

106-057-7945
MOTC-IOT-105-H3DB001

港灣海氣象模擬暨溢淹資訊 建置之研究(2/2)



交通部運輸研究所

中華民國 106 年 4 月

106-057-7945
MOTC-IOT-105-H3DB001

港灣海氣象模擬暨溢淹資訊 建置之研究(2/2)

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 106 年 4 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. (2/2) /

邱永芳等著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運輸研究所, 民 106. 04

面 ; 公分

ISBN 978-986-05-2319-5(平裝)

1. 海洋氣象

444.94

106005659

港灣海氣象模擬暨溢淹資訊建置之研究(2/2)

著 者：邱永芳、蘇青和、李俊穎、李兆芳、劉正琪、陳冠宇

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網 址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)

電 話：(04) 26587176

出版年月：中華民國 106 年 4 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 60 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：400 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：1010600591

ISBN：978-986-05-2319-5 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：港灣海氣象模擬暨溢淹資訊建置之研究(2/2)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-05-2319-5 (平裝)	政府出版品統一編號 1010600591	運輸研究所出版品編號 106-057-7945	計畫編號 105-H3DB001
本所主辦單位：港灣技術研究中心 主管：邱永芳 計畫主持人：邱永芳 共同主持人：蘇青和、李俊穎 研究人員：陳明宗、單誠基、謝佳紘、劉清松、林珂如 參與人員：錢爾潔、陳正義、馬維倫 聯絡電話：04-26587175 傳真號碼：04-26564415		合作研究/共同研究單位：成功大學、中山大學 計畫主持人：李兆芳、劉正琪、陳冠宇 研究人員：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 105 年 01 月至 105 年 12 月			
關鍵詞：預警系統、風浪預報、暴潮預報、潮流場預報、海嘯			
摘要： 臺灣四周環海，開發海洋資源、發展航運、從事港灣建設及規劃等均需長期可靠之海氣地象資料作為依據。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。 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。 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」、「異常氣候下跨河橋梁與港區水位溢淹預警系統之建置研究」、「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。 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。此外，本計畫臺灣周圍海域及澎湖海域波浪、水位及流場等海象模擬資料可應用於本島與離島藍色公路，提供船舶即時海象資訊，保障船舶交通航行安全。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
106 年 4 月	391	400	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： ☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 （解密條件： ☐ 年 ☐ 月 ☐ 日解密， ☐ 公布後解密， ☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密， ☐ 另行檢討後辦理解密） ☒ 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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

TITLE: Harbor oceanographic simulation and inundation information (2/2)			
ISBN(OR ISSN) 978-986-05-2319-5(pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010600591	IOT SERIAL NUMBER 106-057-7945	PROJECT NUMBER 105-H3DB001
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Su Chin-Ho, Lee Chun-Ying PROJECT STAFF: Chen Ming-Tzong, Shan Chen-Chi, Shieh Chia-Hon, Liu Ching-Sung, Jenny Lin, Chien Er-Jier, Chen Cheng-Yi, Ma Wei-Lun PHONE: (04) 26587175 FAX: (04) 26564415			PROJECT PERIOD FROM Jan.2016 TO Dec. 2016
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: early warning system, wind-wave forecast, storm surge forecast, tidal current modeling, tsunami			
ABSTRACT: 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. 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. 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. 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. In addition, the simulation data such as wave, tide and current in the waters around Taiwan and the Penghu sea area can be applied to the blue highway of islands, providing the ship's immediate marine meteorology information to ensure the safety navigation of the ship.			
DATE OF PUBLICATION April 2017	NUMBER OF PAGES 391	PRICE 400	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

台灣海氣象模擬暨溢淹資訊建置之研究(2/2)

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	1-3
1.3 研究計畫內容	1-5
1.4 主要工作項目	1-6
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	2-6
2.3 系統作業備援及資料說明	2-10
2.3.1 風場處理模組	2-15
2.3.2 波浪模擬模組	2-17
2.3.3 水動力模組	2-18
2.3.4 海嘯模組	2-19
2.3.5 風場模組作業化架構	2-20

2.3.6 波浪模組作業化架構	2-24
2.3.7 水動力模組作業化架構	2-38
2.3.8 海嘯模組作業化架構	2-48
2.4 臺灣主要港口海氣象現場觀測及蒐集	2-60
2.5 港灣環境資訊系統	2-77
2.5.1 港灣環境資訊系統概觀	2-77
2.5.2 海氣象觀測資訊	2-83
2.5.3 海象模擬資訊	2-86
2.5.4 藍色公路模擬資訊	2-96
2.5.5 海嘯模擬資訊	2-99
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	3-1
3.1.2 數值計算網格建置	3-2
3.1.3 作業化風場	3-4
3.1.4 邊界條件設定	3-4
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	3-9
3.2 澎湖港龍門尖山港區港域波浪模式建置	3-14
3.2.1 龍門尖山港區介紹	3-14
3.2.2 數值計算網格建置	3-14

3.2.3 邊界條件設定	3-15
3.2.4 港域波浪場模擬	3-15
3.3 港池共振特性探討	3-28
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 模式邊界條件及初始條件	4-6
4.1.4 模式物理參數率定	4-6
4.1.5 外部輸入風壓場資料	4-8
4.1.6 臺灣周圍海域水動力模式模擬結果與討論	4-8
4.2 澎湖海域水動力模式建置	4-33
4.2.1 模擬範圍選取	4-33
4.2.2 數值計算網格	4-33
4.2.3 邊界條件及初始條件	4-33
4.2.4 澎湖海域水動力模擬結果與驗證	4-38
4.2.5 澎湖海域水動力模擬子系統作業化模擬	4-38
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	5-7
5.1.4 海嘯之預警與溢淹潛勢圖之必要性	5-7
5.2 海嘯速報系統建置及實例探討	5-9
5.2.1 海嘯速報系統及海嘯預警系統	5-9
5.2.2 海嘯數值模式介紹	5-10
5.2.3 系統建構	5-22
5.2.4 地震資料來源與擷取	5-23
5.2.5 數值模擬進行海嘯預警之方式	5-27
5.2.6 互逆格林函數	5-27
5.3 溢淹潛勢圖整合地理資訊系統之應用	5-31
5.3.1 溢淹潛勢圖	5-31
5.3.2 地理資訊系統	5-36
5.4 極端氣候下之跨河橋梁通行安全評估	5-101
5.4.1 極端氣候概述與橋梁安全評估之重要性	5-101
5.4.2 垂直 2 維的單一坡度波流交互作用模擬	5-102
5.4.3 短距離模擬結果	5-105
5.4.4 長距離模擬結果	5-115
5.4.5 跨河橋梁預警系統	5-122
第六章 結論與建議	6-1
6.1 結論	6-1
6.2 建議	6-3

參考文獻.....	參 1
附錄 2016 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	2-4
表 2-2 TaiCOMS 各模組作業所需時間	2-9
表 2-3 本中心海象模擬伺服器主要功能說明	2-13
表 2-4 TaiCOMS 各模組作業所需時間	2-14
表 2-5 中央氣象局風場 WRF 風場資料格式	2-16
表 2-6 作業系統內展示風場資料格式	2-16
表 2-7 WRF 主要提供氣象資料彙整表	2-21
表 2-8 TaiCOMS 波浪模式各尺度輸入條件與輸出內容	2-26
表 2-9 近岸區域波浪模式數值計算網格資料	2-29
表 2-10 臺灣主要商港細尺度波浪模組建置摘要表	2-34
表 2-11 臺灣主要商港小尺度水動力模組建置摘要表	2-43
表 2-12 情境模擬坡度 0.001 到 0.003 在座標 X=2000 m 的最大水深	2-58
表 2-13 情境模擬坡度 0.004 到 0.005 在座標 X=2000 m 的最大水深	2-59
表 2-14 觀測風力資料蒐集概況表	2-68
表 2-15 觀測波浪資料蒐集概況表	2-71
表 2-16 觀測潮位資料蒐集概況表	2-73
表 2-17 觀測海流資料蒐集概況表	2-75
表 2-18 網頁功能項目說明表	2-80
表 2-19 海象模擬資訊展示內容彙整表	2-89
表 4-1 2015 年逐月水位模擬結果與 CWB、IHMT 觀測資料之均方根誤 差分析表	4-9

表 4-2 2015 年逐月水位模擬結果與 CWB、IHMT 觀測資料間相關係數 分析表.....	4-9
表 5-1 2004~2016 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	5-6
表 5-3 本研究所使用之斷層參數	5-21
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	5-26
表 5-5 坡度 0.001 到 0.003 的短距離情境模擬在座標 X=2000 m 的最大 水位(單位：m).....	5-111
表 5-6 坡度 0.004 到 0.005 的短距離情境模擬在座標 X=2000 m 的最大 水位	5-112
表 5-7 坡度 0.001 到 0.003 的短距離情境模擬在 16 個 X 座標水位時序 列扣除平均水位後，發生最大差值的 X 座標.....	5-113
表 5-8 坡度 0.001 到 0.003 的短距離情境模擬在 16 個 X 座標水位時序 列扣除平均水位後，發生最大差值的 X 座標.....	5-114
表 5-9 長距離情境模擬在座標 X=5000 m 的最大水位	5-120
表 5-10 長距離情境模擬在 16 個 X 座標水位時序列扣除平均水位後， 發生最大差值的 X 座標.....	5-121
表 5-11 坡度 0.001 到 0.003 的情境模擬在座標 X=2000 m 的最大水深	5-124
表 5-12 坡度 0.004 到 0.005 的情境模擬在座標 X=2000 m 的最大水深	5-125

圖 目 錄

圖 1.1 金門、馬祖、澎湖地形及澎湖與臺灣本島之相關位置圖	1-4
圖 1.2 臺灣近海海象預報系統架構圖.....	1-6
圖 1.3 海象模擬作業化系統整體架構圖.....	1-6
圖 2.1 海象模擬作業化系統下相關模式架構圖.....	2-3
圖 2.2 風場輸出範圍.....	2-4
圖 2.3 波場及水動力場輸出範圍.....	2-5
圖 2.4 海象模擬作業化系統流程圖.....	2-6
圖 2.5 海象數值模擬系統兩日作業流程範例圖.....	2-8
圖 2.6 海象數值系統線上作業成果評估流程.....	2-8
圖 2.7 系統新硬體及資料流程說明圖.....	2-12
圖 2.8 小尺度流場及海嘯系統硬體及資料備援流程說明圖	2-13
圖 2.9 梅姬颱風 WRF(WA01)風場向量圖	2-22
圖 2.10 梅姬颱風 WRF(WA02)風場向量圖	2-22
圖 2.11 梅姬颱風 WRF(WA03)風場向量圖	2-23
圖 2.12 每日 WRF 擷取風場及提供每日波風場資料.....	2-23
圖 2.13 波浪模擬作業流程圖.....	2-24
圖 2.14 大尺度及中尺度波場模擬範圍圖.....	2-25
圖 2.15 梅姬颱風大尺度波高分布圖.....	2-27
圖 2.16 梅姬颱風中尺度波高分布圖.....	2-28
圖 2.17 近岸區域波浪模擬範圍圖.....	2-30
圖 2.18 近岸港區波浪模式地形水深分布圖.....	2-31

圖 2.19 作業化波高分布圖	2-32
圖 2.20a 基隆港細尺度波浪模組-地形水深分布及展示畫面	2-35
圖 2.20b 蘇澳港細尺度波浪模組-地形水深分布及展示畫面	2-35
圖 2.20c 花蓮港細尺度波浪模組-地形水深分布及展示畫面	2-35
圖 2.20d 高雄一港細尺度波浪模組-地形水深分布及波浪展示畫面	2-36
圖 2.20e 高雄二港細尺度波浪模組-地形水深分布及波浪展示畫面	2-36
圖 2.20f 安平港細尺度波浪模組-地形水深分布及波浪展示畫面	2-36
圖 2.20g 布袋港細尺度波浪模組-地形水深分布及波浪展示畫面	2-37
圖 2.20h 臺中港細尺度波浪模組-地形水深分布及波浪展示畫面	2-37
圖 2.20i 臺北港細尺度波浪模組-地形水深分布及波浪展示畫面	2-37
圖 2.21 水動力模擬作業流程圖	2-38
圖 2.22 大尺度及中尺度流場模擬範圍圖	2-39
圖 2.23 梅姬颱風大尺度水位分布圖	2-40
圖 2.24 梅姬颱風中尺度水位分布圖	2-40
圖 2.25 梅姬颱風大尺度流速流向分布圖	2-41
圖 2.26 梅姬颱風中尺度流速流向分布圖	2-41
圖 2.27a 基隆港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形	2-44
圖 2.27b 蘇澳港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形	2-44
圖 2.27c 花蓮港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形	2-44
圖 2.27d 高雄港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形	2-45
圖 2.27e 布袋港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形	2-45
圖 2.27f 安平港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形	2-45
圖 2.27g 臺中港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形	2-46
圖 2.27h 臺北港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形	2-46

圖 2.28 梅姬颱風小尺度水動力模組潮流分布	2-47
圖 2.29 臺灣國際商港海嘯速算系統流程圖	2-48
圖 2.30 海嘯系統計算範圍水深地形圖	2-49
圖 2.31 GUI 程式設計環境	2-50
圖 2.32 視窗化操作系統之建立與排版	2-51
圖 2.33 視窗化介面之編譯完成圖	2-51
圖 2.34 視窗化介面之計算成果圖	2-51
圖 2.35 美國 USGS 資料庫	2-53
圖 2.36 中研院地科所-台灣地區寬頻地震觀測網	2-54
圖 2.37 中研院地科所-即時地震張量監測系統	2-54
圖 2.38 日本防災科學技術研究所 F-net 即時地震資料	2-55
圖 2.39 跨河橋梁預警系統的使用介面	2-56
圖 2.40 臺灣主要商港位置圖	2-61
圖 2.41 基隆港海氣象觀測位置圖	2-62
圖 2.42 蘇澳港海氣象觀測位置圖	2-62
圖 2.43 花蓮港海氣象觀測位置圖	2-63
圖 2.44 高雄港海氣象觀測位置圖	2-63
圖 2.45 安平港海氣象觀測位置圖	2-64
圖 2.46 布袋港海氣象觀測位置圖	2-64
圖 2.47 臺中港海氣象觀測位置圖	2-65
圖 2.48 臺北港海氣象觀測位置圖	2-65
圖 2.49 澎湖海氣象觀測位置圖	2-66
圖 2.50 金門海氣象觀測位置圖	2-66
圖 2.51 馬祖海氣象觀測位置圖	2-67

圖 2.52 綠島海氣象觀測位置圖	2-67
圖 2.53 港灣環境資訊系統架構圖	2-78
圖 2.54 港灣環境資訊網首頁	2-79
圖 2.55 港灣環境資訊網網頁功能架構圖	2-79
圖 2.56 港灣環境資訊網網頁日誌	2-80
圖 2.57 與 TORI 簽署海氣象即時觀測資訊合作備忘錄	2-83
圖 2.58 即時觀測資訊整合(風力資料)	2-84
圖 2.59 即時觀測資訊整合(綜合表)	2-85
圖 2.60 海氣象歷線圖(以基隆港風速+波高歷線圖為例)	2-85
圖 2.61 海象模擬資訊網頁展示圖	2-87
圖 2.62 海象模擬資訊(綜合表)	2-87
圖 2.63 展示西太平洋地區海象模擬資訊	2-88
圖 2.64 展示臺灣近岸地區海象模擬資訊	2-88
圖 2.65 展示臺中港風力模擬歷線圖	2-90
圖 2.66 展示高雄港潮位模擬歷線圖	2-91
圖 2.67 WRF 模式-風場圖型動畫	2-92
圖 2.68 展示花蓮港近岸波高分佈圖	2-93
圖 2.69 展示高雄港流速向量場分佈圖	2-93
圖 2.70 展示模擬區域海象動態資訊	2-94
圖 2.71 展示模擬颱風資訊	2-95
圖 2.72 麗星郵輪(寶瓶星)-船舶動態+海氣象波高模擬資訊	2-97
圖 2.73 麗星郵輪(寶瓶星)-船舶動態+海氣象波向模擬資訊	2-97
圖 2.74 麗星郵輪(寶瓶星)-船舶動態+海氣象風速模擬資訊	2-97
圖 2.75 麗星郵輪(寶瓶星)-船舶動態+海氣象風向模擬資訊	2-98

圖 2.76 麗星郵輪(寶瓶星)-船舶最近三日內的航行軌跡.....	2-98
圖 2.77 展示海嘯查詢網頁	2-100
圖 2.78 展示海嘯震央位置圖	2-100
圖 2.79 展示歷史地震海嘯水位變化歷線圖及資料表.....	2-101
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 澎湖海域風浪模擬範圍示意圖.....	3-3
圖 3.4 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 3.5 遠域風浪模擬操作流程圖	3-7
圖 3.6 近域風浪模擬操作流程圖	3-8
圖 3.7 近域風浪模組及澎湖海域近岸風浪模擬結果輸出點位圖	3-10
圖 3.8 每日作業化輸入之預測風場資料與安平港風速觀測值比較圖	3-10
圖 3.9 每日作業化輸入之預測風場資料與澎湖港(龍門尖山港區)風速觀測值比較圖	3-11
圖 3.10 近域風浪模組每日作業化安平港風浪模擬結果與示性波高觀測值比較圖	3-11
圖 3.11 澎湖海域近岸風浪模組每日作業化安平港風浪模擬結果與示性波高觀測值比較圖	3-11
圖 3.12 近域風浪模組每日作業化澎湖資料浮標處風浪模擬結果與示性波高觀測值比較圖	3-12
圖 3.13 澎湖海域近岸風浪模組每日作業化澎湖資料浮標處風浪模擬結果與示性波高觀測值比較圖	3-12
圖 3.14 近域風浪模組每日作業化澎湖港風浪模擬結果與示性波高觀測值比較圖	3-12
圖 3.15 澎湖海域近岸風浪模組每日作業化澎湖港風浪模擬結果與示性波高觀測值比較圖	3-13

圖 3.16 近域風浪模組每日作業化東吉島風浪模擬結果與示性波高觀測值比較圖	3-13
圖 3.17 澎湖海域近岸風浪模組每日作業化東吉島風浪模擬結果與示性波高觀測值之比較圖	3-13
圖 3.18 澎湖港地理位置圖	3-17
圖 3.19 龍門尖山碼頭區平面規劃圖	3-17
圖 3.20 澎湖港龍門尖山港區港域波浪模擬範圍示意圖	3-18
圖 3.21 海軍大氣海洋局刊行海圖 61709 龍門及尖山漁港	3-18
圖 3.22 海軍大氣海洋局刊行海圖 04529 澎湖群島東南部	3-19
圖 3.23 澎湖港龍門尖山港區模擬範圍有限元素粗網格分布圖	3-20
圖 3.24 澎湖港龍門尖山港區模擬範圍粗網格地形水深分布圖	3-20
圖 3.25 澎湖港龍門尖山港區 W 向波浪場模擬結果相位分布圖	3-21
圖 3.26 澎湖港龍門尖山港區 W 向波浪場模擬結果波高分布圖	3-21
圖 3.27 澎湖港龍門尖山港區 WSW 向波浪場模擬結果相位分布圖	3-22
圖 3.28 澎湖港龍門尖山港區 WSW 向波浪場模擬結果波高分布圖	3-22
圖 3.29 澎湖港龍門尖山港區 SW 向波浪場模擬結果相位分布圖 ...	3-23
圖 3.30 澎湖港龍門尖山港區 SW 向波浪場模擬結果波高分布圖 ...	3-23
圖 3.31 澎湖港龍門尖山港區 SSW 向波浪場模擬結果相位分布圖	3-24
圖 3.32 澎湖港龍門尖山港區 SSW 向波浪場模擬結果波高分布圖	3-24
圖 3.33 澎湖港龍門尖山港區 S 向波浪場模擬結果相位分布圖	3-25
圖 3.34 澎湖港龍門尖山港區 S 向波浪場模擬結果波高分布圖	3-25
圖 3.35 澎湖港龍門尖山港區 SSE 向波浪場模擬結果相位分布圖	3-26
圖 3.36 澎湖港龍門尖山港區 SSE 向波浪場模擬結果波高分布圖	3-26
圖 3.37 澎湖港龍門尖山港區 SE 向波浪場模擬結果相位分布圖	3-27
圖 3.38 澎湖港龍門尖山港區 SE 向波浪場模擬結果波高分布圖	3-27

圖 3.39 澎湖港龍門尖山港區 SE 向波浪場模擬結果波高分布圖	3-29
圖 3.40 澎湖港龍門尖山港區檢核點 A 波高放大率與無因次參數 KL 之 關係圖	3-29
圖 3.41 澎湖港龍門尖山港區檢核點 B 波高放大率與無因次參數 KL 之 關係圖	3-30
圖 3.42 澎湖港龍門尖山港區檢核點 A 波高放大率與無因次參數 KL 之 關係圖	3-30
圖 3.43 澎湖港龍門尖山港區檢核點 D 波高放大率與無因次參數 KL 之 關係圖	3-31
圖 3.44 澎湖港龍門尖山港區檢核點 A 波高放大率與無因次參數 KL 之 關係圖	3-31
圖 3.45 澎湖港龍門尖山港區波高放大率分布圖(週期 780s)	3-32
圖 4.1 中尺度臺灣周圍海域水動力模式模擬範圍	4-3
圖 4.2 臺灣周圍海域模擬範圍 M1 之非結構性三角形元素網格圖	4-3
圖 4.3 臺灣周圍海域模擬範圍 M2 之非結構性三角形元素網格 (R1 版 本)	4-4
圖 4.4 臺灣周圍海域模擬範圍 M2 之非結構性三角形元素網格 (R2 版 本)	4-4
圖 4.5 臺灣周圍海域模擬範圍 M2 之非結構性三角形元素網格 (R3 版 本，本年度計畫)	4-5
圖 4.6 臺灣周圍海域暴潮模式之地形水深分布圖	4-5
圖 4.7 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	4-7
圖 4.8 本計畫非結構三角形元素網格之風場及等壓線分布圖	4-8
圖 4.9 主要商港颱風暴潮模擬結果之輸出點位圖	4-10
圖 4.10 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 4.11 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	4-12
圖 4.12 2015 年蘇迪勒颱風路徑圖	4-14
圖 4.13 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模擬輸入預報風場及氣壓場圖 ...	4-15
圖 4.13 (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 ..	4-15
圖 4.13 (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 ..	4-16
圖 4.13 (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 ..	4-16
圖 4.13 (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 ..	4-17
圖 4.14 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 ..	4-17
圖 4.14 (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	4-18
圖 4.14 (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	4-18
圖 4.14 (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	4-19
圖 4.14 (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	4-19
圖 4.14 (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	4-20
圖 4.14 (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	4-20
圖 4.14 (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	4-21
圖 4.14 (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	4-21
圖 4.14 (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	4-22
圖 4.14 (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	4-22
圖 4.14 (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	4-23
圖 4.15 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).....	4-24
圖 4.15 (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).....	4-25
圖 4.15 (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).....	4-26
圖 4.15 (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).....	4-27
圖 4.15 (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).....	4-28
圖 4.15 (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).....	4-29
圖 4.15 (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).....	4-30
圖 4.15 (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).....	4-31
圖 4.16 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 4.17 澎湖海域水動力模式使用的非結構性三角形元素網格圖 ...	4-34
圖 4.18 澎湖海域水深分布圖	4-35
圖 4.19 澎湖海域水動力模式開放邊界天文潮水位邊界條件(Nao99Jb) .	

.....	4-36
圖 4.19 (續)澎湖海域水動力模式開放邊界天文潮水位邊界條件 (Nao99Jb).....	4-36
圖 4.20 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 中尺度水動力模式產生).....	4-37
圖 4.20 (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 畫中尺度水動力模式產生).....	4-37
圖 4.21 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.....	4-39
圖 4.21 (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.....	4-40
圖 4.22 澎湖海域水動力模式流場模擬結果.....	4-41
圖 4.22 (續 1)澎湖海域水動力模式流場模擬結果.....	4-41
圖 4.22 (續 2)澎湖海域水動力模式流場模擬結果.....	4-42
圖 4.22 (續 3)澎湖海域水動力模式流場模擬結果.....	4-42
圖 4.22 (續 4)澎湖海域水動力模式流場模擬結果.....	4-43
圖 4.22 (續 5)澎湖海域水動力模式流場模擬結果.....	4-43
圖 4.22 (續 6)澎湖海域水動力模式流場模擬結果.....	4-44
圖 4.22 (續 7)澎湖海域水動力模式流場模擬結果.....	4-44
圖 4.22 (續 8)澎湖海域水動力模式流場模擬結果.....	4-45
圖 4.22 (續 9)澎湖海域水動力模式流場模擬結果.....	4-45
圖 4.22 (續 10)澎湖海域水動力模式流場模擬結果.....	4-46
圖 4.22 (續 11)澎湖海域水動力模式流場模擬結果.....	4-46
圖 4.22 (續 12)澎湖海域水動力模式流場模擬結果.....	4-47
圖 4.23 澎湖港龍門尖山港區外海水位及流速流向數值模擬結果 ...	4-48
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 電纜式海底地震儀觀測系統(媽祖計畫)之佈放位置	5-10
圖 5.6 交錯式有限差分網格	5-16
圖 5.7 移動邊界示意圖(a)	5-18
圖 5.8 移動邊界示意圖(b)	5-18
圖 5.9 巢狀網格示意圖	5-20
圖 5.10 模式計算區域水深地形圖	5-21
圖 5.11 模式計算區域水深地形剖面圖	5-21
圖 5.12 與馬爾地夫水位之比對	5-22
圖 5.13 海嘯速報系統之規劃圖	5-23
圖 5.14 美國 USGS 資料庫之即時地震資料	5-24
圖 5.15 中央氣象局網站之即時地震資料	5-25
圖 5.16 遠端擷取 USGS 地震資料格式	5-25
圖 5.17 日本防災科學技術研究所 F-net 即時地震資料	5-26
圖 5.18 即時地震擷取系統介面	5-26
圖 5.19 現行海嘯數值模式之模擬程序	5-27
圖 5.20 傳統格林函數與互逆格林函數之示意圖	5-29
圖 5.21 海嘯模式所計算出之格林函數與互逆格林函數比較	5-30
圖 5.22 互逆格林函數與直接的海嘯模擬之水位變化驗證	5-30
圖 5.23 週期 20 分鐘波高 4m 高斯波	5-32
圖 5.24 臺灣 500m 解析度水深地形資料	5-34
圖 5.25 安平港 5m 解析度數值地形檔	5-34

圖 5.26 安平港整合海陸域後之數值地形檔.....	5-35
圖 5.27 安平港整併港內實際地形之數值地形檔.....	5-35
圖 5.28 Google Earth 圖層	5-36
圖 5.29(a) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 0.5 公尺	5-37
圖 5.29(b) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 1 公尺	5-37
圖 5.29(c) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 2 公尺	5-38
圖 5.29(d) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 3 公尺	5-38
圖 5.29(e) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 4 公尺	5-39
圖 5.29(f) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 6 公尺	5-39
圖 5.29(g) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 10 公尺	5-40
圖 5.30(a) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 0.5 公尺	5-41
圖 5.30(b) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 1 公尺	5-41
圖 5.30(c) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 2 公尺	5-42
圖 5.30(d) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 3 公尺	5-42
圖 5.30(e) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 4 公尺	5-43
圖 5.30(f) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 6 公尺	5-43

圖 5.30(g) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 10 公尺	5-44
圖 5.31(a) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 0.5 公尺	5-45
圖 5.31(b) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 1 公尺	5-45
圖 5.31(c) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 2 公尺	5-46
圖 5.31(d) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 3 公尺	5-46
圖 5.31(e) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 4 公尺	5-47
圖 5.31(f) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 6 公尺	5-47
圖 5.31(g) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 10 公尺	5-48
圖 5.32(a) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 0.5 公尺	5-49
圖 5.32(b) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 1 公尺	5-49
圖 5.32(c) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 2 公尺	5-50
圖 5.32(d) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 3 公尺	5-50
圖 5.32(e) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 4 公尺	5-51
圖 5.32(f) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 6 公尺	5-51
圖 5.32(g) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 10 公尺	

.....	5-52
圖 5.33(a) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 0.5 公尺	5-53
圖 5.33(b) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 1 公尺	5-53
圖 5.33 (c) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 2 公尺	5-54
圖 5.33(d) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 3 公尺	5-54
圖 5.33(e) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 4 公尺	5-55
圖 5.33(f) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 6 公尺	5-55
圖 5.33(g) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 10 公尺	5-56
圖 5.34(a) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 0.5 公尺	5-57
圖 5.34(b) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 1 公尺	5-57
圖 5.34(c) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 2 公尺	5-58
圖 5.34(d) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 3 公尺	5-58
圖 5.34(e) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 4 公尺	5-59
圖 5.34(f) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 6 公尺	5-59
圖 5.34(g) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 10 公尺	

.....	5-60
圖 5.35(a) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 0.5 公尺	5-61
圖 5.35(b) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 1 公尺	5-61
圖 5.35(c) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 2 公尺	5-62
圖 5.35 (d) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 3 公尺	5-62
圖 5.36(e) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 4 公尺	5-63
圖 5.36(f) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 6 公尺	5-63
圖 5.36(g) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 10 公尺	5-64
圖 5.37(a) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 0.5 公尺	5-65
圖 5.37(b) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 1 公尺	5-65
圖 5.37(c) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 2 公尺	5-66
圖 5.37(d) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 3 公尺	5-66
圖 5.14 (e) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 4 公尺	5-67
圖 5.14 (f) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 6 公尺	5-67
圖 5.14 (g) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 10 公	

尺.....	5-68
圖 5.37(a) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 0.5 公尺.....	5-69
圖 5.37(b) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 1 公尺.....	5-69
圖 5.37(c) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 2 公尺.....	5-70
圖 5.37(d) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 3 公尺.....	5-70
圖 5.37(e) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 4 公尺.....	5-71
圖 5.37(f) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 6 公尺.....	5-71
圖 5.37(g) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 10 公尺.....	5-72
圖 5.38(a) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 0.5 公尺.....	5-73
圖 5.38(b) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 1 公尺.....	5-73
圖 5.38(c) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 2 公尺.....	5-74
圖 5.38(d) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 3 公尺.....	5-74
圖 5.38(e) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 4 公尺.....	5-75
圖 5.38(f) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 6 公尺.....	5-75
圖 5.38(g) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 10 公尺.....	5-76
圖 5.39(a) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 0.5 公	

尺.....	5-77
圖 5.39(b) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 1 公尺	5-77
圖 5.39(c) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 2 公尺	5-78
圖 5.39(d) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 3 公尺	5-78
圖 5.39(e) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 4 公尺	5-79
圖 5.39(f) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 6 公尺	5-79
圖 5.39(g) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 10 公尺	5-80
圖 5.40(a) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 0.5 公尺	5-81
圖 5.40(b) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 1 公尺	5-81
圖 5.40(c) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 2 公尺	5-82
圖 5.40(d) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 3 公尺	5-82
圖 5.40(e) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 4 公尺	5-83
圖 5.40(f) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 6 公尺	5-83
圖 5.40(g) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 10 公尺	5-84
圖 5.41(a) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 0.5 公尺	5-85
圖 5.41(b) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 1 公尺	

.....	5-85
圖 5.41(c) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 2 公尺	5-86
圖 5.41(d) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 3 公尺	5-86
圖 5.41(e) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 4 公尺	5-87
圖 5.41(f) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 6 公尺	5-87
圖 5.41(g) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 10 公尺	5-88
圖 5.42(a) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 0.5 公尺	5-89
圖 5.42(b) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 1 公尺	5-89
圖 5.426(c) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 2 公尺	5-90
圖 5.42(d) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 3 公尺	5-90
圖 5.42(e) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 4 公尺	5-91
圖 5.42(f) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 6 公尺	5-91
圖 5.42(g) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 10 公尺	5-92
圖 5.43(a) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 0.5 公尺	5-93
圖 5.43(b) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 1 公尺	5-93

圖 5.43(c) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 2 公尺	5-94
圖 5.43(d) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 3 公尺	5-94
圖 5.43(e) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 4 公尺	5-95
圖 5.43(f) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 6 公尺	5-95
圖 5.43(g) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 10 公尺	5-96
圖 5.44(a) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 0.5 公尺	5-97
圖 5.44(b) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 1 公尺	5-97
圖 5.44(c) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 2 公尺	5-98
圖 5.44(d) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 3 公尺	5-98
圖 5.44(e) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 4 公尺	5-99
圖 5.44(f) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 6 公尺	5-99
圖 5.44(g) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 10 公尺	5-100
圖 5.45 坡度 0.003，入射波高 4 m，流量-4 立方米每秒在不同初始水位的 16 個定點水位時序列最大值	5-106
圖 5.46 坡度 0.003，入射波高 4 m，流量-4 立方米每秒在不同初始水位的 16 個定點最大水位減平均水位值	5-106
圖 5.47 坡度 0.003，初始水位 7.5 m，流量-4 立方米每秒在不同波高的 16 個定點水位時序列最大值	5-107

圖 5.48 坡度 0.003，入射波高 4 m，流量-4 立方米每秒在不同初始水位的 16 個定點最大水位減平均水位值	5-108
圖 5.49 坡度 0.003，初始水位 7.5 m，入射波高 4 m 在不同流量的 16 個定點水位時序列最大值.....	5-109
圖 5.50 坡度 0.003，初始水位 7.5 m，入射波高 4 m 在不同流量的 16 個定點最大水位減平均水位值.....	5-109
圖 5.51 坡度 0.003，初始水位 7.5 m，入射波高 4 m，無流量在 X=1600 m(左)和 1700 m(右)的水位時序列	5-110
圖 5.52 長距離模擬在坡度 0.003，入射波高 4 m，流量-4 立方米每秒條件下，不同初始水位的 16 個定點水位最大值	5-115
圖 5.53 長距離模擬在坡度 0.003，入射波高 4 m，流量-4 立方米每秒條件下，不同初始水位的 16 個定點水位最大值減平均水位值	5-116
圖 5.54 長距離模擬在坡度 0.003，初始水位 16.5 m，流量-4 立方米每秒條件下，不同波高的 16 個定點水位最大值	5-117
圖 5.55 長距離模擬在坡度 0.003，初始水位 16.5 m，流量-4 立方米每秒條件下，不同波高的 16 個定點水位最大值減平均水位值	5-117
圖 5.56 長距離模擬在坡度 0.003，初始水位 16.5 m，入射波高 4 m 條件下，不同流量的 16 個定點水位最大值	5-119
圖 5.57 長距離模擬在坡度 0.003，初始水位 7.5 m，入射波高 4 m 條件下，不同流量的 16 個定點水位最大值減平均水位值	5-119
圖 5.58 跨河橋梁預警系統的使用介面.....	5-122
圖 5.59 後龍溪口附近的地形高程(紅線為地形截面的切線).....	5-126
圖 5.60 取自圖 5.59 紅色切線的地形高程.....	5-126
圖 5.61 後龍溪觀海大橋計算範例.....	5-126

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，致力於維護沿海居民的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，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難事件發生，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雖未造成人員重大傷亡，但也突顯離島航運存在的風險實不容輕忽。

緣此，交通部運輸研究所(以下簡稱本所)乃依行政院災害防救委員會通過「行政院災害防救應用科技方案第二期(104 - 107 年)」，基於整體方案之總目標、重點工作、研發課題、執行期程與規劃經費等項目，於 104~105 年持續規劃執行「104 港灣海氣象模擬暨溢淹資訊建置之研究」計畫，強化颱風及海岸災害應變期間，提供海象模擬資訊及商港溢淹資訊等，可供行政決策參考，有效調度人員設備、降低人員傷亡，以達迅速搶救之目標。以期能提升災害預警技術及精度，並轉化、落實應用至災害情資研判與預警疏散避難相關災害防救業務，使災害防救的運作機制愈趨完備。本研究隸屬交通部運輸研究所 105 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之一「港灣海象模擬暨溢淹資訊建置之研究(2/2)」，本計畫中規劃兩年期計畫之第二年下之子計畫分別為如下：

1. 105 年海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運(2/2)：

持續建置中尺度臺灣周圍海域水動力模式及針對離島金門、馬祖及澎湖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，提供澎湖與本島各港口間藍色公路相關的海象模擬資訊。

2. 異常氣候下跨河橋梁與港區水位溢淹預警系統之建置研究：

發展可在海嘯發生初期即快速計算出到達時間及波高之海嘯預報與速算系統。並結合視覺化之防災溢淹潛勢圖(inundation Map) 並與地理資訊系統之圖資一起展現，降低災害之威脅。與了解海岸在颱風來臨造成河川水位暴漲，出海口附近又受暴潮及長浪衝擊，可能對跨河橋樑通行安全形成可能威脅影響。

3. 臺灣海象模擬技術及作業系統之研究(2/2)：

整合多年來已累積對海象模擬研究經驗，持續建置相關海象模擬(波浪、水動力、海嘯)等系統作業化，進行海象模擬資料成果評估，確保海象預報模擬系統正常運作，持續性改善海象模擬預報品質有助於港口營運及海上航運安全維護，並將模擬成果放至港灣環境資訊網，在颱風期間、緊急海難或海岸災害時可提供防救災必要資訊，保障船舶交通航行安全。

本計畫除了針對本所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，本年度將針對離島金門、馬祖及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，提供離島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。預期相關研究成果及經驗將能夠應用至離島海域，達到完善臺灣周圍海域「海氣象模擬預報系統」之目標。

1.2 相關前期計畫

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。同時今年度以離島金門、馬祖及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金門、馬祖及澎湖群島地形，以及澎湖港(馬公港區及龍門尖山港區)與臺灣本島之相關位置圖。

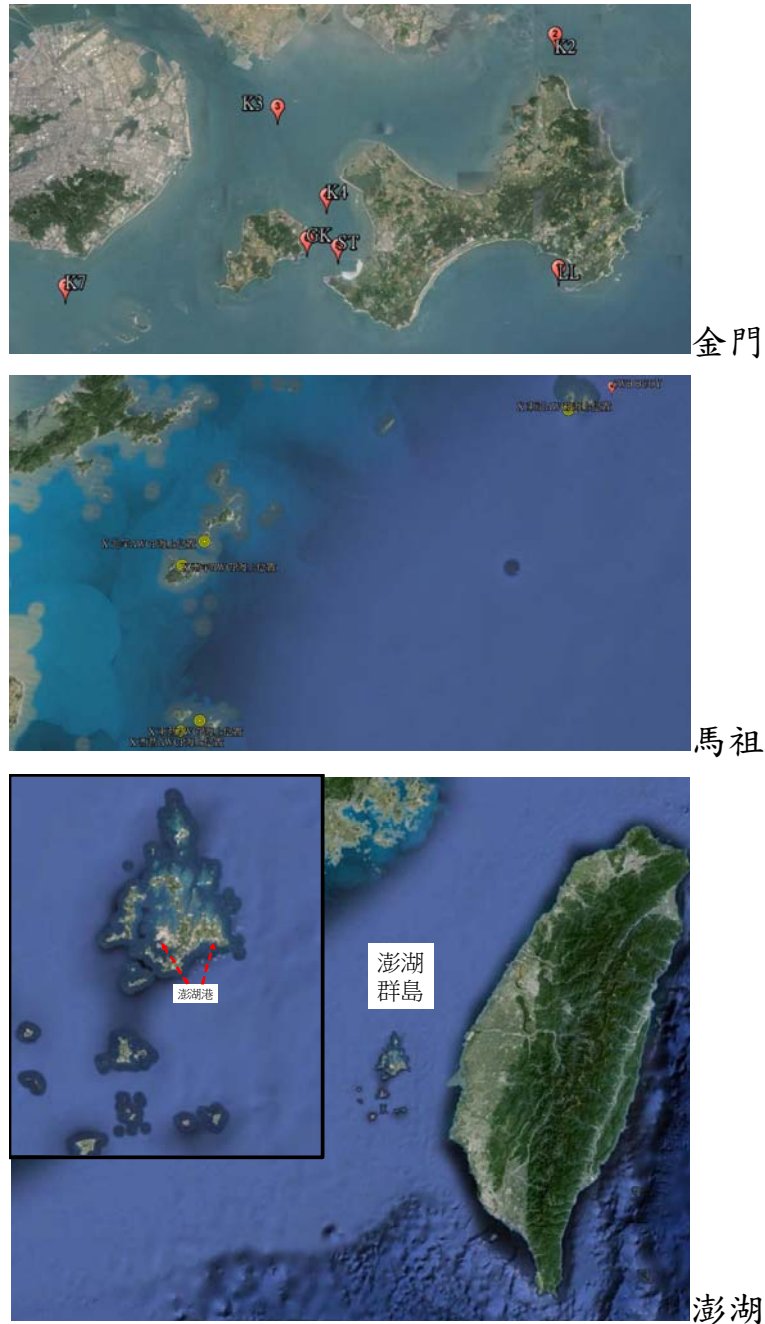


圖 1.1 金門、馬祖、澎湖地形及澎湖與臺灣本島之相關位置圖

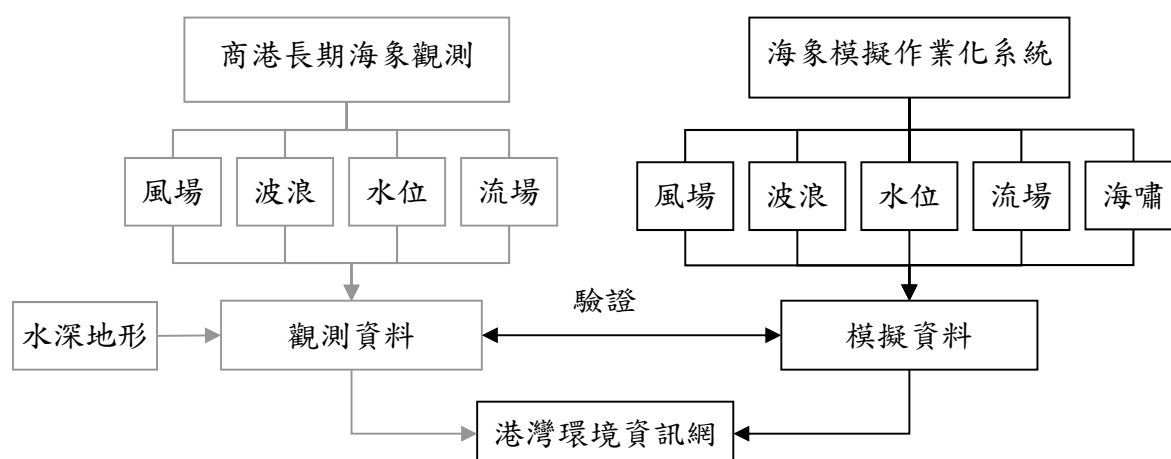
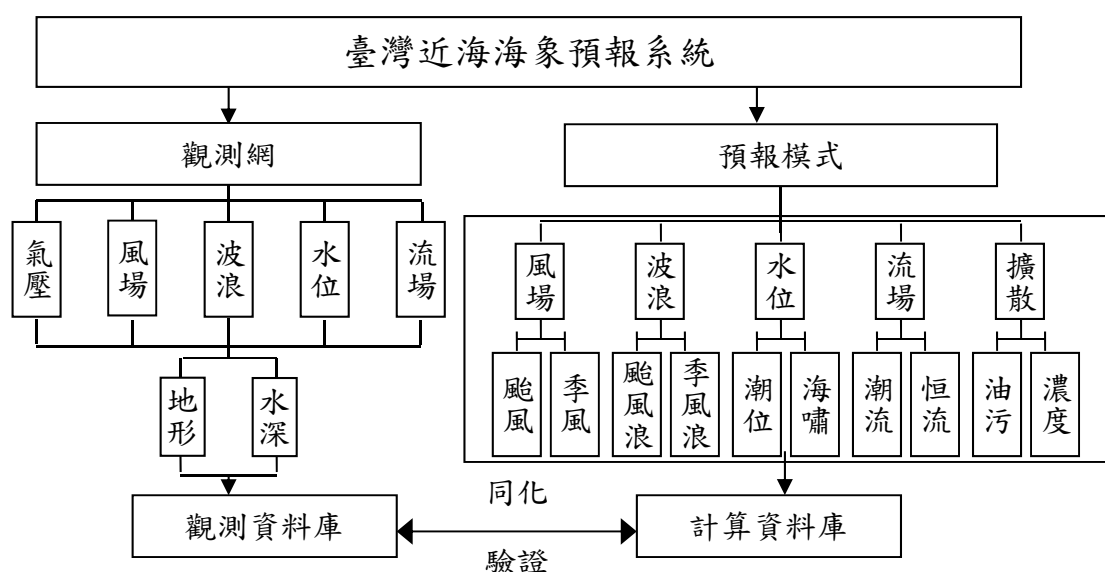
1.3 研究計畫內容

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及維護，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營機構參考應用，並提供本計畫預報模式比對，以提昇預警精度。觀測網路部分預計可以得到的觀測資料為地形、水深、氣壓、颱風、風場(風速、風向)、波場(波高、週期及波向)、水位(天文潮位、暴潮位)及流場(流速、流向)等現場資料，多數已經同步連線回傳整理後統一輸入資料庫中以便未來提供查詢及模式的應用。

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



1.4 主要工作項目

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，於計畫執行期間結合相關合作計畫研究，藉由長期發展經驗，持續擴充建置一套適用於臺灣海域之近岸海象預報系統。因此本計畫均以作業化方式整合海岸及港灣海域風浪、潮汐、海流及海嘯模式，主要工作項目有以下幾項：

1. 海氣象自動化預報模擬系統校修與維運：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。整合建立港區及周圍海域波浪、水位、海流及海嘯模式等，以自動作業化方式，進行海象預報作業。
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，以不同模式建構包含中尺度臺灣周圍海域及小尺度各港區近岸海域水動力模組，整合模擬作業化系統，並更新風浪模擬系統作業化模擬流程。
3. 波浪、水位及流場等海象預報作業化成果評估：配合中心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，並以颱風期間為評估重點。
4. 離島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. 建置離島金門、馬祖與澎湖海氣象預報自動化系統：依據離島海域海象特性規劃與建置合適的波浪、水位及流場等海象模擬子系統，提供臺灣與離島港口間藍色公路相關的海象模擬資訊。
6. 極端氣候下跨河橋梁通行安全評估：以視窗作業化方式，建立跨河橋梁受異常氣候期間，如颱風期間受洪水及暴潮與長浪衝擊等複合影響下，藉以評估橋梁通行安全性。
7. 結合 Google Earth 地理資訊系統提供商港溢淹潛勢圖：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圖資以展現模擬溢淹區域，分別評估臺北、基隆、蘇澳、花蓮、臺中、布袋、安平及高雄等主要商港，於港灣環境資訊網進行展示，可作為海嘯警報發布時各港務分公司之應變參考。

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。

105 年度研究目標為透過作業化模擬系統持續性驗證及校調近岸及港域模式，測試新增中尺度暴潮模組及離島波浪與水動力模組，近期可延伸至澎湖、金馬離島預報系統。在海嘯部份，105 年度建置港區海嘯溢淹地圖，並新增臨海跨河橋梁預警系統，評估受地震海嘯影響港區水位溢淹範圍及高度，以及受暴潮、長浪或海嘯波衝擊等複合影響條件下跨河橋梁之通行安全。

本章節主要說明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，整體海象模擬作業化系統下各模式架構圖如圖 2.1 所示。目前已建置線上作業的運作模式包括下列 4 種模組所示，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 2.2 及 2.3 所示。

(1) 風場模組：

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：

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)，105 年度測試建置離島澎湖、金門、馬祖港區則使用 SWAN 模式，另建置各港細尺度港區展示系統。

(3) 水動力模組：

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)，105 年度建置澎湖港區使用臺灣海域中尺度暴潮模式(FEHDM)並建立邊界條件輸入小尺度範圍作運算，金門及馬祖港區則使用 FVCOM 模式。

(4) 海嘯模組：

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。

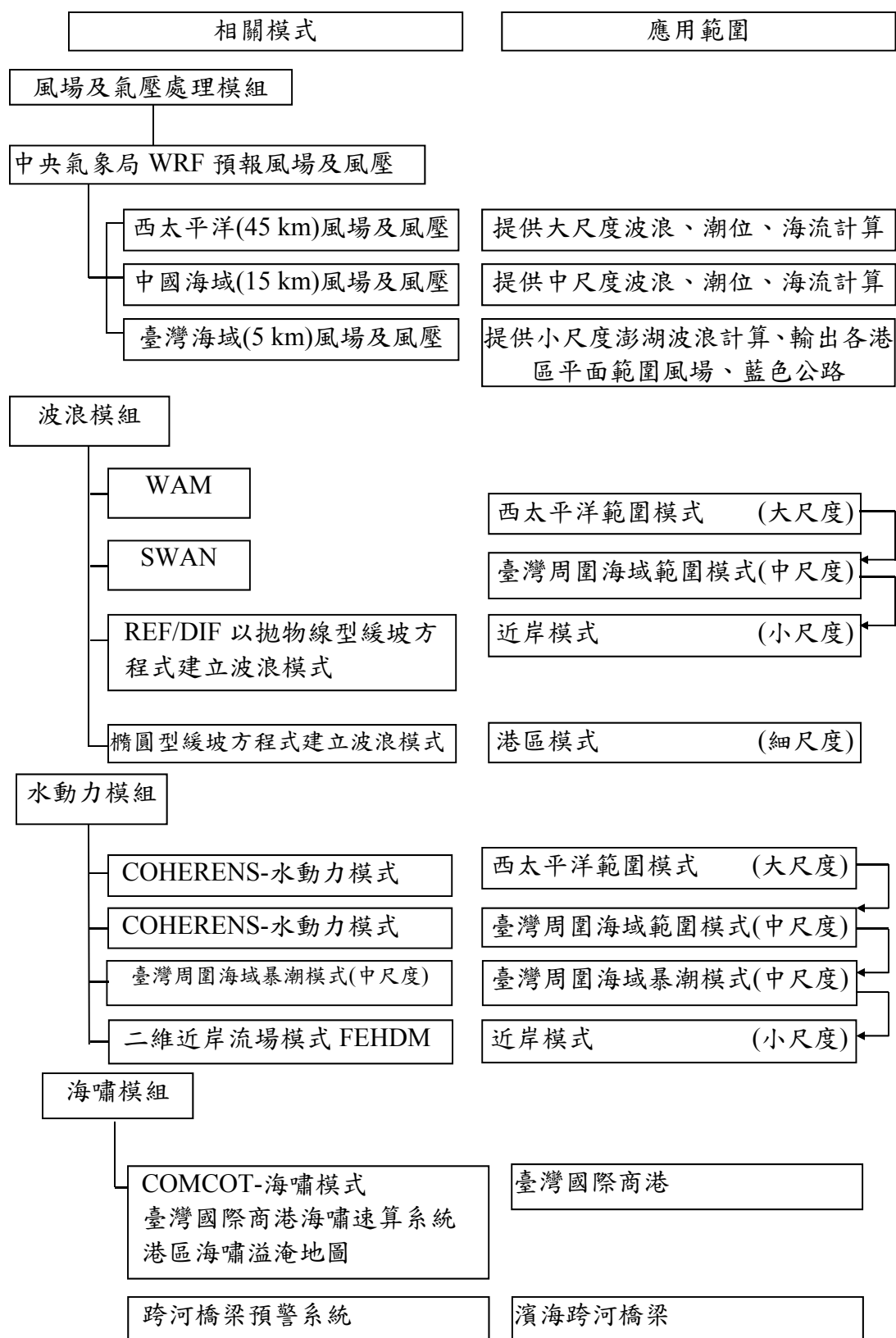


圖 2.1 海象模擬作業化系統下相關模式架構圖

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)

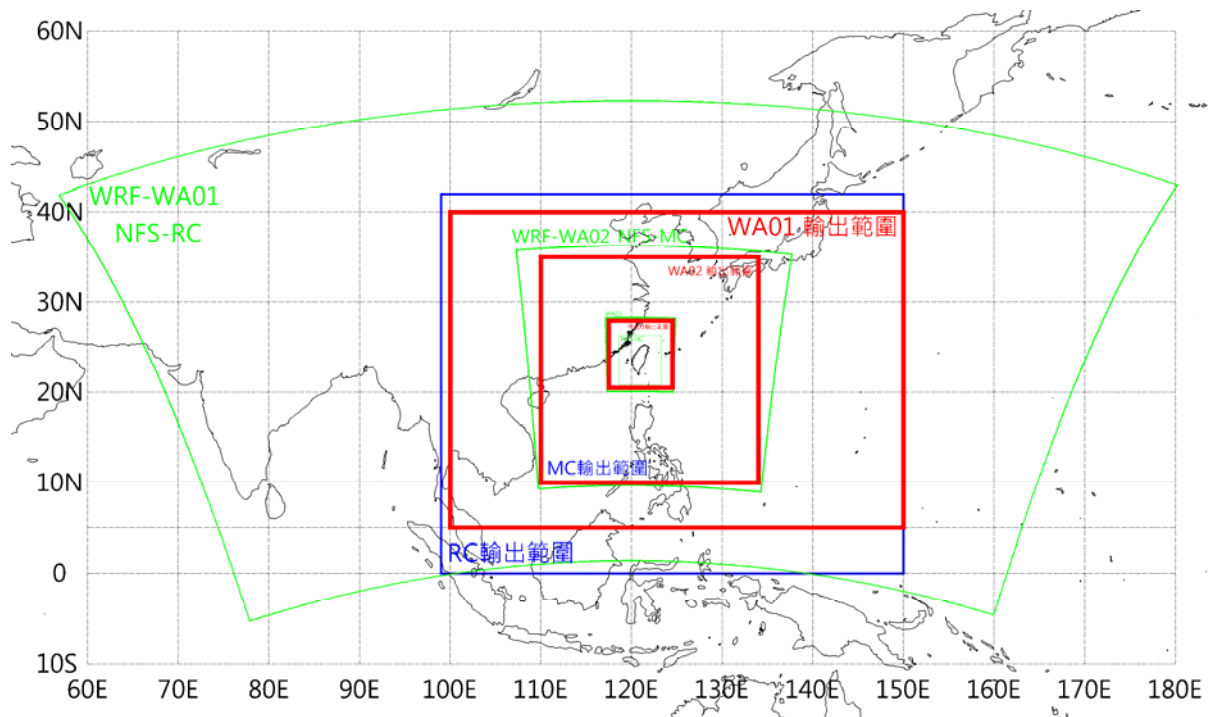


圖 2.2 風場輸出範圍

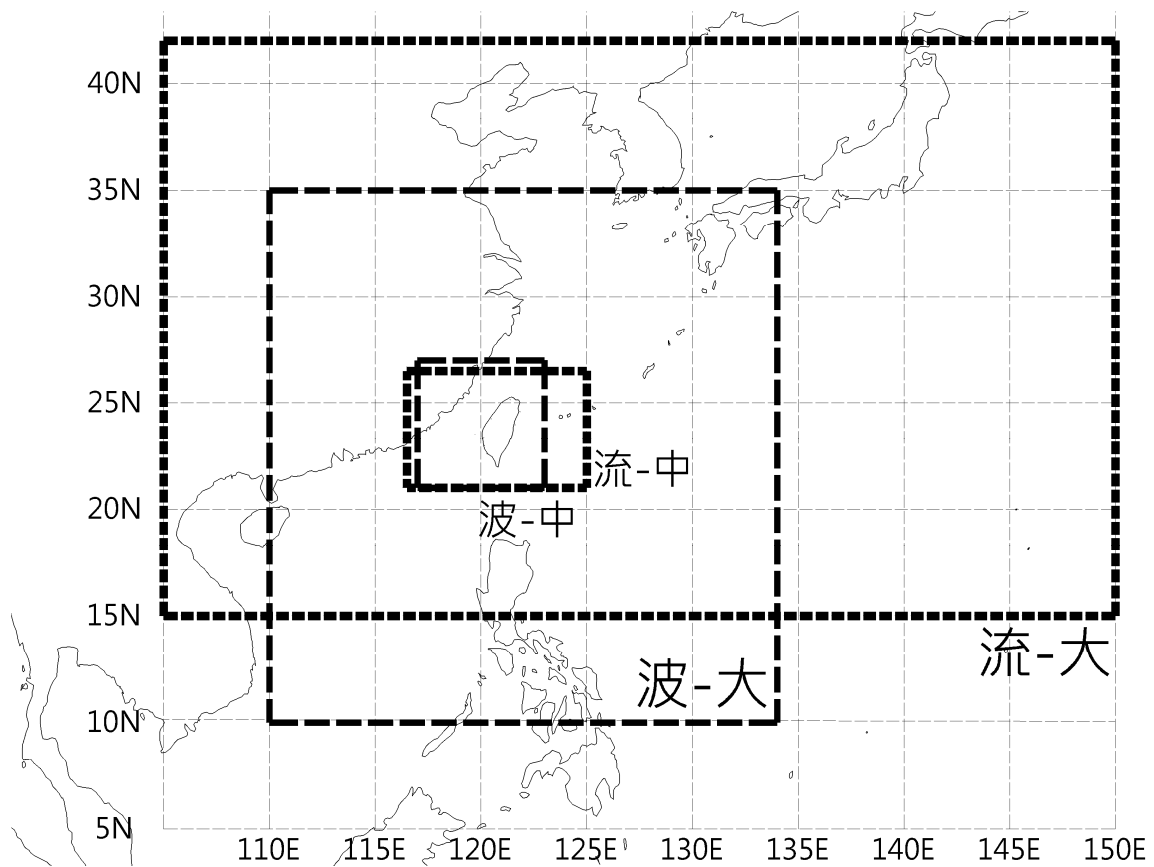


圖 2.3 波場及水動力場輸出範圍

2.2 整體作業化流程

本所模式發展方面，為適用各種海象條件，整合規劃建置多種及多尺度預報模式，包含了風場、波浪、水位、流場等模擬，海象模擬作業化流程為圖 2.4 所示

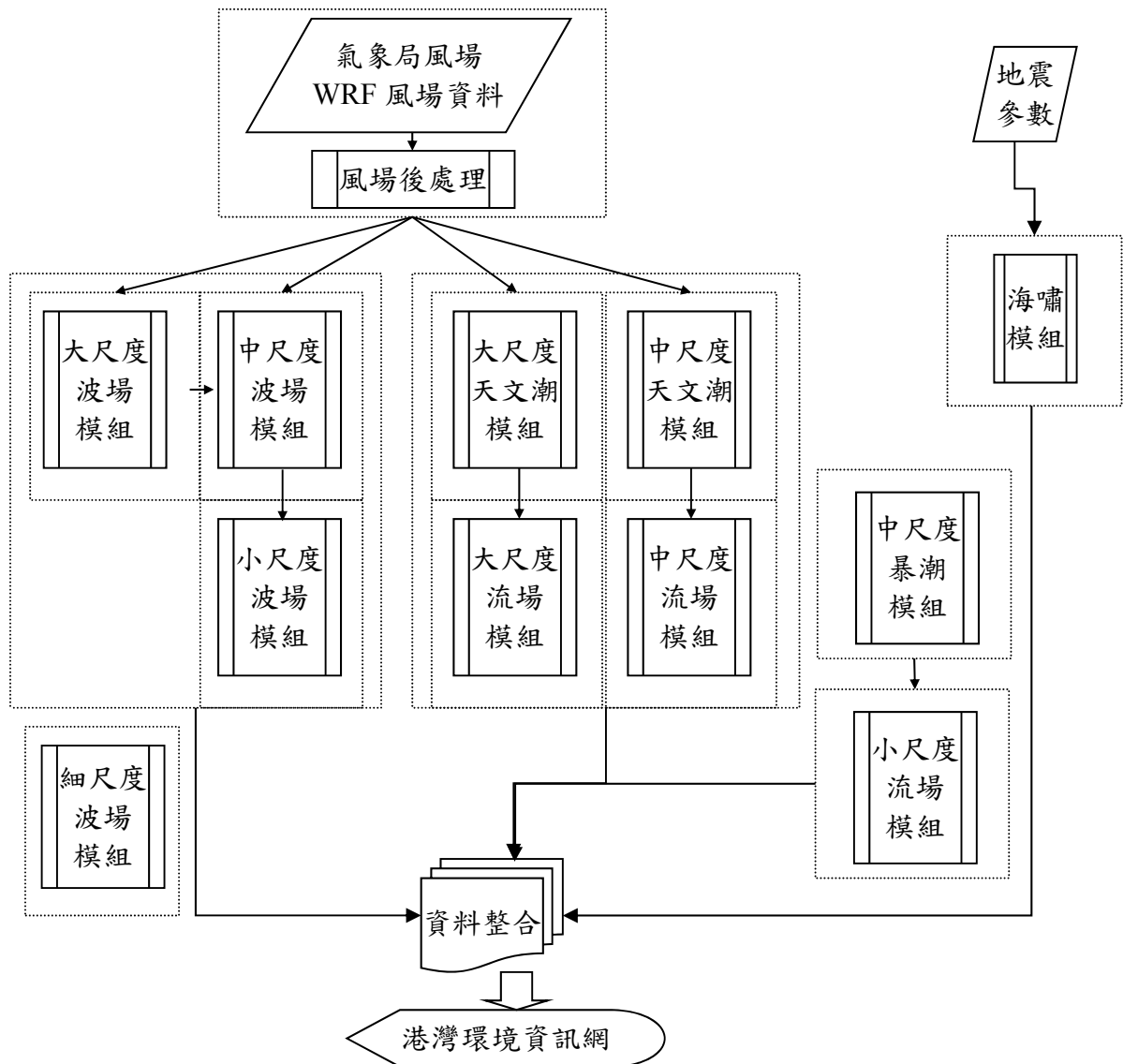


圖 2.4 海象模擬作業化系統流程圖

目前 TaiCOMS 各模組，在現有設備下運作時間如表 2-2 為目前 TaiCOMS 各模組作業所需時間。目前風場配合氣象局所提供以每日 4 次方式提供，波浪及水動力部分在每日凌晨 3 時風場取得後每日於 8

時前提供 1 次，另細尺度波浪模式由於計算時間長不利作業化，故採用非作業化方式。海嘯部分採用每隔 5 分鐘，自動擷取網頁資訊 1 次，如有地震資訊即時模擬計算提供。跨河橋梁預警系統現以人工作業依需求產出，後續計畫再視需求調整為自動作業化。

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於固定資料夾，本部分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。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。

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

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。每月相關報表均亦放置於本所 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、潮、流的特性如圖 2.6 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，包括大尺度及中尺度風場、波場，與中尺度與小尺度水位場及流場等進行評估作業。105 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—2016 年海象作業化預報成果(風力及波浪部份)。而水位及海流季評估報告及颱風期間評估報告成果彙集成專冊—2016 年海象作業化預報成果(水位及海流部份)。

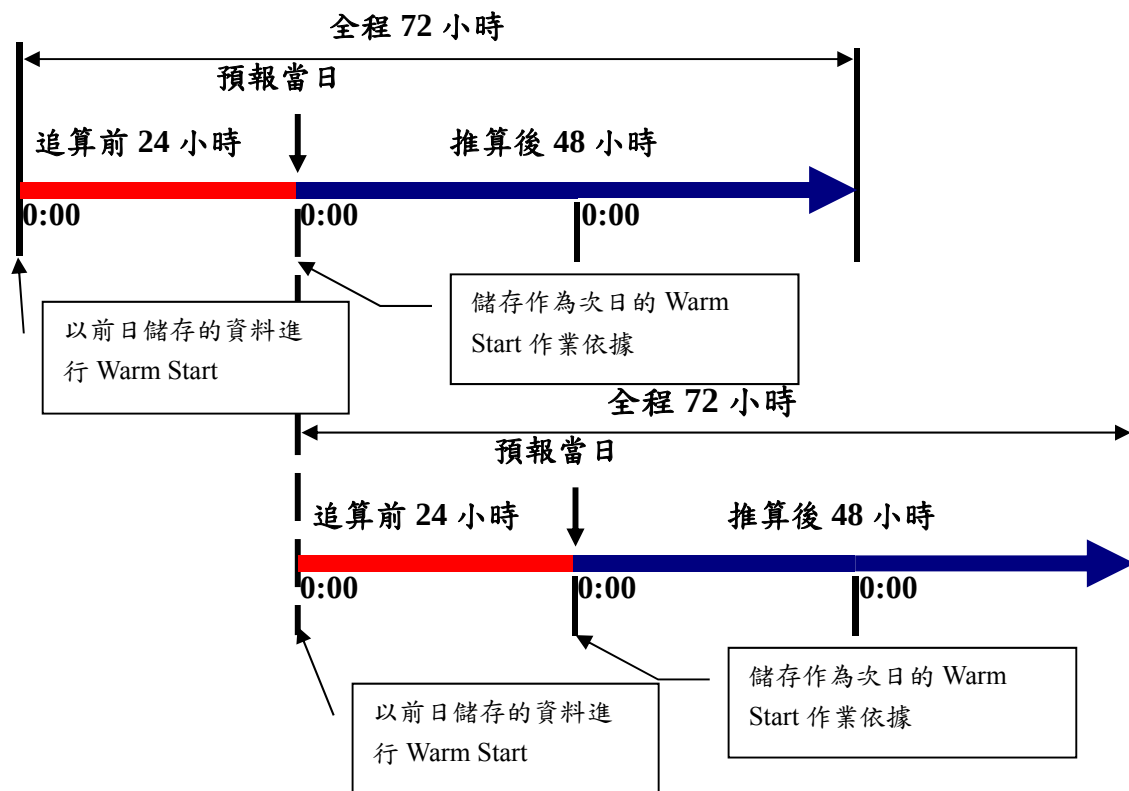


圖 2.5 海象數值模擬系統兩日作業流程範例圖

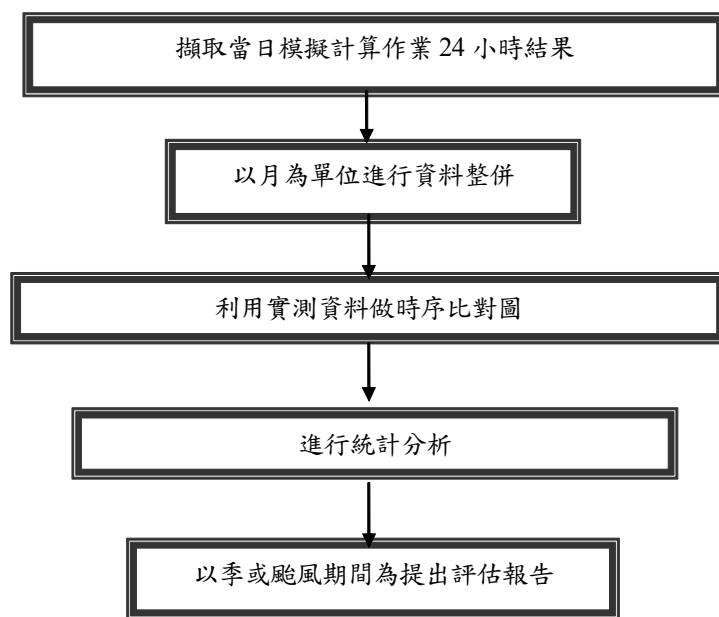


圖 2.6 海象數值系統線上作業成果評估流程

表 2-2 TaiCOMS 各模組作業所需時間

	模式		作業時間	每日作業(次)
風場	WRF 風場解算 (不含網路擷取時間)		3 分鐘	4 次
波浪	大尺度(WAM)		15 分鐘	1 次
	中尺度(SWAN)		36 分鐘	1 次
	小尺度波 (REF/DIF)	基隆	16 分鐘	1 次
		蘇澳	18 分鐘	
		花蓮	11 分鐘	
		高雄	48 分鐘	
		安平	23 分鐘	
		布袋	90 分鐘	
		臺中	60 分鐘	
		臺北	37 分鐘	
	小尺度波 (KMN)	金門(105 年度新增)	40 分鐘	
		馬祖(105 年度新增)	60 分鐘	
	細尺度波 (展示系統)	基隆、蘇澳、花蓮、 高雄、安平、布袋、 臺中、臺北	10~30 秒	依需求使用
水動力	大尺度		50 分鐘	1 次
	中尺度		60 分鐘	1 次
	中尺度暴潮模式(105 年度新增)		110 分鐘	1 次
	小尺度 (FEHDM)	基隆	120 分鐘	1 次
		蘇澳	130 分鐘	
		花蓮	600 分鐘	
		高雄	110 分鐘	
		安平	900 分鐘	
		布袋	80 分鐘	
		臺中	210 分鐘	
		臺北	130 分鐘	
		澎湖(105 年度新增)	110 分鐘	
	小尺度 (FVCOM)	金門(105 年度新增)	140 分鐘	
		馬祖(105 年度新增)	180 分鐘	
海嘯	港區速算作業化系統		2 分鐘	每隔 5 分鐘，自動截取網頁資訊 1 次
	港區溢淹地圖(105 年度新增)		2 分鐘	依港區速算作業化系統於地震海嘯發生時，自動展示於網頁 1 次
	跨河橋梁預警系統(105 年度新增)		2 分鐘	依需求使用

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子系統正常運作，提供數值資料。為求系統長期有效管理，建置維護紀錄表，提供 105 年度軟體及硬體維護事件及處理情形供參考。105 年度主要維護事件如下：

1. 常見維護事件

- (1) 風場不定時會有缺漏資料。因應方案為：(1)片段資料缺漏(24 小時內)，利用前次預報資料補齊。(2)缺漏資料無法補齊時，整體系統暫停運作，待人工補齊後再行運作。
- (2) 伺服器更新(伺服器內各模組及程式移轉安裝)。
- (3) 數值模組新增。
- (4) 模擬資料配合港灣環境資訊系統新增減輸出。
- (5) 新增模組資料未順利產出問題排除。
- (6) 定期資料備份(分日、月、年方式)。
- (7) 年度電力維護配合辦理。

2. 105 年度特殊維護事件

- (1) 不斷電系統不穩定更新。
- (2) 伺服器硬碟損毀。
- (3) 機房冷氣因颱風損毀(造成部分伺服器熱當，部分模組補算)。
- (4) 機房環境改善。

本系統於 100 年因硬體發生故障造成波場模擬模式損毀中斷，故為使系統更為穩定及經費考量下，以異機備援方式提供本系統內資訊硬體設備故障即時使用。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，目前中心之伺服器規劃共區分為風場、波場、水動力(潮、流)與觀測資料、近岸水動力模組與中尺度暴潮模組、海嘯模組及資料儲

存備份伺服器，主要使用 6 部中低階伺服器進行計算及備份，如表 2-3 所示。主要功能說明如下：

- (1) 風場伺服器：主要功能為下載氣象局 WRF 風場資料，解碼內插風場資料(昨日、今日、明日)，作為資料整合平臺，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，除提供海情中心網頁上每日風、波、潮、流模擬結果，並提供相關合作單位，每日模式輸出結果。
- (2) 波場伺服器：主要功能為計算三日的波場模擬(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。
- (3) 水動力(潮、流)與觀測資料伺服器：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模擬、中尺度流場模擬及早期發展港域流場的即時模擬。並擷取彙整各國際港及國內港之風、波、潮、流觀測資料。
- (4) 小尺度水動力(潮、流)模組與中尺度暴潮伺服器：主要功能為計算三日的小尺度水動力模擬(昨日、今日、明日) 中尺度暴潮包含澎湖海域近岸潮流計算。
- (5) 海嘯模組伺服器：主要功能為提供臺灣港區海嘯速算模擬。
- (6) 資料儲存備份伺服器：主要功能為備份各模組程式、原始資料及輸出結果。

各臺伺服器為確保資料安全，基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。105 年度就發生伺服器內有一個硬碟損毀，即以本機制確保系統穩定作業。

建置備援伺服器同時可替換風場、波浪及水動力伺服器，如此整體海象模擬系統與異機備援系統都處於正常運作狀態，平時可進行相互資料備份及確認資料正確性與否，而當原系統發生硬體故障時，並可迅速將資訊系統切換至異機端，接替目前系統正常運作，確保海象模擬業務的持續性，如圖 2.7 所示。

另小尺度流場計算及海嘯計算系統，開發建置於微軟作業系統，亦採取相似觀念同時建置 2 套模式於各伺服器主機內，平時以主要系統為主，可作為相互備援並防止伺服器主機損毀造成作業中斷及資料缺失，如圖 2.8 所示。

目前 TaiCOMS 各模組，在現有設備下運作時間如表 2-4 為目前 TaiCOMS 各模組作業所需時間。目前風場配合氣象局所提供以每日 4 次方式提供，波浪及水動力部分在每日凌晨 3 時風場取得後每日於 8 時前提供 1 次，另細尺度波為評估使用，故採用非作業化方式。海嘯部分採用每隔 5 分鐘，自動擷取網頁資訊 1 次，如有地震資訊即時模擬計算提供。跨河橋梁預警系統現以人工作業依需求產出，後續計畫再視需求調整為自動作業化。

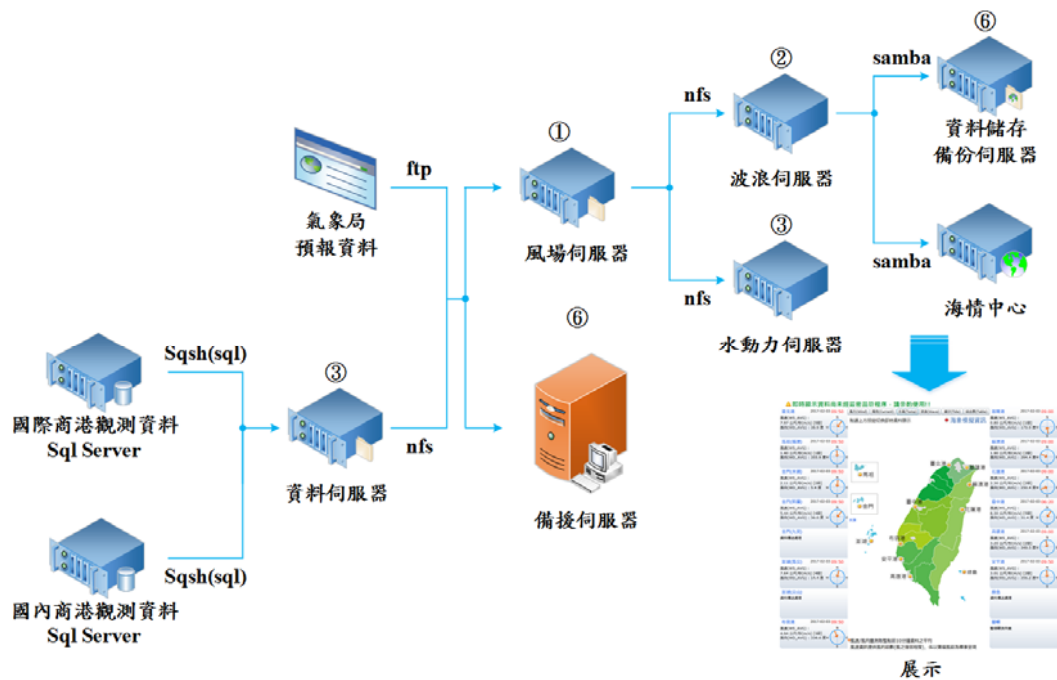


圖 2.7 系統新硬體及資料流程說明圖

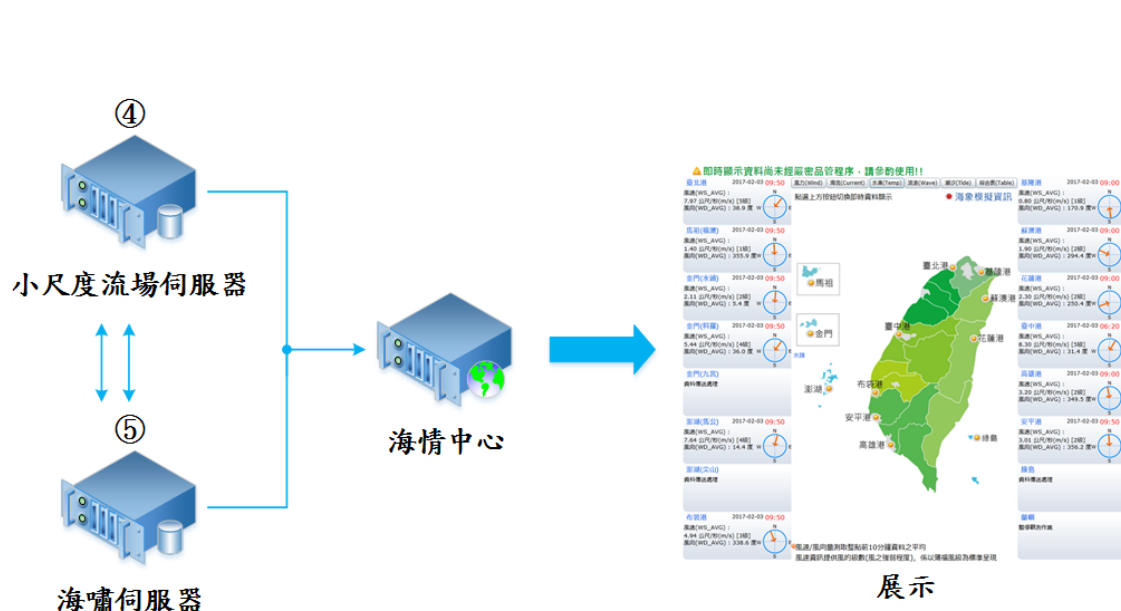


圖 2.8 小尺度流場及海嘯系統硬體及資料備援流程說明圖

表 2-3 本中心海象模擬伺服器主要功能說明

server	主要功能
風場	下載氣象局WRF風場資料，擷取所需要的風場層數及範圍，進行資料解碼及三日模擬內插(昨日、今日、明日)，提供波場及水動力伺服器每日相關計算所需之風場資料。 資料整合平臺：除提供海情中心每日風、波、潮、流模擬結果，並提供相關合作單位，每日模式輸出結果。
波場	三日模擬：大、中、小尺度波場計算。
水動力(潮、流)與觀測資料	三日模擬：大、中尺度潮流場計算。 擷取各國國際港及國內港之風、波、潮、流觀測資料。
小尺度水動力模組與中尺度暴潮模組	三日模擬：各港口小尺度潮流場、中尺度暴潮模式包含澎湖海域近岸潮流場計算。
海嘯模組	臺灣港區海嘯速算模擬。
資料儲存備份	備份各模組程式、原始資料及輸出結果。

表 2-4 TaiCOMS 各模組作業所需時間

	模式		作業時間	每日作業(次)
風場	WRF 風場解算 (不含網路擷取時間)		3 分鐘	4 次
波浪	大尺度(WAM)		15 分鐘	1 次
	中尺度(SWAN)		36 分鐘	1 次
	小尺度波 (REF/DIF)	基隆	16 分鐘	1 次
		蘇澳	18 分鐘	
		花蓮	11 分鐘	
		高雄	48 分鐘	
		安平	23 分鐘	
		布袋	90 分鐘	
		臺中	60 分鐘	
		臺北	37 分鐘	
	小尺度波 (KMN)	金門(105 年度新增)	40 分鐘	
		馬祖(105 年度新增)	60 分鐘	
	細尺度波 (展示系統)	基隆、蘇澳、花蓮、 高雄、安平、布袋、 臺中、臺北	10~30 秒	依需求使用
水動力	大尺度		50 分鐘	1 次
	中尺度		60 分鐘	1 次
	中尺度暴潮模式(105 年度新增)		110 分鐘	1 次
	小尺度 (FEHDM)	基隆	120 分鐘	1 次
		蘇澳	130 分鐘	
		花蓮	600 分鐘	
		高雄	110 分鐘	
		安平	900 分鐘	
		布袋	80 分鐘	
		臺中	210 分鐘	
		臺北	130 分鐘	
		澎湖(105 年度新增)	110 分鐘	
	小尺度 (FVCOM)	金門(105 年度新增)	140 分鐘	
		馬祖(105 年度新增)	180 分鐘	
海嘯	港區速算作業化系統		2 分鐘	每隔 5 分鐘，自動截取 網頁資訊 1 次
	港區溢淹地圖(105 年度新增)		2 分鐘	依港區速算作業化系統 於地震海嘯發生時，自 動展示於網頁 1 次
	跨河橋梁預警系統(105 年度新增)		2 分鐘	依需求使用

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 WRF 氣象資料，擷取所需要的風場層數及範圍，進行資料解碼、重組及內插產生本系統波場及水動力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 公尺風場及海面氣壓場資料，其三層網格(如表 2-5 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。

- (一) 西太平洋風場及氣壓(WA01)：依據 WRF 水平第一層解析度 45 km 網格之風(壓)場資料產生，資料輸出範圍為西太平洋北緯 0° 至 35°，東經 99° 至 150°，如表 2-6 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° 及 1/6' 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。
- (二) 中國海域風場及氣壓(WA02)：依據 WRF 水平第二層解析度 15 km 網格之風(壓)場資料產生，資料輸出範圍為西太平洋北緯 10°~35°，東經 110°~135°。經處理後資料網格重新內插為解析度 1/6° 及 1/12' 之球面座標規則網格，前者提中國海域風場風場及氣壓(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。

(三) 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 2-5 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 2-6 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 2.3。以下分別就各推算範圍的相關資料進行說明：

- (一) 遠域波浪推算：以西太平洋海域為範圍，屬於大尺度的推算，其目的是希望得到較佳的近域波浪推算邊界參考輸入值，同時也考慮能涵蓋各種侵臺的颱風路徑。主要應用 WAM(WAVE Model)的波浪推算模式，與中央氣象局每日預報之動態風場結合。其模擬範圍由北緯 10° 至 35° ，東經 110° 至 134° ，數值計算格網解析度為 $0.2^{\circ} \times 0.2^{\circ}$ (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° 至 27° ，東經由 117° 至 123° ，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° 至 42° ，東經 105° 至 150° ，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° 至 26.5° ，東經 116.5° 至 125° ，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，結合為一「臺灣海嘯速算系統」，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。並以高斯波波形在模式地形邊界上入射，模擬此情境下商港區之溢淹狀況，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，建置台灣主要商港溢淹災害潛勢圖，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 2-7 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。

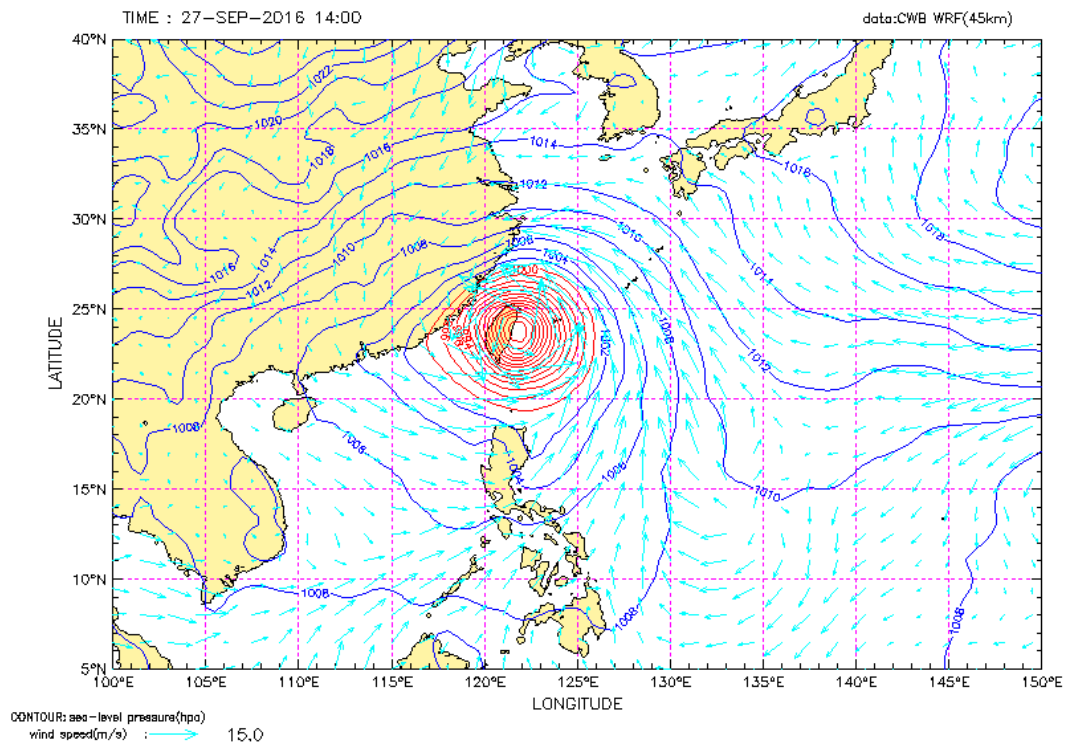
每日預報風場作業化配合每日 4 筆資料，每日分時段提供 4 筆資料，整體作業化流程將氣象局所提供風場資料以較接近預報時間資料為先擷取方式彙整，實際擷取方式依 102 年度「港灣海氣象數值模擬作業化之研究(1/2)」計畫評估結果為求整體風場穩定扣除 00~05 等 6 筆資料，直接擷取 06 至 77 筆資料，提供風場模擬資料，每次可展示及提供未來 72 小時風場及氣壓場預報資料，表示 WRF 預報風場較 NFS 預報風場更密集且可供查詢預報時間會更多，可提供風浪及水動力模擬使用。作業化所展示資料為 WA01、WA02 及 WA03 之 2 維資料風

場向量圖檔如圖 2.9~圖 2.11 所示，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。

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 12.00~12.84 m 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 2.12 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。

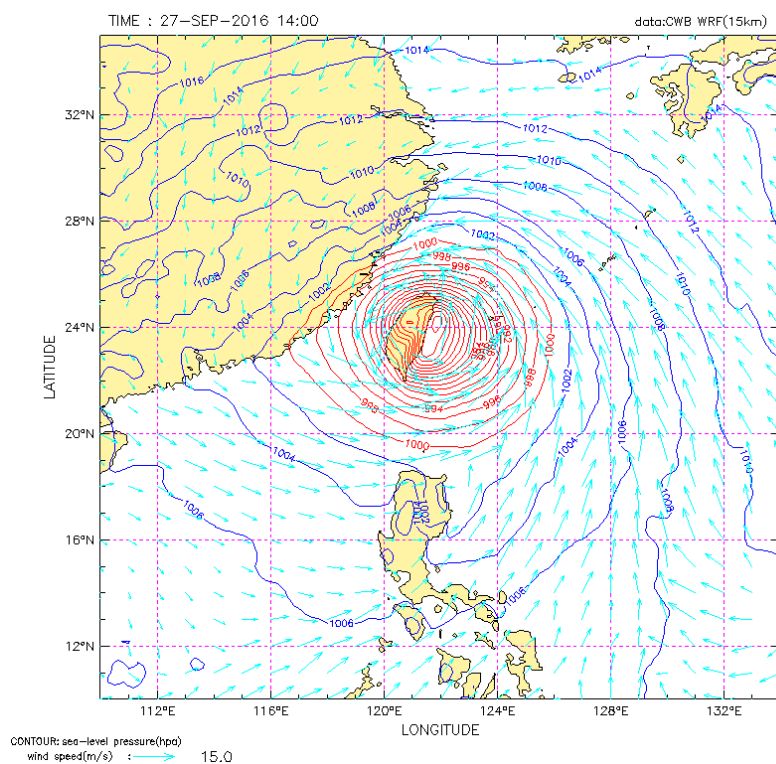
表 2-7 WRF 主要提供氣象資料彙整表

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)



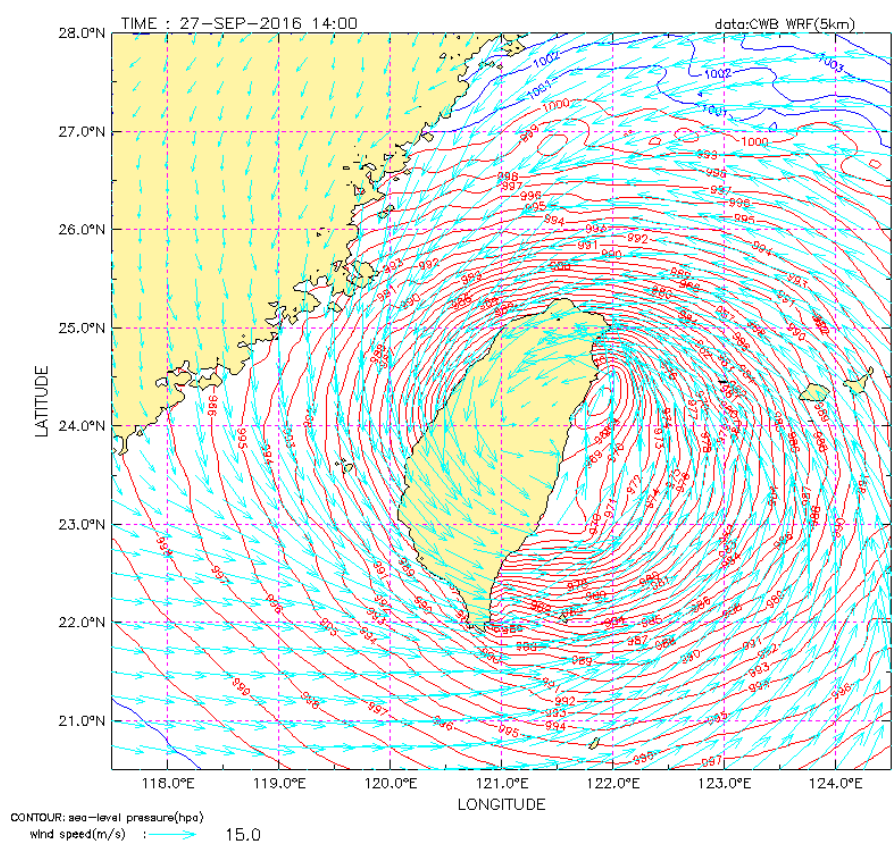
時間：2016 年 9 月 27 日 14 時

圖 2.9 梅姬颱風 WRF(WA01)風場向量圖



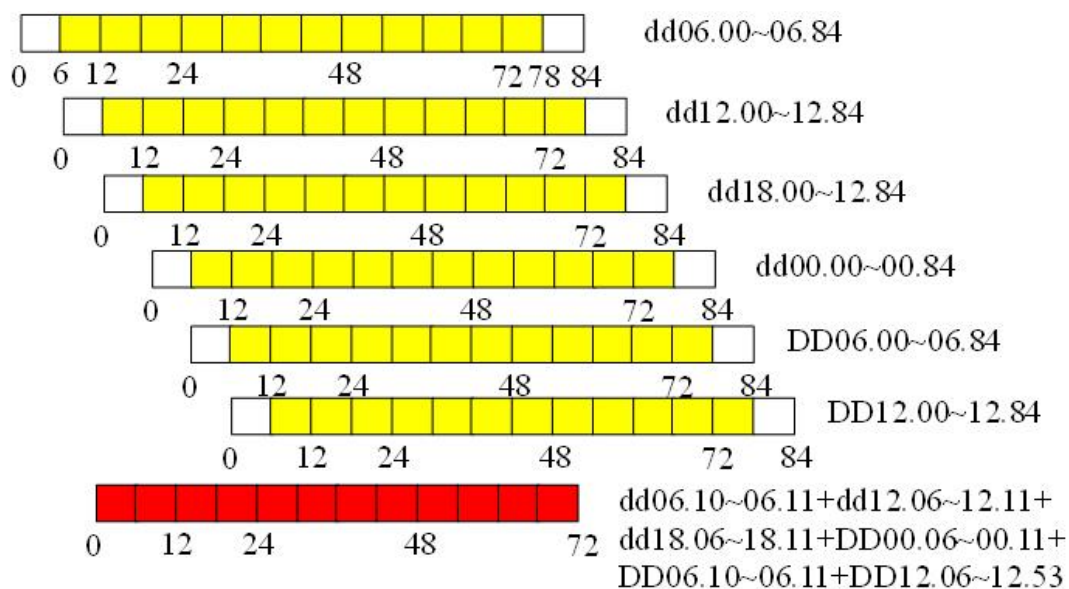
時間：2016 年 9 月 27 日 14 時

圖 2.10 梅姬颱風 WRF(WA02)風場向量圖



時間：2016 年 9 月 27 日 14 時

圖 2.11 梅姬颱風 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 2.12 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 2.13 所示。

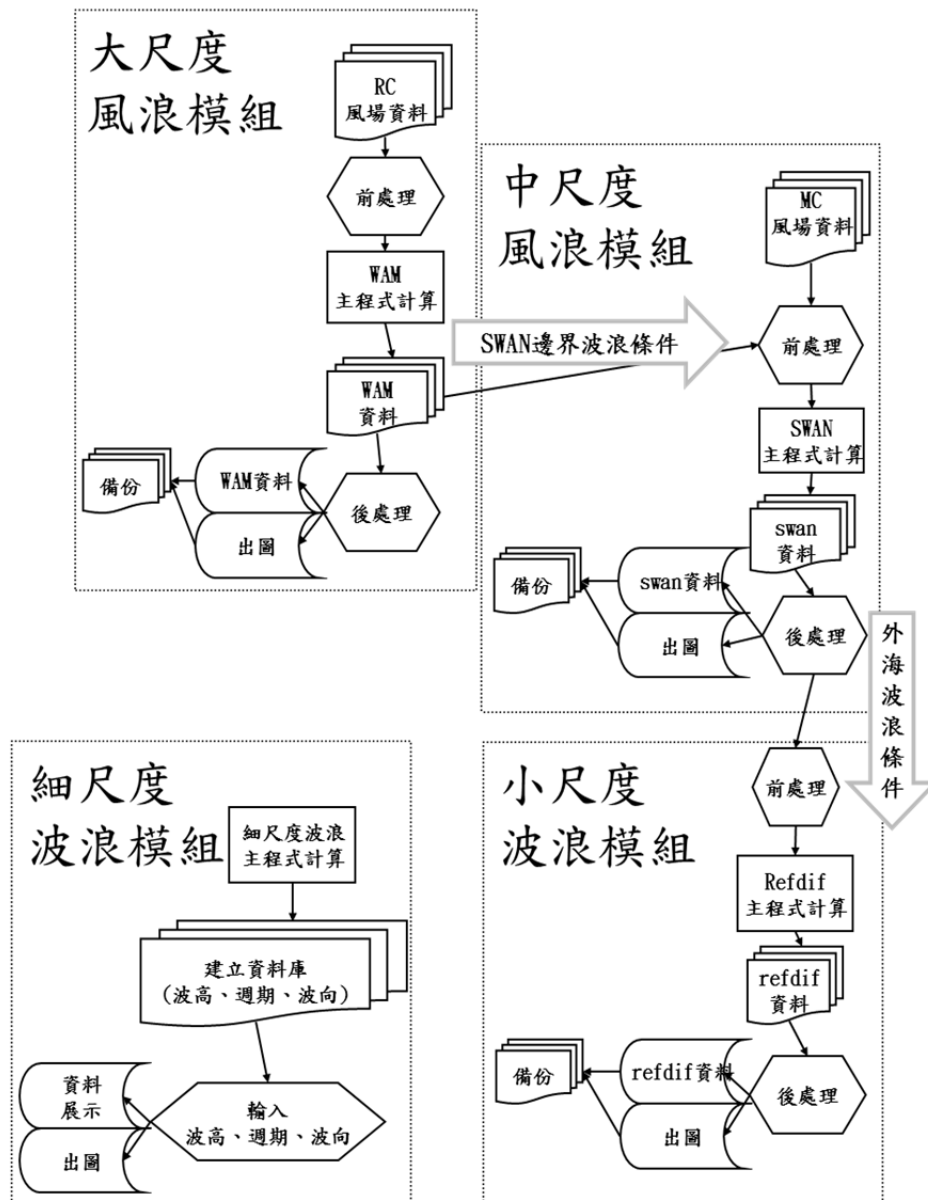


圖 2.13 波浪模擬作業流程圖

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 2.14。

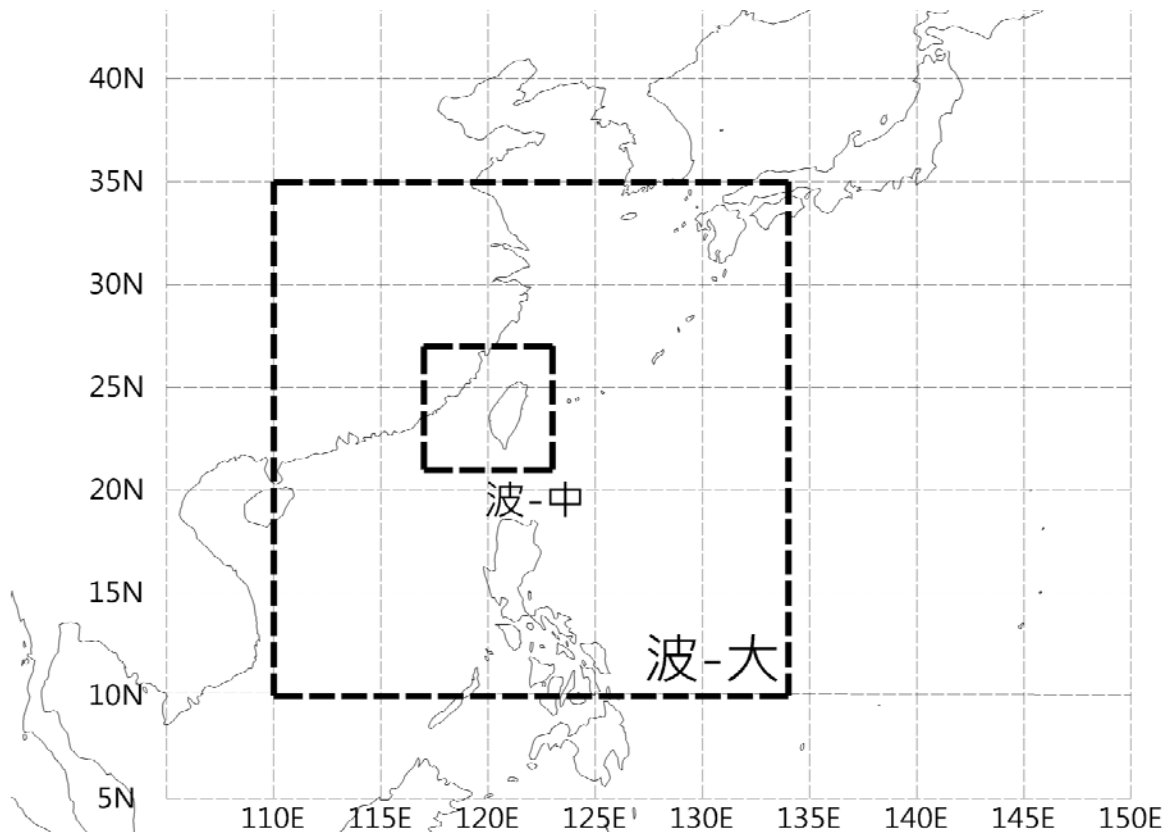


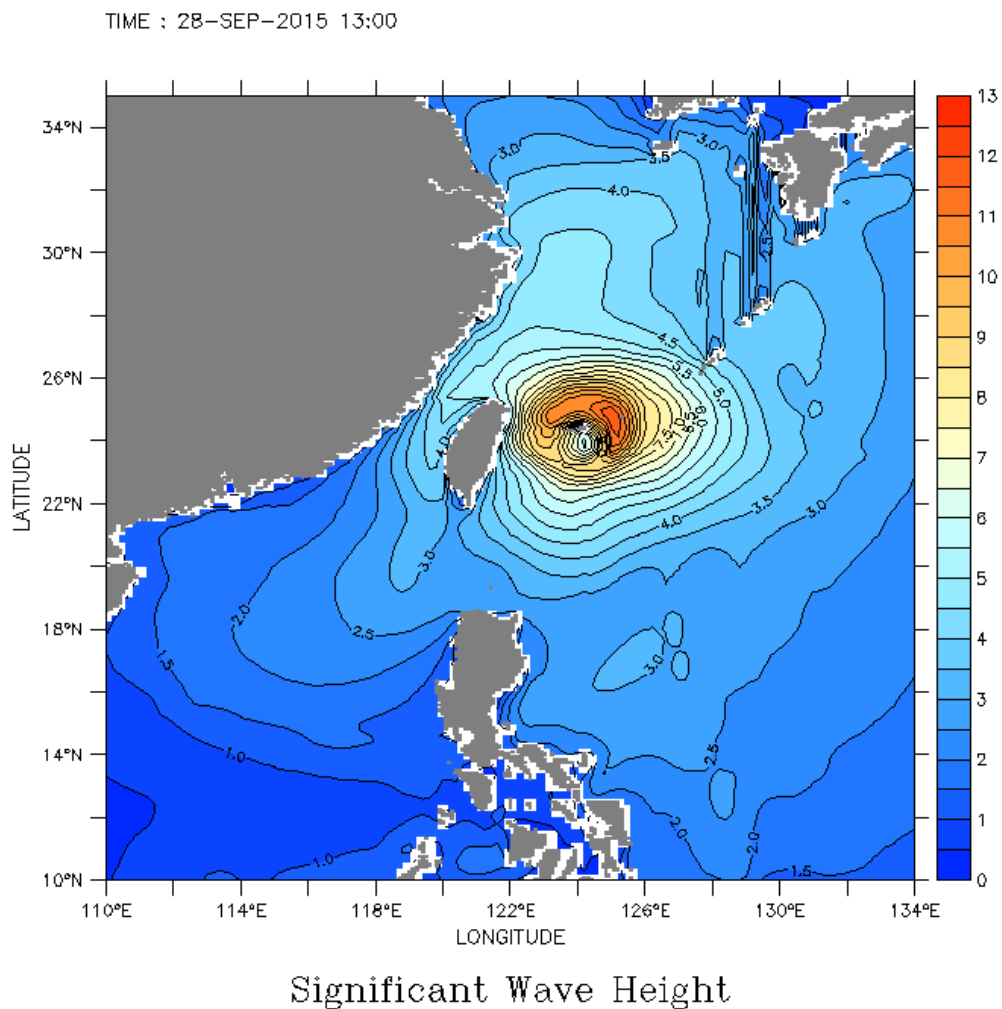
圖 2.14 大尺度及中尺度波場模擬範圍圖

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)。TaiCOMS 波浪模式各尺度輸入條件與輸出內容如表 2-8 所述，模式模擬時間長度為三天(72 小時，昨日、今日、明日)。下圖 2.15、圖 2.16 為作業化模式產生梅姬颱風於 2016 年 9 月 27 日 14 時大尺度及中尺度波高分布圖。

表 2-8 TaiCOMS 波浪模式各尺度輸入條件與輸出內容

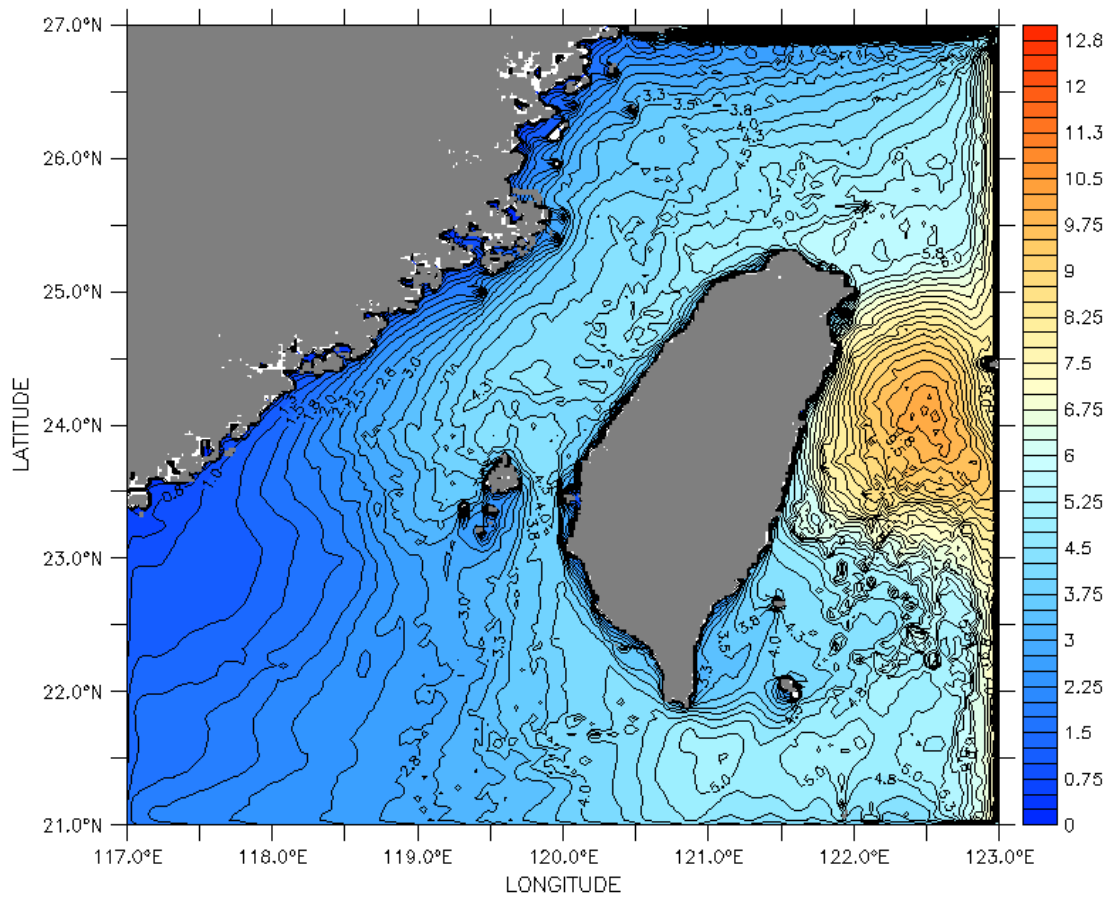
Scale	大尺度	中尺度	小尺度	細尺度
Range	西太平洋海域	台灣海域	近沿岸海域 (港外)	港區海域 (港內)
Model	WAM	SWAN	REF/DIF	
Input	1. 氣象局 WA01 風場 2. 水深地形	1. 氣象局 WA02 風場 2. 水深地形 3. 由大尺度產生之巢狀網格波譜資料	1. 由中尺度產生邊界條件(包括示性波高、譜峰週期等等) 2. 水深地形 3. REF/DIF 以拋物線緩坡方程式建立波浪模式	1. 單機作業化 2. 條件自行給定(示性波高、週期、16 方位波向)，以橢圓緩坡方程式建立波浪模式
Output	1. 輸出西太平洋海域 1 維及 2 維資料，輸出主要內容包括示性波高、平均波向、平均週期、風引起的摩速度、風向、譜峰週期、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)、海面波譜及浪波譜等次要選項輸出。 2. 輸出 SWAN 模式所需巢狀網格波譜資料 3. 相關平面圖	1. 輸出台灣海域各港口示性波高、譜峰週期、波向 2. 輸出 REF / DIF 模式所需巢狀網格波譜資料 3. 相關平面圖	1. 輸出各港區示性波高、譜峰週期、波向 2. 相關平面圖	1. 輸出各港內指定位置之波高 2. 相關平面圖

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 2.15、圖 2.16 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 2.15 梅姬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 2.16 梅姬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 2-9 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 2.17 所示、旋轉後波浪模式所計算之水深地形分布如圖 2.18。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 2.119 作業化波高分布圖所示。

表 2-9 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

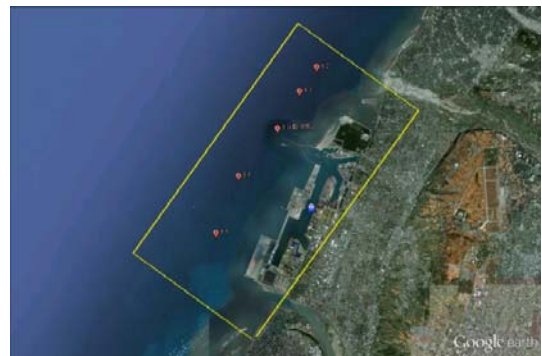
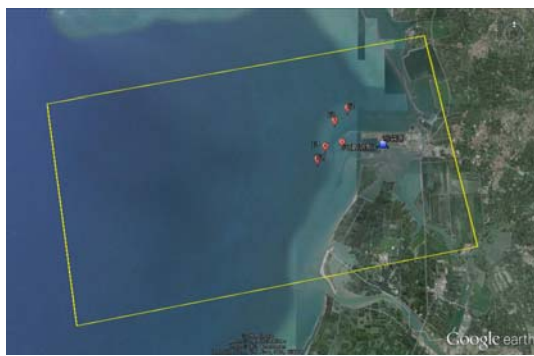
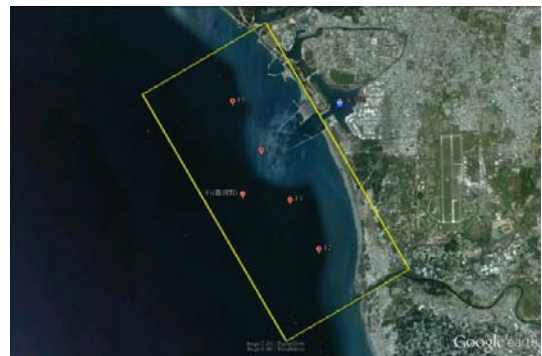
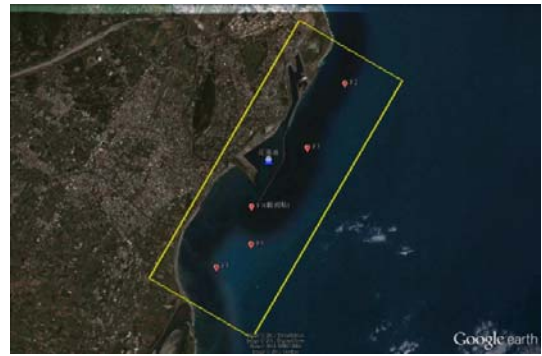
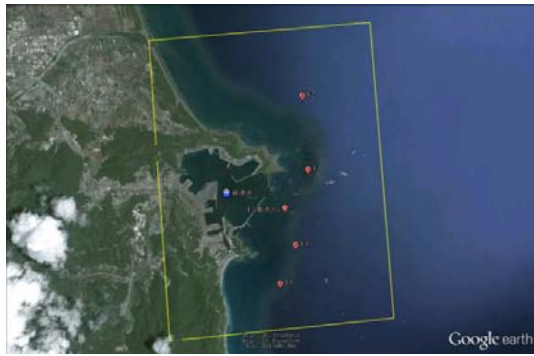
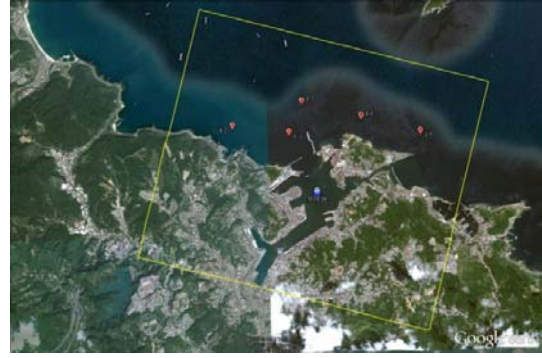


