

112-011-7D28
IOT-111-H3C006

海氣象預測模擬系統之維運與精進(1/4) — 精進基隆海域模組



交通部運輸研究所

中華民國 112 年 3 月

112-011-7D28
IOT-111-H3C006

海氣象預測模擬系統之維運與精進(1/4) — 精進基隆海域模組

著者：劉正琪、傅怡釗、林雅雯、李兆芳、謝佳紘、江朕榮

交通部運輸研究所

中華民國 112 年 3 月

GPN : 1011200151
定價 400 元

交通部運輸研究所

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

海氣象預測模擬系統之維運與精進. (1/4) : 精進
基隆海域模組 / 劉正琪, 傅怡釗, 林雅雯, 李
兆芳, 謝佳紘, 江朕榮著. -- 初版. -- 臺北
市 : 交通部運輸研究所, 民 112. 03
面 ; 公分
ISBN 978-986-531-471-2(平裝)

1. CST: 海洋氣象 2. CST: 港埠管理 3. CST: 管
理資訊系統

444.94

112000936

海氣象預測模擬系統之維運與精進(1/4)－精進基隆海域模組

著 者：劉正琪、傅怡釗、林雅雯、李兆芳、謝佳紘、江朕榮

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市松山區敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw (中文版>數位典藏>本所出版品)

電 話：(04)2658-7200

出版年月：中華民國 112 年 3 月

印 刷 者：OOOOOOOOO

版(刷)次冊數：初版一刷 50 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：400 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組・電話：(02)23496880

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

五南文化廣場：40042 臺中市市區中山路 6 號・電話：(04)22260330

GPN：1011200151 ISBN：978-986-531-471-2 (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分內容者，須徵求交通部運輸研究所
書面授權。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：海氣象預測模擬系統之維運與精進(1/4)－精進基隆海域模組			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-531-471-2 (平裝)	政府出版品統一編號 1011200151	運輸研究所出版品編號 112-011-7D28	計畫編號 IOT-111-H3C006
本所主辦單位：港研中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：林雅雯 研究人員：傅怡釗 聯絡電話：04-26587200 傳真號碼：04-26561329	合作研究單位：國立成功大學 計畫主持人：劉正琪 協同主持人：李兆芳 研究人員：謝佳紘、江朕榮 地址：70101 臺南市東區大學路 1 號 聯絡電話：04-26587200		研究期間 自 111 年 2 月 至 111 年 12 月
關鍵詞：海象模擬、港區靜穩、越波			
摘要： 本計畫屬於港研中心 111 年科技綱要計畫「陸運及港灣設施防災技術研究(1/4)」之分項計畫「港灣環境防災創新應用研究」下執行之子計畫。 計畫除了持續維運海象模擬作業化系統正常運作外，今年度研究主要課題包括基隆海域小尺度風浪模組及小尺度水動力模組納入海象模擬作業化系統、新建基隆港區靜穩模擬模組、發展花蓮港外廓防波堤越波模組及其他相關海象模擬之改善等。研究成果包括作業模擬環境優化及完成臺海水動力模擬作業系統每日 4 報升級；利用港研中心波浪、潮位及海流觀測資料，校驗臺灣周圍海域風浪、水動力模擬成果，成果將作為風浪、水動力等海象模擬改善之依據；完成 111 年度 9 海域主要港口模擬與觀測成果評估，並以颱風期間為評估重點；完成基隆港區靜穩模擬模組建置及港區靜穩模擬作業系統並進行測試；初步建構花蓮港外廓防波堤越波分析模組及相關作業化流程，有助於提升海象模擬資訊應用性。 本計畫相關研究成果及數值模擬經驗將能夠應用至其他離島海域，達到完善臺灣周圍海域「海氣象模擬預報系統」之目標。於平時提供港區、海岸公路等相關海象模擬資訊，另於颱風侵襲期間，相關結果可作為防災預警之評估依據，以輔助船舶進出及海岸公路行車安全等重要資訊。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
112 年 3 月	360	400	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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

TITLE: Maintenance and advancing of sea meteorology prediction simulation system (1/4) – Advancing Keelung seas module			
ISBN(OR ISSN) 978-986-531-471-2 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011200151	IOT SERIAL NUMBER 112-011-7D28	PROJECT NUMBER IOT-111-H3C006
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ya-Wen Lin PROJECT STAFF: Yi-Chuan Fu PHONE: (04) 26587134 FAX: (04) 26564415			PROJECT PERIOD FROM February 2022 TO December 2022
RESEARCH AGENCY: National Cheng Kung University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Cheng-Chi Liu CO-PROJECT INVESTIGATOR: Jaw-Fang Lee PROJECT STAFF: Chia-Hon Shieh, Chen-Jung Chiang ADDRESS: NO.1, University Road, Tainan, Taiwan 70101, R.O.C. PHONE: (06) 2371938 ext. 301			
KEY WORDS: SEA METEOROLOGY SIMULATION, HARBOR TRANQUILITY, WAVE OVERTOPPING			
ABSTRACT: The project is a sub-project of the subitem plan “Innovative Application Research on Harbor Environment Disaster Prevention” belonging to the 2022 Guideline Technology program “Disaster Prevention Technology Research of Land Transportation and Harbor Facilities” of the Harbor & Marine Technology Center. In addition to maintaining normal operation of the sea meteorology simulation operational system, the project this year focuses on emerging the small scale wind wave module and the small scale hydrodynamic module into the sea meteorology simulation operational system, new establishment of the Keelung harbor tranquility simulation module, development of Hwalien outer breakwater wave overtopping module and other improvements associated with other sea meteorology simulations. Research achievements include: Optimization of the operational environment, and upgrade of a four-daily-report hydrodynamic simulation operational system; Verification of the wind wave and hydrodynamic simulations of sea areas surrounding Taiwan utilizing observatory data of waves, tides, and currents of HMTC observatory stations, and the results will be used as the basis for improvement of wind wave, hydrodynamic and other sea meteorology simulations; Accomplishing 2022 evaluation of the simulation and observation results of the sea areas of the 9 main harbors, and the evaluation focusing on typhoon periods; Accomplishing the establishment of the Keelung harbor tranquility simulation module, and the harbor tranquility simulation operational system and the tests; Preliminary setup of the Hwalien harbor outer breakwater wave overtopping analysis module and the associated operational procedure, which will promote applicability of the sea meteorology information. Research results and numerical simulation experience of this project can be applied to other outlying islands to achieve the goal of improving the "sea meteorology simulation and forecast system" for sea areas surrounding Taiwan. During normal times, the related results can provide relevant sea meteorology simulation information of port areas, and coastal highways. During typhoon periods, the present results can also be used as the evaluation basis for disaster prevention and early warning, and can provide important information for ship in and out, navigation safety of driving safety of coastal highways.			
DATE OF PUBLICATION March 2023	NUMBER OF PAGES 360	PRICE 400	
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目 錄	III
圖 目 錄.....	V
表 目 錄.....	XII
第一章 緒論.....	1-1
1.1 計畫緣起及目的.....	1-1
1.2 計畫重要性.....	1-1
1.3 相關本計畫.....	1-2
1.4 研究範圍.....	1-5
1.5 本年度研究內容及工作項目.....	1-5
第二章 臺灣近岸海象模擬作業化系統維運與改善研究	2-1
2.1 海象模擬作業化系統簡介.....	2-1
2.2 海象模擬作業化系統校修與維運	2-28
2.3 海象模擬作業化系統改善研究.....	2-40
第三章 臺灣周圍海域風浪模擬與校驗	3-1
3.1 臺灣周圍海域風浪模擬與觀測.....	3-1
3.2 冬季風浪模擬與校驗.....	3-5
3.3 颱風波浪模擬與校驗.....	3-16
第四章 臺灣周圍海域水動力模擬與校驗	4-1
4.1 臺灣周圍海域水位模擬.....	4-1
4.2 臺灣周圍海域潮位觀測資料分析	4-4
4.3 臺灣周圍海域水位模擬與校驗.....	4-20
第五章 臺灣近岸海象預測作業化成果評估	5-1
5.1 風力預測成果評估.....	5-8
5.2 波浪預測成果評估.....	5-9
5.3 潮位預測成果評估.....	5-10

5.4 海流預測成果評估.....	5-11
第六章 精進基隆海域風浪及水動力模組	6-1
6.1 精進基隆海域風浪模組.....	6-1
6.2 精進基隆海域水動力模組.....	6-10
第七章 新建基隆港靜穩模擬模組	7-1
7.1 港域波浪模組建置.....	7-1
7.2 港區靜穩模擬系統建置.....	7-9
第八章 發展花蓮港外廓防波堤越波模組	8-1
8.1 背景資料.....	8-1
8.2 花蓮港外廓防波堤越波分析理論	8-8
8.3 外廓防波堤越波分析系統建置.....	8-9
第九章 結論與建議	9-1
9.1 結論.....	9-1
9.2 建議.....	9-2
9.3 預期效益與應用情形.....	9-2
參考文獻.....	參-1
附錄一 相關波浪模式基本理論介紹	附1-1
附錄二 水動力模式基本理論介紹	附2-1
附錄三 2021年8商港潮位調和分析表	附3-1
附錄四 花蓮港東防波堤標準斷面圖	附4-1
附錄五 期中報告審查意見處理情形表	附5-1
附錄六 期末報告審查意見處理情形表	附6-1
附錄七 期末簡報資料	附7-1
附錄八 計畫教育訓練及成果行銷推廣活動	附8-1

圖目錄

圖 1.1 2003 年近岸海象數值模擬及預警系統架構圖	1-3
圖 1.2 本計畫研究範圍與對象之示意圖	1-5
圖 2.1 臺灣近岸海象預測系統整體架構圖	2-1
圖 2.2 海象模擬作業化系統 2.0 之整體架構圖	2-2
圖 2.3 風場處理作業系統組成架構圖	2-6
圖 2.4 氣象局 WRF 成員 M04 水平網格模擬範圍圖	2-6
圖 2.5 氣象局 WRF 成員 M05 水平網格與浮動網格模擬範圍圖	2-7
圖 2.6 西太平洋風壓場(WE02)風場輸出範圍圖	2-7
圖 2.7 臺灣海域風壓場(WE02)風場輸出範圍圖	2-8
圖 2.8 每日 1 次海象作業化模擬預報風場之組合方式圖	2-8
圖 2.9 每日 4 次海象作業化模擬之預報風場組合方式圖	2-9
圖 2.10 臺海風浪模擬子系統模擬架構圖	2-11
圖 2.11 大尺度遠域風浪模組模擬範圍圖	2-11
圖 2.12 中尺度近域風浪模組模擬範圍圖	2-12
圖 2.13 小尺度澎湖海域(PH sea)風浪模組模擬範圍圖	2-12
圖 2.14 小尺度金門海域(KM sea)風浪模組之模擬範圍圖	2-13
圖 2.15 小尺度馬祖海域(MZ sea)風浪模組之模擬範圍圖	2-13
圖 2.16 小尺度東南海域(SE sea)風浪模組之模擬範圍圖	2-14
圖 2.17 小尺度西南海域(SW sea)風浪模組之模擬範圍圖	2-14
圖 2.18 小尺度花蓮海域(HL sea)風浪模組之模擬範圍圖	2-15
圖 2.19 小尺度蘇澳海域(SA sea)風浪模組之模擬範圍圖	2-15
圖 2.20 風浪模式 WAM 之模式架構及執行流程圖	2-16
圖 2.21 風浪模式 SWAN 之模式執行架構及流程圖	2-16
圖 2.22 各主要商港港區近岸波浪模組模擬範圍示意圖	2-19
圖 2.23 各主要商港細尺度港域波浪模組模擬範圍圖	2-20
圖 2.24 水動力模擬子系統之組成架構及作業化模擬流程圖	2-22
圖 2.25 中尺度水動力模組模擬範圍示意圖	2-23
圖 2.26 中尺度水動力模組三角元素網格分布圖	2-23
圖 2.27 基隆港小尺度水動力模組之模擬範圍及水深分布圖	2-24
圖 2.28 臺北港小尺度水動力模組之模擬範圍及水深分布圖	2-24
圖 2.29 臺中港小尺度水動力模組之模擬範圍及水深分布圖	2-25

圖 2.30 安平港小尺度水動力模組之模擬範圍及水深分布圖	2-25
圖 2.31 花蓮港小尺度水動力模組之模擬範圍及水深分布圖	2-26
圖 2.32 蘇澳港小尺度水動力模組之模擬範圍及水深分布圖	2-26
圖 2.33 澎湖海域小尺度水動力模組之模擬範圍及水深分布圖	2-27
圖 2.34 金門海域小尺度水動力模組之模擬範圍及水深分布圖	2-27
圖 2.35 臺海水動力模擬作業化程式輸入檔格式及內容圖	2-38
圖 2.36 臺海水動力模擬作業環境之子目錄架構及檔案圖	2-39
圖 2.37 臺海暴潮模組作業環境之次目錄架構及檔案圖	2-39
圖 2.38 臺海水動力模擬系統後處理作業環境之次目錄架構圖	2-40
圖 2.39 臺海暴潮模組各港口新、舊水位檢核點與潮位測站位置圖	2-43
圖 2.40 港區近岸波浪模擬作業系統之整體模擬架構圖	2-46
圖 2.41 花蓮港區外海風浪模擬條件之近域風浪模組輸出位置圖	2-47
圖 2.42 蘇澳港區外海風浪模擬條件之近域風浪模組輸出位置圖	2-47
圖 2.43 基隆港區外海風浪模擬條件之近域風浪模組輸出位置圖	2-48
圖 2.44 臺北港區外海風浪模擬條件之近域風浪模組輸出位置圖	2-48
圖 2.45 臺中港區外海風浪模擬條件之近域風浪模組輸出位置圖	2-49
圖 2.46 布袋港區外海風浪模擬條件之近域風浪模組輸出位置圖	2-49
圖 2.47 安平港區外海風浪模擬條件之近域風浪模組輸出位置圖	2-50
圖 2.48 高雄港區外海風浪模擬條件之近域風浪模組輸出位置圖	2-50
圖 2.49 港區近岸波浪模擬系統作業化環境目錄架構示意圖	2-51
圖 2.50 花蓮港區近岸波浪模組作業化環境目錄架構示意圖	2-52
圖 2.51 花蓮港區近岸波場出圖範例.....	2-53
圖 2.52 蘇澳港區近岸波場出圖範例.....	2-53
圖 2.53 基隆港區近岸波場出圖範例.....	2-54
圖 2.54 安平港區近岸波場出圖範例.....	2-54
圖 2.55 布袋港區近岸波場出圖範例.....	2-55
圖 2.56 安平港 M04 與 M05 氣壓及風速時序圖	2-57
圖 2.57 布袋港 M04 與 M05 氣壓及風速時序圖	2-57
圖 2.58 花蓮港 M04 與 M05 氣壓及風速時序圖	2-58
圖 2.59 高雄港 M04 與 M05 氣壓及風速時序圖	2-58
圖 2.60 基隆港 M04 與 M05 氣壓及風速時序圖	2-59
圖 2.61 蘇澳港 M04 與 M05 氣壓及風速時序圖	2-59
圖 2.62 臺中港 M04 與 M05 氣壓及風速時序圖	2-60

圖 2.63 臺北港 M04 與 M05 氣壓及風速時序圖	2-60
圖 2.64 2021 年輕度颱風圓規路徑及 M05 風場浮動網格使用情形	2-61
圖 2.65 格林威治 2021100818 報 M04 及 M05 風場之差異性分析圖	2-61
圖 2.66 格林威治 2021100912 報 M04 及 M05 風場之差異性分析圖	2-62
圖 2.67 格林威治 2021100918 報 M04 及 M05 風場之差異性分析圖	2-62
圖 2.68 格林威治 2021101012 報 M04 及 M05 風場之差異性分析圖	2-63
圖 3.1 TaiCOMS 2.0「臺海風浪模擬子系統」三層巢狀網格範圍圖	3-2
圖 3.2 臺灣周圍海域長期波浪觀測站分布圖	3-4
圖 3.3 花蓮港海域冬季(1、2 月)風浪模擬結果與觀測值之比較圖	3-8
圖 3.4 蘇澳港海域冬季(1、2 月)風浪模擬結果與觀測值之比較圖	3-9
圖 3.5 基隆港海域冬季(1、2 月)風浪模擬結果與觀測值之比較圖	3-10
圖 3.6 臺北港海域冬季(1、2 月)風浪模擬結果與觀測值之比較圖	3-11
圖 3.7 臺中港海域冬季(1、2 月)風浪模擬結果與觀測值之比較圖	3-12
圖 3.8 布袋港海域冬季(1、2 月)風浪模擬結果與觀測值之比較圖	3-13
圖 3.9 安平港海域冬季(1、2 月)風浪模擬結果與觀測值之比較圖	3-14
圖 3.10 高雄港海域冬季(1、2 月)風浪模擬結果與觀測值之比較圖	3-15
圖 3.11 2021 年輕度颱風彩雲行進路徑圖	3-16
圖 3.12 2021 年中度颱風烟花行進路徑圖	3-17
圖 3.13 2021 年輕度颱風盧碧行進路徑圖	3-17
圖 3.14 2021 年強烈颱風璨樹行進路徑圖	3-18
圖 3.15 2021 年輕度颱風圓規行進路徑圖	3-18
圖 3.16 璨樹颱風期間花蓮港海域波浪模擬值與觀測值比較圖	3-21
圖 3.17 璨樹颱風期間蘇澳港海域波浪模擬值與觀測值比較圖	3-22
圖 3.18 璨樹颱風期間基隆港海域波浪模擬值與觀測值比較圖	3-23
圖 3.19 璨樹颱風期間臺北港海域波浪模擬值與觀測值比較圖	3-24
圖 3.20 璨樹颱風期間臺中港海域波浪模擬值與觀測值比較圖	3-25
圖 3.21 璨樹颱風期間安平港海域波浪模擬值與觀測值比較圖	3-26
圖 3.22 璨樹颱風期間高雄港海域波浪模擬值與觀測值比較圖	3-27
圖 3.23 圓規颱風期間花蓮港海域波浪模擬值與觀測值比較圖	3-30
圖 3.24 圓規颱風期間蘇澳港海域波浪模擬值與觀測值比較圖	3-31
圖 3.25 圓規颱風期間基隆港海域波浪模擬值與觀測值比較圖	3-32
圖 3.26 圓規颱風期間臺北港海域波浪模擬值與觀測值比較圖	3-33
圖 3.27 圓規颱風期間臺中港海域波浪模擬值與觀測值比較圖	3-34

圖 3.28 圓規颱風期間安平港海域波浪模擬值與觀測值比較圖	3-35
圖 3.29 圓規颱風期間高雄港海域波浪模擬值與觀測值比較圖	3-36
圖 4.1 臺海水動力模擬系統之組成架構及模擬流程圖	4-1
圖 4.2 臺海暴潮模組之模擬範圍及三角形元素網格圖	4-2
圖 4.3 臺灣周圍海域暴潮模組數值計算網格之水深分布圖	4-2
圖 4.4 臺灣周圍海域暴潮模式採用的天文潮水位邊界條件圖	4-4
圖 4.5 港研中心各港口潮位站位置圖	4-5
圖 4.6 2022 年花蓮港天文潮逐時預測值歷線圖	4-7
圖 4.7 2022 年蘇澳港天文潮逐時預測值歷線圖	4-8
圖 4.8 2022 年基隆港天文潮逐時預測值歷線圖	4-9
圖 4.9 2022 年臺北港天文潮逐時預測值歷線圖	4-10
圖 4.10 2022 年臺中港天文潮逐時預測值歷線圖	4-11
圖 4.11 2022 年布袋港天文潮逐時預測值歷線圖	4-12
圖 4.12 2022 年安平港天文潮逐時預測值歷線圖	4-13
圖 4.13 2022 年高雄港天文潮逐時預測值歷線圖	4-14
圖 4.14 2021 年烟花颱風期間各港口潮位觀測暴潮偏差分析歷線圖	4-16
圖 4.15 2021 年盧碧颱風期間各港口潮位觀測暴潮偏差分析歷線圖	4-17
圖 4.16 2021 年璨樹颱風期間各港口潮位觀測暴潮偏差分析歷線圖	4-18
圖 4.17 2021 年圓規颱風期間各港口潮位觀測暴潮偏差分析歷線圖	4-19
圖 4.18 2022 年花蓮港天文潮模擬值與預測值比較圖	4-22
圖 4.19 2022 年蘇澳港天文潮模擬值與預測值(點)比較圖	4-23
圖 4.20 2022 年基隆港天文潮模擬值與預測值(點)比較圖	4-24
圖 4.21 2022 年臺北港天文潮模擬值與預測值(點)比較圖	4-25
圖 4.22 2022 年臺中港天文潮模擬值與預測值(點)比較圖	4-26
圖 4.23 2022 年布袋港天文潮模擬值與預測值(點)比較圖	4-27
圖 4.24 2022 年安平港天文潮模擬值與預測值(點)比較圖	4-28
圖 4.25 2022 年高雄港天文潮模擬值與預測值(點)比較圖	4-29
圖 4.26 2022 年天文潮調和分析預測與模擬值之主要分潮振幅比較圖 ..	4-30
圖 4.27 2022 年天文潮調和分析預測與模擬值之主要分潮相位比較圖 ..	4-31
圖 5.1 花蓮港海氣象觀測位置及模擬值輸出點位置圖	5-3
圖 5.2 蘇澳港海氣象觀測位置及模擬值輸出點位置圖	5-4
圖 5.3 基隆港海氣象觀測位置及模擬值輸出點位置圖	5-4
圖 5.4 臺北港海氣象觀測位置及模擬值輸出點位置圖	5-5

圖 5.5 臺中港海氣象觀測位置及模擬值輸出點位置圖	5-5
圖 5.6 布袋港海氣象觀測位置及模擬值輸出點位置圖	5-6
圖 5.7 安平港海氣象觀測位置及模擬值輸出點位置圖	5-6
圖 5.8 高雄港海氣象觀測位置及模擬值輸出點位置圖	5-7
圖 5.9 馬祖福澳港海氣象觀測位置及模擬值輸出點位置圖	5-7
圖 6.1 臺海風浪模擬系統之架構及模擬流程圖	6-1
圖 6.2 北端海域風浪模擬三層巢狀網格模擬範圍圖	6-3
圖 6.3 基隆海域風浪模組之模擬範圍及水深分布圖	6-4
圖 6.4 基隆海域風浪模擬檢核點及 AWAC 波浪觀測站位置圖	6-6
圖 6.5 基隆海域風浪模擬結果與 AWAC 觀測資料比較圖	6-7
圖 6.6 「臺海風浪模擬系統」作業化模擬環境目錄架構圖	6-8
圖 6.7 「臺海風浪模擬系統」作業化輸入檔格式及內容	6-9
圖 6.8 臺海水動力模擬系統之架構及模擬流程圖	6-10
圖 6.9 基隆海域水動力模組之模擬範圍圖	6-11
圖 6.10 110 年基隆海域水動力模組建構的非結構性網格圖	6-12
圖 6.11 110 年基隆港港區小尺度非結構性網格分布圖	6-12
圖 6.12 111 年基隆海域水動力模組新建非結構性網格圖	6-13
圖 6.13 111 年基隆海域水動力模組港區新建非結構性網格圖	6-13
圖 6.14 110 年基隆海域水動力模組新建計算網格水深分布圖	6-14
圖 6.15 基隆海域水動力模組水位模擬值與觀測值比較圖	6-16
圖 6.16 基隆海域水動力模組流速模擬值與觀測值比較圖	6-16
圖 6.17 基隆海域水動力模組潮流模擬值與觀測天文潮流比較圖	6-17
圖 6.18 基隆海域水動力模組潮流模擬值與觀測天文潮流比較圖	6-17
圖 6.19 「臺海水動力模擬系統」作業化模擬環境目錄架構圖	6-18
圖 7.1 港區靜穩模擬系統之架構圖	7-1
圖 7.2 基隆港港域波浪模組模擬範圍及水深分布圖	7-2
圖 7.3 基隆港 2022 年港域波浪模組模擬範圍圖	7-2
圖 7.4 基隆港 2022 年港域波浪模組水深分布圖	7-3
圖 7.5 基隆港現有碼頭分布圖	7-4
圖 7.6 基隆港港區靜穩模擬結果重點碼頭輸出區位分布圖	7-4
圖 7.7 基隆港靜穩模擬結果($\mu = 0.0001$)波高分布圖	7-5
圖 7.8 基隆港靜穩模擬結果($\mu = 0.0005$)波高分布圖	7-6
圖 7.9 基隆港靜穩模擬結果($\mu = 0.0010$)波高分布圖	7-6

圖 7.10 基隆港波浪測站位置分布圖.....	7-7
圖 7.11 基隆港 KLA 及 KLE 測站波浪資料時序列比較圖	7-8
圖 7.12 花蓮海域風浪模組輸出點位(A、B、C、D)分布圖.....	7-10
圖 7.13 蘇澳海域風浪模組輸出點位(A、B)分布圖	7-10
圖 7.14 基隆海域風浪模組輸出點位(A、B、C)分布圖.....	7-11
圖 7.15 基隆海域點位 PA 風浪示性波高模擬預測歷線圖	7-11
圖 7.16 基隆海域點位 PA 風浪譜峰週期模擬預測歷線圖	7-12
圖 7.17 基隆海域點位 PA 風浪平均波向模擬預測歷線圖	7-12
圖 7.18 基隆港天文潮潮位逐時預測歷線圖.....	7-12
圖 7.19 基隆港港域靜穩模組模擬 2021101118 之波高分布圖	7-13
圖 7.20 基隆港港域靜穩模組模擬 2021101200 之波高分布圖	7-13
圖 7.21 基隆港港域靜穩模組模擬 2021101206 之波高分布圖	7-14
圖 7.22 基隆港港域靜穩模組模擬 2021101212 之波高分布圖	7-14
圖 7.23 基隆港港域靜穩模組模擬 2021101218 之波高分布圖	7-15
圖 7.24 基隆港港域靜穩模組模擬 2021101300 之波高分布圖	7-15
圖 7.25 基隆港港域靜穩模組模擬 2021101306 之波高分布圖	7-16
圖 7.26 基隆港港域靜穩模組模擬 2021101312 之波高分布圖	7-16
圖 7.27 基隆港港域靜穩模組模擬 2021101318 之波高分布圖	7-17
圖 7.28 基隆港港域靜穩模組模擬 2021101400 之波高分布圖	7-17
圖 7.29 港區靜穩模擬系統作業化模擬環境目錄架構圖	7-19
圖 7.30 港區靜穩模擬系統作業化輸入檔.....	7-19
圖 8.1 花蓮港外廓防波堤示意圖.....	8-2
圖 8.2 花蓮港新東堤段消波式開孔胸牆圖.....	8-3
圖 8.3 花蓮港新東堤段消波式開孔胸牆海側照片	8-3
圖 8.4 2021 年中度颱風烟花行進路徑圖	8-4
圖 8.5 2021 年中度颱風烟花侵臺期間花蓮港波浪越堤新聞事件.....	8-4
圖 8.6 2019 年強烈颱風利奇馬行進路徑圖	8-5
圖 8.7 2021 年強烈颱風利奇馬侵臺期間花蓮港波浪越堤新聞事件.....	8-5
圖 8.8 2018 年強烈颱風山竹行進路徑圖	8-6
圖 8.9 2018 年強烈颱風山竹侵臺期間花蓮港新東堤波浪越堤新聞事件...	8-6
圖 8.10 花蓮港東防波堤及開放垂釣區域圖.....	8-7
圖 8.11 花蓮港 2021 年第 2 次測量 1:5000 水深地形成果圖	8-7
圖 8.12 花蓮港外廓防波堤越波分析系統整體架構圖	8-9

圖 8.13 花蓮港外海風浪示性波高逐時模擬預測歷線圖	8-10
圖 8.14 花蓮港外海風浪譜峰週期逐時模擬預測歷線圖	8-10
圖 8.15 花蓮港外海風浪平均波向逐時模擬預測歷線圖	8-11
圖 8.16 花蓮港港區近岸波浪模組模擬範圍圖	8-11
圖 8.17 花蓮港天文潮潮位逐時預測歷線圖	8-12
圖 8.18 花蓮港外波浪場 09/10 18 時波高分布及波浪傳遞方向圖	8-13
圖 8.19 花蓮港外波浪場 09/11 0 時波高分布及波浪傳遞方向圖	8-13
圖 8.20 花蓮港外波浪場 09/11 6 時波高分布及波浪傳遞方向圖	8-14
圖 8.21 花蓮港外波浪場 09/11 12 時波高分布及波浪傳遞方向圖	8-14
圖 8.22 花蓮港外波浪場 09/11 18 時波高分布及波浪傳遞方向圖	8-15
圖 8.23 花蓮港外波浪場 09/12 0 時波高分布及波浪傳遞方向圖	8-15
圖 8.24 花蓮港外波浪場 09/12 6 時波高分布及波浪傳遞方向圖	8-16
圖 8.25 花蓮港外波浪場 09/12 12 時波高分布及波浪傳遞方向圖	8-16
圖 8.26 花蓮港外波浪場 09/12 18 時波高分布及波浪傳遞方向圖	8-17
圖 8.27 花蓮港外波浪場 09/13 0 時波高分布及波浪傳遞方向圖	8-17
圖 8.28 新東堤(0k+500.6~1k+835.0)標準斷面圖	8-19
圖 8.29 新東堤 0k+500.6~1k+835.0 堤前最大波分析範圍示意圖	8-19
圖 8.30 新東堤 0k+500.6~1k+835.0 段 2021091100 越波分析成果圖	8-20
圖 8.31 新東堤 0k+500.6~1k+835.0 段 2021091012 越波分析成果圖	8-21

表 目 錄

表 2-1 中央氣象局 WRF 成員 M04 水平兩層巢狀網格資訊表	2-4
表 2-2 中央氣象局 WRF 成員 M05 水平兩層巢狀網格資訊表	2-5
表 2-3 TaiCOMS 海象模擬作業化系統之風壓場資料格式	2-5
表 2-4 本計畫近海海域風浪模組之數值計算網格資訊表	2-10
表 2-5 主要商港港區近岸波浪模組之數值參考網格基本資料	2-17
表 2-6 主要商港港域波浪模組之數值計算不規則網格基本資料	2-18
表 2-7 本計畫小尺度水動力模組之數值計算不規則網格資訊表	2-22
表 2-8 2021/09~2022/08 伺服器維護紀錄	2-30
表 2-9 新、舊檢核點模擬值與潮位站天文潮預測值之年均方根誤 差表	2-41
表 2-10 臺海暴潮模組改善前、後各港水位模擬值均方根誤差分析成 果表	2-42
表 3-1 臺海風浪模擬系統三層巢狀網格之資訊表	3-1
表 3-2 波浪測站及風浪模擬系統測站輸出點位之坐標資訊表	3-3
表 3-3 臺灣周圍海域冬季波浪觀測資料統計特性表	3-3
表 3-4 臺灣周圍海域冬季風浪模擬資料統計特性表	3-6
表 3-5 臺灣周圍海域冬季風浪模擬值與觀測值之校驗成果表	3-7
表 3-6 2021 年璨樹強烈颱風侵臺期間各海域波浪參數統計特性表	3-20
表 3-7 2021 年璨樹強烈颱風侵臺期間波浪模擬值校驗成果表	3-20
表 3-8 2021 年圓規輕度颱風侵臺期間各海域波浪參數統計特性表	3-29
表 3-9 2021 年圓規輕度颱風侵臺期間波浪模擬值校驗成果表	3-29
表 4-1 各港潮位天文潮調和分析值與觀測值間誤差分析成果表	4-6
表 4-2 2021 年氣象局發布侵臺警報之颱風資訊表	4-15
表 4-3 2022 年臺海天文潮模擬值與各港調和分析預測值之誤差分 析表	4-21
表 5-1 本年度海氣象觀測風力資料蒐集率統計整合表	5-2
表 5-2 本年度海氣象觀測波浪及海流資料蒐集率統計整合表	5-2
表 5-3 本年度海氣象觀測水位資料蒐集率統計整合表	5-3
表 5-4 臺北港 2022 年度風力實測與模擬資料統計表(單位 m/s)	5-8
表 5-5 臺北港 2022 年度風力實測與模擬差值統計表(單位 m/s)	5-8
表 5-6 臺北港 2022 年度實測風速發生頻率(%)分析表	5-9

表 5-7 臺北港 2022 年度波高實測與模擬資料統計表(單位 m).....	5-9
表 5-8 臺北港 2022 年度譜峰週期實測與模擬資料統計表(單位 sec).....	5-10
表 5-9 臺北港 2022 年度波浪實測與模擬差值統計表	5-10
表 5-10 臺北港 2022 年度潮位實測與模擬差值統計表	5-11
表 5-11 臺北港 2022 年度潮位實測與模擬差值統計表(單位 m).....	5-11
表 5-12 臺北港 2022 年度流速實測與模擬資料統計表(單位 cm/s).....	5-12
表 5-13 臺北港 2022 年度流速實測與模擬差值統計表(單位 cm/s).....	5-12
表 6-1 本計畫遠域、近域及近海三層巢狀網格建置之資訊表	6-2
表 6-2 基隆海域風浪模組輸入檔指令及參數設定表	6-3
表 6-3 海科中心臺灣周圍海域數值水深網格資料表	6-5
表 6-4 作業化風場資料之網格資料表	6-5

第一章 緒論

1.1 計畫緣起及目的

臺灣四面環海，地狹人稠、陸上資源有限，為了能夠合理且有效地規劃與開發近岸生活圈，政府長期積極推動規劃近岸海域的開發與利用，致力於保護與維護沿海的百姓生命財產及海上運輸的安全。由於我國為海島型國家，各類物資及人員運輸多仰賴海洋交通，惟因海上觀測資訊不足及海象變化大，以致時有海事事件發生，如近年來的海洋拉拉號、百麗客輪及南韓世越號客輪等航安事件；此外，沿海陸上運輸則易受颱風浪襲影響，如臺東海岸公路(南興段)及花蓮(人定勝天段)等路段公路通行事件頻傳。在在顯示海氣象對於海上及臨海陸上通行安全影響極大，尤其惡劣的海氣象如颱風引起之強風、大浪與暴潮等，往往是造成船隻觸礁、碰撞、甚至傾覆等海難事件，及造成海岸公路浪襲、掏刷及路面損壞等之主因。

基於保護臺灣周遭水域航行船舶與人員安全，以及水環境維護等考量，交通部運輸研究所(以下簡稱運研所)乃於民國92年起著手整合近岸海象數值模擬與海象觀測資料之研究計畫，發展推動近岸/近海防救災相關海象預測系統，以及海岸公路浪襲預警、港區靜穩預警等應用。

本計畫目的包括(1)針對運研所港灣技術研究中心(以下簡稱港研中心)「臺灣近岸海象預測系統 2.0」(TaiCOMS 2.0)進行維護，配合近年港灣工程完工，修正模式港型以提供臺灣及離島主要港口港域及海岸公路鄰近海域之風力、波浪、水位及流場海象模擬資料；(2)建置港域靜穩分析模組，結合近年於各主要商港區域內設置潮波測站蒐集港內波浪觀測資料，探討港區靜穩預警等課題；(3)應用波浪及水位模擬模組，延伸發展商港外廓防波堤越波預警模組。

1.2 計畫重要性

本計畫係配合交通部推動科學技術發展之目標：

1. 推動現代化氣象及海象觀測，提升地震測報效能、拓展強震即時警報資訊於防災之應用；發展精緻化氣象預報、開創多元化氣象服務管道，以提升氣象服務水準，並達成防災、減災及促進經濟發展之目標，並配合運輸系統管理及資訊服務之整合應用，為健康臺灣提供優質氣象資訊。
2. 推動海岸災害防救科技發展，精進海岸與港灣的災害防救科技研發，強化基礎設施中有關環境資料庫之調查蒐集與建置及應用。

本計畫屬於交通部運輸研究所 111 年科技綱要計畫「陸運及港灣設施防災技術研究(1/4)」之分項計畫「港灣環境災防創新應用研究」下執行之子計畫。本計畫之重要性如下：

1. 每年對於運研所發展之海象模擬作業化系統，提供維護及改善工作。
2. 提供「港灣環境資訊系統」臺灣周圍海域及商港區域較細緻風浪、潮流資訊。
3. 提供港區內靜穩分析及預測資訊，俾利港務公司辦理工程設計業務、輔助船舶管理及促進進出港航行安全。
4. 擴充發展商港外廓防波堤越波模組，以提供港務公司災防應變使用。

本計畫「臺灣近岸海象預測系統 2.0」內結合港研中心「港灣環境資訊系統」，平時提供風場、波浪、水位及流場等即時海象資訊，以供各港務單位港口船舶交通航運安全使用，於颱風期間或面臨緊急海難及各種海岸災害(包括海岸公路)等防救時，亦可迅速提供救災必要海象模擬資訊。

1.3 相關本計畫

港研中心自民國 92 年起著手於整合近岸海象數值模擬與海象觀測資料之研究計畫，建構適用於臺灣本土四周海域之海象數值模擬與預警系統。規劃中的「近岸海象數值模擬及預警系統」架構，如圖 1.1 所示，顯示此海象數值模擬及預警系統之規劃係以結合波浪、水位、海流、海嘯及污染擴散等相關數值模式，以及相關海象即時觀測系統，構建成整合

性的近岸海域海象數值模擬及預警系統為研究方向。整體研究先期計畫係由中山大學陳陽益教授及李忠潘教授所組成的跨領域研究團隊及港研研究中心研究人員共同進行合作研究，除了參考國內外近海海象預測系統及相關海象數值模式的發展與應用外，並依據臺灣周圍海域海象特性及模擬需求，規劃不同尺度與解析度之數值計算網格及其適用的相關海象數值模式。在研究團隊整合研究下，陸續完成相關軟、硬體之建置，以及海象數值模擬相關作業化模組開發。同時由港研中心與國立中山大學共同合作於民國 96 年取得「臺灣近岸海象預報系統(Taiwan Coastal Operational Modeling System)」之專利權，並將整個近岸海象數值模擬作業化系統移轉至港研中心運作與維護至今。

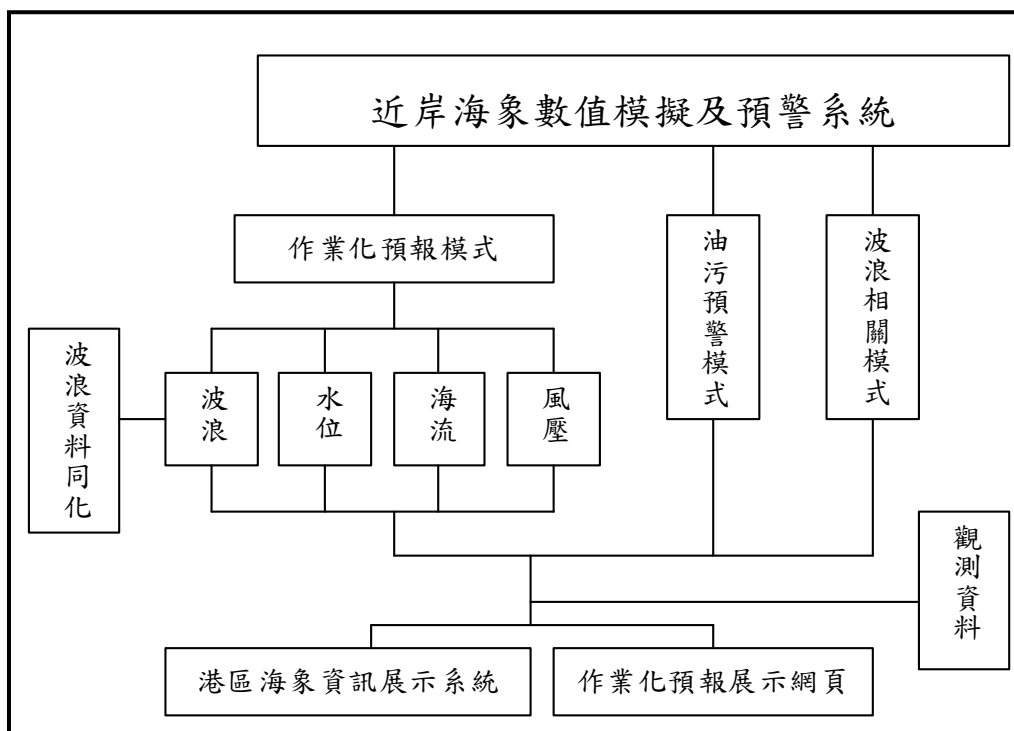


圖 1.1 2003 年近岸海象數值模擬及預警系統架構圖

之後，港研中心於四年期計畫(民國 96~99 年)「臺灣近岸防救災預警系統技術與作業化之研究」中，持續推動下列研究：(1)近岸風浪模擬技術之研發及預警精度改進研究；(2)結合港研中心相關計畫之海象即時監測作業，發展颱風波浪模擬技術，建置近岸防災預警方法，以減低颱風期間海岸災害破壞；(3)近岸防災預警系統之作業化研究，加強作業效能之提昇，預測系統採人性化操作界面，以利相關單位使用。先後，完

成基隆港等七大商港小尺度近岸波浪模式及水動力模式建置與作業化模擬等研究。

由於臺灣附近水域的地形與環境複雜，仍有諸多影響因子需要持續進行研究與改善，港研中心另於四年期計畫(民國 100~103 年)進行「整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究」分項研究計畫，分別於 100 年及 101 年同時進行「提昇海岸及港灣海域波浪模擬技術之研究」與「提昇海岸及港灣海域水位與海流模擬技術之研究」等合作研究計畫；102 年整合成「提昇海岸及港灣海域海象模擬技術之研究」合作研究計畫，103 年改為「臺灣主要商港海象模擬技術之精進及系統維運」合作研究計畫。目的為了提升海岸及港灣海域海象模擬技術之研究，除了進行現有波浪、潮位及海流等海象預測系統的維護，以及相關預測與實測資料的比較分析以外，並將進一步探討水位對風浪預測的影響與系統建置，此外也進行近岸海象預測系統的改善尋求其他可能方案。

港研中心在 104 年科技計畫「海洋防災科技及永續發展計畫(3/4)」綱要計畫之分項計畫，持續推動「港灣海象模擬暨溢淹資訊建置之研究」兩年期計畫，分別於 104 年辦理「海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運」及 105 年辦理「105 年海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運」等合作研究計畫。除了針對現有臺灣主要商港海象預報系統進行校修及維運，執行預測與實測資料之比較分析外，並完成離島澎湖海域波浪、水位及流場等海象模擬子系統，提供臺灣本島與澎湖群島間細緻化海域海象模擬資訊。

後續在科技計畫「海洋及交通運輸防災技術研究」之分項計畫「港灣環境資訊整合及防災應用研究」下陸續辦理「港灣海象模擬技術及預警系統研發」(106 年)以及 107~110 年「海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運」等合作計畫。除了針對現有臺灣主要商港海象預測系統進行校修及維運，執行預測與實測資料之比較分析外，於 106 及 107 年持續針對臺灣東南海域包含臺東富崗漁港、綠島南寮漁港、蘭嶼開元漁港及屏東後壁湖漁港等港口進行小尺度風浪、水位及流場模擬系統建置研究，以期提供細緻化海象模擬資訊研究，確保臺灣本島東海海域藍色公路海上航行安全。108 及 109 年完成東部海域包括花蓮海域及蘇澳海域小尺度風浪組建置，並以花蓮港為對象著手研究長浪對港域靜穩之影響，

結合風浪模擬預測系統建置港域靜穩模擬預測系統；110 年盤點系統各模組必要性，重整海象模擬作業系統，優化海象模擬流程；完成基隆海域小尺度風浪模組及水動力模組建置，並利用花蓮港及蘇澳港港內、外波浪觀測資料，校修花蓮港及蘇澳港港域波浪模組相關參數值，達成優化花蓮港及蘇澳港港內靜穩模擬目的。

1.4 研究範圍

本計畫研究內容包含風力、波浪、水位及海流等海氣象資訊，本年度研究對象及範圍，除了臺灣周圍海域及離島澎湖海域外，同時以臺灣基隆海域為重點研究對象，其範圍自北部海岸富貴角向東延伸至三貂角間海岸區域，區域內基隆港海域為北部重要國際商港，如圖 1.2 所示。



圖 1.2 本計畫研究範圍與對象之示意圖

1.5 本年度研究內容及工作項目

本計畫「海氣象預測模擬系統之維運與精進」研究期程為 4 年，各年期工作項目說明如下：

1.5.1 第 1 年期(111 年)：精進基隆海域模組

本年度(111 年)主要研究內容及工作項目如下：

1. 海象模擬作業化系統校修與維運：維護運研所「臺灣近岸海象預測系統 2.0」(TaiCOMS 2.0)正常運作，每年配合系統軟硬體設備更新，辦理各模式測試、上線、資料統計、繪圖輸出等相關工作。
2. 海象模擬作業化系統改善研究：針對系統內各處理子系統、模組或作業化流程，辦理模組改善、研究或作業化流程新增、修訂工作。
3. 臺灣周圍海域風浪模擬與校驗：依據港研中心風浪觀測資料(或中央氣象局、水利署)校驗模式模擬結果，作為後續模式修正之依據，並針對本年度或歷史颱風資料進行模擬與評估。
4. 臺灣周圍海域水動力模擬與校驗：依據港研中心(或中央氣象局、水利署)水位及海流觀測資料校驗模式模擬結果，並針對本年度或歷史颱風資料進行模擬與評估，作為後續模式修正之依據。
5. 海象模擬作業化系統預測成果評估：針對運研所港研中心於臺灣本島及離島(馬祖)等 9 個主要商港觀測之風力、波浪、水位及流場資料，進行當年度預測成果評估工作並產製評估報告。
6. 精進基隆海域風浪模組：延續前(110)年度初步完成北端海域風浪模組，本(111)年度更名為基隆海域風浪模組，應用基隆港波浪觀測資料校驗並納入海象模擬作業化系統，完成模組上線作業。
7. 精進基隆海域水動力模組：延續前(110)年度初步完成北端海域水動力模組，本(111)年度更名為基隆海域水動力模組，應用基隆港潮位觀測資料校驗並納入海象模擬作業化系統，完成模組上線作業。
8. 新建基隆港靜穩模擬模組：建置基隆港區靜穩分析模組，應用基隆港設置之港內觀測站與港外長期觀測站，進行模組校驗工作。
9. 發展花蓮港外廓防波堤越波模組：在花蓮港區靜穩分析模組研究成果上，擴充發展外廓防波堤越波模組。

- 10.為建立相關數值模擬系統及數值預測系統之模式計算、資料庫維護管理、資料統計、繪圖等工作，需派碩士級（含）以上專業人員一員至港研中心駐點服務，其人員工作期間為履約時限(自簽約日起算)。
- 11.針對計畫重要成果，製作可供相關內部成果會議或活動展示之海報或影片電子檔。
- 12.將本期計畫成果投稿港灣季刊、國內外期刊或學術研討會。
- 13.辦理成果行銷推廣活動：視需要配合參與行政院「災害防救科技創新服務方案」(108年-111年)成果展，辦理成果行銷推廣事宜。
- 14.參考「政府研究資訊系統(GRB)」之「績效指標(實際成果)資料格式」及「佐證資料格式」，就本計畫成果之特性，選填合適績效指標項目，並以量化或質化方式，說明本計畫主要研究/計畫成果及重大突破。

1.5.2 第 2 年期(112 年)：建置高雄海域模組

1. 海象模擬作業化系統校修與維運：維護運研所「臺灣近岸海象預測系統 2.0」(TaiCOMS 2.0)正常運作，每年配合系統軟硬體設備更新，辦理各模式測試、上線、資料統計、繪圖輸出等相關工作。
2. 海象模擬作業化系統改善研究：針對系統內各處理子系統、模組或作業化流程，辦理模組改善、研究或作業化流程新增、修訂工作。
3. 臺灣周圍海域風浪模擬與校驗：依據港研中心風浪觀測資料(或中央氣象局、水利署)校驗模式模擬結果，作為後續模式修正之依據，並針對本(112)年度或歷史颱風資料進行模擬與評估。
4. 臺灣周圍海域水動力模擬與校驗：依據港研中心(或中央氣象局、水利署)水位及海流觀測資料校驗模式模擬結果，並針對本(112)年度或歷史颱風資料進行模擬與評估，作為後續模式修正之依據。
5. 海象模擬作業化系統預測成果評估：針對運研所港研中心於臺灣本島及離島(馬祖、澎湖、金門)等 11 個主要商港觀測之風力、波

浪、水位及流場資料，進行當年度預測成果評估工作並產製評估報告。

6. **發展基隆港外廓防波堤越波模組：**在基隆港區靜穩分析模組研究成果上，擴充發展基隆港外廓防波堤越波模組。
7. **高雄海域基本資料蒐集與分析：**高雄海域海象特性及地形水深蒐集及分析。
8. **高雄海域風浪模組建置：**因高雄港務分公司辦理「高雄港洲際貨櫃中心第二期工程計畫」使高雄港型改變，調整高雄港模型，並新建高雄海域風浪模組，應用高雄港波浪觀測資料完成模式驗證工作。
9. **高雄海域水動力模組建置：**因高雄港務分公司辦理「高雄港洲際貨櫃中心第二期工程計畫」使高雄港型改變，調整高雄港模型，並新建高雄海域水動力模組，應用高雄港潮位觀測資料完成模式驗證工作。
10. **建置高雄港區靜穩模組：**初步建置高雄港區靜穩模組，並應用港區內靜穩觀測站與港外長期觀測站進行模組校驗作業。
11. 為建立相關數值模擬系統及數值預測系統之模式計算、資料庫維護管理、資料統計、繪圖等工作，需派碩士級（含）以上專業人員一員至本所港研中心駐點服務以執行系統維運工作，駐點服務期間為決標次日起至 113 年度新合約之決標日止，專業工程師資格符合所需資歷與薪資。
12. 針對計畫重要成果，製作可供相關內部成果會議或活動展示之海報或影片電子檔。
13. 將本期計畫成果投稿港灣季刊、國內外期刊或學術研討會。
14. 辦理成果行銷推廣活動。
15. 參考「政府研究資訊系統(GRB)」之「績效指標(實際成果)資料格式」及「佐證資料格式」，就本計畫成果之特性，選填合適績效指標項目，並以量化或質化方式，說明本計畫主要研究/計畫成果及重大突破。

1.5.3 第 3 年期(113 年)：精進高雄海域模組

1. 海象模擬作業化系統校修與維運：維護運研所「臺灣近岸海象預測系統 2.0」(TaiCOMS 2.0)正常運作，每年配合系統軟硬體設備更新，辦理各模式測試、上線、資料統計、繪圖輸出等相關工作。
2. 海象模擬作業化系統改善研究：針對系統內各處理子系統、模組或作業化流程，辦理模組改善、研究或作業化流程新增、修訂工作。
3. 臺灣周圍海域風浪模擬與校驗：依據港研中心風浪觀測資料(或中央氣象局、水利署)校驗模式模擬結果，作為後續模式修正之依據，並針對本(113)年度或歷史颱風資料進行模擬與評估。
4. 臺灣周圍海域水動力模擬與校驗：依據港研中心(或中央氣象局、水利署)水位及海流觀測資料校驗模式模擬結果，並針對本(113)年度或歷史颱風資料進行模擬與評估，作為後續模式修正之依據。
5. 海象模擬作業化系統預測成果評估：針對運研所港研中心於臺灣本島及離島(馬祖、澎湖、金門)等 11 個主要商港觀測之風力、波浪、水位及流場資料，進行當年度預測成果評估工作並產製評估報告。
6. **精進高雄海域風浪模組**：延續前(112)年建置高雄海域風浪模組工作，應用風浪觀測資料校修並納入海象模擬作業化系統執行。
7. **精進高雄海域水動力模組**：延續前(112)年建置高雄海域水動力模組工作，應用潮位觀測資料校修並納入海象模擬作業化系統執行使用。
8. **精進高雄港區靜穩模擬模組**：延續前(112)年度初步辦理建置高雄港區靜穩分析模組工作，持續精進並納入海象模擬作業化系統運作。
9. 為建立相關數值模擬系統及數值預測系統之模式計算、資料庫維護管理、資料統計、繪圖等工作，需派碩士級（含）以上專業人員一員至本所港研中心駐點服務以執行系統維運工作，駐點服務

期間為決標次日起至 113 年度新合約之決標日止，專業工程師資格符合所需資歷與薪資。

10. 針對計畫重要成果，製作可供相關內部成果會議或活動展示之海報或影片電子檔。
11. 將本期計畫成果投稿港灣季刊、國內外期刊或學術研討會。
12. 辦理成果行銷推廣活動。
13. 參考「政府研究資訊系統(GRB)」之「績效指標(實際成果)資料格式」及「佐證資料格式」，就本計畫成果之特性，選填合適績效指標項目，並以量化或質化方式，說明本計畫主要研究/計畫成果及重大突破。

1.5.4 第 4 年期(114 年)：建置臺北海域模組

1. 海象模擬作業化系統校修與維運：維護運研所「臺灣近岸海象預測系統 2.0」(TaiCOMS 2.0)正常運作，每年配合系統軟硬體設備更新，辦理各模式測試、上線、資料統計、繪圖輸出等相關工作。
2. 海象模擬作業化系統改善研究：針對系統內各處理子系統、模組或作業化流程，辦理模組改善、研究或作業化流程新增、修訂工作。
3. 臺灣周圍海域風浪模擬與校驗：依據港研中心風浪觀測資料(或中央氣象局、水利署)校驗模式模擬結果，作為後續模式修正之依據，並針對本(114)年度或歷史颱風資料進行模擬與評估。
4. 臺灣周圍海域水動力模擬與校驗：依據港研中心(或中央氣象局、水利署)水位及海流觀測資料校驗模式模擬結果，並針對本(114)年度或歷史颱風資料進行模擬與評估，作為後續模式修正之依據。
5. 海象模擬作業化系統預測成果評估：針對運研所港研中心於臺灣本島及離島(馬祖、澎湖、金門)等 11 個主要商港觀測之風力、波浪、水位及流場資料，進行當年度預測成果評估工作並產製評估報告。

6. **臺北海域基本資料蒐集與分析：**臺北海域海象特性及地形水深蒐集及分析。
7. **臺北海域風浪模組建置：**因應臺北港完成港區擴建工程，調整臺北港模型，並新建臺北海域風浪模組，應用臺北港波浪觀測資料完成模式驗證工作。
8. **臺北海域水動力模組建置：**因應臺北港完成港區擴建工程，調整臺北港模型，並新建臺北海域水動力模組，應用臺北港潮位觀測資料完成模式驗證工作。
9. **建置臺北港區靜穩分析模組：**建置臺北港區靜穩分析模組，並應用港區內靜穩觀測站與港外長期觀測站進行模組校驗作業。
10. 為建立相關數值模擬系統及數值預測系統之模式計算、資料庫維護管理、資料統計、繪圖等工作，需派碩士級（含）以上專業人員一員至本所港研中心駐點服務以執行系統維運工作，駐點服務期間為決標次日起至 114 年度新合約之決標日止，專業工程師資格符合所需資歷與薪資。
11. 針對計畫重要成果，製作可供相關內部成果會議或活動展示之海報或影片電子檔。
12. 將本期計畫成果投稿港灣季刊、國內外期刊或學術研討會。
13. 辦理成果行銷推廣活動。
14. 參考「政府研究資訊系統(GRB)」之「績效指標(實際成果)資料格式」及「佐證資料格式」，就本計畫成果之特性，選填合適績效指標項目，並以量化或質化方式，說明本計畫主要研究/計畫成果及重大突破。

第二章 臺灣近岸海象模擬作業化系統維運與改善研究

2.1 海象模擬作業化系統簡介

港研中心建構的臺灣近岸海象預測系統(Taiwan Coastal Operational Modeling System, TaiCOMS)整體架構如圖 2.1 所示，包含了即時海象觀測網、海象模擬作業化系統及港灣環境資訊網等三部份。其中海象模擬作業化系統係由風場處理系統、波浪模擬系統、水動力(水位、流場)模擬系統及海嘯模擬系統等四個子系統組成。本計畫海象模擬作業化系統維運對象包括風場處理系統、波浪模擬系統及水動力模擬系統等，其整體架構如圖 2.2 所示。

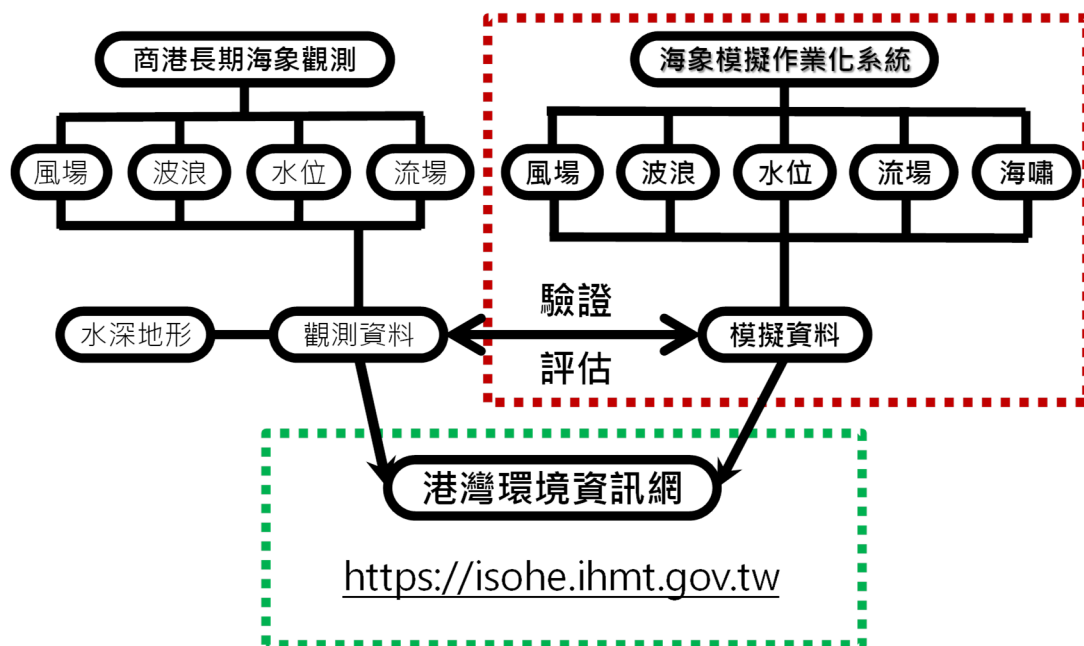


圖 2.1 臺灣近岸海象預測系統整體架構圖

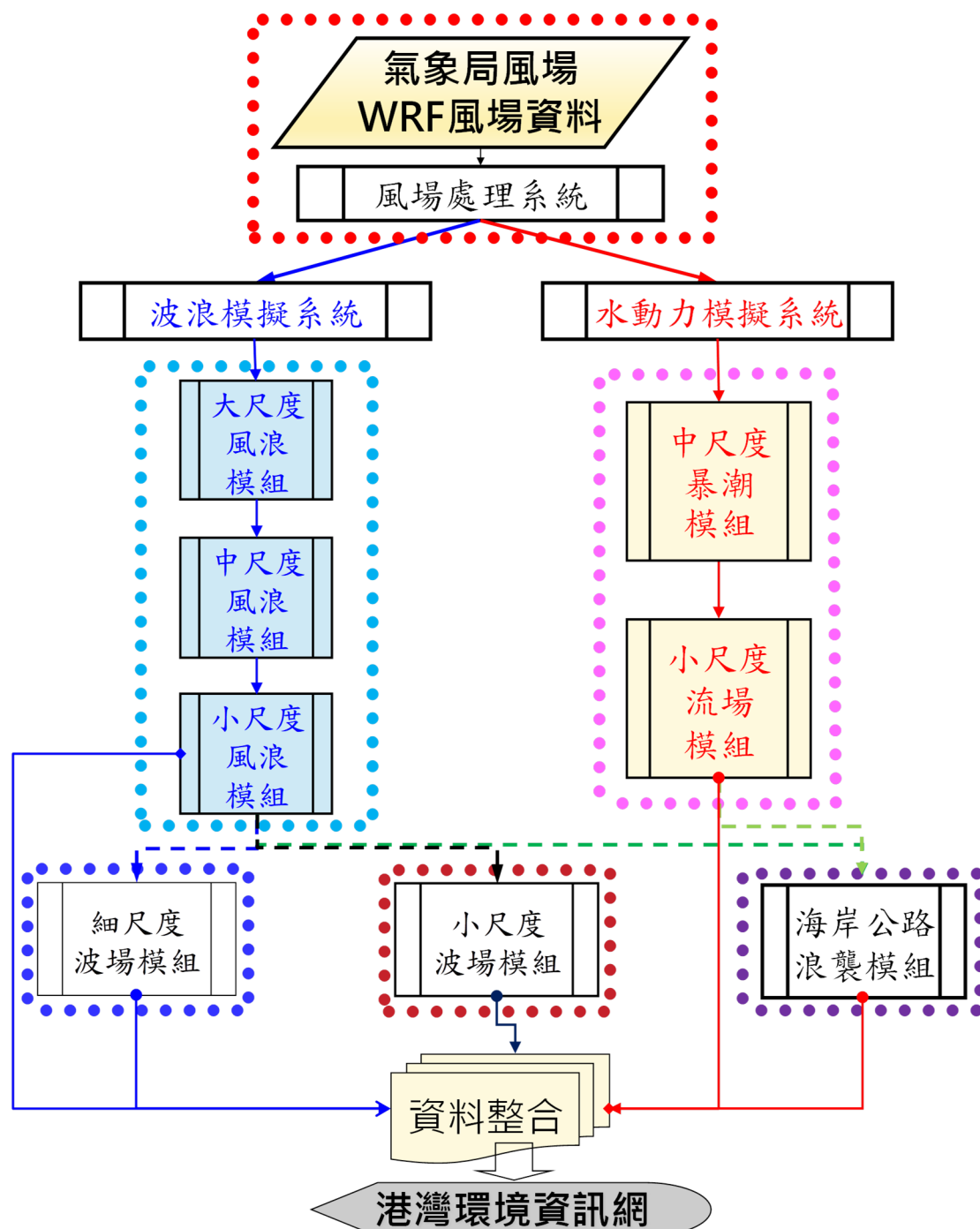


圖 2.2 海象模擬作業化系統 2.0 之整體架構圖

2.1.1 風場處理作業系統

風場處理作業系統主要目的為處理交通部中央氣象局(以下簡稱氣象局)提供之天氣數值預報資料，產出波浪模擬系統及水動力模擬系統所需之風、壓場預測資料，以及提供港灣環境資訊網展示之風、壓場預測資訊。目前風場處理作業系統採用 Linux 作業系統，處理流程包括自中央氣象局 ftp 下載的天氣數值預報資料、資料解碼、重組及內插等。風場處理

系統之整體架構如圖 2.3 所示，圖中重組資料包括產出每日 1 次作業化風壓場及 4 次作業化風壓場等。

目前氣象局提供港研中心每日 2、8、14 及 20 時天氣數值預報資料，分別來自於 WRF (Weather Research and Forecast) 成員 M04 及 M05；二者水平網格同為解析度 15km/3km 之巢狀網格，本計畫分別以 WD01 及 WD02 表示之；二者網格差異性在於成員 M04 模擬範圍屬於固定不變，如圖 2.4 所示，成員 M05 水平解析度 3km 網格模擬範圍區分為四種版本(本計畫以 WD02、WDW2、WDN2 及 WDS2 表示之)，如圖 2.5 所示；其中 3km 網格使用方式係隨颱風之路徑及位置，採浮動方式因應之。有關成員 M04 及 M05 水平網格資訊，詳如表 2-1 及表 2-2 所列。

對 TaiCOMS 2.0 而言，重組風壓場資料屬於海面 10m 高度風場及海面氣壓場資料，依資料範圍及網格解析度區分為西太平洋風場及氣壓(以 WE01 表示)及臺灣海域風場及氣壓(WE02)兩種類型，相關網格資訊如表 2-3 所列：

1. 西太平洋風場及氣壓(WE01)：資料範圍為北緯 10°至 40°，東經 105°至 150°，網格解析度採用 1/6°(或 10')之球面坐標規則網格，網格大小為 271×181。由成員 M04 或 M05 水平方向解析度 15km 網格資料(WD01)產出，如圖 2.6 所示。
2. 臺灣海域風場及氣壓(WE02)：資料範圍為北緯 20°至 29°，東經 116°至 125°，網格解析度採用 1/30°(或 2')之球面坐標規則網格，網格大小為 271×271。由成員 M04 或 M05 水平方向解析度 3km 網格資料(WD02)產出，如圖 2.7 所示。

本計畫作業化風壓場重組方式區分為每日 1 報作業化風壓場及每日 4 報作業化風壓場，簡述如下：

1. 每日 1 次風場及氣壓：資料時間長度為 73 小時(即 0 ~ 72 時)，代表昨日、今日及明日模擬預測風壓場，其中前 24 小時提供每日 1 報海象追算模擬使用，後 48 小時代表系統預測之作業化風壓場。本計畫每日 1 報作業化模擬之風壓場資料構成方式，如圖 2.8 所示，係採用離系統發布時間(每日 3 時)最近之六組中央氣象局預報風壓場資料組合而成。圖中 D-1 代表作業化日期 D 之前一天，

“_00”、“_06”、“_12”及“_18”代表中央氣象局每報及風場預報起始之 UTC 時間(分別相當於臺北時區 8、14、20 及次日 2 時)，WRF 風場每次預報長度為 84 小時(即 0~84 共 85 組資料)。另考量中央氣象局 WRF 每報初始階段風場具調整場特性，因此，針對中央氣象局每報風壓場截取時段之起點設定為每報 6 時。基於 TaiCOMS 系統時間採用臺北時區，即每日作業化起始時間為 0 時，故每日(D) 1 次作業化風壓場 0~72 時係由氣象局預報風壓場 D-2_06.10~11、D-2_12.06~11、D-2_18.06~11、D-1_00.06~11、D-1_06.10~11 及 D-1_12.06~52 等逐時資料組合而成。

2. 每日 4 次風場及氣壓：資料時間長度為 55 小時(即 0 ~ 54 時)，其中前 6 小時提供每日 4 報海象追算模擬使用，後 48 小時代表系統預測之作業化風壓場。本計畫每日 4 次作業化模擬之風壓場資料構成方式，如圖 2.9 所示，係採用離系統發布時間(每日 3、9、15 及 21 時)最近之三組中央氣象局預報風壓場資料組合而成。

表 2-1 中央氣象局 WRF 成員 M04 水平兩層巢狀網格資訊表

DMS FLAP	坐標系統	dimension	resolution	格點位置
WD01	Lambert conformal mapping	661×385	15 km	Center(120E), true (10N, 40N) , 坐標(340,214)位置位於(30N,120E) , 中心點坐標為(331,192)位置位於 (26.926N,118.5908E) 底圖 左下點(-5.693677°N,78.02554°E) 右上點(43.28705°N,-179.5461°E)
WD02	Lambert conformal mapping	1,158×673	3km	Center(120E), true (10N, 40N) , 坐標(522,547)位置位於(30N,120E) , 中心點坐標為(579.5,337)位置位於 (24.1285N,121.7601E) 底圖 左下點(14.02224°N,105.2500°E) 右上點(32.12021°N,140.91388°E)

表 2-2 中央氣象局 WRF 成員 M05 水平兩層巢狀網格資訊表

DMS FLAP	坐標系統	dimension	resolution	格點位置
WD01	Lambert conformal mapping	661×385	15 km	Center(120E), true (10N, 40N) , 坐標(340,214)位置位於(30N,120E) , 中心點坐標為(331,192)位置位於 (26.926N,118.5908E) 底圖 左下點(-5.693677°N,78.02554°E) 右上點(43.28705°N,-179.5461°E)
WD02	Lambert conformal mapping	1,158×673	3km	Center(120E), true (10N, 40N) , 坐標(522,547)位置位於(30N,120E) , 中心點坐標為(579.5,337)位置位於 (24.1285N,121.7601E) 底圖 左下點(14.02224°N,105.2500°E) 右上點(32.12021°N,140.91388°E)
WDW2	Lambert conformal mapping	1,158×673	3km	坐標(522,547)位置位於 (25.6859N,113.789E) , 底圖 左下點(9.28319°N, 100.28052°E) 右上點(28.70159°N, 133.88763°E)
WDS2	Lambert conformal mapping	1,158×673	3km	坐標(522,547)位置位於 (25.36114N,131.6087E) , 底圖 左下點(10.65799°N, 115.97919°E) 右上點(25.97729°N, 151.71252°E)
WDN2	Lambert conformal mapping	1,158×673	3km	坐標(522,547)位置位於 (33.6782N,132.47064E) , 底圖 左下點 (18.89073°N, 115.71506°E) 右上點(34.07277°N, 154.05664°E)

表 2-3 TaiCOMS 海象模擬作業化系統之風壓場資料格式

模式	dimension	模式格網 度(°)	格點位置
西太平洋風壓場 WE01	271×181	1/6°≈0.167°	左下點(10N,105E) 右上點(40N,150E)
臺灣海域風壓場 WE02	271×271	1/30°≈0.033°	左下點(20N,116E) 右上點(29N,125E)

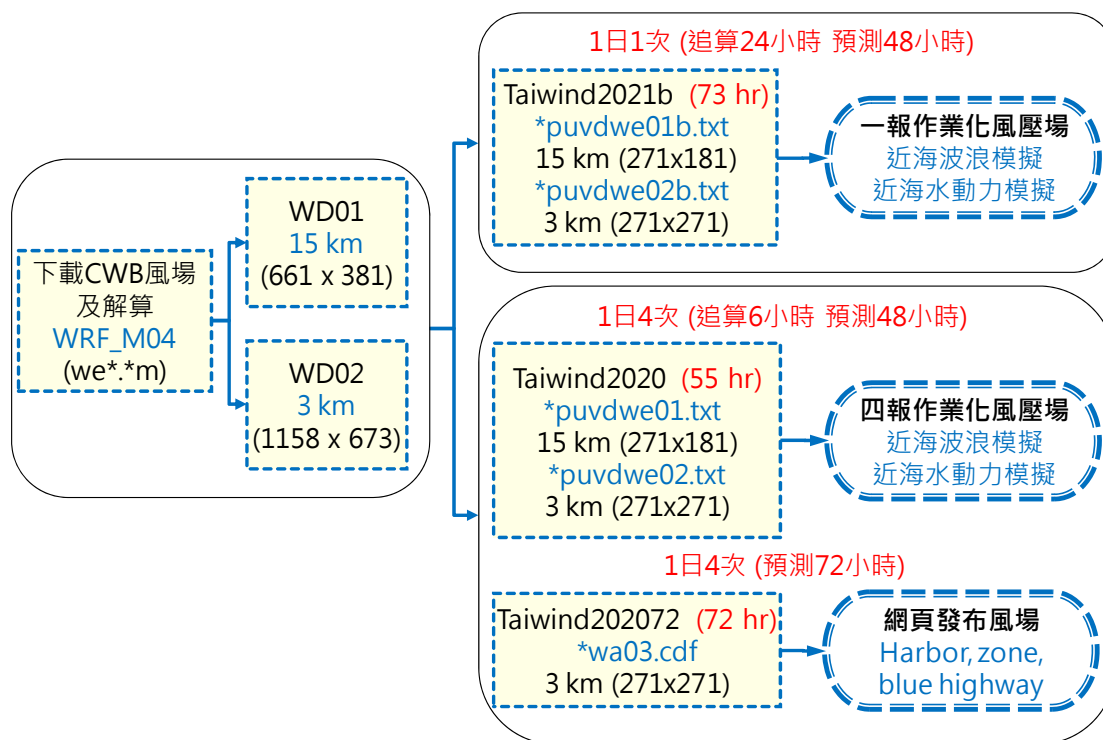


圖 2.3 風場處理作業系統組成架構圖

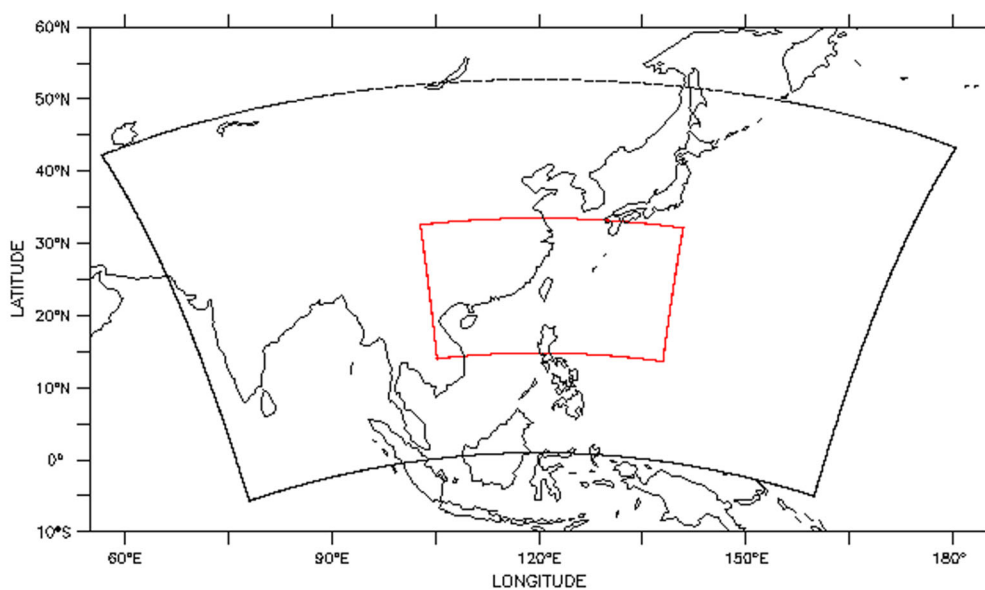


圖 2.4 氣象局 WRF 成員 M04 水平網格模擬範圍圖

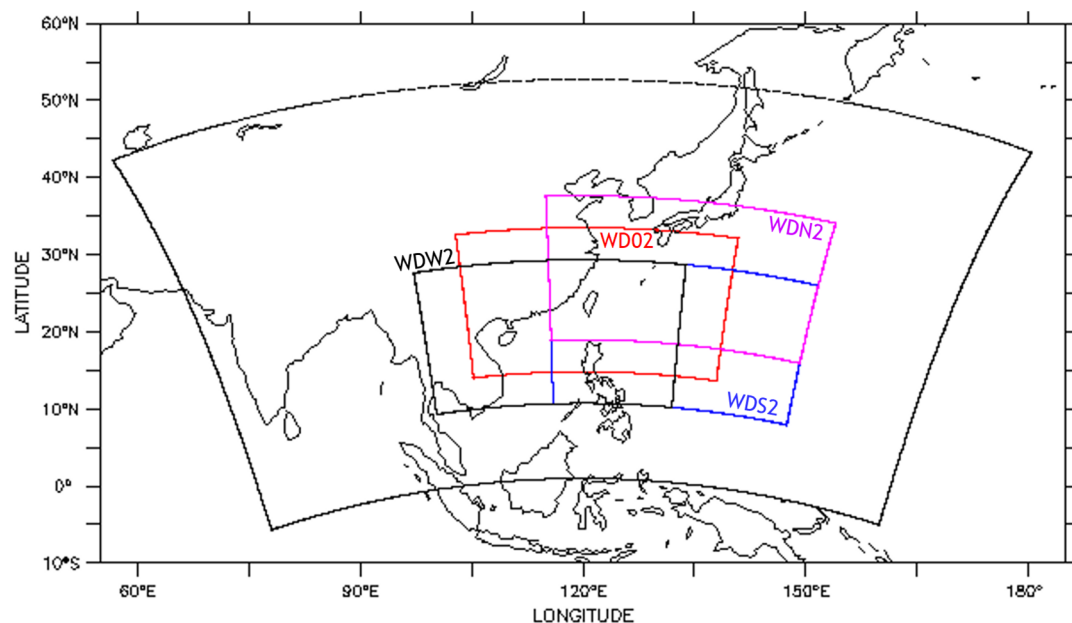


圖 2.5 氣象局 WRF 成員 M05 水平網格與浮動網格模擬範圍圖

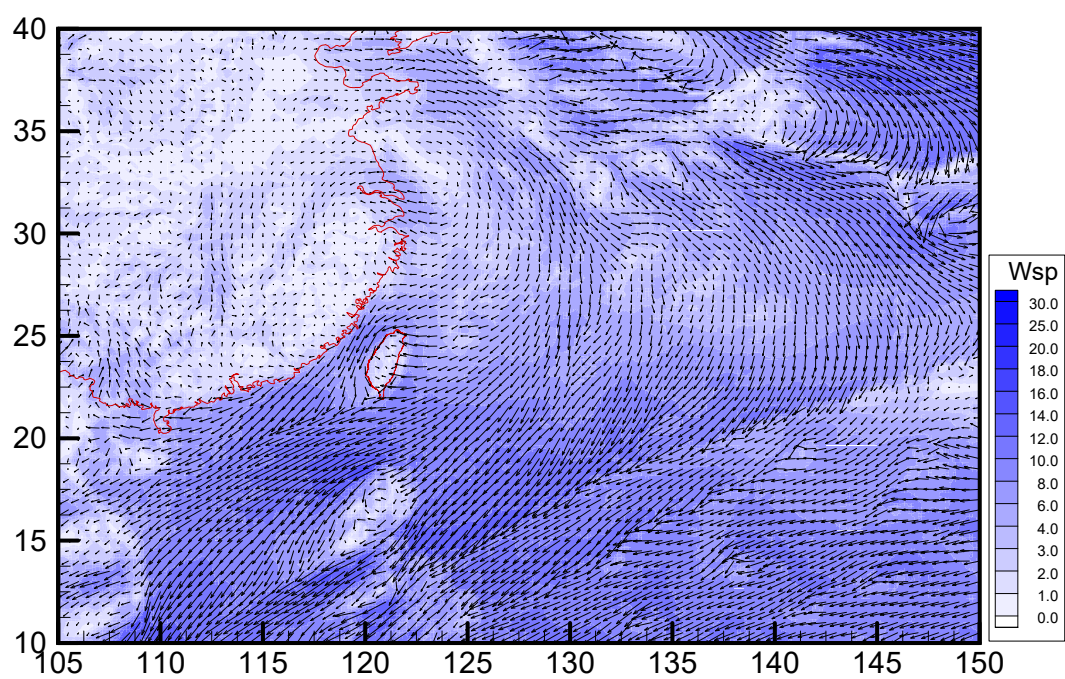


圖 2.6 西太平洋風壓場(WE02)風場輸出範圍圖

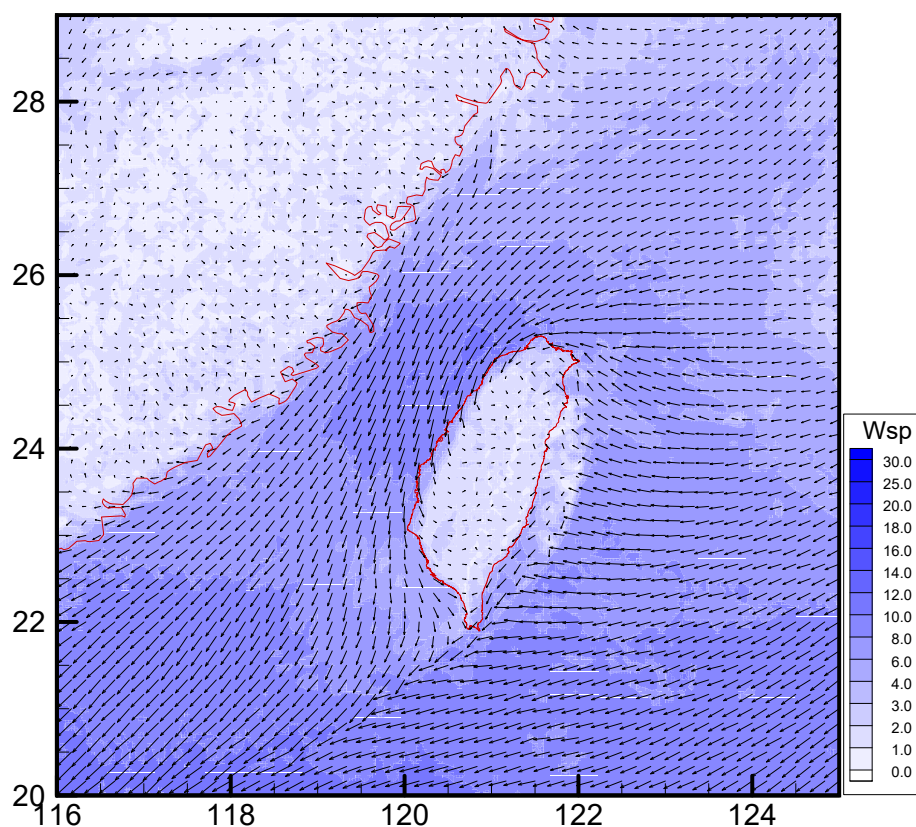
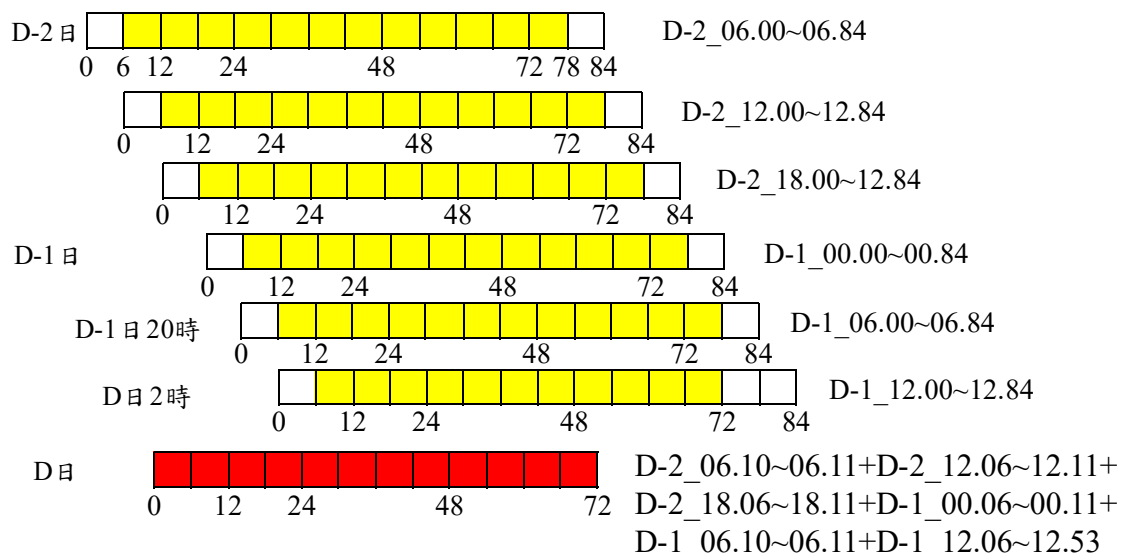


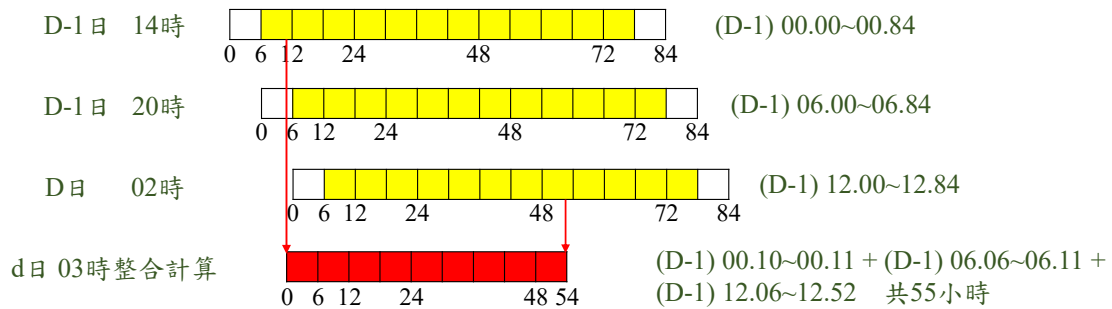
圖 2.7 臺灣海域風壓場(WE02)風場輸出範圍圖



備註：風力預報（黃），提供波浪及水動力預報（紅）每日1次

圖 2.8 每日 1 次海象作業化模擬預報風場之組合方式圖

風場公布時間
UTC+8



每日'4' RUN, 使用最近三筆風場組合資料

圖 2.9 每日 4 次海象作業化模擬之預報風場組合方式圖

2.1.2 波浪模擬系統

波浪模擬系統主要目的為提供國內主要商港航安及維運所需之波浪模擬預測資訊。因此，波浪模擬系統發展包括臺海風浪模擬及港區波浪模擬(參考圖 2.2 所示)；其中臺海風浪模擬子系統組成包括大尺度遠域風浪模組、中尺度近域風浪模組及小尺度近海風浪模組等。臺海風浪模擬目的之一為提供各港區波浪模擬預測所需之外海風浪輸入條件；港區波浪模擬系統區分為近岸波浪模擬子系統及港域波浪模擬子系統，後者可提供各商港港口及港內碼頭區波浪模擬預測資訊。

目前臺海風浪模擬子系統之組成架構及作業化模擬流程，如圖 2.10 所示，其組成包括一個遠域風浪模組(西太平洋範圍風浪模組)、一個近域風浪模組(臺灣周圍範圍風浪模組)及數個近海風浪模組等，構建成三層巢狀網格風浪模擬子系統。各模組之特性及功用如下：

1. 遠域風浪模組：模擬範圍為西太平洋北緯 10° 至 35° ，東經 110° 至 145° 之海域，如圖 2.11 所示；數值計算格網採用 0.2° (或 12') 之地球弧形網格，屬於大尺度風浪模組或稱西太平洋範圍風浪模組。遠域風浪模組使用的數值模式為海洋波浪預測模式 WAM (Wave Modeling)，模式相關介紹參考附錄一。目的除了提供西太平洋範圍遠域風浪場模擬資訊外，主要功能為產生作業系統近域風浪模擬所需之開放邊界條件。

2. 近域風浪模組：以臺灣周圍海域為對象，模擬範圍為北緯 20.6°至 28°及東經 117.6°至 123.6°之海域，如圖 2.12 所示；數值計算格網採用 0.04°(或 2.4')之球面坐標規則網格，又稱中尺度風浪模組。近域風浪模組使用的數值模式為荷蘭 Delft 大學所發展之近海風浪模式 SWAN (Simulating Waves Nearshore)，模式簡介詳附錄一。目的提供(1)臺灣周圍海域較高解析度與較精確的風浪場模擬結果，(2)提供各近海風浪模組所需的開放邊界條件，(3)各主要商港近岸及港域波浪模組之預測模擬條件(示性波高、週期、波向等)作為各商港近岸及港域波浪場及港域波浪場模擬之依據。
3. 近海風浪模組：計有離島澎湖海域、金門海域、馬祖海域及臺灣本島東南海域、西南海域、花蓮海域及蘇澳海域等 7 個模組，各模組之模擬範圍，如表 2-4 所列及圖 2.13~圖 2.19 所示；各模組數值計算格網採用解析度 0.008°之數值計算網格，又稱為小尺度風浪模組。同近域風浪模組採用近海風浪模式 SWAN，利用巢狀網格概念由近域風浪模組提供開放邊界上風浪模擬之方向波譜資料作為邊界條件。主要功用包括(1)提供臺灣近海或海上航安更細緻化風浪模擬結果，(2)提供各主要商港近岸或港域波浪模組更精確之預測模擬條件(示性波高、週期、波向等)。

表 2-4 本計畫近海海域風浪模組之數值計算網格資訊表

模組名稱	範圍		解析度 (°)	格點數
	經度(°) 最小值/最大值	緯度(°) 最小值/最大值		
澎湖海域	119.00/120.56	22.80/24.20	0.008	186×176
金門海域	117.80/118.88	24.04/24.72	0.008	136×086
馬祖海域	119.44/120.84	25.56/26.72	0.008	176×146
東南海域	120.76/122.00	21.52/23.00	0.008	156×186
西南海域	119.80/120.88	21.52/22.52	0.008	136×126
花蓮海域	121.40/122.40	23.28/24.24	0.008	126×121
蘇澳海域	121.64/122.40	24.24/25.12	0.008	96×111

本計畫臺海風浪模擬子系統係建置在 Windows 系統下，在設計上整合各模組模擬輸入檔之生成、作業化模擬流程及模擬結果後處理程序，透過 Fortran 程式編撰並整合成一個風浪模擬作業化執行程式(.EXE)。其中風浪模式 WAM 及 SWAN 在本計畫設計之模擬流程，分別如圖 2.20 及

圖 2.21 所示，其中模擬流程區分為冷啟動及熱啟動兩類型，近海風浪模組則利用不同視窗同步執行方式為之。

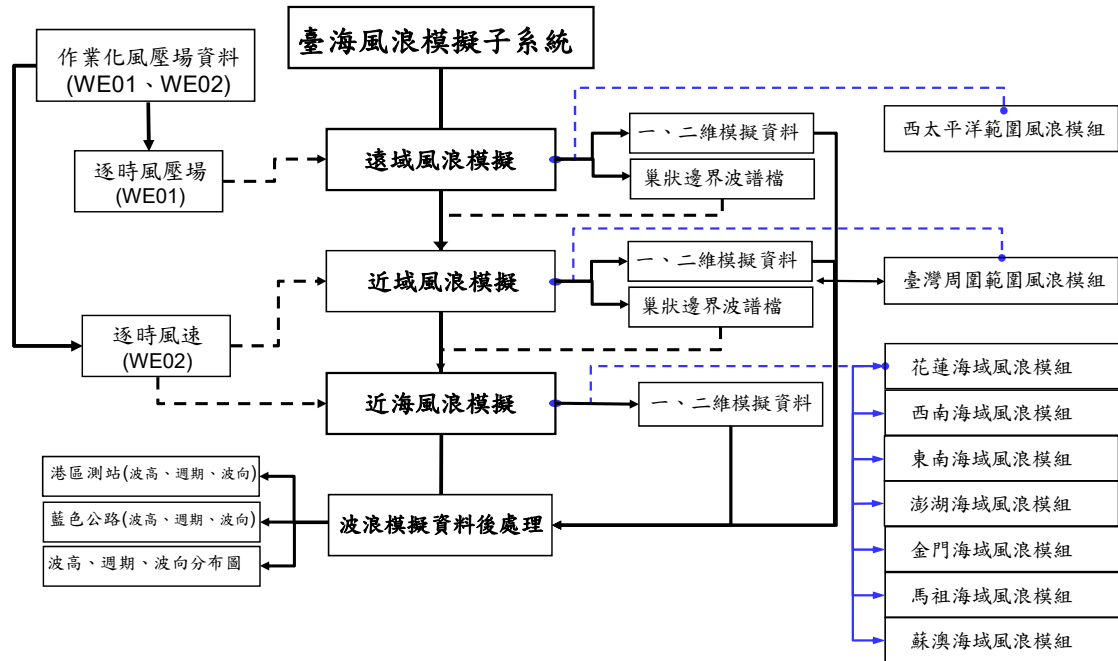


圖 2.10 臺海風浪模擬子系統模擬架構圖

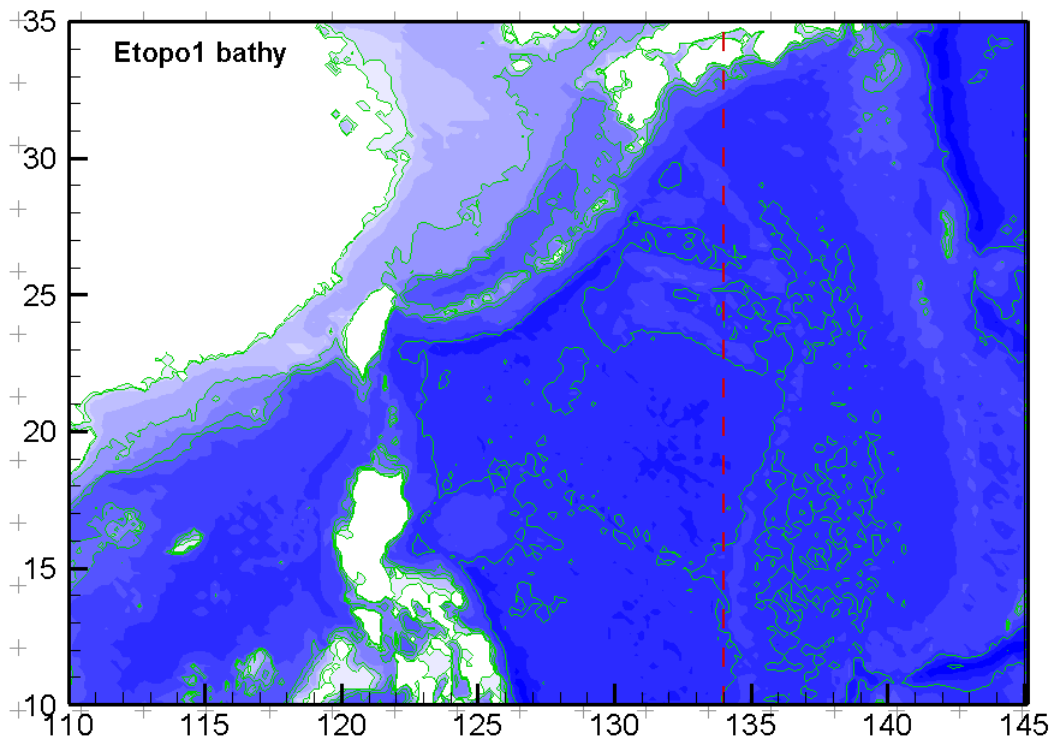


圖 2.11 大尺度遠域風浪模組模擬範圍圖

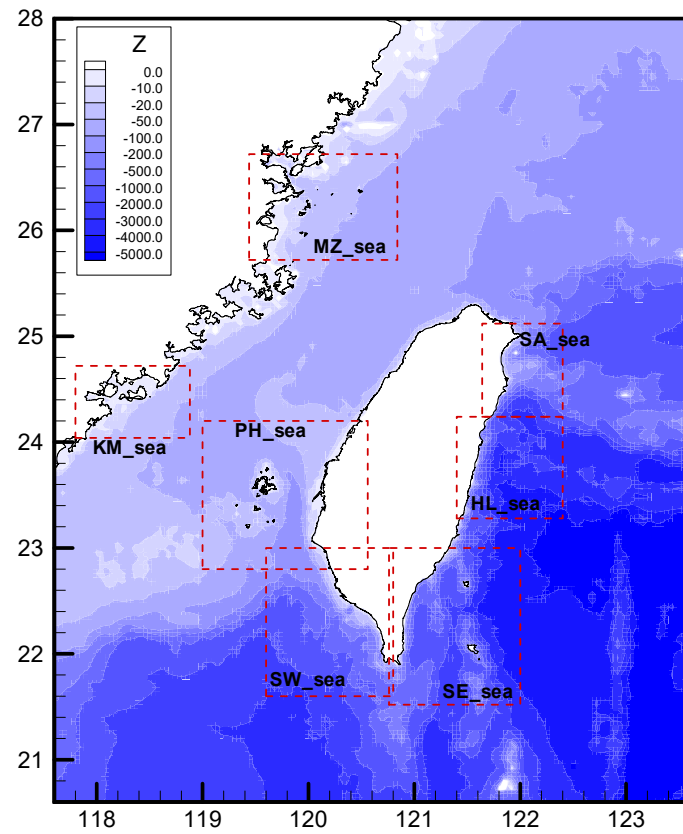


圖 2.12 中尺度近域風浪模組模擬範圍圖

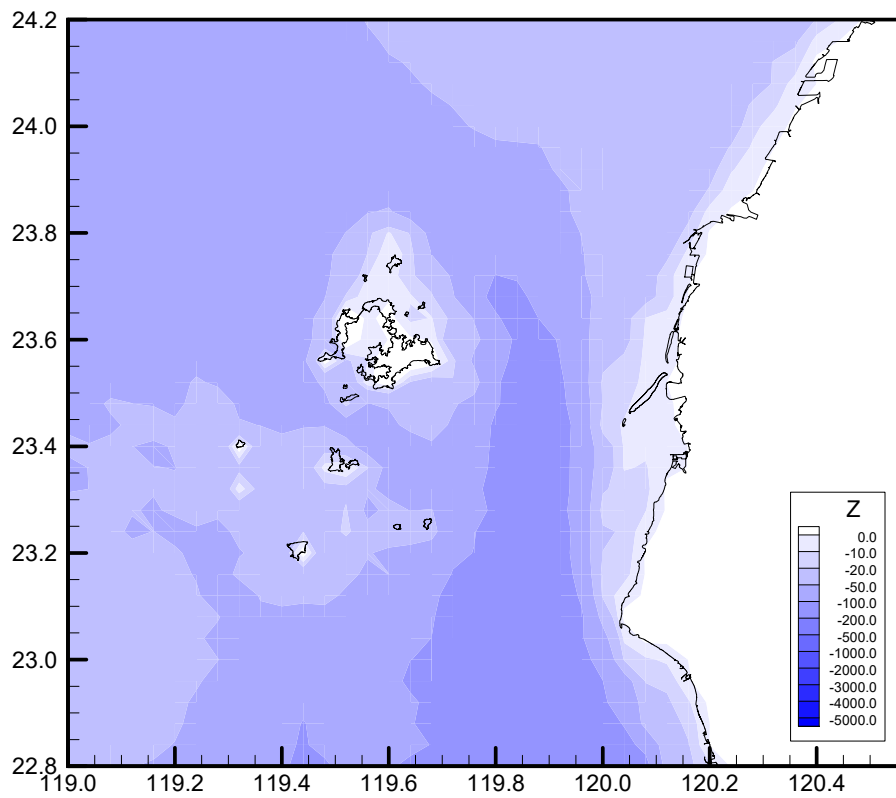


圖 2.13 小尺度澎湖海域(PH sea)風浪模組模擬範圍圖

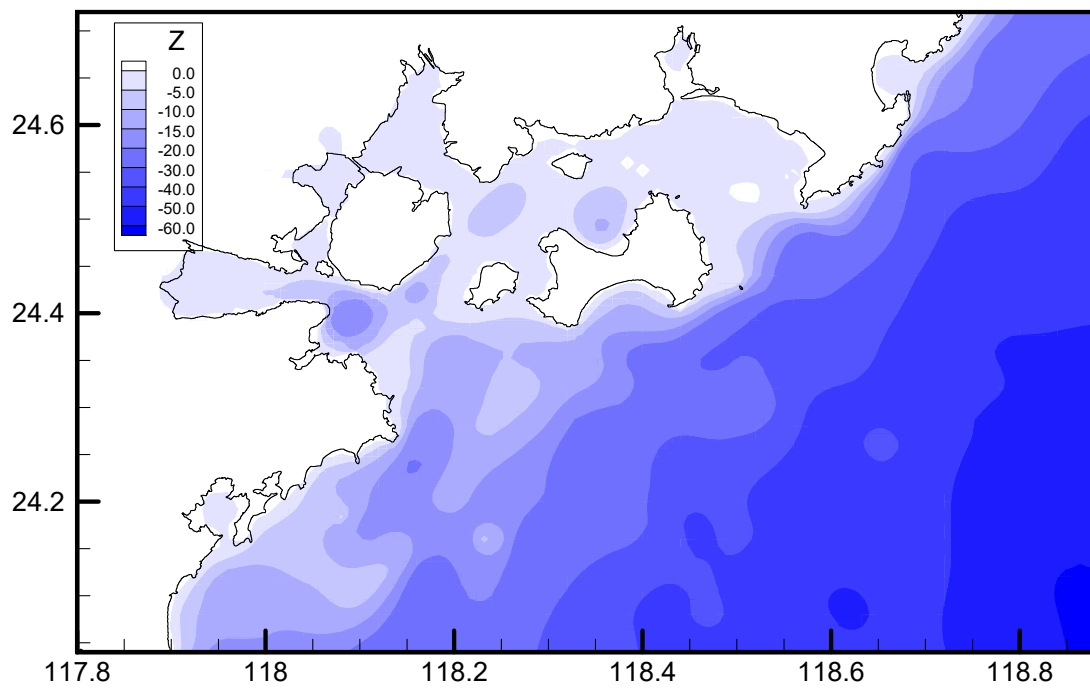


圖 2.14 小尺度金門海域(KM sea)風浪模組之模擬範圍圖

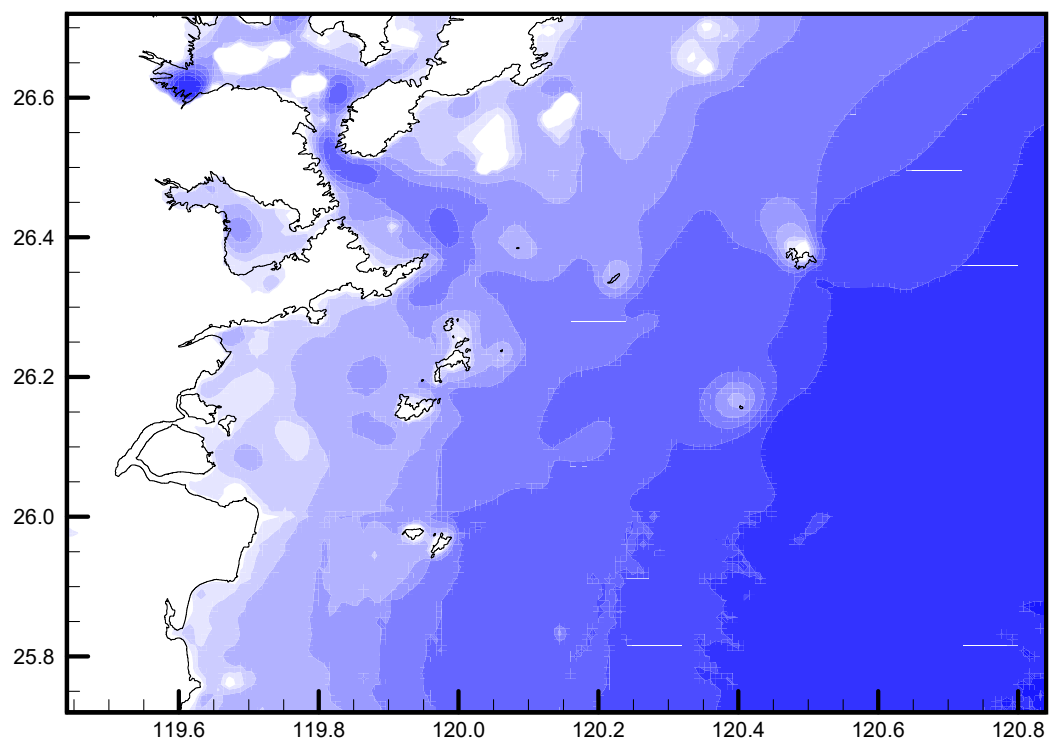


圖 2.15 小尺度馬祖海域(MZ sea)風浪模組之模擬範圍圖

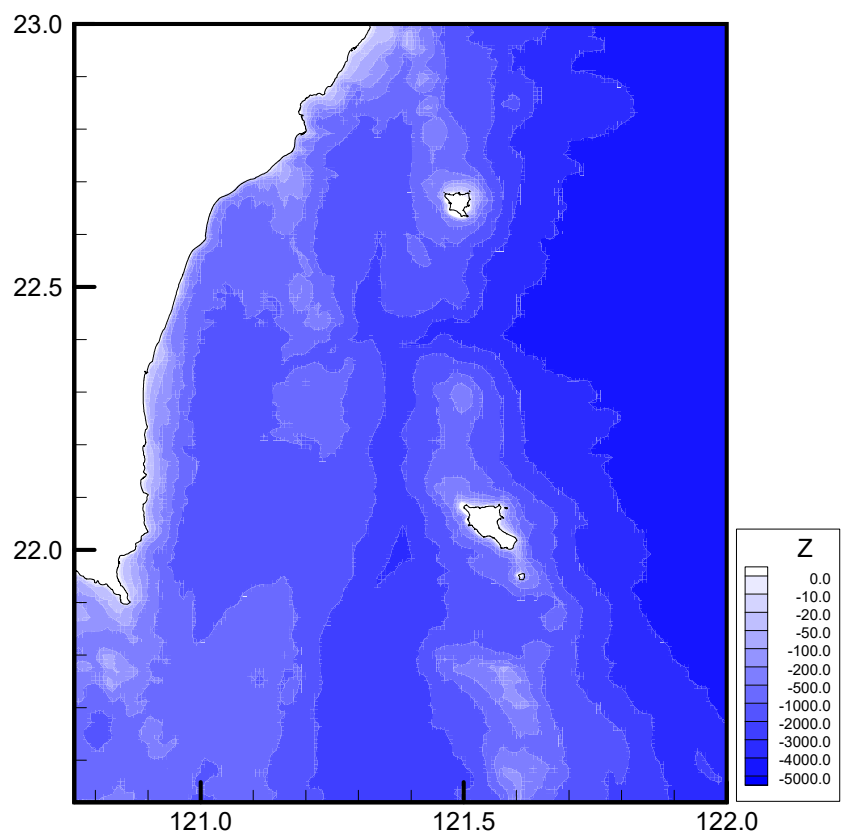


圖 2.16 小尺度東南海域(SE sea)風浪模組之模擬範圍圖

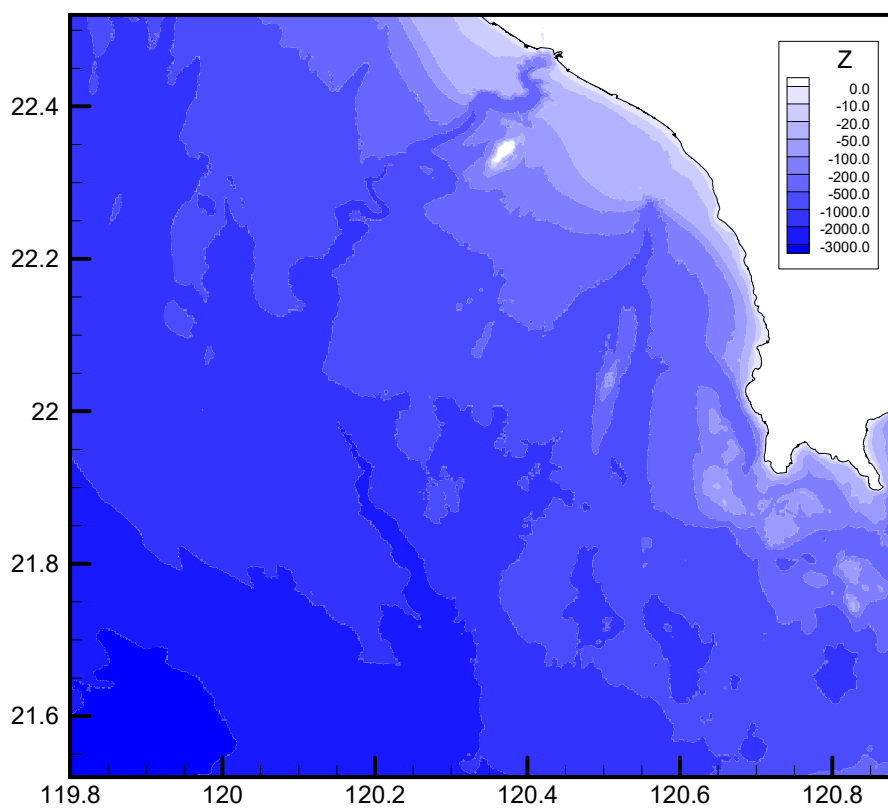


圖 2.17 小尺度西南海域(SW sea)風浪模組之模擬範圍圖

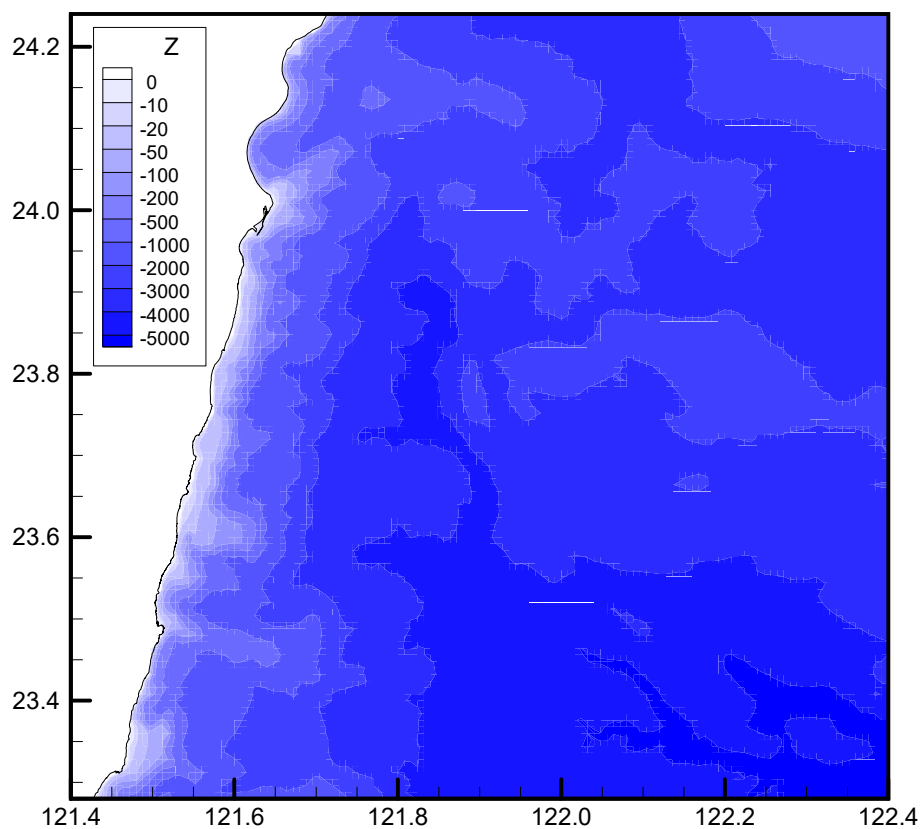


圖 2.18 小尺度花蓮海域(HL sea)風浪模組之模擬範圍圖

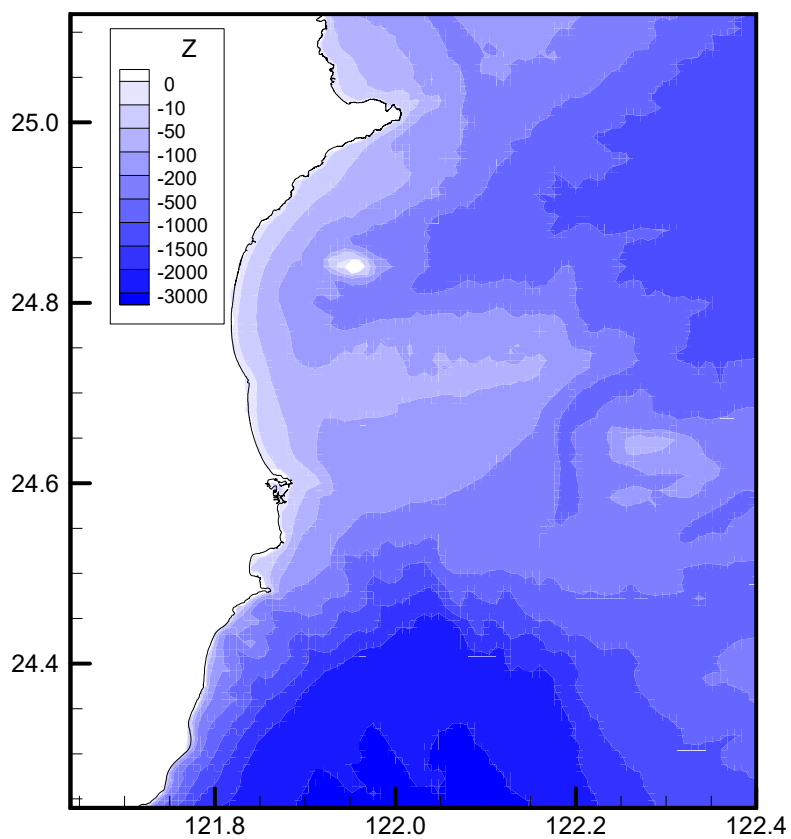


圖 2.19 小尺度蘇澳海域(SA sea)風浪模組之模擬範圍圖

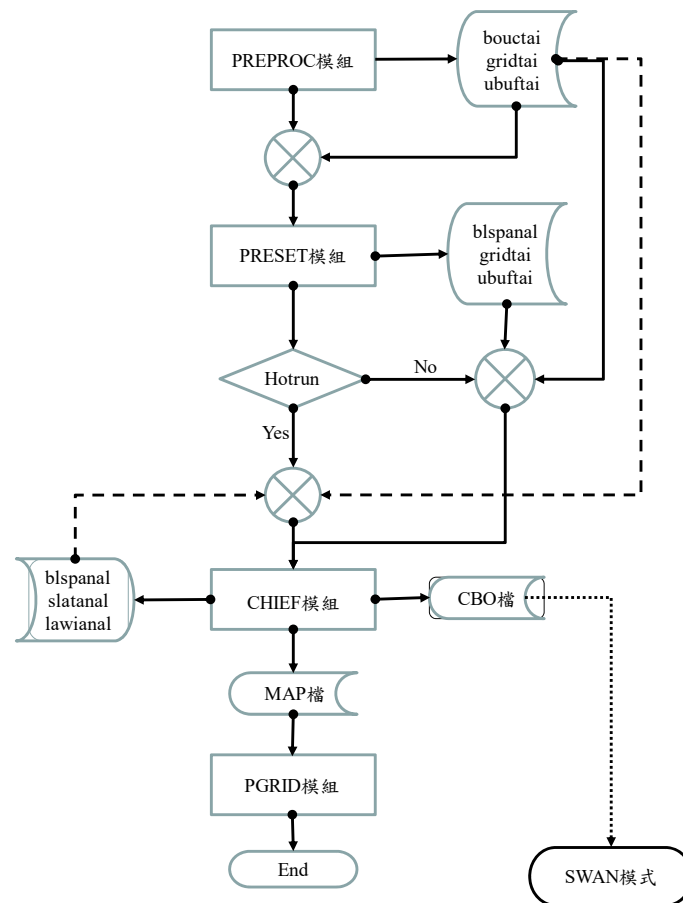


圖 2.20 風浪模式 WAM 之模式架構及執行流程圖

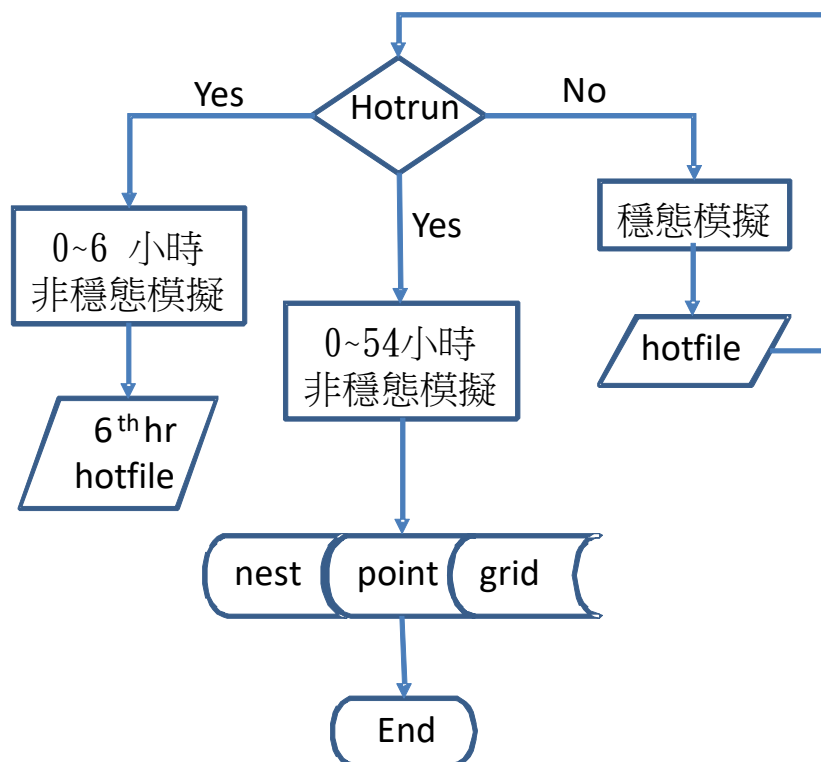


圖 2.21 風浪模式 SWAN 之模式執行架構及流程圖

近岸波浪模擬子系統建置於 Linux 作業系統，係以基隆港、臺北港、臺中港、布袋港、安平港、高雄港、花蓮港及蘇澳港等 8 個主要商港為模擬對象，各港區近岸波浪模組之模擬範圍，如圖 2.22 所示，採用的數值計算格網為解析度 10 m 之規則網格，網格相關資料如表 2-5 所列，又稱為小尺度近岸波浪模組。TaiCOMS 近岸波浪模擬採用的數值模式為，Kirby and Dalrymple (1983) 依據拋物線型緩坡方程式所發展的波浪折、繞射數值模式(REF/DIF 1)，其基本理論說明如附錄一所述。在模擬系統設計上，近岸波浪模擬子系統各港波場模擬流程採用逐一執行方式為之，最後再結合後處理程式產生各港口展出之資訊及圖檔。近岸波浪模擬子系統為每日 1 報，即每日作業化模擬預測時間長度為 73 小時(昨日、今日及明日)。由每日 1 報風浪模擬系統提供中尺度風浪模組之逐時模擬值，即鄰近各港口 AWAC 波浪觀測站之逐時示性波高、譜峰週期及平均波向等模擬預測值，作為各港口近岸波浪逐時波場模擬條件。

表 2-5 主要商港港區近岸波浪模組之數值參考網格基本資料

波浪模組 名稱	原點坐標(tw97 二度分帶)		坐標系統 旋轉角度	網格大小 (10m)
	X(m)	Y(m)		
基隆港	322,539.0	2,787,360.0	256.0°	621× 731
臺北港	278,577.0	2,784,690.0	-55.0°	801× 1,301
臺中港	198,113.0	2,696,163.0	-36.0°	1,001× 1,901
布袋港	150,038.7	2,579,393.8	11.00°	1,601× 901
安平港	160,526.8	2,531,091.8	31.44°	1,401× 1,041
高雄港	177,877.0	2,487,555.0	38.0°	801× 1,701
蘇澳港	342,011.8	2,725,729.3	185.00°	601× 801
花蓮港	316,892.0	2,655,232.0	150.0°	321× 801

港域波浪模擬子系統建置於 Windows 系統下，同樣以基隆港、臺北港、臺中港、布袋港、安平港、高雄港、花蓮港及蘇澳港等 8 個主要商港港域為對象，模擬預測各港港域內波浪場變化情形；各港港域波浪模擬範圍，如圖 2.23 所示。為能夠充份展現港域形狀不規則及波浪場變化受到地形及結構物影響等特性，港域波浪模擬使用的數值計算網格為有限元素三角形網格，且因建置的非結構數值計算網格之解析度高於前述近岸波浪模組，故又稱為細尺度港域波浪模組。港域波浪模擬主要目的為，模擬外海波浪進到港域內波浪場變化情形；因此，考量港域波浪會

受到港口構造物存在及地形水深變化等因素影響，產生波浪折射、繞射、反射及波能損失等作用，故數值模式採用以橢圓型緩坡方程式為基礎的有限元素港域波浪模式，其基本理論描述如附錄一所述。有關各港區細尺度港域波浪模組採用的不規則網格資訊，如表 2-6 所列，各港域波浪模組數值計算網格之適用範圍為週期 8 秒以上波浪。

基於港域波浪模組作業化模擬時間相當費時不符作業化模擬需求，以及適用波浪模擬條件有限制(如波浪週期需大於等於 8 秒)等因素，故港域波浪模擬系統採用預先建立數值模擬結果資料庫設計方式為之，並局限於颱風波浪期間才啟動。

表 2-6 主要商港港域波浪模組之數值計算不規則網格基本資料

波浪模組 名稱	數值計算之三角網格		外海假想邊界 半徑(m)	最大水深 (m)
	元素數目	節點數目		
基隆港	59,694	30,679	1,000.0	50.0
臺北港	268,830	135,484	3,500.0	25.0
臺中港	327,611	166,214	3,500.0	23.0
布袋港	287,564	144,968	1,300.0	7.0
安平港	210,394	107,016	2,000.0	17.0
高雄港一港口	126,709	64,838	2,000.0	15.0
高雄港二港口	214,486	109,157	2,800.0	18.0
花蓮港	122,481	62,116	2,200.0	100.0
蘇澳港	70,797	36,436	826.0	30.0

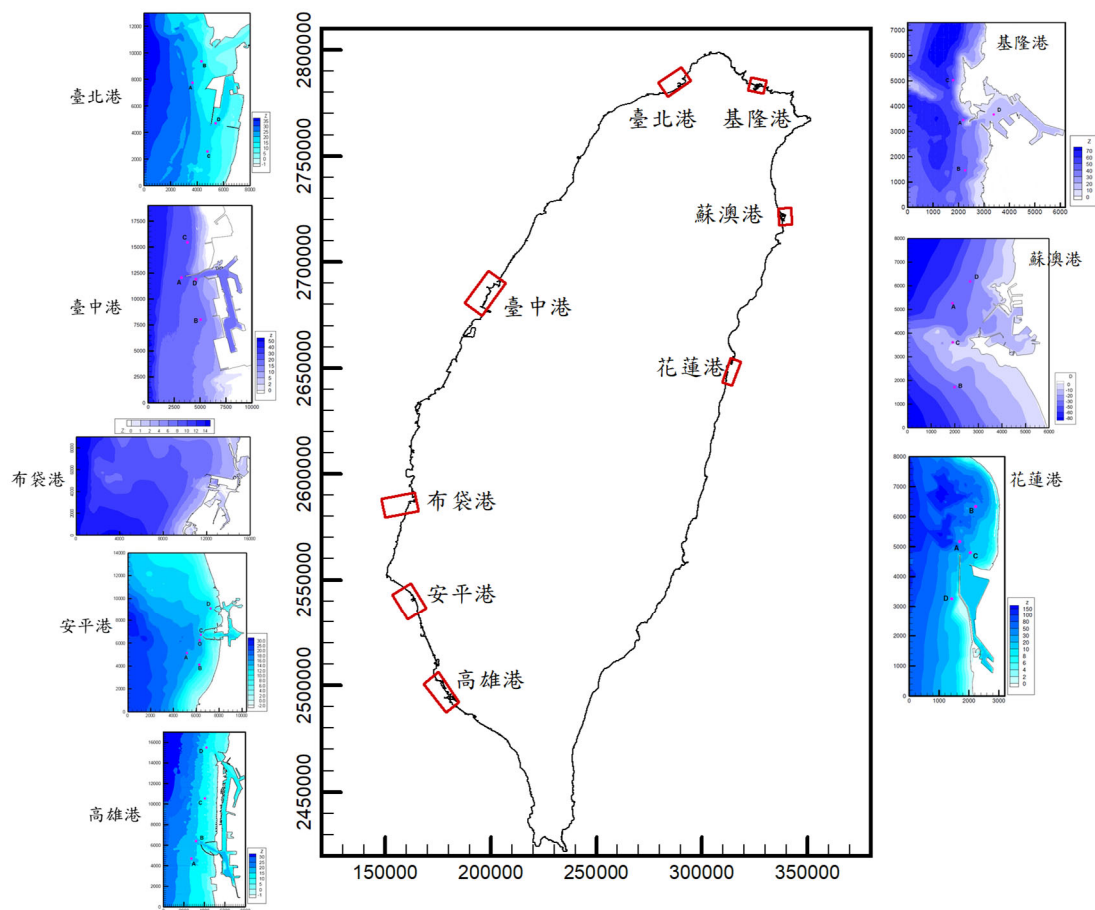
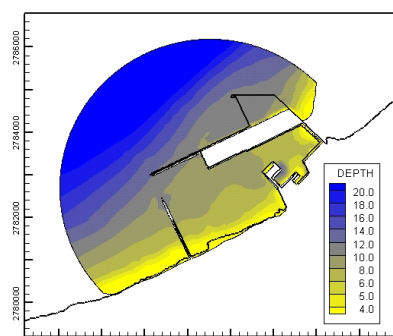
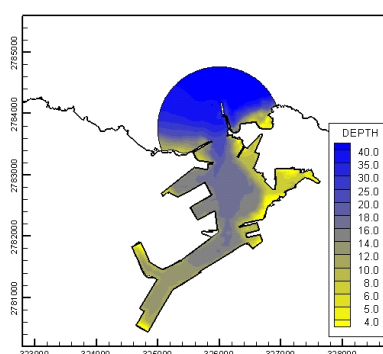


