

101-21-7595
MOTC-IOT-100-H3DB005a

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

中華民國 101 年 3 月

101

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

GPN: 1010100278

定價 200 元

101-21-7595

MOTC-IOT-100-H3DB005a

提昇海岸及港灣海域波浪模擬 技術之研究(1/4)

著 者：邱永芳、劉正琪、蘇青和、陳明宗
李俊穎、胡凱程、鄭博今

交通部運輸研究所

中華民國 101 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

提昇海岸及港灣海域波浪模擬技術之研究(1/4)
/邱永芳等著.--初版.-- 臺北市：交通部運輸研究所，
民 101.03
面 ； 公分
ISBN 978-986-03-1730-5 (平裝)
1. 波動 2. 數值分析 3. 生態模擬
351.941 101002065

提昇海岸及港灣海域波浪模擬技術之研究(1/4)

著 者：邱永芳、劉正琪、蘇青和、陳明宗、李俊穎
胡凱程、鄭博今
出版機關：交通部運輸研究所
地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號
網 址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)
電 話：(04)26587176
出版年月：中華民國 101 年 3 月
印 刷 者：群彩印刷科技股份有限公司
版(刷)次冊數：初版一刷 80 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站
定 價：200 元
展 售 處：
交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880
國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02)25781515
五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號 • 電話：(04)22260330

GPN：1010100278

ISBN：978-986-03-1730-5 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

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

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：提昇海岸及港灣海域波浪模擬技術之研究(1/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-03-1730-5(平裝)	政府出版品統一編號 1010100278	運輸研究所出版品編號 101-21-7595	計畫編號 100-H3DB005a
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：邱永芳 研究人員：蘇青和、陳明宗 李俊穎 參與人員：錢爾潔、陳正義 馬維倫、張麗瓊 聯絡電話：04-26587135 傳真號碼：04-26564415	合作研究單位：財團法人成大研究發展基金會 主持人：劉正琪 研究人員：胡凱程、鄭博今 地址：701 臺南市東區大學路 1 號 聯絡電話：06-2371938 轉 422		研究期間 自 100 年 2 月 至 100 年 12 月
關鍵詞：颱風波浪模擬；西太平洋風浪模式；臺灣周圍海域風浪模式；港區近岸波浪模式			
摘要： 本計畫為四年期「提昇海岸及港灣海域波浪模擬技術之研究」之第一年計畫，本年度計畫為以基隆港和臺北港為研究對象進行相關模式模擬技術精進之研究。本年度完成之工作內容包括：(1)針對 TaiCOMS 下大尺度西太平洋風浪模式(WAM)進行模式精研，修正模式作業化流程缺失及模式風浪平均週期計算方法，經與基隆港和臺北港觀測資料比較，顯示本年度大尺度風浪模擬結果不論在波高、週期及波向等之精確度均獲得顯著地改善成果；(2)修正中尺度臺灣周圍海域風浪模式(SWAN)之模擬範圍，即將中尺度模擬範圍擴及金門及馬祖等離島地區，以為下年度 TaiCOMS 風浪作業化預報能含蓋金門及馬祖等離島地區進行準備；(3)針對臺北港小尺度港區近岸波浪場模擬進行數值計算網格資料(臺北港池外廓形狀及地形水深資料)修正，以及即時波浪觀測資料作業化模擬之模式波浪條件校正與率定等工作，以達到提昇模式模擬精確度之目標；(4)完成基隆港及臺北港本年度冬季及夏季季風風浪模擬結果特性分析，其中基隆港及臺北港冬季季風波浪模擬結果之精度均優於夏季季風風浪模擬結果，此一現象除了與基隆港及臺北港之地理位置(位於北臺灣)有關外，亦可能與受到大、中尺度網格解析度之影響有關；(5)針對本年度侵臺颱風分別選取強烈颱風桑達與中度颱風南瑪都之波浪模擬結果，進行基隆港及臺北港颱風波浪模擬結果之評估，結果顯示本年度大尺度風浪模擬成果之精確度較以往有顯著提升。 此外，本計畫亦配合港灣技術研究中心完成基隆港區及臺北港區風浪模擬預警子系統之建置，以及作業系統維護與資料分析，軟硬體之更新測試，預報成果與實測的差異性進行可能的檢討與改進，模式作業化環境的改善及維護。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
101 年 3 月	194	200	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： ☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 （解密條件： ☐ 年 ☐ 月 ☐ 日解密， ☐ 公布後解密， ☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密， ☐ 另行檢討後辦理解密） ☒ 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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

TITLE: Advancement of Wave Simulation Technology for Coastal and Harbor Waters (1/4)			
ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-03-1730-5 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010100278	IOT SERIAL NUMBER 101-21-7595	PROJECT NUMBER 100-H3DB005a
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Yung-Fang Chiu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Yung-Fang Chiu PROJECT STAFF: Ching-Ho Su, Ming-Chung Chen, Chun-Ting Lee, Er-Jier Chien Cheng-Yi Chen, Wei-Lun Ma, Lee-Chung Chang PHONE: (04) 26587135 FAX: (04) 26564415			PROJECT PERIOD FROM February 2011 TO December 2011
RESEARCH AGENCY: NCKU Research and Development Foundation PRINCIPAL INVESTIGATOR: Cheng-Chi Liu PROJECT STAFF: Ki-Cheng Hu, Po-Chin Cheng ADDRESS: NO.1, University Road, Tainan 701, Taiwan, ROC PHONE: (06) 2371938 ext.422			
KEY WORDS: typhoon wave simulations, WAM, SWAN, REF/DIF			
ABSTRACT: This project is the first year of the four-year research entitled "Enhancement of wave simulation technology on coast, harbor areas". The main goal is to enhance numerical forecasting technique on wave models for Keelung Harbor and Taipei Harbor. Major achievements include: (1) The accuracy of the modeling results in wave height, wave period and wave direction of the large-scale West Pacific wind-wave Model (WAM) had improved remarkably through (by way of) improvement of modeling process as well as computational approach of wave averaged period; (2) To upgrade the medium-scale Taiwan near-shore wind-wave model (SWAN) by enlarging the simulation range to cover the sea near Kinmen and Matzu regions, which could be the next work in the wave forecasting under TaiCOMS; (3) Updating both numerical mesh (e.g. harbor shape and water depth) and wave input parameters in modified by way of measured data of the small-scale wave model (REF/DIF) for Taipei harbor; (4) Performance of the analyses on characteristics of the wind-wave hindcast in winter and summer which indicated that the agreement with measured data in winter is better than that in summer; (5) Typhoon wave simulations for Keelung Harbor and Taipei Harbor were be studied under both cases of the strong typhoon Songda and the medium typhoon Nanmadol attacking Taiwan. The results suggest that the accuracy of modeling results of the large-scale model have also improved dramatically. Additionally, this project also performed work with Harbor & Marine Technology Center for the following items: (1) the construction of the warning sub-system for Keelung Harbor and Taipei harbor; (2) maintenance of operation system and data analyses; (3) update and test of software and hardware; (3) improvement of the discrepancy between forecasted and measured data; (4) improvement and maintenance of computer platforms to execute a numerical model.			
DATE OF PUBLICATION March 2012	NUMBER OF PAGES 194	PRICE 200	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

提昇海岸及港灣海域波浪模擬技術之研究(1/4)

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
目錄	III
表目錄	V
圖目錄	VI
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	1-2
1.3 研究範圍與對象	1-3
1.4 本年度研究內容與工作項目	1-3
1.5 本年度研究成果	1-4
第二章 波浪模擬作業化系統介紹	2-1
2.1 TaiCOMS—波浪模擬作業化系統介紹	2-1
2.2 TaiCOMS—波浪模擬作業化流程介紹	2-8
第三章 數值模式介紹	3-1
3.1 WAM 的理論簡述	3-1
3.2 SWAN 的理論簡述	3-3
3.3 波浪折繞射模式(REF/DIF-1)理論簡述	3-8

3.4 港域波浪模式理論簡述.....	3-11
第四章 風浪模式之精進與評估.....	4-1
4.1 WAM 模式架構與程式流程.....	4-1
4.2 WAM 模式模擬選項.....	4-3
4.3 WAM 模式輸出結果.....	4-4
4.4 WAM 模式模擬結果與討論.....	4-8
4.5 中尺度臺灣周圍海域模擬範圍之檢討.....	4-32
第五章 港區風浪模擬預警子系統.....	5-1
5.1 基隆港港區風浪模擬預警子系統.....	5-1
5.2 臺北港港區風浪模擬預警子系統.....	5-9
第六章 波浪預報作業化評估.....	6-1
6.1 2011 年颱風波浪模擬與評估.....	6-1
6.2 長期風場與波浪模擬結果評估.....	6-18
第七章 結論與建議.....	7-1
7.1 結論.....	7-1
7.2 建議事項.....	7-1
參考文獻.....	參-1
附錄 1 WAM 模式輸入檔之範例說明.....	附 1-1
附錄 2 SWAN 模式輸入檔範例說明.....	附 2-1
附錄 3 期中報告審查意見處理情形表.....	附 3-1
附錄 4 期末報告審查意見處理情形表.....	附 4-1
附錄 5 期末簡報資料.....	附 5-1

表目錄

表3-1	不同堤體之透過係數參數表	3-7
表4-1	中央氣象局大氣模式RC及MC風場格網資訊.....	4-9

圖目錄

圖2.1	近岸海象數值模擬及預警系統架構圖.....	2-3
圖2.2	大尺度西太平洋模擬模式之模擬範圍.....	2-3
圖2.3	中尺度臺灣周圍海域模擬模式之模擬範圍.....	2-4
圖2.4	國內七大港口地理位置及港區示意圖.....	2-4
圖2.5	基隆港區近岸(藍色)及港域(紅色)波浪模擬範圍	2-5
圖2.6	臺北港區近岸(藍色)及港域(紅色)波浪模擬範圍	2-5
圖2.7	臺中港區近岸(藍色)及港域(紅色)波浪模擬範圍	2-6
圖2.8	安平港區近岸(藍色)及港域(紅色)波浪模擬範圍	2-6
圖2.9	高雄港區近岸(藍色)波浪模擬範圍	2-7
圖2.10	花蓮港區近岸(藍色)及港域(紅色)波浪模擬範圍	2-7
圖2.11	蘇澳港區近岸(藍色)及港域(紅色)波浪模擬範圍	2-8
圖2.12	近岸海象數值模擬及預警系統線上作業流程.....	2-10
圖2.13	近岸海象數值模擬及預警系統每日線上作業範例.....	2-11
圖3.1	波浪能量由高頻向低頻傳遞之示意圖.....	3-2
圖3.2	REF/DIF-1數值計算網格座標系統	3-11
圖3.3	港域波浪模式計算領域示意圖	3-14
圖4.1	WAM風浪模式操作流程.....	4-3
圖4.2	TaiCOMS風浪模式波浪譜峰週期輸出結果.....	4-6
圖4.3	大尺度西太平洋風浪模式(WAM)基隆港與臺北港模 擬結果輸出點位示意圖	4-7
圖4.4	利用四個網格點計算內插點位代表波浪值之示意圖	4-7
圖4.5	西太平洋風浪模式輸入之RC風場向量及風速分布圖	4-11

圖4.6	西太平洋風浪模式輸入之MC風場向量及風速分布圖 ...	4-14
圖4.7	中央氣象局發布之梅花(MUIFA)颱風路徑圖	4-17
圖4.8a	模式模擬時間1小時之波高分布及RC風場向量圖	4-22
圖4.8b	模式模擬時間1小時之波高分布及波向之向量圖	4-22
圖4.8c	模式模擬時間1小時之平均週期分布及波向之向量圖 ...	4-23
圖4.9a	模式模擬時間48小時之波高分布及RC風場向量圖	4-23
圖4.9b	模式模擬時間48小時之波高分布及波向之向量圖	4-24
圖4.9c	模式模擬時間48小時之平均週期分布及波向之向量圖 .	4-24
圖4.10a	本文模式以RC風場模擬波浪之波高分布及風速向量 圖	4-25
圖4.10b	TaiCOMS模式以RC風場模擬波浪之波高分布圖	4-25
圖4.11a	本文模式以RC風場模擬波浪之平均週期分布及波向 向量圖	4-26
圖4.11b	TaiCOMS模式以RC風場模擬波浪之平均週期分布圖 ...	4-26
圖4.12a	本文模式以RC風場模擬波浪場之平均波向(來向)分布 及波向(去向)之向量圖	4-27
圖4.12b	TaiCOMS模式以RC風場模擬波浪之平均波向(來向) 分布圖	4-27
圖4.13a	RC風場模擬結果之波高分布及波向向量圖	4-28
圖4.13b	RC風場模擬結果之平均周期分布及波向向量圖	4-28
圖4.14a	MC風場模擬結果之波高分布及波向向量圖	4-29
圖4.14b	MC風場模擬結果之平均周期分布及波向向量圖	4-29
圖4.15	基隆港與臺北港波浪觀測資料之示性波高(Hs)與模式 RC風場及MC風場波高模擬結果之比較	4-30

圖4.16	基隆港與臺北港波浪觀測資料之平均週期與模式RC 風場及MC風場波浪平均週期模擬結果之比較	4-30
圖4.17	基隆港與臺北港波浪觀測資料之平均波向與模式RC 風場及MC風場波向模擬結果之比較	4-31
圖4.18	基隆港與臺北港波浪觀測資料之平均週期與模式模擬 之波浪平均週期T2及T-1之比較	4-31
圖4.19	TaiCOMS風浪模式模擬範圍與風場範圍示意圖	4-33
圖4.20	目前TaiCOMS中尺度臺灣周圍海域風浪模式之地形 水深圖(Etopo2).....	4-33
圖4.21	本計畫擴大之中尺度臺灣周圍海域風浪模式(new)之 地形 水深圖(Etopo1).....	4-34
圖4.22	臺灣周圍海域數值地形Etopo1及Etopo2水深資料之 差異比較	4-34
圖4.23a	本文臺灣周圍海域風浪模式(new)推算之波高分佈圖	4-36
圖4.23b	TaiCOMS臺灣周圍海域風浪模式推算之波高分佈圖	4-36
圖4.24a	本文臺灣周圍海域風浪模式(new)推算之平均週期分 佈圖	4-37
圖4.24b	TaiCOMS臺灣周圍海域風浪模式推算之平均週期分 佈圖	4-37
圖4.25a	本文臺灣周圍海域風浪模式(new)推算之平均波向分 佈圖	4-38
圖4.25b	TaiCOMS臺灣周圍海域風浪模式推算之平均波向分 佈圖	4-38
圖5.1	基隆港東防波堤延伸工程施工現況.....	5-3
圖5.2	基隆港西18、19貨櫃碼頭延建工程完工後現況.....	5-4

圖5.3	基隆港港區近岸波浪模式數值計算網格及地形水深分布圖 (點位A~D為模式模擬結果之輸出點位).....	5-4
圖5.4	基隆港東防波堤延伸工程及西18、19號貨櫃碼頭延建工程施工後之港池形狀及其粗網格分布圖.....	5-5
圖5.5	基隆港港域波浪場數值模擬之細網格分布圖(共38,554個節點及74,850元素).....	5-6
圖5.6	基隆港近岸波浪場模擬結果之波高分布與波向向量平面圖(波浪條件： $H_{1/3} = 4.07\text{m}$ ， $T_{1/3} = 10.7\text{sec}$ ， $D = 35.4^\circ$)....	5-7
圖5.7	基隆港港域波浪模式之港池邊界反射係數假設值示意圖.....	5-8
圖5.8	基隆港港域波浪模擬結果之波高分布情形 (波向NNE、波浪週期8秒).....	5-9
圖5.9	TaiCOMS系統下小尺度臺北港港區近岸波浪模式模擬範圍及地形水深分布圖.....	5-10
圖5.10	TaiCOMS系統下細尺度臺北港港域非結構三角元素粗網格及水深分布圖.....	5-10
圖5.11	臺北港港池外廓(拍攝日期2009/07/05).....	5-11
圖5.12	臺北港港區近岸波浪模式模擬範圍圖.....	5-12
圖5.13	臺北港99年度水深地形量測結果之水深分佈圖.....	5-12
圖5.14	本年度臺北港近岸港區波浪模式修正之數值計算網格及地形水深分布圖.....	5-13
圖5.15	臺北港觀測點位波高觀測值(橫座標)與模式波高模擬結果(縱座標)之比較.....	5-16
圖5.16	臺北港觀測點位波向觀測值(橫座標)與模式波向模擬結果(縱座標)之比較.....	5-17

圖5.17	臺北港觀測點位波高觀測值(橫座標)與模式校正後波高模擬結果(縱座標)之比較	5-17
圖5.18	臺北2011年強烈颱風桑達侵臺期間臺北港近岸波浪場波高模擬值與觀測值之比較.....	5-18
圖5.19	臺北港近岸波浪場模擬結果(波浪觀測資料： Hs=3.52m、Tm=3.9sec、Dm=3°)	5-18
圖6.1	艾利(AERE) 颱風相關資料與路徑圖	6-1
圖6.2	桑達(SONGDA) 颱風相關資料與路徑圖	6-2
圖6.3	米雷(MEARI) 颱風相關資料與路徑圖	6-2
圖6.4	梅花(MUIFA) 颱風相關資料與路徑圖	6-3
圖6.5	南瑪都(NANMADOL)颱風相關資料與路徑圖	6-3
圖6.6	TaiCOMS每日作業化72小時風場結構組成示意圖	6-4
圖6.7	TaiCOMS所採用的MC預報風場圖(a) 07H，(b) 08H.....	6-5
圖6.8	TaiCOMS所採用的MC預報風場圖(a) 19H，(b) 20H.....	6-6
圖6.9	2011/5/27 20H 桑達颱風MC風場分佈及向量圖	6-9
圖6.10	2011/5/27 20H 桑達颱風SWAN推算示性波高分佈圖	6-9
圖6.11	2011/5/27 20H 桑達颱風SWAN推算平均波向分佈圖	6-10
圖6.12	2011/5/27 20H 桑達颱風SWAN推算譜峰週期分佈圖	6-10
圖6.13	2011年桑達颱風期間基隆港之波浪模擬結果.....	6-11
圖6.14	2011年桑達颱風期間臺北港之波浪模擬結果.....	6-12
圖6.15	2011/8/28 12H 南瑪都颱風MC風場分佈及向量圖	6-14
圖6.16	2011/8/28 12H 南瑪都颱風SWAN推算示性波高分佈 圖	6-14

圖6.17	2011/8/28 12H 南瑪都颱風SWAN推算平均波向分佈圖	6-15
圖6.18	2011/8/28 12H 南瑪都颱風SWAN推算譜峰週期分佈圖	6-15
圖6.19	2011年南瑪都颱風基隆港之波浪模擬結果.....	6-16
圖6.20	2011年南瑪都颱風臺北港之波浪模擬結果.....	6-17
圖6.21	冬季季風之RC風場氣壓分佈及風場向量圖	6-20
圖6.22	冬季季風之MC風場氣壓分佈及風場向量圖	6-20
圖6.23	冬季季風RC風場模擬結果之平均波向(傳播方向)分佈圖	6-21
圖6.24	冬季季風RC風場模擬結果之平均波高分佈圖	6-21
圖6.25	冬季季風RC風場模擬結果之譜峰週期分佈圖	6-22
圖6.26	冬季季風MC風場模擬結果之平均波向(傳播方向)分佈圖	6-22
圖6.27	冬季季風RC風場模擬結果之平均波高分佈圖	6-23
圖6.28	冬季季風RC風場模擬結果之譜峰週期分佈圖	6-23
圖6.29	冬季季風波浪場模擬結果與觀測資料之波高比較.....	6-24
圖6.30	冬季季風波浪場模擬結果與觀測資料之波向比較.....	6-24
圖6.31	夏季季風之RC風場氣壓分佈及風場向量圖	6-25
圖6.32	夏季季風之MC風場氣壓分佈及風場向量圖	6-26
圖6.33	夏季季風RC風場模擬結果之平均波向(傳播方向)分佈圖	6-26
圖6.34	夏季季風RC風場模擬結果之平均波高分佈圖	6-27
圖6.35	夏季季風RC風場模擬結果之譜峰週期分佈圖	6-27

圖6.36	夏季季風MC風場模擬結果之平均波向(傳播方向)分佈圖	6-28
圖6.37	夏季季風RC風場模擬結果之平均波高分佈圖	6-28
圖6.38	夏季季風RC風場模擬結果之譜峰週期分佈圖	6-29
圖6.39	夏季季風波浪場模擬結果與觀測資料之波高比較.....	6-29
圖6.40	夏季季風波浪場模擬結果與觀測資料之波向比較.....	6-30

第一章 緒論

1.1 計畫緣起及目的

台灣地狹人稠、陸上資源有限且四面環海，未了能夠合理且有效地規劃與開發近岸生活圈，政府機構近年來積極推動規劃近岸海域的開發利用，更致力保護與維護沿海的百姓生命財產及活動、近海的各種遊憩及漁業活動、海上運輸的安全。除此之外，更從基礎教育著手積極推廣海洋科技教育以向國人傳達正確的海洋知識與海洋資源利用。

為了躋身國際先進的海洋國家，兼顧海洋/海岸空間利用以及海洋/海岸環境生態復育的政策與法規措施是絕對必須的。除了戮力推動海岸生活圈的開發外，更應著手於海岸災害之預警、防災與避災的架構與規畫。由於全球環境變遷所致，水災、風災、地震及海嘯等似乎都進入發生頻率高的時期，使得近岸預警、防災與避災成為近年來必須列為政府首要施政方針之一。交通部運輸研究所為考量臺灣周遭水域的船舶與人員航行安全，以及水環境維護等，乃率先推動近岸/近海防救災相關海象預報系統，並配合已經推動多年的海氣象觀測，成立海情中心，提供相關海象觀測與預測的資料，協助相關單位維護臺灣水域的安全。

港灣技術研究中心已於民國 99 年完成「臺灣近岸防救災預警系統技術與作業化之研究」，在計畫中推動了：1. 近岸風浪模擬技術之研發及預警精度改進；2. 結合本所相關計畫之海象即時監測作業，發展颱風波浪之模擬技術，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，預報系統採人性化操作界面，以利相關單位使用。然而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。

本計畫配合配合交通部「交通政策白皮書-運輸」所揭櫫之「提供

產業健全的物流環境」政策目標及「應用運輸科技，推動運輸智慧管理，加強資訊便民服務」與「檢討安全管理，加強運輸安全機制，全面維護運輸安全」之發展主軸及依據運輸資訊政策一：建置資訊蒐集系統，發展標準作業環境，加速運輸資訊基礎建設等事項辦理。因此本計畫實為「臺灣近岸防救災預警系統技術與作業化之研究」計畫之延伸計畫之一。

本四年期計畫目的為提升海岸及港灣海域風浪模擬技術之研究，除了進行現有風波預報系統的維護，以及相關預報與實測資料的比較分析以外，並將進一步探討水位場及流場分佈對風浪預報的影響與系統建置，此外也進行近岸波浪預報系統的改善尋求其他可能方案。

1.2 計畫重要性

交通部運輸研究所港灣技術研究中心為配合政府「廿一世紀臺灣要邁向海洋國家」的政策，以提供政府決策單位及民間機構有一個參考依據，乃推動發展近岸海域海象預報系統，而近岸海象數值模擬及預警系統則是其近中程目標之一，亦為近岸防救災系統中的一環。

自民國 93 年起，台灣近岸海象預報系統(Taiwan Coastal Operational Modeling System，簡稱 TaiCOMS)在港研中心嚴謹的帶領下，經由中山大學李忠潘教授所組成的研究團隊及港研中心研究人員合作經過多年研究與努力得以建置完成。但由於整體模式過於龐大涵蓋項目眾多，在精進模式的研究與作業上不易，因此配合計畫需求將波浪及水動力部分(潮汐、海流)獨立成子計畫持續進行與改善工作。本計畫即是負責 TaiCOMS 模式中的波浪模式部分，此部分亦是 TaiCOMS 模式中最重要的一環。

然而現今預報作業上與相關研究計畫中，在台灣近岸的風浪模擬結果中尚發現若干的不足。這些不足或是因為模式本身的限制或是不確切的參數的選定，都有待本計畫的研究、發現與改善，以期達到模式精進與提高預報準確度之目的。

1.3 研究範圍與對象

本計畫為「近岸海象數值模擬及預警系統之建立」之延續性研究計畫，目的為精進基隆港、臺北港、臺中港、安平港、高雄港、花蓮港及蘇澳港等七大港區波浪自動化模擬技術，以及現有近岸風浪預報系統之維護。本年度研究範圍與對象主要針對基隆港區及臺北港區進行波浪模擬相關改善研究，並協助港研中心建立基隆港區及臺北港區風浪模擬預警子系統，轉移至港務局使用或參考，並進行教育訓練。

