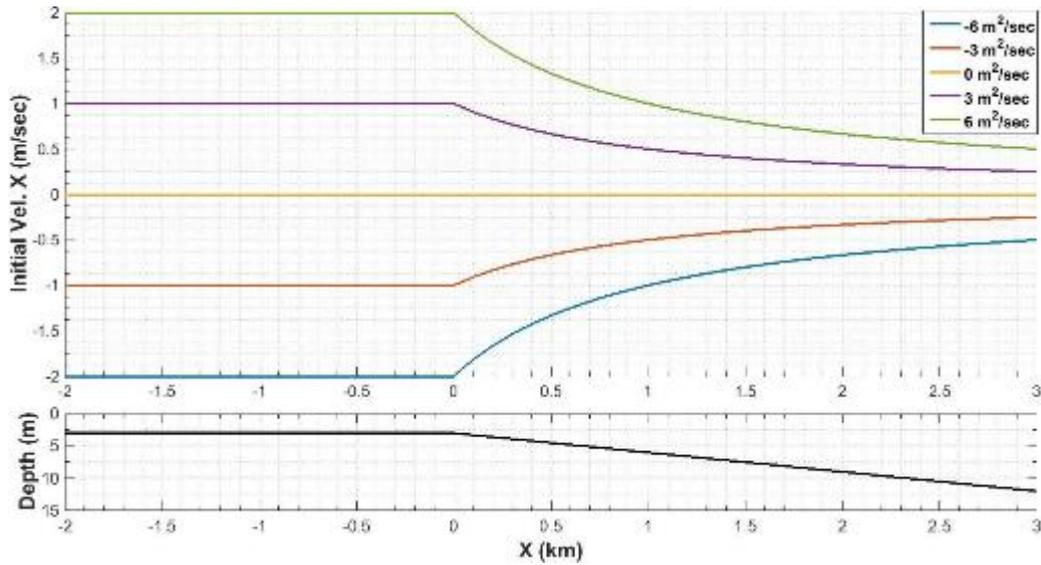


圖 5.91 Fluidity 模式模擬之 5 種背景流量所對應的初始水平流速(上圖) 以及模式地形(下圖)

#### 5.4.6.4 模擬結果

大部分情境模擬的變化趨勢大部分都是隨著時間波高變小，且波長拉長，如圖 5.92 入射波振幅 2 公尺且周期 30 秒的例子。該例除了顯示不同流量條件對波傳播距離的影響之外，在波流同向的情況下，波高變小且波形拉長的趨勢增長，而在波流反向的情況則是趨勢減緩。除了入射振幅 1 公尺且周期 60 秒以上在波流反向、以及 2 公尺振幅和 90 秒周期在流量-6 平方公尺每秒的 5 個情境模擬，能讓波高產生隨時間增加的情況，如圖 5.93 的例子。全部 80 個模擬在 5 秒及 2、4、6、8 分鐘的空間波形請參照附錄 2。

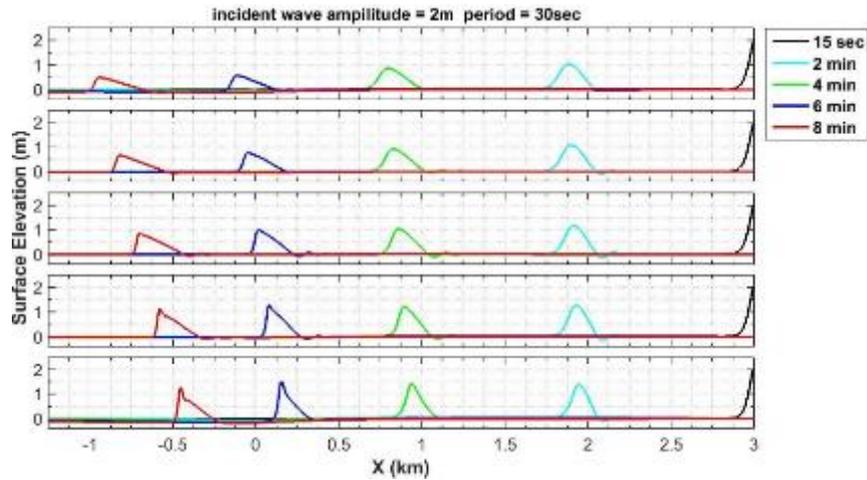


圖 5.92 入射波振幅 2 公尺、周期 30 秒在第 15 秒及 2、4、6、8 分鐘的空間波形，由上至下的背景流量各為-6、-3、0、3、6 平方公尺每秒

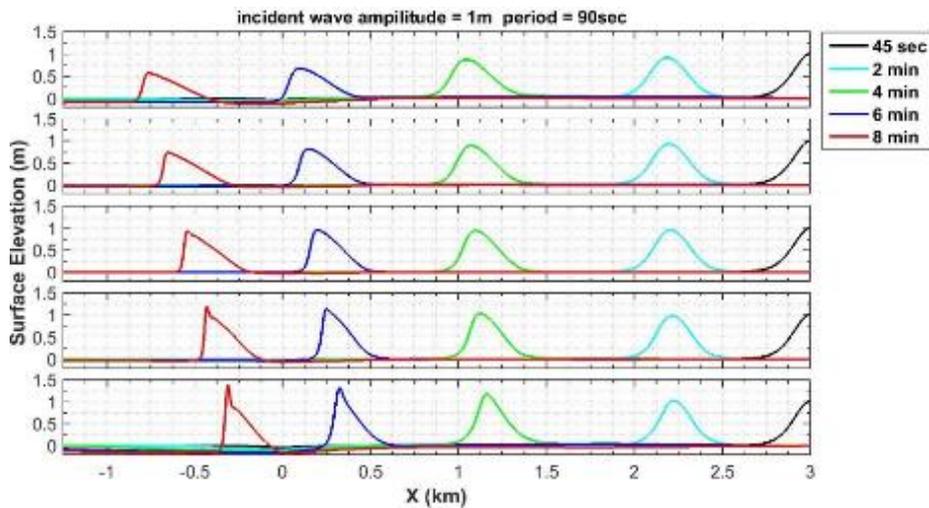


圖 5.93 入射波振幅 1 公尺、周期 90 秒在第 45 秒及 2、4、6、8 分鐘的空間波形，由上至下的背景流量各為-6、-3、0、3、6 平方公尺每秒

按照模式的地形設置，後龍觀海大橋位於 X 座標為 0 的位置，所以該點的判斷水位時序列便可了解各種入射波從右邊界入射後經 3 公里的傳播後對該地可能造成的威脅。同樣大部分的情況下，該處的最大水位高度皆小於入射波高，如圖 5.94 為 X=0 km 在入射波為 2 公尺振幅和 30 秒周期的條件下，對應 5 個不同流量的水位時序列。除了入射振幅 1 公尺且周期 60 秒以上在波流反向的條件下會大於 1 公尺波高，例如圖 5.95 在入射波振幅 1 公尺、周期 90 秒且背景流量-3、-6 的情況。全部 80 個模擬在 X=0 km 的水位時序列請參照附錄 2。

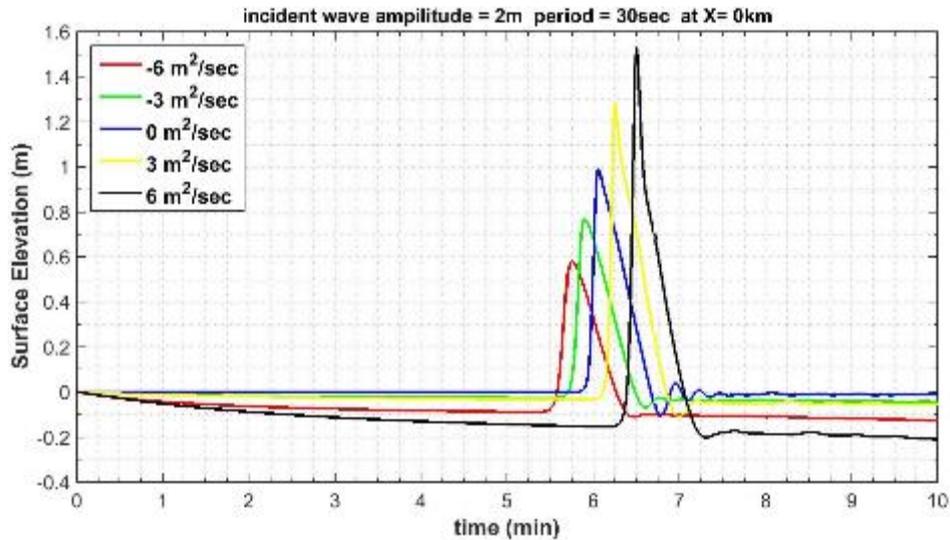


圖 5.94 入射波振幅 2 公尺、周期 30 秒於背景流量-6、-3、0、3、6 平方公尺每秒的條件下在座標 X=0 的水位時序列

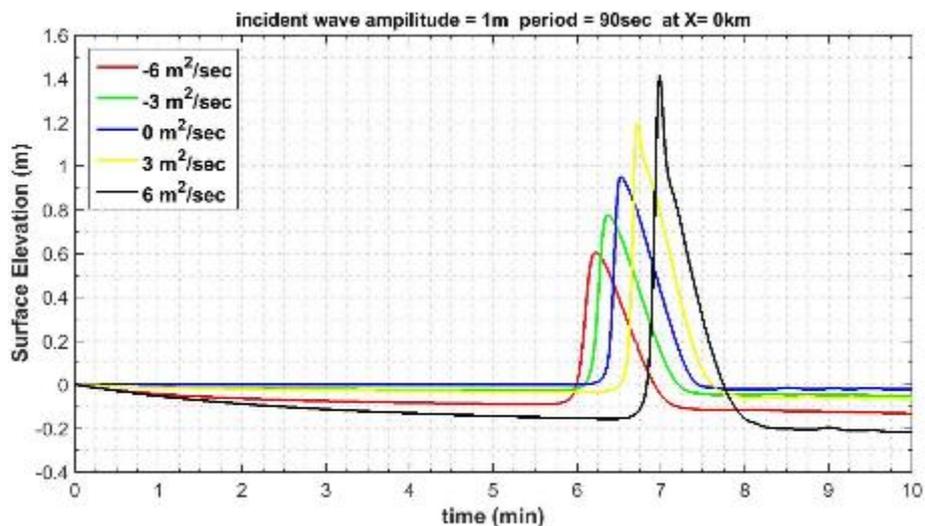


圖 5.95 入射波振幅 1 公尺、周期 90 秒於背景流量-6、-3、0、3、6 平方公尺每秒的條件下在座標 X=0 的水位時序列

當固定振幅和流量時，入射波周期越大，最大水位值越大(圖 5.96)，從圖 5.97 的最大水位對振幅比值亦可顯示周期越大，比值越大，即入射波的波高遞減趨緩。在大部分的情況下，波流反向比同向能造成更大的最大水位值。