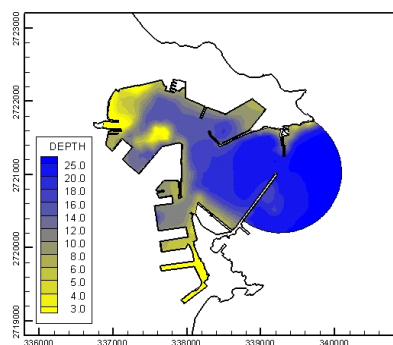
圖 2.22 各主要商港港區近岸波浪模組模擬範圍示意圖



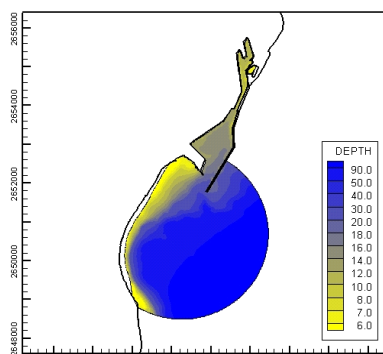
臺北港



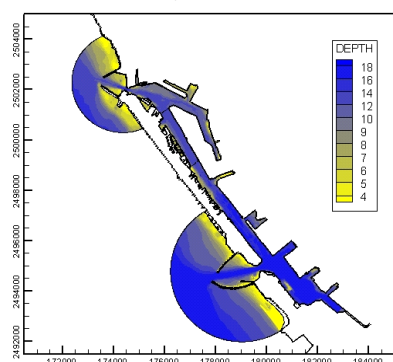
基隆港



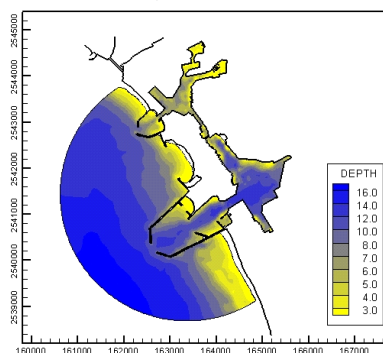
蘇澳港



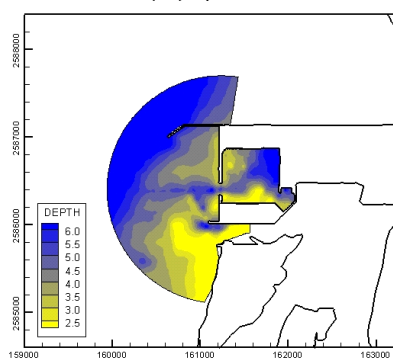
花蓮港



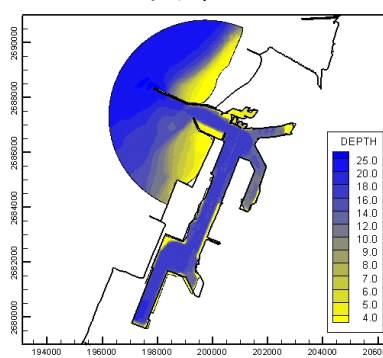
高雄港



安平港



布袋港



臺中港

圖 2.23 各主要商港細尺度港域波浪模組模擬範圍圖

2.1.3 水動力模擬系統

水動力模擬主要目的為提供國內主要商港航安及維運所需之水位及流場預測資訊。臺海水動力模擬子系統組成架構及作業化模擬流程，如圖 2.24 所示，顯示整體組成架構包含 1 個中尺度暴潮模組及數個小尺度港區近岸海域水動力模組。整體作業化模擬流程主要關鍵包括：(1)利用作業化風壓場及預測的天文潮水位邊界條件啟動中尺度水動力模擬，(2)利用中尺度水動力模擬結果產生小尺度模組開放邊界水位預測資料啟動小尺度水動力模擬。

本計畫水動力模擬採用的數值模式屬於水深積分平均之二維有限元素水動力模式(Finite Element Hydraulic Dynamic Model, FEHDM)，模式之基本理論介紹參考附錄二。有關臺海水動力模擬子系統各模組之模擬範圍及網格資訊說明如下：

1. 中尺度暴潮模組：以臺灣周圍海域為模擬範圍，稱為臺灣周圍海域暴潮模組(簡稱臺海暴潮模組)，涵蓋北緯 21° 至 26.5° ，東經 116.5° 至 125° 之海域，如圖 2.25 所示，圖中坐標採用為 6 度分帶坐標系統。模組採用的數值計算網格係由不規則三角形元素構成，計有由 8,237 個節點及 15,800 個三角形元素，如圖 2.26 所示。
2. 小尺度水動力模組：計有基隆港、臺北港、臺中港、安平港、花蓮港、蘇澳港、澎湖海域及金門海域等 8 個小尺度水動力模組，各模組之模擬範圍分別如圖 2.27~圖 2.34 所示，各模組採用的不規則三角網格資訊整理如表 2-7 所列。

本計畫水動力模擬子系統係建置在 Windows 系統下，採用每日 1 報方式設計，透過 Fortran 程式語言編撰各模組每日作業化模擬控制變數輸入檔、作業化模擬執行流程及模擬結果後處理程序，並整合成一個水動力模擬作業化執行程式(.EXE)。同樣地，為縮短作業模擬時間，小尺度水動力模組執行方式採用不同視窗同步為之設計。

表 2-7 本計畫小尺度水動力模組之數值計算不規則網格資訊表

水動力模組 名稱	三角形元素數值計算網格		最小水深 (m)	最大水深 (m)
	元素數目	節點數目		
基隆港	4,745	2,610	3.0	300.0
臺北港	4,341	2,389	3.0	100.0
臺中港	9,300	4,973	4.0	60.0
安平港	13,696	7,481	3.0	50.0
花蓮港	3,014	1,653	4.0	2,000.0
蘇澳港	3,989	2,132	3.0	700.0
澎湖海域	7,807	4,159	3.0	130.0
金門海域	13,745	7,097	4.0	50.0

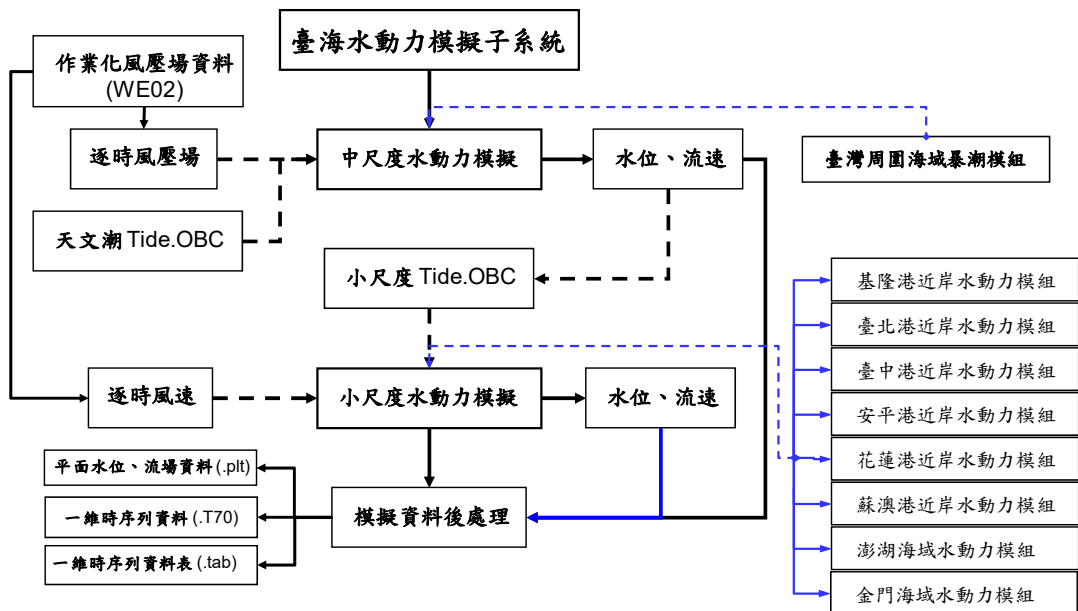


圖 2.24 水動力模擬子系統之組成架構及作業化模擬流程圖

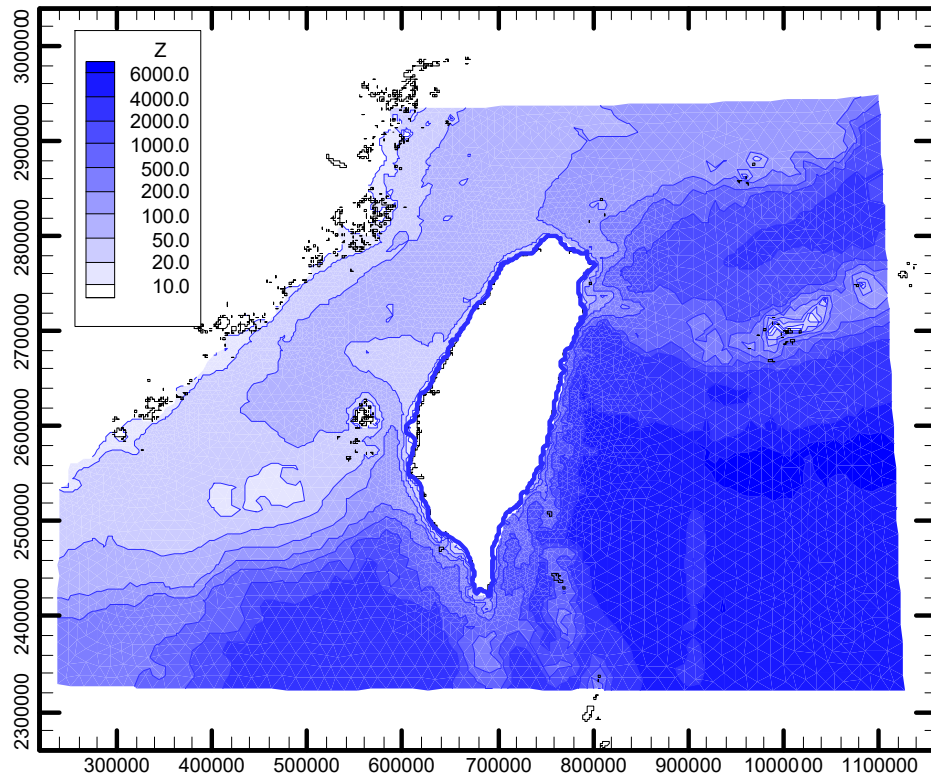


圖 2.25 中尺度水動力模組模擬範圍示意圖

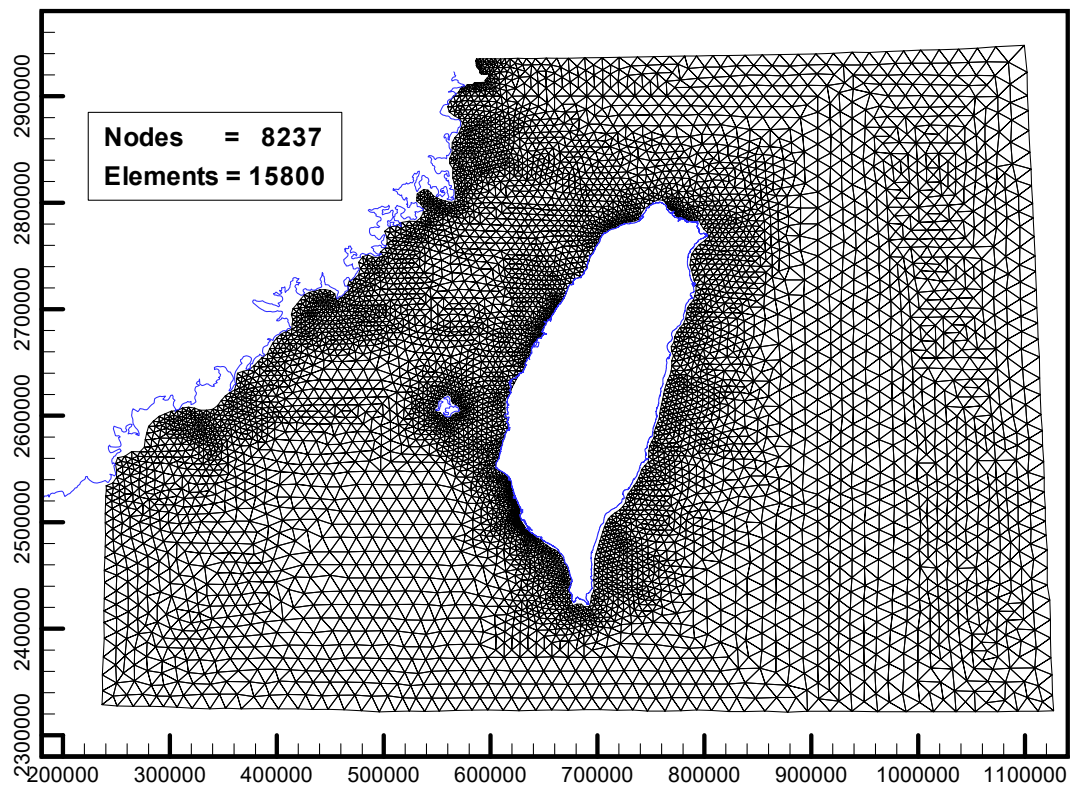


圖 2.26 中尺度水動力模組三角元素網格分布圖

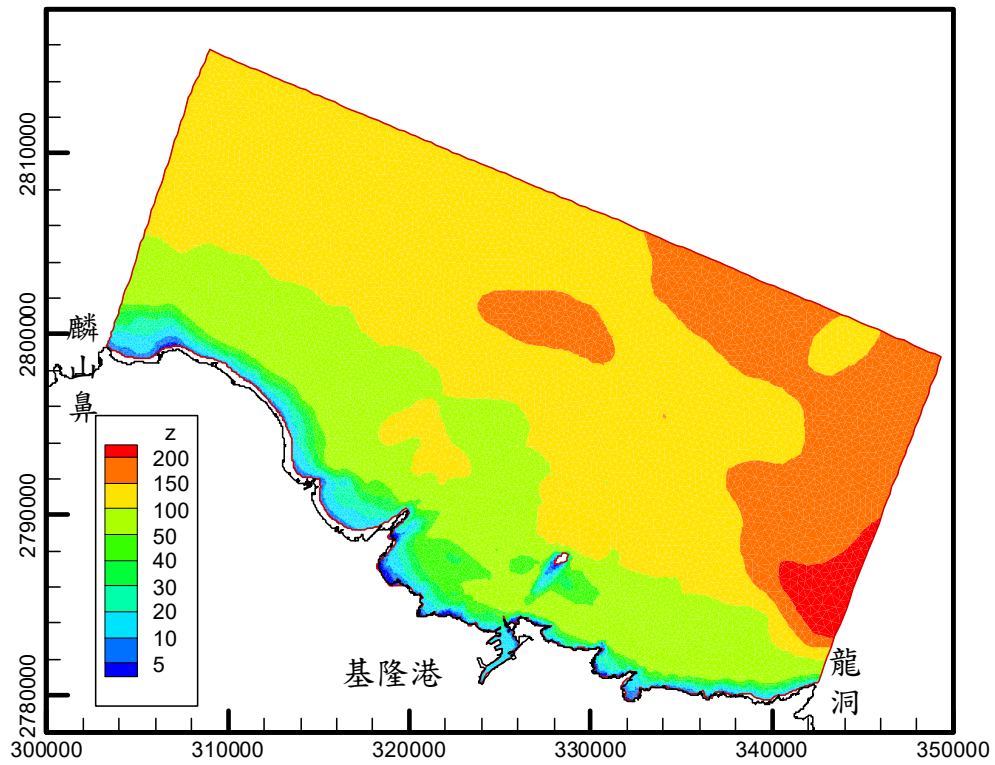


圖 2.27 基隆港小尺度水動力模組之模擬範圍及水深分布圖

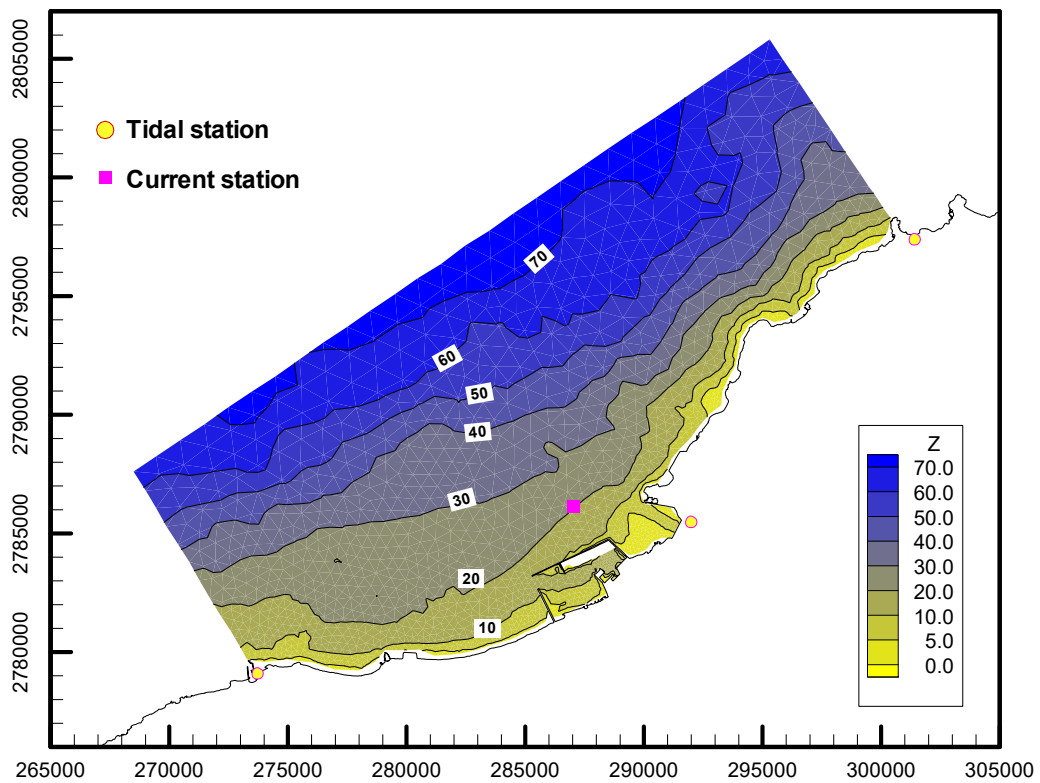


圖 2.28 臺北港小尺度水動力模組之模擬範圍及水深分布圖

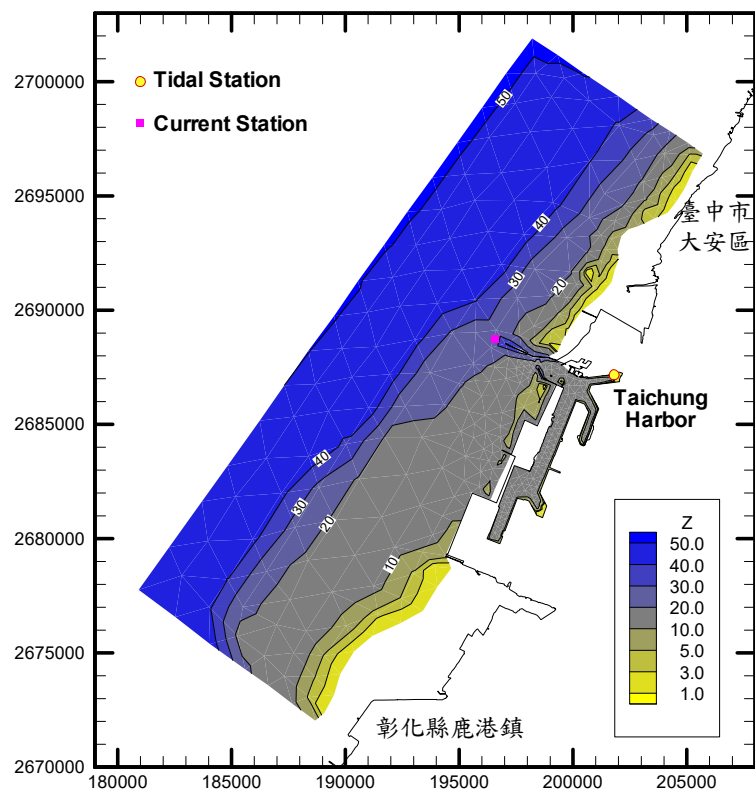


圖 2.29 臺中港小尺度水動力模組之模擬範圍及水深分布圖

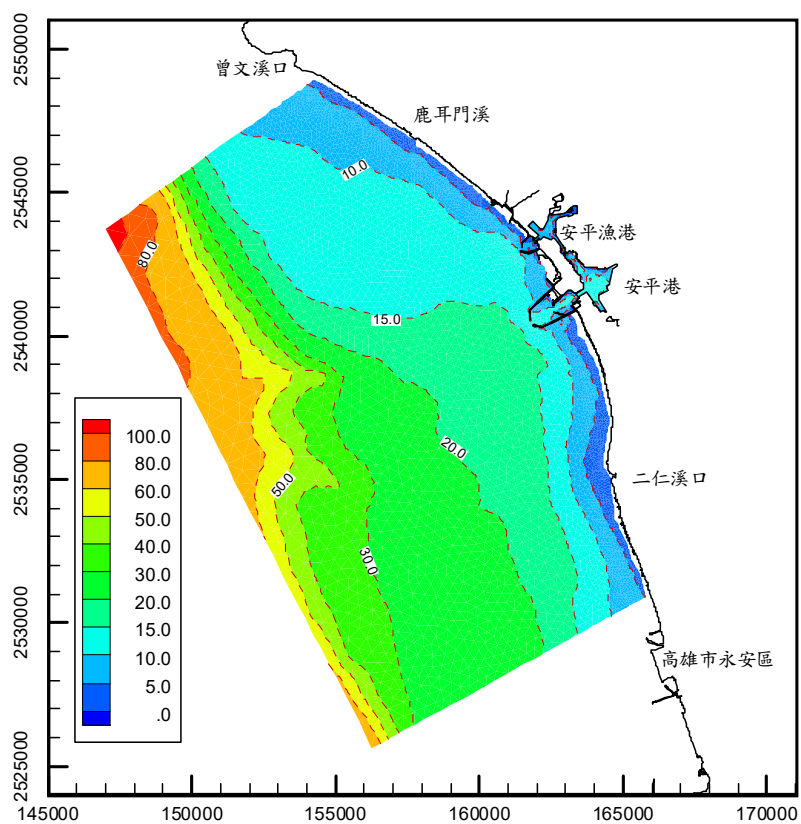


圖 2.30 安平港小尺度水動力模組之模擬範圍及水深分布圖

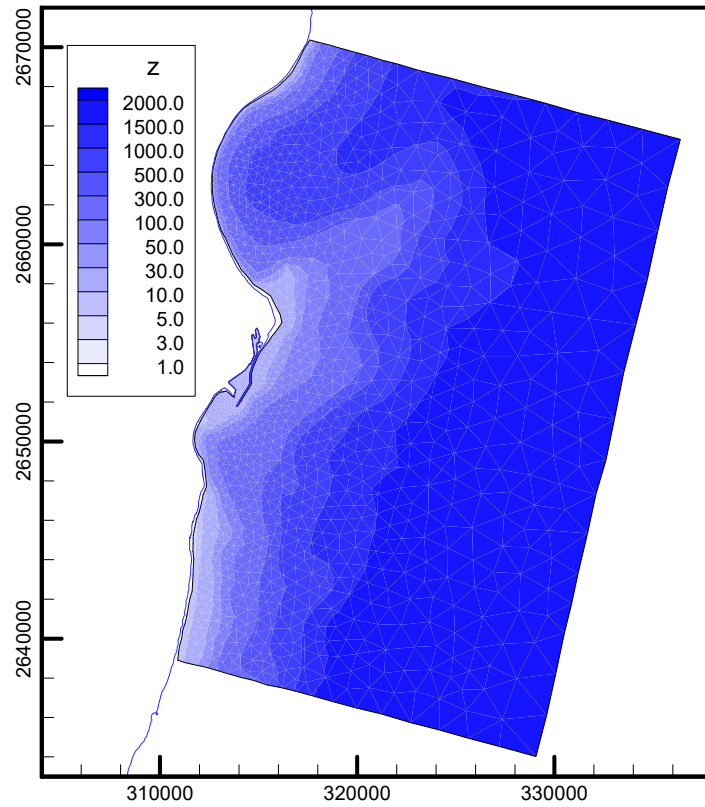


圖 2.31 花蓮港小尺度水動力模組之模擬範圍及水深分布圖

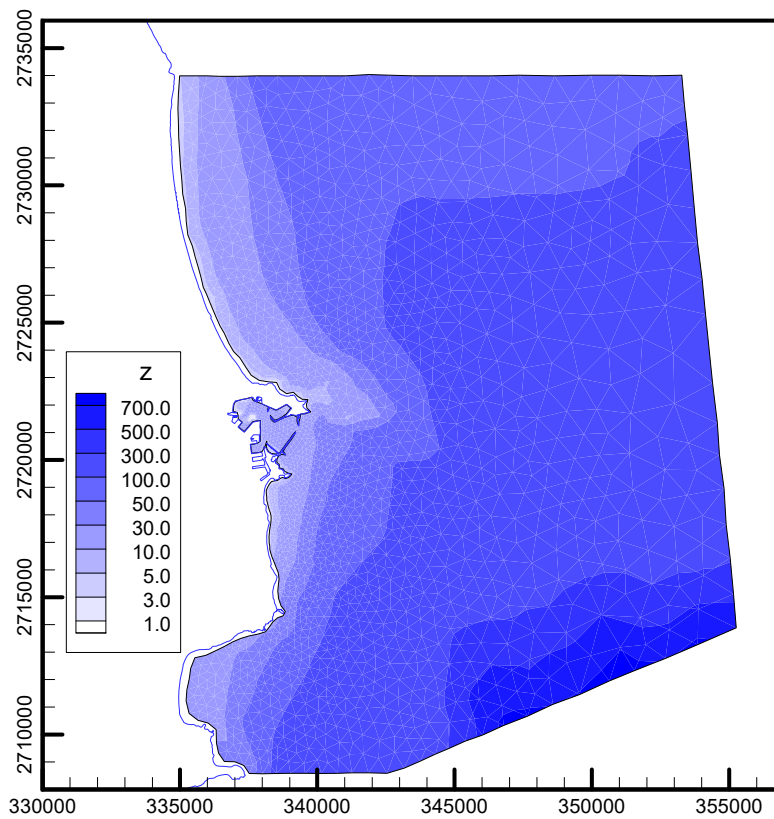


圖 2.32 蘇澳港小尺度水動力模組之模擬範圍及水深分布圖

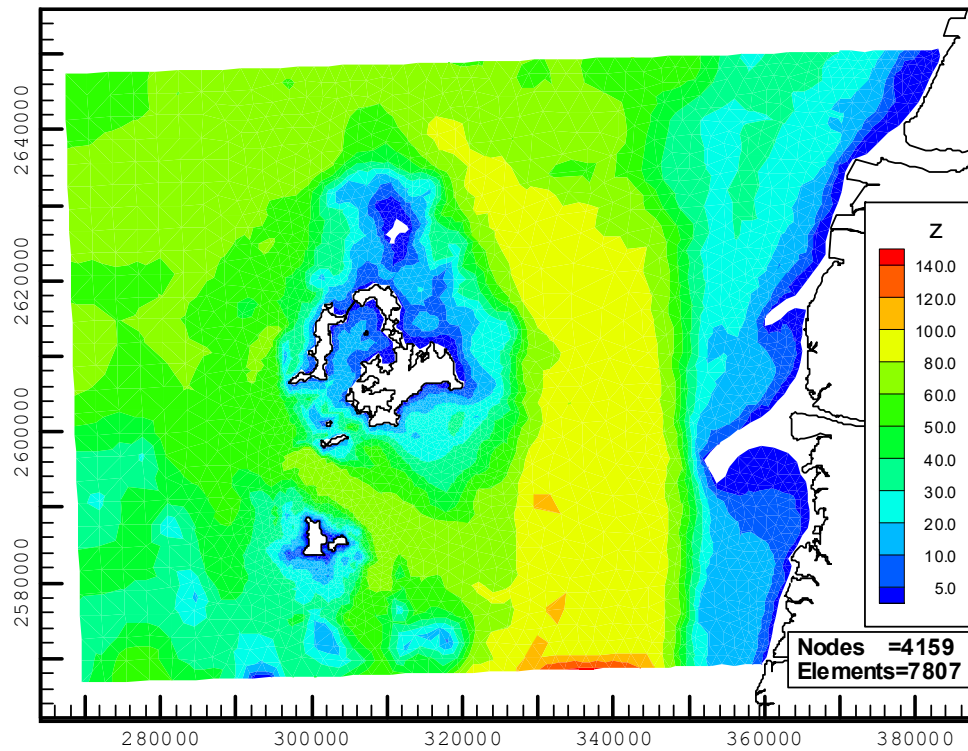


圖 2.33 澎湖海域小尺度水動力模組之模擬範圍及水深分布圖

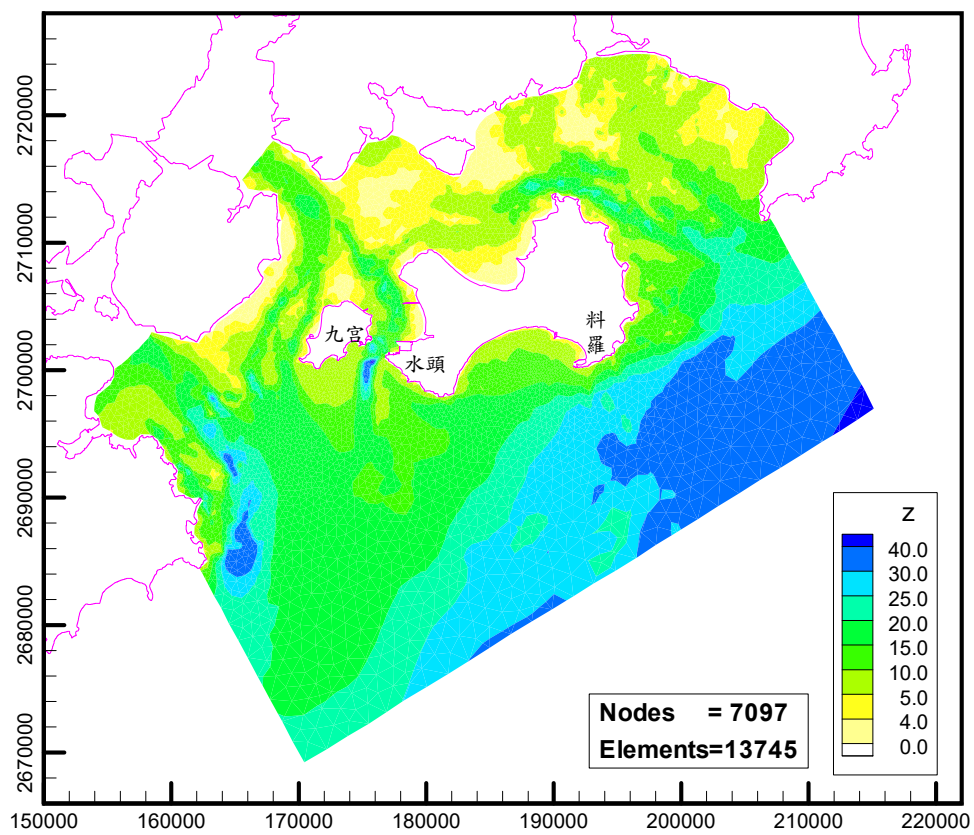


圖 2.34 金門海域小尺度水動力模組之模擬範圍及水深分布圖

2.2 海象模擬作業化系統校修與維運

2.2.1 作業化系統軟硬體維運紀事

TaiCOMS 海象模擬作業化系統依伺服器(硬體)規劃區分為風場、波場、水動力(潮、流)與觀測資料、臺海水動力模擬子系統、臺海風浪模擬子系統、海嘯模擬子系統及資料儲存備份伺服器。伺服器採用之作業系統大部份為 SUSE Linux Enterprise Server 11，部份為 SERVER 12 版本。本年度(2021 年 9 月至 2022 年 8 月)伺服器維護紀錄，如表 2-8 所示。其中常見維護事件整理如下：

1. 風場不定時有缺漏資料情形。因應方案為：
 - (1) 片段資料缺漏(24 小時內)，程式可自動利用前次預報資料補齊。
 - (2) 資料缺漏過多無法補齊時，整體系統暫停運作，通知氣象局補檔，待人工補齊後再行運作。
2. 伺服器更新及報廢，伺服器內所需程式安裝及模組移轉。
3. 配合臺灣環境資訊系統輸出所需實測點之模擬點位資料。
4. 定期更新硬碟櫃進行資料備份。
5. 配合年度高低壓用電安全檢查及斷電維護。
6. 更新海嘯預警系統、花蓮及臺東海岸公路浪襲預警系統、馬祖港內波浪推算系統，並配合輸出所需模擬資料。

此外，本年度完成特殊維護事件如下：

1. 安裝 DS920 Synology NAS 硬碟櫃系統備份資料，並報廢 2 臺老舊伺服器。
2. 配合本所港研中心 90 天必須修改一次伺服器管理員密碼。
3. 新增馬祖三港區(北竿福澳 FA、東莒猛澳 MA、東引中柱 ZZ)波浪推算系統作業化。
4. 配合目前接收氣象局 WRF_M04 風場網格大小及氣壓層數，已將臺灣環境資訊網使用風場資料網格由 45km、15km、5km (wa01、

wa02、wa03)修改成網格 15km、3km (we01、we02)，產製之圖資格式亦一併修正。

5. 因原來風場模組由處理中央氣象局預報時數 85 小時延長至 126 小時，資料下載、擷取及重組所需時間較之前長，海象模擬作業化系統排程改為每日 5、11、17、23 時啟動、執行並產出相關模擬圖資供本所「港灣環境資訊網」即時展示。
6. 同步修改中央氣象局 WRF_M04 風場資料由副檔名 2 位數(.00m)，增加至副檔名 3 位數(.000m)，相關輸入/輸出程式配合修改(如各模擬讀取風場資料檔案：1 日 1 次 linux 小尺度波浪模組輸入檔 genewind2020、1 日 1 次 SWAN 模組輸入檔 taiwind2021b、1 日 4 次 SWAN 模組輸入檔 taiwind2020，及 1 日 1 次水動力模組輸入檔 taiwind2020b)。
7. 基於資訊安全調整系統連線登入中央氣象局 PDS 資料平台、執行掃描、比對及下載風場資料之連線次數設定，目前系統運作正常。
8. 新版 1 日 4 次水動力暴潮模擬模式(TaiCOMS20_HD2，含安平、基隆、澎湖及布袋港)移轉及作業化。

表 2-8 2021/09~2022/08 伺服器維護紀錄

日期			主機	維護項目	問題描述	處理結果
2021	9/2	四	FTP	其他	手動下載測試：向 CWB 申請之 FTP-taicoms2 帳號 XS.SM.DL.NX 預報波浪.潮汐資料，提供給中山大學之東部浪襲系統使用	潮汐為乾滿潮預報，測試後僅有波浪逐時資料可供浪襲模式使用
2021	9/9	四	FTP	其他	由於中心之 FTP 使用 FileZilla 受到技服中心通報不明上傳下載動作，目前 FTP 暫停服務，直至網管人員建立 FTP 安全傳輸機制，再通知相關使用單位申請帳號密碼使用 FTP	預計 11 月再提供相關單位申請 FTP 使用
2021	9/17	五	221	程式維護	配合現在接收之氣象局風場網格大小，請合作單位修改成網格 3km、72hr 風場，產製之圖資格式亦一併修正	測試完成並上線，一併修改 blueway、zone、harbor
2021	9/28	二	all	程式維護	高雄港 AWAC 觀測站由二港口移至一港口(K1)，波流模擬輸出點位需配合移動，另新增臺北浮標(T8)、布袋浮球(B9)及安平浮球(A9)點位及部份小尺度點位	已測試完成並上線
2021	10/4	一	214	程式維護	搭配 chrome 瀏覽器 v94 更新到最新版 chromedriver.exe	浪襲跟海嘯系統皆更新取代 chromedriver.exe
2021	10/6	三	211	程式維護	改水動力輸出檔案名稱 TWPH→TWMK 馬公、TWKM→TWLL 料羅、TWMZ→TWFA 福澳	
2021	10/12	二	214	程式安裝	新增 1 日 1 次 SM.XS.DL.NX 浪襲 4 站整合版本(同化版及氣象局觀測版)	已測試完成並上線
2021	10/15	五	214	程式安裝	新增 chwwalp.exe 浪襲 4 站整合補算版本	已測試完成並上線
2021	10/29	五	214	程式安裝	新增馬祖三港區(FA、MA、ZZ)波譜推算系統 MATSU_spc 作業化	已測試完成並上線，預計明年上網
2021	11/8	一	217	其他	備份伺服器當機	重開後可正常運作
2021	11/9	二	214	程式維護	USGS 擷取地震參數值超出合理範圍	更換 Get8H_OneRun_150810.ctf、Get8H_OneRun_150810.exe、main_address_id.mat 取

日期			主機	維護項目	問題描述	處理結果
						代 database 目錄的同名檔，並刪除 Tsunami\taicom\WebConnectTemp 的 WebConnectRecord.mat
2021	11/15	一	214	程式維護	USGS 擷取地震參數值超出合理範圍	更換 main_address_id.mat 取代 database 目錄的同名檔
2021	11/22	一	214	程式維護	chrome 瀏覽器更新到 96 版，取代 database 目錄的 dist 目錄裡面的 chromedriver.exe	浪襲程式的 dist 目錄 chromedriver.exe 也要取代
2021	12/2	四	214	程式安裝	新增 1 日 4 次 SM.XS.DL.NX 浪襲 4 站整合版本(同化版及氣象局觀測版)配合修改讀檔 SWAN input sea 為 T70 格式	chwwa4p.exe 已測試完成並上線
2021	12/10	五	all	例行性斷電測試	中心於 12/11(六)進行高低壓用電安全檢查，於 12/10(五)16:00 後伺服器全面斷電，待 12/13(一)再復歸	12/13(一)停電後恢復排程
2021	12/16	四	214	程式維護	馬祖波浪程式更新.zip,取代同名執行檔；補算 1 天 25 小時的部份,spc 檔為 142kb(73 小時為 410kb)；新增讀取預報檔目錄 SWAN(非追算 REAN)指定日期(yyyymmdd)檔案	例如執行 FA010.exe 20211216 讀 2021 年 12 月 16 日
2021	12/20	一	all	備份	backup 各 windows server & update	更新完成
2021	12/24	五	all	其他	windows update	更新完成
2021	12/27	一	221	其他	每日風場 we2021122618.49m 有誤，導致 122612puvd01.txt 產出為 83mb 非正常大小 89.1mb	以 we2021122618.48m 取代 49m 後 TaiCOMS 即正常運作
2021	12/28	二	221	其他	開通防火牆申請 12/28~12/31，並修改加長 3 天為 5 天風場預報	修改中
2022	1/3	一	221	程式維護	USGS 網頁 2022 年尚無地震事件可抓，導致程式錯誤	更新 2 附檔把該錯誤忽略
2022	1/3	一	221	其他	開通防火牆申請 12/28~12/31，並修改加長 3 天為 5 天風場預報	修改中

日期			主機	維護項目	問題描述	處理結果
2022	1/4	二	211	程式維護	中尺度水動力暴潮系統冷啟動及熱啟動後才能持續執行 2022 年度模擬	水動力模擬跨年度問題尚未解決
2022	1/12	三	221	其他	test：由於 221 風場伺服器使用 10 年以上已老舊，測試使用 open suse 或 centOS 取代目前 suse enterprise 版本	目前測試 centOS 下載速度較慢
2022	1/12	三	all	其他	windows update	更新完成
2022	1/19	三	214	程式維護	1.將 chorme 瀏覽器更新到最新版，並更新以下 4 檔 Get8H_OneRun_150810.exe Get8H_OneRun_150810.ctf chromedriver.exe 在 database 目錄的 dist 目錄內 saveHTMLcode.exe 在 database 目錄的 dist 目錄內修正南緯抓到緯度錯誤，以及背景執行輸出 chrome_debug.log 檔過大的問題 2.公路浪襲程式修正，取代 1 日 1 報和 1 日 4 報各兩個檔，附檔修改成追算的時候, 忽略網頁第一筆時間不一致的錯誤	已測試完成並上線，將 chorme 瀏覽器更新到最新版，浪襲系統 1 日 1 報和 1 日 4 報 dist 目錄，取代 chromedriver.exe 和 saveHTMLcode.exe，浪襲系統 1 日 1 報和 1 日 4 報在 dist 目錄，海嘯系統在 database 目錄的 dist 目錄內
2022	1/21	五	214	程式維護	缺少字型關係，圖中若是使用排程出圖的中文字會變方框，但使用 rerun 方式則會正常產出中文字	中文字改成英文字後即正常產出， Matsu_Zhongzhu 中柱 Matsu_mengao 猛澳 Matsu_Fuao 福澳
2022	1/24	一	214	程式維護	1.Gif 檔網頁不會自動播放，增加 jpgs2gif.exe，調降 gif 檔解析度一半，檔案大小變為 1/4，執行完 FA010.exe 接著執行 jpgs2gif.exe FA，jpgs2gif.exe FA 會讀 OUPUT 目錄今天的 FA2022012200_00.jpg 到 FA2022012200_48.jpg，組成 FA_mov_2022012200.gif 2. 或把 D:\Matsu\OUTPUT\fig 目錄的 FA2022012200_00.jpg 到 FA2022012200_48.jpg 先拉到 D:\Matsu\OUTPUT，直接跑 jpgs2gif.exe FA	已測試完成並上線，排程寫入， FA010.exe jpgs2gif.exe FA MA010.exe jpgs2gif.exe MA ZZ010.exe jpgs2gif.exe ZZ
2022	1/26	三	all	備份	年前清理及 backup 各 server	

日期			主機	維護項目	問題描述	處理結果
2022	2/5	六	221	其他	風場 server 當機	遠端 VPN 連線至中心重開機，補算 2/2~2/6
2022	2/15	二	214	程式維護	chrome 瀏覽器更新到 98 版，取代 database 目錄的 dist 目錄裡面的 chromedriver.exe	已測試完成並上線
2022	2/22	二	219	硬體安裝	安裝 DS920 Synology NAS 硬碟櫃(於 217server 下 T:/)	進行備份工作，每月初 email 硬碟健康度報告
2022	3/11	五	217	備份	本由 CWB 之 FTP 下載每日 wa 風場(WRF_M05)，由於硬碟空間膨脹太快，未來只需儲存颱風期間進行比對，不需再每日下載	考量系統儲存空間有限，未來當有颱風生成及具影響臺灣可能性時，系統再開啟接收氣象局 WRF_M05 風場功能，後續將探討颱風期間 WRF_M04 及 WRF_M05 風場差異性
2022	3/14	一	221	其他	test：由於 221 風場伺服器使用 10 年以上已老舊，測試使用 ubuntu FTP 取代目前 suse enterprise 版本	伺服器 211.214.216.217.218.220 已重新開機
2022	3/31	四	214	程式維護	chrome 瀏覽器更新到 100 版，取代 database 目錄的 dist 目錄裡面的 chromedriver.exe	已測試完成並上線
2022	4/8	五	214	程式維護	更新程式將以前停用台灣寬頻地震網加回來 bat 檔指令 Get8H_OneRun_150810.exe bats	已測試完成並上線
2022	4/28	四	214	程式維護	更新同化時間判斷有誤問題 一日一報 chwswslp.exe、chwswslp.ctf 一日四報的同名檔 chwsw4p.exe、chwsw4p.ctf	已測試完成並上線
2022	5/3	二	221	其他	開通防火牆申請 5/3、4、6，並改加長 3 天為 5 天風場預報 (taiwind2022126)	因風場模組由原處理中央氣象局 73 小時(3 日)風場資料，延長為 126 小時(5 日)，資料下載、擷取及重組所需時間較之前長，海象模擬作業化系統排程改為每日 5、11、17、23 時啟動、執行並產出相關模擬圖資供本所「港灣環境資訊網」即時展示

日期			主機	維護項目	問題描述	處理結果
2022	5/5	四	221	其他	因應「港灣環境資訊網」增加展示觀測站，海象模擬作業化系統配合增加與觀測站相對應位置之風力模擬資料	包括臺北觀測樁(外海)、北 2 碼頭(氣象站)、安平港訊號臺頂樓、臺中防風林、本所港研中心頂樓、31 號碼頭、工專二、高雄港 10 號碼頭、第六貨櫃中心港警大樓頂樓、76、77 碼頭交界處現代公司結構物頂樓，以及 63、64 碼頭交界處萬海公司結構物頂樓，共計 11 處
2022	5/9	一	214	其他	氣象局 FTP 上的資料有問題都 0KB，所以風場無法解算	請氣象局協助處理上傳更新檔
2022	5/12	五	211	程式維護	1 日 4 次水動力模擬模式 (TaiCOMS20_HD2，含安平、基隆及布袋港)移轉	測試中
2022	5/16	一	214	其他:請描述	配合中心 90 天必須修改一次伺服器管理員密碼，多台 server 無執行波潮流模擬	修改密碼後進行模擬資料補算
2022	5/16	一	all	其他:請描述	開通防火牆申請 5/16~18，並修改加長 3 天為 5 天風場預報 目前下載中央氣象局風場資料偶有缺檔情形，請國立成功大學再增加當發生檔案缺漏時，系統可回補前時刻或前一次預報資料等功能	同步修改中央氣象局 WRF_M04 風場資料由副檔名 2 位數(.00m)，增加至副檔名 3 位數(.000m)，相關輸入/輸出程式配合修改(如各模擬讀取風場資料檔案:1 日 1 次 linux 小尺度波浪模組輸入檔 genewind2020、1 日 1 次 SWAN 模組輸入檔 taiwind2021b、1 日 4 次 SWAN 模組輸入檔 taiwind2020，及 1 日 1 次水動力模組輸入檔 taiwind2020b)
2022	5/25	一	all	程式維護	chrome 瀏覽器更新到 102 版，取代 database 目錄的 dist 目錄裡面的 chromedriver.exe 浪襲系統 1 日 1 報和 1 日 4 報在 dist 目錄內海嘯系統在 database 目錄的 dist 目錄內	已測試完成並上線

日期			主機	維護項目	問題描述	處理結果
2022	6/8	三	214	程式維護	1 海嘯系統 Matlab runtime 新舊版會並存，由於更新後中文目前用 utf-8 會變亂碼，且 dll 檔沒找到，重開機後即可 CMD 執行 Get8H_OneRun_150810.exe bats R2012b 版編譯的 exe 會用 2012b 版 runtime R2022a 版編譯的 exe 會用 2022a 版 runtime(9.12)64bit	海嘯系統 log 檔已由中文改為英文，測試完成並上線
2022	6/13	一	213	重設作業系統	測試 NOAA ferret(主要繪圖工具)、wgrib(讀取 NC 格式風場資料)、samba(linux 與 window 間的網路芳鄰)、ssh(加密的網路傳輸協定)、gfortran 等	規劃 213 虛擬機未來取代 221 風場伺服器
2022	6/15	三	222	程式維護	因應「港灣環境資訊網」增加展示觀測站，海象模擬作業化系統配合增加與觀測站相對應位置之風力模擬資料	通知港環及馬祖網頁停止介接資料
2022	6/20	一	221	其他	windows update	除了 5/5 新增 11 處，今增加臺北浮標 1 處，共計 12 處
2022	7/8	五	213	備份	將 213 ubuntu 作業系統及其應用程式打包為 Virtual Machine (VM)	完成 213 虛擬機測試
2022	7/11	一	221	程式維護	WRF_M04 風場輸出時數 73 小時(3 日)延長為 120 小時(5 日)程式，目前遇氣象局偶有缺檔問題，增修缺檔時資料回補程式(taiwind2022126)	以 gcpfile20223k.sh 及 gcpfile202215k.sh 取代 gcpfile.r，補檔順序為前 1 筆>後 1 筆>上 1part 同檔名之.m 檔
2022	7/21	四	214	程式維護	更新馬祖靜穩度執行檔(matlab 2020a 版)	降低執行檔處理時間
2022	7/21	四	214	程式維護	對應 chrome 瀏覽器 103 版，取代海嘯和浪襲系統 chromedriver.exe 檔	浪襲系統 1 日 1 報和 1 日 4 報在 dist 目錄內 海嘯系統在 database 目錄的 dist 目錄內
2022	7/22	五	all	例行性斷電測試	中心於 7/23(六)進行高低壓用電安全檢查，於 7/22(五)16:00 後伺服器全面斷電，待 7/25(一)再復歸	7/25(一)停電後恢復排程

日期			主機	維護項目	問題描述	處理結果
2022	7/29	五	214	程式維護	更新馬祖靜穩度重算 re 執行檔	原本追算檔預報時間 25 小時改為 54 小時, 微調指北箭頭的角度
2022	8/1	一	221	其他	目前連線氣象局 PDS 資料平台經氣象局反映過於頻繁, 修改執行預報風場資料檔案掃描、比對及下載之紀錄次數	1. 系統登入並執行掃描 3K 及 15K 風場資料之設定, 由每次掃描 3 日檔案數量, 改為掃描 2 日檔案數量 2. 系統登入 15K 風場資料之設定, 由每 1 小時登入及下載, 改為每 2 小時登入及下載後續將視執行情況再行討論調整
2022	8/12	五	221	其他	氣象局施工影響 WRF 系列產品延遲供應	氣象局協助補檔 081106 及 081112.000m~126m 預報資料, 手動補 run 波流模擬
2022	8/16	二	221	其他	氣象局供應異常, 未於正常資料提供期間提供 wd081600.043~053m	使用 wd2022081600.42m 補缺少預報資料, 手動補 run 波流 1 日 4 次模擬
2022	8/18	四	214	程式維護	海嘯 RMT 網站數字數值有變動	暫時關閉 RMT 網頁擷取
2022	8/26	五	220	程式安裝	測試 tecplot 2022 上線	
2022	8/29	一	211	程式維護	1 日 4 次水動力模擬模式 (TaiCOMS20_HD2)作業化	

2.2.2 臺海水動力模擬系統作業環境優化

110 年計畫已針對臺海暴潮模組進行每日 4 次模擬之效率及作業化環境進行初步評估及規劃, 本年度將在既有的基礎上進一步就臺海水動力模擬系統辦理每日 4 次模擬預測作業化程式(TaiCOMS_HD2_run4.exe)優化。

臺海水動力模擬作業化程式(TaiCOMS_HD2_run.exe)之輸入檔包括 datelog 及 taicomshd2_run_v2022.inp。其中 datelog 內容為 yyyymmddhh 分別代表年(yyyy)、月(mm)、日(dd)及時(hh)等字元, 其中 hh 設定值為 00、

06、12 及 18 等 4 組，分別代表每日 4 次模擬之作業化時間；此外，yyyymmddhh 也提供各水動力模組每次模擬作為輸入及輸出資料檔案之辨識碼。

taicoms_hd2_run_v2022.inp 內容及格式如圖 2.35 所示，相關輸入值說明如下：

1. `..\TaiCOMS_HD_ver2022\`：代表臺海水動力模擬系統作業化環境之根目錄名稱。
2. 參數 `kwind`：如 2 代表每日 1 次模擬之風壓場資料格式(時間長度 73 小時)，3 代表每日 4 次模擬之風壓場資料格式(時間長度 55 小時)。0 代表不讀取風場資料，即系統僅執行天文潮水動力模擬。
3. 控制風壓場圖形輸出與否邏輯參數：
4. 水動力模組控制啟動及熱啟動邏輯參數：其中熱啟動邏輯參數如為 `.false.`，代表水動力模組處於冷啟動狀況；小尺度各港區水動力模組無法單獨啟動(`.true.`)，必須伴隨在中尺度暴潮模組(`TAI_HD`)熱啟動之後。

因此，`taicoms_hd2_run_v2022.inp` 檔案內容為臺海水動力模擬系統需要人工操作之處。

臺海水動力模擬系統作業化環境根目錄(`..\TaiCOMS_HD_ver2022\`)下子目錄架構及檔案內容，如圖 2.36 所示，圖中子目錄說明如下：

1. 水動力模組子目錄：如 `..\TAI\` 代表臺海暴潮模組水動力模擬作業環境目錄，代表臺海暴潮模組之水動力模擬流程均在此目錄下執行，如圖 2.37 所示。同理，子目錄 `..\AP\` 代表安平港海域水動模組之水動力模擬作業環境目錄。
2. `source` 子目錄：為存放臺海水動力模擬系統所有程式碼及其編譯程式區。
3. `upload` 子目錄：為臺海水動力模擬系統模擬資料後處理作業環境區，其次目錄架構如圖 2.38 所示。
4. `wind_op` 子目錄：存放由風場處理系統產出的每日 1 次及每日 4 次之作業化風壓場資料，在執行臺海暴潮模組水動力模擬之前，作業化程式會先讀取風壓場資料產生臺海暴潮模組網格風壓場資料

(如 WRF_femyyyymmddhh.tai)及各港水動力模組逐時風速、風向資料(如 AP_We02_yyyymmddhh.txt 等)至已啟動模擬模組之作業環境子目錄下。

```
TaiCOMS HD root
.\TaiCOMS_HD_ver2022\
kwind(1=NFS; 2= 1run; 3= 4run; 0=NO)
}
wind tec out/no
.FALSE.
TAi HD model
.true. .true.
AP HD model
.FALSE. .FALSE.
HL HD model
.false. .false.
KL HD model
.TRUE. .true.
PH HD model
.FALSE. .FALSE.
SA HD model
.false. .false.
TC HD model
.false. .false.
TP HD model
.false. .false.
KM HD model
.false. .FALSE.
```

圖 2.35 臺海水動力模擬作業化程式輸入檔格式及內容圖



圖 2.36 臺海水動力模擬作業環境之子目錄架構及檔案圖



圖 2.37 臺海暴潮模組作業環境之次目錄架構及檔案圖

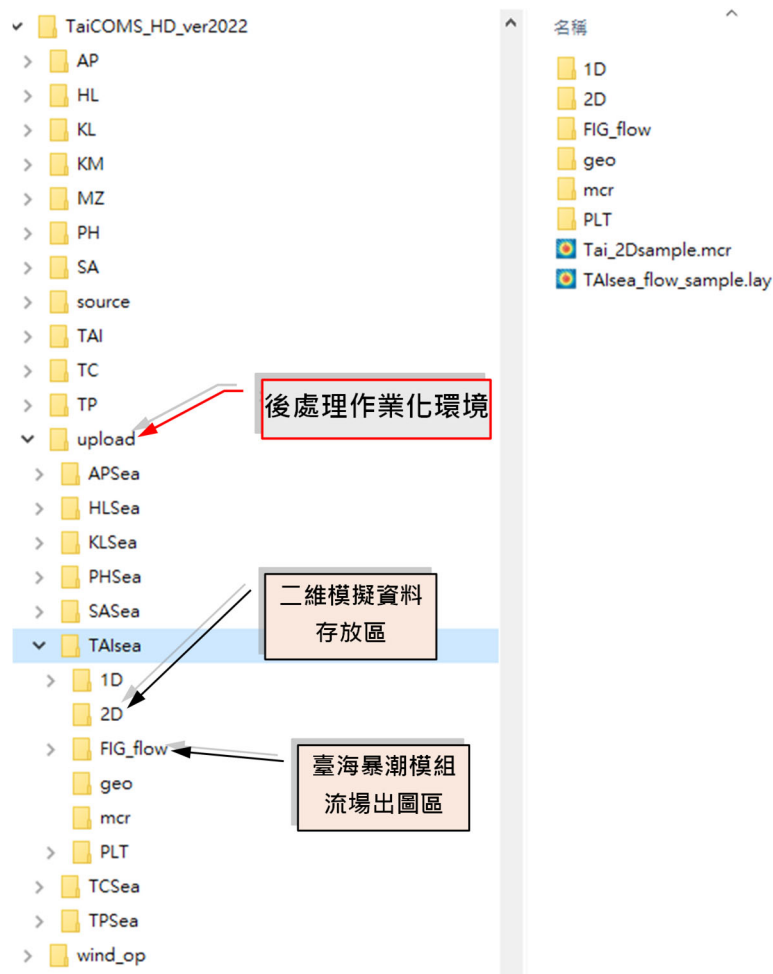


圖 2.38 臺海水動力模擬系統後處理作業環境之次目錄架構圖

2.3 海象模擬作業化系統改善研究

2.3.1 臺海暴潮模組改善研究

原臺海暴潮模組採用的水位檢核輸出點位係 105 年依據各港外海 AWAC 測站位置，選取鄰近對應之內部節點作為水位檢核點(CP)，如圖 2.39 所示，水位檢核的對象為 AWAC 測站水深觀測值。自 109 年起本計畫臺海暴潮模組水位檢核的對象已改為各港港內潮位站水位觀測資料，因此，本年度另選取臺海暴潮模組鄰近各港潮位站對應之邊界節點為新的水位檢核點，如圖 2.39 所示。為瞭解新、舊水位檢核點模擬值之差異，本計畫針對臺海暴潮模組 110 年(2021)天文潮水位模擬值重新分析各港新、舊檢核點模擬值與各港潮位站調和分析天文潮預測值之年均方根誤差值，如表 2-9 所列。表 2-9 結果顯示僅布袋港有顯著改善現象，其次臺北港年均方根誤差約降低 0.019m。

表 2-9 新、舊檢核點模擬值與潮位站天文潮預測值之年均方根誤差表

2021 年	花蓮港 (m)	蘇澳港 (m)	基隆港 (m)	臺北港 (m)	臺中港 (m)	布袋港 (m)	安平港 (m)	高雄港 (m)
OLD CP	0.087	0.114	0.117	0.205	0.223	0.259	0.123	0.111
NEW CP	0.078	0.114	0.117	0.186	0.236	0.172	0.110	0.111

對本計畫水動力模式而言，底床摩擦係數是影響水位及流場模擬值之主要影響參數之一，即天文潮潮波在傳播過程中，底床摩擦引起的能量損失會導致潮波振幅變小及延遲潮波傳遞速度等現象，常見改善策略為透過率定校驗方式，逐步修正計算網格元素之底床摩擦係數值。劉等(2022)針對臺海暴潮模組利用試誤法率定網格元素之底床摩擦係數，依其研究結果建議，目前臺海暴潮模組底床摩擦係數應減縮幅度在西北海域(如臺北港)約略大於 20%，中部海域(如臺中港至布袋港)減縮幅度略小於 5%，西南海域(如安平港及高雄港等)應朝向增加底床摩擦係數值方向修正，其他海域(如基隆港、蘇澳港及花蓮港等)建議維持現況。據此，本計畫針對臺海暴潮模組臺灣周圍海域計算網格研擬出底床摩擦係數修正方案包括，西北部海域底床摩擦係數依現況減縮 75%，中部海域床摩擦係數依現況減縮 95%，西南部海域底床摩擦係數依現況放大為 110%，其餘海域床摩擦係數維持不變等。

本計畫依據修正後的底床摩擦係數重新模擬 110 年(2021)臺灣周圍海域天文潮水位值，並選取各港新檢核點水位模擬值計算各港逐月及整體均方根誤差值，如表 2-10 所列。表中括弧內數值代表本計畫臺海暴潮模組底床摩擦係數修正後之均方根誤差值，整體誤差分析成果顯示臺北港、臺中港及布袋港等港口水位均方根誤差改善相當明顯，其餘港口水位均方根誤差與 110 年計畫分析結果差異則不明顯。

表 2-10 臺海暴潮模組改善前、後各港水位模擬值均方根誤差分析成果表

月份	花蓮港 (m)	蘇澳港 (m)	基隆港 (m)	臺北港 (m)	臺中港 (m)	布袋港 (m)	安平港 (m)	高雄港 (m)
1	0.054* ¹ (0.041)	0.047 (0.047)	0.035 (0.047)	0.166 (0.175)	0.219 (0.167)	0.237 (0.095)	0.090 (0.090)	0.060 (0.059)
2	0.055 (0.040)	0.043 (0.043)	0.034 (0.040)	0.167 (0.112)	0.212 (0.152)	0.233 (0.084)	0.086 (0.086)	0.050 (0.049)
3	0.062 (0.048)	0.040 (0.049)	0.039 (0.049)	0.172 (0.120)	0.217 (0.157)	0.243 (0.088)	0.088 (0.087)	0.048 (0.046)
4	0.064 (0.051)	0.047 (0.056)	0.046 (0.054)	0.160 (0.111)	0.172 (0.142)	0.213 (0.082)	0.093 (0.092)	0.055 (0.053)
5	0.061 (0.049)	0.056 (0.061)	0.051 (0.056)	0.160 (0.113)	0.158 (0.151)	0.191 (0.077)	0.097 (0.096)	0.062 (0.061)
6	0.059 (0.046)	0.057 (0.059)	0.038 (0.052)	0.157 (0.109)	0.153 (0.164)	0.179 (0.075)	0.099 (0.097)	0.061 (0.061)
7	0.052 (0.039)	0.051 (0.049)	0.039 (0.043)	0.159 (0.104)	0.154 (0.156)	0.179 (0.071)	0.097 (0.095)	0.061 (0.062)
8	0.046 (0.032)	0.044 (0.040)	0.037 (0.041)	0.165 (0.106)	0.162 (0.131)	0.194 (0.067)	0.094 (0.092)	0.063 (0.065)
9	0.049 (0.035)	0.044 (0.041)	0.044 (0.047)	0.170 (0.109)	0.178 (0.108)	0.215 (0.066)	0.091 (0.089)	0.062 (0.063)
10	0.055 (0.041)	0.047 (0.048)	0.051 (0.51)	0.173 (0.114)	0.201 (0.123)	0.230 (0.080)	0.090 (0.088)	0.061 (0.060)
11	0.060 (0.046)	0.047 (0.052)	0.054 (0.052)	0.179 (0.122)	0.227 (0.150)	0.246 (0.103)	0.093 (0.091)	0.067 (0.064)
12	0.062 (0.048)	0.048 (0.053)	0.050 (0.480)	0.179 (0.121)	0.230 (0.158)	0.247 (0.109)	0.093 (0.092)	0.071 (0.069)
整體(年)	0.087 (0.079)	0.114 (0.115)	0.117 (0.118)	0.205 (0.167)	0.223 (0.186)	0.259 (0.160)	0.123 (0.122)	0.111 (0.111)
*1：改善前 110 年計畫均方根誤差分析結果								

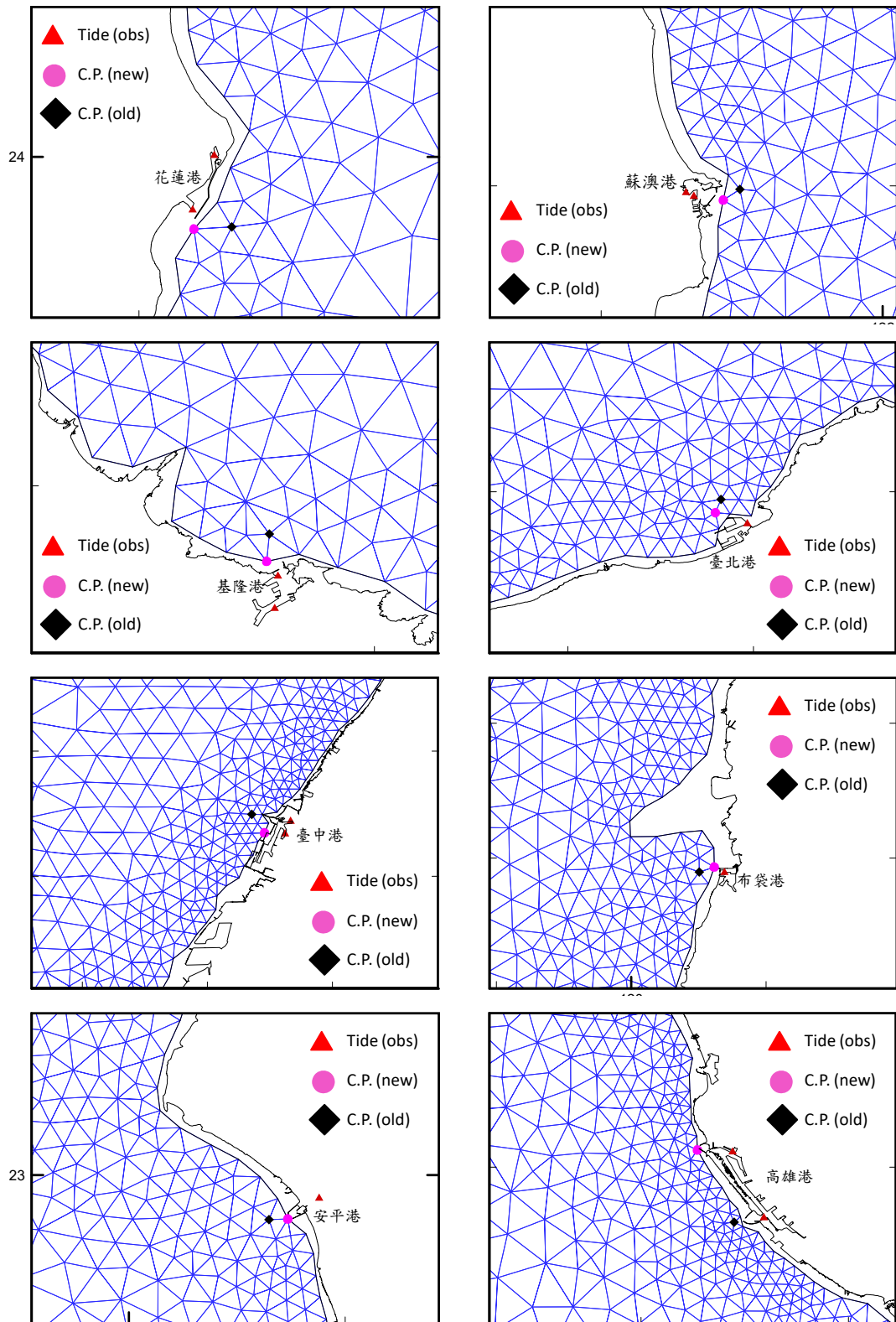


圖 2.39 臺海暴潮模組各港口新、舊水位檢核點與潮位測站位置圖

2.3.2 近岸波浪模擬系統作業化環境改善研究

原臺海海象模擬系統有關各港區近岸波浪場模擬係建構於 Linux 作業系統下，今考量 TaiCOMS 2.0 海象模擬作業化環境主要建構於 Windows 作業系統，及港研中心 Linux 作業系統伺服器面臨淘汰問題，因此本計畫規劃在既有的研究基礎利用 Windows 作業系統建構新版「港區近岸波浪模擬子系統」。由本計畫海象模擬作業系統之整體架構(詳圖 2.2)得知，各港區近岸波浪模擬之上位海象模擬架構為臺海風浪模擬系統，代表將由臺海風浪預測模擬結果提供各港區外海入射波浪之逐時示性波高、週期及波向等預測值，作為各港區近岸波浪模組逐時波浪場模擬條件，再由各港區近岸波浪模組執行模擬預測港外近岸波浪場變化情形。

據此，本計畫規劃整合大尺度遠域風浪模組、中尺度近域風浪模組及各港區小尺度近岸波浪模組，建構成臺海「港區近岸波浪模擬系統」如圖 2.40 所示。圖中模擬架構顯示新系統將透過遠域風浪模擬及近域風浪模擬，直接達到提供各港區近岸波浪場模擬需求之外海入射風浪預測條件目的。其中港區近岸波浪模擬則包括花蓮港、蘇澳港、基隆港、臺北港、臺中港、布袋港、安平港及高雄港等 8 個主要商港區之近岸波浪場模擬(詳圖 2.22 及表 2-5)。

有關本計畫 Windows 作業系統「港區近岸波浪模擬系統」之設計及改善作為說明如下：

1. 系統作業化模擬方式：配合臺海風浪模擬作業化方式，本計畫「港區近岸波浪模擬」作業系統每日執行 4 次港區近岸波浪場模擬預測，分別代表 0 時、6 時、12 時及 18 時之模擬預測。每次模擬預測作業模擬時間長度為 55 小時，其中前 6 小時(0~5 時)為系統追算模擬階段，6~54 時為系統預測模擬階段。
2. 新增模組「水深修正」功能：新建「港區近岸波浪模擬」作業系統提供各港區天文潮逐時潮位預測值，作為港區近岸波浪模組修正海域水深值之依據，以提昇模擬波浪場之合理性及準確性。
3. 近域風浪模組輸出點位檢討：原 8 商港區近岸波浪模組採用的外海入射的風浪預測的模擬條件，與近域風浪模組針對港研中心 AWAC 觀測資料比較相同的模擬預測值；因此近域風浪模組規劃

的校驗(輸出)點位距離 AWAC 測站較近，惟部份港區校驗點位距離港區近岸波浪模組外海邊界較遠，如圖 2.41~圖 2.48 所示。圖中顯示西部海岸臺北港、臺中港、布袋港、安平港及高雄港等港區均有檢討的空間，因此，本計畫針對臺北港等 5 港區增加近域風浪模組外海風浪入射風浪預測模擬條件新的輸出點位，如圖中黑色字體標示的坐標點，預留作為進一步評估之空間。

4. 港區波浪模擬結果校驗點位置校修：考量部份港區 AWAC 波浪觀測位置遷移，本計畫依據港研中心各港區最新 AWAC 波浪測站位置，校修各港區近岸波浪場模擬結果檢核點位位置坐標及參考網格位置(I, J)。
5. 各港區天文潮預測值：本計畫依據 2021 年各港區潮位逐時觀測資料，利用加拿大 IOS 發展的潮高分析及預測(Tidal height analysis and prediction)程式執行潮位天文潮調和分析，分別預測各港 2022 年 1 月 1 日 0 時至 2023 年 7 月 1 日 0 時逐時天文潮位值，提供「港區近岸波浪模擬系統」使用。
6. 作業化環境設計說明：本計畫「港區近岸波浪模擬系統」作業化環境設計，如圖 2.49 所示。包括
 - (1) 主目錄：TaiCOMS_NSwave_2022v0 下放置 1 個作業化執行程式、2 個執行程式輸入檔及 9 個批次檔(含 1 個執行風浪模擬批次檔及 8 個執行港區近岸波浪模擬批次檔)。其他輸入檔案包括標定作業化時間之“datelog”，及代表模組啟動與否之控制參數輸入檔(Taicoms_NSwave.INP)。
 - (2) 次目錄：“LSwam”代表大尺度遠域風浪模擬目錄，“TAIsea”代表中尺度近域風浪模擬目錄；“NSwave”代表港區近岸波浪模擬工作目錄，在此工作目錄下規劃出 8 個港區近岸波浪模擬目錄，依序代表安平港區、布袋港區、花蓮港區、高雄港區、基隆港區、蘇澳港區、臺中港區、及臺北港區。其他如“tide”代表各港區天文潮預測檔存放目錄、“wind”代表 TaiCOMS 作業化風場檔(WE01、WE02)存放目錄、“upload”為存放各模組每次作業化模擬結果，做為未來資料備份之工作

目錄、“source”提供本系統建構的執行程式原始檔及 Intel(R) Fortran Compiler Integration 編譯工作目錄等。

7. 港區近岸波浪模擬工作目錄設計：在各港區近岸模擬工作目錄下建置有“1D”、“fig”、“input”、“outemp”、“tec”及“windwave”等子目錄，其中“windwave”目錄下存放每次作業化模擬過程中產出的港區近岸波浪場模擬條件預測資料檔，“outemp”目錄下存放每次作業化模擬產出的波高(hei)、波向(ang)及水深(dep)等網格資料檔。在各港區工作目錄下分別放置 3 個執行程式分別為近岸波浪折繞射模式(refdif1)執行程式及 2 個後處理程式，以及各執行程式讀取的輸入檔(*.INP，如圖 2.50 所示)。

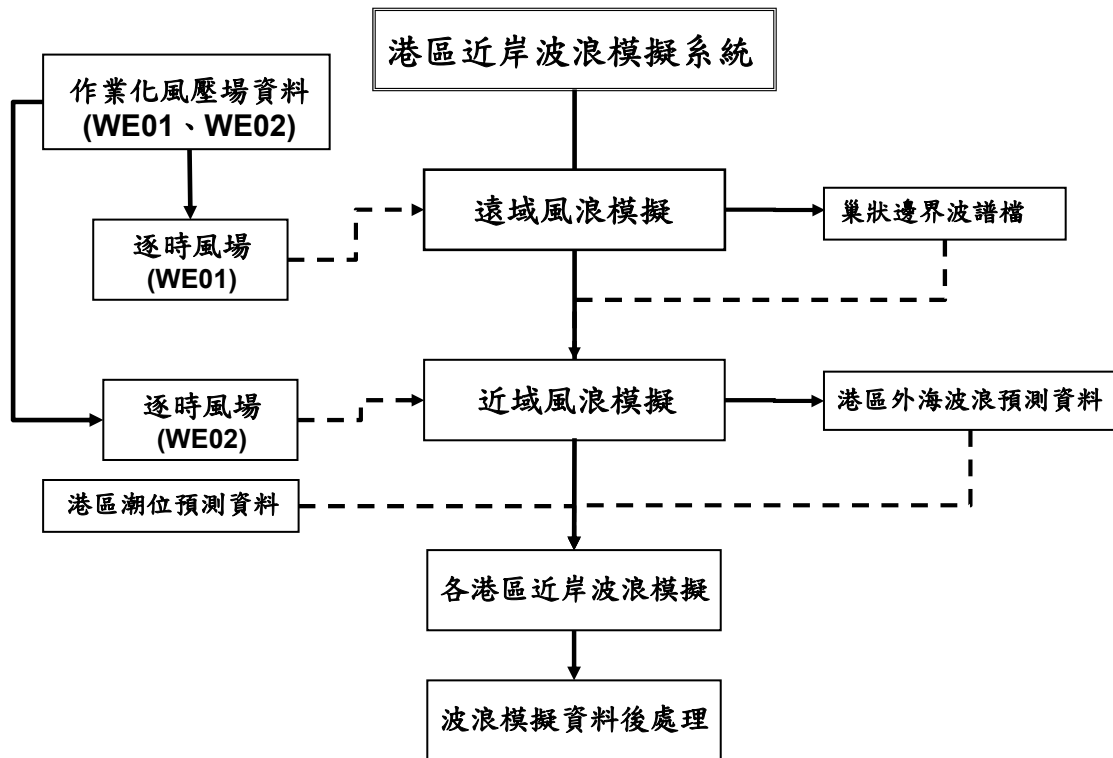


圖 2.40 港區近岸波浪模擬作業系統之整體模擬架構圖

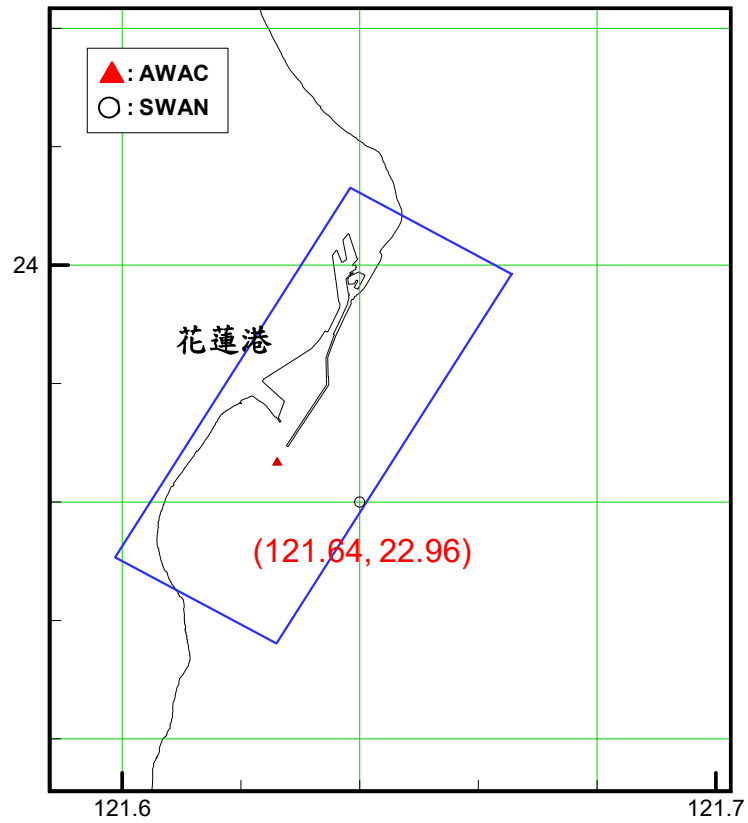


圖 2.41 花蓮港區外海風浪模擬條件之近域風浪模組輸出位置圖

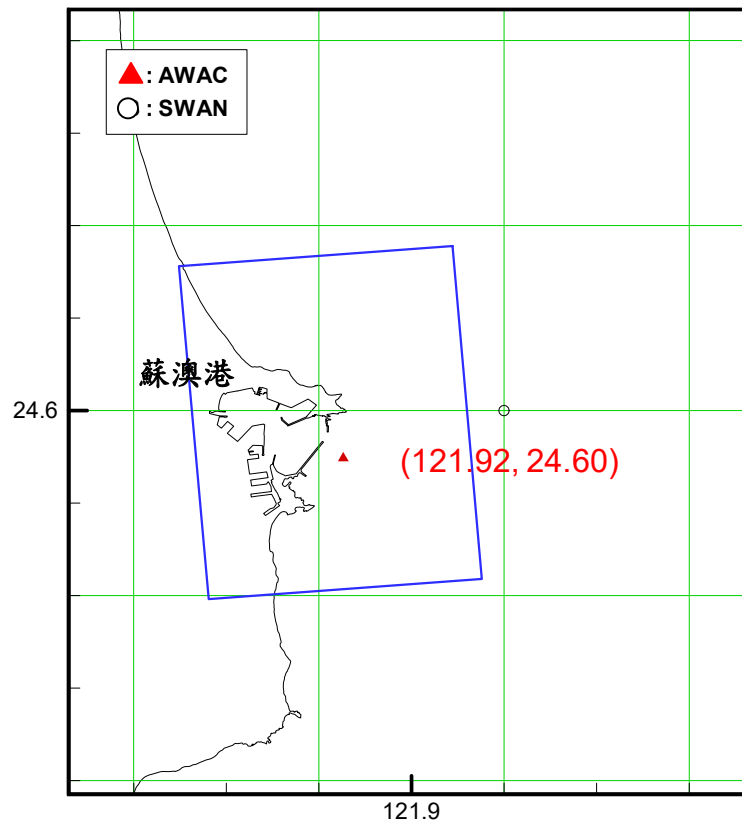


圖 2.42 蘇澳港區外海風浪模擬條件之近域風浪模組輸出位置圖

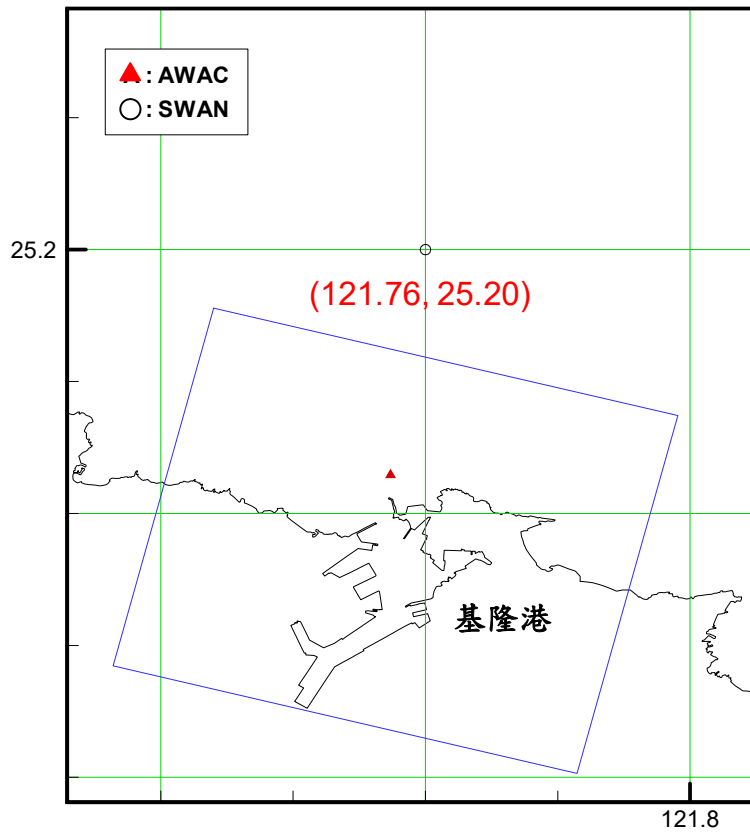


圖 2.43 基隆港區外海風浪模擬條件之近域風浪模組輸出位置圖

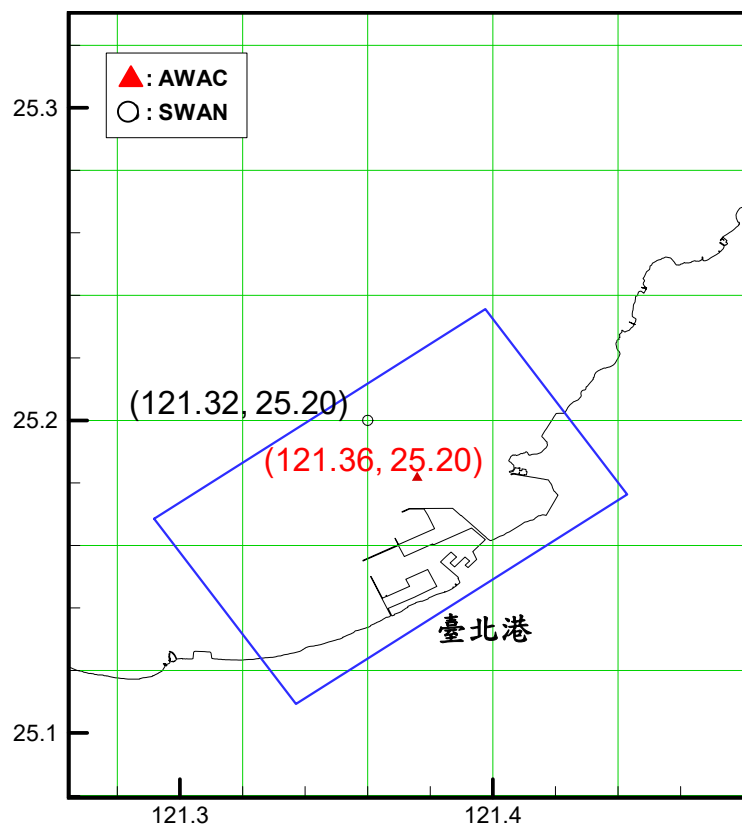


圖 2.44 臺北港區外海風浪模擬條件之近域風浪模組輸出位置圖

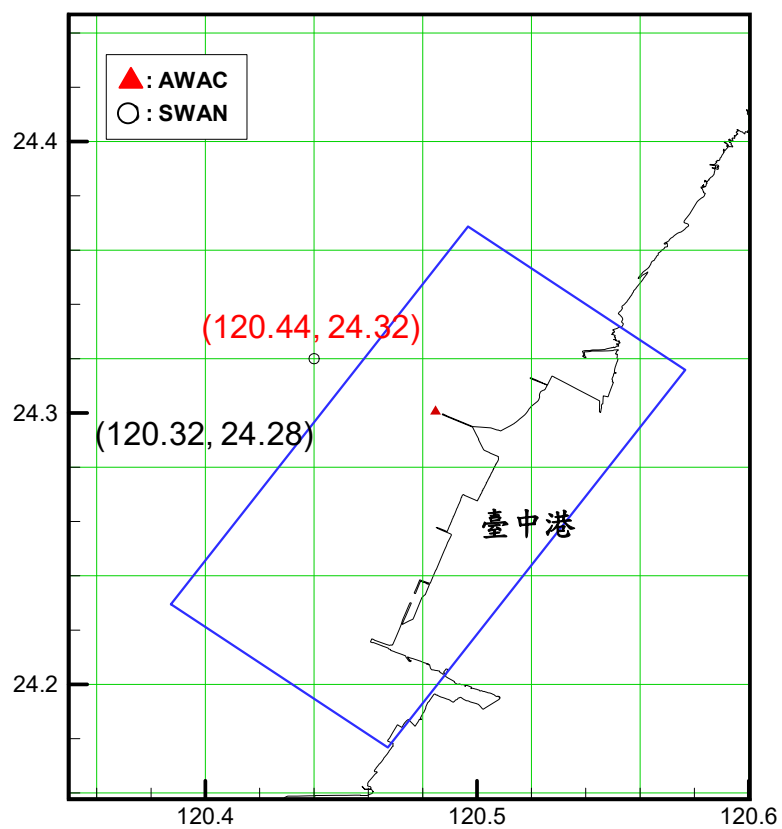


圖 2.45 臺中港區外海風浪模擬條件之近域風浪模組輸出位置圖

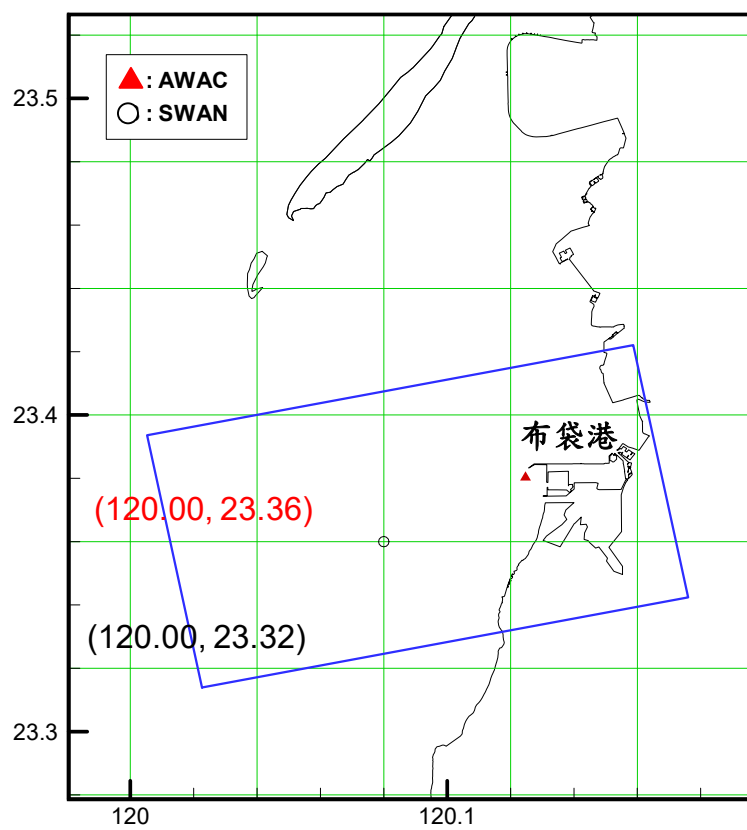


圖 2.46 布袋港區外海風浪模擬條件之近域風浪模組輸出位置圖

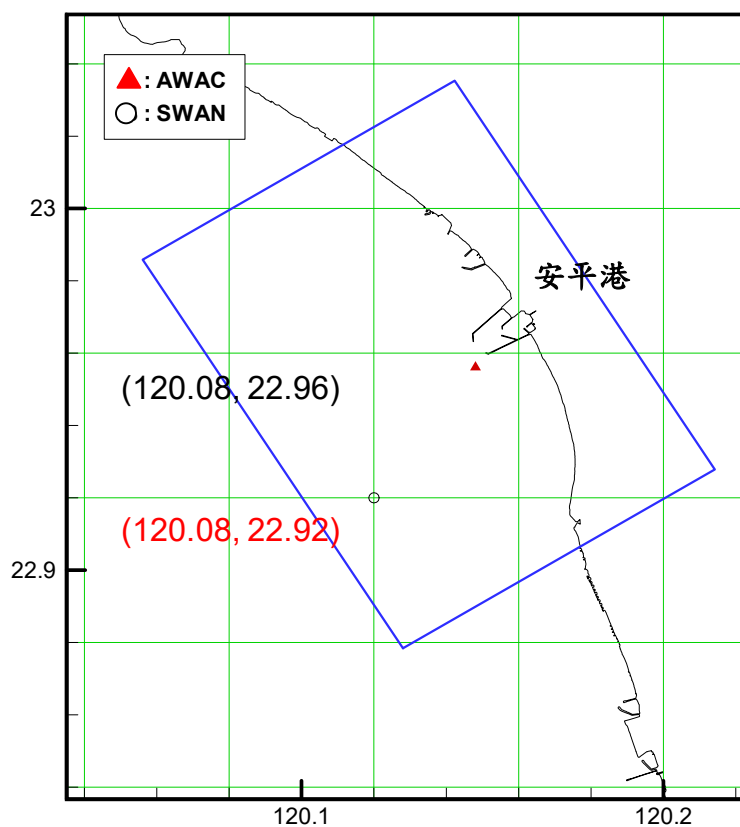


圖 2.47 安平港區外海風浪模擬條件之近域風浪模組輸出位置圖

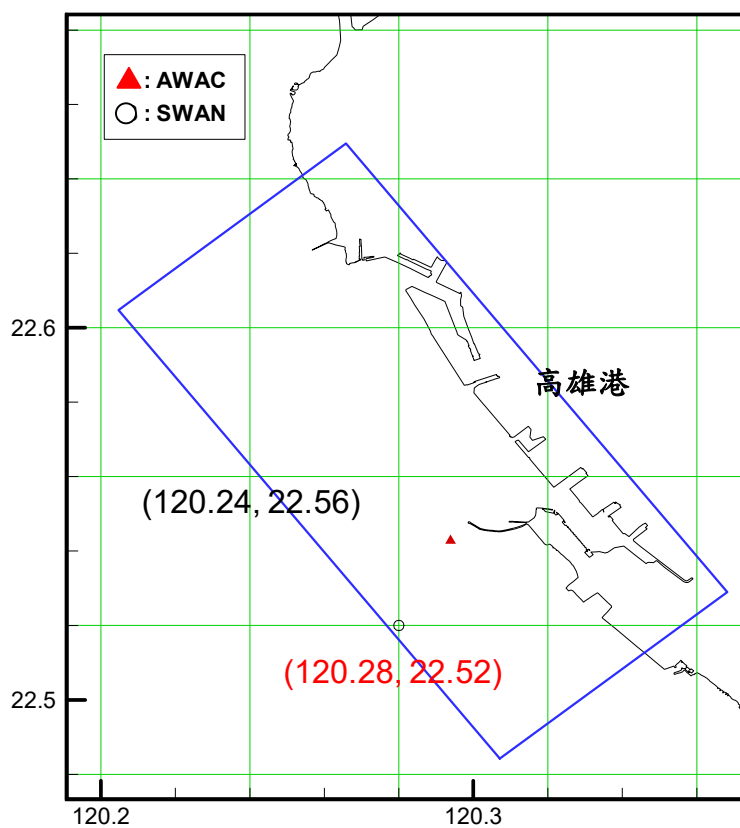


圖 2.48 高雄港區外海風浪模擬條件之近域風浪模組輸出位置圖

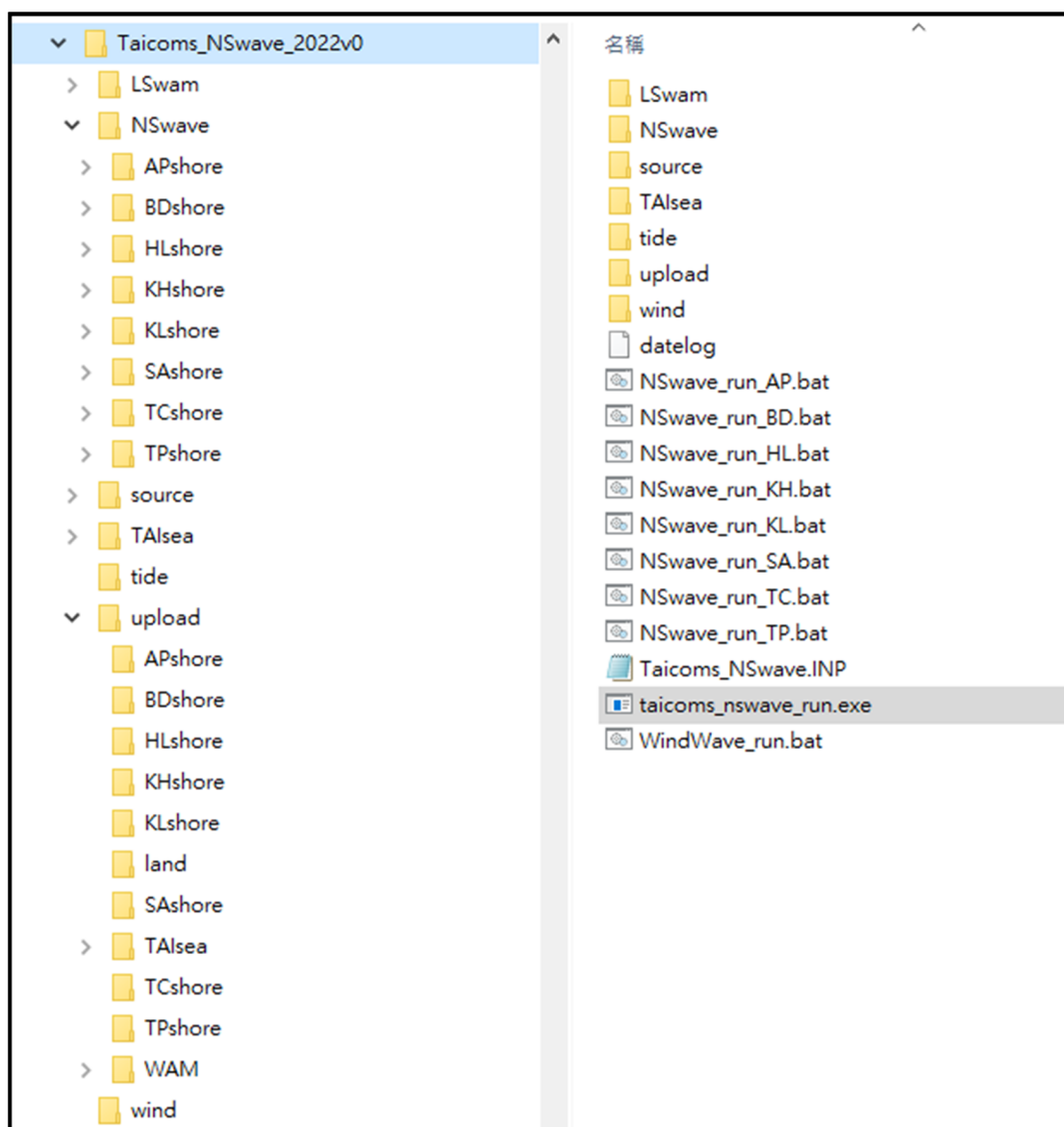


圖 2.49 港區近岸波浪模擬系統作業化環境目錄架構示意圖

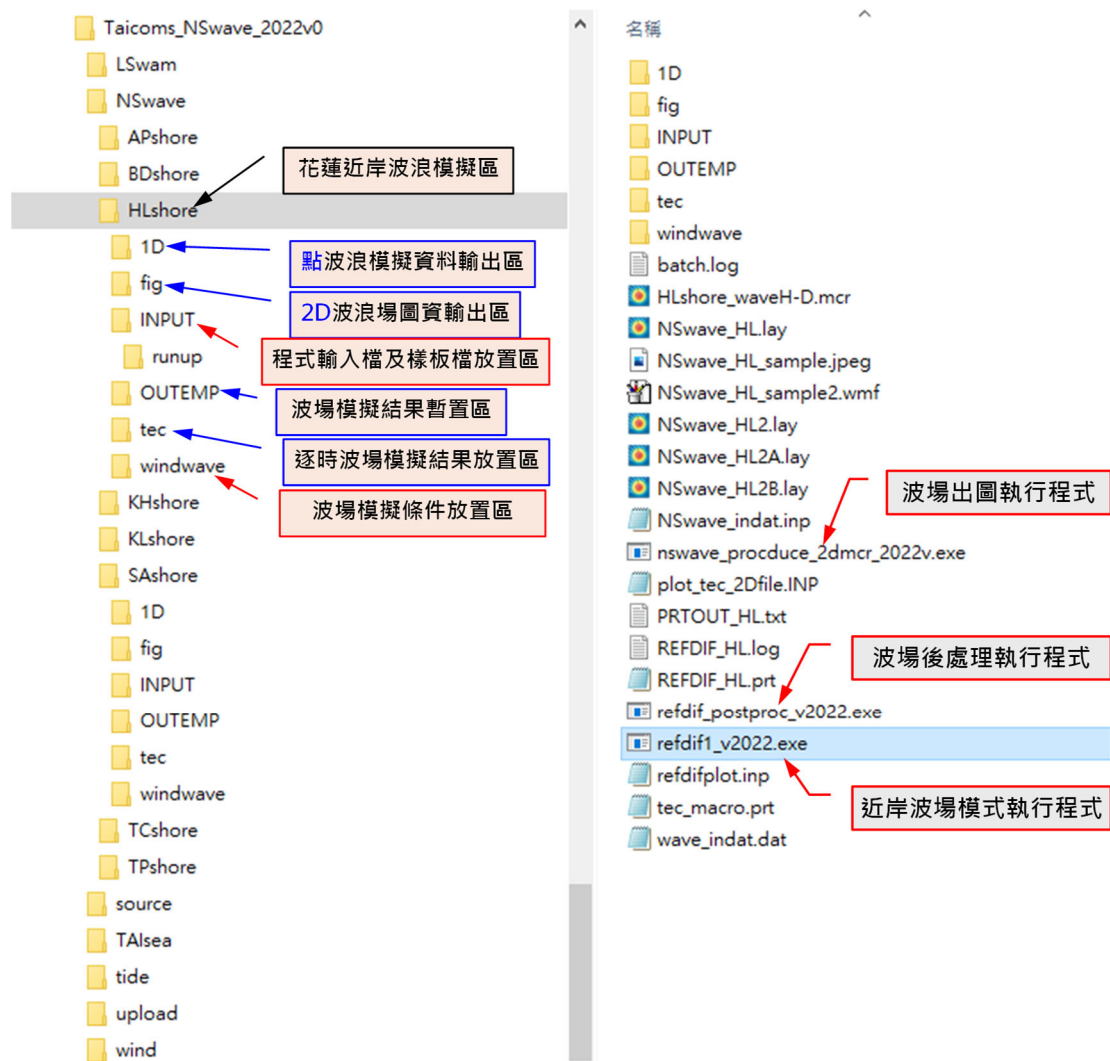


圖 2.50 花蓮港區近岸波浪模組作業化環境目錄架構示意圖

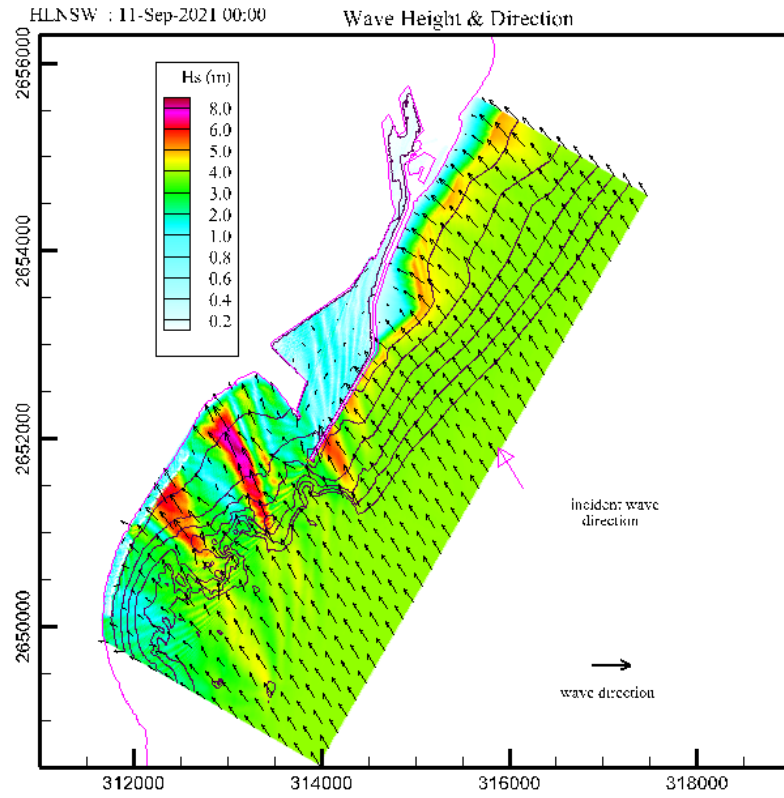


圖 2.51 花蓮港區近岸波場出圖範例

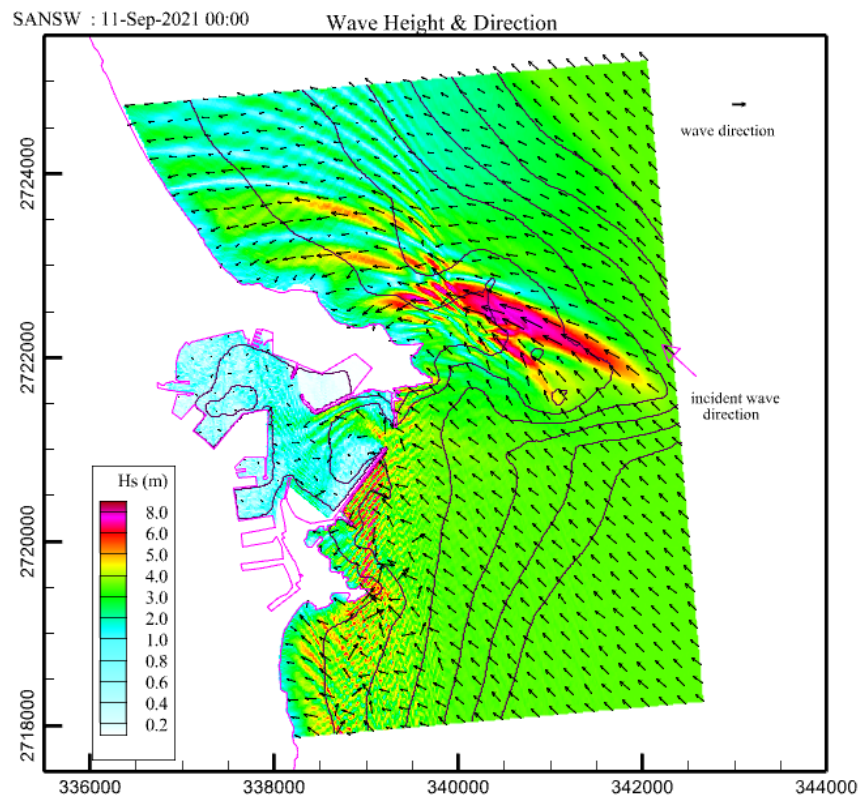


圖 2.52 蘇澳港區近岸波場出圖範例

SANKL : 11-Sep-2021 00:00

Wave Height & Direction

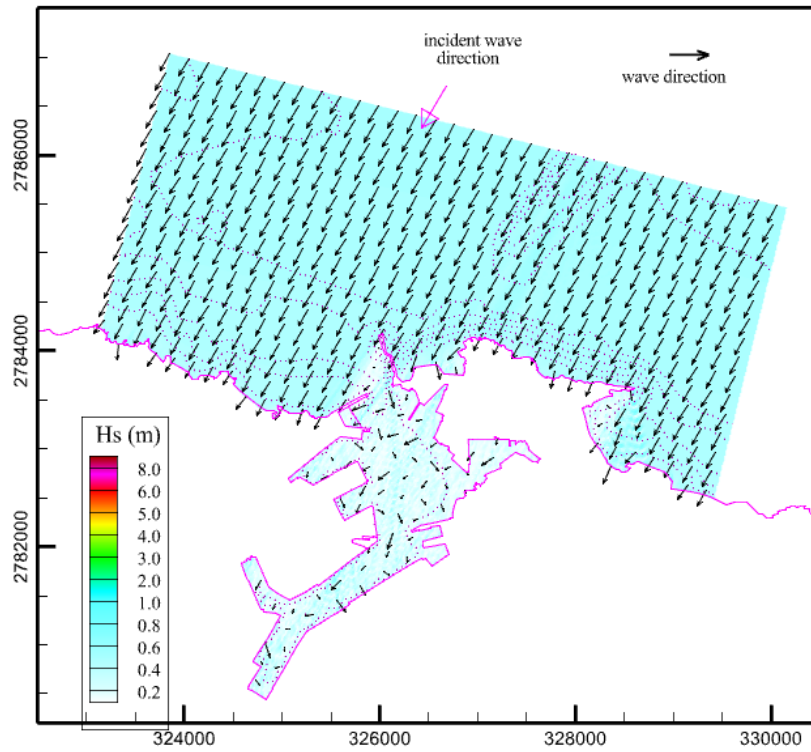


圖 2.53 基隆港區近岸波場出圖範例

SANKL : 11-Sep-2021 00:00

Wave Height & Direction

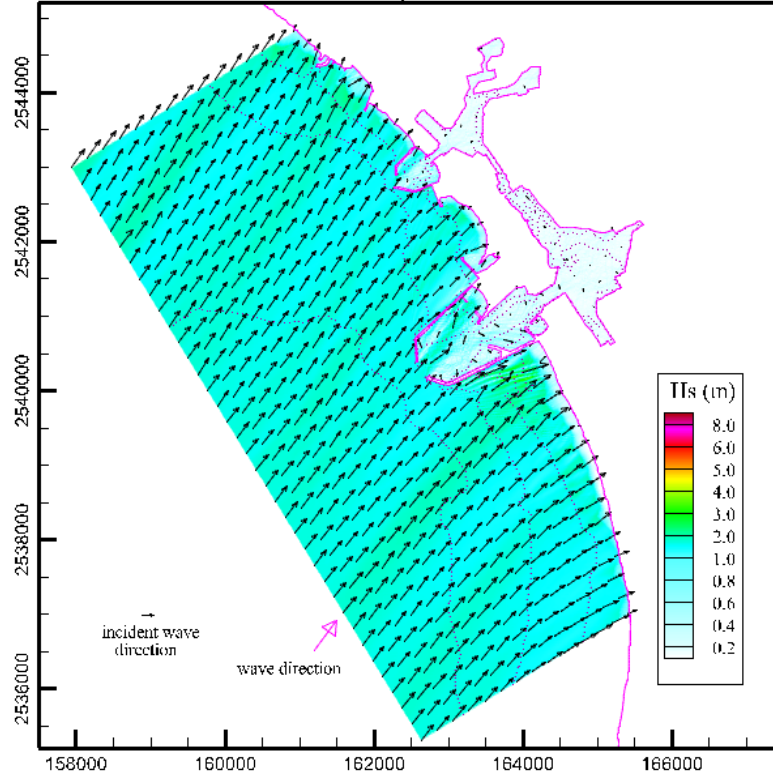


圖 2.54 安平港區近岸波場出圖範例

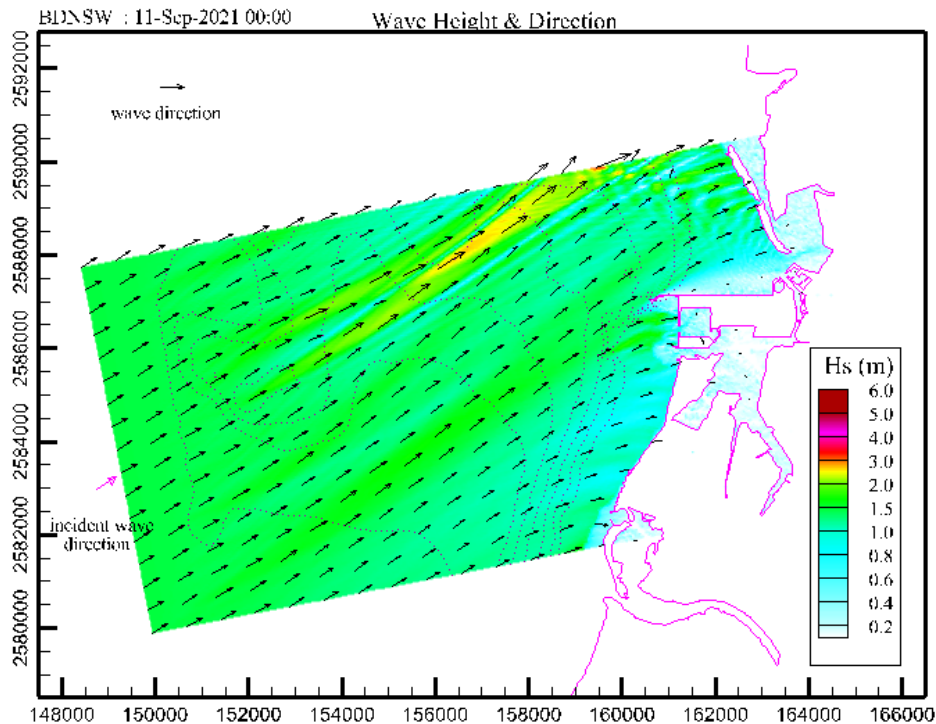


圖 2.55 布袋港區近岸波場出圖範例

2.3.3 氣象局 WRF 氣象場 M04 及 M05 差異

氣象局 WRF 氣象場，於 2021 年，針對颱風路徑，提供 3 公里解析度浮動網格資料，可針對颱風中心距離臺灣位置進行網格浮動，包括左下、右下及右上浮動位置，詳細範圍參考 2.1 節。TaiCOMs 系統原使用之氣象場為 M04，M04 與 M05 之網格解析度及範圍相同，惟 M05 於颱風期間會依據颱風路徑進行網格浮動，因此本年度針對 M04 及 M05 之風場及氣壓場進行初步比較，瞭解兩組風場的差異性，做為後續 TaiCOMs 系統是否更新使用 M05 氣象場之依據。本年度會針對平時及颱風時期進行比較，目前先針對非颱風期間之氣壓場及風速進行比較。圖 2.56 至圖 2.63 為 2022 年 1 月 1 日 00 時預報之氣象場，共計 126 小時，於安平港、布袋港、花蓮港、高雄港、基隆港、蘇澳港、臺中港及臺北港位置氣壓及風速時序圖，圖中黑色線為 M04 資料，紅色線為 M05 資料。圖中時序圖比對可瞭解，於氣壓上，M04 與 M05 在平時差異不大，整體趨勢皆相同，僅在第四天之後會有較大的差異；風速部分，大趨勢方向仍然相同，然與氣壓場差異比較，風速差異較大，若以測站位置區分，則西部測站臺

中港、安平港、布袋港及高雄港差異最小，北部測站臺北港及基隆港次之，東部測站蘇澳港及花蓮港差異最大。

基於 2021 年侵臺颱風中僅輕度颱風圓規侵臺期間 M05 風場有啟用浮動網格預報作業，如圖 2.64 所示，圖中“02”代表正常固定網格，“S2”代表使用右下浮動網格(WDS2)，“W2”代表使用左下浮動網格(WDW2)。因此，針對圓規颱風期間，本計畫利用 TaiCOMS 風場處理系統分別產出 M04 及 M05 風場之作業化組合風場 WE02_m4 及 WE02_m5。並選取氣象局天氣預報每報時間長度(00~126)之“06”資料(即 TaiCOMS 針對每報選取的第一筆起始資料)，計算相同網格之點風速向量差及風速大小差(M05 - M04)，並繪圖如圖 2.65~圖 2.68 所示(ps. 因組合風場作業化程式在因應浮動網格之修正仍有部份技術待克服，因此本報告僅選取其中固定網格之預報資料進行差異分析)。由輕度颱風圓規行進路徑得知，圓規颱風中心並未進入本計畫 WE02 網格範圍內，因此無法比較颱風中心預測位置之差異。此外，圖 2.65~圖 2.68 風場代表時間介於 09 日 12 時至 11 日 2 時，颱風中心尚未通過臺灣南端海面。整體而言，M05 風場風速大小普遍性高於 M04 風場，颱風外圍環流差異性變化相對較為劇烈。

