103-52-7756
MOTC-IOT-102-H3DB001

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

中華民國 103 年 4 月

103-52-7756
MOTC-IOT-102-H3DB001

整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究(3/4)

著 者:邱永芳、蘇青和、李俊穎、李兆芳、劉正琪、陳冠宇

交 通 部 運 輸 研 究 所

中 華 民 國 103 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究. (3/4) / 邱永芳等著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運研所, 民 103.04
面 ; 公分
ISBN 978-986-04-1002-0(平裝)

1.海洋氣象 2.港埠資訊查詢系統

444.94 103006868

整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究(3/4)

著　　者：邱永芳、蘇青和、李俊穎、李兆芳、劉正琪、陳冠宇
出版機關：交通部運輸研究所
地　　址：10548 臺北市敦化北路 240 號
網　　址：www.ihmt.gov.tw (中文版＞中心出版品)
電　　話：(04) 26587176
出版年月：中華民國 103 年 4 月
印 刷 者：
版(刷)次冊數：初版一刷 75 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站
定　　價：300 元
展 售 處：
交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880
國家書店松江門市:10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1:電話㊣02)25180207
五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號 • 電話：(04)22260330

GPN：1010300584　　ISBN：978-986-04-1002-0 (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。

103

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

GPN: 1010300584
定價　300 元

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

<table>
<tr><td colspan="4">出版品名稱：整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究(3/4)</td></tr>
<tr><td>國際標準書號
ISBN 978-986-04-1002-0 (平裝)</td><td>政府出版品統一編號
1010300584</td><td>運輸研究所出版品編號
103-52-7756</td><td>計畫編號
102-H3DB001</td></tr>
<tr><td>本所主辦單位：港灣技術研究中心
主管：邱永芳
計畫主持人：邱永芳
共同主持人：蘇青和、李俊穎
研究人員：陳明宗、單誠基、鄭博今
劉清松、林珂如
參與人員：錢爾潔、陳正義、馬維倫
聯絡電話：04-26587175
傳真號碼：04-26564415</td><td colspan="2">合作研究單位：成功大學、中山大學
計畫主持人：李兆芳、劉正琪、陳冠宇
研究人員：陳陽益、涂力夫
地址：臺南市大學路一號;高雄市蓮海路 70 號
聯絡電話：06-2757575; 07-5255000</td><td>研究期間
自 102 年 01 月
至 102 年 12 月</td></tr>
<tr><td colspan="4">關鍵詞：預警系統、風浪預報、暴潮預報、流場預報、海嘯、防波堤堤頭、沖蝕</td></tr>
<tr><td colspan="4">摘要：

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

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

本計畫為整合提昇海岸及港灣海域海象模擬技術之研究，海嘯對港區及跨河橋樑之影響風險評估研究，港灣海氣象數值模擬作業化之研究計畫。提供國內航運及國內各主要港口海域安全之風浪、暴潮、流場及海嘯等預警資訊。俾提供施政及工程單位之參酌，以達到港灣正常營運與海岸永續發展利用的目標。本年度計畫主要以高雄港域及安平港域為研究對象，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，建置高雄港域及安平港域海象模擬系統。</td></tr>
<tr><td>出版日期</td><td>頁數</td><td>定價</td><td>本出版品取得方式</td></tr>
<tr><td>103 年 4 月</td><td>392</td><td>300</td><td>凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。</td></tr>
<tr><td colspan="4">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</td></tr>
<tr><td colspan="4">備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。</td></tr>
</table>

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

TITLE: Integration of Taiwan coastal and harbor's oceanographic modeling systems (3/4)

ISBN	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
978-986-04-1002-0 (pbk)	1010300584	103-52-7756	102-H3DB001

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

PROJECT PERIOD
FROM January 2013
TO December 2013

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

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

ABSTRACT:

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

The objective of this project is to integrate the " Enhancement of marine meteorology simulation technology on coastal and harbor areas "," Risk Analysis on Harbor Area and Bridges across Rivers ",. Supplying waves, tides, currents and tsunamis' information to major harbors in Taiwan and making effective prevention strategies and giving suggestions is what we want to do. Last, we provide references for port authorities and engineering units to maintain normal operation of harbors and to maintain sustainable development of the coastal areas. The objects of the project in this year are mainly on Kaohsiung Harbor and Anping Harbor. The related jobs include improving techniques of operative forecasting on wave, water level, current field, and tsunami models.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
April 2014	392	300	☐RESTRICTED ☐CONFIDENTIAL ☐SECRET ☐TOP SECRET ■UNCLASSIFIED

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

整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究(3/4)

目　錄

中文摘要.....I

英文摘要.....II

目錄.....III

表目錄.....VI

圖目錄.....VIII

第一章 緒論.....1-1

1.1 計畫緣起.....1-1

1.2 主要工作項目.....1-3

1.3 研究計畫內容.....1-7

1.4 本年度研究成果.....1-9

第二章 海象模擬作業化系統.....2-1

2.1 海象模擬作業化系統架構.....2-1

2.2 作業化流程.....2-10

2.3 臺灣主要港口海氣象現場觀測及蒐集.....2-42

2.4 港灣環境資訊系統概述.....2-53

第三章　波浪模擬與探討.....3-1

3.1 TaiCOMS 波浪模擬架構說明.....3-1

3.2 風浪作業化模擬研究.....3-23

3.3 港區近岸波浪場模擬研究 3-37
3.4 細尺度港域波浪場模擬研究 3-46
3.5 小結 3-67
第四章 水動力模擬與探討 4-1
4.1 水動力模式基本理論介紹 4-1
4.2 臺灣周圍海域暴潮模擬與探討 4-12
4.3 小尺度安平港區水動力模組改善研究 4-50
4.4 小尺度高雄港區水動力模組改善研究 4-66
4.5 小結 4-81
第五章 海嘯對港區及跨河橋梁之模式建置與分析 5-1
5.1 海嘯資料蒐集 5-1
5.2 海嘯速報系統之建置 5-6
5.3 模式實例探討 5-16
5.4 海嘯災害風險評估 5-21
5.5 海嘯沿高屏溪口溯上模擬 5-68
5.6 小結 5-91
第六章 結論與建議 6-1
6.1 結論 6-1
6.2 建議 6-4
參考文獻 參-1
附錄一 風場及氣壓場模式 ..... 附 1-1

附 1.1 中央氣象局預報風場及氣壓場 ..... 附 1-1
附 1.2 臺灣環島風場及氣壓模式 ..... 附 1-5
附 1.3 年度侵臺颱風 ..... 附 1-8

表　目　錄

表 2-1a 中央氣象局風場 NFS 風場資料格式 2-7
表 2-1b 中央氣象局風場 WRF 風場資料格式.....2-7
表 2-1c 作業系統內大尺度及中尺度風、波及流場資料格式 2-8
表 2-2 系統內主要應用軟體說明 2-15
表 2-3 有限區域模式氣象主要資料彙整表 2-16
表 2-4 每日所擷取風場資料以第 3 日模擬風場為範例說明表 2-22
表 2-5 WRF 主要提供氣象資料彙整表.....2-24
表 2-6 近岸區域波浪模式數值計算網格資料 2-30
表 2-7 觀測風力資料蒐集概況表(統計時間至 2012 年 11 月).....2-50
表 2-8 觀測潮汐資料蒐集概況表 2-51
表 2-9 觀測波浪資料蒐集概況表 2-52
表 2-10 觀測流場資料蒐集概況表 2-52
表 2-11 網頁功能項目說明表.....2-55
表 2-12 海象模擬資訊展示內容彙整表 2-62
表 3-1 TaiCOMS 各波浪數值模組之特性綜整表.....3-5
表 3-1 (續)TaiCOMS 各波浪數值模組之特性綜整表 3-6
表 5-1 2004~2013 年間重大海嘯事件 5-3
表 5-2 迴歸係數之建議值 5-12
表 5-3 各地震規模區間未來預估年可能發生之次數值 5-24
表 5-4 海嘯地震發生次數期望值 5-25
表 5-5 安平港各入射波高下對應之溢淹機率 5-38
表 5-6 高雄港各入射波高下對應之溢淹機率 5-59

表 5-7 不同入射波最高堆積及最大侵蝕 5-90
表 A-1 NFS 預報風場模式(RC/MC/HC)基本資料 .....附 1-3
表 A-2 中央氣象局風場 WRF 風場資料格式.....附 1-4
表 A-3 2013 年侵臺颱風記錄表.....附 1-8

圖　目　錄

圖 1.1 臺灣近海海象預報系統架構圖 1-7
圖 1.2 海象模擬作業化系統整體架構圖 1-8
圖 2.1 海象模擬作業化系統流程圖 2-2
圖 2.2 海象模擬作業化系統下相關模式架構圖 2-3
圖 2.3 主要模式涵蓋範圍 2-9
圖 2.4 海象模擬系統作業時間流程 2-10
圖 2.5 海象數值模擬系統兩日作業流程範例圖 2-11
圖 2.6 海象數值系統線上作業成果評估流程 2-12
圖 2.7 風場模組作業流程圖 2-17
圖 2.8 中央氣象局風場 NFS 及 WRF 風場資料範圍圖 2-18
圖 2.9a NFS(RC)及 WRF(WA01)風場輸出範圍圖 2-18
圖 2.9b NFS(MC)及 WRF(WA02)風場輸出範圍圖 2-19
圖 2.9c WRF(WA03)風場輸出範圍圖 2-19
圖 2.11a 天兔颱風 9 月 21 日 14 時 RC 風場向量圖 2-21
圖 2.11b 天兔颱風 9 月 21 日 14 時 MC 風場向量圖 2-21
圖 2.12 每日所擷取風場資料以第 3 日模擬風場為範例圖 2-23
圖 2.13a 天兔颱風 9 月 21 日 14 時 WRF(WA01)風場向量圖 2-25
圖 2.13b 天兔颱風 9 月 21 日 14 時 WRF(WA02)風場向量圖 2-25
圖 2.13c 天兔颱風 9 月 21 日 14 時 WRF(WA03)風場向量圖 2-26
圖 2.14 波浪模擬作業流程圖 2-27
圖 2.15 大尺度及中尺度波場模擬範圍圖 2-28

圖 2.16 近岸區域波浪模擬範圍圖 2-31
圖 2.17 細尺度基隆港波浪模擬視窗畫面圖 2-32
圖 2.18 水動力模擬作業流程圖 2-33
圖 2.19 大尺度及中尺度流場模擬範圍圖 2-34
圖 2.20 臺灣國際商港海嘯速算系統流程圖 2-36
圖 2.21 視窗化系統之計算範圍圖 2-37
圖 2.22 視窗化介面之計算成果圖 2-38
圖 2.23a 美國 USGS 資料庫 2-40
圖 2.23b 中研院地科所，台灣地區寬頻地震觀測網 2-40
圖 2.23c 日本防災科學技術研究所 F-net 即時地震資料 2-41
圖 2.24 商港位置圖 2-44
圖 2.25a 臺北港海氣象觀測位置圖 2-44
圖 2.25b 基隆港海氣象觀測位置圖 2-45
圖 2.25c 蘇澳港海氣象觀測位置圖 2-45
圖 2.25d 花蓮港海氣象觀測位置圖 2-46
圖 2.25e 高雄港海氣象觀測位置圖 2-46
圖 2.25f 安平港海氣象觀測位置圖 2-47
圖 2.25g 布袋港海氣象觀測位置圖 2-47
圖 2.25h 臺中港海氣象觀測位置圖 2-48
圖 2.25i 澎湖港海氣象觀測位置圖 2-48
圖 2.25j 金門海氣象觀測位置圖 2-49
圖 2.26 港灣環境資訊系統整體架構圖 2-54
圖 2.27 港灣環境資訊網首頁 2-54
圖 2.28 即時觀測資訊整合(風力資料) 2-58

圖 2.29 即時觀測資訊整合(綜合表) 2-58
圖 2.30 海氣象歷線圖/資料表(以基隆港 波高歷線圖為例) 2-59
圖 2.31 海氣象測站位置圖查詢畫面 2-59
圖 2.32 海象模擬資訊網頁展示圖 2-61
圖 2.33 海象模擬資訊(波浪資料) 2-61
圖 2.34 海象模擬資訊(綜合表) 2-62
圖 2.35 展示臺中港風力模擬歷線圖 2-64
圖 2.36 展示基隆港波浪模擬 (大尺度、中尺度、小尺度) 歷線圖 .. 2-65
圖 2.37 展示布袋港相對潮位歷線圖 2-66
圖 2.38 展示臺北港流速及流向歷線圖 2-66
圖 2.39 WRF 模式-風場圖型動畫 2-67
圖 2.40 展示臺中港近岸波高分佈圖 2-68
圖 2.41 展示布袋港流速向量場分佈圖 2-68
圖 2.42 中尺度數值模擬計算網格圖 2-69
圖 2.43 動態自選點資訊功能範圍圖(綠色框) 2-70
圖 2.44a 模擬海象區域動態資訊-首頁 2-71
圖 2.44b 模擬海象區域動態資訊-點選區域 2-71
圖 2.44c 模擬海象區域動態資訊-連結開啟網頁 2-71
圖 2.45 港灣環境資訊網-藍色公路首頁 2-72
圖 2.46a 藍色公路-基隆至馬祖(北竿)航段海氣象與船舶資訊 2-73
圖 2.46b 藍色公路-基隆至馬祖(北竿)航段波高與船舶資訊 2-73
圖 2.47 藍色公路-動態呈現船舶之即時資訊(以高雄-馬公為例) 2-74
圖 2.48 海嘯查詢網頁 2-75
圖 2.49 展示海嘯震央位置圖 2-76

圖 2.50 展示基隆港海嘯水位變化歷線圖 2-76
圖 2.51 展示海嘯水位歷線表 2-77
圖 3.1 大尺度西太平洋風浪模組之模擬範圍 3-7
圖 3.2 中尺度臺灣近岸海域風浪模組之模擬範圍 3-7
圖 3.3 國內七大港口地理位置及及小尺度港區近岸波浪模組模擬範圍 3-8
圖 3.4 臺灣近岸海象數值模擬系統波浪模擬線上作業流程 3-9
圖 3.5 TaiCOMS 每日線上作業程式模擬時間示意圖 3-10
圖 3.6 波浪能量由高頻向低頻傳遞之示意圖 3-14
圖 3.7 REF/DIF-1 數值計算網格座標系統示意圖 3-19
圖 3.8 港域波浪模式計算領域示意圖 3-22
圖 3.9 TaiCOMS 波浪模擬大、中及小尺度網格模組關係示意圖 ... 3-24
圖 3.10 大尺度西太平洋範圍風浪模組之模式操作流程圖 3-30
圖 3.11 大尺度網格風浪模擬結果之平均週期 Tm(圓圈)及 Tm02(三角形)與觀測波浪平均週期(圓點)之比較 3-31
圖 3.12 大尺度西太平洋範圍風浪模組波譜模擬結果輸出點位示意圖 3-31
圖 3.13 輕度颱風泰利侵臺期間大尺度網格分別以 RC 及 MC 風場模擬風浪之示性波高與觀測值比較圖 3-32
圖 3.14 中度颱風蘇拉侵臺期間大尺度網格分別以 RC 及 MC 風場模擬風浪之示性波高與觀測值比較圖 3-32
圖 3.14 (續)中度颱風蘇拉侵臺期間大尺度網格分別以 RC 及 MC 風場模擬風浪之示性波高與觀測值比較圖 3-33
圖 3.15 中尺度臺灣周圍海域風浪模組更新後之模擬範圍圖 3-33
圖 3.16 平行化處理下系統 SWAN 之運算時間與 CPU 數目關係圖 . 3-34
圖 3.17 風浪波高模擬值與觀測值間絕對誤差值之逐時變化分布圖 3-34

圖 3.18 波高模擬值與觀測值之絕對誤差與觀測值之比值逐時變化分布圖 3-35
圖 3.19 波高模擬值與觀測值間絕對誤差與觀測值之比值日平均變化分布圖 3-35
圖 3.20 波高模擬值與觀測值間標準偏差逐日變化分布圖 3-36
圖 3.21 波高模擬值與觀測值間相關係數逐日變化分布圖 3-36
圖 3.22 安平港小尺度港區近岸波浪模組之模擬範圍圖 3-39
圖 3.23 安平港港區近岸波浪模組小尺度參考網格及地形水深分布圖 3-40
圖 3.24 本計畫安平港港區近岸波浪模組擴大模擬範圍圖 3-40
圖 3.25 本計畫安平港新建小尺度參考網格及地形水深分布圖 3-41
圖 3.26 安平港小尺度波浪場模擬結果，觀測點位 O 之波高模擬值(縱座標)與觀測值(橫座標)之對應比較圖 3-41
圖 3.27 波高條件校正之安平港波浪場模擬結果，觀測點位 O 之波高 模擬值(縱座標)與觀測值(橫座標)之對應比較圖 3-42
圖 3.28 安平港小尺度網格波浪場模擬結果之波高分布圖 (H=2.45m，T=9.6sec，θ=210°) 3-42
圖 3.29 安平港小尺度網格波浪場模擬結果之波高分布圖 (H=1.96m，T=6.3sec，θ=270°) 3-43
圖 3.30 安平港小尺度網格邊界與中尺度網格點之對應圖 3-43
圖 3.31 高雄港小尺度港區近岸波浪模組之模擬範圍圖 3-45
圖 3.32 高雄港小尺度網格之參考網格及地形水深分布圖 3-45
圖 3.33 雙港口耦合問題及相關參數示意圖 3-48
圖 3.34 本計畫雙港口波浪場數值計算有限元素網格配置圖 3-49
圖 3.35 長矩形港池(#1)之波浪放大率與無因次參數(kl1)之關係圖 .. 3-49
圖 3.36 短矩形港池(#2)之波浪放大率與無因次參數(kl1)之關係圖 .. 3-50

圖 3.37 波浪週期 600 sec 波浪場模擬結果之波高分布情形圖 3-51
圖 3.38 波浪週期 320 sec 波浪場模擬結果之波高分布情形圖 3-52
圖 3.39 安平港區港域波浪模組之模擬範圍及水深分布情形圖 3-54
圖 3.40 安平港區港域波浪模組更新後之模擬範圍圖 3-54
圖 3.41 安平港區港域波浪模組更新後之粗網格配置及水深 分布情形圖 3-55
圖 3.42 安平港區港域波浪模擬結果之波高檢核點位置示意圖 3-57
圖 3.43 安平港區港域波浪模擬結果之波高檢核點位置示意圖 3-58
圖 3.44 安平港區港域波浪模擬結果之波高檢核點位置示意圖 3-58
圖 3.45 安平港區港域波浪模擬結果之波高分布情形(週期 20 sec)... 3-59
圖 3.46 安平港區港域波浪模擬結果之波高分布情形(週期 25 sec)... 3-59
圖 3.47 安平港區港域波浪模擬結果之波高分布情形(週期 30 sec)... 3-60
圖 3.48 高雄港港區範圍影像圖 3-62
圖 3.49 高雄港區港域波浪模組一港口及二港口模擬範圍圖 3-63
圖 3.50 高雄港區一港口港域波浪模之粗網格配置圖 3-64
圖 3.51 高雄港區二港口港域波浪模之粗網格配置圖 3-64
圖 3.52 高雄港區一港口港域波浪模擬結果之波高 KD 值分布情形(波浪條件：週期 10 sec，波向 W) 3-66
圖 3.53 高雄港區二港口港域波浪模擬結果之波高 KD 值分布情形(波浪條件：週期 10 sec，波向 W) 3-66
圖 4.1 三角形元素座標定義 4-6
圖 4.2 臺灣周圍海域暴潮模組之模擬範圍 4-14
圖 4.3 臺灣周圍海域暴潮模組 2012 版網格三角形元素網格分布圖 4-15
圖 4.4 臺灣周圍海域暴潮模組之地形水深分布圖 4-15
圖 4.5 模式網格修正前安平至高雄海域間三角形元素分布圖 4-16

圖 4.6 模式網格修正後安平至高雄海域間三角形元素分布圖 4-16
圖 4.7 臺灣周圍海域暴潮模組有限元素網格更新後三角形元素分布圖 4-17
圖 4.8 臺灣周圍海域暴潮模組採用的天文潮邊界條件時序圖 4-18
圖 4.9 安平港區天文潮位模式模擬結果之比較圖 4-20
圖 4.10 高雄港區天文潮位模式模擬結果之比較圖 4-21
圖 4.11 安平港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖 4-21
圖 4.11 (續 1)安平港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖 4-22
圖 4.11 (續 2)安平港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖 4-22
圖 4.11 (續 3)安平港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖 4-23
圖 4.12 高雄港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖 4-23
圖 4.12 (續 1)高雄港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖 4-24
圖 4.12 (續 2)高雄港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖 4-24
圖 4.12 (續 3)高雄港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖 4-25
圖 4.13 安平港區天文潮位模擬值與 TaiCOMS 模擬值之比較圖 4-25
圖 4.13 (續 1)安平港區天文潮位模擬值與 TaiCOMS 模擬值之比較圖 4-26
圖 4.13 (續 2)安平港區天文潮位模擬值與 TaiCOMS 模擬值之比較圖 4-26
圖 4.13 (續 3)安平港區天文潮位模擬值與 TaiCOMS 模擬值之比較圖 4-27
圖 4.14 高雄港區天文潮位模擬值與 TaiCOMS 模擬值之比較圖 4-27
圖 4.14 (續 1)高雄港區天文潮位模擬值與 TaiCOMS 模擬值之比較圖 4-28
圖 4.14 (續 2)高雄港區天文潮位模擬值與 TaiCOMS 模擬值之比較圖 4-28

圖 4.14 (續 3)高雄港區天文潮位模擬值與 TaiCOMS 模擬值之比較圖 4-29
圖 4.15 臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖 ... 4-29
圖 4.15 (續 1)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖 4-30
圖 4.15 (續 2)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖 4-30
圖 4.15 (續 3)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖 4-31
圖 4.15 (續 4)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖 4-31
圖 4.15 (續 5)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖 4-32
圖 4.15 (續 6)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖 4-32
圖 4.15 (續 7)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖 4-33
圖 4.15 (續 8)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖 4-33
圖 4.15 (續 9)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖 4-34
圖 4.15 (續 10)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖 4-34
圖 4.15 (續 11)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖 4-35
圖 4.15 (續 12)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖 4-35

圖 4.16　TaiCOMS 作業化 MC 風壓場之等壓線分布圖 (2012 年輕度颱風泰利) 4-38
圖 4.16 (續)TaiCOMS 作業化 MC 風壓場之等壓線分布圖 (2012 年輕度颱風泰利) 4-38
圖 4.17 本計畫有限元素網格風壓場之等壓線分布圖 (2012 年輕度颱風泰利) 4-39
圖 4.17 (續)本計畫有限元素網格風壓場之等壓線分布圖 (2012 年輕度颱風泰利) 4-39
圖 4.18 安平港海域有、無氣象潮效應之水位模擬結果比較圖 4-40
圖 4.18 (續 1)安平港海域有、無氣象潮效應之水位模擬結果比較圖 4-40
圖 4.18 (續 2)安平港海域有、無氣象潮效應之水位模擬結果比較圖 4-41
圖 4.19 高雄港海域有、無氣象潮效應之水位模擬結果比較圖 4-41
圖 4.19 (續 1)高雄港海域有、無氣象潮效應之水位模擬結果比較圖 4-42
圖 4.19 (續 2)高雄港海域有、無氣象潮效應之水位模擬結果比較圖 4-42
圖 4.20 安平港海域檢核點氣壓差變化與模式氣象潮水位變化之時序列圖 4-43
圖 4.20 (續 1)安平港海域檢核點氣壓差變化與模式氣象潮水位變化之時序列圖 4-43
圖 4.20 (續 2)安平港海域檢核點氣壓差變化與模式氣象潮水位變化之時序列圖 4-44
圖 4.21 高雄港海域檢核點氣壓差變化與模式氣象潮水位變化之時序列圖 4-44
圖 4.21 (續 1)高雄港海域檢核點氣壓差變化與模式氣象潮水位變

化之時序列圖.....4-45
圖 4.21 (續 2)高雄港海域檢核點氣壓差變化與模式氣象潮水位變化之時序列圖.....4-45
圖 4.22 高雄港海域檢核點氣壓差預測值、氣象潮水位變化模擬值及觀測資料調和分析預測值之時序列圖 4-46
圖 4.22 (續 1)高雄港海域檢核點氣壓差預測值、氣象潮水位變化模擬值及觀測資料調和分析預測值之時序列圖 4-46
圖 4.22 (續 2)高雄港海域檢核點氣壓差預測值、氣象潮水位變化模擬值及觀測資料調和分析預測值之時序列圖 4-47
圖 4.23 臺灣周圍海域暴潮模組模擬結果之水位偏差分布圖 4-48
圖 4.23 (續 1)臺灣周圍海域暴潮模組模擬結果之水位偏差分布圖...4-48
圖 4.23 (續 2)臺灣周圍海域暴潮模組模擬結果之水位偏差分布圖...4-49
圖 4.23 (續 3)臺灣周圍海域暴潮模組模擬結果之水位偏差分布圖...4-49
圖 4.24 安平港區近岸水動力模組之模擬範圍及有限元素格網分佈圖(98 年度計畫).....4-51
圖 4.25 安平港區近岸水動力模組之細網格三角形元素分佈圖 4-52
圖 4.26 安平港港域及港口附近細網格之三角形元素分布圖 4-53
圖 4.27 前期計畫安平港水動力模組南、北開放邊界近岸節點之水位 時序圖.....4-55
圖 4.28 本年度計畫安平港水動力模組南、北開放邊界近岸節點之水位時序圖.....4-55
圖 4.29 安平港水位及潮流模擬結果與海流觀測資料之調和分析(O1、K1、M2、S2)結果比較圖 4-57
圖 4.30 前期計畫安平港水位及潮流模擬結果與海流觀測資料之調和 分析(O1、K1、M2、S2)結果比較圖 4-58
圖 4.31 安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/07 16:00) 4-59

圖 4.31 (續 1)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/07 17:00) 4-60
圖 4.31 (續 2)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/07 18:00) 4-60
圖 4.31 (續 3)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/07 1 9:00) 4-61
圖 4.31 (續 4)安平港流場模擬結果之流速向量圖 (2012/05/07 20:00) 4-61
圖 4.31 (續 5)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/07 22:00) 4-62
圖 4.31 (續 6)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 00:00) 4-62
圖 4.31 (續 7)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 02:00) 4-63
圖 4.31 (續 8)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 04:00) 4-63
圖 4.31 (續 9)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 06:00) 4-64
圖 4.31 (續 10)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 11:00) 4-64
圖 4.31 (續 11)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 13:00) 4-65
圖 4.31 (續 12)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 15:00) 4-65
圖 4.31 (續 13)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 17:00) 4-66
圖 4.32 高雄港水動力模組之模擬範圍及有限元素格網分佈圖 4-69

圖 4.33 高雄港水動力模組模擬範圍內等水深線分布圖.....4-69
圖 4.34 高雄港水動力模組模擬範圍內等水深線分布圖.....4-70
圖 4.35 高雄港水動力模組模擬範圍內等水深線分布圖.....4-70
圖 4.36 高雄港水動力模組南、北開放邊界近岸節點之水位時序圖
.....4-71
圖 4.37 高雄港水位與潮流模擬結果與海流觀測資料調和分析
(O1、K1、N2、M2、S2)之 E-W 及 N-S 向速度分量比較圖
.....4-72
圖 4.38 高雄港水位及潮流模擬結果與海流觀測資料調和分析
(O1、K1、N2、M2、S2)之流速大小及流向比較圖 4-73
圖 4.39 高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/17 20:00) 4-74
圖 4.39 (續 1)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/17 21:00)
4-74
圖 4.39 (續 2)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/17 23:00)
..... 75
圖 4.39 (續 3)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 01:00)
.....4-75
圖 4.39 (續 4)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 03:00)
.....4-76
圖 4.39 (續 5)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 05:00)
.....4-76
圖 4.39 (續 6)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 07:00)
.....4-77
圖 4.39 (續 7)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 09:00)
.....4-77
圖 4.39 (續 8)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 11:00)
.....4-78

圖 4.39 (續 9)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 13:00) 4-78
圖 4.39 (續 10)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 15:00) 4-79
圖 4.39 (續 11)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 17:00) 4-79
圖 4.39 (續 12)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 19:00) 4-80
圖 4.39 (續 13)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 21:00) 4-80
圖 5.1 環太平洋地震帶及海溝分佈(紅點為海溝位置).....5-1
圖 5.2 1500-2013 年海嘯事件之地震規模分析 5-2
圖 5.3 1500-2013 年海嘯事件之震源深度分析 5-2
圖 5.4 高雄港(左)及安平港(右)之放大率及海嘯潛勢波源區 5-4
圖 5.5 交界處發生錯動後引起海嘯之示意圖.....5-5
圖 5.6 921 大地震造成地表斷層上下錯動.....5-6
圖 5.7 海嘯速報系統之規劃圖.....5-9
圖 5.8 美國 USGS 資料庫.....5-10
圖 5.9 斷層參數示意圖.....5-11
圖 5.10 現行海嘯數值模式之模擬程序.....5-13
圖 5.11 以基隆為例之格林函數所對應的初始水位.....5-14
圖 5.12 視窗化介面之編譯完成圖.....5-15
圖 5.13 高雄港(左)、安平港(右)之預報點位 5-17
圖 5.14 海嘯速報系統之介面.....5-18
圖 5.15 (a)USGS 日本 311 宮城海嘯參數(b)臺北港系統模擬水位 (紅線).....5-19

圖 5.16 [近期海嘯查詢]之展示介面 5-20
圖 5.17 [近期海嘯查詢]之查詢結果展示 5-20
圖 5.18 水位歷線圖之展示介面 5-21
圖 5.19 (a)環太平洋地震數量分佈圖(b)太平洋區域之主要海溝分佈及劃分建議(Gusiakov, 2005) 5-22
圖 5.20 (a)本研究主要海溝分佈圖及名稱(b)本研究之假設震央點分佈 5-22
圖 5.21 G-R 關係式之計算範例(東經 133 到 139 度，北緯 34 到 36 度) 5-24
圖 5.22 計算範例(東經 133 到 139 度，北緯 34 到 36 度)之淺層海源地震分佈 5-25
圖 5.23 NEIC 中環太平洋地震帶 126 區域點位之歷史地震資料 5-25
圖 5.24 溢淹機率簡示圖 5-27
圖 5.25 安平港整併港內實際地形之數值地形檔 5-28
圖 5.26 週期 20 分鐘波高 4m 高斯波 5-29
圖 5.27 安平港之溢淹圖，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺 5-33
圖 5.28 安平港之溢淹點位分布圖(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺 5-37
圖 5.29 安平港各入射波高下對應之溢淹機率圖 5-38
圖 5.30 安平港在各種地震矩規模下之最大波高分佈 5-39
圖 5.31 安平港在各種地震矩規模下之溢淹機率分佈 5-40
圖 5.32(a) 50 年海嘯地震發生次數之期望值(TEN) 5-42
圖 5.32(b) 100 年海嘯地震發生次數之期望值(TEN) 5-43
圖 5.33(a) 安平港未來 50 年間發生海嘯且溢淹機率(TIP) 5-44
圖 5.33(b) 安平港未來 100 年間發生海嘯且溢淹機率(TIP) 5-45

圖 5.34 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺.....5-49

圖 5.35 高雄港整合海陸域後之數值地形檔.....5-50

圖 5.36 高雄港之溢淹圖，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺.....5-54

圖 5.37 高雄港之溢淹點位分布圖(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺.....5-58

圖 5.38 高雄港各入射波高下對應之溢淹機率圖.....5-59

圖 5.39 高雄港在各種地震矩規模下之最大波高分佈.....5-60

圖 5.40 高雄港在各種地震矩規模下之溢淹機率分佈.....5-61

圖 5.41(a1) 高雄港未來 50 年間發生海嘯且溢淹機率(TIP) 5-62

圖 5.41(b1) 高雄港未來 100 年間發生海嘯且溢淹機率(TIP) 5-63

圖 5.41(b2) 高雄港未來 100 年間發生海嘯且溢淹機率(TIP) 5-64

圖 5.42 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺.....5-67

圖 5.43 海科中心解析度 0.004 分之數值地形(左)內政部 5 公尺陸地地形(DSM)(右).....5-69

圖 5.44(a) 臺灣本島海域附近之斷層分佈圖(取自 Liu 等.1997).....5-71

圖 5.44 (b) 臺灣西南海域附近之斷層分佈圖(取自 Liu 等.1997).....5-71

圖 5.45 呂宋島之地理位置圖(取自 Bautista et al. (2001)) 5-72

圖 5.46 呂宋島地區 1619 年-1997 年之地震紀錄 5-72

圖 5.47 馬尼拉海溝 33 個子區塊分佈圖 Megawati et al. (2009).....5-73

圖 5.48 參考 Megawati et al. (2009)之地震參數建立初始水位 5-74

圖 5.49(a) 模擬三個小時期間各地的最大水位高度分佈(第一層

網格) 5-75
圖 5.49(b) 模擬三個小時期間各地的最大水位高度分佈(第二層網格) 5-75
圖 5.49 (c) 模擬三個小時期間各地的最大水位高度分佈(第三層網格) 5-76
圖 5.50 模擬三個小時期間河道水位高度分佈(a)50cm(b)3m 5-76
圖 5.51(a) 結合 Google Earth 之溢淹圖 5-77
圖 5.51(b) 結合 Google Earth 之河道溢淹圖 5-77
圖 5.52 利用 Google Earth 之疊加圖層選擇圖資 5-78
圖 5.53 高屏溪之地形及紀錄點位 5-79
圖 5.54 (a) 模擬高屏溪全日潮之水位紀錄 5-80
圖 5.54(b) 模擬高屏溪半日潮之水位紀錄 5-81
圖 5.55 雙園大橋橋梁斷面圖 5-82
圖 5.56 雙園大橋工程位置圖 5-83
圖 5.57(a) 高屏溪數值地形及橋墩配置 5-84
圖 5.57(b) 高屏溪數值地形及橋墩配置 5-84
圖 5.58 墩柱受水流作用力之示意與流速與動壓力之關係.....5-85
圖 5.59 計算壓力分佈之參數點位 5-86
圖 5.60(a) 入射波 3、4、6、10 公尺橋墩墩柱東面之最大總壓力紀錄 5-86
圖 5.60(b) 入射波 3、4、6、10 公尺橋墩墩柱西面之最大總壓力紀錄 5-87
圖 5.60(c) 入射波 3、4、6、10 公尺橋墩墩柱南面之最大總壓力紀錄 5-87
圖 5.60 (d) 入射波 3、4、6、10 公尺橋墩墩柱北面之最大總壓力紀錄 5-88

圖 5.61 (上)第 11 組橋墩、(下)第 4 組橋墩之沖刷模擬 5-89
圖 5.62(a) 入射波 3 公尺，1~19 組橋墩之最大堆積及侵蝕高度.....5-89
圖 5.62(b) 入射波 4 公尺，1~19 組橋墩之最大堆積及侵蝕高度.....5-90
圖 5.62(c) 入射波 6 公尺，1~19 組橋墩之最大堆積及侵蝕高度.....5-90
圖 5.62(d) 入射波 10 公尺，1~19 組橋墩之最大堆積及侵蝕高度
90
圖 A.1 中央氣象局風場 NFS 及 WRF 風場資料範圍圖.....附 1-2
圖 A.2 風場輸出範圍 .....附 1-2
圖 A.3a 2013/7/13 3 時 蘇力颱風大尺度(NFS-RC)風速風向分佈
圖 .....附 1-5
圖 A.3b 2013/7/13 3 時 蘇力颱風中尺度(NFS-MC)風速風向分佈
圖 .....附 1-6
圖 A.4a 2013/7/13 3 時蘇力颱風大尺度(WRF-WA01)風速風向分
佈圖 .....附 1-6
圖 A.4b 2013/7/13 3 時蘇力颱風大尺度(WRF-WA02)風速風向分
佈圖 .....附 1-7
圖 A.4c 2013/7/13 3 時蘇力颱風小尺度(WRF-WA03)風速風向分
佈圖 .....附 1-7
圖 A.5a 蘇力颱風路徑圖 .....附 1-9
圖 A.5b 蘇力颱風衛星圖 .....附 1-10
圖 A.6a 西馬隆颱風路徑圖 .....附 1-11
圖 A.6b 西馬隆颱風衛星圖 .....附 1-12
圖 A.7a 潭美颱風路徑圖 .....附 1-13
圖 A.7b 潭美颱風衛星圖 .....附 1-14
圖 A.8a 康芮颱風路徑圖 .....附 1-15
圖 A.8b 康芮颱風衛星圖 .....附 1-16

圖 A.9a 天兔颱風路徑圖 ..... 附 1-17
圖 A.9b 天兔颱風衛星圖 ..... 附 1-18
圖 A.10a 菲特颱風路徑圖 ..... 附 1-19
圖 A.10b 菲特颱風衛星圖 ..... 附 1-20

第一章 緒論

1.1 計畫緣起

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

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

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

1.提升災害應變作業效能

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

2.健全災害風險評估與災害管理體制

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

3.強化災害防救資訊共通平臺，落實資源共享

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

4.加強防災知識傳播與溝通認知

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

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

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

1.2 主要工作項目

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

1.提昇海岸及港灣海域海象模擬技術之研究：

精進海岸及港灣地區之颱風波浪預警系統，提供環島藍色公路及航港局及港務公司各港口航運安全之風浪預警資訊。考慮氣候變遷效應，精進海岸及港灣地區之颱風暴潮預警系統，提供海岸溢淹預警資訊。流場預警系統，迅速提供緊急海難、油污擴散、港口航運安全之資訊。

2.海嘯對港區及跨河橋樑之影響風險評估研究：

海岸及港灣地區海嘯影響範圍、淹水潛勢分析與預警系統，提供溢淹模型與風險評估，建立跨河橋樑受海嘯影響數值模式，據提高港灣防災能力，及建立民眾自救知識與緊急逃生用。

本研究擬以計畫執行期間，結合相關合作計畫研究，藉由國外的發展經驗，持續擴充建置一套適用於臺灣海域之近岸海象預報系統。因此本計畫為以作業化方式整合海岸及港灣海域風浪、潮汐及海流模式、海嘯模式等，分年執行之工作內容分期說明如後：

1. 前期研究(100~101 年)

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

2. 本期研究(102 年)

(1) 提昇海岸及港灣海域海象模擬技術之研究

i. 精進海象自動化預報模擬系統之預報精確度：針對高雄港域及安平港域，進行波浪、水位及流場等海象每日 72 小時作業化模擬(昨日、今日、明日)、即時作業化模擬等相關資訊之改善研究，並以颱風侵臺時期之颱風波浪及暴潮為研究重點。

ii. 高雄港域及安平港域波浪、水位及流場等海象預報作業化成果評估：以港灣技術研究中心(或中央氣象局)現場觀測資料進行模擬結果之校驗及精度評估等工作。

iii. 高雄港域及安平港域波浪、水位及流場等海象模擬結果之特性分析：包括典型夏季季風、典型冬季季風及颱風侵臺期間等海象分析成果。

iv. 建立高雄港域及安平港域海象模擬預警系統：針對本系統辦理教育訓練，另對颱風發生期間之海象進行模擬作業演練。

v. 建置臺灣周圍海域暴潮模式：以本年度或歷史颱風資料進行暴潮模擬與驗証，針對高雄港域及安平港域長期水位分析結果，檢核港口之設計水位。

vi. 作業系統維護與資料分析、軟硬體之更新與測試、預報成果與實測之差異性檢討與改進、模式作業化環境之改善及維護等相關工作。

(2) 海嘯對港區及跨河橋樑之影響風險評估研究

i. 自動擷取太平洋海嘯預警中心 (Pacific Tsunami Warning Center) 或是 USGS 網站地震資料。

ii. 高雄港域及安平港域未來 50 年及 100 年之海嘯災害風險評估。

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

iv. 建立高雄港域及安平港域海嘯模擬預警系統並進行教育訓練。

v. 模擬無潮汐影響的狀況下，海嘯沿高屏溪口向上游傳遞時跨河橋樑所受之衝擊力。

vi. 模擬無潮汐影響的狀況下，海嘯沿高屏溪口向上游傳遞時跨河橋樑橋墩週遭之沖刷。

vii. 模擬潮汐影響下，海嘯沿高屏溪口向上游傳遞時跨河橋樑所受之衝擊力變化。

3. 後期研究(103 年)

(1) 提昇海岸及港灣海域海象模擬技術之研究

i. 精進海象自動化預報模擬系統之預報精確度:以基隆、臺北、蘇澳、花蓮、高雄、安平、臺中及布袋等 8 個港域為對象，針對海象預報模擬系統每日執行 72 小時(含昨日、今日、明日)波浪、水位及流場等海象作業化模擬相關資訊進行改善研究，並以颱風侵臺時期之颱風波浪及暴潮為研究重點。

ii. 波浪、水位及流場等海象預報作業化成果評估：以前述 8 個港域為對象，配合港灣技術研究中心(或中央氣象局)之現場觀測資料進行模擬結果之校驗及精度評估等工作。

iii. 波浪、水位及流場等海象模擬結果之特性分析：針對前述 8 個港域進行包括典型夏季季風、典型冬季季風及颱風侵臺期間等海象分析成果。

iv. 針對前述 8 個港域海象模擬預警系統辦理教育訓練，另對颱風發生期間之海象進行模擬作業演練。

v. 建置臺灣周圍海域暴潮模式：以本年度或歷史颱風資料進行暴潮模擬與驗証。

vi. 進行作業系統維護與資料分析、軟硬體之更新與測試、預報成果與實測之差異性檢討與改進、模式作業化環境之改善及維護等相關工作。

(2) 海嘯對港區及跨河橋樑之影響風險評估研究

i. 自動擷取太平洋海嘯預警中心 (Pacific Tsunami Warning Center) 或是 USGS 網站地震資料。

ii. 蘇澳港域及花蓮港域 50 年及 100 年之海嘯災害風險評估。

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

iv. 模擬海嘯沿高屏溪口向上游傳遞之溯上距離、跨河橋梁橋墩附近水位變化、流速及衝擊力等特性。

v. 模擬海嘯沿高屏溪向上游傳遞時跨河橋梁橋墩週遭之沖刷特性。

vi. 對於臺灣本島8個主要商港港域及高屏溪海嘯模擬成果進行教育訓練。

1.3 研究計畫內容

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

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

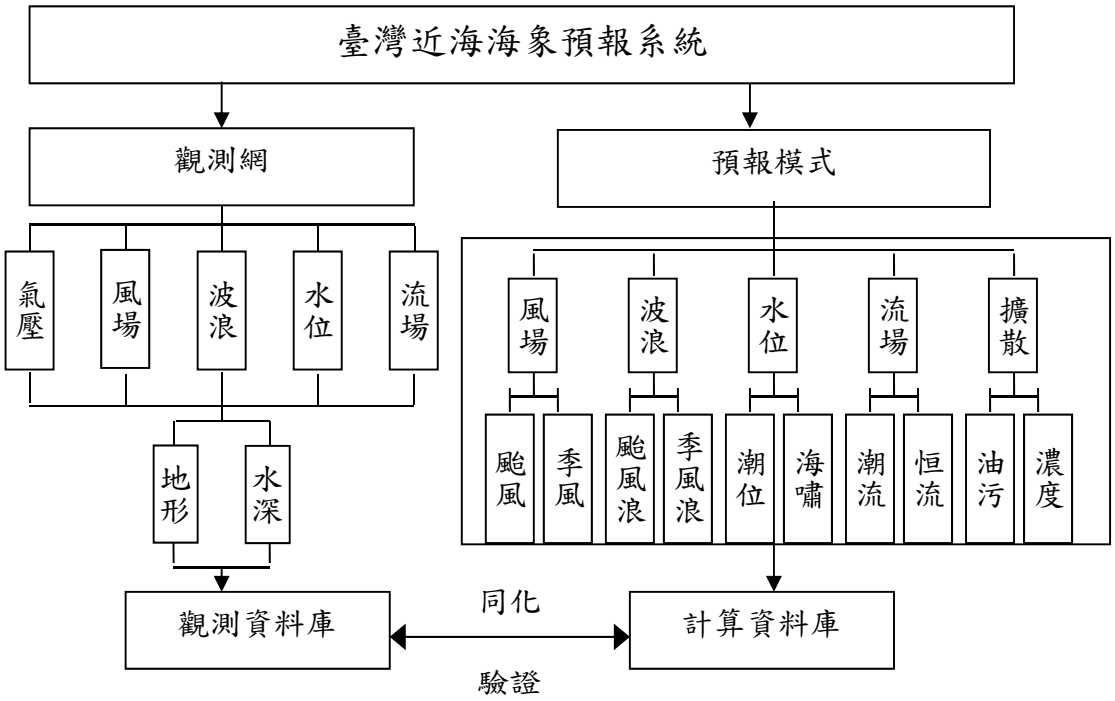


圖 1.1 臺灣近海海象預報系統架構圖

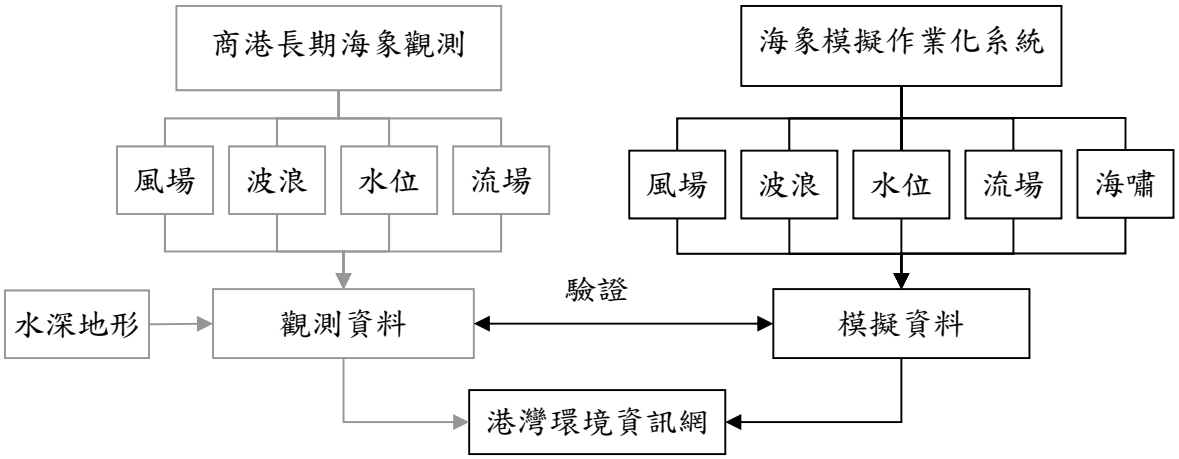


圖 1.2 海象模擬作業化系統整體架構圖

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

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

1.4 本年度研究成果

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

(1) 本計畫在近海海象預報模擬系統的預報時間已能夠在完整取得中央氣象局提供風場及氣壓場預報後已由之前 5 小時所需運作時間提前至 3 小時之內可完成大尺度及中尺度預報，其中包括風場(氣壓)、波浪、水位及流場等自動化預報系統作業。

(2) 風場部分：計畫內不執行風場的預報模擬，平時及颱風期間主要引用中央氣象局 NFS 海上風場模式配合風浪及水動力模式需求內插後所產生的全域預報風場及氣壓場，並長期進行各港區風場(氣壓)預報模式作業化成果評估。今年度並初步評估中央氣象局 WRF 風場並與中央氣象局介接，完成所需新一代風場作業化部分。

(3) 在風浪作業化模擬方面，大尺度西太平洋範圍風浪模組具體改善內容包括：在作業化模擬流程修正使其更能符合 TaiCOMS 之設計規劃預報流程；在模擬技術方面包括風場資料更新(如以 MC 風場取代 RC 風場)以及風浪模擬結果之波向、週期及波高等呈現均有實質改善成效；在風浪模擬資訊提供方面除了原七大商港外，增加布袋港及澎湖、金門及馬祖等離島海域風浪模擬資訊至港灣資訊網供外界查詢等；此外，配合硬體設備更新，針對中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組採行多核心平行化處理，顯著提昇中尺度網格風浪模擬效率，縮短 72 小時模擬預報時間。

(4) 在港區小尺度及細尺度網格波浪模擬研究上，除針對安平港及高雄港小尺度網格波浪場模擬進行必要的資料更新研究外，更針對安平港進行細尺度網格改善研究，使其能符合現況同時模擬安平港與安平漁港水域之波浪場。

(5) 在臺灣周圍海域暴潮模組建置研究方面，分別針對天文潮引起的水位變化及含氣象潮效應之天文潮水位變化進行模擬結果驗証與分析；其中天文潮水位變化模擬結果均能夠與高雄港及安平港潮位變化相符，証明中尺度有限元素網格之水位模擬結果能符合需求；另在氣象潮水位變化分析結果得知，氣象潮水位變化趨勢與氣壓差值變化趨勢具有高度相關性，但二者相關性之決定係數值約為 0.45，顯示模式模擬結果而言風場效應引起的水位變化亦居重要的影響地位。

(6) 在小尺度網格水動力模組研究上，分別針對安平港區近岸水動力模組及高雄港區近岸水動力模組進行必要的更新研究，內容除了針對模式主要的物理參數率定外，同時對開放邊界之水位資料改採用中尺度有限元素網格天文潮水位模擬結果進行小尺度有限元素網格水位及流場模擬；經由模擬結果驗証得知，安平港小尺度有限元素網格水位及流場模擬結果具有顯著改善成效，但高雄港小尺度有限元素網格水位及流場模擬結果則改善成效有限。

(7) 在海嘯作業模組上，精進安平港域及高雄港域海嘯數值模式之互逆格林函數資料庫並建立子系統，達到減少系統檔案大小並增進系統運算速度。

(8) 有關海嘯溢淹部分，計算結果為安平港在未來 50 年間發生海嘯且溢淹之機率為 9.84%，100 年為 19.43%；高雄港未來 50 年間發生海嘯且溢淹之機率為 0.55%，100 年為 1.09%。其分析結果安平港風險值高於高雄港，主要原因為安平港之地形大多為沙洲為主；而高雄港現有高程可抵擋大部份震源及地震矩規模所產生之波高，不至於產生溢淹，故其風險值甚低。

(9) 有關海嘯對跨河橋梁影響部分，參考 Megawati et al.所建立之馬尼拉海溝的地震參數，第一波海嘯約 20 分鐘抵達高屏溪口，海嘯波沿高屏溪河道上溯約 9 公里遠，溯上高度最高水位有 3 公尺高，雙園大橋首當其衝；模擬潮汐為高潮位及低潮位兩種不同邊界之條件並對其溯上之水位無較大影響；當入射波高大於 3 公尺，

其海嘯波才會沿高屏溪河道上溯至雙園大橋，其水流對橋墩、墩柱引致作用力。

(10)配合本中心港灣環境資訊系統需求，協助建立海象模擬預報網頁，平時提供各港區(基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、臺中港、布袋港、澎湖)、臺灣周圍海域及藍色公路，有關風場、波浪、水位及流場等海象資訊，以供交通部航港局、臺灣港務公司港口及各相關單位參考使用。

第二章 海象模擬作業化系統

2.1 海象模擬作業化系統架構

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

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

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

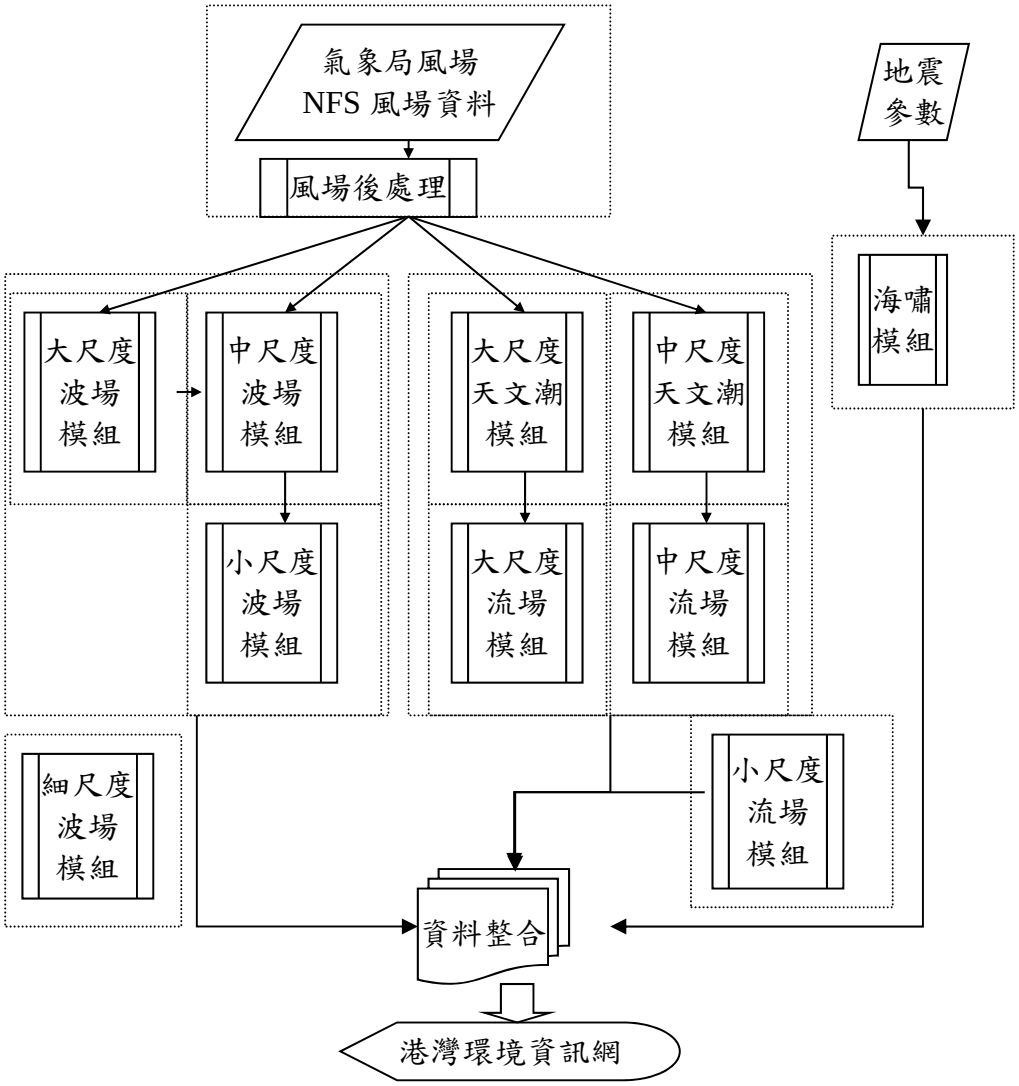


圖 2.1 海象模擬作業化系統流程圖

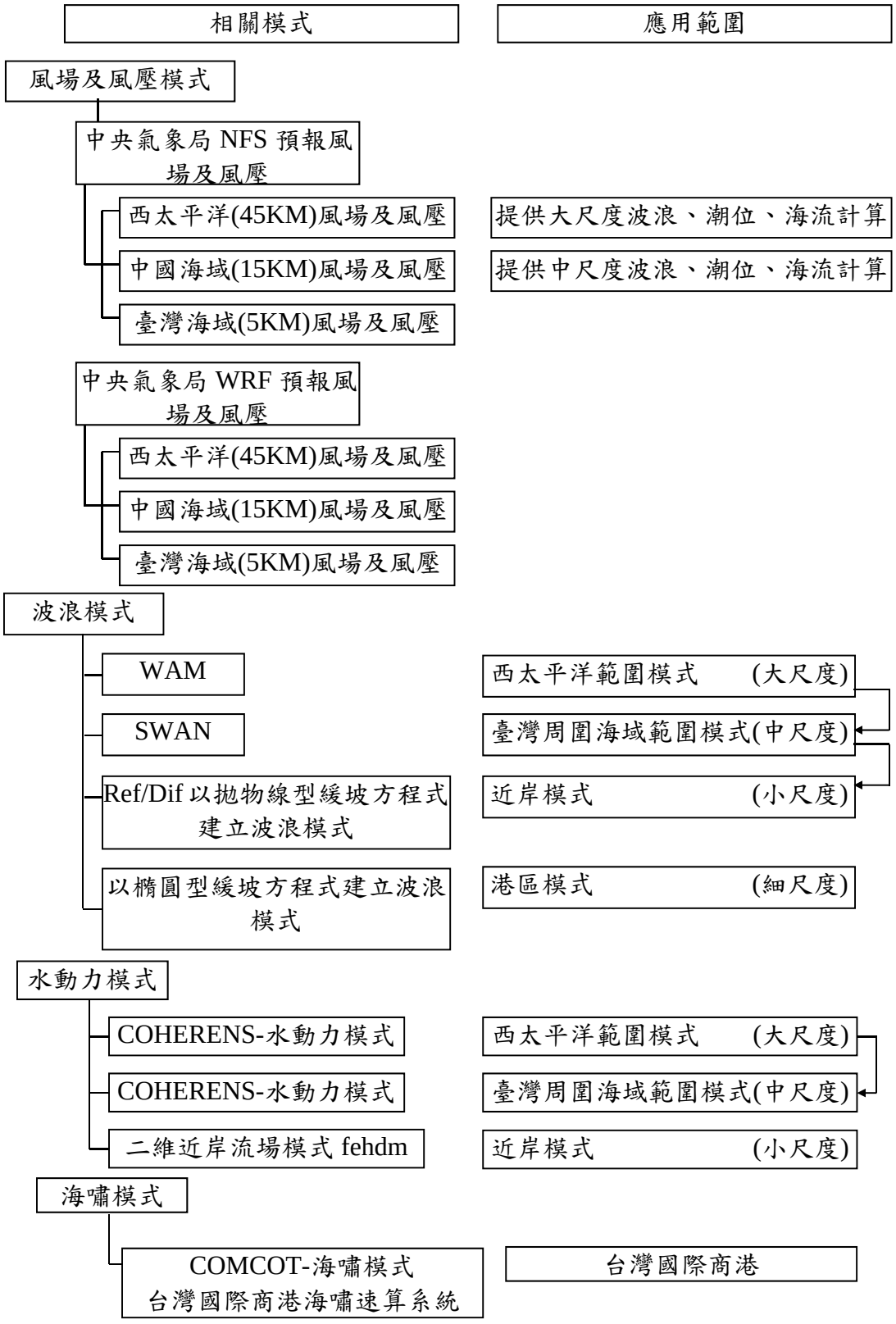


圖 2.2 海象模擬作業化系統下相關模式架構圖

1.風場模式簡述

目前主要採用有限區域預報系統風場預報，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。本年度新增氣象局 WRF (Weather Researchand Forecasting model)作業化預報風場資料，測試評估相關資料，以增加後續系統模式的預報能力。

2.波浪模式作業系統簡述

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

(1) 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˚x0.2˚(12 分網格)。

(2) 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˚x0.04˚(2.4 分網格)。

(3) 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。

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

3.水動力模式作業系統簡述

水動力模式系統共規劃三種尺度的範圍，包括西太平洋範圍(遠域)、臺灣周圍海域範圍(近域)、近岸海域範圍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：

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

(2) 近域水動力推算：指的是臺灣周圍海域模式範圍，屬於中尺度的推算，主要應用歐盟發展的模式 COHERENS 作為水位及海流的計算工具，並配合發展適合臺灣海域颱風作用的颱風模式及參數率定，與中央氣象局每日預報之動態風場結合，成為本土化應用之潮汐及風暴潮複合動力模式，臺灣環島二維水位及海流模式，此部分為水深平均流速，主要驅動力為潮汐及風驅流，並無洋流

的輸入。本計畫中尺度模式又稱為臺灣海域模式，其模擬範圍為北緯 21°至 26.5°，東經 116.5°至 125°，數值計算網格大小為 1′×1′(1 分網格)。

(3) 近岸水動力推算：小尺度的近岸區域模式系統，主要應用的各港區近岸水動力模式則採用二維有限元素水動力模式 fehdm(有限元素水動力模式)，並依據各個商港地區不同特性來規劃計算範圍，各港口模擬範圍之選取主要以各港口為中心，配合海岸線及地形水深變化進行規劃，離岸之開放邊界則儘量與海岸線平行。基於此，本計畫各港口水動力模式模擬範圍大小在沿岸方向約介於 20km～30km 之間，離岸距離在各港口約介於 10km～15km 之間。

(4) 臺灣周圍海域模式暴潮模擬：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，依據中央氣象局有限區域模式(NFS)預報之數值風速及氣壓場資料，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。

4. 海嘯模式作業系統簡述

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

表 2-1a 中央氣象局風場 NFS 風場資料格式

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

表 2-1b 中央氣象局風場 WRF 風場資料格式

DMS FLAP	座標系統	DIMESION	RESOLUTION	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 2-1c 作業系統內大尺度及中尺度風、波及流場資料格式

	模式	DIMESION	模式格網	格點位置
風場	採用 NFS 之 RC 風場內插	307*211	1/6 度 =0.166667	底圖 左下點(0N,99E) 右上點(35N,150E)
	採用 NFS 之 MC 風場內插	301*301	1/12 度 =0.083333	底圖 左下點(10N,110E) 右上點(35N,134E)
波場	西太平洋範圍模式 (WAM 模式)	121*126	0.2 度 (約 20 公里)	底圖 左下點(10N,110E) 右上點(35N,134E)
	臺灣周圍海域波浪模式(SWAN 模式)	101*126	0.04 度 (約 5 公里)	底圖 左下點(21N,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)

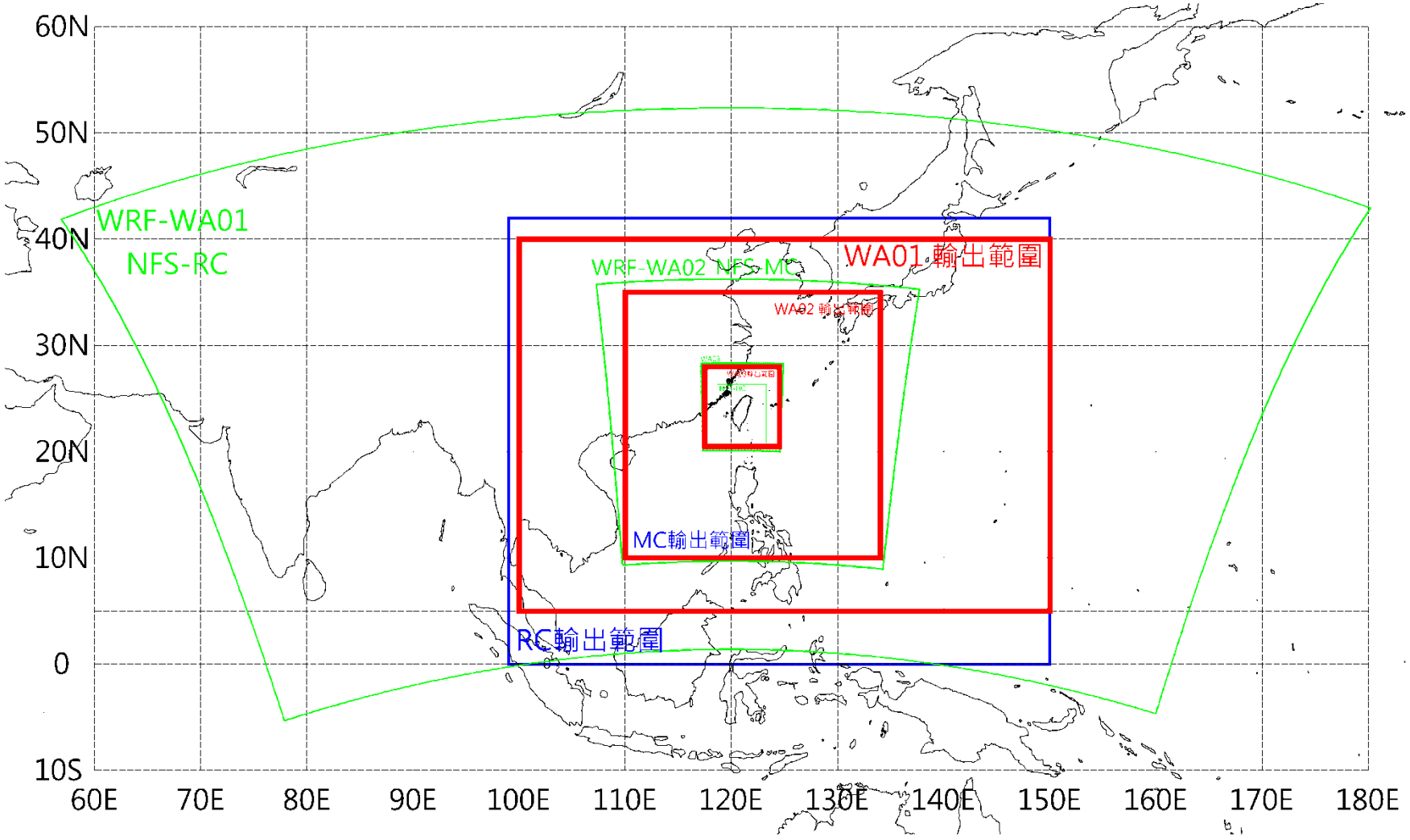


圖 2.3 主要模式涵蓋範圍

2.2 作業化流程

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

本系統每日凌晨 3 時進行該日模擬計算，首先下載氣象資料，而後解碼重整及內插產出後續模式所需風場及氣壓場後，隨即開始進行各模式的計算作業。各模組計算時間：風場模組(含資料取得傳送)約需 30 分鐘；波場模組部分大尺度模擬約 1 小時，中尺度模擬約 1 小時 30 分，小尺度模擬約 1 小時；流場模組部分大尺度模擬約 1 小時，中尺度模擬約 1 小時，小尺度模擬約 1 小時至 3 小時。

大尺度及中尺度結果會於上午 6 時前完成並立即進行圖表製作及彙整固定資料夾，本部分於並由港灣環境資訊系統更新海象模擬資訊網頁,其他配合小尺度計算延後產出,整體作業時間流程如圖3.2所示。現階段環境以達到若氣象資料取得後，多除小尺度流場外約 4 小時內完成相關作業。

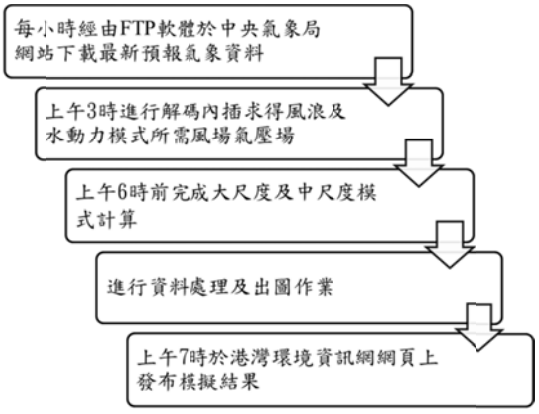


圖 2.4 海象模擬系統作業時間流程

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

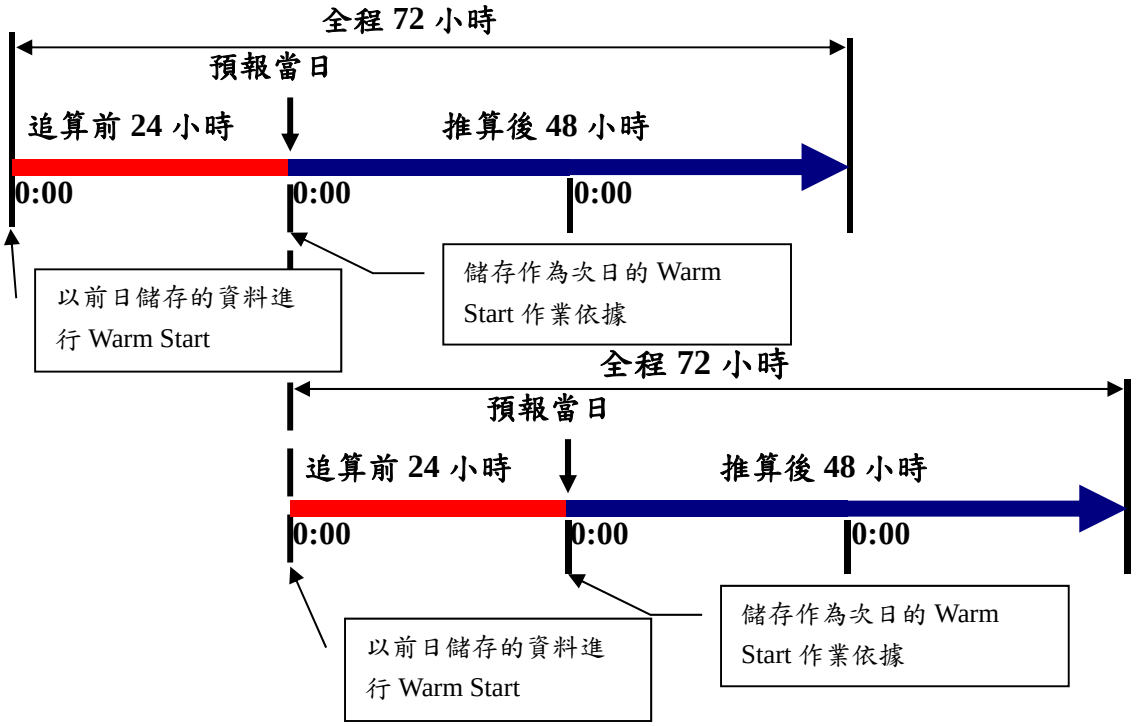


圖 2.5 海象數值模擬系統兩日作業流程範例圖

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

整體成果評估目前所採用為系統每天的預報資料，並彙整本中心的觀測資料，製作標準資料檔，包括風場、波場、水位場及流場等進行評估作業。本年度風力及波浪季評估報告及颱風期間評估報告成果彙集成專冊－2013 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－2013 年海象流作業化預報成果(水位及海流部份)。

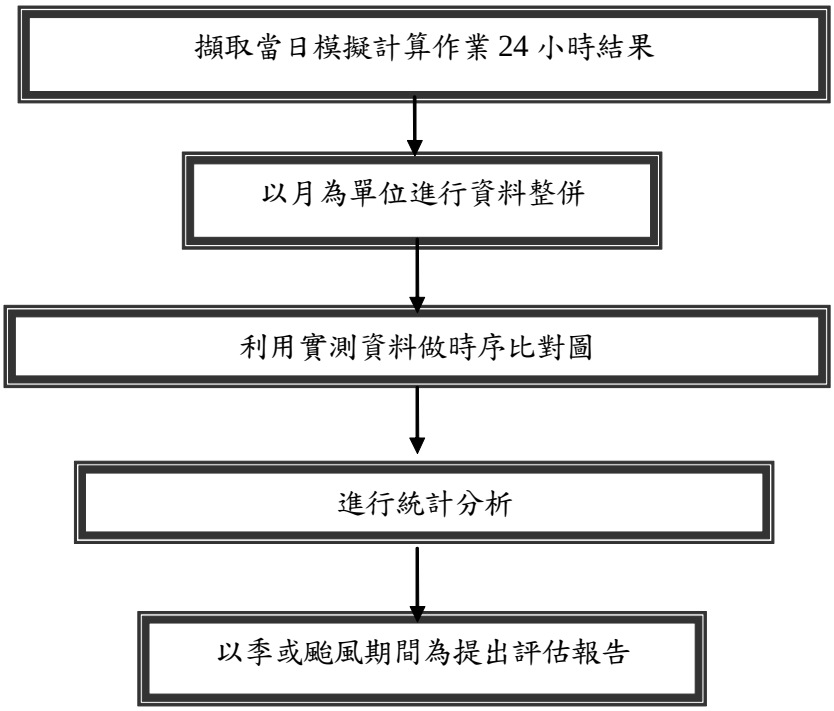


圖 2.6 海象數值系統線上作業成果評估流程

2.2.1 系統資料格式及應用軟體

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

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

整體作業流程在大尺度及中尺度包含風、波浪、水位、海流部分與有關小尺度波浪部分，延續前期系統架構主作業軟體建置於 SUSE linux 作業系統內，並將風、波浪及水動力分別建置於不同伺服器進行運作，作業環境利用系統內 shell script 程式語言撰寫，部分則利用 fortran 程式語言撰寫，過程中同時使用美國海洋大氣總署(NOAA)太平洋環境實驗室(PMEL)所發展 鼬(ferret)軟體，作為本系統作業化主要的排程包含資料格式建置及前後處理軟體繪圖等。鼬軟體目前發展到 6.85 版本，鼬軟體主要功能可分析其數值海洋模式的產出和網格化，並觀測數據進行比較。

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

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

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

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

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

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

表 2-2 系統內主要應用軟體說明

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

2.2.2 風場作業化模組

在本系統設定架構下風場及氣壓場預報資料係採用中央氣象局所提供的全域即時預報風場及氣壓場資料，經由作業化系統處理成系統內其他模式所需之風場及氣壓場格式。本年度除延續原系統NFS風場，並新增 WRF 風場資料進行評估比對。

2.2.2.1 NFS 風場模組作業化架構

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

表 2-3 有限區域模式氣象主要資料彙整表

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

有關風場模組作業流程如圖 3.5 所示。原始風場解碼及內插後提供波波浪模組及潮流模組網格格式，現階段所提供的資料包含代號 RC(解析度 45km)及 MC(解析度 45km)可參考上小節；所提供原始風場資料範圍請參考圖 2.9 及系統內輸出 RC 及 MC 範圍如圖 3.10a 及圖 3.10b 所示。

作業化所展示資料為 RC 及 MC 2 維資料及各港口 MC 風場歷線資料，其風場向量圖檔如圖 2.11 所示，另圖 2.10 中央氣象局蘇力颱風侵台時衛星照片可作為相關比對。

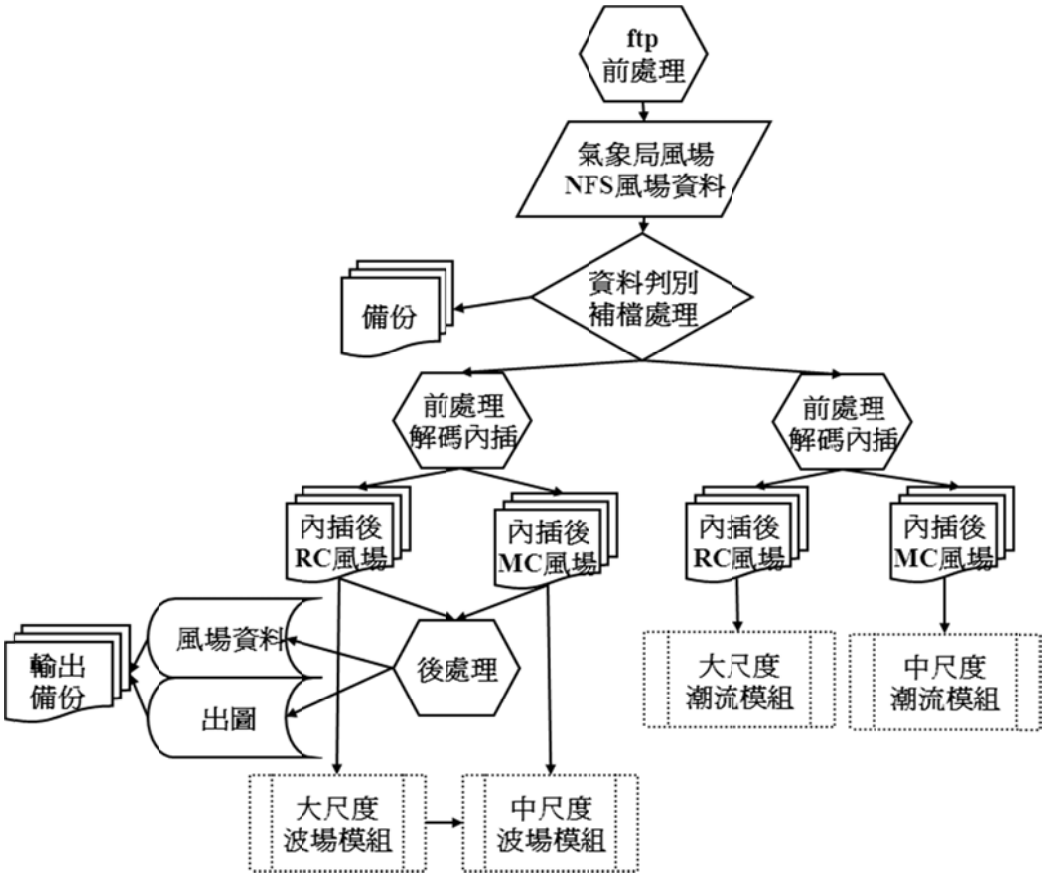


圖 2.7 風場模組作業流程圖

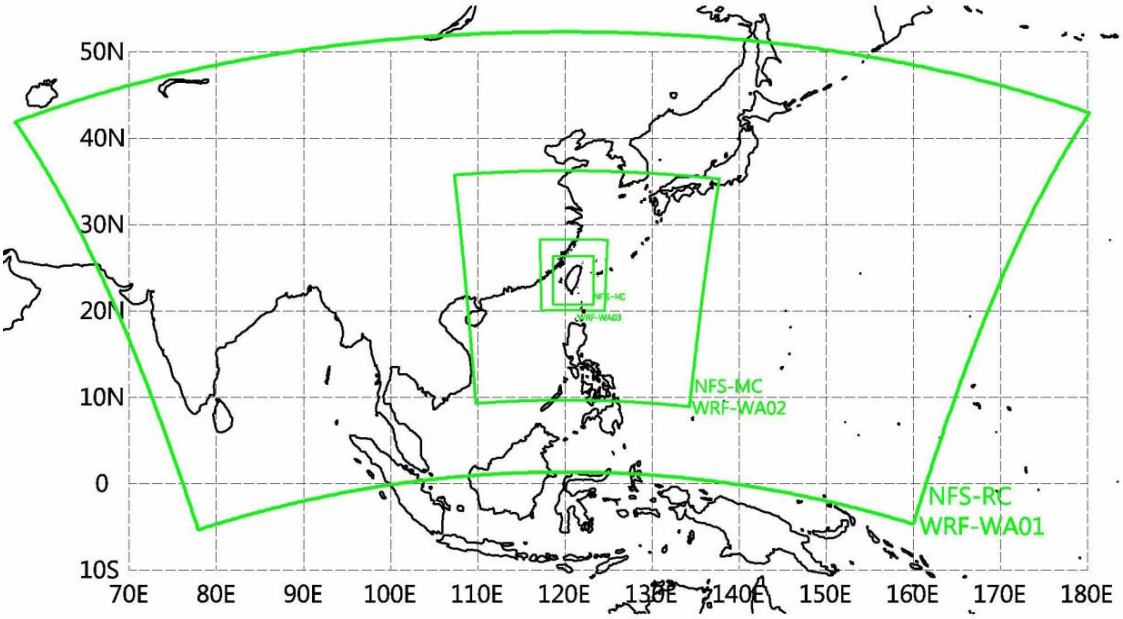


圖 2.8 中央氣象局風場 NFS 及 WRF 風場資料範圍圖

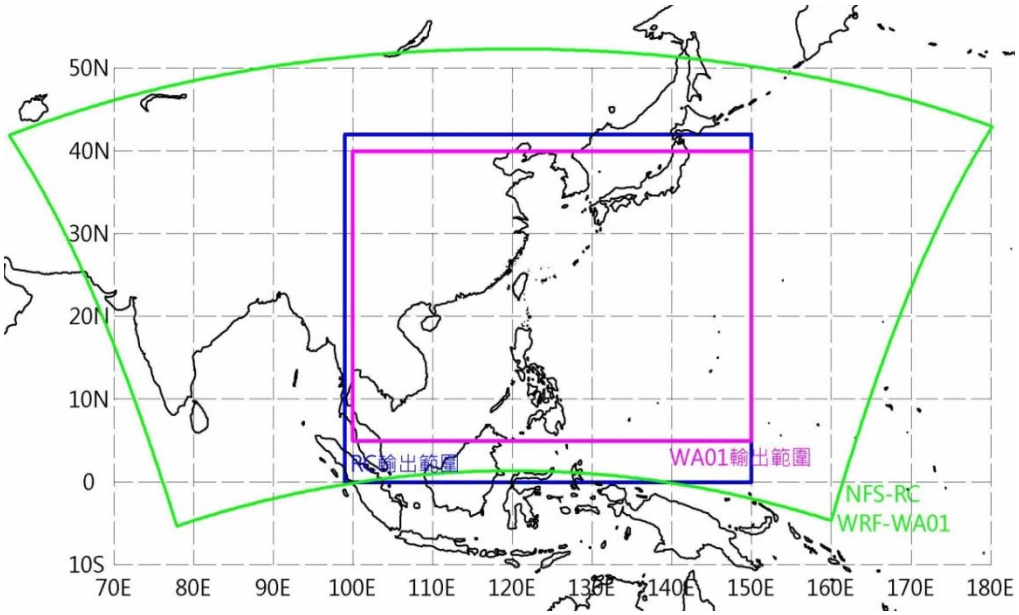


圖 2.9a NFS(RC)及 WRF(WA01)風場輸出範圍圖

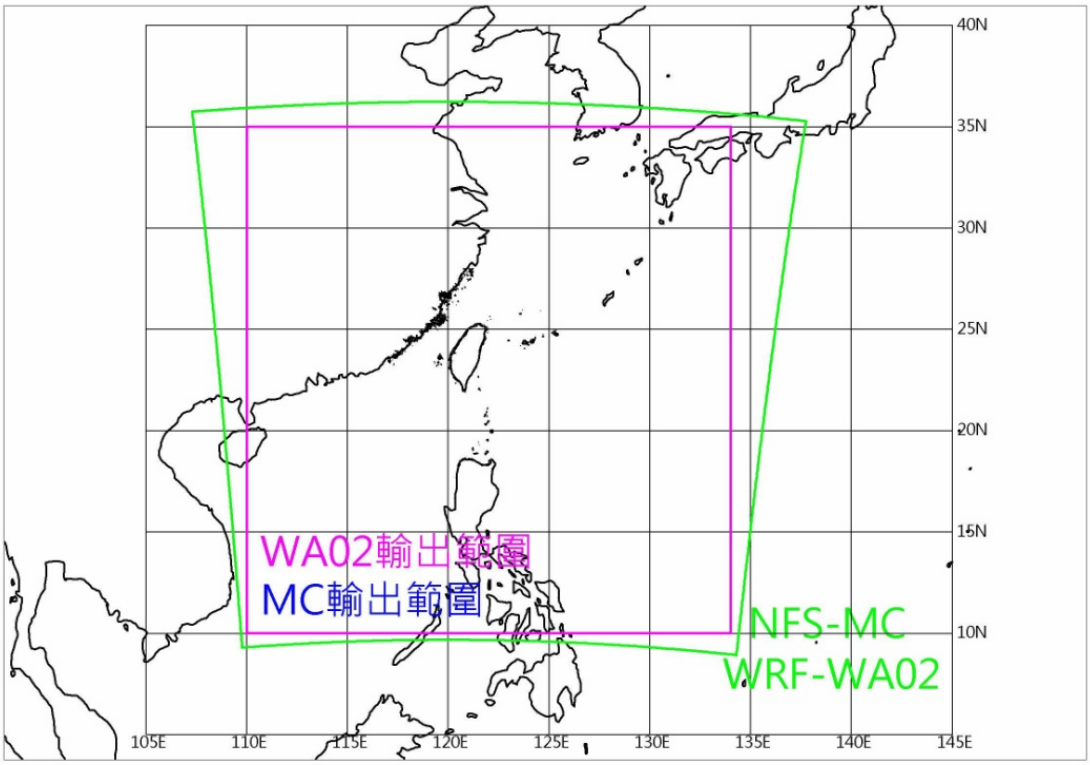


圖 2.9b NFS(MC)及 WRF(WA02)風場輸出範圍圖

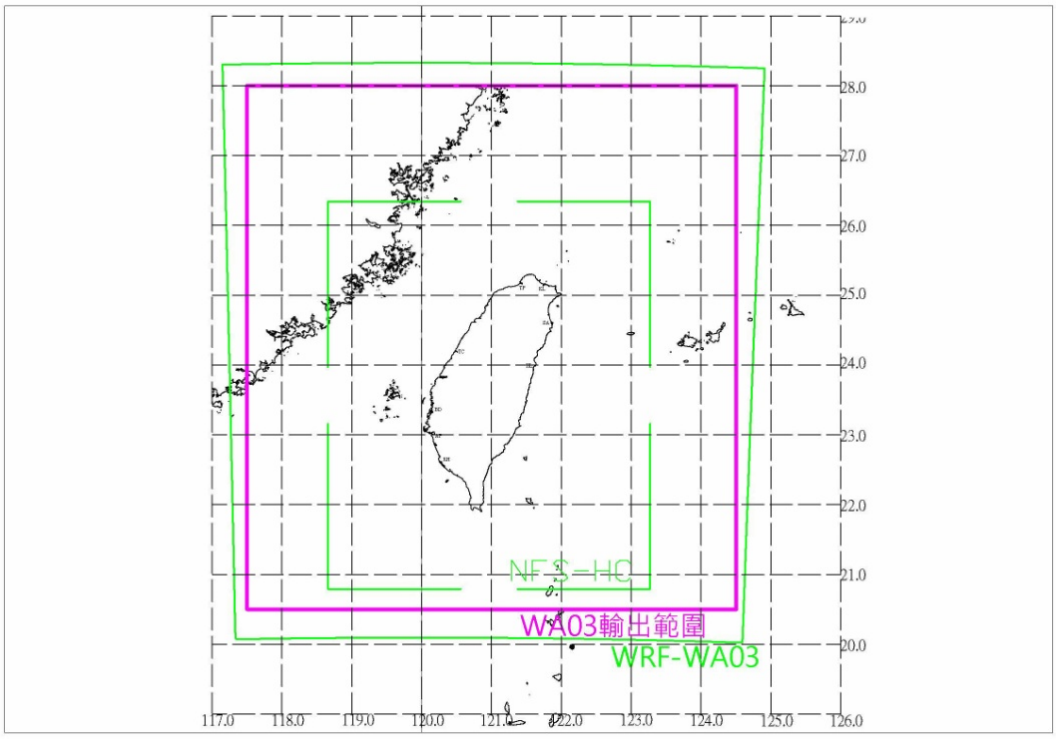


圖 2.9c WRF(WA03)風場輸出範圍圖

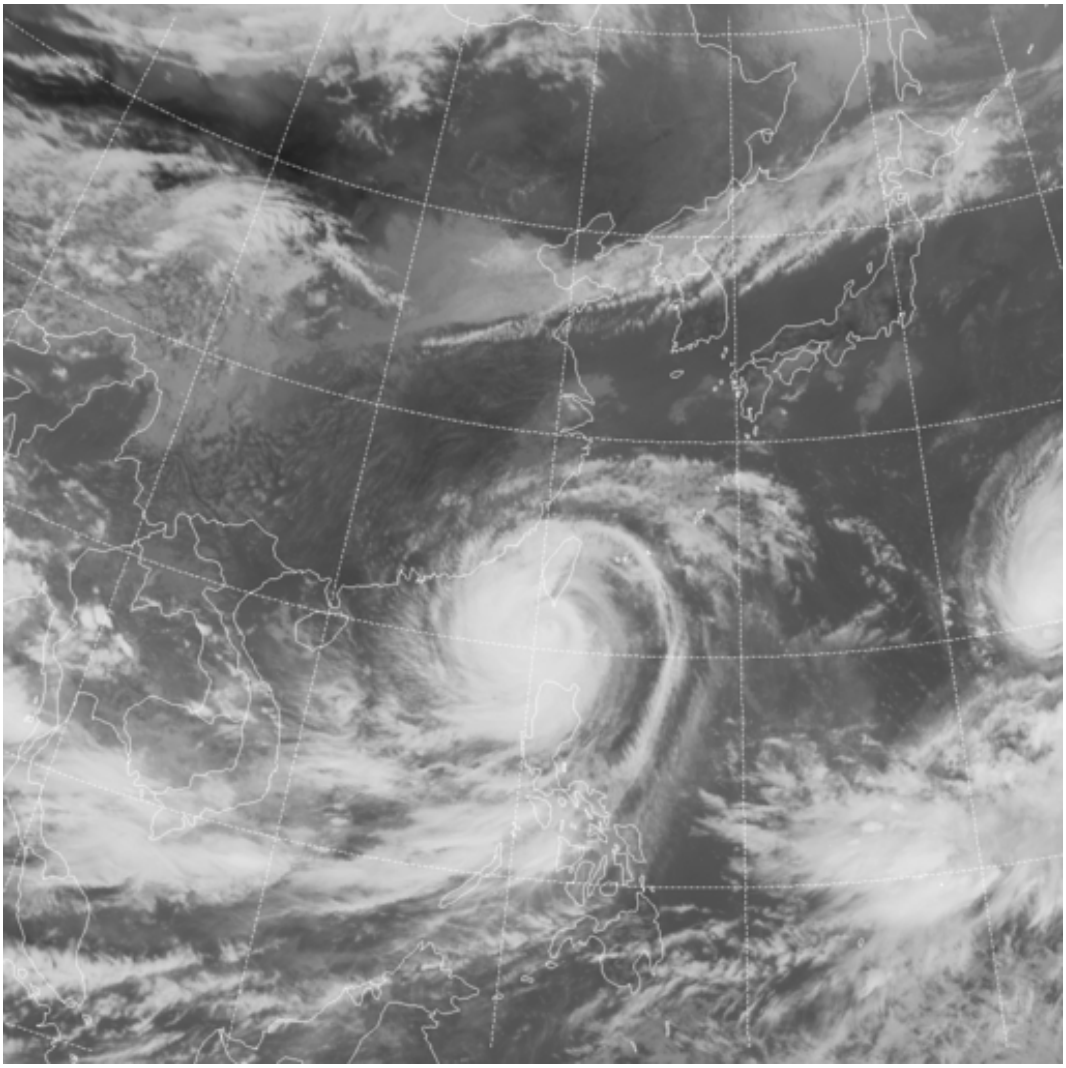


圖 2.10 中央氣象局天兔颱風衛星雲圖(2013-09-21-14:32)

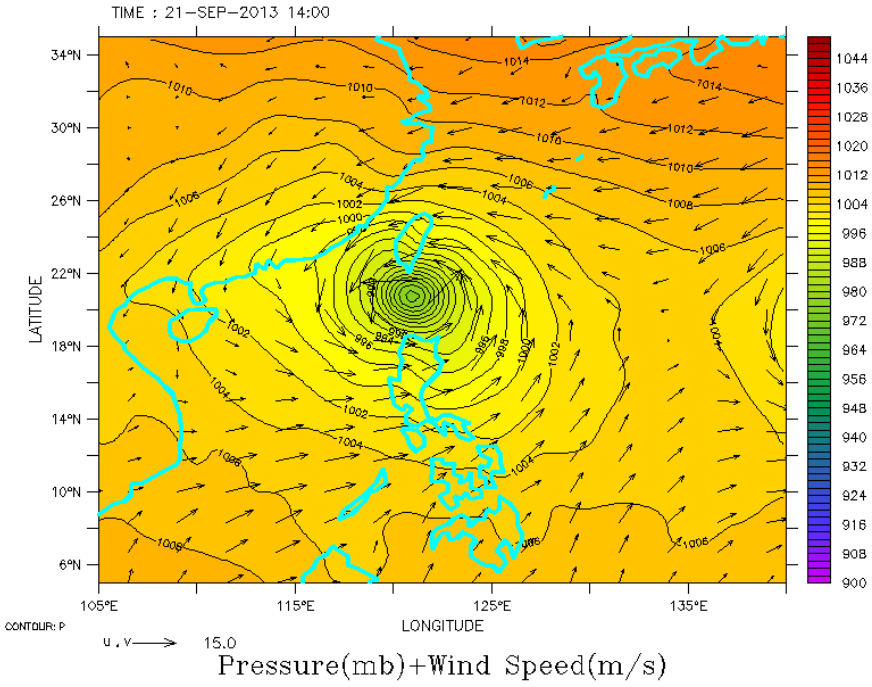


圖 2.11a 天兔颱風 9 月 21 日 14 時 RC 風場向量圖

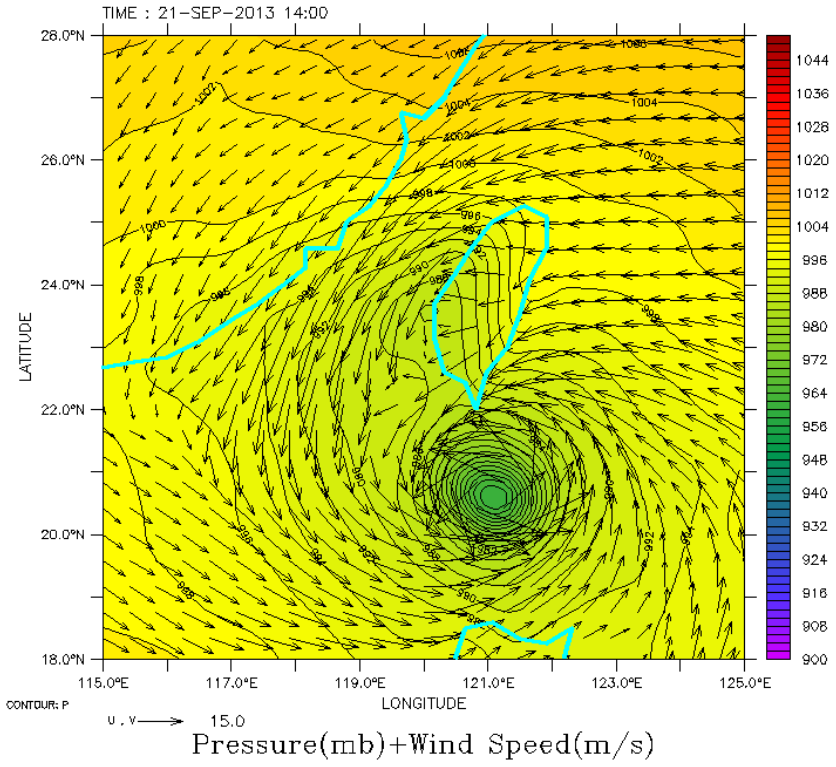
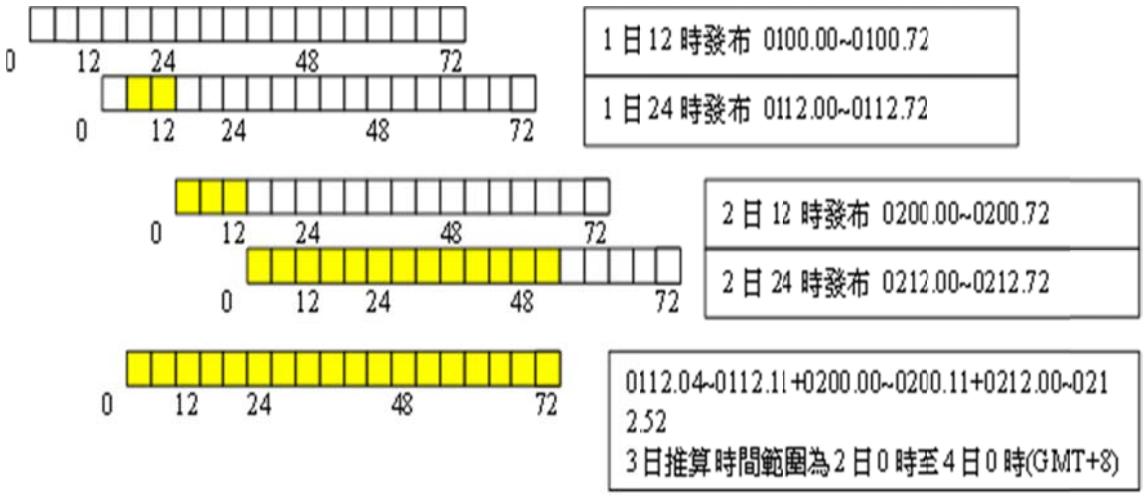


圖 2.11b 天兔颱風 9 月 21 日 14 時 MC 風場向量圖

每日預報風場作業化配合整體海象作業化流程將氣象局所提供風場資料以較接近預報時間資料為先擷取方式彙整，實際擷取方式可以第 3 日模擬作業進行範例說明如表 2-4 及圖 2.12 所示,3 日氣象模擬資料設定時間範圍為 2 日 0 時至 4 日 0 時(GMT+8)在氣象局提供檔案為，lbyyyymm0112.04~lbyyyymm0112.11+lbyyyymm0200.00~lbyyyymm0200.11+lbyyyymm0212.00~lbyyyymm0212.52。其中中央氣象局風場檔名命名方式為 lbyyyymmddHH.hhm，yyyy=西元年、mm=月、dd=日、HH+hh=時，檔案原始時間為 GMT(Greenwich Mean Time 格林威治標準時間)時間。

表 2-4 每日所擷取風場資料以第 3 日模擬風場為範例說明表

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



註：灰階部分為擷取資料範圍

圖 2.12 每日所擷取風場資料以第 3 日模擬風場為範例圖

2.2.2.2 WRF 風場模組作業化架構

採用中央氣象局所提供的WRF全域即時預報風場及氣壓場資料，已經由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。

中央氣象局 WRF 風場所提供本中心檔名命名方式與 NFS 雷同為wbyyyymmddHH.hhm，yyyy=西元年、mm=月、dd=日、HH+hh=時，檔案原始時間為 GMT(Greenwich Mean Time 格林威治標準時間)時間。所提供風場為每日 4 組 73 小時資料(其 hh 為 00、01…、72)，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 分鐘才完成發布資料，本所於該日 2 時、8 時、14 時及 18 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 66 層相關風場、氣壓場及溫度資料如表 2-5 所示，相關解碼則須配合此格式擷取不同資訊，在進行內插作業。

表 2-5 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)
地表空氣溫度場和風場	(45km, 15km,5km)
相對濕度	(45km, 15km,5km)
10 米高風場	(45km, 15km,5km)
平均海水面氣壓	(45km, 15km,5km)

每日預報風場作業化不同於 NFS 風場處理方式，配合每日 4 筆資料，每日分時段提供 4 筆資料，整體作業化流程將氣象局所提供風場資料以較接近預報時間資料為先擷取方式彙整，實際擷取方式直接擷取(06、07….、53)，提供模擬資料，每次可提供 48 小時預報資料，亦代表 WRF 預報風場較現有更密集且可供查詢預報時間會更多，未來將後續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 3.14 所示，其範圍如圖 3.10 所示，其展示畫面亦不同於 NFS 風場，提供風速風向箭頭表示，將海平面氣壓場僅以輪廓線呈現，並將氣壓值小於 1000 百帕改以紅色線標示，可增加颱風辨識度。

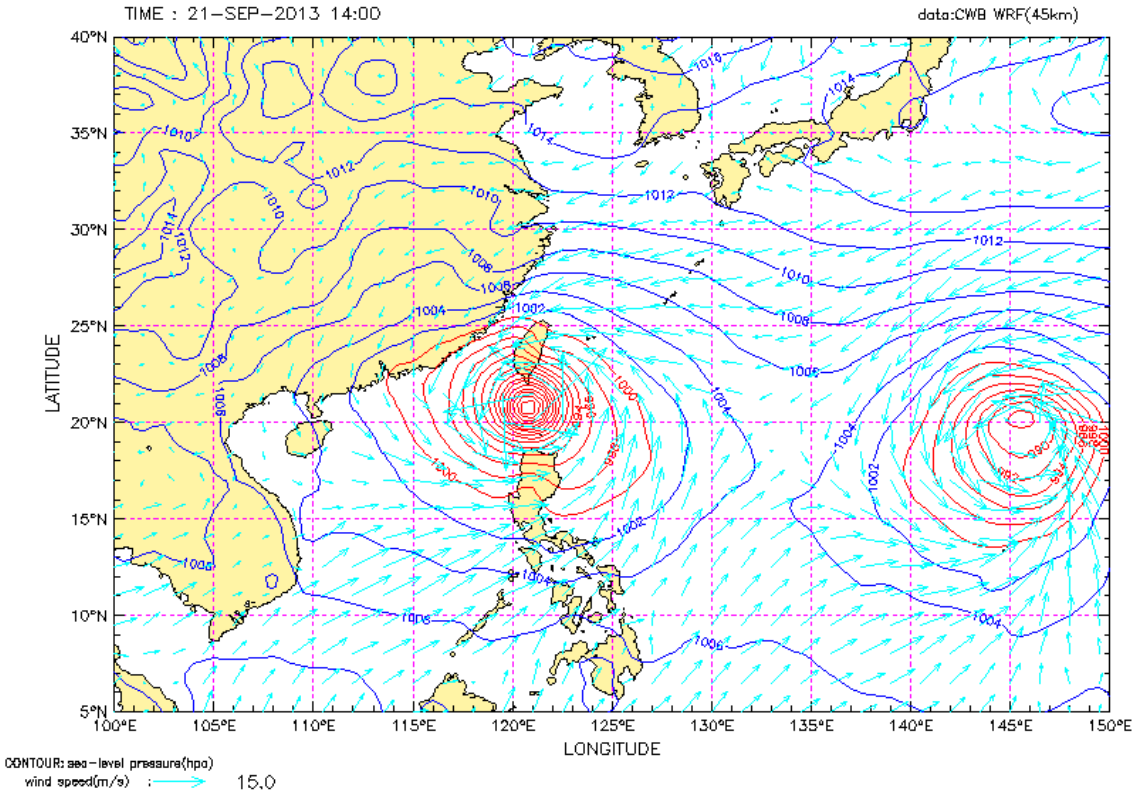


圖 2.13a 天兔颱風 9 月 21 日 14 時 WRF(WA01)風場向量圖

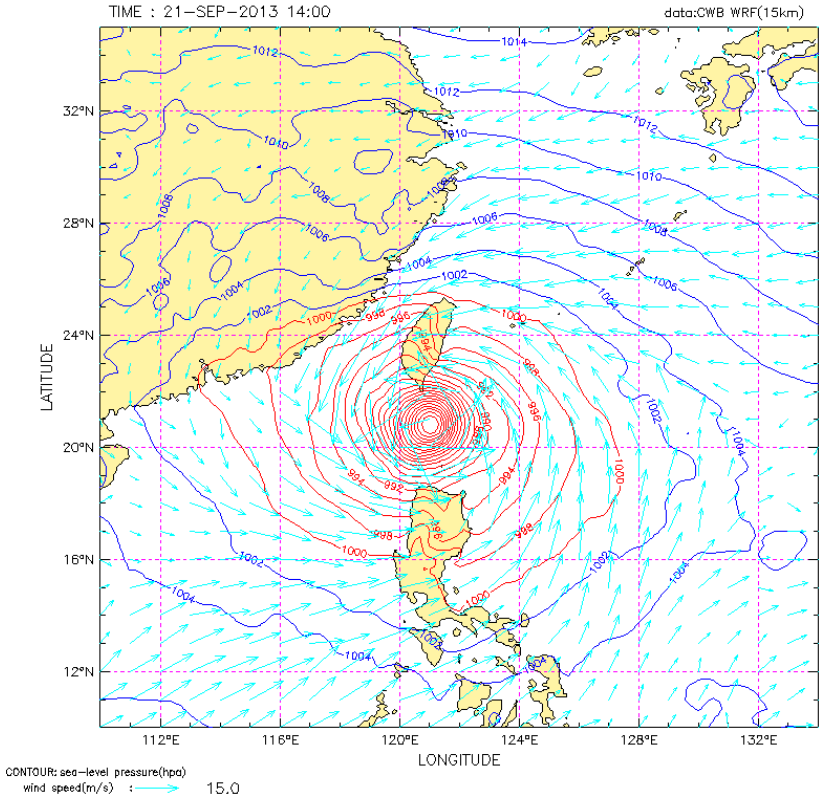


圖 2.13b 天兔颱風 9 月 21 日 14 時 WRF(WA02)風場向量圖

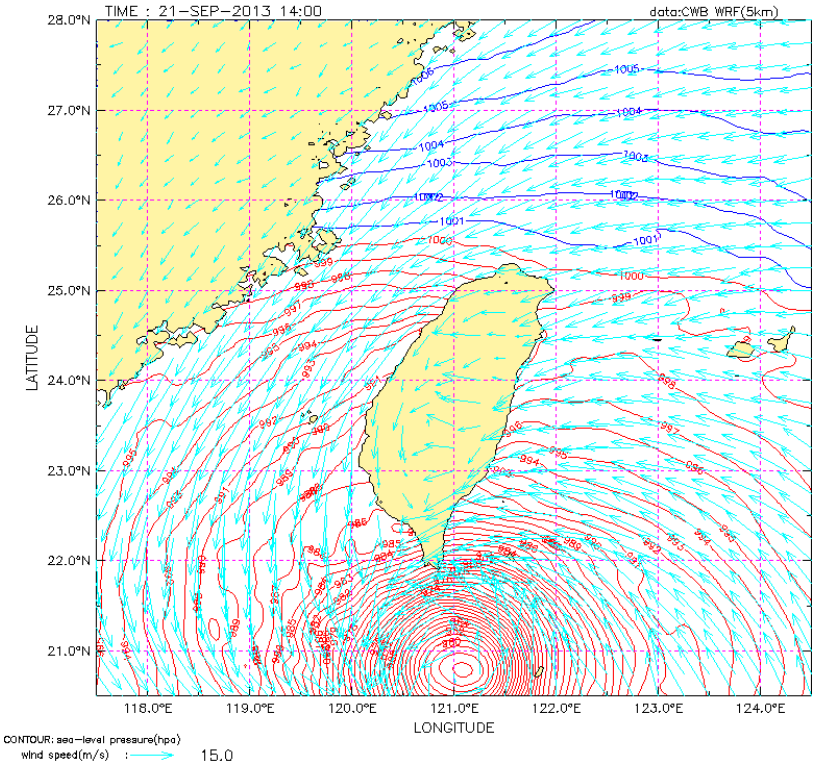


圖 2.13c 天兔颱風 9 月 21 日 14 時 WRF(WA03)風場向量圖

2.2.3 波浪作業化模組

在本系統設定架構下波浪作業化預報系統建構出三種不同尺度的波浪模組，分別為大尺度之西太平洋風浪模組，中尺度之臺灣周圍海域風浪模組，以及針對國內主要港口分別建置小尺度波浪模組。另外本年度細尺度模組以基隆港為範例，透過資料庫概念以及 MATLAB 的介面設計模組 GUIDE (Graphic User Interface Design Environment)介面發展建立港區波浪展示系統。有關波浪模擬作業流程如圖 2.14 所示。

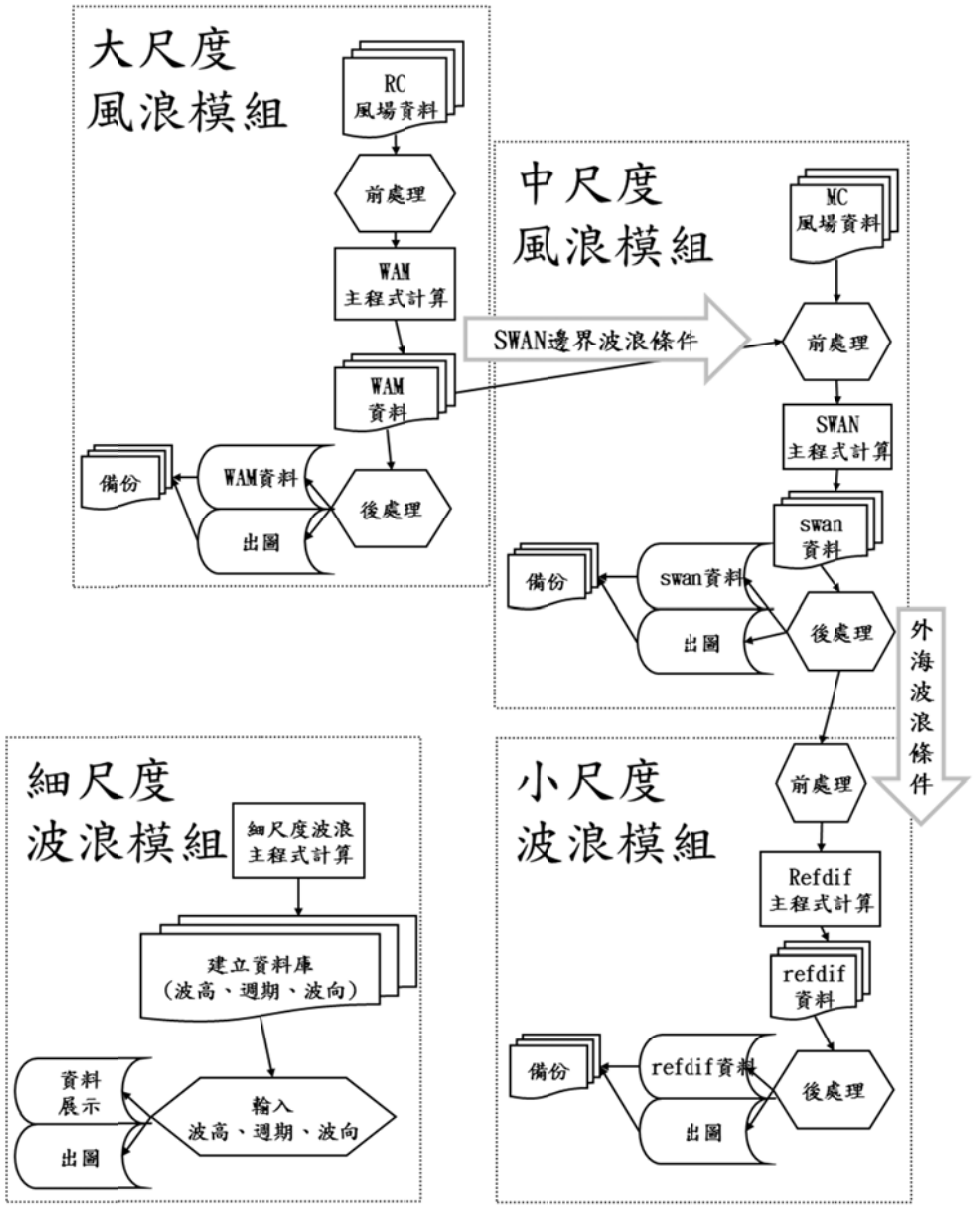


圖 2.14 波浪模擬作業流程圖

1.大尺度及中尺度風浪模組

大尺度及中尺度風浪模組為本系統內主要作業化風浪系統，每日取得內插後風場資料後即進行模擬，其中西太平洋風浪模式採用海洋波浪預測模式 WAM (Wave Modeling)為核心模式，目的在於產生中尺度臺灣周圍海域風浪模式所需之邊界條件，其模擬範圍涵蓋北緯 10 度至北緯 35 度及東經 110 度至 134 度，如圖 2.2 所示，網格大小為 12 分之地球弧形網格。中尺度之臺灣周圍海域風浪模式則採用荷蘭 Delft 大學所發展之近海風浪模式 SWAN (Simulating WAves Nearshore)為基礎，使其發展成適合於模擬臺灣周圍海域波浪特性之模式其模擬範圍以臺灣周圍海域為主，即北緯 21 度至 27 度以及東經 117 度至 123 度間海域，如圖 2.15 所示，模式網格解析度為 2.4 分網格。

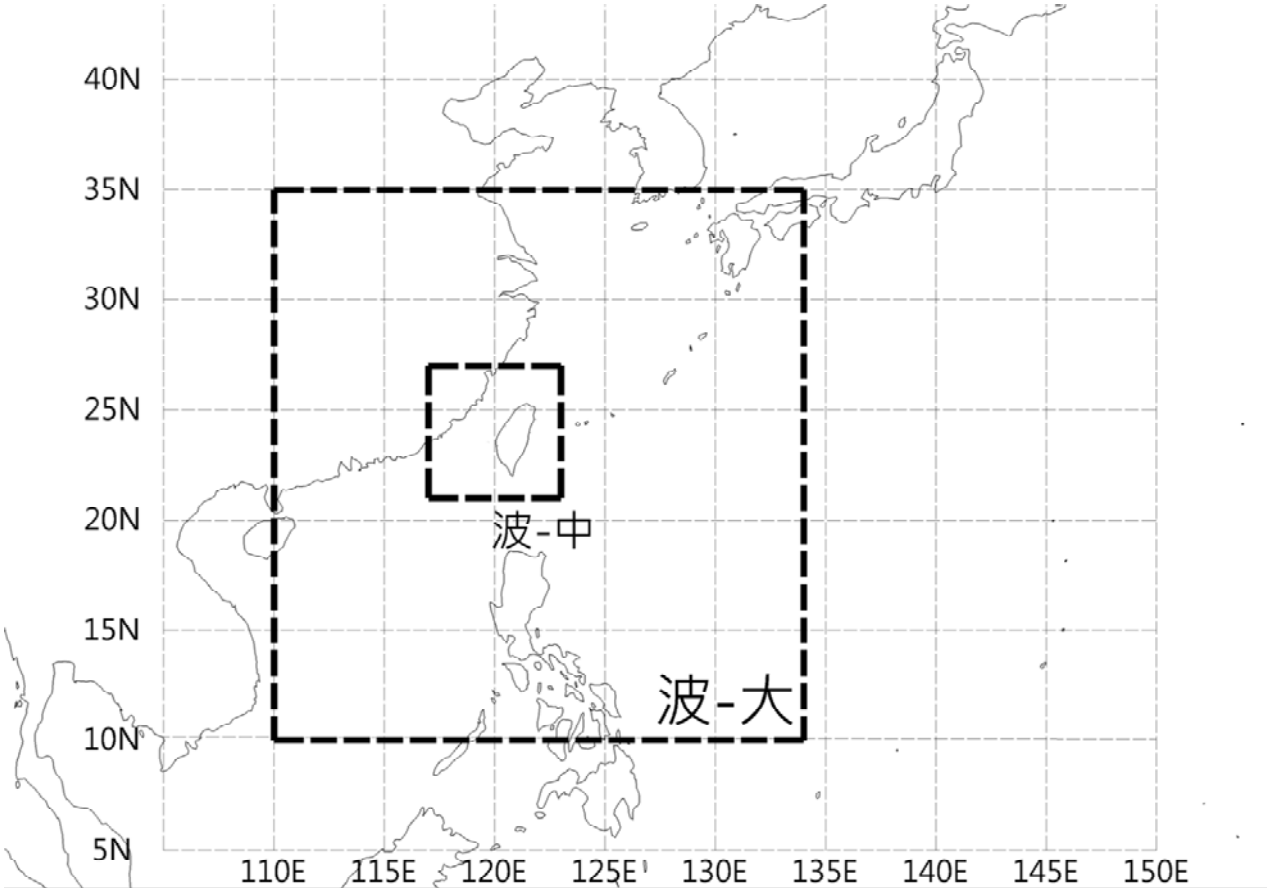


圖 2.15 大尺度及中尺度波場模擬範圍圖

其中大尺度西太平洋風浪模組利用昨日模擬第 24 小時結果作為初始資料並採用 RC 風場預報資料模擬海面上風浪之生成、發展及傳播過

程；中尺度臺灣周圍海域風浪模式利用昨日模擬第 24 小時結果作為初始資料，使用 MC 風場預報資料，與當日 WAM 模組所提供邊界條件(波高、波浪週期、波向)，模擬臺灣周圍海域之風浪，並輸出主要港口外海波浪條件(波高、週期、波向)。模式模擬時間長度為三天(72 小時，昨日、今日、明日)。

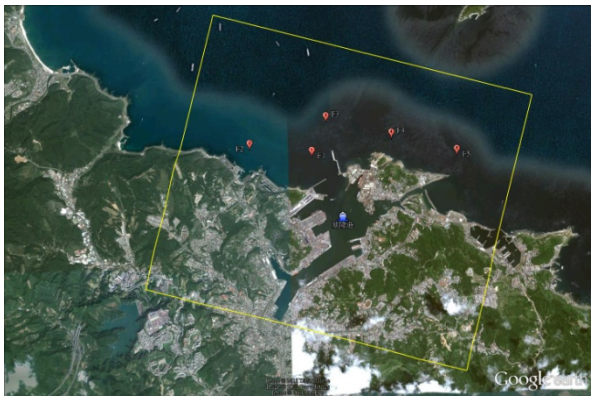
2.小尺度波浪模式

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

港區各港模式之網格解析度為10公尺,其網格資料如表2-6所示，數值模擬範圍如圖 2.16 所示，作業化建置已完成臺北港、基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港及臺中港並提供 2 維圖檔及各港域 5 點輸出點位歷線資料(其中一點配合本所海象觀測位置)至港灣環境資訊網，

表 2-6 近岸區域波浪模式數值計算網格資料

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

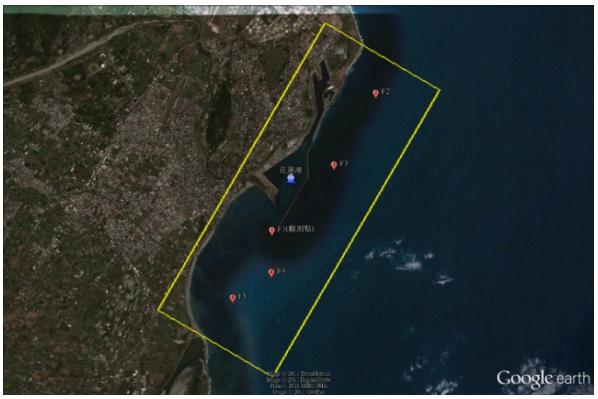





圖 2.16 近岸區域波浪模擬範圍圖

2.細尺度波浪模式

因應颱風波浪侵襲下為能夠快速清楚瞭解港內波浪狀況，並今年度建置基隆港區及臺中港港區規畫細尺度三角網格有限元素港域波浪模式(Finite Element Harbor wave model)，並使用資料庫概念建置不同波浪週期及波向資料之波浪進行波高變化數值模擬，快速獲得整體港區內波浪情形，其展示畫面如 2.17 所示。波浪模擬輸入條件包括波浪資料(波高、週期、波向)。

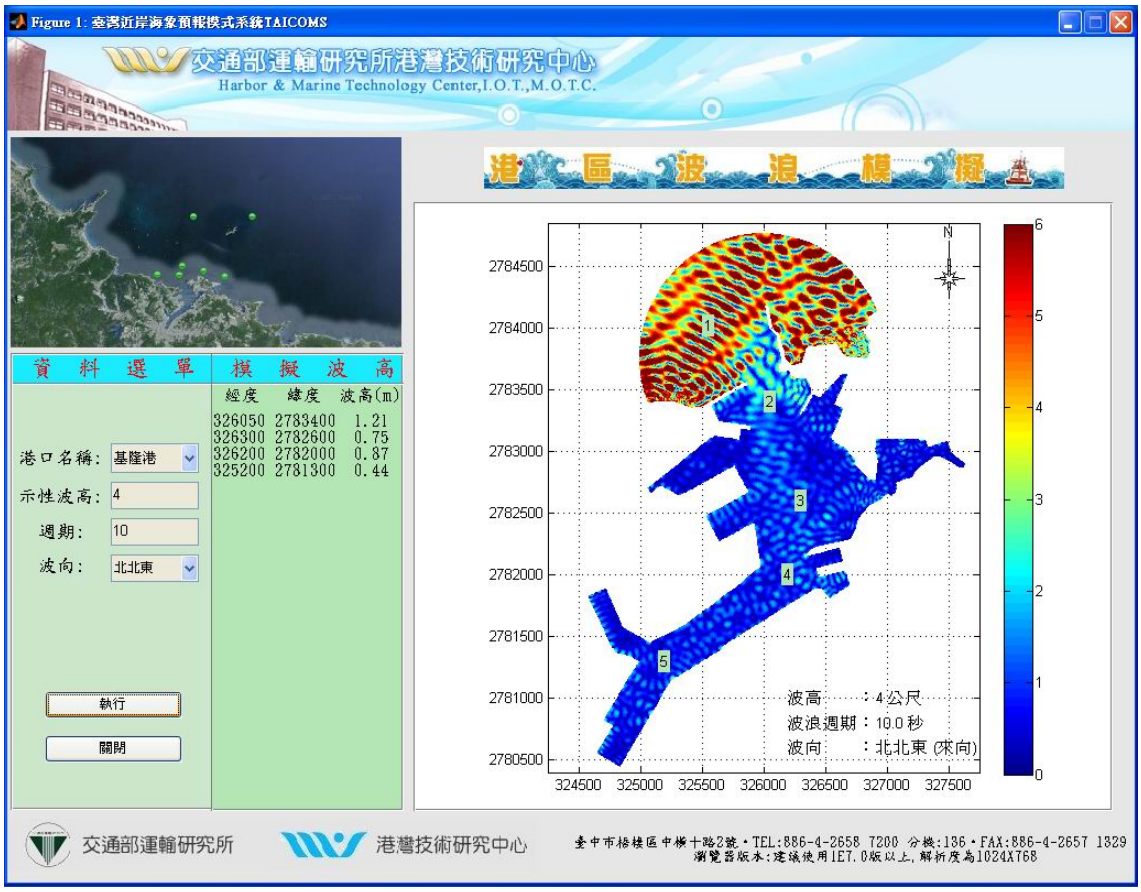


圖 2.17 細尺度基隆港波浪模擬視窗畫面圖

2.2.4 水動力作業化模組

在本系統設定架構下，水動力作業化預報建構出三種不同尺度的水動力模組，分別為大尺度之西太平洋水動力模組；中尺度之臺灣周圍海域水動力模組，以及針對國內主要港口分別建置小尺度水動力模式提供水位及海流變化以供參考，有關水動力模擬作業流程如圖 2.18 所示。

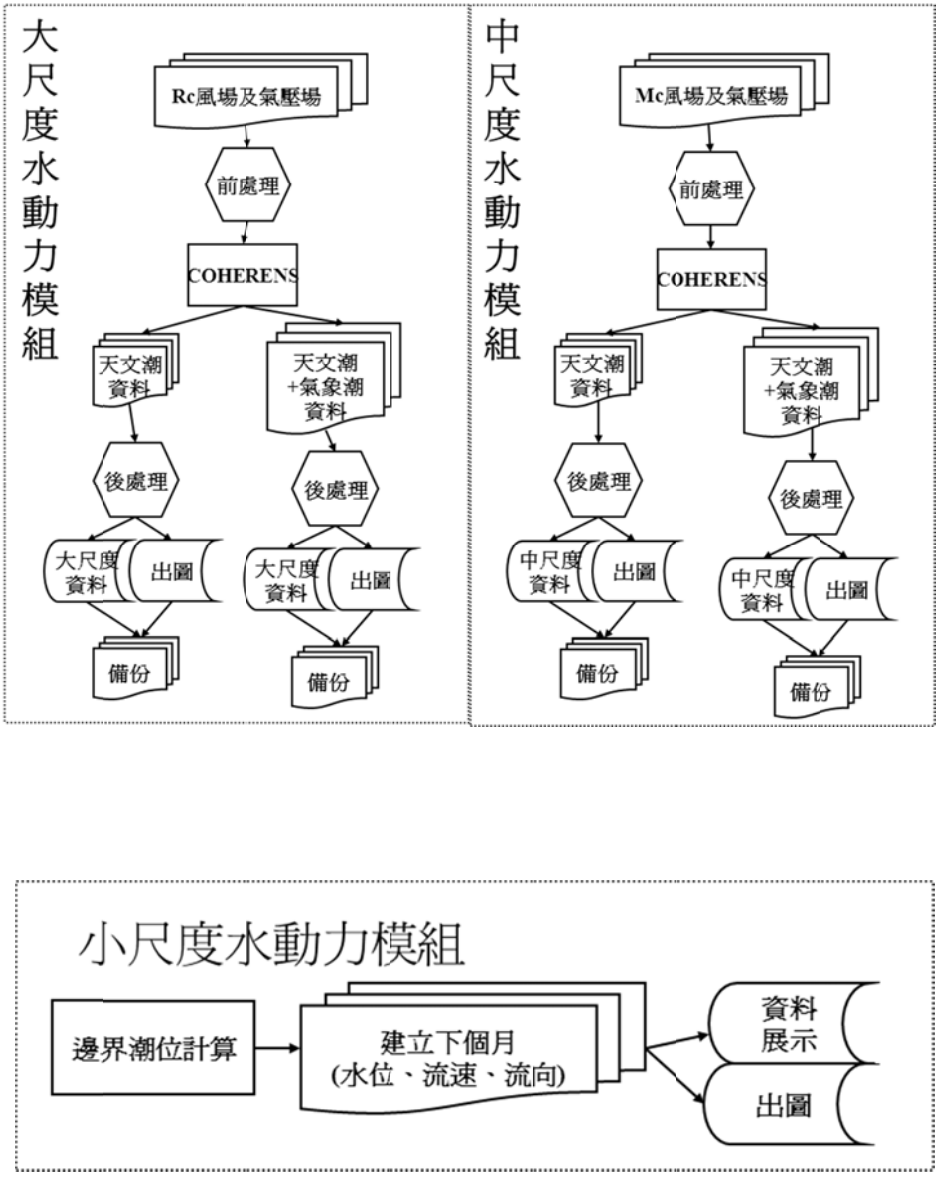


圖 2.18 水動力模擬作業流程圖

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 2.19 所示。數值模擬範圍及數值計算網格如下：(1)大尺度之西太平洋模組模擬範圍為北緯 0°至 35°，東經 105°至 150°，數值計算網格大小為 10′×10′(十分網格)。(2)中尺度之臺灣海域模組模擬範圍為北緯 21°至 26°，東經 116.5°至 125°，數值計算網格大小為 1′×1′(一分網格)。

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

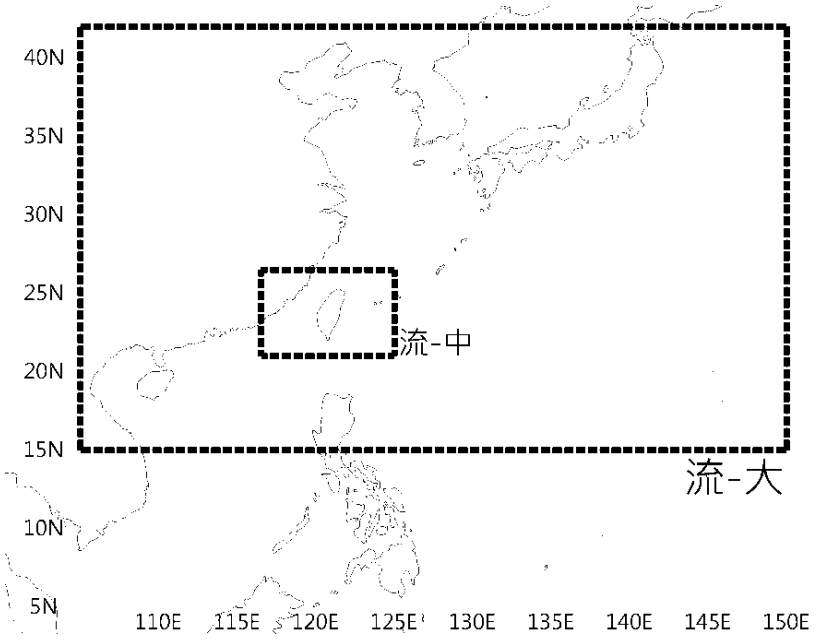


圖 2.19 大尺度及中尺度流場模擬範圍圖

2.小尺度水動力模組

由於近岸區域水動力模組主要模擬各港口潮汐水位及流場之變化情形，因此各港口模擬範圍之選取主要以各港口為中心，配合海岸線及地形水深變化進行規劃，離岸之開放邊界則儘量與海岸線平行。基於此，本計畫前期已發展臺北港、基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港及臺中港等七大港區水動力模式，模擬範圍大小在沿岸方向約介於 20km～30km 之間，離岸距離在各港口約介於 10km～15km 之間但前期並無完成作業化建置。本期主要對於高雄港、安平港調整其地形水深並進行作業化模擬的建置，相關資料參考第四章內容。其中臺中港部分採用已採用 Matsumoto et al.(2000)所發展的 NAO.99b 模式建置模式之開放邊界條件

2.2.5 海嘯作業化模組

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

臺灣海嘯速算系統流程如下，即是利用互逆格林函數之高計算效率，在遠/近域海底地震引起海嘯後，能夠快速掌握可能之最大波高以及抵達時間，提供給各港務局作為後續應變之作為之參考。其預警系統主要流程如圖 2.20 所示：

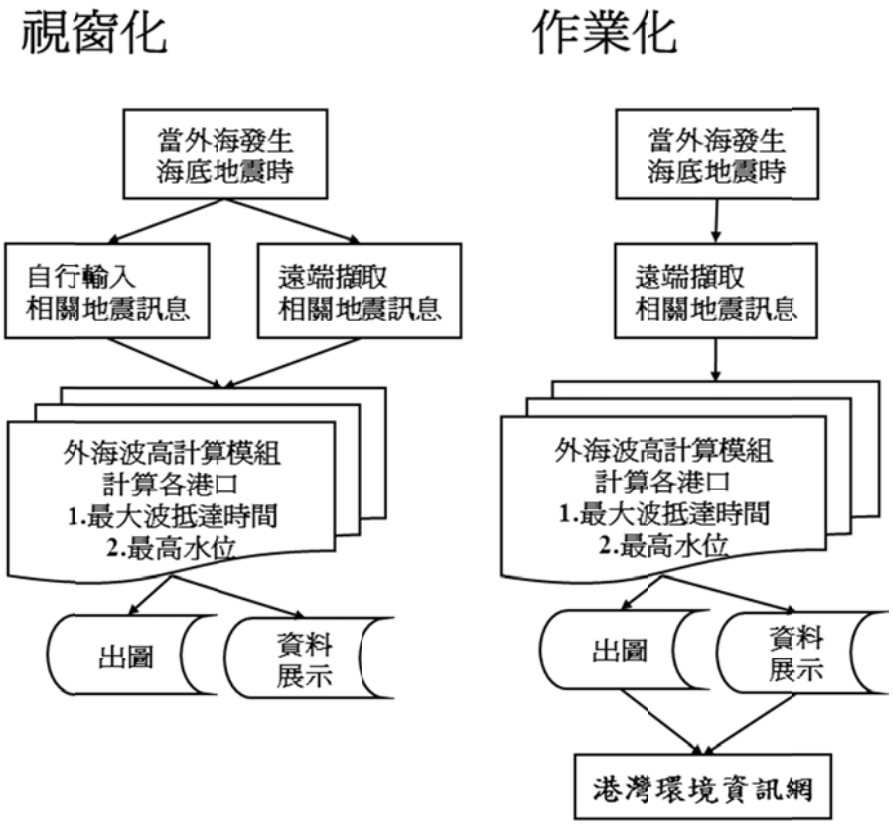


圖 2.20 臺灣國際商港海嘯速算系統流程圖

1.視窗化模組

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

本視窗化模組操作系統是由 Matlab 軟體所建構而成，該軟體提供了方便之數學運算指令及圖形繪製，更提供了內建之操作者介面設定程序；使用者本身不須安裝 Matlab 軟體，僅須下載編譯器等基本套件即可於個人電腦上執行模擬作業，前期發展資料量較大每個港口點位需要建立資料量約為 120GB，但本年度已大幅下降資料量至每港口點 25GB，8 個港口共約 200GB 資料。下圖 2.21 為程式內有關視窗化系統之計算範圍圖，圖 2.22 為編譯完成操作介面