1.4 本年度研究內容與工作項目

本計畫為「提昇海岸及港灣海域波浪模擬技術之研究」四年期計畫研究合作案之第一年，本年度主要工作項目如下：

1. 精進基隆港區及臺北港區波浪自動化預報模擬精度：風場(氣壓)及波浪等數值模式，每日 72 小時模擬及即時模擬資訊，颱風侵臺時期颱風波浪為研究重點。
2. 基隆港區及臺北港區風場(氣壓)、波浪預報模式作業化成果評估，以港灣技術研究中心及氣象局現場觀測資料進行校驗及精度評估等工作。
3. 基隆港區及臺北港區長期風場及波場模擬結果特性分析。
4. 建立基隆港區及臺北港區風浪模擬預警子系統，系統轉移港務局，並進行教育訓練。
5. 作業系統維護與資料分析，軟硬體的更新測試，預報成果與實測的差異性進行可能的檢討與改進，模式作業化環境的改善及維護。
6. 利用過去所模擬的水位場進行分析檢討，以瞭解臺灣附近海域的水位特性，以作為下一年度計畫的準備。

7. 以上為建立相關數值模擬系統及數值預報子系統之模式計算、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中心駐點服務。

綜合上述各項工作內容得知本年度計畫研究重點為：(一)自動化波浪預報模擬精度之改善，以颱風侵臺時期颱風波浪為研究重點，並針對基隆港區及臺北港建立波浪模擬預警子系統；(二)波浪預報模式作業化成果評估，以基隆港區及臺北港區為對象進行風浪模擬成果之校驗及精度評估等工作；(三)基隆港區及臺北港區兩港口風場及波高特性分析；(四)作業系統維護與資料分析等相關工作。

1.5 本年度研究成果

本研究屬交通部運輸研究所港灣技術研究中心「提昇海岸及港灣海域波浪模擬技術之研究」四年期計畫的第一年，本年度計畫主要研究成果包括以下工作內容：

1. 完成架設與港研中心相同的 TaiCOMS 自動化預報系統作業。研究團隊已順利將風場(氣壓)、波浪等數值模式以及預報模式所需前後處理程式建置於成功大學水工試驗所(以下簡稱本所)，以獲得每日 24 小時的追算與 48 小時的預報共 72 小時的模擬等資訊，以便進行模擬結果的分析做為模式的調校的依據。
2. 完成 100 年颱風波浪模擬之評估：以強颱桑達與南瑪都颱風波浪模擬結果做為 100 年颱風波浪模擬之評估對象，並就臺灣近岸區與基隆、臺北兩港港域進行大尺度與中尺度模式模擬結果之評估。
3. 完成冬季(99 年 12 月與 100 年 1 月)與夏季(100 年 7、8 月)的季風波浪季風波浪模擬之評估，並就臺灣近岸區與基隆、臺北兩港港域進行大尺度與中尺度模式模擬結果之評估。

4. 加入金門、馬祖兩島的風浪模擬。成功擴大中尺度計算域以包含金門、馬祖兩島域，以因應海峽兩岸海上航運往返的安全與路線評估之用。
5. 已修正大尺度模式的若干錯誤。研究團隊在本計畫第一年先針對大尺度風浪模式(WAM)做模式程式碼的判讀與審視，並針對目前發現的若干缺失進行討論與修正。
6. 已完成基隆港與臺北港的風浪模擬預警子系統。

第二章 波浪模擬作業化系統介紹

交通部運輸研究所港灣技術研究中心自 92 年度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，以期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，如圖 2.1 所示。規劃中的「近岸海象數值模擬及預警系統」為一結合波浪、水位、海流、海嘯及污染擴散等相關模式，以及海象即時觀測系統構建成為一整合性的近岸海域海象數值模擬系統。整體研究計畫經由中山大學李忠潘教授所組成的研究團隊及港研中心研究人員合作經過多年研究與努力，陸續完成相關軟硬體之建置，以及相關海象數值模擬作業化系統^[18-22]。並由港研中心與國立中山大學合作取得「臺灣近岸海象預報系統(TaiCOMS)」之專利權，同時將整個近岸海象數值模擬作業化系統移轉至港研中心持續運作^[23]。之後，配合計畫需求而將波浪及水動力(水位、海流)部份分別獨立成子計畫持續進行研究與改進工作^[24-25]。

基於本計畫研究主題為精進 TaiCOMS 之波浪模擬技術，因此本文僅就 TaiCOMS 有關波浪模擬作業化預報部份簡介如下：

2.1 TaiCOMS—波浪模擬作業化系統介紹

在 TaiCOMS 架構下波浪作業化預報系統建構出三種不同尺度的波浪模式，分別為大尺度之西太平洋風浪模式(West Pacific wind-wave model)，其模擬範圍含蓋北緯 10 度至北緯 35 度及東經 110 度至 134 度，如圖 2.2 所示，網格大小為 12 分之地球弧形網格；中尺度之臺灣周圍海域風浪模式(Taiwan Nearshore wind-wave model)，其模擬範圍以臺灣周圍海域為主，即北緯 21 度至 26 度以及東經 118 度至 123 度間海域，如圖 2.3 所示，模式網格解析度為 1 分網格；以及針對國內七大港口分別建置小尺度的港區近岸波浪場模式(Harbor Nearshore wave model)，圖 2.4 所示為基隆港、臺北港、臺中港、安平港、高雄港、花蓮港及蘇澳港等七大港區位置示意圖。其中西太平洋風浪模式採用海

洋波浪預測模式 WAM (Wave Modeling)為核心模式，目的在於產生中尺度臺灣周圍海域風浪模式所需之邊界條件。中尺度之臺灣周圍海域風浪模式則採用荷蘭 Delft 大學所發展之近海風浪模式 SWAN (Simulating WAves Nearshore)為基礎，使其發展成適合於模擬臺灣周圍海域波浪特性之模式。

至於基隆港等七大港區小尺度港區近岸波浪場模式則以 Kirby 及 Dalrymple (1983)所發展的波浪折繞射(REF/DIF)模式為基礎，分別建構適合模擬七大港區近岸波浪場特性之波浪模式，各港區近岸波浪場模式模擬範圍如圖 2.5 至圖 2.11 所示，各模式之地形網格解析度為 10 公尺。此外，因應颱風波浪侵襲下為能夠瞭解港內波浪狀況，針對七大港區另規畫細尺度三角網格有限元素港域波浪模式(Finite Element Harbor wave model)，其模擬範圍如圖 2.5 至圖2.11 所示。

在 TaiCOMS 架構下風場及氣壓場預報資料係採用中央氣象局所提供的全域即時預報風場及氣壓場資料，經由作業化系統處理成系統下各個模式所需之風場及氣壓場格式。其中大尺度西太平洋風浪模式採用 RC 風場預報資料模擬海面上風浪之生成、發展及傳播過程，中尺度臺灣周圍海域風浪模式則採用 MC 風場預報資料模擬臺灣周圍海域之風浪。