總之，M04 及 M05 風場可視為不同的風場模組，上述差異分析僅顯示二者存在有一定的差異，無法評估何者較適合本計畫。

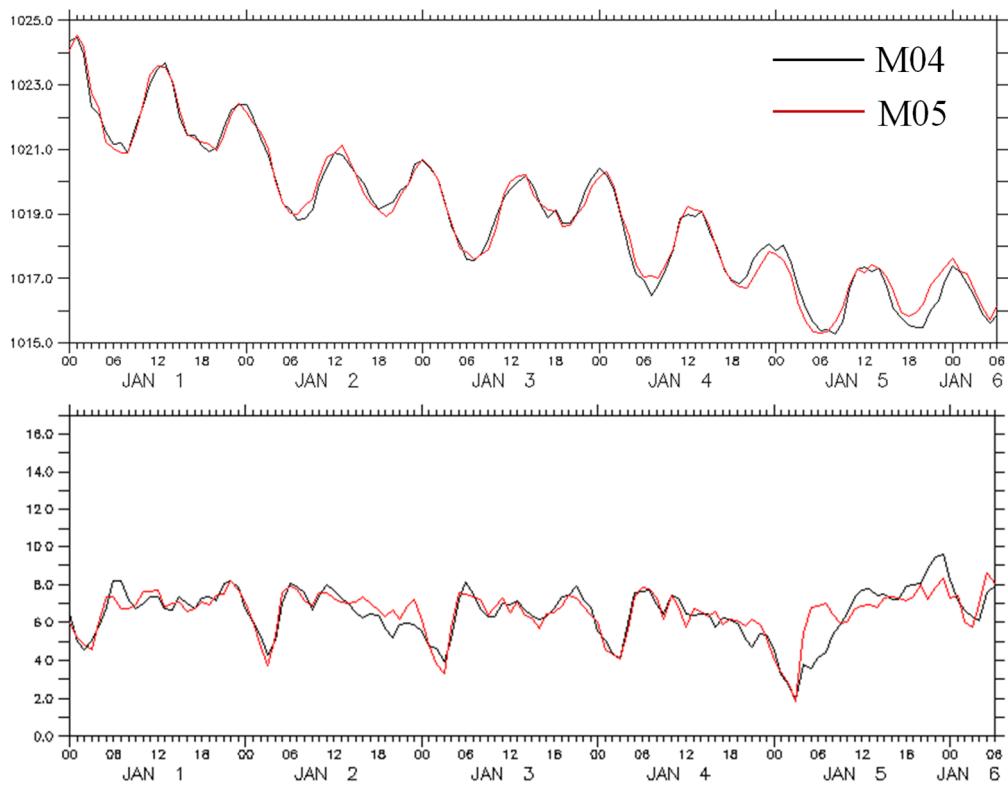


圖 2.56 安平港 M04 與 M05 氣壓及風速時序圖

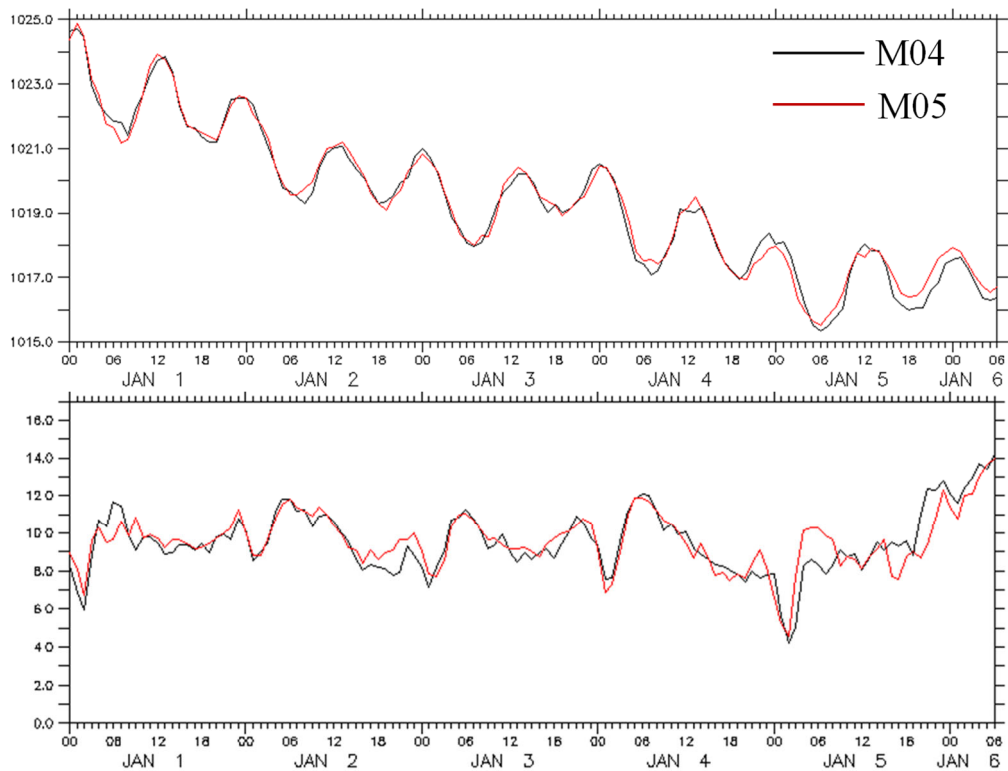


圖 2.57 布袋港 M04 與 M05 氣壓及風速時序圖

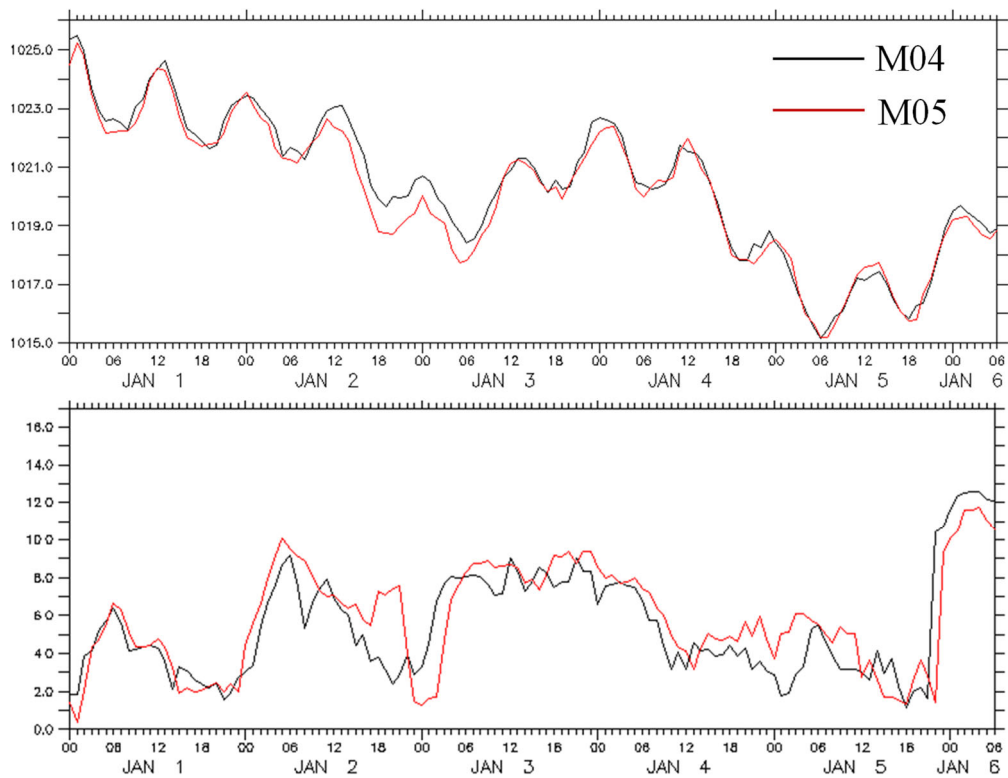


圖 2.58 花蓮港 M04 與 M05 氣壓及風速時序圖

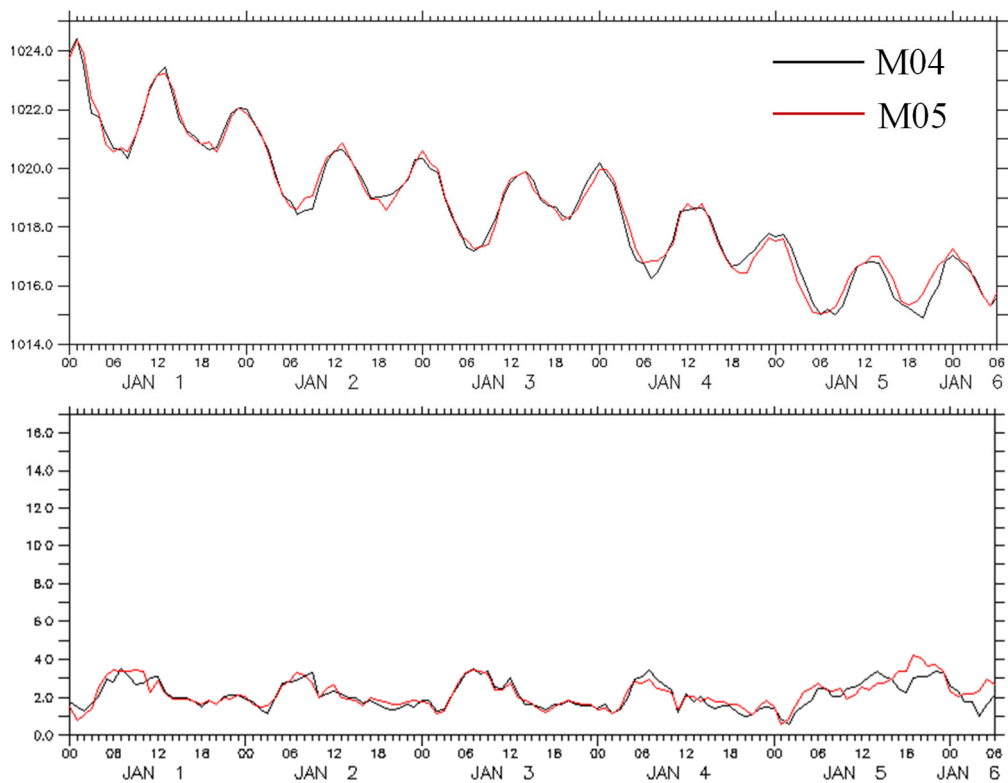


圖 2.59 高雄港 M04 與 M05 氣壓及風速時序圖

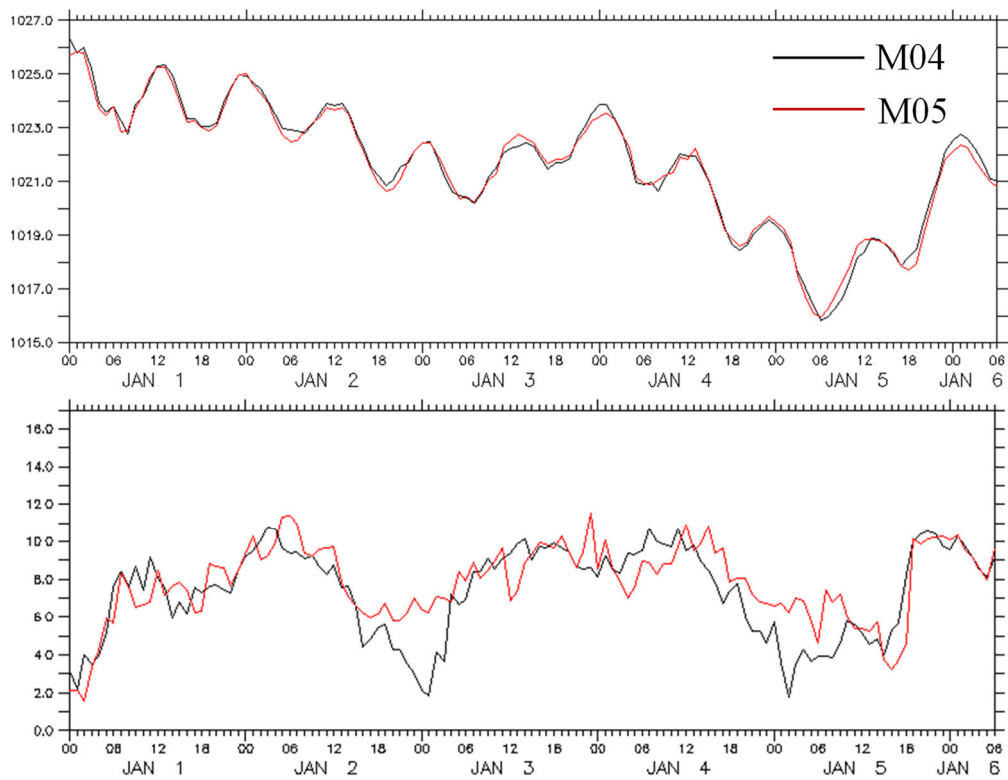


圖 2.60 基隆港 M04 與 M05 氣壓及風速時序圖

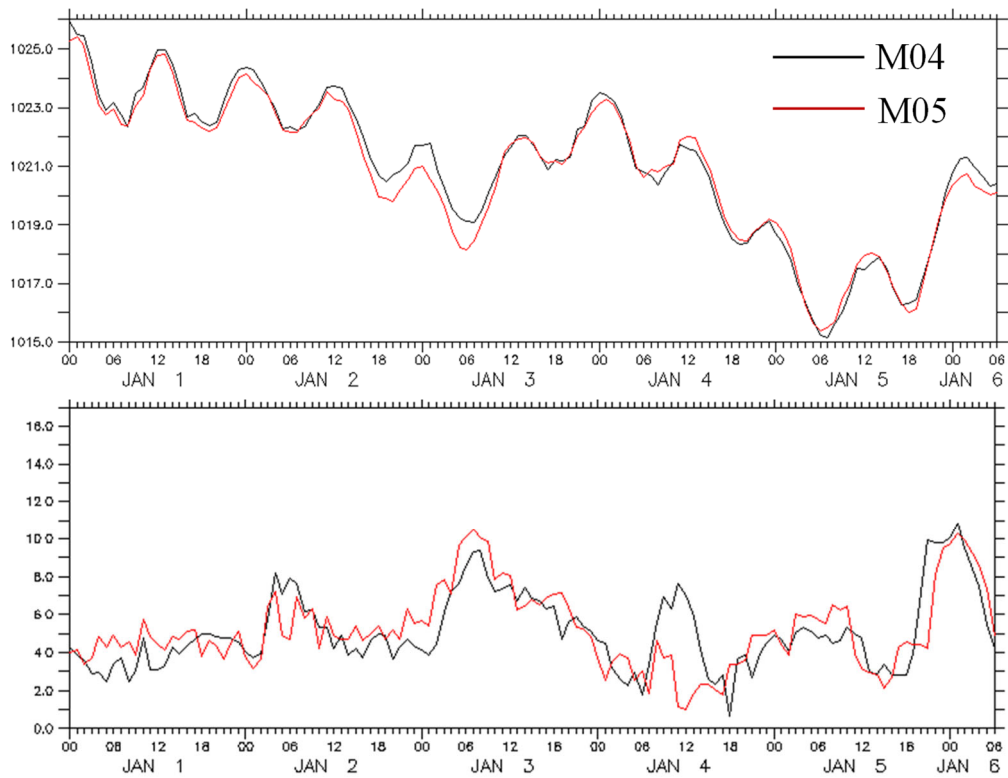


圖 2.61 蘇澳港 M04 與 M05 氣壓及風速時序圖

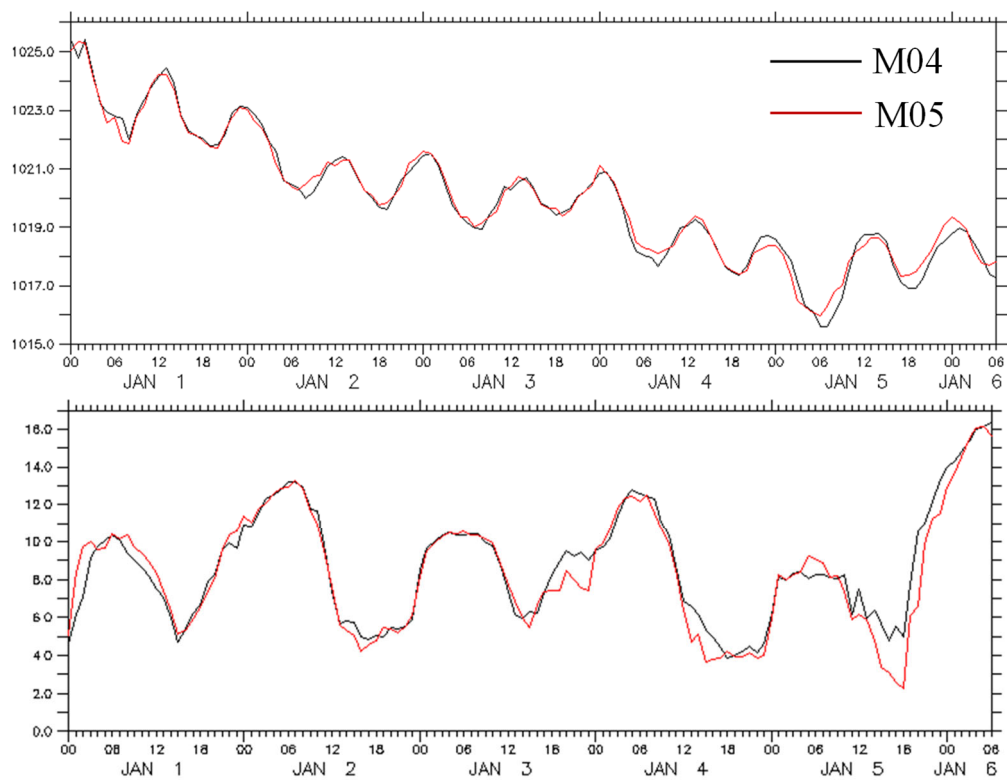


圖 2.62 臺中港 M04 與 M05 氣壓及風速時序圖

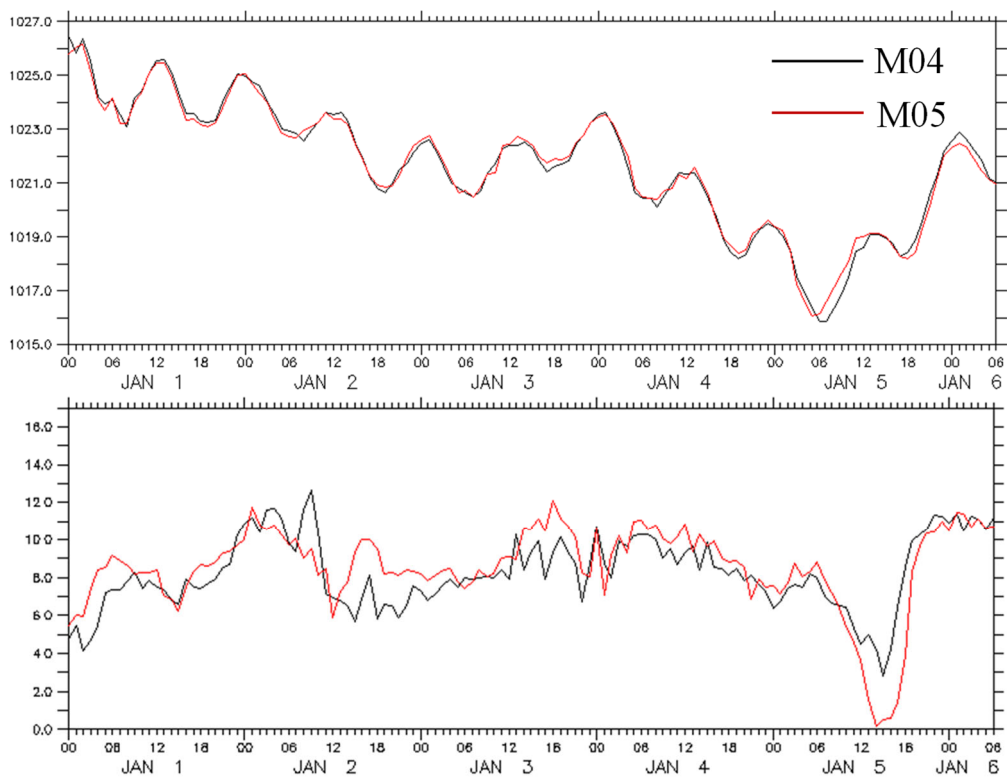


圖 2.63 臺北港 M04 與 M05 氣壓及風速時序圖

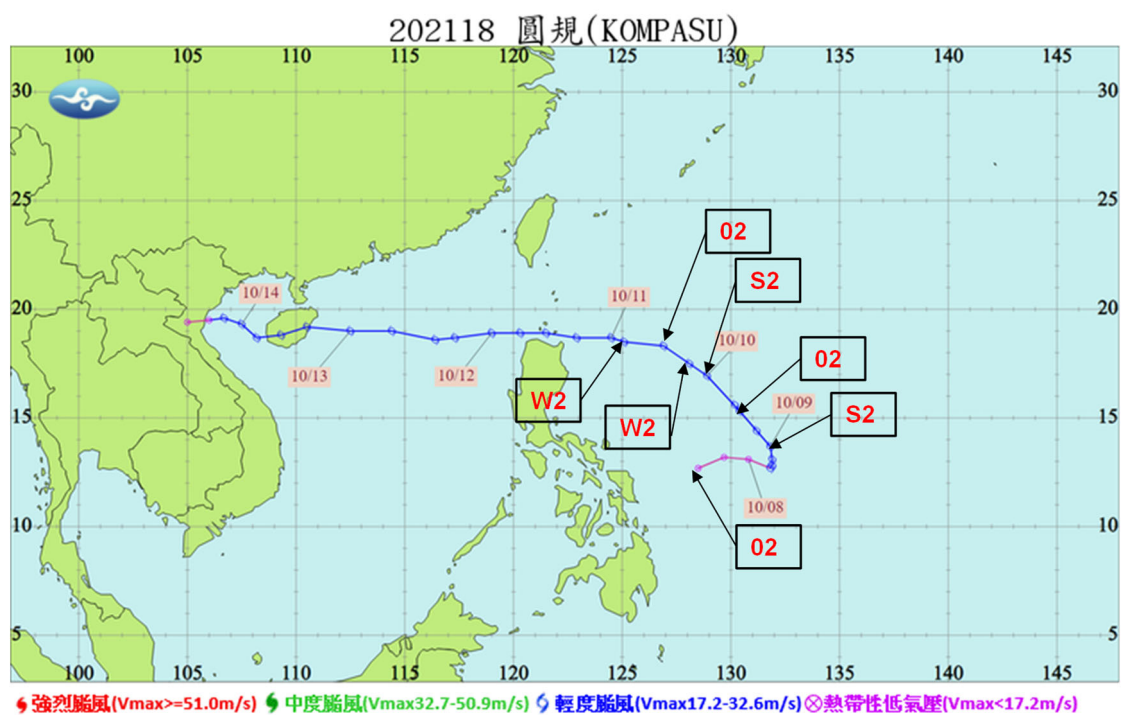


圖 2.64 2021 年輕度颱風圓規路徑及 M05 風場浮動網格使用情形

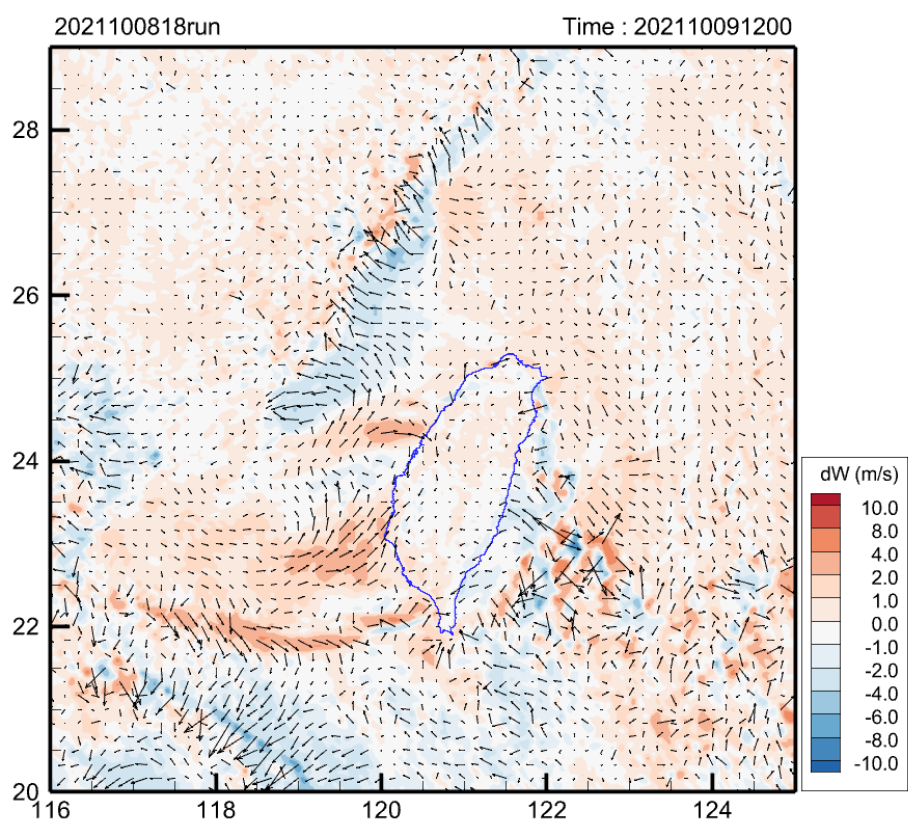


圖 2.65 格林威治 2021100818 報 M04 及 M05 風場之差異性分析圖

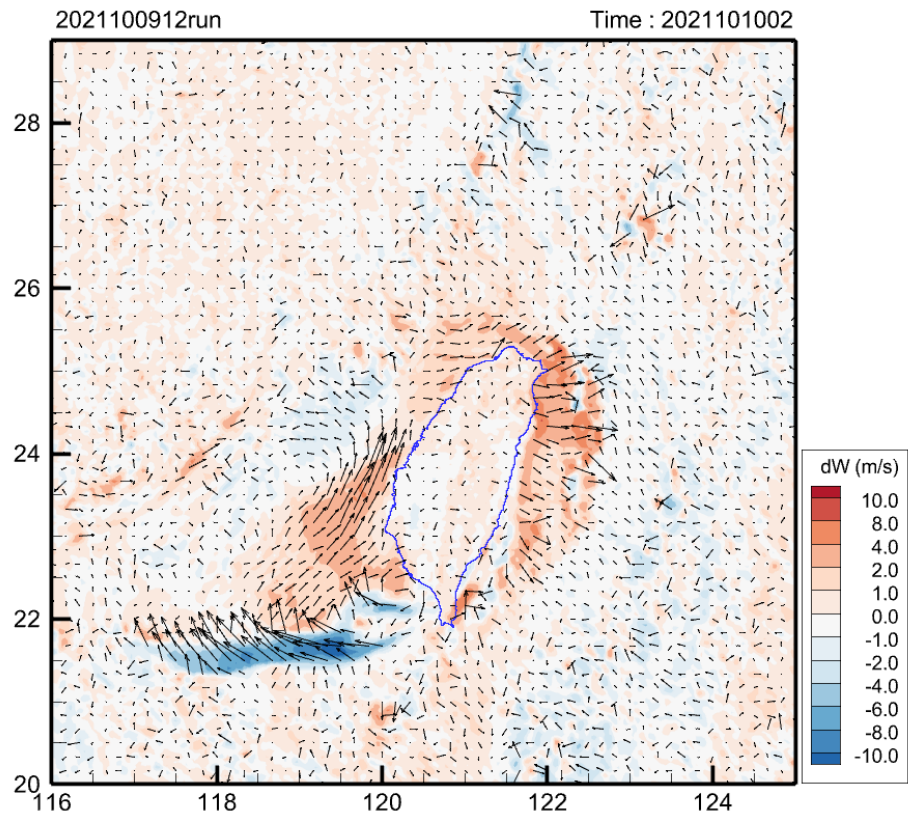


圖 2.66 格林威治 2021100912 報 M04 及 M05 風場之差異性分析圖

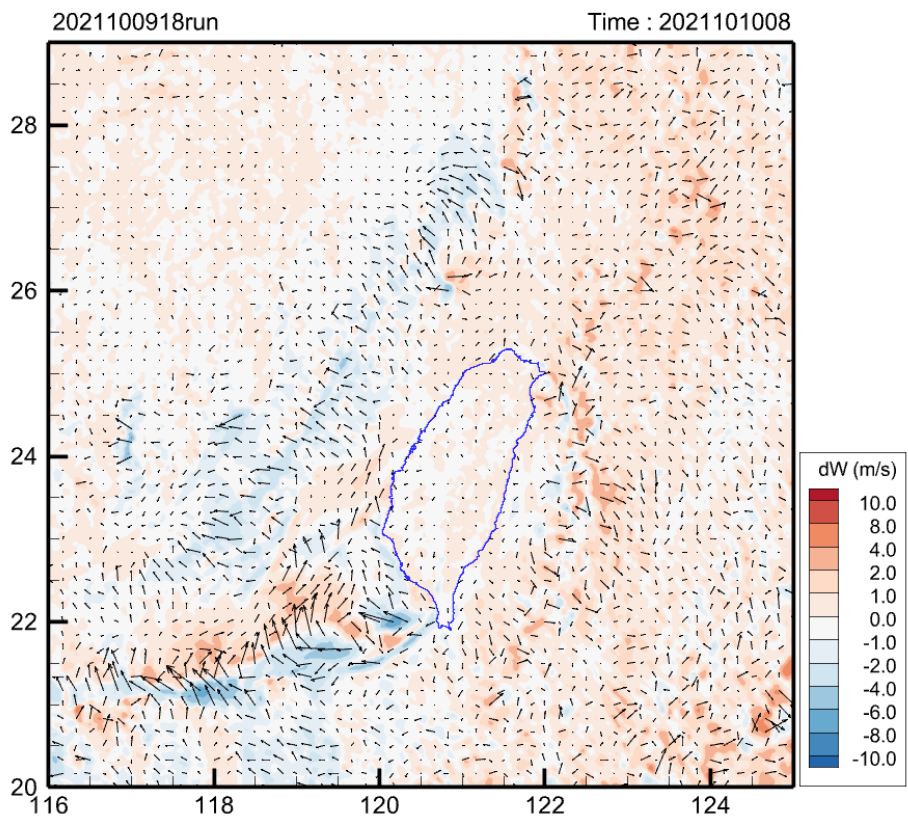


圖 2.67 格林威治 2021100918 報 M04 及 M05 風場之差異性分析圖

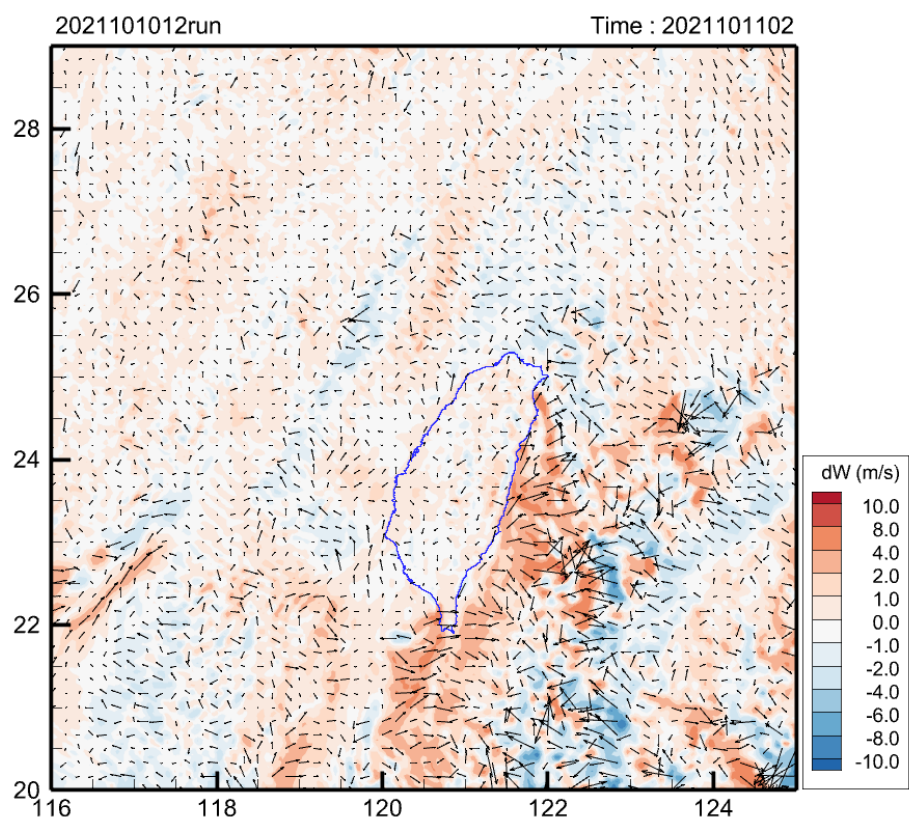


圖 2.68 格林威治 2021101012 報 M04 及 M05 風場之差異性分析圖

第三章 臺灣周圍海域風浪模擬與校驗

3.1 臺灣周圍海域風浪模擬與觀測

3.1.1 臺灣周圍海域風浪模擬

目前港研中心針對臺灣周圍海域風浪模擬，係採用 TaiCOMS 2.0「臺海風浪模擬子系統」進行每日 4 次模擬預測。此風浪模擬系統採用三層巢狀網格，如圖 3.1 所示，包含大尺度遠域風浪模組、中尺度近域風浪模組及數個小尺度近岸風浪模組，如澎湖海域、金門海域、馬祖海域、東南海域、西南海域、花蓮海域及蘇澳海域等 7 個小尺度風浪模組，各模組模擬範圍及網格資訊，如表 3-1 所列。本計畫依據氣象局提供的天氣預報模式 WRF 成員 M04 每日 4 報之天氣預報數值資料，經風場處理系統產生的每日 4 次作業化組合風場模擬臺灣周圍海域風浪。

表 3-1 臺海風浪模擬系統三層巢狀網格之資訊表

風浪模組 名稱	範圍		解析度 (°)	格點數
	經度(°) 最小值/最大值	緯度(°) 最小值/最大值		
遠域風浪模組	110.0/145.00	10.0/35.00	0.2	176×126
近域風浪模組	117.60/123.60	20.60/28.00	0.04	151×186
澎湖海域 近岸風浪模組	119.00/120.56	22.80/24.20	0.008	186×176
金門海域 近岸風浪模組	117.80/118.88	24.04/24.72	0.008	136×086
馬祖海域 近岸風浪模組	119.44/120.84	25.56/26.72	0.008	176×146
東南海域 近岸風浪模組	120.76/122.00	21.52/23.00	0.008	156×186
西南海域 近岸風浪模組	119.80/120.88	21.52/22.52	0.008	136×126
花蓮海域 近岸風浪模組	121.40/122.40	23.28/24.24	0.008	126×121
蘇澳海域 近岸風浪模組	121.64/122.40	24.24/25.12	0.008	96×111

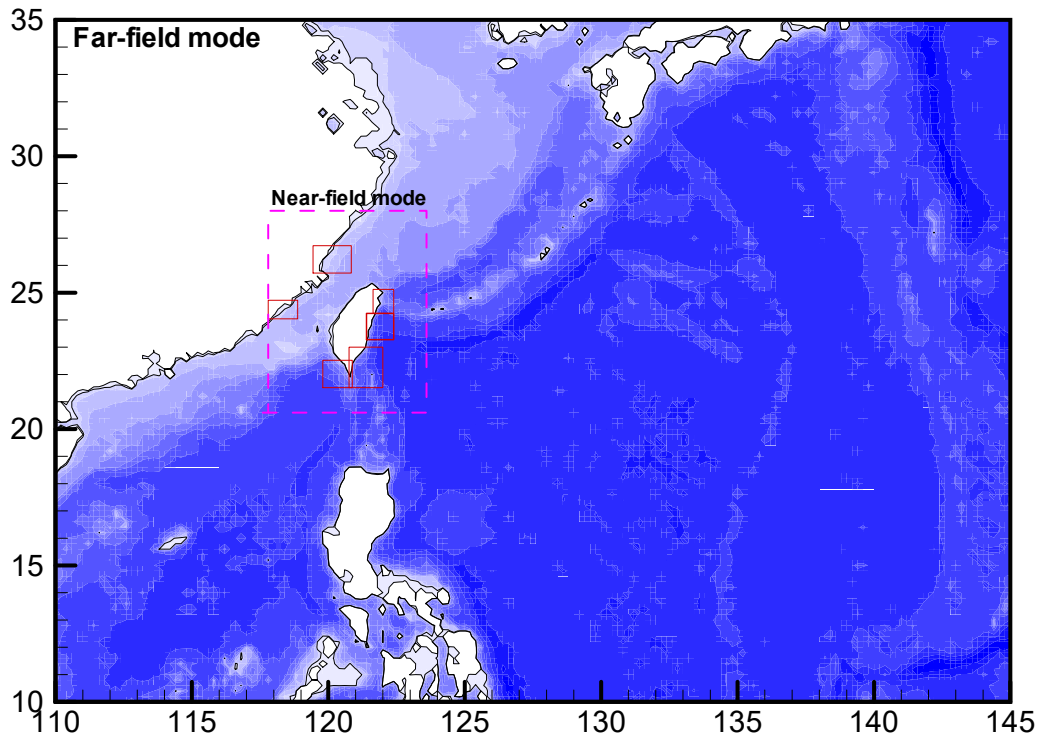


圖 3.1 TaiCOMS 2.0「臺海風浪模擬子系統」三層巢狀網格範圍圖

3.1.2 臺灣周圍海域風浪觀測

臺灣周圍海域現有長期波浪測站分布如圖 3.2 所示，圖中測站代碼末碼 A 代表底碇式 AWAC 潮波流儀測站，末碼 B 代表海面浮標或浮球觀測站。各波浪測站之經緯度坐標與本計畫「臺海風浪模擬子系統」模擬值輸出點位之坐標，如表 3-2 所列。本計畫蒐集花蓮港、蘇澳港、基隆港、臺中港、高雄港、臺北港、布袋港及安平港之港研中心波浪觀測資料，並統計其於冬季(2022 年 1、2 月)波浪特性，如表 3-3 所列。表中 8 海域平均示性波高(H_s)以臺中港海域 2.14m 最高，臺北港海域 1.98m 次之；布袋港及安平港海域平均示性波高分別為 0.57m 及 0.50m，受東北季風影響不顯著。最大示性波高觀測值以基隆港海域 4.65m 為最大，臺中港海域 4.25m 次之，均屬於同一東北季風鋒面。此外，表中臺北港觀測資料因蒐集率較低，其平均值統計代表性較差；布袋港海域平均週期(T_m)統計值為 6.52sec 偏大，屬於異常現象，觀測值之合理性有待確認。由於布袋港海域觀測資料採用的儀器為浮球，非底碇式 AWAC 觀測儀器，因此相關觀測成果建議僅供參考。

表 3-2 波浪測站及風浪模擬系統測站輸出點位之坐標資訊表

波浪測站				中尺度網格		小尺度網格		備 註
測站名稱	測站代號	經 度	緯 度	經 度	緯 度	經 度	緯 度	
基隆港	KLA	121.750	25.163	121.76	25.20	—	—	
臺北港	TPA	121.375	25.181	121.36	25.20	—	—	
臺中港	TCA	120.4819	24.3033	120.44	24.32	—	—	
布袋港	BDA	120.1169	23.3736	120.08	23.36	120.096	23.376	
安平港	APA	120.1439	22.9573	120.12	22.92	120.144	22.952	
高雄港	KHA*1	120.2524	22.6164	120.28	22.52	—	—	
花蓮港	HLA	121.626	23.967	121.64	23.96	121.624	23.968	
蘇澳港	SAA	121.885	24.590	121.92	24.60	121.888	24.592	
澎湖港	PHA*2	119.675	23.556	119.68	23.52	119.68	23.52	
金門港	KMA*2	118.278	24.419					
馬祖港	MZA	119.9393	26.1658	119.92	26.20	119.936	26.168	
蘇澳浮標	SAB	121.877	24.627	121.88	24.64	121.880	24.632	
花蓮浮標	HLB	121.630	24.0325	121.64	24.04	121.632	24.032	46699A
臺東浮標	TDB	121.144	22.724	121.16	22.72	121.16	22.72	
鵝鑾鼻浮標	ELBB	120.823	21.900	120.80	21.88	120.80	21.88	
小琉球浮標	XLQB	120.361	22.316	120.36	22.32	120.36	22.32	46714D
彌陀浮標	MTB	120.164	22.763	120.16	22.76	120.16	22.76	
七股浮標	QGB	120.006	23.099	120.00	23.08	120.008	23.096	
新竹浮標	HCB	120.837	24.755	120.84	24.76	120.84	24.76	46757B
富貴角浮標	FGCB	121.921	25.097	121.32	25.32	121.32	25.32	C6AH2
澎湖浮標	PHB	119.551	23.727	119.52	23.76	119.52	23.76	
金門浮標	KMB	118.411	24.380	118.44	24.36	118.44	24.36	
馬祖浮標	MZB	120.534	26.375	120.56	26.36	120.536	26.376	
蘭嶼浮標	LYB	121.576	22.072	121.60	22.08	121.60	22.08	C6S94
*1、測站位置由二港口移至一港口；*2、目前測站停止觀測								

表 3-3 臺灣周圍海域冬季波浪觀測資料統計特性表

	花蓮	蘇澳	基隆	臺中	高雄	臺北	布袋	安平
蒐集率	99.7	95.8	85.0	99.3	98.4	43.7*1	99.2	96.3
平均波高(m)	1.57	1.54	1.76	2.14	0.80	1.98	0.57	0.50
平均週期(s)	5.85	5.44	5.23	4.78	3.69	4.80	6.52*2	3.79
平均譜峰週期(s)	8.78	8.73	8.06	7.41	6.61	7.85	7.86	6.73
平均波向(°)	91.7	70.5	14.5	9.1	280	32.5	292	263
最大波高(m)	3.59	2.73	4.65	4.25	1.48	4.62*3	1.40	1.05
最大波高 發生時間	02/23 15:00	02/23 11:00	02/20 03:00	02/20 01:00	02/20 10:00	02/04 08:00	02/20 12:00	02/20 19:00
來源	AWAC	AWAC	AWAC	AWAC	AWAC	AWAC	Buoy	AWAC

*1 資料蒐集率偏低，代表性不足；*2、3 觀測值異常

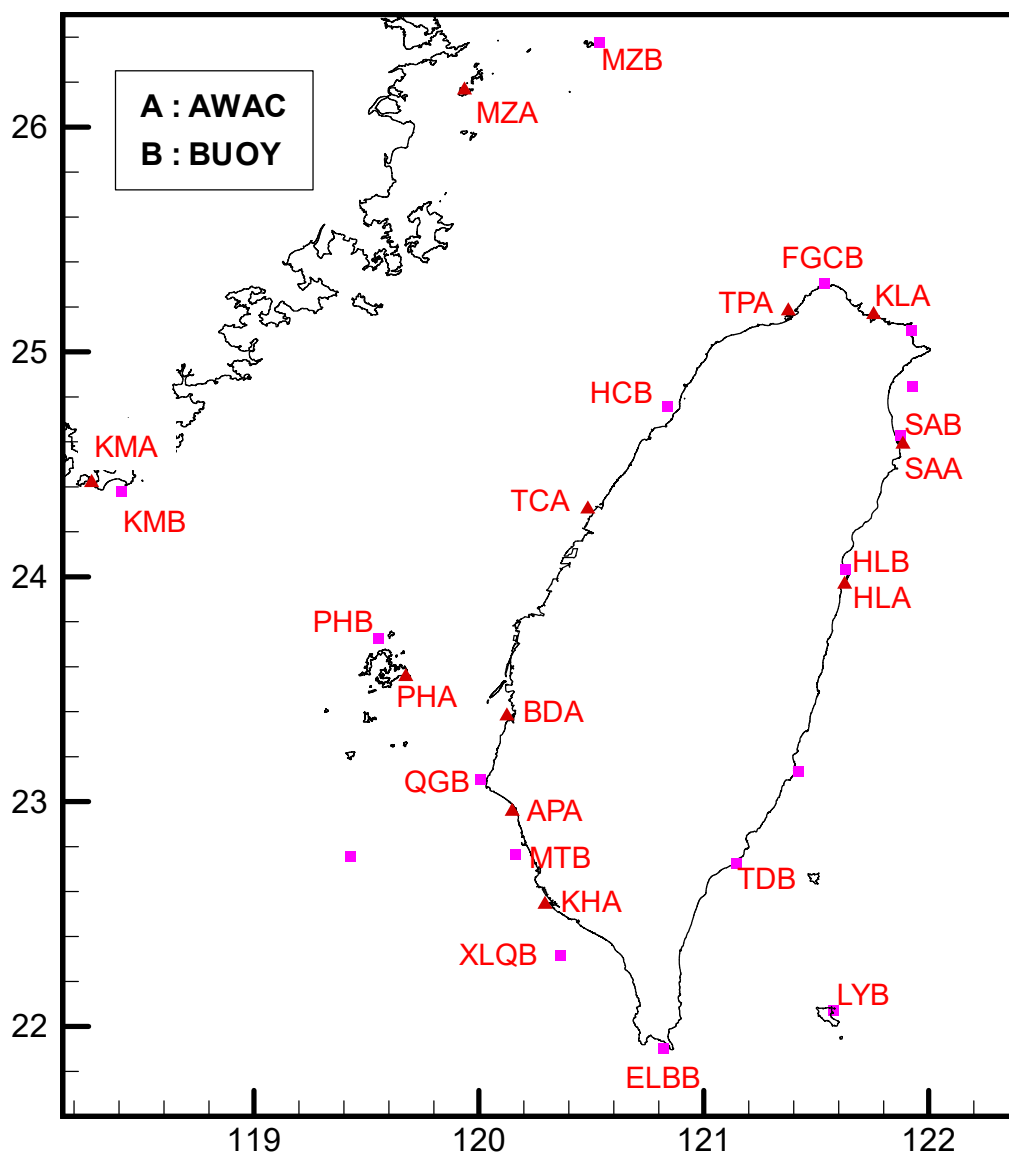


圖 3.2 臺灣周圍海域長期波浪觀測站分布圖

3.1.3 風浪校驗指標

本計畫延續歷年研究方法，以示性波高(H_s)、平均週期(T_m)、譜峰週期(T_p)及平均波向(D_m)等波浪統計參數為對象，採用模擬值與觀測值間常態化均方根誤差(NRMSE)及相關係數(R)為校驗指標。此處示性波高及平均週期分別採用波浪能量譜之零階動差 m_0 、二階動差 m^2 定義之，即

$$H_s = 4\sqrt{m_0} \dots\dots\dots(3.1)$$

$$T_m = \sqrt{m_0/m^2} \dots\dots\dots(3.2)$$

模擬值與觀測值間常態化均方根誤差定義如下：

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N}} / \bar{O} \dots\dots\dots (3.3)$$

式中 P_i 代表模擬值， O_i 代表觀測值， $\bar{O}$ 為觀測量平均值， N 為觀測值或模擬值數量(取對應數量較小者)。模擬值與觀測值間相關係數 R 定義如下：

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}} \dots\dots\dots (3.4)$$

式中 $\bar{P}$ 代表模擬值 P_i 之平均值。

3.2 冬季風浪模擬與校驗

針對冬季(2022 年 1、2 月)風浪模擬結果，本計畫選取 TaiCOMS 2.0 「臺海風浪模擬子系統」中尺度臺海近域風浪模組每日 4 次追算模擬結果彙整成各港逐時模擬資料，並統計其於冬季(2022 年 1、2 月)波浪特性，如表 3-4 所列。與花蓮港、蘇澳港、基隆港、臺北港、臺中港、布袋港、安平港及高雄港之觀測資料比對，如圖 3.3~圖 3.10 所示。由示性波高時序列變化趨勢得知，除西南海域近海(如布袋港、安平港、高雄港等)受到本島地形屏蔽影響外，臺灣周圍海域示性波高變化與東北季風峰面變化具有高度的相關性，此與臺海近域風浪模組模擬趨勢相符。即於東北季風鋒面增強期間，臺灣周圍海域風浪會隨之增大，示性波高增大幅度則與鋒面強度高度相關。

由表 3-3 與表 3-4 比較可知，本計畫系統平均示性波高模擬值普遍高於觀測值(僅臺北港海域模擬值較低例外)，受到東北季風鋒面影響顯著的海域，如東部海域(花蓮港、蘇澳港)、北部海域(基隆港)及西部海域(臺中港)等，平均示性波高模擬值與觀測值之比值約介於 1.11~1.2；西南海域如布袋港及安平港平均示性波高比值分別為 2.19 及 1.84，此與波浪觀測值受地形屏蔽影響，東北季風效應不明顯有關。在風浪週期方面，平均週期及譜峰週期模擬值均呈現偏低現象，此可能與風浪模組之系統性問題有關；其中平均週期模擬值與觀測平均值之比值約介於 0.75~0.93，譜峰週期模擬值觀測平均值之比值約介於 0.62~0.90(不計布袋港)。此外，花蓮港

及蘇澳港海域最大示性波高模擬值發生於 2 月 23 日，其餘港口最大示性波高模擬值發生於 2 月 20 日，此與觀測值統計結果一致。

本計畫風浪模擬值與觀測值間之常態化均方根誤差(NRMSE)與相關係數(R)，其結果如表 3-5 所列。各海域(不含布袋港海域)示性波高常態化均方根誤差最小值出現在基隆港海域 0.193，最大值出現在安平港海域 0.934(此與平均示性波高觀測值較低有關)；示性波高相關性最高出現在基隆港海域 0.923(R>0.7 代表高度相關、0.3~0.7 代表中度相關、R<0.3 代表低度相關)，相關係數低於 0.7 者僅蘇澳港海域 0.677。平均週期與譜峰週期之常態化均方根誤差最小值同樣出現在臺中港海域，分別為 0.124 及 0.141，NRMSE 最大值同樣出現在安平港海域，分別為 0.295 及 0.433；相關係數最大值同樣出現在基隆港海域，分別為平均週期 0.892、譜峰週期 0.828，具高度相關；最小值同樣出現在安平港海域分別為平均週期 0.213、譜峰週期 0.193，均屬於低度相關。

表 3-4 臺灣周圍海域冬季風浪模擬資料統計特性表

	花蓮	蘇澳	基隆	臺中	高雄	臺北	布袋	安平
蒐集率	99.2	99.2	99.2	99.2	99.2	99.2	99.2	99.2
平均波高(m)	1.88 (1.20* ¹)	1.77 (1.15)	1.96 (1.11)	2.57 (1.20)	0.94 (1.18)	1.50 (0.76)	1.25 (2.19)	0.92 (1.84)
平均週期(s)	4.59 (0.78)	4.60 (0.85)	4.54 (0.87)	4.44 (0.93)	3.34 (0.91)	3.74 (0.78)	3.17 (0.49* ²)	2.86 (0.75)
平均譜峰週期(s)	7.06 (0.80)	7.15 (0.82)	6.80 (0.84)	6.67 (0.90)	5.08 (0.77)	6.20 (0.79)	4.65 (0.59)	4.18 (0.62)
平均波向(°)	59.3 (0.65)	58.5 (0.83)	40.8 (2.81)	12.6 (1.38)	313 (1.12)	16.5 (0.51)	336 (1.15)	328 (1.25)
最大波高(m)	4.93 (1.37)	3.92 (1.43)	4.45 (0.96)	6.06 (1.43)	1.93 (1.30)	3.09 (0.67)	2.62 (1.87)	1.99 (1.90)
最大波高 發生時間	02/23 14:00	02/23 15:00	02/20 09:00	02/20 05:00	02/23 13:00	02/19 16:00	02/20 05:00	02/20 06:00
*1 為比值(模擬值/觀測值)								
*2 觀測值有疑慮								

表 3-5 臺灣周圍海域冬季風浪模擬值與觀測值之校驗成果表

港口	年份	示性波高		平均週期		譜峰週期		平均波向	
		NRMSE	R	NRMSE	R	NRMSE	R	NRMSE	R
花蓮港	2021	0.314	0.904	0.235	0.709	0.269	0.542	0.35	0.661
	2022	0.358	0.808	0.237	0.574	0.226	0.682	0.38	0.773
蘇澳港	2021	0.339	0.759.	0.226	0.650	0.266	0.537	0.39	0.334
	2022	0.333	0.677	0.193	0.389	0.207	0.735	0.29	0.681
基隆港	2021	0.288	0.906.	0.214	0.784	0.260	0.574	2.30	0.270
	2022	0.193	0.923	0.159	0.892	0.183	0.828	2.04	0.503
臺北港	2021	—	—	—	—	—	—	—	—
	2022	0.237	0.825	0.218	0.355	0.202	0.702	1.36	0.234
臺中港	2021	—	—	—	—	—	—	—	—
	2022	0.303	0.921	0.124	0.798	0.141	0.776	0.89	0.411
布袋港	2021	—	—	—	—	—	—	—	—
	2022	1.256	0.823	0.554	0.535	0.455	0.484	0.15	0.206
安平港	2021	0.844	0.859.	0.344	0.208	0.445	0.298	0.24	0.322
	2022	0.934	0.740	0.295	0.213	0.433	0.193	0.26	0.192
高雄港	2021	0.282	0.869.	0.194	0.597	0.409	0.253	0.16	0.138
	2022	0.301	0.731	0.137	0.551	0.335	0.410	0.13	0.149

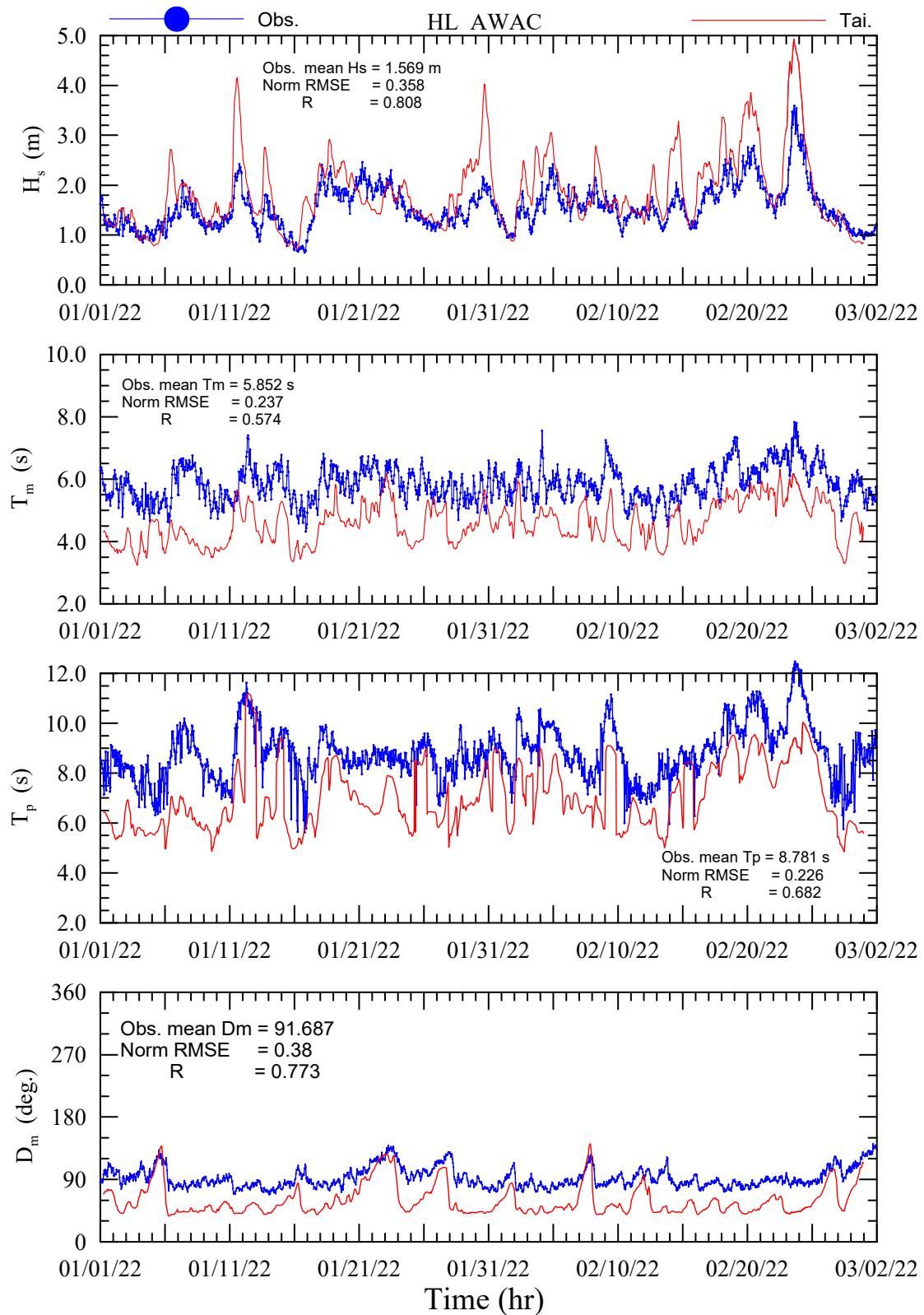


圖 3.3 花蓮港海域冬季(1、2 月)風浪模擬結果與觀測值之比較圖

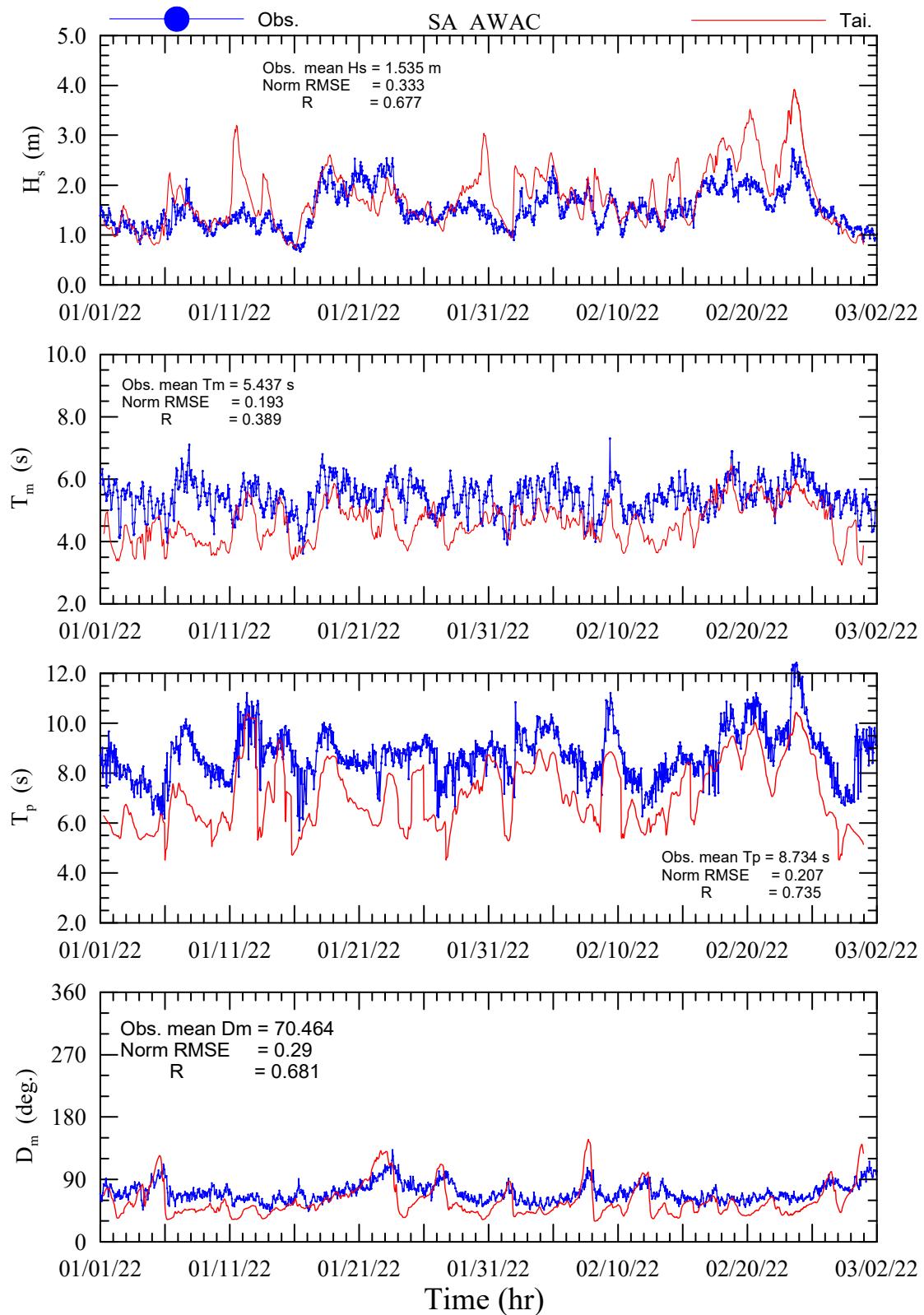


圖 3.4 蘇澳港海域冬季(1、2 月)風浪模擬結果與觀測值之比較圖

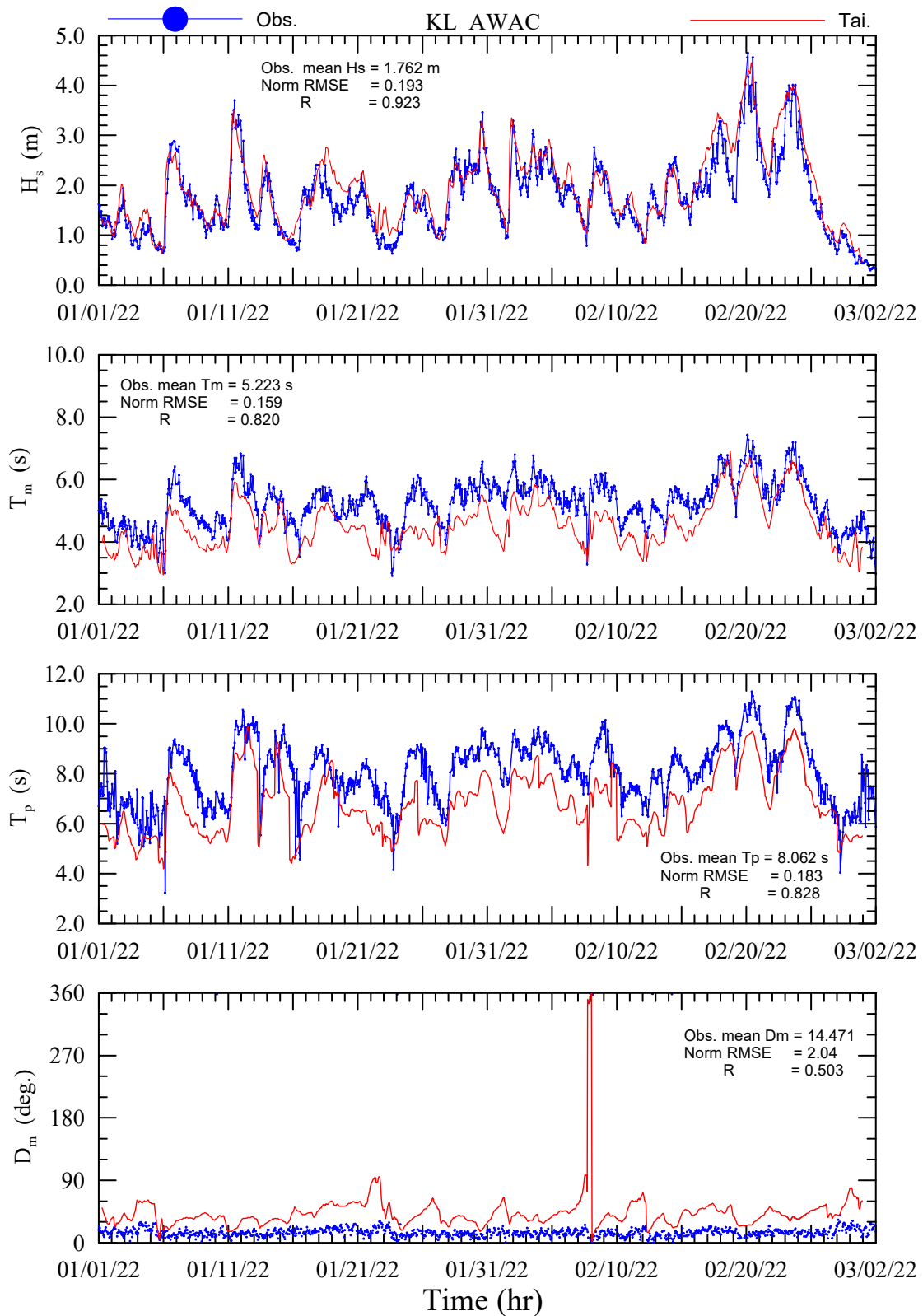


圖 3.5 基隆港海域冬季(1、2 月)風浪模擬結果與觀測值之比較圖

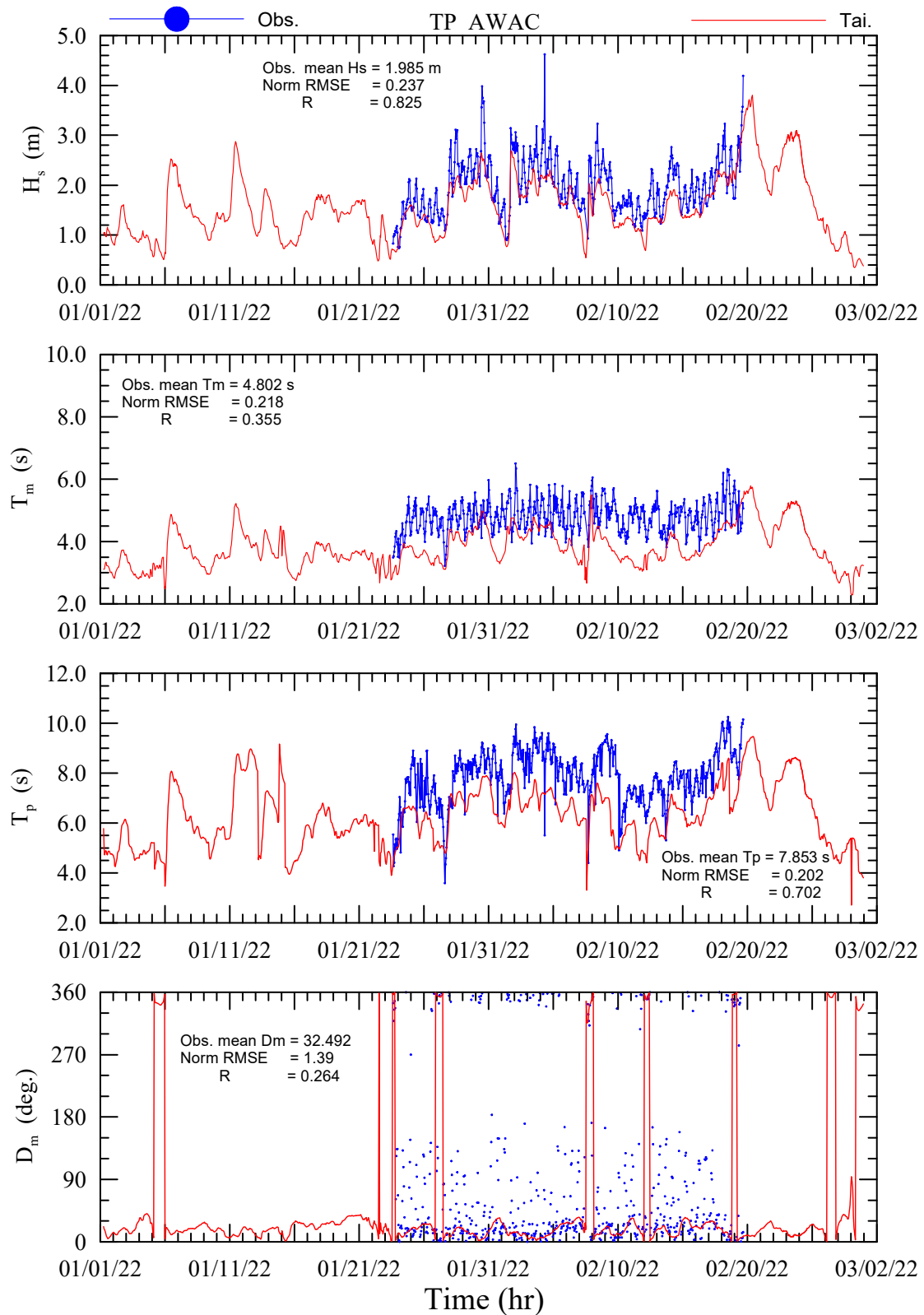


圖 3.6 臺北港海域冬季(1、2 月)風浪模擬結果與觀測值之比較圖

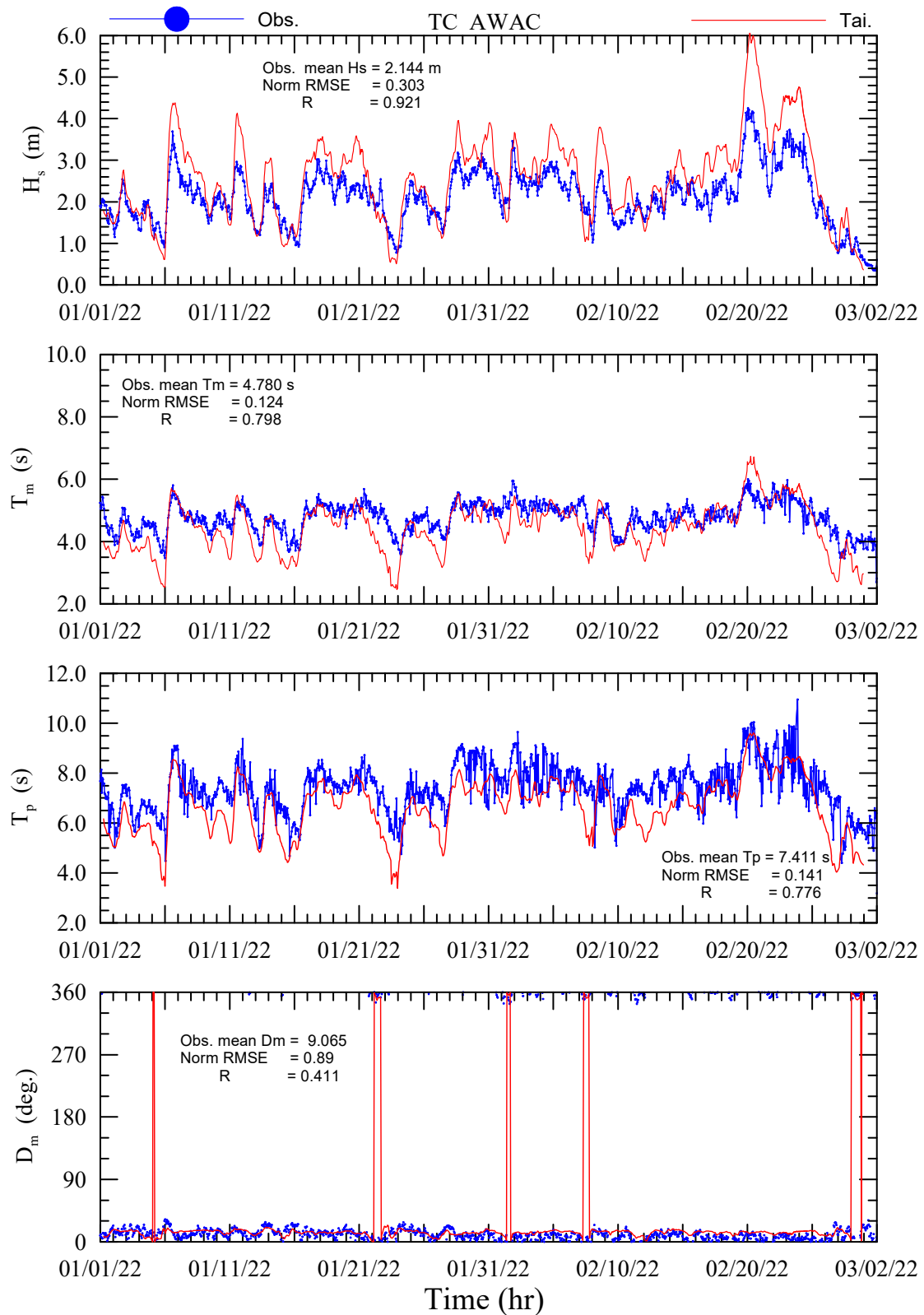


圖 3.7 臺中港海域冬季(1、2 月)風浪模擬結果與觀測值之比較圖

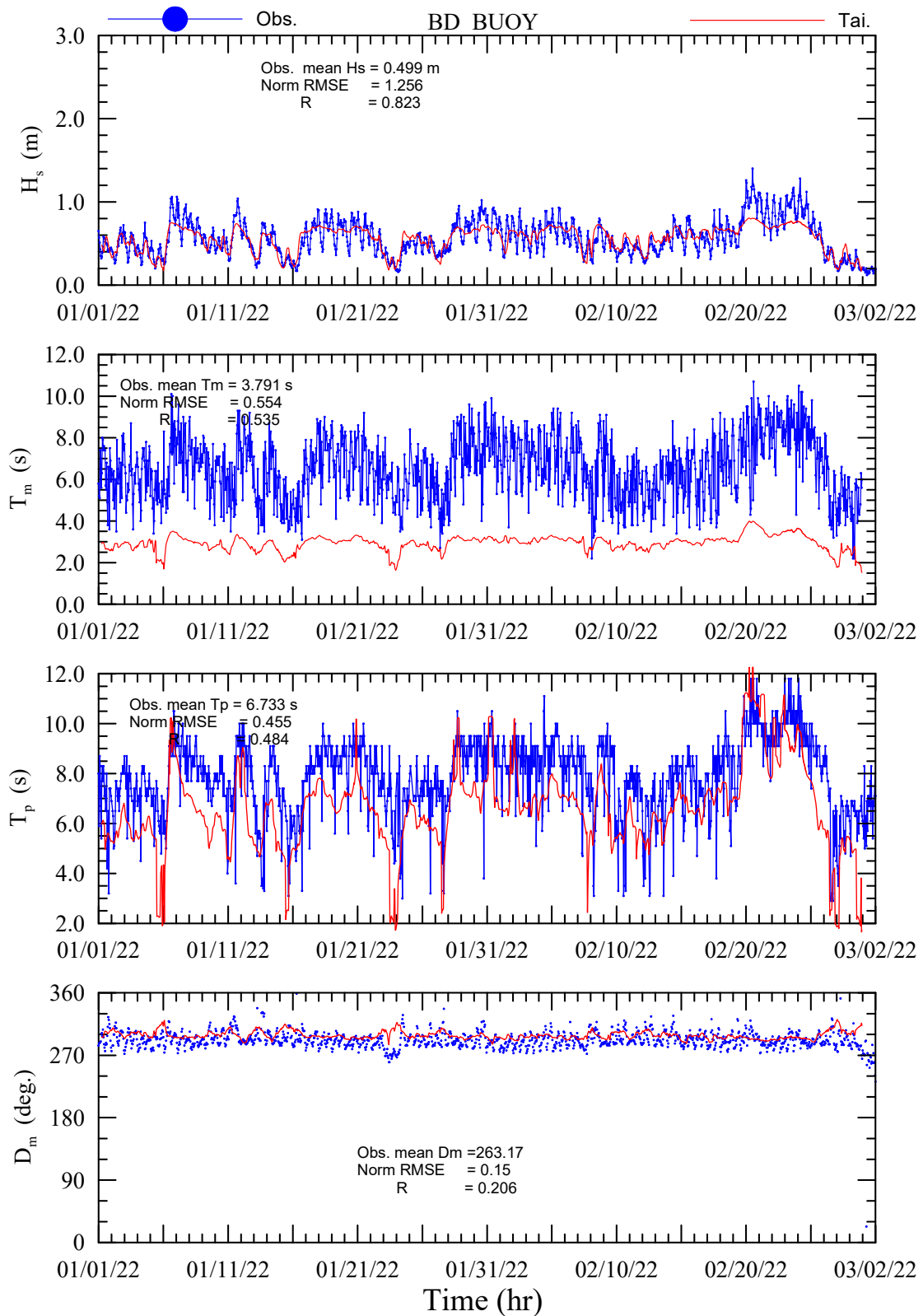


圖 3.8 布袋港海域冬季(1、2 月)風浪模擬結果與觀測值之比較圖

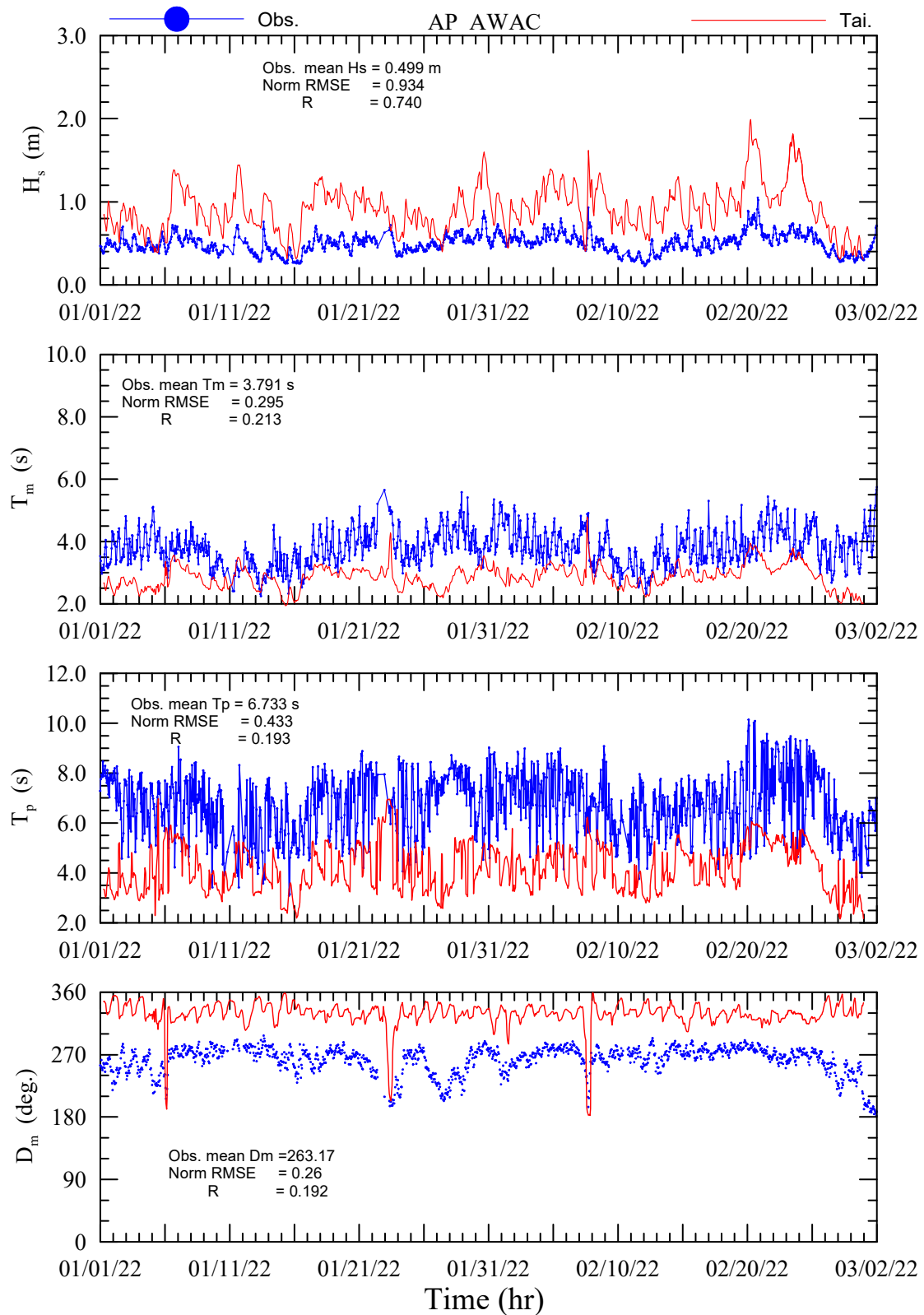


圖 3.9 安平港海域冬季(1、2 月)風浪模擬結果與觀測值之比較圖

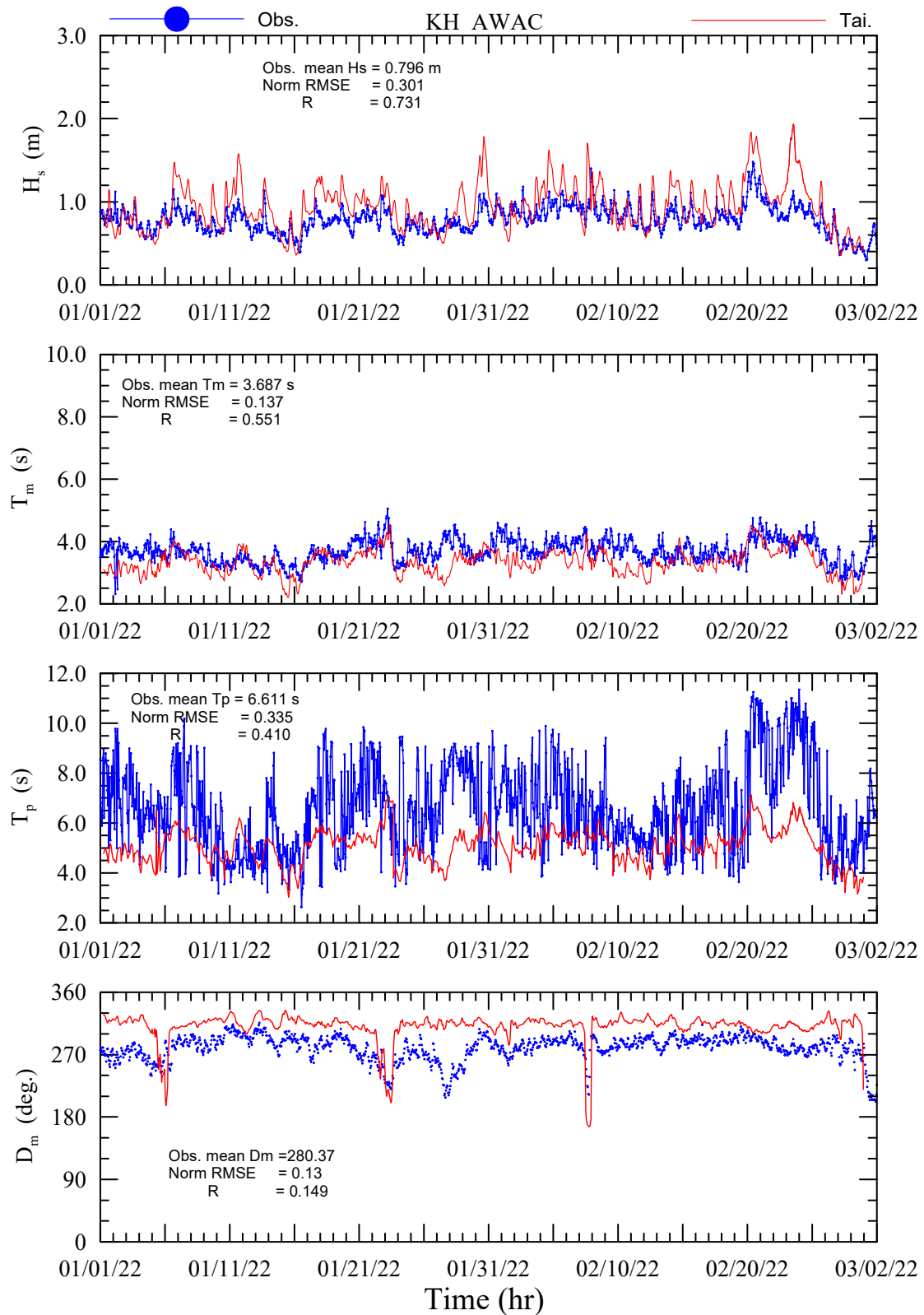


圖 3.10 高雄港海域冬季(1、2 月)風浪模擬結果與觀測值之比較圖

3.3 颱風波浪模擬與校驗

2021 年西北太平洋颱風共計 22 個，其中經氣象局發布颱風警報者依序計有輕度颱風彩雲(CHOI-WAN)、中度颱風烟花(IN-FA)、輕颱盧碧(LUPIT)、強烈颱風璨樹(CHANTHU)及輕度颱風圓規(KOMPASU)等 5 個，其生命週期間之行進路徑如圖 3.11 至圖 3.15 所示。本計畫選取 9 月強烈颱風璨樹及 10 月輕度颱風圓規中尺度臺海風浪模擬結果進行討論。

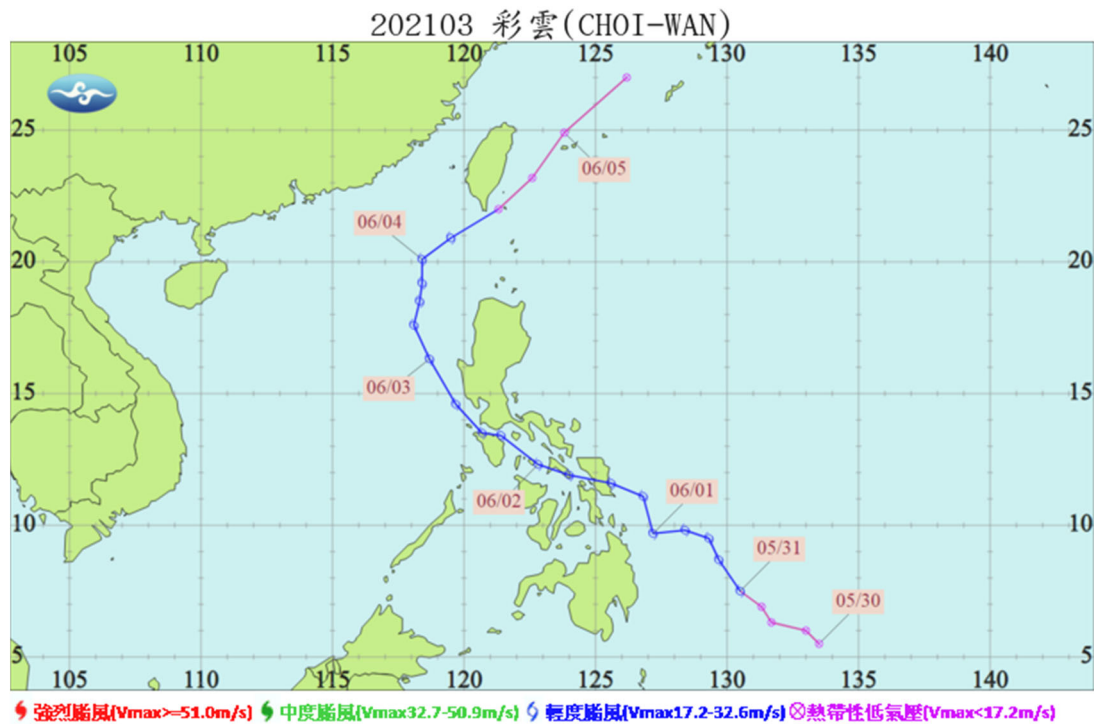


圖 3.11 2021 年輕度颱風彩雲行進路徑圖

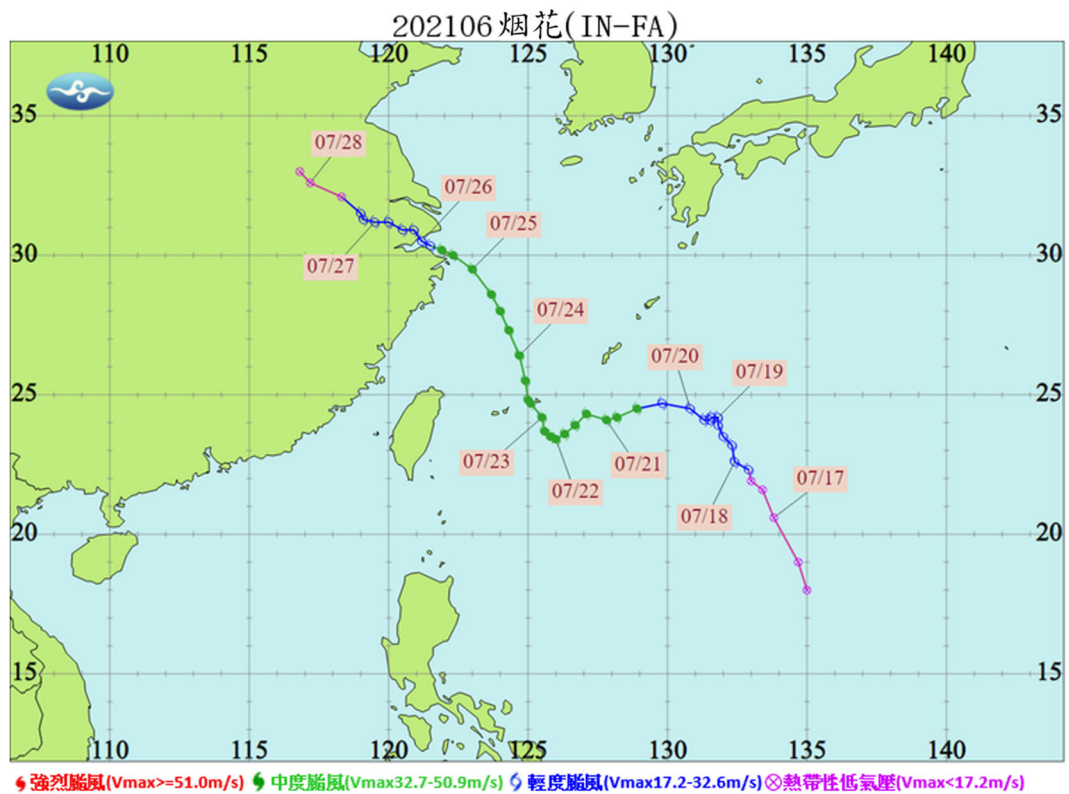


圖 3.12 2021 年中度颱風烟花行進路徑圖

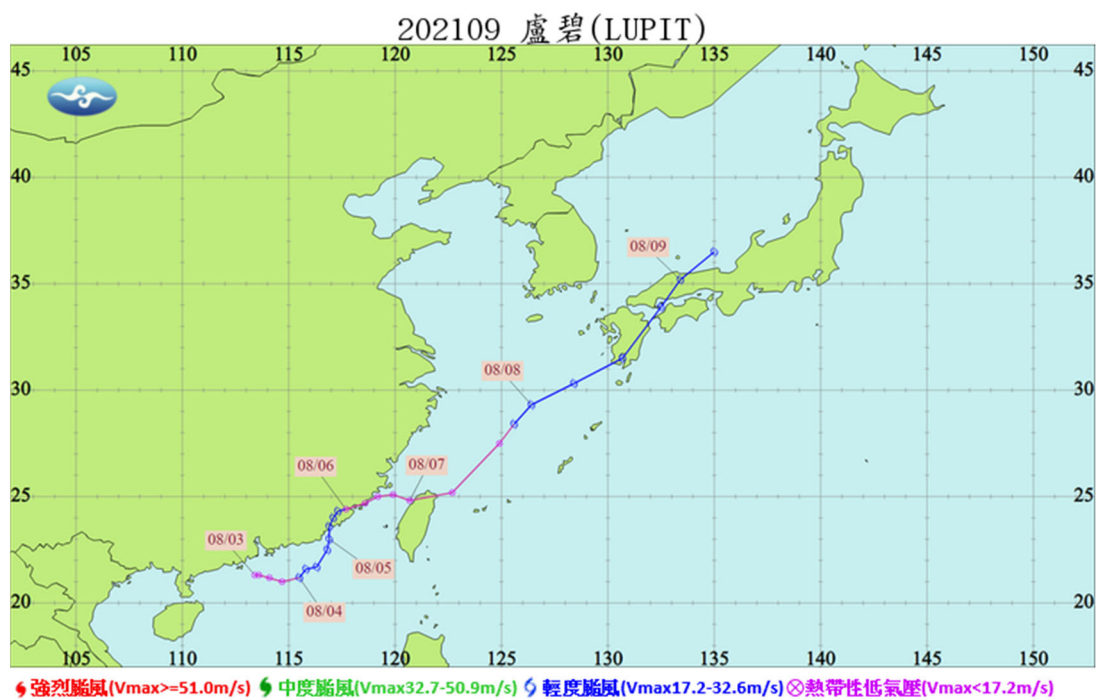


圖 3.13 2021 年輕度颱風盧碧行進路徑圖

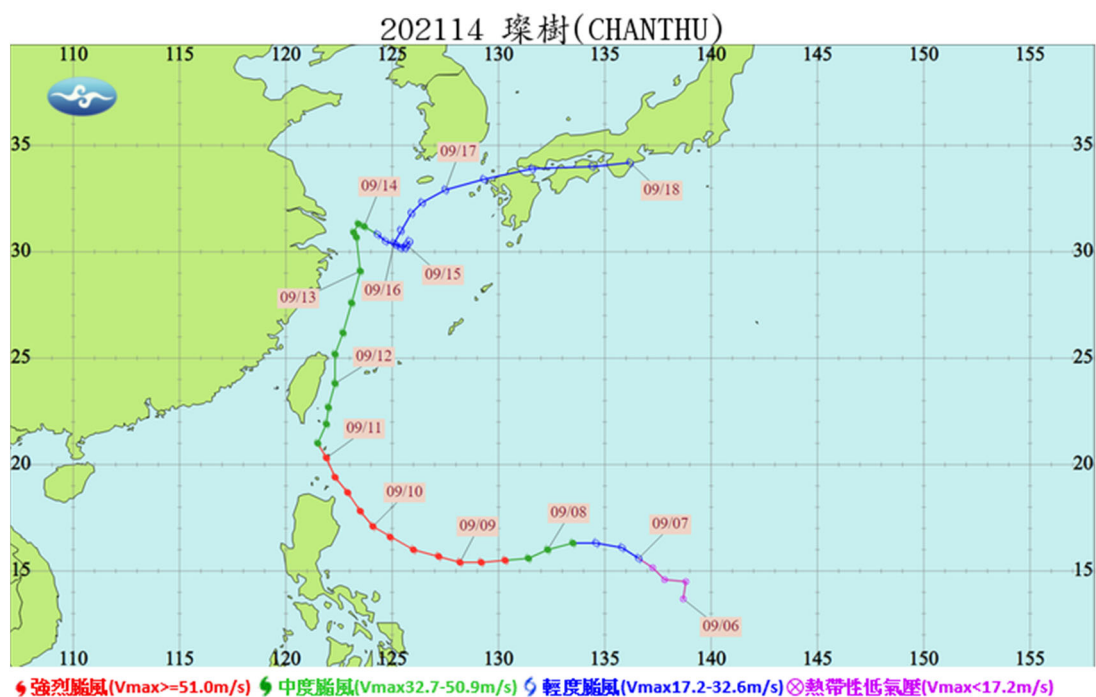


圖 3.14 2021 年強烈颱風璨樹行進路徑圖

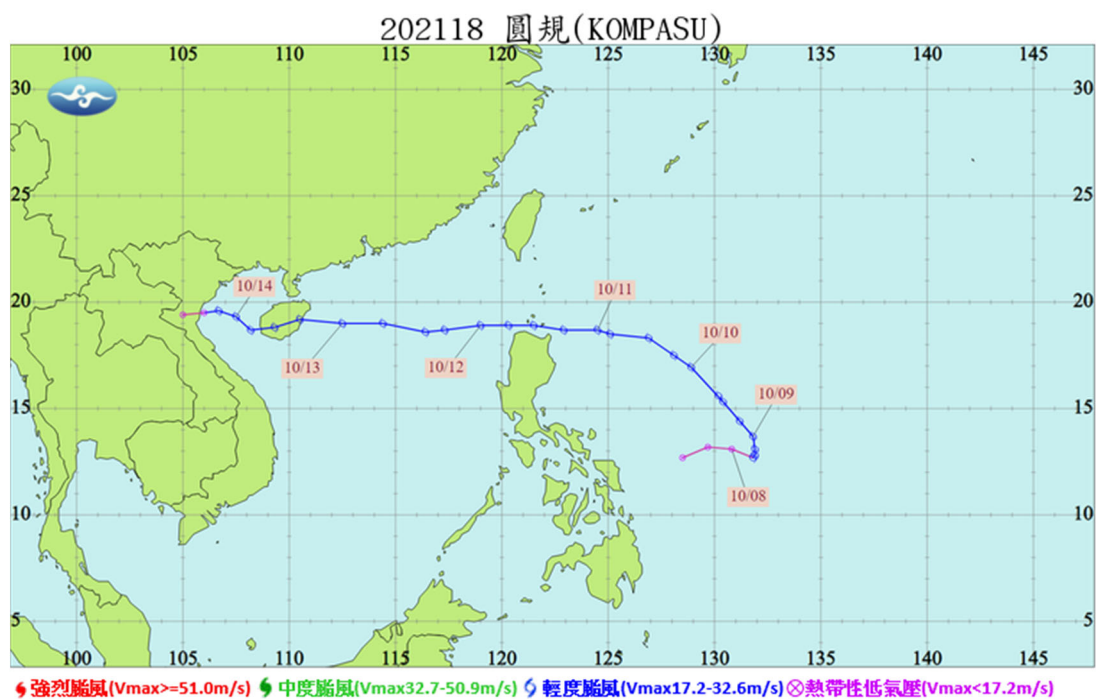


圖 3.15 2021 年輕度颱風圓規行進路徑圖

3.3.1 璨樹颱風波浪模擬

璨樹颱風生命週期為 2021 年 09/07 08:00~09/18 08:00，屬於第 6 類侵臺路徑，海上颱風警報發布時間為 09/10 05:30，解除海上警報時間為 09/13 02:30；暴風圈涵蓋臺灣全島，主要影響海域包括東部海域、北部海域及西北部海域。本計畫選取中尺度臺海風浪追算模擬結果與花蓮港、蘇澳港、基隆港、臺北港、臺中港、安平港及高雄港等 7 海域波浪觀測資料比較，如圖 3.16~圖 3.22 所示。由示性波高歷線變化情形得知，花蓮港及蘇澳港海域波浪觀測資料呈現顯著雙峰變化情形，此現象無法在臺海風浪模擬結果呈現，推測可能與氣象局預報風場無法反應此現象有關。

針對璨樹颱風期間臺海波浪模擬值與觀測值之統計特性，本計畫選取璨樹颱風接近臺灣期間，即 09/10 00:00~09/14 00:00，分析波浪主要參數之統計特性，如表 3-6 所列；顯示除臺北港及臺中港海域外，其餘海域平均示性波高模擬值呈現顯著高估現象(模擬值/觀測值 >1.2)，最大示性波高模擬值顯著高估者計有花蓮港海域、基隆海域及安平海域等，呈現高估現象(模擬值/觀測值介於 1.1~1.2)者計有蘇澳港海域及高雄港海域。此外，最大示性波高發生時間在模擬與觀測間誤差在 6 小時(含)以內計有花蓮港、蘇澳港、基隆港、臺北港及高雄港等 5 海域。颱風期間波浪週期之平均值在東部海域(如花蓮港及蘇澳港)及高雄港海域呈現高估現象，臺中港海域則出現低估現象(模擬值/觀測值介於 0.8~0.9)；平均譜峰週期變化趨勢較不一致，如花蓮港海域為顯著高估、蘇澳港海域僅高估現象之下限，臺中港海域則跨越顯著低估門檻(模擬值/觀測值 <0.8)等。

針對璨樹颱風侵臺期間臺海風浪模擬值與觀測值間常態化均方根誤差(NRMSE)與相關係數(R)分析結果，如表 3-7 所列。其中示性波高相關性分析，僅基隆港海域屬中度相關，其餘海域呈現高度相關；平均週期相關性僅花蓮港、蘇澳港及安平港等 3 海域達到高度相關門檻；譜峰週期相關性無一海域達到高度相關，其中基隆港海域更呈現無線性相關之結果($R = -0.007$)。平均波高相關性最高者為臺北港海域($R = 0.819$)，最低者為高雄港海域($R = 0.275$)。

表 3-6 2021 年璨樹強烈颱風侵臺期間各海域波浪參數統計特性表

統計參數	資類別	花蓮	蘇澳	基隆	臺北	臺中	安平	高雄
蒐集率* ¹	觀測值	100.0	100.0	87.6	100.0	99.0	99.0	100.0
	模擬值	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
平均示性波高 (m)	觀測值	1.92	2.54	0.93	1.17	1.24	0.97	1.20
	模擬值	3.14	3.21	1.75	1.28	1.16	1.16	1.51
	比 值	1.64	1.26	1.88	1.09	0.94	1.20	1.26
平均週期(s)	觀測值	6.71	6.61	4.41	3.82	4.54	4.42	4.66
	模擬值	8.00	7.67	4.42	3.51	3.76	4.25	5.17
	比 值	1.19	1.16	1.00	0.92	0.83	0.96	1.11
平均譜峰週期 (s)	觀測值	9.82	10.91	7.66	5.90	7.09	7.04	8.23
	模擬值	12.00	12.01	6.67	5.36	5.51	8.37	10.09
	比 值	1.22	1.10	0.87	0.91	0.78	1.19	1.23
平均波向(°)	觀測值	134.8	120.8	18.5	7.5	358.0	243.2	250.3
	模擬值	139.8	143.5	66.2	356.5	318.2	239.0	238.3
最大示性波高 (m)	觀測值	4.49	6.40	2.73	3.54	2.59	1.89	2.68
	模擬值	7.30	7.40	3.86	2.95	2.03	2.45	3.02
	比 值	1.63	1.16	1.41	0.83	0.78	1.30	1.13
最大示性波高 發生時間	觀測值	09/12 02:00	09/12 08:00	09/12 15:00	09/12 21:00	09/12 12:00	09/12 18:00	09/12 15:00
	模擬值	09/12 08:00	09/12 11:00	09/12 17:00	09/12 21:00	09/13 03:00	09/12 09:00	10/12 20:00

*1 資料統計期間為 9/10 00:00 ~ 9/14 00:00 共 97 小時。

表 3-7 2021 年璨樹強烈颱風侵臺期間波浪模擬值校驗成果表

港口	資料 起迄 時間	示性波高		平均週期		譜峰週期		平均波向	
		NRMSE	R	NRMSE	R	NRMSE	R	NRMSE	R
花蓮港	10 00 14 00	0.820	0.843	0.245	0.750	0.290	0.643	0.11	0.392
蘇澳港	10 00 14 00	0.400	0.907	0.263	0.725	0.194	0.645	0.23	0.554
基隆港	10 00 14 00	1.095	0.633	0.202	0.594	0.312	-0.007	2.95	0.690
臺北港	10 00 14 00	0.331	0.897	0.211	0.634	0.336	0.395	4.70	0.819
臺中港	10 00 14 00	0.309	0.709	0.194	0.813	0.277	0.488	0.17	0.632
安平港	10 00 14 00	0.295	0.939	0.203	0.706	0.589	0.249	0.11	0.532
高雄港	10 00 14 00	0.354	0.922	0.315	0.448	0.550	0.339	0.17	0.275

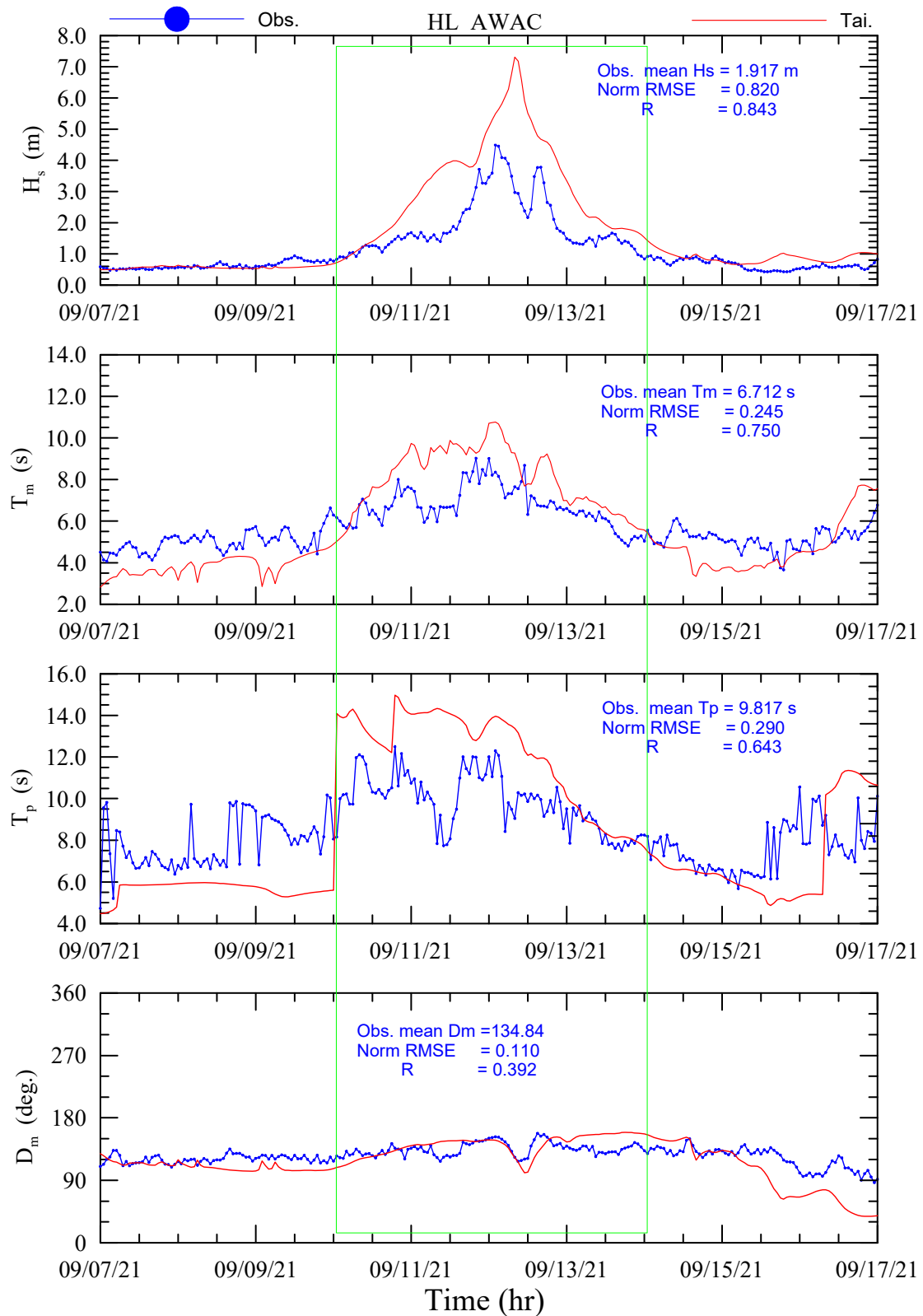


圖 3.16 璨樹颱風期間花蓮港海域波浪模擬值與觀測值比較圖

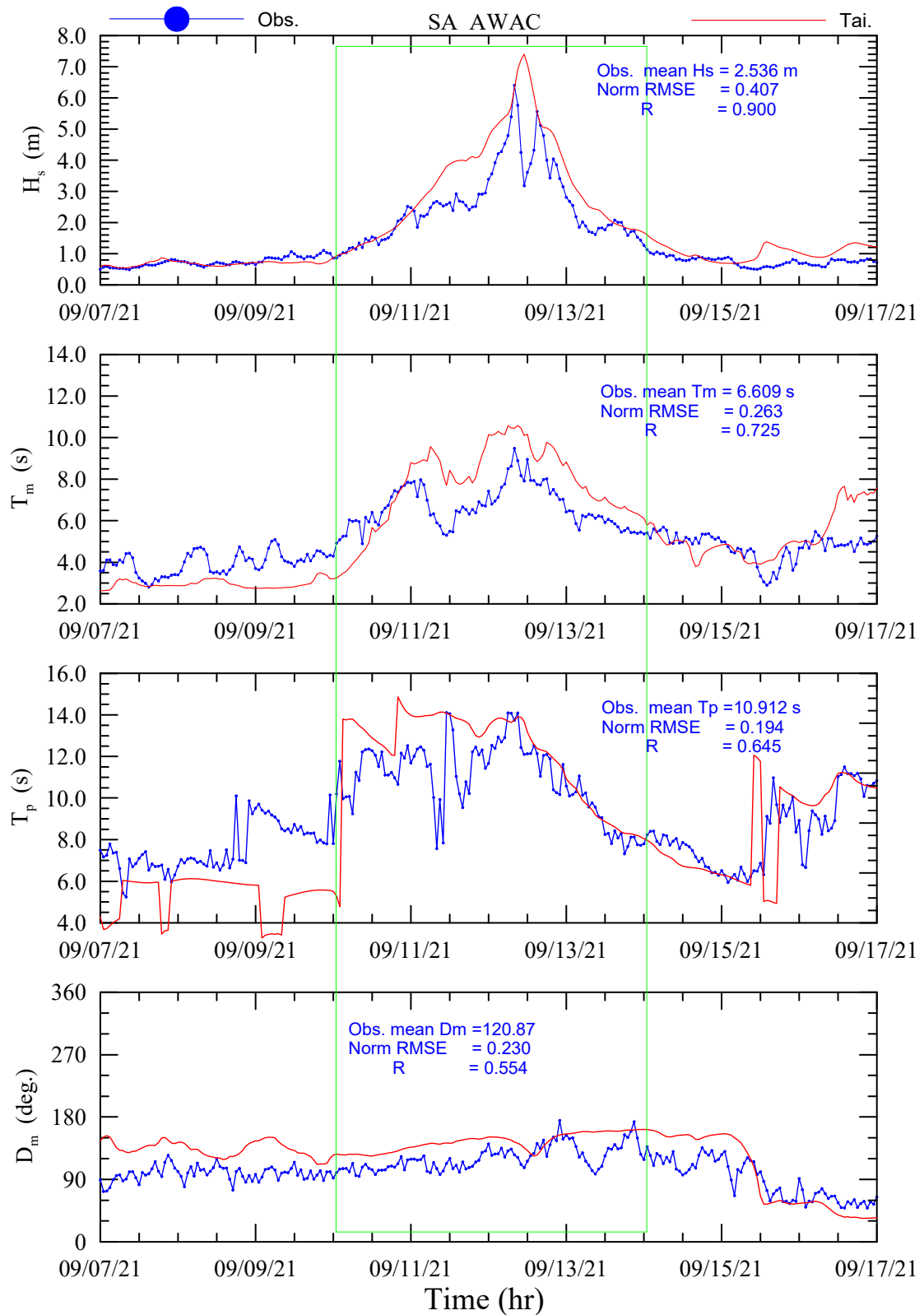


圖 3.17 璨樹颱風期間蘇澳港海域波浪模擬值與觀測值比較圖

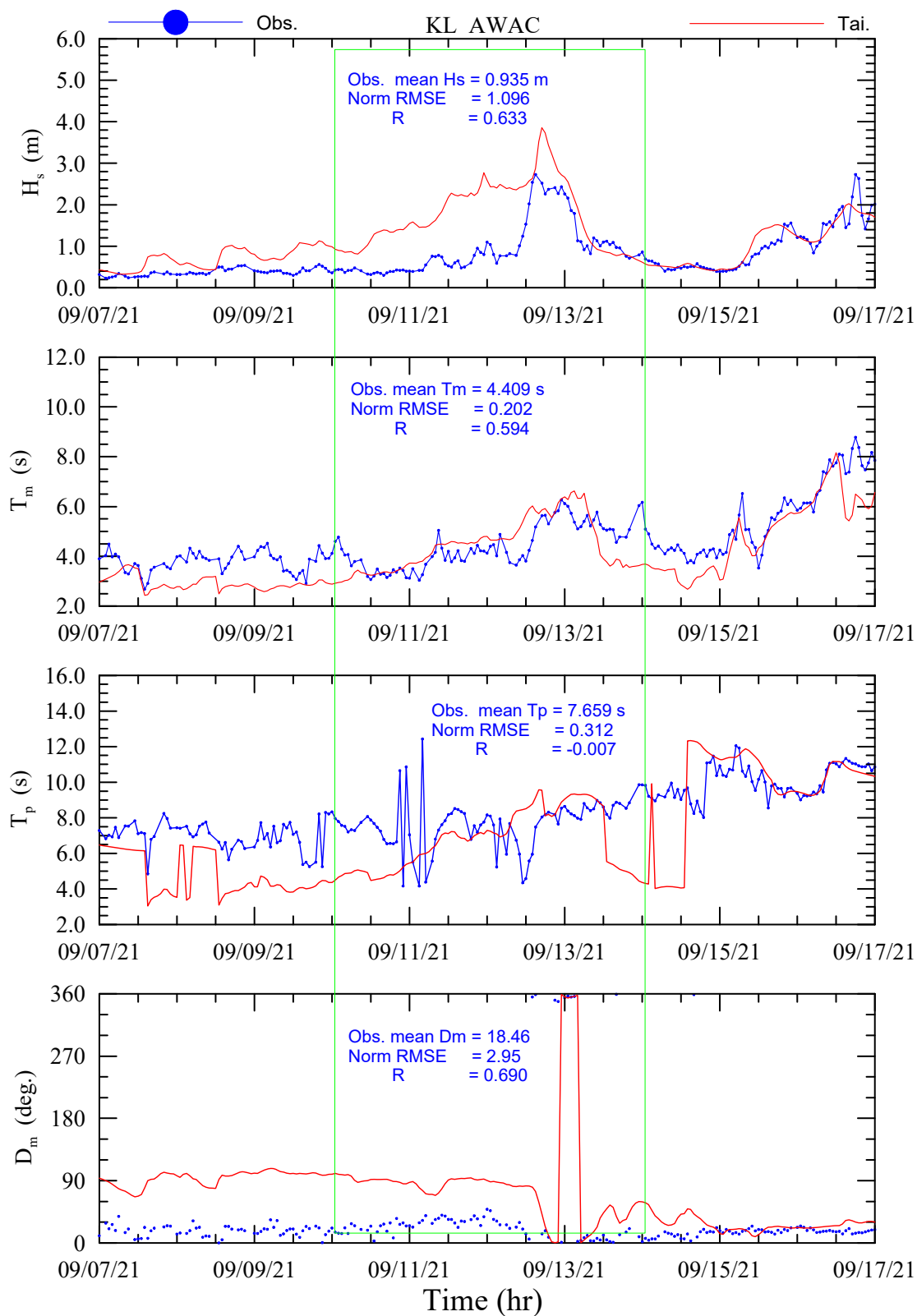


圖 3.18 璨樹颱風期間基隆港海域波浪模擬值與觀測值比較圖

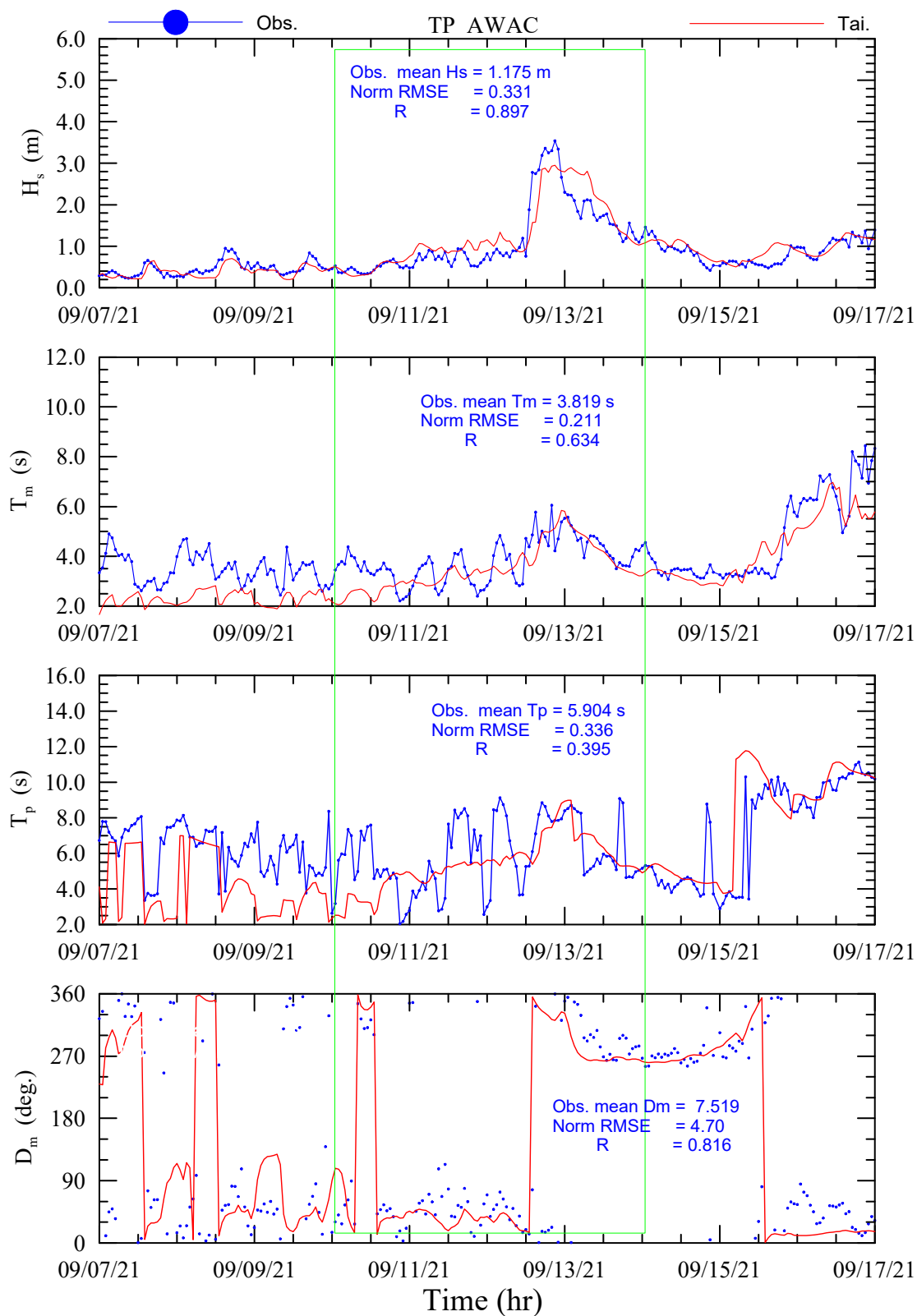


圖 3.19 璨樹颱風期間臺北港海域波浪模擬值與觀測值比較圖

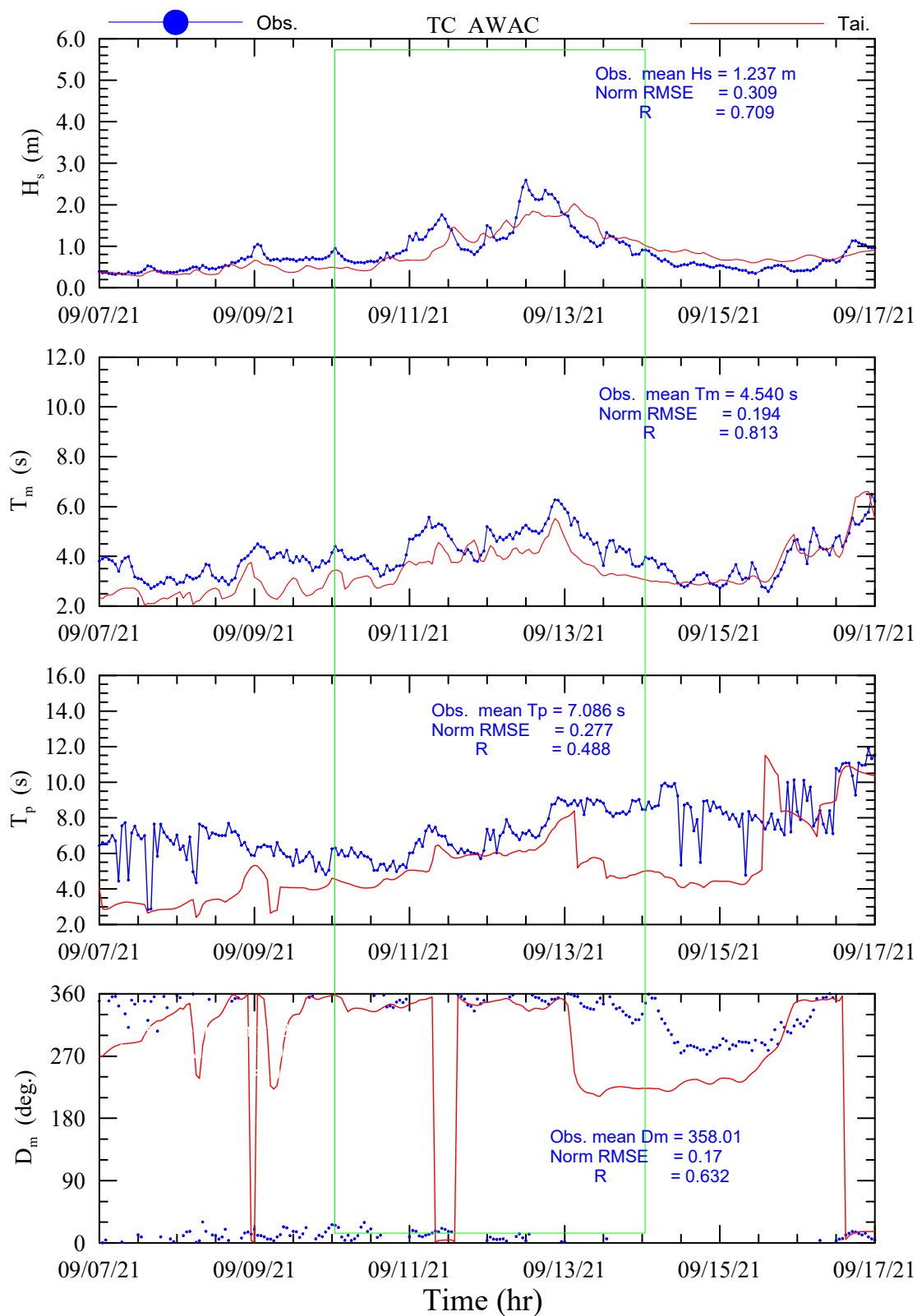


圖 3.20 璨樹颱風期間臺中港海域波浪模擬值與觀測值比較圖

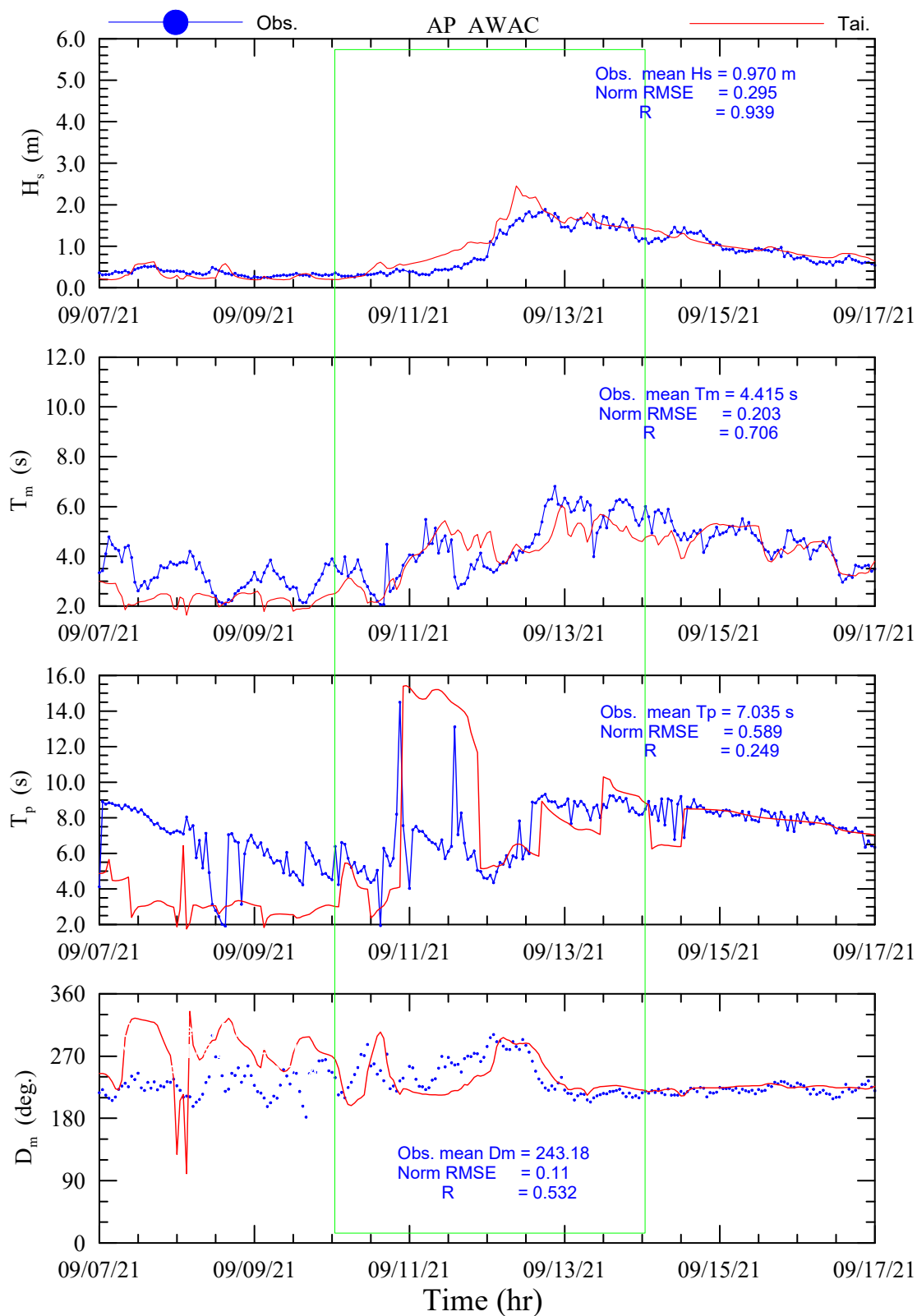


圖 3.21 璨樹颱風期間安平港海域波浪模擬值與觀測值比較圖

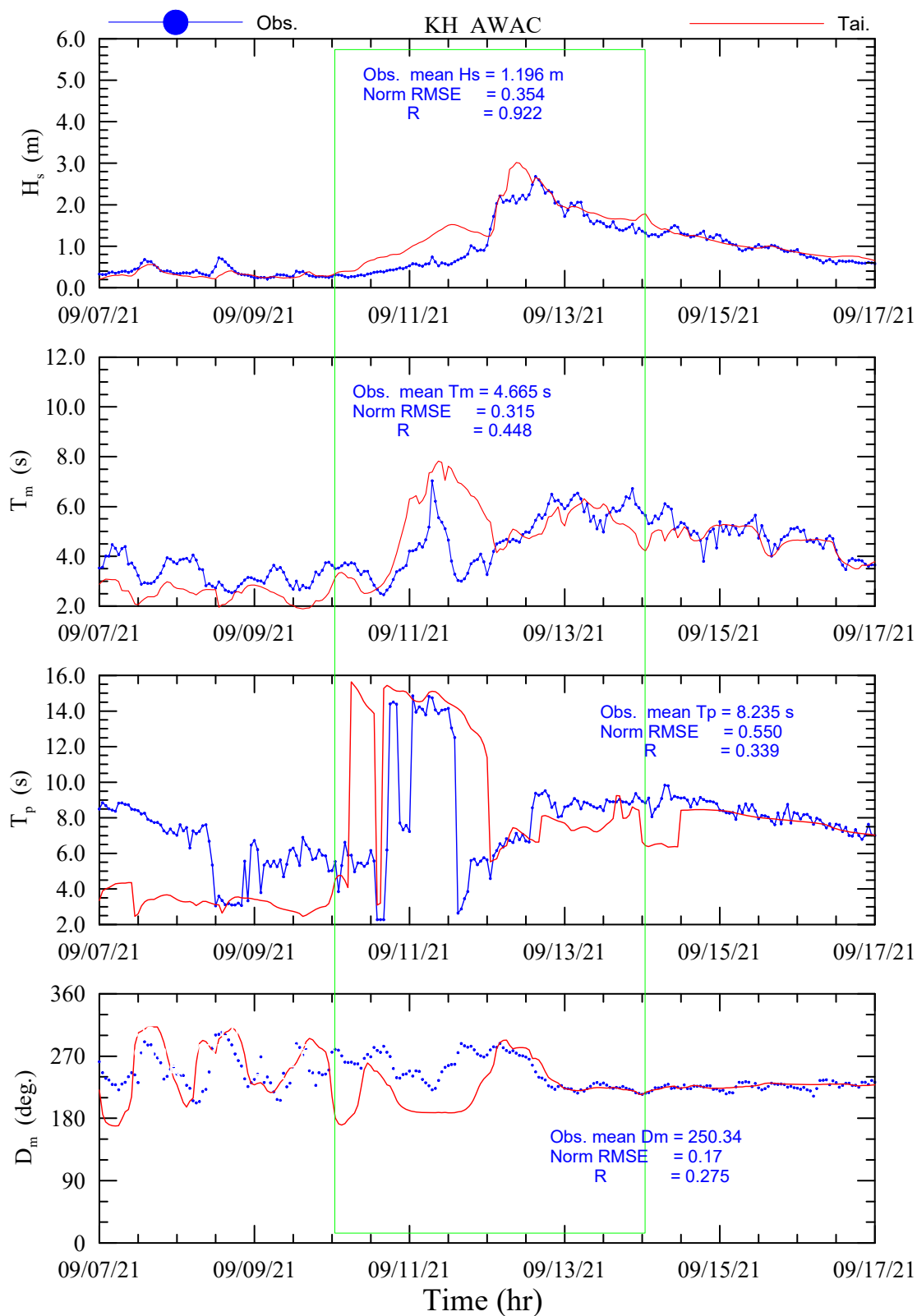


圖 3.22 璨樹颱風期間高雄港海域波浪模擬值與觀測值比較圖

3.3.2 圓規颱風波浪模擬

圓規輕度颱風生命週期為 2021 年 10/08 14:00~10/14 20:00，海上颱風警報發布時間為 10/10 20:30，解除海上警報時間為 10/12 08:30；暴風圈通過巴士海峽，影響海域包括東南部海域及西南部海域。本計畫同樣選取中尺度臺海風浪追算模擬結果與花蓮港、蘇澳港、基隆港、臺北港、臺中港、安平港及高雄港等海域波浪觀測資料比較，如圖 3.23~圖 3.29 所示。顯示圓規輕度颱風對東部海域的影響遠大於暴風警戒的西南海域，其中蘇澳港海域觀測到 6 m 以上的示性波高；颱風遠離後(解除海上颱風警報)高雄港及安平港等海域均觀測到示性波高增加的現象，臺海風浪模擬結果雖然在颱風遠離後亦呈現示性波高增加的現象，但其發生時間明顯較波浪觀測時間提前。

針對圓規颱風期間臺海波浪模擬值與觀測值之統計特性，本計畫選取 10/10 00:00~10/14 00:00 同時段模擬及觀測資料，分析波浪主要參數之統計特性，如表 3-8 所列；其中花蓮港及基隆港等海域平均示性波高模擬值呈現顯著高估現象，其餘海域呈現相近現象；最大示性波高模擬值呈現顯著高估者計有花蓮港海域、基隆港海域及臺中港海域等，其中安平港海域因儀器故障觀測中斷，故無最大示性波高統計資料。最大示性波高發生時間誤差超過 6 小時者，計有蘇澳港及高雄港等 2 海域。颱風期間波浪週期及譜峰週期平均值分析結果，各海域均呈現相近現象。波向平均值差異超過 30° 者僅基隆港海域，此與模擬值輸出點位較外海有關。

針對圓規颱風侵臺期間臺海風浪模擬值與觀測值間常態化均方根誤差(NRMSE)與相關係數(R)分析結果，如表 3-9 所列。由模擬值與觀測值相關係數分析結果得知：示性波高之相關性，僅安平港海域呈現負的低度相關外，其餘海域均屬於現高度相關；平均週期僅蘇澳港海域達到高度相關，臺中港海域呈現低度相關，其餘海域均為中度相關；譜峰週期於安平港海域呈現負低度相關，高雄港海域為中度相關，其餘海域為高度相關；平均波向僅安平港海域為高度相關，基隆港海域為無線性相關，低度相關者有臺北港及高雄港等 2 海域。

表 3-8 2021 年圓規輕度颱風侵臺期間各海域波浪參數統計特性表

波浪參數	資類別	花蓮	蘇澳	基隆	臺北	臺中	安平	高雄
蒐集率* ¹	觀測值	100.0	97.9	100.0	83.5	100.0	72.2	100.0
	模擬值	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
平均示性波高 (m)	觀測值	2.97	3.48	1.45	1.75	2.57	1.02	1.45
	模擬值	3.75	3.84	3.08	1.90	2.76	1.01	1.46
	比 值	1.26	1.01	2.12	1.09	1.07	0.99	1.01
平均週期(s)	觀測值	7.31	7.47	5.43	4.77	5.68	5.55	6.33
	模擬值	7.45	7.44	5.26	4.07	5.45	5.03	5.68
	比 值	1.02	1.00	0.97	0.85	0.96	0.91	0.90
平均譜峰週期 (s)	觀測值	11.04	12.03	8.27	7.45	8.38	9.21	10.22
	模擬值	11.31	11.81	8.34	7.09	7.78	9.24	10.07
	比 值	1.02	0.98	1.01	0.95	0.93	1.00	0.99
平均波向(°)	觀測值	119.9	96.0	19.4	32.0	8.6	242.4	243.8
	模擬值	103.4	102.0	73.7	30.1	0.2	247.6	245.3
最大示性波高 (m)	觀測值	4.93	6.57	2.58	3.28	4.55	—	2.82
	模擬值	6.70	6.40	5.53	3.50	5.94	1.83	2.61
	比 值	1.36	0.97	2.14	1.07	1.31	—	0.93
最大示性波高 發生時間	觀測值	10/11 23:00	10/11 14:00	10/11 22:00	10/11 17:00	10/11 22:00	—	10/13 04:00
	模擬值	10/11 22:00	10/11 23:00	10/12 01:00	10/11 20:00	10/11 20:00	10/13 18:00	10/12 20:00

*1 資料統計期間為 10/10 00:00~10/14 00:00 共 97 小時。

表 3-9 2021 年圓規輕度颱風侵臺期間波浪模擬值校驗成果表

港口	資料 起迄 時間	示性波高		平均週期		譜峰週期		平均波向	
		NRMSE	R	NRMSE	R	NRMSE	R	NRMSE	R
花蓮港	10 00 14 00	0.328	0.956	0.136	0.591	0.077	0.874	0.17	0.640
蘇澳港	10 00 14 00	0.221	0.856	0.111	0.767	0.062	0.917	0.20	0.309
基隆港	10 00 14 00	1.221	0.952	0.156	0.481	0.115	0.607	2.85	-0.015
臺北港	10 00 14 00	0.237	0.825	0.218	0.355	0.202	0.702	1.36	0.234
臺中港	10 00 14 00	0.339	0.943	0.162	0.208	0.126	0.807	1.82	0.425
安平港	10 00 14 00	0.347	-0.258	0.163	0.535	0.243	-0.157	0.05	0.894
高雄港	10 00 14 00	0.301	0.731	0.137	0.551	0.335	0.410	0.13	0.149