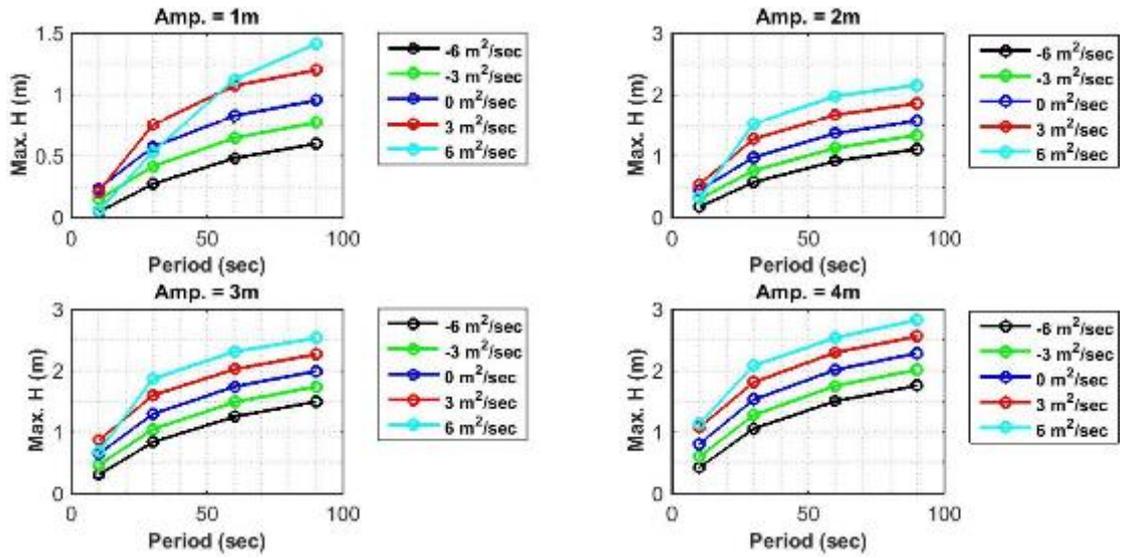


圖 5.96 4 種振幅和五種流量的周期對最大水位值

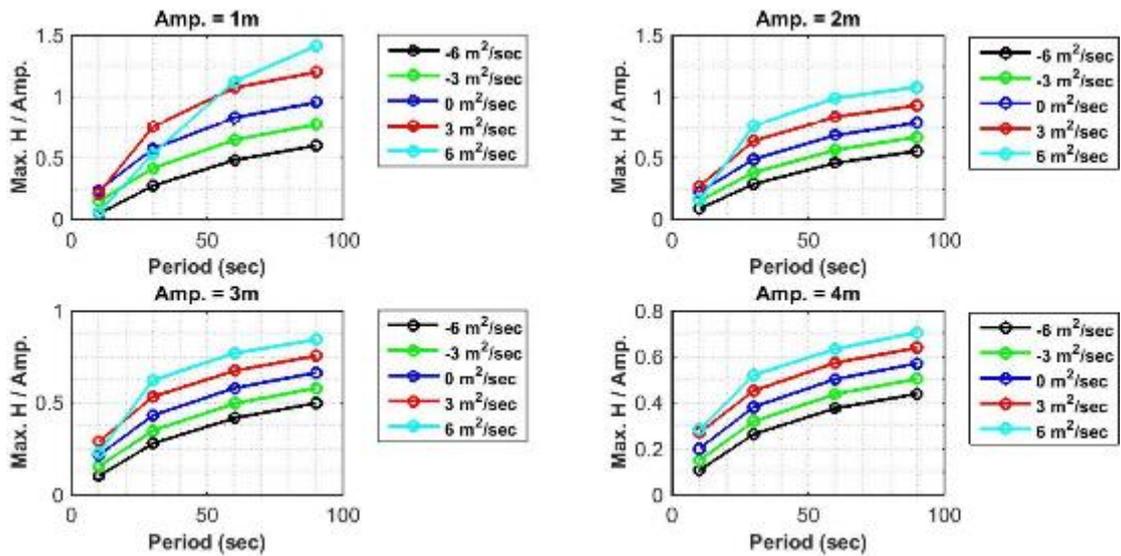


圖 5.97 4 種振幅和 5 種流量的周期對最大水位與振幅比

而在固定周期和流量下，振幅越大，最大水位值越大(圖 5.98)，而圖 5.98 的最大水位與入射振幅比值顯示除了周期 10 秒在不同流量的反應不一致，大部分的情況是入射振幅越大，比值下降越多，且當流量 -6(同向)和 6(反向)平方公尺每秒在 30 秒以上入射周期皆出現振幅越小，比值差距越大。在波流同向的情況下，對 4 種振幅的比值皆比波流反向的情況小，且流量越大比值變化越不明顯。

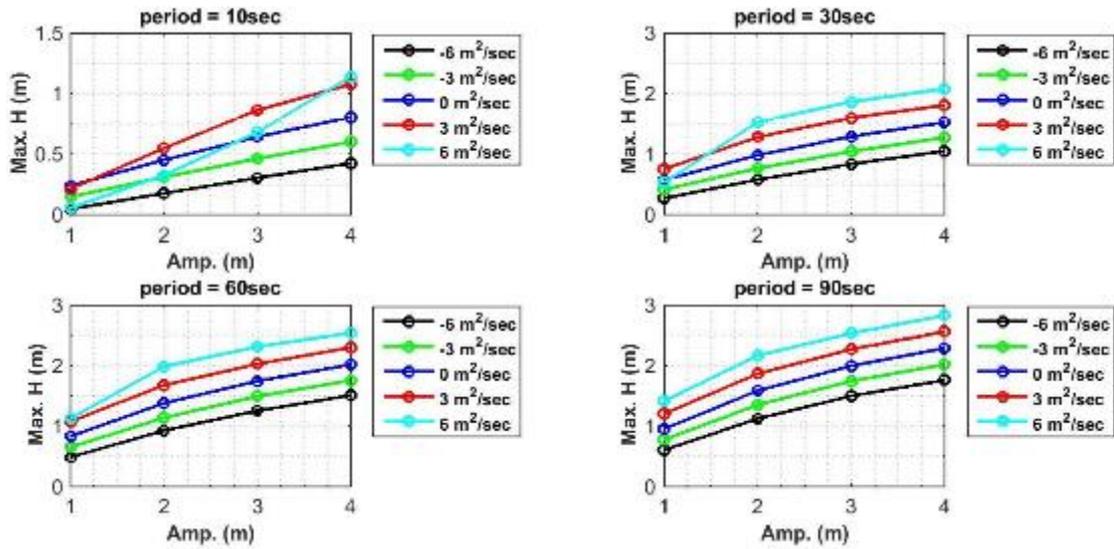


圖 5.98 4 種周期和 5 種流量的振幅對最大水位值

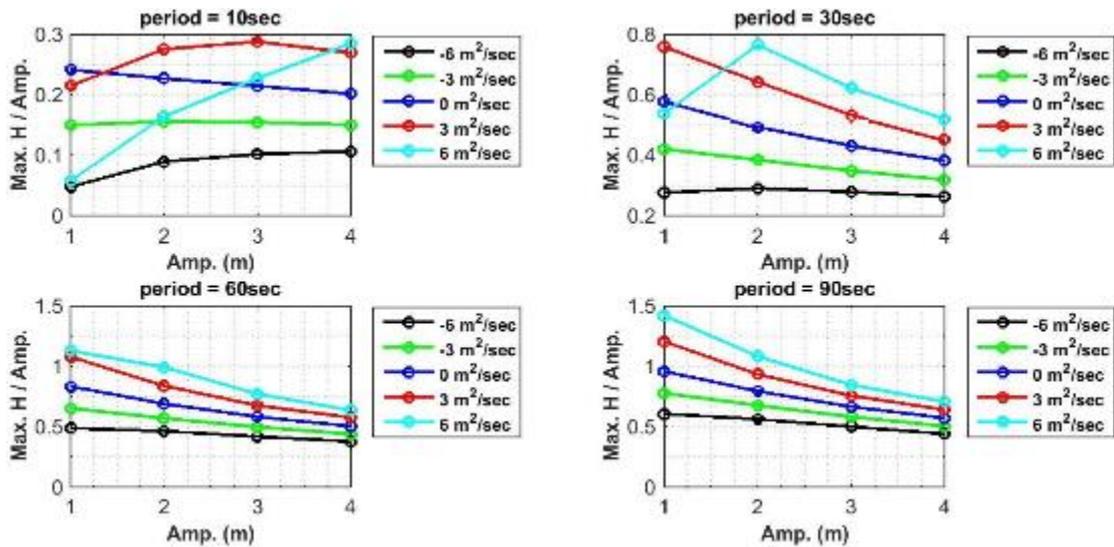


圖 5.99 4 種周期和 5 種流量的振幅對最大水位與振幅比

在固定振幅和周期的情況下，圖 5.100 顯示大部分波流反向（正流量）的情況能讓最大水位值增長的趨勢，而在波流同向（負流量）卻是減少的情況，僅在當振幅為 1 公尺、周期 10 秒，流量為 3 公尺平方每秒，以及振幅 1、2 和 3 公尺時，且周期 10 秒且流量為 6 公尺平方每秒的 4 個情境下，最大水位值有下降的趨勢，可能受到部分背景流量不穩定的影響（X=0 km 位置的 6 公尺平方每秒背景水位於於十分鐘期間從 0 下降到 -0.2 公尺，如圖 5.102），故其值會有較大的誤差。不同入射波振幅、周期和背景流量在座標 X=0 km 造成的最大水位值以及最大水位