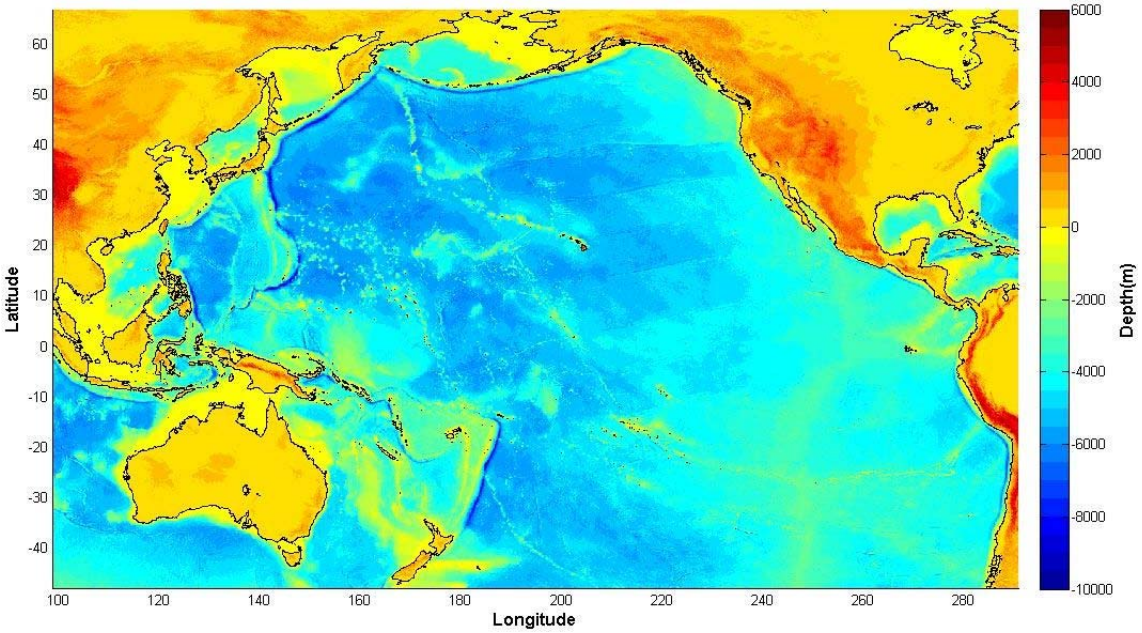


圖 2.21 視窗化系統之計算範圍圖

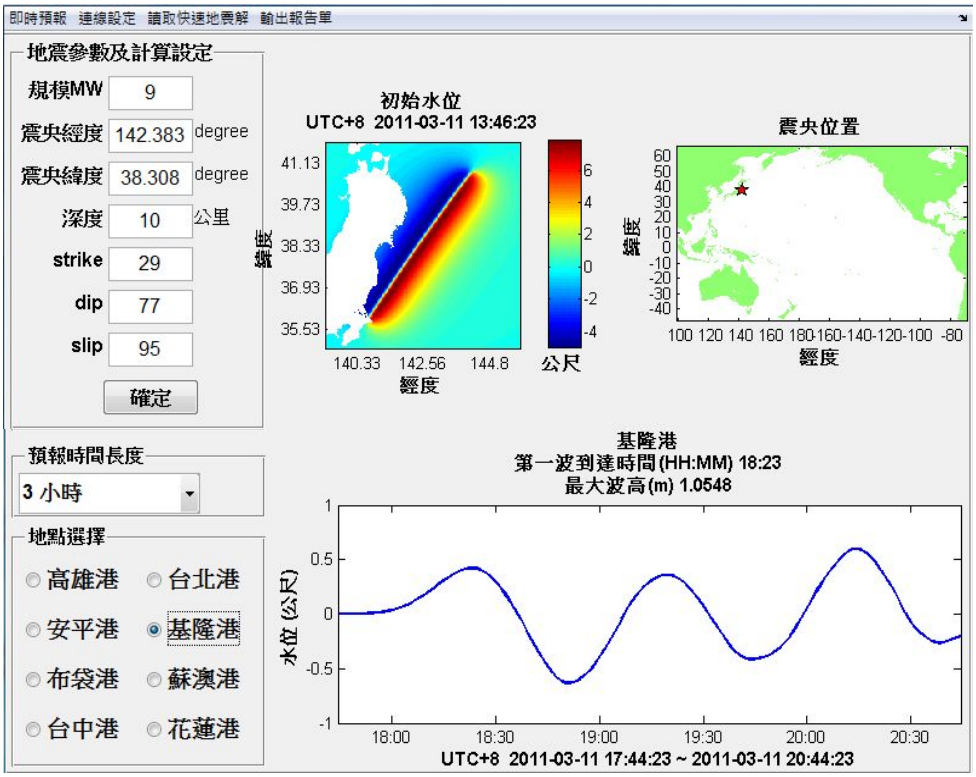


圖 2.22 視窗化介面之計算成果圖

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

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

2.作業化模組

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

海嘯作業化模組主程式均與視窗化模組相同，但此部分去除 GUI 介面，主要針對是作業化的建置，並加上作業排程，最大不同於視窗化部分為本系統為每隔 3 分鐘，當有地震資料時，系統可自動擷取即時資料進行後續預報作業，已建置系統可同時擷取下列三個網頁包含美國國家地震資訊中心、中央氣象局地震資訊網中心及日本防災科學技術研究所，其中央氣象局地震即時資料(http://cwbsnbb.cwb.gov.tw/)已於 7 月後停止更新,其地震解提供來源為臺灣寬頻地震網網址如下。

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

http:// earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/fm/ (10 月後後網址更改)

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

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

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

(7) 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 2.23a)，但其資料擷取約在地震發生後約 1 小時才可遠端擷取。對於震央發生在臺灣周邊海域恐有不及，因此在臺灣區附近(東經 119 度~123 度，北緯 21 度~26 度)採用(2) 中研院地科所之地震即時資料(如圖 2.23b 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 2.23c）。



圖 2.23a 美國 USGS 資料庫

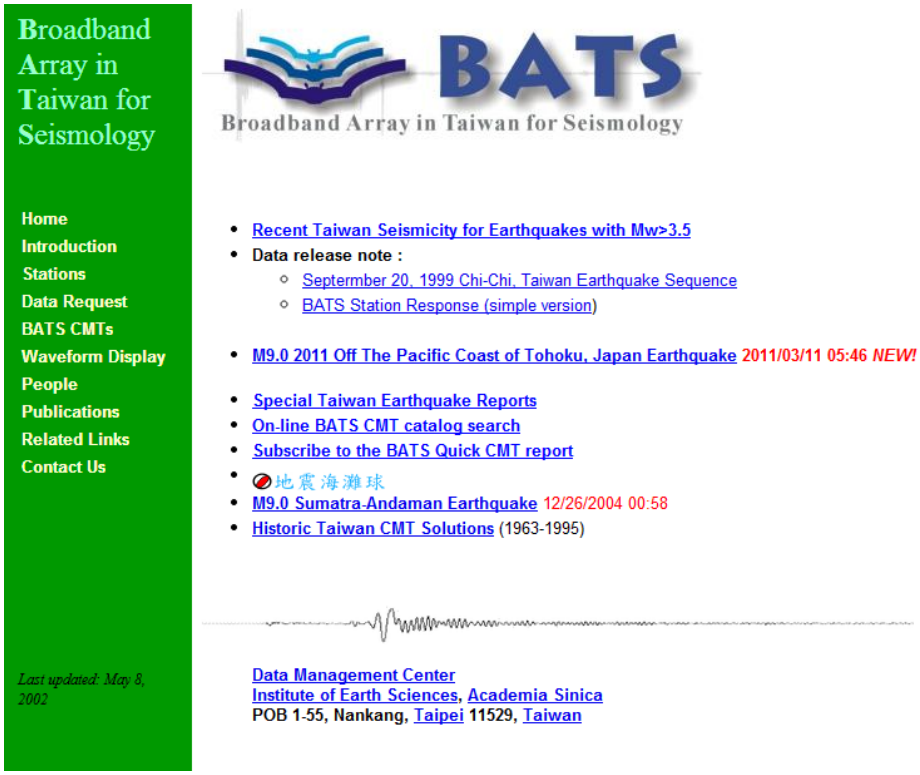
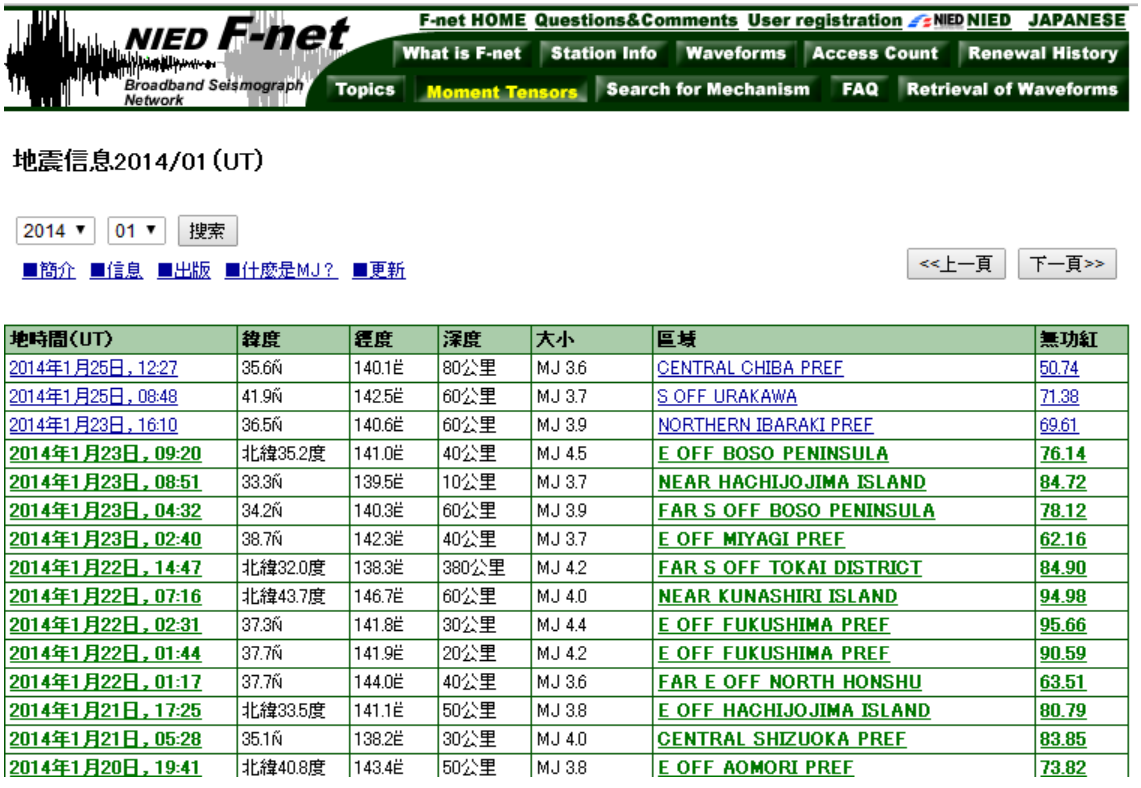


圖 2.23b 中研院地科所，台灣地區寬頻地震觀測網



NIED F-net Broadband Seismograph Network

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

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

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

地震信息2014/01 (UT)

2014 ▼ 01 ▼ 搜索

■簡介 ■信息 ■出版 ■什麼是MJ？ ■更新

<<上一頁 下一頁>>

地時間(UT)	緯度	經度	深度	大小	區域	無功紅
2014年1月25日, 12:27	35.6N	140.1E	80公里	MJ 3.6	CENTRAL CHIBA PREF	50.74
2014年1月25日, 08:48	41.9N	142.5E	60公里	MJ 3.7	S OFF URAKAWA	71.38
2014年1月23日, 16:10	36.5N	140.6E	60公里	MJ 3.9	NORTHERN IBARAKI PREF	69.61
2014年1月23日, 09:20	北緯35.2度	141.0E	40公里	MJ 4.5	E OFF BOSO PENINSULA	76.14
2014年1月23日, 08:51	33.3N	139.5E	10公里	MJ 3.7	NEAR HACHIJOJIMA ISLAND	84.72
2014年1月23日, 04:32	34.2N	140.3E	60公里	MJ 3.9	FAR S OFF BOSO PENINSULA	78.12
2014年1月23日, 02:40	38.7N	142.3E	40公里	MJ 3.7	E OFF MIYAGI PREF	62.16
2014年1月22日, 14:47	北緯32.0度	138.3E	380公里	MJ 4.2	FAR S OFF TOKAI DISTRICT	84.90
2014年1月22日, 07:16	北緯43.7度	146.7E	60公里	MJ 4.0	NEAR KUNASHIRI ISLAND	94.98
2014年1月22日, 02:31	37.3N	141.8E	30公里	MJ 4.4	E OFF FUKUSHIMA PREF	95.66
2014年1月22日, 01:44	37.7N	141.9E	20公里	MJ 4.2	E OFF FUKUSHIMA PREF	90.59
2014年1月22日, 01:17	37.7N	144.0E	40公里	MJ 3.6	FAR E OFF NORTH HONSHU	63.51
2014年1月21日, 17:25	北緯33.5度	141.1E	50公里	MJ 3.8	E OFF HACHIJOJIMA ISLAND	80.79
2014年1月21日, 05:28	35.1N	138.2E	30公里	MJ 4.0	CENTRAL SHIZUOKA PREF	83.85
2014年1月20日, 19:41	北緯40.8度	143.4E	50公里	MJ 3.8	E OFF AOMORI PREF	73.82

圖 2.23c 日本防災科學技術研究所 F-net 即時地震資料

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

2.3 臺灣主要港口海氣象現場觀測及蒐集

二十多年來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、臺中港、高雄港、花蓮港、蘇澳港、臺北港、安平港及布袋港與澎湖港及金門港等 10 個商港置觀測及蒐集情形。

(1)風力現場觀測及蒐集

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

本中心於基隆港、蘇澳港、花蓮港、臺中港、高雄港、安平港、布袋港及臺北港與澎湖港等 10 個主要港口，安裝以 Young Brand 風速計或 Gill 超音波式風速計，各港安裝位置如圖 2.24~圖 2.25 所示，各測站歷年觀測風資料蒐集概況如表 2-6。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 2.24~圖 2.25 所示，同樣歷年觀測風資料蒐集概況如表 2-7。

(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、臺中港、高雄港、安平港、布袋港及臺北港與澎湖港等 10 個主要港口，安裝以 NORTEK 剖面海流表面波浪與潮汐監測系統(AWCP)為主之潮波儀，各

港安裝位置如圖 2.24~圖 2.25 所示，各測站歷年觀測波浪資料蒐集概況如表 2-8。

(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、臺中港、高雄港、安平港、布袋港及臺北港與澎湖港等 10 個主要港口，在港口碼頭附近安裝以 Water Log 之潮位計，在港口附近海域安裝以 NORTEK 剖面海流表面波浪與潮汐監測系統(AWCP)為主之潮波儀，各港安裝位置如圖 2.24~圖 2.25 所示，各測站歷年觀測潮汐資料蒐集概況如表 2-9。各港口也於隔年蒐集中央氣象局所屬之潮汐資料，氣象局各港安裝位置也如圖 2.24~圖 2.25 所示，同樣歷年觀測潮汐資料蒐集概況如表 2-9。

(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、臺中港、高雄港、安平港、布袋港及臺北港與澎湖港等 10 個主要港口，安裝以 NORTEK 剖面海流表面波浪與潮汐監測系統(AWCP)為主之海流儀，各港安裝位置如圖 2.24~圖 2.25 所示，各測站歷年觀測波浪資料蒐集概況如表 2-10。



圖 2.24 商港位置圖



☆ 風速儀 ◎ 潮位計 ⬡ 觀測樁

圖 2.25a 臺北港海氣象觀測位置圖



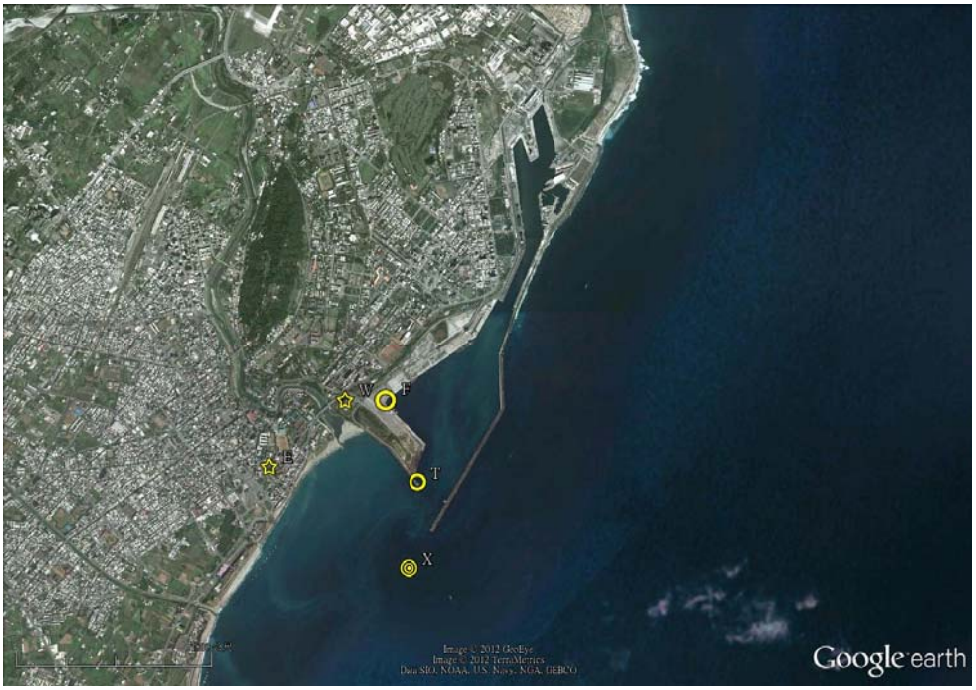
風速儀　潮位計　波流儀

圖 2.25b 基隆港海氣象觀測位置圖



風速儀　潮位計　波流儀

圖 2.25c 蘇澳港海氣象觀測位置圖



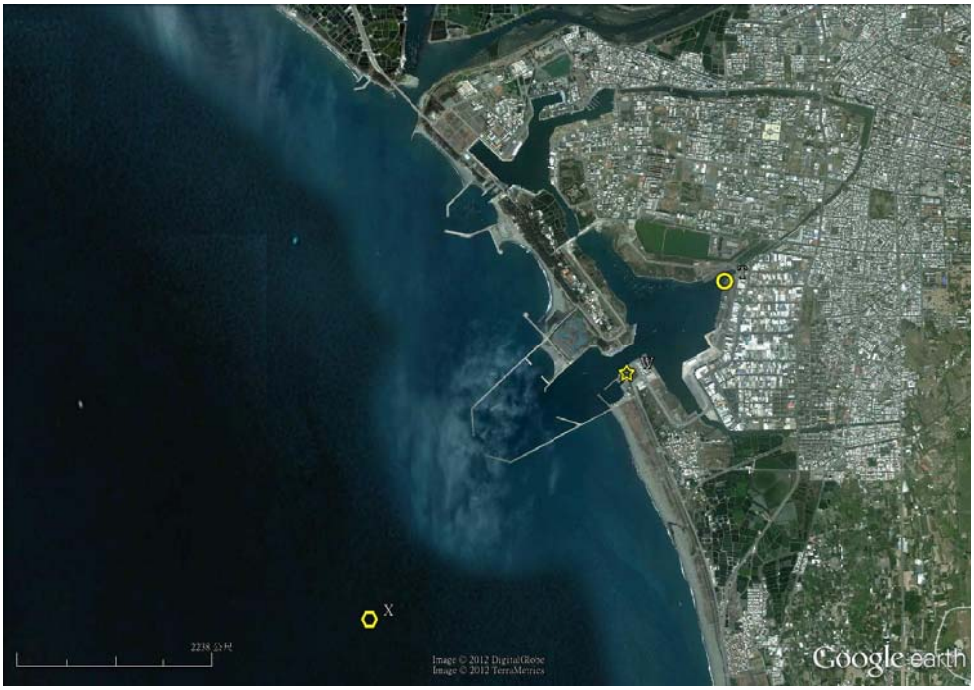
風速儀　潮位計　波流儀

圖 2.25d 花蓮港海氣象觀測位置圖



風速儀　潮位計　波流儀

圖 2.25e 高雄港海氣象觀測位置圖



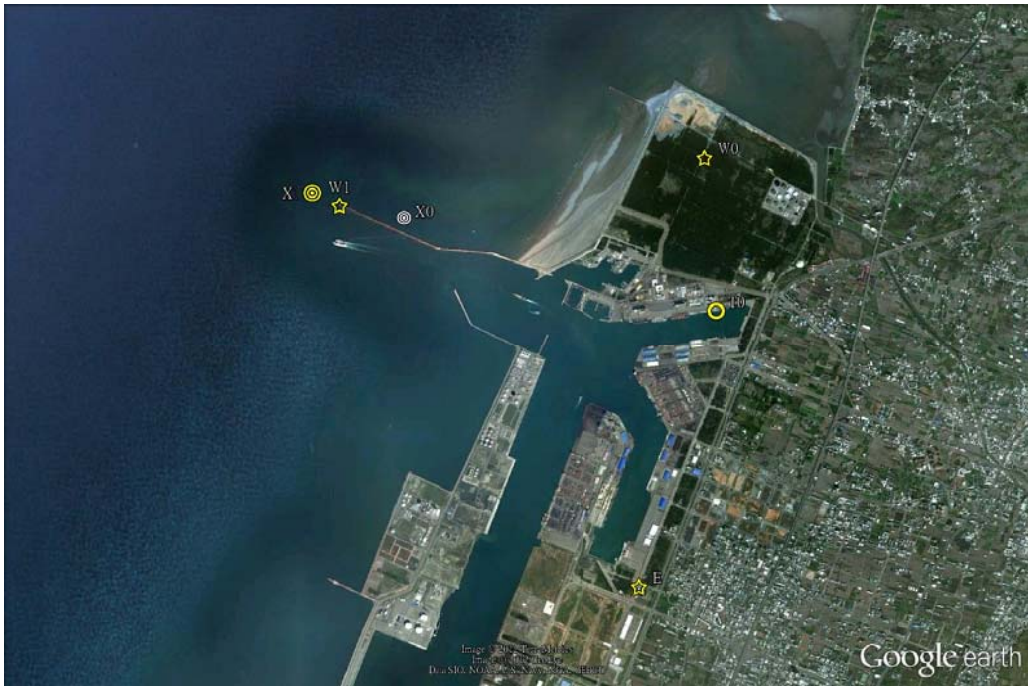
風速儀　潮位計　觀測樁

圖 2.25f 安平港海氣象觀測位置圖



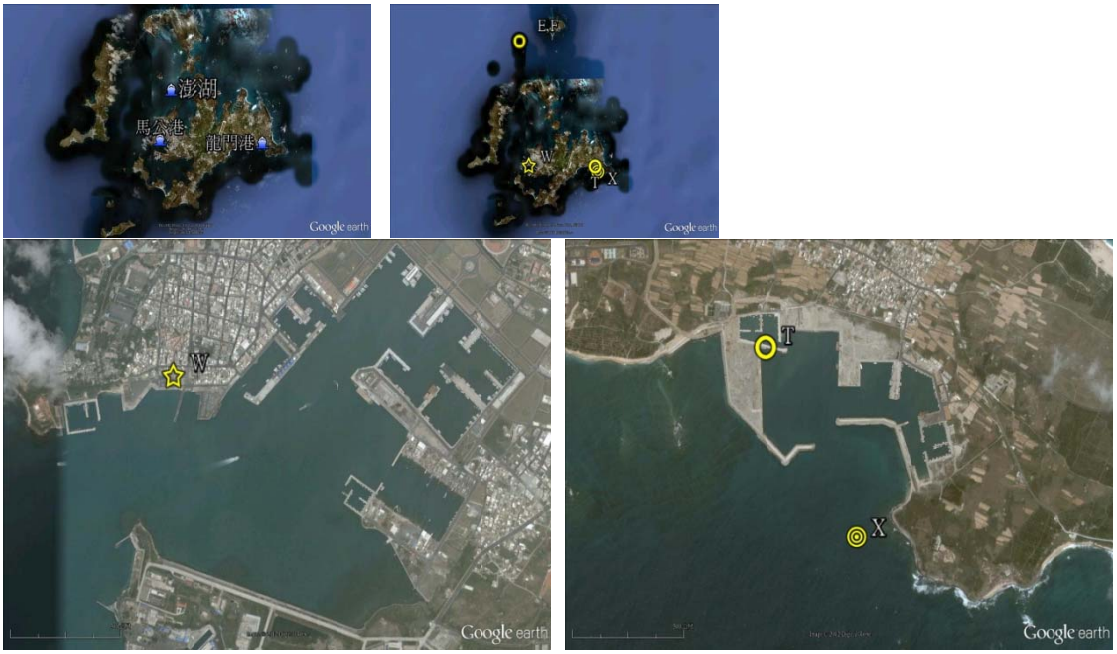
風速儀　潮位計　波流儀

圖 2.25g 布袋港海氣象觀測位置圖



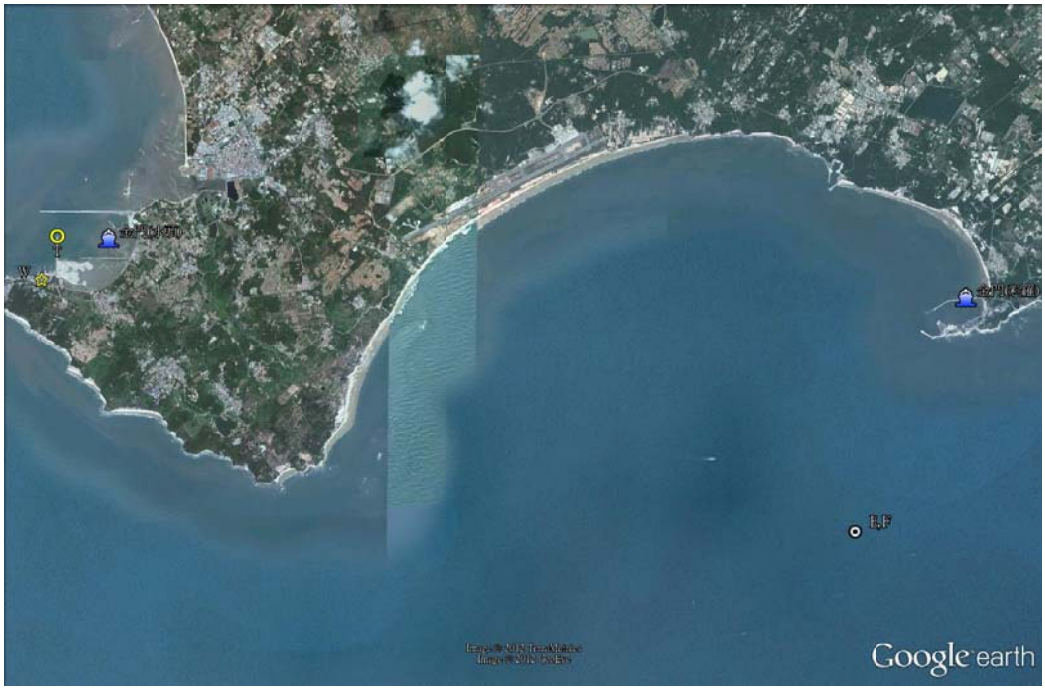
風速儀　潮位計　波流儀

圖 2.25h 臺中港海氣象觀測位置圖



風速儀　潮位計　波流儀　氣象局浮標

圖 2.25i 澎湖港海氣象觀測位置圖



風速儀　潮位計　氣象局浮標

圖 2.25j 金門海氣象觀測位置圖

表 2-7 觀測風力資料蒐集概況表(統計時間至 2012 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	2005/01-2012/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計，新觀測樁
3	臺北港(TP)	W	2009/08-2012/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計
4	臺北港(TP)	E	2004/01-2012/11(觀測中)	中央氣象局	Young Brand 風速計
5	基隆港(KL)	W	2002/06-2012/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計，2010 年 10 月改 Gill 二維超音波式風速計
6	基隆港(KL)	E	1999/01-2012/11(觀測中)	中央氣象局	
7	蘇澳港(SA)	W	2003/06-2012/11(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	1999/01-2012/11(觀測中)	中央氣象局	
9	花蓮港(HL)	W	2002/06-2012/11(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	1981/02-2012/11(觀測中)	中央氣象局	
11	高雄港(KH)	W0	2002/06-2012/11(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	2010/09-2012/11(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	2010/09-2012/11(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	1999/01-2012/11(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	2010/12-2012/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計，南堤
17	安平港(AP)	W	2009/08-2012/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計，信號臺
18	布袋港(PT)	W	2006/08-2012/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計
19	臺中港(TC)	W0	1981/02-2012/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計(B 站)，北防風林，2009 年 9 月改 Gill 二維超音波式風速計
20	臺中港(TC)	W1	1996/09-1997/11 2005/09-2012/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計(W 站)，北堤燈塔，2009 年 9 月改 Gill 二維超音波式風速計
21	臺中港(TC)	E	1996/09-2012/11(觀測中)	中央氣象局	
22	澎湖港(PH)	W	2009/12-2012/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計，馬公港區
23	澎湖港(PH)	W1	2009/12-2012/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計(B 站)，龍門尖山港區
24	澎湖港(PH)	E	-2012/11(觀測中)	中央氣象局	
25	澎湖港(PH)	Y	-2012/11(觀測中)	水利署	澎湖資料浮標
26	澎湖港(PH)	H	-2012/11 (觀測中)	港務公司	
27	金門港(KM)	W	2010/12-2012/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計，水頭港區
28	金門港(KM)	W1	2012/08-2012/11(觀測中)	港研中心	Young Brand 風速計(B 站)，料羅港區
29	金門港(KM)	E	-2012/11(觀測中)	中央氣象局	
30	金門港(KM)	Y	-2012/11(觀測中)	水利署	金門資料浮標

表 2-8 觀測潮汐資料蒐集概況表

序號	港區名稱	測站	觀測期間	觀測單位	備註
1	臺北港(TP)	T	2009/09-2012/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計
2	臺北港(TP)	X0	1996/10-2004/09	港研中心	S4，舊觀測樁
3	臺北港(TP)	X1	2005/01-2012/11(觀測中)	港研中心	S4、AWCP，新觀測樁
4	臺北港(TP)	F	1994/10-2012/11(觀測中)	水利署	
5	基隆港(KL)	T	2002/07-2012/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計
6	基隆港(KL)	X0	2001/06-2006/05	港研中心	AWCP，東堤外海
7	基隆港(KL)	X1	2006/08-2011/07	港研中心	AWCP，西堤外海
8	基隆港(KL)	X2	2011/08-2012/11(觀測中)	港研中心	AWCP，東堤外海
9	基隆港(KL)	F	1966/01-2012/11(觀測中)	中央氣象局	
10	蘇澳港(SA)	T	2003/06-2012/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計
11	蘇澳港(SA)	X	2002/08-2012/11(觀測中)	港研中心	AWCP
12	蘇澳港(SA)	F	1981/01-2012/11(觀測中)	中央氣象局	
13	花蓮港(HL)	T	2001/07-2012/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計
14	花蓮港(HL)	X	2000/09-2012/11(觀測中)	港研中心	AWCP，東堤外海
15	花蓮港(HL)	F	1980/01-2012/11(觀測中)	中央氣象局	
16	高雄港(KH)	T	2003/06-2012/11(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	2005/08-2012/11(觀測中)	港研中心	AWCP，2 港口外海
19	高雄港(KH)	F	1988/01-2012/11(觀測中)	港務公司	
20	安平港(AP)	X0	1999/10-2011/07	港研中心	Water Log 潮位計，觀測樁
21	安平港(AP)	X1	2011/08-2012/11(觀測中)	港研中心	AWCP
22	安平港(AP)	T	1979/03-1993/06	港務局	
23	安平港(AP)	T	2008/08-2012/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計
24	布袋港(PT)	T	2008/08-2011/07	港研中心	Water Log 潮位計
25	布袋港(PT)	T1	2011/08-2012/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計
26	布袋港(PT)	X	2006/06-2010/03	港研中心	AWCP
27	布袋港(PT)	X1	2012/08-2012/11(觀測中)	港研中心	AWCP
28	臺中港(TC)	T	1989/12-2012/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計，4 號碼頭
29	臺中港(TC)	X0	1999/10-2000/08	港研中心	AWCP，北堤外海(延伸前)
30	臺中港(TC)	X1	2003/07-2012/11(觀測中)	港研中心	AWCP，北堤外海
31	澎湖港(PH)	T	2011/01-2012/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計
32	澎湖港(PH)	X	2011/01-2012/11(觀測中)	港研中心	AWCP，龍門尖山港區外海
33	澎湖港(PH)	F	-2012/11(觀測中)	中央氣象局	澎湖潮位站
34	金門港(KM)	T	2011/01-2012/11(觀測中)	港研中心	Water Log 潮位計，水頭港區
35	金門港(KM)	F1	-2012/11(觀測中)	水利署	水頭潮位站
36	金門港(KM)	F2	-2012/11(觀測中)	水利署	料羅灣潮位站

表 2-9 觀測波浪資料蒐集概況表

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

表 2-10 觀測流場資料蒐集概況表

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

2.4 港灣環境資訊系統概述

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

主要的應用功能系統建置於微軟資料庫(Microsoft SQL Server)，計有海象觀測資訊、海象模擬資訊、港區影像系統、港區地震系統、海嘯模擬資訊及港埠基本資料等。以網頁整合 Google Map 查詢、展示相關之資訊，相關資訊包含現場觀測之港區附近海域海象觀測資訊以及數值預報子系統等之資料；提供臺灣環島海域不同尺度之數值計算結果，包括數位資料、資料數據表、資料歷線圖、平面等值動畫圖、平面向量動畫圖及各類統計表、統計圖等之應用。整體系統架構圖如圖 2.26 所示，目前本系統已有對外展示網頁如圖 2.27 所示，所包含功能項目如表 2-11 所示，網址為 http://isohe.ihmt.gov.tw，並已提供相關單位使用。

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

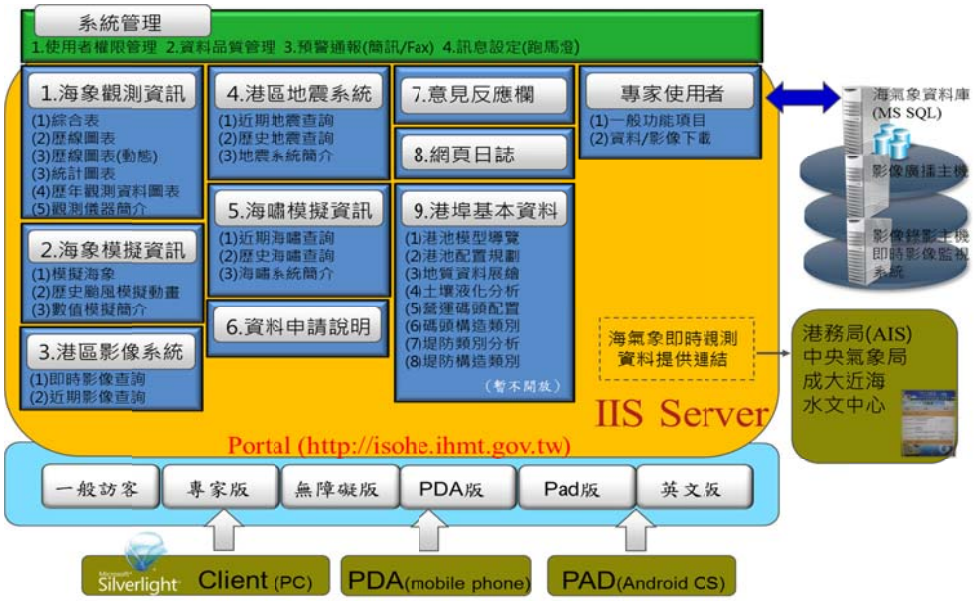


圖 2.26 港灣環境資訊系統整體架構圖



網址為：http://isohe.ihmt.gov.tw

圖 2.27 港灣環境資訊網首頁

表 2-11 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、海流以及水溫的相關即時資料。
	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	提供匯整 2006 年至 2010 年的圖表，依整年度或月份的圖表查詢瀏覽，並以顏色區分並標示資料有效百分比數據呈現觀測年報資料佔有效資料之比，以降低查詢時間提昇瀏覽效能。
	歷年觀測資料圖表	海氣象項目	提供歷年來之港區現場觀測潮汐、海流、風、波浪等原始資料，透過統計分析後，其內容包含有觀測紀錄表、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。
	即時觀測資料傳輸	港口名稱	依港口/資料類型顯示相關資訊(此部分的資料下載需透過申請流程，待審核後才予以開放下載)。
海象模擬資訊	海氣象模擬資訊查詢	海氣象項目	顯示風力、潮汐、波浪與海流的相關即時資料。
	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)規劃區分做呈現,使用者可點選欲要瀏覽的模擬尺度範圍，做進一步的查詢
	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	航段		提供海上航路之海氣象數值模擬資訊，包含風速、風向、波高以及波向等資訊。
港區影像系統	即時影像查詢	港口名稱	依據攝影機安裝地點，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	港口名	提供使用者可線上瀏覽前三日的錄影檔(每天

主項目	次項目	索引	說明
	查詢	稱	5:00~19:00)，且錄影檔格式 1 小時 1 筆(24 小時制)。(另外開放需透過申請流程，待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 中標示設置地震儀器的港區，點選各港區的圖示，以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)。提供包含引起海嘯知地震的相關詳資訊、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			提供距離港區 0m~300m 試驗點之腐蝕試驗資料。
港埠基本資料(暫時不對外開放)		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			提供線上發問問題，並針對使用者所提出的問題或建議進行討論回覆。
網頁日誌			提供使用者知悉網站更新等最新訊息等。

2.4.1 海象觀測資訊

所完成建立資料庫連結中心即時海氣象資料包含臺北港、基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、臺中港、布袋港、澎湖、金門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匯入上年度相關海象觀測年報資料，今年度增加匯入中央氣象局海氣象觀測資料。

目前港灣環境資訊網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 2.28 所示，並提供各港彙整資料如附圖 2.29 所示，便於使用者掌握各港海氣象資訊，

點選頁籤中即時觀測系統主項目，即可進入海氣象歷線圖，可直接切換瀏覽其他港口的海氣象歷線圖，並且將系統內的海氣象項目和歷線圖種類作整合和調整查詢選項的順序，便於使用者查詢提高版面的簡潔度，圖 2.30 為查詢時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，於海氣象測站位置圖頁面也增加了測站位置說明，採用 Google map 的互動呈現方式，同時標示觀測海氣象儀器之測站的相關位置，使用者可明確地對照海氣象歷線圖的測站名稱，如圖 2.31 海氣象測站位置圖。

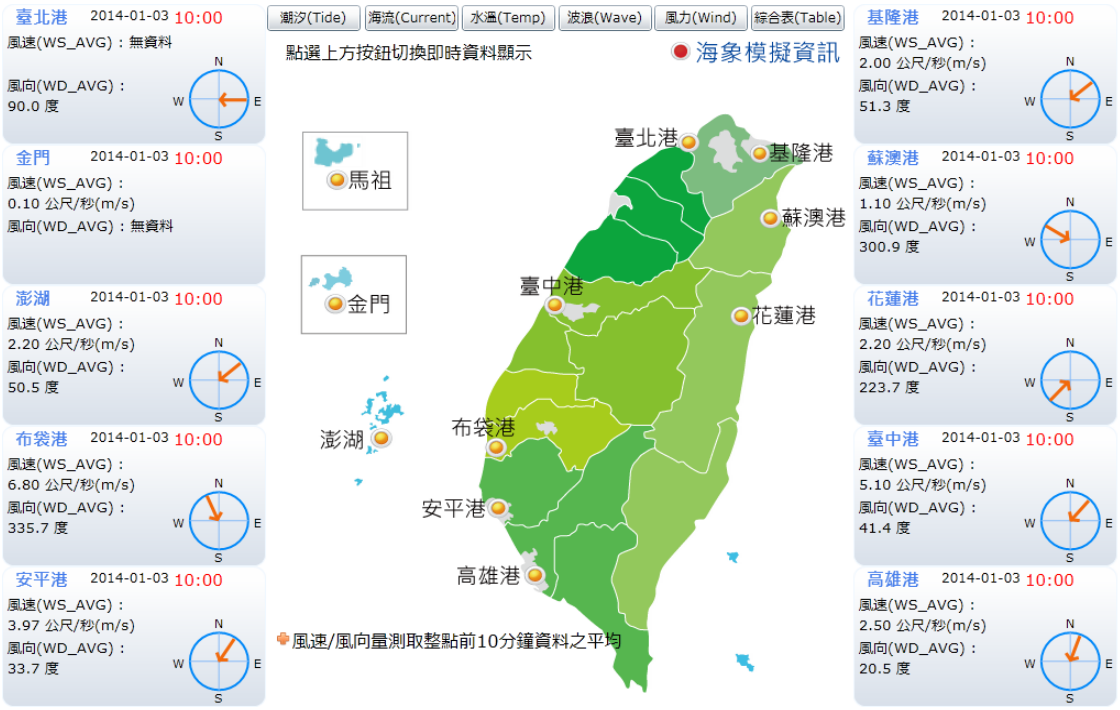


圖 2.28 即時觀測資訊整合(風力資料)

目前時間:2014-01-03 10:00:00

	風力(Wind)			潮汐(Tide)		波浪(Wave)/海流(Current)						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	潮位(公尺)	時間	波高(公尺)	波向(度)	週期(秒)	流速(公尺/秒)	流向(度)	時間	水溫(度)		
基隆港	10:00	2.00	51.30	09:00	-1.02	09:30	0.54	53.85	6.18	0.08	127.57	10:00	18.30	歷線圖	即時影像
蘇澳港	10:00	1.10	300.90	09:00	-0.06	09:30	1.25	150.53	6.87	0.02	287.65	10:00	16.90	歷線圖	即時影像
花蓮港	10:00	2.20	223.70	09:00	0.54	09:30	1.25	114.40	6.66	0.37	84.12	10:00	23.90	歷線圖	即時影像
高雄港	10:00	2.50	20.50	09:00	-0.26	-	-	-	-	-	-	10:00	26.60	歷線圖	即時影像
臺中港	10:00	5.10	41.40	09:00	-0.77	-	-	-	-	-	-	09:00	19.10	歷線圖	即時影像
臺北港	09:50	0.32	71.60	10:00	0.52	09:30	0.50	346.79	4.75	0.61	237.92	x	x	歷線圖	即時影像
安平港	10:00	1.61	29.70	10:00	-0.56	09:30	0.35	243.26	8.63	0.18	213.33	x	x	歷線圖	即時影像
布袋港	10:00	6.80	335.70	10:00	-0.19	x	x	x	x	x	x	x	x	歷線圖	即時影像
澎湖	10:00	2.20	50.50	10:00	0.48	09:30	0.49	160.38	8.73	0.68	164.54	x	x	歷線圖	即時影像
金門	09:30	0.41	346.00	10:00	-1.69	x	x	x	x	x	x	x	x	歷線圖	x

「-」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 2.29 即時觀測資訊整合(綜合表)



圖 2.30 海氣象歷線圖/資料表(以基隆港 波高歷線圖為例)



圖 2.31 海氣象測站位置圖查詢畫面

2.4.2 海象模擬資訊

所建置海象模擬系統將各海氣象相關的模組每日所計算的數值匯整成文字檔與圖片檔,而海情中心的伺服器以定時同步資料夾的程式，將相關的資料複製至伺服器的硬碟。並且將文字檔的資料透過程式匯入海情正式資料庫。而數值模擬資料則是用來提供海氣象歷線圖所使用的數據，且於網頁中與實測值套疊作展示，讓使用者查詢觀看。

1.海象模擬網頁展示

海象模擬網頁展示加入套疊觀測及模擬資料之歷線圖表以及整合其相關的海氣象圖形動畫，並且依模擬尺度範圍(大、中以及小尺度)規劃區分做呈現，使用者可點選欲要瀏覽的模擬尺度範圍，做進一步的查詢(如圖 2.32 所示)與綜合查詢資訊如圖 2.33 及圖 2.34 所示，其內包含模擬資料如表 2-12 所示。且其模擬尺度範圍所提供的資料有歷線圖表查詢以及海氣象圖形動畫展現。而針對模擬測站查詢的部分，增加測站相關的詳細資訊呈現，讓使用者在查詢更具人性化以及便於清楚瀏覽相關資訊。波浪(Refdif 模式)數值模擬已陸續建置完成主要港口包含蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、臺中港，小尺度的海流(Fehdm 模式) 數值模擬已完成有基隆港和臺北港的模擬資料。另有關小尺度波浪。今年度提供新增風場模式(WRF)，與臺灣近岸區域及藍色公路路線之模擬資料。

有關其歷線圖展示以臺中港風場模擬 (NFS(MC)、WRF(WA02)、WRF(WA03)) 歷線圖如圖 2.35 及基隆港波場模擬(大尺度、中尺度、小尺度) 如圖 3.36，布袋港相對潮位歷線圖如圖 3.37 及臺北港流速歷線與流向歷線說明如圖 2.38 所示，展示網頁內容包含港口名稱、圖形選擇、模擬資訊輸出位置點，日期、3 日歷線圖以及資料表。有關圖檔展示部分本年度完成 WRF 風場、臺中港小尺度波場動畫圖、布袋港小尺度流場動畫圖為例如圖 2.39、2.40、2.41，系統內展示當日 72 張圖檔並做動畫可任選時間點暫停，便於使用者了解該小時平面概略波流資訊。

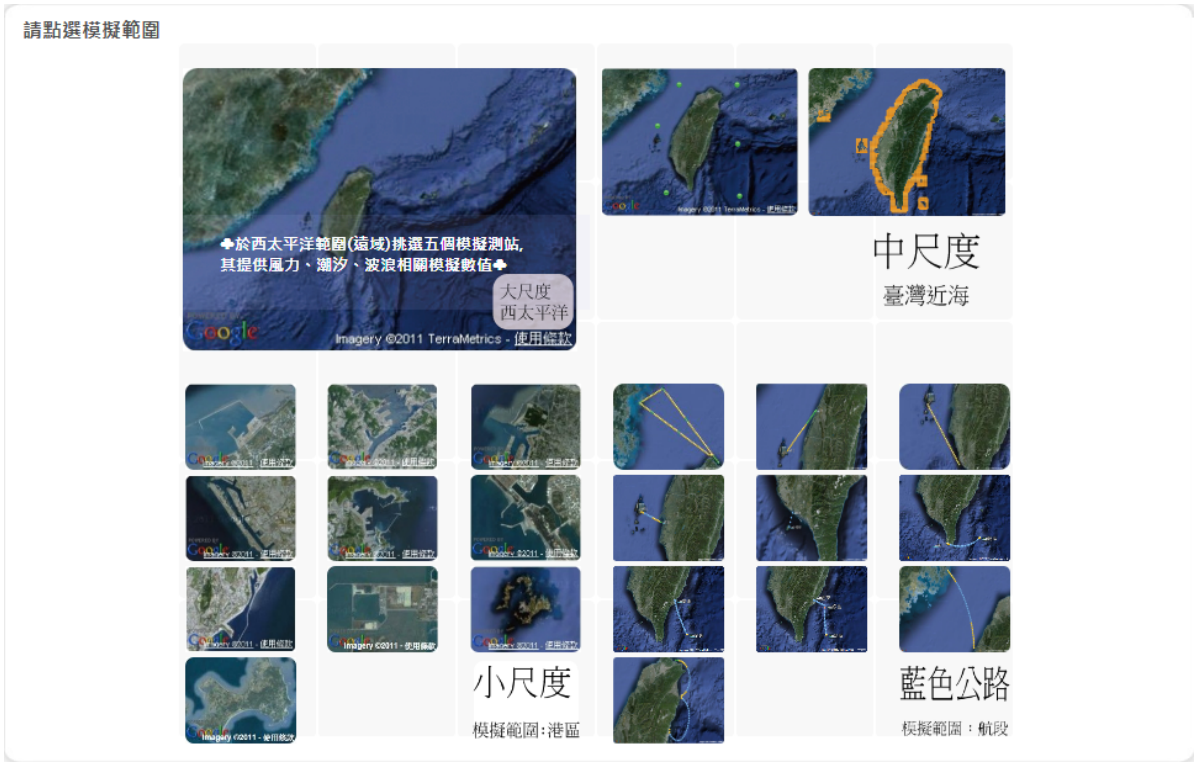


圖 2.32 海象模擬資訊網頁展示圖

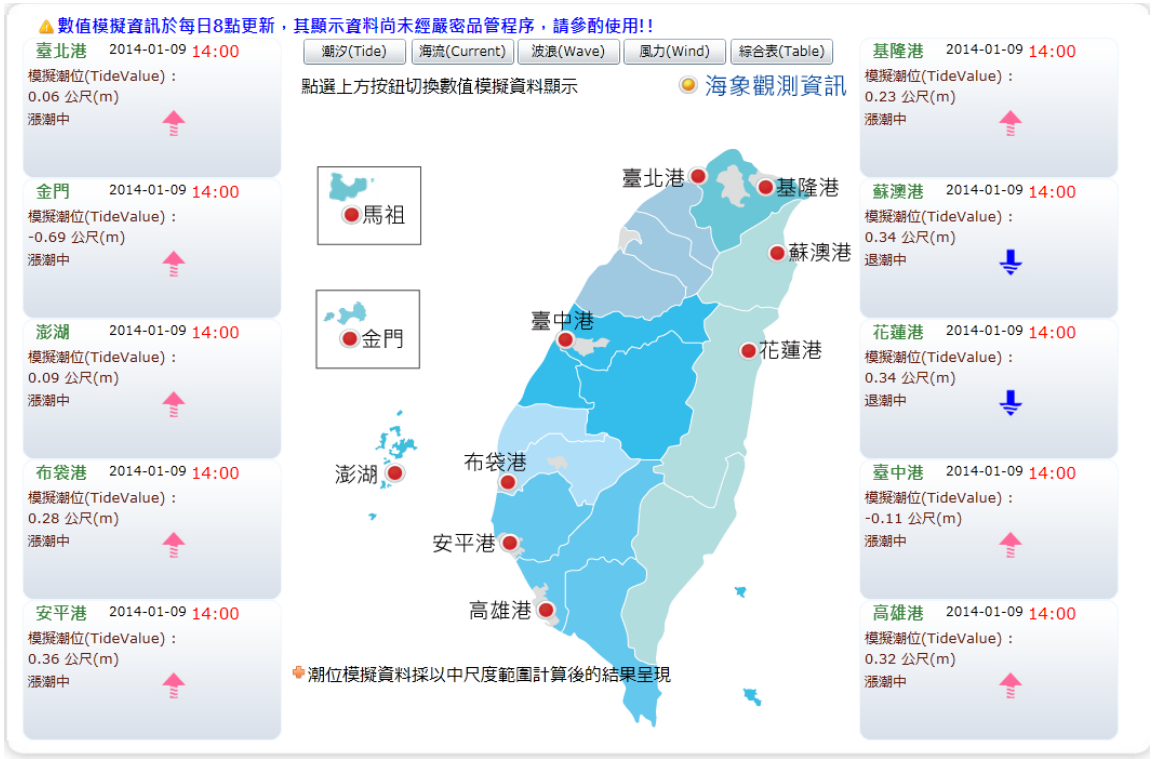


圖 2.33 海象模擬資訊(波浪資料)



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

目前時間:2014-01-09 14:00:00

	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	14:00	8.74	27.00	14:00	0.23	14:00	4.74	45.40	7.67	0.09	265.23	歷線圖
蘇澳港	14:00	8.67	21.30	14:00	0.34	14:00	2.14	55.10	8.64	x	x	歷線圖
花蓮港	14:00	7.66	20.70	14:00	0.34	14:00	2.75	74.20	8.64	x	x	歷線圖
高雄港	14:00	4.36	316.20	14:00	0.32	14:00	0.80	290.10	5.35	x	x	歷線圖
臺中港	14:00	11.44	20.90	14:00	-0.11	14:00	2.46	289.70	6.80	x	x	歷線圖
臺北港	14:00	8.61	31.60	14:00	0.06	14:00	2.13	5.10	7.67	0.38	236.59	歷線圖
安平港	14:00	6.31	347.90	14:00	0.36	14:00	0.84	1.80	5.35	x	x	歷線圖
布袋港	14:00	8.91	5.10	14:00	0.28	14:00	2.93	32.60	7.97	x	x	歷線圖
澎湖	14:00	13.82	17.00	14:00	0.09	14:00	1.94	42.80	7.31	x	x	歷線圖
金門	14:00	11.08	37.70	14:00	-0.69	14:00	2.31	61.70	6.79	x	x	歷線圖

» 風力模擬資料採以中尺度範圍的MC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的結果呈現
» 波浪模擬資料採以中尺度(布袋、金門、澎湖)SWAN模式/小尺度REF模式計算後之結果呈現
» 海流模擬資料採以小尺度範圍的fehdm模式計算後之結果呈現。
「x」尚無數值模擬資料。

圖 2.34 海象模擬資訊(綜合表)

表 2-12 海象模擬資訊展示內容彙整表

範圍	資料及圖檔	展示內容
大尺度西太平洋範圍	歷線圖(在外海選5點資料輸出)	風速歷線圖
		風向歷線圖
		相對潮位歷線圖
		波高歷線圖
		波向歷線圖
		波浪週期歷線圖
	平面圖	氣壓+風速向量場分佈圖 (RC、MC、WA01、WA03)
		水位分佈圖
		波高分佈圖
		波浪週期分佈圖
		波向分佈圖
		流速向量場分佈圖
中尺度臺灣近海範圍	歷線圖 (臺灣周圍海域選6點資料輸出)	風速歷線圖
		風向歷線圖
		相對潮位歷線圖
		波高歷線圖
		波向歷線圖
		波浪週期歷線圖

範圍	資料及圖檔	展示內容
	平面圖	氣壓+風速向量場分佈圖
		水位分佈圖
		波高分佈圖
		波浪週期分佈圖
		波向分佈圖
		流速向量場分佈圖
小尺度港區範圍	歷線圖 (基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、臺中港、臺北港海域選5點資料輸出)	風速歷線圖
		風向歷線圖
		相對潮位歷線圖
		波高歷線圖
		波向歷線圖
		波浪週期歷線圖
		流速歷線圖
		流向歷線圖
	平面圖	近岸波高分佈圖(基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、臺中港、臺北港)
		近岸流速向量場分佈圖(基隆港、臺中港、布袋港、臺北港)
模擬區域海象動態資訊	動態自選點模擬資訊	港區海域範圍及離島-澎湖、金門、馬祖等範圍，提供相關之風力-(風速,風向)、波浪-(波高,波向)數值模擬資訊
藍色公路	航段海象預報	提供各航段上，風場-(風速,風向)及波浪-(波高,波向)數值模擬資料



NFS(MC)



WRF(WA02)



WRF(WA03)

圖 2.35 展示臺中港風力模擬歷線圖

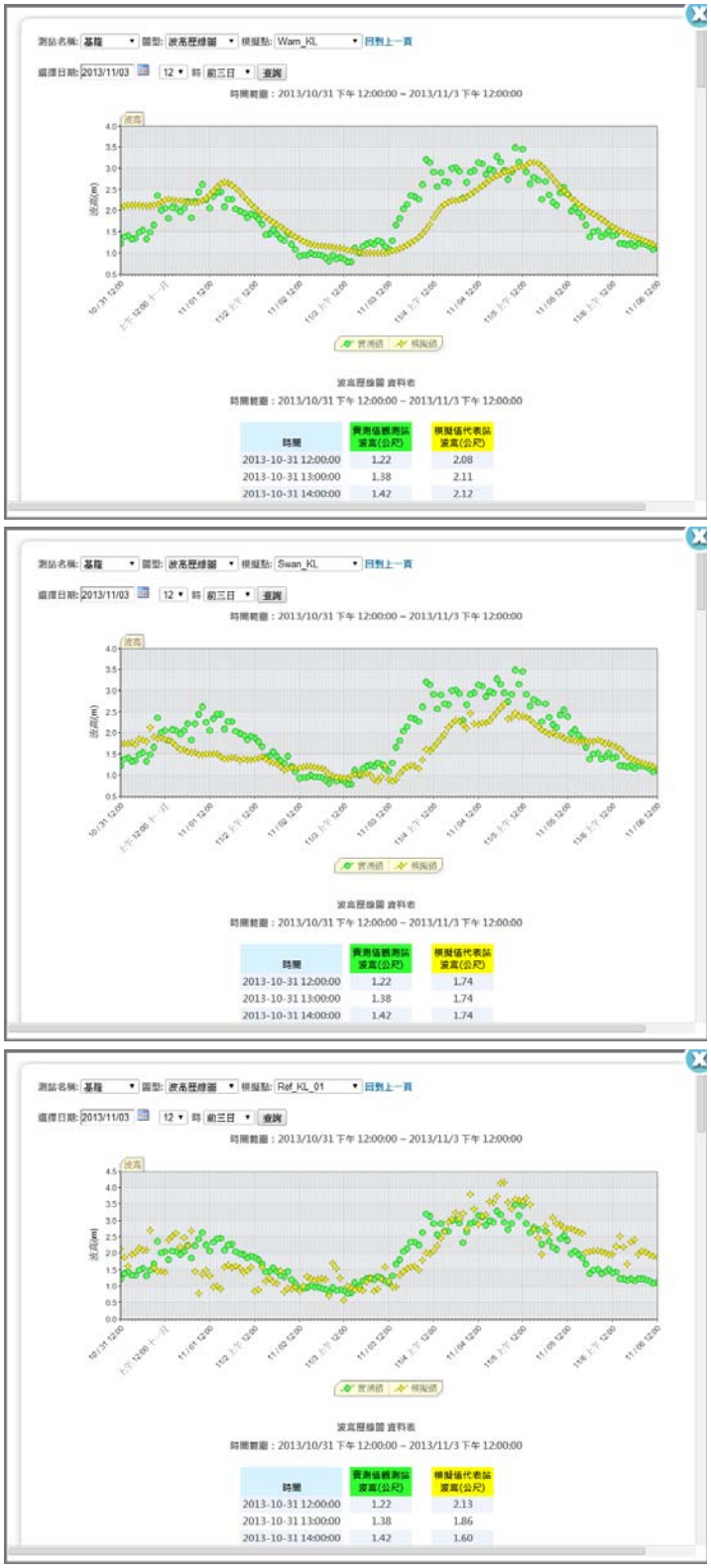


圖 2.36 展示基隆港波浪模擬 (大尺度、中尺度、小尺度) 歷線圖



圖 2.37 展示布袋港相對潮位歷線圖

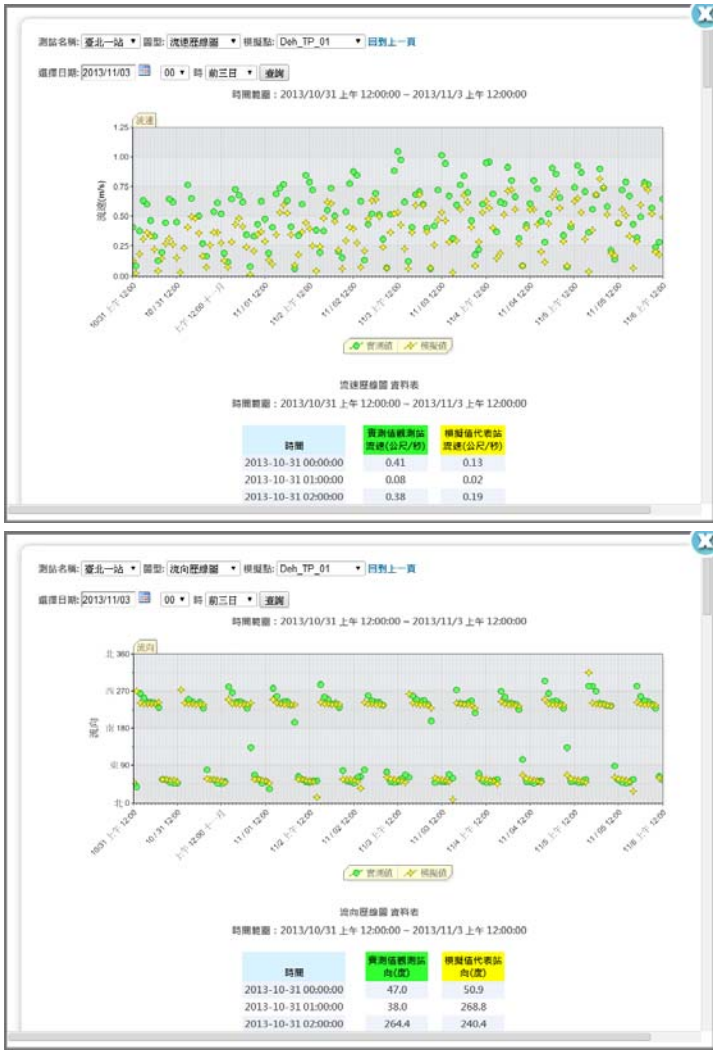
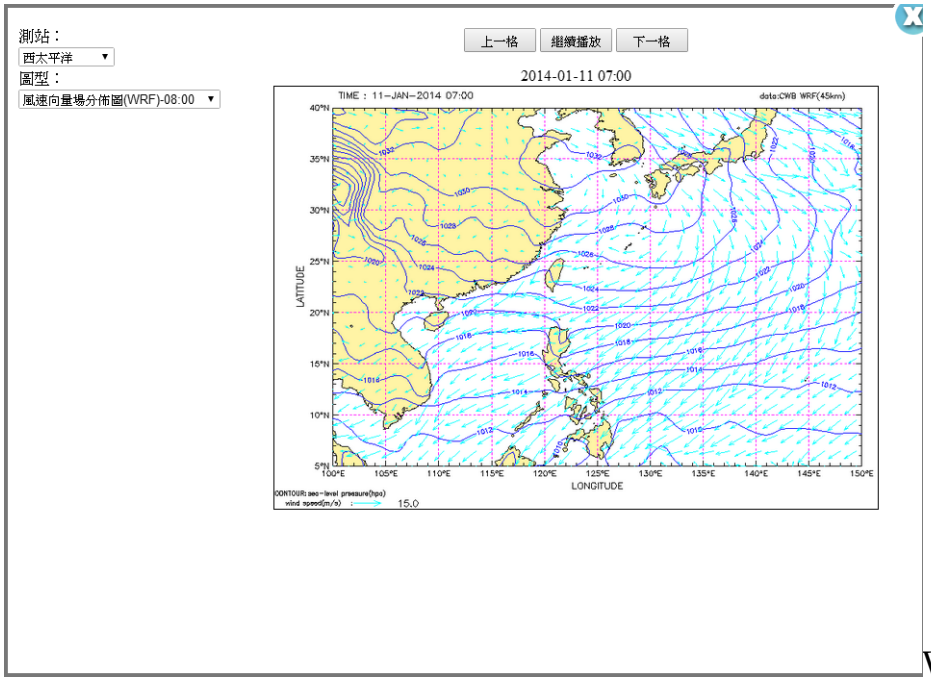
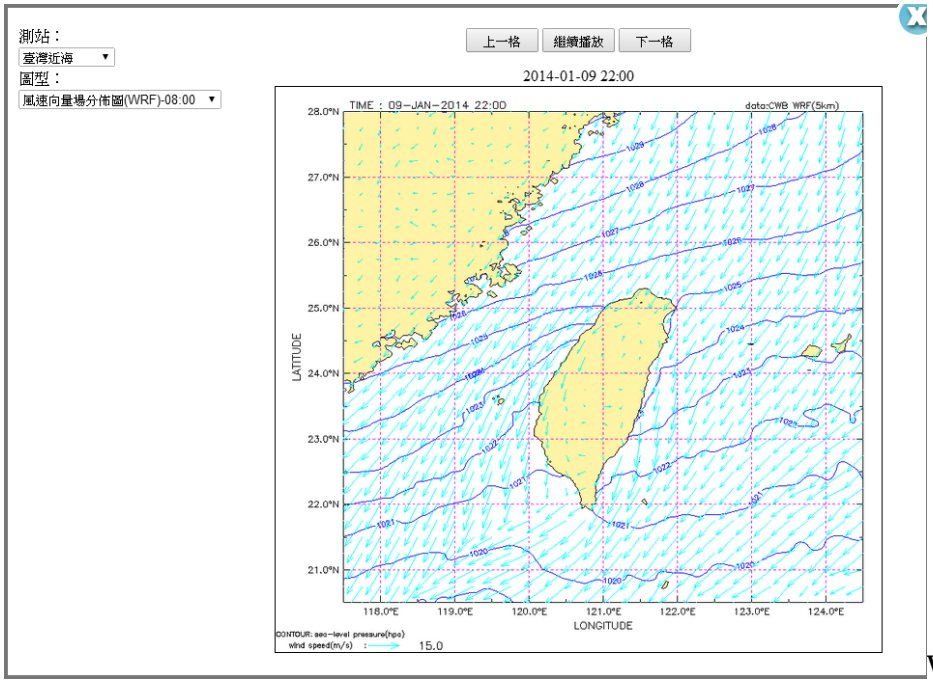


圖 2.38 展示臺北港流速及流向歷線圖



WRF(WA01)



WRF(WA02)

圖 2.39 WRF 模式-風場圖型動畫

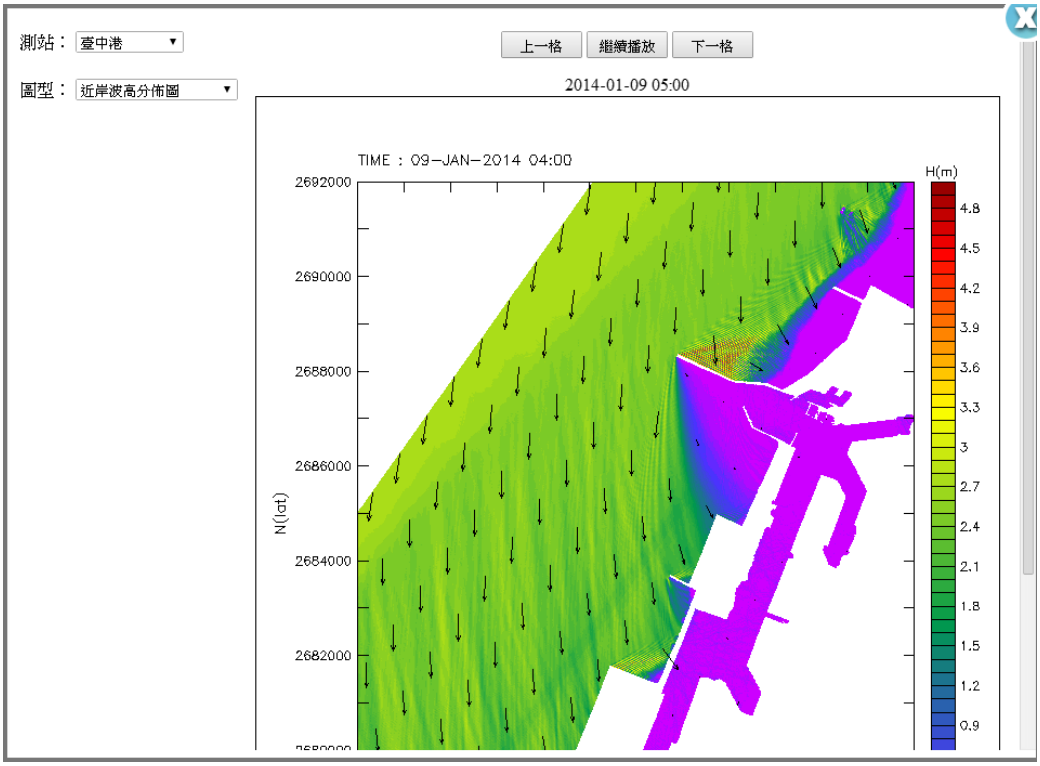


圖 2.40 展示臺中港近岸波高分佈圖

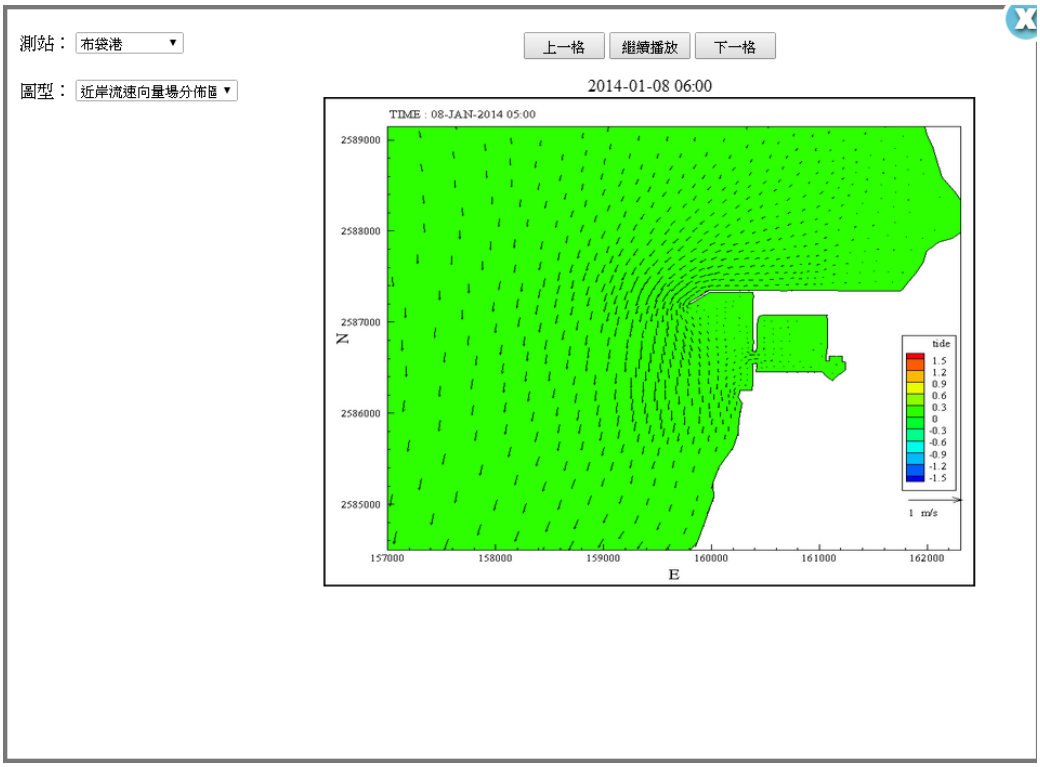


圖 2.41 展示布袋港流速向量場分佈圖

2. 動態自選點模擬資訊

目前所提供的數值模擬資訊，包含有大尺度(西太平洋)、中尺度(臺灣近海)、小尺度(港區)的模擬範圍，且針對各港區之風、潮汐、波浪、海流模擬資訊以及藍色公路的航段等模擬資訊，僅提供固定之近岸數值模擬(網格)資訊。今年度試作開發動態自選點(網格)模擬資訊功能，針對臺灣本島外圍並涵蓋港區海域範圍以及離島金門、澎湖、馬祖等範圍，如下圖 2.42 中尺度數值模擬計算網格圖所示，提供中尺度數值模擬資訊-風速、風向以及波高、波向資料，讓使用者點選查詢。

由於臺灣四面環海，因此能即時掌握住海上航路及提前得知港口附近海域海象變化，對於海域遊憩以及船舶運輸航行等非常重要，為了能獲得完整之港灣全面多點式水理即時預報結果，彌補僅提供少數測點資訊的不足，並與各港之船舶交通管理系統進行連結，強化該系統功能，提升港埠營運效能及保障海上作業之安全。

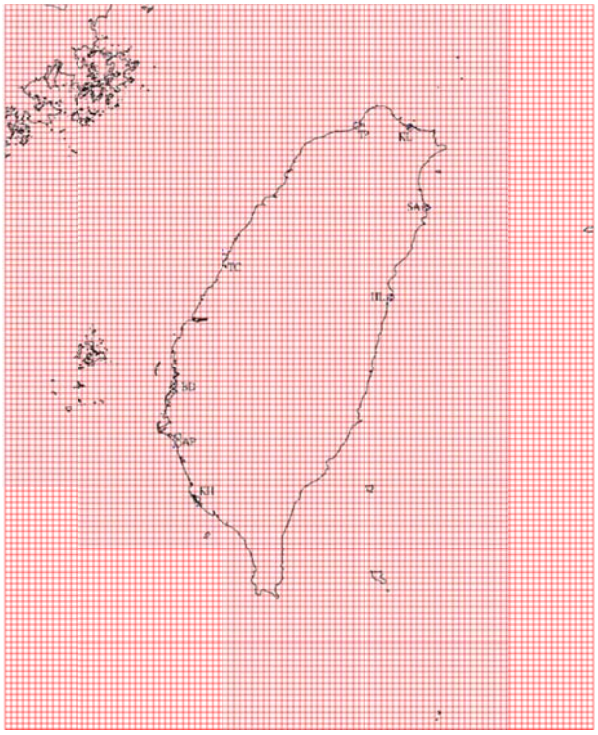


圖 2.42 中尺度數值模擬計算網格圖

由於中尺度模擬的範圍涵蓋了整個臺灣海域，因此提供的資訊非常充足，但考量到系統能負荷之資料量，透過工作會議討論決議，針

對臺灣本島且涵蓋港區海域以及離島區域性範圍的方式來呈現，如圖 2.43 動態自選點資訊功能範圍圖(綠色框)所示，透過動態自選點模擬資料品管及匯入程式每日採自動化的作業方式，將相關資訊匯入海情資料庫。

本項系統功能提供相關坐標之中尺度模擬資訊，並以以綠色框圈選的範圍，劃分區域性採取點選載入資料作展現。目前港灣環境資訊網評估試作花蓮區塊如圖 2.44a 模擬海象區域動態資訊-首頁所示，其海象資訊包含風速、風向、波高以及波向如圖 2.44b 模擬海象區域動態資訊-點選區域、圖 2.44c 模擬海象區域動態資訊-連結開啟網頁，

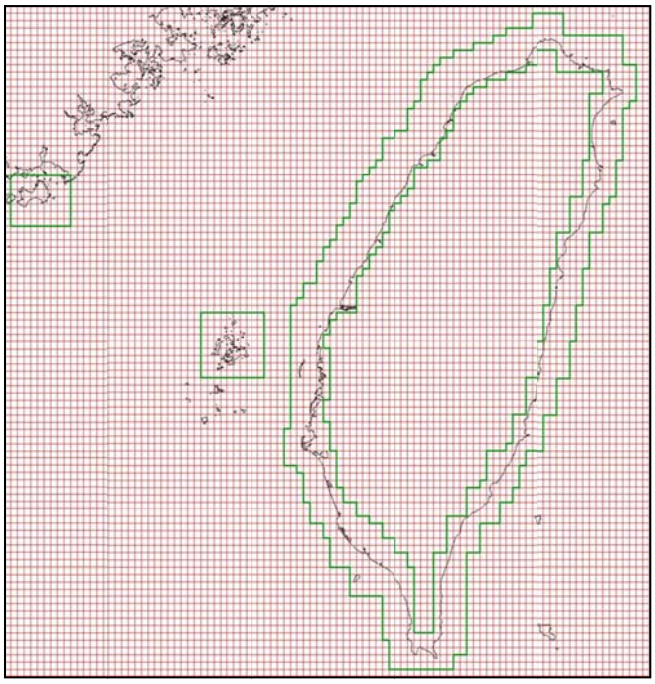


圖 2.43 動態自選點資訊功能範圍圖(綠色框)

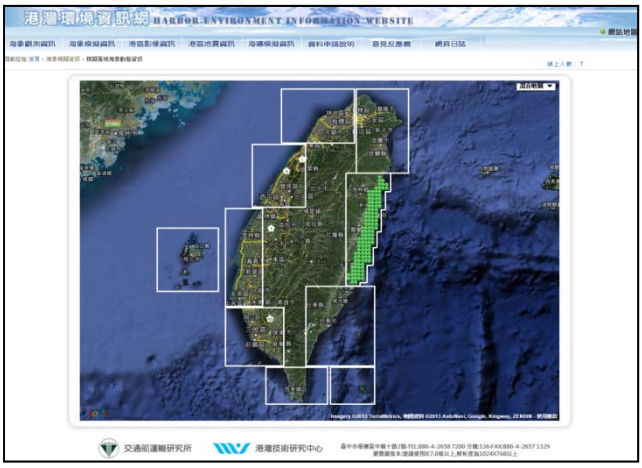


圖 2.44a 模擬海象區域動態資訊-首頁

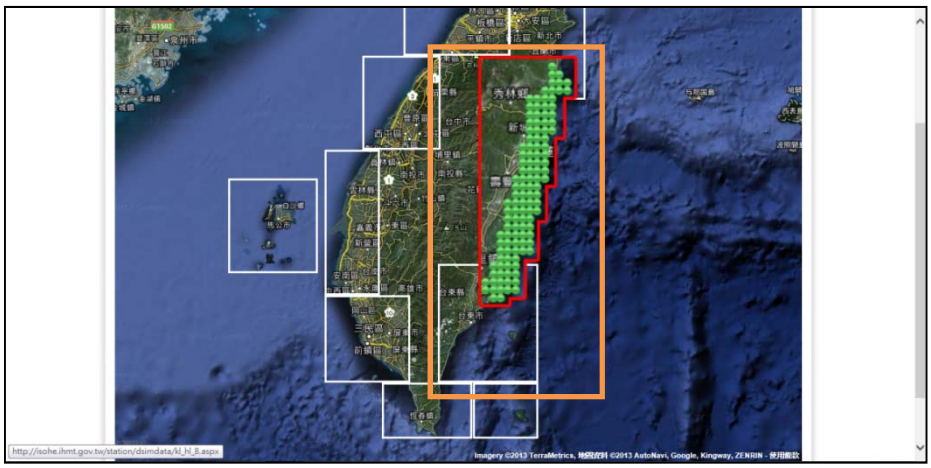
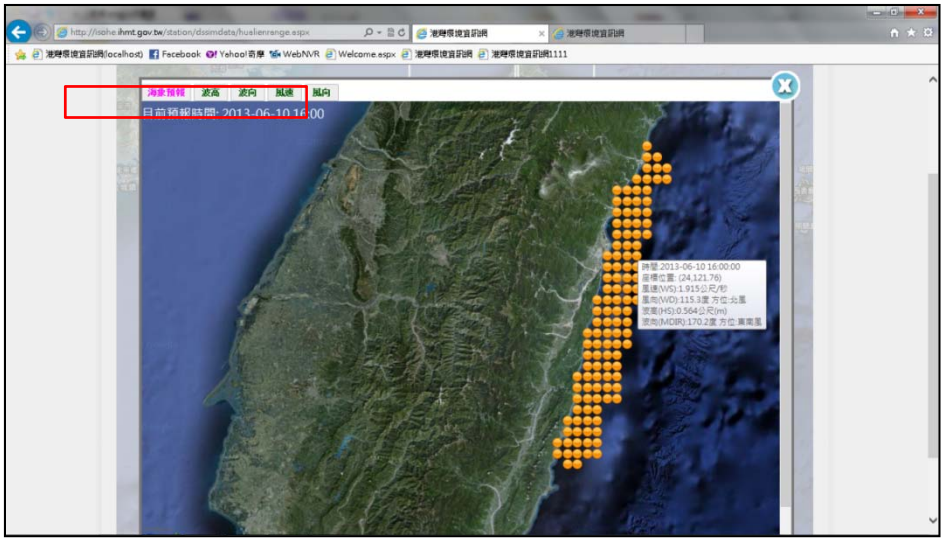


圖 2.44b 模擬海象區域動態資訊-點選區域



(所有海氣象資訊)

圖 2.44c 模擬海象區域動態資訊-連結開啟網頁

3. 藍色公路資訊

彙整海象數值資料及船舶自動辨識系統資料，提供航路之數值模擬資訊以及船舶動態資訊，目前提供 10 條藍色公路，如下圖 2.45 港灣環境資訊網-藍色公路首頁所示，提供正常固定航班之藍色公路整合納入船舶系統資訊。然藍色公路展示為固定航線軌道，實際船舶於航行中會因航路上的天氣變化及海氣象情況而導致航線些許變動，但大部分於正常行駛狀態下，船舶仍會於預先劃定之藍色公路套疊軌跡行駛。



圖 2.45 港灣環境資訊網-藍色公路首頁

依據船舶長期實際航行軌跡作為港灣環境資訊網所提供的航線軌跡後，並且將基隆-東引-北竿(臺馬輪)、高雄-馬公航段(臺華輪)、臺中-平潭(海峽號)、布袋-馬公(滿天星 2 號)以及蘇澳-花蓮(麗娜輪)之船舶名稱、MMSI、座標位置、目的地、資料接收時間、航速與航向等相關資訊配合圖示呈現，整合納入至藍色公路航段如下圖 2.46 藍色公路-基隆

至馬祖(北竿)航段海氣象與船舶資訊~藍色公路-基隆至馬祖(北竿)航段波高與船舶資訊所示，另提供船舶之航班時刻表連結方便使用者迅速查詢。



圖 2.46a 藍色公路-基隆至馬祖(北竿)航段海氣象與船舶資訊

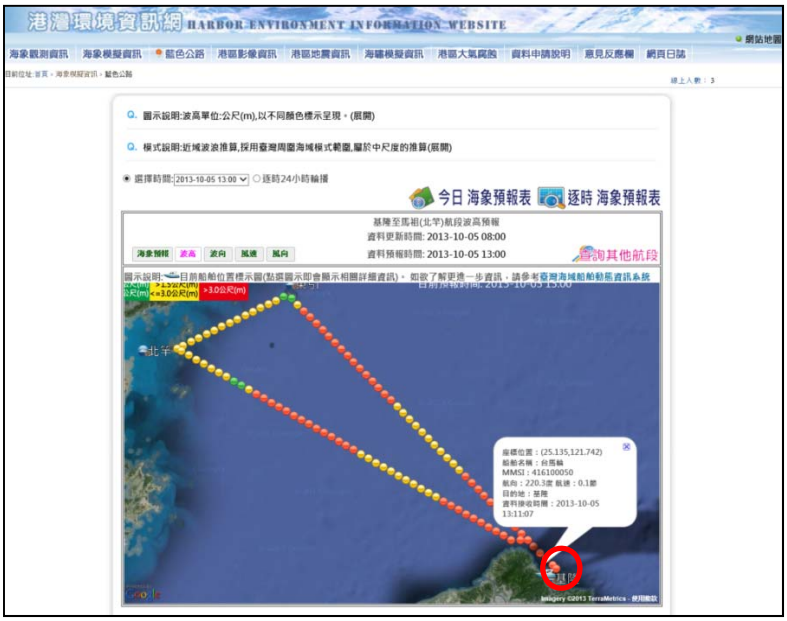


圖 2.46b 藍色公路-基隆至馬祖(北竿)航段波高與船舶資訊

其中頁面標示固定船班之船舶目前位置，並於其經緯度座標正負0.25 度的範圍內，呈現該區域內其他船舶的即時資訊，圖 2.47 藍色公路-動態呈現船舶之即時資訊(以高雄-馬公為例)。

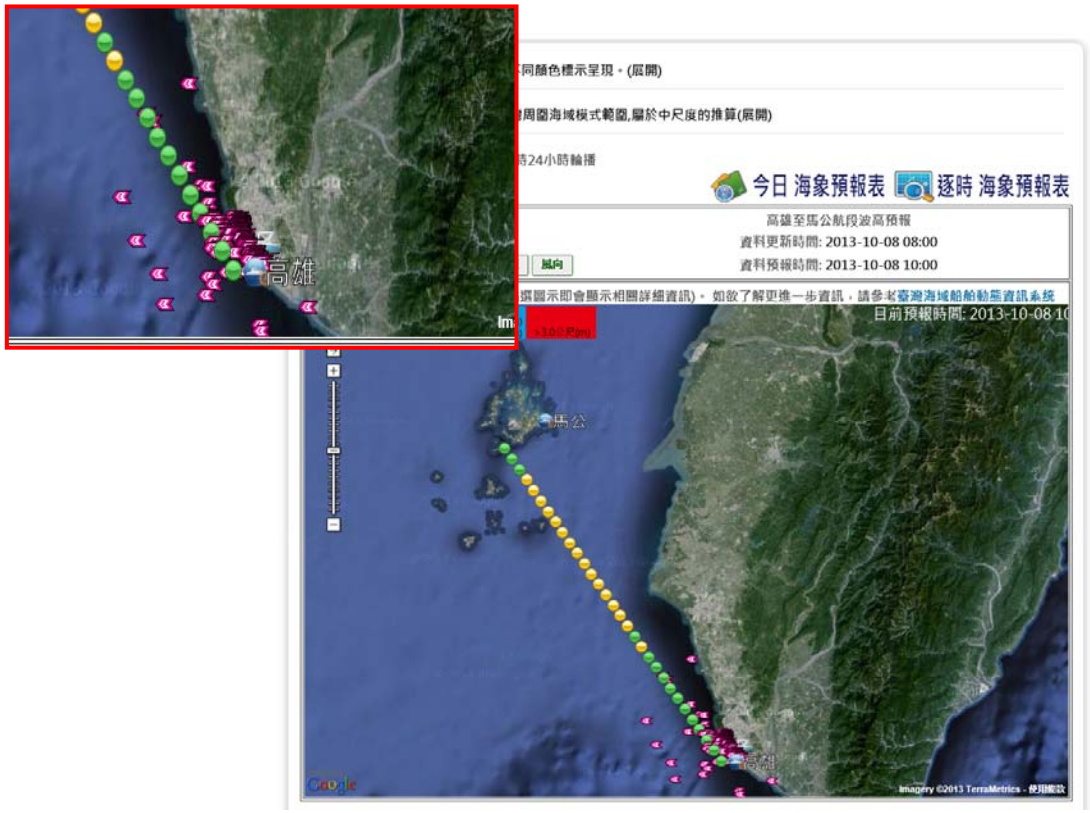


圖 2.47 藍色公路-動態呈現船舶之即時資訊(以高雄-馬公為例)

2.4.3 海嘯模擬資訊

海嘯模擬資訊將海嘯模擬數值所提供文字檔以及圖片檔彙整展示，而海情中心的伺服器以定時同步資料夾的程式，將相關的資料複製至伺服器的硬碟。並且將文字檔的資料透過程式匯入海情正式資料庫，此部分的作業會持續性方式執行，一旦資料更新則立即於網頁中作展示，讓使用者可隨時於網頁查詢觀看，為避免過多海嘯訊息，設定網頁發佈條件當波高大於 0.1 公尺或地震矩規模大於 7.0，則提供網路訊訊息。

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

海嘯資訊於 GoogleMap 標示臺灣港區位置(基隆、臺北、臺中、安平、布袋、高雄、蘇澳以及花蓮)，網頁畫面如圖 3.48 示。其包含了地震的相關詳給資訊、震央位置圖如圖 3.49 所示以及到達臺灣各港區的相關預警訊息資料海嘯模擬水位資訊查詢(如圖 3.50、3.51 所示)。



圖 2.48 海嘯查詢網頁

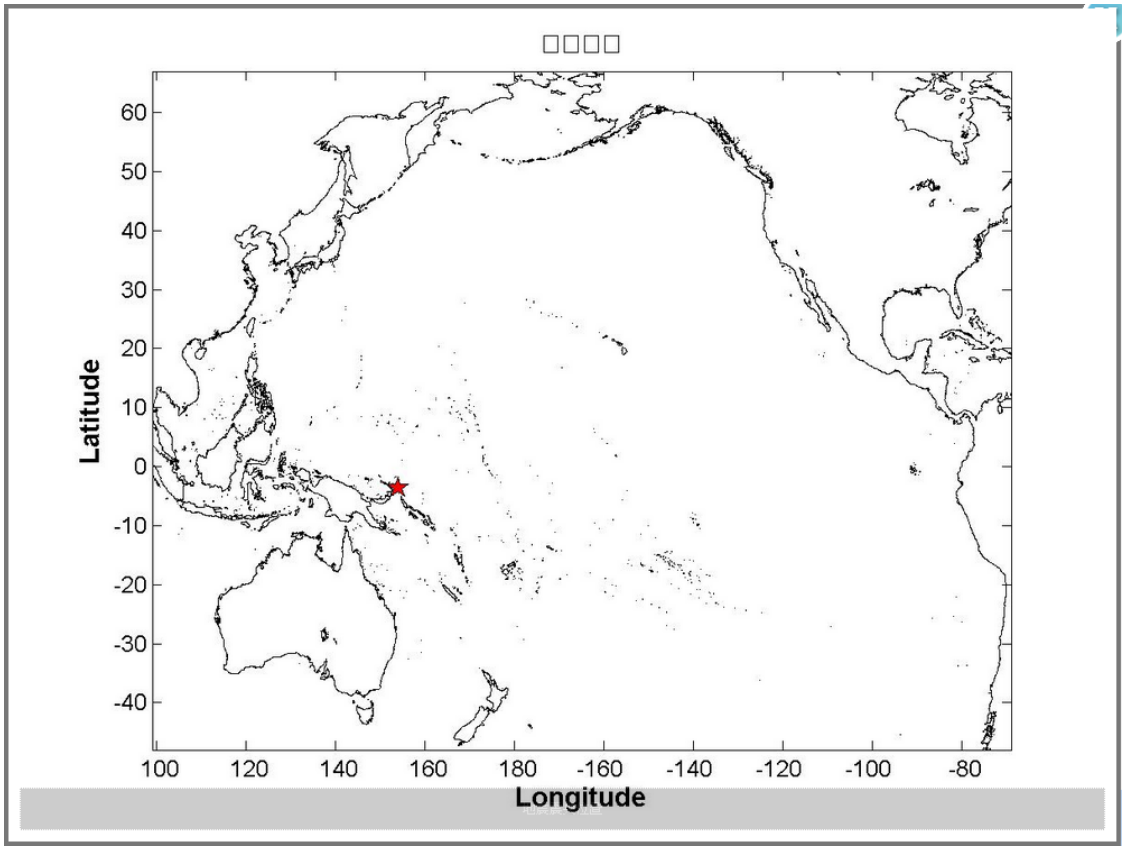


圖 2.49 展示海嘯震央位置圖

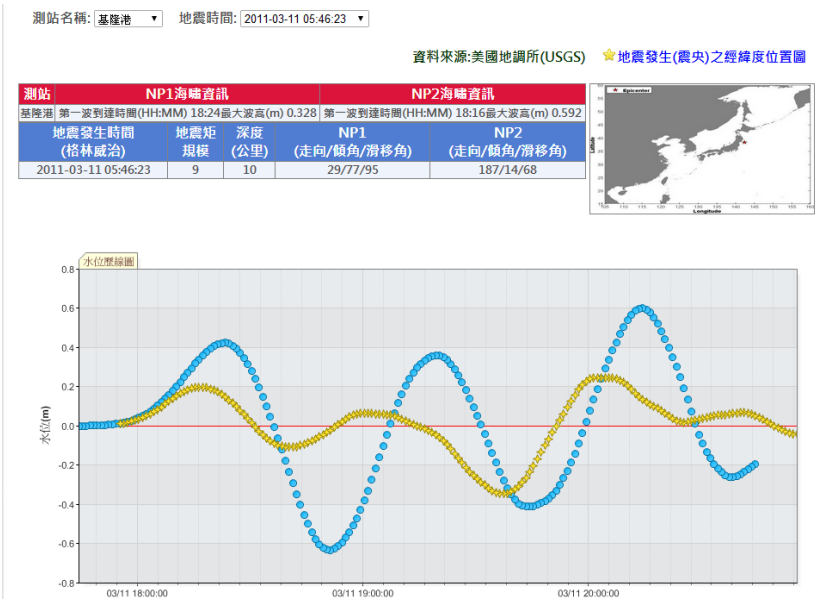


圖 2.50 展示基隆港海嘯水位變化歷線圖



水位歷線圖 資料表

時間	海嘯模擬解(NP1) 潮位(公尺)
2011-03-11 17:44:23	0
2011-03-11 17:45:23	0
2011-03-11 17:46:23	0
2011-03-11 17:47:23	0.001
2011-03-11 17:48:23	0.001
2011-03-11 17:49:23	0.002
2011-03-11 17:50:23	0.002
2011-03-11 17:51:23	0.004
2011-03-11 17:52:23	0.005
2011-03-11 17:53:23	0.007
2011-03-11 17:54:23	0.009
2011-03-11 17:55:23	0.012
2011-03-11 17:56:23	0.016
2011-03-11 17:57:23	0.02
2011-03-11 17:58:23	0.026
2011-03-11 17:59:23	0.032
2011-03-11 18:00:23	0.04
2011-03-11 18:01:23	0.049
2011-03-11 18:02:23	0.06
2011-03-11 18:03:23	0.072
2011-03-11 18:04:23	0.086
2011-03-11 18:05:23	0.102
2011-03-11 18:06:23	0.119
2011-03-11 18:07:23	0.137

時間	海嘯模擬解(NP2) 潮位(公尺)
2011-03-11 17:55:23	0.009
2011-03-11 17:56:23	0.013
2011-03-11 17:57:23	0.017
2011-03-11 17:58:23	0.022
2011-03-11 17:59:23	0.027
2011-03-11 18:00:23	0.034
2011-03-11 18:01:23	0.042
2011-03-11 18:02:23	0.051
2011-03-11 18:03:23	0.06
2011-03-11 18:04:23	0.071
2011-03-11 18:05:23	0.083
2011-03-11 18:06:23	0.096
2011-03-11 18:07:23	0.11
2011-03-11 18:08:23	0.124
2011-03-11 18:09:23	0.138
2011-03-11 18:10:23	0.151
2011-03-11 18:11:23	0.163
2011-03-11 18:12:23	0.174
2011-03-11 18:13:23	0.183
2011-03-11 18:14:23	0.19
2011-03-11 18:15:23	0.195
2011-03-11 18:16:23	0.197
2011-03-11 18:17:23	0.197
2011-03-11 18:18:23	0.194

圖 2.51 展示海嘯水位歷線表

第三章 波浪模擬與探討

本章係以臺灣環島海象預報系統(TaiCOMS)波浪模擬架構已建置的作業化波浪模組，諸如大尺度西太平洋範圍風浪模組、中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組、小尺度港區近岸波浪模組等，以及各港區細尺度港域波浪模組等為計畫之研究主體，其中本年度小尺度網格及細尺度網格波浪場模擬之研究對象分別為安平港域及高雄港域。

3.1 TaiCOMS 波浪模擬架構說明

在 TaiCOMS 波浪場模擬架構下，依模擬範圍及網格尺度大小區分為大尺度西太平洋範圍風浪模組、中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組、七大商港小尺度港區近岸波浪模組以及七大商港細尺度港域波浪模組等四部份。其中大尺度西太平洋範圍風浪模組模擬範圍含蓋西太平洋北緯 10 度至北緯 35 度，東經 110 度至 134 度之區域，數值計算網格採用解析度為 12 分之地球弧形網格(如圖 3.1 所示)；中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組模擬範圍以臺灣本島為中心，南起於北緯 21 度，往北至北緯 26 度，西向至東經 119 度，往東至東經 123 度，採用網格解析度 0.04 度(2.4 分)方格網格(如圖 3.2 所示)；七大商港小尺度港區近岸波浪模組則分別依據各港口港域大小及海岸地形水深變化狀況建置適當的模擬範圍，如圖 3.3 所示，其中各港口小尺度近岸波浪模組之數值計算網格解析度均為 10 m 間距之方格網格；至於細尺度港域波浪模組之模擬範圍則針對各港口外廓配置選取適當的假想半圓模擬邊界，其數值計算網格則採用隨港域水深變化建置的三角形元素網格，其中最小元素邊長可小至約 2 m 左右。

就各波浪模組之數值模式特性區分，大尺度西太平洋範圍風浪模組係採用海洋波浪預測模式 WAM (WAve Modeling)為核心模式，中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組則選用荷蘭 Delft 大學所發展之近海風浪模式 SWAN (Simulating WAves Nearshore)為模式之主體，前述二模式均屬為第三代波譜風浪模式，主要用於海面風浪之生成與減衰現象，故

主要輸入條件為海面風場資料。各港域小尺度港區近岸波浪模組則採用 Kirby 及 Dalrymple (1983)所發展的波浪折繞射模式(REF/DIF)為基礎發展出適合各港口海岸特性之港區近岸波浪模擬模組，細尺度域波浪模組則採用能夠模擬港內波浪反射現象之有限元素港域波浪模式；此二模式均屬於建構於緩坡方程式(mild slope equation)基礎上之波浪模式，其中前者控制方程式屬於拋物線型緩坡方程式，後者控制方程式則為橢圓型緩坡方程式，故小尺度港區近岸波浪模組及細尺度域波浪模組之數值模式特性均屬於針對特定波浪條件(如波高、週期、波向等)模擬波浪向岸傳播過程之波高及波向變化。上述四種模式中除了有限元素港域波浪模式為研究團隊自行建置之程式碼外，其他如 WAM、SWAN 及 REF/DIF 均採用國際上公開之程式碼，經局部修正使其適用於 TaiCOMS 之作業環境。

在 TaiCOMS 波浪模擬功能區分上，大尺度西太平洋範圍風浪模組被設定為 TaiCOMS 波浪場模擬之最上層，它除了可以提供大域之風浪模擬結果(如波高、週期、波向分布)外，同時提供包括中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組模擬過程所需之邊界條件，以及國內七大港口外海之波浪條件如波高、週期、波向等；其中七大港口外海波向模擬資料因受到網格解析度限制往往與近岸波浪觀測資料有較大的誤差存在，故經由西太平洋範圍風浪模組模擬結果輸出的港口外海波向資料，對本計畫而言僅作為與臺灣周圍海域範圍風浪模組模擬結果或與觀測資料比對參考之用途。中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組則為 TaiCOMS 波浪場模擬之第二層，在波浪模擬過程中它除了依據大尺度西太平洋範圍風浪模組模擬結果作為模式之邊界條件外，並配合中域風場輸入資料模擬臺灣周圍海域風浪場變化；由於中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組除了具有較高解析度之計算網格外，由於模式本身亦具有模擬風浪折繞射功能，因此它可以提供臺灣近岸海域較精確的波浪場模擬結果，其中七大港口外海波向模擬值與各港口近岸波浪觀測資料之比對結果明顯優於前述西太平洋範圍風浪模組之比較結果。此外，中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組除了提供臺灣周圍近岸海域風浪場資訊外，亦提供國內七大港口外海之波浪條件如波高、週期、波向等，其

中國內七大港口外海之波浪條件將作為TaiCOMS各港口小尺度港區近岸波浪模組波場模擬之輸入條件。

在小尺度港區近岸波浪場模擬上，各港區近岸波浪模組主要是依據前述中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模式模擬結果提供國內七大港口外海波浪條件(波高、週期、波向等)，分別模擬基隆港、臺北港、臺中港、安平港、高雄港、花蓮港及蘇澳港等港域近岸波浪場變化情形，小尺度波浪模擬結果除了可提各港口外海每小時之近岸波浪場波高及波向之平面變化情形，同時可提供各港口附近或進港航道上之波高變化資訊。至於各港口細尺度港域波浪模組目前尚未納入 TaiCOMS 每日作業化流程中，主要考量在於細尺度港域波浪模式模擬時間較為費時，因此對於 TaiCOMS 而言細尺度港域波浪模組功能定位，主要針對颱風期間外海可能發生的大波浪條件進行港域波高變化模擬，藉以瞭解港內波浪靜穩狀況，評估是否可能影響船舶泊靠安全。

目前TaiCOMS每日海象作業化模擬會執行包含西太平洋範圍風浪模組、臺灣周圍海域範圍風浪模組及國內七大商港港域近岸波浪模組在內的大、中、小尺度模擬範圍之連續 72 小時波浪場模擬工作。目前 TaiCOMS 每日波浪作業化模擬流程，如圖 3.4 所示，各流程之作業環節說明如下：

目前 TaiCOMS 系統中海面風(氣壓)場資料係採用由中央氣象局提供非靜力區域預報模式(Nonhydrostatic Forecast System，簡稱 NFS)每日 72 小時預報之數值資料，依 NFS 之數值資料含蓋 3 層不同範圍之巢狀網格，以臺灣為中心由最外層大域至最內層小域之水平網格間距分別為 45 km、15 km 及 5 km，如圖 3.54 所示。本計畫分別以大域 RC(或簡稱 RC)風(氣壓)場資料、中域 MC(或簡稱 MC)風(氣壓)場資料及小域 HC(或簡稱 HC)風(氣壓)場資料稱之。基於中央氣象局每日於 08:00 及 20:00 (相當於格林威治時間的 0:00 及 12:00)會下載由美國海洋及大氣總署提供的表面氣壓場，開始推算相關風場預報資料(RC、MC 及 HC)，並於每日 11:00 及 23:00 前上傳推算至 ftp 站供下載。因此 TaiCOMS 作業系統乃規劃以前一日 20:00 時中央氣象局預報氣象資料作為推算的

基準，並設定於每日 0 時及 12 時分別自中央氣象局 ftp 站下載前一日 20:00 時及當日 08:00 預報的風(壓)場數值資料;再於每日(以 D 日表示) 03:00 時開始解碼 D-1 日預報的風(壓)場數值資料，再經重整及內插方式產生大、中尺度風浪模組模擬範圍所需之每小時風場資料，如圖 3.55 所示，共 73 組資料。在每日作業化模擬更新的 73 組風場資料中，其前 24 小時風場代表 D-1 日 0 時至 23 時之風場。之後，系統會隨作業化流程依序進行大尺度西太平洋範圍風浪模擬、中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模擬以及各港區小尺度近岸波浪場模擬。目前 TaiCOMS 系統每日進行的風浪作業化模擬，係配合上述風場資料長度將各模組的模擬時間長度設定為 72 小時模擬，因此系統各波浪模組之模擬時間示意圖如圖 3.5 所示；其中前 24 小時屬於現報模擬，其現報結果將與各港口即時觀測系統資料比對，目的提供使用者判斷本次模擬作業結果之可信度；後 48 小時屬於預測模擬計算，內容上僅呈現各模式計算之結果，此部份結果因具有相當的不確性，故目的上僅提供港研中心或港勤參考之用途。

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

表 3-1 TaiCOMS 各波浪數值模組之特性綜整表

屬性	模組	模擬範圍/解析度	核心波浪模式	輸入	輸出
大尺度	西太平洋範圍風浪模組	東經：110°~134° 北緯：10°~35° 解析度：0.2°	海洋波浪預測模式 WAM	RC 風場(來源 NFS 預報之大域風場)	每日作業化模擬結果(72 小時平面波場資料、中尺度模組巢狀邊界風浪資料及各港區外海波浪資料)
中尺度	臺灣周圍海域範圍風浪模組	東經：119°~123° 北緯：10°~35° 解析度：0.04°	近海風浪模式 SWAN	MC 風場(來源 NFS 預報之中域風場) 巢狀邊界風浪條件(來源西太平洋範圍風浪模擬結果	每日作業化模擬結果(72 小時平面波場資料及各港區外海波浪資料)
小尺度	基隆港港區近岸波浪模組	向離岸：6.2 km 沿海岸：7.3 km 解析度：10 m	波浪折繞射模式 REF/DIF	港區外海波浪條件(來源臺灣周圍海域範圍風浪模擬結果)	每日作業化模擬結果(72 小時平面波場資料及各港區波浪觀測點位波高及波向)
	臺北港港區近岸波浪模組	向離岸：8.0 km 沿海岸：13.0 km 解析度：10 m			
	臺中港港區近岸波浪模組	向離岸：10.0 km 沿海岸：19.0 km 解析度：10 m			
	安平港港區近岸波浪模組	向離岸：10.0 km 沿海岸：5.0 km 解析度：10 m			
	高雄港港區近岸波浪模組	向離岸：8.0 km 沿海岸：17.0 km 解析度：10 m			
	花蓮港港區近岸波浪模組	向離岸：3.2 km 沿海岸：8.0 km 解析度：10 m			
	蘇澳港港區近岸波浪模組	向離岸：6.0 km 沿海岸：8.0 km 解析度：10 m			

表 3-1 (續)TaiCOMS 各波浪數值模組之特性綜整表

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

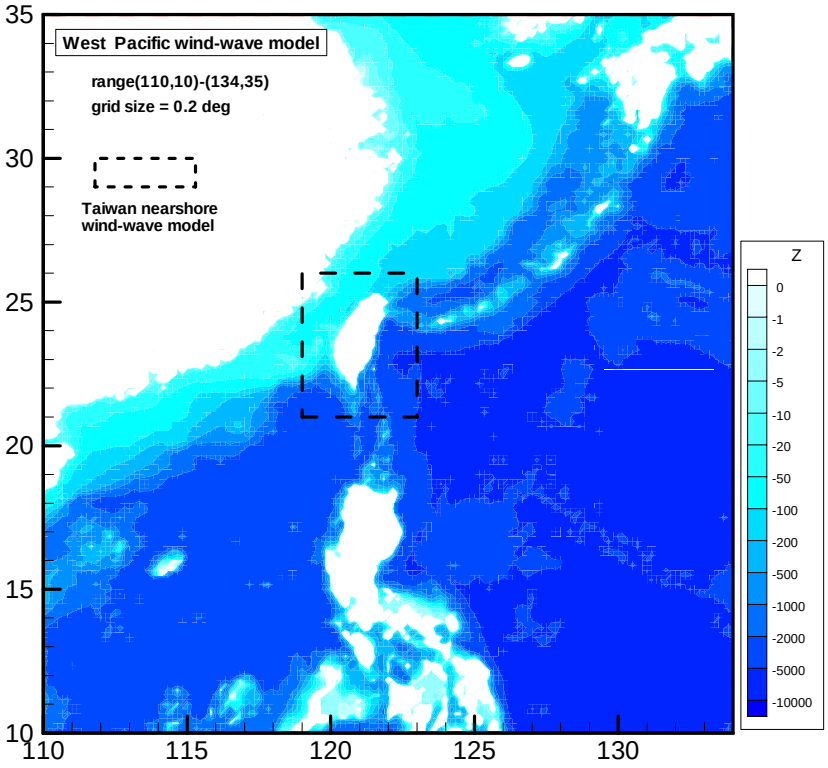


圖 3.1 大尺度西太平洋風浪模組之模擬範圍

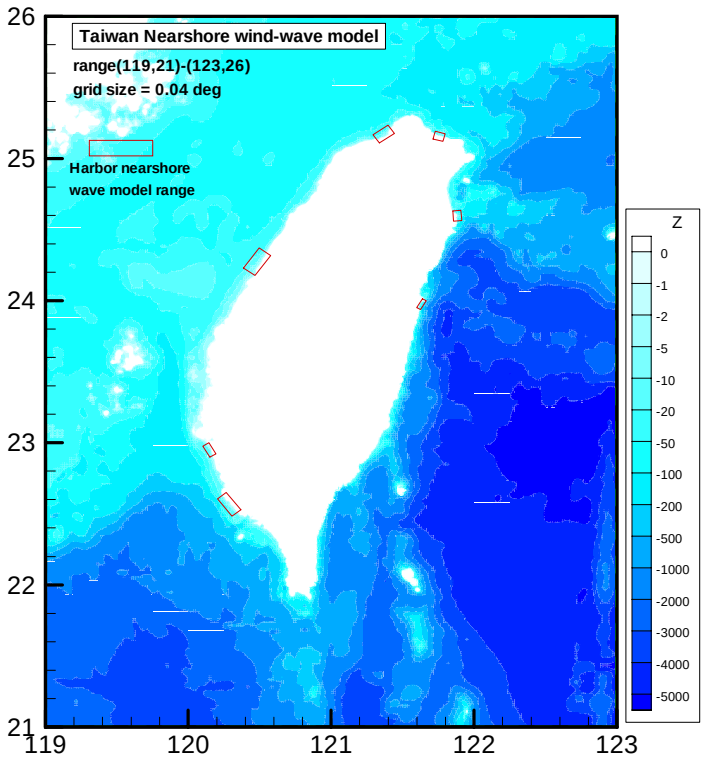


圖 3.2 中尺度臺灣近岸海域風浪模組之模擬範圍

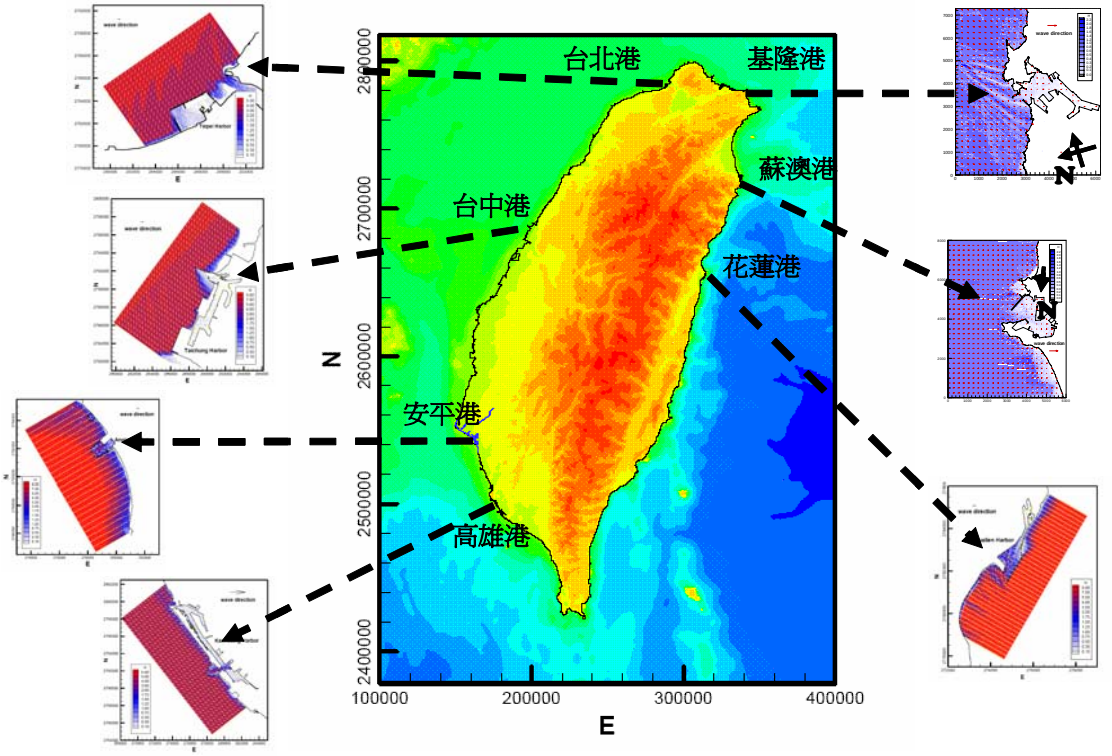


圖 3.3 國內七大港口地理位置及及小尺度港區近岸波浪模組模擬範圍

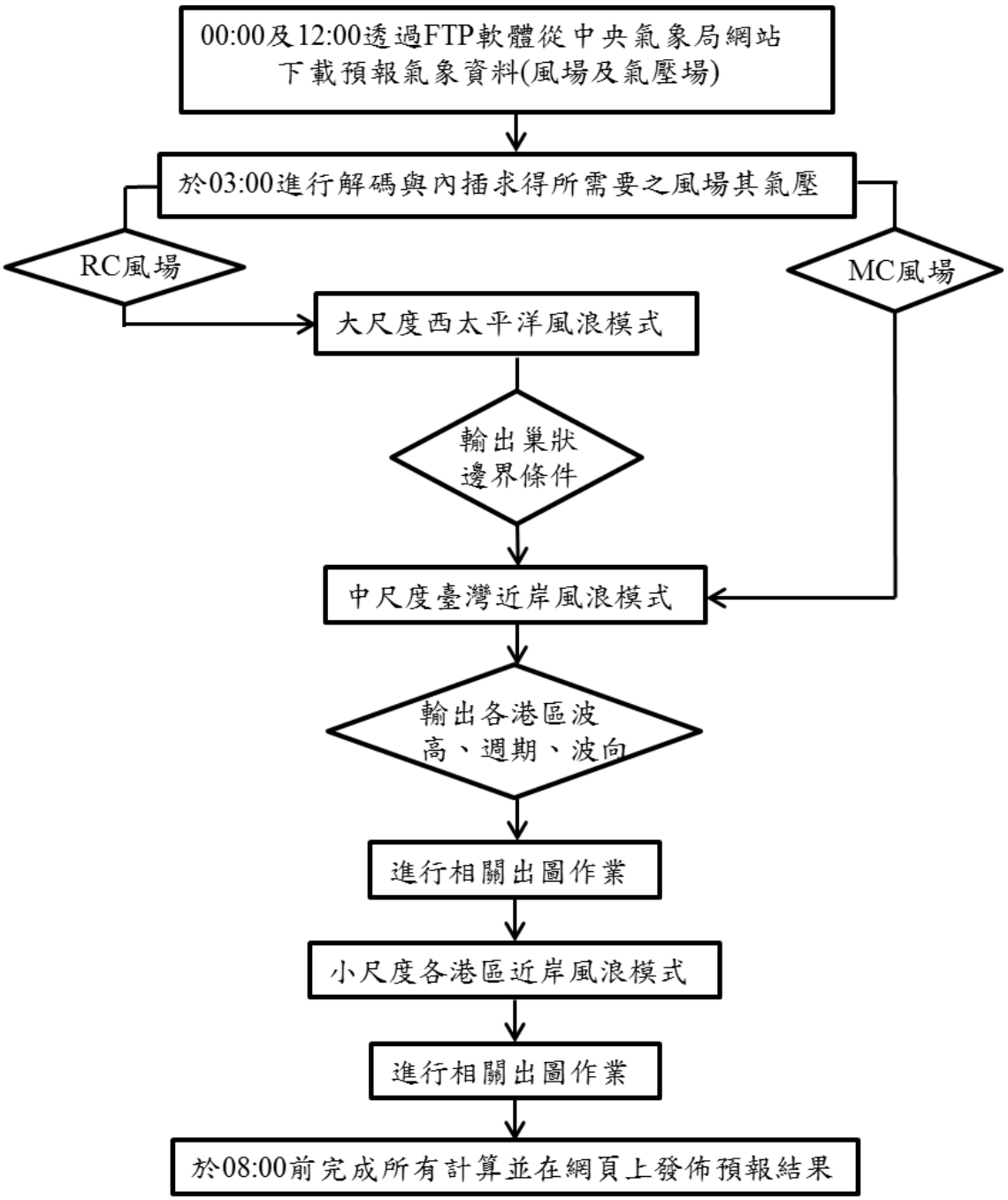


圖 3.4 臺灣近岸海象數值模擬系統波浪模擬線上作業流程

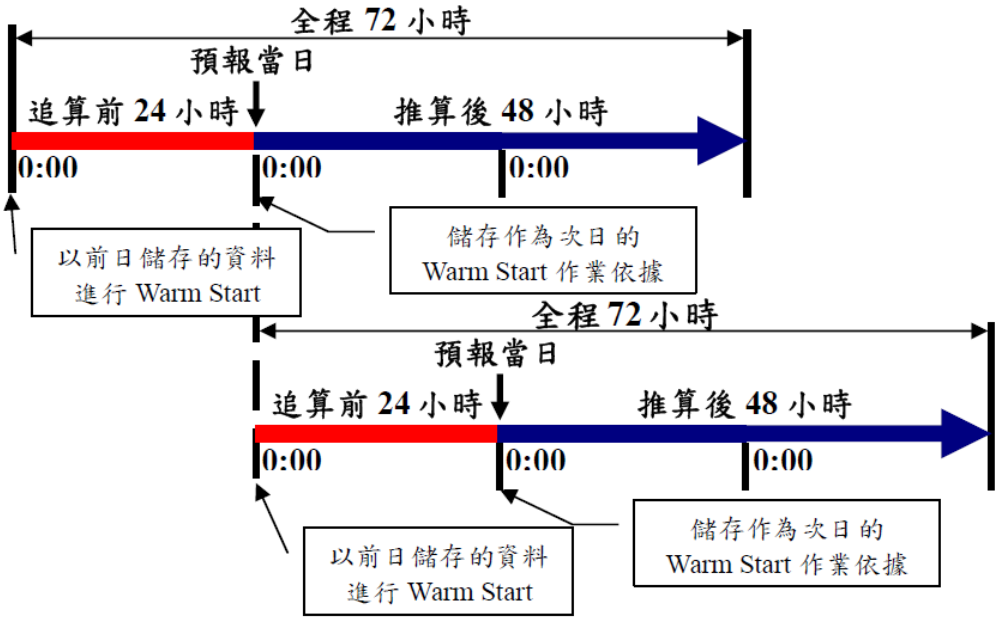


圖 3.5 TaiCOMS 每日線上作業程式模擬時間示意圖

3.1.1 西太平洋範圍風浪模組之基本理論

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

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

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

在大範圍波浪場計算時，因地球曲率會影響波浪的傳遞，因此常

以球面座標系統(ϕ，λ)推導(3.1)式，得到下列描述二維波浪能量平衡方程式之球面座標表示式如下：

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

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

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

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

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

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

在 WAM 模式(cycle 4 及 cycle 5)中，源函數S可表示成

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

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

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

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

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

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

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

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

其中

$$\mu = \left(\frac{u_*}{\kappa c}\right)\left(\frac{gz_0}{u_*^2}\right)\exp\left[\left(\frac{\kappa c}{u_*}\right)\frac{1}{\cos\left(\theta-\theta_w\right)}\right] \qquad \text{.....(3.10)}$$

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

針對粗糙長度 z_0 之計算如下：

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

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

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

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

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

之計算如下

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

其中未知係數$\hat{\alpha}$建議採用 0.01。

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

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

其中

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

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

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

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

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

關於底床摩擦引起的能量損失項S_{bot}，其計算如下：

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

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

至於非線性交互作用項S_{nl} 之計算則採用 Hasselmann (1963)之四

個波之波浪交互作用理論，即波譜的急劇成長是由波譜尖峰頻率從風獲得能量後再經由非線性作用使得波譜尖峰頻率的能量分別向高頻及低頻處傳遞，且隨著風速加大導致尖峰頻率向低頻移動的現象，如圖 3.6 所示。當紛紜波浪中存在有四組波浪滿足下列共振(resonant)條件(3.21a,b)式時，則此四組波浪會產生能量之交換。

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

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

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

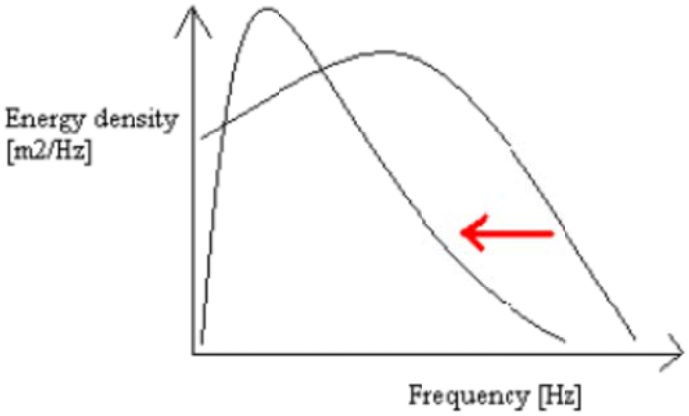


圖 3.6 波浪能量由高頻向低頻傳遞之示意圖

3.1.2 臺灣周圍海域範圍風浪模組之基本理論

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

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

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

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

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

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

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

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

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

於(3.22)式中第一項代表波浪作用力密度譜 $N(\sigma,\theta)$隨時間之變化率；第二及第三項為波浪作用力密度譜 $N(\sigma,\theta)$在平面空間上分別以 c_x 及 c_y 之速度在 x-及 y-軸方向傳遞；第四項代表波浪作用力密度譜 $N(\sigma,\theta)$受到水深及流變化影響導致在相對頻率 σ-軸上以 c_σ 的速度位移；第五項代表波浪作用力密度譜 $N(\sigma,\theta)$因水深或流所引起的折射效

應；等號右邊$\bar{S}(\sigma,\theta)$代表以能量密度表示之源函數項，其包含能量的生成、衰減、及非線性的波浪交互作用(有關各項源函數計算之詳細理論說明可參考 SWAN 使用手冊)。

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

3.1.3 近岸波浪折繞射模式之基本理論

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

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

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

式中$A(x,y)$為複數型式之自由表面波形振幅，A_x及A_y分別為 x 及 y 方向之振幅分量，$\sigma=\omega-kU$為相對頻率(intrinsic frequency)，ω為波浪

角頻率，$k(x,y)$ 為波浪波數，$\bar{k}$ 為參考波數(定義為沿 y 軸上波數之平均值)，U 為水流流速(此處通常為平均流)，U_x 及 U_y 分別為 x 及 y 方向之水流速度分量，參數 $p=CC_g$，C 為波浪之波速，C_g 為波浪群速度，D 為非線性影響項等於

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

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

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

式中

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

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

上述各式中，υ 為波浪消散因子，可依據能量消散特性給定不同的

型式。而係數 a_0, a_1 及 b_1 可依據所考慮的波浪入射角度範圍利用 Minimax approximation 決定之，此處模式所採用的係數值分別為 a_0= 0.994733，a_1=-0.890065，b_1=-0.451641。

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

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

式中 $i=\sqrt{-1}$ 。

有關波浪消散因子 υ 之選取，模式提供了包括底床邊界摩擦引起的波浪能量消散，以及波浪碎波引起的波浪能量損失等，針對前者本計畫選取模式中紊流底床邊界層觀念計算波能損失因子，即

$$\upsilon=\frac{2\sigma kf|A|(1-i)}{3\pi\sinh(2kh)\sinh(kh)} \quad \text{.....(3.33)}$$

式中 f= 0.01；至於碎波引起的波浪能量損失率則採用下列公式計算：

$$\upsilon=\frac{\psi C_g\left[1-\left(\gamma h/2|A|\right)\right]}{h} \quad \text{.....(3.34)}$$

式中 ψ 及 γ 為經驗常數，在模式中分別設定為 0.017 及 0.4。

本計畫 REF/DIF-1 模式採用有限差分數值方法求解此一拋物線型方程式，亦即將計算領域分割成具Δx 及Δy 大小之矩形網格，並求解格點上之複數振幅 $A(x,y)$ ，振幅 A 所在之位置係以(i, j)表示而非以座標 (x,y) (x, y)，如圖 3.7 所示，惟模式計算所需之地形可以輸入具 (x_i,y_j) 座標，其中 $x_i=(i-1)\Delta x$ ， $y_j=(j-1)\Delta y$ 。

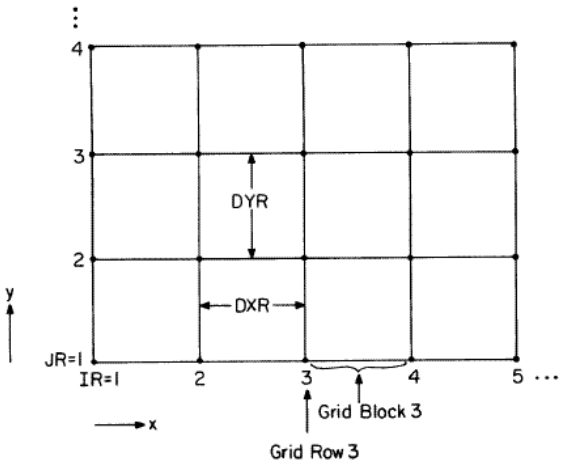


圖 3.7 REF/DIF-1 數值計算網格座標系統示意圖

3.1.4 港域波浪模式之理論簡述

當波浪自外海傳播至港域時，受到水深地形變化以及海岸線、防波堤和港內岸壁等結構物之影響，波浪會產生繞射、折射及反射等現象。針對此一問題常見之求解方法是將整個問題的領域分為外海半無限領域和港池有限領域等兩個領域，如圖 3.8 所示；同時假設外海半無限領域為等水深，僅考慮港池有限領域則為緩變之不等深水域，且不考慮波浪的碎波現象。

如圖 3.8 所示，所取之直角座標系統為 X 軸與海岸線重合，Y 軸向外海為正，Z 軸垂直紙面向上為正，Z＝0 為靜水面。外海半無線領域及有限領域別以領域(I)及(II)稱之，領域(I)及領域(II)之相連邊界為半徑 R_0 之半圓，以 B_1 表示。領域(II)則包含了港池內及港外半徑 R_0 之半圓區內水域部分，其所包括的海岸邊界、防波堤邊界及港池岸壁邊界以 B_2 表示。假設領域(I)為等水深 h_1，領域(II)之水深變化為 $h_2(x,y)$。各領域內水位變化 $\eta_j(x,y;t)$ 可表示成

$$\eta_j(x,y,t)=\zeta_j(x,y)e^{i\omega t}\quad,\quad \mathrm{j}=1,2 \qquad \text{.....(3.35)}$$

式中 $\zeta_1(x,y)$ 及 $\zeta_2(x,y)$ 分別稱為領域(I)及領域(II)之波函數，ω 為入射波之角頻率 $\omega=2\pi/T$，T 為入射波之週期。所欲求解之波函數 $\zeta_j(x,y)$，$j=1,2$ 分別滿足下列控制方程式：

在在領域(I)內

$$\nabla^2\zeta_1+k_1^2\zeta_1=0 \qquad \text{.....(3.36)}$$

在在領域(II)內

$$\nabla\cdot(C_2C_{2g}\nabla\zeta_2)+(C_2C_{2g}k_2^2+i\omega\mu+iC_{2g}\omega\gamma_b)\zeta_2=0 \qquad \text{.....(3.37)}$$

式中 $\nabla=(\partial/\partial x,\partial/\partial y)$ 為二維梯度運算子，μ 為摩擦因子，γ_b 為波浪碎波之碎波參數，k_1 及 k_2 分別為波浪在領域(I)及(II)內之波數，C_2 為波

浪在領域(II)內之波速($=L_2/T$)，C_{2g}為群速度($=\tilde{n}C_2$)。其中$\tilde{n}$定義為

$$\tilde{n}=\frac{1}{2}\left(1+\frac{2k_2h_2}{\sinh(2k_2h_2)}\right) \quad \text{.....(3.38)}$$

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

$$\mu=\frac{2n\omega}{k_2}\left(\frac{2C_r}{3\pi}\frac{\alpha k_2^2}{(2k_2h_2+\sinh 2k_2h_2)\sinh k_2h_2}\right) \quad \text{.....(3.39)}$$

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

$$\gamma_b=\frac{\chi}{h_2}\left(1-\frac{\Gamma^2h_2^2}{4a^2}\right) \quad \text{.....(3.40)}$$

式中χ及Γ分別為經驗常數(其值可分別採用 0.15 及 0.4)。

在領域(I)及(II)之交接假想邊界(B_1)上須滿足下列連續條件：

$$\zeta_1=\zeta_2 \quad ， \quad \text{在假想邊界}B_1\text{上} \quad \text{.....(3.41a)}$$

$$C_1C_{1g}\frac{\partial\zeta_1}{\partial n}=-C_2C_{2g}\frac{\partial\zeta_2}{\partial n} \quad ， \quad \text{在假想邊界}B_1\text{上} \quad \text{.....(3.41b)}$$

此外，在一般海岸線或結構物邊界(B_2)上須滿足下列部份反射邊界條件：

$$\nabla\zeta_2\cdot\vec{n}=\partial\zeta_2/\partial n=-i\alpha k_2\zeta_2 \quad ， \quad \text{在假想邊界}B_2\text{上} \quad \text{.....(3.42)}$$

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

$$\alpha=\frac{1-K_r}{1+K_r} \quad \text{.....(3.43)}$$

式中 K_r 為邊界之反射係數。

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

$$\zeta_1 = \zeta_I + \zeta_R + \zeta_S \quad \text{.....(3.44)}$$

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

$$\lim_{k_1 r \to \infty} \sqrt{r}\left(\frac{\partial}{\partial r} + ik_1\right)\zeta_S = 0 \quad \text{.....(3.45)}$$

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

$$\eta^I(x,y;t) = A^I e^{-i[k_1(x\cos\theta_0 + y\sin\theta_0) - \omega t]} \quad \text{.....(3.46)}$$

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

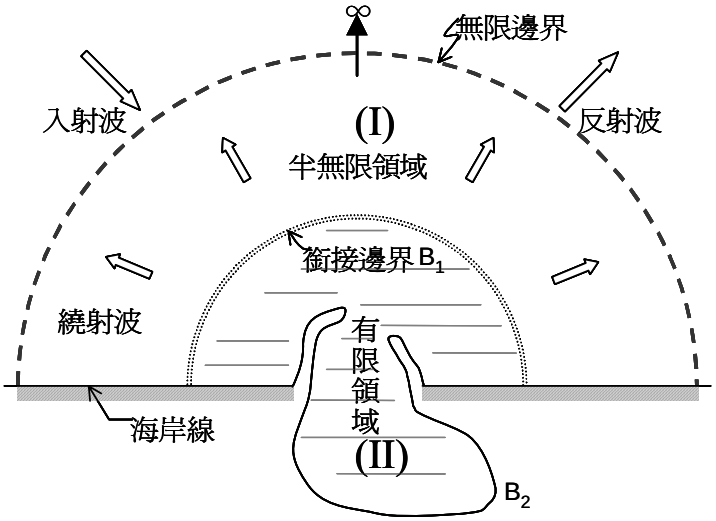


圖 3.8 港域波浪模式計算領域示意圖

3.2 風浪作業化模擬研究

本章節主要針對大尺度西太平洋範圍風浪模組及中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組作業化模擬結果進行研究成果說明，內容分為作業化預報流程探討、西太平洋範圍風浪模組改善成果以及臺灣周圍海域範圍風浪模組改善成果等三部份說明。

3.2.1 作業化預報流程探討

依據 TaiCOMS 波浪作業化模擬之每日作業流程規劃，如圖 3.4 所示，即系統每日波浪模擬流程始於大尺度西太平洋範圍風浪模組，藉由讀取 RC 風場每小時資料檔進行大尺度網格 72 小時風浪模擬(即始於 D-1 日零時至 D+2 日零時止)，並於模擬過程中儲存(輸出)每小時中尺度臺灣周圍海域範圍開放(海洋)邊界上網格點之風浪波譜資料；待大尺度西太平洋範圍風浪模組 72 小時預報模擬結束後，作業系統將接續執行中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組，並同時讀取每小時 MC 風場資料及由前述大尺度風浪模組產生的開放(海洋)邊界網格點之風浪波譜資料進行 72 小時中尺度網格風浪預報模擬；最後，再由作業系統依據中尺度網格風浪預報模擬結果產出各港區外海 72 小時之預報模擬波浪條件(包括示性波高 H_s、平均週期 T 及平均波向等)，交由各港區近岸波浪模組執行 72 小時小尺度波浪場模擬。綜合上述波浪作業化模擬流程，其大尺度網格風浪模組、中尺度網格風浪模組及小尺度網格近岸波浪模組間作業化流程關係之簡單示意圖，如圖 3.9 所示。

除了上述波浪每日作業化模擬流程規劃外，並規劃大尺度網格及中尺度網格風浪模組每日模擬之起始條件，應採用前一日 72 小時預報模擬之第 24 小時輸出結果(即 D 日零時)為其起始輸入條件(此過程又稱為熱啟動)，以避免模式於模擬之初產生非預期之振盪結果過程。

經檢視目前運作中的 TaiCOMS 波浪作業化流程，仍可發現幾個流程待解決之問題，包括大尺度網格風浪模組與中尺度網格風浪模組間邊界波浪條件銜接問題，以及大尺度網格風浪模組與中尺度網格風浪模組每日熱啟動接續問題等。針對上述問題，本計畫目前已針對大尺

度網格風浪模組之熱啟動接續問題及大尺度網格風浪模組模擬過程輸出中尺度網格開放邊界波譜資料問題提出解決及改善成果。

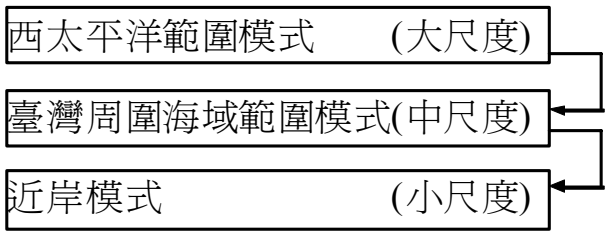


圖 3.9 TaiCOMS 波浪模擬大、中及小尺度網格模組關係示意圖

3.2.2 西太平洋範圍風浪模組改善成果

有關本計畫大尺度西太平洋範圍風浪模組之改善成果，簡述如下：

(1)模式模擬流程之修正：由於西太平洋範圍風浪模組採用 WAM Model 為其核心程式，因此程式包含了 PREPROC、PRESET、CHIEF 與後處理模組 PGRID 等四個模組，在西太平洋範圍風浪模組中各模組間相互關係如圖 3.10 所示，圖中顯示的主要資訊包括：1)當水深地形資料或網格資料改變時，風浪模擬流程將必需重新由 PREPROC 模組開始依序執行，2)PRESET 模組主要目的為產生初始條件資料檔(包括 blspanal、slatanal 及 lawianal 等)，提供主程式 CHIEF 模組讀取使用，因此當採取熱啟動模擬方式時，模擬流程將可以跳過 PRESET 模組；3)當以熱啟動方式模擬風浪場時，CHIEF 模組讀取的初始條件資料檔 blspanal、slatanal 及 lawianal 等必須改由前次模擬過程中儲存的 blspanal、slatanal 及 lawianal 檔取代。為使上述模擬流程能夠符合預報模擬時間 D-1 日零時至 D+2 日零時止之規劃，本計畫將原程式需於模擬終止始產生 blspanal、slatanal 及 lawianal 等儲存檔案之設定，修改為於每日模擬時間為 D 日零時即產出 blspanal、slatanal 及 lawianal 等儲存檔案，使其符合次日模擬起始時間之初始條件資料檔。另外，在每日 72 小時模擬過程中，主程式將會逐時產出中尺度網格開放邊界網格之波譜資料檔(即圖中 CBO 部份)，提供中尺度網格風浪模擬所需之邊界條件。