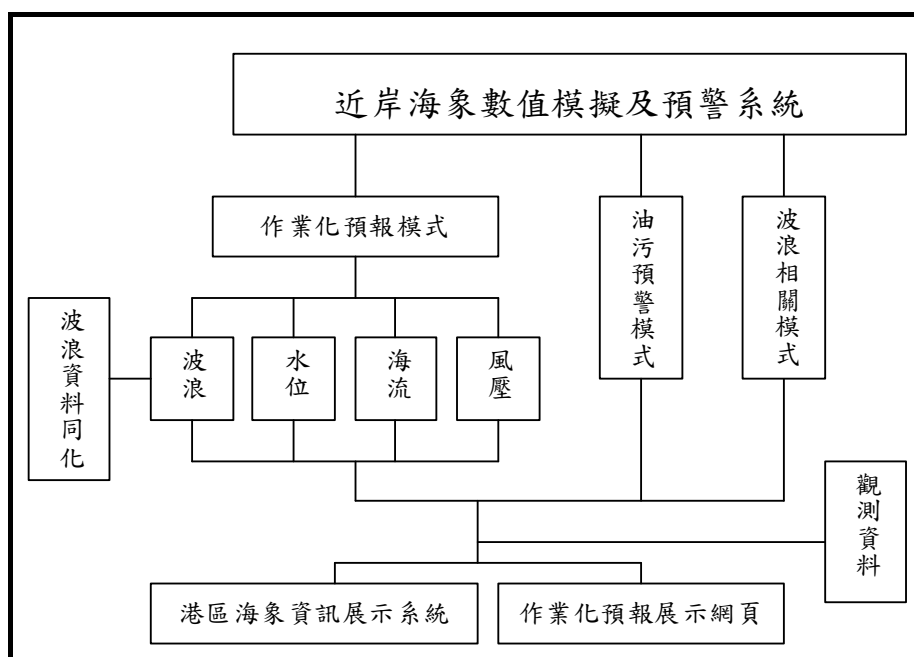


圖 2.1 近岸海象數值模擬及預警系統架構圖

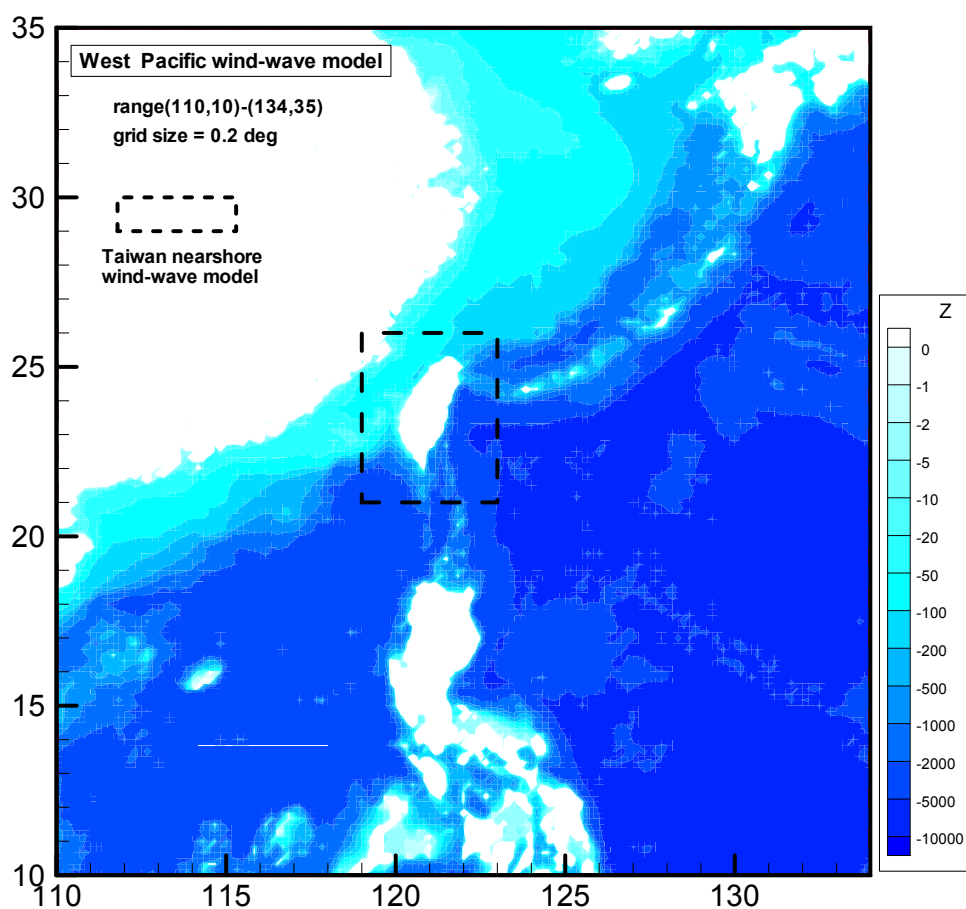


圖 2.2 大尺度西太平洋模擬模式之模擬範圍

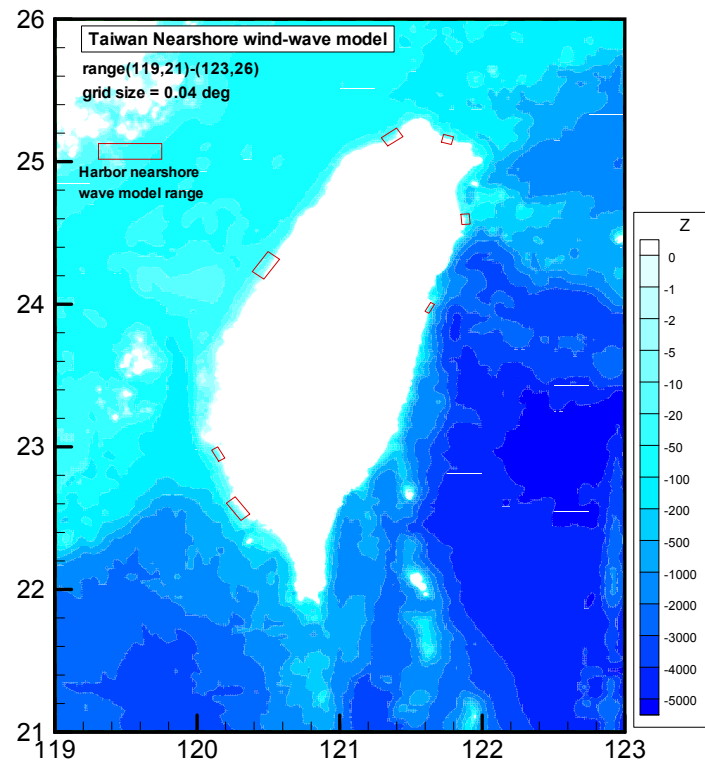


圖 2.3 中尺度臺灣周圍海域模擬模式之模擬範圍

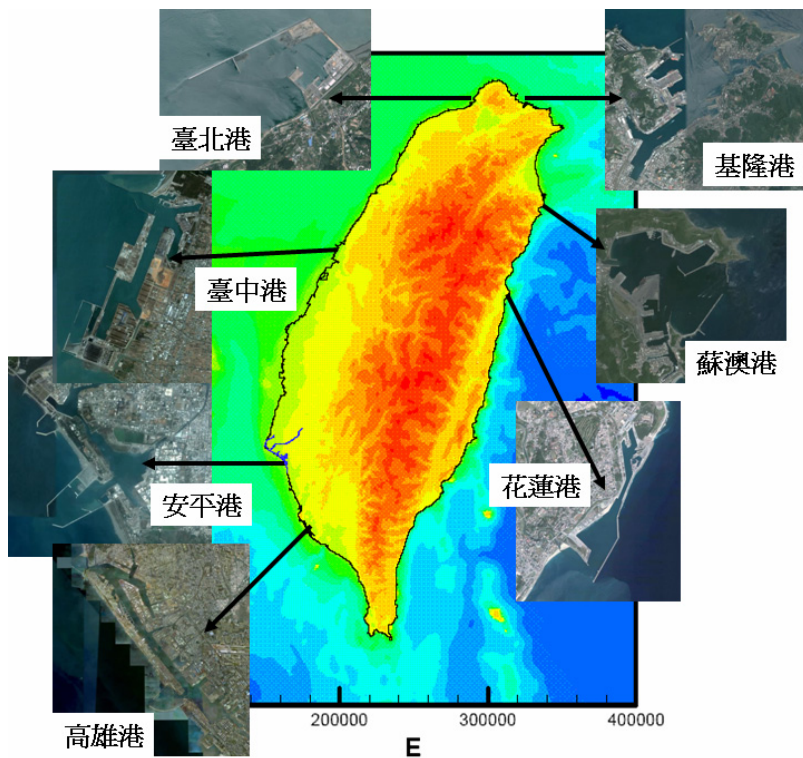


圖 2.4 國內七大港口地理位置及港區示意圖

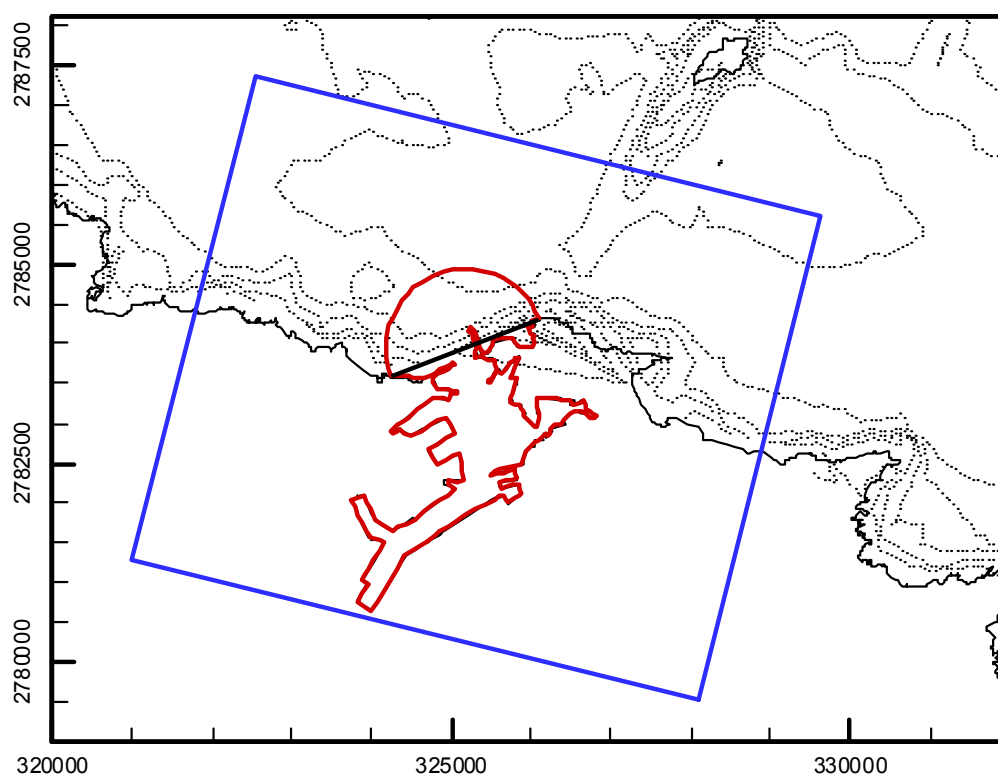


圖 2.5 基隆港區近岸(藍色)及港域(紅色)波浪模擬範圍

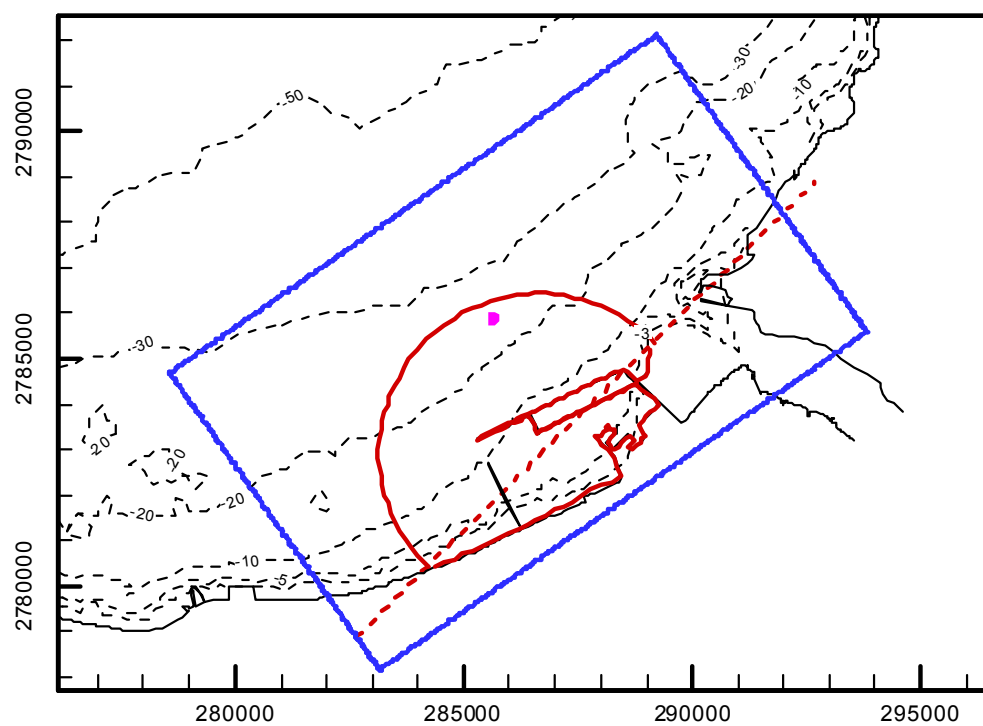


圖 2.6 臺北港區近岸(藍色)及港域(紅色)波浪模擬範圍

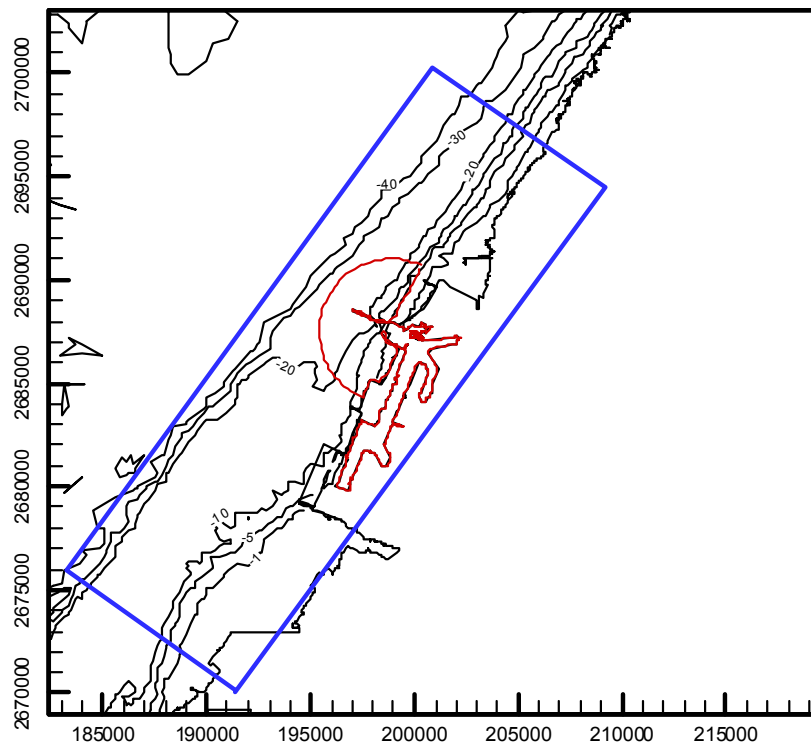


圖 2.7 臺中港區近岸(藍色)及港域(紅色)波浪模擬範圍

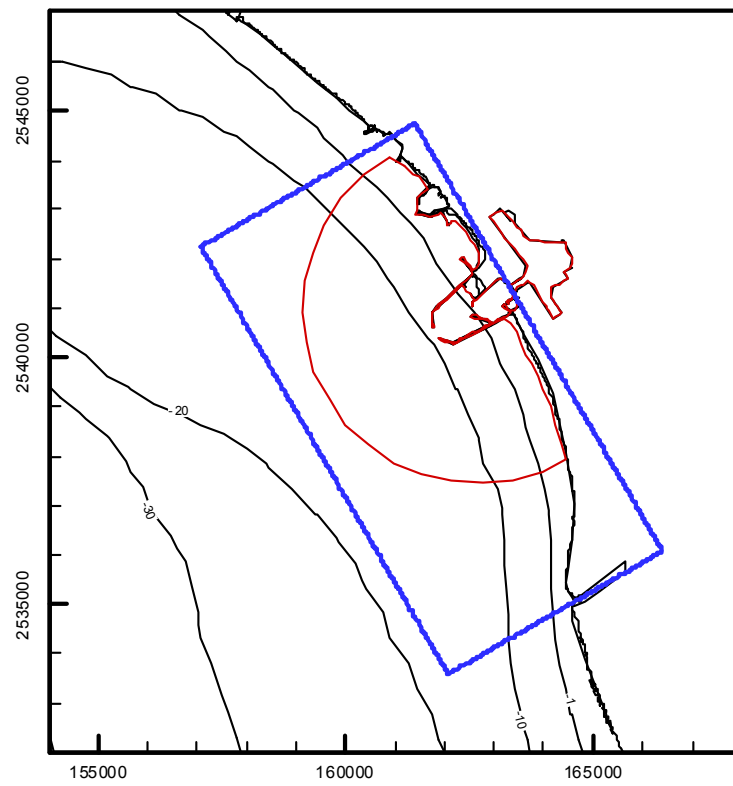


圖 2.8 安平港區近岸(藍色)及港域(紅色)波浪模擬範圍

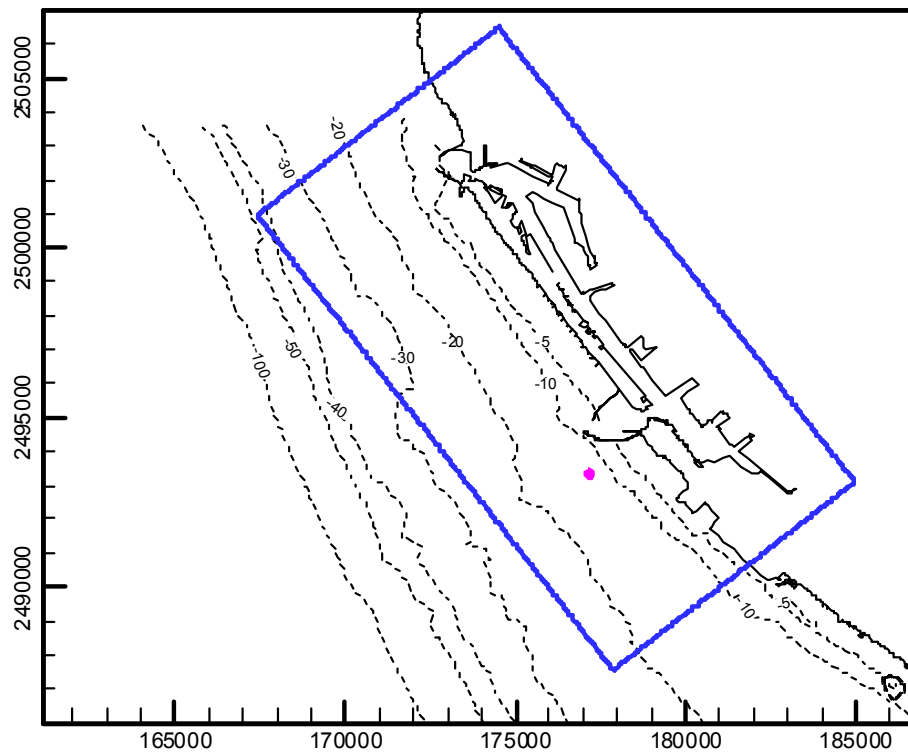


圖 2.9 高雄港區近岸(藍色)波浪模擬範圍

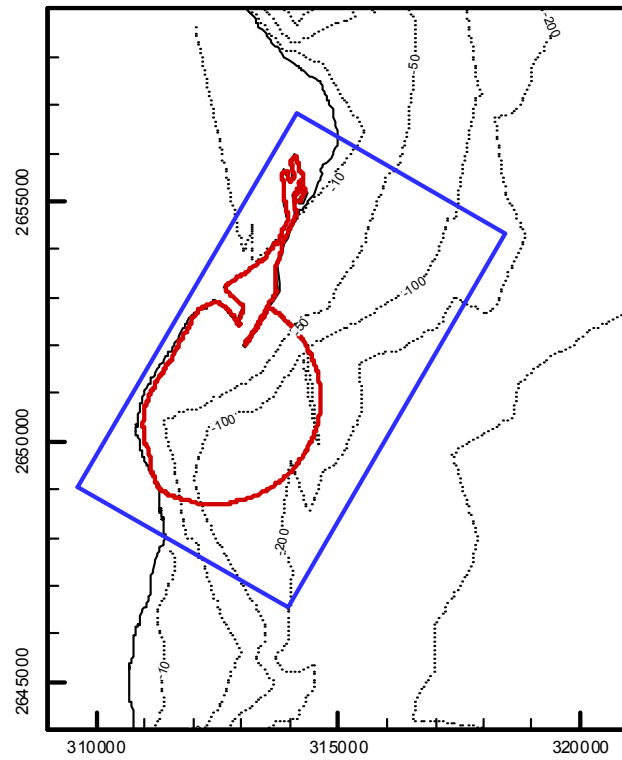


圖 2.10 花蓮港區近岸(藍色)及港域(紅色)波浪模擬範圍

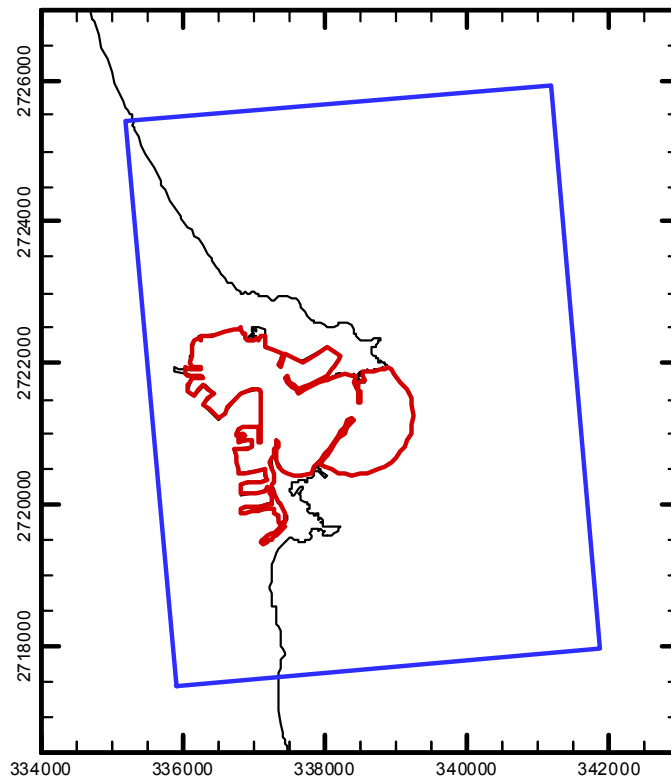


圖 2.11 蘇澳港區近岸(藍色)及港域(紅色)波浪模擬範圍

2.2 TaiCOMS－波浪模擬作業化流程介紹

目前 TaiCOMS 最重要的功能便是每日進行海象模擬計算作業，除了提供近海的風場、氣壓場、水位場、波浪場及流場外，也提供七大商港區三天的風、氣壓、水位、波浪及海流資訊供使用者參考，現行作業程序有關風浪模式部分說明如下：

本系統所需要的表面氣壓場及風場預報資料係由中央氣象局所提供，目前中央氣象局每日下載每日 08:00 及 20:00(相當於格林威治時間的 0:00 及 12:00)美國海洋及大氣總署所提供的表面氣壓場，並開始推算相關的風場(RC、MC 及 HC)及風場預報資料，並於大約 03:00 及 15:00 前上傳推算資料。

在考量中央氣象局的氣象預報資料從計算完成至上傳仍需數小

時，並避免影響本系統的作業，及考量模擬計算的時效性，目前規劃以前一日 12:00 的預報氣象資料作為推算的基準，設定於每日 0 時開始之模擬預警計算作業能在 03:00 以前下載取得前一日 12:00 時所產生的 72 小時之表面氣壓場及風場預報資料，經解碼重整及內插產出各模式所需氣象資料後，隨即開始進行各模式的計算作業，全部計算結果預計於 10:00 時以前完成，待圖表製作完成後，預計於每天 14:00 即時更新網頁資料，如圖 2.12。

每日進行一次模擬作業，各模式模擬時間長度為三天(72 小時)，其中包含 24 小時現報模擬(現報結果將與七大港即時觀測系統資料比對以便由使用者判斷本次模擬作業結果之可信度)及 48 小時預測模擬計算(僅提供模式計算結果)。圖 2.13 為即時現報作業範例，例如，1 月 2 日 14 時發佈的現報資料時間為 1 月 1 日 0 時至 1 月 4 日 0 時，此時會將 1 月 2 日 0 時的計算結果存檔，以作為 1 月 3 日的計算起始點(warm start data)，如此便可以直接將每日的氣象條件引入模式進行計算，無需重新啟動模式，以得到模擬時間不間斷的波浪及水位結果。該做法無論由作業化的考量與實際物理問題層面來說都比重新計算每日海象模擬來的更具意義。

本作業流程設置的主要關鍵有兩個：電腦軟硬體的執行效率及預報資料的發佈時間點，未來可能會因為作業系統的改變(例如平行處理)，或電腦硬體的更新而調整。

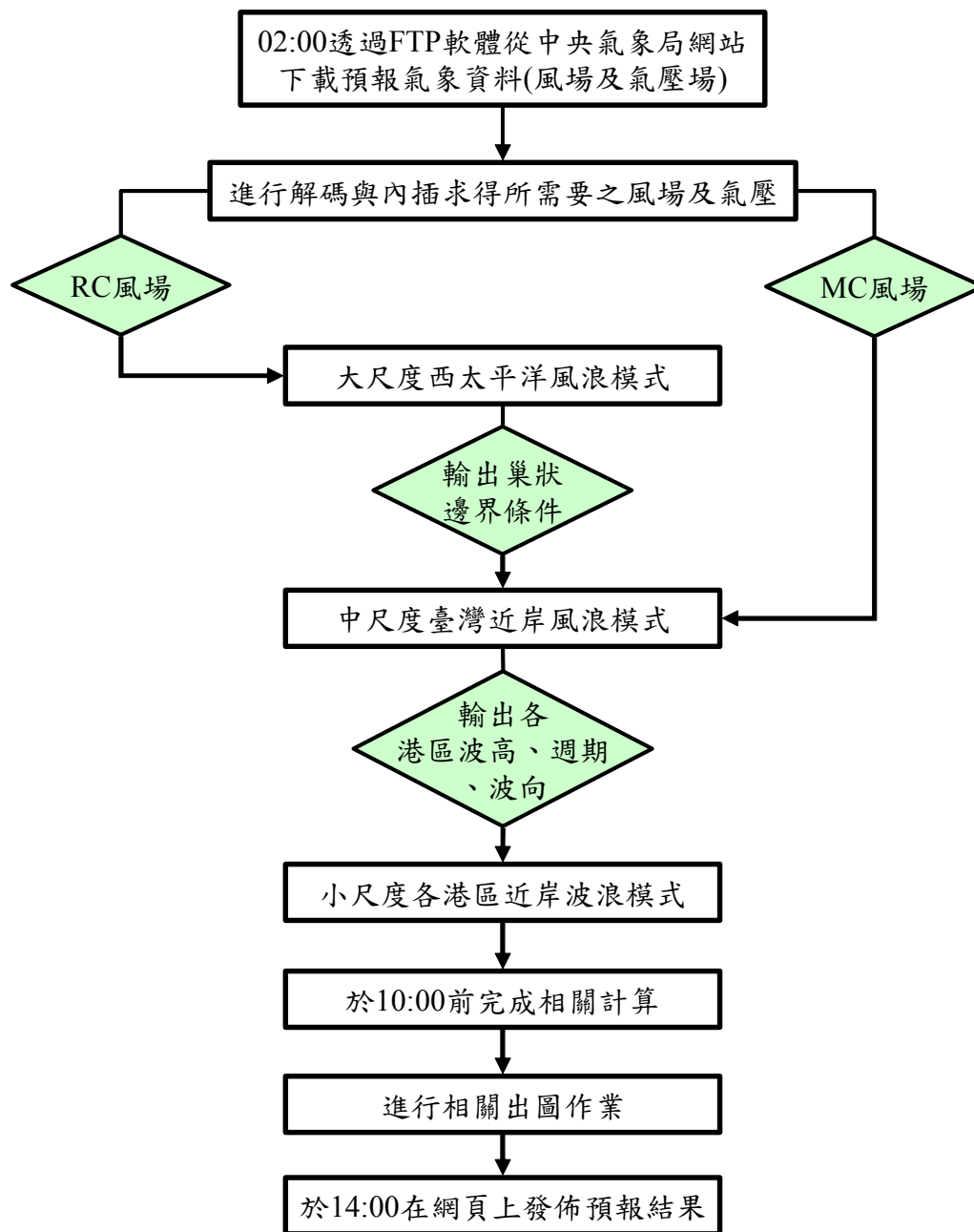


圖 2.12 近岸海象數值模擬及預警系統線上作業流程

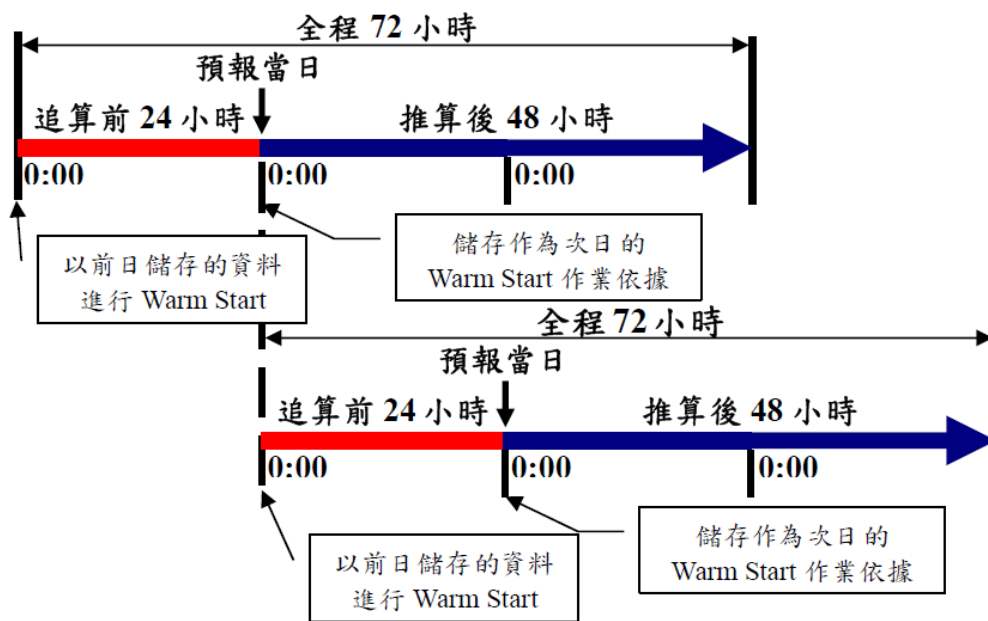


圖 2.13 近岸海象數值模擬及預警系統每日線上作業範例

第三章 數值模式介紹

本章節針對TaiCOMS波浪模擬系統下各波浪模式之基本理論及其相關資料簡述如下：

3.1 WAM 的理論簡述

目前使用的第三代風浪模式 WAM 係經由 WAMDI (The Wave Model Development and Implementation) Group (1988) 改良模式之物理過程及數值計算方法，使其適用於海面風浪之預報。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傳遞到波浪的波能輸入條件、白沫效應、底床摩擦和波、波之非線性交互作用。其波浪能量平衡方程式可表示為：

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \nabla \cdot (C_g E) = S_{tot} \dots\dots\dots (3-1)$$

式中 $E = E(f, \theta, \bar{x}, t)$ 為波浪能量密度譜， f 為波浪的頻率， θ 為波浪的傳播方向， $\bar{x}$ 為位置， t 為時間， C_g 為波浪群速度(group velocity)， S_{tot} 為源項(source)。

在大範圍波場計算時，地球曲率會影響波浪的傳遞，為使模式適用於大範圍之計算，將式(3-1)從直角座標轉換為球面座標，其方程式為(WAMDI Group，1988)：

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{1}{\cos \phi} \frac{\partial}{\partial \phi} (C_\phi E) + \frac{\partial}{\partial \lambda} (C_\lambda E) + \frac{\partial}{\partial \theta} (C_\theta E) = S_{tot} \dots\dots\dots (3-2)$$

式中 ϕ 為緯度， λ 為經度， C_ϕ 、 C_λ 與 C_θ 分別 ϕ 、 λ 與 θ 領域之傳遞速度，各領域的傳遞速度如下：

$$C_\phi = C_g \sin \theta / R, \quad C_\lambda = C_g \cos \theta / R \cos \phi \dots\dots\dots (3-3)$$

$$C_\theta = \frac{1}{k} \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left(\frac{\sin \theta}{\cos \phi} \frac{\partial d}{\partial \lambda} - \cos \theta \frac{\partial d}{\partial \phi} \right) / R \quad \dots\dots\dots (3-4)$$

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

如同波譜之線性假設，源項 S_{tot} 可表示為不同波浪成長與消散的能量總和，即

$$S_{tot} = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + \dots\dots\dots (3-5)$$

式中 S_{in} 為風傳遞到波浪的波能輸入通量， S_{nl} 為波與波間之非線性交互作用波能傳遞通量， S_{ds} 為白沫效應所引起的波能消散通量。其中

$$S_{in} = \gamma \cdot F \quad \dots\dots\dots (3-6)$$

式中 γ 為波能成長率，可表示如下

$$\gamma = \varepsilon \sigma \beta (u_* / c)^2 \cos^2(\theta - \theta_w), \quad |\theta - \theta_w| < \pi/2 \quad \dots\dots\dots (3-7)$$

式中 ε 為空氣與水之密度比率， β 為 Miles 參數， u_* 為風作用於海面之摩擦速度($=\tau^{1/2}$)， θ_w 為風向。

S_{nl} 為描述弱非線性、共振(resonant)及波浪與波浪間之交互作用之過程，代表波浪能量由高頻至低頻之能量傳輸，如圖 3.1 所示。

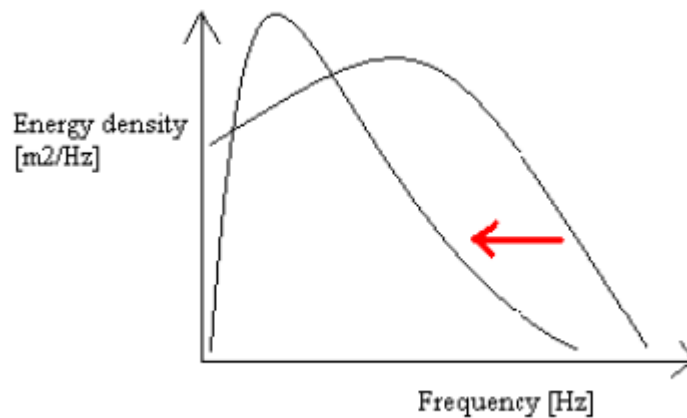


圖 3.1 波浪能量由高頻向低頻傳遞之示意圖

S_{ds} 係描述波浪能量損失之項目(Komen et al., 1994)、共振(resonant)及波浪與波浪間之交互作用之過程，代表波浪能量由高頻至低頻之能量傳輸，如圖 3.1 所示。

$$S_{ds} = -3.33 \times 10^{-5} \bar{f} \left(\frac{f}{\bar{f}} \right)^2 \left(\frac{\bar{\alpha}}{\bar{\alpha}_{PM}} \right)^2 E \dots\dots\dots (3-8)$$

其中

$$\bar{f} = E_0^{-1} \cdot \int E(f, \theta) f df d\theta \dots\dots\dots (3-9)$$

$\bar{f}$ 為平均頻率， E_0 為總能量； $\bar{\alpha}$ 為整合的波浪尖銳度(integral wave steepness)參數，定義為

$$\bar{\alpha} = E_0 \bar{f}^4 g^{-2} \dots\dots\dots (3-10)$$

g 為重力加速度， $\bar{\alpha}_{PM}$ 為 Pierson-Moskowitz 波譜之理論值(WAMDI, 1988)。

3.2 SWAN 的理論簡述

SWAN 風浪模式(Booij et al. 1996)，是由荷蘭 Delft 技術大學統合以往學者之研究並加以改良所發展而成，模式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；同時也提供第一代、第二代與第三代的相關波浪成長與消散參數，可供使用者應用。因此，模式具有可預報近岸海域風浪之功能。此模式也經過學者 Holthuijsen et al.(1997)和 Booij et al.(1998)應用實測風浪資料加以驗證。而歐等人(1999，2000，2001)也曾利用 SWAN 對侵襲台灣之颱風風浪做過一系列之研究與模擬，並且已有初步成果。

SWAN 模式是一個利用風、海底底床及海流狀況以獲得在海岸地區、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，這個數值模式基本上是依據波浪作用力平衡方程式(wave action balance equation)或是沒有流作用下的能量平衡方程式，以及源流與沉流(source

and sink)，它是屬於第三代的風浪預報模式。此一模式係累積過去學者的研究成果為基礎加以整合及改良而成，它可以計算波浪在時間及空間領域中的傳遞、波與波的非線性交互作用、波浪受風的成長、碎波、因底床摩擦所造成的能量衰減、及受到海流及地形變化而產生的頻率位移、淺化與折射。因此，SWAN 模式具有推算近岸波浪的功能。從 SWAN 的功能中可表現出下列的波浪傳播過程：

- (1) 在地理空間中的正線性傳播
- (2) 由於海底底床與水流在空間上的變化而引致的折射與淺化
- (3) 由於對向海流引起的阻滯與反射
- (4) 障礙物所引致的反射、阻滯或通過的情形

以及下列有關波浪的生成及消散過程：

- (1) 因為風所引致的波浪生成
- (2) 因為白沫(whitecapping)所引致的波浪消散
- (3) 因為水深引起碎波(depth-induced wave breaking)所引致的波浪消散
- (4) 因為底床摩擦(bottom friction)所引致的波浪消散
- (5) 波浪間的交互作用(quadruplets and triads wave-wave interaction)
- (6) 障礙物

此外，SWAN 也可以計算因為波浪所引致的平均海水面的上升(wave-induced set-up)。SWAN Cycle III 可以在直角座標及球面座標系統中進行定常(stationary)及部分非定常狀態(optionally non-stationary)的波浪模擬。定常狀態的模擬應用於短期的波浪作用，例如當波浪通過該水域的時間小於地理學上的條件(如波浪的邊界條件、風、潮位及暴潮等)。而類定常的模擬(quasi-stationary)則可以結合定常的 SWAN 計算模擬在時變序列上的定常狀況。

然而，我們也必須了解到 SWAN 並沒有考慮波浪的繞射。因此，SWAN 不應使用於在很短波長的距離內水深變化很大的場合，也因此 SWAN 不適用於島嶼或港灣附近的波浪模擬。SWAN 也不計算因為波浪引致的水流，該項水流必須被視為資料輸入的一部份。

在 SWAN 波浪推算中，不論非線性效應是否明顯，波浪均是利用二維的波浪作用力頻譜密度函數來描述。其理由是當在高度非線性的情形下，波浪作用力頻譜密度函數似乎可以比較合理且正確地預測波浪的二階頻譜矩的分布。因此，SWAN 中所適用的頻譜是波浪作用力頻譜密度函數 $N(\sigma, \theta)$ (其中， σ 為相對角頻率； θ 為波浪方向角)，而不是能量頻譜密度函數 $E(f, \theta)$ ，主要是因為當有流的作用時，作用力密度可以守恆，但能量密度則否(例如，Whitham, 1974)。 $N(\sigma, \theta) = E(f, \theta) / \sigma$ 。在 SWAN 中，此一頻譜可以隨著時間及空間而改變。其理論簡述如下，詳細的理論敘述可參考 SWAN 的使用手冊：

1. 作用力平衡方程式(wave action balance equation)

波譜的發展過程可以用頻譜作用力平衡方程式來描述 (Hasselmann et al., 1973)

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S}{\sigma} \dots\dots\dots (3-11)$$

其中，左式第一項表示作用力密度隨時間的變化率；第二及第三項為作用力在空間中分別以 c_x 及 c_y 的速度在 x-及 y-軸方向傳遞；第四項為受到水深及流的變化所導致相對頻率在 σ -軸上以 c_σ 的速度位移；第五項係表示因為水深或流所引起的折射(在 θ -軸上以 c_θ 的速度傳遞)；這些速度可以線性波理論計算而得(如，Whitham, 1974；Mei, 1983；Dingemans, 1997)。右式的 $S(=S(\sigma, \theta))$ 是以能量密度表示的來源項，包含能量的生成、衰減、及非線性的波浪交互作用。

2. 風的能量輸入

風的能量傳入波的理論是以 Phillips(1957)的共鳴機制(resonance mechanism)以及 Miles(1957)的回饋機制(feed-back mechanism)來描述，其關係式如下：

$$S_{in}(\sigma, \theta) = A + BE(\sigma, \theta) \dots\dots\dots (3-12)$$

其中，A 及 B 的係數值受到波浪頻率及方向，以及風速及風向的影響。流的影響也是以區域性的風速及風向來表示。

3. 能量消散

SWAN 考慮的波浪能量的消散項包含了三個部分：飛沫 $S_{ds,w}(\sigma, \theta)$ 、底床摩擦 $S_{ds,b}(\sigma, \theta)$ 、及水深引起碎波 $S_{ds,br}(\sigma, \theta)$ 。

飛沫主要是由波形尖銳度(wave steepness)所控制，依據 Hasselmann(1974)所推導的 Pulse-based 模式，此一消散項可表為

$$S_{ds,w}(\sigma, \theta) = -\Gamma \tilde{\sigma} \frac{k}{\tilde{k}} E(\sigma, \theta) \dots\dots\dots (3-13)$$

其中， Γ 是與波形尖銳度有關的係數； $k=2\pi/L$ 是波數； L 是波長； $\tilde{\sigma}$ 及 $\tilde{k}$ 分別為平均相對頻率及平均波數。

因為水深引致的能量消散的原因包含了底床摩擦、底床運動、底部滲漏、及因為底床不規則性所產生的逆向散射。對於屬砂質底床的大陸棚海域，其主要的消散機制應該是底床摩擦

$$S_{ds,b}(\sigma, \theta) = -C_{bottom} \frac{\sigma^2}{g^2 \sinh^2 kd} E(\sigma, \theta) \dots\dots\dots (3-14)$$

其中， C_{bottom} 為底床摩擦係數。由於底床摩擦所引致的平均水流對能量消散的影響並不在考慮範圍內，其原因是在於該項因子的影響程度尚無法掌握。

有關因為水深引致的碎波過程，至今我們的了解仍然有限，更遑論它的頻譜變化。目前可以掌握的是因為碎波所引致的總能量消散

$$S_{ds,br}(\sigma, \theta) = \frac{D_{tot}}{E_{tot}} E(\sigma, \theta) \dots\dots\dots (3-15)$$

其中， E_{tot} 是總波浪能量； D_{tot} (負值)是依據 Battjes 及 Janssen(1978) 所提有關因為碎波導致的總能量消散。 D_{tot} 的值與碎波參數 $\gamma = H_{max}/d$ 有明顯關係，其中 H_{max} 為最大可能個別波高； d 為當地水深。