圖 2.17 近岸區域波浪模擬範圍圖

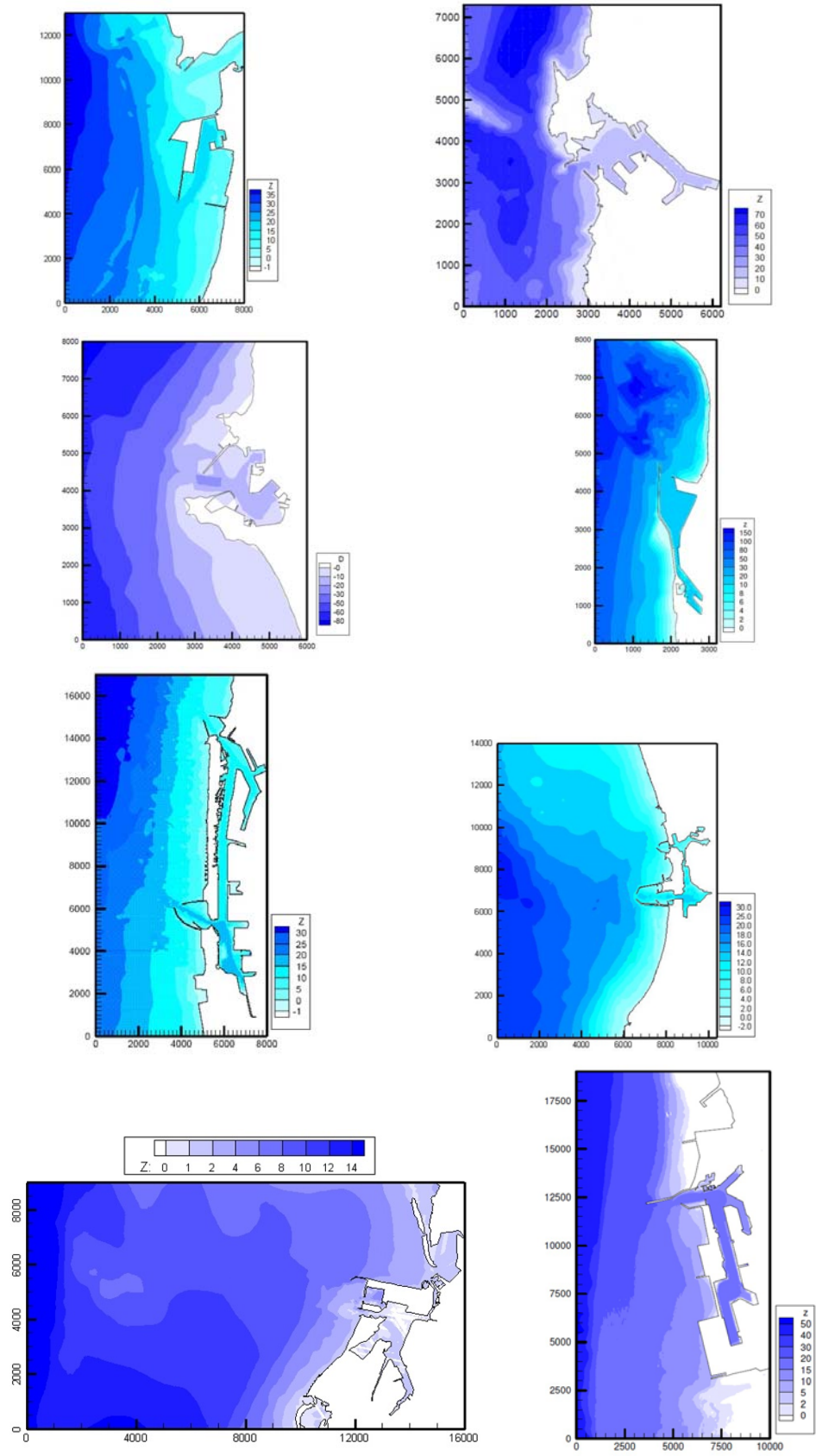


圖 2.18 近岸港區波浪模式地形水深分布圖

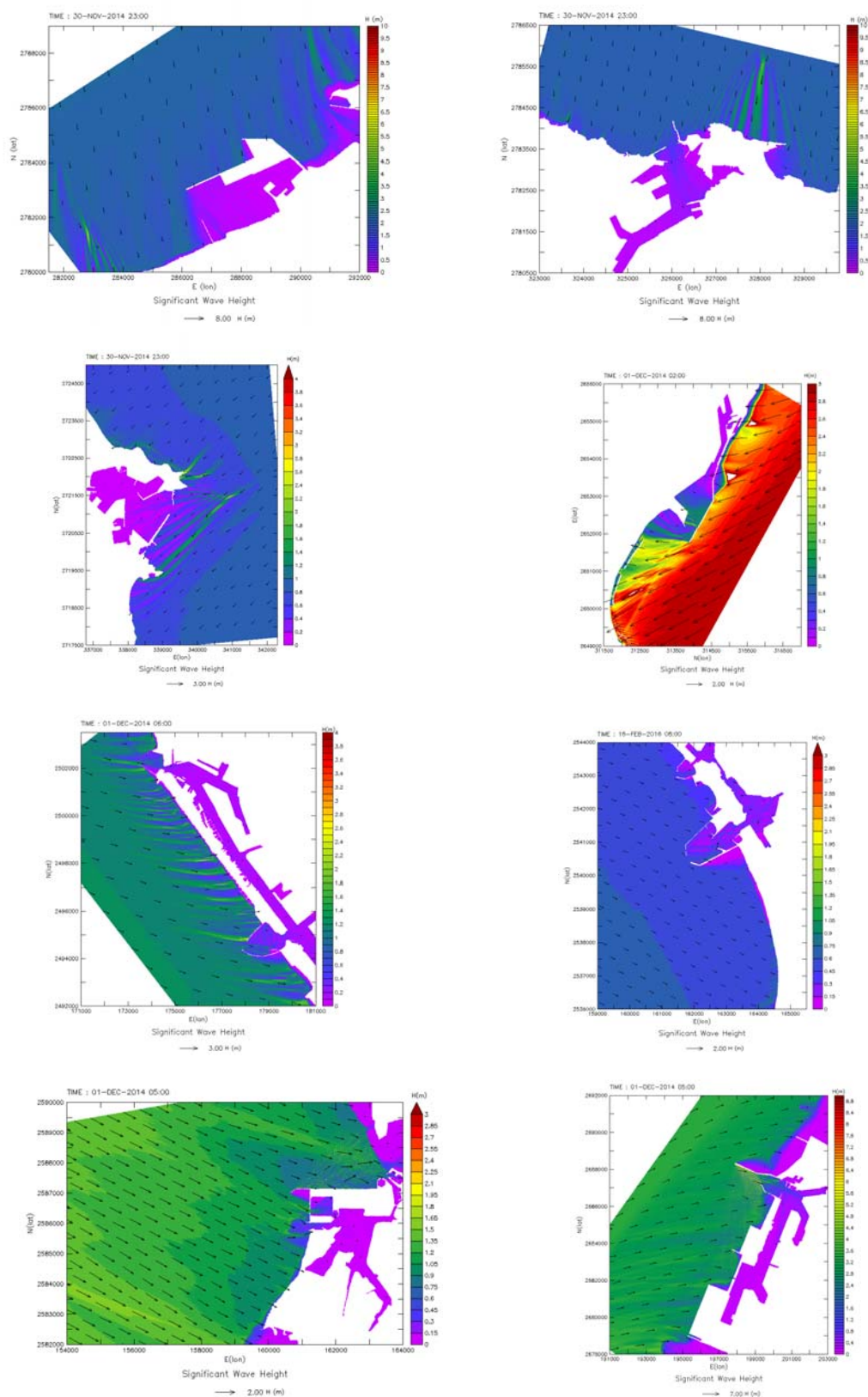


圖 2.19 作業化波高分布圖

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 2-10 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 2.20a~圖 2.20i 所示

表 2-10 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)。

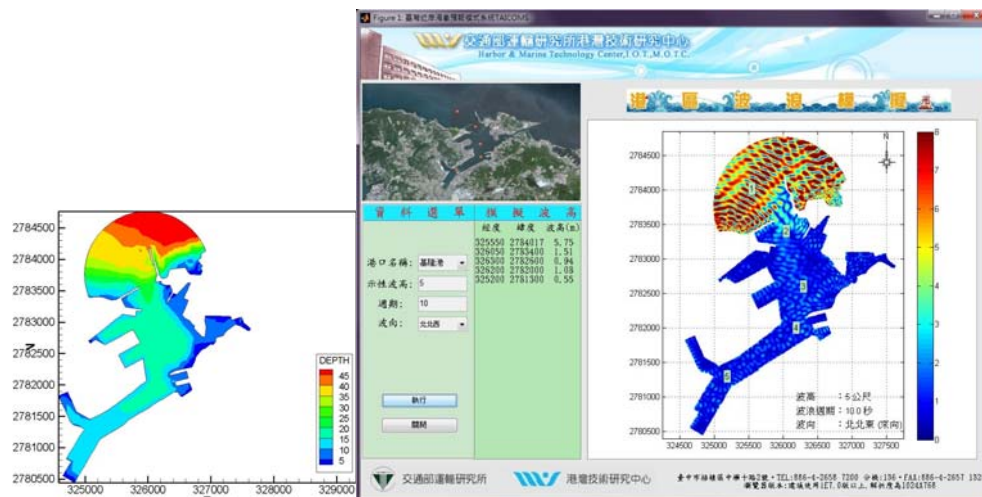


圖 2.20a 基隆港細尺度波浪模組-地形水深分布及展示畫面

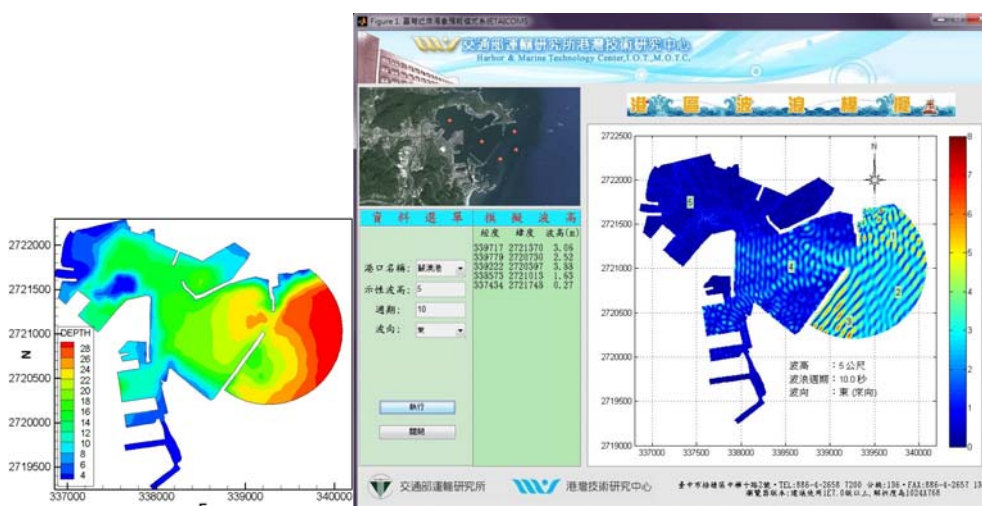


圖 2.20b 蘇澳港細尺度波浪模組-地形水深分布及展示畫面

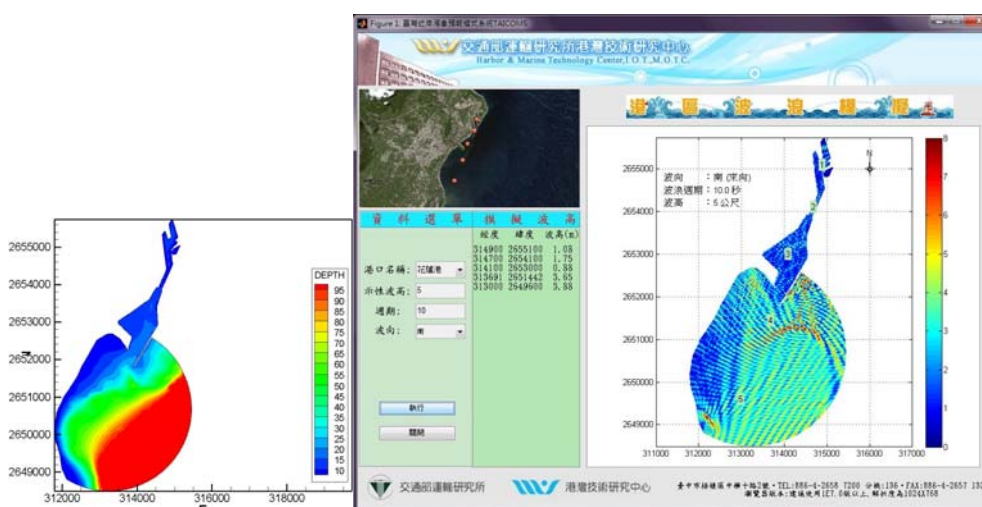


圖 2.20c 花蓮港細尺度波浪模組-地形水深分布及展示畫面

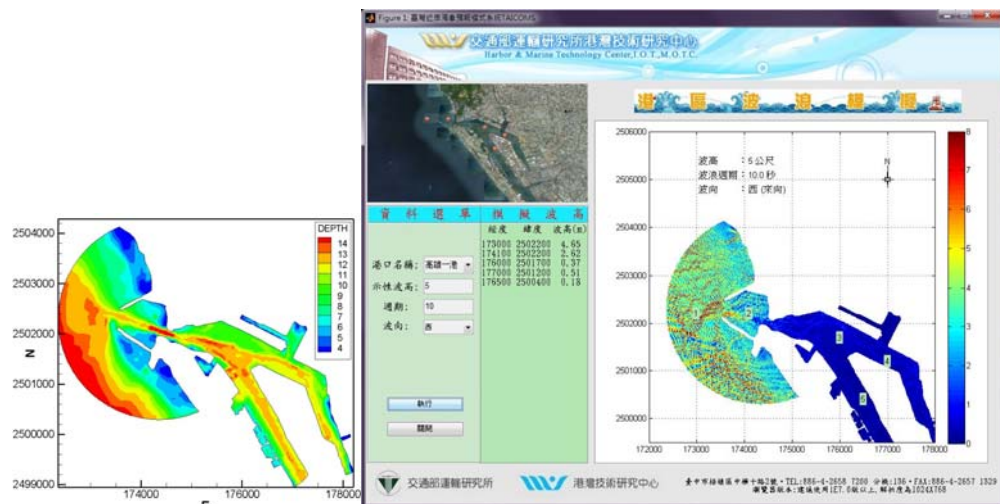


圖 2.20d 高雄一港細尺度波浪模組-地形水深分布及波浪展示畫面

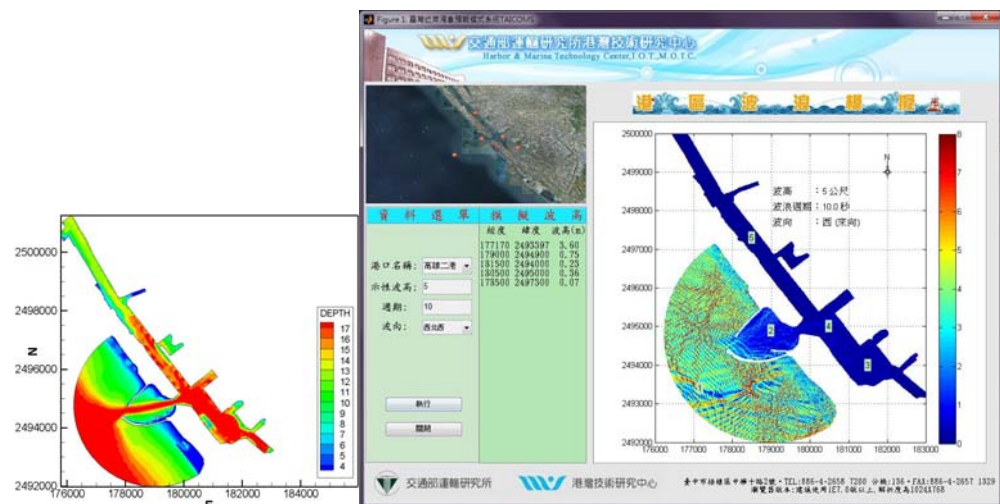


圖 2.20e 高雄二港細尺度波浪模組-地形水深分布及波浪展示畫面

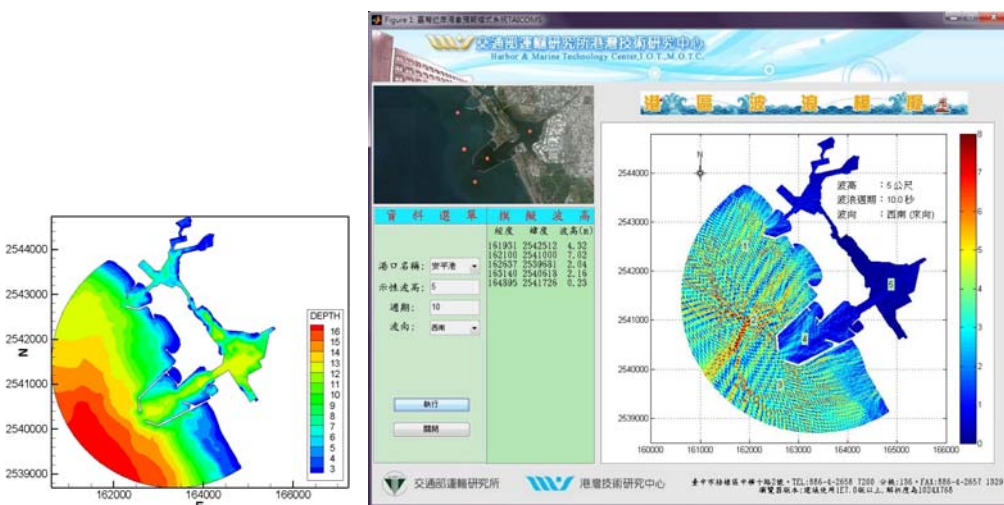


圖 2.20f 安平港細尺度波浪模組-地形水深分布及波浪展示畫面

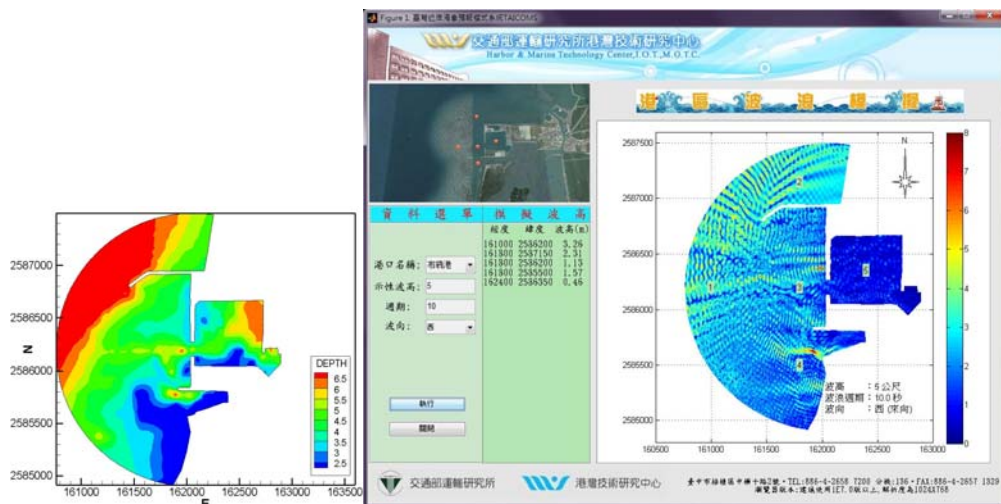


圖 2.20g 布袋港細尺度波浪模組-地形水深分布及波浪展示畫面

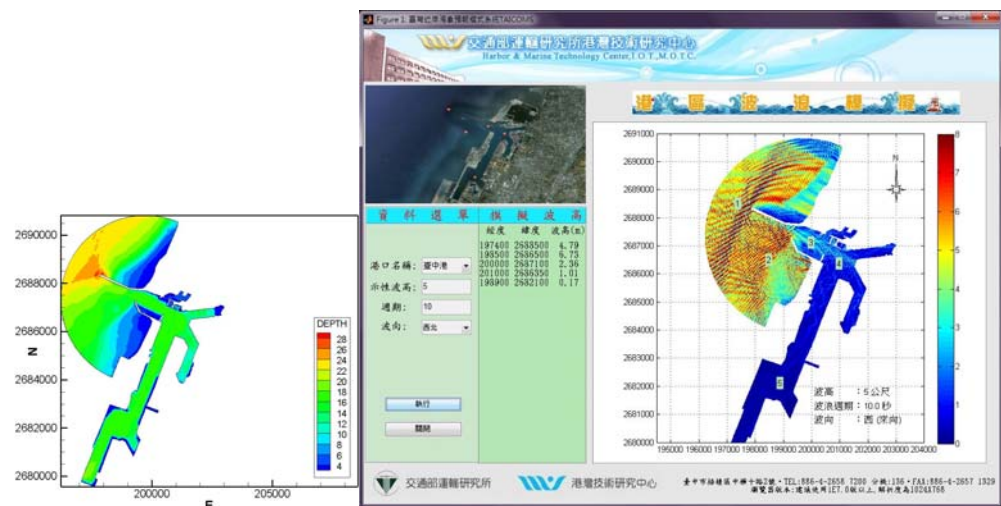


圖 2.20h 臺中港細尺度波浪模組-地形水深分布及波浪展示畫面

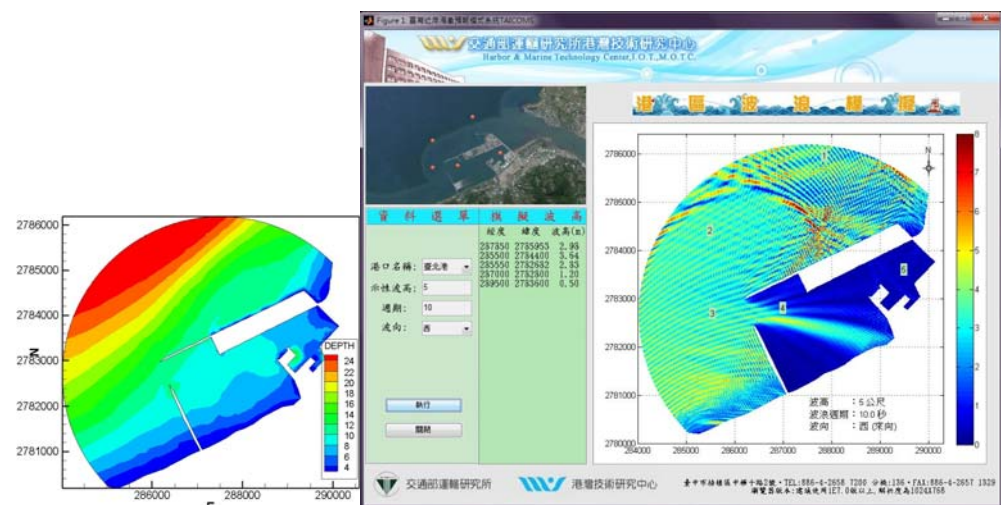


圖 2.20i 臺北港細尺度波浪模組-地形水深分布及波浪展示畫面

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 2.21 所示。

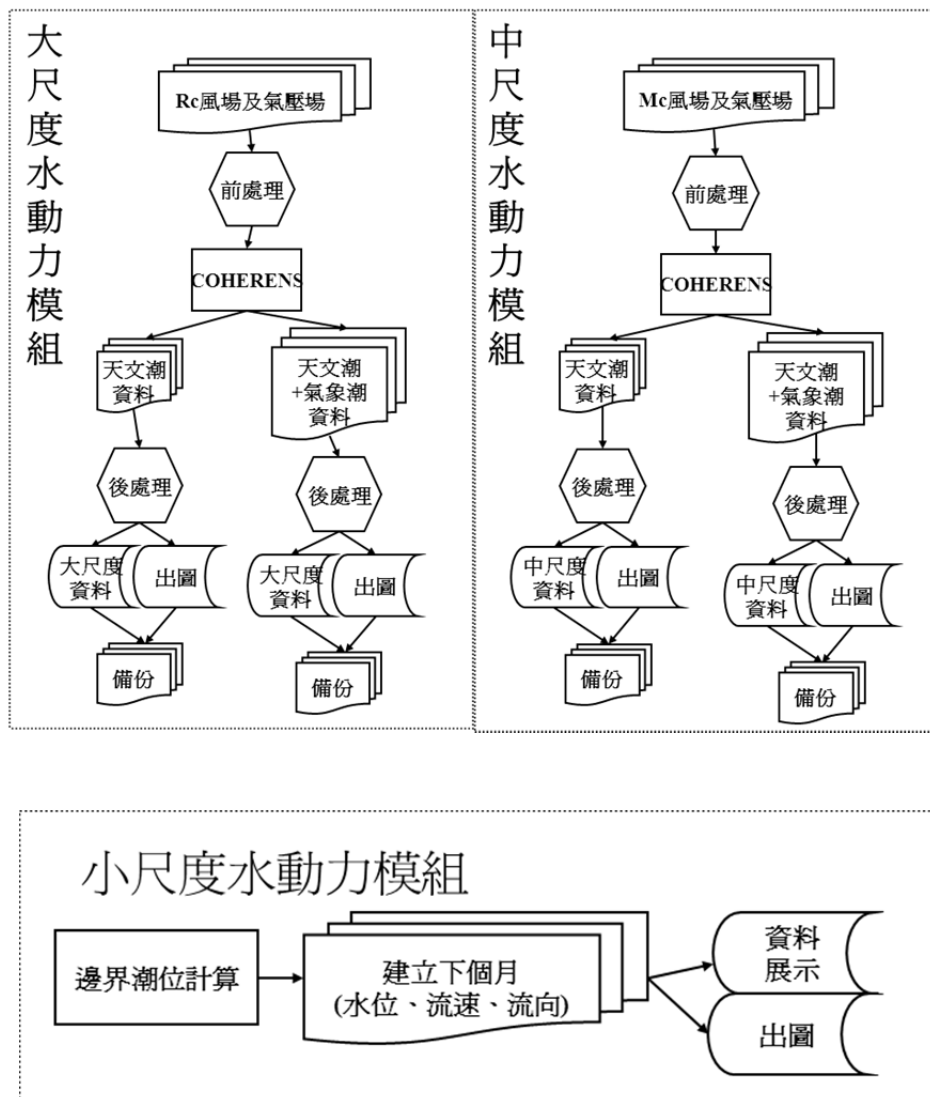


圖 2.21 水動力模擬作業流程圖

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 2.22 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 2.23 及圖 2.24 為作業化模式產生梅姬颱風於 2016 年 9 月 27 日 14 時，大尺度及中尺度水位分布。圖 2.25 及圖 2.26 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。

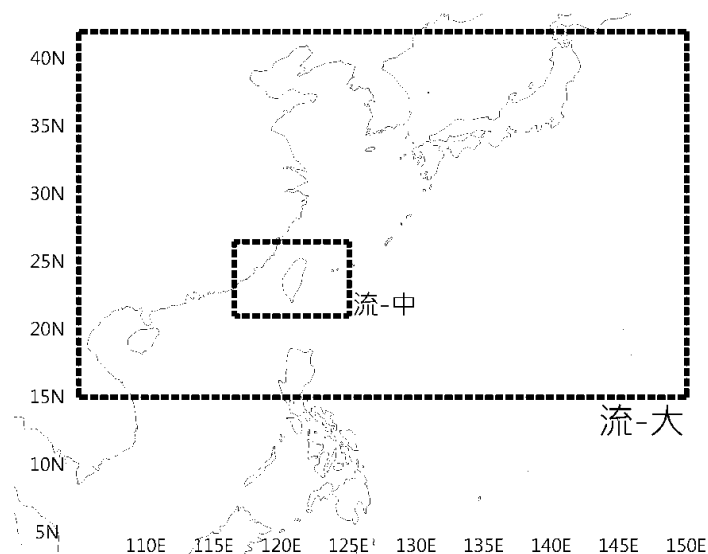
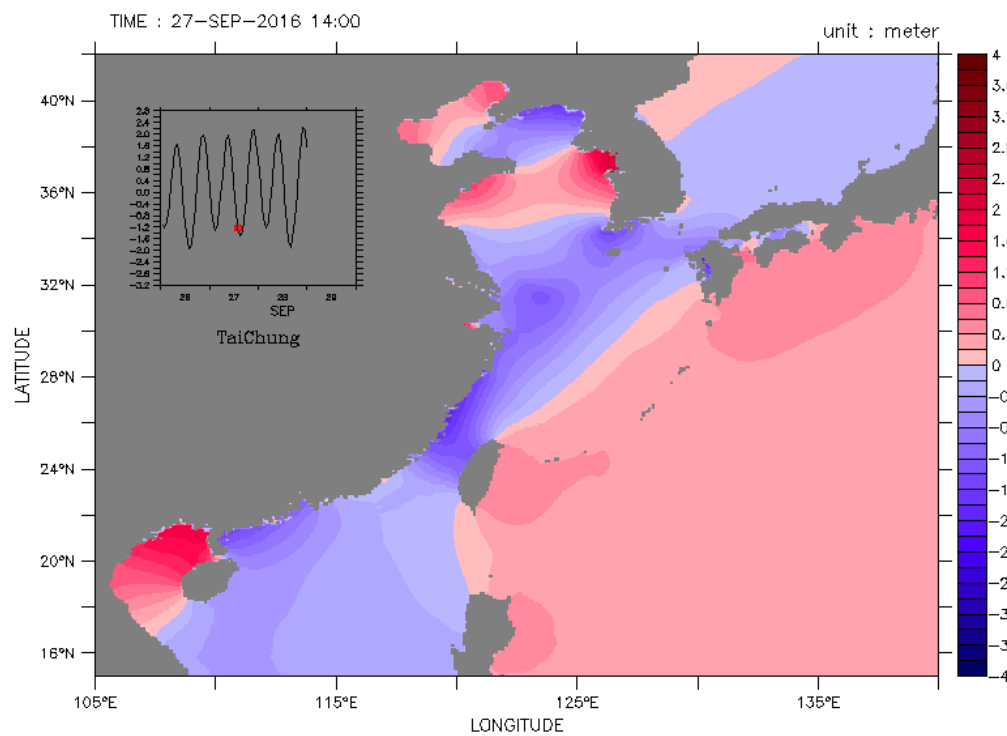
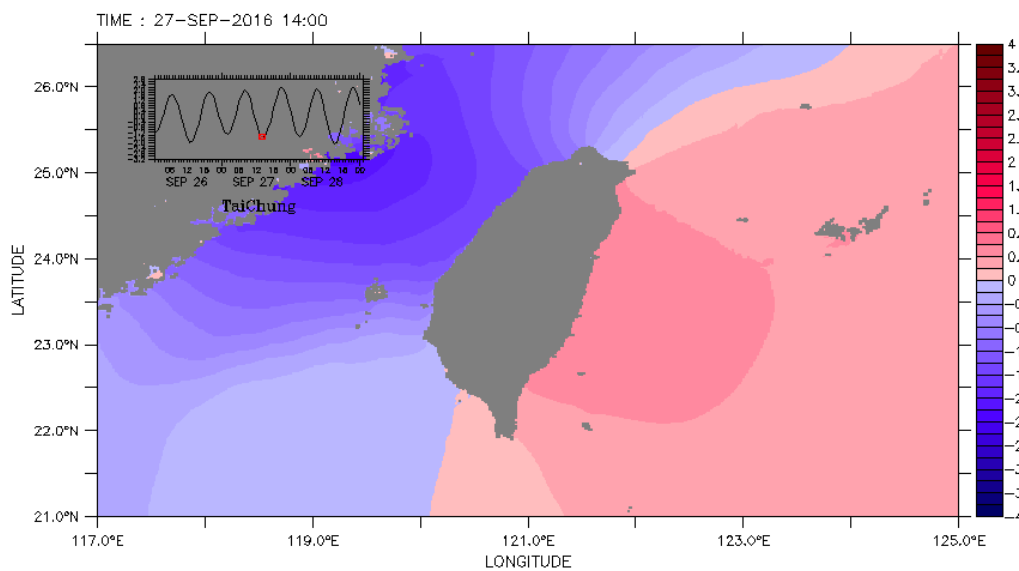


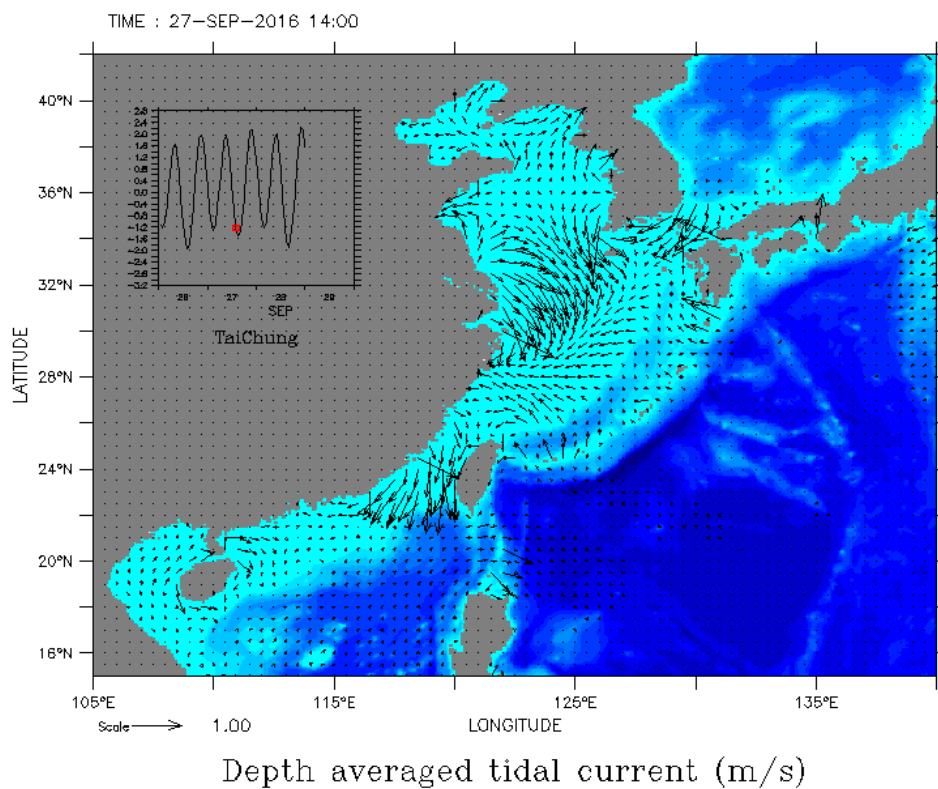
圖 2.22 大尺度及中尺度流場模擬範圍圖



時間：2016 年 9 月 27 日 14 時
圖 2.23 梅姬颱風大尺度水位分布圖

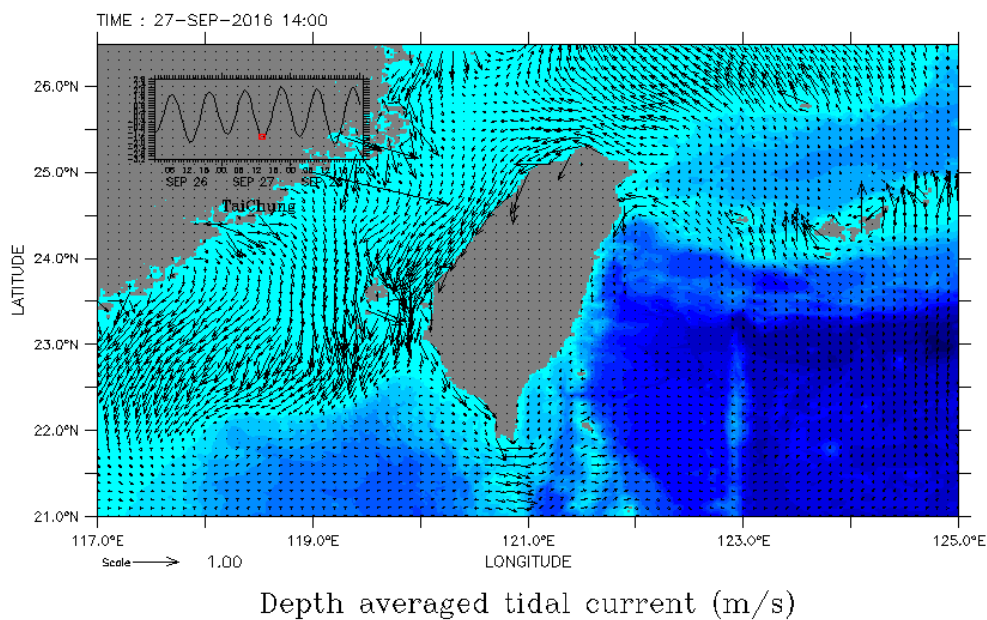


時間：2016 年 9 月 27 日 14 時
圖 2.24 梅姬颱風中尺度水位分布圖



時間：2016 年 9 月 27 日 14 時

圖 2.25 梅姬颱風大尺度流速流向分布圖



時間：2016 年 9 月 27 日 14 時

圖 2.26 梅姬颱風中尺度流速流向分布圖

2.小尺度水動力模組

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

各港區建置參考表 2-11 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 2.27a~h 所示。目前提供港灣環境資訊系統包含 2 維資料圖檔，如圖 2.28 為作業化模式產生梅姬颱風於 2016 年 9 月 27 日 14 時小尺度潮流分布輸出情形。

表 2-11 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，南至高雄市茄荳區興達港北側。	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

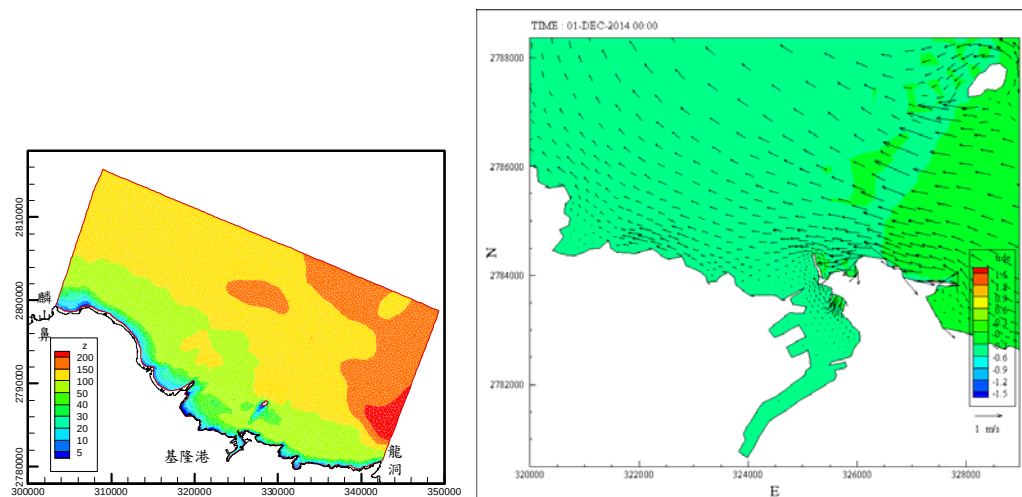


圖 2.27a 基隆港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形

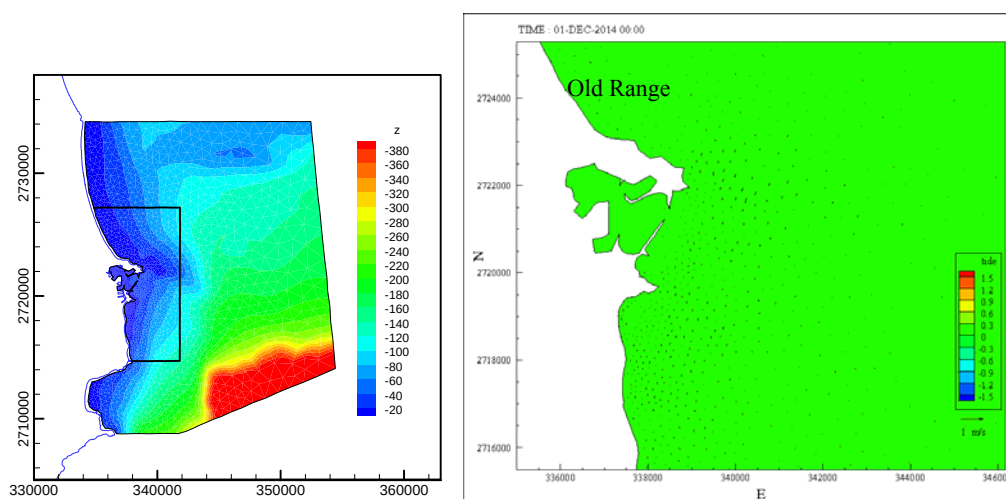


圖 2.27b 蘇澳港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形

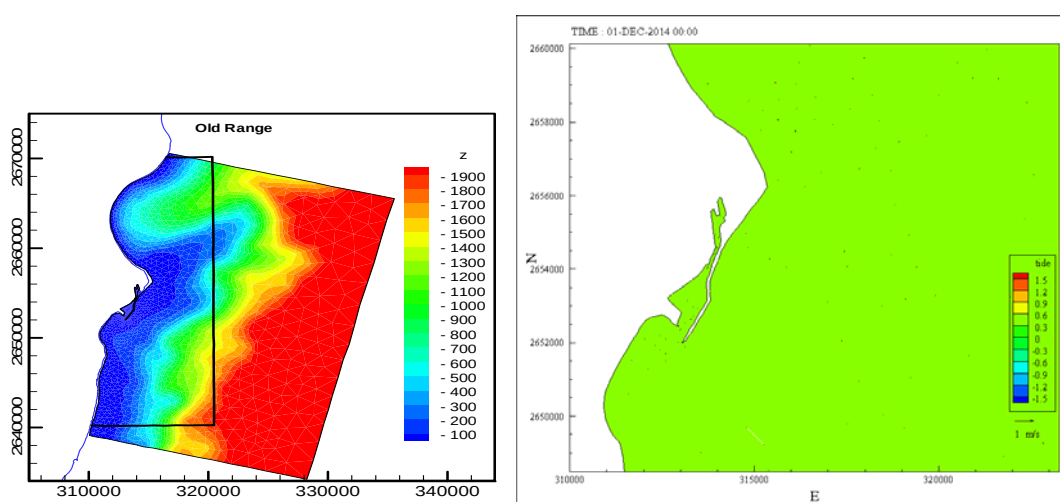


圖 2.27c 花蓮港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形

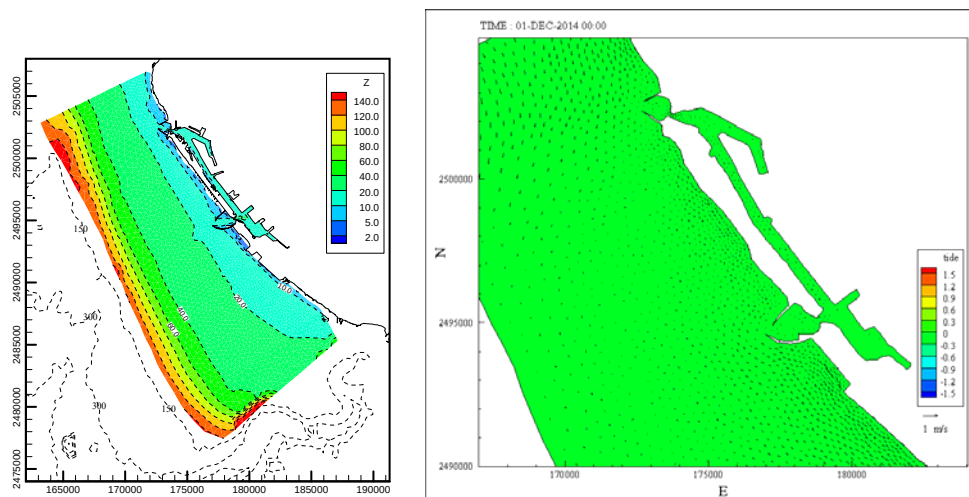


圖 2.27d 高雄港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形

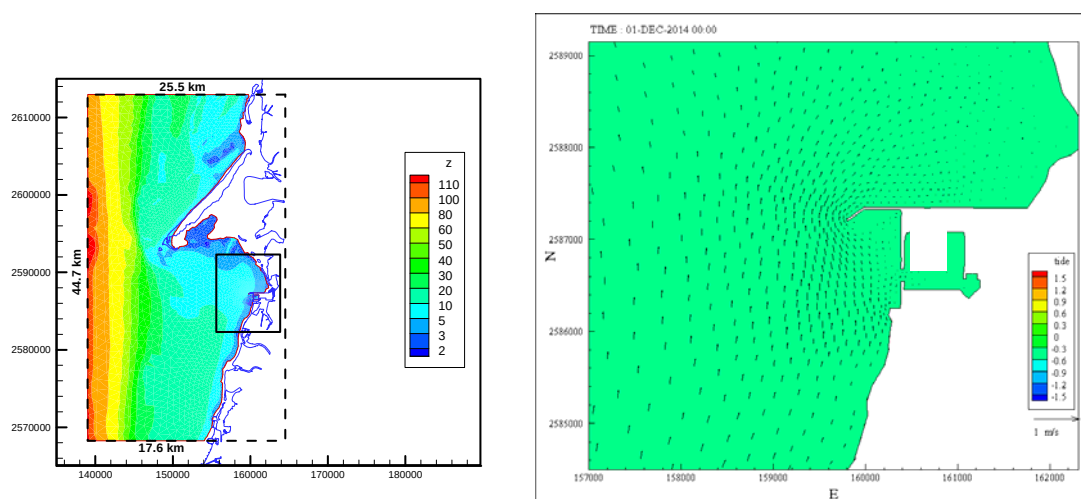


圖 2.27e 布袋港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形

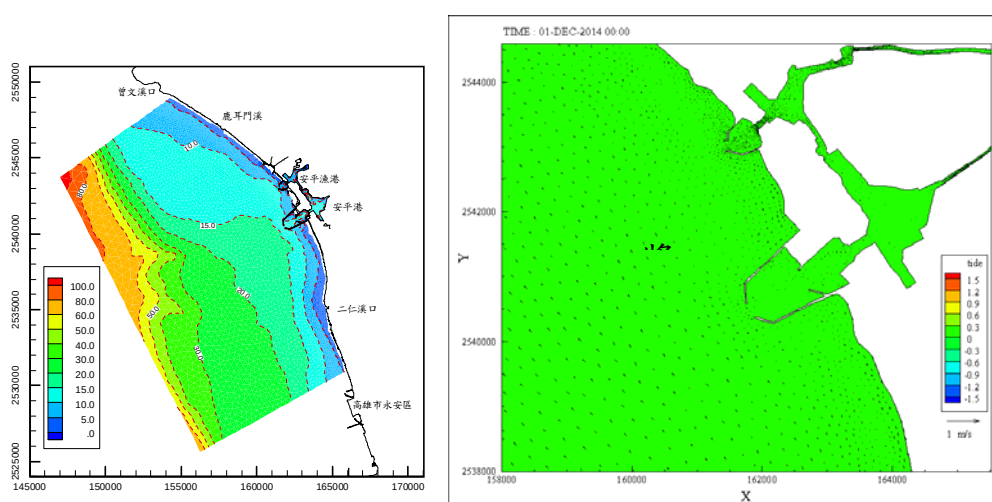


圖 2.27f 安平港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形

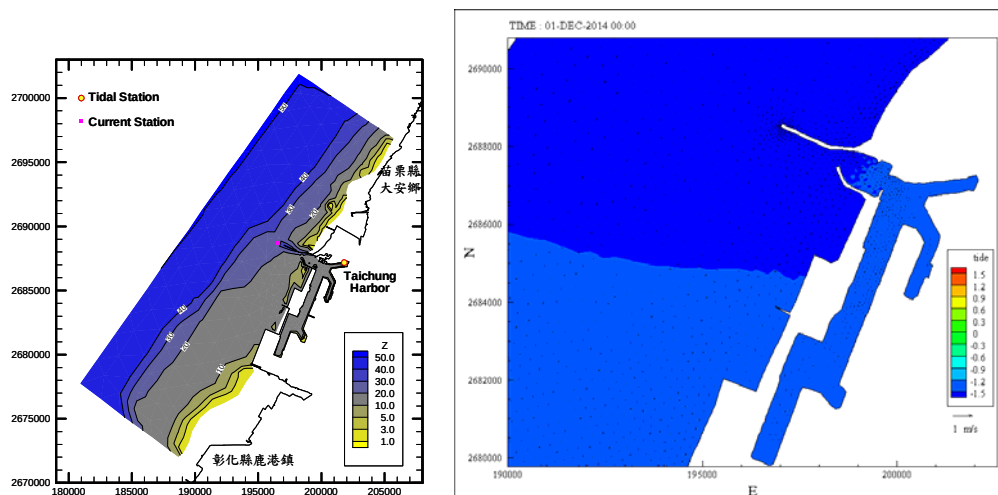


圖 2.27g 臺中港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形

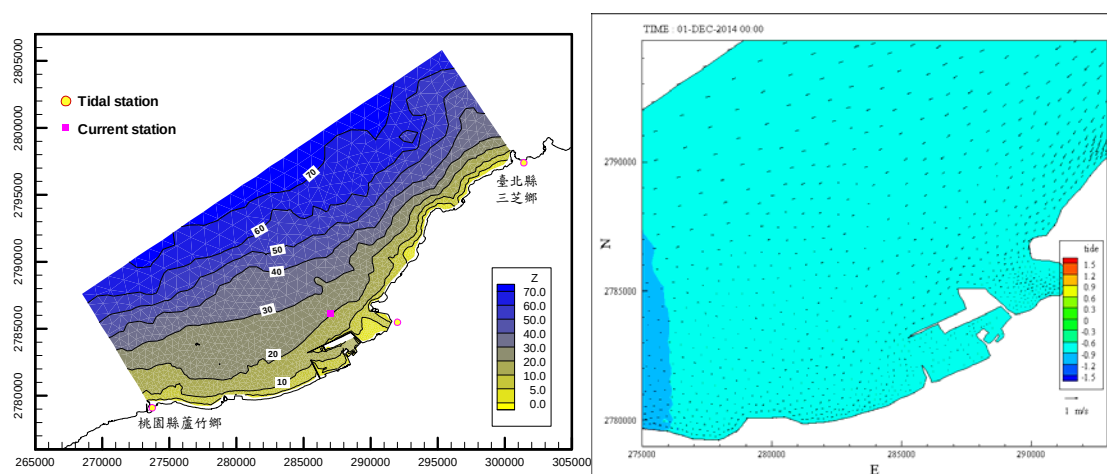
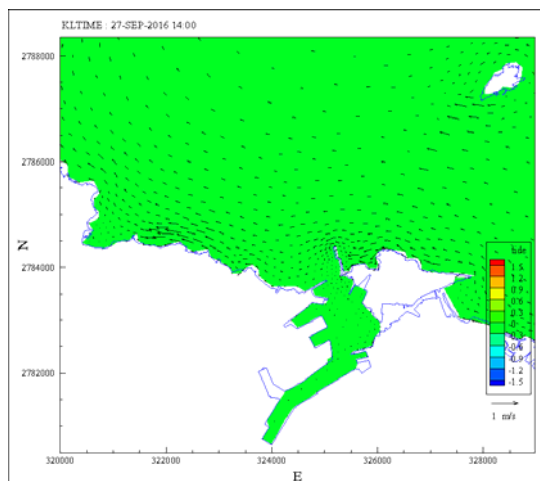
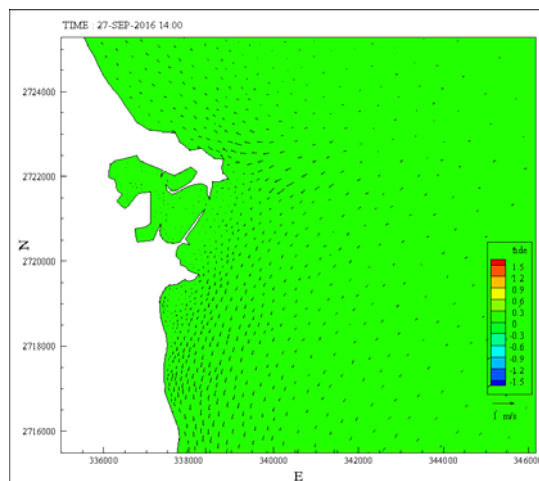


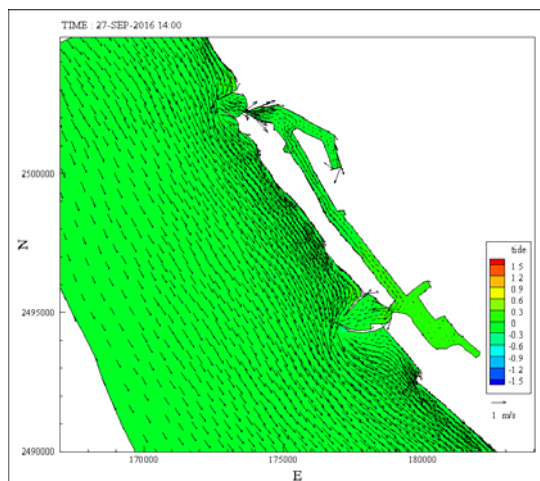
圖 2.27h 臺北港水動力模組-地形水深分布圖與輸出情形



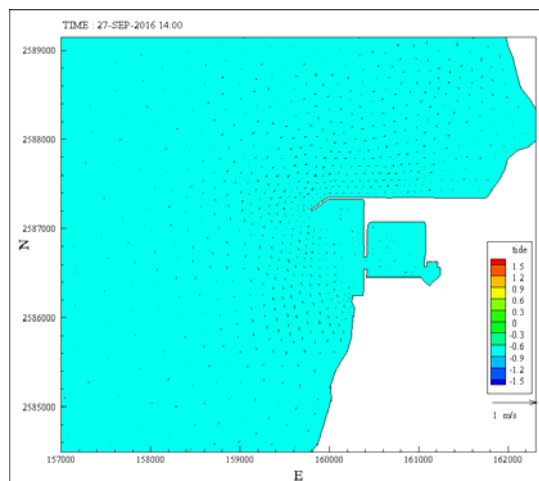
基隆港



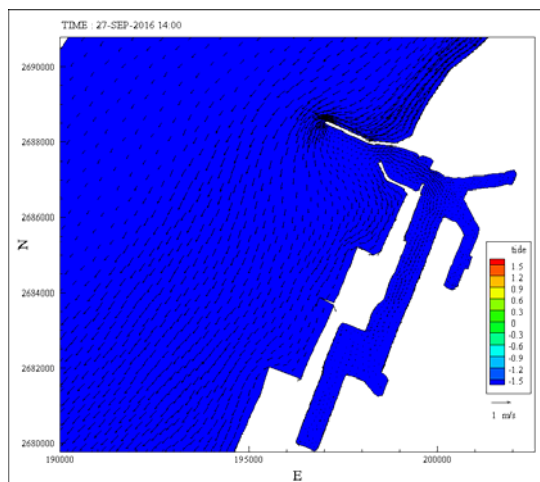
蘇澳港



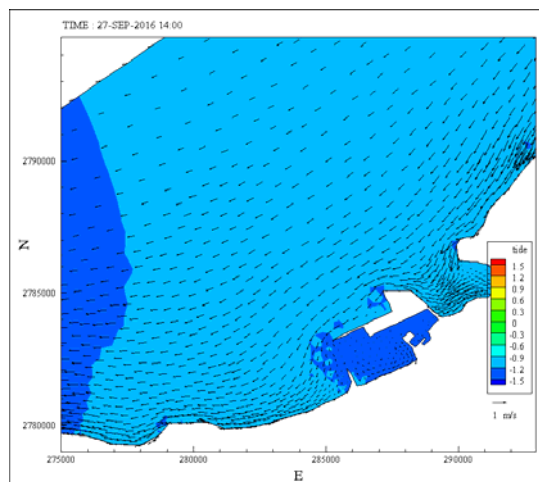
高雄港



布袋港



臺中港



臺北港

圖 2.28 梅姬颱風小尺度水動力模組潮流分布

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 2.29 所示：

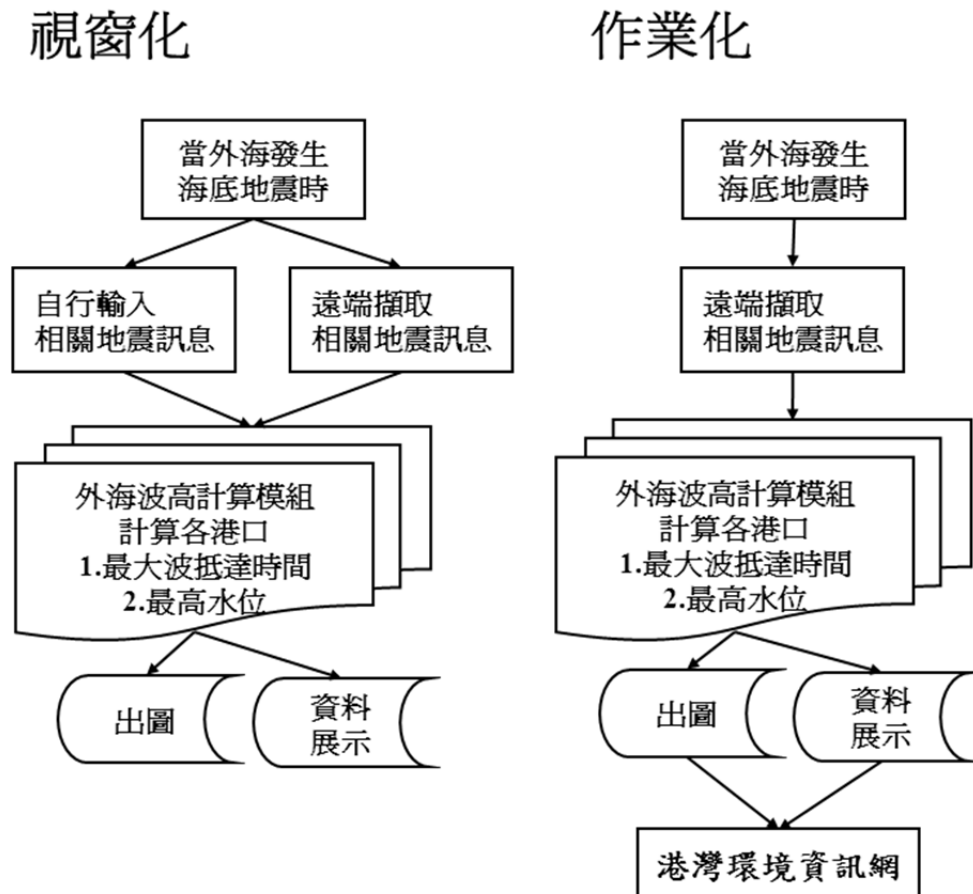


圖 2.29 臺灣國際商港海嘯速算系統流程圖

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 120 GB，8 個港口約要有 1TB 以上空間，但已大幅下降資料量至每港口 25 GB，8 個港口共約 200 GB 資料，圖 2.30 為計算範圍水深地形圖包括整個太平洋地區。

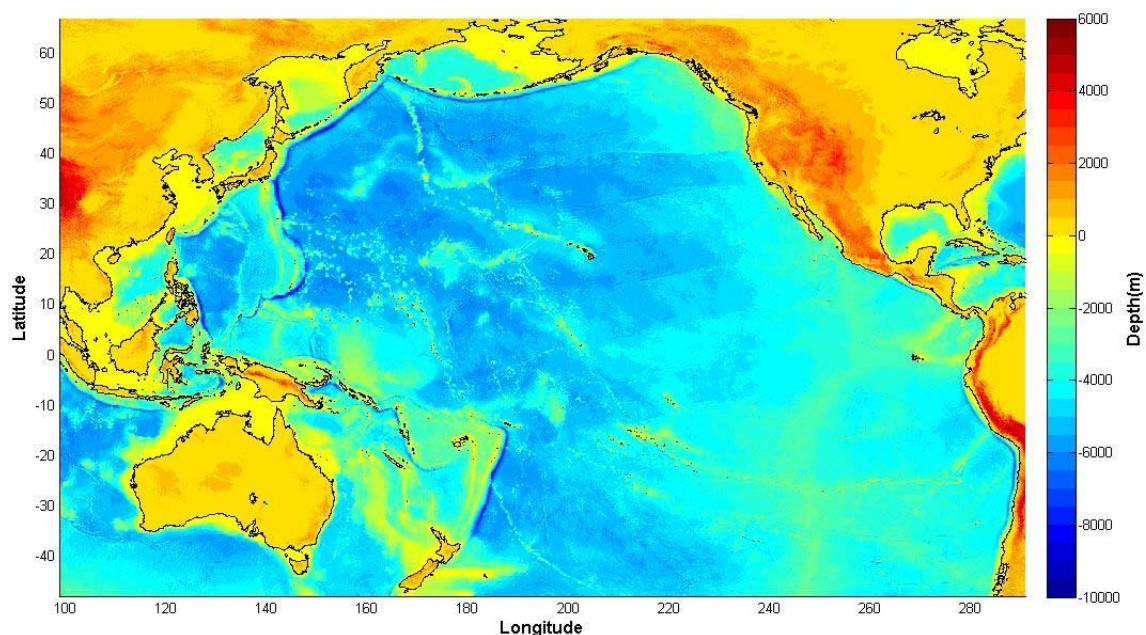


圖 2.30 海嘯系統計算範圍水深地形圖

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 2.31 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 2.32 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 2.33 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 2.34 示。

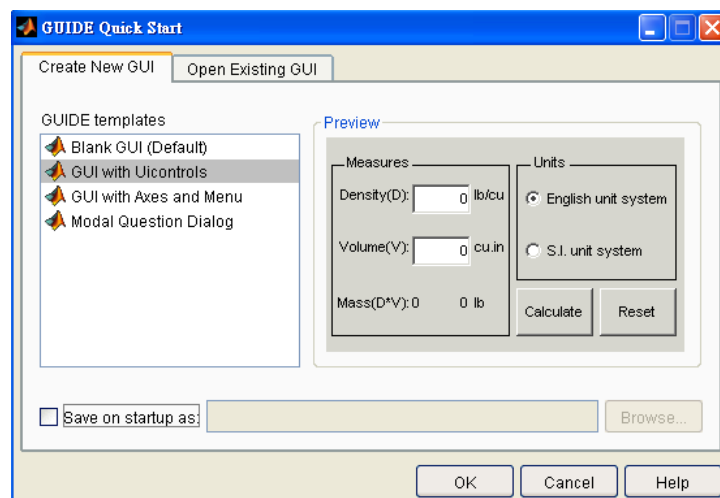


圖 2.31 GUI 程式設計環境

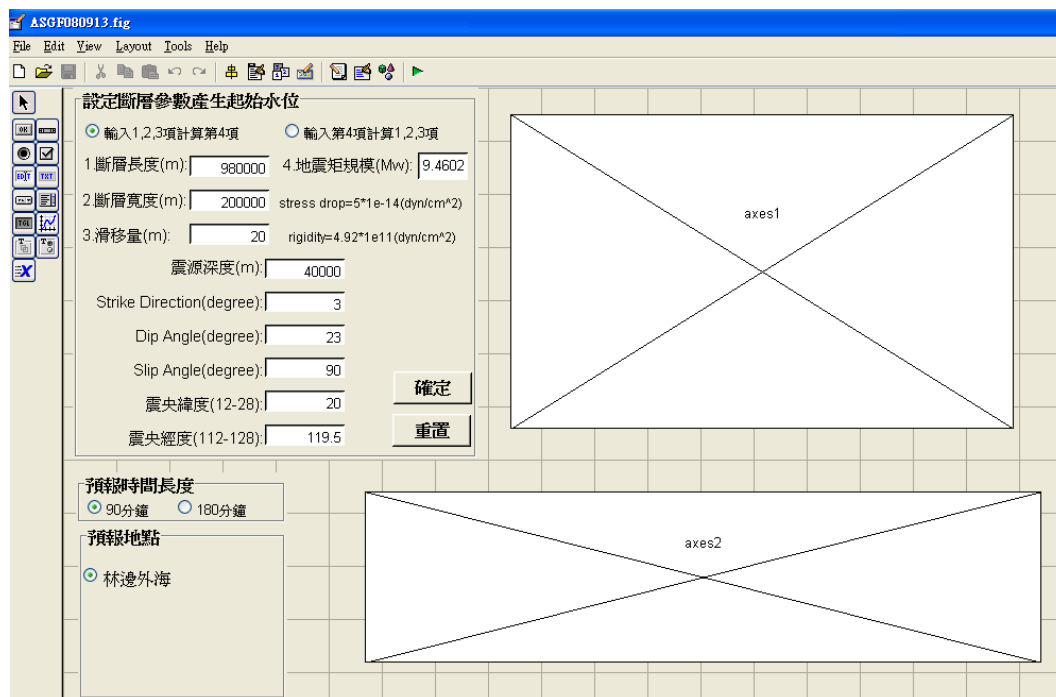


圖 2.32 視窗化操作系統之建立與排版

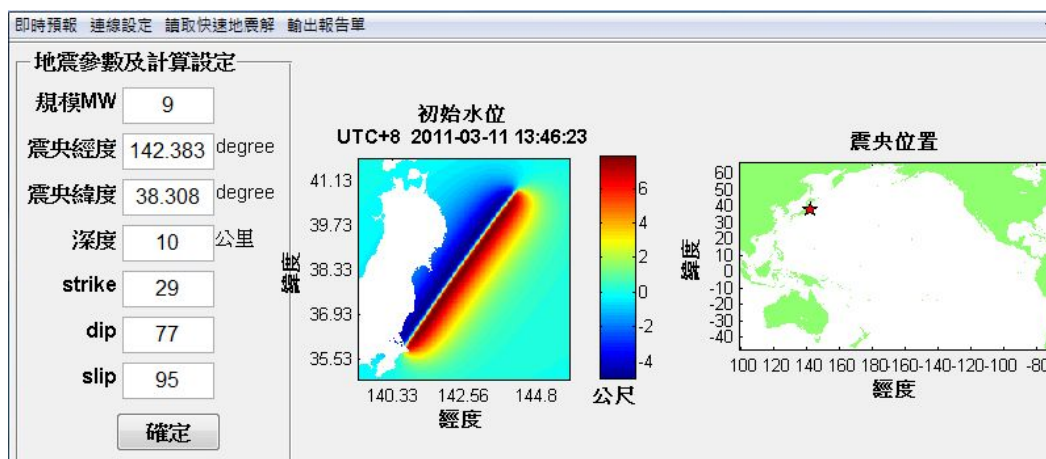


圖 2.33 視窗化介面之編譯完成圖

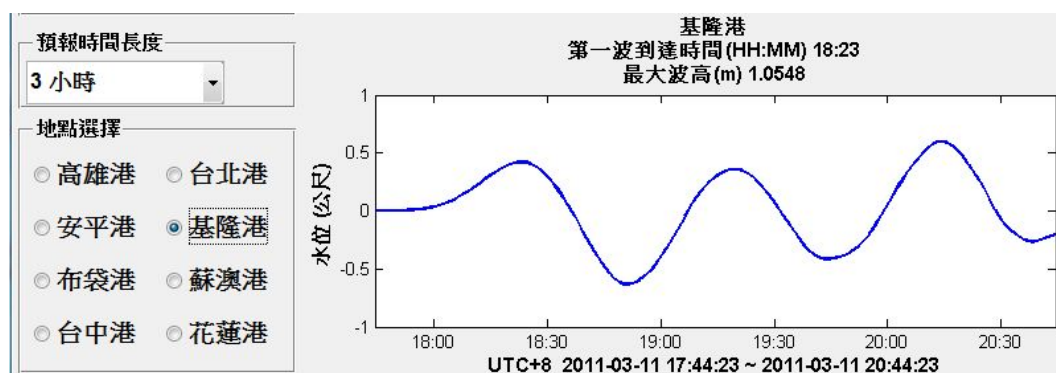


圖 2.34 視窗化介面之計算成果圖

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，與計算初始水位。就地震警報而言，得知地震矩規模較為容易也較為一般人接受；斷層長度等資料由於海底斷層探測比較不易，故斷層尺度之換算通常也經由經驗公式得出，其他之斷層參數(例如走向等)可參考相關網站得知。

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

2.作業化模組

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 2.35)，但其資料擷取約在地震發生後約 1 小時才可遠端擷取。對於震央發生在臺灣周邊海域恐有不及，因此在臺灣區附近(東經 119 度至 123 度，北緯 21 度至 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 2.36 及 2.37 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 2.38)。



圖 2.35 美國 USGS 資料庫

Broadband Array in Taiwan for Seismology

Home
Introduction
Stations
Data Request
BATS CMTs
Waveform Display
People
Publications
Related Links
Contact Us

Last updated: May 8, 2002



- [Recent Taiwan Seismicity for Earthquakes with \$M_w > 3.5\$](#)
- Data release note :
 - [September 20, 1999 Chi-Chi, Taiwan Earthquake Sequence](#)
 - [BATS Station Response \(simple version\)](#)
- [To cite the BATS NEW!](#)
- [Taiwan Earthquake Science Information System \(TESIS\)](#)
- [BATS-Based Focal Mechanisms at TECDC](#)
- [On-line BATS CMT catalog search](#)
- [Subscribe to the BATS Quick CMT report](#)
- 地震海濶球
- [Historic Taiwan CMT Solutions \(1963-1995\)](#)

Data Management Center
Institute of Earth Sciences, Academia Sinica
POB 1-55, Nankang, Taipei 11529, Taiwan

圖 2.36 中研院地科所-台灣地區寬頻地震觀測網

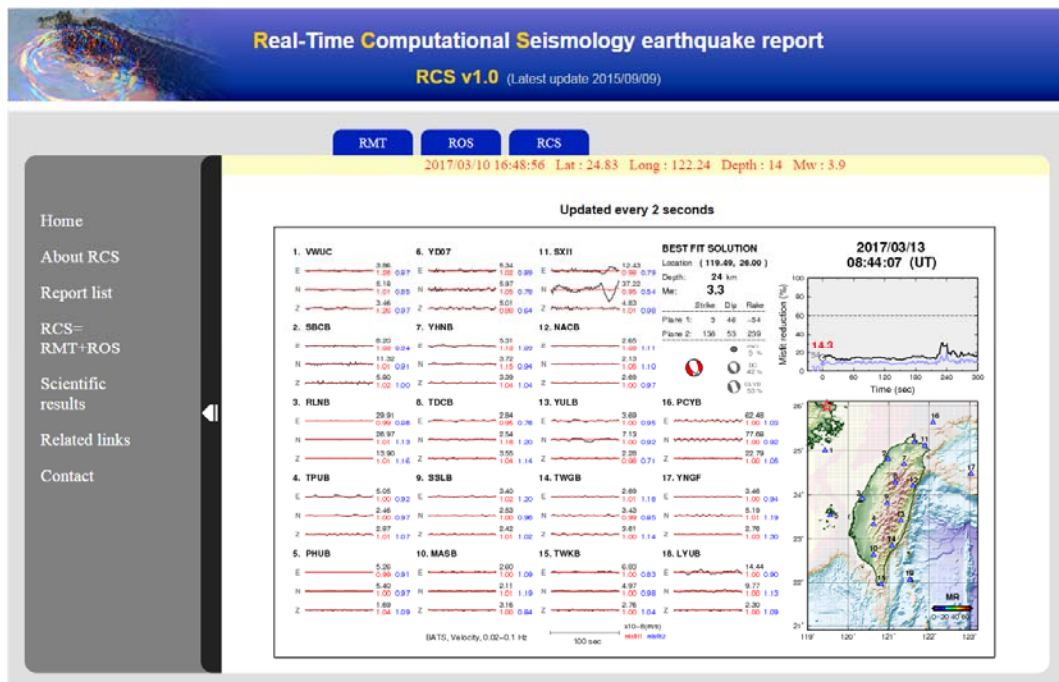


圖 2.37 中研院地科所-即時地震張量監測系統



F-net

Free Wide Area
Broadband Seismograph
Network

F-net HOME

Questions&Comments

User registration

NIED NIED JAPANESE

What is F-net

Station Info

Waveforms

Access Count

Renewal History

Topics

Moment Tensors

Search for Mechanism

FAQ

Retrieval of Waveforms

Earthquake Mechanism Information

[Introduction](#)

[Information](#)

[Publication](#)

[What is Mj?](#)

[Updated](#)

Click MORE for detailed information on each earthquake

Date

2017

03

Show

50

Newest

first

Search

2017/03(UT)

<< Previous

Next >>

Latest month

Showing No.1-27 of 27 results

No	Hypocenter Information Provided by JMA						MT solution				
	Origin Time (UT)	Latitude (°)	Longitude (°)	Region	Depth (km)	Mj	Depth (km)	Mw	Var. Red.		
1	2017/03/13,06:26	40.3	143.5	FAR E OFF SANRIKU	10	4.5	23	4.7	78.21	MORE	
2	2017/03/13,05:13	35.8	141.0	NEAR CHOSHI CITY	30	3.6	35	3.7	66.72	MORE	
3	2017/03/13,00:48	37.1	141.4	E OFF FUKUSHIMA PREF	30	4.4	5	4.0	81.82	MORE	
4	2017/03/12,06:18	37.1	141.4	E OFF FUKUSHIMA PREF	30	4.2	8	3.8	81.12	MORE	
5	2017/03/11,18:49	31.0	130.4	SATSUMA PENINSULA REGION	140	5.1	145	5.3	95.33	MORE	
6	2017/03/11,12:10	31.4	130.6	SATSUMA PENINSULA REGION	10	3.6	20	3.8	90.71	MORE	
7	2017/03/10,22:04	37.2	141.4	E OFF FUKUSHIMA PREF	20	4.0	8	3.8	91.71	MORE	
8	2017/03/10,05:25	39.9	143.2	FAR E OFF SANRIKU	10	4.4	14	4.4	76.55	MORE	
9	2017/03/07,22:11	24.3	122.1	TAIWAN REGION	60	4.6	56	4.6	71.48	MORE	
10	2017/03/07,19:52	39.9	143.2	FAR E OFF SANRIKU	10	4.5	14	4.5	77.96	MORE	

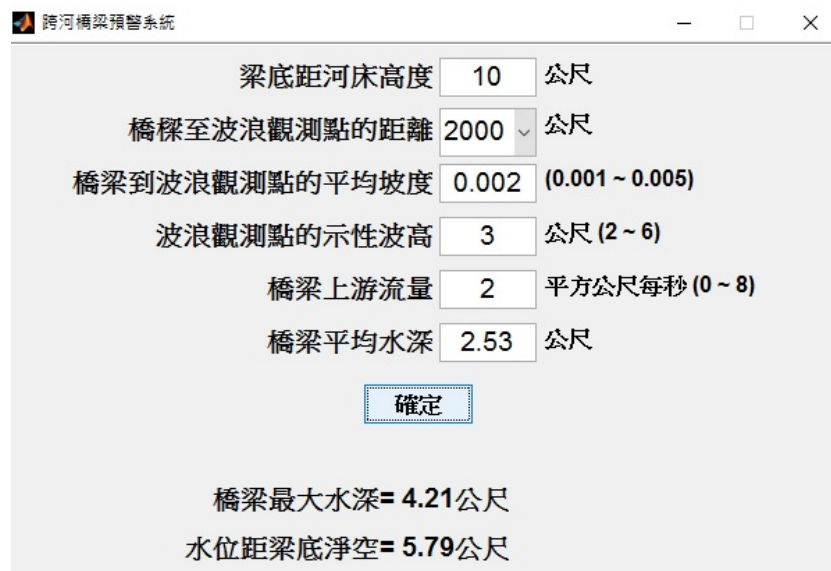
圖 2.38 日本防災科學技術研究所 F-net 即時地震資料

本系統現階段作業情形為每隔 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：EQ20170122123024_Mw80_dep154_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)。105 年度亦配合 USGS 網頁更新及變動，進行部分程式改寫，並已順利持續截取並模擬展示相關資料。

3. 跨河橋梁預警系統視窗化模組

105 年度新增臨海跨河橋梁預警系統，目前初步規劃系統介面如圖 2.39，介面中由上而下所需輸入的參數共有 6 項包括：

- (1) 梁底距河床高度：梁底到乾河床的垂直距離。
- (2) 橋梁至波浪觀測點的距離：提供 1600 到 3100 公尺以及 4500 到 6000 公尺兩種區間範圍可選擇，區間間距皆為 100 公尺。
- (3) 橋梁到波浪觀測點的平均坡度：當第 2 項的區間為 1600 到 3100 公尺時，坡度可輸入範圍為 0.001 到 0.005。區間為 4500 到 6000 公尺時，坡度可輸入範圍為 0.001 到 0.003。
- (4) 波浪觀測點的示性波高：當第 2 項的區間為 1600 到 3100 公尺時，波高可輸入範圍為 2 到 6 公尺。區間為 4500 到 6000 公尺時，坡度可輸入範圍為 2 到 4 公尺。
- (5) 橋梁流量：流速對深度的積分，可輸入範圍為 0~8 平方公尺每秒。
- (6) 橋梁平均水深。



The screenshot displays the '跨河橋梁預警系統' (Cross-River Bridge Early Warning System) window. It contains the following input fields and values:

Parameter	Value	Unit / Range
梁底距河床高度	10	公尺
橋樑至波浪觀測點的距離	2000	公尺 (dropdown menu)
橋樑到波浪觀測點的平均坡度	0.002	(0.001 ~ 0.005)
波浪觀測點的示性波高	3	公尺 (2 ~ 6)
橋樑上游流量	2	平方公尺每秒 (0 ~ 8)
橋樑平均水深	2.53	公尺

Below the input fields is a '確定' (Confirm) button. At the bottom, the system calculates and displays:

- 橋樑最大水深 = 4.21 公尺
- 水位距梁底淨空 = 5.79 公尺

圖 2.39 跨河橋梁預警系統的使用介面

當上述的 6 個參數輸入後，可由系統介面輸出 2 項數值如下：

- (1) 橋梁最大水深。
- (2) 水位距梁底淨空橋梁。

其中第 1 項為水位高程扣除地形高程的值，根據 440 個情境模擬計算的最大水深進行線性內插而得(如表 2-12 和表 2-13)。而第 2 項為梁底距河床高度扣除橋梁最大水深的結果。在此可利用第 2 項的水位距梁底淨空橋梁作為是否影響橋梁通行安全的考量。例如參考民國 100 年的交通部公路總局封橋封路標準作業程序，在非重點監控的橋樑部分，將警戒水位設定為距梁底淨空 1.5 公尺，而封橋水位設定為距梁底淨空 1.0 公尺。而重點監控的橋樑雖需考量上游雨量以及現場狀況來制定警戒和封橋水位，第 2 項的值仍可作為一個參考。

表 2-12 情境模擬坡度 0.001 到 0.003 在座標 X=2000 m 的最大水深

入射 波高 (m)	流量 (m ² /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		1.5	2	3	4	3	4	5	6	4.5	6	7.5	9
2	0	0.00	0.12	1.40	2.81	0.00	0.34	1.90	3.67	0.00	0.71	3.13	5.46
	-2	1.24	1.19	1.80	3.02	0.95	1.08	3.01	4.17	0.96	1.21	3.56	5.28
	-4	1.78	1.75	2.15	3.26	1.42	1.47	3.78	4.81	1.37	1.88	4.31	5.51
	-6	2.22	2.17	2.52	3.35	1.78	1.82	4.66	5.17	1.60	3.05	4.80	5.87
	-8	2.62	2.55	2.88	3.68	2.13	2.14	5.25	5.73	1.83	4.23	5.56	6.42
3	0		0.15	1.41	2.95	0.00	0.35	1.97	3.54	0.00	0.61	3.44	5.50
	-2		1.22	1.84	3.17	0.95	1.09	2.86	4.21	0.96	1.43	3.53	5.60
	-4		1.77	2.21	3.31	1.42	1.49	2.60	4.62	1.37	1.95	4.34	6.03
	-6		2.20	2.60	3.48	1.78	1.84	2.92	5.18	1.60	3.33	4.90	6.29
	-8		2.58	2.94	3.71	2.13	2.14	3.13	5.78	1.83	4.17	5.57	6.78
4	0			1.46	3.12	0.00	0.38	1.82	3.30	0.00	0.62	3.15	5.62
	-2			1.95	3.21	0.95	1.21	3.13	3.84	0.95	1.50	3.74	5.59
	-4			2.29	3.33	1.42	1.57	2.74	4.63	1.37	2.16	4.46	6.02
	-6			2.67	3.48	1.78	1.87	3.44	5.19	1.60	3.54	4.94	6.44
	-8			3.00	3.74	2.14	2.15	3.19	5.68	1.83	4.30	5.70	6.78
5	0				2.96		0.45	1.85	3.45	0.00	0.66	3.29	5.85
	-2				3.30		1.31	2.81	3.97	0.95	1.69	3.82	5.62
	-4				3.49		1.71	2.87	4.80	1.37	2.54	4.49	5.99
	-6				3.63		1.92	3.07	5.26	1.60	3.72	4.87	6.42
	-8				3.83		2.22	3.16	5.92	1.83	4.51	5.60	6.81
6	0						0.54	1.93	3.78	0.00	0.69	3.23	5.26
	-2						1.41	2.84	3.92	0.95	2.16	3.73	5.09
	-4						1.76	3.01	4.47	1.37	2.54	4.55	5.98
	-6						2.02	3.33	5.20	1.61	3.82	5.03	6.33
	-8						2.27	3.49	5.91	1.83	4.59	5.67	6.73

單位：m

表 2-13 情境模擬坡度 0.004 到 0.005 在座標 X=2000 m 的最大水深

入射波高(m)	流量 (m ² /s)	坡度 0.004				坡度 0.005			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		6	8	10	12	7.5	10	12.5	15
2	0	0.00	0.96	3.96	6.54	0.00	1.18	5.00	7.26
	-2	0.94	1.42	4.20	6.37	0.95	1.82	4.82	7.42
	-4	1.29	2.07	4.77	6.58	1.12	2.34	5.31	7.71
	-6	1.46	2.88	5.35	6.90	1.42	2.63	5.70	7.70
	-8	1.67	4.37	5.75	7.07	1.65	4.11	6.23	8.12
3	0	0.00	1.08	4.51	7.27	0.00	1.43	5.33	8.53
	-2	0.95	1.41	4.42	6.96	0.96	1.88	4.91	7.97
	-4	1.29	2.12	5.15	7.31	1.12	2.31	5.62	8.24
	-6	1.46	3.42	5.44	7.72	1.41	3.28	5.89	8.79
	-8	1.67	4.64	5.92	7.62	1.65	4.40	6.34	8.71
4	0	0.00	1.12	4.62	7.34	0.00	1.26	5.94	9.04
	-2	0.95	1.89	4.18	7.19	0.95	1.63	4.85	8.48
	-4	1.29	2.36	4.95	7.23	1.12	1.99	5.81	8.52
	-6	1.46	3.65	5.53	7.42	1.42	3.39	5.95	8.93
	-8	1.67	4.53	5.99	7.80	1.65	4.51	6.62	9.18
5	0	0.00	0.96	4.79	7.07	0.00	1.52	5.63	8.72
	-2	0.95	1.85	4.48	6.79	0.95	2.04	4.99	8.99
	-4	1.29	2.25	4.99	7.01	1.12	2.32	5.39	8.93
	-6	1.47	3.81	5.56	7.36	1.41	3.40	5.94	8.82
	-8	1.67	4.63	5.98	7.70	1.65	4.29	6.52	9.11
6	0	0.00	1.04	4.45	7.49	0.00	1.61	6.12	9.01
	-2	0.95	1.84	4.46	6.92	0.94	2.05	4.82	8.60
	-4	1.29	2.21	5.00	7.11	1.12	2.65	5.59	8.48
	-6	1.46	3.20	5.45	7.50	1.41	3.52	5.98	8.68
	-8	1.67	4.80	6.19	7.77	1.65	4.47	6.50	8.85

單位：m

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、金門、馬祖及綠島等 12 個主要港口，其地理位置如圖 2.37 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。季節區分 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 2.38~圖 2.49 所示，各測站歷年觀測風資料蒐集概況如表 2-14。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 2.38~圖 2.49 所示，同樣歷年觀測風資料蒐集概況如表 2-14。

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、金門、馬祖及綠島等 12 個主要港口，安裝以 NORTEK 剖面海流、表面波浪與潮汐監測為主之波潮流儀 AWCP(AWAC)，各港安裝位置圖 2.38~圖 2.49 所示，各測站歷年觀測波浪資料蒐集概況如表 2-15。

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、金門、馬祖及綠島等 12 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為主之波潮流儀 AWCP(AWAC)，各測站歷年觀測潮汐資料蒐集概況如表 2-16。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 2.40~圖 2.52 所示，同樣歷年觀測潮汐資料蒐集概況如表 2-16。

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、金門、馬祖及綠島等 12 個主要港口，安裝以 NORTEK 剖面海流、表面波浪與潮汐監測為主之波潮流儀 AWCP(AWAC)，各港安裝位置如圖 2.40~圖 2.52 所示，各測站歷年觀測波浪資料蒐集概況如表 2-17。

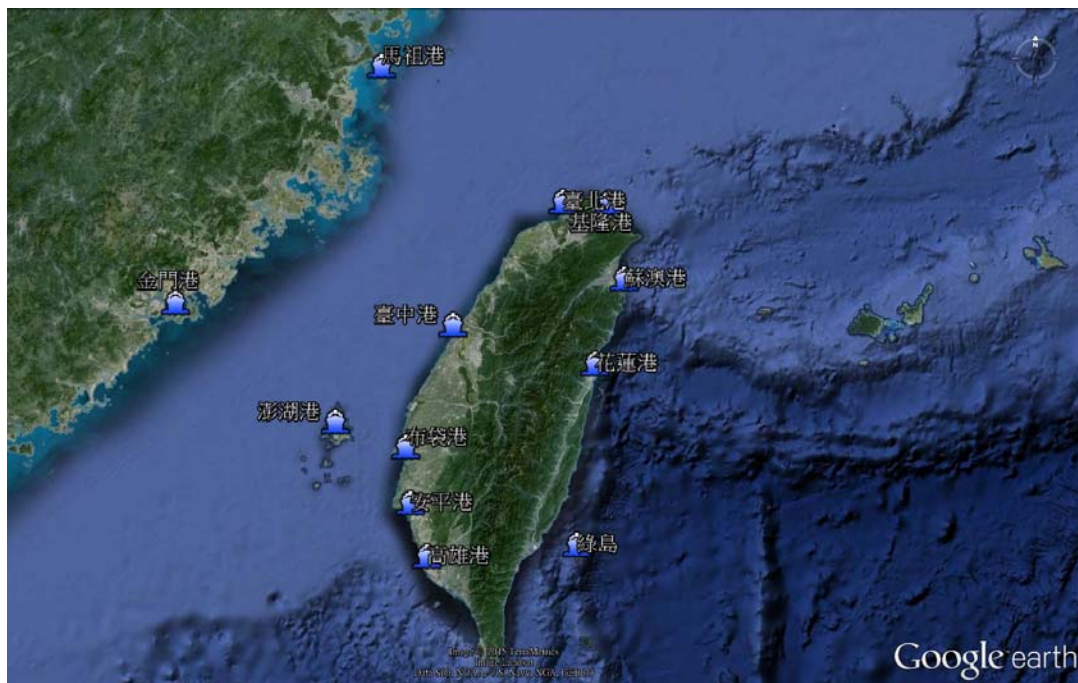
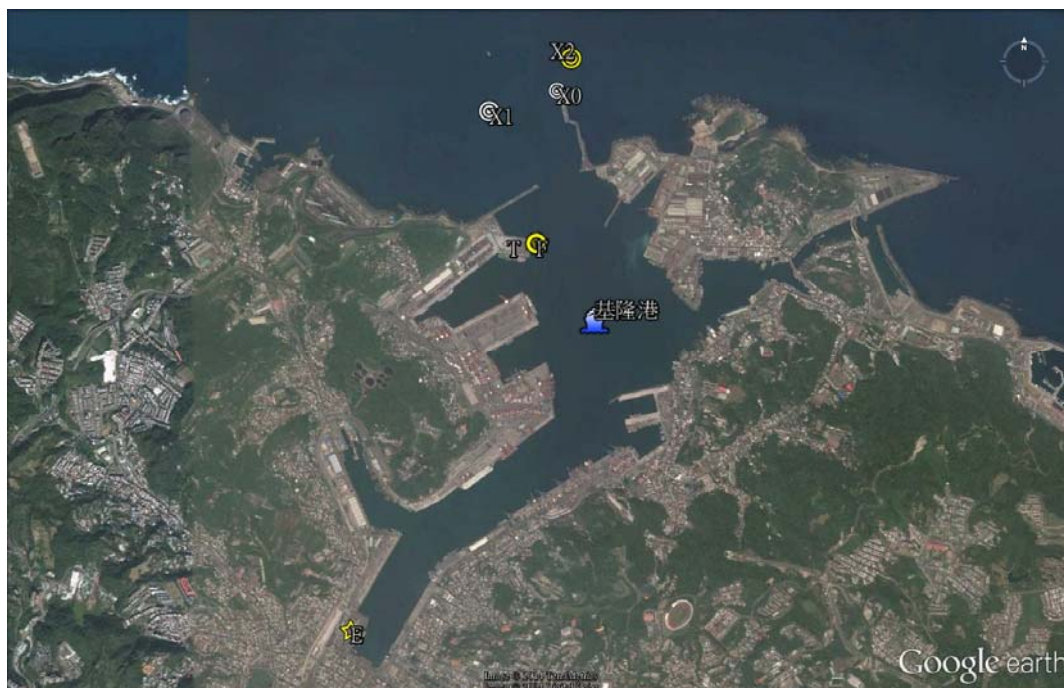
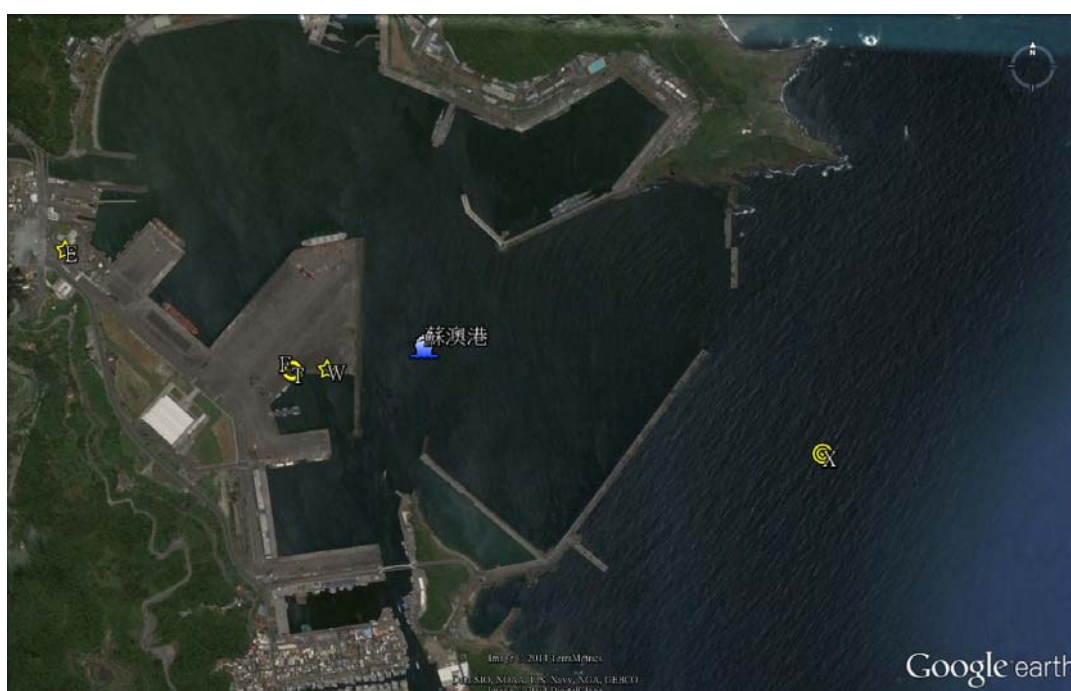


圖 2.40 臺灣主要商港位置圖



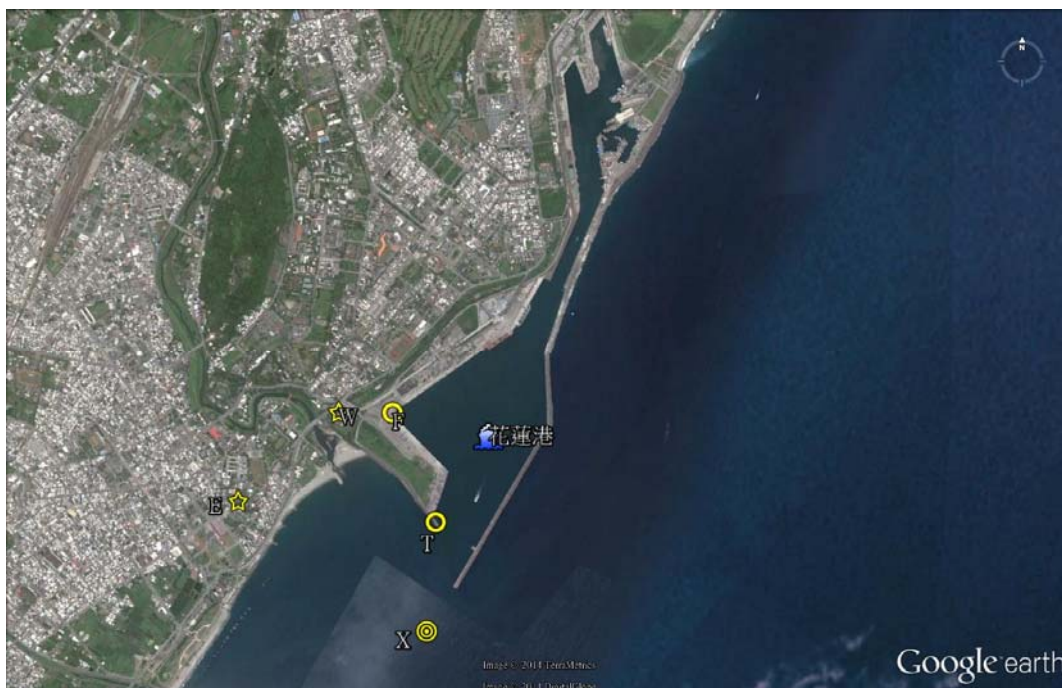
☆風速計 ◎潮位計 ◎波流儀

圖 2.41 基隆港海氣象觀測位置圖



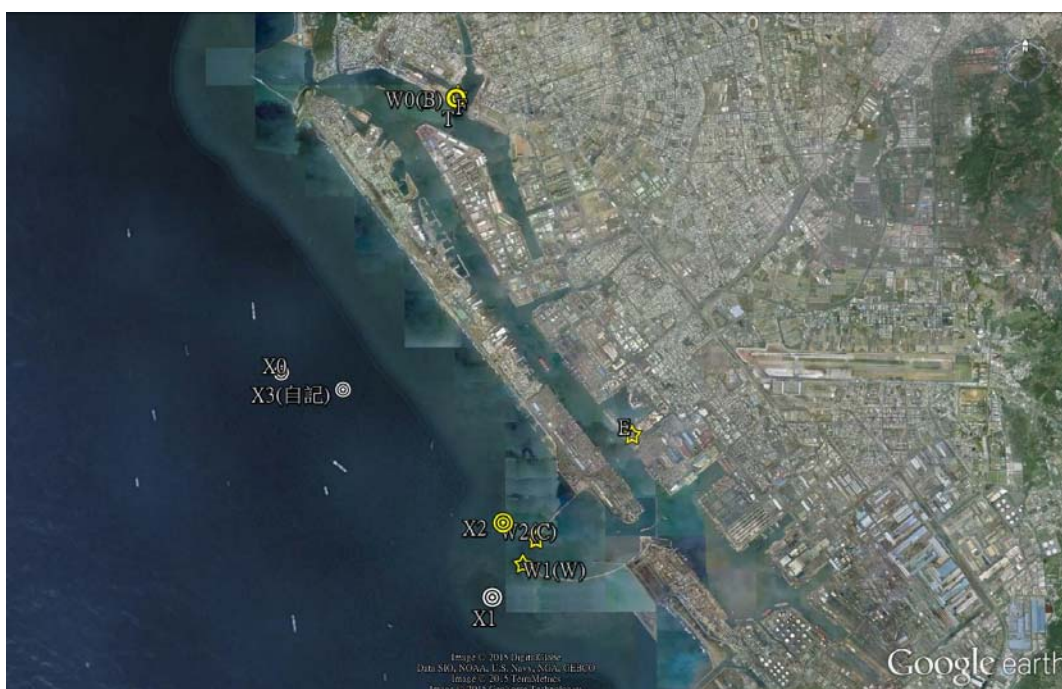
☆風速計 ◎潮位計 ◎波流儀

圖 2.42 蘇澳港海氣象觀測位置圖



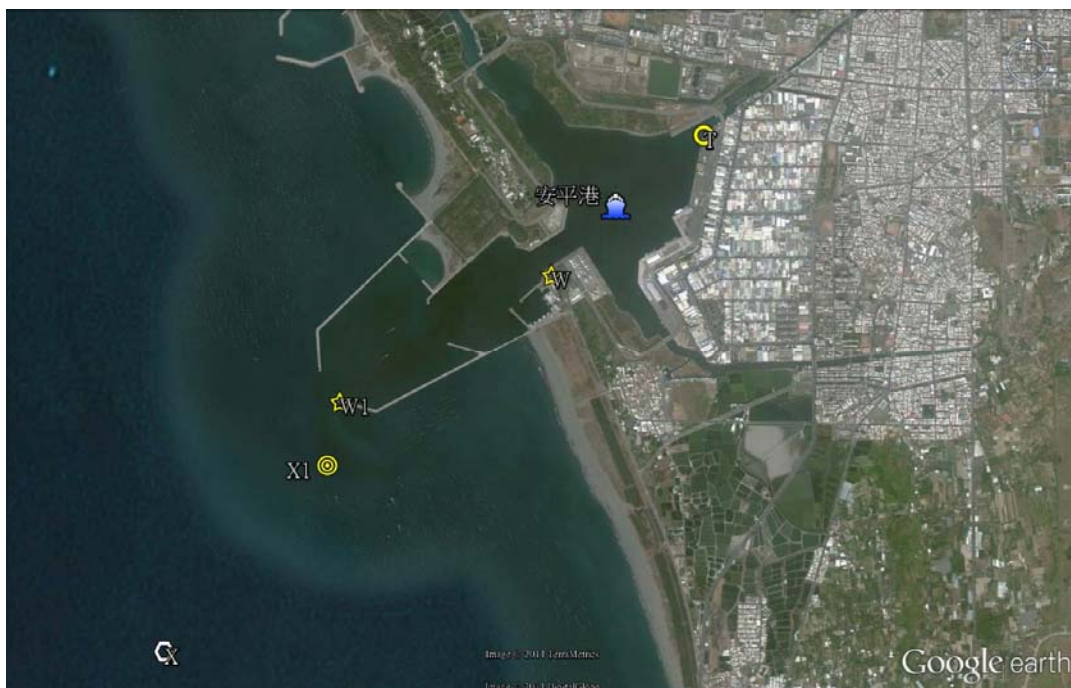
☆風速計 ◎潮位計 ⊙波流儀

圖 2.43 花蓮港海氣象觀測位置圖



☆風速計 ◎潮位計 ⊙波流儀

圖 2.44 高雄港海氣象觀測位置圖



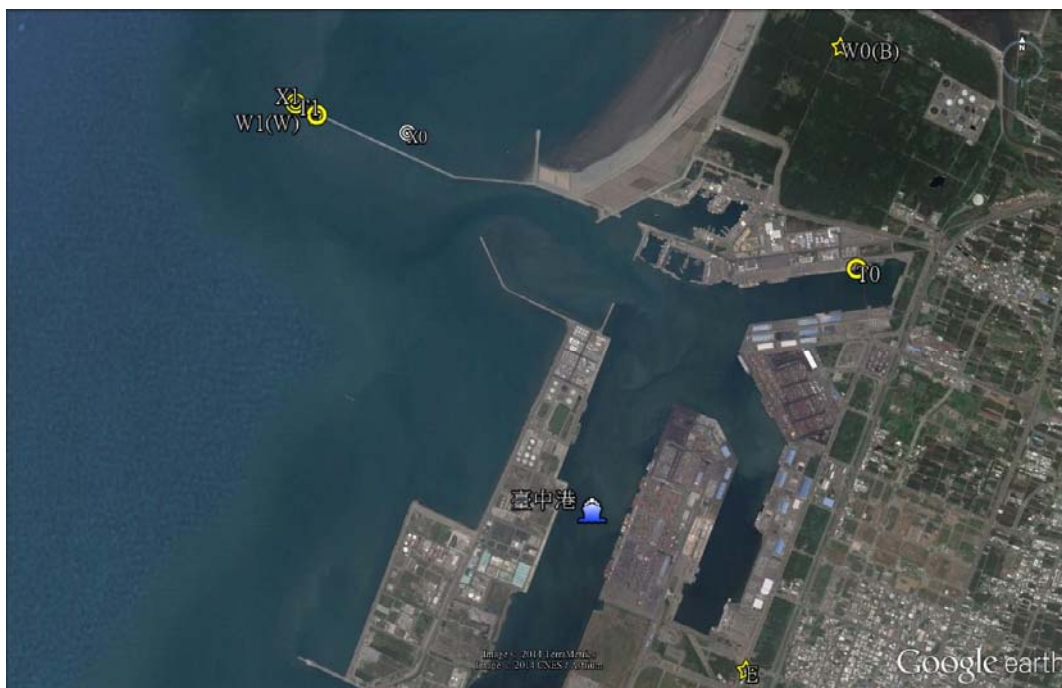
☆ 風速計 ◎ 潮位計 ◎ 波流儀 ◎ 觀測樁

圖 2.45 安平港海氣象觀測位置圖



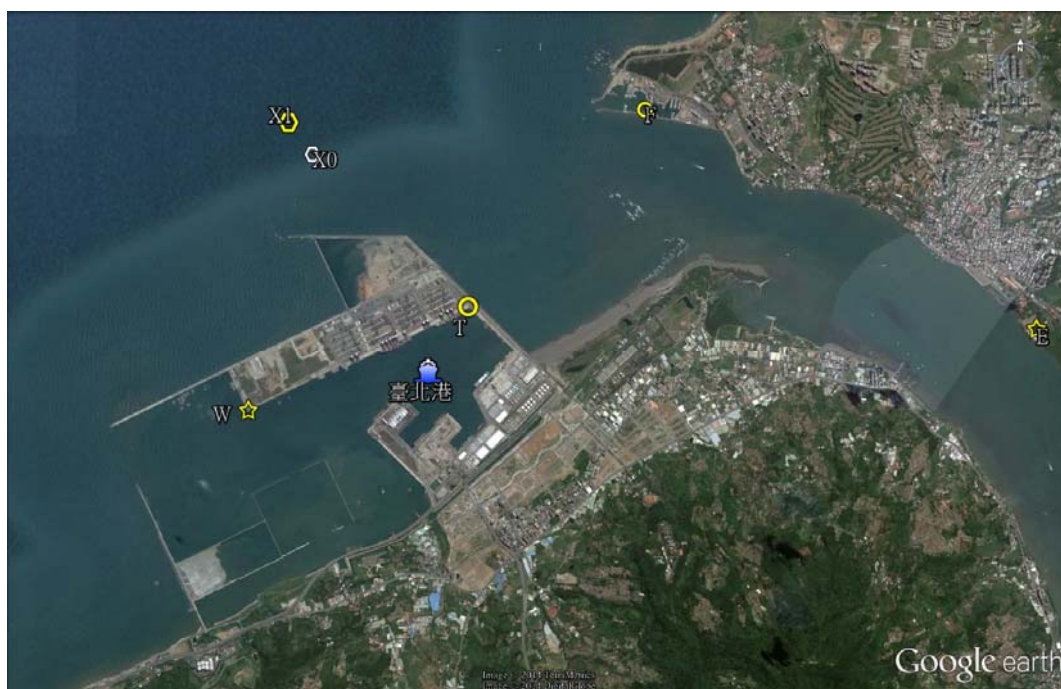
☆ 風速計 ◎ 潮位計 ◎ 波流儀

圖 2.46 布袋港海氣象觀測位置圖



☆ 風速計 ◎ 潮位計 ◎ 波流儀

圖 2.47 臺中港海氣象觀測位置圖



☆ 風速計 ◎ 潮位計 ◎ 觀測樁

圖 2.48 臺北港海氣象觀測位置圖



☆ 風速計 ◎ 潮位計 ◎ 波流儀 ◎ 氣象局浮標

圖 2.49 澎湖海氣象觀測位置圖



☆ 風速計 ◎ 潮位計 ◎ 氣象局浮標

圖 2.50 金門海氣象觀測位置圖



☆ 風速計 ◎ 潮位計 ⊙ 氣象局浮標

圖 2.51 馬祖海氣象觀測位置圖



☆ 風速計 ◎ 潮位計 ⊙ 氣象局浮標

圖 2.52 綠島海氣象觀測位置圖

表 2-14 觀測風力資料蒐集概況表

(統計時間至 2016 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	2009/08-2016/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計，北堤風速計
4	臺北港(TP)	E	2004/01-2016/11(觀測中)	中央氣象局	Young Brand 風速計
5	基隆港(KL)	W	2002/06-2016/11(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	1999/01-2016/11(觀測中)	中央氣象局	
7	蘇澳港(SA)	W	2003/06-2016/11(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	1999/01-2016/11(觀測中)	中央氣象局	
9	花蓮港(HL)	W	2002/06-2016/11(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	1981/02-2016/11(觀測中)	中央氣象局	
11	高雄港(KH)	W0	2002/06-2016/11(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	2010/09-2016/11(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	2010/09-2016/11(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	1999/01-2016/11(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	2009/08-2016/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計，信號臺
18	安平港(AP)	W1	2009/08-2016/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計，南堤紅燈塔站

序號	港區名稱	測站	觀測期間	觀測單位	備註
19	布袋港(PT)	W	2006/08-2016/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計
20	臺中港(TC)	W0	1981/02-2016/11(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 2010/10-2016/11(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	1996/09-2016/11(觀測中)	中央氣象局	
23	澎湖港(PH)	W	2009/12-2016/11(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	2015/06-2016/11(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	-2016/11(觀測中)	中央氣象局	
27	澎湖港(PH)	Y	-2016/11(觀測中)	水利署	澎湖資料浮標
28	澎湖港(PH)	H	-2016/11 (觀測中)	港務公司	
29	金門港(KM)	W	2015/04-2016/11(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	2012/08-2016/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計(B 站)，料羅港區
31	金門港(KM)	W2	2014/02-2016/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計，九宮港區
32	金門港(KM)	E	-2016/11(觀測中)	中央氣象局	
33	金門港(KM)	Y	-2016/11(觀測中)	水利署	金門資料浮標
34	馬祖港(MT)	W	2012/10-2016/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計，南竿-福澳港區
35	馬祖港(MT)	W	2016/01-2016/11(觀測中)	港研中心	北竿-白沙港區
36	馬祖港(MT)	W	2016/01-2016/11(觀測中)	港研中心	西莒-青帆港區
37	馬祖港(MT)	W	2016/01-2016/11(觀測中)	港研中心	東莒-猛澳港區

序 號	港區名稱	測 站	觀測期間	觀測單位	備註
38	馬祖港(MT)	W	2016/01-2016/11(觀測中)	港研中心	東引-中柱港區
39	馬祖港(MT)	E	2004/01-2016/11(觀測中)	中央氣象局	
40	綠島(LD)	W	2014/01-2016/11(觀測中)	港研中心	Gill 超音波風速計，南寮港區

表 2-15 觀測波浪資料蒐集概況表

(統計時間至 2016 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	2011/08-2016/11(觀測中)	港研中心	AWCP，東堤外海
6	蘇澳港(SA)	X	2002/08-2016/11(觀測中)	港研中心	AWCP
7	花蓮港(HL)	X	2000/09-2016/11(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	2015/10-2016/11(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	2003/07-2016/11(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	2013/06-2016/11(觀測中)	港研中心	AWCP，龍門尖山港區外海
19	金門港(KM)	X1	2014/02-2016/11(觀測中)	港研中心	AWCP，水頭港區外海
20	金門港(KM)	X2	2014/02-2016/11(觀測中)	港研中心	AWCP，料羅港區外海
21	馬祖港(MT)	X	2014/10-2016/11(觀測中)	港研中心	AWCP，南竿-福澳港區外海
22	馬祖港(MT)	X	2016/01-2016/11(觀測中)	港研中心	AWCP，北竿-白沙港區外海
23	馬祖港(MT)	X	2016/01-2016/11(觀測中)	港研中心	AWCP，西莒-青帆港區外海
24	馬祖港(MT)	X	2016/01-2016/11(觀測中)	港研中心	AWCP，東莒-猛澳港區外海

序號	港區名稱	測站	觀測期間	觀測單位	備註
25	馬祖港(MT)	X	2016/01-2016/11(觀測中)	港研中心	AWCP，東引-中柱港區外海
26	綠島(LD)	X	2014/10-2016/11(觀測中)	港研中心	AWCP，南寮港區外海

表 2-16 觀測潮位資料蒐集概況表

(統計時間至 2016 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	1994/10-2016/11(觀測中)	水利署	
5	基隆港(KL)	T	2002/07-2016/11(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	2011/08-2016/11(觀測中)	港研中心	AWCP，東堤外海
9	基隆港(KL)	F	1966/01-2016/11(觀測中)	中央氣象局	
10	蘇澳港(SA)	T	2003/06-2016/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計
11	蘇澳港(SA)	X	2002/08-2016/11(觀測中)	港研中心	AWCP
12	蘇澳港(SA)	F	1981/01-2016/11(觀測中)	中央氣象局	
13	花蓮港(HL)	T	2001/07-2016/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計
14	花蓮港(HL)	X	2000/09-2016/11(觀測中)	港研中心	AWCP，東堤外海
15	花蓮港(HL)	F	1980/01-2016/11(觀測中)	中央氣象局	
16	高雄港(KH)	T	2003/06-2016/11(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	2005/10-2016/11(觀測中)	港研中心	AWCP，2 港口北堤綠燈塔外海
20	高雄港(KH)	F	1988/01-2016/11(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	2008/08-2016/11(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	2011/08-2016/11(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	1989/12-2016/11(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	2003/07-2016/11(觀測中)	港研中心	AWCP，北堤外海
31	澎湖港(PH)	T	2011/01-2016/11(觀測中)	港研中心	Water Log 龍門尖山港區潮位計
32	澎湖港(PH)	T1	2012/06-2016/11(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	2013/06-2016/11(觀測中)	港研中心	AWCP，龍門尖山港區外海
34	澎湖港(PH)	F	-2016/11(觀測中)	中央氣象局	澎湖潮位站
35	金門港(KM)	T	2011/01-2016/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計，水頭港區
36	金門港(KM)	T1	-2016/11(觀測中)	港研中心	九宮港區
37	金門港(KM)	F1	-2016/11(觀測中)	水利署	水頭潮位站
38	金門港(KM)	F2	-2016/11(觀測中)	水利署	料羅灣潮位站
39	馬祖港(MT)	T	2013/12-2016/11(觀測中)	港研中心	南竿-福澳港區潮位站，儀器約水下 8 公尺
40	馬祖港(MT)	T	2016/01-2016/11(觀測中)	港研中心	北竿-白沙港區潮位站
41	馬祖港(MT)	T	2016/01-2016/11(觀測中)	港研中心	西莒-青帆港區潮位站
42	馬祖港(MT)	T	2016/01-2016/11(觀測中)	港研中心	東莒-猛澳港區潮位站
43	馬祖港(MT)	T	2016/01-2016/11(觀測中)	港研中心	東引-中柱港區潮位站
44	馬祖港(MT)	F	-2016/11(觀測中)	內政部	馬祖潮位站
45	綠島(LD)	T	2014/04-2016/11(觀測中)	港研中心	南寮港潮位站

表 2-17 觀測海流資料蒐集概況表

(統計時間至 2016 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	2011/08-2016/11(觀測中)	港研中心	AWCP，東堤外海
6	蘇澳港(SA)	X	2002/08-2016/11(觀測中)	港研中心	AWCP
7	花蓮港(HL)	X	2000/09-2016/11(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	2015/10-2016/11(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	2003/07-2016/11(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	2013/06-2016/11(觀測中)	港研中心	AWCP，龍門尖山港區外海
19	金門港(KM)	X1	2014/02-2016/11(觀測中)	港研中心	AWCP，水頭港區外海
20	金門港(KM)	X2	2014/02-2016/11(觀測中)	港研中心	AWCP，料羅港區外海
21	馬祖港(MT)	X	2014/10-2016/11(觀測中)	港研中心	AWCP，南竿-福澳港區外海
22	馬祖港(MT)	X	2016/01-2016/11(觀測中)	港研中心	AWCP，北竿-白沙港區外海
23	馬祖港(MT)	X	2016/01-2016/11(觀測中)	港研中心	AWCP，西莒-青帆港區外海

序 號	港區名稱	測站	觀測期間	觀測單位	備註
24	馬祖港(MT)	X	2016/01-2016/11(觀測中)	港研中心	AWCP，東莒-猛澳港區外海
25	馬祖港(MT)	X	2016/01-2016/11(觀測中)	港研中心	AWCP，東引-中柱港區外海
26	綠島(LD)	X	2014/10-2016/11(觀測中)	港研中心	AWCP，南寮港區外海

2.5 港灣環境資訊系統

本系統對外數值預報資訊及即時海嘯模擬資訊展示部分已整合於本中心港灣環境資訊系統內進行作業展示，並即時提供外界使用。105年度持續與港灣環境資訊系統相互配合提供更多相關數值模擬成果。

港灣環境資訊系統之架構與功能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(4/4)。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 2.53 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 2.54 所示。

圖 2.55 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 2-18 網頁功能項目說明表所示，若網頁更新資料則可至網頁日誌查詢，如圖 2.56。

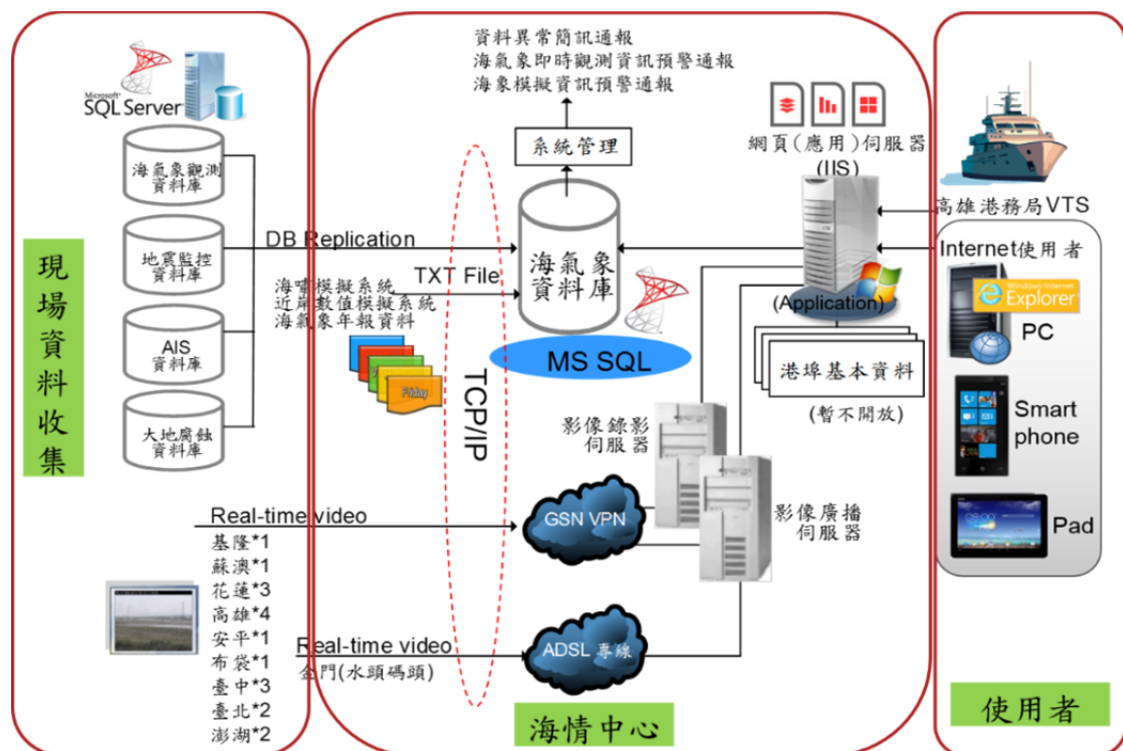


圖 2.53 港灣環境資訊系統架構圖



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

圖 2.54 港灣環境資訊網首頁

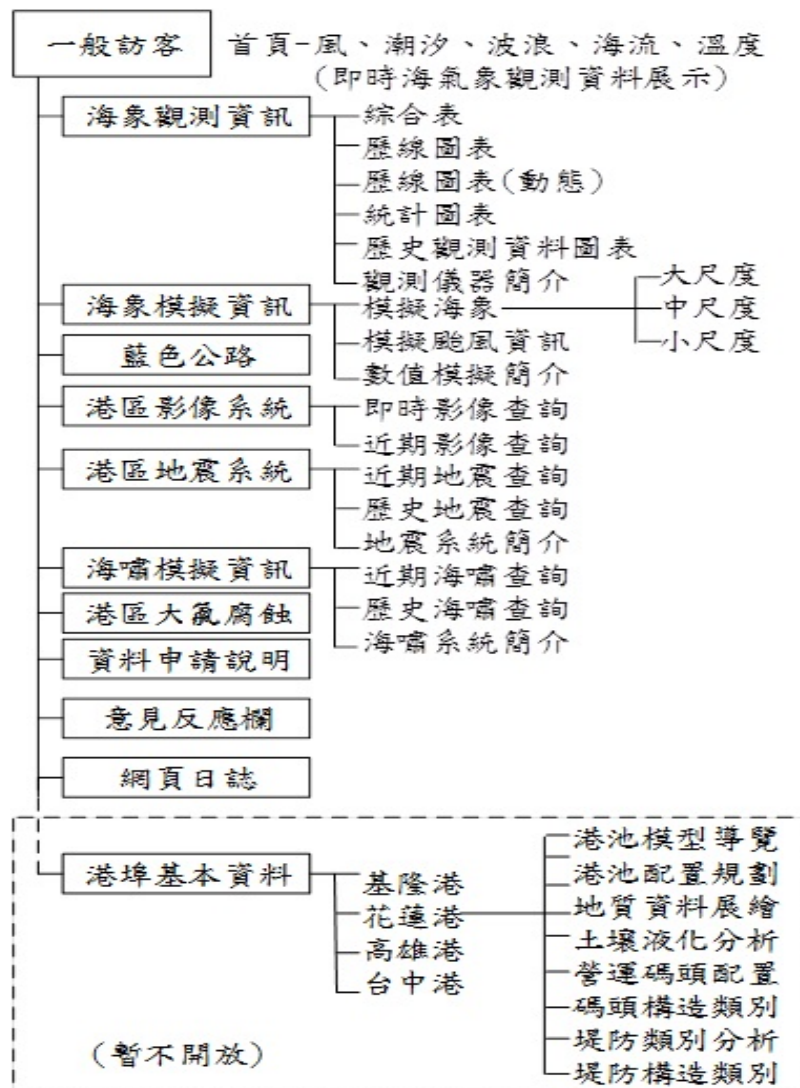


圖 2.55 港灣環境資訊網網頁功能架構圖



圖 2.56 港灣環境資訊網網頁日誌

表 2-18 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。
海象模擬資訊	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。
	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。

主項目	次項目	索引	說明
	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)。
	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(%)、氯(mg/m ² /day)、鋁(g/m ² /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

主項目	次項目	索引	說明
			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。
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 102 年取得中央氣象局海象觀測資料，於 104 年度增加匯入經濟部水利署海氣象觀測資料。105 年度更與國研院臺灣海洋科技研究中心簽署「海氣象即時觀測資訊合作備忘錄」，以便利雙方觀測資料之流通，如圖 2.57。

財團法人國家實驗研究院
台灣海洋科技研究中心
Taiwan Ocean Research Institute

「海氣象即時觀測資訊合作備忘錄」簽約儀式
邀請函

「交通部運輸研究所」與「國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心」，謹訂於 2016 年 11 月 30 日(星期三)下午 2 時至 4 時，假台灣海洋科技研究中心國際會議廳，舉行「海氣象即時觀測資訊合作備忘錄」簽約儀式。誠摯地邀請您撥冗蒞臨指導！

國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心 主任 林慧玲
交通部運輸研究所港灣技術研究中心 主任 邱永芳 敬邀

時間：2016 年 11 月 30 日(星期三) 14:00-16:00
地點：國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心三樓國際會議廳
(高雄市前金區河南二路 196 號)

流程：

時 間	議 程	講 者
14:00-14:10	開場致詞	海洋中心林慧玲主任
14:10-14:20	貴賓致詞	港灣技術研究中心邱永芳主任
14:20-14:30	簽約儀式	
14:30-14:50	《港灣環境資訊網功能簡介》	港灣技術研究中心劉清松副研究員
14:50-15:10	《海洋環境資料庫簡介》	海洋中心賴國榮副工程師
15:10-15:20	合影留念	
15:20-15:40	茶會	
15:40-16:00	物理海洋遙測與模擬實驗室參訪	
16:00	賦歸	

圖 2.57 與 TORI 簽署海氣象即時觀測資訊合作備忘錄

網頁展示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 2.58 所示，並提供各港彙整資料如附圖 2.59 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 2.60 可查詢基隆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，於圖 2.60 中，右上的海氣象測站位置圖頁面也增加了測站位置說明，採用 Google Map 互動呈現的方式，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。

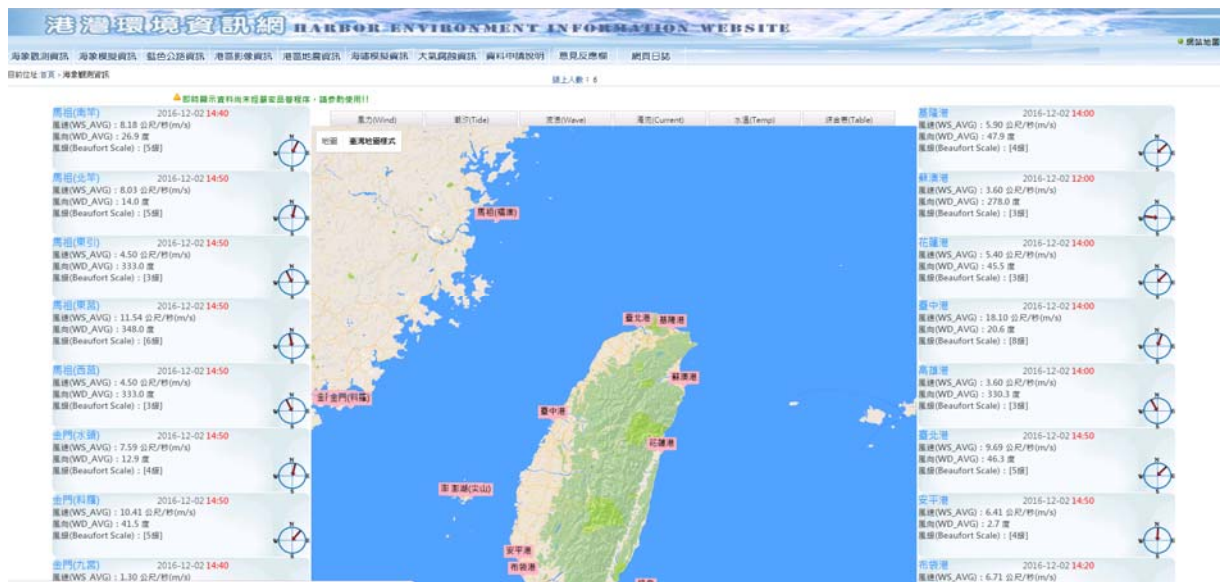


圖 2.58 即時觀測資訊整合(風力資料)

▲本網頁於整點更新頁面!! 即時顯示資料尚未經審密管程序, 請參酌使用!!