與振幅比另列於表 1 和表 2。其大水位值的發生時間皆介於 330 到 420 秒之間(表 5-15)。

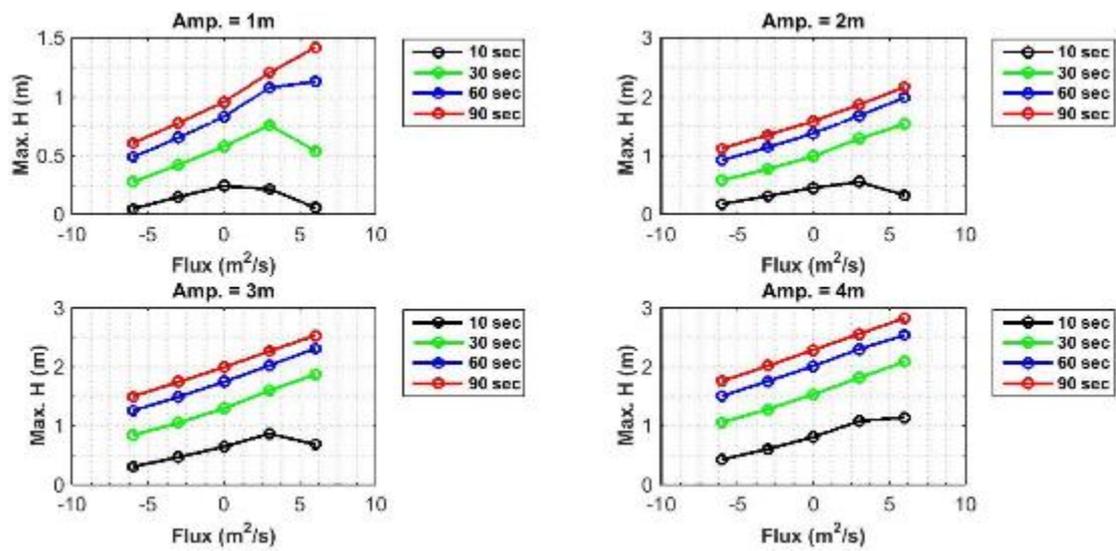


圖 5.100 4 種振幅和 4 種週期的流量對最大水位值

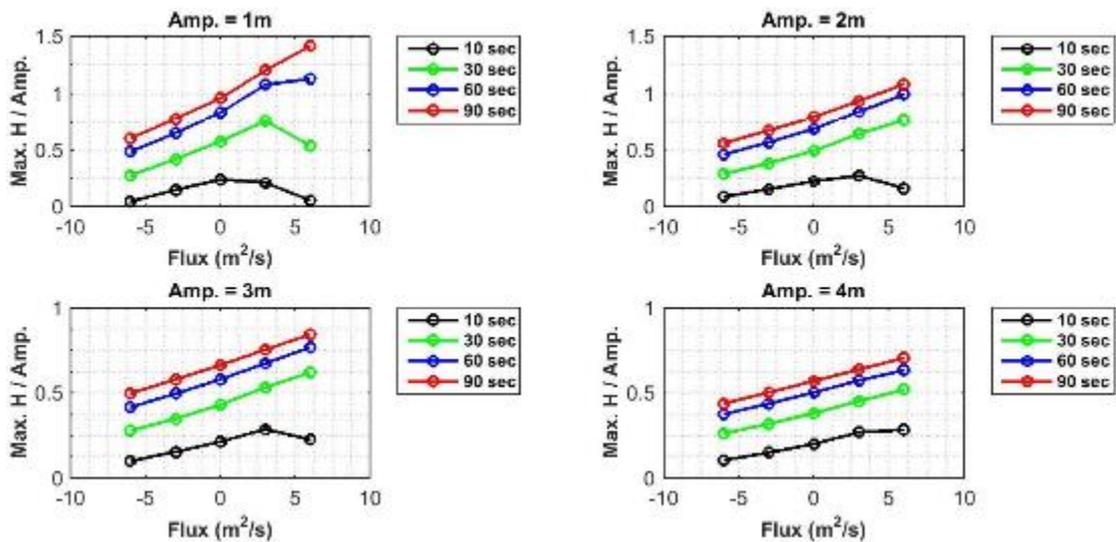


圖 5.101 4 種振幅和 4 種週期的流量對最大水位與振幅比

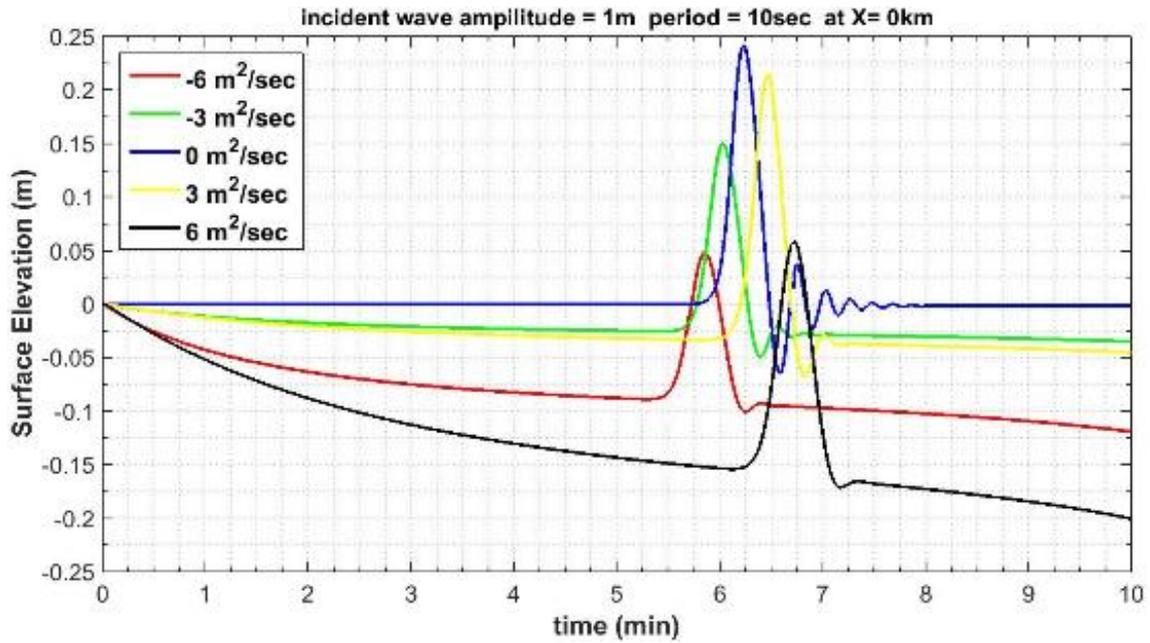


圖 5.102 入射波振幅 1 公尺、周期 10 秒於背景流量-6、-3、0、3、6 平方公尺每秒的條件下在座標 X=0 的水位時序列

表 5-12 不同入射波振幅、周期和背景流量在座標 X=0 km 發生的最大水位值(公尺)

振幅 (公尺)	周期 (秒)	流量(平方公尺每秒)				
		-6	-3	0	3	6
1	10	0.05	0.15	0.24	0.21	0.06
	30	0.28	0.42	0.58	0.76	0.54
	60	0.49	0.65	0.83	1.08	1.13
	90	0.60	0.78	0.96	1.20	1.42
2	10	0.18	0.31	0.45	0.55	0.33
	30	0.58	0.77	0.99	1.29	1.53
	60	0.92	1.14	1.38	1.67	1.98
	90	1.12	1.35	1.58	1.86	2.16
3	10	0.31	0.46	0.64	0.86	0.68
	30	0.84	1.05	1.29	1.60	1.87
	60	1.25	1.49	1.74	2.02	2.31
	90	1.50	1.74	1.99	2.27	<b>2.53</b>
4	10	0.43	0.60	0.81	1.08	1.14
	30	1.06	1.28	1.53	1.81	2.08
	60	1.50	1.75	2.01	2.30	<b>2.54</b>
	90	1.76	2.02	2.28	<b>2.56</b>	<b>2.82</b>

表 5-13 不同入射波振幅、周期和背景流量在座標 X=0 km 的最大水位值與入射波振幅的比值

振幅 (公尺)	周期 (秒)	流量(平方公尺每秒)				
		-6	-3	0	3	6
1	10	0.05	0.15	0.24	0.21	0.06
	30	0.28	0.42	0.58	0.76	0.54
	60	0.49	0.65	0.83	1.08	1.13
	90	0.60	0.78	0.96	1.20	1.42
2	10	0.09	0.16	0.23	0.28	0.16
	30	0.29	0.38	0.49	0.64	0.77
	60	0.46	0.57	0.69	0.84	0.99
	90	0.56	0.67	0.79	0.93	1.08
3	10	0.10	0.15	0.21	0.29	0.23
	30	0.28	0.35	0.43	0.53	0.62
	60	0.42	0.50	0.58	0.67	0.77
	90	0.50	0.58	0.66	0.76	0.84
4	10	0.11	0.15	0.20	0.27	0.28
	30	0.26	0.32	0.38	0.45	0.52
	60	0.38	0.44	0.50	0.57	0.63
	90	0.44	0.50	0.57	0.64	0.71