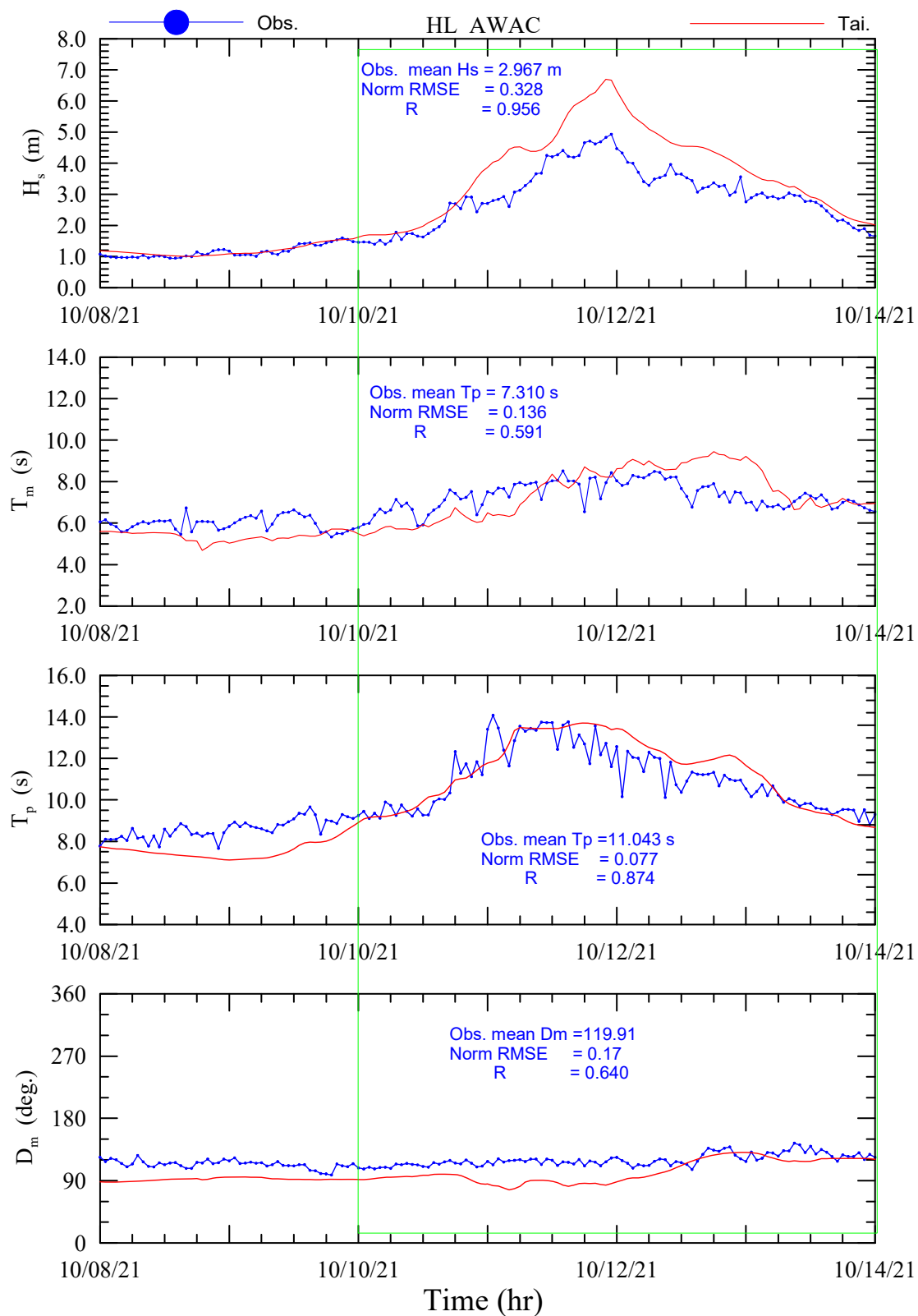


圖 3.23 圓規颱風期間花蓮港海域波浪模擬值與觀測值比較圖

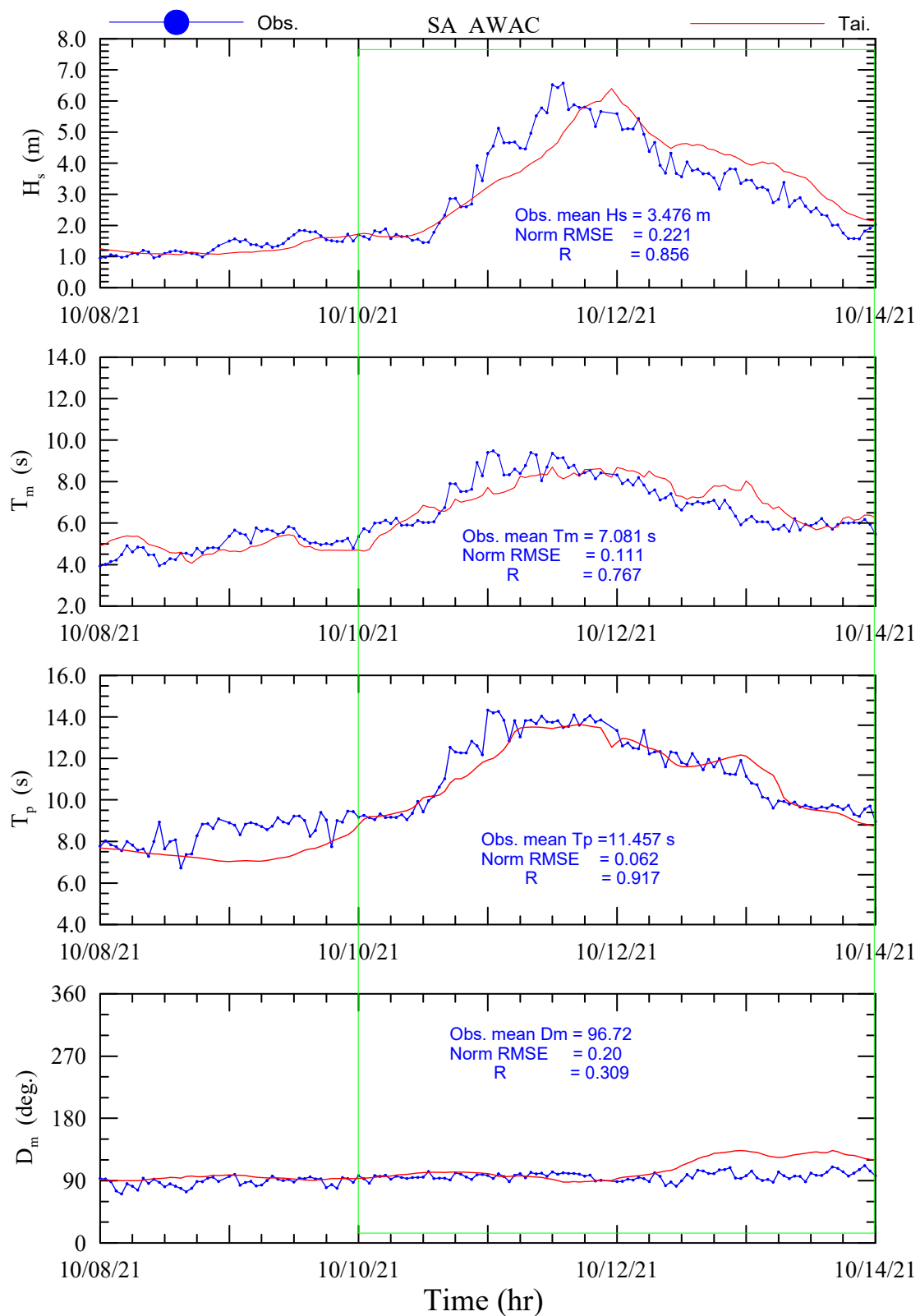


圖 3.24 圓規颱風期間蘇澳港海域波浪模擬值與觀測值比較圖

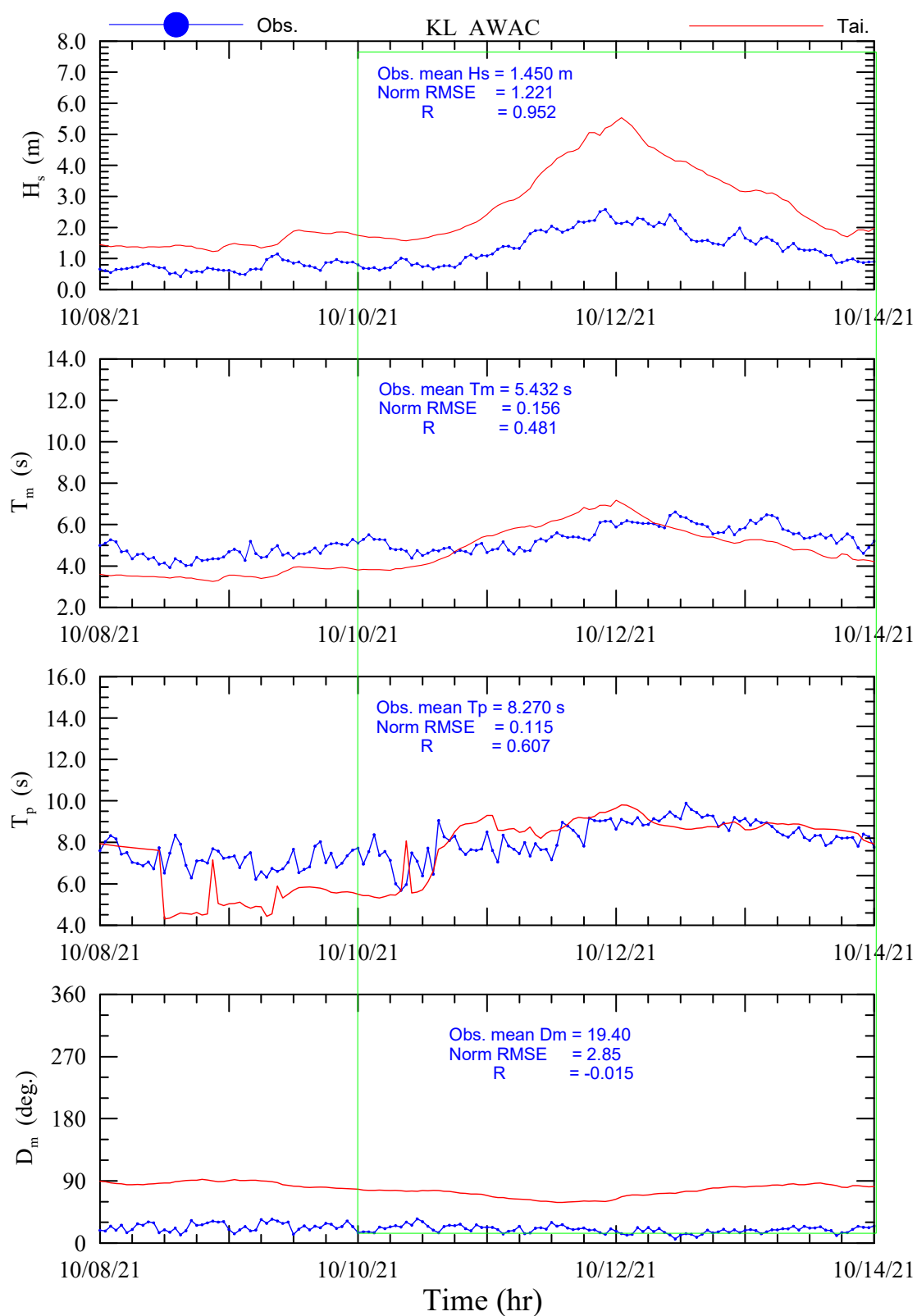


圖 3.25 圓規颱風期間基隆港海域波浪模擬值與觀測值比較圖

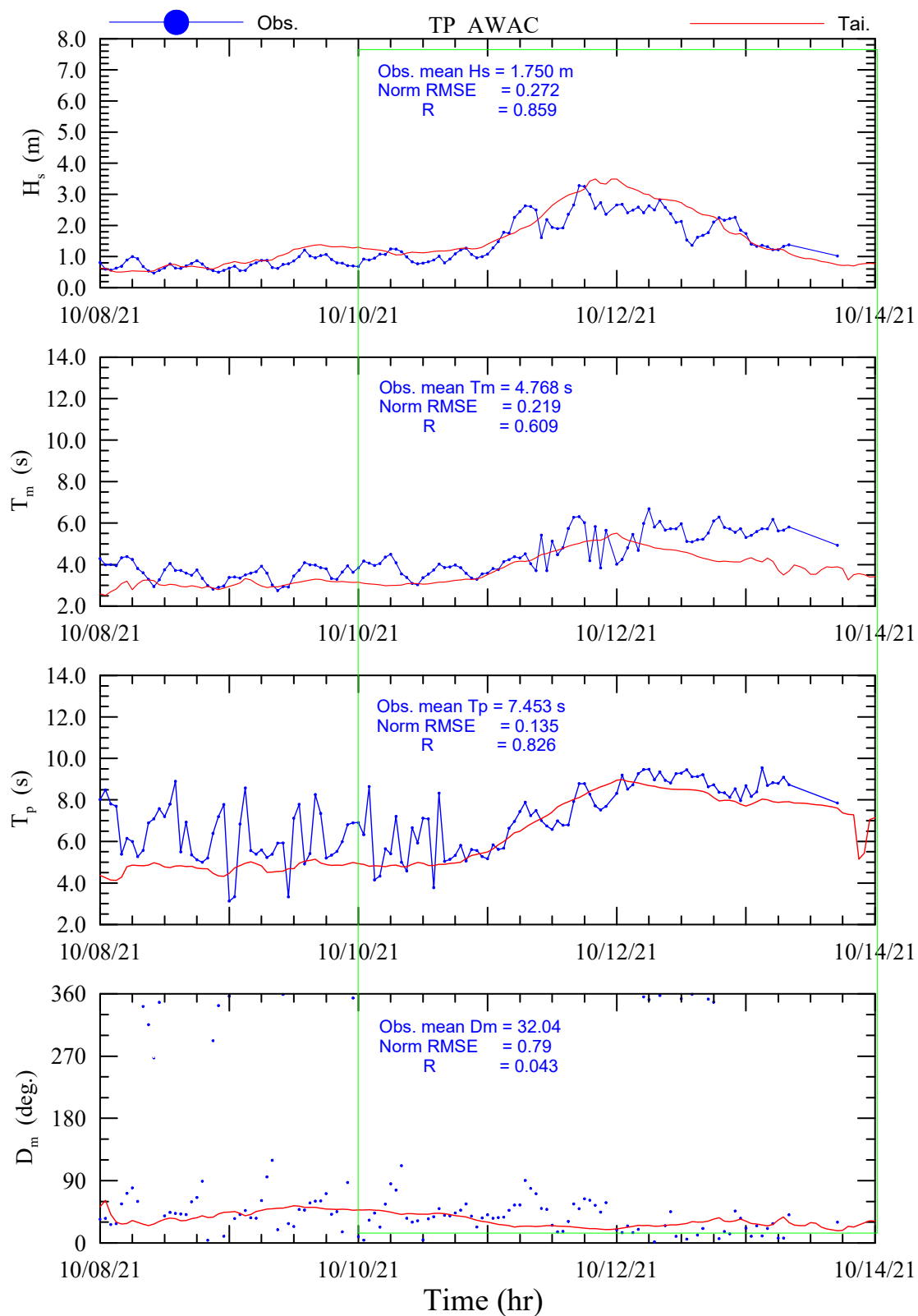


圖 3.26 圓規颱風期間臺北港海域波浪模擬值與觀測值比較圖

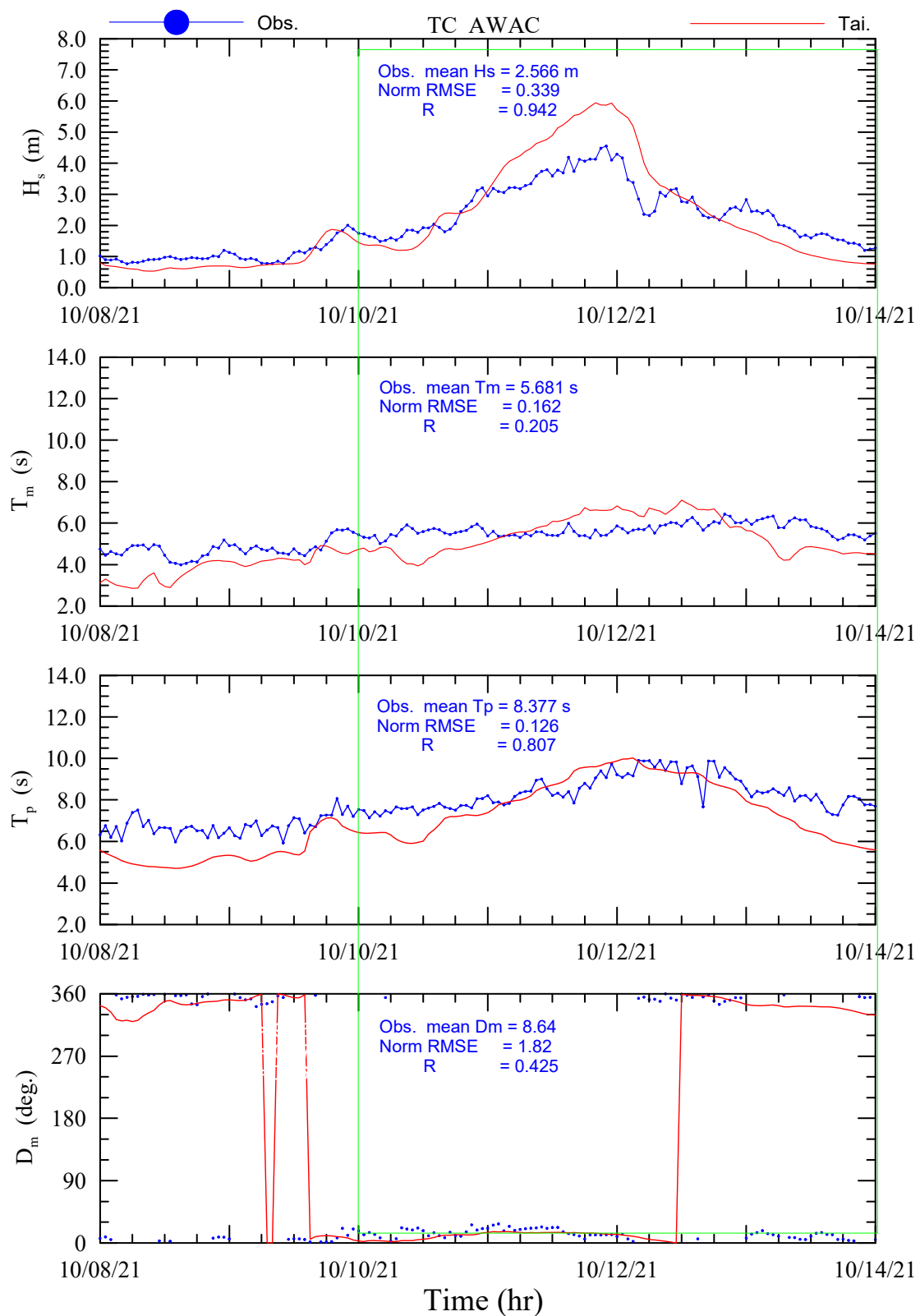


圖 3.27 圓規颱風期間臺中港海域波浪模擬值與觀測值比較圖

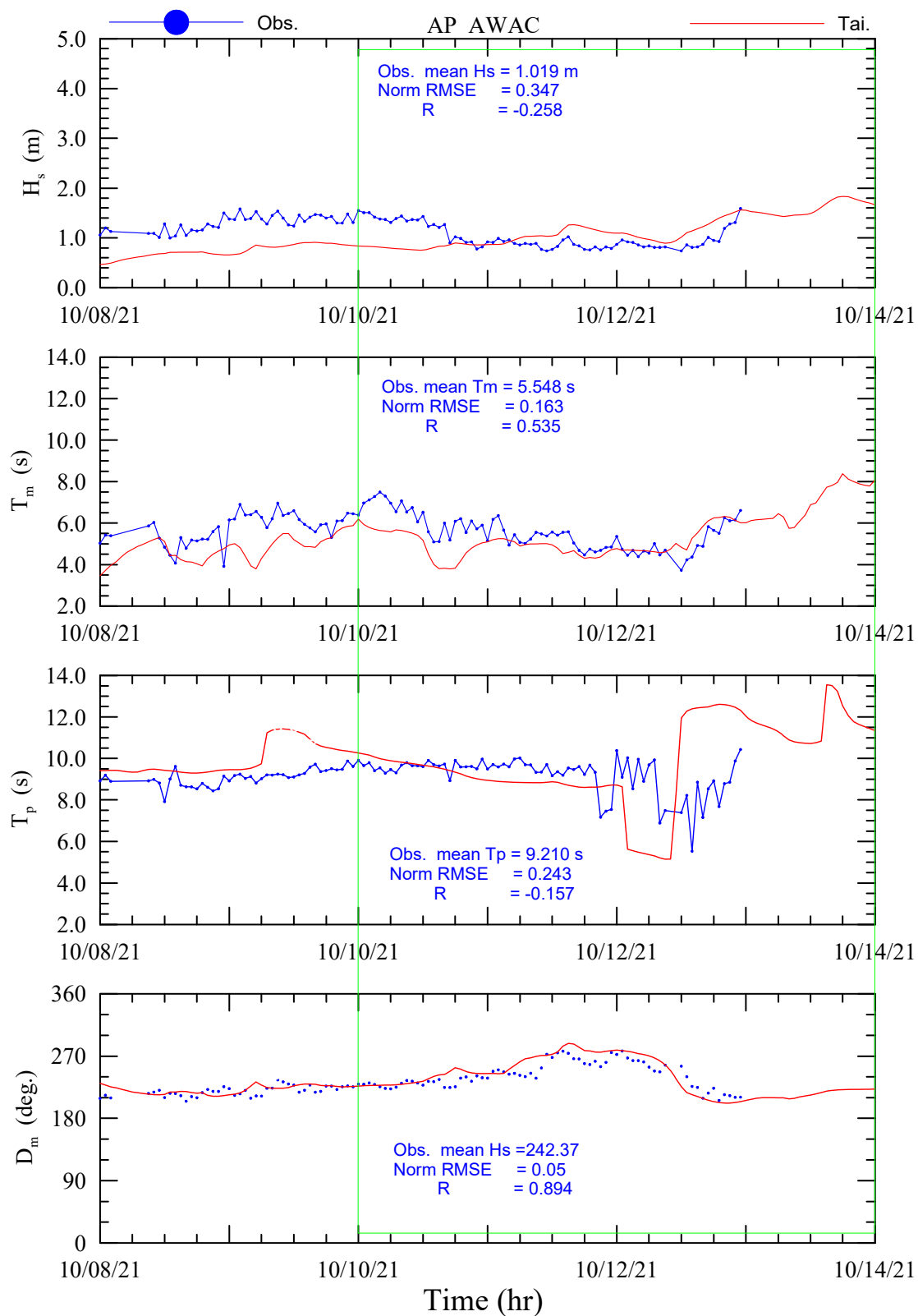


圖 3.28 圓規颱風期間安平港海域波浪模擬值與觀測值比較圖

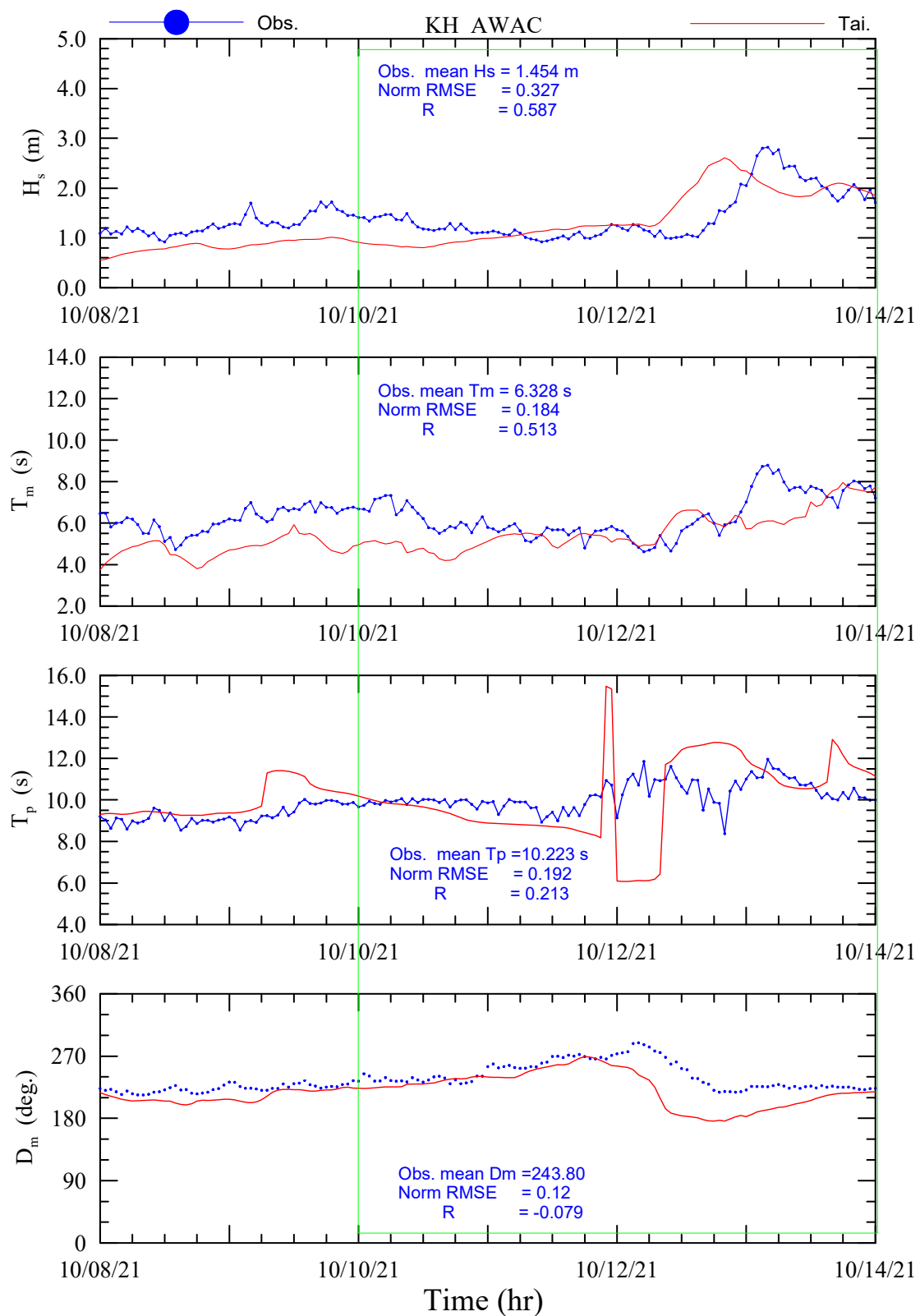


圖 3.29 圓規颱風期間高雄港海域波浪模擬值與觀測值比較圖

第四章 臺灣周圍海域水動力模擬與校驗

4.1 臺灣周圍海域水位模擬

目前港研中心針對臺灣周圍海域水動力模擬，係採用「臺海水動力模擬子系統」進行每日 1 次模擬預測。如圖 4.1 所示，「臺海水動力模擬子系統」採用雙層網格模擬架構，包含 1 個中尺度水動力模擬及數個小尺度水動力模擬；其中小尺度水動力模擬需依賴中尺度水動力模擬結果，提供各港區或離島海域小尺度水動力模組開放海域水位邊界條件。本章節臺灣周圍海域水動力模擬探討的對象設定為中尺度臺海暴潮模組，並選取港研中心各港潮位觀測資料校檢數值模擬結果。本年度臺海暴潮模組水位模擬值校驗採用新的檢核點(詳見 2.3.1 節)，分別與各港潮位觀測資料及其分析結果比較。

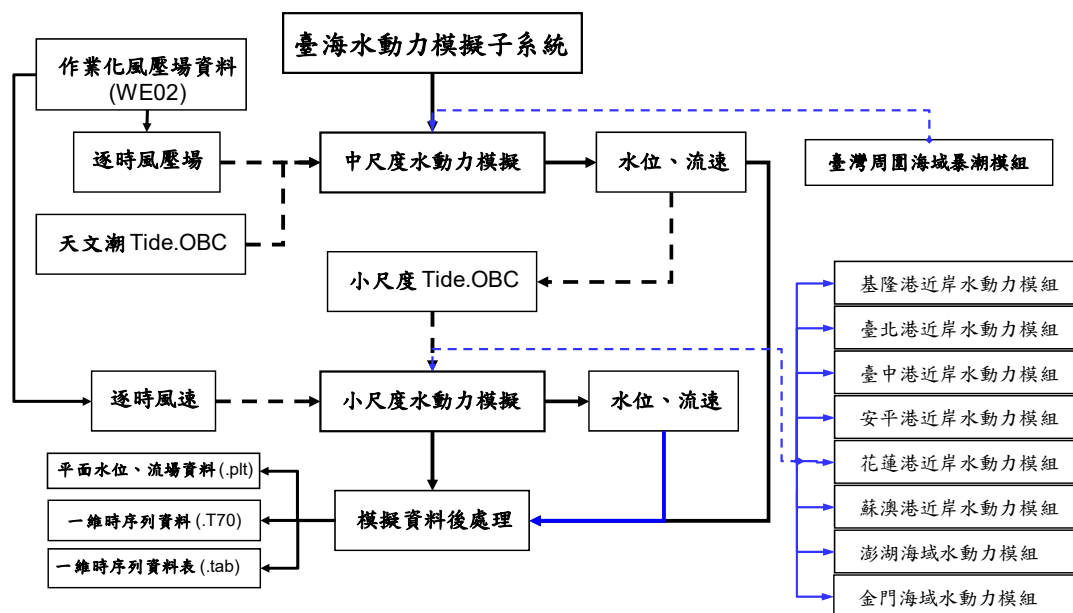


圖 4.1 臺海水動力模擬系統之組成架構及模擬流程圖

4.1.1 數值計算網格

臺海暴潮模組之模擬範圍如圖 4.2 所示，含蓋東經 $116.5^{\circ} \sim 125^{\circ}$ 及北緯 $21^{\circ} \sim 26.5^{\circ}$ 之海域，採用三角形元素建構數值計算網格，計有 8,237 個節點及 15,800 個三角形元素。

4.1.2 地形水深資料

臺海暴潮模組水深資料係整合海科中心公布的臺灣附近海域格網數值水深資料及海軍測量局刊行的臺灣沿海五萬分之一海軍水道圖數化水深資料，模組採用的網格水深分布情況如圖 4.3 所示。

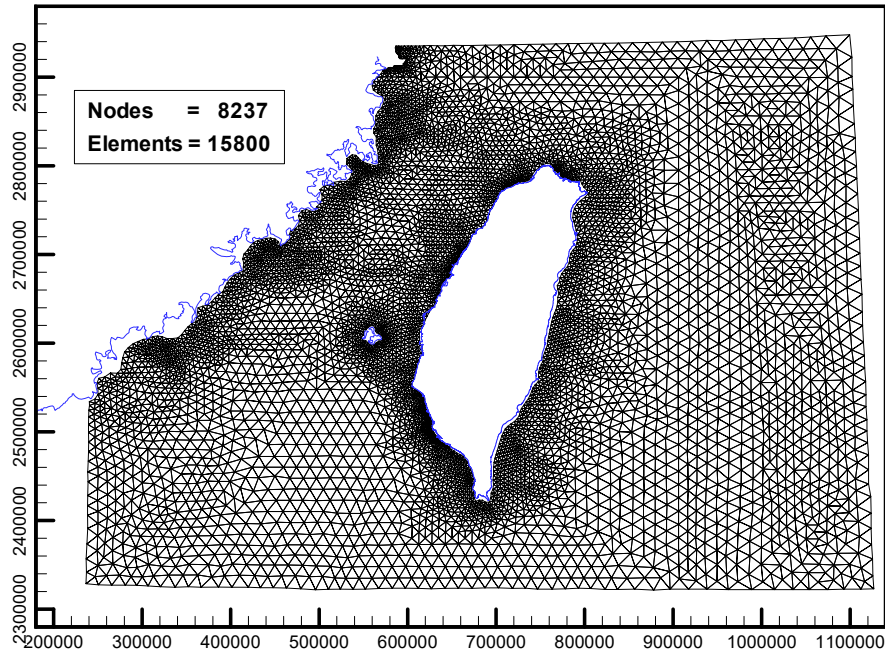


圖 4.2 臺海暴潮模組之模擬範圍及三角形元素網格圖

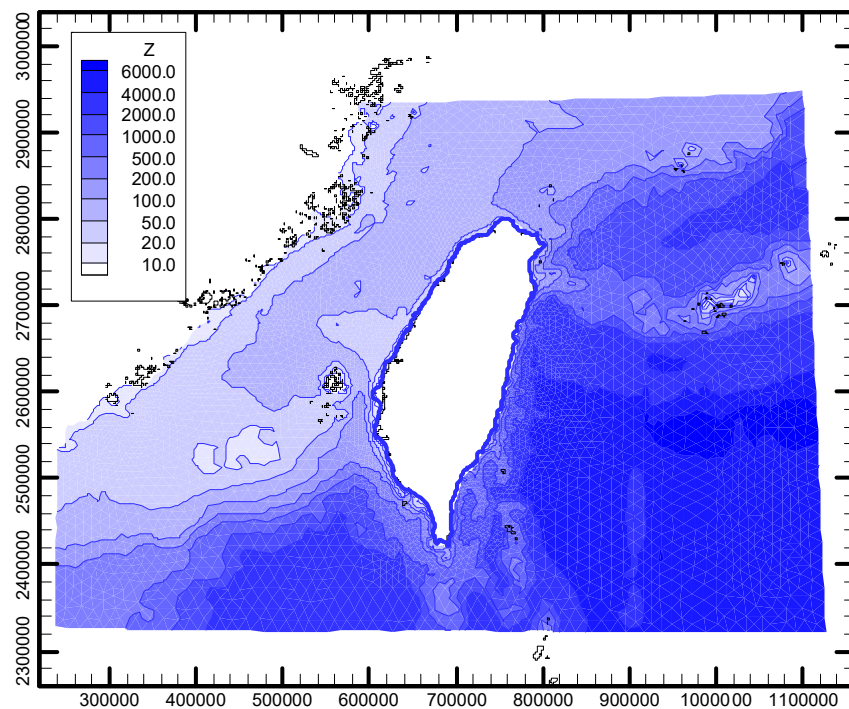


圖 4.3 臺灣周圍海域暴潮模組數值計算網格之水深分布圖

4.1.3 模式邊界條件及初始條件

臺海暴潮模組之邊界型態分為海域開放邊界及陸地邊界兩種，其中陸地邊界採用不滑動邊界條件，即假設陸地邊界節點之流速等於零。海域開放邊界則採用水位邊界條件，即

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

式中 $\eta_a(t)$ 代表天文潮引起的水位變化，第二項代表氣壓變化引起的水位變化。其中天文潮引起的水位變化，本計畫利用 Matsumoto et al. (2000) 發展的 NAO.99Jb 模式，預測數值計算網格開放邊界節點之天文潮水位時序列資料，作為模式之輸入條件，如圖 4.4 所示。圖 4.4 所示分別為計算網格開放邊界四個角落節點之天文潮時序列資料，顯示數值計算網格左上角鄰近陸地(中國大陸)之節點其天文潮位呈現半日潮型，臺灣東部太平洋海上開放邊界節點之天文潮位屬於混合潮型態，網格西南角落開放邊界節點之天文潮位則呈現全日潮型態。

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

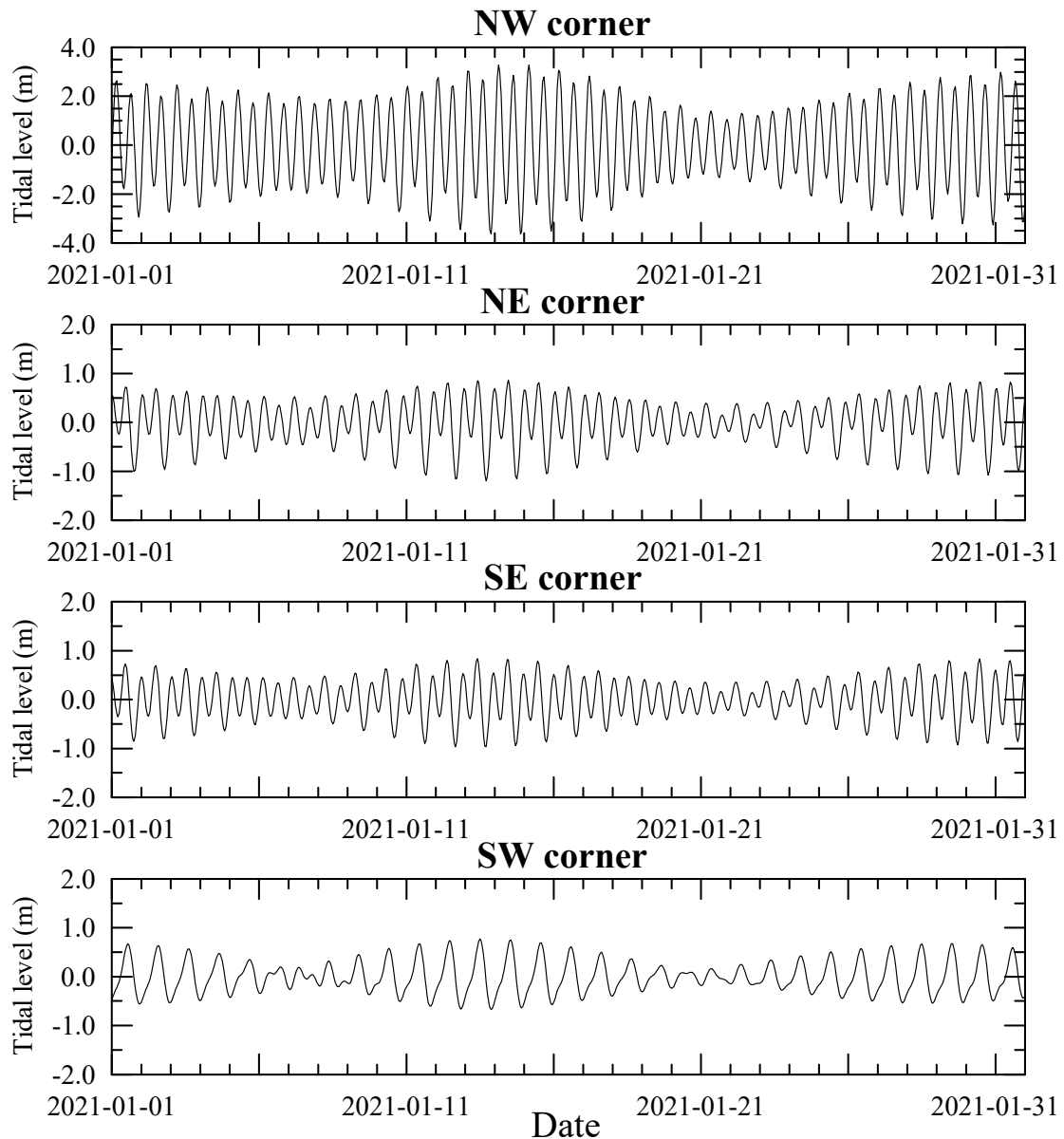


圖 4.4 臺灣周圍海域暴潮模式採用的天文潮水位邊界條件圖

4.2 臺灣周圍海域潮位觀測資料分析

本年度潮位觀測資料蒐集對象包括本島花蓮港、蘇澳港、基隆港、臺北港、臺中港、布袋港、安平港及高雄港等 8 港口，資料來源為港研中心負責管理維護之潮位站，各港潮位站分布情形如圖 4.5 所示。各潮位站觀測資料蒐集起、迄時間為 2020 年 12 月 31 日 0 時至 2021 年 12 月 31 日 23 時，共計 8,784 小時，各潮位站潮位資料基準已校正至中潮系統(或 TWVD2001 高程基準)。

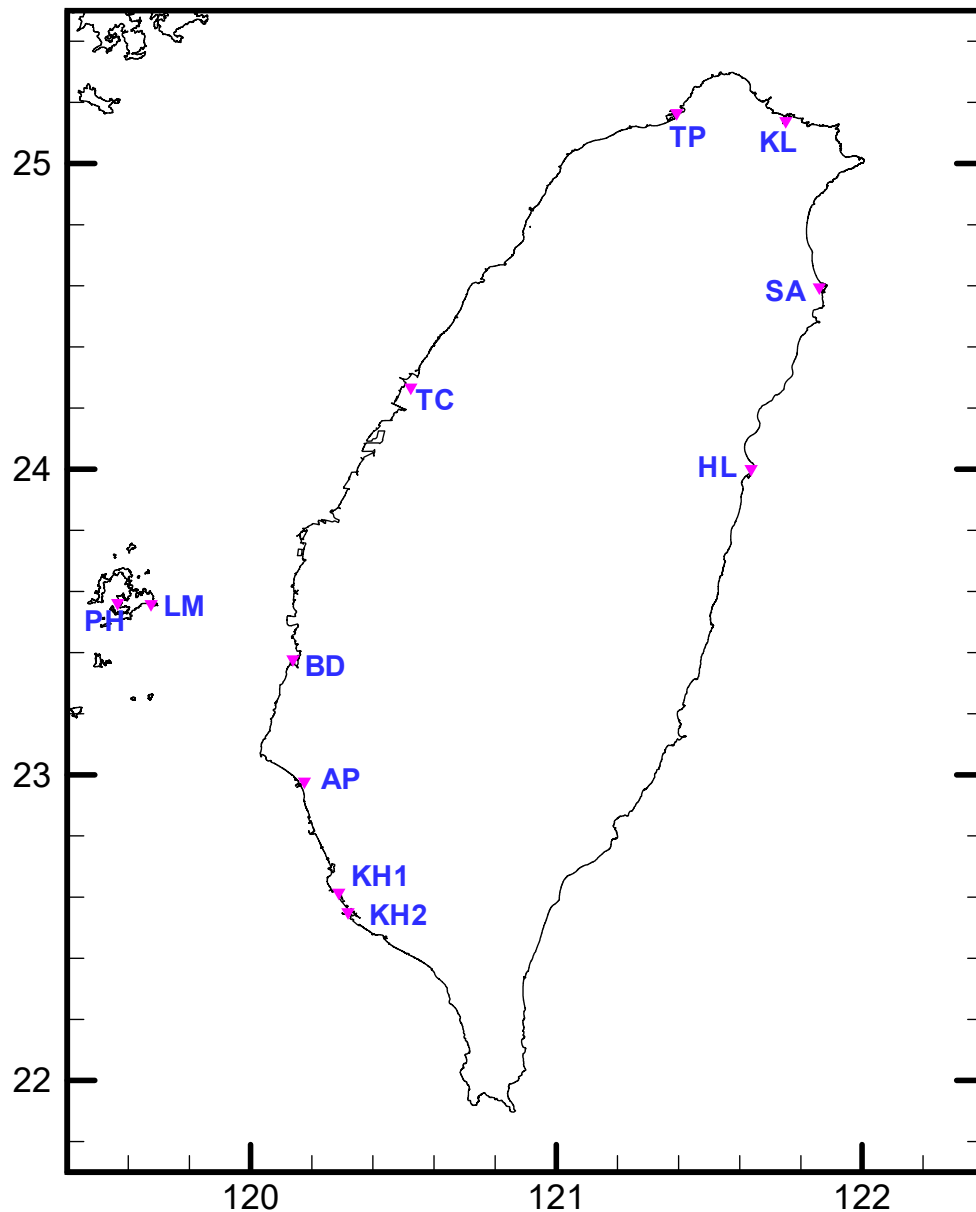


圖 4.5 港研中心各港口潮位站位置圖

4.2.1 天文潮調和分析

本計畫應用加拿大 IOS 發展的潮高分析及預測程式執行潮位觀測資料天文潮調和分析。為了獲得天文年潮 S_a 調和常數，本計畫各港逐時潮位資料選取長度為 2020 年 12 月 31 日 0 時至 2021 年 12 月 31 日 23 時共計 8,784 小時，各港口潮位調和分析成果之天文潮調和常數(振幅及相位角)，詳見附錄三。各港天文潮調和分析值與觀測值之均方根誤差如表 4-1 所列，表中 2021 年各港均方根誤差值介於 0.058m~ 0.092m，其中均方根誤差最大值出現在臺中港。

本計畫進一步利用各港口天文潮調和常數預測 2022 年逐時天文潮潮位值，如圖 4.6~圖 4.13 所示，提供港研中心網站展示及本計畫後續應用。

表 4-1 各港潮位天文潮調和分析值與觀測值間誤差分析成果表

港口	2021			2020			2019			備註
	NUM	RMSE (m)	來源	NUM	RMSE (m)	來源	NUM	RMSE (m)	來源	
花蓮	8432	0.068	IHMT	8784	0.059	IHMT	7905	0.056	CWB	
蘇澳	8784	0.064	IHMT	8783	0.063	IHMT	8328	0.052	CWB	
基隆	8735	0.076	IHMT	8478	0.072	IHMT	7080	0.067	CWB	
臺北	8780	0.088	IHMT	8777	0.084	IHMT	7512	0.087	IHMT	
臺中	8761	0.092	IHMT	8571	0.105	IHMT	7988	0.082	CWB	
布袋	8784	0.071	IHMT	7571	0.063	IHMT	8769	0.100	IHMT	
安平	8222	0.059	IHMT	8782	0.053	IHMT	8746	0.065	IHMT	
高雄	8773	0.058	IHMT	8784	0.050	IHMT	7914	0.064	CWB	

4.2.2 暴潮偏差分析

暴潮是海水面因強烈的大氣擾動及氣壓急劇變化所引起的異常顯著的海水位變化現象，臺灣周圍海域之暴潮主要是指由低氣壓氣旋風場(即颱風)引起的海水位異常抬昇的現象。在颱風影響下，因氣壓下降及風速之影響造成海水位異常變化，此種因颱風引起而與天文潮(或潮汐)有異之水位變化，稱為暴潮偏差。本計畫暴潮偏差依分析方法區分為分析值及預測值，分別定義如下：

(1)暴潮偏差分析值定義為颱風侵臺期間潮位觀測值與天文潮調和分析值之差值，此處天文潮分析值係指當年度潮位觀測值經調和分析法得到該年度之天文潮潮位值；

(2)暴潮偏差預測值定義為颱風侵臺期間潮位觀測值與天文潮預測值之差值，此處天文潮預測值係指利用前一年度潮位觀測之天文潮調和常數(即分潮振幅及相位角)預測當年度天文潮潮位值。

2021 年氣象局發布之侵臺颱風資料，如表 4-2 所列，計有編號 3 號輕度颱風彩雲(CHOI-WAN)、6 號中度颱風烟花(IN-FA)、9 號輕度颱風盧碧(LUPIT)、14 號強烈颱風璨樹(CHANTHU)及 18 號輕度颱風圓規(KOMPASU)等 5 個，颱風行進路徑詳參圖 3.11~圖 3.15 所示。

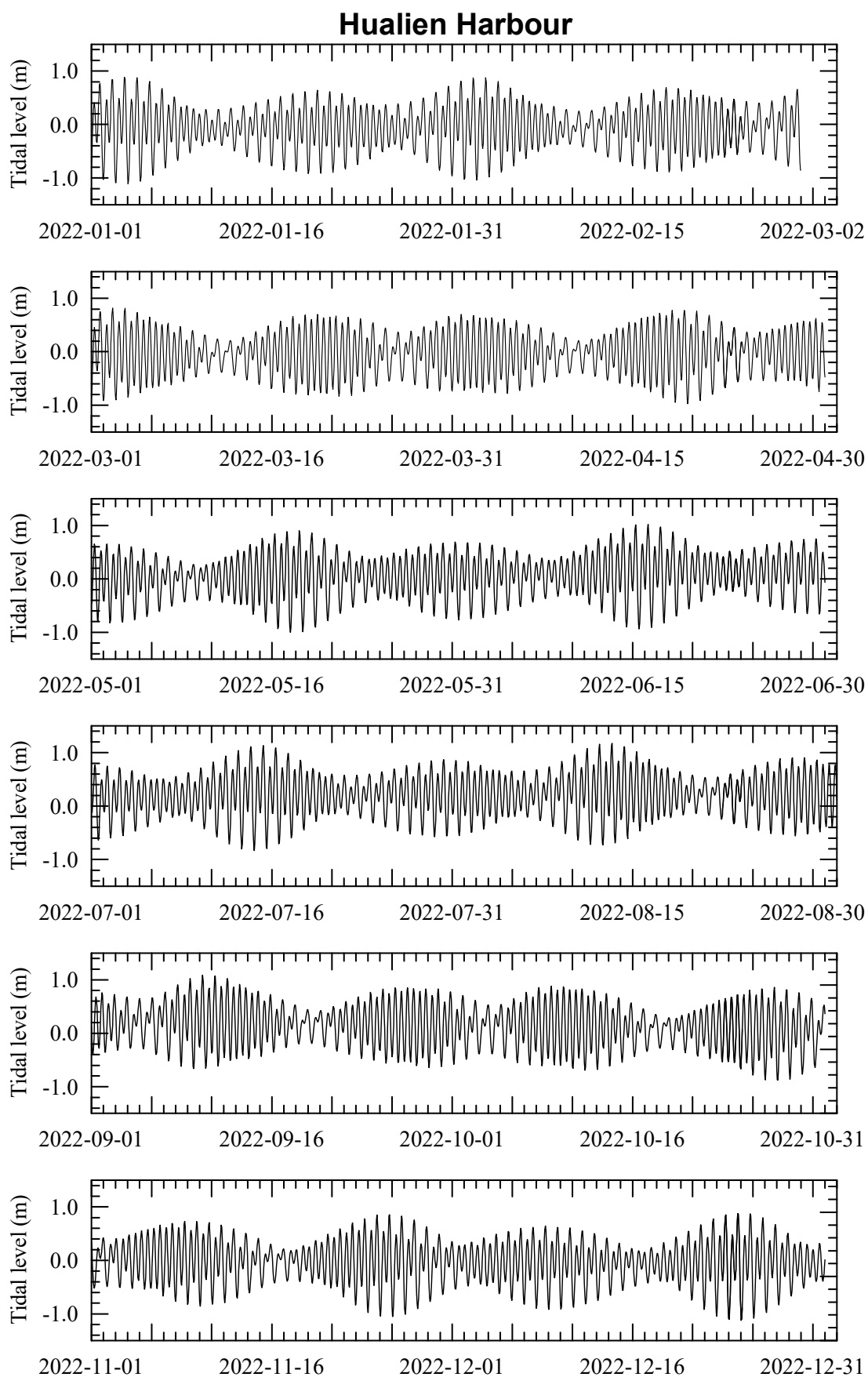


圖 4.6 2022 年花蓮港天文潮逐時預測值歷線圖

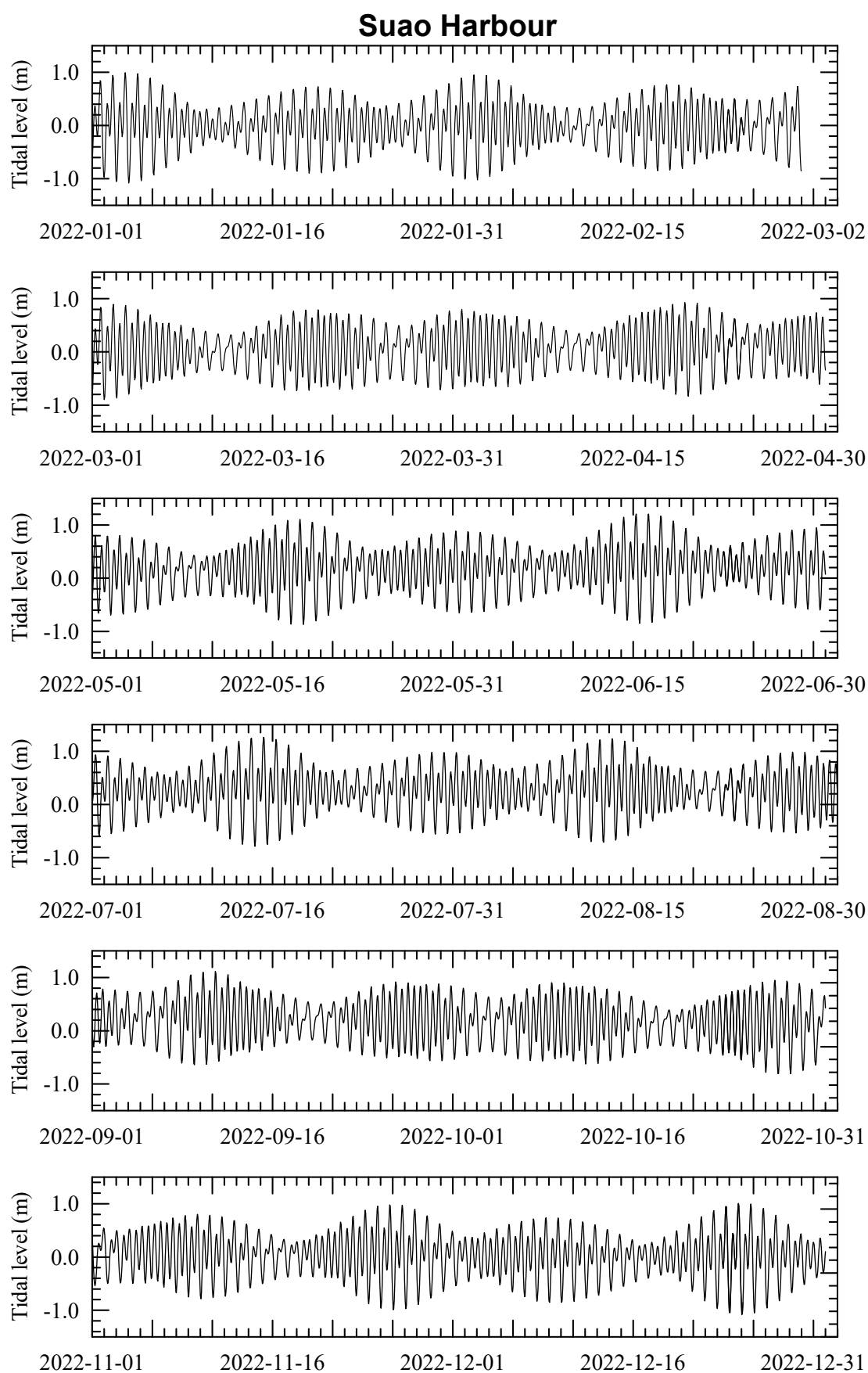


圖 4.7 2022 年蘇澳港天文潮逐時預測值歷線圖

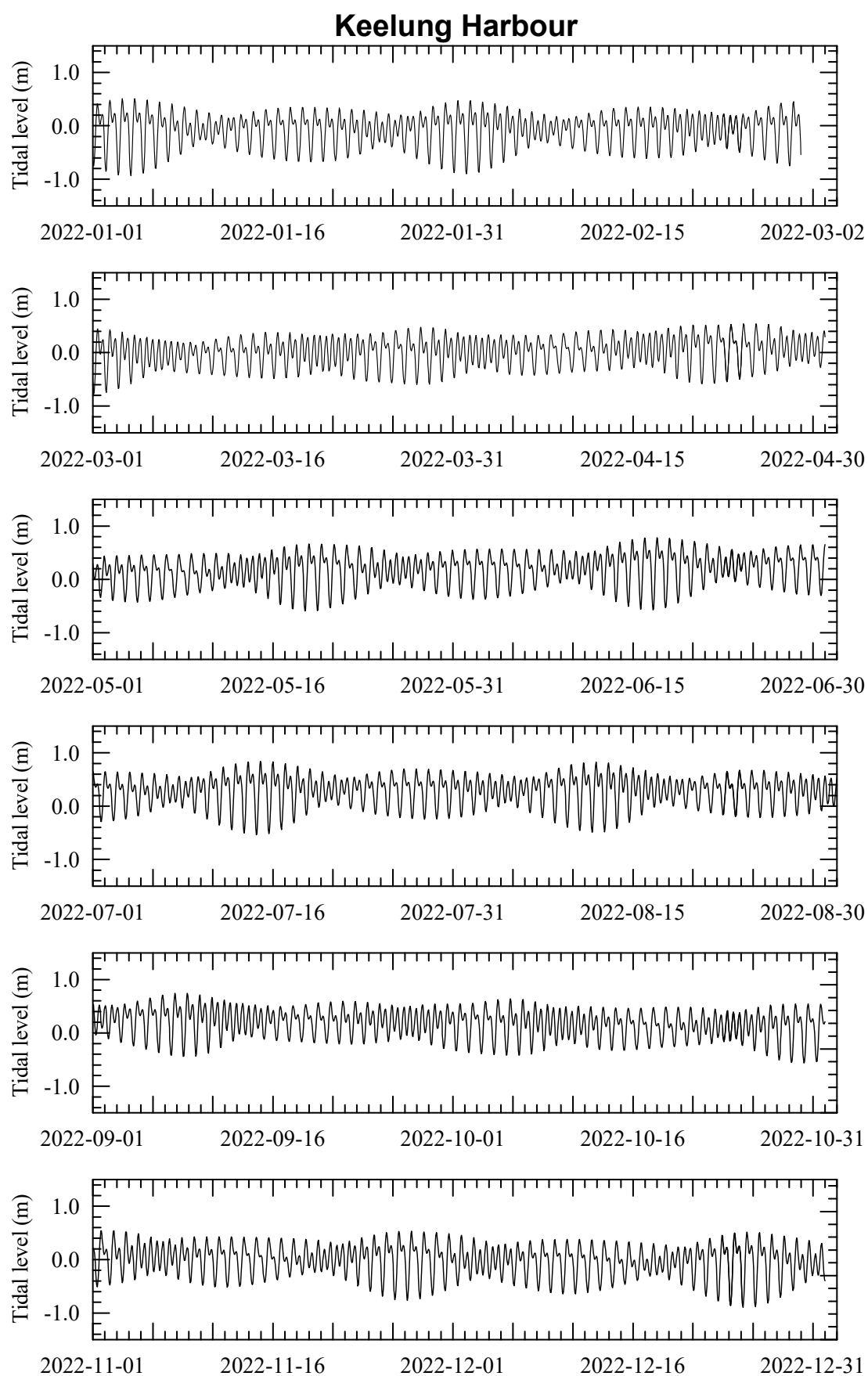


圖 4.8 2022 年基隆港天文潮逐時預測值歷線圖

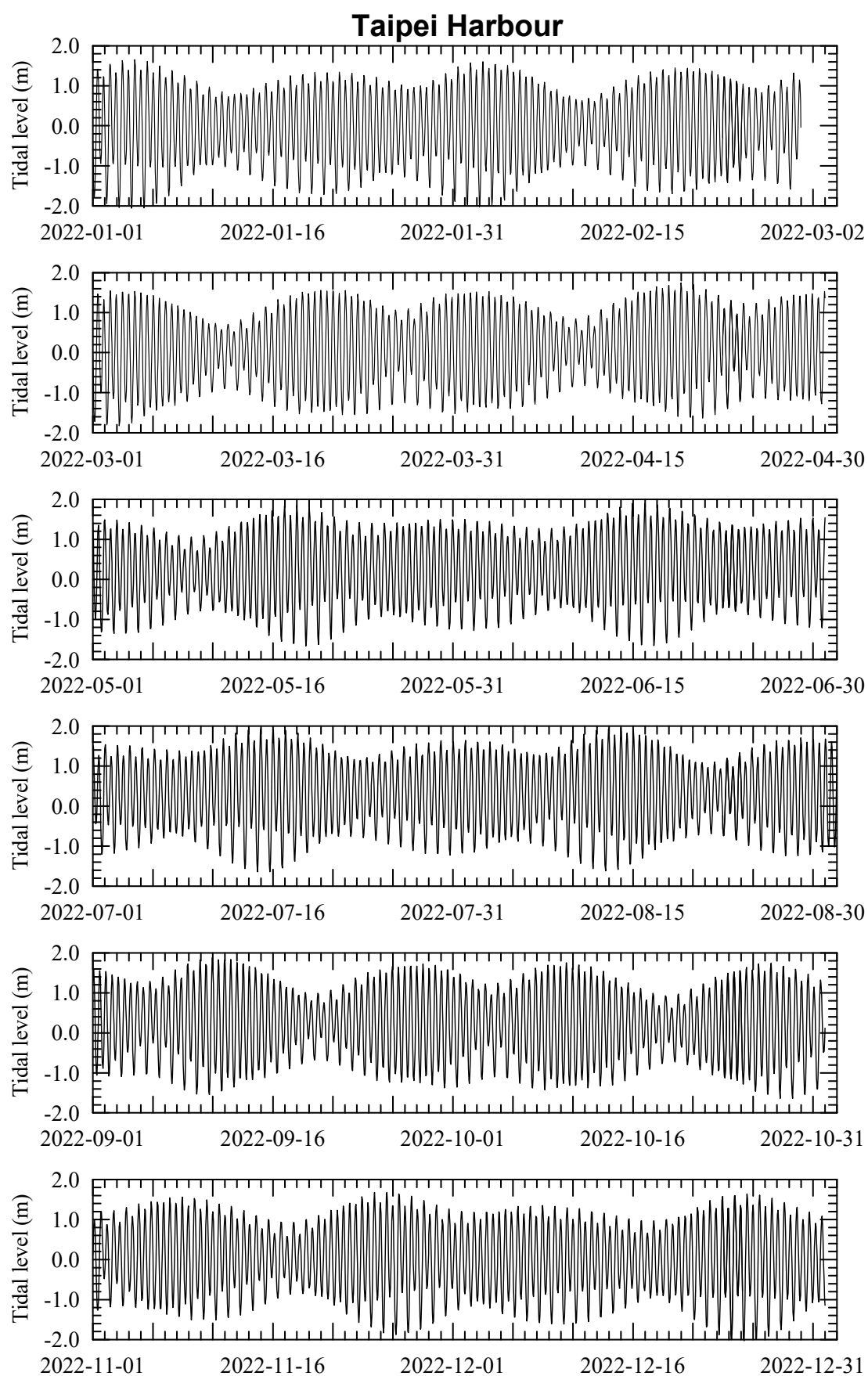


圖 4.9 2022 年臺北港天文潮逐時預測值歷線圖

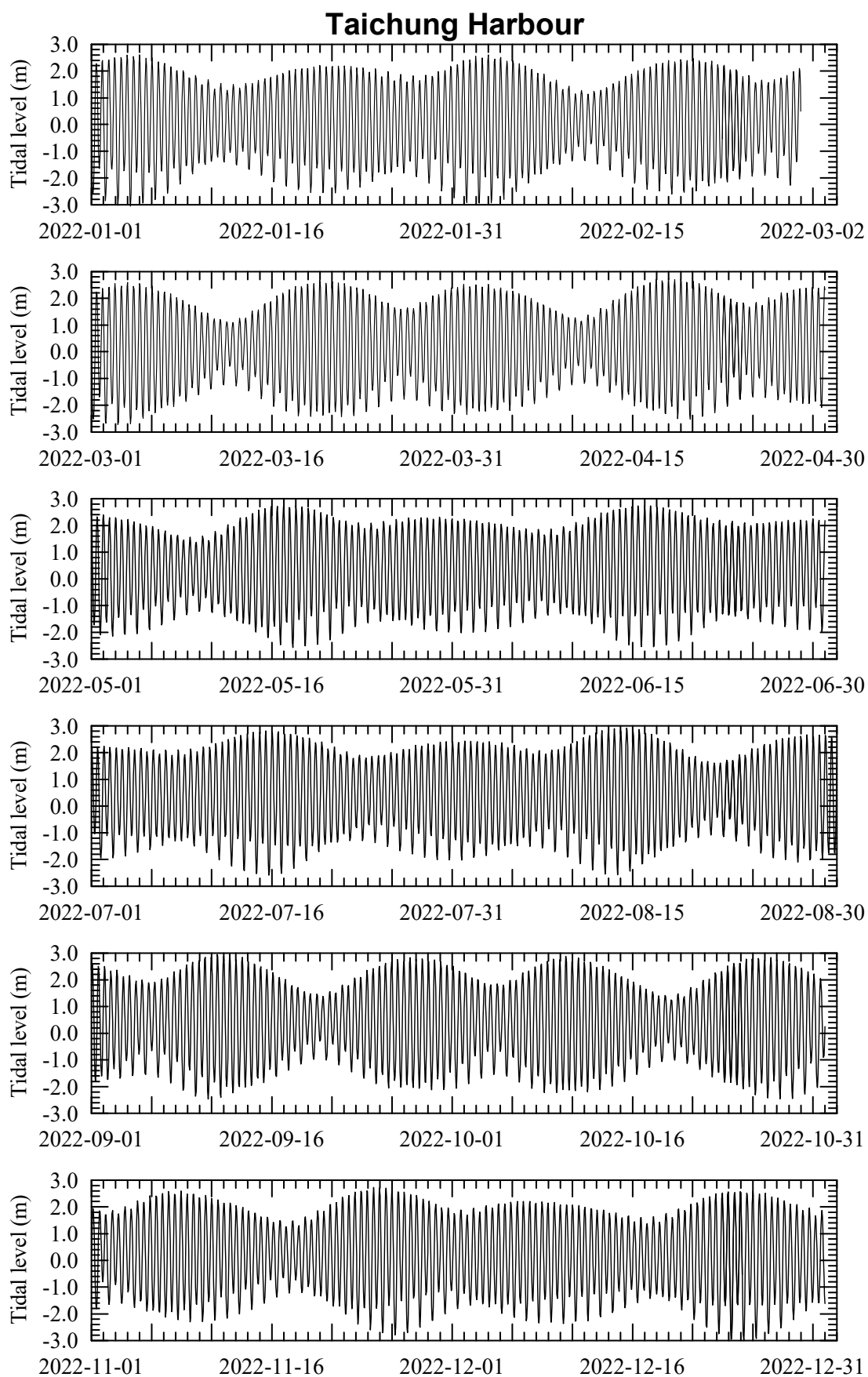


圖 4.10 2022 年臺中港天文潮逐時預測值歷線圖

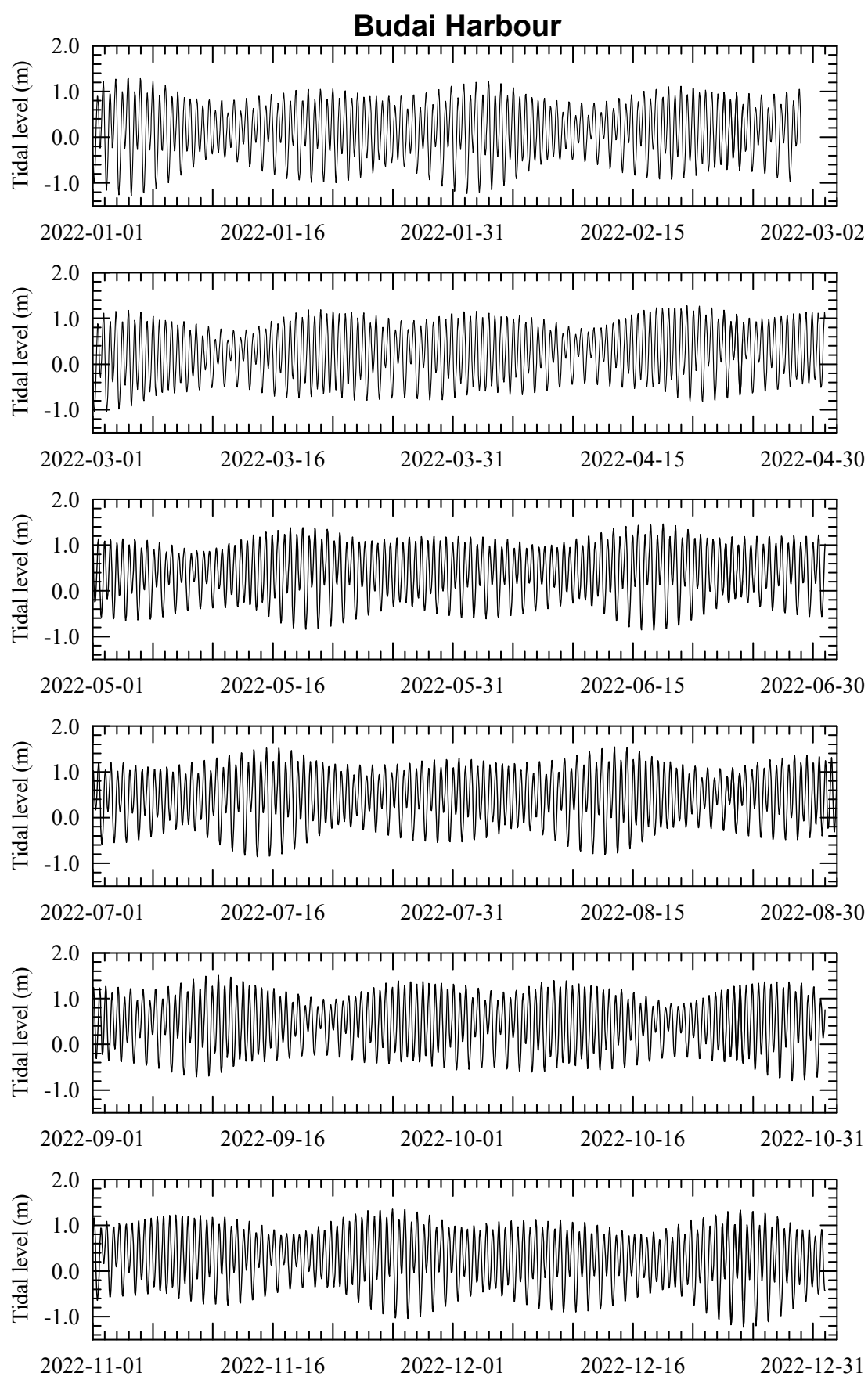


圖 4.11 2022 年布袋港天文潮逐時預測值歷線圖

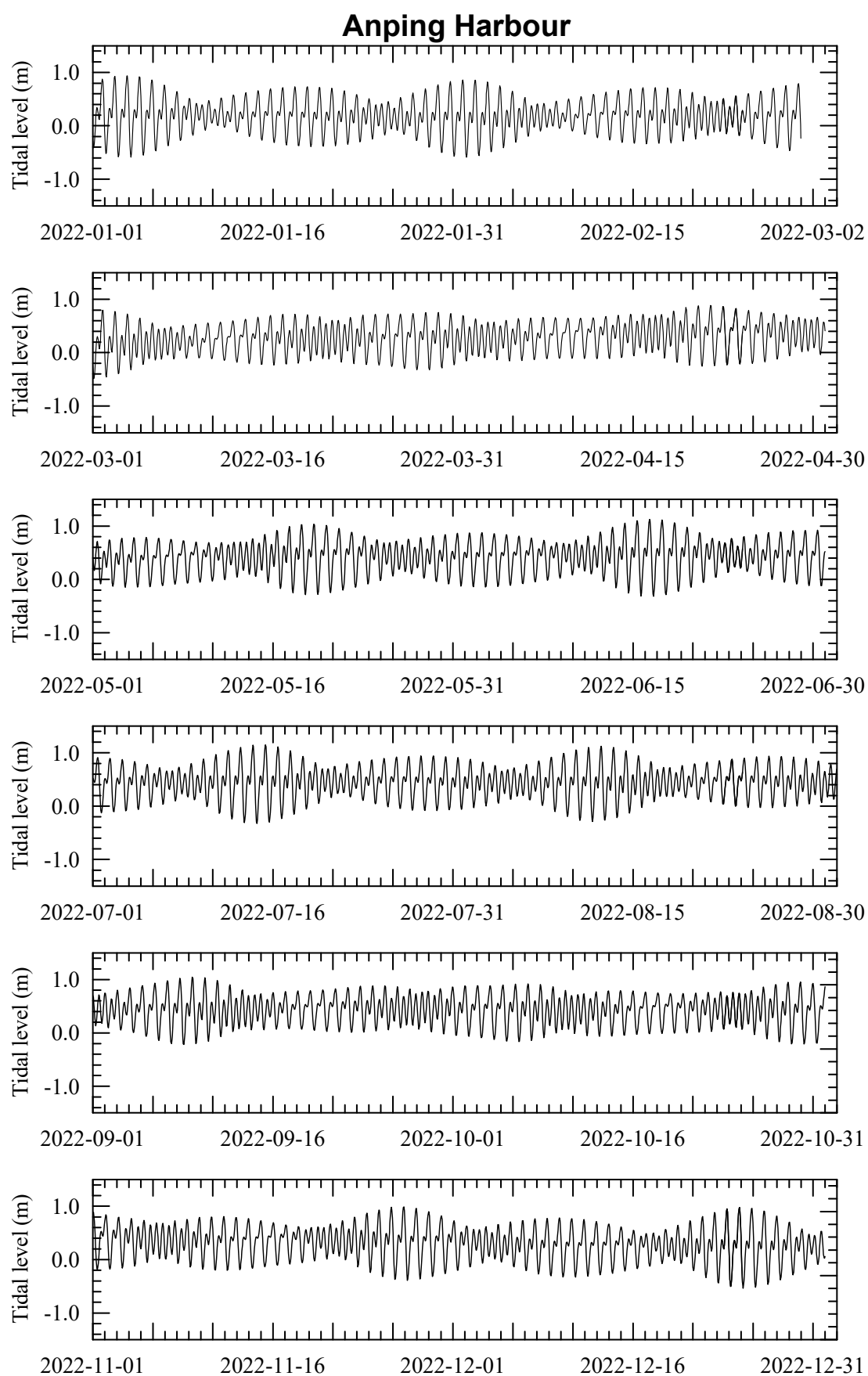


圖 4.12 2022 年安平港天文潮逐時預測值歷線圖

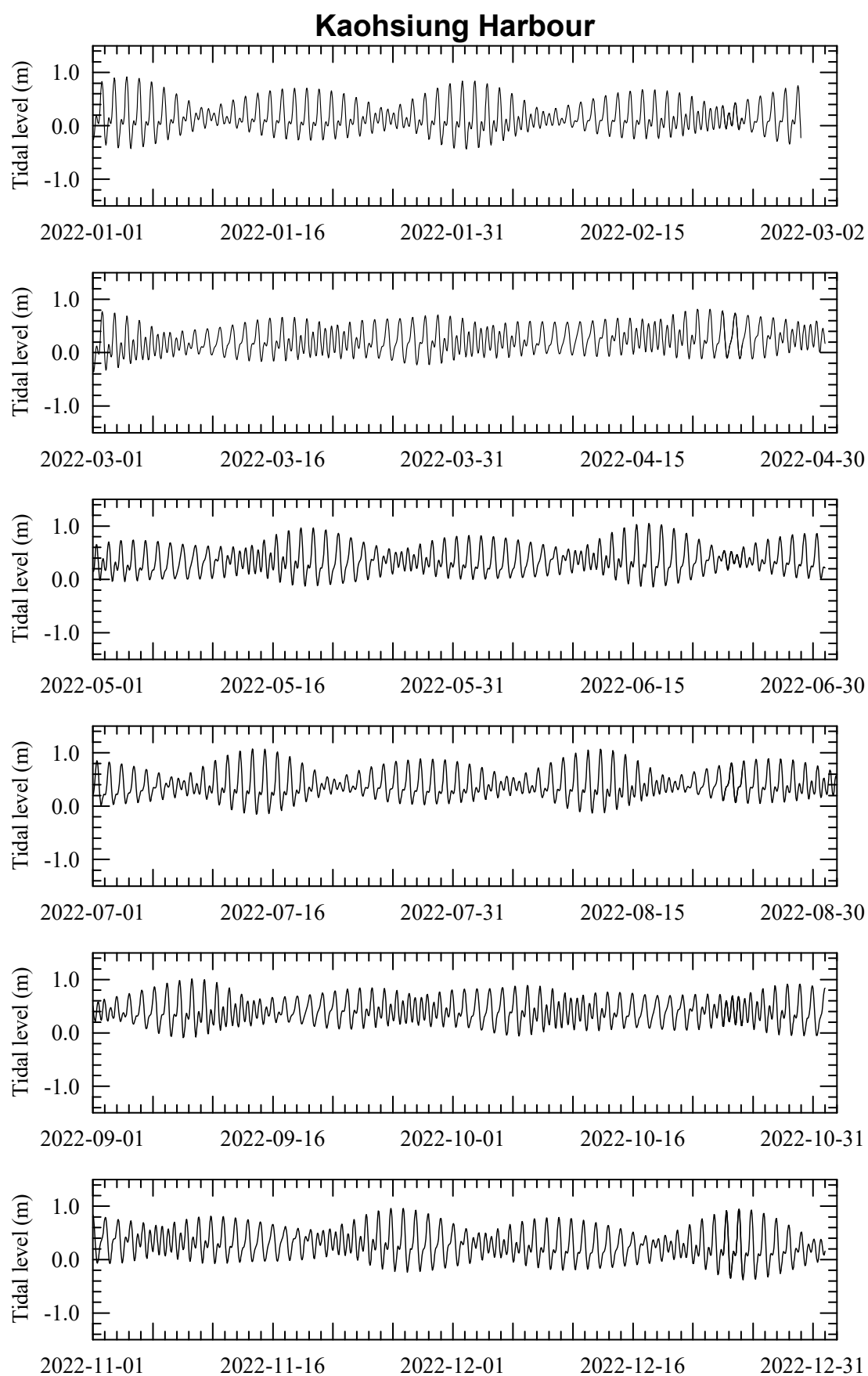


圖 4.13 2022 年高雄港天文潮逐時預測值歷線圖

本計畫利用 2021 年各港逐時天文潮調和分析值及觀測值，分析 2021 年侵臺颱風烟花、盧碧、璨樹及圓規暴潮偏差偏差歷線，如圖 4.14~圖 4.17 所示，圖中圓點、黑色細線及紅色粗線分別代表觀測值、調和分析水位值及暴潮偏差分析值。顯示中度颱風烟花在花蓮港、蘇澳港、基隆港、臺北港、臺中港等港口均出現明顯的暴潮偏差歷線(即最大暴潮偏差值 $\geq 0.3\text{m}$)；輕度颱風圓規則在花蓮港、臺中港及布袋港等 3 港口出現明顯的暴潮偏差歷線。就分析結果而言，中度颱風烟花雖未發布陸上颱風警報，但其對各港港內水位抬昇效應的影響明顯大於強烈颱風璨樹侵臺期間(ps. 璨樹颱風於接近臺灣東部海域時，其強度已減為中度颱風)；針對此一分析結果及現象則值得後續進一步探討其原因，才能判斷與本計畫暴潮偏差歷線分析方法有關、亦或與颱風本身之結構及路徑有關。

表 4-2 2021 年氣象局發布侵臺警報之颱風資訊表

颱風編號	颱風名稱	警報期間	近臺強度	侵臺路徑	近臺近中心最低氣壓(hPa)	近臺近中心最大風速(m/s)	警報發布報數
2021 03	彩雲 (CHOI-WAN)	06/3~06/14	輕度	---	995	20	11
2021 08	烟花 (IN-FA)	07/21~07/41	中度	---	945	43	22
2021 09	盧碧 (LUPIT)	08/04~08/05	輕度	---	988	20	10
2021 14	璨樹 (CHANTHU)	09/10~09/13	強烈	6	915	58	24
2021 18	圓規 (KOMPASU)	10/10~10/12	輕度	---	975	30	13

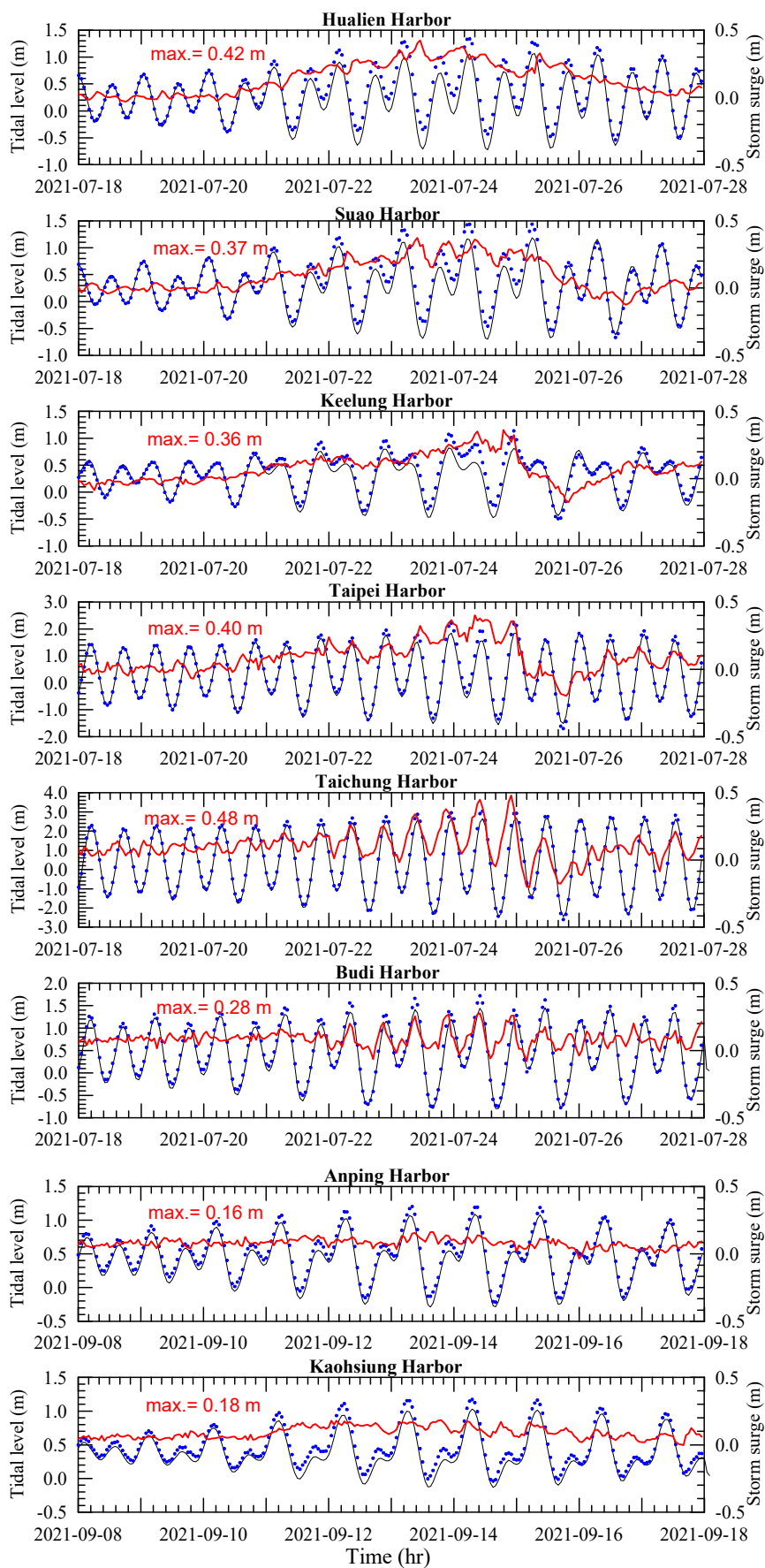


圖 4.14 2021 年烟花颱風期間各港口潮位觀測暴潮偏差分析歷線圖

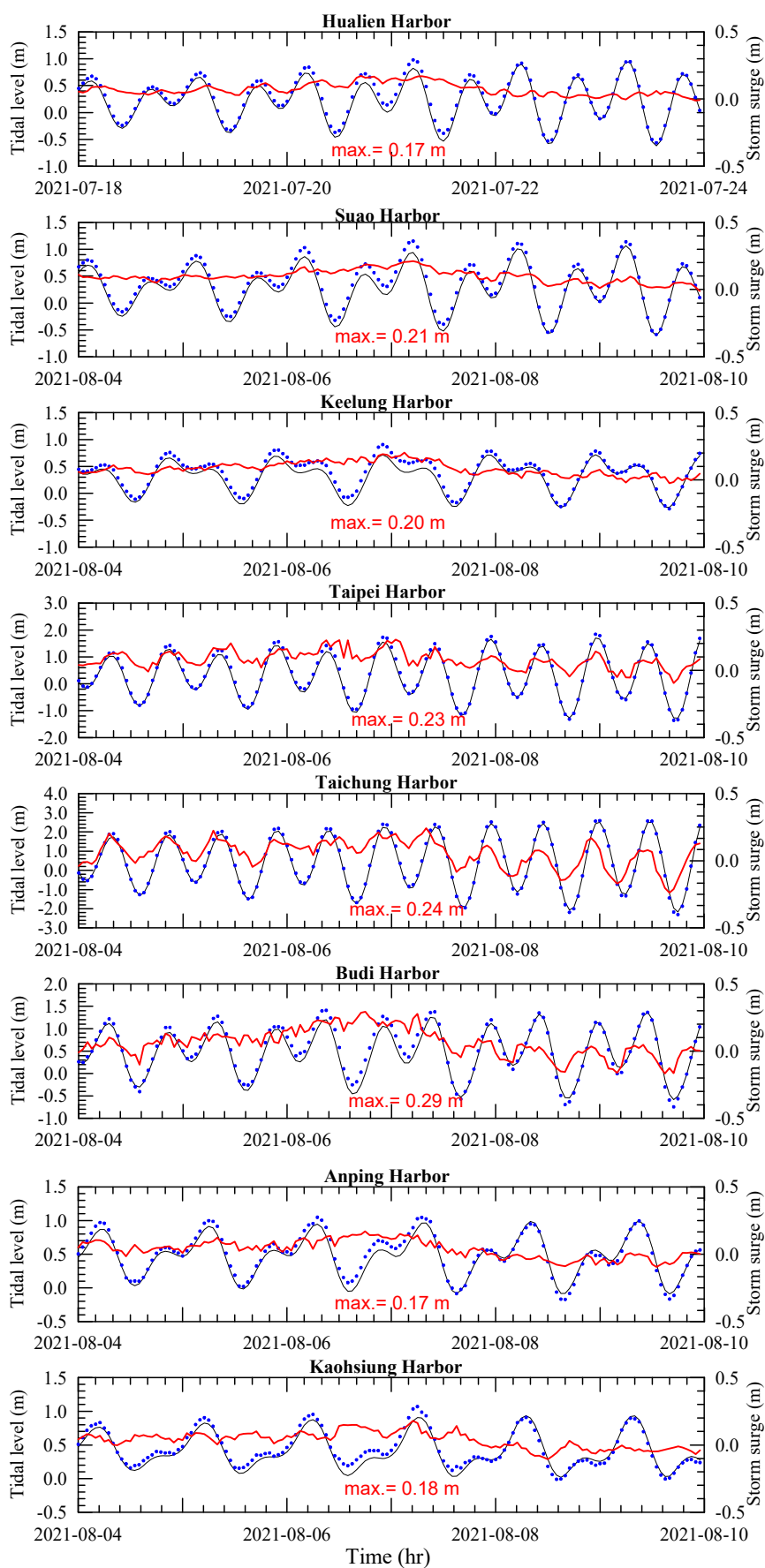


圖 4.15 2021 年盧碧颱風期間各港口潮位觀測暴潮偏差分析歷線圖

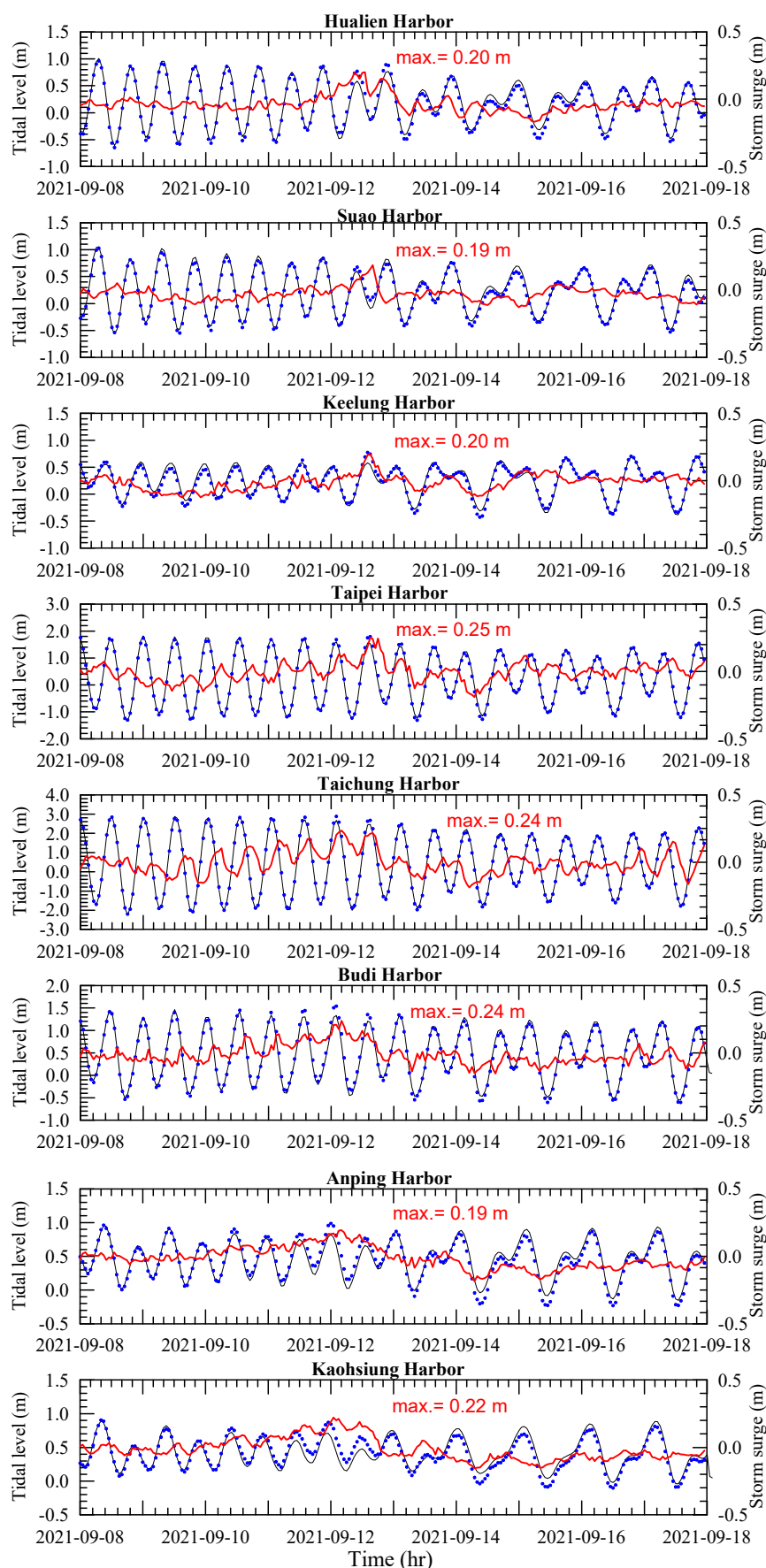


圖 4.16 2021 年璨樹颱風期間各港口潮位觀測暴潮偏差分析歷線圖

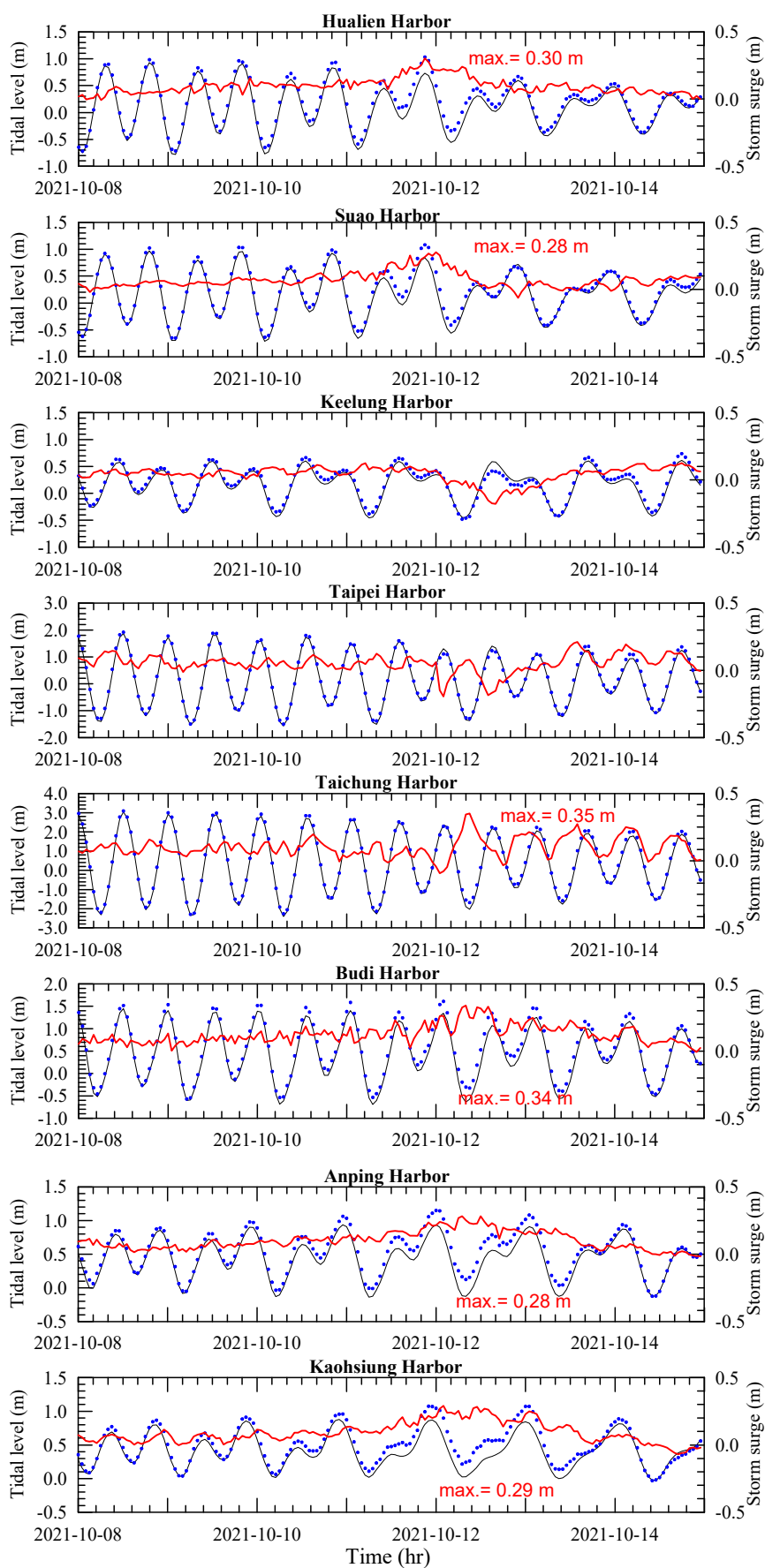


圖 4.17 2021 年圓規颱風期間各港口潮位觀測暴潮偏差分析歷線圖

4.3 臺灣周圍海域水位模擬與校驗

4.3.1 臺灣周圍海域天文潮模擬與校驗

在不考慮氣象因素(如風場及氣壓場)之情況下，本計畫應用中尺度臺海暴潮模組，模擬 2022 年臺灣周圍海域天文潮變化，並輸出包括花蓮港、蘇澳港、基隆港、臺北港、臺中港、布袋港、安平港及高雄港等主要港口水位檢核點(新)之天文潮水位模擬值，並與各港天文潮調和分析預測值比較，如圖 4.18~圖 4.25 所示。本計畫臺海暴潮模組 2022 年天文潮模擬值與各港調和分析 2022 年天文潮預測值之逐月均方根誤差分析成果，如表 4-3 所列；顯示花蓮港、蘇澳港、基隆港及安平港等港口月均方根誤差值最小均出現在 1 月，月均方根誤差值分別為 0.126m、0.078m、0.036m 及 0.078m；臺北港、臺中港、布袋港及高雄港等港口月均方根誤差值最小均出現在 4 月，其誤差值分別為 0.114m、0.053m、0.036m 及 0.063m。月均方根誤差最大值出現在 8 月份計有蓮港、蘇澳港、基隆港、臺北港及臺中港等港口，布袋港、安平港及高雄港等港口月均方根誤差最大值出現在 3 月份。整體年均方根誤差值以高雄港 0.112m 為最小，臺中港年均方根誤差值 0.19m 為最大。本年度年均方根誤差值低於 110 年(2021)分析結果之港口僅布袋港，蘇澳港與 110 年分析結果相等，其餘港口本年度年均方根誤差值均略大於 110 年分析結果。

此外，本計畫針對各港水位檢核點(新)選取 2020 年 12 月 31 日 0 時至 2021 年 12 月 31 日 23 時期間，逐時天文潮水位模擬值共計 8,784 小時進行調和分析，並選取主要分潮 O_1 、 K_1 、 N_2 、 M_2 及 S_2 之振幅及相位，與各港潮位站同時期觀測資料之調和分析結果比較，如圖 4.26 及圖 4.27 所示。顯示臺海暴潮模組模擬值與觀測值間， M_2 分潮振幅差最大值出現在安平港，其中模擬值有明顯高估現象。

表 4-3 2022 年臺海天文潮模擬值與各港調和分析預測值之誤差分析表

月份	花蓮港 (m)	蘇澳港 (m)	基隆港 (m)	臺北港 (m)	臺中港 (m)	布袋港 (m)	安平港 (m)	高雄港 (m)
1	0.045	0.053	0.036	0.121	0.174	0.082	0.078	0.067
2	0.111	0.134	0.165	0.210	0.245	0.218	0.180	0.171
3	0.096	0.102	0.125	0.164	0.188	0.159	0.140	0.126
4	0.083	0.068	0.071	0.114	0.126	0.078	0.094	0.063
5	0.055	0.067	0.065	0.118	0.142	0.088	0.108	0.069
6	0.075	0.114	0.139	0.172	0.187	0.125	0.128	0.093
7	0.149	0.154	0.197	0.216	0.212	0.140	0.134	0.102
8	0.185	0.157	0.203	0.224	0.213	0.148	0.135	0.113
9	0.151	0.116	0.143	0.176	0.194	0.150	0.132	0.124
10	0.073	0.062	0.055	0.114	0.138	0.120	0.112	0.109
11	0.076	0.083	0.091	0.137	0.122	0.085	0.082	0.067
12	0.118	0.130	0.156	0.197	0.197	0.143	0.115	0.095
整體(年)	0.114	0.115	0.141	0.177	0.190	0.143	0.130	0.112
2021 年 ^{*1}	0.079	0.115	0.118	0.167	0.186	0.160	0.122	0.111
*1：採用臺海暴潮模組底床摩擦係數修正後新的水位檢核點模擬值								

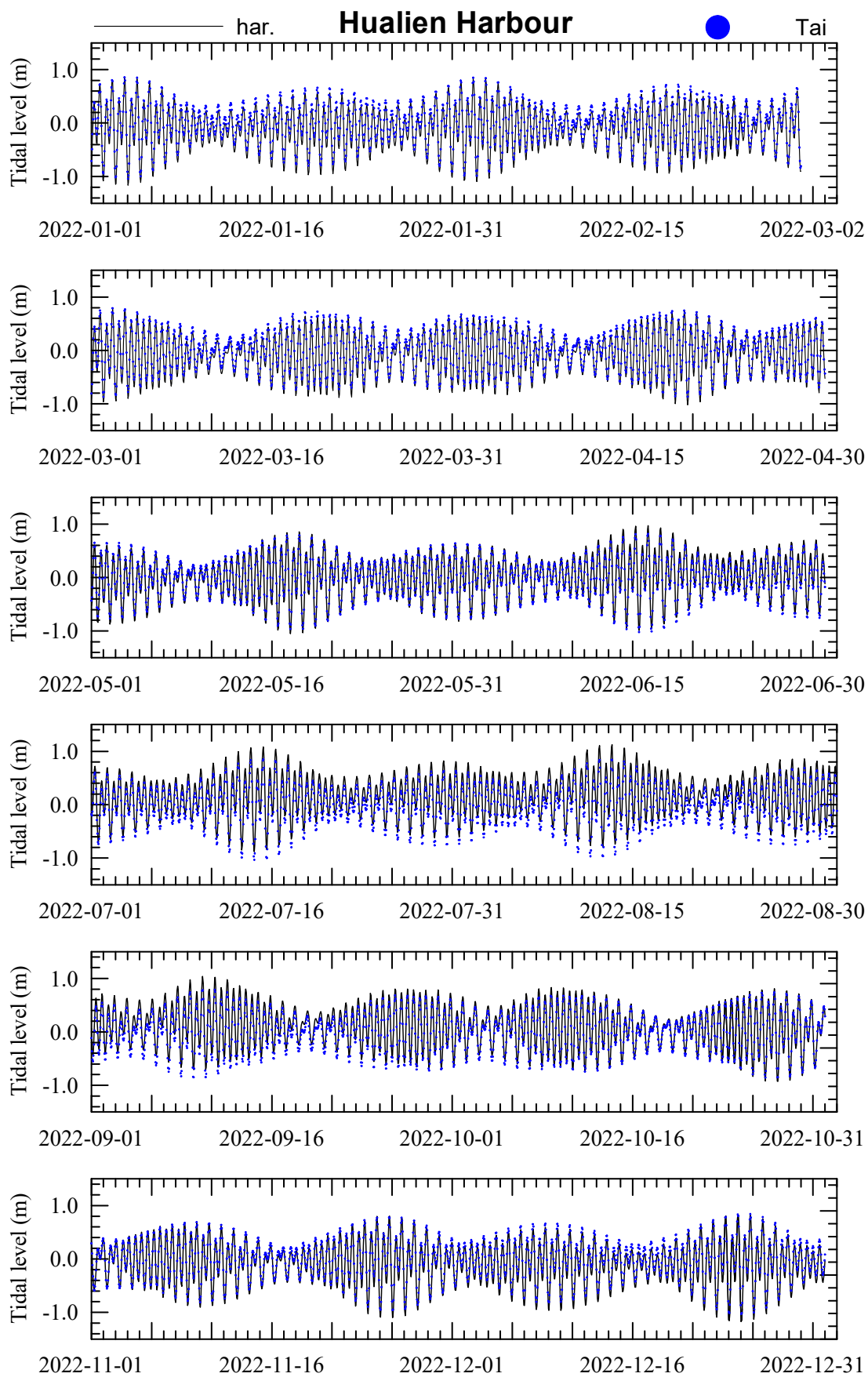


圖 4.18 2022 年花蓮港天文潮模擬值與預測值比較圖

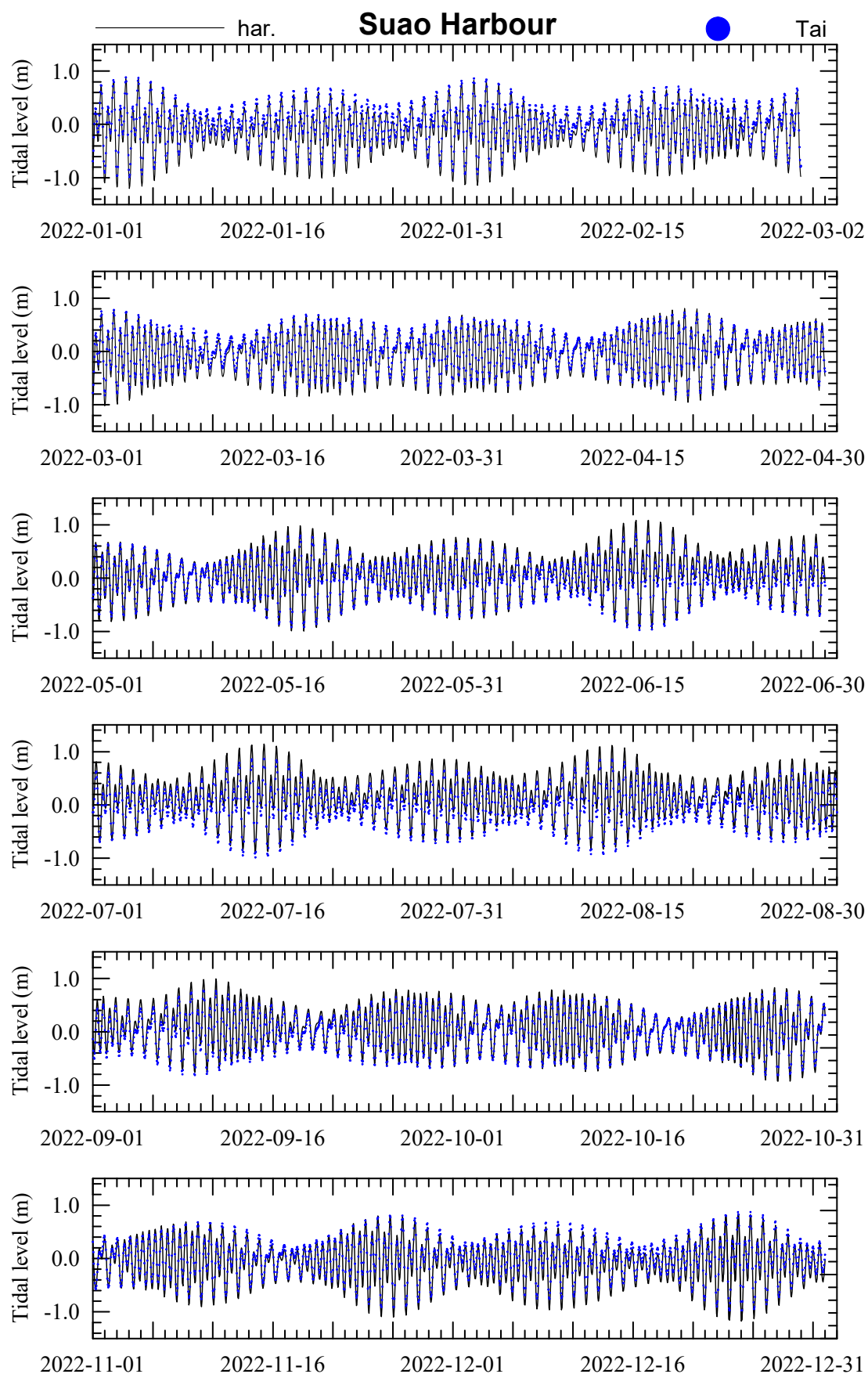


圖 4.19 2022 年蘇澳港天文潮模擬值與預測值(點)比較圖

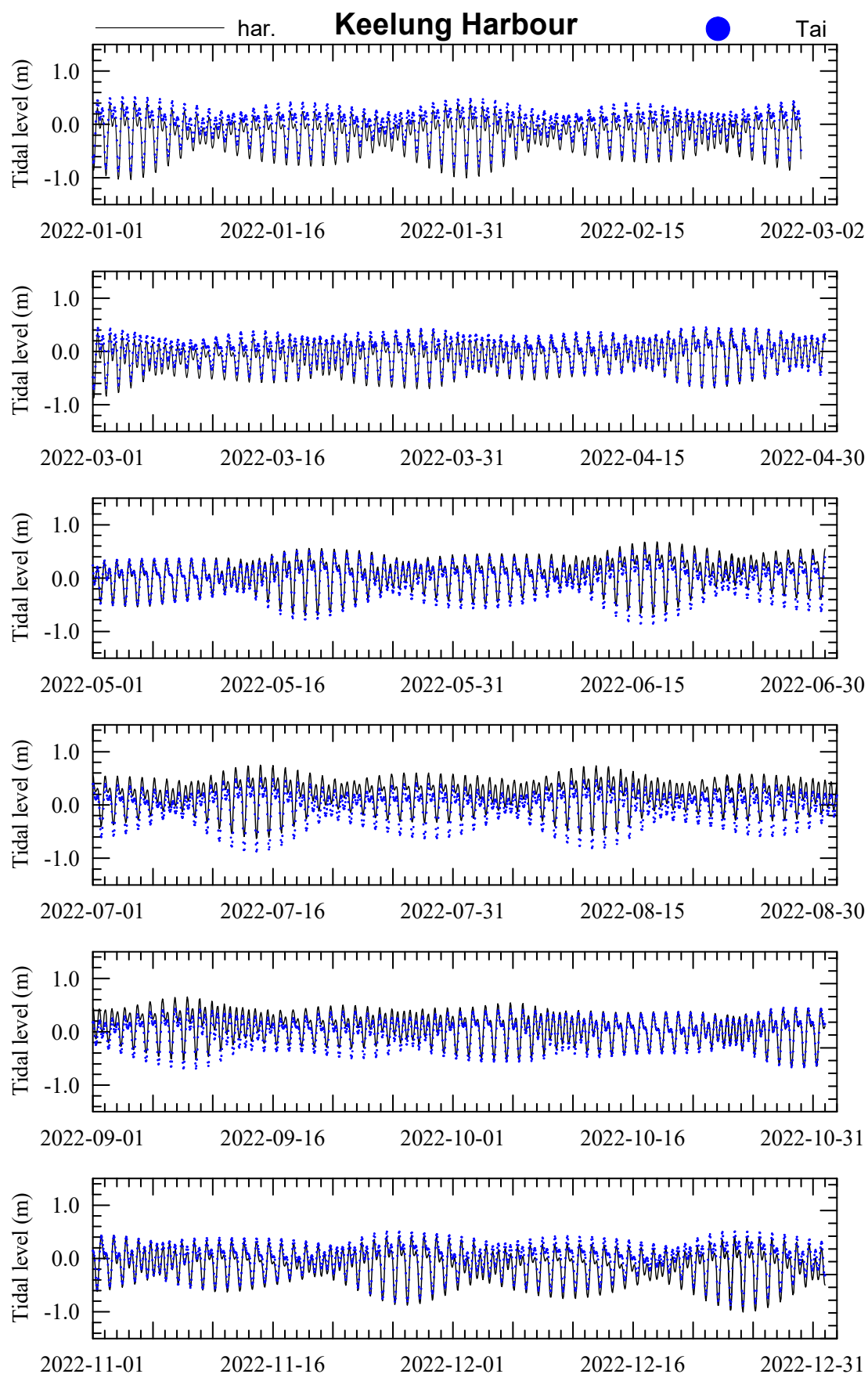


圖 4.20 2022 年基隆港天文潮模擬值與預測值(點)比較圖

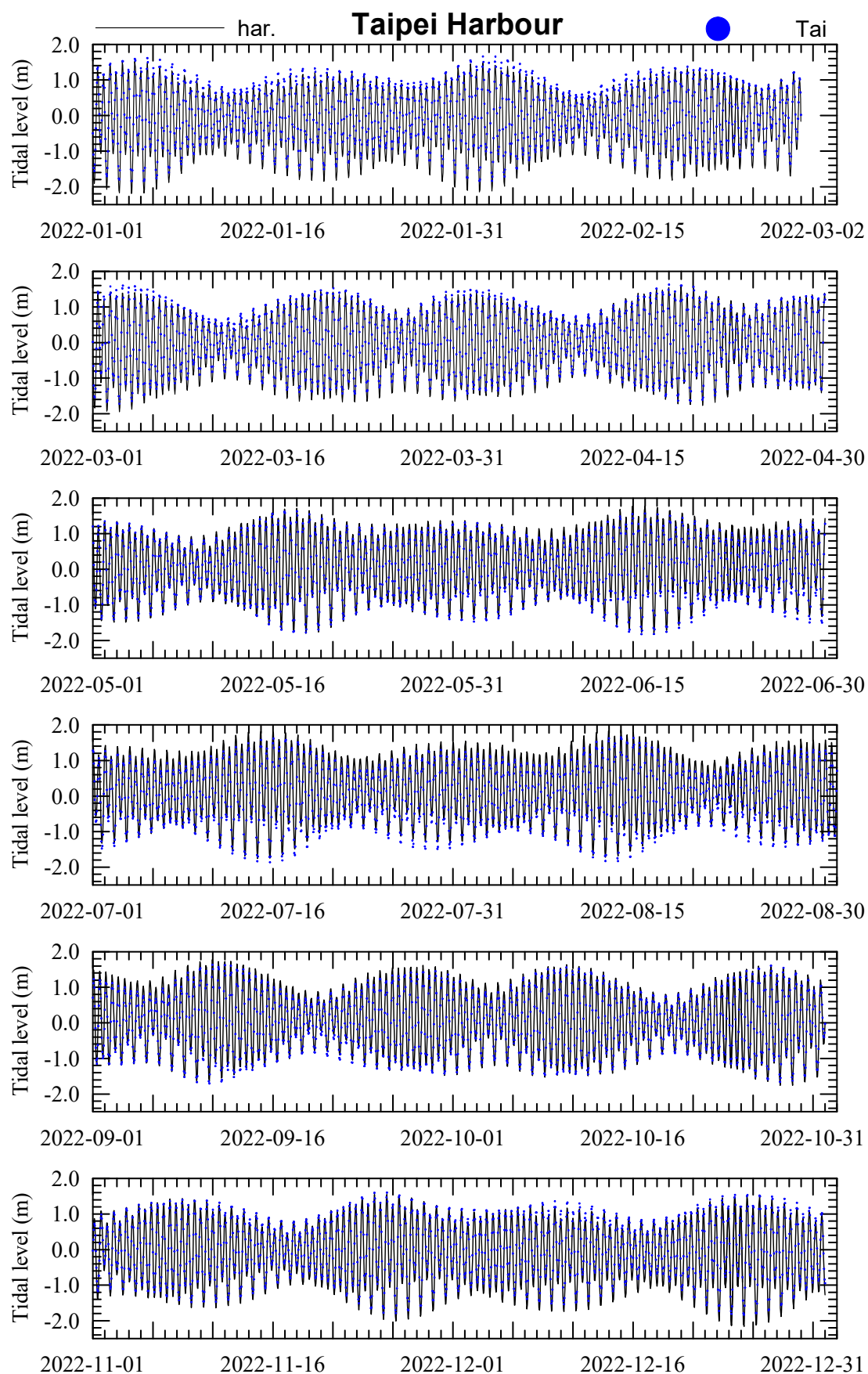


圖 4.21 2022 年臺北港天文潮模擬值與預測值(點)比較圖

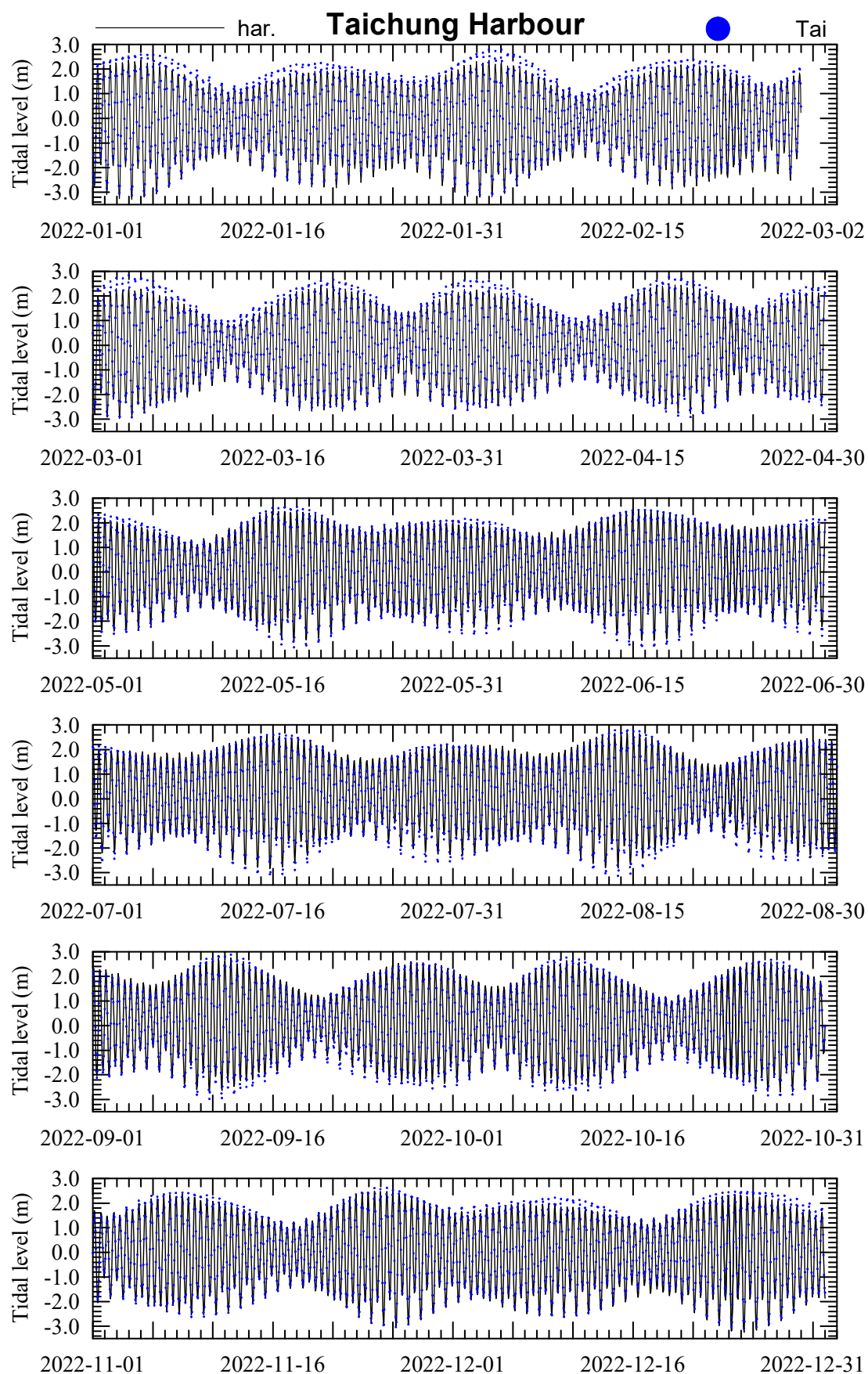


圖 4.22 2022 年臺中港天文潮模擬值與預測值(點)比較圖

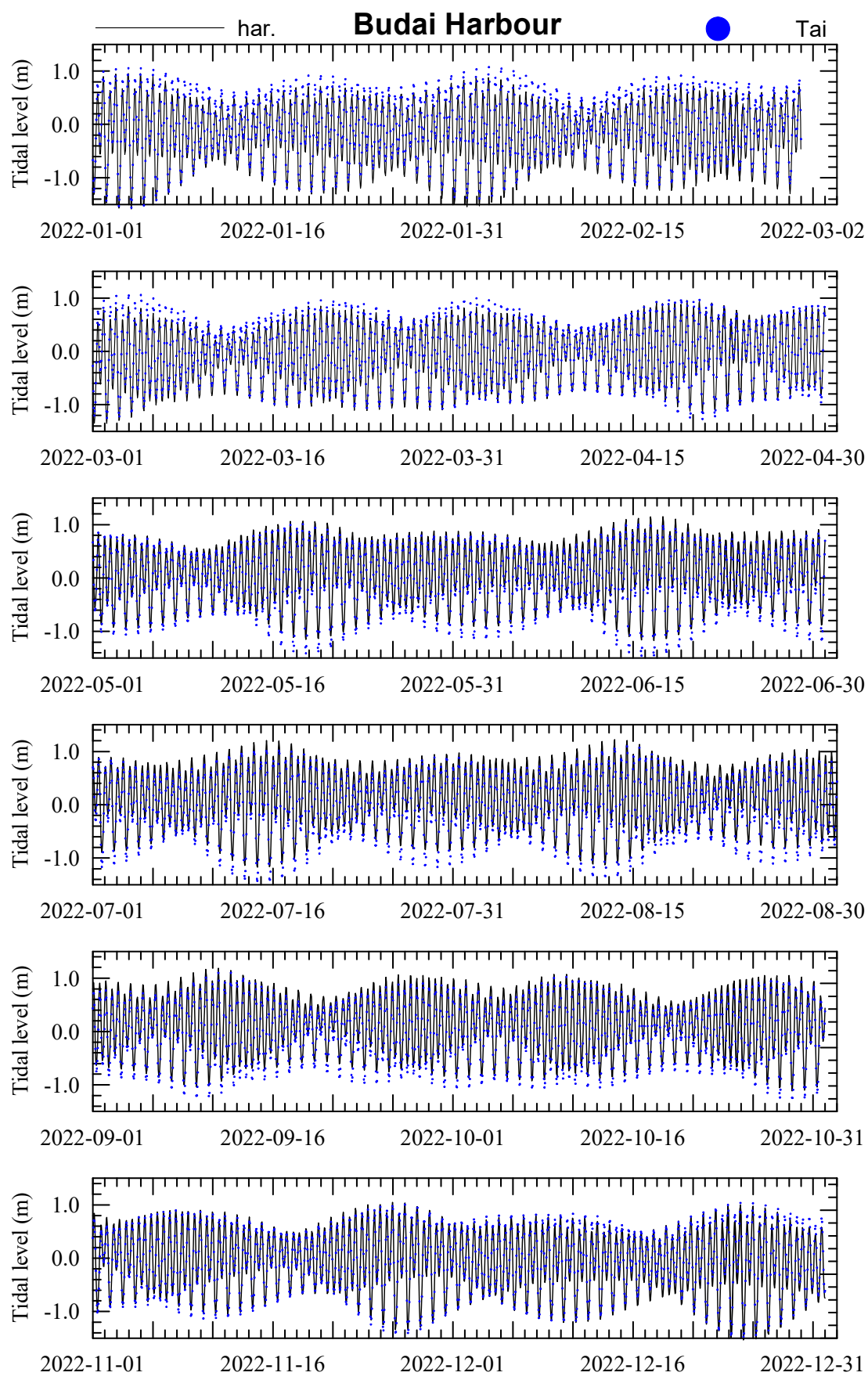


圖 4.23 2022 年布袋港天文潮模擬值與預測值(點)比較圖

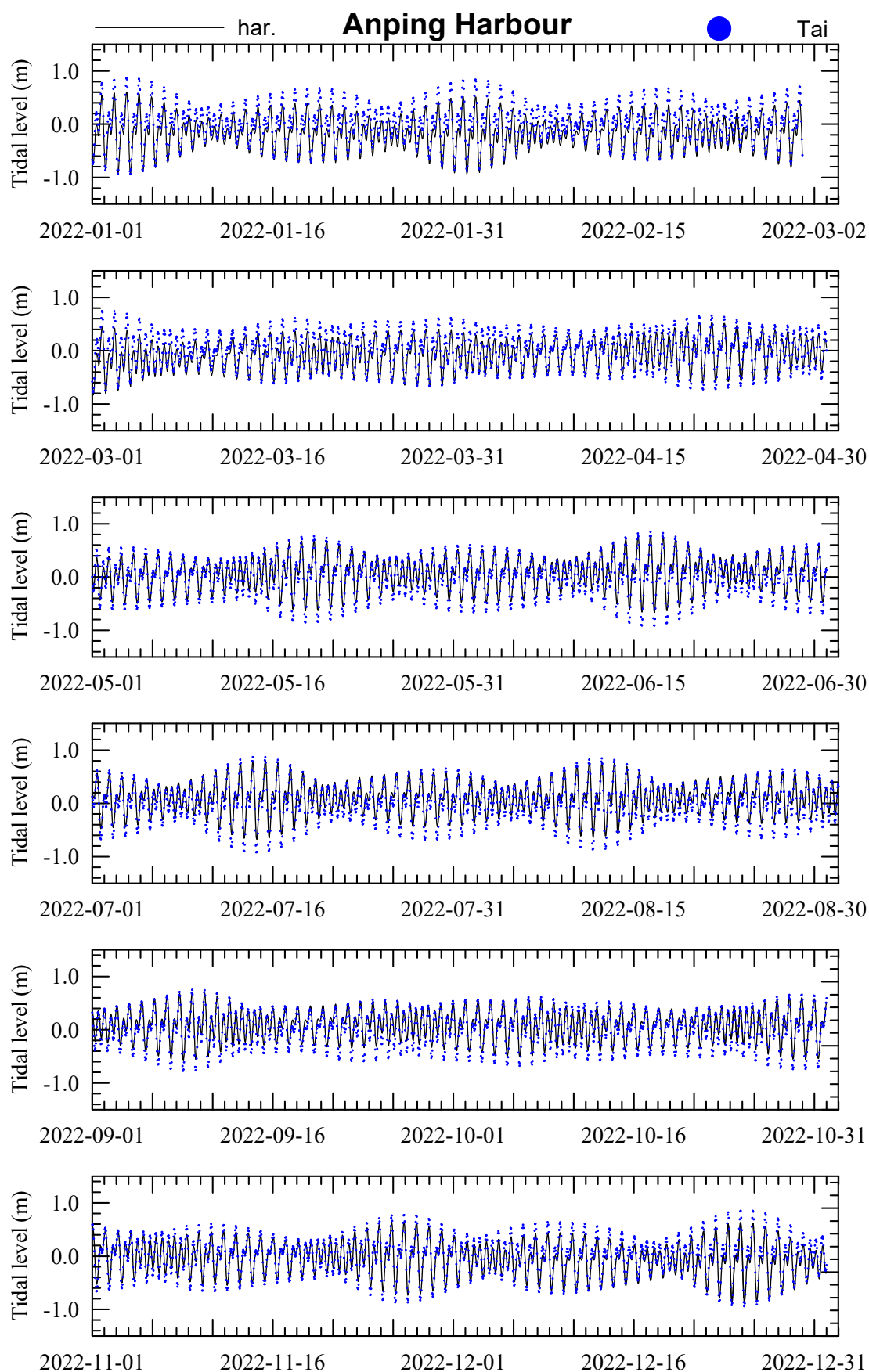


圖 4.24 2022 年安平港天文潮模擬值與預測值(點)比較圖

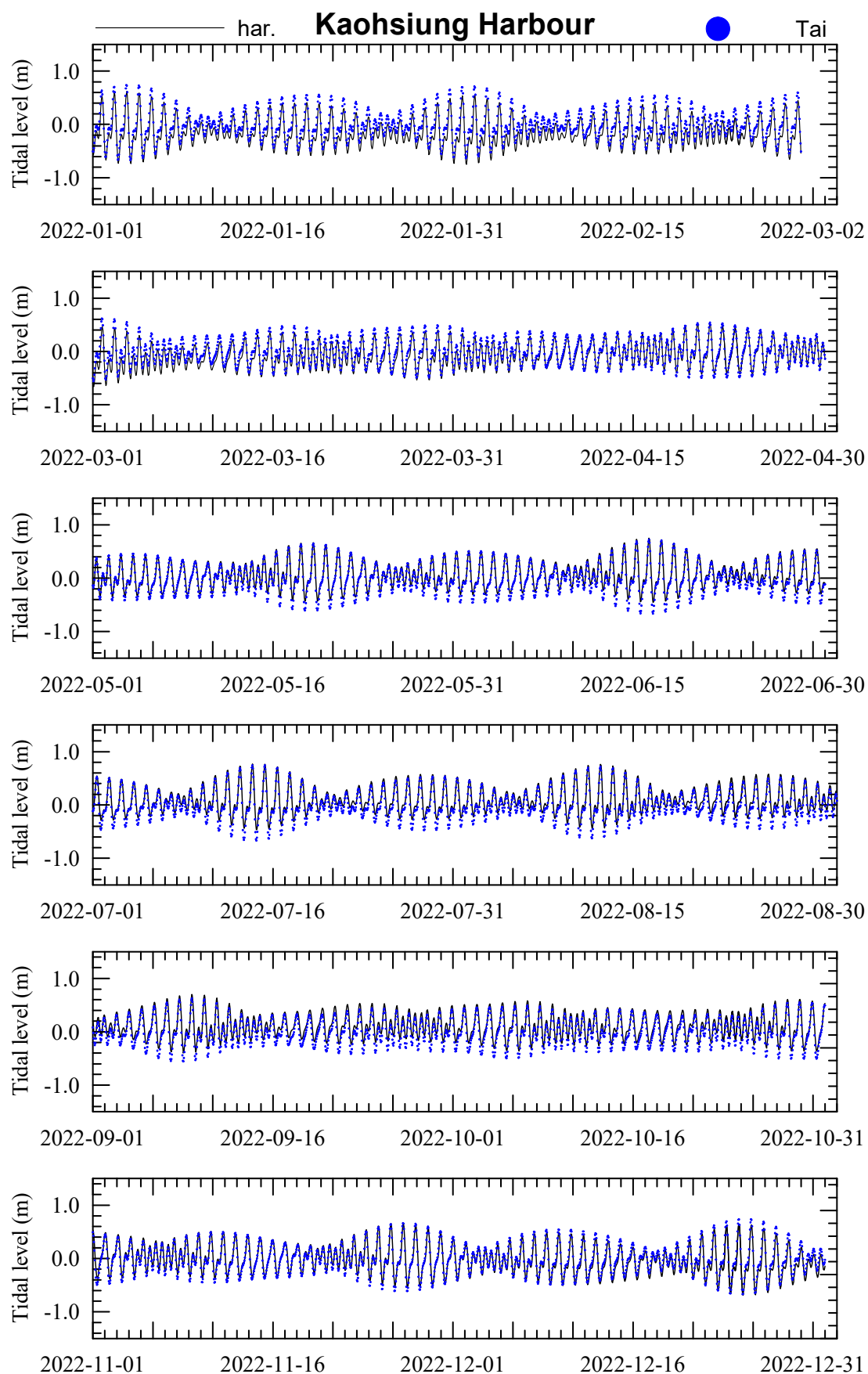


圖 4.25 2022 年高雄港天文潮模擬值與預測值(點)比較圖

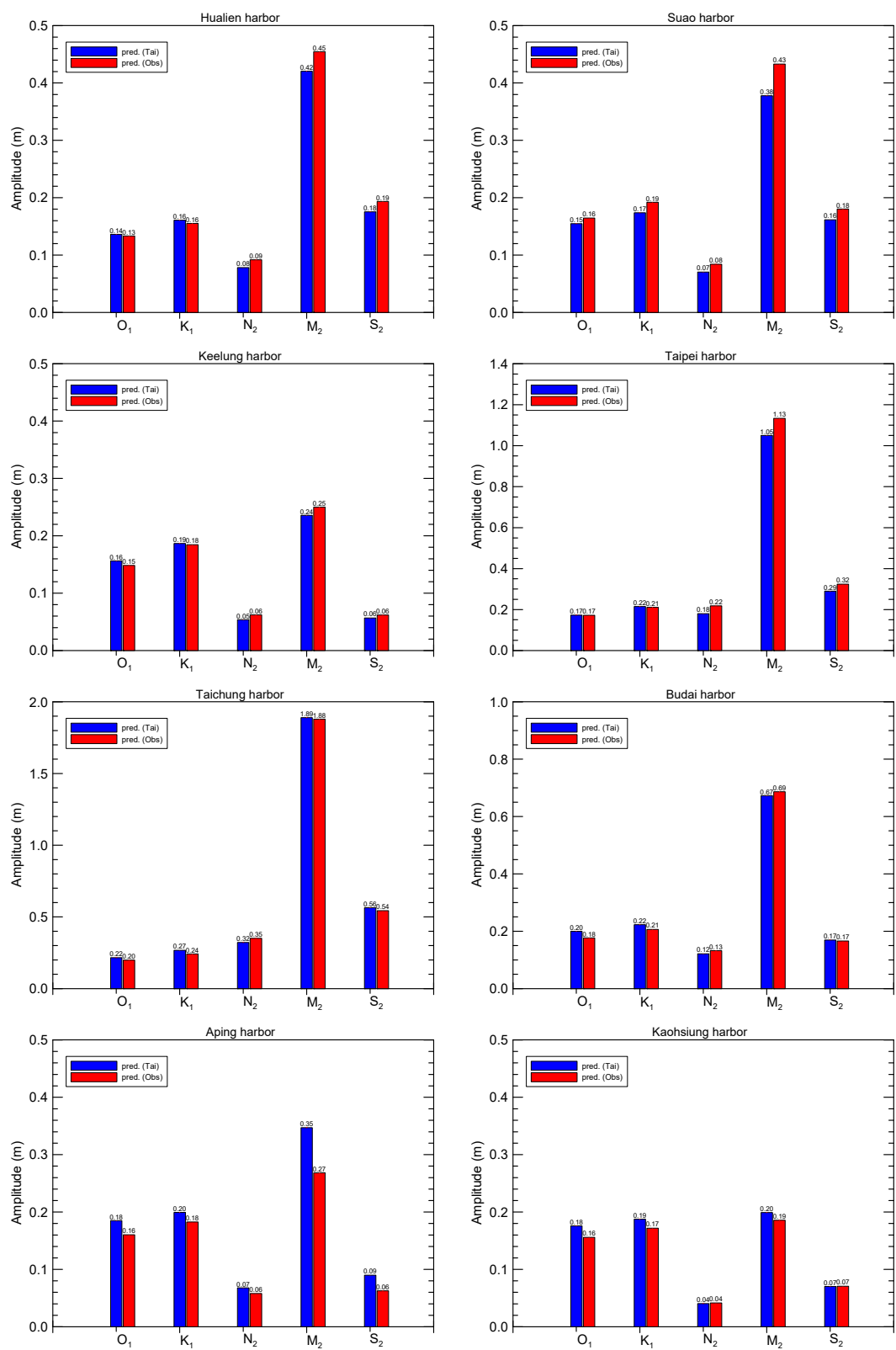


圖 4.26 2022 年天文潮調和分析預測與模擬值之主要分潮振幅比較圖

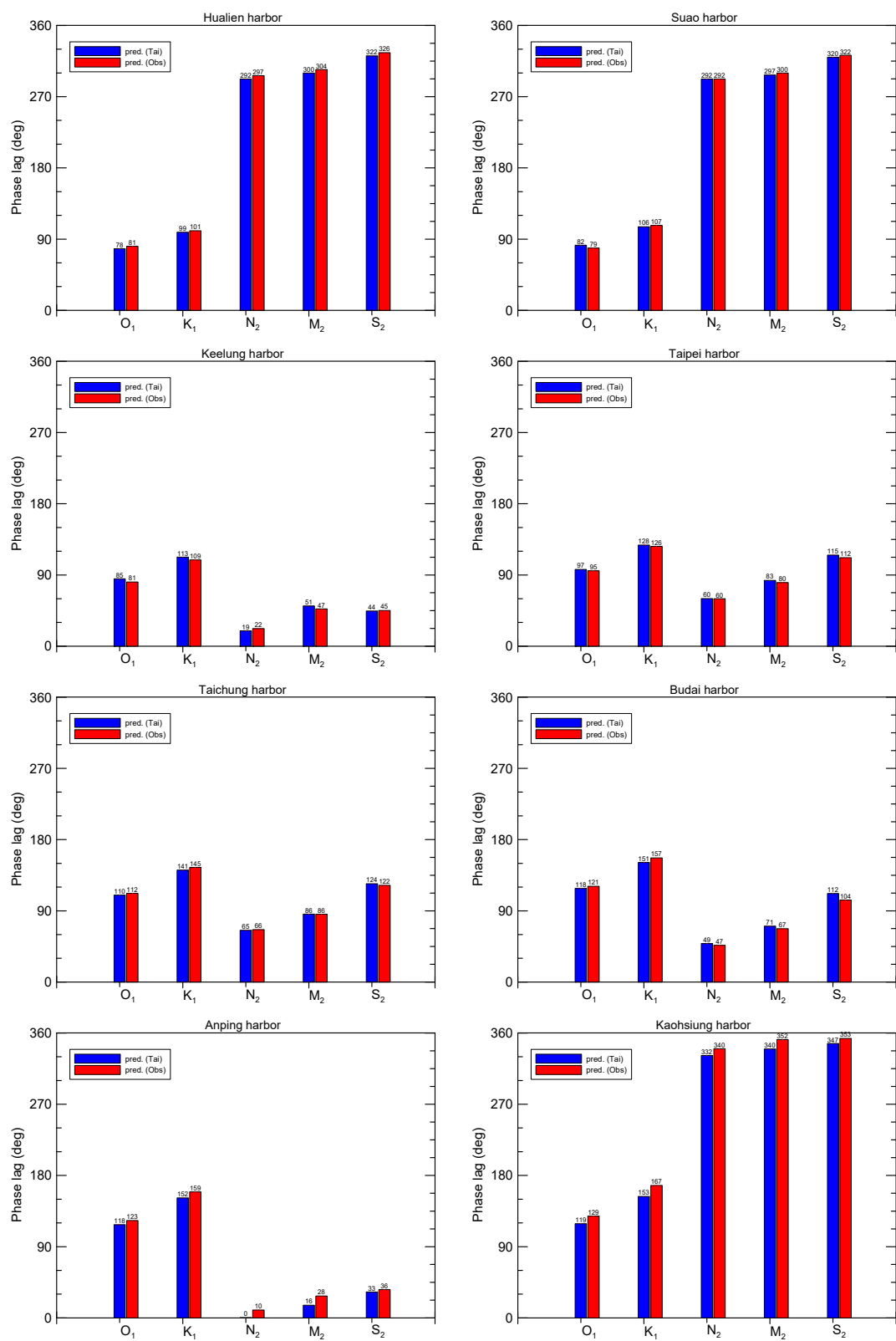


圖 4.27 2022 年天文潮調和分析預測與模擬值之主要分潮相位比較圖

第五章 臺灣近岸海象預測作業化成果評估

本計畫臺灣近岸海象預測系統之運作採自動化作業方式執行每次的海象模擬，除了遇到系統當機、風場缺損或錯誤外，系統運作均無需任何人為操作介入。因此，各模組模擬結果之事後評估乃為本系統各模組未來改進之重要依據。