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)	周期(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	歷線圖	即時影像
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	歷線圖	即時影像
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	歷線圖	即時影像
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	歷線圖	即時影像
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	歷線圖	即時影像
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	歷線圖	即時影像
安平港	16:50	7.79 [4級]	24.3	16:50	-0.34	-	-	-	-	-	-	x	x	16:50	20.7	歷線圖	即時影像
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	歷線圖	即時影像
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	歷線圖	即時影像
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	歷線圖	即時影像
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	歷線圖	即時影像
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	歷線圖	即時影像
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	歷線圖	即時影像
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	歷線圖	即時影像
綠島	-	-	-	16:50	-0.31	16:30	0.35	212.6	4.4	0.06	348.3	x	x	16:50	22.8	歷線圖	即時影像

★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 2.59 即時觀測資訊整合(綜合表)

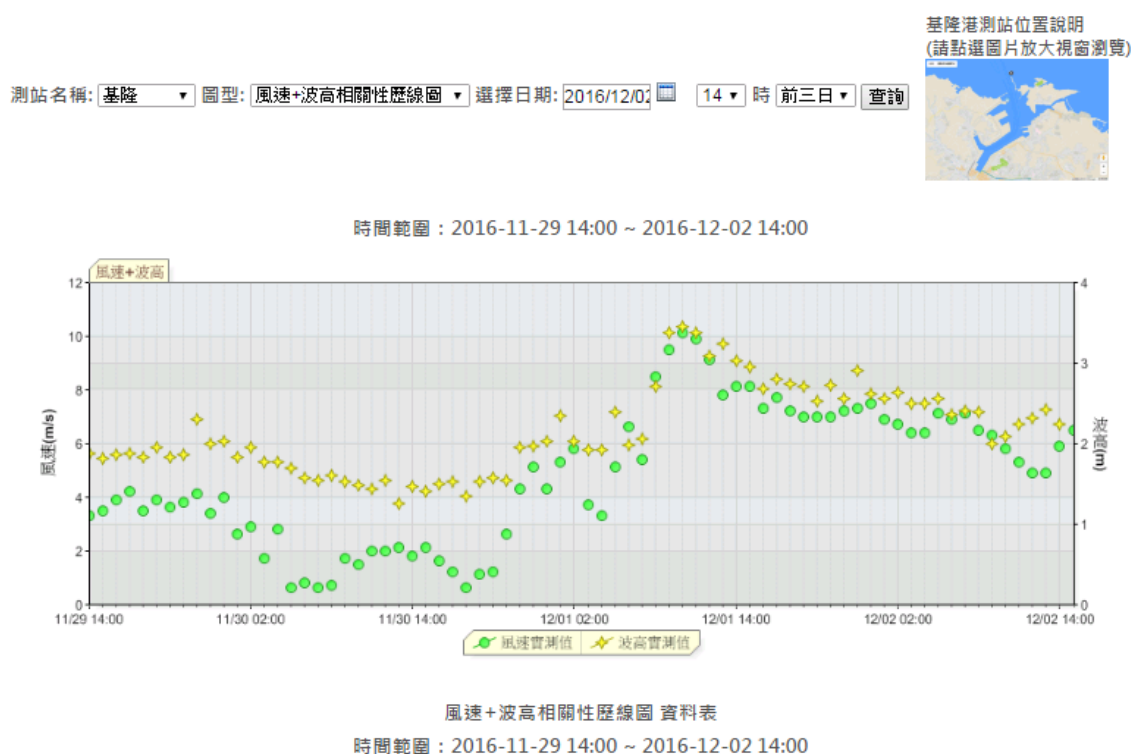


圖 2.60 海氣象歷線圖(以基隆港風速+波高歷線圖為例)

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。

網頁展示海象模擬資訊包括：綜合表、模擬海象、模擬颱風資訊及數值模擬簡介。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、小尺度以及港區尺度)規劃區分做呈現，使用者可點選欲瀏覽的模擬尺度範圍，若要做進一步的查詢如圖 2.61 所示，與綜合表查詢資訊如圖 2.62 所示，其內容包含模擬資料如表 2-19 所示。105 年度新增中尺度暴潮模式流速向量場分布圖、動態自選點模擬資訊包括綠島/蘭嶼/金馬/馬祖海域範圍風場及波場計算、金馬/馬祖地區海域範圍及金門/馬祖藍色公路航段另加入了潮流場的計算。

模擬各尺度範圍提供的資料有歷線圖表查詢，以及海氣象圖形動畫展現，如圖 2.63 及圖 2.64。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。

有關各模式之歷線圖展示，預報各港口風場模擬(WRF_WA02、WA03)包括風速風向、波場模擬(大尺度、中尺度、小尺度)包括波高/週期/波向、相對潮位及流速/流向歷線圖(暴潮模式、中尺度、小尺度)，例如臺中港風場模擬歷線圖如圖 2.65，及高雄港潮位模擬歷線圖如圖 2.66，網頁展示內容包含港口名稱、展示項目、模式選擇、模擬資訊輸出位置點、日期時間、3 日歷線圖以及資料表。



圖 2.61 海象模擬資訊網頁展示圖

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

回前頁

目前時間:2016-12-02 15:00:00

模擬風力(Wind)				模擬潮汐(Tide)		模擬波浪(Wave)/模擬海流(Current)						歷線圖
測站名稱	時間	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	15:00	8.34 [5級]	56.2	15:00	0.12	15:00	2.46	47.0	5.91	0.40	91.8	歷線圖
蘇澳港	15:00	8.22 [5級]	53.1	15:00	-0.05	15:00	2.09	57.6	10.02	0.09	198.7	歷線圖
花蓮港	15:00	6.03 [4級]	10.5	15:00	-0.07	15:00	1.46	81.7	9.97	x	x	歷線圖
高雄港	15:00	6.06 [4級]	322.1	15:00	-0.05	15:00	0.89	292.0	5.43	0.44	150.2	歷線圖
臺中港	15:00	13.48 [6級]	21.5	15:00	0.91	15:00	2.40	6.7	6.01	0.39	225.0	歷線圖
臺北港	15:00	8.28 [5級]	50.4	15:00	0.43	15:00	1.69	22.1	6.18	0.43	55.0	歷線圖
安平港	15:00	7.15 [4級]	339.1	15:00	-0.07	15:00	1.12	295.8	4.60	x	x	歷線圖
布袋港	15:00	8.82 [5級]	355.3	15:00	0.16	15:00	0.67	311.4	3.80	0.16	174.1	歷線圖
澎湖(尖山)	15:00	14.36 [7級]	17.2	15:00	0.38	15:00	1.92	40.0	6.78	x	x	歷線圖
金門(水頭)	15:00	8.25 [5級]	33.9	15:00	1.73	15:00	0.60	267.7	2.31	0.47	257.1	歷線圖
金門(料羅)	15:00	9.59 [5級]	38.2	15:00	1.73	15:00	0.51	226.0	2.05	0.40	237.5	歷線圖
金門(九宮)	15:00	9.70 [5級]	31.8	15:00	1.73	15:00	0.74	243.7	2.65	0.99	217.4	歷線圖

● 風力模擬資料採以中尺度範圍的WRF預報風場模式計算後之結果呈現、● 潮位模擬資料採以中尺度範圍計算後之結果呈現

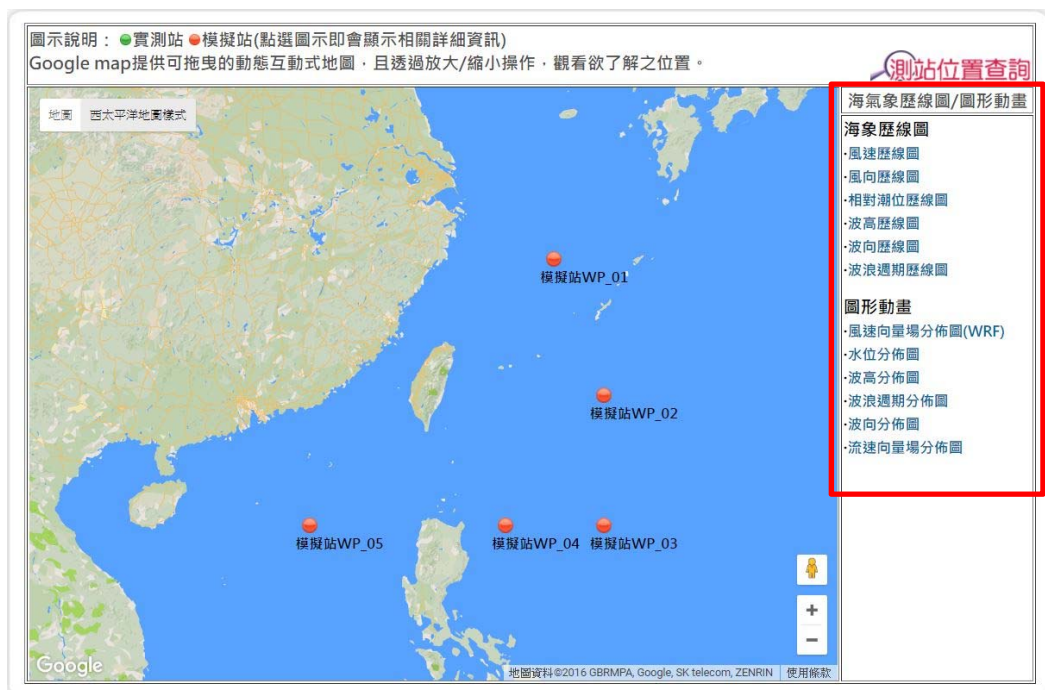
● 波浪模擬資料採以中尺度(澎湖)SWAN模式/小尺度REF模式計算後之結果呈現

● 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。

● 金門地區波浪模擬資料採以KMN模式、潮流模擬資料採以FVCOM模式計算後之結果呈現

★ 「x」尚無數值模擬資料。

圖 2.62 海象模擬資訊(綜合表)



交通部運輸研究所



港灣技術研究中心

臺中市梧棲區中橋十路2號·TEL:886-4-2658 7200 分機:136·FAX:886-4-2657 1329
瀏覽器版本:建議使用IE7.0版以上,解析度為1024X768以上(視窗縮放比例為100%最佳)

圖 2.63 展示西太平洋地區海象模擬資訊



圖 2.64 展示臺灣近岸地區海象模擬資訊

表 2-19 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(在外海選取 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 (臺灣周圍海域選取 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
		中尺度暴潮模式流速向量場分布圖
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

範圍	資料及圖檔	展示內容
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。 金馬地區航段另加入潮位、流場-(流速/流向)。
模擬區域海象動態資訊	動態自選點模擬資訊	含蓋臺灣近海海域範圍及離島-澎湖、金門、馬祖、綠島、蘭嶼等範圍，提供相關之風力-(風速/風向)、波浪-(波高/波向)數值模擬資訊。 金馬地區海域範圍另加入潮位、流場-(流速/流向)。



WRF_WA02



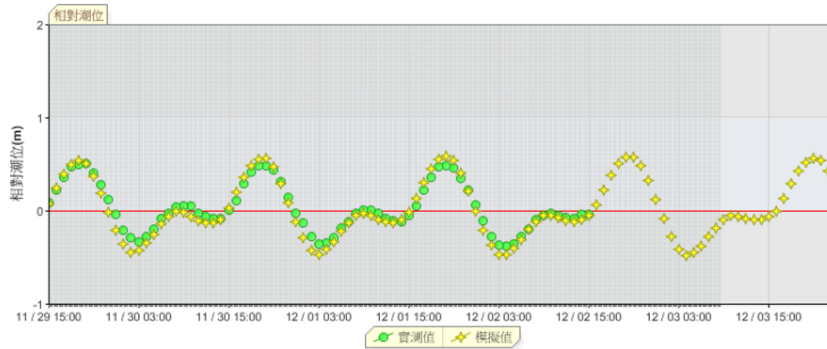
WRF_WA03

圖 2.65 展示臺中港風力模擬歷線圖

測站名稱: 高雄一站 圖型: 相對潮位歷線圖 模擬點: Tide_KH 回到上一頁

選擇日期: 2016/12/02 15 時 前三日 查詢

時間範圍: 2016/11/29 下午 03:00:00 ~ 2016/12/2 下午 03:00:00



相對潮位歷線圖 資料表

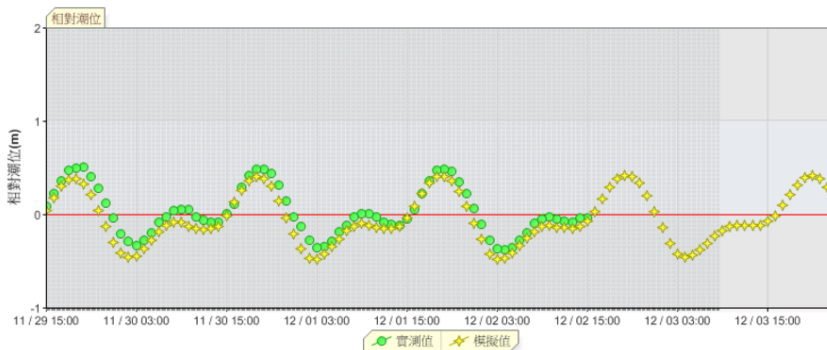
時間範圍: 2016/11/29 下午 03:00:00 ~ 2016/12/2 下午 03:00:00

中尺度模式

測站名稱: 高雄一站 圖型: 相對潮位歷線圖 模擬點: TWMT_KH 回到上一頁

選擇日期: 2016/12/02 15 時 前三日 查詢

時間範圍: 2016/11/29 下午 03:00:00 ~ 2016/12/2 下午 03:00:00



相對潮位歷線圖 資料表

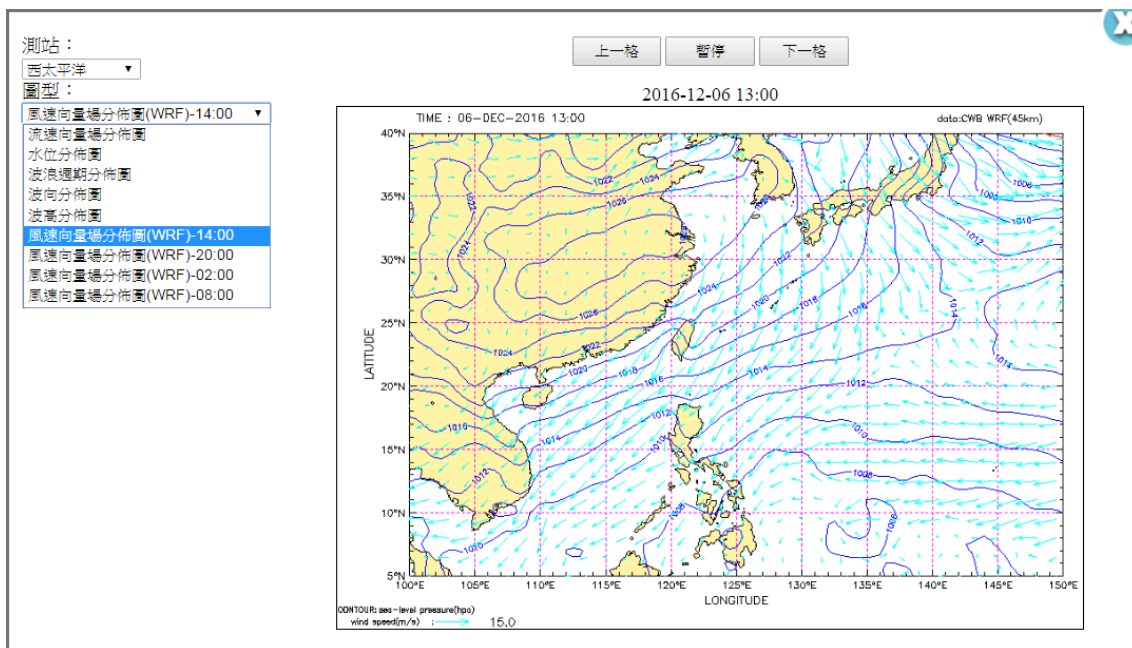
時間範圍: 2016/11/29 下午 03:00:00 ~ 2016/12/2 下午 03:00:00

暴潮模式

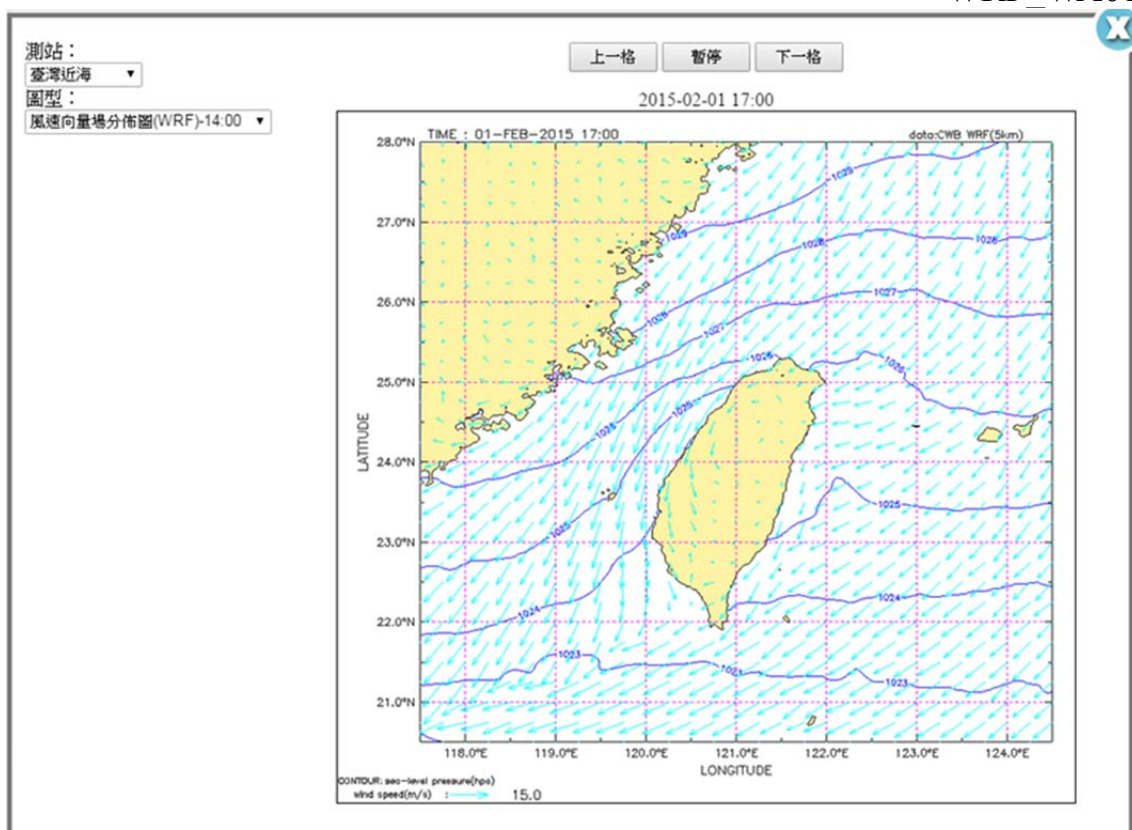
圖 2.66 展示高雄港潮位模擬歷線圖

有關 WRF 各尺度風場平面圖檔展示部分如圖 2.67，圖 2.68 為花蓮港小尺度波場動畫圖，及圖 2.69 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。

另於系統內將臺灣沿海區域分區展示其各模擬的海氣象項目，目前展示波高/波向、風速/風向，105 年度金門/馬祖地區海域另加入流速/流向及潮位計算，展示方式如圖 2.70 所示。



WRF_WA01



WRF_WA03

圖 2.67 WRF 模式-風場圖型動畫

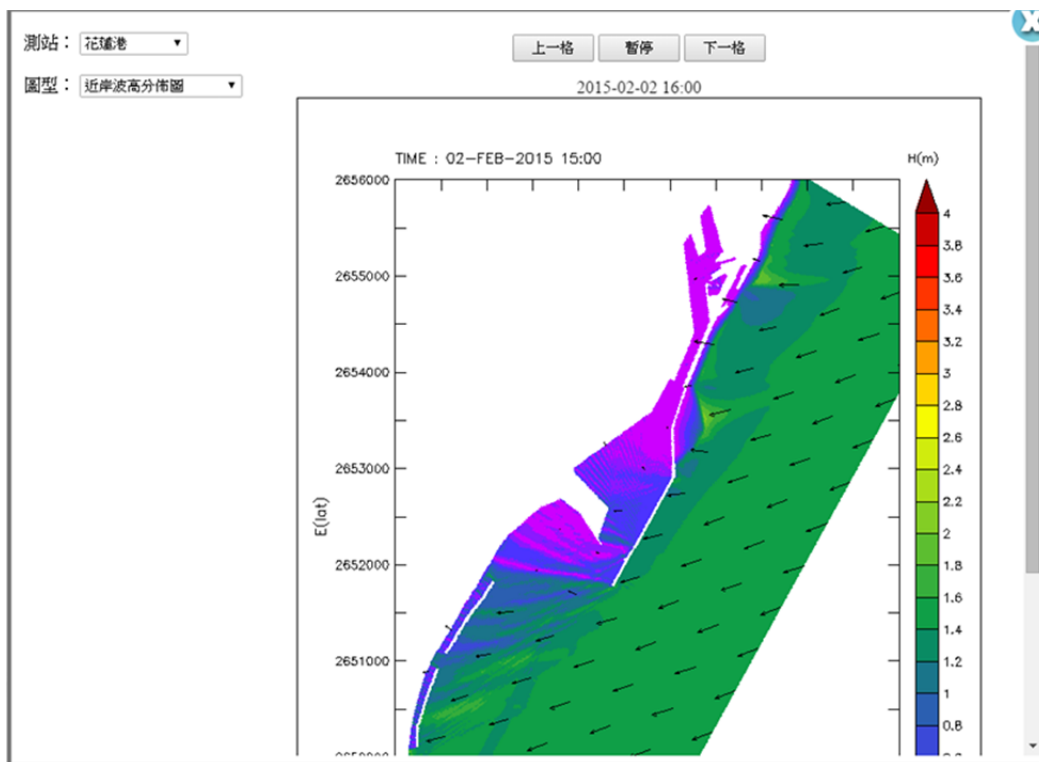


圖 2.68 展示花蓮港近岸波高分佈圖

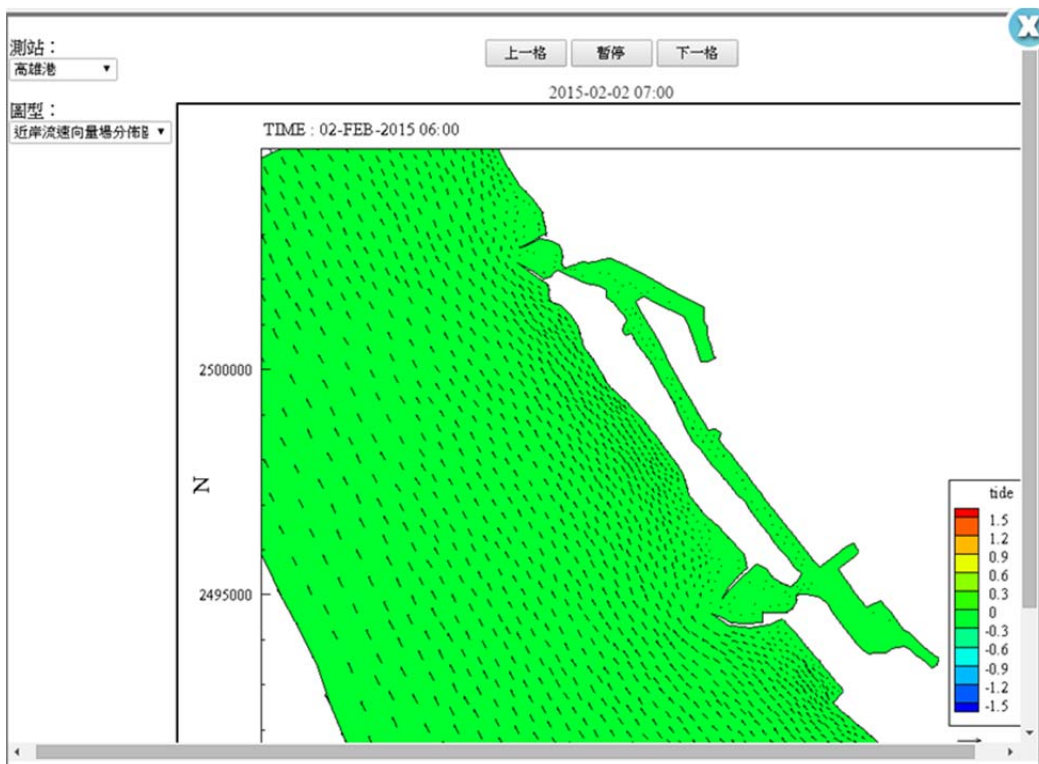
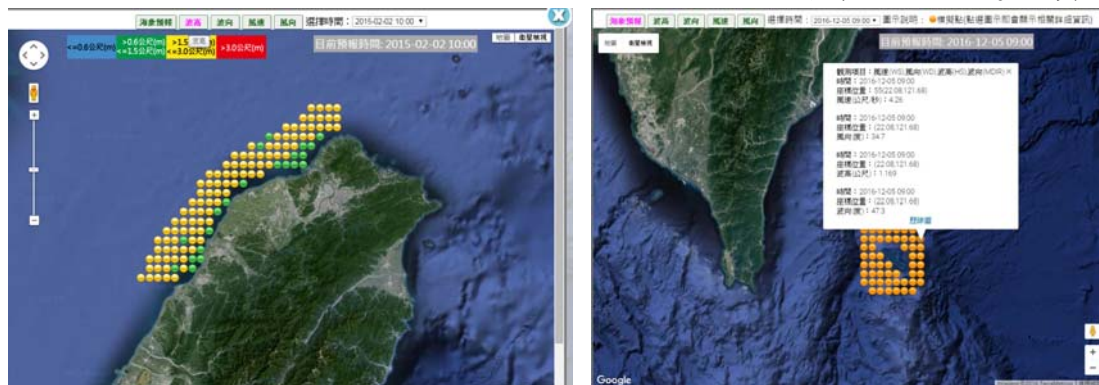


圖 2.69 展示高雄港流速向量場分佈圖



模擬區域海象動態自選點資訊



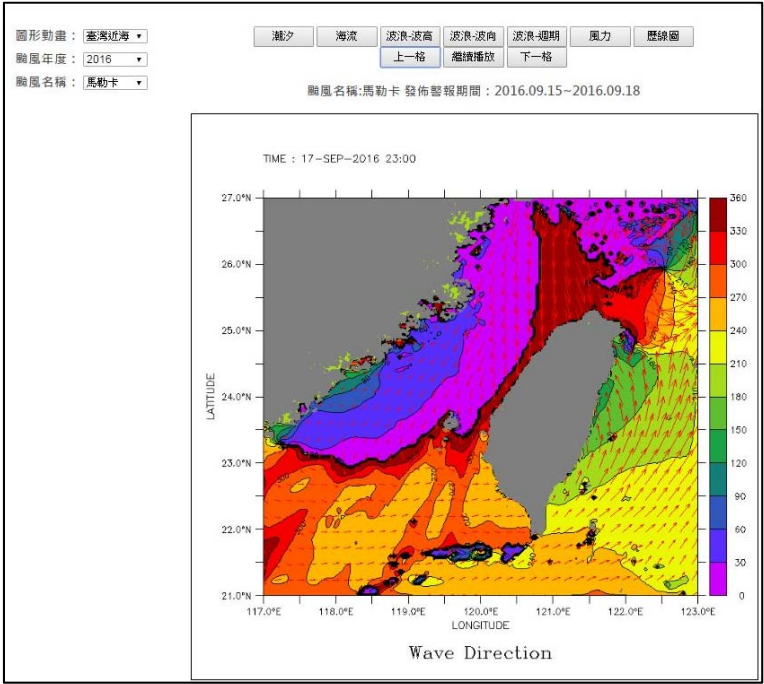
臺灣沿岸及綠島/蘭嶼地區包括風場/波場計算



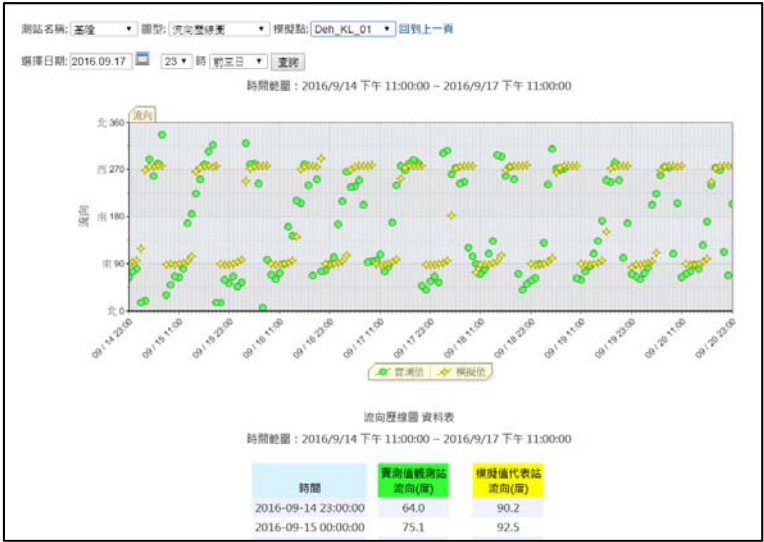
金門/馬祖地區包括風場/波場/潮流場計算

圖 2.70 展示模擬區域海象動態資訊

於模擬颱風資訊中，呈現 2009 至 2016 年各侵臺颱風期間之數值計算結果，包括西太平洋及臺灣近海之「潮汐、海流、波高、波向、週期及風力」平面圖等，可自動循環播放或觀看某一固定時間點之模擬情形，若想瞭解各港區模擬結果，點選「歷線圖」圖示可展示風波潮流三日歷線圖及資料表如圖 2.71 所示。



臺灣近海波向平面圖



基隆流向歷線圖

圖 2.71 展示模擬颱風資訊

2.5.4 藍色公路模擬資訊

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，由原本 14 條目前增加提供 26 條藍色公路，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小尺度該航線上海象模擬系統之風速、風向、中尺度波高及波向等相關資料。105 年度新增小尺度金門及馬祖藍色公路航段，另加入潮流場的計算。

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。

近年來臺灣郵輪觀光市場發展蓬勃，其海上航行安全是旅客與業者非常關切的重要因素，因此海氣象資訊的即時提供，對於船舶航行與海域作業活動而言是極重要的環節。由於郵輪的航行軌跡並無固定，因此透過 AIS 接收站與數值模擬所涵蓋之範圍套疊，針對共同所涵蓋之區域，由本計畫內提供中尺度海象模擬系統之風速、風向、波高及波向等相關資料為每日 72 小時，每小時 $4 \times 21 \times 21 = 1764$ 筆資料，提供港灣環境資訊系統應用。

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，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模擬資訊以及航行軌跡。展示頁面如圖 2.72 及圖 2.73 麗星郵輪(寶瓶星)-船舶動態+海氣象波高、波向與圖 2.74 及圖 2.75 表示風速及風向模擬。

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 2-76 麗星郵輪(寶瓶星)-船舶最近三日內的航行軌跡所示。

。

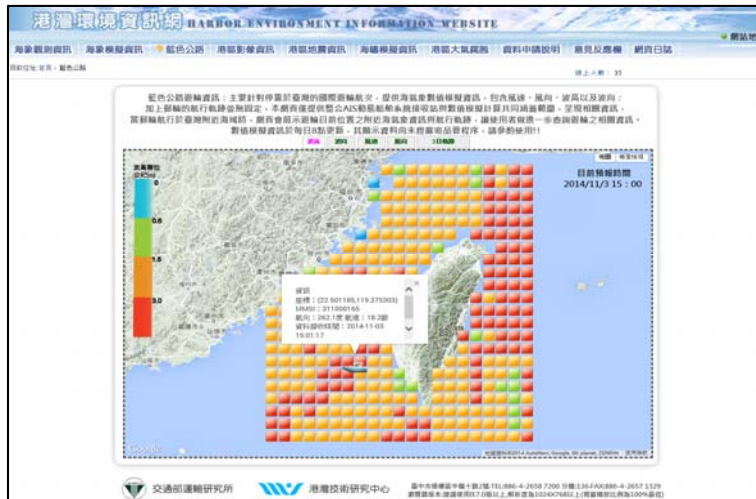


圖 2.72 麗星郵輪(寶瓶星)-船舶動態+海氣象波高模擬資訊



圖 2.73 麗星郵輪(寶瓶星)-船舶動態+海氣象波向模擬資訊

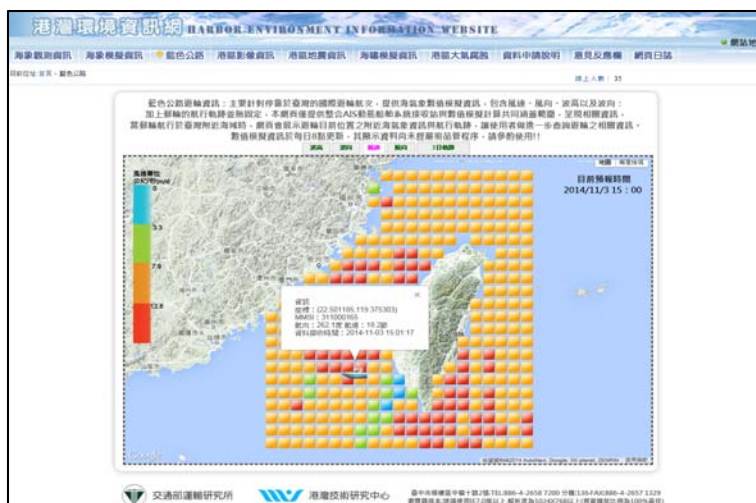


圖 2.74 麗星郵輪(寶瓶星)-船舶動態+海氣象風速模擬資訊



圖 2.75 麗星郵輪(寶瓶星)-船舶動態+海氣象風向模擬資訊



圖 2.76 麗星郵輪(寶瓶星)-船舶最近三日內的航行軌跡

2.5.5 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 ≥ 6.5 至 < 7.0 ，則於網頁上顯示警告訊息，避免無正確訊息所造成恐慌。

海嘯模擬資訊包括近期海嘯查詢、歷史海嘯查詢及海嘯系統簡介。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、臺中及臺北共 8 個港區)，於近期海嘯查詢頁籤中網頁畫面如圖 2.77 所示。左側包含了地震的相關詳細資訊、震央位置圖如圖 2.78 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。

歷史海嘯查詢頁籤中，藉由下拉式選單選擇各年度發生之重大海嘯事件(波高 ≥ 0.1 公尺或地震矩規模 ≥ 7.0)發生時間及測站名稱，可瞭解該地震海嘯之地震參數、震央位置圖、到達臺灣各港區的海嘯水位變化歷線圖及水位資訊，如圖 2.79 所示。

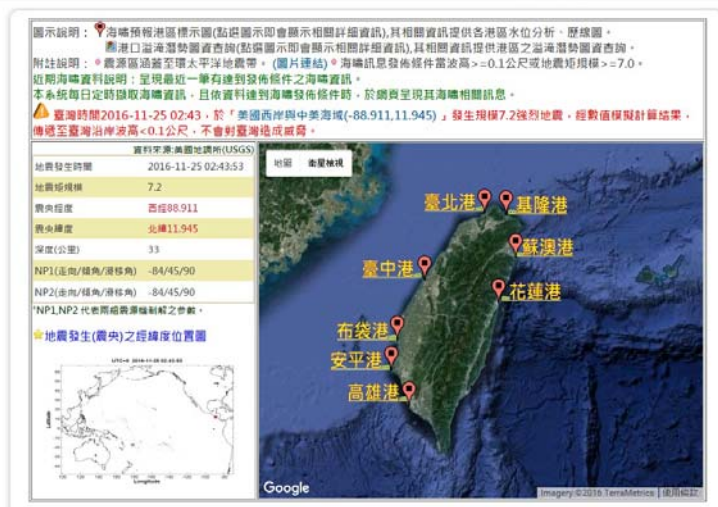


圖 2.77 展示海嘯查詢網頁

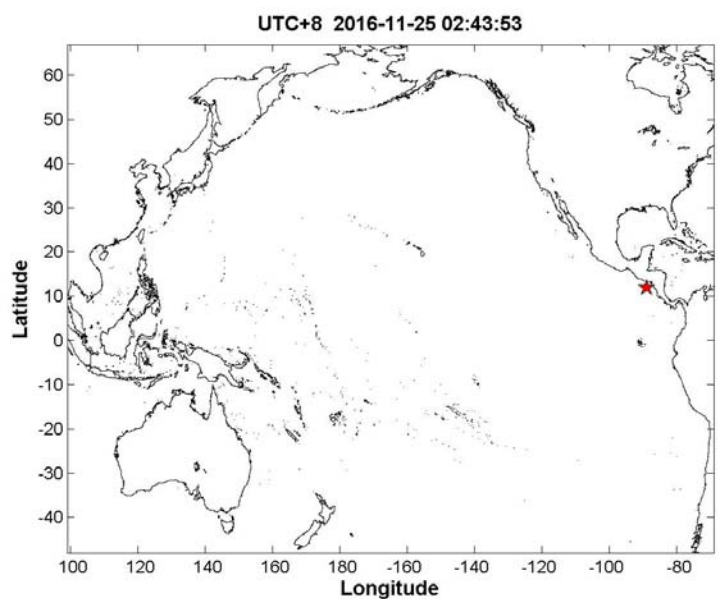
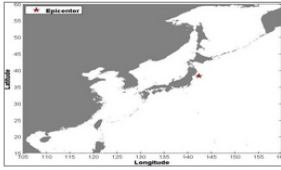
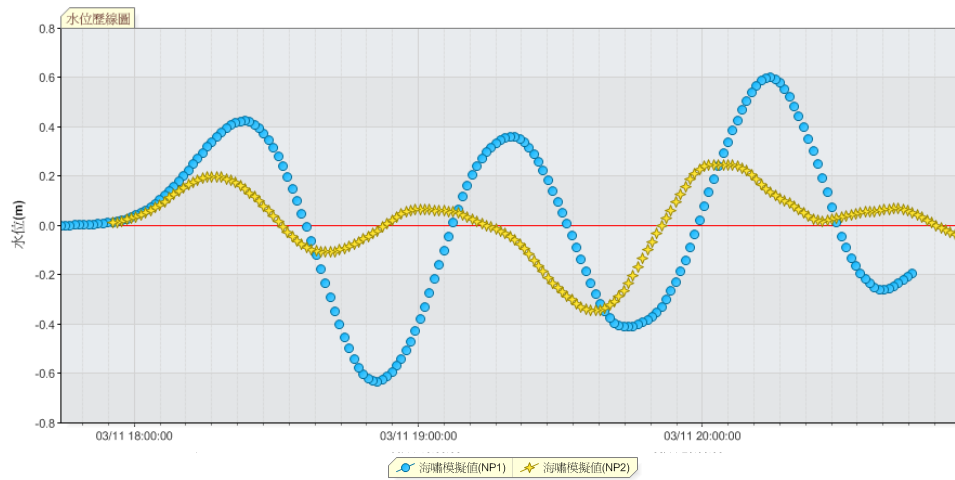


圖 2.78 展示海嘯震央位置圖

測站名稱: 基隆港 地震時間: 2011-03-11 05:46:23

資料來源:美國地調所(USGS) ★地震發生(震央)之經緯度位置圖

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

水位歷線圖 資料表

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

圖 2.79 展示歷史地震海嘯水位變化歷線圖及資料表

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不易模擬澎湖海域近岸風浪特性，因此港研心規劃在近域風浪模組下建置小尺度澎湖海域近岸風浪模式，藉以模擬澎湖海域近岸風浪特性，並納入 TaiCOMS 風浪模擬作業化系統。

由於本計畫澎湖海域近岸風浪模式必須能與 TaiCOMS 近域風浪模組銜接，並配合既有的風浪模擬系統執行澎湖海域近岸風浪作業化模擬，因此本計畫規劃採用近域風浪模組相同的風浪數值模式(SWAN)建置澎湖海域近岸風浪模組。本年度(105)相關工作成果說明如下：

3.1.1 模式模擬範圍

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° 至 35° ，東經 110° 至 134° 之海域，數值計算網格解析度為 0.2° (或 $12'$)；近域風浪模組模擬範圍含蓋臺灣周圍海域北緯 21° 至 27° ，東經 117° 至 123° 之海域，數值計算網格解析度為 0.04° (或 $2.4'$)。基於提昇 TaiCOMS 風浪模擬作業化風場資料精度考量，本計畫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° 至 27° ，東經 117.6° 至 124° 之海域。

圖 3.3 粗虛線矩形區域為本計畫澎湖海域近岸風浪模組模擬範圍，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 $(120.48, 24.2)$ 。本計畫模式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 數值計算網格建置

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° (或 $0.48'$)，數值計算網格格點數為 187×177 。

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 3.4 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。

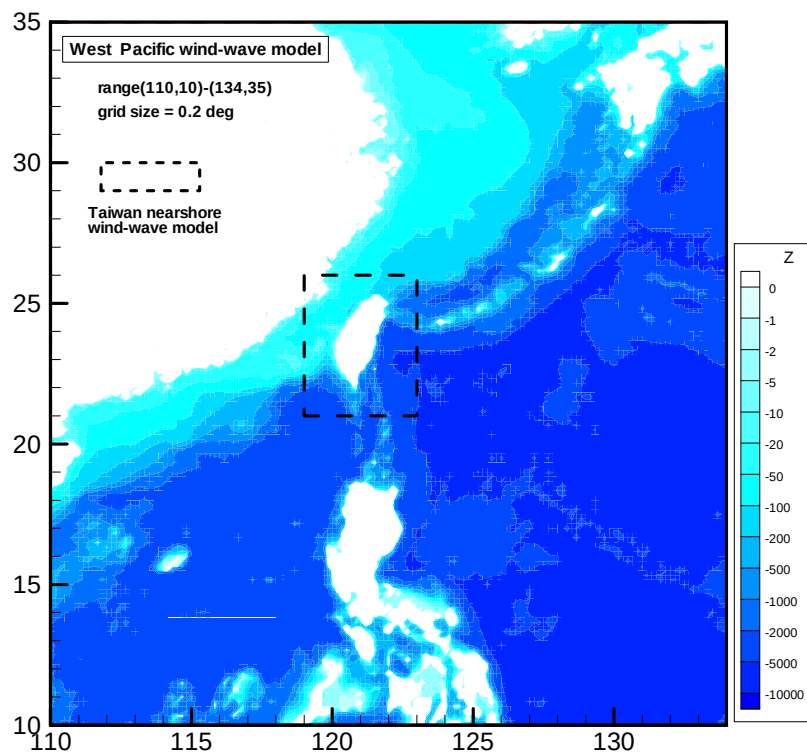


圖 3.1 西太平洋範圍遠域風浪模組模擬範圍及水深分布圖

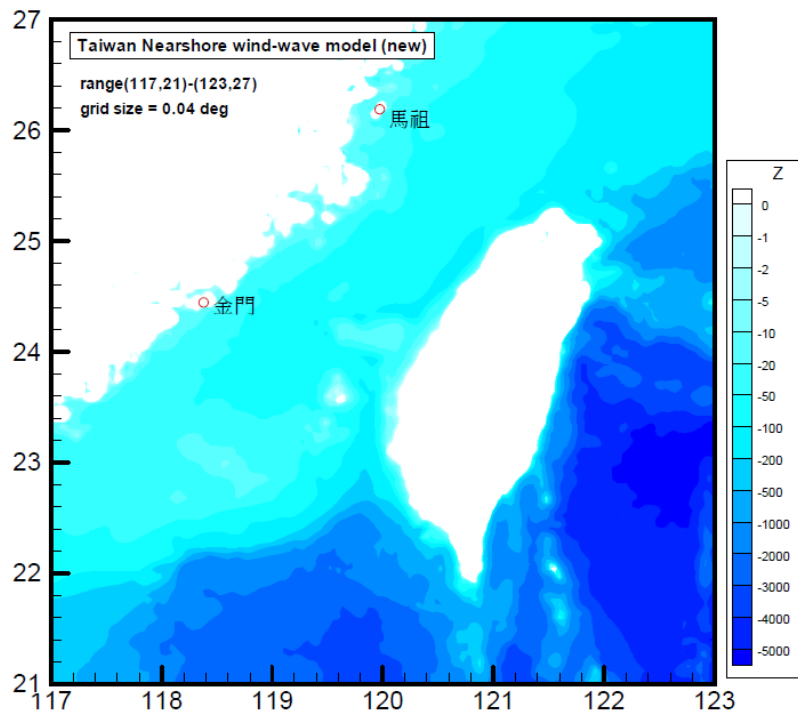
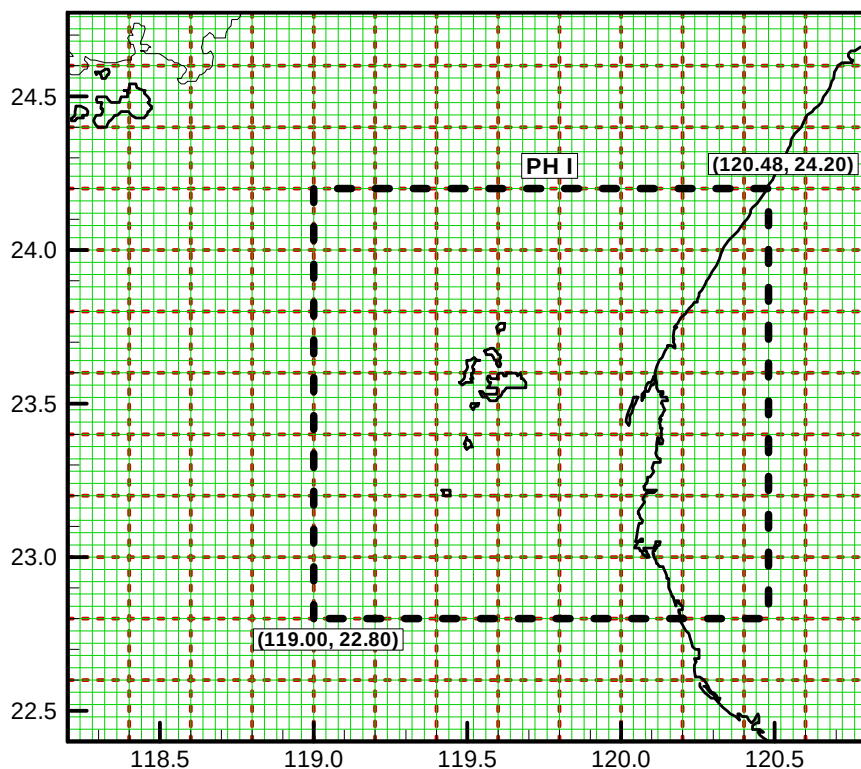


圖 3.2 臺灣周圍海域近域風浪模組模擬範圍及水深分布圖



(細虛線為遠域計算網格，實線為近域計算網格)

圖 3.3 澎湖海域風浪模擬範圍示意圖

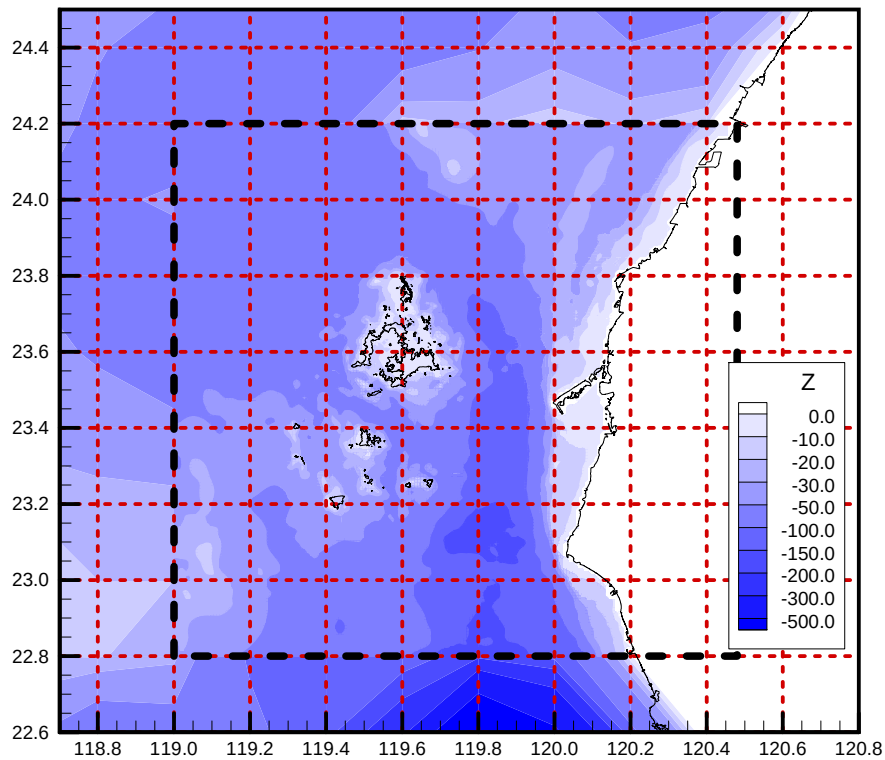


圖 3.4 澎湖海域小尺度風浪模式計算網格之地形水深分布圖

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。

澎湖海域近岸風浪模擬：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 τ_w 、海面粗糙長度 z_0 等(輸出檔案開頭名稱為 lawianal)；CHIEF 模組為 WAM 模式之核心，BOUINT 為巢狀網格被模擬時之必要程式，用於處理巢狀網格之邊界波譜。

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(θ_m)、平均週期(T_m)、風引起的摩擦速度(u_*)、風向(θ_w)、譜峰週期(T_p)、風曳力係數及無因次化波浪應力等 8 項，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

$$M_n = \int f^n E(f, \theta) df \cdot d\theta \quad \dots\dots\dots (6.1)$$

2. 頻率譜 $\bar{E}(f)$ 為

$$\bar{E}(f) = \int E(f, \theta) d\theta \quad \dots\dots\dots (6.2)$$

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

$$H_s = 4\sqrt{E_0} = 4\sqrt{M_0} \quad , \quad \text{其中波浪能量 } E_0 = M_0 \quad \dots\dots\dots (6.3)$$

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

$$T_m = M_{-1}/M_0 \quad \dots\dots\dots (6.4)$$

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

$$T_{m02} = \sqrt{M_0/M_2} \quad \dots\dots\dots (6.5)$$

6. 平均波向定義為

$$\langle \theta \rangle = \tan^{-1}(SF/CF) \quad \dots\dots\dots (6.6)$$

其中

$$SF = \int \sin \theta \cdot E(f, \theta) df \cdot d\theta \quad , \quad CF = \int \cos \theta \cdot E(f, \theta) df \cdot d\theta \quad \dots\dots\dots (6.7)$$

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

$$T_p = 1/f_p \quad \dots\dots\dots (6.8)$$

本計畫遠域風浪模擬操作流程如圖 3.5 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。

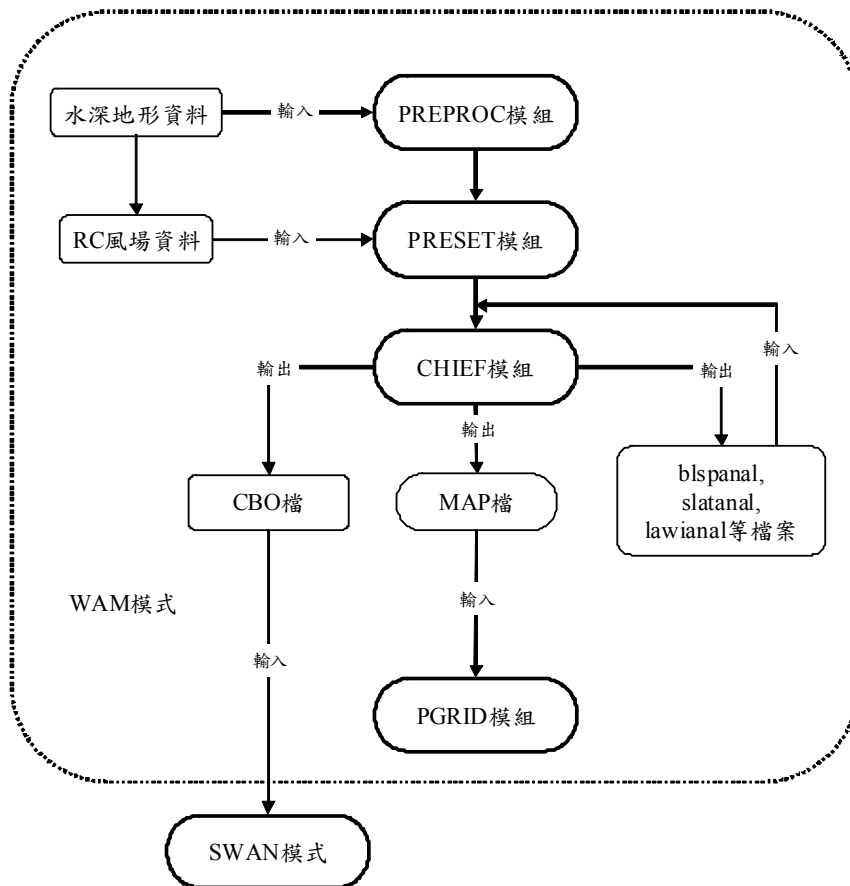


圖 3.5 遠域風浪模擬操作流程圖

(二) 近域風浪模組

針對 TaiCOMS 近域風浪模組之穩態模擬方式，本計畫提出非穩態模擬方式之改善措施，有關 SWAN 輸入參數設定值之修訂，可參考 2.3.3 節所述。圖 3.6 所示為本計畫近域風浪模組之非穩態模擬操作流程示意圖，模擬過程輸入資料包括地形水深資料檔、初始波場(或熱啟動)資料、逐時風場資料及逐時遠域巢狀邊界波譜資料等，輸出資料包括逐時數值計算結果、逐時巢狀邊界波譜資料(提供本計畫澎湖海域近岸風浪模組使用)及熱啟動檔(為接續模擬讀取的初始波場)等。

(三) 澎湖海域近岸風浪模組

同近域風浪模組，本計畫建置的澎湖海域近岸風浪模組同樣採用非穩態模擬方式模擬澎湖海域風浪，其操作流程與近域風浪模組相似，輸入資料包括地形水深資料檔、初始波場(或熱啟動)資料、逐時風

場資料及逐時近域巢狀邊界波譜資料等，輸出資料包括逐時數值計算結果及熱啟動檔(為接續模擬讀取的初始波場)等。

有關模式輸入主要參數設定值摘要如下：

```

MODE NONSTationary TWODimensional
SET NAUT
SET nor 0.0
CGRID REGular 119.0, 22.8, 0.0, 1.48, 1.4, 185, 175 CIRcle 24, 0.05, , 25
INPgrid BOTtom REGular 119.0, 22.8, 0.0, 195, 175, 0.008, 0.008 EXCeption
-10
INPgrid WInd REGular 117.5, 20.5, 0.0, 168, 180, 0.041667, 0.041667
NONSTationary yyyyymmdd1.000000 1.0 HR yyyyymmdd2.000000
BOUNdnest1 NEST 'fname' CLOS
NUMeric ACCUR 0.02, 0.02, 0.02, 98 NONStat 1 0.1 DIRimpl 0.5, 4
POINTS 'Penghubu' 119.552 23.728
SPECout 'Penghubu' SPEC2D ABSolute 'fname' OUTPUT yyyyymmdd1.000000
1.0 HR
TABLE 'Penghubu' head 'fname' time xp yp hs per dir rtp pdir
tm01 tm02 tps hswell wind dep OUTPUT yyyyymmdd1.000000 1.0
HR

```

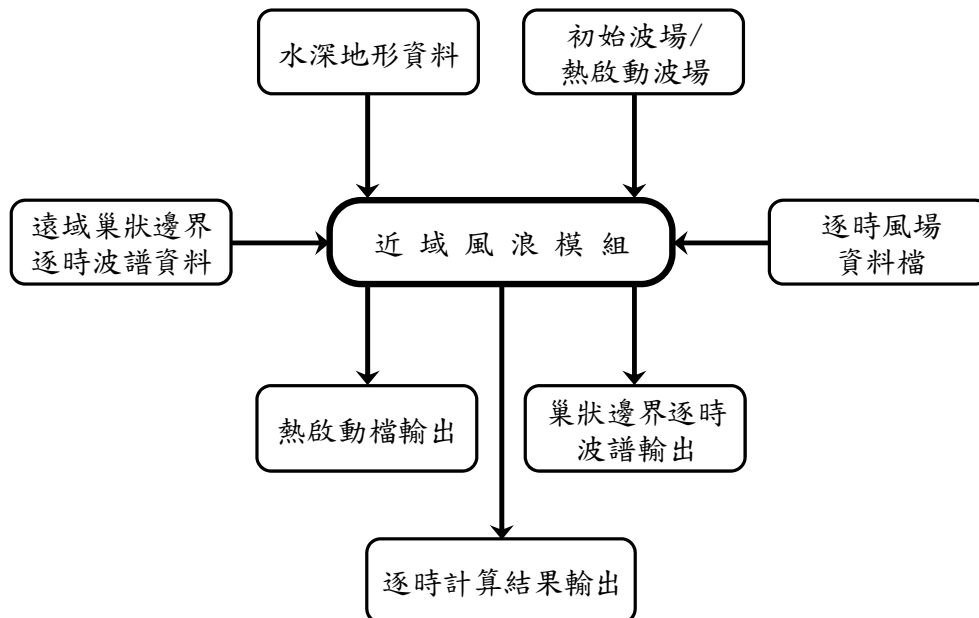


圖 3.6 近域風浪模擬操作流程圖

3.1.6 風浪模擬作業化系統安裝與模擬測試

本計畫參照 TaiCOMS 風浪模擬作業化系統架構在 Windows 作業系統下建構風浪模擬作業化系統及澎湖海域近岸風浪模擬子系統，並通過每日風浪作業化模擬測試，已於 105 年 11 月 1 日移轉至港研中心持續進行測試。

本計畫以 2015 年侵臺中度颱風蘇迪勒(SOUDELOR)為例說明澎湖海域近岸風浪作業化模擬成果。圖 3.7 所示為近域風浪模組及澎湖海域近岸風浪模組模擬結果輸出點位，包括澎湖港(龍門尖山港區)、澎湖資料浮標、東吉島波浪測站及安平港等，其中澎湖海域近岸風浪模組因網格解析度較佳，因此輸出點位與觀測點較接近。圖 3.8 及圖 3.9 分為每日風浪作業化模擬輸入之預報風場資料與港研中心在安平港、澎湖港即時觀測風速之比較，圖中圖示各代表性符號之日期代表作業化模擬日期，每日有 72 筆模擬輸出波高資料，其中前 24 組波高值以實心符號表示，代表該日追算階段模擬波高(前 24 小時模擬結果)，後 48 組波高值以空心符號表示，代表為預測階段模擬波高。由颱風侵臺期間風速觀測資料得知安平港及澎湖港(龍門尖山碼頭區)測得最大風速分別約為 35m/s 及 22m/s，另由作業化組合風場與安平港及澎湖港風速比較結果得知：颱風期間 6、7 日作業化組合風場在預測階段，對於颱風風場的影響有明顯的高估現象發生；對於颱風影響最劇烈時段(圖中觀測值高風速時段)，8、9 日作業化組合風場的風場資料則出現低估的現象。此現象表示由系統產生的組合風場在颱風期間，追算階段風場不一定能提供較精確的風場模擬結果。

本計畫近域風浪模組及澎湖海域近岸風浪模組逐日(6~10 日)風浪作業化模擬之示性波高模擬值與安平港、澎湖資料浮標、澎湖港及東吉島等觀測值比較，如圖 3.10 至圖 3.17 所示。整體而言，澎湖海域近岸風浪模組示性波高模擬值與觀測值較為接近，顯示澎湖海域近岸風浪模組因數值計算網格解析度較高，網格地形水深資料亦較遠域及近域模組 ETOPO1 精確等因素，使得其風浪模擬結果之解析度及正確性優於近域風浪模組。因此本計畫澎湖海域不僅可提供解析度較高的模

擬波浪場資訊外，對於澎湖各近岸港口亦可提供可信度較高的風浪模擬值，供相關單位參考。

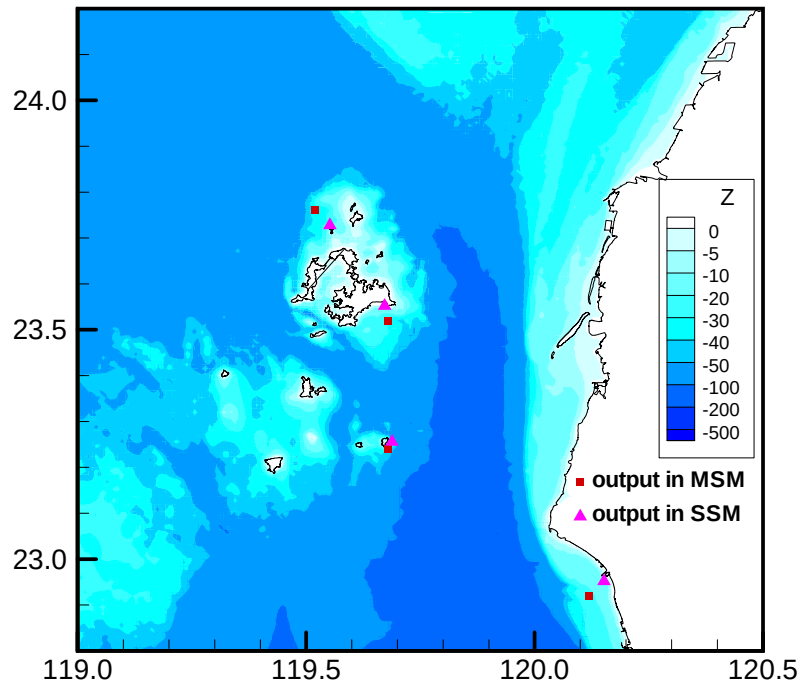


圖 3.7 近域風浪模組及澎湖海域近岸風浪模擬結果輸出點位圖

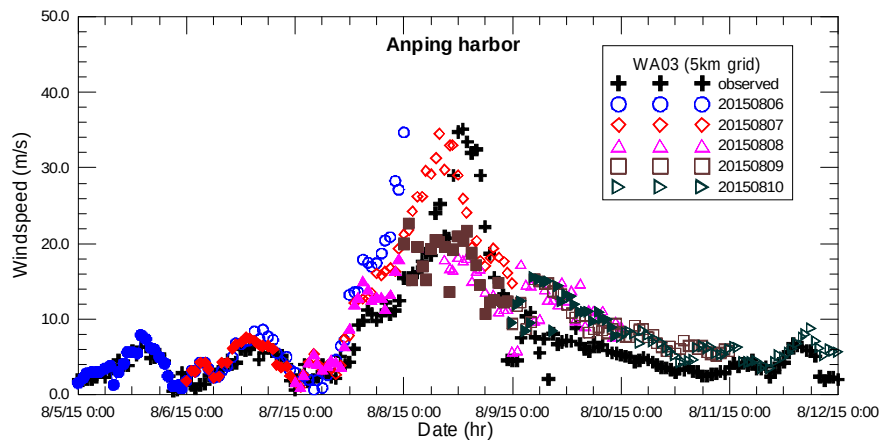


圖 3.8 每日作業化輸入之預測風場資料與安平港風速觀測值比較圖

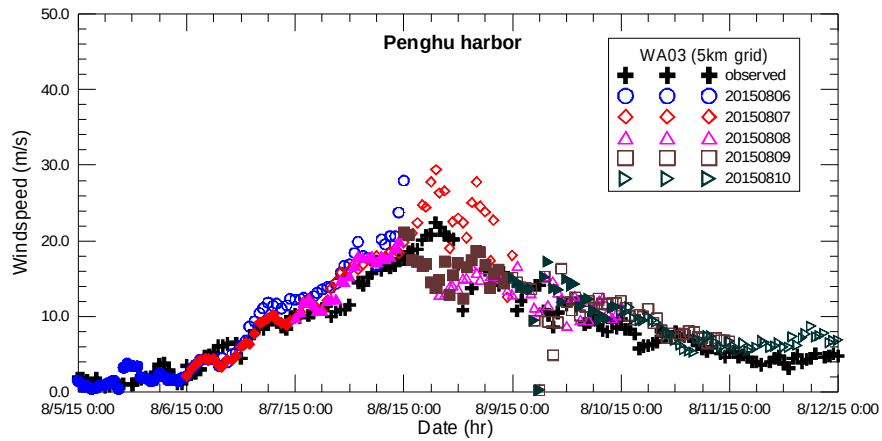


圖 3.9 每日作業化輸入之預測風場資料與澎湖港(龍門尖山港區)風速觀測值比較圖

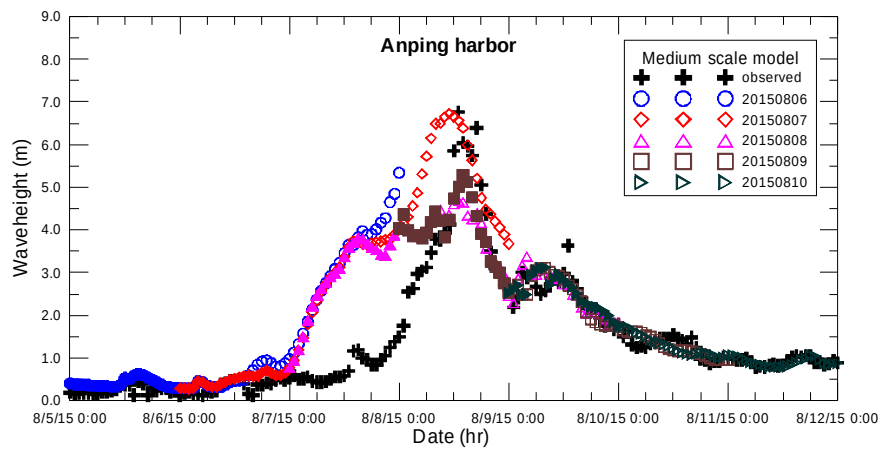


圖 3.10 近域風浪模組每日作業化安平港風浪模擬結果與示性波高觀測值比較圖

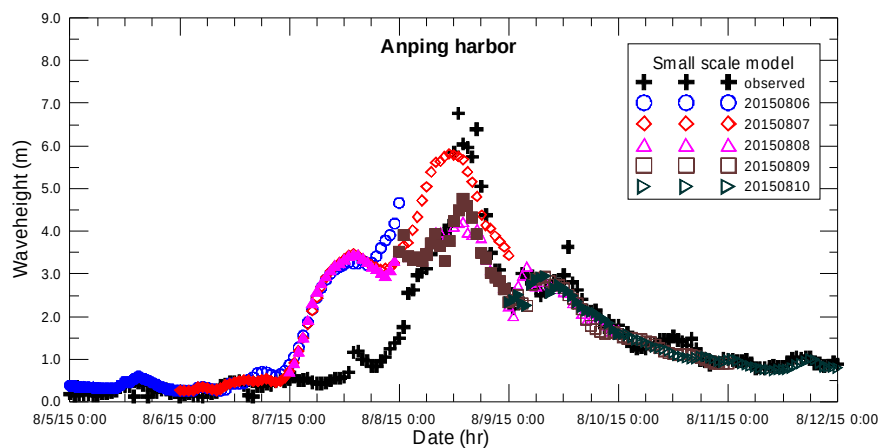


圖 3.11 澎湖海域近岸風浪模組每日作業化安平港風浪模擬結果與示性波高觀測值比較圖

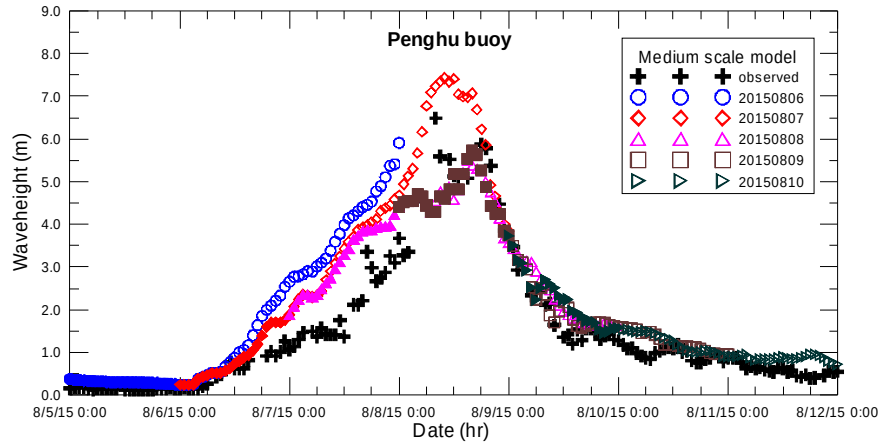


圖 3.12 近域風浪模組每日作業化澎湖資料浮標處風浪模擬結果與示性波高觀測值比較圖

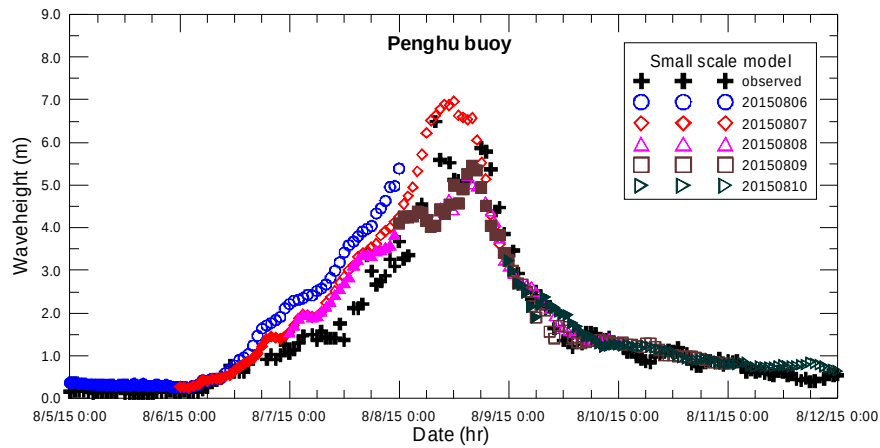


圖 3.13 澎湖海域近岸風浪模組每日作業化澎湖資料浮標處風浪模擬結果與示性波高觀測值比較圖

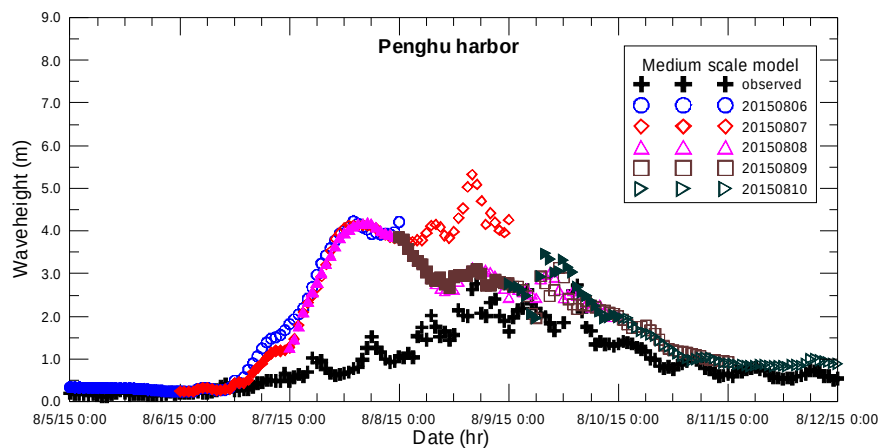


圖 3.14 近域風浪模組每日作業化澎湖港風浪模擬結果與示性波高觀測值比較圖

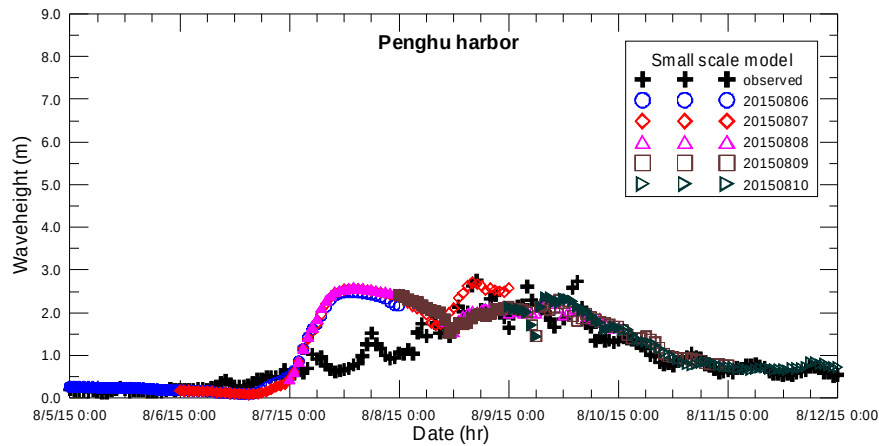


圖 3.15 澎湖海域近岸風浪模組每日作業化澎湖港風浪模擬結果與示性波高觀測值比較圖

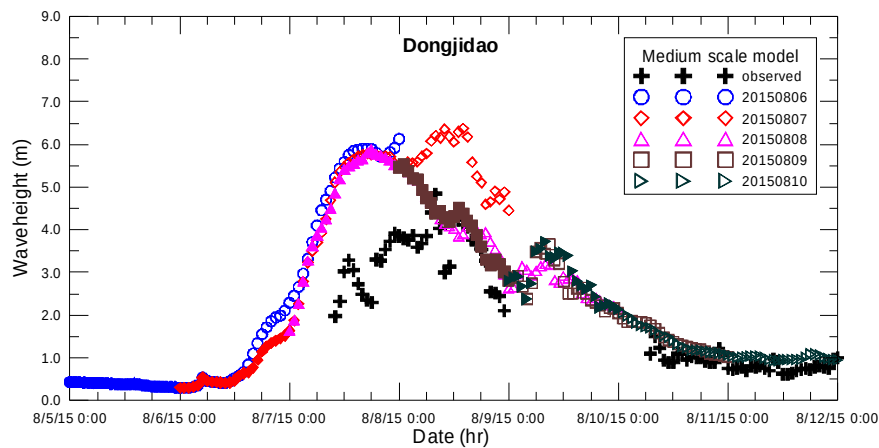


圖 3.16 近域風浪模組每日作業化東吉島風浪模擬結果與示性波高觀測值比較圖

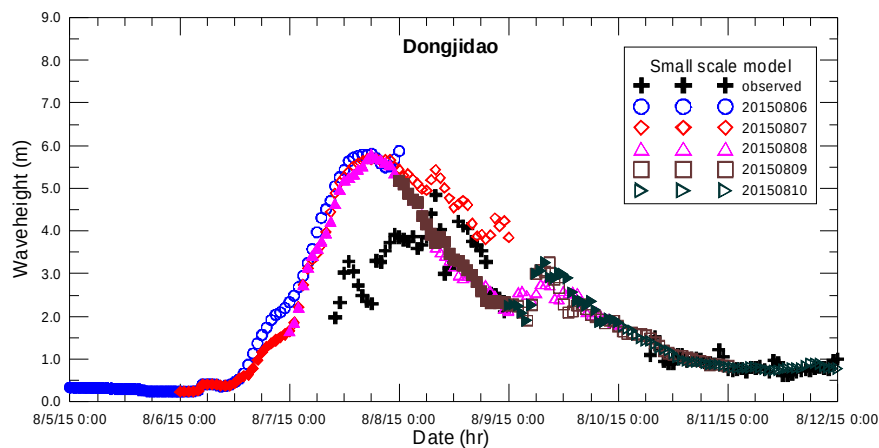


圖 3.17 澎湖海域近岸風浪模組每日作業化東吉島風浪模擬結果與示性波高觀測值之比較圖

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(105)為此項研究工作第二年。

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 3.18 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 3.19 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 3.20 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(參考圖 3.21)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 3.21 及圖 3.22 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 3.23 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前述 7.2 節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 3.24 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 3.6 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 3.25 至圖 3.38 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 3.25~圖 3.26 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 3.29~圖 3.30 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。

SSW 波向波浪場數值模擬結果，如圖 3.31~圖 3.32 所示；由波高及相位分布圖顯示 SW 向波浪在外海傳播過程會在 16m 等深線凹處發生類似聚焦現象，此時波高明顯較周圍波浪大；在進入外港池後，波浪在東防波堤外側水域因反射作用形成重複波現，波高明顯增大。同樣地，西防波堤對 SSW 向波浪產生的遮蔽效應亦不顯著，因此通過東、西防波堤頭進入港內的波浪，因反射波作用部份碼頭區水域波高可達 0.2 m 左右。

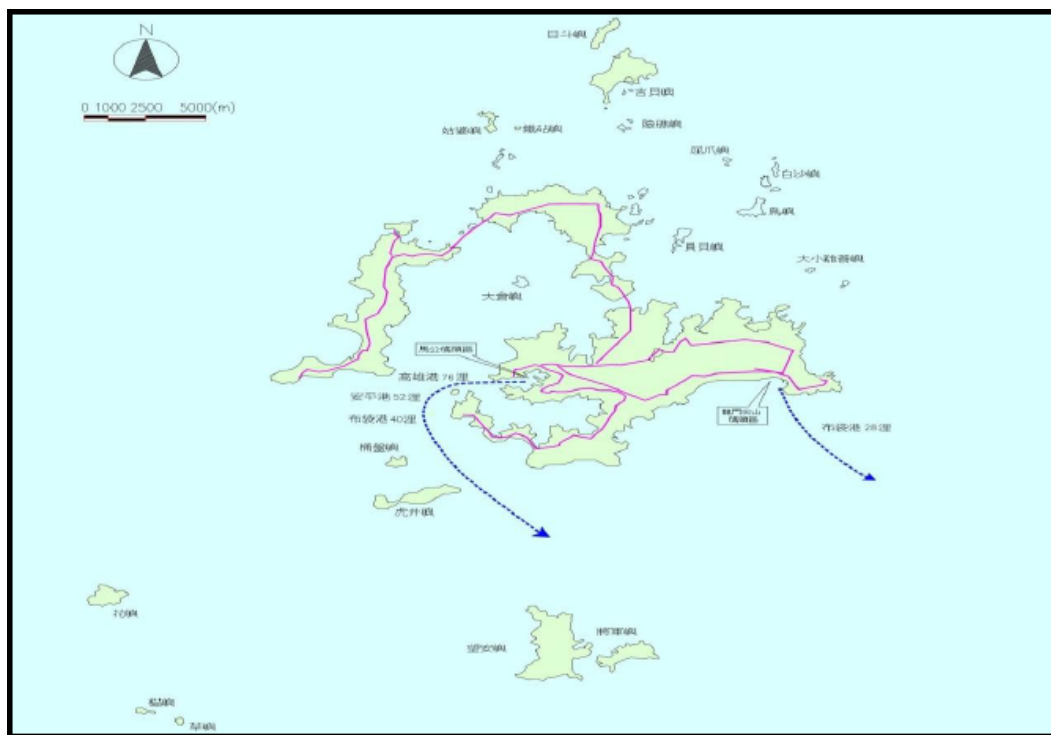


圖 3.18 澎湖港地理位置圖



(資料來源：臺灣港務股份有限公司網站)