表 5-14 不同入射波振幅、周期和背景流量在座標 X=0 km 出現最大水位值的發生時間(秒)

振幅 (公尺)	周期 (秒)	流量(平方公尺每秒)				
		-6	-3	0	3	6
1	10	351	361	374	388	403
	30	354	364	374	388	405
	60	362	371	381	393	410
	90	373	382	391	403	419
2	10	347	357	368	383	399
	30	345	354	363	375	390
	60	349	357	367	378	392
	90	357	365	375	386	399
3	10	343	353	363	376	393
	30	337	346	355	366	380
	60	338	347	356	367	380
	90	345	353	362	373	385
4	10	340	349	358	370	387
	30	330	338	348	358	372
	60	330	338	347	357	370
	90	335	343	352	362	374

根據交通部的橋梁資料，後龍觀海大橋的最低橋下淨高為 5.4 公尺，因此當水深 3 公尺時，只要波浪高度超過 2.4 公尺便會衝擊到橋身，引此就本文的 80 個模擬情境中，有 4 個情境的最高水位超過 2.4 公尺(表 5-12 粗體數字)，其情境條件如下：

1. 入射振幅 3 公尺、週期 90 秒、流量 6 平方公尺每秒。
2. 入射振幅 4 公尺、週期 60 秒、流量 6 平方公尺每秒。
3. 入射振幅 4 公尺、週期 90 秒、流量 3 平方公尺每秒。
4. 入射振幅 4 公尺、週期 90 秒、流量 6 平方公尺每秒。

為了解滿足 2.4 公尺水位臨界值的入射波條件，表 5-15 為使用 80 個情境的入射振幅、週期在  $X=0$  的最大水位值來評估發生 2.4 公尺水位時，其 4 種振幅在 5 種流量下所對應的週期。當最大水位值 2.4 公尺落在振幅 4 公尺以下時作線性內插，而超過 4 公尺振幅，則以圖 5.98 的振幅 3 公尺到 4 公尺斜率作線性外插。表 5-16 為發生 2.4 公尺最大水位時，其 4 種週期在 5 種流量下所對應的振幅，同樣當最大水位值 2.4 公尺落在週期 90 秒以下時作線性內插，而超過 90 秒的部分，則以圖 5.98 的週期 60 秒到 90 秒斜率作線性外插。藉由表 5-15、表 5-16 可概略評估當後龍溪河口觀測超過該值的波浪振幅和週期時，可能會危及到橋上的行人及車輛安全，需加以警戒。

**表 5-15 4 種入射波振幅在 5 種背景流量下，於  $X=0$  處 2.4 公尺水位所需的週期(秒)**

振幅 (公尺)	流量(平方公尺每秒)				
	-6	-3	0	3	6
1	545	480	439	373	192
2	286	239	209	175	130
3	201	169	139	107	72
4	167	134	103	72	51

**表 5-16 種入射週期在 5 種背景流量下，於  $X=0$  處產生 2.4 公尺水位所需的振幅(公尺)**

周期(秒)	流量(平方公尺每秒)				
	-6	-3	0	3	6
10	20.45	16.94	13.80	10.16	6.76
30	10.18	8.88	7.69	6.79	5.48
60	7.54	6.45	5.43	4.38	3.40
90	6.47	5.40	4.40	3.46	2.65

## 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，另以澎湖港域為研究對象，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：維運現有海氣象模擬模組(波浪、水動力、海嘯)。進行相關軟硬體設備更新、提供港區海象模擬成果展示、各模組調整及新增湧浪模式作業評估等，本年度並完成 2015 年度模擬與觀測成果評估。溢淹資訊建置部份以海嘯模擬技術為主軸，整合相關研究計畫之成果，海嘯資料蒐集、海嘯數值模式實例探討及海嘯溢淹模擬，並整合地理資訊系統之圖資以展現溢淹模擬，分別評估臺中、布袋、安平、高雄等主要商港。並以後龍溪觀海大橋為例，建立河川水位暴漲與河川下游暴潮複合影響下之波流交互作用之數值模式，藉以評估橋梁安全性的參考。本研究提出的海象模擬作業成果，已於本所港灣環境資訊網對外展示應用，可供本所後續計畫參考，並可供交通部航港局、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 10 個主要商港現場觀測資料進行校驗及評估等工作。

2. 持續作業化取得中央氣象局 WRF 風場，提供每日 4 次，預報風場資訊供港灣環境資訊系統應用，持續每日 1 次作業化波浪及流場模擬作業。並每 5 分鐘主動擷取國內外網站進行地震海嘯模擬作業。
3. 本計畫在系統整體預報時間已在完整取得中央氣象局提供風場及氣壓場預報後，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，水動力小尺度部份大多港口需要有 1 小時至 4 小時不等的計算時間。
4. 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，本年度新增臺灣四周海域風波資訊、提供港區區域風波流新增展示功能、海嘯模擬作業調整及溢淹地理資訊整合等，以期提供更多元且細緻資訊供各界參考。
5. 調整臺北港近岸水動力模組、臺北港港域波浪模組，及基隆港近岸水動力模組。並進行澎湖水動力模式及澎湖港龍門尖山港區港域波浪模式新增建置。
6. 進行臺中、布袋、安平及高雄港海嘯溢淹圖新增參考查詢建置，但網頁受限於 Google Maps 限制，網頁僅能呈現 DEM 圖資。
7. 進行颱風湧浪模式作業評估，梁湧浪模式對於波浪週期預報較現有作業化中尺度風浪預報模式(SWAN)佳。但梁湧浪模式在波高部分因尖峰波高較快抵達，誤差較現有作業風浪系統大，所以波高模擬上以現有中尺度風浪預報模式(SWAN)略好。若能取得完整颱風路徑預報資訊，後續應可持續進行評估探討並進行作業化建置，可為本系統提供第二種波浪模擬資訊。

8. WRF風場 WA02 及 WA03 於港區觀測風速資料比對較 WA01 佳。花蓮港之風場模擬決定係數偏低，有待提升。未來亦可考慮以 WA03 輸入中尺度波、流場進行模擬比對，應可獲得較佳結果，或與鄰近水利署測站比對以校驗實測及預報資料之準確性。
9. 由 2015 年度各港觀測及模擬歷線資料可知中尺度風浪模組提供示性波高與觀測值趨勢及大小已有相當的預報效果。就颱風期間波高、週期及波向歷線資料，可知示性波高及主波向方面中尺度資料接近觀測資料；在譜峰週期方面部分大尺度預報較佳。但於颱風期間有部份測站以大尺度預報結果較佳，應檢視中尺度於颱風期間之模擬設定值，或考慮以 WA03 之風場進行模擬比對。
10. 中尺度模擬水位在各港全年度與觀測值相關性均佳，可持續作為作業化預報使用。本年度小尺度水位及海流預報新增蘇澳港及高雄港，未來將持續精進小尺度預報潮流系統，並新增花蓮港及安平港模擬作業化。
11. 相關的研究工作所建構之預報系統只提供外海波高，未能提供港內可能的受災狀況，故各港務分公司不知如何應變。本研究將結合視覺化之防災溢淹潛勢圖(Inundation Map) 並整合地理資訊系統之圖資一起展現，以建立 Google Earth 地理資訊系統圖資之視窗化操作介面，本研究已完成臺中、布袋、安平及高雄港區受不同高度地震海嘯的溢淹圖資，並可透過原有的海嘯速報系統介面輸出 Google Earth 地理資訊系統之 kml 檔；則不論一般民眾或是主管機關都能快速掌握港內受災狀況，大幅降低災害之威脅，也作為海嘯警報發布時各港務分公司之應變參考。
12. 利用 COMCOT 水動力模式的模擬及 FLUIDITY 模式來探討特定風浪在一個極端的暴潮位，以及與河川產生波流交互作用的情況下，以後龍溪觀海大橋為例，藉由模擬各條件下波浪從邊界入射到抵達橋墩時的波高變化，從而了解其威脅性，以提供橋梁安全性的參考。本研究依不同初始條件及邊界條件，進行情境模擬，

參考 2006 年水利署報告中後龍溪河口 2 年的重現期距、2006 年及 2010 年示性波高及示性週期作為情境模擬的設定，其模擬結果顯示暴潮位的高度可能對波浪的能量傳播至後龍觀海大橋的過程影響較大，而波流反向的情況下會使入射波增大，根據交通部的橋梁資料，後龍觀海大橋的最低橋下淨高為 5.4 公尺，因此當水深 3 公尺時，只要波浪高度超過 2.4 公尺便會衝擊到橋身。因此在河川流量為  $6 \text{ m}^3/\text{s}$  入射波振幅達 3 公尺以上，其周期大於 72 秒，水位將衝擊橋身。