SWAN 可以估算透過一個結構體(如防波堤或壩)的波浪。這樣的結構物可能以兩種方式影響波浪場：其一，它可以沿著結構體的堤身局部性降低波高；其次，在結構體的端緣產生波浪的繞射。SWAN 本質上並不考慮繞射現象，但對於多方向不規則波場而言，除非波譜為窄頻，且在結構物附近一至二個波長的範圍內，波浪繞射效應並不顯著，因此 SWAN 仍可以很合理地計算結構物附近的波場。就 SWAN 的海底地形格點分割而言，因為結構物的橫斷面積相對太小而無法顯示，因此往往將結構物視為一條線。如果防波堤是容許越波情形發生時，其透過係數可表為

$$K_t = 0.5 \left[1 - \sin \left(\frac{\pi}{2\alpha} \left(\frac{F}{H_i} + \beta \right) \right) \right] \quad \text{for} \quad -\beta - \alpha < \frac{F}{H_i} < \alpha - \beta \dots\dots\dots (3-16)$$

其中， $F = h - d$ 是堤體的乾舷高度； H_i 是入射波高； h 是冠牆高度； d 是平均水位； α 及 β 係數則與堤體的形狀有關，參考值如表 3-1。

表 3-1 不同堤體之透過係數參數表

堤 體 種 類	α	β
直立薄板	1.8	0.10
沉 箱	2.2	0.40
2:3 坡度的壩體	2.6	0.15

4. 非線性波浪交互作用

在深水區裡，四波交互作用(quadruplet wave-wave interaction)的現象主導了頻譜的發展。它將能量從譜峰處下低頻區傳遞(所以譜峰頻率向低頻方向移動)以及向高頻區傳遞(以白沫型式消散能量)。而在非常淺水區，三波交互作用將能量低頻區傳遞至高頻區而引起較高的諧波。

在 SWAN 波浪數值模式中，主要是利用有限差分法來求解，對於邊界之處理，SWAN 模式中假定波浪能量遇陸地邊界為完全消散，亦即無任何波浪能量反射，而外海開放邊界條件則假設沒有任何波能可以由邊界外進入，且波能可以由邊界內自由離開計算領域。

由於計算網格的大小會影響計算結果與精度，故其需要與解析問題互相配合。例如在模擬颱風波浪時，在颱風中心處所形成的波浪向外傳遞形成湧浪 (swell)，其可傳遞至相當遠的距離，因此計算領域亦需夠大才可模擬此一現象。較小計算網格距離固然可以提高波浪解析的精度，但計算時間較長。此外在海岸工程的應用上，複雜的地形與多變的海岸線也需要較小的網格距離才能加以描述，使近岸推算處的波浪能達到適當精度。巢狀網格 (nested grid) 與非結構性網格的應用可以有效解決網格大小問題。較粗的網格應用在起始計算領域，使得計算能快速模擬大範圍的波浪演變，較細的巢狀網格可以插入其中，以適當模擬海岸之波浪變化，如此可以更精確地預報波浪，也可以有效率地解決問題。

3.3 波浪折繞射模式(REF/DIF-1)理論簡述

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：

$$\begin{aligned} & (C_g + U)A_x + VA_y + i(\bar{k} - k)(C_g + U)A + \frac{\sigma}{2} \left\{ \left(\frac{C_g + U}{\sigma} \right)_x + \left(\frac{V}{\sigma} \right)_y \right\} A \\ & - \frac{i}{2\sigma} [(p - V^2)A_y]_y - \sigma \frac{k^2}{2} D|A|^2 A = 0 \end{aligned} \quad (3-17)$$

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， $\sigma = \omega - kU$ 為內在頻率(intrinsic frequency)， ω 為波浪之角頻率， $k(x, y)$ 為波浪週波數， $\bar{k}$ 為參考週波數(定義為沿 y 軸上週波數之平均值)， U 及 V 分別為 x 及 y 方向之平均流速度，參數 $p = CC_g$ ， C 為波浪之波速， C_g 為波浪群速度， D 為非線性影響項等於

$$D = \frac{\cosh(4kh) + 8 - 2 \tanh^2(kh)}{8 \sinh^4(kh)} \quad (3-18)$$

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：

$$\begin{aligned}
& (C_g + U)A_x - 2\Delta_1 VA_y + i(\bar{k} - a_0 k)(C_g + U)A + \left\{ \frac{\sigma}{2} \left(\frac{C_g + U}{\sigma} \right)_x - \Delta_1 \sigma \left(\frac{V}{\sigma} \right)_y \right\} A \\
& + i\Delta' \left\{ \left[\left(p - V^2 \right) \left(\frac{A}{\sigma} \right)_y \right]_y - i\Delta_1 \left\{ \left[UV \left(\frac{A}{\sigma} \right)_y \right]_x + \left[UV \left(\frac{A}{\sigma} \right)_x \right]_y \right\} \right\} \\
& + i\sigma \frac{k^2}{2} D|A|^2 A + \frac{\nu}{2} A + \frac{-b_1}{k} \left\{ \left[\left(p - V^2 \right) \left(\frac{A}{\sigma} \right)_y \right]_{yx} + 2i \left[\sigma V \left(\frac{A}{\sigma} \right)_y \right]_x \right\} \\
& + b_1 \beta \left\{ 2i\omega U \left(\frac{A}{\sigma} \right)_x + 2i\sigma V \left(\frac{A}{\sigma} \right)_y - 2UV \left(\frac{A}{\sigma} \right)_{xy} + \left[\left(p - V^2 \right) \left(\frac{A}{\sigma} \right)_y \right]_y \right\} \\
& - \frac{i}{k} b_1 [(\omega V)_y + 3(\omega U)_x] \left(\frac{A}{\sigma} \right)_x - \Delta_2 \left[\omega U \left(\frac{A}{\sigma} \right)_x + \frac{1}{2} \omega U_x \left(\frac{A}{\sigma} \right) \right] \\
& + ik\omega U(a_0 - 1) \left(\frac{A}{\sigma} \right) = 0
\end{aligned} \tag{3-19}$$

式中

$$\beta = \frac{k_x}{k^2} + \frac{\left[k(p - U^2) \right]_x}{2k^2(p - U^2)} \tag{3-20}$$

$$\Delta_1 = a_1 - b_1, \quad \Delta_2 = 1 + 2a_1 - 2b_1, \quad \Delta' = a_1 - b_1 \frac{\bar{k}}{k} \tag{3-21}$$

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

$$\frac{\partial A}{\partial x} = \frac{i}{k} \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + \nu A \tag{3-22}$$

式中 $i = \sqrt{-1}$ 。

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) ，如圖 3.2 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 $x_i = (i-1)\Delta x$ ， $y_j = (j-1)\Delta y$ 。

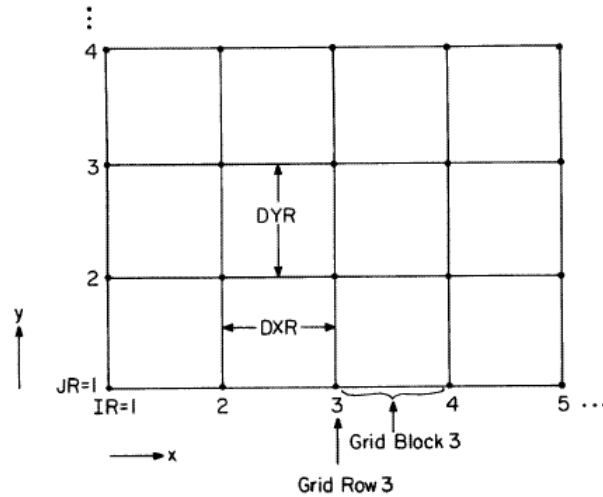


圖 3.2 REF/DIF-1 數值計算網格座標系統

3.4 港域波浪模式理論簡述

當波浪自外海傳播至港域時，受到水深地形變化以及海岸線、防波堤和港內岸壁等結構物之影響，波浪會產生繞射、折射及反射等現象。針對此一問題常見之求解方法是將整個問題的領域分為外海半無限領域和港池有限領域等兩個領域，如圖 3.3 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

$$\eta_j(x,y,t) = f_j(x,y)e^{i\omega t}, \quad j=1,2 \dots\dots\dots (3-23)$$

式中 $f_1(x,y)$ 及 $f_2(x,y)$ 分別稱為領域(I)及領域(II)之波浪水位函數， ω 為入射波之角頻率 $\omega=2\pi/T$ ， T 為入射波之週期。所欲求解之波浪水位函數 $f_j(x,y)$ ， $j=1,2$ 分別滿足下列控制方程式：

$$\nabla^2 f_1 + K_1^2 f_1 = 0, \quad \text{在領域(I)內} \dots\dots\dots (3-24)$$

$$\nabla \cdot (C_2 C_{2g} \nabla \phi) + (C_2 C_{2g} K_2^2 + i\omega\mu + iC_{2g}\omega\gamma)\phi = 0, \quad \text{在領域(II)內} \dots\dots (3-25)$$

式中 $\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y)$ 為二維梯度運算子， μ 為摩擦因子， γ 為考慮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($=\kappa C_2$)。其中 κ 定義為

$$\kappa = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2K_2 h_2}{\sinh 2K_2 h_2} \right) \dots\dots\dots (3-26)$$

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

$$\mu = \frac{2\kappa\omega}{K_2} \left(\frac{2f_r}{3\pi} \frac{\alpha K_2^2}{(2K_2 h_2 + \sinh 2K_2 h_2) \sinh K_2 h_2} \right) \dots\dots\dots (3-27)$$

式中， a 為波浪之振幅， f_r 為摩擦係數。碎波參數 γ 可採用下列計算式

$$\gamma = \frac{\chi}{h_2} \left(1 - \frac{\Gamma^2 h_2^2}{4a^2} \right) \dots\dots\dots (3-28)$$

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：

$$f_1 = f_2, \quad \text{在假想邊界} B_1 \text{上} \dots\dots\dots (3-29a)$$

$$C_1 C_{1g} \frac{\partial f_1}{\partial n} = -C_2 C_{2g} \frac{\partial f_2}{\partial n}, \quad \text{在假想邊界 } B_1 \text{ 上} \dots\dots\dots (3-29b)$$

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：

$$\frac{\partial f_2}{\partial n} = -i\alpha K_2 f_2, \quad \text{在假想邊界 } B_2 \text{ 上} \dots\dots\dots (3-30)$$

式中 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 $\partial f_2 / \partial n = 0$)，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：

$$\alpha = \frac{1 - K_r}{1 + K_r} \dots\dots\dots (3-31)$$

式中 K_r 為邊界之反射係數。

在領域(I)內波浪水位函數 f_1 通常是由入射波 f_I 及受到直線海岸線影響產生的反射波 f_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 f_S 等構成的，因此 f_1 可表示

$$f_1 = f_I + f_R + f_S \dots\dots\dots (3-32)$$

其中散射波 f_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：

$$\lim_{K_1 r \rightarrow \infty} \sqrt{r} \left(\frac{\partial}{\partial r} + iK_1 \right) f_S = 0 \dots\dots\dots (3-33)$$

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° 角度，其複數表示為：

$$\eta^I(x, y, t) = A^I e^{-i[K_1(x \cos \theta_0 + y \sin \theta_0) - \omega t]} \dots\dots\dots (3-34)$$

針對上述邊界值問題，一般常採用混合方法求解(Mei, 1989)，即對

於領域(I)使用理論解析法，領域(II)使用有限元素法合併求解(詳細求解過程請參考 Mei, 1989，或李等, 2002)。

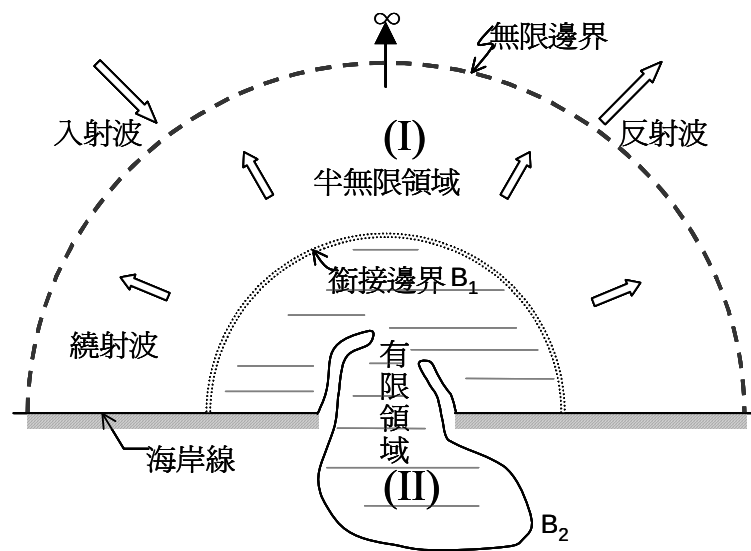


圖 3.3 港域波浪模式計算領域示意圖

第四章 風浪模式之精進與評估

本章風浪模式之精進主要針對 TaiCOMS 下大尺度西太平洋風浪模式(WAM)及中尺度臺灣周圍海域風浪模式(SWAN)進行模式模擬結果之精進與研究。基於 SWAN 模式之複雜性與 SWAN 模式邊界條件必須由 WAM 模式模擬結果給定，因此本年度計畫以 WAM 模式為研究重點，探討 TaiCOMS 下大尺度西太平洋風浪模式模擬結果改善之空間。

4.1 WAM 模式架構與程式流程

依據 WAM Model cycle 4 使用手冊可知完整之模式包含前置處理模組(PREPROC 及 PRESET)、波浪模擬主程式(CHIEF 及 BOUINT)以及後處理模組(PGRID、PSWGRID、PSPEC 及 PSWSPEC)等三部份。其中 PREPROC 模組主要用於產生模式所有與時間無關之資料，包括網格資料(粗網格或巢狀網格)、地形水深資料、頻率及方向角陣列等；PRESET 模組主要產生當波浪模擬為冷啟動(cold start)狀態時，模式之初始條件；CHIEF 模組為 WAM 模式之核心，BOUINT 為巢狀網格被模擬時之必要程式，用於處理巢狀網格之邊界波譜。

雖然目前 TaiCOMS 架構下之 WAM 模式僅存在 PREPROC、PRESET、CHIEF 與後處理模組 PGRID 等模組，惟上述四模組已足以建構基本 WAM 模式模擬海面風浪之生成與傳播，各模組功能說明請參閱附錄 1。目前 TaiCOMS 大尺度西太平洋風浪模式(WAM)之基本程式執行流程如圖 4.1 所示，其中 PREPROC 及 PRESET 對於本計畫 TaiCOMS 之波浪模擬作業化流程而言，實際上僅需於首次或系統重新啟動或模式相關參數有變動時才需執行，亦即每日作業化流程僅需配合前一日模擬過程產生的熱啟動輸出檔由主程式 CHIEF 切入即可。

惟目前 TaiCOMS 大尺度西太平洋風浪模式每日作業化流程，仍依照圖 4.1 所示之流程架構始於 PREPROC 模組，而止於 PGRID 模組。

此與 TaiCOMS 規劃風浪模式之每日作業化模擬應屬於熱啟動(hot start)狀態相違背，且由於 TaiCOMS 對於主程式 CHIEF 程式執行過程中所產生的熱啟動輸出檔案名稱均設定與 PRESET 模組所產出之初始條件輸入檔案名稱(即 blspanal、slatanal、lawianal 等名程)一致。此導致目前西太平洋風浪模式每日作業過程雖執行 PRESET 模組，但不會產生符合 TaiCOMS 規劃所需之熱啟動初始條件檔，而是將前一日作業化模擬最後產出之熱啟動輸出檔當作西太平洋風浪模式每日作業化模擬之熱啟動初始條件檔。此亦是目前 TaiCOMS 西太平洋風浪模式每日作業化模結果與前一日作業化模結果在模擬時間銜接處易出現不連續現象之原因，此一模擬結果不連續現象在模擬颱風波浪時尤其顯著。

此外，現有主程式 CHIEF 對於檔案名稱為 blspanal、slatanal、lawianal 等檔案除了提供作為模式運算終止前寫入熱啟動輸出相關資料外，在運算過程中亦提供模式作為寫入及讀取運算資料之暫存檔，因此原程式 code 已無法配合 TaiCOMS 系統作業於運算中途處理隔日運算所需之熱啟動輸出檔。因此為使目前主程式 CHIEF 能符合本計畫 TaiCOMS 之波浪模擬預報作業流程，本計畫亦將對原程式有關熱啟動輸出部份提出修正版本。為解決此一問題，本計畫將改寫程式 code 熱啟動輸出檔案名稱(如將上述檔案名程之後加上日期)，並在每日作業化模擬過程直接產生隔日作業化模擬所需之熱啟動輸出檔資料。亦即在每日作業化過程中，先將前一日產生之熱啟動輸出檔案名稱複製成程式設定之檔案名稱(即 blspanal、slatanal、lawianal)作為模式熱啟動之起始條件，再直接執行主程式 CHIEF，如此即可解決目前大尺度西太平洋風浪模式(WAM)模擬無法連續問題。

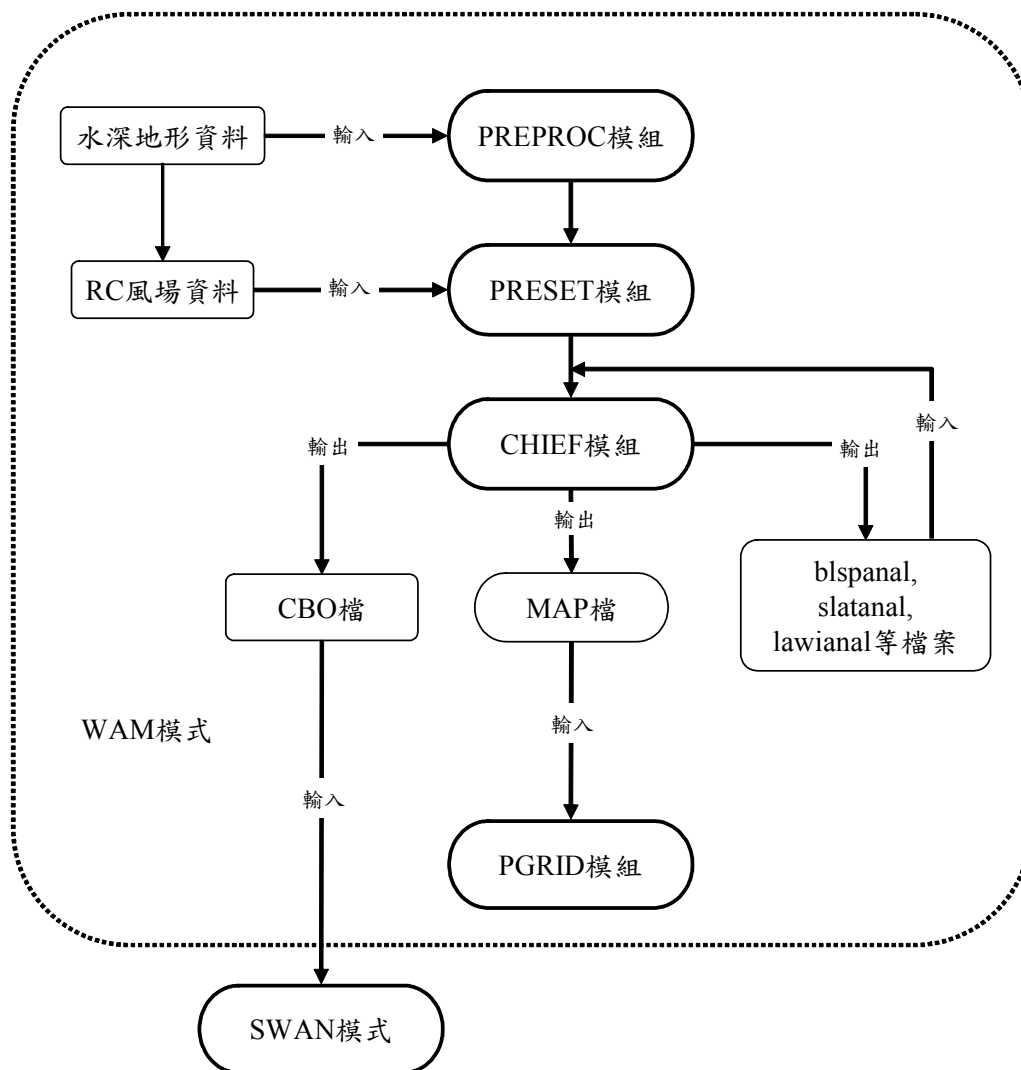


圖 4.1 WAM 風浪模式操作流程

4.2 WAM 模式模擬選項

WAM Model cycle 4 在波浪模擬方面提供兩種功能選項分別為(1)深水波浪模擬及(2)淺水波浪模擬，其中深水波浪模擬時所有波浪參數均採用深水波公式計算，此時模式地形水深對波浪之影響將被忽略(包括底床摩擦引起的能量損失)；當模式採用淺水波浪模擬選項時，模式在計算過程會考慮地形水深變化引起的波浪淺化效應，此時波浪相關參數(如波數 k 及群速度 C_g 等)將採用與水深有關之公式計算。此外，在淺水波浪模擬選項內，WAM 模式除了程式可以計算地形引起的波浪

淺化效應外，亦提供可以計算含水流引起的折射效應之選項。

關於模式邊界條件之設定，WAM 模式提供粗網格及細網格波浪模擬兩種方式。由於 WAM 模式發展之初，模式之計算網格假設全由陸地所包圍，因此模式(粗網格)邊界條件以給定自然邊界條件(natural boundary condition)為主，即假設在海岸網格點上無任何能量通率(energy flux)進入網格且能量以 free advection 方式傳到網格外。至於細網格之開放邊界條件則必需先經由粗網格模擬輸出細(巢狀)網格邊界線上格點(在粗網格上)之波浪能譜($E(f_i, \theta_j)$ ， $j = 1, KL$ ， $i = 1, ML$ ，其中 KL 為波譜方向切割數目， ML 為頻率數目)，作為細(巢狀)網格之開放邊界條件。

經檢視目前運作中 TaiCOMS 有關大尺度西太平洋風浪模式(WAM)之模擬選項得知，目前西太平洋風浪模式實際作業化模擬預報僅設定為深水波浪模擬，因此模式模擬結果在臺灣西部及北部大陸棚之海域上，將可能因風浪模擬結果僅為深水波浪情況而造成模式模擬結果與實際波浪現象出現較大誤差。為瞭解深水波及淺水波浪模擬之差異程度，本計畫將對西太平洋風浪模式分別採用深水波及淺水波浪模擬兩程選項進行波浪模擬與測試，以期能改善或提升模式模擬結果之準確性。

目前已知在西太平洋風浪模式之淺水波浪模擬測試結果上，模式仍因在計算波浪引起的表面應力方面會產生發散現象而受阻。初步檢討其原因包括網格中陸地與水深格點之配置不佳(如模式模擬範圍內之菲律賓群島及日本海域列島等)以及模式相鄰計算格點水深變化太大等因素，因此模式對於淺水波浪模擬測試仍有待進一步研究。

4.3 WAM 模式輸出結果

WAM Model cycle 4 之模擬結果輸出資料分為平面二維資料輸出及點位一維資料輸出兩種，其中一維及二維資料輸出主要內容包括示性波高(H_s)、平均波向(θ_m)、平均週期(T_m)、風引起的摩擦速度(u_*)、風

向(θ_w)、譜峰週期(T_p)、風曳力係數及無因次化波浪應力等 8 項，以及湧浪資料(波高、波向及平均週期)、海面波譜及湧浪波譜等次要選項輸出。

模式中關於波浪之積分參數說明如下：

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

$$M_n = \int f^n E(f, \theta) df \cdot d\theta \dots\dots\dots (4-1)$$

2. 頻率譜 $\bar{E}(f)$ 為

$$\bar{E}(f) = \int E(f, \theta) d\theta \dots\dots\dots (4-2)$$

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

$$H_s = 4\sqrt{E_0} = 4\sqrt{M_0} \quad , \quad \text{其中波浪能量 } E_0 = M_0 \dots\dots\dots (4-3)$$

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

$$T_m (= T_{-1}) = M_{-1} / M_0 \dots\dots\dots (4-4)$$

5. 平均波向定義為

$$\langle \theta \rangle = \tan^{-1}(SF/CF) \dots\dots\dots (4-5)$$

其中

$$SF = \int \sin \theta \cdot E(f, \theta) df \cdot d\theta \quad , \quad CF = \int \cos \theta \cdot E(f, \theta) df \cdot d\theta \dots\dots\dots (4-6)$$

目前 TaiCOMS 大尺度西太平洋風浪模式(WAM)對於模擬波浪之波譜頻率數(ML)及波向數目(KL)設定分別為 25 及 24，其中頻率譜之最小頻率為 0.05。頻寬之計算採用對數尺度，即 $\Delta f/f = 1.1$ ，模擬之波浪頻率範圍為 $f_{max}/f_{min} = (1.1)^{ML-1}$ ，因此 TaiCOMS 波浪模擬之頻率介於 0.05 ~ 0.4925 之間(或波浪週期約介於 2.0 ~ 20.0 sec 之間。由於波譜頻寬大小將影響波浪週期及波高之計算結果，而頻率數目及波向數多寡將影響模式模擬作業時間，針對上述波譜參數之設定是否最適於臺灣海域