海象預測作業化成果評估項目依海象資料屬性，區分為風力、波浪、水位及海流等四項；本(111)年度成果評估週期為 2021 年 9 月至 2022 年 8 月，評估對象包括基隆、臺北、臺中、布袋、安平、高雄、花蓮、蘇澳及馬祖等 9 個商港海象模擬及觀測資料。有關風力、波浪、水位及海流等海象模擬資料來源選取說明如下：

1. 風力模擬資料：來源為氣象局每日 4 報 WRF 成員 M04 水平解析度 3km 網格之風力預報資料，每報擷取 6~11 時資料，彙整成每月逐時資料。
2. 波浪模擬資料：來源為 TaiCOMS 臺海風浪模擬子系統中尺度近域風浪模組之波浪模擬資料，波浪模擬資料擷取時段為每日 4 報之 0~5 時(追算時段)，同樣彙整成每月逐時資料。
3. 水位及海流模擬資料：來源為 TaiCOMS 臺海水動力模擬子系統中尺度暴潮模組之模擬資料，其水位及海流模擬資料擷取時段亦為每日 1 報之 0~23 時，同樣彙整成每月逐時資料。

目前各模式作業化模擬成果評估工作內容以月報方式提送供港研中心內參(未對外公開)，年度評估報告內容包括各海域觀測及預測資料之各月修補前資料統計表、平均值、最大值、蒐集率、主要值及所占百分比以及模式預測與觀測值間偏差統計及均方根值等結果，逐月繪製預測與觀測水位歷線之比較圖，及預測與觀測玫瑰圖等。

本年度各海域風力、波流及水位等觀測資料測站位置，以及海象模擬預測資料輸出格點位置，如圖 5.1~圖 5.9 所示。其中各港風力觀測代表站之資料蒐集情形，如表 5-1 所列；各港風浪及海流觀測代表站之資料資料蒐集，如表 5-2 所列；各港水位觀測代表站之資料資料蒐集，如表 5-3 所列。

表 5-1 本年度海氣象觀測風力資料蒐集率統計整合表

海域 月份	臺北 椿	臺北 岸	基隆	蘇澳	花蓮	高雄	安平 岸	安平 南燈塔	布袋	臺中 堤頭	臺中 防風林	馬祖
202109	100.00	97.22	95.14	99.72	99.72	99.58	99.17	99.86	99.58	98.19	99.72	99.86
202110	100.00	98.12	94.49	89.25	95.03	99.46	100.00	97.04	99.19	100.00	99.73	52.82
202111	99.72	98.33	92.92	61.11	0.00	99.86	100.00	60.69	99.03	86.81	6.94	91.53
202112	100.00	97.04	94.62	99.73	30.38	99.87	72.31	100.00	99.06	32.39	81.18	93.95
202201	99.73	97.58	93.15	99.87	100.00	100.00	0.00	100.00	99.06	0.00	99.33	94.09
202202	100.00	73.07	94.35	100.00	100.00	100.00	0.00	100.00	99.55	0.00	99.11	93.15
202203	100.00	95.83	97.18	99.87	100.00	100.00	0.00	99.33	98.39	24.06	99.73	90.59
202204	100.00	96.25	100.00	100.00	99.86	99.86	0.00	100.00	98.33	96.53	99.86	94.58
202205	100.00	95.03	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	100.00	99.19	99.87	100.00	92.07
202206	99.86	94.58	91.67	100.00	100.00	100.00	0.00	99.72	98.61	91.25	99.72	88.33
202207	100.00	90.19	0.00	100.00	99.87	99.87	0.00	100.00	99.60	99.87	99.87	91.26
202208	100.00	85.75	0.00	97.45	100.00	89.25	0.00	100.00	99.06	72.31	77.82	90.19

表 5-2 本年度海氣象觀測波浪及海流資料蒐集率統計整合表

海域 月份	臺北	基隆	蘇澳	花蓮	高雄	安平	布袋	臺中	馬祖
202109	95.42	91.94	99.86	99.03	99.31	93.33	99.86	99.58	100.00
202110	37.10	99.73	99.06	100.00	99.87	90.32	89.92	99.60	81.99
202111	0.00	92.50	97.92	99.86	99.86	94.31	96.81	97.36	0.00
202112	0.00	88.58	99.19	99.60	99.19	95.56	98.79	99.87	0.00
202201	26.08	86.29	93.95	99.73	98.92	97.45	98.66	99.87	0.00
202202	97.17	83.63	97.77	99.70	97.92	96.88	99.70	98.66	0.00
202203	99.73	83.47	99.06	97.97	97.45	94.35	99.60	99.16	0.00
202204	100.00	84.72	97.92	98.89	98.19	93.19	99.17	99.86	0.00
202205	100.00	87.23	98.52	98.92	98.73	99.06	99.73	99.06	0.00
202206	72.50	86.94	99.86	99.17	99.44	97.92	98.89	98.75	0.00
202207	0.00	98.92	99.19	99.87	98.66	85.75	98.79	99.73	0.00
202208	0.00	99.60	99.33	99.60	97.58	85.75	97.72	99.60	0.00

*紅字表示蒐集率<80.00%, 粗體字代表本月回補後蒐集率

表 5-3 本年度海氣象觀測水位資料蒐集率統計整合表

海域 月份	臺北	基隆	蘇澳	花蓮	高雄	安平	布袋	臺中	馬祖
202109	99.86	100.00	100.00	99.86	100.00	99.86	100.00	99.17	98.47
202110	99.87	100.00	100.00	100.00	100.00	8.06	99.87	100.00	98.66
202111	100.00	100.00	100.00	42.36	99.86	0.00	100.00	99.72	98.89
202112	100.00	100.00	100.00	30.24	99.87	87.90	100.00	100.00	98.66
202201	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.46	100.00	100.00	90.90
202202	100.00	100.00	100.00	100.00	99.85	49.70	100.00	100.00	76.93
202203	100.00	100.00	100.00	99.87	100.00	53.23	100.00	100.00	98.52
202204	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	98.47
202205	99.87	99.87	99.87	100.00	99.87	99.87	100.00	100.00	97.72
202206	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.86	99.86	100.00	99.03
202207	99.73	100.00	99.87	99.60	99.73	99.60	99.60	99.73	98.25
202208	99.73	99.87	100.00	99.87	100.00	99.73	99.87	100.00	98.66

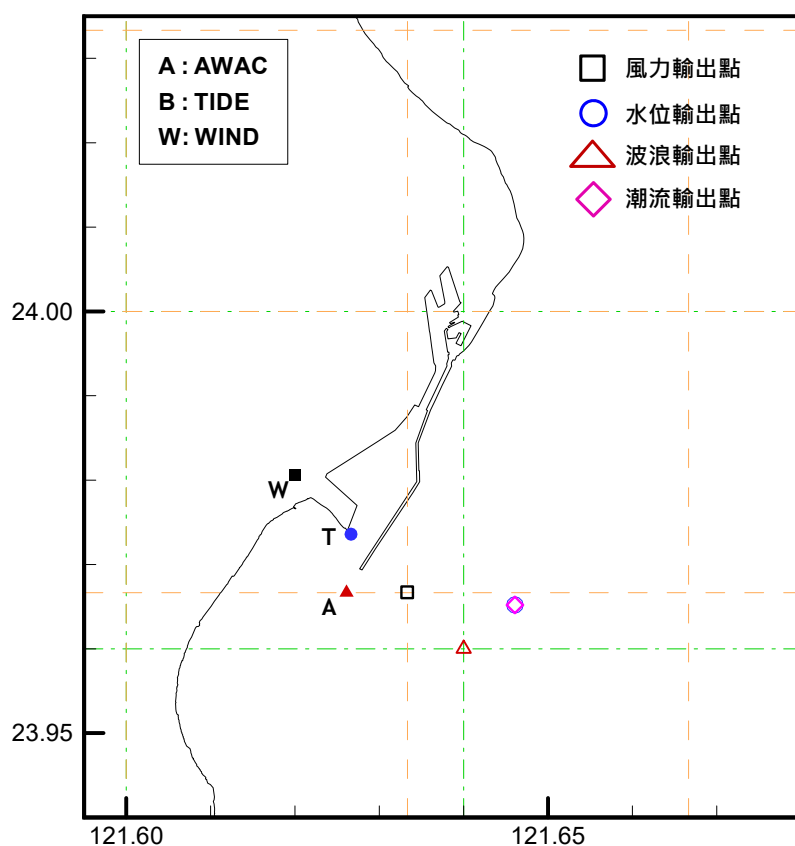


圖 5.1 花蓮港海氣象觀測位置及模擬值輸出點位置圖

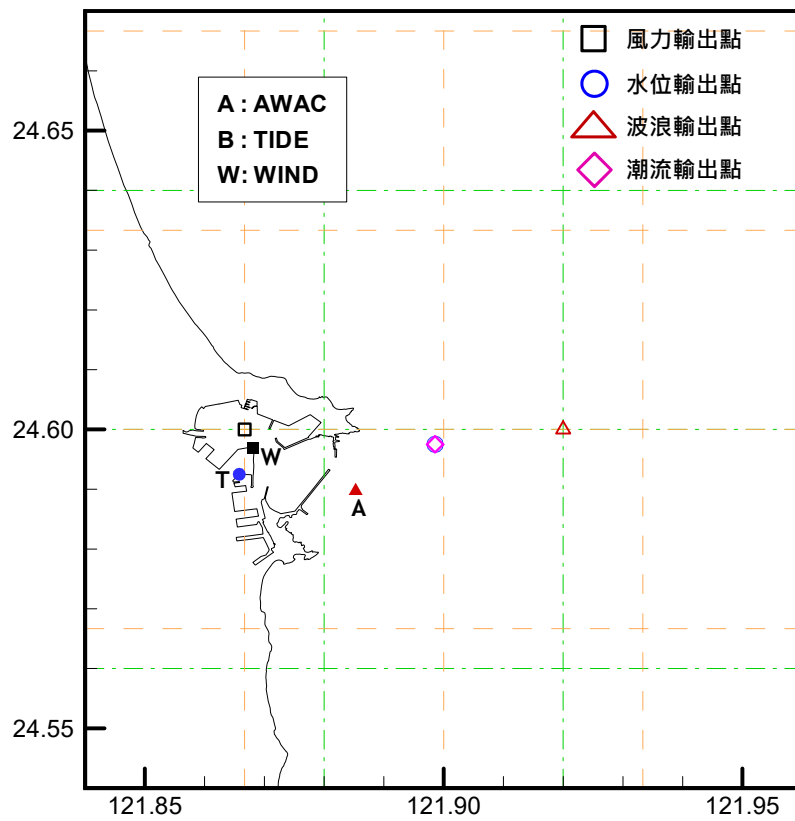


圖 5.2 蘇澳港海氣象觀測位置及模擬值輸出點位置圖

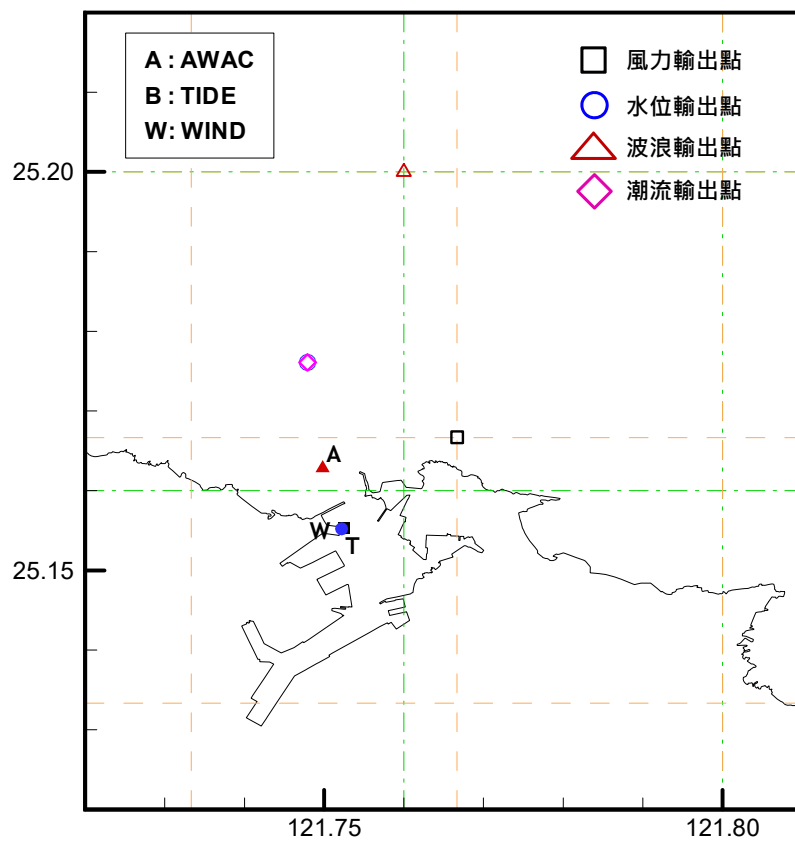


圖 5.3 基隆港海氣象觀測位置及模擬值輸出點位置圖

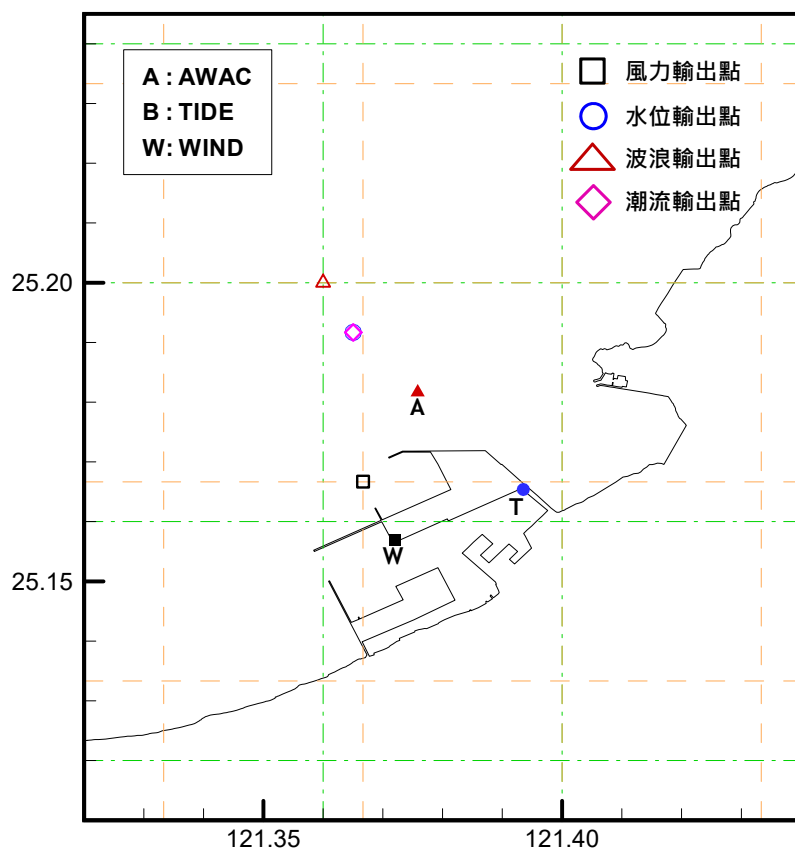


圖 5.4 臺北港海氣象觀測位置及模擬值輸出點位置圖

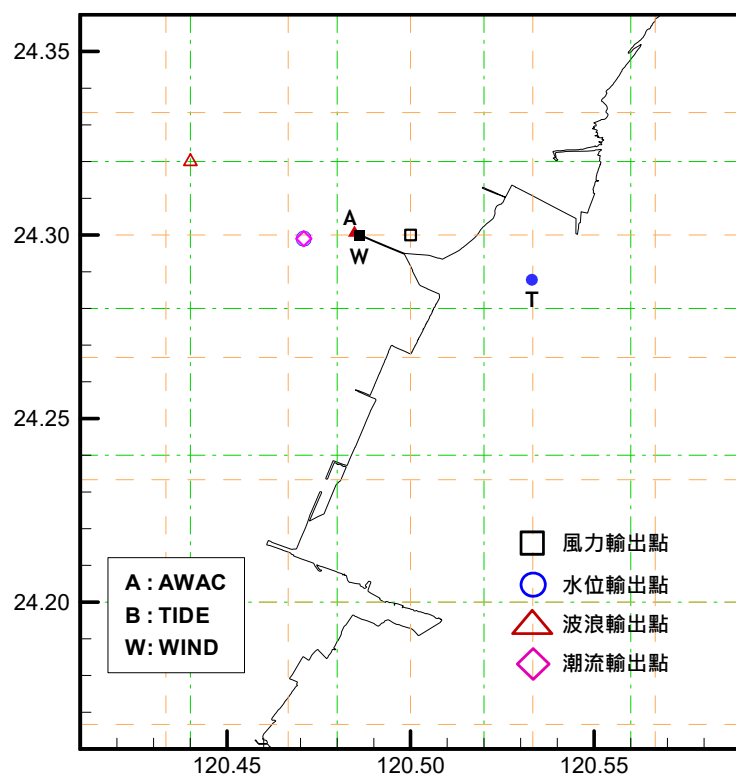


圖 5.5 臺中港海氣象觀測位置及模擬值輸出點位置圖

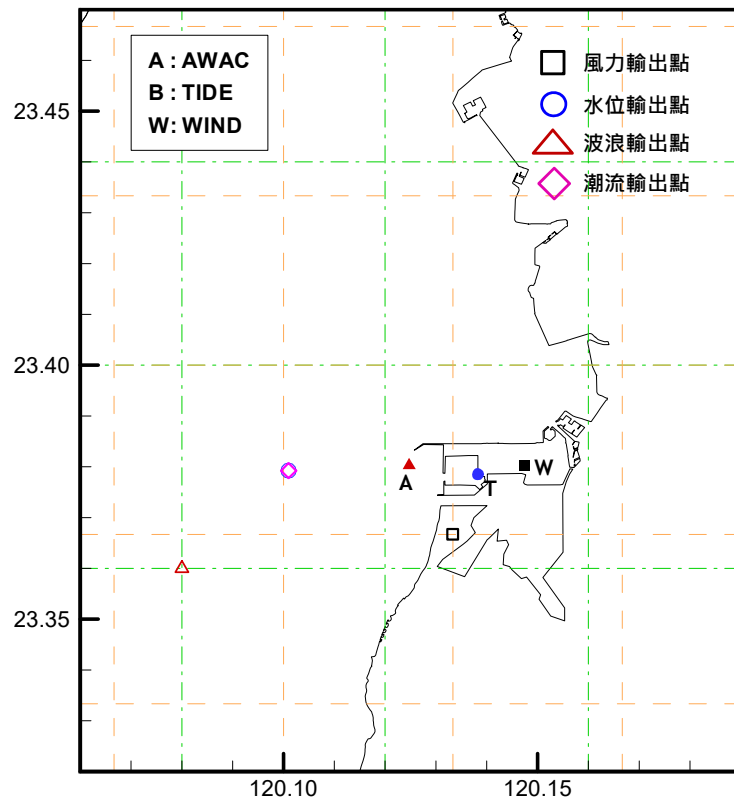


圖 5.6 布袋港海氣象觀測位置及模擬值輸出點位置圖

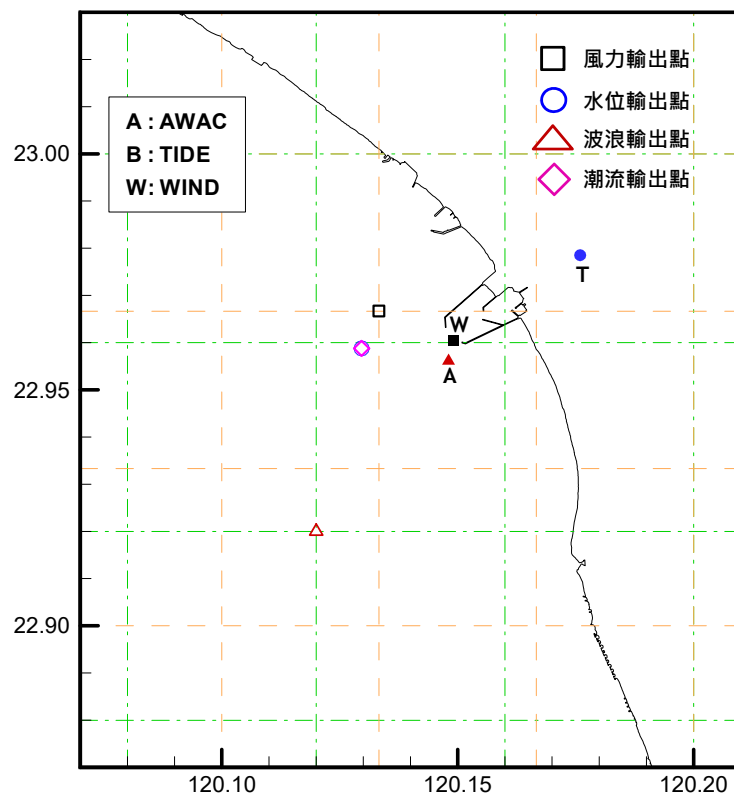


圖 5.7 安平港海氣象觀測位置及模擬值輸出點位置圖

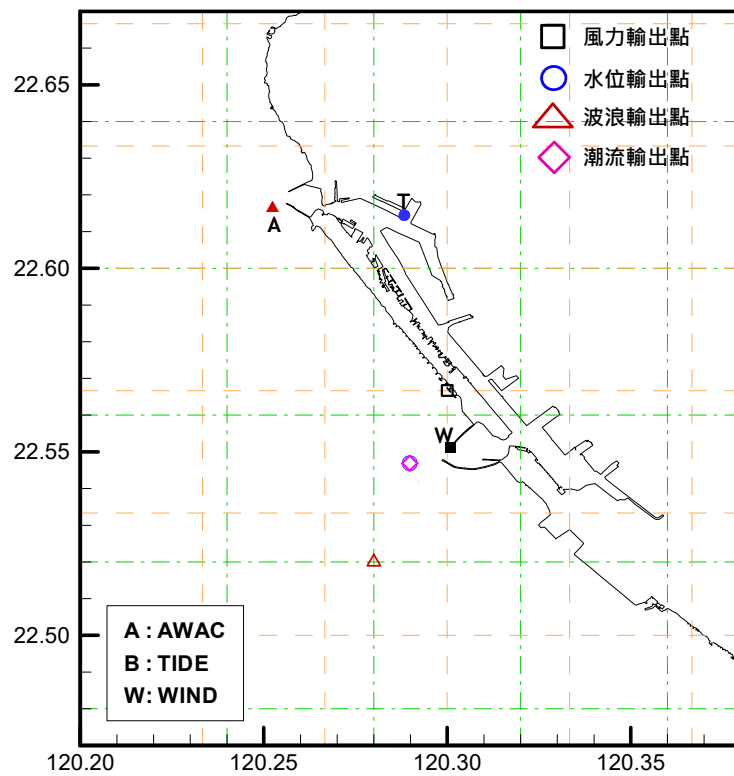


圖 5.8 高雄港海氣象觀測位置及模擬值輸出點位置圖

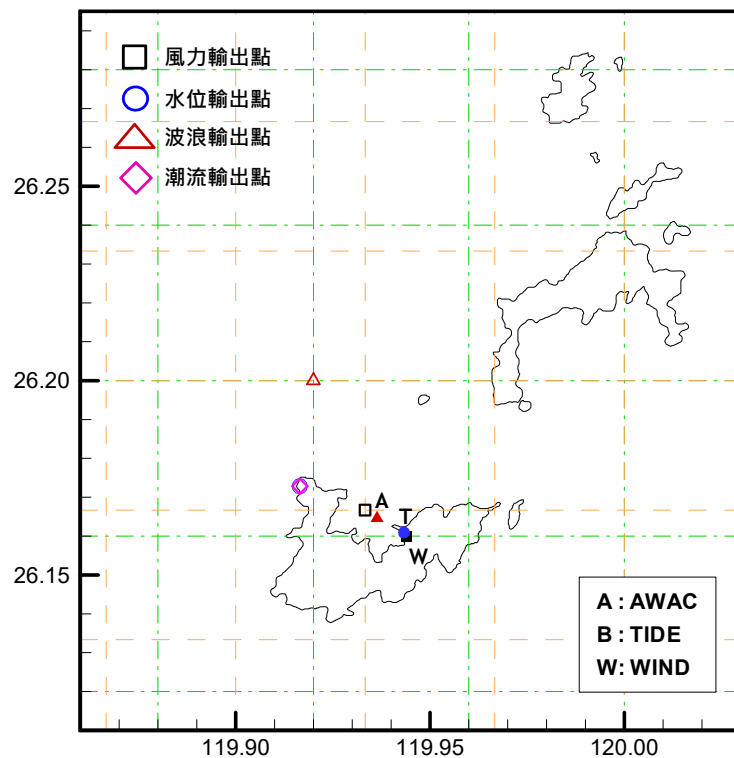


圖 5.9 馬祖福澳港海氣象觀測位置及模擬值輸出點位置圖

5.1 風力預測成果評估

有關風力成果評目內容包括(1)風力實測與模擬資料統計特性，如標準偏差(SD)、均方根(RMS)、平均值、最大值及蒐集率(%)等，如表 5-4 所列；(2)風力實測與模擬值之差值統計特性包括最小差值、最大差值、差值 SD 及差值 RMS 等，如表 5-5 所列；(3)實測風速、風向發生頻率統計，如表 5-6 所列；(4)實測與模擬之風速、風向時序列歷線比較圖，(5)觀測、模擬風力玫瑰圖等，以上評估內容及成果詳閱附件「2022 年海象作業化預測評估年報」。

表 5-4 臺北港 2022 年度風力實測與模擬資料統計表(單位 m/s)

臺北 TPs	標準偏差 SD		均方根 RMS		平均值 MEAN		最大值 MAX		蒐集率(%)	
	Obs	Model	Obs	Model	Obs	Model	Obs	Model	Obs	Model
202109	2.81	2.45	5.31	5.04	4.51	4.41	15.85	15.00	97.22	100.00
202110	2.93	3.14	7.35	7.70	6.74	7.04	16.49	19.29	98.12	100.00
202111	2.51	2.90	5.88	7.55	5.31	6.97	12.64	15.30	98.33	100.00
202112	2.56	3.48	6.33	9.26	5.79	8.58	11.85	17.62	97.04	100.00
202201	2.44	2.70	6.28	8.59	5.78	8.15	11.52	13.66	97.58	100.00
202202	2.46	2.70	6.43	9.41	5.94	9.01	11.47	15.49	73.07	100.00
202203	2.43	3.34	4.94	6.34	4.31	5.39	11.89	16.11	95.83	100.00
202204	2.48	3.71	4.98	7.10	4.31	6.05	10.45	15.10	96.25	100.00
202205	2.47	3.00	4.95	6.49	4.29	5.75	11.98	13.69	95.03	100.00
202206	3.08	2.86	5.40	4.64	4.43	3.65	15.96	16.20	94.58	100.00
202207	2.40	2.37	5.01	4.64	4.40	3.99	12.37	11.66	90.19	100.00
202208	2.05	2.09	4.19	4.16	3.65	3.60	12.86	11.13	85.75	100.00
平均值	2.55	2.90	5.59	6.74	4.96	6.05	12.94	15.02	93.25	100.00

表 5-5 臺北港 2022 年度風力實測與模擬差值統計表(單位 m/s)

臺北(TPs)	最小差值	最大差值	差值 SD	差值 RMS
202109	0.01	11.12	1.69	2.47
202110	0.00	10.01	1.91	3.39
202111	0.01	10.36	1.70	3.06
202112	0.01	9.95	1.87	3.82
202201	0.01	8.67	1.65	3.24
202202	0.00	12.90	2.01	3.55
202203	0.00	10.44	1.73	2.82
202204	0.00	10.12	1.85	3.02
202205	0.00	7.11	1.57	2.85
202206	0.03	9.68	1.84	2.83
202207	0.00	10.62	1.40	2.13
202208	0.00	10.60	1.37	2.03

表 5-6 臺北港 2022 年度實測風速發生頻率(%)分析表

臺北 TPs	風速(m/s)					平均風速 (m/s)	最大風速 (m/s)
	<5	5~10	10~15	15~20	>20		
202109	67.57	27.14	4.71	0.57	0.00	4.51	15.85
202110	28.49	57.39	13.56	0.54	0.00	6.74	16.49
202111	42.79	54.09	3.10	0.00	0.00	5.31	12.64
202112	36.98	58.58	4.43	0.00	0.00	5.79	11.85
202201	35.67	62.25	2.06	0.00	0.00	5.78	11.52
202202	33.40	64.35	2.24	0.00	0.00	5.94	11.47
202203	62.13	36.88	0.98	0.00	0.00	4.31	11.89
202204	60.89	38.67	0.43	0.00	0.00	4.31	10.45
202205	59.54	39.03	1.41	0.00	0.00	4.29	11.98
202206	68.42	24.22	7.04	0.29	0.00	4.43	15.96
202207	66.46	31.74	1.78	0.00	0.00	4.40	12.37
202208	77.27	22.10	0.62	0.00	0.00	3.65	12.86

5.2 波浪預測成果評估

有關波浪成果評估年報內容包括(1) 示性波高、譜峰週期實測與模擬資料統計特性，如標準偏差(SD)、均方根(RMS)、平均值、最大值及蒐集率(%)等，如表 5-7 及表 5-8 所列；(2) 示性波高、譜峰週期、平均波向實測與模擬值差值統計特性包括最大差值、差值 SD 及差值 RMS 等，如表 5-9 所列；(3) 實測示性波高、譜峰週期、平均波向與中尺度模組模擬值之時序列歷線比較圖，以上評估內容及成果同樣詳閱附件「2022 年海象作業化預測評估年報」。

表 5-7 臺北港 2022 年度波高實測與模擬資料統計表(單位 m)

臺北 月份	標準偏差 SD		均方根 RMS		平均值 MEAN		最大值 MAX		蒐集率(%)	
	Obs	Model	Obs	Model	Obs	Model	Obs	Model	Obs	Model
202109	0.46	0.48	0.82	0.85	0.68	0.71	3.54	2.95	95.42	100.00
202110	0.60	0.75	1.25	1.66	1.09	1.47	3.67	4.99	43.15	100.00
202111	0.59	0.65	1.18	1.38	1.02	1.22	3.40	4.10	11.81	100.00
202112	1.06	0.74	1.98	1.71	1.68	1.54	4.17	3.27	7.39	100.00
202201	0.62	0.49	1.98	1.47	1.89	1.39	3.98	2.87	26.08	100.00
202202	0.83	0.69	2.22	1.88	2.07	1.75	5.78	3.80	97.17	100.00
202203	0.73	0.53	1.24	1.04	1.00	0.89	3.71	3.15	99.73	100.00
202204	0.87	0.77	1.28	1.28	0.94	1.03	4.53	3.15	100.00	100.00
202205	0.54	0.42	1.03	1.02	0.87	0.93	3.15	2.26	100.00	100.00
202206	0.55	0.50	0.83	0.86	0.63	0.70	3.10	3.00	72.50	100.00
202207	-	0.38	-	0.79	-	0.69	-	2.01	-	100.00
202208	-	0.23	-	0.54	-	0.49	-	1.43	-	100.00
平均值	0.69	0.55	1.38	1.21	1.19	1.07	3.90	3.08	65.33	100.00

表 5-8 臺北港 2022 年度譜峰週期實測與模擬資料統計表(單位 sec)

臺北	標準偏差 SD		均方根 RMS		平均值 MEAN		最大值 MAX		蒐集率(%)	
月份	Obs	Model	Obs	Model	Obs	Model	Obs	Model	Obs	Model
202109	2.44	3.28	6.72	6.34	6.26	5.44	13.48	17.04	95.42	100.00
202110	2.00	2.78	7.32	7.47	7.04	6.94	13.41	15.80	43.15	100.00
202111	1.13	1.65	6.67	6.00	6.57	5.77	9.55	12.50	11.81	100.00
202112	1.57	1.32	7.42	6.37	7.26	6.23	10.21	9.58	7.39	100.00
202201	1.14	1.14	7.57	6.12	7.48	6.01	9.22	9.17	26.08	100.00
202202	1.23	1.20	8.04	6.69	7.94	6.58	10.53	9.47	97.17	100.00
202203	1.14	1.55	6.71	5.24	6.61	5.00	11.03	9.55	99.73	100.00
202204	1.60	1.77	6.93	5.49	6.74	5.20	11.11	9.43	100.00	100.00
202205	0.98	1.07	6.27	5.14	6.20	5.02	9.42	8.21	100.00	100.00
202206	0.80	1.41	5.91	5.00	5.85	4.79	8.47	10.49	72.50	100.00
202207		1.13		4.56		4.42		9.92		100.00
202208		0.99		4.06		3.94		10.68		100.00
平均值	1.40	1.61	6.96	5.71	6.80	5.45	10.64	10.99	65.33	100.00

表 5-9 臺北港 2022 年度波浪實測與模擬差值統計表

臺北 TP	示性波高 Hs (m)			譜峰週期 Tp (sec)			平均週期 Tm (sec)		
	最大 差值	差值 SD	差值 RMS	最大 差值	差值 SD	差值 RMS	最大 差值	差值 SD	差值 RMS
202109	1.21	0.15	0.21	9.57	1.90	2.70	2.73	0.55	0.95
202110	1.20	0.23	0.39	11.37	2.72	3.62	2.17	0.48	0.81
202111	0.84	0.16	0.26	4.81	1.08	2.06	2.65	0.57	1.21
202112	1.12	0.25	0.41	4.08	0.93	1.60	2.40	0.54	1.20
202201	1.40	0.29	0.46	3.05	0.68	1.33	2.00	0.48	0.97
202202	2.45	0.30	0.49	4.18	0.67	1.56	2.92	0.60	1.31
202203	2.11	0.29	0.40	5.81	1.12	2.07	3.73	0.64	2.10
202204	1.60	0.24	0.34	8.29	1.56	2.30	4.14	0.73	2.03
202205	1.53	0.21	0.32	5.00	1.04	1.66	3.43	0.50	1.75
202206	1.09	0.21	0.35	4.50	1.02	1.55	3.68	0.75	1.56
202207	-	-	-	-	-	-	-	-	-
202208	-	-	-	-	-	-	-	-	-

5.3 潮位預測成果評估

有關潮位成果評估年報內容包括(1)實測潮位與模擬資料統計特性，如標準偏差(SD)、均方根(RMS)、平均值、最大值及蒐集率(%)等，如表 5-10 所列；(2) 潮位實測與模擬差值統計特性包括最小差值、最大差值、差值 SD 及差值 RMS 等，如表 5-11 所列；(3) 實測潮位與中尺度暴潮模組模擬值之時序列歷線比較圖；同樣，上述評估內容及成果詳閱附件「2022 年海象作業化預測評估年報」。

表 5-10 臺北港 2022 年度潮位實測與模擬差值統計表

臺北 月份	標準偏差 SD		均方根 RMS		平均值 MEAN		最大值 MAX		最小值 MIN		蒐集率 (%)	
	Obs	Model	Obs	Model	Obs	Model	Obs	Model	Obs	Model	Obs	Model
202109	0.84	0.60	0.85	0.60	0.13	0.01	1.69	1.14	-1.44	-1.17	99.72	100.00
202110	0.87	0.59	0.87	0.60	0.03	-0.11	1.81	1.24	-1.62	-1.32	99.87	100.00
202111	0.87	0.61	0.88	0.62	-0.07	-0.14	1.76	1.29	-1.94	-1.47	100.00	100.00
202112	0.87	0.61	0.88	0.65	-0.12	-0.21	1.63	1.06	-2.09	-1.68	100.00	100.00
202201	0.88	0.64	0.89	0.66	-0.12	-0.17	1.53	1.49	-2.20	-2.18	100.00	100.00
202202	0.86	0.60	0.87	0.63	-0.13	-0.19	1.61	1.11	-2.02	-1.64	100.00	100.00
202203	0.88	0.62	0.88	0.62	-0.03	-0.07	1.62	1.12	-2.03	-1.42	100.00	100.00
202204	0.87	0.61	0.87	0.62	-0.03	-0.08	1.57	1.10	-1.86	-1.45	100.00	100.00
202205	0.86	0.61	0.86	0.61	-0.02	-0.04	1.59	1.12	-2.03	-1.53	99.73	100.00
202206	0.84	0.61	0.84	0.61	0.09	0.05	1.71	1.23	-1.95	-1.47	100.00	100.00
202207	0.85	0.61	0.88	0.61	0.22	0.06	1.93	1.31	-1.83	-1.43	99.73	100.00
202208	0.86	0.61	0.86	0.61	0.05	0.04	1.71	1.26	-1.94	-1.41	99.73	100.00
平均值	0.86	0.61	0.87	0.62	0.00	-0.07	1.68	1.21	-2.01	-1.51	99.91	100.00

表 5-11 臺北港 2022 年度潮位實測與模擬差值統計表(單位 m)

臺北(TP)	最小 差值	最大 差值	差值 SD	差值 RMS
202109	0.00	0.69	0.15	0.29
202110	0.00	0.75	0.18	0.33
202111	0.00	0.73	0.15	0.31
202112	0.00	0.75	0.16	0.31
202201	0.00	1.48	0.20	0.35
202202	0.00	0.78	0.15	0.30
202203	0.00	0.67	0.15	0.29
202204	0.00	0.72	0.15	0.29
202205	0.00	0.55	0.17	0.29
202206	0.00	0.68	0.12	0.25
202207	0.00	0.73	0.16	0.31
202208	0.00	0.61	0.14	0.27

5.4 海流預測成果評估

有關海流成果評估年報內容包括(1) 流速實測與模擬資料統計特性，如標準偏差(SD)、均方根(RMS)、平均值、最大值及蒐集率(%)等，如表 5-12 所示；(2) 流速實測與模擬差值統計特性包括最小差值、最大差值、差值 SD 及差值 RMS 等，如表 5-13 所列；(3)實測流速、流向與模擬流速、流向之時序列歷線比較圖，上述評估內容及成果詳閱附件「2022 年海象作業化預測評估年報」。

表 5-12 臺北港 2022 年度流速實測與模擬資料統計表(單位 cm/s)

臺北	標準偏差 SD		均方根 RMS		平均值 MEAN		最大值 MAX		蒐集率(%)	
月份	Obs	Model	Obs	Model	Obs	Model	Obs	Model	Obs	Model
202109	24.59	13.52	52.10	28.35	45.93	24.92	110.70	56.40	95.42	100.00
202110	24.80	13.26	52.28	27.71	46.04	24.34	109.50	58.00	43.28	100.00
202111	25.47	13.19	56.95	28.18	51.02	24.90	110.30	59.90	11.81	100.00
202112	26.81	12.75	57.17	27.84	50.63	24.76	103.40	57.40	7.39	100.00
202201	21.82	13.98	50.25	28.99	45.30	25.40	90.70	117.10	26.08	100.00
202202	23.85	13.20	51.15	27.75	45.26	24.42	108.50	58.90	97.17	100.00
202203	25.32	13.90	53.29	29.05	46.90	25.52	112.70	60.20	99.73	100.00
202204	22.93	13.39	49.36	28.50	43.72	25.16	97.30	57.40	100.00	100.00
202205	22.22	12.89	47.49	28.05	41.98	24.92	106.80	56.60	100.00	100.00
202206	22.13	12.99	46.80	28.01	41.25	24.82	103.10	59.20	72.50	100.00
202207	-	13.01	-	28.06	-	24.87	-	62.60	-	100.00
202208	-	13.47	-	28.62	-	25.26	-	63.50	-	100.00
平均值	23.99	13.30	51.68	28.26	45.80	24.94	105.30	63.93	65.34	100.00

表 5-13 臺北港 2022 年度流速實測與模擬差值統計表(單位 cm/s)

臺北 TP	最小 差值	最大 差值	差值 SD	差值 RMS
202109	0.00	0.62	0.13	0.23
202110	0.00	1.00	0.21	0.32
202111	0.00	0.89	0.16	0.27
202112	0.00	0.89	0.16	0.26
202201	0.00	0.75	0.16	0.26
202202	0.00	0.70	0.16	0.27
202203	0.00	0.72	0.14	0.23
202204	0.00	0.65	0.13	0.22
202205	0.00	0.64	0.14	0.24
202206	0.00	0.48	0.10	0.19
202207	-	-	-	-
202208	-	-	-	-

第六章 精進基隆海域風浪及水動力模組

本項工作為針對 110 年計畫建置的基隆海域風浪模組及水動力模組，應用基隆港波浪、海流及潮位等觀測資料校驗，並納入海象模擬作業化系統，完成模組上線作業。

6.1 精進基隆海域風浪模組

110 年計畫依據臺海風浪模擬子系統架構及作業化模擬流程，如圖 6.1 所示，針對臺灣北端海域(即富貴角至三貂角海域)建構合適的風浪模擬系統。換言之，臺灣北端海域風浪模擬之整體模擬流程涵蓋遠域風浪模擬、近域風浪模擬及近海風浪模擬等三部份，其中遠域風浪模擬及近域風浪模擬分別採用臺海風浪模擬子系統建置的大尺度遠域風浪模組(或稱西太平洋範圍風浪模組)及中尺度近域風浪模組(或稱臺灣周圍範圍風浪模組)；近海風浪模擬則針對臺灣北端海域範圍另建構合適的小尺度近海風浪模組(或稱基隆海域風浪模組)。

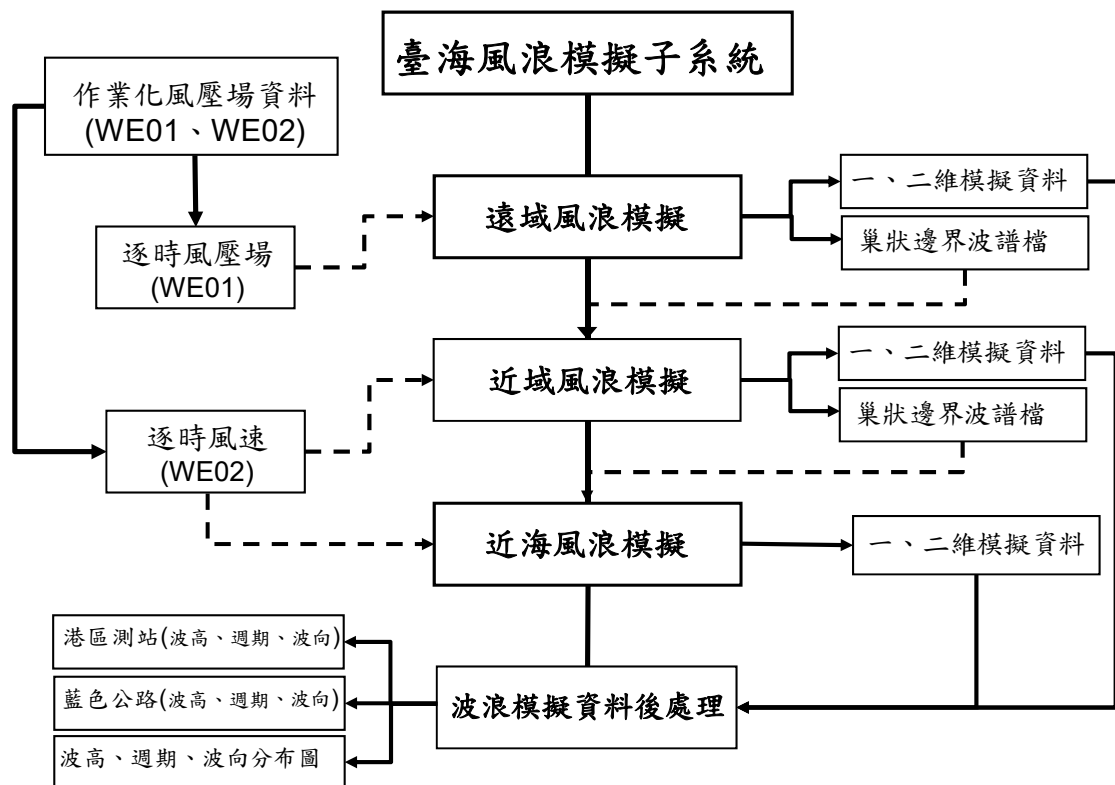


圖 6.1 臺海風浪模擬系統之架構及模擬流程圖

6.1.1 風浪模組網格資訊

110 年計畫規劃的遠域、近域及近海層巢狀網格模擬範圍及數值網格資訊，如表 6-1 所列；其中遠域風浪模組模擬範圍含蓋西太平洋北緯 10° 至 35°，東經 110° 至 145° 之海域(詳圖 6.2 或圖 2.11)；近域風浪模組模擬範圍為含蓋臺灣周圍海域北緯 20.6° 至 28.0°，東經 117.6° 至 123.6° 之海域(詳圖 6.2 或圖 2.12)；基隆海域風浪模組模擬範圍為臺灣北端海域北緯 24.24° 至 25.12°，東經 121.64° 至 122.00° 之海域，如圖 6.3 所示。網格解析度規劃與臺海風浪模擬系統相同，即遠域風浪模組、近域風浪模組及基隆海域風浪模組之網格解析度依序分別為 0.2°、0.04° 及 0.008°，網格數依序分別為 176×126、151×186 及 126×121。

表 6-1 本計畫遠域、近域及近海三層巢狀網格建置之資訊表

網格名稱	範圍		解析度 (°)	格點數
	經度(°) 最小值/最大值	緯度(°) 最小值/最大值		
遠域風浪模組* ¹	110.00/145.0	10.00/35.0	0.2	176×126
近域風浪模組* ¹	117.60/123.6	20.60/28.0	0.04	151×186
基隆海域風浪模組	121.56/122.4	25.00/25.8	0.008	106×101
註* ¹ ：詳見2.1.2節				

此外，風浪模擬所需網格資訊尚包括波譜離散化網格資訊，如頻率 (ML) 及方向 (KL) 等；目前臺海風浪模擬系統採用的波譜網格為 31×36，其中波向解析度為 10°；離散化頻寬計算採用對數尺度，即 $\Delta f/f = 1.1$ ，因此，波浪頻率模擬範圍可以表示成

$$f_{\max}/f_{\min} = (1.1)^{ML-1} \dots\dots\dots (6.1)$$

式中最小頻率值 $f_{\min} = 0.04$ 。

針對基隆海域風浪模組而言，SWAN 模式網格設定指令包括 *COORDinates* 及 *CGRID*，相關設定參考表 6-2：

在巢狀網格資訊設定上，遠域模組與近域模組間巢狀網格資訊格設定同臺海風浪模擬系統；針對基隆海域風浪模組模擬範圍，近域風浪模組之巢狀網格資訊設定(SWAN 模式 *NGRid* 指令及 *NEStout* 指令)如表 6-2 所列。

表 6-2 基隆海域風浪模組輸入檔指令及參數設定表

指令	參數
COORDinates	SPHERical ccm
CGRID	REGular 121.56, 25.00, 0.0, 0.84, 0.80, 105, 100, CIRCle 36, 0.040, , 30
NGRid	'KL sea', 121.56, 25.00, 0.00, 0.84, 0.80, 105, 100
NESTout	'KL sea', 'nestfile\nest_KLsea2021091400.txt', OUTPUT , yyyymmdd.hh0000, 1.0, HR
INPgrid	BOTtom REGular 121.56, 25.00, 0.0, 105, 100, 0.008, 0.008, EXCeption -10.0
READinp	BOTtom 1, 'botfile\swan_ss_KLsea.bot', 3, 0, FORMAT '(10F10.0)'
INPgrid	Wind REGular 116.0, 20.0, 0.0, 270, 270, 0.033333, 0.033333, NONSTATIONary yyyymmdd.hh0000, 1.0, HR YYYYMMdDD.HH0000
READinp	WInd 1, 'wind_swan_tw_yyyymmddhh.dat' 3, 1, 1, 0, FORMAT '(10F9.0)'
BOUNDnest1	NEST 'cbo\nest_KLsea yyyymmddhh.txt', CLOS
INITial	Zero
INITial	HOTStart 'hotfile\KLseahotyzyymmdd.hh'

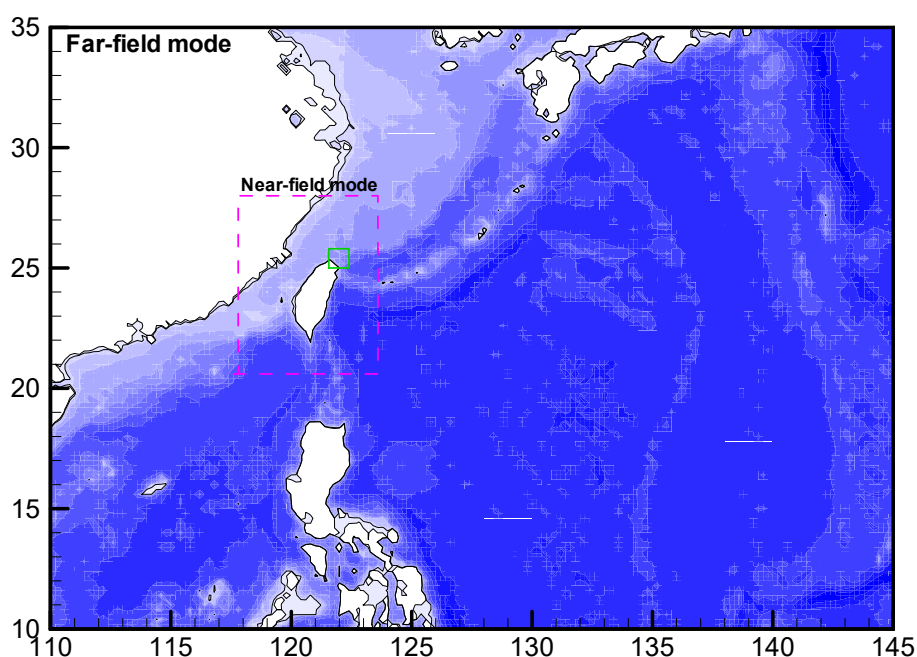


圖 6.2 北端海域風浪模擬三層巢狀網格模擬範圍圖

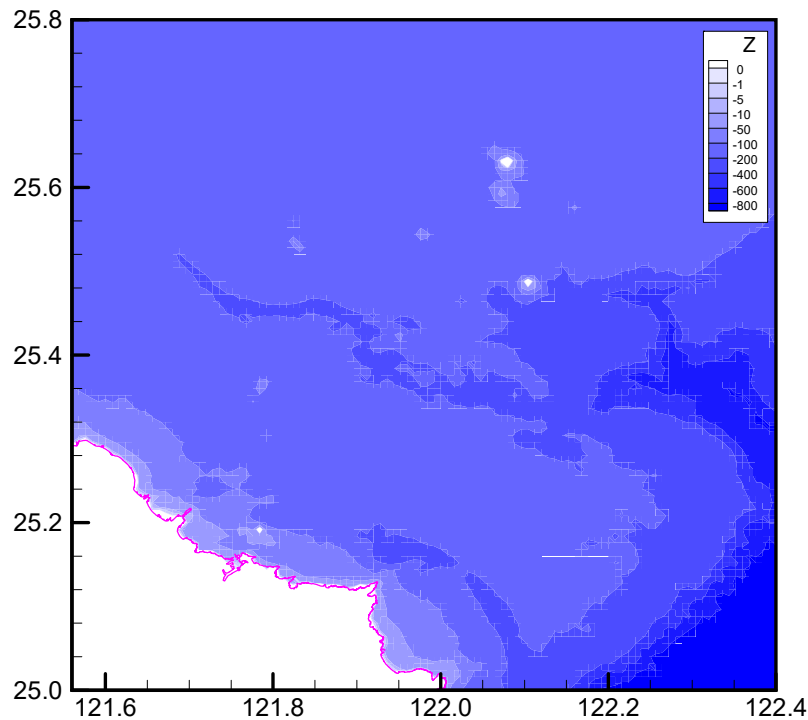


圖 6.3 基隆海域風浪模組之模擬範圍及水深分布圖

6.1.2 基隆海域風浪模組地形水深資訊

於臺海風浪模擬系統中，大尺度遠域風浪模組網格水深資料建置來源為 ETOPO1 地形水深資料，中尺度近域風浪模組網格水深資料來源為 ETOPO1、海科中心公布的 500m 及 200m 網格數值地形水深資料(如表 6-3 所列)；小尺度基隆海域風浪模組網格水深資料來源為海科中心公布的 200m 網格數值地形水深資料及內政部海域水深測量資料。此外，配合風浪模式 WAM 及 SWAN 程式之需求，本計畫重新定義網格水深資料為正值，陸地高程為負值，並宣告陸地高程小於-10m 為非計算格點。遠域及近域風浪模組之網格水深資訊分別存於'WAM_grid_bathy_2020.bot'及'swan_ms_taiwan.bot'，基隆海域風浪模組網格水深資訊檔案為'swan_ss_KLsea.bot'。因此，基隆海域風浪模組有關水深資訊相關格式設定及資料讀取指令(INPgrid、READinp)詳如表 6-2 所列。

上述水深資訊(swan_ss_KLsea.bot)採用與基隆海域風浪模組相同的數值網格大小及解析度。

6.1.3 基隆海域風浪模組風場資訊

在臺海風浪模擬系統中，風場資訊來自於 TaiCOMS 風場處理系統產生

的每日 1 次(長度 73 小時)及每日 4 次(長度 55 小時)之作業化風壓場組合資料(詳見 2.1.1 節或圖 2.8 及圖 2.9)。在作業化程式設計上，於遠域風浪模擬前系統會先分別將 $1/6^\circ$ 及 $1/30^\circ$ 網格解析度之風壓場資料，如表 6-4 所列，轉換成數值模式(WAM、SWAN)可讀取格式之風場資料，如'wind_wam_yymmddhh.dat'及'wind_swan_tw_yymmddhh.dat'，後者為近域風浪模組及基隆海域風浪模組之風場資料來源。因此，基隆海域風浪模組有關風場資訊格式設定及資料讀取指令(INPgrid、READinp)詳如表 6-2 所列。

表 6-3 海科中心臺灣周圍海域數值水深網格資料表

數值水深 格式	範圍		解析度 (m)	格點數
	經度($^\circ$) 最小值/最大值	緯度($^\circ$) 最小值/最大值		
Taidp500m	117.0/125.0	18.0/27.0	500	1601×1801
Taidp200m	119.0/123.0	21.0/26.0	200	2001×2501

表 6-4 作業化風場資料之網格資料表

風場格式	範圍		解析度 ($^\circ$)	格點數
	經度($^\circ$) 最小值/最大值	緯度($^\circ$) 最小值/最大值		
WE01	105.0/150.0	10.0/40.0	1/6	271×181
WE02	116.0/125.0	20.0/29.0	1/30	271×271

6.1.4 基隆海域風浪模組邊界條件及初始條件資訊

臺海風浪模擬系統組成架構為三層巢狀網格，因此近域風浪模組之邊界條件資訊將由遠域風浪模組於模擬過程產出，同理基隆海域風浪模組之邊界條件資訊將由近域風浪模組於模擬過程產出(參考 *NGRid* 指令及 *NESTout* 指令)。基隆海域風浪模組取邊界條件資訊採用的指令為 *BOUNDnest1*，相關設定如表 6-2 所列。

在初始條件資訊方面，相關設定指令為 *INITial*，基隆海域風浪模組設定方式有二，詳參表 6-2 所列。

6.1.5 基隆海域風浪模組輸出資訊

基隆海域風浪模組模擬結果輸出主要風浪資訊包括示性波高(Significant wave height, H_s)、平均週期(Average absolute period, T_m)、平均波向(Mean wave direction, D_m)、譜峰週期(absolute peak period, T_p)及湧浪波高(Significant wave height associated with the low frequency, $f_{swell}=0.125$, part

of the spectrum, H_{swell})等，其他次要模擬資訊如平均週期 T_{m01} 及 T_{m02} 、譜峰波向(Peak direction, P_{dir})、風速(W_x 、 W_y)及水深等。

6.1.6 基隆海域風浪模擬結果校驗

本計畫以 2021 年侵臺強烈颱風璨樹(參考圖 3.14)為對象，利用臺海風浪模擬系統及基隆海域風浪模組執行基隆海域風浪模擬。其中近域風浪模組(Tai)及基隆海域風浪模組(KLsea)風浪模擬結果檢核點，如圖 6.4 所示，圖中 KLA 代表港研中心 AWAC 波浪觀測站位置。針對璨樹颱風侵臺期間基隆海域風浪模擬結果，本計畫選取 09/09 00:00~09/14 00:00 期間模擬值與觀測值比較，如圖 6.5 所示；示性波高歷線比較結果顯示小尺度基隆海域風浪模組檢核點風浪模擬值明顯與觀測值較為接近，平均週期及譜峰週期歷線比較結果顯示近域風浪模組與基隆海域風浪模組模擬結果差異不明顯，其中平均週期模擬值與觀測值較為近似，譜峰週期在璨樹颱風影響初期模擬值呈現偏低現象，以及璨樹颱風遠離期間模擬值出現異常下降現象偏離觀測值。平均波向歷線比較結果顯示小尺度基隆海域風浪模組檢核點風浪模擬值明顯與觀測值較為接近。整體而言，小尺度基隆海域風浪模組對於改善示性波高及平均波向具有較顯著成效。

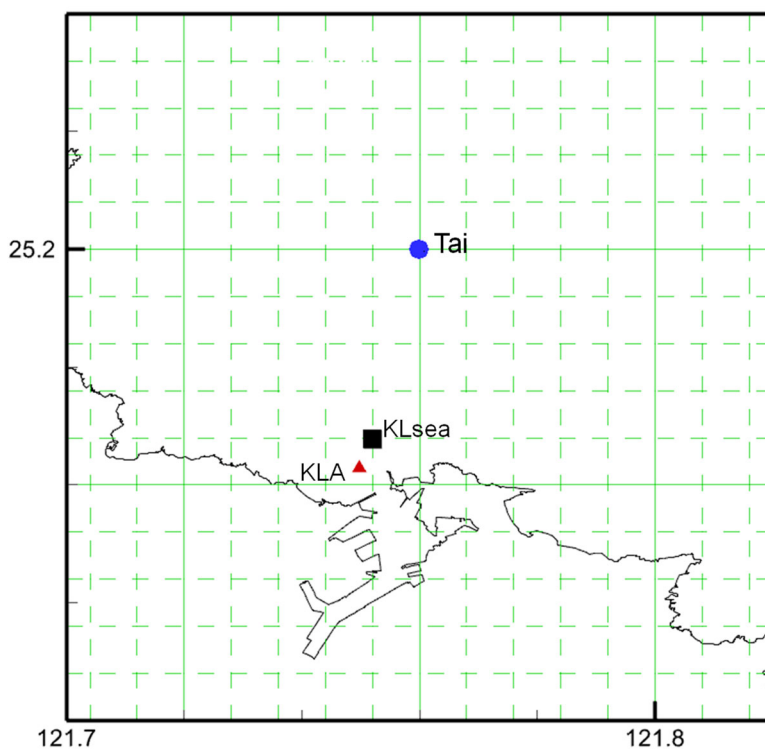


圖 6.4 基隆海域風浪模擬檢核點及 AWAC 波浪觀測站位置圖

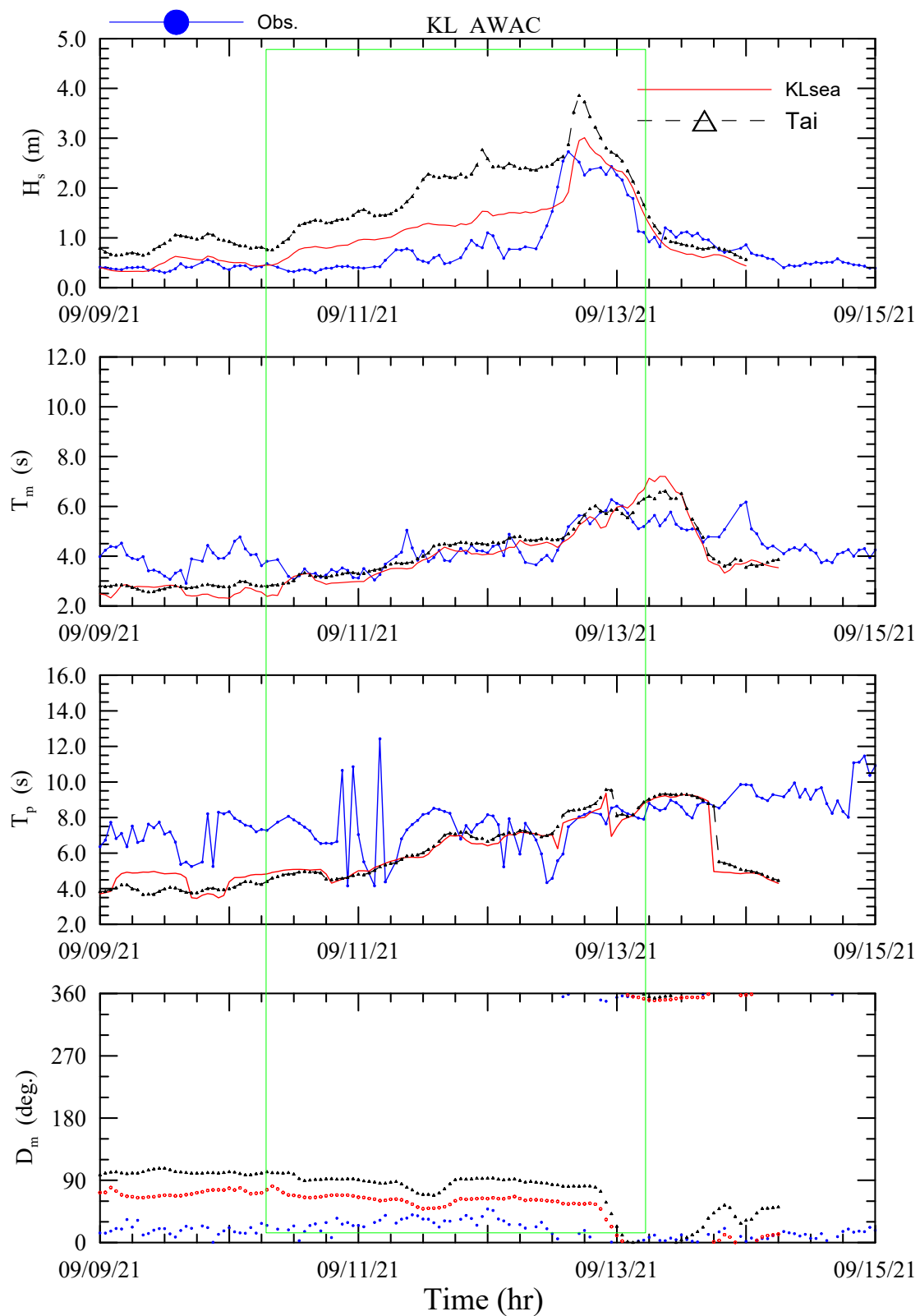


圖 6.5 基隆海域風浪模擬結果與 AWAC 觀測資料比較圖

6.1.7 臺海風浪模擬系統作業化程式修訂

「臺海風浪模擬系統」之作業化模擬環境如圖 6.6 所示，主目錄下建有大尺度遠域風浪模組“LS_wam”、中尺度近域風浪模組“MS_swan”以及花蓮海域風浪模組“HL_swan”、基隆海域風浪模組“KL_swan”、金門海域風浪模組“KM_swan”、馬祖海域風浪模組“MZ_swan”、澎湖海域風浪模組“PH_swan”、蘇澳海域風浪模組“SA_swan”、東南海域風浪模組“SE_swan”、西南海域風浪模組“SW_swan”等 8 個小尺度風浪模組工作目錄；其中“KL_swan”為本計畫新建，代表基隆海域風浪模組併入「臺海風浪模擬系統」執行 TaiCOMS 2.0 海象模擬作業。次外，“wind”為 TaiCOMS 2.0 每次作業產出的作業化風場資料放置區，“upload”代表各模組模擬資料放置及後處理作業之工作目錄，因此，“upload”次目錄下亦需增加基隆海域模擬資料放置及後理作業之工作目錄“KLsea”，“KLsea”目錄之作業環境建置與其他風浪模組相同。

相關配合修訂的工作主要有系統作業化程式碼產生新的執行程式“taicoms_wave_run2022v1.exe”，修訂作業化執行程式控制參數輸入檔(Taicoms_run_wave.INP)，參考圖 6.7 所示。

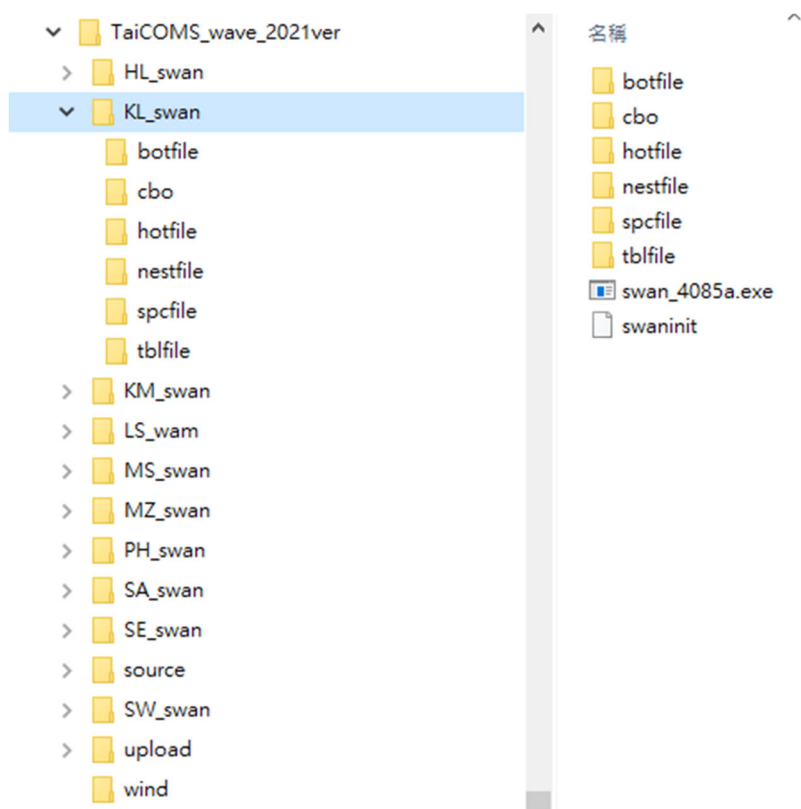


圖 6.6 「臺海風浪模擬系統」作業化模擬環境目錄架構圖

“Taicom_run_wave.INP”

```

.false.
!! ..... 風場格式(1=NFS; 2=每日一報; 3=每日四報)
3
!! ..... LShotrun
.true.
!! ..... 執行大尺度風浪模組(wam_model)
.true.
!! ..... MShotrun (中尺度風浪)
.false.
!! ..... 執行中尺度風浪模組(swantai)
.true.
!! ..... PHotrun (小尺度澎湖海域風浪)
.false.
!! ..... 執行小尺度澎湖海域風浪模組(swanPHsea)
.false.
!! ..... DIFFRac 開關(=0, OFF), (=1, ON)
0
!! ..... SEhotrun (小尺度東南海域風浪)
.false.
!! ..... 執行小尺度東南海域風浪模組(swanSEsea)
.false.
!! ..... DIFFRac 開關(=0, OFF), (=1, ON)
1
!! ..... KMhotrun (小尺度金門海域風浪)
.false.
!! ..... 執行小尺度金門海域風浪模組(swanSEsea)
.false.
!! ..... DIFFRac 開關(=0, OFF), (=1, ON)
1
!! ..... MZhotrun (小尺度馬祖海域風浪)
.false.
!! ..... 執行小尺度馬祖海域風浪模組(swanSEsea)
.false.
!! ..... DIFFRac 開關(=0, OFF), (=1, ON)
0
!! ..... hotrun (小尺度西南海域風浪)
.false.
!! ..... 執行小尺度西南海域風浪模組(swanSWsea)
.false.
!! ..... DIFFRac 開關(=0, OFF), (=1, ON)
1
!! ..... hotrun (小尺度花蓮海域風浪)
.false.
!! ..... 執行小尺度花蓮海域風浪模組(swanHLsea)
.false.
!! ..... DIFFRac 開關(=0, OFF), (=1, ON)
1
!! ..... hotrun (小尺度蘇澳海域風浪)
.false.
!! ..... 執行小尺度蘇澳海域風浪模組(swanSAsea)
.false.
!! ..... DIFFRac 開關(=0, OFF), (=1, ON)
1
!! ..... hotrun (小尺度基隆海域風浪)
.false.
!! ..... 執行小尺度基隆海域風浪模組(swanKLsea)
.false.
!! ..... DIFFRac 開關(=0, OFF), (=1, ON)
1

```

圖 6.7 「臺海風浪模擬系統」作業化輸入檔格式及內容

6.2 精進基隆海域水動力模組

110 年計畫依據臺海水動力模擬子系統架構及作業化模擬流程，如圖 6.8 所示，針對基隆海域建構合適的水動力模擬系統。換言之，臺灣北端海域水動力模擬之整體模擬流程涵蓋中尺度暴潮模擬及小尺度基隆海域水動力模擬兩部份，其中中尺度暴潮模擬採用臺海水動力模擬子系統建置的臺灣周圍海域暴潮模組(簡稱臺海暴潮模組)；針對基隆海域另建構合適的小尺度近海水動力模組(即基隆海域水動力模組)。

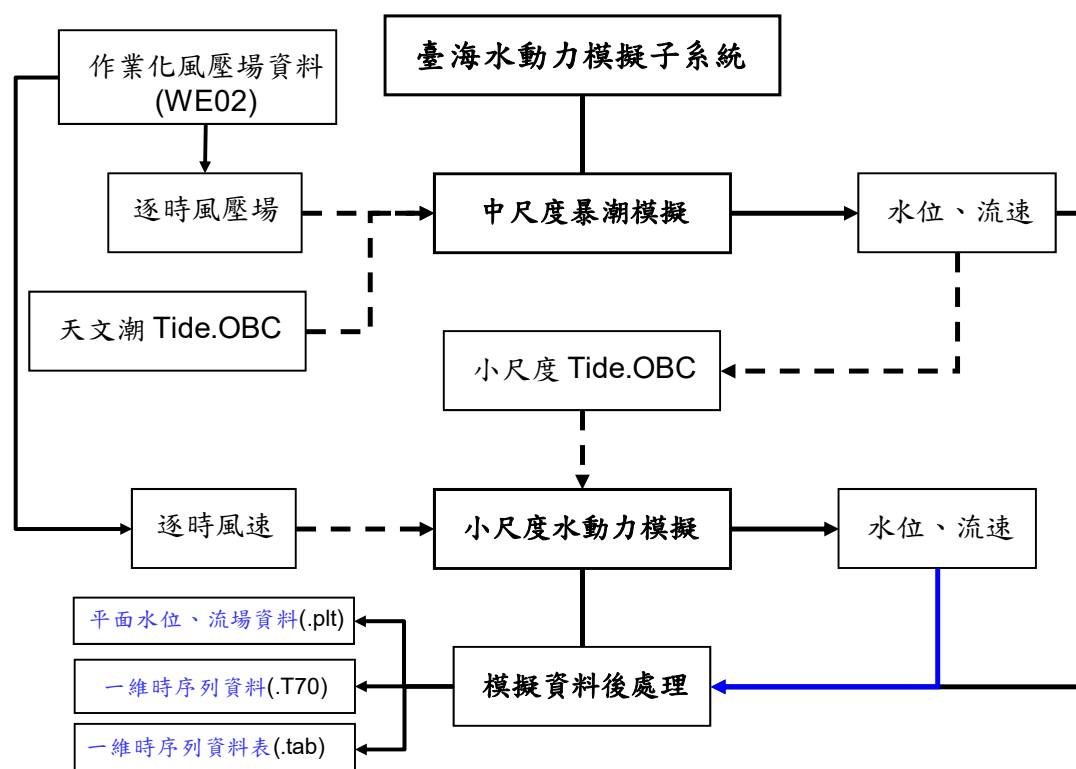


圖 6.8 臺海水動力模擬系統之架構及模擬流程圖

6.2.1 數值計算網格修正

在中尺度暴潮模擬階段，本計畫採用臺海水動力模擬系統建置的臺海暴潮模組，其模擬範圍為北緯 21° 至 26.5° ，東經 116.5° 至 125° 之海域(參考圖 2.25)，其數值計算網格採用不規則三角形元素構成，計有由 8,237 個節點及 15,800 個三角形元素(參考圖 2.26)。

110 年計畫規劃的小尺度基隆海域水動力模組之模擬範圍，西起新北市三芝區富貴角海岸，東至瑞芳區鼻頭角海岸，如圖 6.9 所示；東西長約 43 公里，離岸邊界大致與基隆海岸平行，東側離岸距離約 20 公里，西側

離岸距離約 17 公里。基隆海域水動力模組採用三角形元素建構數值計算網格，如圖 6.10 所示，計有 2,610 個節點及 4,745 個三角形元素。於基隆港港區及港口附近，非結構性網格分布情形，如圖 6.11 所示。

本年度配合基隆港港內港型變動，即西防波堤內側與光華塔間水域填方，除了重新修訂基隆海域水動力模組計算網格邊界外，更進一步利用網格自動生成工具，產生解析度較高的三角形元素計算網格，如圖 6.12 及圖 6.13 所示，計有 9,610 個節點及 18,626 個三角形元素，顯示節點數量約增至 3.68 倍，元素數量約增至 3.92 倍，網格解析度顯著提升。此外，亦配合 2021 年基隆港域水深調查資料修正計算網格水深值，如圖 6.14 所示。

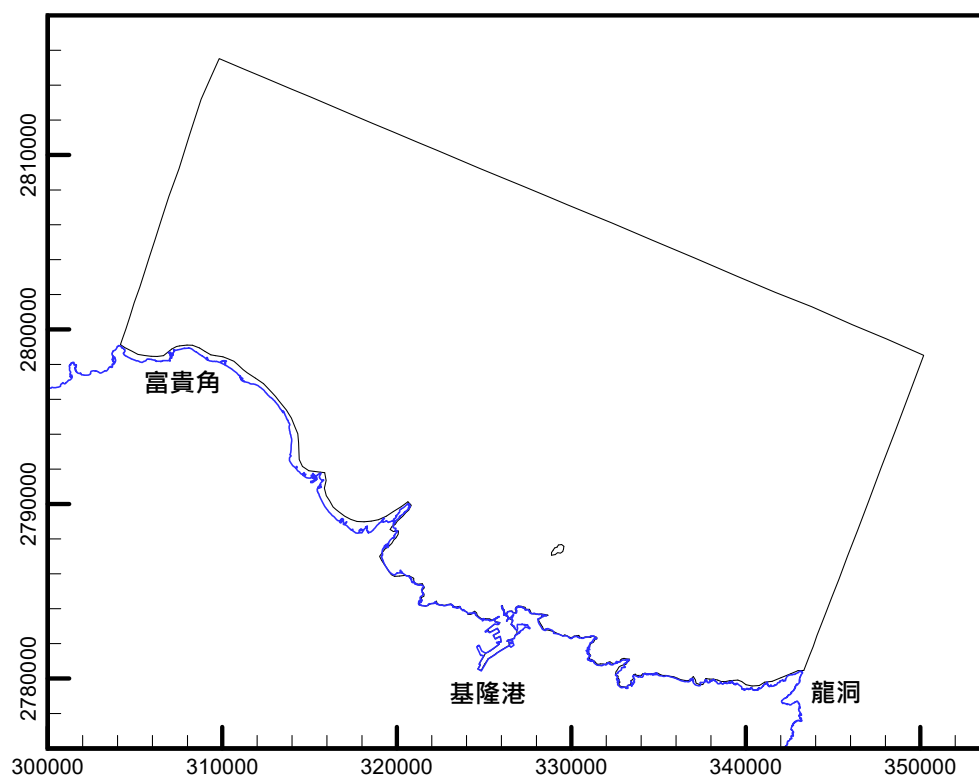


圖 6.9 基隆海域水動力模組之模擬範圍圖

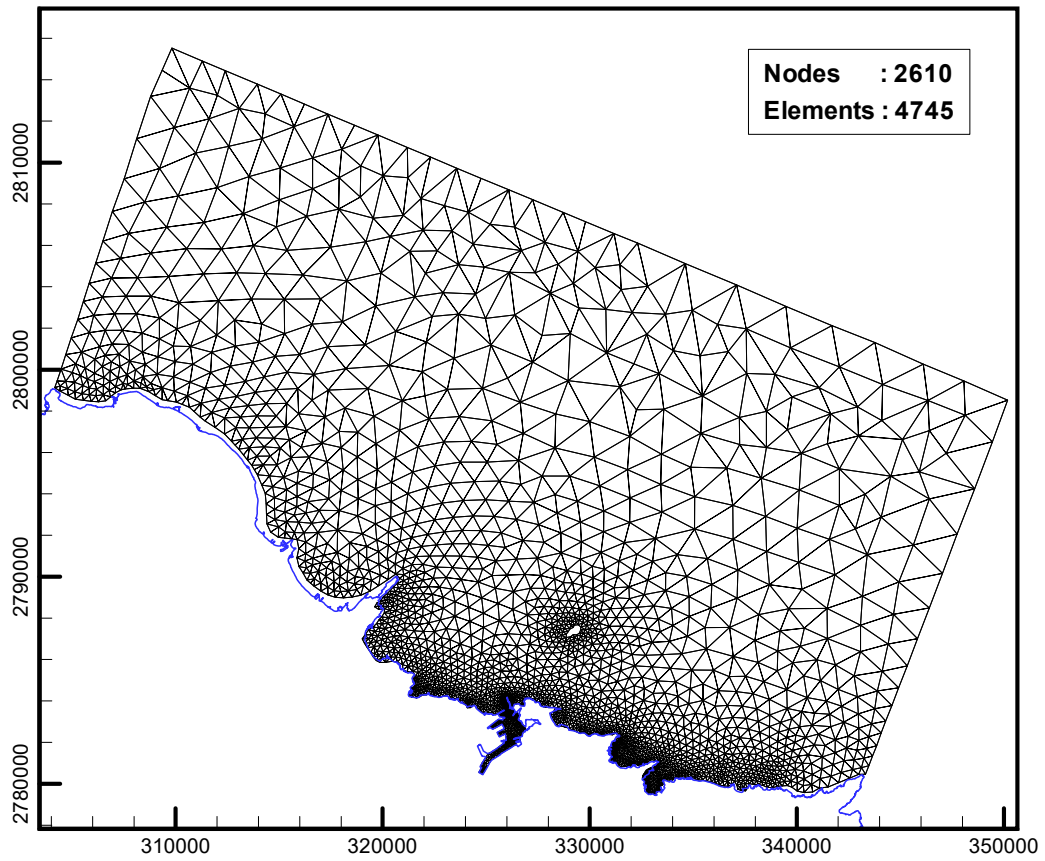


圖 6.10 110 年基隆海域水動力模組建構的非結構性網格圖

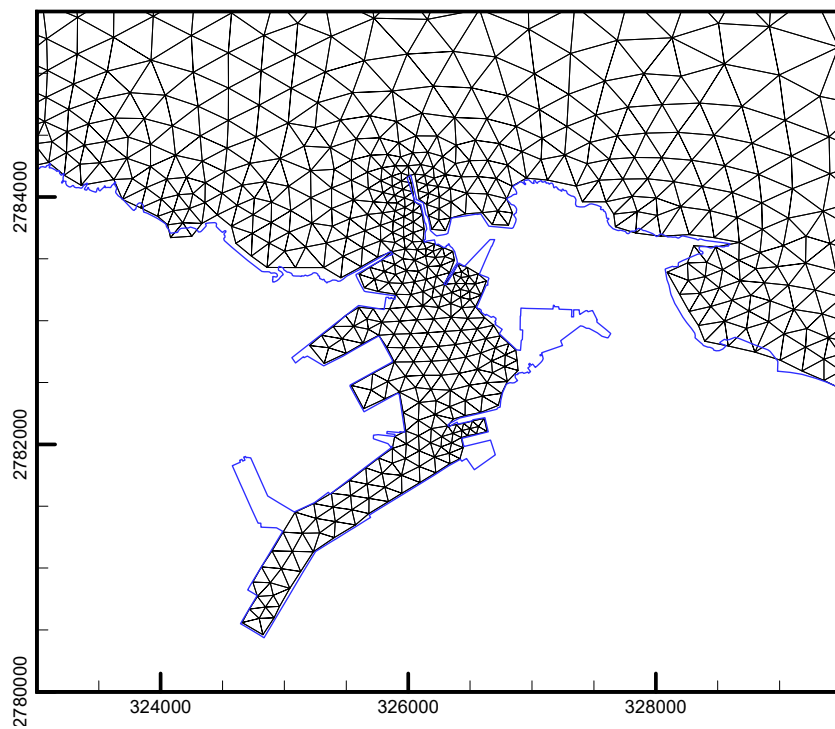


圖 6.11 110 年基隆港港區小尺度非結構性網格分布圖

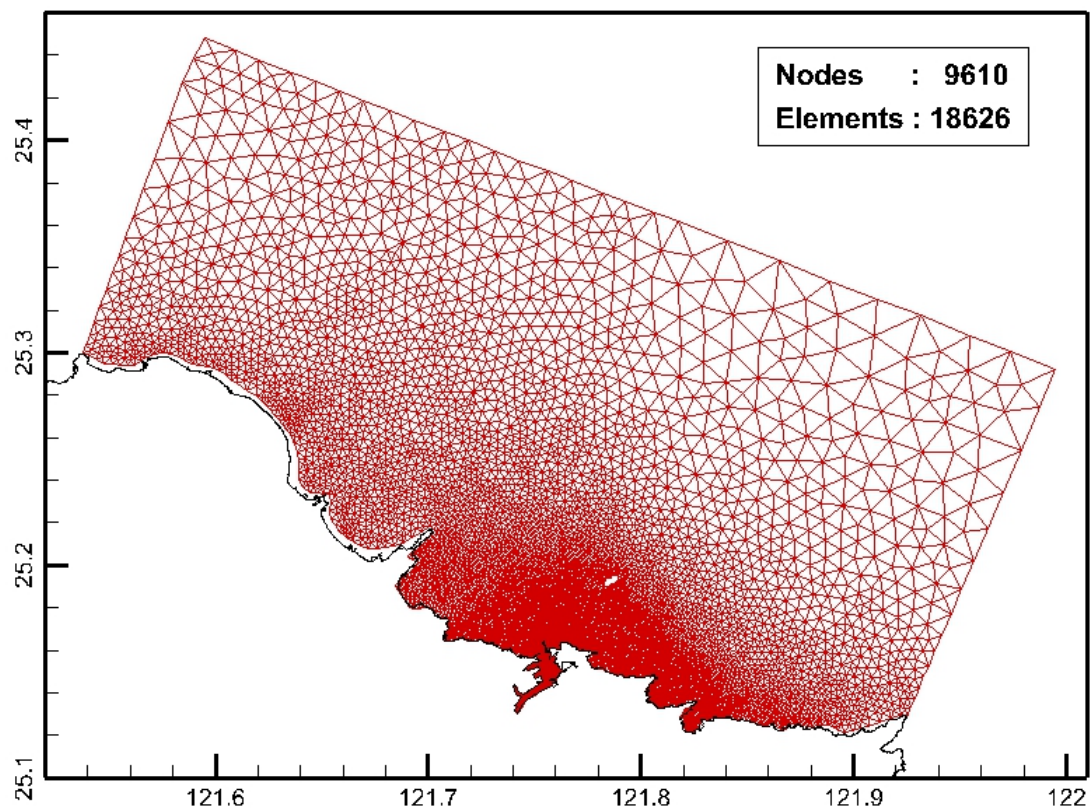


圖 6.12 111 年基隆海域水動力模組新建非結構性網格圖

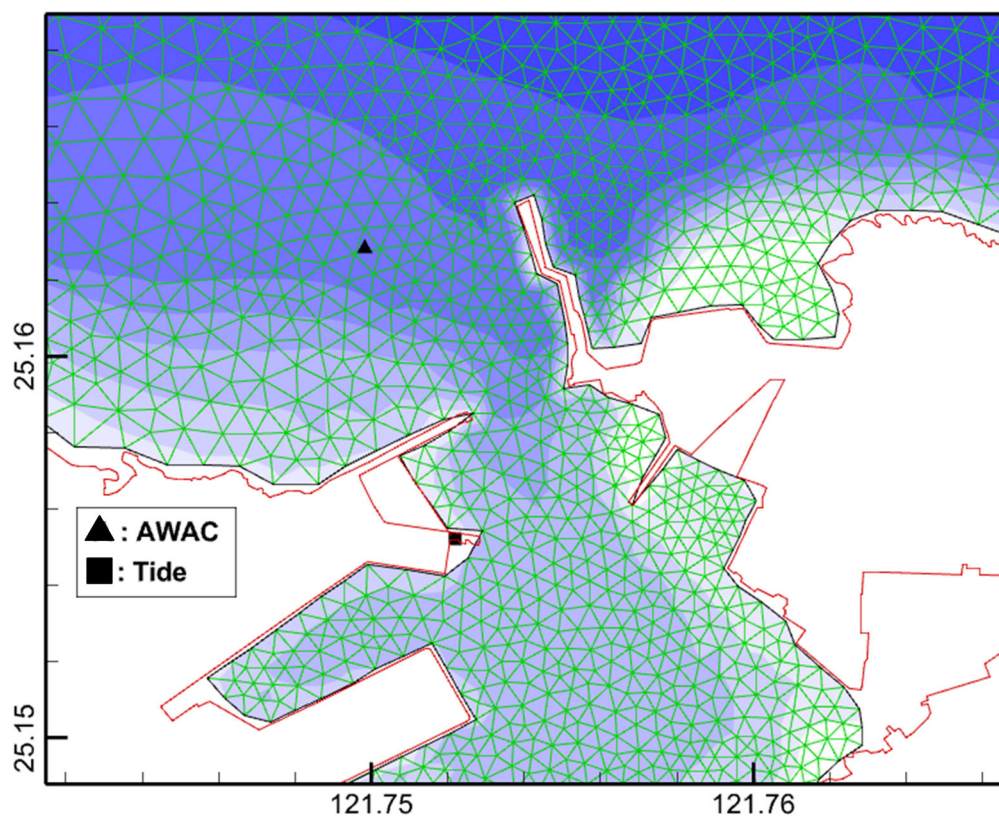


圖 6.13 111 年基隆海域水動力模組港區新建非結構性網格圖

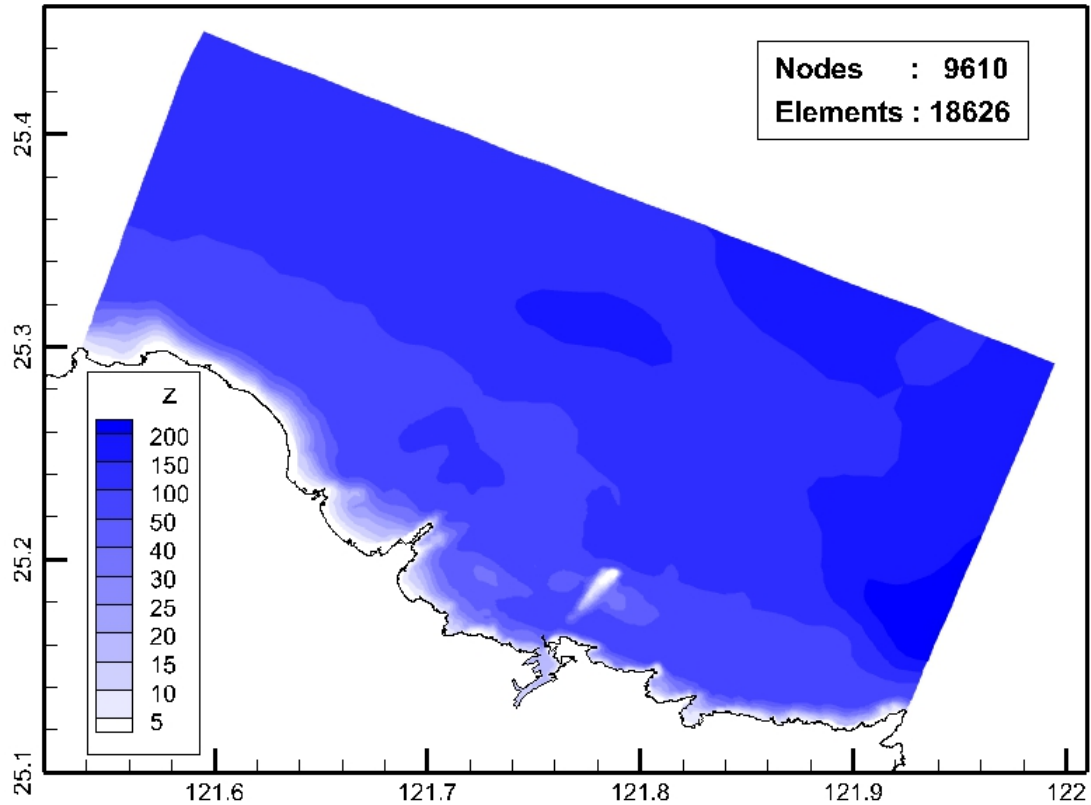


圖 6.14 110 年基隆海域水動力模組新建計算網格水深分布圖

6.2.2 邊界條件及初始條件

本計畫水動力數值模式之邊界條件計有側向邊界條件及海面邊界條件，其中側向邊界條件區分為陸地流速邊界條件及海域開放邊界條件等兩種類型。陸地流速邊界條件依流速設定型態分為(1)不滑動邊界條件，假設陸地邊界節點流速等於零，即 $u=0$ 且 $v=0$ ；(2)滑動邊界條件，即假設陸地邊界節點垂直方向之流速或流量($q_n=0$)等於零。

在臺海水動力模擬架構下，本計畫採用 NAO.99Jb 模式針對開放海域邊界節點事先預測逐時天文潮水位資料，作為臺海暴潮模組開放海域之水位邊界條件(詳參 4.1.3 節)。再由臺海暴潮模組水動力模擬結果即時輸出基隆海域水動力模組開放海域邊界節點之逐時水位模擬預測值，作為基隆海域水動力模組開放海域之水位邊界條件。

另外，海面邊界條件包括海水面大氣壓力場及海面 10m 處風場，在臺海水動力模擬架構下，臺海暴潮模組海面邊界條件採用 TaiCOMS 風場處理系統產生的每日 1 次(長度 73 小時)及每日 4 次(長度 55 小時)之作業化風壓場資料。基隆海域水動力模組海面邊界條件僅考慮風速條件，即由

作業化風壓場資料產出代表性風速、風向資料，作為基隆海域水動力模組海面邊界條件。

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；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。

6.2.3 模式物理參數設定

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 Δt 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。

6.2.4 基隆海域水動力模擬與校驗

本計畫透過臺海水動力模擬系統執行每日 1 次基隆海域水動力模擬預測，並選取 2022/01/04 之模擬預測結果進行校驗，如圖 6.15 及圖 6.16 所示。其中水位校驗結果顯示模擬值與觀測值間具高度相關性，流速校驗結果顯示模擬值南北向流速大小明顯低於觀測值，東西向流速變化與觀測值間存在約 2 小時時間差。由於海流觀測值變化明顯較不規則，因此，本計畫針對海流觀測資料選取 O_1 、 K_1 、 N_2 、 M_2 及 S_2 等 5 個主要分潮進行調和分析，利用天文潮成份流與模式潮流模擬值比較，如圖 6.17 所示。

針對流速模擬值與觀測潮流間之偏差，本計畫進一步以調整底床摩擦係數下限值方式進行率定工作，初步成果如圖 6.18 所示，圖中相位差改善較為明顯，流速大小改善程度以東西向流速較佳。基本上，本計畫將持續流速模擬值改善工作。

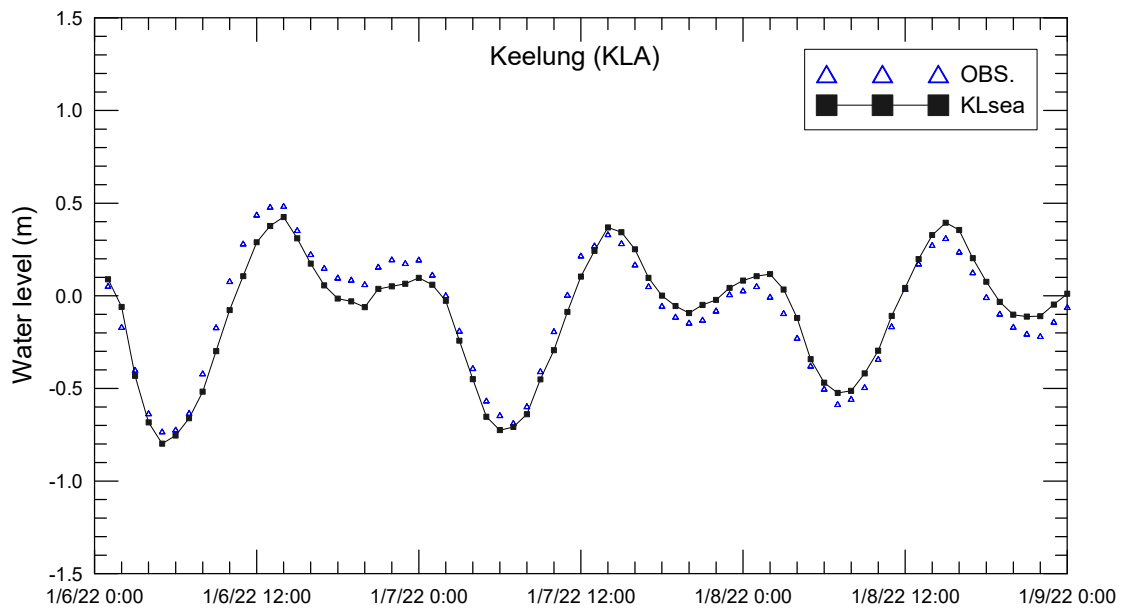


圖 6.15 基隆海域水動力模組水位模擬值與觀測值比較圖

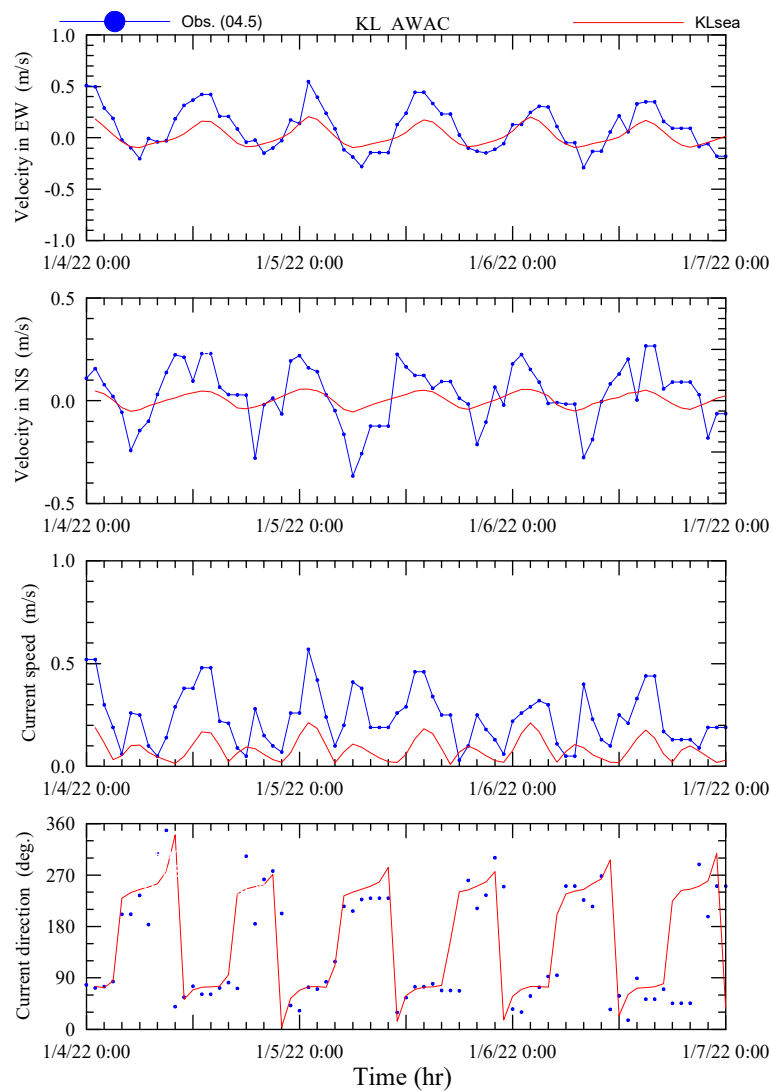


圖 6.16 基隆海域水動力模組流速模擬值與觀測值比較圖

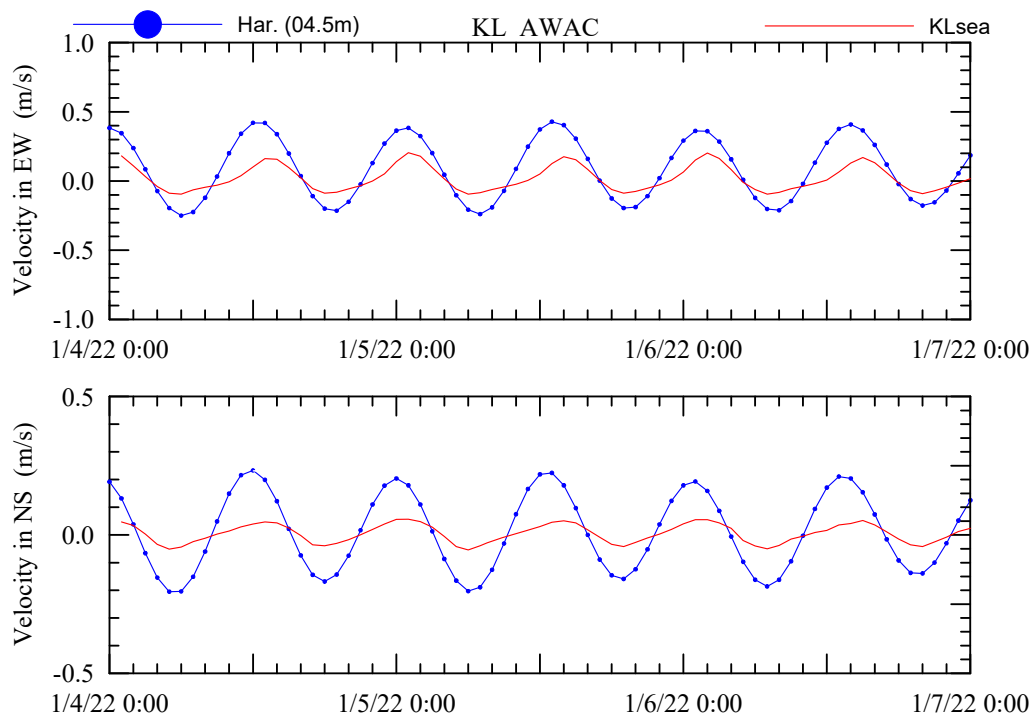


圖 6.17 基隆海域水動力模組潮流模擬值與觀測天文潮流比較圖

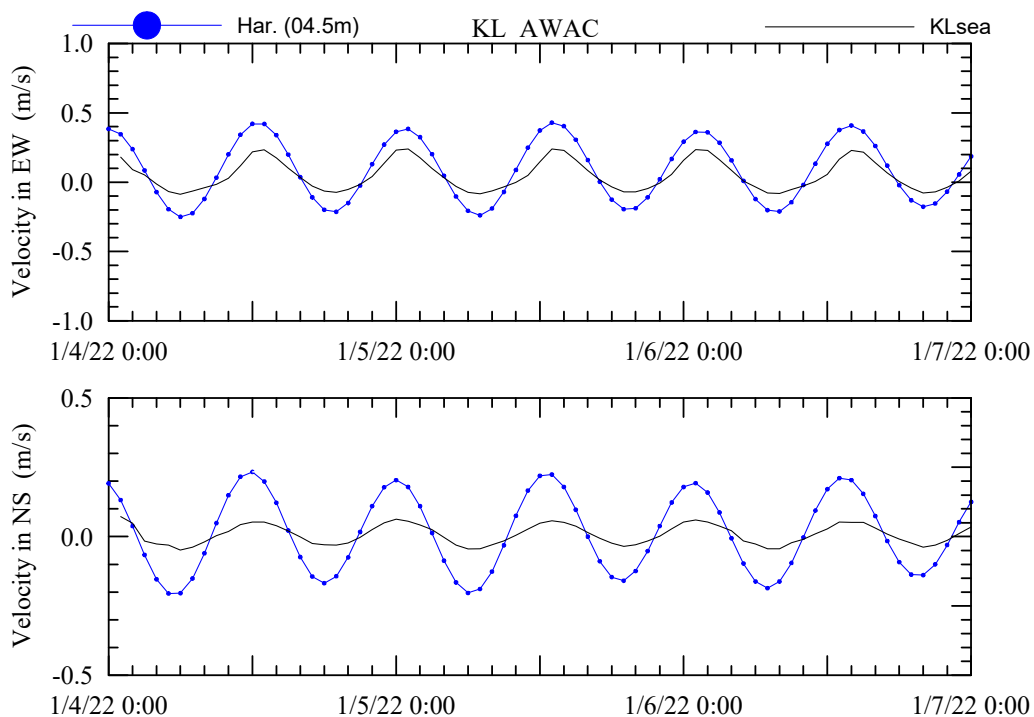


圖 6.18 基隆海域水動力模組潮流模擬值與觀測天文潮流比較圖

6.2.5 臺海水動力模擬系統修訂

本計畫「臺海水動力模擬系統」之作業化模擬環境如圖 6.19 所示，主目錄下建有中尺度臺海暴潮模組“TAI”工作目錄以及安平海域水動力模

組“HL”、花蓮海域水動力模組“HL”、基隆海域水動力模組“KL”、金門海域水動力模組“KM”、馬祖海域水動力模組“MZ”、澎湖海域水動力模組“PH”、蘇澳海域水動力模組“SA”、臺中海域水動力模組“SA”、臺北海域水動力模組“TP”等 9 個小尺度水動力模組工作目錄。因此，將基隆海域水動力模組納入「臺海水動力模擬系統」作業化修訂工作相對較單純，除了更新原基隆海域水動力模組工作目錄下水動力模式執行程式及相關輸入檔案名稱外，主要工作內容為基隆海域模擬優先排序修訂以及模擬結果後處理程式修訂部份。

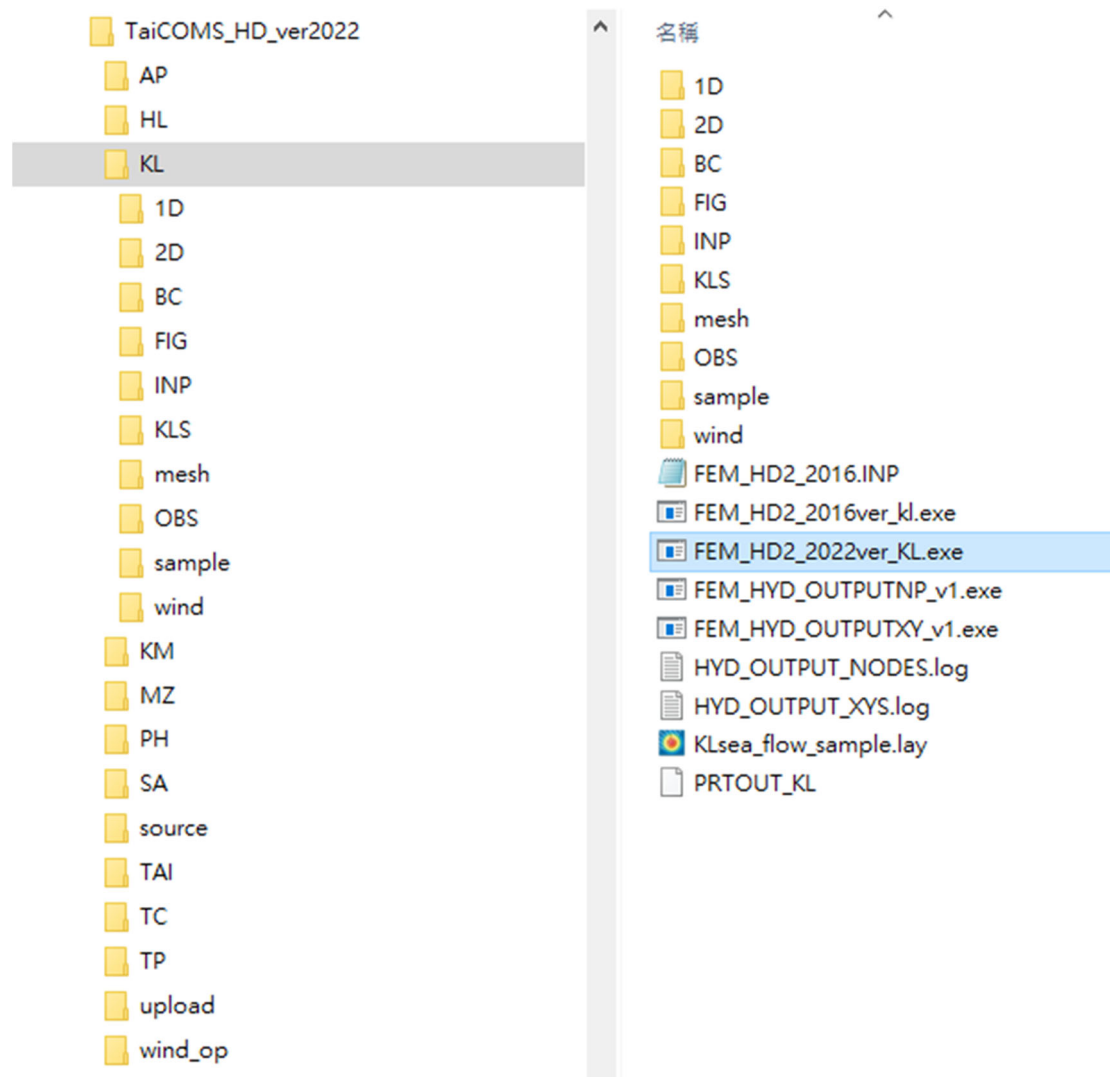


圖 6.19 「臺海水動力模擬系統」作業化模擬環境目錄架構圖

第七章 新建基隆港靜穩模擬模組

港研中心已於前期計畫提出港區靜穩模擬系統架構，如圖 7.1 所示，顯示建置中的港區靜穩模擬系統係結合港區外海風浪模擬及港域波浪模擬之作業化系統。其中港區外海風浪模擬採用臺海風浪模擬系統三層巢狀網格架構，代表本計畫基隆港外海風浪模擬流程包含大尺度遠域風浪模擬(西太平洋範圍風浪模組)、中尺度近域風浪模擬(臺海風浪模組)及小尺度近海風浪模擬(基隆海域風浪模組)等(詳 6-1 節)。港域波浪模擬考量港口折繞射及結構物反射等現象，規劃採用以橢圓型緩坡方程式為控制方程式之港域波浪模式(詳附錄一)，建構本計畫細尺度基隆港靜穩模擬模組。

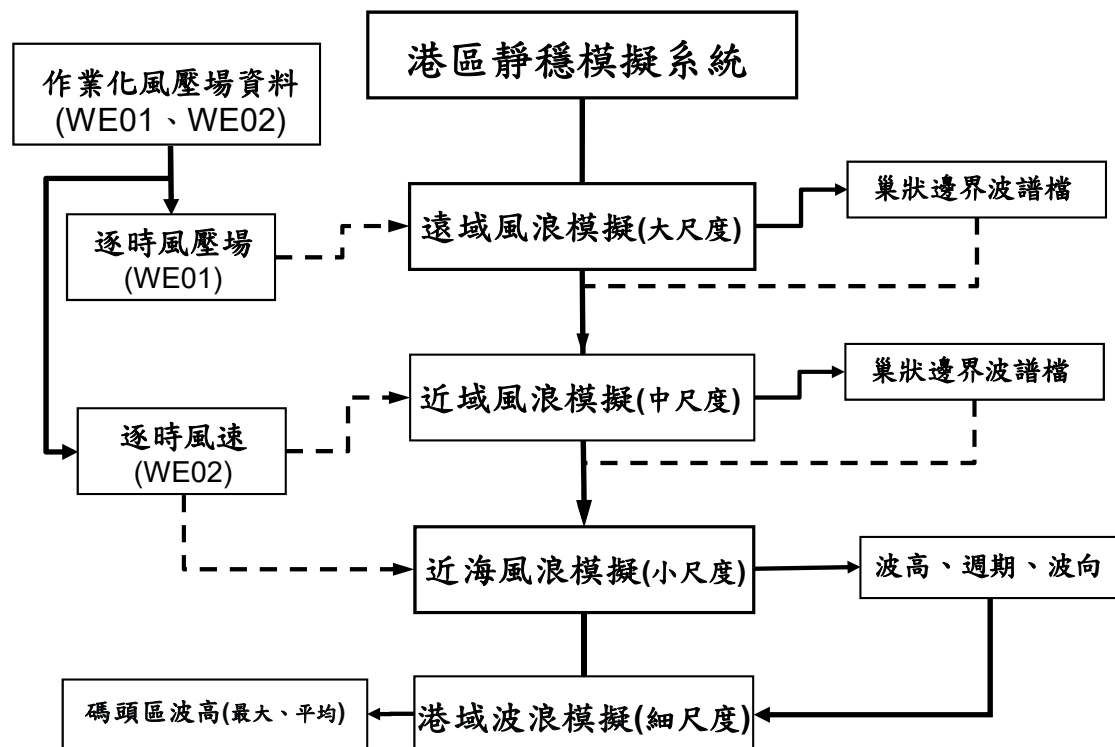


圖 7.1 港區靜穩模擬系統之架構圖

7.1 港域波浪模組建置

7.1.1 數值計算網格

港研中心於 100 年計畫針對基隆港建構細尺度波浪模組，其模擬範圍如圖 7.2 所示，外海半圓模擬範圍之半徑為 1000m，外海最大水深值為

50m，計有 59,694 個三角形元素及 30,679 個節點，入射波適用最小週期為 8.0sec。

本年度針對基隆港港型邊界修正西防波堤內側填方區，如圖 7.3 所示；據此，本計畫重新產生新的數值計算網格，計有 128,240 個三角形元素及 65,243 個節點，顯著提升數值計算網格數量。同時，依據 2021 年基隆港水深測量資料，更新模組數值計算網格水深資料，如圖 7.4 所示。

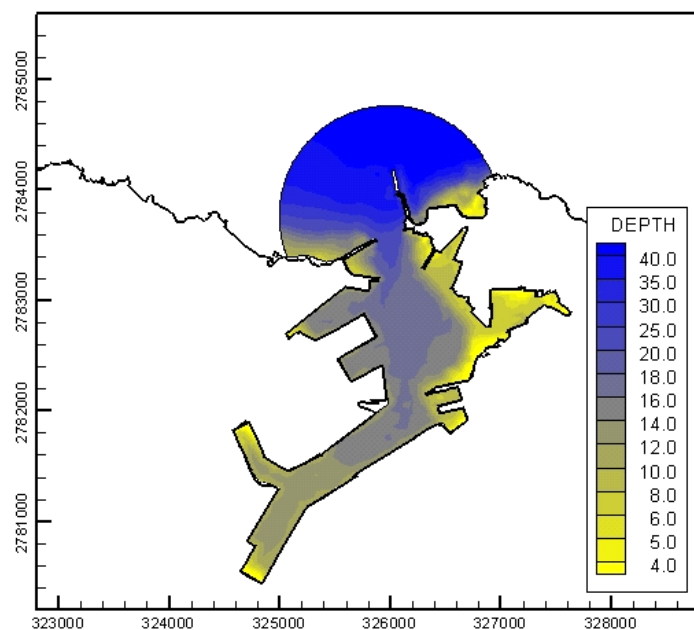


圖 7.2 基隆港港域波浪模組模擬範圍及水深分布圖

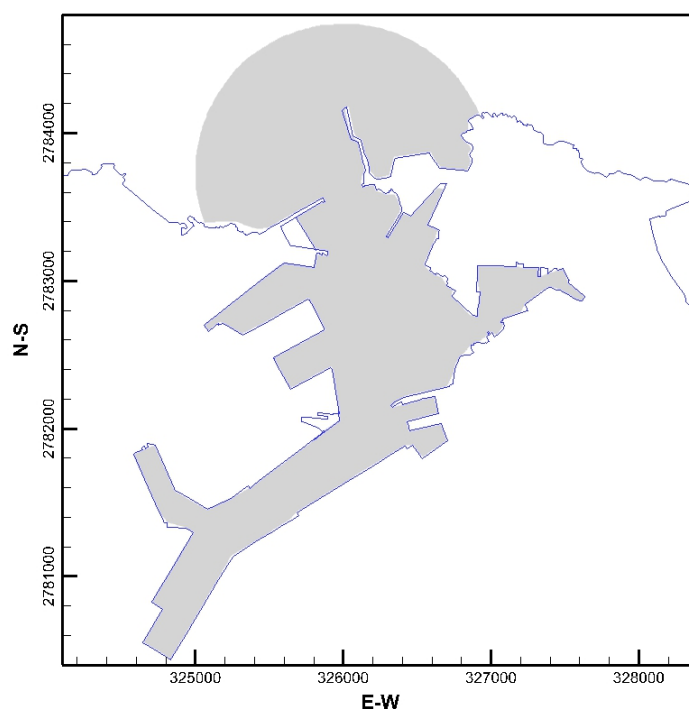


圖 7.3 基隆港 2022 年港域波浪模組模擬範圍圖

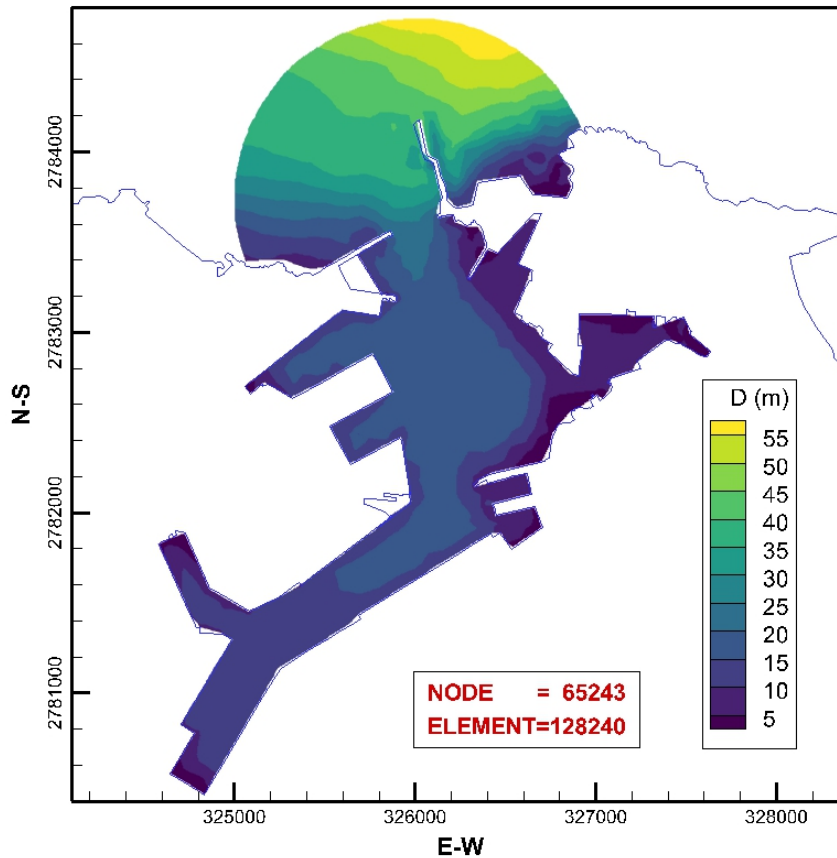


圖 7.4 基隆港 2022 年港域波浪模組水深分布圖

7.1.2 靜穩模擬輸出區位規劃

本計畫港域靜穩模擬主要提供港內碼頭區波浪模擬值，目前基隆港港內建有貨櫃碼頭 14 座、散雜貨碼頭 21 座、客運碼頭 6 座及非營運碼頭 15 座，合計 56 座碼頭，碼頭分布狀況如圖 7.5 所示。考量基隆港現有碼頭數量偏高，因此，本計畫靜穩模擬輸出區位規劃將以港務公司較為關注的碼頭進行規劃，即以東 6 碼頭至東 12 碼頭、西 16 碼頭至西 18 碼頭以及西 27 碼頭，如圖 7.6 所示。其中東 6、東 7 碼頭長度均小於 200m，東 8～東 11 號四座碼頭共線，總長 860m；東 12 碼頭位於第一船渠，供港勤船舶停靠；西 16～18 號碼頭共線，總長 620m，水深為-12～-13m；西 27 號碼頭長 150m，水深-7m，目前為砂石碼頭，供東砂北運之專用碼頭。此外，針對客運碼頭泊區末端水域(即海洋廣場前)，本計畫將設置一靜穩模擬輸出區。