(2)模式波浪參數輸出內容修正：一般風浪波譜模式其波浪相關參數之計算主要是採用模式模擬結果之波浪能量密度譜(方向波譜)計算其風浪之示性波高(H_s)、平均波向(θ_m)、平均週期(T_m)及譜峰週期(T_p)等主要參數值，其中平均週期在 WAM Model 程式中僅採用波浪能譜之負一階動差定義其平均週期。本計畫整理有關以波浪能量密度譜定義波浪參數之計算公式如下：

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

$$M_n = \int f^n F(f,\theta) df \cdot d\theta \quad \text{..... (3-47)}$$

2. 波浪頻率譜 $E(f)$：為

$$E(f) = \int F(f,\theta) d\theta \quad \text{..... (3-48)}$$

3. 示性波高(significant wave height，H_s)：

$$H_s = 4\sqrt{E_0} = 4\sqrt{M_0} \text{，其中波浪總能量 } E_0 = M_0 \quad \text{..... (3-49)}$$

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

$$T_m = M_{-1}/M_0 \quad \text{..... (3-50)}$$

5. 平均波向(θ_m)：定義為

$$\theta_m = \tan^{-1}(SF/CF) \quad \text{..... (3-51)}$$

式中

$$SF = \int \sin\theta \cdot F(f,\theta) df \cdot d\theta \quad \text{..... (3-52)}$$

$$CF = \int \cos\theta \cdot F(f,\theta) df \cdot d\theta \quad \text{..... (3-53)}$$

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

$$T_p = 1/f_p \quad \text{..... (3-54)}$$

有鑑於，目前港灣技術研究中心之波浪觀測資料其波浪平均週期

(T_{m02} 或 T_z)是採用波浪觀測資料能譜之零階動差與 2 階動差比值之平方根定義，即

$$T_{m02} = \sqrt{M_0 / M_2} \quad \text{(3-55)}$$

上述定義與本計畫西太平洋範圍風浪模式採用(3-50)式定義平均週期 T_m 不一致，其中以(3-50)式定義波浪平均週期(T_m 或 T_{-1})，其值經証實大於採用(3-55)式平均週期(T_z)計算值，此乃歷年西太平洋範圍風浪作業化模擬成果評估波浪平均週期普遍偏大之原因。

有關大尺度西太平洋範圍風浪模組本計畫針對模式執行程式輸出部份之改善成果簡述如下：

1.增列模式平均週期之定義：本計畫於程式中增列平均週期 T_{m02} 計算選項，並証明模式模擬結果之平均週期 T_{m02} 值與觀測資料輸出之平均週期較為接近，如圖 3.11 所示，可以有效降低以往作業化成果評估結果大尺度網格風浪模擬結果之平均週期較觀測值過度高估之現象。

2.增列模式譜峰週期 T_P 平滑化計算：本計畫於模式後處理程式中增加採用二次拋物線契合(fit)方法校正譜峰週期 T_{P1} 值，藉以改善目前模式輸出之譜峰週期 T_{P1} 值過度不連續狀。有關二次拋物線契合(fit)方法簡述如下：

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

$$P = f_u + f_d \quad \text{(3-56)}$$

$$Q = (E_d - E_u)/(f_d - f_u) \quad \text{(3-57)}$$

$$R = f_d + f_p \quad \text{(3-58)}$$

$$T = (E_d - E_p)/(f_d - f_p) \quad \text{(3-59)}$$

$$A = (T - Q)/(R - P) \quad \text{(3-60)}$$

$$f_p' = \begin{cases} A & ,\text{for } A \geq 0 \\ (-Q + P * A)/2A & ,\text{for } A < 0 \end{cases} \quad \text{..... (3-61)}$$

3.增列模式模式模擬結果輸出點位：原作業化系統僅提供基隆港等 7 大商港大尺度網格風浪模擬結果至港灣資訊網查詢，本計畫進一步增列布袋港以及澎湖、金門及馬祖等離島海域在內共 11 個模式輸出點位，如圖 3.12 所示，提供港灣資訊網查詢大尺度網格風浪模擬結果。

(3)風浪模擬成果評估之提昇：本計畫除了針對模式主要參數進行模擬結果校驗外，同時針對大域 RC 風場資料及中域 MC 風場資料對大尺度網格風浪模擬結果之影響進行評估。整體評估結果顯示本計畫大尺度網格採用中域MC風場資料模擬風浪之結果較以往採用大域RC風場資料之模擬結果更接近目前港灣技術研究中心各港口波浪觀測資料，如圖 3.13 及圖 3.14 所示，因此建議修改 TaiCOMS 作業化流程以中域 MC 風場資料為大尺度西太平洋範圍風浪模組之輸入條件。

3.2.3 臺灣周圍海域範圍風浪模組

自從兩岸開放離島小三通之後，離島航運之經濟價值更顯重要，因此離島船舶航程之安全將是交通部未來議題之一。有鑑此，在提供較準確的波浪模擬資訊方面，本計畫中尺度網格風浪模擬之發展益顯其重要性。目前本計畫在中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組之研究尚處於摸索階段，因此有關中尺度網格風浪模擬仍以維持目前 TaiCOMS 已建置的模組運作為主，僅能著手於作業系統較枝節的改善包括模擬範圍之更動、模式水深資料更新以及採用多核心運算方式縮短作業化模擬時間等。相關成果簡述如下：

(1)擴大模擬範圍及更新水深資料：原 TaiCOMS 中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組之模擬範圍未含蓋金門與馬祖等離島地區，因此本計畫將中尺度網格模擬範圍擴及金門與馬祖等離島地區，如圖 3.15 所示。更新後的中尺度網格模擬範圍分別為東經 117°至 123°及北緯 21°至 27°含蓋之海域，同時增列金門與馬祖等海域風浪模擬結果至港灣資

訊網站展示。此外，因應中尺度網格模擬範圍之修正，本計畫同時以以美國國家地球物理資料中心(National Geophysical Data Center, NGDC)最新公布的全球 1 弧分格網數值地形資料(Etopo1)取代原模式使用的全球 2 弧分格網數值地形資料(Etopo2)，藉以達到局部改善中尺度網格風浪模擬之目的。

(2)風浪模擬效率之提昇：本計畫配合港灣技術研究中心提昇 TaiCOMS 主機伺服器計畫，針對風浪模式(即 SWAN)採取多核心運算方式模擬中尺度網格風浪，有效地縮短目前中尺度網格 72 小時風浪模擬之作業化模擬時間。圖 3.16 所示為本計畫多核心運算之 cpu 數與模式運算時間之關係曲線，顯示採用多核心運算方式執行中尺度網格風浪模擬，其作業化模擬時間在 cpu 數達 12 顆以後即不再減少而呈現增加之現象，以及當 cpu 數達 8 顆以後作業化模擬時間縮短之趨勢明顯趨緩，代表採用過多核心其運算效益不再顯著提昇。

此外，針對中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組之研究，本計畫未來需要克服(解決)的問題尚包括：1)大、中尺度網格間相鄰海域邊界波浪模擬資料銜接設定問題，目前二者在相鄰海域邊界資料銜接設定上，採用由大尺度網格模擬結果輸出中尺度網格海域邊界之示性波高平均週期及平均波向等資料，再由中尺度網格風浪模式讀取並依據設定的波譜型式轉換成模式所需之波譜資料，此可能造成目前部份長週期波浪如湧浪等無法在中尺度網格風浪模擬結果呈現出之原因，因此如何將目前系統中尺度風浪模組之設定導正為直接讀取前述大尺度網格風浪模擬過產生的邊界波譜實為本計畫首要克服的問題。2)非定常狀態之風浪模擬，由於目前系統中尺度網格風浪模擬仍屬於定常狀態風浪模擬，因此如何將現有的設定狀況修正為非定常狀態風浪模擬亦是本計畫待解決之問題。3)在中尺度網格下建置適當的巢狀網格模擬各港域近岸風浪預報，此部份理論雖可行但技術執行面困難度較高，將為本計畫未來努力之長期目標。

3.2.4 風浪模擬結果評估之量化指標

為具體量化本計畫風浪模擬結果改善成效，本計畫選取風浪之波高為改善成效評估對象(標的)，同時針對模擬值與觀測值間之均方根誤差(rmsq)、標準偏差(SD)及相關係數(R)等可具體量化參數進行分析，以期選取較具代表性的量化參數及評估方法作為本計畫風浪模擬結果之改善成效評估依據。

本計畫以西太平洋範圍風浪模組模擬結果為例，選取 2012 年 7 月~9 月高雄港海域觀測資料為樣本，分別針對本計畫風浪模擬值以及目前 TaiCOMS 作業化預報模擬值進行相關量化參數分析，結果說明如下：

圖 3.17 所示分別為 2012 年 7 月本計畫風浪模擬值與波高觀測值間絕對誤差值(十字符號)及 TaiCOMS 作業化預報模擬值與波高觀測值間絕對誤差值(圓形符號)之逐時變化分布圖，由於一般風浪示性波高觀測值多數小於 1.0m(約佔八成以上)，颱風期間風浪觀測值則有可能出現 3.0 m 以上示性波高(小於百分之一)，因此對風浪模擬結果而言，絕對誤差值並不是良好的指標參數；有鑑於此，本計畫改採用絕對誤差/波高觀測值方式呈現模擬結果與觀測值間誤差關係，如圖 3.18 所示，如此將可藉由統計方式定義出可接受之模擬誤差比值門檻如 0.4 或 0.5，作為未來模式模擬成果之評估依據。

另外，針對每日作業模擬結果本計畫選取前 24 小模擬值與觀測值間絕對誤差與波高觀測值之比值資料進行日平均分析，如圖 3.19 所示，顯示 2012 年 7 月~9 月日平均有效樣本數共 60 個，其中 39 個樣本數(約佔 6 成 5)顯示本計畫 MC 風場模擬結果較 TaiCOMS 作業化預報以 RC 風場之模擬結果為佳。同樣地，針對每日作業模擬結果選取前 24 小模擬值與觀測值為樣本，逐日計算其標準偏差(SD)及相關係數(R)分別如圖 3.20 及圖 3.21 所示，由標準偏差(SD)逐日變化之趨勢及其變動幅度來看，顯示其適合作為評估模擬成果之指標參數；另由逐日相關係數變化結果得知本計畫以 MC 風場模擬風浪之結果與觀測值間較少出現負相關係數之現象，顯示以 MC 風場模擬風浪每日模擬結果與

觀測值間相關性普遍優於以 RC 風場模擬風浪之結果。由於風浪模擬結果與風場具有密切關係，因此上述逐日標準偏差及相關係數分析結果，亦可反映出 MC 風場及 RC 風場預報資料在鄰近海岸地區的差異性，對風浪之影響並非全然正面，導致解析度較高的 MC 風場有可能出現較差的模擬結果。

綜合上述分析結果，因風浪模擬結果以波高模擬值與風場關係最為密切，因此本計畫僅選取波高作為評估風浪模擬結果及改善成效之量化標的，以標準偏差作為模擬值與觀測值間誤差評估之量化參數，相關係數為評估模擬值與觀測值間變化趨勢之量化參數，亦即當模擬值與觀測值間標準偏差越小且相關係數越大時，代表模擬結果越佳。此外，由於標準偏差及相關係數計算與資料樣本數有關，因此為降低資料樣本數之影響，未來執行逐日模擬成果評估時，建議改採用每日作業化 72 小時模擬資料，並設定觀測資料樣本數至少 48 組才為之。

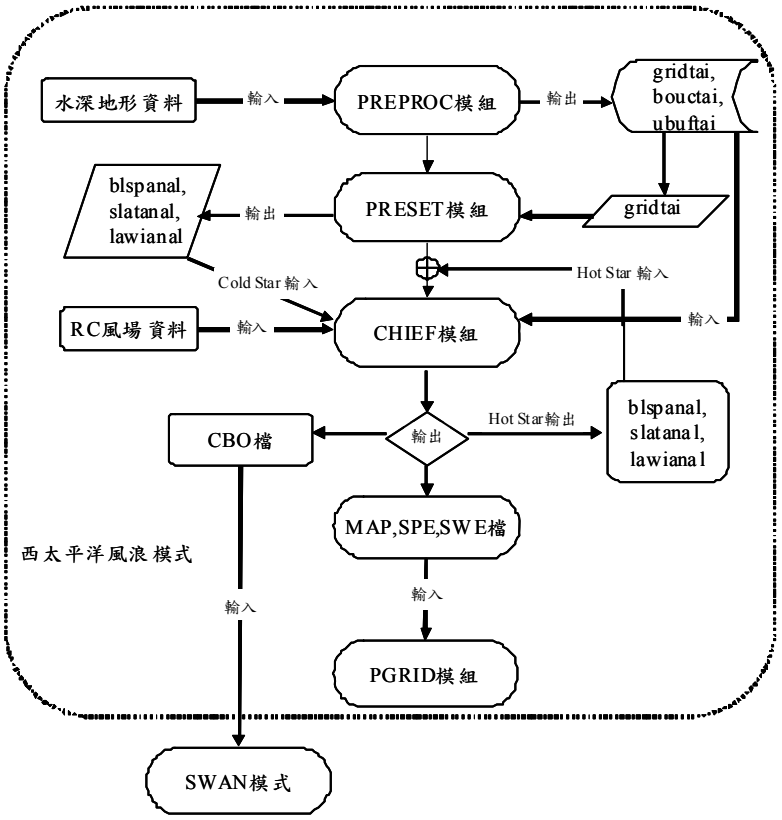


圖 3.10 大尺度西太平洋範圍風浪模組之模式操作流程圖

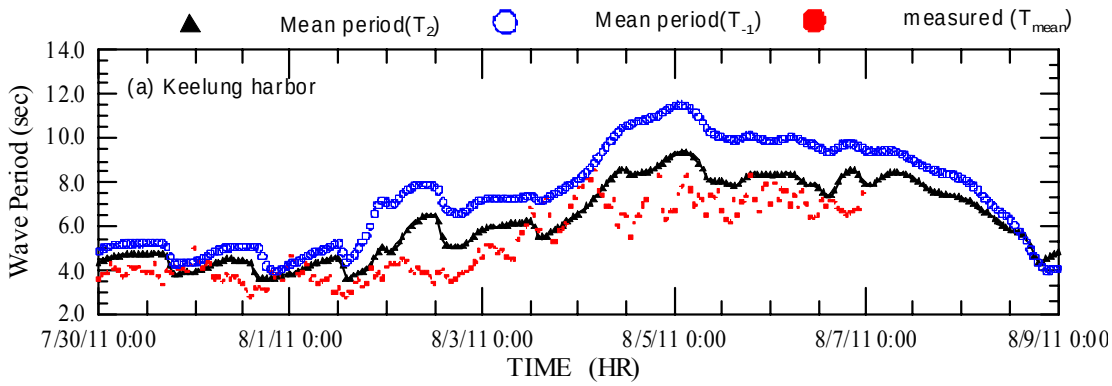


圖 3.11 大尺度網格風浪模擬結果之平均週期 T_m(圓圈)及 T_{m02}(三角形)與觀測波浪平均週期(圓點)之比較

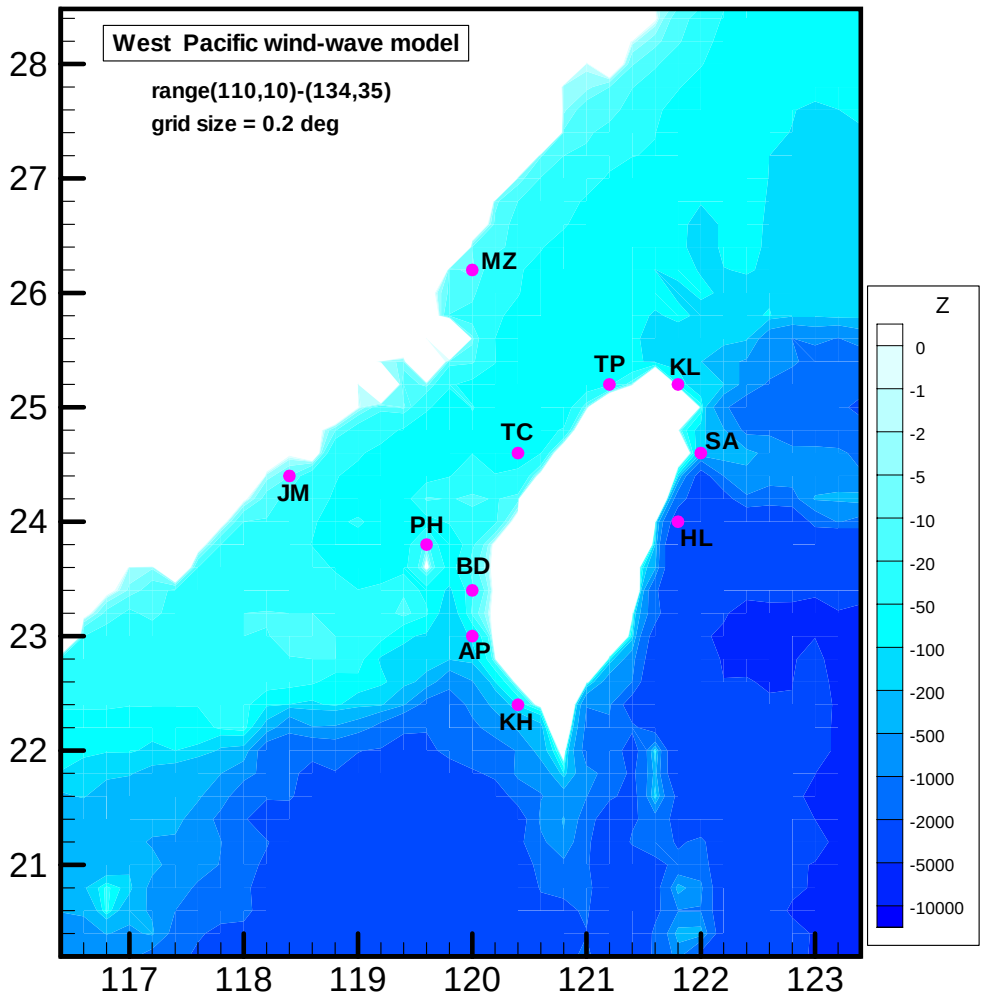


圖 3.12 大尺度西太平洋範圍風浪模組波譜模擬結果輸出點位示意圖

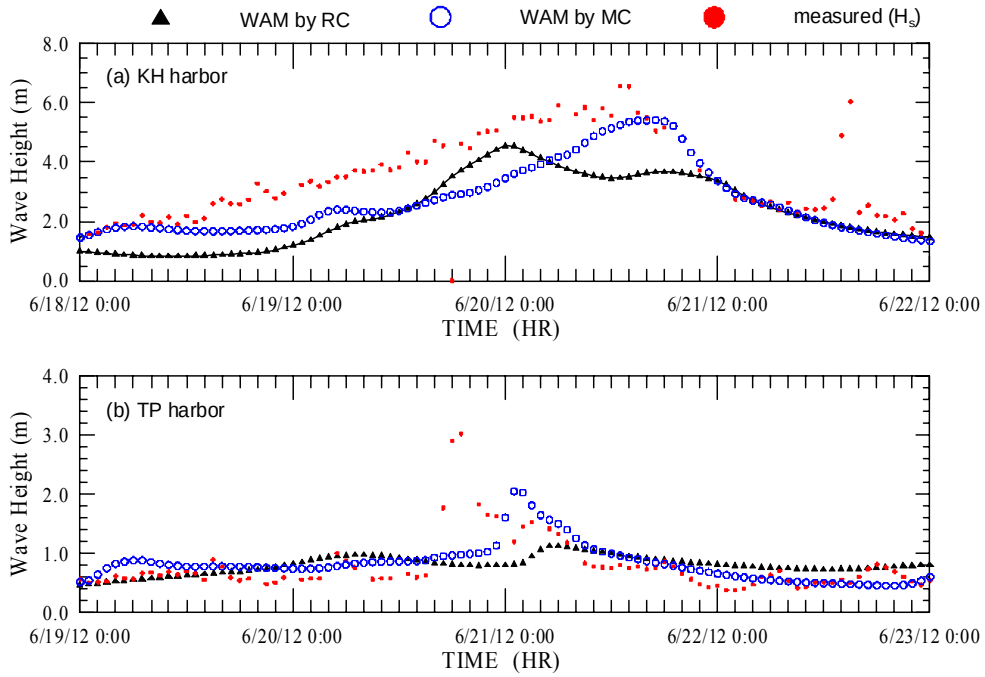


圖 3.13 輕度颱風泰利侵臺期間大尺度網格分別以 RC 及 MC 風場模擬風浪之示性波高與觀測值比較圖

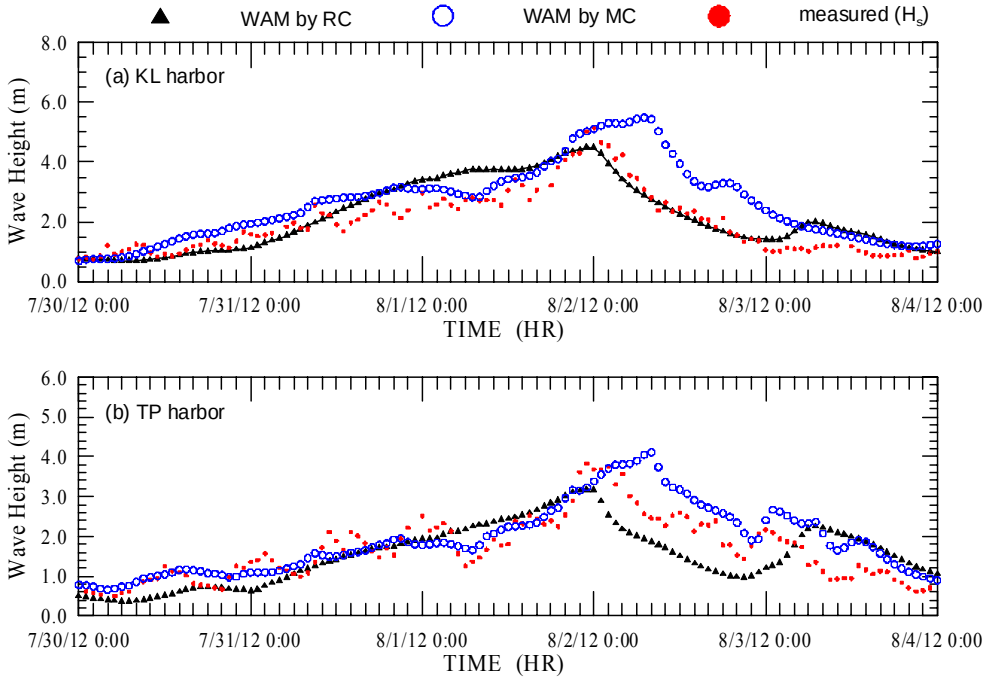


圖 3.14 中度颱風蘇拉侵臺期間大尺度網格分別以 RC 及 MC 風場模擬風浪之示性波高與觀測值比較圖

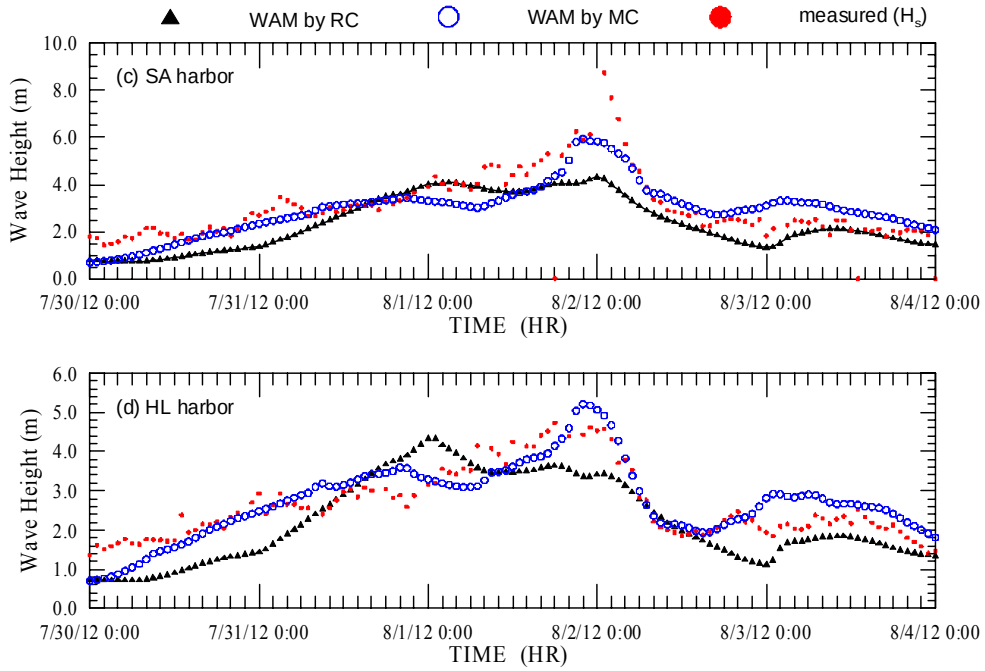


圖 3.14 (續)中度颱風蘇拉侵臺期間大尺度網格分別以 RC 及 MC 風場模擬風浪之示性波高與觀測值比較圖

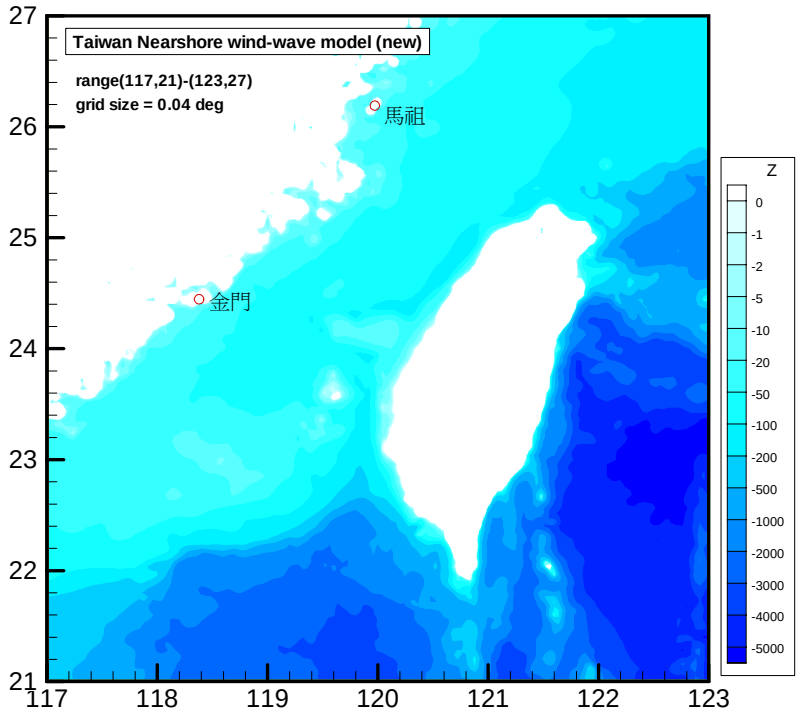


圖 3.15 中尺度臺灣周圍海域風浪模組更新後之模擬範圍圖

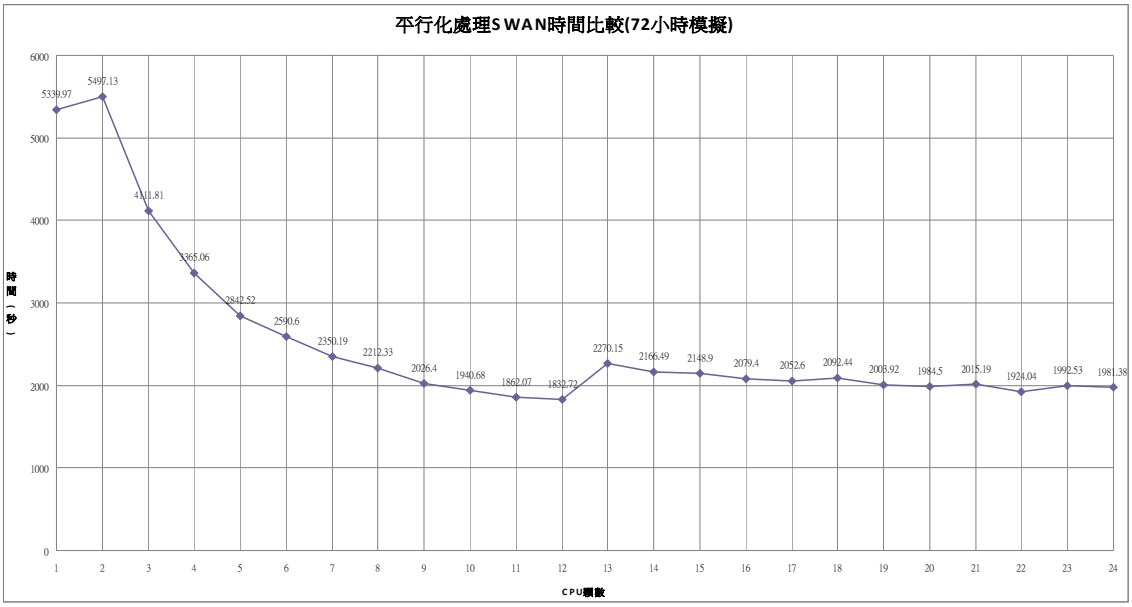


圖 3.16 平行化處理下系統 SWAN 之運算時間與 CPU 數目關係圖

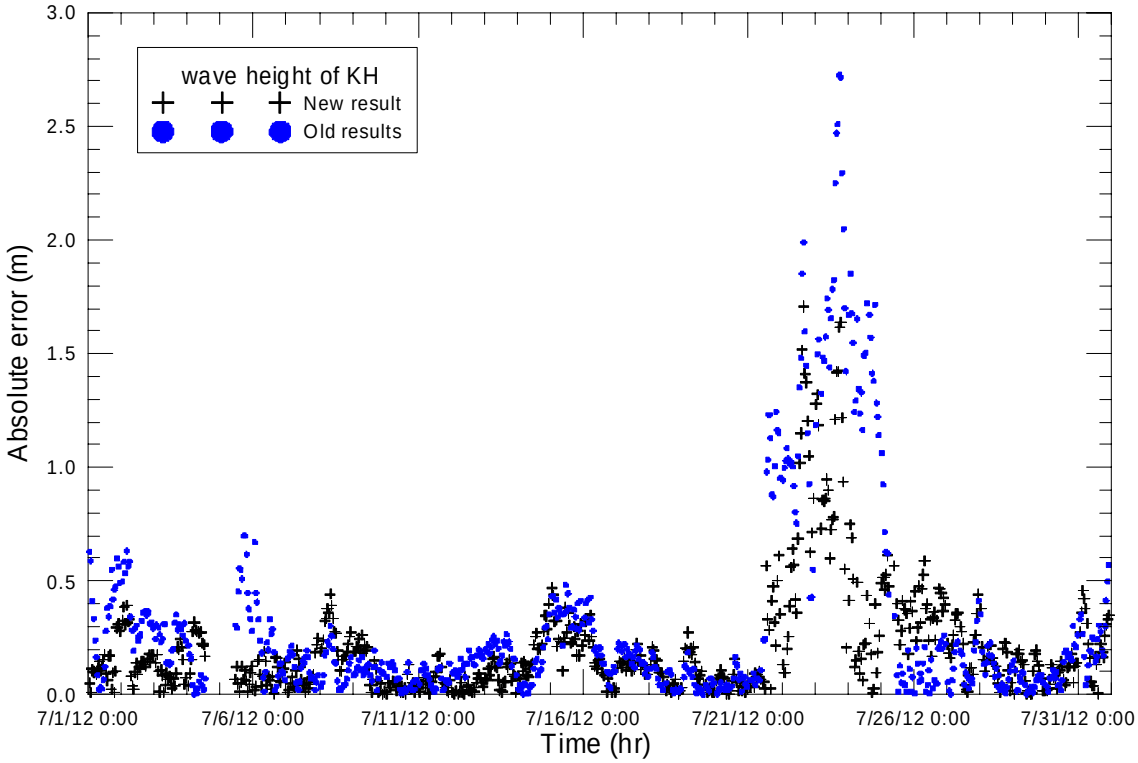


圖 3.17 風浪波高模擬值與觀測值間絕對誤差值之逐時變化分布圖

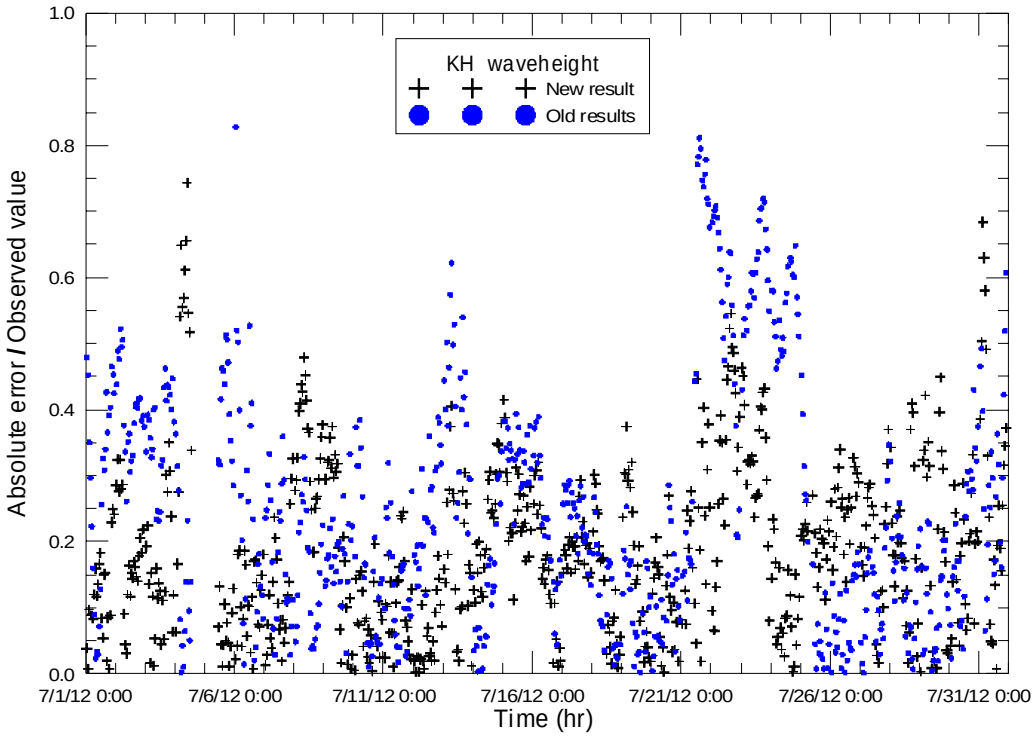


圖 3.18 波高模擬值與觀測值之絕對誤差與觀測值之比值逐時變化分布圖

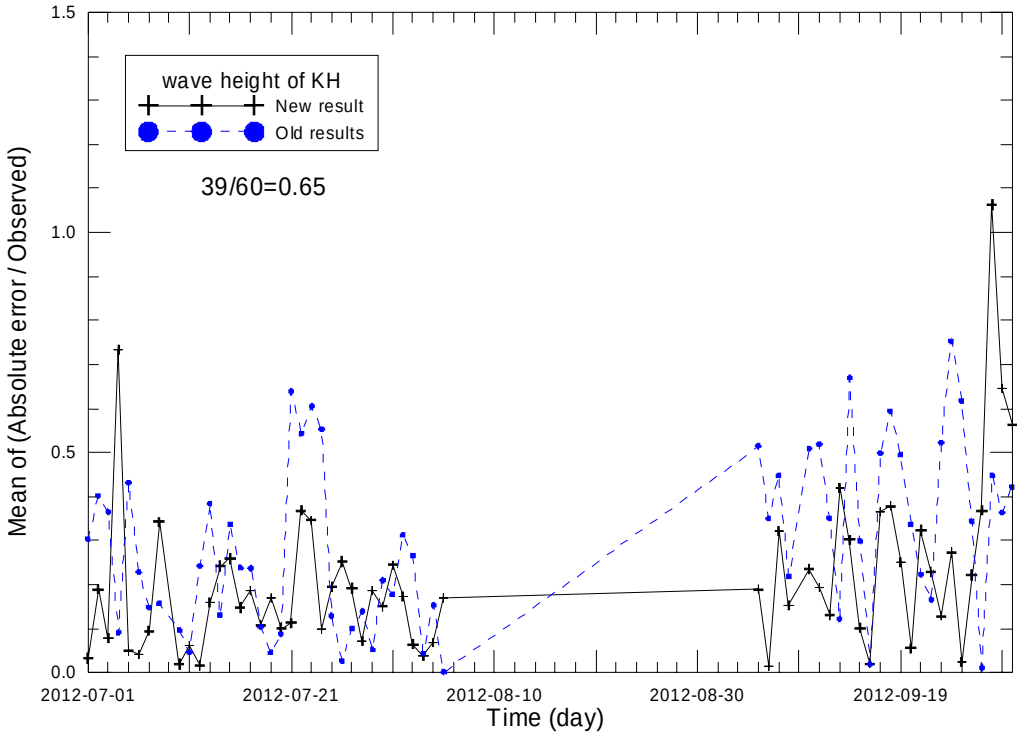


圖 3.19 波高模擬值與觀測值間絕對誤差與觀測值之比值日平均變化分布圖

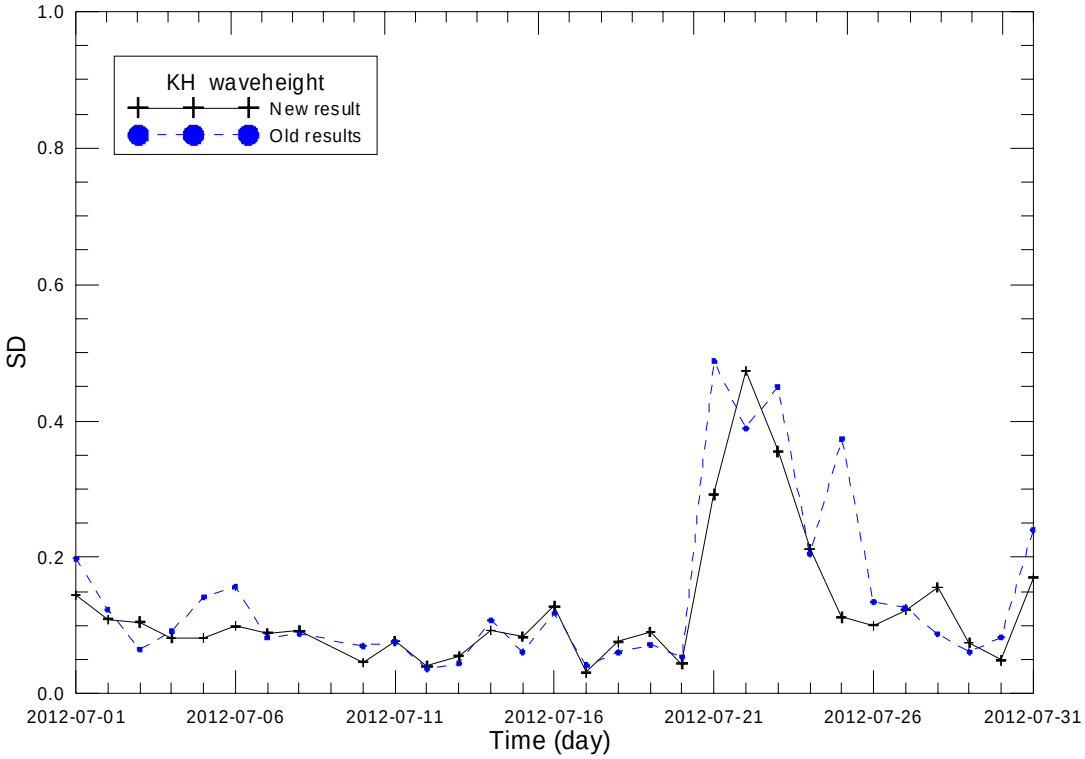


圖 3.20 波高模擬值與觀測值間標準偏差逐日變化分布圖

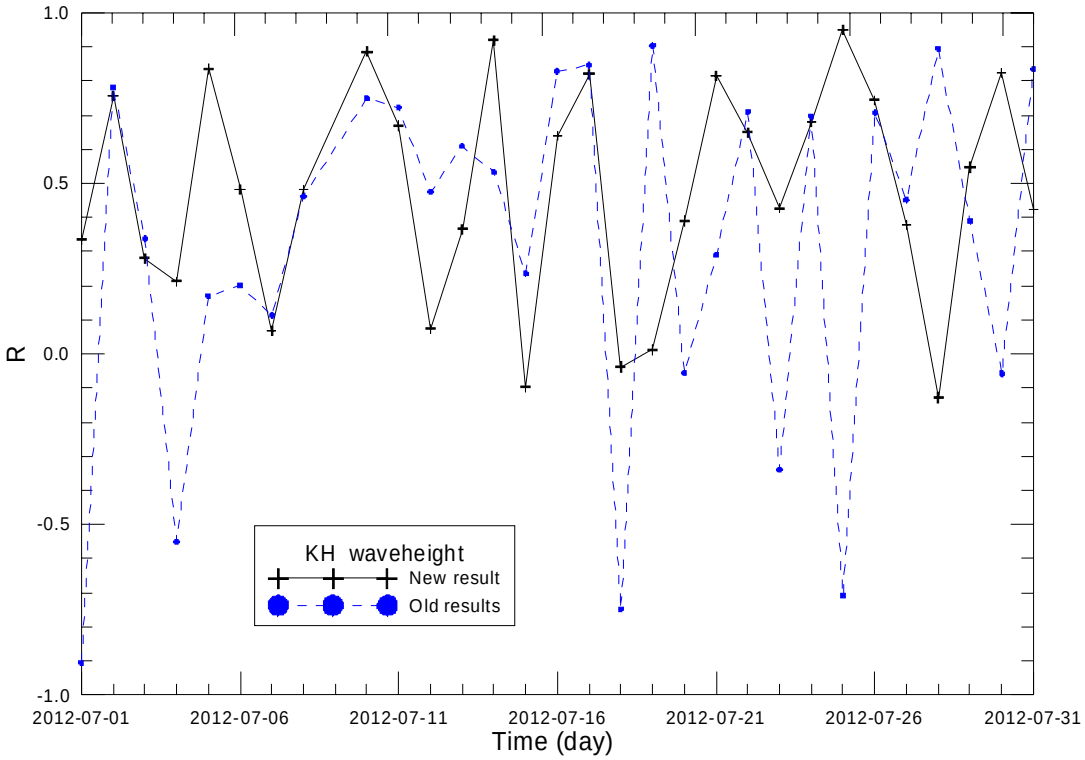


圖 3.21 波高模擬值與觀測值間相關係數逐日變化分布圖

3.3 港區近岸波浪場模擬研究

如 3.1 節所述，在 TaiCOMS 波浪場模擬架構下，小尺度港區近岸波浪場作業化模擬係以基隆港等七大商港港區為主；其目的為在中尺度網格風浪模擬之下，能夠針對各港區近岸海域模擬外海波浪向岸傳播過程之波場變化情形，藉以提供更詳細的波高分布資訊。同時在作業化模擬系統架構下，規劃出利用中尺度臺灣周圍海域風浪模組 72 小時作業化模擬預報資料，提供各港區近岸小尺度網格波浪場模擬所需的波浪條件(即波高週期及波向等)進行 72 小時波浪場作業化模擬，達成系統大、中、小尺度網格波浪模擬之垂直整合目標。

本年度計畫小尺度港區近岸波浪模組之研究係以安平港區及高雄港區為對象進行模組相關資料之更新與模擬研究。

3.3.1 安平港小尺度港區近岸波浪模組

目前安平港小尺度港區近岸波場模擬與建置工作係完成於 96 年度計畫，其模擬範圍在沿安平港域海岸線方向之距離為 10.0 km，離岸方向之距離為 5.0 km，如圖 3.22 所示，圖中顯示目前安平港港區小尺度近岸波模組模擬範圍僅及安平港港口海岸線附近，並未將安平港及安平漁港水域納入其模擬範圍之內。有關安平港港區近岸波模組採用的數值計算網格及其水深分布情形，如圖 3.23 所示，圖中參考網格之 x 軸向岸方向為正，y 軸沿海岸方向向上為正，網格間距為 10 m，格點陣列大小為 501×1001，其中參考網格原點之二度分帶座標(TW67)為(162072.0，2533583.0)，參考網格 x 軸與二度分帶座標軸之夾角為 60°。圖示點位 A ~ D 分別代表安平港港區近岸波浪模組模擬結果之輸出點位，其點位 A 代表港灣技術研究中心在安平港外海設置波浪觀測之位置(註：目前安平港外海波浪觀測位置已移至南防波堤外海附近，如圖 2.1 所示)。

針對上述安平港港區近岸波浪模組可能無法滿足現況港域條件等問題，本計畫具體研究內容包括：

(1)擴大小尺度網格模擬範圍：即將現有網格模擬範圍擴大至可將

安平港及安平漁港等水域納入模擬範圍內，如圖 3.24 所示；圖中本年度更新後小尺度網格模擬範圍分別為沿海岸方向之距離增加至 14.0 km，離岸方向之距離向陸地及外海擴增為 10.4 km。

(2)更新及建置小尺度參考網格資料：因應模擬範圍擴大後，本計畫重新建置滿足安平港近岸海域波浪模擬需求之小尺度參考網格；經分別採取 20 m 及 10 m 等間距網格進行模擬測試後，本計畫選取 10 m 等間距建置之小尺度參考網格為安平港近岸港區波浪模組所用。同時針對新建置的小尺度參考網格，本計畫依據本年度蒐集的水深資料(如 2.2 所述)更新安平港小尺度參考網格之水深資料，如圖 3.25 所示。同前述圖中參考網格定義 x 軸向岸方向為正，y 軸沿海岸方向向上為正，網格間距為 10 m，格點陣列大小為 1401x1021，參考網格之原點座標(TW67)為(162072.0，2533583.0)，x 軸與二度分帶座標之 EW 方向座標軸夾角為 58.56°。圖示點位 A ~ D 及 O 代表安平港小尺度波浪場模擬結果之輸出點位，其中點位 A 代表港灣技術研究中心原在安平港外海設置波浪觀測之位置，點位 O 代表目前安平港外海波浪觀測位置。

(3)安平港區近岸波浪場模擬：本計畫針對 2012 年安平港外海波浪觀測資料，如附圖 4.1 所示，選取 5~8 月份觀測資料中波向介於 178° 至 300° 間波浪觀測資料進行小尺度網格波浪場模擬，並依據輸出點位 O 之模擬結果與波浪觀測資料比較，如圖 3.26 所示；顯示二者波高線性對應關係之決定係值為 0.925，此表示二者應具有高度的相關性，因此本計畫依據其對應之線性關係作為安平港小尺度網格波浪場模擬時波高輸入條件之校正係數。經由校正的波高輸入條件重新模擬安平港小尺度網格波浪場，可得到觀測點位 O 之波高模擬值與觀測值之對應關係如圖 3.27 所示，顯示仍有部份較大波高模擬條件之模擬結果與觀測值間仍存在較大的偏差。針對上述安平港小尺度網格波浪場模擬結果，本計畫選取兩組觀測波浪條件及其潮位觀測值之模擬結果，即 H=2.45m，T=9.6sec，θ=210°(7 月 22 日 20 時，潮位-0.123m)及 H=1.96m，T=6.3sec，θ=270°(8 月 2 日 9 時，潮位+0.548m)，分別繪出其波場波高

分布圖，如圖 3.28 及圖 3.29 所示；圖中帶有箭頭之向離岸方向曲線代表波浪傳播前進方向，沿海岸方向曲線代表等水深線。由波高分布情形得知波浪向岸傳播過程，受到海域地形變化的影響，出現局部區域波高變大的現象。

(4)安平港小尺度網格波場模擬作業化修正：在每日作業化模擬流程中，安平港小尺度網格波場模擬條件必需由中尺度網格風浪模擬結果提供，安平港外海每小時風浪模擬值包括示性波高、平均週期及平均波向等資料，系統始著手執行每日 72 小時波浪場模擬預報。有鑑於，以往作法僅以中尺度網格鄰近波浪觀測之格點模擬值為小尺度網格波浪場模擬條件。本年度研究除了以譜峰週期取代平均週期為模擬條件外，另外評估改以選取鄰近安平港小尺度網格外海邊界數個中尺度網格點，如圖 3.30 所示黑色圓點，取其風浪模擬值之平均值作為本計畫安平港小尺度網格波浪場模擬條件之可行性。

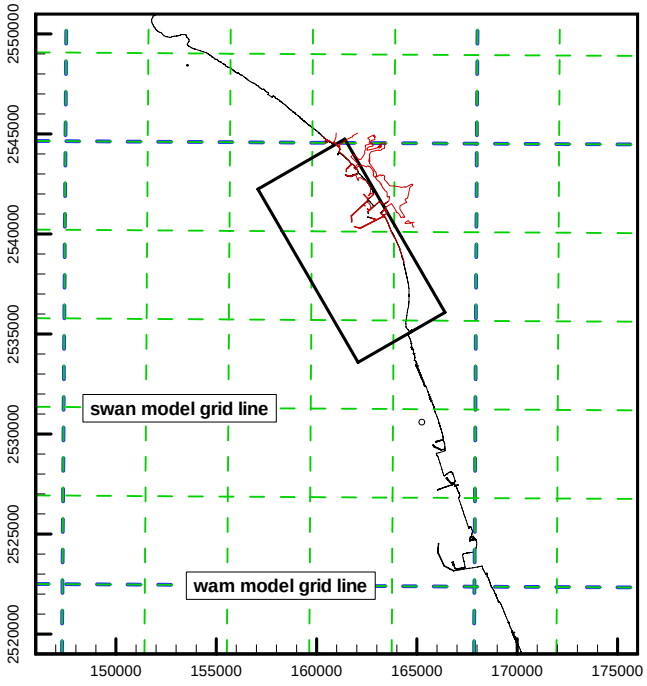


圖 3.22 安平港小尺度港區近岸波浪模組之模擬範圍圖

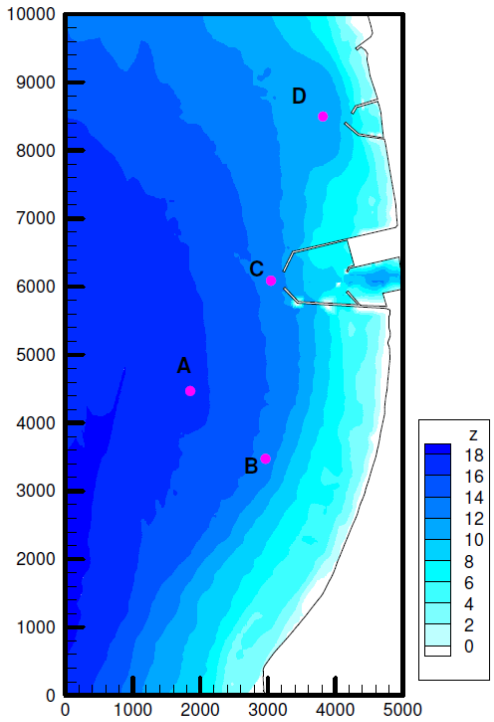


圖 3.23 安平港港區近岸波浪模組小尺度參考網格及地形水深分布圖

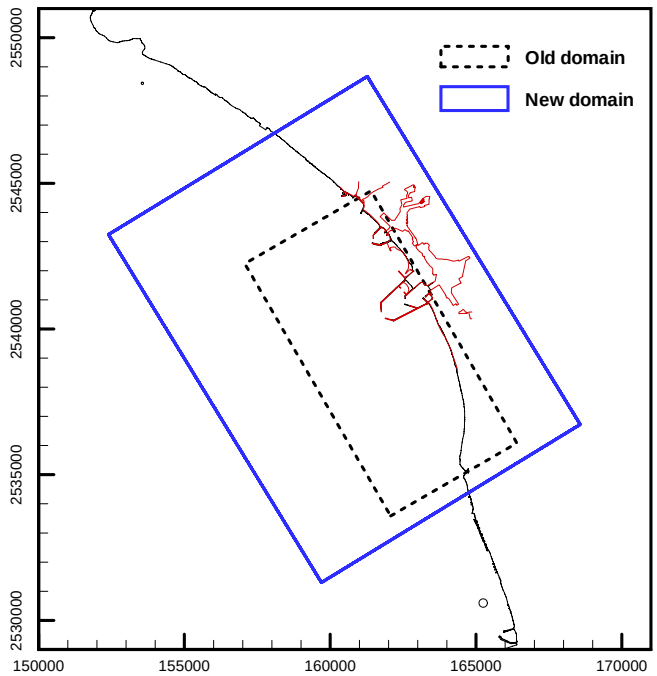


圖 3.24 本計畫安平港港區近岸波浪模組擴大模擬範圍圖

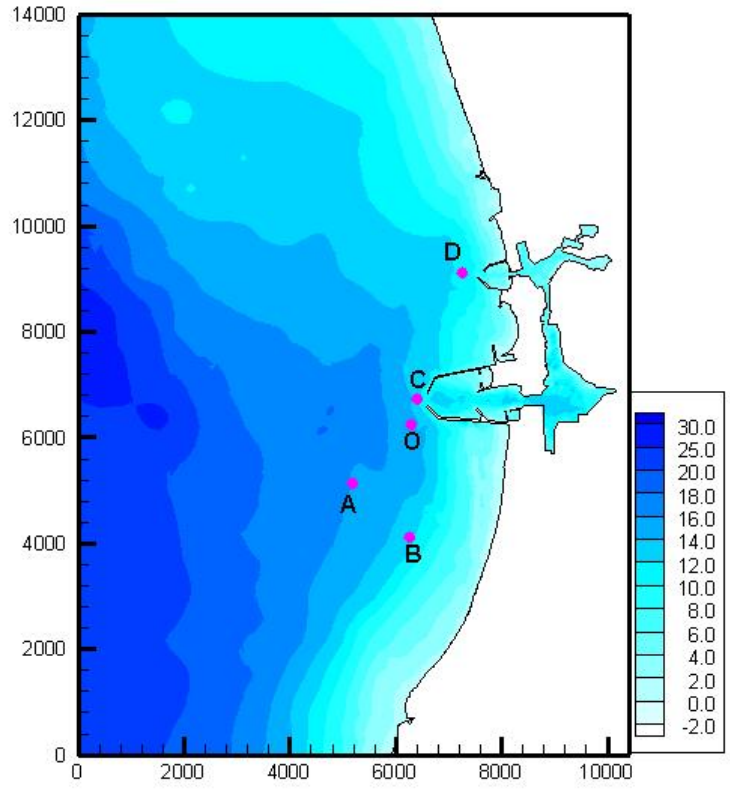


圖 3.25 本計畫安平港新建小尺度參考網格及地形水深分布圖

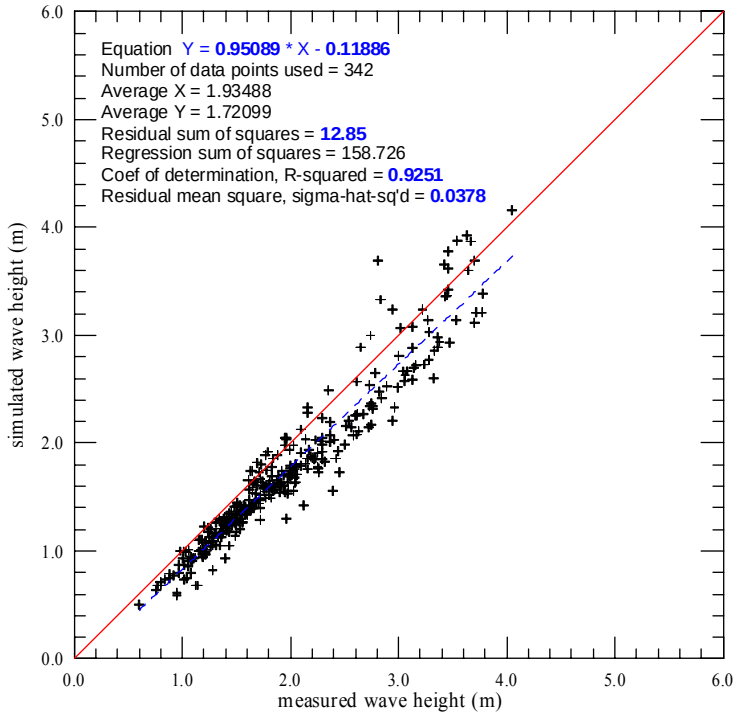


圖 3.26 安平港小尺度波浪場模擬結果，觀測點位 O 之波高模擬值(縱座標)與觀測值(橫座標)之對應比較圖

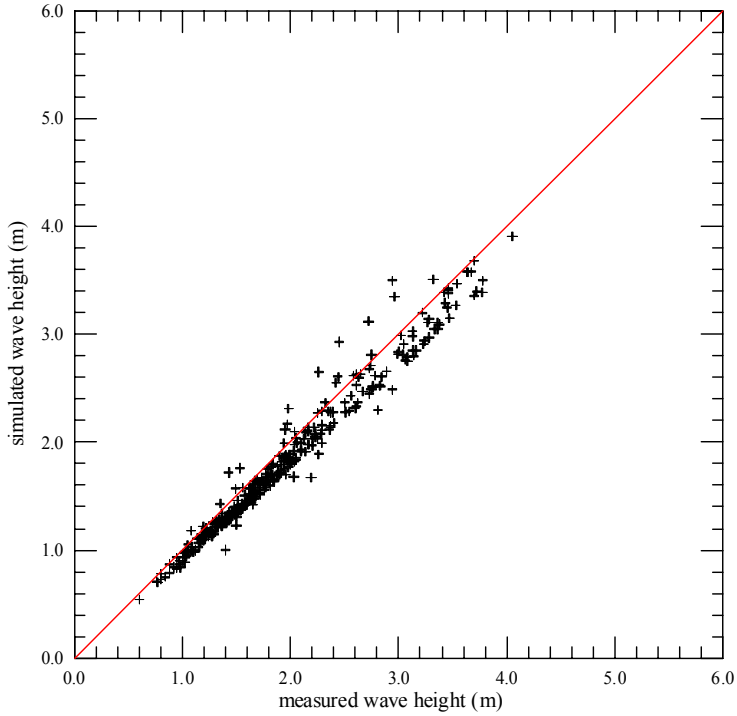


圖 3.27 波高條件校正之安平港波浪場模擬結果，觀測點位 O 之波高模擬值(縱座標)與觀測值(橫座標)之對應比較圖

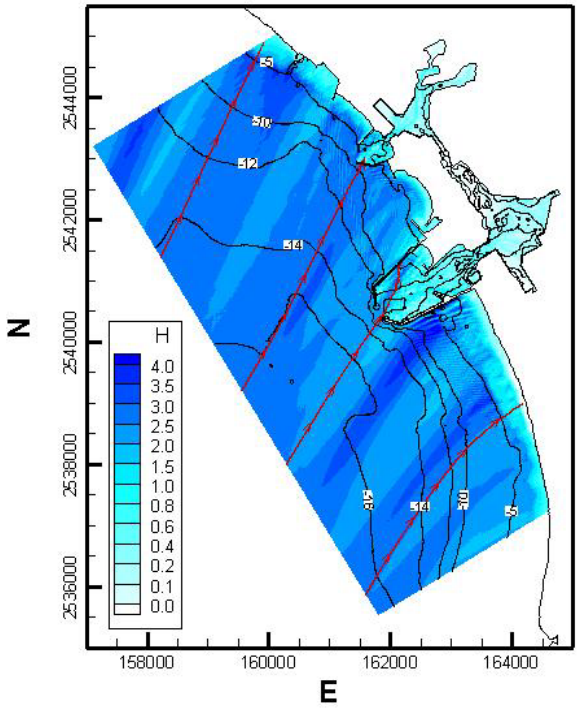


圖 3.28 安平港小尺度網格波浪場模擬結果之波高分布圖 (H=2.45m，T=9.6sec，θ=210˚)

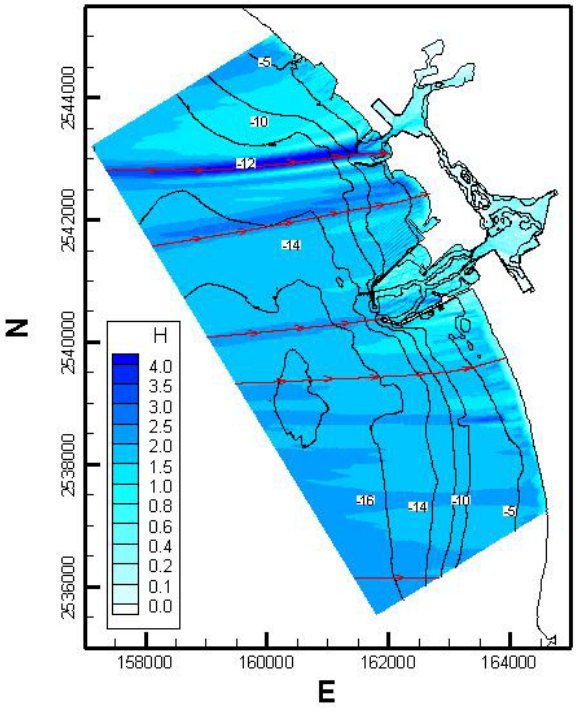


圖 3.29 安平港小尺度網格波浪場模擬結果之波高分布圖 (H=1.96m，T=6.3sec，θ=270˚)

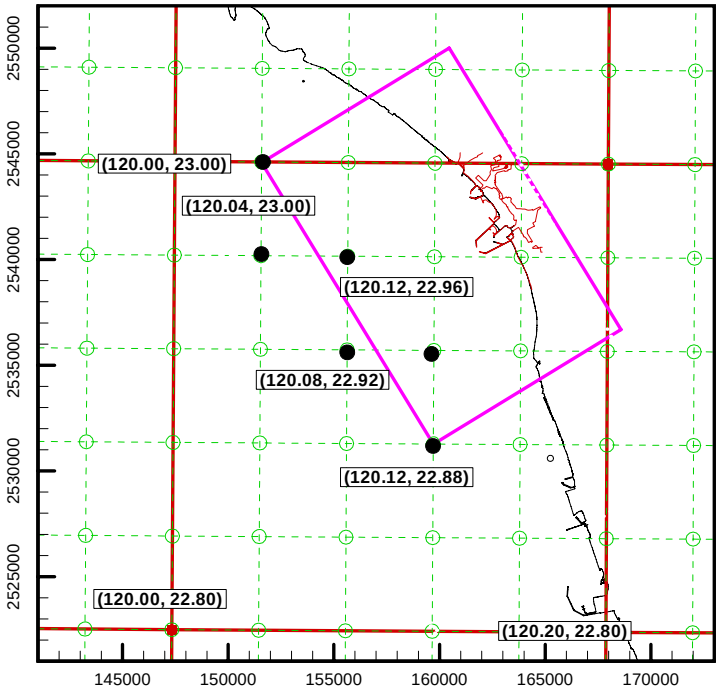


圖 3.30 安平港小尺度網格邊界與中尺度網格點之對應圖

3.3.2 高雄港小尺度港區近岸波浪模組

與前述安平港相同，本計畫高雄港小尺度港區近岸波場模擬與建置工作係於 96 年度計畫完成，其模擬範圍在沿高雄港域海岸線方向之距離為 17.0 km，離岸方向之距離為 8.0 km，如圖 3.31 所示，圖中高雄港小尺度參考網格原點之二度分帶座標(TW67)為(177877.0，2487555.0)，其 x 軸與二度分帶座標軸之夾角為 38.0º。小尺度網格之間距為 10m，網格點數目為 801×1701，如圖 3.32 所示，圖中點位 A～D 代表高雄港小尺度波浪場模擬結果之輸出點位，其中點位 A 代表港灣技術研究中心在高雄港外海設置波浪觀測之位置。

不同於前述安平港港區近岸波浪模組之研究，本計畫因高雄港港區近岸波浪模組在未變動小尺度網格之情況下，主要的改善研究內容僅局限於小尺度網格水深資料更新，以及增列潮位資料及譜峰週期(取代平均週期)為作業化模擬條件外；同樣地，本計畫亦針對鄰近高雄港小尺度網格外海邊界評估選取數個中尺度網格點，如圖 3.31 所示黑色圓點，取其風浪模擬值之平均值作為本計畫高雄港小尺度網格波浪場模擬條件之可行性。

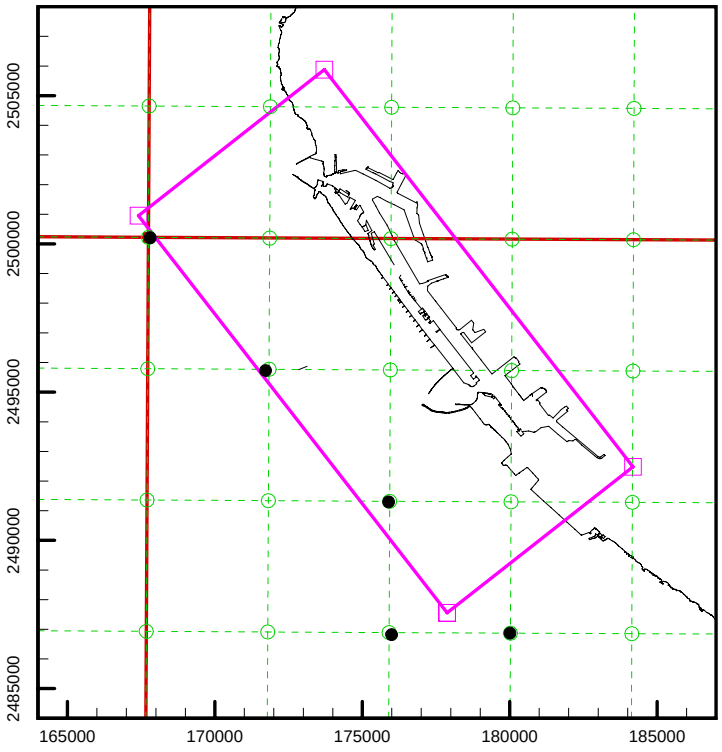


圖 3.31 高雄港小尺度港區近岸波浪模組之模擬範圍圖

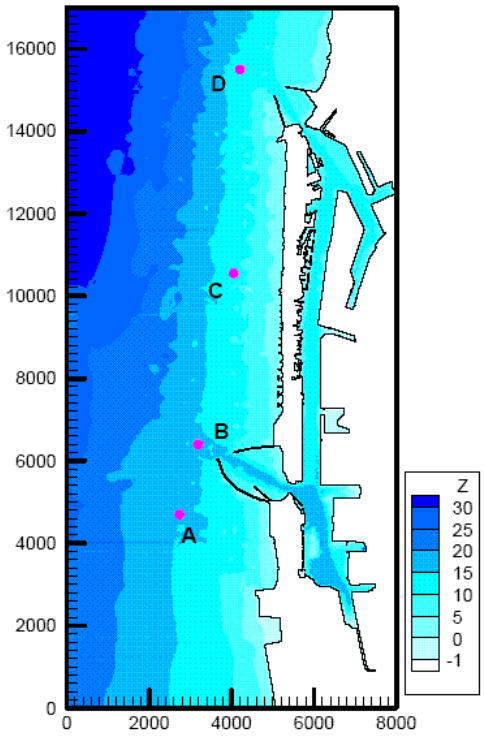


圖 3.32 高雄港小尺度網格之參考網格及地形水深分布圖

3.4 細尺度港域波浪場模擬研究

在 TaiCOMS 波浪模擬架構下，細尺度港域波浪模組主要用於颱風期間模擬各港口港內波浪狀況，藉以評估港域碼頭靜穩定狀況。本年度計畫研究內容，除了針對前期計畫「近岸海象數值模擬及預警系統之建立」(96 年~99 年)，已建置的安平港區及高雄港區港域波浪模組(單一港口數值計算網格)進行檢討外，另外，針對現有的港域模式是否適用於模擬具有雙開口港池，如安平港區及高雄港區等，之波浪場問題進行研究。

3.4.1 雙港口港池共振模擬驗証

為瞭解本計畫港域波浪模式理論(如 3.1.4 節所述)是否適用於模擬港池具有雙開口之波浪場，本計畫選取 Liu et al. (2003)雙港口耦合之理論解與本計畫港域波浪模式之數值模擬結果進行比較。圖 3.33 所示為 Liu et al. (2003)研究雙港口耦合問題之示意圖，圖中假設海岸線為一直線，相鄰兩矩形狀港池中心線間隔距離為 d，兩矩形港池之長度分為 L_1 及 L_2，寬度分別為 $2b_1$ 及 $2b_2$，R 為本計畫港域波浪模式假想半圓邊界之半徑。在等水深條件下，各矩形港池末端波浪振幅放大率(amplification factor)Ř 之理論解如下：

$$\breve{R}_j = \frac{U_j}{V_j} \quad , \quad j = 1, 2 \qquad \text{.....(3.62)}$$

$$U_j = \cos(kl_m) + \frac{2kb_m}{\pi}\sin(kl_m)\ln\left(\frac{2\gamma kb_m}{\pi e}\right) - ikb_m \sin(kl_m)\left[1 - H_0^{(1)}(kd)\right]$$

.....(3.63)

$$\begin{aligned} V_j = & \left[\cos(kl_j) + \frac{2kb_j}{\pi}\sin(kl_j)\ln\left(\frac{2\gamma kb_j}{\pi e}\right) - ikb_j \sin(kl_j)\right] \\ & \times \left[\cos(kl_m) + \frac{2kb_m}{\pi}\sin(kl_m)\ln\left(\frac{2\gamma kb_m}{\pi e}\right) - ikb_m \sin(kl_m)\right] \\ & + (kb_j)(kb_m)\sin(kl_j)\sin(kl_m)\left[H_0^{(1)}(kd)\right]^2 \end{aligned} \qquad \text{.....(3.64)}$$

式中下標 m = 1 或 2，但 m ≠ j，k 為週波數，$H_0^{(1)}$ 為零階第一類漢克函數(Hankel function)，γ 為 Euler 常數(= 0.5772157. . ..)，ln(e) = 1。

為驗証本計畫港域波浪模式數值計算結果之正確性，本計畫參考 Liu et al. (2003)之計算案例：假設等水深條件為 5.5 m，考慮圖 3.33 所示相鄰兩個不同長度之矩形港池，其長度分別為 1000 m(=l_1)及 500 m(=l_2)，雙港口之間距 d 為 250 m，兩矩形港池寬度均為 100 m(=2b_1=2b_2)等。本計畫假設外海假想邊界半圓半徑 R_0 為 1000 m，據此建置三角形元素計算網格，如圖 3.34 所示，圖中有限元素計算網格係由 4654 個節點及 8994 個元素組成的。波浪模擬條件假設入射波波向為垂直海岸線(即正向入射之情況)，入射波振幅為 1.0 m，分別針對不同週期的波浪條件進行數值模擬。

一般探討港池共振問題大都採用港內波浪波高(或振幅)放大率與無因次參數 kl 之關係呈現，l 為港池特性長度；因此本計畫依據不同波浪週期模擬結果分別計算相鄰兩矩形港池末端中央節點之波高放大率($H/2H_0$，$H_0=2A^I$)與無因次參數 kl_1 之關係曲線，l_1 為長矩形港池之特性長度，如圖 3.35 及圖 3.36 所示。圖 3.35 所示為長矩形港池(#1)末端波浪放大率與無因次參數 kl_1 之關係曲線，圖中實線代表本計畫港域波浪模式之計算結果，圓形符號為理論解(Liu et al., 2003)之計算結果，顯示除了放大率變化曲線尖峰值發生位置略微偏移外，本計畫模式數值計算結果與理論解相當吻合；圖 3.36 所示為短矩形港池(#2)末端波浪放大率與無因次參數 kl_1 之關係曲線，顯示短矩形港池之模式數值計算結果與理論解計算結果間雖然存在有較顯著的誤差，但二者波浪放大率整體變化趨勢仍具有高度的一致性。

就各矩形港池波浪放大率之整體變化趨勢而言，本計畫港域波浪模式計算結果與理論解析解計算結果是具有高度一致性；但對於放大率曲線尖峰值發生的波浪條件而言，模式數值計算結果與理論解析解之間存在有一偏移現象，此一偏移現象在長度較短的港池內會較為突顯。

另外，有關相鄰雙港口耦合效應最顯著的現象應屬當入射波浪條件接近或等於某一港口共振條件時，不僅會造成該港口波浪振幅放大率變大，同時會導致另一鄰近的港口波浪振幅放大率突然變小(出現極小值)。依據數值計算結果顯示上述模擬案例，長、短矩形港池之第零共振模組分別發生於波浪週期等於 600 sec 及 320 sec 附近，此時矩形港池內部及港口附近之波高(或振幅)分布情形分別如圖 3.37 及圖 3.38 所示。

由以上數值計算結果與理論解之比較顯示，本計畫港域波浪模式應能夠應用於模擬雙開口港池共振問題上。

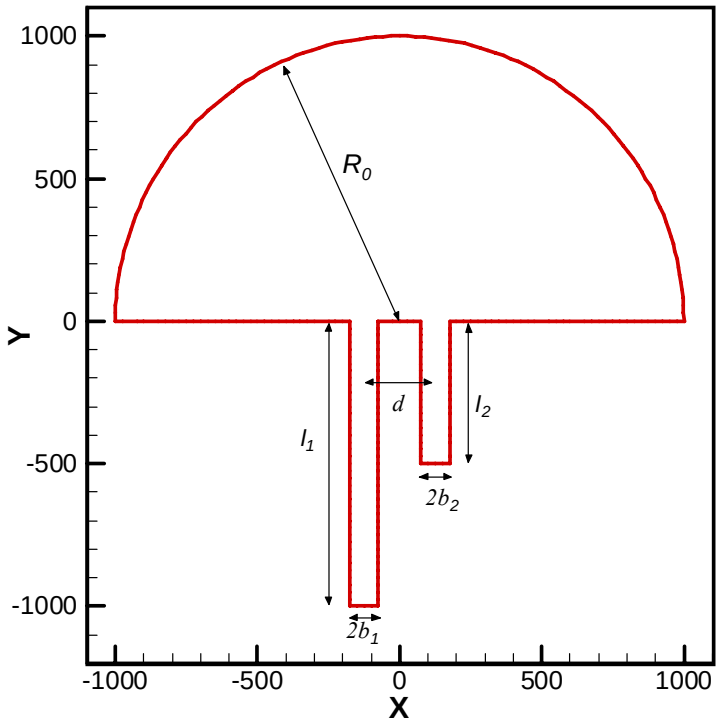


圖 3.33 雙港口耦合問題及相關參數示意圖

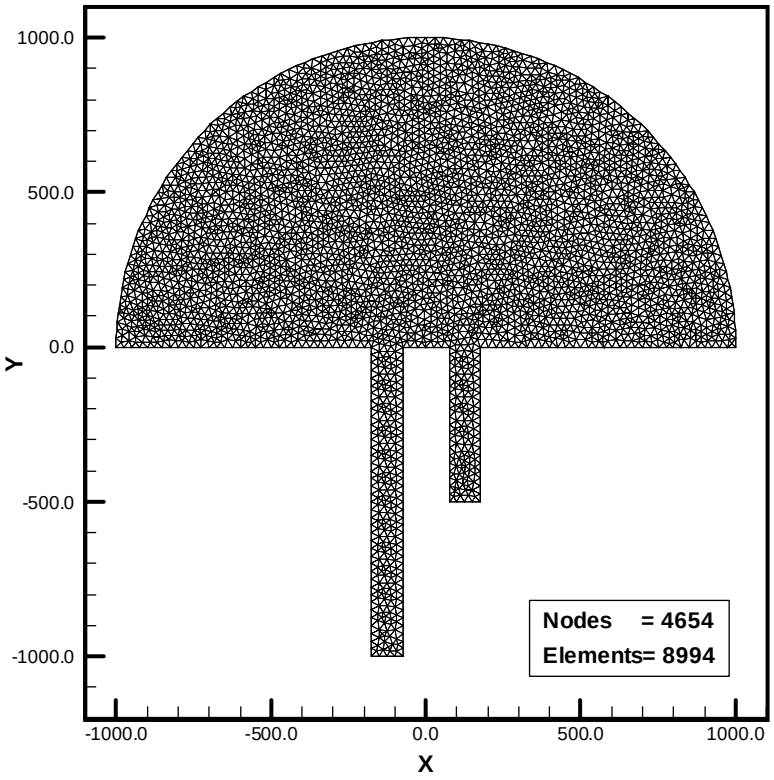


圖 3.34 本計畫雙港口波浪場數值計算有限元素網格配置圖

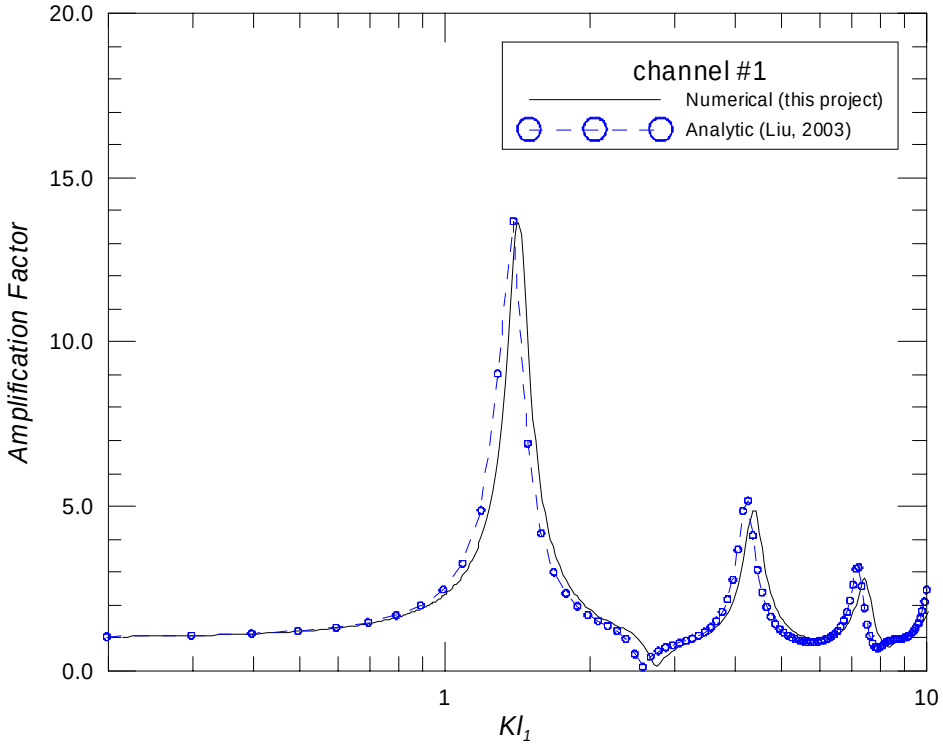


圖 3.35 長矩形港池(#1)之波浪放大率與無因次參數(kl_1)之關係圖

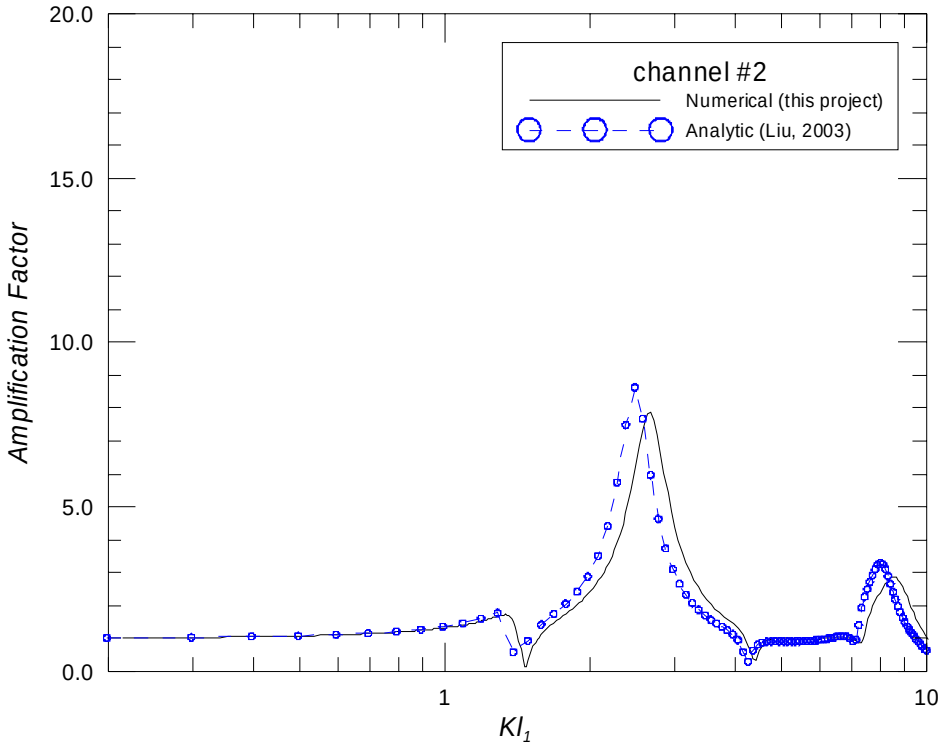


圖 3.36 短矩形港池(#2)之波浪放大率與無因次參數(kl_1)之關係圖

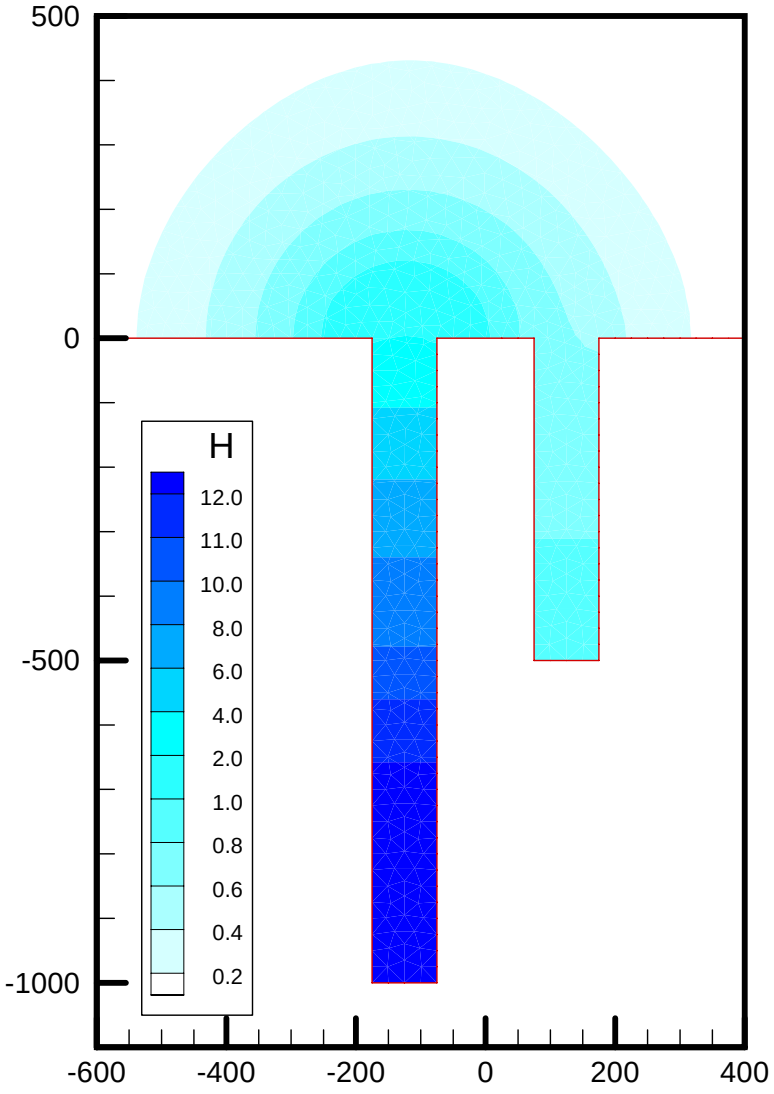


圖 3.37 波浪週期 600 sec 波浪場模擬結果之波高分布情形圖

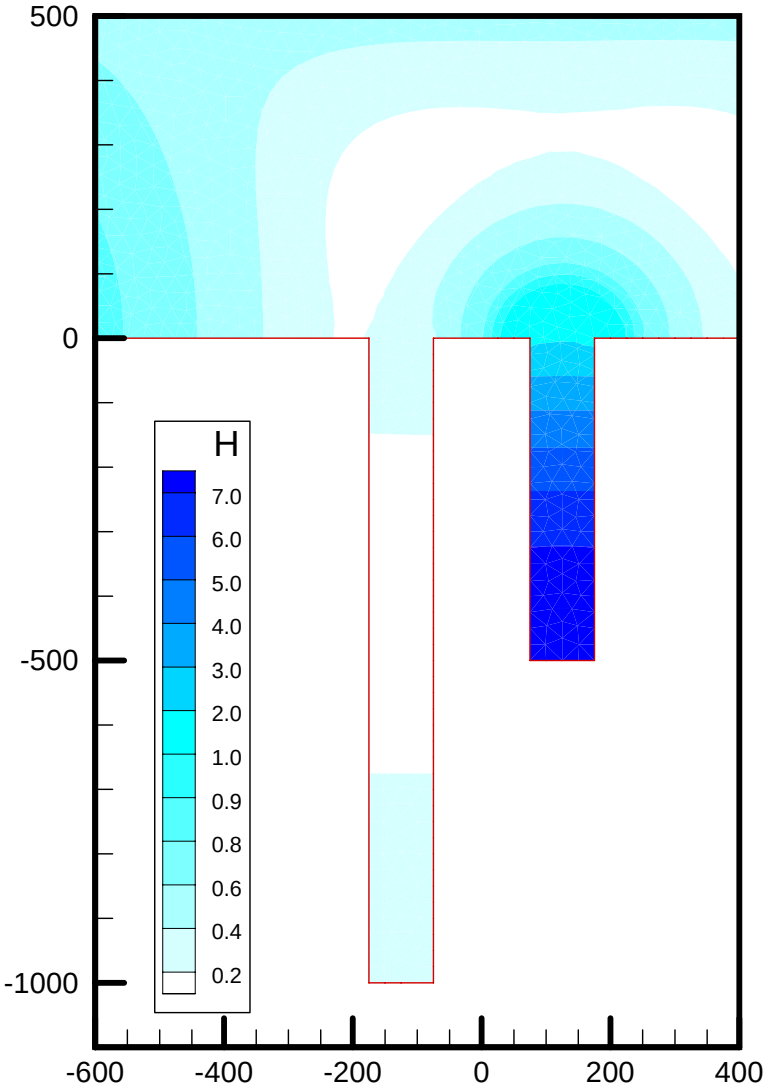


圖 3.38 波浪週期 320 sec 波浪場模擬結果之波高分布情形圖

3.4.2 安平港區細尺度港域波浪模組之建置

有鑑於前期計畫執行期間安平漁港舊港口重建工程尚未完工，因此安平港區港域波浪模組主要以安平港管轄水域為依據而建置，其波浪場模擬範圍如圖 3.39 所示，顯示既有的模擬範圍不僅港口外海域未納入安平漁港舊港口，且與安平港管轄水域相通之安平漁港水域亦未被考慮。

本年度計畫基於安平漁港舊港口已通航，以及外海波浪經由舊港口進入漁港內勢必會對目前的安平港水域造成某種程度的影響等考量，因此本計畫將針對安平(國際商)港水域、安平漁港水域以及重新開闢的舊港口航道設施研擬適當的波浪場模擬範圍，重新建置安平港港域波浪模組。本計畫初步研擬的安平港港域波浪模組模擬範圍如圖 3.40 所示，圖中外海假想邊界半徑為 2750 m，外海最大水深達為 17 m。本計畫初步建置的三角元素粗網格配置參考圖 3.41 所示，其中有限元素粗網格共計有 5440 個節點及 10002 個元素。本計畫安平港區港域波浪模組實際採用的波浪場計算網格配置有二：分別為由 44775 個節點及 86910 個元素所組成的細網格(I)以及由 107016 個節點及 210394 個元素組成的細網格(II)，前者適用於波浪週期 20 sec 以上的波浪條件，後者適用於波浪週期 10 sec 以上的波浪條件。

安平港區港域波浪模組之模式邊界型態除了港口防波堤結構體及船舶泊靠之碼頭區外，尚包括(1)沙灘海岸分布於港口外海岸及安平港北外防波堤與北內堤之間，(2)土堤結構邊界分布於安平港內兩側待建碼頭區域，(3)與運河及竹溪相通之邊界共三處。其中與運河及竹溪相通之邊界可視為完全透水邊界，假設反射率為 0；碼頭區則假設屬於全反射邊界，即反射率等於 1；沙灘海岸假設具有高度消波特性，因此假設邊界反射率等於 0.5；其餘防波堤結構及土堤結構等邊界分別假設具有不同程度之消波特性，其反射率約介於 0.6～0.8 之間。

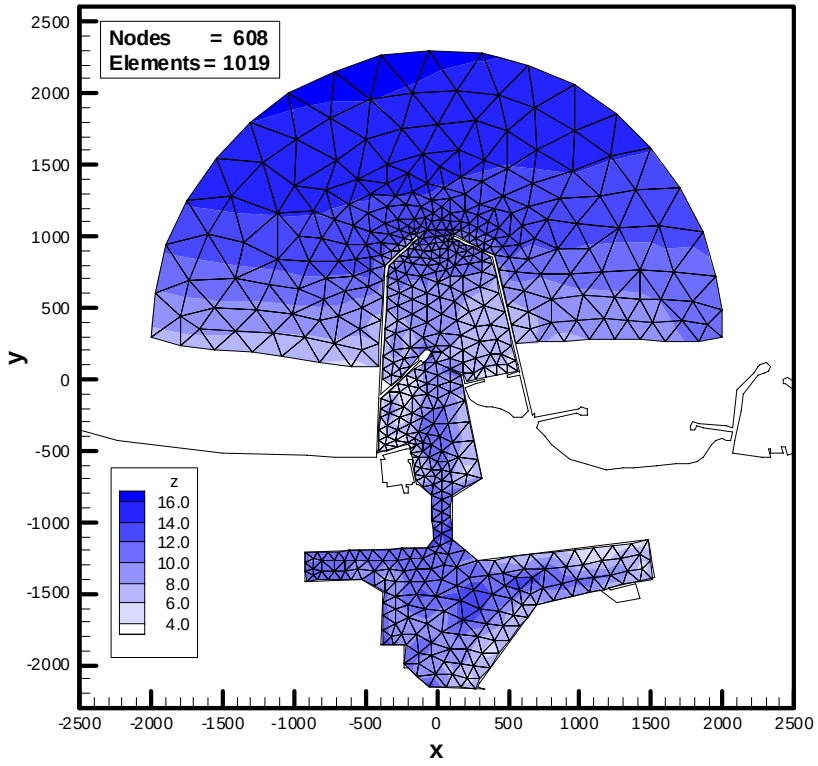


圖 3.39 安平港區港域波浪模組之模擬範圍及水深分布情形圖

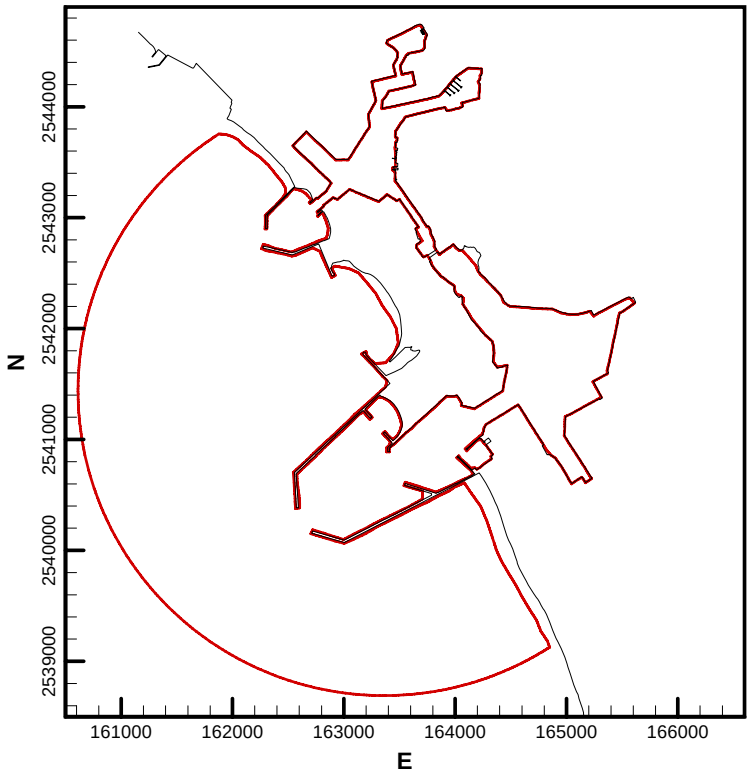


圖 3.40 安平港區港域波浪模組更新後之模擬範圍圖

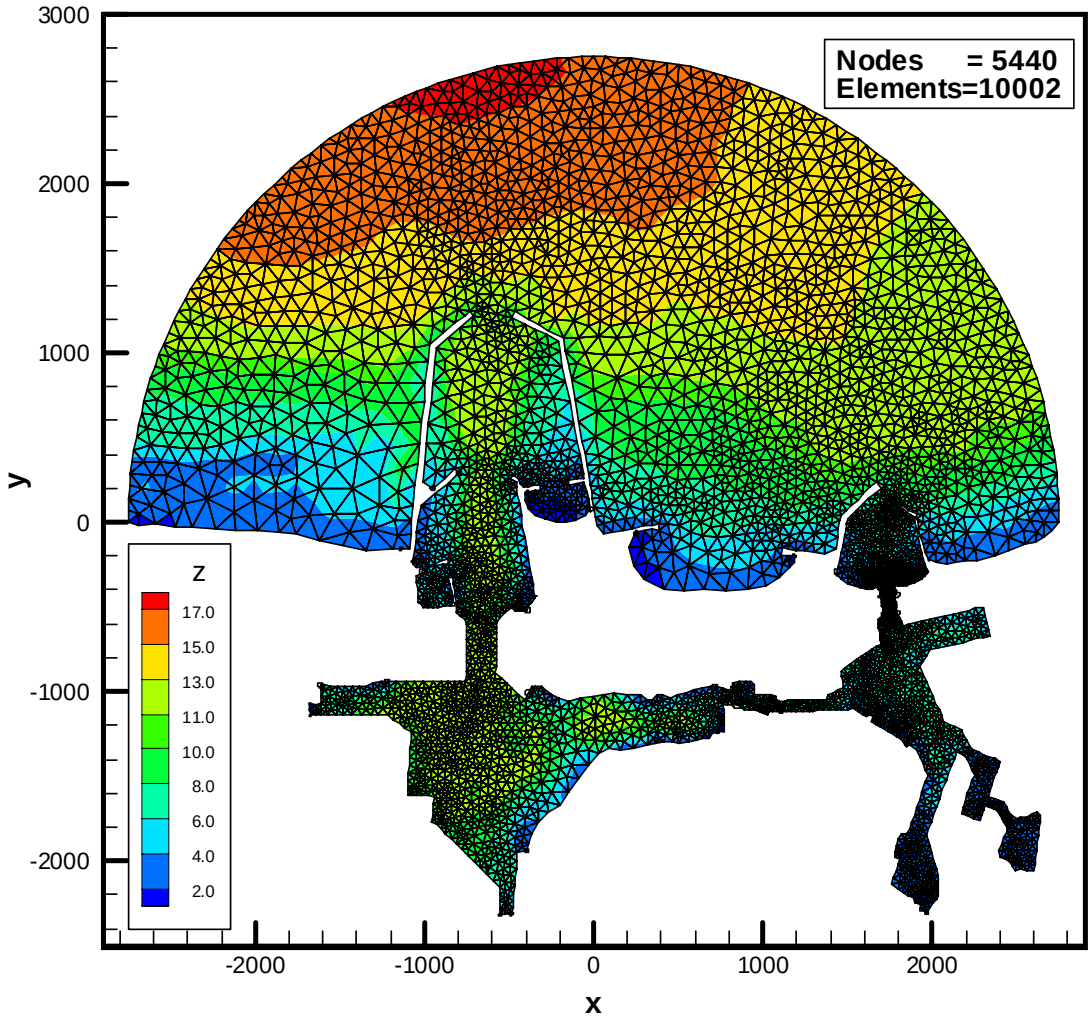


圖 3.41 安平港區港域波浪模組更新後之粗網格配置及水深分布情形圖

3.4.3 安平港區港域波浪場共振現象探討

為瞭解安平港與安平漁港重要水域可能發生共振現象之波浪週期，本計畫利用前述由 44775 個節點及 86910 個元素所組成的有限元素細網格(I)進行相關數值模擬工作。在波浪模擬條件上假設入射波振幅為 1.0，入射波波向考慮垂直入射港口之波向，波浪週期計算範圍介於 20 sec ~ 60min 之間共計 341 組。另在模式參數設定上，假設海岸線及港池岸壁反射係數 K_r=1.0，與運河及竹溪相連之邊界 K_r=0，底床摩擦係數 μ=0.001，港池特性長度 l 為 4000 m。

針對港域波浪模擬結果，本計畫除了儲存含波高及相位二維平面

資料供波浪場繪圖使用外，另針對安平港與安平漁港水域分別選取鄰近安平漁港舊港口之水景公園(A)、漁港區(B)、漁人碼頭區(C)、遊艇碼頭區(D)、以及鄰近安平商港港口之第四海巡隊停泊區(E)及客貨碼頭區(G)等水域，如圖 3.42 所示，計算其岸壁波高放大率與無因次參數 *kl* 之關係曲線，如圖 3.43 及圖 3.44 所示。

依據模擬結果得知：安平漁港水域之水景公園(A)、漁港區(B)及鄰近安平港港口之第四海巡隊泊區(E)因均屬較為封閉且形狀較規則之水域，故港池共振引起的波高放大率相當顯著；其中水景公園水域(A)出現顯著共振現象對應的外海波浪週期分別約為 350s、174s、116s 及 65.5s，漁港區水域(B)發生顯著波高放大率對應的外海波浪週期分別約為 350s、174s、116s 及 37.5s，顯示漁港區因緊鄰水景公園二者發生共振現象之波浪週期相關性甚高；至於，鄰近安平商港港口之第四海巡隊泊靠區(E)，其發生顯著港池共振現象對應的外海波浪週期分別約為 385s、220s、55.5s 及 41.5s 等週期，此結果與前述水景公園與漁港區發生共振現象之波浪週期有所差異。

此外，遊艇碼頭區(D)雖然屬於矩形規則形狀水域，但在面對可能發生共振影響之波浪週期如 340s、136s、131s 及 114s 等作用下，港池波高放大率最大值約在 2.0 左右(屬於近似全反射狀況)，未出現顯著放大效應，此可能與其水域開口直面對連接安平港水域之支航道有關。另在安平港客貨碼頭區(G)亦因面對的水域較為廣闊，且港池形狀較為不規則，故其波高放大率並無顯著放大的現象發生。上述針對局部水域波高放大率推論可能引起局部水域共振的波浪週期，基本上均屬於週期相當長之波浪，其發生於安平海域的機率應屬相當渺小。

整體安平港與安平漁港水域亦因港池形狀的不規則性，導致本計畫模式模擬週期範圍內僅出現整體港池水域發生近似全反射狀的波高分布，而未出現整體港池水域發生顯著共振現象之波高分布。

針對安平港域長週期波浪模擬結果之波高分布情形，本報告選取波浪週期 20 sec、25 sec 及 30 sec 之模擬結果分別繪出波高分布情形，如圖 3.45 至圖 3.47 所示。

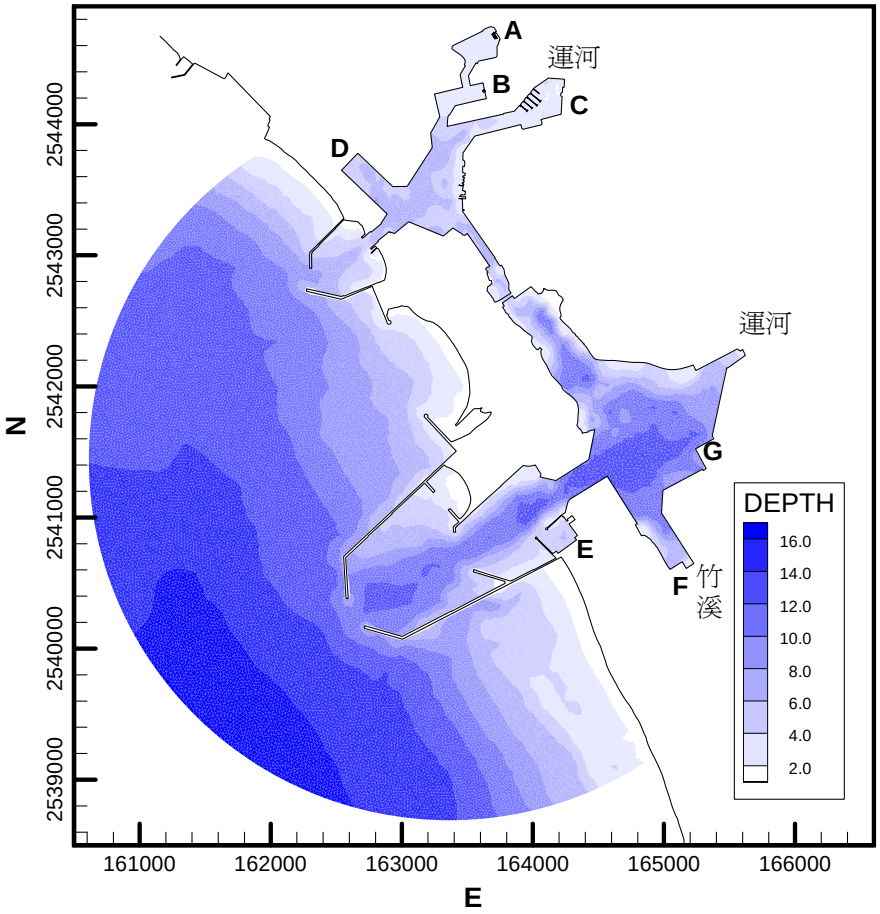


圖 3.42 安平港區港域波浪模擬結果之波高檢核點位置示意圖

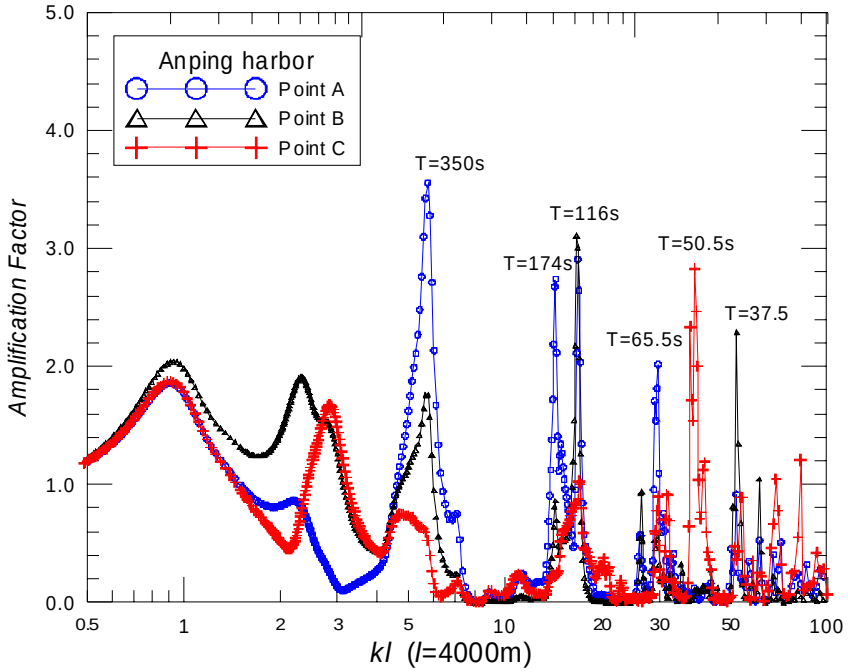


圖 3.43 安平港區港域波浪模擬結果之波高檢核點位置示意圖

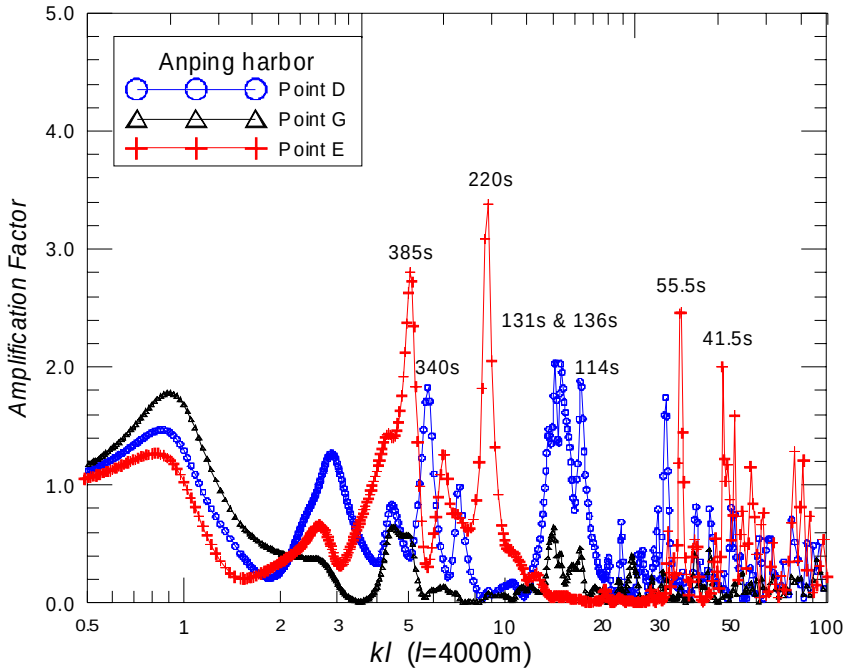


圖 3.44 安平港區港域波浪模擬結果之波高檢核點位置示意圖

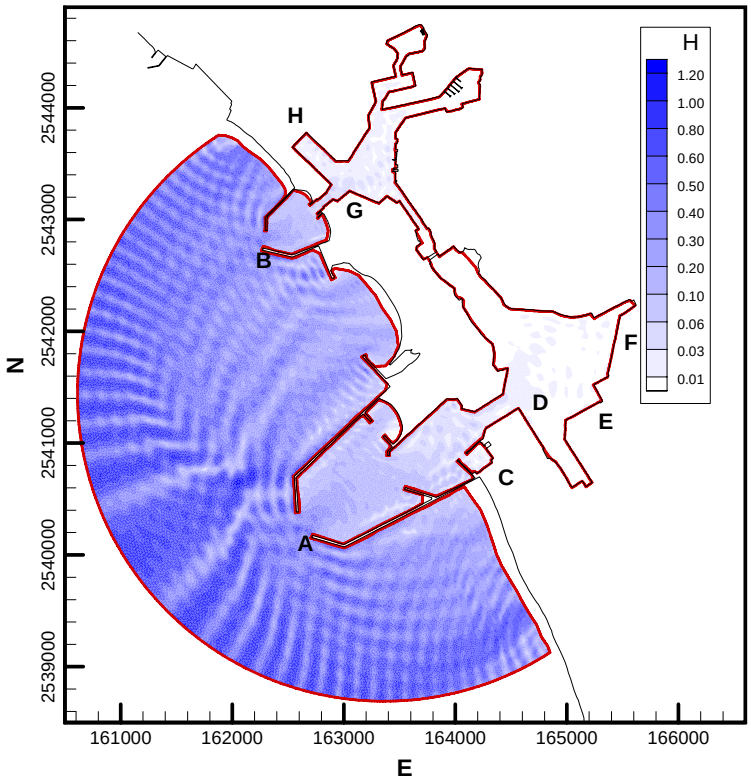


圖 3.45 安平港區港域波浪模擬結果之波高分布情形(週期 20 sec)

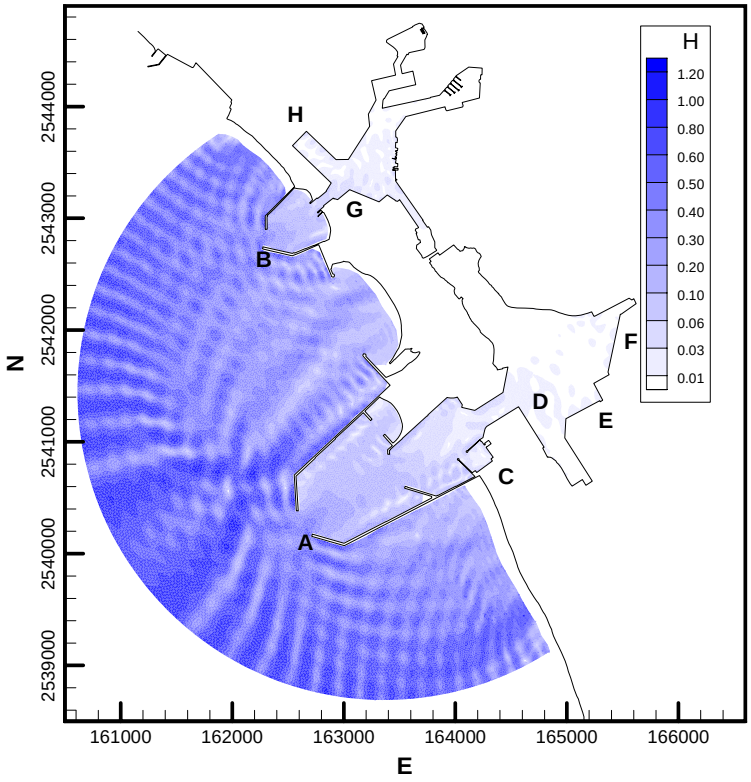


圖 3.46 安平港區港域波浪模擬結果之波高分布情形(週期 25 sec)

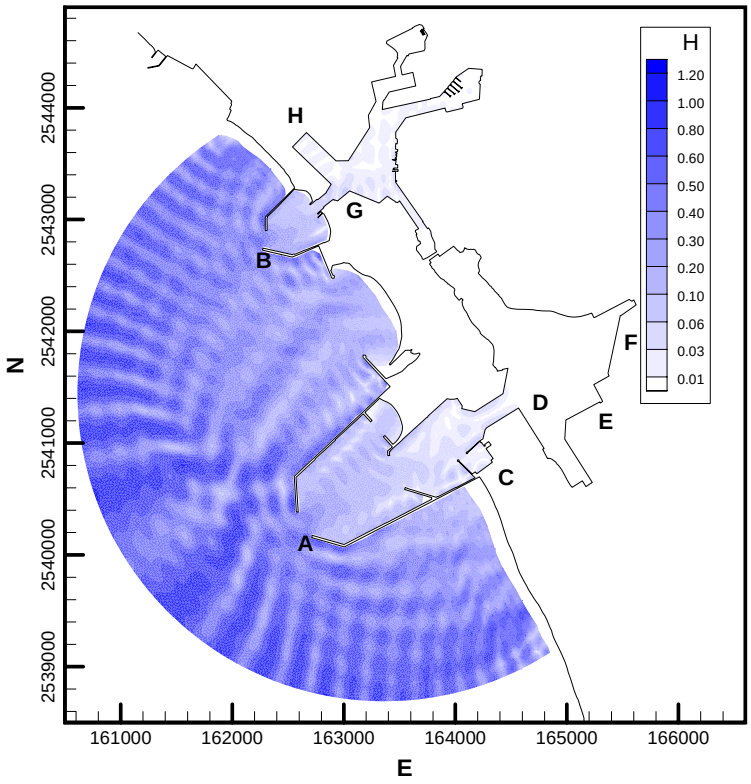


圖 3.47 安平港區港域波浪模擬結果之波高分布情形(週期 30 sec)

3.4.4 高雄港區細尺度港域波浪模組之建置

如圖 3.48 所示高雄港擁有兩個港口(一港口及二港口)供船舶進出，與前述安平港及安平漁港水域相似，唯高雄港兩港口相距長達 9km，遠大於安平港及安平漁港港口間距 2.5km，實不易採取與安平港細尺度港域波浪模組之建置方式，建置足以含蓋兩港口模擬範圍之細尺度有限元素網格。另依據 Liu et al. (2003)研究結果得知雙港口耦合效應會隨著相鄰兩港口之距離增加而降低，因此本計畫乃遵循以往作法將高雄港細尺度港域波浪模組分為一港口及二港口兩個模擬範圍，如圖 3.49 所示，分別建置有限元素計算網格。其中一港口外海半圓有限領域之半徑為 2,000 m，外海半圓最大水深達為 15 m；二港口外海半圓有限領域之半徑為 2,800 m，外海半圓最大水深達為 18 m。

依據一港口及二港口模擬範圍，本計畫初步建置的三角形元素粗網格分別如圖 3.50 及圖 3.51 所示，其中一港口有限元素粗網格係由 3111 個節點及 5663 個三角形元素所組，二港口有限元素粗網格係由

1600 個節點及 2699 個三角形元素所組成。本計畫再依據粗網格及其水深資料進一步以波浪週期為 10 sec 條件產生滿足港域波浪模式精確度要求的有限元素細網格，其中一港口有限元素細網格共計有 64,838 個節點及 126,709 個三角形元素，二港口有限元素細網格共計有 109,157 個節點及 214,486 個三角形元素。

高雄港區港域波浪模組之模式邊界型態除了港口防波堤結構體及船舶泊靠之碼頭區外，尚包括沙灘海岸、礁岩海岸、與愛河及前鎮河相通之邊界以及假想港域邊界等。其中與愛河及前鎮河相通之邊界可視為完全透水邊界，假設反射率(K_r)為 0；另一港口及二港口港域模擬範圍與港區水域交界之假想邊界亦視為完全透水邊界，並假設其反射率為 0；碼頭區則假設屬於近似全反射邊界，假設反射率等於 0.99；沙灘海岸假設具有高度消波特性，因此假設邊界反射率等於 0.7；其餘防波堤結構及礁岩海岸等邊界分別假設具有不同程度之消波特性，其反射率約介於 0.85 ~ 0.9 之間。



圖 3.48 高雄港港區範圍影像圖

資料來源：Google 地圖

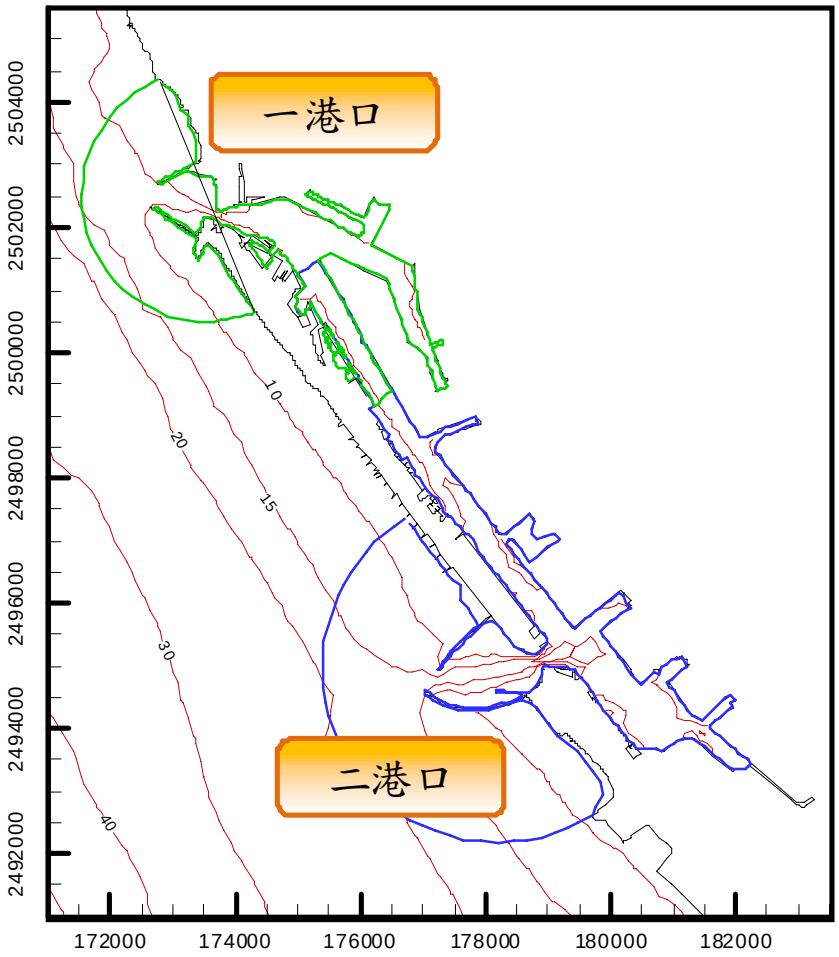


圖 3.49 高雄港區港域波浪模組一港口及二港口模擬範圍圖

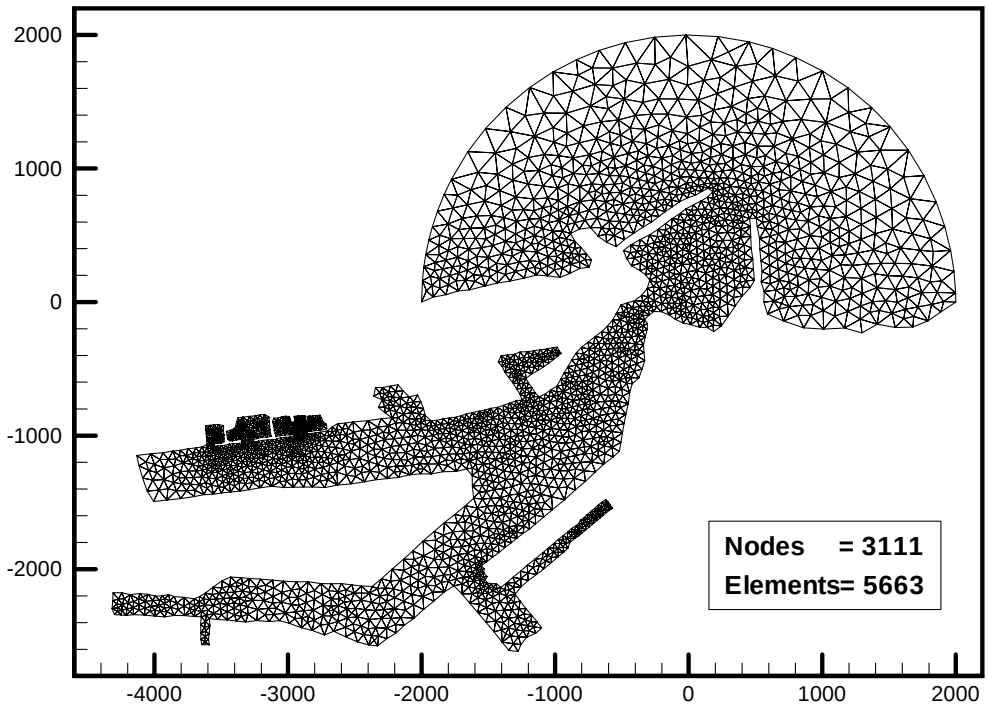


圖 3.50 高雄港區一港口港域波浪模之粗網格配置圖

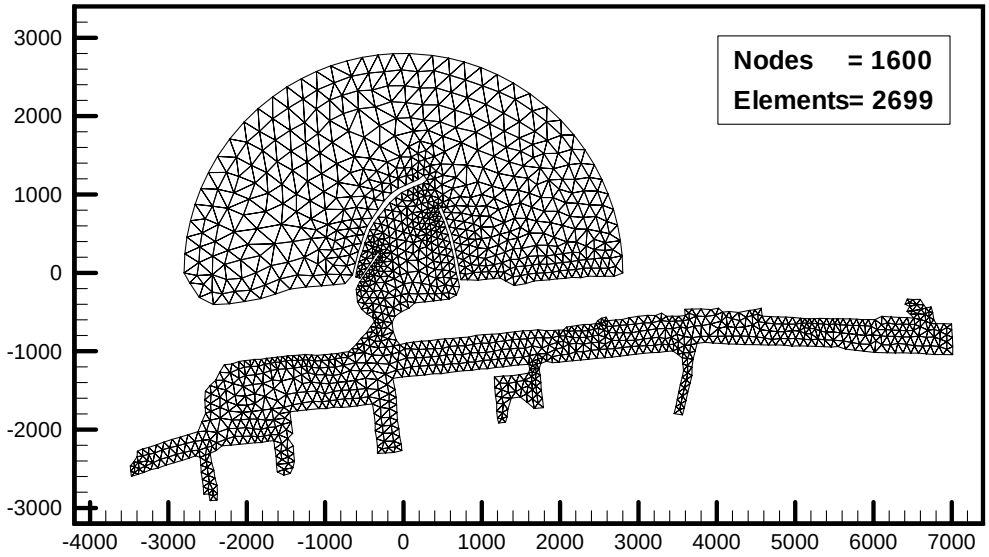


圖 3.51 高雄港區二港口港域波浪模之粗網格配置圖

3.4.5 高雄港區港域波浪場模擬結果

針對高雄港區細尺度港域波浪場模擬，本計畫參考以往作法，先依高雄港外海波浪觀測資料針對波浪週期及波向設定細尺度港域波浪模組模擬條件，分別執行高雄港區一港口及二港口港域波浪場模擬工作，並輸出每次模擬結果之港內波高與外海波高比值(即波高 KD 值)之分布結果，再將所模擬之結果存成資料庫，未來僅需由外海波浪條件即可查出港內任何位置上可能的波高值或繪出港內波高分布情形，展示於港灣資訊網站上。

依據高雄港 2012 年波浪觀測資料統計結果(參考表 2-9 及表 2-10)得知，觀測點波浪之波向主要分布於 SSE～NW 之間，約佔九成以上；因此針對高雄港區港域波浪場模擬，本計畫規畫波向模擬條件之波向變化間距為 22.5˚，範圍自 247.5˚(SSE)至 315˚(NW)共八個波向；週期模擬條件之間距為 0.1 sec，範圍為 9.0sec 至 17.0 sec 共 81 組條件。本計畫假設入射波高為 1.0 m，依據波向及週期組成的波浪場模擬條件共 648 組，分別模擬高雄港區一港口及二港口港域波浪場，並將模擬結果儲存成繪圖軟體 TECPLOT 之格式提供給港研中心建置臺中港域細尺度港域波浪場資料庫。圖 3.52 及圖 3.53 所示分別為波浪週期 10 sec 及波向 W(270˚)模擬條件，一港口及二港口港域波浪場波高 KD 值分布情形。

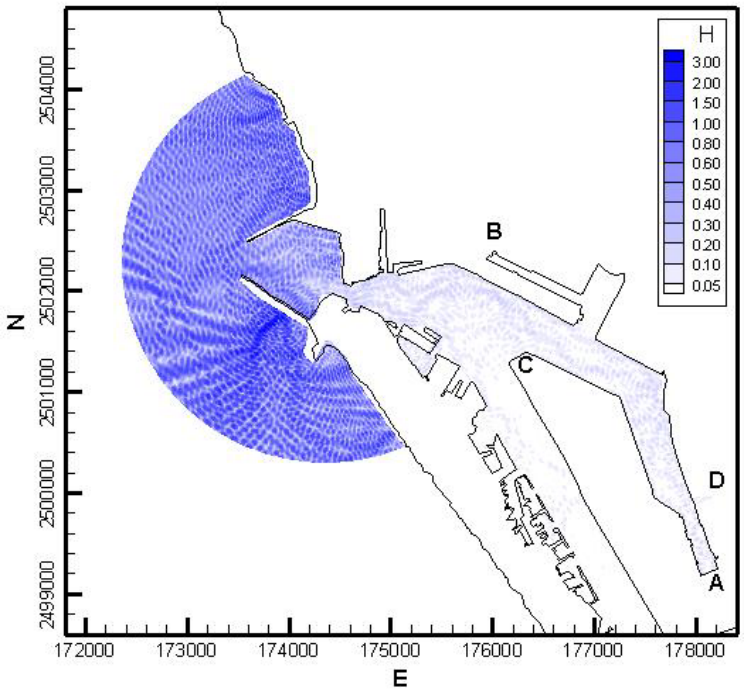


圖 3.52 高雄港區一港口港域波浪模擬結果之波高 KD 值分布情形 (波浪條件：週期 10 sec，波向 W)

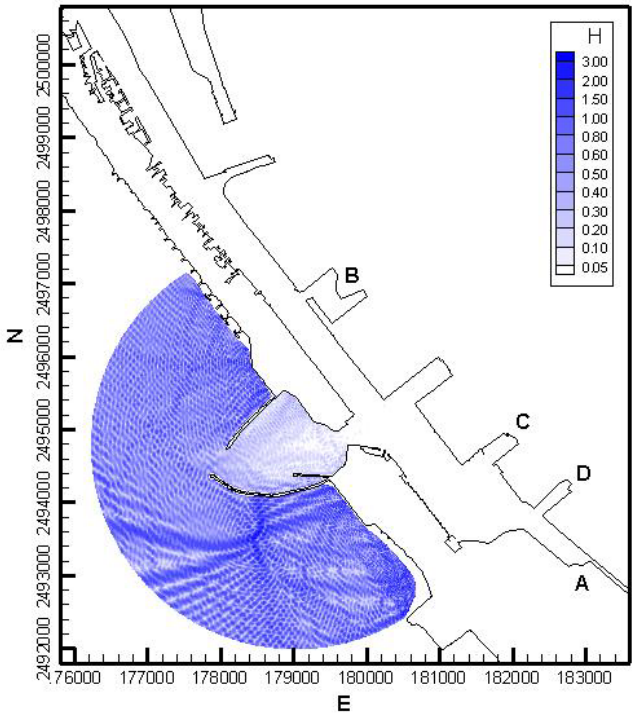


圖 3.53 高雄港區二港口港域波浪模擬結果之波高 KD 值分布情形 (波浪條件：週期 10 sec，波向 W)

3.5 小結

本計畫以提昇臺灣周圍海岸及港灣海域波浪模擬技術為研究目的，本年度以安平港區及高雄港區為研究對象，進行波浪模擬之研究。依據本報告研究及工作成果綜整得到下列結論：

1. 在風浪作業化模擬方面，本計畫大尺度西太平洋範圍風浪模組具體改善內容包括：在作業化模擬流程修正使其更能符合 TaiCOMS 之設計規劃預報流程；在模擬技術成果方面包括風場資料更新(如以 MC 風場取代 RC 風場)以及風浪模擬結果之波向、週期及波高等呈現均有實質改善成效；在風浪模擬資訊提供方面除了原七大商港外，增加布袋港及澎湖、金門及馬祖等離島海域風浪模擬資訊至港灣資訊網供外界查詢等；此外，亦配合港硬體設備更新，針對中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組採行多核心平行化處理，顯著提昇中尺度網格風浪模擬效率，縮短 72 小時模擬預報時間。
2. 在港區小尺度及細尺度網格波浪模擬研究上，本計畫除了針對安平港及高雄港小尺度網格波浪場模擬進行必要的資料更新研究外，更針對安平港進行細尺度網格改善研究，使其能符合現況同時模擬安平港與安平漁港水域之波浪場。

第四章 水動力模擬與探討

4.1 水動力模式基本理論介紹

4.1.1 水動力控制方程式

假設水體為具有黏滯性之不可壓縮流體，並考慮地球自轉運動之影響，則描述二維平面流場之連續方程式及運動方程式可表示如下：

$$\frac{\partial H}{\partial t}+\frac{\partial q_x}{\partial x}+\frac{\partial q_y}{\partial y}=Q_0 \quad \text{.....(4.1)}$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial t}+\frac{\partial (H^{-1}q_x^2)}{\partial x}+\frac{\partial (H^{-1}q_xq_y)}{\partial y}-fq_y = -\frac{H}{\rho_0}\frac{\partial}{\partial x}\left(p^S+\rho g\eta\right)+\frac{1}{\rho_0}\left(\tau_x^s-\tau_x^b\right)+\left(\frac{\partial F_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial F_{xy}}{\partial y}\right) \quad \text{.....(4.2)}$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t}+\frac{\partial (H^{-1}q_xq_y)}{\partial x}+\frac{\partial (H^{-1}q_y^2)}{\partial y}+fq_x = -\frac{H}{\rho_0}\frac{\partial}{\partial y}\left(p^S+\rho g\eta\right)+\frac{1}{\rho_0}\left(\tau_y^s-\tau_y^b\right)+\left(\frac{\partial F_{xy}}{\partial x}+\frac{\partial F_{yy}}{\partial y}\right) \quad \text{.....(4.3)}$$

其中

$$H=\int_{-h}^{\eta}dz=h+\eta \quad \text{.....(4.4a)}$$

$$q_x=\int_{-h}^{\eta}udz=\bar{u}H \quad \text{.....(4.4b)}$$

$$q_y=\int_{-h}^{\eta}vdz=\bar{v}H \quad \text{.....(4.4c)}$$

$$\bar{u}=\frac{1}{(h+\eta)}\int_{-h}^{\eta}udz \quad \text{.....(4.4d)}$$

$$\bar{v}=\frac{1}{(h+\eta)}\int_{-h}^{\eta}vdz \quad \text{.....(4.4e)}$$

$$F_{ij}=E_{ij}(q_{j,i}+q_{i,j}) \qquad i,j=x,y \quad \text{.....(4.4f)}$$

$$\tau_i^b = C_f (q_x^2 + q_y^2)^{1/2} \frac{q_i}{H^2} \qquad i = x, y \quad \text{.....(4.4g)}$$

$$\tau_i^S = \rho_a C_d |U_{10}| U_i \qquad i, j = x, y \quad \text{.....(4.4h)}$$

此處

h＝靜水深，

η＝水位變化，

u＝x方向之水平流速，

v＝y方向之水平流速，

Q_0＝以 Source 或 Sink 形式進出領域之流量，

ρ_0＝流體平均密度，

ρ_a＝空氣密度，

p^s＝水面壓力，

g＝重力常數，

τ_x^b＝x方向之底床剪應力，

τ_y^b＝y方向之底床剪應力，

τ_x^s＝x方向之水面剪應力

τ_y^s＝y方向之水面剪應力

C_f ＝ 底床摩擦係數，引用 Manning 公式可得 $C_f = \frac{n^2 g}{H^{1/3}}$ ，

n＝曼寧係數，

C_d＝風力係數，其值為 $C_d = (1.1 + 0.0536 U_{10}) 10^{-3}$ ，

U_{10}＝海面上 10 公尺處之風速

E_{ij}＝渦動黏滯係數(Eddy coefficient)，

f ＝柯氏參數(Coriolis parameter)，等於$2\omega\sin\phi$，

ω＝地球自轉之位相速度，

ϕ＝計算領域所在位置之緯度，

問題之初始條件為

$$\eta(x,y,t)=\eta_0(x,y) \quad \text{或} \quad H(x,y,t)=H_0(x,y) \qquad (4.5a)$$

$$q_x(x,y,t)=q_{x0}(x,y) \quad \text{及} \quad q_y(x,y,t)=q_{y0}(x,y) \qquad (4.5b)$$

式中 η_0、H_0、q_{x0} 及 q_{y0} 分別代表時間 $t=0$ 時之水位、水深及 x、y 方向流量。

問題之邊界條件則考慮流量邊界條件如下：

$$q_n=\alpha_{nx}q_x+\alpha_{ny}q_y=\hat{q}_n \qquad (4.6a)$$

$$q_s=-\alpha_{ny}q_x+\alpha_{nx}q_y=\hat{q}_s \qquad (4.6b)$$

或

$$q_x=\alpha_{nx}q_n-\alpha_{ny}q_s \qquad (4.7a)$$

$$q_y=\alpha_{nx}q_s+\alpha_{ny}q_n \qquad (4.7b)$$

式中 α_{nx} 及 α_{nx} 為方向導數，下標 n 及 s 分別表示法線及切線方向，$\hat{q}_n$ 及 $\hat{q}_s$ 表示給定之邊界條件。