圖 3.19 龍門尖山碼頭區平面規劃圖

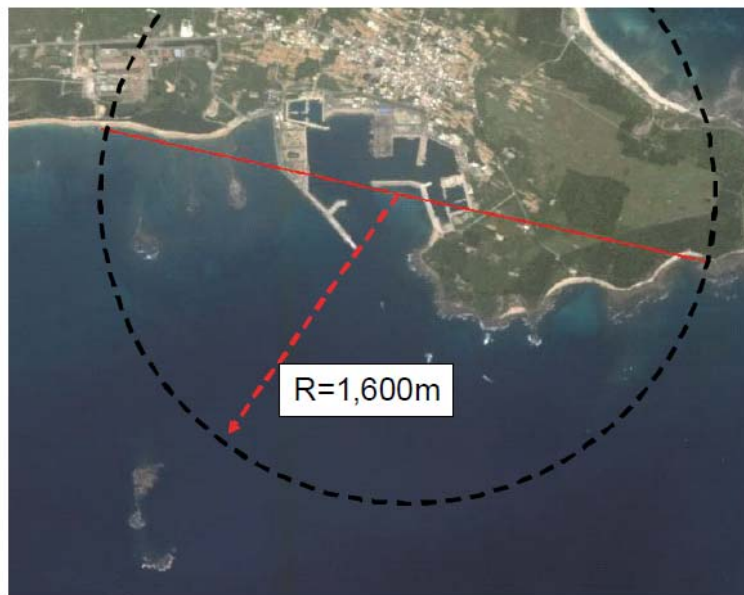


圖 3.20 澎湖港龍門尖山港區港域波浪模擬範圍示意圖

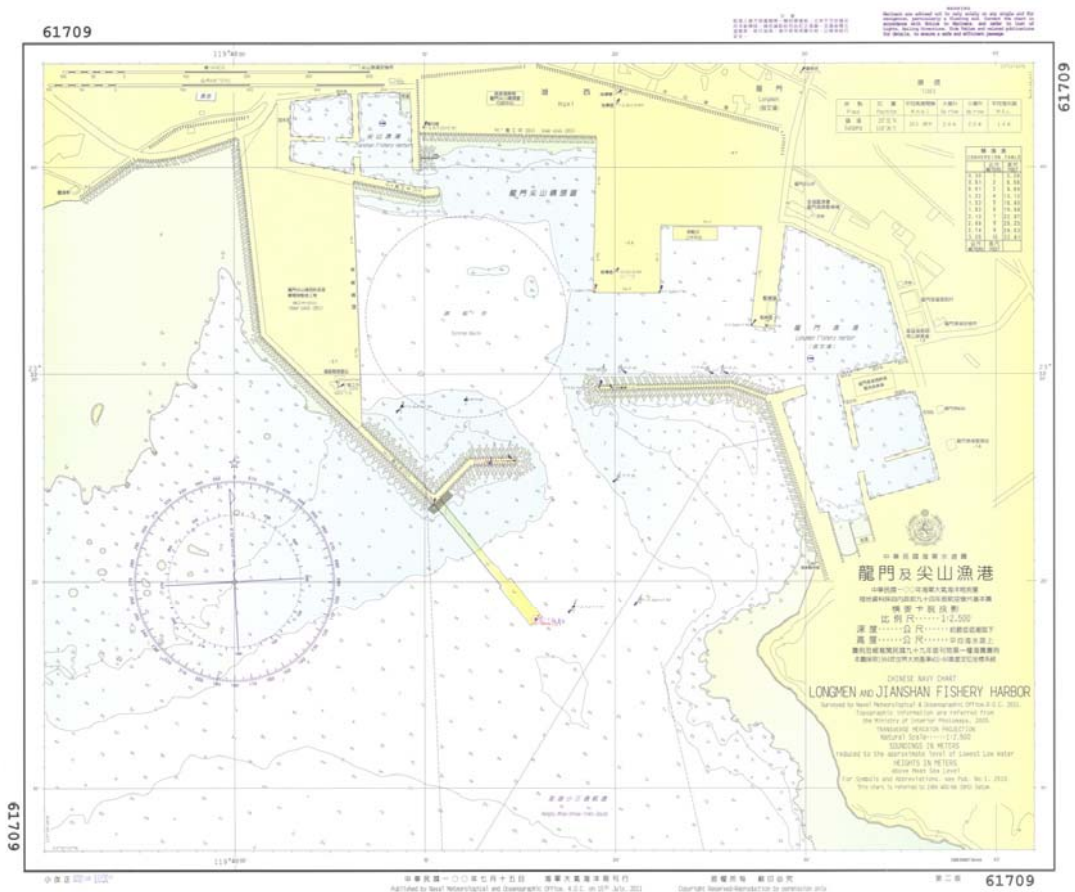


圖 3.21 海軍大氣海洋局刊行海圖 61709 龍門及尖山漁港

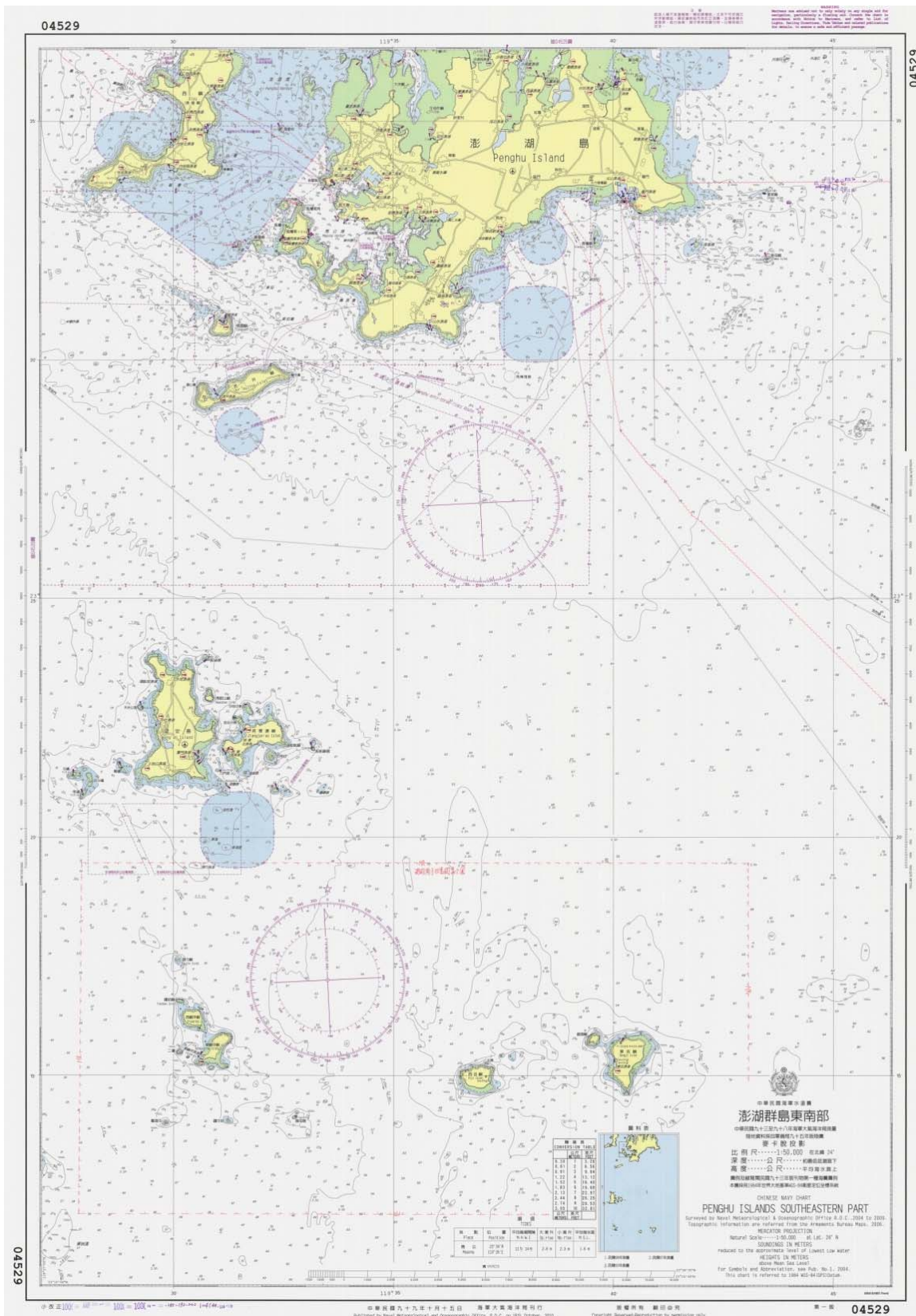


圖 3.22 海軍大氣海洋局刊行海圖 04529 澎湖群島東南部

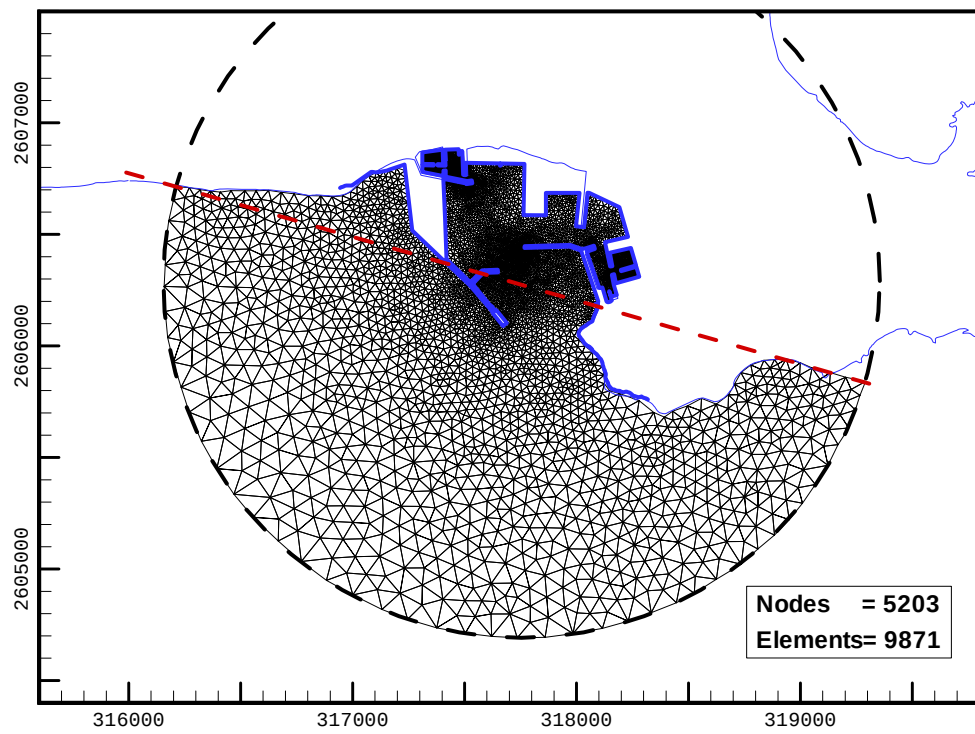


圖 3.23 澎湖港龍門尖山港區模擬範圍有限元素粗網格分布圖

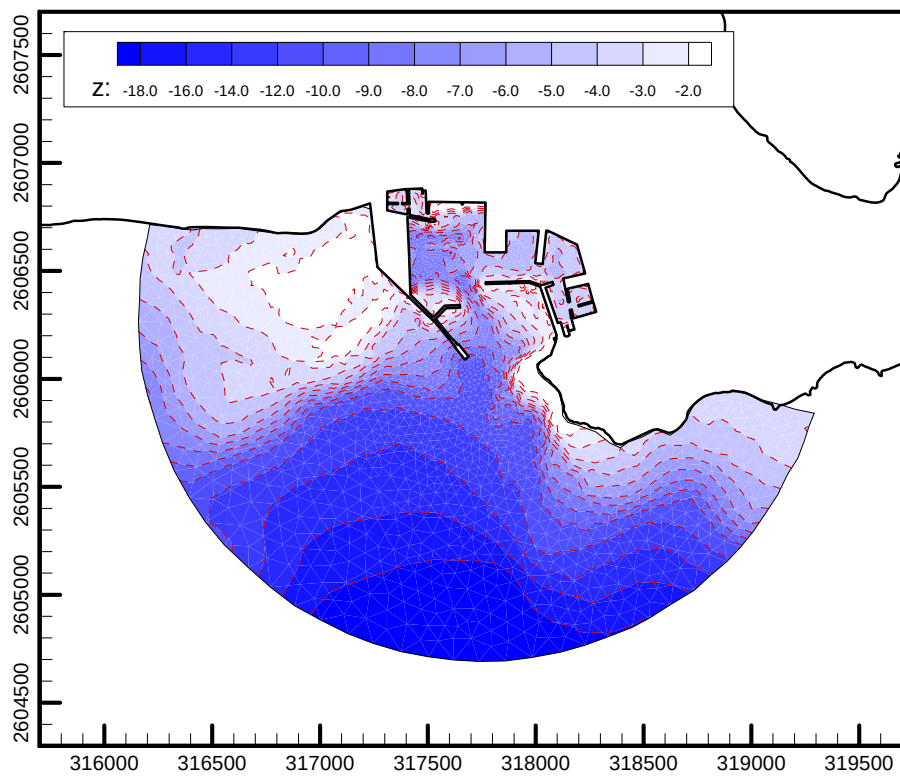


圖 3.24 澎湖港龍門尖山港區模擬範圍粗網格地形水深分布圖

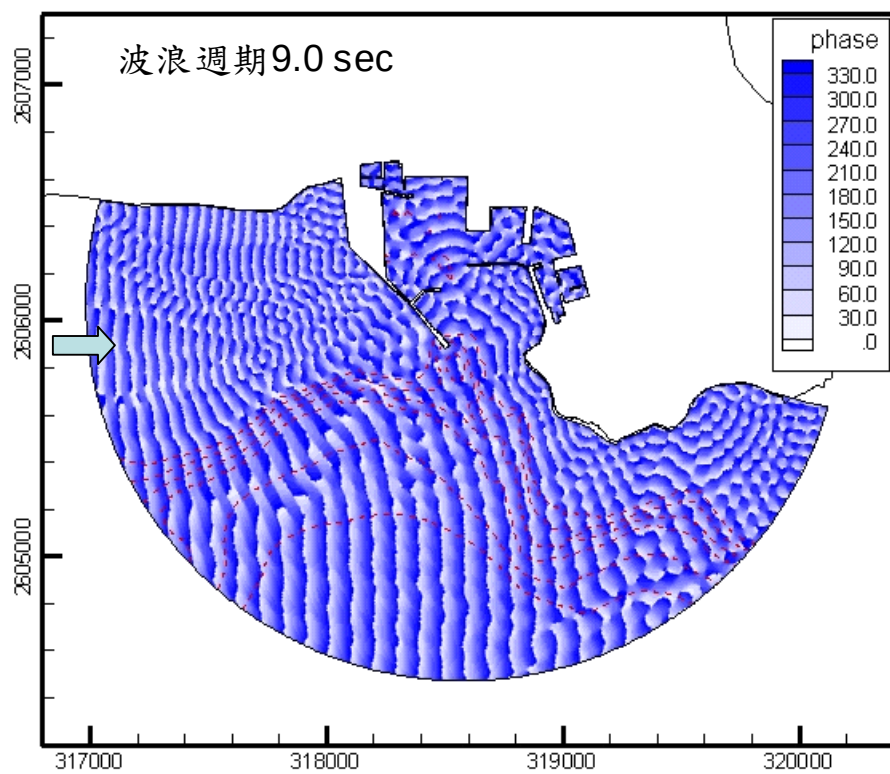


圖 3.25 澎湖港龍門尖山港區 W 向波浪場模擬結果相位分布圖

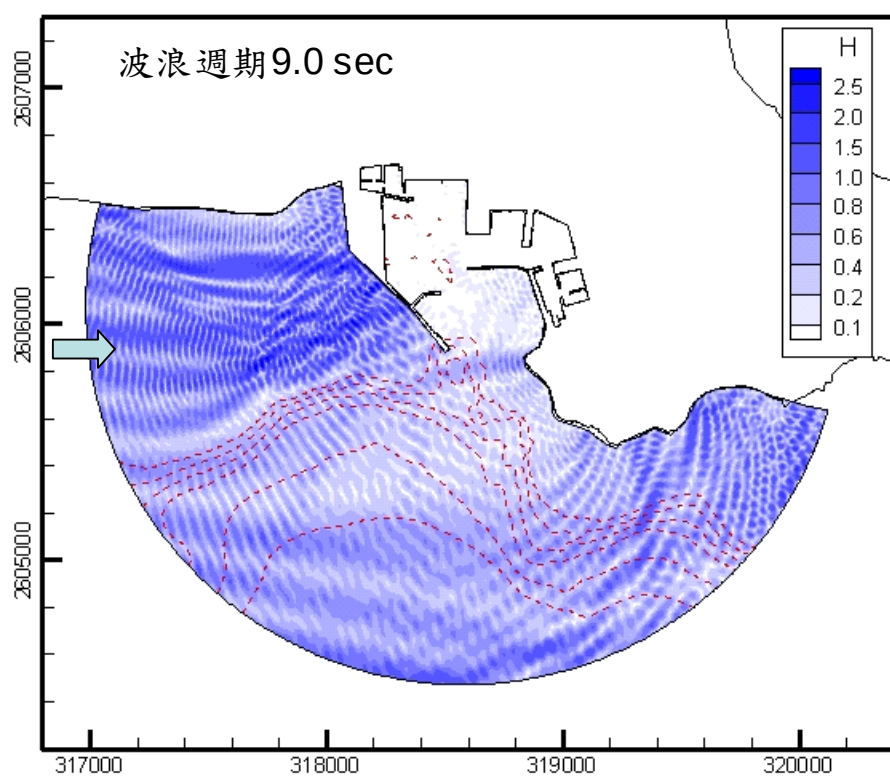


圖 3.26 澎湖港龍門尖山港區 W 向波浪場模擬結果波高分布圖

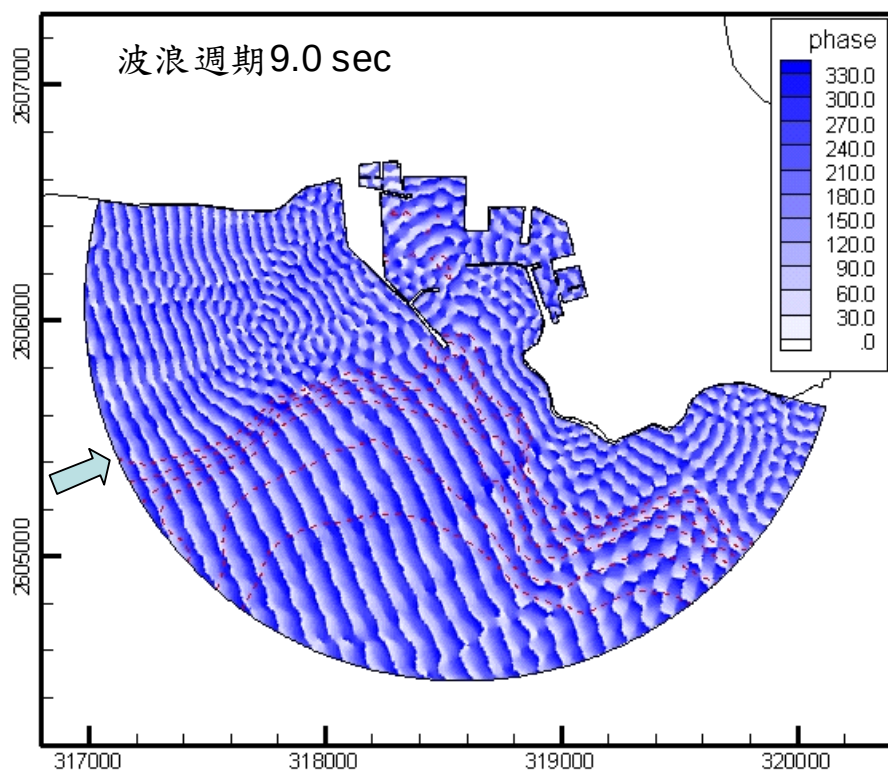


圖 3.27 澎湖港龍門尖山港區 WSW 向波浪場模擬結果相位分布圖

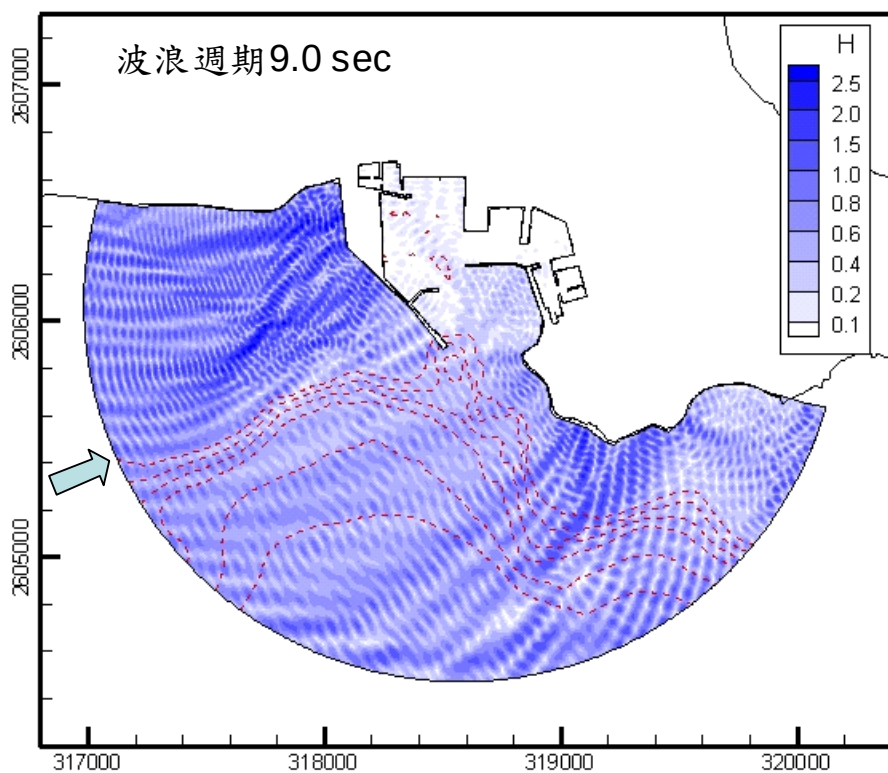


圖 3.28 澎湖港龍門尖山港區 WSW 向波浪場模擬結果波高分布圖

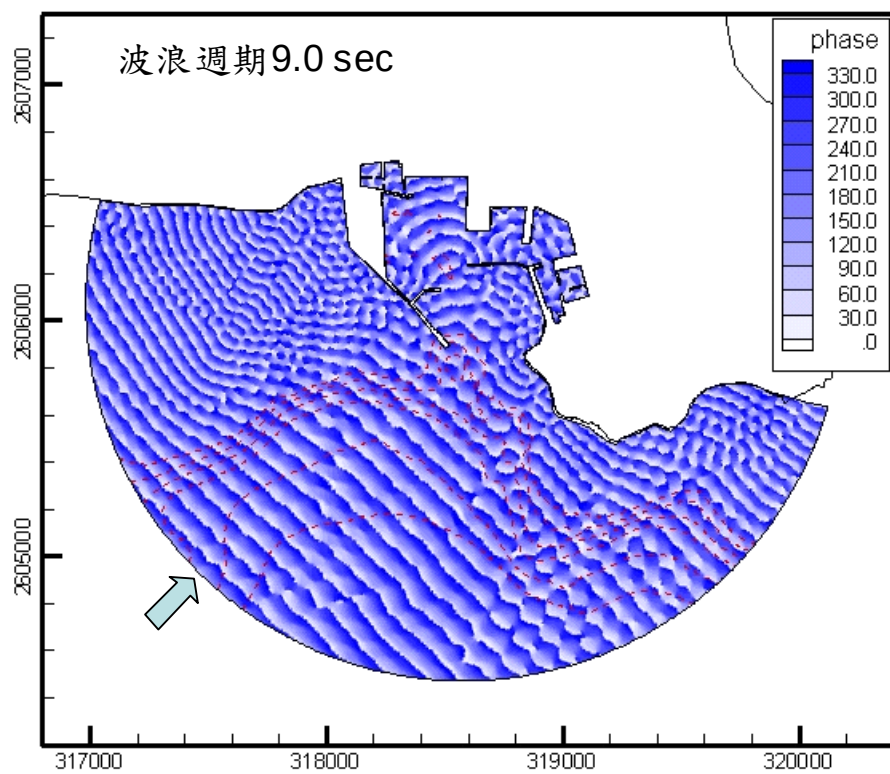


圖 3.29 澎湖港龍門尖山港區 SW 向波浪場模擬結果相位分布圖

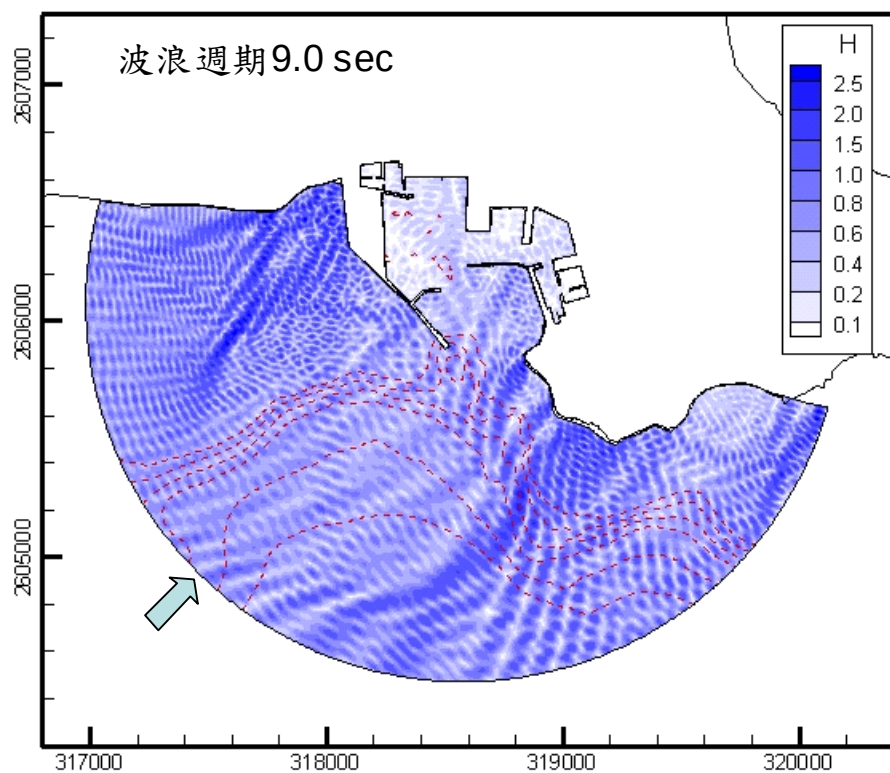


圖 3.30 澎湖港龍門尖山港區 SW 向波浪場模擬結果波高分布圖

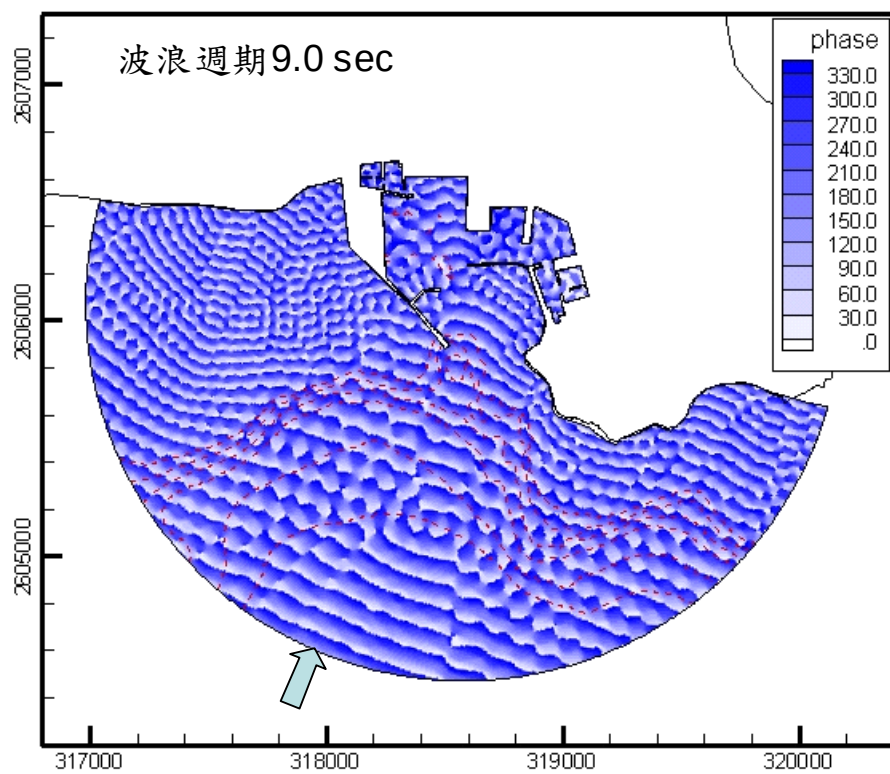


圖 3.31 澎湖港龍門尖山港區 SSW 向波浪場模擬結果相位分布圖

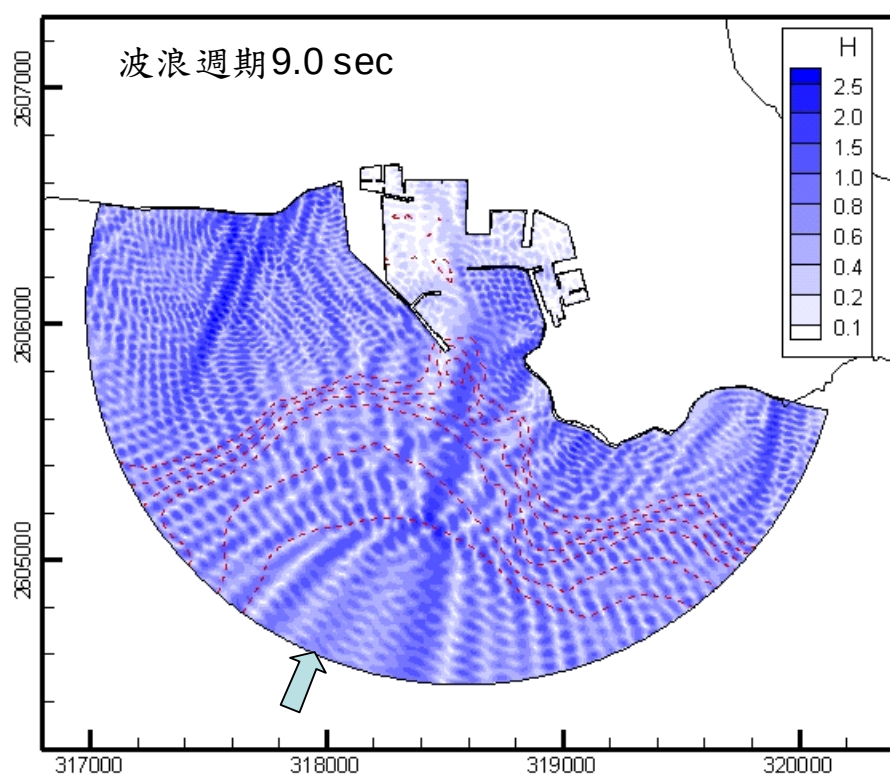


圖 3.32 澎湖港龍門尖山港區 SSW 向波浪場模擬結果波高分布圖

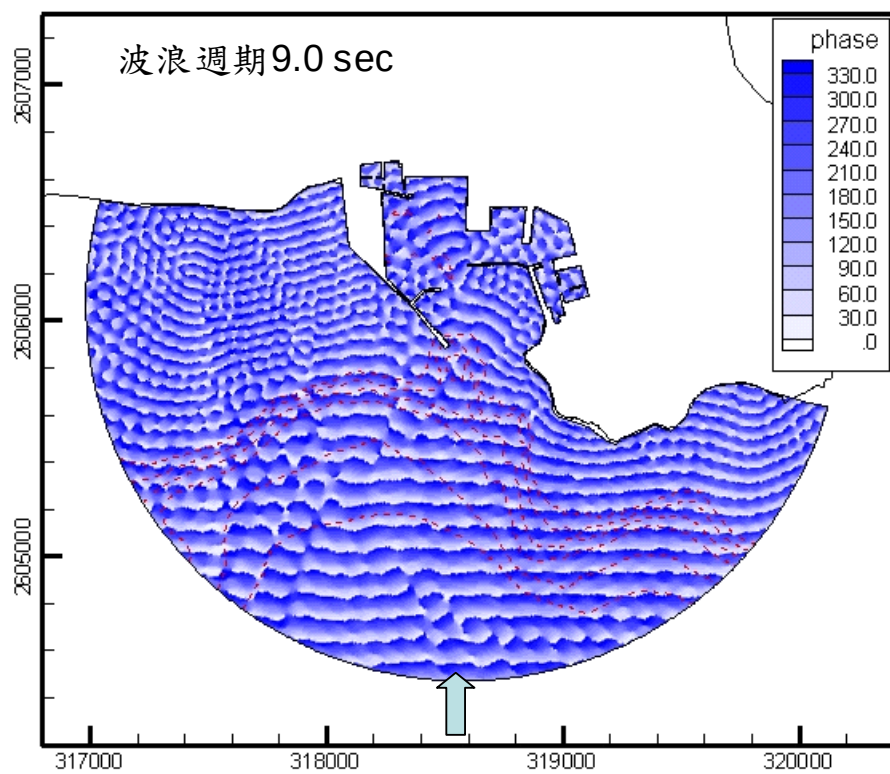


圖 3.33 澎湖港龍門尖山港區 S 向波浪場模擬結果相位分布圖

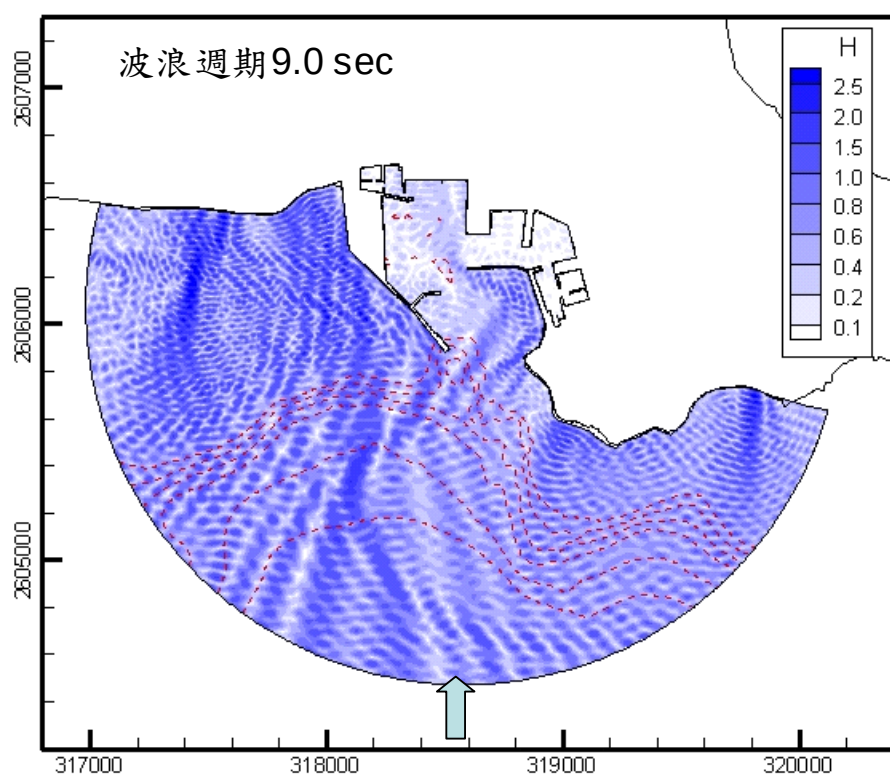


圖 3.34 澎湖港龍門尖山港區 S 向波浪場模擬結果波高分布圖

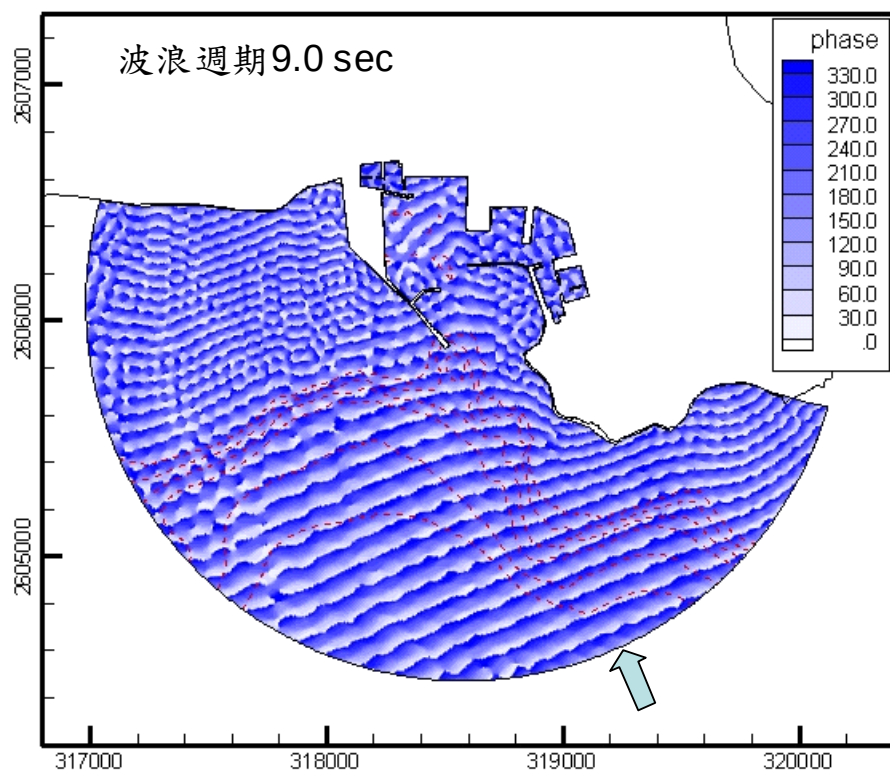


圖 3.35 澎湖港龍門尖山港區 SSE 向波浪場模擬結果相位分布圖

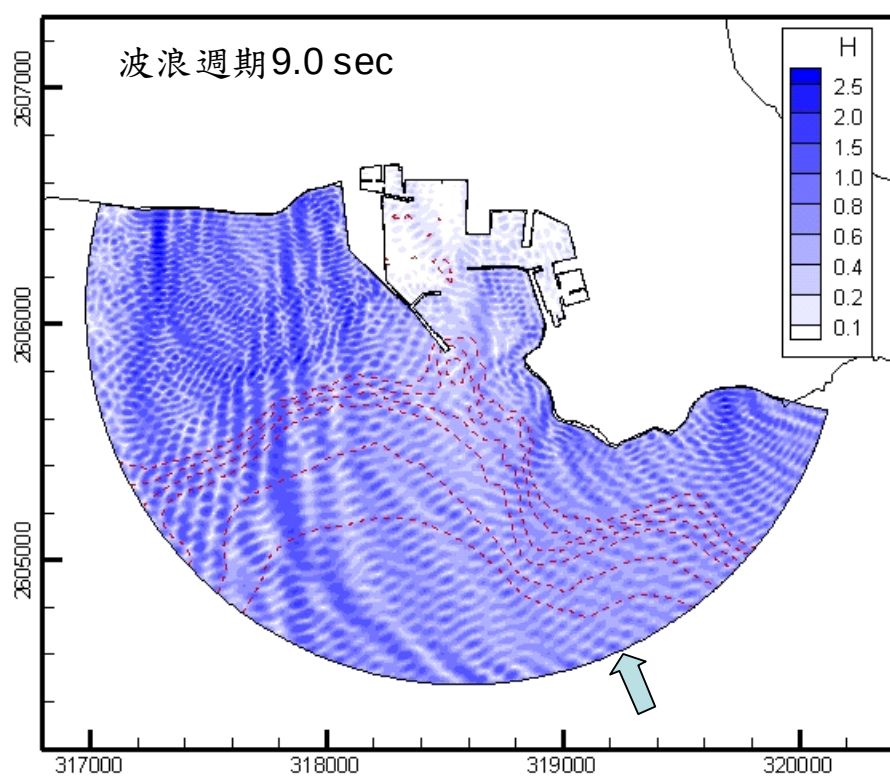


圖 3.36 澎湖港龍門尖山港區 SSE 向波浪場模擬結果波高分布圖

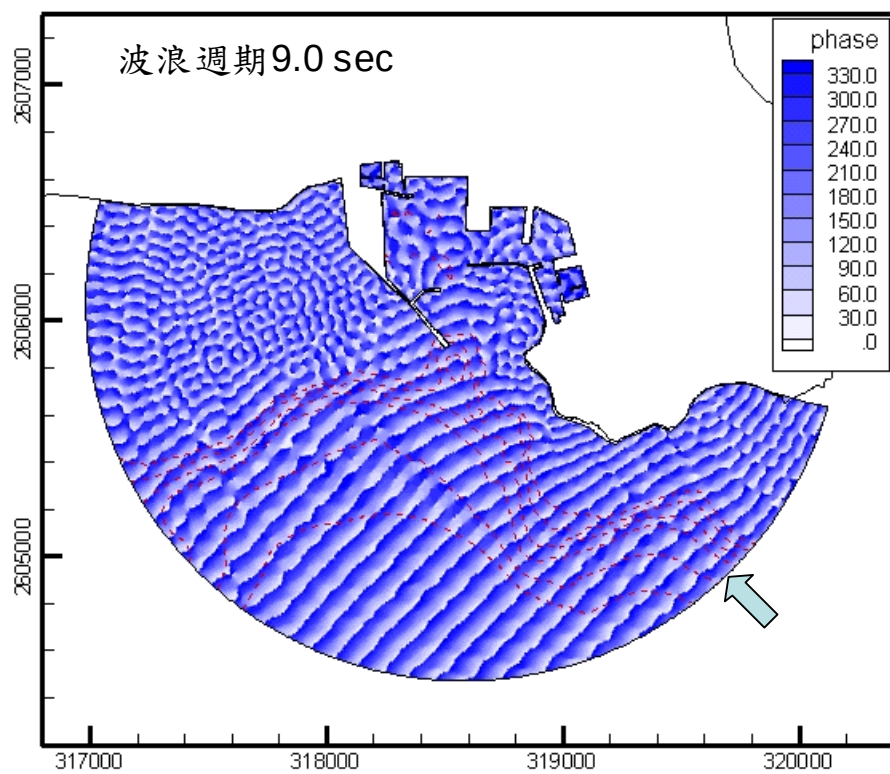


圖 3.37 澎湖港龍門尖山港區 SE 向波浪場模擬結果相位分布圖

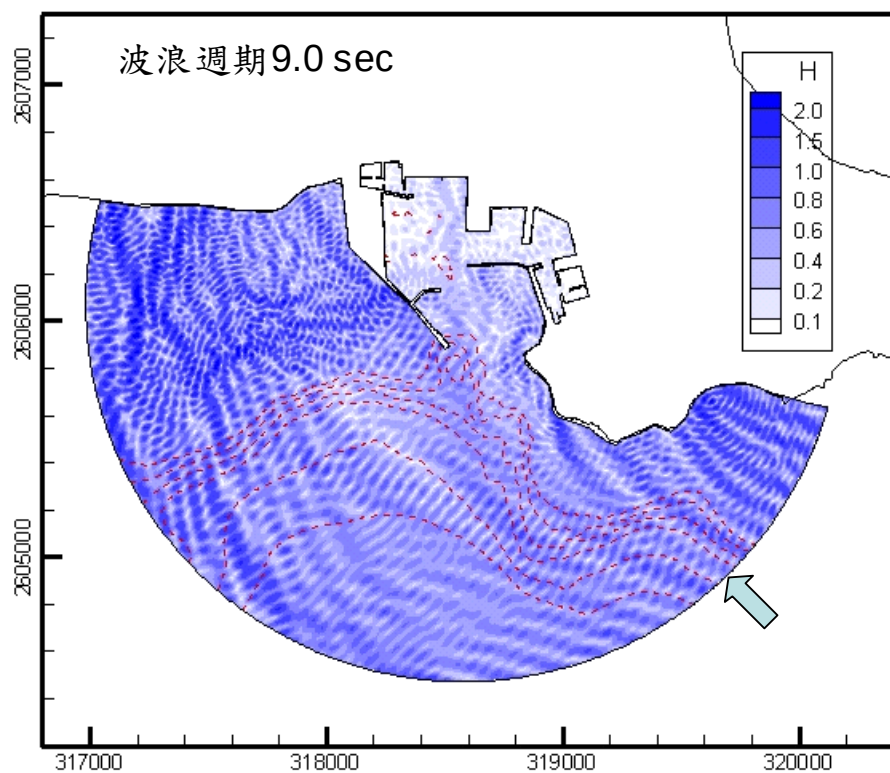


圖 3.38 澎湖港龍門尖山港區 SE 向波浪場模擬結果波高分布圖

3.3 港池共振特性探討

每一港池均存在特有之自然週期(natural periods, T_N)，其與港池形狀及地形(或水深)關係密切，對於不規則形狀或地形之港域往往需要藉由數值方法才能探討港池本身共振問題。為瞭解本計畫澎湖港龍門尖山港區港池共振特性，本計畫利用已建置的細尺度波浪模組進行數值模擬與分析。

由於港池共振特性或港內波高放大率與無因數參數有關 kL ， k 為入射波浪之波數(wave number)， L 為港池特性長度；因此本計畫波浪計算條件設定為 $kL=0.25 \sim 100$ 範圍，其中 k 值採用港外海無限領域等水深條件及決定。針對本計畫澎湖港龍門尖山港區細尺度波浪模組而言，外海無限領域等水深值為 13.0 m，港池特性長度量自外港口(西防波堤延伸段開口)至港池底部(7 號碼頭)長度約 790 m。

數值模擬假設條件說明：外海假想海岸線反射率 $K_r=1$ ，有限領域底床摩擦係數假設為 0.001，外海入射波波向為 196° (來向)；港內碼頭岸壁及具消波作用之海岸線及海岸構造物反射率均假設其 $K_r=1.0$ 。假設水位為平均潮位，波浪模擬週期共計 393 組。

在上述假設條件下港池內檢核點選取 A、B、C、D、E 等五個點位，如圖 3.39 所示，分別繪出波高放大率與無因次參數 kL 之關係如圖 3.40 至圖 3.44 所示。依據數值分析結果顯示澎湖港龍門尖山港區港池共振第一(或基本)共振模態約落在 $kL=0.564$ (或波浪週期約 780s)附近，此時港域內波高放大率分布情形如圖 3.45 所示，顯示波高放大率自港口往港渠末端增大，港內無任何節點產生，符合港池基本共振模態之定義。依據郭(2004)所繪海洋波浪能量分布圖指出週期 780s 波浪已屬於長週期波，發生的機制可能如地震引起的海嘯。

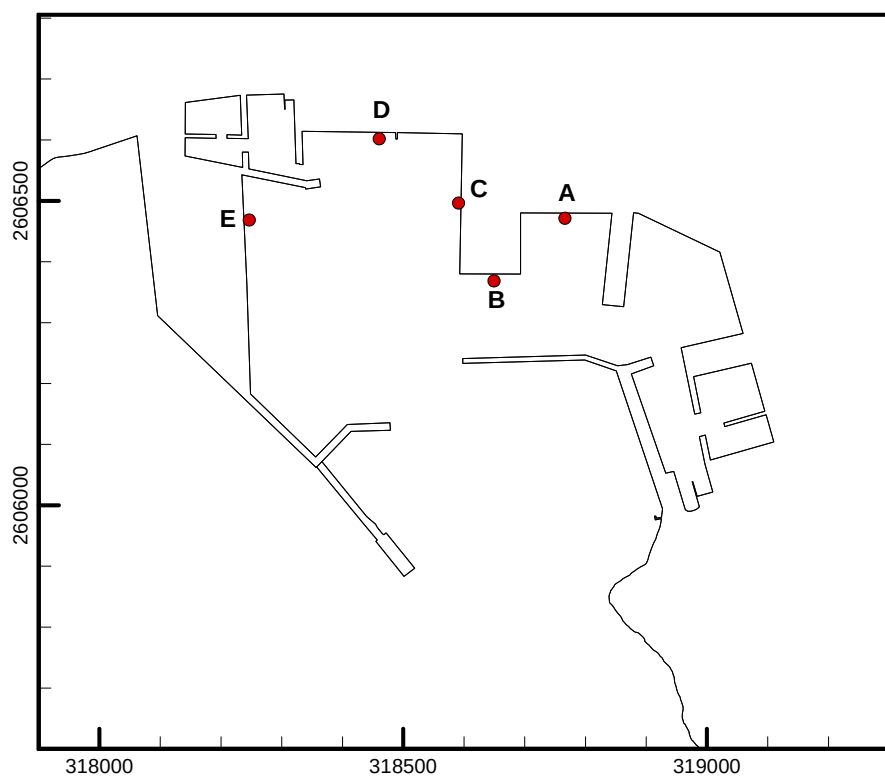


圖 3.39 澎湖港龍門尖山港區 SE 向波浪場模擬結果波高分布圖

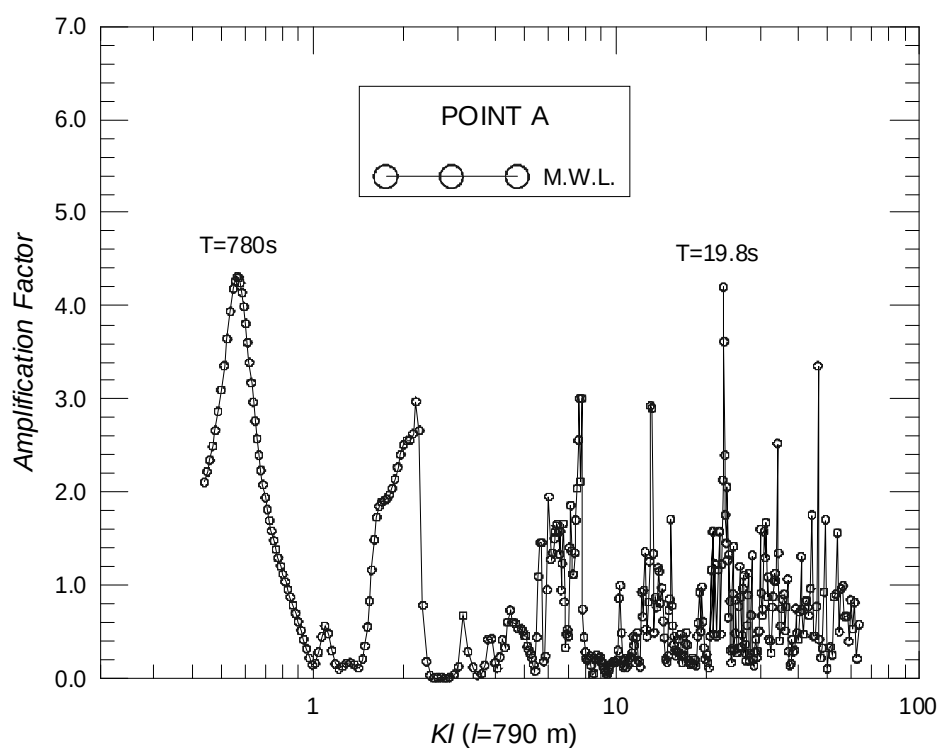


圖 3.40 澎湖港龍門尖山港區檢核點 A 波高放大率與無因次參數 KI 之關係圖

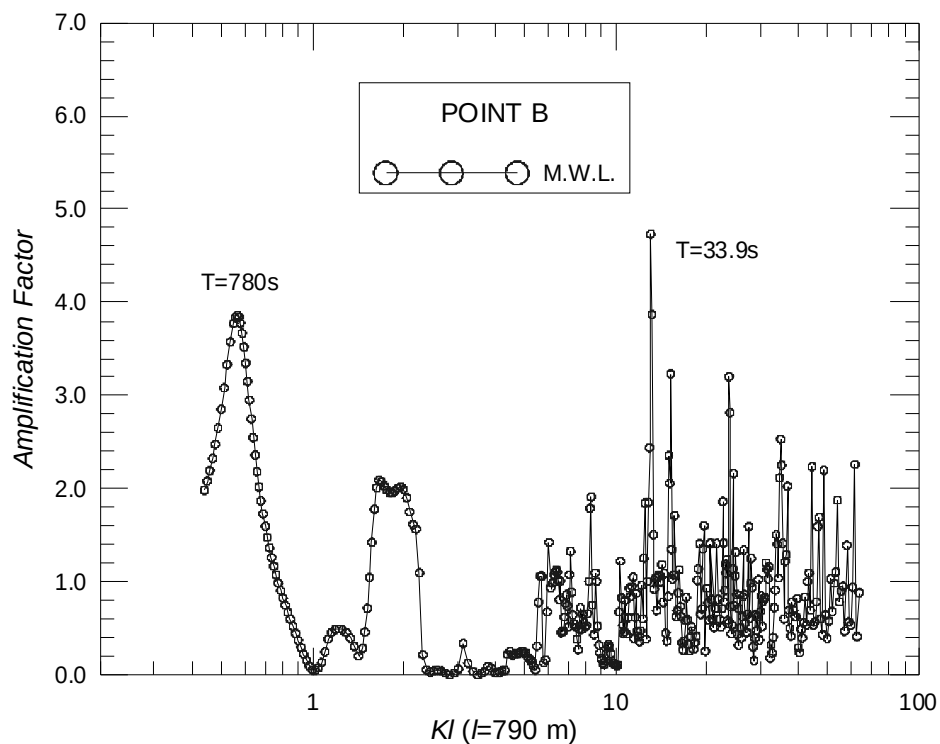


圖 3.41 澎湖港龍門尖山港區檢核點 B 波高放大率與無因次參數 KI 之關係圖

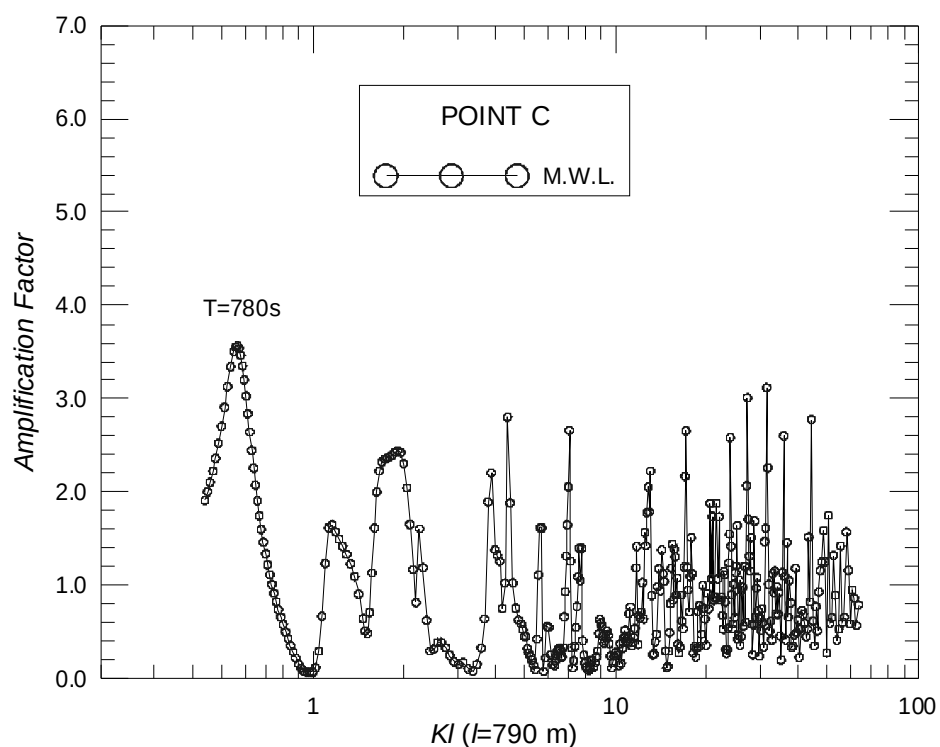


圖 3.42 澎湖港龍門尖山港區檢核點 A 波高放大率與無因次參數 KI 之關係圖

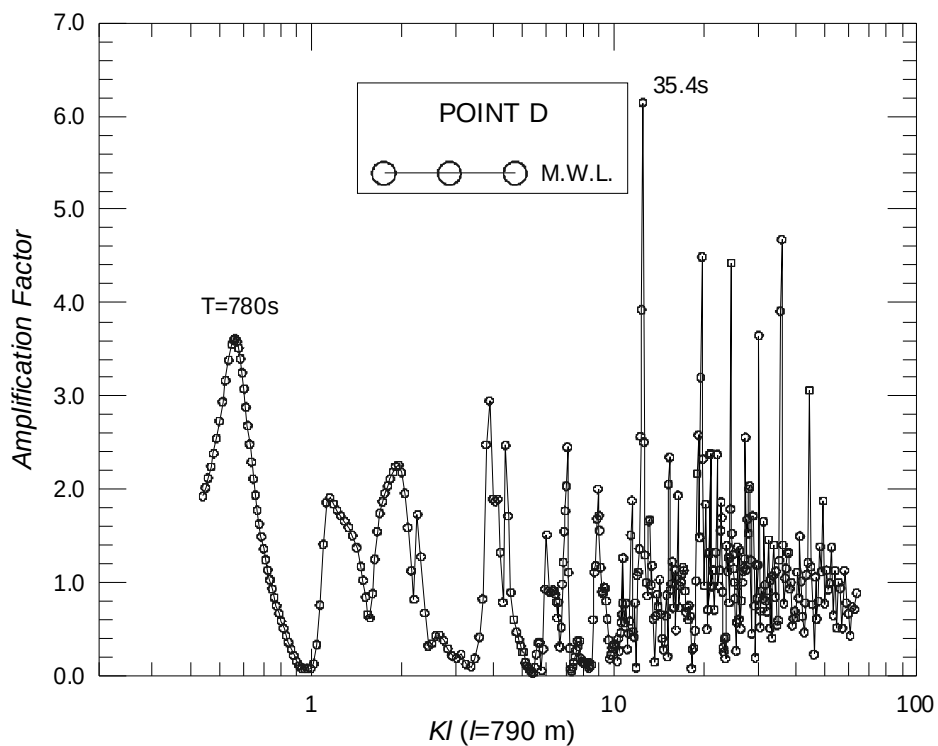


圖 3.43 澎湖港龍門尖山港區檢核點 D 波高放大率與無因次參數 KL 之關係圖

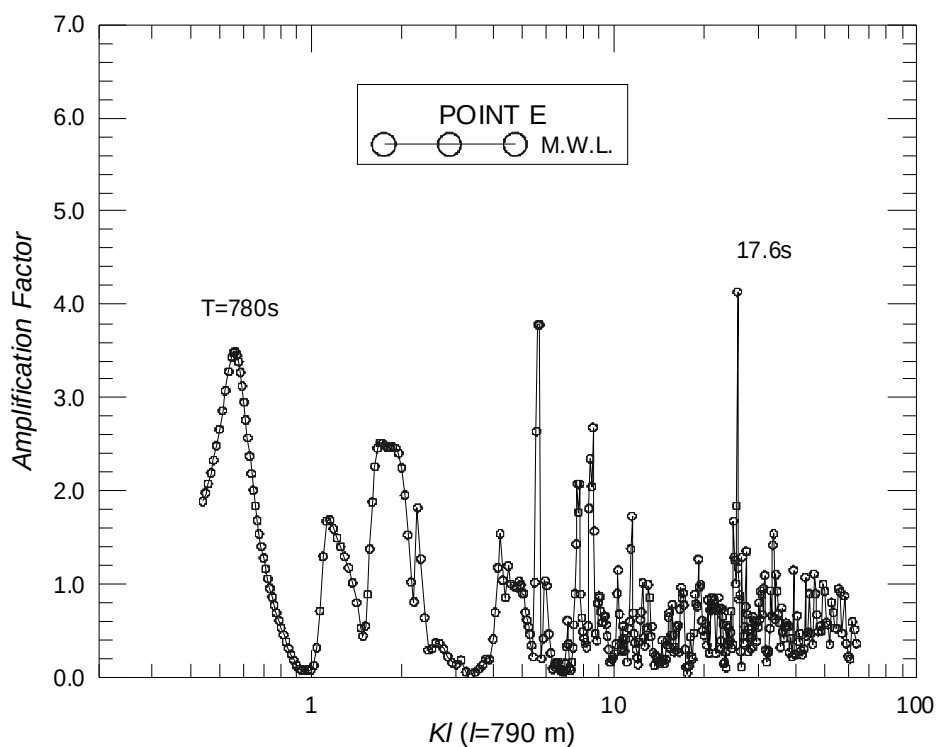


圖 3.44 澎湖港龍門尖山港區檢核點 A 波高放大率與無因次參數 KL 之關係圖

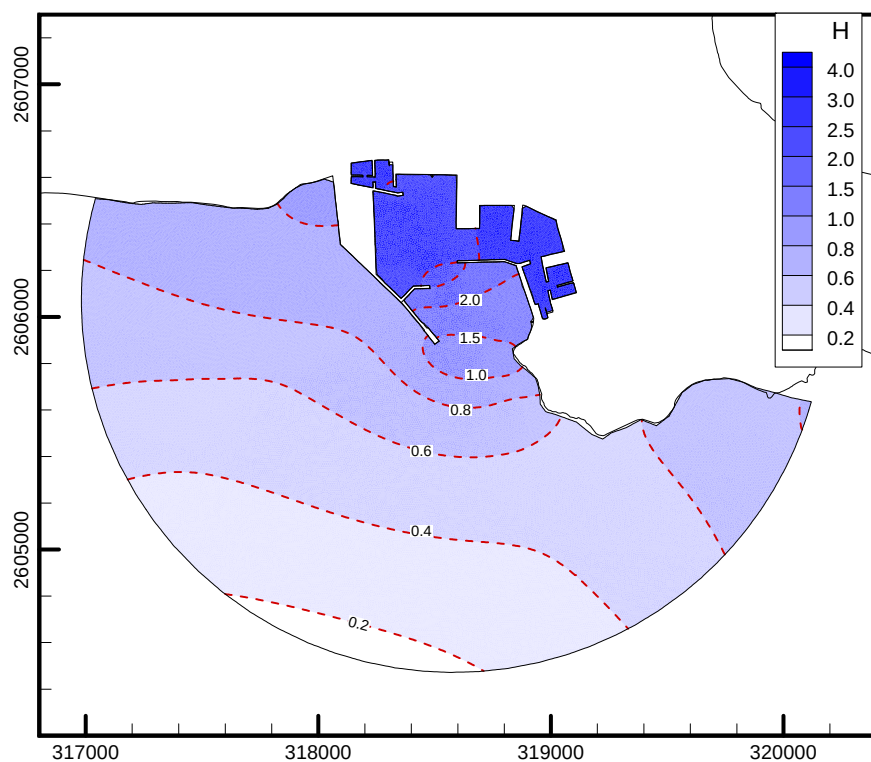


圖 3.45 澎湖港龍門尖山港區波高放大率分布圖(週期 780s)

第四章 水動力模擬與探討

港研中心於前期四年計畫(100 年~103 年)著手臺灣周圍海域暴潮模式建置研究工作，規劃採用與各港口近岸小尺度水位及流場模擬相同的有限元素法水動力模式，初期以颱風暴潮為研究對象。本期(104~105 年)計畫以逐步整合 TaiCOMS 中尺度水位及流場模組與各港區近岸小尺度水位及流場模組為研究目標，並利用港灣技術研究中心(或中央氣象局、水利署、海科中心等)海象觀測資料，持續校驗模式模擬結果，並針對本年度或歷史颱風資料進行模擬與評估。

4.1 中尺度臺灣周圍海域水動力模式建置

有關本計畫中尺度臺灣周圍海域水動力模組歷年研究在模式模擬範圍、數值計算網格、地形水深建置的演變說明如下：

4.1.1 模擬範圍選取

中尺度臺灣周圍海域水動力模式模擬範圍演進有二，如圖 4.1 所示，(1)模擬範圍 M1：為 100 年度計畫初期規劃選取的模擬範圍，其範圍為東經 $116^{\circ} \sim 123^{\circ}$ 及北緯 $21^{\circ} \sim 26^{\circ}$ 之間的水域，約略與 TaiCOMS 之中尺度風浪模組模擬範圍相當(邱等，2012)；(2)模擬範圍 M2：基於港研中心擬規劃將離島馬祖海域納入 TaiCOMS 作業化模擬範圍內，以及考量模擬範圍 M1 之東邊界(東經 123°)與臺灣本島東部海岸距離不足可能無法反映颱風暴潮水位的變化，乃於 101 年度計畫擴大臺灣周圍海域暴潮模式模擬範圍為東經 $116.5^{\circ} \sim 125^{\circ}$ 及北緯 $21^{\circ} \sim 26.5^{\circ}$ 之海域(李等，2013)，並延用至今。

4.1.2 數值計算網格

1. 模擬範圍 M1：100 年計畫初期針對模擬範圍 M1 建置的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 5,807 個節點及 11,103 個三角形元素組成，其中最小三角形元素之

邊長約 2.5km，主要構建於本計畫所在之海域；最大三角形元素之邊長約 15km，分佈於水深較深之海洋開放邊界附近。

2. 模擬範圍 M2：依據模擬範圍 M2 建置的數值計算網格版本有三，分別以 R1、R2 及 R3 表示；(1)R1 數值計算網格係 101 年度計畫建置的，如圖 4.3 所示，圖中非結構性三角形元素網格係由 6528 個節點及 12514 個三角形元素組成；(2) R2 數值計算網格則為提昇港口附近海域網格解析度，針對西南海域安平港及高雄港等港口附近海域局部加密三角形元素網格配置，如圖 4.4 所示，圖中非結構性三角形元素網格係由 6695 個節點及 12813 個三角形元素組成；(3) R3 數值計算網格：基於 102 年度計畫研究結果顯示高雄港等港口附近海域網格解析度提昇後，高雄港等海域水位及流場模擬結果呈現出較明顯的改善現象(劉等，2014)；遂於 103 年計畫著手規劃針對臺灣本島海岸線離岸約 20 ~ 30 公里範圍的數值計算網，建置較高網格解析度的三角形元素計算網格，如圖 4.5 所示，圖中非結構性三角形元素網格係由 8237 個節點及 15800 個三角形元素組成。

數值計算網格之水深資料來源為海科中心臺灣附近海域格網數值地形資料及海軍測量局刊行之海軍水道圖(編號 0307)，如圖 4.6 所示。

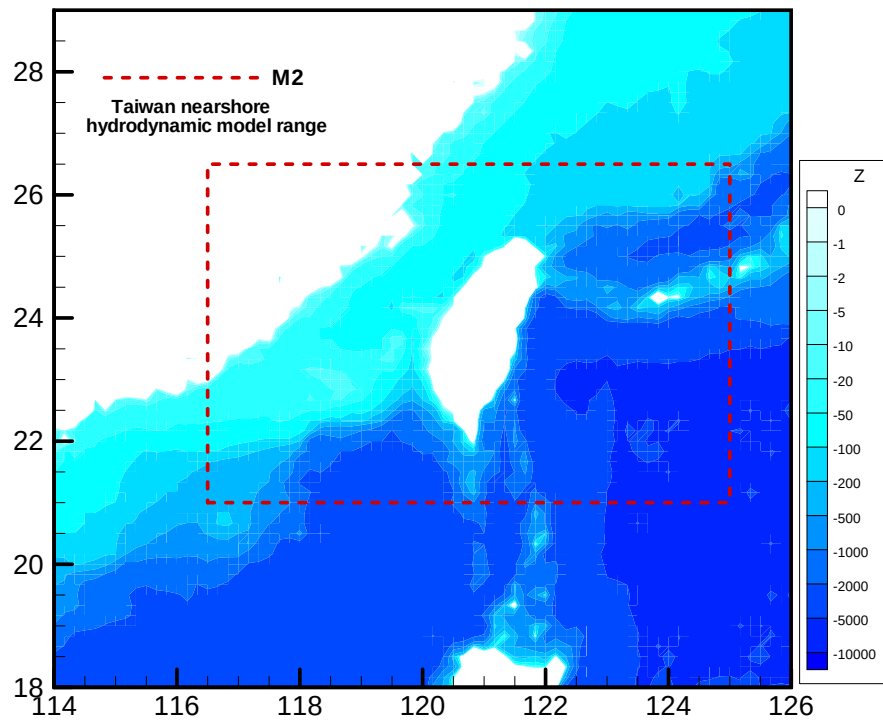


圖 4.1 中尺度臺灣周圍海域水動力模式模擬範圍

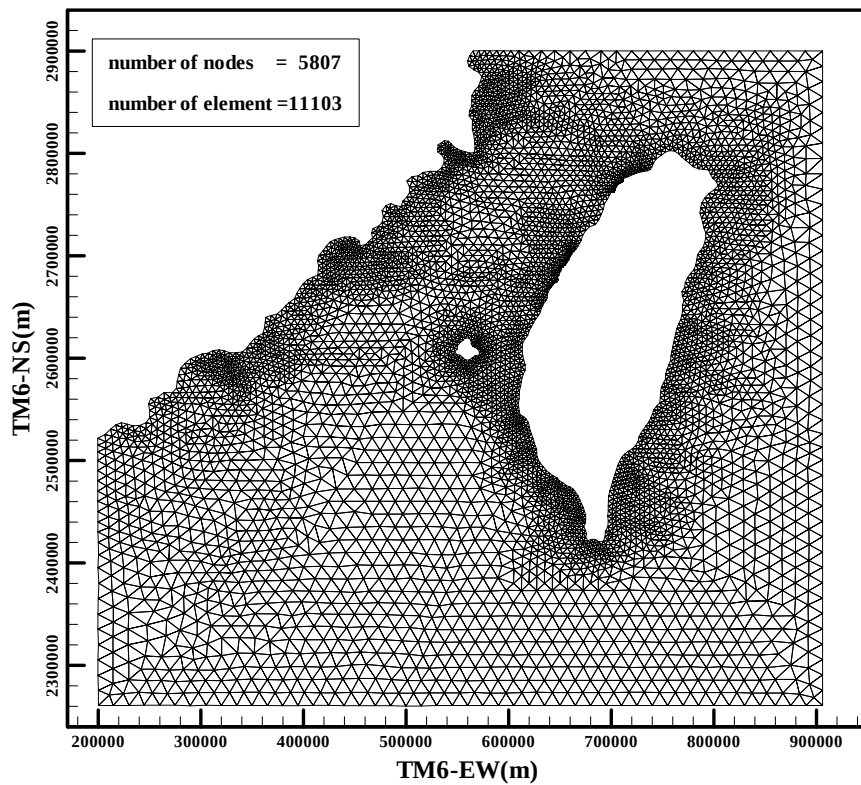


圖 4.2 臺灣周圍海域模擬範圍 M1 之非結構性三角形元素網格圖

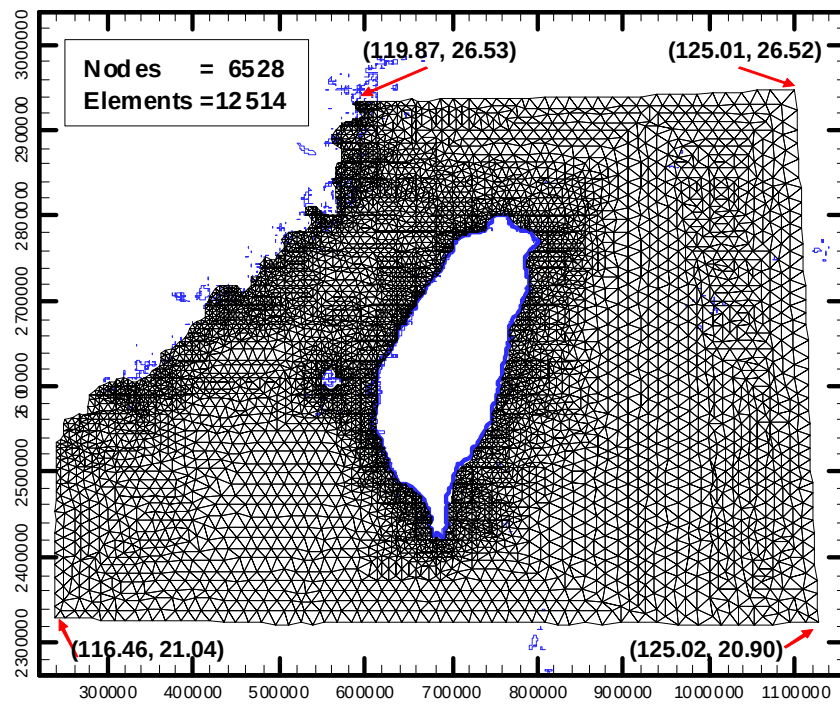


圖 4.3 臺灣周圍海域模擬範圍 M2 之非結構性三角形元素網格
(R1 版本)

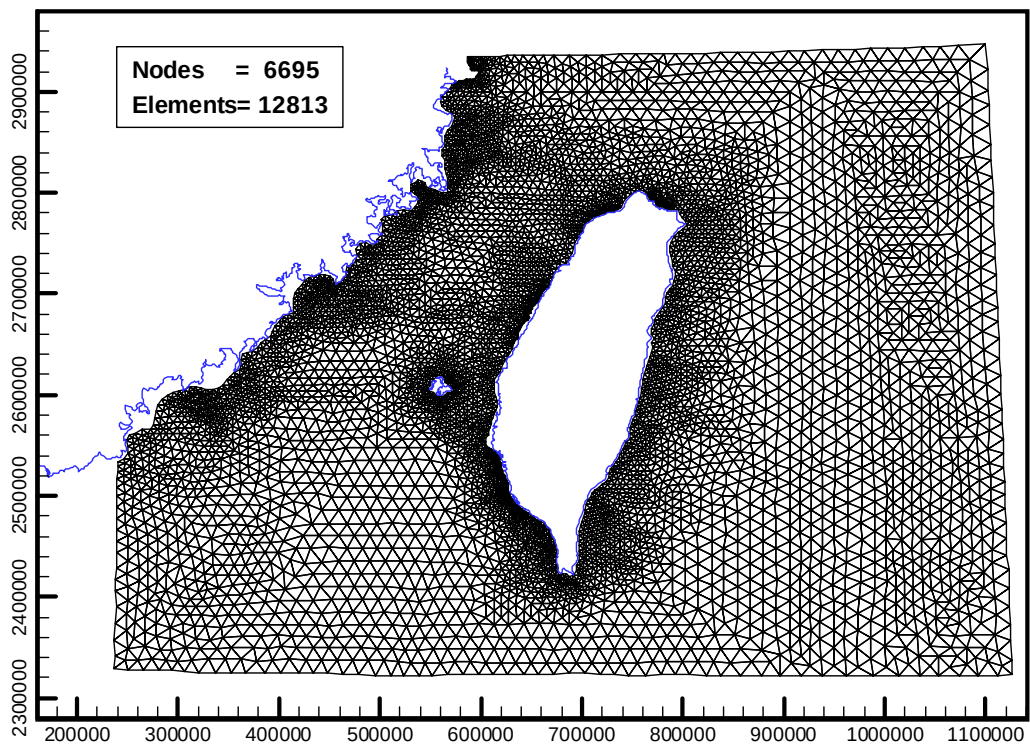


圖 4.4 臺灣周圍海域模擬範圍 M2 之非結構性三角形元素網格
(R2 版本)

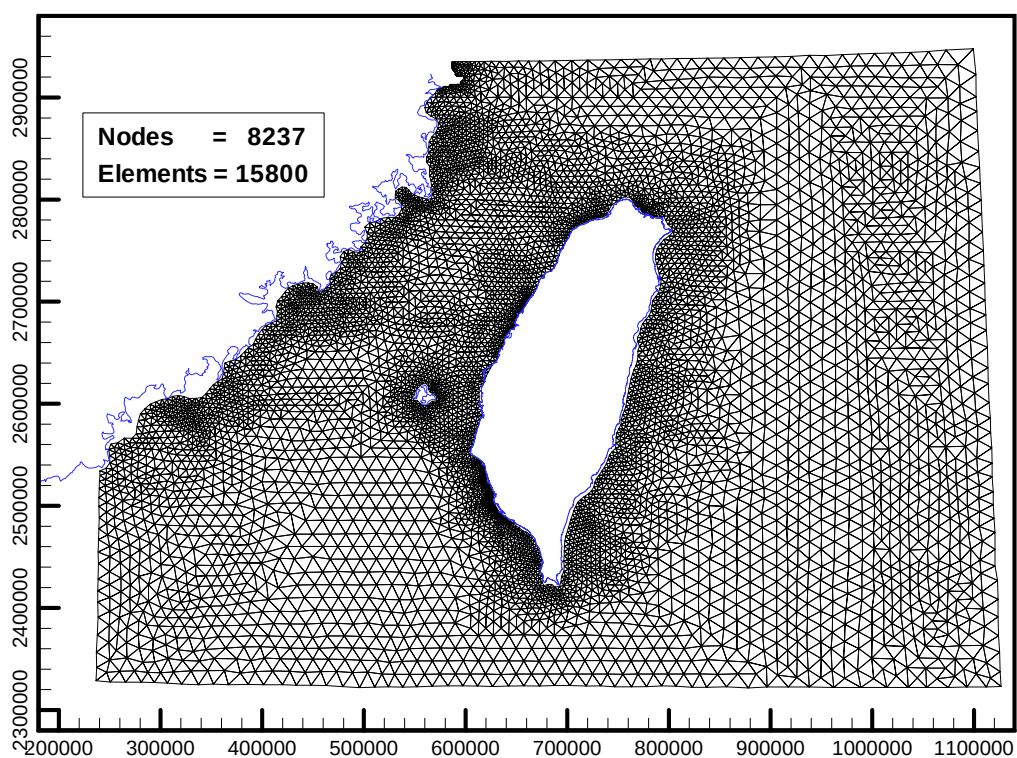


圖 4.5 臺灣周圍海域模擬範圍 M2 之非結構性三角形元素網格
(R3 版本，本年度計畫)

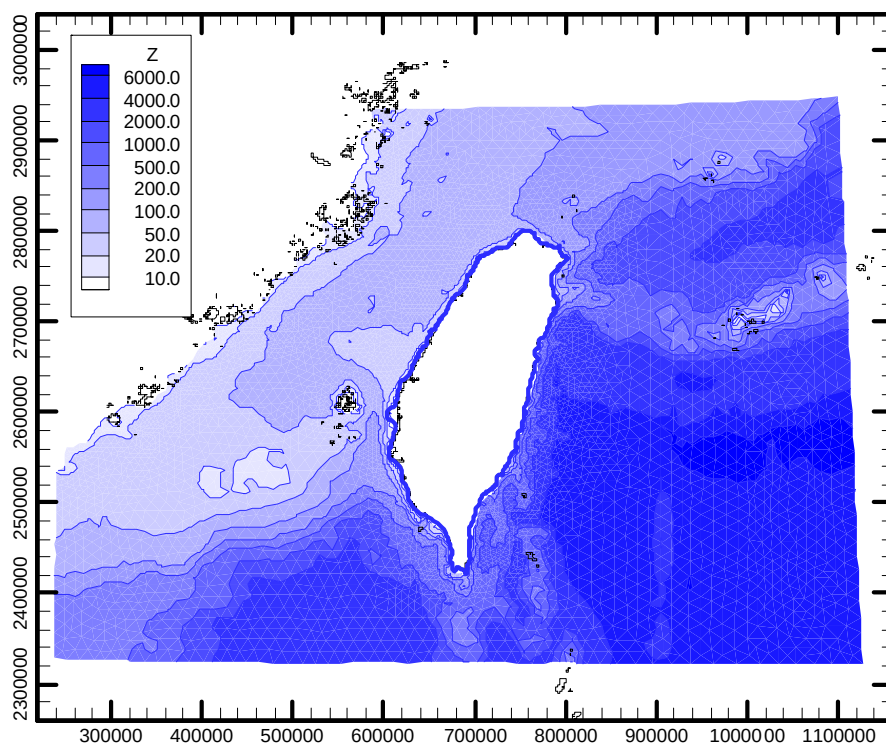


圖 4.6 臺灣周圍海域暴潮模式之地形水深分布圖

4.1.3 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

$$\eta = \eta_a(t) + \frac{\Delta P(t)}{\rho g} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

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 4.7 所示。圖 4.7 所示水位時序列變化分別為數值計算網格 R3 開放邊界上四個角落節點(參考圖 4.5 所示)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。

4.1.4 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 Δt 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。

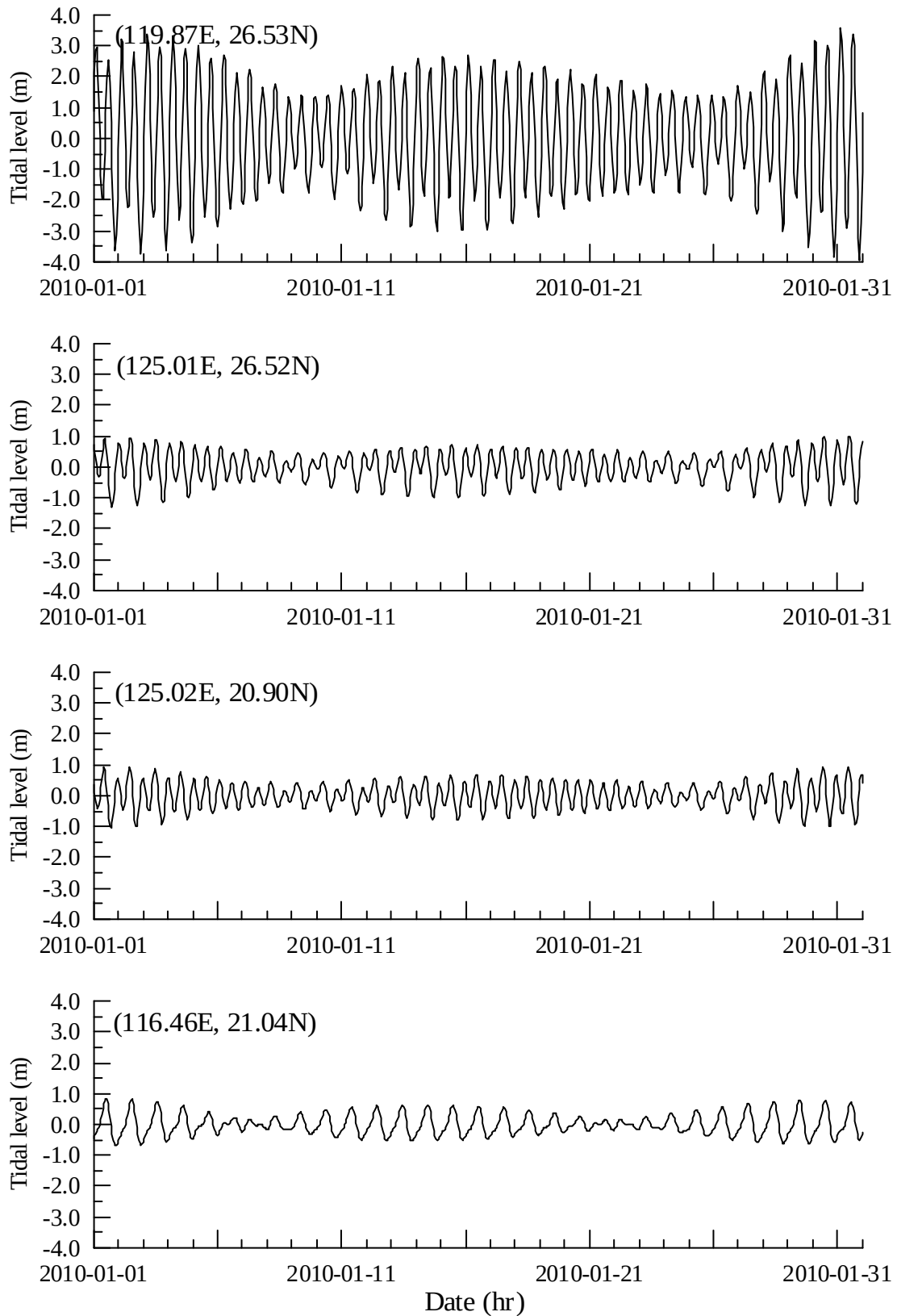


圖 4.7 中尺度臺灣周圍海域水動力模式採用的天文潮水位邊界條件圖

4.1.5 外部輸入風壓場資料

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，並利用前處理程式產生模式輸入所需之非結構三角形元素網格風(壓)場逐時資料，如圖 4.8 所示。

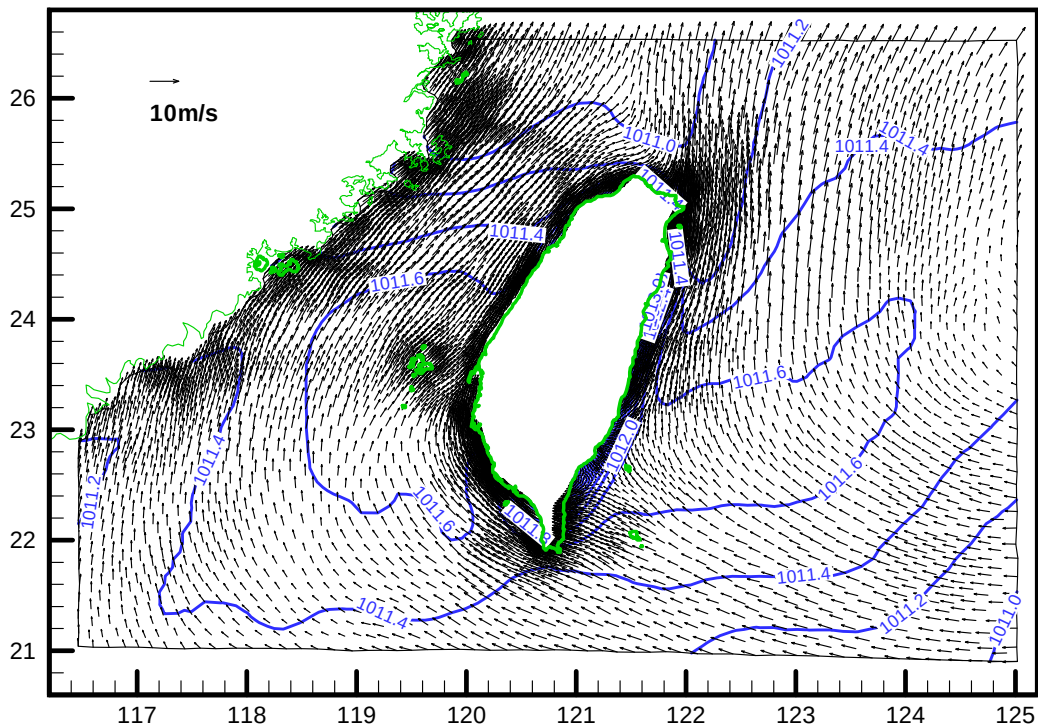


圖 4.8 本計畫非結構三角形元素網格之風場及等壓線分布圖

4.1.6 臺灣周圍海域水動力模式模擬結果與討論

(一) 天文潮模擬

在不考慮氣象因素(如風場及氣壓場)之情況下，本計畫已於 104 年度利用中尺度水動力模式針對天文潮進行預報模擬(2015 年 1 月至 12 月)，並選取各主要商港水位模擬結果與港研中心水位即時觀測資料進行比較分析。各港口模式水位輸出點位置，如圖 4.9 所示；模式天文潮逐時水位模擬值，與港研中心主要商港水位即時觀測值、潮位調和分

析預測值比較結果，分別如圖 4.10 及圖 4.11 所示，顯示模式水位歷線模擬值與觀測值、調和分析預測值間均具有高度的一致性。為瞭解模式模擬結果之精確度，本計畫逐月分析模式模擬值與觀測值間之誤差均方根(RMS)及相關係數(R)，如表 4-1 及表 4-2 所列；其中誤差均方根分析結果顯示潮差較小者如花蓮港、基隆港、高雄港等，模式模擬值與觀測值間誤差均方根之平均值約小於 0.1 m；潮差較大者如臺北港、臺中港及澎湖港等，誤差均方根之平均值約介於 0.1~0.2 m。

表 4-1 2015 年逐月水位模擬結果與 CWB、IHMT 觀測資料之均方根誤差分析表

年月	花蓮港		基隆港		臺北港		臺中港		高雄港		澎湖港	
	CWB (m)	IHMT (m)	CWB (m)	IHMT (m)	CWB (m)	IHMT (m)	CWB (m)	IHMT (m)	CWB (m)	IHMT (m)	CWB (m)	IHMT (m)
1	0.060	0.149	0.090	0.114	0.200	0.204	0.210	0.390	0.066	0.058	0.109	0.161
2	0.057	0.052	0.034	0.069	0.198	0.209	0.190	0.252	0.056	0.056	0.114	0.143
3	0.055	0.055	0.071	0.067	0.190	0.204	0.171	0.252	0.049	0.052	0.128	0.117
4	0.067	0.101	0.083	0.062	0.190	0.202	0.166	0.237	0.054	0.052	0.141	—
5	0.069	0.075	0.086	0.062	0.161	0.173	0.135	0.192	0.073	0.063	0.143	0.116
6	0.063	0.061	0.056	0.052	0.152	0.160	0.114	0.138	0.061	0.060	0.161	0.104
7	0.073	0.076	0.074	0.077	0.194	0.211	0.176	0.208	0.089	0.074	0.178	0.128
8	0.086	0.136	0.076	0.076	—	0.203	0.143	0.275	0.081	0.109	0.181	0.161
9	0.105	0.094	0.077	0.059	—	—	0.171	0.430	0.088	0.075	0.166	—
10	0.059	0.227	0.081	0.072	—	—	0.174	0.521	0.091	0.165	0.131	—
11	0.069	0.080	0.067	0.063	—	—	0.201	0.217	0.088	0.124	0.119	—
12	0.061	0.056	0.088	0.065	—	0.151	0.208	0.333	0.091	0.087	0.116	—
平均	0.069	0.097	0.074	0.070	0.184	0.191	0.172	0.287	0.076	0.081	0.141	0.133

表 4-2 2015 年逐月水位模擬結果與 CWB、IHMT 觀測資料間相關係數分析表

年月	花蓮港		基隆港		臺北港		臺中港		高雄港		澎湖港	
	CWB	IHMT	CWB	IHMT	CWB	IHMT	CWB	IHMT	CWB	IHMT	CWB	IHMT
1	0.990	0.927	0.946	0.911	0.987	0.988	0.989	0.961	0.973	0.971	0.991	0.976
2	0.991	0.993	0.951	0.965	0.988	0.988	0.992	0.985	0.969	0.967	0.991	0.982
3	0.991	0.991	0.960	0.963	0.989	0.988	0.993	0.984	0.973	0.967	0.986	0.990
4	0.988	0.974	0.943	0.969	0.985	0.987	0.993	0.986	0.967	0.968	0.982	—
5	0.986	0.984	0.942	0.974	0.989	0.990	0.995	0.990	0.951	0.959	0.980	0.991
6	0.989	0.990	0.980	0.984	0.992	0.992	0.998	0.995	0.969	0.968	0.976	0.994
7	0.985	0.982	0.964	0.961	0.992	0.990	0.997	0.990	0.953	0.952	0.976	0.985
8	0.985	0.954	0.952	0.957	—	0.994	0.996	0.986	0.933	0.885	0.976	0.978
9	0.969	0.976	0.949	0.973	—	—	0.994	0.972	0.911	0.930	0.978	—
10	0.992	0.983	0.949	0.960	—	—	0.993	0.943	0.911	0.775*	0.987	—
11	0.989	0.985	0.969	0.972	—	—	0.990	0.989	0.936	0.875	0.989	—
12	0.990	0.992	0.948	0.972	—	0.993	0.989	0.974	0.916	0.936	0.989	—
平均	0.987	0.978	0.954	0.963	0.989	0.990	0.993	0.980	0.947	0.943	0.983	0.985

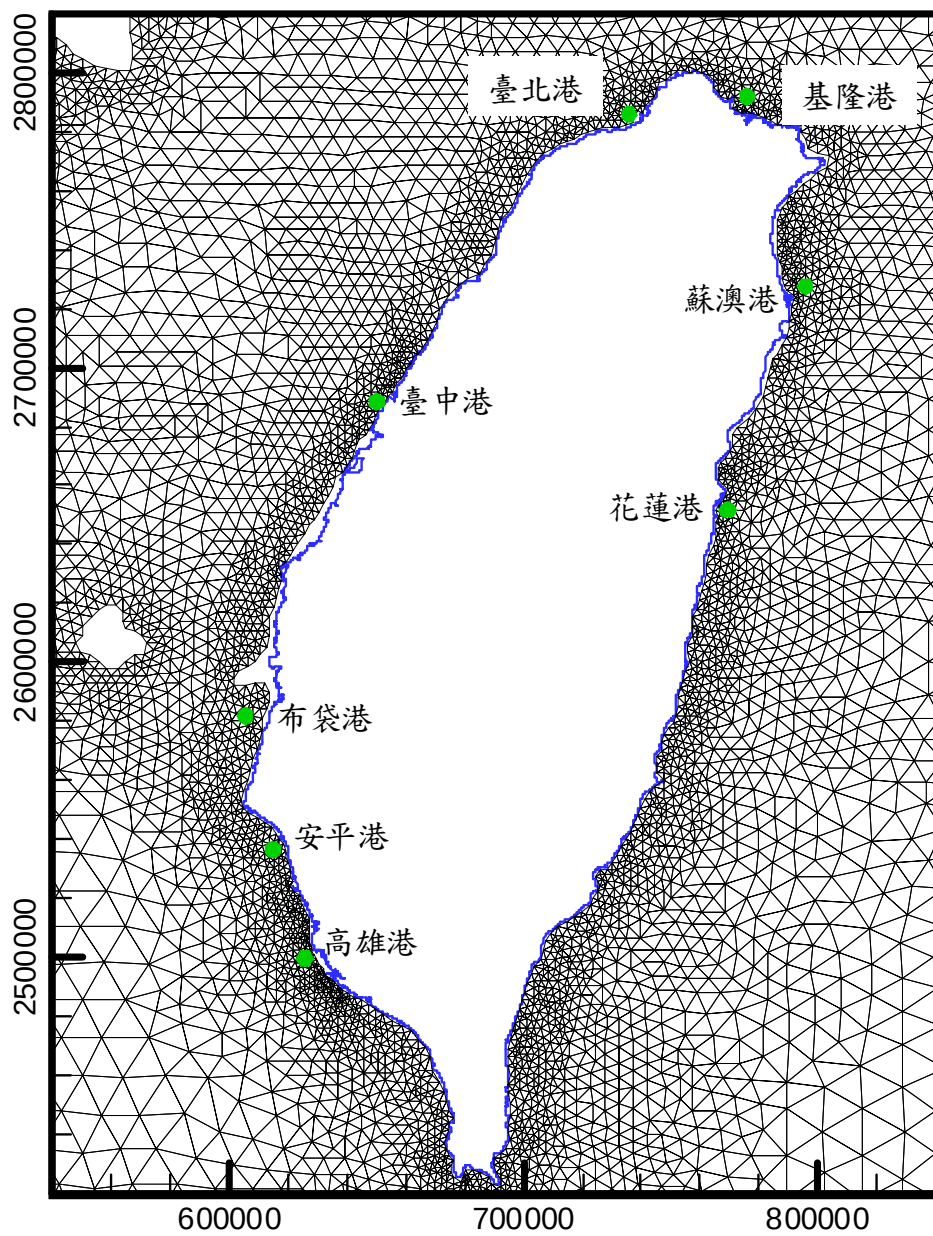


圖 4.9 主要商港颱風暴潮模擬結果之輸出點位圖

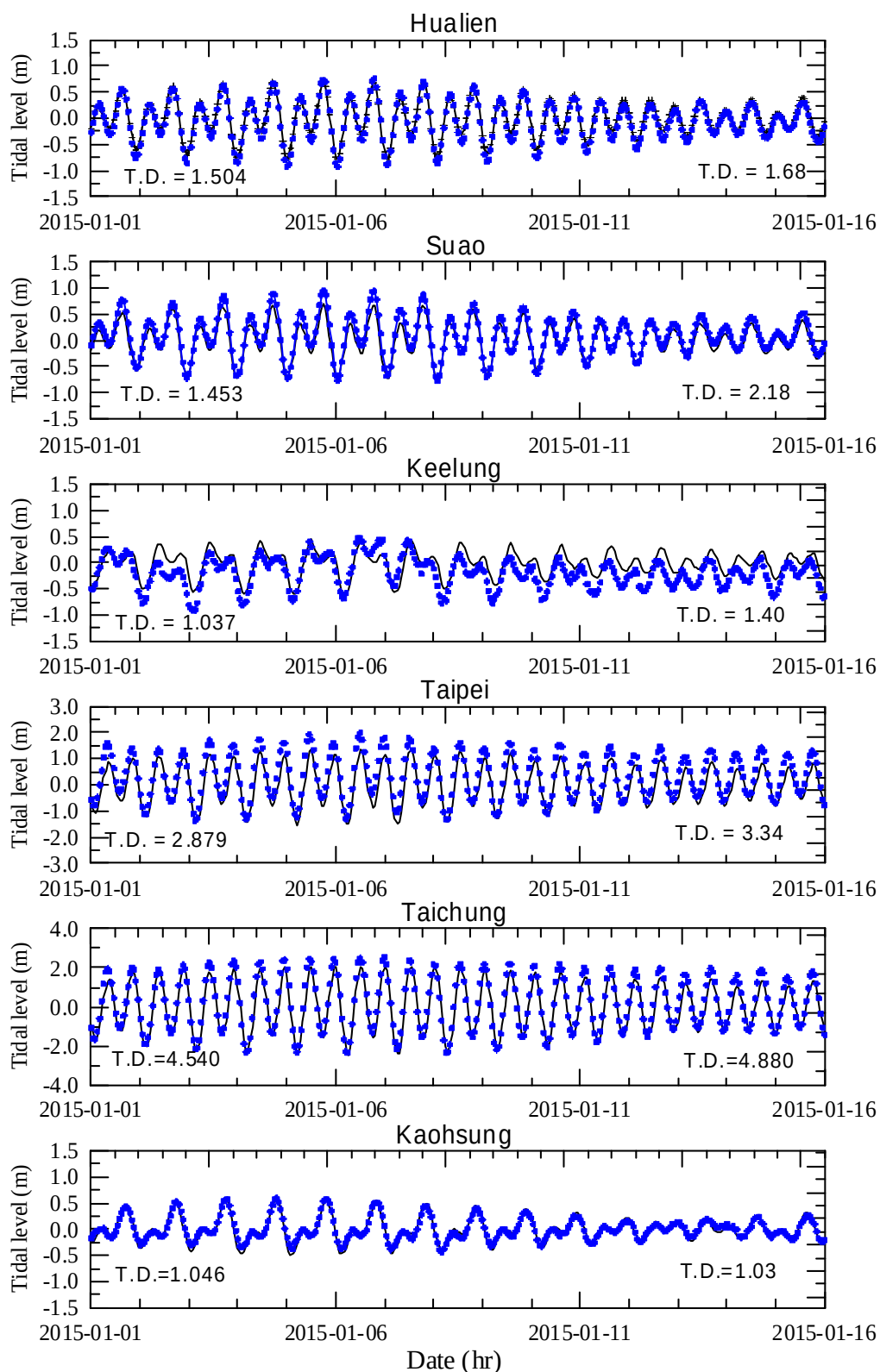


圖 4.10 本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港潮位觀測值(圓點)之比較圖

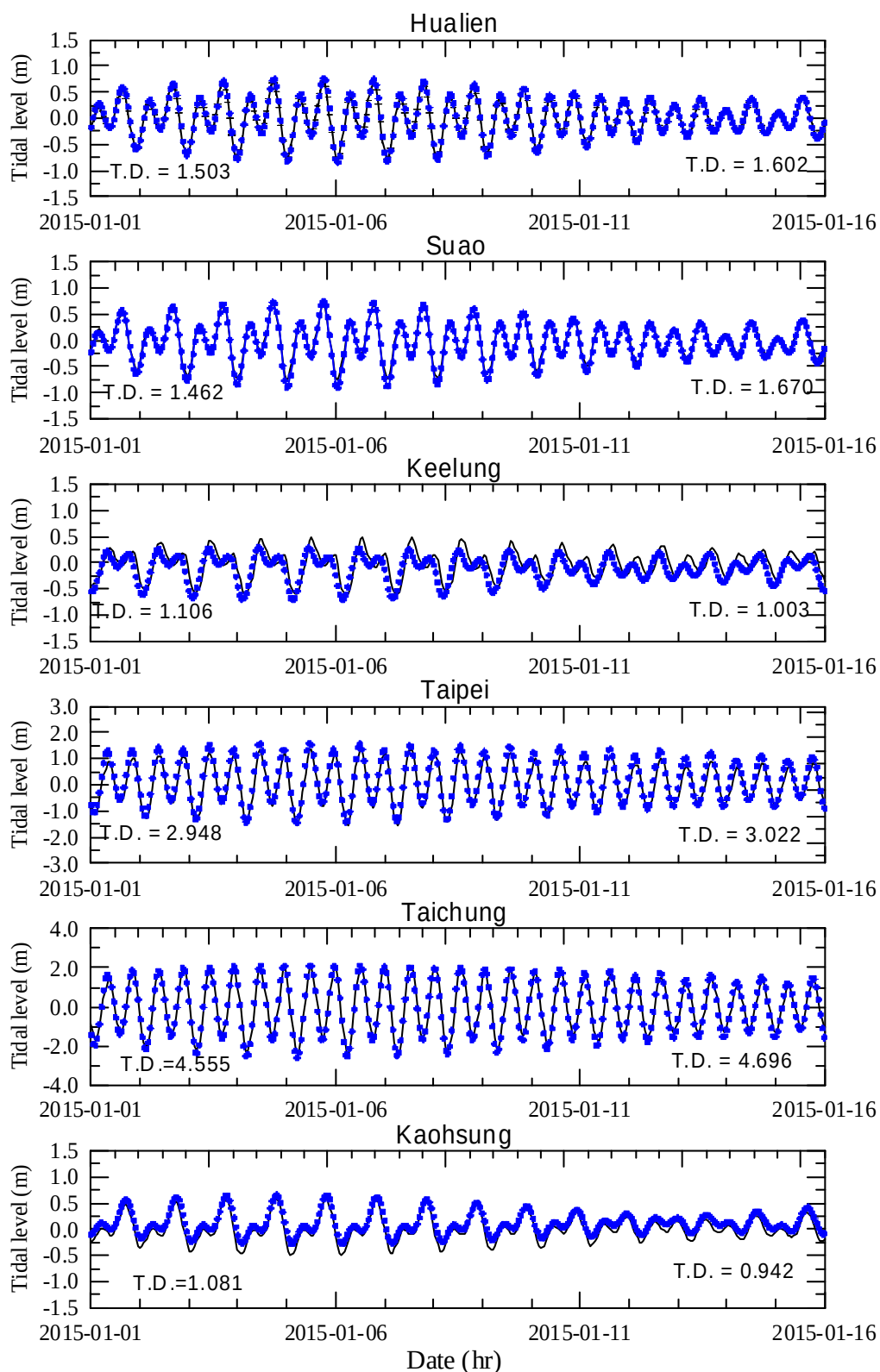


圖 4.11 本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港天文潮位調和分析預測值(圓點)之比較圖

(二) 颱風暴潮偏差模擬(不含潮汐)

本計畫以 104 年侵臺中度颱風蘇迪勒(SOUDELOR)為例說明模式模擬結果，圖 4.12 為中度颱風蘇迪勒之行進路徑，顯示蘇迪勒颱風在 8 月 1 日形成輕度颱風，行進過程曾一度發展成為強烈颱風，最後以中度颱風規模(接近強烈颱風)侵襲臺灣陸地。圖 4.13 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，顯示蘇迪勒颱風結構在受到臺灣陸地破壞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 4.14 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，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；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 4.14 (續 9)所示。

(三) 颱風期間水位及流場模擬

本計畫同樣以 104 年侵臺中度颱風蘇迪勒(SOUDELOR)為例，說明同時考慮天文潮及颱風風壓場作用時中尺度模式水位模擬結果。本計畫同時將考慮天文潮及颱風風壓場作用之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，如圖 4.15 所示。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不會等於上述暴潮偏差水位模擬結果。

本計畫選取花蓮港、蘇澳港、基隆港、臺北港、臺中港及高雄港等商港颱風期間水位模擬值與觀測值比較，如圖 4.16 所示；圖中水位觀測值分為港內觀測(三角形符號)及港外 AWCP 觀測(圓形符號)，其中基隆港港內觀測值採用中央氣象局觀測資料。整體而言，蘇迪勒颱風侵臺期間花蓮港、蘇澳港、基隆港及高雄港等港口水位均曾發生顯著的暴潮偏差，其中港內水位觀測僅高雄港記錄到完整的水位變化歷線，在颱風影響最劇烈時段花蓮港、蘇澳港及基隆港等測站均有部份水位記錄出現異常現象。在颱風中心與陸地接觸前，各港口水位模擬歷線與觀測值(港內及港外)相當接近；颱風中心登陸期間，花蓮港及蘇澳港水位模擬歷線與觀測值間有較明顯偏差現象，推測此應屬於中央氣象局天氣預報之風壓場與實際的颱風風壓場有誤差所產生的現象；因此當颱風減弱或遠離時，模式水位模擬值與觀測值間之一致性再度回復。