另港研中心於東 6 碼頭及東 12 碼頭區建有港內靜穩觀測系統觀測波浪資訊，可提供本計畫港內靜穩波浪模擬結果校驗所需波浪測觀資料。

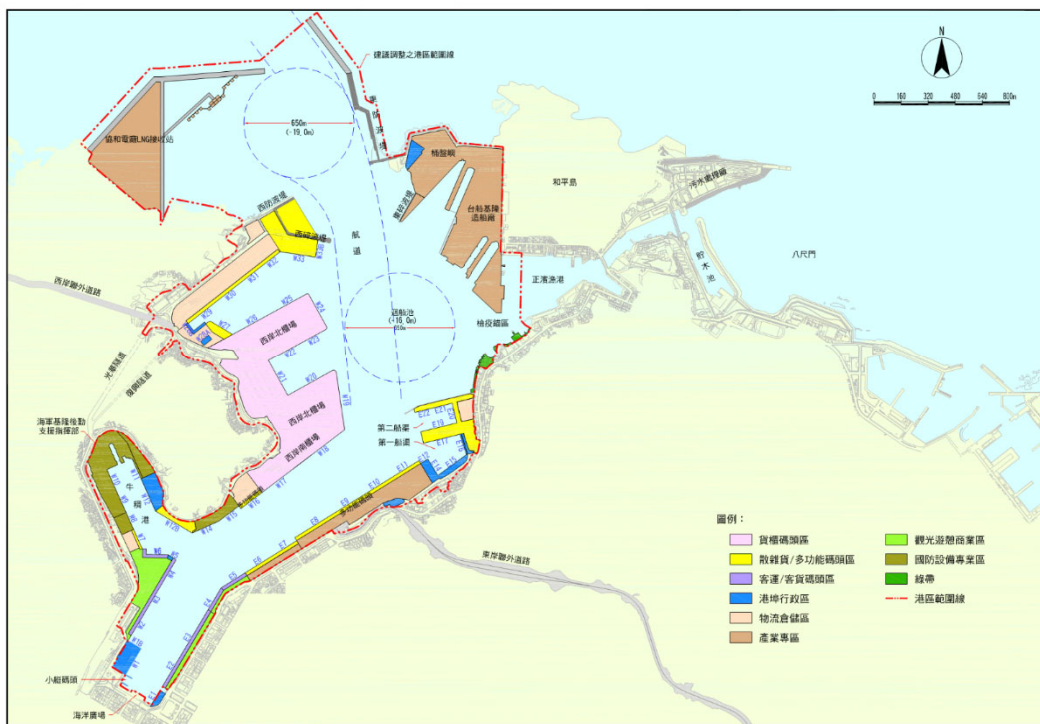


圖 7.5 基隆港現有碼頭分布圖

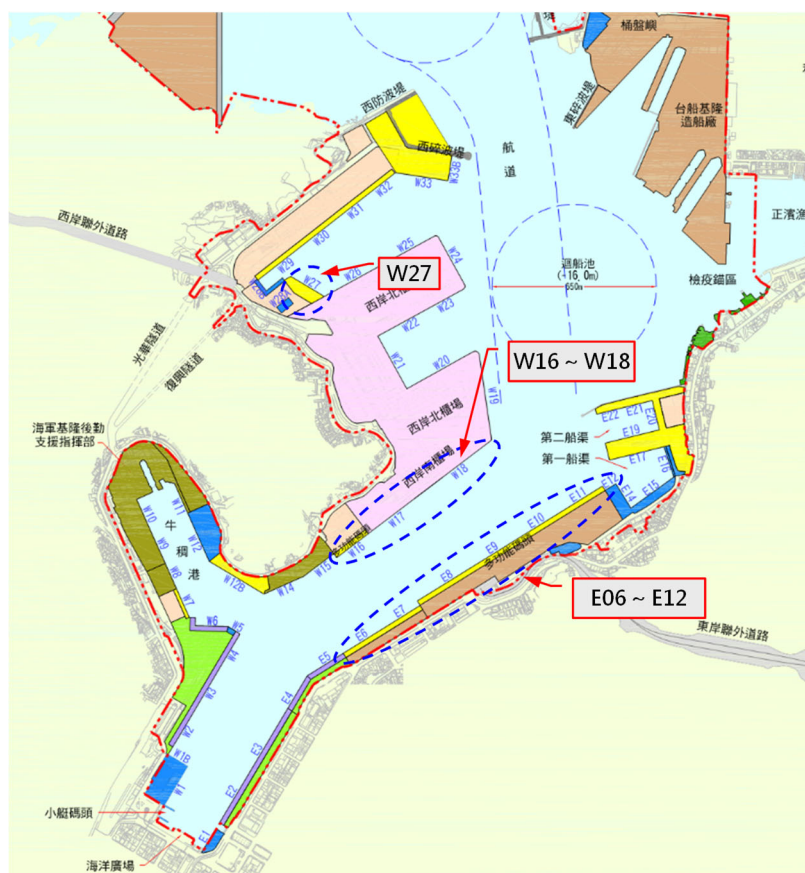


圖 7.6 基隆港港區靜穩模擬結果重點碼頭輸出區位分布圖

7.1.3 底床摩擦係數靈敏度分析

針對港域波浪模式之底床摩擦係數 μ ，本計畫選取 0.001、0.0005 及 0.0001 三種設定值執行港域波浪場模擬及靈敏度分析。假設外海入射波波高為 1.0m，入射波週期為 10sec，入射波向為 N 時，三種底床摩擦係數 μ 值模擬之波高分布如圖 7.7~圖 7.9 所示。結果顯示底床摩擦係數對波高分布狀態影響極微小，對於波高值大小影響較為顯著。因此，未來港域靜穩模擬結果之校驗，本計畫將透過底床摩擦係數靈敏度分析方式辦理。

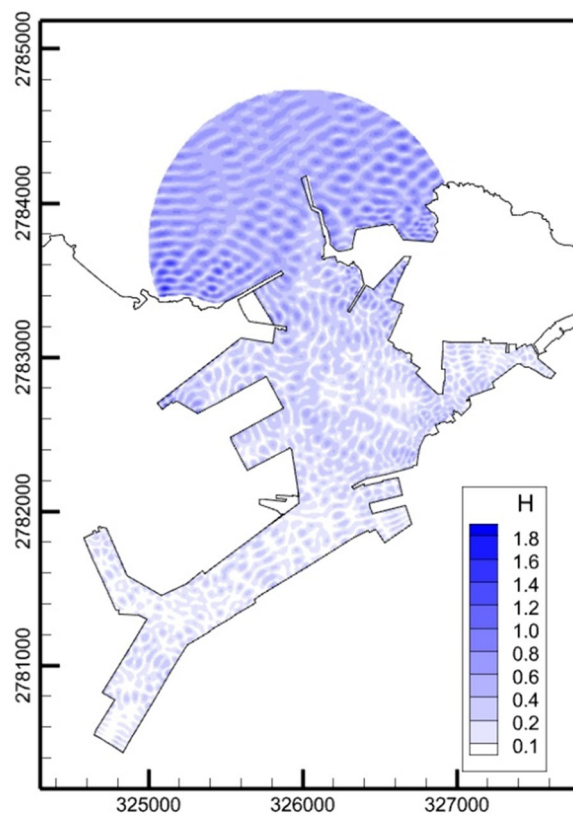


圖 7.7 基隆港靜穩模擬結果($\mu = 0.0001$)波高分布圖

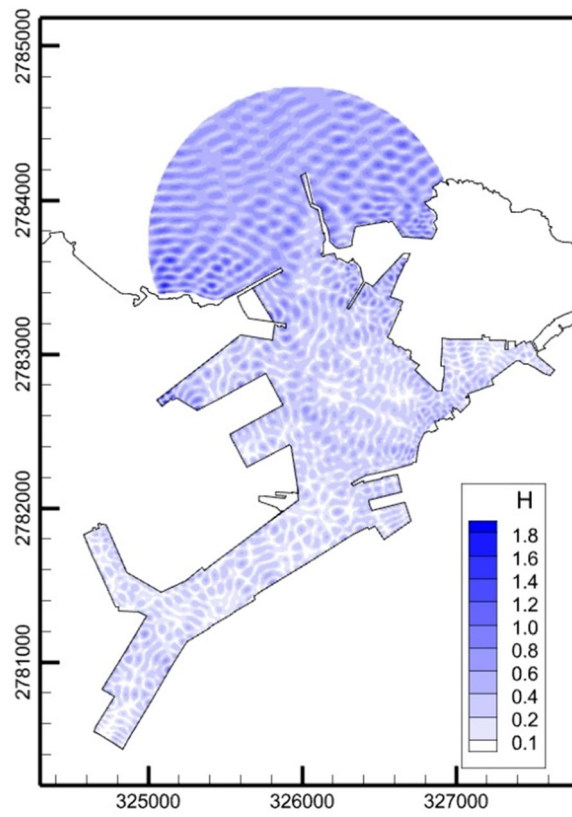


圖 7.8 基隆港靜穩模擬結果($\mu = 0.0005$)波高分布圖

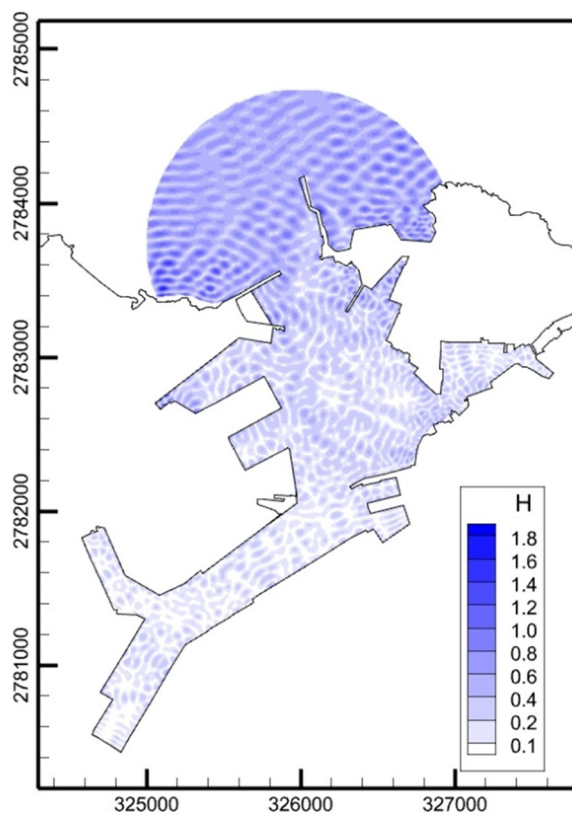


圖 7.9 基隆港靜穩模擬結果($\mu = 0.0010$)波高分布圖

7.1.4 港區靜穩模擬與校驗

本計畫蒐集基隆港 2021 年 9 月港口 AWAC 波浪觀測資料(KLA)及港內東 6 碼頭靜穩度測站波浪觀測資料(KL06E)，測站位置如圖 7.10 所示；分別比對示性波高、平均週期及譜峰週期之時序列資料，如圖 7.11 所示，顯示譜峰週期資料具有高度相似性。圖 7.11 顯示自 9 月 11 日 0 時起 AWAC 測站示性波高開始逐漸變大，此係受到強烈颱風璨樹影響所致。因此，本計畫選取 9 月 11 日 0 時至 20 日 0 時期間，AWAC 測站及東 6 碼頭靜穩度測站波浪觀測資料做為基隆港港區靜穩模擬與校驗之依據。

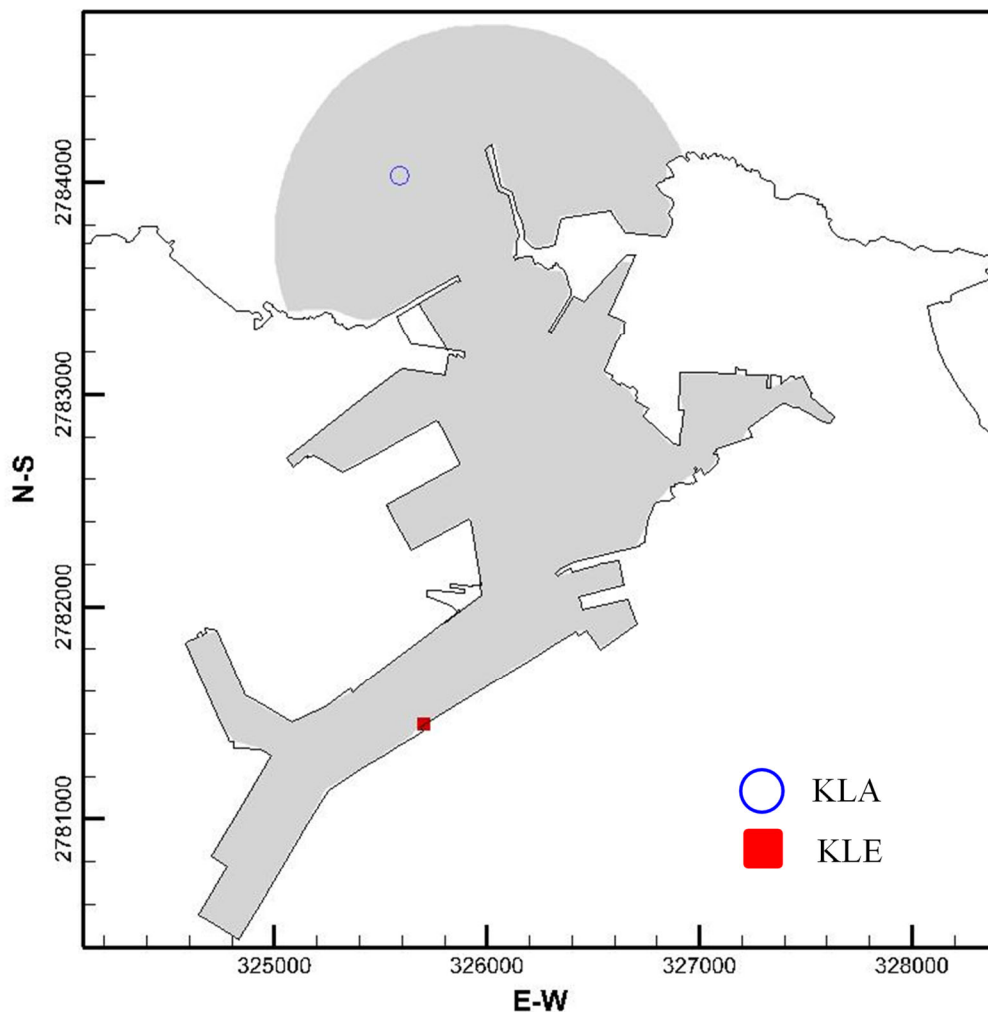


圖 7.10 基隆港波浪測站位置分布圖

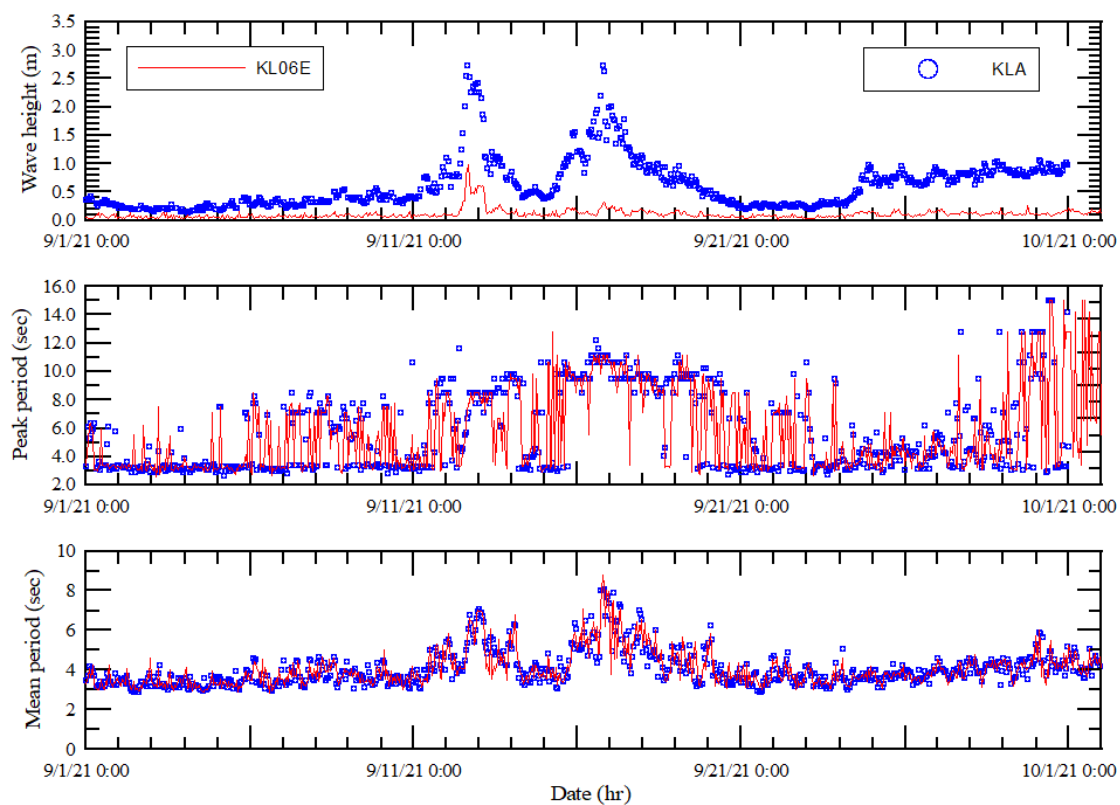


圖 7.11 基隆港 KLA 及 KLE 測站波浪資料時序列比較圖

7.2 港區靜穩模擬系統建置

7.2.1 作業化模擬方式

本計畫港區靜穩模擬系統係整合「臺海風浪模擬系統」及港域靜穩模組而建置的獨立作業化模擬子系統，因此，其作業化方式比照 TaiCOMS 2.0 海象模擬作業化系統採取每日 4 次作業化模擬流程建構。即每日 4 次作業化模擬時間分別以“00”、“06”、“12”及“18”時表示之。每次作業化模擬時間長度為 54 小時(即 00~54 時)，其中前 6 小時屬於追算模擬階段，後 48 小時為預測模擬階段。

7.2.2 風浪模組輸出修正

在港區靜穩模擬系統中，風浪模擬主要目的為由花蓮海域風浪模組、蘇澳海域風浪模組及基隆海域風浪模組，分別輸出花蓮港靜穩模組、蘇澳港靜穩模組及基隆港靜穩模組外海風浪模擬預測值。因此，在港區靜穩模擬系統中，本計畫將關閉遠域風浪模組及近域風浪模組之平面網格及點位輸出功能。針對花蓮海域、蘇澳海域及基隆海域等風浪模組則分別配合花蓮港靜穩模組、蘇澳港靜穩模組及基隆港靜穩模組需求，如圖 7.12~圖 7.14 所示，修訂或增加模擬點位輸出。每次作業化模擬產出各港域靜穩模組外海風浪入射條件(H_{m0} 、 T_p 、 D_m)，如圖 7.15~圖 7.17 所示。圖中代表系統作業化模擬時間為 2021 年 10 月 12 日 0 時，基隆海域風浪模組輸出點位 A 之 H_{m0} 、 T_p 及 D_m 模擬預測值，模組模擬時間為 10 月 11 日 18 時至 10 月 14 日 0 時，其中 10 月 11 日 18 時至 10 月 12 日 0 時屬於追算階段，10 月 12 日 0 時至 14 日 0 時為預測階段。

7.2.3 基隆港港域靜穩模擬

在港區靜穩模擬系統中，港域靜穩模組作業化波浪場模擬需求，除了考慮外海風浪參數 H_{m0} 、 T_p 、 D_m 等模擬預測條件外，本年度計畫規劃增加天文潮潮位預測值，如圖 7.18 所示，做為作業化過程中港域靜穩模組修正水深值之依據。同樣，本計畫針對系統作業化模擬時間 2021 年 10 月 12 日 0 時(2021101200)，選取基隆港靜穩模組之模擬結果，間隔 6 小時

繪出波高分布圖，如圖 7.19~圖 7.28 所示。初步判斷港內波高分布之時間序變化趨勢，與港外風浪波高時間序變化趨勢相符。

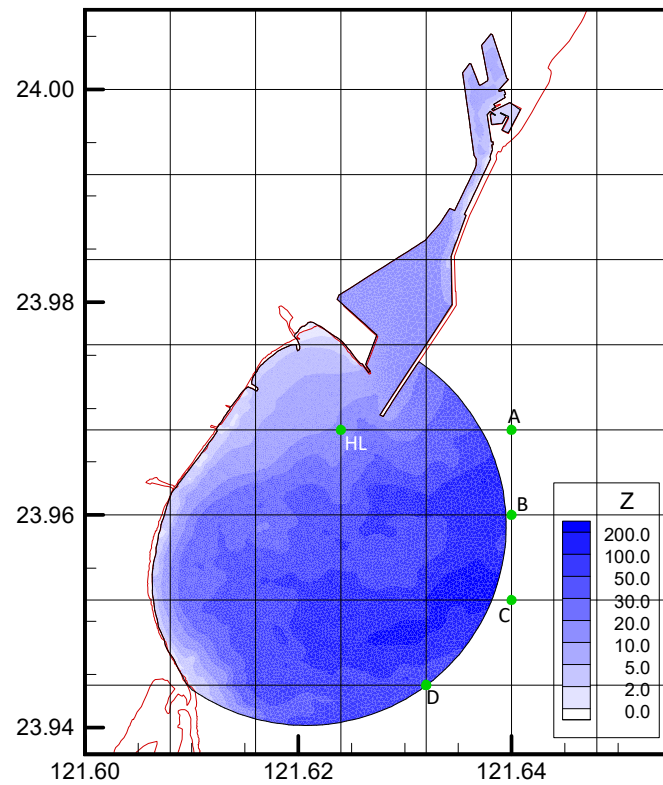


圖 7.12 花蓮海域風浪模組輸出點位(A、B、C、D)分布圖

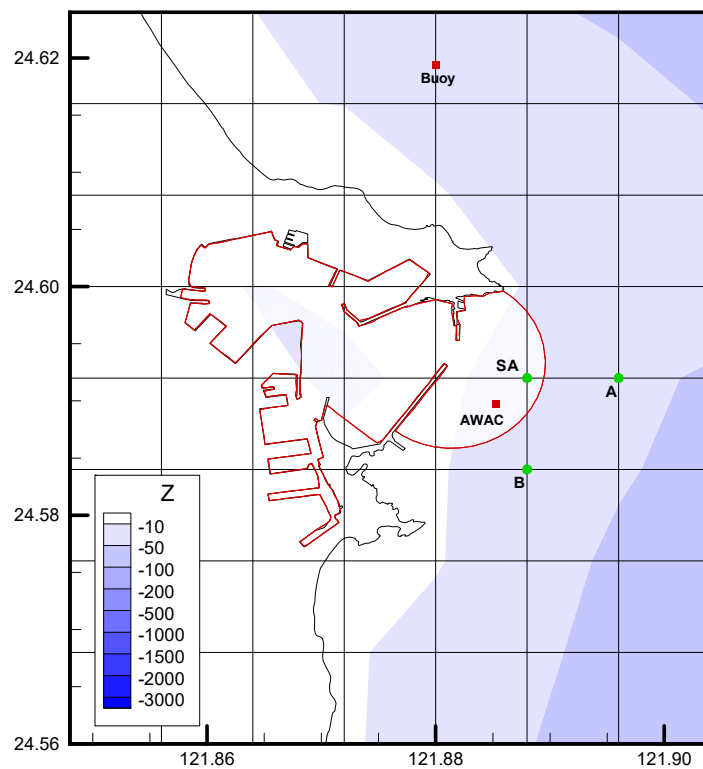


圖 7.13 蘇澳海域風浪模組輸出點位(A、B)分布圖

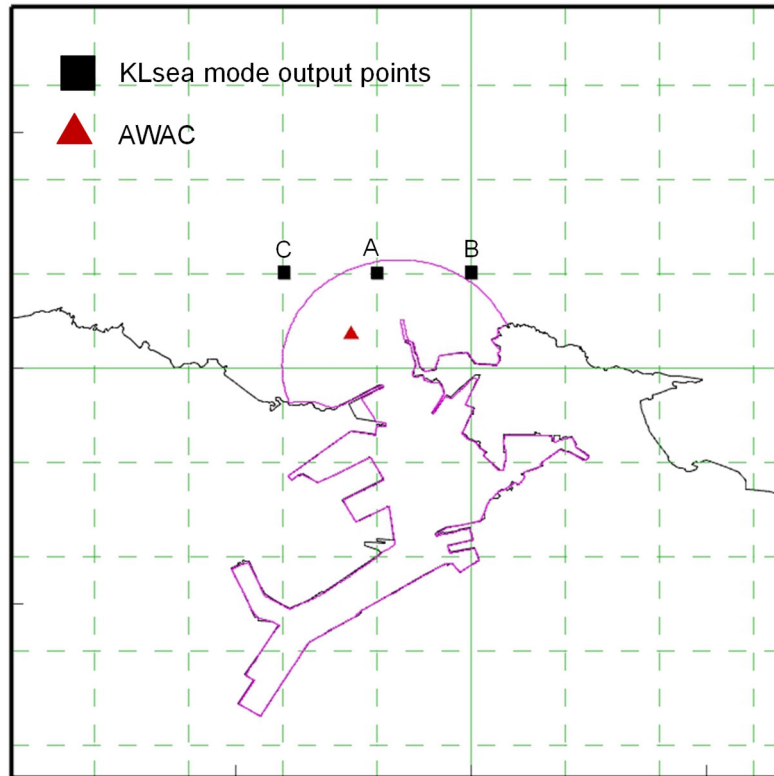


圖 7.14 基隆海域風浪模組輸出點位(A、B、C)分布圖

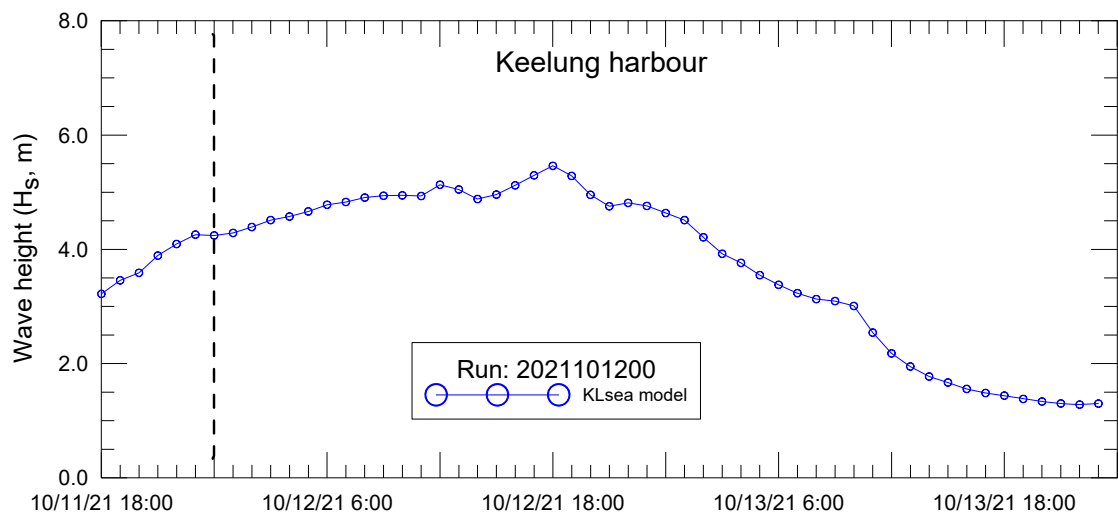


圖 7.15 基隆海域點位 PA 風浪示性波高模擬預測歷線圖

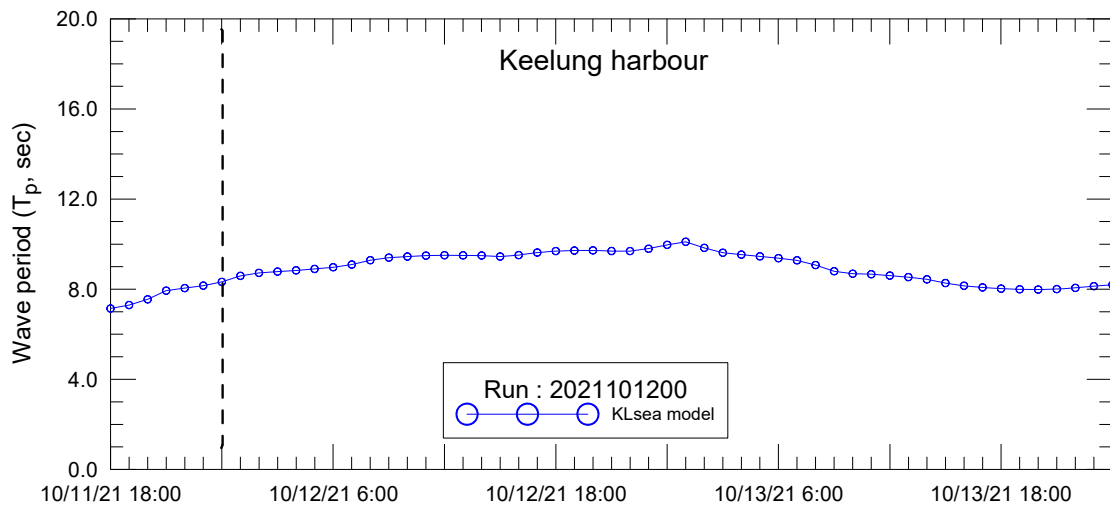


圖 7.16 基隆海域點位 PA 風浪譜峰週期模擬預測歷線圖

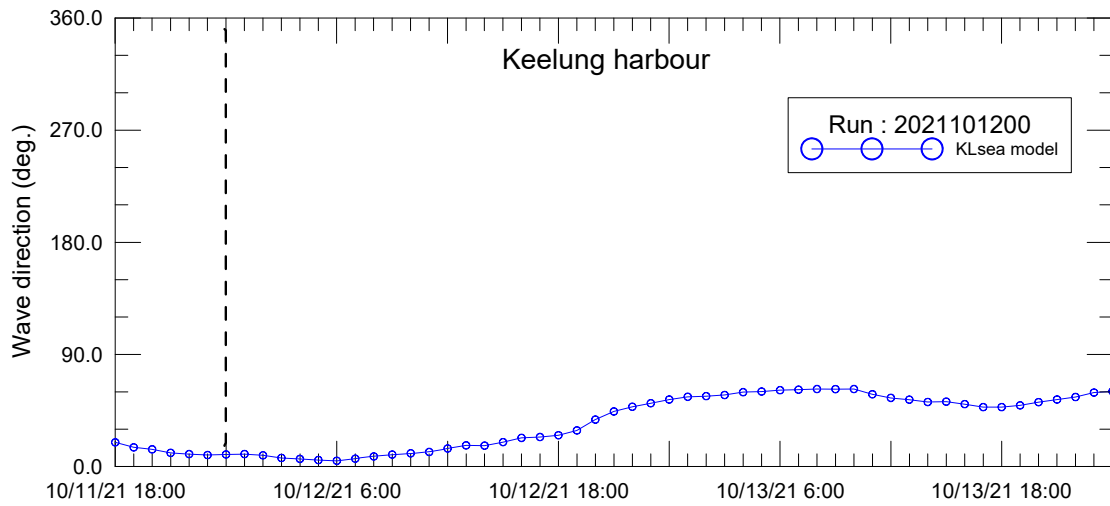


圖 7.17 基隆海域點位 PA 風浪平均波向模擬預測歷線圖

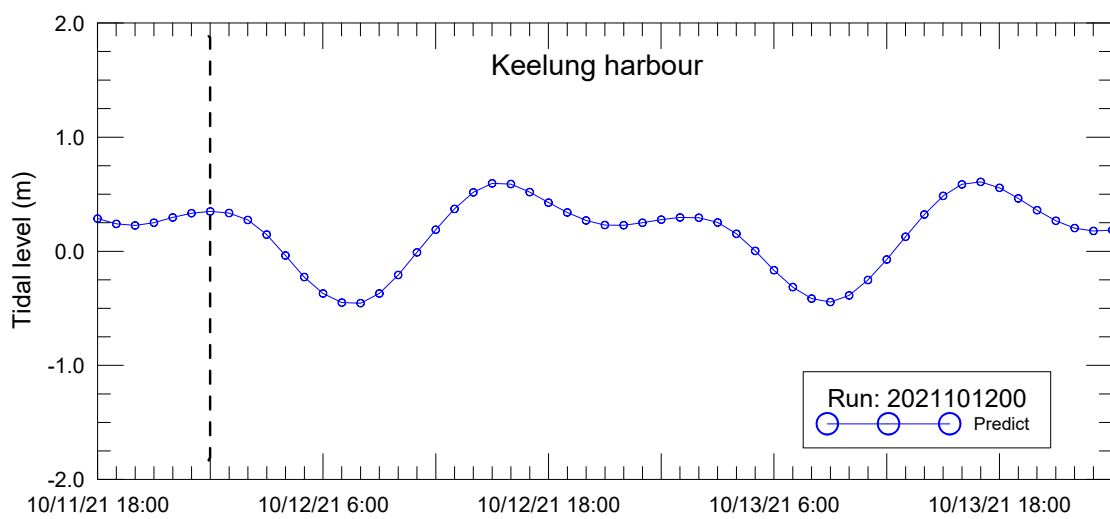


圖 7.18 基隆港天文潮潮位逐時預測歷線圖

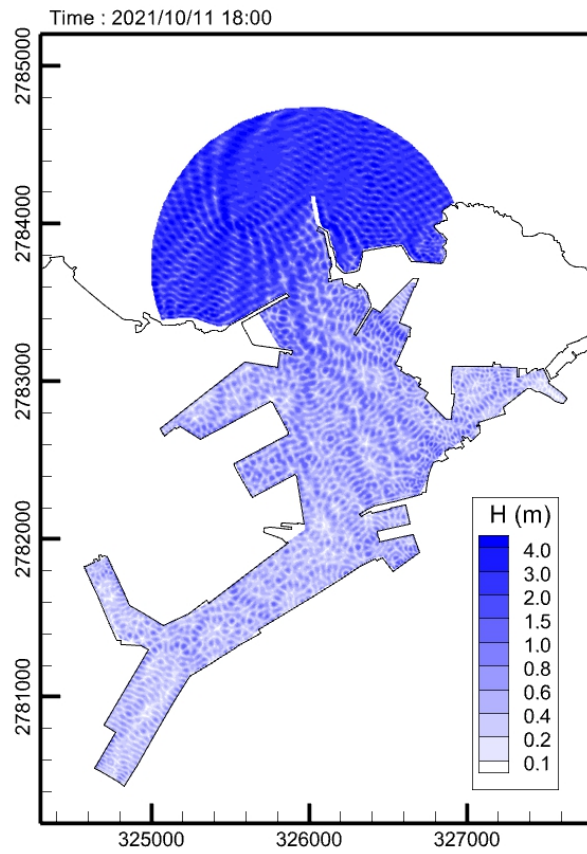


圖 7.19 基隆港港域靜穩模組模擬 2021101118 之波高分布圖

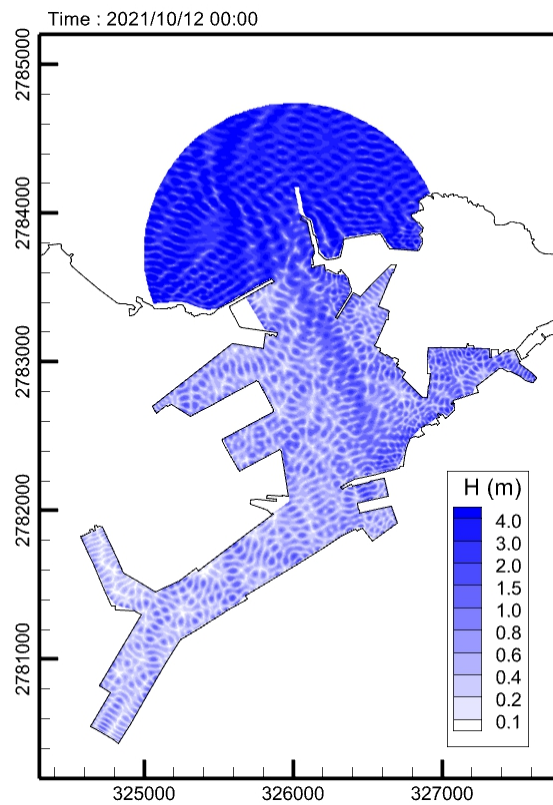


圖 7.20 基隆港港域靜穩模組模擬 2021101200 之波高分布圖

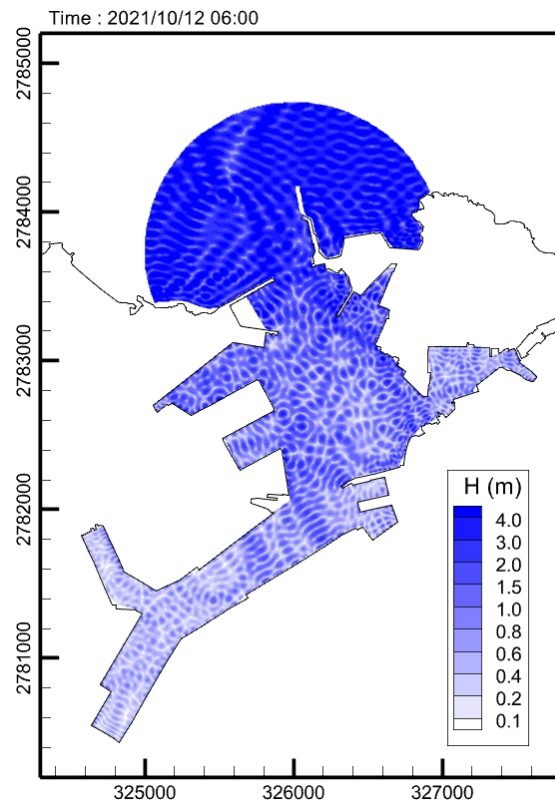


圖 7.21 基隆港港域靜穩模組模擬 2021101206 之波高分布圖

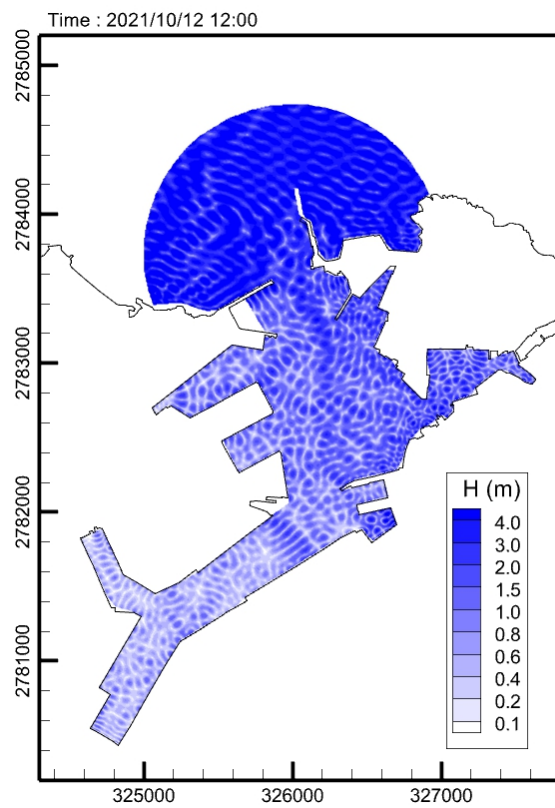


圖 7.22 基隆港港域靜穩模組模擬 2021101212 之波高分布圖

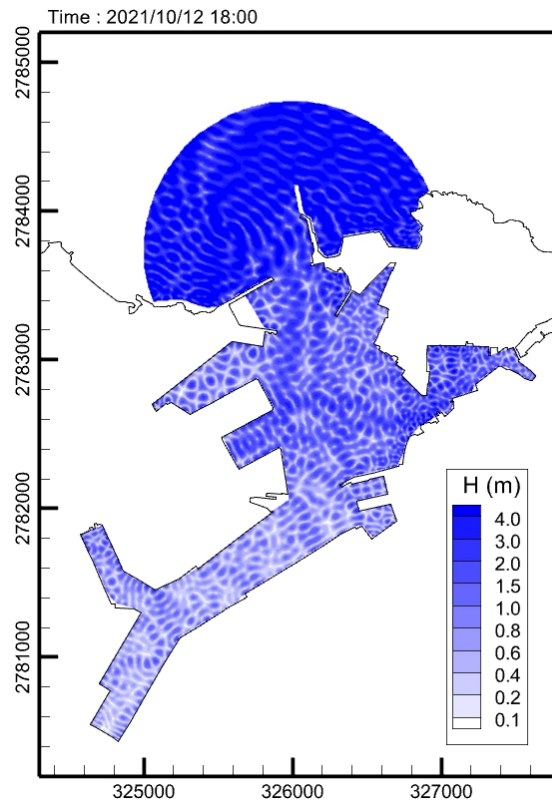


圖 7.23 基隆港港域靜穩模組模擬 2021101218 之波高分布圖

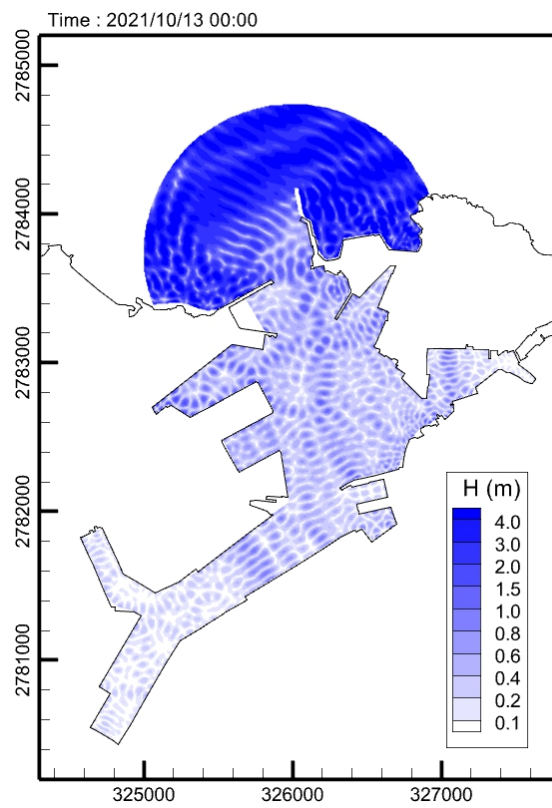


圖 7.24 基隆港港域靜穩模組模擬 2021101300 之波高分布圖

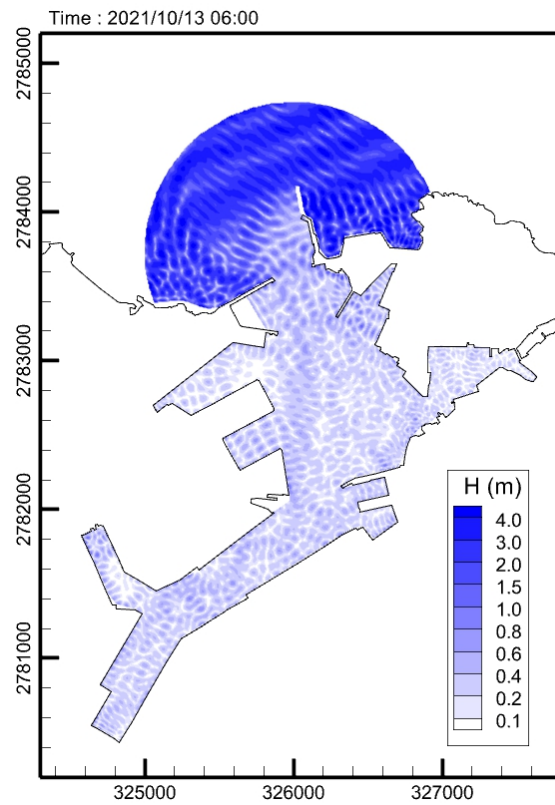


圖 7.25 基隆港港域靜穩模組模擬 2021101306 之波高分布圖

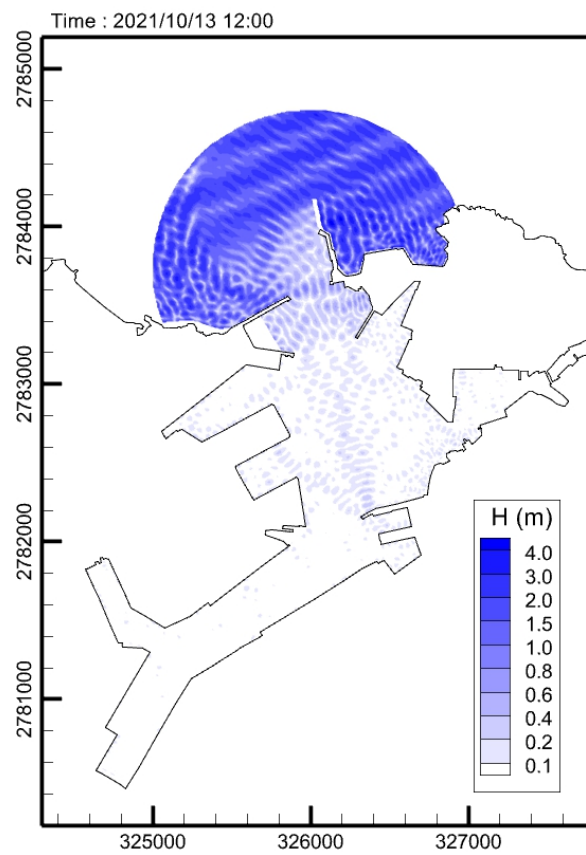


圖 7.26 基隆港港域靜穩模組模擬 2021101312 之波高分布圖

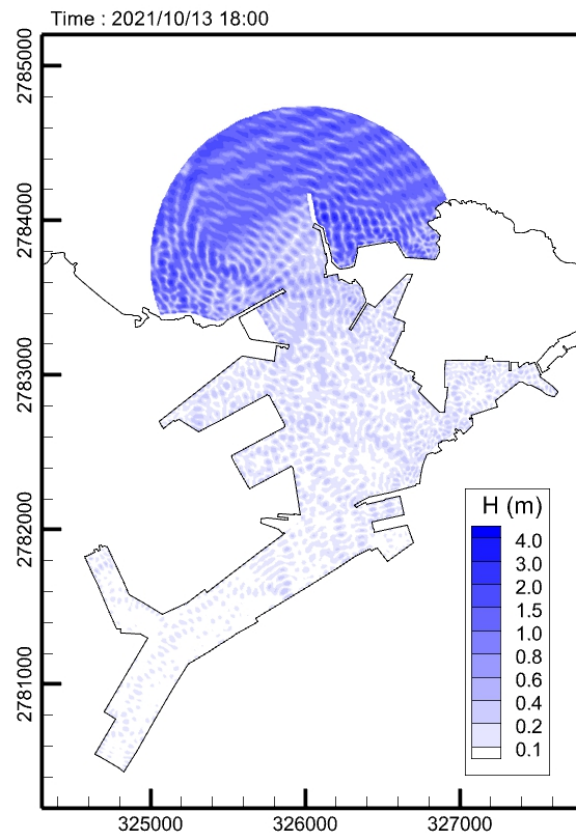


圖 7.27 基隆港港域靜穩模組模擬 2021101318 之波高分布圖

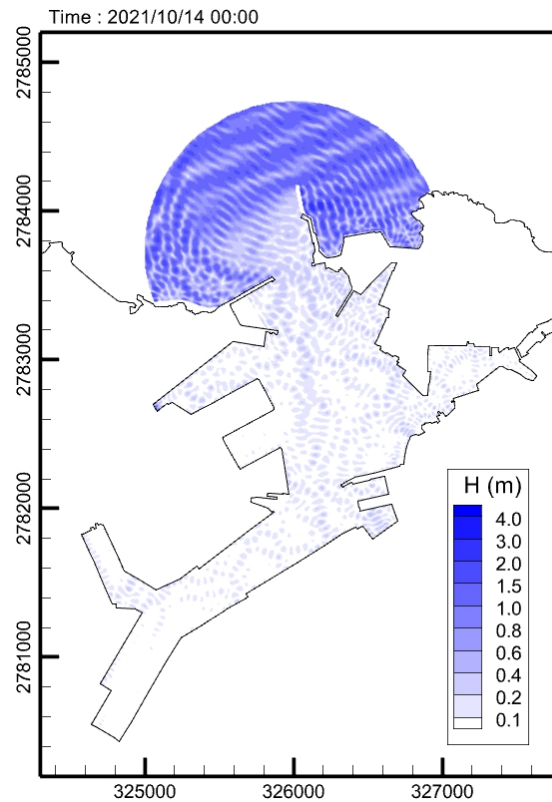


圖 7.28 基隆港港域靜穩模組模擬 2021101400 之波高分布圖

7.2.4 系統作業化模擬環境

由於港區靜穩模擬系統係整合「臺海風浪模擬系統」及港域靜穩模組而成的獨立作業化模擬子系統，因此，其作業化模擬環境之建構係參照「臺海風浪模擬系統」之作業化環境，如圖 7.29 所示。圖中次目錄“LSwam”及“TAIsea”分別代表執行遠域及近域風浪模擬之工作目錄，“HLsea”、“KLsea”及“SAsea”目錄分別為花蓮海域、基隆海域及蘇澳海域風浪模擬之工作目錄，花蓮港、基隆港及蘇澳港等 3 個港域靜模擬之工作目錄(“HLharb”、“KLharb”、“SAharb”)則集中放置在“HBwave”次目錄下。另因應港域靜穩模擬考慮潮位影響因子，系統增建“tide”新的次目錄，供放置各港域天文潮(或含氣象潮)潮位預測值檔案。

港區靜穩模擬系統之作業化執行程式為“tiacoms_harbwave_run.exe”，由 TaiCOMS 2.0 海象模擬作業系統依作業排程更新主目錄之“datalog”及提供新的作業化風壓場資料至“wind”次目錄下，即可立即啟動本系統作業化執行程式“tiacoms_harbwave_run.exe”

整體而言，本計畫港區靜穩模擬系統建有 1 個遠域風浪模組(LSwam)、1 個近域風浪模組(TAIsea)、3 個近海風浪模組(“HLsea”、“KLsea”、“SAsea”)及 3 個港域靜穩模組(“HLharb”、“KLharb”、“SAharb”)；爰此系統允許 1 個或數個港域同時執行作業化模擬，相關模組啟動流程或程序則由輸入檔“Taicom_harb_wave.INP”內設定的參數控制，如圖 7.30 所示。



圖 7.29 港區靜穩模擬系統作業化模擬環境目錄架構圖

“Taicoms_harb_wave.INP”

```

!! ..... 風場格式(1=每日一報; 2=每日四報)
2
!! ..... LShotrun
TRUE.
!! ..... 執行大尺度風浪模組(wam_model)
true.
!! ..... MShotrun (中尺度風浪)
TRUE.
!! ..... 執行中尺度風浪模組(swantai)
true.
!! ..... hotrun (小尺度花蓮海域風浪)
TRUE.
!! ..... 執行小尺度花蓮海域風浪模組(swanHLsea)
true.
!! ..... DIFFRac 開關(=0, OFF), (=1, ON)
1
!! ..... hotrun (小尺度蘇澳海域風浪)
TRUE.
!! ..... 執行小尺度蘇澳海域風浪模組(swanSAsea)
true.
!! ..... DIFFRac 開關(=0, OFF), (=1, ON)
1
!! ..... hotrun (小尺度基隆海域風浪)
TRUE.
!! ..... 執行小尺度基隆海域風浪模組(swanKLsea)
true.
!! ..... DIFFRac 開關(=0, OFF), (=1, ON)
1
!! ..... 執行細尺度花蓮港域波浪模組(HBwav_HL)_1/0
0
!! ..... 花蓮港潮位預測資料檔(HLB)
tide\HLB_M2020123100_pred.txt
!! ..... 執行細尺度蘇澳港域波浪模組(HBwav_SA)_1/0
0
!! ..... 蘇澳港潮位預測資料檔(HLB)
tide\SAC_M2020123100so_pred.txt
!! ..... 執行細尺度基隆港域波浪模組(HBwav_KL)_1/0
1
!! ..... 基隆港潮位預測資料檔(HLB)
tide\KLC_M2020123100so_pred.txt

```

圖 7.30 港區靜穩模擬系統作業化輸入檔

第八章 發展花蓮港外廓防波堤越波模組

近年來臺灣港務公司轄管商港已陸續規劃出港內垂釣區開放民眾進行垂釣活動，對於影響防波堤區垂釣活動安全之越波問題亦逐漸受關注。本計畫發展花蓮港外廓防波堤越波模組之構想，即在現有波浪作業化模擬系統中納入外廓防波堤越波分析，以提供花蓮港外廓防波堤越波預警資訊。本年度計畫先以花蓮港外廓防波堤之新東堤段(0K+500.6~1K+835.0)為對象，建立模擬程序得到初步結果。

8.1 背景資料

8.1.1 外廓防波堤

花蓮港位於臺灣東部，東臨太平洋，港型南北狹長，是一個由東、西防波堤合攏而成的人工港，如圖 8.1 所示。圖中東防波堤區分為舊東防波堤段及新東防波堤延伸段(以下簡稱新東堤)，其中新東堤長 1,835 m，新東堤堤頭長 30 m，合計 1,865 m。依據本計畫蒐集的舊東堤及新東堤堤身標準斷面設計資料得知(詳附錄四)，花蓮港東防波堤堤頂設計高程為 E.L. +10.5 m，其中新東堤段防波堤沉箱於海側採用消波式開孔胸牆設計，如圖 8.2 及圖 8.3 所示。

8.1.2 花蓮港歷年颱風波浪越波資訊

本計畫整理近年來花蓮港東防波堤颱風期間出現越波事件資訊如下：

1. 2021 年中度颱風烟花(2021/07/21~07/24)行進路徑如圖 8.4 所示，於花蓮地區風勢也相當強勁，花蓮港長浪不斷，激起的浪花也越過了堤防，場面壯觀，如圖 8.5 所示。
2. 2019 年強烈颱風利奇馬 (2019/08/07~08/10) 行進路徑如圖 8.6 所示，花蓮港舊東堤有大浪打上岸，浪高超過兩米，包括賞鯨船、漁船等都已停駛在港區內避風浪，如圖 8.7 所示。

3. 2018 年強烈颱風山竹 (2018/09/14~9/15) 行進路徑如圖 8.8 所示，花蓮港大浪陣陣來，一度激起 3 米高巨浪，淹沒港內近 3 米高的紅色燈塔，如圖 8.9 所示。

8.1.3 花蓮港港區垂釣開放區資訊

依據花蓮港務分公司公布的「花蓮港東防波堤釣魚活動安全須知」得知，花蓮港開放垂釣活動範圍為新東防波堤「0K+0」以南之區域港側，其範圍如圖 8.10 所示。開放條件明訂花蓮港附近漁業氣象平均風力六級(含)，最大陣風達九級(含)以上，浪高超過 2 公尺或遇颱風外環流影響、發布海上颱風警報且花蓮列在警戒區內、暴雨、暴潮等天候不佳之情形則取消開放垂釣區。因此，本計畫花蓮港外廓防波堤越波模組建置將以新東防波堤為對象進行越波分析。

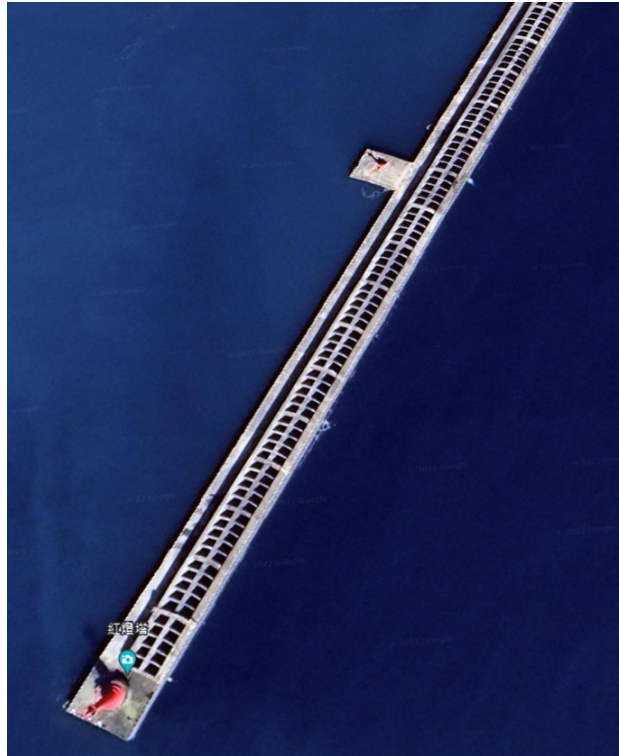
8.1.4 花蓮港港區水深資料

針對花蓮港港域地形水深資料，本計畫蒐集臺灣港務公司 2021 年 9 月花蓮港第 2 次水深測量成果，如圖 8.11 所示。本計畫將依據 5m 網格地形水深資料更新相關數值模組之水深資料。



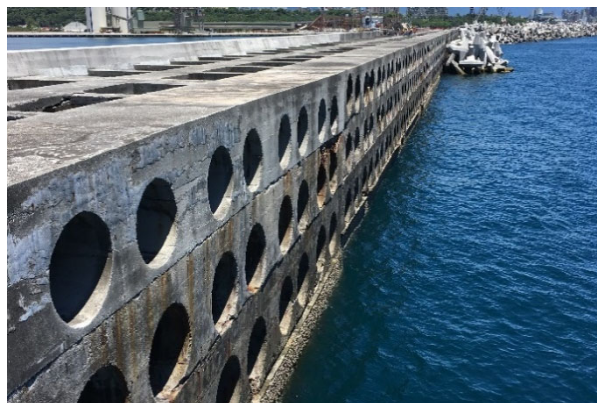
資料來源：Google Earth

圖 8.1 花蓮港外廓防波堤示意圖



資料來源：Google Earth

圖 8.2 花蓮港新東堤段消波式開孔胸牆圖



資料來源：106花蓮港第2階段工作成果報告書

圖 8.3 花蓮港新東堤段消波式開孔胸牆海側照片

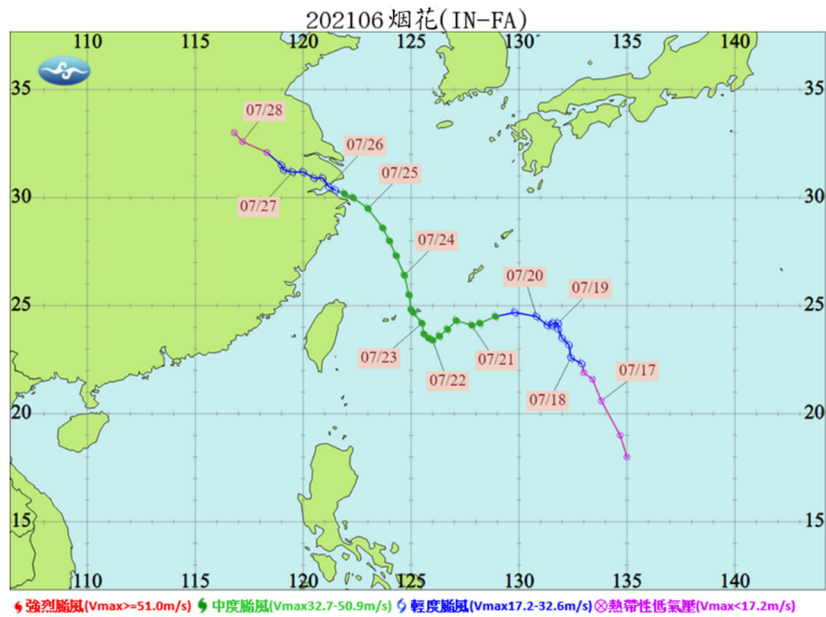


圖 8.4 2021 年中度颱風烟花行進路徑圖

花蓮風勢強勁！海浪"越堤防"海巡戒備



資料來源：<https://news.cts.com.tw/cts/general/202107/202107232050457.html>

圖 8.5 2021 年中度颱風烟花侵臺期間花蓮港波浪越堤新聞事件

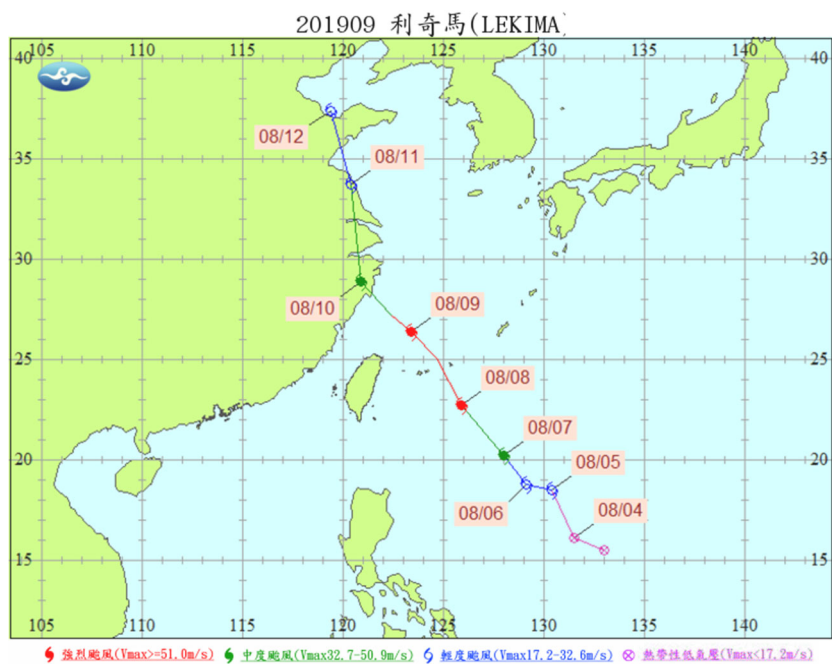


圖 8.6 2019 年強烈颱風利奇馬行進路徑圖



資料來源：

<https://tw.appledaily.com/life/20190808/KS3VLQCUHCDP5KZZFZBAD6KDBU/>

圖 8.7 2021 年強烈颱風利奇馬侵臺期間花蓮港波浪越堤新聞事件

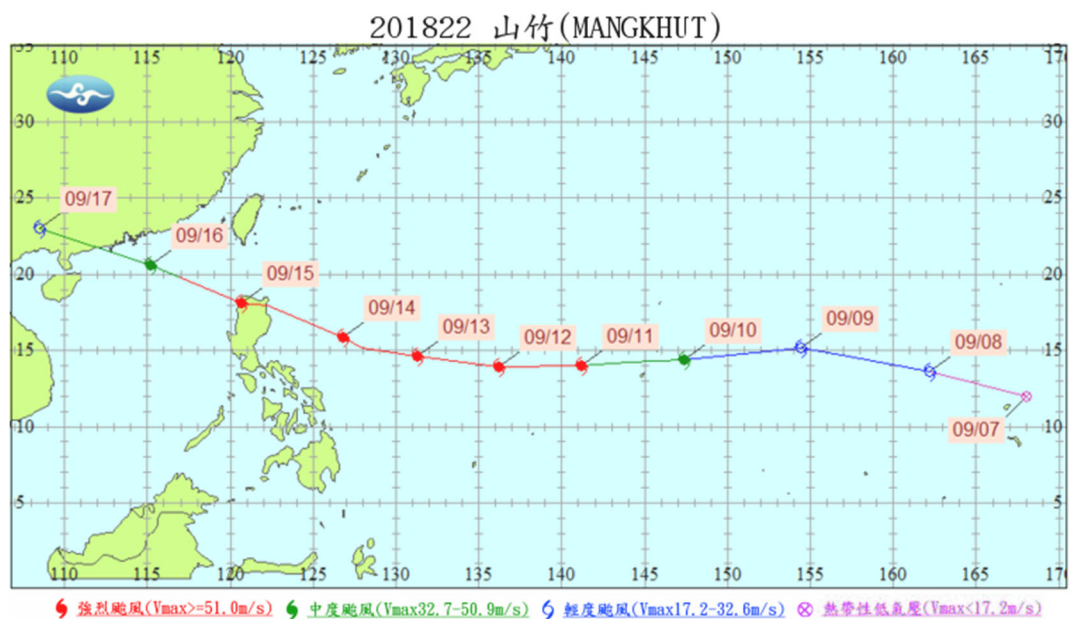


圖 8.8 2018 年強烈颱風山竹行進路徑圖



資料來源：<https://ctee.com.tw/livenews/ch/chinatimes/20180915001536-260405>

圖 8.9 2018 年強烈颱風山竹侵臺期間花蓮港新東堤波浪越堤新聞事件



圖 8.10 花蓮港東防波堤及開放垂釣區域圖

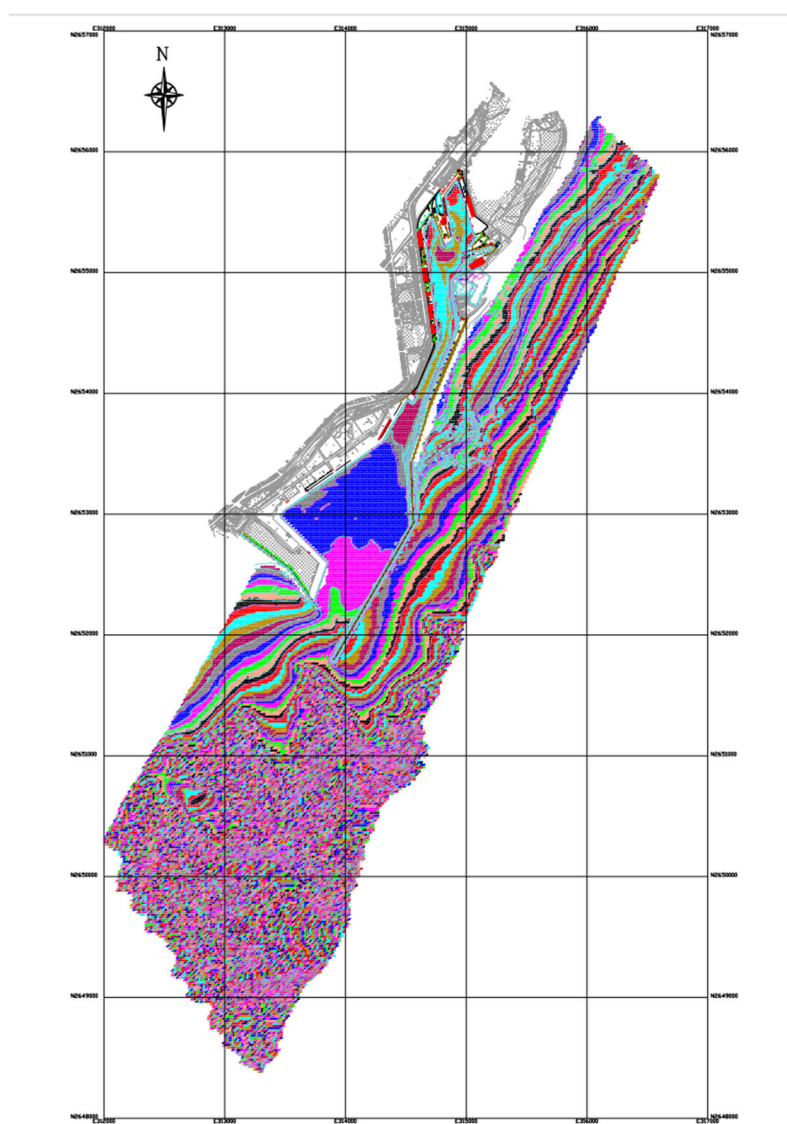


圖 8.11 花蓮港 2021 年第 2 次測量 1:5000 水深地形成果圖

8.2 花蓮港外廓防波堤越波分析理論

依據 8.1 節花蓮港新東堤標準斷面資訊得知，新東堤於直立堤海岸構造物。因此，本計畫將依據 EurOtop II (2018)內容中的第七章針對直立堤越波的計算方法進行花蓮港外廓防波堤越波計算。

防波堤堤身越波的現象可分為三種，一為堤前波浪為相對深水條件，此情形下越波量為最小者、二為堤前波浪有淺化影響但沒有堤面碎波也沒有衝擊波，此類越波量也不大、第三則為具有衝擊波現象具有最大越波量者。在此先導計畫判斷是否有明顯越波，本計畫則直接考慮最大越波計算。在作法上需要先確認是否有衝擊波出現，若出現衝擊波則接著計算越波量。

衝擊波判斷條件為

$$Cr = \frac{h^2}{H_{m0}L_{m-1,0}} \leq 0.23 \dots\dots\dots(8.1)$$

式中， h 為堤前水深； H_{m0} 為波譜的示性波高(spectral significant wave height)； $L_{m-1,0}$ 為使用平均週期計算的波長。

在衝擊波條件下，若使用於設計或評估時，對於較低之出水高 $0 \leq R_c / H_{m0} \leq 1.35$ ，直立堤越波量 q 計算為

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.0155 \left(\frac{H_{m0}}{h S_{m-1,0}} \right)^{0.5} \exp \left(-2.2 \frac{R_c}{H_{m0}} \right) \dots\dots\dots(8.2)$$

對於較高出水高 $R_c / H_{m0} \geq 1.35$ ，直立堤越波量計算為

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.0020 \left(\frac{H_{m0}}{h S_{m-1,0}} \right)^{0.5} \left(\frac{R_c}{H_{m0}} \right)^{-3} \dots\dots\dots(8.3)$$

式中， R_c 為堤頂的出水高(crest freeboard)； $S_{m-1,0}$ 為使用平均週期計算的波浪尖銳度，而計算越波量的信賴度(reliability)為 0.0045。

因此，當堤前波浪條件 H_{m0} 、 T_{m-1} 、潮位及堤前水深 h ，即可利用 (8.1)式判斷是否滿足衝擊波條件；若否則代表無越波狀態，反之為真則代表有越波，並進一步利用(8.2)式或(8.3)式計算越波量。

8.3 外廓防波堤越波分析系統建置

本計畫規劃整合臺海「港區近岸波浪模擬系統」(詳 2.3.2 節)及外廓防波堤越波分析模組，建構港區防波堤越波分析系統，如圖 8.12 所示。圖中遠域、近域及近海風浪模擬分別採用「臺海風浪模擬系統」的遠域模組、臺灣周圍海域近域風浪模組及花蓮海域近海風浪模組(詳 2.1.2 節)。

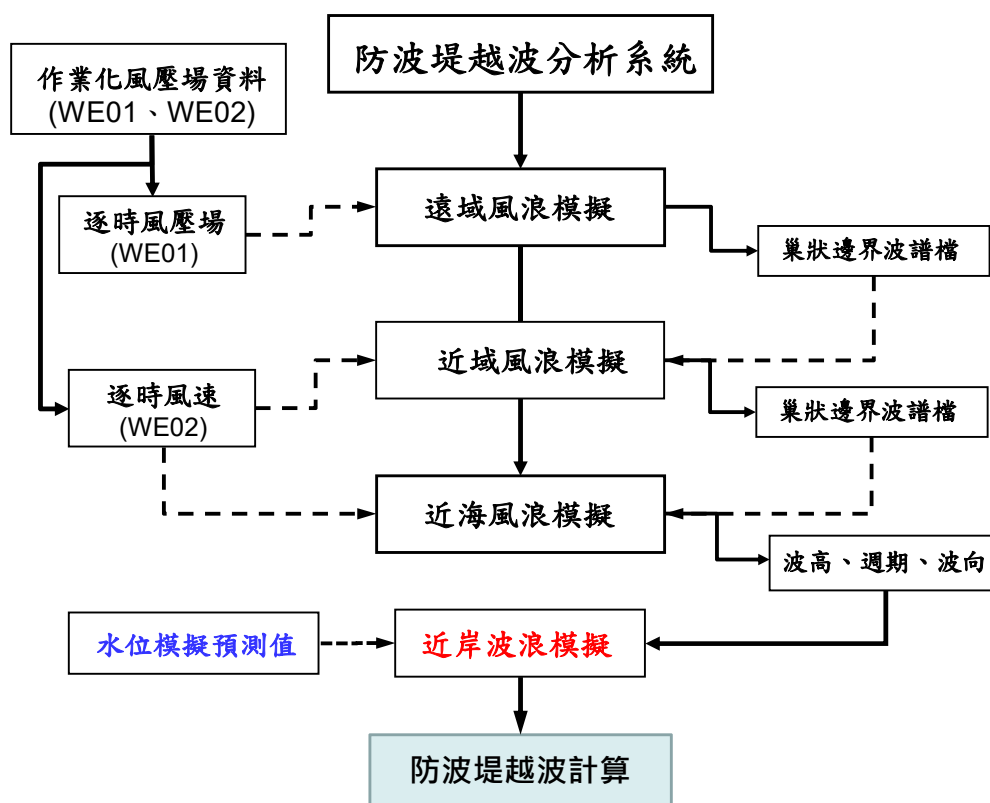


圖 8.12 花蓮港外廓防波堤越波分析系統整體架構圖

此系統先利用 TaiCOMS 風浪處理系統產出的每日 4 次作業化風壓場資料(WE01、WE02)，執行遠域、近域及近海三層巢狀網格花蓮港外海風浪模擬，並由花蓮海域近海風浪模擬產生花蓮港區近岸波浪模擬所需求之外海風浪入射波條件(H_{m0} 、 T_{m-1} 、 D_m ，此處暫以 T_p 取代 T_{m-1})。之後，由花蓮港區近岸波浪模組結合花蓮港天文潮潮位預測值執行花蓮港外海波浪場模擬；最後，依據花蓮港近岸波浪場模擬結果，分析新東堤堤前示性波高最大值及位置(決定堤前水深 h)，提供越波分析模組判斷是否會越波及計算越波量。

8.3.1 花蓮港外海風浪模擬

依據現行 TaiCOMS 2.0 海象模擬作業系統每日 4 次作業化模擬流程，建構每日 4 次花蓮港外海風浪模擬預測作業化程式，即利用「臺海風浪模擬系統」之遠域風浪模組、近域風浪模組及花蓮港海域風浪模組(詳 2.1.2 節)，執行每日 4 次花蓮港外海風浪模擬；每次作業化模擬時間長度為 54 小時(即 00~54 時)，其中前 6 小時為追算模擬，後 48 小時為預測模擬。因此，每次作業化模擬產出花蓮港外海風浪入射條件，如圖 8.13~圖 8.15 所示。圖 8.13~圖 8.15 代表 2021 年輕度颱風圓規期間，9 月 11 日 0 時系統對花蓮港外海風浪模擬預測結果，顯示花蓮港外海示性波高預測值接近 6.0 m，約出現於 9 月 12 日 7 時。

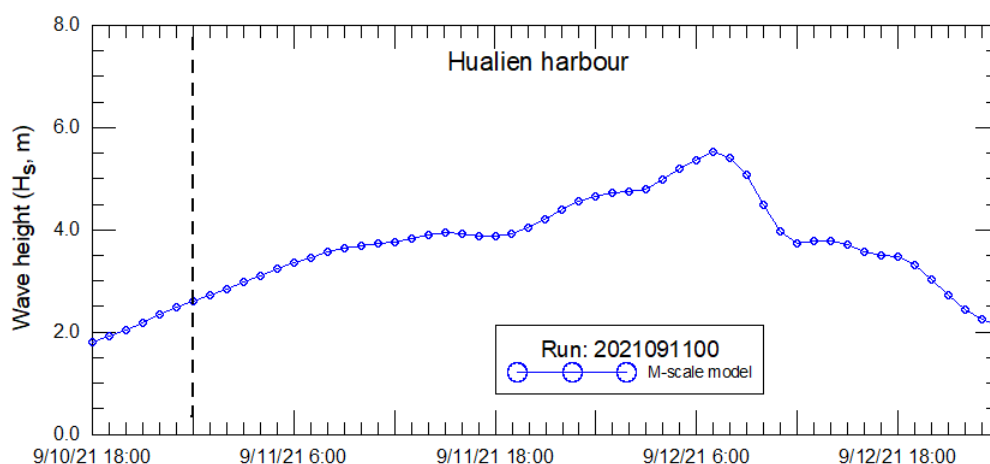


圖 8.13 花蓮港外海風浪示性波高逐時模擬預測歷線圖

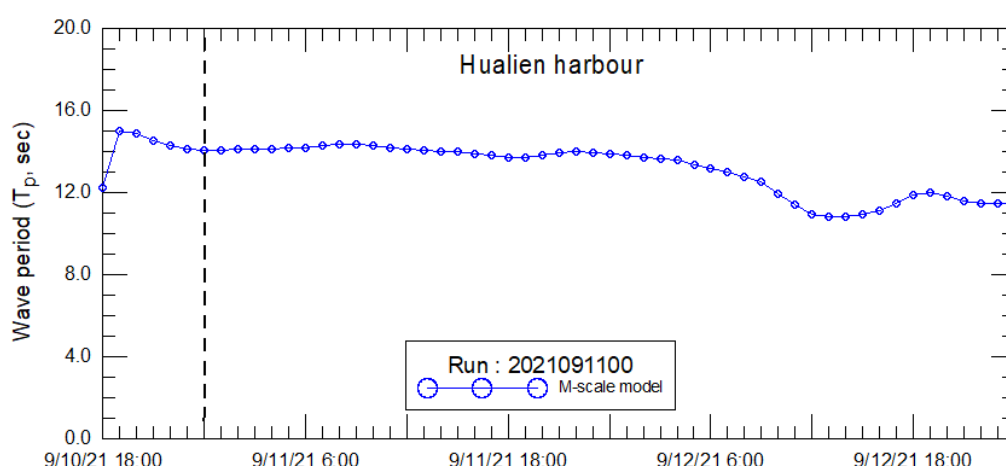


圖 8.14 花蓮港外海風浪譜峰週期逐時模擬預測歷線圖

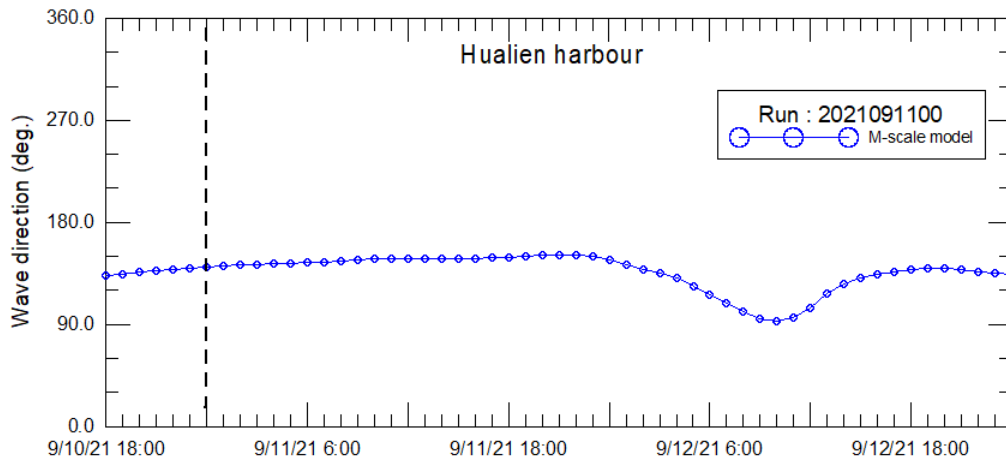


圖 8.15 花蓮港外海風浪平均波向逐時模擬預測歷線圖

8.3.2 花蓮港港區波浪模擬

本計畫花蓮港區近岸波浪模組之模擬範圍如圖 8.16 示，其中沿岸方向距離為 8,000m，離岸方向距離為 3,200m，外海邊界最大水深超過 150m。參考網格間距為 10m，網格大小為 321×801。數值模式採用具模擬波浪傳遞過程淺化、折繞射及碎波等現象之波浪模式(REF/DIF 1.0，詳附錄一)。

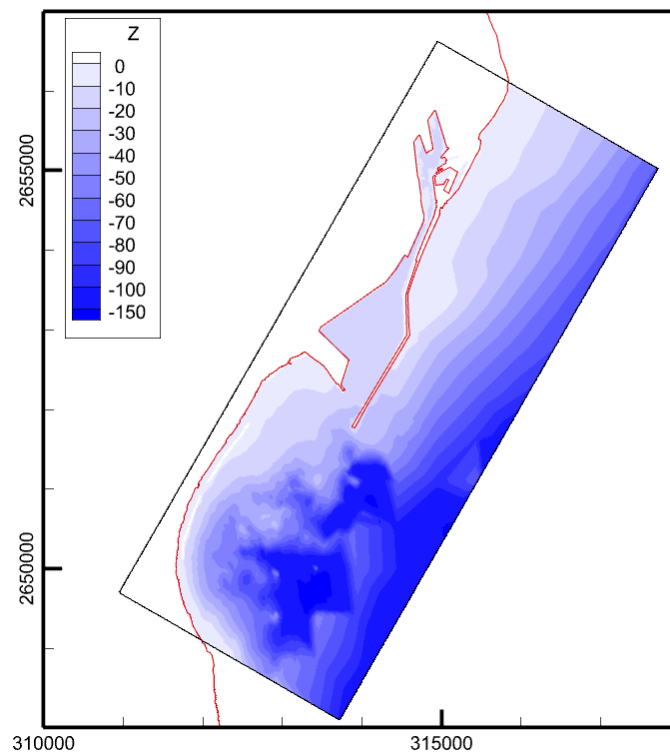


圖 8.16 花蓮港港區近岸波浪模組模擬範圍圖

同花蓮港外海風浪模擬作業化方式，花蓮港區近岸波浪場模擬每日執行 4 次，每次模擬過程近岸波浪模組將讀取花蓮港天文潮位預測值，如圖 8.17 所示，藉以修正模組之網格水深，以符合現場水深條件。例如，依據圖 8.13~圖 8.15 及圖 8.17 等模擬預測條件，系統模擬預測花蓮港近岸波浪場變化情形(間隔 6 小時)如圖 8.18~圖 8.27 所示，顯示新東堤段在堤頭附近受到海域地形急遽變化的影響，極易因波浪淺化及折射出現波浪集中波高變大現象。

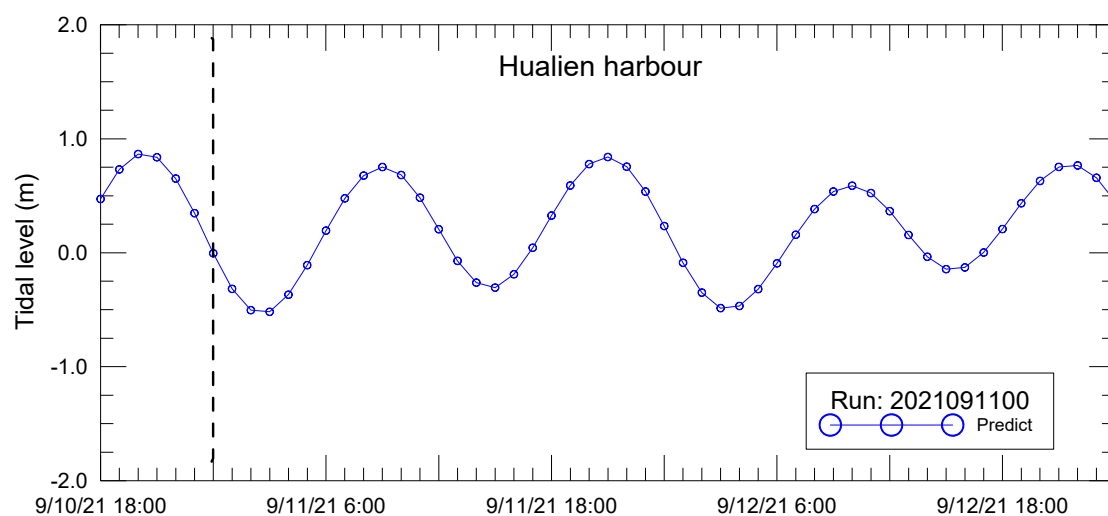


圖 8.17 花蓮港天文潮潮位逐時預測歷線圖

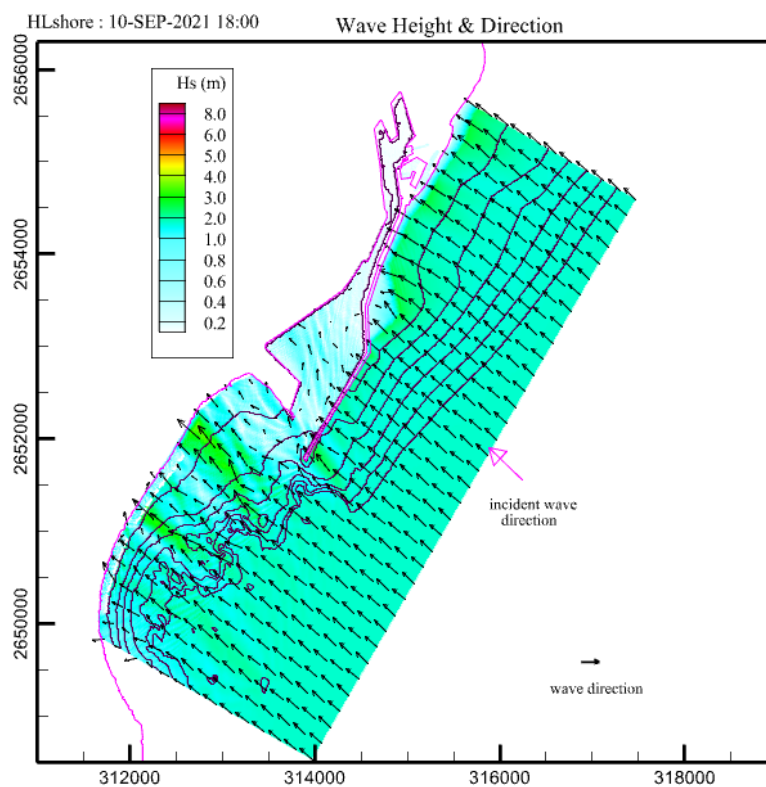


圖 8.18 花蓮港外波浪場 09/10 18 時波高分布及波浪傳遞方向圖

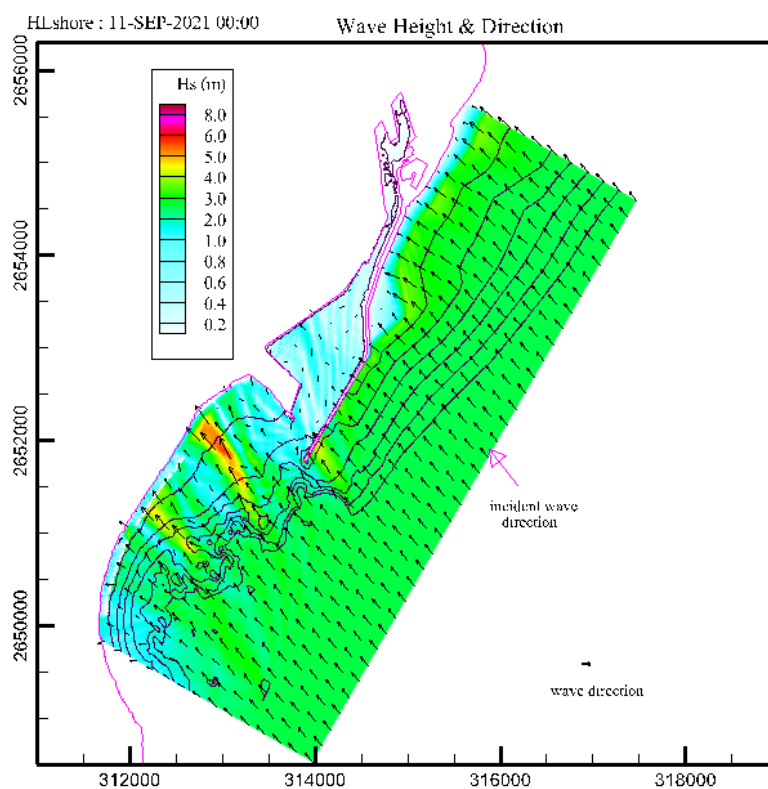


圖 8.19 花蓮港外波浪場 09/11 0 時波高分布及波浪傳遞方向圖

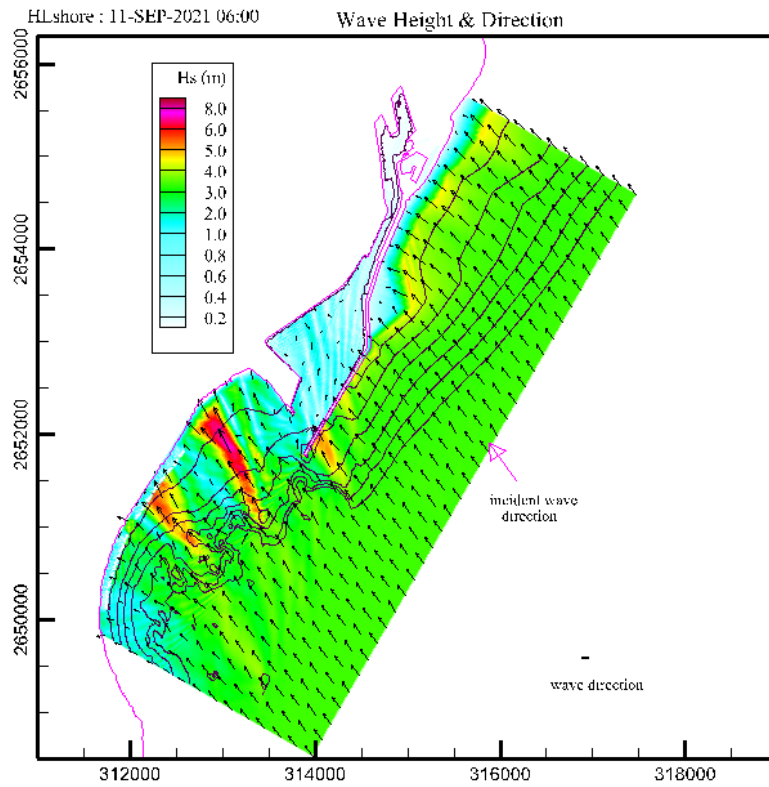


圖 8.20 花蓮港外波浪場 09/11 6 時波高分布及波浪傳遞方向圖

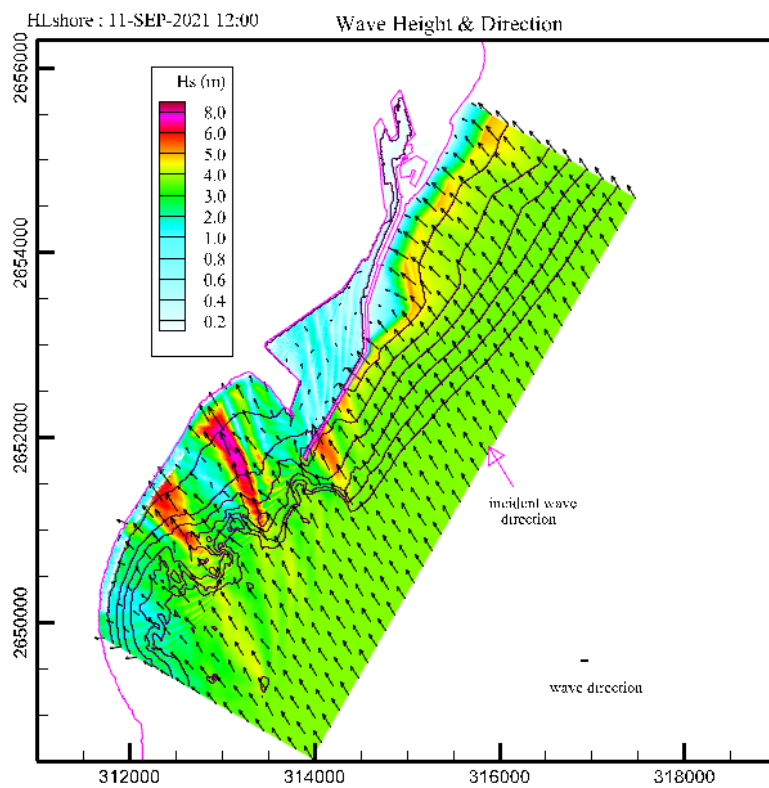


圖 8.21 花蓮港外波浪場 09/11 12 時波高分布及波浪傳遞方向圖

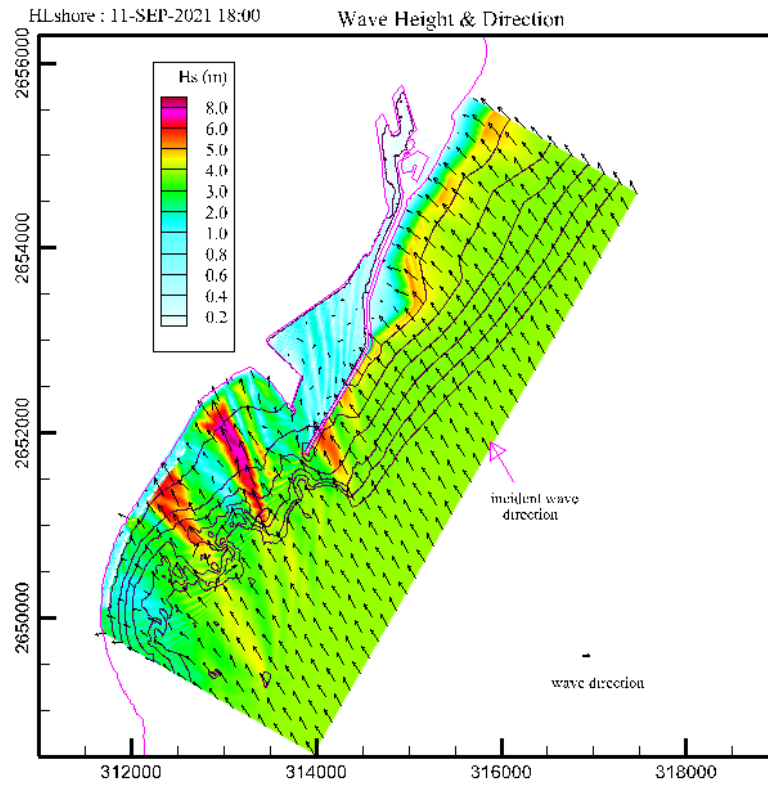


圖 8.22 花蓮港外波浪場 09/11 18 時波高分布及波浪傳遞方向圖

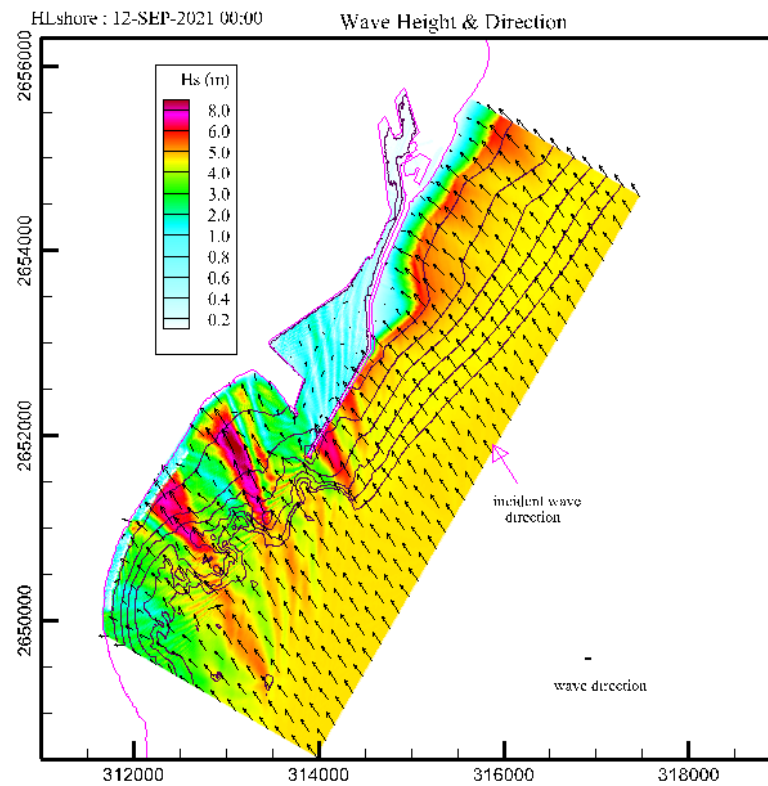


圖 8.23 花蓮港外波浪場 09/12 0 時波高分布及波浪傳遞方向圖

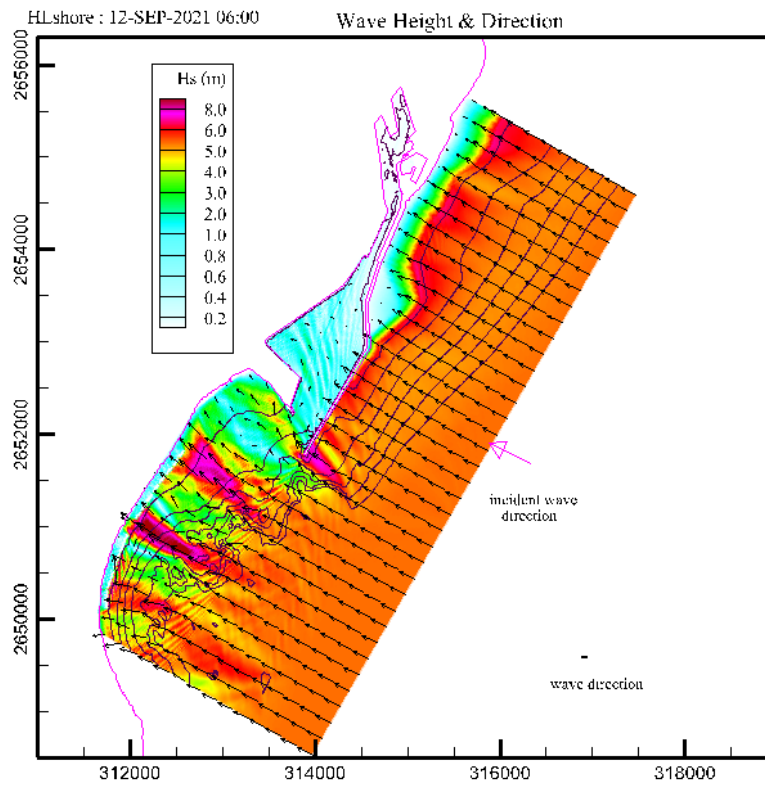


圖 8.24 花蓮港外波浪場 09/12 6 時波高分布及波浪傳遞方向圖

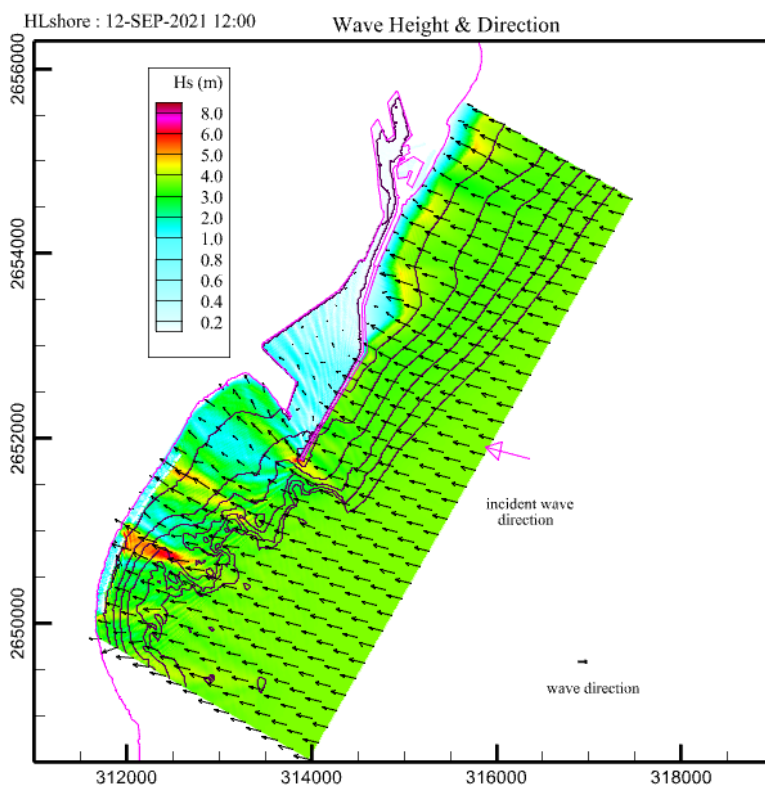


圖 8.25 花蓮港外波浪場 09/12 12 時波高分布及波浪傳遞方向圖

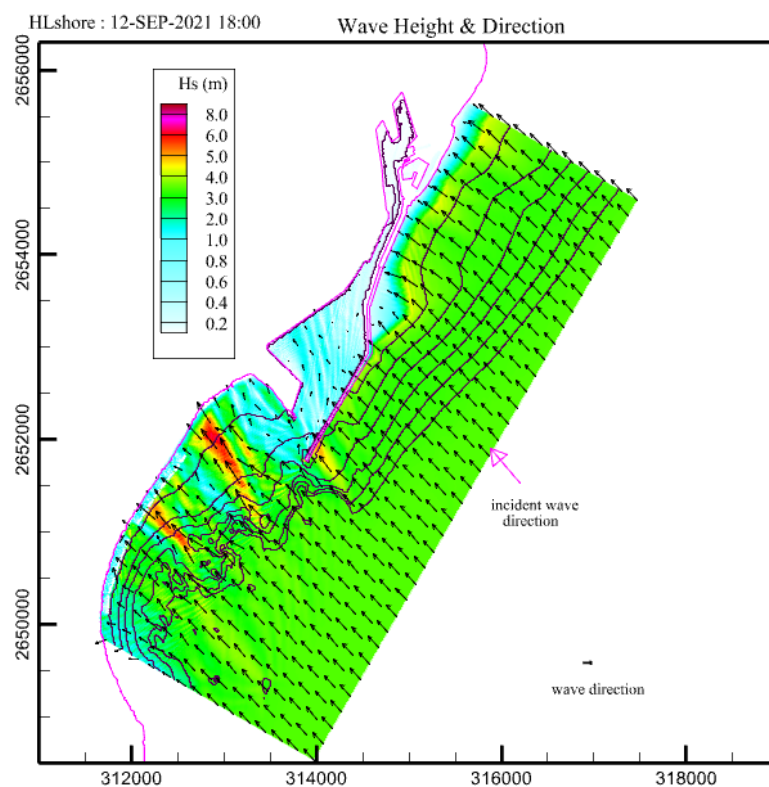


圖 8.26 花蓮港外波浪場 09/12 18 時波高分布及波浪傳遞方向圖

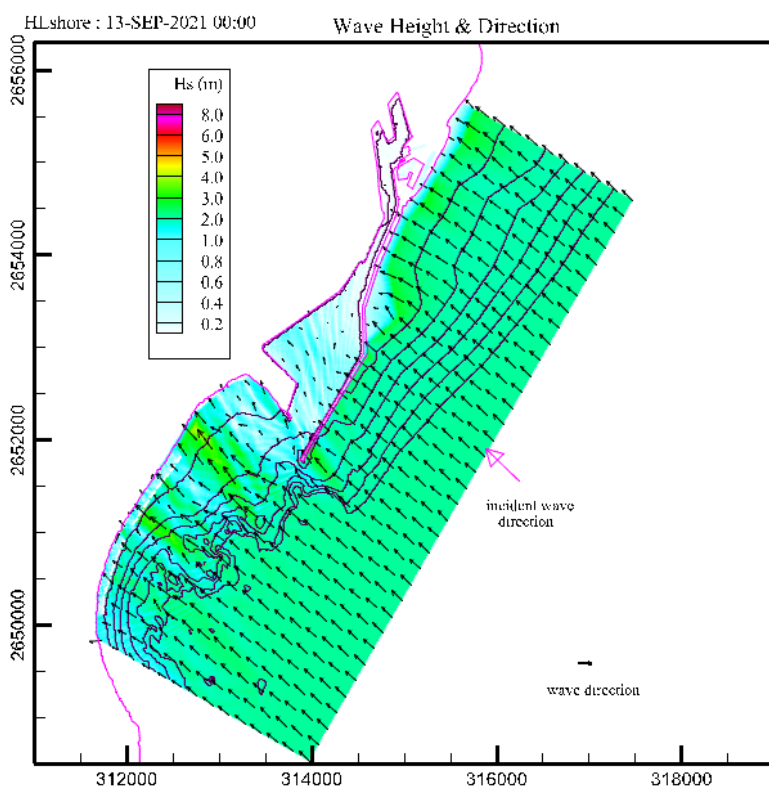


圖 8.27 花蓮港外波浪場 09/13 0 時波高分布及波浪傳遞方向圖

8.3.3 花蓮港新東堤段波浪越波分析

針對花蓮港外廓防波堤越波分析預測，本計畫規劃新東堤段 0k+500.6~1k+835 為系統越波分析預測之堤段，防波堤斷面如圖 8.28 所示，堤頂高程為 E.L. +10.5 m。花蓮港近岸波浪模組堤前波高計算範圍如圖 8.29 所示，圖中矩形範圍之參考網格坐標為(161, 341)-(167, 471)，約與防波堤堤線平行(即夾角約 0 度)。

本計畫越波分析模組將透過花蓮港近岸波浪場模擬預測結果，計算新東堤段 0k+500.6~1k+835 堤前逐時最大波高模擬預測值(H_{m0})及其水深值(h)、對應防波堤位置(L_B)，波浪週期(即入射波浪週期 T_p)、潮位高(花蓮港天文潮預測值)等資料，直接進行防波堤衝擊波越波分析。模組輸出結果主要包括堤前最大波高出現位置(L_B)、堤頂出水高與波高比值(R_c/H_{m0})、衝擊波判斷條件(Cr)及越波量(Qr)等，如圖 8.30 所示。圖 8.30 代表 2021 年圓規颱風期間，2021 年 9 月 11 日 0 時作業系統對新東堤 0k+500.6~1k+835 段越波分析預測結果，顯示預測期間堤前最大波高預測位置主要集中於防波堤前端 1k+500~1k+835，僅少數例外出現在 0k+500 附近；堤前最大波高極值約為 8.15m，發生時間為 12 日 7 時。由衝擊波分析結果顯示滿足衝擊波條件時間約落在 9 月 12 日 5 時至 13 時，此時單位寬度越波量分析最大值約 $0.231 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{m}$ ，發生時間為 12 日 7 時。

此外，由 9 月 10 日 12 時至 9 月 13 日 0 時堤前衝擊波越波分析預測案例得知，堤前波浪雖然滿足衝擊波形成條件(8.1)式，但越堤之越波量多寡則決定於堤頂出水高與波高比值(R_c/H_{m0})，當比值愈大越波量小，此時堤外衝擊波對港內安全影響甚微，如圖 8.31 所示。因此，對於外廓防波堤越波示警規劃，建議以採越波量為指標，依越波量多寡分級。例如 Qr 小於 0.01 為無害， Qr 大於 0.1 為危險， $0.01 \leq Qr \leq 0.1$ 可視為存在風險等。

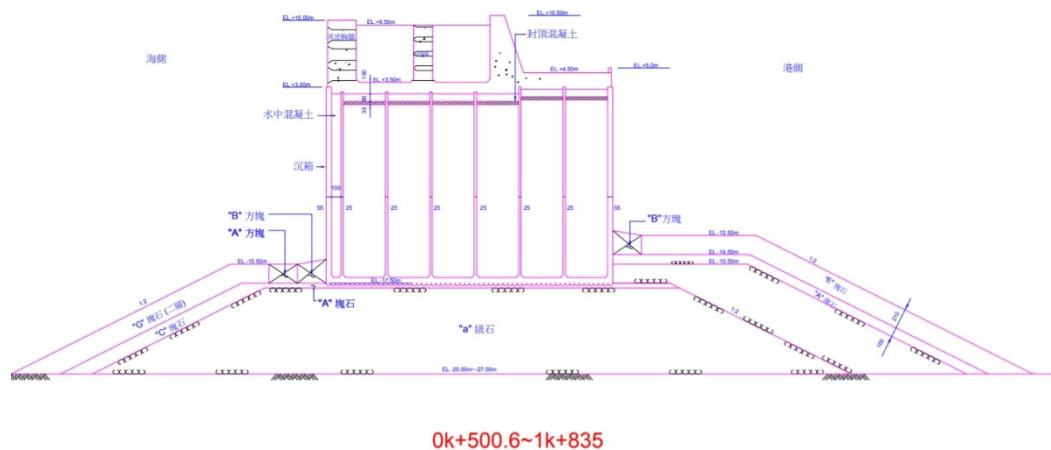


圖 8.28 新東堤(0k+500.6~1k+835.0)標準斷面圖

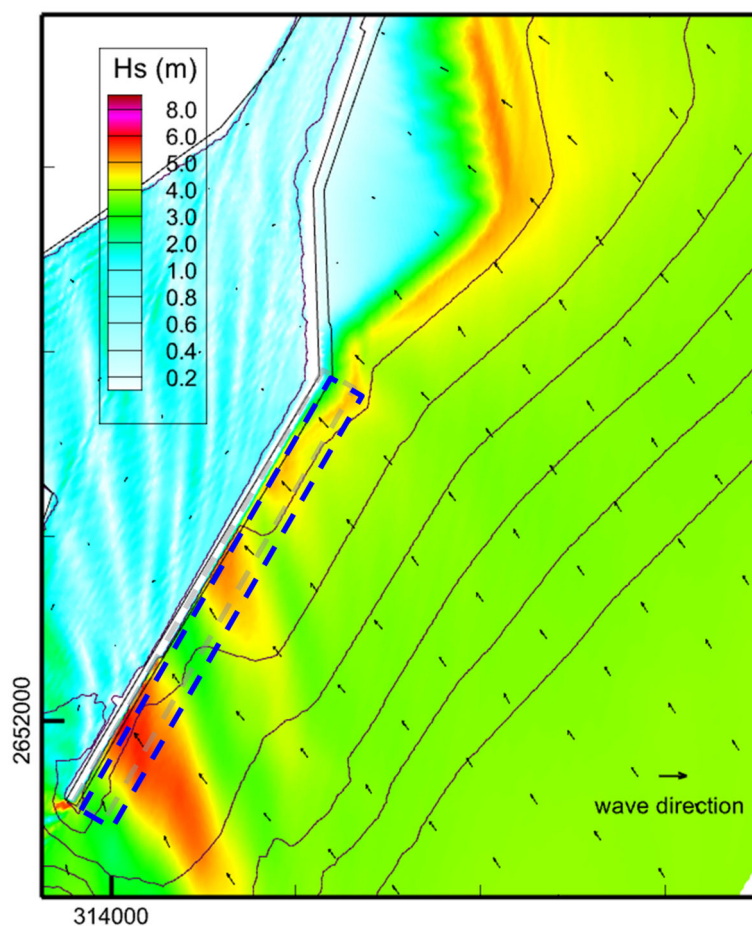


圖 8.29 新東堤 0k+500.6~1k+835.0 堤前最大波分析範圍示意圖

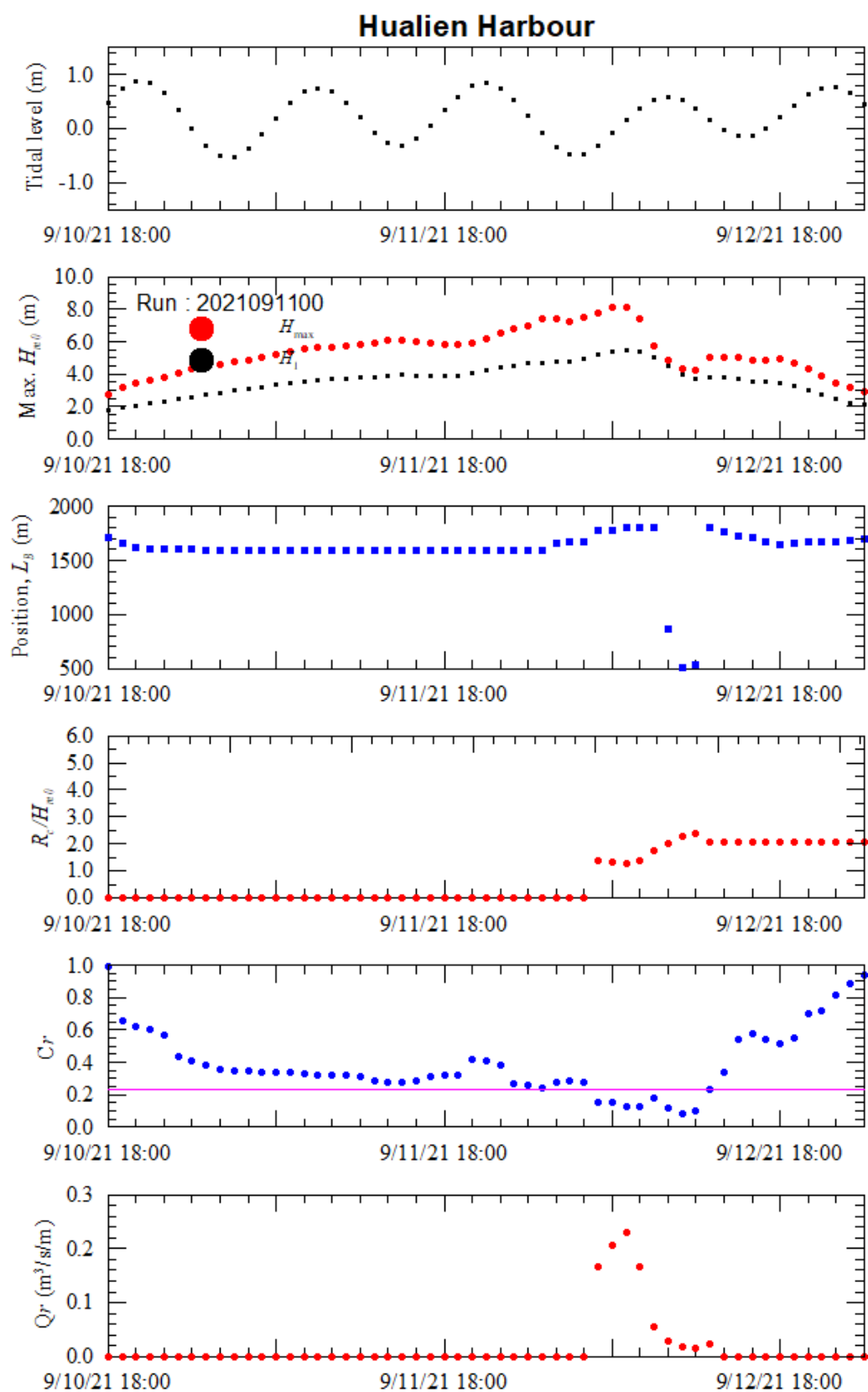


圖 8.30 新東堤 0k+500.6~1k+835.0 段 2021091100 越波分析成果圖

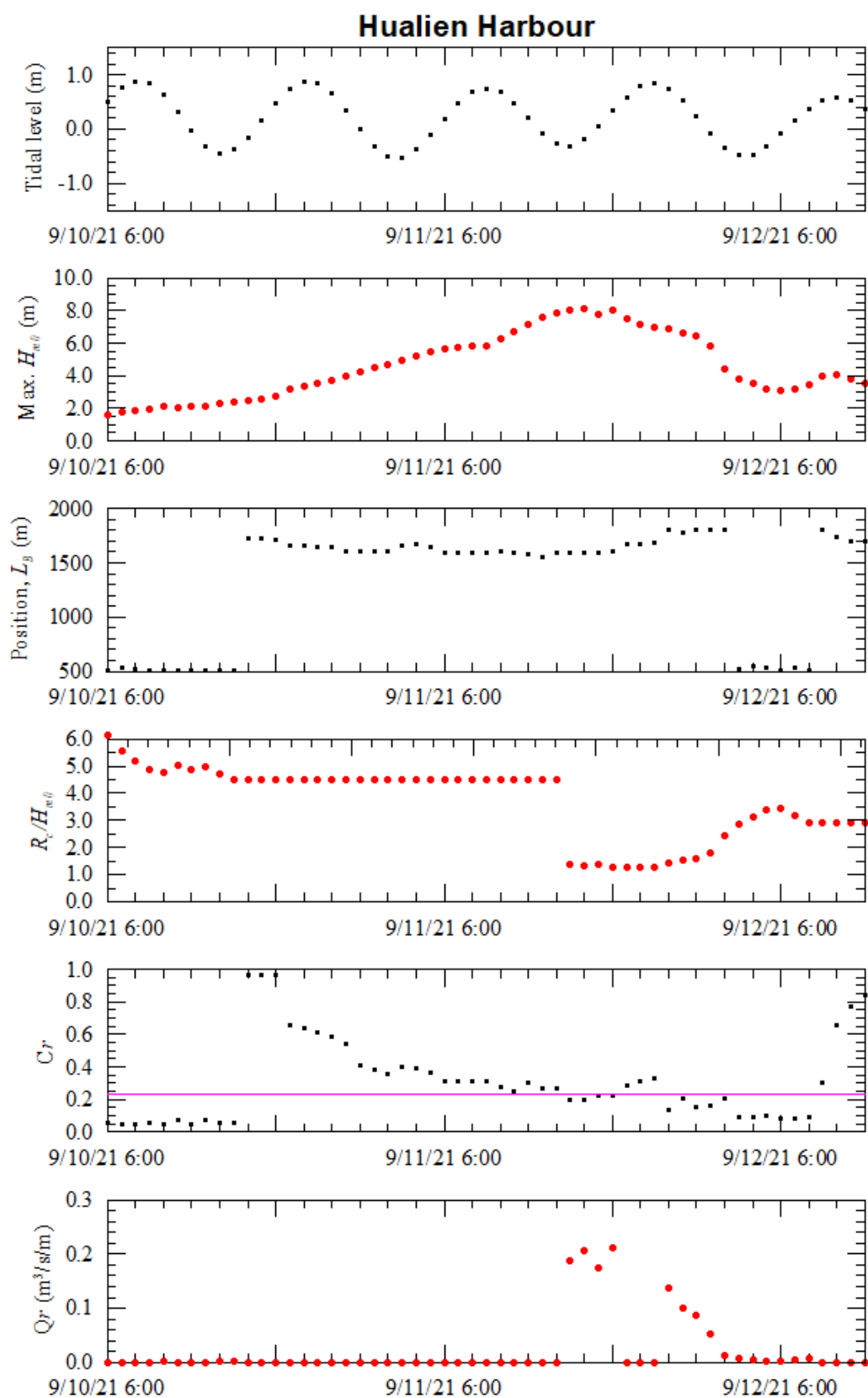


圖 8.31 新東堤 0k+500.6~1k+835.0 段 2021091012 越波分析成果圖

第九章 結論與建議

本計畫屬於交通部運輸研究所 111 年科技綱要計畫「陸運及港灣設施防災技術研究(1/4)」之分項計畫「港灣環境災防創新應用研究」下執行之子計畫。有關本年度於臺海暴潮模組辦理改善成果業已投稿運研所 111 年 6 月港灣季刊，計畫教育訓練配合運研所 111 年 11 月 4 日(星期五)辦理「111 年度港灣環境資訊網使用者說明會」，以「海象模擬功能提升及應用」為講題，視訊說明本年度計畫執行成果，後於 111 年 12 月 26 日(星期一)假臺灣港務股份有限公司基隆港務分公司第 2 會議室辦理「基隆港海象觀測及模擬計畫成果交流會」，與運研所會同說明基隆港海象觀測、港內波潮監測站等觀測系統，以及本計畫新建基隆海域、港域數值模組之初步模擬成果，進行成果行銷推廣活動並發布新聞稿，相關現場活動照片詳附錄八。

9.1 結論

1. 本年度(2021 年 9 月至 2022 年 8 月)維護記錄達 60 次，完善作業系統維運。
2. 本年度臺海暴潮模組改善成果顯示，臺北港、臺中港及布袋港等水位模擬值與觀測值之均方根誤差值有顯著降低現象。
3. 完成 Windows 作業系統「港區近岸波浪模擬系統」每日 4 次波浪模擬作業系統建置。
4. 氣象局 WRF 氣象場 M04 及 M05 差異分析結果顯示，二者產出的預報風壓場仍存一定程度的差異性，應視為 2 種作業化預報模組。
5. 完成臺灣周圍海域本年度冬季風浪模擬之校驗，選取花蓮港等 8 港口 1、2 月觀測資料，與本計畫中尺度臺灣周圍海域風浪模組每日四報作業化模擬結果進行評估。同時，本年度評估指標改以常態化均方根誤差(NRMSE)取代均方根誤差(RMSE)，整體上，冬季風浪模擬校驗結果以基隆海域最佳。
6. 在臺灣周圍海域水動力模擬與校驗方面，完成花蓮港、蘇澳港、

基隆港、臺北港、臺中港、布袋港、安平港及高雄港等港口，潮位觀測資料之調和分析，並預測 2022 年各港天文潮逐時水位資料，提供港研港灣環境資訊網展示；以臺灣周圍海域暴潮模組模擬 2022 年天文潮水位變化，與各港天文潮調和分析預測值比較結果，顯示臺北港、臺中港及布袋港等 3 港口有較大的均方根誤差值。

7. 在波浪、水位及流場等海象預測作業化成果評估方面，完成本年度(2021 年 9 月至 2022 年 8 月)海象作業化預測評估月報及年度評估報告，供港研中心內部參考。
8. 基隆海域風浪模組及基隆海域水動力模組分別完成納入海象模擬作業化系統，並持續進行測試與模擬結果校驗。
9. 完成基隆港靜穩模組之建置及測試並修正「港區靜穩模擬系統」作業化程式，以完善系統作業化模擬環境。
10. 利用直立堤衝擊波經驗公式發展花蓮港外廓防波堤越波模組，整合花蓮港區近岸波浪模擬系統進行作業化程序測試並上線，初步提供越波預警資訊。

9.2 建議

本年度新建「港區近岸波浪模擬系統」及「港區靜穩模擬系統」尚有後處理作業化程式待進行測試及除錯，因此建議可列為後續模組改善範疇。

9.3 預期效益與應用情形

本計畫成果效益如下：

1. 本計畫海象模擬作業系統(臺灣近岸海象預測系統 2.0)配合運研所 111 年度電腦軟、硬體設備更新，辦理各模式測試及上線工作，維護系統每日可以穩定提供各商港海氣象資料於「港灣環境資訊網」即時展示。
2. 「臺灣近岸海象預測系統 2.0」每日提供 4 次海象模擬預測資訊，不僅達到海象模擬預測能力升級目的，亦使「港灣環境資訊系統」

平台完成每 6 小時更新海象模擬預測資訊目標，提升「港灣環境資訊網」使用率。

3. 本計畫海象模擬作業系統原僅提供未來 2 日風速預測資訊，經本年度完成風場處理系統改善工作後，可於「港灣環境資訊網」即時展示未來 5 日風速預測資訊供外界查詢，俾利港務公司辦理船舶進出港管制執行工作。
4. 針對東部海岸公路浪襲系統外海邊界提供較精細的小尺度風浪模擬預測條件，有助提升海岸公路浪襲系統預警及預測成功機率。
6. 建置完成之基隆港區靜穩模擬模組後續將與本計畫海象模擬作業系統銜接，提供未來 2 日港內波高分布預測資訊，可做為港域內船舶與裝卸業者預警資訊以增進港區營運作業安全。
7. 建置完成之花蓮港外廓防波堤越波模組後續將與本計畫海象模擬作業系統銜接，提供未來 2 日越波預測分析，可做為港務公司辦理港區防波堤管理與開放海釣之依據。
8. 本計畫海氣象模擬預測成果均整合並即時展示於運研所「港灣環境資訊網」，平日供航港局、港務公司及縣市政府辦理港口船舶交通、航運安全管理使用，於颱風期間或面臨緊急海難及各種海岸災害(包括海岸公路)等防救時，亦可迅速提供海情資訊供航港局、港務公司及公路總局作防災應變使用。

參考文獻

1. Battjes, J.A. and J.P.F.M. Janssen, Energy loss and set-up due to breaking of random waves, Proc. 16th Int. Conf. Coastal engineering, ASCE, pp.569-587, 1978.
2. Booij, N., Gravity waves on water with non-uniform depth and current, Report No 81-1, Department of Civil Engineering, Delft Univ. of Technology, Delft, The Netherland, 1981.
3. Booij, N., L.H. Holthuijsen and R.C. Ris, The "SWAN" wave model for shallow water, Proc. 25th Int. Conf. Coastal Engng., Orlando, pp.668-676, 1996.
4. Booij, N., L.H. Holthuijsen and IJ.G. Haagsma, Comparing the secondgeneration HISWA wave model with the third-generation SWAN wave model, 5th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, Melbourne, Florida, pp.215-222, 1998.
5. Booij, N., J.G. Haagsma, L.H. Holthuijsen, A.T.M.M. Kieftenburg, R.C. Ris, A.J. van der Westhuysen, M. Zijlema, SWAN Cycle III version 40.41 USER MANUAL, Delft University of Technology, 2004.
6. Connor, J. and J. Wang, Finite Element Modeling of Hydrodynamic Circulation, in Numerical Methods in Fluid Dynamics, ed. By Brebbia and Connor, Pentech Press, 1974.
7. Dingemans, M.W., Water wave propagation over uneven bottoms. Part 1 –linear wave propagation, Advanced Series on Ocean Engineering, 13, World Scientific, 471 p., 1997.
8. EurOtop, Manual on wave overtopping of sea defences and related structures, 2nd edition, 2018.