## 6.2 建議

1. 本作業系統在模組增加及對離島及周邊海域，需越來越多的海象資訊下，後續仍須有更多計算資源才能提昇整體海象預報時效。
2. 未來可與中央氣象局取得颱風預報路徑資訊，進行湧浪預報作業化使用。
3. 金門波浪、水位及海流之觀測與預報的偏差較其他港口大，由於金門四面環海且靠近中國大陸近岸，與臺灣本島之地理位置不同，海氣象特性也有所差異，後續金門建議獨立進行模擬，以得到精密準確之預報成果。
4. 目前已完成臺中、布袋、安平、高雄等商港，整合視覺化之防災溢淹潛勢圖(Inundation Map) 及 Google Earth 地理資訊系統之圖資展現，後續將擴展至基隆、臺北、蘇澳、花蓮等其他主要商港。
5. 本研究模擬以後龍溪觀海大橋為例，但因其他河口、地形及跨河橋梁條件均不同，因此建議未來可針對入射波波形、不同週期、入射方向，不同河川流量及不同的地形坡度等條件進行探討及討論，以提供在河川暴漲與暴潮長浪的情況下，了解對橋梁通行安全的可能影響，作為封橋決策更詳盡的參考資訊。

## 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、李兆芳等， 2015， "整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究(4/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，MOTC-IOT- 103H3DB001。
8. 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。
9. 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。
10. 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。
11. 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。
12. 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。

13. 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。
14. 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。
15. 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。
16. 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。
17. 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。
18. 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。
19. 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。
20. 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。
21. 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。
22. 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。
23. 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。
24. 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。
25. 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。
26. 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。

27. 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。
28. 全球地震矩網頁 Global CMT <http://www.globalcmt.org/>.
29. 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/>
30. 中央氣象局 <http://www.cwb.gov.tw/>.
31. 即時地震張量監測系統 Real-Time Moment Tensor Monitoring System <http://rmt.earth.sinica.edu.tw/>.
32. 美國 NGDC 資料庫 <http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/hazards.shtml>.
33. 美國地調所 USGS 資料庫 <http://www.usgs.gov/>.
34. 美國地調所 USGS 國家地震訊息中心 NEIC 資料庫 <http://earthquake.usgs.gov/regional/neic/>.
35. 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).
36. Booji, N., 1981, Gravity waves on water with non-uniform depth and current, Department of Civil Engineering, Delft University of Technique, Delft, The Netherlands, Report No. 81-1.
37. 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).
38. 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).
39. 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).
40. Dingemans, M. W., *Water wave propagation over uneven bottoms. Part 1 –linear wave propagation*, Advanced Series on Ocean Engineering, 13, World Scientific, 471p (1997).
41. Fredsøe, J., and Sumer, B.M., 1997. Scour at the round head of a rubble-mound breakwater, *Coastal Engineering*, Vol. 29, pp. 231-262.

42. 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.
43. 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.
44. Hasselmann, K. "On the spectral dissipation of ocean waves due to whitecapping," *Bound.-layer Meteor.*, 6, 1-2, 107-127 (1974).
45. 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).
46. 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.
47. 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.
48. 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.
49. 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.
50. 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).
51. Lee, T.L., and D.S. Jeng, 2002. Application of artificial neural networks in tide forecasting, *Ocean Engineering*, Vol. 29, pp. 1003-1022.
52. 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).
53. Loomis, H.G. (1979), "Tsunami prediction using the reciprocal property of Green's functions," *Mar. Geod.*, 2(1), pp.27-39.
54. Mei, C. C., *The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves*, John Wiley, New York

- (1989).
55. Miles, J. W., "On the generation of surface waves by shear flows," *J. Fluid Mech.*, 3, 185-204 (1957).
  56. Radder, A. C., "On the parabolic equation method for water-wave propagation," *J. Fluid. Mech.*, Vol. 95, 159-176 (1979).
  57. Sumer, B.M., and Fredsøe, J., 1997, Scour at the head of a vertical-wall breakwater, *Coastal Engineering*, Vol. 29, pp. 201-230.
  58. 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.
  59. 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.
  60. Phillips, O. M., "On the generation of waves by turbulent wind," *J. Fluid Mech.*, 2, 417-445 (1957).
  61. WAMDI group, "The WAM model – a third generation ocean wave prediction model," *J. Phys. Oceanogr.*, 18, 1775-1810 (1988).
  62. Whitham, G. B., *Linear and nonlinear waves*, Wiley, New York, 636 p (1974).
  63. X. Wang and Liu, P. L.-F.(2007): Cornell Multigrid Coupled Tsunami model (COMCOT) User Manual, Cornell University.
  64. 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 2015 年度侵臺颱風警報資料

2015 年中央氣象局發布颱風警報計有 6 個，其中 4 個(蓮花、昌鴻、蘇迪勒、杜鵑)發布海上及陸上颱風警報，2 個(紅霞、天鵝)發布海上颱風警報；紅霞、天鵝及杜鵑近臺強度為強烈颱風，如表 1，中央氣象局發佈之颱風路徑圖(包括概況表)如圖 1a~圖 6b。包含該颱風報告表、颱風路徑圖、及接近臺灣時之颱風衛星圖。

**表 1 2015 年侵臺颱風記錄表**

(摘自中央氣象局網站 <http://www.cwb.gov.tw>)

編號	中文名稱	英文名稱	侵臺路徑分類	警報期間	近臺強度	生命期近中心最低氣壓 (hPa)	近臺中心最大風速 (m/s)	七級風暴風半徑 (km)	十級風暴風半徑 (km)	警報發布數
201506	紅霞	NOUL	--	05/10~05/11	強烈	925	51	200	80	13
201510	蓮花	LINFA	--	07/06~07/09	輕度	975	30	120	30	24
201509	昌鴻	CHAN-HOM	--	07/09~07/11	中度	935	48	280	100	19
201513	蘇迪勒	SOUDELOR	3	08/06~08/09	中度	930	48	300	100	24
201515	天鵝	GONI	--	08/20~08/23	強烈	925	51	200	80	26
201521	杜鵑	DUJUAN	2	09/27~09/29	強烈	925	51	220	80	20

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	紅霞 (NOUL)
編號	201506
生成地點	---
侵(近)臺日期	2015 年 05 月 11 日
發布時間	海上 2015-05-10 08:00
解除時間	海上 2015-05-11 20:00
發布報數	13
最大強度	強烈
近中心最大風速	51 (公尺/秒)
侵臺路徑分類	---
登陸地段	---
動態	颱風 4 日在關島西南方海面形成後往西轉西北方向緩慢移動，10 日 8 時其中心在鵝鑾鼻南南東方海面，暴風圈逐漸接近巴士海峽及臺灣東南部海面；20 時起其強度逐漸減弱，暴風半徑亦逐漸減小，並逐漸向北轉東北移動。11 日 20 時其中心在臺東東北東方海面繼續向東北方向移動，蘭嶼綠島已脫離其暴風圈，對臺灣近海威脅亦已解除。
災情	無災情發生。
颱風災害專區網頁連結	---

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。

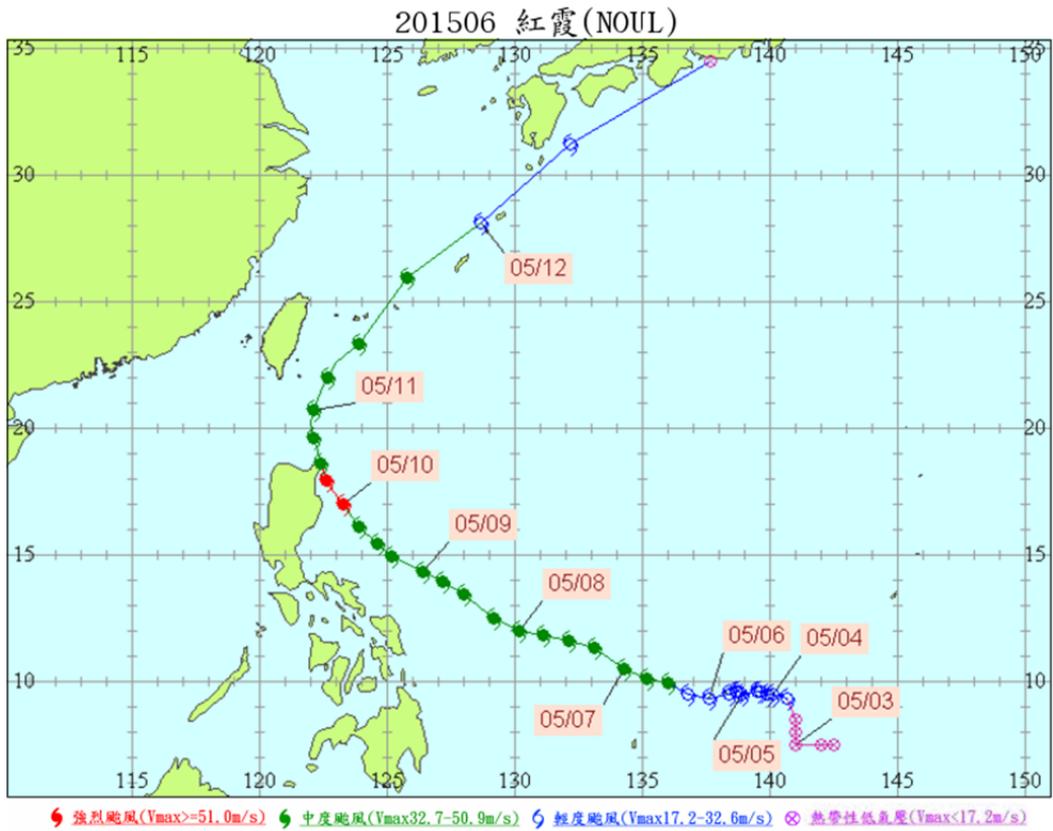


圖 1a 紅霞颱風路徑圖



圖 1b 紅霞颱風衛星圖

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	蓮花 (LINFA)
編號	201510
生成地點	菲律賓東方海面
侵(近)臺日期	2015 年 07 月 08 日
發布時間	海上 2015-07-06 08:30 陸上 2015-07-07 02:30
解除時間	陸上 2015-07-07 14:30 海上 2015-07-09 05:30
發布報數	24
最大強度	輕度
近中心最大風速	30 (公尺/秒)
侵臺路徑分類	---
登陸地段	---
動態	生成後大致偏西移動，穿越呂宋島北方後逐漸改向北移動，6 日 17 時其中心在鵝鑾鼻南南西方海面，暴風圈已進入巴士海峽，且移動緩慢。7 日後逐漸由北北東轉西北移動，9 日 5 時其中心在臺灣海峽南部向西移動，對臺灣近海威脅已解除。
災情	未有重大災情發生。
颱風災害專區網頁連結	---