此外，內應力項之邊界條件為

$$F_x=\alpha_{nx}F_{xx}+\alpha_{ny}F_{yx}=\hat{F}_x \qquad (4.8a)$$

$$F_y=\alpha_{nx}F_{xy}+\alpha_{ny}F_{yy}=\hat{F}_y \qquad (4.8b)$$

式中 $\hat{F}_x$ 及 $\hat{F}_y$ 表示給定之邊界條件。

4.1.2 有限元素法方程式

本計畫二維有限元素水動力模式係採用葛金斯加權殘差有限元素數值方法求解二維水動力系統控制方程式(4.1)~(4.3)式及其邊界值問題。依據 Stokes 理論(4.1)~(4.3)式可改寫成下列積分方程式：

$$\iint_A \left[\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} - Q_0 \right] \delta H \ \mathrm{d}A = 0 \quad \text{.....(4.9)}$$

$$\iint_A \left[\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial \left(H^{-1} q_x^2 \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left(H^{-1} q_y q_x \right)}{\partial y} - f q_y + \frac{H}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial x} \left(P^s + \rho g \eta \right) \right] \delta q_x \ \mathrm{d}A$$
$$- \iint_A \left[\frac{\tau_x^s - \tau_x^b}{\rho_0} \delta q_x - F_{xx} \frac{\partial \left(\delta q_x \right)}{\partial x} - F_{yx} \frac{\partial \left(\delta q_x \right)}{\partial y} \right] \mathrm{d}A - \int_{\partial A} F_x' \delta q_x \ \mathrm{d}L = 0 \quad \text{.....(4.10)}$$

$$\iint_A \left[\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial \left(H^{-1} q_x q_y \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left(H^{-1} q_y^2 \right)}{\partial y} + f q_x + \frac{H}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial y} \left(P^s + \rho g \eta \right) \right] \delta q_y \ \mathrm{d}A$$
$$- \iint_A \left[\frac{\tau_y^s - \tau_y^b}{\rho_0} \delta q_x - F_{xy} \frac{\partial \left(\delta q_y \right)}{\partial x} - F_{yy} \frac{\partial \left(\delta q_y \right)}{\partial y} \right] \mathrm{d}A - \int_{\partial A} F_y' \delta q_y \ \mathrm{d}L = 0 \quad \text{.....(4.11)}$$

式中 A 代表計算領域，∂A 代表計算領域 A 之邊界，dA 及 dL 分別代表面積分及線積分之微小單元，δH、δq_x 及 δq_y 分別為權函數(weighting function)，F_x' 及 F_y' 分別代表邊界上的內應力項。

常見求解上述積分方程式(4.9)~ (4.11)式之方法為有限元素近似法，即將計算領域分割成有限個次領域(subdomain)稱之為元素(element)，各元素之間以節點(nodes)連接，節點上的未知數稱為自由度(degree of freedom)。本計畫採用含有三個節點之三角形元素分割計算領域，在每個元素內上述物理量 H、q_x 及 q_y 可以分別用線性內插函數(或稱為形狀函數) N_j^e (j = 1, 2, 3，對應於三角元素三個節點)及節點上未知函數 H_j^e、q_{xj}^e 及 q_{xj}^e 近似表示，即

$$H^e = N_1^e H_1^e + N_2^e H_2^e + N_3^e H_3^e = \left\{ N^e \right\}^T \left\{ H^e \right\} = \left\{ H^e \right\}^T \left\{ N^e \right\} \quad \text{.....(4.12)}$$

$$q_x^e = N_1^e q_{x1}^e + N_2^e q_{x2}^e + N_3^e q_{x3}^e = \left\{N^e\right\}^T \left\{q_x^e\right\} = \left\{q_x^e\right\}^T \left\{N^e\right\} \quad \text{.....(4.13a)}$$

$$q_y^e = N_1^e q_{y1}^e + N_2^e q_{y2}^e + N_3^e q_{y3}^e = \left\{N^e\right\}^T \left\{q_y^e\right\} = \left\{q_y^e\right\}^T \left\{N^e\right\} \quad \text{.....(4.13b)}$$

上述表示式中$\left\{H^e\right\}$、$\left\{q_x^e\right\}$、$\left\{q_y^e\right\}$及$\left\{N^e\right\}$之轉置矩陣分別為

$$\left\{H^e\right\}^T = \left\{H_1^e,\ \ H_2^e,\ \ H_3^e\right\} \quad \text{.....(4.14a)}$$

$$\left\{q_x^e\right\}^T = \left\{q_{x1}^e,\ \ q_{x2}^e,\ \ q_{x3}^e\right\} \quad \text{.....(4.14b)}$$

$$\left\{q_y^e\right\}^T = \left\{q_{y1}^e,\ \ q_{y2}^e,\ \ q_{y3}^e\right\} \quad \text{.....(4.14c)}$$

$$\left\{N^e\right\}^T = \left\{N_1^e,\ \ N_2^e,\ \ N_3^e\right\} \quad \text{.....(4.14d)}$$

其中三角元素之線性內插函數N_j^e計算如下

$$N_j^e = \left(a_j + b_j x + c_j y\right) \big/ 2\Delta^e, \quad j = 1, 2, 3 \quad \text{.....(4.15a)}$$

$$a_i = x_j^e y_k^e - x_k^e y_j^e \quad \text{.....(4.15b)}$$

$$b_i = y_j^e - y_k^e \quad \text{.....(4.15c)}$$

$$c_i = x_k^e - x_j^e \quad \text{.....(4.15d)}$$

$$\Delta^e = \frac{1}{2}\begin{vmatrix} 1 & x_1^e & y_1^e \\ 1 & x_2^e & y_2^e \\ 1 & x_3^e & y_3^e \end{vmatrix} \quad \text{.....(4.15e)}$$

式中$\left(x_j^e, y_j^e\right)$為三角元素節點 j 之座標(如圖 4.1 所示)，(4.15e)式代表座標之線性函數。

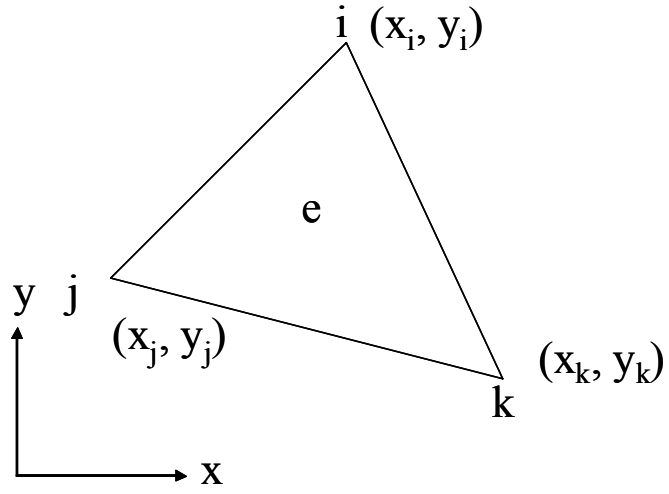


圖 4.1 三角形元素座標定義

(4.9)式各項積分式之計算說明如下：

$$\iint_A \frac{\partial H}{\partial t}\delta H\,dA = \sum_{e\in A}\iint_e \left(\frac{\partial H}{\partial t}\delta H\right)dA^e$$

$$= \sum_{e\in A}\left\{\delta H^e\right\}^T \iint_e \left\{N^e\right\}\left\{N^e\right\}^T \frac{\partial\left\{H^e\right\}}{\partial t}dA^e = \sum_{e\in A}\left\{\delta H^e\right\}^T \left[M_h^e\right]\frac{\partial\left\{H^e\right\}}{\partial t} \quad \text{..(4.16a)}$$

$$\iint_A \frac{\partial q_x}{\partial x}\delta H\,dA = \sum_{e\in A}\iint_e \left(\frac{\partial q_x}{\partial x}\delta H\right)dA^e$$

$$= \sum_{e\in A}\left\{\delta H^e\right\}^T \iint_e \left\{N^e\right\}\frac{\partial\left\{N^e\right\}^T}{\partial x}\left\{q_x^e\right\}dA^e = \sum_{e\in A}\left\{\delta H^e\right\}^T \left[G_x^e\right]\left\{q_x^e\right\} \quad \text{.....(4.16b)}$$

$$\iint_A \frac{\partial q_y}{\partial y}\delta H\,dA = \sum_{e\in A}\iint_e \left(\frac{\partial q_y}{\partial y}\delta H\right)dA^e$$

$$= \sum_{e\in A}\left\{\delta H^e\right\}^T \iint_e \left\{N^e\right\}\frac{\partial\left\{N^e\right\}^T}{\partial y}\left\{q_y^e\right\}dA^e = \sum_{e\in A}\left\{\delta H^e\right\}^T \left[G_y^e\right]\left\{q_y^e\right\} \quad \text{.....(4.16c)}$$

$$\iint_A Q_0\delta H\,dA = \sum_{e\in A}\iint_e \left(Q_0\delta H\right)dA^e$$

$$= \sum_{e\in A}\left\{\delta H^e\right\}^T \iint_e \left\{N^e\right\}\left\{N^e\right\}^T \left\{Q_0^e\right\}dA^e = \sum_{e\in A}\left\{\delta H^e\right\}^T \left[M_h^e\right]\left\{Q_0^e\right\} \quad \text{.....(4.16d)}$$

其中

$$\left[M_h^e\right]=\iint_e\left\{N^e\right\}\left\{N^e\right\}^T dA^e=\frac{\Delta^e}{12}\begin{bmatrix}2&1&1\\1&2&1\\1&1&2\end{bmatrix} \quad \text{.....(4.17a)}$$

$$\left[G_x^e\right]=\iint_e\left\{N^e\right\}\frac{\partial\left\{N^e\right\}^T}{\partial x}dA^e=\frac{1}{6}\begin{bmatrix}b_1&b_2&b_3\\b_1&b_2&b_3\\b_1&b_2&b_3\end{bmatrix} \quad \text{.....(4.17b)}$$

$$\left[G_y^e\right]=\iint_e\left\{N^e\right\}\frac{\partial\left\{N^e\right\}^T}{\partial y}dA^e=\frac{1}{6}\begin{bmatrix}c_1&c_2&c_3\\c_1&c_2&c_3\\c_1&c_2&c_3\end{bmatrix} \quad \text{.....(4.17c)}$$

將上述各項積分離散式代入積分方程式(4.9)式，則(4.9)式可簡化成

$$\sum_{e\in A}\left\{\delta H^e\right\}^T\left\{\left[M_h^e\right]\frac{\partial\left\{H^e\right\}}{\partial t}+\left[G_x^e\right]\left\{q_x^e\right\}+\left[G_y^e\right]\left\{q_y^e\right\}-\left[M_h^e\right]\left\{Q_0^e\right\}\right\}=0 \quad \text{.....(4.18)}$$

定義陣列$\{\delta H\}$及$\{H\}$分別為全部的$\left\{\delta H^e\right\}$及$\left\{H^e\right\}$結合後之整體陣列(global array)，陣列$\{q\}$為$\left\{q_x^e\right\}$及$\left\{q_y^e\right\}$合併後之整體陣列，則(4.18)式可結合成一矩陣方程式如下

$$\{\delta H\}^T\left\{\left[M_h\right]\frac{\partial\{H\}}{\partial t}+\left[G_h\right]\{q\}+\{R_h\}\right\}=0 \quad \text{.....(4.19)}$$

式中整體矩陣$\left[M_h\right]$、$\left[G_h\right]$及$\left\{H^e\right\}$分別為元素矩陣$\left[M_h^e\right]$、$\left[G_x^e\right]$與$\left[G_y^e\right]$以及$\left[M_h^e\right]\left\{Q_0^e\right\}$結合後之整體矩陣列，其中整體矩陣$\left[M_h\right]$為一對稱矩陣。

由於陣列$\{\delta H\}^T$為任意函數，故可得到

$$\left\{\left[M_h\right]\frac{\partial\{H\}}{\partial t}+\left[G_h\right]\{q\}+\{R_h\}\right\}=0 \quad \text{.....(4.20)}$$

(4.10)式各項積分式之計算說明如下：

$$\iint_A \left(\frac{\partial q_x}{\partial t} \delta q_x \right) dA = \sum_{e \in A} \iint_e \left(\frac{\partial q_x}{\partial t} \delta q_x \right) dA^e = \sum_{e \in A} \left\{ \delta q_x^e \right\}^T \left[M_h^e \right] \frac{\partial \left\{ q_x^e \right\}}{\partial t} \quad \text{.....(4.21a)}$$

定義 $\hat{q}_{ij} = H^{-1} q_i q_j$ ，i、$j = x$ 、y

$$\iint_A \left(\frac{\partial H^{-1} q_x^2}{\partial x} \delta q_x \right) dA = \sum_{e \in A} \iint_e \left(\frac{\partial H^{-1} q_x^2}{\partial x} \delta q_x \right) dA^e = \sum_{e \in A} \left\{ \delta q_x^e \right\}^T \left[G_x^e \right] \left\{ \hat{q}_{xx}^e \right\} \quad \text{....(4.21b)}$$

$$\iint_A \left(\frac{\partial H^{-1} q_x q_y}{\partial y} \delta q_x \right) dA = \sum_{e \in A} \iint_e \left(\frac{\partial H^{-1} q_x q_y}{\partial y} \delta q_x \right) dA^e = \sum_{e \in A} \left\{ \delta q_x^e \right\}^T \left[G_y^e \right] \left\{ \hat{q}_{yx}^e \right\}$$

..... (4.21c)

$$\iint_A \left(f q_y \delta q_x \right) dA = \sum_{e \in A} \iint_e \left(f q_y \delta q_x \right) dA^e = \sum_{e \in A} \left\{ \delta q_x^e \right\}^T f \left[M_h^e \right] \left\{ q_y^e \right\} \quad \text{.....(4.21d)}$$

$$\iint_A \left(\frac{H}{\rho_0} \frac{\partial p^S}{\partial x} \delta q_x \right) dA = \sum_{e \in A} \iint_e \left(\frac{H}{\rho_0} \frac{\partial p^S}{\partial x} \delta q_x \right) dA^e$$

$$= \sum_{e \in A} \left\{ \delta q_x^e \right\}^T \left[M_h^e \right] \left\{ H^e \right\} \frac{(b_1 p_1 + b_2 p_2 + b_3 p_3)}{2 \rho_0 \Delta^e} \quad \text{.....(4.21e)}$$

$$\iint_A \left(gH \frac{\partial \eta}{\partial x} \delta q_x \right) dA = \sum_{e \in A} \iint_e \left(gH \frac{\partial \eta}{\partial x} \delta q_x \right) dA^e$$

$$= \sum_{e \in A} \left\{ \delta q_x^e \right\}^T \left[M_h^e \right] \left\{ H^e \right\} \frac{g(b_1 \eta_1^e + b_2 \eta_2^e + b_3 \eta_3^e)}{2 \Delta^e} \quad \text{..... (4.21f)}$$

$$\iint_A \left(\frac{\tau_x^s}{\rho_0} \delta q_x \right) dA = \sum_{e \in A} \iint_e \left(\frac{\tau_x^s}{\rho_0} \delta q_x \right) dA^e = \sum_{e \in A} \left\{ \delta q_x^e \right\}^T \frac{1}{\rho_0} \left[M_h^e \right] \left\{ \tau_x^{se} \right\} \quad \text{.....(4.21g)}$$

$$\iint_A \left(\frac{\tau_x^b}{\rho_0} \delta q_x \right) dA = \sum_{e \in A} \iint_e \left(\frac{\tau_x^b}{\rho_0} \delta q_x \right) dA^e = \sum_{e \in A} \left\{ \delta q_x^e \right\}^T \frac{1}{\rho_0} \left[M_h^e \right] \left\{ \tau_x^{be} \right\} \quad \text{.....(4.21h)}$$

$$\iint_A \left(F_{xx} \frac{\partial \delta q_x}{\partial x} \right) dA = \sum_{e \in A} \iint_e \left(F_{xx} \frac{\partial \delta q_x}{\partial x} \right) dA^e = \sum_{e \in A} \left\{ \delta q_x^e \right\}^T \frac{E_{xx} \bar{H}}{12 \Delta^e} \left[M_{bb}^e \right] \left\{ \bar{u}^e \right\} \quad \text{..(4.21i)}$$

$$\iint_A \left(F_{yx} \frac{\partial \delta q_x}{\partial x} \right) dA = \sum_{e \in A} \iint_e \left(F_{yx} \frac{\partial \delta q_x}{\partial x} \right) dA^e$$

$$= \sum_{e \in A} \left\{ \delta q_x^e \right\}^T \frac{E_{yx} \bar{H}}{24 \Delta^e} \left\{ \left[M_{cb}^e \right] \left\{ \bar{v}^e \right\} + \left[M_{cc}^e \right] \left\{ \bar{u}^e \right\} \right\} \quad \text{.....(4.21j)}$$

$$\int_{\partial A}\left(F_x'\delta q_x\right)dL=\sum_{\partial e\in\partial A}\int_{\partial e}\left(F_x'\delta q_x\right)dL^e=\sum_{\partial e\in\partial A}\left\{\delta q_x^e\right\}^T\int_{\partial e}\left\{N^e\right\}\left\{N^e\right\}^T\left\{F_x'\right\}dL^e$$

$$=\sum_{\partial e\in\partial A}\left\{\delta q_x^e\right\}^T\frac{L^e}{6}\begin{bmatrix}2&1\\1&2\end{bmatrix}\left\{F_x'^e\right\} \quad \text{....(4.21k)}$$

其中 $\bar{H}^e=\left(H_1^e+H_2^e+H_3^e\right)$ ， $\left(\bar{u},\bar{v}\right)=H^{-1}\left(q_x,q_y\right)$

$$\left[M_{bb}^e\right]=\begin{bmatrix}b_1^2&b_1b_2&b_1b_3\\b_2b_1&b_2^2&b_2b_3\\b_3b_1&b_3b_2&b_3^2\end{bmatrix} \quad \text{.....(4.22a)}$$

$$\left[M_{cb}^e\right]=\begin{bmatrix}c_1b_1&c_1b_2&c_1b_3\\c_2b_1&c_2b_2&c_2b_3\\c_3b_1&c_3b_2&c_3b_3\end{bmatrix} \quad \text{.....(4.22b)}$$

$$\left[M_{cc}^e\right]=\begin{bmatrix}c_1^2&c_1c_2&c_1c_3\\c_2c_1&c_2^2&c_2c_3\\c_3c_1&c_3c_2&c_3^2\end{bmatrix} \quad \text{.....(4.22c)}$$

同理，(4.11)式各項積分式之計算如下：

$$\iint_A\left(\frac{\partial q_y}{\partial t}\delta q_y\right)dA=\sum_{e\in A}\left\{\delta q_y^e\right\}^T\left[M_h^e\right]\frac{\partial\left\{q_y^e\right\}}{\partial t} \quad \text{.....(4.23a)}$$

$$\iint_A\left(\frac{\partial H^{-1}q_xq_y}{\partial x}\delta q_y\right)dA=\sum_{e\in A}\left\{\delta q_y^e\right\}^T\left[G_x^e\right]\left\{\hat{q}_{xy}^e\right\} \quad \text{.....(4.23b)}$$

$$\iint_A\left(\frac{\partial H^{-1}q_y^2}{\partial y}\delta q_y\right)dA=\sum_{e\in A}\left\{\delta q_y^e\right\}^T\left[G_y^e\right]\left\{\hat{q}_{yy}^e\right\} \quad \text{.....(4.23c)}$$

$$\iint_A\left(fq_x\delta q_y\right)dA=\sum_{e\in A}\left\{\delta q_y^e\right\}^T f\left[M_h^e\right]\left\{q_x^e\right\} \quad \text{.....(4.23d)}$$

$$\iint_A\left(\frac{H}{\rho_0}\frac{\partial p^S}{\partial y}\delta q_y\right)dA=\sum_{e\in A}\left\{\delta q_y^e\right\}^T\left[M_h^e\right]\left\{H^e\right\}\frac{\left(c_1p_1+c_2p_2+c_3p_3\right)}{2\rho_0\Delta^e} \quad \text{.....(4.23e)}$$

$$\iint_A\left(gH\frac{\partial\eta}{\partial y}\delta q_y\right)dA=\sum_{e\in A}\left\{\delta q_y^e\right\}^T\left[M_h^e\right]\left\{H^e\right\}\frac{g\left(c_1\eta_1^e+c_2\eta_2^e+c_3\eta_3^e\right)}{2\Delta^e} \quad \text{.....(4.23f)}$$

$$\iint_A \left(\frac{\tau_y^s}{\rho_0} \delta q_y \right) dA = \sum_{e \in A} \left\{ \delta q_y^e \right\}^T \frac{1}{\rho_0} \left[M_h^e \right] \left\{ \tau^{se}_y \right\} \quad \text{.....(4.23g)}$$

$$\iint_A \left(\frac{\tau_y^b}{\rho_0} \delta q_y \right) dA = \sum_{e \in A} \left\{ \delta q_y^e \right\}^T \frac{1}{\rho_0} \left[M_h^e \right] \left\{ \tau^{be}_y \right\} \quad \text{.....(4.23h)}$$

$$\iint_A \left(F_{yx} \frac{\partial \delta q_y}{\partial y} \right) dA = \sum_{e \in A} \left\{ \delta q_y^e \right\}^T \frac{E_{xy} \bar{H}}{24\Delta^e} \left\{ \left[M_{cb}^e \right] \left\{ \bar{u}^e \right\} + \left[M_{bb}^e \right] \left\{ \bar{v}^e \right\} \right\} \quad \text{.....(4.23i)}$$

$$\iint_A \left(F_{yy} \frac{\partial \delta q_y}{\partial y} \right) dA = \sum_{e \in A} \left\{ \delta q_y^e \right\}^T \frac{E_{yy} \bar{H}}{12\Delta^e} \left[M_{cc}^e \right] \left\{ \bar{v}^e \right\} \quad \text{.....(4.23j)}$$

$$\int_{\partial A} \left(F'_y \delta q_y \right) dL = \sum_{\partial e \in \partial A} \left\{ \delta q_y^e \right\}^T \frac{L^e}{6} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \left\{ F'^e_y \right\} \quad \text{.....(4.23k)}$$

將上述各項積分式分別代入(4.10)式及(4.11)式並且將其組合成一整體矩陣方程式如下：

$$\left[M_m \right] \frac{\partial \{q\}}{\partial t} + \left[G_m \right] \{q\} + \left[K_m \right] \{\eta\} + \{R_m\} = 0 \quad \text{.....(4.24)}$$

以上推導得知透過有限元素空間座標積分可以將原積分方程式(4.9)~(4.11)離散化成求解一階時間項常微分方程組(4.20)式及(4.24)式。

一般而言，求解上述一階時間項常微分方程組(4.20)式及(4.24)式之方法甚多，原則上以求解方法之精確性、穩定性及效率為主要考量因素。本研究採用時間分離(split-time)之前項差分方法求解(4.20)式及(4.24)式，有關求解之程序說明如下：

先將一階時間項常微分方程組(4.20)式及(4.24)式重組成

$$\left[M_h \right] \frac{\partial \{H\}}{\partial t} = \{P_h\} \quad \text{.....(4.25)}$$

$$\left[M_m \right] \frac{\partial \{q\}}{\partial t} = \{P_m\} \quad \text{.....(4.26)}$$

式中陣列$\{P_h\}$及$\{P_m\}$之元素通常為 H、q 及 t 之函數。

求解上時間項採用梯型法則計算且 H 及 q 分別在時間序列上交錯排列，即 H 及 q 分別在時間 $t_{n-½}$ 及 t_n (n = 1, 2, 3,….)上求解，則(4.25)式及(4.26)式可改寫成

$$[M_h]\left\{\{H\}_{n+\frac{1}{2}}-\{H\}_{n-\frac{1}{2}}\right\}=\Delta t\left\{P_h\left(\{H\}_{n-\frac{1}{2}},\{q\}_n,t_n\right)\right\} \quad \text{.....(4.27)}$$

$$[M_m]\left\{\{q\}_{n+1}-\{q\}_n\right\}=\Delta t\left\{P_m\left(\{H\}_{n+\frac{1}{2}},\{q\}_n,t_{n+\frac{1}{2}}\right)\right\} \quad \text{.....(4.28)}$$

或

$$\{H\}_{n+\frac{1}{2}}=\{H\}_{n-\frac{1}{2}}+\Delta t[M_h]^{-1}\left\{P_h\left(\{H\}_{n-\frac{1}{2}},\{q\}_n,t_n\right)\right\} \quad \text{.....(4.29)}$$

$$\{q\}_{n+1}=\{q\}_n+\Delta t[M_m]^{-1}\left\{P_m\left(\{H\}_{n+\frac{1}{2}},\{q\}_n,t_{n+\frac{1}{2}}\right)\right\} \quad \text{.....(4.30)}$$

因此當初始條件 $\{H\}_{n-\frac{1}{2}}$ 及 $\{q\}_n$ 已知時，可由(4.29)式直接求解 $\{H\}_{n+\frac{1}{2}}$，再由(4.30)式求解 $\{q\}_{n+1}$，然後重複上述步驟連續求解。

依據Connor and Wang (1974)研究結果指出上述求解方法之穩定性條件(stability condition)為

$$\Delta t<1.5\Delta t_{cr}=1.5\Delta s^*/U^* \quad \text{.....(4.31)}$$

式中 Δs^* 為代表性網格大小，$U^*=\sqrt{2gH}$ 。

有關渦動粘滯性係數之決定，Connor and Wang (1974)提出下列經驗公式，亦即

$$E_{xx}\sim ag(\tilde{\eta}/\tilde{u})\tilde{x} \quad \text{.....(4.32)}$$

式中 E_{xx} 為渦動粘滯性係數，其單位為 m^2/s，a 為無因次係數，其合理的範圍為 0.01~0.1 之間；g 為重力加速度，$\tilde{\eta}$ 為潮汐代表性潮差，$\tilde{u}$ 為潮流代表性流速，$\tilde{x}$ 為三角元素代表性邊界。

4.2 臺灣周圍海域暴潮模擬與探討

基於各港區小尺度近岸水動力模組模擬結果無法反映因氣壓變化引起的氣象潮或颱風引起的暴潮等水位變化現象，因此研究團隊乃於101 年度計畫規劃建置包含臺灣周圍海域模擬範圍(如圖 4.2 所示)的中尺度有限元素計算網格(如圖 4.3 所示)，並依據中央氣象局有限區域模式(NFS)預報之數值風速及氣壓場資料(如第二層 MC 風壓場)，配合前述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。本年度計畫將延續 101 年度計畫研究成果，除了針對臺灣周圍海域範圍暴潮模組之計算網格、邊界條件及模式參數率定等進行研究外，同時針對天文潮及暴潮等水位變化現象分別進行數值模擬，並探討颱風侵襲期間安平港域與高雄港域可能發生的暴潮水位偏差。

4.2.1 有限元素網格之修正

如圖 4.2 所示本計畫臺灣周圍海域暴潮模組之模擬範圍係以東經116.5º及 125º經線為模式之東、西邊界，以北緯 21º及 26.5º為模式之南、北邊界。數值計算網格之座標系統採用六度分帶投影座標系統，101 年度計畫初步建置的有限元素計算網格如圖 4.3 所示，圖中有限元素網格係由 6528 個節點及 12514 個三角形元素所組成。模式採用的水深資料係由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)所組成的，如圖 4.4 所示，圖中模式最大水深超過 9000 m，最小水深則小於 10.0 m。

針對中尺度臺灣周圍海域暴潮模組之數值計算網格改善研究，因本年度計畫主要研究對象為安平港及高雄港，故本計畫乃以鄰近安平港域及高雄港域之海岸為本年度優先改善目標。其中圖 4.5 所示為上年度計畫建置的數值計算網格(如圖 4.3 所示)在安平港海域至高雄港海域間三角形元素之配置情形，顯示除了在安平港北側海域三角形元素配置情形與海岸線現況略有出入外，另在網格解析度上，模式鄰近海岸線之海域元素大小仍有改善之需求。因此本年度計畫乃針對上述三角

形元素配置及大小修正問題，選取的數值計算網格修正及改善的範圍如圖 4.5 粗虛線之標示範圍；網格更新後三角形元素之配置情形，如圖 4.6 所示，其中安平港港口與高雄港港口附近元素大小之精度約可提昇至 1~2 km 左右。因此，本年度計畫重新產生的臺灣周圍海域暴潮模組有限元素計算網格(稱之為 2013 版網格)係由 6695 個節點及 12813 個三角形元素組成，如圖 4.7 所示。

4.2.2 邊界條件及初始條件

本計畫臺灣周圍海域暴潮模組模式之陸地邊界採用滑動邊界條件(即邊界節點垂直方向的流速等於零)，海域開放邊界則採用水位條件為模式之開放邊界條件。模式開放邊界條件之水位條件設定型態有二：(1)當模式模擬對象僅為暴潮引起的水位偏差(即所謂的暴潮偏差)時，模式開放邊界條件之水位值可由邊界上輸入氣壓差推估其水位變化量為

$$\eta = \eta_a(t) = \frac{\Delta P(t)}{\rho g} \quad \text{.....(4.33)}$$

(2)當模式模擬對象包含天文潮及氣象潮引起的水位變化時，模式開放邊界條件之水位值除了考慮上述氣壓差引起的水位抬昇(如 4.33 式)外，尚需考慮天文潮通過開放邊界時海面之水位變化量。

基於中尺度臺灣周圍海域暴潮模組其海域開放邊界並無潮汐觀測資料可供利用，因此本計畫採用 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)，建置中尺度臺灣周圍海域暴潮模組開放邊界之天文潮水位資料。如圖 4.8 所示分別為本計畫臺灣周圍海域暴潮模組以 NAO.99Jb 模式計算開放邊界上四個角落節點(參考圖 4.3 所示)每小時天文潮水位變化之資料，顯示在模式開放邊界鄰近大陸海岸處天文潮屬於半日潮型，在模式太平洋海上開放邊界處天文潮水位變化屬於混合潮型，另在模式西南角落開放邊界處天文潮位變化則呈現全日潮型態。

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。

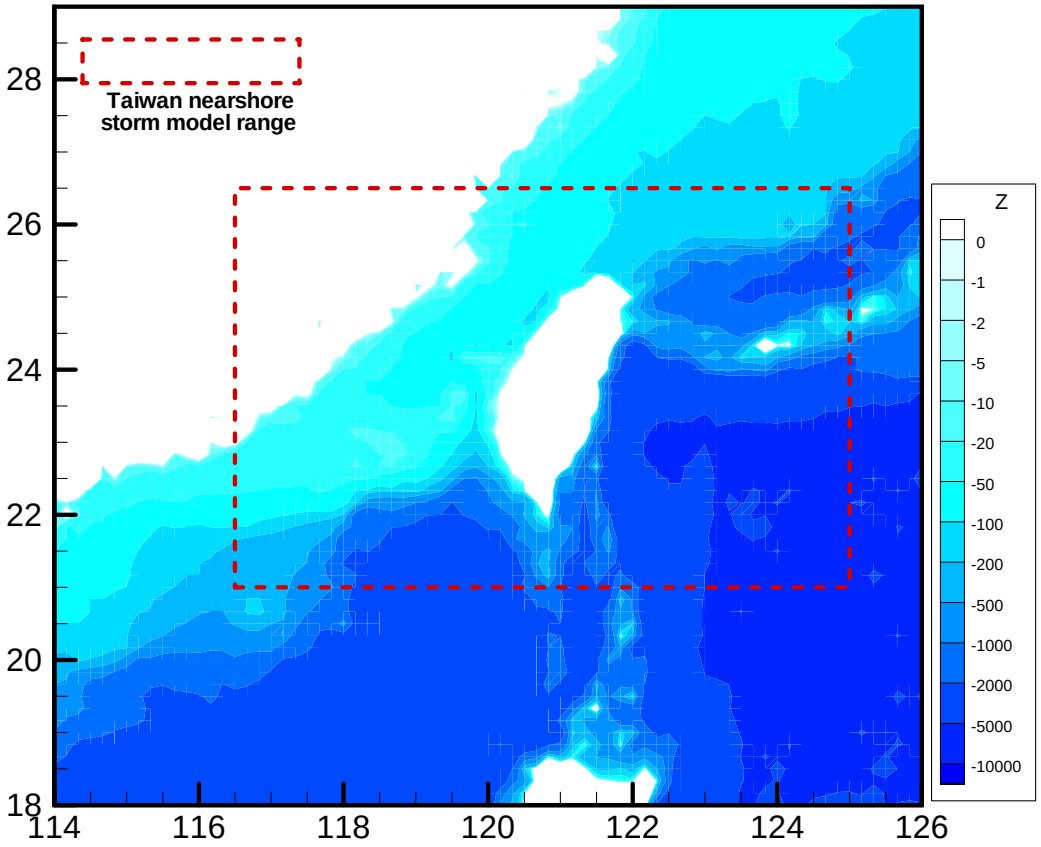


圖 4.2 臺灣周圍海域暴潮模組之模擬範圍

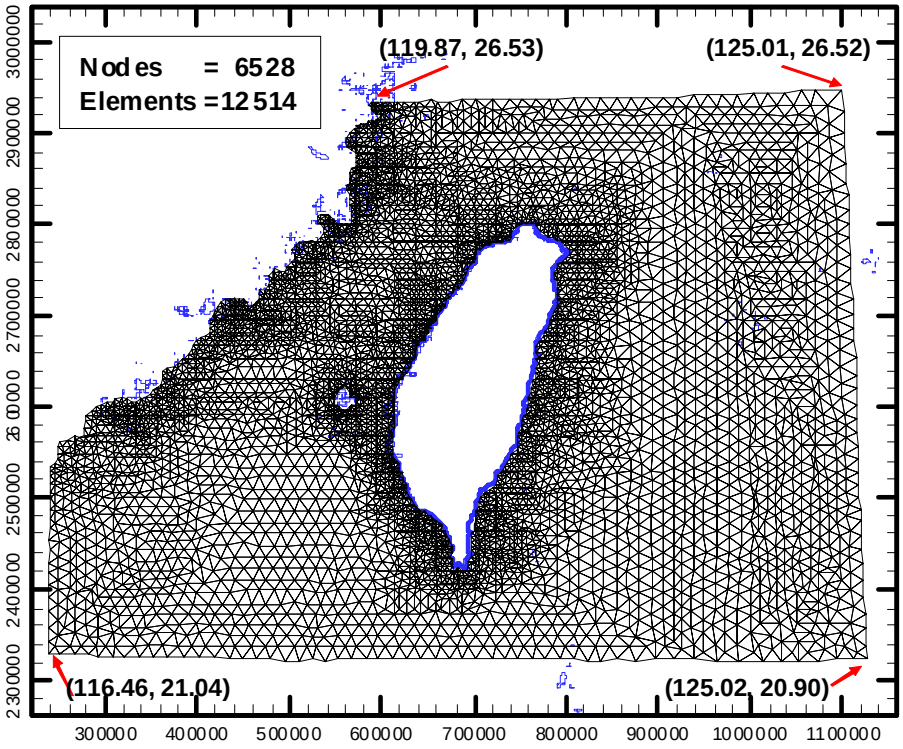


圖 4.3 臺灣周圍海域暴潮模組 2012 版網格三角形元素網格分布圖

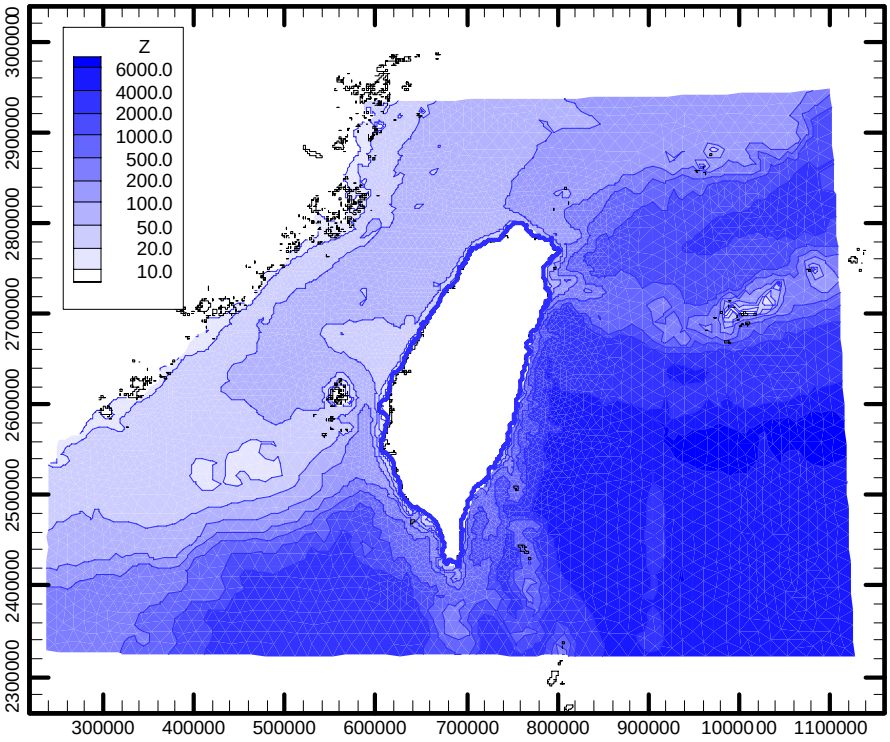


圖 4.4 臺灣周圍海域暴潮模組之地形水深分布圖

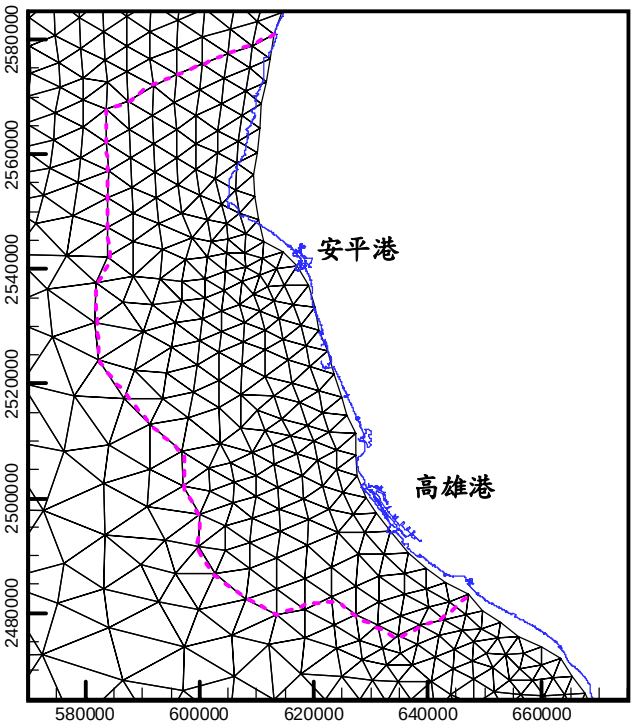


圖 4.5 模式網格修正前安平至高雄海域間三角形元素分布圖

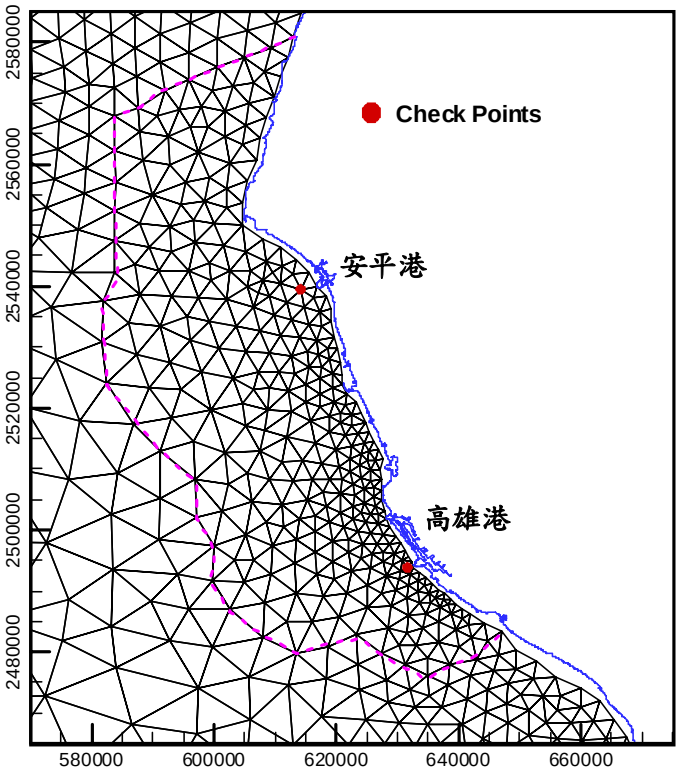


圖 4.6 模式網格修正後安平至高雄海域間三角形元素分布圖

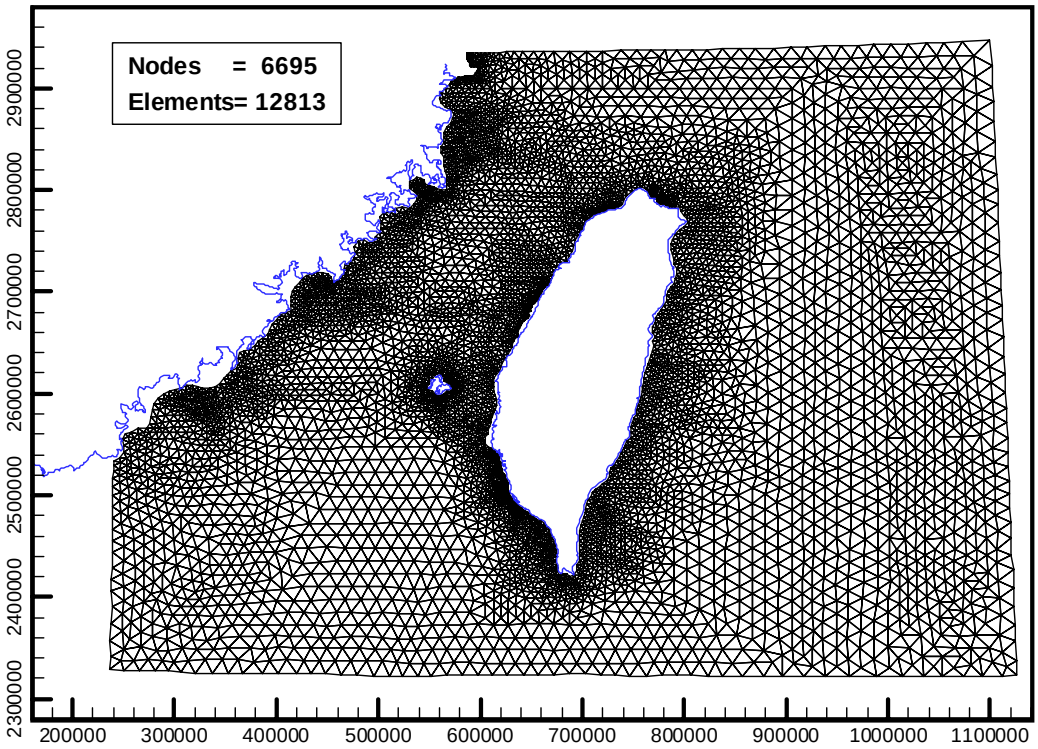


圖 4.7 臺灣周圍海域暴潮模組有限元素網格更新後三角形元素分布圖

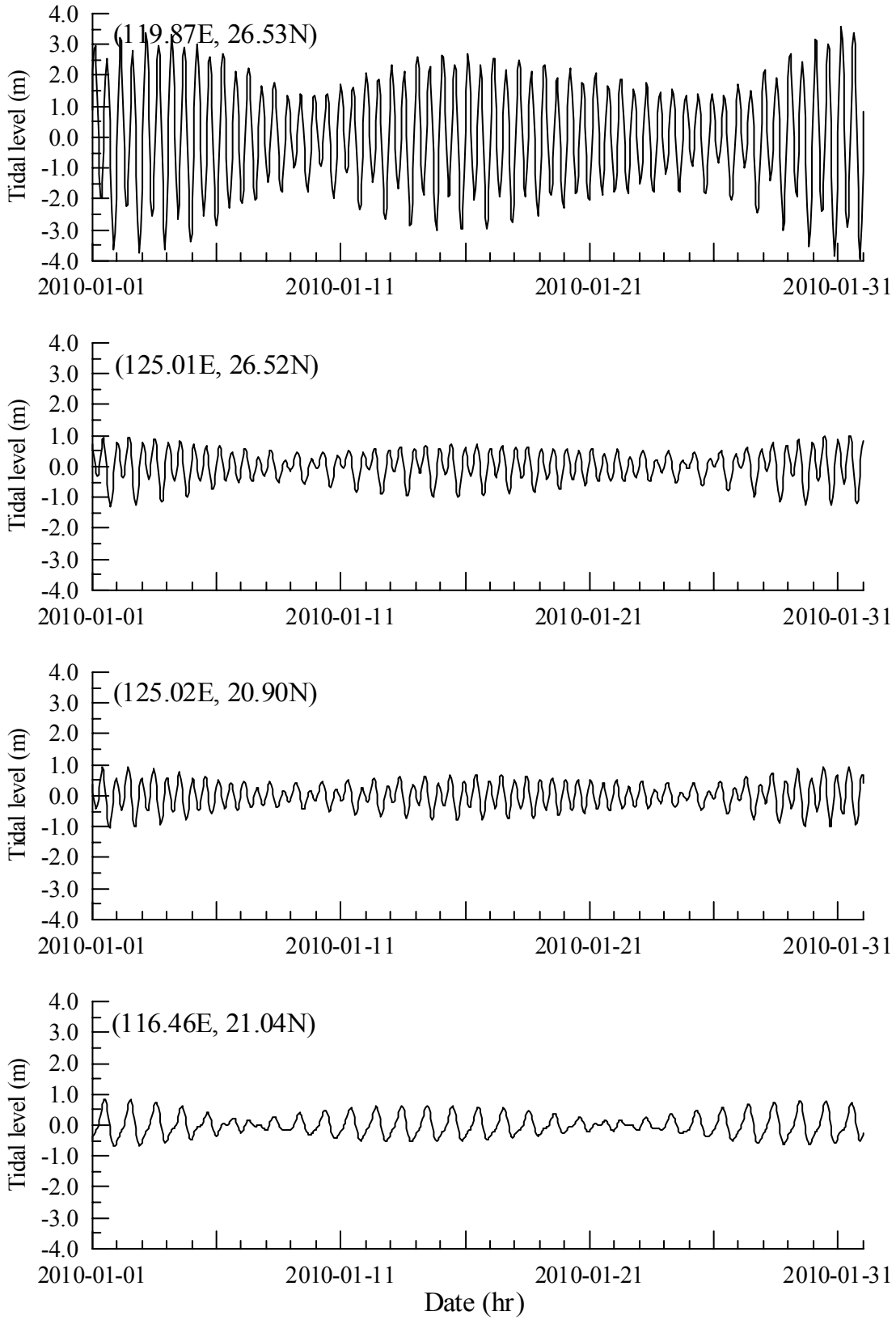


圖 4.8 臺灣周圍海域暴潮模組採用的天文潮邊界條件時序圖

4.2.3 模式物理參數率定

模式相關物理參數率定包括時間間距、底床摩擦係數及渦動粘滯性係數等，上述參數之率定值本計畫依據 101 年度臺灣周圍海域暴潮模組之模式參數率定結果說明如后。模式採用的時間間距$\triangle t$ = 2.0 sec 且滿足(4.31)式，模式選取曼寧係數 n = 0.022 計算底床摩擦係數值(惟部份元素之底床摩擦係數值則視模擬結果另以假設值修正)；渦動粘滯性係數本計畫利用上述(4.32)式選取無因次係數 a = 0.025，代表性潮差 $\tilde{\eta}$=1.20 m，潮流代表性流速為 0.5 m/s，計算各個元素代表性的渦動粘滯係數值。

4.2.4 天文潮位模擬結果驗証

本計畫依據上述更新之臺灣周圍海域暴潮模組進行臺灣周圍海域天文潮模擬與驗証，並選取安平港區及高雄港區天文潮位模擬結果分別與港區潮汐水位觀測資料及 TaiCOMS 中尺度天文潮模式作業化模擬結果進行比較。相關比較結果說明如下：

(1) 臺灣周圍海域暴潮模組更新前、後版本模擬結果之比較：本研究選取安平港區及高雄港區天文潮位模擬結果進行比較，如圖 4.9 及圖 4.10 所示；顯示中尺度水動力模組更新前(2012 年版)安平港區天文潮位模擬結果有明顯偏大之現象，高雄港區天文潮位模擬結果則無明顯的偏差現象。

(2) 臺灣周圍海域暴潮模組更新後版本模擬結果與觀測資料之比較，如圖 4.11 及圖 4.12 所示；整體而言，本年度安平港區及高雄港天文潮水位模擬值與觀測資料之間，就變化趨勢而言，二者具有高度的一致性，僅部份(或少數)時段出現模擬值與觀測值不一致現象，其中以高雄港水位比較結果之誤差較為明顯。

(3) 臺灣周圍海域暴潮模組更新後版本與現況 TaiCOMS 作業化模擬結果之比較，如圖 4.13 及圖 4.14 所示，顯示二者模擬結果有顯著的差異存在。探其差異原因除了網格解析度因素外，另一因素可能是現況 TaiCOMS 中尺度水動力模組作業化模擬結果包含了數值風壓場引

起的水位變化量，而本計畫上述天文潮模擬結果尚未考慮數值風壓場引起的水位變化量。

本計畫陸續完成 2012 年 1 月至 2013 年 12 月中尺度臺灣周圍海域天文潮水位模擬，並將每小時整點之模擬結果儲存成檔案，供本計畫後續有關數值模擬結果分析及應用之需。此外，本計畫選取時間 2012 年 8 月 2 日零時至 12 時之逐時模擬結果(相當於大潮期間)繪出等水位分布情形，如圖 4.15 所示，由逐時等水位分布變化情形可顯示出天文潮潮波同時由臺灣本島南北兩端分別沿著西南及西北部海岸往臺灣海峽傳播之特性。

有關本計畫中尺度臺灣周圍海域天文潮水位模擬結果之應用，包括提供各港口潮時預測資訊以及各港口小尺度水動力模組所需水位邊界條件等。

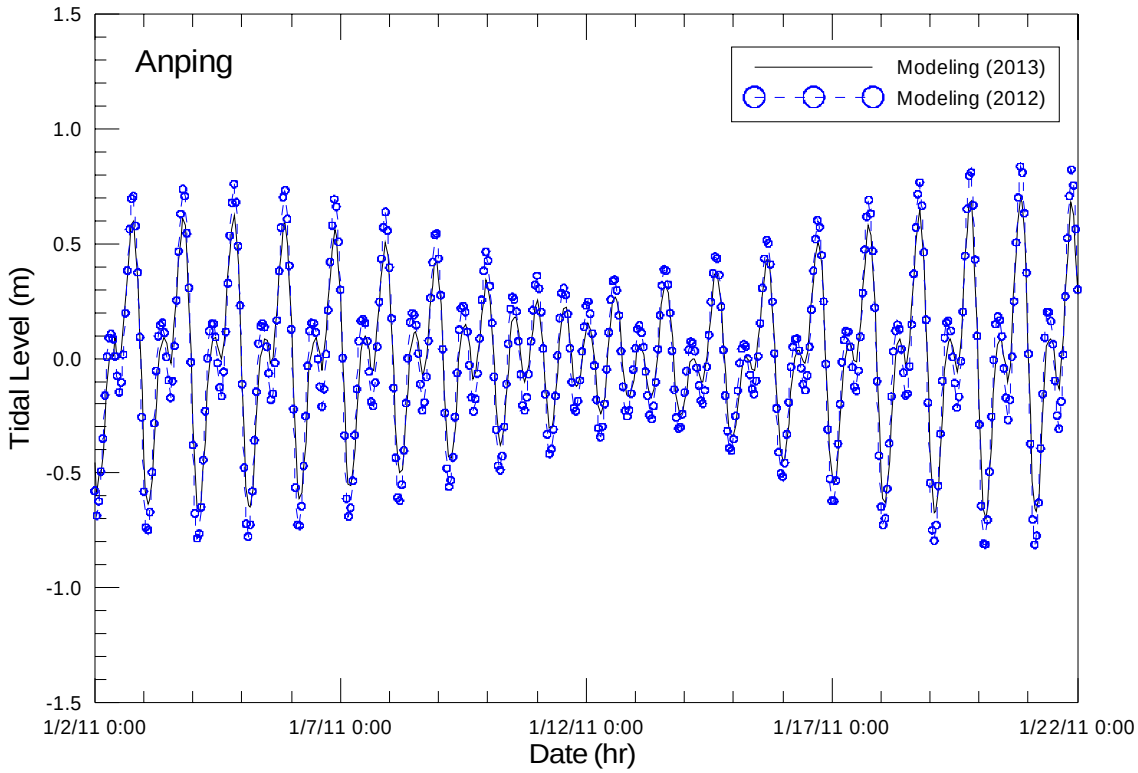


圖 4.9 安平港區天文潮位模式模擬結果之比較圖

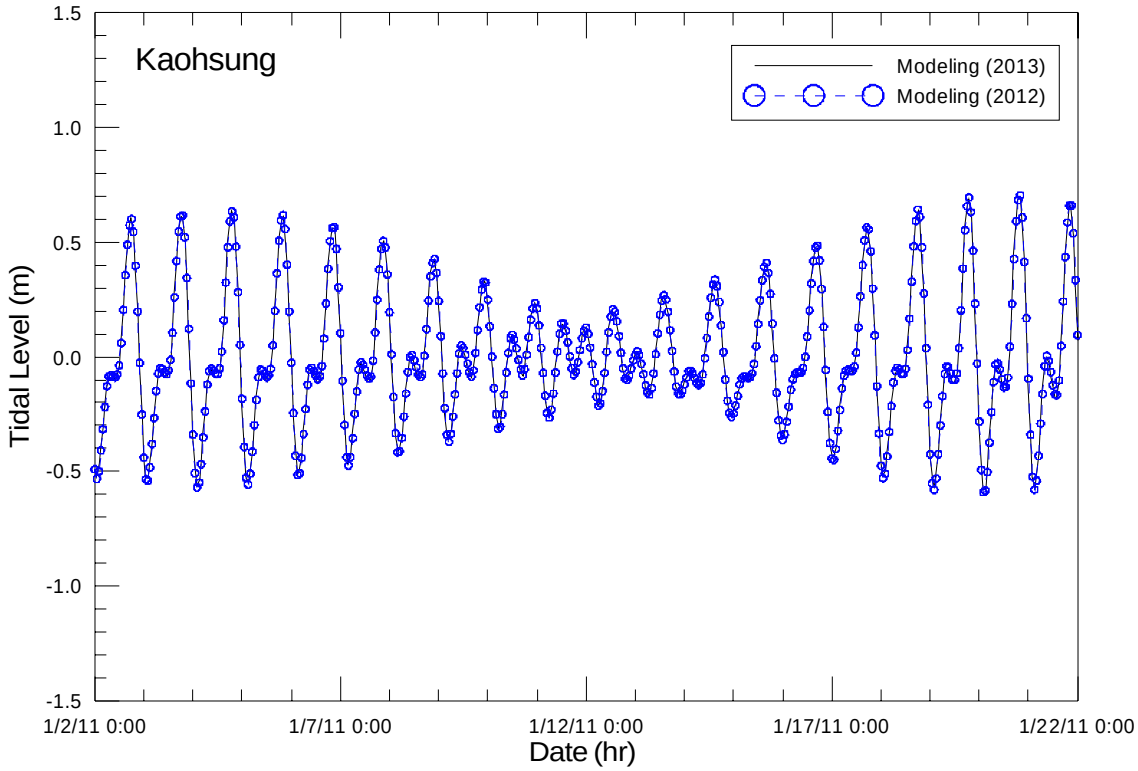


圖 4.10 高雄港區天文潮位模式模擬結果之比較圖

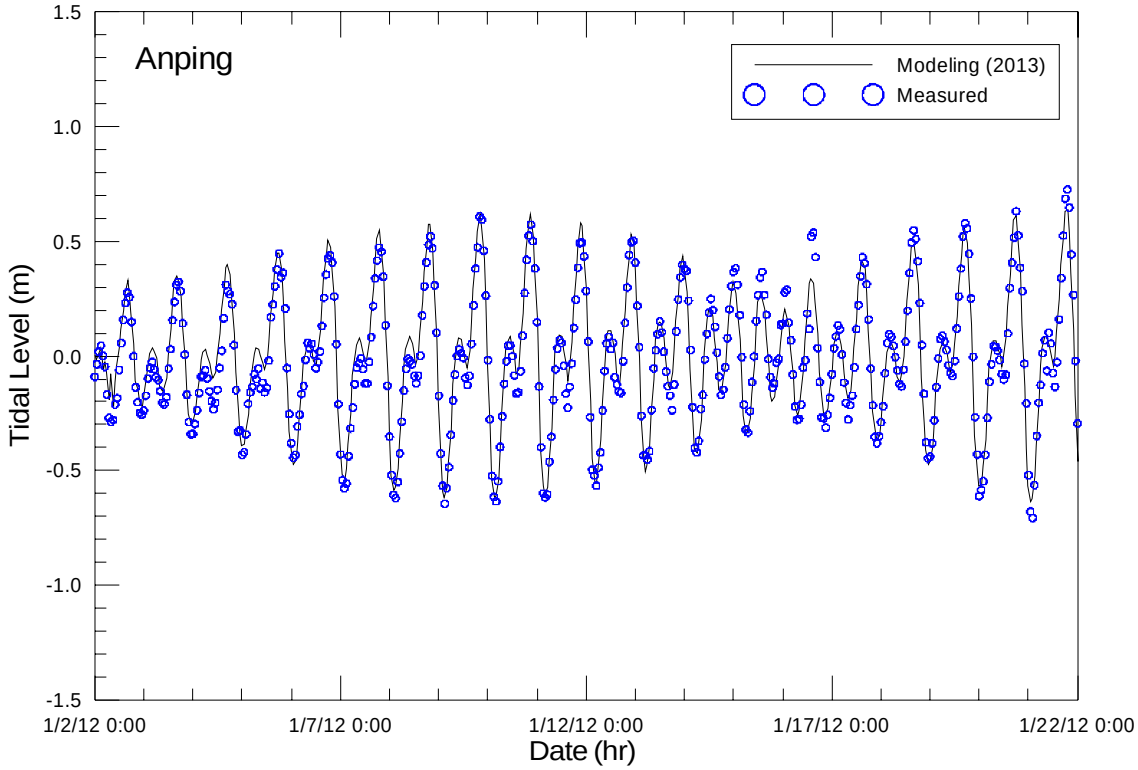


圖 4.11 安平港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖

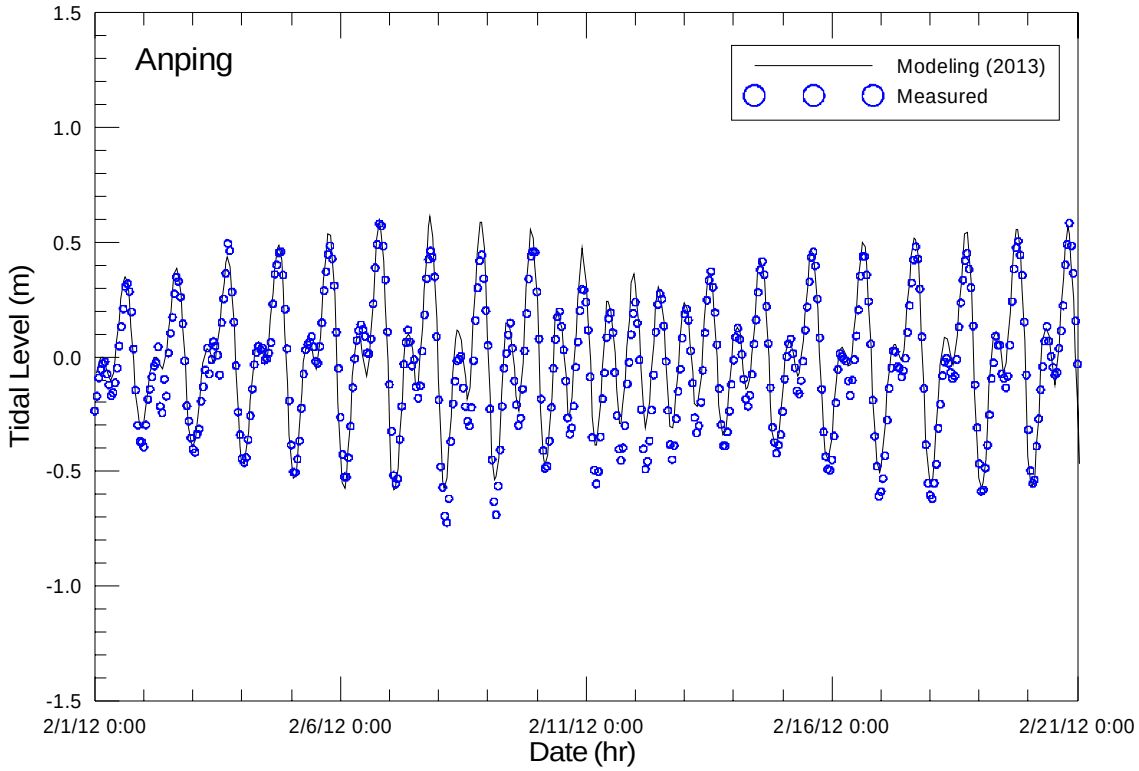


圖 4.11 (續 1)安平港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖

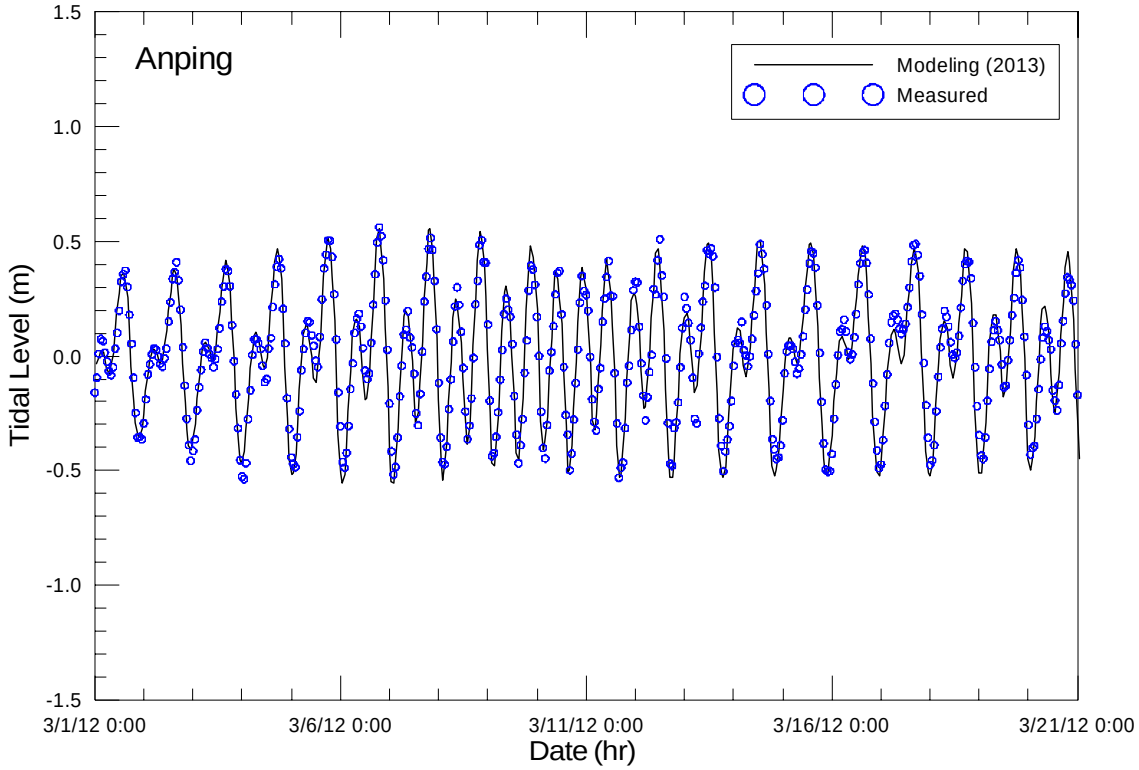


圖 4.11 (續 2)安平港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖

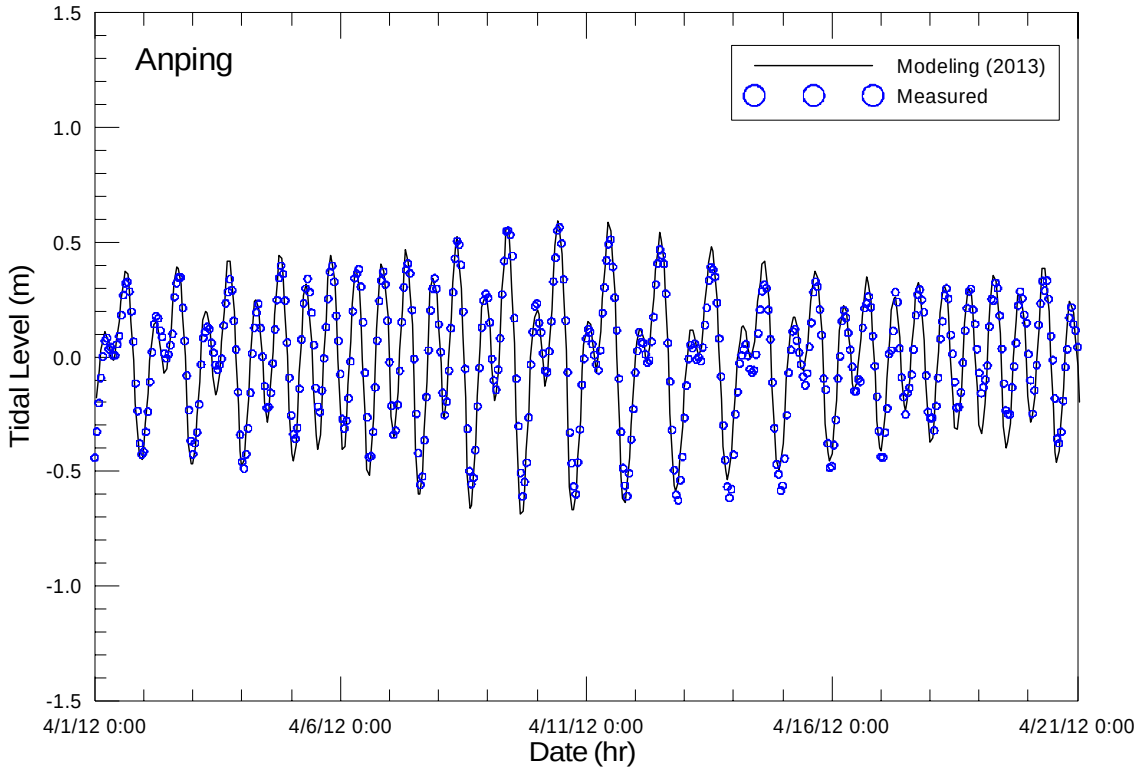


圖 4.11 (續 3)安平港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖

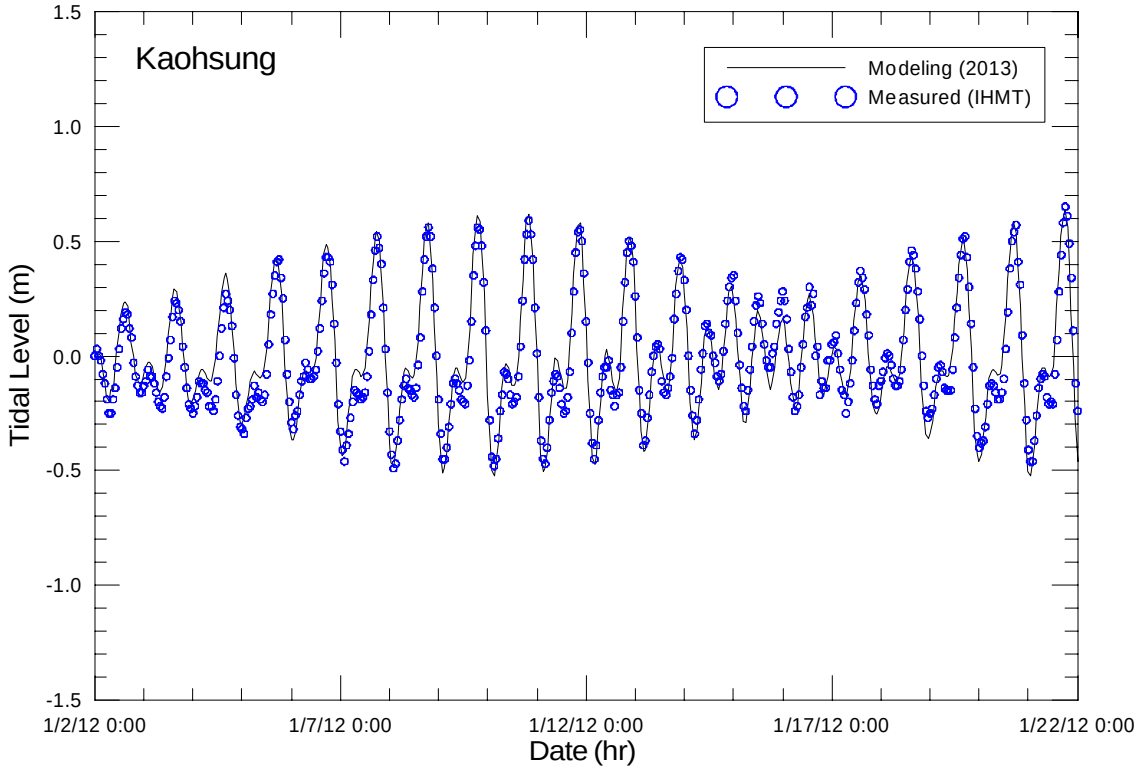


圖 4.12 高雄港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖

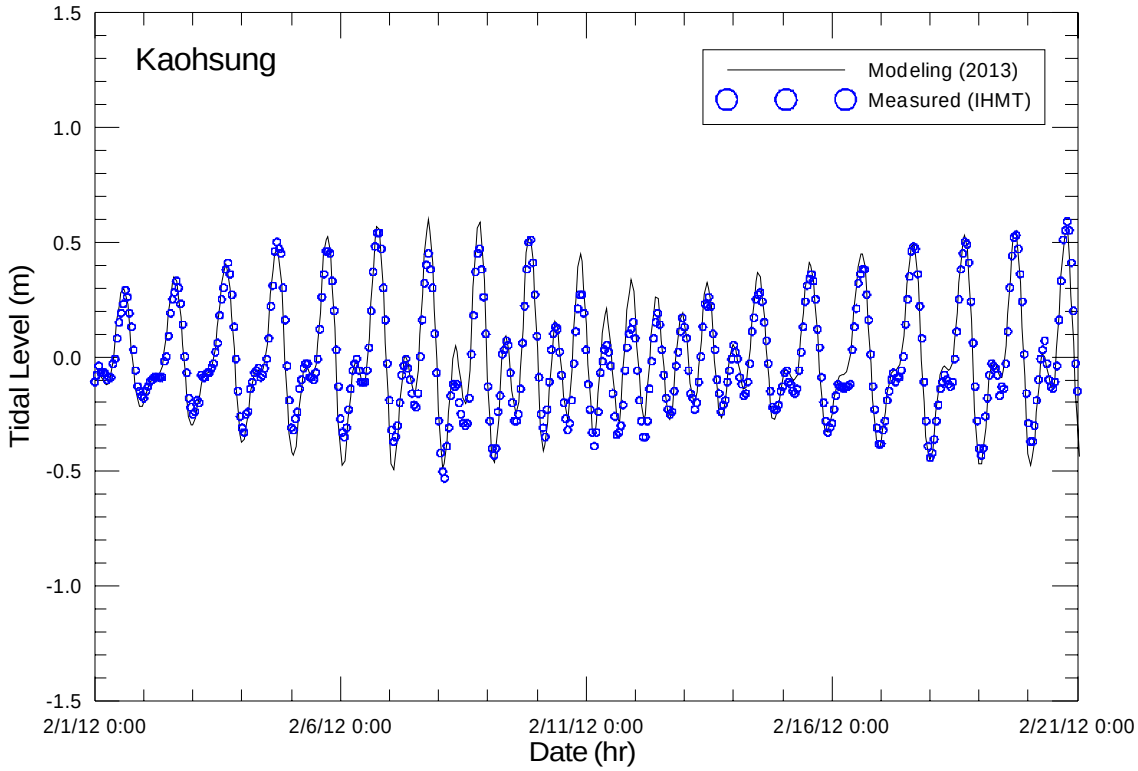


圖 4.12 (續 1)高雄港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖

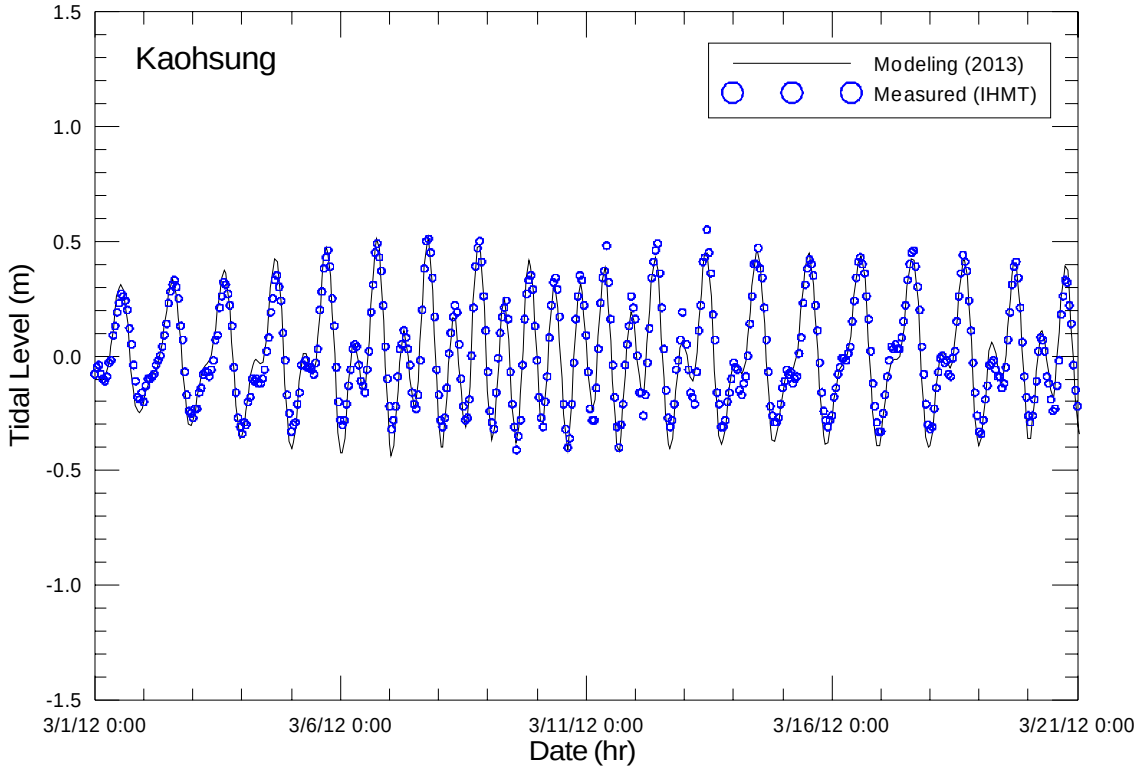


圖 4.12 (續 2)高雄港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖

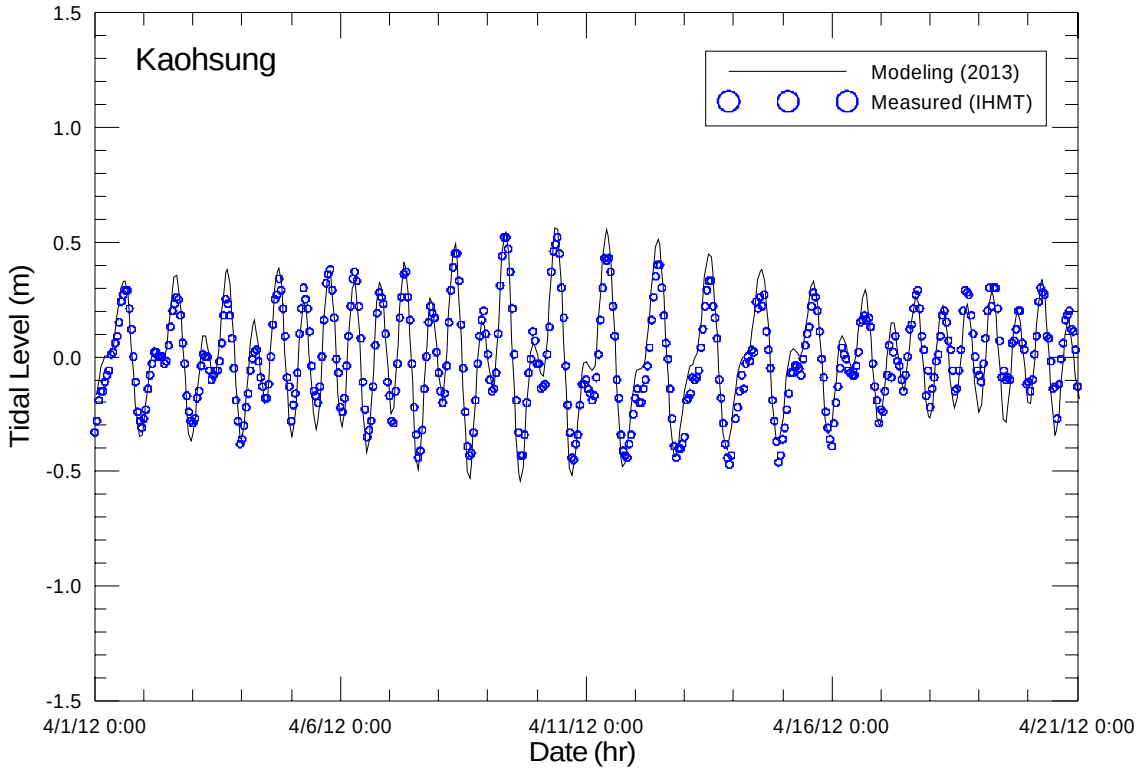


圖 4.12 (續 3)高雄港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖

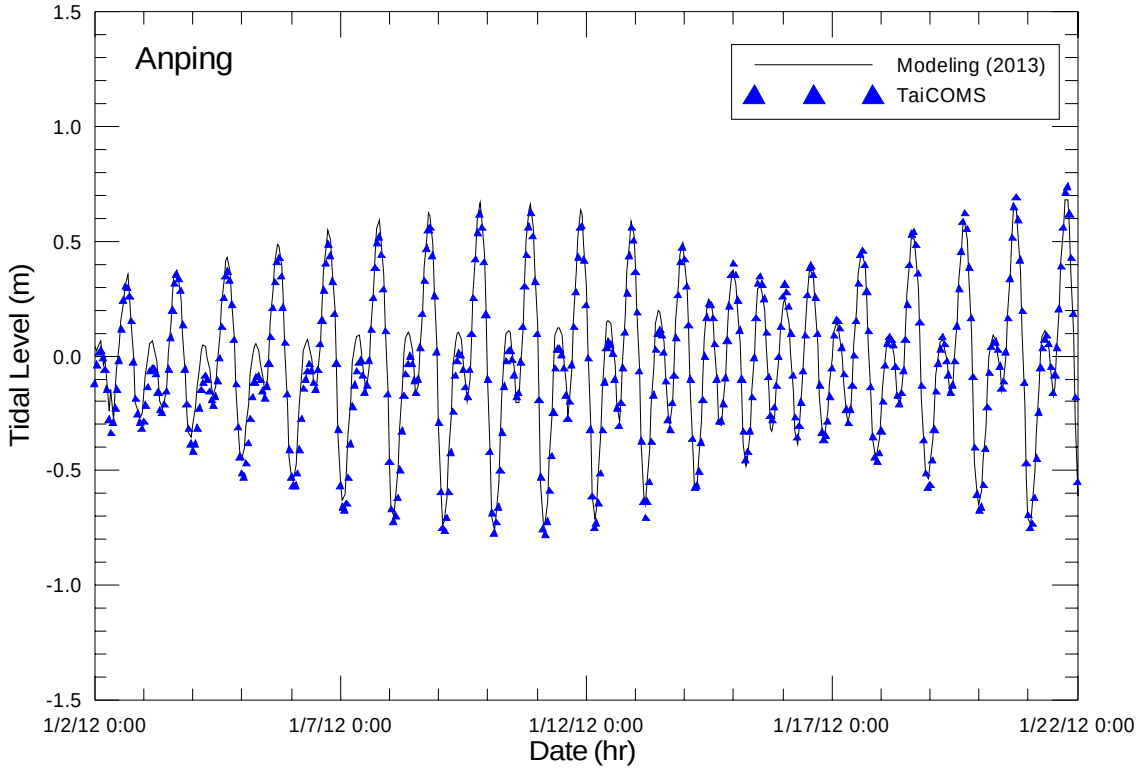


圖 4.13 安平港區天文潮位模擬值與 TaiCOMS 模擬值之比較圖

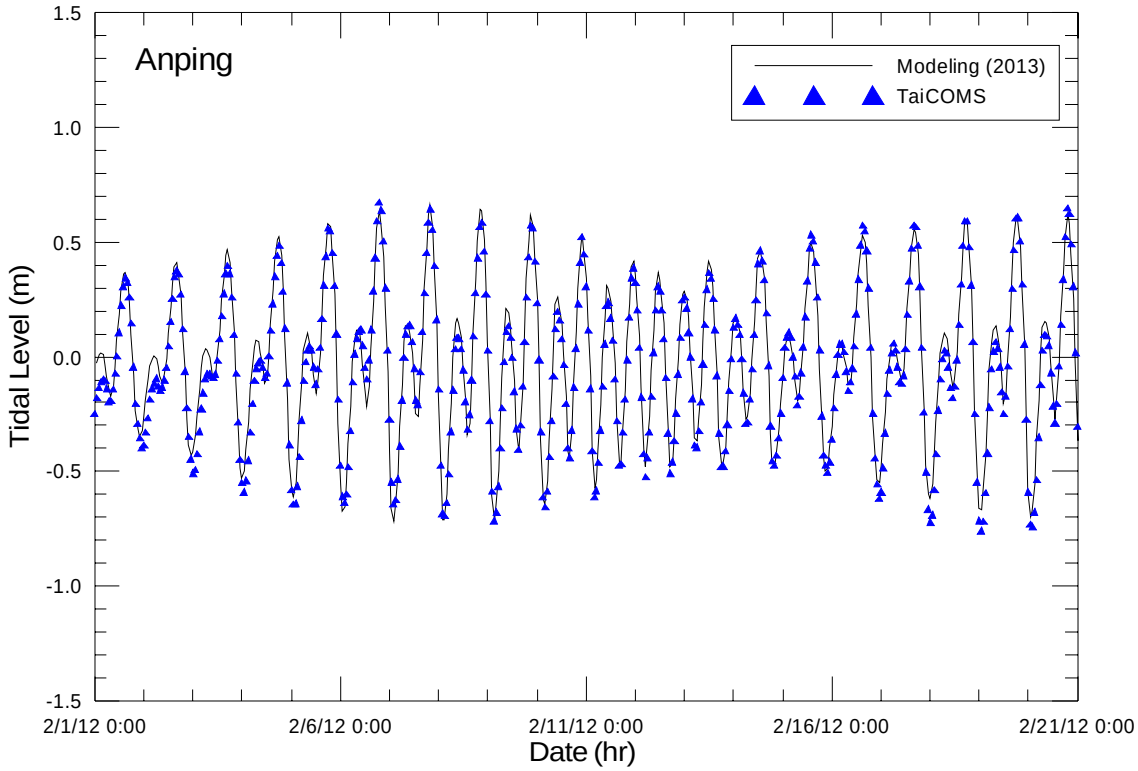


圖 4.13 (續 1)安平港區天文潮位模擬值與 TaiCOMS 模擬值之比較圖

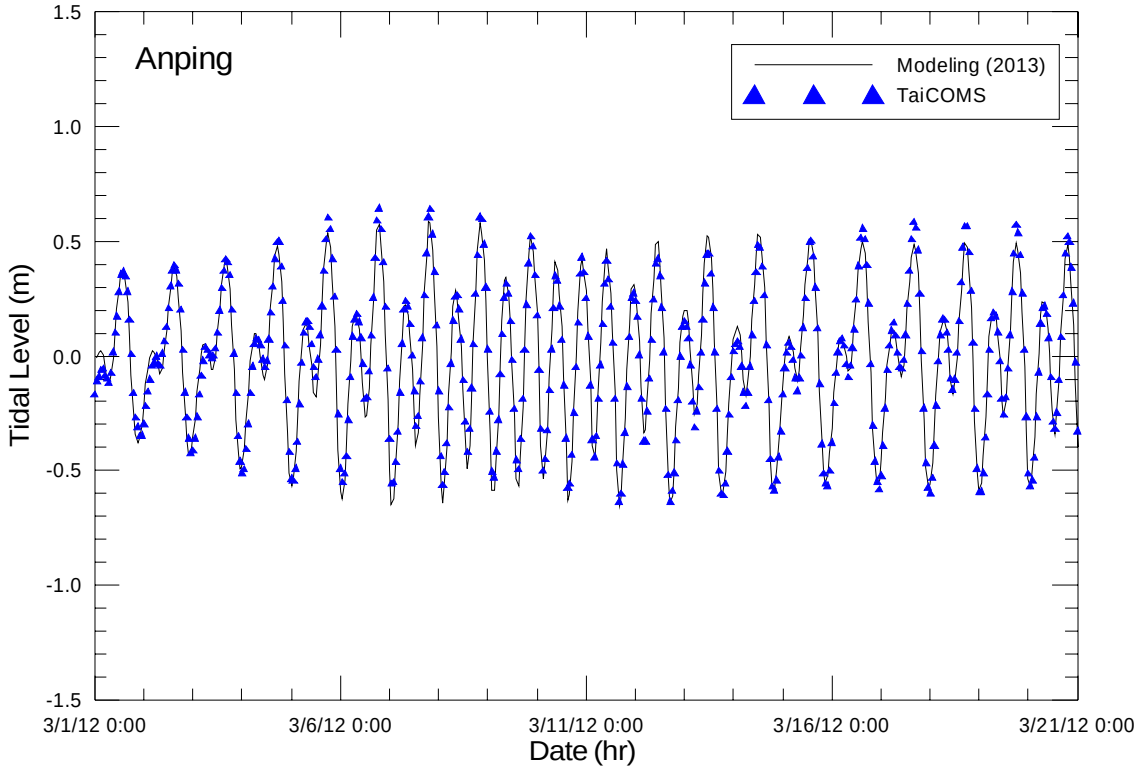


圖 4.13 (續 2)安平港區天文潮位模擬值與 TaiCOMS 模擬值之比較圖

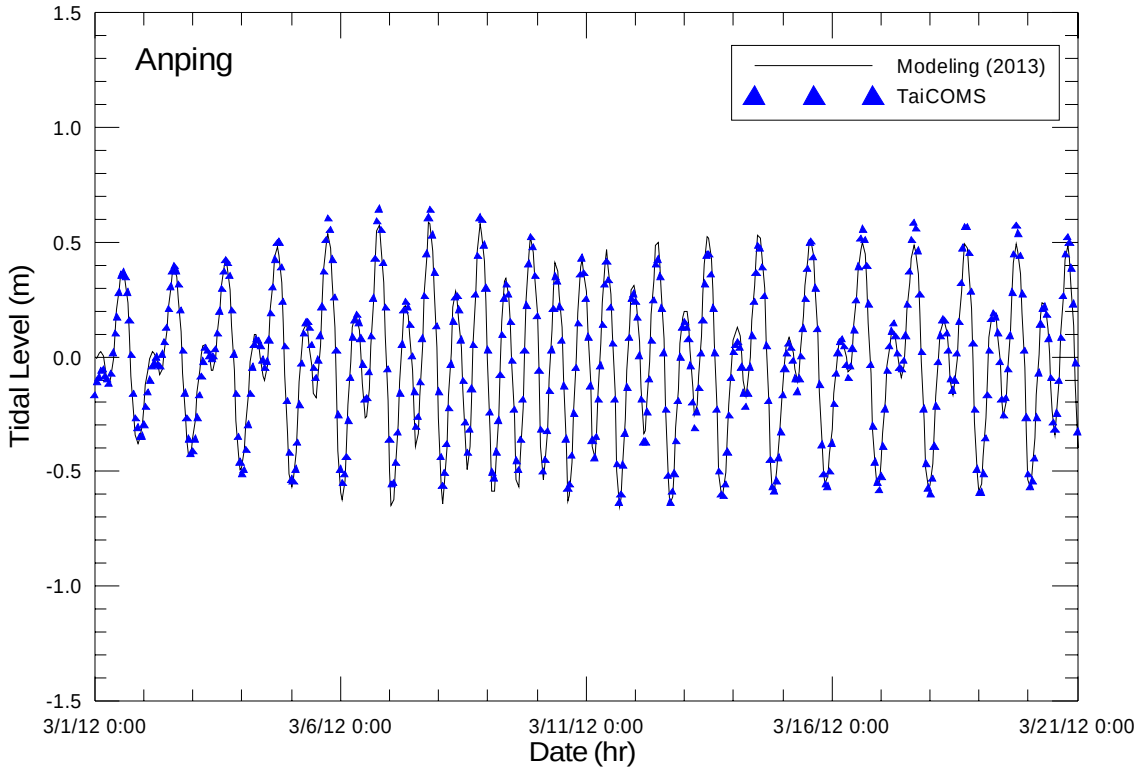


圖 4.13 (續 3)安平港區天文潮位模擬值與 TaiCOMS 模擬值之比較圖

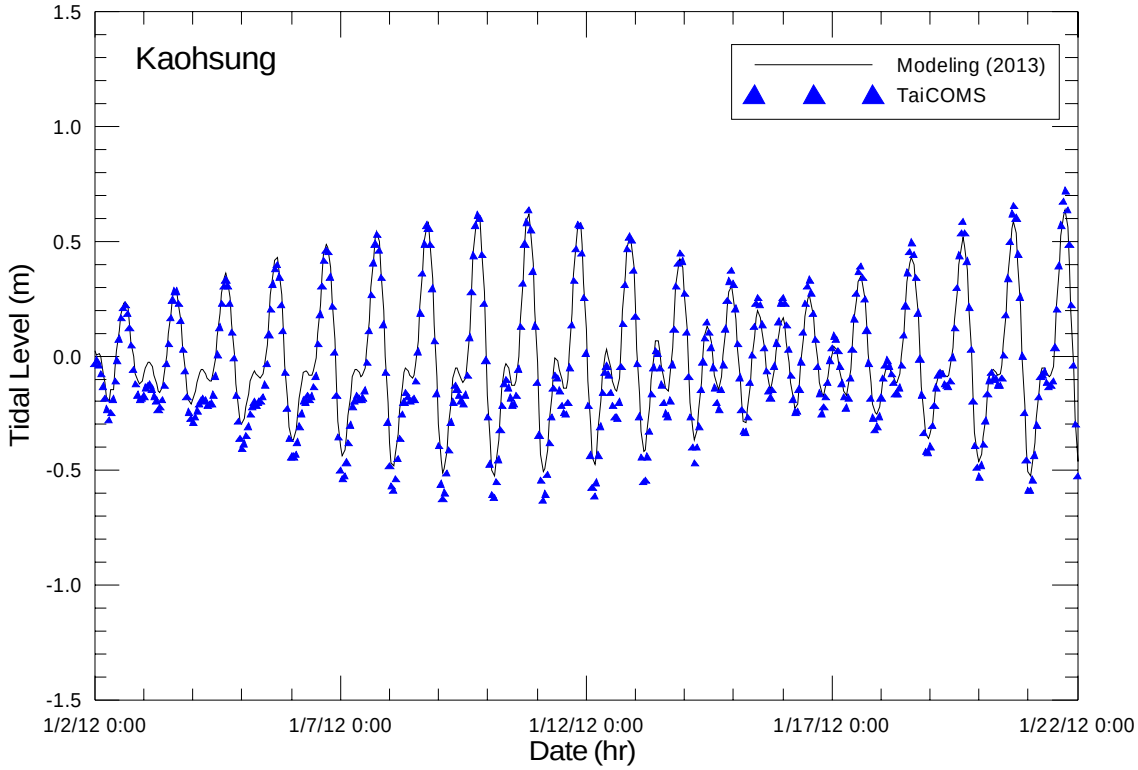


圖 4.14 高雄港區天文潮位模擬值與 TaiCOMS 模擬值之比較圖

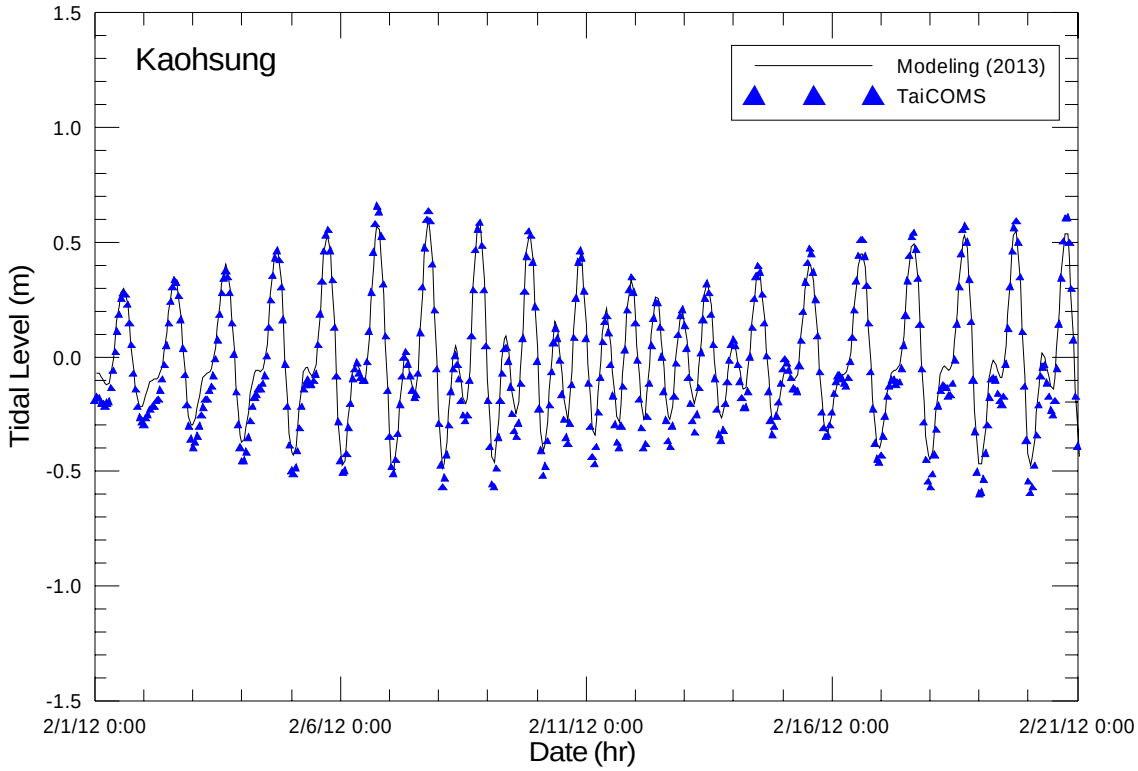


圖 4.14 (續 1)高雄港區天文潮位模擬值與 TaiCOMS 模擬值之比較圖

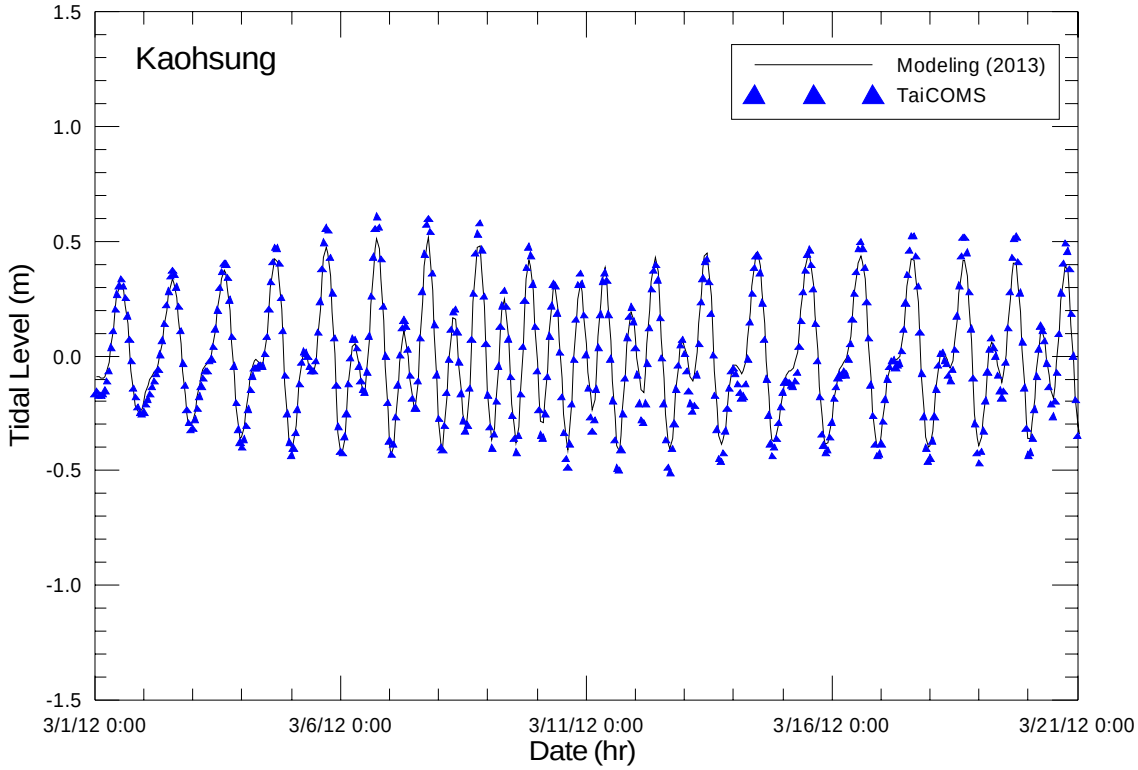


圖 4.14 (續 2)高雄港區天文潮位模擬值與 TaiCOMS 模擬值之比較圖

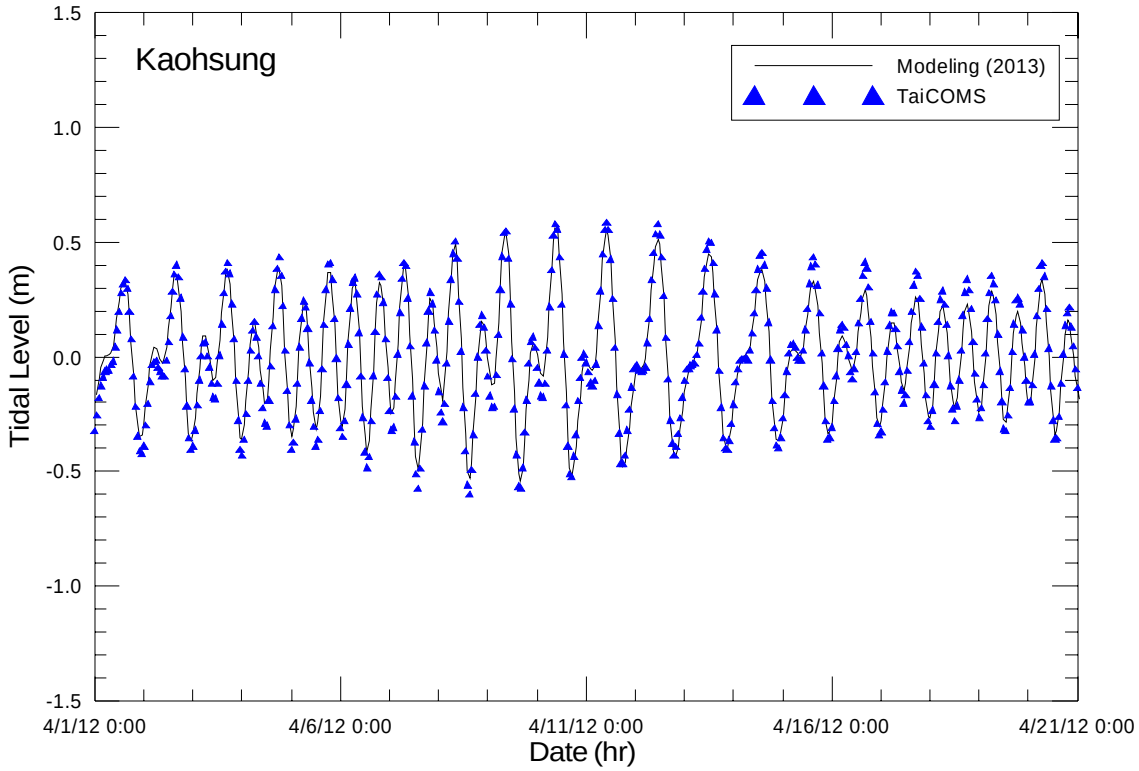


圖 4.14 (續 3)高雄港區天文潮位模擬值與 TaiCOMS 模擬值之比較圖

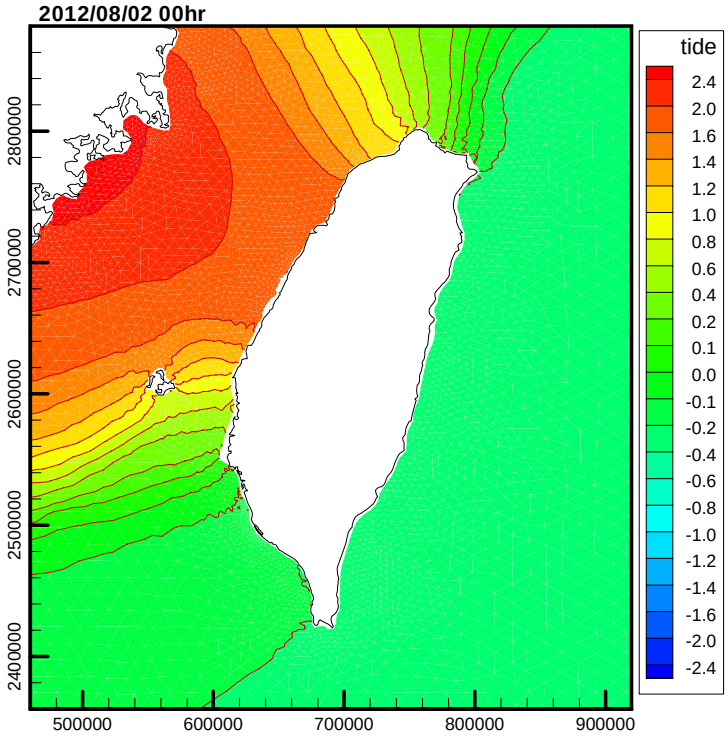


圖 4.15 臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖

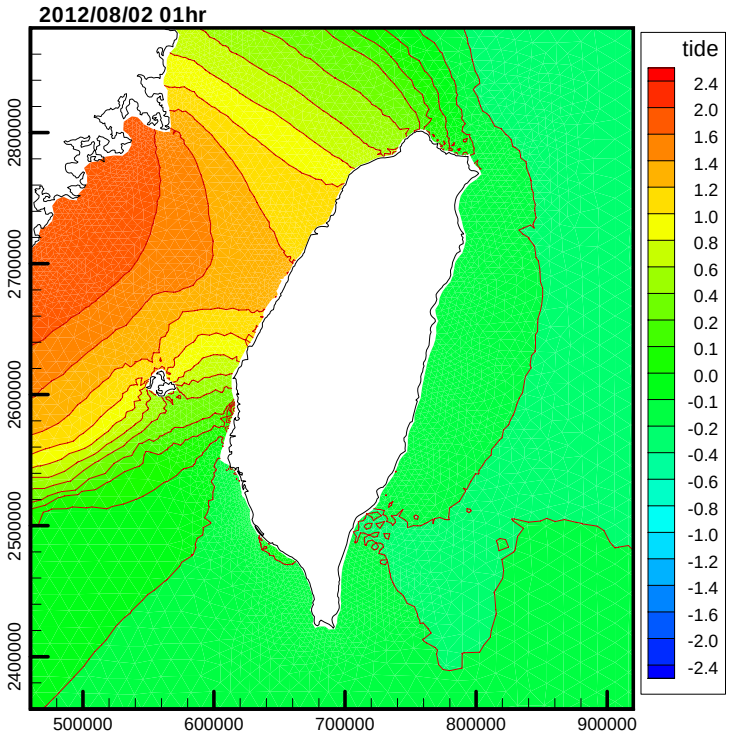


圖 4.15 (續 1)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖

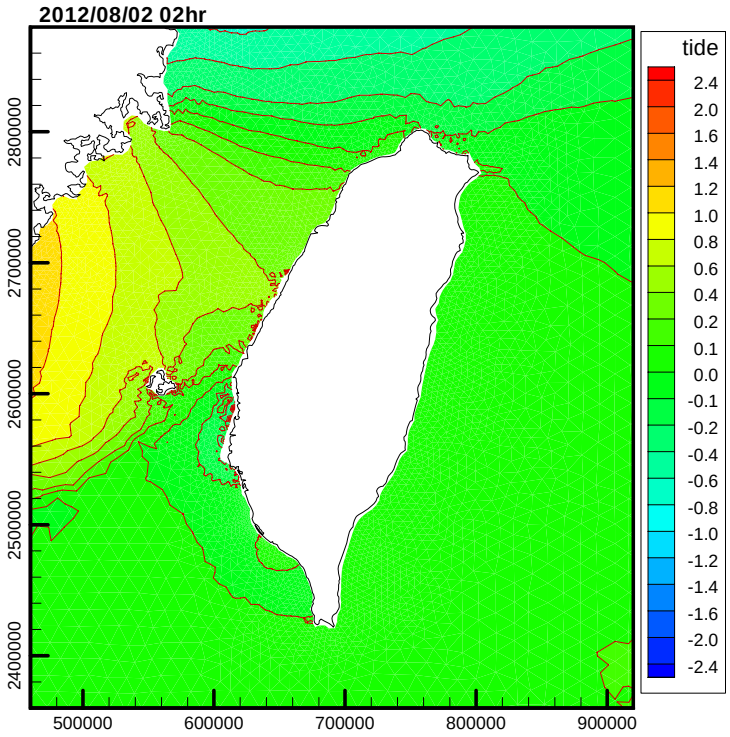


圖 4.15 (續 2)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖

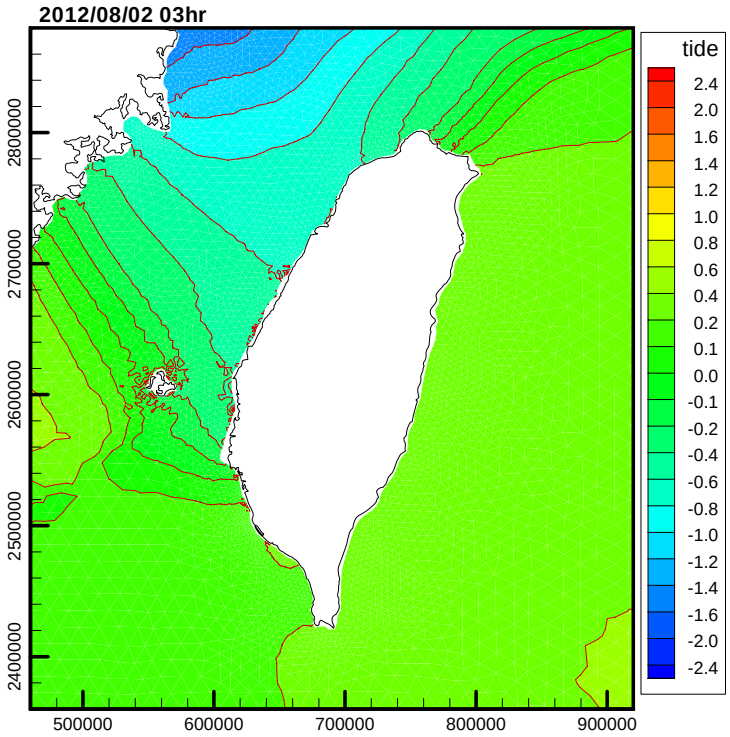


圖 4.15 (續 3)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖

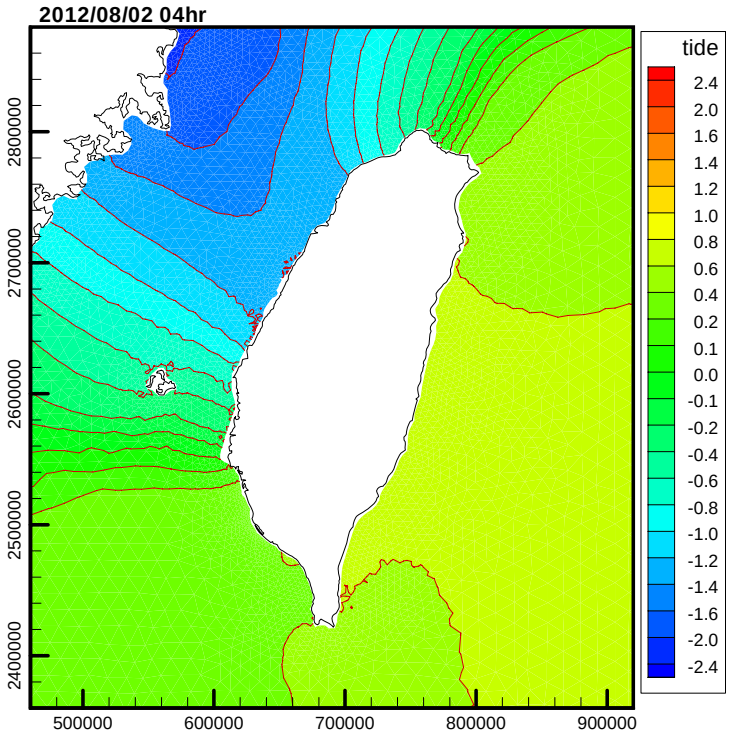


圖 4.15 (續 4)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖

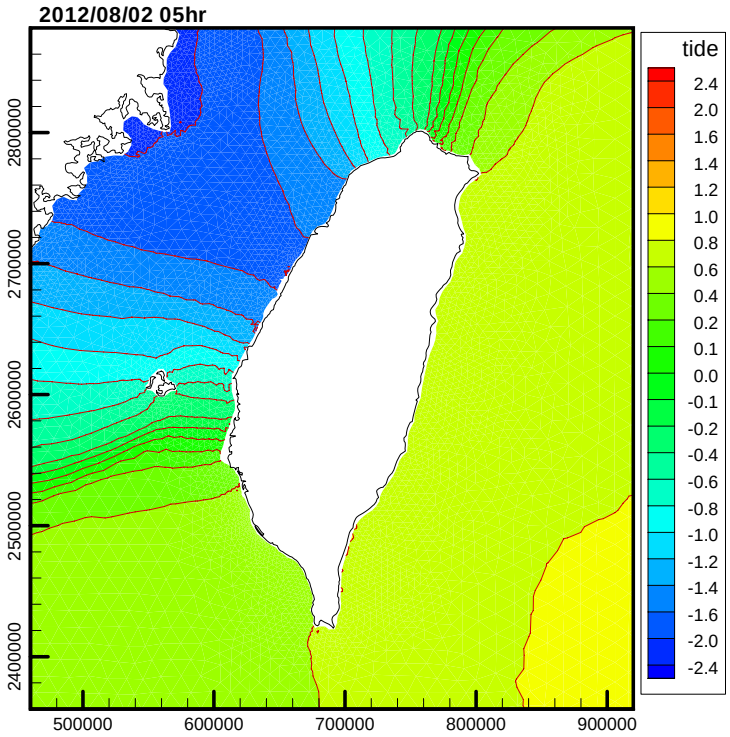


圖 4.15 (續 5)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖

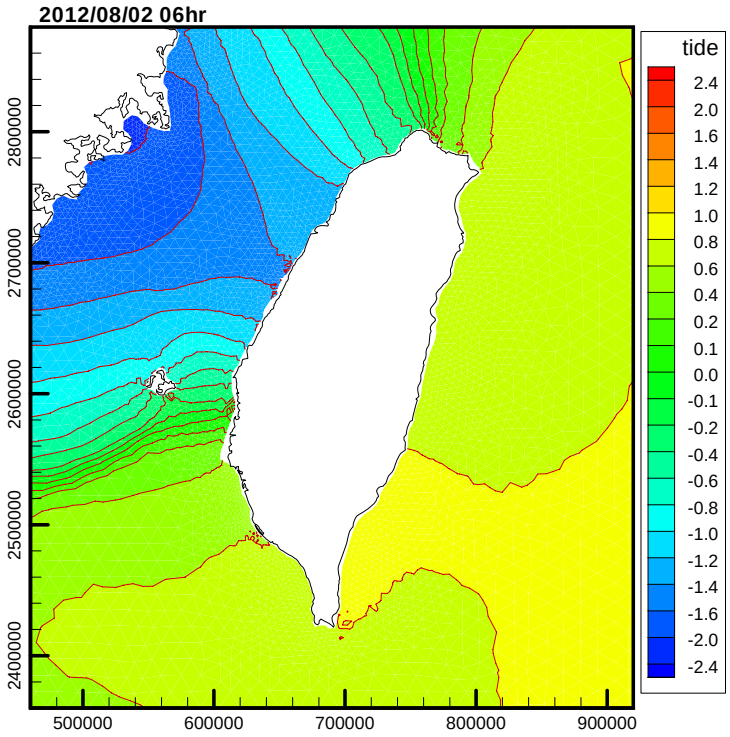


圖 4.15 (續 6)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖

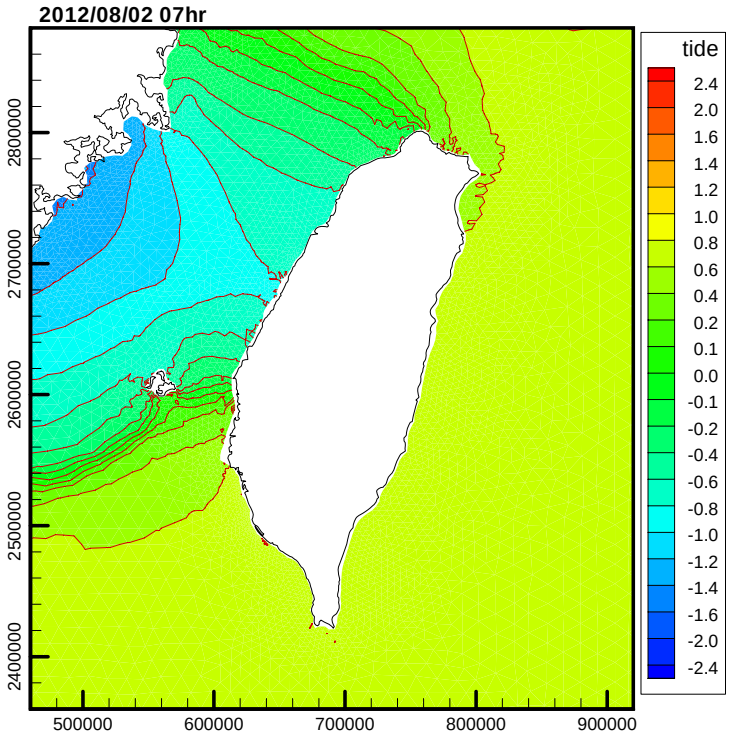


圖 4.15 (續 7)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖

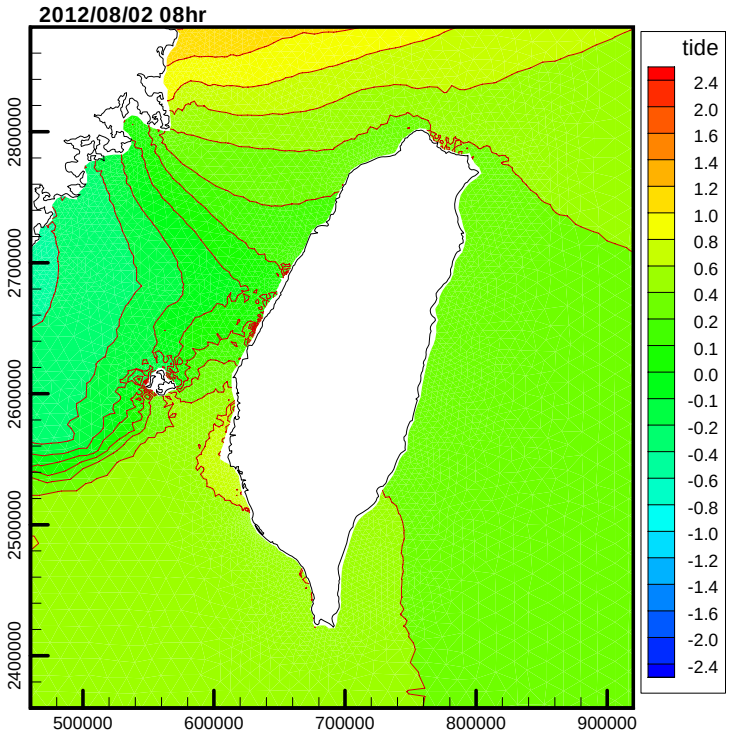


圖 4.15 (續 8)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖

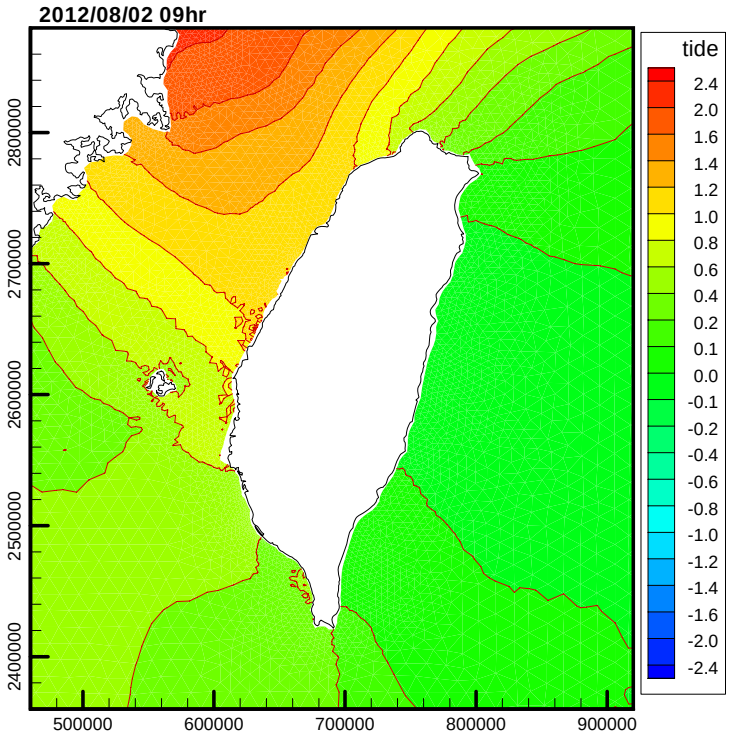


圖 4.15 (續 9)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖

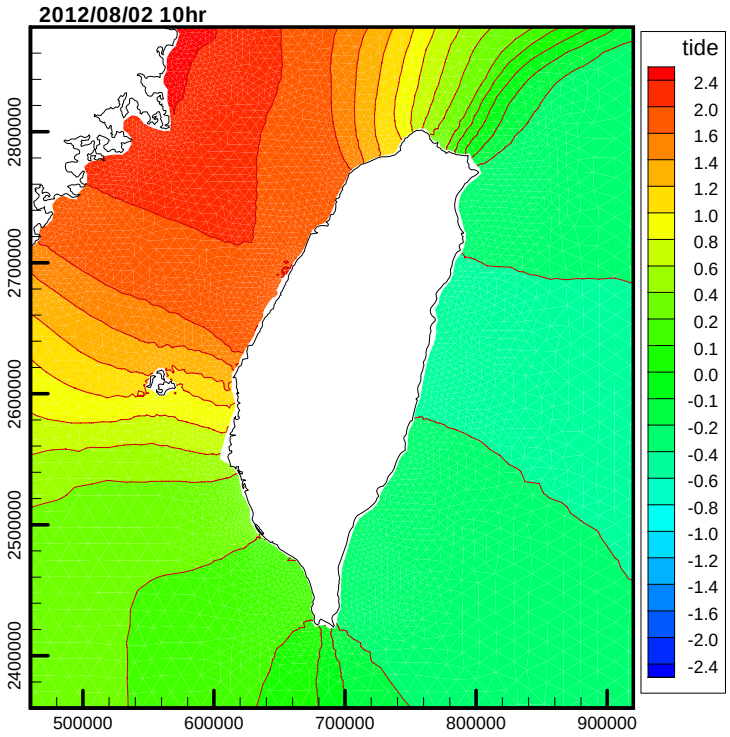


圖 4.15 (續 10)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖

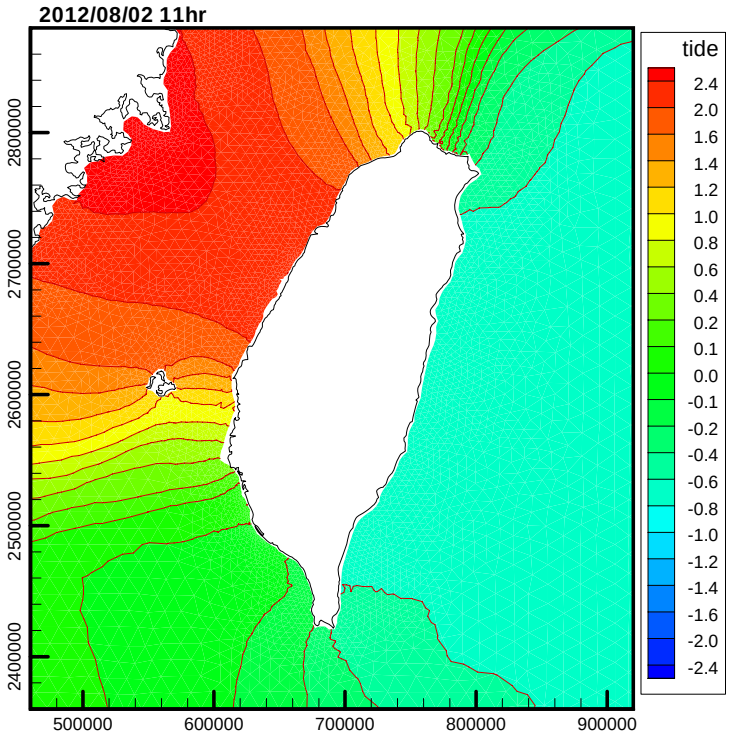


圖 4.15 (續 11)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖

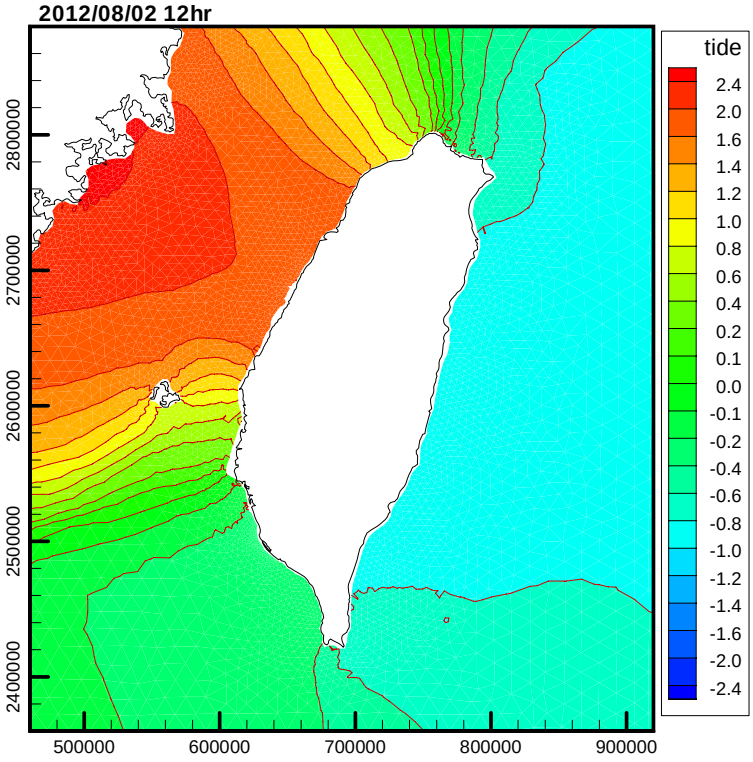


圖 4.15 (續 12)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖

4.2.5 颱風期間水位模擬結果

颱風實為威脅臺灣陸地及其周圍海域最嚴重之自然災害，每當颱風侵襲臺灣地區時，其挾帶的強風及豪雨不僅威脅陸地上人民生命及財產安全外，在臺灣周圍海域海面上伴隨颱風引起的風場及氣壓場變化更會對廣大海域之波浪、海流及水位等產生巨大影響，進而危及臺灣周圍海面航行安全及影響各港口之營運。因此有關颱風暴潮模擬長期為本計畫重要課題之一。

由於颱風期間發生的暴潮水位變化同屬於因氣壓變化及風場引起的水位變化(或稱為氣象潮)，因此本年度計畫參考 TaiCOMS 及其作業化需求，規劃利用中央氣象局提供的 NFS 模式之數值預報風壓場資料(如 MC 風壓場)，以及前述利用 NAO.99Jb 模式建置模式開放邊界節點之水位資料(天文潮)，分別為本計畫中尺度臺灣周圍海域暴潮模組之表面邊界條件及開放邊界條件之輸入資料，藉以模擬臺灣周圍海域含天文潮及氣象潮效應之水位變化。

針對中央氣象局提供的 NFS 模式之數值預報風壓場資料，本計畫選取第二層網格之風壓場數值預報資料(簡稱 MC 風壓場)為中尺度臺灣周圍海域暴潮模組表面邊界條件建置之依據。由於 TaiCOMS 作業系統已自動將下載的 NFS 模式之 MC 風壓場資料內插成經緯度網格座標之風壓場資料檔，故在應用上前述風壓場資料必需經前置作業以內插方式轉換儲存成中尺度有限元素網格節點座標之風壓場資料檔，始能為本計畫建置的暴潮模組使用。經前置處理作業後，與 TaiCOMS 作業系統之 MC 風壓場資料與本計畫有限元素網格風壓場資料之等壓線分布如圖 4.16 及圖 4.17 所示，顯示二者等壓線分布是一致的，証明本計畫有限元素網格風壓場資料前置處理無誤。

本計畫選取 2012 年 6 ~ 8 月份 MC 風壓場資料進行數值模擬，並針對安平港海域及高雄港海域分別選取有限元素網網格節點 No.1937 及 No.1924 為模式輸出模擬結果之檢核點(參考圖 4.6 所示)。圖 4.18 及圖 4.19 所示分別為安平港海域及高雄港海域檢核點水位模擬結果(菱形)與前述僅考慮天文潮變化之水位模擬結果(圓形)比較圖，圖中十字形符

號代表前者與後者(即僅考慮天文潮變化)模擬值之差值，同時本計畫定義此一差值為由數值預報之氣壓及風場效應引起的氣象潮成份。模擬結果顯示 6～8 月份在低氣壓效應下，考慮氣象潮之水位模擬值普遍高於天文潮變化之水位模擬值。針對氣壓差值(相對於標準大氣壓值)與本計畫氣象潮水位模擬值關係，本計畫分別選取模式安平港海域及高雄港海域檢核點之氣壓差值及氣象潮模擬值比較其時序列變化趨勢，如圖 4.20 及圖 4.21 所示，顯示整體變化趨勢上二者具有高度的一致性。

針對上述水位模擬之氣象潮分析結果，本計畫選取高雄海域檢核點之分析值與高雄港潮位觀測資料與天文潮調和分析(2010 年 1 月至 2012 年 12 月)之差值進行比較，如圖 4.22 所示，結果顯示在非颱風期間二者變化趨勢上尚屬一致，其中偏差較大的部份原因可能歸因於觀測誤差以及調和分析誤差所致；致於颱風期間發生顯著誤差原因除了模式採用的數值預測風壓場資料與現況誤差已存在因素所致外，尚包括模式檢核點在近岸海域內明顯受到向、離岸風之影響，但潮位觀測點位於港內封閉水域致觀測值受到向、離岸風之影響並不顯著等因素。

在颱風期間暴潮偏差最大值分析結果比較上，得知在輕度颱風泰利侵臺期間(06/19~21)高雄港海域檢核點最大偏差模擬值為 0.155m(19 日 14 時)，潮位觀測值分析結果為 0.266m(20 日 11 時)，另安平港海域檢核點最大偏差模擬值為 0.158m(19 日 14 時)；中度颱風蘇拉侵臺期間(07/30~08/03)高雄港海域檢核點最大偏差模擬值為 0.241m(2 日 1 時)，潮位觀測值分析結果為 0.343m(1 日 10 時)，另安平港海域檢核點最大偏差模擬值為 0.245m(1 日 2 時)；此外，中度颱風天秤侵臺期間(08/21~08/28)高雄港海域檢核點最大偏差模擬值為 0.283m(27 日 17 時)，潮位觀測值分析結果為 0.187m(27 日 18 時)，另安平港海域檢核點最大偏差模擬值為 0.30m(27 日 17 時)。至於，模式模擬結果之暴潮水位偏差分布情形，本計畫選取輕度颱風泰利水位偏差分析結果為例，繪製等水位偏差分析情形如圖 4.23 所示，顯示模式在西南海域及其邊界附

近呈現出不合理的現象，然此問題發生原因及其改善研究將是本計畫模式未來改善之首要。

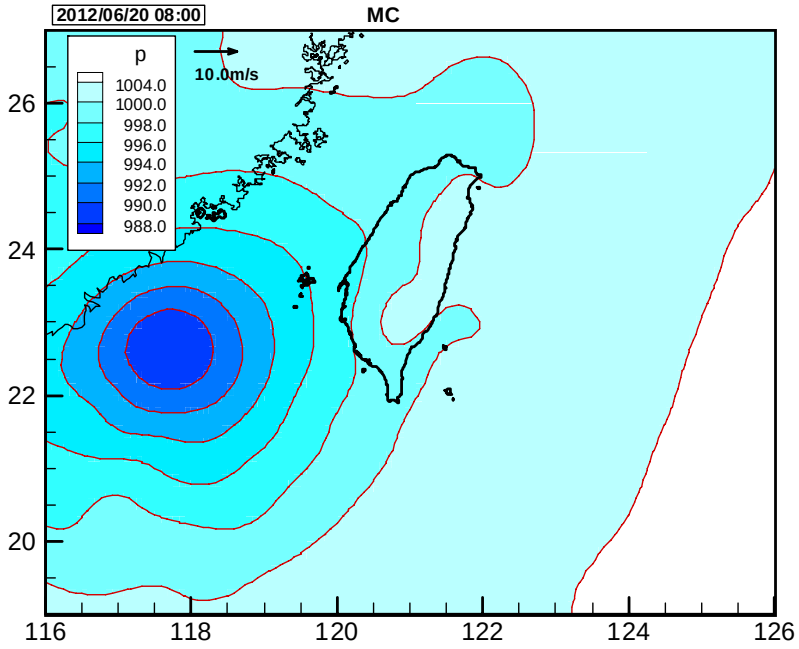


圖 4.16　TaiCOMS 作業化 MC 風壓場之等壓線分布圖
(2012 年輕度颱風泰利)

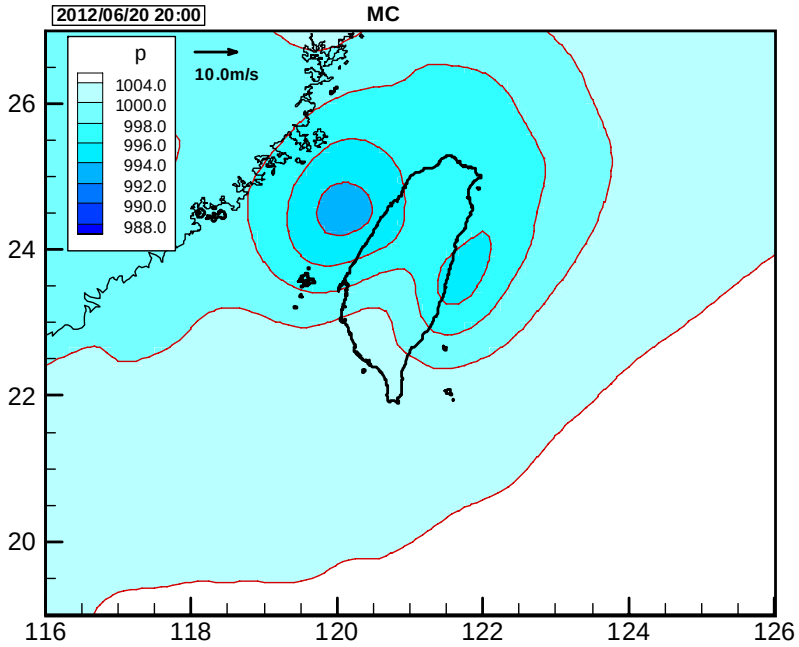


圖 4.16 (續)TaiCOMS 作業化 MC 風壓場之等壓線分布圖
(2012 年輕度颱風泰利)