9. Hasselmann, K., On the spectral dissipation of ocean waves due to whitecapping, *Bound.-layer Meteor.*, 6, 1-2, pp.107-127, 1974.
10. Holthuijsen, L.H., N. Booij, R. Ris, J.H. Andorka Gal and J.C.M. de Jong, 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*, pp.49-63, 1997.
11. Kirby, J.T., Rational approximations in the parabolic equation method for water waves, *Coastal Eng.*, Vol.10, pp.355-378, 1986.
12. Kirby, J.T. and R.A. Dalrymple, A parabolic equation for combined refraction- diffraction of Stokes waves by mildly varying topography, *J. Fluid Mech.*, Vol.136, pp.219-232, 1983.
13. Komen, G.J., L. Cavaleri, M. Donelan, K. Hasselmann, S. Hasselmann, and P.A.E.M. Janssen, *Dynamics and modeling of Ocean Waves*, Cambridge Univ. Press, Cambridge UK, 1994.
14. Matsumoto, K., T. Takanezawa, and M. Ooe, Ocean tide models developed by assimilating TOPEX/POSEIDON altimeter data into hydrodynamical model: A global model and a regional model around Japan, *J. Oceanogr.*, Vol.56, pp.567-581, 2000.
15. Mei, C.C., *The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves*, John Wiley, New York, 1983.
16. Miles, J.W., On the generation of surface waves by shear flows, *J. Fluid Mech.*, Vol.3, pp.185–204, 1957.
17. Phillips, O.M., On the generation of waves by turbulent wind, *J. Fluid Mech.*, Vol.2, pp.417–445, 1957.
18. Radder, A.C., On the parabolic equation method for water-wave propagation, *J. Fluid. Mech.*, Vol.95, pp.159-176, 1979.

19. 1. Van der Meer, J.W. and J.P.F.M. Janssen, Wave run-up and overtopping, in: Wave Forces on Inclined and Vertical Wall Structures, ASCE, Ed. N. Kobayashi and Z. Demirbilek, Ch.8, p.1-15, 1995.
20. WAMDI group, The WAM model – a third generation ocean wave prediction model, J. Phys. Oceanogr., Vol.18, pp.1775–1810, 1988.
21. Whitham, G.B., *Linear and nonlinear waves*, Wiley, New York, 636 p., 1974
22. 陳明陀，直立堤之反射率、波壓及越波量之研究，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文，1999。
23. 歐善惠、許泰文、臧效義、方介群、廖建明，「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，1999年。
24. 黃正欣和林國欽，越波時直立堤之越波量、反射率及波壓之研究，第22屆海洋工程研討會論文集，國立中山大學，p.249-256, 2000。
25. 歐善惠、許泰文、臧效義、廖建明、方介群，「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，臺北，183頁-188頁，2000年。
26. 李忠潘、陳陽益、邱永芳、許泰文、張憲國、薛憲文、王兆璋、劉景毅、于嘉順、蘇青和、陳冠宇、廖建明、劉正琪、錢維安、許友貞、余孟娟，規劃海象觀測網、暴潮數值最佳網格化系統，交通部運輸研究所，2004年3月。
27. 李忠潘、陳陽益、邱永芳、于嘉順、許泰文、王兆璋、張憲國、劉景毅、蘇青和、簡仲璟、薛憲文、廖建明、劉正琪、江朕榮、尤皓正、錢維安、許友貞、莊曜陽，近岸數值模擬系統之建立(1/4)，交通部運輸研究所，2005年4月。

28. 李忠潘、陳陽益、于嘉順、王兆璋、薛憲文、張憲國、林炤圭、劉正琪、許泰文、莊曜陽，近岸數值模擬系統之建立(2/4)，交通部運輸研究所，2005年12月。
29. 李忠潘、邱永芳、陳陽益、于嘉順、蘇青和、劉正琪、林炤圭、張憲國、王兆璋，近岸數值模擬系統之建立(3/4)，交通部運輸研究所，2007年4月。
30. 李忠潘、陳陽益、邱永芳、蘇青和、劉正琪、于嘉順、林炤圭、張憲國、薛憲文、王兆璋、陳明宗、李俊穎，近岸海象數值模擬及預警系統之建立(1/4)，交通部運輸研究所，2008年3月。
31. 邱永芳、蘇青和、李忠潘、劉正琪、于嘉順、陳陽益、林炤圭、江朕榮、李俊穎、陳明宗，近岸海象數值模擬及預警系統之建立(2/4)，交通部運輸研究所，2009年4月。
32. 林炤圭、劉正琪、邱永芳、蘇青和、陳明宗、李俊穎、林莉凰，近岸海象數值模擬及預警系統之建立(3/4)-波浪部份，交通部運輸研究所，2010年5月。
33. 林炤圭、劉正琪、邱永芳、蘇青和、陳明宗、李俊穎、林莉凰，近岸海象數值模擬及預警系統之建立(4/4)-波浪部份，交通部運輸研究所，2011年4月。
34. 李兆芳、劉正琪、邱永芳、蘇青和、陳明宗、李俊穎、高政宏、林莉凰，「近岸海象數值模擬及預警系統之建立(3/4)—水動力部份」，交通部運輸研究所研究報告，2010年4月。
35. 李兆芳、劉正琪、邱永芳、蘇青和、陳明宗、李俊穎、高政宏、林莉凰，「近岸海象數值模擬及預警系統之建立(4/4)—水動力部份」，交通部運輸研究所研究報告，2011年4月。
36. 廖建明、莊文傑、許泰文、何興亞，「台灣西南海域海潮流模擬與特性探討」，第32屆海洋工程研討會論文集，第521-526 頁，2010年。

37. 顏沛華、蔡宗旻、莊文傑、謝東發、林明毅，「直接應用NAO99b全球潮汐模式預報臺灣環島沿岸潮位之適用性評估」，第32屆海洋工程研討會論文集，第659-664 頁，2010年。
38. 邱永芳、李兆芳、蘇青和、陳明宗、劉正琪、李俊穎、涂力夫、高政宏、鄭宇君、陳宜芝，「提昇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，2012年3月。
39. 邱永芳、劉正琪、蘇青和、陳明宗、李俊穎、胡凱程、鄭博今，「提昇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，2012年3月。
40. 邱永芳、蘇青和、李俊穎、李兆芳、劉正琪、陳冠宇、李忠潘、曾以帆，「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，2012年4月。
41. 李兆芳、邱永芳、蘇青和、陳明宗、劉正琪、李俊穎、涂力夫、高政宏，「提昇海岸及港灣海域水位與海流模擬技術之研究(2/4)」，交通部運輸研究所，2013年2月。
42. 劉正琪、邱永芳、蘇青和、陳明宗、李俊穎、鄭博今、陳信宏，「提昇海岸及港灣海域波浪模擬技術之研究(2/4)」，交通部運輸研究所，2013年2月。
43. 邱永芳、蘇青和、李俊穎、李兆芳、劉正琪、陳冠宇、李忠潘、曾以帆，「整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究(2/4)」，交通部運輸研究所，2013年2月。
44. 劉正琪、邱永芳、李兆芳、蘇青和、陳明宗、李俊穎、涂力夫、鄭博今，「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，2014年3月。
45. 邱永芳、蘇青和、李俊穎、李兆芳、劉正琪、陳冠宇，「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，2014年4月。

46. 李兆芳、邱永芳、劉正琪、蘇青和、陳明宗、李俊穎、涂力夫、謝佳紘，「臺灣主要商港海象模擬技術之精進及系統維運」，交通部運輸研究所，2015年3月。
47. 邱永芳、蘇青和、李俊穎、李兆芳、劉正琪、陳冠宇、陳明宗、單誠基、謝佳紘，「整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究(4/4)」，交通部運輸研究所，2015年3月。
48. 李兆芳、邱永芳、劉正琪、蘇青和、陳明宗、李俊穎、唐宏結、江朕榮、謝佳紘，「海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運」，交通部運輸研究所，2016年3月。
49. 邱永芳、蘇青和、李俊穎、李兆芳、劉正琪、陳冠宇、陳明宗、單誠基、謝佳紘，「港灣海氣象模擬暨溢淹資訊建置之研究(1/2)」，交通部運輸研究所，2016年5月。
50. 李兆芳、邱永芳、劉正琪、蘇青和、陳明宗、李俊穎、江朕榮、謝佳紘，「105年海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運」，交通部運輸研究所，2017年3月。
51. 邱永芳、蘇青和、李俊穎、李兆芳、劉正琪、陳冠宇、陳明宗、單誠基、謝佳紘，「港灣海氣象模擬暨溢淹資訊建置之研究(2/2)」，交通部運輸研究所，2017年4月。
52. 邱永芳、蘇青和、李俊穎、謝佳紘，「港灣海象模擬技術及作業系統之研究(2/2)」，交通部運輸研究所，2017年4月。
53. 邱永芳、李兆芳、劉正琪、蘇青和、陳明宗、李俊穎、謝佳紘、江朕榮，「港灣海象模擬技術及預警系統研發」，交通部運輸研究所，2018年3月。
54. 蘇青和、李兆芳、劉正琪、陳明宗、李俊穎、謝佳紘、江朕榮，「107年海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運」，交通部運輸研究所，2019年2月。

55. 李兆芳、劉正琪、傅怡釗、李俊穎、蘇青和、謝佳紘、江朕榮，「108年海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運」，交通部運輸研究所，2020年2月。
56. 李俊穎、傅怡釗、劉清松、陳鈞彥、謝佳紘，「港灣風波潮流模擬及長浪預警之研究(2/4)-模擬評估及長浪預報研究」，交通部運輸研究所，2020年2月。
57. 劉正琪、李兆芳、傅怡釗、李俊穎、謝佳紘、江朕榮，「109年海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運」，交通部運輸研究所，2021年2月。
58. 李俊穎、傅怡釗、劉清松、陳鈞彥、謝佳紘、鄭采誼，「港灣風波潮流模擬及長浪預警之研究(3/4)-模擬評估及港內靜穩研究」，交通部運輸研究所，2021年2月。
59. 劉正琪、林雅雯、傅怡釗、李兆芳、謝佳紘、江朕榮，「110年海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運」，期末報告，2022年3月。
60. 傅怡釗、林雅雯、劉清松、陳鈞彥、謝佳紘、鄭采誼，「港灣風波潮流模擬及長浪預警之研究(4/4)-模擬評估及港內靜穩研究」，交通部運輸研究所，2022年3月。
61. 劉正琪、傅怡釗、李兆芳、林雅雯、謝佳紘，2022，「臺灣周圍海域水位模擬改善研究」，港灣季刊，122，1-15頁。

附錄一

相關波浪模式基本理論介紹

附錄一 相關波浪模式基本理論介紹

臺灣環島海象預報系統(TaiCOMS)波浪模擬採用的波浪模式之基本理論介紹。

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：

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{C}_g F) = S \quad (1.1)$$

式中 $F = F(f, \theta, \vec{x}, t)$ 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(1.1)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：

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{\cos \phi} \frac{\partial}{\partial \phi} (C_\phi F) + \frac{\partial}{\partial \lambda} (C_\lambda F) + \frac{\partial}{\partial \theta} (C_\theta F) = S \quad (1.2)$$

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：

$$C_\phi = \left| \vec{C}_g \right| \frac{\sin \theta}{R} \quad (1.3)$$

$$C_\lambda = \left| \vec{C}_g \right| \frac{\cos \theta}{R} \quad (1.4)$$

$$C_{\theta} = \frac{1}{k} \frac{\partial \omega}{\partial d} \left(\frac{\sin \theta}{\cos \phi} \frac{\partial d}{\partial \lambda} - \cos \theta \frac{\partial d}{\partial \phi} \right) / R \dots\dots\dots (1.5)$$

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

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{dis} + S_{bot} \dots\dots\dots (1.6)$$

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：

$$S_{in} = \gamma \cdot F \dots\dots\dots (1.7)$$

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

$$\gamma = \varepsilon \omega \beta (u_*/c)^2 \cos^2(\bar{\theta} - \theta_w), \quad |\bar{\theta} - \theta_w| < \pi/2 \dots\dots\dots (1.8)$$

式中 ε 為空氣與水之密度比率($=1.225 \times 10^{-3}$)， 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)， $\bar{\theta}$ 為平均波向(指波浪傳播方向)， θ_w 為平均風向。另依據 Janssen (1991)之研究得知，Miles 常數 β 可由下列表示式計算得到

$$\beta = \frac{1.2}{\kappa^2} \mu \ln^4(\mu), \quad \mu \leq 1.0 \dots\dots\dots (1.9)$$

其中

$$\mu = \left(\frac{u_*}{\kappa c} \right) \left(\frac{gz_0}{u_*^2} \right) \exp \left[\left(\frac{\kappa c}{u_*} \right) \frac{1}{\cos(\theta - \theta_w)} \right] \dots\dots\dots (1.10)$$

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：

$$z_0 = \frac{\alpha \tau}{g} \dots\dots\dots (1.11)$$

$$\alpha = \frac{\hat{\alpha}}{\sqrt{1 - (\tau_w / \tau)}} \dots\dots\dots (1.12)$$

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

$$\tau = u_*^2 = \left(\frac{\kappa U(z_{obs})}{\ln(z_{obs} / z_0)} \right)^2 \dots\dots\dots (1.13)$$

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

$$\tau_w = 2\pi \varepsilon^{-1} g \int df d\theta \cdot S_{in} \vec{k} \dots\dots\dots (1.14)$$

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

$$S_{dis} = \gamma_{ds} \cdot F \dots\dots\dots (1.15)$$

其中

$$\gamma_{ds} = -C_{ds} \langle \omega \rangle \left[\langle k \rangle^2 E \right]^{\frac{1}{2}} \left[\frac{k}{\langle k \rangle} + \left(\frac{k}{\langle k \rangle} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (1.16)$$

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

$$E = \iint F(f, \theta) df \cdot d\theta \dots\dots\dots (1.17)$$

$$\langle \omega \rangle = E \left\{ \iint F(f, \theta) (2\pi f)^{-1} df \cdot d\theta \right\}^{-1} \dots\dots\dots (1.18)$$

$$\langle k \rangle = E \left\{ \iint F(f, \theta) k^{-1} df \cdot d\theta \right\}^{-1} \dots\dots\dots (1.19)$$

關於底床摩擦引起的能量損失項 S_{bot} ，其計算如下：

$$S_{bot} = -C_{bot} \frac{k \tanh(kd)}{g \sinh^2(kd)} F \dots\dots\dots (1.20)$$

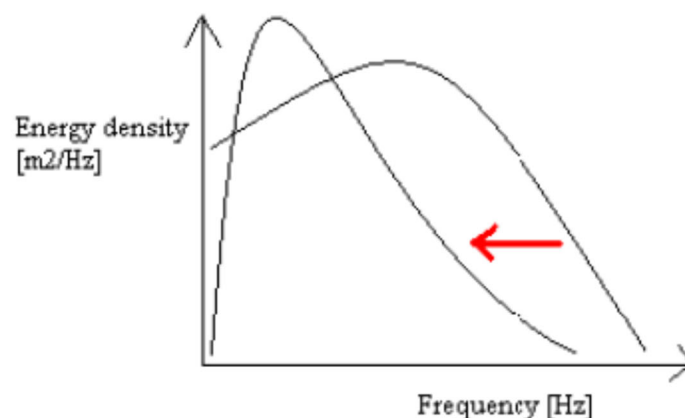
式中 g 為重力加速度， k 為波數， d 為水深， C_{bot} 為底床摩擦係數；在 WAM 模式中對於床摩擦係數 C_{bot} 值建議採用 Hasselmann 等人 (1973) 在湧浪的條件下以 JONSWAP 的實驗求得之底床摩擦係數 $C_{bot}=0.038\text{m}^2\text{s}^{-3}$ 。

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，如附圖 1.1 所示。當紛紜波浪中存在有四組波浪滿足下列共振(resonant)條件(1.21a,b)式時，則此四組波浪會產生能量之交換。

$$\vec{k}_1 + \vec{k}_2 = \vec{k}_3 + \vec{k}_4 \dots\dots\dots(1.21a)$$

$$\omega_1 + \omega_2 = \omega_3 + \omega_4 \dots\dots\dots(1.21b)$$

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)。



附圖 1.1 波浪能量由高頻向低頻傳遞之示意圖

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空間領域之傳遞、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(1.22)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。

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{\bar{S}}{\sigma} \dots\dots\dots (1.22)$$

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

$$c_x = \frac{dx}{dt} = C_g \cos \theta + U_x \dots\dots\dots (1.23)$$

$$c_y = \frac{dy}{dt} = C_g \sin \theta + U_y \dots\dots\dots (1.24)$$

$$c_\theta = \frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{k} \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left(\sin \theta \frac{\partial d}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial d}{\partial y} \right) + \left(\sin \theta \frac{\partial U_s}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial U_s}{\partial y} \right) \dots\dots\dots (1.25)$$

$$c_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left(\frac{\partial d}{\partial t} + U_x \frac{\partial d}{\partial x} + U_y \frac{\partial d}{\partial y} \right) - C_g k \left(\cos \theta \frac{\partial U_s}{\partial x} + \sin \theta \frac{\partial U_s}{\partial y} \right) \dots\dots\dots (1.26)$$

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(1.22)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(1.22)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。

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：

$$\begin{aligned} (C_g + U_x)A_x + U_y A_y + i(\bar{k} - k)(C_g + U_x)A + \frac{\sigma}{2} \left\{ \left(\frac{C_g + U_x}{\sigma} \right)_{,x} + \left(\frac{U_y}{\sigma} \right)_{,y} \right\} A \\ - \frac{i}{2\sigma} [(p - U_y^2)A_y]_{,y} - \sigma \frac{k^2}{2} D|A|^2 A = 0 \end{aligned} \quad (1.27)$$

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

$$D = \frac{\cosh(4kh) + 8 - 2 \tanh^2(kh)}{8 \sinh^4(kh)} \dots\dots\dots (1.28)$$

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：

$$\begin{aligned} & (C_g + U_x)A_x - 2\Delta_1 U_y A_y + i(\bar{k} - a_0 k)(C_g + U_x)A + \left\{ \frac{\sigma}{2} \left(\frac{C_g + U_x}{\sigma} \right)_{,x} - \Delta_1 \sigma \left(\frac{U_y}{\sigma} \right)_{,y} \right\} A \\ & + i\Delta_3 \left[(p - U_y^2) \left(\frac{A}{\sigma} \right)_{,y} \right]_{,y} - i\Delta_1 \left\{ \left[U_x U_y \left(\frac{A}{\sigma} \right)_{,y} \right]_{,x} + \left[U_x U_y \left(\frac{A}{\sigma} \right)_{,x} \right]_{,y} \right\} \\ & + i\sigma \frac{k^2}{2} D |A|^2 A + \frac{\nu}{2} A - \frac{b_1}{k} \left\{ \left[(p - U_y^2) \left(\frac{A}{\sigma} \right)_{,y} \right]_{,yx} + 2i \left[\sigma U_y \left(\frac{A}{\sigma} \right)_{,y} \right]_{,x} \right\} \\ & + b_1 \mathcal{G} \left\{ 2i\omega U_x \left(\frac{A}{\sigma} \right)_{,x} + 2i\sigma U_y \left(\frac{A}{\sigma} \right)_{,y} - 2U_x U_y \left(\frac{A}{\sigma} \right)_{,xy} + \left[(p - U_y^2) \left(\frac{A}{\sigma} \right)_{,y} \right]_{,y} \right\} \\ & - \frac{i}{k} b_1 \left[(\omega U_y)_{,y} + 3(\omega U_x)_{,x} \right] \left(\frac{A}{\sigma} \right)_{,x} - \Delta_2 \left[\omega U_x \left(\frac{A}{\sigma} \right)_{,x} + \frac{1}{2} \omega \left(\frac{A}{\sigma} \right) (U_x)_{,x} \right] \\ & + ik\omega U_x (a_0 - 1) \left(\frac{A}{\sigma} \right) = 0 \end{aligned} \dots\dots\dots (1.29)$$

式中

$$\mathcal{G} = \frac{k_{,x}}{k^2} + \frac{\left[k(p - U_x^2) \right]_{,x}}{2k^2(p - U_x^2)} \dots\dots\dots (1.30)$$

$$\Delta_1 = a_1 - b_1, \quad \Delta_2 = 1 + 2a_1 - 2b_1, \quad \Delta_3 = a_1 - b_1 \frac{\bar{k}}{k} \dots\dots\dots (1.31)$$

上述各式中， ν 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

$$\frac{\partial A}{\partial x} = \frac{i}{k} \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + \nu A \dots\dots\dots (1.32)$$

式中 $i = \sqrt{-1}$ 。

有關波浪消散因子 ν 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

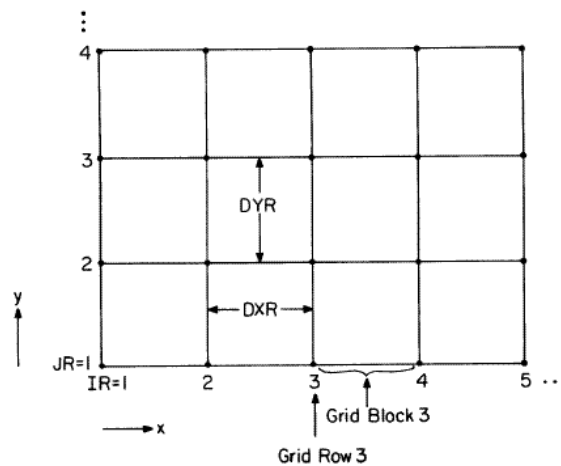
$$\nu = \frac{2\sigma k f |A| (1-i)}{3\pi \sinh(2kh) \sinh(kh)} \dots\dots\dots (1.33)$$

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：

$$\nu = \frac{\psi C_g [1 - (\gamma h / 2|A|)]}{h} \dots\dots\dots (1.34)$$

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)，如附圖 1.2 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 $x_i = (i-1)\Delta x$ ， $y_j = (j-1)\Delta y$ 。



附圖 1.2 REF/DIF-1 數值計算網格座標系統示意圖

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，如附圖 1.3 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。

如附圖 3.3 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。外海半無限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

$$\eta_j(x,y,t) = \zeta_j(x,y)e^{i\omega t}, \quad j=1,2 \dots\dots\dots (1.35)$$

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：

在領域(I)內

$$\nabla^2 \zeta_1 + k_1^2 \zeta_1 = 0 \dots\dots\dots (1.36)$$

在領域(II)內

$$\nabla \cdot (C_2 C_{2g} \nabla \zeta_2) + (C_2 C_{2g} k_2^2 + i\omega\mu + iC_{2g}\omega\gamma_b)\zeta_2 = 0 \dots\dots\dots (1.37)$$

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

$$\tilde{n} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2k_2 h_2}{\sinh(2k_2 h_2)} \right) \dots\dots\dots (1.38)$$

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

$$\mu = \frac{2n\omega}{k_2} \left(\frac{2C_r}{3\pi} \frac{\alpha k_2^2}{(2k_2 h_2 + \sinh 2k_2 h_2) \sinh k_2 h_2} \right) \dots\dots\dots (1.39)$$

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

$$\gamma_b = \frac{\chi}{h_2} \left(1 - \frac{\Gamma^2 h_2^2}{4a^2} \right) \dots\dots\dots (1.40)$$

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：

$$\zeta_1 = \zeta_2 \quad , \quad \text{在假想邊界 } B_1 \text{ 上} \dots\dots\dots (1.41a)$$

$$C_1 C_{1g} \frac{\partial \zeta_1}{\partial n} = -C_2 C_{2g} \frac{\partial \zeta_2}{\partial n} \quad , \quad \text{在假想邊界 } B_1 \text{ 上} \dots\dots\dots (1.41b)$$

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：

$$\nabla \zeta_2 \cdot \vec{n} = \partial \zeta_2 / \partial n = -i\alpha k_2 \zeta_2 \quad , \quad \text{在假想邊界 } B_2 \text{ 上} \dots\dots\dots (1.42)$$

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：

$$\alpha = \frac{1 - K_r}{1 + K_r} \dots\dots\dots (1.43)$$

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

$$\zeta_1 = \zeta_I + \zeta_R + \zeta_S \dots\dots\dots (1.44)$$

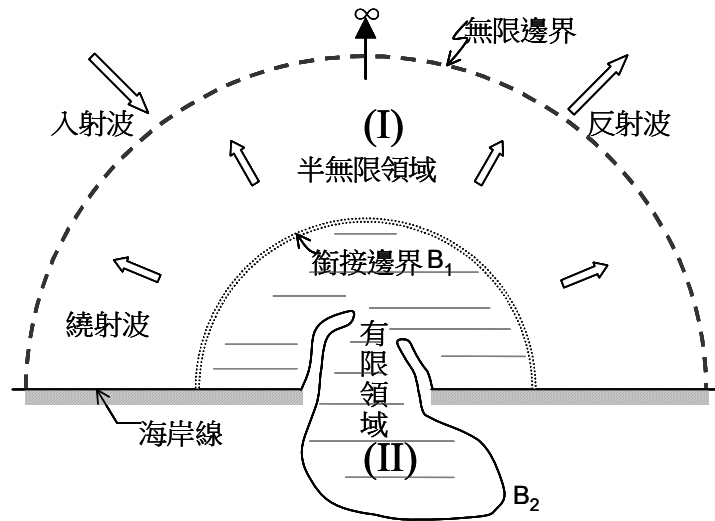
其中散射波 ζ_S 係由港池開口往外海方向輻射出去，在無窮遠處滿足波浪輻射條件：

$$\lim_{k_1 r \rightarrow \infty} \sqrt{r} \left(\frac{\partial}{\partial r} + ik_1 \right) \zeta_S = 0 \dots\dots\dots (1.45)$$

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：

$$\eta^I(x, y; t) = A^I e^{-i[k_1(x \cos \theta_0 + y \sin \theta_0) - \omega t]} \dots\dots\dots (1.46)$$

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)。



附圖 1.3 港域波浪模式計算領域示意圖

附錄二

水動力模式基本理論介紹

附錄二 水動力模式基本理論介紹

2.1 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：

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = Q_0 \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial(H^{-1}q_x^2)}{\partial x} + \frac{\partial(H^{-1}q_xq_y)}{\partial y} - fq_y \\ = -\frac{H}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial x} (p^s + \rho g \eta) + \frac{1}{\rho_0} (\tau_x^s - \tau_x^b) + \left(\frac{\partial F_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial F_{xy}}{\partial y} \right) \dots\dots (2.2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial(H^{-1}q_xq_y)}{\partial x} + \frac{\partial(H^{-1}q_y^2)}{\partial y} + fq_x \\ = -\frac{H}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial y} (p^s + \rho g \eta) + \frac{1}{\rho_0} (\tau_y^s - \tau_y^b) + \left(\frac{\partial F_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial F_{yy}}{\partial y} \right) \dots\dots (2.3) \end{aligned}$$

其中

$$H = \int_{-h}^{\eta} dz = h + \eta \dots\dots\dots (2.4a)$$

$$q_x = \int_{-h}^{\eta} u dz = \bar{u} H \dots\dots\dots (2.4b)$$

$$q_y = \int_{-h}^{\eta} v dz = \bar{v} H \dots\dots\dots (2.4c)$$

$$\bar{u} = \frac{1}{(h + \eta)} \int_{-h}^{\eta} u dz \dots\dots\dots (2.4d)$$

$$\bar{v} = \frac{1}{(h + \eta)} \int_{-h}^{\eta} v dz \dots\dots\dots (2.4e)$$

$$F_{ij} = E_{ij}(q_{j,i} + q_{i,j}) \quad i, j = x, y \dots\dots\dots (2.4f)$$

$$\tau_i^b = C_f (q_x^2 + q_y^2)^{1/2} \frac{q_i}{H^2} \quad i = x, y \dots\dots\dots (2.4g)$$

$$\tau_i^s = \rho_a C_d |U_{10}| U_i \quad i, j = x, y \dots\dots\dots (2.4h)$$

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 $C_d = (1.1 + 0.0536U_{10})10^{-3}$ ，

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

$$\eta(x, y, t) = \eta_0(x, y) \quad \text{或} \quad H(x, y, t) = H_0(x, y) \dots\dots\dots (2.5a)$$

$$q_x(x, y, t) = q_{x0}(x, y) \quad \text{及} \quad q_y(x, y, t) = q_{y0}(x, y) \dots\dots\dots (2.5b)$$

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：

$$q_n = \alpha_{nx}q_x + \alpha_{ny}q_y = \hat{q}_n \dots\dots\dots (2.6a)$$

$$q_s = -\alpha_{ny}q_x + \alpha_{nx}q_y = \hat{q}_s \dots\dots\dots (2.6b)$$

或

$$q_x = \alpha_{nx}q_n - \alpha_{ny}q_s \dots\dots\dots (2.7a)$$

$$q_y = \alpha_{nx}q_s + \alpha_{ny}q_n \dots\dots\dots (2.7b)$$

式中 α_{nx} 及 α_{ny} 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，內應利項之邊界條件為

$$F_x = \alpha_{nx}F_{xx} + \alpha_{ny}F_{yx} = \hat{F}_x \dots\dots\dots (2.8a)$$

$$F_y = \alpha_{nx}F_{xy} + \alpha_{ny}F_{yy} = \hat{F}_y \dots\dots\dots (2.8b)$$

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

2.2 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(2.1)~(2.3)式及其邊界值問題。依據 Stokes 理論(2.1)~(2.3)式可改寫成下列積分方程式：

$$\iint_A \left[\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} - Q_0 \right] \delta H \, dA = 0 \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\begin{aligned} & \iint_A \left[\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial (H^{-1}q_x^2)}{\partial x} + \frac{\partial (H^{-1}q_yq_x)}{\partial y} - fq_y + \frac{H}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial x} (P^s + \rho g \eta) \right] \delta q_x \, dA \\ & - \iint_A \left[\frac{\tau_x^s - \tau_x^b}{\rho_0} \delta q_x - F_{xx} \frac{\partial (\delta q_x)}{\partial x} - F_{yx} \frac{\partial (\delta q_x)}{\partial y} \right] dA - \int_{\partial A} F'_x \delta q_x \, dL = 0 \end{aligned} \dots\dots (2.10)$$

$$\begin{aligned} & \iint_A \left[\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial (H^{-1}q_xq_y)}{\partial x} + \frac{\partial (H^{-1}q_y^2)}{\partial y} + fq_x + \frac{H}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial y} (P^s + \rho g \eta) \right] \delta q_y \, dA \\ & - \iint_A \left[\frac{\tau_y^s - \tau_y^b}{\rho_0} \delta q_y - F_{xy} \frac{\partial (\delta q_y)}{\partial x} - F_{yy} \frac{\partial (\delta q_y)}{\partial y} \right] dA - \int_{\partial A} F'_y \delta q_y \, dL = 0 \end{aligned} \dots\dots (2.11)$$

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利項。

常見求解上述積分方程式(2.9)~ (2.11)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_{yj}^e 近似表示，即

$$H^e = N_1^e H_1^e + N_2^e H_2^e + N_3^e H_3^e = \{N^e\}^T \{H^e\} = \{H^e\}^T \{N^e\} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$q_x^e = N_1^e q_{x1}^e + N_2^e q_{x2}^e + N_3^e q_{x3}^e = \{N^e\}^T \{q_x^e\} = \{q_x^e\}^T \{N^e\} \dots\dots\dots (2.13a)$$

$$q_y^e = N_1^e q_{y1}^e + N_2^e q_{y2}^e + N_3^e q_{y3}^e = \{N^e\}^T \{q_y^e\} = \{q_y^e\}^T \{N^e\} \dots\dots\dots (2.13b)$$

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

$$\{H^e\}^T = \{H_1^e, H_2^e, H_3^e\} \dots\dots\dots (2.14a)$$

$$\{q_x^e\}^T = \{q_{x1}^e, q_{x2}^e, q_{x3}^e\} \dots\dots\dots (2.14b)$$

$$\{q_y^e\}^T = \{q_{y1}^e, q_{y2}^e, q_{y3}^e\} \dots\dots\dots (2.14c)$$

$$\{N^e\}^T = \{N_1^e, N_2^e, N_3^e\} \dots\dots\dots (2.14d)$$

其中三角元素之線性內插函數 N_j^e 計算如下

$$N_j^e = (a_j + b_j x + c_j y) / 2\Delta^e, \quad j = 1, 2, 3 \dots\dots\dots (2.15a)$$

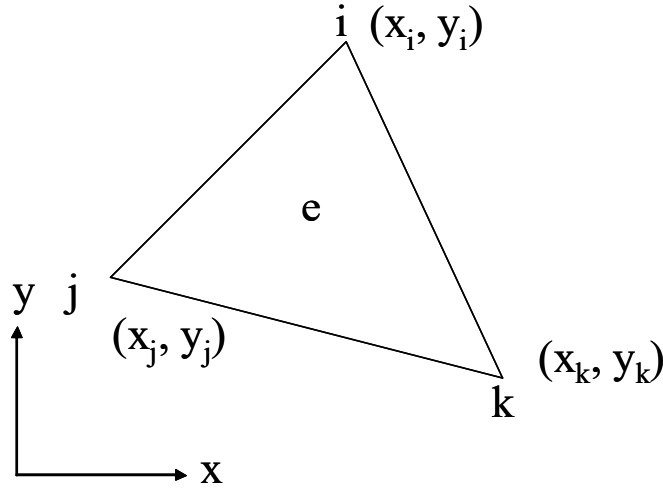
$$a_i = x_j^e y_k^e - x_k^e y_j^e \dots\dots\dots (2.15b)$$

$$b_i = y_j^e - y_k^e \dots\dots\dots (2.15c)$$

$$c_i = x_k^e - x_j^e \dots\dots\dots (2.15d)$$

$$\Delta^e = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} 1 & x_1^e & y_1^e \\ 1 & x_2^e & y_2^e \\ 1 & x_3^e & y_3^e \end{vmatrix} \dots\dots\dots (2.15e)$$

式中 (x_j^e, y_j^e) 為三角元素節點 j 之座標(如附圖 2.1 所示)，(2.15e)式代表座標之線性函數。



附圖 2.1 三角形元素座標定義

(2.9)式各項積分式之計算說明如下：

$$\begin{aligned} \iint_A \frac{\partial H}{\partial t} \delta H \square dA &= \sum_{e \in A} \iint_e \left(\frac{\partial H}{\partial t} \delta H \right) dA^e \\ &= \sum_{e \in A} \{ \delta H^e \}^T \iint_e \{ N^e \} \{ N^e \}^T \frac{\partial \{ H^e \}}{\partial t} dA^e = \sum_{e \in A} \{ \delta H^e \}^T [M_h^e] \frac{\partial \{ H^e \}}{\partial t} \quad \text{..(2.16a)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \iint_A \frac{\partial q_x}{\partial x} \delta H \square dA &= \sum_{e \in A} \iint_e \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} \delta H \right) dA^e \\ &= \sum_{e \in A} \{ \delta H^e \}^T \iint_e \{ N^e \} \frac{\partial \{ N^e \}^T}{\partial x} \{ q_x^e \} dA^e = \sum_{e \in A} \{ \delta H^e \}^T [G_x^e] \{ q_x^e \} \quad \text{..... (2.16b)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \iint_A \frac{\partial q_y}{\partial y} \delta H \square dA &= \sum_{e \in A} \iint_e \left(\frac{\partial q_y}{\partial y} \delta H \right) dA^e \\ &= \sum_{e \in A} \{ \delta H^e \}^T \iint_e \{ N^e \} \frac{\partial \{ N^e \}^T}{\partial y} \{ q_y^e \} dA^e = \sum_{e \in A} \{ \delta H^e \}^T [G_y^e] \{ q_y^e \} \quad \text{.....(2.16c)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \iint_A Q_0 \delta H \square dA &= \sum_{e \in A} \iint_e (Q_0 \delta H) dA^e \\ &= \sum_{e \in A} \{ \delta H^e \}^T \iint_e \{ N^e \} \{ N^e \}^T \{ Q_0^e \} dA^e = \sum_{e \in A} \{ \delta H^e \}^T [M_h^e] \{ Q_0^e \} \quad \text{..... (2.16d)} \end{aligned}$$

其中

$$[M_h^e] = \iint_e \{ N^e \} \{ N^e \}^T dA^e = \frac{\Delta^e}{12} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix} \quad \text{.....(2.17a)}$$

$$[G_x^e] = \iint_e \{N^e\} \frac{\partial \{N^e\}^T}{\partial x} dA^e = \frac{1}{6} \begin{bmatrix} b_1 & b_2 & b_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.17b)$$

$$[G_y^e] = \iint_e \{N^e\} \frac{\partial \{N^e\}^T}{\partial y} dA^e = \frac{1}{6} \begin{bmatrix} c_1 & c_2 & c_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.17c)$$

將上述各項積分離散式代入積分方程式(2.9)式，則(2.9)式可簡化成

$$\sum_{e \in A} \{\delta H^e\}^T \left\{ [M_h^e] \frac{\partial \{H^e\}}{\partial t} + [G_x^e] \{q_x^e\} + [G_y^e] \{q_y^e\} - [M_h^e] \{Q_0^e\} \right\} = 0 \dots\dots (2.18)$$

定義陣列 $\{\delta H\}$ 及 $\{H\}$ 分別為全部的 $\{\delta H^e\}$ 及 $\{H^e\}$ 結合後之整體陣列(global array)，陣列 $\{q\}$ 為 $\{q_x^e\}$ 及 $\{q_y^e\}$ 合併後之整體陣列，則(2.18)式可結合成一矩陣方程式如下

$$\{\delta H\}^T \left\{ [M_h] \frac{\partial \{H\}}{\partial t} + [G_h] \{q\} + \{R_h\} \right\} = 0 \dots\dots\dots (2.19)$$

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

由於陣列 $\{\delta H\}^T$ 為任意函數，故可得到

$$\left\{ [M_h] \frac{\partial \{H\}}{\partial t} + [G_h] \{q\} + \{R_h\} \right\} = 0 \dots\dots\dots (2.20)$$

(2.10)式各項積分式之計算說明如下：

$$\iint_A \left(\frac{\partial q_x}{\partial t} \delta q_x \right) dA = \sum_{e \in A} \iint_e \left(\frac{\partial q_x}{\partial t} \delta q_x \right) dA^e = \sum_{e \in A} \{\delta q_x^e\}^T [M_h^e] \frac{\partial \{q_x^e\}}{\partial t} \dots\dots\dots (2.21a)$$

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

$$\iint_A \left(\frac{\partial H^{-1} q_x^2}{\partial x} \delta q_x \right) dA = \sum_{e \in A} \iint_e \left(\frac{\partial H^{-1} q_x^2}{\partial x} \delta q_x \right) dA^e = \sum_{e \in A} \{\delta q_x^e\}^T [G_x^e] \{\hat{q}_{xx}^e\} \dots\dots (2.21b)$$

$$\iint_A \left(\frac{\partial H^{-1} q_x q_y}{\partial y} \delta q_x \right) dA = \sum_{e \in A} \iint_e \left(\frac{\partial H^{-1} q_x q_y}{\partial y} \delta q_x \right) dA^e = \sum_{e \in A} \{\delta q_x^e\}^T [G_y^e] \{\hat{q}_{yx}^e\} \dots\dots\dots (2.21c)$$

$$\iint_A (f q_y \delta q_x) dA = \sum_{e \in A} \iint_e (f q_y \delta q_x) dA^e = \sum_{e \in A} \{\delta q_x^e\}^T f [M_h^e] \{q_y^e\} \dots\dots\dots (2.21d)$$

$$\begin{aligned}\iint_A \left(\frac{H}{\rho_0} \frac{\partial p^s}{\partial x} \delta q_x \right) dA &= \sum_{e \in A} \iint_e \left(\frac{H}{\rho_0} \frac{\partial p^s}{\partial x} \delta q_x \right) dA^e \\ &= \sum_{e \in A} \left\{ \delta q_x^e \right\}^T \left[M_h^e \right] \left\{ H^e \right\} \frac{(b_1 p_1 + b_2 p_2 + b_3 p_3)}{2 \rho_0 \Delta^e} \dots\dots\dots (2.21e)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\iint_A \left(gH \frac{\partial \eta}{\partial x} \delta q_x \right) dA &= \sum_{e \in A} \iint_e \left(gH \frac{\partial \eta}{\partial x} \delta q_x \right) dA^e \\ &= \sum_{e \in A} \left\{ \delta q_x^e \right\}^T \left[M_h^e \right] \left\{ H^e \right\} \frac{g(b_1 \eta_1^e + b_2 \eta_2^e + b_3 \eta_3^e)}{2 \Delta^e} \dots\dots\dots (2.21f)\end{aligned}$$

$$\iint_A \left(\frac{\tau_x^s}{\rho_0} \delta q_x \right) dA = \sum_{e \in A} \iint_e \left(\frac{\tau_x^s}{\rho_0} \delta q_x \right) dA^e = \sum_{e \in A} \left\{ \delta q_x^e \right\}^T \frac{1}{\rho_0} \left[M_h^e \right] \left\{ \tau_x^{se} \right\} \dots\dots\dots (2.21g)$$

$$\iint_A \left(\frac{\tau_x^b}{\rho_0} \delta q_x \right) dA = \sum_{e \in A} \iint_e \left(\frac{\tau_x^b}{\rho_0} \delta q_x \right) dA^e = \sum_{e \in A} \left\{ \delta q_x^e \right\}^T \frac{1}{\rho_0} \left[M_h^e \right] \left\{ \tau_x^{be} \right\} \dots\dots\dots (2.21h)$$

$$\iint_A \left(F_{xx} \frac{\partial \delta q_x}{\partial x} \right) dA = \sum_{e \in A} \iint_e \left(F_{xx} \frac{\partial \delta q_x}{\partial x} \right) dA^e = \sum_{e \in A} \left\{ \delta q_x^e \right\}^T \frac{E_{xx} \bar{H}}{12 \Delta^e} \left[M_{bb}^e \right] \left\{ \bar{u}^e \right\} \dots\dots\dots (2.21i)$$

$$\begin{aligned}\iint_A \left(F_{yx} \frac{\partial \delta q_x}{\partial x} \right) dA &= \sum_{e \in A} \iint_e \left(F_{yx} \frac{\partial \delta q_x}{\partial x} \right) dA^e \\ &= \sum_{e \in A} \left\{ \delta q_x^e \right\}^T \frac{E_{yx} \bar{H}}{24 \Delta^e} \left\{ \left[M_{cb}^e \right] \left\{ \bar{v}^e \right\} + \left[M_{cc}^e \right] \left\{ \bar{u}^e \right\} \right\} \dots\dots\dots (2.21j)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\int_{\partial A} (F'_x \delta q_x) dL &= \sum_{\partial e \in \partial A} \int_{\partial e} (F'_x \delta q_x) dL^e = \sum_{\partial e \in \partial A} \left\{ \delta q_x^e \right\}^T \int_{\partial e} \left\{ N^e \right\} \left\{ N^e \right\}^T \left\{ F'_x \right\} dL^e \\ &= \sum_{\partial e \in \partial A} \left\{ \delta q_x^e \right\}^T \frac{L^e}{6} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \left\{ F'_x{}^e \right\} \dots\dots\dots (2.21k)\end{aligned}$$

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

$$\left[M_{bb}^e \right] = \begin{bmatrix} b_1^2 & b_1 b_2 & b_1 b_3 \\ b_2 b_1 & b_2^2 & b_2 b_3 \\ b_3 b_1 & b_3 b_2 & b_3^2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.22a)$$

$$\left[M_{cb}^e \right] = \begin{bmatrix} c_1 b_1 & c_1 b_2 & c_1 b_3 \\ c_2 b_1 & c_2 b_2 & c_2 b_3 \\ c_3 b_1 & c_3 b_2 & c_3 b_3 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.22b)$$

$$\left[M_{cc}^e \right] = \begin{bmatrix} c_1^2 & c_1 c_2 & c_1 c_3 \\ c_2 c_1 & c_2^2 & c_2 c_3 \\ c_3 c_1 & c_3 c_2 & c_3^2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.22c)$$

同理，(2.11)式各項積分式之計算如下：

$$\iint_A \left(\frac{\partial q_y}{\partial t} \delta q_y \right) dA = \sum_{e \in A} \{ \delta q_y^e \}^T [M_h^e] \frac{\partial \{ q_y^e \}}{\partial t} \dots\dots\dots (2.23a)$$

$$\iint_A \left(\frac{\partial H^{-1} q_x q_y}{\partial x} \delta q_y \right) dA = \sum_{e \in A} \{ \delta q_y^e \}^T [G_x^e] \{ \hat{q}_{xy}^e \} \dots\dots\dots (2.23b)$$

$$\iint_A \left(\frac{\partial H^{-1} q_y^2}{\partial y} \delta q_y \right) dA = \sum_{e \in A} \{ \delta q_y^e \}^T [G_y^e] \{ \hat{q}_{yy}^e \} \dots\dots\dots (2.23c)$$

$$\iint_A (f q_x \delta q_y) dA = \sum_{e \in A} \{ \delta q_y^e \}^T f [M_h^e] \{ q_x^e \} \dots\dots\dots (2.23d)$$

$$\iint_A \left(\frac{H}{\rho_0} \frac{\partial p^s}{\partial y} \delta q_y \right) dA = \sum_{e \in A} \{ \delta q_y^e \}^T [M_h^e] \{ H^e \} \frac{(c_1 p_1 + c_2 p_2 + c_3 p_3)}{2 \rho_0 \Delta^e} \dots\dots\dots (2.23e)$$

$$\iint_A \left(g H \frac{\partial \eta}{\partial y} \delta q_y \right) dA = \sum_{e \in A} \{ \delta q_y^e \}^T [M_h^e] \{ H^e \} \frac{g(c_1 \eta_1^e + c_2 \eta_2^e + c_3 \eta_3^e)}{2 \Delta^e} \dots\dots\dots (2.23f)$$

$$\iint_A \left(\frac{\tau_y^s}{\rho_0} \delta q_y \right) dA = \sum_{e \in A} \{ \delta q_y^e \}^T \frac{1}{\rho_0} [M_h^e] \{ \tau_y^{se} \} \dots\dots\dots (2.23g)$$

$$\iint_A \left(\frac{\tau_y^b}{\rho_0} \delta q_y \right) dA = \sum_{e \in A} \{ \delta q_y^e \}^T \frac{1}{\rho_0} [M_h^e] \{ \tau_y^{be} \} \dots\dots\dots (2.23h)$$

$$\iint_A \left(F_{yx} \frac{\partial \delta q_y}{\partial y} \right) dA = \sum_{e \in A} \{ \delta q_y^e \}^T \frac{E_{xy} \bar{H}}{24 \Delta^e} \{ [M_{cb}^e] \{ \bar{u}^e \} + [M_{bb}^e] \{ \bar{v}^e \} \} \dots\dots\dots (2.23i)$$

$$\iint_A \left(F_{yy} \frac{\partial \delta q_y}{\partial y} \right) dA = \sum_{e \in A} \{ \delta q_y^e \}^T \frac{E_{yy} \bar{H}}{12 \Delta^e} [M_{cc}^e] \{ \bar{v}^e \} \dots\dots\dots (2.23j)$$

$$\int_{\partial A} (F_y' \delta q_y) dL = \sum_{\partial e \in \partial A} \{ \delta q_y^e \}^T \frac{L^e}{6} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \{ F_y'^e \} \dots\dots\dots (2.23k)$$

將上述各項積分式分別代入(2.10)式及(2.11)式並且將其組合成一整體矩陣方程式如下：

$$[M_m] \frac{\partial \{ q \}}{\partial t} + [G_m] \{ q \} + [K_m] \{ \eta \} + \{ R_m \} = 0 \dots\dots\dots (2.24)$$

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(2.9)~(2.11)離散化成求解一階時間項常微分方程組(2.20)式及(2.24)式。

一般而言，求解上述一階時間項常微分方程組(2.20)式及(2.24)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(2.20)式及(2.24)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(2.20)式及(2.24)式重組成

$$[M_h] \frac{\partial \{H\}}{\partial t} = \{P_h\} \dots\dots\dots (2.25)$$

$$[M_m] \frac{\partial \{q\}}{\partial t} = \{P_m\} \dots\dots\dots (2.26)$$

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 $t_{n-\frac{1}{2}}$ 及 t_n ($n = 1, 2, 3, \dots$) 上求解，則(2.25)式及(2.26)式可改寫成

$$[M_h] \left\{ \{H\}_{n+\frac{1}{2}} - \{H\}_{n-\frac{1}{2}} \right\} = \Delta t \left\{ P_h \left(\{H\}_{n-\frac{1}{2}}, \{q\}_n, t_n \right) \right\} \dots\dots\dots (2.27)$$

$$[M_m] \left\{ \{q\}_{n+1} - \{q\}_n \right\} = \Delta t \left\{ P_m \left(\{H\}_{n+\frac{1}{2}}, \{q\}_n, t_{n+\frac{1}{2}} \right) \right\} \dots\dots\dots (2.28)$$

或

$$\{H\}_{n+\frac{1}{2}} = \{H\}_{n-\frac{1}{2}} + \Delta t [M_h]^{-1} \left\{ P_h \left(\{H\}_{n-\frac{1}{2}}, \{q\}_n, t_n \right) \right\} \dots\dots\dots (2.29)$$

$$\{q\}_{n+1} = \{q\}_n + \Delta t [M_m]^{-1} \left\{ P_m \left(\{H\}_{n+\frac{1}{2}}, \{q\}_n, t_{n+\frac{1}{2}} \right) \right\} \dots\dots\dots (2.30)$$

因此當初始條件 $\{H\}_{n-\frac{1}{2}}$ 及 $\{q\}_n$ 已知時，可由(2.29)式直接求解 $\{H\}_{n+\frac{1}{2}}$ ，再由(2.30)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

$$\Delta t < 1.5 \Delta t_{cr} = 1.5 \Delta s^* / U^* \dots\dots\dots (2.31)$$

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

$$E_{xx} \sim ag(\tilde{\eta}/\tilde{u})\tilde{x} \dots\dots\dots (2.32)$$

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， $\bar{\eta}$ 為潮汐代表性潮差， $\bar{u}$ 為潮流代表性流速， $\bar{x}$ 為三角元素代表性邊界。

附錄三

2021 年 8 商港潮位調和分析表

附表 3.1 花蓮港 2021 年中潮系統潮位調和分析常數表

ANALYSIS OF HOURLY TIDAL HEIGHTS STN 00003 16H 30/12/2020 TO 15H 31/12/2021 NO.OBS.= 8784 NO.PTS.ANAL.= 8783 MIDPT=15H 01/07/2021 SEPARATION =1.00											
NAME	FREQUENCY	A	G	AL	GL	NAME	FREQUENCY	A	G	AL	GL
Z0	0.00000000	0.0486	0.00	0.0486	0.00	H1	0.08039733	0.0053	307.11	0.0051	15.32
SA	0.00011407	0.1415	215.28	0.1415	38.70	M2	0.08051140	0.4493	304.00	0.4432	18.18
SSA	0.00022816	0.0420	298.85	0.0420	99.07	H2	0.08062547	0.0031	280.47	0.0031	177.33
MSM	0.00130978	0.0137	353.53	0.0137	314.18	MKS2	0.08073957	0.0011	110.27	0.0012	0.86
MM	0.00151215	0.0181	35.05	0.0181	272.13	LDA2	0.08182118	0.0024	273.57	0.0023	128.93
MSF	0.00282193	0.0092	333.53	0.0092	171.26	L2	0.08202355	0.0139	296.27	0.0147	84.04
MF	0.00305009	0.0061	339.67	0.0061	337.61	T2	0.08321926	0.0170	330.72	0.0170	57.30
ALP1	0.03439657	0.0017	42.25	0.0018	85.01	S2	0.08333334	0.1935	325.71	0.1936	235.58
2Q1	0.03570635	0.0053	63.90	0.0057	67.47	R2	0.08344740	0.0031	29.51	0.0038	297.15
SIG1	0.03590872	0.0044	49.49	0.0048	330.20	K2	0.08356149	0.0524	321.29	0.0588	47.58
Q1	0.03721850	0.0291	68.06	0.0317	309.00	MSN2	0.08484548	0.0010	222.08	0.0010	8.87
RHO1	0.03742087	0.0062	78.36	0.0069	237.96	ETA2	0.08507364	0.0048	342.31	0.0055	308.67
O1	0.03873065	0.1398	82.71	0.1518	201.07	MO3	0.11924206	0.0035	31.12	0.0038	223.65
TAU1	0.03895881	0.0043	27.98	0.0039	126.36	M3	0.12076710	0.0063	194.14	0.0062	125.63
BET1	0.04004043	0.0010	104.07	0.0011	0.78	SO3	0.12206399	0.0007	121.27	0.0007	149.51
NO1	0.04026859	0.0103	78.60	0.0113	179.77	MK3	0.12229215	0.0007	210.02	0.0007	237.13
CHI1	0.04047097	0.0018	134.09	0.0020	130.75	SK3	0.12511408	0.0011	272.06	0.0011	134.87
PI1	0.04143851	0.0040	75.03	0.0040	216.93	MN4	0.15951064	0.0026	317.27	0.0025	228.71
P1	0.04155259	0.0526	98.78	0.0524	64.32	M4	0.16102280	0.0056	8.15	0.0054	156.50
S1	0.04166667	0.0077	146.97	0.0054	253.48	SN4	0.16233259	0.0023	46.70	0.0023	153.83
K1	0.04178075	0.1593	98.92	0.1678	51.87	MS4	0.16384473	0.0050	48.50	0.0049	32.55
PSI1	0.04189482	0.0050	153.61	0.0050	283.14	MK4	0.16407290	0.0020	102.27	0.0022	262.74
PHI1	0.04200891	0.0018	113.29	0.0017	217.17	S4	0.16666667	0.0007	132.98	0.0007	312.72
THE1	0.04309053	0.0023	109.12	0.0026	27.38	SK4	0.16689482	0.0004	178.25	0.0005	174.41
J1	0.04329290	0.0086	117.63	0.0094	312.50	2MK5	0.20280355	0.0004	186.89	0.0004	288.19
SO1	0.04460268	0.0023	169.87	0.0025	321.38	2SK5	0.20844743	0.0004	198.15	0.0004	330.84
OO1	0.04483084	0.0045	121.70	0.0059	103.41	2MN6	0.24002205	0.0006	107.22	0.0006	92.83
UPS1	0.04634299	0.0004	55.08	0.0005	269.28	M6	0.24153420	0.0004	106.28	0.0004	328.81
OQ2	0.07597494	0.0037	272.37	0.0033	359.43	2MS6	0.24435613	0.0007	98.62	0.0007	156.84
EPS2	0.07617731	0.0043	290.57	0.0041	291.95	2MK6	0.24458429	0.0008	175.30	0.0009	49.94
2N2	0.07748710	0.0147	297.10	0.0136	260.61	2SM6	0.24717808	0.0000	36.03	0.0000	289.95
MU2	0.07768947	0.0138	274.75	0.0135	151.80	MSK6	0.24740623	0.0002	303.84	0.0002	14.18
N2	0.07899925	0.0911	295.94	0.0897	133.20	3MK7	0.28331494	0.0004	192.15	0.0004	7.62
NU2	0.07920162	0.0187	303.27	0.0183	56.73	M8	0.32204559	0.0002	113.70	0.0002	50.40

附表 3.2 蘇澳港 2021 年中潮系統潮位調和分析常數表

ANALYSIS OF HOURLY TIDAL HEIGHTS STN 00002 16H 30/08/2020 TO 15H 31/08/2021 NO.OBS.= 8784 NO.PTS.ANAL.= 8783 MIDPT=15H 01/03/2021 SEPARATION =1.00											
NAME	FREQUENCY	A	G	AL	GL	NAME	FREQUENCY	A	G	AL	GL
Z0	0.00000000	0.1317	0.00	0.1317	0.00	H1	0.08039733	0.0040	192.25	0.0039	45.34
SA	0.00011407	0.1543	209.00	0.1543	152.66	M2	0.08051140	0.4226	299.58	0.4187	279.27
SSA	0.00022816	0.0241	304.31	0.0241	345.02	H2	0.08062547	0.0109	69.91	0.0108	352.52
MSM	0.00130978	0.0062	8.40	0.0062	269.66	MKS2	0.08073957	0.0018	4.36	0.0019	41.69
MM	0.00151215	0.0093	29.19	0.0093	60.20	LDA2	0.08182118	0.0027	235.81	0.0026	297.31
MSF	0.00282193	0.0120	310.89	0.0120	243.16	L2	0.08202355	0.0128	297.97	0.0117	145.56
MF	0.00305009	0.0045	302.23	0.0045	275.21	T2	0.08321926	0.0096	330.78	0.0096	297.12
ALP1	0.03439657	0.0024	31.85	0.0026	330.81	S2	0.08333334	0.1797	322.80	0.1798	232.67
2Q1	0.03570635	0.0039	43.36	0.0041	243.94	R2	0.08344740	0.0014	284.57	0.0017	312.41
SIG1	0.03590872	0.0046	65.45	0.0049	36.29	K2	0.08356149	0.0522	318.52	0.0570	286.02
Q1	0.03721850	0.0344	65.08	0.0367	296.87	MSN2	0.08484548	0.0021	270.63	0.0020	211.23
RHO1	0.03742087	0.0054	74.56	0.0058	78.87	ETA2	0.08507364	0.0025	341.14	0.0027	342.46
O1	0.03873065	0.1742	80.12	0.1854	343.11	MO3	0.11924206	0.0026	26.60	0.0027	269.29
TAU1	0.03895881	0.0011	107.11	0.0010	231.72	M3	0.12076710	0.0067	194.74	0.0066	344.50
BET1	0.04004043	0.0016	80.68	0.0017	62.57	SO3	0.12206399	0.0007	34.95	0.0007	207.81
NO1	0.04026859	0.0119	82.86	0.0150	146.53	MK3	0.12229215	0.0006	86.09	0.0006	139.38
CHI1	0.04047097	0.0015	88.90	0.0016	265.86	SK3	0.12511408	0.0008	20.99	0.0008	4.45
PI1	0.04143851	0.0028	138.32	0.0028	39.74	MN4	0.15951064	0.0008	313.92	0.0008	242.57
P1	0.04155259	0.0635	100.43	0.0633	305.76	M4	0.16102280	0.0025	17.71	0.0024	337.09
S1	0.04166667	0.0002	152.55	0.0002	259.06	SN4	0.16233259	0.0005	229.89	0.0005	88.71
K1	0.04178075	0.1964	105.83	0.2047	179.42	MS4	0.16384473	0.0024	82.70	0.0024	332.26
PSI1	0.04189482	0.0034	245.19	0.0034	255.25	MK4	0.16407290	0.0008	19.34	0.0009	326.53
PHI1	0.04200891	0.0034	47.58	0.0033	152.79	S4	0.16666667	0.0001	220.13	0.0001	39.87
THE1	0.04309053	0.0021	104.45	0.0023	83.30	SK4	0.16689482	0.0005	83.10	0.0005	320.47
J1	0.04329290	0.0100	116.99	0.0107	226.41	2MK5	0.20280355	0.0003	128.43	0.0003	161.41
SO1	0.04460268	0.0017	136.66	0.0018	143.53	2SK5	0.20844743	0.0002	163.53	0.0002	56.86
OO1	0.04483084	0.0040	160.02	0.0052	238.20	2MN6	0.24002205	0.0007	177.05	0.0006	85.39
UPS1	0.04634299	0.0014	174.32	0.0018	279.33	M6	0.24153420	0.0013	180.40	0.0012	119.47
OQ2	0.07597494	0.0018	307.40	0.0017	199.46	2MS6	0.24435613	0.0010	217.68	0.0010	86.93
EPS2	0.07617731	0.0043	276.95	0.0042	295.80	2MK6	0.24458429	0.0005	269.03	0.0006	195.92
2N2	0.07748710	0.0130	279.65	0.0123	201.70	2SM6	0.24717808	0.0006	87.25	0.0006	246.67
MU2	0.07768947	0.0154	283.04	0.0151	331.17	MSK6	0.24740623	0.0002	177.86	0.0002	34.93
N2	0.07899925	0.0850	291.87	0.0841	240.83	3MK7	0.28331494	0.0007	273.42	0.0007	286.09
NU2	0.07920162	0.0151	277.75	0.0149	355.93	M8	0.32204559	0.0007	179.87	0.0007	98.64

附表 3.3 基隆港 2021 年中潮系統潮位調和分析常數表

ANALYSIS OF HOURLY TIDAL HEIGHTS STN 00001 16H 30/12/2020 TO 15H 31/12/2021 NO.OBS.= 8784 NO.PTS.ANAL.= 8783 MIDPT=15H 01/07/2021 SEPARATION =1.00											
NAME	FREQUENCY	A	G	AL	GL	NAME	FREQUENCY	A	G	AL	GL
Z0	0.00000000	0.1016	0.00	0.1016	0.00	H1	0.08039733	0.0036	298.55	0.0034	6.76
SA	0.00011407	0.1868	202.53	0.1868	25.95	M2	0.08051140	0.2473	46.95	0.2439	121.12
SSA	0.00022816	0.0141	292.12	0.0141	92.34	H2	0.08062547	0.0073	82.61	0.0072	339.47
MSM	0.00130978	0.0112	65.48	0.0112	26.13	MKS2	0.08073957	0.0063	329.26	0.0070	219.84
MM	0.00151215	0.0078	11.04	0.0078	248.12	LDA2	0.08182118	0.0077	125.53	0.0075	340.89
MSF	0.00282193	0.0060	323.50	0.0060	161.22	L2	0.08202355	0.0145	105.21	0.0153	252.98
MF	0.00305009	0.0025	11.53	0.0025	9.47	T2	0.08321926	0.0035	29.09	0.0035	115.68
ALP1	0.03439657	0.0026	24.01	0.0028	66.82	S2	0.08333334	0.0621	45.21	0.0621	315.08
2Q1	0.03570635	0.0041	56.87	0.0044	60.62	R2	0.08344740	0.0029	340.97	0.0035	248.61
SIG1	0.03590872	0.0040	51.20	0.0044	331.93	K2	0.08356149	0.0170	34.93	0.0191	121.22
Q1	0.03721850	0.0312	68.25	0.0338	309.28	MSN2	0.08484548	0.0048	3.72	0.0046	150.51
RHO1	0.03742087	0.0062	75.48	0.0069	235.10	ETA2	0.08507364	0.0022	26.62	0.0025	352.81
O1	0.03873065	0.1554	82.88	0.1688	201.25	MO3	0.11924206	0.0024	333.96	0.0026	166.50
TAU1	0.03895881	0.0027	358.48	0.0024	96.79	M3	0.12076710	0.0061	171.24	0.0060	102.73
BET1	0.04004043	0.0018	116.63	0.0020	13.34	SO3	0.12206399	0.0011	315.32	0.0011	343.56
NO1	0.04026859	0.0120	82.11	0.0132	182.61	MK3	0.12229215	0.0021	254.41	0.0022	281.52
CHI1	0.04047097	0.0024	88.66	0.0026	85.32	SK3	0.12511408	0.0015	306.17	0.0016	168.98
PI1	0.04143851	0.0067	118.25	0.0067	260.14	MN4	0.15951064	0.0050	168.97	0.0048	80.40
P1	0.04155259	0.0620	104.09	0.0618	69.63	M4	0.16102280	0.0126	175.87	0.0123	324.21
S1	0.04166667	0.0081	151.75	0.0056	258.26	SN4	0.16233259	0.0013	186.22	0.0013	293.36
K1	0.04178075	0.1895	107.49	0.1995	60.43	MS4	0.16384473	0.0088	192.36	0.0087	176.41
PSI1	0.04189482	0.0035	194.55	0.0035	324.09	MK4	0.16407290	0.0030	180.73	0.0033	341.19
PHI1	0.04200891	0.0037	107.63	0.0036	211.51	S4	0.16666667	0.0022	213.40	0.0022	33.15
THE1	0.04309053	0.0021	110.29	0.0023	28.51	SK4	0.16689482	0.0011	195.86	0.0013	192.02
J1	0.04329290	0.0098	125.99	0.0107	320.62	2MK5	0.20280355	0.0012	231.64	0.0013	332.92
SO1	0.04460268	0.0016	121.69	0.0018	273.19	2SK5	0.20844743	0.0003	111.85	0.0003	244.53
OO1	0.04483084	0.0044	144.70	0.0057	126.34	2MN6	0.24002205	0.0022	212.12	0.0021	197.72
UPS1	0.04634299	0.0010	145.94	0.0013	0.07	M6	0.24153420	0.0038	235.70	0.0037	98.22
OQ2	0.07597494	0.0040	284.25	0.0036	11.50	2MS6	0.24435613	0.0025	291.77	0.0024	349.99
EPS2	0.07617731	0.0069	239.99	0.0065	241.46	2MK6	0.24458429	0.0012	255.86	0.0013	130.49
2N2	0.07748710	0.0182	348.02	0.0168	311.69	2SM6	0.24717808	0.0007	70.69	0.0007	324.61
MU2	0.07768947	0.0264	262.34	0.0258	139.41	MSK6	0.24740623	0.0003	354.32	0.0003	64.65
N2	0.07899925	0.0617	21.66	0.0607	218.92	3MK7	0.28331494	0.0002	133.15	0.0002	308.61
NU2	0.07920162	0.0153	50.92	0.0150	164.38	M8	0.32204559	0.0006	10.87	0.0006	307.56

附表 3.4 臺中港 2021 年中潮系統潮位調和分析常數表

ANALYSIS OF HOURLY TIDAL HEIGHTS STN 00061 16H 30/09/2020 TO 15H 30/11/2021 NO.OBS.= 10224 NO.PTS.ANAL.= 10223 MIDPT=15H 01/05/2021 SEPARATION =1.00											
NAME	FREQUENCY	A	G	AL	GL	NAME	FREQUENCY	A	G	AL	GL
Z0	0.00000000	0.2380	0.00	0.2380	0.00	H1	0.08039733	0.0361	262.00	0.0349	222.63
SA	0.00011407	0.1896	166.70	0.1896	50.24	M2	0.08051140	1.8569	114.59	1.8358	141.52
SSA	0.00022816	0.0310	314.75	0.0310	235.22	H2	0.08062547	0.0455	356.39	0.0452	266.12
MSM	0.00130978	0.0201	268.67	0.0201	199.63	MKS2	0.08073957	0.0172	252.49	0.0188	216.47
MM	0.00151215	0.0090	82.80	0.0090	36.84	LDA2	0.08182118	0.0461	338.61	0.0455	117.04
MSF	0.00282193	0.0140	279.56	0.0140	164.56	L2	0.08202355	0.1038	254.83	0.1024	73.02
MF	0.00305009	0.0081	345.05	0.0081	150.51	T2	0.08321926	0.0480	156.17	0.0480	182.63
ALP1	0.03439657	0.0023	211.11	0.0024	21.95	S2	0.08333334	0.5478	122.03	0.5481	31.90
2Q1	0.03570635	0.0049	88.21	0.0053	190.27	R2	0.08344740	0.0169	223.09	0.0206	190.82
SIG1	0.03590872	0.0060	38.22	0.0064	164.00	K2	0.08356149	0.1451	30.38	0.1606	237.30
Q1	0.03721850	0.0411	227.10	0.0442	283.47	MSN2	0.08484548	0.0225	121.70	0.0219	345.38
RHO1	0.03742087	0.0081	145.07	0.0089	227.07	ETA2	0.08507364	0.0030	198.99	0.0034	2.83
O1	0.03873065	0.2106	7.97	0.2264	18.65	MO3	0.11924206	0.0134	191.58	0.0142	229.20
TAU1	0.03895881	0.0041	44.39	0.0038	155.95	M3	0.12076710	0.0047	125.61	0.0046	346.24
BET1	0.04004043	0.0031	200.62	0.0034	319.91	SO3	0.12206399	0.0063	199.65	0.0068	120.20
NO1	0.04026859	0.0152	131.06	0.0180	213.85	MK3	0.12229215	0.0115	119.58	0.0119	159.80
CHI1	0.04047097	0.0019	23.06	0.0020	109.89	SK3	0.12511408	0.0046	145.26	0.0048	68.41
PI1	0.04143851	0.0088	41.43	0.0088	63.08	MN4	0.15951064	0.0018	325.71	0.0017	65.77
P1	0.04155259	0.0793	6.41	0.0790	271.85	M4	0.16102280	0.0081	104.67	0.0080	158.54
S1	0.04166667	0.0071	356.62	0.0050	103.13	SN4	0.16233259	0.0010	353.73	0.0010	336.73
K1	0.04178075	0.2501	278.33	0.2620	291.61	MS4	0.16384473	0.0045	141.29	0.0044	78.09
PSI1	0.04189482	0.0021	310.11	0.0021	199.91	MK4	0.16407290	0.0005	342.94	0.0005	216.79
PHI1	0.04200891	0.0043	128.14	0.0042	52.74	S4	0.16666667	0.0014	94.51	0.0014	274.25
THE1	0.04309053	0.0030	154.85	0.0034	103.45	SK4	0.16689482	0.0007	293.30	0.0008	50.09
J1	0.04329290	0.0123	61.39	0.0133	33.59	2MK5	0.20280355	0.0046	315.59	0.0047	22.74
SO1	0.04460268	0.0054	351.28	0.0058	250.47	2SK5	0.20844743	0.0006	137.59	0.0006	330.61
OO1	0.04483084	0.0058	217.05	0.0076	67.24	2MN6	0.24002205	0.0086	89.18	0.0083	216.17
UPS1	0.04634299	0.0011	274.95	0.0015	74.68	M6	0.24153420	0.0158	236.77	0.0153	317.57
OQ2	0.07597494	0.0130	294.32	0.0118	103.92	2MS6	0.24435613	0.0167	248.55	0.0163	212.29
EPS2	0.07617731	0.0202	131.98	0.0194	322.11	2MK6	0.24458429	0.0047	159.13	0.0051	59.92
2N2	0.07748710	0.0575	144.89	0.0539	267.73	2SM6	0.24717808	0.0039	257.81	0.0038	104.48
MU2	0.07768947	0.0820	269.83	0.0805	52.43	MSK6	0.24740623	0.0029	177.07	0.0032	320.80
N2	0.07899925	0.3491	329.68	0.3444	42.80	3MK7	0.28331494	0.0009	229.29	0.0009	323.38
NU2	0.07920162	0.0955	254.72	0.0938	350.55	M8	0.32204559	0.0009	287.69	0.0008	35.43

附表 3.5 高雄港 2021 年中潮系統潮位調和分析常數表

ANALYSIS OF HOURLY TIDAL HEIGHTS STN 00057 16H 30/12/2020 TO 15H 31/12/2021 NO.OBS.= 8784 NO.PTS.ANAL.= 8783 MIDPT=15H 01/07/2021 SEPARATION =1.00											
NAME	FREQUENCY	A	G	AL	GL	NAME	FREQUENCY	A	G	AL	GL
Z0	0.00000000	0.3098	0.00	0.3098	0.00	H1	0.08039733	0.0064	212.13	0.0061	280.34
SA	0.00011407	0.1281	219.97	0.1281	43.39	M2	0.08051140	0.1843	351.21	0.1818	65.39
SSA	0.00022816	0.0407	79.61	0.0407	239.82	H2	0.08062547	0.0146	12.71	0.0145	269.57
MSM	0.00130978	0.0128	73.89	0.0128	34.53	MKS2	0.08073957	0.0042	302.16	0.0047	192.76
MM	0.00151215	0.0059	290.22	0.0059	167.30	LDA2	0.08182118	0.0025	74.40	0.0025	289.76
MSF	0.00282193	0.0098	299.52	0.0098	137.25	L2	0.08202355	0.0053	17.47	0.0056	165.23
MF	0.00305009	0.0074	111.72	0.0074	109.67	T2	0.08321926	0.0048	13.40	0.0048	99.99
ALP1	0.03439657	0.0010	73.47	0.0011	116.17	S2	0.08333334	0.0704	352.96	0.0705	262.84
2Q1	0.03570635	0.0047	81.25	0.0052	84.60	R2	0.08344740	0.0032	266.49	0.0040	174.13
SIG1	0.03590872	0.0037	110.88	0.0041	31.58	K2	0.08356149	0.0193	356.13	0.0216	82.43
Q1	0.03721850	0.0315	109.30	0.0343	350.13	MSN2	0.08484548	0.0024	62.77	0.0024	209.56
RHO1	0.03742087	0.0065	106.31	0.0072	265.87	ETA2	0.08507364	0.0027	356.26	0.0031	322.82
O1	0.03873065	0.1641	130.30	0.1781	248.66	MO3	0.11924206	0.0025	5.72	0.0027	198.26
TAU1	0.03895881	0.0054	323.54	0.0049	62.01	M3	0.12076710	0.0042	241.06	0.0041	172.55
BET1	0.04004043	0.0014	212.18	0.0015	108.89	SO3	0.12206399	0.0015	102.22	0.0016	130.45
NO1	0.04026859	0.0100	148.99	0.0109	251.03	MK3	0.12229215	0.0010	341.63	0.0010	8.76
CHI1	0.04047097	0.0004	121.25	0.0005	117.91	SK3	0.12511408	0.0009	330.69	0.0010	193.51
PI1	0.04143851	0.0060	177.51	0.0060	319.40	MN4	0.15951064	0.0015	189.44	0.0015	100.88
P1	0.04155259	0.0590	162.45	0.0587	127.99	M4	0.16102280	0.0024	206.15	0.0024	354.51
S1	0.04166667	0.0066	158.55	0.0046	265.06	SN4	0.16233259	0.0002	339.14	0.0002	86.27
K1	0.04178075	0.1768	165.56	0.1862	118.50	MS4	0.16384473	0.0017	248.13	0.0017	232.18
PSI1	0.04189482	0.0045	125.97	0.0045	255.51	MK4	0.16407290	0.0009	220.16	0.0010	20.63
PHI1	0.04200891	0.0026	243.44	0.0025	347.32	S4	0.16666667	0.0004	314.57	0.0004	134.32
THE1	0.04309053	0.0022	166.17	0.0025	84.48	SK4	0.16689482	0.0001	144.57	0.0001	140.74
J1	0.04329290	0.0075	160.93	0.0082	356.10	2MK5	0.20280355	0.0008	336.71	0.0009	78.01
SO1	0.04460268	0.0031	102.19	0.0034	253.71	2SK5	0.20844743	0.0002	107.86	0.0002	240.55
OO1	0.04483084	0.0028	187.25	0.0037	169.05	2MN6	0.24002205	0.0022	19.92	0.0021	5.54
UPS1	0.04634299	0.0004	344.56	0.0005	198.85	M6	0.24153420	0.0036	39.64	0.0034	262.18
OQ2	0.07597494	0.0016	296.65	0.0014	23.48	2MS6	0.24435613	0.0028	92.67	0.0027	150.90
EPS2	0.07617731	0.0014	317.40	0.0014	318.67	2MK6	0.24458429	0.0006	84.77	0.0006	319.42
2N2	0.07748710	0.0078	331.71	0.0072	295.04	2SM6	0.24717808	0.0002	129.83	0.0002	23.76
MU2	0.07768947	0.0062	286.38	0.0060	163.40	MSK6	0.24740623	0.0001	117.80	0.0001	188.15
N2	0.07899925	0.0414	339.10	0.0408	176.35	3MK7	0.28331494	0.0003	269.88	0.0003	85.37
NU2	0.07920162	0.0105	1.02	0.0102	114.49	M8	0.32204559	0.0004	259.77	0.0003	196.49

附表 3.6 臺北港 2021 年中潮系統潮位調和分析常數表

ANALYSIS OF HOURLY TIDAL HEIGHTS STN 00052 16H 30/12/2020 TO 15H 31/12/2021 NO.OBS.= 8784 NO.PTS.ANAL.= 8783 MIDPT=15H 01/07/2021 SEPARATION =1.00											
NAME	FREQUENCY	A	G	AL	GL	NAME	FREQUENCY	A	G	AL	GL
Z0	0.00000000	0.1184	0.00	0.1184	0.00	H1	0.08039733	0.0049	245.93	0.0047	314.15
SA	0.00011407	0.1971	202.08	0.1971	25.50	M2	0.08051140	1.1201	79.95	1.1049	154.12
SSA	0.00022816	0.0116	317.45	0.0116	117.67	H2	0.08062547	0.0124	58.71	0.0123	315.57
MSM	0.00130978	0.0153	63.41	0.0153	24.06	MKS2	0.08073957	0.0103	331.27	0.0114	221.85
MM	0.00151215	0.0083	352.68	0.0083	229.76	LDA2	0.08182118	0.0264	108.92	0.0260	324.28
MSF	0.00282193	0.0041	329.10	0.0041	166.83	L2	0.08202355	0.0577	100.44	0.0610	248.21
MF	0.00305009	0.0030	36.93	0.0030	34.87	T2	0.08321926	0.0216	115.75	0.0216	202.34
ALP1	0.03439657	0.0018	55.93	0.0020	98.75	S2	0.08333334	0.3241	111.88	0.3243	21.75
2Q1	0.03570635	0.0048	68.89	0.0051	72.64	R2	0.08344740	0.0047	326.81	0.0057	234.45
SIG1	0.03590872	0.0053	101.72	0.0057	22.45	K2	0.08356149	0.0862	107.80	0.0968	194.09
Q1	0.03721850	0.0355	82.98	0.0385	324.02	MSN2	0.08484548	0.0118	2.82	0.0115	149.61
RHO1	0.03742087	0.0058	84.31	0.0065	243.93	ETA2	0.08507364	0.0039	109.04	0.0044	75.23
O1	0.03873065	0.1801	96.94	0.1955	215.31	MO3	0.11924206	0.0081	323.27	0.0087	155.81
TAU1	0.03895881	0.0025	255.49	0.0023	353.80	M3	0.12076710	0.0045	138.67	0.0044	70.16
BET1	0.04004043	0.0030	110.36	0.0033	7.07	SO3	0.12206399	0.0028	340.08	0.0030	8.33
NO1	0.04026859	0.0140	105.37	0.0155	205.86	MK3	0.12229215	0.0058	343.63	0.0060	10.74
CHI1	0.04047097	0.0016	92.74	0.0018	89.40	SK3	0.12511408	0.0016	32.89	0.0017	255.70
PI1	0.04143851	0.0078	122.18	0.0078	264.07	MN4	0.15951064	0.0049	123.88	0.0048	35.31
P1	0.04155259	0.0686	123.62	0.0683	89.16	M4	0.16102280	0.0128	133.74	0.0125	282.09
S1	0.04166667	0.0043	183.55	0.0030	290.07	SN4	0.16233259	0.0019	143.25	0.0019	250.38
K1	0.04178075	0.2164	124.22	0.2279	77.16	MS4	0.16384473	0.0114	159.48	0.0113	143.52
PSI1	0.04189482	0.0035	233.38	0.0035	2.91	MK4	0.16407290	0.0029	139.55	0.0033	300.01
PHI1	0.04200891	0.0031	102.57	0.0030	206.45	S4	0.16666667	0.0030	179.60	0.0030	359.34
THE1	0.04309053	0.0026	157.20	0.0029	75.42	SK4	0.16689482	0.0017	181.68	0.0020	177.84
J1	0.04329290	0.0105	144.67	0.0115	339.31	2MK5	0.20280355	0.0028	190.74	0.0028	292.02
SO1	0.04460268	0.0027	224.61	0.0029	16.12	2SK5	0.20844743	0.0005	90.39	0.0005	223.08
OO1	0.04483084	0.0042	172.00	0.0054	153.64	2MN6	0.24002205	0.0038	165.45	0.0036	151.05
UPS1	0.04634299	0.0012	131.99	0.0016	346.13	M6	0.24153420	0.0046	178.84	0.0044	41.36
OQ2	0.07597494	0.0063	283.48	0.0056	10.74	2MS6	0.24435613	0.0024	202.08	0.0023	260.30
EPS2	0.07617731	0.0149	206.09	0.0142	207.56	2MK6	0.24458429	0.0009	221.73	0.0009	96.36
2N2	0.07748710	0.0410	5.34	0.0379	329.01	2SM6	0.24717808	0.0013	186.43	0.0013	80.35
MU2	0.07768947	0.0487	226.98	0.0477	104.05	MSK6	0.24740623	0.0003	141.33	0.0003	211.66
N2	0.07899925	0.2170	59.13	0.2136	256.39	3MK7	0.28331494	0.0004	21.17	0.0004	196.63
NU2	0.07920162	0.0588	66.33	0.0575	179.79	M8	0.32204559	0.0007	304.44	0.0007	241.12

附表 3.7 布袋港 2021 年中潮系統潮位調和分析常數表

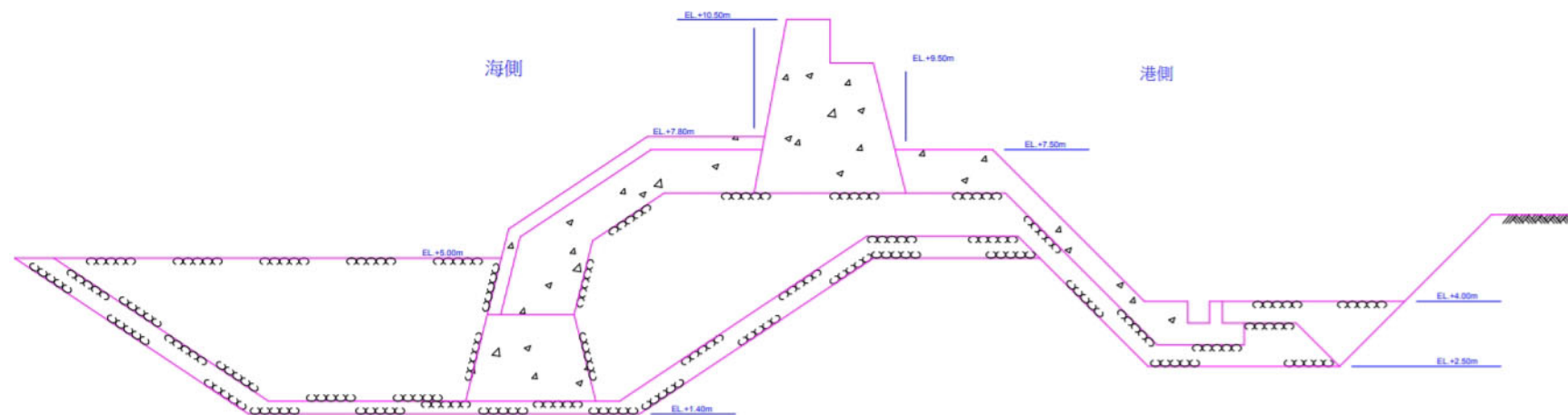
ANALYSIS OF HOURLY TIDAL HEIGHTS STN 00055 16H 30/12/2020 TO 15H 31/12/2021 NO.OBS.= 8784 NO.PTS.ANAL.= 8783 MIDPT=15H 01/07/2021 SEPARATION =1.00											
NAME	FREQUENCY	A	G	AL	GL	NAME	FREQUENCY	A	G	AL	GL
Z0	0.00000000	0.3184	0.00	0.3184	0.00	H1	0.08039733	0.0218	177.92	0.0209	246.13
SA	0.00011407	0.1673	212.89	0.1673	36.31	M2	0.08051140	0.6758	67.03	0.6667	141.21
SSA	0.00022816	0.0408	77.70	0.0408	237.91	H2	0.08062547	0.0269	354.19	0.0267	251.05
MSM	0.00130978	0.0171	74.05	0.0171	34.69	MKS2	0.08073957	0.0060	281.92	0.0066	172.52
MM	0.00151215	0.0092	284.76	0.0092	161.84	LDA2	0.08182118	0.0195	97.99	0.0192	313.35
MSF	0.00282193	0.0084	297.05	0.0084	134.78	L2	0.08202355	0.0362	86.15	0.0383	233.92
MF	0.00305009	0.0057	113.66	0.0057	111.61	T2	0.08321926	0.0173	88.47	0.0173	175.05
ALP1	0.03439657	0.0016	70.81	0.0018	113.55	S2	0.08333334	0.1658	103.52	0.1659	13.40
2Q1	0.03570635	0.0048	83.12	0.0052	86.59	R2	0.08344740	0.0090	250.39	0.0109	158.03
SIG1	0.03590872	0.0047	104.13	0.0051	24.84	K2	0.08356149	0.0436	103.20	0.0490	189.49
Q1	0.03721850	0.0356	105.43	0.0387	346.32	MSN2	0.08484548	0.0093	342.99	0.0091	129.78
RHO1	0.03742087	0.0073	102.01	0.0081	261.59	ETA2	0.08507364	0.0016	6.89	0.0018	333.34
O1	0.03873065	0.1849	122.73	0.2007	241.09	MO3	0.11924206	0.0116	218.19	0.0124	50.72
TAU1	0.03895881	0.0029	311.69	0.0026	50.11	M3	0.12076710	0.0006	291.59	0.0006	223.08
BET1	0.04004043	0.0012	119.88	0.0014	16.60	SO3	0.12206399	0.0067	246.97	0.0073	275.20
NO1	0.04026859	0.0132	127.47	0.0145	229.01	MK3	0.12229215	0.0118	254.63	0.0123	281.75
CHI1	0.04047097	0.0019	155.43	0.0020	152.09	SK3	0.12511408	0.0037	296.76	0.0039	159.58
PI1	0.04143851	0.0046	135.60	0.0046	277.49	MN4	0.15951064	0.0178	174.43	0.0172	85.87
P1	0.04155259	0.0669	152.25	0.0666	117.79	M4	0.16102280	0.0434	193.40	0.0422	341.76
S1	0.04166667	0.0086	115.27	0.0060	221.78	SN4	0.16233259	0.0023	221.34	0.0022	328.47
K1	0.04178075	0.2115	155.19	0.2227	108.13	MS4	0.16384473	0.0296	234.16	0.0293	218.21
PSI1	0.04189482	0.0029	122.04	0.0029	251.58	MK4	0.16407290	0.0086	235.50	0.0095	35.97
PHI1	0.04200891	0.0004	95.80	0.0003	199.68	S4	0.16666667	0.0035	287.47	0.0035	107.21
THE1	0.04309053	0.0034	181.18	0.0038	99.46	SK4	0.16689482	0.0028	280.87	0.0032	277.04
J1	0.04329290	0.0091	161.36	0.0100	356.37	2MK5	0.20280355	0.0021	10.04	0.0022	111.33
SO1	0.04460268	0.0022	195.35	0.0024	346.87	2SK5	0.20844743	0.0000	3.58	0.0000	136.27
OO1	0.04483084	0.0053	214.46	0.0068	196.21	2MN6	0.24002205	0.0031	75.63	0.0030	61.24
UPS1	0.04634299	0.0006	181.08	0.0008	35.32	M6	0.24153420	0.0048	110.56	0.0046	333.09
OQ2	0.07597494	0.0057	280.89	0.0052	7.84	2MS6	0.24435613	0.0054	197.05	0.0053	255.28
EPS2	0.07617731	0.0089	175.82	0.0085	177.15	2MK6	0.24458429	0.0006	142.26	0.0006	16.91
2N2	0.07748710	0.0255	351.88	0.0237	315.32	2SM6	0.24717808	0.0017	275.75	0.0017	169.68
MU2	0.07768947	0.0326	204.41	0.0319	81.45	MSK6	0.24740623	0.0009	314.76	0.0009	25.10
N2	0.07899925	0.1307	45.75	0.1286	243.01	3MK7	0.28331494	0.0006	304.07	0.0006	119.55
NU2	0.07920162	0.0363	53.58	0.0356	167.04	M8	0.32204559	0.0018	270.30	0.0017	207.01

附表 3.8 安平港 2021 年中潮系統潮位調和分析常數表

ANALYSIS OF HOURLY TIDAL HEIGHTS STN 00056 16H 30/12/2020 TO 15H 31/12/2021 NO.OBS.= 8784 NO.PTS.ANAL.= 8783 MIDPT=15H 01/07/2021 SEPARATION =1.00											
NAME	FREQUENCY	A	G	AL	GL	NAME	FREQUENCY	A	G	AL	GL
Z0	0.00000000	0.3474	0.00	0.3474	0.00	H1	0.08039733	0.0077	98.61	0.0074	166.82
SA	0.00011407	0.1346	211.51	0.1346	34.93	M2	0.08051140	0.2656	27.16	0.2620	101.34
SSA	0.00022816	0.0374	86.71	0.0374	246.93	H2	0.08062547	0.0100	314.30	0.0099	211.17
MSM	0.00130978	0.0193	75.70	0.0193	36.35	MKS2	0.08073957	0.0039	253.67	0.0044	144.27
MM	0.00151215	0.0069	298.69	0.0069	175.77	LDA2	0.08182118	0.0053	81.88	0.0053	297.24
MSF	0.00282193	0.0063	270.49	0.0063	108.22	L2	0.08202355	0.0116	63.00	0.0123	210.77
MF	0.00305009	0.0031	141.69	0.0031	139.63	T2	0.08321926	0.0062	10.14	0.0062	96.72
ALP1	0.03439657	0.0011	88.83	0.0012	131.55	S2	0.08333334	0.0627	35.78	0.0627	305.66
2Q1	0.03570635	0.0052	90.44	0.0057	93.85	R2	0.08344740	0.0031	223.81	0.0038	131.45
SIG1	0.03590872	0.0039	113.15	0.0042	33.86	K2	0.08356149	0.0164	34.84	0.0184	121.13
Q1	0.03721850	0.0332	107.09	0.0361	347.94	MSN2	0.08484548	0.0031	335.48	0.0030	122.27
RHO1	0.03742087	0.0073	107.66	0.0082	267.23	ETA2	0.08507364	0.0020	23.03	0.0023	349.54
O1	0.03873065	0.1682	124.68	0.1825	243.03	MO3	0.11924206	0.0005	202.21	0.0005	34.75
TAU1	0.03895881	0.0043	325.28	0.0039	63.73	M3	0.12076710	0.0036	229.99	0.0035	161.48
BET1	0.04004043	0.0015	150.21	0.0017	46.93	SO3	0.12206399	0.0018	199.82	0.0019	228.05
NO1	0.04026859	0.0108	134.84	0.0118	236.64	MK3	0.12229215	0.0017	261.15	0.0018	288.27
CHI1	0.04047097	0.0011	157.93	0.0012	154.60	SK3	0.12511408	0.0012	288.97	0.0012	151.79
PI1	0.04143851	0.0028	164.50	0.0028	306.39	MN4	0.15951064	0.0042	164.31	0.0041	75.75
P1	0.04155259	0.0609	153.51	0.0607	119.06	M4	0.16102280	0.0084	174.55	0.0082	322.91
S1	0.04166667	0.0061	138.78	0.0043	245.29	SN4	0.16233259	0.0010	221.07	0.0010	328.20
K1	0.04178075	0.1878	157.15	0.1978	110.10	MS4	0.16384473	0.0059	221.02	0.0058	205.07
PSI1	0.04189482	0.0035	180.09	0.0036	309.63	MK4	0.16407290	0.0019	211.65	0.0021	12.12
PHI1	0.04200891	0.0016	279.98	0.0016	23.86	S4	0.16666667	0.0006	309.62	0.0006	129.37
THE1	0.04309053	0.0035	158.81	0.0039	77.10	SK4	0.16689482	0.0002	38.56	0.0002	34.73
J1	0.04329290	0.0093	163.79	0.0102	358.88	2MK5	0.20280355	0.0020	346.10	0.0021	87.40
SO1	0.04460268	0.0026	147.00	0.0028	298.52	2SK5	0.20844743	0.0007	195.36	0.0008	328.05
OO1	0.04483084	0.0046	209.08	0.0059	190.85	2MN6	0.24002205	0.0029	359.61	0.0028	345.23
UPS1	0.04634299	0.0011	187.41	0.0015	41.67	M6	0.24153420	0.0046	28.67	0.0044	251.21
OQ2	0.07597494	0.0018	318.14	0.0016	45.03	2MS6	0.24435613	0.0027	66.86	0.0026	125.09
EPS2	0.07617731	0.0017	204.37	0.0016	205.67	2MK6	0.24458429	0.0009	37.27	0.0010	271.92
2N2	0.07748710	0.0114	336.24	0.0106	299.62	2SM6	0.24717808	0.0001	337.81	0.0001	231.74
MU2	0.07768947	0.0099	227.29	0.0097	104.32	MSK6	0.24740623	0.0002	36.37	0.0003	106.71
N2	0.07899925	0.0574	8.97	0.0565	206.23	3MK7	0.28331494	0.0004	270.73	0.0004	86.20
NU2	0.07920162	0.0151	29.74	0.0148	143.21	M8	0.32204559	0.0007	215.32	0.0006	152.03

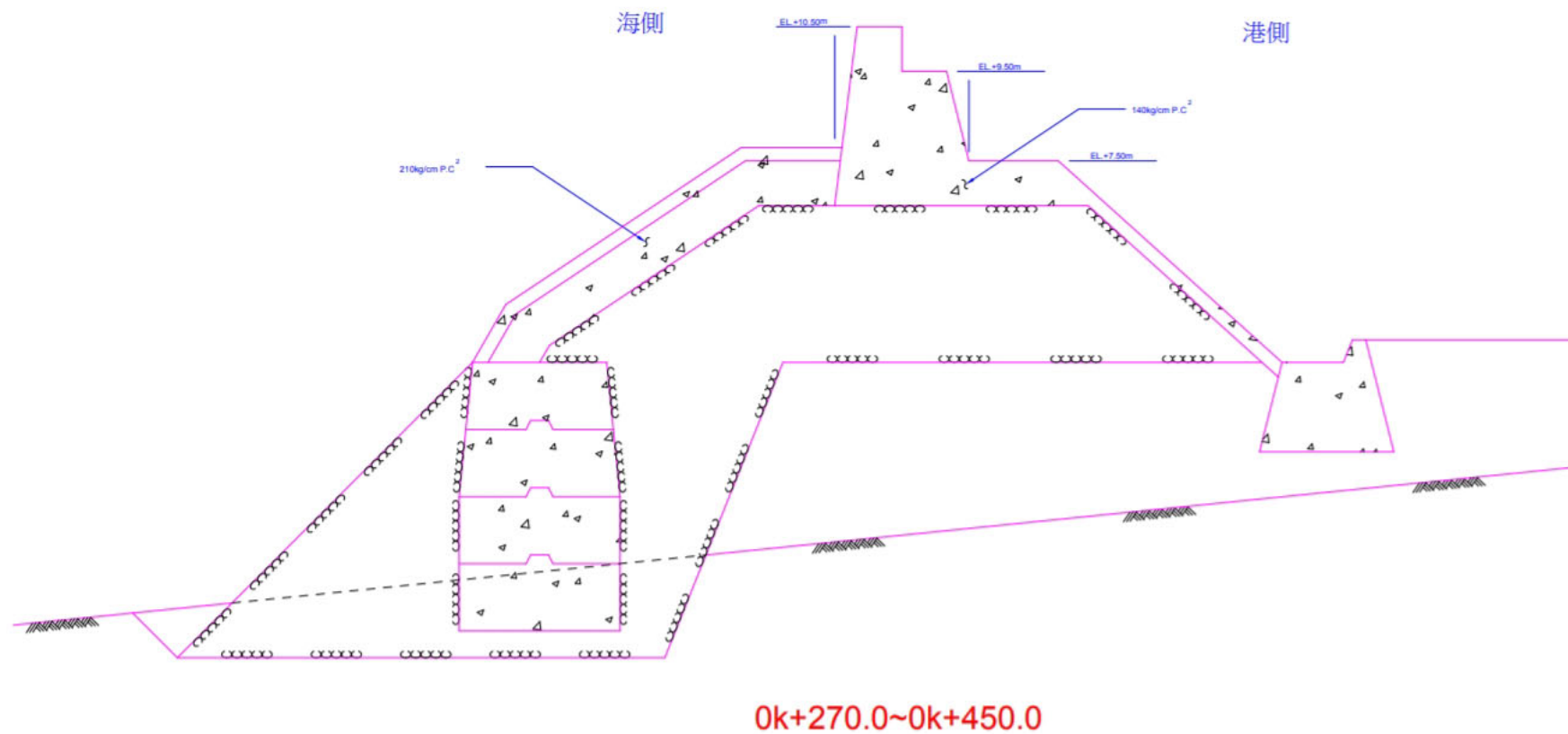
附錄四

花蓮港東防波堤標準斷面圖

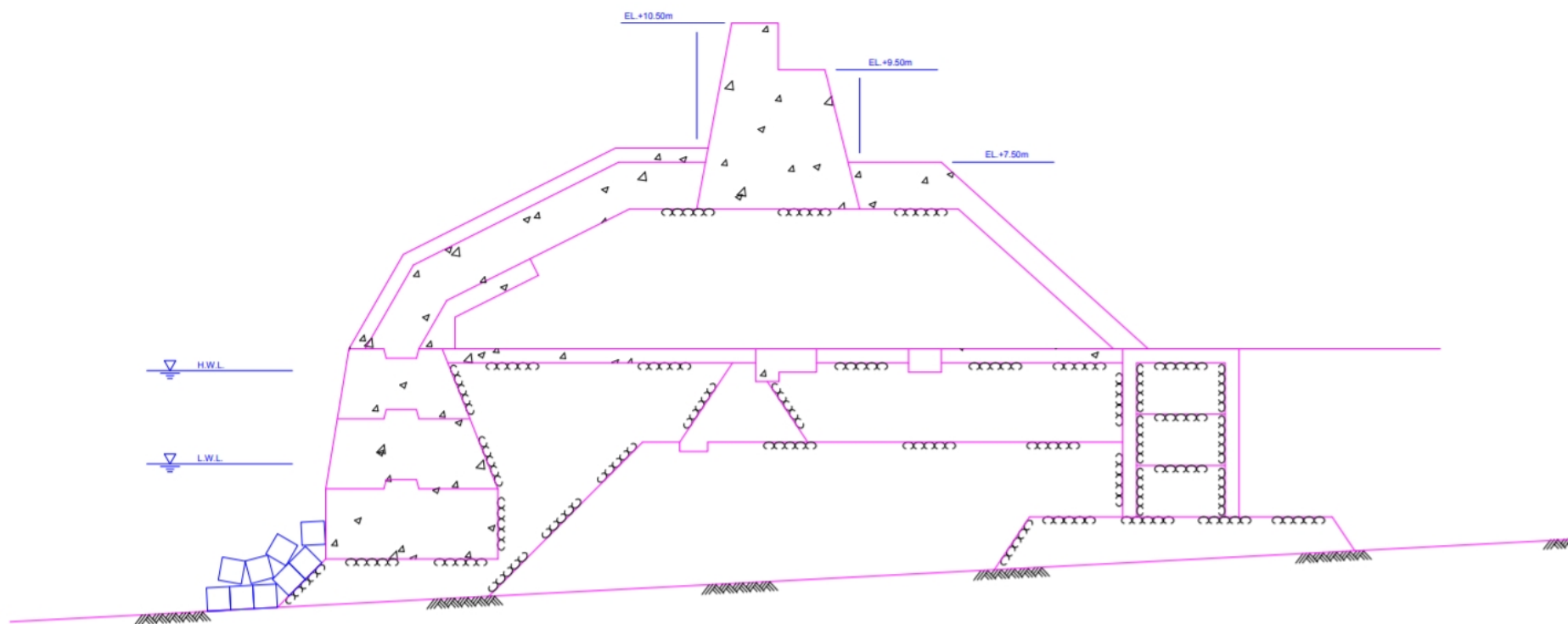


0k+000.0~0k+270.0

附圖 4.1 舊東堤(0k+000.0~0k+270.0)標準斷面圖(港研中心提供)

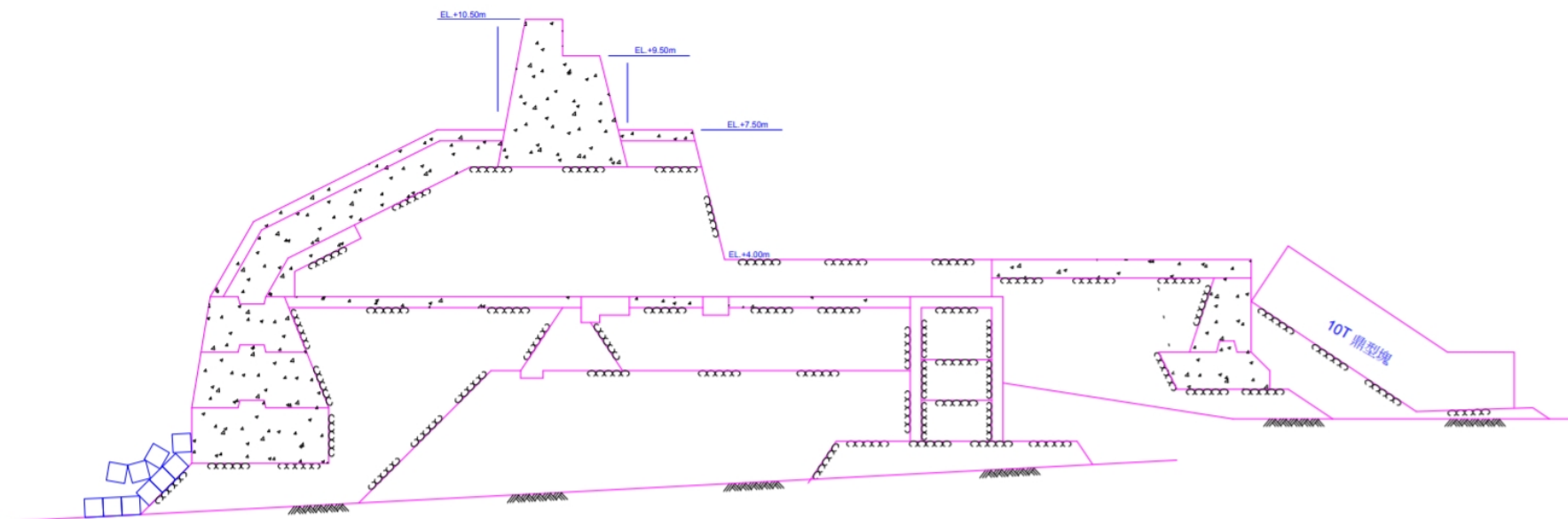


附圖 4.2 舊東堤(0k+270.0~0k+450.0)標準斷面圖(港研中心提供)



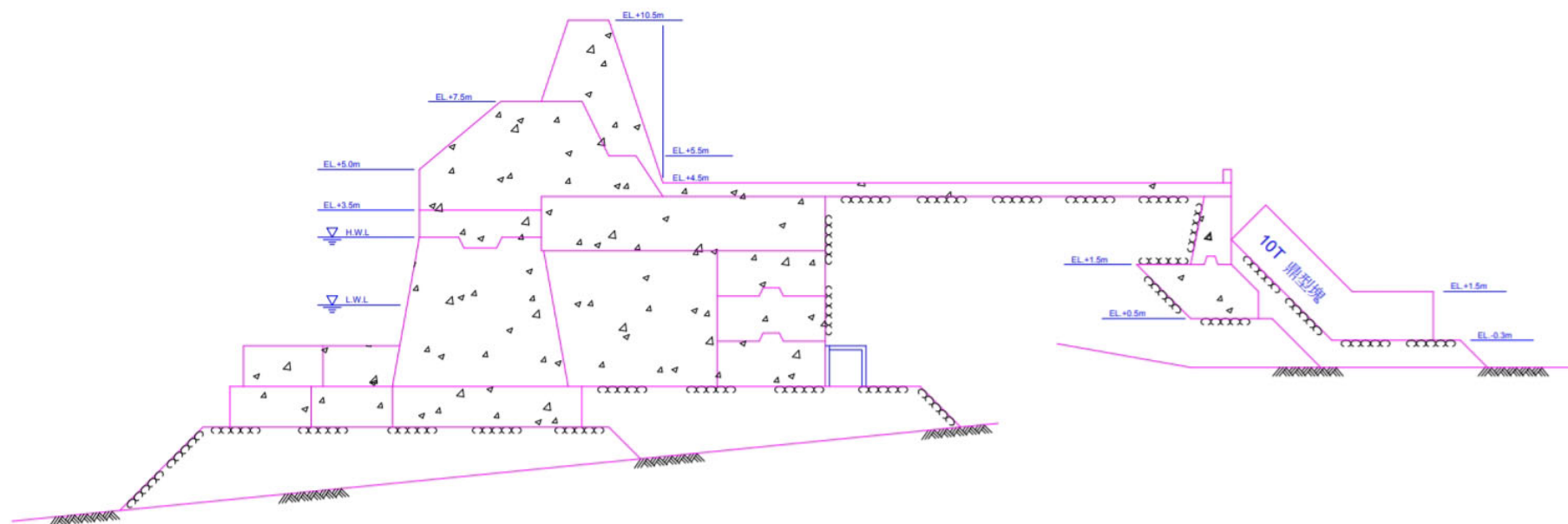
0K+450.0~0K+910.0

附圖 4.3 舊東堤(0k+450.0~0k+910.0)標準斷面圖(港研中心提供)



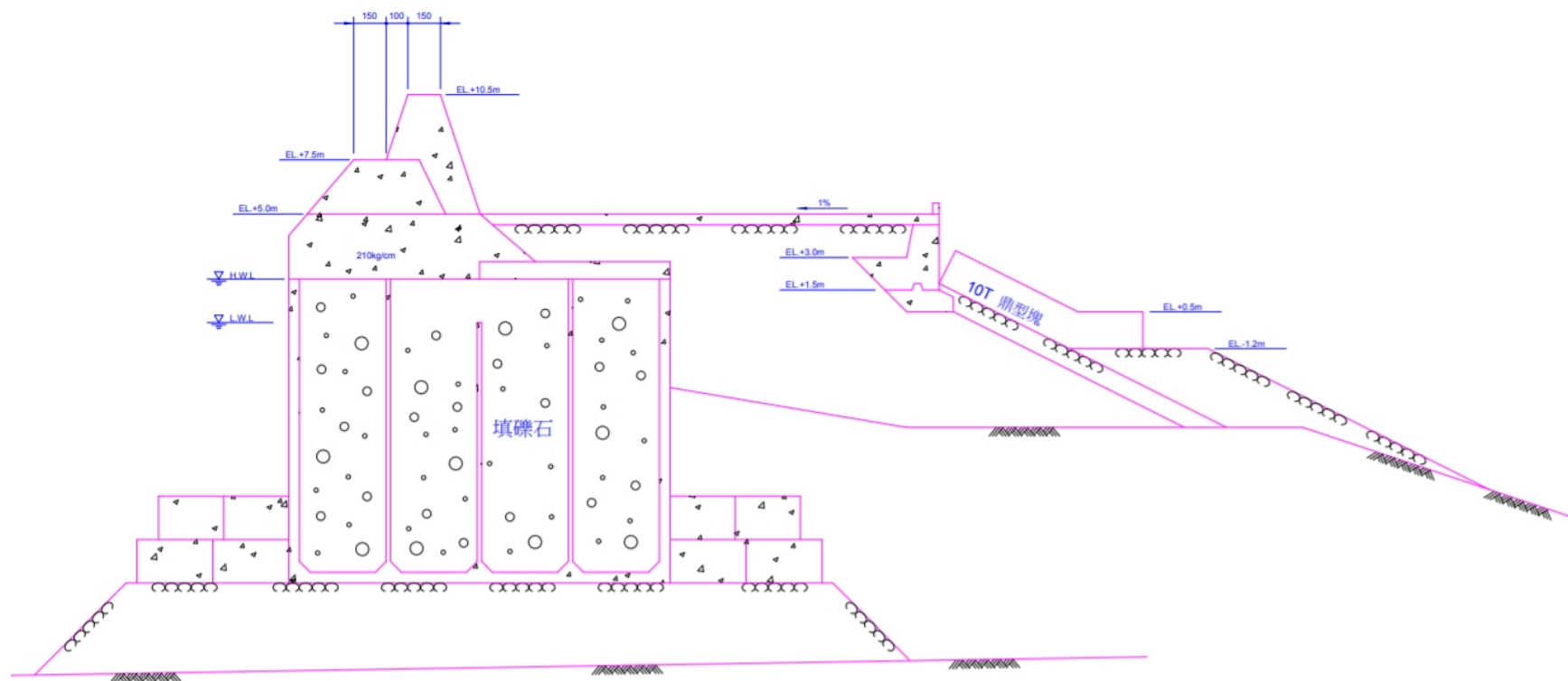
0k+910.0~0k+990.0

附圖 4.4 舊東堤(0k+910.0~0k+990.0)標準斷面圖(港研中心提供)



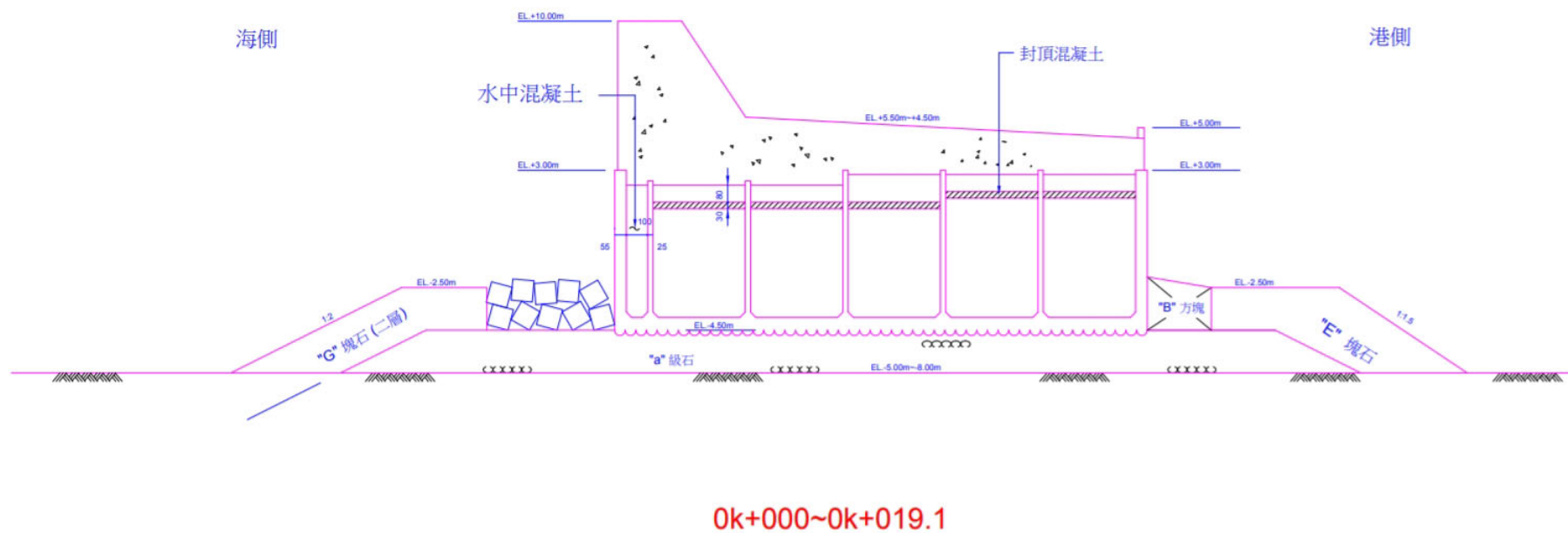
0k+990.0~1k+080.0

附圖 4.5 舊東堤(0k+990.0~1k+080.0)標準斷面圖(港研中心提供)



1k+080~1k+330.0

附圖 4.6 舊東堤(1k+080.0~1k+330.0)標準斷面圖(港研中心提供)

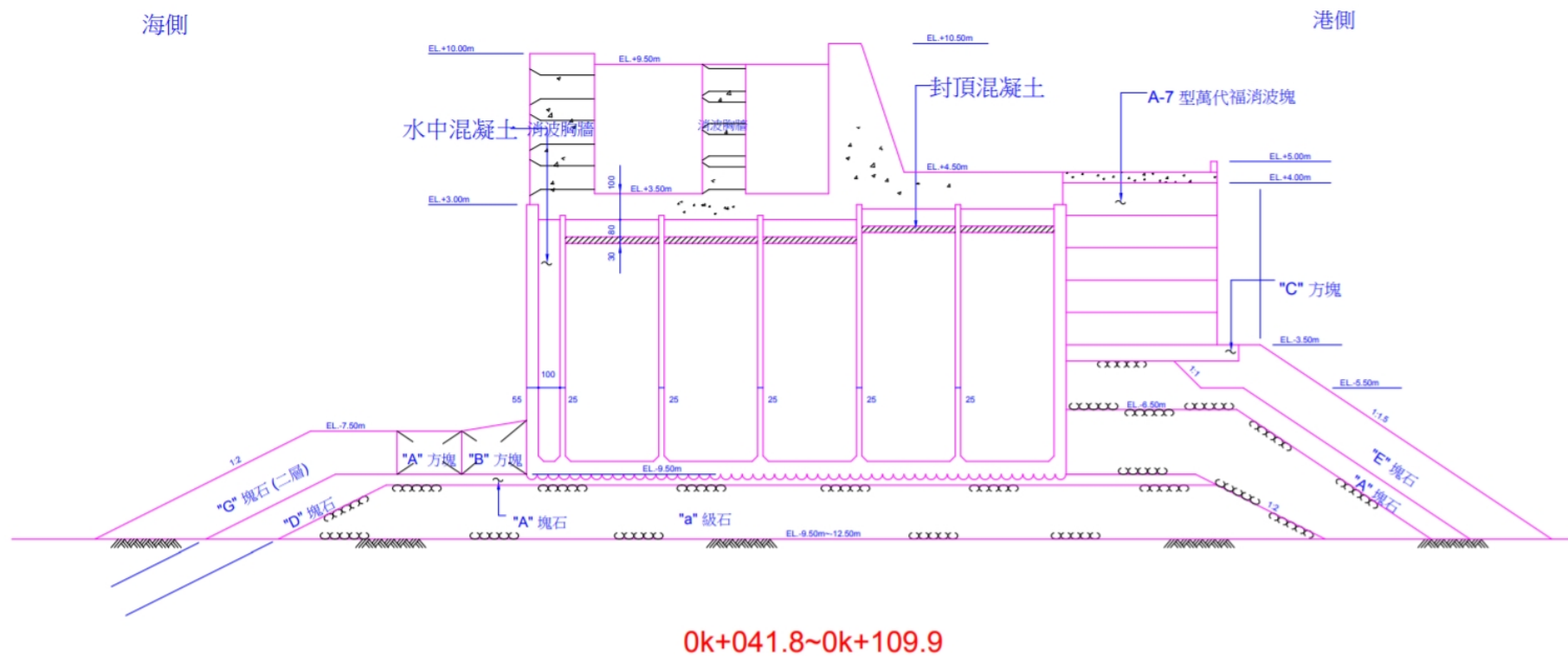


附圖 4.7 新東堤(0k+000.0~0k+019.1)標準斷面圖(港研中心提供)



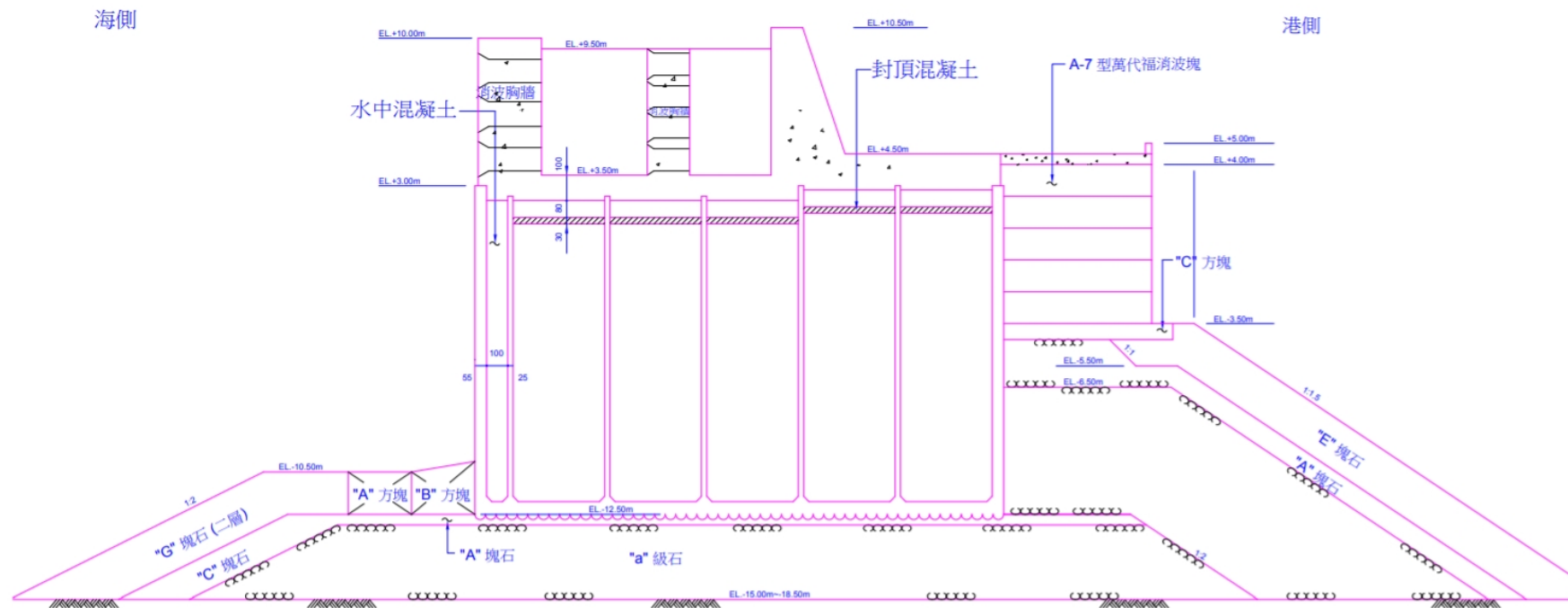
附圖 4.8 新東堤(0k+019.1~0k+041.8)標準斷面圖(港研中心提供)

附圖 4.8 新東堤(0k+019.1~0k+041.8)標準斷面圖(港研中心提供)



附圖 4.9 新東堤(0k+041.8~0k+109.9)標準斷面圖(港研中心提供)

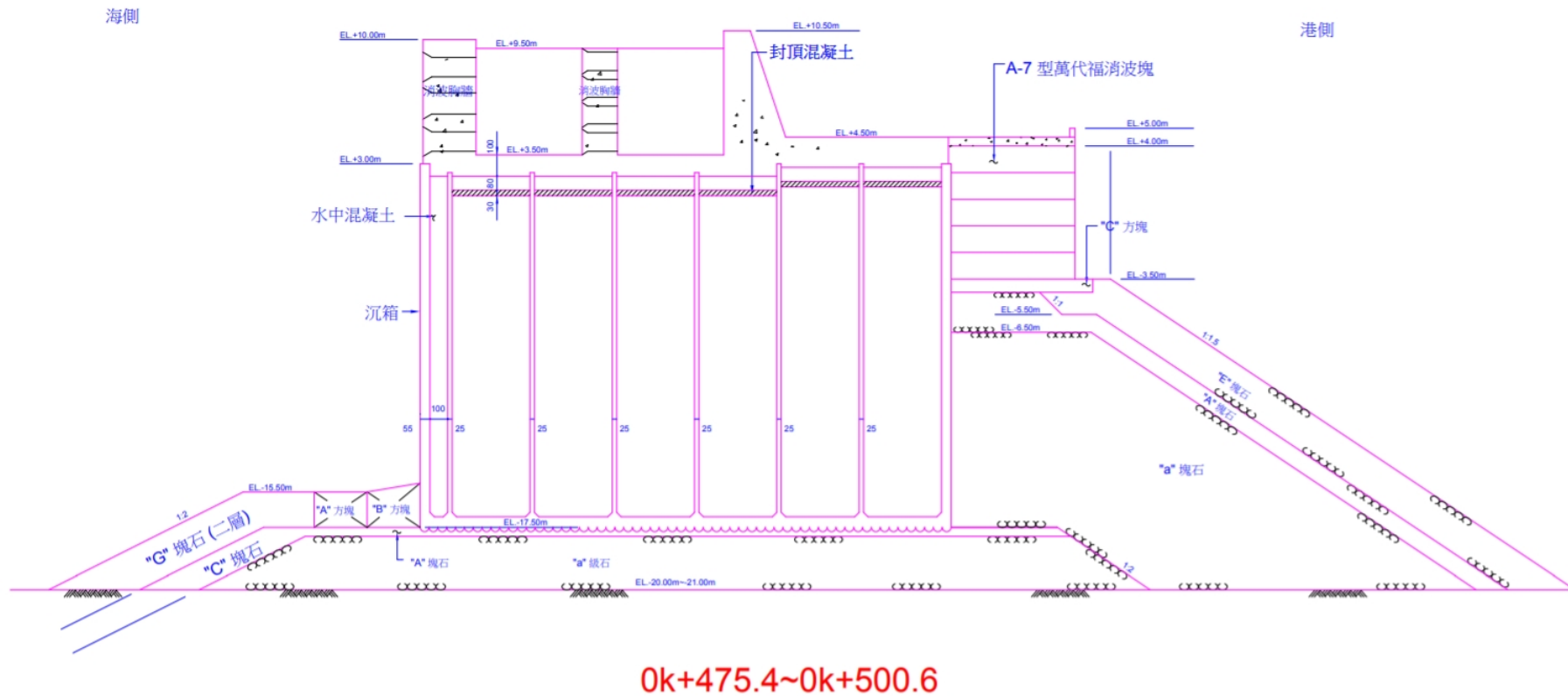
附圖 4.10 新東堤(0k+109.9~0k+223.4)標準斷面圖(港研中心提供)



0k+223.4~0k+374.6

附圖 4.11 新東堤(0k+223.4~0k+374.6)標準斷面圖(港研中心提供)

附圖 4.12 新東堤(0k+374.6~0k+475.4)標準斷面圖(港研中心提供)



附圖 4.13 新東堤(0k+475.4~0k+500.6)標準斷面圖(港研中心提供)

附圖 4.14 新東堤(0k+500.6~1k+835.0)標準斷面圖(港研中心提供)

附錄五

期中報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

■期中□期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：海氣象預測模擬系統之維運與精進(1/4)－精進基隆海域模組