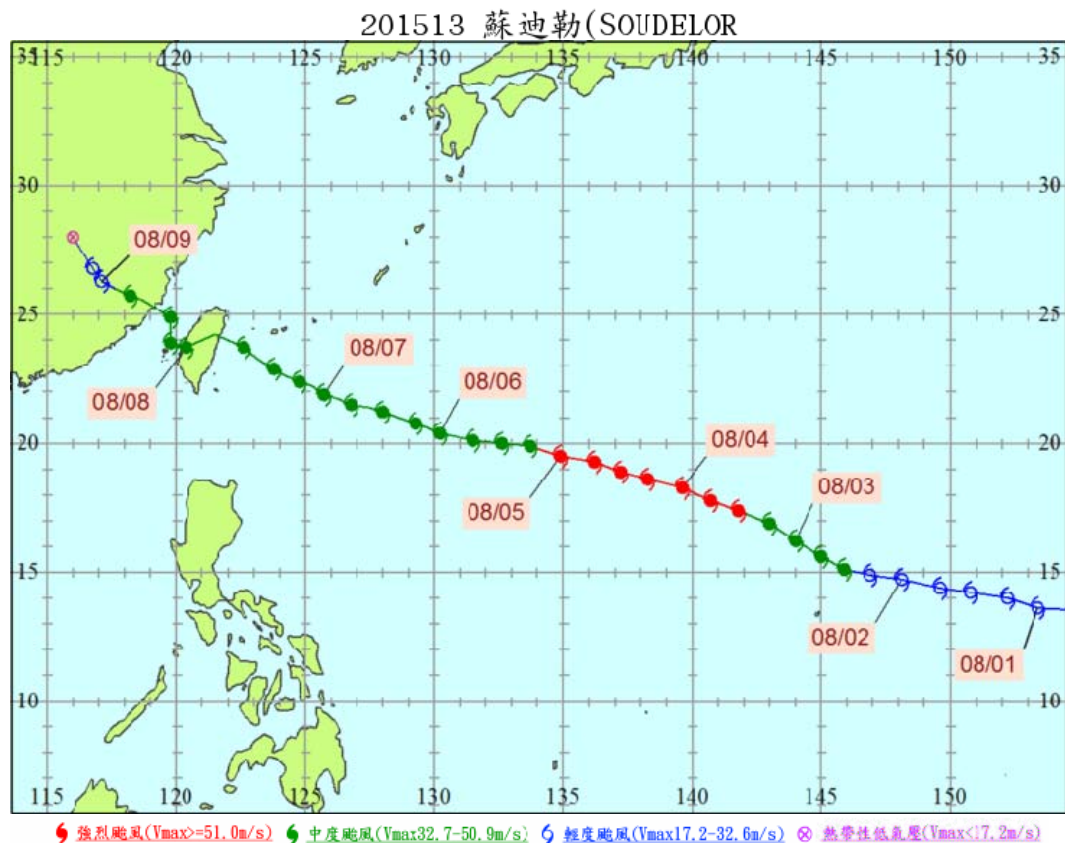


圖 4.12 2015 年蘇迪勒颱風路徑圖

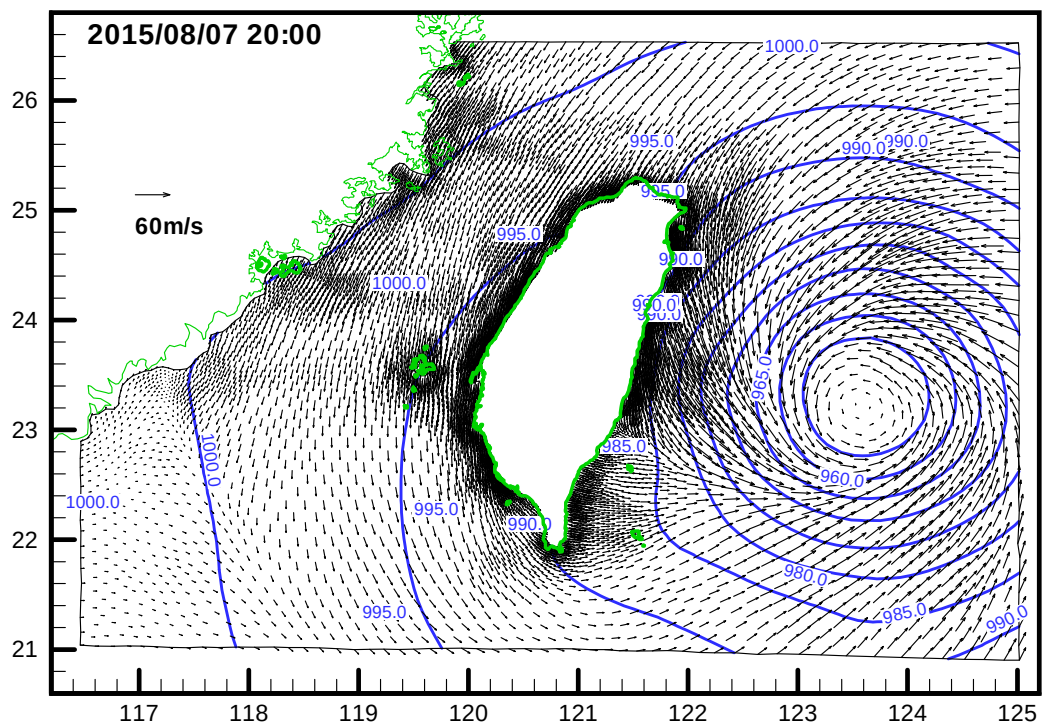


圖 4.13 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模擬輸入預報風場及氣壓場圖

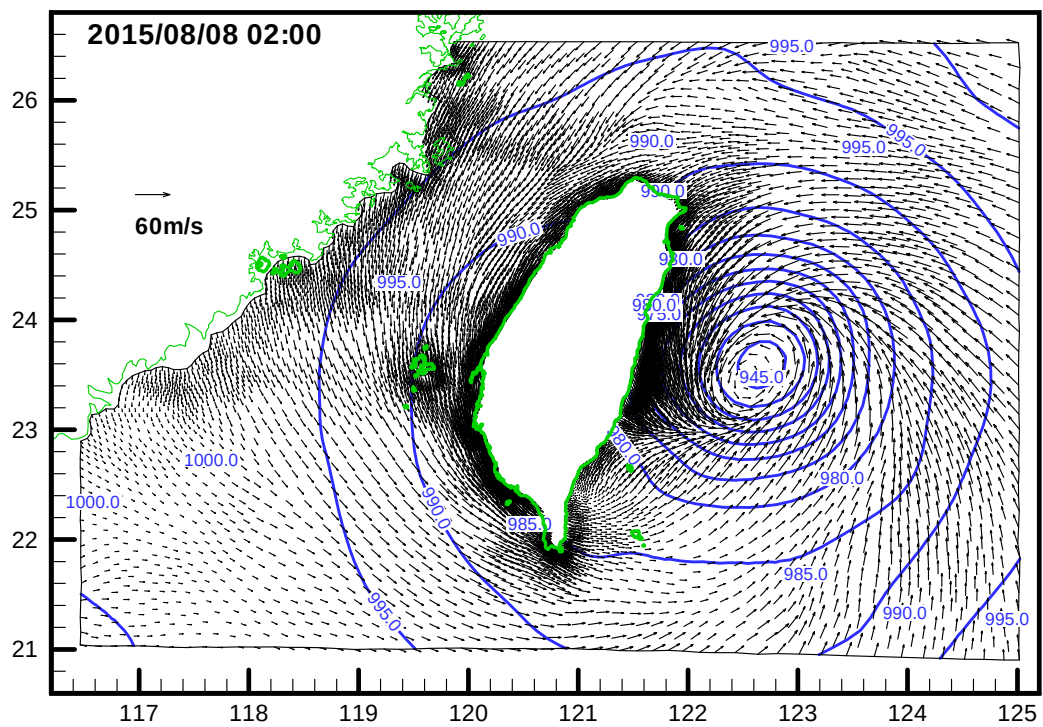


圖 4.13 (續 1) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模擬輸入預報風場及氣壓場圖

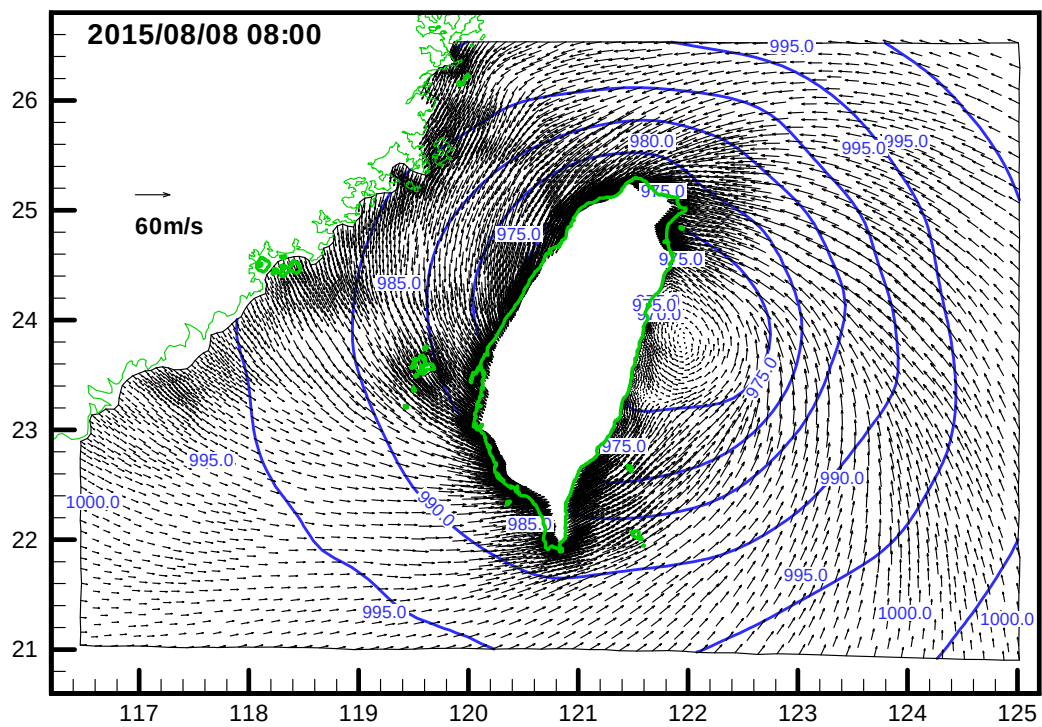


圖 4.13 (續 2) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模擬輸入預報風場及氣壓場圖

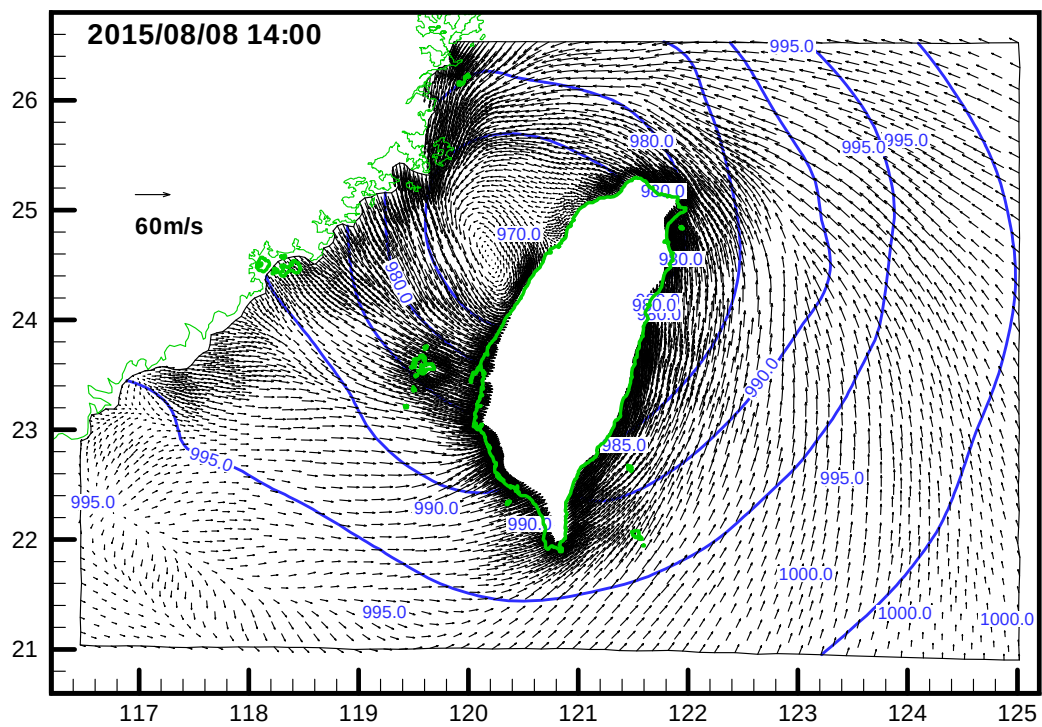


圖 4.13 (續 3) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模擬輸入預報風場及氣壓場圖

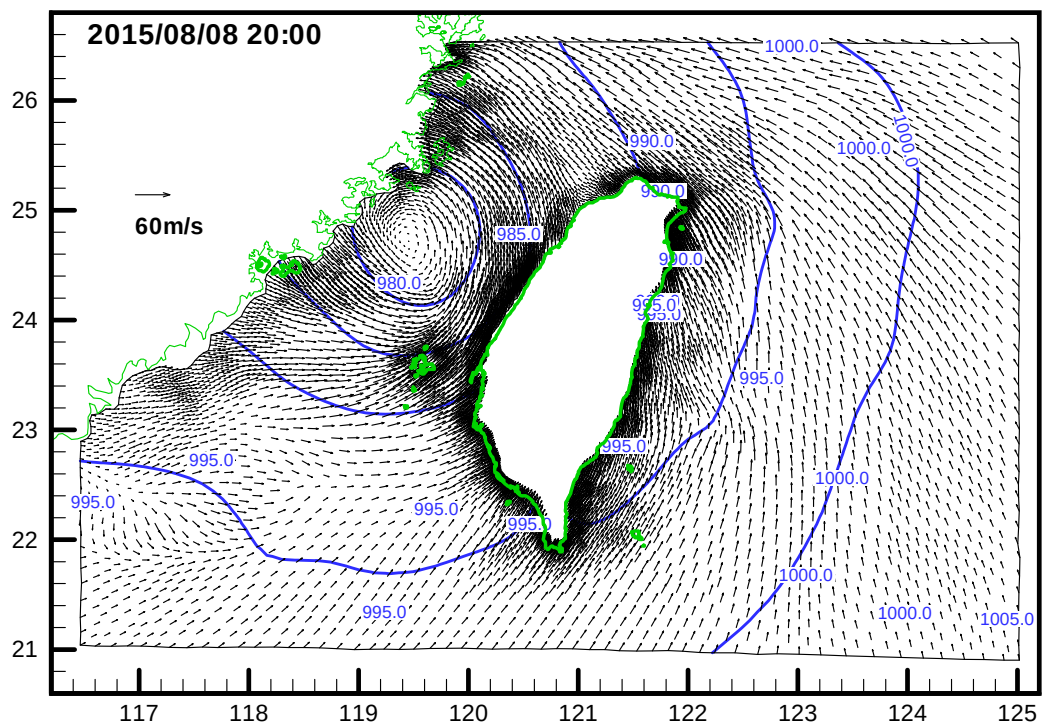


圖 4.13 (續 4) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模擬輸入預報風場及氣壓場圖

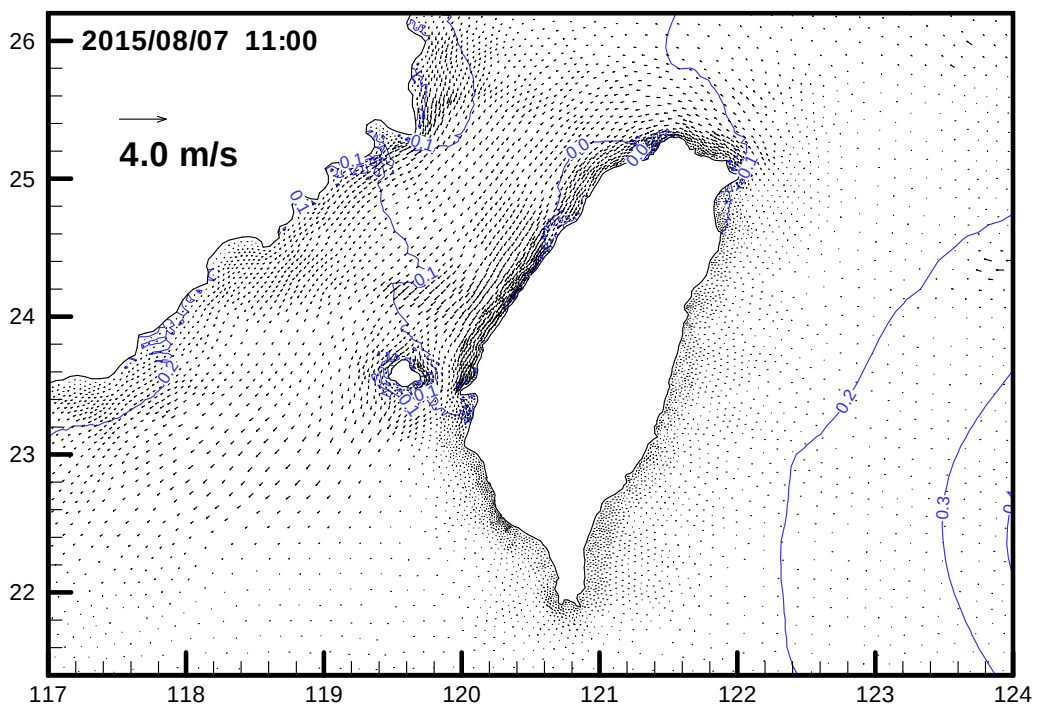


圖 4.14 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

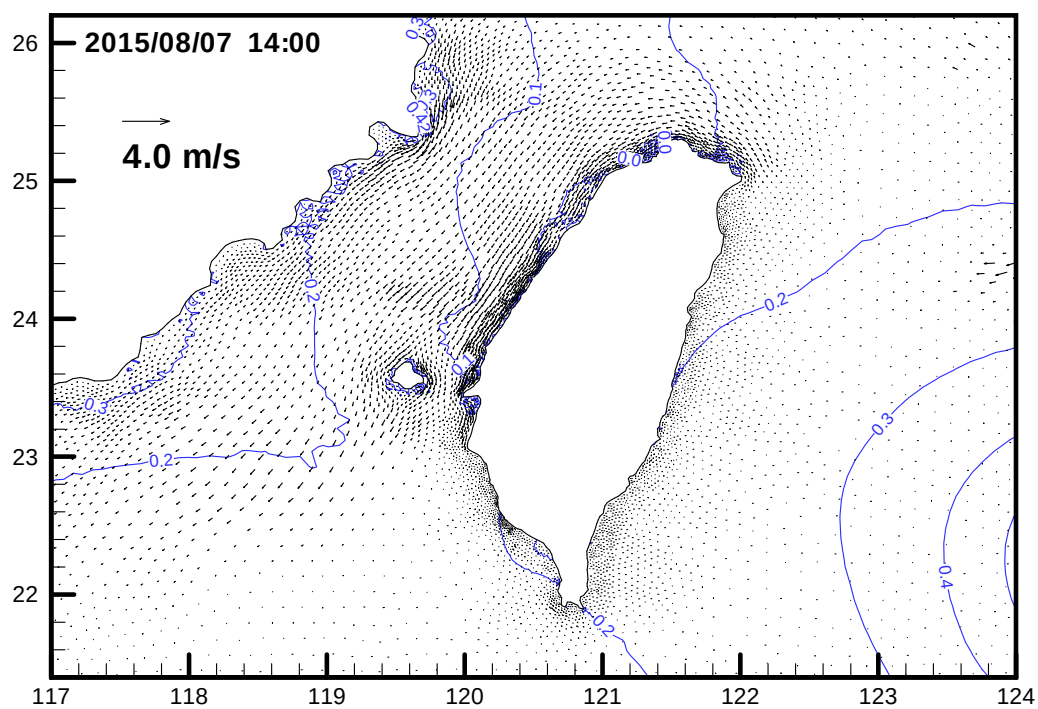


圖 4.14 (續 1) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

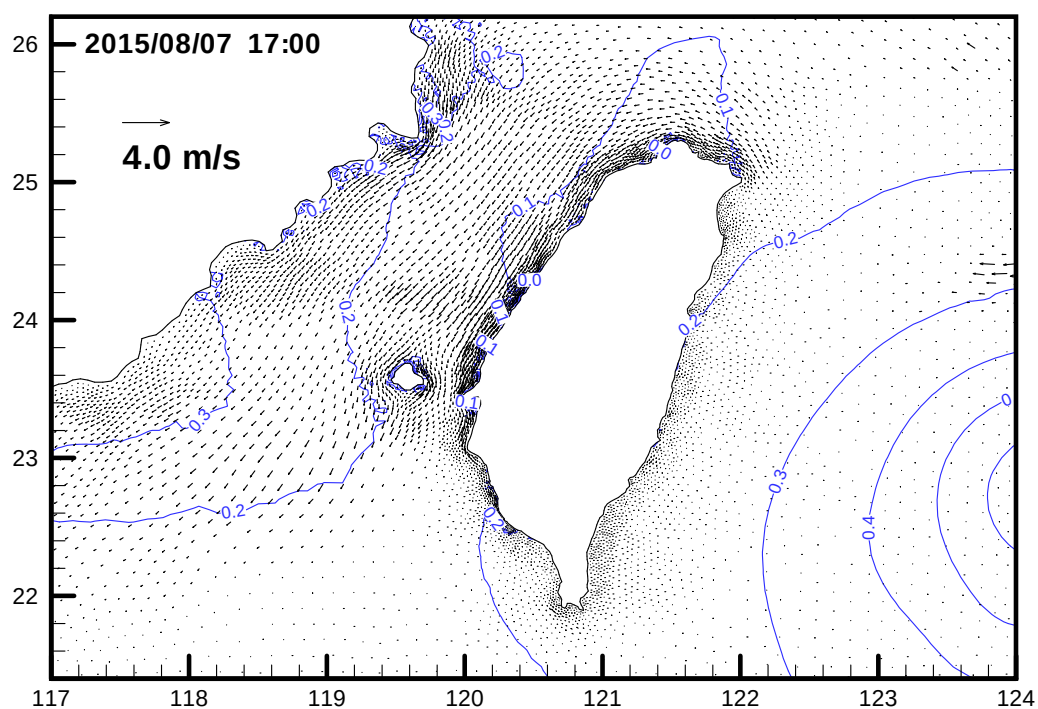


圖 4.14 (續 2) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

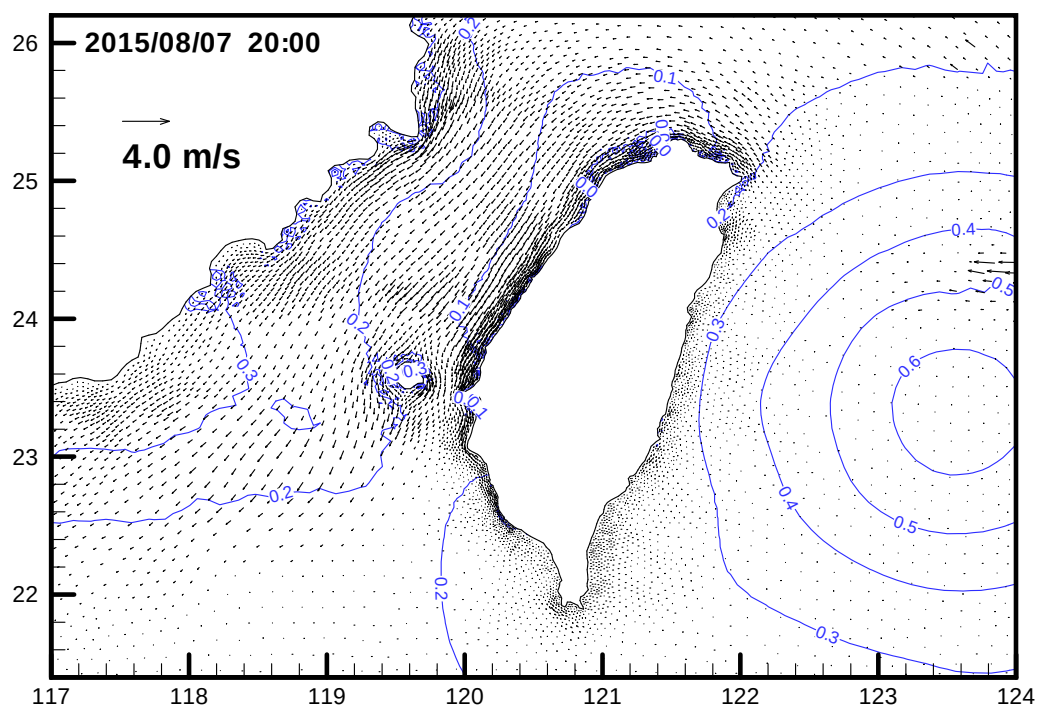


圖 4.14 (續 3) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

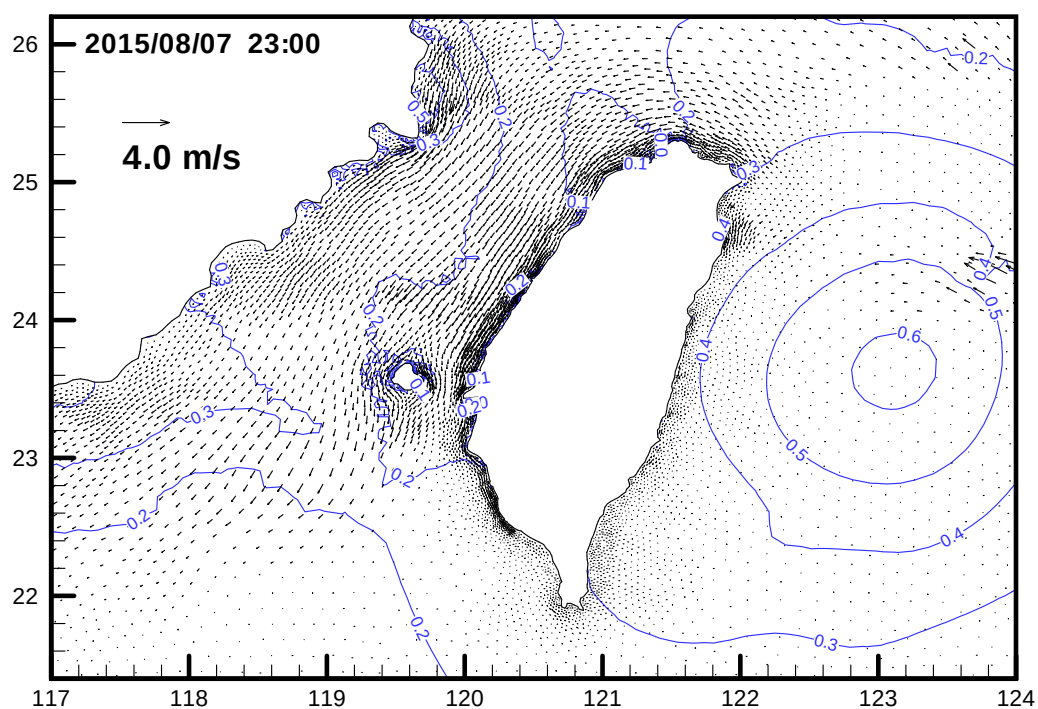


圖 4.14 (續 4) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

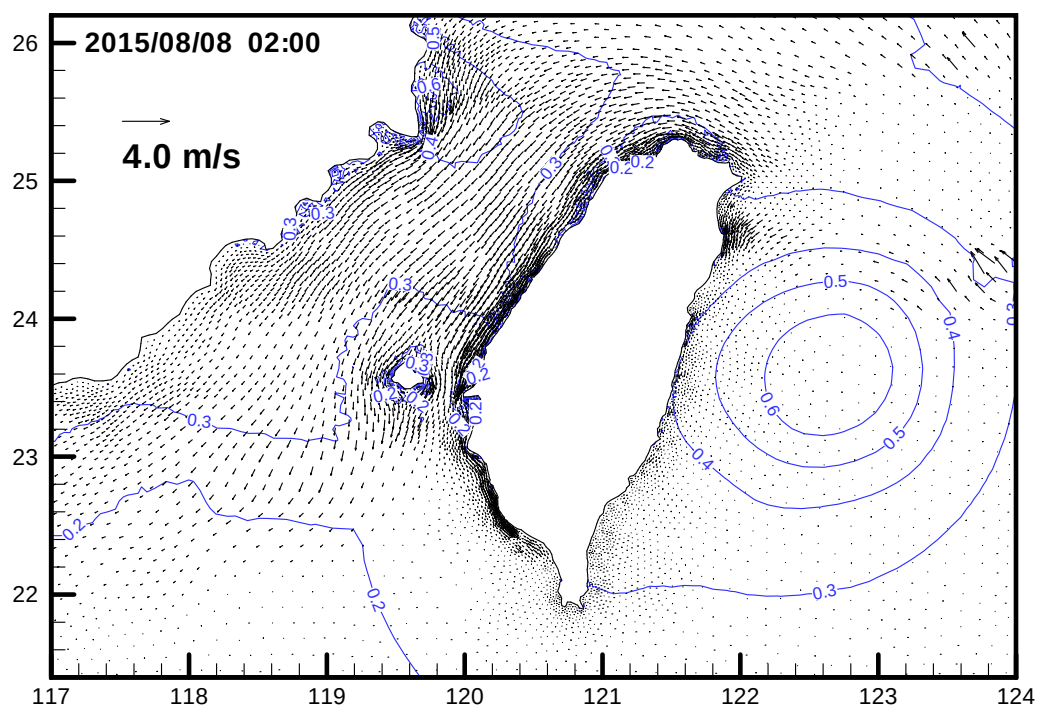


圖 4.14 (續 5) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

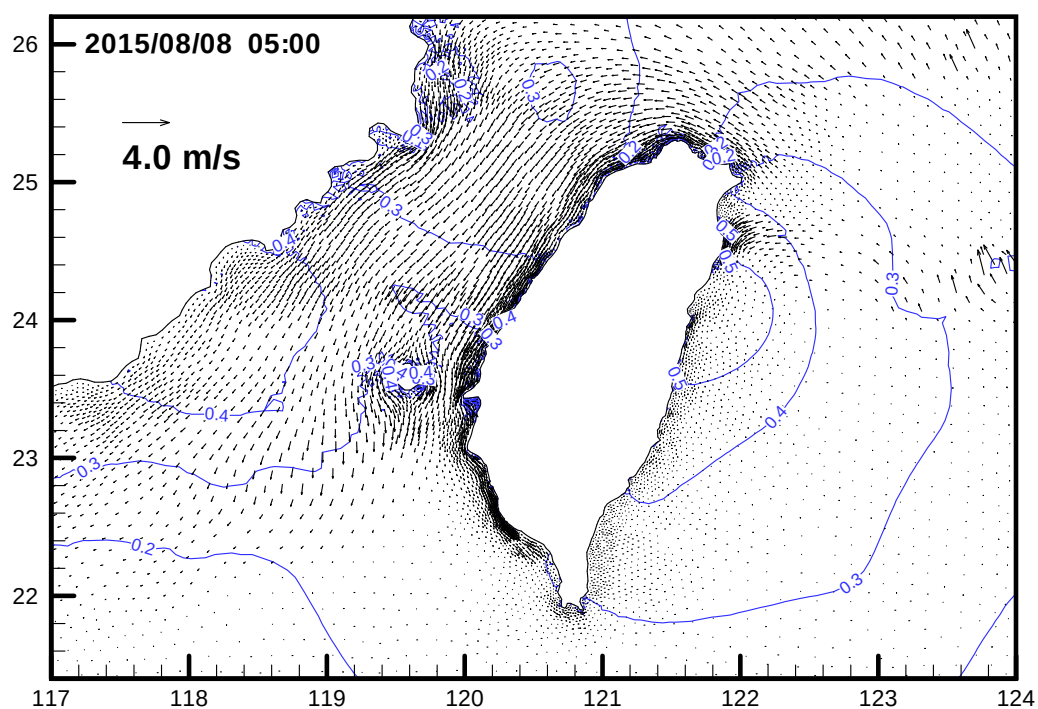


圖 4.14 (續 6) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

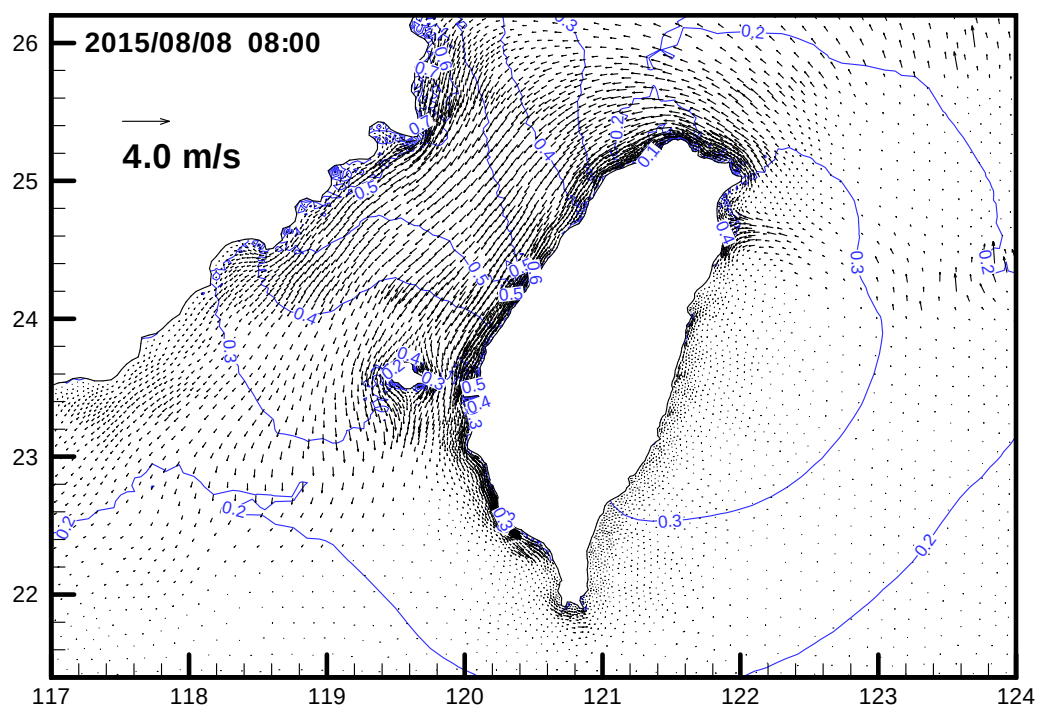


圖 4.14 (續 7) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

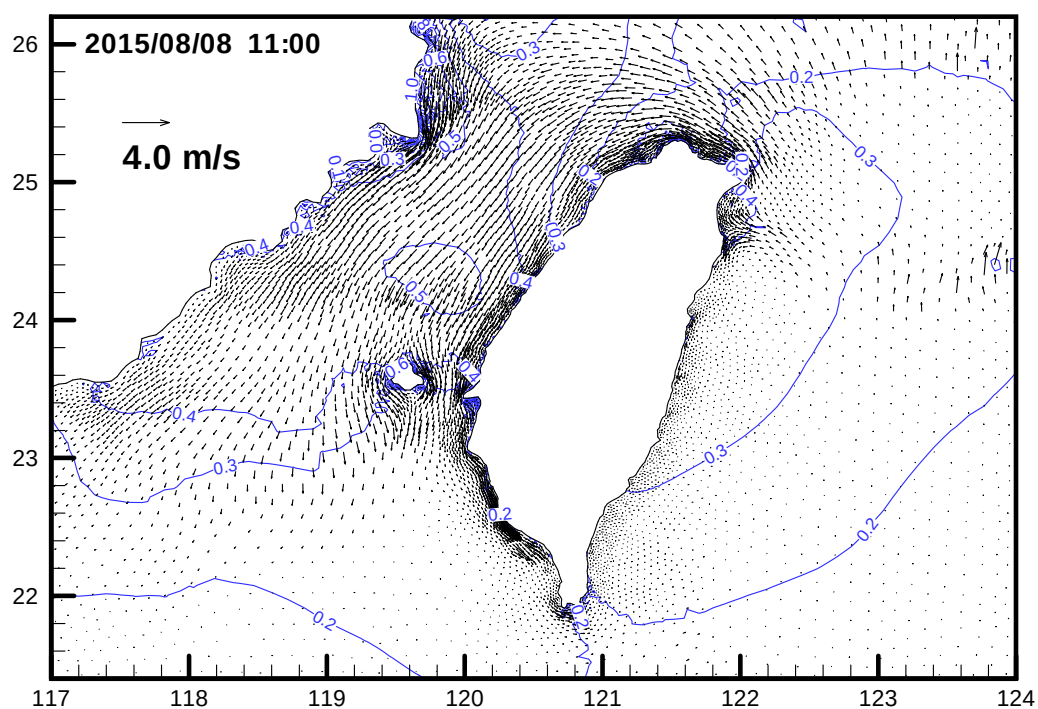


圖 4.14 (續 8) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

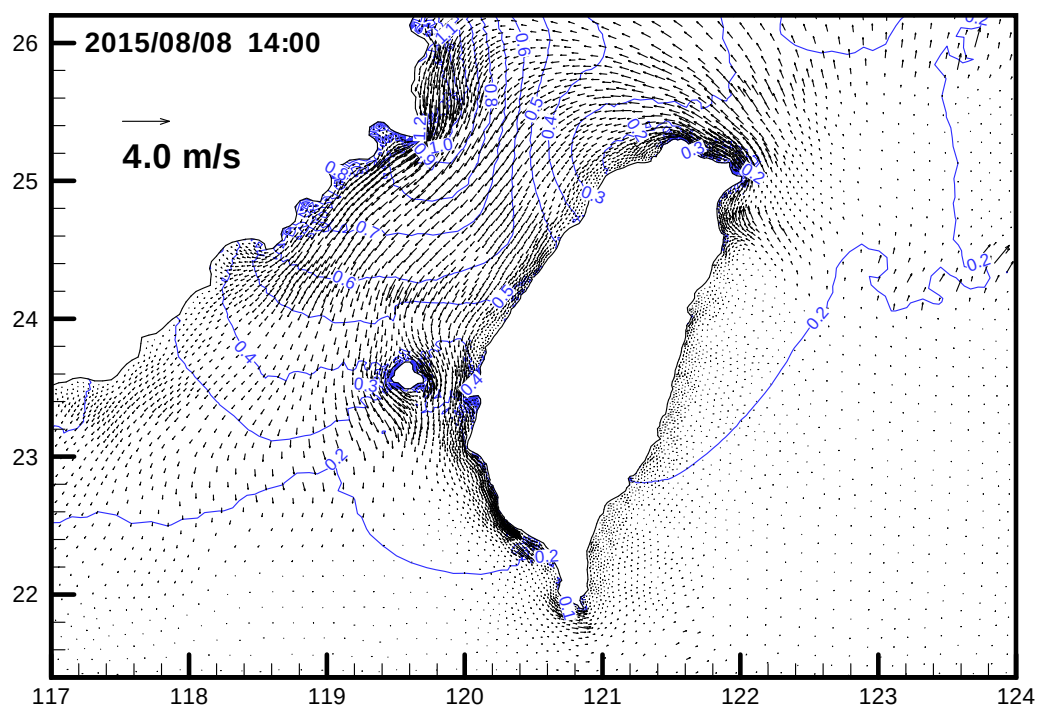


圖 4.14 (續 9) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

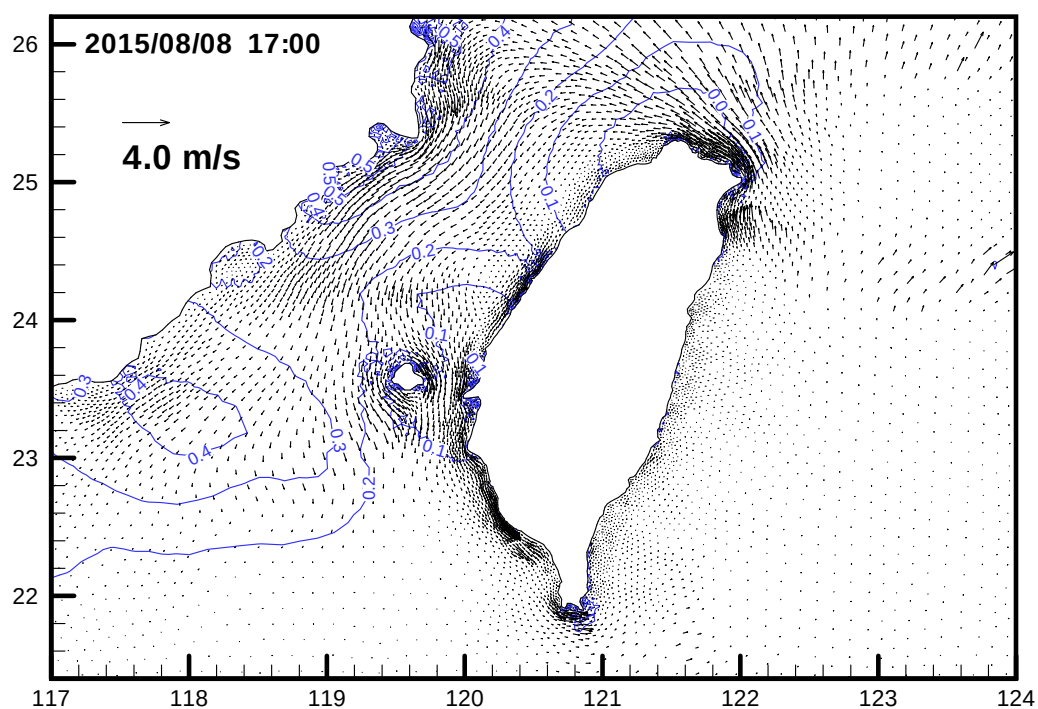


圖 4.14 (續 10) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

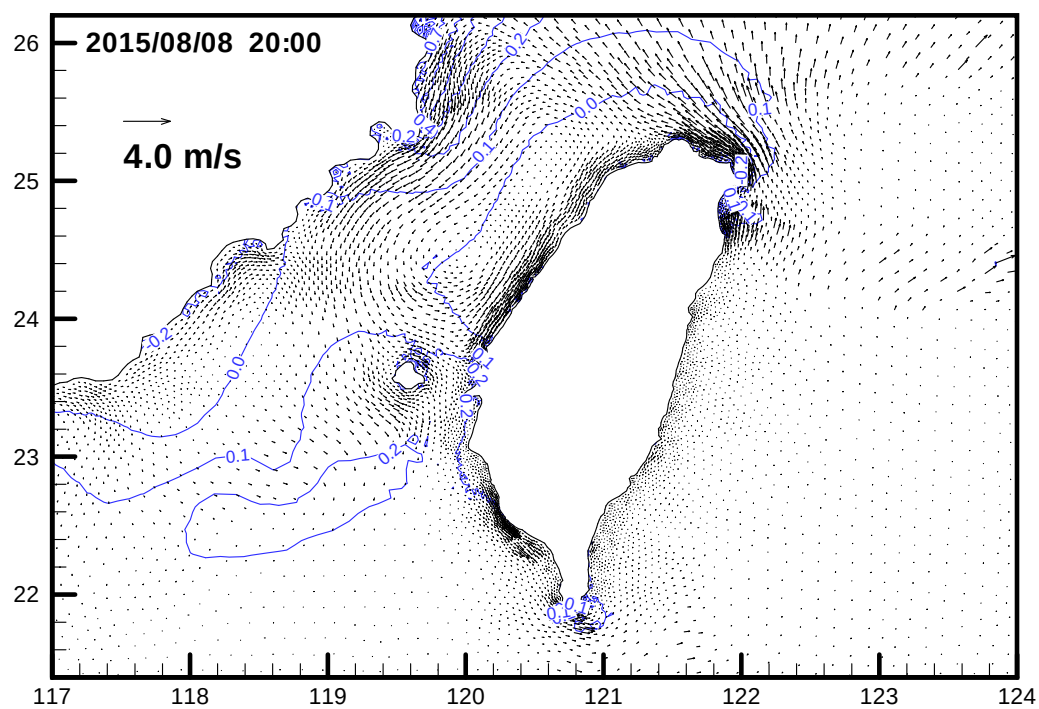
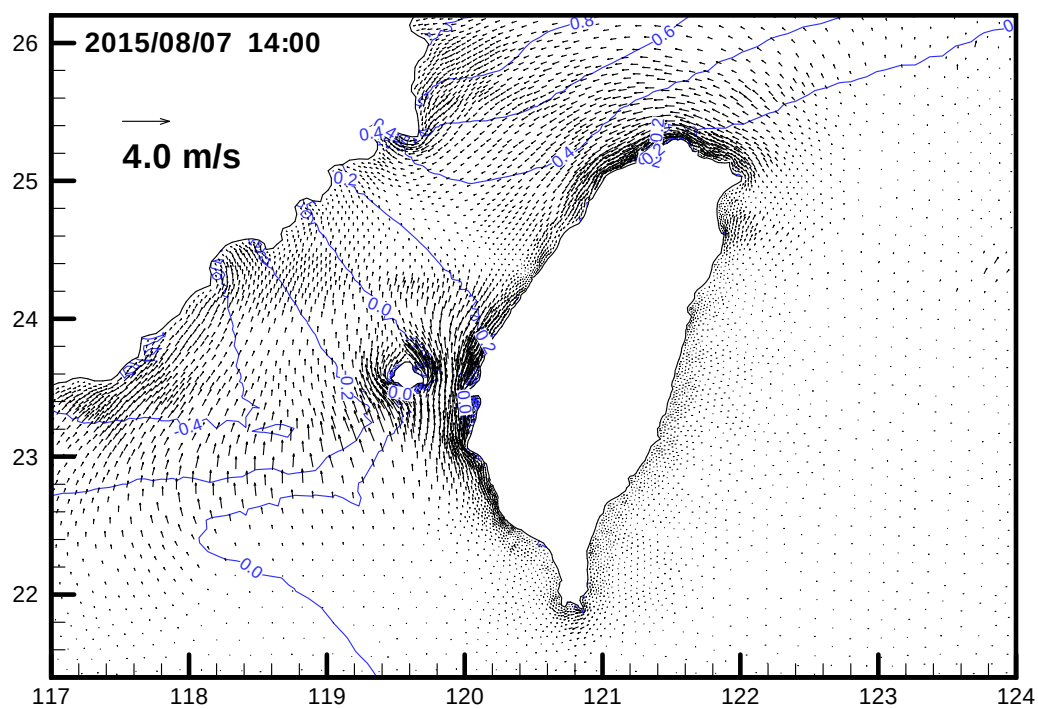
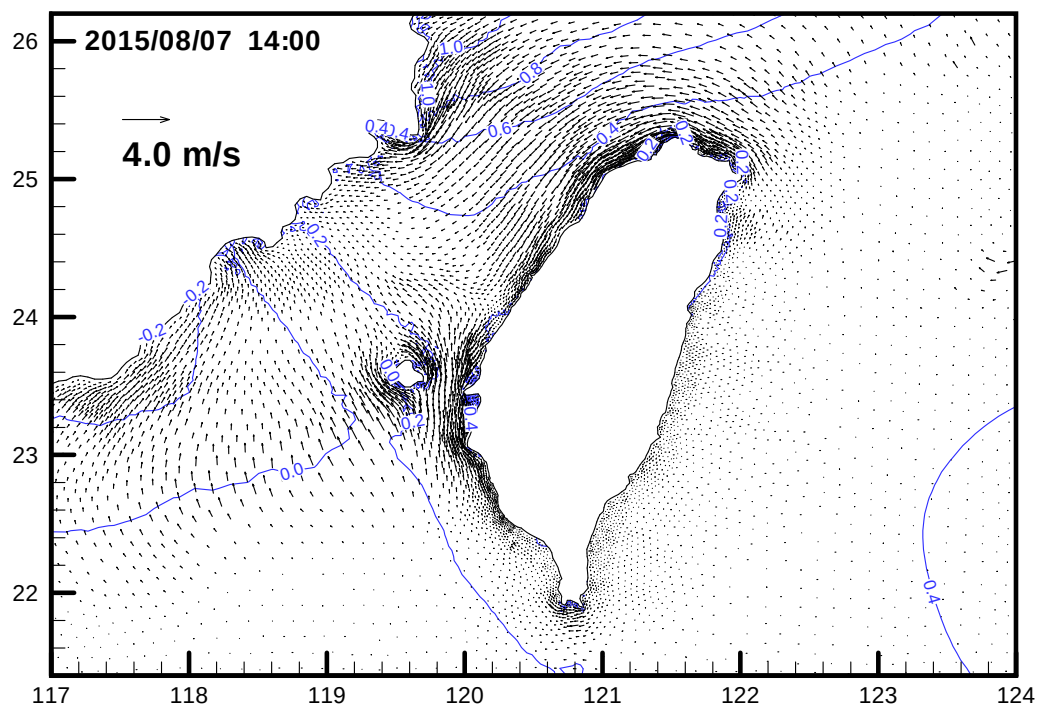


圖 4.14 (續 11)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

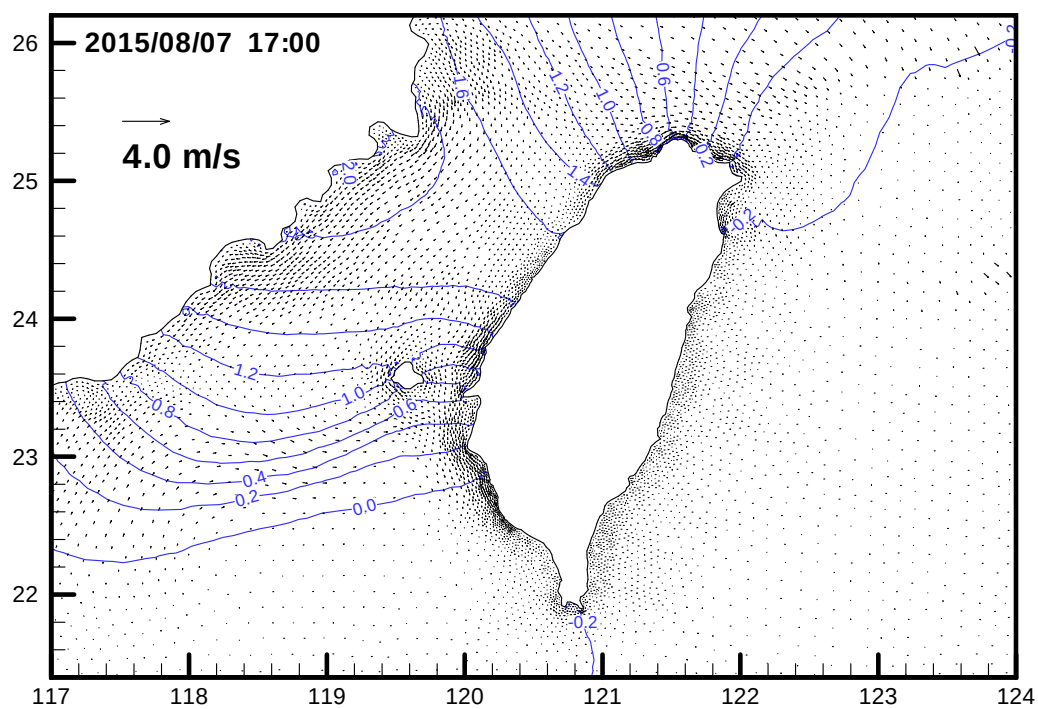


(a)

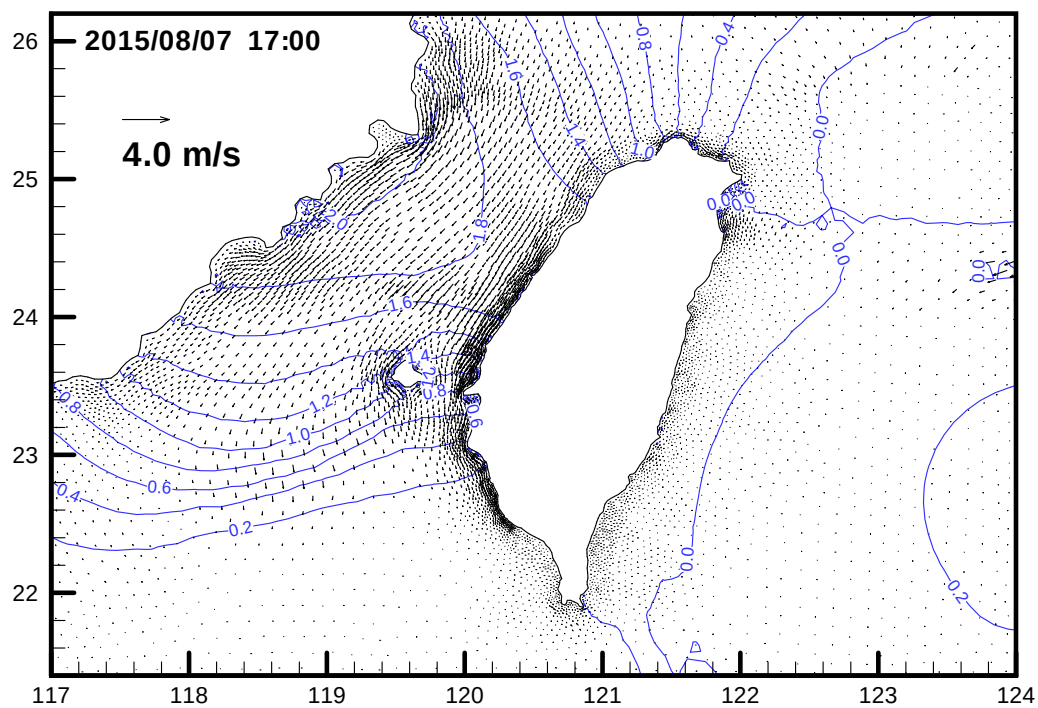


(b)

圖 4.15 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)

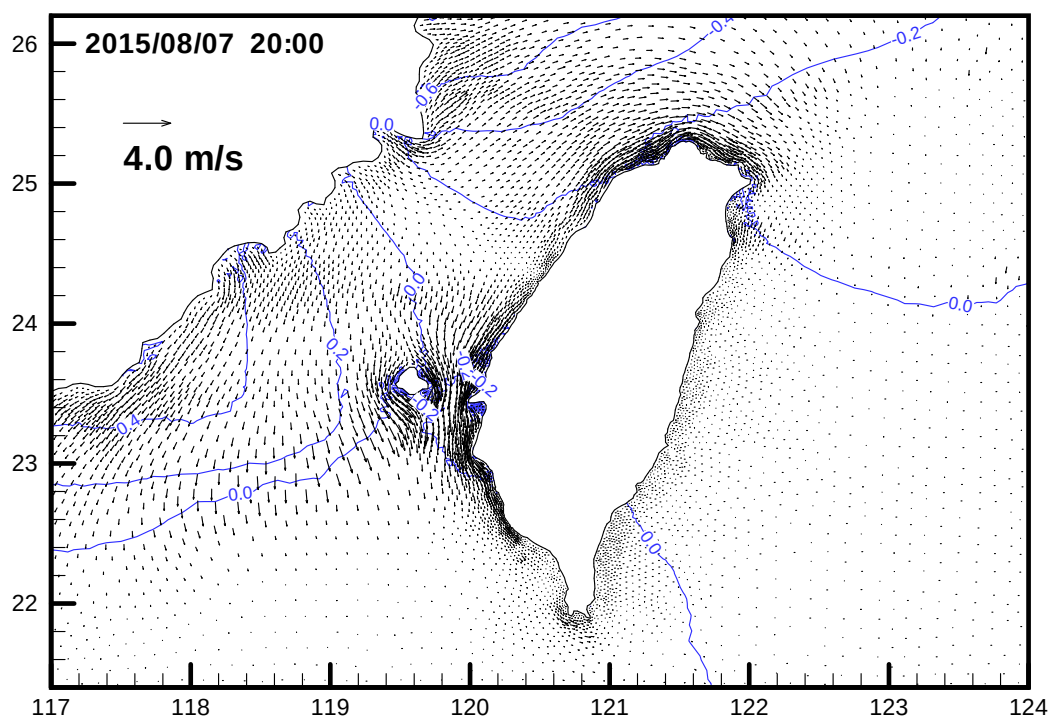


(a)

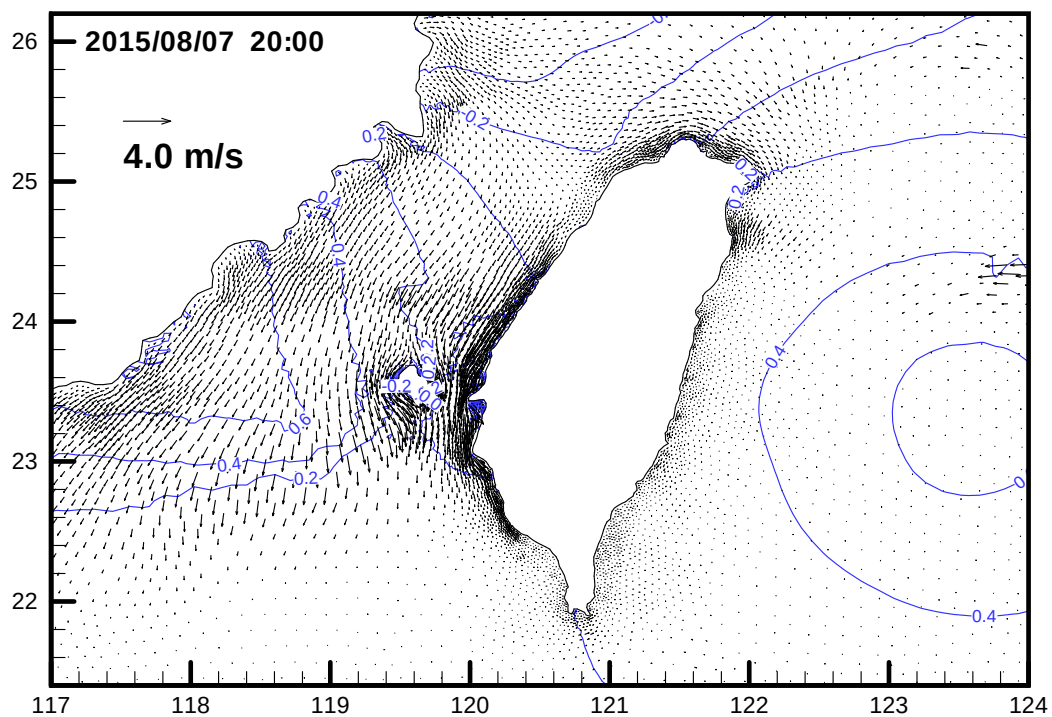


(b)

圖 4.15 (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)

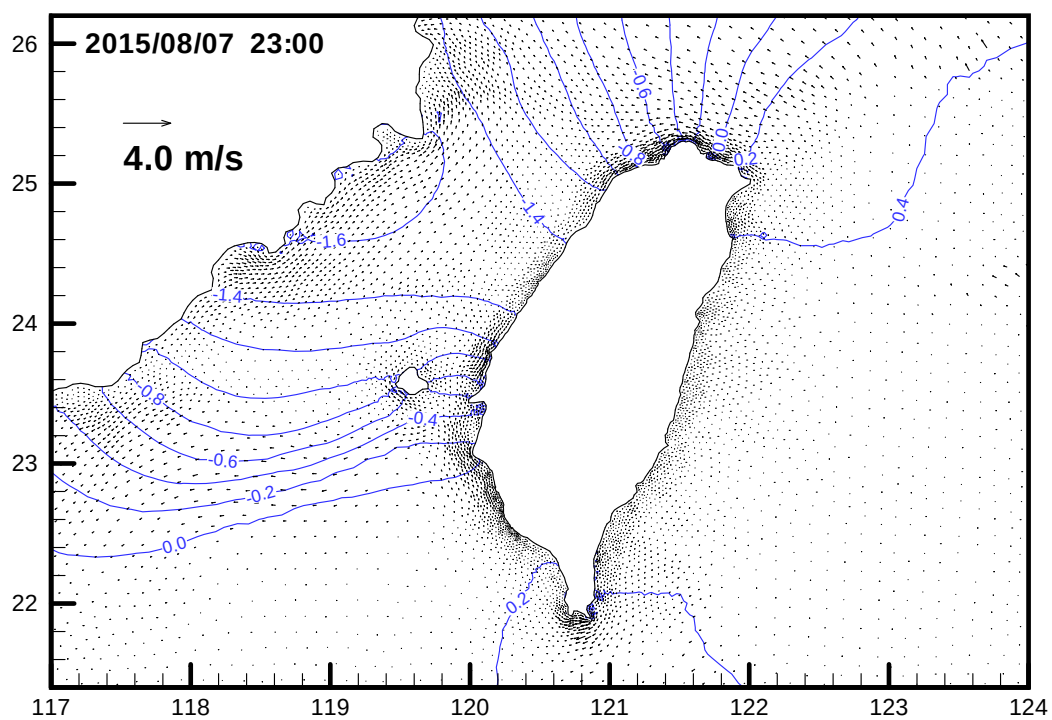


(a)

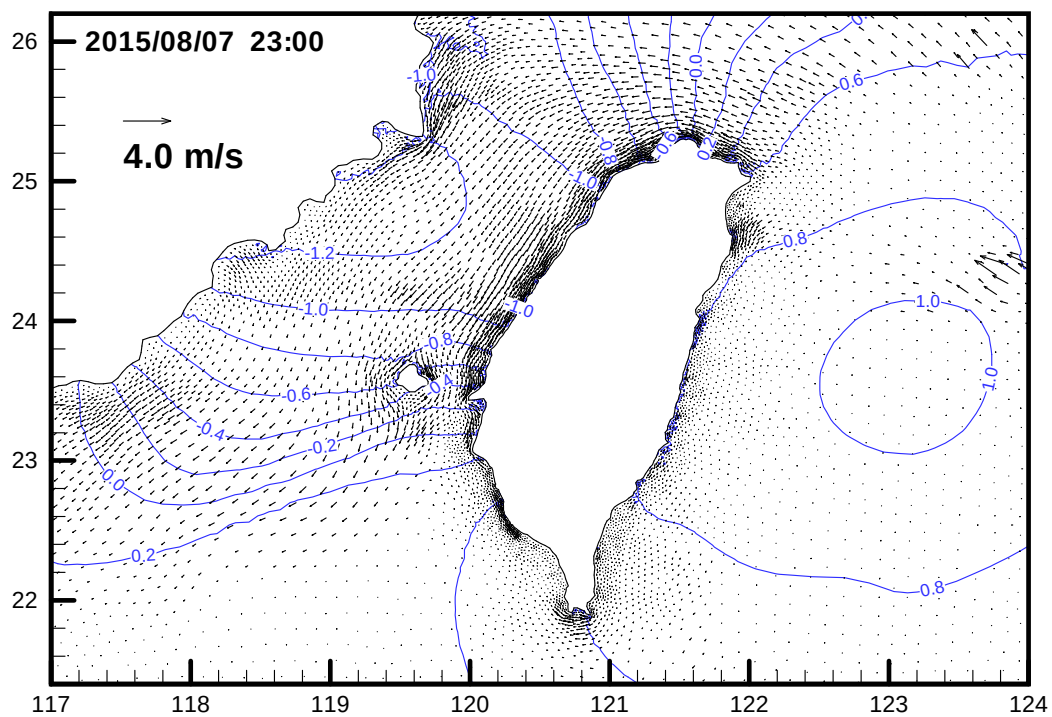


(b)

圖 4.15 (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)

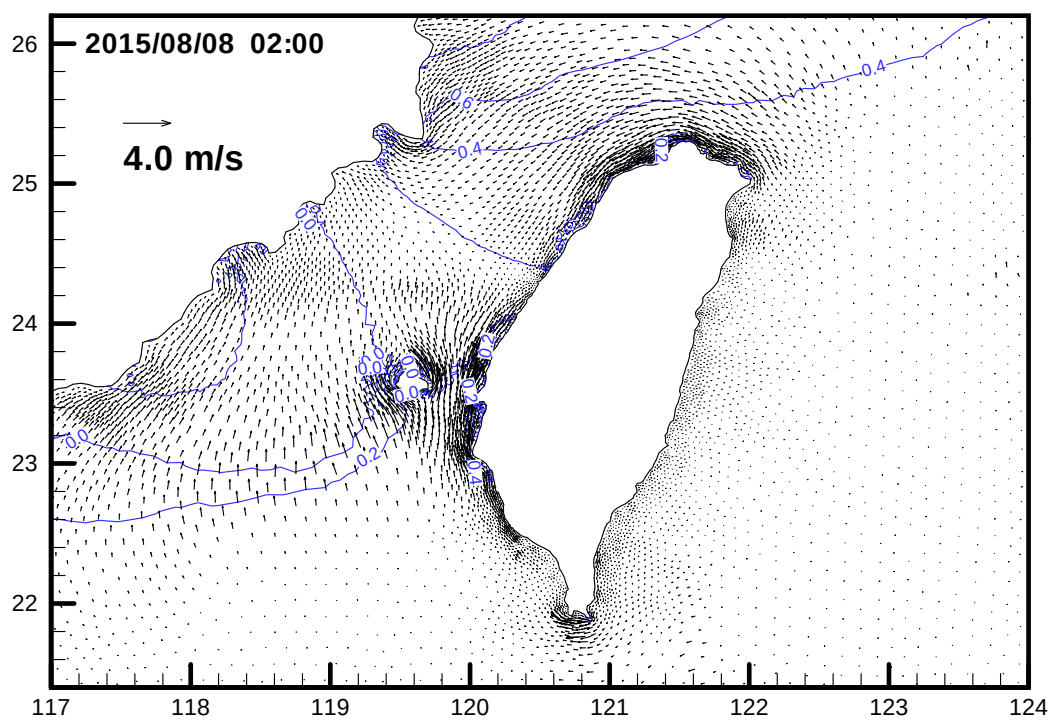


(a)

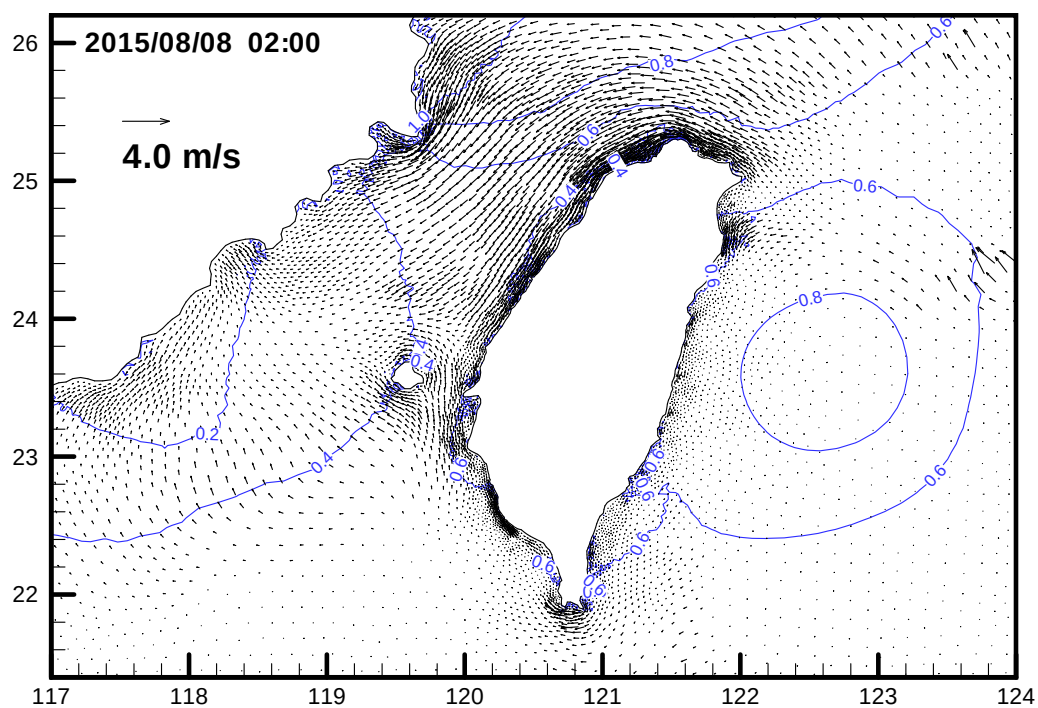


(b)

圖 4.15 (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)

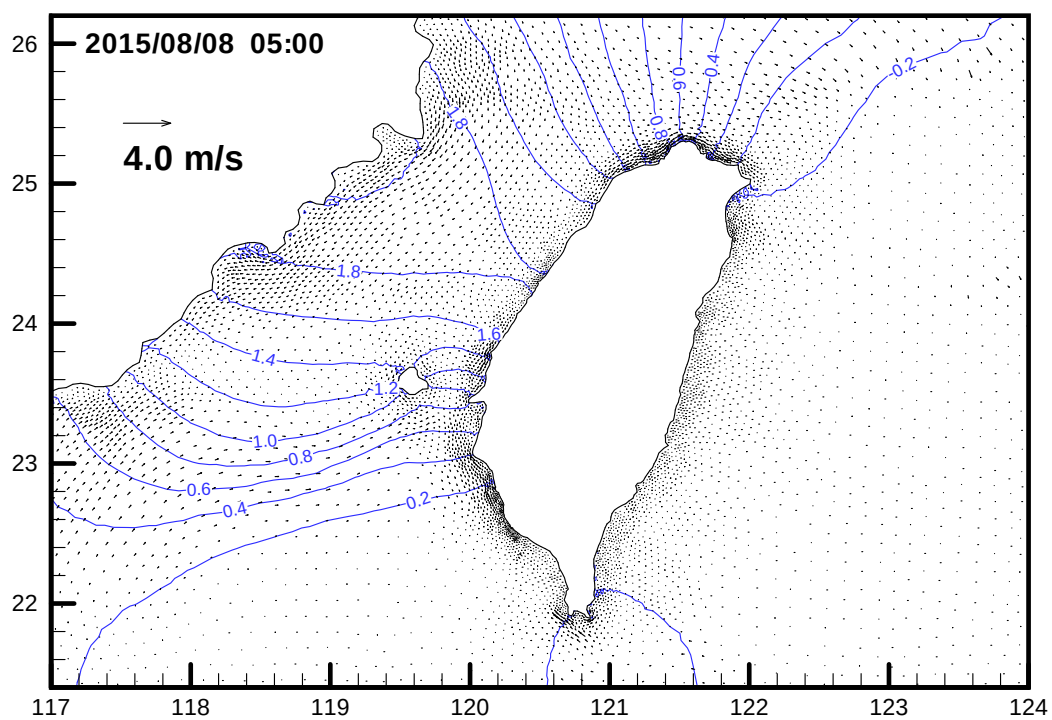


(a)

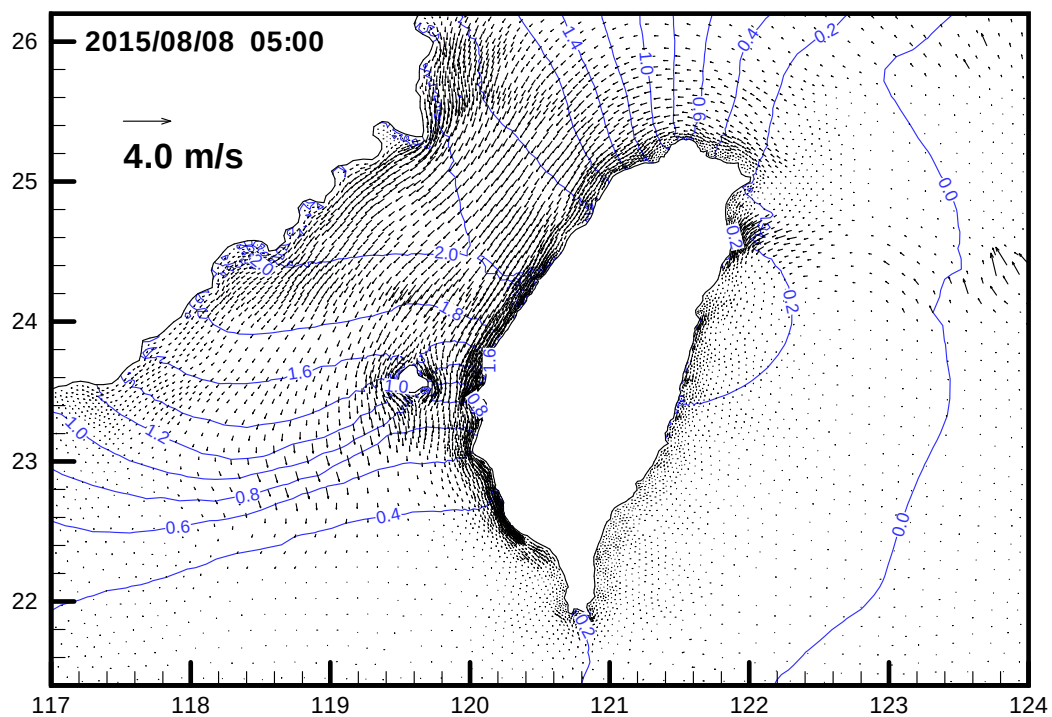


(b)

圖 4.15 (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)

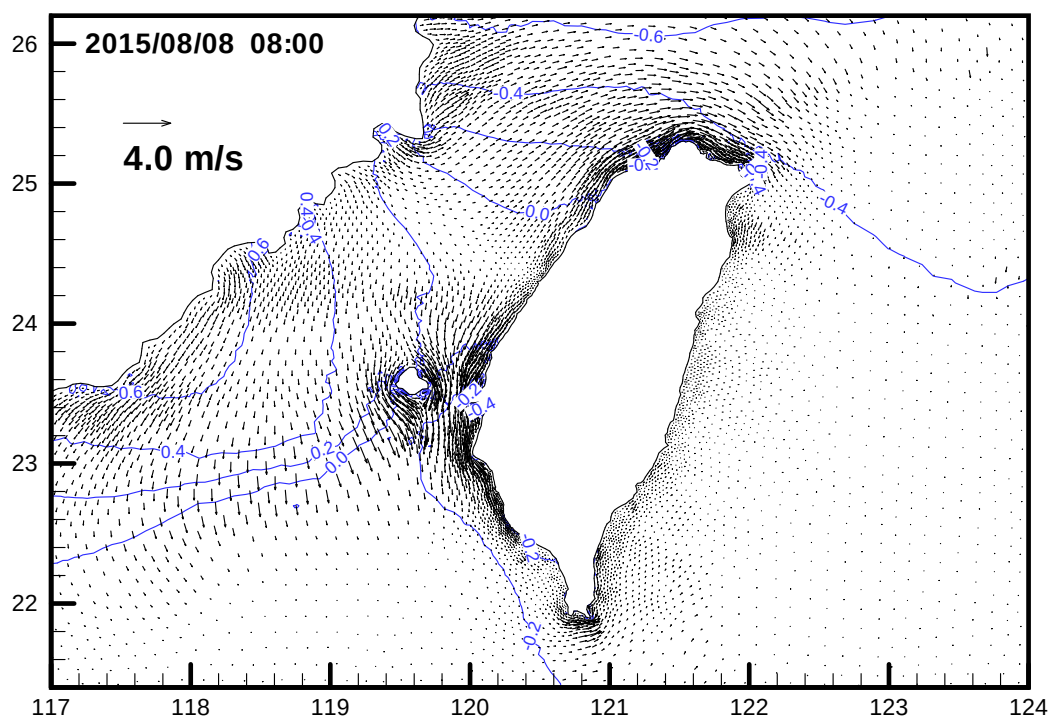


(a)

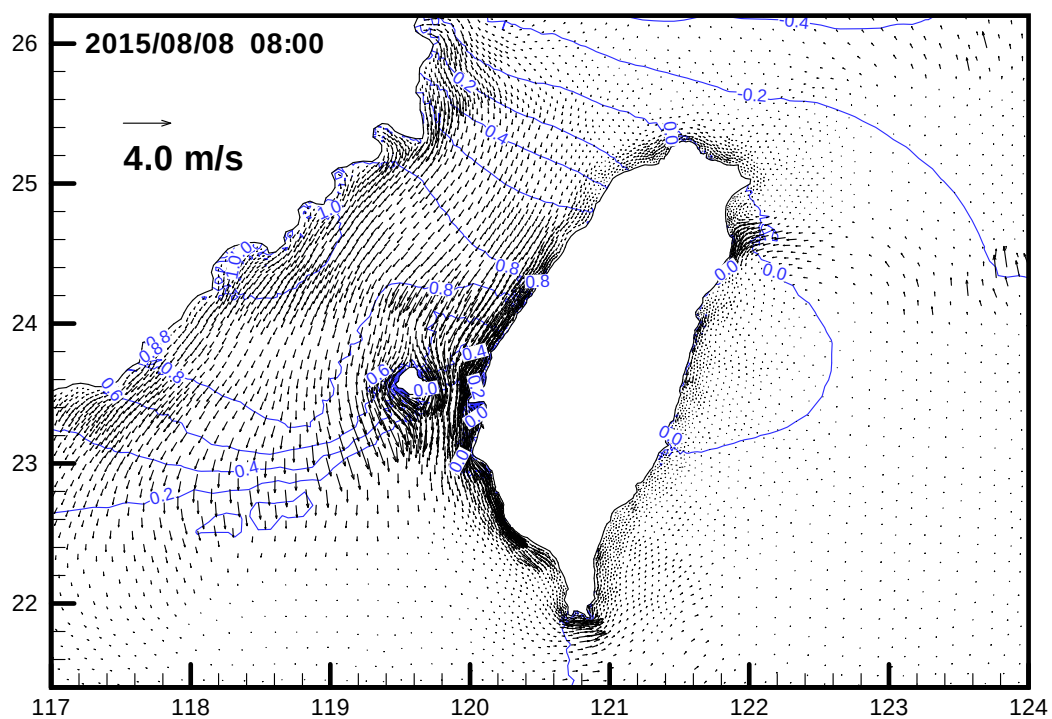


(b)

圖 4.15 (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)

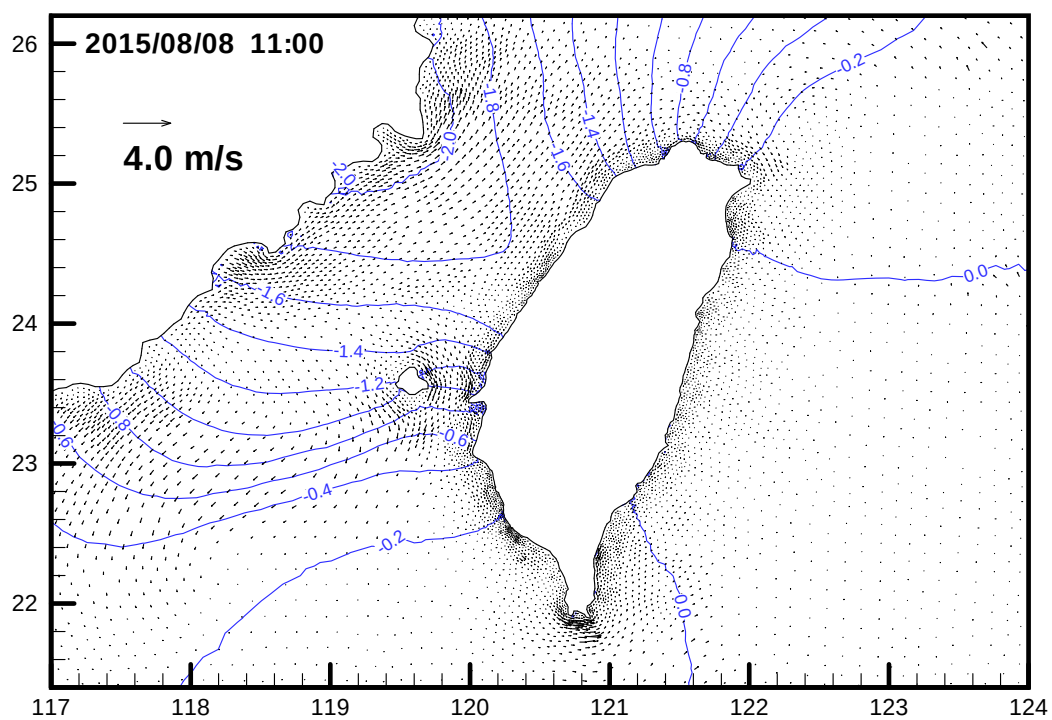


(a)

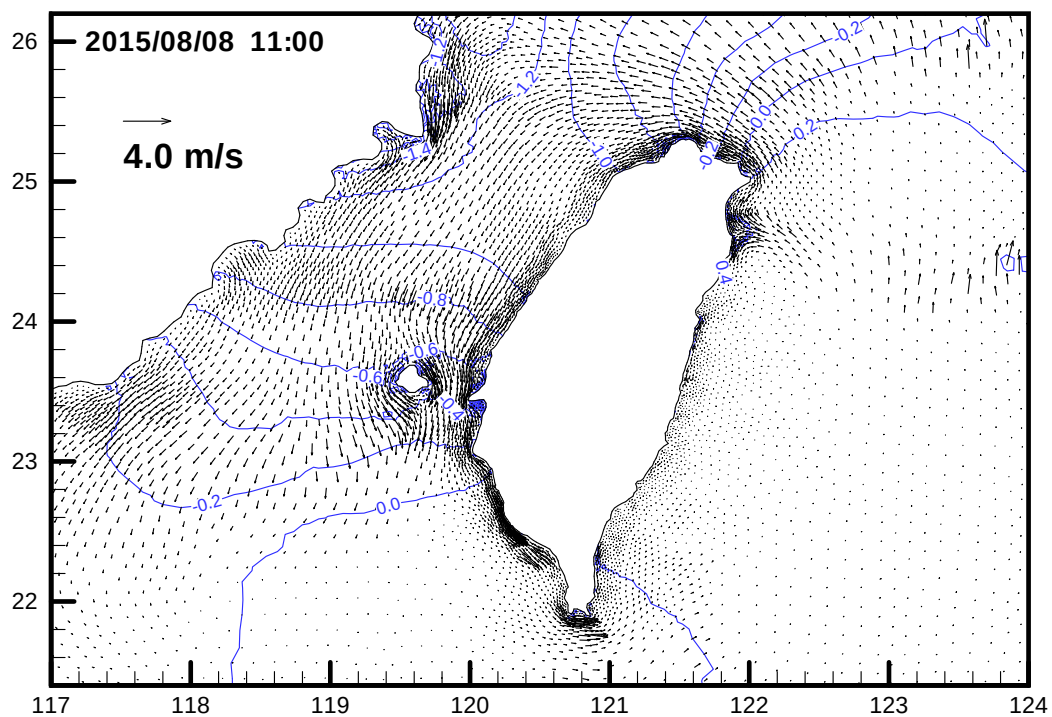


(b)

圖 4.15 (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 4.15 (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)

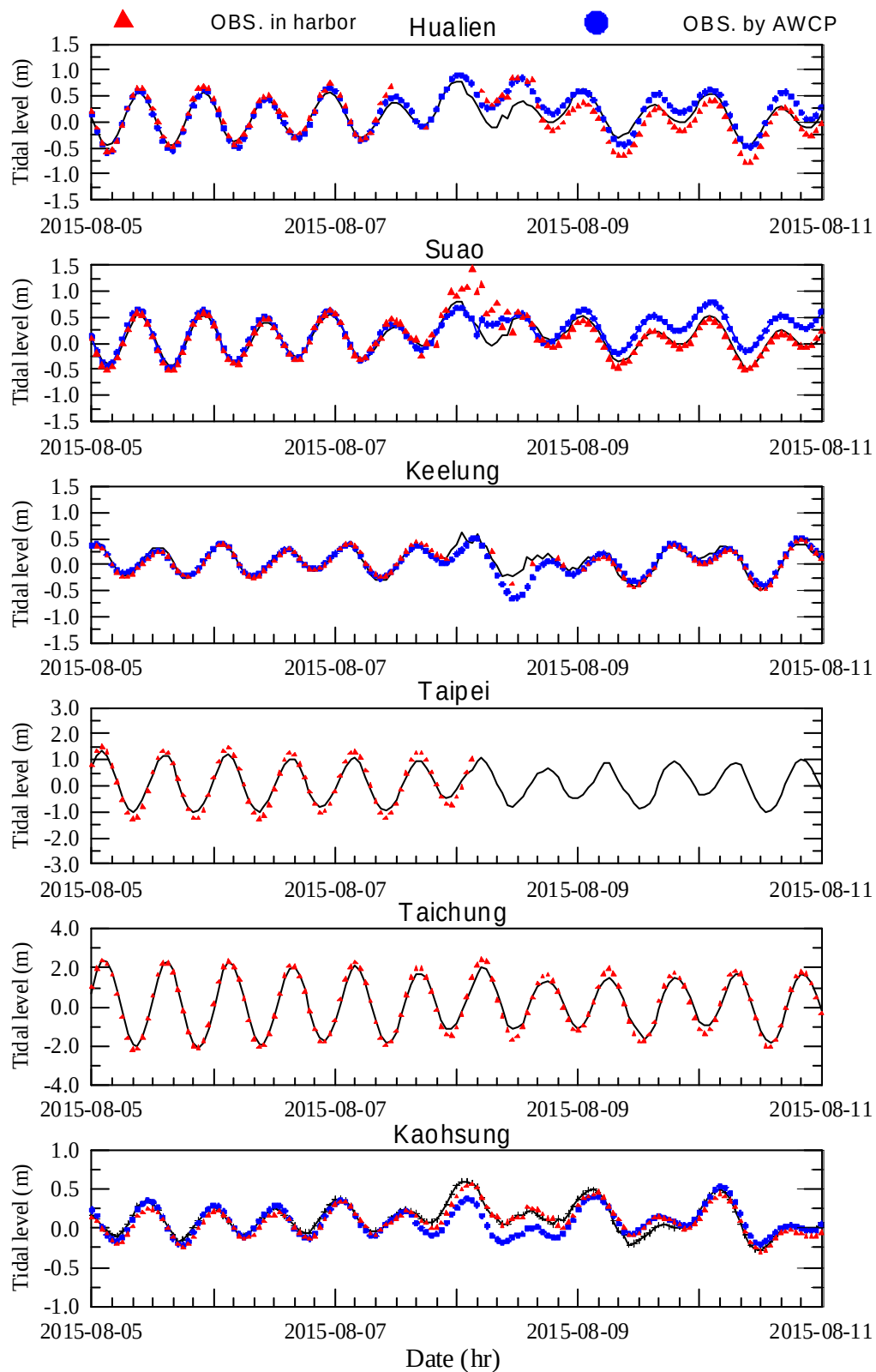


圖 4.16 2015 年中度颱風蘇迪勒侵臺期間主要商港水位模擬歷線與觀測資料之比較圖

4.2 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，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

本計畫規劃的澎湖海域水動力模擬範圍介於北緯 23.2° 至 23.955°，東經 119.17° 至 120.3° 之間，其優勢為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 4.17 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 4.18 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

本計畫水動力模式使用的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(4.2.1)。

$$\eta = \eta_a(t) \dots\dots\dots (4.2.1)$$

有關本計畫邊界節點水位給定方式有二：(1)採用 Matsumoto et al.(2000)發展的天文潮區域模式 NAO.99Jb(其網格間距為 1/12 度)，建置本計畫數值計算網格開放邊界節點逐時天文潮水位資料；(2)利用 TaiCOMS 下中尺度臺灣周圍海域暴潮模組模擬結果，輸出本計畫數值計算網格開放邊界節點逐時水位資料。

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。

圖 4.19 及圖 4.20 所示分別為本計畫利用 NAO.99Jb 模式及本報告(第三章)中尺度水動力模式產生的海域開放邊界上天文潮水位資料，顯示在鄰近臺灣本島之邊界節點(位置 A 及 B)兩種方式產生的天文潮水位資料無明顯的差異，惟鄰近澎湖海域西側北端開放邊界(位置 D)由 NAO.99Jb 模式所產生的天文潮水位資料則呈現明顯偏小的現象。

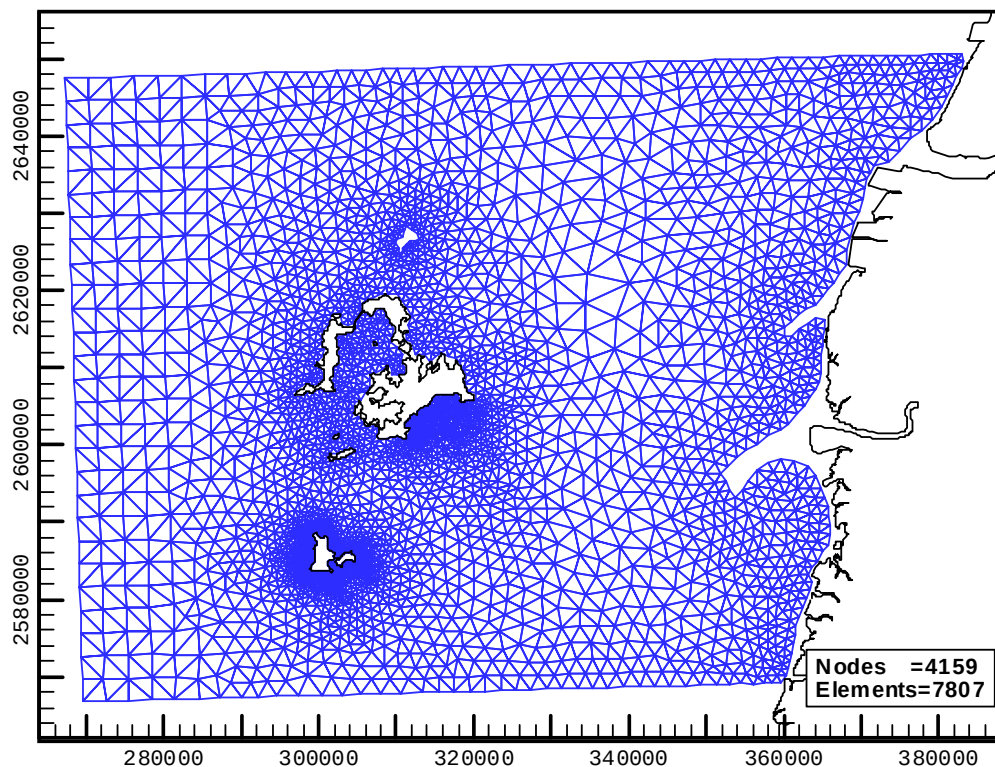


圖 4.17 澎湖海域水動力模式使用的非結構性三角形元素網格圖

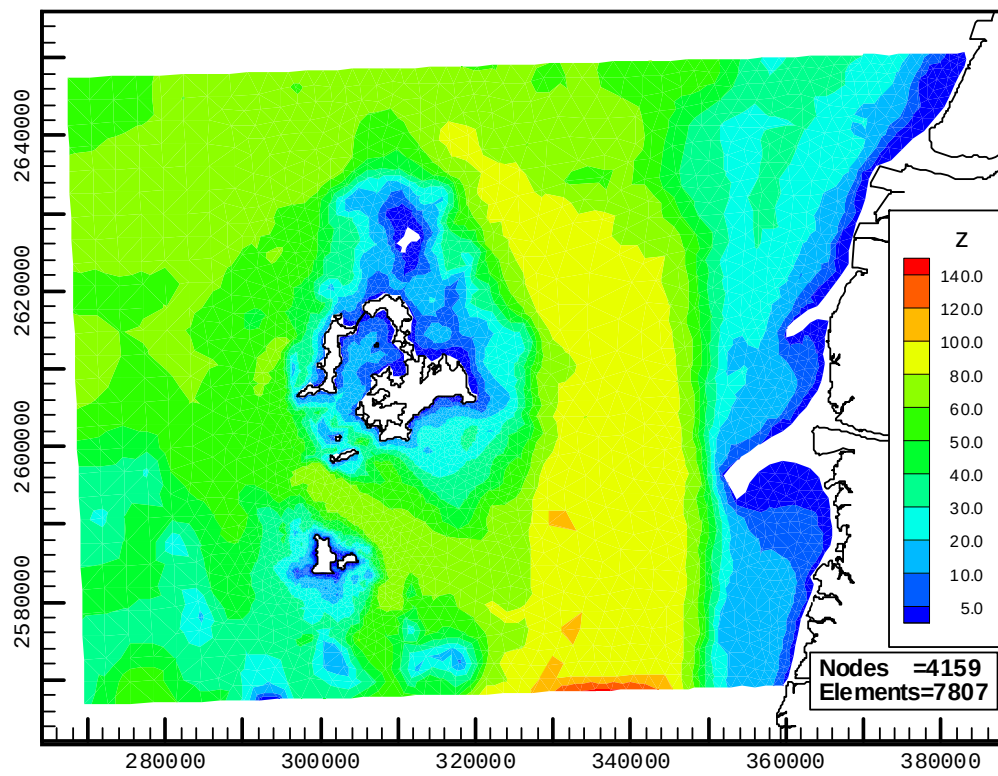


圖 4.18 澎湖海域水深分布圖

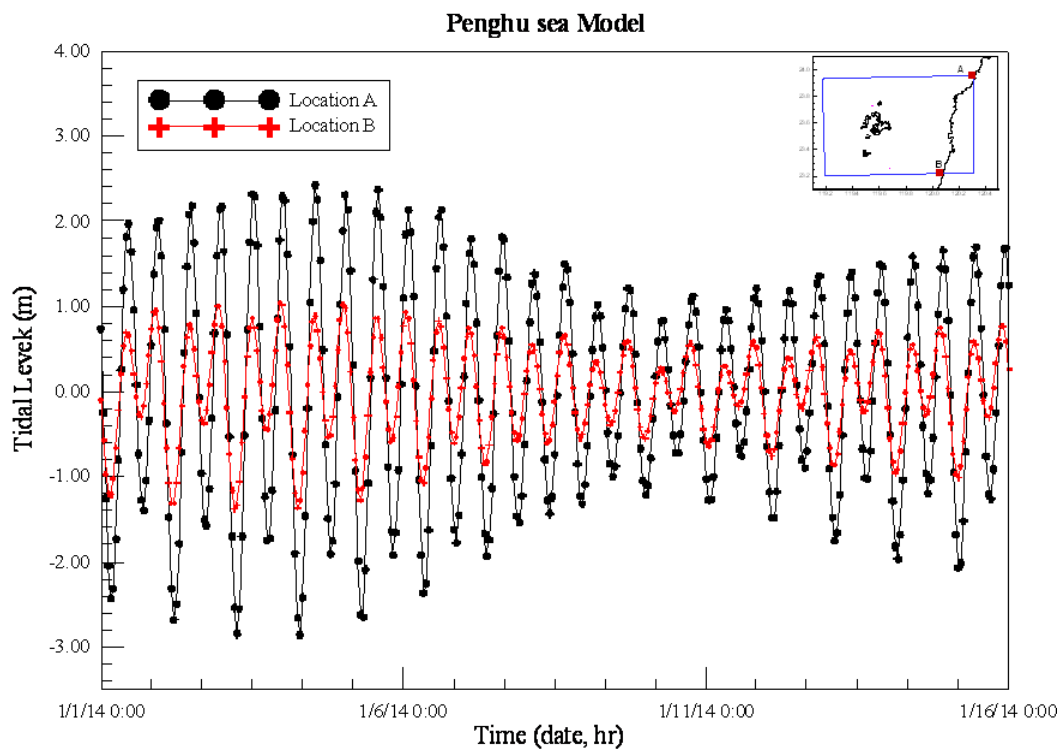


圖 4.19 澎湖海域水動力模式開放邊界天文潮水位邊界條件(Nao99Jb)

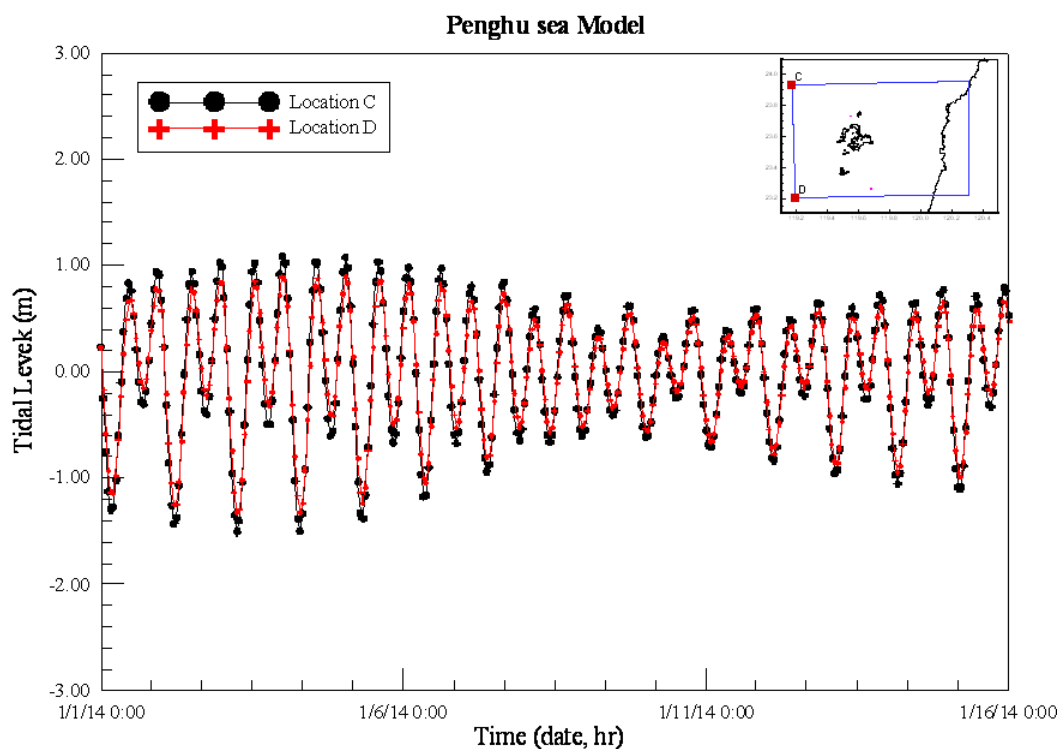


圖 4.19 (續)澎湖海域水動力模式開放邊界天文潮水位邊界條件
(Nao99Jb)

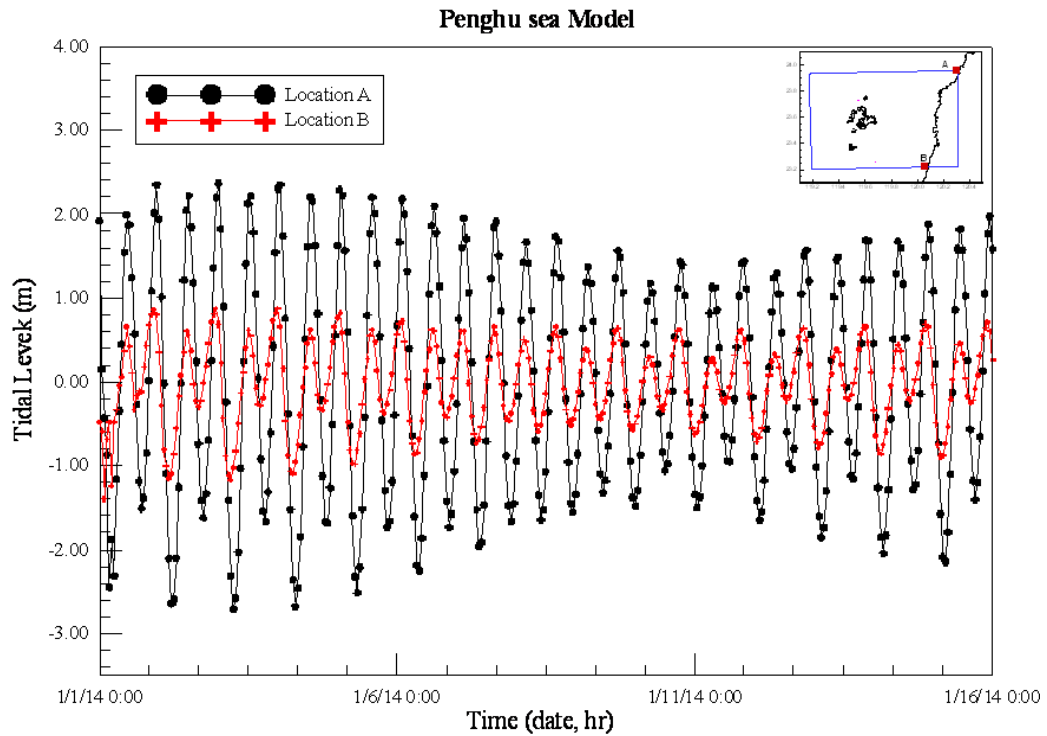


圖 4.20 澎湖海域水動力模式開放邊界天文潮水位邊界條件(由本計畫中尺度水動力模式產生)

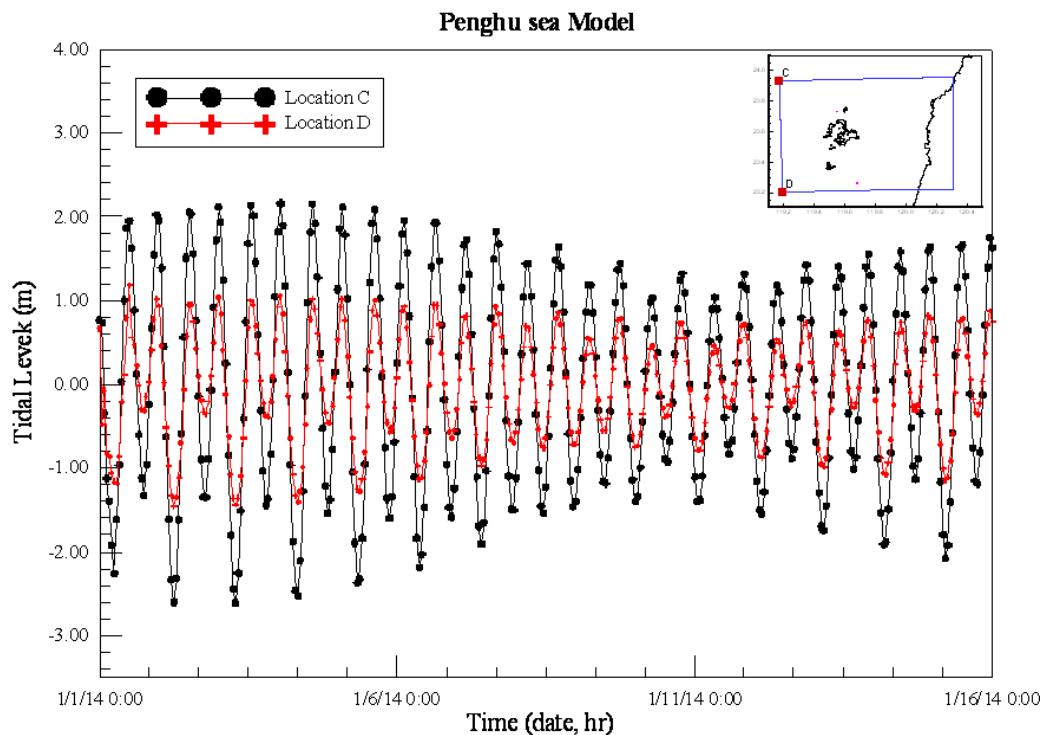


圖 4.20 (續)澎湖海域水動力模式開放邊界天文潮水位邊界條件(由本計畫中尺度水動力模式產生)

4.2.4 澎湖海域水動力模擬結果與驗證

在模擬結果之驗證上，本計畫選取 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 4.21 所示為本計畫澎湖海域水動力模式採用 Nao.99Jb 產生水位邊界條件之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 4.22 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 4.23 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。

4.2.5 澎湖海域水動力模擬子系統作業化模擬

配合 TaiCOMS 水動力模擬作業化系統建置，完成澎湖海域水動力模擬子系統作業化流程建置，並選取 2016 年 9 月 1 日至 30 日作業化風場資料進行測試。測試期間經歷強颱風莫蘭蒂、中颱馬勒卡及中颱梅姬等颱風侵臺，均能正常作業化模擬，顯示本計畫澎湖海域水動力模擬子系統相當穩定。

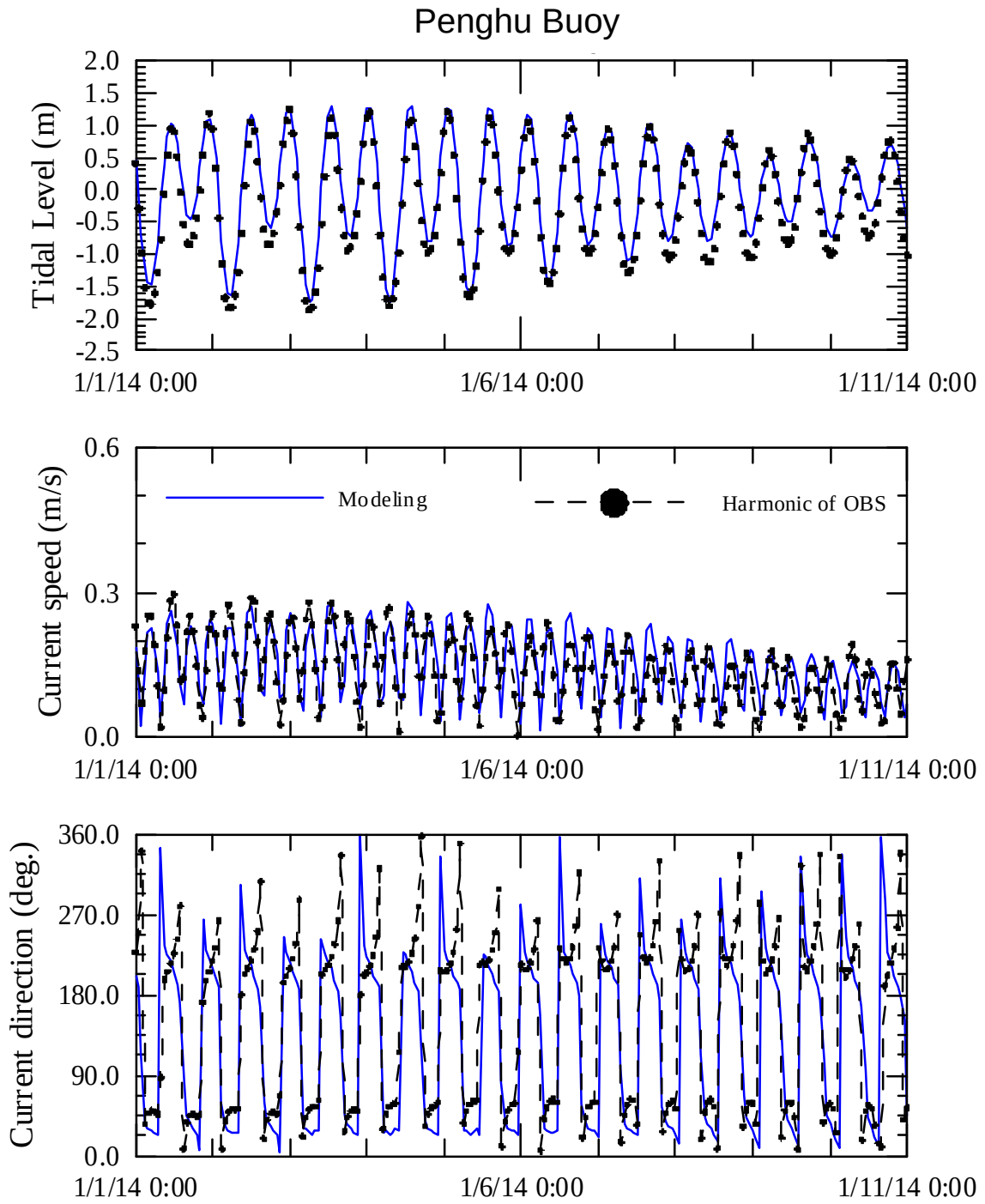


圖 4.21 澎湖海域水動力模式模擬結果與澎湖資料浮標潮流調和分析
結果比較

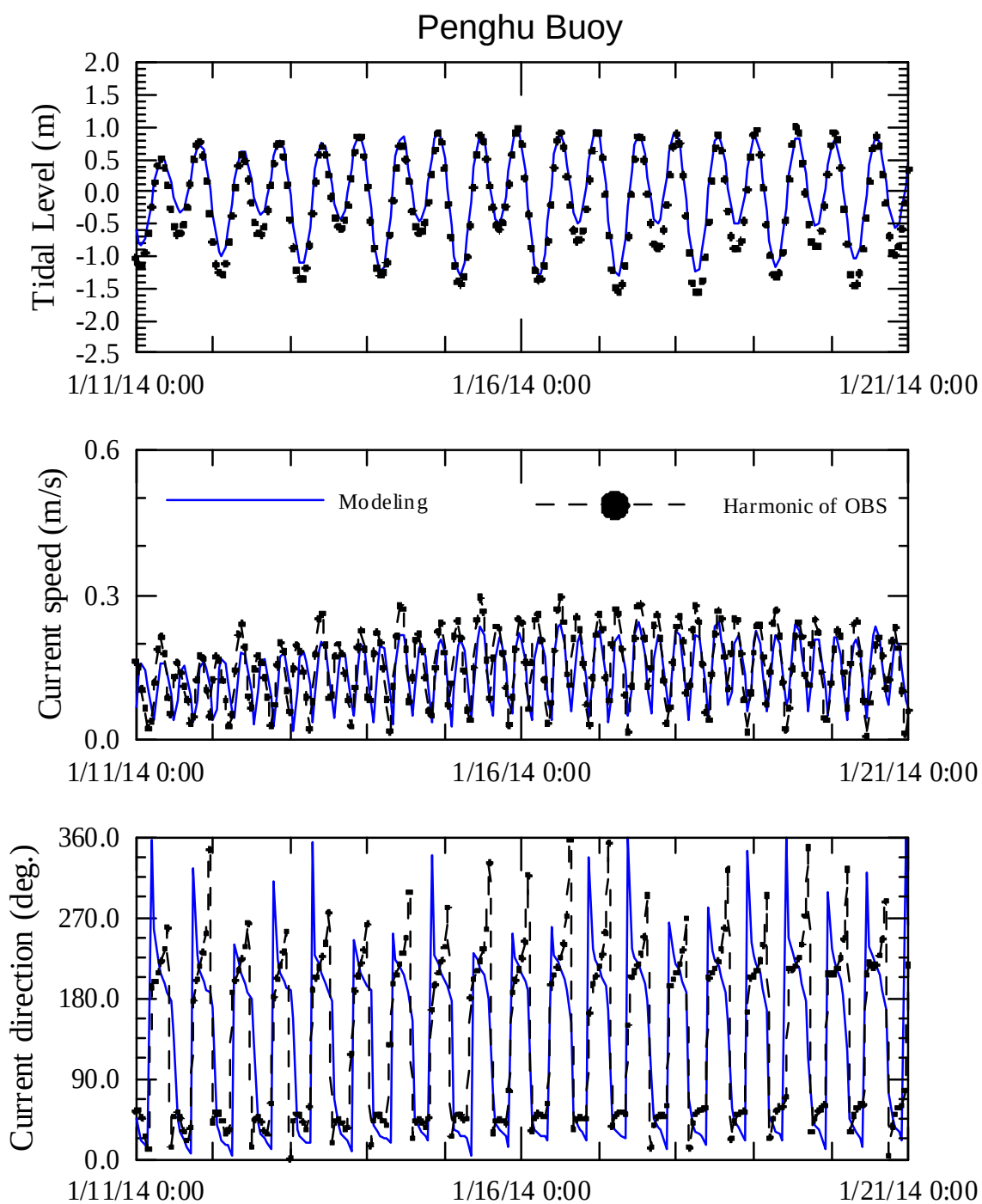


圖 4.21 (續)澎湖海域水動力模式模擬結果與澎湖資料浮標潮流調和分析結果比較

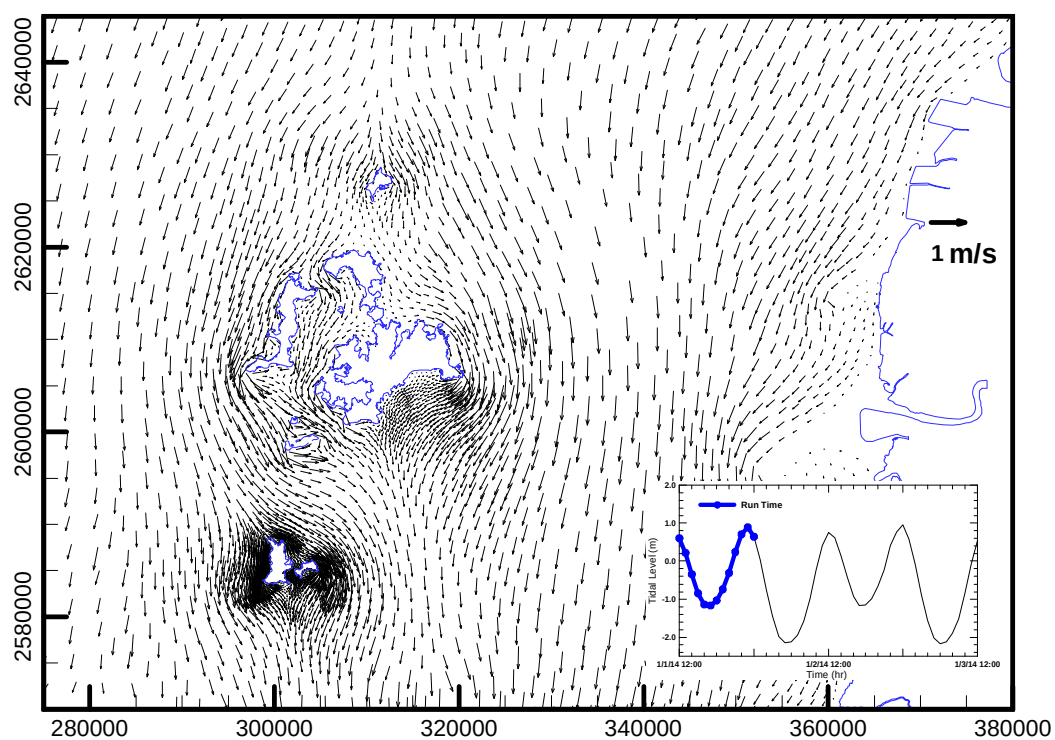


圖 4.22 澎湖海域水動力模式流場模擬結果

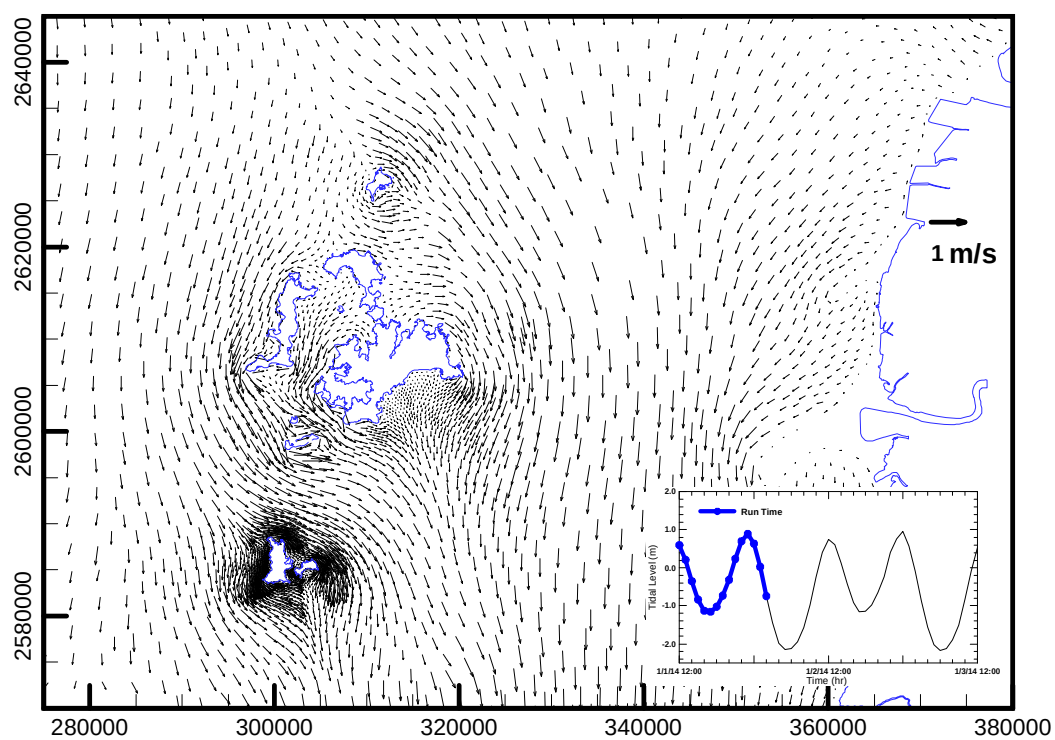


圖 4.22 (續 1)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

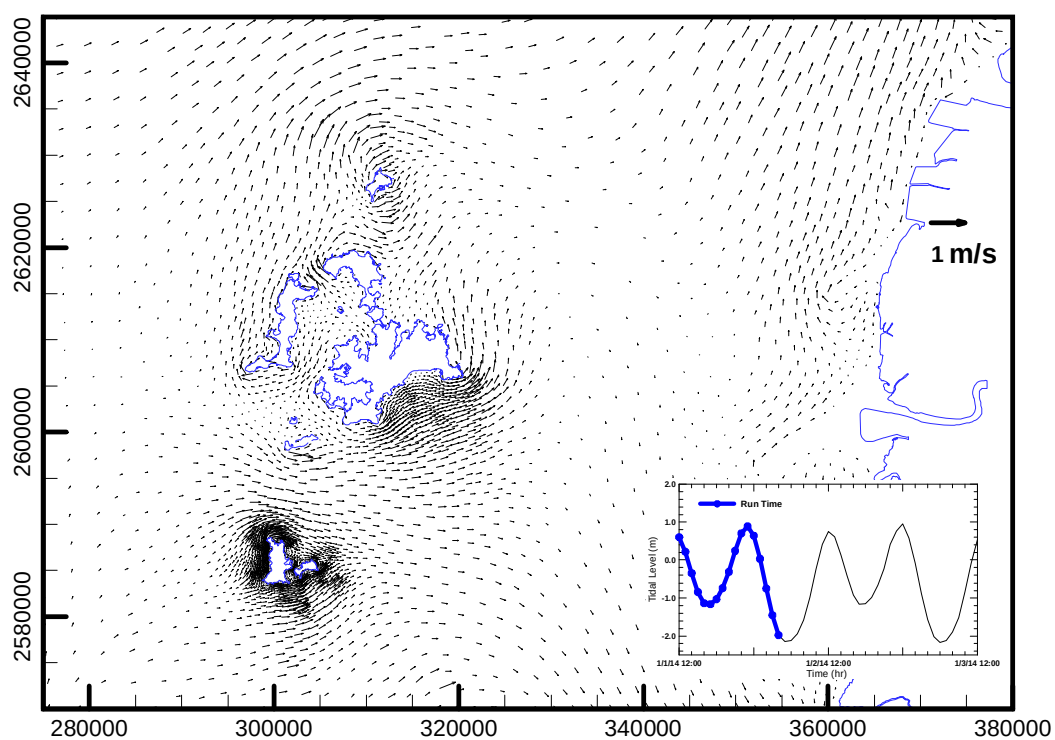


圖 4.22 (續 2)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

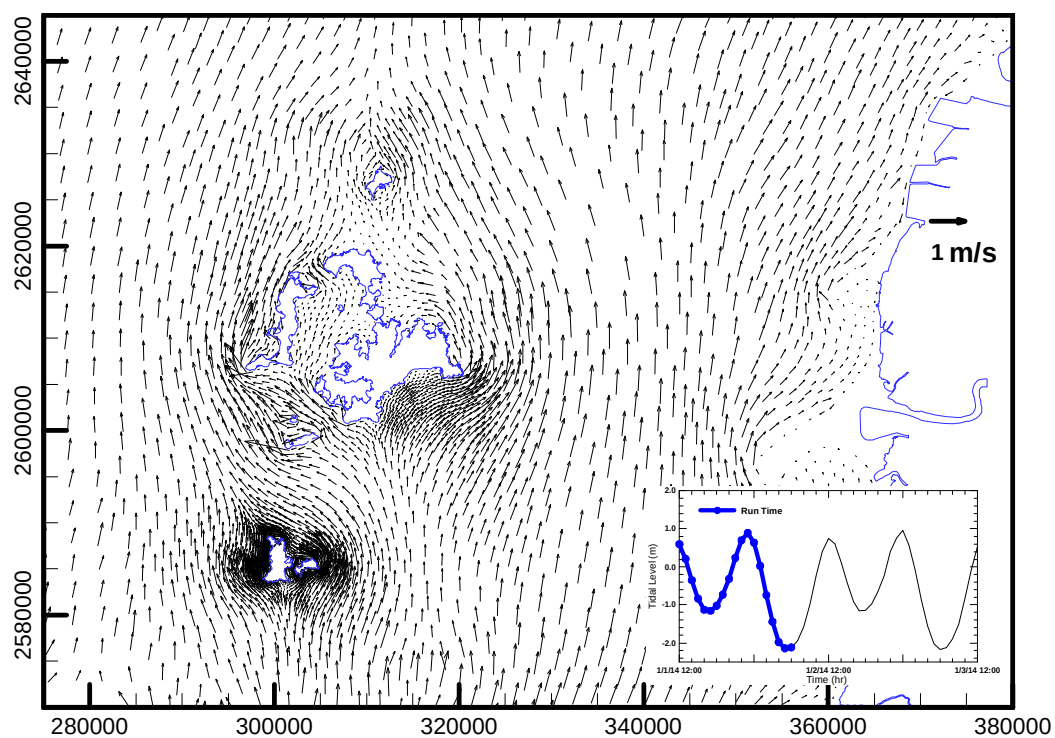


圖 4.22 (續 3)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

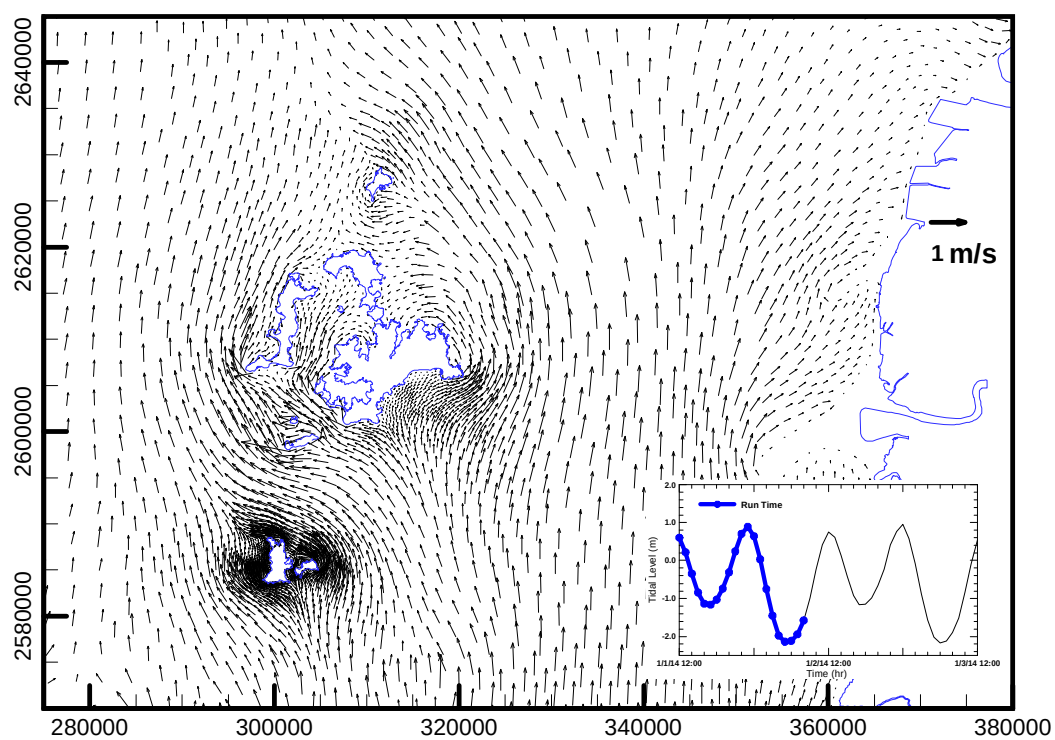


圖 4.22 (續 4)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

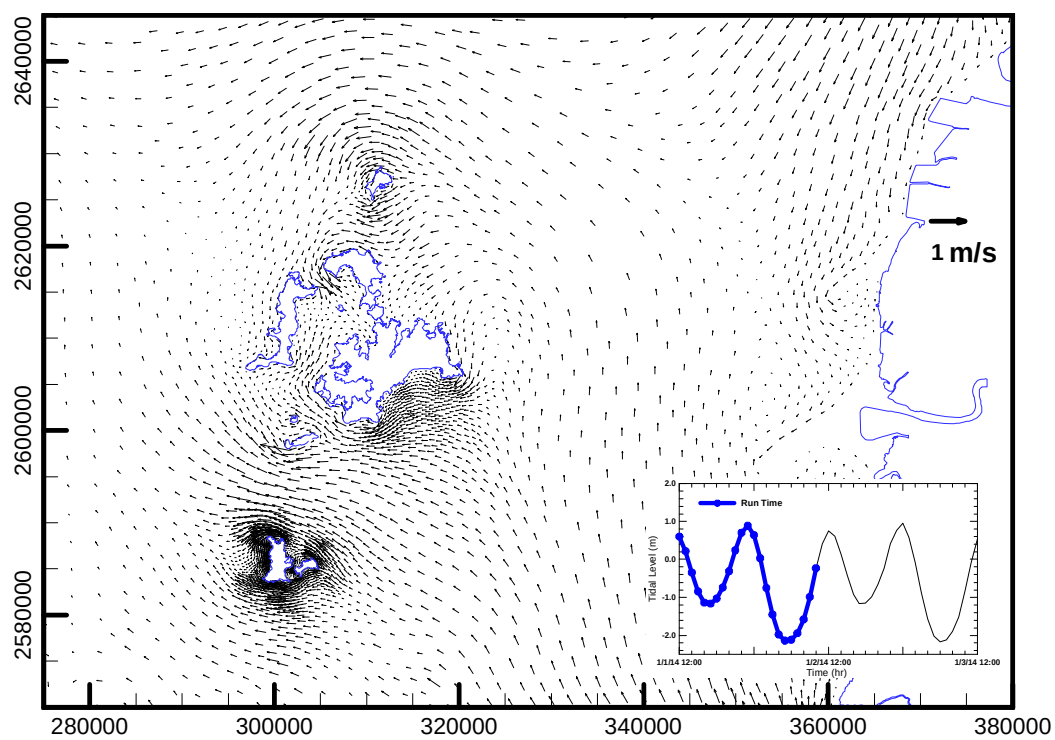


圖 4.22 (續 5)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

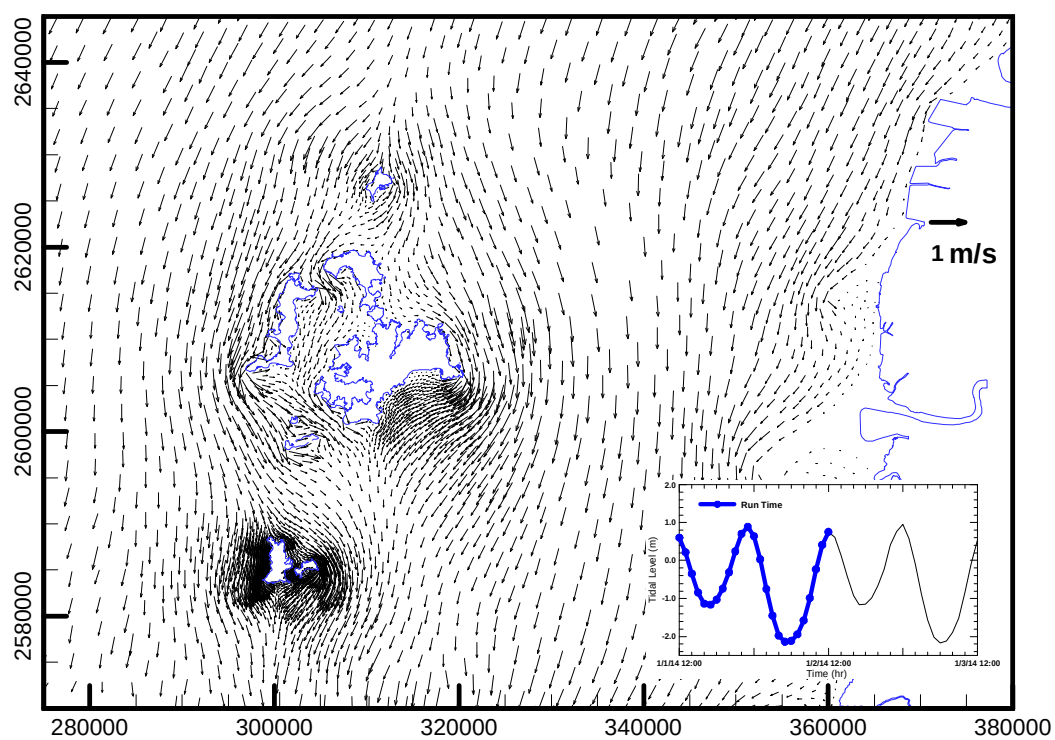


圖 4.22 (續 6)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

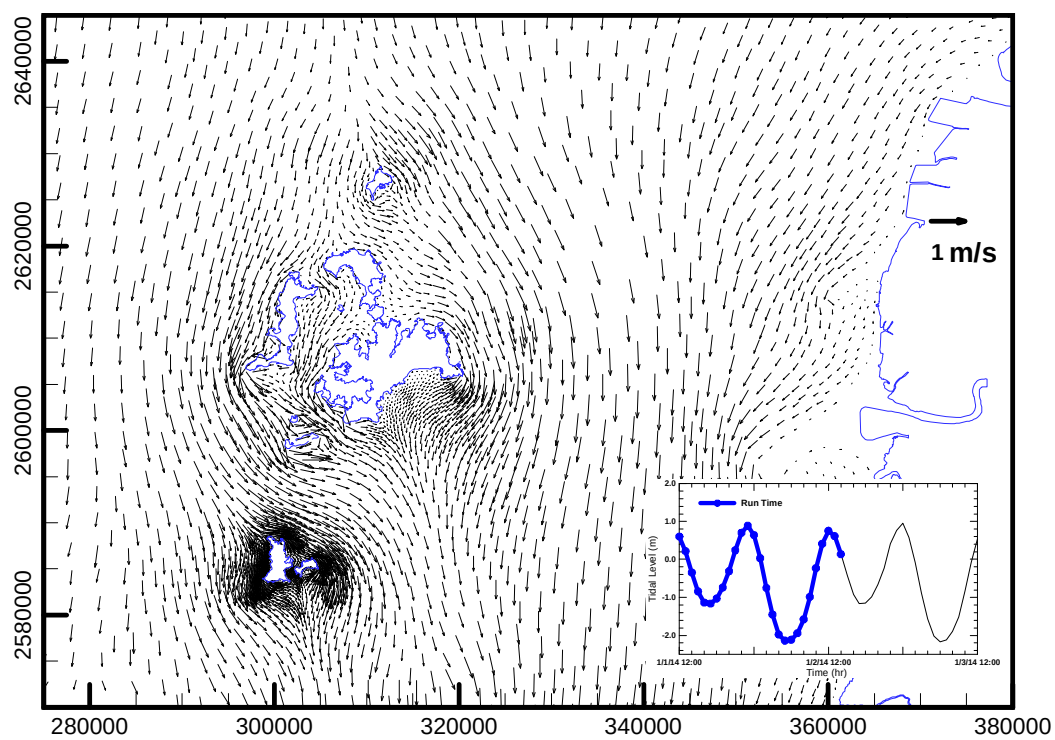


圖 4.22 (續 7)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

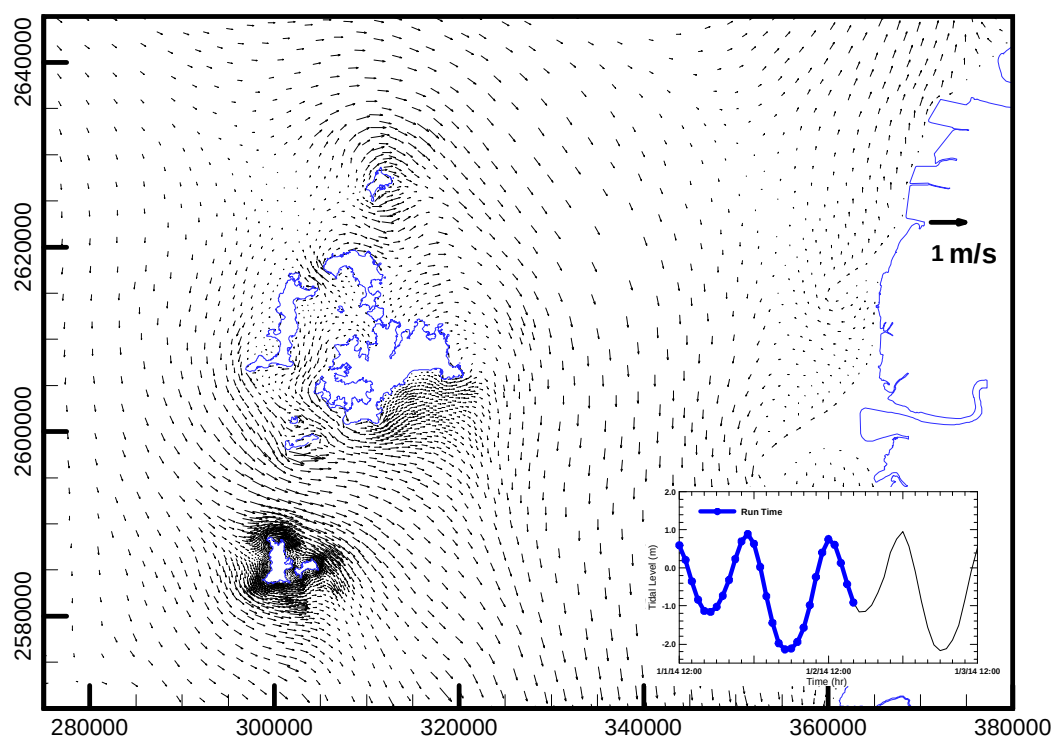


圖 4.22 (續 8)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

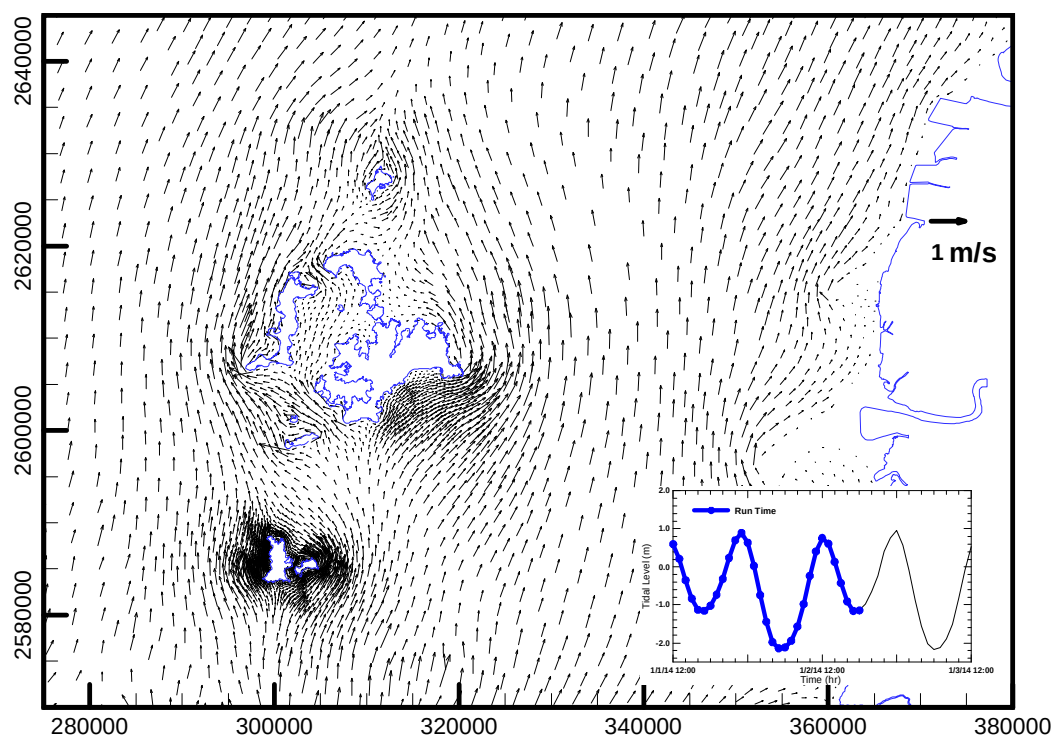


圖 4.22 (續 9)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

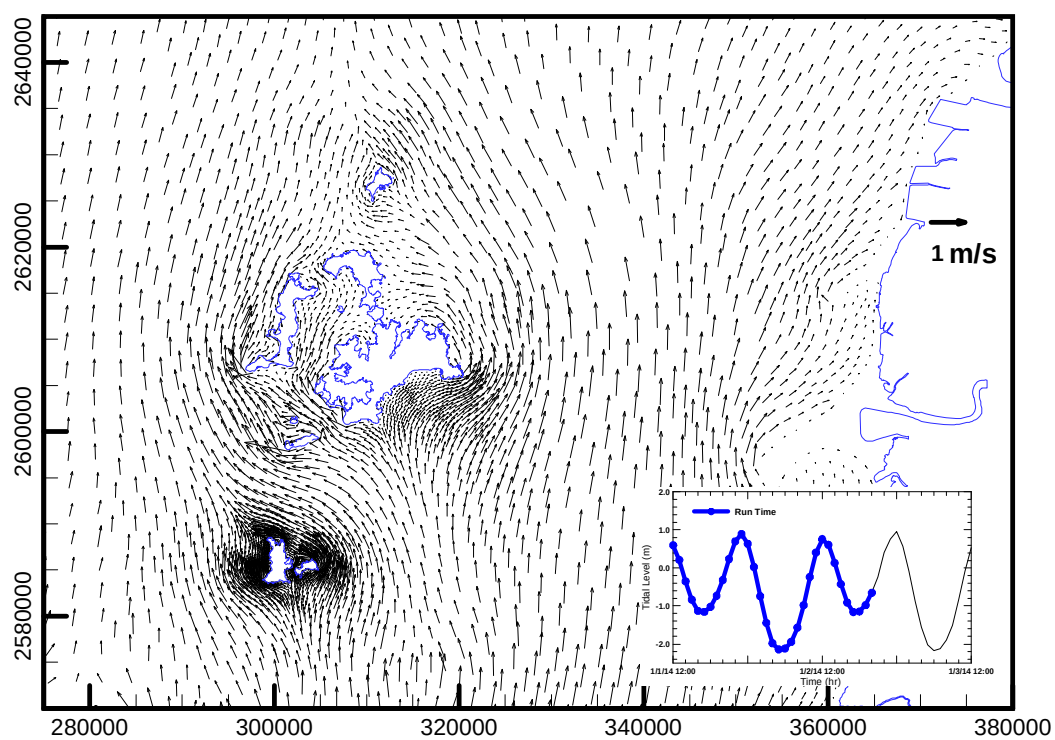


圖 4.22 (續 10)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

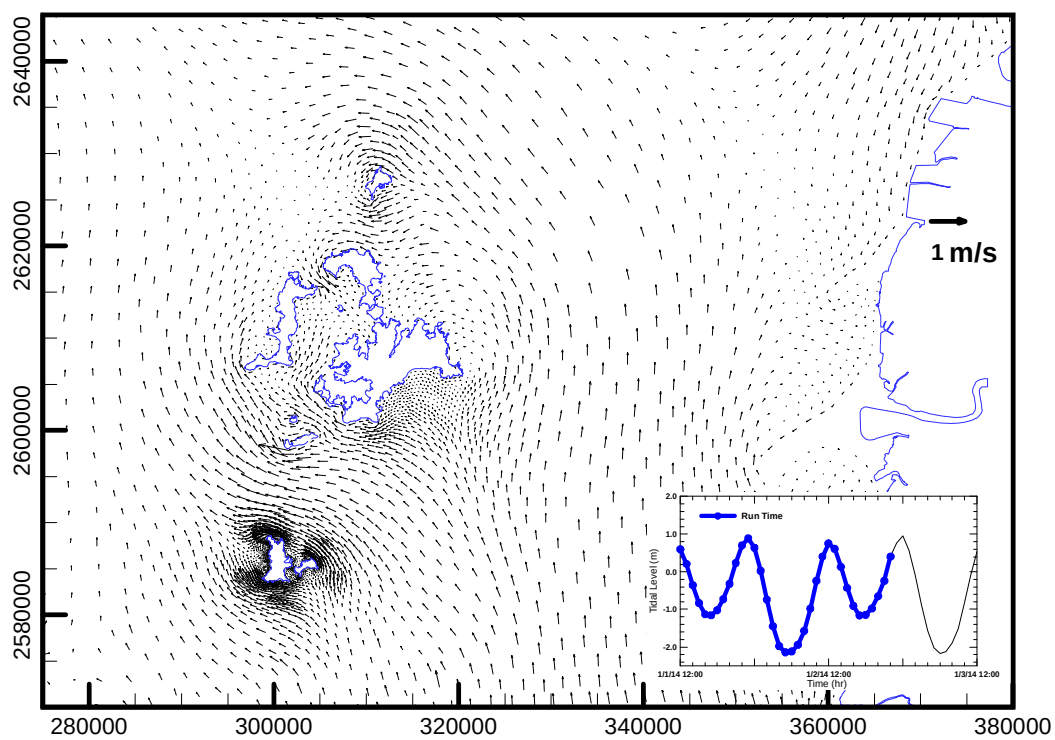


圖 4.22 (續 11)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

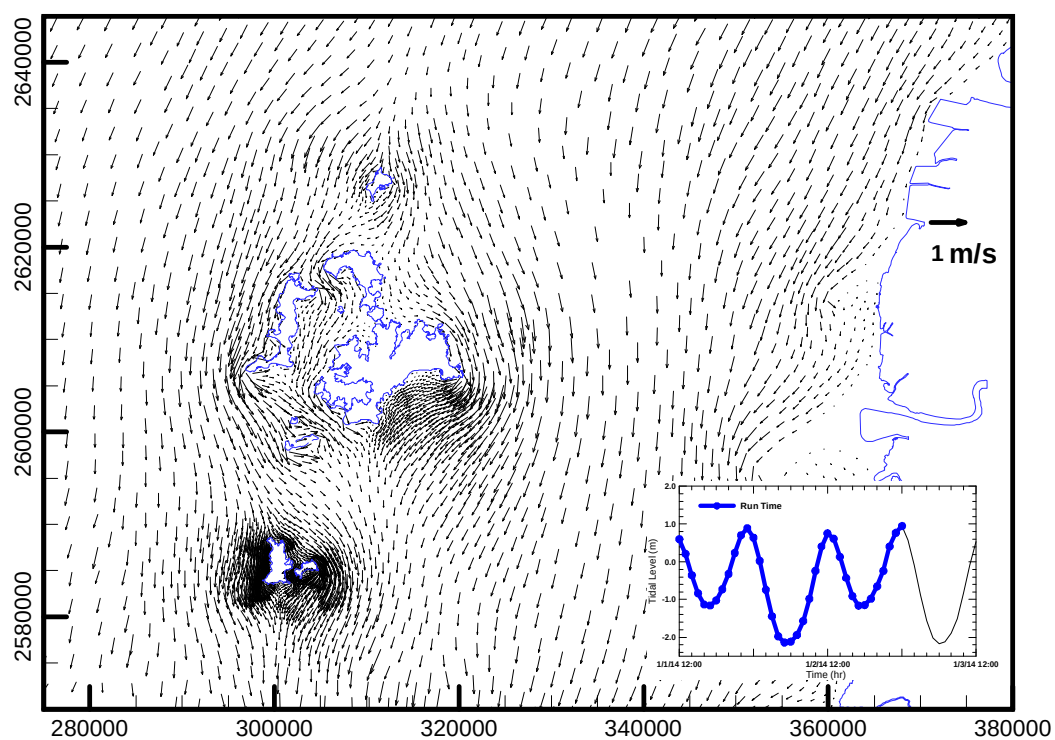


圖 4.22 (續 12)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

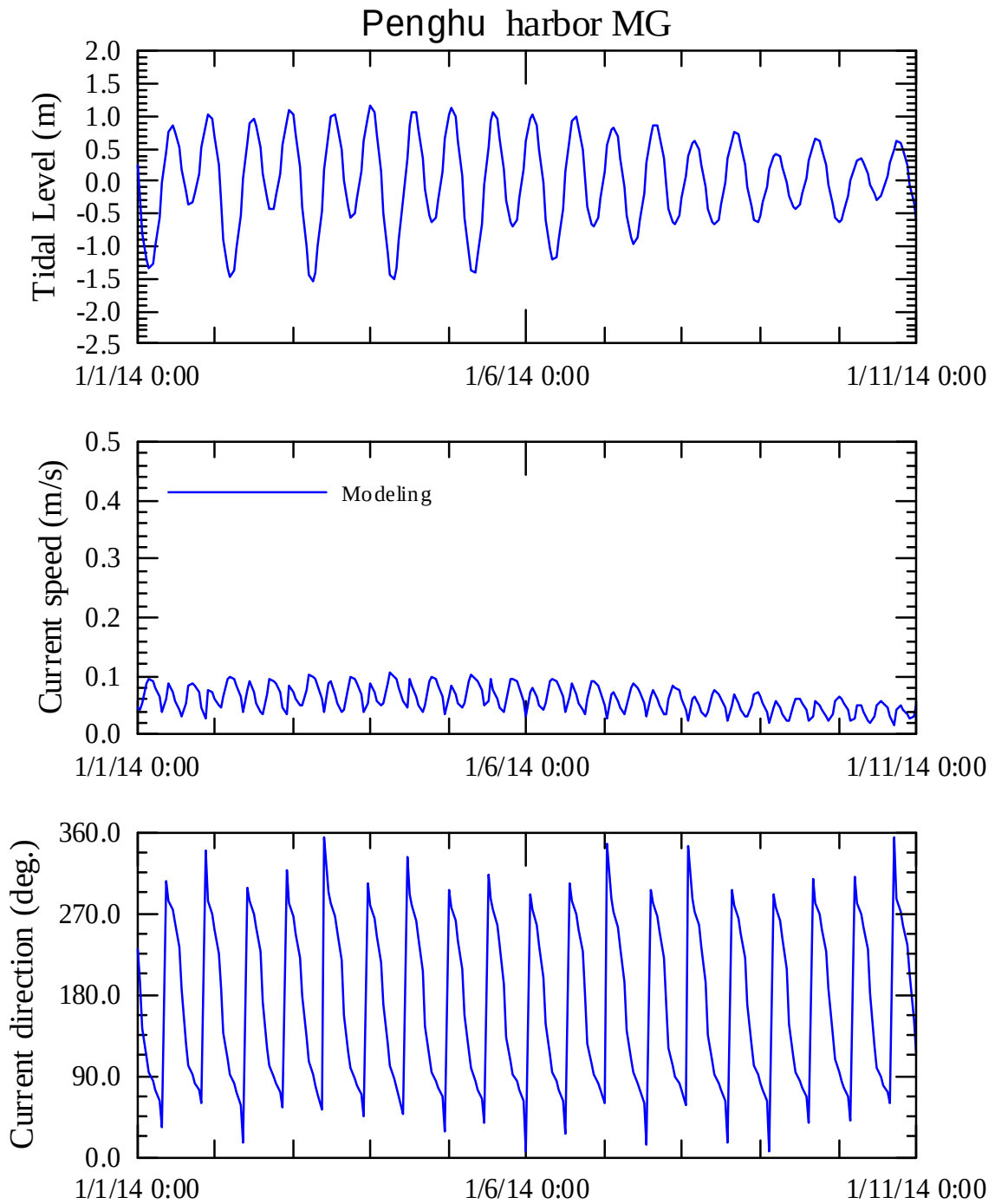


圖 4.23 澎湖港龍門尖山港區外海水位及流速流向數值模擬結果

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。

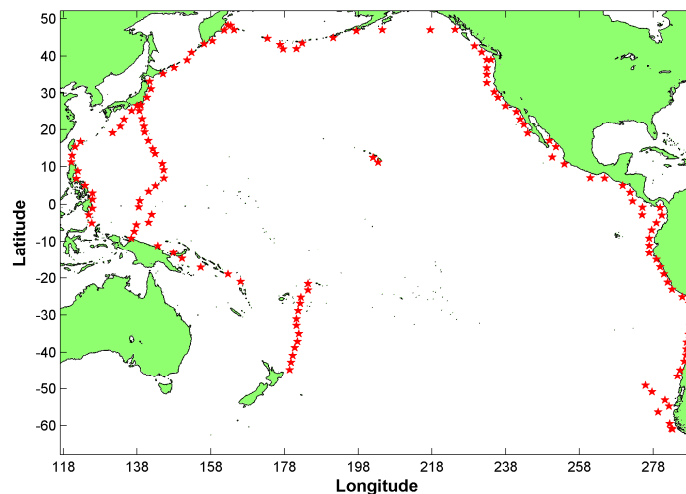


圖 5.1 環太平洋地震帶及海溝分佈(星點即是海溝位置)

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.