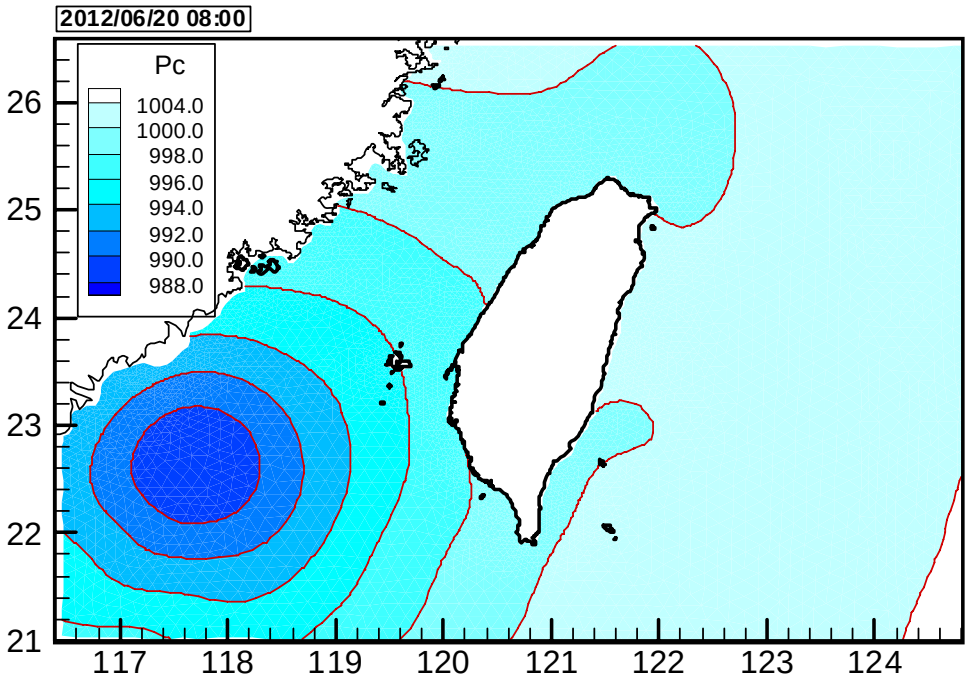


圖 4.17 本計畫有限元素網格風壓場之等壓線分布圖

(2012 年輕度颱風泰利)

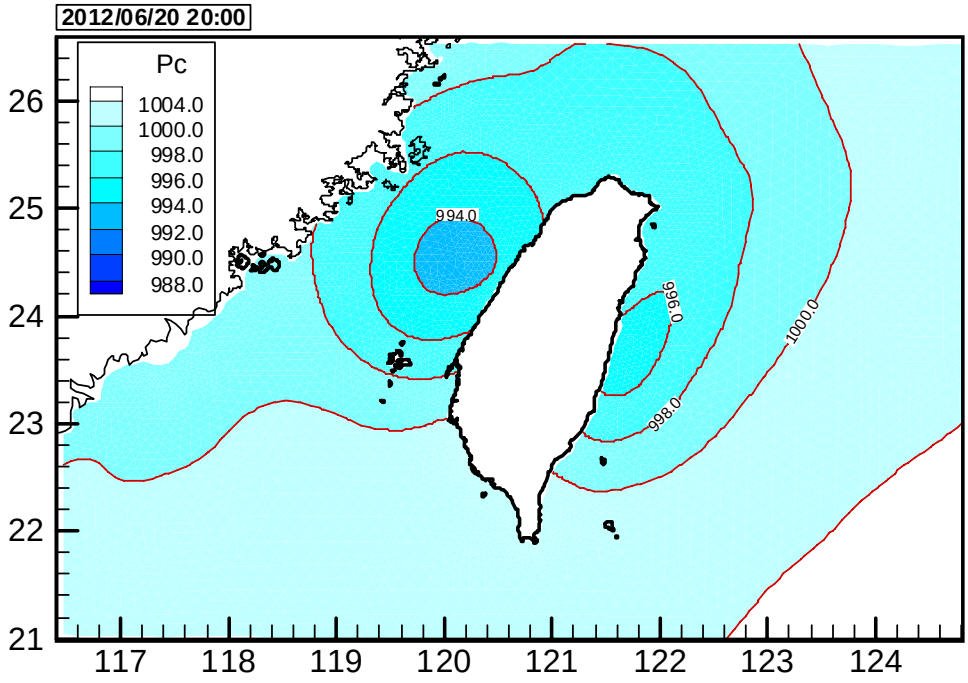


圖 4.17 (續)本計畫有限元素網格風壓場之等壓線分布圖

(2012 年輕度颱風泰利)

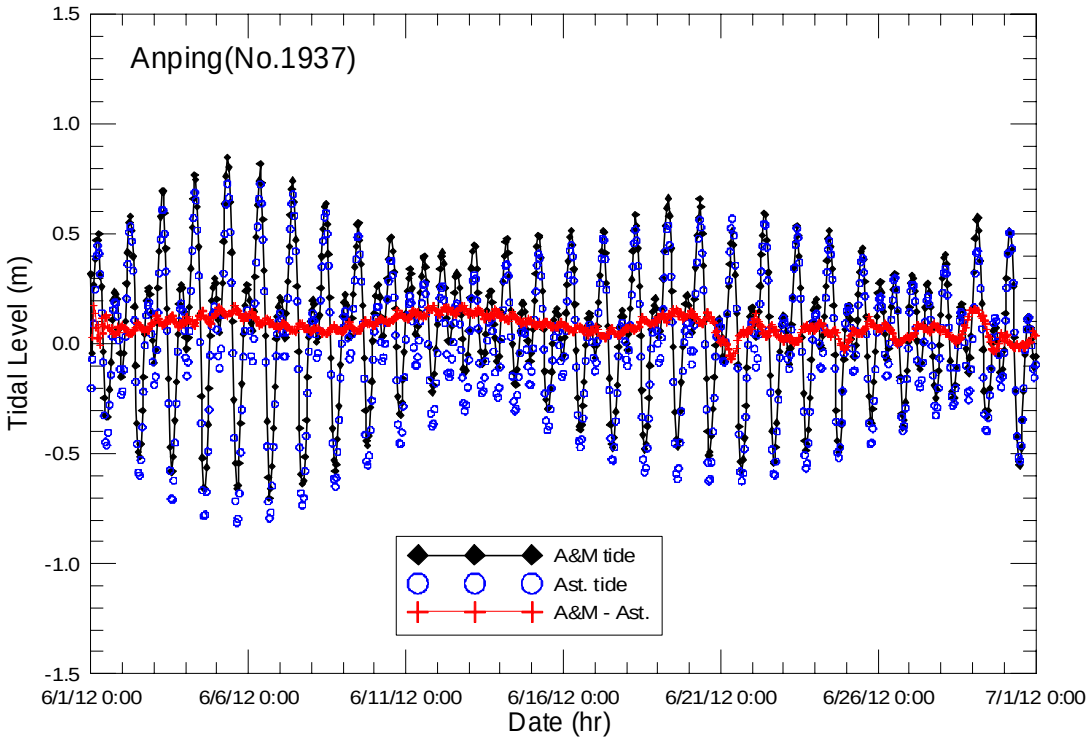


圖 4.18 安平港海域有、無氣象潮效應之水位模擬結果比較圖

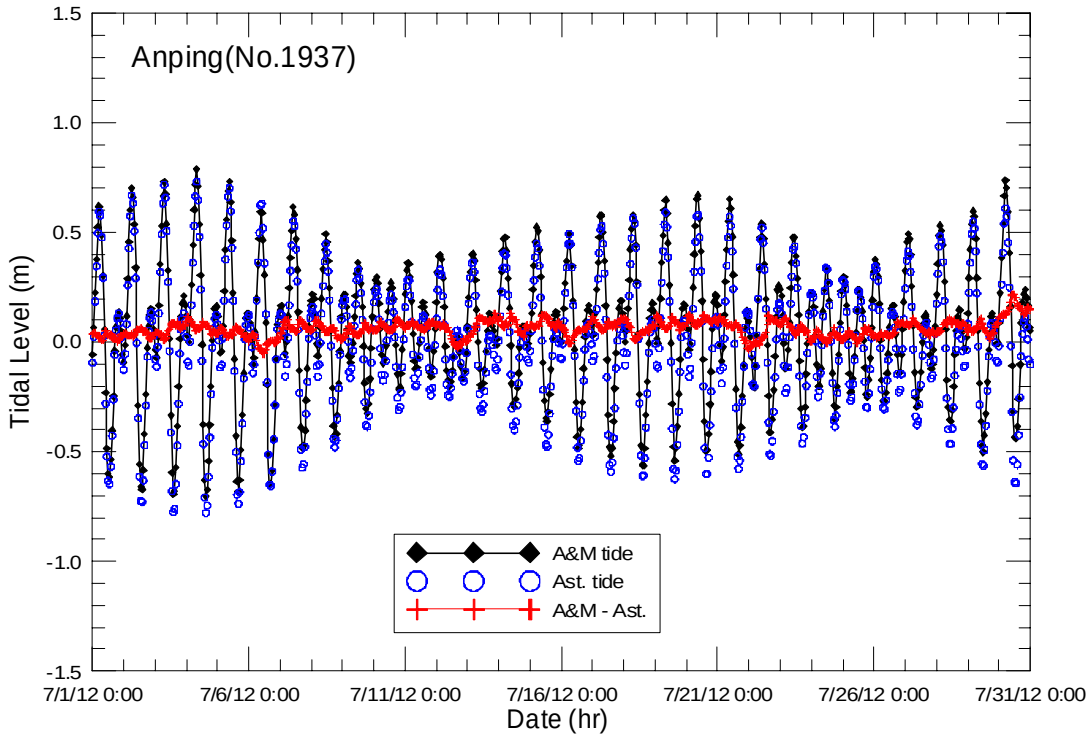


圖 4.18 (續 1)安平港海域有、無氣象潮效應之水位模擬結果比較圖

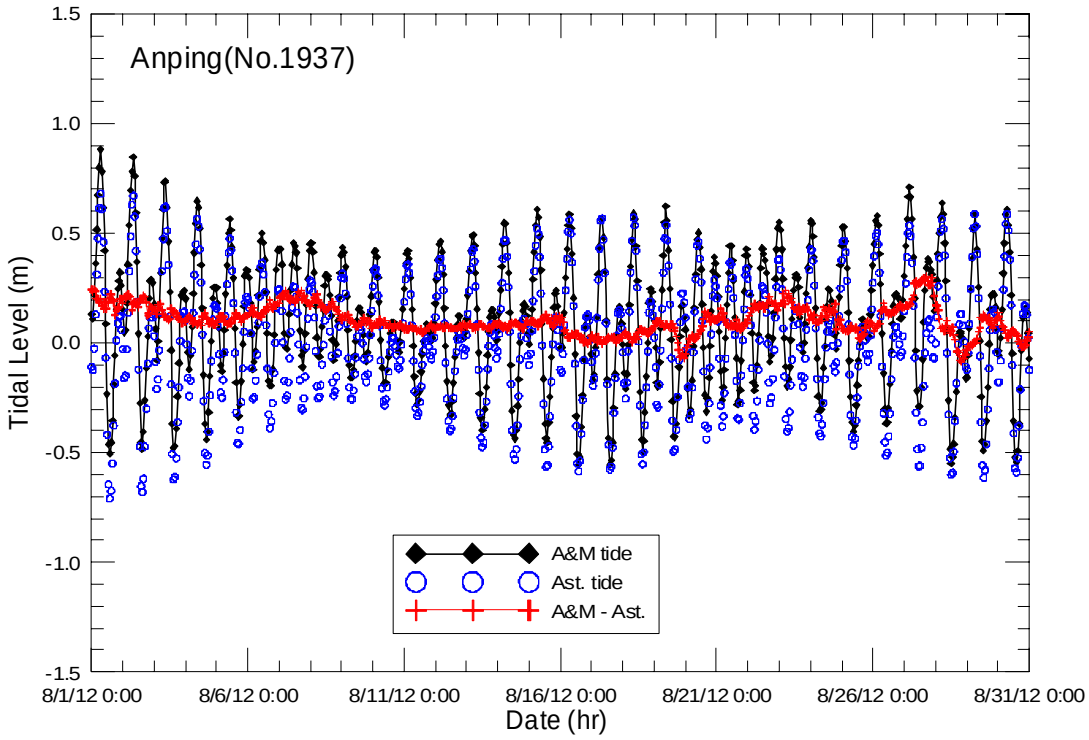


圖 4.18 (續 2)安平港海域有、無氣象潮效應之水位模擬結果比較圖

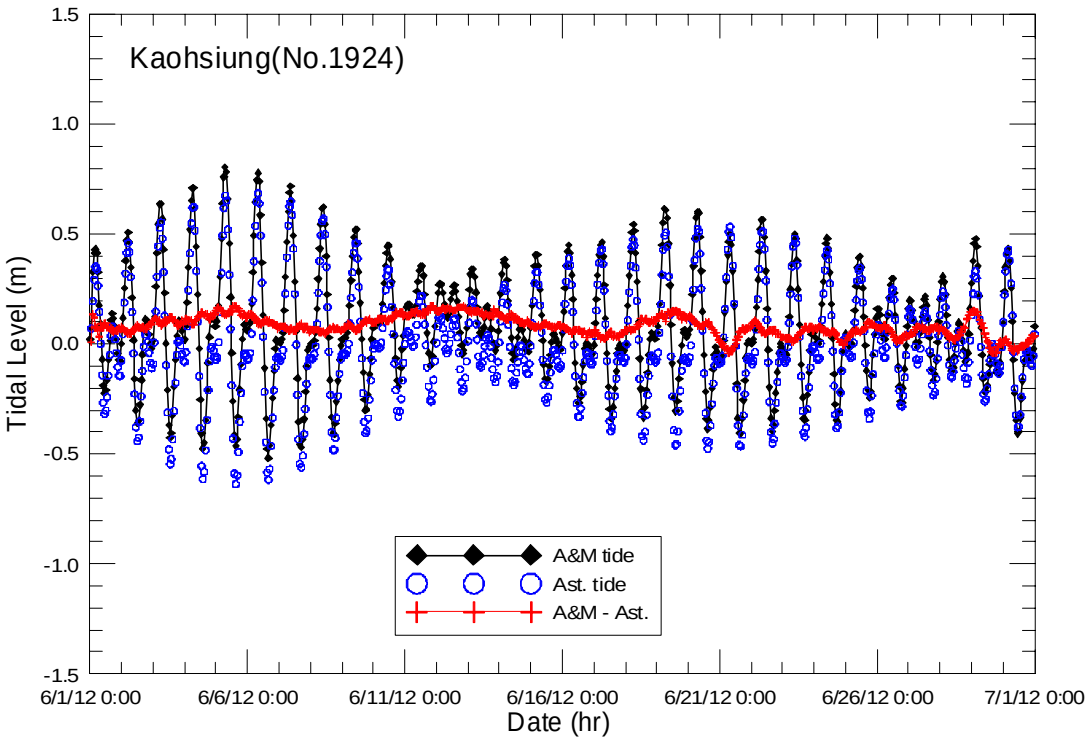


圖 4.19 高雄港海域有、無氣象潮效應之水位模擬結果比較圖

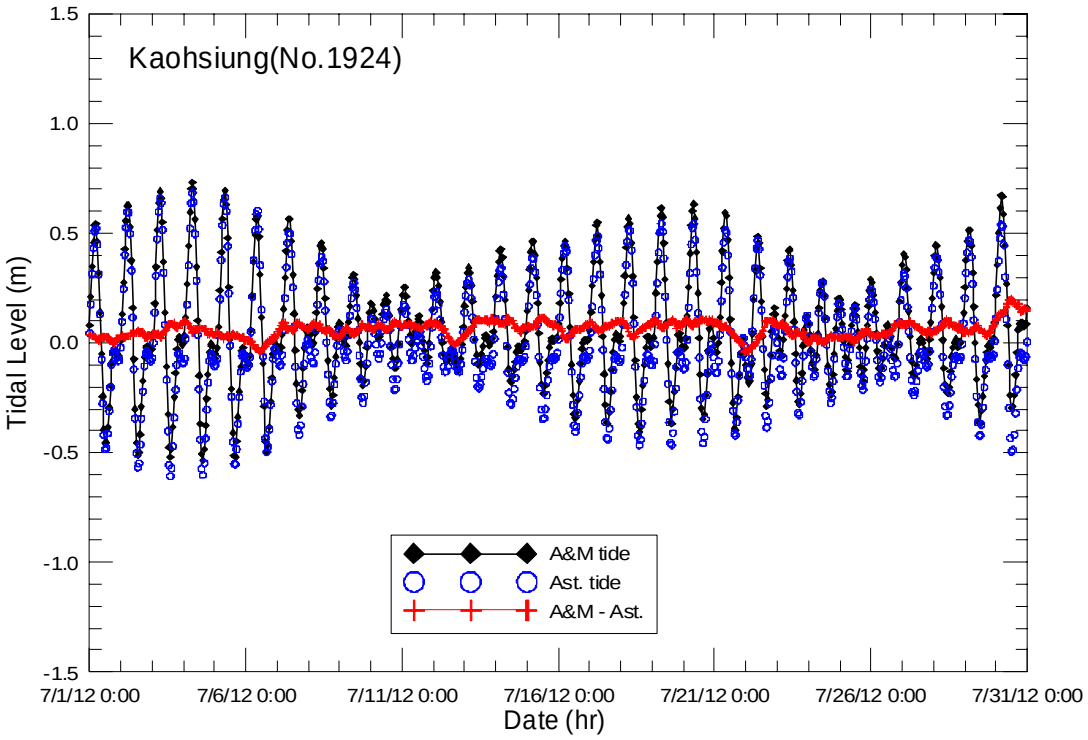


圖 4.19 (續 1)高雄港海域有、無氣象潮效應之水位模擬結果比較圖

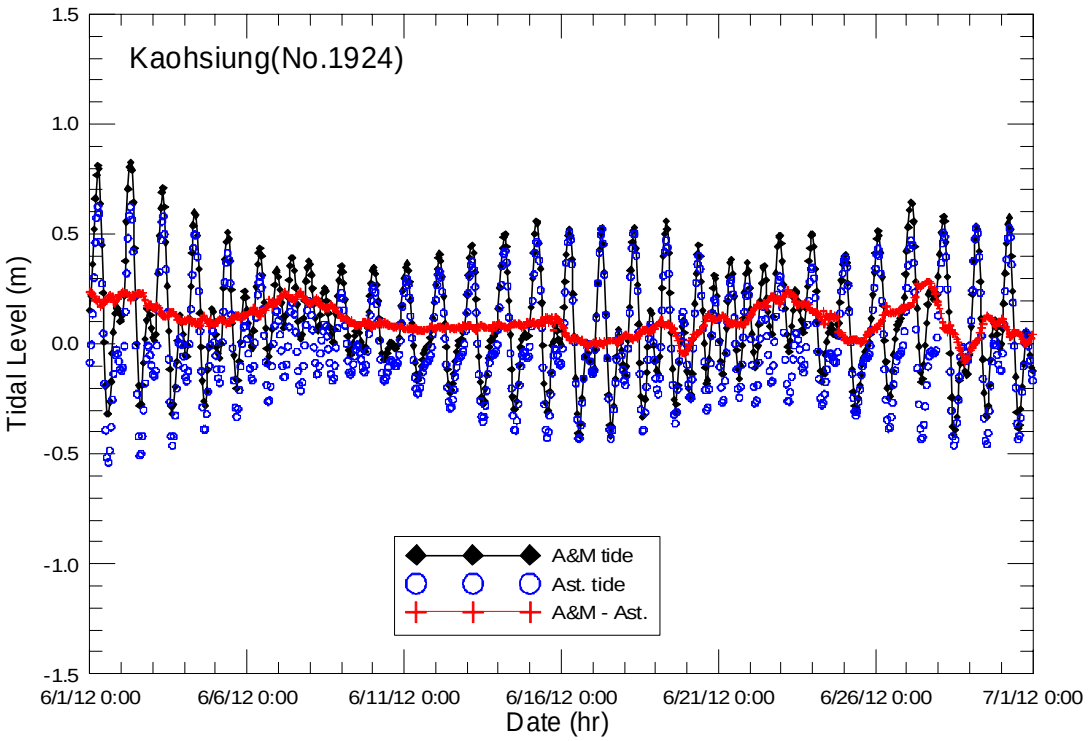


圖 4.19 (續 2)高雄港海域有、無氣象潮效應之水位模擬結果比較圖

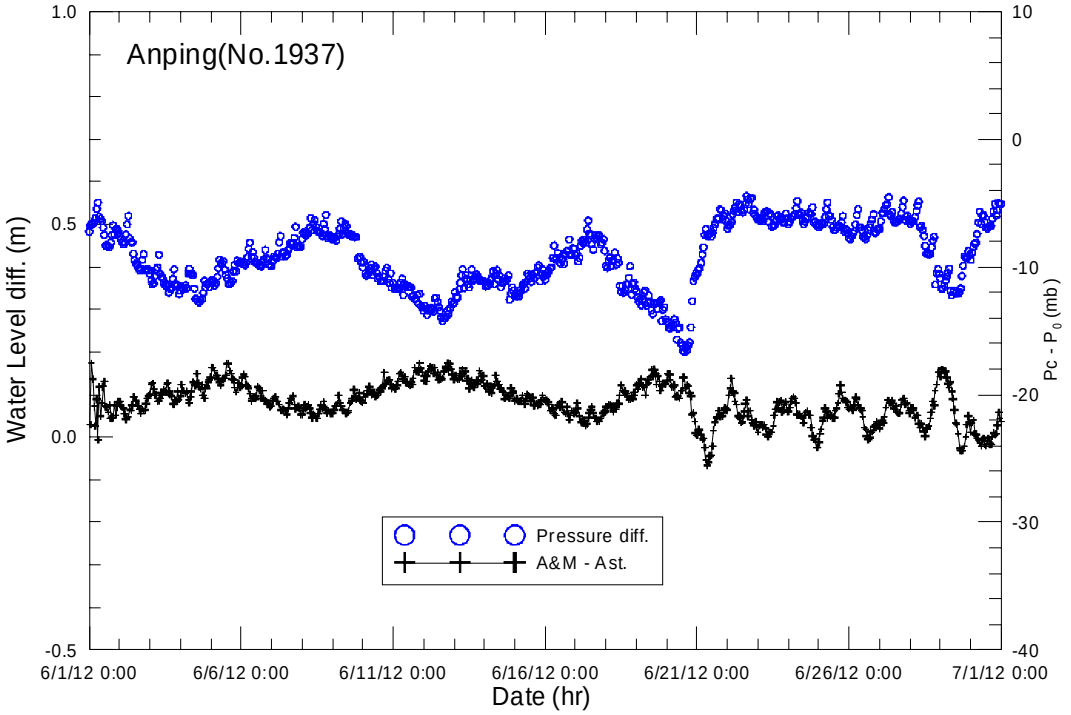


圖 4.20 安平港海域檢核點氣壓差變化與模式氣象潮水位變化之時序列圖

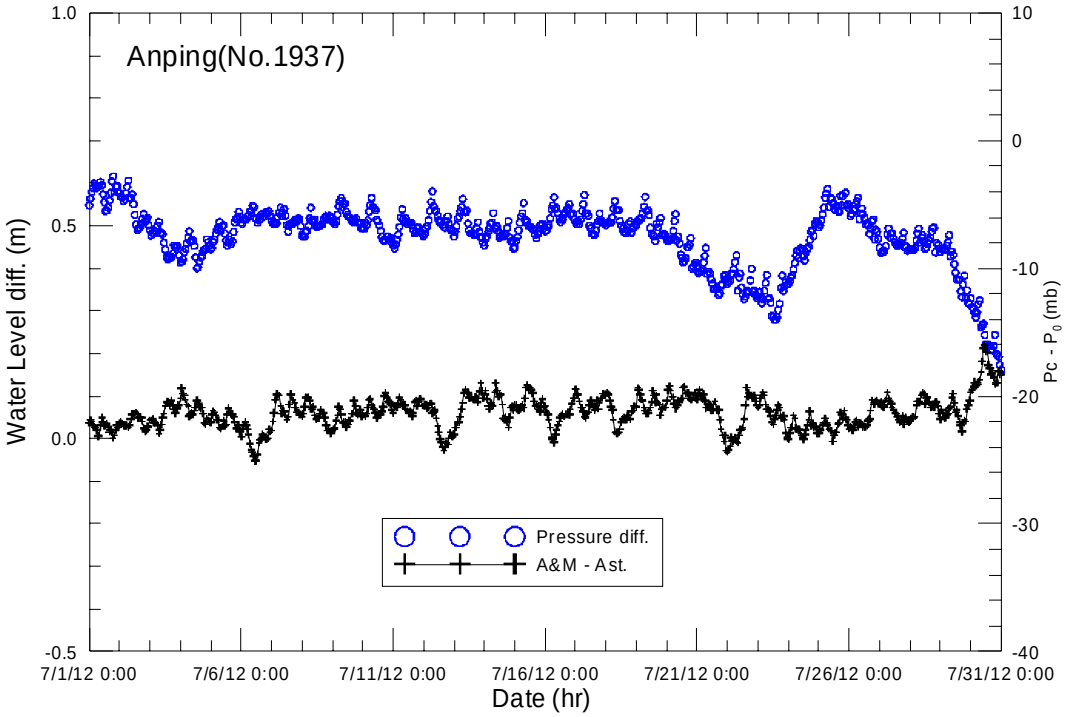


圖 4.20 (續 1)安平港海域檢核點氣壓差變化與模式氣象潮水位變化之時序列圖

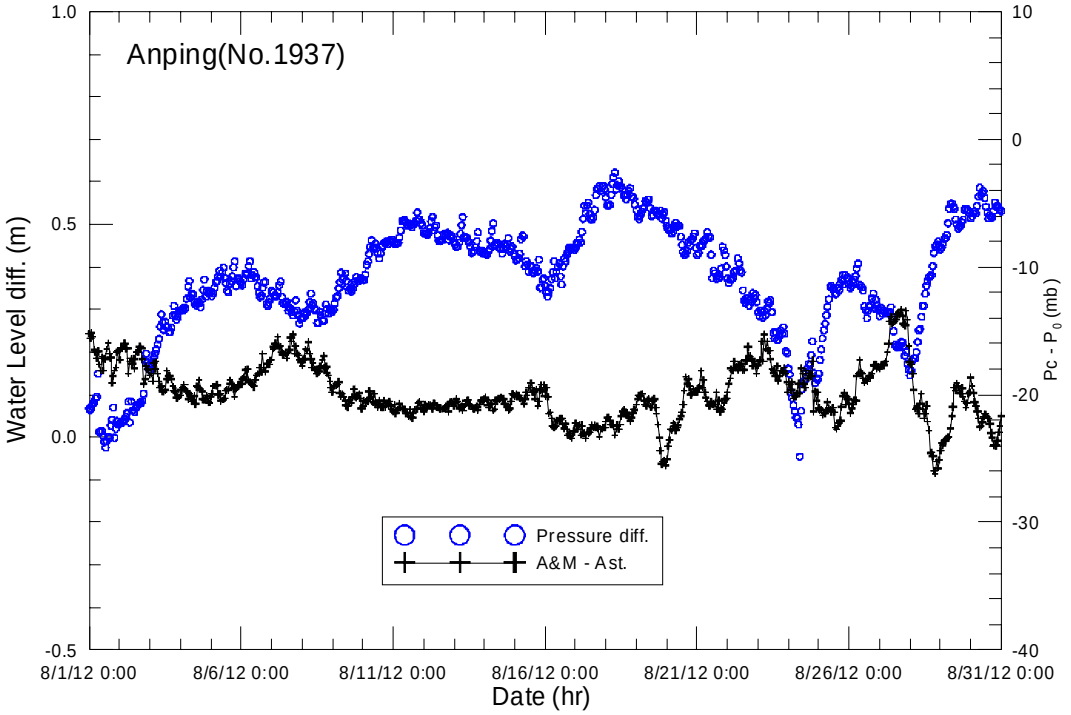


圖 4.20 (續 2)安平港海域檢核點氣壓差變化與模式氣象潮水位變化之時序列圖

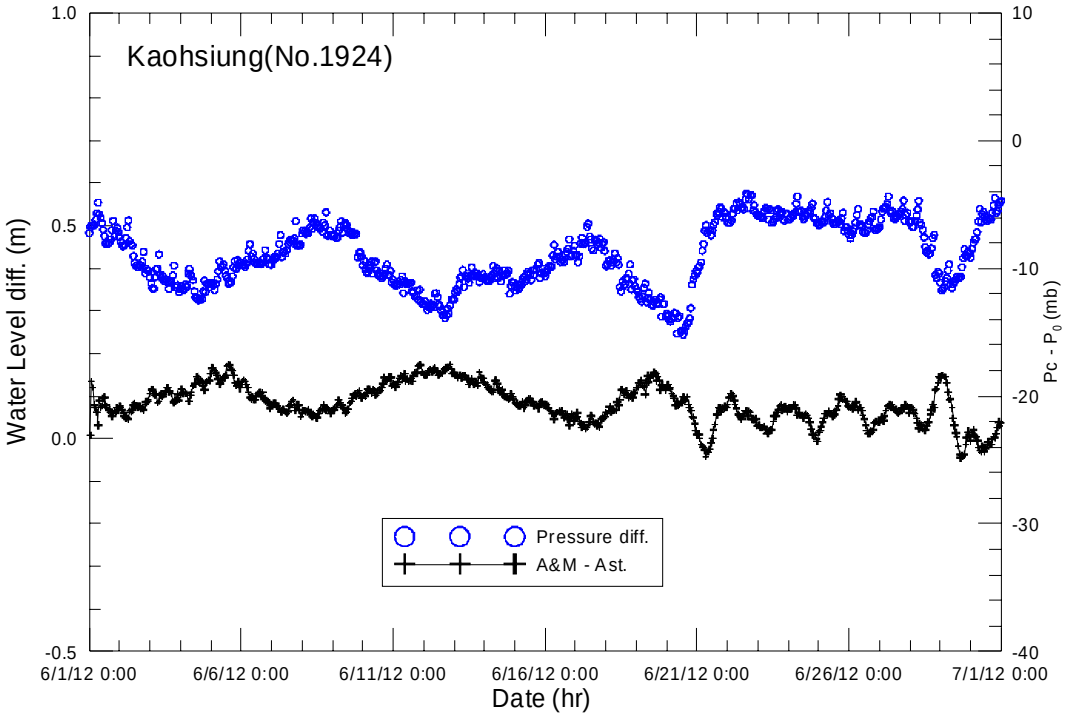


圖 4.21 高雄港海域檢核點氣壓差變化與模式氣象潮水位變化之時序列圖

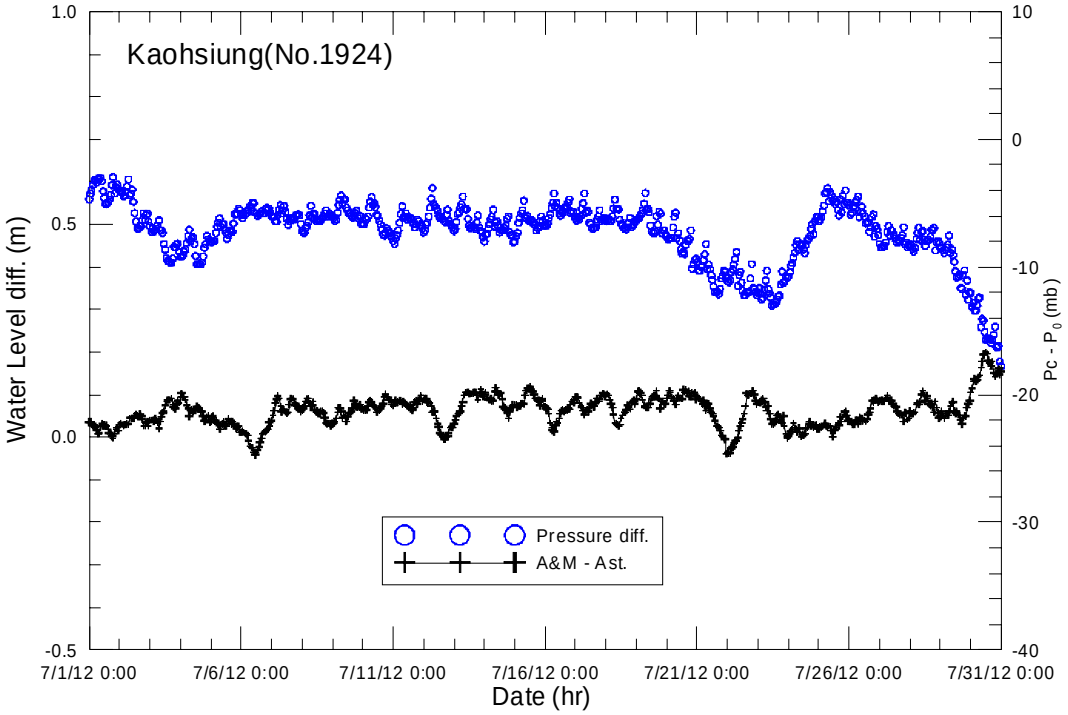


圖 4.21 (續 1)高雄港海域檢核點氣壓差變化與模式氣象潮水位變化之時序列圖

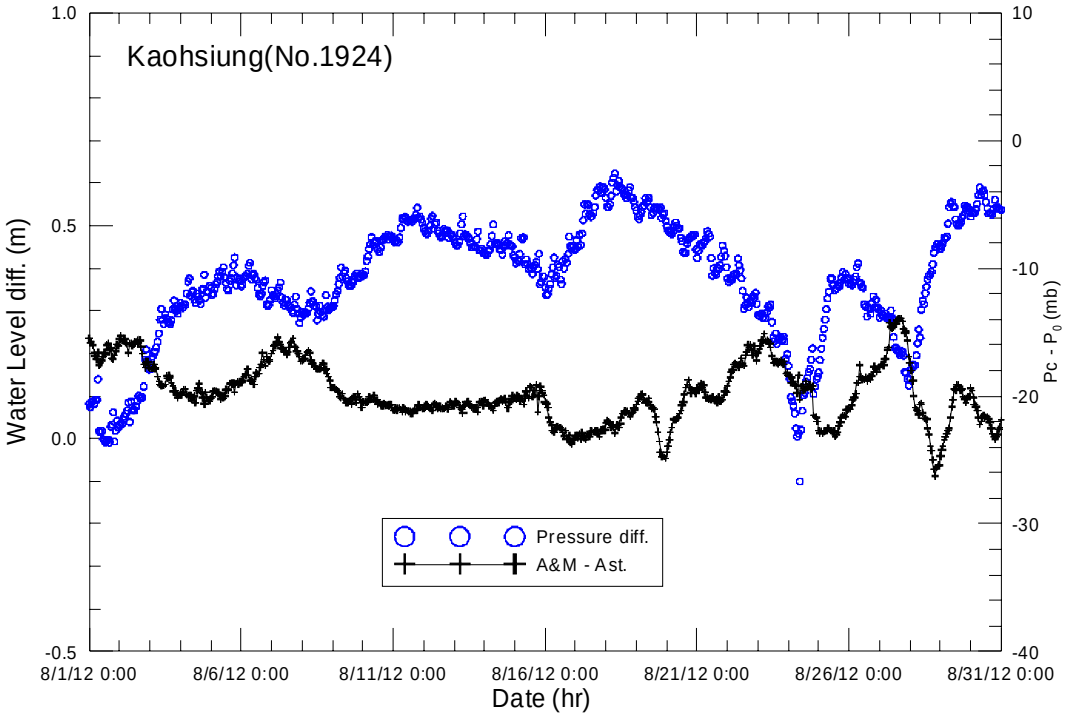


圖 4.21 (續 2)高雄港海域檢核點氣壓差變化與模式氣象潮水位變化之時序列圖

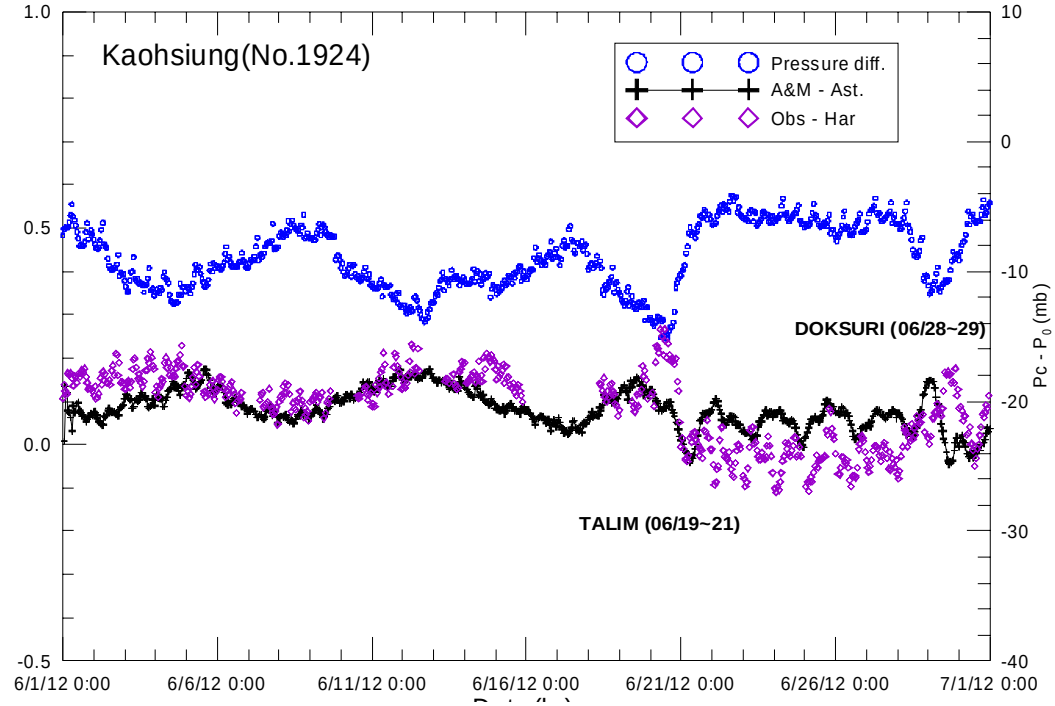


圖 4.22 高雄港海域檢核點氣壓差預測值、氣象潮水位變化模擬值及觀測資料調和分析預測值之時序列圖

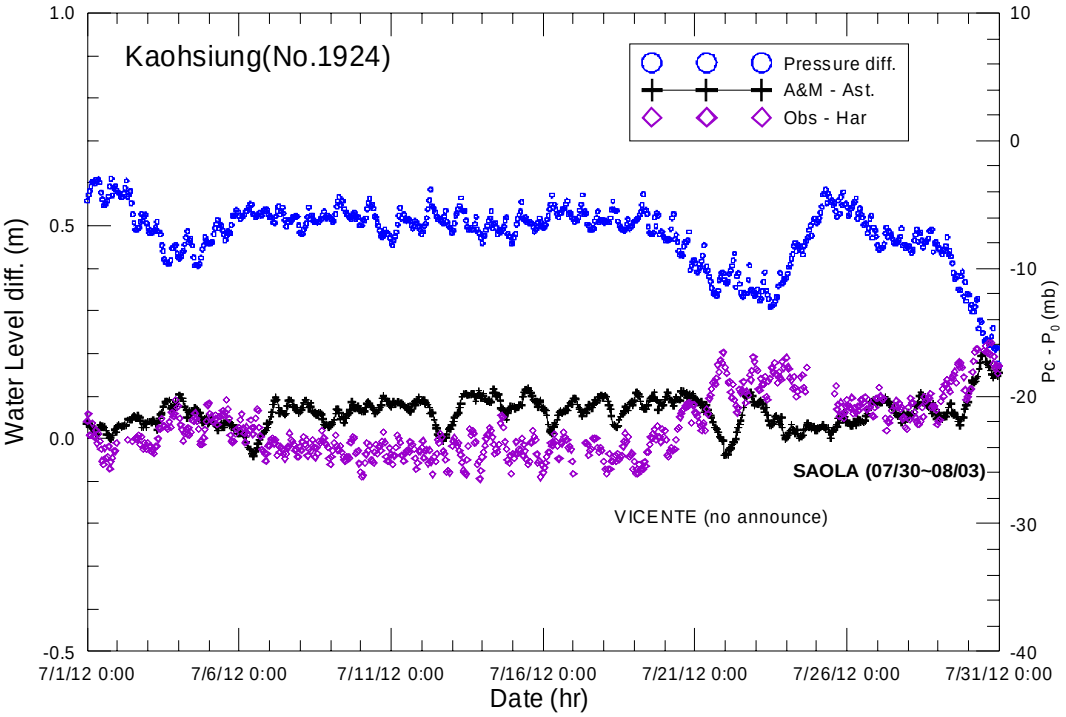


圖 4.22 (續 1)高雄港海域檢核點氣壓差預測值、氣象潮水位變化模擬值及觀測資料調和分析預測值之時序列圖

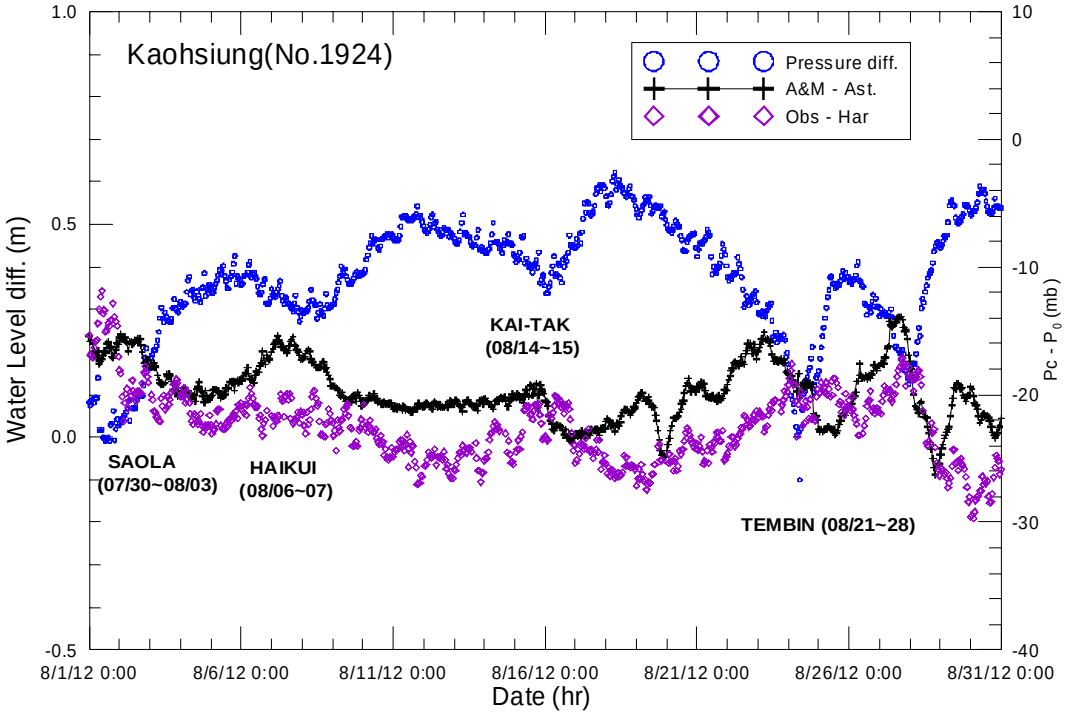


圖 4.22 (續 2)高雄港海域檢核點氣壓差預測值、氣象潮水位變化模擬值及觀測資料調和分析預測值之時序列圖

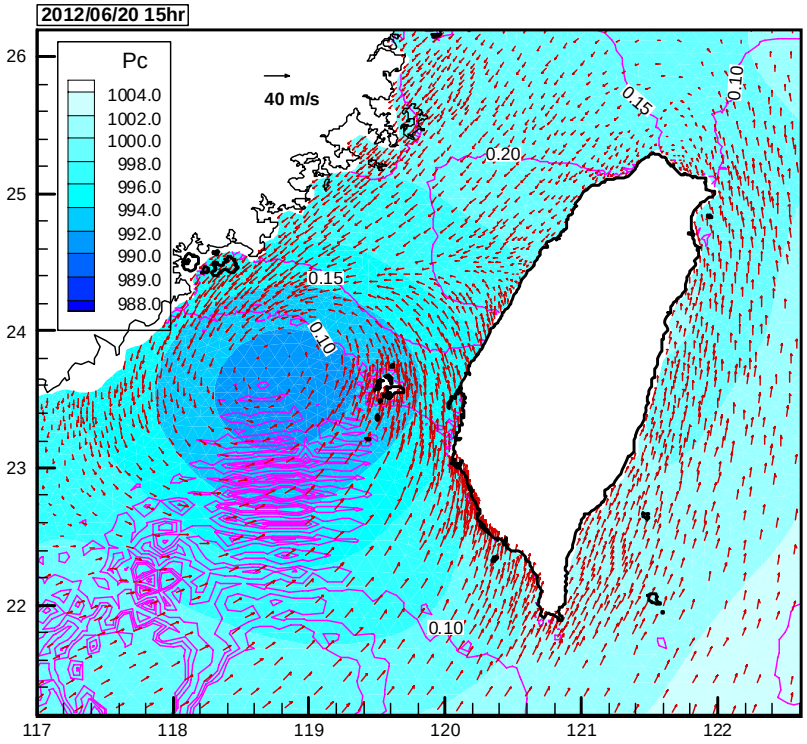


圖 4.23 臺灣周圍海域暴潮模組模擬結果之水位偏差分布圖

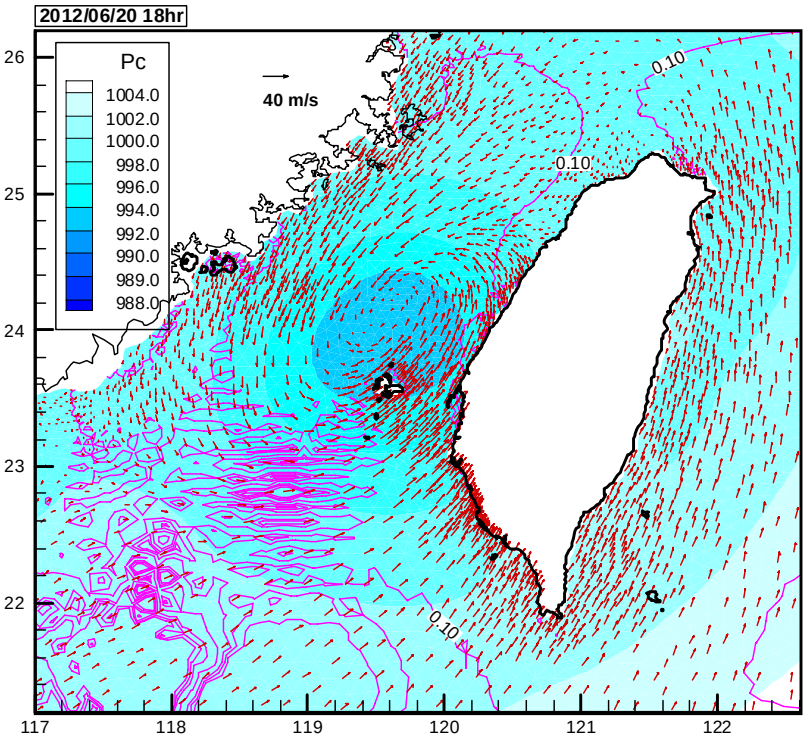


圖 4.23 (續 1)臺灣周圍海域暴潮模組模擬結果之水位偏差分布圖

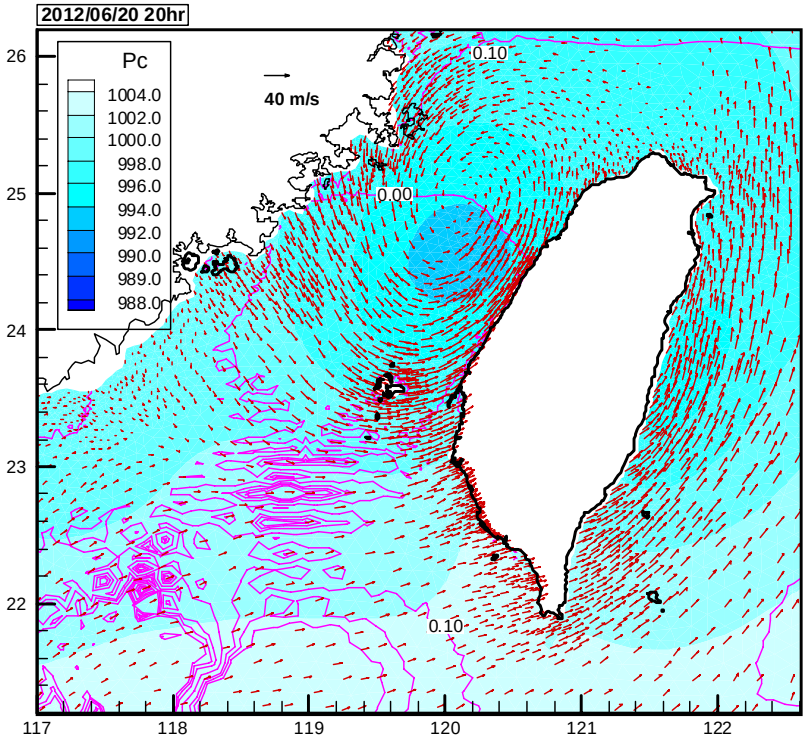


圖 4.23 (續 2)臺灣周圍海域暴潮模組模擬結果之水位偏差分布圖

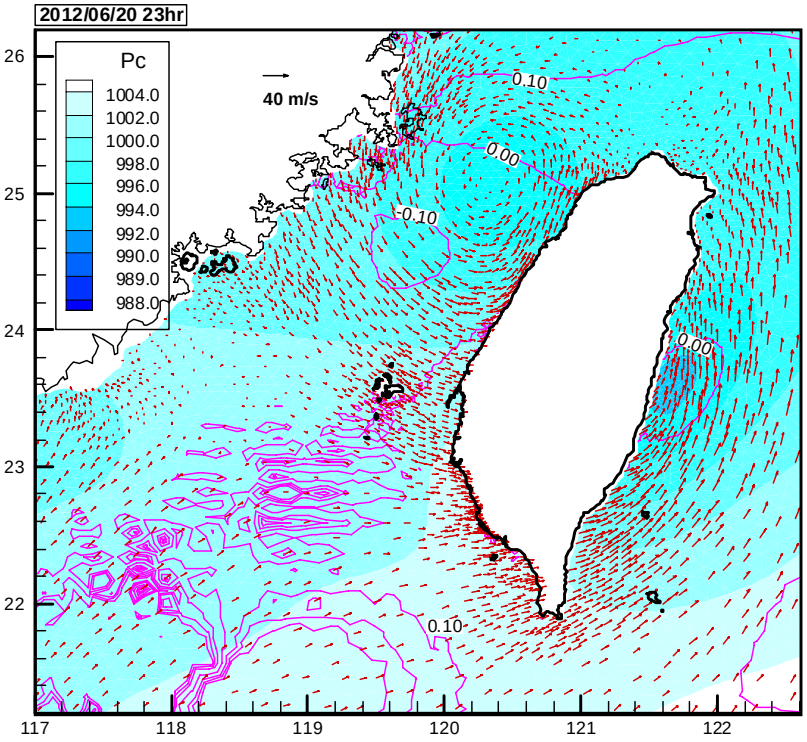


圖 4.23 (續 3)臺灣周圍海域暴潮模組模擬結果之水位偏差分布圖

4.3 小尺度安平港區水動力模組改善研究

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

4.3.1 模擬範圍及有限元素網格之修正

圖 4.24 所示為 98 年度計畫初步建置的安平港港區近岸水動力模組之模擬範圍及模式三角形有限元素網格配置圖，顯示原安平港港區近岸水動力模組模擬範圍僅考慮安平港港口以外海域，其範圍北起曾文溪出海口南岸，向西南延伸至高雄市茄萣區興達漁港北側，南北向離岸邊界相距約 20 公里；圖中三角形有限元素數值計算網格係由 4092 個節點及 7715 個三角元素構成的。

本計畫基於安平漁港舊港口已於 98 年 1 月完工通航後，現況潮流分別經由安平港港口及安平漁港舊港口進出安平港水域及安平漁港水域之特性，以及改善前期計畫安平港水動力模組並未含蓋安平港港內水域之缺失；本年度計畫修正前述安平港區近岸水動力模組之模擬範圍，使其模擬範圍擴及安平港、安平漁港及其支航道水域，形成雙開口港池水域，如圖 4.25 所示。圖中有限元素網格係由 5630 個節點及 10538 個三角形元素組成，其中安平港港區內及港口附近之有限元素網格分布情形，如圖 4.26 所示。

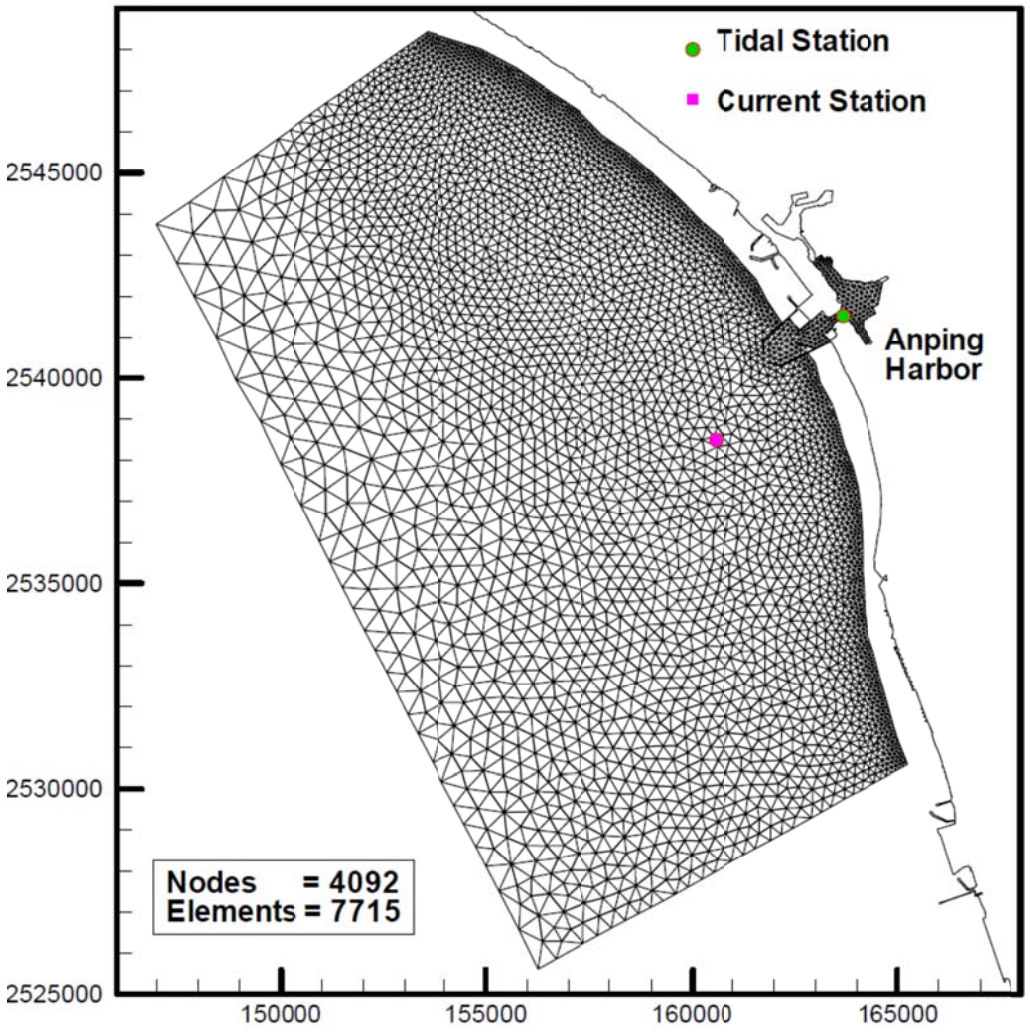


圖 4.24 安平港區近岸水動力模組之模擬範圍及有限元素格網分佈圖 (98 年度計畫)

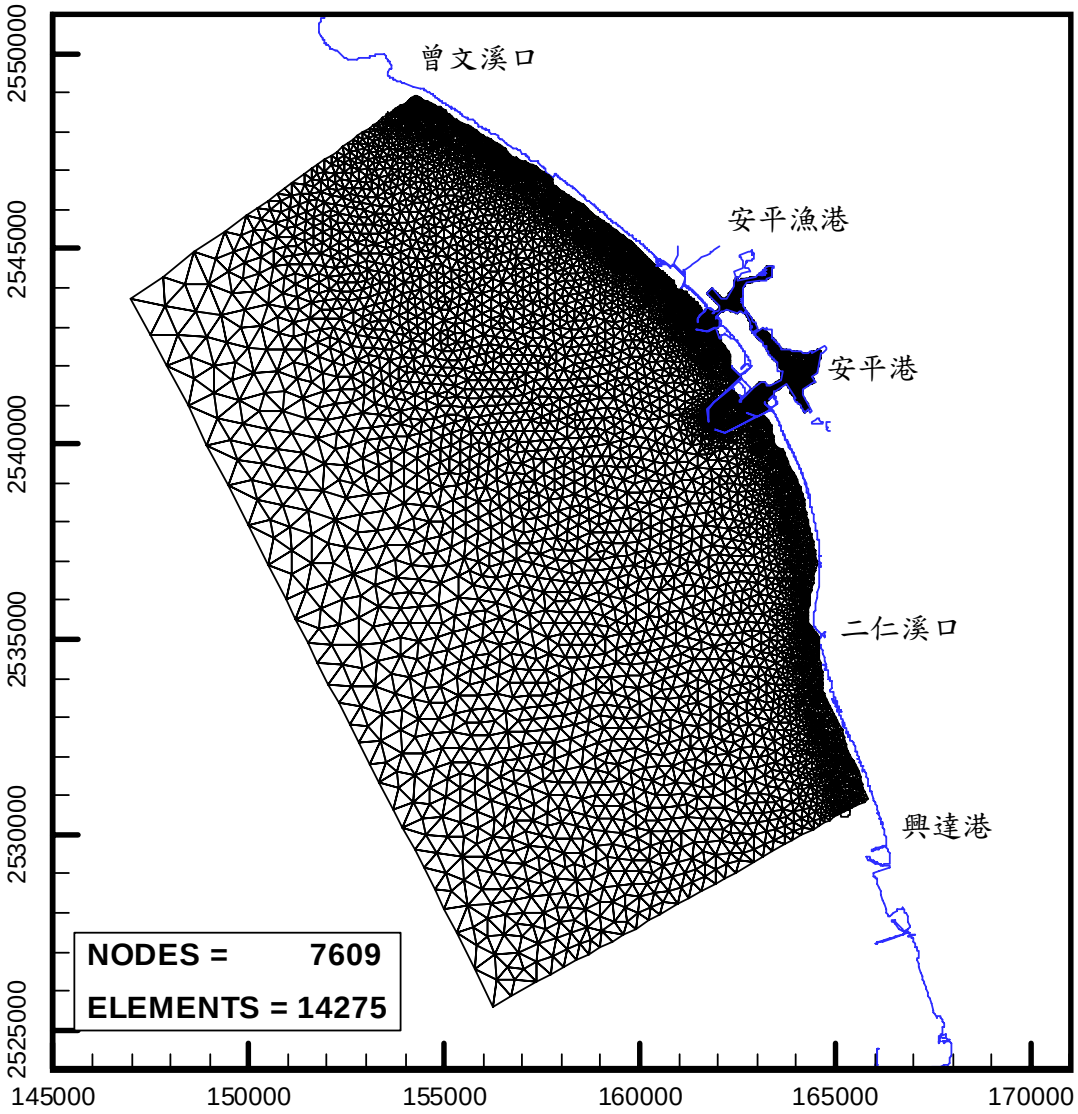


圖 4.25 安平港區近岸水動力模組之細網格三角形元素分佈圖

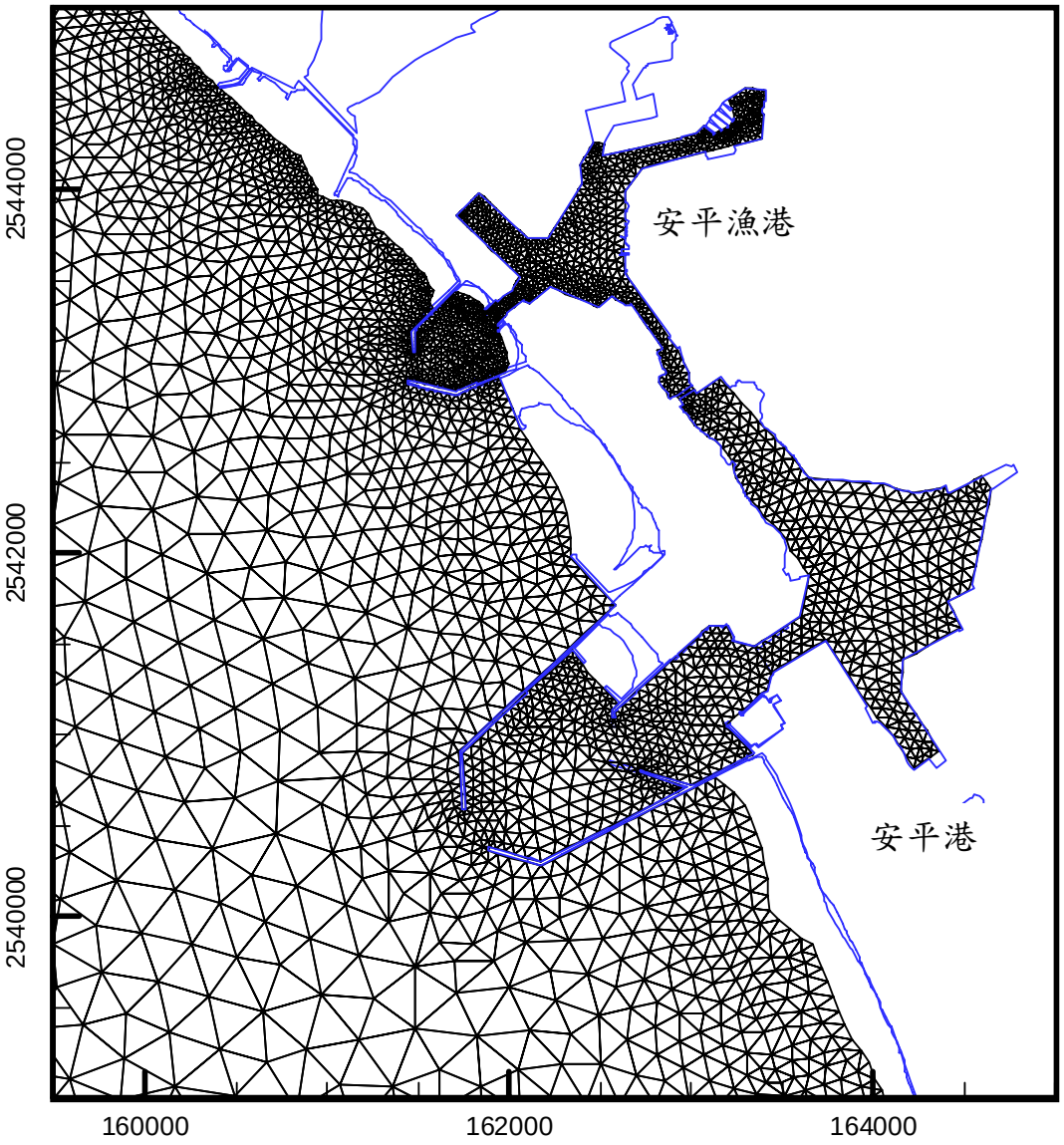


圖 4.26 安平港港域及港口附近細網格之三角形元素分布圖

4.3.2 模式邊界條件修正

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

本研究採用上述滑動邊界條件作為安平港水動力模組之陸地邊界條件。另在開放邊界水位條件設定上，前期計畫依據鄰近模式南、北開放邊界之永安潮位站(位於LNG港內)及將軍潮位站(位於將軍漁港內)潮位觀測資料，利用潮位調和分析方法選取 O_1、K_1、N_2、M_2 及 S_2 等五個主要分潮之調和常數(即振幅及相位差)，配合線性內差方式推估模式開放邊界上各節點之分潮振幅及相位差，再由模式於模擬過程中組合成開放邊界節點之水位值作為模式之邊界條件，模擬整個海域之水位及流場變化。如圖 4.27 所示即為前期計畫安平港水動力模組，南、北開放邊界鄰近海岸開放邊界節點採用的水位邊界條件。

由於上述方法在處理南、北開放邊界間之離岸開放邊界(通常與海岸平行)之水位條件上，通常較易產生不符合現況之誤差，往往需藉由試誤法不斷地修正或調整，導致過程相當花費時間且不易得到較精確的模擬結果。因此，本年度針對小尺度水動力模組開放邊界條件修正為：採用本計畫中尺度臺灣周圍海域水動力模組天文潮模擬結果，利用內插方法產生安平港域小尺度水動力模組開放海域邊界之水位時序列資料，如圖 4.28 所示，作為模擬安平港域水位及流場之開放邊界條件。據此，本計畫小尺度水動力模組將與中尺度水動力模組具有實際的連結。

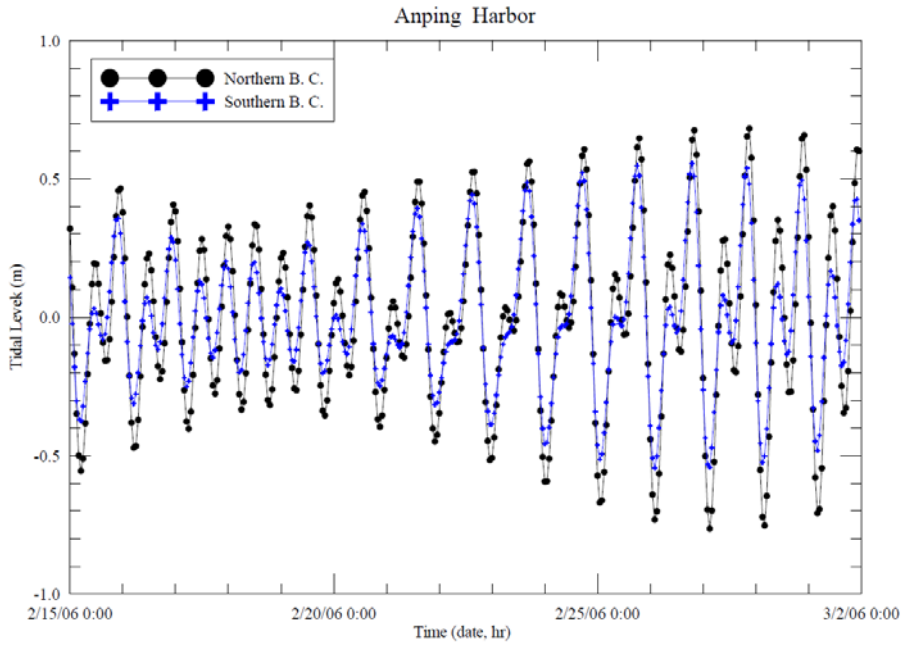


圖 4.27 前期計畫安平港水動力模組南、北開放邊界近岸節點之水位時序圖

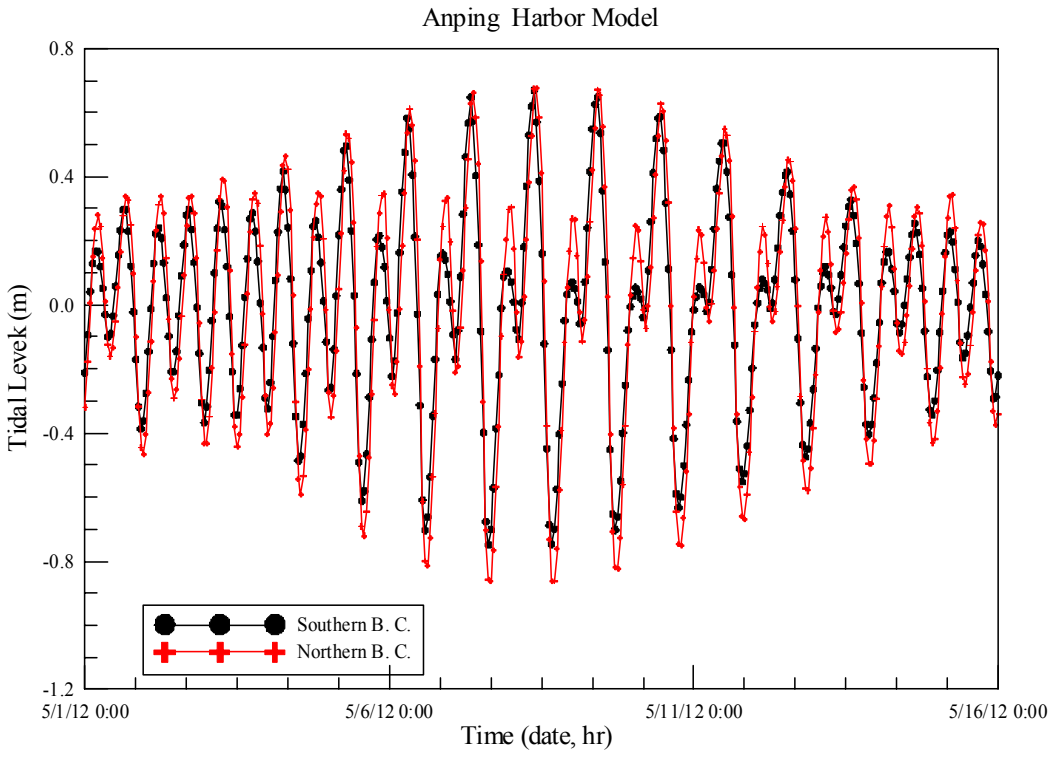


圖 4.28 本年度計畫安平港水動力模組南、北開放邊界近岸節點之水位時序圖

4.3.3 模式參數率定與驗證

由於水動力模式數值計算之穩定性除了與三角元素大小、節點水深大小及時間項差分之間距$\triangle t$大小有關外，模式所使用的物理參數如渦動粘滯性係數及底床摩擦係數大小，以及模式模擬之起始條件等均會影響至模式計算之穩定性。因此相關參數值需進行率定與測試，經本年度安平港港區近岸水動力模組採用更新數值計算網格測試後，得知採用時間間距$\triangle t$為 2.0 sec 仍可使模式穩定的運算。渦動粘滯性係數則參考(4.32)式計算各元素代表性渦動粘滯性係數，式中採用的參數值分別為無因次係數 a 值為 0.02，代表性流速$\tilde{u}$值為 0.4 m/s，代表性潮差$\tilde{\eta}$值為 0.5m。至於，底床摩擦係數則隨水深而變，其值介於 0.004~0.020 之間。

在模擬結果之驗証上，本計畫選取 2012 年 5 月份安平港港內水位觀測資料及港外海流觀測資料之潮流分析結果為依據，其中水位以及 EW 及 NS 方向速度驗証結果如圖 4.29 所示;驗証結果顯示本計畫安平港水動力模組流速模擬結果在 EW 方向速度振幅明顯略大於觀測資料調和分析之潮流振幅，NS 方向速度振幅則與觀測資料調和分析之潮流振幅相當,僅在大潮期間 NS 方向速度振幅之模擬結果有偏小的現象。整體而言，本年度安平港水動力模組之水位及流速模擬與驗証結果均較前期計畫驗証結果，如圖 4.30 所示，明顯地改善許多。

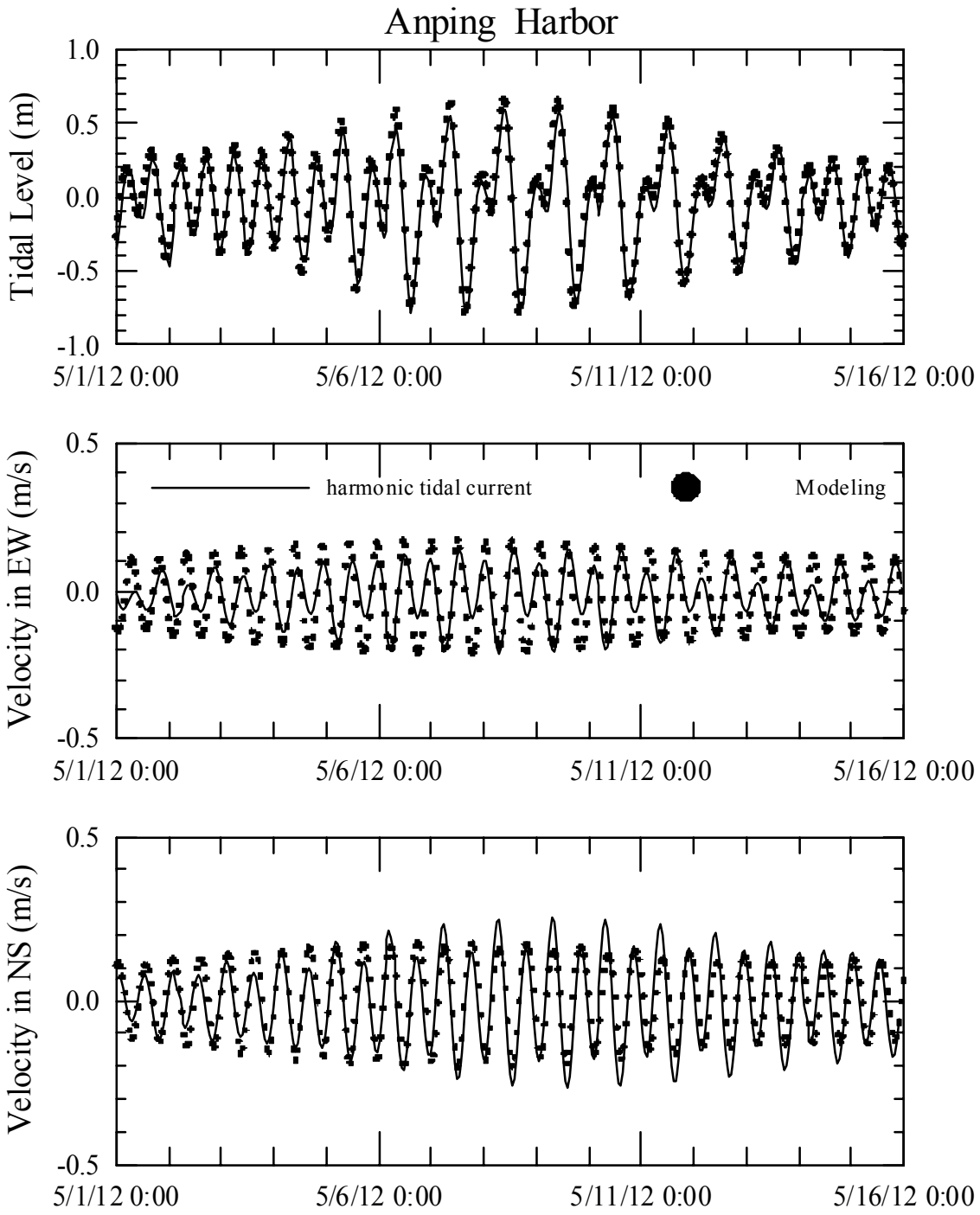


圖 4.29 安平港水位及潮流模擬結果與海流觀測資料之調和分析 (O_1、K_1、M_2、S_2)結果比較圖

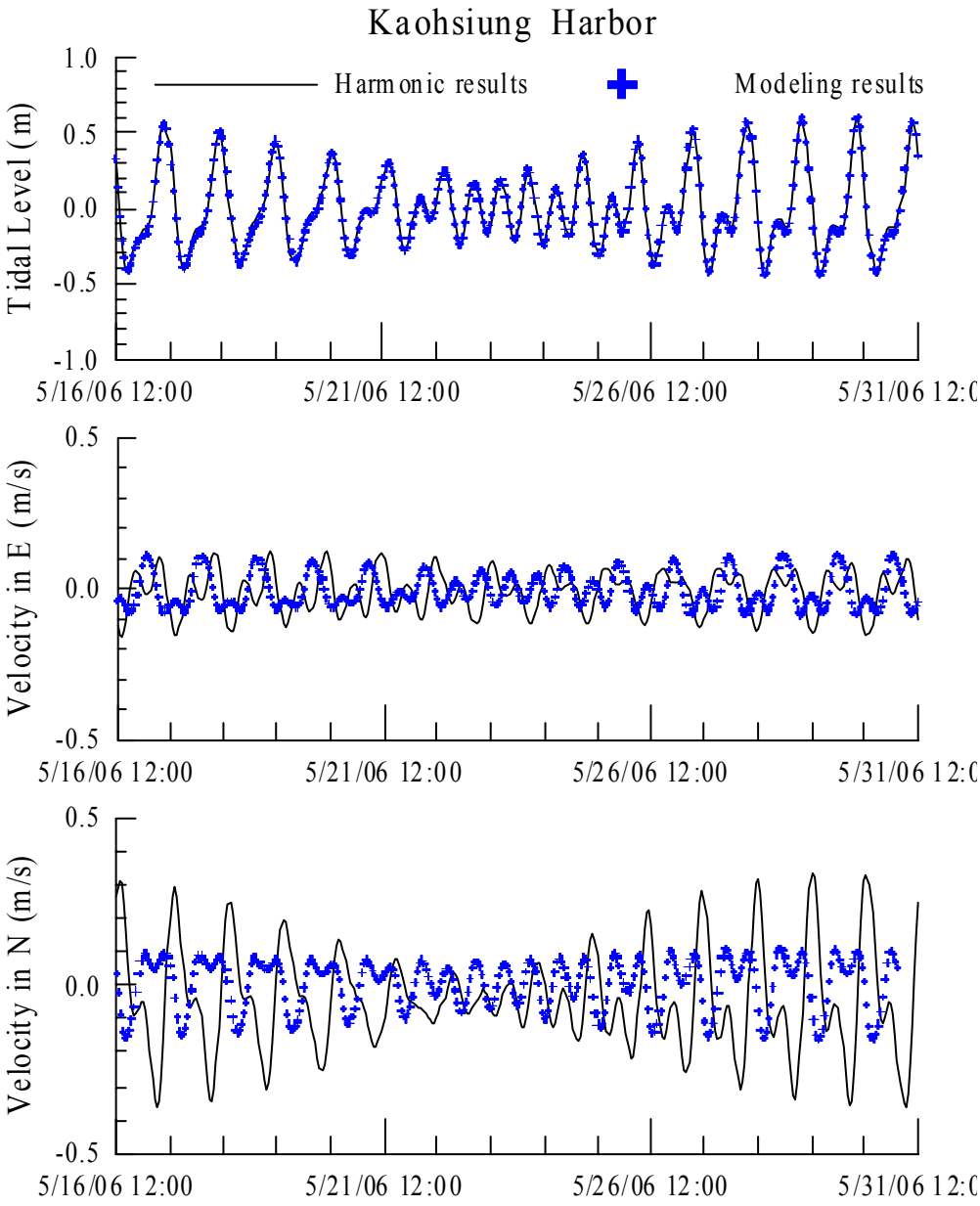


圖 4.30 前期計畫安平港水位及潮流模擬結果與海流觀測資料之調和分析(O_1、K_1、M_2、S_2)結果比較圖

4.3.4 安平港海域流場模擬結果

本計畫依據上述所建立之安平港水動力模式模擬安平港區附近海域的流場環境，模式模擬時間始於 2012 年 1 月 2 日零時至 2013 年 1 月 1 日零時止，並逐時儲存全部計算網格之水位及流場資料，提供後續模擬結果分析使用。有關安平港區附近海域流況變化情形，如圖 4.31 所示。

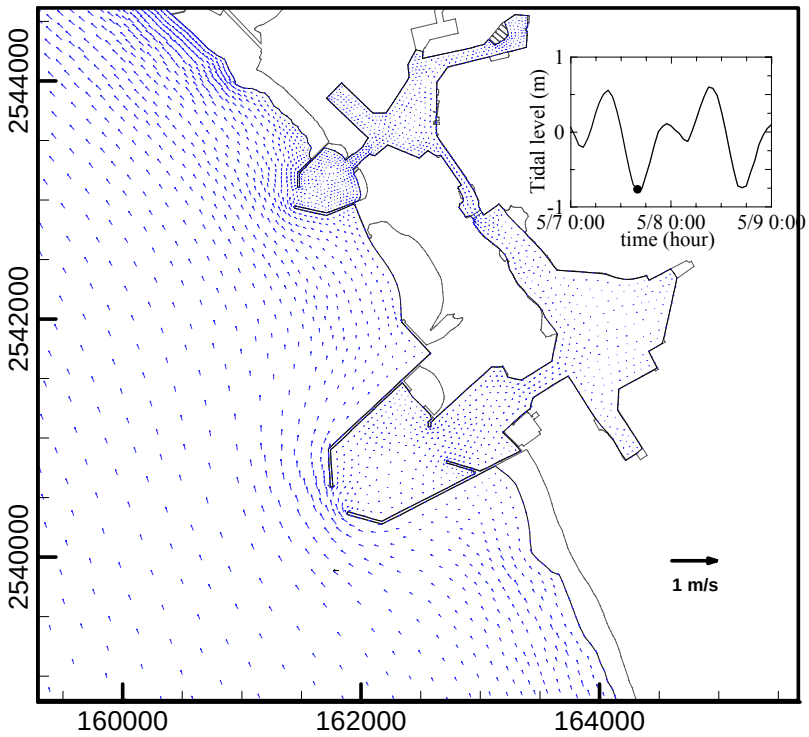


圖 4.31 安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/07 16:00)

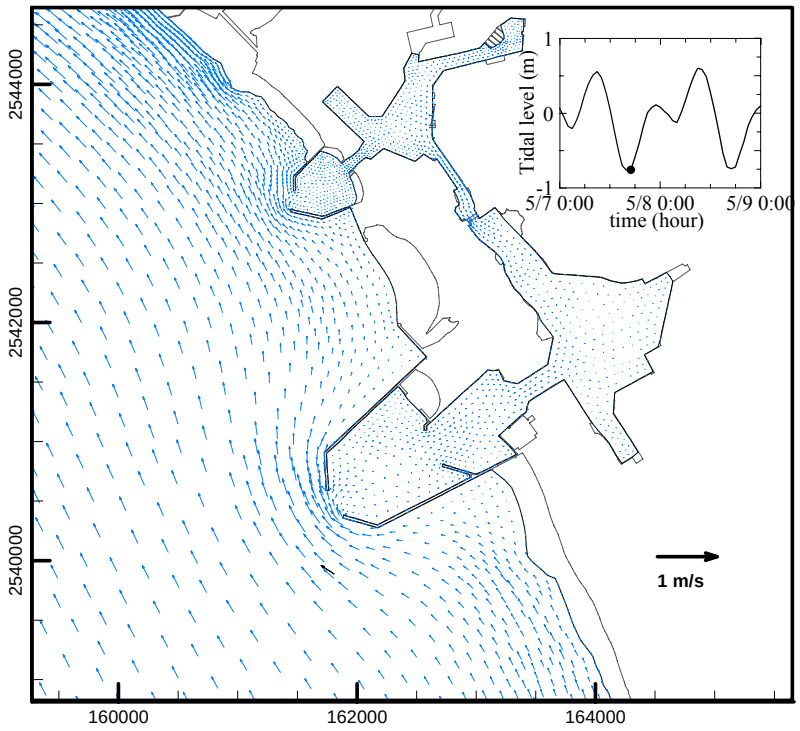


圖 4.31 (續 1)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/07 17:00)

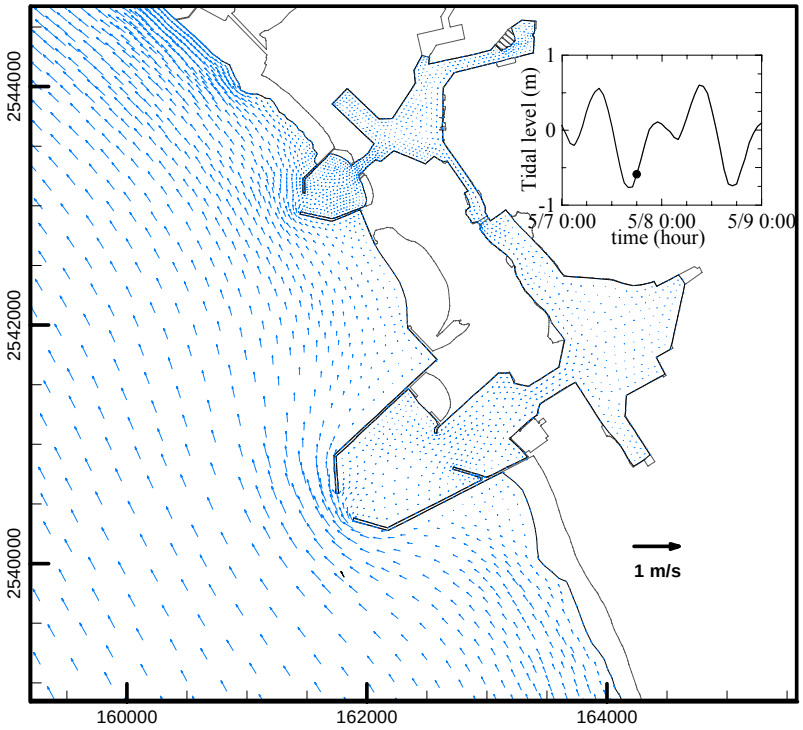


圖 4.31 (續 2)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/07 18:00)

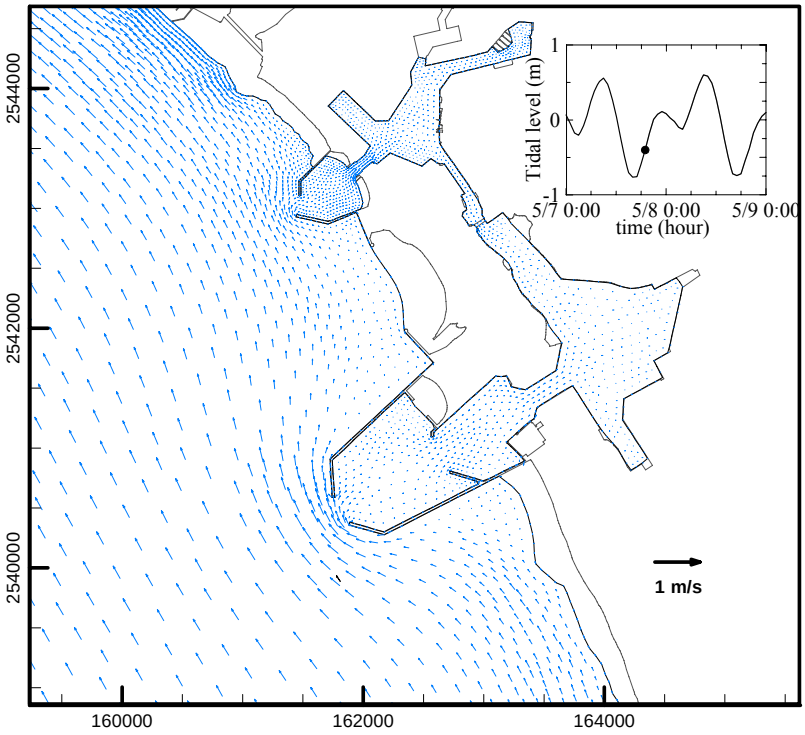


圖 4.31 (續 3)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/07 1 9:00)

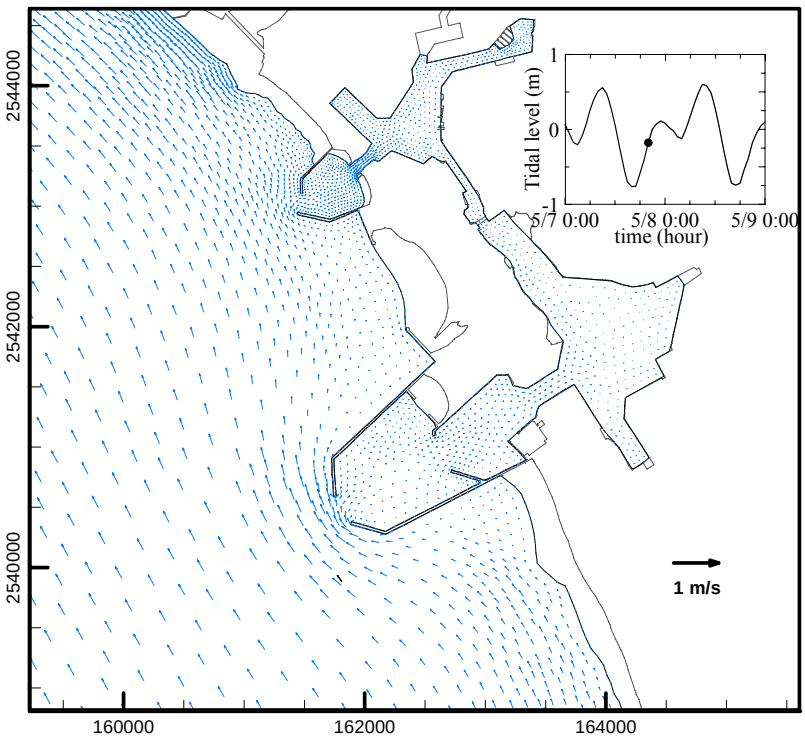


圖 4.31 (續 4)安平港流場模擬結果之流速向量圖 (2012/05/07 20:00)

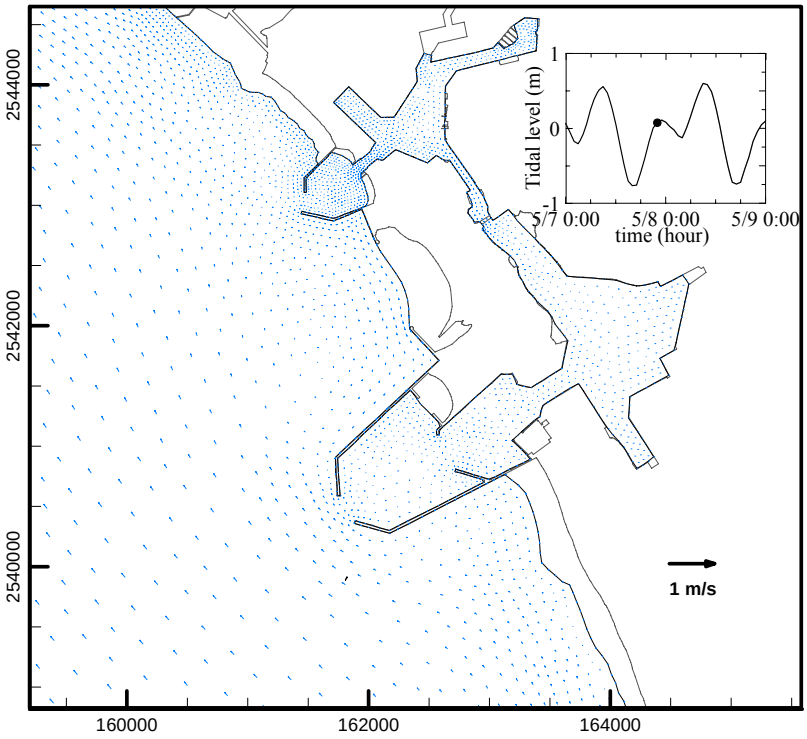


圖 4.31 (續 5)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/07 22:00)

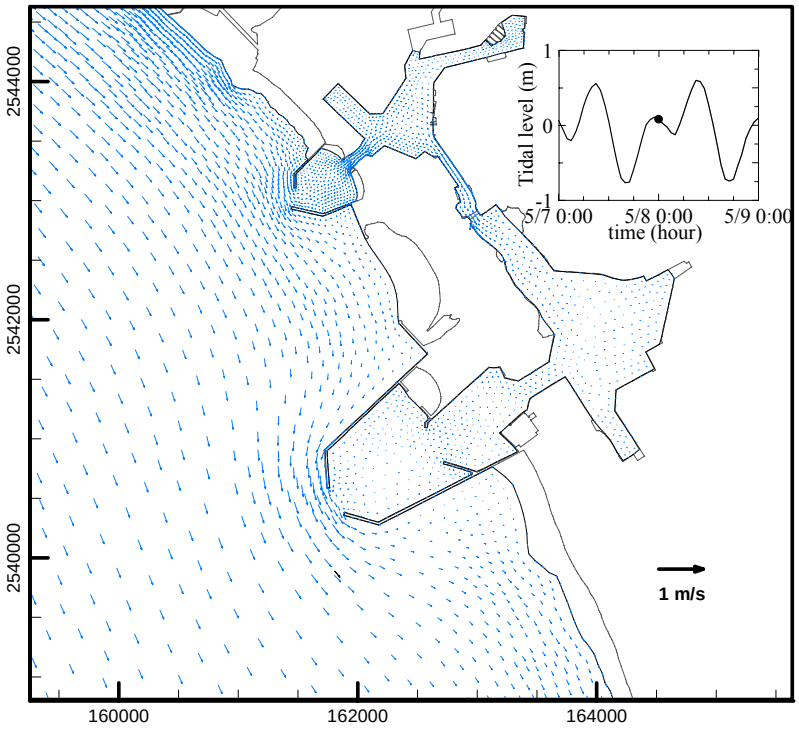


圖 4.31 (續 6)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 00:00)

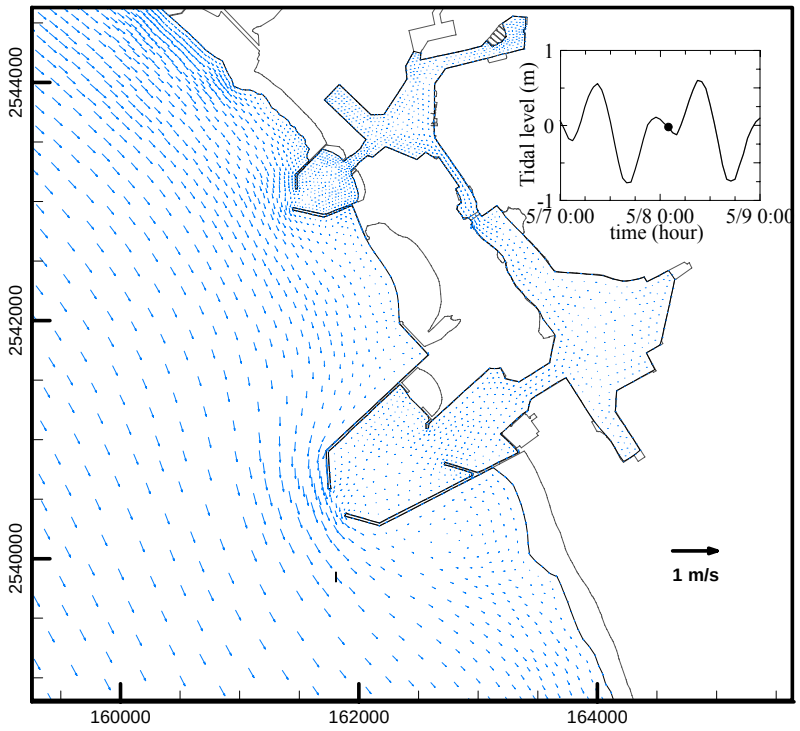


圖 4.31 (續 7)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 02:00)

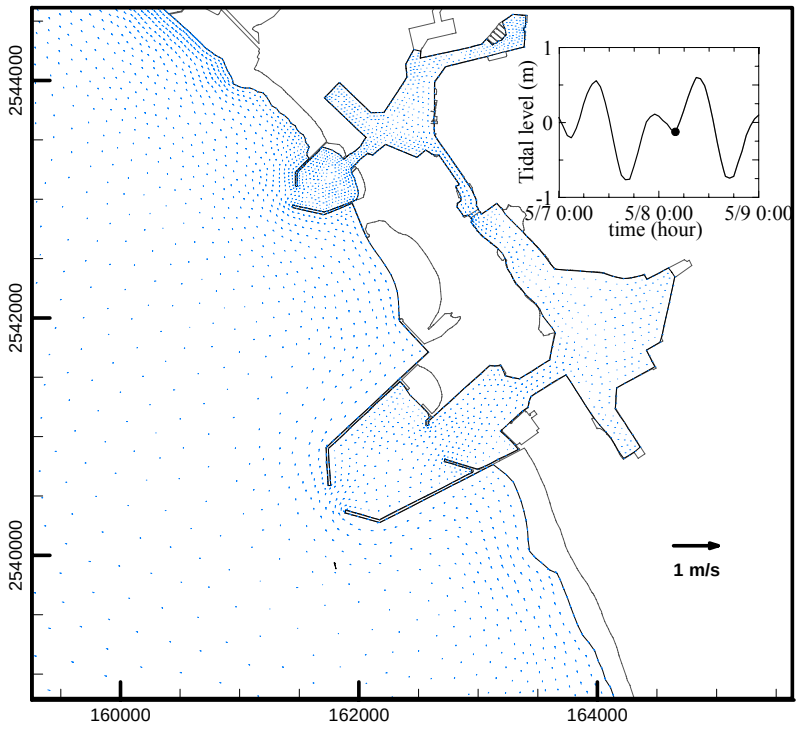


圖 4.31 (續 8)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 04:00)

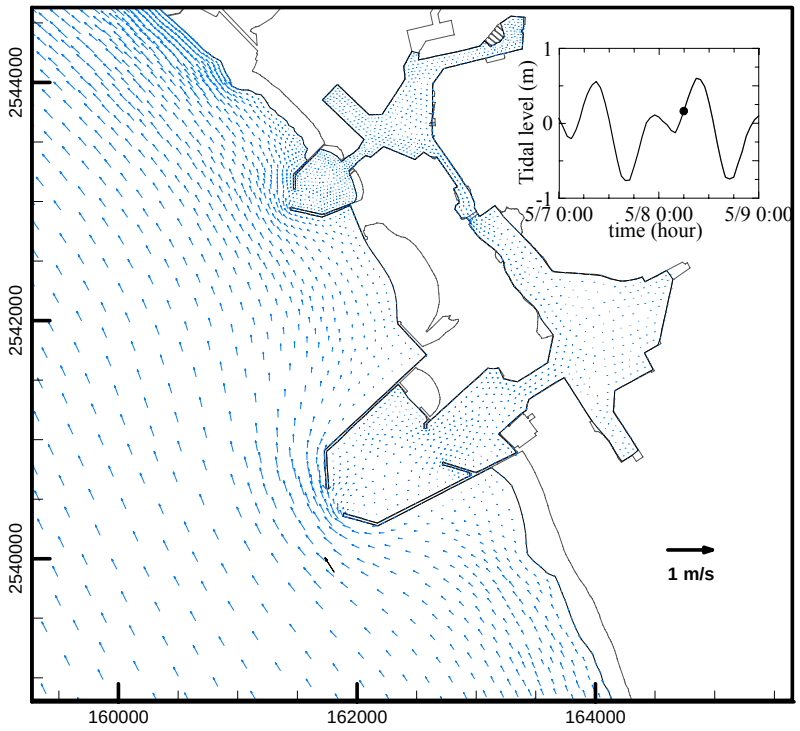


圖 4.31 (續 9)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 06:00)

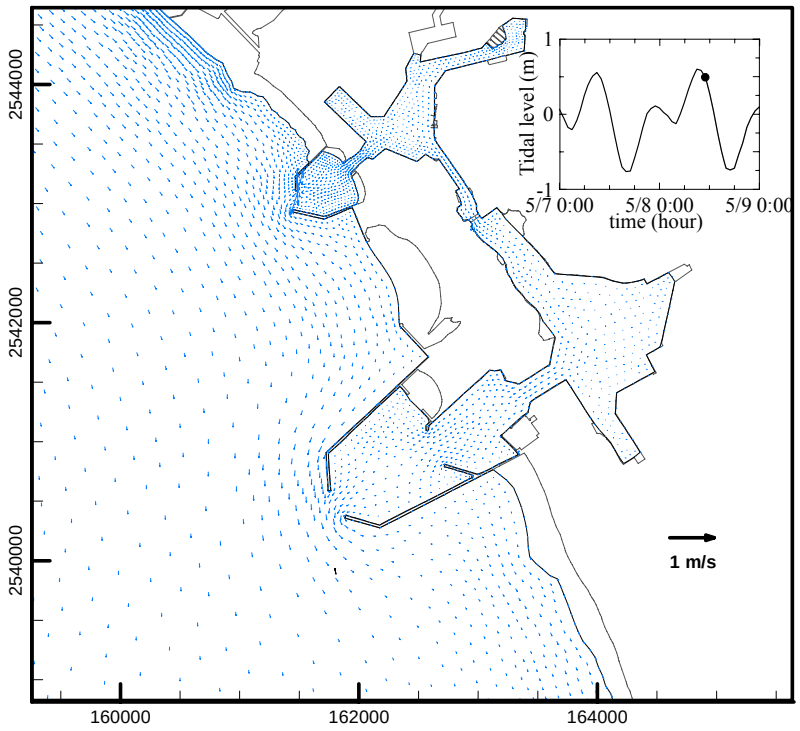


圖 4.31 (續 10)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 11:00)

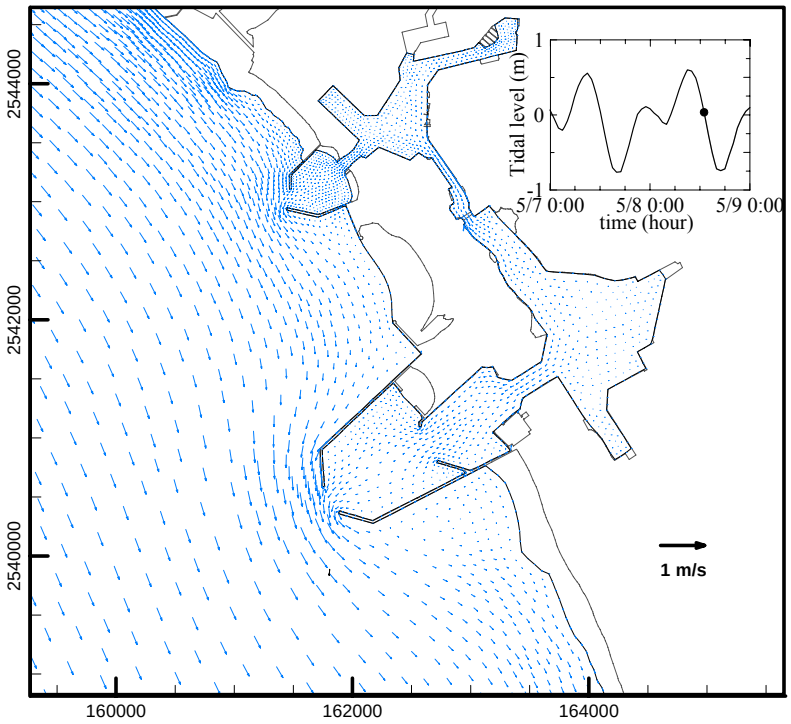


圖 4.31 (續 11)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 13:00)

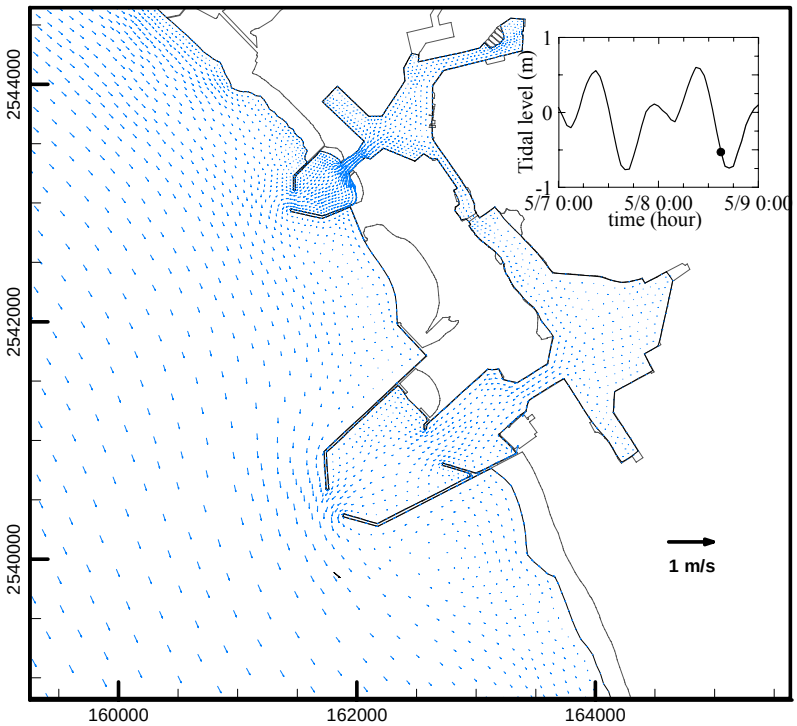


圖 4.31 (續 12)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 15:00)

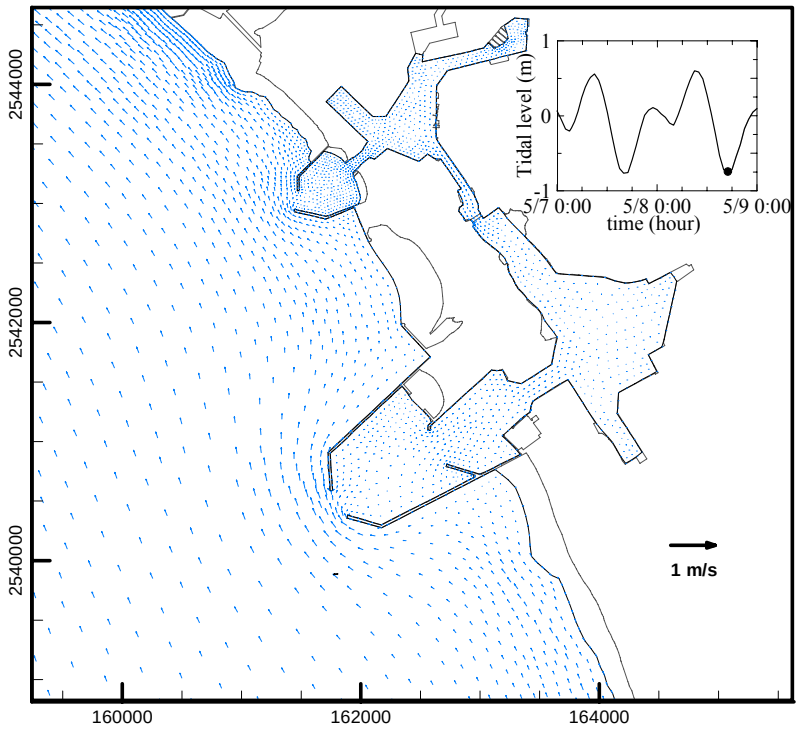


圖 4.31 (續 13)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 17:00)

4.4 小尺度高雄港區水動力模組改善研究

同前述安平港區水動力模組說明，本計畫小尺度高雄港區水動力模組係前期計畫於 98 年度完成初步的小尺度高雄港區近岸水動力模組建置工作，其中高雄港區水動力模組之模擬範圍及有限元素網格配置如圖 4.32 所示，範圍北起高雄市梓官區，南至高雄市林園區海岸；沿海岸方向長約 26 km，離岸方向寬度約 11 km；圖中有限元素網格係由 3201 個節點及 5917 個三角形元素構成的，網格水深資料之分布情形如圖 4.33 所示。同樣地，針對高雄港區本年度計畫將依據前期計畫建置的高雄港港區近岸水動力模組進行相關修正與改善研究，本章節內容包括水動力模組之有限元素格網之修正及水深資料更新、模式邊界條件之修正、模式相關參數率定與驗證、高雄港港區近岸水位及流場模擬等工作。

4.4.1 有限元素網格修正及水深資料更新

基於高雄港海流觀測資料分析結果顯示高雄港外海流況潮流特性與臺灣西部海岸迴異，以及前期計畫高雄港流況模擬結果無法呈現出高雄港潮流特性等因素考量，本年度計畫針對小尺度高雄港水動力模組模擬範圍提出修正方案。方案之一為將模式模擬範圍向南延伸至高屏溪口北岸，離岸方向之邊界則擴展至水深 150m 等水深線附近，如圖 4.34 所示；依據新的模擬範圍，本計畫修正的有限元素計算網格，如圖 4.35 所示。圖中有限元素網格係由 3499 個節點及 6513 個三角形元素構成的，有限元素網格之水深資料則依據本報告 2.2 節蒐集的水深資料予以更新。

4.4.2 邊界條件修正

同前述本年度安平港水動力模組之邊界條件設定方式，高雄港區水動力模組開放海域邊界之水位條件建置修正為：依據本計畫中尺度臺灣周圍海域水動力模組天文潮模擬結果產生高雄港小尺度水動力模組開放海域邊界節點之水位時序列資料，作為模式之開放邊界條件模擬高雄港海域水位及流場。然在模擬結果驗証過程中，由模擬結果得知直接採用上述水位邊界條件實無法模擬出高雄海域潮流流況特性。針對此一問題，本計畫提出暫時應變之方案，即調整模擬範圍南邊界上水位邊界條件之相位及振幅，以達到高雄港潮流流況模擬結果能與觀測資料之潮流特性相符之目的。經修正後的南北開放邊界之水位時序列資料如圖 4.36 所示，圖中北開放邊界之水位資料代表由中尺度水動力模組模擬結果轉出之水位資料，南開放邊界之水位資料則為本計畫經由相位及振幅修正後的水位資料。

4.4.3 模式參數率定與驗證

經採用本年度高雄港區近岸水動力模組更新之有限元素網格測試後，得知模式之時間間距$\triangle t$ 為 2.0 sec 可使模式穩定的運算。渦動粘滯性係數同樣參考(4.32)式計算各元素代表性渦動粘滯性係數，式中採用

的參數值分別為無因次係數 a 值為 0.02，代表性流速 $\tilde{u}$ 值為 0.5 m/s，代表性潮差 $\tilde{\eta}$ 值為 0.5m。有限元素網格之底床摩擦係數設定係隨水深而變，其值約介於 0.003~ 0.018 之間。

本計畫選取 2012 年 10 月份高雄港港內水位觀測資料以及港外海流觀測資料之潮流分析結果，作為本年度高雄港水動力模組模擬結果驗証之依據，模式相關驗証結果如圖 4.37 及圖 4.38 所示；驗証結果顯示高雄港水位模擬結果大致上仍與觀測資料相當近似，僅在全日潮水位轉折變化階段仍有較明顯地誤差;在流速 EW 及 NS 方向分量比較上，速度振幅及相位變位模擬值與觀測資料之調和分析結果仍有顯著之誤差存在，但流向及相位變位的趨勢上已能夠反應出潮流漲潮流向往東南及退潮流向往西北之特性。

4.4.4 高雄港海域流場模擬結果

有關高雄港海域漲退時潮流變化情形，如圖 4.39 所示；由流況變化得知大致有符合觀測資料漲潮往東南向及退潮往西北之流況特性，但因高雄港水動力模組仍有有待進一步研究與校驗，因此本年度計畫高雄港海域流況模擬並未如同安平港水動力模組進行長時間流況模擬與分析。

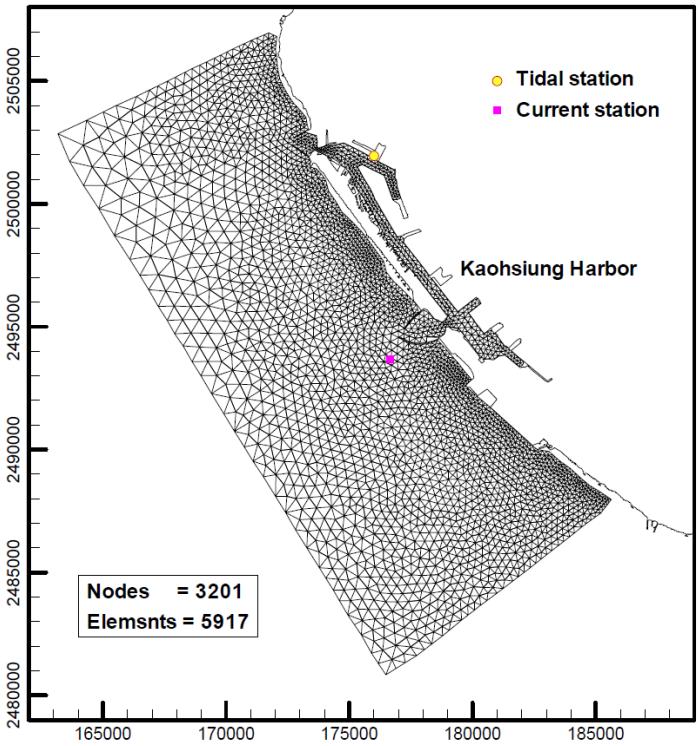


圖 4.32 高雄港水動力模組之模擬範圍及有限元素格網分佈圖

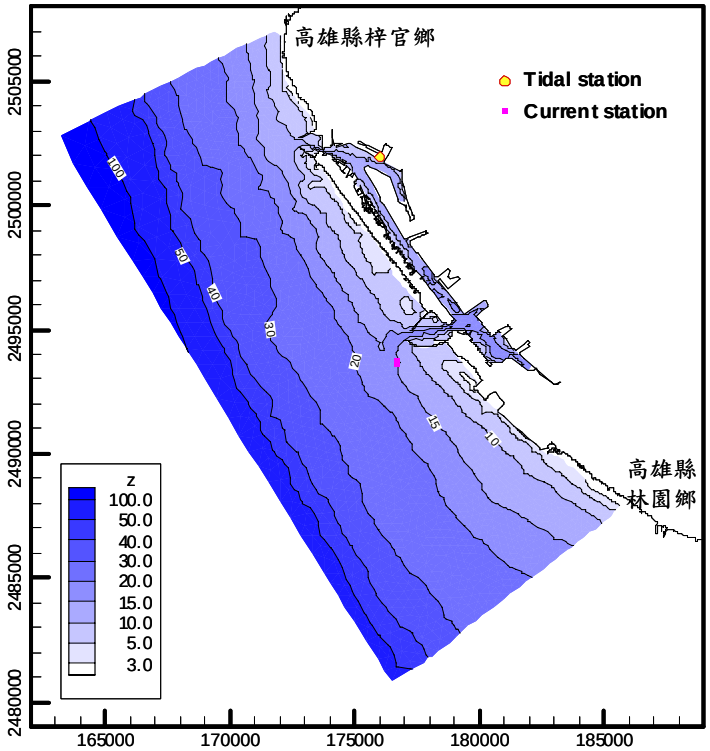


圖 4.33 高雄港水動力模組模擬範圍內等水深線分布圖

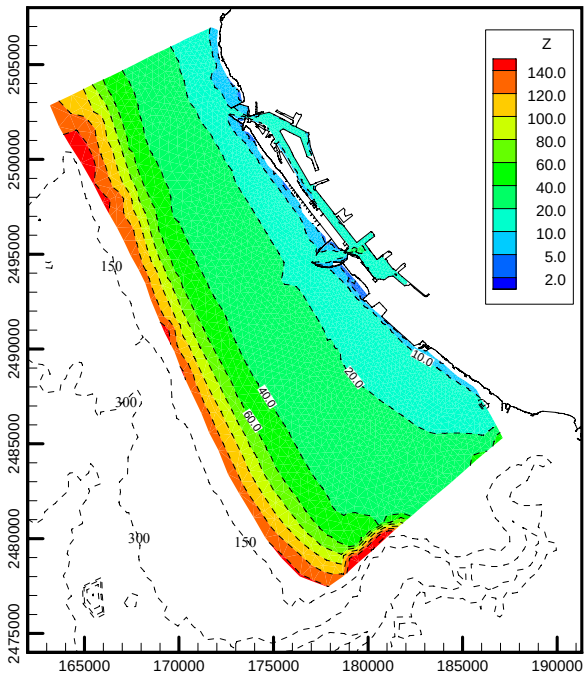


圖 4.34 高雄港水動力模組模擬範圍內等水深線分布圖

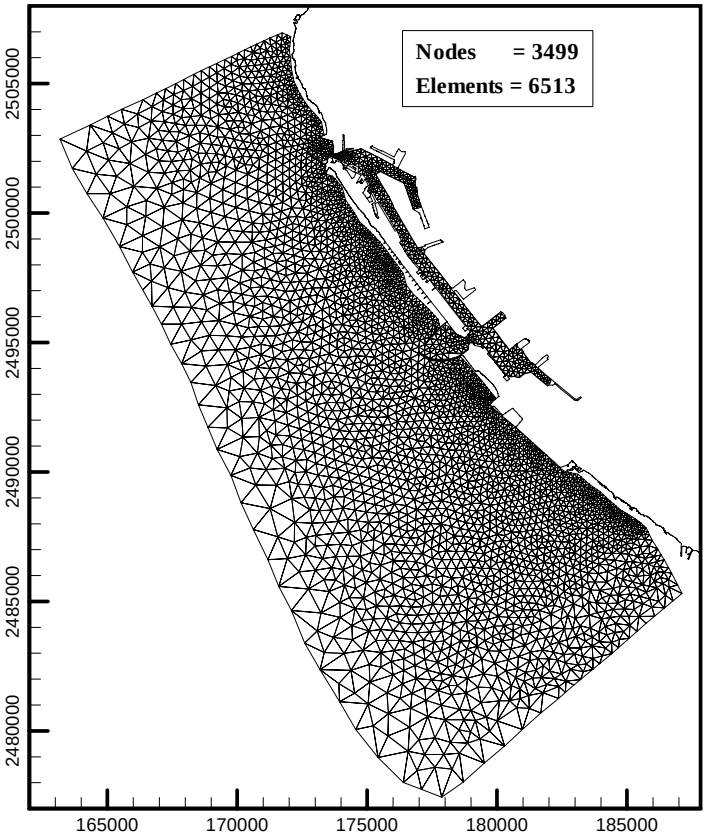


圖 4.35 高雄港水動力模組模擬範圍內等水深線分布圖

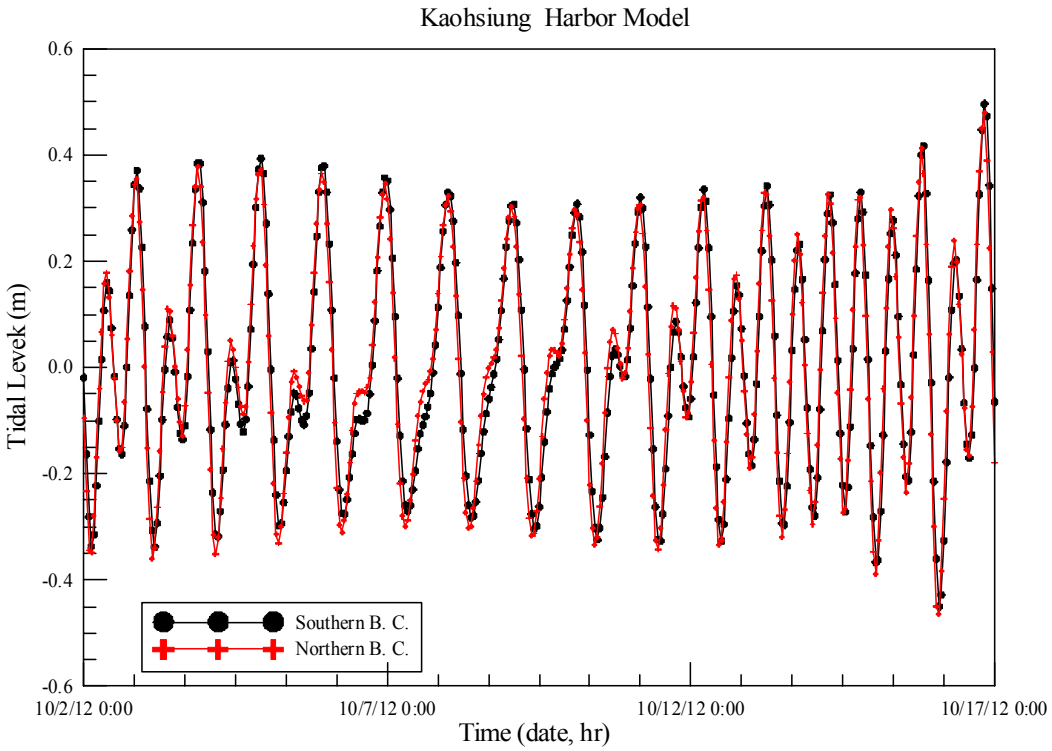


圖 4.36 高雄港水動力模組南、北開放邊界近岸節點之水位時序圖

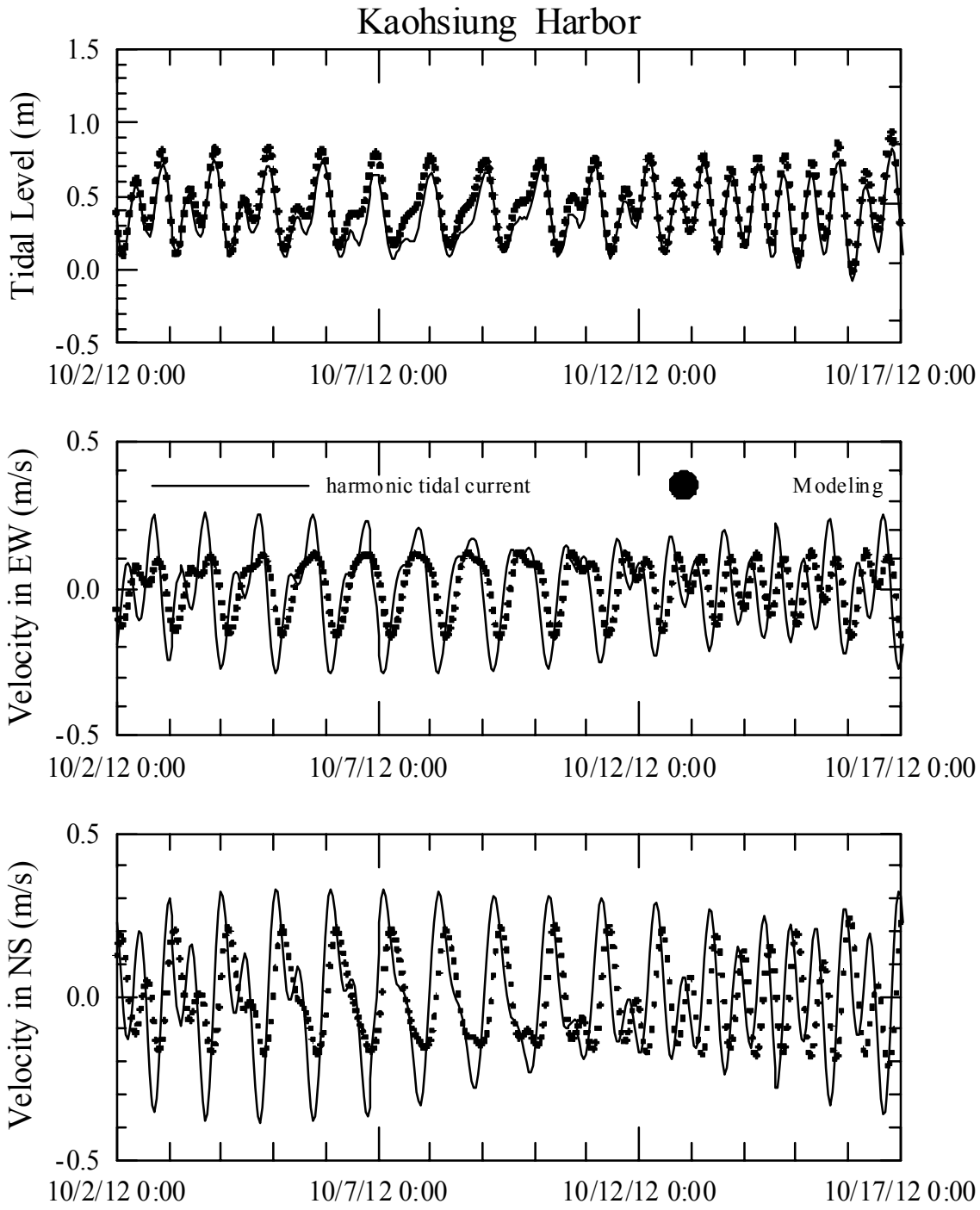


圖 4.37 高雄港水位與潮流模擬結果與海流觀測資料調和分析 (O_1、K_1、N_2、M_2、S_2)之 E-W 及 N-S 向速度分量比較圖

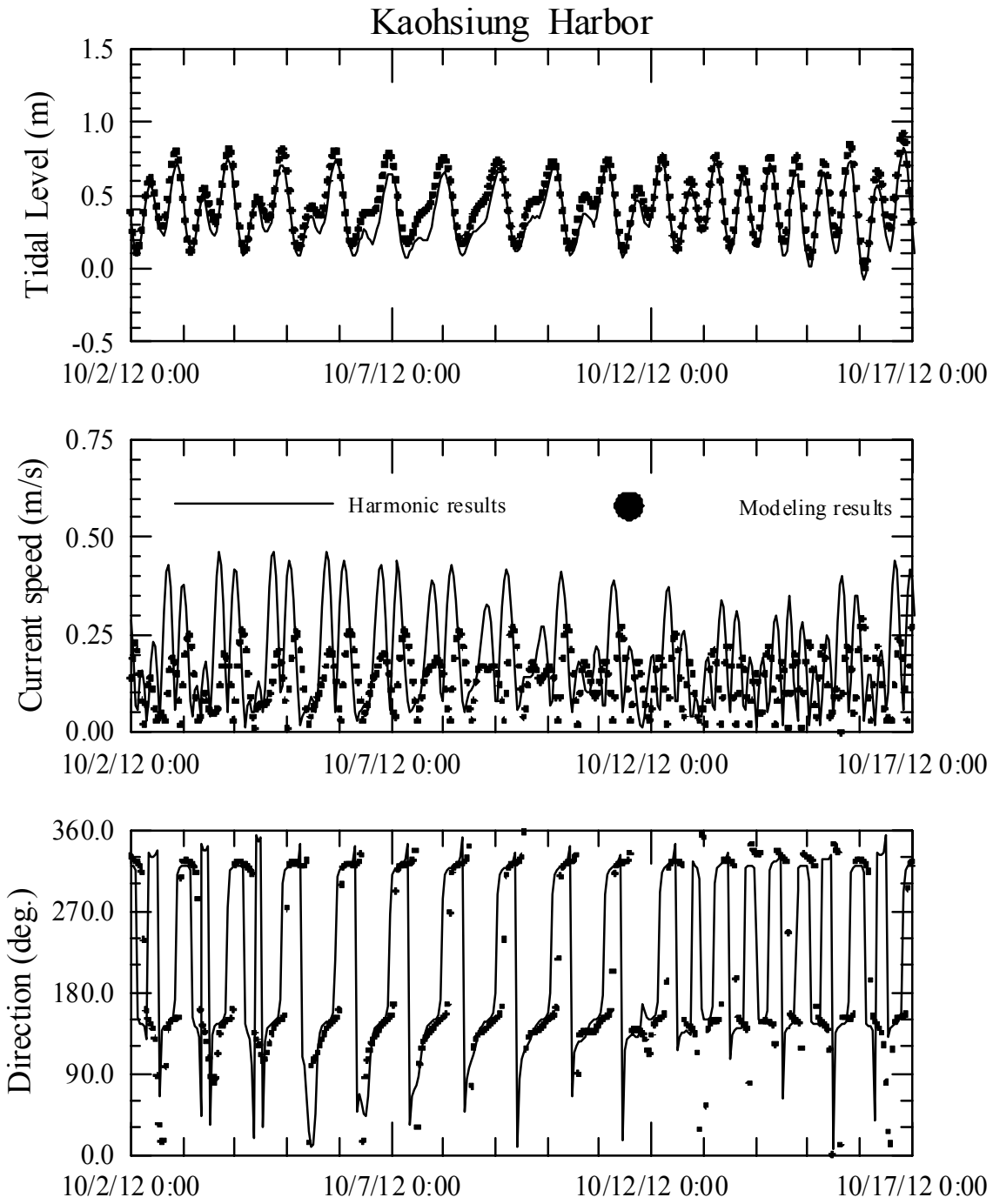


圖 4.38 高雄港水位及潮流模擬結果與海流觀測資料調和分析 (O_1、K_1、N_2、M_2、S_2)之流速大小及流向比較圖

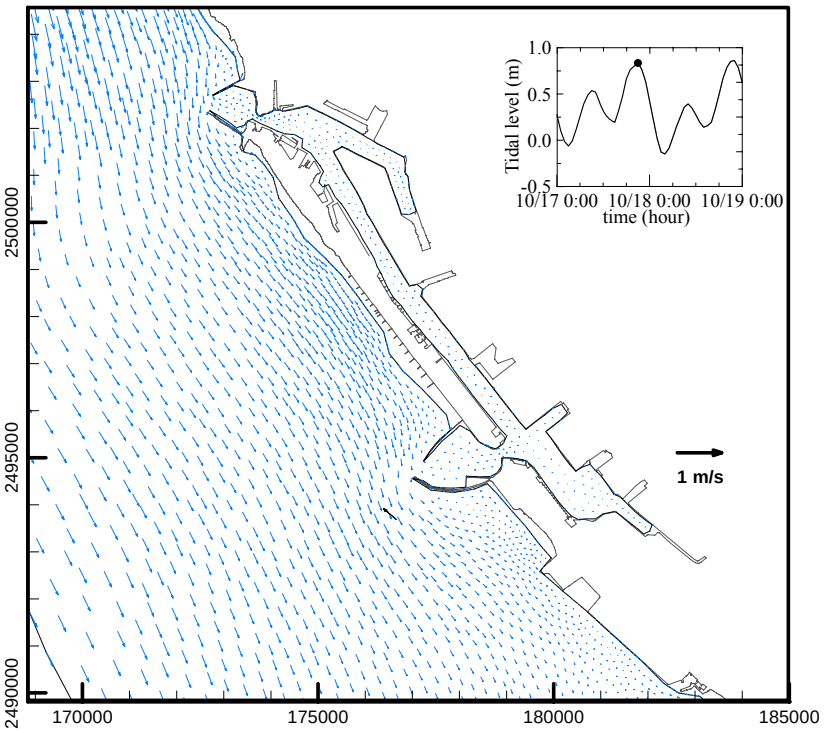


圖 4.39 高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/17 20:00)

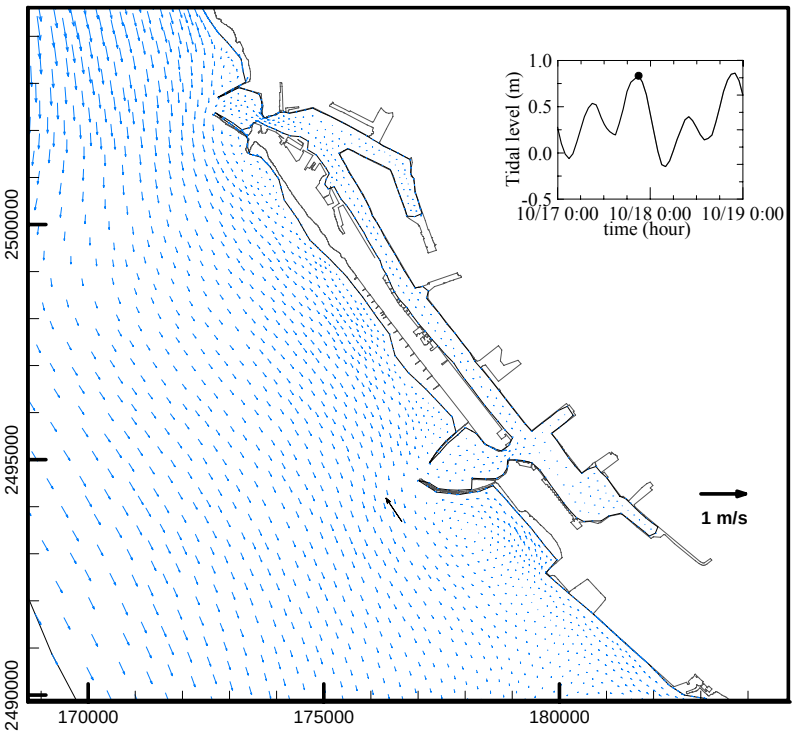


圖 4.39 (續 1)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/17 21:00)