合作研究單位：國立成功大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
(一)簡連貴委員		
1. 本計畫屬長期延續推動計畫，主要研究重點包括精進基隆海域風浪模組及水動力模組、基隆港港區靜穩模組建置、發展花蓮港外廓防波堤越波模組及其他相關海象模擬之改善等課題，有其重要性。本計畫工作項目多且具相當困難度與挑戰性高，如 p.1-5~p.1-7，相當不容易，本年度重點為期中報告內容相當豐富，大致符合要求，建議加強各階段查核點及 KPI 說明，以利評估，及強化本年度在模式維護與精進基隆海域模組改善之重點，以彰顯研究貢獻。	1. 感謝委員建議，目前已透過每月工作會議加強執行進度追蹤及評估，本年度模式維護與精進、改善重點將在期末報告呈現。	原則同意辦理。
2. 請說明海象模擬作業化系統校修與維運，各模式測試、上線、資料統計、繪圖輸出等相關工作辦理情形。建議與中央氣象局模式比較研析。	2. 謝謝委員建議，關於系統校修與維運，各模式測試、上線、資料統計、繪圖輸出等相關工作辦理情形，可參閱每年度伺服器維護紀錄(表 2-8)，以及及期末報告時完成的預測成果評估報告。另 108 及 109 年執行前期相關計畫曾將中央氣象局波浪、潮流模擬結果納入比較。	原則同意辦理。
3. 臺灣近岸海象模擬作業化系統維運與改善研究，請說明近岸	3. 謝謝委員意見，本計畫近岸模組模擬範圍原則上滿足海岸	原則同意辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
水深範圍？及如何改善模式？p.2-36，海域底床摩擦係數如何決定？與不同海岸特性相關(如沙岸、礫石海岸、岩岸、珊瑚礁岩等)，請補充海域摩擦係數之合理性。	管理法近岸海域之定義(即以平均高潮線往海洋延伸至三十公尺等深線，或平均高潮線向海三哩涵蓋之海域，取其距離較長者為界)。水動力模組底床摩擦係數係透過模擬結果與觀測值間率定結果決定，非取決於底質特性。	
4. 氣象局 WRF 氣象場 M04 及 M05 差異，東部測站蘇澳港(如圖 2.45)及花蓮港(如圖 2.42)差異最大，請說明測站差異之可能原因？	4. 本計畫比較 M04 及 M05 風場差異，主要目的是比較 M04 及 M05 風場對波浪、潮流模擬之影響或改善情形，俾利判斷後續系統要以哪一種風場預報資料做系統驅動力，非探討 2 種預報風場氣象因子差異，比較結果將於期末報告中呈現。	原則同意辦理。
5. 表 3-5，臺灣周圍海域冬季風浪模擬值與觀測值之校驗成果，其中布袋港(平均波向， $R=0.206$)、安平港(平均週期 $R=0.213$ ，譜峰周期 $R=0.193$ ，平均波向 $R=0.192$)及高雄港(平均波向 $R=0.149$)，相關性偏低，請說明可能原因。	5. 主要影響因素判斷與中尺度近域風浪模組網格解析度無法反應陸域(含沙洲)地形產生的遮蔽效應有關。	原則同意辦理。
6. p.4-2，地形水深資料，臺灣海峽水深受沙波移動變化大，應納入考量。	6. 謝謝委員意見，因目前作業化系統每日需運作 4 次，且每次必須在有限時間內完成所有模組運算並產製圖資並即時展示於網頁上，具時程壓力，爰目前尚無此方面考量。	原則同意辦理。
7. p.5-1，請釐清本年(111)度成果評估週期？p.9-1，完成本年度(2021 年 9 月至 2021 年 5 月)海象作業化預測評估月報，請納入附錄供參考。	7. 謝謝委員指正，相關錯誤已修正。	原則同意辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
8. 有關臺灣周邊海域水動力模擬與校驗，請比較近3年之校驗結果差異或趨勢分析。	8. 目前僅2021及2022年有較完整及系統性之校驗分析結果，目前尚無法做到趨勢分析，後續將視累積成果再行辦理。	原則同意辦理。
9. 建議加強東部花蓮港海域環境(如海床坡度陡峭、近岸地形、海床特性)風力、波浪、水位及流場海象模式之相關模組具體改善做法與成效，以利評估。	9. 謝謝委員建議，108及109年計畫已針對東部海域蒐集有關地形水深、水位、波、流等基本資料，本年度則持續蒐集花蓮港水深調查資料，提供近岸波浪模組及防波堤越波計算使用。	原則同意辦理。
10. 有關近岸及港域波浪模式，建議後續加強處理近岸地形或結構效應之影響研究，以符合實際近岸特性。	10. 謝謝委員建議，本計畫將視需要、不定期更新近岸地形。	原則同意辦理。
(二)許弘莒委員		
期中報告內容完整，肯定工作團隊之辛勞與努力。以下幾點建議，提供參考。	謝謝委員肯定。	原則同意辦理。
1. 本計畫主要目的為精進基隆海域模組。故在建置與模擬時須依照此港域之特性(如地形變化、環境波流場等)加以修正，以擴展模式之應用性。目前個別波浪與水動力模擬系統是獨立執行的，非耦合之模擬系統。	1. 受到硬體資源限制，本計畫目前無建置海象耦合模擬系統規劃。	
2. 第2.3.1節對於水動力模式中之底床摩擦係數之參數進行討論與優化，值得肯定。	2. 謝謝委員肯定。	感謝委員肯定。
(1)此優化後的底床摩擦係數在模式中是固定值，或是隨著不同水深與底質條件而變化。	(1)採用曼寧公式計算底床摩擦係數，因此元素間底床摩擦係數會因水深不同而異。	原則同意辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
(2) 暴潮水位亦可能受到波浪輻射應力之影響。	(2) 本計畫中尺度暴潮模組因計算網格解析度因素，假設忽略波浪輻射應力之影響。	原則同意辦理。
(3) 建議可以強化於極端水位的分析。	(3) 103 年計畫已利用極端值分布函數分析不同復現期距下各港最大暴潮位(偏差)。	原則同意辦理。
3. 第 2.3.2 節中分析 WRF M04、M05 之差異，其結論為何？	3. 目前僅證實二者確實存在差異，但本計畫比較 M04 及 M05 風場差異，主要目的是比較 M04 及 M05 風場對波浪、潮流模擬之影響或改善情形，俾利判斷後續系統要以哪一種風場預報資料做系統驅動力，非探討 2 種預報風場氣象因子差異，比較結果將於期末報告中呈現。	原則同意辦理。
4. 在第三章中冬季風浪模擬結果顯示，除了基隆海域外，其餘海域模擬之示性波高均偏大，平均週期偏小，建議分析其原因以利後續精進。而颱風波浪之模擬結果仍呈現 TaiCOMS 模擬值偏大情形。圖 3.16-3.17 出現雙峰現象，建議可以先分析其波譜輔助釐清差異之可能原因。	4. 謝謝委員建議，風場影響為主要因素，本計畫將視模擬校驗成果，再規劃後續可能的改善研究對策。圖 3.16-3.17 觀測資料出現雙峰現象，初步判斷可能與實際颱風受到陸地影響出現變化，此現象可能作業化風場無法呈現有關。	原則同意辦理。
5. 第四章暴潮偏差之模擬值，如圖 4.14~4.17，建議可以加入波浪之因素。	5. 謝謝委員意見，目前暴潮模擬假設波浪影響可忽略不計。	原則同意辦理。
6. 第六章 p.6-6，KLsea 與 Tai 之模擬檢核點為何不選在 AWAC 之放置點？模擬結果均與觀測值有差異，其原因為何？如何精	6. 因為對 SWAN 模式內差處理方式有疑慮，所以選擇網格計算點為輸出點較適宜。目前改善的方法為建置網格解析度	原則同意辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
進?	較高之小尺度風浪模組因應。影響因素有二，包括網格解析度無法反應實際的地形，以及底床摩擦係數仍需進一步校修。	
7. 第七章請補充說明各邊界之反射率如何決定?建議應用港內實測波潮流資料，進行模擬結果之比較驗證。是否考慮風場、潮流等環境因素?	7. 報告中邊界反射率決定方式係參考美國工程兵團海岸工程手冊，設定海岸及結構物邊界反射率假設值。港域波浪模擬目前無法考慮風及海流等環境因素。	原則同意辦理。
8. 第八章請補充外廓防波堤之斷面設計圖。以 8.3 節之溯升公式不易應用於外廓防波堤溯升或越波之計算，需再輔以考慮反射波以及衝擊波之效應。	8. 於期末報告中呈現外廓防波堤之斷面設計圖。	原則同意辦理。
(三)張恆文委員		
1. 報告書文字誤植、漏字臚列如下，請修正： p.1-2 本計畫臺灣近岸海象預測系統 2.0 加「」；p.1-5 對「象」；p.3-1 表 3-1 * ¹ 代表? p.6-1「含」蓋，應為「涵」蓋；p.9-1 第 5 點月報表期間有誤。	1. 感謝委員指正，相關錯誤已修正。	原則同意辦理。
2. 圖 2-1 與敘述不符;p.2-9 圖 2-2 看不到臺海波浪模擬及港區波浪模擬，兜不起來；p.2-10、圖 2.20 冷啟動、熱啟動(hotrun, hotstart) p.4-3，請把它統一；p.2-18 8 秒以上? p.2-28「本年度」與表 2-8 維護期間不符；p.2-32 優化甚麼? p.2-36 c.p.? 圖 2.25 及圖 4.3，圖 2.26 及圖 4.2 相同重複；p.4-20 說明圖 4.26-圖 4.27 似乎有誤。	2. 感謝委員指正，相關錯誤期末報告再修正。此處“hotrun”是程式中用的變數名稱；港域波浪模組因數值計算網格解度之限制，影響週期 8 秒以下波浪場模擬結果之失真。	原則同意辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
3. 本計畫應該是歷年來的研究成果的維護，而且能夠確實應用及校驗，值得肯定，加上部分的精進研究改進，是非常好的計畫。作業化需求硬體的部分可能真的要支持。	3. 謝謝委員之肯定及建議。	感謝委員肯定，因本所經費有限，僅能在有限經費下予以支持，仍會持續爭取經費。
4. 表 3-5 和圖 3.8，波高偏高(除了基隆港)、周期偏短？	4. 謝謝委員意見，將列入模式校驗項目，辦理討論改善工作。	原則同意辦理。
5. 地形水深資料來源？近岸建議不要用海科中心 200 m 的資料。	5. 謝謝委員建議，後續計畫再辦理評估。	原則同意辦理。
6. 重組風場，建議用_06.00～84，不要用_06.00～06.84。用愈遠的預報，會造成更多的不連續性。建議比較觀測和預報資料。	6. 謝謝委員建議，因配合系統追算模擬而採用的特殊安排，目前建議不宜變動。	原則同意辦理。
7. 第五章，圖 5.1～圖 5.9 模擬點都離觀測點好遠，和圖 2.39 不一樣。	7. 謝謝委員指正，本計畫於 4 月～5 月期間，因「港灣環境資訊網」增加展示風力觀測站，海象模擬作業化系統配合增加與觀測站相對應之模擬輸出點位，爰圖 5.1～圖 5.9 將重新檢視修正並於期末報告中呈現。	原則同意辦理。
8. 沒有附錄三，可否加上 R；表 4-1 還有加上 2019、2020？有再加回去基準高程？圖 4.12 及圖 4.24 的差異？	8. 謝謝委員指正，附錄三遺漏期末報告再行補充，因各站 R 值均很高，差異不明顯，故今年決定不放；圖 4.6～圖 4.13 採用 TWVD2001 高程基準；圖 4.18～圖 4.25 為扣除年平均値歷線比對。	原則同意辦理。
9. p.3-2 布袋港之觀測資料為浮球，建議僅供參考？	9. 除了布袋港係以浮標蒐集觀測資料以外，其餘各商港波、流觀測資料係以 AWAC 波流儀蒐集之波流資料做比對，爰	原則同意辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
	布袋港觀測資料比對結果與其他各港間之差異，存在其儀器使用不同而產生之差異性，爰建議參考，後續在期末報告中會再將語意敘明清楚。	
10.水動力模擬，中尺度與小尺度的網格大小差異？有需要再nest？水深平均夠用嗎？流場的pattern？流的比較部分有濾掉長周期？	10.謝謝委員意見，除了網格大小差異外，還包括模擬範圍差異；目前水動力無更小尺度網格規劃；水深平均在東部海域有不足之慮，但港內仍有合理性；基本上，流的校驗過程對觀測資料會濾掉淨流速(或長週期)。	原則同意辦理。
11.表 3-7 平均波向 NRMSE 指標合適嗎？	11.目前仍以 NRMSE，後續年度計畫再行評估。	原則同意辦理。
(四)沈光青委員(書面審查意見)		
1. p.2-18，基於港域波浪模組化模擬時間相當費時，不符作業化模擬需求，…，故採用預先建立數值模擬結果資料庫設計方式為之，並侷限颱風波浪期間啟動 1 節，後續颱風期間，經測試後並確認可靠度及即時性後，因基隆港波浪受東北季風影響，建議增加季風波浪期間啟動。	1. 感謝委員建議，冬季風浪對港內靜穩之模擬，未來會納入作業化流程。	原則同意辦理。
2. p.2-28，本案於 111 年決標，惟伺服器維護紀錄為 2020 年 9 月-2021 年 8 月，建議再釐清確認。	2. 感謝委員指正，此部份將於期末報告更新。	原則同意辦理。
3. p.2-39，M04、M05 風場差異較大，又西部臺中港、安平港、布袋港及高雄港最大、北部臺北港及基隆港次之、東部蘇澳港及花蓮港最小，建議後續參	3. 謝謝委員建議，主要目的是比較 M04 及 M05 風場對波浪、潮流模擬之影響或改善情形，俾利判斷後續系統要以哪一種風場預報資料做系統驅	原則同意辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
數可納入場址效應比較。	動力，非探討 2 種預報風場氣象因子差異，比較結果將於期末報告中呈現。	
4. p.3-7，表 3-5 與圖 3.6，部份 R 值數據不一致，請確認。	4. 感謝委員指正，已修正。	原則同意辦理。
5. p.3-13，圖 3.8 布袋港數據圖，疑似誤植為安平港數據圖，請確認。	5. 感謝委員指正，已修正。	原則同意辦理。
6. p.3-20，表 3-7 與圖 3.19 璨樹颱風期間，臺北港海域波浪模擬值與觀測值比較圖，部份 R 值數據不一致，請確認。	6. 感謝委員指正，已修正。	原則同意辦理。
7. p.3-29，表 3-9 與圖 3.26，臺北港海域波浪模擬值與觀測值比較圖，數據不一致，請確認。	7. 感謝委員指正，已修正。	原則同意辦理。
8. p.3-29，表 3-9 與圖 3.29，高雄港海域波浪模擬值與觀測值比較圖數據不一致，請確認。	8. 感謝委員指正，已修正。	原則同意辦理。
9. p.3-29，表 3-9 所列，基隆港平均波向 R 值為-0.015，安平港示性波高 R 值為-0.258，譜峰週期 R 值為-0.157，依據報告書 $R < 0.3$ 為低度相關，而負值所代表意義是否為無相關，後續應納入模擬方式調整評估。	9. 謝謝委員建議，因校驗對象僅為單一颱風事件，後續將視其發生頻率，再評估因應方式。	原則同意辦理。
10.p.5-2~5-3，表 5-1~5-3 多筆數據蒐集率為 0，是否為儀器問題並建議加註原因。	10.目前已知原因為觀測設備受損待修復，蒐集率會再更新並於期末報告呈現。	原則同意辦理。
11.p.7-2，基隆港港域波浪場模擬，其模擬港型請配合以西防波堤及西碎波堤間水域已完成填築之實際情況更新。另在基本共振模態下，港區波高放大率呈現自港口往港渠末端增	11.此部份後續會進一步處理；基本共振模態為理論上港池長度固有特性；實際狀態下，觸發基本共振模態之機率極低。	原則同意辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
大，港區內無任何節點產生 1 節，補充說明基隆港是否具港域波浪共振情形。		
12.p.9-1，結論 5「…完成本年度（2021 年 9 月至 2021 年 5 月）海象作業化預測評估月報」，其時間區間請再確認更新。	12.感謝委員指正，已修正。	原則同意辦理。
(五)本所港灣技術研究中心林雅雯科長		
1. 第 2-36 頁，底床摩擦係數依現況減縮或放大，最後採用之值範圍為何?建議補充說明。	1. 底床摩擦係數隨元素水深而異，整體底床摩擦係數分布介於 0.001~0.02。	原則同意辦理。
2. 第 2-40 至 2-43 頁，為何採用今年 1 月 1 日至 1 月 6 日之預報氣壓及風速進行比較?實測資料建議於圖上補充比較。	2. 因原規劃僅針對一組同時間預報資料進行比對，故選取任何一組資料均可。如增加與實測資料比較，預期無助於比較優劣，故報告傾向於不納入實測資料之比對。	原則同意辦理。
3. 第 3-21 至 3-36 頁，颱風波浪模擬之示性波高及最大示性波高並非皆偏保守，且最大示性波高發生時間亦有提前或延後，建議提供如何改善之建議，俾利於港務運作上實務運用。	3. 颱風波浪模擬結果最大示性波高模擬時間提前或延後影響因素很多，本計畫不易針對單一事件去做調整作業化模組；目前改善工作主要以冬季季風波浪模擬為標的。	原則同意辦理。
4. 第七章靜穩模擬模組與之前細尺度波浪模組之差別，建議補充說明。	4. 目前採用相同計算網格，後續如有調整將於期末報告說明。	原則同意辦理。
5. 第 4-16 至 4-19 頁，暴潮偏差分析歷線圖，建議增加圖例。	5. 遵照辦理，於期末報告增加圖例。	原則同意辦理。
6. 第 8-3 頁，公式沒有 γ_v 。	6. 此處 γ_v 為減少因子，主要用於計算越波量，因本計畫並未計算越波量，故未出現溯升公式中，期末報告將予以刪除。	原則同意辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
(六)本所港灣技術研究中心傅怡釗副研究員		
1. 圖 2.1 請更名以符合文章敘述，圖 2.2 請更新圖資，圖名更改為「圖 2.2 「臺灣近岸海象預測系統 2.0」架構圖」。	1. 經會後與業務單位說明釐清，維持圖 2.1 及圖 2.2 圖資資料，惟文章內容再敘明清楚。	原則同意辦理。
2. 第二章，請補充今年度在風場處理子系統將中央氣象局 73 小時(3 日)風場資料延長為 126 小時(5 日)之系統、排程改善工作並更新圖 2.3。	2. 遵照辦理，納入期末報告補充。	原則同意辦理。
3. 有關表 2-8 伺服器維護紀錄，建議以後期中報告檢附前年度 9 月至當年度 5 月之維護紀錄，期末報告則檢附前年度 9 月至當年度 8 月之維護紀錄。	3. 遵照辦理。	原則同意辦理。
4. 第六章，各部分 SWAN 設定指令，建議統整成圖，配合文章內容一起表述，以避免文章內容版面凌亂(或變成附錄)。	4. 遵照辦理。	原則同意辦理。
5. p.6-10 地形水深部分，本計畫開始執行時，本所就有提供基隆港 110 年測量資料，請更新模式使用之地形水深資料，若要使用 109 年測量資料，請補充原因。	5. 遵照辦理，本年度尚未更新水動力模組地形資料。	原則同意辦理。
6. 第八章，建議在 10 月繳交之期末報告中，說明越波模組模擬結果能提供港務公司哪方面應用或用途。	6. 遵照辦理。	原則同意辦理。

附錄六

期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

□期中■期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：海氣象預測模擬系統之維運與精進(1/4)－精進基隆海域模組

合作研究單位：國立成功大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
(一)簡連貴委員		
1. 本計畫屬長期延續推動計畫，期中審查意見大致已回覆，主要研究重點包括精進基隆海域風浪模組及水動力模組、基隆港港區靜穩模組建置、發展花蓮港外廓防波堤越波模組及其他相關海象模擬之改善等課題，工作項目多且具相當困難度與挑戰性高，相當不容易，期末報告內容相當豐碩，大致符合要求，應加強計畫在相關模擬系統維運與精進之量化或質化績效成果說明，以彰顯研究貢獻。	1. 感謝委員建議。	原則同意辦理。
2. 第一章 P1-7，請補充辦理成果行銷推廣活動及投稿情形。	2. 行銷推廣活動因行政院停辦「災害防救科技創新服務方案」(108 年-111 年)成果展而取消。另本計畫相關成果已整理投稿並刊登於 111 年 6 月份港灣季刊。	本計畫後於 111 年 12 月 26 日至臺灣港務股份有限公司基隆港務分公司辦理「111 年度基隆港海象觀測及模擬計畫成果交流會」中進行基隆港數值模擬計畫成果說明。
3. 第二章請說明海象模擬作業化系統校修與維運，請量化統計各模式測試、上線、資料統計、繪圖輸出等相關工作辦理情形。	3. 謝謝委員建議，本年度系統維運事件達 60 次以上，每月提送系統相關資料統計成果供港研所內參。	關於本計畫系統校修與維運，各模式測試、上線、資料統計、繪圖輸出等相關工作辦理情形，可參閱每年度伺服器維

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
		護紀錄表 2-8。 另本計畫每年產製預測成果評估報告，報告內容即針對各商港模擬資料與實測資料作比對、統計及繪圖分析。
4. 第二章 P.2-3，2.2.2 節臺灣水動力模擬系統作業環境優化說明，有參考價值，另建議後續應建立海象模擬作業化系統校修與維運之標準作業程序或參考手冊，供參考。	4. 此部份已逐步建置中。	原則同意辦理。
5. 臺灣近岸海象模擬作業化系統維運與改善研究，海域底床摩擦係數為主要影響參數之一，係透過模擬結果與觀測值間率定結果決定，請說明不同海域底床摩擦係數之合理性，並說明西南部海域海床摩擦係數放大為 110%之可能原因及同一海域不同季節係數是否一致？	5. 謝謝委員意見。	原則同意辦理。
6. 第二章圖 2.28，圖中 Tidal station 位置請檢視其正確位置。	6. 該潮位站位置為港研中心臺北港海氣象觀測樁位置。	原則同意辦理。
7. P.2-55，TaiCOMs 系統原使用之氣象場為 M04，M04 目前定位為 M05 回復前的暫代措施，請補充 M05 浮動網格之風場作業化程式尚未完成修訂及測試之更新時程規劃。	7. 目前系統以 M04 風場為作業化風場，後續會再評估討論 2 風場，文章敘述內容已作修正。	原則同意辦理。後續會再視 M04、M05 風場比較結果再行討論。
8. 第三章，表 3-3，請加強說明臺北港觀測資料蒐集率較低，及最大波高 4.62m，及布袋港平均週期 6.52sec 之可能原因。	8. 本計畫觀測資料取自於港灣環境資訊網之資料庫，臺北港資料蒐集率偏低代表現場觀測作業有狀況，尚無法恢復正	原則同意辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
	常觀測。表中臺北港最大波高 4.62m 及布袋港平均週期 6.52sec，被標註屬異常值，僅屬本計畫使用者之判斷。	
9. 本計畫平均適性波高模擬值普遍高於觀測(僅臺北港海域模擬值較低例外)，東部海域、北部海域比值介於 1.11~1.2，西南海域如布袋港及安平港等海域比值約介於 2.19 及 1.84，請說明後續改善建議。	9. 此僅為本年度分析結果，仍需再觀察現象是否維持不變，再研擬改善方式。	原則同意辦理。
10. 本年度 8 海域風浪模擬值與觀測值間常態化均方根誤差(NRMSE)與相關係數(R)分析如表 3-5，請說明 $R < 0.3$ 低度相關之可能原因與因應對策。	10. 針對低度相關之區域，仍需再評估小尺度風浪模組模擬預測結果是否有改善，再研擬其他對策。	原則同意辦理。
11. 第三章表 3-9，有部分 R 為負值之原因。	11. 因屬短期資料分析結果，僅表示二者變化趨勢不一致，變化非屬線性相關。	原則同意辦理。
12. 第六章、第七章，精進基隆海域風浪及水動力模組，及新建基隆港靜穩模擬模組，建議後續應用協和電廠計畫(LNG 港區佈置)及西防波堤可能拆除對海域風浪、港內穩定度之分析應用。	12. 本年度完成精進基隆海域風浪及水動力模組，及新建基隆港靜穩模擬模組工作，僅需考慮現有港域配置；對於後續港型演變可能的影響，可建議港研中心另案辦理。	原則同意辦理。
13. 有關近岸及港域波浪模式，請持續加強處理近岸地形或結構效應之影響研究，以符合實際近岸特性。	13. 本計畫重點為主要商港，相關模式均有依模式特性，針對港域地形及結構物加強處理。	原則同意辦理。
14. 第九章 P.9-2，本年度新建港區近岸波浪模擬系統及港區靜穩模擬系統上有後處理作業程式進行測試及除錯，請說明延長測試期限規劃。	14. 初步規劃近岸波浪模擬系統預定 112 年 6 月前、港區靜穩模擬系統預定 112 年底前移轉至港研中心。	因尚需辦理程式測試及除錯工作，原則同意合作單位規劃期程，請儘速辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
15.第九章 P.9-2，基隆海域風浪模組及基隆海域水動力模組分別納入海象模擬作業化系統，請說明測試與模擬結果校驗，並釐清確認是否完成模組上線作業？	15.目前校驗結果如報告所述，2 模組尚未完成上線作業，預計年底前移轉至港研中心。	原則同意合作單位規劃期程，請儘速辦理。
(二)張恆文委員		
1. P.3-5 有關波向的相關係數，請參考 Chawla, A., H. L. Tolman, J. L. Hanson, E.-M. Devaliere, V. M. Gerald, 2009. Validation of a Multi-Grid WWATCH III™ Modeling system。但不建議使用 NRMSE，使用 BIAS。	1. 感謝委員提供資料，相關建議納入後續計畫進行評估。	原則同意辦理。
2. 節點增加的原因只因少了填方區，但卻增加 3.68 倍和 3.92 倍的格點和元素，是否有點本末倒置。	2. 整體網格重新建置，格點和元素倍數增加，雖然增加計算時間，但仍在系統可負荷範圍內，後續納入系統作業化流程執行壓力測試時再行評估調整。	原則同意辦理。
3. 今年度先建，下年度再做嗎？本年度工作項目提到“新建基隆港靜穩模擬模組”：應用港內觀測及港外觀測進行校驗，報告內成果只提到未來校驗將透過底床摩擦係數靈敏度分析，似乎未具備校驗？剛提到後續再進行校驗？建議讓研究團隊專心新的開發、作業系統維護，委方可以來接 routine 的校驗，再來回饋給研究團隊！	3. 模式將依契約規定應用港內觀測及港外觀測進行校驗，並將結果納入期末報告修定稿，目前研究及維運均屬同一團隊，感謝委員意見。	原則同意辦理。
4. P8-8，先導計畫為何？公式引用出處？此處堤前是否考慮到反射波，包括計算出水高？最大波高是指 $H_s(\max)$ ？圖 8.30、圖 8.31 之 $H_{\max}$ 、 H_1 ？以這樣的計	4. 公式引用自 EurOtop Manual，波浪模擬值並未考慮反射波；由於越波分析目的為預測是否發生越波，因此僅針對模擬值示性波高最大值發	原則同意辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
算結果是否驗證?	生處進行判斷是否越波。	
5. p1-5, 1.4 研究範圍一節, 第 3 行, 研究對「象」, 缺「象」字, 請補正。	5. 已訂正。	原則同意辦理。
6. p7-5, 零敏度?應該是「靈敏度」。	6. 已訂正。	原則同意辦理。
7. 圖 8.11 可否加 color bar? P.8-2 5m 網格地形水深資料?	7. 圖 8.11 屬於引用圖資, 係由港務公司提供, 其測量成果共分為 5m、10m 及 50m 等 3 類網格地形水深資料。	原則同意辦理。
8. 圖 6.13 的圖示和圖中點位兜不起來!參數設定為何?計算結果與期中報告一樣, 是新的網格計算結果還是舊的?結果顯示該點未具備南北向流速, 有無平面流速圖可以參考?	8. 圖 6.13 已訂正, 模擬值及驗證結果均已更新。	原則同意辦理。
9. 圖 4.14-4.17 缺圖示?	9. 已於文章中補充說明, 圓點、黑色細線及紅色粗線分別代表觀測值、調和分析水位值及暴潮偏差分析值。	原則同意辦理。
10.圖 6.5 TP 觀測高低變化差距很大?原因為何?是否是觀測的問題。	10.本計畫目前無法確認是否為觀測的問題。	原則同意辦理。
11.圖 1.1, 有關波浪資料同化部分, 後續好像都沒提到?	11.圖 1.1 為初期規劃之系統架構圖, 波浪資料同化為 2003 年提出的架構, 但後續發展過程尚未納入作業化系統執行。	原則同意辦理。
(三)許弘莒委員		
1. 期末報告內容充實完整, 肯定工作團隊之努力。	1. 感謝委員肯定。	原則同意辦理。
2. 3.2 冬季風浪模擬與校驗, page3-5 冬季風浪之模擬結果: 平均示性波高均偏大, 平	2. 此處系統性問題包括網格解析度不足、模式與週期相關之	原則同意辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
均週期與譜峰週期均偏低，其原因為何？風浪模組之系統性問題是指那些問題？	參數設定等問題。	
3. 建議在每一章補充說明使用的模式。	3. 感謝委員建議，本年度使用模式主要在第二章、第八章及附錄一及附錄二做說明。	原則同意辦理。
4. 第 5.2 節，表 5-7~5-11，page5-9~5-11： (1)表 5-7 觀測資料蒐集率 2021/10~2022/01 均偏低。 (2)波高模擬值與實測值有差異(臺北港)。 (3)表 5-10 資料是否有誤？ (4)表 5-11 潮位實測與模擬最大差值達 3.31 m？ (5)請補充說明第五章近岸海象預報作業化成果使用之數值模式以及其偏差之原因？ (6)是否有進行資料同化作業？	4. (1)臺北港觀測資料蒐集率代表現場觀測儀器或設備可能出問題。 (2)因臺北港測站即時傳輸系統尚未修復，觀測資料有延遲進資料庫問題。 (3)已訂正。 (4)已訂正。 (5)謝謝委員建議，再評估。 (6)目前暫無做資料同化相關作業。	原則同意辦理。
5. 第六章，Page6-6： (1)小尺度風浪模組有較顯著之改善成效之原因為何？ (2)水動力模組無法呈現其流場變化？	5. (1)解析度提高、模擬值輸出點位距離觀測點較近。 (2)推測網格解析度無法反應現場實際流況。	原則同意辦理。
6. 第七章，7.13 節，page7-3 最後一行所需波浪觀「測」資料，缺「測」字。page7-5 靈敏度？page7-12 圖 7.18 港內某些碼	6. 相關錯誤已訂正，圖 7.18 為系統測試模擬結果，港內波高模擬值仍需進一步校驗。預計年底前往基隆港務分公司進	原則同意辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
頭之波高值可達 3 m 以上，與現況是否相符？可以提供臺灣港務股份有限公司參考！	行計畫成果交流工作。	
7. 建議列表說明本年度在各模組中所精進與改善之內容，並說明未來可再修正之處。	7. 感謝委員意見，納入第九章結論與建議。	原則同意辦理。
(四)沈光青委員		
1. 本計畫於第 1 年即完成波浪模擬系統建置、年度風浪模擬之校驗、各港口潮位觀測資料之調和分析、基隆海域風浪模組、基隆海域水動力模組及基隆港靜穩模組建置等，成果豐碩，研究團隊的辛勞值得肯定。	1. 感謝委員肯定。	原則同意辦理。
2. 1.3 相關本計畫：page1-3，圖 1.1 有「油污預警模式」，惟報告後續似無相關論述，請說明其中原因。	2. 圖 1.1 係為表達本計畫初期規劃之系統架構圖(2003 年)，油污預警模式後來另案發包相關計畫辦理。	原則同意辦理。
3. 2.1 海象模擬作業化系統簡介：page2-1，圖文不盡相符，該段文字敘述「…整體架構如圖 2.1 所示，包含了即時海象觀測網、海象模擬作業化系統及港灣環境資訊網等三部分…其中海象模擬作業化系統係由風場處理…等四個子系統組成。」與圖 2.1 整體架構圖不符。	3. 本計畫主要維運與精進部分為圖 2.2 之海象模擬作業化系統，其中水位、流場屬於圖 2.2 之水動力系統。	原則同意辦理。
4. 2.1.2 波浪模擬系統：page2-18，本計畫基於港域波浪模組作業化模擬時間相當費時，不符作業化模擬需求，以及適用波浪模擬條件有限制等因素，故港域波浪模擬系統採預先建立數值模擬結果資料庫	4. 感謝委員意見，本年度新建基隆港靜穩分析模組，並利用 109 年度設置之波潮監測站觀測資料做校驗，僅為初步成果，後續將持續蒐集港域內波浪監測資料精進並校驗模式。	原則同意辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
設計方式為之，並侷限於颱風波浪期間才啟動。惟商港基於裝卸作業需要，實務上反較需要季風期間港域波浪模擬，以提供裝卸業者預警，期待後續年度能有此類模組的精進，尤其是基隆港區格外需要。		
5. 3.1.2 臺灣周圍海域風浪觀測、3.2 冬季風浪模擬與校驗、6.1.6 基隆海域風浪模結果校驗：page3-2、3-6、6-6，報告指出最大示性波高觀測值以基隆港海域 4.65m 為最大…屬於東北季風鋒面；各海域示性波高常態化均方根誤差最小值出現在基隆港海域 0.193…，以及相關係數最大值同樣出現在基隆港海域；小尺度基隆海域風浪模對於改善示性波高具有校顯著成效，此等對基隆港海域代表意義為何？請協助於報告定稿中補充說明，其與近年港區業者屢次反映基隆港內水域於東北季風期間浪高影響裝卸，有無關聯。	5. 此部份模擬值均屬於基隆港外海由東北季風引起的風浪，其對港內波浪靜穩之影響與波浪週期及波向均有關；有關港內浪高影響裝卸問題，建議可以針對影響裝卸時段蒐集港內、外波浪資料進行比對。本報告定稿無法協助相關判斷。	原則同意辦理。
6. 3.3.1 璨樹颱風波浪模擬、3.3.2 圓規颱風波浪模擬：page3-19、3-28，璨樹颱風從花蓮外海通過，風浪模擬值與觀測值，在基隆港、蘇澳港、安平港及臺北港之相關分析差異頗大；圓規颱風通過巴士海峽登陸海南島，其風浪模擬值與觀測值在各港的差異也大。兩颱風的模擬與實測資料，似均未達普遍相似成果，能否解釋其中原因或有改善方法。	6. 影響因素包括氣象局預報風場，波浪模組網格解析度(含地形)及數值模式各類參數設定等，目前本計畫並未規劃對單一模擬事件尋求改善方法。	原則同意辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
(五)本所港灣技術研究中心蔡立宏主任		
1. 本計畫執行主要有 2 目的，海象模擬作業化系統每日要能正常運作以及海象模擬成果準確度之提升，建議國立成功大學可於第九章結論與建議，關於本計畫系統尚需改善、加強之處，或未來可應用哪種方法持續精進系統等，提出建議事項，以供本所參考。	1. 遵照辦理。	原則同意辦理。
2. 基隆港區靜穩分析模組目前尚未用實測資料校驗，希望可多利用本所在各港區建置之監測站觀測資料校驗系統。	2. 遵照辦理。	原則同意辦理。
3. 基隆港區靜穩分析模組之節點數及網格較以前模組增加 3 倍左右，是否耗費太多運算時間及資源，建議再行調整模組網格節點分布，以節省模式運算時間。	3. 新網格模擬效率尚能滿足作業化模擬時間要求，後續納入系統作業化流程執行壓力測試時再行評估調整。	原則同意辦理。
(六)本所港灣技術研究中心林雅雯科長		
1. 報告第 2-42 頁整年均方根誤差皆較每月為高，建議補充說明。	1. 此部份主要受到天文潮分潮 Sa 影響，因為逐月分析時年潮 Sa 的影響會隨潮位月平均而弱化。	原則同意辦理。
2. 報告第 2-47~2-50 頁圖例與圖示不一致，建議修正。	2. 已修正。	原則同意辦理。
3. 報告第 6-16 頁基隆港域水動力模組流速東西向有時間差，南北向且趨勢不同，建議補充可能原因及改善方法。	3. 改善方法已於修訂報告補充。	原則同意辦理。
4. 報告第 7-9 頁靜穩模擬圖請依工作項目規定，與波流測站及	4. 遵照辦理。	原則同意辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
靜穩測站觀測值進行比較。		
5. 簡報第 43 頁波向靈敏度分析西防波堤填土區，與簡報第 42 頁不同。	5. 波向靈敏度分析採用未填方前網格模擬。	原則同意辦理。
6. 靜穩模擬成果第 7-11 至 7-24 頁圖 7.15 至 7.24，建議文字補充說明。	6. 報告主要呈現系統模擬測試成果，應避免對模擬結果過度解釋。	原則同意辦理。
7. 本年度依工作項目開發之模組請提供本所(港灣技術研究中心)，俾利檢核。	7. 遵照辦理。	原則同意辦理。
(七)本所港灣技術研究中心傅怡釗副研究員		
1. 請檢視本案報告書各圖之圖號及圖名、各表之表標題，建議依以下原則辦理修正： (1)各章圖號請依數字順序編號，勿使用 a、b、c 編號，如圖 7.7a、圖 7.7b 及圖 7.7c。 (2)部分圖名或表標題太長，請精簡並以一行為原則。	1. (1)遵照辦理。 (2)遵照辦理。	原則同意辦理。
2. 表 2.8 內容有涉及人名部分，請改以單位、學校或公司敘述，其餘尚需修正處已標註在報告書內，會後提供給國立成功大學，請納入報告書修正定稿辦理。	2. 遵照辦理。	原則同意辦理。
3. 建議將本計畫成果行銷推廣活動及投稿情形於報告書第九章做補充敘述。	3. 遵照辦理。	原則同意辦理。
4. 有關基隆港靜穩分析模組，請儘速應用本所港內觀測站進行模組校驗工作，並將校驗結果納入報告書修正定稿，以符契約規定。	4. 遵照辦理。	原則同意辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
5. 後續請將計畫重要成果，製作可供展示之海報或影片電子檔。	5. 遵照辦理。	原則同意辦理。

附錄七

期末簡報資料

111年 海氣象預測模擬系統之維運與精進(1/4) 精進基隆海域模組

期末報告審查簡報

計畫主持人：劉正琪 研究員
協同主持人：李兆芳 教授



委辦單位：交通部運輸研究所港灣技術研究中心
執行單位：國立成功大學水工試驗所



期末
審查

海氣象預測模擬系統之維運與精進(1/4)

1



簡 報 大 綱

- 壹 計畫概要
- 貳 海象模擬作業化系統維運與改善研究
- 參 臺灣周圍海域風浪、水動力模擬與校驗
- 肆 海象模擬作業化系統預測成果評估
- 伍 精進基隆海域風浪、水動力模組
- 陸 新建基隆港靜穩模擬模組
- 柒 發展花蓮港外廓防波堤越波模組
- 捌 結論與建議

計畫概要

➤ 計畫緣起

本計畫屬於交通部運輸研究所111年科技綱要計畫「陸運及港灣設施防災技術研究(1/4)」之分項計畫「港灣環境防災創新應用研究」下執行之子計畫。

➤ 計畫目的

- 針對運研所港灣技術研究中心(以下簡稱港研中心)「臺灣近岸海象預測系統2.0」(TaiCOMS 2.0)進行維護等；
- 配合近年港灣工程完工，修正模式港型以提供臺灣及離島主要港口港域及海岸公路鄰近海域之風力、波浪、水位及流場海象模擬資料；
- 建置港域靜穩分析模組，結合近年於各主要商港區域內設置潮波測站蒐集港內波浪之觀測資料，探討港區靜穩預警等課題；
- 應用波浪及水位模擬模組，延伸發展商港外廓防波堤越波預警模組。

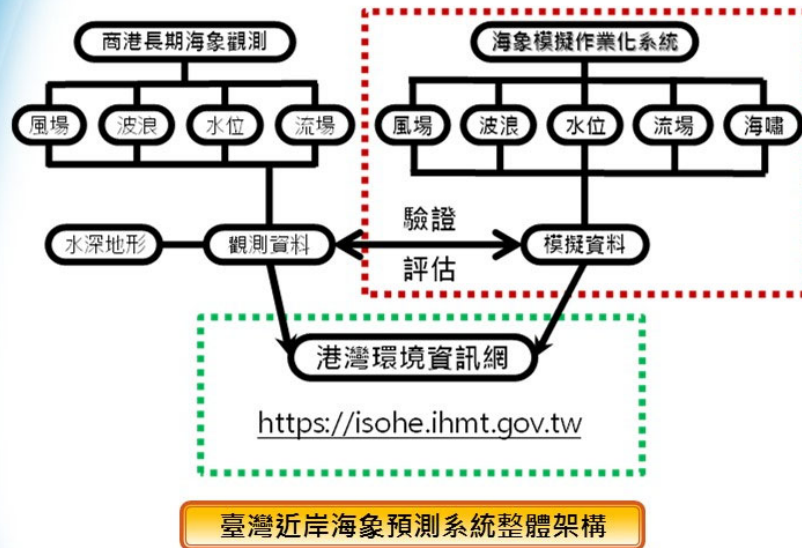
計畫概要

➤ 工作項目

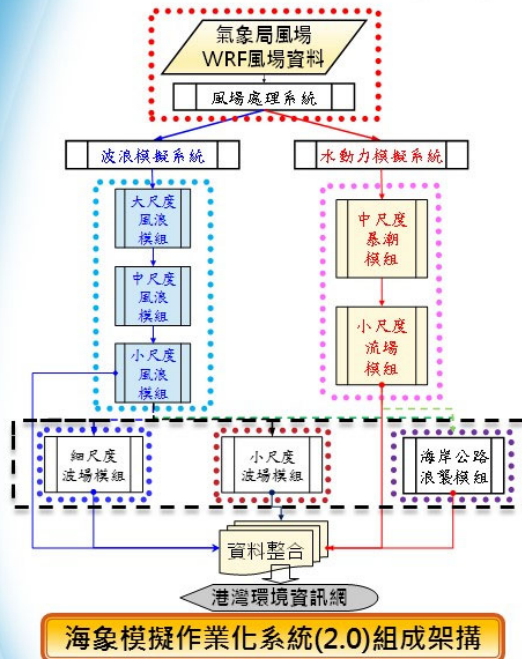




➤ 海象模擬作業化系統(2.0)簡介



➤ 海象模擬作業化系統(2.0)簡介



◆ 風場處理作業系統

每日 1 次作業化模擬風壓場
每日 4 次作業化模擬風壓場
每日 4 次預測風場展示圖

◆ 波浪模擬系統

臺海風浪模擬子系統(三層)
各港近岸波場模擬系統(小)
各港港域波場模擬系統(細)

◆ 水動力模擬系統

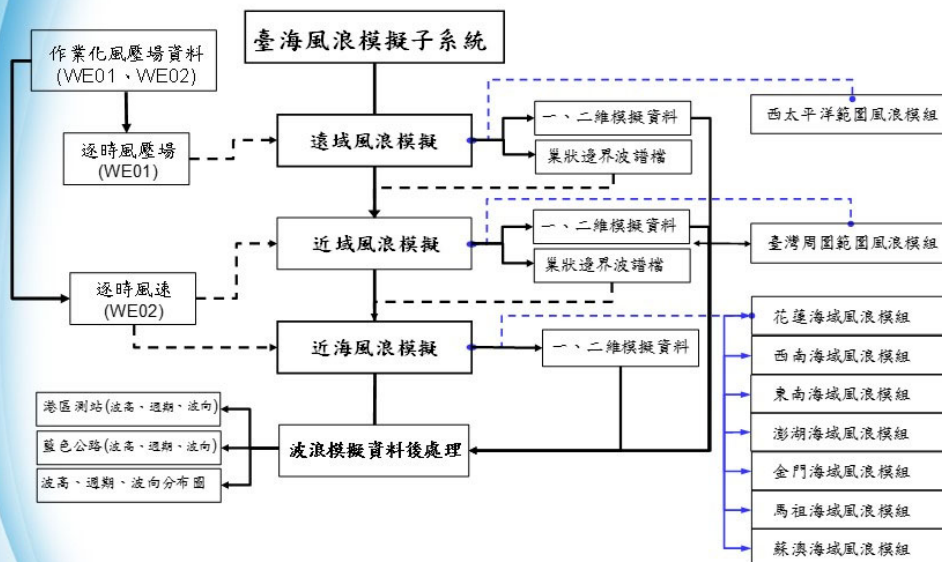
臺海水動力模擬子系統(2層)

■ 海岸公路浪襲模組



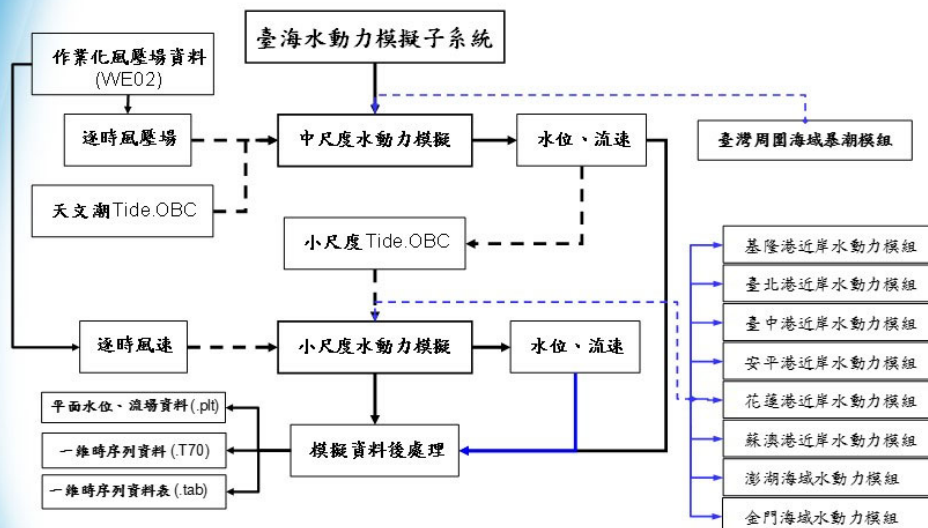
➤ 海象模擬作業化系統(2.0)簡介

◆ 臺海風浪模擬子系統組成架構



➤ 海象模擬作業化系統(2.0)簡介

◆ 臺海水動力模擬子系統組成架構



➤ 海象模擬作業化系統校修與維運

海象模擬作業化系統依伺服器(硬體)規劃區分為風場、觀測資料、臺海水動力模擬子系統、臺海風浪模擬子系統、海嘯模擬子系統及資料儲存備份伺服器。

伺服器採用之作業系統區分為SUSE Linux Enterprise Server 11，及SERVER 12等版本。

本年度維護期程
(2021年9月~2022年8月)

- 維護記錄共61次。
- 特殊維護事件計8件。

常見系統維護問題及事項

風場資料下載不全問題

伺服器更新及報廢等系統維護

定期資料備份

年度高低壓用電安全檢查及斷電時系統維護

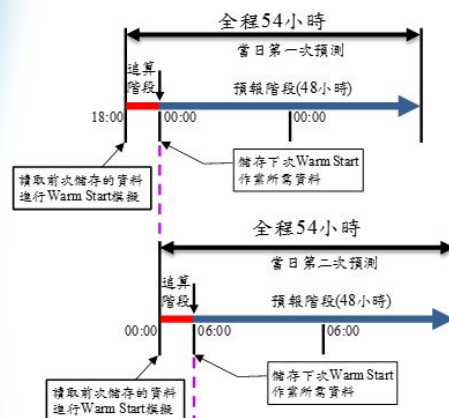
配合港灣環境資訊系統輸出海象模擬相關資訊

協助臺東海岸公路浪襲預警系統處理相關模擬資料

協助海嘯預警系統處理相關模擬資料

➤ 臺海水動力模擬系統作業環境優化

前期計畫初步完成臺海暴潮模組執行每日4次模擬之效率及作業化環境進行評估，本年度進一步辦理臺海水動力模擬系統每日4次模擬預測作業化程式(TaiCOMS_HD2_run4.exe)優化。

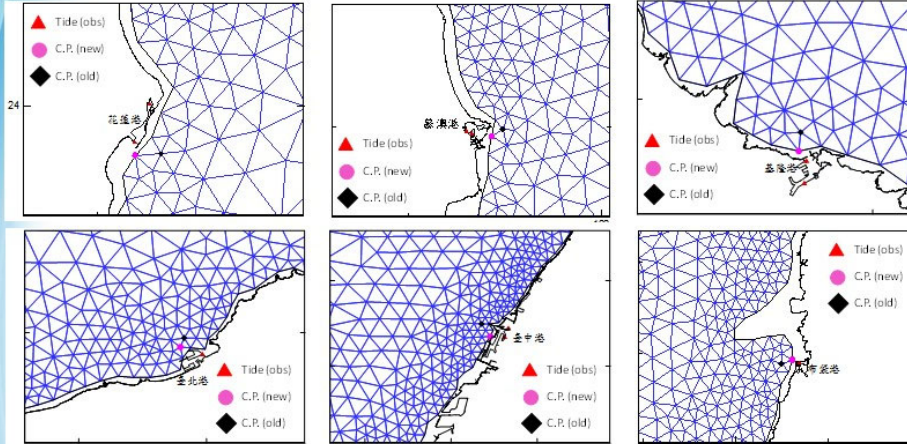


每日4次水動力模擬預測架構

- ◆ 保留每日1次模擬預測作業方式
Kwind= 1、2、3 每日4次
- ◆ 增加僅模擬天文潮選項
Kwind= 0
- ◆ 增加風壓場圖形輸出與否邏輯參數
適用於颱風侵臺時
- ◆ 優化水位、流場動畫展示

► 臺海暴潮模組改善研究(1)

水位檢核點評估



均方根誤差

2021 年	花蓮港 (m)	蘇澳港 (m)	基隆港 (m)	臺北港 (m)	臺中港 (m)	布袋港 (m)	安平港 (m)	高雄港 (m)
OLD CP	0.087	0.114	0.117	0.205	0.223	0.259	0.123	0.111
NEW CP	0.078	0.114	0.117	0.186	0.236	0.172	0.110	0.111

► 臺海暴潮模組改善研究(2)

底床摩擦係數修正

各海域底床摩擦係數依現況減縮或增大幅度: 西北海域(如臺北港)為75%, 中部海域(如臺中港至布袋港)為95%, 西南海域(如安平港及高雄港等)放大至110%, 其他海域(如基隆港、蘇澳港及花蓮港等)維持不變。

月份	花蓮港 (m)	蘇澳港 (m)	基隆港 (m)	臺北港 (m)	臺中港 (m)	布袋港 (m)	安平港 (m)	高雄港 (m)
1	0.054 ¹ (0.041)	0.047 (0.047)	0.035 (0.047)	0.166 (0.175)	0.219 (0.167)	0.237 (0.095)	0.090 (0.090)	0.060 (0.059)
2	0.055 (0.040)	0.043 (0.043)	0.034 (0.040)	0.167 (0.112)	0.212 (0.152)	0.233 (0.084)	0.086 (0.086)	0.050 (0.046)
3	0.062 (0.048)	0.040 (0.048)	0.039 (0.048)	0.172 (0.120)	0.217 (0.157)	0.243 (0.088)	0.088 (0.087)	0.048 (0.046)
4	0.064 (0.051)	0.047 (0.056)	0.046 (0.054)	0.160 (0.111)	0.172 (0.142)	0.213 (0.082)	0.093 (0.082)	0.055 (0.053)
5	0.061 (0.049)	0.056 (0.061)	0.051 (0.056)	0.160 (0.113)	0.158 (0.151)	0.191 (0.077)	0.087 (0.086)	0.062 (0.061)
6	0.059 (0.046)	0.057 (0.059)	0.038 (0.052)	0.157 (0.109)	0.153 (0.164)	0.179 (0.075)	0.099 (0.087)	0.061 (0.061)
7	0.052 (0.039)	0.051 (0.048)	0.039 (0.043)	0.159 (0.104)	0.154 (0.156)	0.179 (0.071)	0.097 (0.095)	0.061 (0.062)
8	0.046 (0.032)	0.044 (0.040)	0.037 (0.041)	0.165 (0.106)	0.162 (0.131)	0.194 (0.067)	0.094 (0.082)	0.063 (0.065)
9	0.049 (0.035)	0.044 (0.041)	0.044 (0.047)	0.170 (0.109)	0.178 (0.108)	0.215 (0.066)	0.091 (0.089)	0.062 (0.065)
10	0.055 (0.041)	0.047 (0.048)	0.051 (0.51)	0.173 (0.114)	0.201 (0.123)	0.230 (0.080)	0.090 (0.088)	0.061 (0.060)
11	0.060 (0.046)	0.047 (0.052)	0.054 (0.052)	0.179 (0.122)	0.227 (0.150)	0.246 (0.103)	0.093 (0.091)	0.067 (0.064)
12	0.062 (0.048)	0.048 (0.053)	0.050 (0.480)	0.179 (0.121)	0.230 (0.158)	0.247 (0.109)	0.093 (0.092)	0.071 (0.069)
年總(米)	0.087 (0.079)	0.114 (0.115)	0.117 (0.118)	0.205 (0.167)	0.223 (0.186)	0.259 (0.160)	0.123 (0.122)	0.111 (0.111)

*1: 改善前 110 年計畫地方根誤差分析結果

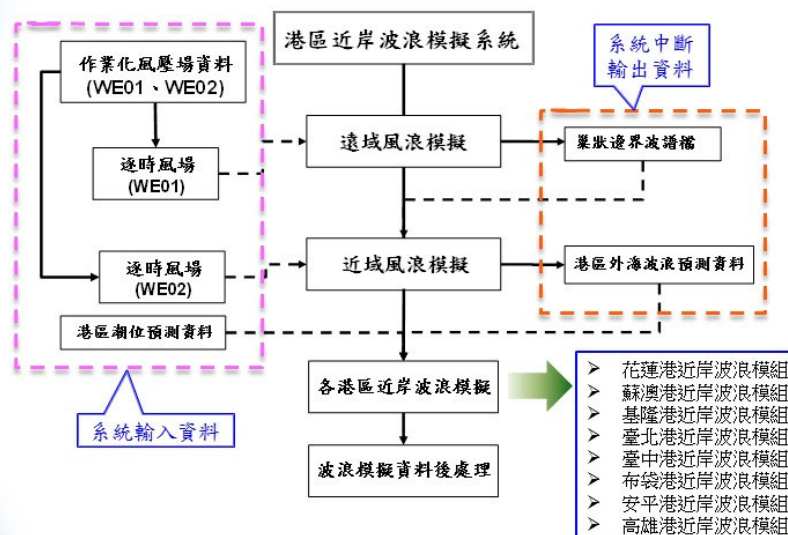
整體誤差(均方根誤差)分析成果

► 臺北港(0.167m)、臺中港(0.186m)及布袋港(0.160m)等港口水位均方根誤差改善相當明顯, 其餘港口水位均方根誤差與 110 年計畫分析結果差異則不明顯。

系統維運與改善研究

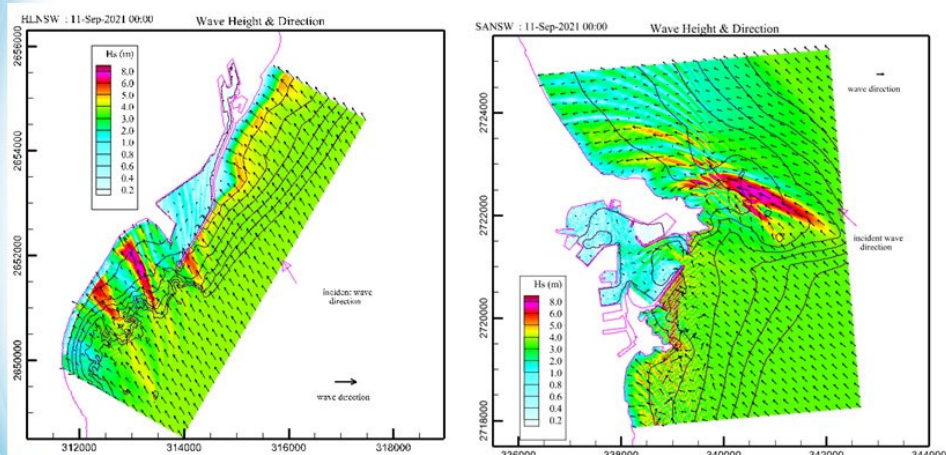
模擬架構

採一貫作業化模擬架構



系統維運與改善研究

➤ 新增各港口天文潮位預測資料為計算條件(修正水深)

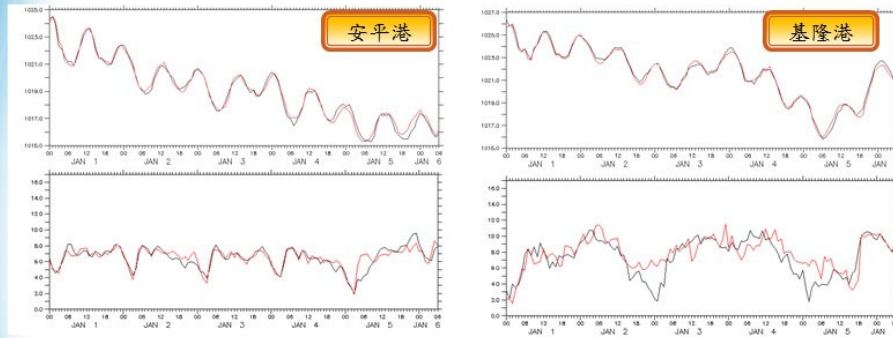




➤ WRF氣象場M04及M05差異分析(1)

檢核點氣壓、風速差異性比較

針對安平港、布袋港、花蓮港、高雄港、基隆港、蘇澳港、臺中港及臺北港等港口風力輸出點位之風速、風向資料進行比較。



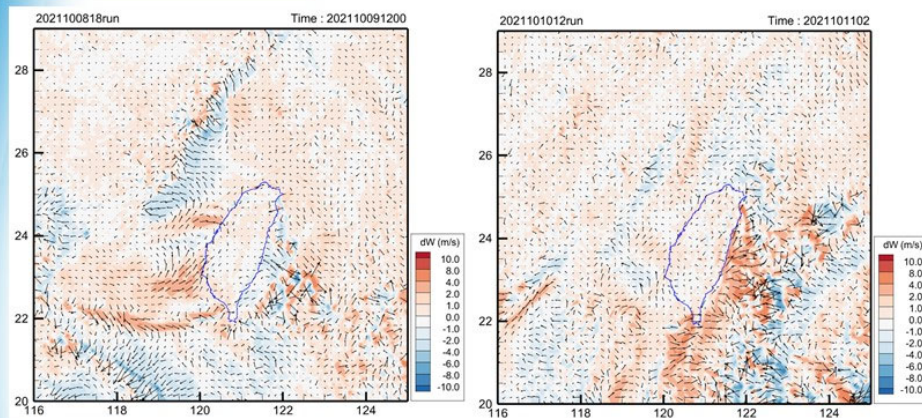
於氣壓上，二者在平時差異不大，整體趨勢皆相同，僅在第四天之後會有較大的差異。

風速部分，大趨勢方向仍然相同，相較於氣壓場，風速場差異較明顯；其中東部測站蘇澳港及花蓮港差異最大。



➤ WRF氣象場M04及M05差異分析(2)

平面風速差異性比較

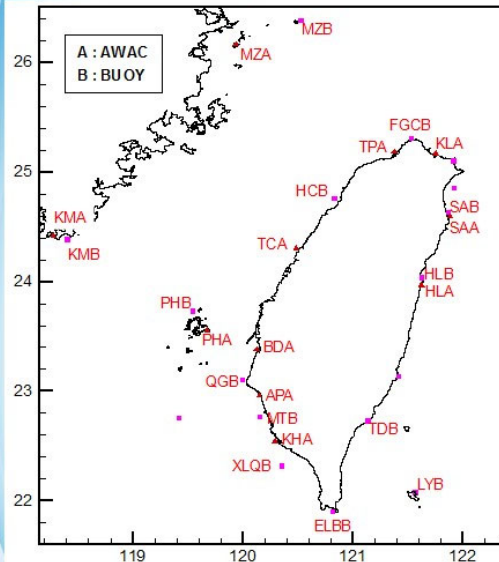


M05風場風速大小普遍性高於M04風場，颱風外環流差異性變化相對較為劇烈。。

M04及M05風場可視為不同的風場模組，上述差異分析僅顯示二者存在有一定的差異，本計畫無法評估何者較適合。(M04風場應為過渡之措施)

➤ 臺灣周圍海域風浪模擬與校驗(1)

風浪觀測資料



111年1、2月冬季風浪觀測資料

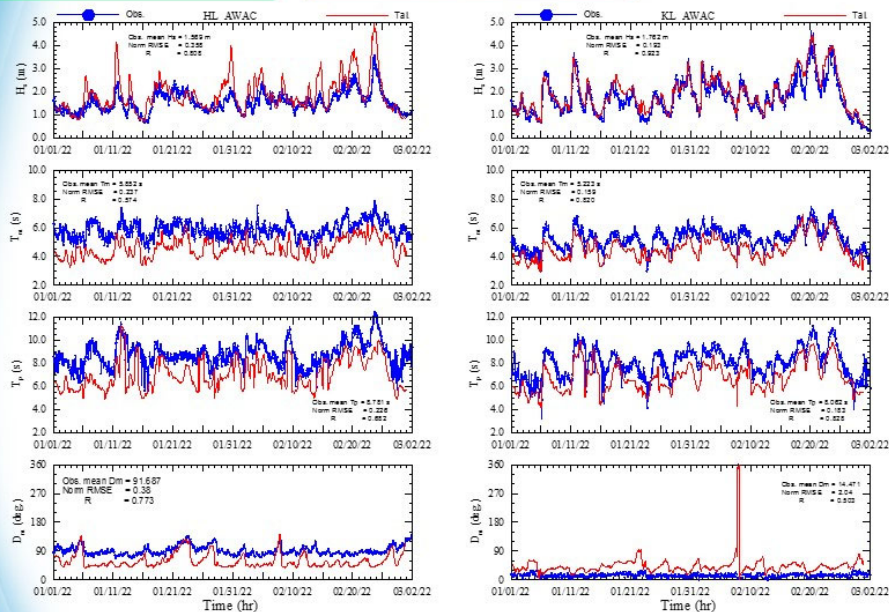
	花蓮	蘇澳	基隆	臺中
蒐集率	99.7	95.8	85.0	99.3
平均波高(m)	1.57	1.54	1.76	2.14
平均週期(s)	5.85	5.44	5.23	4.78
平均譜峰週期(s)	8.78	8.73	8.06	7.41
平均波向(°)	91.7	70.5	14.5	9.1
最大波高(m)	3.59	2.73	4.65	4.25
最大波高 發生時間	02/23 15:00	02/23 11:00	02/20 03:00	02/20 01:00
來源	AWAC	AWAC	AWAC	AWAC

	高雄	臺北	布袋	安平
蒐集率	98.4	43.7*1	99.2	96.3
平均波高(m)	0.80	1.98	0.57	0.50
平均週期(s)	3.69	4.80	6.52*2	3.79
平均譜峰週期(s)	6.61	7.85	7.86	6.73
平均波向(°)	280	32.5	292	263
最大波高(m)	1.48	4.62*3	1.40	1.05
最大波高 發生時間	02/20 10:00	02/04 08:00	02/20 12:00	02/20 19:00
來源	AWAC	AWAC	Buoy	AWAC

➤ 臺灣周圍海域風浪模擬與校驗(2)

冬季風浪模擬結果校驗

111年1、2月冬季風浪歷線比對

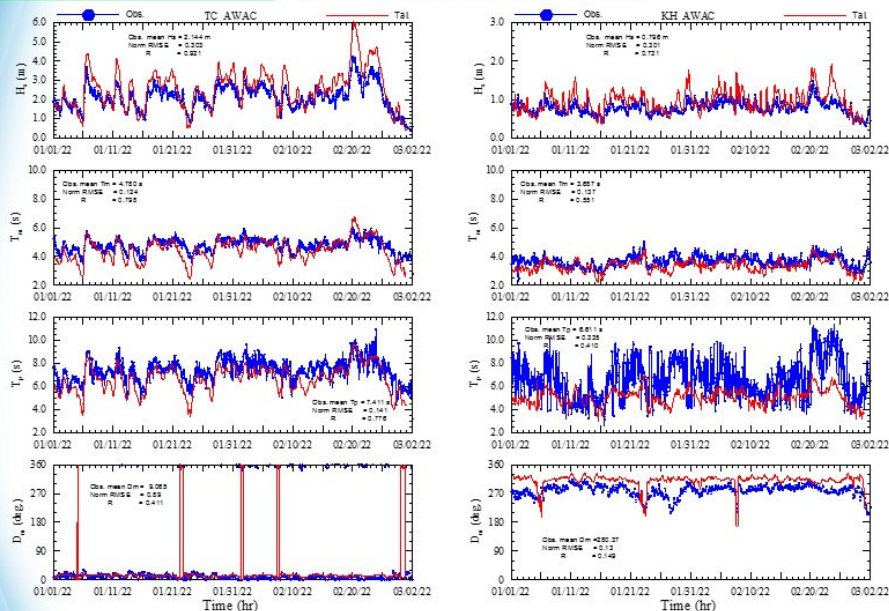


➤ 臺灣周圍海域風浪模擬與校驗(3)

冬季風浪模擬結果校驗

111年1、2月冬季風浪歷線比對

風
浪
、
水
動
力
模
擬
與
校
驗

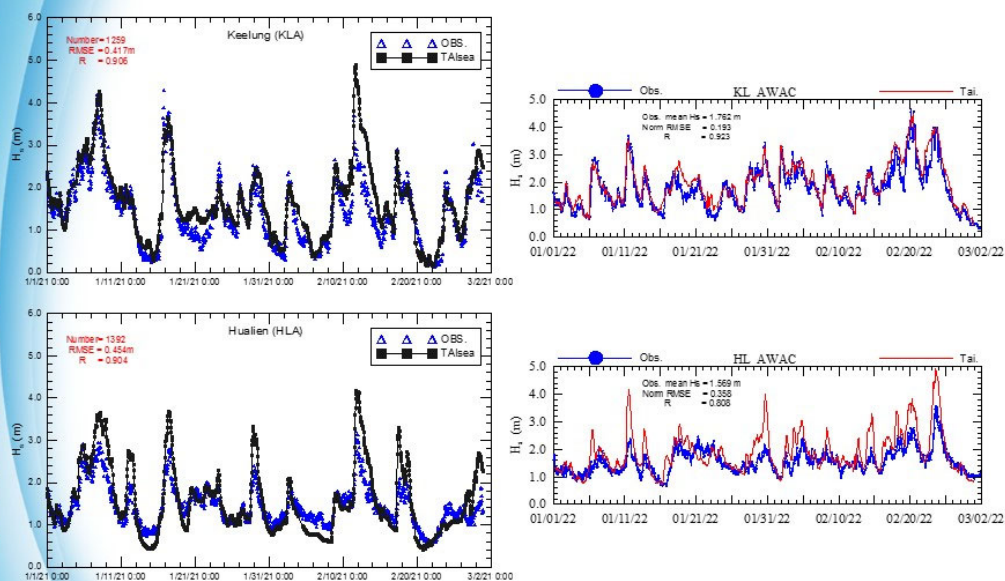


➤ 臺灣周圍海域風浪模擬與校驗(3A)

冬季風浪模擬結果校驗

110及111年冬季風浪歷線校驗

風
浪
、
水
動
力
模
擬
與
校
驗



臺灣周圍海域風浪模擬與校驗(4)

冬季風浪模擬結果校驗

	花蓮	蘇澳	基隆	臺中	高雄	臺北	布袋	安平
蒐集率	99.2	99.2	99.2	99.2	99.2	99.2	99.2	99.2
平均波高(m)	1.88 (1.20 ⁴⁰)	1.77 (1.15)	1.96 (1.11)	2.57 (1.20)	0.94 (1.18)	1.50 (0.76)	1.25 (2.19)	0.92 (1.84)
平均週期(s)	4.59 (0.78)	4.60 (0.85)	4.54 (0.87)	4.44 (0.93)	3.34 (0.91)	3.74 (0.78)	3.17 (0.49 ⁴⁰)	2.86 (0.75)
平均增減週期(s)	7.06 (0.80)	7.15 (0.82)	6.80 (0.84)	6.67 (0.90)	5.08 (0.77)	6.20 (0.79)	4.65 (0.59)	4.18 (0.62)
平均波向(°)	59.3 (0.65)	58.5 (0.83)	40.8 (2.81)	12.6 (1.38)	313 (1.12)	16.5 (0.51)	336 (1.15)	328 (1.25)
最大波高(m)	4.93 (1.37)	3.92 (1.43)	4.45 (0.96)	6.06 (1.43)	1.93 (1.30)	3.09 (0.67)	2.62 (1.87)	1.99 (1.90)
發生時間	02:23 14:00	02:23 15:00	02:20 09:00	02:20 05:00	02:23 13:00	02:19 16:00	02:20 05:00	02:20 06:00

臺北港觀測值蒐集率偏低
布袋港浮球觀測資料

常態化均方根誤差、相關係數

港口	年份	市性波高		平均週期		增減週期		平均波向	
		NRMSE	R	NRMSE	R	NRMSE	R	NRMSE	R
花蓮港	2021	0.314	0.904	0.235	0.709	0.269	0.542	0.35	0.661
	2022	0.358	0.808	0.237	0.574	0.226	0.682	0.38	0.773
蘇澳港	2021	0.339	0.759	0.226	0.650	0.266	0.537	0.39	0.334
	2022	0.333	0.677	0.193	0.389	0.207	0.735	0.29	0.681
基隆港	2021	0.288	0.906	0.214	0.784	0.260	0.574	0.30	0.270
	2022	0.193	0.923	0.159	0.892	0.183	0.828	0.04	0.503
臺北港	2021	—	—	—	—	—	—	—	—
	2022	0.237	0.825	0.218	0.355	0.202	0.702	0.36	0.234
臺中港	2021	—	—	—	—	—	—	—	—
	2022	0.303	0.921	0.124	0.798	0.141	0.776	0.89	0.411
布袋港	2021	—	—	—	—	—	—	—	—
	2022	1.256	0.823	0.554	0.535	0.455	0.484	0.15	0.206
安平港	2021	0.844	0.559	0.344	0.208	0.445	0.298	0.24	0.322
	2022	0.934	0.740	0.295	0.213	0.433	0.193	0.26	0.192
高雄港	2021	0.282	0.869	0.194	0.597	0.409	0.253	0.16	0.138
	2022	0.301	0.731	0.137	0.551	0.335	0.410	0.13	0.149

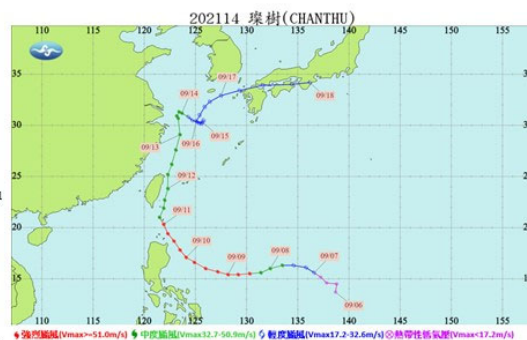
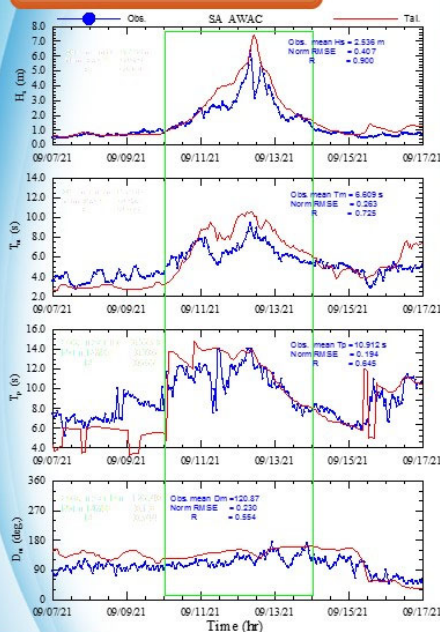
$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N}} / \bar{O}$$

$\bar{O}$ 為觀測量平均值

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}}$$

臺灣周圍海域風浪模擬與校驗(5)

颱風波浪模擬結果校驗



東部港口花蓮及蘇澳港波浪觀測資料
呈現顯著雙峰變化情形，此現象在臺
海風浪模擬結果無法呈現，推測此應
與氣象局預報風場無法反應此現象有
關。

臺灣周圍海域風浪模擬與校驗(6)

颱風波浪模擬結果校驗

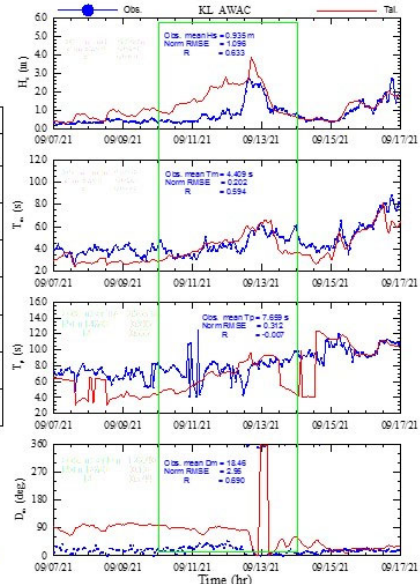
常態化均方根誤差、相關係數

港口	資料 起迄 時間	示性波高		平均週期		譜峰週期		平均波向	
		NRMSE	R	NRMSE	R	NRMSE	R	NRMSE	R
花蓮港	10/00 14/00	0.820	0.843	0.245	0.750	0.290	0.643	0.11	0.392
蘇澳港	10/00 14/00	0.400	0.907	0.263	0.725	0.194	0.645	0.23	0.554
基隆港	10/00 14/00	1.095	0.633	0.202	0.594	0.312	-0.007	2.95	0.690
臺北港	10/00 14/00	0.331	0.897	0.211	0.634	0.336	0.395	4.70	0.819
臺中港	10/00 14/00	0.309	0.709	0.194	0.813	0.277	0.488	0.17	0.632
安平港	10/00 14/00	0.295	0.939	0.203	0.706	0.589	0.249	0.11	0.532
高雄港	10/00 14/00	0.354	0.922	0.315	0.448	0.550	0.339	0.17	0.275

示性波高相關係數以基隆港表現較差

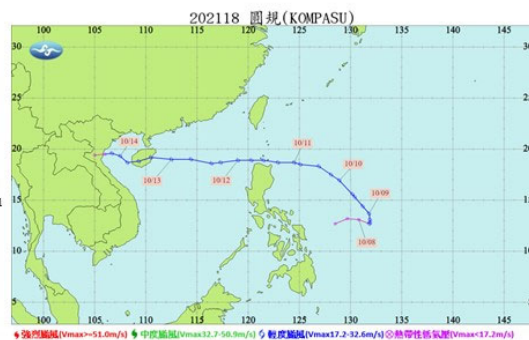
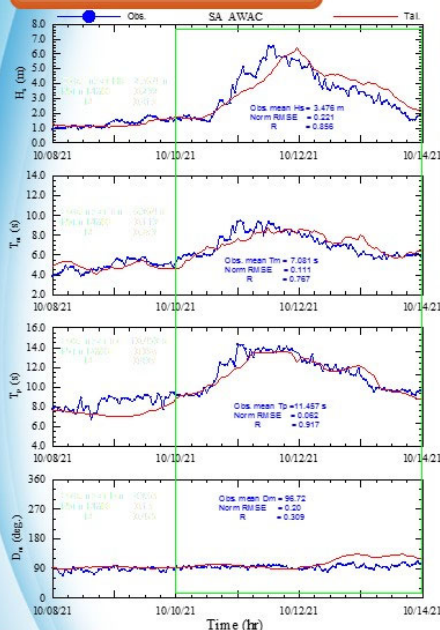
平均週期相關係數以高雄港表現較差

譜峰週期相關係數以花蓮港及蘇澳港表現較好



臺灣周圍海域風浪模擬與校驗(7)

颱風波浪模擬結果校驗



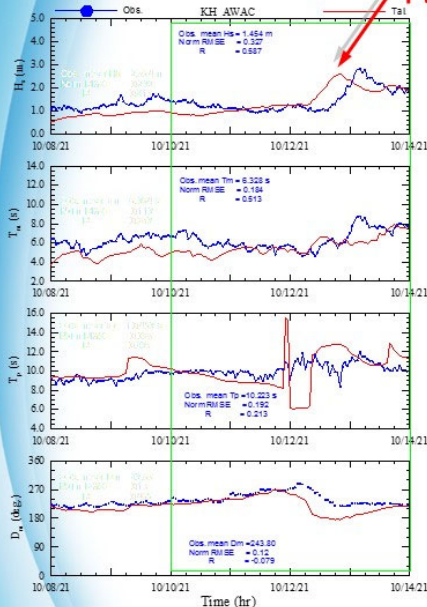
輕度颱風圖規對東部(花蓮及蘇澳港)海域的影響遠大於暴風警戒的西南海域，其中蘇澳港海域示性波高觀測值及模擬值均達到6 m以上。

颱風遠離後高雄港及安平港等海域均觀測到示性波高增加的現象，但模擬值增加現象明顯提前。

臺灣周圍海域風浪模擬與校驗(8)

颱風波浪模擬結果校驗

模擬值變大提早發生



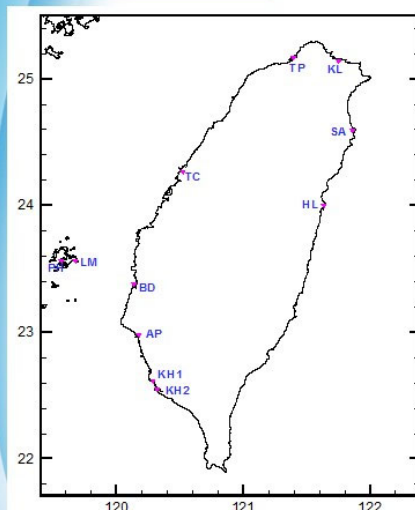
常態化均方根誤差、相關係數

港口	資料 起迄 時間	示性波高		平均週期		譜峰週期		平均波向	
		NRMSE	R	NRMSE	R	NRMSE	R	NRMSE	R
花蓮港	1000 1400	0.328	0.956	0.136	0.591	0.077	0.874	0.17	0.640
蘇澳港	1000 1400	0.221	0.856	0.111	0.767	0.062	0.917	0.20	0.309
基隆港	1000 1400	1.221	0.952	0.156	0.481	0.115	0.607	2.85	-0.015
臺北港	1000 1400	0.237	0.825	0.218	0.355	0.202	0.702	1.36	0.234
臺中港	1000 1400	0.339	0.943	0.162	0.208	0.126	0.807	1.82	0.425
安平港	1000 1400	0.347	-0.258	0.163	0.535	0.243	-0.157	0.05	0.894
高雄港	1000 1400	0.301	0.731	0.137	0.551	0.335	0.410	0.13	0.149

示性波高相關係數以安平港負相關較差
平均週期相關係數以蘇澳港表現較佳(0.767)
譜峰週期相關係數以蘇澳港表現最好(0.917)

臺灣周圍海域水動力模擬與校驗(1)

水位觀測資料



天文潮調和分析成果表

港口	2021			2020			2019		
	NUM	RMSE (m)	來源	NUM	RMSE (m)	來源	NUM	RMSE (m)	來源
花蓮	8432	0.068	IHMT	8784	0.059	IHMT	7905	0.056	CWB
蘇澳	8784	0.064	IHMT	8783	0.063	IHMT	8328	0.052	CWB
基隆	8735	0.076	IHMT	8478	0.072	IHMT	7080	0.067	CWB
臺中	8761	0.092	IHMT	8571	0.105	IHMT	7988	0.082	CWB
高雄	8773	0.058	IHMT	8784	0.050	IHMT	7914	0.064	CWB
臺北	8780	0.088	IHMT	8777	0.084	IHMT	7512	0.087	IHMT
布袋	8784	0.071	IHMT	7571	0.063	IHMT	8769	0.100	IHMT
安平	8222	0.059	IHMT	8782	0.053	IHMT	8746	0.065	IHMT

2021年各港均方根誤差值介於
0.058m~ 0.092m ,

均方根誤差最大值出現在臺中港。

➤ 臺灣周圍海域水動力模擬與校驗(2)

水位觀測資料

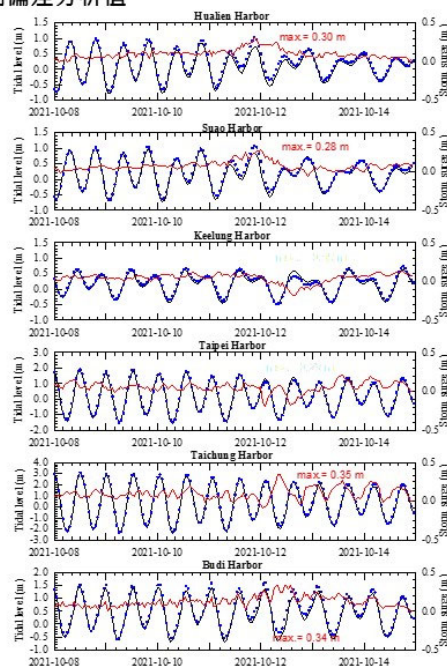
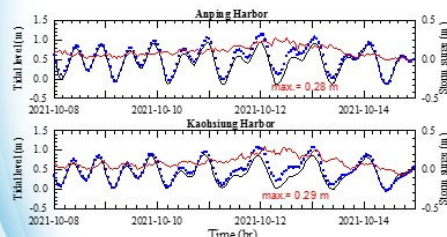
□ 2021年暴潮偏差分析值

◆ 暴潮偏差分析值

颱風侵臺期間潮位觀測值與
天文潮調和分析值之差值

◆ 暴潮偏差預測值

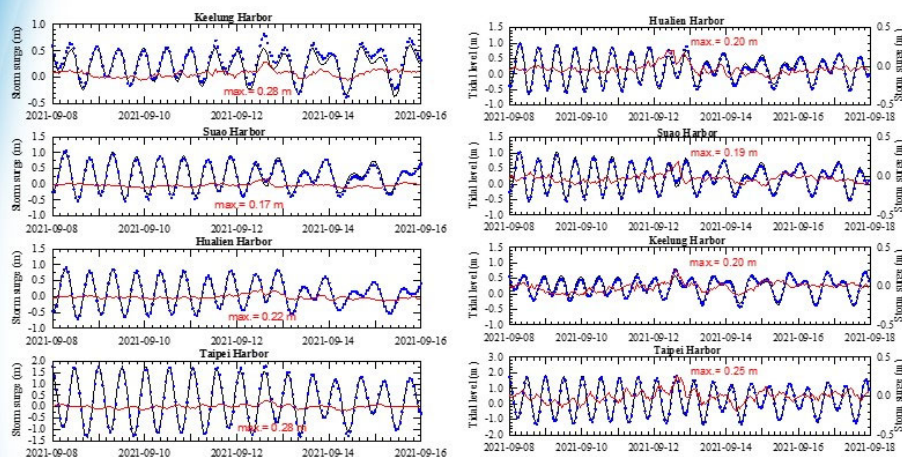
颱風侵臺期間潮位觀測值與
天文潮預測值之差值



➤ 臺灣周圍海域水動力模擬與校驗(2A)

水位觀測資料

□ 2021年暴潮偏差預測值/分析值



顯示各港暴潮偏差預測值普遍高於分析值(例外者如蘇澳港)

天文潮模擬結果校驗

均方根誤差分析成果表

月份	花蓮港 (m)	蘇澳港 (m)	基隆港 (m)	臺北港 (m)	臺中港 (m)	布袋港 (m)	安平港 (m)	高雄港 (m)
1	0.045	0.053	0.036	0.121	0.174	0.082	0.078	0.067
2	0.111	0.134	0.165	0.210	0.245	0.218	0.180	0.171
3	0.096	0.102	0.125	0.164	0.188	0.159	0.140	0.126
4	0.083	0.068	0.071	0.114	0.126	0.078	0.094	0.063
5	0.055	0.067	0.065	0.118	0.142	0.088	0.108	0.069
6	0.075	0.114	0.139	0.172	0.187	0.125	0.128	0.093
7	0.149	0.154	0.197	0.216	0.212	0.140	0.134	0.102
8	0.185	0.157	0.203	0.224	0.213	0.148	0.135	0.113
9	0.151	0.116	0.143	0.176	0.194	0.150	0.132	0.124
10	0.073	0.062	0.055	0.114	0.138	0.120	0.112	0.109
11	0.076	0.083	0.091	0.137	0.122	0.085	0.082	0.067
12	0.118	0.130	0.156	0.197	0.197	0.143	0.115	0.095
整體(年)	0.114	0.115	0.141	0.177	0.190	0.143	0.130	0.112
2021 年 ¹	0.079	0.115	0.118	0.167	0.186	0.160	0.122	0.111

*1：採用臺灣基隆港組底床摩擦係數修正後新的水位檢核點標擬值

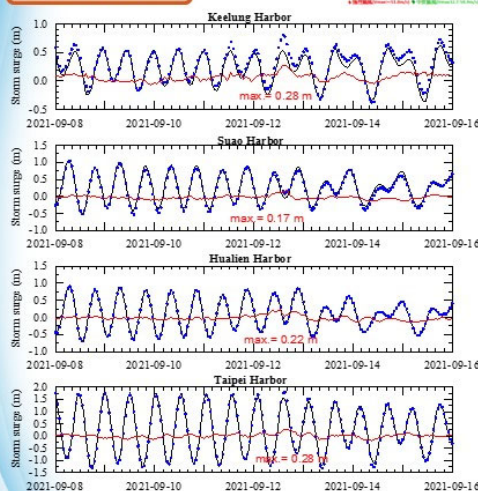
*1: 採用臺海暴潮模組底床摩擦係數修正後新的水位檢核點模擬值

2022年天文潮模擬值之均方根誤呈現普遍略增現象

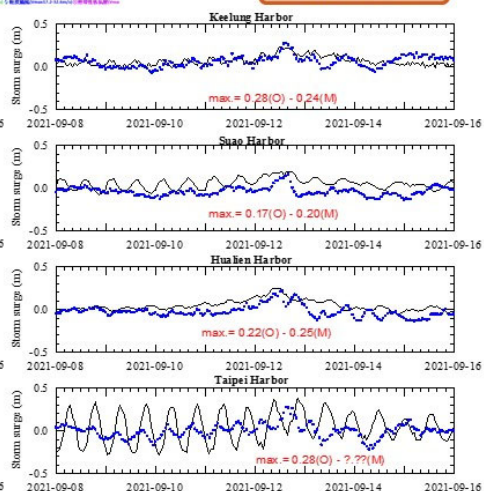
暴潮偏差模擬校驗



暴潮偏差預測值



暴潮模擬分析值



➤ 海象模擬作業化系統預測成果評估(1)

➤ 111年度年報內容

110年9月~111年8月

風力

- 模擬值與觀測值之逐月歷線比較圖(風速、風向)
- 模擬值、觀測值之逐月風力玫瑰圖
- 模擬值、觀測值之逐月統計值(蒐集率、平均值、極端值、標準偏差及均方根差)
- 觀測值發生機率或頻率(風速、風向)

波浪

- 模擬值與觀測值之逐月歷線比較圖(示性波高、譜峰週期、平均波向)
- 示性波高、譜峰週期(模擬值、觀測值)之逐月統計值(蒐集率、平均值、極端值、標準偏差及均方根差)

水位

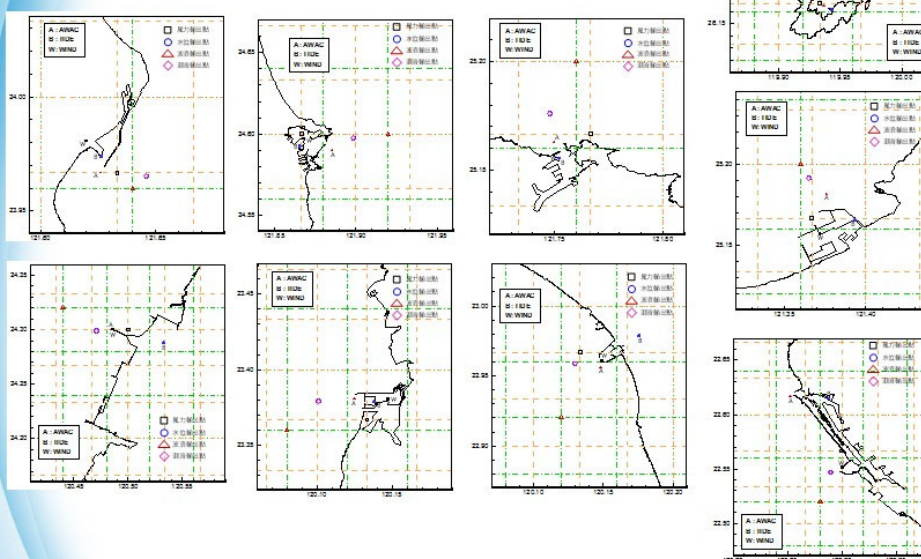
- 模擬值與觀測值之逐月歷線比較圖
- 模擬值、觀測值之逐月統計值(蒐集率、平均值、極端值、標準偏差及均方根差)

海流

- 模擬值與觀測值之逐月歷線比較圖(流速、流向)
- 模擬值與觀測值之逐月統計值(蒐集率、平均值、極端值、標準偏差及均方根差)

➤ 海象模擬作業化系統預測成果評估

測站與模擬值輸出點位



➤ 海象模擬作業化系統預測成果評估(3)

風力模擬資料

來源為氣象局每日 4 報WRF成員M04水平解析度3km網格之風力預報資料，由每報擷取6~11時資料，彙整成每月逐時資料。

波浪模擬資料

來源為臺海風浪模擬子系統中尺度近域風浪模組模擬資料，由每日 4 報擷取0~5時(追算時段)資料，彙整成每月逐時資料。

水位及流速模擬資料

來源為臺海水動力模擬子系統中尺度暴潮模組模擬資料，由每日 1 報擷取0~23時(追算時段)資料，彙整成每月逐時資料。

➤ 海象模擬作業化系統預測成果評估(4)

波浪、海流觀測資料

海域 月份	臺北	基隆	蘇澳	花蓮	高雄	安平	布袋	臺中	馬祖
202109	95.42	91.94	99.86	99.03	99.31	93.33	99.86	99.58	100.00
202110	37.10	99.73	99.06	100.00	99.87	90.32	89.92	99.60	81.99
202111	0.00	92.50	97.92	99.86	99.86	94.31	96.81	97.36	0.00
202112	0.00	88.58	99.19	99.60	99.19	95.56	98.79	99.87	0.00
202201	26.08	86.29	93.95	99.73	98.92	97.45	98.66	99.87	0.00
202202	97.17	83.63	97.77	99.70	97.92	96.88	99.70	98.66	0.00
202203	99.73	83.47	99.06	97.97	97.45	94.35	99.60	99.16	0.00
202204	100.00	84.72	97.92	98.89	98.19	93.19	99.17	99.86	0.00
202205	100.00	87.23	98.52	98.92	98.73	99.06	99.73	99.06	0.00
202206	72.50	86.94	99.86	99.17	99.44	97.92	98.89	98.75	0.00
202207	0.00	98.92	99.19	99.87	98.66	85.75	98.79	99.73	0.00
202208	0.00	99.60	99.33	99.60	97.58	85.75	97.72	99.60	0.00

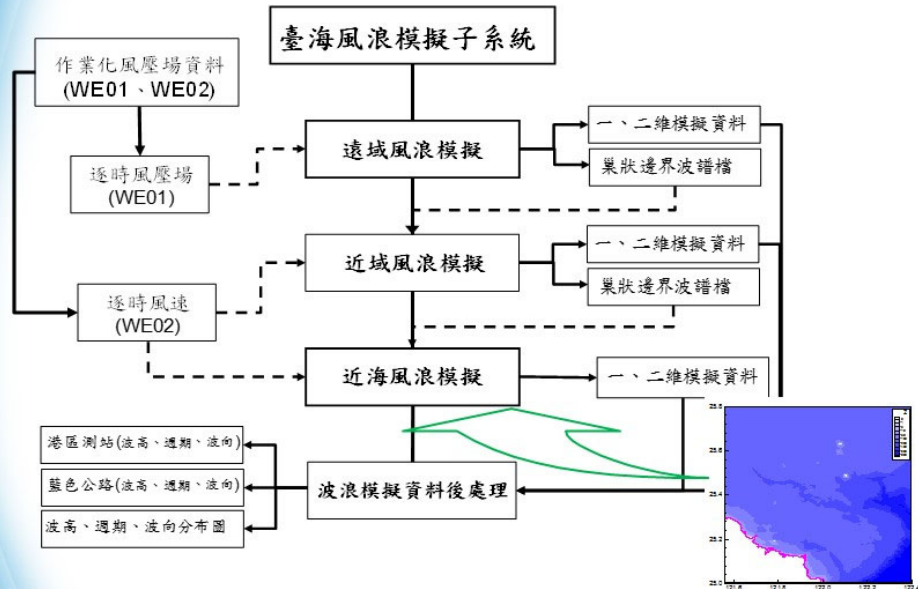
水位觀測資料

海域 月份	臺北	基隆	蘇澳	花蓮	高雄	安平	布袋	臺中	馬祖
202109	99.86	100.00	100.00	99.86	100.00	99.86	100.00	99.17	98.47
202110	99.87	100.00	100.00	100.00	100.00	8.06	99.87	100.00	98.66
202111	100.00	100.00	100.00	42.36	99.86	0.00	100.00	99.72	98.89
202112	100.00	100.00	100.00	30.24	99.87	87.90	100.00	100.00	98.66
202201	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.46	100.00	100.00	90.90
202202	100.00	100.00	100.00	100.00	99.85	49.70	100.00	100.00	76.93
202203	100.00	100.00	100.00	99.87	100.00	53.23	100.00	100.00	98.52
202204	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	98.47
202205	99.87	99.87	99.87	100.00	99.87	99.87	100.00	100.00	97.72
202206	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.86	99.86	100.00	99.03
202207	99.73	100.00	99.87	99.60	99.73	99.60	99.60	99.73	98.25
202208	99.73	99.87	100.00	99.87	100.00	99.73	99.87	100.00	98.66

紅字表示蒐集率<80.00%

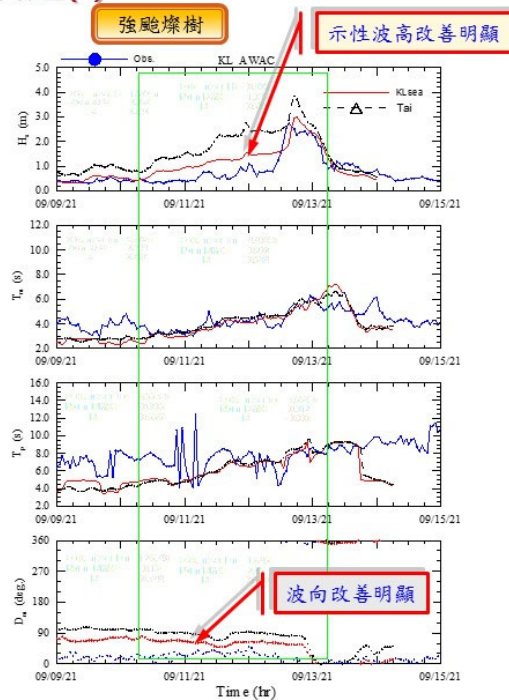
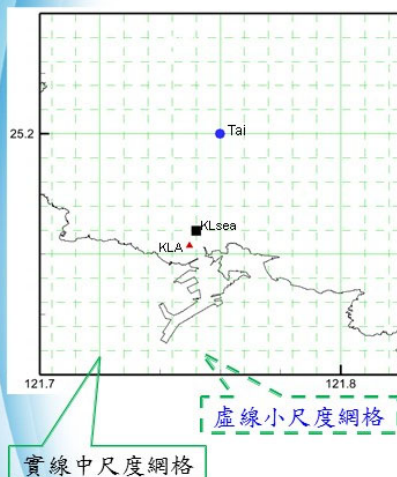
➤ 精進基隆海域風浪模組(1)

- 整合基隆海域風浪模組與「臺海風浪模擬子系统」，應用基隆港波浪觀測資料校驗基隆海域風浪模擬結果。



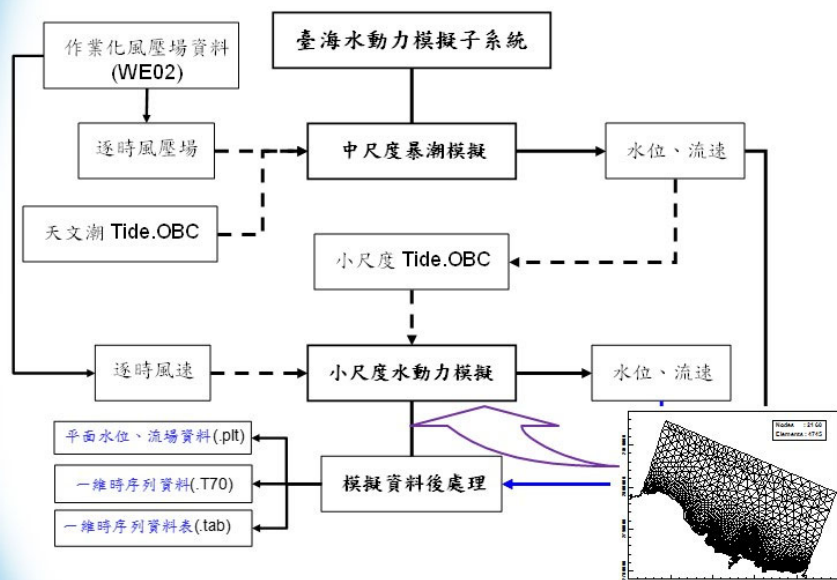
➤ 精進基隆海域風浪模組(2)

基隆海域風浪模結果校驗



➤ 精進基隆海域水動力模組(1)

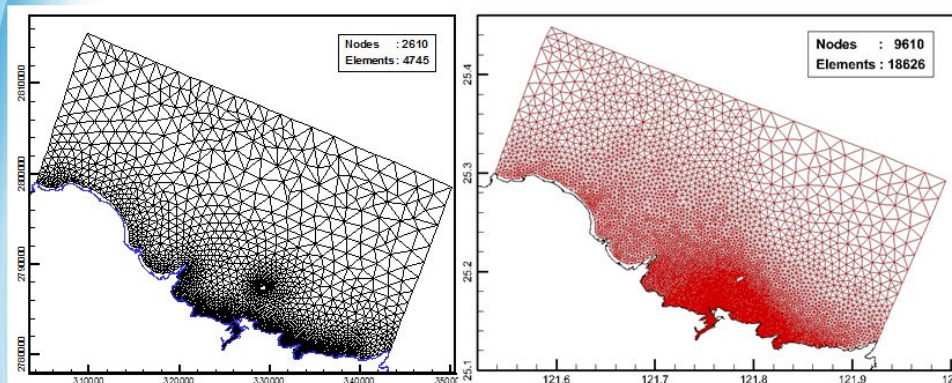
- 整合基隆海域水動力模組與「臺海水動力模擬子系統」，應用基隆港潮位觀測資料校驗基隆海域水位模擬結果。



➤ 精進基隆海域水動力模組(2)

數值模擬解析度提升

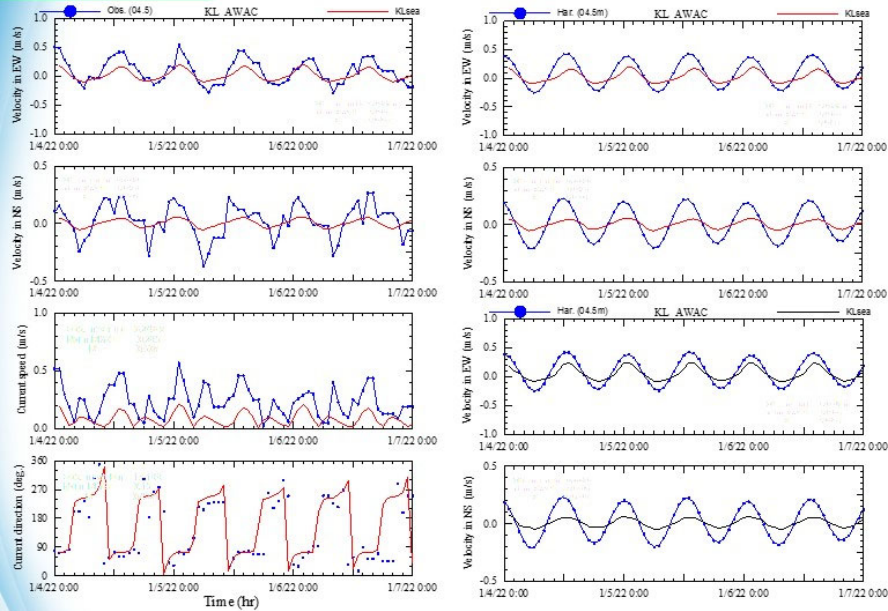
□ 數值計算網格更新



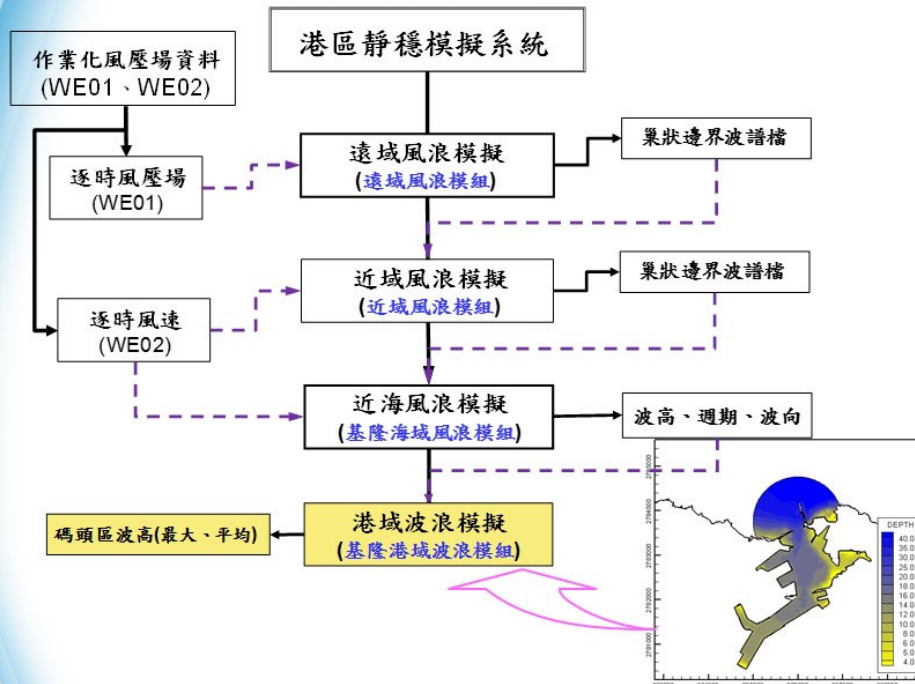
- 新計算網格計有9,610個節點及18,626個三角形元素，顯示節點數量約增至3.68倍，元素數量約增至3.92倍，網格解析度顯著提升。

➤ 精進基隆海域水動力模組(3)

流速模擬校驗



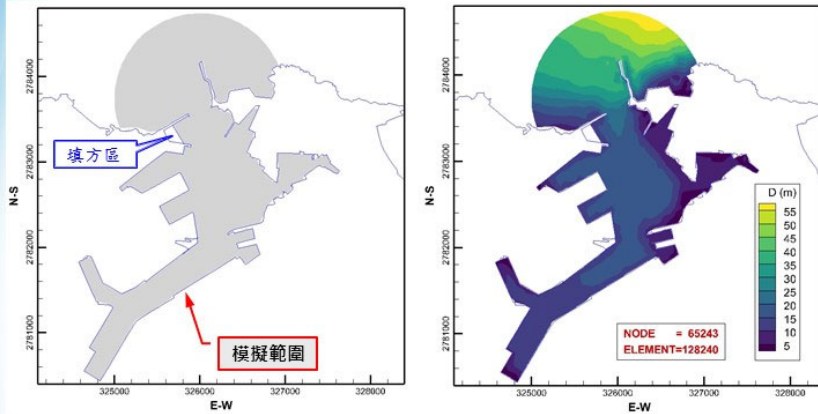
➤ 新建基隆港靜穩模擬模組(1)



➤ 新建基隆港靜穩模擬模組(2)

港域波浪模組建置

□ 數值計算網格建置



新建三角形有限元素網格計有，128,240個元素及65,243個節點；
入射波適用週期8.0sec以上波浪；
利用110年基隆港水深測量資料，更新模組數值計算網格水深資料。

➤ 新建基隆港靜穩模擬模組(3)

港域波浪模組建置

□ 港區碼頭配置/

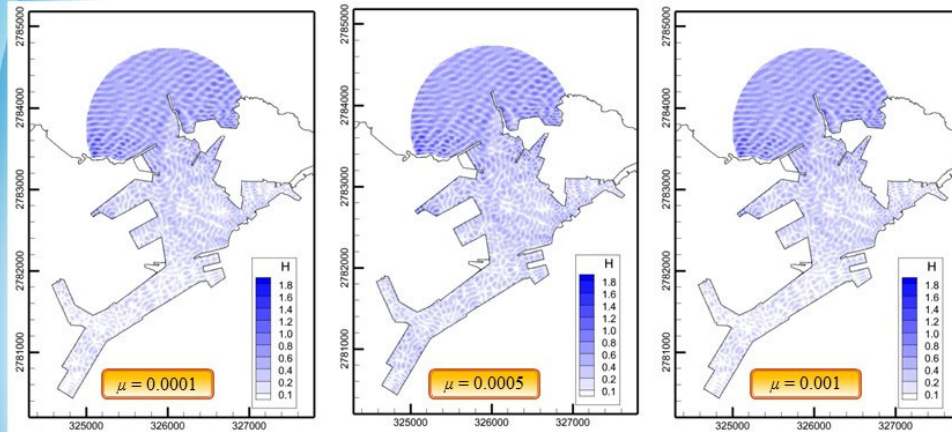


港內波高模擬預測結果輸出，以港務公司較為關注的碼頭進行規劃；
東6碼頭至東12碼頭、西16碼頭至西18碼頭以及西27碼頭。

➤ 新建基隆港靜穩模擬模組(4)

港域波浪模擬特性

□ 底床摩擦係數零敏度分析



入射波波高為1.0m，入射波週期為10sec，入射波向為N

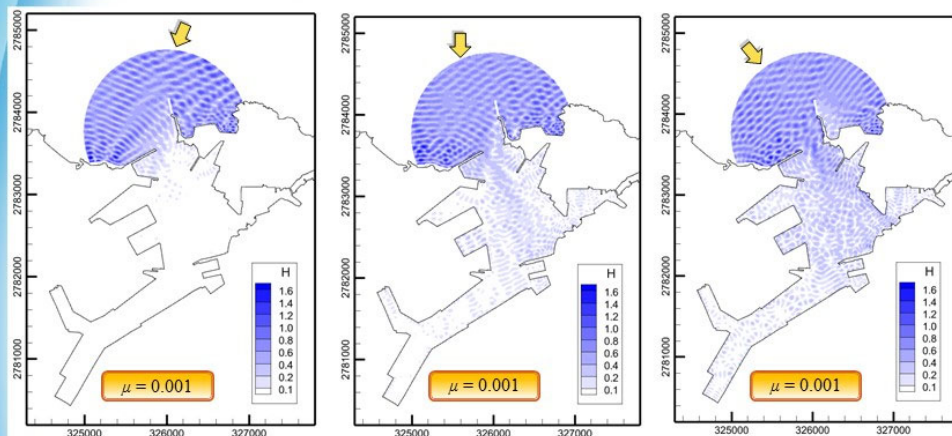
底床摩擦係數對波高分布狀態影響極微小，對於波高值大小影響較為顯著

新建
基隆港
靜穩
模擬
模組

➤ 新建基隆港靜穩模擬模組(5)

港域波浪模擬特性

□ 波向零敏度分析

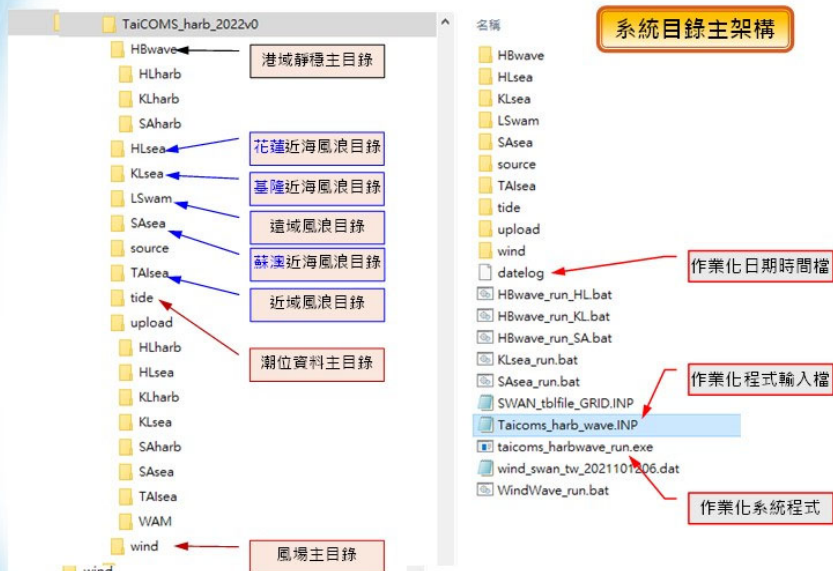


入射波波高為1.0m，入射波週期 10sec，入射波向NW、N、NNE

對北北西向波浪具有顯著遮蔽效應，但北向及西北向波浪而言，基隆港港口遮蔽效應明顯較差顯著

新建
基隆港
靜穩
模擬
模組
(5)

作業化模擬環境目錄架構



□ 作業化模擬輸入檔 “Taicom Harb Wave.INP”

```

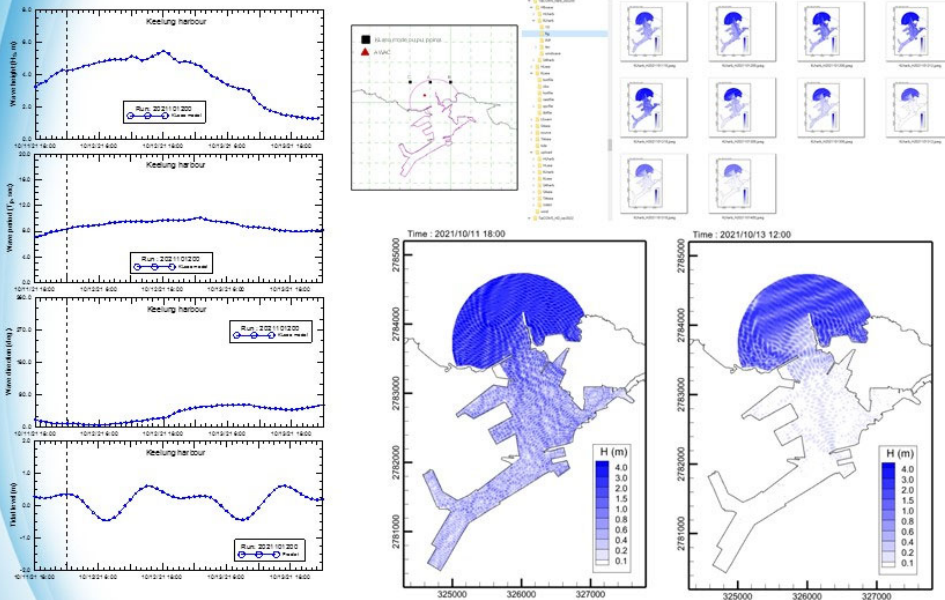
! 風場格式(1=每日一報, 2=每日四報)
2
! LShotrun
TRUE. 執行大尺度風浪模組(wan_model)
true. 執行大尺度風浪模組(wan_model)
! MShotrun (中尺度風浪)
TRUE. 執行中尺度風浪模組(svantai)
true. 執行中尺度風浪模組(svantai)
! hotrun (小尺度花蓮海域風浪)
TRUE. 執行小尺度花蓮海域風浪模組(swanHLsea)
true. 執行小尺度花蓮海域風浪模組(swanHLsea)
! DIFFRac 開關(=0, OFF), (=1, ON)
1
hotrun (小尺度蘇澳海域風浪)
TRUE. 執行小尺度蘇澳海域風浪模組(swanSsea)
true. 執行小尺度蘇澳海域風浪模組(swanSsea)
! DIFFRac 開關(=0, OFF), (=1, ON)
1
hotrun (小尺度基隆海域風浪)
TRUE. 執行小尺度基隆海域風浪模組(swanKsea)
true. 執行小尺度基隆海域風浪模組(swanKsea)
! DIFFRac 開關(=0, OFF), (=1, ON)
1
hotrun (小尺度花蓮港域波浪風浪)
TRUE. 執行小尺度花蓮港域波浪風浪模組(HBwav_HL)/0
0
tide\HLB_M2020123100_pred.txt 花蓮港潮位預測資料檔(HLB)
true. 執行小尺度蘇澳港域波浪風浪模組(HBwav_SA)/1/0
0
tide\SAC_M2020123100so_pred.txt 蘇澳港潮位預測資料檔(HLB)
true. 執行小尺度基隆港域波浪風浪模組(HBwav_KL)/1/0
0
tide\KLC_M2020123100so_pred.txt 基隆港潮位預測資料檔(HLB)

```

➤ 新建基隆港靜穩模擬模組(8)

港區靜穩模擬系統介紹

□ 作業化模擬結果_基隆港



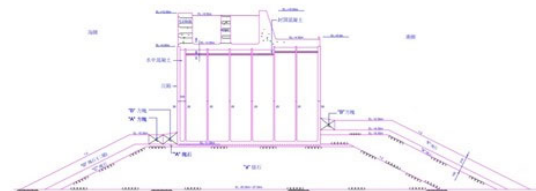
➤ 發展花蓮港外廓防波堤越波模組(1)

背景資料

□ 花蓮港外廓防波堤



新東堤長 1835 m

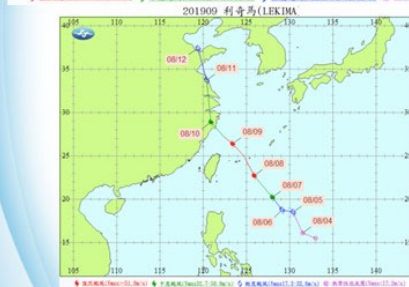
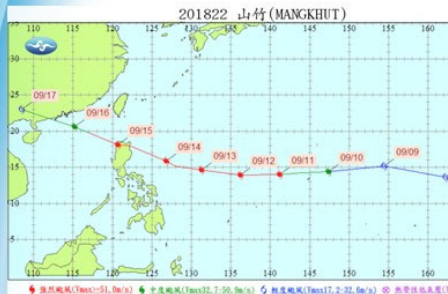


堤頂高程為E.L. +10.5 m ,
開孔式胸牆底部高程E.L. +3.0 m 。

➤ 發展花蓮港外廓防波堤越波模組(2)

背景資料

□ 歷年颱風波浪越波資訊



➤ 發展花蓮港外廓防波堤越波模組(3)

越波分析理論

□ 衝擊波越波

$$\frac{h^2}{H_{m0} L_{m-1.0}} \leq 0.23$$

$$\frac{q}{\sqrt{g H_{m0}^3}} = 0.0155 \left(\frac{H_{m0}}{h S_{m-1.0}} \right)^{0.5} \exp \left(-2.2 \frac{R_c}{H_{m0}} \right) \quad (8.2)$$

$$\frac{q}{\sqrt{g H_{m0}^3}} = 0.0020 \left(\frac{H_{m0}}{h S_{m-1.0}} \right)^{0.5} \left(\frac{R_c}{H_{m0}} \right)^{-3} \quad (8.3)$$



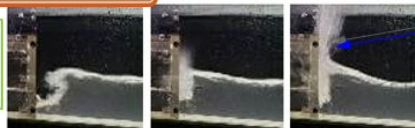
非衝擊波堤前動態

堤前水深較深
或者
波浪尖銳度較小



堤前衝擊波動態

堤前水深較小
或者
波浪尖銳度較大

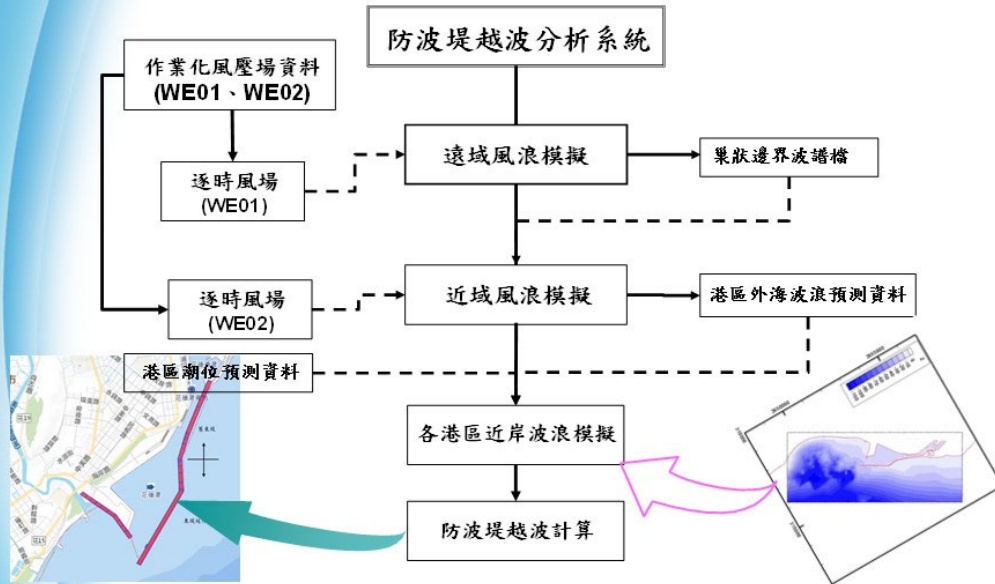


在堤面上碎波
產生相當大的
衝擊現象

➤ 發展花蓮港外廓防波堤越波模組(4)

防波堤越波分析系統

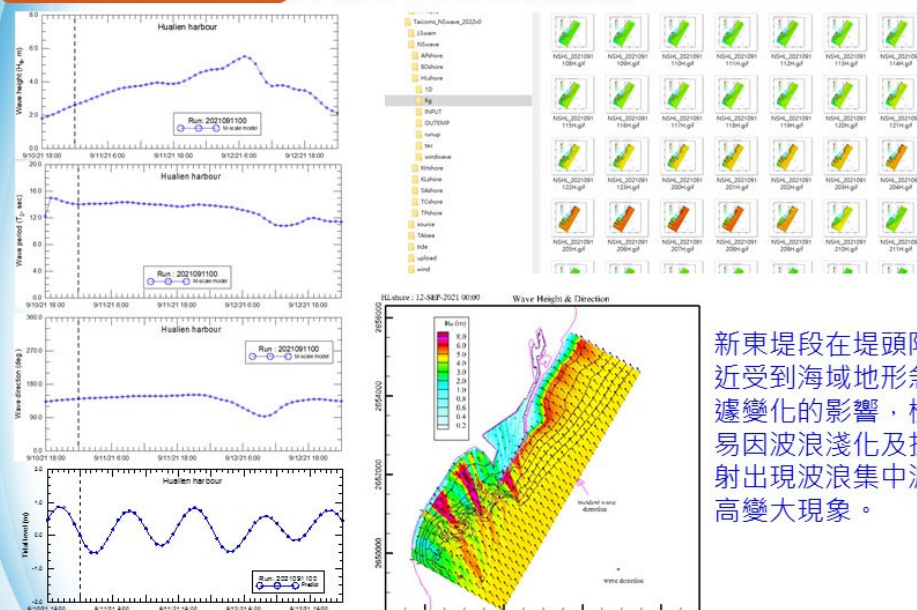
整合臺海「港區近岸波浪模擬系統」及外廓防波堤越波分析模組。



➤ 發展花蓮港外廓防波堤越波模組(5)

防波堤越波分析系統

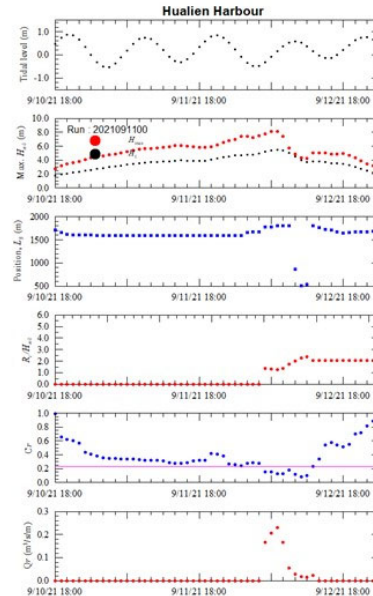
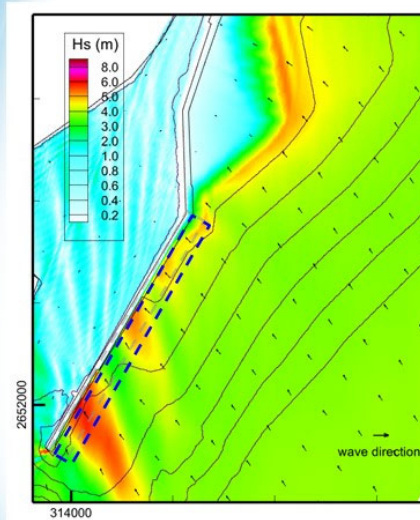
□ 花蓮港港區近岸波浪模擬



➤ 發展花蓮港外廓防波堤越波模組(6)

防波堤越波分析系統

□ 新東堤段波浪越波分析



➤ 結論(1)

1

本年度(2021年9月至2022年8月)維護記錄達60次，完善作業系統維運。

2

本年度臺海暴潮模組改善成果顯示，臺北港、臺中港及布袋港等水位模擬值與觀測值之均方根誤差值有顯著降低現象。

3

完成Windows作業系統「港區近岸波浪模擬系統」每日4次波浪模擬作業系統建置。

結
論
與
建
議

➤ 結論(2)

- 4 氣象局WRF氣象場M04及M05差異分析結果顯示，二者產出的預報風壓場仍存一定程度的差異性，應視為2種作業化預報模組。M04目前的定位為M05回復前的暫代措施。
- 5 臺灣周圍海域本年度冬季風浪模擬之校驗，本年度評估指標改以常態化均方根誤差(NRMSE)取代均方根誤差(RMSE)，整體上，冬季風浪模擬校驗結果以基隆海域最佳。
- 6 臺灣周圍海域水動力模擬與校驗，與各港天文潮調和分析預測值比較結果，顯示臺北港、臺中港及布袋港等3港口有較大的均方根誤差值。

結
論
與
建
議

➤ 結論(3)

- 7 本年度海象預測作業化成果評估方面，完成本年度(2021年9月至2022年8月)海象作業化預測評估月報及年度評估報告，供港研中心內部參考。
- 8 基隆海域風浪模組及基隆海域水動力模組分別完成納入海象模擬作業化系統，並持續進行測試與模擬結果校驗。
完成基隆港靜穩模組之建置及測試並修正「港區靜穩模擬系統」作業化程式，以完善系統作業化模擬環境。
- 9 利用直立堤衝擊波經驗公式發展花蓮港外廓防波堤越波模組，整合花蓮港區近岸波浪模擬系統進行作業化程序測試，作為後續改善之依據。

結
論
與
建
議

➤ 建議

1

基於處理M05浮動網格之風場作業化程式尚未完成修訂及測試，因此建議維持以M04風場過渡措施。

2

本年度新建「港區近岸波浪模擬系統」及「港區靜穩模擬系統」尚有後處理作業化程式待進行測試及除錯，因此建議相關模擬作業系統延長測試期限。

簡報完畢 敬請指正

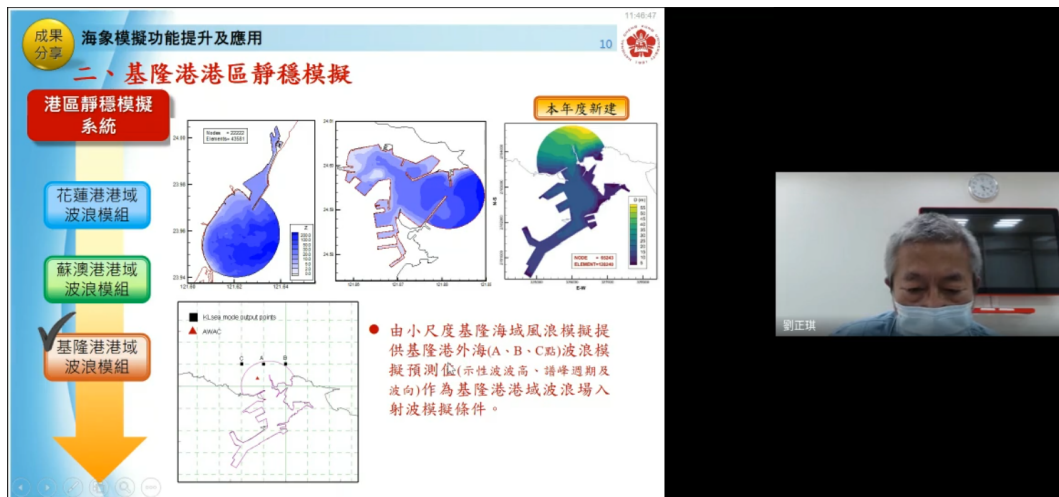


國立成功大學水工試驗所
Tainan Hydraulics Laboratory
National Cheng Kung University, since 1950
<http://www.thl.ncku.edu.tw/>

附錄八

計畫教育訓練及成果行銷推廣活動

教育訓練於運研所 111 年 11 月 4 日(星期五)辦理「111 年度港灣環境資訊網使用者說明會」視訊會議，以「海象模擬功能提升及應用」為講題，說明本年度計畫執行成果。



111 年 12 月 26 日(星期一)假臺灣港務股份有限公司基隆港務分公司第 2 會議室辦理「基隆港海象觀測及模擬計畫成果交流會」進行成果行銷推廣活動並發布新聞稿。