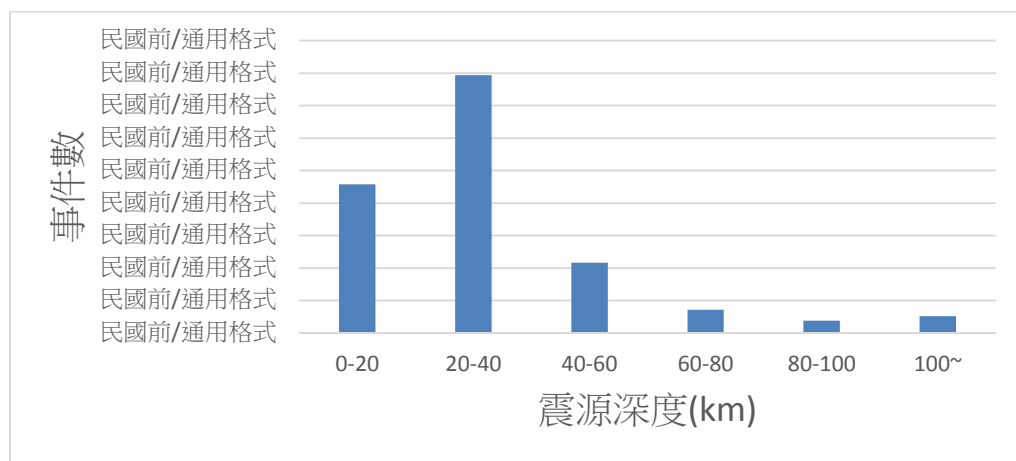


圖 5.3 1500-2015 年海嘯事件之震源深度分析

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 2016 年 12 月為止，較具規模之海嘯事件共 11 起，如表 5-1 所示。

表 5-1 2004~2016 年間重大海嘯事件

	Date	Country	Name	Max. wave height (m)	Death
1	2004/12/26(9.1)	Indonesia	Sumatra	50.9	226,898
2	2005/3/28(8.7)	Indonesia	Indonesia	3	10
3	2006/7/17(7.7)	Indonesia	Java	10	802
4	2007/4/1(8.1)	Solomon	Solomon	12.1	52
5	2007/4/21(6.2)	Chile	Chile	7.6	10
6	2009/9/29(8.0)	Samoa	Samoa	22.35	192
7	2010/2/27(8.8)	Chile	Chile	29	156
8	2010/10/25(7.8)	Indonesia	Sumatra	7	431
9	2011/3/11(9.0)	Japan	Honshu	38.9	15,854
10	2013/2/6(8.0)	Solomon	Solomon Islands		10
11	2014/4/1(8.2)	Chile	Chile	4.40	
12	2015/10/18(8.3)	Chile	Chile		8
13	2016/3/2(7.8)	Indonesia	Sumatra	0.21	0

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

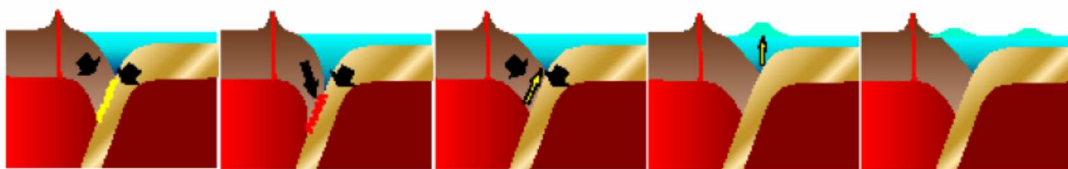
海嘯所造成之災害不同於其他天然災害，由於海嘯是整個水體被帶動且波長甚長，故能攜帶之水體通常會造成大範圍之溢淹，以 2004 年南亞海嘯東斯里蘭卡為例，可造成長度約 2.5 km 之溢淹；薩摩亞海嘯也有此一現象產生。後續衍生之衛生、心理及重建問題亦是甚為棘手之問題。其次是海嘯波之速度，2011 年 3 月 11 日東日本海嘯事件中，由現場實況及事後調查報告均顯示即使海嘯波已經造成溢淹，其殘餘速度仍足夠衝跨目前現有之結構物。因為海嘯具有強大破壞性但也具備高度不可預測性，故自南亞海嘯之後，印度洋周邊國家開始建立區域性海嘯預警系統；美日兩國也加強與周邊國家之資訊交流，但在薩摩亞海嘯事件中證明現有之海嘯預警系統/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大海嘯事件中有發揮其功效，有效降低傷亡之人數。

海嘯所造成之災害是全面性的，日本海嘯事件即是一個案例；海嘯震源區約位於伊豆小笠原海溝，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破壞力的海嘯之一, 也被視為日本史上最具破壞力的海嘯之一。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				Addl Tsu Info	Deposits	Tsunami Source Location			
						Val	Code	Earth-quake Mag	Vol-cano			Country	Name	Latitude	Longitude
1661	1	8				2	1	<u>6.0</u>		*		TAIWAN	SOUTH CHINA SEA	23.000	120.100
1721						1	1	*		*		TAIWAN	TAINAN	23.000	120.200
1754	4					3	1	<u>6.0</u>		*		TAIWAN	E. CHINA SEA	25.300	121.400
1782	5	22				2	1	<u>7.0</u>		*		TAIWAN	TAIWAN STRAIT	24.500	120.500
1792	8	9				2	1	<u>6.0</u>		*		TAIWAN	TAINAN	23.600	120.500
1853	10	29				1	6		Vol	*		TAIWAN	E. TAIWAN-RYUKYU ISLANDS	24.000	121.830
1882	12	9				0	1	<u>6.2</u>		*		TAIWAN	SOUTH CHINA SEA	24.500	120.500
1903	9	7				1	1	*		*		TAIWAN	TAIWAN		
1917	5	6	12	19		4	1	<u>5.8</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	23.200	121.600
1922	9	1	19	16	6.0	1	1	<u>7.6</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	24.500	122.000
1951	10	22	5	43	1.0	4	1	<u>7.3</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	23.800	121.700
1963	2	13	8	50	4.5	4	1	<u>7.3</u>		*		TAIWAN	E. TAIWAN-RYUKYU ISLANDS	24.400	122.100
1966	3	12	16	31	21.8	3	1	<u>7.6</u>		*		TAIWAN	E. TAIWAN-RYUKYU ISLANDS	24.100	122.600
1972	1	25	2	6	23.3	4	1	<u>7.5</u>		*		TAIWAN	E. TAIWAN	22.500	122.300
1978	7	23	14	42	36.9	3	1	<u>7.4</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	22.282	121.512
1986	11	14	21	20	10.5	4	1	<u>7.8</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	23.901	121.574
1990	12	13	19	50	17.8	4	1	<u>6.3</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	23.722	121.627
1994	5	24	4	0	42.1	1	1	<u>6.5</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	23.959	122.448
1998	5	3	23	30	21.9	4	1	<u>7.5</u>		*		TAIWAN	TAIWAN: SOUTHEAST OF	22.306	125.308
2001	12	18	4	2	58.2	4	1	<u>6.8</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	23.954	122.734
2002	3	31	6	52	50.4	4	1	<u>7.1</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	24.279	122.179
2006	12	26	12	26	21.4	4	1	<u>7.0</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	21.799	120.547

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

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、仙臺等地也蒙受不少損失。

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。

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 5.5 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。

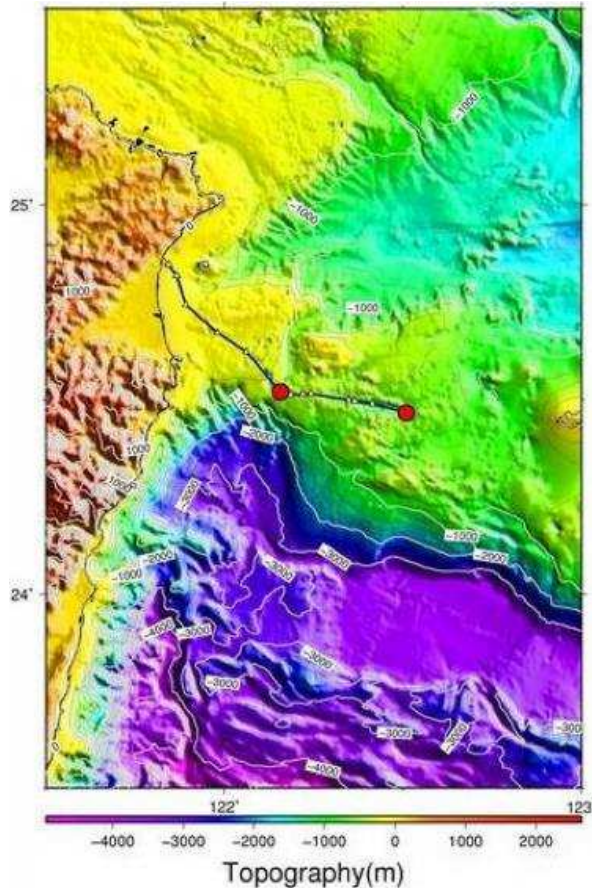


圖 5.5 電纜式海底地震儀觀測系統(媽祖計畫)之佈放位置

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。

(一)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， η 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， τ_x 、 τ_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 (ψ, φ) 表示在地球表面的經度及緯度；目前臺灣地區採用的是國際橫麥卡托二度分帶座標系統(UTM2)，以 (N, E) 來表示， N 為六位數， E 為七位數，由(5.2.4)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 ζ 代表的關係式。

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

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 5.6 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， ζ 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， τ_x 、 τ_y 分別為 x 與 y 方向底部摩擦力。

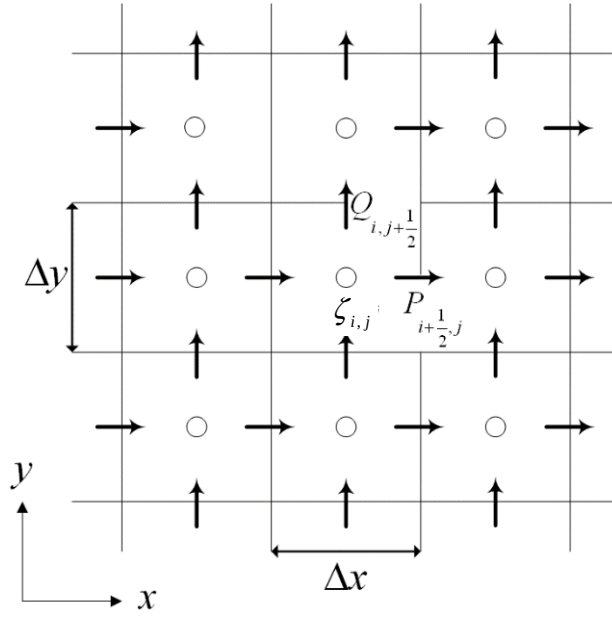


圖 5.6 交錯式有限差分網格

底部摩擦項可使用 Chezy 公式，

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

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 5.7 及圖 5.8 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)， ζ 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 5.7 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 5.8 所示，此時第 $i+1/2$ 個網格點的體積通量為非零，海岸線也往陸地方向移動一個格點，而總水深由連續方程式中被更新。以下的計算為用來判斷海岸線是否該移動，而先決條件在總水深由連續方程式更新後，即可由下列方式判斷海岸線是否會移動。

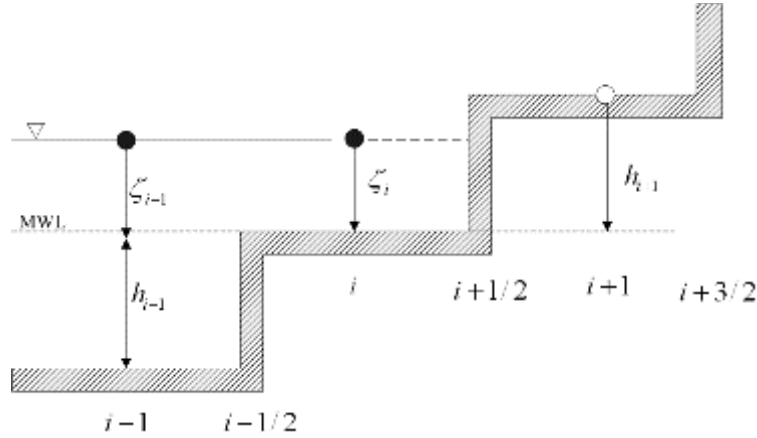


圖 5.7 移動邊界示意圖(a)

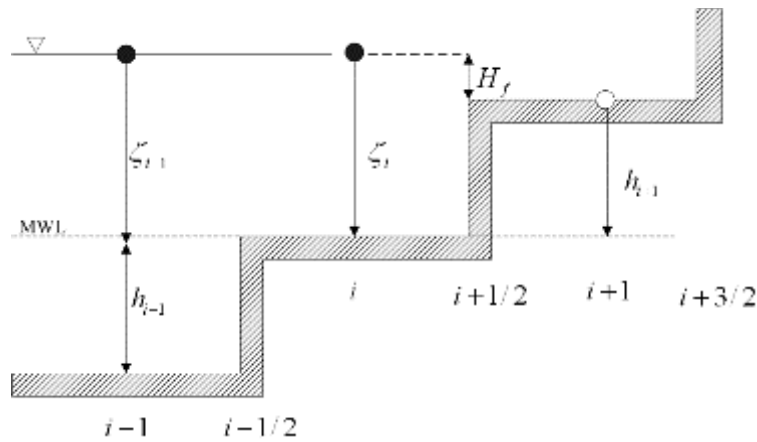


圖 5.8 移動邊界示意圖(b)

- (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。

(二)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 2.8 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 5.2.6 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 5.2.14 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 5.2.3 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。

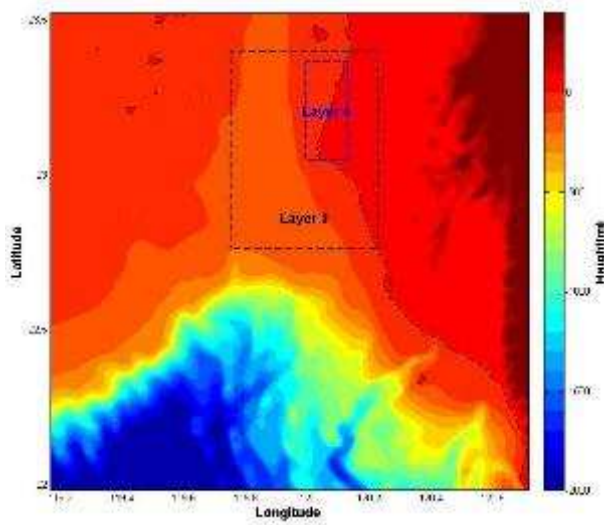


圖 5.9 巢狀網格示意圖

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 Δt 為時間步長(time step)， Δx 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(M_w)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 5.10~5.11 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 5.12 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

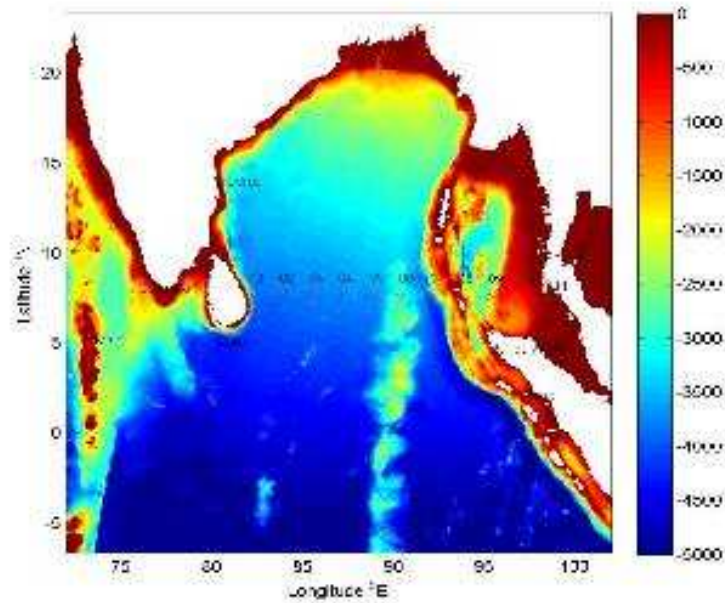


圖 5.10 模式計算區域水深地形圖

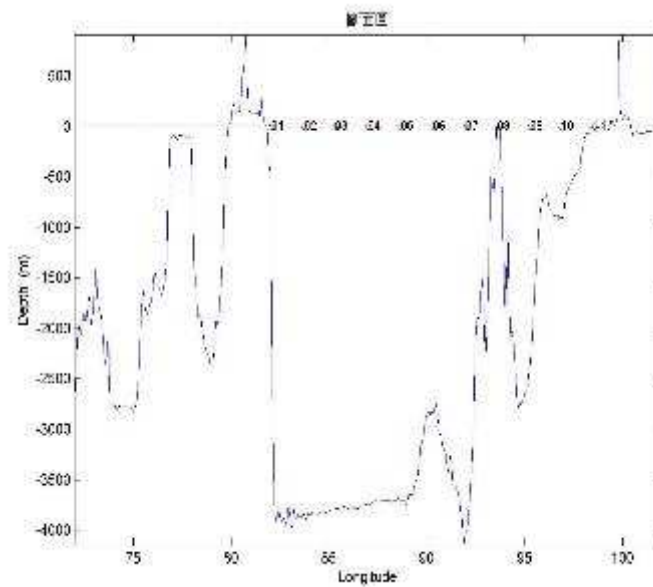


圖 5.11 模式計算區域水深地形剖面圖

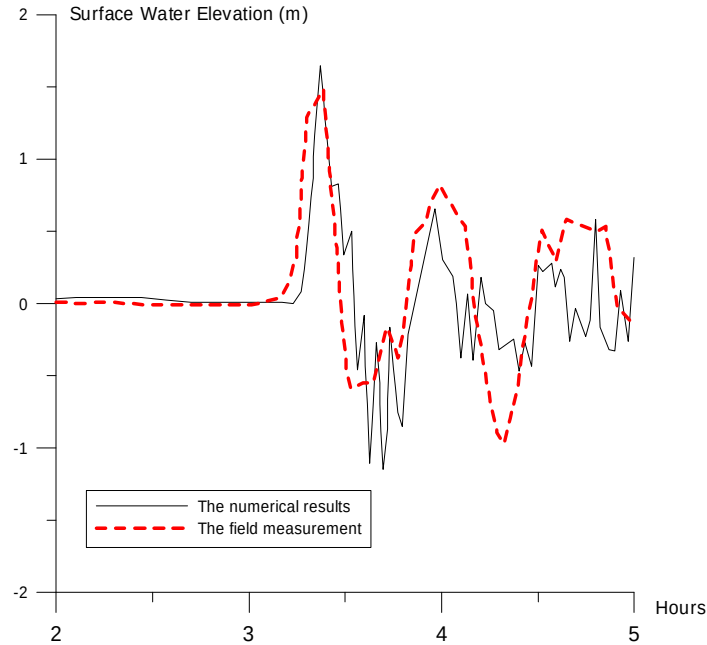


圖 5.12 與馬爾地夫水位之比對

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 5.13 所示。本節將逐一介紹系統之建置方式。

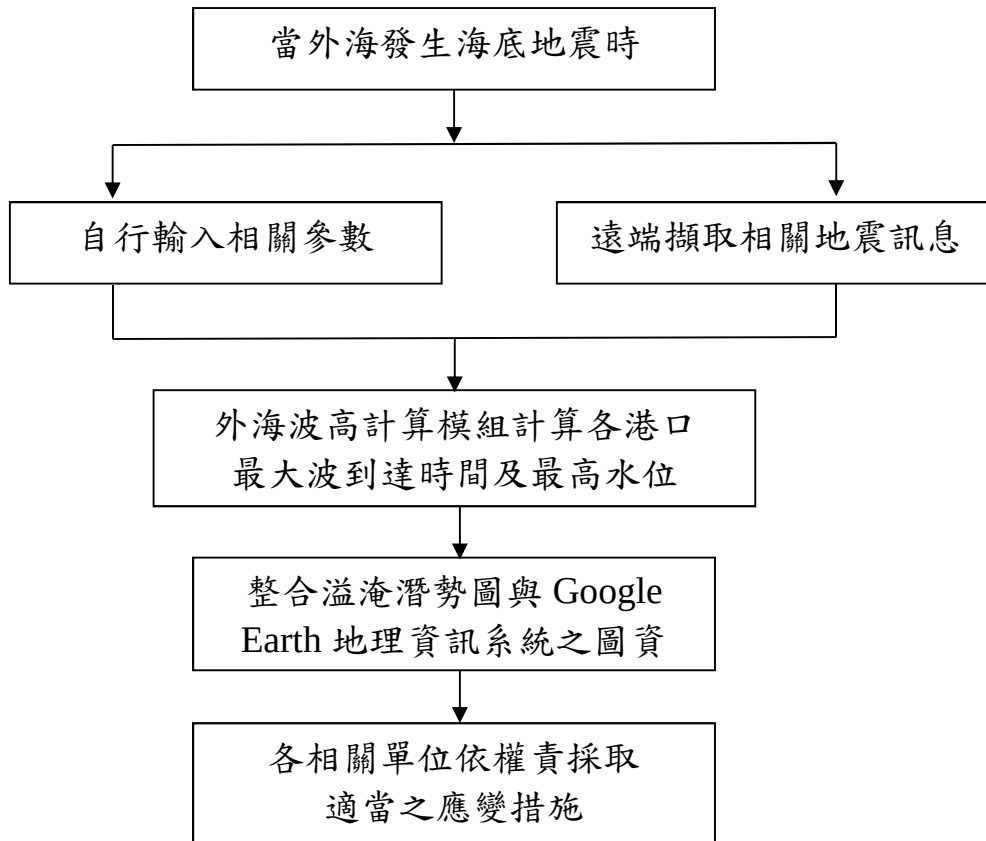


圖 5.13 海嘯速報系統之規劃圖

5.2.4 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 5.14 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。

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。

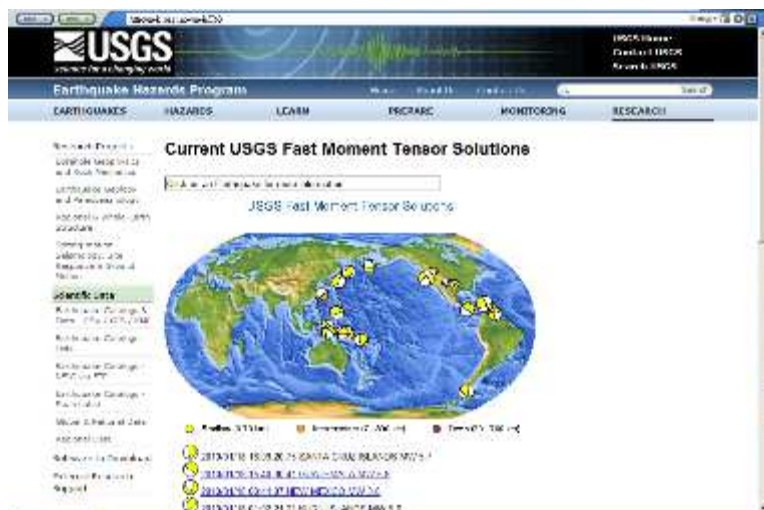


圖 5.14 美國 USGS 資料庫之即時地震資料

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 5.15 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 5.16 所示。

Quick CMT Reports:

Recent Quent Distribution In Taiwan

Subscribe Quick CMT											Detail
Date	Time(UT)	Lat.	Lon.	Dep.	Mw	Strike	Dip	Slip	Misfit	CMT	
2013-07-24	15:52:15.08	23.91	121.53	9.32 13	4.40	215 57	34 58	71 102	0.405		Time Map Image Solution
2013-07-24	14:47:5.76	23.91	121.51	9.63 15	4.30	217 50	31 60	79 97	0.402		Time Map Image Solution
2013-07-18	0:28:23.26	22.97	120.91	4.29 13	3.30	334 136	45 46	-77 103	0.575		Time Map Image Solution
2013-07-16	10:11:35.00	24.28	121.50	4.92 12	4.70	335 146	40 50	-83 -96	0.490		Time Map Image Solution

圖 5.15 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 5.16 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 5.17)，三個主要之地震資訊來源及提供範圍如表 5-4 所示。圖 5.18 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。

Earthquake Information: 2011/04 (117)

Origin Time(UTC)	Latitude	Longitude	Depth	Magnitude	Region	Max. Pval
2011/04/11 18:10	34.6 N	147.7 E	30 km	M4.3	SOULTH PACIFIC OCEAN	18.02
2011/04/11 18:27	35.8 N	146.8 E	30 km	M4.7	SOULTH PACIFIC OCEAN	18.08
2011/04/11 18:38	47.8 N	145.8 E	30 km	M4.0	SOUTH PACIFIC OCEAN	17.11
2011/04/11 18:49	47.4 N	146.2 E	30 km	M4.5	SOULTH PACIFIC OCEAN	18.05
2011/04/11 18:59	37.1 N	147.7 E	30 km	M4.7	SOULTH PACIFIC OCEAN	17.56
2011/04/11 19:03	37.8 N	146.8 E	30 km	M4.7	SOULTH PACIFIC OCEAN	18.11
2011/04/11 19:07	35.8 N	146.7 E	30 km	M4.8	SOULTH PACIFIC OCEAN	18.18
2011/04/11 19:17	42.1 N	147.8 E	30 km	M4.8	SOUTH PACIFIC OCEAN	18.18
2011/04/11 19:27	37.1 N	147.7 E	30 km	M4.5	SOULTH PACIFIC OCEAN	18.02
2011/04/11 19:33	37.1 N	146.8 E	30 km	M4.2	SOULTH PACIFIC OCEAN	18.18
2011/04/11 19:49	35.5 N	146.8 E	30 km	M4.7	SOULTH PACIFIC OCEAN	18.04
2011/04/11 19:58	37.8 N	146.7 E	30 km	M4.5	SOULTH PACIFIC OCEAN	18.08
2011/04/12 00:09	35.6 N	147.6 E	30 km	M4.7	SOULTH PACIFIC OCEAN	18.08
2011/04/12 00:28	33.3 N	145.3 E	30 km	M4.5	SOUTH PACIFIC OCEAN	18.18
2011/04/12 00:35	35.2 N	144.8 E	30 km	M4.3	SOUTH PACIFIC OCEAN	18.18
2011/04/12 00:49	32.1 N	144.8 E	30 km	M4.5	SOULTH PACIFIC OCEAN	18.08
2011/04/12 01:17	32.8 N	146.2 E	30 km	M4.5	SOULTH PACIFIC OCEAN	18.18
2011/04/12 01:25	32.1 N	146.2 E	30 km	M4.3	SOULTH PACIFIC OCEAN	18.18
2011/04/12 01:38	29.8 N	145.8 E	30 km	M4.5	SOULTH PACIFIC OCEAN	18.18
2011/04/12 01:58	32.8 N	144.8 E	30 km	M4.5	SOUTH PACIFIC OCEAN	18.18

圖 5.17 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)	http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/fm/ 資料提供範圍：全球
臺灣	中央氣象局 (CWB)	http://cwbsnbb.cwb.gov.tw/ 資料提供範圍：東經 119~123 度，北緯 21~26 度
日本	防災科學技術研究所 (NIED)	http://www.fnet.bosai.go.jp/top.php?LANG=en 資料提供範圍：東經 120~156 度，北緯 20~49 度



圖 5.18 即時地震擷取系統介面

5.2.5 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 5.19)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。

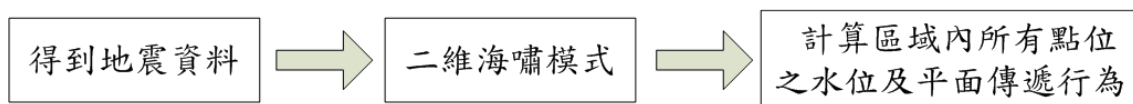


圖 5.19 現行海嘯數值模式之模擬程序

5.2.6 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(5.2.17)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(5.2.17)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(5.2.18)式。只要透過(5.2.19)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。

$$G_r^s = \frac{r \text{ 點水位}}{\text{波源 } s \text{ 之初始水位}} \quad (5.2.17)$$

利用格林函數與互逆格林函數的互逆性

$$G_r^s = G_s^r \quad (5.2.18)$$

(5.2.53)式可改寫為

$$H^r = \eta(t, x, y) = \sum_{s=1}^N G_r^s \times H^s \quad (5.2.19)$$

以上由圖 5.20 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。

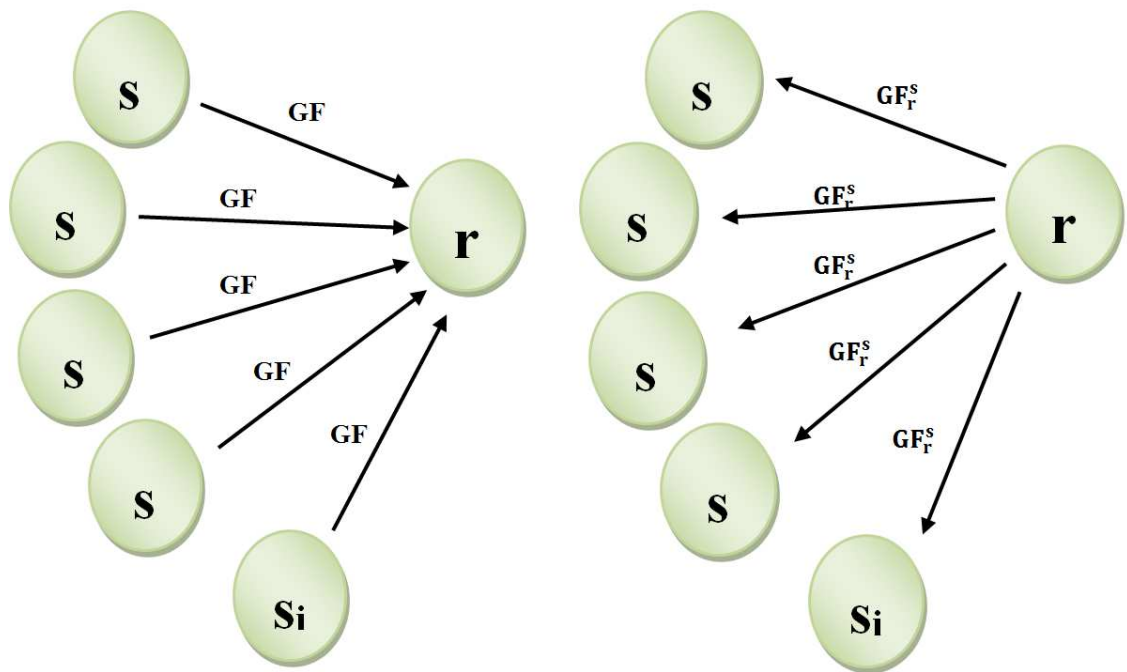


圖 5.20 傳統格林函數與互逆格林函數之示意圖

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)。

(5.2.19)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 5.21、5.22 所示

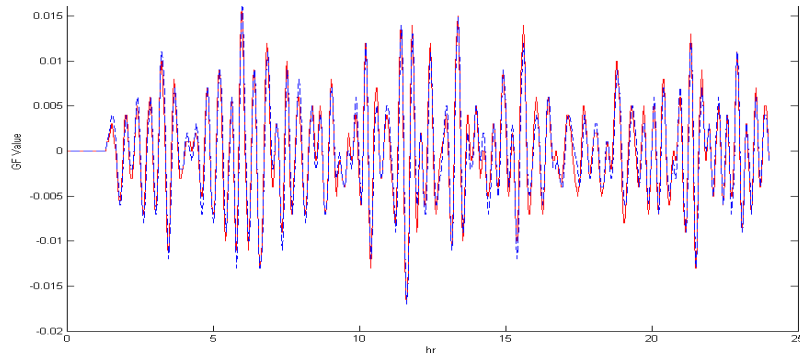


圖 5.21 海嘯模式所計算出之格林函數與互逆格林函數比較

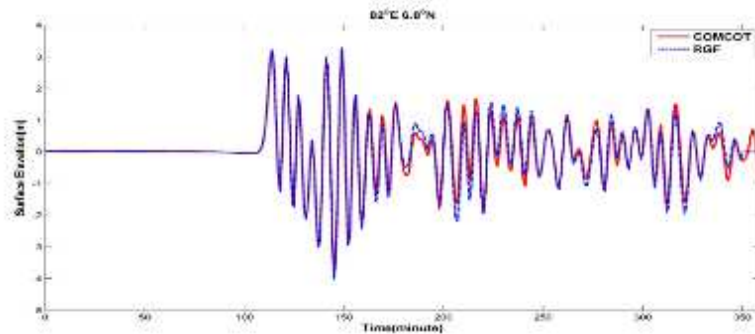


圖 5.22 互逆格林函數與直接的海嘯模擬之水位變化驗證

(5.2.19)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，(5.2.19)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，(5.2.19)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：

- (1) 首先是震源位址，目前並無法準測預測地震之發生，故也就無法得知震央；其次，斷層參數之來源也極其有限，除了少數較為引人注目之斷層(例如琉球海溝)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。
- (2) 另一方面，目前也無法確知各個可能震源點所能產生之最大地震矩規模及海嘯波之來向。

由以上兩點可知，在許多必要條件均缺乏之情況下進行海嘯於近岸地區之數值模擬是相當不便的，加以防災需求宜作較為保守之推估；因此，利用單一波形及情境模擬方式來進行溢淹模擬除了可獲得較為保守之結果外，更可匯集成一資料庫，在實際海嘯事件發生時，得知外海波高後，即可得知對應可能之海嘯資訊。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 5.23 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、臺北、基隆、花蓮、蘇澳等 8 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。

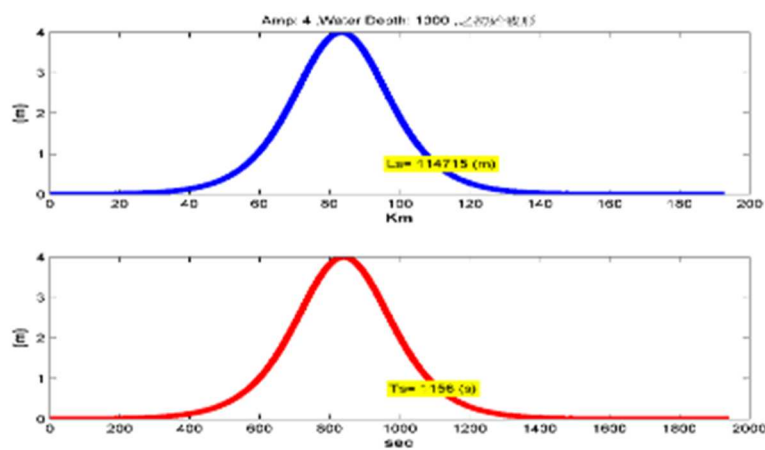


圖 5.23 週期 20 分鐘波高 4m 高斯波

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 5.24；除了 TaiDBMV6 外，港區之水深亦採用港務公司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 (Digital Surface Model) 數值地形資料及 DEM (Digital Elevation Model) 數值地形資料，DSM 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 經由以人工或影像自動匹配的方式，在立體模型內量測出地表上足夠密度的離散高程點及用以描述地表特殊起伏形狀的地形特徵線(地形結構線、地形斷線)、特徵點(局部最高或最低點)，然後以適當的運算法則將這些量測的數據，過濾量測誤差後內差計算出等間距的網格，以得到原始地表高程。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，以花蓮港為例，圖 5.25 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 5.26 為海陸域整合後之數值地形檔。並將港務公司所提供之港內實測地形資料整併至數值地形圖 5.27。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，DEM 地形對海嘯而言，由於無建物的阻攔，所以往內陸的溢淹距離長，亦即考慮溢淹範圍較嚴重的情況。

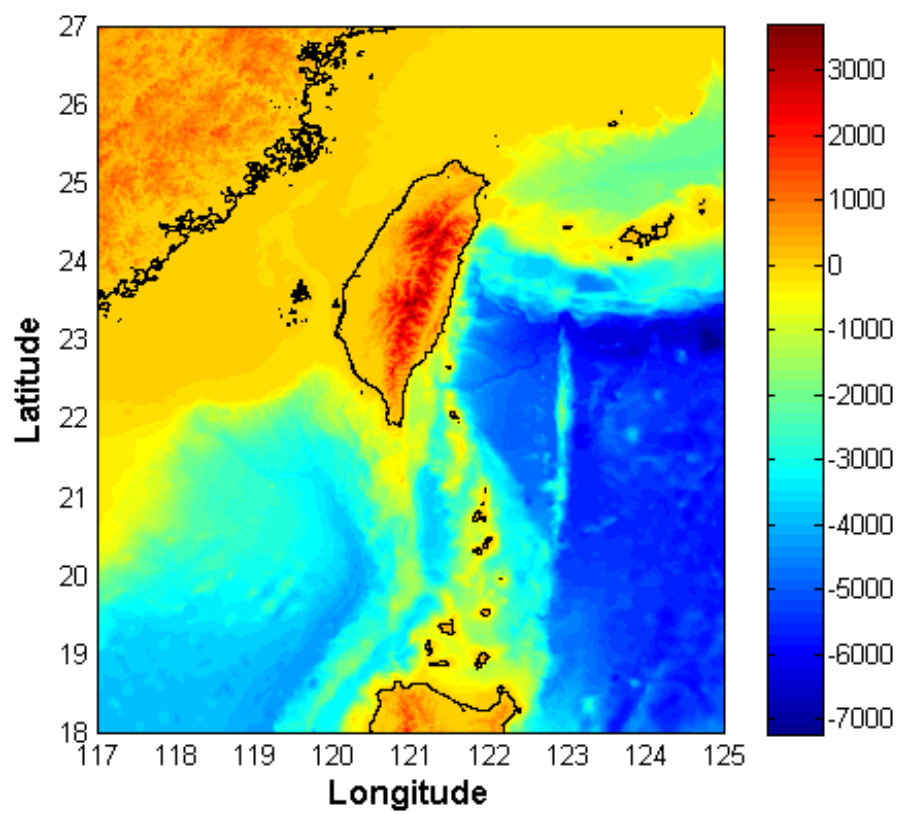


圖 5.24 臺灣 500m 解析度水深地形資料

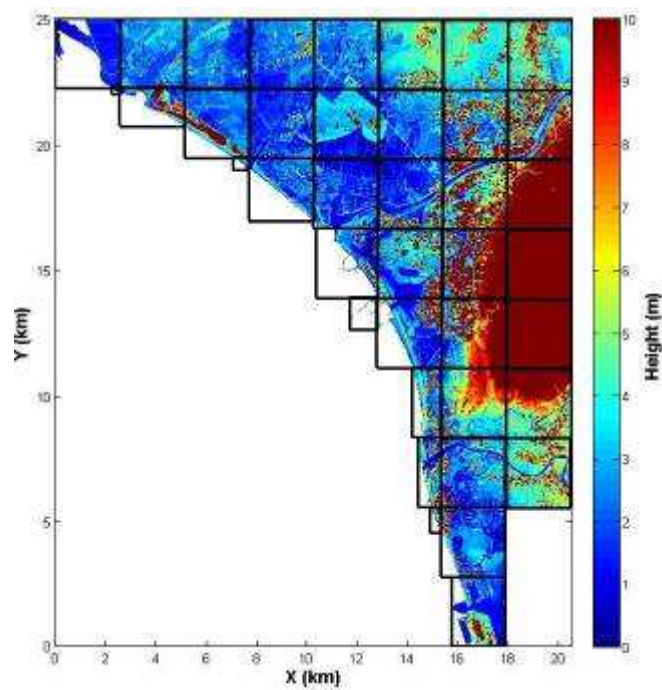


圖 5.25 安平港 5m 解析度數值地形檔

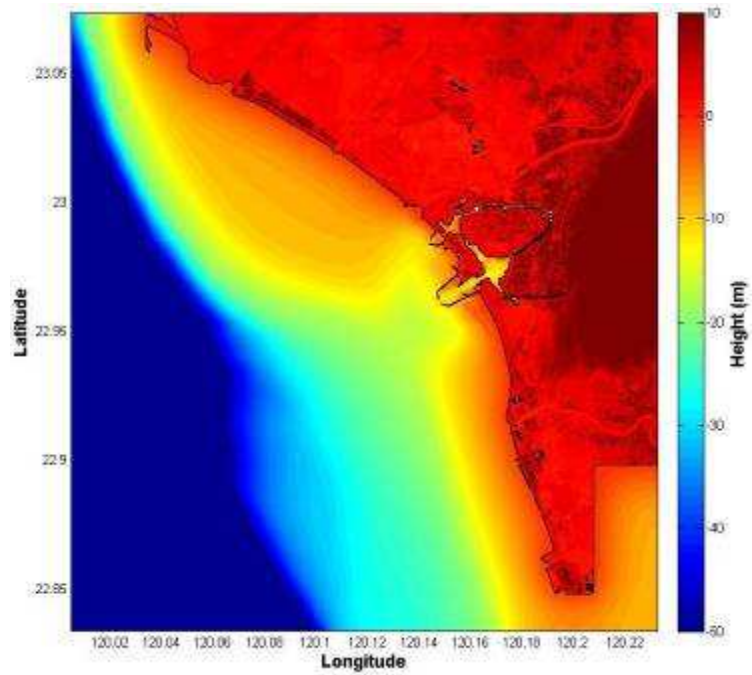


圖 5.26 安平港整合海陸域後之數值地形檔

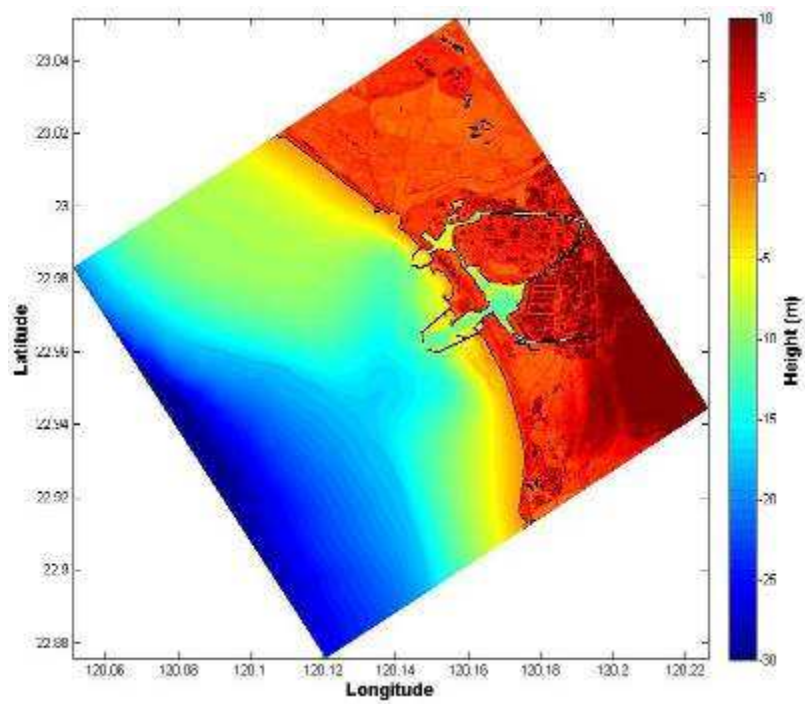


圖 5.27 安平港整併港內實際地形之數值地形檔

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，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 5.28)，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 5.29 至圖 5.36 分別為臺中、布袋、安平、高雄、臺北、基隆、花蓮、蘇澳之 DSM 地形數值模擬結果，圖 5.37 至圖 5.44 分別為臺中、布袋、安平、高雄、臺北、基隆、花蓮、蘇澳之 DEM 地形數值模擬結果。