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。

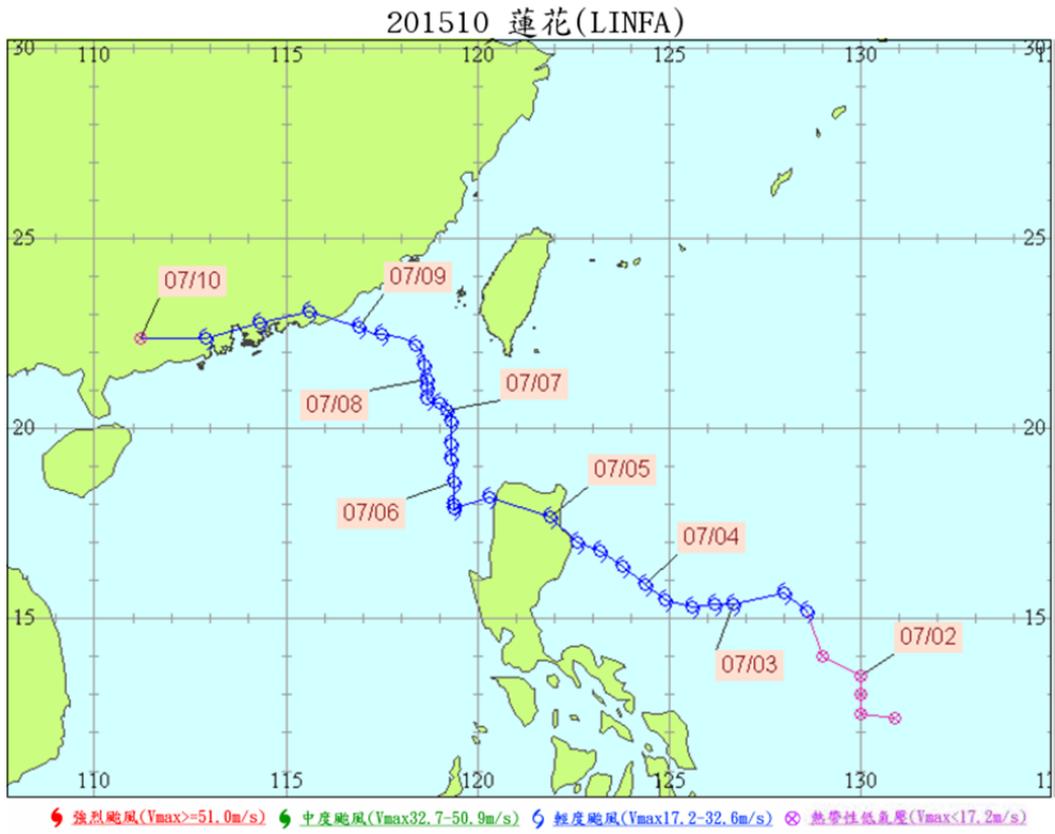


圖 2a 蓮花颱風路徑圖

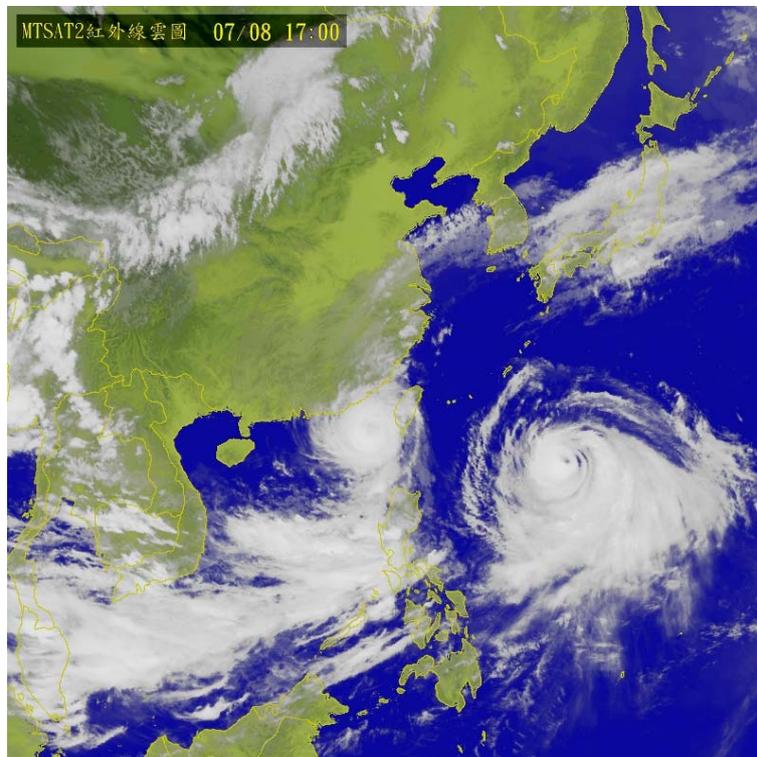


圖 2b 蓮花颱風衛星圖

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	昌鴻 (CHAN-HOM)
編號	201509
生成地點	關島附近海面
侵(近)臺日期	2015 年 07 月 10 日
發布時間	海上 2015-07-09 05:30 陸上 2015-07-09 20:30
解除時間	陸上 2015-07-10 23:30 海上 2015-07-11 11:30
發布報數	19
最大強度	中度
近中心最大風速	48 (公尺/秒)
侵臺路徑分類	---
登陸地段	---
動態	生成後向西轉西北緩慢移動，9 日 5 時其中心在琉球東南方海面，暴風圈逐漸接近臺灣東北部及北部海面；20 時起其暴風圈逐漸擴大，對臺灣北部及東北部陸地逐漸構成威脅。10 日 17 時，其暴風圈掠過臺灣東北部鼻頭角，23 時其強度逐漸減弱，對陸地威脅已解除。11 日 11 時其中心在臺北北方海面，向北北西轉北移動，對臺灣北部海面威脅亦已解除。
災情	未有重大災情發生。
颱風災害專區網頁連結	---