波浪之模擬均有進一步探討之空間。

此外，對於波浪平均週期之計算亦有探討之空間，例如採用一階或二階動差計算波浪平均代表週期(T_1 或 T_2)

$$T_1 = M_0/M_1 \dots\dots\dots (4-7)$$

$$T_2 = \sqrt{M_0/M_2} \dots\dots\dots (4-8)$$

目前模式針對譜峰頻率之定義僅由波浪頻率譜 $\bar{E}(f_i)$ 找出其最大值所在頻率位置定義為譜峰頻率(f_p)，其結果導致譜峰週期輸出結果呈現階梯狀變化，如圖 4.2 所示。針對此現象除了可以利用二次拋物線契合 (fit) 方法加以改善外，或可利用平均週期(T_m)與譜峰週期(T_p)間之回歸關係由平均週期(T_m)推估譜峰週期(T_p)。

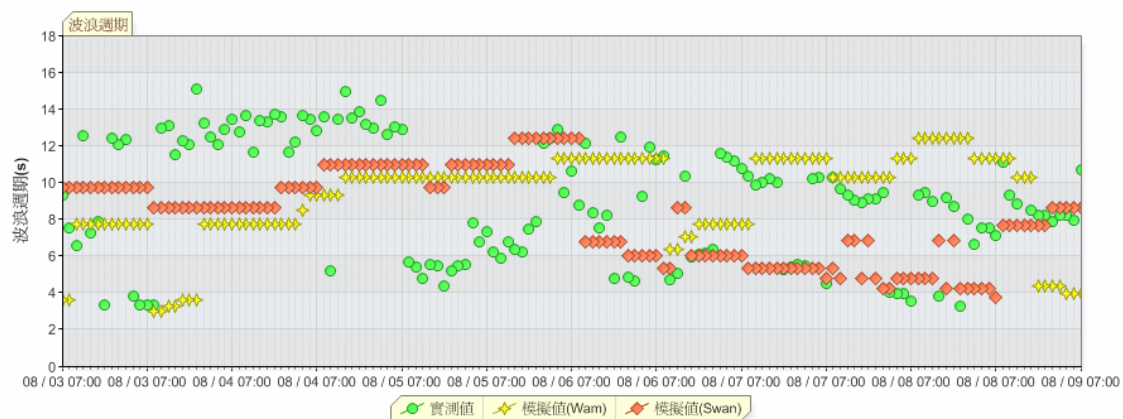


圖 4.2 TaiCOMS 風浪模式波浪譜峰週期輸出結果

由於 TaiCOMS 大尺度西太平洋風浪模式計算網格大小為 $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ ，屬於低解析度之網格，因此，瞭解基隆港與臺北港波浪模擬結果輸出點位與波浪觀測點之間相對位置，如圖 4.3 所示，將有助於模式模擬結果之評估。於圖 4.3 中空白顏色內之格點代表陸地格點，其中臺北港觀測點緊臨陸地格點，故模式選取之輸出代表格點距離觀測點約一個網格間距；基隆港之模式輸出代表格點則與觀測點位相鄰。

對於各港口代表波浪模擬結果之輸出，目前 TaiCOMS 系統均採取鄰近各港口之計算格點模擬結果為其代表波浪，此一作法將可能因計算格點距離港口過遠(如圖 4.3 之臺北港)而導致模式模擬港口代表波浪與實際波浪觀測值產生較大偏差。針對此一問題，本計畫將採用圖 4.4 所示之內插方式計算港口代表波浪，惟各港口計算代表波浪之內插點位仍需經過評估才能決定最適內插位置。

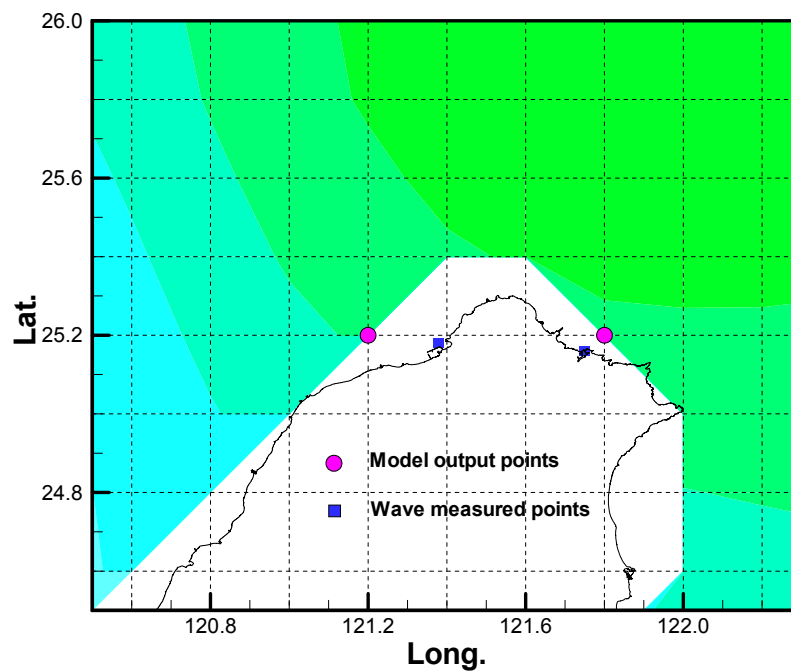


圖 4.3 大尺度西太平洋風浪模式(WAM)基隆港與臺北港模擬結果輸出點位示意圖



圖 4.4 利用四個網格點計算內插點位代表波浪值之示意圖

4.4 WAM 模式模擬結果與討論

本年度計畫已就 TaiCOMS 目前使用之 WAM 模式程式進行研究，並針對該程式中部份疑慮之處(如風向及波向角度定義及計算等)以及有關熱起動及模式模擬結果輸出等部份提出程式修正版本。以下文章敘述為與目前 TaiCOMS 系統運作中之程式版本區隔，分別以本文 WAM 模式及 TaiCOMS 系統大尺度(西太平洋風浪)模式稱之。

為瞭解與評估本文 WAM 模式模擬結果之合理性及本文 WAM 模式與目前 TaiCOMS 大尺度西太平洋風浪模式模擬結果之差異性，本計畫選取中度颱風梅花前後之風場資料(2011 年 7 月 28 日至 8 月 9 日)進行風浪模擬業。其中風場之組成係根據 TaiCOMS 每日作業化系統產生的 RC 風場及 MC 風場資料，取其前 24 小時之風場資料組合而成的。

目前 TaiCOMS 作業化系統採用中央氣象局之 RC 風場資料作為大尺度西太平洋風浪模式之輸入風場，另以 MC 風場資料作為中尺度臺灣周圍海域風浪模式之輸入風場，有關 RC 風場及 MC 風場之相對應的投影範圍與解析度如表 4-1 所示。上述作法係起因於 TaiCOMS 發展之初，大尺度西太平洋風浪模式規劃之模擬範圍遠大於 MC 風場範圍，而必須採用解析度較低之 RC 風場作為西太平洋風浪模式之輸入條件。惟 TaiCOMS 發展至今，大尺度西太平洋風浪模式模擬範圍已修正至與 MC 風場範圍相符，因此本年度擬將大尺度西太平洋風浪模式之風場資料修正為 MC 風場，藉由較高解析度(或較準確)之風場資料作為本計畫提升或精進風浪模擬技術改善方案之一。

4.4.1 RC 風場與 MC 風場比較

本計畫風浪模擬之風場資料係根據 TaiCOMS 每日作業化系統產生的 RC 風場及 MC 風場資料，取其前 24 小時之風場資料組合而成的。亦即上述中度颱風梅花前後之風場資料係由 2011 年 7 月 29 日至 8 月 10 日系統作業化產生的 RC 風場及 MC 風場資料組合而成。由表 4-1 中央氣象局大氣模式 RC 及 MC 風場格網資訊得知，RC 風場格網解析

度低於本計畫西太平洋風浪模式之網格解析度，因此採用 RC 風場為模式輸入之風場資料，必須經由內插方式產生模式計算格點之風場資料；而 MC 風場格網解析度高於本計畫大尺度風浪模式之網格解析度，因此採用 MC 風場為本計畫大尺度風浪模式之輸入風場，可降低風場內插所產生的模擬誤差。

圖 4.5 及圖 4.6 所示分別為本計畫風浪模式評估採用之 RC 及 MC 風場資料，圖中所示之風場資料均為中央氣象局所發布預報風場資料之第一組資料，屬於已經校正後之追算風場資料。整體而言，中央氣象局所發布之追算 RC 及 MC 風場資料大致上相近似，而 MC 風場資料因解析度較高，故對臺灣周圍海域風場模擬結果應較佳，尤其臺灣西部海域之風速及風向均較為顯著。此外，在近颱風中心附近處 MC 風場呈現之風速值亦較高於 RC 風場之風速。

表 4-1 中央氣象局大氣模式 RC 及 MC 風場格網資訊

風場	投影方式	網格數	解析度	投影參數
RC	Lambert 保角投影	221*127	45 KM	1. 投影範圍中心經線為 120E, 緯度範圍介於 10N~40N。 2. 格點(114,71)位置位於座標 (30N,120E)。 3. 投影範圍的端點左下點與右上點分別為(-5.34068N,77.91867E)及 (42.92812N,180.2034E)。
MC		181*193	15 KM	1. 投影範圍中心經線為 120E, 緯度範圍介於 10N~40N。 2. 格點(76,148)位置位於座標 (30N,120E)。 3. 投影範圍的端點左下點與右上點分別為(9.28194N,109.7727E)及 (35.26665N,137.7342E)。 4. 格點(1,1)對應至 RC 之(89,22)座標位置。

針對上述風場特性說明如下：

1. 7月28日風場顯示在菲律賓西側海域有一熱帶低氣壓氣旋風場向西移動，此時梅花颱風中心位置仍在本計畫大尺度模擬範圍之外；
2. 7月29日梅花颱風中心位置約在本計畫大尺度模擬範圍之右下角落，此時模式模擬範圍內出現兩個低壓氣旋風場，其中在臺灣西南方向之低壓氣旋風場因接近陸地而呈現減弱之趨勢；
3. 7月31日之後模式模擬範圍內風場主要受到梅花颱風之低壓氣旋風場影響，此時梅花颱風行進路徑約為沿著大尺度模擬範圍之東側邊界向北；
4. 8月6日梅花颱風中心位置約臺灣東北部海域，移動方大約為北北西方向。