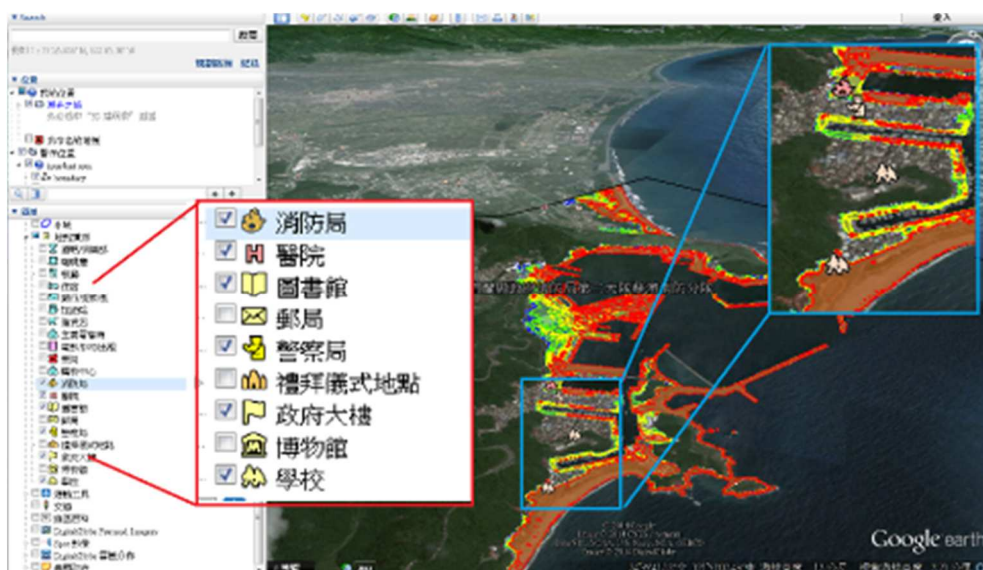


圖 5.28 Google Earth 圖層

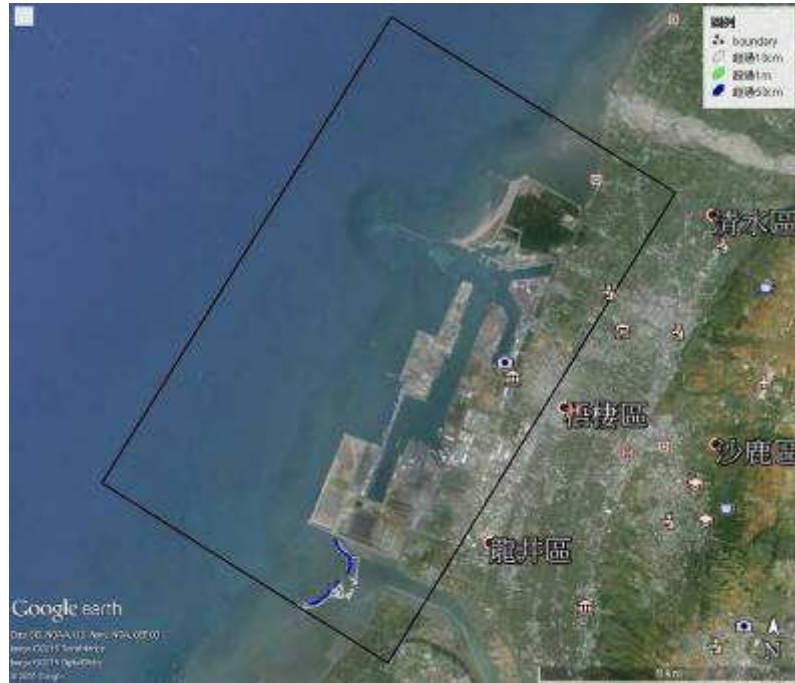


圖 5.29(a) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 0.5 公尺



圖 5.29(b) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 1 公尺

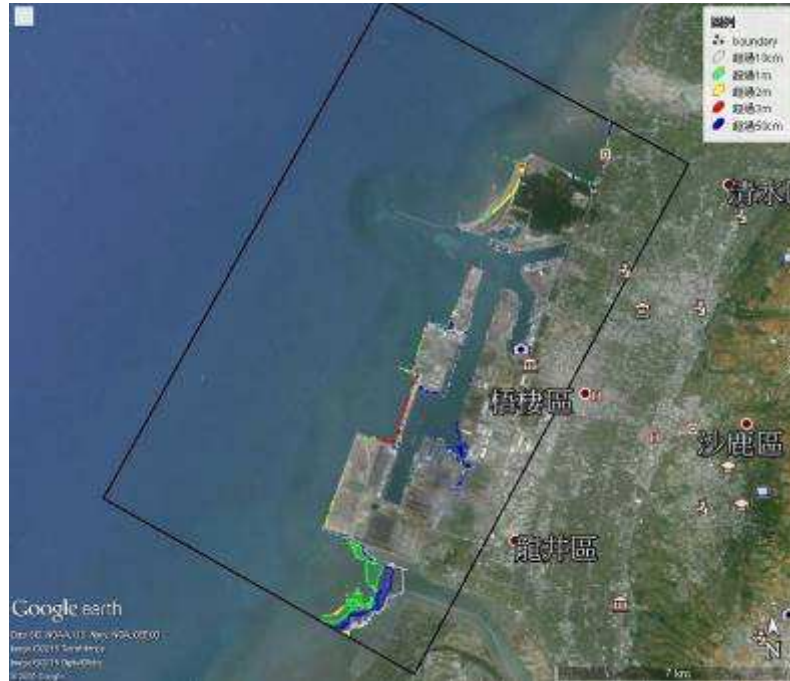


圖 5.29(c) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 2 公尺

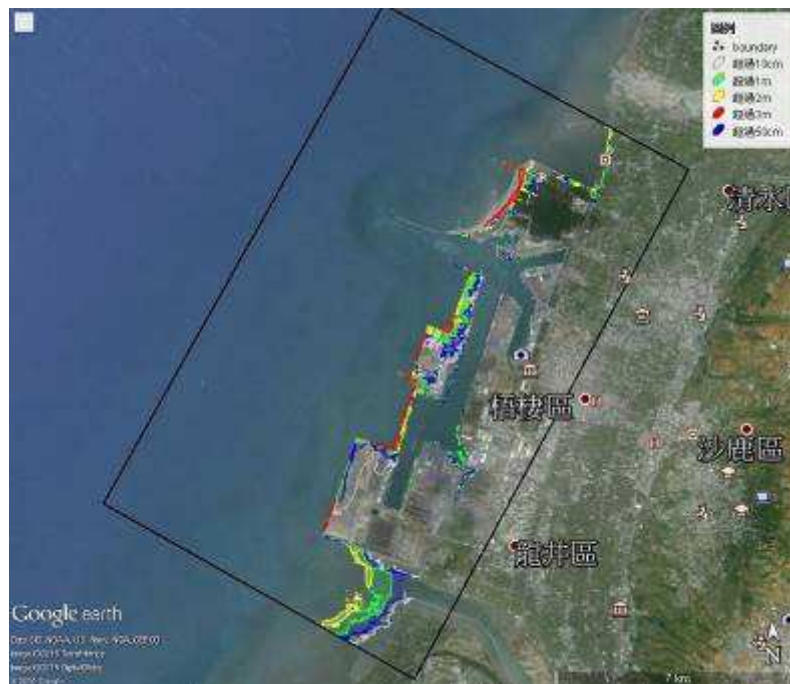


圖 5.29(d) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 3 公尺



圖 5.29(e) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 4 公尺

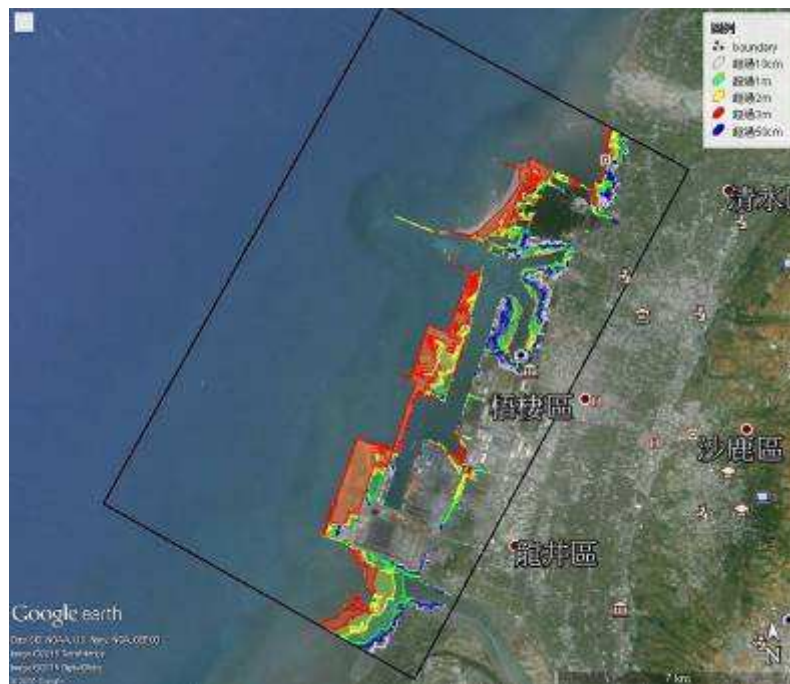


圖 5.29(f) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 6 公尺

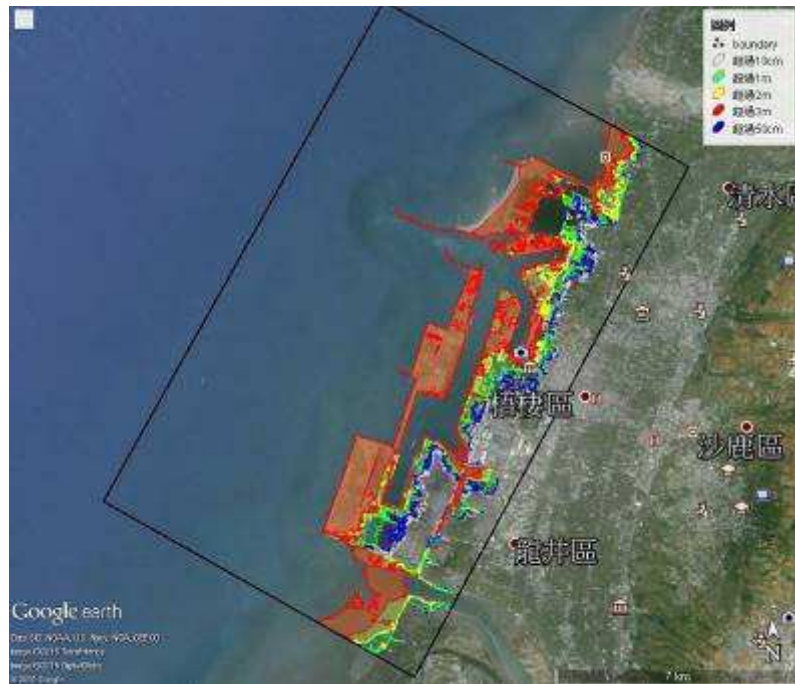


圖 5.29(g) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 10 公尺

圖 5.29 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

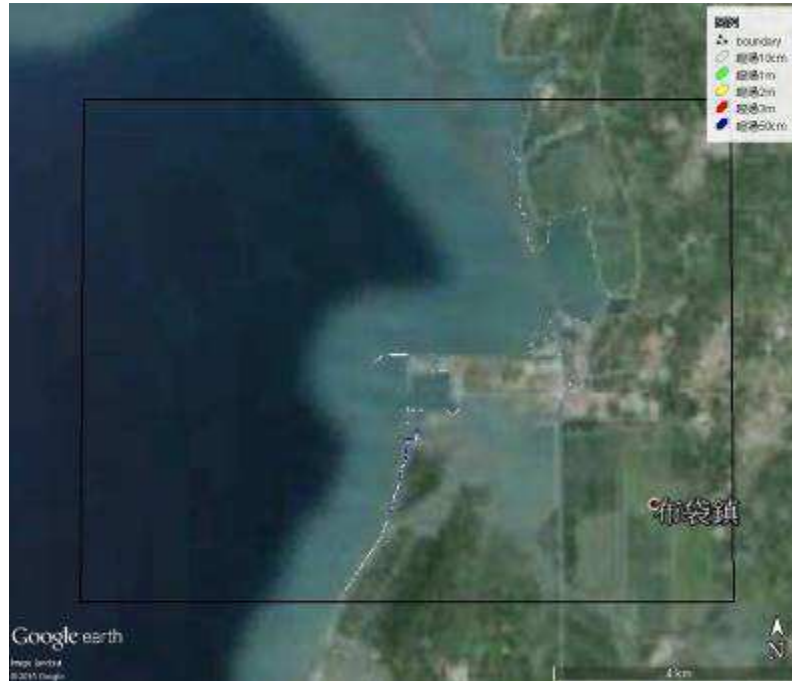


圖 5.30(a) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 0.5 公尺

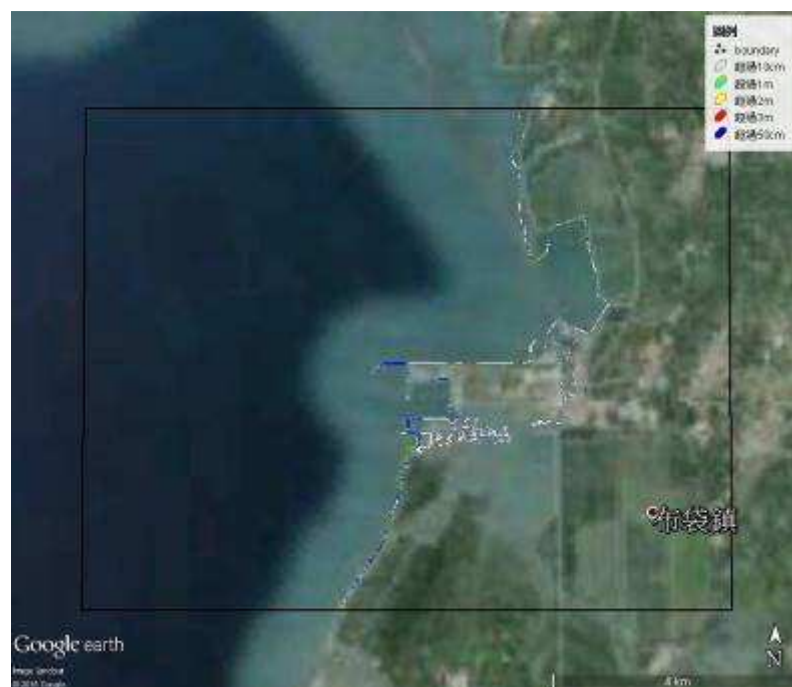


圖 5.30(b) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 1 公尺



圖 5.30(c) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 2 公尺

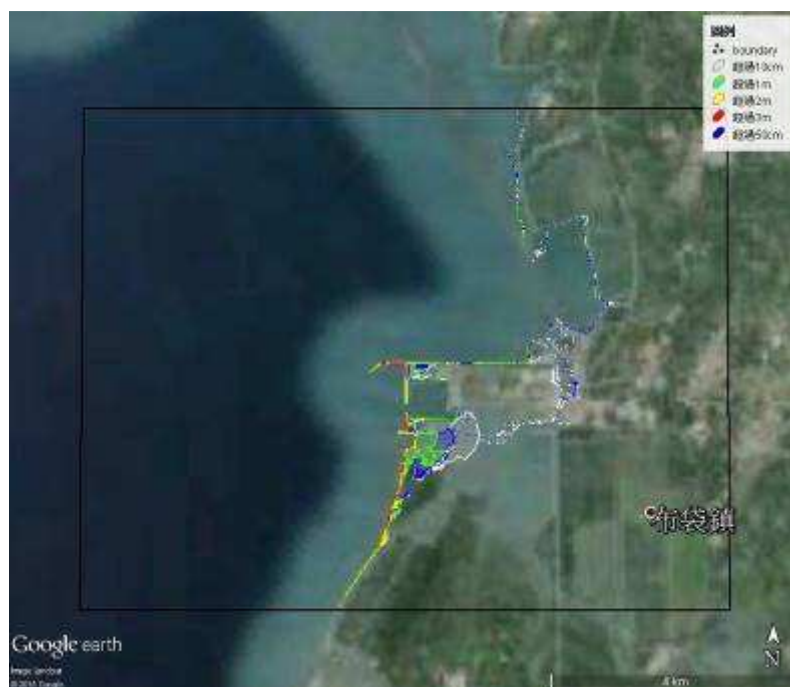


圖 5.30(d) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 3 公尺



圖 5.30(e) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 4 公尺



圖 5.30(f) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 6 公尺



圖 5.30(g) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 10 公尺

圖 5.30 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

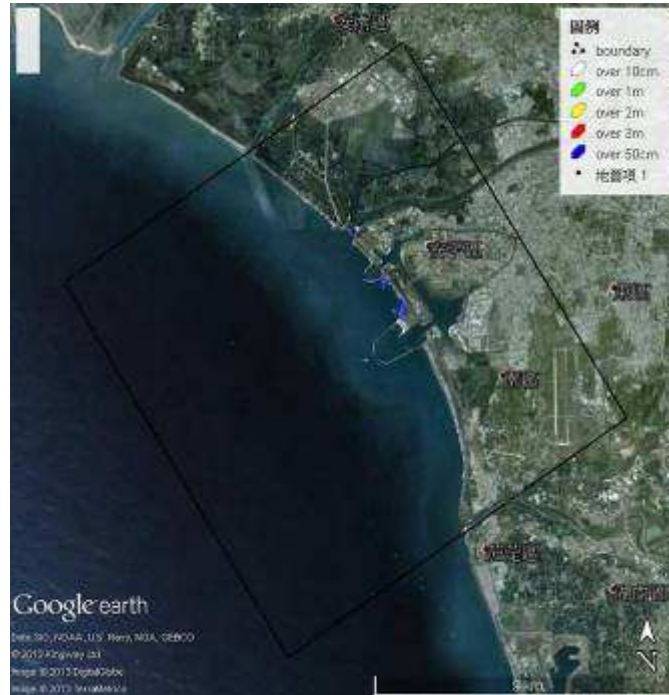


圖 5.31(a) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 0.5 公尺

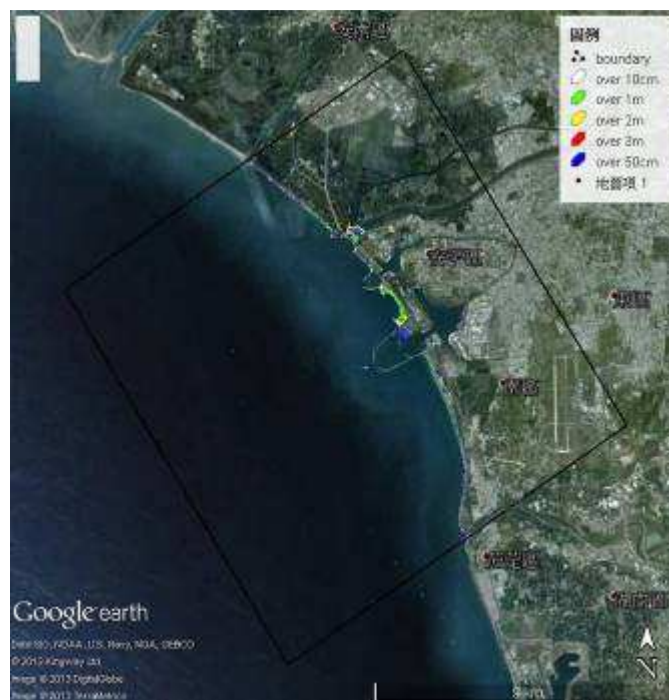


圖 5.31(b) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 1 公尺

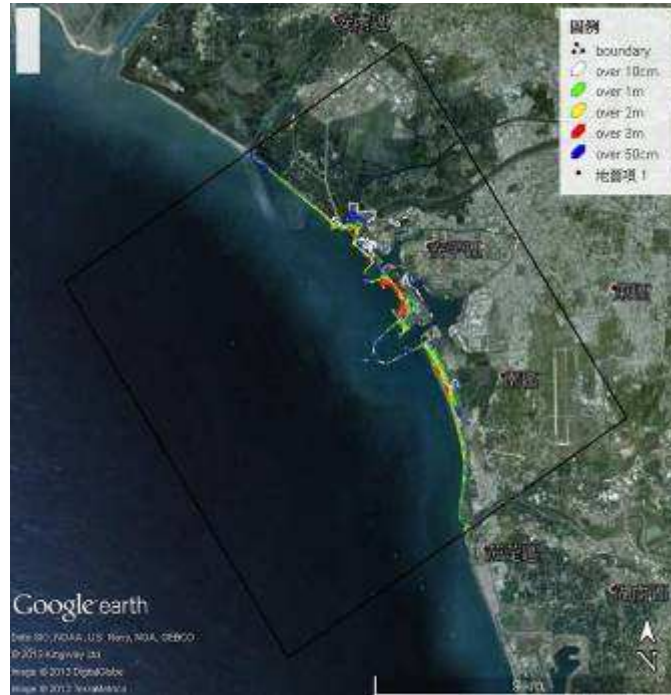


圖 5.31(c) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 2 公尺

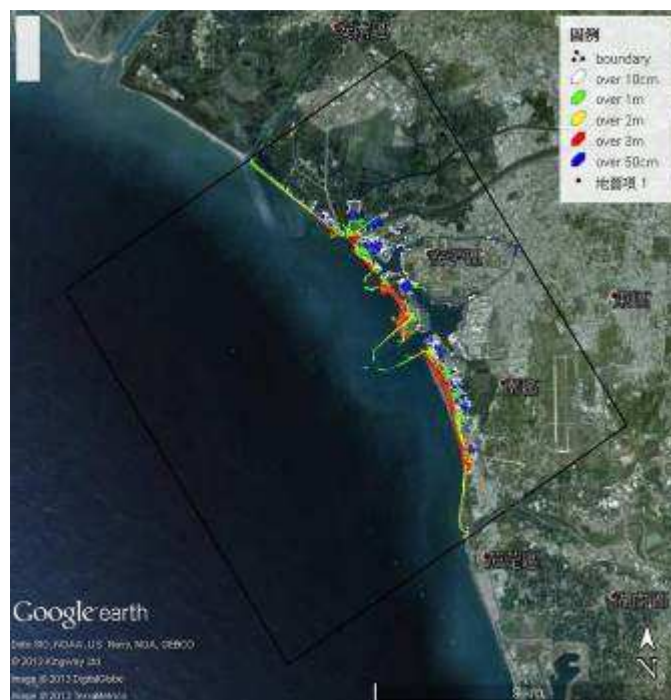


圖 5.31(d) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 3 公尺

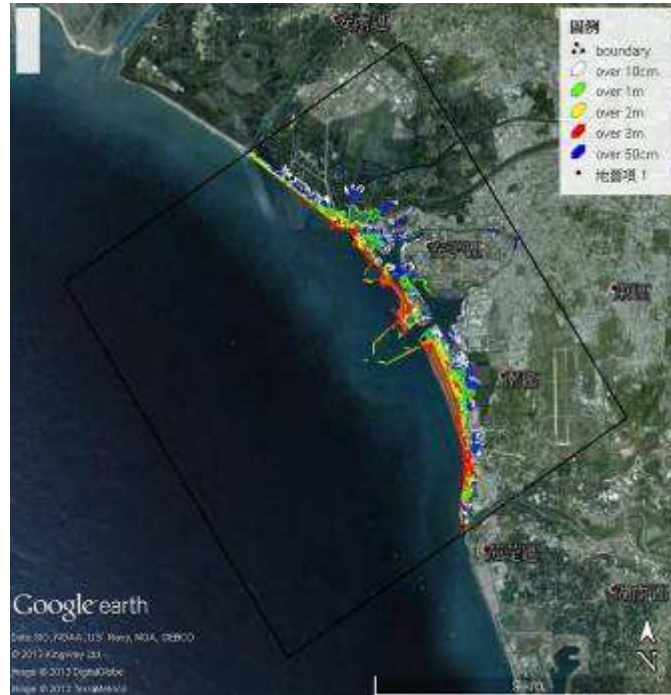


圖 5.31(e) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 4 公尺



圖 5.31(f) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 6 公尺



圖 5.31(g) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 10 公尺

圖 5.31 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

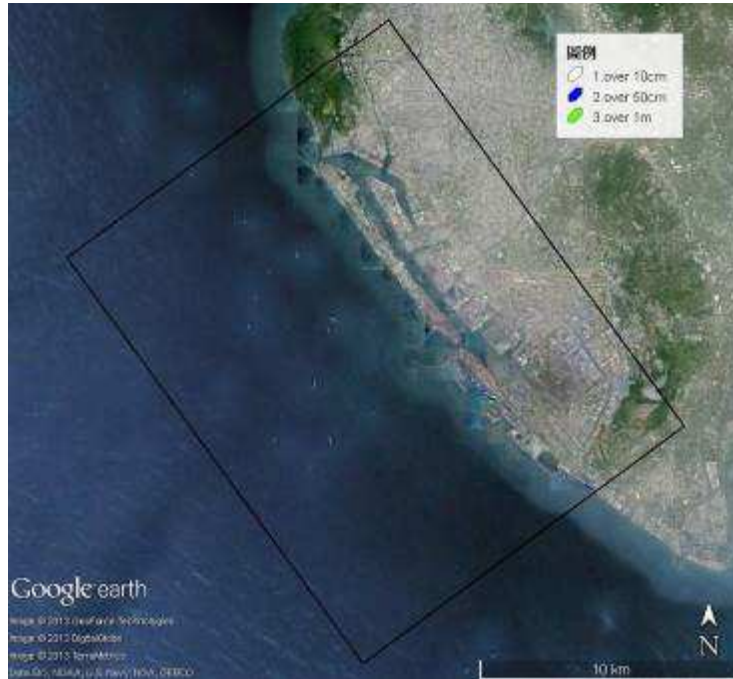


圖 5.32(a) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 0.5 公尺

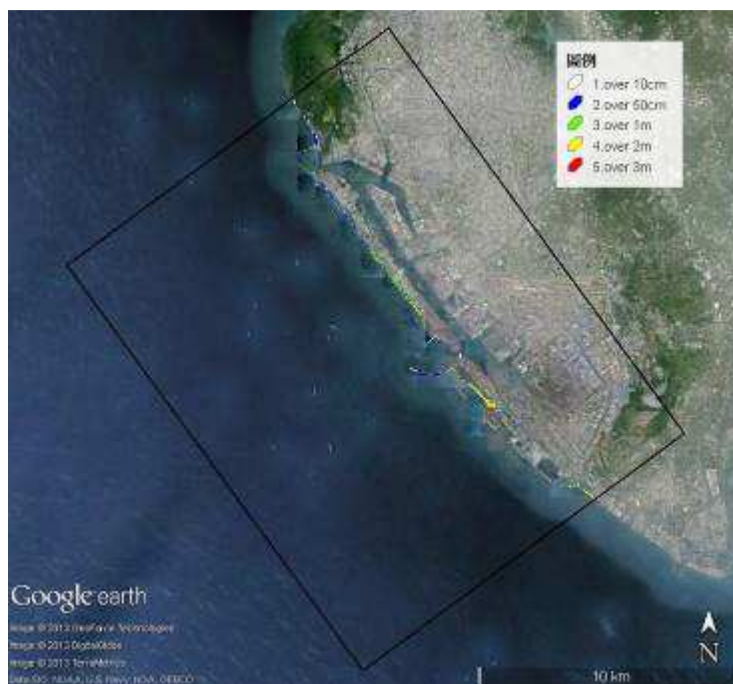


圖 5.32(b) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 1 公尺

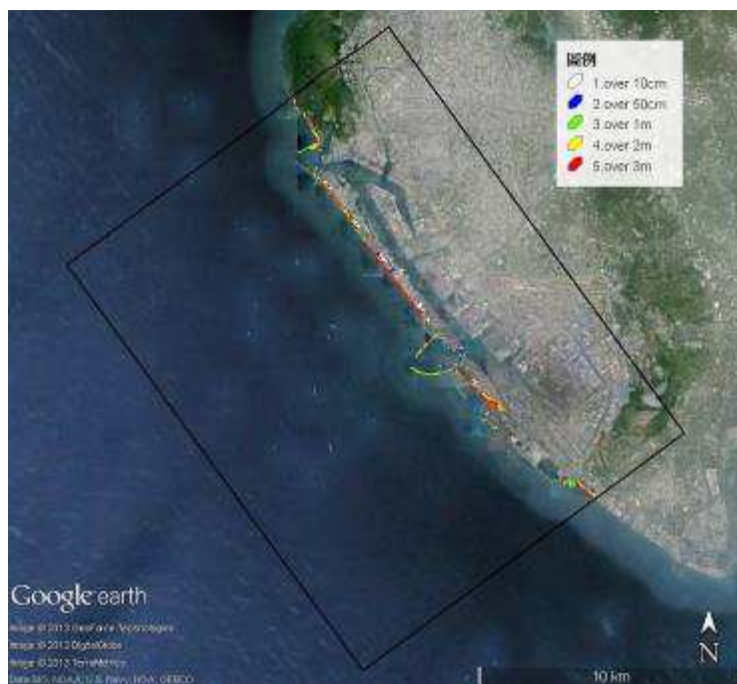


圖 5.32(c) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 2 公尺

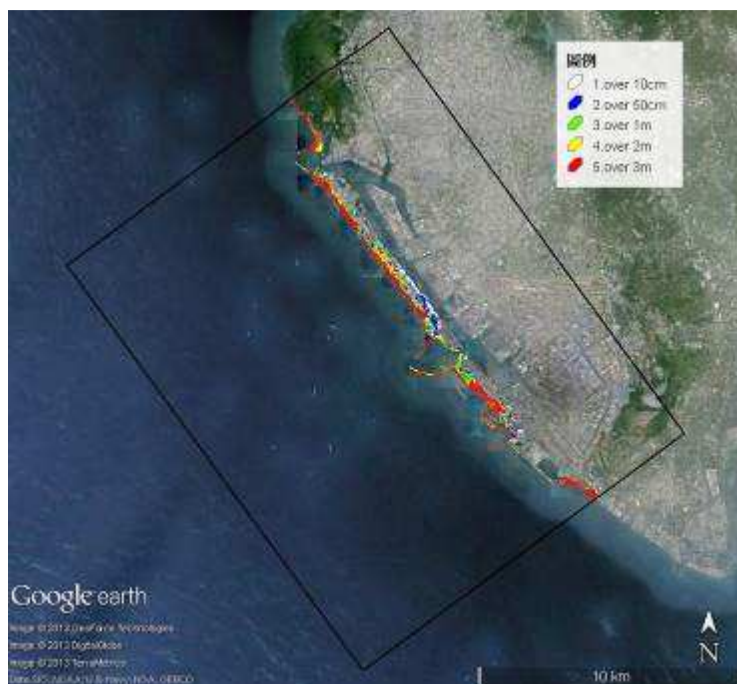


圖 5.32(d) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 3 公尺

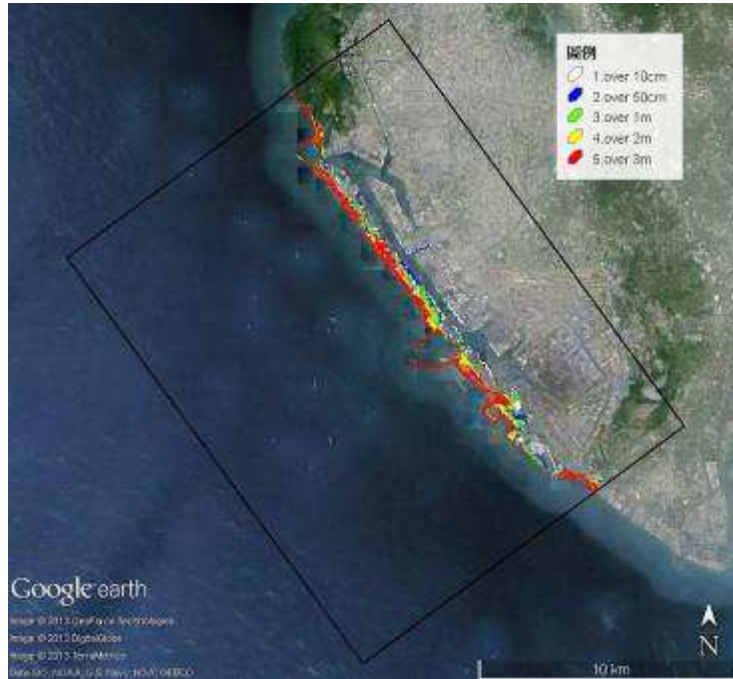


圖 5.32(e) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 4 公尺

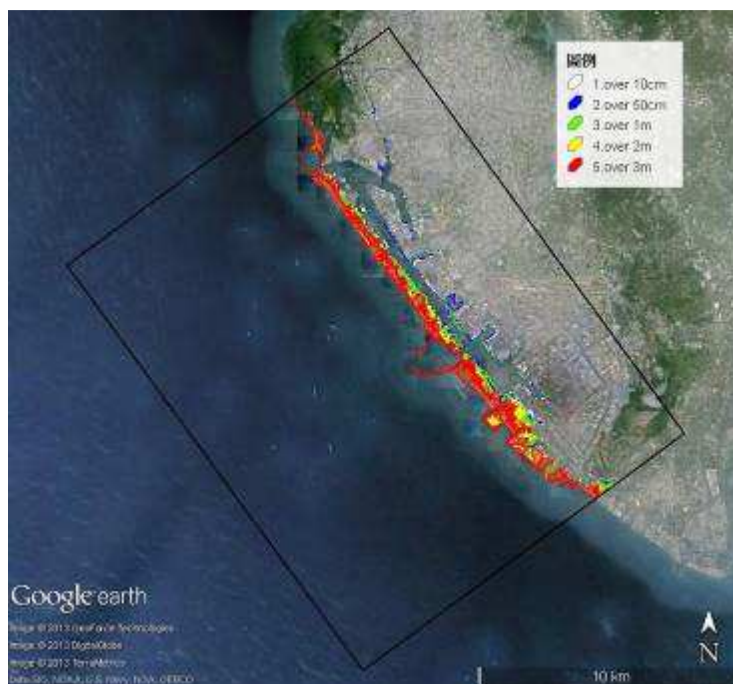


圖 5.32(f) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 6 公尺

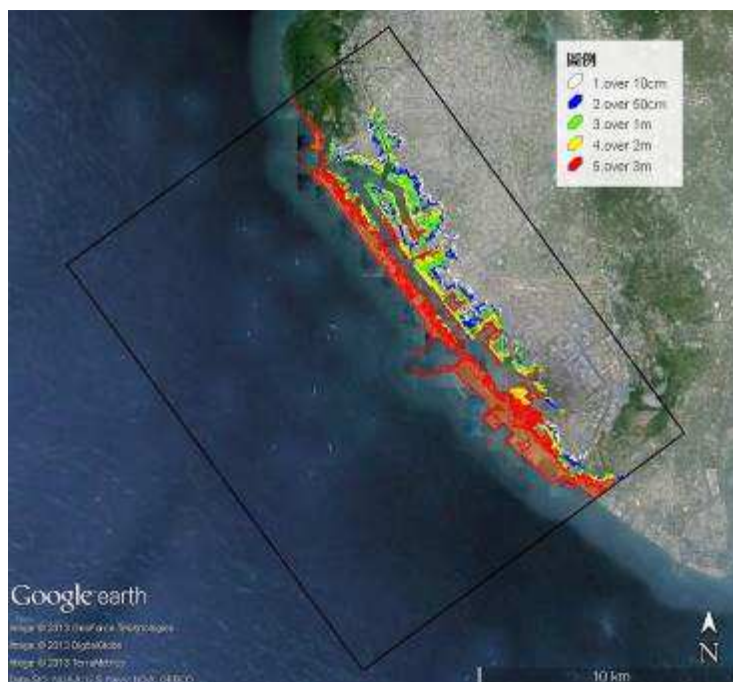


圖 5.32(g) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 10 公尺

圖 5.32 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

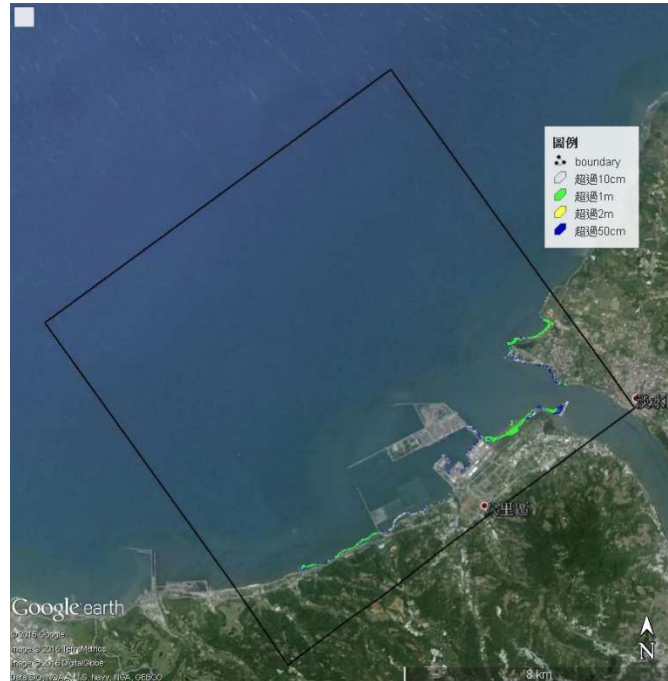


圖 5.33(a) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 0.5 公尺

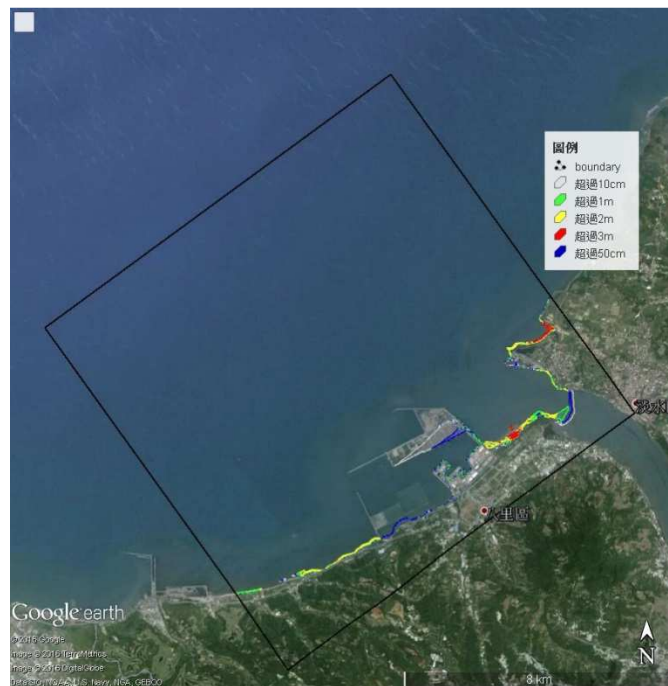


圖 5.33(b) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 1 公尺

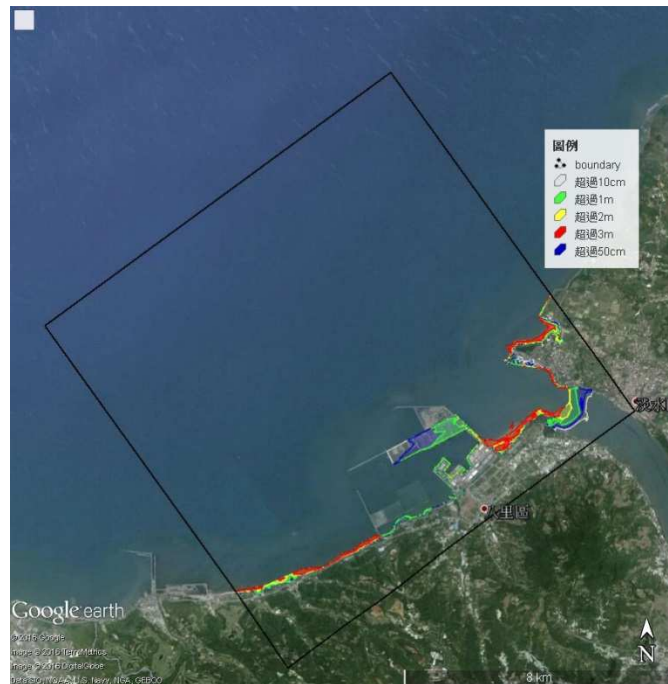


圖 5.33 (c) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 2 公尺

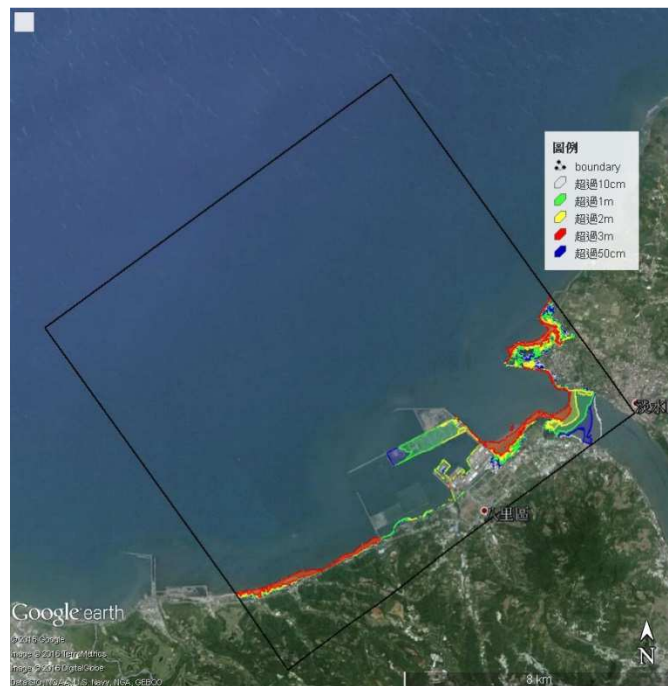


圖 5.33(d) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 3 公尺

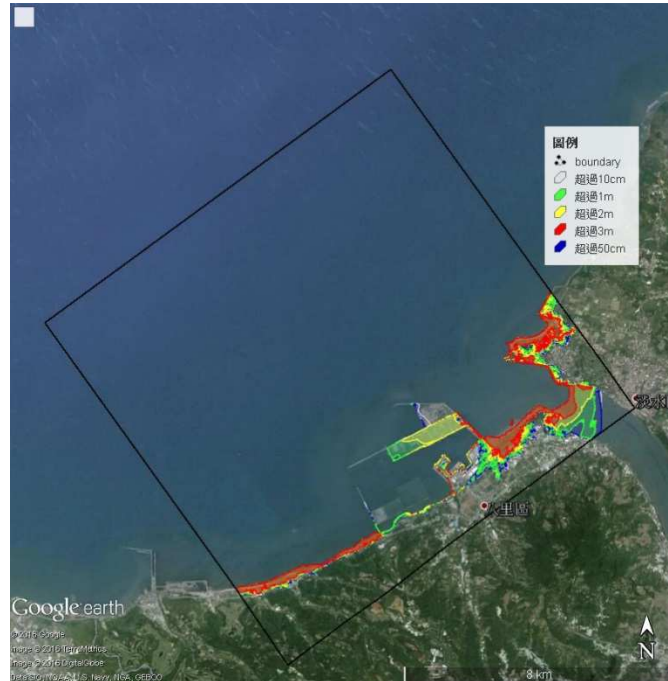


圖 5.33(e) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 4 公尺

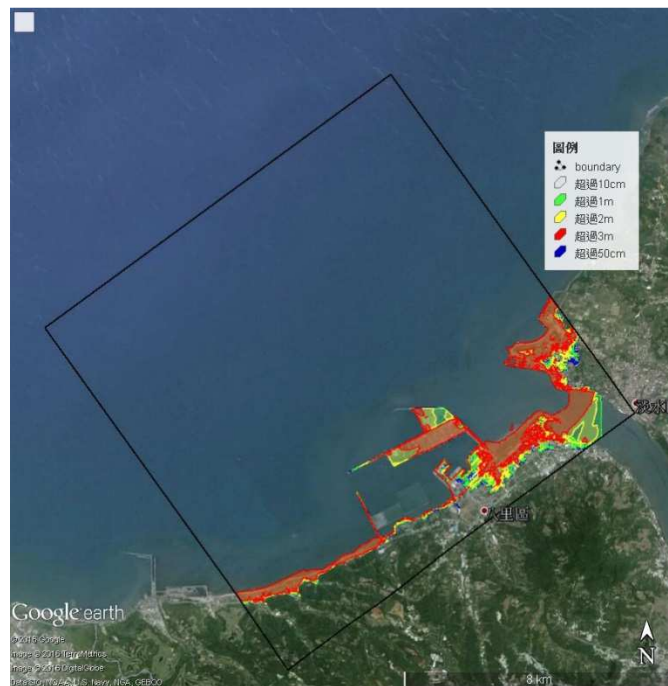


圖 5.33(f) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 6 公尺

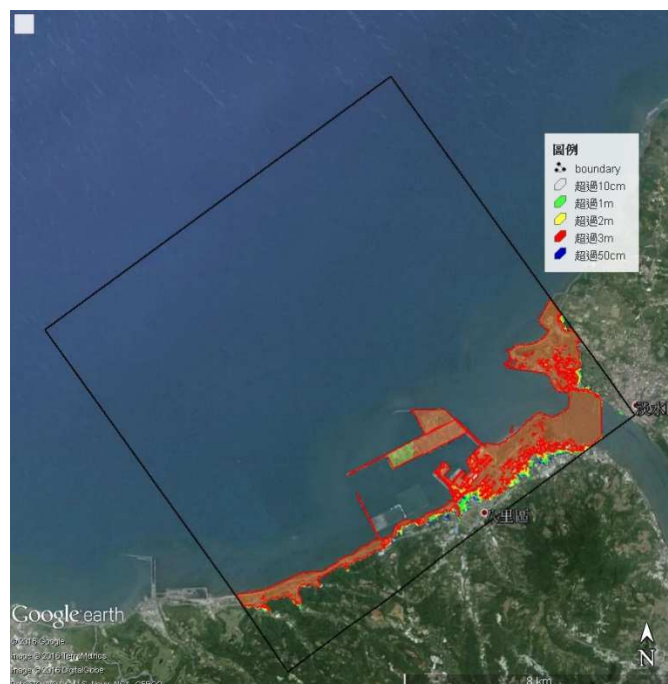


圖 5.33(g) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 10 公尺

圖 5.33 臺北港結合 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



圖 5.34(a) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 0.5 公尺

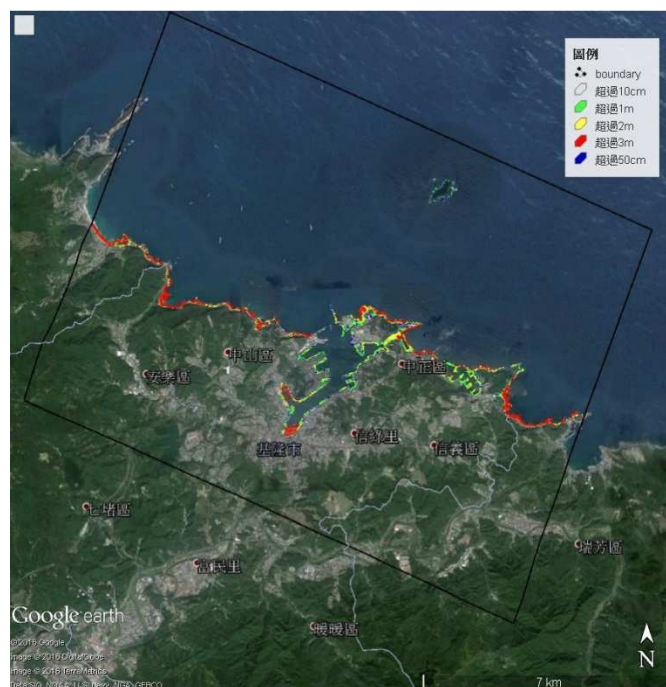


圖 5.34(b) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 1 公尺

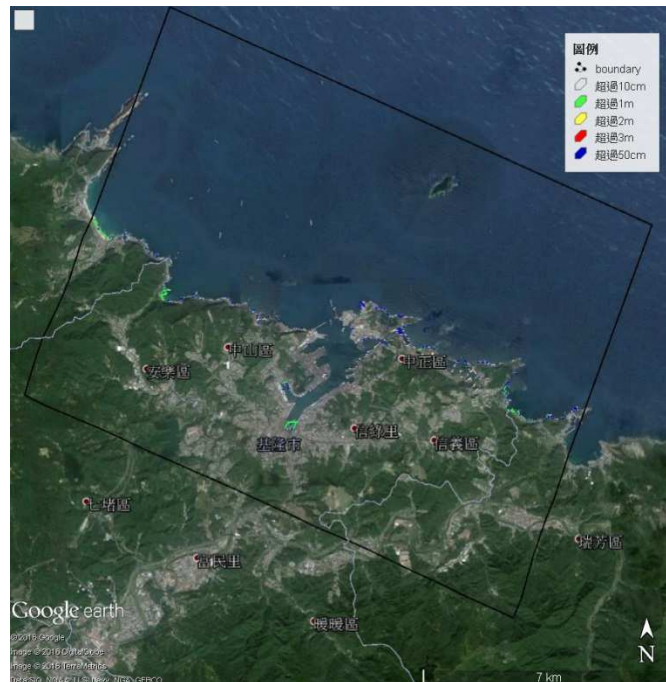


圖 5.34(c) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 2 公尺



圖 5.34(d) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 3 公尺



圖 5.34(e) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 4 公尺



圖 5.34(f) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 6 公尺



圖 5.34(g) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 10 公尺

圖 5.34 基隆港結合 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

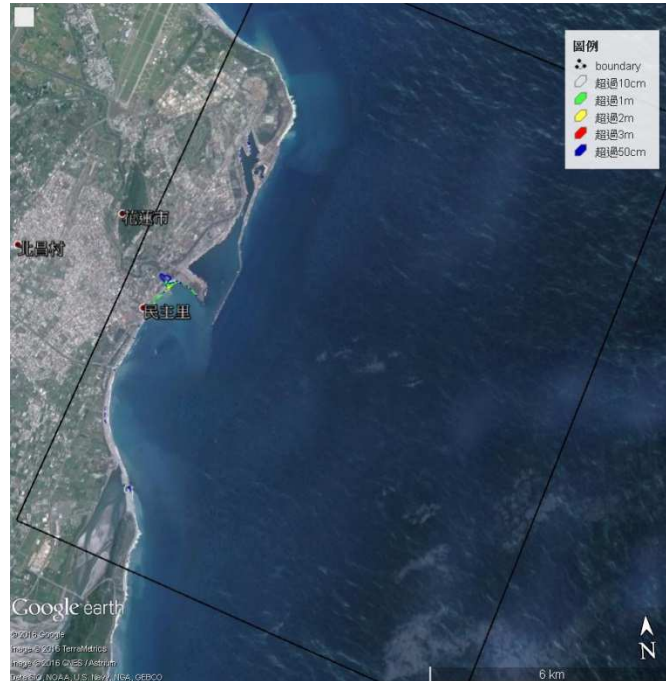


圖 5.35(a) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 0.5 公尺

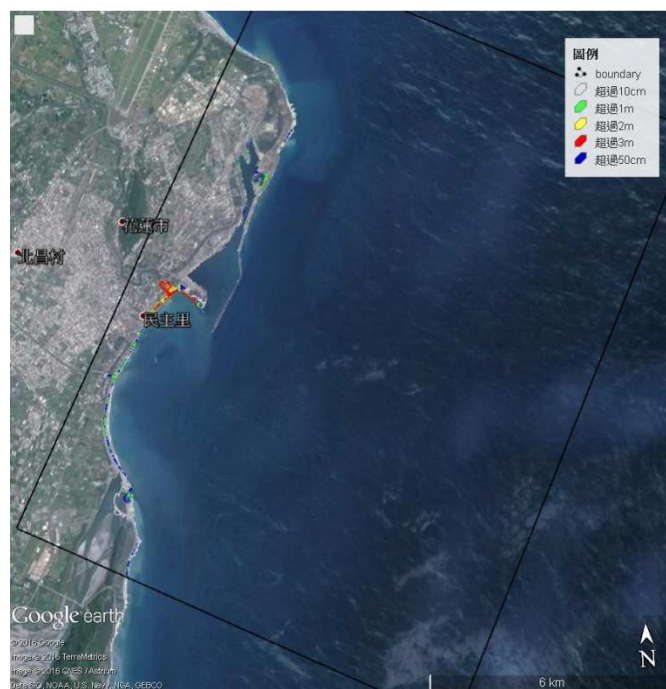


圖 5.35(b) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 1 公尺

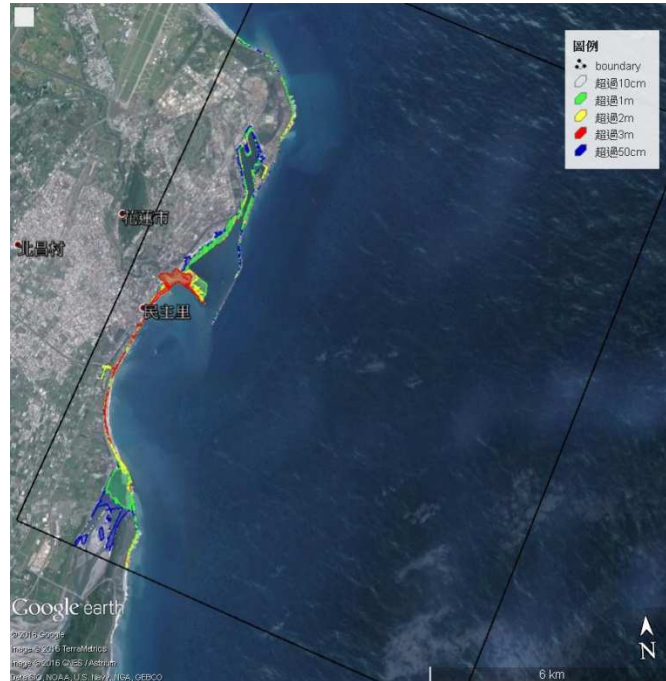


圖 5.35(c) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 2 公尺

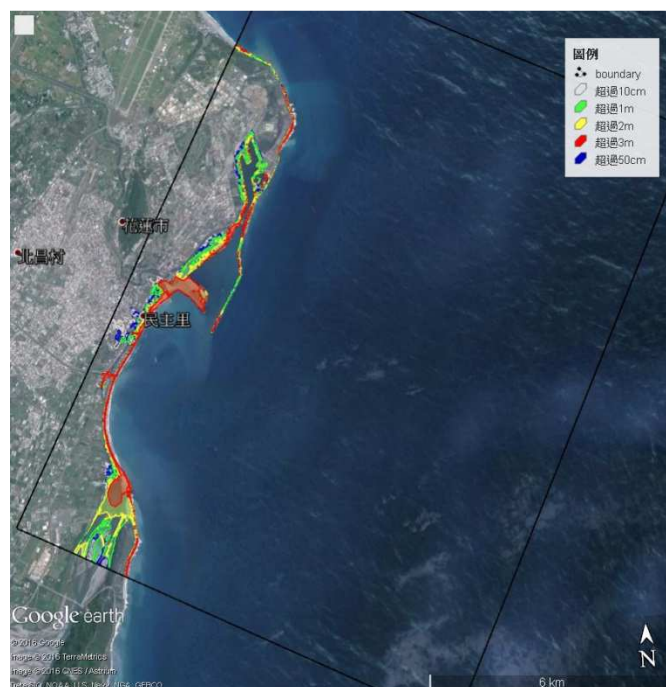


圖 5.35 (d) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 3 公尺

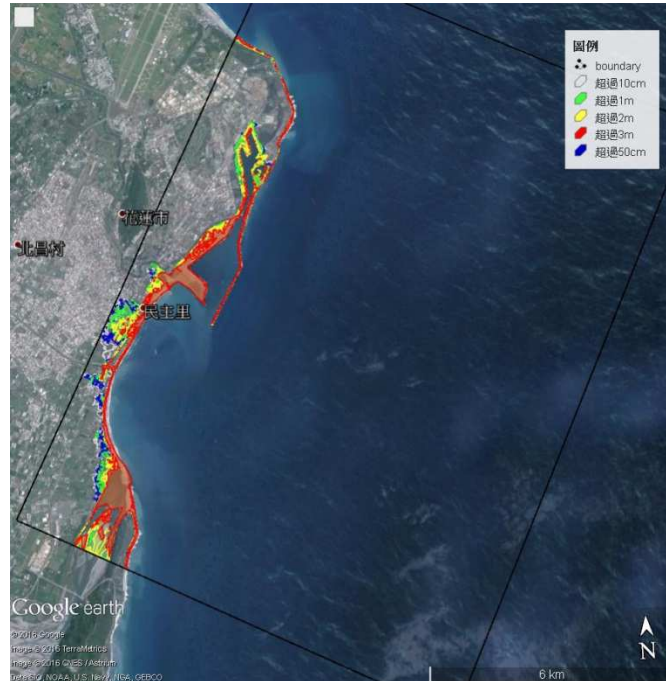


圖 5.36(e) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 4 公尺

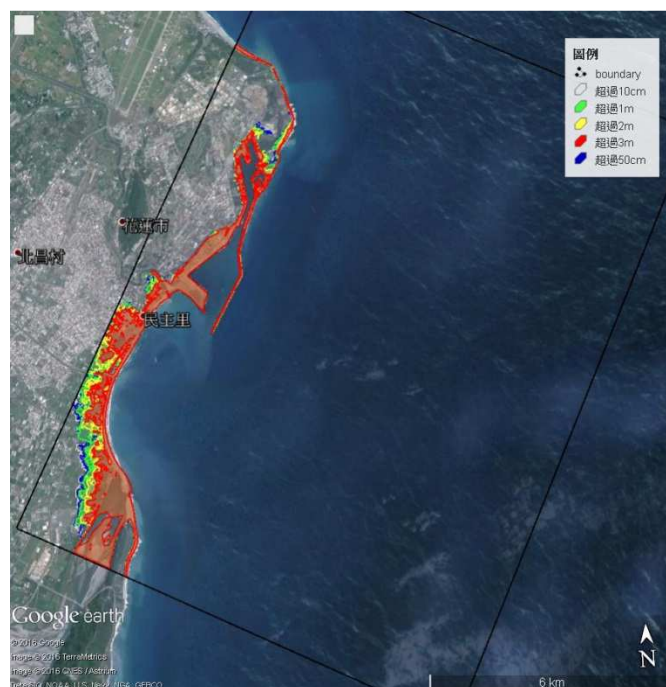


圖 5.36(f) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 6 公尺

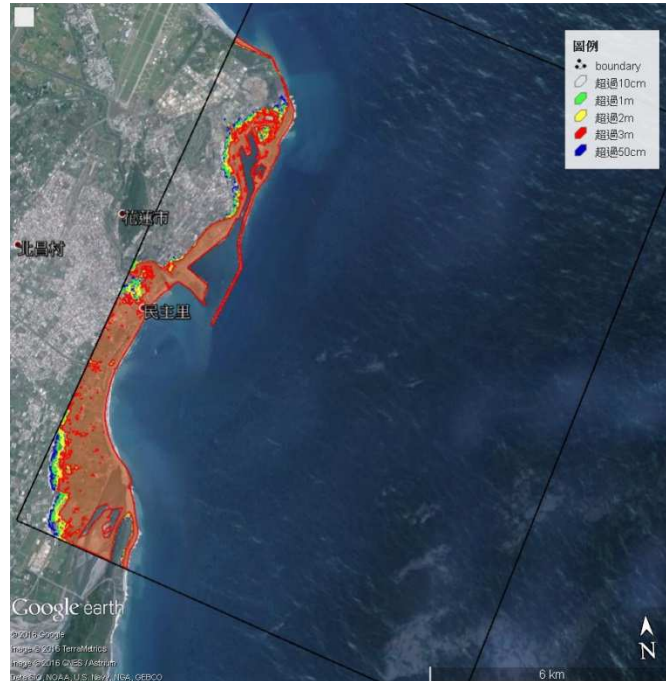


圖 5.36(g) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 10 公尺

圖 5.36 花蓮港結合 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

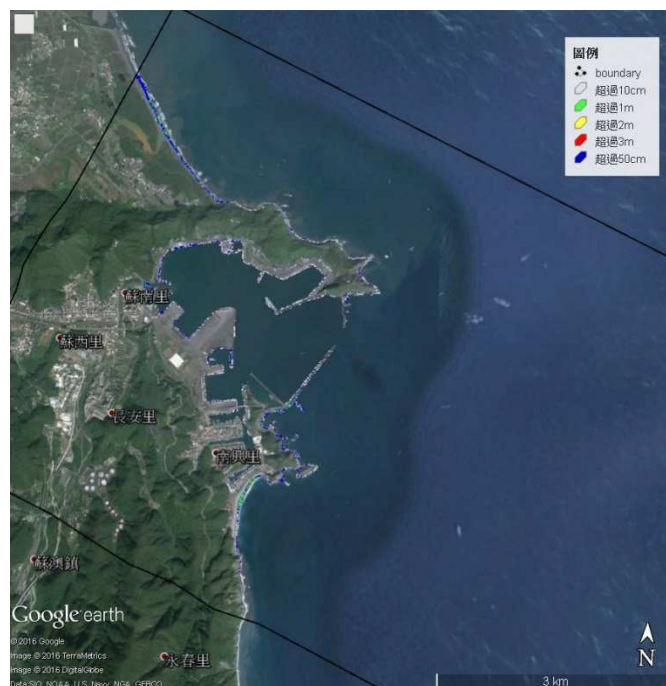


圖 5.37(a) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 0.5 公尺

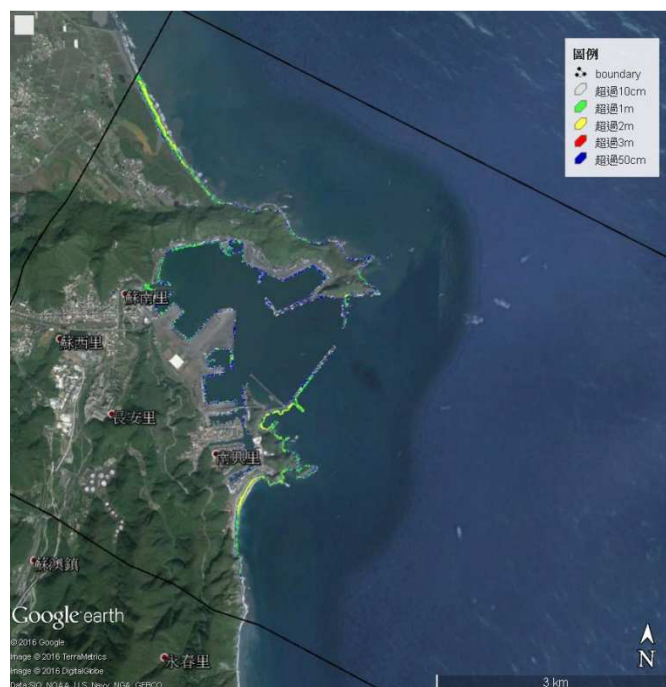


圖 5.37(b) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 1 公尺

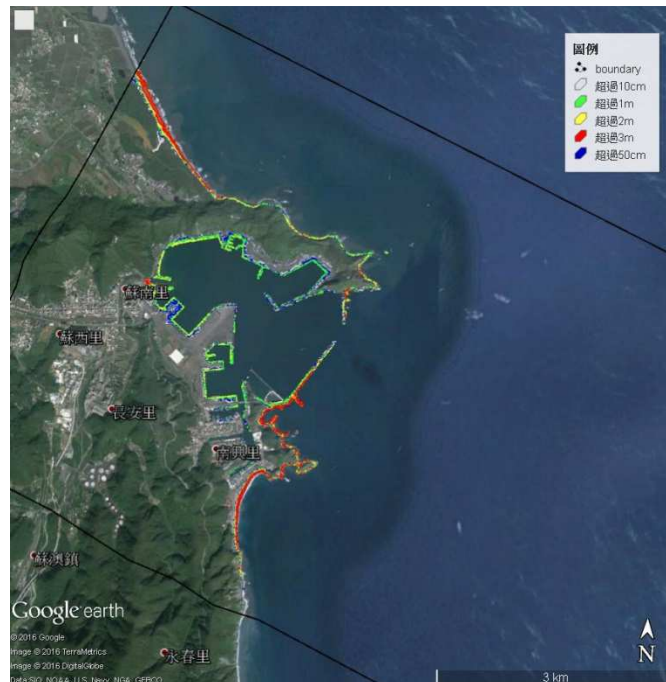


圖 5.37(c) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 2 公尺

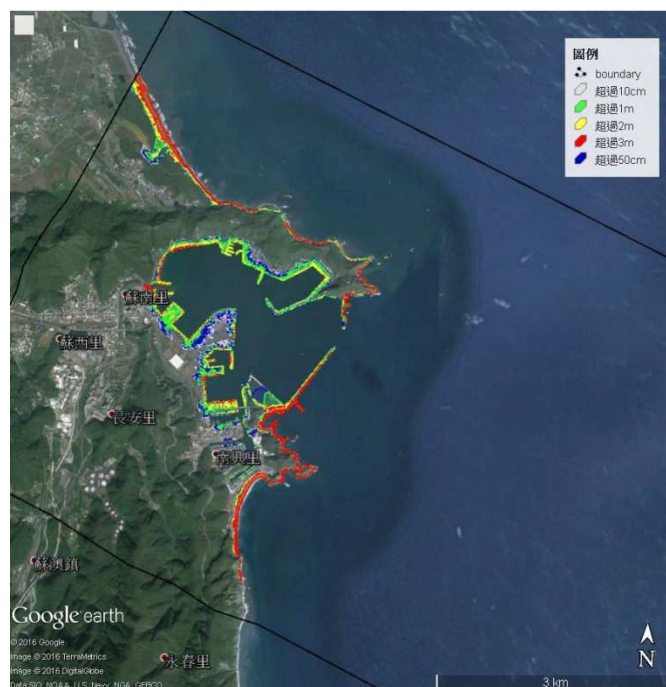


圖 5.37(d) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 3 公尺

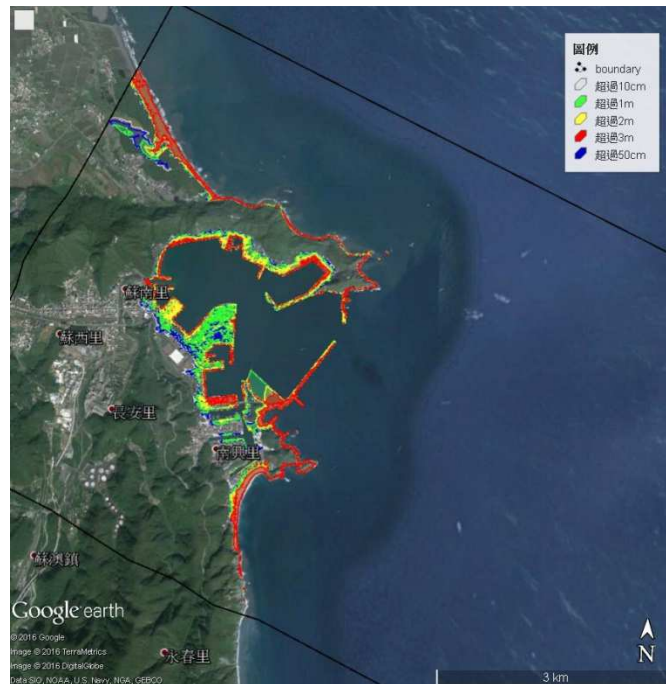


圖 5.14 (e) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 4 公尺

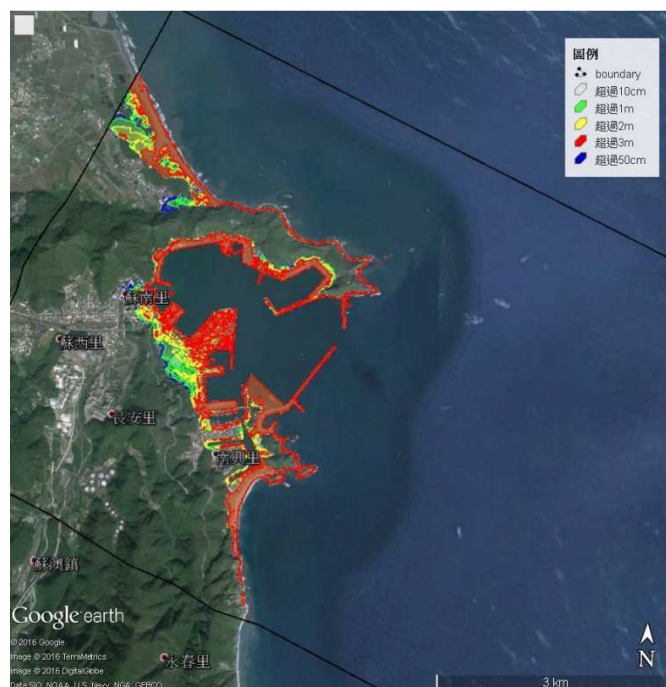


圖 5.14 (f) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 6 公尺

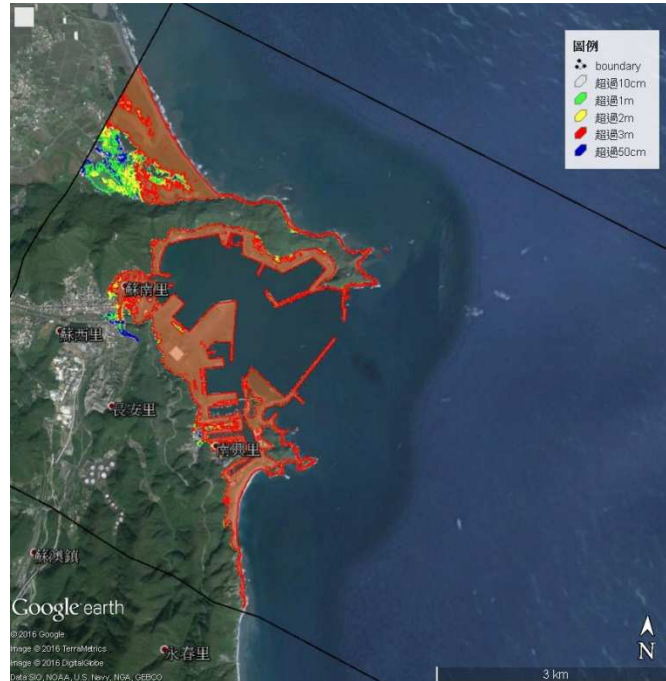


圖 5.14 (g) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 10 公尺

圖 5.14 蘇澳港結合 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



圖 5.37(a) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 0.5 公尺

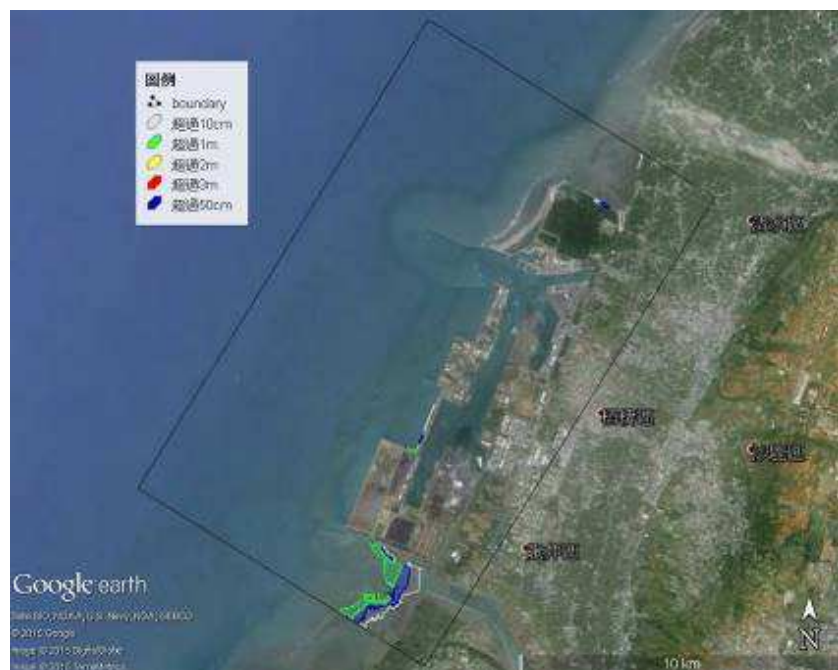


圖 5.37(b) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 1 公尺



圖 5.37(c) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 2 公尺

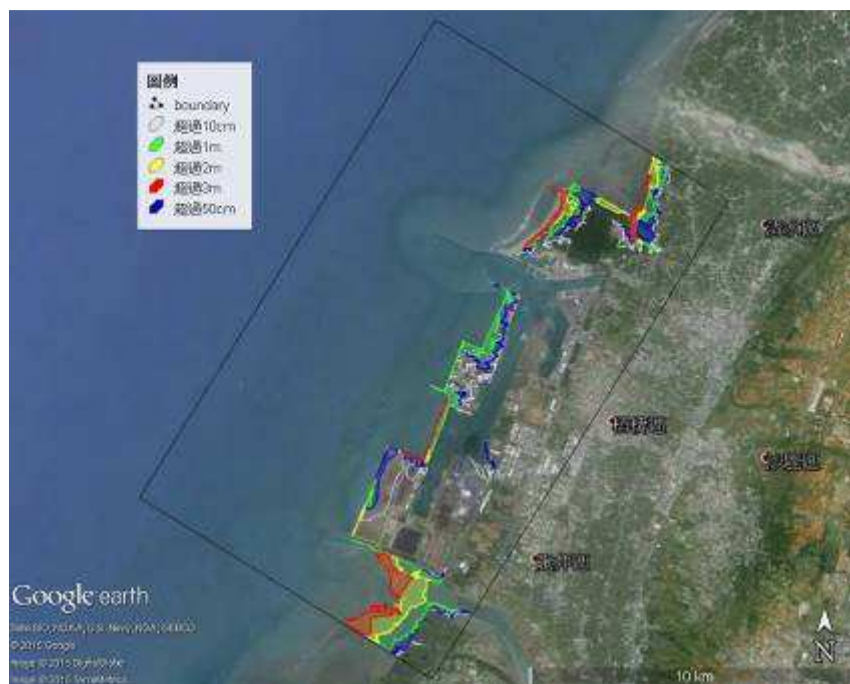


圖 5.37(d) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 3 公尺

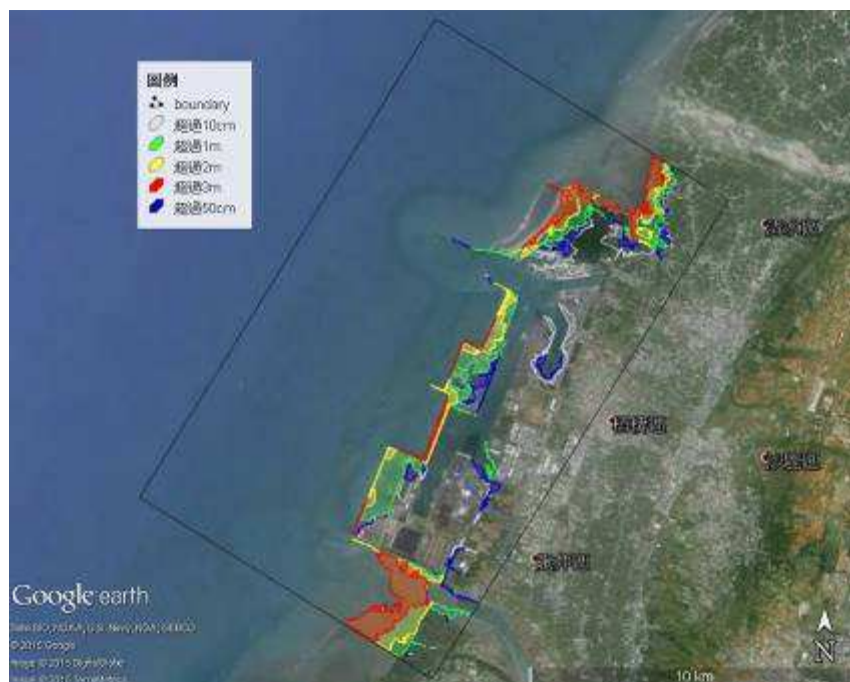


圖 5.37(e) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 4 公尺

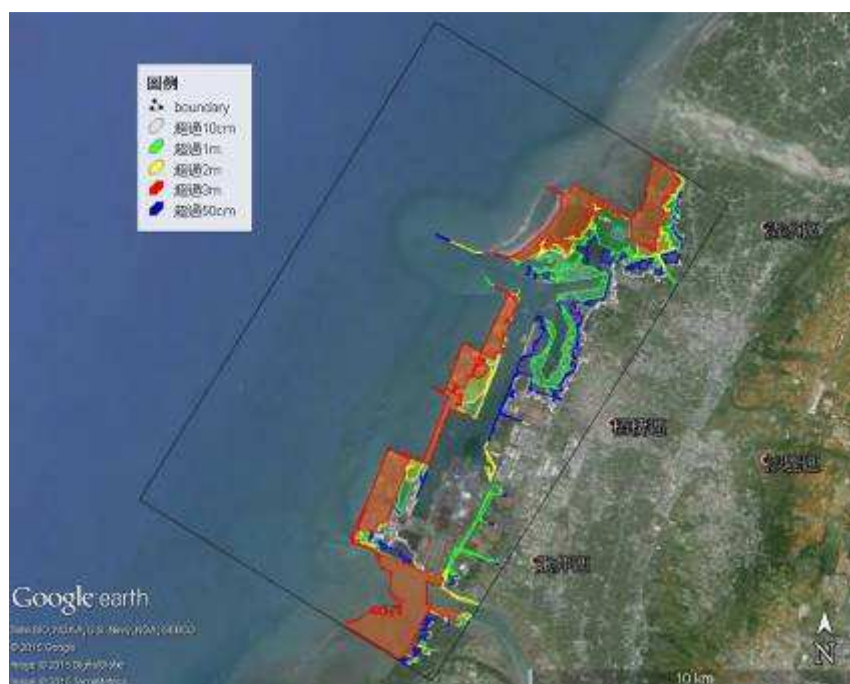


圖 5.37(f) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 6 公尺

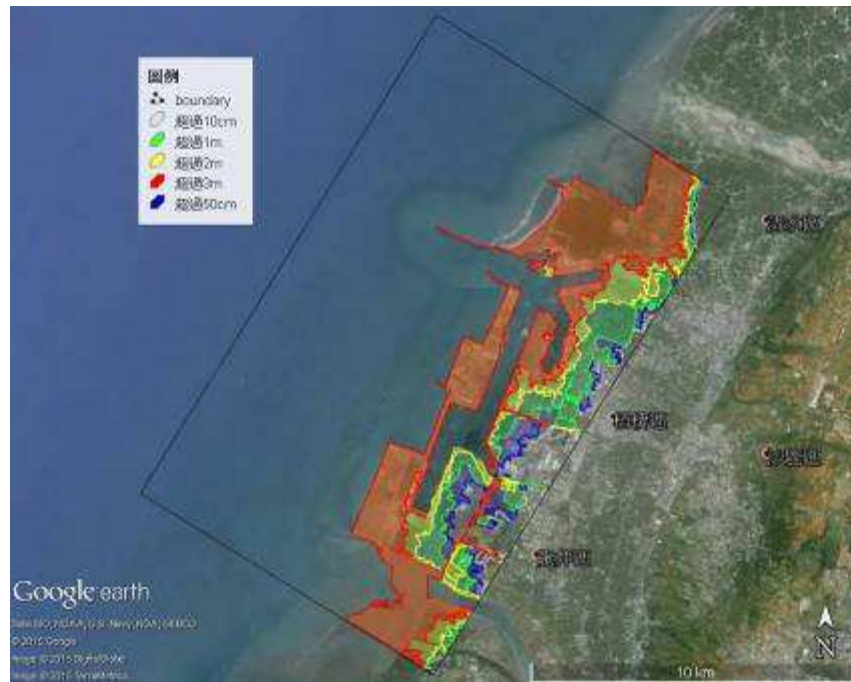


圖 5.37(g) 臺中港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 10 公尺

圖 5.37 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

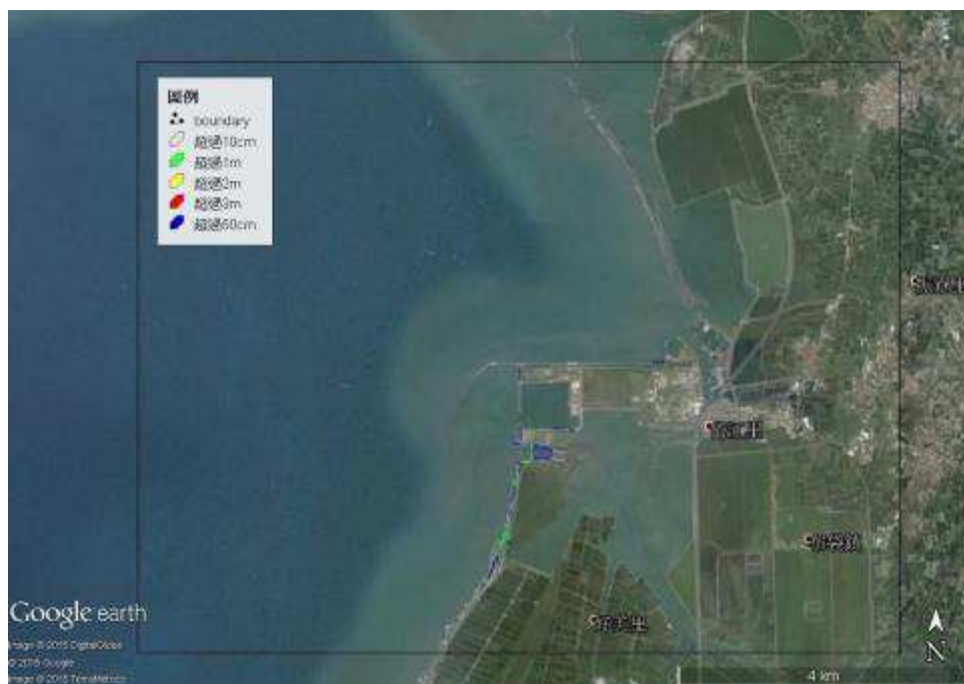


圖 5.38(a) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 0.5 公尺

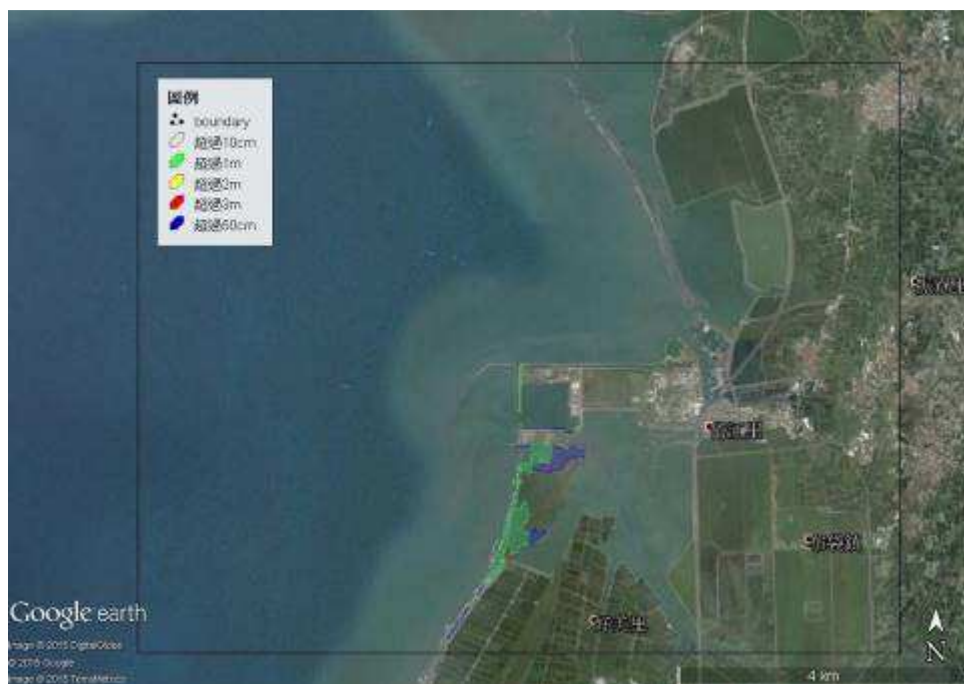


圖 5.38(b) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 1 公尺

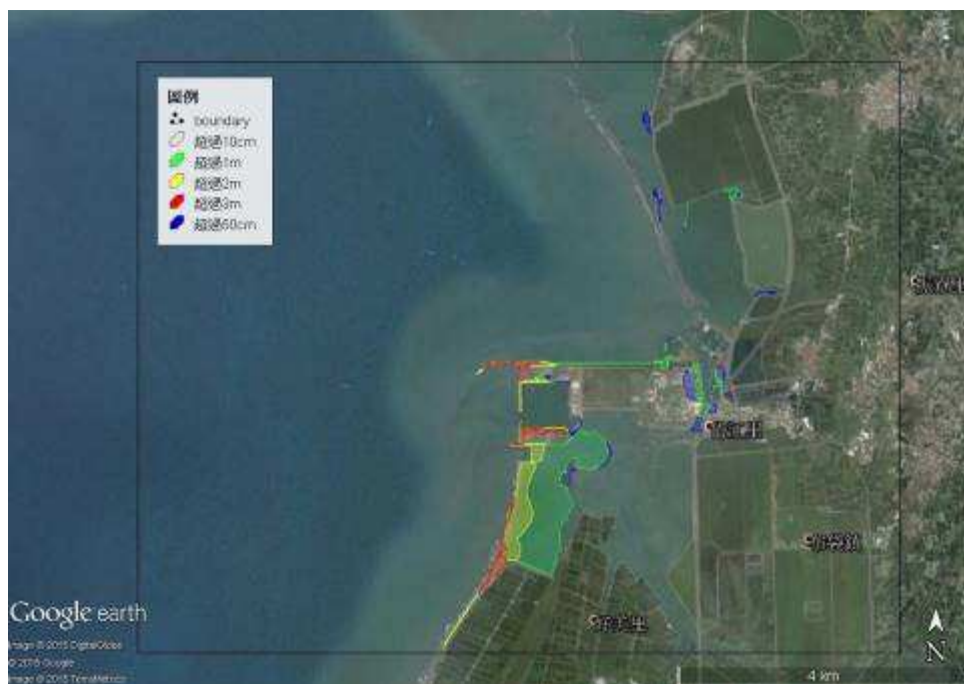


圖 5.38(c) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 2 公尺



圖 5.38(d) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 3 公尺



圖 5.38(e) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 4 公尺



圖 5.38(f) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 6 公尺

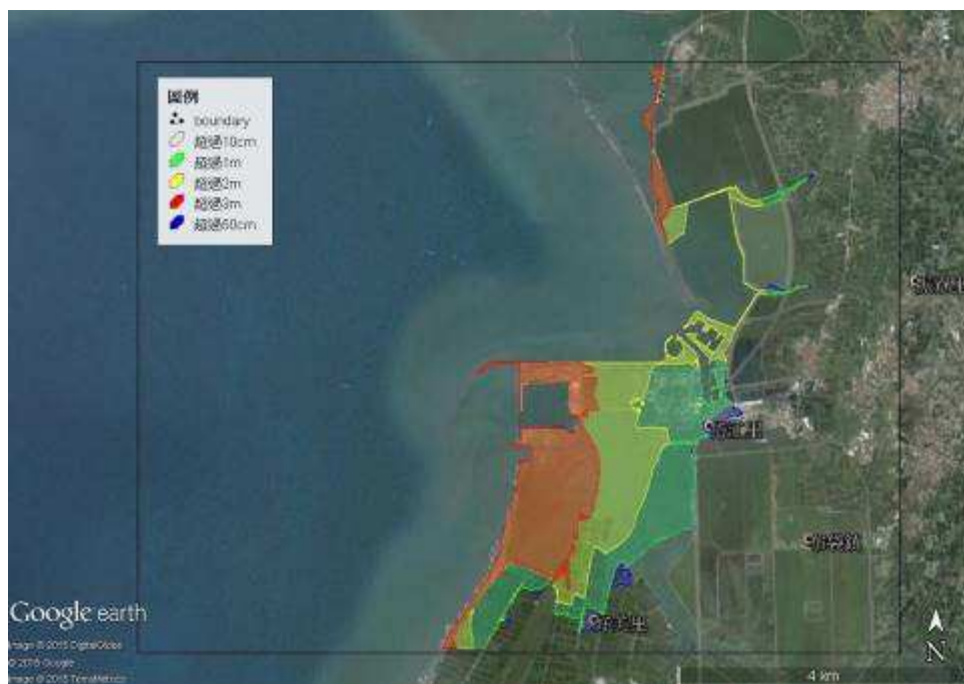


圖 5.38(g) 布袋港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 10 公尺

圖 5.38 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

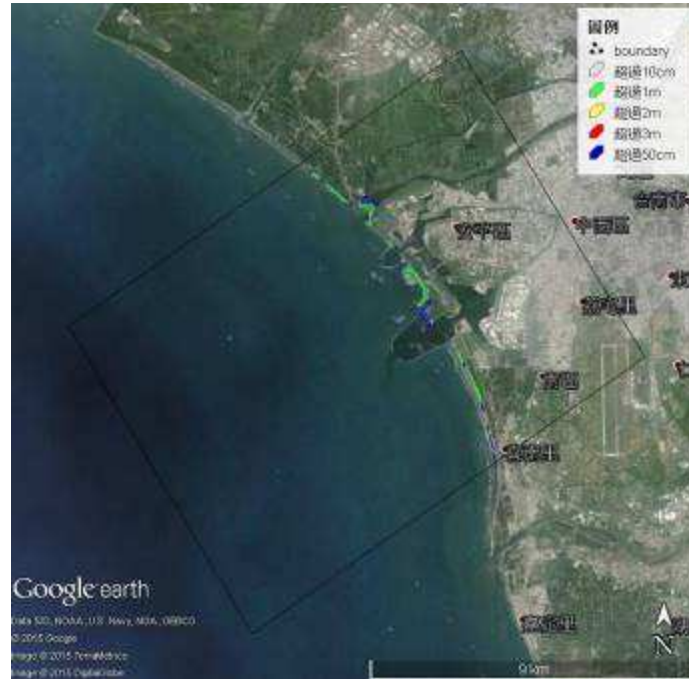


圖 5.39(a) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 0.5 公尺

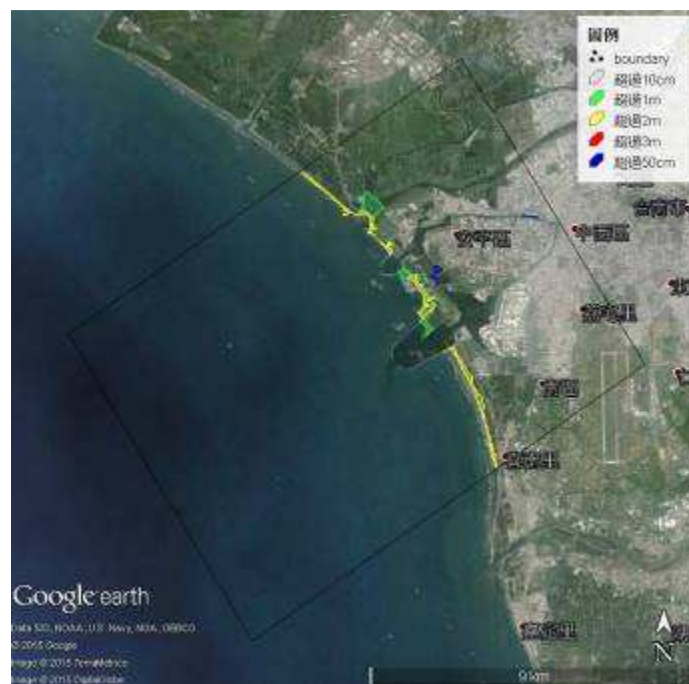


圖 5.39(b) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 1 公尺

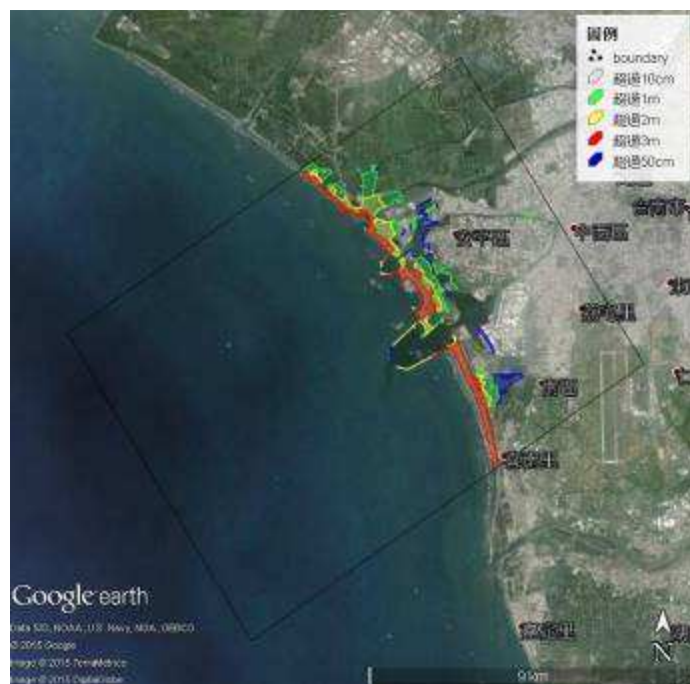


圖 5.39(c) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 2 公尺

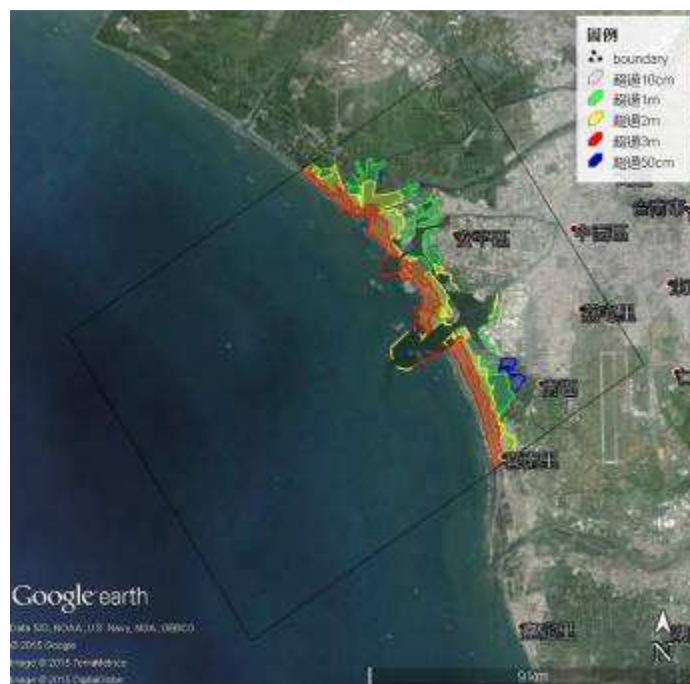


圖 5.39(d) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 3 公尺

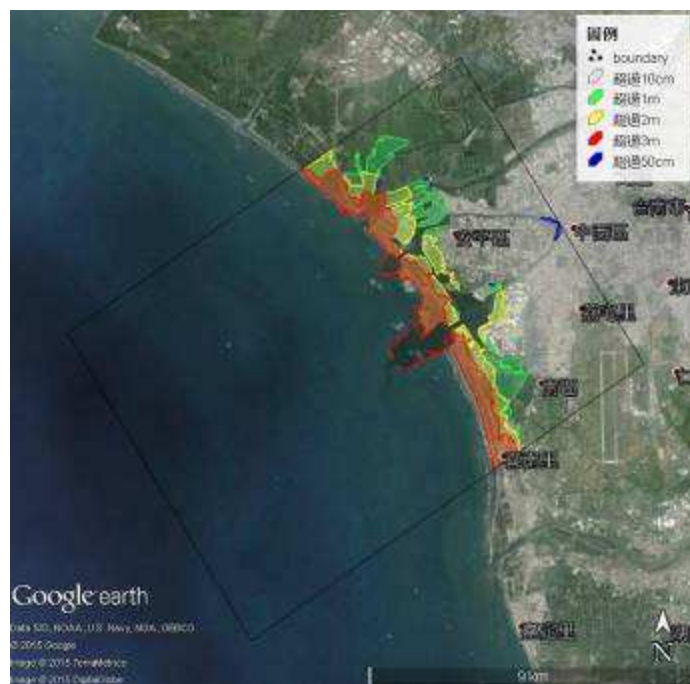


圖 5.39(e) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 4 公尺

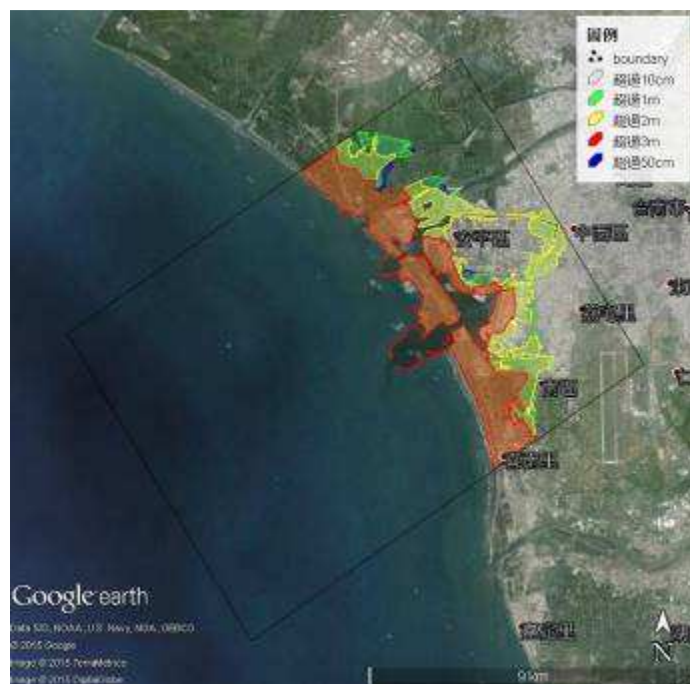


圖 5.39(f) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 6 公尺



圖 5.39(g) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 10 公尺

圖 5.39 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

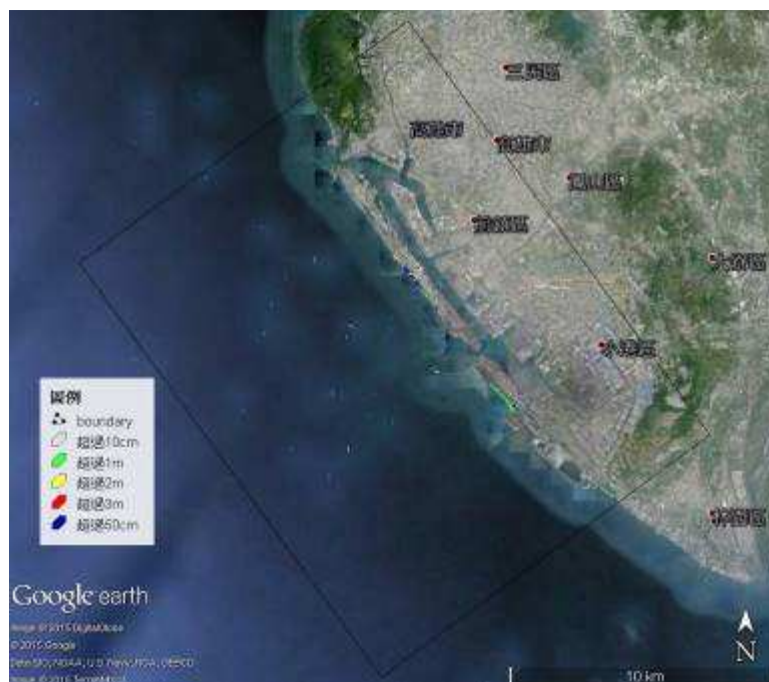


圖 5.40(a) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 0.5 公尺

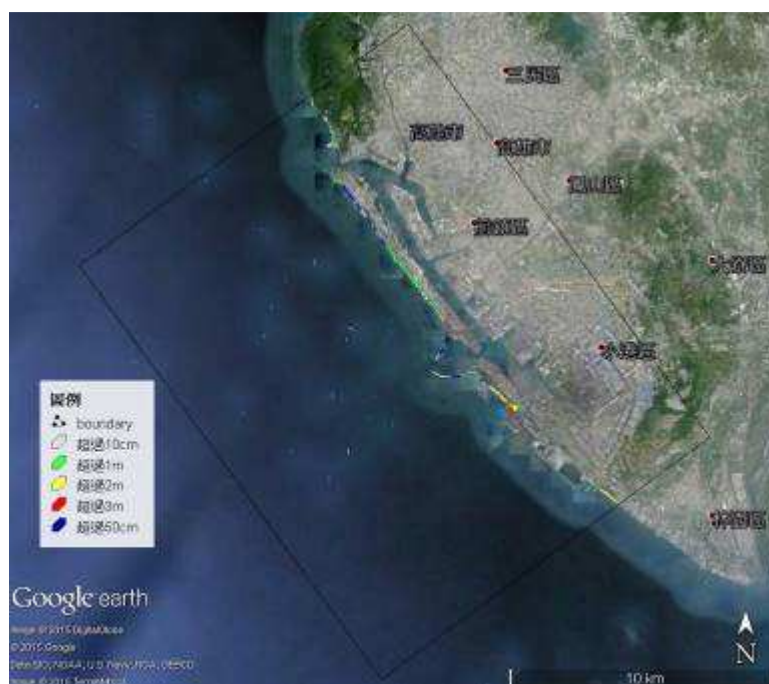


圖 5.40(b) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 1 公尺

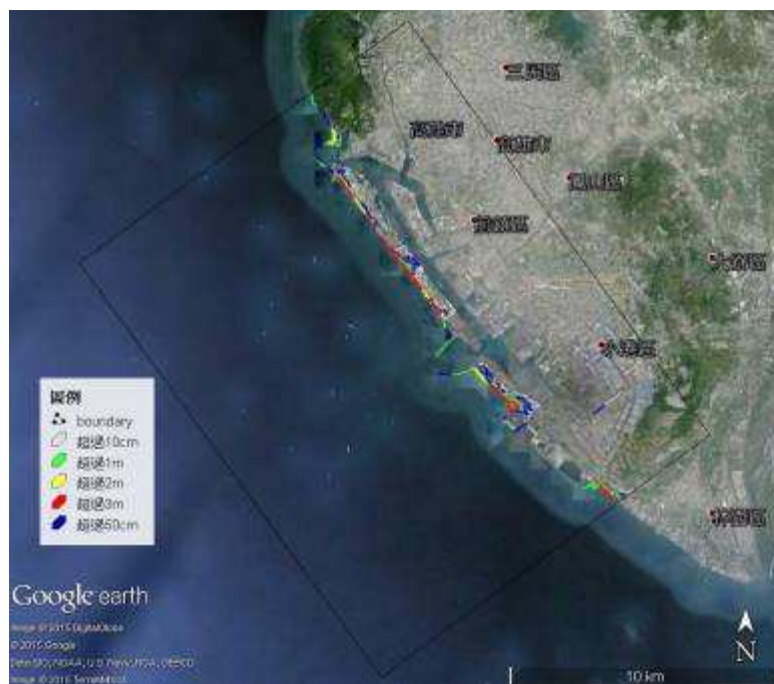


圖 5.40(c) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 2 公尺

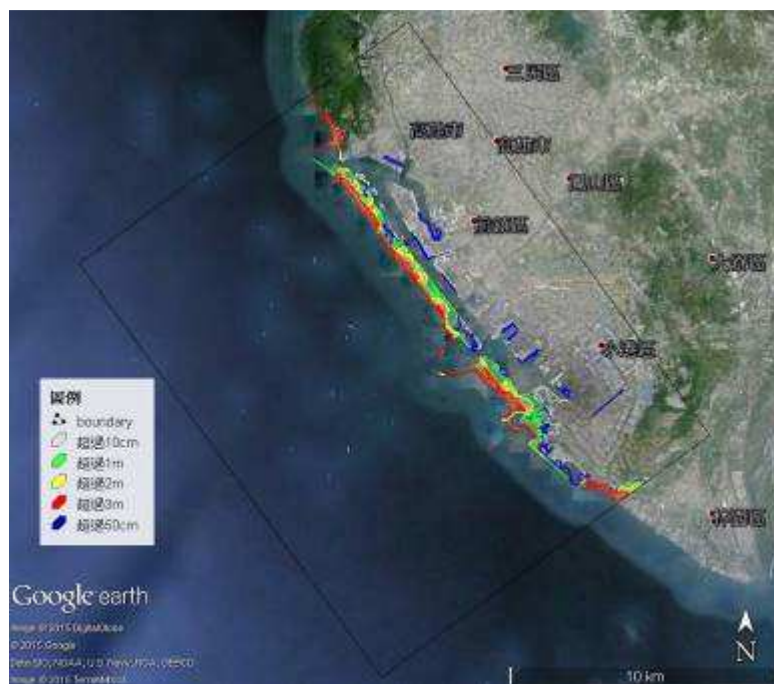


圖 5.40(d) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 3 公尺

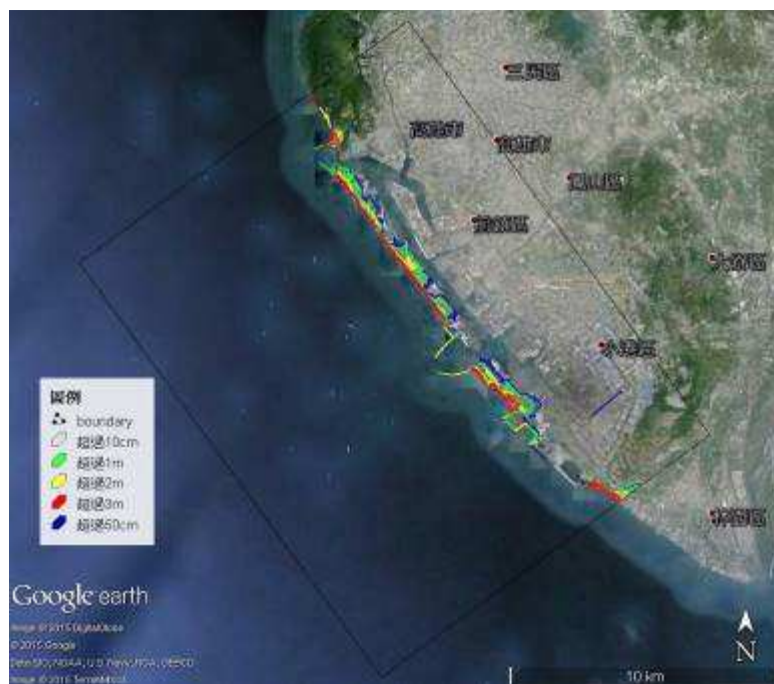


圖 5.40(e) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 4 公尺



圖 5.40(f) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 6 公尺

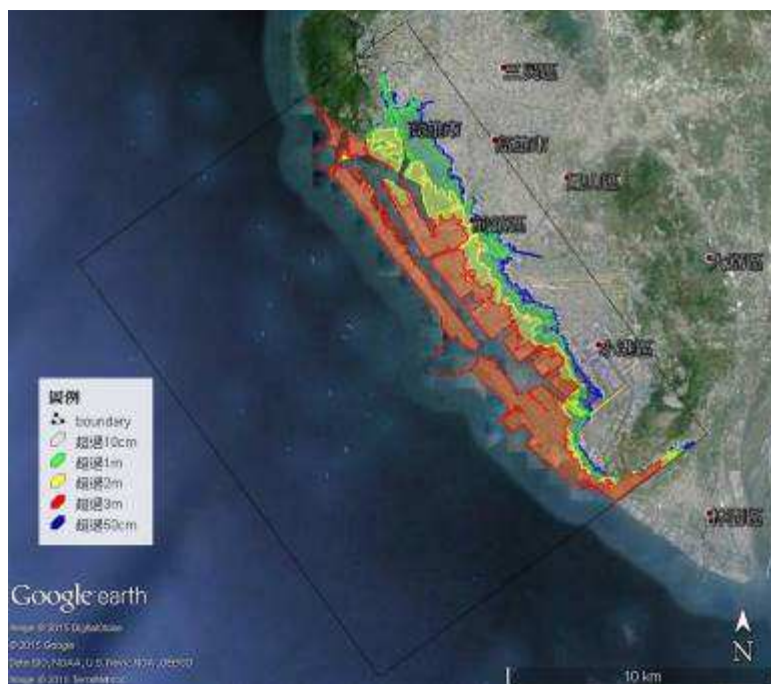


圖 5.40(g) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 10 公尺

圖 5.40 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

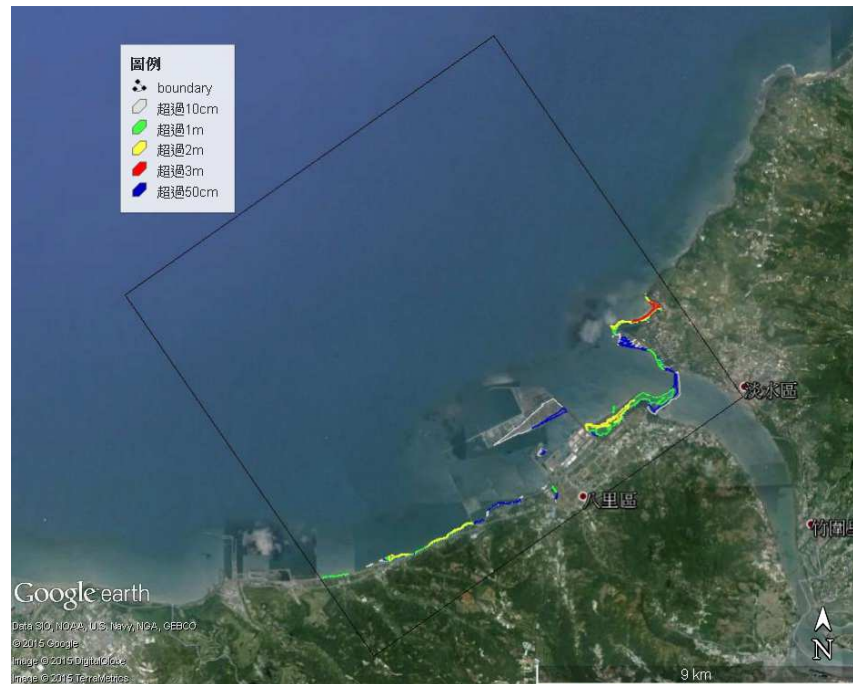


圖 5.41(a) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 0.5 公尺

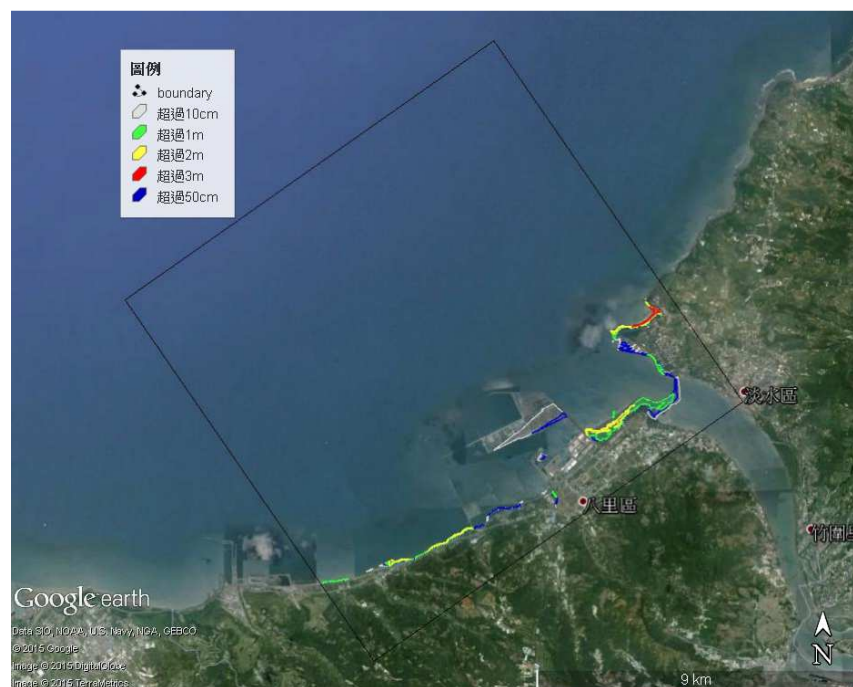


圖 5.41(b) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 1 公尺



圖 5.41(c) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 2 公尺



圖 5.41(d) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 3 公尺

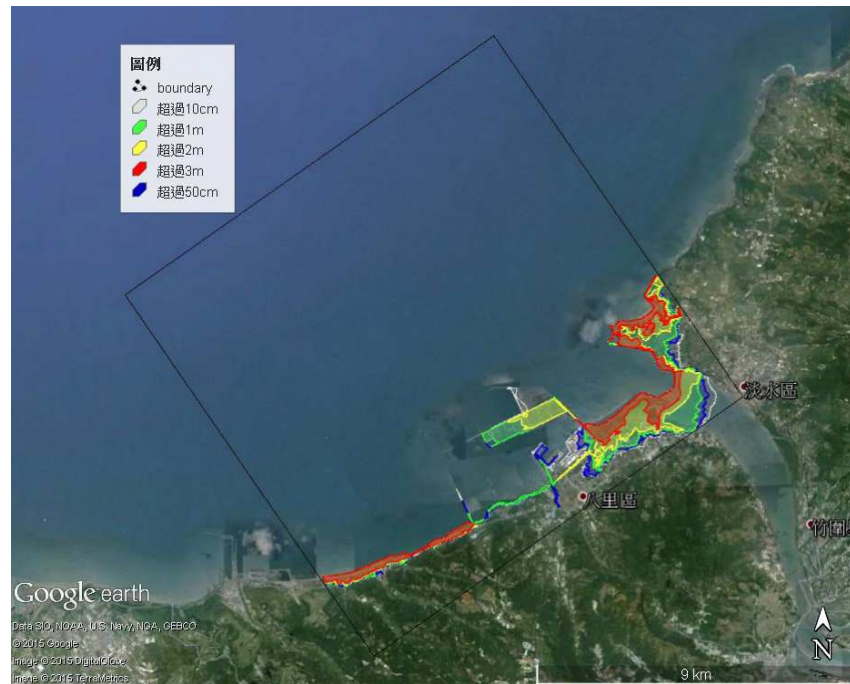


圖 5.41(e) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 4 公尺

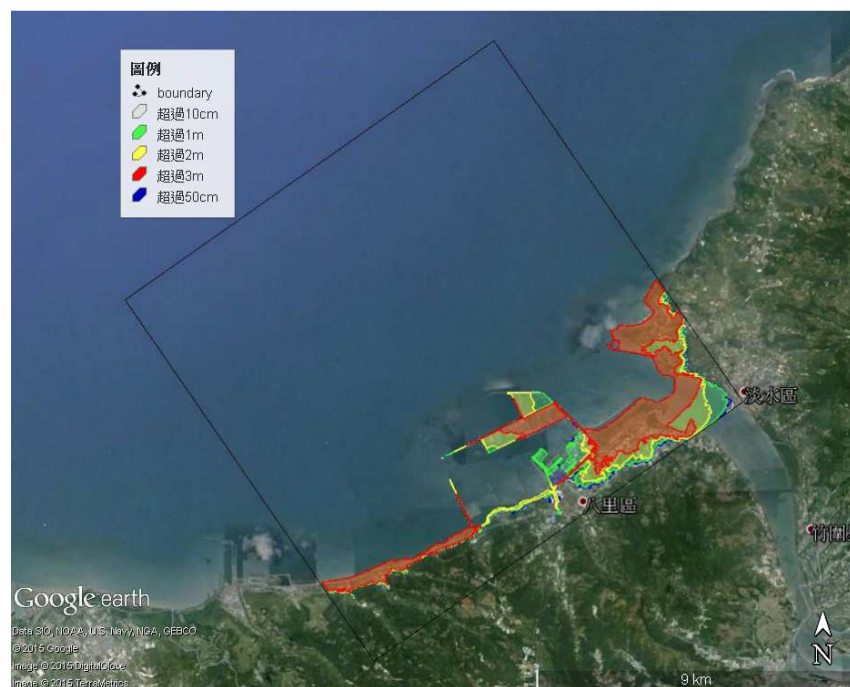


圖 5.41(f) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 6 公尺

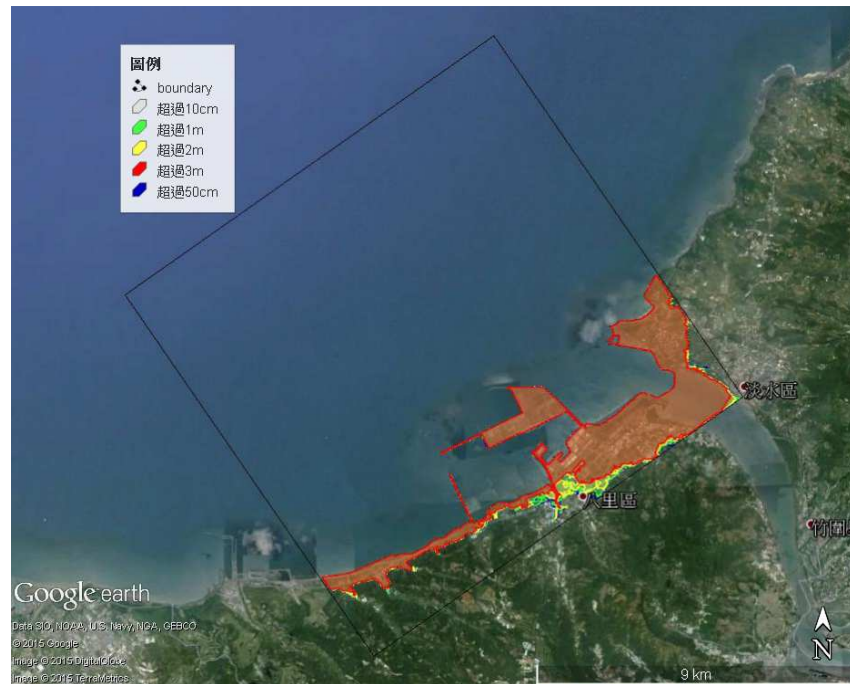


圖 5.41(g) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 10 公尺

圖 5.41 臺北港結合 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

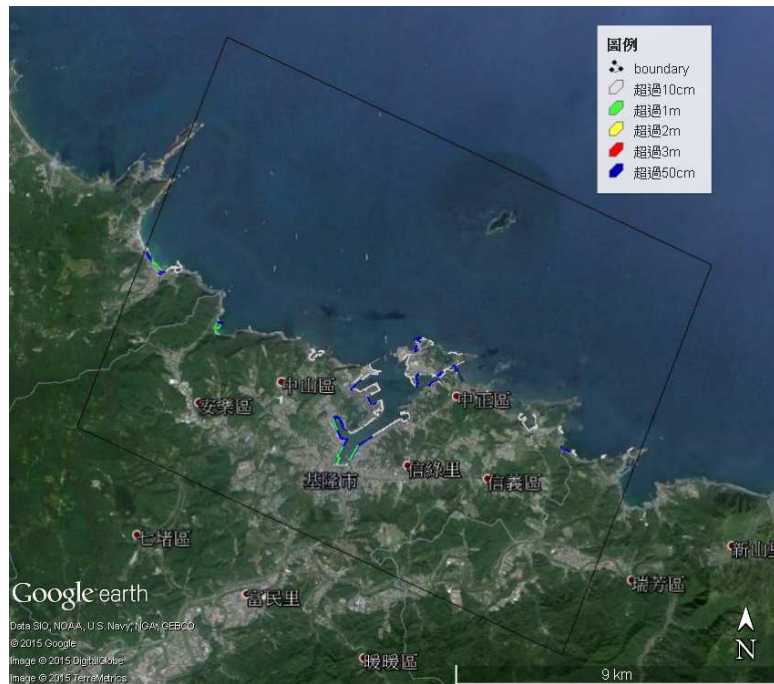


圖 5.42(a) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 0.5 公尺

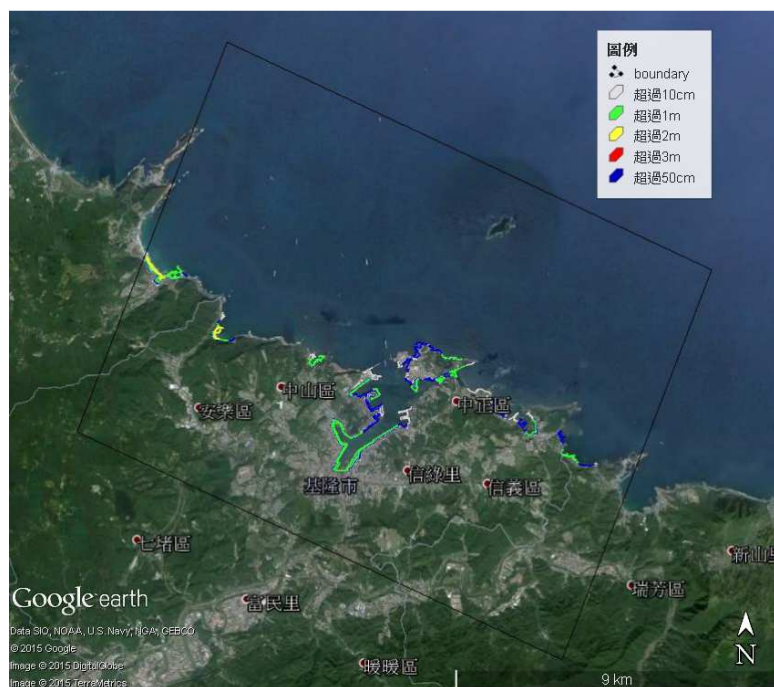


圖 5.42(b) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 1 公尺

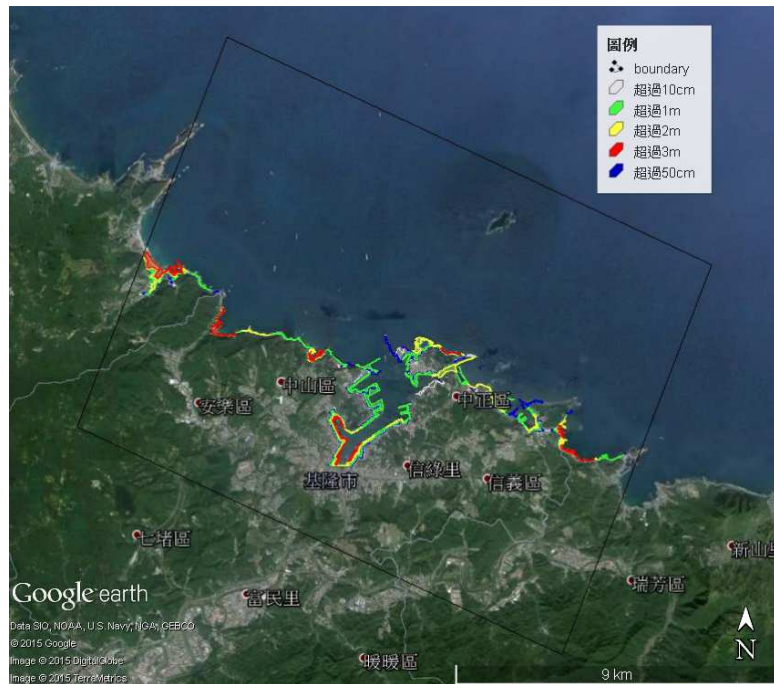


圖 5.426(c) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 2 公尺

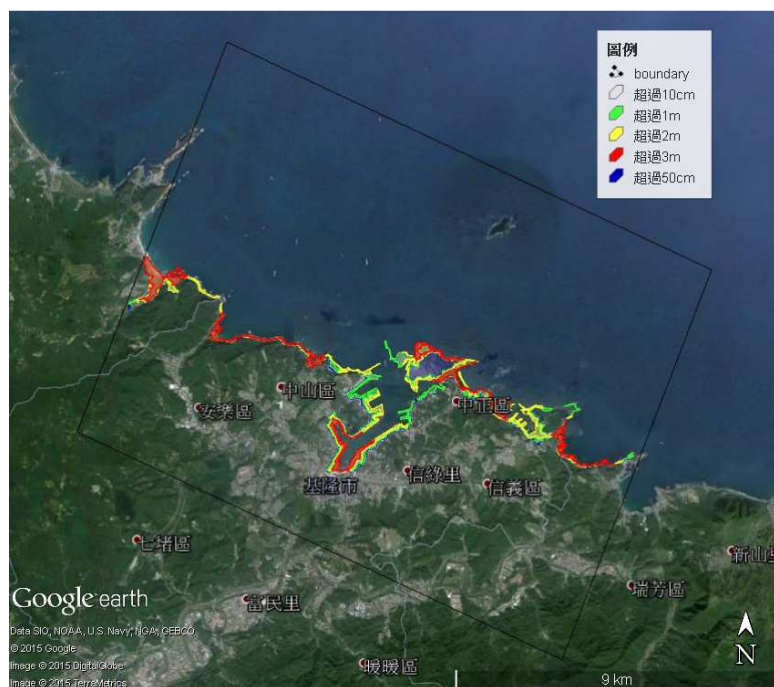


圖 5.42(d) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 3 公尺

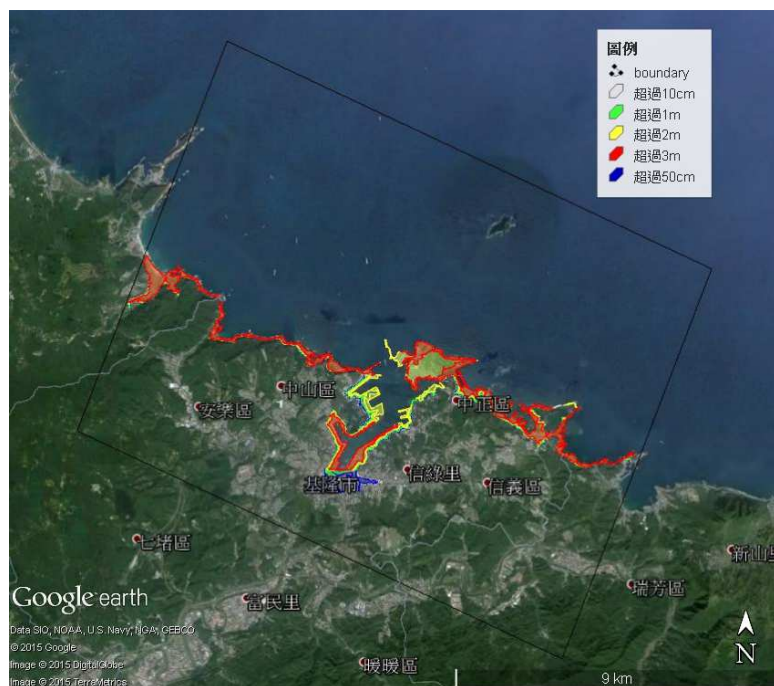


圖 5.42(e) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 4 公尺



圖 5.42(f) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 6 公尺



圖 5.42(g) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 10 公尺

圖 5.42 基隆港結合 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

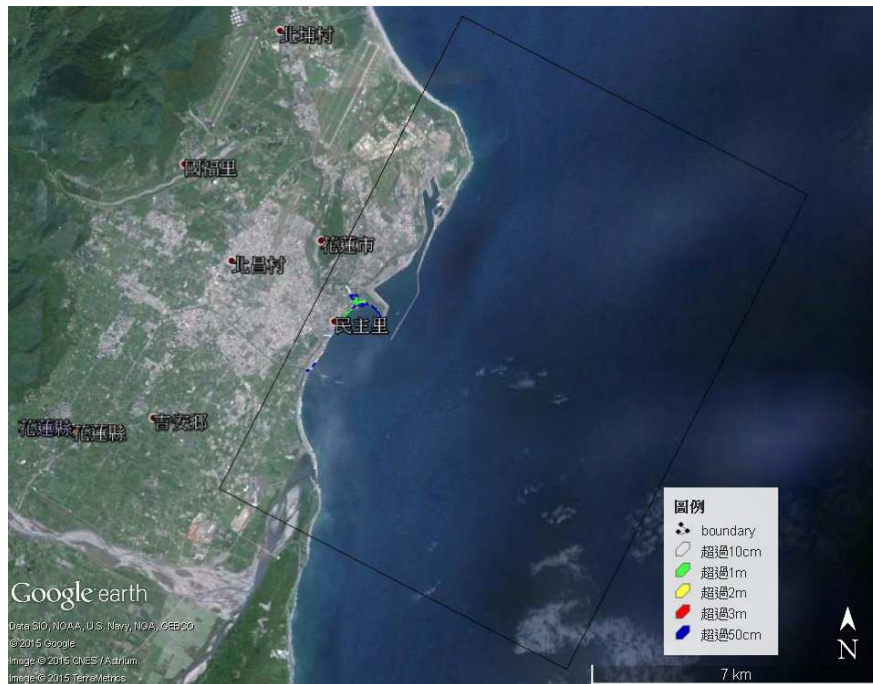


圖 5.43(a) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 0.5 公尺

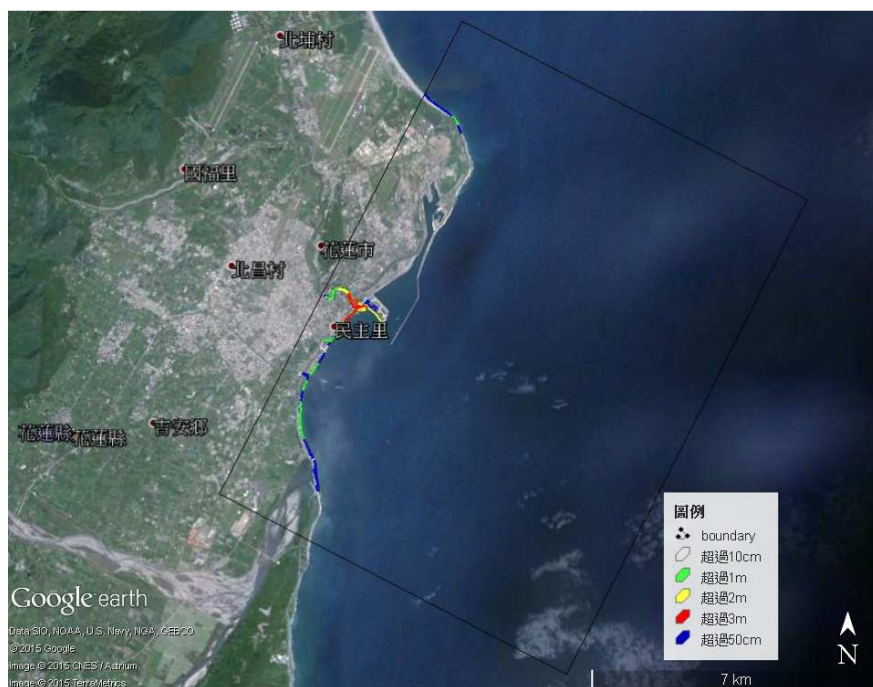


圖 5.43(b) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 1 公尺

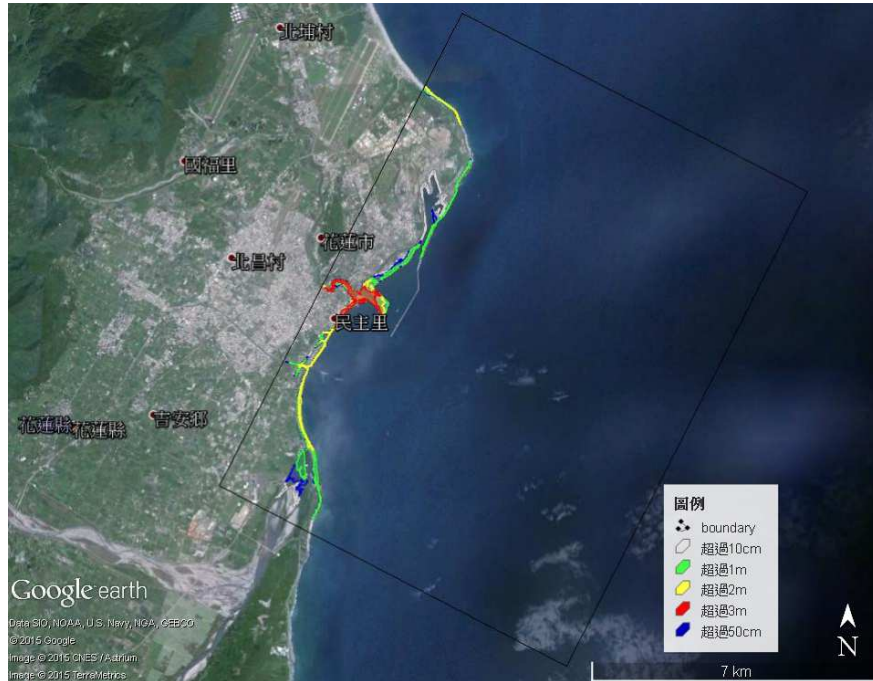


圖 5.43(c) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 2 公尺

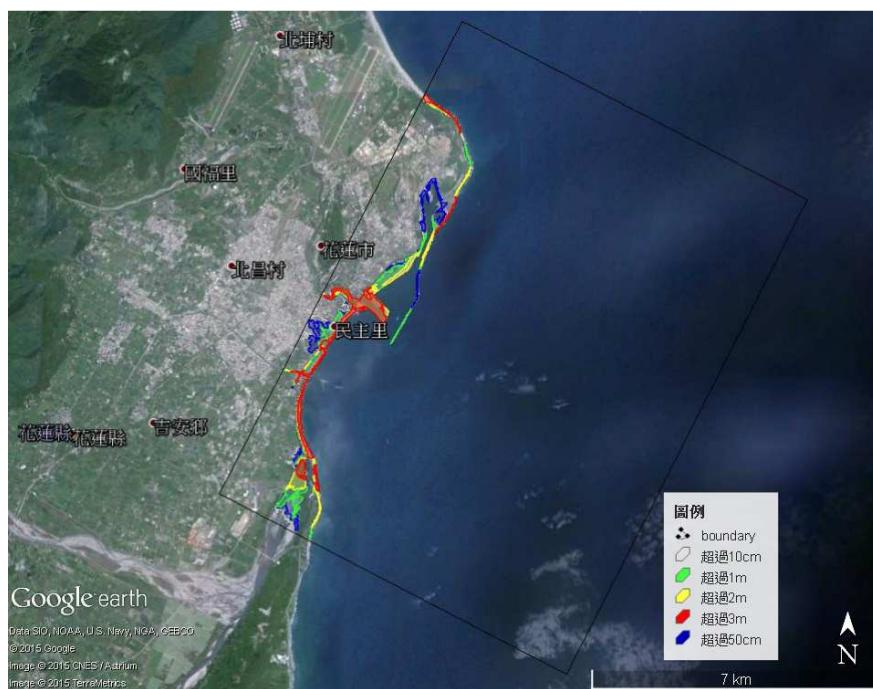


圖 5.43(d) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 3 公尺

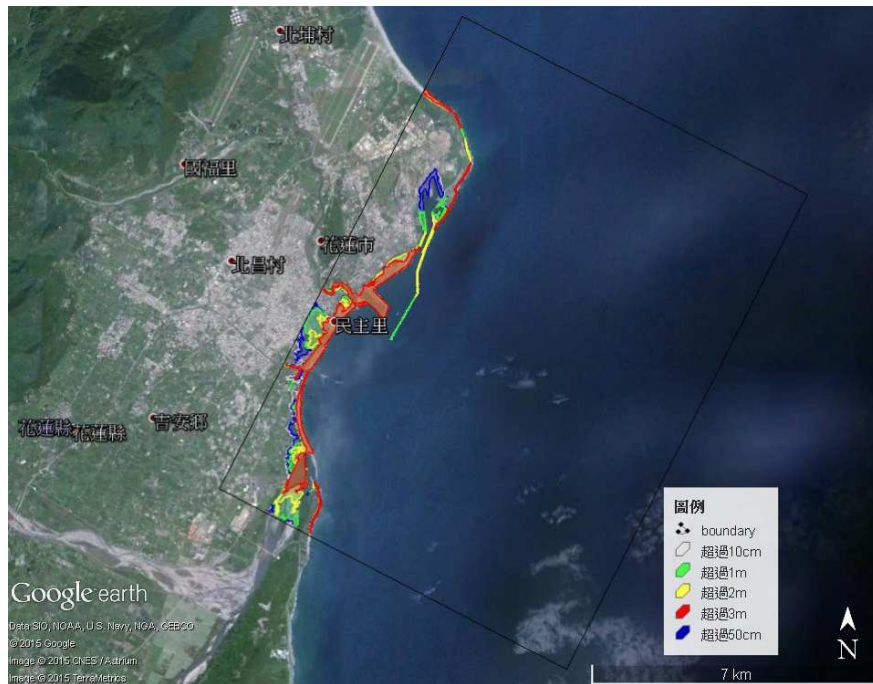


圖 5.43(e) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 4 公尺

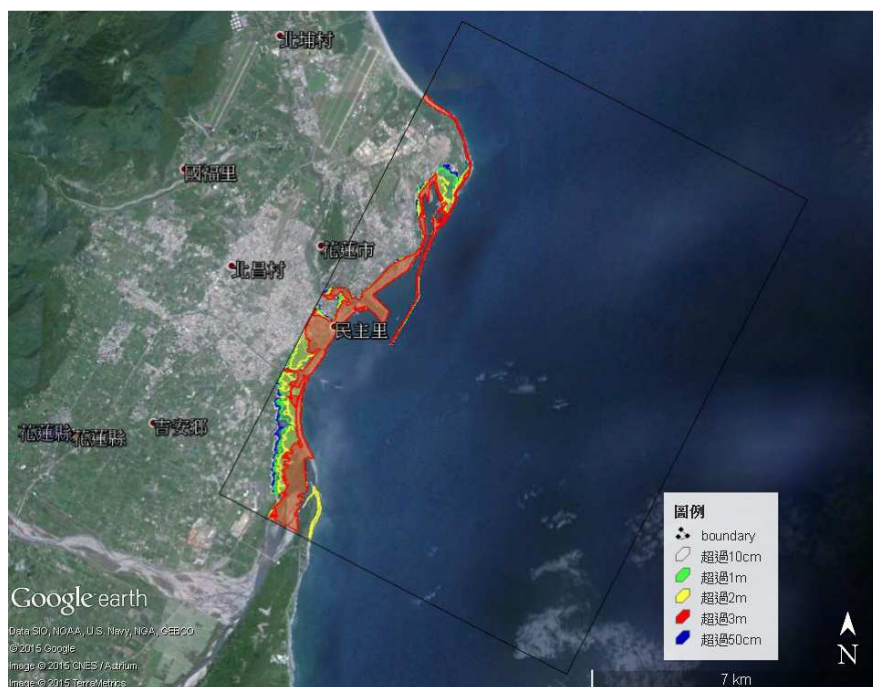


圖 5.43(f) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 6 公尺

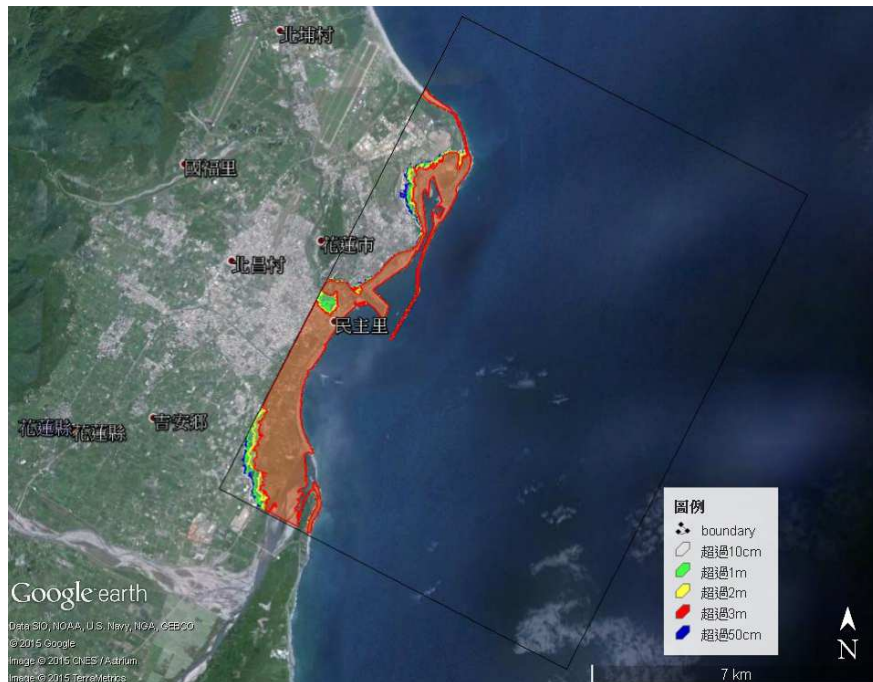


圖 5.43(g) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 10 公尺

圖 5.43 花蓮港結合 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

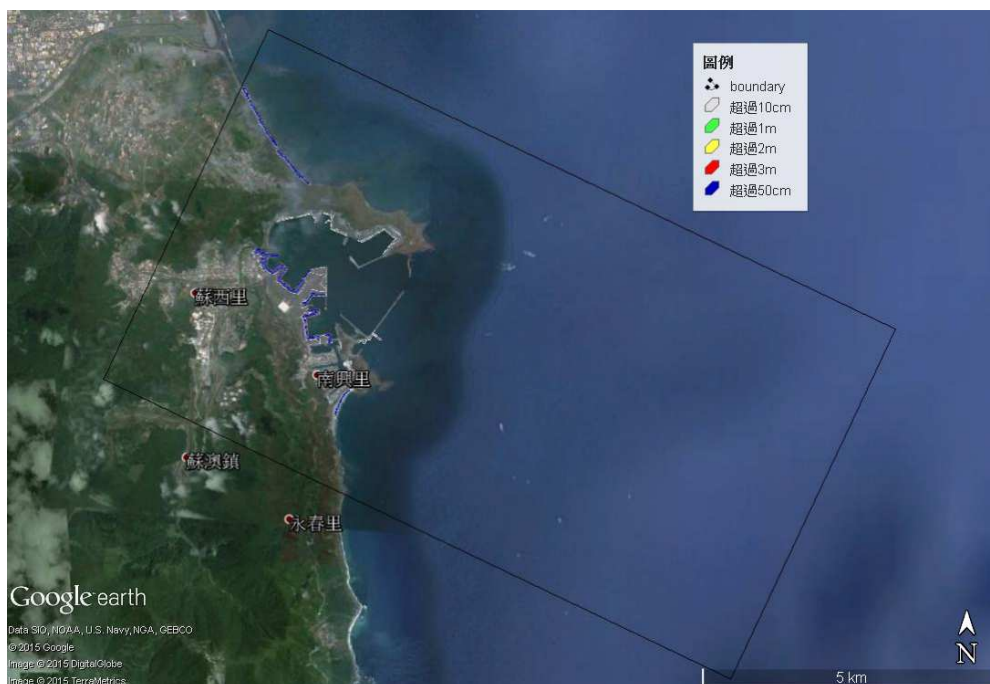


圖 5.44(a) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 0.5 公尺

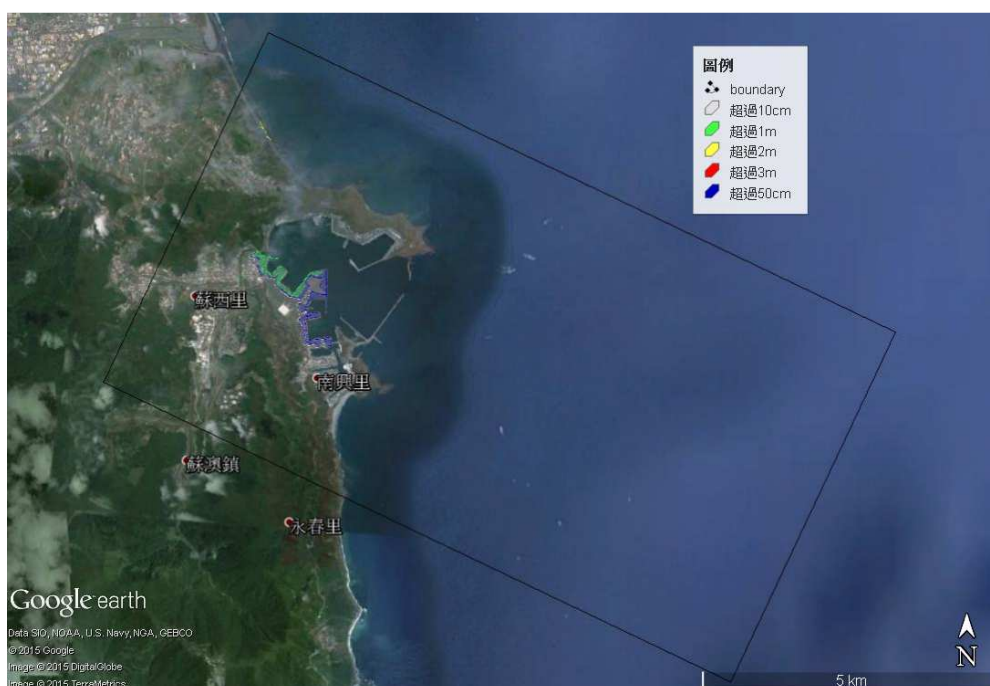


圖 5.44(b) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 1 公尺

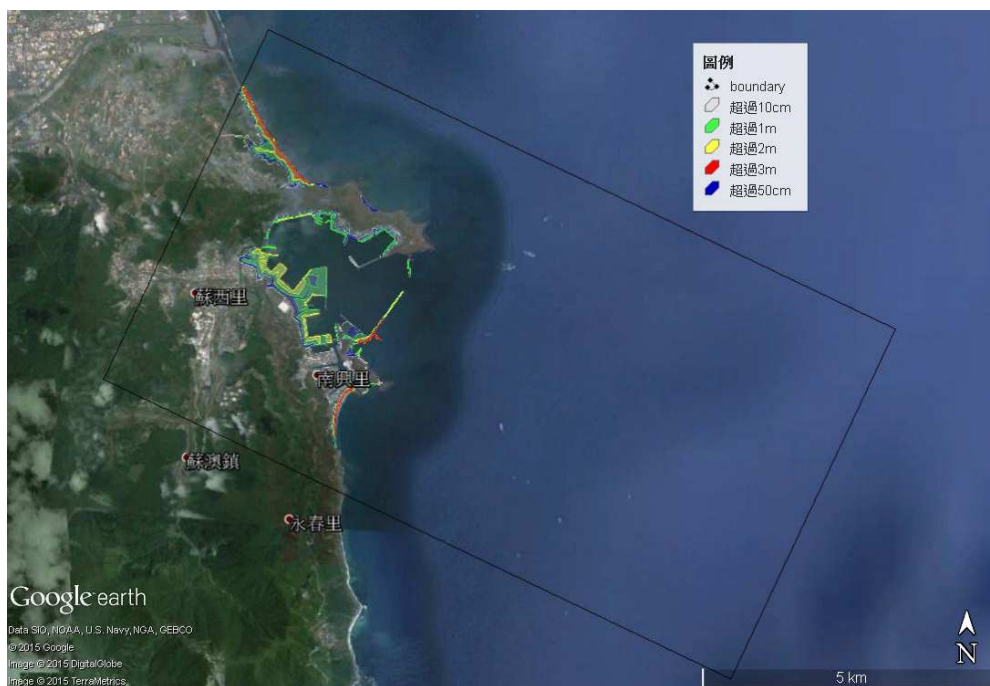


圖 5.44(c) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 2 公尺

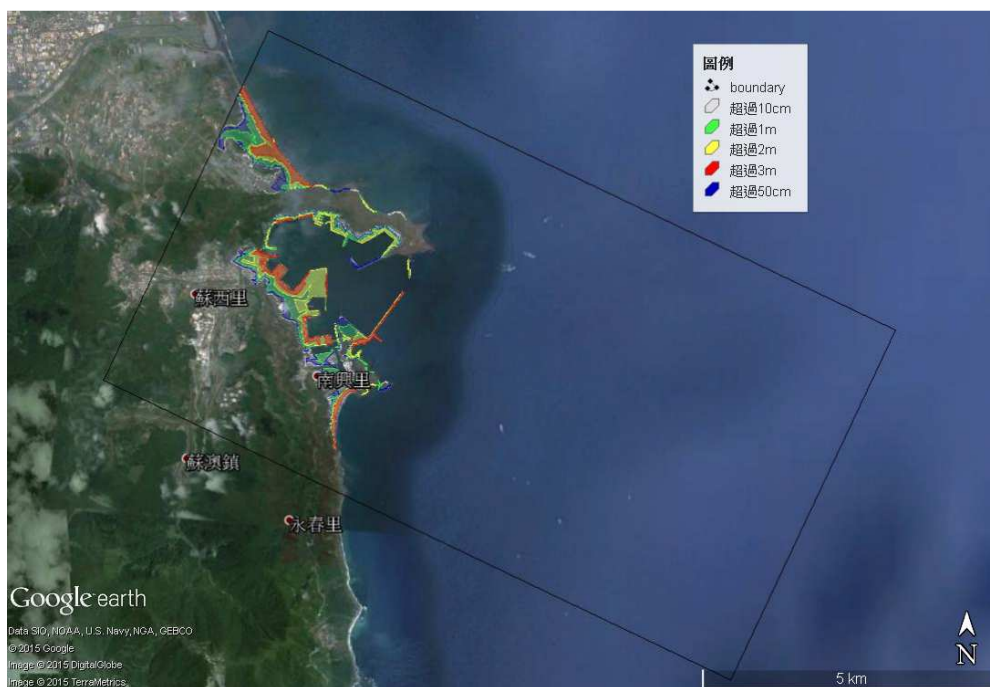


圖 5.44(d) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 3 公尺

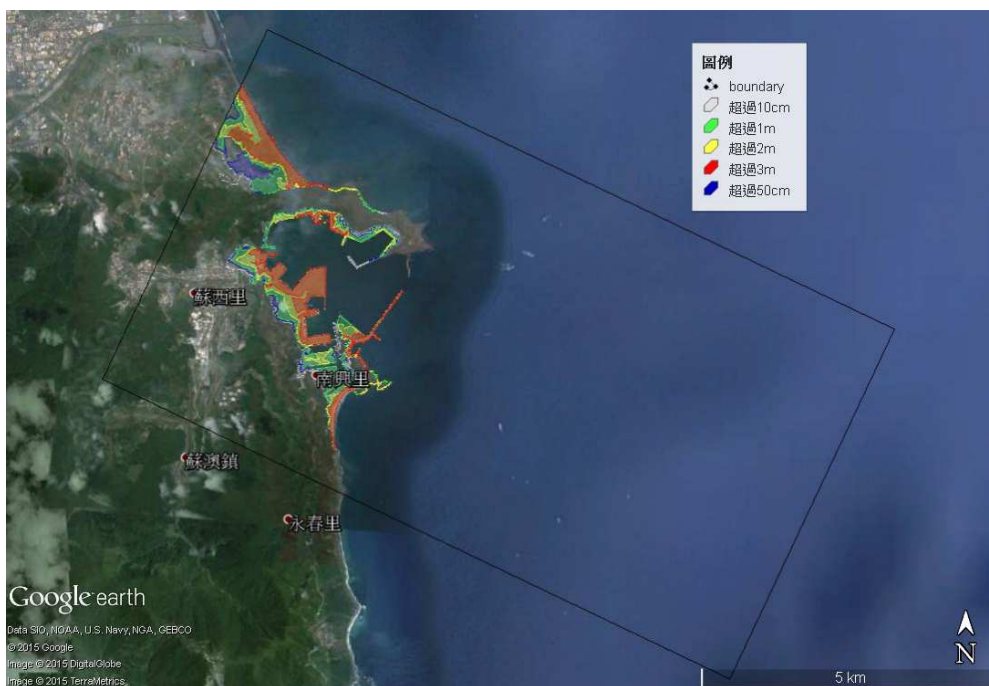


圖 5.44(e) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 4 公尺

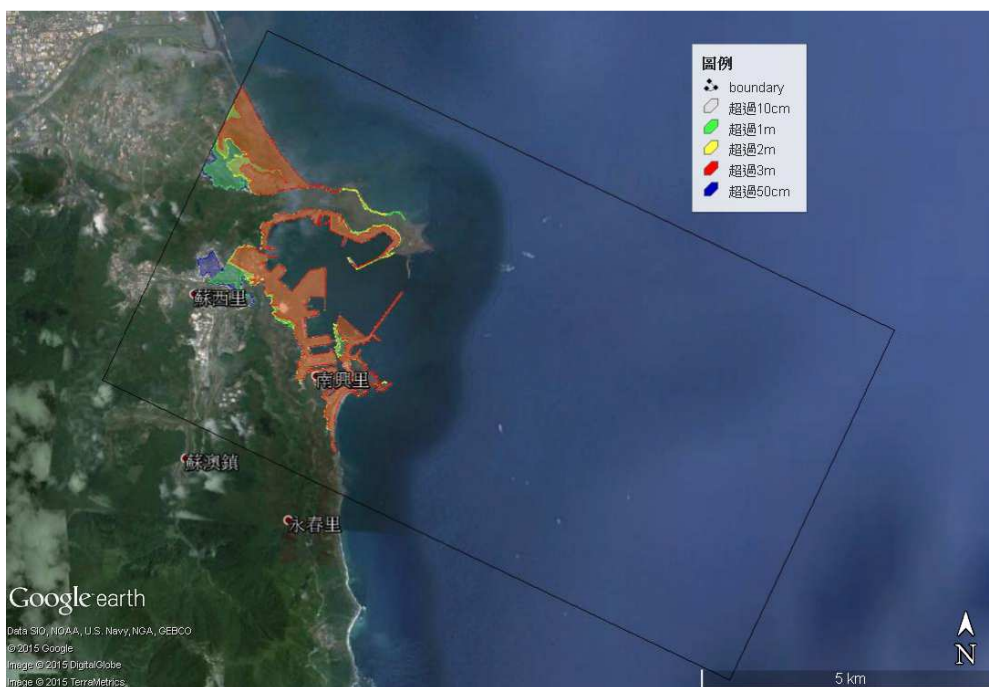


圖 5.44(f) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 6 公尺

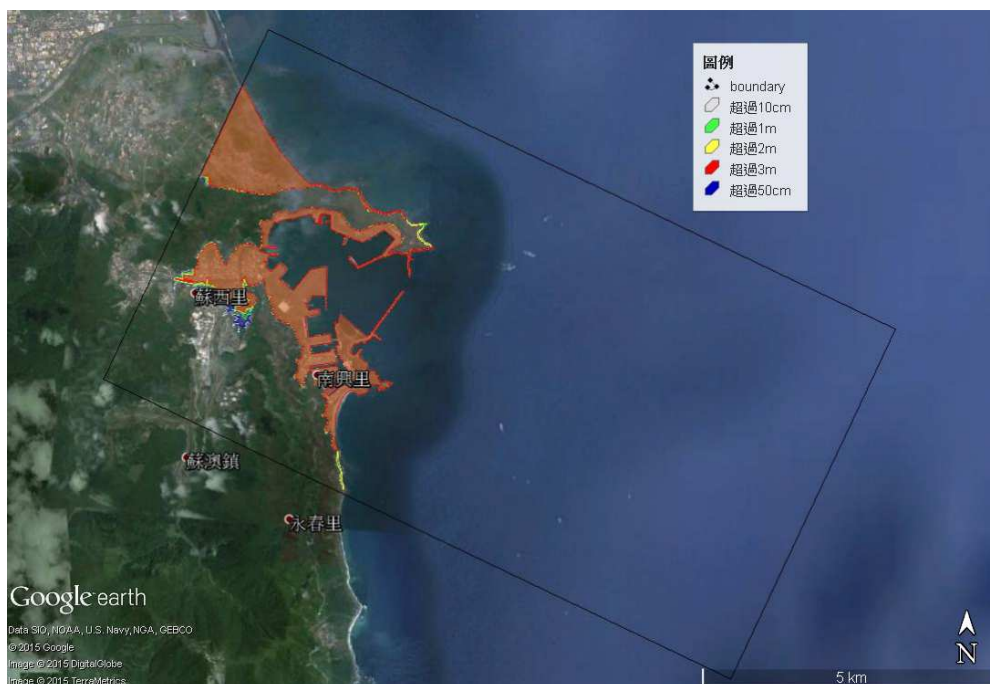


圖 5.44(g) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 10 公尺

圖 5.44 蘇澳港結合 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

5.4 極端氣候下之跨河橋梁通行安全評估

5.4.1 極端氣候概述與橋梁安全評估之重要性

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。颱風來臨時，常造成河川水位的暴漲，尤其在出海口附近又受到暴潮及長浪的影響，可能對跨河橋梁通行安全形成威脅。因此，本研究模擬 5 種入射波高分別在 5 種坡度地形、4 種初始水位以及 5 流量條件下的傳播情況，以出海口附近之水位模擬進行通行安全評估。

依據國內相關之橋梁設計規範，設計洪水位不可高於橋梁上構(一般係以大梁梁底下方 1.5~2.0m 淨高處作為設計洪水位)、甚至產生越流之情形，然而近年來於暴雨時期經常發生洪水量遠大於設計洪水量之 Q100 或 Q200，且部分橋梁位於土石堆積之河段，往往也因為土石堆積、河床抬升，使得梁下淨高縮減及通水斷面不足，而發生水位幾乎到達橋梁底或高於橋梁上構等災況。若洪水位高達大梁或橋面版，橋面之阻水將產生下射水流，加劇河床及墩基之沖刷；當水位持續升高，水流漫淹過橋面版，則下游側亦可能產生跌水而沖刷河床。此外，水流直接作用於大梁及橋面版，對橋體而言將產生壓力流之現象，則橋

梁上構受到拖曳力(drag force)及側向力(lateral force)等將驟增，致使橋梁穩定性降低，可能產生沉陷、變位、傾倒等災害。(林，2012)

颱風來臨時，常造成河川水位的暴漲，尤其在出海口附近又受到暴潮及長浪的影響，可能對跨河橋樑通行安全形成威脅。因此本研究透過 2 維垂直的水動力模式來評估橋樑附近的最大水位和距樑底淨空的距離來了解對跨河橋樑通行安全之可能影響，以供運輸單位作為警戒或封橋的參考。未來如能結合水利署所提供在跨河橋梁的水位與流量 24 小時預報資料，再搭配本中心在橋梁附近的海域暴潮及波浪預報資料，則可對跨河橋梁提供距樑底淨空值的短期預報。藉以評估橋梁附近的最大水位和距樑底淨高的距離來了解對跨河橋梁通行安全之可能影響，藉以提供橋梁安全性的參考。

5.4.2 垂直 2 維的單一坡度波流交互作用模擬

本文使用的 COBRAS (COrnell BReaking wave And Structure)流體模式以美國 Los Alamos 國家實驗室發展的二維不可壓縮流體的數值模式「RIPPLE」(Kothe 等人，1991)為基礎，經過 Lin 和 Liu 加以修改後的版本，為一 2 維垂直方向(2DV)的水動力模式，可用來計算波浪與結構物的交互作用 (Lin and Liu，1998)，以及波浪與孔隙介質的交互作用(Liu 等人，1999)。此模式程式碼以 FORTRAN 撰寫而成。

該模式主要求解 Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS)方程式，並結合非線性 $k-\varepsilon$ 紊流模式來求得紊流動能 k 及紊流消散率 ε 。模式特徵包括以流體體積法(Volume of Fluid，VOF)來描述流體在自由表面的變化。另外可按研究的需求在不同區域設定可變的網格解析。根據模式的輸出結果可得知模擬過程中的壓力、渦度、紊流黏滯力、動能、紊流消散、流速、自由表面的構成、質量守恆或和水漫(overtopping)的體積。在二維不可壓縮且黏性流動之牛頓流體假設條件下，其 RANS 控制方程式如下：

連續方程式：

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_i} = 0 \quad (5.4.1)$$

動量方程式：

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \langle p \rangle}{\partial x_i} + g_i + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \langle \tau_{ij} \rangle}{\partial x_j} \quad (5.4.2)$$

其中 i 和 $j = 1$ 或 2 ，分別代表水平方向和垂直方向。 u_i 代表第 i 個方向分量的流速。 ρ 和 p 各為密度和壓力。 g_i 表示第 i 個方向分量的重力加速度。 τ_{ij} 為黏滯應力。 $\langle \rangle$ 符號代表時間平均。另外：

$$\langle \tau_{ij} \rangle = 2\mu S_{ij} + \rho \langle u'_i u'_j \rangle \quad (5.4.3)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right) \quad (5.4.4)$$

其中 $\mu = \nu \rho$ 為動力黏滯係數，而 ν 為動能黏滯係數， S_{ij} 為剪應變率張量， u'_i 和 u'_j 各代表流速在 i 和 j 方向分量的瞬時擾動量， $\langle u'_i u'_j \rangle$ 為雷諾應力(Reynolds stress)。

另外 k - ε 紊流閉合模式的控制方程如下：

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} + \nu \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] - \langle u'_i u'_j \rangle \frac{\partial \langle u'_i \rangle}{\partial x_j} - \varepsilon \quad (5.4.5)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} + \nu \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + 2C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} \nu_t S_{ij} \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (5.4.6)$$

其中

$k = \frac{1}{2} \langle u'_i u'_i \rangle$ 為紊流動能 (turbulence kinetic energy)

$\varepsilon = \nu \langle \left(\frac{\partial u'_i}{\partial x_k} \right)^2 \rangle$ 為紊流消散率 (turbulence dissipation rate)

$\nu_t = C_d \frac{k^2}{\varepsilon}$ 為渦流黏度 (eddy viscosity)

$$C_d = \frac{2}{3} \left(\frac{1}{7.4 + S_{\max}} \right) \quad (5.4.7)$$

$$S_{\max} = \frac{\varepsilon}{k} \max \left(\left| \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_i} \right| \right) \quad (5.4.8)$$

另外根據 Rodi (1980) 的建議值，在此將 σ_k 、 σ_ε 、 $C_{1\varepsilon}$ 、 $C_{2\varepsilon}$ 四個經驗參數設定為 1.0、1.3、1.44 以及 1.92。

紊流模式根據渦流黏度的特性提供以下兩種型式來表示雷諾應力。

1. 當渦流黏度為線性且具等向性：

$$\langle u'_i u'_j \rangle = -2\nu_t S_{ij} + \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad (5.4.9)$$

2. 當渦流黏度為非等向性：

$$\begin{aligned} \langle u'_i u'_j \rangle = & \frac{2}{3} k \delta_{ij} - C_d \frac{k^2}{\varepsilon} \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right) - \frac{k^3}{\varepsilon^2} \left[C_1 \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_l} \frac{\partial \langle u_l \rangle}{\partial x_j} + \right. \right. \\ & \left. \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_l} \frac{\partial \langle u_l \rangle}{\partial x_i} - \frac{\partial \langle u_l \rangle}{\partial x_k} \frac{\partial \langle u_k \rangle}{\partial x_l} \delta_{ij} \right) + C_2 \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_k} \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_k} - \frac{1}{3} \frac{\partial \langle u_l \rangle}{\partial x_k} \frac{\partial \langle u_l \rangle}{\partial x_k} \delta_{ij} \right) + \\ & \left. C_3 \left(\frac{\partial \langle u_k \rangle}{\partial x_i} \frac{\partial \langle u_k \rangle}{\partial x_j} - \frac{1}{3} \frac{\partial \langle u_l \rangle}{\partial x_k} \frac{\partial \langle u_l \rangle}{\partial x_k} \delta_{ij} \right) \right] \end{aligned} \quad (5.4.10)$$

其中

δ_{ij} 為 Kronecker delta 函數

$$C_1 = \frac{1}{185.2 + D_{\max}^2}$$

$$C_2 = \frac{1}{58.5 + D_{\max}^2}$$

$$C_3 = \frac{1}{370.4 + D_{\max}^2}$$

$$D_{\max} = \frac{k}{\varepsilon} \max \left(\left| \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} \right| \right)$$