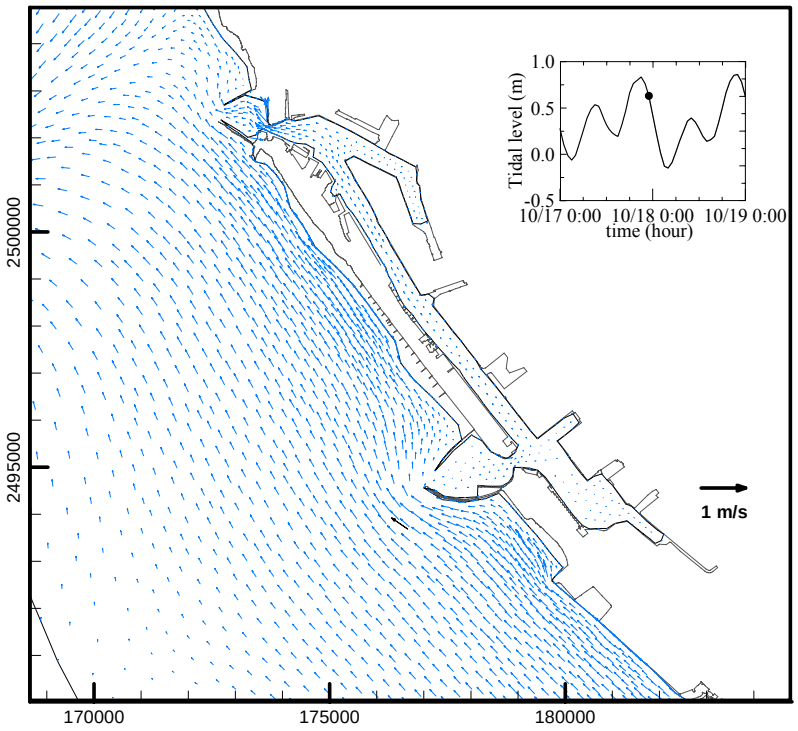


圖 4.39 (續 2)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/17 23:00)

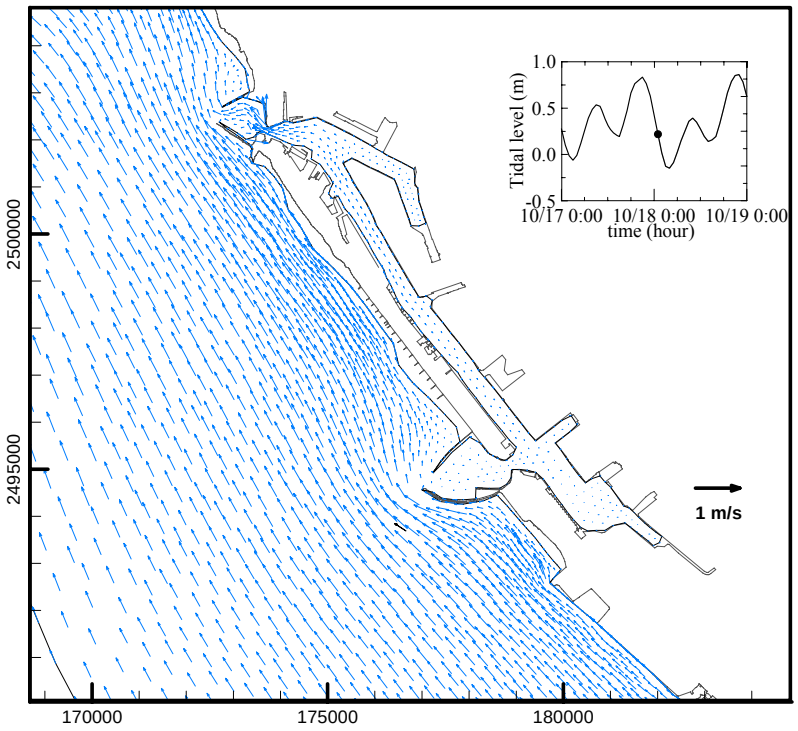


圖 4.39 (續 3)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 01:00)

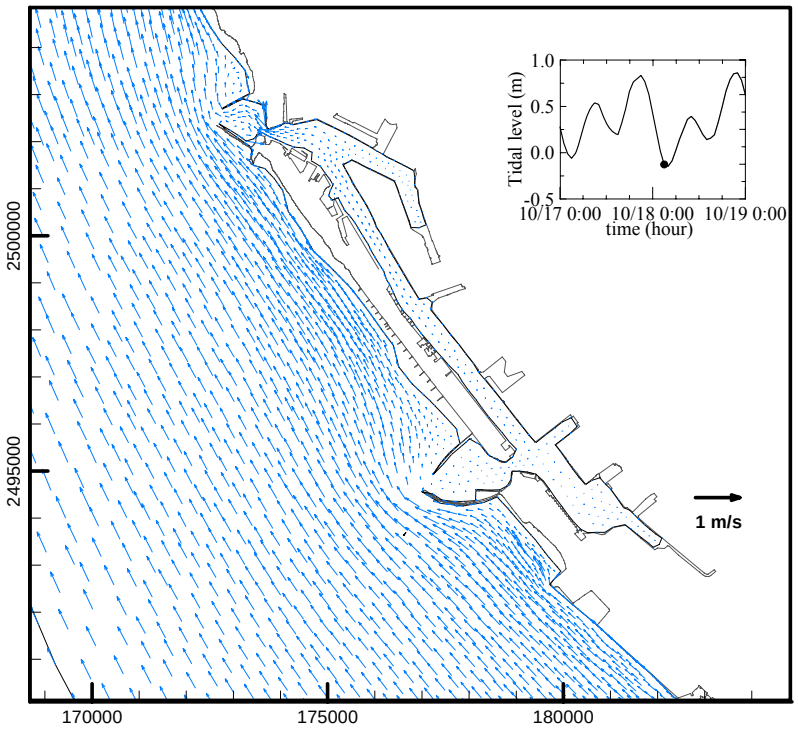


圖 4.39 (續 4)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 03:00)

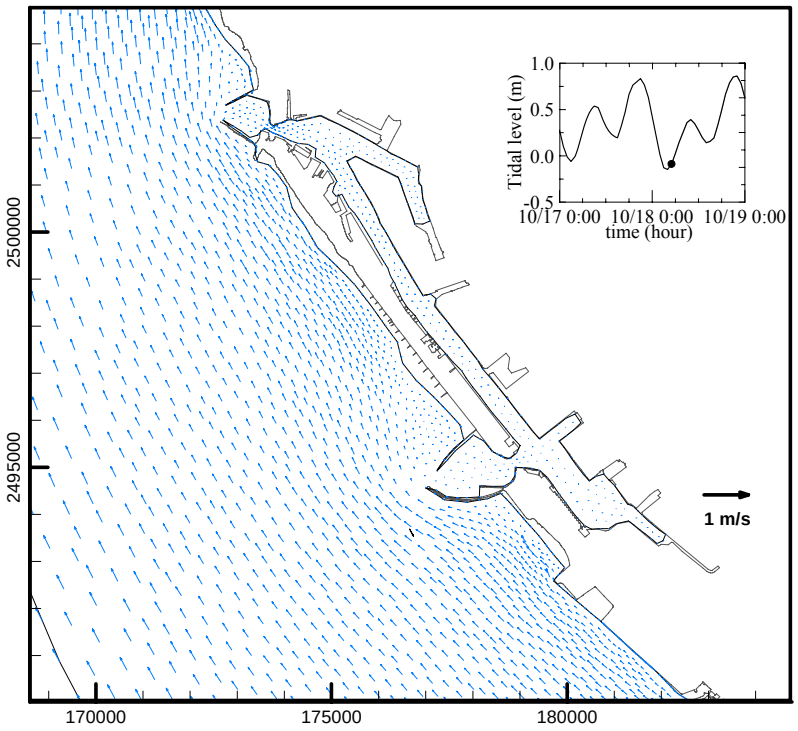


圖 4.39 (續 5)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 05:00)

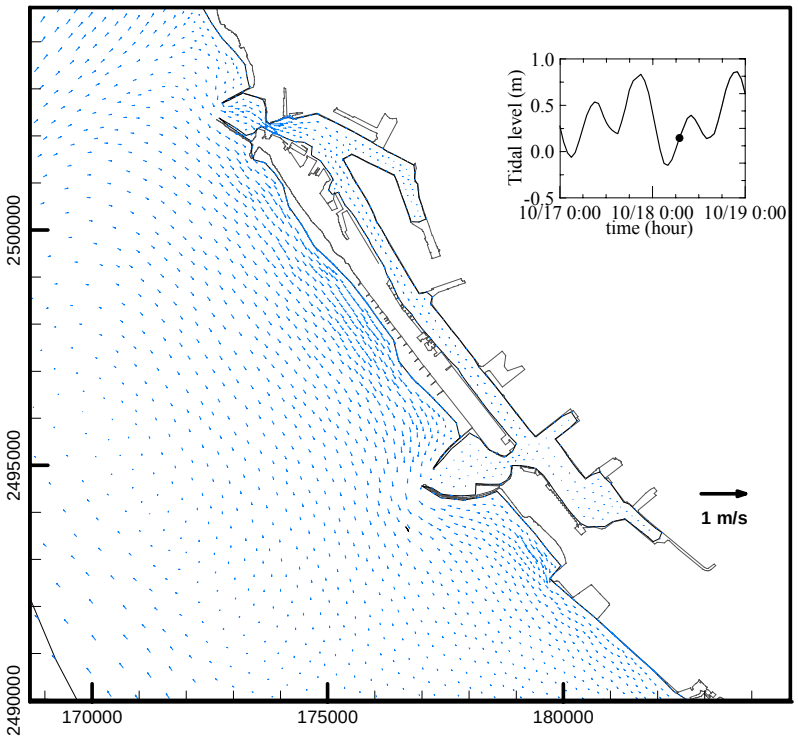


圖 4.39 (續 6)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 07:00)

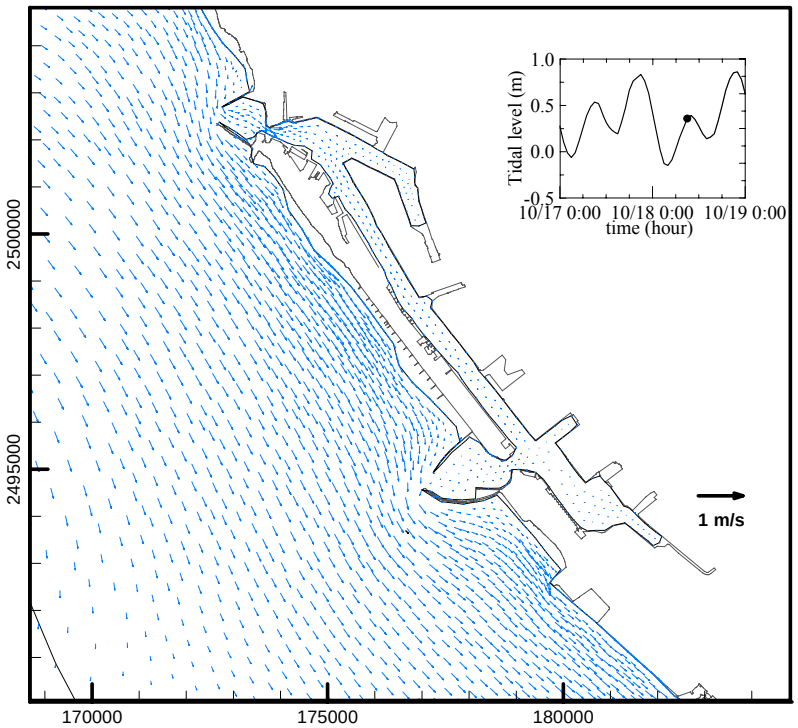


圖 4.39 (續 7)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 09:00)

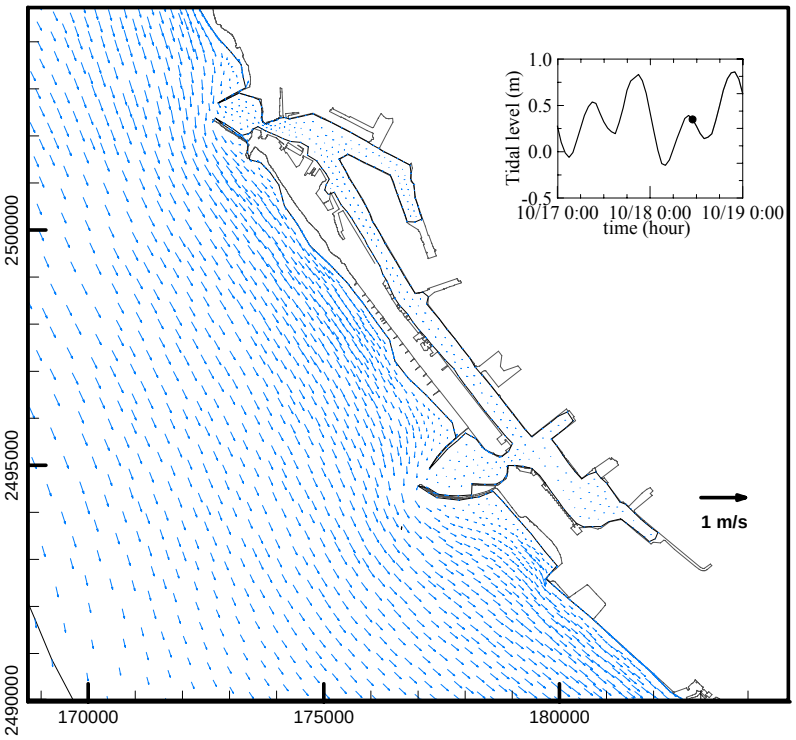


圖 4.39 (續 8)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 11:00)

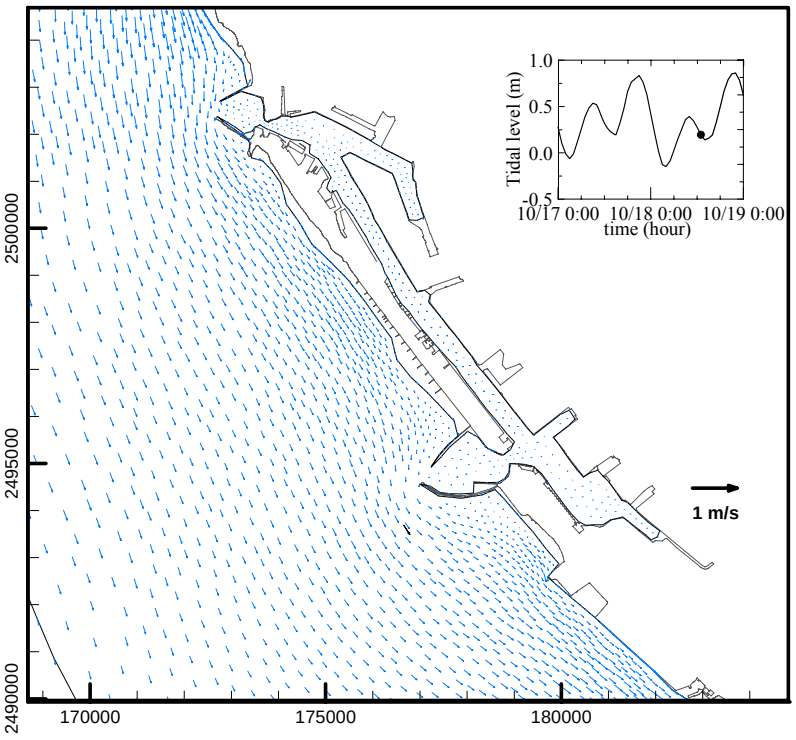


圖 4.39 (續 9)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 13:00)

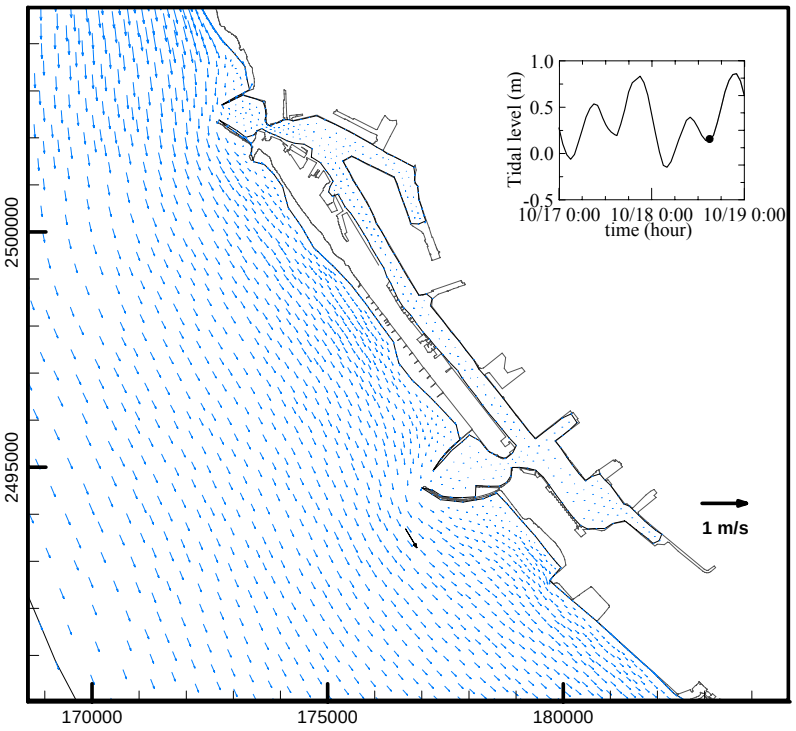


圖 4.39 (續 10)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 15:00)

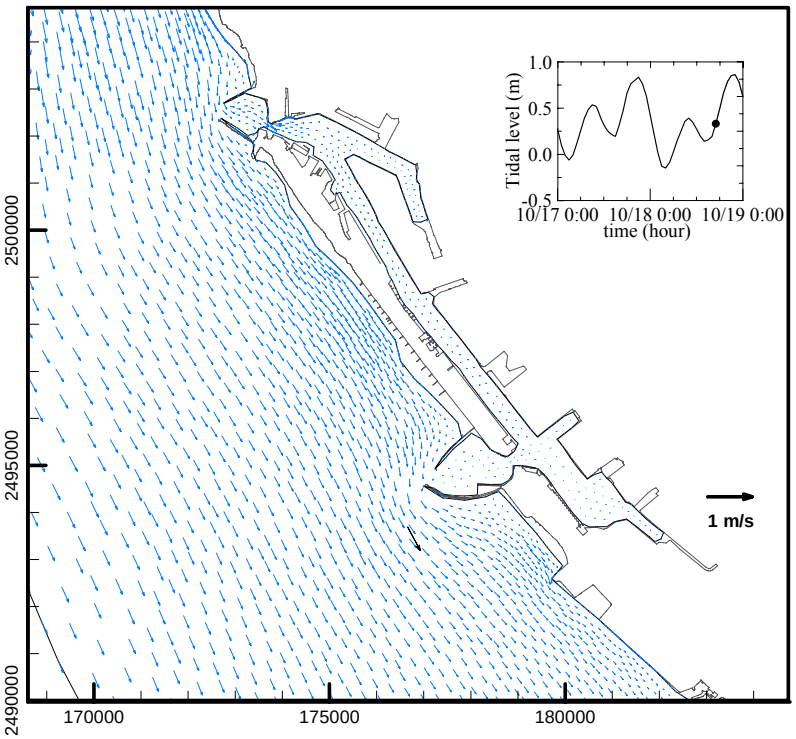


圖 4.39 (續 11)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 17:00)

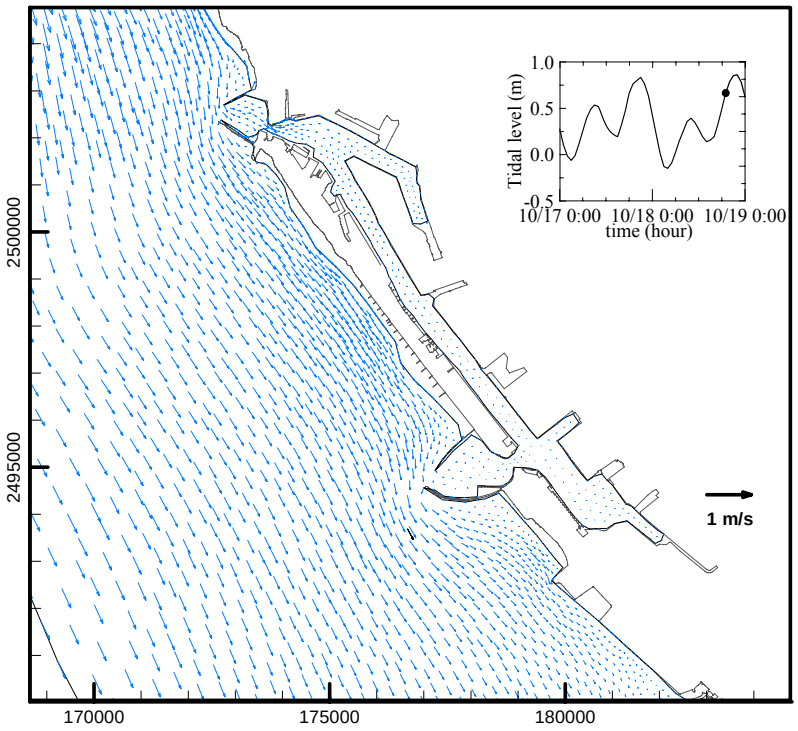


圖 4.39 (續 12)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 19:00)

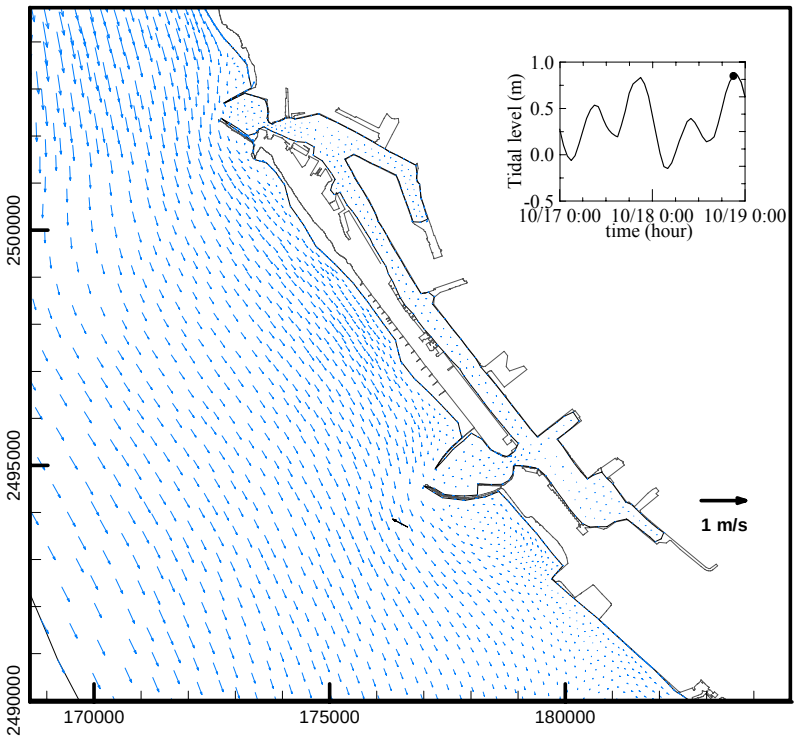


圖 4.39 (續 13)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 21:00)

4.5 小結

本計畫以提昇臺灣周圍海岸及港灣海域水位與海流模擬技術為研究目的，本年度以安平港區及高雄港區為研究對象，進行水位及流場等海象模擬之研究。依據本報告研究及工作成果綜整得到下列結論：

(1) 在臺灣周圍海域暴潮模組建置研究方面，本年度分別針對天文潮引起的水位變化及含氣象潮效應之天文潮水位變化進行模擬結果驗証與分析；其中天文潮水位變化模擬結果均能夠與高雄港及安平港潮位變化相符，証明中尺度有限元素網格之水位模擬結果能符合計畫需求；另在氣象潮水位變化分析結果得知，氣象潮水位變化趨勢與氣壓差值變化趨勢具有高度相關性，但二者相關性之決定係數值約為 0.45，顯示模式模擬結果而言風場效應引起的水位變化亦居重要的影響地位。

(2) 在小尺度網格水動力模組研究上，本計畫分別針對安平港區近岸水動力模組及高雄港區近岸水動力模組進行必要的更新研究，內容除了針對模式主要的物理參數率定外，同時對開放邊界之水位資料改採用中尺度有限元素網格天文潮水位模擬結果進行小尺度有限元素網格水位及流場模擬；經由模擬結果驗証得知，安平港小尺度有限元素網格水位及流場模擬結果具有顯著改善成效，但高雄港小尺度有限元素網格水位及流場模擬結果則改善成效有限。

第五章 海嘯對港區及跨河橋梁之模式建置與分析

5.1 海嘯資料蒐集

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 1500~2013 年共有 2259 起海嘯事件，約 10%是由火山活動或其他因素所造成，50%以上是由地震所引起的，即是大部分之海嘯事件仍舊是由地震活動所造成的，其中地震規模多在 4 以上，多半集中於 5~8.9 之區間。

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。

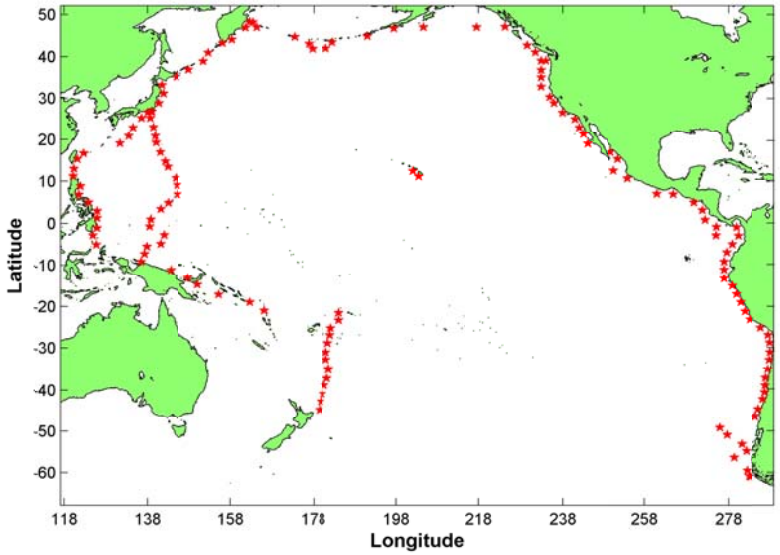


圖 5.1 環太平洋地震帶及海溝分佈(紅點為海溝位置)

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 1157 起樣本數中，僅有 764 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。

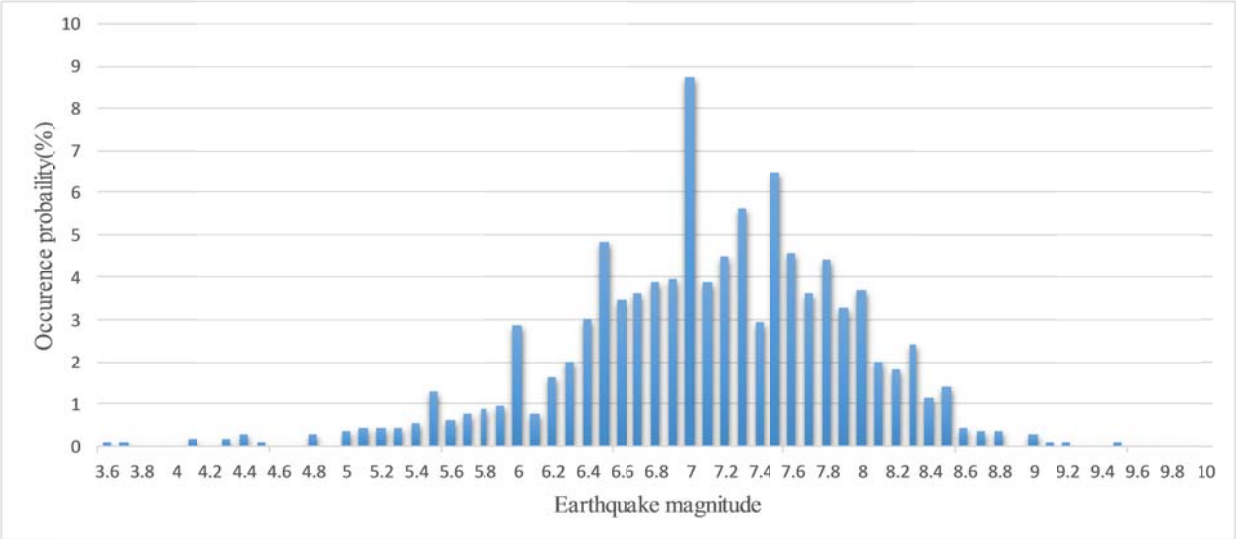


圖 5.2 1500-2013 年海嘯事件之地震規模分析

資料來源: 美國 NGDC 之 Natural Hazard Database

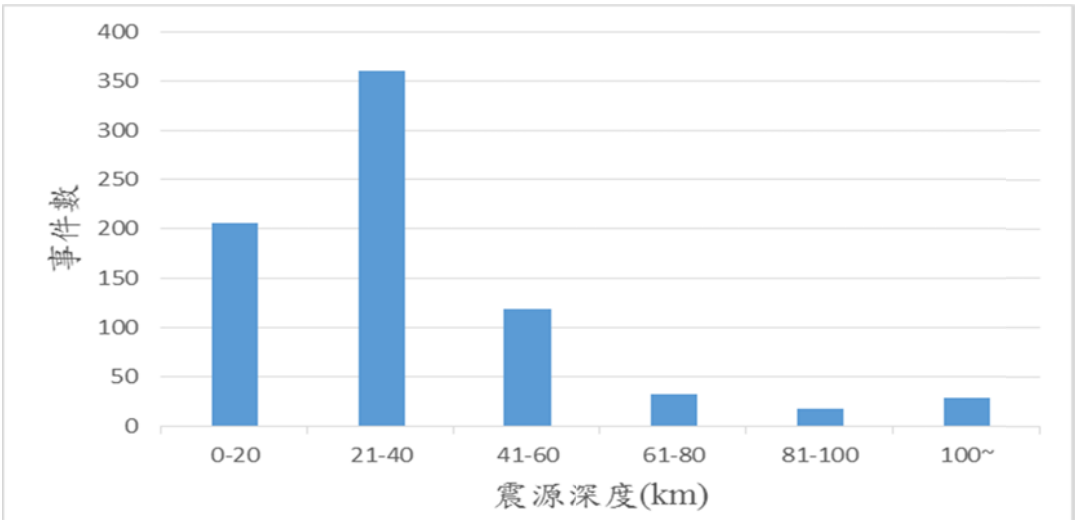


圖 5.3 1500-2013 年海嘯事件之震源深度分析

資料來源: 美國 NGDC 之 Natural Hazard Database

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 2013 年 5 月為止，較具規模之海嘯事件共九起，如表 5-1 所示。

表 5-1 2004~2013 年間重大海嘯事件

資料來源: 美國 NGDC 之 Natural Hazard Database

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

2011 年 3 月 11 日東日本海嘯事件中，由現場實況及事後調查報告均顯示即使海嘯波已經造成溢淹，其殘餘速度仍足夠衝跨目前現有之結構物。因為海嘯具有強大破壞性但也具備高度不可預測性，故自南亞海嘯之後，印度洋周邊國家開始建立區域性海嘯預警系統；美日兩國也加強與周邊國家之資訊交流，但在薩摩亞海嘯事件中證明現有之海嘯預警系統/流程對於近域海嘯幾乎無事先預警之功能。日本先前所建立之海嘯預警系統及應變措施在這次的海嘯事件中有發揮其功效，有效降低傷亡之人數。海嘯所造成之災害是全面性的，以東日本海嘯為例，沿岸有核電廠等重要結構物，海嘯過後所引發之大火及核電廠冷卻失靈也造成了嚴重災情及難以收拾之復建作業；雖然當地雖建有號稱海上長城之防波堤，在海嘯來襲之時其原先預期的防禦功能因已超過設計值而無法抵擋海嘯來襲時之波高，雖有效降低海嘯流速及溢淹面積，但兩座防波堤也完全毀損，地形之效應使得海嘯最大溯升高度約達 40 公尺左右。

根據既有歷史文獻紀錄，高雄及安平兩地曾有疑似海嘯之紀錄，可信度甚高；依海底地形而言，西南外海地形較緩有利於海嘯等長坡溯上發展；依海嘯淺勢波源而言，西南外海之海底斷層系統連接馬尼拉海溝，此一區域被地質學者認為是海嘯之高風險區域。根據互逆格

林函數之放大率圖顯示，對高雄港及安平港威脅性最大的是來自於發生西南外海以及連接馬尼拉海溝的海底斷層系統；如圖 5.4 所示。

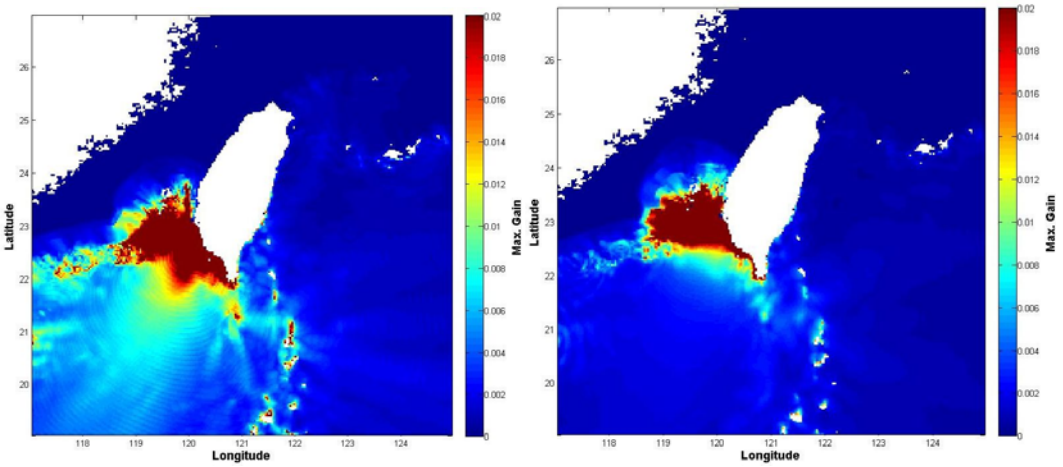


圖 5.4 高雄港(左)及安平港(右)之放大率及海嘯潛勢波源區

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 5.5 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。

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 2.6)及安平(1661 年)可信度較高(許明光、李起彤，1996)。以下摘錄歷史文件對古海嘯之文字記載(李昭興等，2006)：

(1) 1661 年(清順治 17 年，明永曆 14 年)1 月 8/9 日~2 月 15 日安平

「中國海嘯歷史年表」：「臺灣安平大海嘯。“海潮至，淹廬舍無算 ”」。

(2) 1721 年(清康熙 59 年)1 月 5 日臺南

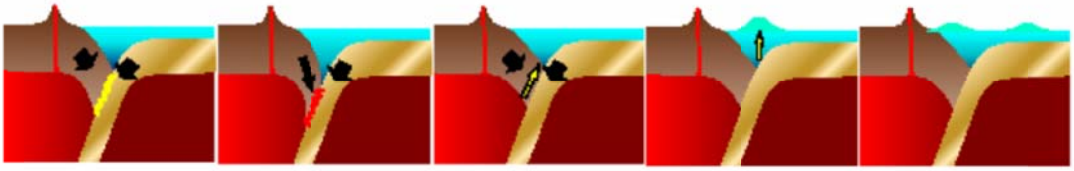
明清史料戊篇（第 1 本，21 葉上）「去年（康熙五十九年，西元 1721 年 1 月 5 日）.....因地震，海水冷漲，眾百姓合夥謝神唱戲」

(3) 1781 年(清乾隆 46 年)5 月間(4 月 24 日-6 月 21 日)高雄

「臺灣采訪冊」（頁 41）「祥異，地震」的記載。「(乾隆 46 年)鳳港西里有加藤港，多生加藤，可作澀，染工賴之，故名云。港有船通郡，往來潮汐無異。乾隆四十六年四、五月間，時甚晴霽，忽海水暴吼如雷，巨浪排空，水漲數十丈，近村人居被淹，皆攀援而上至尾，自分必死，不數刻，水暴退，人在竹上搖曳呼救，有強力者一躍至地，兼救他人，互相引援而下。間有牧地甚廣及附近田園句壑，悉是魚蝦，撥剌跳躍，十里內村民提籃契筒，往爭取焉。聞只淹斃一婦，婦素悍，事姑不孝，餘皆得全活。嗣聞是日有漁人獲兩，將歸，霎時間波濤暴起，二物竟趣，漁者乘筏從竹上過，遠望其家已成巨浸，至水汐時，茅屋數椽，已無有矣。」。

(4) 1867 年(清同治 6 年)12 月 18 日基隆

(5) 「淡水廳志」，「（同治六年）冬十一月，地大震。.....二十三日，雞籠頭、金包里沿海，山傾地裂，海水暴漲，屋宇傾壞，溺數百人。」。



(資料來源：邱等，2005)

圖 5.5 交界處發生錯動後引起海嘯之示意圖

臺灣西南方之馬尼拉海溝是研究海嘯學者認為是高風險之潛勢震源區。臺灣西南部與南部海域雖然較少活動斷層，地震頻率及規模均較少，但 2006 年兩起規模 6 以上之地震在此區產生，既有科學文獻也顯示臺灣西南海域有許多斷層帶。再加上位於臺灣南方的菲律賓與臺灣同屬於菲律賓海板塊與歐亞板塊的聚合帶，地震頻繁，呂宋島有許多活動斷層延伸至海域，大規模斷層活動可能引發海嘯，於數十分鐘至一小時即可到達臺灣西南部海域，衝擊臺灣南部及西南部海岸。地質文獻可以看出臺灣陸地斷層其實往南延伸至海底，故對某些海底斷層，可以從陸地露頭推測之性質(陳等，2007)。一般以地震斷層運動造成的情形最常見。臺灣位於環太平洋地震帶，地震頻仍；較近的例子

如 921 大地震，地表斷層上下運動(如圖 5.6)最大可達十公尺，同樣的斷層運動萬一發生在海上，將產生大海嘯，造成重大傷亡。因此吾人須正視臺灣可能的海嘯風險。



圖 5.6 921 大地震造成地表斷層上下錯動

5.2 海嘯速報系統之建置

5.2.1 海嘯速報系統

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。

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，本研究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。

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。

本研究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。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。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：

$$\eta_t + P_x + Q_y = 0 \quad \text{.....(2.1)}$$

$$P_t + \left(\frac{P^2}{H}\right)_x + \left(\frac{PQ}{H}\right)_y + gH\eta_x - fQ + \tau_x H = 0 \quad \text{.....(2.2)}$$

$$Q_t + \left(\frac{PQ}{H}\right)_x + \left(\frac{Q^2}{H}\right)_y + gH\eta_y + fP + \tau_y H = 0 \quad \text{.....(2.3)}$$

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，$f = 2\omega \sin\Phi$ 為科氏參數(ω 為地球自轉角速度，Φ 為緯度)，τ_x、τ_y 分別為 x 與 y 方向底部摩擦力。

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)。

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。

5.2.3 系統建構

本研究海嘯波高資料庫之建置構想及初始概念，即是尋找一個方法能提高海嘯計算之效率，在遠/近域海嘯發生後，能夠快速掌握可能之最大波高以及到達時間，提供給各港務分公司作為後續應變作為之參考，並將各個港口之資料庫整合在單一操作界面之下，以方便使用者使用。其預警系統主要流程如圖 5.7 所示。本節介紹系統建置方式。

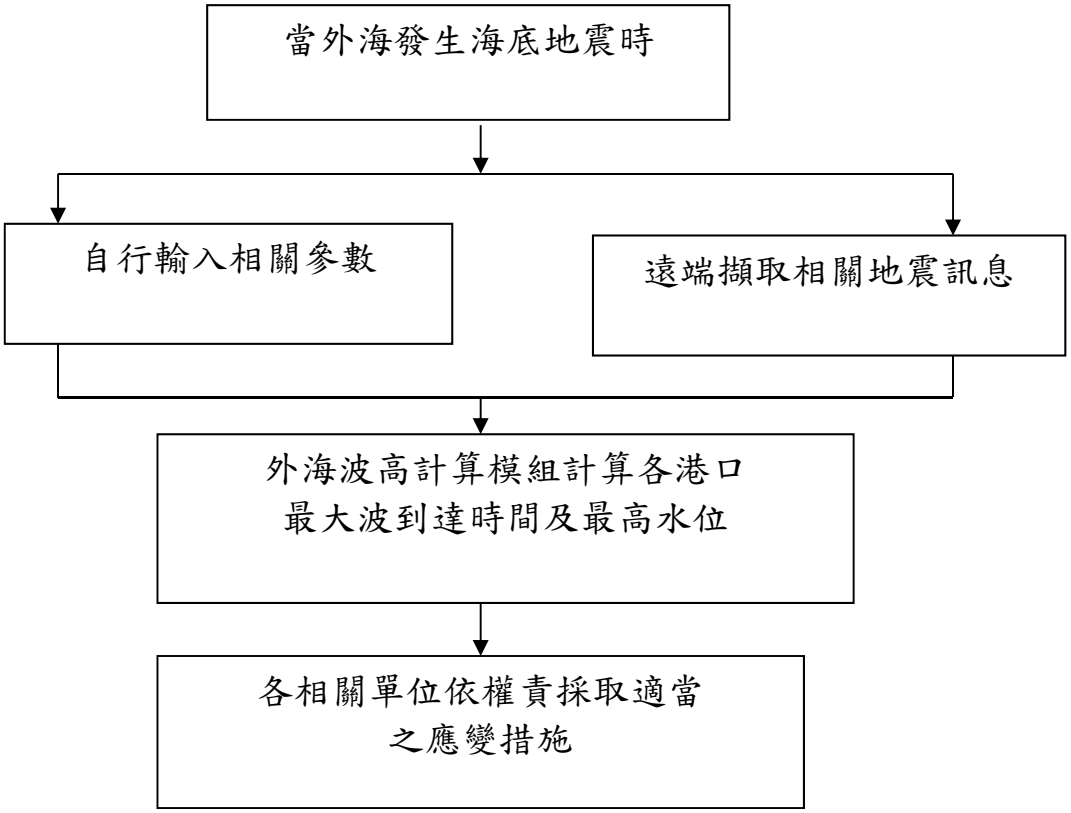


圖 5.7 海嘯速報系統之規劃圖

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，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 5.8 所示。地震紀錄採用下限為 4.5，地形資料則採用 NOAA-ETOPO1 之數值資料。

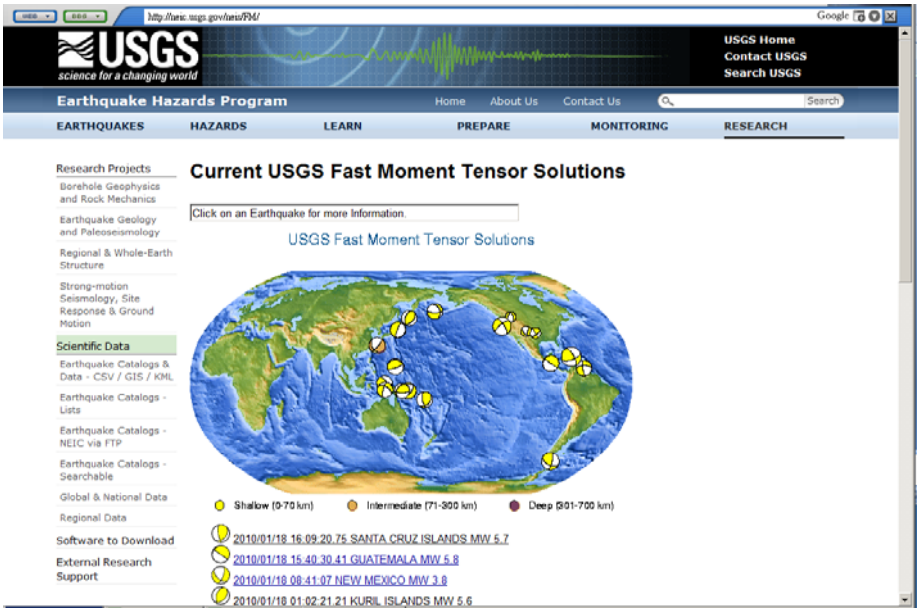


圖 5.8 美國 USGS 資料庫

USGS-NEIC 之地震資料庫範圍為全球，但其資料擷取約在地震發生後約 1 小時才可遠端擷取其參數，本計劃採用自動擷取方式擷取即時之資料，當有地震資料時，系統可自動擷取即時資料進行後續預報作業。對於震央發生在臺灣周邊海域恐有不及，因此在臺灣區附近(東經 119 度~123 度，北緯 21 度~26 度)採用中央氣象局之地震即時資料(台灣寬頻地震網 Broadband Array in Taiwan for Seismology, BATS)，約在地震後 5 分鐘即可獲得相關訊息，而其他區域仍使用 USGS-NEIC 之資料。

圖 5.9 即是斷層參數之示意圖；strike 角($0 \le \theta \le 360$)表示斷層之走向方向，為正北方順時針至斷層走向之夾角；dip 角($0 < \delta < 90$)為傾斜角度，即是水平面與斷層面間的夾角，斷層面傾角 δ 與海嘯發生源擾動海水體積有關。slip 角($0 \le \lambda \le 180$)表示斷層之滑動方向，代表斷層面上盤相對於下盤的滑動方向。

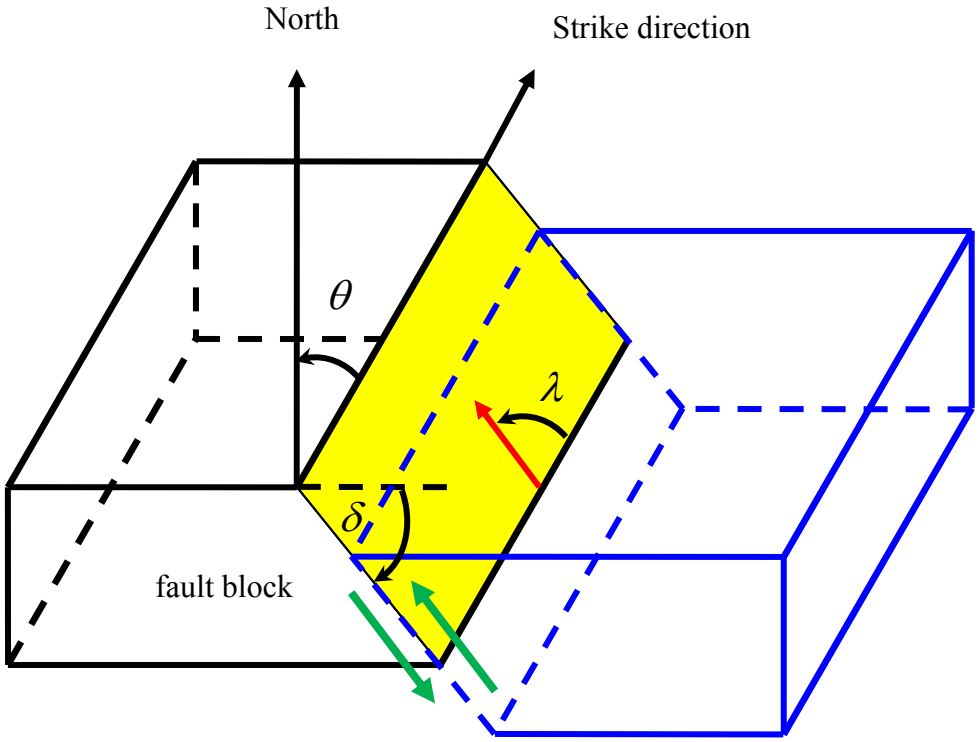


圖 5.9 斷層參數示意圖

利用資料庫匯整斷層參數之歷史資料雖可得到各個所需要之角度；但是以實務上而言，斷層之長度與寬度是未知，也就無法計算斷層平均滑移量；故本研究利用 Wells and Coppersmith (1994)蒐集 1857-1993 年間可信度較高之 244 起地震事件所歸納出之經驗公式(2.4)式~(2.5)式，計算地震規模下的長度(L)及寬度(W)。

$$\log(L)=a_1+b_1\times M_w \quad \text{.....(2.4)}$$

$$\log(W)=a_2+b_2\times M_w \quad \text{.....(2.5)}$$

M_w 為地震矩規模(Moment magnitude scale)；a_1、b_1、a_2及b_2為迴歸係數，如表 5-2 所示，統計分析顯示其相關係數均在 0.81 以上，信賴區間為 95%；然後，再將斷層長度及寬度代入地震矩公式(2.6)及(2.7)式(Hanks et al，1979)求得平均滑移量 D。

$$M_W=\frac{2}{3}\log_{10}M_0-10.7 \quad \text{.....(2.6)}$$

$$M_0 = \mu WDL \quad \text{.....(2.7)}$$

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

$\mu = 3\times10^{11} dyne/cm^2$為剪力模數。得知斷層參數後即可利用彈性力學公式計算出海嘯初始水位。

表 5-2 迴歸係數之建議值

(2.4)式及(2.5)式

a_1	滑移走向 strike slip	-3.55	b_1	0.74
	逆斷層	-2.86		0.63
	正斷層	-2.01		0.50
	不分類	-3.22		0.69
a_2	滑移走向 strike slip	-0.76	b_2	0.27
	逆斷層	-1.61		0.41
	正斷層	-1.14		0.35
	不分類	-1.01		0.32

5.2.4 數值模擬進行海嘯預警之方式

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

現行之海嘯數值模式之模擬程序(如圖 5.10)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。

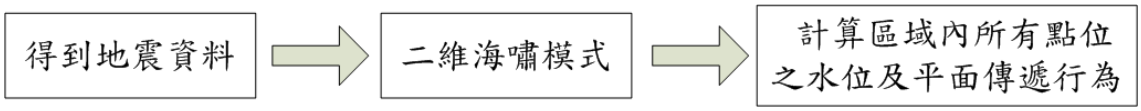


圖 5.10 現行海嘯數值模式之模擬程序

一般常見之海嘯數值模式是利用淺水方程式(shallow water equation)作為基礎，當海嘯發生後，輸入必要之參數即可模擬出計算區域內所有的傳遞行為及水位變化。由於海嘯波在大洋中之傳遞，波高相對於波長甚小，非線性效應可以忽略，所以可視為一個「線性系統」，據此計算出各點之水位時序列變化，即稱為「格林函數」(Green's function，以下以 GF 簡稱)，以數學方式解釋，即是格林函數可視為是線性淺水方程式之基本解；對線性淺水方程組的連續方程取時間微分，再對方程組的兩個動量方程分別取空間 x 與 y 的微分，可消去質量通量，從而簡化線性淺水方程組成為以下之方程：

$$\eta_{tt} - g\left[\left(d\eta_x\right)_x + \left(d\eta_y\right)_y\right] = 0 \quad \text{.....(2.8)}$$

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

$$\eta_{tt} - g\left[\left(d\eta_x\right)_x + \left(d\eta_y\right)_y\right] = \delta\left(t, x - x_s; y - y_s\right) \quad \text{.....(2.9)}$$

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

$$\tilde{\delta}\left(t, x - x_s; y - y_s\right) = \begin{cases} 1 & \text{for } t = 0, x = x_s \text{ and } y = y_s \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{.....(2.10)}$$

圖 5.11 即為以基隆為例之格林函數所對應的初始水位。

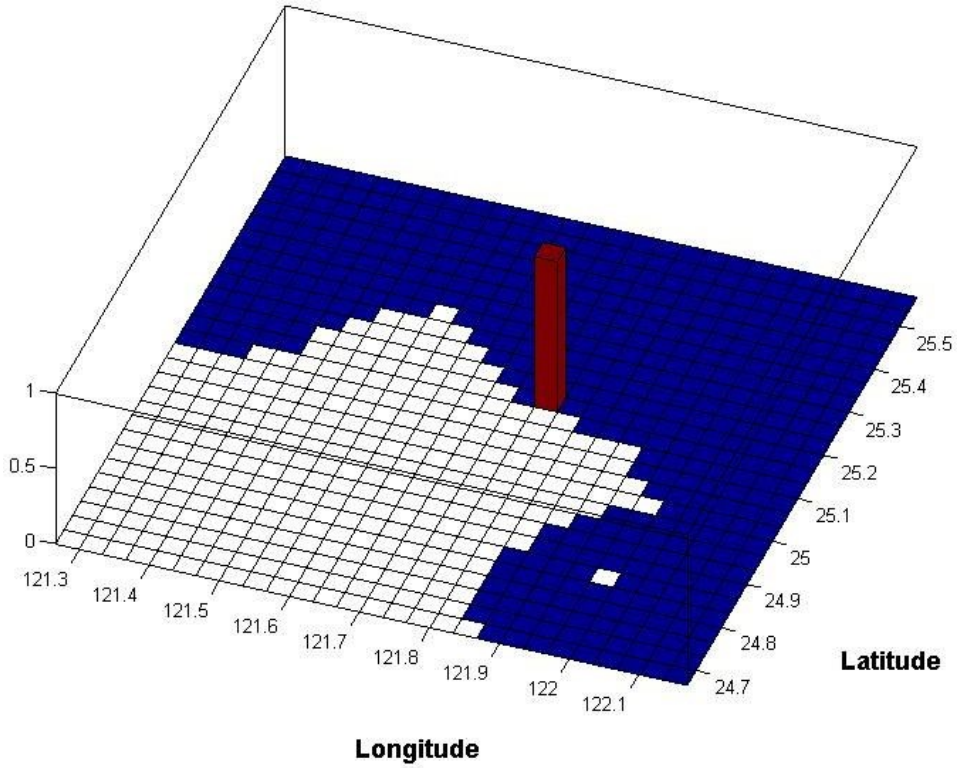


圖 5.11 以基隆為例之格林函數所對應的初始水位

大海嘯的波源區可能長達數百公里以上，海嘯可能的波源區更是涵蓋大多數海域，因此事先要算好的格林函數數目十分驚人，可能達百萬個以上。為減少格林函數的計算量及其儲存空間，有學者以減低波源區解析度的方式因應，此即所謂單位海嘯法(unit tsunami method)。目前中央氣象局即採用此法，可參見陳等人(2009)。格林函數或單位海嘯可在未確定初始水位前針對可能的波源區先行計算後並以資料庫方式儲存；當地震發生獲得地震參數後，利用斷層模式計算初始水位 H^s，與格林函數(或單位海嘯)相乘之後即可得到與海嘯模式一致之結果。

由此可知這種計算方式很難應用在海嘯早期預警，因為必須「事前」得知一個可能之震源才得以模擬後續之傳遞行為；這種限制使得海嘯數值模擬必須依賴地震之初始條件，但目前地震是無法進行預測，因此這種方式有其限制；另一方面，海嘯防災以海嘯波源之生成與近岸時之波高變化最為重要，在大洋中之傳遞行為雖對於學術研究具有重要價值，但對於災害防治提供之訊息有限，計算過程也耗費太多之

時間與儲存空間。上述 GF 是代表一個已知波源對區域內各點所產生的水位時序列變化。若 s 表示波源位置(source)，而 r 則為接收位置(receiver，即是計算點位)，其 GF 即是由 s 到 r 而其逆向的 GF 代表以 r 產生的單位波源振幅，在 s 所造成的反應。格林函數的運用在傳統上觀察線性系統中波源所造成的反應，而格林函數通常以波源振幅表示，如果區域內各點的格林函數已經求得，只要計算起始波源的水位與其格林函數的乘積後進行加總，便可得知波源對各點所引起的水位變化。

本系統(圖 5.12)之參數輸入方式是直接輸入地震矩規模，反算斷層長度、寬度及滑移量。就地震警報而言，得知地震矩規模較為容易也較為一般人所接受；斷層長度等資料由於海底斷層探測比較不易，故斷層尺度之換算通常也經由經驗公式得出，其他之斷層參數(例如走向等)可參考 HarvardCMT 等網站得知。

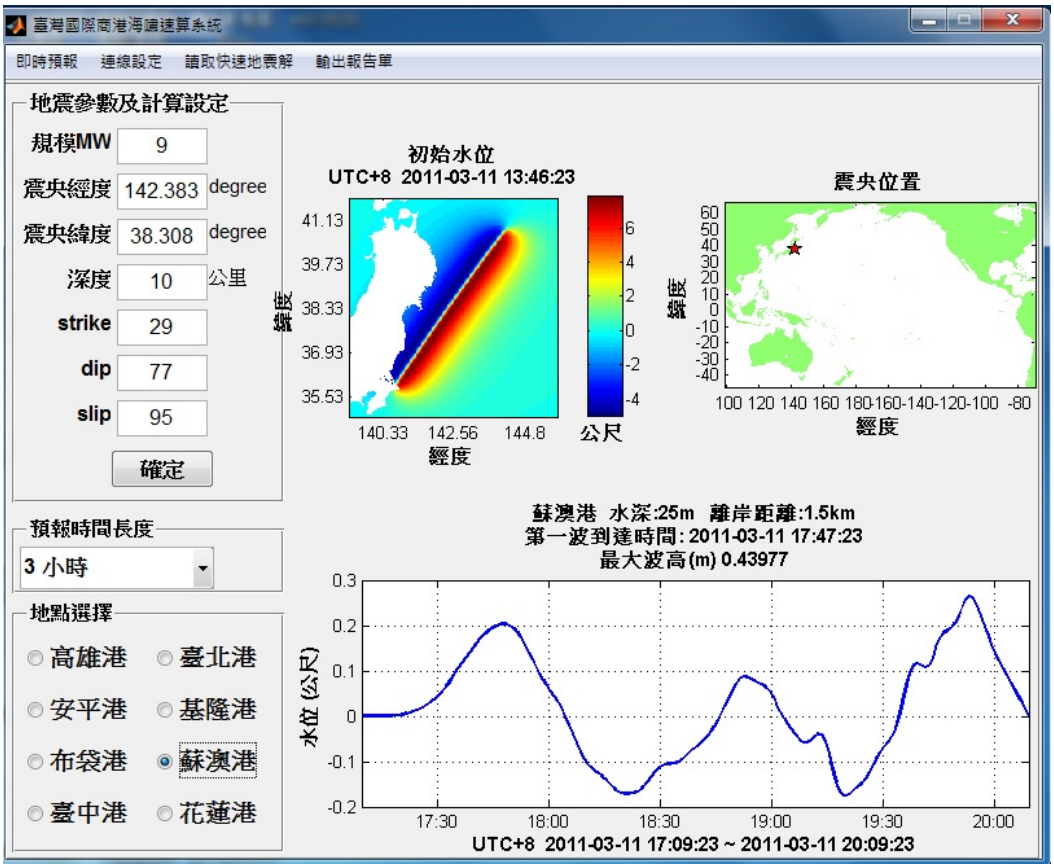


圖 5.12 視窗化介面之編譯完成圖

5.3 模式實例探討

5.3.1 高雄港域及安平港域海嘯預警子系統

以互逆格林函數的最大絕對值來代表可能有影響該地之海嘯發生範圍及其危險程度，並稱此互逆格林函數的最大絕對值為最大放大率(max gain)(陳等，2010)。求出在範圍內每個點的最大放大率，可得其最大放大率分佈圖，放大率若很大，即相對波高值很大；以此方法訂出南部各港之潛在海嘯波源區，如第一節圖 5.4。圖中顯示發生在連接馬尼拉海溝及西南外海之海底斷層系統對高雄港、安平港威脅性最大，根據歷史上的文獻紀載，臺灣西南部地區皆有疑似海嘯侵襲的記述(1661 年、1721 年、1792 年於臺南、1866 年於高雄及 1781 年於屏東)，若在西南方海域足以引發海嘯之地震，將造成嚴重損失，高雄港更為國際商港，因此，就防災考量而言，也不能排除海嘯之可能性。另一方面，高雄港及安平港之海嘯模擬有助於防災應變措施之整體考量，使得防救災指揮作業時有明確之科學依據及模擬結果，在第一時間內利用簡單之系統提供具有可信度之資料是本期研究之重點。

互逆格林函數資料庫之建置，其預報點之位址需盡量滿足水深大於 50 公尺，但也不可離岸太遠；故實務上在配置預報點位時多盡可能接近岸邊，因此水深可能會較 50 公尺稍淺，但由於非線性效應並不強，故互逆格林函數仍然可以適用；高雄港之預報點位位於東經 120.23 度，北緯 22.57 度，水深 47 公尺，離岸約 5.5 公里；安平港之預報點位位於東經 120.1 度，北緯 22.93 度，水深 21 公尺，離岸約 7.4 公里；如圖 5.13 所示。由於本研究所發展之海嘯模擬預警系統其基本概念及精神迥異於其他海嘯模式，操作介面與軟體設置適用於個人電腦。

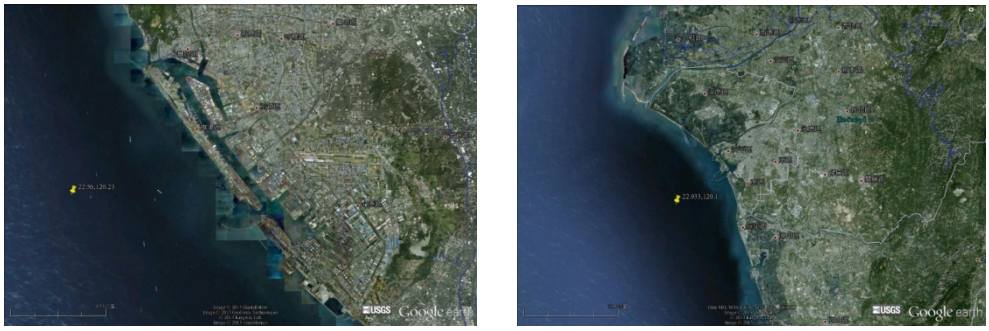


圖 5.13 高雄港(左)、安平港(右)之預報點位

5.3.2 海嘯速報系統之驗證

臺灣時間 2011 年 3 月 11 日下午 1 點 46 分於日本發生芮氏規模 9.0 之大地震，交通部運輸研究所港灣研究中心以本系統提供災防中心海嘯在臺灣各大港口的水位變化，得到相當好的結果。本節利用交通部運輸研究所港灣研究中心提供臺北港 2011 年日本海嘯之水位變化，與本系統所計算之結果比較驗證。日本氣象廳針對 311 東日本地震地震波等相關資料進行詳細分析後，發現這次地震的震央區域長達 500 公里，寬度約有 200 公里，地震斷層的破壞持續 5 分鐘以上。此地震造成數公尺高的巨浪，將沿岸許多房屋、汽車，夾雜大量碎片和土石沖進內陸數公里。至少 20 國政府和許多太平洋島嶼都發布海嘯警報。受海嘯威脅的國家和地區擴及俄羅斯、印尼、中南美洲國家如瓜地馬拉、薩爾瓦多和哥斯大黎加，以及美國領土夏威夷。

本文使用的海嘯速報系統(圖 5.14)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(NEIC)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。

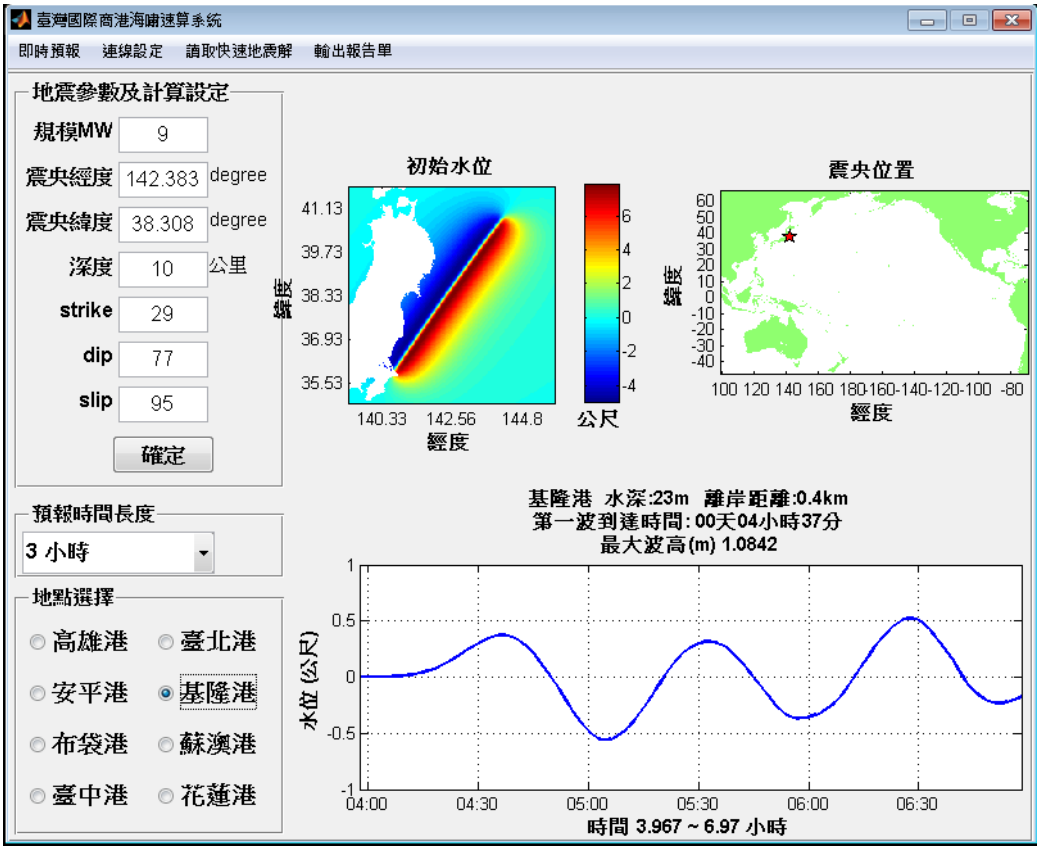


圖 5.14 海嘯速報系統之介面

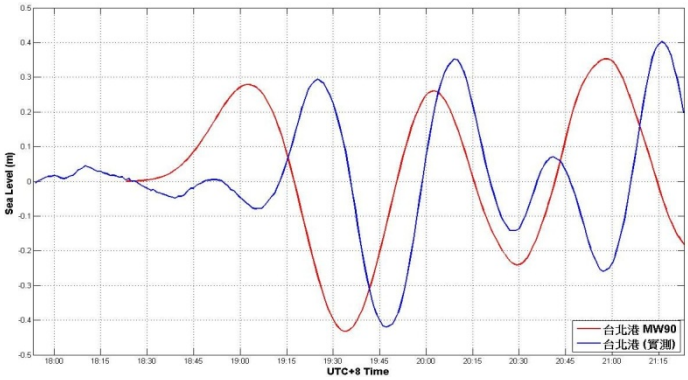
使用 USGS 最新地震解帶入海嘯模擬預報系統中得到臺北港水位變化結果，與使用 EEMD 法濾潮後臺北港觀測水位資料比較，如圖 5.15(a)(b)。

```
Epicenter:   38.308   142.383
MW 9.0

USGS CENTROID MOMENT TENSOR
11/03/11 05:47:47.20
Centroid:   38.486   142.597
Depth   10          No. of sta: 151
Moment Tensor;    Scale 10**22 Nm
  Mrr= 2.03        Mtt=-0.16
  Mpp=-1.87        Mrt= 2.06
  Mrp= 3.49        Mtp=-0.60
 Principal axes:
  T  Val=  4.57  Plg=58  Azm=306
  N       -0.05       5       208
  P       -4.52      32       115

Best Double Couple:Mo=4.5*10**22
 NP1:Strike= 29 Dip=77 Slip=  95
 NP2:        187     14        68
```

(a)



(b)

圖 5.15 (a)USGS 日本 311 宮城海嘯參數(b)臺北港系統模擬水位(紅線)與濾潮後的實測水位(藍線)比較

此系統計算水位時間約數秒鐘到數分鐘，模擬結果臺北港部分波高大約一致，到達時間約提前十幾分鐘。系統為求快速預報，計算格林函數使用線性淺水方程，地形使用 2 分解析度的數值地形，及簡單的初始水位產生方式，都是產生誤差的可能原因，但其結果在運算速度與預報功能上應符合實際需求。

5.3.3 系統作業化之運作情形

本系統目前於本所港研中心及中山大學均已架設完成，並提供即時運算，除定期軟硬體維護及更新外，其他時間均保持 24 小時全天候作業狀態；並設定地震矩規模之下限值，高於此一下限值之地震發生時，即時擷取環太平洋地震區之地震訊息進行後續計算作業，並將書面預估資料依程序送達相關單位做後續災情研判及應變做為之參考；依東日本海嘯事件之測試，單一預報點可在獲知地震參數後 1-2 分鐘之內得到初步之水位歷時變化。

本系統除了進行上述之精進措施外，為使該系統適合一般民眾使用及查詢，本系統業已併入本所港研中心之港灣環境資訊網並進行全自動化作業；港灣環境資訊網為一網頁版，可供查詢項目甚多，[海嘯模擬資訊]為其中一項查詢項目；該功能主要有三選擇可供選擇，分別為[近期海嘯查詢]、[歷史海嘯查詢]及[海嘯系統簡介]；[近期海嘯查詢]之功能為自動化擷取地震資訊後，隨即計算各港口之最大水位及到達

時間，並於介面中顯示相關資訊(震央位址及地震參數資料)；右邊為與 Google-Earth 之整合(如圖 5.16)，使用者在所查詢之港口點兩下之後，隨即可顯示該港口可能之最大波高及到達時間(如圖 5.17)；若欲知更進一步之水位歷時變化，使用者可於[觀看水位歷線圖]點取後，會自動展示系統之預估結果(如圖 5.18)。目前該系統所呈現之資料為本年 8 月 31 日晚間之菲律賓疑似海嘯事件。



圖 5.16　[近期海嘯查詢]之展示介面



圖 5.17　[近期海嘯查詢]之查詢結果展示

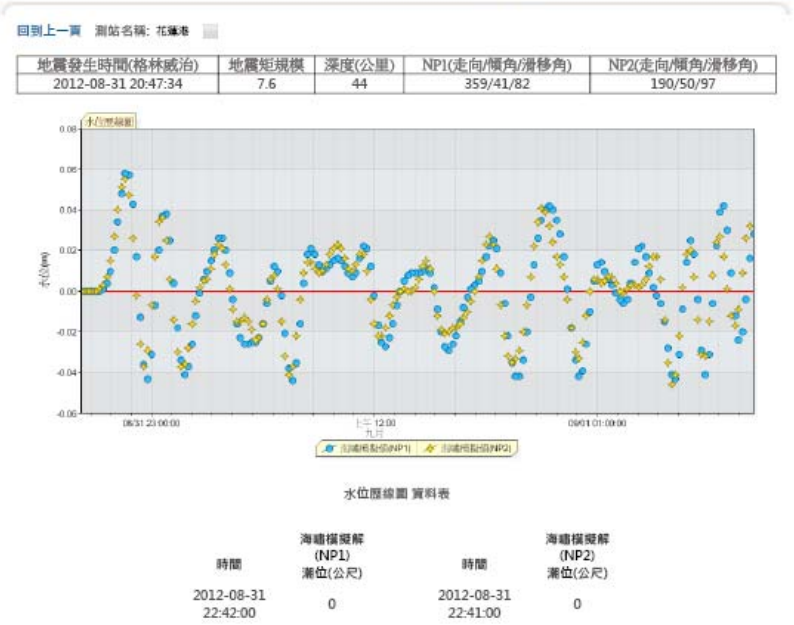


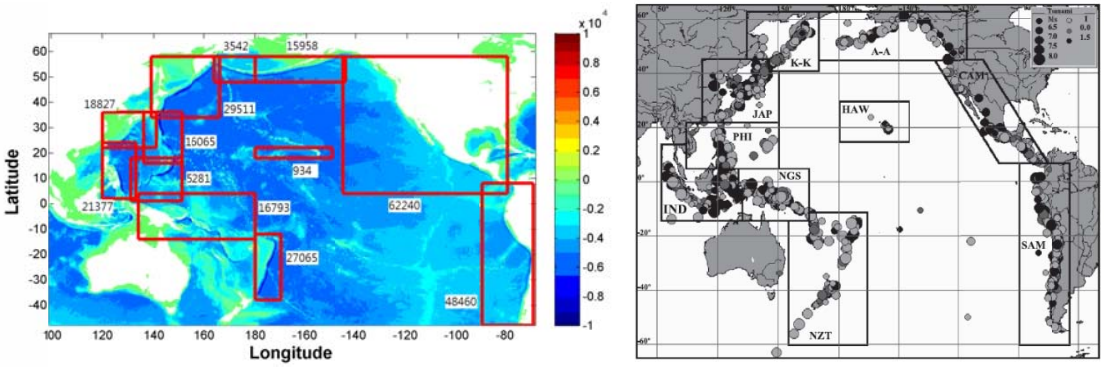
圖 5.18 水位歷線圖之展示介面

5.4 海嘯災害風險評估

5.4.1 海嘯地震發生次數期望值

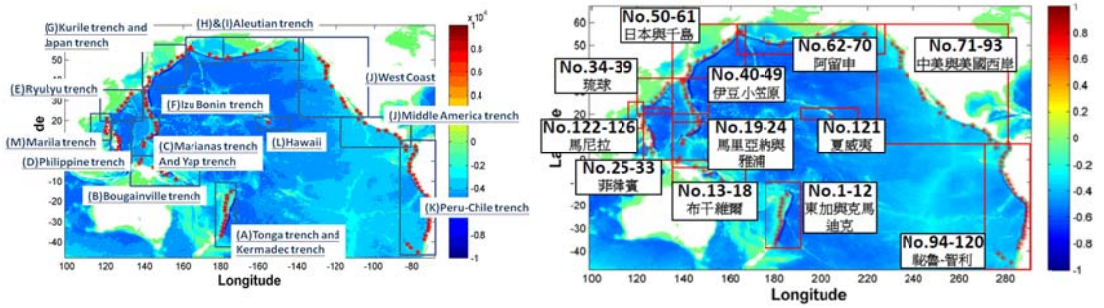
研究區域主要為環太平洋地震帶，全球有 80%的地震發生在此，而歷史海嘯記錄則有 85%發生在環太平洋地震帶的島弧-海溝地帶。環太平洋地震帶幅員廣闊，主要地震發生地大抵分為中央地區之南北太平洋及各版塊之海溝、島弧；自 USGS-NEIC 資料庫中所擷取之地震資料(含陸源及海源地震)總數約為十餘萬筆，其數量主要分佈概況如圖 5.19(a)所示，可以發現位於太平洋中央海底盆地之數量較少；東西兩岸之海溝還是主要地震發生地。其次，由於各版塊及海溝地質條件各異，為便利後續海嘯模擬及溢淹機率計算，需將各海溝做適當之分塊，Gusiakov(2005)建議以各主要海溝做為分類之依據，如圖 5.19(b)所示。本研究之分類則如圖 5.20(a)所示。根據上述之建議，本研究進一步以緯度 2 度為一單位，將各主要海溝做細部分區；主要目的為由於海溝一般甚長(例如馬尼拉海溝)，在選取可能震源及計算機率時，若將一海

溝視為一整體，會減少可能之震源數。因此本研究依主要海溝分為數個大區域總共 126 個區域點位，圖 5.20(b)。



(a) (b)

圖 5.19 (a)環太平洋地震數量分佈圖(b)太平洋區域之主要海溝分佈及劃分建議(Gusiakov, 2005)



(a) (b)

圖 5.20 (a)本研究主要海溝分佈圖及名稱(b)本研究之假設震央點分佈

風險評估首先須由蒐集地震之資料開始,計算地震發生之期望數；本研究依主要海溝分為數個大區域總共 126 個區域點位,由 NEIC 資料庫，取得歷史地震資料，並依區域範圍與歷史年份等條件挑選地震資料。美國地質調查所監測全球地震活動並發布地震消息，對於規模大於 3.5 的地震幾乎都已經使用地震矩規模(Mw)來描述地震大小。因此在本研究主要以地震矩規模為挑選條件，若有其他地震規模則由先前章節介紹地震規模轉換經驗公式適當換算地震矩規模，以此條件取得記錄較完整之歷史地震資料(地震矩規模記錄、震源深度記錄、震央位置記錄等)。並利用地震資料庫其地震解平均計算出走向角(strike)與傾角(dip)，在此滑移角自訂為 90 度，但考慮較大規模海嘯在臺灣週遭斷層可能會出現不合理狀況,因此在規模 8.5 以上地震參數有重新考慮為 115 個區域點位，主要是在琉球海溝、菲律賓海溝與馬尼拉海溝考慮已知斷層狀況重新選取區預計算。

當一般區域震源可用指數規模分佈模式來表示，而此模式中之地震規模與再現頻率關係式 (Gutenberg and Richter, 1944)，稱為 G-R 關係式，其形式為：

$$\log(N) = a - bM \quad \text{.....(4.1)}$$

G-R 關係式中，b 值是地震危害分析中一個極為重要的參數，其表示地震在某一地震規模內的大地震與小地震間的比例關係。b 值隨著研究區域內的地質分佈、構造、地溫與應力…等條件的不同而有所變化。此一回歸分析法,即是在一區域內對於地震規模≧M_b(設定之地震下限)而言的，式中 M 代表地震矩規模，並依小而大之順序排列，式中之 N 表示規模大於或是等於 M 之次數,在本研究中地震矩規模 M 的區間為 4.25、4.75、5.25、5.75、6.25、6.75、7.25、7.75、8.25、8.75、9.25 取各區間內累計數即為 N，而 a、b 則為線性迴歸係數。以日本東側東經 133 到 139 度,北緯 34 到 36 度為例,圖 4.3 藍點為各地震矩累計次數，35 年為過去地震次數記錄的時間長度，將此回歸線上各點除以統計年時間長度 35 乘上評估年時間長度 50、100 再轉換回 G-R 關係式，則可得到圖 5.21 上未來 50 年及未來 100 年的回歸係數與回歸線,紅點線(50

年)及綠點線(100 年)，此回歸線為評估未來 50 年及未來 100 年，可能發生之累計次數，進而可得到各地震矩規模區間的可能發生次數，如表 5-3 所示。

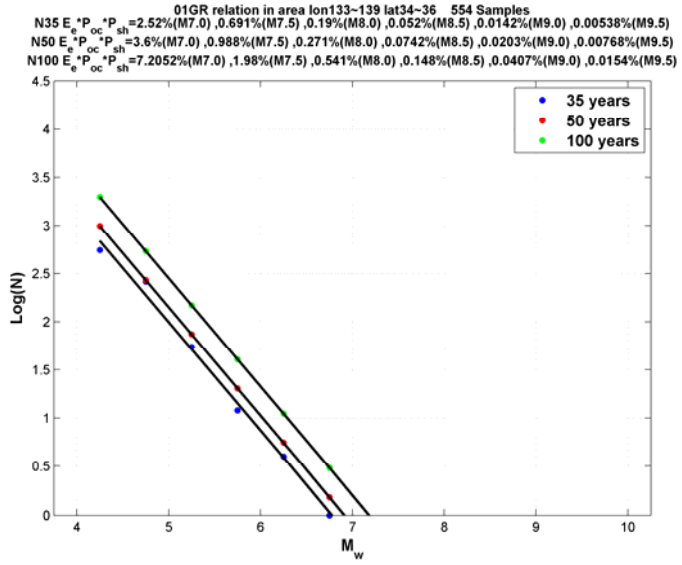


圖 5.21 G-R 關係式之計算範例(東經 133 到 139 度，北緯 34 到 36 度)

表 5-3 各地震規模區間未來預估年可能發生之次數值

M_w	6.5	7	7.5	8	8.5	9
50 年	4.0552	1.1116	0.3047	0.0835	0.0228	0.0062
100 年	8.1099	2.2231	0.6094	0.1670	0.0457	0.0125

由統計資料可以發現，海嘯之發生並不一定與強烈之海底地震有必然之關係;因此,海嘯的發生是一種條件機率(conditional probability);在討論地震引發海嘯時，一般會引發海嘯的地震震源通常發生在較淺層的海底斷層；G-R 關係式求得地震發生次數期望值，再給與海嘯發生條件 P_{ocsh}^{i}，即是表示震央位置位於海洋且震源深度小於 30 公里才有引發海嘯之可能，以此方法求得在特定回歸期內可能發生海嘯次數之期望值。圖 4.4 為挑選海源地震，海源地震的定義為震央位置記錄在海洋，圖 5.22 中藍色方框點位置。接著在海源地震中挑選震源深度小於 30 公里條件下地震，圖 5.22 中紅色圈圈點位置。海源且極淺層數目除上統計總數，即可得海源且震源深度小於 30 公里比值。此區域地震資料總數為 702 筆，海源且震源深度在 30km 以內數為 83 筆，因此比值

83/702=0.1182。該值與表 5-3 各地震規模區間發生次數期望值相乘，即可得在未來 50 年及 100 年各地震矩規模區間發生由地震引發海嘯之可能發生次數，如下表 5-4。

由 NEIC 資料庫中所記錄地震資料，地震紀錄期間為自 1973 至 2013 年，搜尋範圍為整個太平洋區域，地震紀錄採用下限為 4.25，如圖 5.23 所示。

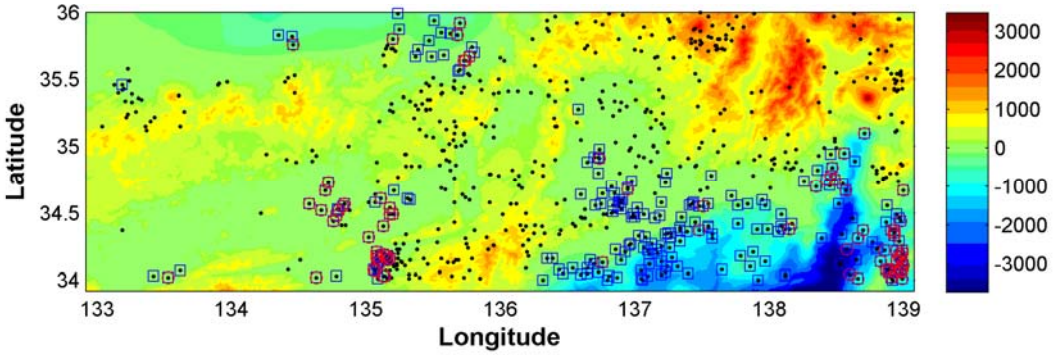


圖 5.22 計算範例(東經 133 到 139 度，北緯 34 到 36 度)之淺層海源地震分佈

表 5-4 海嘯地震發生次數期望值

M_w	6.5	7	7.5	8	8.5	9
50 年	0.48	0.13	0.036	9.86×10^{-3}	2.69×10^{-3}	7.33×10^{-3}
100 年	0.96	0.26	0.073	0.0197	5.4×10^{-3}	1.48×10^{-3}

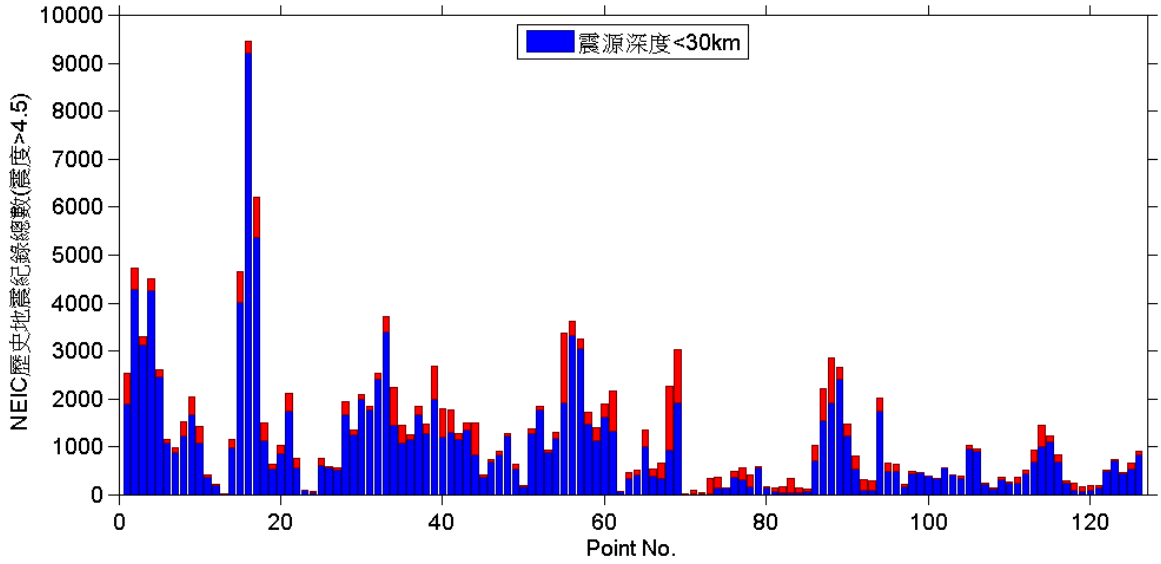


圖 5.23 NEIC 中環太平洋地震帶 126 區域點位之歷史地震資料

5.4.2 溢淹機率

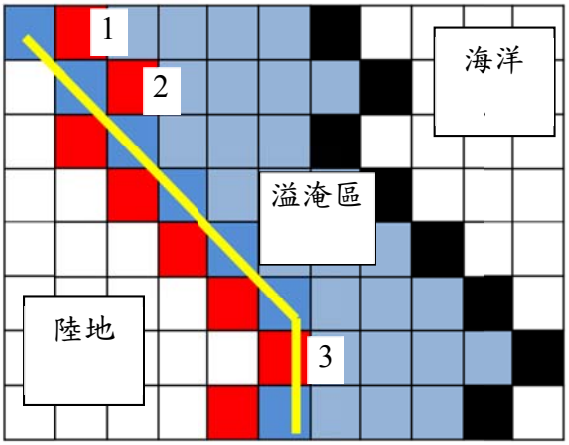
當大洋中發生海嘯時，對於近岸及內陸未必會造成災情，是否對陸域造成顯著影響端視最大波高與當地高程之關係。波高因緩坡地形而產生波高沿陸地方向急遽抬升之現象，稱為淺化效應(Shoaling effect)；對應之海嘯波高稱為溯上高度(Run-up height)。如果溯上高度小於當地陸地高程或是海岸保護結構物，就可能不造成溢淹；也可能是溯上波高僅在內陸小範圍內造成數公分之溢淹情況，造成些許的災情。因此，對內陸地區而言，是否會造成溢淹是一種條件機率也是一種危害度；常見之危害度或是或然率分析可用機率來表示，例如地震危害度分析或是氣象預報中之降雨機率等等。

本節所提出之海嘯溢淹機率(Tsunami induced inundation probability)，意指海嘯發生後所造成之陸地溢淹機率；若發生有如南亞海嘯或是日本海嘯規模之海嘯時，海嘯所攜帶之水體及漂流物可長驅直入至內陸達數公里之遙。在此要特別說明的是，海嘯具有強大的動量，因此即使在海岸地區發生小規模之溯上或是溢淹，仍可能造成人命之損失。

由實務案例可以發現，即使外海的海嘯波高甚小，到達近岸時仍舊有可能越過堤防，惟小波高所造成之溢淹範圍及溢淹深度也較小；有鑑於此，本研究之海嘯溢淹機率(TIP)定義為當海嘯溢淹超過離岸 50 公尺，溢淹高度超過 50 公分時，即表示該處為發生溢淹。取 50 公尺是因為港區沿海地帶有較緩坡度之沿海沙灘或是礫灘地形，而在海堤地區若造成海水高過防波堤而溢淹，往往都會溢淹超過 50 公尺，因此本研究定義以 50 公尺為溢淹災害發生應當合適。由於目前為止並無類似之定義，依國內不同港區海岸特性可做適當之調整。

本研究定義溢淹條件為溢淹高度超過 50 公分，主要考量到海水溢淹陸地後要產生危害需要一定的溢淹高度與強度，因此在定義選取溢淹的條件下，以溢淹入陸地 50 公尺且溢淹高度超過 50 公分為溢淹條件。此兩條件與模式模擬地形的離岸 50 公尺岸線網格數長度比值，定

義為溢淹機率，圖 5.24 為溢淹機率定義之簡示圖：黑點為岸線，紅點為離岸 50 公尺線，藍點為水溢淹的點位，黃線為溢淹範圍線，此例紅點與藍點相疊的點位總計有 3 點，紅點總數為 8 點，因此溢淹機率為 3/8=0.375。本研究中溢淹機率之定義不採用面積之主因在於每個港區之面積均不一，有可能產生每個港區皆會得出相同之溢淹機率，會無法反映實際上海嘯之溢淹風險；而用海岸線作為溢淹機率之定義，主因是本研究認為此種方式較能反映出海嘯是否造成內陸溢淹仍須視當地高程而定之物理意義。



8 個格點長

圖 5.24 溢淹機率簡示圖

5.4.3 安平港之溢淹模擬

模擬之海域地形主要是採用海科中心網格間距為 500 公尺之水深資料(TaiDBMV6)，除了 TaiDBMV6 外，港區之水深亦採用港研中心所提供之船測資料加以校正。陸域地形資料是由內政部地政司所提供之 5m×5m 之 DSM 數值地形資料，其中平面坐標採內政部 1997 臺灣大地基準(TWD97)，高程坐標採內政部 2001 臺灣高程基準(TWVD2001)。即是定義在 1990 年 1 月 1 日標準大氣環境下，並採用基隆潮位站(基隆平均海水面)1957 年至 1991 年之潮汐資料化算而得，即為中潮系統。每一網格點是一組 E、N、H 三個坐標值，組成右旋坐標系的三個 X、Y、Z 坐標(如 250000 2670000 123.0，坐標之間以一空格隔開)；遇到無法測製區及湖泊、水庫等水體區則以影像當時邊界線高度測製。無法

測製區及水體區則依地形特徵資料檔格式加測並儲存記錄邊界線。海域水體部分以海岸線及圖幅邊界組成邊界線。陸域地形需轉成經緯度座標。5m×5m 數值地形資料之測繪在實務上實屬不易，雖然無法表示局部地區之建物構造特色與實際情況，但是此一解析度已可做為溢淹圖資之用，結合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。並將港研中心所提供之港內實測地形資料整併至數值地形圖 5.25。

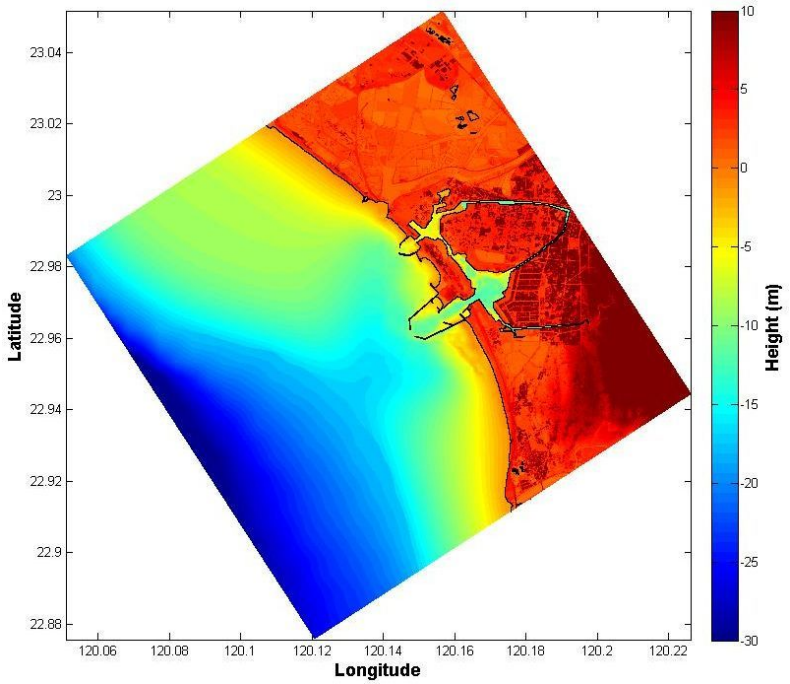


圖 5.25 安平港整併港內實際地形之數值地形檔

海嘯溢淹模擬最佳之方式就是確切得知發生一已知之震源或是一組斷層參數，得知初始水位高度後據以模擬海嘯之溢淹行為及特性。但實務上，上述之方法有其困難度：

(1) 首先是震源位址，目前並無法準測預測地震之發生，故也就無法得知震央；其次，斷層參數之來源也極其有限，除了少數較為引人注目之斷層(例如馬尼拉海溝)有較為嚴密之地球科學探測資料外，其餘甚少有較為詳盡之參數資料；故在有限之條件下以實際海嘯波形進行海嘯溢淹模擬有其實務上之困難。

(2) 另一方面，目前也無法確知各個可能震源點所能產生之最大地震矩規模及海嘯波之來向。

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

本研究使用 COMCOT 溢淹模式，以不同波高之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，前期臺中港與布袋港之模擬為採用之週期為 20 分鐘，本計劃亦沿用此一週期；以安平港為例，海嘯波模擬採用之週期為 20 分鐘，圖 5.26 為波高 4m 週期 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。

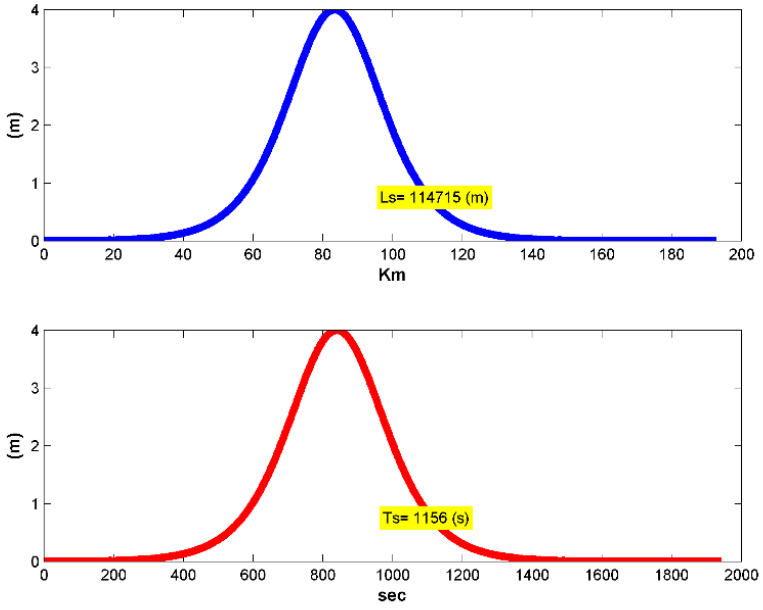
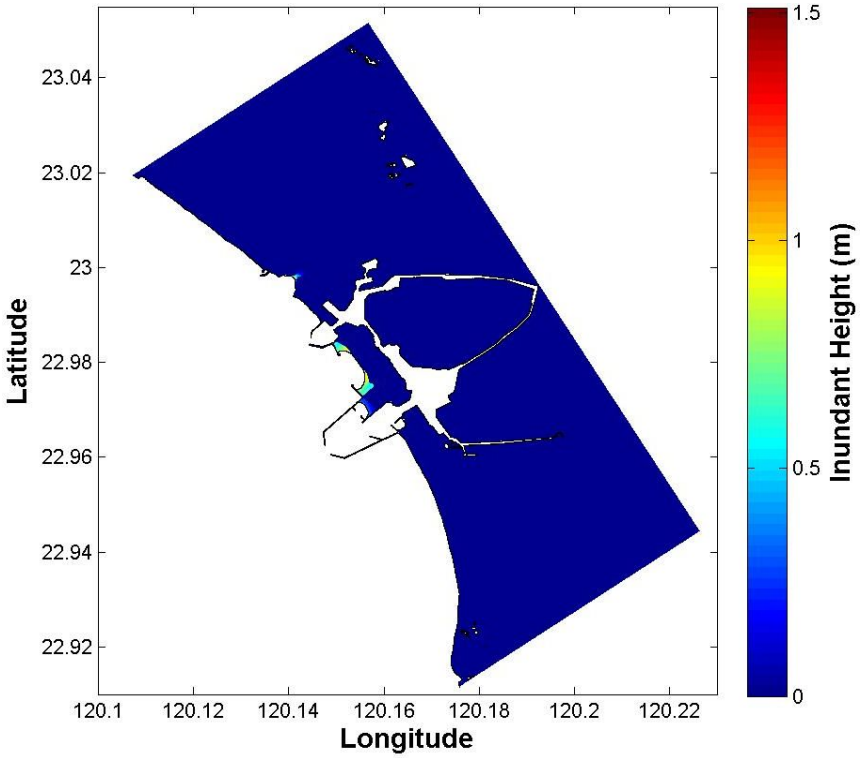
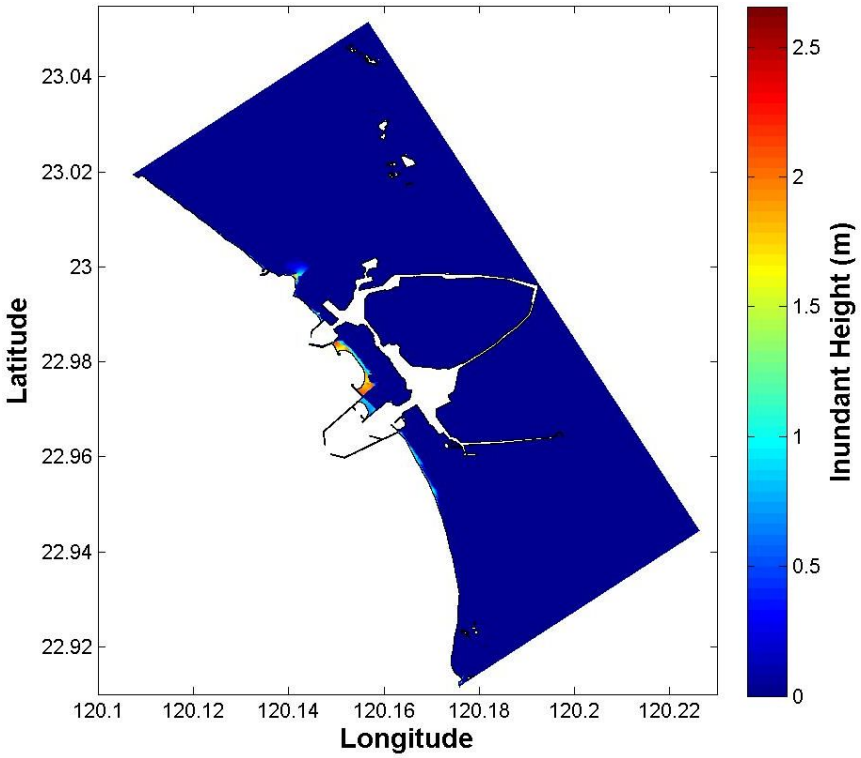


圖 5.26 週期 20 分鐘波高 4m 高斯波

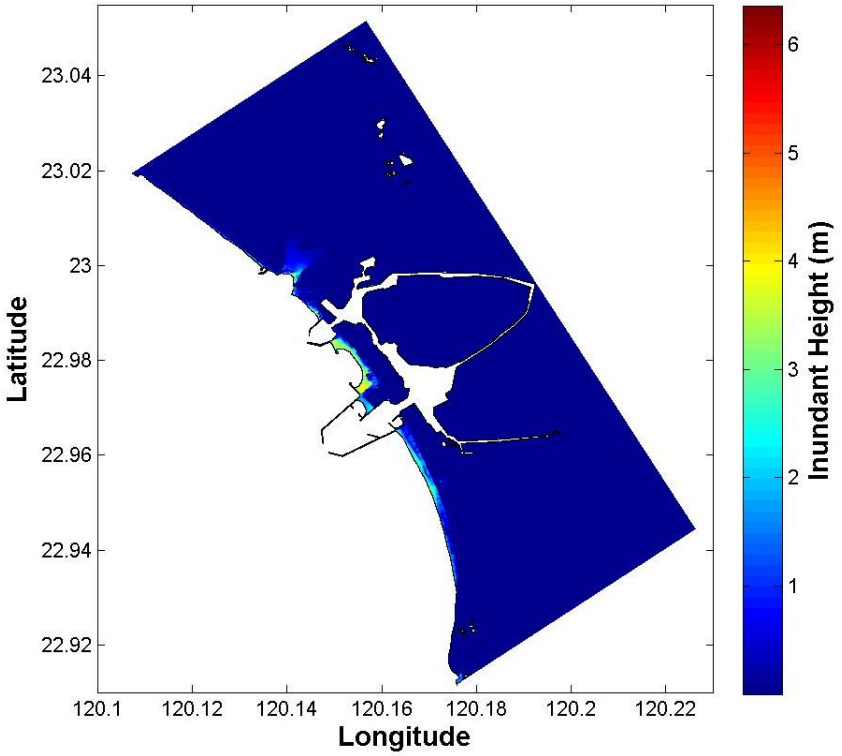
圖 5.27(a)~(g)為安平港在各種不同入射波高下之溢淹圖。在入射波高 0.5~10 公尺時之溢淹區域及溢淹高程分佈；分析顯示，在入射波高 3 公尺以下，溢淹範圍侷限於內港區之下方，溢淹高程約為 1.5 公尺以下。3 公尺以上之波高時，溢淹範圍會逐漸向內陸擴大，在內港區上下之溢淹高程也會提高至 8 公尺左右(入射波高為 6 公尺以上時)。



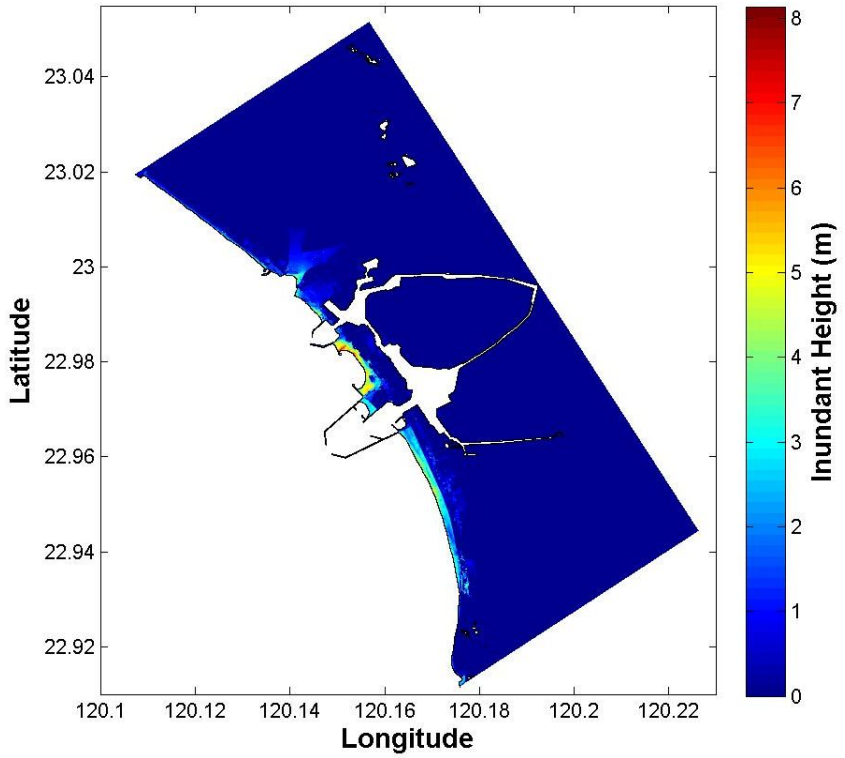
(a) 安平港入射波高為 0.5 公尺之溢淹圖



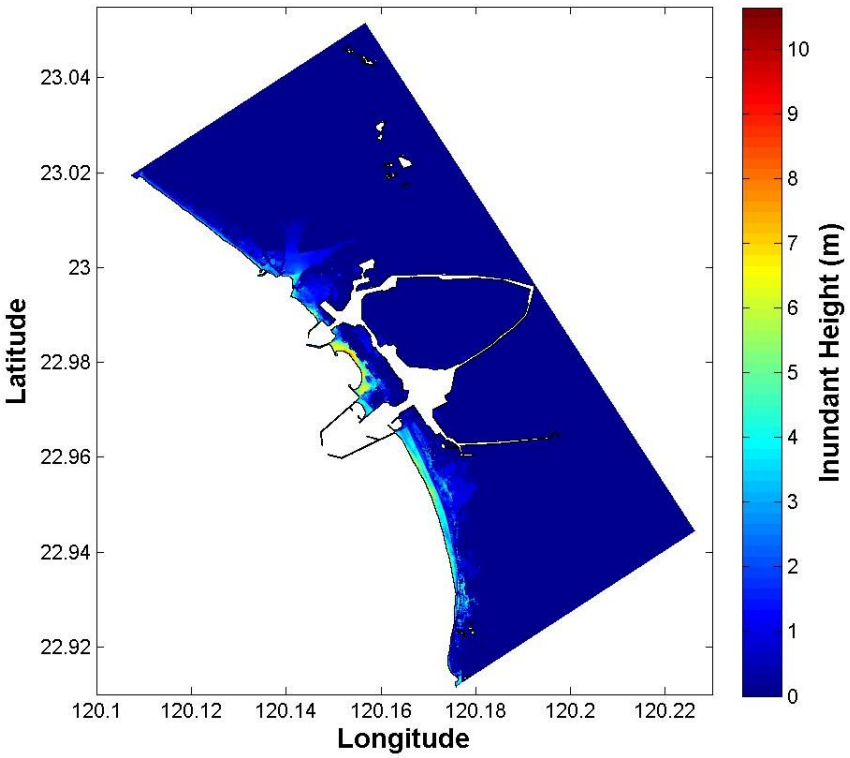
(b)安平港入射波高為 1 公尺之溢淹圖



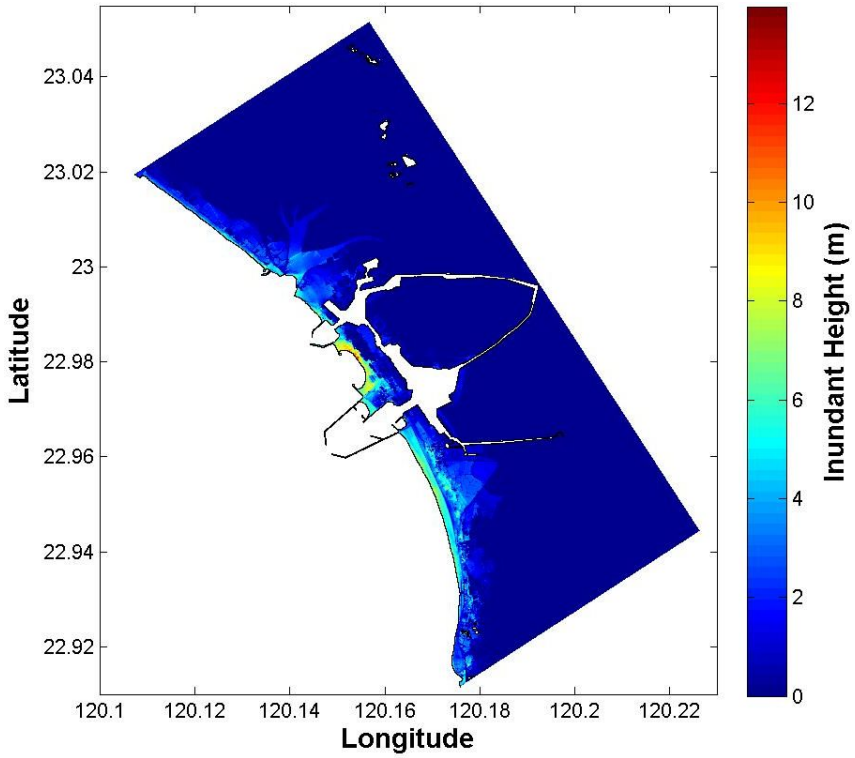
(c) 安平港入射波高為 2 公尺之溢淹圖



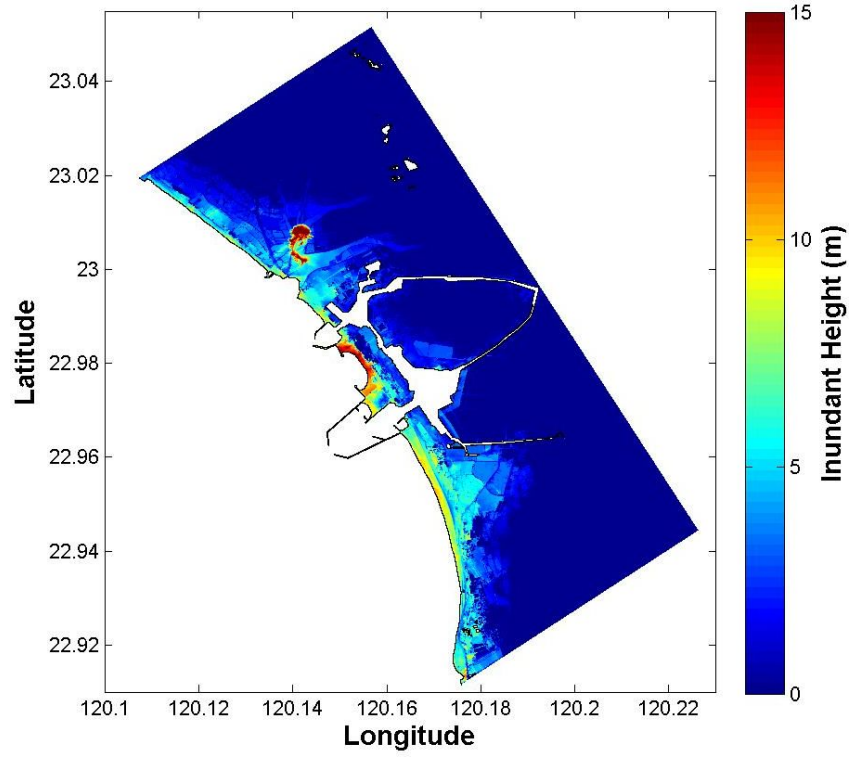
(d) 安平港入射波高為 3 公尺之溢淹圖



(e) 安平港入射波高為 4 公尺時之溢淹圖



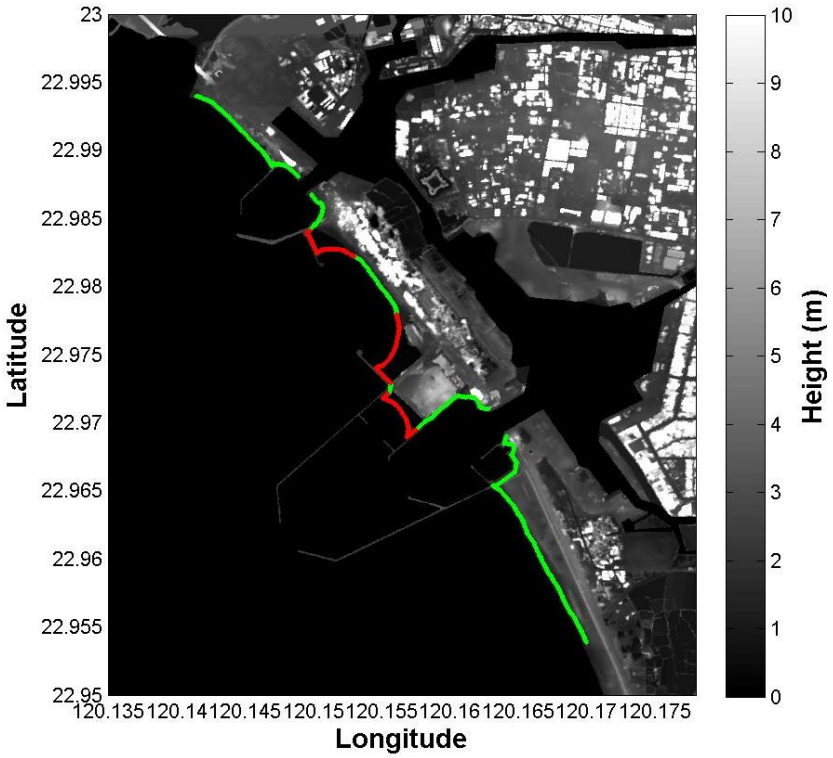
(f) 安平港入射波高為 6 公尺時之溢淹圖



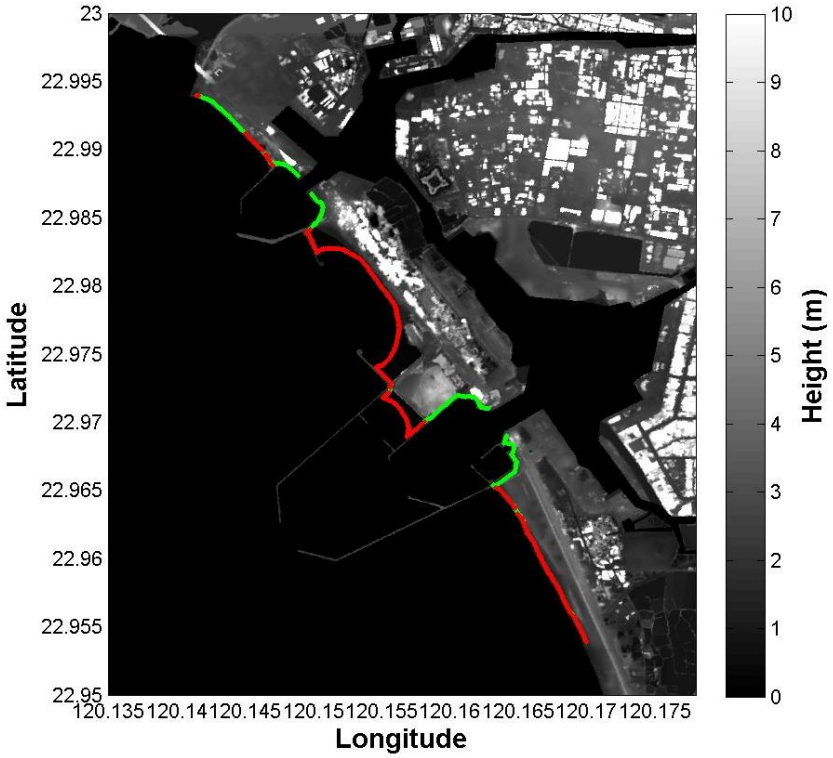
(g) 安平港入射波高為 10 公尺時之溢淹圖

圖 5.27 安平港之溢淹圖，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺

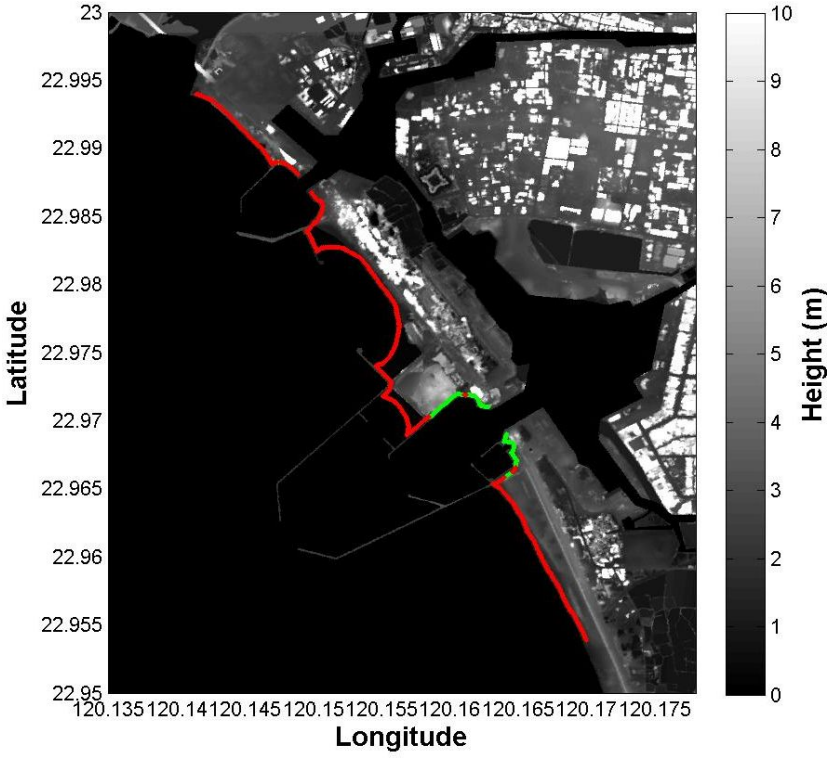
圖 5.28 為安平港分別在入射波高 0.5~10 公尺時之溢淹點位分佈；紅色點表示離岸 50 公尺且溢淹高程達 50 公分之點位，綠色點位為表示離岸 50 公尺但高程未達 50 公分之點位。計算結果則列於表 5-5 及圖 5.29，入射波高只要大於 1 公尺就會有 60%以上的溢淹機率。



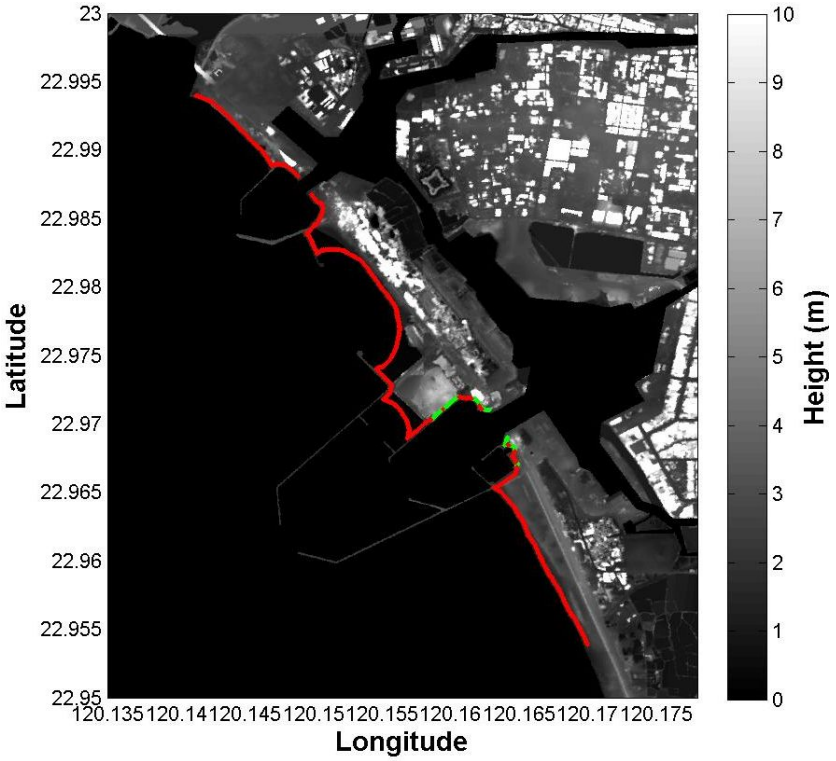
(a) 安平港入射波高為 0.5 公尺時之溢淹點位分佈



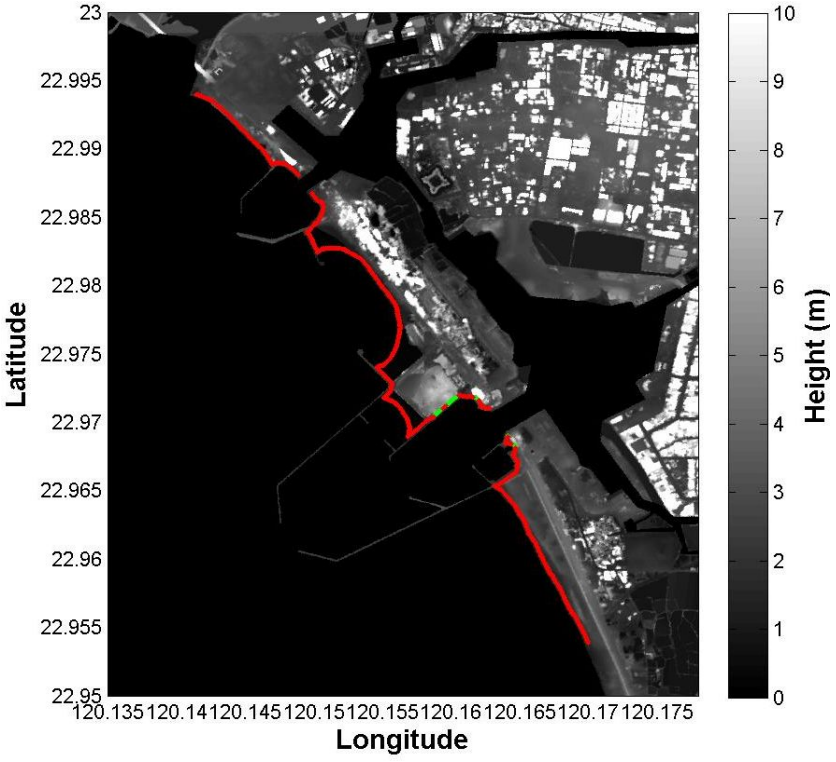
(b) 安平港入射波高為 1 公尺時之溢淹點位分佈



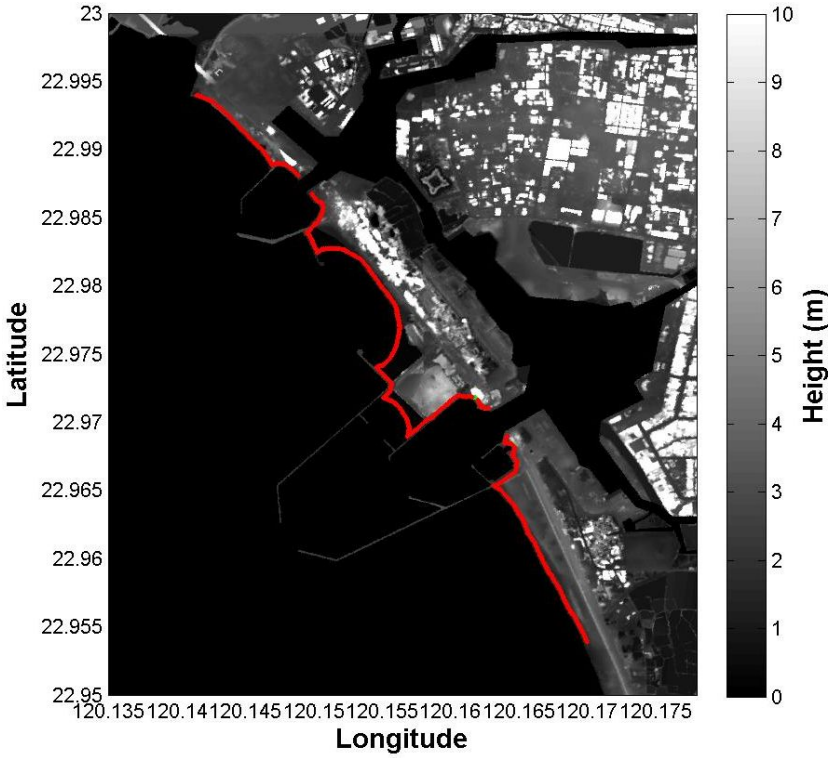
(c) 安平港入射波高為 2 公尺時之溢淹點位分佈



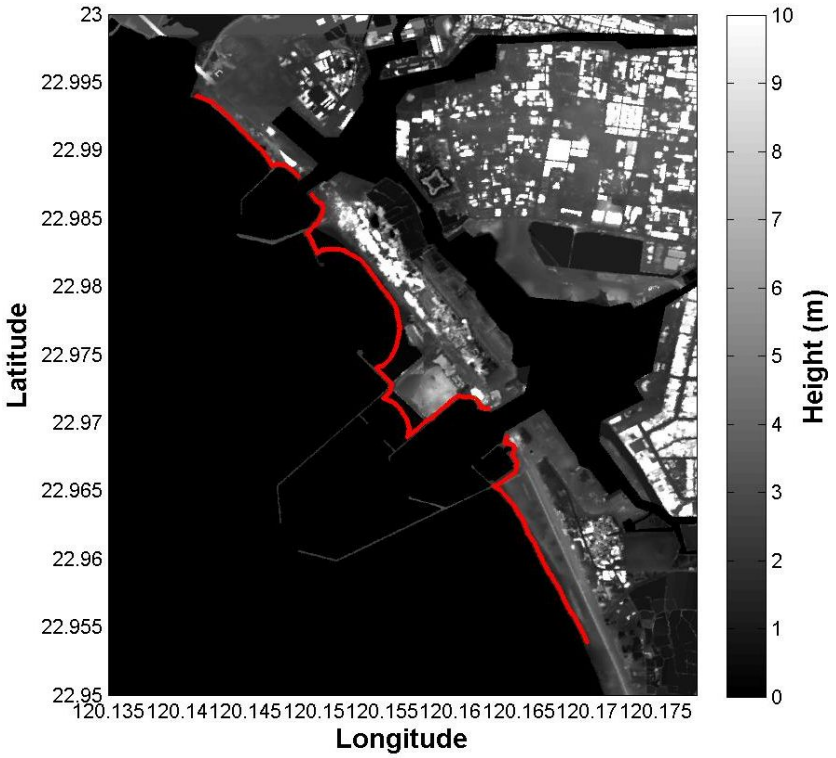
(d) 安平港入射波高為 3 公尺時之溢淹點位分佈



(e)安平港入射波高為 4 公尺時之溢淹點位分佈



(f) 安平港入射波高為 6 公尺時之溢淹點位分佈



(g) 安平港入射波高為 10 公尺時之溢淹點位分佈

圖 5.28 安平港之溢淹點位分布圖(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺

表 5-5 安平港各入射波高下對應之溢淹機率

地點	安平港		
入射波波高(m)	離海 50 米的岸線點數	溢淹高度大於 0.5m 的點數	溢淹機率
0.5	1725	447	25.91%
1		1104	64.00%
2		1477	85.62%
3		1574	91.25%
4		1644	95.30%
6		1714	99.36%
10		1721	99.77%

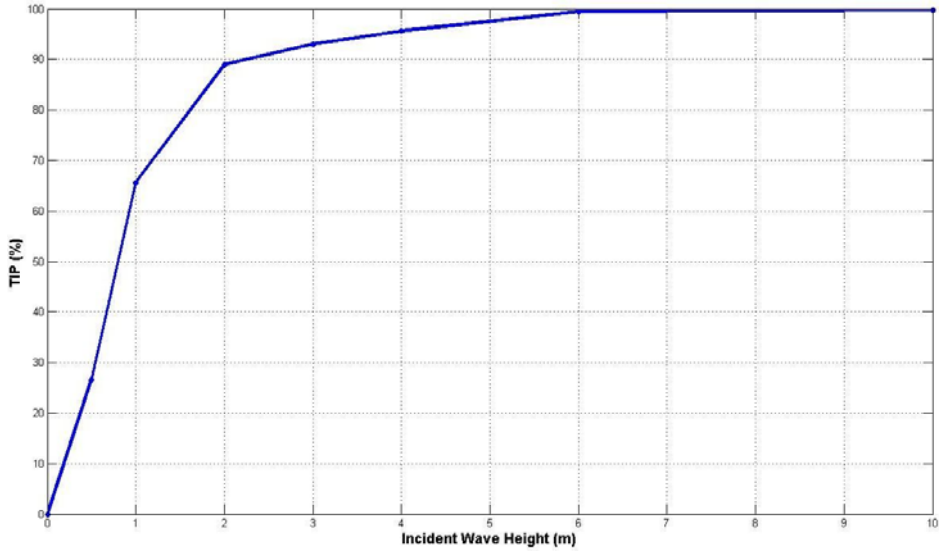


圖 5.29 安平港各入射波高下對應之溢淹機率圖

安平港在 126 個假設震央各地震矩規模下之最大波高分佈如圖 5.30；安平港在地震矩規模 7.0 時，其最大波高值未超過 15 公分；在地震矩規模 8.0 以上則最大波高可達 2 公尺；地震矩規模為 8.5 以上時，最大波高值超過 4 公尺；而分析結果顯示馬尼拉海溝、菲律賓海溝及馬里亞納海溝(含亞普海溝)會對安平港口產生較大之外海波高。

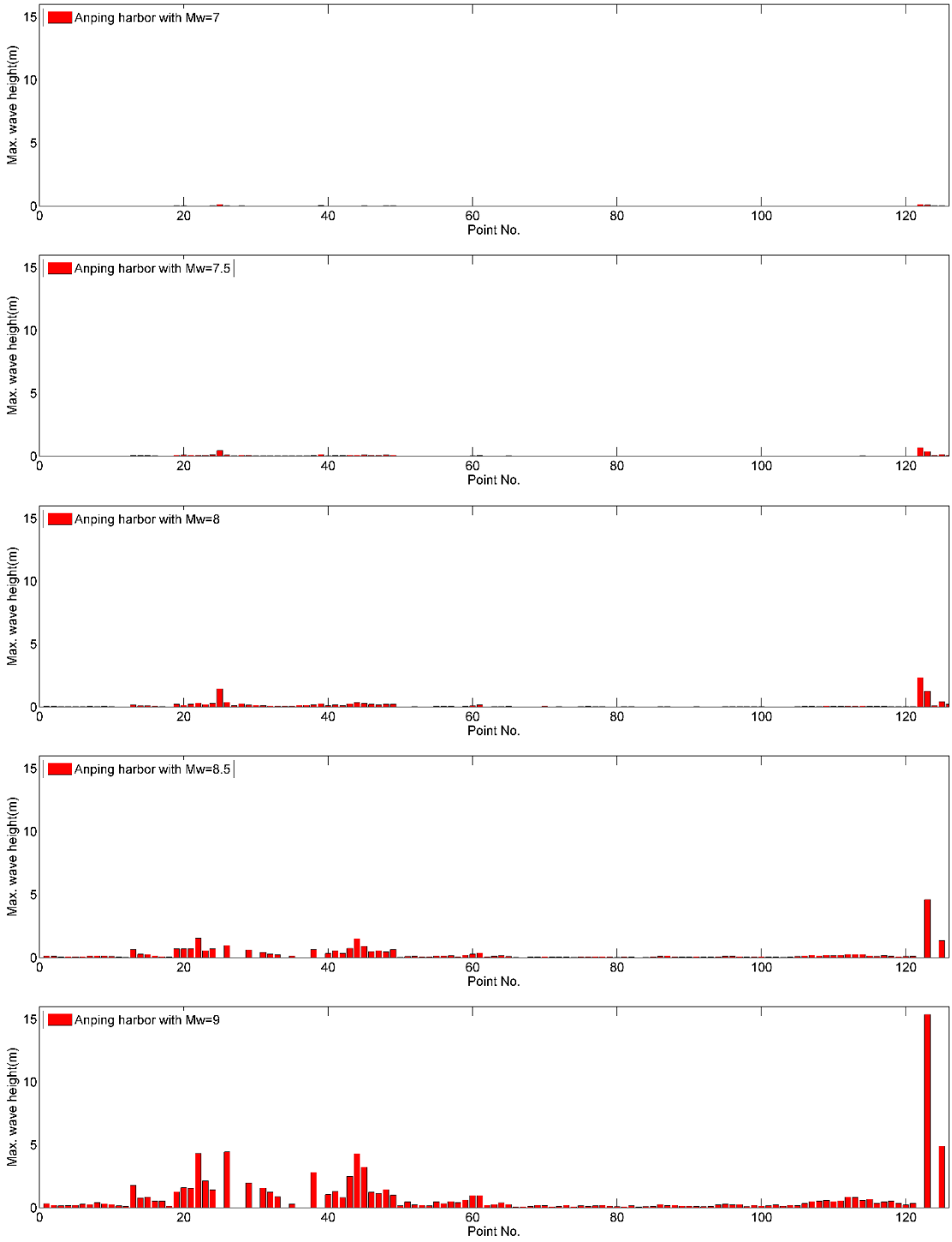


圖 5.30 安平港在各種地震矩規模下之最大波高分佈

根據表 5-5 之計算結果，可以以內插方式計算本計算假設地震矩規模下及斷層參數所產生之最大波高對應之溢淹機率，其分佈如圖 5.31

所示。是否造成溢淹仍然要視外海波高及現地高程而定，由計算結果顯示，即使在地震矩規模超過 8.0 之情況下，造成溢淹範圍及機率相當高。

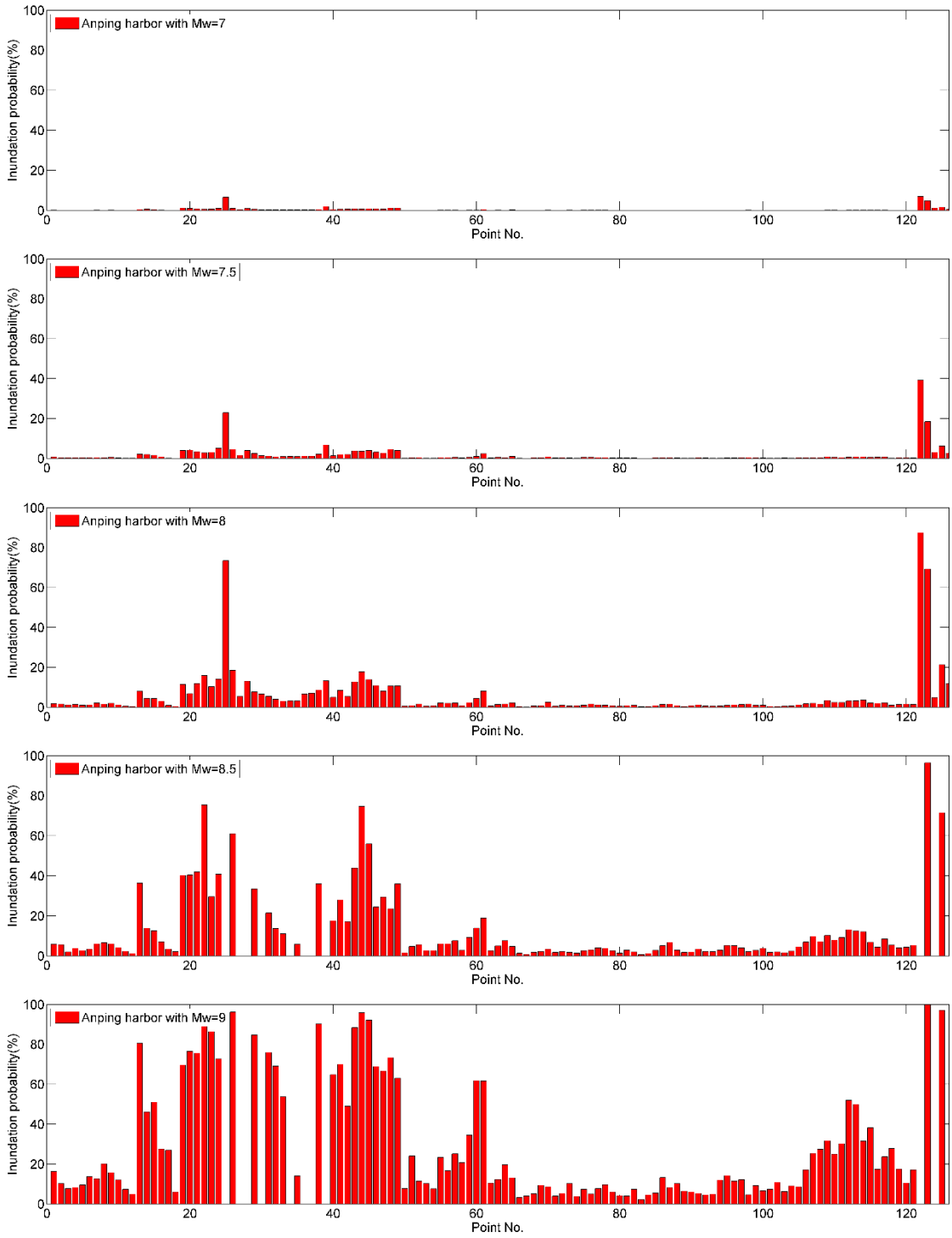


圖 5.31 安平港在各種地震矩規模下之溢淹機率分佈

完成海嘯地震發生次數期望值之評估(圖 5.32(a)、(b))、海嘯對安平港產生之水位變化及使用模式模擬不同程度波高溢淹各鄉鎮之狀況並定義溢淹機率後，最後將五個規模(7、7.5、8、8.5、9)海嘯地震次數期望值，乘上淺層海源地震機率及五個規模發生海嘯產生之溢淹機率，加總各分量即得安平港未來 50 年及 100 年發生海嘯且溢淹之機率，如圖 5. 33(a)、(b)；其統計上之意義即是「某個特定點位面對所有潛勢震源點在未來 50 年及 100 年間發生超過地震矩規模 7 之海嘯且溢淹之或然率」。評估結果為安平港在未來 50 年間發生海嘯且溢淹之機率為 9.84%，100 年為 19.43%。本研究並結合 Google Earth 作為海嘯溢淹潛勢圖，圖 5.34。