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。

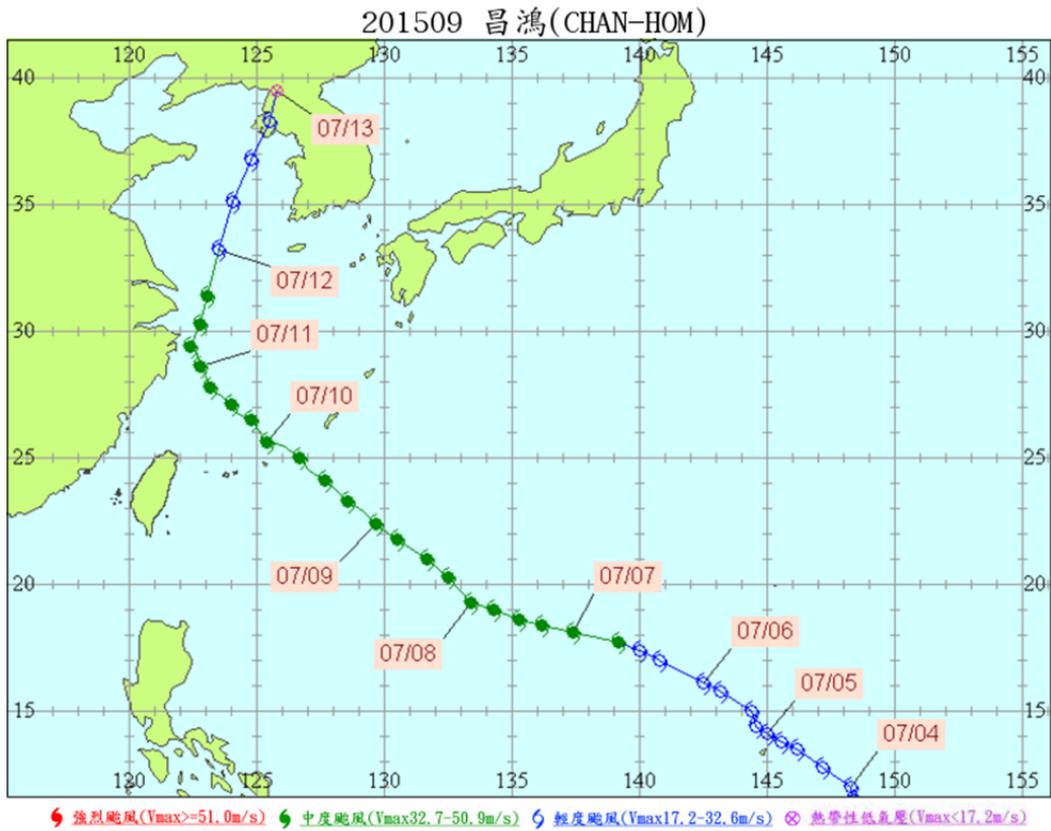


圖 3a 昌鴻颱風路徑圖

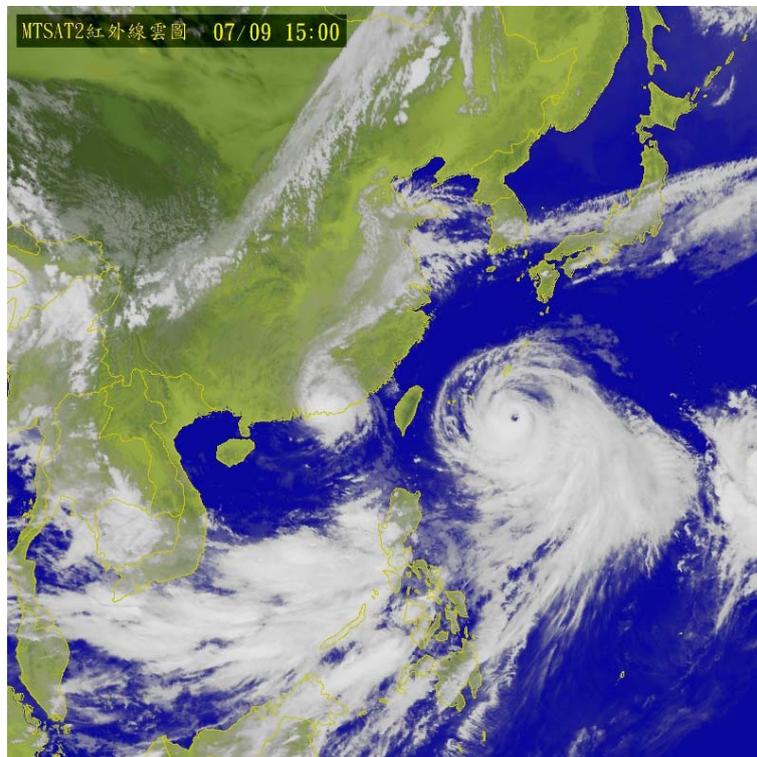


圖 3b 昌鴻颱風衛星圖

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	蘇迪勒 (SOUDELOR)
編號	201513
生成地點	---
侵(近)臺日期	2015 年 08 月 08 日
發布時間	海上 2015-08-06 11:30 陸上 2015-08-06 20:30
解除時間	陸上 2015-08-09 08:30 海上 2015-08-09 08:30
發布報數	24
最大強度	中度
近中心最大風速	48 (公尺/秒)
侵臺路徑分類	3
登陸地段	花蓮縣秀林鄉
動態	生成後穩定向西北西移動並快速增強，4 日午後雖略有減弱，但仍以中度颱風上限逼近臺灣。7 日 17 時其中心在花蓮東南東方海面，暴風圈逐漸接觸臺灣陸地。8 日 4 時 40 分左右中心由花蓮秀林鄉登陸，11 時在雲林縣臺西鄉出海，同日 22 時左右由福建進入大陸。
災情	受颱風影響，造成多處道路坍方，全臺停電戶數逾 400 萬戶。中央災害應變中心統計至 8 月 11 日止計有 8 人死亡，4 人失蹤，437 人受傷，農損逾新臺幣 22 億元。
颱風災害專區網頁連結	蘇迪勒颱風一般災情統計部分，累計有路樹倒塌 7,297 件、廣告招牌及掉落物 2,860 件、交通災情 283 件、積淹水及水利設施災情 451 件、土石災情 110 件、停水停電 7,208 件、建物毀損 1,798 件、其他災情 6,569 件等，共計 26,576 件，皆已由地方政府處理。

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。

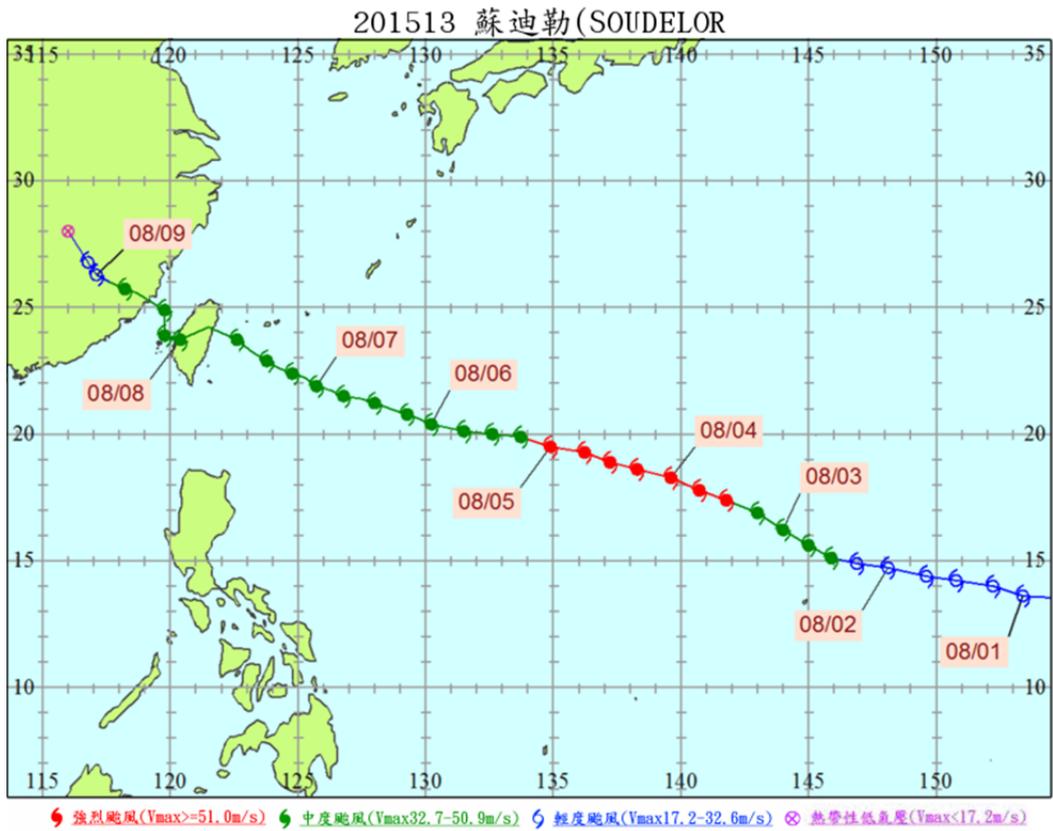


圖 4a 蘇迪勒颱風路徑圖

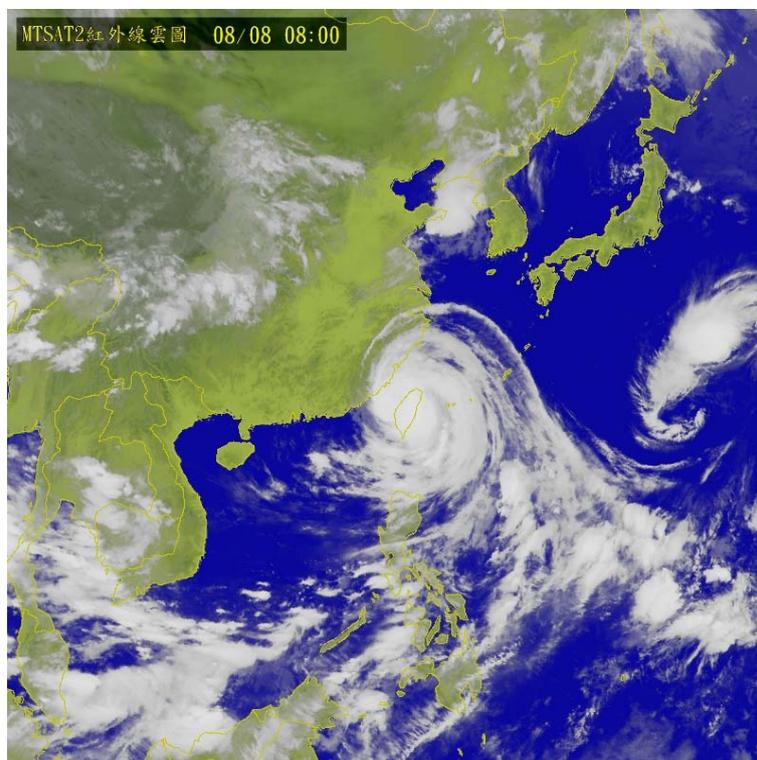


圖 4b 蘇迪勒颱風衛星圖

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	天鵝 (GONI)
編號	201515
生成地點	關島東方海面
侵(近)臺日期	2015 年 08 月 23 日
發布時間	海上 2015-08-20 17:30
解除時間	海上 2015-08-23 20:30
發布報數	26
最大強度	強烈
近中心最大風速	51 (公尺/秒)
侵臺路徑分類	---
登陸地段	---
動態	5 日 2 時發展為颱風後往西北西方向移動，20 日移動至菲律賓東北方海面，21 日晚間至 22 日清晨逐漸向北轉北北東方移動，22 日至 23 日其中心持續向北北東移動，暴風圈經過台灣東方海面，23 日 20 時其中心在臺北東南東方海面加速遠離，對臺灣近海威脅已解除。
災情	未有重大災情發生。
颱風災害專區網頁連結	---