當 $C_1 = C_2 = C_3 = 0.0$ 時，可由非等向性簡化成等向性的形式。由於因為渦流黏滯性在線性及等向性的條件下，當流場出現較複雜的紊流時，可能無法正確表現非等向性渦流的物理特性。所以本研究使用非等向性的渦流黏度。

5.4.3 短距離模擬結果

為了解空間上的最大水位變化，在此從 440 個模擬取幾個例子來作探討。圖 5.45 為坡度 0.003，入射波高 4 m，流量-4 立方米每秒在 4 種不同初始水位的模擬結果中，16 個 X 座標點所對應的水位時序列最大值。該圖顯示流量為各點提供了約 1.4 米的水深。圖 5.46 為將最大值扣除各自的平均水位後，非零值的部分可視為由波浪造成水位影響。由圖可知每種初始水位條件皆呈現越往上坡，水位值皆呈現下降的趨勢。而隨著初始水位的增加，波浪往上坡方向的影響距離亦從初始水位 4.5 m 的 1600 m 增加到初始水位 9 m 的 3100 m。對每個座標點而言，只要該點在波浪影響距離之內，其水位值皆隨著初始水位增加而增加。故初始水位的提升能增加波浪所影響的水位值以及影響距離。

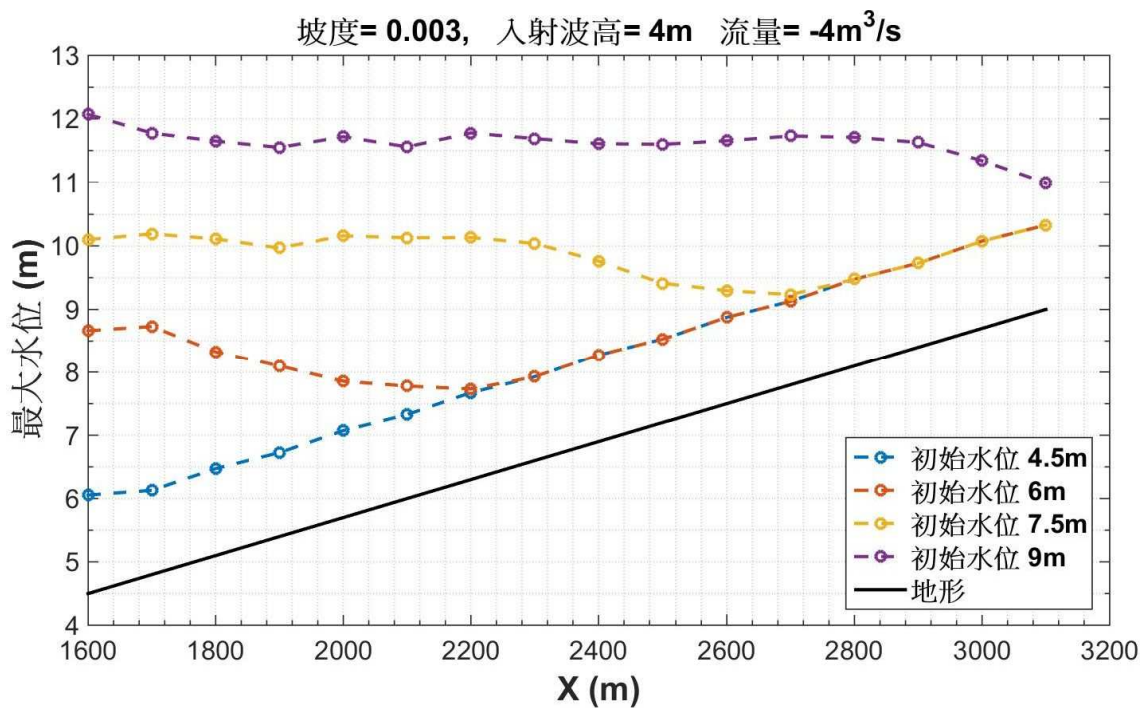


圖 5.45 坡度 0.003，入射波高 4 m，流量-4 立方米每秒在不同初始水位的 16 個定點水位時序列最大值

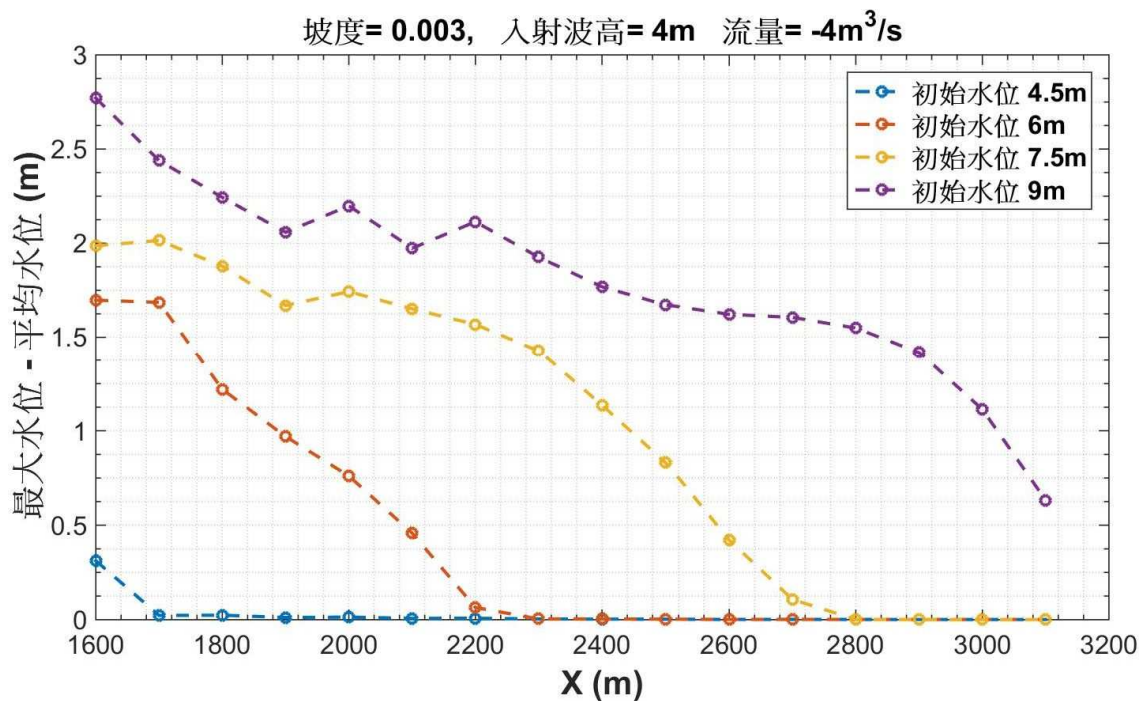


圖 5.46 坡度 0.003，入射波高 4 m，流量-4 立方米每秒在不同初始水位的 16 個定點最大水位減平均水位值

為了解不同入射波高的影響，在此從坡度 0.003，初始水位 7.5 m，流量-4 立方米每秒對 5 種入射波高的模擬結果中，取 16 個 X 座標點所對應的水位時序列最大值作比較。如圖 5.47 所示，在 X=2300 到 2600m 之間，入射波高 2 m 與 6 m 水位影響差距約在 0.5 到 0.7 m 之間，而在 X=1600 到 2200 m 區間的差別則不足 0.5 m，表示不同入射波高的影響可能僅在某些特定區間才有較大的差別性。圖 5.48 為將圖 5.47 的最大值扣除各自的平均水位後的波浪影響值，X 於 2800 m 之後皆為零值，表示在入射波高 6 m 以下的情況所造成的水位的影响距離僅在這之前。另外在 X=2200 到 2700 m 區間大致呈現水位隨入射波高增加而增加，但在 X=2200 到 2700 m 區間則趨勢較無規律性。

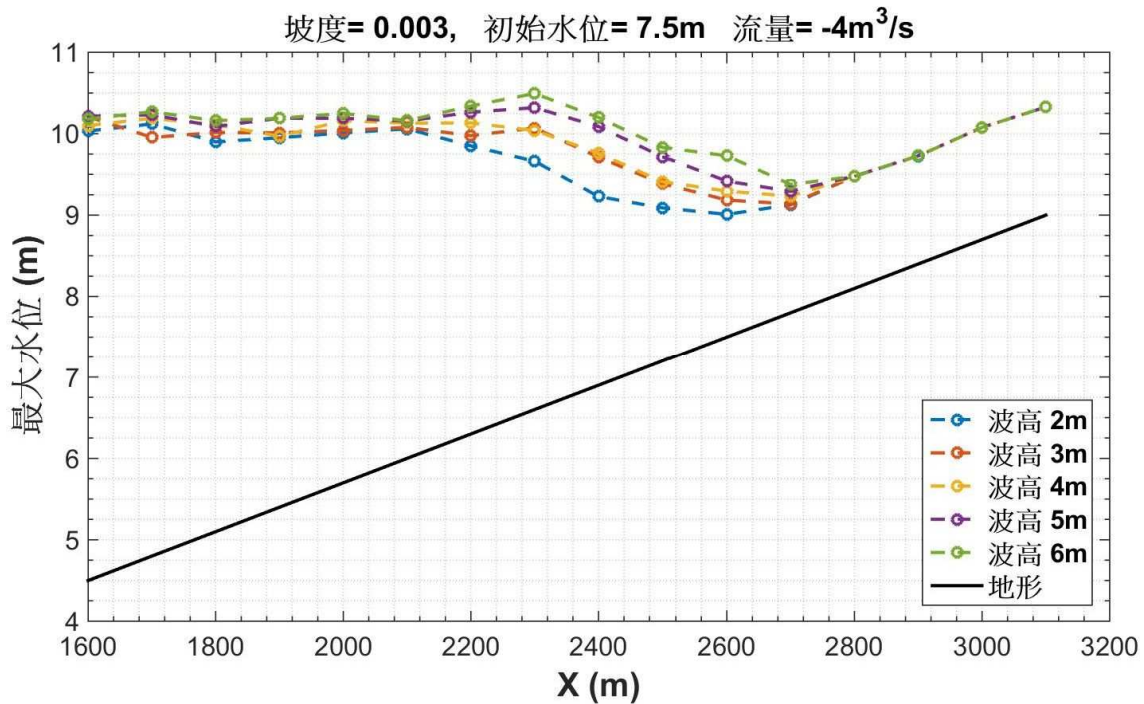


圖 5.47 坡度 0.003，初始水位 7.5 m，流量-4 立方米每秒在不同波高的 16 個定點水位時序列最大值

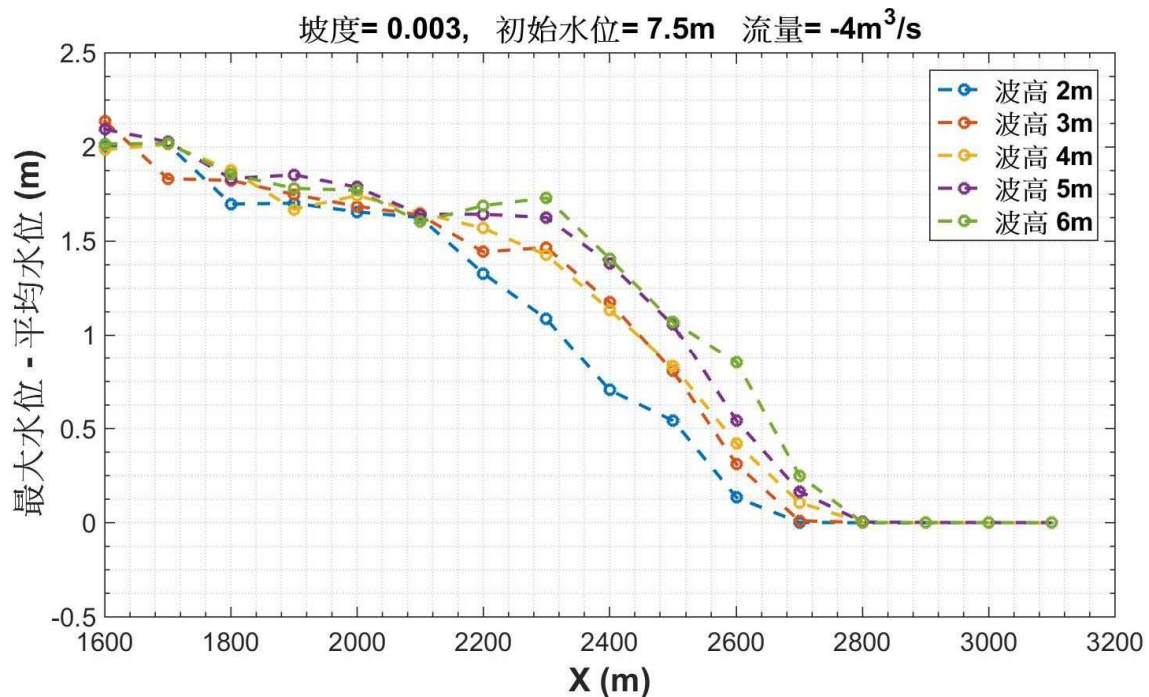


圖 5.48 坡度 0.003，入射波高 4 m，流量 -4 立方米每秒在不同初始水位的 16 個定點最大水位減平均水位值

本文從坡度 0.003，初始水位 7.5 m 且入射波高 4m 對 5 種流量的模擬結果中，取 16 個 X 座標點所對應的水位時序列最大值作比較，藉以了解流量帶來的可能影響。如圖 5.49 所示，除了 $X=1600\text{ m}$ 且流量 0 的情況之外，其他的值皆是流量越大，水位越高。圖 5.50 為將圖 5.49 的最大值扣除各自的平均水位後的波浪影響值，變化趨勢大致呈現當流量越大，水位受波浪的影響越大，且影響距離越長。圖 5.50 在 $X=1600\text{ m}$ 且無流量出現 2.5 米較大的水位值，該值可從圖 5.51 的水位時序列得知由入射波群的第一個波受地形影響而快速淺化所造成，但當波群傳播到 $X=1700\text{ m}$ 時，第一波因波高過大而破碎，其波高僅剩原來的一半。

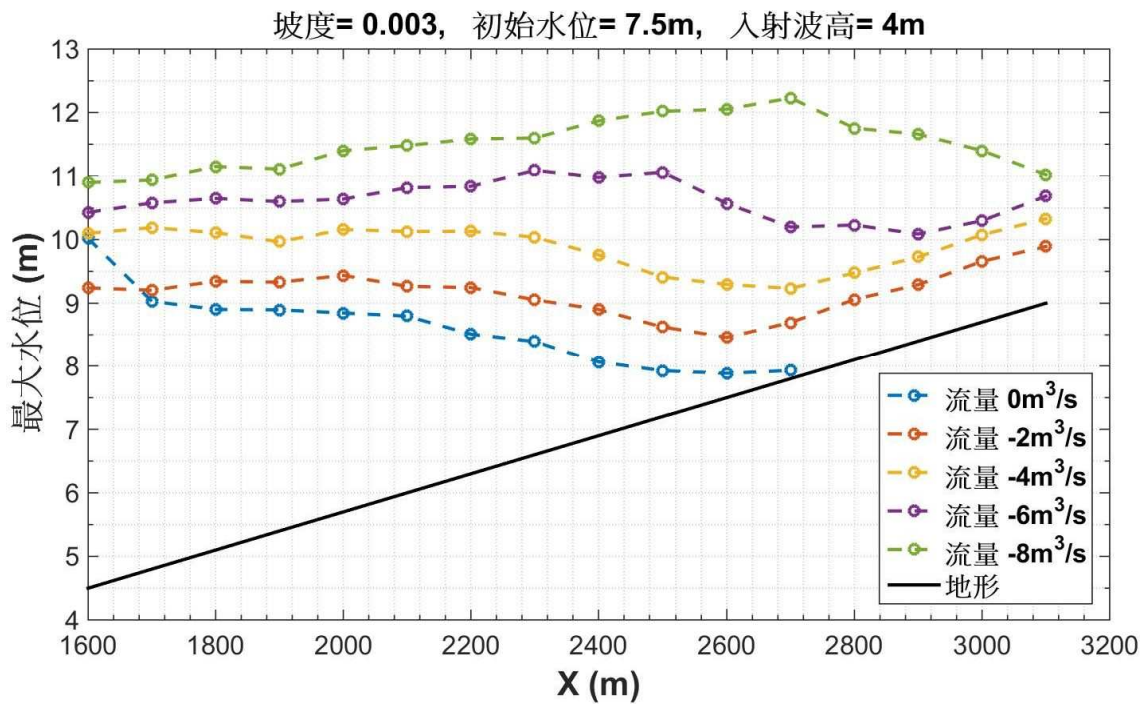


圖 5.49 坡度 0.003，初始水位 7.5 m，入射波高 4 m 在不同流量的 16 個定點水位時序列最大值

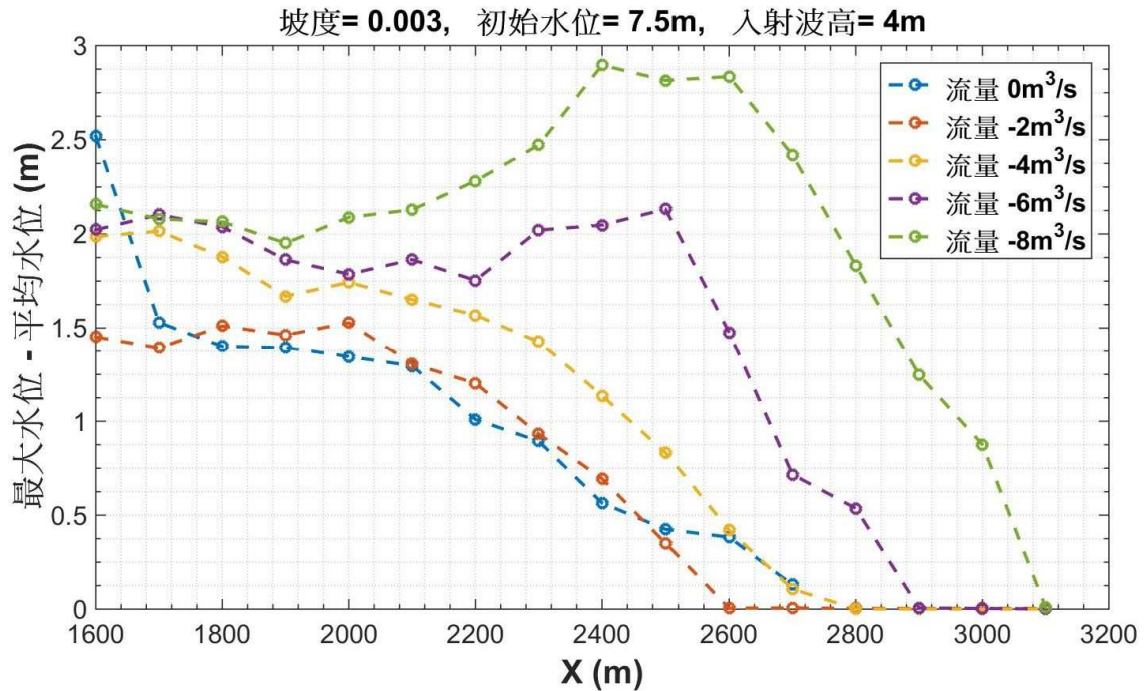


圖 5.50 坡度 0.003，初始水位 7.5 m，入射波高 4 m 在不同流量的 16 個定點最大水位減平均水位值

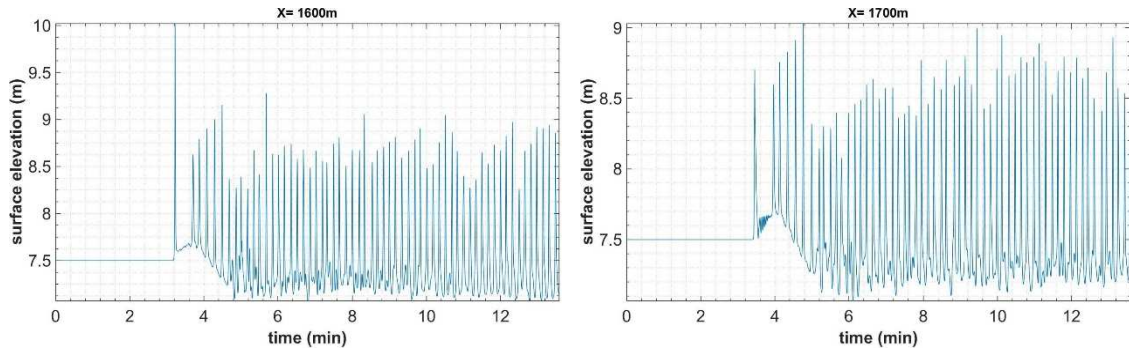


圖 5.51 坡度 0.003，初始水位 7.5 m，入射波高 4 m，無流量在 X=1600 m(左)和 1700 m(右)的水位時序列

在此以對 5 種坡度，4 種初始水位，5 種波高，以及 5 種流量在位置 $X=2000\text{m}$ 所造成的最大水位為例作探討。所有情境模擬在 $X=2000\text{m}$ 的最大水位表如表 5-5 和表 5-6。該表顯示當坡度為 0.002 且初始水位為 3m 時，絕大部分的情況即使入射波高不同，最大水位值也不會改變，代表在這些情況下不會受到波浪影響。同樣的情況也出現在坡度 0.003 且初始水位 4.5m 的所有情境。另外最大水位會隨條件設定的流量和初始水位增加而提升。但入射波高的增加，並非皆使最大水位增加，原因在於同一坡度下，因初始水位、流量以及入射波高的條件差異，讓入射波經快速淺化而使波高急速增加後破碎的空間區段也不同。在 440 個模擬中，將 16 個 X 座標水位時序列扣除平均水位後得到波浪造成的水位差，再從 16 點中取出最大值的發生位置列於表 5-7 和表 5-8。在間隔 100m 取 16 點的粗造空間解析度之下，仍可看出受波浪影響較大的水位變化區段有些差異性，這些差異性受到不同情境下的快速淺化區所影響。

**表 5-5 坡度 0.001 到 0.003 的短距離情境模擬在座標 X=2000 m 的最大
水位(單位：m)**

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		1.5	2	3	4	3	4	5	6	4.5	6	7.5	9
2	0	0.00	2.02	3.30	4.71	0.00	4.14	5.70	7.47	0.00	6.41	8.83	11.16
	-2	3.13	3.09	3.70	4.92	4.75	4.88	6.81	7.97	6.66	6.91	9.26	10.98
	-4	3.68	3.65	4.05	5.16	5.22	5.27	7.58	8.61	7.07	7.58	10.01	11.21
	-6	4.12	4.07	4.42	5.25	5.58	5.62	8.46	8.97	7.30	8.75	10.49	11.57
	-8	4.52	4.45	4.78	5.58	5.93	5.94	9.05	9.53	7.53	9.93	11.26	12.12
3	0		2.05	3.31	4.85	0.00	4.15	5.77	7.34	0.00	6.31	9.14	11.20
	-2		3.12	3.74	5.07	4.75	4.89	6.66	8.01	6.66	7.13	9.23	11.30
	-4		3.67	4.11	5.21	5.22	5.29	6.40	8.42	7.07	7.65	10.04	11.73
	-6		4.10	4.50	5.38	5.58	5.64	6.72	8.98	7.30	9.03	10.60	11.99
	-8		4.48	4.84	5.61	5.93	5.94	6.93	9.58	7.53	9.87	11.27	12.48
4	0			3.36	5.02	0.00	4.18	5.62	7.10	0.00	6.32	8.85	11.32
	-2			3.85	5.11	4.75	5.01	6.93	7.64	6.65	7.20	9.44	11.29
	-4			4.19	5.23	5.22	5.37	6.54	8.43	7.07	7.86	10.16	11.72
	-6			4.57	5.38	5.58	5.67	7.24	8.99	7.30	9.24	10.64	12.14
	-8			4.90	5.64	5.94	5.95	6.99	9.48	7.53	10.00	11.40	12.48
5	0				4.86		4.25	5.65	7.25	0.00	6.36	8.99	11.55
	-2				5.20		5.11	6.61	7.77	6.65	7.39	9.52	11.32
	-4				5.39		5.51	6.67	8.60	7.07	8.23	10.19	11.69
	-6				5.53		5.72	6.87	9.06	7.30	9.42	10.57	12.12
	-8				5.73		6.02	6.96	9.72	7.53	10.21	11.30	12.51
6	0						4.34	5.73	7.58	0.00	6.39	8.93	10.96
	-2						5.21	6.64	7.72	6.65	7.86	9.43	10.79
	-4						5.56	6.81	8.27	7.07	8.24	10.25	11.68
	-6						5.82	7.13	9.00	7.31	9.52	10.73	12.03
	-8						6.07	7.29	9.71	7.52	10.29	11.37	12.43

附註：斜線表示無模擬該條件，而 0 值代表未出現水位。

**表 5-6 坡度 0.004 到 0.005 的短距離情境模擬在座標 X=2000 m 的最大
水位**

入射波高(m)	流量(m³/s)	坡度 0.004				坡度 0.005			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		6	8	10	12	7.5	10	12.5	15
2	0	0.00	8.56	11.56	14.14	0.00	10.68	14.50	16.76
	-2	8.54	9.02	11.80	13.97	10.45	11.32	14.32	16.92
	-4	8.89	9.67	12.37	14.18	10.62	11.84	14.81	17.21
	-6	9.06	10.48	12.95	14.50	10.91	12.13	15.20	17.20
	-8	9.27	11.97	13.35	14.67	11.15	13.61	15.73	17.62
3	0	0.00	8.68	12.11	14.87	0.00	10.93	14.83	18.03
	-2	8.55	9.01	12.02	14.56	10.46	11.38	14.41	17.47
	-4	8.89	9.72	12.75	14.91	10.62	11.81	15.12	17.74
	-6	9.06	11.02	13.04	15.32	10.91	12.78	15.39	18.29
	-8	9.27	12.24	13.52	15.22	11.15	13.90	15.84	18.21
4	0	0.00	8.72	12.22	14.94	0.00	10.76	15.44	18.54
	-2	8.55	9.49	11.78	14.79	10.44	11.13	14.35	17.98
	-4	8.89	9.96	12.55	14.83	10.62	11.49	15.31	18.02
	-6	9.06	11.25	13.13	15.02	10.91	12.89	15.45	18.43
	-8	9.27	12.13	13.59	15.40	11.15	14.01	16.12	18.68
5	0	0.00	8.56	12.39	14.67	0.00	11.02	15.13	18.22
	-2	8.55	9.45	12.08	14.39	10.45	11.54	14.49	18.49
	-4	8.89	9.85	12.59	14.61	10.62	11.82	14.89	18.43
	-6	9.07	11.41	13.16	14.96	10.91	12.90	15.44	18.32
	-8	9.27	12.23	13.58	15.30	11.15	13.79	16.02	18.61
6	0	0.00	8.64	12.05	15.09	0.00	11.11	15.62	18.51
	-2	8.55	9.44	12.06	14.52	10.44	11.55	14.32	18.10
	-4	8.89	9.81	12.60	14.71	10.62	12.15	15.09	17.98
	-6	9.06	10.80	13.05	15.10	10.91	13.02	15.48	18.18
	-8	9.27	12.40	13.79	15.37	11.15	13.97	16.00	18.35

(單位：m)

附註：0 值代表未出現水位。

**表 5-7 坡度 0.001 到 0.003 的短距離情境模擬在 16 個 X 座標水位時序
列扣除平均水位後，發生最大差值的 X 座標**

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		1.5	2	3	4	3	4	5	6	4.5	6	7.5	9
2	0	1600	1600	1600	1600	NaN	1600	1600	1700	1600	1600	1700	1700
	-2	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1800	1600	1600	1600	2200
	-4	1600	1700	1600	1600	1600	1600	2100	1900	1600	1600	1700	2100
	-6	1600	1600	1600	1600	1600	1600	2300	2900	1600	1800	2400	3000
	-8	1600	1600	1900	1600	1600	1600	2200	2900	1600	1800	2400	3000
3	0		1600	1600	1600	NaN	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
	-2		1600	1600	1700	1600	1600	1800	1600	1600	1600	1600	1900
	-4		1600	1600	1600	1600	1600	1600	2700	1600	1600	1600	1900
	-6		1600	1900	1700	1600	1600	1600	2700	1600	1900	2400	1700
	-8		1900	2000	1800	1600	1600	1600	2900	2700	1900	2400	3000
4	0			1600	1600	NaN	1600	1600	1800	1600	1600	1600	1600
	-2			1600	1600	1600	1600	2000	1600	1600	1600	2000	1800
	-4			1600	1600	1600	1600	1600	2000	1600	1600	1700	1600
	-6			1600	1600	1600	1600	1700	2700	1600	1900	2500	1600
	-8			1700	1600	1600	1600	1600	2500	2700	2000	2400	3000
5	0				1600		1600	1600	1700	1600	1600	1600	1900
	-2				1700		1600	1700	1600	1600	1600	1600	1700
	-4				1600		1600	1600	2000	1600	1600	1600	1700
	-6				1600		1800	1600	3000	1600	2000	2500	1600
	-8				1600		1600	1600	3100	2700	2000	2600	3000
6	0						1600	1600	1600	1800	1600	1600	1600
	-2						1600	1700	1600	1600	1700	1700	1800
	-4						1600	1600	2300	1600	1600	1700	1600
	-6						1600	1600	2600	1600	2000	2500	1800
	-8						1600	1600	2900	2700	2000	2600	3000

(單位：m)

附註：斜線表示無模擬該條件，NaN 代表所有位置受波浪影響小於 1 公分。

**表 5-8 坡度 0.001 到 0.003 的短距離情境模擬在 16 個 X 座標水位時序
列扣除平均水位後，發生最大差值的 X 座標**

入射波高(m)	流量(m³/s)	坡度 0.004				坡度 0.005			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		6	8	10	12	7.5	10	12.5	15
2	0	1600	1600	1600	2100	1600	1600	1700	2300
	-2	1800	1600	1800	2300	1600	1600	1900	2400
	-4	1600	1600	1800	2300	1600	1600	1900	2400
	-6	1600	1600	1800	2100	2000	1600	1900	2300
	-8	1600	2000	2500	2900	3100	2000	2500	2900
3	0	1600	1600	1700	1700	1800	1700	1800	1900
	-2	1600	1700	1600	1600	1600	1600	1600	2200
	-4	1600	1600	1600	2000	1600	1600	1700	2100
	-6	1600	1900	1600	1700	1600	1600	1700	2000
	-8	1600	2000	2500	1600	1600	2000	1700	3000
4	0	1600	1600	1600	1800	1800	1600	1600	1600
	-2	1600	1600	1700	2000	1600	1700	1700	1600
	-4	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
	-6	1600	1600	1600	1800	1600	1600	1600	1600
	-8	1600	2100	2600	1600	1600	2000	1600	1800
5	0	1600	1600	1700	1600	1800	1600	1900	1800
	-2	1600	1600	1600	1900	1600	1600	1600	2000
	-4	1600	1700	1600	1700	1600	1600	1600	1900
	-6	1600	2000	1700	1700	1600	1600	1600	1800
	-8	1600	2000	2500	1600	1600	2000	2500	1700
6	0	1600	1600	1600	2100	1600	1600	1800	1700
	-2	1600	1600	1600	1900	1600	1600	1600	2000
	-4	1600	1800	1600	1800	1600	1700	1600	1800
	-6	1600	1600	1600	1700	1600	1700	1600	1800
	-8	1600	2000	2600	1600	1600	2100	1600	1700

(單位：m)

5.4.4 長距離模擬結果

為了解空間上的最大水位變化，在此從 180 個模擬取幾個例子來作探討。圖 5.52 為坡度 0.003，入射波高 4 m，流量-4 立方米每秒在 4 種不同初始水位的模擬結果中，16 個 X 座標點所對應的水位時序列最大值。該圖顯示流量為各點提供了約 1.3 米的水深。將最大值扣除各自的平均水位後如圖 5.53 所示，非零的部分可視為由波浪造成水位影響。與短距離模擬的趨勢相同，圖 5.53 可知每種初始水位條件皆呈現越往上坡，水位值皆呈現下降的趨勢。而隨著初始水位的增加，波浪往上坡方向的影響距離亦從初始水位 13.5 m 的 4700 m 增加到初始水位 18 m 的 6000 m。與短距離模擬的情況相同，初始水位的提升能增加波浪造成的水位值以及波浪影響距離。

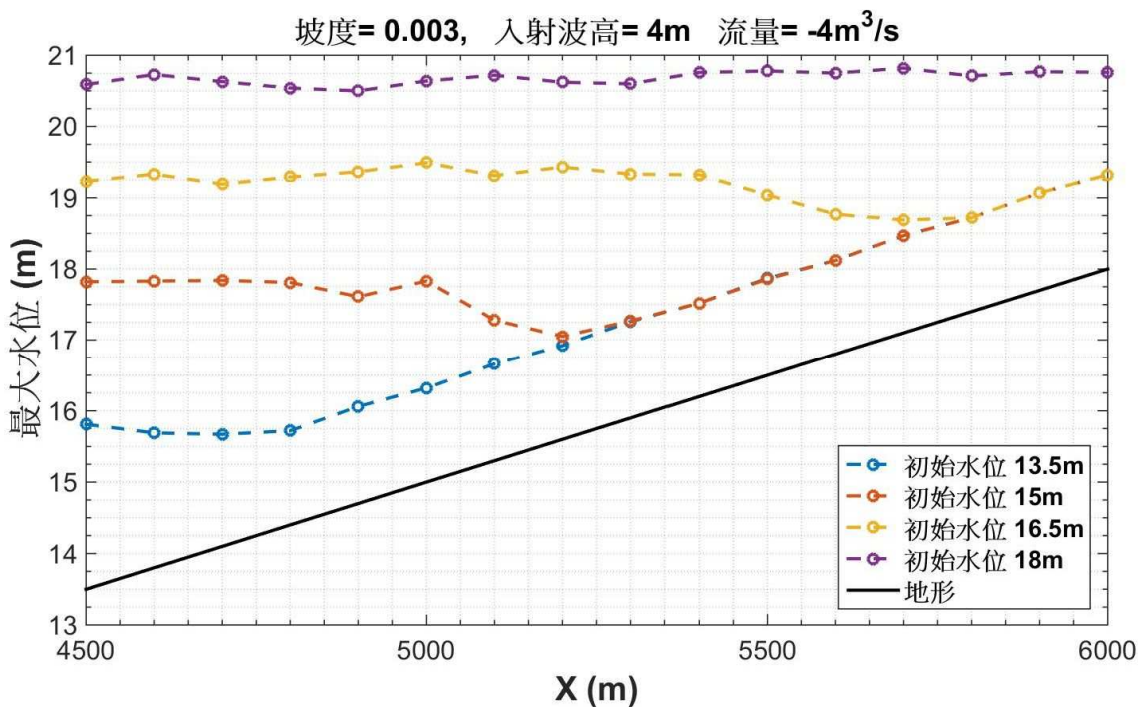


圖 5.52 長距離模擬在坡度 0.003，入射波高 4 m，流量-4 立方米每秒條件下，不同初始水位的 16 個定點水位最大值

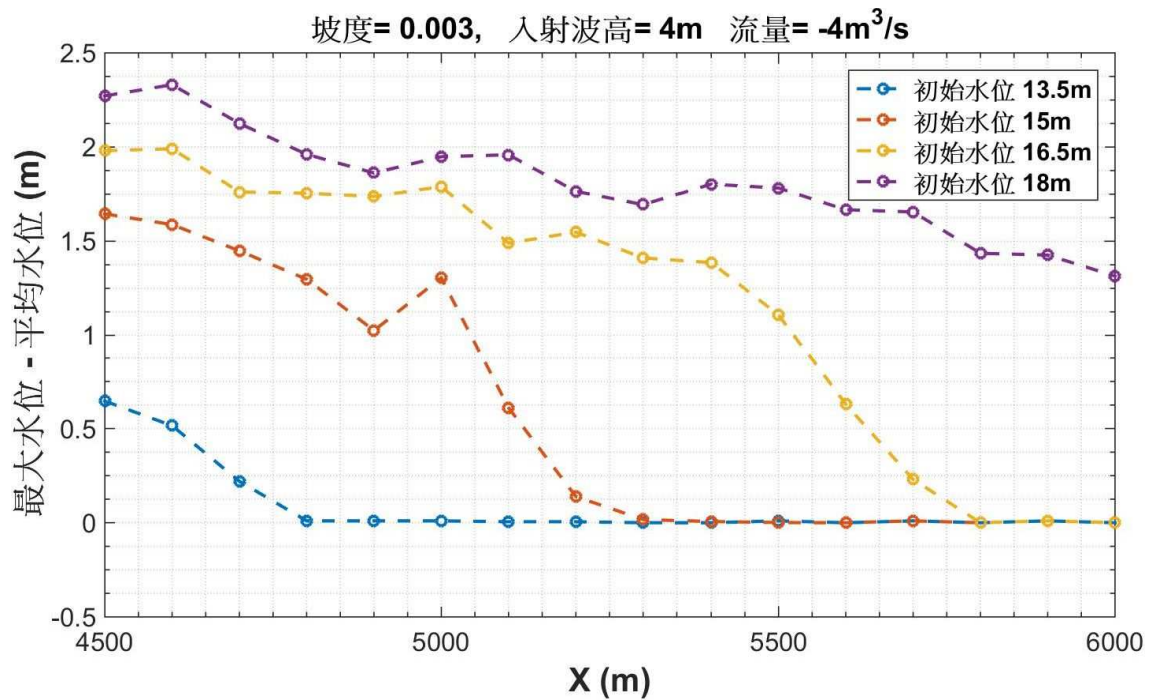


圖 5.53 長距離模擬在坡度 0.003，入射波高 4 m，流量-4 立方米每秒條件下，不同初始水位的 16 個定點水位最大值減平均水位值

為了解不同入射波高的影響，在此以坡度 0.003，初始水位 16.5 m，流量- 4 立方米每秒對 3 種入射波高的模擬結果為例。取 16 個 X 座標點所對應的水位時序列最大值作比較。而圖 5.55 為將圖 5.54 的最大值扣除各自的平均水位後的波浪影響值，差異較大的區間主要在 X=5300 到 5600m 之間，入射波高 2 m 與 4 m 水位影響差距約在 0.3 到 0.7 m 之間，其他區間的差異則不足 0.3 m，表示不同入射波高的影響可能僅在特定區間才有較大的差別性，X 大致在 5800 m 之後不受波浪影響。

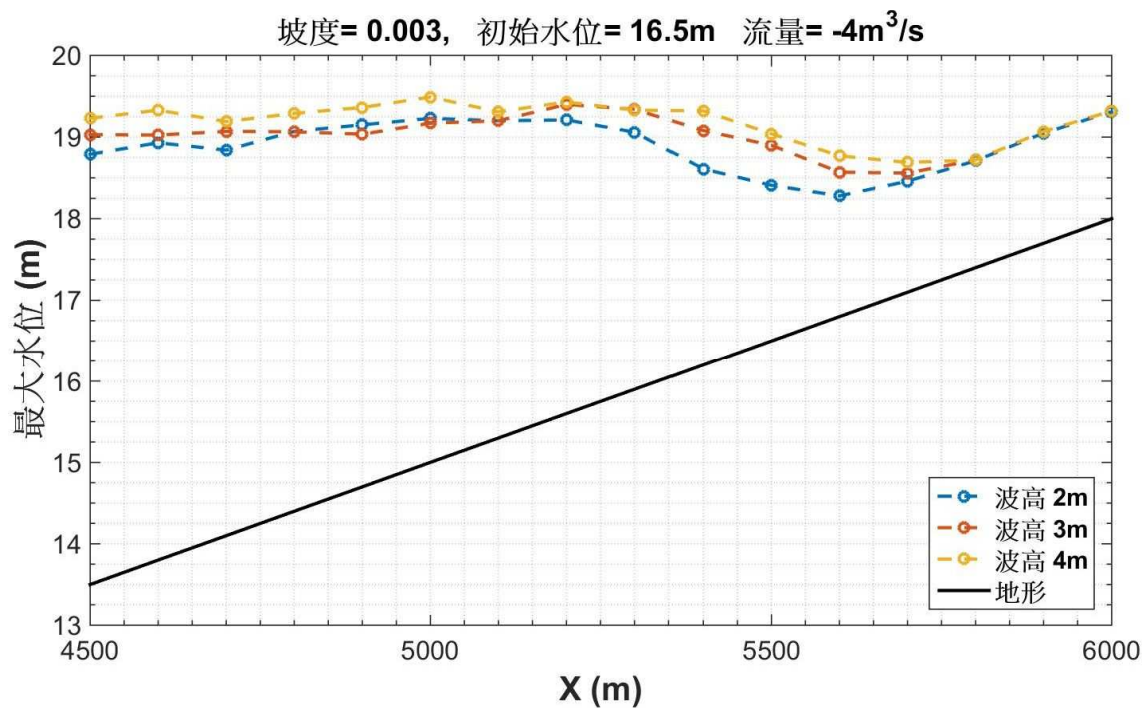


圖 5.54 長距離模擬在坡度 0.003，初始水位 16.5 m，流量-4 立方米每秒條件下，不同波高的 16 個定點水位最大值

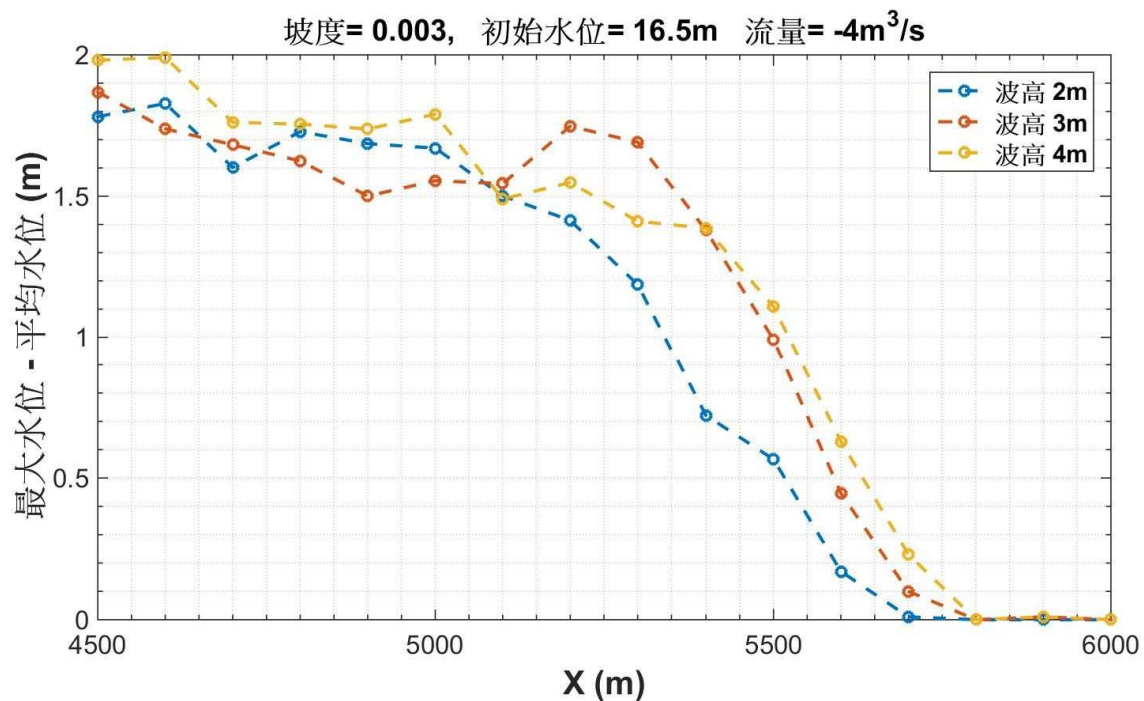


圖 5.55 長距離模擬在坡度 0.003，初始水位 16.5 m，流量-4 立方米每秒條件下，不同波高的 16 個定點水位最大值減平均水位值

本文從坡度 0.003，初始水位 16.5 m 且入射波高 4m 對 5 種流量的模擬結果中，取 16 個 X 座標點所對應的水位時序列最大值作比較，藉以了解流量帶來的可能影響。如圖 5.56 所示，大致的趨勢皆為流量越大，水位越高。圖 5.57 為將圖 5.56 的最大值扣除各自的平均水位後的波浪影響值，該圖顯示在有流量的情況下，呈現流量越大，水位受波浪的影響越大，且影響距離越長。而在 X=4500 到 5200 m 區間的無流量和流量-2 平方公尺的情況相比，無流量的情況較高，其理由和短距離模擬的情形相同，皆為波浪快速淺化的區域不同所致。

在此以對 3 種坡度，4 種初始水位，3 種波高，以及 5 種流量在位置 X=5000 m 所造成的最大水位為例作探討。所有情境模擬在 X=5000 m 的最大水位表如表 5-9。該表顯示最大水位會隨條件設定的流量和初始水位增加而提升。但入射波高的增加，並非皆使最大水位增加，原因在於同一坡度下，因初始水位、流量以及入射波高的條件差異，讓入射波經快速淺化而使波高急速增加後破碎的空間區段也不同。在 180 個模擬中，將 16 個 X 座標水位時序列扣除平均水位後得到波浪造成的水位差，再從 16 點中取出最大值的發生位置列於表 5-10。在間隔 100m 取 16 點的粗造空間解析度之下，仍可看出受波浪影響較大的水位變化區段有些差異性，該差異性受到不同條件下的快速淺化區所影響。

由於對跨河橋梁的通行安全而言，水位距梁底的距離較為重要，之後可利用梁底距河床高度扣除最大水深值取得水位距梁底淨空以作為封橋標準的參考。

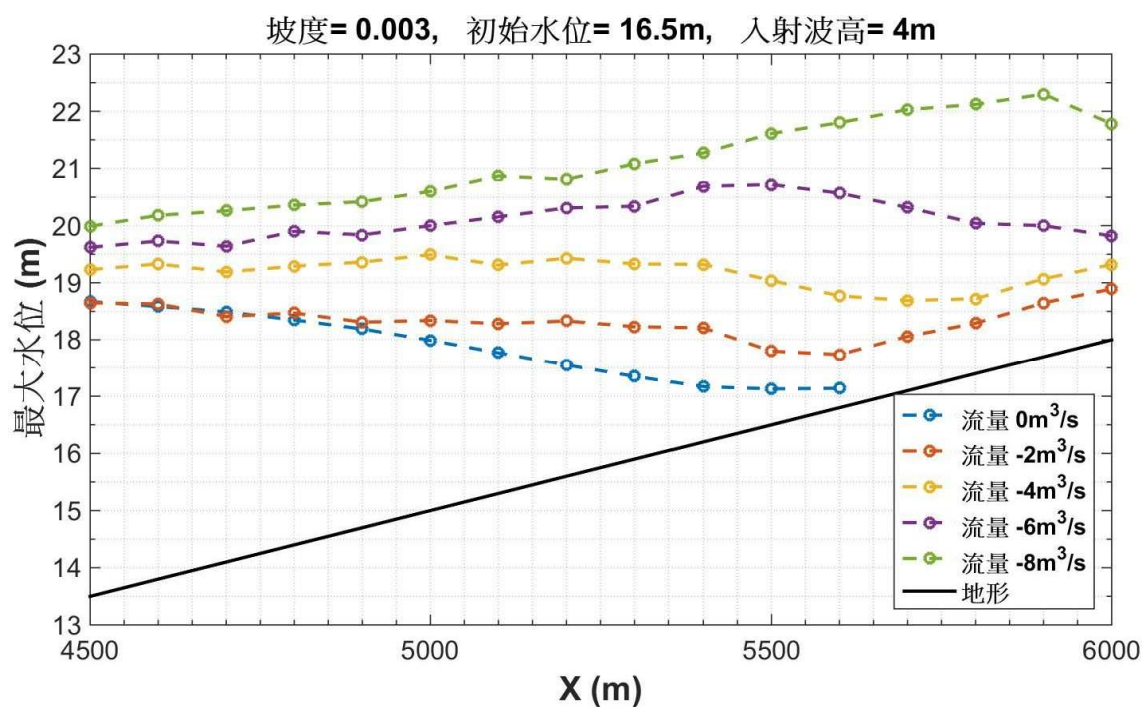


圖 5.56 長距離模擬在坡度 0.003，初始水位 16.5 m，入射波高 4 m 條件下，不同流量的 16 個定點水位最大值

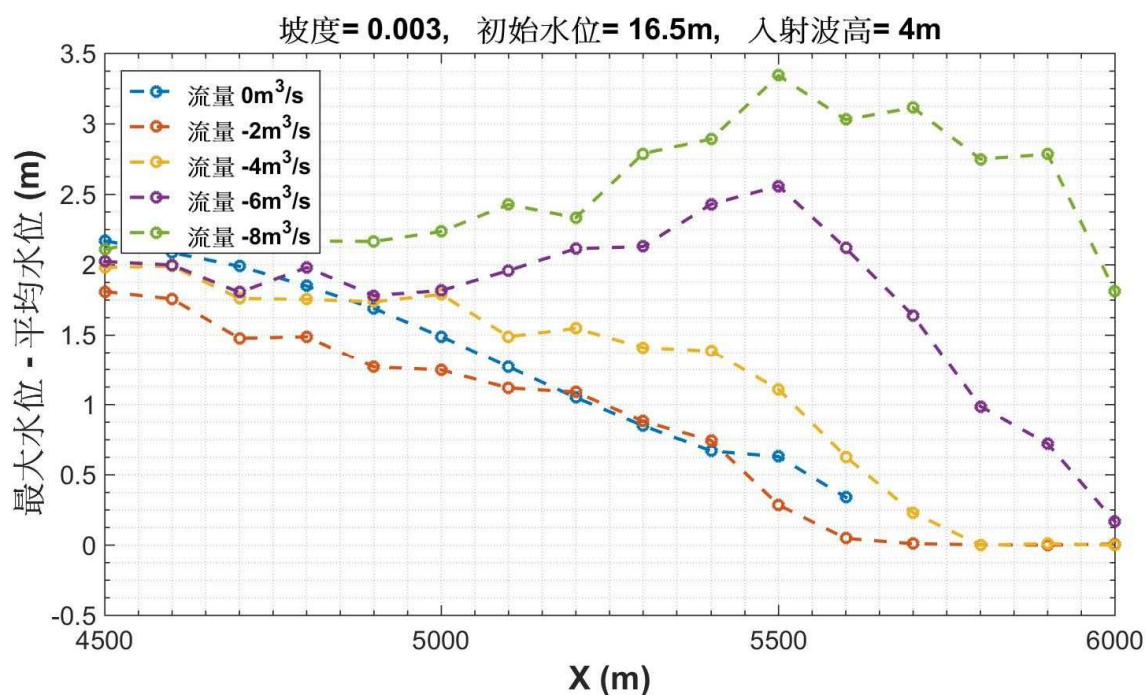


圖 5.57 長距離模擬在坡度 0.003，初始水位 7.5 m，入射波高 4 m 條件下，不同流量的 16 個定點水位最大值減平均水位值

表 5-9 長距離情境模擬在座標 X=5000 m 的最大水位

入射波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		4.5	5	6	7	9	10	11	12	13.5	15	16.5	18
2	0	0.00	0.00	6.40	8.02	0.00	10.23	11.81	13.46	0.00	15.26	17.77	19.84
	-2	6.14	6.21	7.10	8.64	10.95	11.22	12.82	13.76	15.89	16.17	18.28	20.00
	-4	6.72	6.79	7.36	8.92	11.45	12.07	14.02	14.43	16.31	16.90	19.23	20.24
	-6	7.20	7.30	7.83	8.81	12.63	14.44	14.65	14.88	16.67	19.11	19.82	20.81
	-8	7.57	7.70	9.41	10.21	15.00	15.05	15.07	15.80	19.28	19.91	20.27	21.22
3	0	0.00	0.00	6.29	7.58	0.00	10.30	11.81	13.79	0.00	15.47	17.83	20.10
	-2	6.14	6.20	6.81	8.15	10.95	11.20	12.82	13.79	15.89	16.07	18.54	20.04
	-4	6.72	6.78	7.24	8.85	11.47	12.52	13.99	14.69	16.32	17.16	19.17	20.56
	-6	7.20	7.27	7.83	9.48	12.47	14.38	14.88	15.32	16.68	19.20	20.13	20.99
	-8	7.55	7.62	8.22	10.88	14.73	15.40	15.60	15.88	18.28	20.10	20.58	21.40
4	0	0.00	0.00	6.27	7.55	0.00	10.36	11.83	13.36	0.00	15.58	17.99	20.11
	-2	6.14	6.22	6.84	8.11	10.95	11.48	12.90	13.94	15.89	16.33	18.37	20.14
	-4	6.73	6.82	7.27	8.55	11.46	12.27	14.22	14.76	16.32	17.83	19.37	20.64
	-6	7.22	7.30	7.87	9.00	12.71	14.71	14.98	15.42	16.69	19.19	20.00	21.16
	-8	7.57	7.66	9.41	11.15	14.97	15.19	15.70	16.17	19.05	20.03	20.60	21.70

(單位：m)

附註：0 值代表未出現水位。

表 5-10 長距離情境模擬在 16 個 X 座標水位時序列扣除平均水位後，
發生最大差值的 X 座標

入射 波高 (m)	流 量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		1.5	2	3	4	3	4	5	6	4.5	6	7.5	9
2	0	NaN	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4600	4700
	-2	4500	4500	4500	5000	4500	4500	4600	4600	4500	4500	4500	4900
	-4	4500	4500	4500	4900	4500	4500	5000	5400	4500	4500	4600	4800
	-6	4500	4500	4600	4500	4500	4800	5200	4600	4500	5100	5300	4500
	-8	4600	4500	4500	4700	4700	4800	4800	5400	4700	5100	5300	5600
3	0	NaN	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4600	4500
	-2	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4700	4500	4500	4500	4500	4500
	-4	4500	4500	4500	4600	4500	4700	5200	4500	4500	4500	4500	4500
	-6	4500	4500	4500	4800	4500	4900	5400	5800	4500	5000	5500	5800
	-8	4500	4500	4500	4700	4700	5100	5400	5600	4500	5100	5700	5700
4	0	NaN	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500
	-2	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4700	4700	4500	4500	4500	4500
	-4	4500	4500	4500	4500	4500	4500	5300	4600	4500	4500	4500	4600
	-6	4500	4500	4500	4500	4500	5000	5300	5800	4500	5000	5500	4500
	-8	4500	4500	4500	5200	4500	4700	5200	5200	4700	5100	5500	5700

(單位：m)

附註： NaN 代表所有位置受波浪影響小於 1 公分。

5.4.5 跨河橋梁預警系統

本文所建立的跨河橋梁預警系統介面如圖 5.58，由上而下介面所需輸入的參數共有 7 項包括：

1. 梁底距河床高度：梁底到乾河床的垂直距離。
2. 橋梁至波浪觀測點的距離：提供 1600 到 3100 公尺以及 4500 到 6000 公尺兩種區間範圍可選擇，區間間距皆為 100 公尺。
3. 橋梁到波浪觀測點的平均坡度：當第 2 項的區間為 1600 到 3100 公尺時，坡度可輸入範圍為 0.001 到 0.005。區間為 4500 到 6000 公尺時，坡度可輸入範圍為 0.001 到 0.003。
4. 波浪觀測點的示性波高：當第 2 項的區間為 1600 到 3100 公尺時，波高可輸入範圍為 2 到 6 公尺。區間為 4500 到 6000 公尺時，坡度可輸入範圍為 2 到 4 公尺。
5. 橋梁附近流量：流速對深度的積分，可輸入範圍為 0 到 8 立方公尺每秒。
6. 橋梁位置的河床高程。
7. 潮位加暴潮位。



The screenshot displays the '跨河橋梁預警系統' (Cross-River Bridge Warning System) interface. It features a list of input parameters on the left and their corresponding values on the right. The parameters are: 梁底距河床高度 (6 公尺), 橋梁至波浪觀測點的距離 (2000 公尺), 橋梁到波浪觀測點的平均坡度 (0.002, with a range of 0.001 ~ 0.005), 波浪觀測點的示性波高 (3 公尺, with a range of 2 ~ 6), 橋梁附近流量 (0 立方公尺每秒, with a range of 0 ~ 8), 橋梁位置的河床高程 (2 公尺), and 潮位加暴潮位 (4.20 公尺). A '確定' (Confirm) button is located below the inputs. At the bottom, the system outputs three calculated values: 橋梁位置的平均水深 (2.20 公尺), 橋梁位置的最大水深 (3.54 公尺), and 水位距梁底淨空 (2.46 公尺).

參數名稱	輸入值	單位/範圍
梁底距河床高度	6	公尺
橋梁至波浪觀測點的距離	2000	公尺
橋梁到波浪觀測點的平均坡度	0.002	(0.001 ~ 0.005)
波浪觀測點的示性波高	3	公尺 (2 ~ 6)
橋梁附近流量	0	立方公尺每秒 (0 ~ 8)
橋梁位置的河床高程	2	公尺
潮位加暴潮位	4.20	公尺

確定

計算結果	輸出值	單位
橋梁位置的平均水深	2.20	公尺
橋梁位置的最大水深	3.54	公尺
水位距梁底淨空	2.46	公尺

圖 5.58 跨河橋梁預警系統的使用介面

當上述的 6 個參數輸入後，可由系統介面輸出 3 項數值如下：

1. 橋梁位置的平均水深。
2. 橋梁位置的最大水深。
3. 水位距梁底淨空。

其中第 1 項為水位高程扣除地形高程的值，根據 440 個情境模擬計算的最大水深(如表 5-11 和表 5-12)進行線性內插而得。而第 2 項為梁底距河床高度扣除橋梁最大水深的結果。在此可利用第 2 項的水位距梁底淨空橋梁作為是否影響橋梁通行安全的考量。例如參考民國 100 年的交通部公路總局封橋封路標準作業程序，在非重點監控的橋樑部分，將警戒水位設定為距梁底淨空 1.5 公尺，而封橋水位設定為距梁底淨空 1.0 公尺。而重點監控的橋樑雖需考量上游雨量以及現場狀況來制定警戒和封橋水位，第 2 項的值仍可作為一個參考。

在此以苗栗的後龍觀海大橋作為本程式的應用範例。圖 5.38 為利用內政部解析度 5 公尺的 DEM 陸域資料以及海科中心解析度 500 公尺的海域資料作內插所得到的後龍溪口附近的地形高程。從該地形中取出橋樑沿河道方向的地形截面(截面位置為圖 38 紅線)，切線地形如圖 5.59。在圖 5.59 的座標 $X=0$ 處為觀海大橋所在地，並選擇 $X=-2000$ 處為波浪觀測點(即圖 5.59 紅色切線左端)，故橋梁至波浪觀測點的距離為 2000 公尺(第 2 項輸入值)。將圖 5.60 的 X 座標 -2 到 0 公里之間的平均坡度 0.003 作為橋梁到波浪觀測點的平均坡度(第 3 項輸入值)。此切線在 $X=0$ 處較接近觀海大橋的公路局編號第 11 號梁柱位置，其梁底距河床高度約 4.5 公尺(第 1 項輸入值)。假設當時波浪觀測點的示性波高為 3 公尺(第 4 項輸入值)，橋梁附近流量為 4 立方米每秒(第 5 項輸入值)且橋梁位置之河床高程為 2 公尺(第 6 項輸入值)，最後可由表 8 的數值經輸入坡度、波高、流量和水深內插後得到橋梁位置之最大水深為 3.07 公尺，亦即水位距梁底淨空為 1.43 公尺如圖 5.61 所示。其水位距梁底淨空小於 1.5 公尺，已達公路總局封橋封路標準的非重點監控橋梁的警戒水位。

表 5-11 坡度 0.001 到 0.003 的情境模擬在座標 X=2000 m 的最大水深

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		1.5	2	3	4	3	4	5	6	4.5	6	7.5	9
2	0	0.00	0.12	1.40	2.81	0.00	0.34	1.90	3.67	0.00	0.71	3.13	5.46
	-2	1.24	1.19	1.80	3.02	0.95	1.08	3.01	4.17	0.96	1.21	3.56	5.28
	-4	1.78	1.75	2.15	3.26	1.42	1.47	3.78	4.81	1.37	1.88	4.31	5.51
	-6	2.22	2.17	2.52	3.35	1.78	1.82	4.66	5.17	1.60	3.05	4.80	5.87
	-8	2.62	2.55	2.88	3.68	2.13	2.14	5.25	5.73	1.83	4.23	5.56	6.42
3	0		0.15	1.41	2.95	0.00	0.35	1.97	3.54	0.00	0.61	3.44	5.50
	-2		1.22	1.84	3.17	0.95	1.09	2.86	4.21	0.96	1.43	3.53	5.60
	-4		1.77	2.21	3.31	1.42	1.49	2.60	4.62	1.37	1.95	4.34	6.03
	-6		2.20	2.60	3.48	1.78	1.84	2.92	5.18	1.60	3.33	4.90	6.29
	-8		2.58	2.94	3.71	2.13	2.14	3.13	5.78	1.83	4.17	5.57	6.78
4	0			1.46	3.12	0.00	0.38	1.82	3.30	0.00	0.62	3.15	5.62
	-2			1.95	3.21	0.95	1.21	3.13	3.84	0.95	1.50	3.74	5.59
	-4			2.29	3.33	1.42	1.57	2.74	4.63	1.37	2.16	4.46	6.02
	-6			2.67	3.48	1.78	1.87	3.44	5.19	1.60	3.54	4.94	6.44
	-8			3.00	3.74	2.14	2.15	3.19	5.68	1.83	4.30	5.70	6.78
5	0				2.96		0.45	1.85	3.45	0.00	0.66	3.29	5.85
	-2				3.30		1.31	2.81	3.97	0.95	1.69	3.82	5.62
	-4				3.49		1.71	2.87	4.80	1.37	2.54	4.49	5.99
	-6				3.63		1.92	3.07	5.26	1.60	3.72	4.87	6.42
	-8				3.83		2.22	3.16	5.92	1.83	4.51	5.60	6.81
6	0						0.54	1.93	3.78	0.00	0.69	3.23	5.26
	-2						1.41	2.84	3.92	0.95	2.16	3.73	5.09
	-4						1.76	3.01	4.47	1.37	2.54	4.55	5.98
	-6						2.02	3.33	5.20	1.61	3.82	5.03	6.33
	-8						2.27	3.49	5.91	1.83	4.59	5.67	6.73

(單位：m)

表 5-12 坡度 0.004 到 0.005 的情境模擬在座標 X=2000 m 的最大水深

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.004				坡度 0.005			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		6	8	10	12	7.5	10	12.5	15
2	0	0.00	0.96	3.96	6.54	0.00	1.18	5.00	7.26
	-2	0.94	1.42	4.20	6.37	0.95	1.82	4.82	7.42
	-4	1.29	2.07	4.77	6.58	1.12	2.34	5.31	7.71
	-6	1.46	2.88	5.35	6.90	1.42	2.63	5.70	7.70
	-8	1.67	4.37	5.75	7.07	1.65	4.11	6.23	8.12
3	0	0.00	1.08	4.51	7.27	0.00	1.43	5.33	8.53
	-2	0.95	1.41	4.42	6.96	0.96	1.88	4.91	7.97
	-4	1.29	2.12	5.15	7.31	1.12	2.31	5.62	8.24
	-6	1.46	3.42	5.44	7.72	1.41	3.28	5.89	8.79
	-8	1.67	4.64	5.92	7.62	1.65	4.40	6.34	8.71
4	0	0.00	1.12	4.62	7.34	0.00	1.26	5.94	9.04
	-2	0.95	1.89	4.18	7.19	0.95	1.63	4.85	8.48
	-4	1.29	2.36	4.95	7.23	1.12	1.99	5.81	8.52
	-6	1.46	3.65	5.53	7.42	1.42	3.39	5.95	8.93
	-8	1.67	4.53	5.99	7.80	1.65	4.51	6.62	9.18
5	0	0.00	0.96	4.79	7.07	0.00	1.52	5.63	8.72
	-2	0.95	1.85	4.48	6.79	0.95	2.04	4.99	8.99
	-4	1.29	2.25	4.99	7.01	1.12	2.32	5.39	8.93
	-6	1.47	3.81	5.56	7.36	1.41	3.40	5.94	8.82
	-8	1.67	4.63	5.98	7.70	1.65	4.29	6.52	9.11
6	0	0.00	1.04	4.45	7.49	0.00	1.61	6.12	9.01
	-2	0.95	1.84	4.46	6.92	0.94	2.05	4.82	8.60
	-4	1.29	2.21	5.00	7.11	1.12	2.65	5.59	8.48
	-6	1.46	3.20	5.45	7.50	1.41	3.52	5.98	8.68
	-8	1.67	4.80	6.19	7.77	1.65	4.47	6.50	8.85

(單位：m)

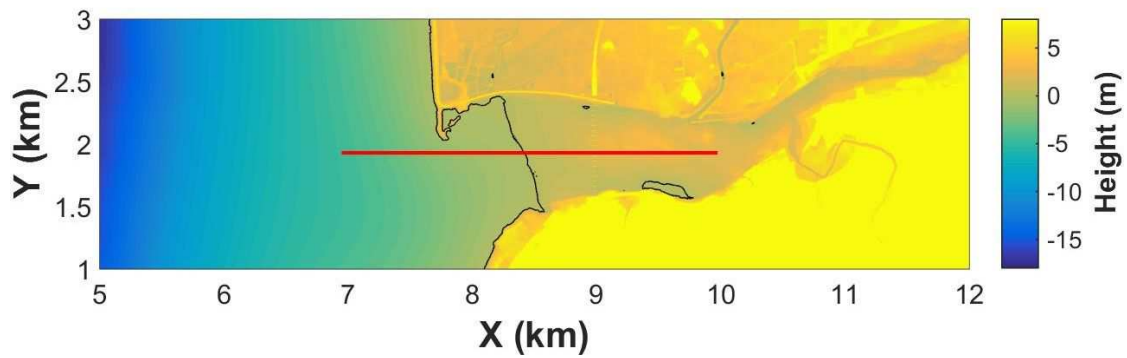


圖 5.59 後龍溪口附近的地形高程(紅線為地形截面的切線)

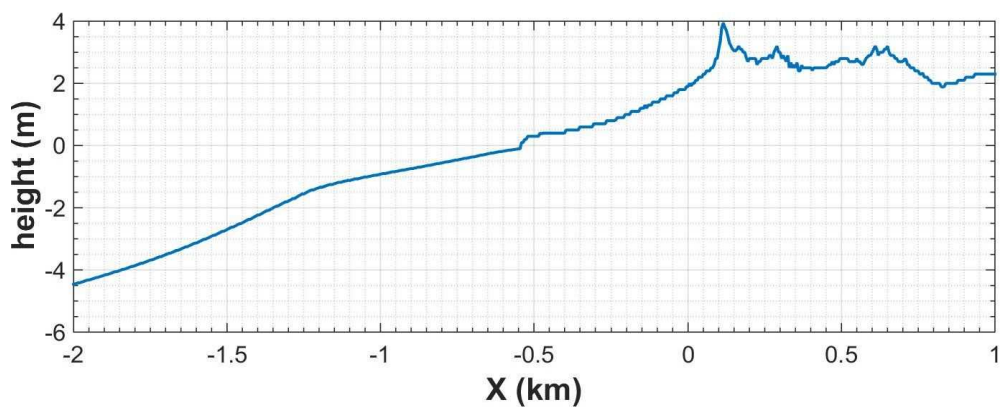


圖 5.60 取自圖 5.59 紅色切線的地形高程

跨河橋梁預警系統

梁底距河床高度	4.5	公尺
橋梁至波浪觀測點的距離	2000	公尺
橋梁到波浪觀測點的平均坡度	0.003	(0.001 ~ 0.005)
波浪觀測點的示性波高	3	公尺 (2 ~ 6)
橋梁附近流量	4	立方公尺每秒 (0 ~ 8)
橋梁位置的河床高程	2	公尺
潮位加暴潮位	3.00	公尺
確定		
橋梁位置的平均水深=	1.98	公尺
橋梁位置的最大水深=	3.07	公尺
水位距梁底淨空=	1.43	公尺 (警戒水位)

圖 5.61 後龍溪觀海大橋計算範例

第六章 結論與建議

本計畫研究目的在確保波浪、水位及海流等海象預報模擬系統(TaiCOMS)作業化之運作維護，與整體作業評估，並經由港灣環境資訊網對外展示，期間針對臺灣周圍海域建置中尺度水動力模擬子系統，以及依據澎湖海域海象特性規劃與建置合適的波浪、水位及流場等海象模擬子系統。海嘯預報系統以數值溢淹模擬並整合地理資訊系統之圖資以展現溢淹模擬結果，分別評估臺北、基隆、花蓮、蘇澳等主要商港。並使用 2 維垂直的水動力模式進行波浪在一個極端的暴潮位與河川產生波流交互作用的情況下之情境模擬，來評估橋梁附近的最大水位和距梁底淨高的距離來了解對跨河橋梁通行安全之可能影響。

本計畫達成效益包括確保海象預報及海嘯模擬系統正常運作，改善海象模擬預報品質與更多樣模擬成果有助於港口營運及海上航運安全維護，並在颱風期間或緊急海灘、海岸災害時可提供防救災必要資訊。此外，本計畫臺灣周圍海域及澎湖海域波浪、水位及流場等海象模擬資料可應用於本島與離島藍色公路，提供船舶即時海象資訊，保障船舶交通航行安全。本年度計畫整體研究成果之結論與建議如下：

6.1 結論

1. 在海象預報模擬系統維運與改善方面：本計畫除了進行完善海象模擬作業化系統維運外，在 TaiCOMS 架構下完成的具體成果包括：(1)整合中尺度臺灣周圍海域水動力模組及各主要商港小尺度近岸水動力模組建構水動力模擬作業化系統，(2)風浪模擬作業化系統改善，如整合遠域風浪模組及近域風浪模組建立新的作業化模擬流程、以非穩態模擬方式取代原穩態模擬設定，達到完善風浪模擬系統之目的；(3)針對基隆港及臺北港小尺度水動力模組進行改善研究，增進水位及流場模擬之正確性。

2. 中尺度臺灣周圍海域水動力模式校驗：本年度利用港研中心及中央氣象局潮位觀測資料校驗 2015 年天文潮模擬結果，建立以均方根誤差(RMS)及相關係數 R 為評估模式精確性之指標。以 2015 年侵臺中度颱風蘇迪勒為例進行颱風暴潮水位模擬與校驗，証明模式水位模擬成果具有可信度，適用於臺灣周圍海域水位模擬預測。
3. 澎湖海域水動力模式建置：本計畫完成澎湖海域水動力模式建置，並以馬公潮位觀測資料及澎湖資料浮標海流觀測資料驗證數值模擬結果。同時整合中尺度臺灣周圍海域水動力模組及澎湖海域水動力模組建構成澎湖海域水動力模擬子系統，適用於澎湖海域水位及流場作業化模擬。
4. 澎湖海域近岸風浪模式建置：本計畫利用 Windows 作業系統建構出含蓋遠域風浪模組、近域風浪模組及近岸風浪模組三層巢狀網格之澎湖海域近岸風浪模擬子系統，不僅可提供解析度較高的風浪模擬波浪場外，對於澎湖各近岸港口亦可提供可信度較高的風浪模擬預測值供相關單位參考。
5. 海嘯預報系統研究結合視覺化之防災溢淹潛勢圖並整合地理資訊系統之圖資一起展現，以建立圖資之視窗化操作介面，於去年度本研究已完成臺北、基隆、花蓮、蘇澳、高雄、安平、布袋及臺中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；並且考量 DSM 與 DEM 數值地形資料溢淹範圍；故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。
6. 使用 2 維垂直的水動力模式(COBRAS)進行波浪在一個極端的暴潮位與河川產生波流交互作用的情況下之情境模擬，來評估橋梁附近的最大水位和距梁底淨高的距離來了解對跨河橋梁通行安全之可能影響。

6.2 建議

1. 本計畫雖已完成水動力模擬作業化系統之初步建置，各港區小尺度水動力模組將因邊界條件改變造成水位及流場模擬出現差異，建議需要進一步評估。此外，系統每日作業化模擬之穩定性及完善性建議仍應持續追蹤。
2. 本計畫已建構出澎湖海域三層巢狀網格風浪模擬系統，相關架構及作業流程建議可推廣至臺灣周圍近岸海域(含港區)，提供相關單位較高解析度之風浪模擬資訊，將有助於維護藍色公路航行安全。
3. 本計畫以2維垂直的水動力模式來評估橋樑附近的最大水位和距樑底淨空的距離來了解對跨河橋樑通行安全之可能影響，以供運輸單位作為警戒或封橋的參考，未來如能結合水利署或國家災害防救中心所提供在跨河橋梁的水位與流量 24 小時預報資料，再搭配本所在橋梁附近的港灣地區暴潮及波浪預報資料，則可對跨河橋梁提供距樑底淨空值的短期預報。
4. 颱風來臨造成颱風暴潮與異常波浪，海岸公路又受暴潮及長波衝擊，可能對海岸公路通行安全或遊憩區災害形成威脅，未來可針對海岸地區的公路與遊憩區進行進一步的研究，蒐集發掘海岸公路或遊憩區中異常波浪容易致災之區段資訊，分析鄰近之海岸異常波浪的特性，以建立異常波浪容易致災之區段，據以評估其對海岸公路通行安全之可能影響。

參考文獻

1. 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。
2. 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。
3. 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。
4. 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。
5. 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。
6. 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。
7. 邱永芳、蘇青和、李俊穎、謝佳紘等，2016，"港灣海象模擬技術及作業系統之研究(1/2)" 交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告。MOTC-IOT-104-H3DA001b。
8. 邱永芳、蘇青和、李俊穎、謝佳紘等，2017，"港灣海象模擬技術及作業系統之研究(2/2)" 交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告。MOTC-IOT-105-H3DA001b。
9. 陳冠宇、陳陽益、邱永芳、蘇青和等，2012，"提升海岸及港灣海嘯模擬技術與淹水潛勢分析(1/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，MOTC-IOT- 100- H3DB005c。
10. 陳冠宇、陳陽益、邱永芳、蘇青和等，2013，"提升海岸及港灣海嘯模擬技術與淹水潛勢分析(2/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，MOTC-IOT- 101- H3DB005c。
11. 陳冠宇、陳陽益、邱永芳、蘇青和等，2014，"海嘯對港區及跨河橋梁之影響風險評估研究(1/2)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，MOTC-IOT- 102- H3DB001b。
12. 陳冠宇、陳陽益、邱永芳、蘇青和等，2015，"海嘯對港區及跨河橋梁之影響風

- 險評估研究(2/2)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，MOTC-IOT-103-H3DB001b。
13. 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。
 14. 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。
 15. 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。
 16. 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。
 17. 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。
 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. 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。
 21. 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。
 22. 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。
 23. 李昭興、許明光、鄭文彬、蕭士俊、林欽隆、郭鎧紋、陳致宏，2006，「我國東北角海嘯警報系統建立之初始研究」，中央氣象局研究報告。
 24. 「後龍溪治理規劃檢討報告」，2006，經濟部水利署規劃試驗所。
 25. 陳陽益、陳冠宇、陳文山、蘇青和、單誠基，2007，「臺灣沿岸海嘯影響範圍與淹水潛勢分析(1/4)」，交通部運輸研究所。
 26. 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。
 27. 交通部，2009，公路橋梁設計規範。

28. 交通部，2011，公路總局封橋封路標準作業程序。
29. 陳冠宇、陳陽益、邱永芳、蘇青和、單誠基，2011，「臺灣沿岸海嘯影響範圍與淹水潛勢分析(4/4)」，交通部運輸研究所。
30. 林呈，2012，「橋梁水力災害學」，科技圖書出版。
31. 柯永彥、邱俊翔、蔡煜青、陳正興，2012，「受沖刷橋梁耐洪能力評估方法」，國家地震工程研究中心報告(NCREE-12-020)。
32. 陳冠宇、陳陽益、邱永芳、蘇青和、單誠基、李俊穎，2012，「提昇海岸及港灣海嘯模擬技術之研究(1/4)」，交通部運輸研究所。
33. 陳冠宇、陳陽益，2012，東北海岸海嘯溢淹潛勢圖製作之研究，經濟部水利署合作研究計畫期末報告。
34. 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。
35. 陳冠宇、陳陽益、邱永芳、蘇青和、單誠基、李俊穎，2013，提昇海岸及港灣海嘯模擬技術之研究(2/4)，交通部運輸研究所。
36. 陳冠宇，2013，「海嘯預警與溢淹潛勢圖數值模擬之回顧與探討」，海洋工程學刊，第 13 卷，第 1 期，第 69-91 頁。
37. 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。
38. 「後龍河流域河川情勢調查(2/2)」，2014，經濟部水利署第二河川局。
39. 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，第 161-176 頁。
40. 劉正琪、李兆芳、李俊穎、陳明宗等，2016，「澎湖海域風浪模擬系統建置」，第 38 海洋工程研討會論文集。
41. 劉俊志、陳冠宇、邱永芳、蘇青和，2016，「極端氣候下之跨河橋梁通行安全評估」，第 38 海洋工程研討會論文集。
42. 全球地震矩網頁 Global CMT <http://www.globalcmt.org/>.
43. 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/>
44. 中央氣象局 <http://www.cwb.gov.tw/>.
45. 即時地震張量監測系統 Real-Time Moment Tensor Monitoring System <http://rmt.earth.sinica.edu.tw/>.
46. 美國 NGDC 資料庫 <http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/hazards.shtml>.
47. 美國地調所 USGS 資料庫 <http://www.usgs.gov/>.
48. 美國地調所 USGS 國家地震訊息中心 NEIC 資料庫 <http://earthquake.usgs.gov/regional/neic/>.

49. 台灣港務股份有限公司/高雄港務分公司 <http://www.khb.gov.tw/>.
50. 台灣港務股份有限公司/台中港務分公司 <http://www.tchb.gov.tw/ch/Index.aspx>.
51. Applied Modelling and Computation Group, Fluidity Manual, Version 4.1.11, Imperial College London.
52. Booij, N., Haagsma, J.G., Holthuijsen, L.H., Kieftenburg, A. T. M. M., Ris, R. C., van der Westhuysen, A. J. and Zijlema, M., (2004), "SWAN Cycle III version 40.41 USER MANUAL", Delft University of Technology.
53. Chen, G. Y. and C. C. Liu (2009), "Evaluating the Location of Tsunami Sensors: Methodology and Application to the Northeast Coast of Taiwan", Terr. Atmos. Ocean. Sci., 20(4), pp.563-571, doi: 10.3319/TAO.2008.08.04.01(T).
54. Chen, G. Y., C. C. Liu and C. H. Lin (2011), "Probabilistic Forecast of Tsunami Inundation (PFTI) and Earthquake-induced Tsunami Inundation Probability (ETIP) – Algorithm and Application to the Southwest Coast of Taiwan", Tsunami Simulation for Impact Assessment, pp.74-83.
55. Chen, G. Y., C. H. Lin and C. C. Liu (2012), "Quick Evaluation of Run-up Height and Inundation Area for Early Warning of Tsunami", Journal of Earthquake and Tsunami, 6(1), 1250005, pp. 1-23.
56. Chen, G. Y., Y. F. Chiu, J. H. Lin, C. C. Lin, Y. W. Chang and C. J. Lien (2014), "Combining Tsunami Hazard and Vulnerability on the Assessment of Tsunami Inundation Probability in Taiwan", Journal of Earthquake and Tsunami, 8(3), 1440003 DOI: 10.1142/S179343111440003X.
57. Chen G. Y., C. C. Liu, and C. C. Yao, (2015), A Forecast System for Offshore Water Surface Elevation With Inundation Map Integrated for Tsunami Early Warning, IEEE Journal of Oceanic Engineering, 40(1), 37-47, doi: 10.1109/JOE.2013.2295948.
58. Chock, G., Robertson, I., Kriebel, D., Francis, M., and Nistor, I. (2013) "Bridge Performance. Tohoku, Japan, Earthquake and Tsunami of 2011", American Society of Civil Engineers, pp. 163-178.
59. COBRAS user's manual version 1.01(2002).
60. Fritz, H. M., J. V. Hillaire, E. Molière, Y. Wei and F. Mohammed (2012), "Twin tsunamis triggered by the 12 January 2010 Haiti earthquake", Journal of Pure Applied Geophysics, pp. 1-12, doi:10.1007/s00024-012- 0479-3
61. Garcia, M. and Parker, G. (1991) "Entrainment of bed sediment into suspension", Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers, 117(4), 414-435.
62. Gusiakov, V. K. (2005), "Tsunami generation potential of different tsunamigenic

- regions in the Pacific”, *Marine Geology*, 215, pp.3-9.
63. Gutenberg, B. and C. F. Richter (1944), “Frequency of earthquake in California”, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 34, pp.185-188.
 64. Hanks, C. T. and H. Kanamori (1979), “A Moment Magnitude Scale”, *Journal of Geophysical Research*, 84(85), pp.2348-2350.
 65. Harlow, F. H. and Welch, J. E., 1965, “Numerical calculation of time-dependent viscous incompressible flow of fluid with a free surface”, *Phys. Fluids*, Vol. 8, pp. 2182-2189, 1965.
 66. Hirt, C. W., Nichols, B. D. and Romero, N. C., “SOLA-a numerical solution algorithm for transient fluid flows”, *Los Alamos Scientific Laboratory*, LA-582, pp. 1-50, 1975.
 67. Kirby, S., E. Geist, William H. K. Lee, David Scholl and Richard Blakely (2005), “Tsunami Source Characterization for Western Pacific Subduction Zones: A Preliminary Report”, *USGS Tsunami Subduction Source Working Group*, pp.21.
 68. Kothe, D.b., Mjolsness, R.C., Torrey, M.D.,(1991). *RIPPLE: a new model for incompressible flows with free surface*. Rep. LA-12007-MS, Los Alamos National Laboratory.
 69. Lee, T.L., and D.S. Jeng, (2002), “Application of artificial neural networks in tide forecasting”, *Ocean Engineering*, Vol. 29, pp. 1003-1022.
 70. Liu, P. L.-F., S. Monserrat, M. Marcos, and A. B. Rabinovich, (2003), “Coupling between two inlets: Observation and modeling”, *J. Geophys. Res.*, 108(C3), 3069.
 71. 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.
 72. 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.
 73. X. Wang and Liu, P. L.-F., (2007): “Cornell Multigrid Coupled Tsunami model (COMCOT) User Manual”, *Cornell University*.
 74. 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 2016 年度侵臺颱風警報資料

2016 年中央氣象局發布颱風警報計有 5 個，其中 4 個(尼伯特、莫蘭蒂、馬勒卡、梅姬)發布海上及陸上颱風警報，1 個(艾利)僅發布海上颱風警報；尼伯特及莫蘭蒂近臺強度為強烈颱風如表 1。中央氣象局颱風警報發布概況表、颱風路徑圖、及接近臺灣時之颱風衛星圖如圖 1a~圖 5b。

表 1 2016 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)	近臺近中心最大風速(m/s)	七級風暴風半徑(km)	十級風暴風半徑(km)	警報發布報數
201601	尼伯特	NEPARTAK	4	07/06~07/09	強烈	905	58	200	80	25
201614	莫蘭蒂	MERANTI	7	09/12~09/15	強烈	900	60	220	80	21
201616	馬勒卡	MALAKAS	--	09/15~09/18	中度	940	45	180	60	20
201617	梅姬	MEGI	3	09/25~09/28	中度	940	45	250	100	23
201619	艾利	AERE	--	10/05~10/06	輕度	998	18	120	--	10

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	尼伯特 (NEPARTAK)
編號	201601
生成地點	關島南方海面形成
侵(近)臺日期	2016 年 07 月 08 日
發布時間	海上 2016-07-06 14:30 陸上 2016-07-06 20:30
解除時間	陸上 2016-07-09 14:30 海上 2016-07-09 14:30
發布報數	25
最大強度	強烈
近中心最大風速	58 (公尺/秒)
侵臺路徑分類	4
登陸地段	臺東縣太麻里
動態	颱風在關島南方海面形成後往西北西方向移動，7 日 8 時其中心在花蓮東南方海面，暴風圈逐漸接近臺灣東南方近海，同日傍晚起其暴風圈逐漸進入臺灣東南部陸地及恆春半島。颱風中心於 8 日 5 時 50 分左右於臺東縣太麻里鄉登陸，14 時 30 分由臺南市將軍區進入臺灣海峽，並於 9 日 13 時左右在金門東北方進入福建。
災情	尼伯特颱風影響，臺東出現 17 級強陣風。中央災害應變中心統計至 7 月 9 日止，全臺計有 3 人死亡，311 人受傷，農損逾新臺幣 6 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。

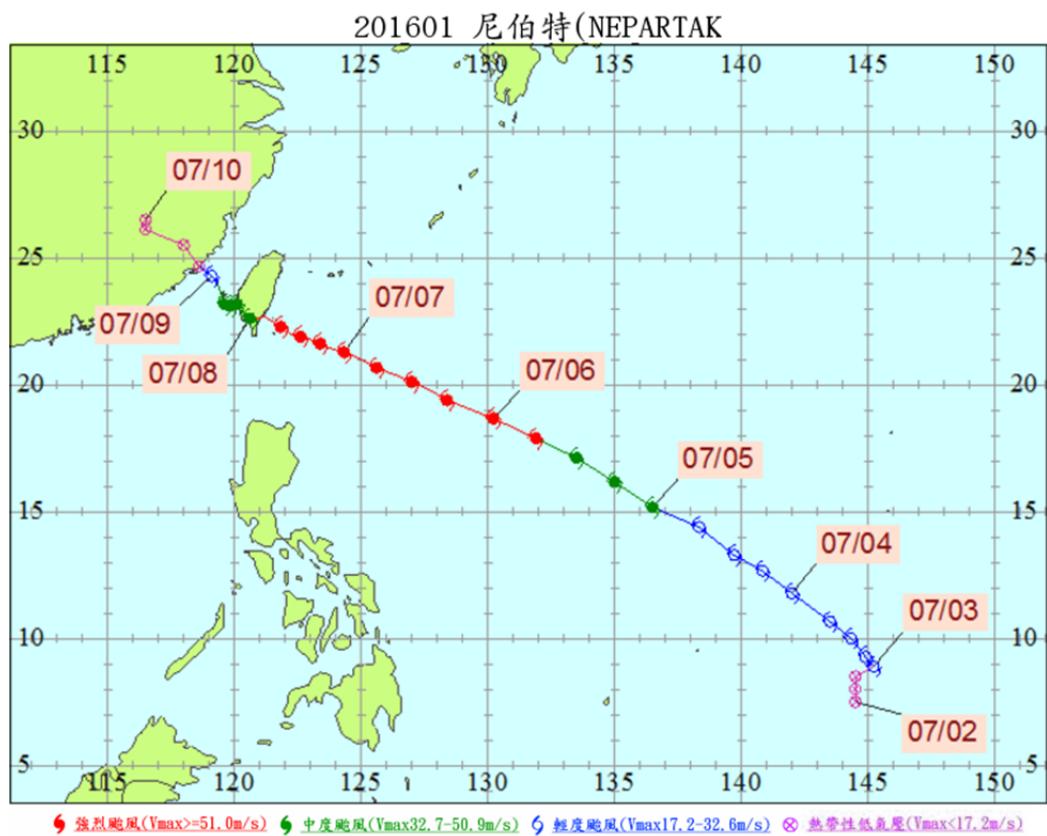


圖 1a 尼伯特颱風路徑圖

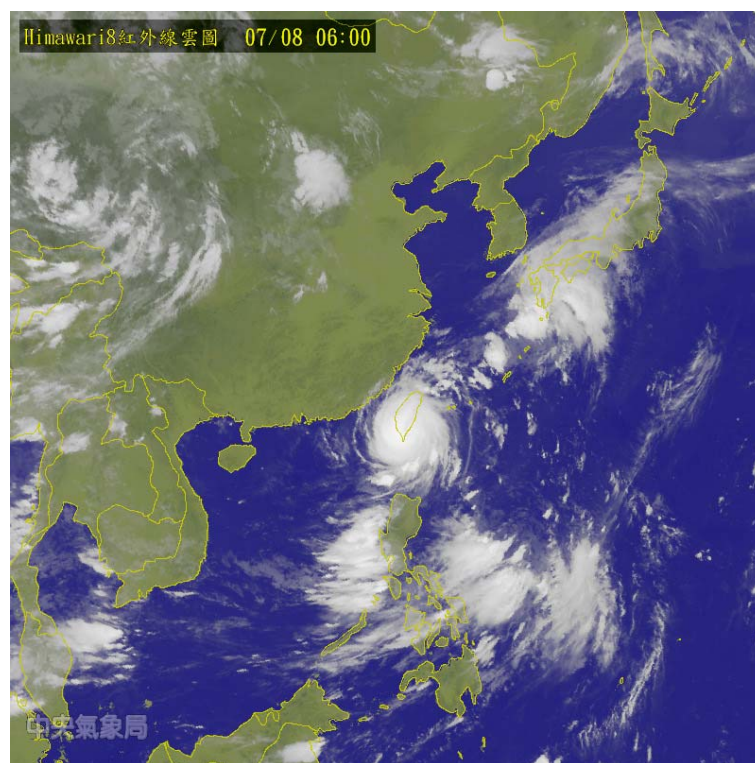


圖 1b 尼伯特颱風衛星圖

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	莫蘭蒂 (MERANTI)
編號	201614
生成地點	關島西方海面
侵(近)臺日期	2016 年 09 月 14 日
發布時間	海上 2016-09-12 23:30 陸上 2016-09-13 08:30
解除時間	陸上 2016-09-15 11:30 海上 2016-09-15 11:30
發布報數	21
最大強度	強烈
近中心最大風速	60 (公尺/秒)
侵臺路徑分類	7
登陸地段	金門
動態	颱風在關島西方海面形成後往西北西轉西北方向移動，13 日 14 時其中心在恆春東南東方海面，暴風圈開始進入巴士海峽，同日 23 時起其暴風圈逐漸進入臺灣東南部陸地及恆春半島，對臺灣東部、中南部及澎湖、金門地區構成威脅。颱風中心於 15 日 2 時左右由金門進入福建，11 時金門脫離暴風圈，颱風警報解除。
災情	受颱風影響，東吉島、金門出現 17 級以上強陣風。中央災害應變中心統計至 9 月 15 日止，全臺計有 1 人死亡，62 人受傷，農損約新臺幣 1 億元。
颱風災害專區網頁連結	全國電力受損 238164 戶

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。

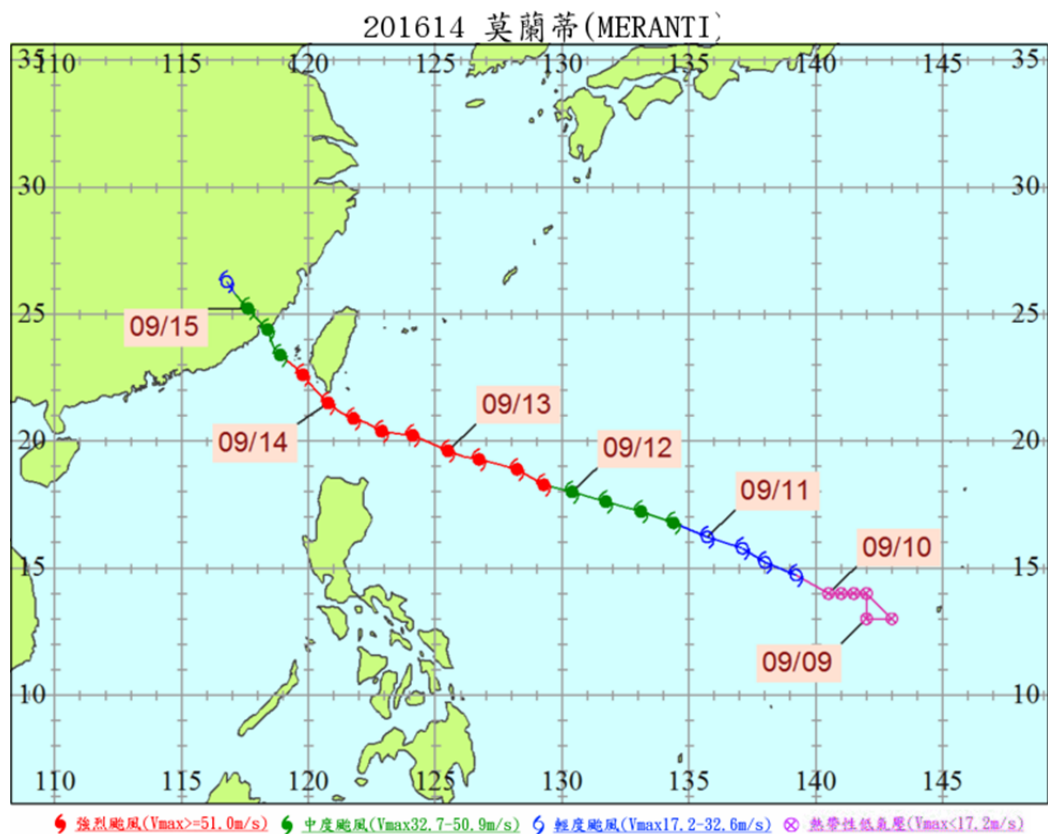


圖 2a 莫蘭蒂颱風路徑圖

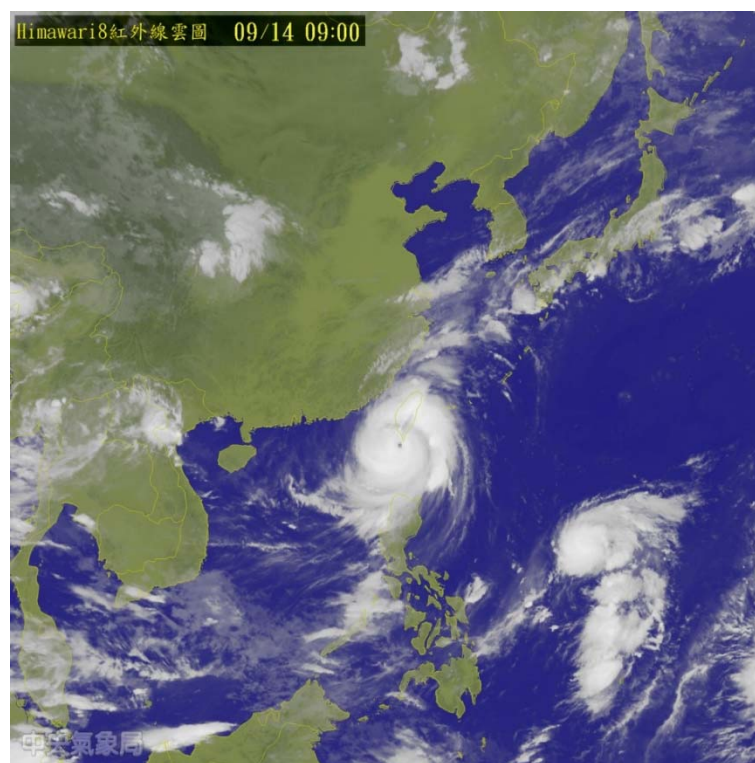


圖 2b 莫蘭蒂颱風衛星圖

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	馬勒卡 (MALAKAS)
編號	201616
生成地點	139.5, 13.8
侵(近)臺日期	2016 年 09 月 17 日
發布時間	海上 2016-09-15 23:30 陸上 2016-09-16 08:30
解除時間	陸上 2016-09-18 02:30 海上 2016-09-18 08:30
發布報數	20
最大強度	中度
近中心最大風速	45 (公尺/秒)
侵臺路徑分類	---
登陸地段	---
動態	颱風在西北太平洋洋面形成後往西北轉北北西方向移動，16 日 20 時其中心在恆春東方海面，暴風圈進入臺灣東南部近海。17 日 0 時起其暴風圈已進入臺灣東部及東南部陸地，之後逐漸往北轉北北東進行。18 日 2 時，颱風中心在臺北東北方海面，臺灣本島已脫離暴風圈。
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。

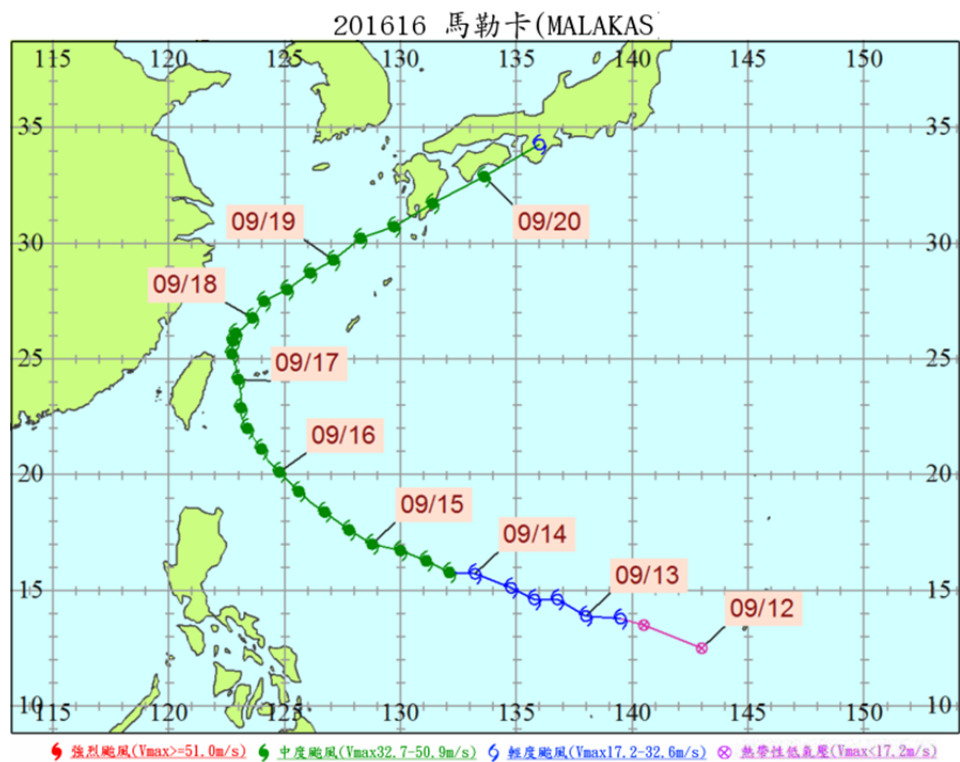


圖 3a 馬勒卡颱風路徑圖

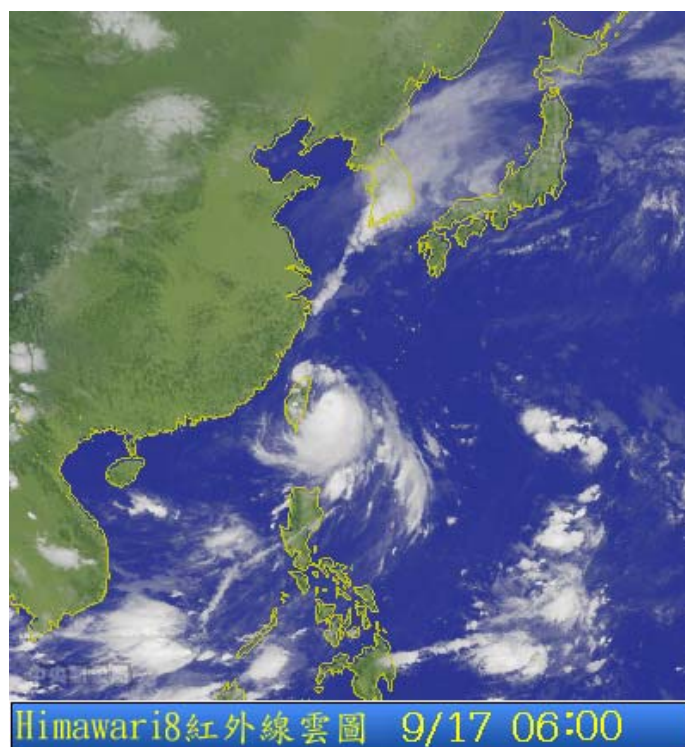


圖 3b 馬勒卡颱風衛星圖

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	梅姬 (MEGI)
編號	201617
生成地點	關島附近海面形成
侵(近)臺日期	2016 年 09 月 27 日
發布時間	海上 2016-09-25 23:30 陸上 2016-09-26 11:30
解除時間	陸上 2016-09-28 17:30 海上 2016-09-28 17:30
發布報數	23
最大強度	中度
近中心最大風速	45 (公尺/秒)
侵臺路徑分類	3
登陸地段	關島附近海面形成
動態	颱風在關島附近海面形成後逐漸往西北西方向移動。25 日 23 時其中心在花蓮東南東方海面，暴風圈逐漸朝臺灣東半部海面接近；27 日 5 時，其中心在花蓮東南方海面，暴風圈逐漸影響臺灣東半部陸地。颱風中心於 27 日 14 時在花蓮市附近登陸，21 時 10 分由雲林縣麥寮出海，並於 28 日 5 時左右由金門北方進入福建。
災情	受颱風影響，梧棲、蘇澳出現 17 級強陣風，東部與南部地區亦有超大豪雨發生。中央災害應變中心統計至 9 月 28 日止，全臺計有 4 人死亡，662 人受傷，農損逾新臺幣 3 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。

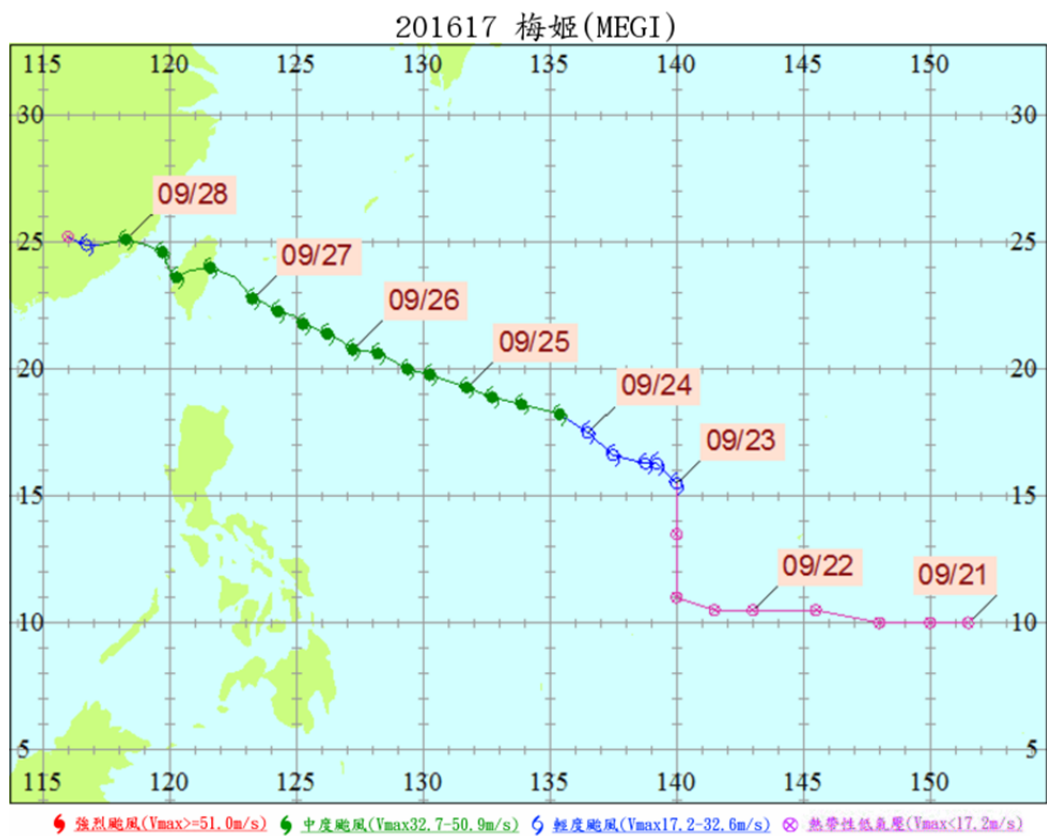


圖 4a 梅姬颱風路徑圖

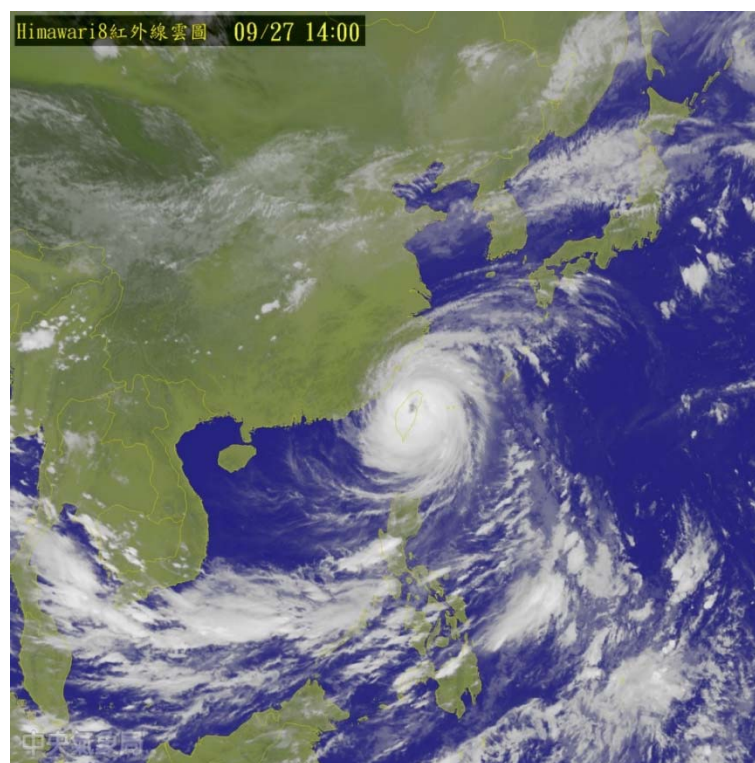


圖 4b 梅姬颱風衛星圖

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	艾利 (AERE)
編號	201619
生成地點	鵝鑾鼻東南東方海面
侵(近)臺日期	2016 年 10 月 06 日
發布時間	海上 2016-10-05 11:30
解除時間	海上 2016-10-06 14:30
發布報數	10
最大強度	輕度
近中心最大風速	18 (公尺/秒)
侵臺路徑分類	---
登陸地段	---
動態	形成後向西前進，6 日 14 時其中心在東沙島東方 230 公里海面上，臺灣附近海面已脫離暴風圈，海上颱風警報解除。
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。

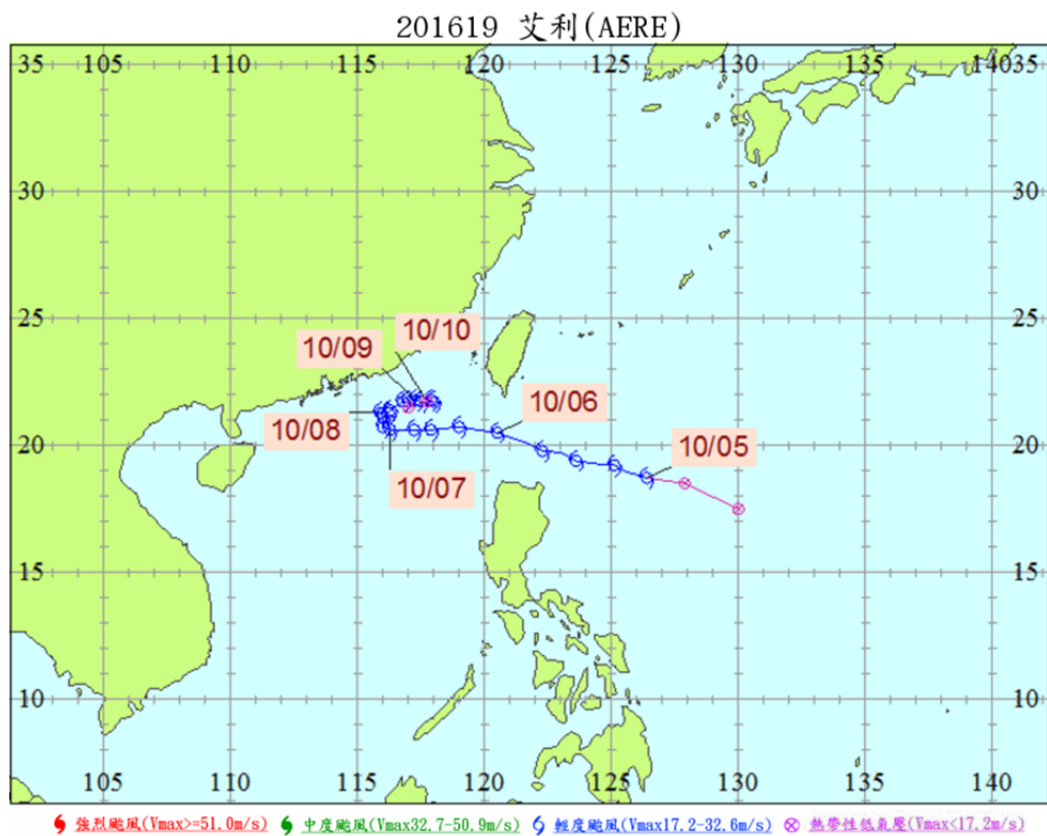


圖 5a 艾利颱風路徑圖

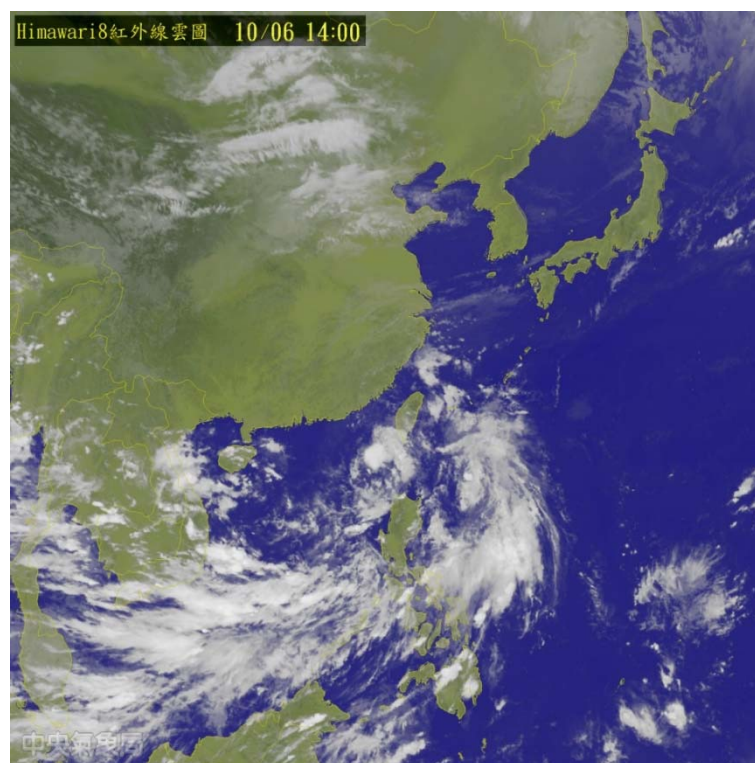


圖 5b 艾利颱風衛星圖