有關梅花颱風行進之路徑可參考中央氣象局發布之梅花颱風路徑圖，如圖 4.7 所示。

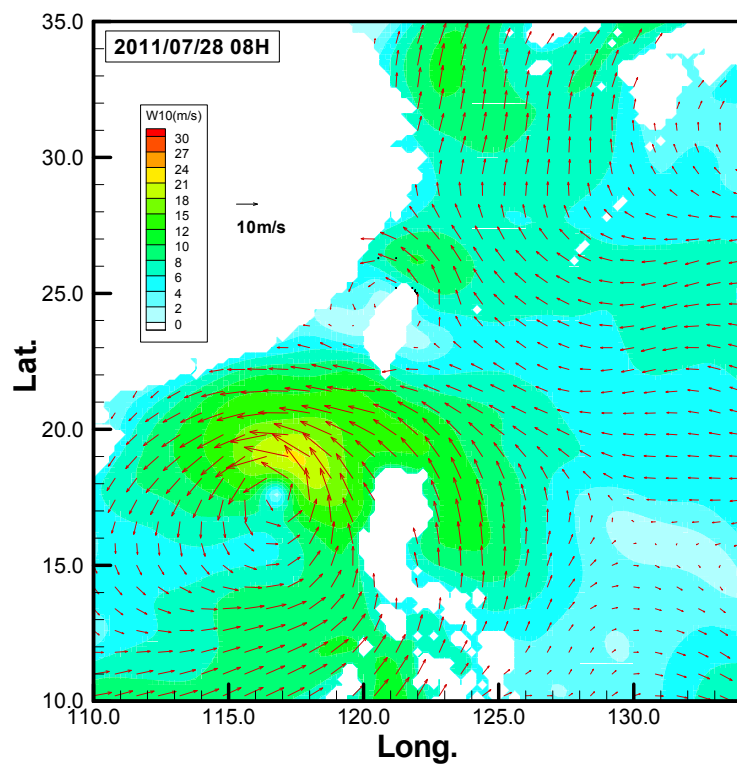


圖 4.5 西太平洋風浪模式輸入之 RC 風場向量及風速分布圖

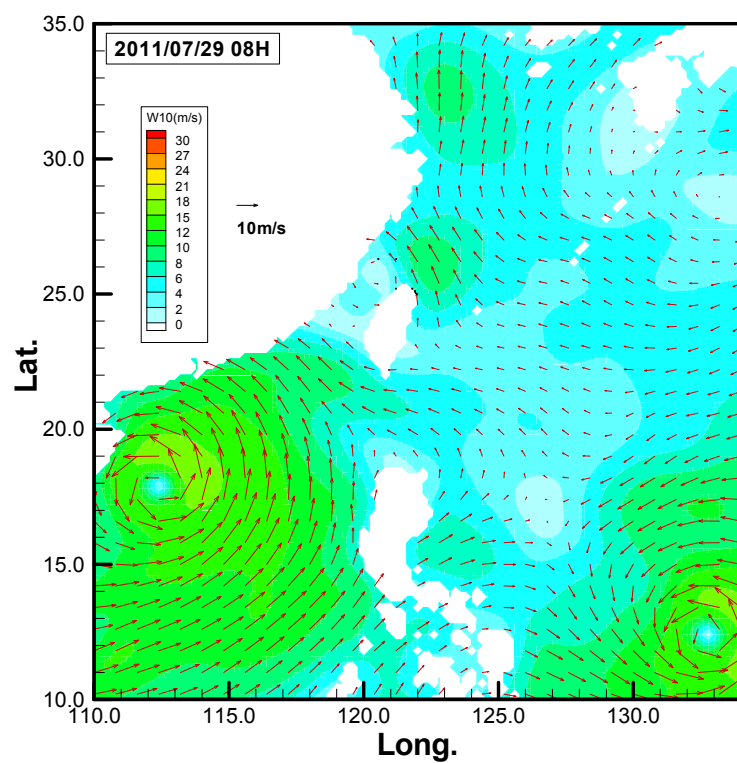


圖 4.5 (續 1)西太平洋風浪模式輸入之 RC 風場向量及風速分布圖

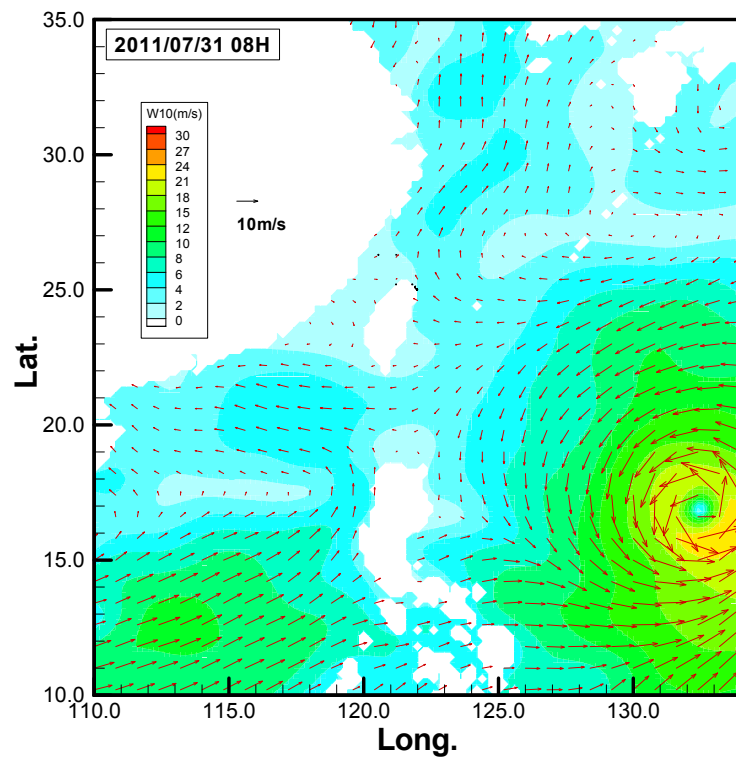


圖 4.5 (續 2)西太平洋風浪模式輸入之 RC 風場向量及風速分布圖

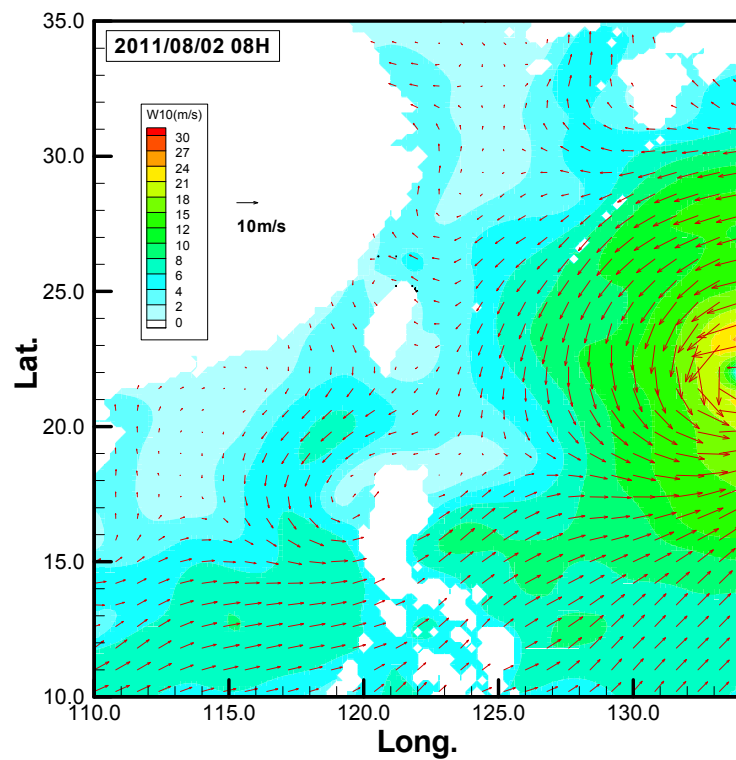


圖 4.5 (續 3)西太平洋風浪模式輸入之 RC 風場向量及風速分布圖

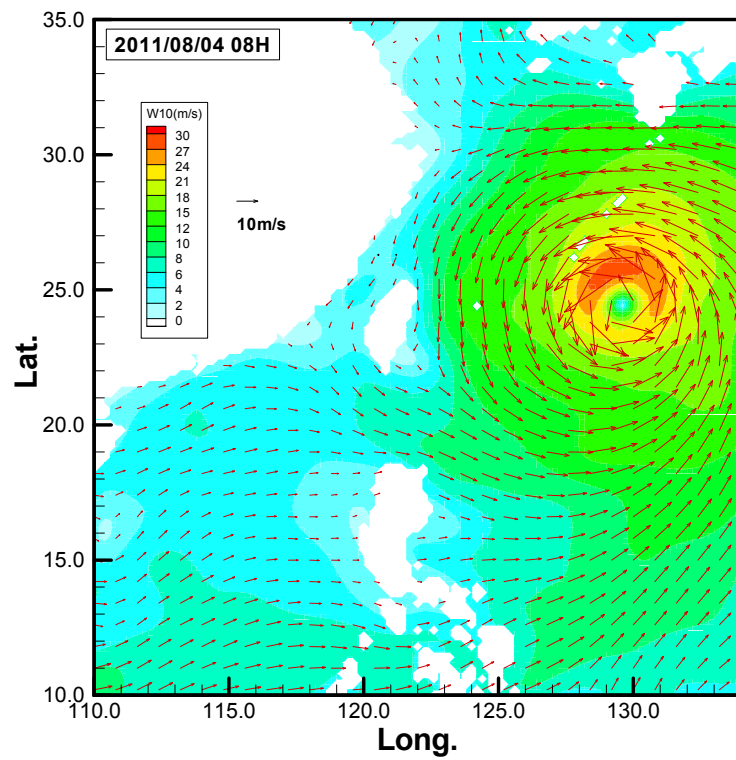


圖 4.5 (續 4)西太平洋風浪模式輸入之 RC 風場向量及風速分布圖

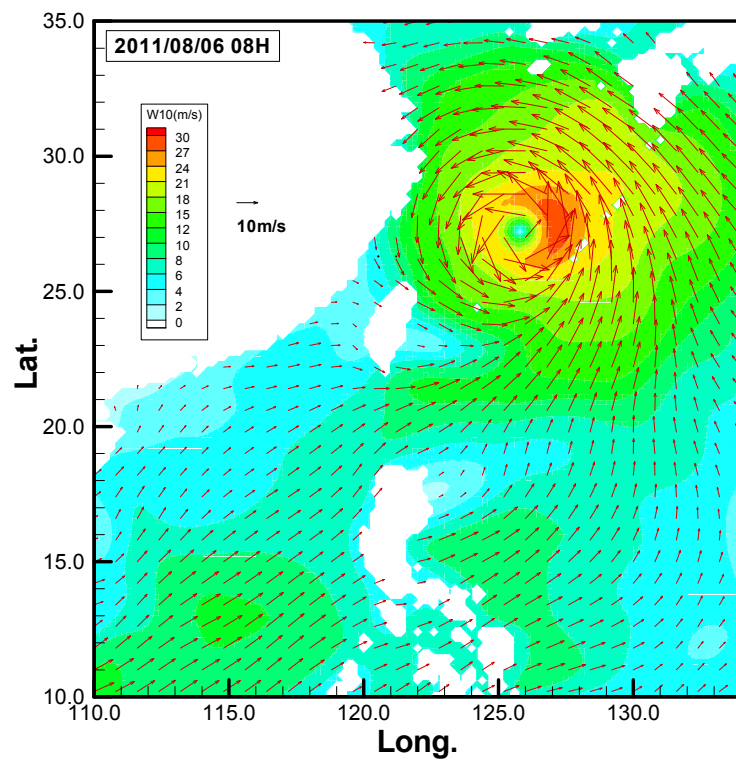


圖 4.5 (續 5)西太平洋風浪模式輸入之 RC 風場向量及風速分布圖

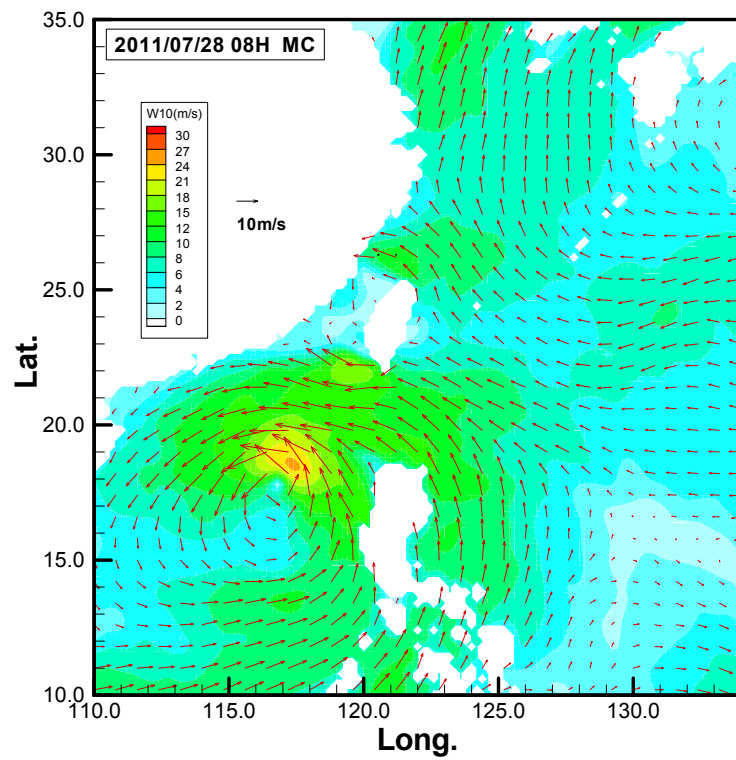


圖 4.6 西太平洋風浪模式輸入之 MC 風場向量及風速分布圖

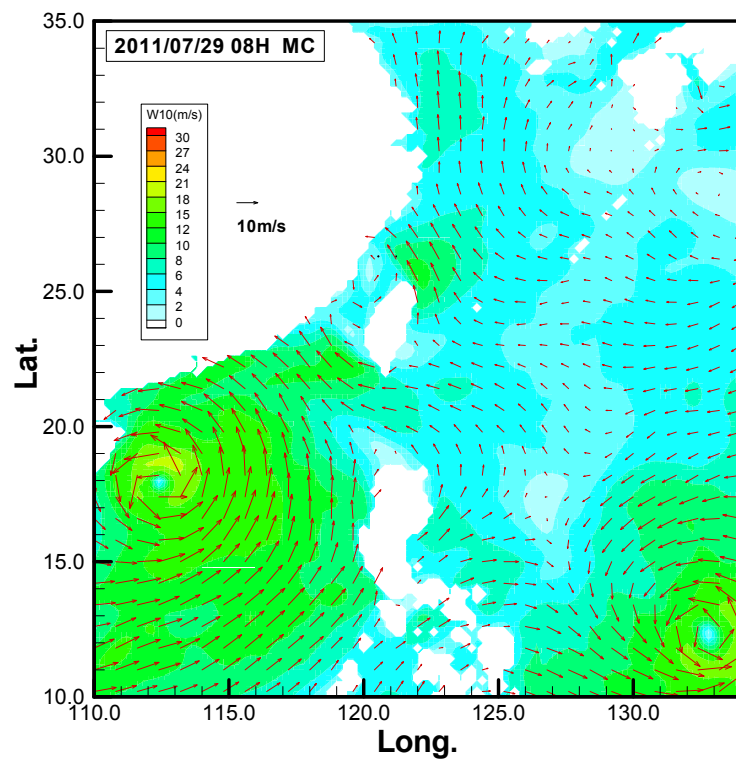


圖 4.6 (續 1)西太平洋風浪模式輸入之 MC 風場向量及風速分布圖

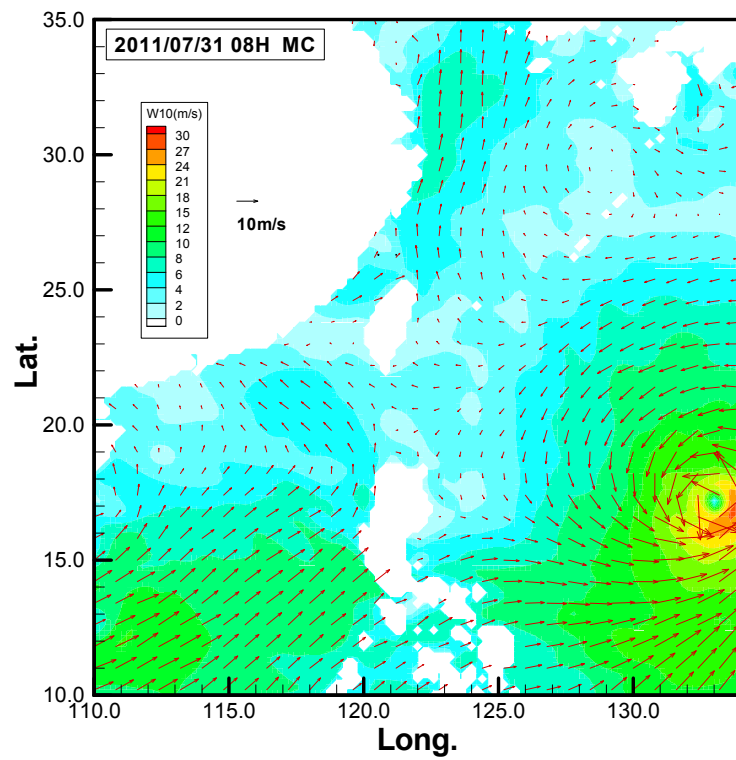


圖 4.6 (續 2)西太平洋風浪模式輸入之 MC 風場向量及風速分布圖

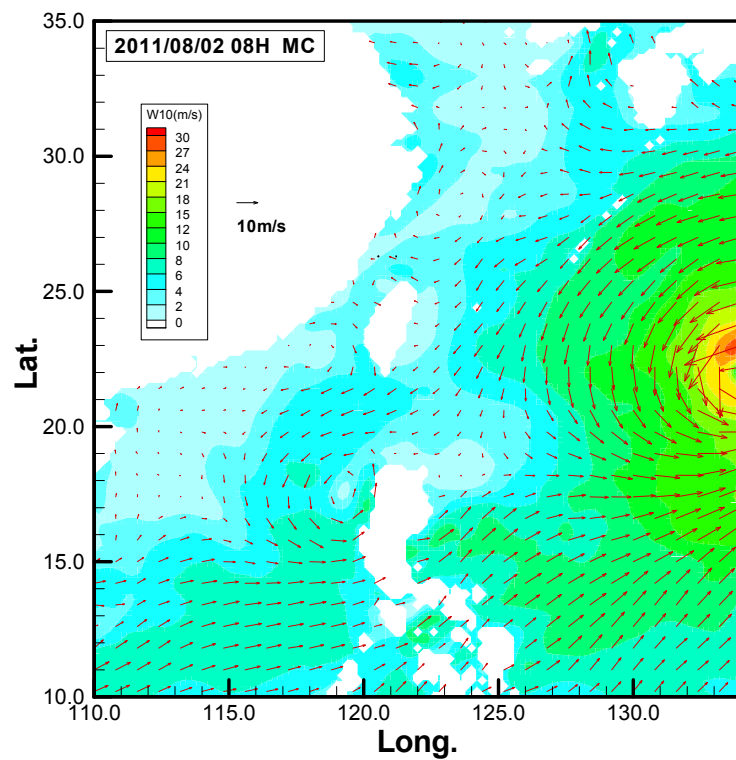


圖 4.6 (續 3)西太平洋風浪模式輸入之 MC 風場向量及風速分布圖

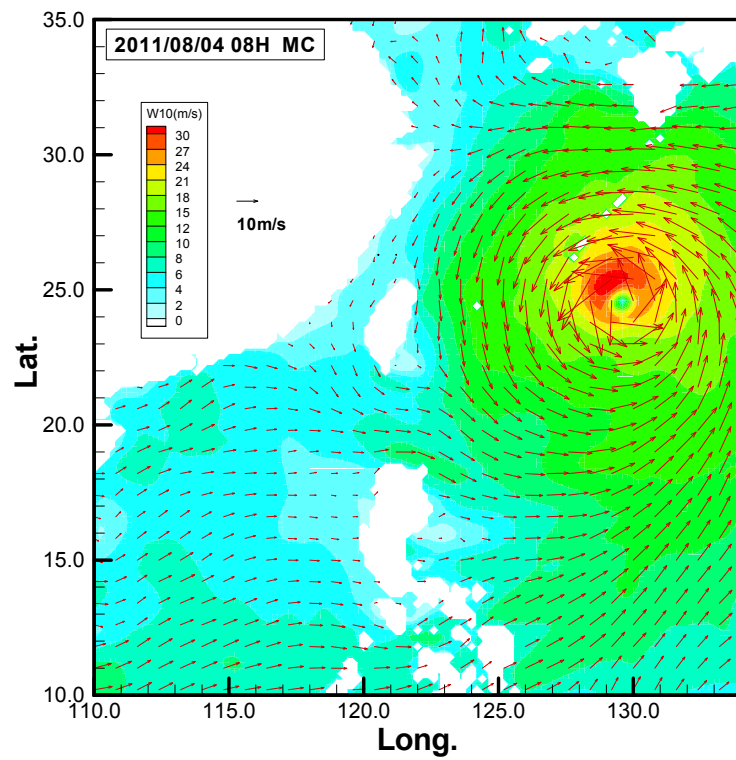


圖 4.6 (續 4)西太平洋風浪模式輸入之 MC 風場向量及風速分布圖

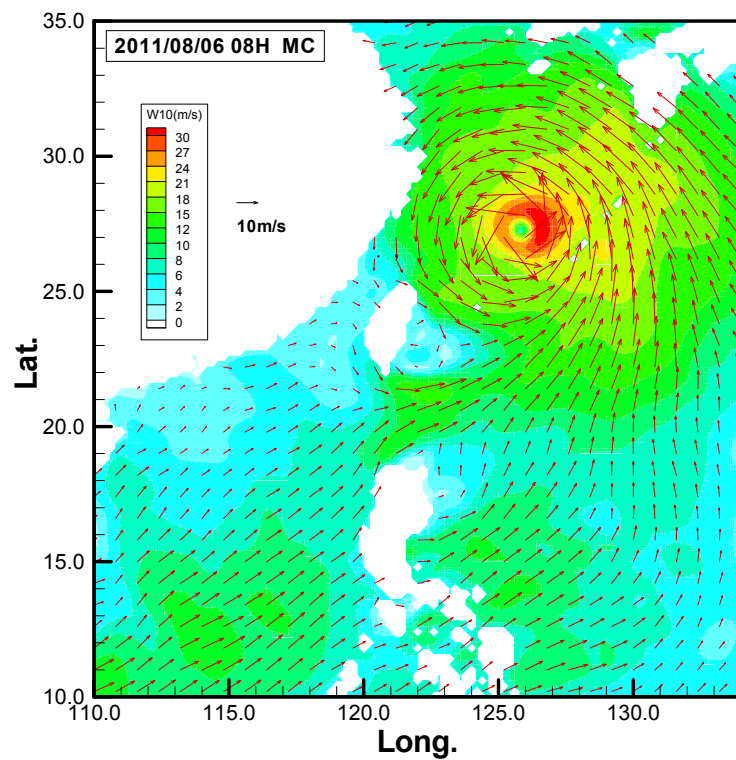


圖 4.6 (續 5)西太平洋風浪模式輸入之 MC 風場向量及風速分布圖

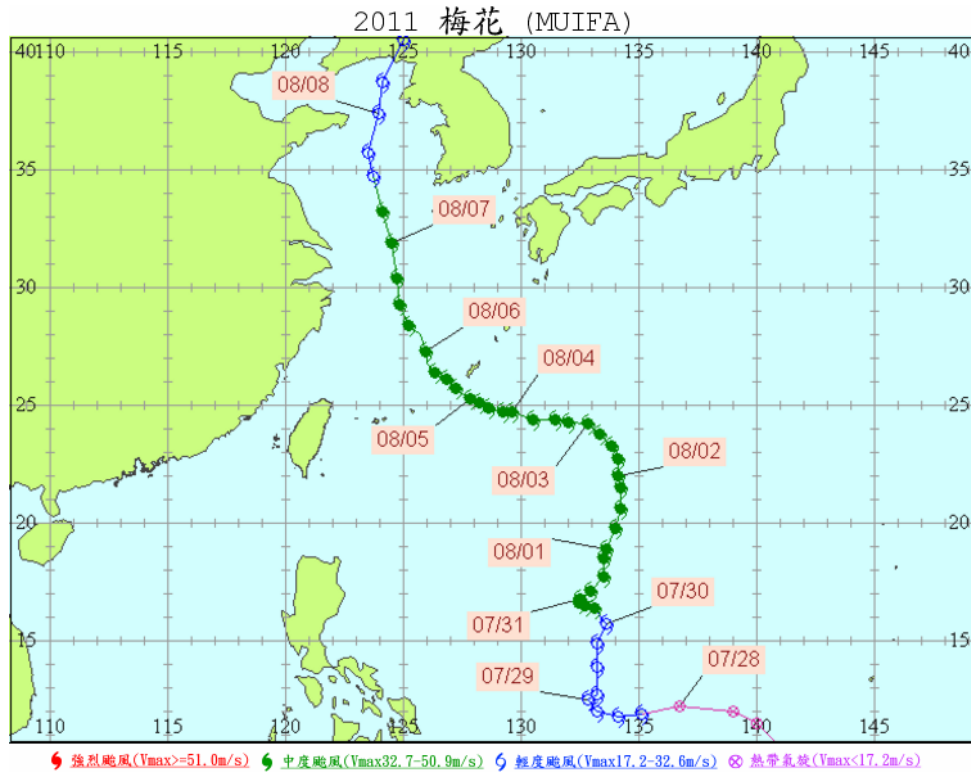


圖 4.7 中央氣象局發布之梅花(MUIFA)颱風路徑圖

4.4.2 RC 風場與 MC 風場波浪場模擬結果

本章節將針對上述 RC 風場與 MC 風場以本文修正模式測試模擬大尺度(即西太平洋風浪模式模擬範圍)之風浪場，並檢討採用 RC 風場或 MC 風場模擬波浪場時二者之差異性。有關模式模擬條件簡述如下：

1. 考慮深水波情況，
2. 模式之初始條件採用 JONSWAP 波譜參數計算格網點之初始波譜條件，並假設初始波向(波浪傳播方向)為 0 度(向北)。

模式給定之波譜參數分別為：譜峰頻率(f_p)為 0.2、 α 為 0.018、 γ 為 3.0、 σ_a 及 σ_b 分別為 0.07 及 0.09、吹風距離為 0.5 倍網格間距(約 11.111 km)。有關 JONSWAP 波譜之計算如下：

$$S(f) = \alpha g^2 (2\pi)^{-4} f^{-5} \exp \left[-\frac{5}{4} \left(\frac{f}{f_p} \right)^{-4} \right] \gamma^b \dots\dots\dots (4-9)$$

其中

$$b = \exp \left[-\frac{f - f_p}{2\sigma^2 f_p^2} \right] \dots\dots\dots (4-10)$$

當 $f < f_p$ 時 $\sigma = \sigma_a$ ； 當 $f > f_p$ 時 $\sigma = \sigma_b$ 。

本計畫波浪場模擬結果之輸出時間間距為 1 小時，模擬模擬結果經後處理模組 PGRID 產生包括風場資料在內之二維網格資料。

1. 初始波浪場模擬結果(模擬時間 1 小時)

為瞭解模式給定之初始條件之特性，本計畫以 RC 風場為例，繪出模式波浪場模擬時間 1 小時之輸出結果，如圖 4.8 所示，其中圖 4.8a 所示為初始波浪場模擬 1 小時後之波高分布與 RC 風場之向量圖，圖 4.8b 為波高分布與波浪傳播方向之向量圖，圖 4.8c 為波浪平均週期之分布與波浪傳播方向之向量圖。結果顯示當波浪場由假設之均勻波場條件開始模擬受輸入風場影響之波浪場時，模式模擬結果必需經歷一段所謂冷啟動之發展階段，才能得到合理的風浪場模擬結果。此外，由圖 4.9a 所示得知，模式給定之初始波高值(或波浪能量)通常可能偏大，因此在模擬波浪發展階段易呈現出鄰近陸地之背風面海域波高有明顯衰減現象；此外，圖中在臺灣南端與菲律賓之間海域，波高減衰現象應是受到其下方低壓氣旋風場影響所致；其原因應為該低壓氣旋所產生的風場之風向與模式給定之初始波向間夾角大於 90 度之故，此時風的能量不僅無法轉換成波浪能量，反而成為抑制波浪發長之外力。圖 4.8c 所示平均波向仍維持初始假設之情況(即波向朝北)，代表在冷啟動階段波向受風場影響改變是相當緩慢而不顯著，因此，以假設均勻波譜能量為初始條件之冷啟動階段必需經歷一段模擬時間才能達到完全發達之波浪場階段。

2. 模擬時間 48 小時之結果

由於模式所輸入之 RC 風場屬於非穩態之風場，故不易直接由海面波浪場模擬結果判斷是否已達到完全發展階段，因此本計畫假設模式模擬時間達 48 小時後之海面波浪模擬結果可視為已達到完全發展階段，如圖 4.9 所示。圖 4.9 所示為 RC 風場模擬時間 48 小時之模擬結果，其中圖 4.9a 為波高分布與風場之向量圖，圖 4.9b 為波高分布與波向之向量圖，圖 4.9c 為平均週期分布與波浪傳播方向之向量圖。此時波高分布以鄰近低壓氣旋之迎風面附近海域波高較大，背風面海域波高值較低；主要波浪傳播方向亦與風向一致，臺灣東部海域波浪來向為西南向，西部海域波浪來向為南向。此外，由於波浪模擬結果為深水波浪，因此模式模擬之波浪傳播方向並不會受地形水深淺化影響而呈現出折射現象，故模式波向模擬結果會與實際近岸波向不符。在平均週期方面，臺灣周圍海域波浪週期約 5~6 秒之間，西南海域波浪週期較大係受到西南海域低壓氣旋影響所致。整體而言，本文 WAM 模式之波浪場模擬結果與物理機制相符，故判斷經本計畫修正後的程式應具正確性。

3. 本文模式與 TaiCOMS 大尺度模式模擬結果之比較

本文以梅花颱風侵臺期間同一時間波浪場模擬結果為例說明，本文 WAM 模式與目前運作中 TaiCOMS 大尺度西太平洋風浪模式在波浪場模擬結果上二者之差異性。

圖 4.10a,b 所示分別為本文 WAM 模式與 TaiCOMS 大尺度風浪模式以 RC 風場模擬之波高分佈情況，結果顯示本文 WAM 模式模擬結果之波高最大值分布集中在颱風中心之上半部，而目前 TaiCOMS 模擬結果之波高最大值分布則集中在颱風中心之右半部。由於在北半球低氣壓氣旋所形成颱風風場最大風速分布通常在颱風中心上半部之迎風面，如圖 4.10a 中風速向量分布所示，因此，本文模式模擬之波高分布結果應較目前 TaiCOMS 之模擬結果為正確。圖 4.11a,b 所示分別為本文模式及目前 TaiCOMS 模式對波浪場平均週期模擬結果之比較，其中

本文平均週期模擬結果可顯示出波浪週期受到風速大小之影響，而目前 TaiCOMS 模式之模擬結果無法呈現波浪週期與風速大小之關係，且在 TaiCOMS 模式模擬結果中週期較大之波浪分布區域似乎不合理。圖 4.12a,b 所示分別本文模式及目前 TaiCOMS 模式以 RC 風場模擬波浪場之平均波向(指來向)分布情況，結果顯示二者波向雖然均圍繞颱風中心向外擴散分布，但整體而言本文波向模擬結果亦較目前 TaiCOMS 模式之模擬結果為佳。

4. RC 風場及 MC 風場之波浪模擬結果比較

為瞭解採用 RC 風場或 MC 風場模擬大尺度模式之風浪，對於波浪模擬結果之影響，乃以本文 WAM 模式分別以 RC 風場及 MC 風場為輸入條件模擬大尺度模式之風浪，模擬結果如圖 4.13 及圖 4.14 所示。圖 4.13a,b 所示分別為 RC 風場模擬結果在臺灣周圍海域之波高分布及平均週期分布之情況，圖 4.14a,b 所示為 MC 風場模擬結果在臺灣周圍海域之波高分布及平均週期分布之情況。整體而言，本文模式以 RC 風場或 MC 風場模擬大尺度模擬範圍之波浪，模擬結果之波向、波高及平均週期分布趨勢是相當近似的，僅在模擬結果之數值大小上略有差異。

為進一步比較 RC 風場及 MC 風場對波浪場模擬結果之影響，本計畫選取基隆港與臺北港波浪觀測資料與 RC 風場、MC 風場之波浪模擬結果比較，如圖 4.15 至圖 4.17 所示。圖 4.15 所示分別為基隆港與臺北港波浪觀測之示性波高(H_s)與模式模擬結果之比較，波高模擬結果顯示：對臺北港波浪模擬結果而言，MC 風場模擬之波高大小變化之趨勢與波高觀測值大小變化之趨勢較為一致；對基隆港波浪模擬結果而言，RC 風場及 MC 風場模擬之波高值均略大於波浪觀測結果，當颱風中心接近臺灣東北部海域時模式波高模擬結果有顯著高於波浪觀測值，其原因可能模式網格解析度太低無法反應基隆港外海及海岸地貌對波浪之影響所致。整體而言，MC 風場波高模擬結果略大於 RC 風場模擬之波高，對於部份波高微小變化上 MC 風場波高模擬結果較易顯現。

圖 4.16 所示分別為基隆港與臺北港波浪觀測之平均週期(T_{mean})與模式模擬結果之比較，結果顯示：本文模式平均週期之模擬結果均大於基隆港與臺北港波浪觀測之平均週期(T_{mean})，此係由於模式之平均週期(T_{-1})定義與波浪觀測資料之平均週期(T_2)定義不一致之緣故。此外，由模式模擬之週期變化與波浪觀測資料之週期變化趨上得知，採用 MC 風場模擬風浪其週期變化趨勢與波浪觀測資料較接近。圖 4.17 所示分別為基隆港與臺北港波浪觀測之平均波向與模式模擬結果之比較，結果顯示本文模式波向模擬結果均與波浪觀測之波向有較大的誤差，其原因除了受到大尺度網格解析度較低之影響外，亦與模式模擬結果為深水波浪不受地形影響之故。此外，圖 4.18 所示為本計畫模式波浪平均週期採用二階動差及負一階動差分別定義之波浪平均週期(T_2 及 T_{-1})與波浪觀測資料之平均週期(T_{mean})之比較結果，顯示各港口波浪觀測資料之平均週期與模式波浪模擬結果由二階動差所定義的平均週期(T_2)相當接近。