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。

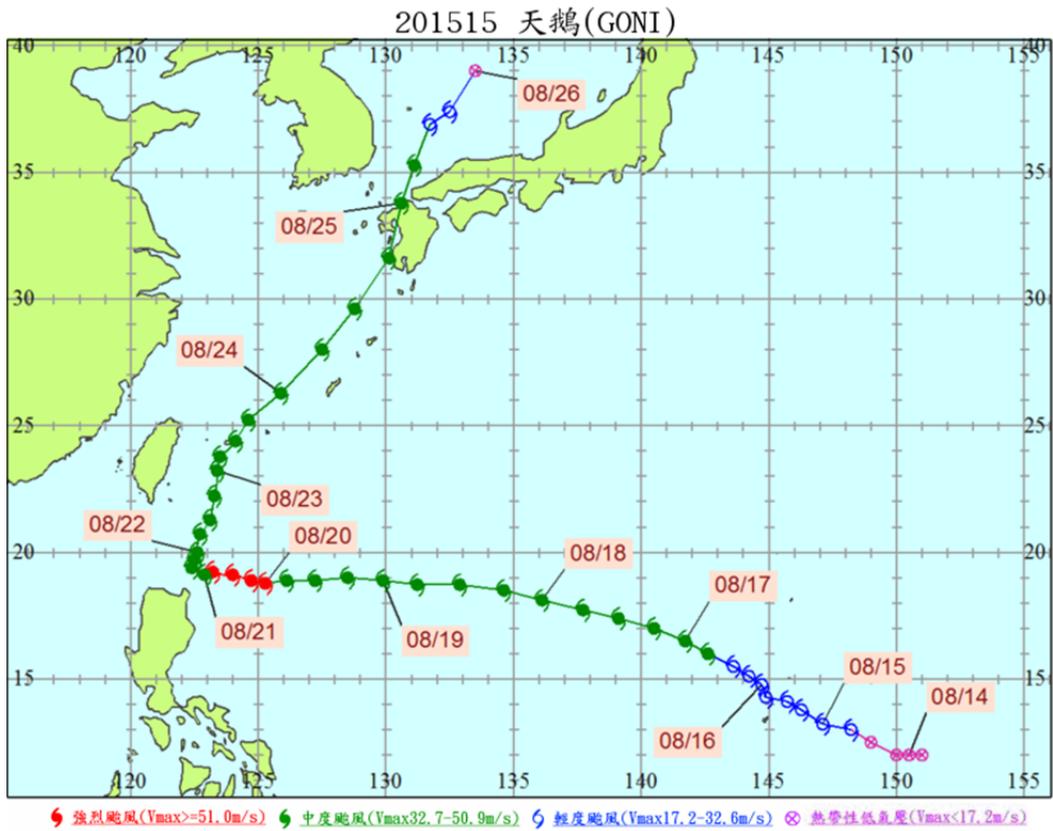


圖 5a 天鵝颱風路徑圖

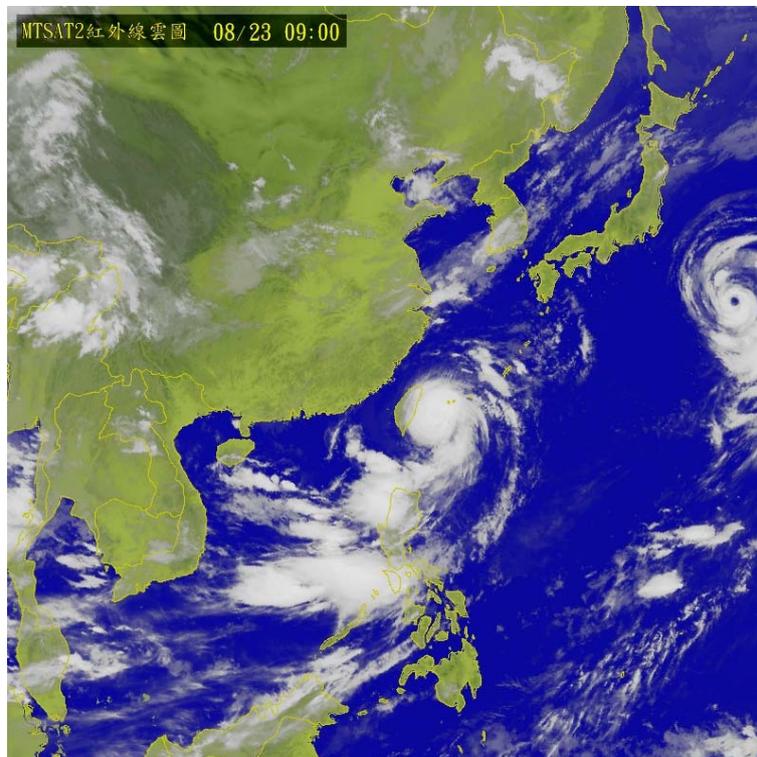


圖 5b 天鵝颱風衛星圖

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	杜鵑 (DUJUAN)
編號	201521
生成地點	關島西北方海面
侵(近)臺日期	2015 年 09 月 28 日
發布時間	海上 2015-09-27 08:30 陸上 2015-09-27 17:30
解除時間	陸上 2015-09-29 17:30 海上 2015-09-29 17:30
發布報數	20
最大強度	強烈
近中心最大風速	51 (公尺/秒)
侵臺路徑分類	2
登陸地段	宜蘭縣南澳鄉
動態	生成後向西北轉西北西方向移動，27 日 17 時其中心在花蓮東南東方海面，暴風圈逐漸向臺灣東半部海面和陸地接近。28 日 17 時 40 分其中心由宜蘭南澳鄉登陸，29 日 1 時於彰化芳苑鄉出海，同日 10 時左右由金門北方進入福建。
災情	風及豪雨造成鐵公路及航空交通多班停駛。中央災害應變中心統計至 9 月 29 日止計有 3 人死亡，農損逾新臺幣 1.7 億元。
颱風災害專區網頁連結	---

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。

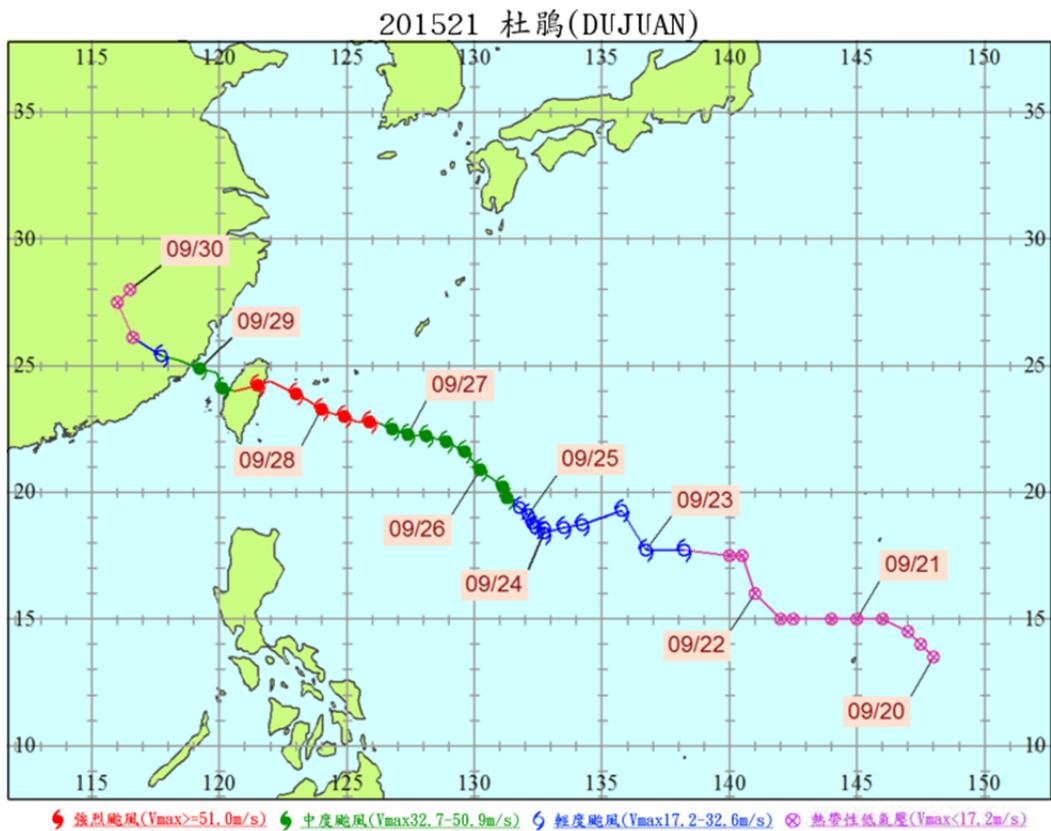


圖 6a 杜鵑颱風路徑圖

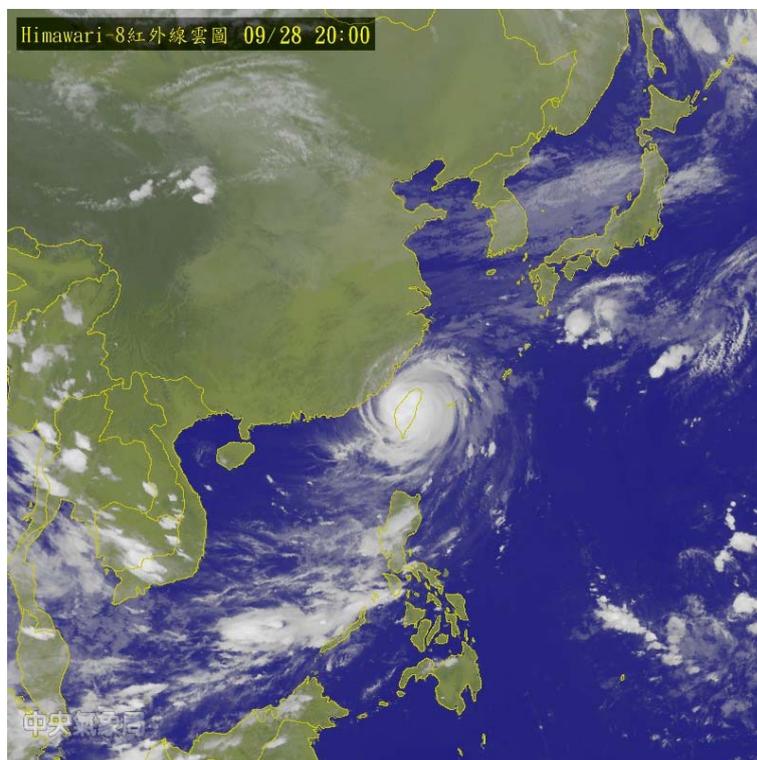


圖 6b 杜鵑颱風衛星圖