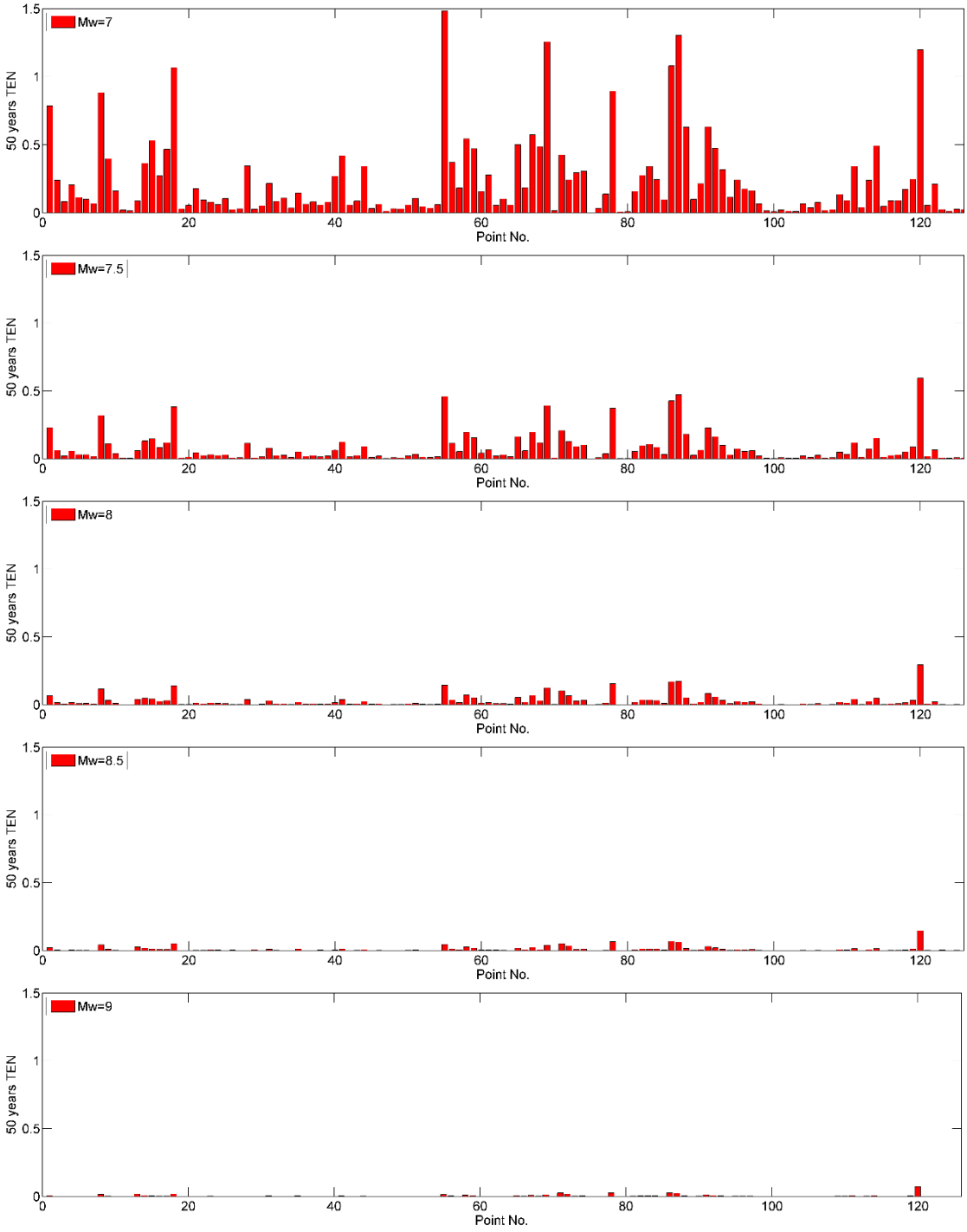


圖 5.32(a) 50 年海嘯地震發生次數之期望值(TEN)

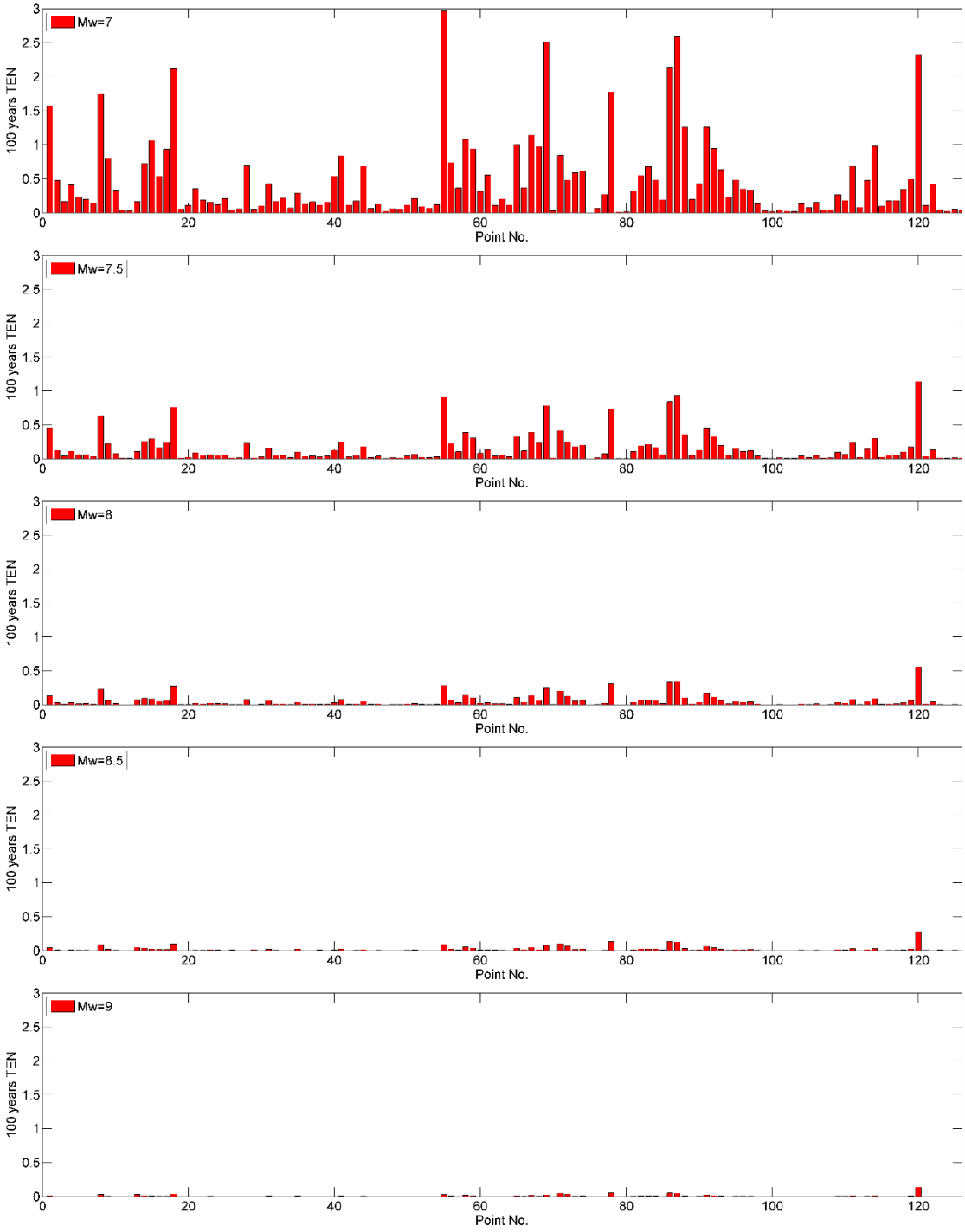


圖 5.32(b) 100 年海嘯地震發生次數之期望值(TEN)

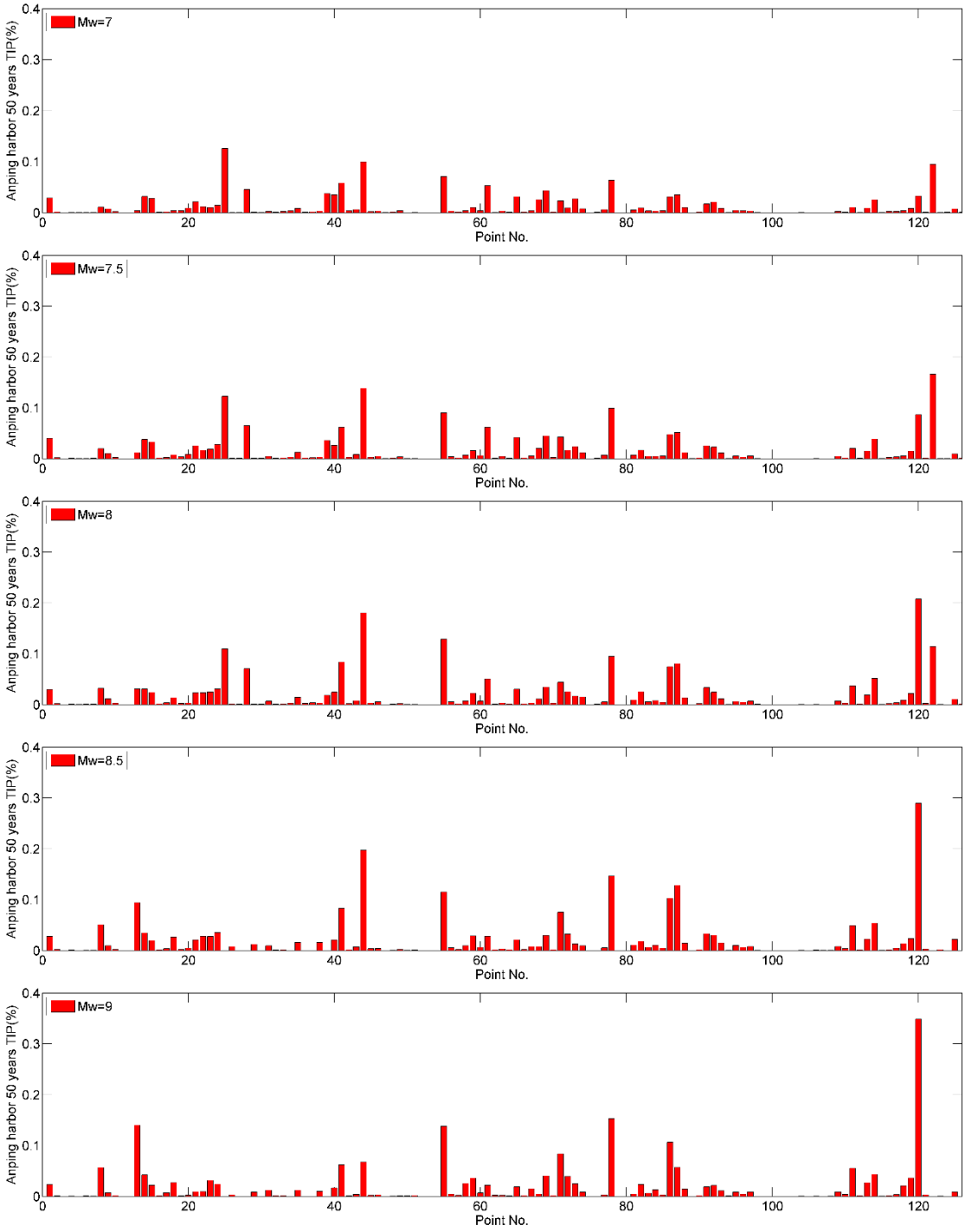


圖 5.33(a) 安平港未來 50 年間發生海嘯且溢淹機率(TIP)

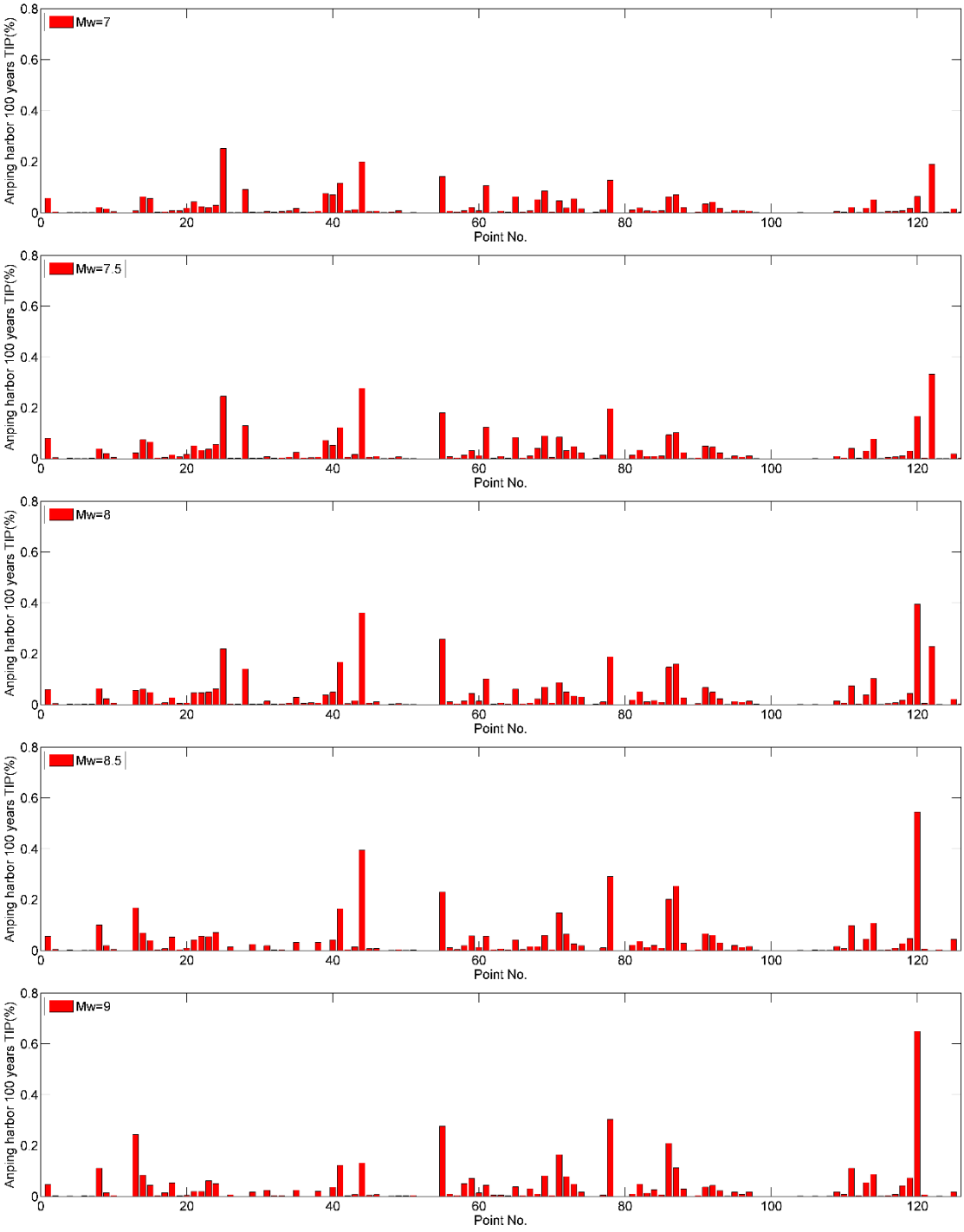
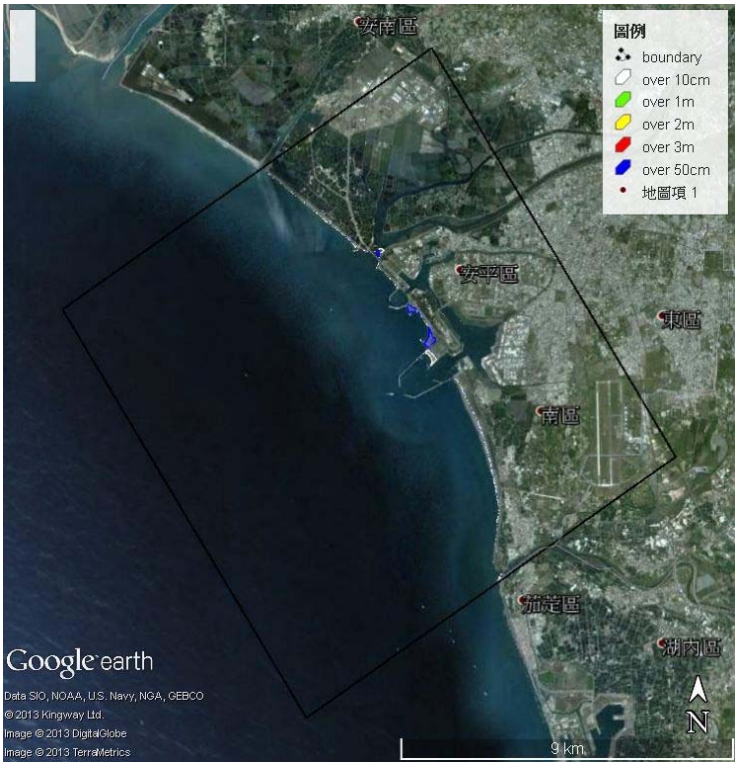
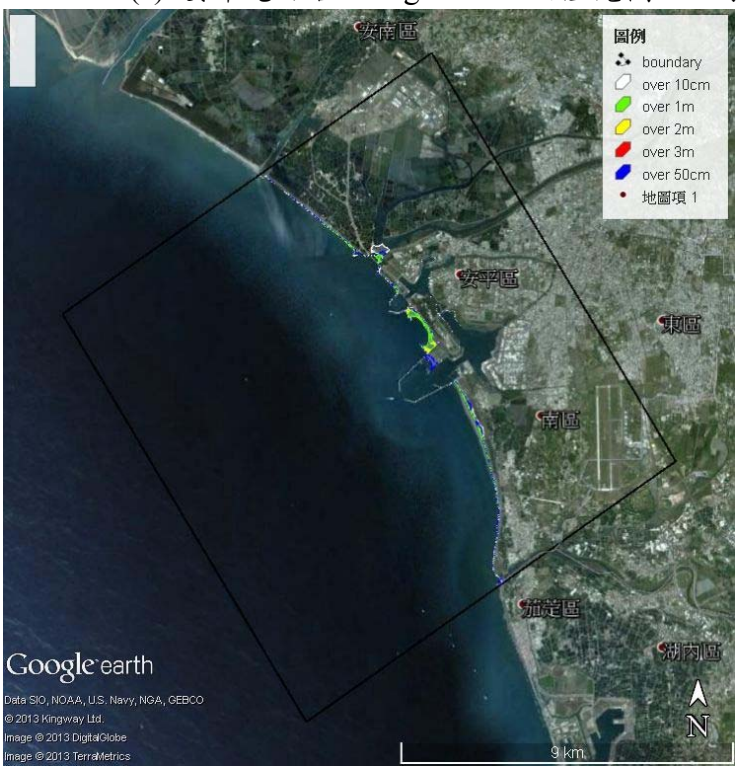


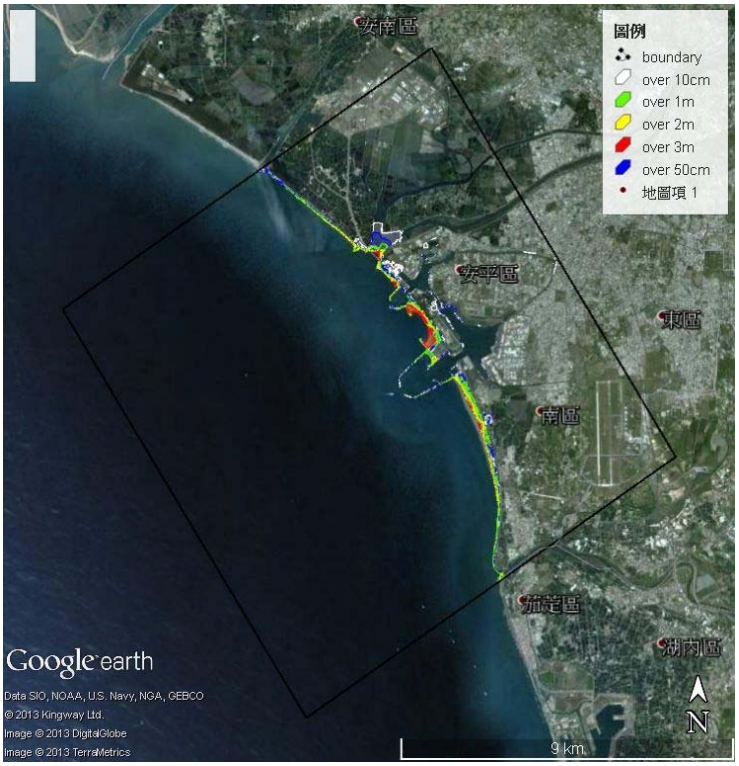
圖 5.33(b) 安平港未來 100 年間發生海嘯且溢淹機率(TIP)



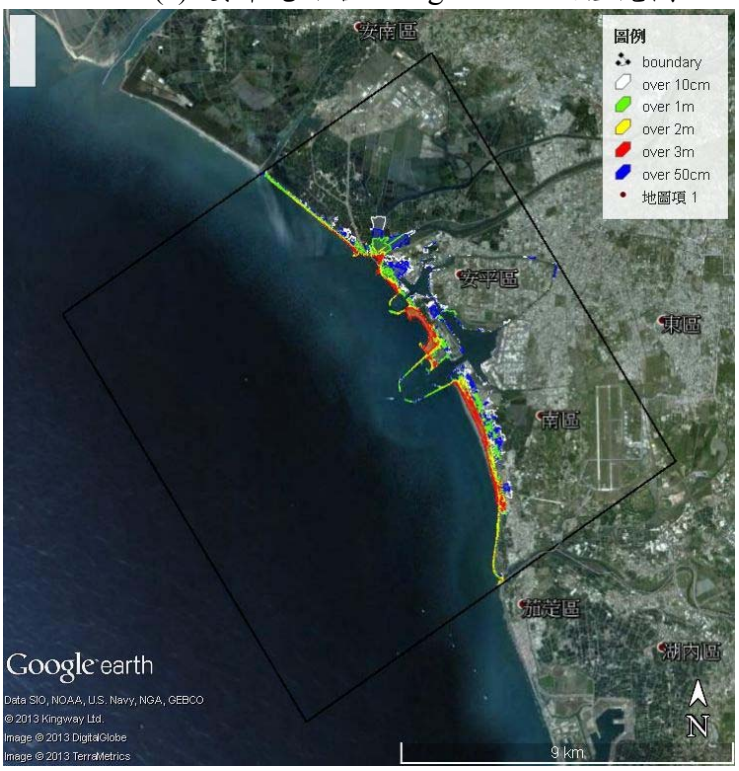
(a) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖，入射波高 0.5 公尺



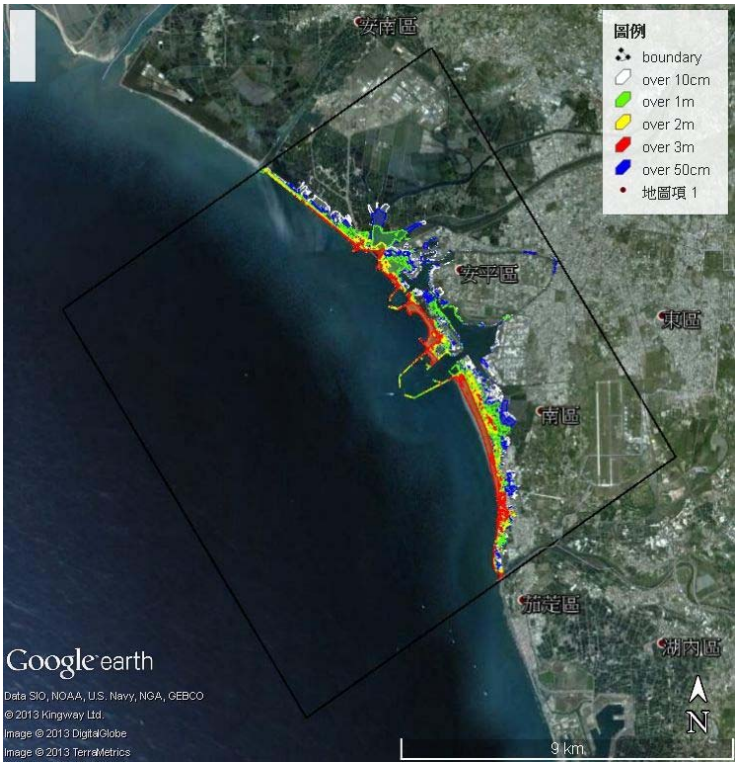
(b) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖，入射波高 1 公尺



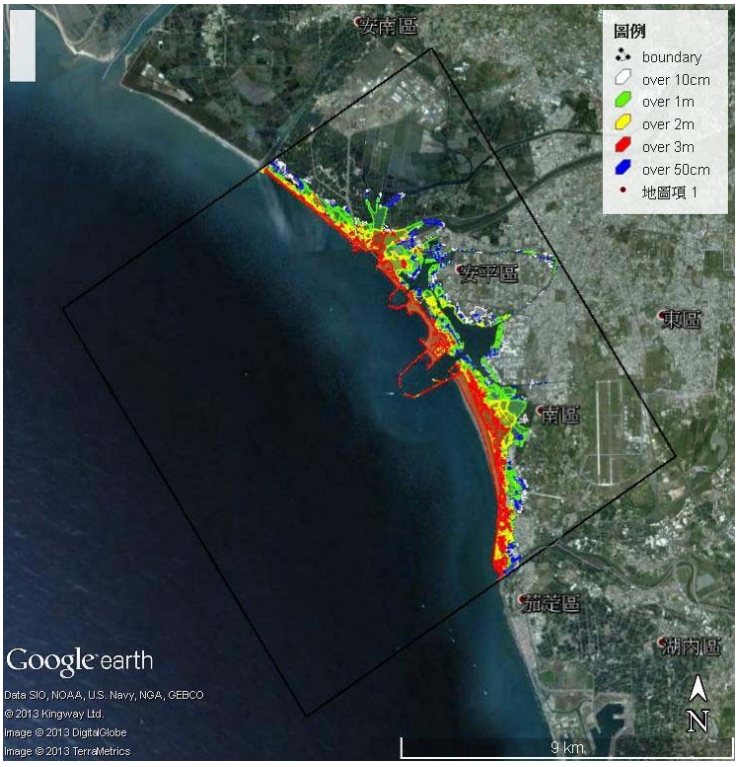
(c) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖，入射波高 2 公尺



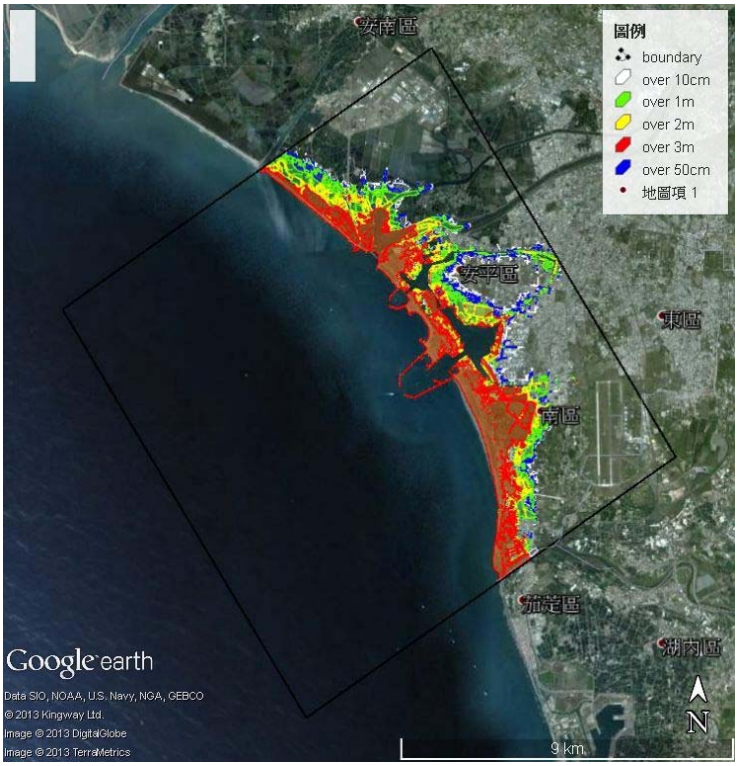
(d) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖，入射波高 3 公尺



(e) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖，入射波高 4 公尺



(f) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖，入射波高 6 公尺



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

圖 5.34 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺

5.4.4 高雄港之溢淹模擬

海域地形則採用海科中心網格間距為 500 公尺之水深資料，並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。結合高雄港之陸域數值地形。圖 5.35 為海陸域整合後之數值地形檔。

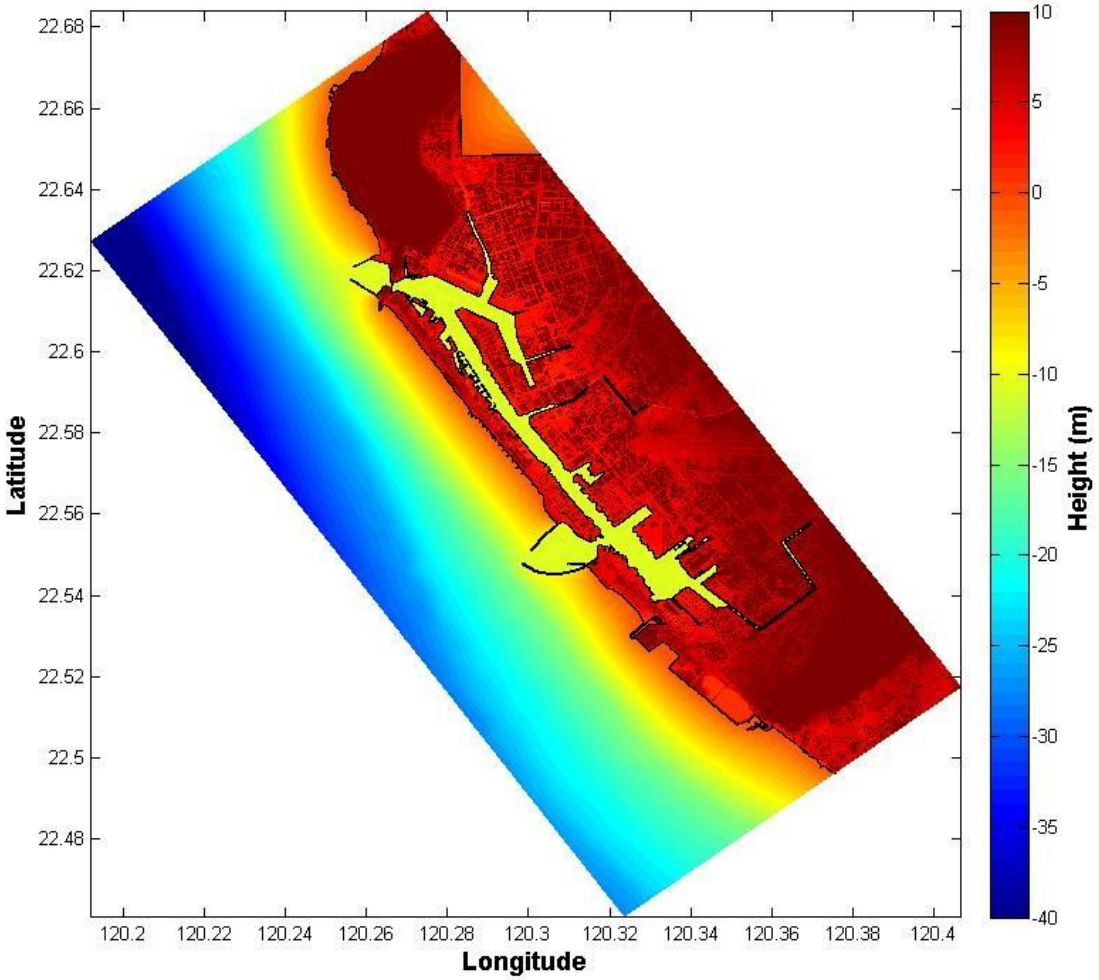
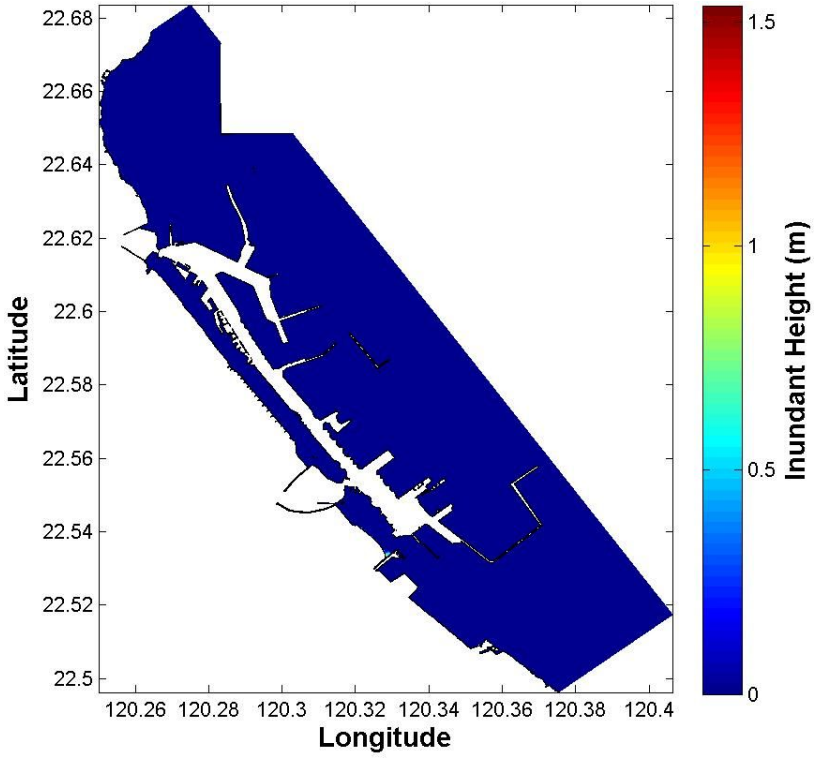
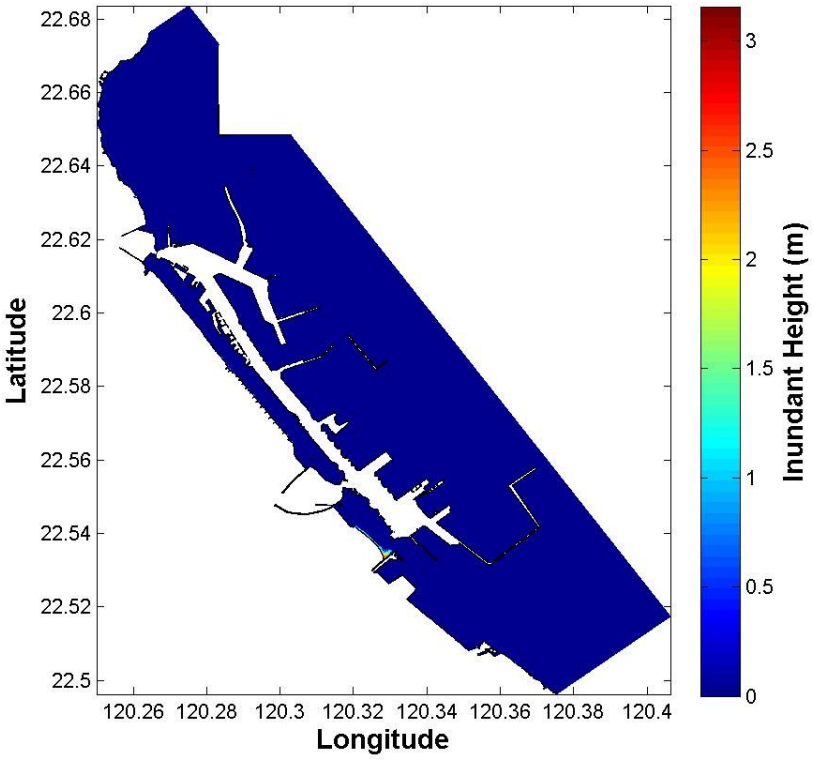


圖 5.35 高雄港整合海陸域後之數值地形檔

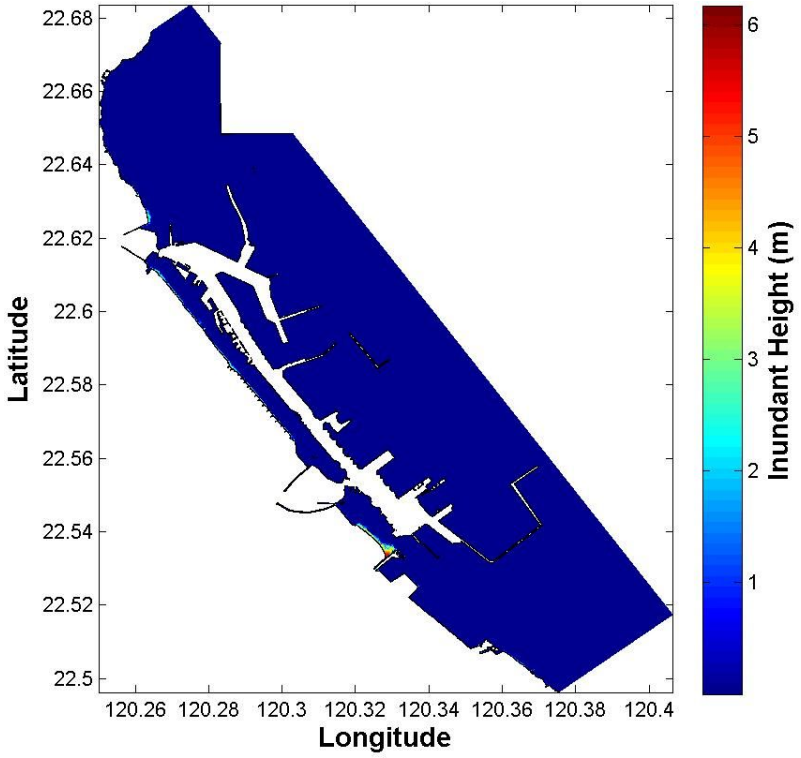
海嘯波模擬以前述方式(如圖 5.26)為入射波，以此波形在模式地形邊界上入射，模擬此情境下陸地之溢淹狀況。圖 5.36(a)~(g)為高雄港在各種不同高斯波入射波高下之溢淹圖。在入射波高 0.5~10 公尺時之溢淹區域及溢淹高程分佈；分析顯示，在入射波高 2 公尺以下，溢淹範圍侷限於旗津堤外之沙洲。當 3 公尺之入射波高時，旗津區汕頭已有 50 公分的溢淹高程，而入射波高超過 4 公尺時，旗津區市區已有大範圍超過 50 公分的溢淹高程；在港內上下之溢淹高程也會提高至 6 公尺左右(入射波高為 6 公尺以上時)。



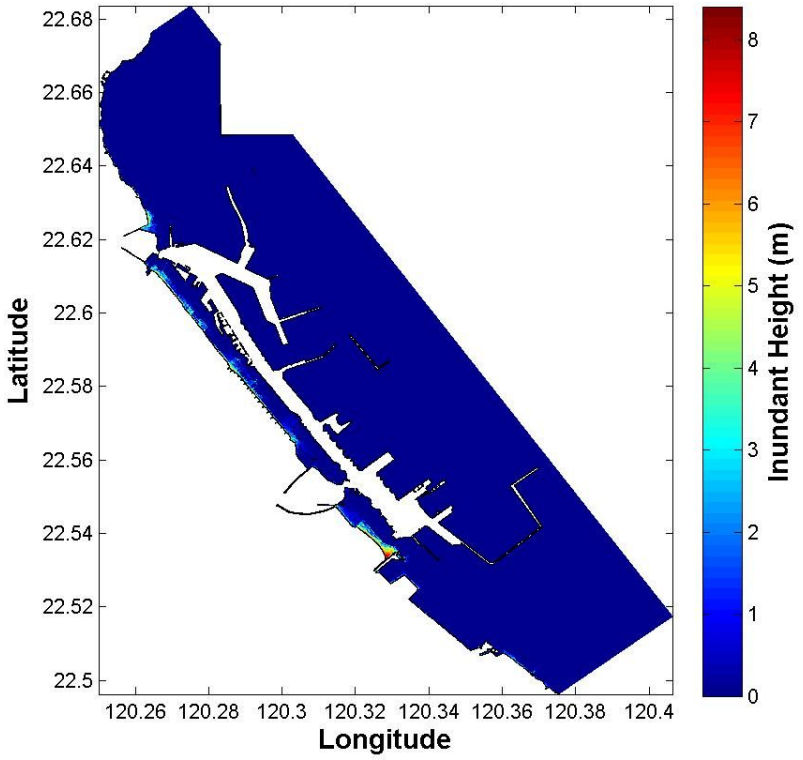
(a) 高雄港入射波高為 0.5 公尺之溢淹圖



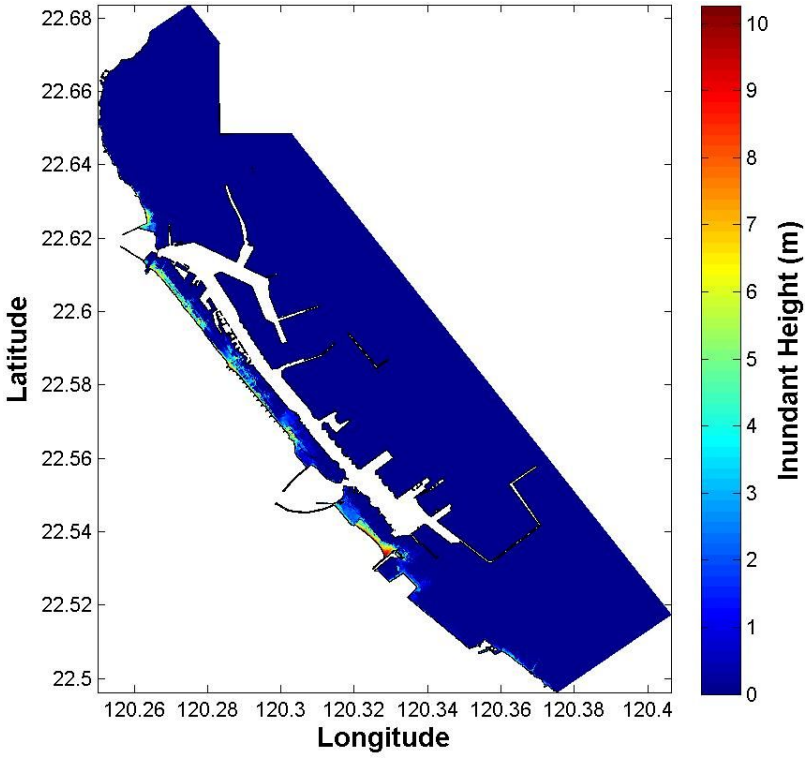
(b) 高雄港入射波高為 1 公尺之溢淹圖



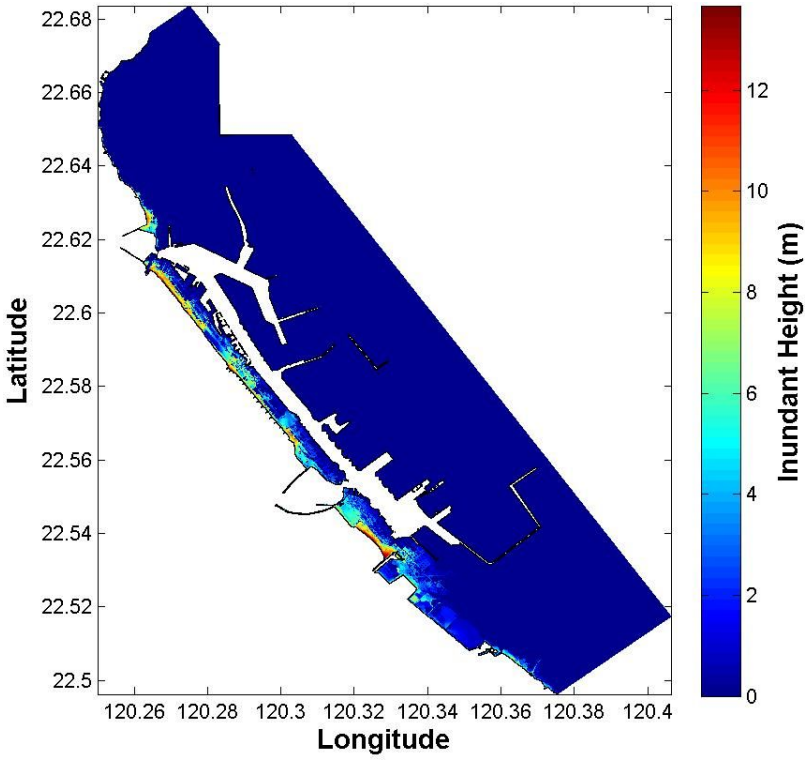
(c) 高雄港入射波高為 2 公尺之溢淹圖



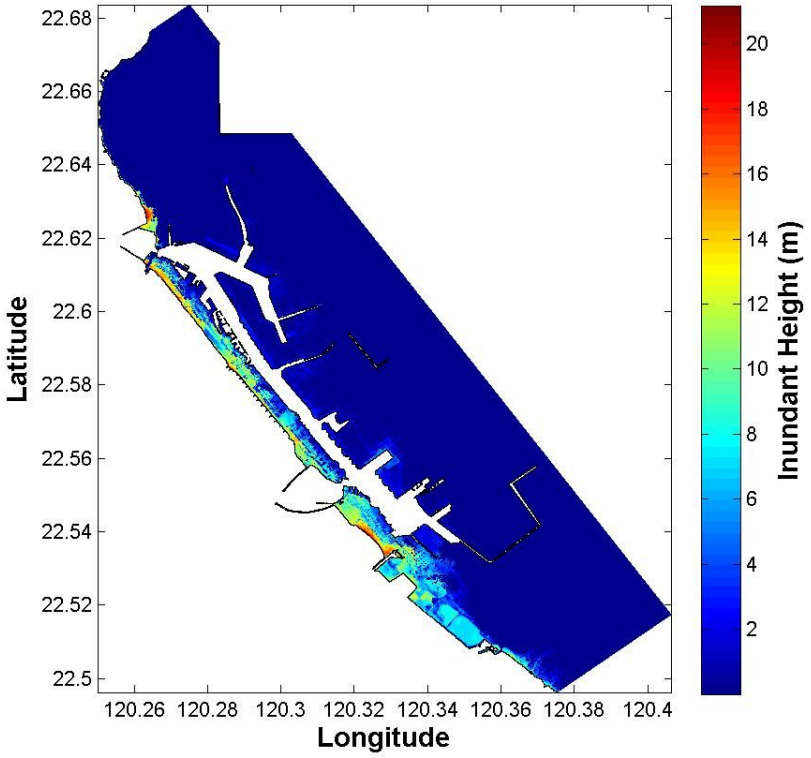
(d) 高雄港入射波高為 3 公尺之溢淹圖



(e) 高雄港入射波高為 4 公尺時之溢淹圖



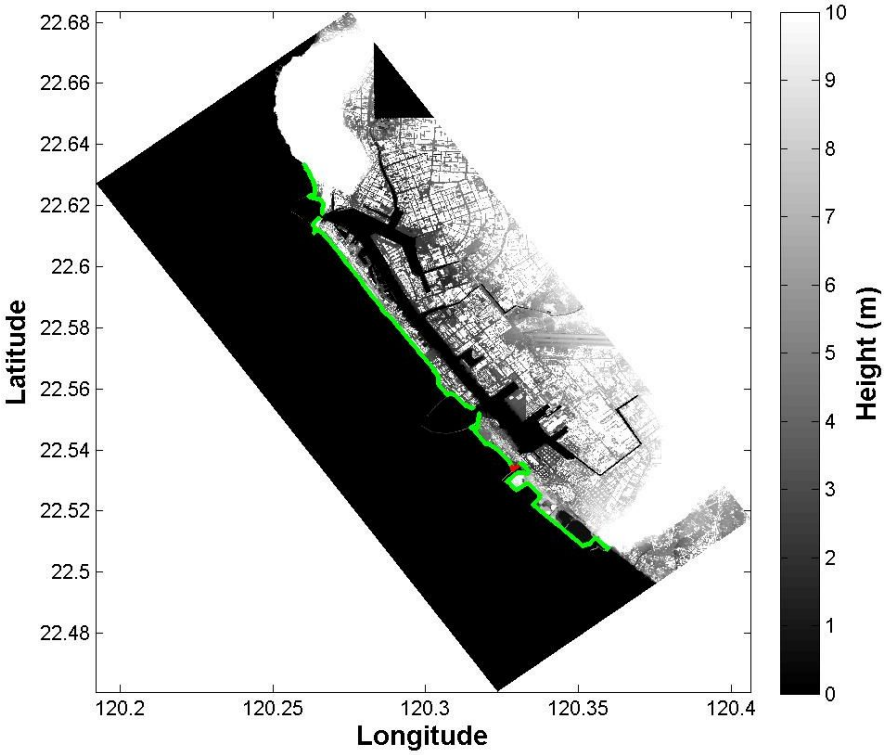
(f) 高雄港入射波高為 6 公尺時之溢淹圖



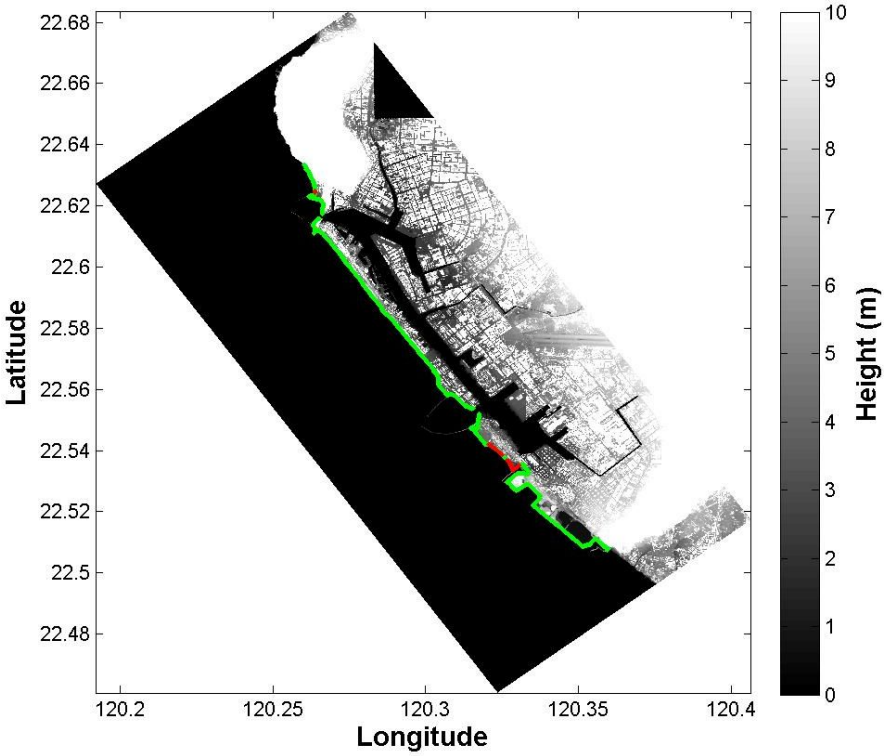
(g) 高雄港入射波高為 10 公尺時之溢淹圖

圖 5.36 高雄港之溢淹圖，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺

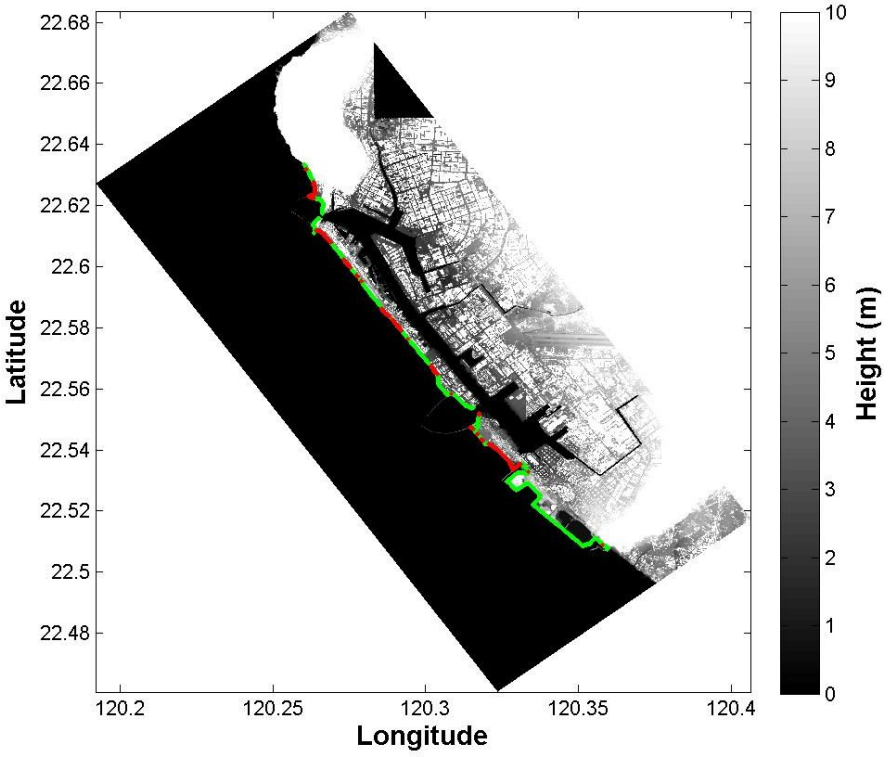
圖 5.37 為高雄港分別在入射波高 0.5~10 公尺時之溢淹點位分佈；紅色點表示離岸 50 公尺且溢淹高程達 50 公分之點位。計算結果則列於表 5-6 及圖 5.29，入射波高只要大於 3 公尺就會有 50%以上的溢淹機率。



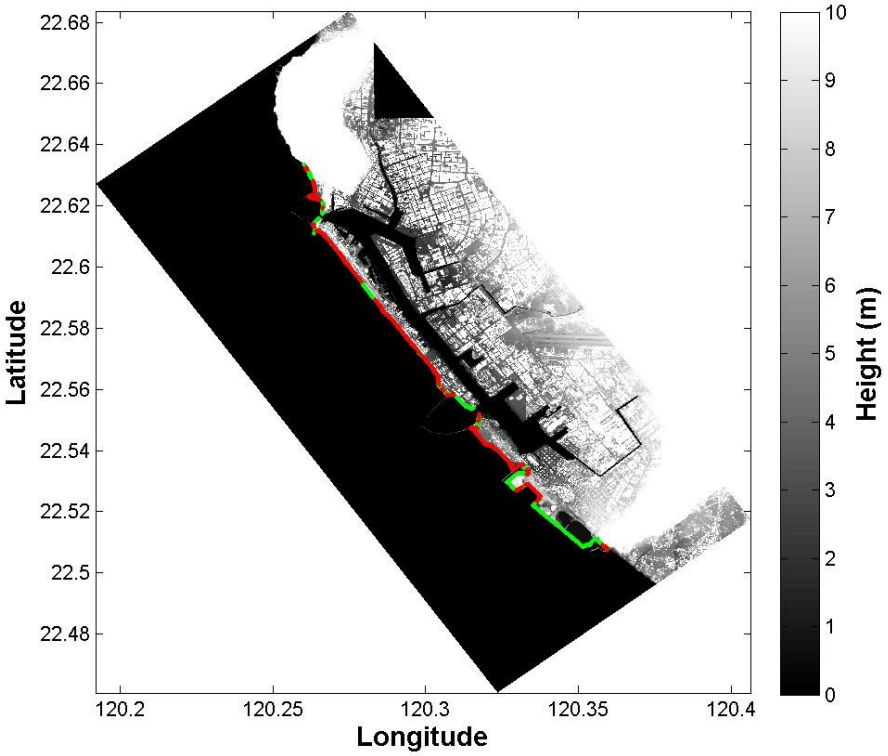
(a) 高雄港入射波高為 0.5 公尺時之溢淹點位分佈



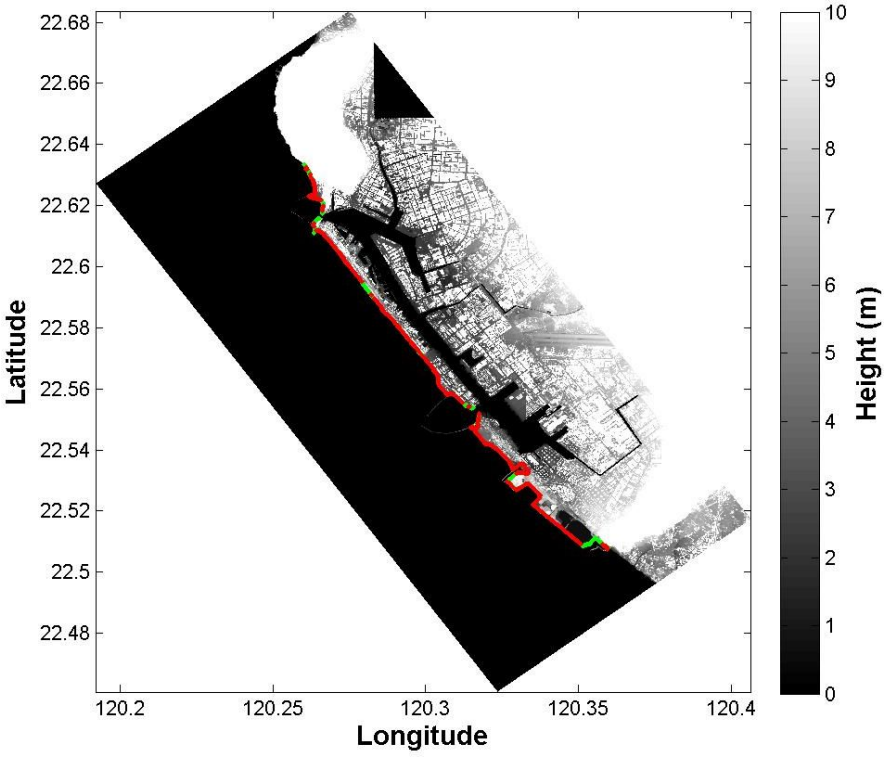
(b) 高雄港入射波高為 1 公尺時之溢淹點位分佈



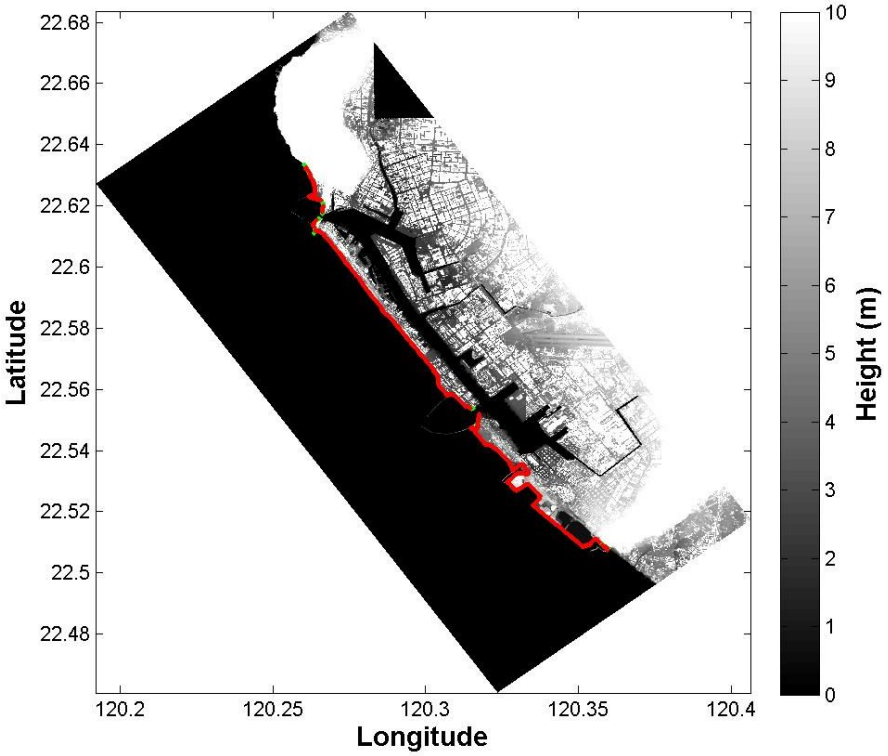
(c) 高雄港入射波高為 2 公尺時之溢淹點位分佈



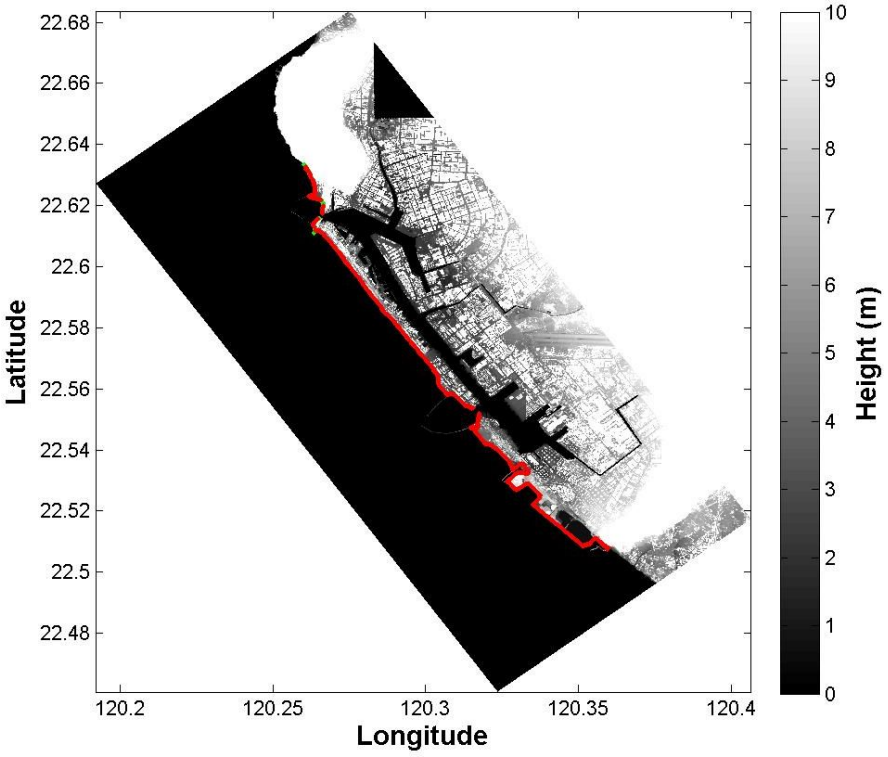
(d) 高雄港入射波高為 3 公尺時之溢淹點位分佈



(e) 高雄港入射波高為 4 公尺時之溢淹點位分佈



(f) 高雄港入射波高為 6 公尺時之溢淹點位分佈



(g) 高雄港入射波高為 10 公尺時之溢淹點位分佈

圖 5.37 高雄港之溢淹點位分布圖(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺

表 5-6 高雄港各入射波高下對應之溢淹機率

地點	高雄港		
入射波波高(m)	離海 50 米的岸線點數	溢淹高度大於 0.5m 的點數	溢淹機率
0.5	4165	64	1.54%
1		192	4.61%
2		836	20.07%
3		2163	51.93%
4		3169	76.09%
6		3864	92.77%
10		3994	95.89%

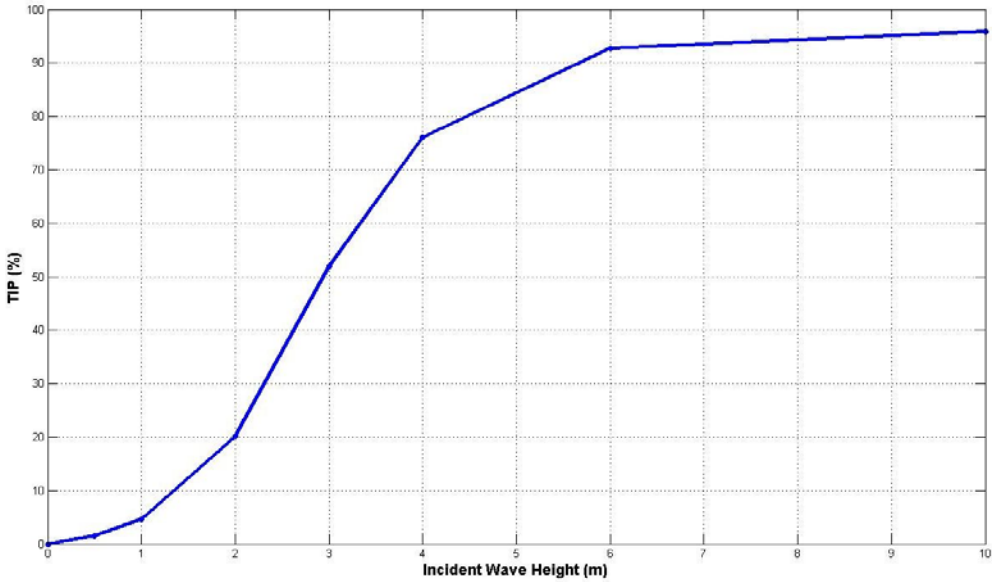


圖 5.38 高雄港各入射波高下對應之溢淹機率圖

高雄港在 126 個假設震央各地震矩規模下之最大波高分佈如圖 5.39；高雄港在地震矩規模 7.0 時，其最大波高值未超過 15 公分；在地震矩規模 8.0 以上則最大波高可達 1.5 公尺；地震矩規模為 8.5 以上時，最大波高值超過 3 公尺；而分析結果顯示馬尼拉海溝、菲律賓海溝及馬里亞納海溝(含亞普海溝)會對高雄港口產生較大之外海波高。

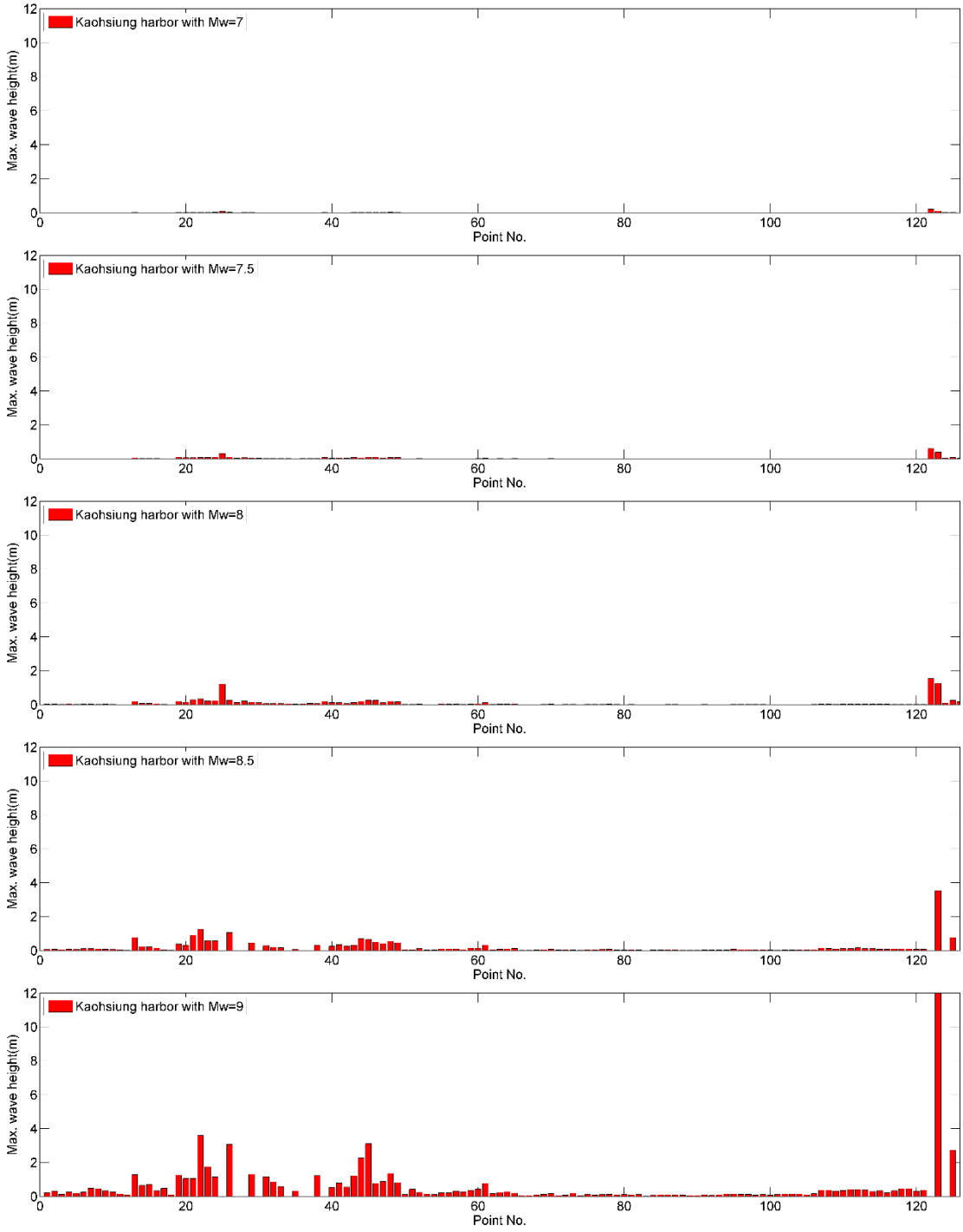


圖 5.39 高雄港在各種地震矩規模下之最大波高分佈

根據表 5-6 之計算結果，可以以內插方式計算本計算假設地震矩規模下及斷層參數所產生之最大波高對應之溢淹機率，其分佈如圖 1.40 所示。是否造成溢淹仍然要視外海波高及現地高程而定，由計算結果

顯示，即使在馬尼拉海溝、菲律賓海溝及馬里亞納海溝(含亞普海溝)地震矩規模超過 8.0 之情況下，造成溢淹範圍及機率相當高。

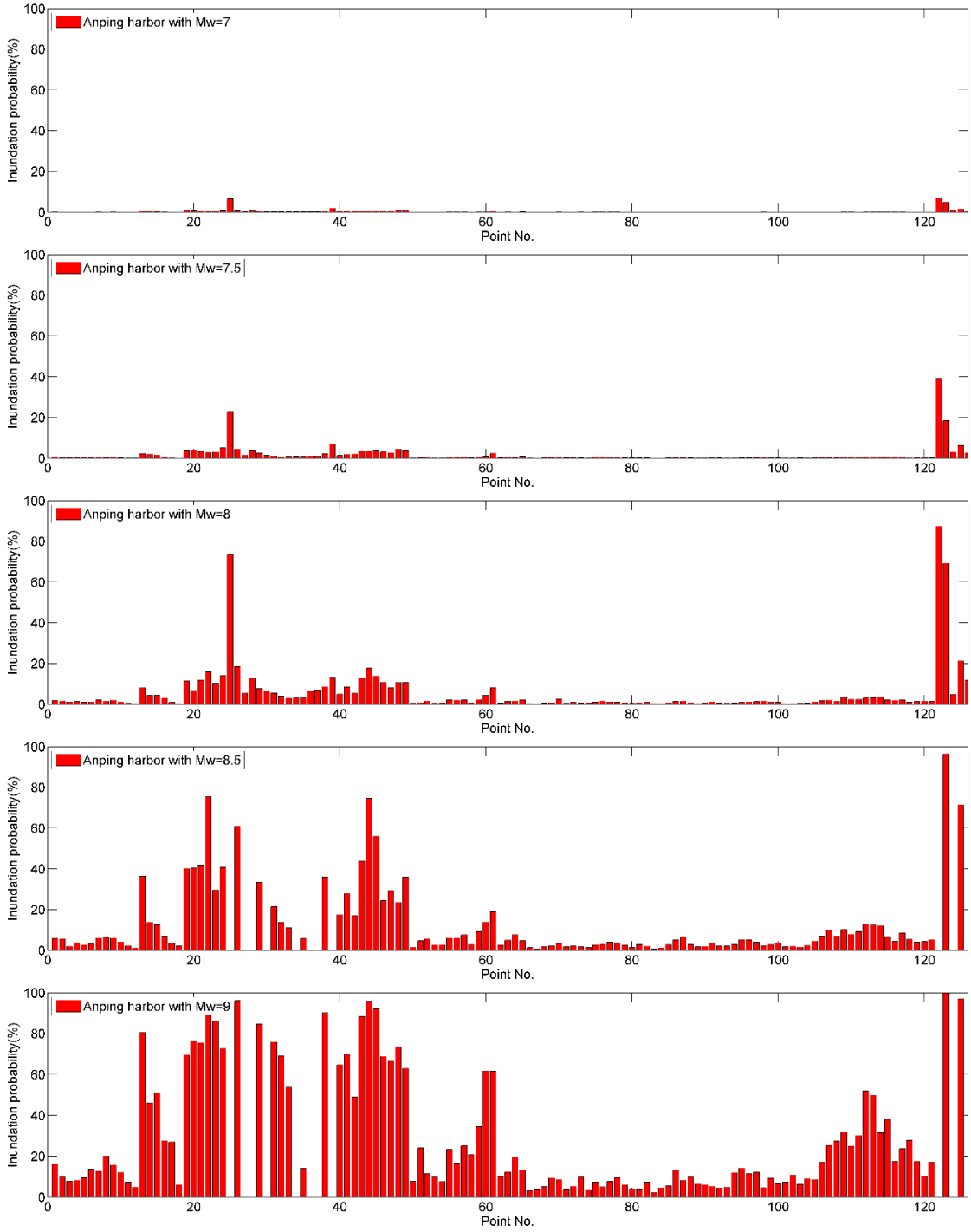


圖 5.40 高雄港在各種地震矩規模下之溢淹機率分佈

所評估之 50 年及 100 年海嘯地震發生次數的期望值(TEN)與海嘯對高雄港產生之水位變化及使用模式模擬不同程度波高溢淹各鄉鎮之

狀況並定義溢淹機率後，最後將五個規模(7、7.5、8、8.5、9)海嘯地震次數期望值，乘上淺層海源地震機率及五個規模發生海嘯產生之溢淹機率，加總各分量即得高雄港未來 50 年及 100 年發生海嘯且溢淹之機率，如圖 5. 41(a1)(a2))、(b1)(b2)；其統計上之意義即是「某個特定點位面對所有潛勢震源點在未來 50 年及 100 年間發生超過地震矩規模 7 之海嘯且溢淹之或然率」。評估結果為高雄港在未來 50 年間發生海嘯且溢淹之機率為 0.55%，100 年為 1.09%。本研究並結合 Google Earth 作為海嘯溢淹潛勢圖，圖 5.42。

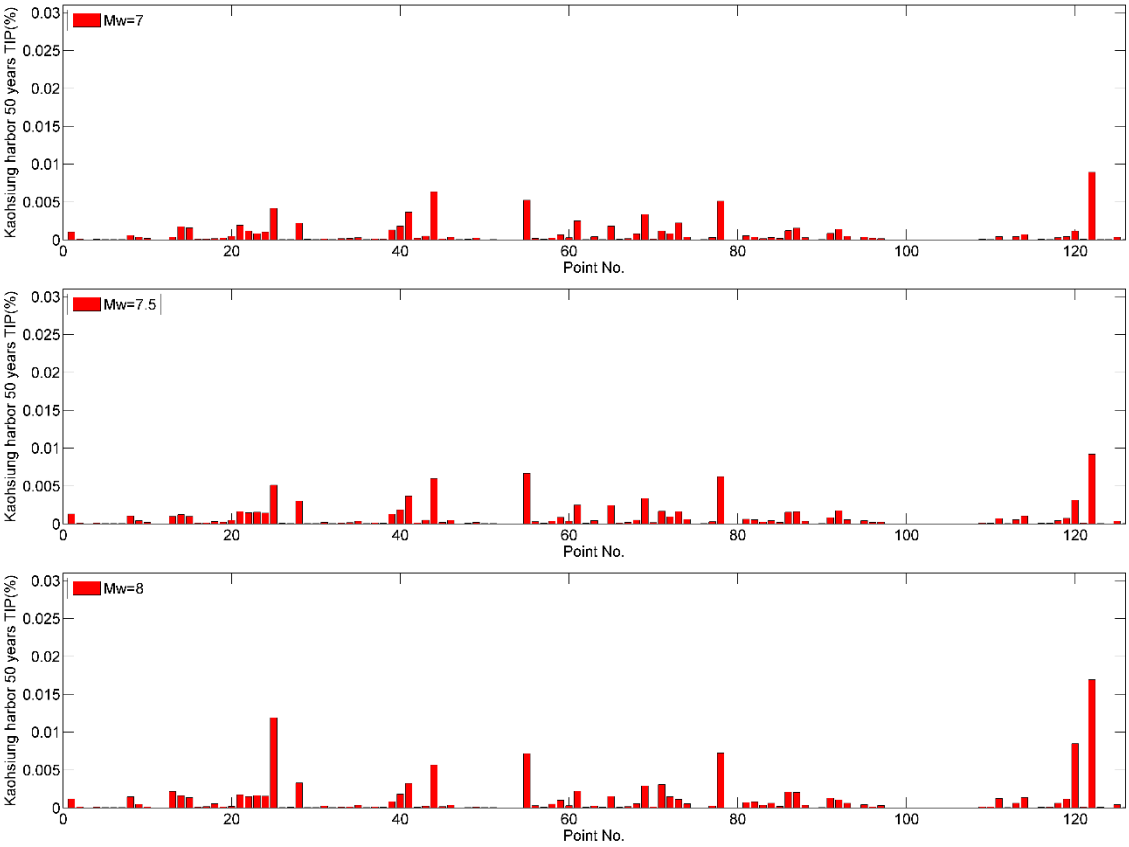


圖 5.41(a1) 高雄港未來 50 年間發生海嘯且溢淹機率(TIP)

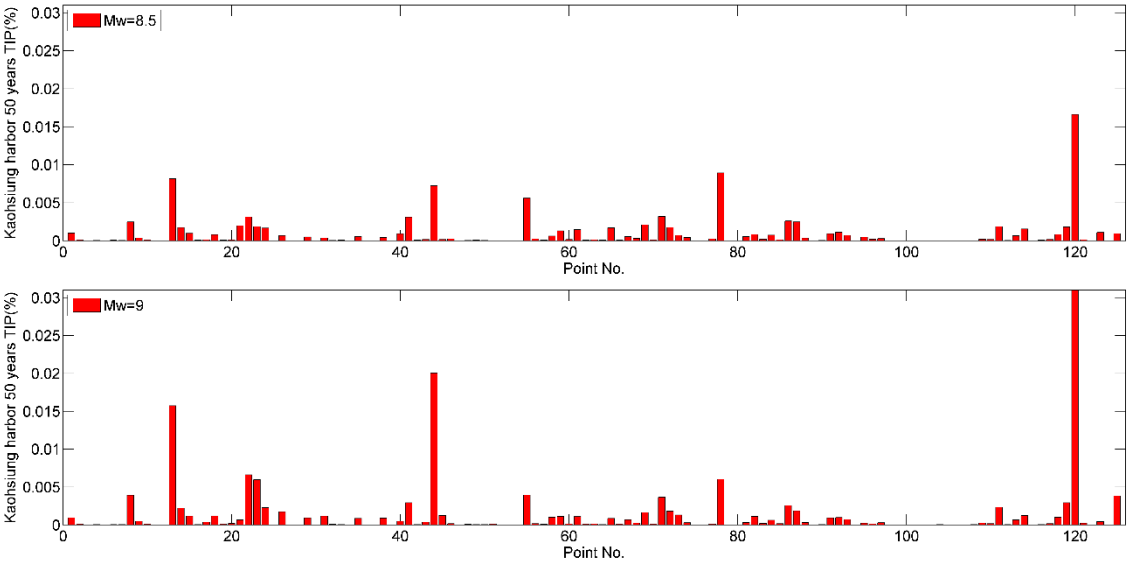


圖 5.41(a2) 高雄港未來 50 年間發生海嘯且溢淹機率(TIP)

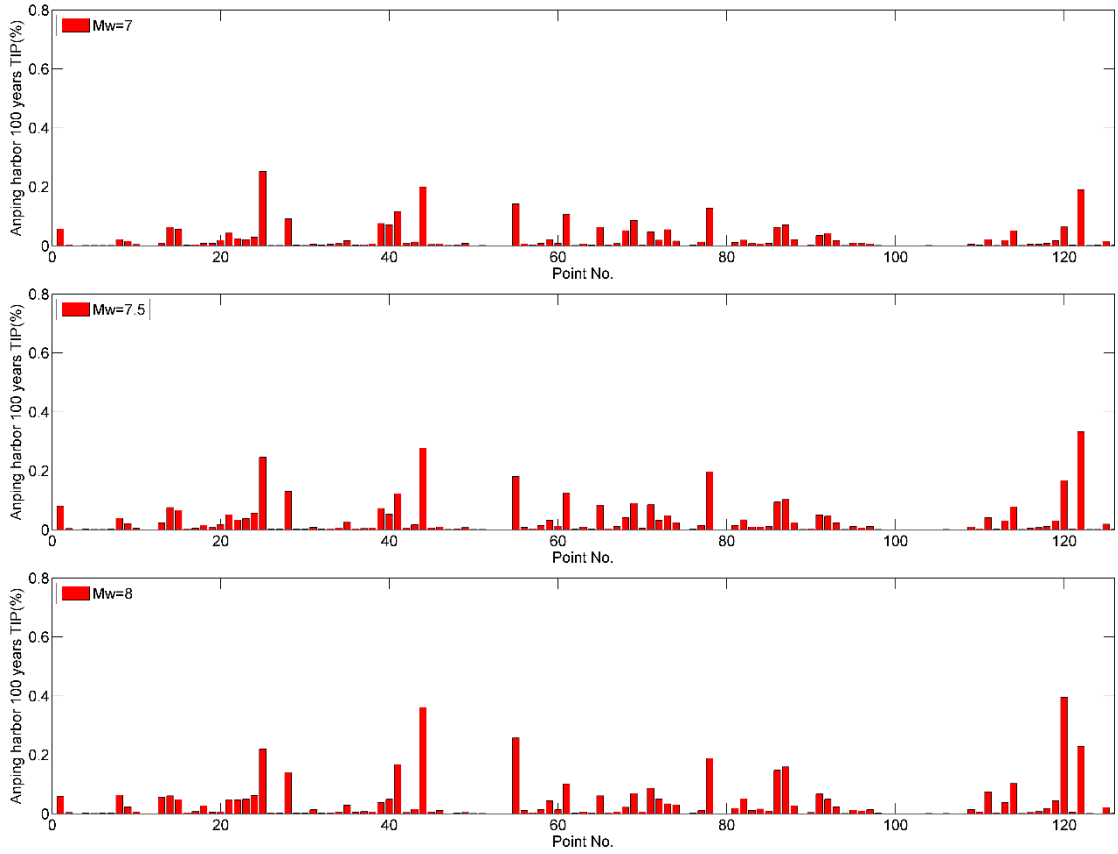


圖 5.41(b1) 高雄港未來 100 年間發生海嘯且溢淹機率(TIP)

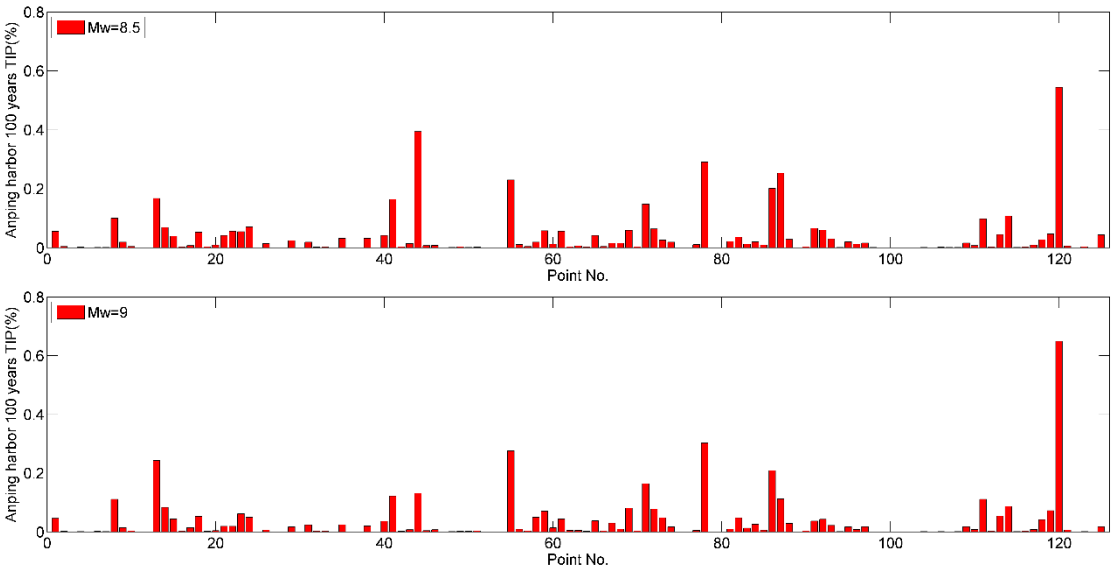
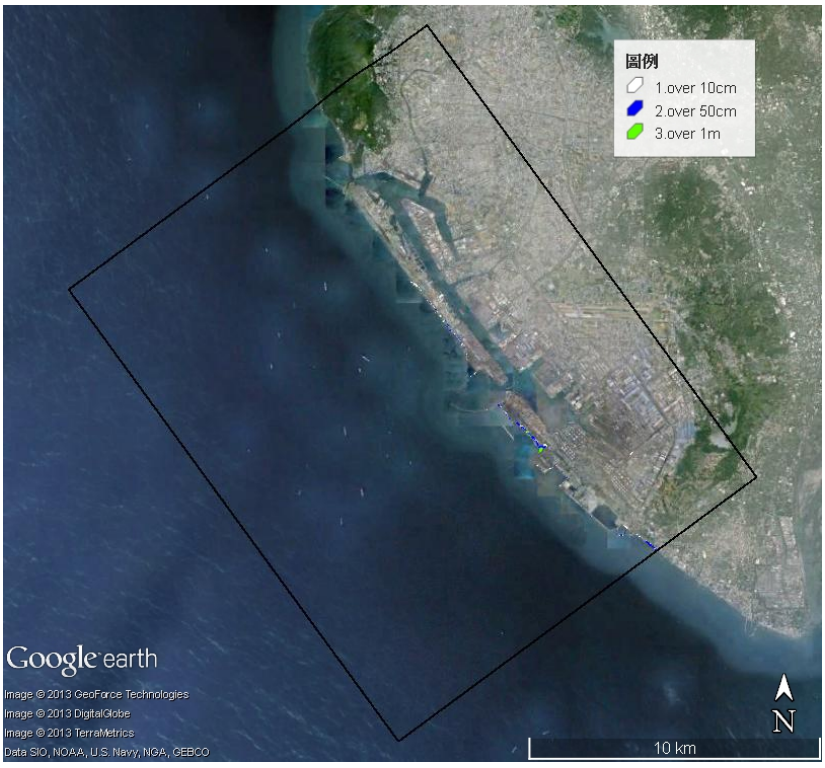
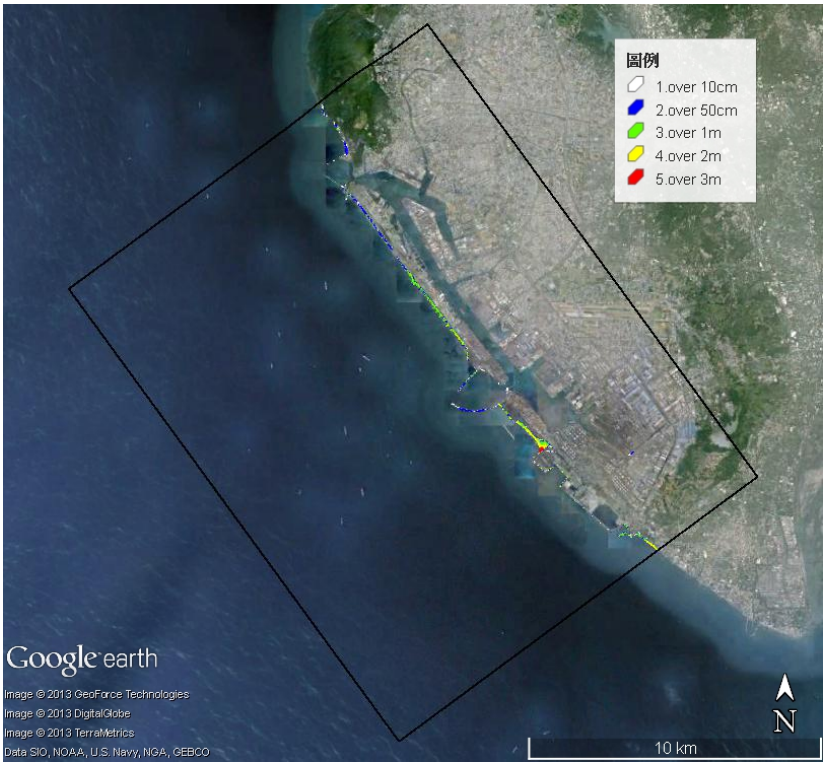


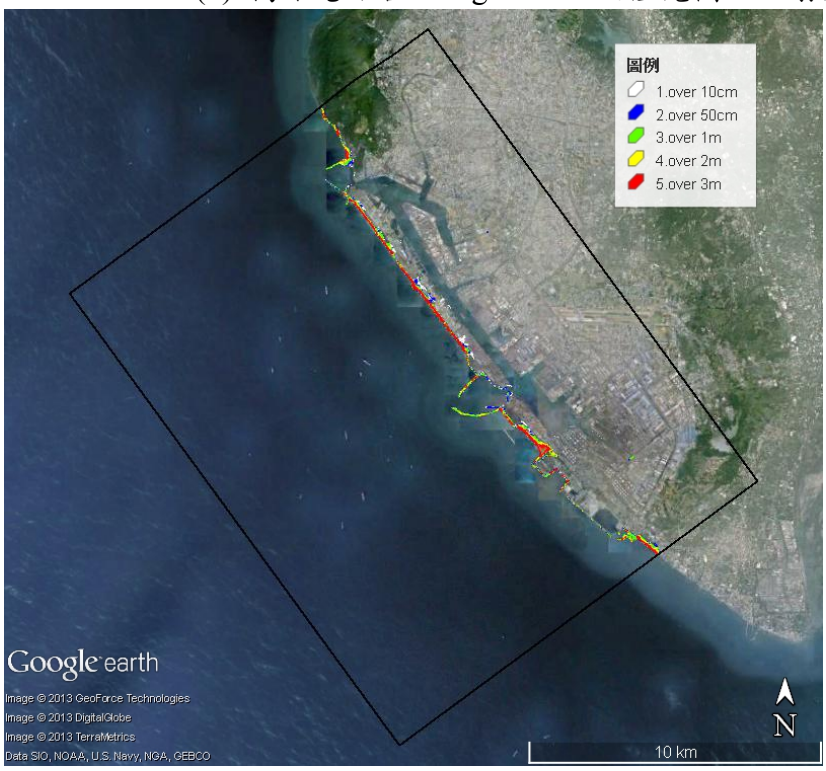
圖 5.41(b2) 高雄港未來 100 年間發生海嘯且溢淹機率(TIP)



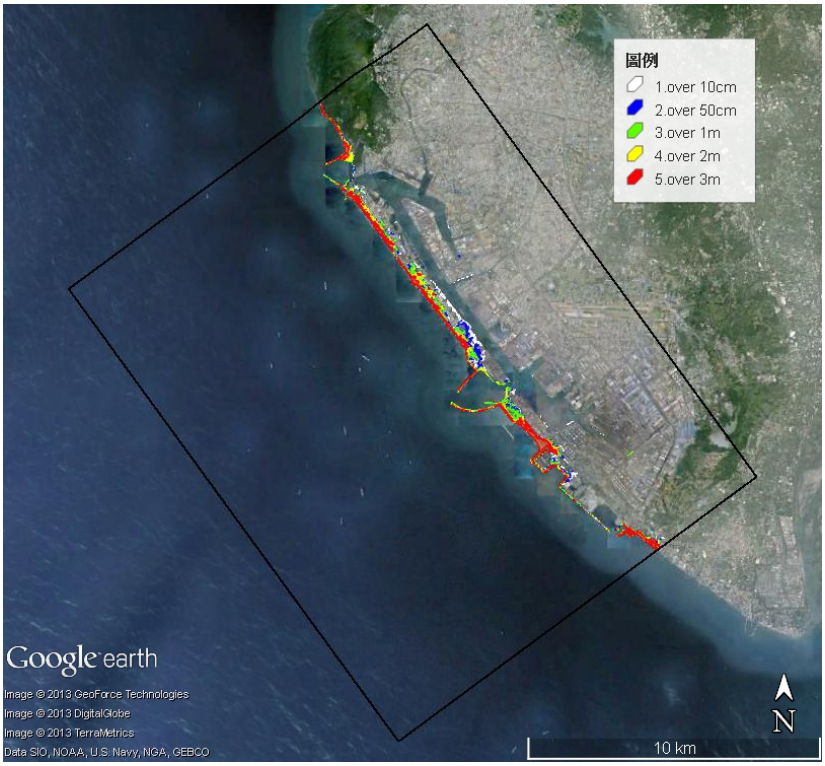
(a) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖，入射波高 0.5 公尺



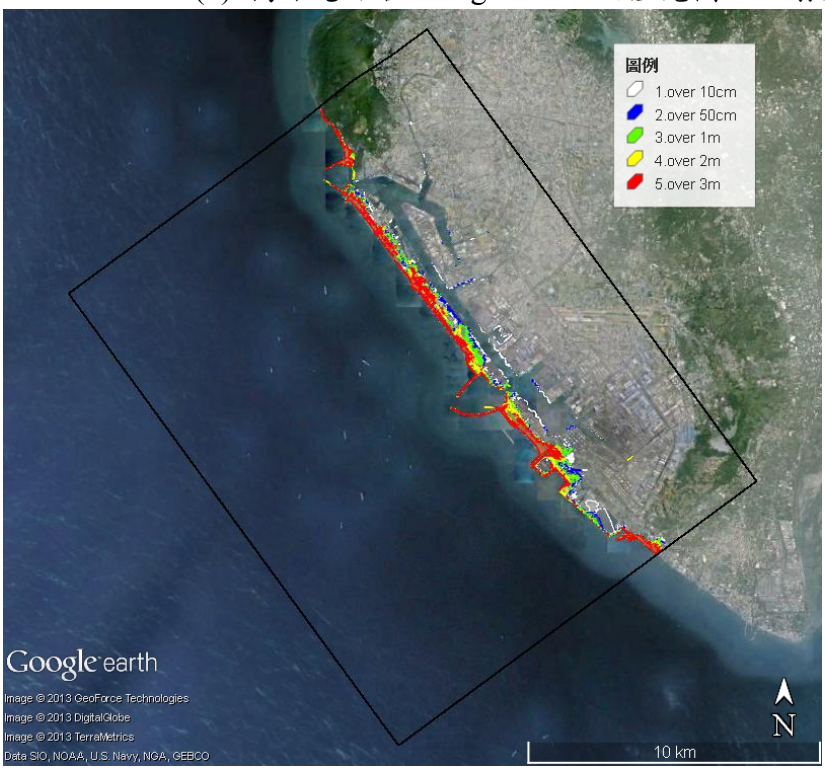
(b) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖，入射波高 1 公尺



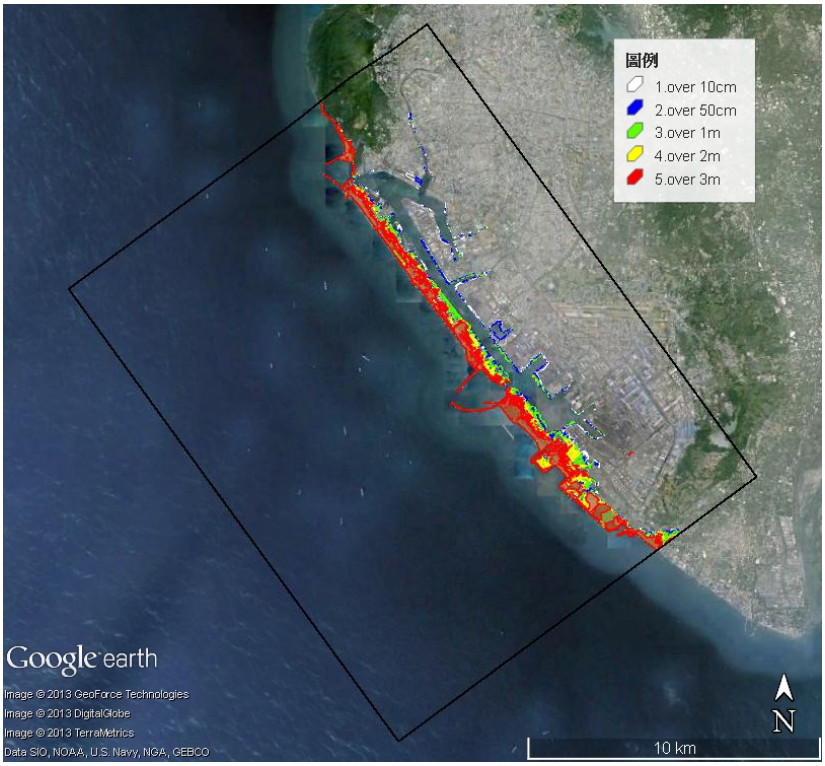
(c) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖，入射波高 2 公尺



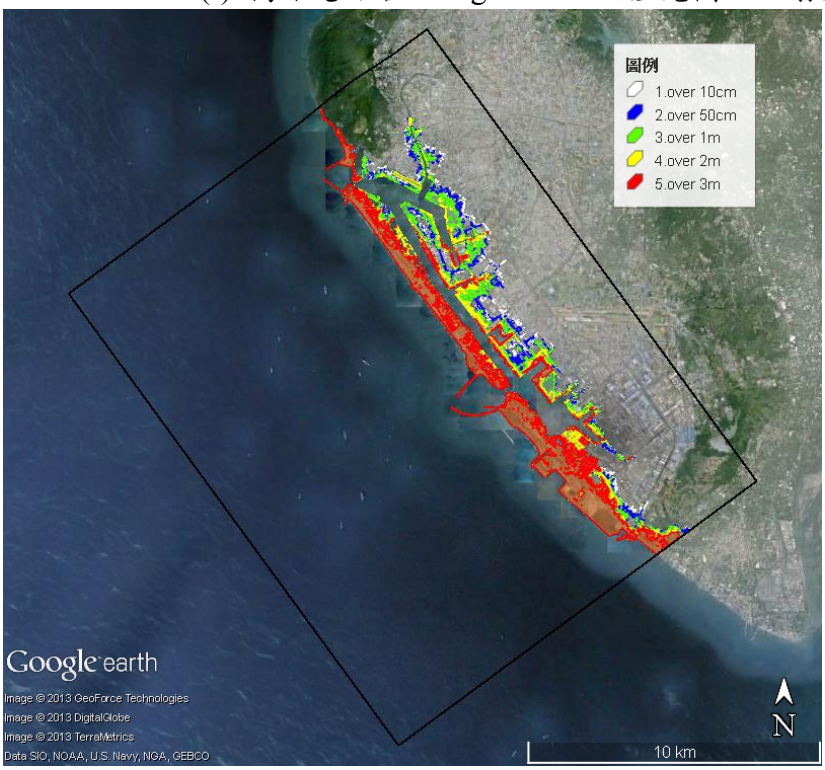
(d) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖，入射波高 3 公尺



(e) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖，入射波高 4 公尺



(f) 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖，入射波高 6 公尺



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

圖 5.42 高雄港結合 Google Earth 之溢淹圖，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺

5.5 海嘯沿高屏溪口溯上模擬

海嘯與地震息息相關，但一般只有強烈之淺層地震方有引起海嘯之可能。根據中央氣象局及消防署所顯示的臺灣地區地震的歷史資料，自 1900 年起至 2006 年，臺灣地區海底地震震央多半聚集於東部外海；陸地區域所產生最大地震為 1999 年集集大地震，規模 7.3；而海底地震則為 1910 與 1920 年分別發生在基隆外海與花蓮外海者，規模均為 8.3。臺灣西南部與南部海域雖然較少活動斷層，地震頻率及規模均較少，且由歷史紀錄顯示此地帶的斷層活動引發海嘯的機率甚低。但是位於臺灣南方的菲律賓，其與臺灣都是同位於菲律賓海洋板塊與歐亞板塊的聚合帶處，地震頻繁，呂宋島有許多活動斷層延伸至海域，其大規模斷層活動可能引發海嘯，於數十分鐘至一小時即可到達臺灣西南部海域，衝擊臺灣南部及西南部海岸。美國地質調查所認為馬尼拉海溝是南中國海及呂宋海峽一帶危險性被低估之震源區，亦因此本研究將此地區列為主要海嘯產生波源區及主要地震搜尋範圍帶。

海嘯波傳遞至水深較淺的近岸時，受到淺化效應的影響，波高放大進而入侵沿岸地區造成溢淹；當海嘯波遇海陸交界上的河口地形，所攜帶的龐大水體除了會跨過河道溢淹至內陸外，也會隨著河道繼續逆流而上，在溪溯升過程中，會產生強烈水流，會對河道產生沖刷與淤積的現象，並對河川中的結構物（如橋梁、攔砂壩或堤防等）之基底造成沖刷，對其橋梁造成安全上之威脅。本研究以模擬之結果探討溢淹範圍及溯上距離，並模擬有無潮汐影響的狀況，探討海嘯對跨河橋梁之影響。

5.5.1 高屏溪數值地形

當進行大區域模擬時，為了縮減模式運算時間，以減少網格數降低解析度；而若要觀察海嘯波於近岸之細微情形，則勢必增加網格數提高解析度。因此，模擬上採用巢狀網格，於大區域中使用低解析度的資料，部分區域套疊高解析度資料計算，兼顧此兩種需求。計算海嘯波於大洋中之傳播情形，隨著愈接近重點觀察區域，調整第二、三

層網格大小增加解析度，計算上考慮了地球曲面效應、頻散效應和科氏力，選用線性淺水方程式及球座標系統；當波傳遞至河口，觀察海嘯波溯上情形，則需考慮近岸的非線性效應及海底底部摩擦之影響，故模式計算上則改使用非線性淺水方程式及卡式座標系統。此網格系統，可依需求調整網格大小、選用不同的淺水方程式（線性或非線性）及座標系統（球座標或卡式座標），增加海嘯模式之效率。本研究使用四層網格來模擬海嘯之傳遞，第一層網格為東經 115° 至 124° 、北緯 12° 至 26° ，ETOPE 解析度 1 分之數值地形；第二層網格為東經 118° 至 121° 、北緯 20° 至 23° ，海科中心解析度 0.25 分之數值地形；第三層網格為東經 120° 至 121.7° 、北緯 22.1° 至 22.7° ，海科中心解析度 0.03125 分之數值地形；第四層網格為東經 120.3844° 至 121.4824° 、北緯 22.4166° 至 22.6637° ，海科中心之海底地形及內政部 5 公尺陸地地形(DSM)之數值地形，解析度為 0.004 分(圖 5.43)。前三層使用線性淺水方程式、而第四層則使用非線性淺水方程式。

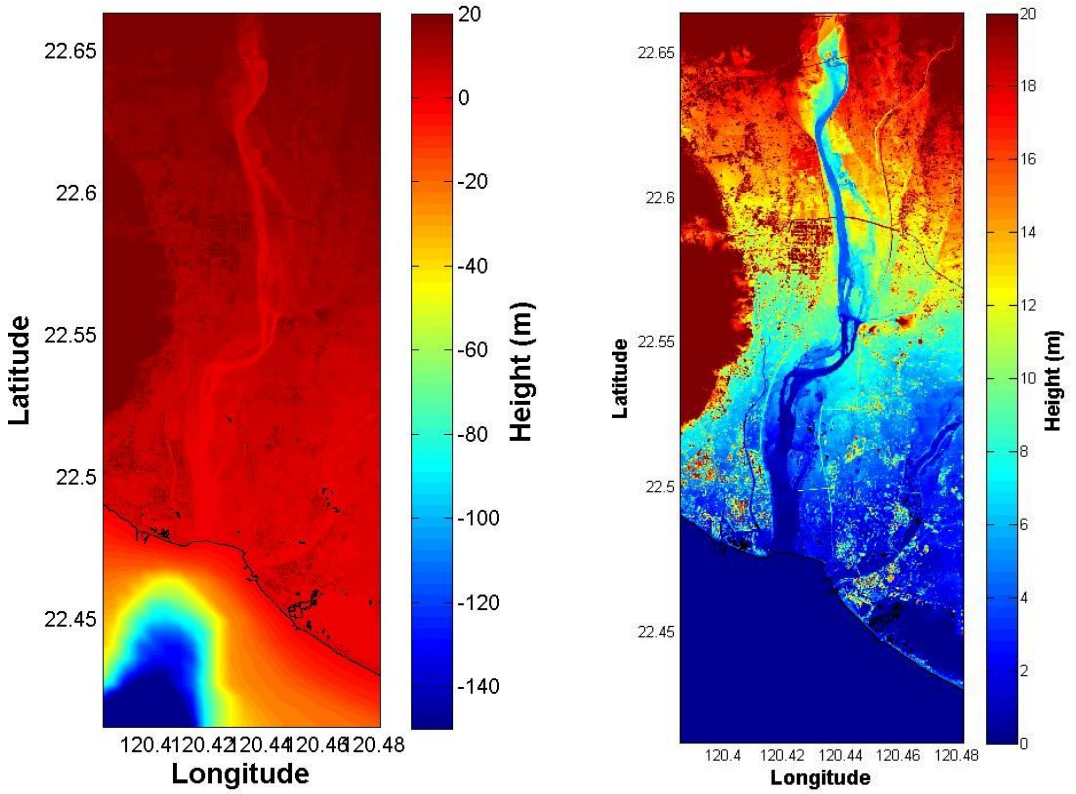


圖 5.43 海科中心解析度 0.004 分之數值地形(左)內政部 5 公尺陸地地形(DSM)(右)

5.5.2 馬尼拉溝地震參數

臺灣附近雖然有很多海嘯及地震的波源區，例如日本及南太平洋海域，但皆距離臺灣甚遠，均屬遠域海嘯；且臺灣地理位置特殊，而不在海嘯傳遞的主要方向上；因此，對臺灣本島尤其是西南海域而言，波源區之遠近是一個影響的主要因子；離臺灣最近之波源區自是馬尼拉海溝。圖 5.44a 為臺灣本島海域附近之斷層系統圖(Liu 等.1997)，圖 5.44b 為臺灣西南海域附近之斷層分佈。臺灣位於歐亞大陸板塊及菲律賓海洋板塊之交接地帶上，是經由造山運動擠壓而成。地質上，臺灣南部至菲律賓呂宋島西方為呂宋島弧，馬尼拉海溝即在呂宋島之西方，為一隱沒帶系統，也是臺灣南端主要隱沒帶系統；它除南北兩段外，大抵為南北分佈；其最南端位於北緯 13 度的民多羅海峽(Mindoro Strait)，而沿著呂宋島的西側一路向北延伸，至臺灣南部海域到大約北緯 21.5 度附近。

由於菲律賓也近於板塊交接處，雖然地質活動不如臺灣北部之琉球海槽，但也是地震頻繁區域之一；呂宋島的地理位置恰巧與臺灣類似，南北各為民多羅海峽與呂宋海峽，東西兩端則有東呂宋海槽及馬尼拉海溝(如圖 5.45 所示)，所以常見地震及海嘯紀錄。圖 5.46 則為呂宋島地區自 1619 年-1997 年之地震紀錄。呂宋島發生海嘯紀錄也相當多：1924 年 4、5 月，呂宋島外海東經 119 度，北緯 18 度(恰巧是馬尼拉海溝之位置)相繼發生規模 6.5-7 之地震，在呂宋島西北方皆有海嘯之紀錄；1934 年 2 月，呂宋島外海東經 119 度，北緯 17.5 度，亦發生規模 7 之地震，在呂宋島西北方同樣有海嘯之紀錄；1994 年 11 月，菲律賓南部民多羅島發生規模 7.1 之地震，引發 7.1 公尺之波高。但以上海嘯事件，在臺灣並無紀錄。

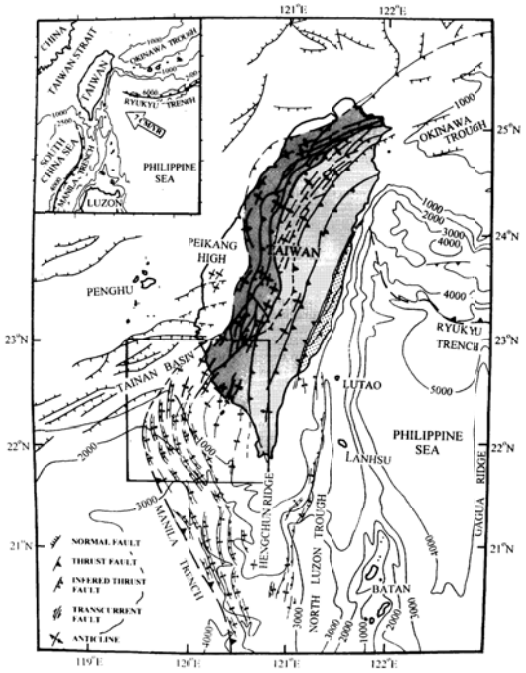


圖 5.44(a) 臺灣本島海域附近之斷層分佈圖(取自 Liu 等.1997)

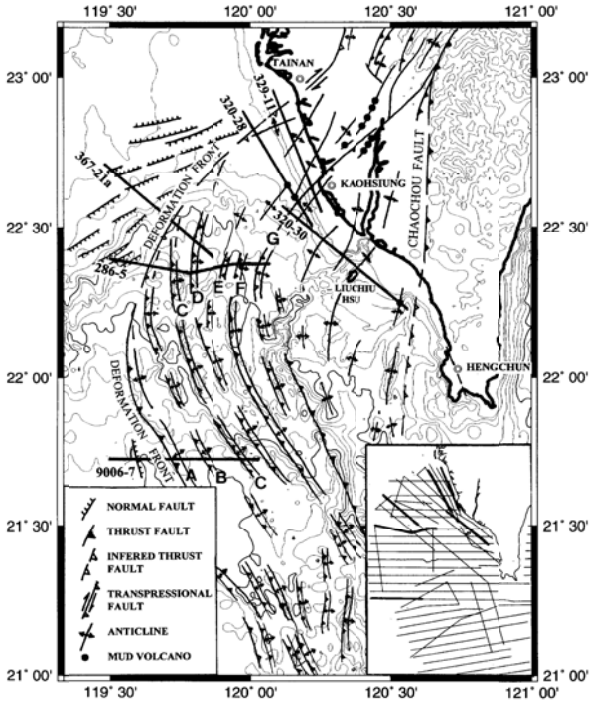


圖 5.44 (b) 臺灣西南海域附近之斷層分佈圖(取自 Liu 等.1997)

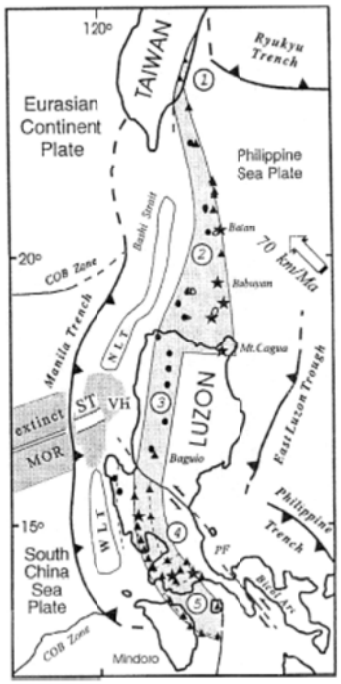
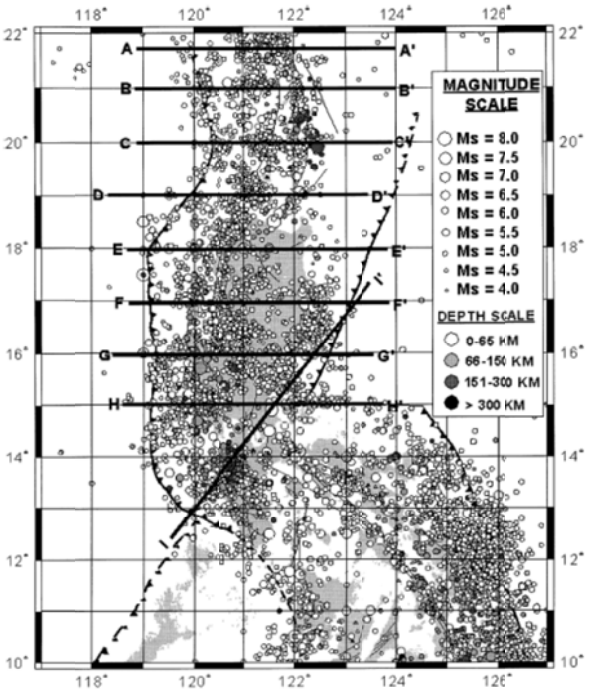


圖 5.45 呂宋島之地理位置圖(取自 Bautista et al. (2001))



(取自 Bautista et al. (2001))

圖 5.46 呂宋島地區 1619 年-1997 年之地震紀錄

由圖 5.46 觀察可知，地震發生區域主要分佈於呂宋島東南端的東呂宋海槽與菲律賓海溝，以及西北端之馬尼拉海溝北端部分；如有海

嘯產生，則由於呂宋島西南端面向太平洋，長軸方向有較大的出口可供給能量傳遞及消散；但是馬尼拉海溝面向南中國海，能量消散範圍小，且與臺灣南端之斷層帶有連帶關係，又加以此區海嘯與地震紀錄頗多，故此一區域發生海嘯之潛勢不容忽視。

Megawati et al. (2009)將馬尼拉海溝分為 33 段子區塊，如圖 5.47 所示。其中編號 15~18 之子斷層較為靠近臺灣。依該圖可將馬尼拉海溝分成 33 個子斷層帶。

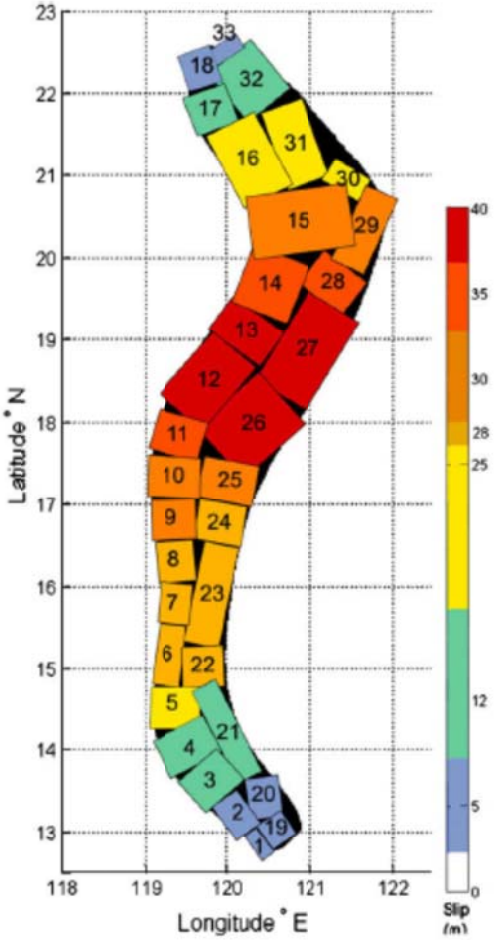


Fig. 5. The discretized model for computation of seafloor displacement.