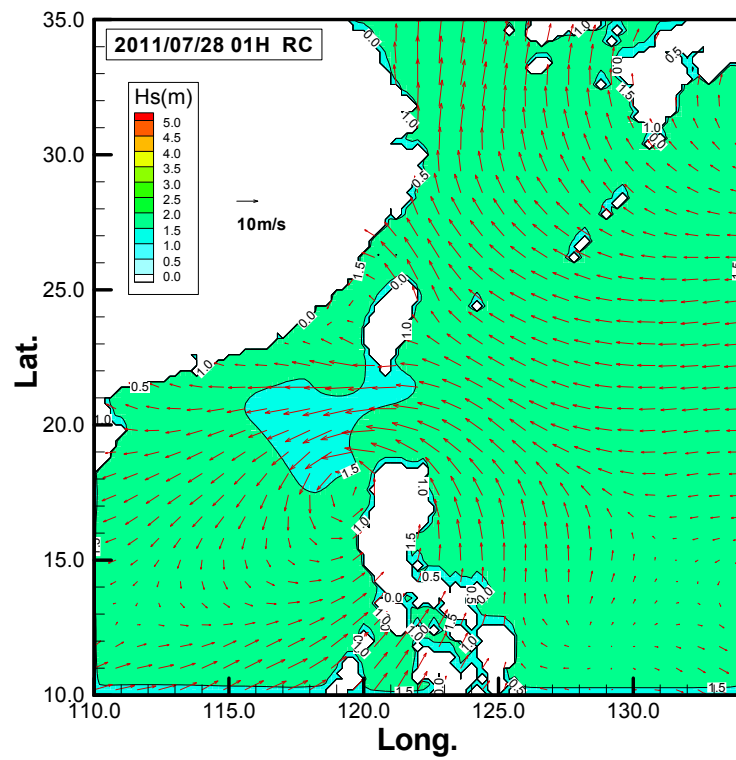


圖 4.8a 模式模擬時間 1 小時之波高分布及 RC 風場向量圖

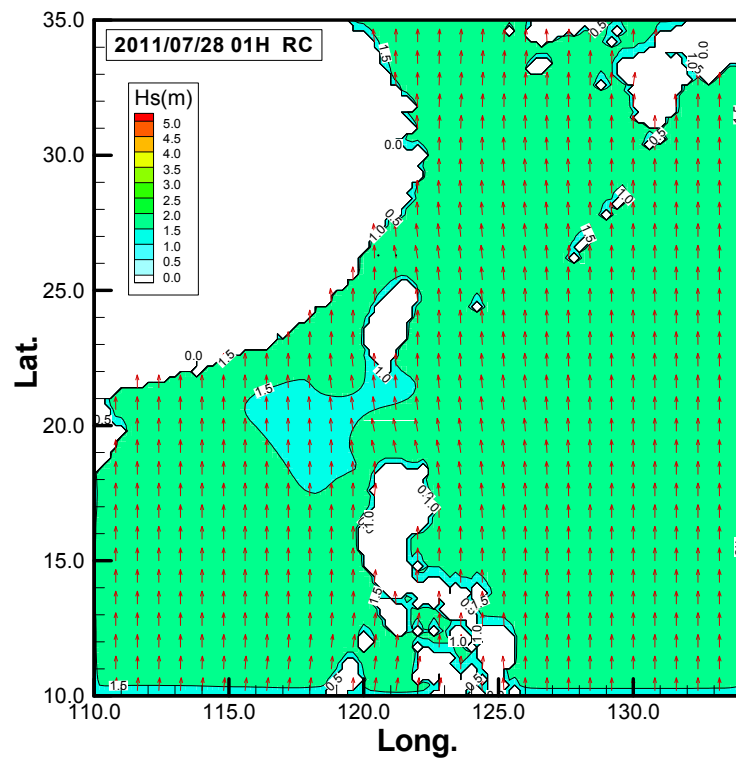


圖 4.8b 模式模擬時間 1 小時之波高分布及波向之向量圖

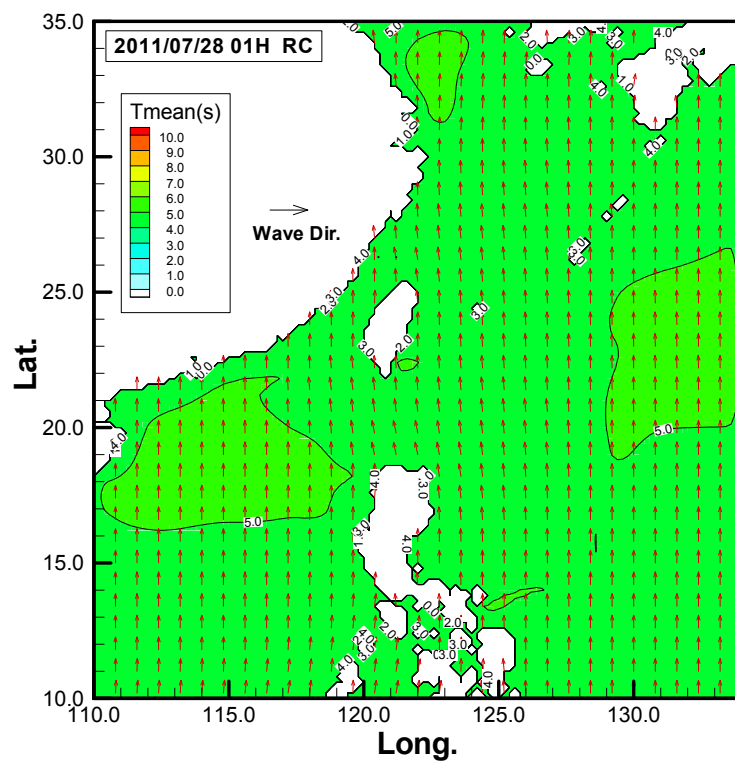


圖 4.8c 模式模擬時間 1 小時之平均週期分布及波向之向量圖

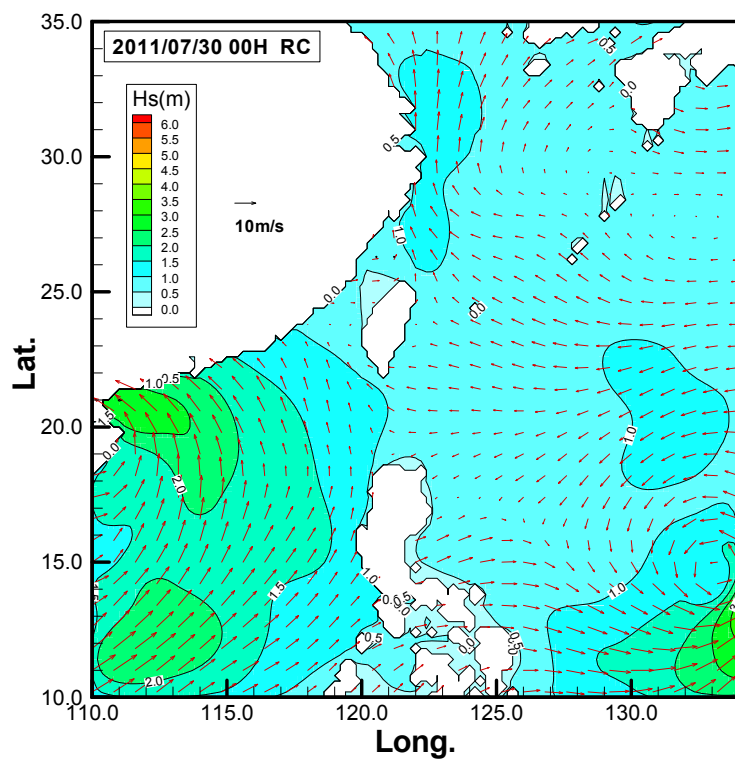


圖 4.9a 模式模擬時間 48 小時之波高分布及 RC 風場向量圖

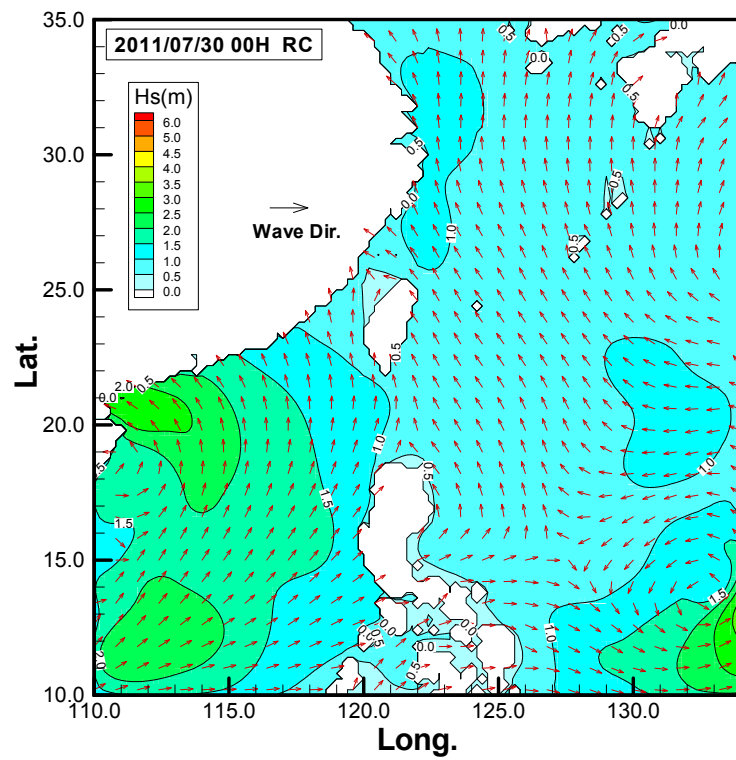


圖 4.9b 模式模擬時間 48 小時之波高分布及波向之向量圖

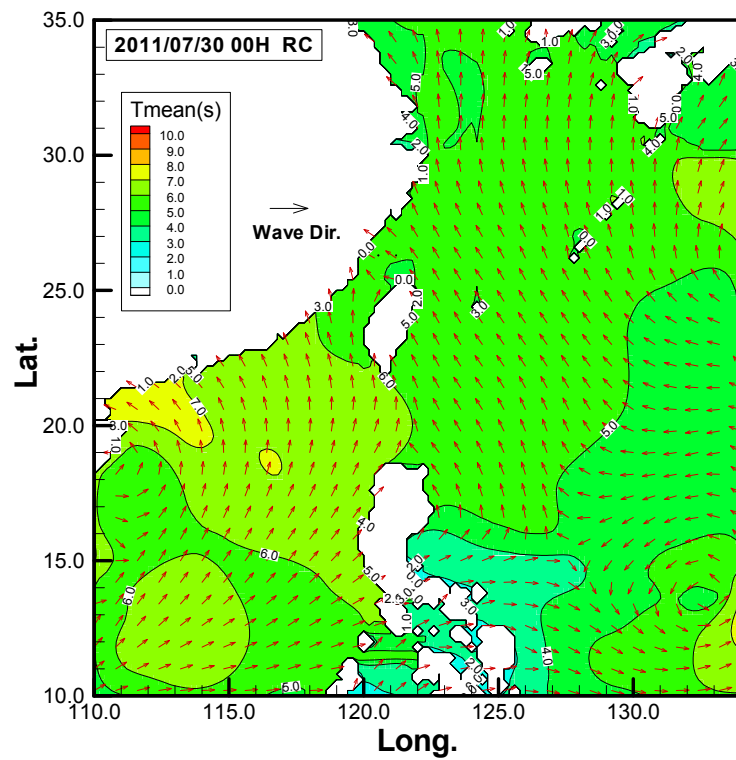


圖 4.9c 模式模擬時間 48 小時之平均週期分布及波向之向量圖

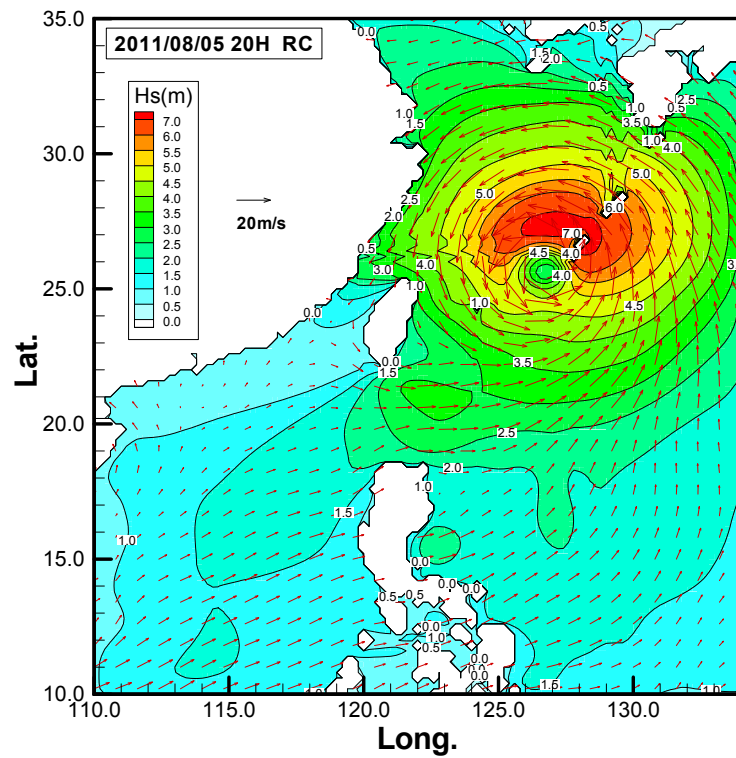


圖 4.10a 本文模式以 RC 風場模擬波浪之波高分布及風速向量圖

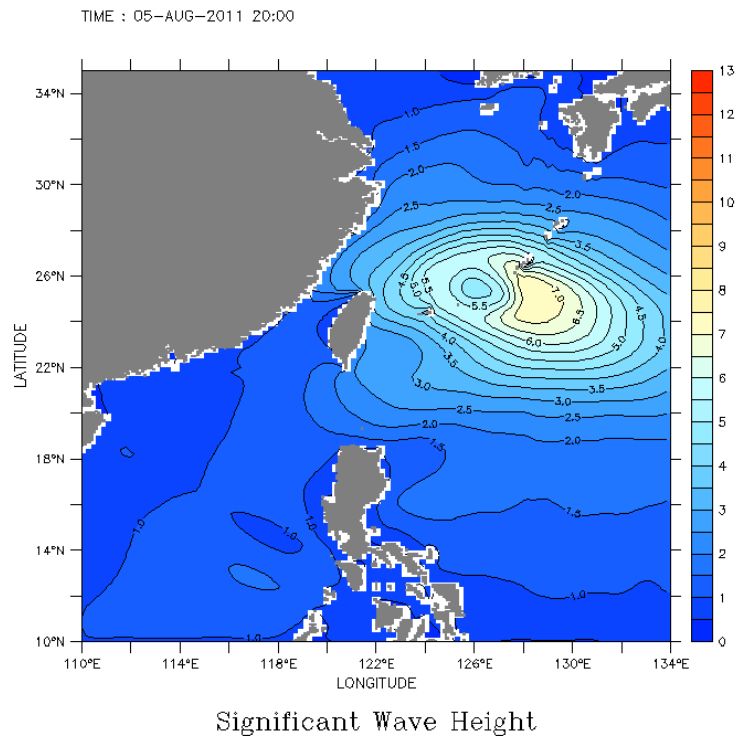


圖 4.10b TaiCOMS 模式以 RC 風場模擬波浪之波高分布圖

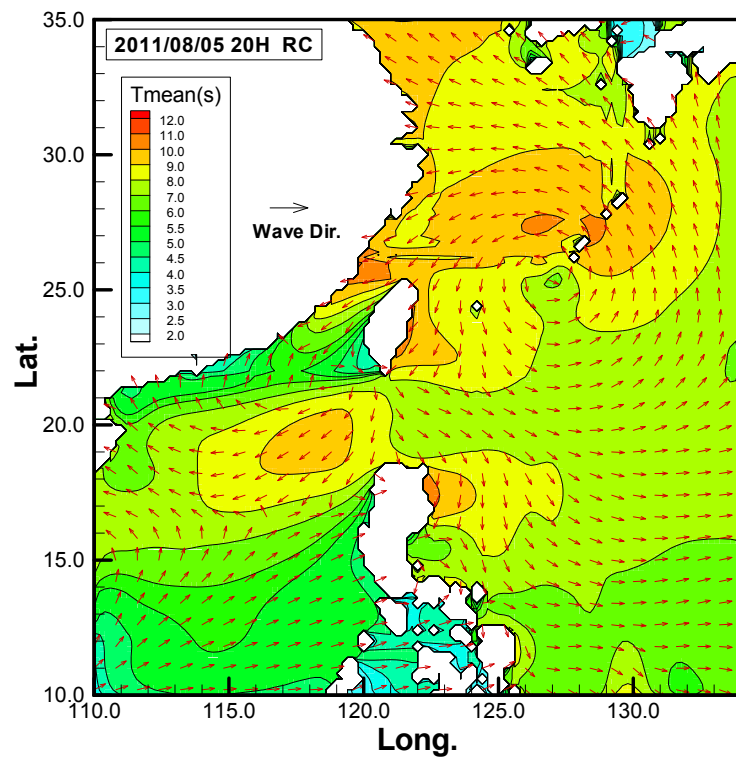


圖 4.11a 本文模式以 RC 風場模擬波浪之平均週期分布及波向向量圖

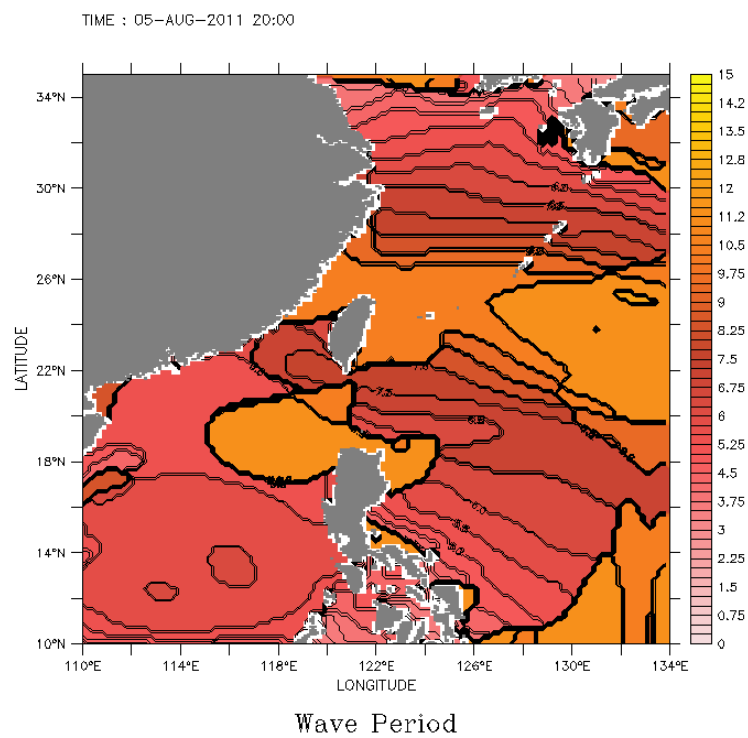


圖 4.11b TaiCOMS 模式以 RC 風場模擬波浪之平均週期分布圖

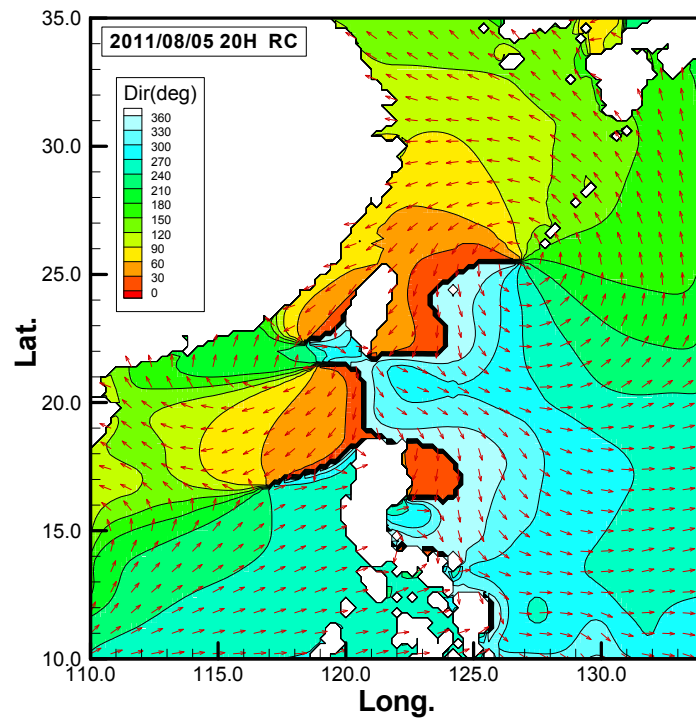


圖 4.12a 本文模式以 RC 風場模擬波浪場之平均波向(來向)分布及波向(去向)之向量圖

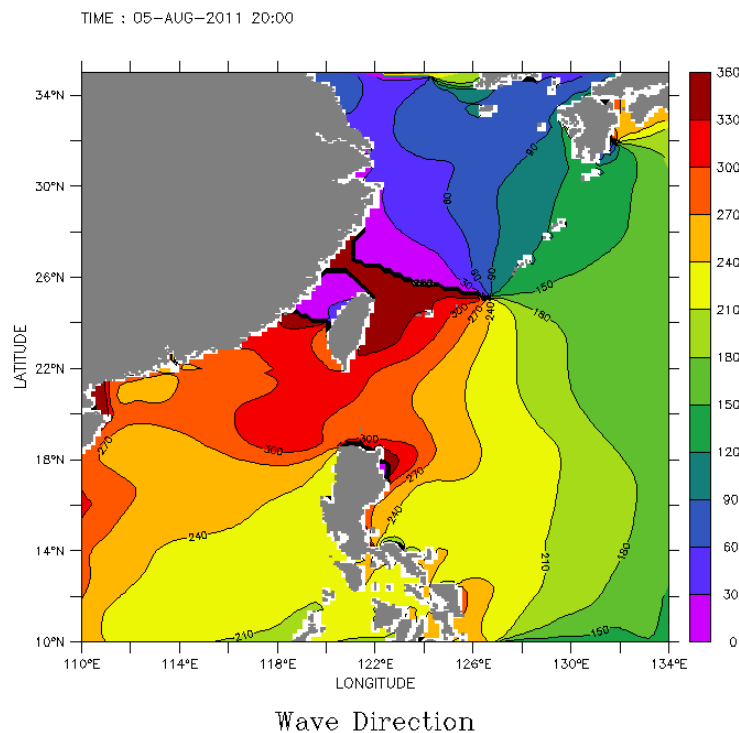


圖 4.12b TaiCOMS 模式以 RC 風場模擬波浪之平均波向(來向)分布圖

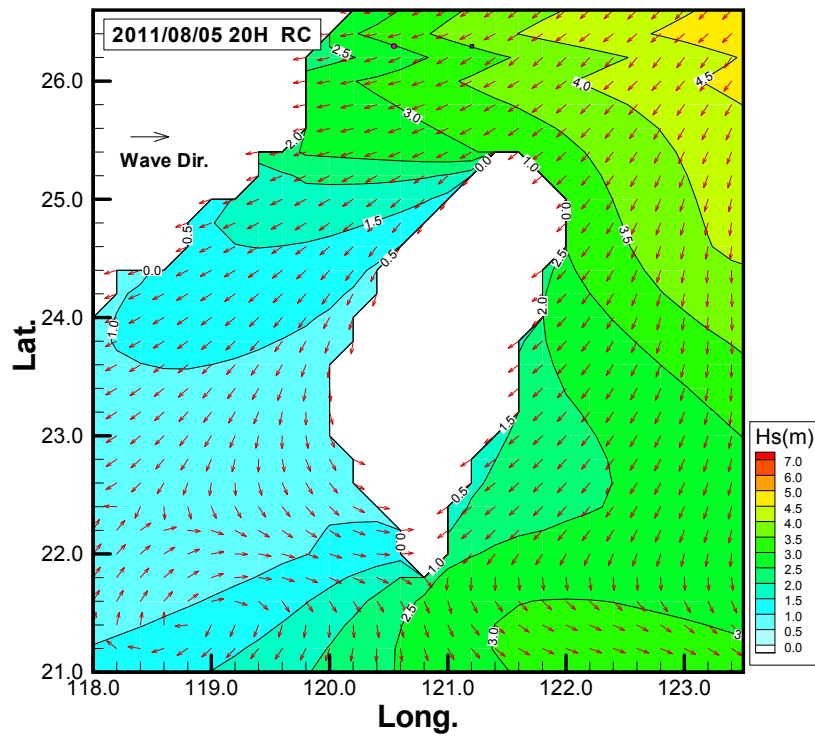


圖 4.13a RC 風場模擬結果之波高分布及波向向量圖

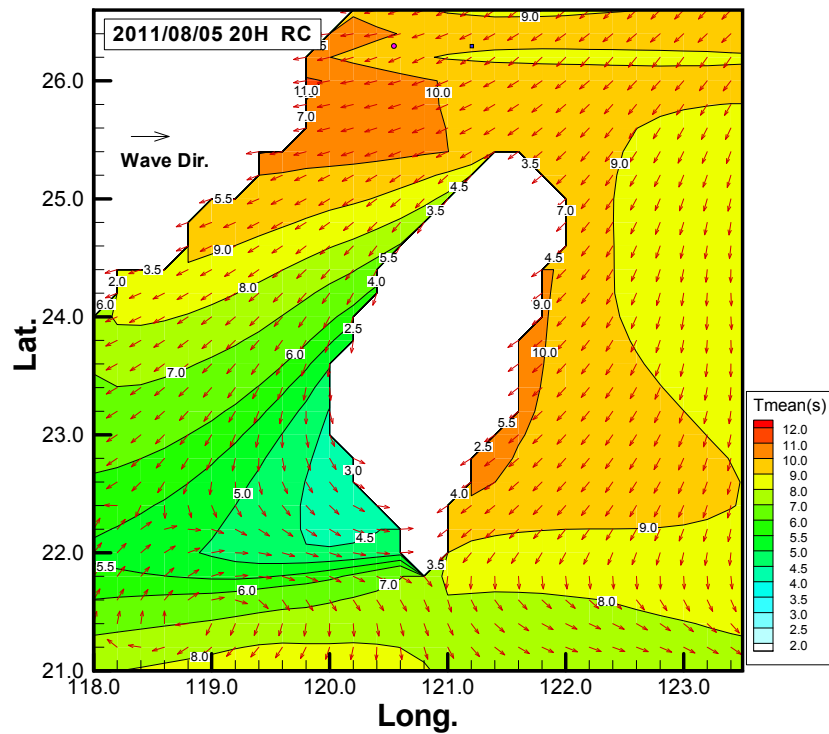


圖 4.13b RC 風場模擬結果之平均周期分布及波向向量圖

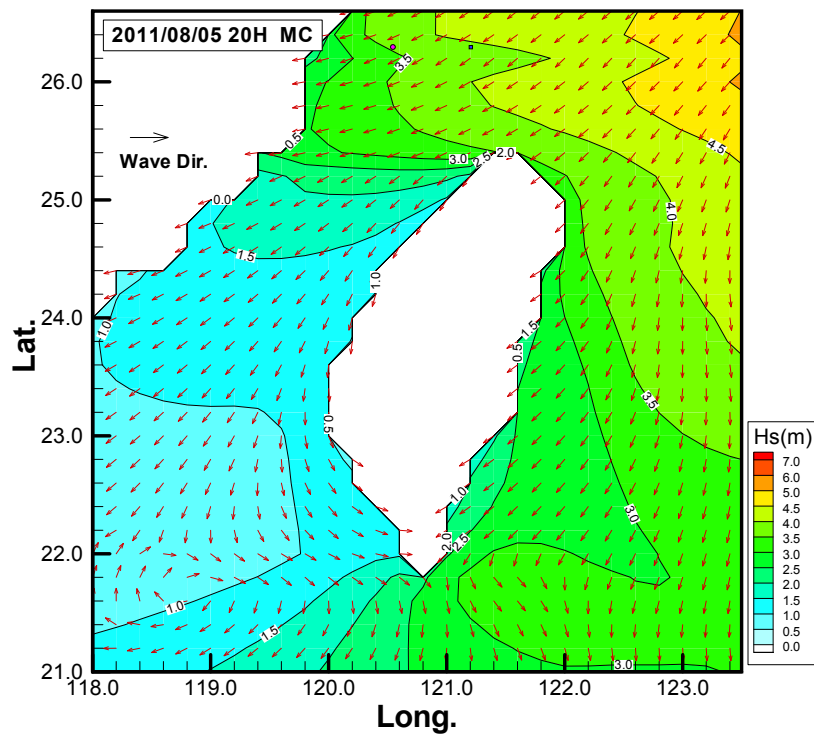


圖 4.14a MC 風場模擬結果之波高分布及波向向量圖

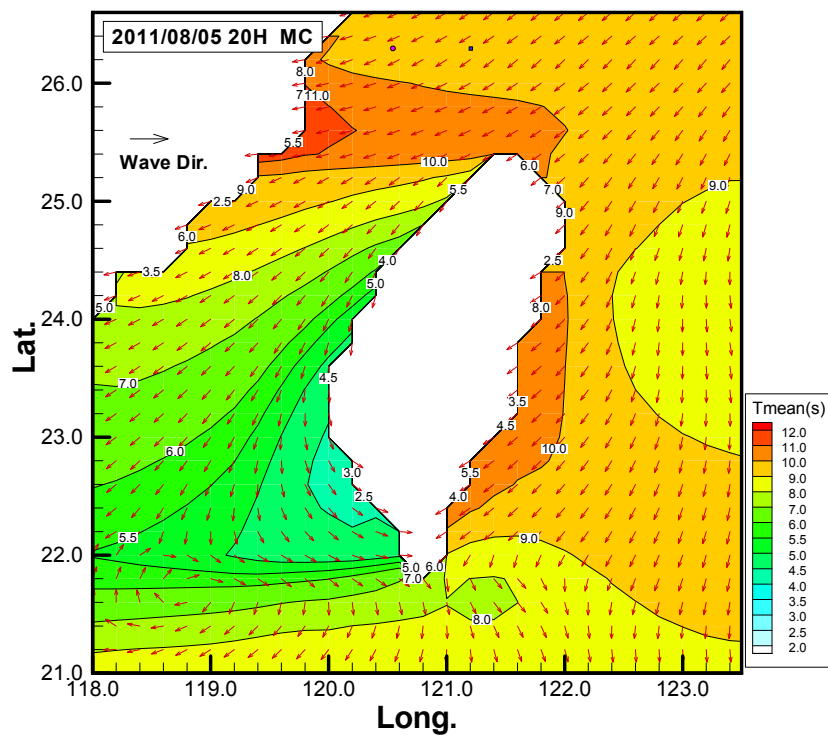


圖 4.14b MC 風場模擬結果之平均周期分布及波向向量圖

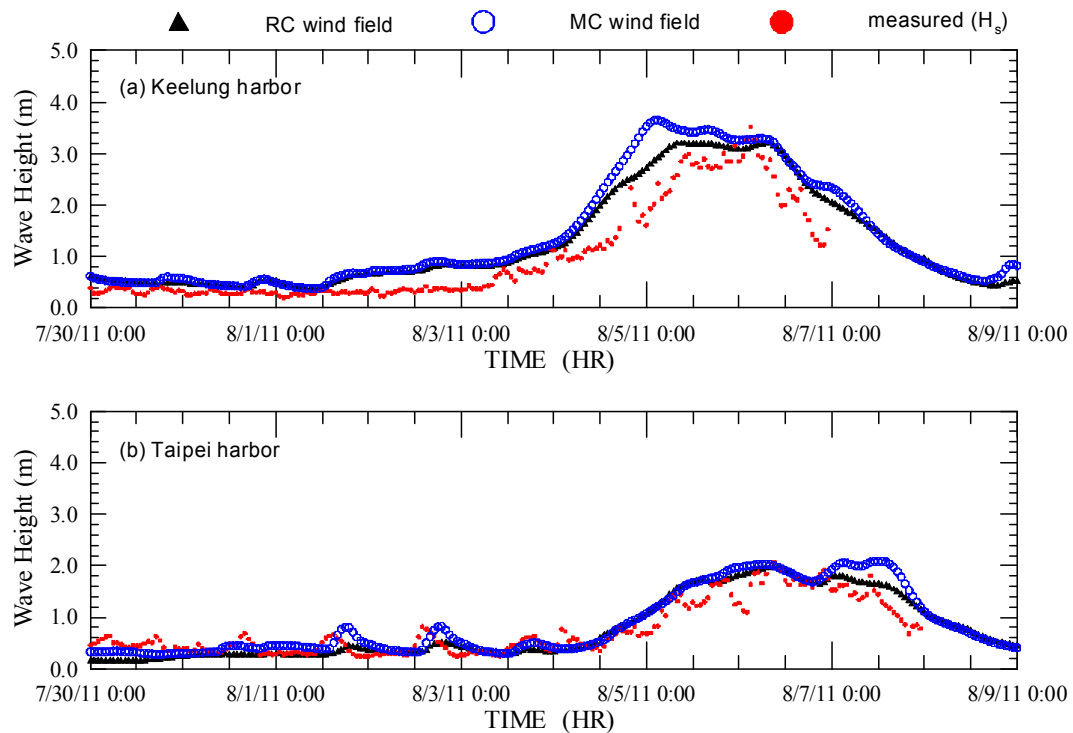


圖 4.15 基隆港與臺北港波浪觀測資料之示性波高(H_s)與模式 RC 風場及 MC 風場波高模擬結果之比較

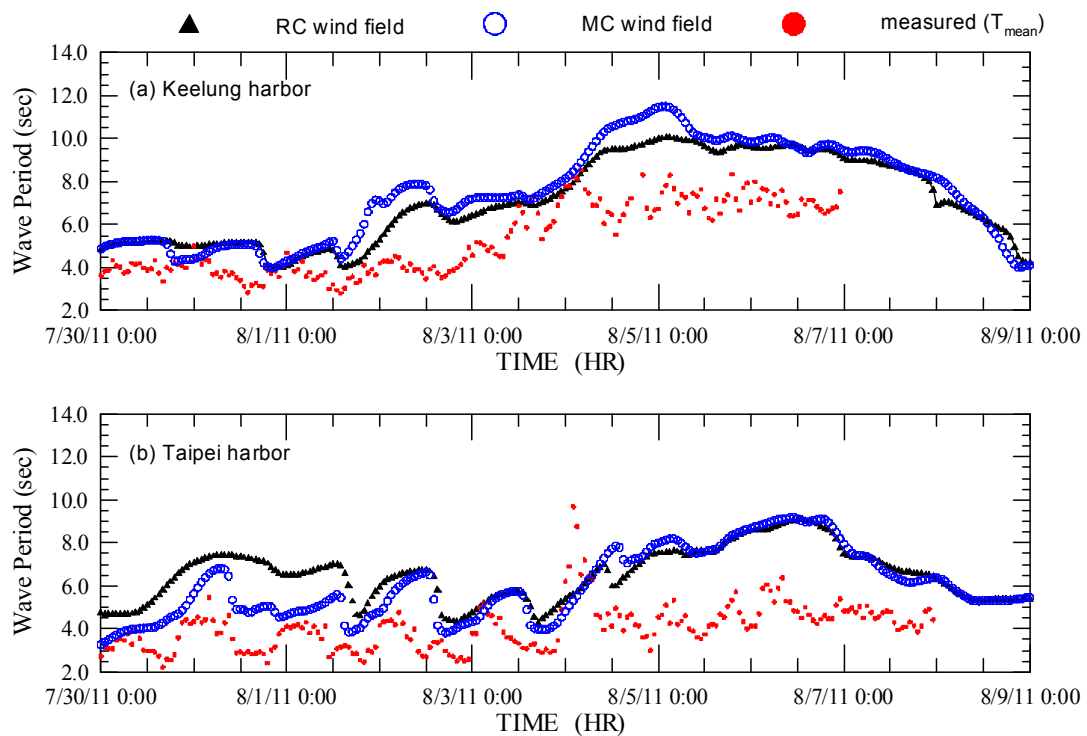


圖 4.16 基隆港與臺北港波浪觀測資料之平均週期與模式 RC 風場及 MC 風場波浪平均週期模擬結果之比較

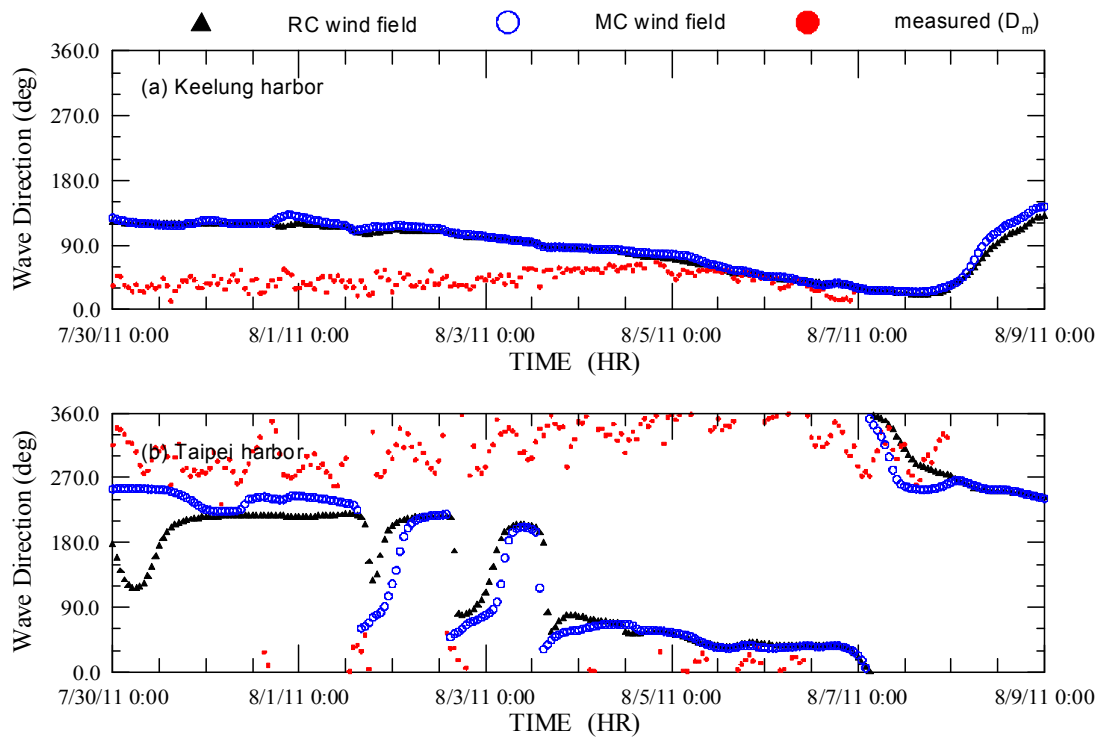


圖 4.17 基隆港與臺北港波浪觀測資料之平均波向與模式 RC 風場及 MC 風場波向模擬結果之比較

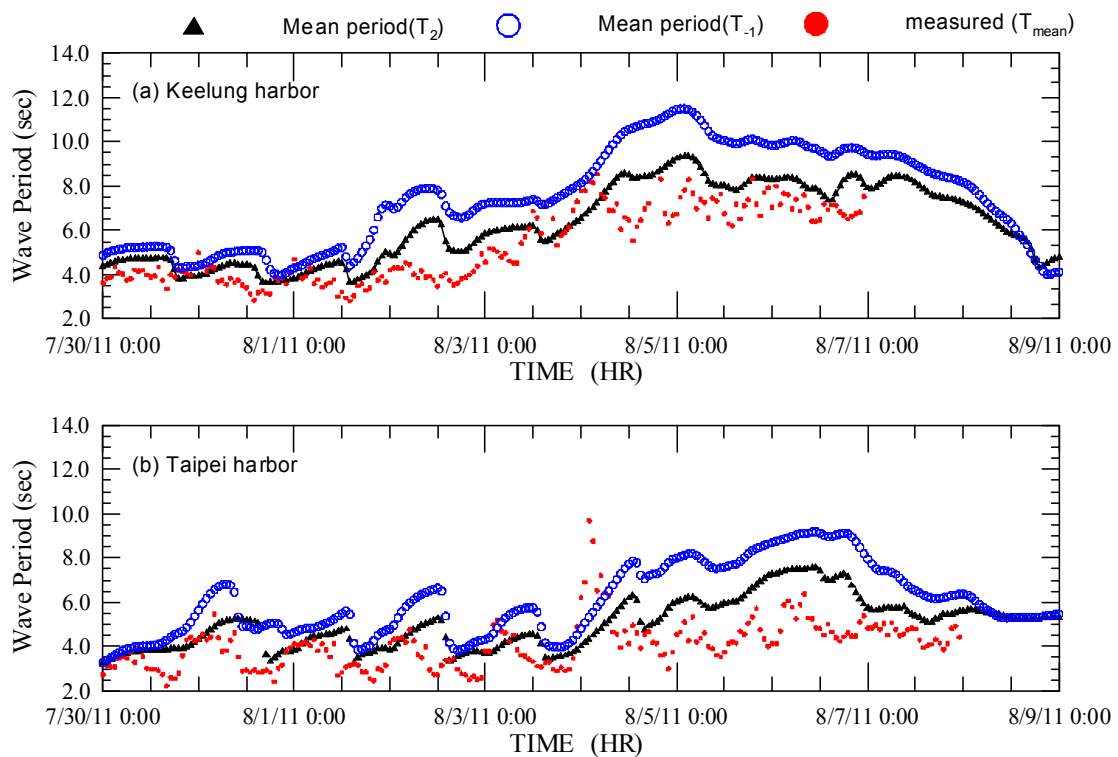


圖 4.18 基隆港與臺北港波浪觀測資料之平均週期與模式模擬之波浪平均週期 T_2 及 T_{-1} 之比較

4.5 中尺度臺灣周圍海域模擬範圍之檢討