圖 5.47 馬尼拉海溝 33 個子區塊分佈圖 Megawati et al. (2009)

5.5.3 海嘯沿高屏溪口溯上模擬

參考 Megawati et al. (2009)所建立之馬尼拉海溝 33 個子區塊地震參數，將此地震參數帶入模式中建立馬尼拉海溝斷層帶所產生之初始水位(圖 5.48)。模擬結果第一波海嘯約 20 分鐘抵達高屏溪口，模擬三個小時期間各地的最大水位高度分佈如圖 5.49(a)~(c)，海嘯波沿高屏溪河道上溯約 9 公里遠，溯上高度最高水位有 3 公尺高(圖 5.50(a)~(b))，並將模擬結果與 Google Earth 地圖疊加製成溢淹地圖，要注意的為高屏溪為南北走向，其首當其衝的為雙園大橋(圖 5.51(a)、(b))。但模擬結果內政部的河道地形與 Google Earth 2013 版本不太相符。其整合及結合 Google Earth 地圖之溢淹潛勢圖，並利用 Google Earth 圖資系統顯示出學校及醫療等救災所需資源(圖 5.52)，有助於研判海嘯發生時之安全地點及避難路徑。(陳和陳，2012)

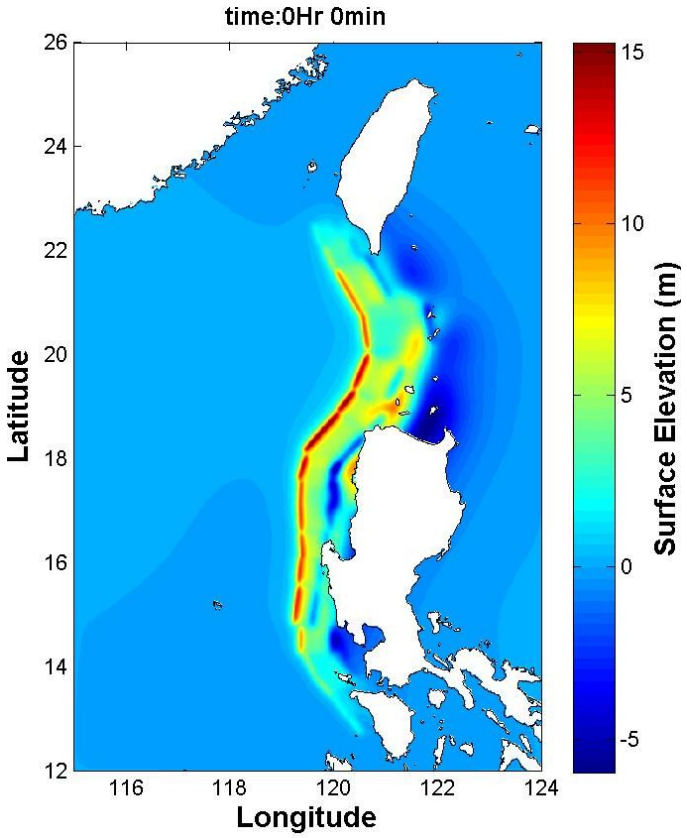


圖 5.48 參考 Megawati et al. (2009)之地震參數建立初始水位

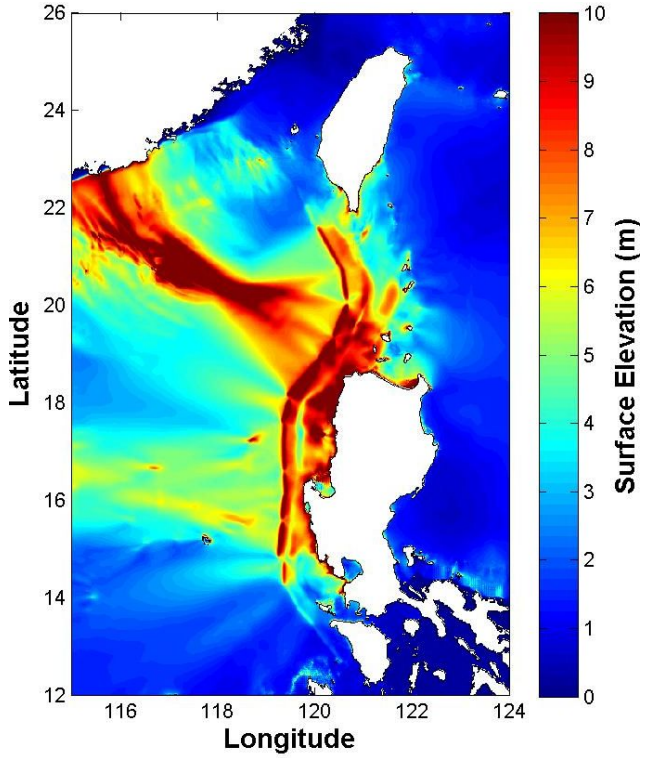


圖 5.49(a) 模擬三個小時期間各地的最大水位高度分佈(第一層網格)

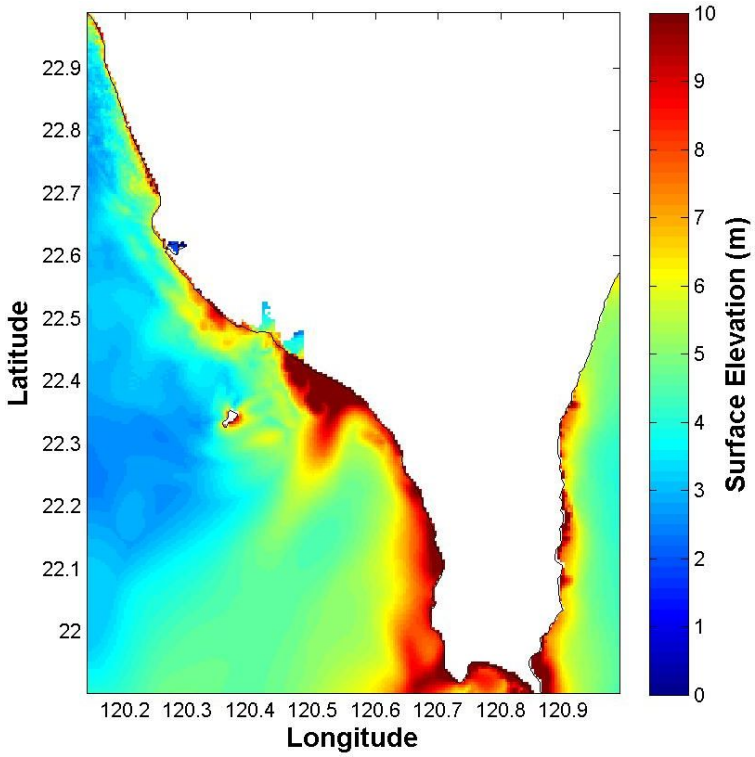


圖 5.49(b) 模擬三個小時期間各地的最大水位高度分佈(第二層網格)

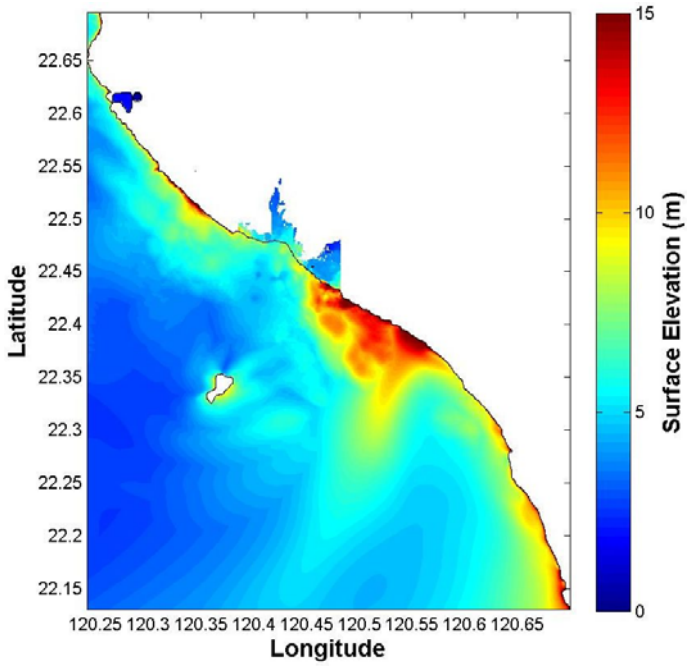
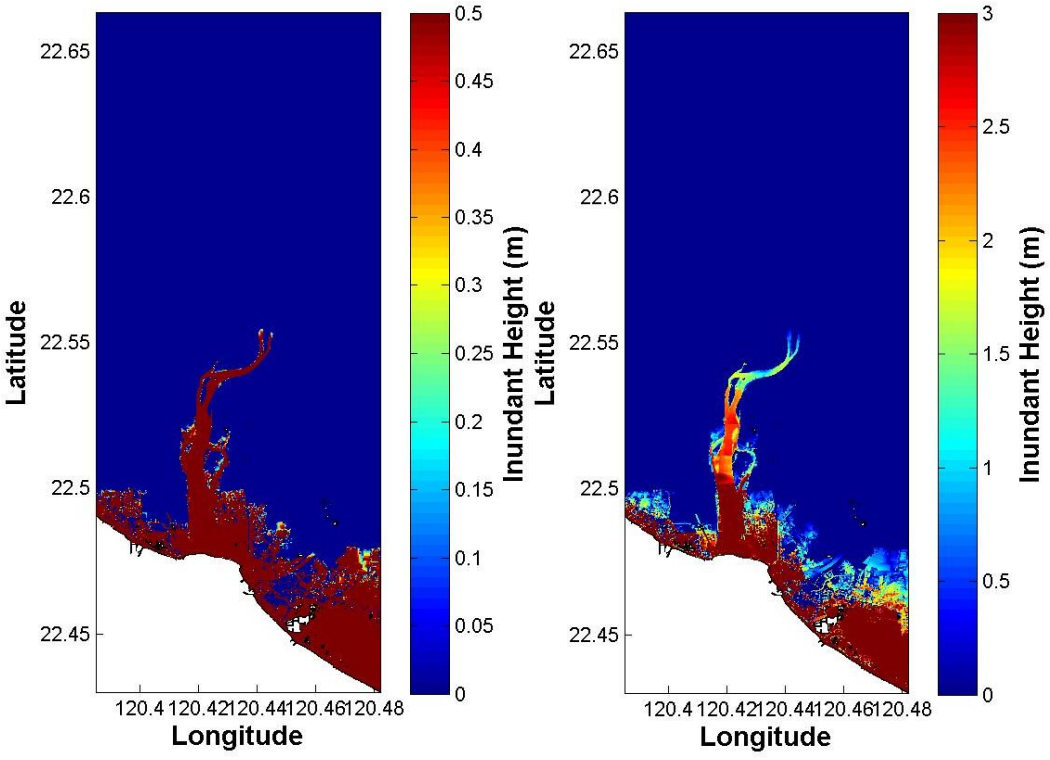


圖 5.49 (c) 模擬三個小時期間各地的最大水位高度分佈(第三層網格)



(a) (b)

圖 5.50 模擬三個小時期間河道水位高度分佈(a)50cm(b)3m

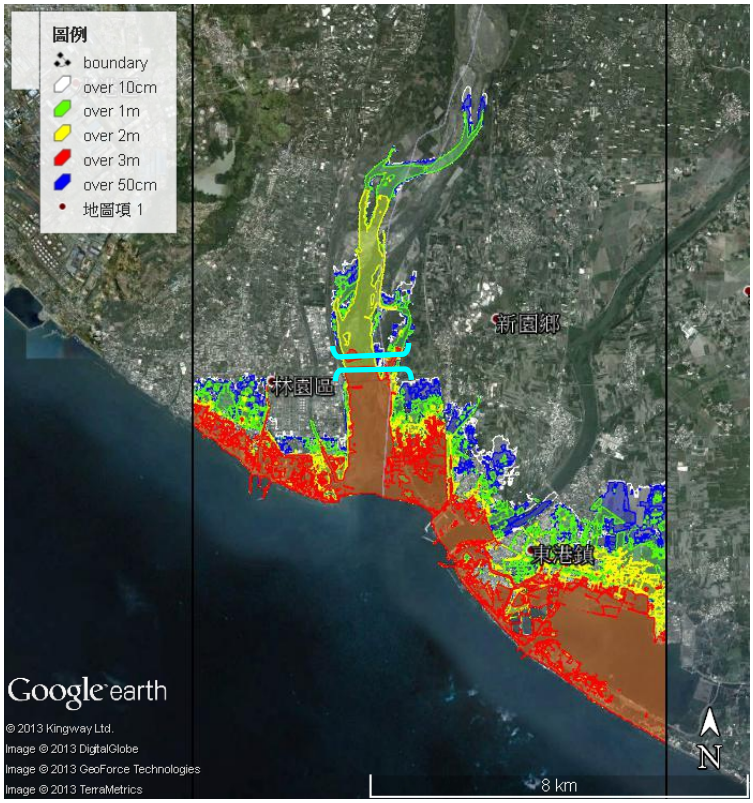


圖 5.51(a) 結合 Google Earth 之溢淹圖

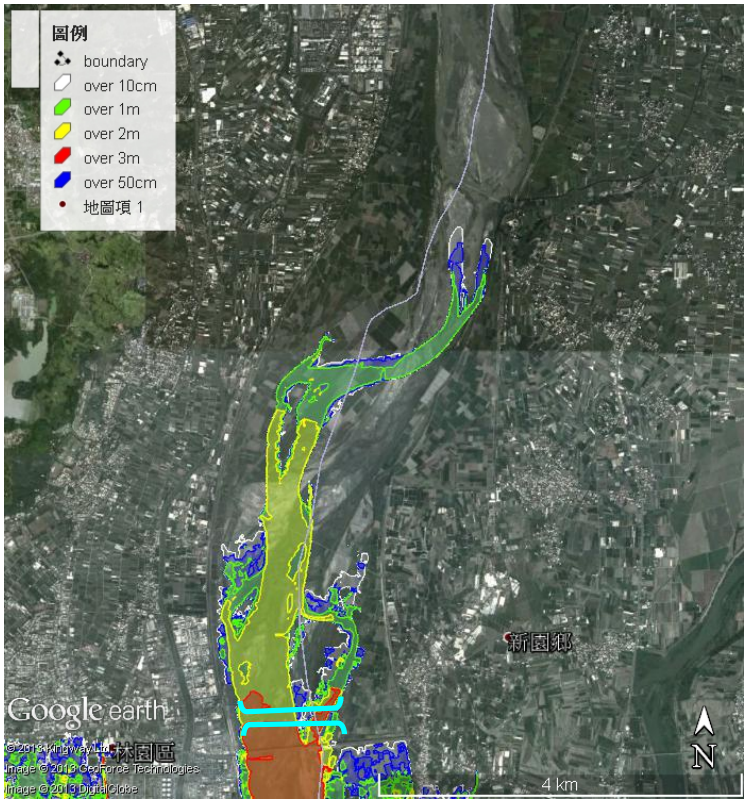


圖 5.51(b) 結合 Google Earth 之河道溢淹圖

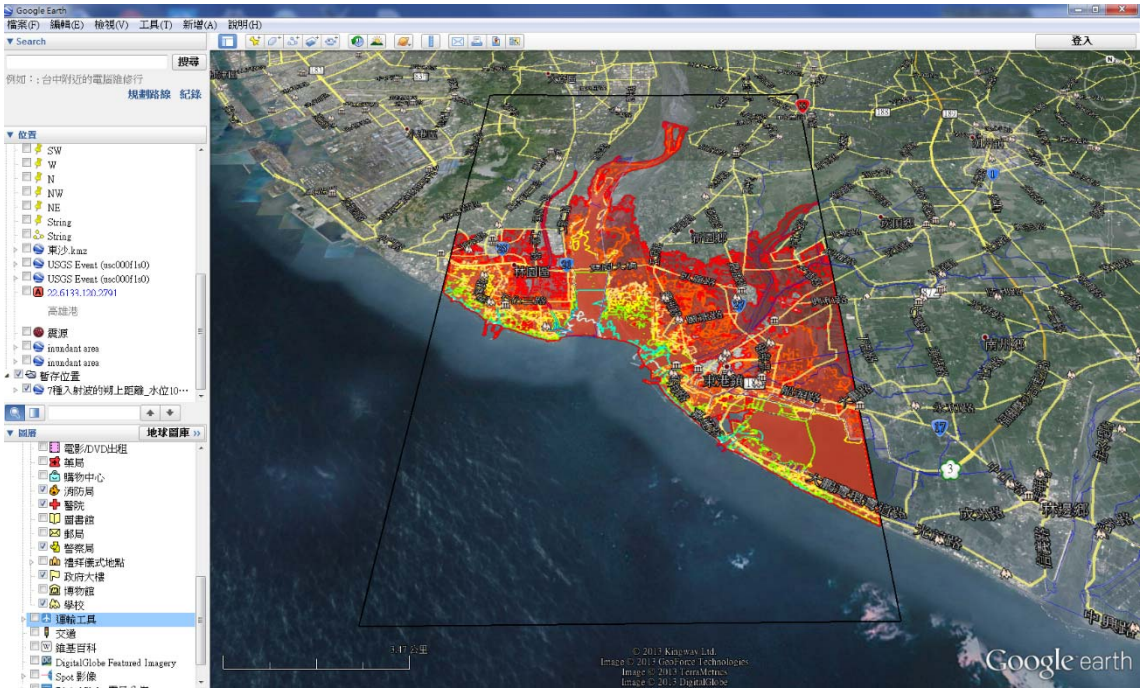


圖 5.52 利用 Google Earth 之疊加圖層選擇圖資

本研究考慮潮汐水位是否影響海嘯沿高屏溪向上游傳遞，利用交通部氣象局之潮位統計資料，取東港 2003 年至 2012 年潮位統計之年平均潮位水位，大潮平均高潮位為 0.843 公尺，大潮平均低潮位為-0.138 公尺，並以 COMCOT 模式模擬全日週期及半日週期的潮汐五天，其模擬邊界條件為南方邊界入射。將高屏溪設立 P1 至 P9 九個點位以紀錄潮汐影響的河川水位，其中 P1 為東港潮位站位置，P8 為雙園大橋附近(圖 5.53)，圖 5.54a 為模擬全日潮其九個點位之水位紀錄，圖 5.54b 為模擬半日潮其九個點位之水位紀錄，而雙園大橋(P8 點位)並無受到潮汐之影響。

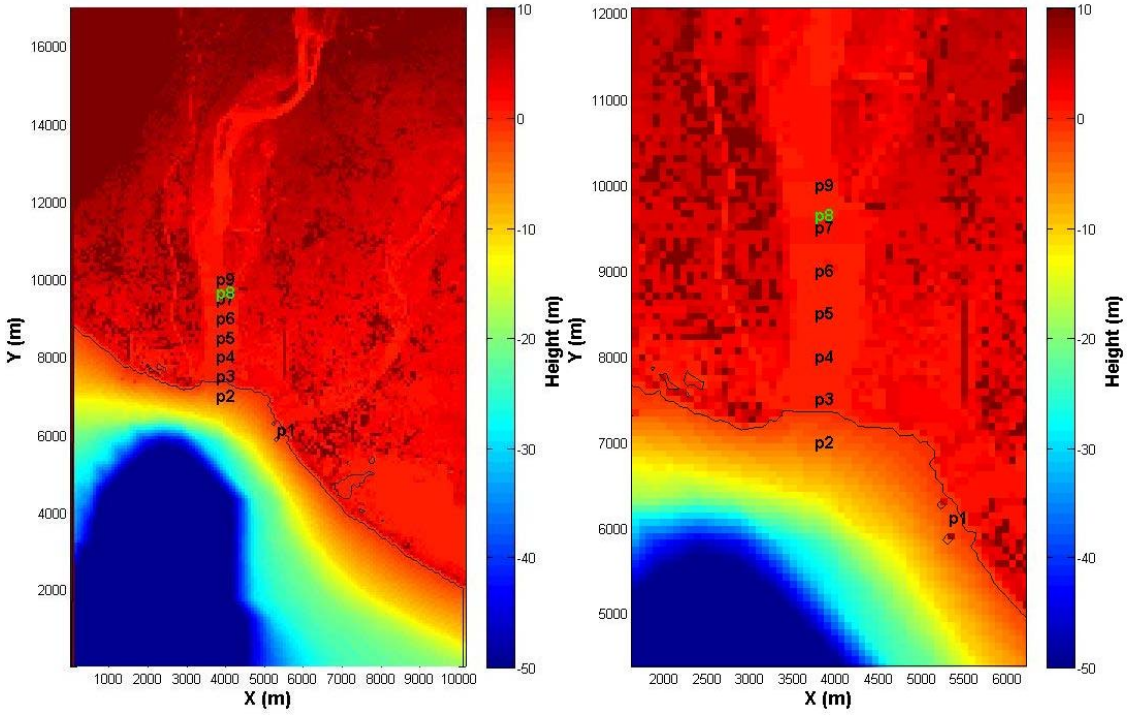


圖 5.53 高屏溪之地形及紀錄點位

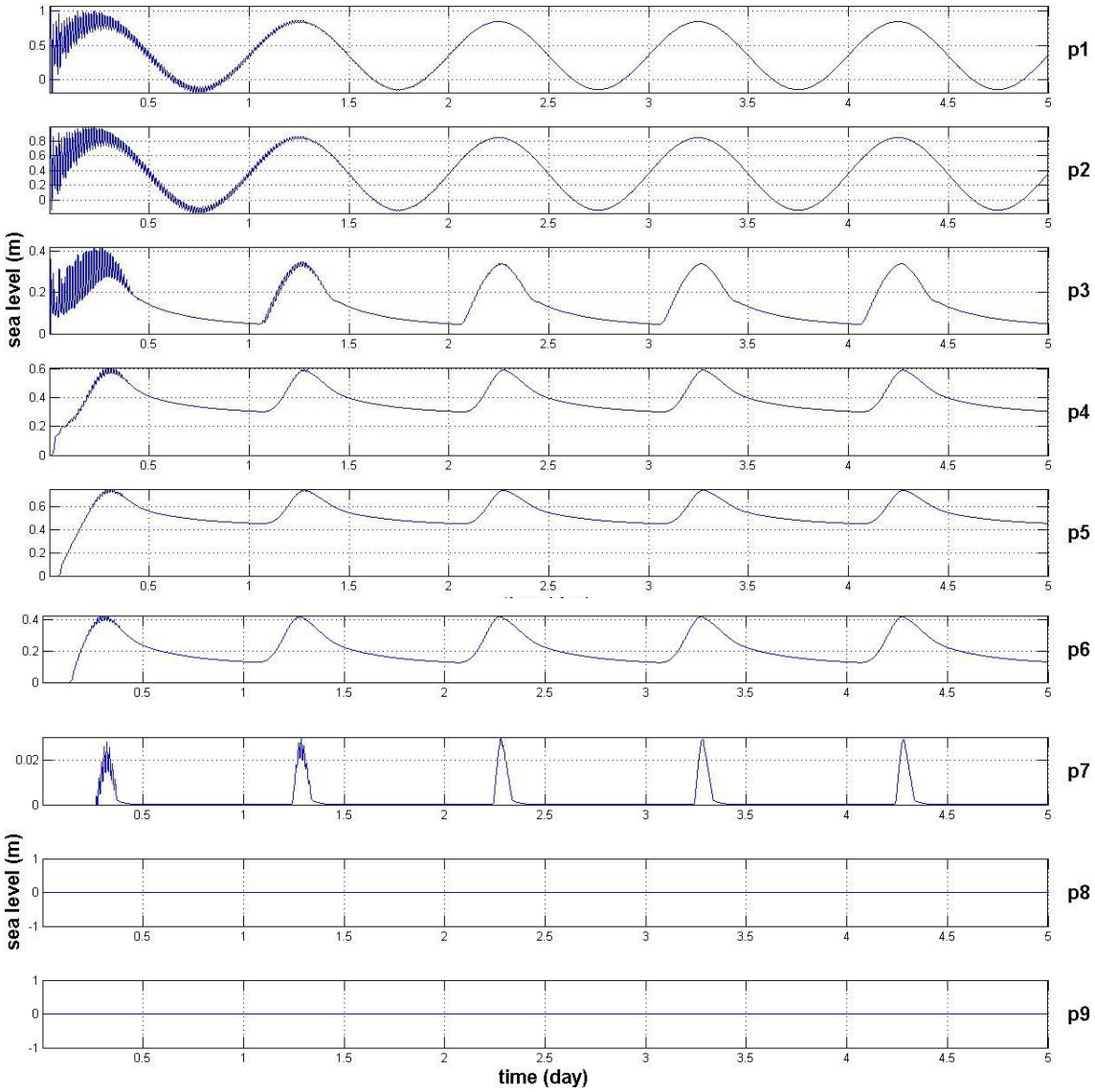


圖 5.54 (a) 模擬高屏溪全日潮之水位紀錄

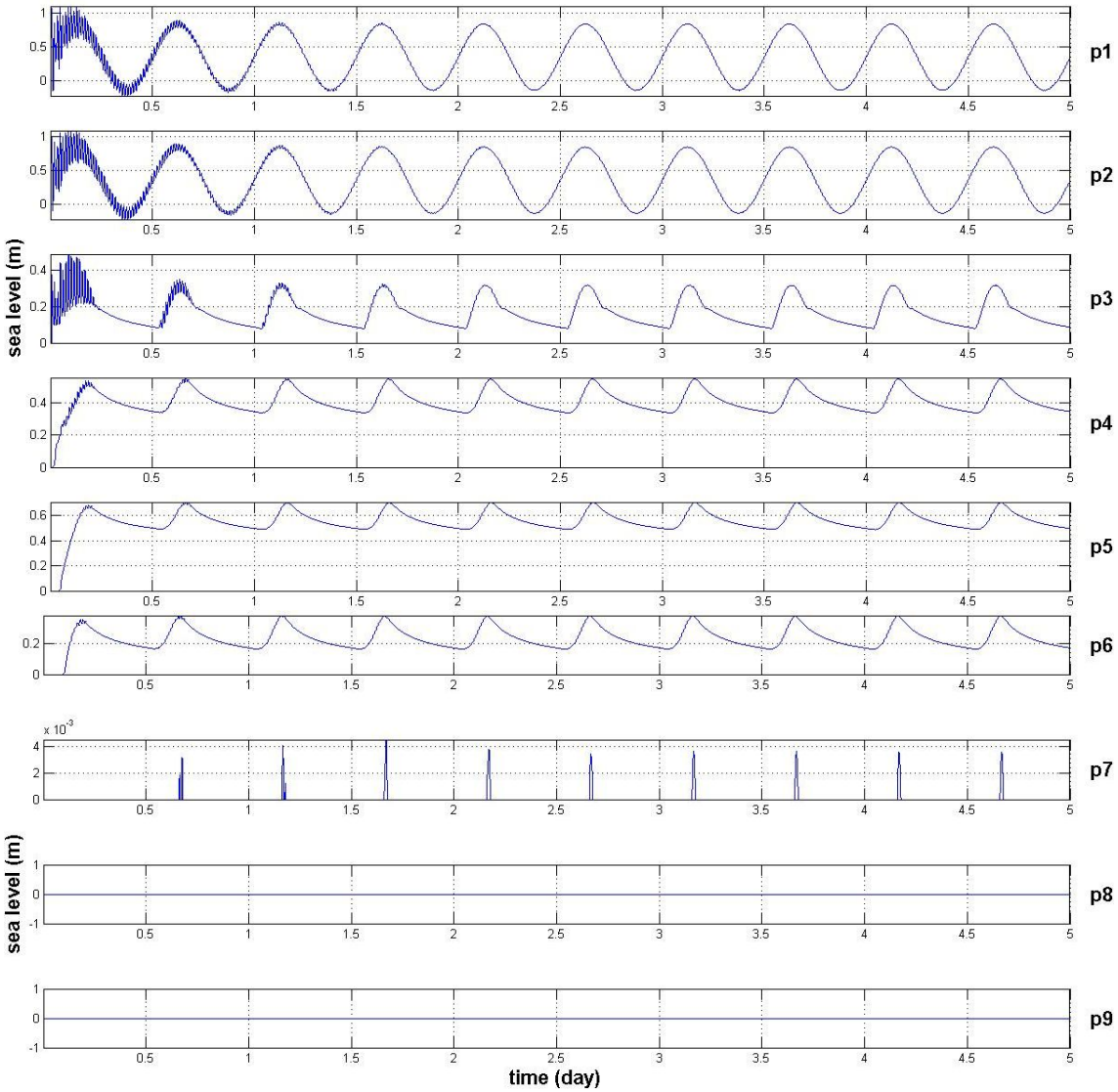
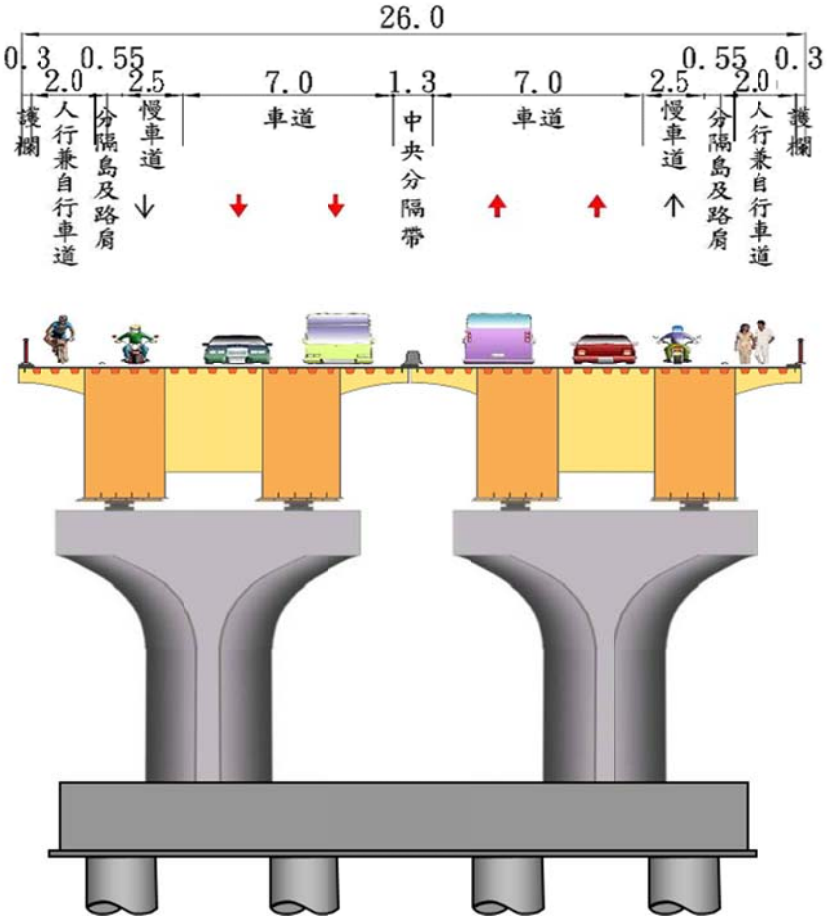


圖 5.54(b) 模擬高屏溪半日潮之水位紀錄

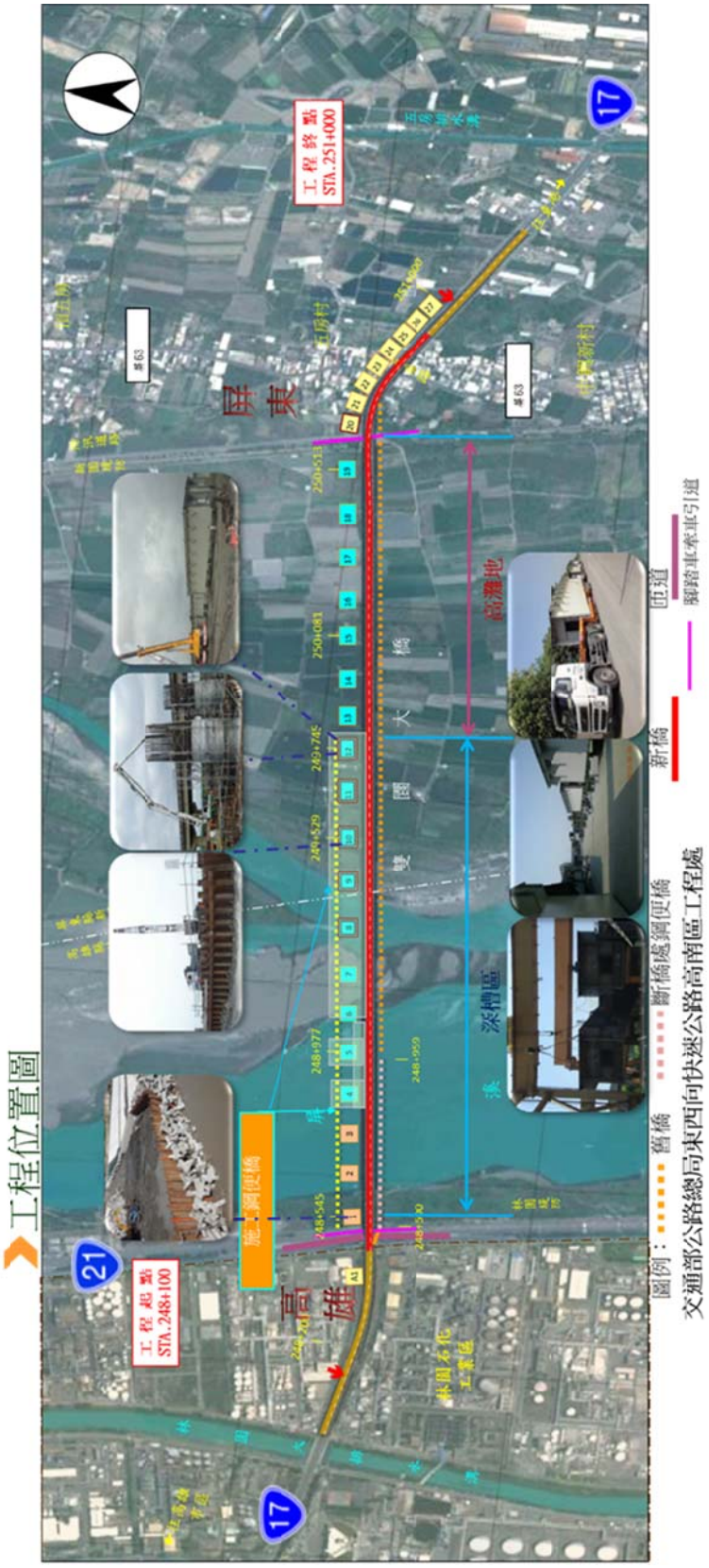
5.5.4 跨河橋梁受海嘯波之衝擊力分析

雙園大橋，位於台 17 線道上，橫跨高屏溪之橋樑，其聯絡高雄市林園區至屏東縣新園鄉兩地。取名「雙園大橋」，因兩端地名皆有「園」字。2009 年 8 月被中度颱風莫拉克引發的高屏溪洪水沖毀而無法通行。隨後由交通部公路總局辦理改建工程，主橋以大跨徑設計，主跨徑 96~120 公尺，墩柱由原舊橋 67 墩減少至 19 墩，以增加通水斷面，提高防洪能力，主橋全長 2178 公尺，於 2011 年 9 月 5 日完成上游側往高雄、林園方向之橋梁，先行啟用並以雙向單線方式通行，而下游側往新園、東港方向之橋梁亦已於 2011 年 12 月 23 日改建完成並全線通車。圖 5.55 為交通部公路總局東西向快速公路高南區工程處之橋梁斷面圖，其橋墩寬度約 4.6 公尺，橋墩距約 6.7 公尺，圖 5.56 為工程位置圖，做為模式模擬設定之參考依據。



資料來源：交通部公路總局東西向快速公路高南區工程處

圖 5.55 雙園大橋橋梁斷面圖



資料來源：交通部公路總局東西向快速公路高南區工程處

圖 5.56 雙園大橋工程位置圖

參考交通部公路總局東西向快速公路高南區工程處之工程位置圖之橋墩設置，於數值地形中加入 19 座橋墩，每座橋墩由兩支墩柱組成(圖 5.57(a)、(b))，其地形解析度為 5 公尺，並設定橋墩高度為 9 公尺。

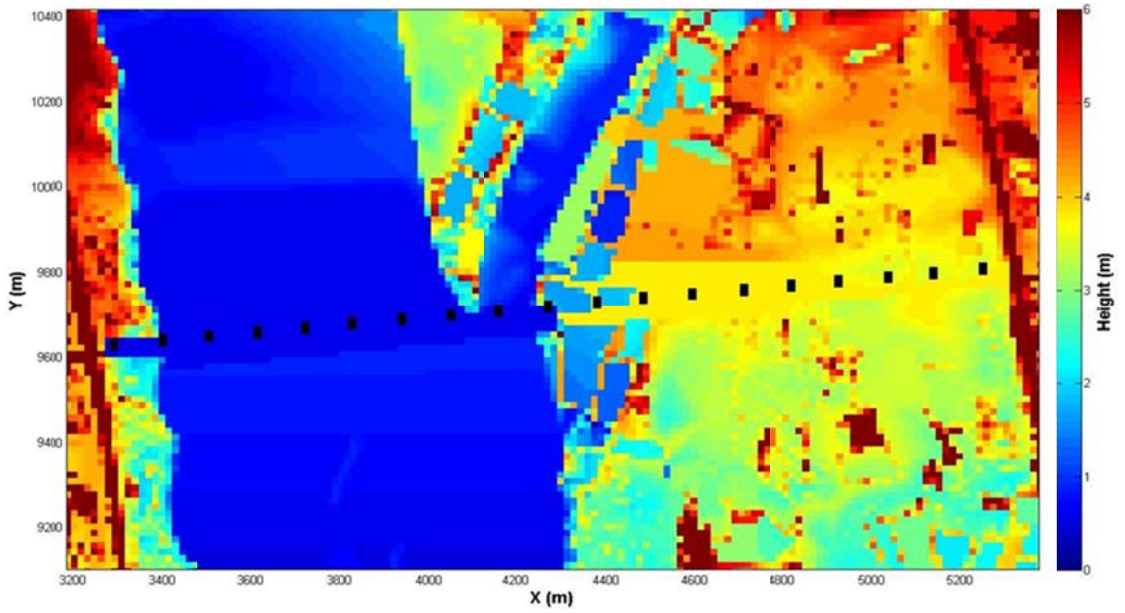


圖 5.57(a) 高屏溪數值地形及橋墩配置

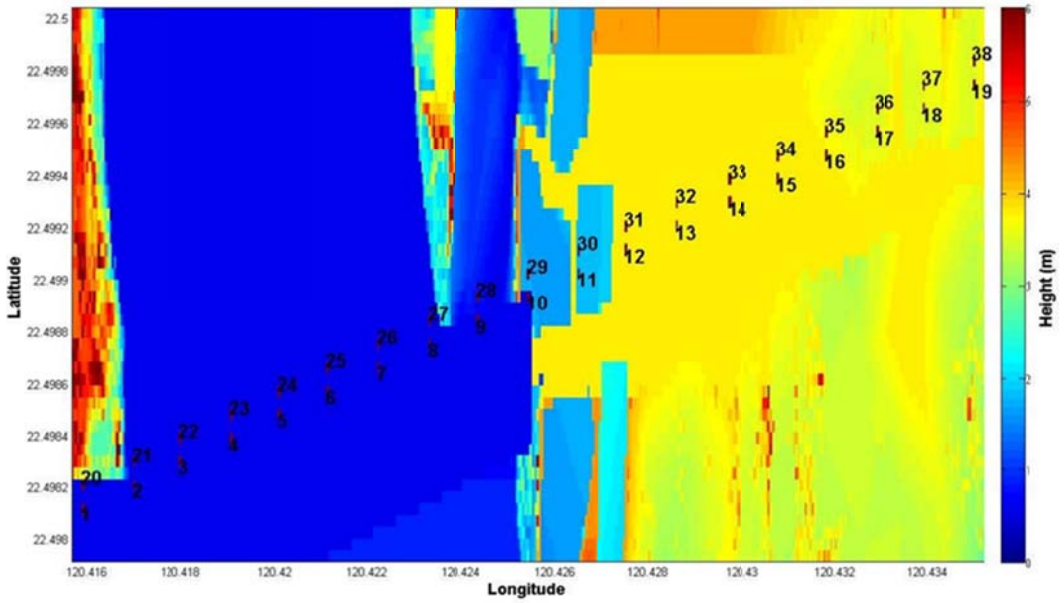


圖 5.57(b) 高屏溪數值地形及橋墩配置

參考交通部頒布之「公路橋梁設計規範」(交通部，2009)之公路橋梁橋墩設計為設計準則，並以該規範的適用性，探討雙園大橋橋梁橋

墩所受海嘯沿河道溯上所承受之水流壓力，根據「公路橋梁設計規範」採用之計算橋梁受水流作用力，如下式所示：

$$P_{avg} = 515K(V_{avg})^2 \quad \text{.....(5.1)}$$

式中 P_{avg} = 平均流水壓力(Pa)

V_{avg} = 平均水流速m/sec，以流量速率除於流水面積計算之。

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

最大流水壓 P_{max} 為上式計算得之平均流水壓力 P_{avg} 之兩倍。流水壓力以自水位面頂部為 P_{max} 變化到流線處為 0 之三角型方式分佈如圖 5.58。

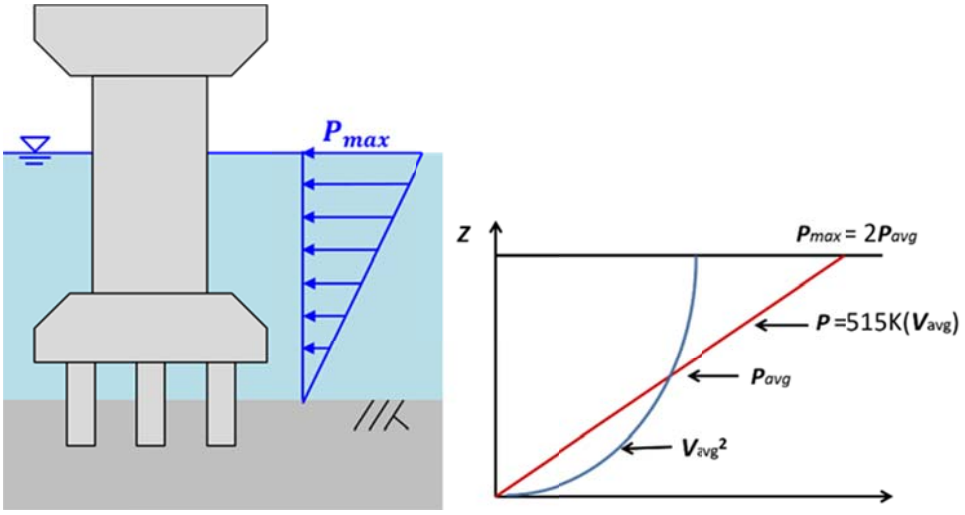


圖 5.58 墩柱受水流作用力之示意與流速與動壓力之關係

而靜壓力 $P_s = \rho gh$ 式中 ρ 為水密度 1000 kg/m^3，g 為重力加速度 9.8m/sec^2，h 為水深(m)，總壓(P_T)=動壓(P_d)+靜壓(P_s)來表示水流於橋墩墩柱上之壓力分佈，其 COMCOT 模擬之水位、流速，便可計算靜壓力(P_s)及動壓力(P_d)，進而求得水流於橋墩與墩柱上之總壓力分佈，圖 5.59 說明模式之計算點位，黑色網格為橋墩，以橋墩墩柱南面的壓力計算來說，其 Zs 的位置為計算靜壓力的水深，以 Vs 的位置為計算動態壓力的流速。

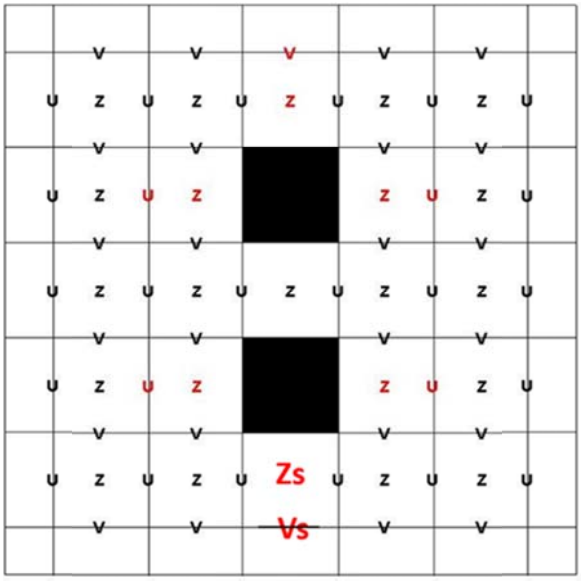


圖 5.59 計算壓力分佈之參數點位

計算結果分析，入射波高要大於三公尺，海嘯湧潮才會沿河道至雙園大橋，紀錄入射波高 3、4、6、10 公尺，其編號 1 至編號 38 橋墩墩柱各面向之最大靜壓力、最大平均動壓力及最大總壓力，圖 5.60(a)、(b)、(c)、(d)為最大總壓力紀錄，將最大靜壓力、最大平均動壓力及最大總壓力列表於附錄五，供相關單位參考。

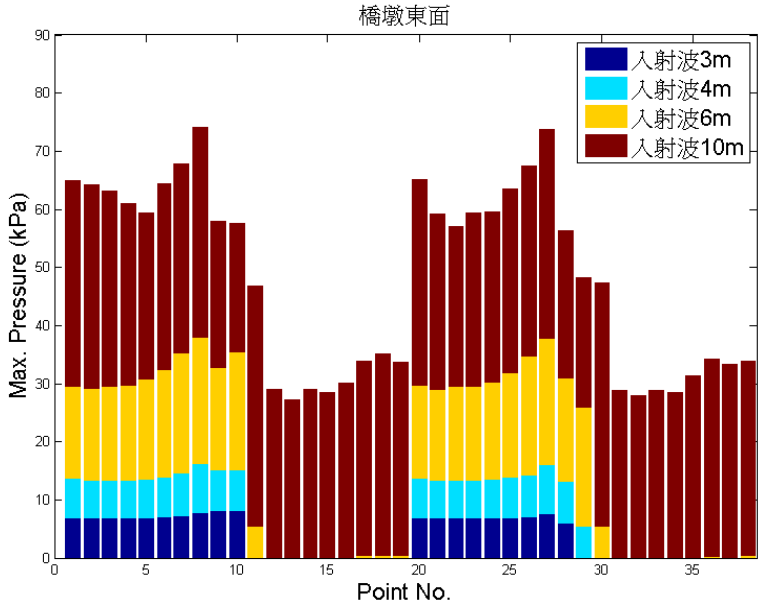


圖 5.60(a) 入射波 3、4、6、10 公尺橋墩墩柱東面之最大總壓力紀錄

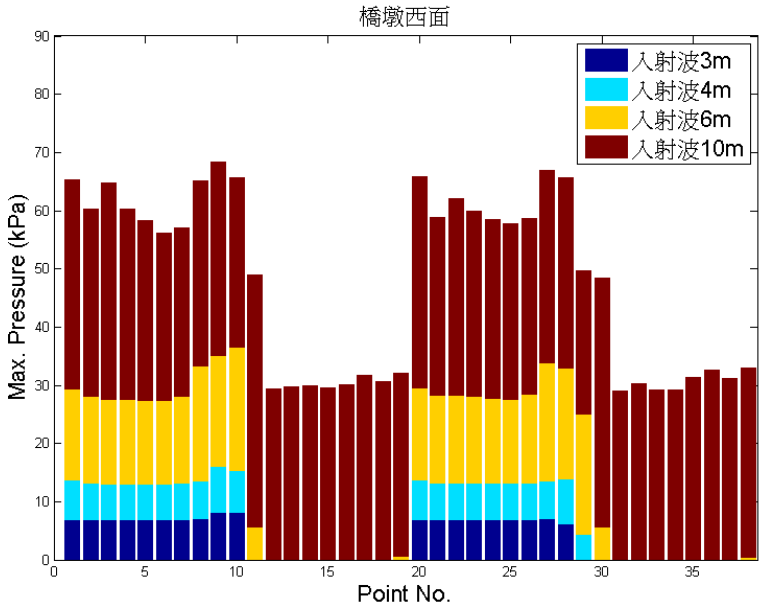


圖 5.60(b) 入射波 3、4、6、10 公尺橋墩墩柱西面之最大總壓力紀錄

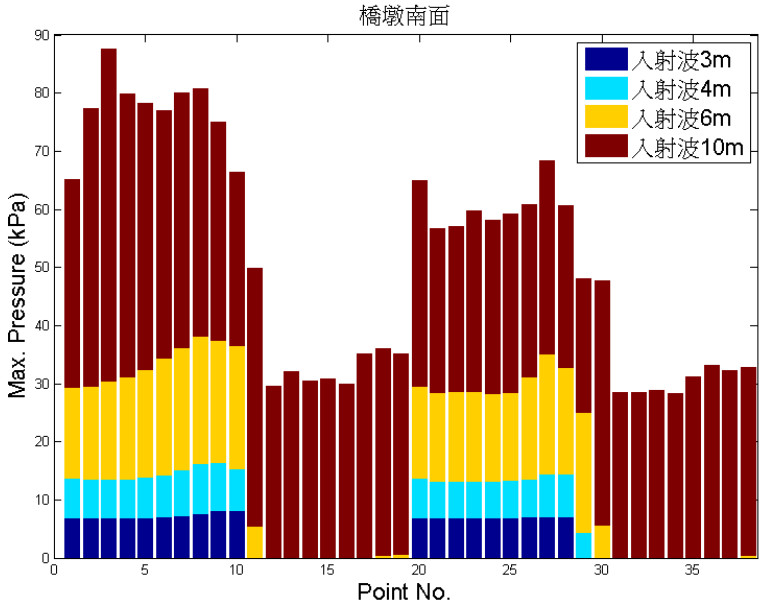


圖 5.60(c) 入射波 3、4、6、10 公尺橋墩墩柱南面之最大總壓力紀錄

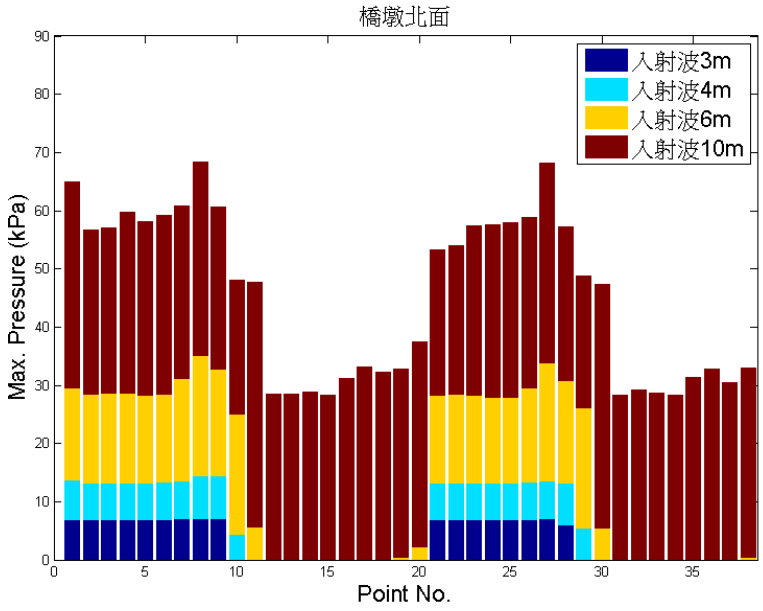
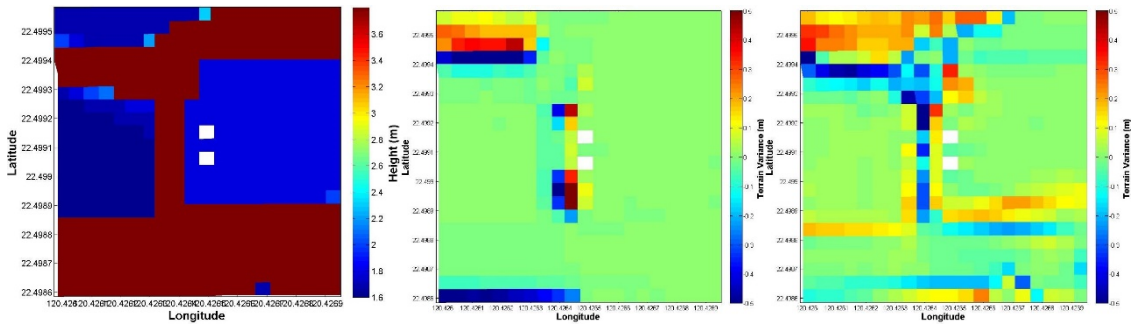


圖 5.60 (d) 入射波 3、4、6、10 公尺橋墩墩柱北面之最大總壓力紀錄

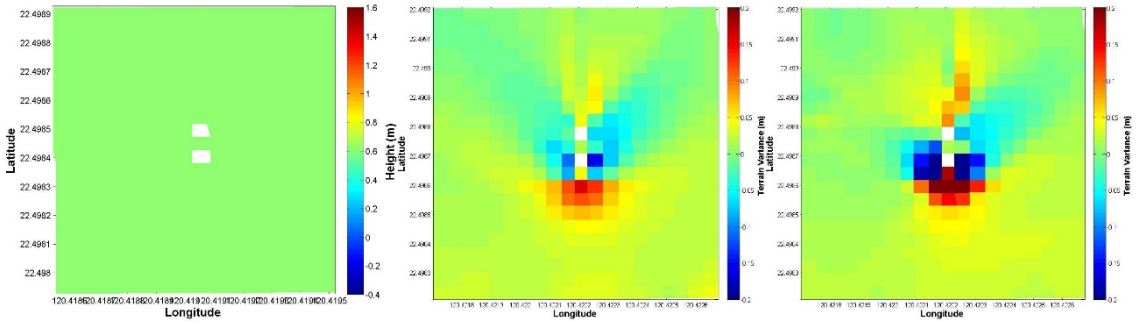
本研究模式計算上將考慮高屏溪水域的沉積物的粒徑來對橋樑橋墩週遭的沖刷影響；當來自橋墩前方的水流因受到橋墩的阻擋，於橋墩迎水面會產生停滯現象，但由於後方水流的繼續推擠，會分別朝上下兩側轉移，朝上的水流在橋墩前產生擁水，朝下產生向下射流衝擊底床，於底床和橋墩之間形成渦流系統，此渦流系統稱為馬蹄形渦流系統（horseshoe vortex system）。此渦流系統會對橋墩周圍底床產生淘刷作用形成沖刷坑，並隨時間而加深且擴大，藉由 COMCOT 內建的沉積物模組可計算出最大掏刷深度。

將兩並聯之橋墩墩柱為一組如圖 5.57，編號 1 及編號 20 墩柱為組號 1，依此類推，計算入射波高 3、4、6、10 公尺，取橋墩鄰近一格之格點其最大值(最大堆積)及最小值(最大侵蝕)如圖 5.61，圖中白色區域為橋墩，色階分別代表地形上升及地形下降，計算結果分析整段橋梁之最大堆積及最大侵蝕如表 5-7，其不同入射波高度(3、4、6、10 公尺)之各橋墩組最大堆積及侵蝕如圖 5.62(a)、(b)、(c)、(d)。入射波高 6 米的情況，水位主要由橋墩的西側傳入，而西側有較高的地形，在水體傳入的短時間，容易形成較大的水位差，進而出現較強的流量進行侵蝕作用。而入射波高 10 米的情況則主要由橋墩的南側傳入，南側的地

形相對東側較為平坦。不易因地形的因素形成較大的水位高低差。亦即當橋墩附近為平坦地形的時候(第 2 到 7 組)，10 米產生的堆積量會大於 6 米。如果附近地形變化較大的情況下，可能產生如此例相反的結果。



圖左:地形，圖中:6 米入射地形變化，圖右:10 米入射地形變化



圖左:地形，圖中:6 米入射地形變化，圖右:10 米入射地形變化

圖 5.61 (上)第 11 組橋墩、(下)第 4 組橋墩之沖刷模擬

表 5-7 不同入射波最高堆積及最大侵蝕

入射波高度	3 公尺	4 公尺	6 公尺	10 公尺
最大堆積(m)	0.0043 (第 8 組)	0.0162 (第 3 組)	0.3326 (第 11 組)	0.2067 (第 5 組)
最大侵蝕(m)	-0.0071 (第 3 組)	-0.0363 (第 3 組)	-0.1991 (第 5 組)	-0.5389 (第 3 組)

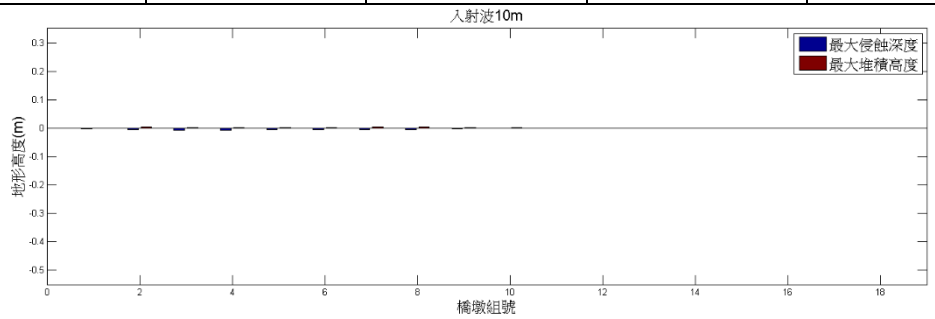


圖 5.62(a) 入射波 3 公尺，1~19 組橋墩之最大堆積及侵蝕高度

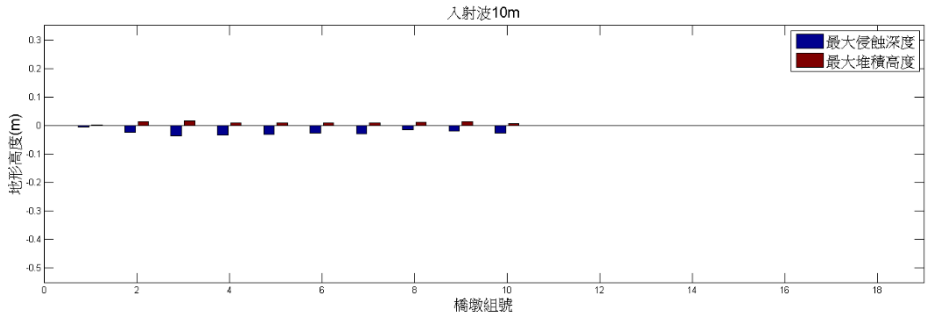


圖 5.62(b) 入射波 4 公尺，1~19 組橋墩之最大堆積及侵蝕高度

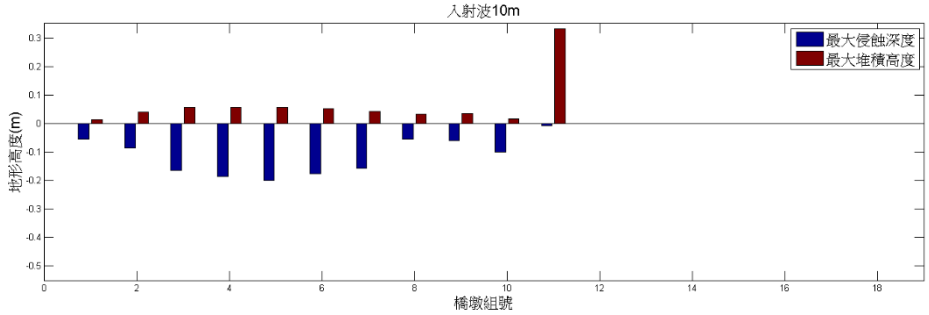


圖 5.62(c) 入射波 6 公尺，1~19 組橋墩之最大堆積及侵蝕高度

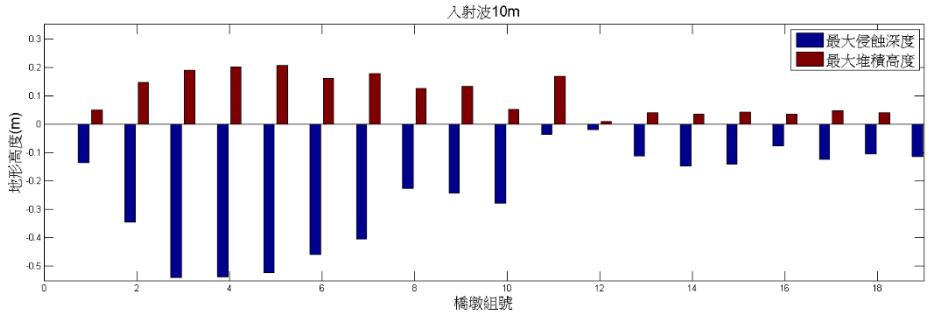


圖 5.62(d) 入射波 10 公尺，1~19 組橋墩之最大堆積及侵蝕高度

5.6 小結

本研究探討海嘯模擬技術為主軸，經由前期成果、海嘯資料蒐集、海嘯速報系統之建置、海嘯數值模式精進及實例探討和海嘯災害風險評估，並加入海嘯沿河道溯上對跨河橋梁之模擬評估，得到部分成果，可供為臺灣港務公司及臺中港務分公司之海嘯來襲應變參考。

(1) 有鑑於近來太平洋區域發生多起重大之海嘯事件，且現今預報機制　多依賴美日等鄰國之資訊，為增進臺灣海嘯警報之可信度、減少假警報以及提供較充裕之預警時間及海嘯資訊，將近岸海嘯預警系統拓展至遠海域，並建立子系統已達到強化應變海嘯風險之能力。

(2) 精進安平港域及高雄港域海嘯數值模式之互逆格林函數資料庫並建　立子系統，達到減少系統檔案大小並增進系統運算速度。

(3) 計算結果為安平港在未來 50 年間發生海嘯且溢淹之機率為 9.84%，100 年為 19.43%；高雄港未來 50 年間發生海嘯且溢淹之機率為 0.55%，100 年為 1.09%。其分析結果安平港風險值高於高雄港，主要原因為安平港之地形大多為沙洲為主；而高雄港現有高程可抵擋大部份震源及地震矩規模所產生之波高，不至於產生溢淹，故其風險值甚低。

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

第六章 結論與建議

本計畫包含不同子計畫。整合本所多年來已累積對海象模擬研究經驗，並完成持續建置相關海象模擬(波浪、水動力、海嘯)等系統作業化，計畫內容除了維護現有作業化模擬系統外，另以高雄港域及安平港域為研究對象，進行波浪、水動力、海嘯等模擬改善研究，與配合本所港灣環境資訊網建置計畫，提供海象模擬資訊，隨時提供各相關單位參考，提昇港埠營運效能，同時對於各種突發狀況，快速研擬緊急因應對策。

6.1 結論

1. 有關海氣象長期觀測與預報系統之整合，除風場及氣壓場預報模式，由氣象局提供即時預報資訊，包括相關觀測資料蒐集分析、各種模組(波浪模組、水動力模組及海嘯模組)整合計算結果比對等皆是重點工作。有關預報模式作業化成果評估，各種海氣象模式精確度、計算速度改進及成果評估，皆以自動作業化方式進行全年逐日預報結果，並取用本所 9 個主要商港現場觀測資料進行校驗及評估等工作。

2. 風場部分：計畫內不執行風場的預報模擬，平時及颱風期間主要引用中央氣象局 NFS 風場模式配合風浪及水動力模式需求內插後所產生的全域預報風場及氣壓場。今年度新增中央氣象局 WRF 風場並與中央氣象局介接，完成所需新一代風場作業化部分，將可改善現有系統預報密度及時效性，並將作為後續風浪及水動力模式作業化使用。

3. 在風浪作業化模擬方面，本計畫大尺度西太平洋範圍風浪模組具體改善內容包括：在作業化模擬流程修正使其更能符合 TaiCOMS 之設計規劃預報流程；在模擬技術成果方面包括風場資料更新(如以 MC 風場取代 RC 風場)以及風浪模擬結

果之波向、週期及波高等呈現均有實質改善成效；在風浪模擬資訊提供方面除了原七大商港外，增加布袋港及澎湖、金門及馬祖等離島海域風浪模擬資訊至港灣資訊網供外界查詢等；此外，本計畫亦配合港灣技術研究中心硬體設備更新，針對中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組採行多核心平行化處理，顯著提昇中尺度網格風浪模擬效率，縮短 72 小時模擬預報時間。

4. 在港區小尺度及細尺度網格波浪模擬研究上，本計畫除了針對安平港及高雄港小尺度網格波浪場模擬進行必要的資料更新研究外，更針對安平港進行細尺度網格改善研究，使其能符合現況同時模擬安平港與安平漁港水域之波浪場。

5. 在臺灣周圍海域暴潮模組建置研究方面，本年度分別針對天文潮引起的水位變化及含氣象潮效應之天文潮水位變化進行模擬結果驗証與分析；其中天文潮水位變化模擬結果均能夠與高雄港及安平港潮位變化相符，証明中尺度有限元素網格之水位模擬結果能符合計畫需求；另在氣象潮水位變化分析結果得知，氣象潮水位變化趨勢與氣壓差值變化趨勢具有高度相關性，但二者相關性之決定係數值約為 0.45，顯示模式模擬結果而言風場效應引起的水位變化亦居重要的影響地位。

6. 在小尺度網格水動力模組研究上，本計畫分別針對安平港區近岸水動力模組及高雄港區近岸水動力模組進行必要的更新研究，內容除了針對模式主要的物理參數率定外，同時對開放邊界之水位資料改採用中尺度有限元素網格天文潮水位模擬結果進行小尺度有限元素網格水位及流場模擬；經由模擬結果驗証得知，安平港小尺度有限元素網格水位及流場模擬結果具有顯著改善成效，但高雄港小尺度有限元素網格水位及流場模擬結果則改善成效有限。

7. 在海嘯作業模組上，精進安平港域及高雄港域海嘯數值模式

之互逆格林函數資料庫並建立子系統，達到減少系統檔案大小並增進系統運算速度。

8. 有關海嘯溢淹部分，計算結果為安平港在未來 50 年間發生海嘯且溢淹之機率為 9.84%，100 年為 19.43%；高雄港未來 50 年間發生海嘯且溢淹之機率為 0.55%，100 年為 1.09%。其分析結果安平港風險值高於高雄港，主要原因為安平港之地形大多為沙洲為主；而高雄港現有高程可抵擋大部份震源及地震矩規模所產生之波高，不至於產生溢淹，故其風險值甚低。

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

10. 配合本中心港灣環境資訊系統需求，協助建立海象模擬預報網頁，平時提供各港區(基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、臺中港、布袋港、澎湖)、今年度新增臺灣周圍海域及藍色公路，有關風場、波浪、水位及流場等海象資訊，以供交通部航港局、臺灣港務公司港口及各相關單位參考使用。

6.2 建議

1. 在預報次數增加、數值模擬精度及網格細緻要求越來多的需求下，後續作業仍須有更多計算資源才能提昇整體海象預報時效。

2. 本年度臺灣周圍海域暴潮模組建置研究雖然已能夠提供較精確的臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬值，但對於氣象潮的模擬，特別是颱風期間暴潮模擬，仍有部份模擬技術問題需持續研究改善與驗証。

3. 宜增加模擬網格密度探討海嘯沿高屏溪口向上游傳遞至跨河橋梁橋墩附近水位變化、流速及衝擊力等特性。

參考文獻

1. 李兆芳、劉正琪、邱永芳、蘇青和等， 2011， "近岸海象數值模擬及預警系統之建立 –水動力部分(4/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，MOTC-IOT- 99- H3DB001b。
2. 李兆芳、劉正琪、張憲國，2001，港池振盪之數值模擬計算，*海洋工程學刊*，第一卷，第一期，1-22 頁。
3. 何良勝、蘇青和等，2011，"台灣主要港口海域長期性海象觀測及資料特性應用研究(2/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，基本研究報告，MOTC-IOT-99-H2DA001。
4. 林廷燦、曾惠君、簡仲璟等，2011， "港灣環境資訊服務系統整合及建置(3/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告， MOTC-IOT- 99- H3DB003。
5. 林炤圭、劉正琪、邱永芳、蘇青和等， 2011， "近岸海象數值模擬及預警系統之建立 –波浪部分(4/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心， 研究報告，MOTC-IOT- 99- H3DB001a。
6. 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。
7. 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。
8. 邱永芳、蘇青和、李俊穎、李兆芳等， 2012， "整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究(1/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，MOTC-IOT- 100- H3DB005。
9. 邱永芳、蘇青和、李俊穎等，2011，"臺灣近岸防救災預警系統技術與作業化之研究(4/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，MOTC-IOT-99-H3DA005。
10. 陳冠宇、陳陽益、邱永芳、蘇青和等，2012， "提升海岸及港灣海嘯模擬技術與淹水潛勢分析(1/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，MOTC-IOT- 100- H3DB005c。
11. 陳冠宇、陳陽益、邱永芳、蘇青和等，"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-H3DB005c。
12. 陳冠宇、陳陽益、邱永芳、蘇青和等，2011， "臺灣沿岸海嘯影響範圍與淹水潛勢分析(4/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告， MOTC-IOT-99- H3DB002。

13. 陳冠宇、陳陽益、邱永芳、蘇青和等，2010， "臺灣沿岸海嘯影響範圍與淹水潛勢分析(3/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告， MOTC-IOT-96- H3DB002。
14. 葉天降 滕春慈 黃麗玫 馮欽賜 張庭槐，2012，中央氣象局數值天氣預報作業系統(一)歷史演進。*氣象學報*，第 48 卷第 4 期，53-68。
15. 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。
16. 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。
17. 劉正琪、李兆芳、邱永芳、蘇青和、陳明宗、李俊穎、涂力夫、鄭博今等，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。
18. 劉俊志、陳冠宇，2008，“以逆向格林函數快速預報高雄港外海嘯高度”天氣分析與預報研討會，中央氣象局。
19. 廖建明、歐善惠、許泰文、方介群、臧效義，2002，應用 SWAN 模式模擬臺灣附近颱風波浪之特性，臺中，第二十四屆海洋工程研討會論文集，第 469-476 頁。
20. 歐善惠、許泰文、臧效義、方介群、廖建明，1999，「應用 SWAN 波浪模式推算臺灣附近海域颱風波浪之研究」，第二十一屆海洋工程研討會論文集，87 頁-95 頁。
21. 歐善惠、許泰文、臧效義、廖建明、方介群，2000，「應用 SWAN 模式於臺灣西部海岸之波浪預測」，第二屆國際海洋大氣會議論文集，台北，183 頁-188 頁。
22. 簡仲璟、劉清松、林廷燦、劉益琪、林珂如等，2011， "港灣環境資訊服務系統整合及建置(3/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告， MOTC-IOT- 100- H3DB003a。
23. 蘇青和、吳基、廖慶堂、徐如娟，2003，「台北港港口區域潮汐及海流特性研究」，第二十五屆海洋工程研討會論文集，23 頁-30 頁。
24. 成大水工試驗所 (2002a)，「雲林縣離島式基礎工業區整體開發規劃調查分析」，第二部份數值模擬第二冊工業區開發期間海岸地形變化數值模擬，國立成功大學水工試驗所研究報告第 287 號 (2002b)。
25. 成大水工試驗所 (2002b)，「雲林縣離島式基礎工業區整體開發規劃調查分析」，第一部份第一冊波浪調查，國立成功大學水工試驗所研究報告第 287 號，經濟部工業局主辦。
26. 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。
27. 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。
28. 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。
29. 全球地震矩網頁 Global CMT http://www.globalcmt.org/.
30. 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/
31. 中央氣象局 http://www.cwb.gov.tw/.
32. 美國 NGDC 資料庫 http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/hazards.shtml.
33. 美國地調所 USGS 資料庫 http://www.usgs.gov/.
34. 美國地調所 USGS 國家地震訊息中心 NEIC 資料庫 http://earthquake.usgs.gov/regional/neic/.
35. Battjes, J. A. and Janssen, J. P. F. M., "Energy loss and set-up due to breaking of random waves," *Proc. 16th Int. Conf. Coastal engineering, ASCE*, 569-587 (1978).
36. Booji, N., 1981, Gravity waves on water with non-uniform depth and current, Department of Civil Engineering, Delft University of Technique, Delft, The Netherlands, Report No. 81-1.
37. Booij, N., Holthuijsen, L. H. and Ris, R. C., "The "SWAN" wave model for shallow water," *Proc. 25th Int. Conf. Coastal Engng.*, Orlando, 668-676 (1996).
38. Booij, N., Holthuijsen, L. H. and Haagsma, IJ. G., "Comparing the secondgeneration HISWA wave model with the third-generation SWAN wave model," *5th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting*, Melbourne, Florida, 215-222 (1998).
39. Booij, N., Haagsma, J.G., Holthuijsen, L.H., Kieftenburg, A. T. M. M., Ris, R. C., van der Westhuysen, A. J. and Zijlema, M., *SWAN Cycle III version 40.41 USER MANUAL*, Delft University of Technology (2004).
40. Dingemans, M. W., *Water wave propagation over uneven bottoms. Part 1 –linear wave propagation*, Advanced Series on Ocean Engineering, 13, World Scientific, 471p (1997).
41. Fredsøe, J., and Sumer, B.M., 1997. Scour at the round head of a rubble-mound

breakwater, *Coastal Engineering*, Vol. 29, pp. 231-262.

42. Hasselmann, S., C. Brüning and P. Lionell, 1994, Towards a generalized optimal interpolation method for the assimilation of ERS-1 SAR retrieved wave spectra in a wave model, *Proc. 2nd ERS-1 Symp.*, ESA SP-361, 21-25.

43. Hasselmann, S., P. Lionello and K. Hasselmann, 1997, An Optimal Interpolation Scheme for the Assimilation of Spectral Wave Data, *J. Geophys. Res.*, 102, 15823-15836.

44. Hasselmann, K. "On the spectral dissipation of ocean waves due to whitecapping," *Bound.-layer Meteor*., 6, 1-2, 107-127 (1974).

45. Holthuijsen, L. H., Booij, N., Ris, R., Andorka Gal, J. H. and de Jong, J. C. M., "A verification of the third-generation wave model "SWAN" along the southern North Sea coast," *Proceedings 3rd International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis*, *WAVES '97, ASCE*, 49-63 (1997).

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

47. Kirby, J. T. and Dalrymple R. A., 1983, The propagation of weakly nonlinear waves in the presence of varying depth and currents, *Proc. 20th Congress I.A.H.R.*, Moscow.

48. Kirby, J. T., 1986, Higher-order approximations in the parabolic equation method for water waves, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 91, No. C1, pp. 933-952.

49. Komen, G.J., 1985, Introduction to Wave Models and Assimilation of Satellite Data in Wave Models, In: The Use of Satellite Data in Climate Models, *Proc. Alpbach Conference*, *ESA Pub.*, *ESA SP*, 244, 21-26.

50. Komen, G. J., Cavaleri, L., Donelan, M. Hasselmann, K., Hasselmann, S. and Janssen, P. A. E. M., *Dynamics and modeling of Ocean Waves*. Cambridge Univ. Press, Cambridge UK (1994).

51. Lee, T.L., and D.S. Jeng, 2002. Application of artificial neural networks in tide forecasting, *Ocean Engineering*, Vol. 29, pp. 1003-1022.

52. Liu, P. L.-F., S. Monserrat, M. Marcos, and A. B. Rabinovich, "Coupling between two inlets: Observation and modeling," J. Geophys. Res., 108(C3), 3069, (2003).

53. Loomis, H.G. (1979), "Tsunami prediction using the reciprocal property of Green's functions," Mar. Geod., 2(1), pp.27-39.

54. Mei, C. C., *The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves*, John Wiley, New York (1989).

55. Miles, J. W., "On the generation of surface waves by shear flows," *J. Fluid Mech.*, 3, 185-204 (1957).

56. Radder, A. C., "On the parablic equation method for water-wave propagation," *J. Fluid. Mech*., Vol. 95, 159-176 (1979).

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

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

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

60. Phillips, O. M., "On the generation of waves by turbulent wind," *J. Fluid Mech*., 2, 417-445 (1957).

61. WAMDI group, "The WAM model − a third generation ocean wave prediction model," *J. Phys. Oceanogr*., 18, 1775-1810 (1988).

62. Whitham, G. B., *Linear and nonlinear waves*, Wiley, New York, 636 p (1974).

63. X. Wang and Liu, P. L.-F.(2007): Cornell Multigrid Coupled Tsunami model (COMCOT) User Manual, Cornell University.

64. Xu, Z.(2007), "The All-source Green's Function and its Applications to Tsunami," Science of Tsunami Hazards, 26(1), pp.59-69.

附錄一 風場及氣壓場模式

由於波浪及水位的預報皆會受到氣象條件的影響，特別是風速及氣壓的影響最大，因此本附錄說明這兩個因子的取得方法以及模擬的結果，並檢附本年度有關侵台颱風資訊。全域風場方面主要以引用中央氣象局 NFS 預報風場為主。氣壓場的部分也取得中央氣象局預報 NFS 氣壓場。

附 1.1 中央氣象局預報風場及氣壓場

目前系統以作業化方式取得氣象局預報風場資料，主要採用有限區域預報系統風場預報，其屬於中央氣象局於第三代數值預報系統發展計畫時，發展四階定差、三層巢狀網格、垂直 30 層之非靜力平衡預報系統(Non- hydrostatical Forecast System)，簡稱 NFS，三層巢狀網格之格距分別為 45、15、與 5 公里，格點數分別為 191x127、145x139、與 91x121，模式最高解析 5 公里涵蓋之範圍為以臺灣為中心，東西 450 公里、南北 600 公里。

本年度新增由氣象局所提供 WRF (Weather Researchand Forecasting model)風場，WRF 是美國近年來集合美國學術界和作業單位人力所發展之中尺度數值模式，氣象局最先於 2002 年開始試用，並於 2007 年底正式上線使其融合於氣象局數值天氣預報模式作業環境，建構之中尺度數值天氣資料同化系統，稱為 CWB WRF。CWB WRF 為三層巢狀網格，解析度與 NFS 相同分別為 45、15 與 5 公里，其中 45 和 15 公里兩層網格之模式涵蓋範圍與 NFS 相同，但 5 公里網格之範圍則由 NFS 之 91x121 擴充至 148x178。CWB WRF 垂直分層則由 NFS 之 30 層增加至 45 層，期由增加垂直解析度與擴增高解析度積分範圍以改進模式在臺灣地區的預報能力。NFS 及 WRF 範圍如圖 A.1 所示。

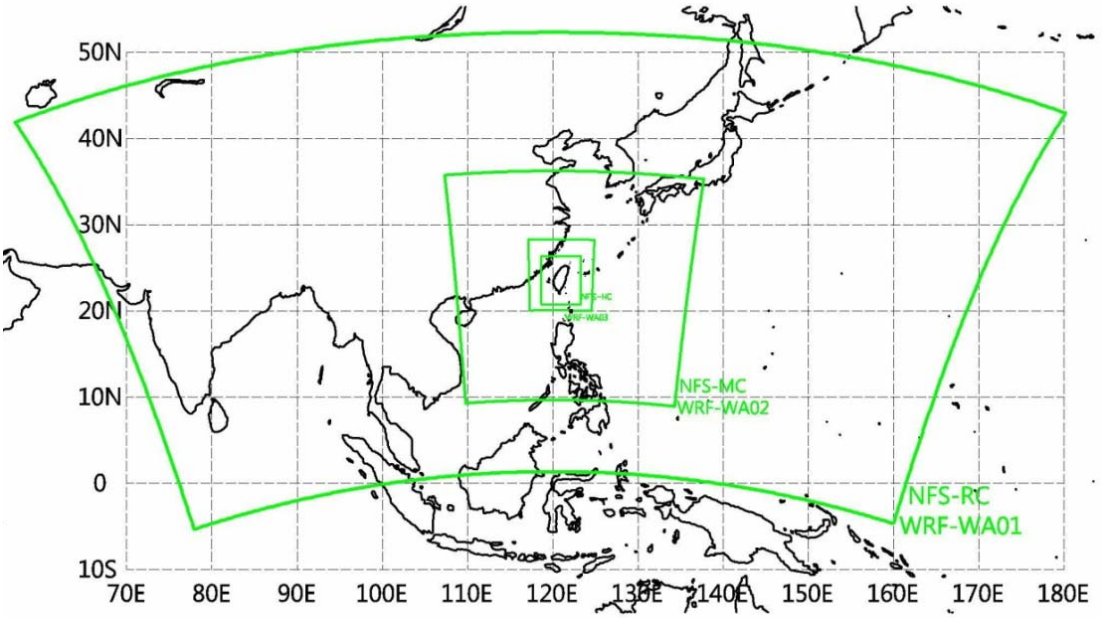


圖 A.1 中央氣象局風場 NFS 及 WRF 風場資料範圍圖

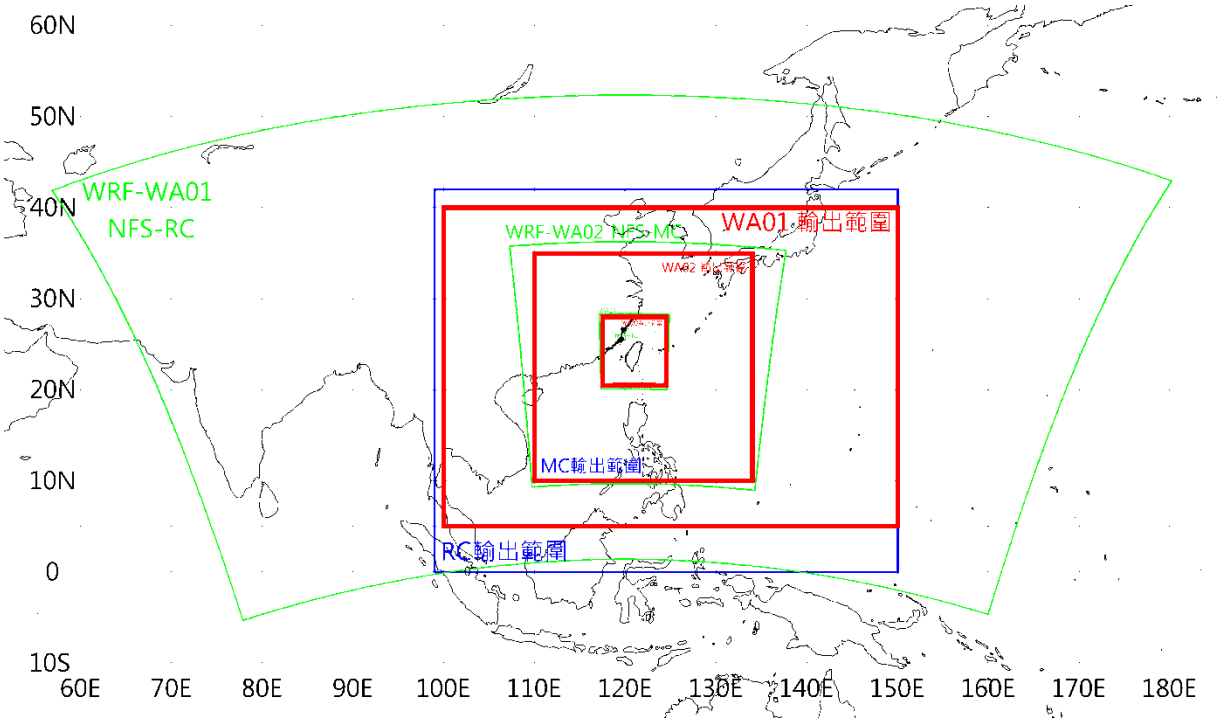


圖 A.2 風場輸出範圍

表 A-1 NFS 預報風場模式(RC/MC/HC)基本資料

資料整理：中央氣象局柳再明(2004/2/25)

Version	
Operational Status	•Semi operaton in 2000 •Operation from 2001/01/08
Operational/Research Group	NWP Group of Central Weather Bureau (CWB) in Taiwan
Model	Nonhydrostatic Forecast System (NFS)
Basic equations	Primitive equations
Grid type	Arakawa C-grid staggering with leap-frog time integration scheme
Integration domain	Regional, over the western North Pacific and Southern Chinese Sea 221*127(45km) , 181*193(15km) ,91*121(5km)
Projection	Lambert conformal mapping
Mapping information	Center (120E), true (10N, 40N) •45KM MESH 座標(114,71)位置位於(30°N，120°E) 底圖　下點(-5.34068°N，77.91867°E) 右上點(42.92812°N，180.2034°E) •15KM MESH 座標(76,148)位置位於(30°N，120°E) 底圖 左下點(9.28194°N，109.7727°E) 右上點(35.26665°N，137.7342°E) 座標(1,1)位置對應至 45KM MESH 之(89,22)座標位置 •5KM MESH 座標(28,199)位置位於(30°N，120°E) 底圖 左下點(20.78609°N，118.6597°E) 右上點(26.33824°N，123.2724°E) 座標(1,1)位置對應至 15KM MESH 之(67,82)座標位置
Horizontal resolution	45/15/5 km
Vertical levels	30 vertical levels on sigma coordinates
Nested grids	level of nesting is 3 , one-way interactive
Forecast time	72 hour
Run time	00Z / 12Z (72h), 06Z/18Z(6h)
Initial fields	Last run of 6h forecast, keep 6h update cycle
First-guess analysis	Optimal Interpolation(OI)
Boundary conditions	GFS forecast to NFS 45km domain
Horizontal diffusion	4^{th} order diffusion
Moisture physics	Kuo's cumulus parameterization, Cloud ice&water microphysics
Planetary boundary layer	TKE-εPBL scheme
Radiation parameterization	Longwave : Sasamori Shortwave : Katayama
Land surface	Force restore method
Ocean surface	Optimal Interpolation with GFS reanalysis
Reference	Conference on Weather Analysis and Forecasting, 2000, p303-308
Remarks	This model configuration is used to simulate the weather pattern

表 A-2 中央氣象局風場 WRF 風場資料格式

DMS FLAP	座標系統	DIMESION	RESOLUTION	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

附 1.2 臺灣環島風場及氣壓模式

現在歐洲（ECMWF）與美國（NOAA）皆有大型的氣象預報模式來預報全球的氣象資料，中央氣象局也在 2002 年完成臺灣海域動態氣象預報模式預報即時全域海上風場，目前本中心已透過合作取得中央氣象局 NFS 預報風場即時資料。

中央氣象局 NFS 預報風場模式提供三種不同尺度範圍之風場，為符合中心作業化需求，後處理所提供 NFS 二進位數值資料，並內插相關風場及氣壓場提供後續風浪計算及潮位計算使用，圖 A.3 為中央氣象局 NFS 預報風場模式提供 RC 及 MC 輸出範圍資料之預報風場向量及氣壓分佈圖，圖 A.4 為中央氣象局 WRF 預報風場模式提供 WA01、WA02 及 WA03 輸出範圍資料之預報風場向量及氣壓分佈圖，時間為 7 月 13 日 3:00 強烈颱風蘇力侵臺期間。

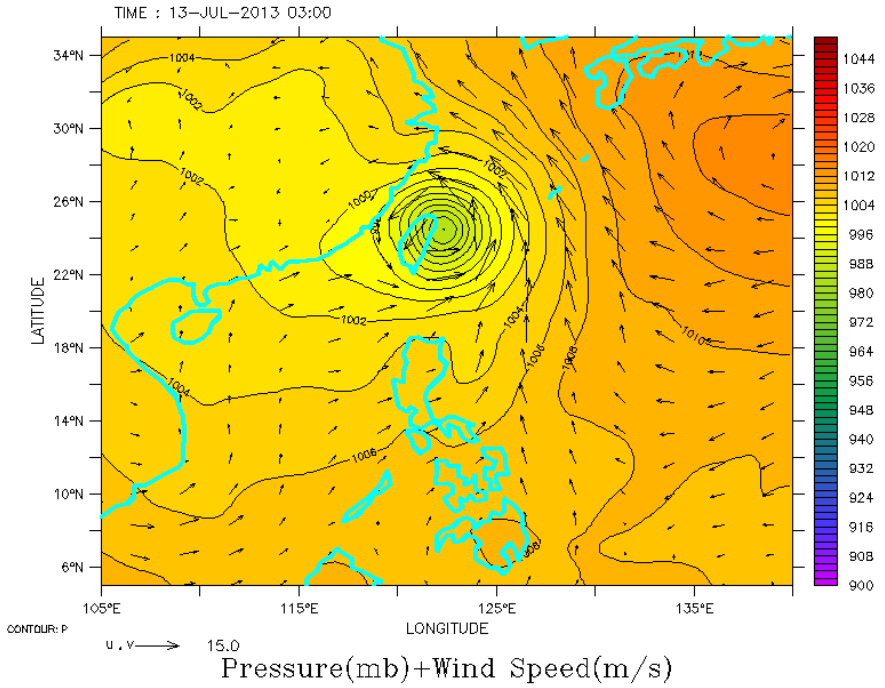


圖 A.3a 2013/7/13 3 時 蘇力颱風大尺度(NFS-RC)風速風向分佈圖

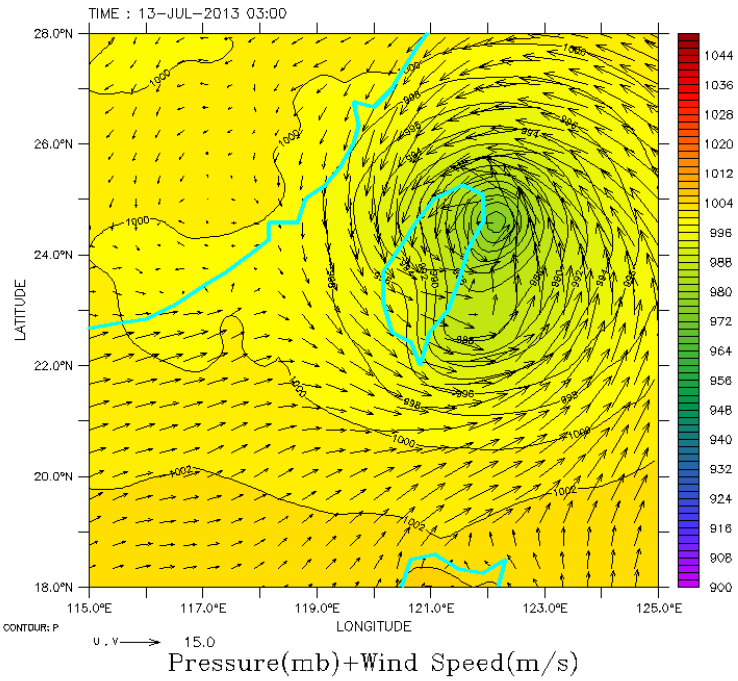


圖 A.3b 2013/7/13 3 時 蘇力颱風中尺度(NFS-MC)風速風向分佈圖

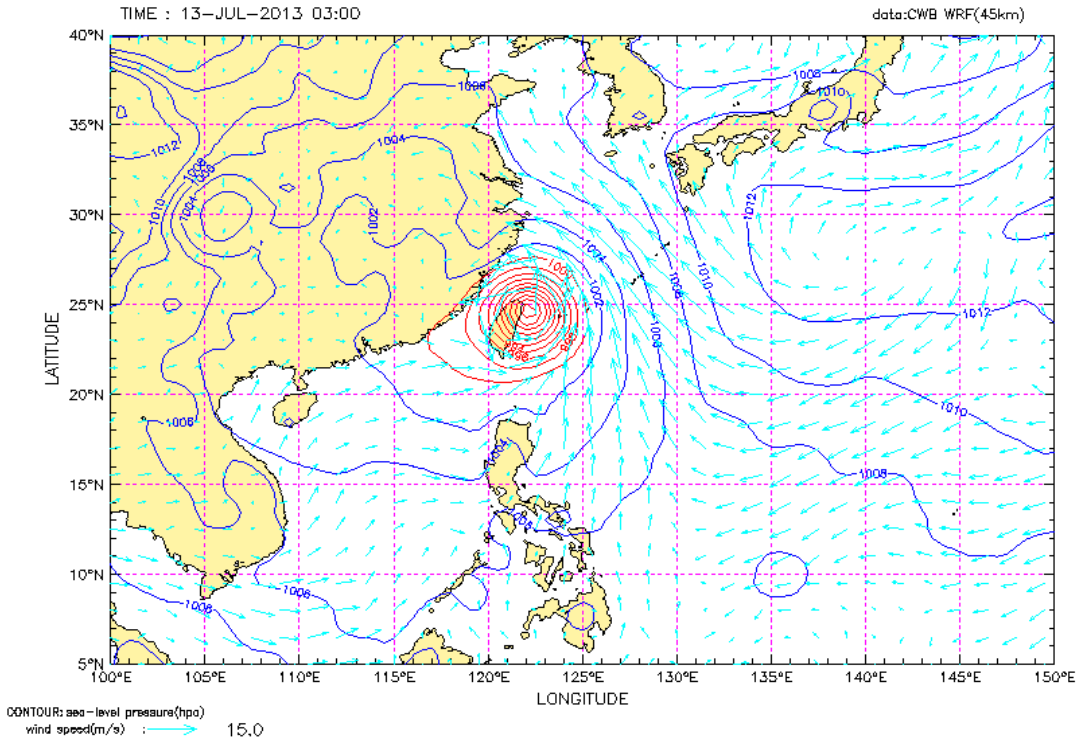


圖 A.4a 2013/7/13 3 時蘇力颱風大尺度(WRF-WA01)風速風向分佈圖

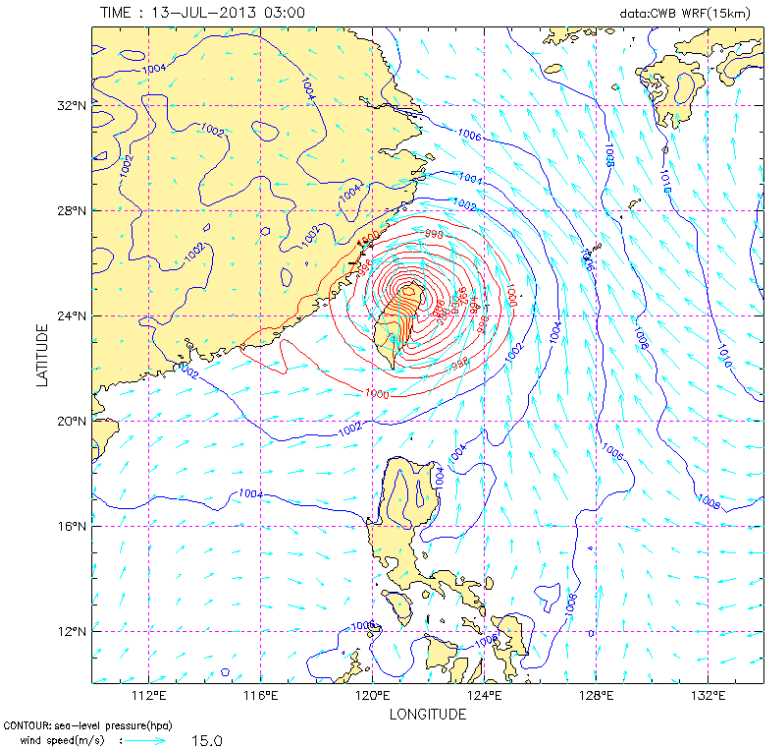


圖 A.4b 2013/7/13 3 時蘇力颱風大尺度(WRF-WA02)風速風向分佈圖

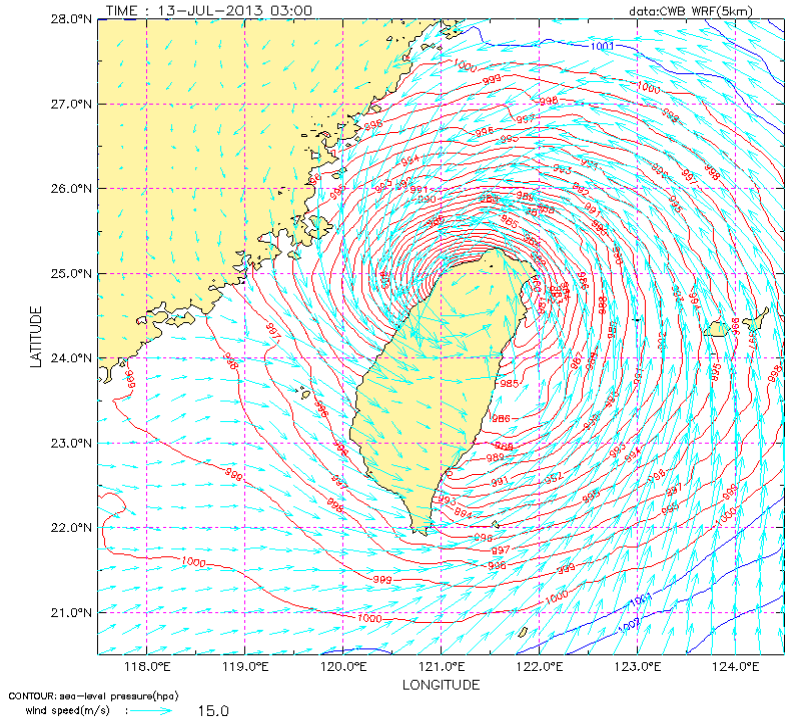


圖 A.4c 2013/7/13 3 時蘇力颱風小尺度(WRF-WA03)風速風向分佈圖

附 1.3 年度侵臺颱風

2013 年中央氣象局發布颱風警報計有 6 個,其中 5 個(蘇力、潭美、康芮、天兔、菲特)發布海上及陸上颱風警報，1 個(西馬隆)發布海上颱風警報；蘇力及天兔近臺強度為強烈颱風，如表 1，中央氣象局發佈之颱風路徑圖(包括概況表)如圖 A.5~圖 A.10。包含該颱風報告表、颱風路徑圖、及接近臺灣時之颱風衛星圖。

表 A-3 2013 年侵臺颱風記錄表

(摘自中央氣象局網站 http://www.cwb.gov.tw)

編號	中文名稱	英文名稱	警報期間	近臺強度	侵臺路徑分類	近臺近中心最低氣壓 (hPa)	近臺近中心最大風速 (m/s)	七級風暴風半徑 (km)	十級風暴風半徑 (km)	警報發布報數
1307	蘇力	SOULIK	07/11～07/13	強烈	2	925.0	51.0	280	100	22
1308	西馬隆	CIMARON	07/17～07/18	輕度	--	998.0	18.0	100	--	10
1312	潭美	TRAMI	08/20～08/22	輕度	1	970.0	30.0	180	--	16
1315	康芮	KONG-REY	08/27～08/29	輕度	6	985.0	25.0	120	--	20
1319	天兔	USAGI	09/19～09/22	強烈	5	910.0	55.0	280	120	22
1323	菲特	FITOW	10/04～10/07	中度	1	960.0	38.0	250	80	20

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	蘇力(SOULIK)
編號	1307
生成地點	關島北方海面
侵(近)臺日期	2013 年 7 月 13 日
發布時間	海上:2013 年 7 月 11 日 8 時 30 分、陸上:2013 年 7 月 11 日 20 時 30 分
解除時間	海上:2013 年 7 月 13 日 23 時 30 分、陸上:2013 年 7 月 13 日 23 時 30 分
發布報數	22
最大強度	強烈
近中心最大風速	51.0 (公尺/秒)
侵臺路徑分類	2
登陸地段	新北市與宜蘭縣交界處
動態	7 月 8 日關島北方海面生成,9 日增強為中度颱風並穩定地往西北西移動,10 日 8 時增強為強烈颱風後仍持續往西北西移動,11 日 20 時強度減弱為中度颱 風,12 日 8 時移動方向轉為略向西北進行並朝臺灣東北部海面接近,13 日 3 時於新北市及宜蘭縣交界處登陸並持續往西北移動,8 時於新竹附近出海後 16 時進 入大陸,17 時減弱為輕度颱風。
災情	颱風帶來全臺出現強風、豪雨,新竹縣、苗栗縣、台中市、高雄市及南投縣等地區降下超大豪雨;宜蘭縣及基隆市出現達 13 至 15 級的瞬間陣風,台北市、新竹縣、台中市及台東縣出現的瞬間陣風亦達 11 至 12 級,臺東地區亦有焚風發生。颱風造成各地淹水、積水、溪水暴漲、道路坍方、鐵路及航空交通中斷、電力及電信系統受損等災情,共計有 2 人死亡,1 人失蹤,123 人受傷,農損約 2.5 億元。

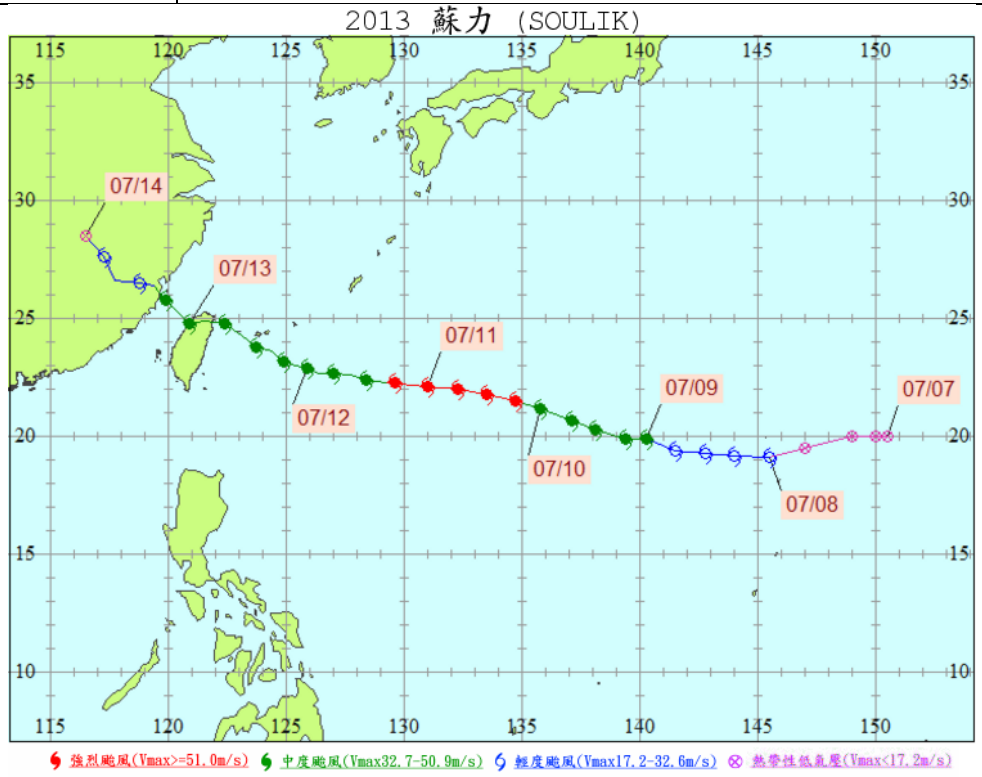
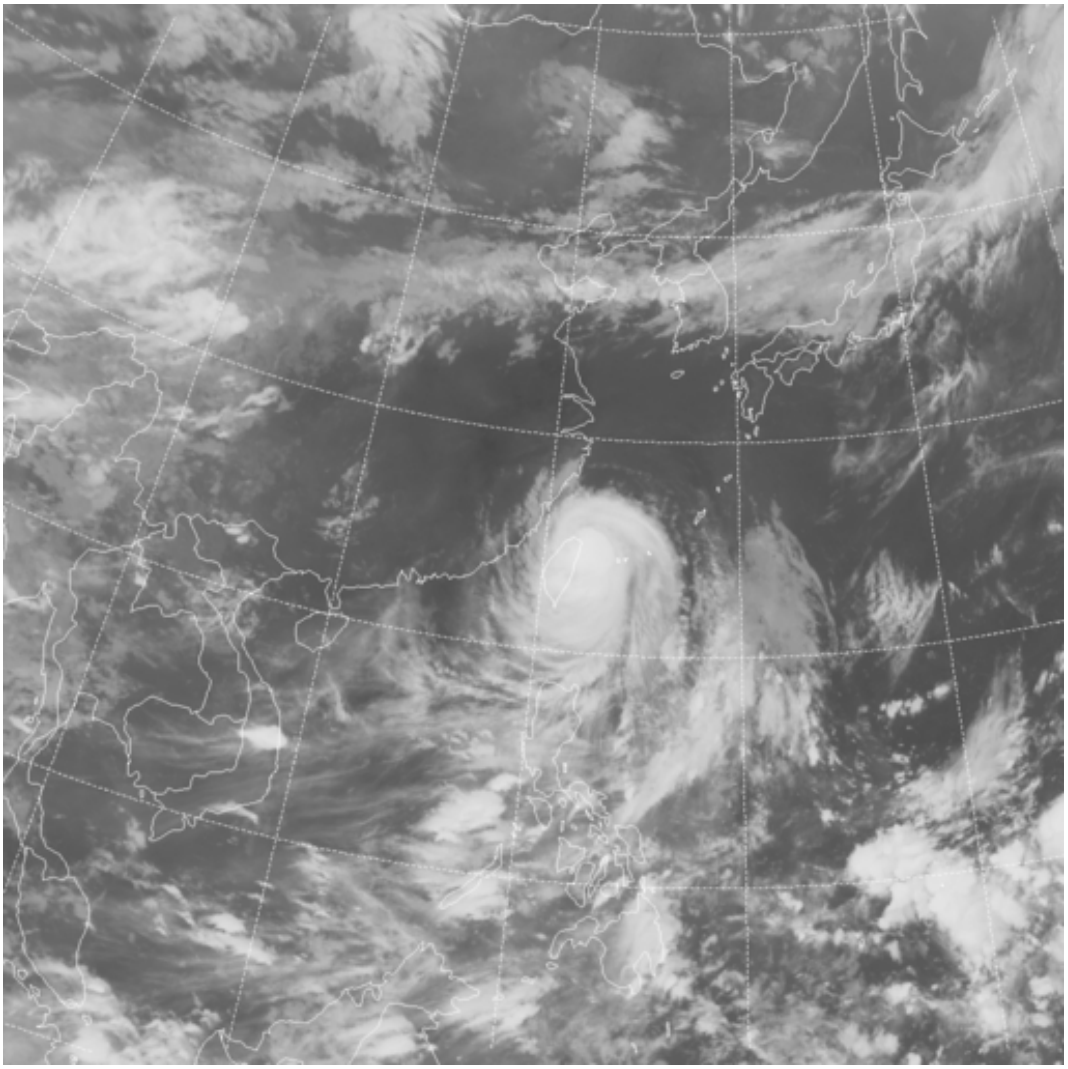


圖 A.5a 蘇力颱風路徑圖



IR1_LCC 圖(2013-07-13-02:32)

圖 A.5b 蘇力颱風衛星圖

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	西馬隆(CIMARON)
編號	1308
生成地點	菲律賓北方海面
侵(近)臺日期	2013 年 7 月 17 日
發布時間	海上:2013 年 7 月 17 日 10 時 30 分
解除時間	海上:2013 年 7 月 18 日 11 時 30 分
發布報數	10
最大強度	輕度
近中心最大風速	18.0 (公尺/秒)
侵臺路徑分類	--
登陸地段	--
動態	7 月 15 日於菲律賓東方近海形成熱帶性低氣壓，17 日 8 時增強為輕度颱風並往西北移動，暴風圈進入巴士海峽並對巴士海峽東沙島海面及臺灣海峽南部造成威 脅，20 時進入鵝鑾鼻近海，繼續向西北移動，18 日 11 時中心在鵝鑾鼻西方海面，對巴士海峽及臺灣海峽的威脅已解除。
災情	未有災情傳出。

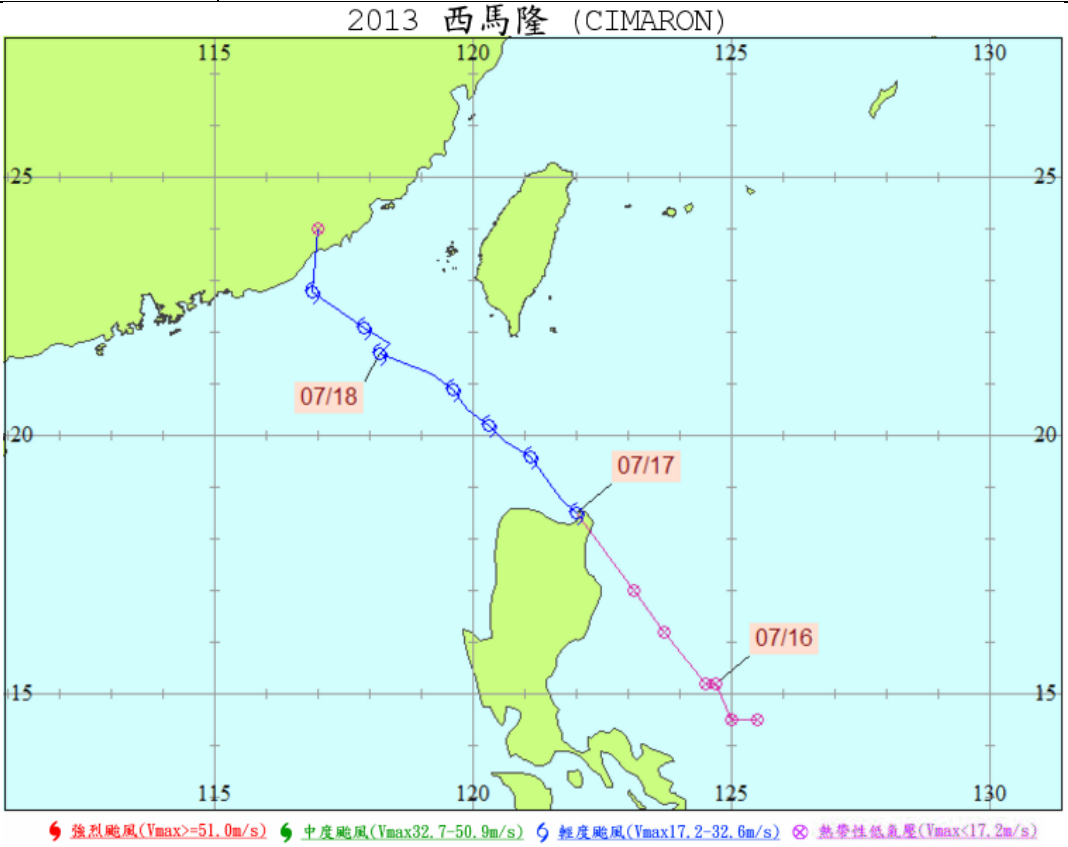
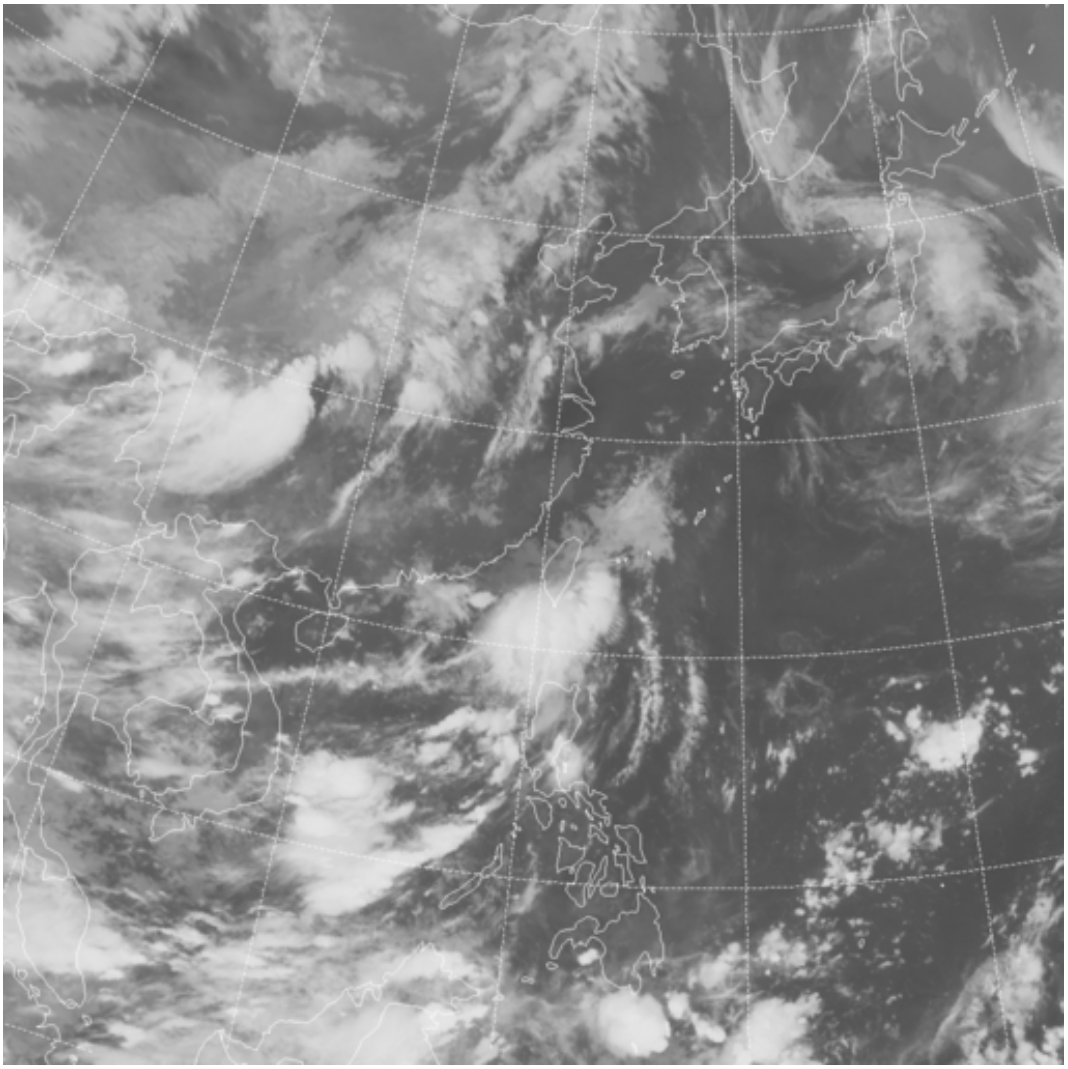


圖 A.6a 西馬隆颱風路徑圖



IR1_LCC 圖(2013-07-18-02:32)

圖 A.6b 西馬隆颱風衛星圖

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	潭美(TRAMI)
編號	1312
生成地點	琉球南方海面
侵(近)臺日期	2013 年 8 月 21 日
發布時間	海上:2013 年 8 月 20 日 11 時 30 分、陸上:2013 年 8 月 20 日 20 時 30 分
解除時間	海上:2013 年 8 月 22 日 8 時 30 分、陸上:2013 年 8 月 22 日 8 時 30 分
發布報數	16
最大強度	輕度
近中心最大風速	30.0 (公尺/秒)
侵臺路徑分類	1
登陸地段	--
動態	8 月 18 日琉球南方海面生成，並往東南移動，19 日移速減慢呈現滯留並逐漸轉為向北移動，20 日 17 時轉為向西北方向並朝臺灣東北部及北部海面前進，21 日 14 時再轉為向西進行，暴風圈進入臺灣北部及東北部，21 日晚間其中心逐漸通過北部海面，暴風圈籠罩臺灣中部以北、東北部及東部陸地，22 日 2 時由馬祖 西南方進入福建。
災情	颱風帶來全臺出現豪雨，新竹縣、苗栗縣及台中市等地區降下超大豪雨，西半部其他各地及宜蘭縣亦降下大豪雨。颱風造成西半部地區淹水，北部及中部山區多處道路坍方，山區鐵路及航空交通中斷。供電供水方面，新竹縣及南投縣電力系統受損，大約 6 萬戶停電；新竹、苗栗及嘉義地區輸水管線遭土石流沖斷，造成約 2 萬戶停水等災情，共計有 10 人受傷，農損約 9 百萬元。

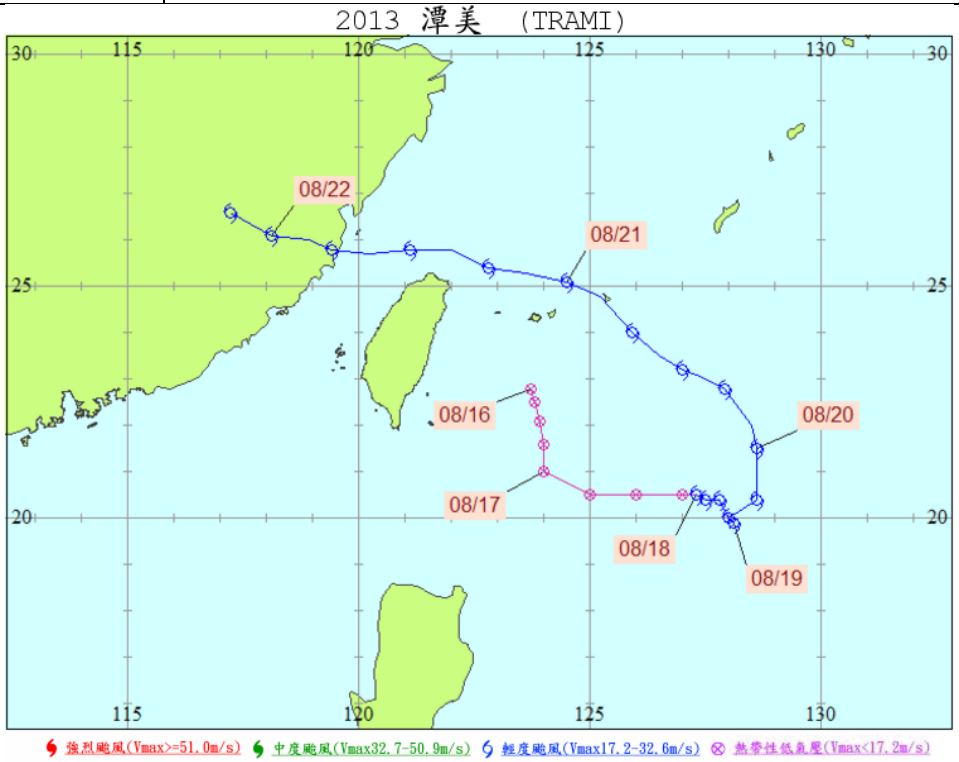
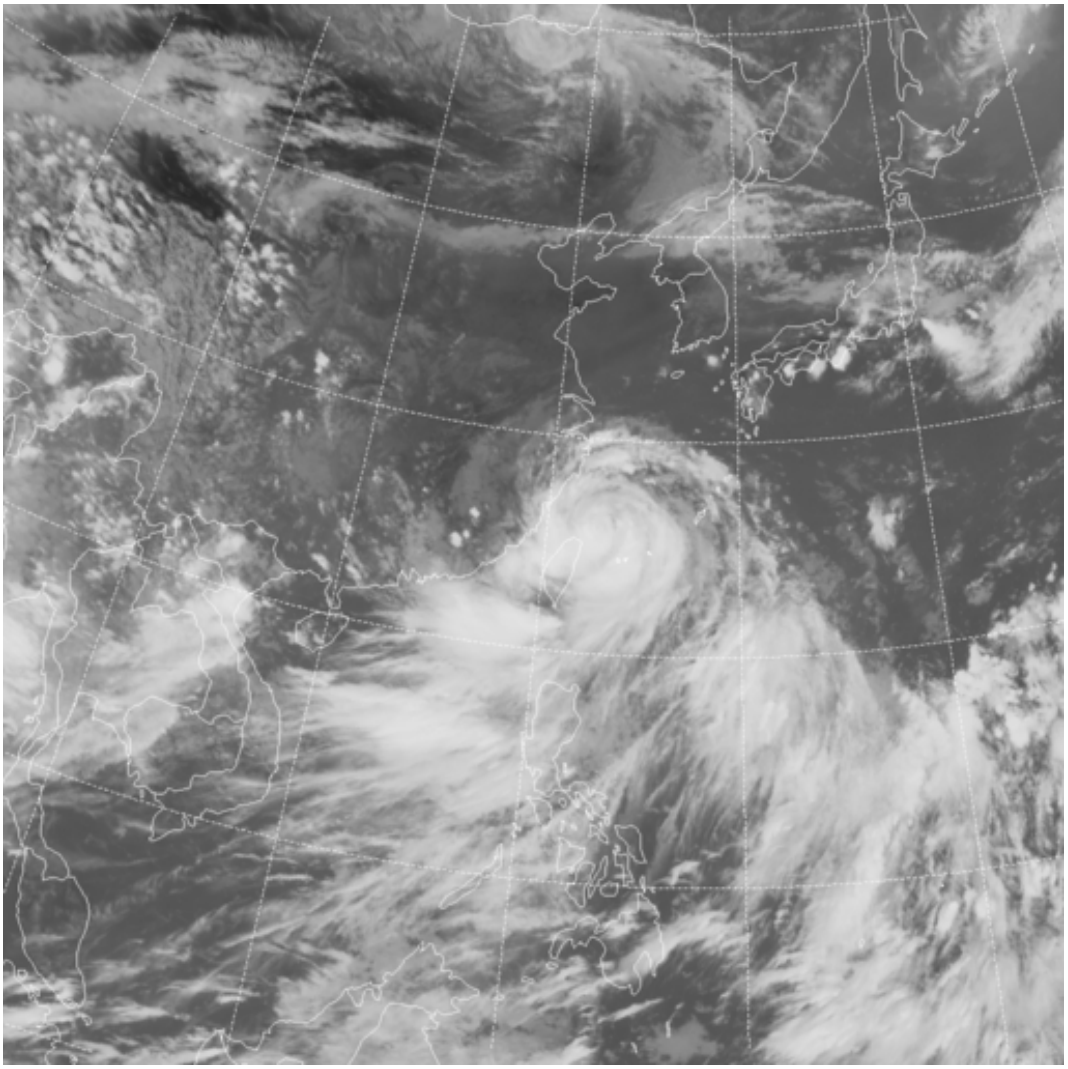


圖 A.7a 潭美颱風路徑圖



IR1_LCC 圖(2013-08-21-14:32)

圖 A.7b 潭美颱風衛星圖

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	康芮(KONG-REY)
編號	1315
生成地點	菲律賓東方海面
侵(近)臺日期	2013 年 8 月 29 日
發布時間	海上:2013 年 8 月 27 日 11 時 30 分、陸上:2013 年 8 月 28 日 11 時 30 分
解除時間	海上:2013 年 8 月 29 日 20 時 30 分、陸上:2013 年 8 月 29 日 17 時 30 分
發布報數	20
最大強度	輕度
近中心最大風速	25.0 (公尺/秒)
侵臺路徑分類	6
登陸地段	--
動態	8 月 26 日在菲律賓東方海面生成並往西北方移動，27 日短暫向北移動之後，再以北北西方向朝臺灣東南部海面前進。28 日暴風圈逐漸進入臺灣東部近海，並向 臺灣東半部陸地接近。29 日暴風圈影響臺灣東半部及中部以北陸地，29 日清晨起臺灣中南部地區發生明顯降雨，29 日 14 時颱風中心移動至臺北北北東方近 海，逐漸轉向東北移動並遠離臺灣陸地。
災情	颱風於苗栗以南各縣市降下大豪雨，嘉義縣、台南市、高雄市及屏東縣等地區更降下超大豪雨。颱風造成西半部地區嚴重淹水，中南部地區電信電力系統受損，以及多處道路坍方、阿里山鐵路中斷，共計有 3 人死亡，農損約 1.1 億元。

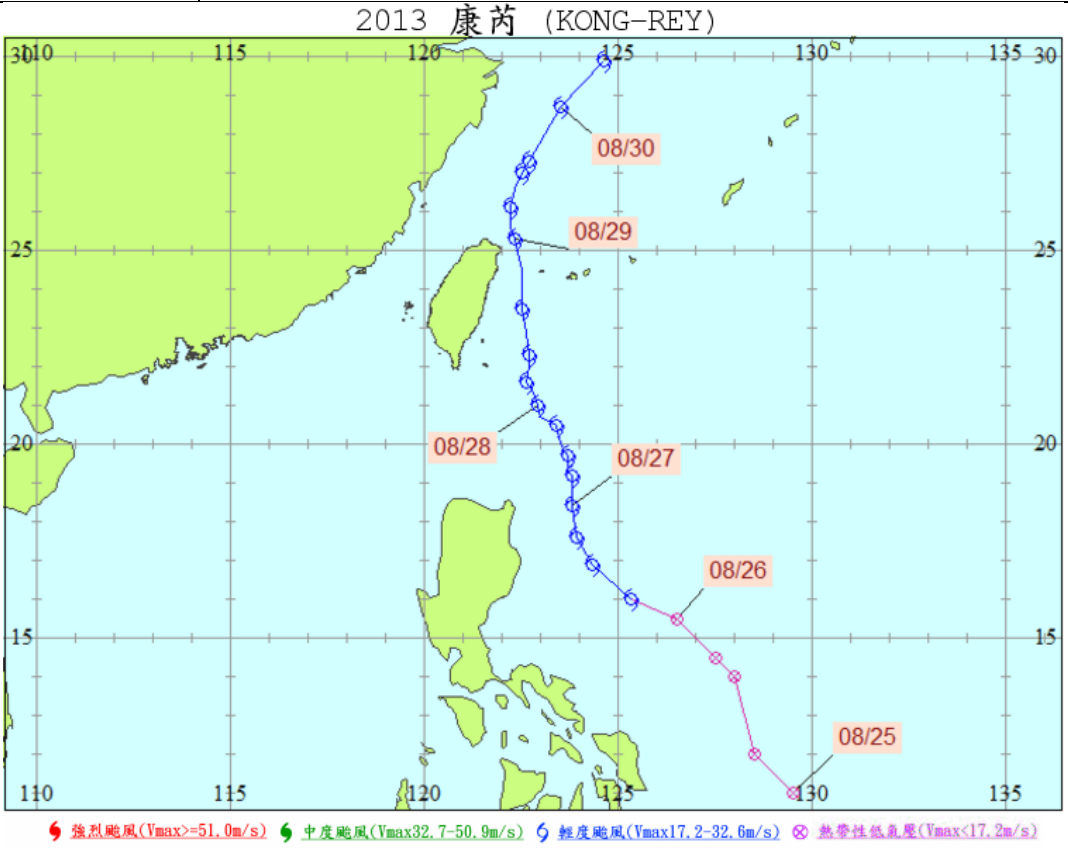
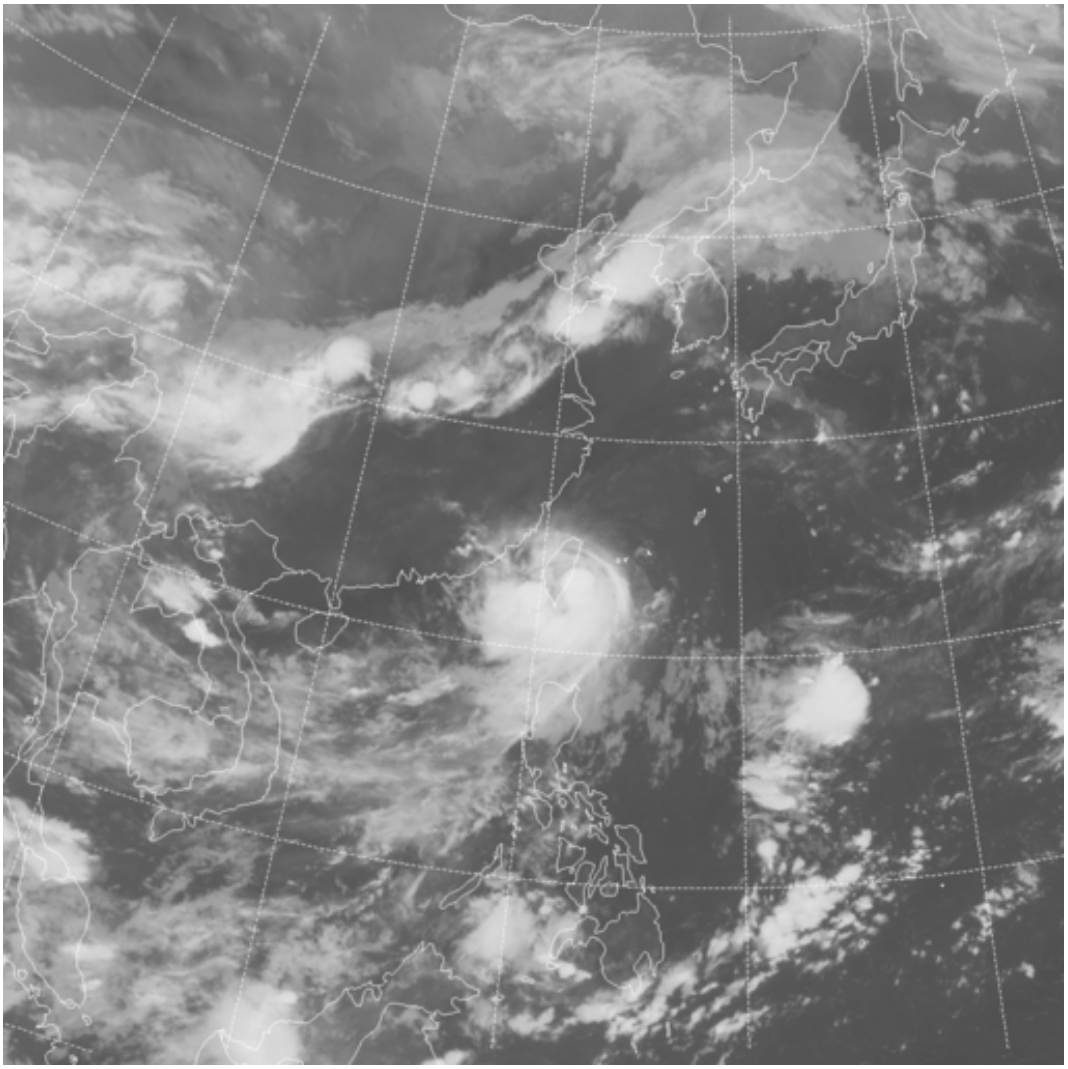


圖 A.8a 康芮颱風路徑圖



IR1_LCC 圖(2013-08-29-02:32)

圖 A.8b 康芮颱風衛星圖

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	天兔(USAGI)
編號	1319
生成地點	菲律賓東方海面
侵(近)臺日期	2013 年 9 月 21 日
發布時間	海上:2013 年 9 月 19 日 23 時 30 分、陸上:2013 年 9 月 20 日 8 時 30 分
解除時間	海上:2013 年 9 月 22 日 14 時 30 分、陸上:2013 年 9 月 22 日 8 時 30 分
發布報數	22
最大強度	強烈
近中心最大風速	55.0 (公尺/秒)
侵臺路徑分類	5
登陸地段	--
動態	9 月 17 日菲律賓東方海面生成並往西移動，18 日增強為中度颱風且短暫轉為西南西方向朝菲律賓前進，19 日增強為強烈颱風後轉為向西北西方向進行，21 日 暴風圈逐漸影響臺灣東半部及臺中以南陸地，21 日 17 時減弱為中度颱風並持續朝西北西方向前進，22 日暴風圈影響澎湖及金門地區而逐漸遠離臺灣本島。
災情	21 日至 22 日東半部三縣市、高雄市及屏東縣降下超大豪雨，嘉義縣、臺中市及南投縣亦降下大豪雨，臺北市、新北市及新竹市也有豪雨。颱風造成屏東及臺東地區低窪地區淹水、停水、電力及電信中斷，花蓮、桃園、新竹及高雄市亦有部分地區電信電力系統受損，以及多處道路坍方、鐵路中斷，共計有 12 人受傷，農損約 4 百萬元。

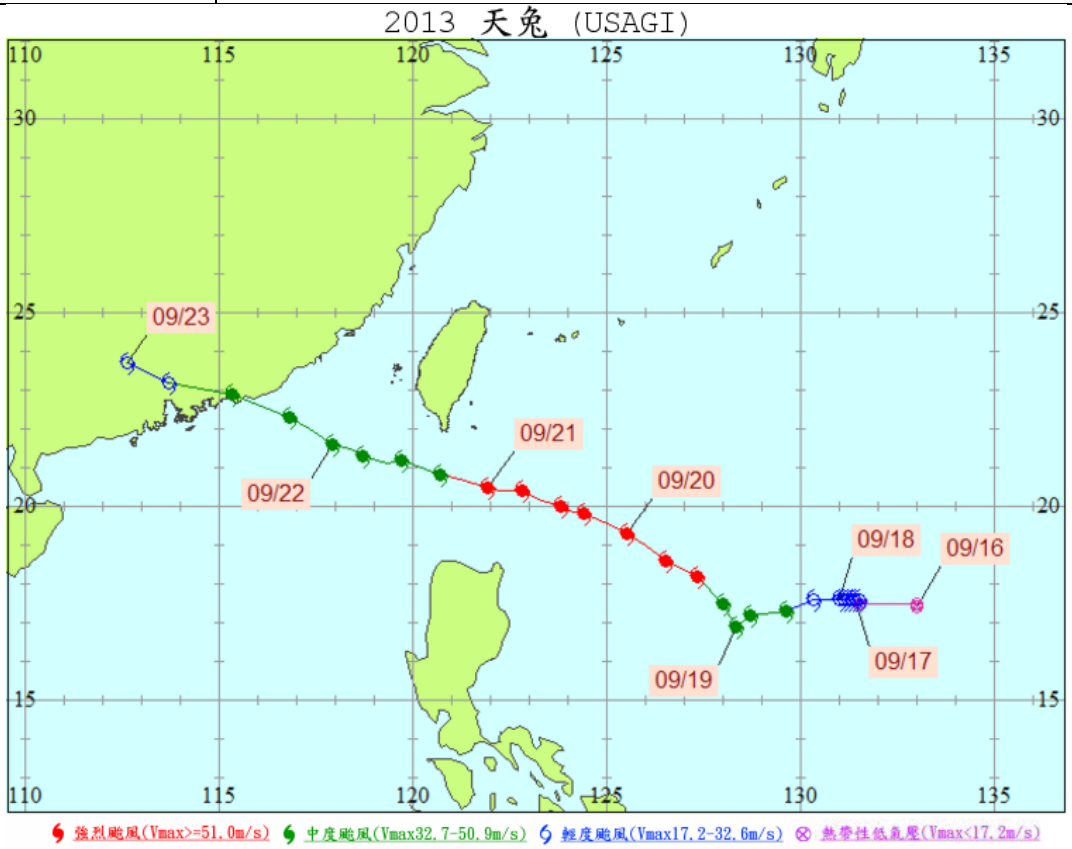
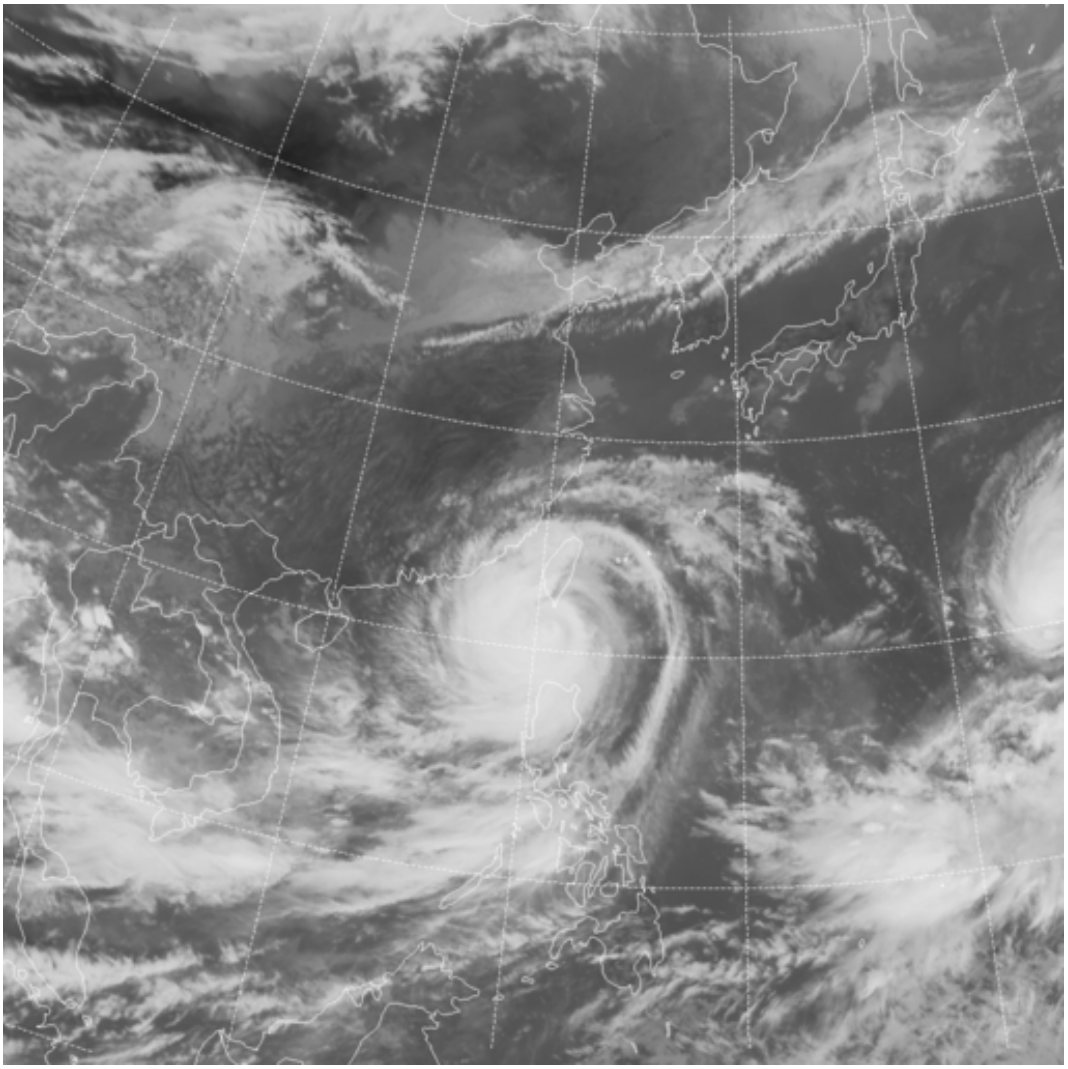


圖 A.9a 天兔颱風路徑圖



IR1_LCC 圖(2013-09-21-14:32)

圖 A.9b 天兔颱風衛星圖

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	菲特(FITOW)
編號	1323
生成地點	菲律賓東方海面
侵(近)臺日期	2013 年 10 月 6 日
發布時間	海上:2013 年 10 月 4 日 23 時 30 分、陸上:2013 年 10 月 5 日 14 時 30 分
解除時間	海上:2013 年 10 月 7 日 8 時 30 分、陸上:2013 年 10 月 7 日 8 時 30 分
發布報數	20
最大強度	中度
近中心最大風速	38.0 (公尺/秒)
侵臺路徑分類	1
登陸地段	--
動態	9 月 30 日菲律賓東方海面生成，中心往北北西移動，10 月 4 日 23 時移動方向轉為向西北進行，6 日暴風圈影響臺灣北部及東北部海面，並轉向西北西方向前 進，6 日 20 時強度略為減弱且暴風圈縮小，7 日 2 時左右由福建、浙江交界處進入大陸且轉向西南西移動。7 日 14 時減弱為熱帶性低氣壓。
災情	臺灣北部及東北部地區有零星道路坍方、電信及電力受損。

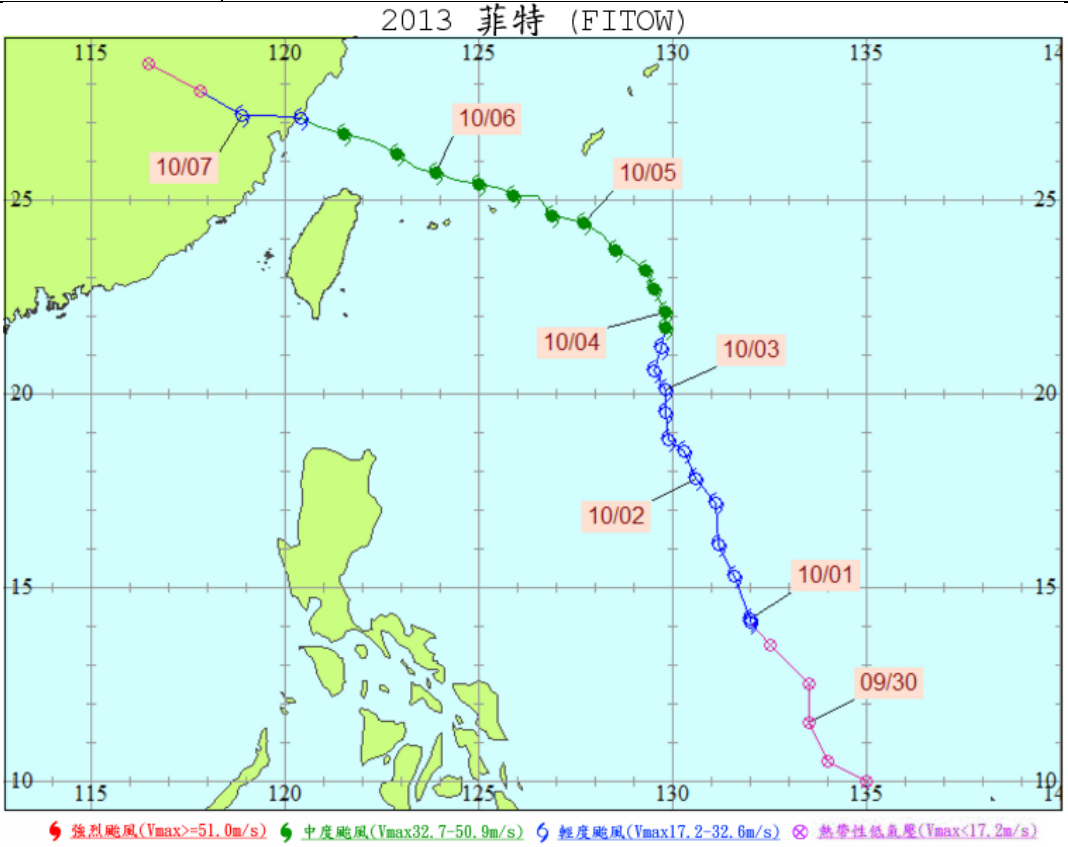
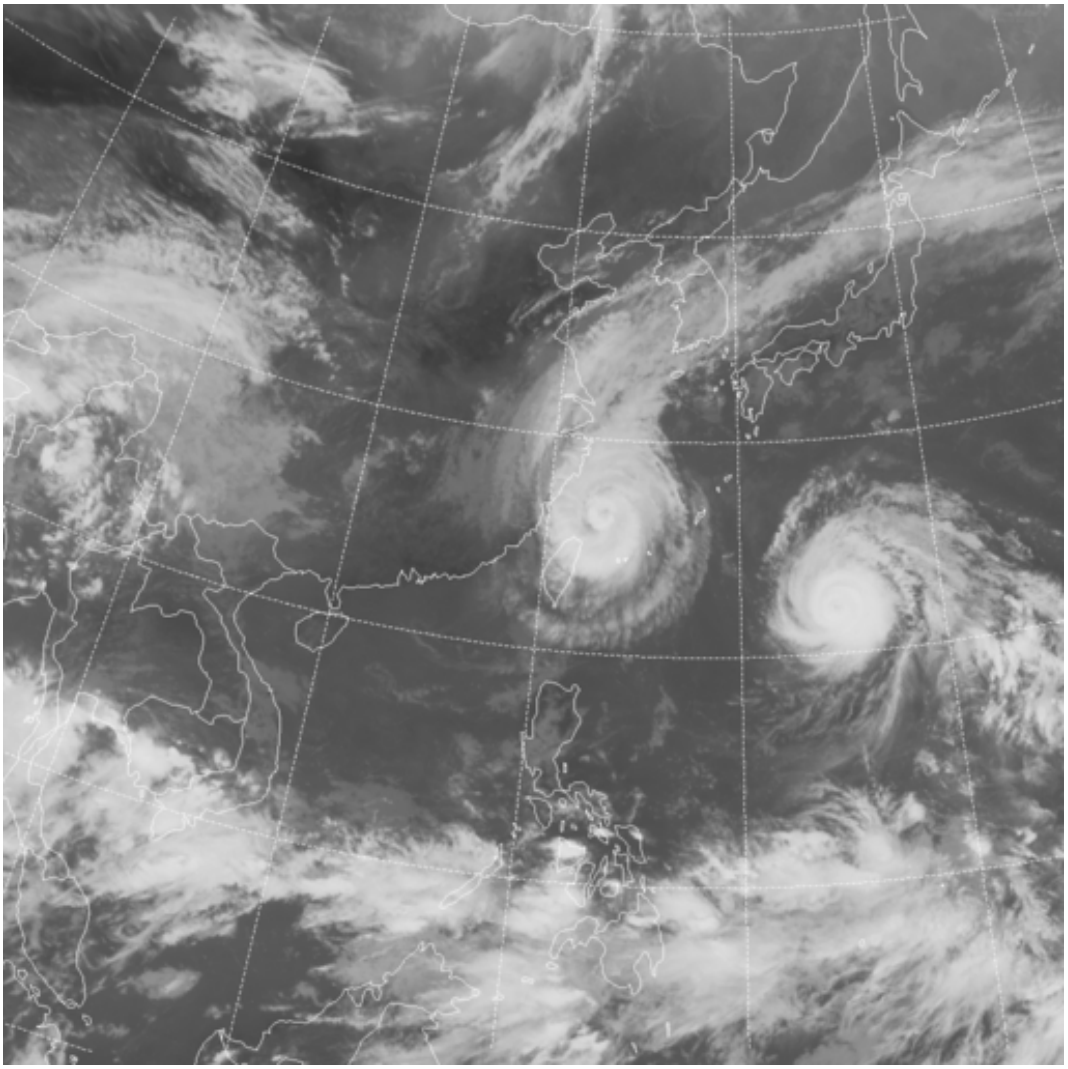


圖 A.10a 菲特颱風路徑圖



IR1_LCC 圖(2013-10-06-14:32)

圖 A.10b 菲特颱風衛星圖