自從兩岸開放離島小三通之後，離島航運之經濟價值更顯重要，因此離島船舶航程之安全將是交通部未來議題之一。有鑑於目前 TaiCOMS 模擬範圍並未含蓋金門與馬祖等離島地區，因此本年度先針對 TaiCOMS 中尺度臺灣周圍海域風浪模式之模擬範圍進行檢討，測試將金門與馬祖等離島地區納入模式模擬範圍後之作業化流程，以因應港研中心未來可能之需求。

目前 TaiCOMS 在風浪模擬範圍上分為大尺度西太平洋風浪模擬範圍及中尺臺灣周圍海域風浪模擬範圍，如圖 4.19 所示，其中中尺度臺灣周圍海域風浪模擬範圍為 $119^{\circ}\text{E}\sim 123^{\circ}\text{E}$ 及 $21^{\circ}\text{N}\sim 26^{\circ}\text{N}$ ，如圖 4.20 所示，並未含蓋金門及馬祖等離島地區。因此本計畫如欲將金門與馬祖等離島地區風浪預報增列為 TaiCOMS 每日作業化風浪模擬之工作，則需將目前中尺度臺灣周圍海域風浪模式之模擬範圍向西延伸 2 個經度 (2°) 與往北增加 1 個緯度 (1°)，亦即修正之中尺度風浪模擬範圍為東經 $117^{\circ}\text{E}\sim 123^{\circ}\text{E}$ 及北緯 $21^{\circ}\text{N}\sim 27^{\circ}\text{N}$ 之海域，如圖 4.21 所示。

為因應本計畫中尺度風浪模式模擬範圍擴大後，數值計算網格之地形水深資料需要重新建置，本計畫將對目前 TaiCOMS 各風浪模式之地形水深資料進行更新與檢討。由於目前 TaiCOMS 大尺度及中尺度風浪模式模擬範圍內地形水深資料係依據美國國家地球物理資料中心 (National Geophysical Data Center, NGDC) 公布的全球 2 弧分格網數值地形資料 (Etopo2) 建置的，如圖 4.20 所示。為提升模式地形水深之精確性，本計畫乃採用 NGDC 公布之全球 1 弧分格網數值地形資料 (Etopo1)，建置本計畫擴大模擬範圍之中尺度臺灣周圍海域風浪模式 (new) 之地形水深資料，如圖 4.21 所示。至於由 1 弧分格網數值地形資料 (Etopo1) 與 2 弧分格網數值地形資料 (Etopo2) 所建置的模式水深資料差異如圖 4.22 所示，圖中正值表示 Etopo1 網格數值水深值小於 Etopo2 數值水深值，顯示兩種版本之數值地形誤差頗大。

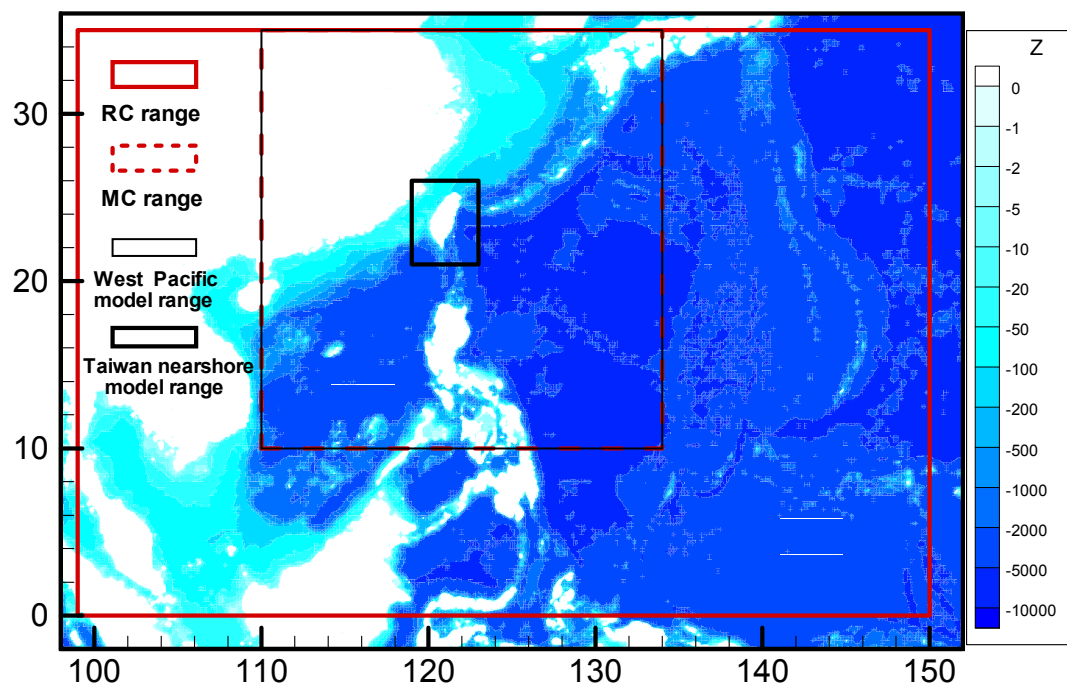


圖 4.19 TaiCOMS 風浪模式模擬範圍與風場範圍示意圖

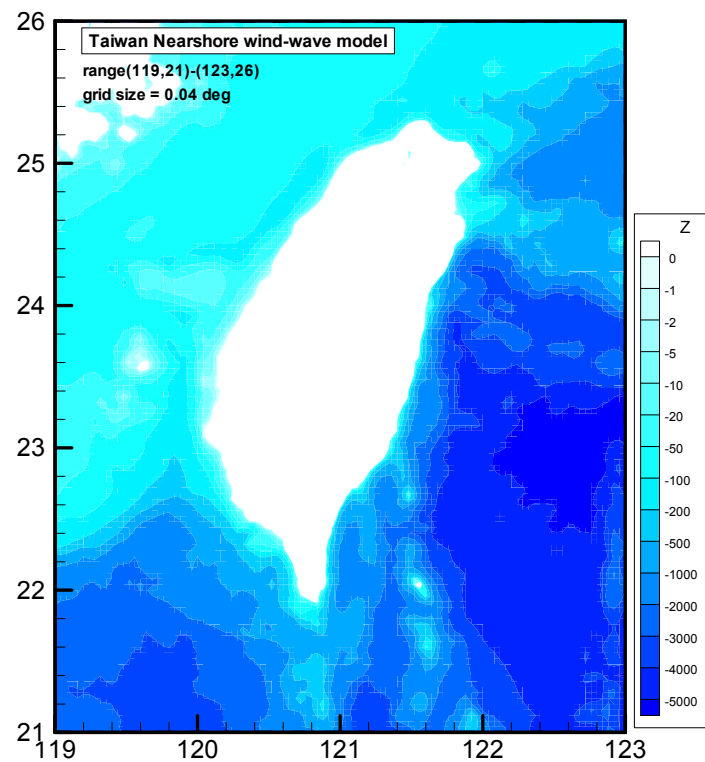


圖 4.20 目前 TaiCOMS 中尺度臺灣周圍海域風浪模式之地形水深圖 (Etopo2)

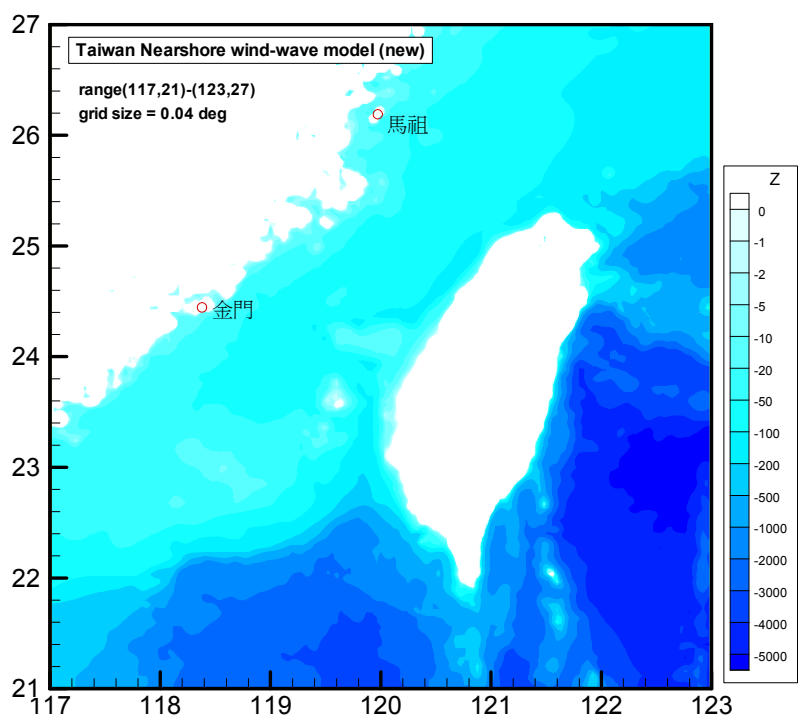


圖 4.21 本計畫擴大之中尺度臺灣周圍海域風浪模式(new)之地形水深圖(Etopo1)

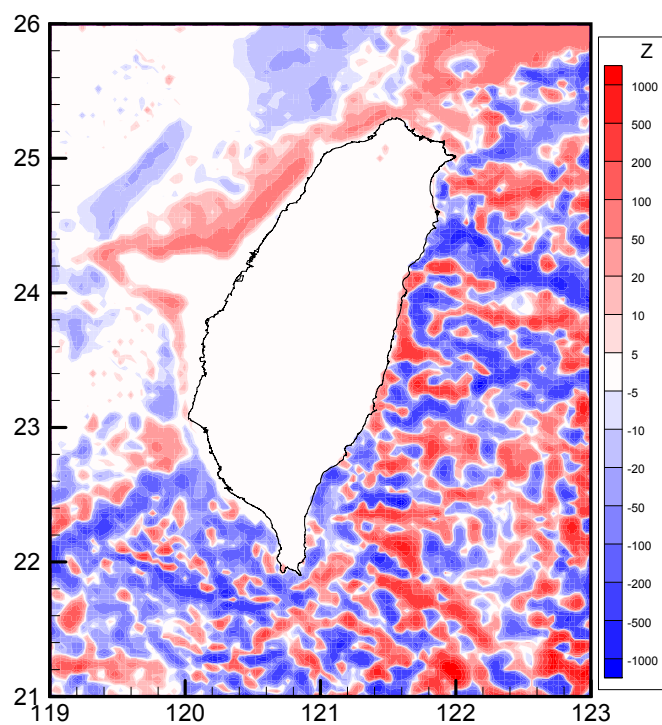


圖 4.22 臺灣周圍海域數值地形 Etopo1 及 Etopo2 水深資料之差異比較

為瞭解中尺度臺灣周圍海域風浪模式更新模擬範圍與地形水深資料之影響，本計畫以新的中尺度臺灣周圍海域風浪模式(簡稱本文模式)重新模擬波浪場，並與目前 TaiCOMS 資料庫中尺度風浪模式模擬結果比較，如圖 4.23 至圖 4.25 所示。經初步結果檢視，除了波向上差異性較不顯著外，在波高分布與平均週期分布上，本文模式模擬結果與目前 TaiCOMS 中尺度風浪模式模擬結果有一些趨勢上的差異。至於造成這些差異性之原因與模式之地形水深資料更新有關、或模式邊界條件不同所造成的，仍有待下年度再進一步分析與研究。

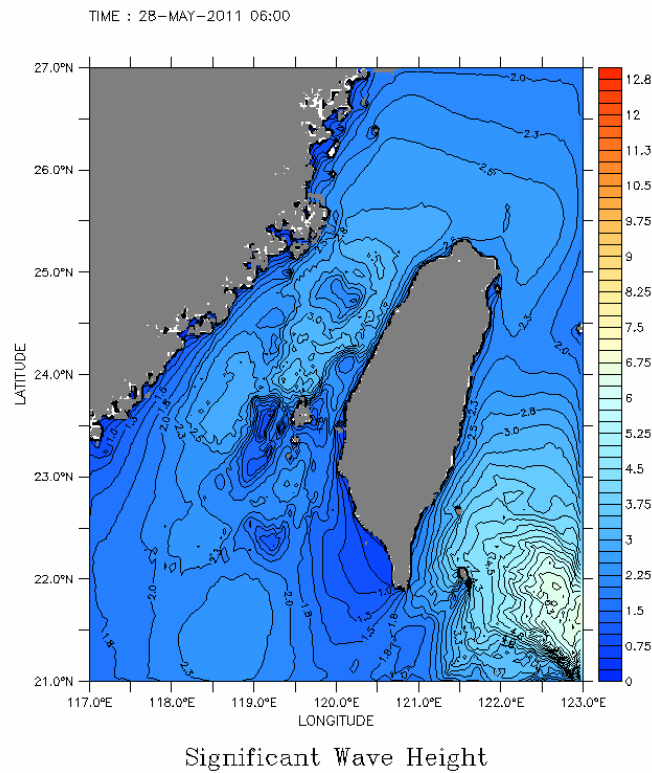


圖 4.23a 本文臺灣周圍海域風浪模式(new)推算之波高分佈圖

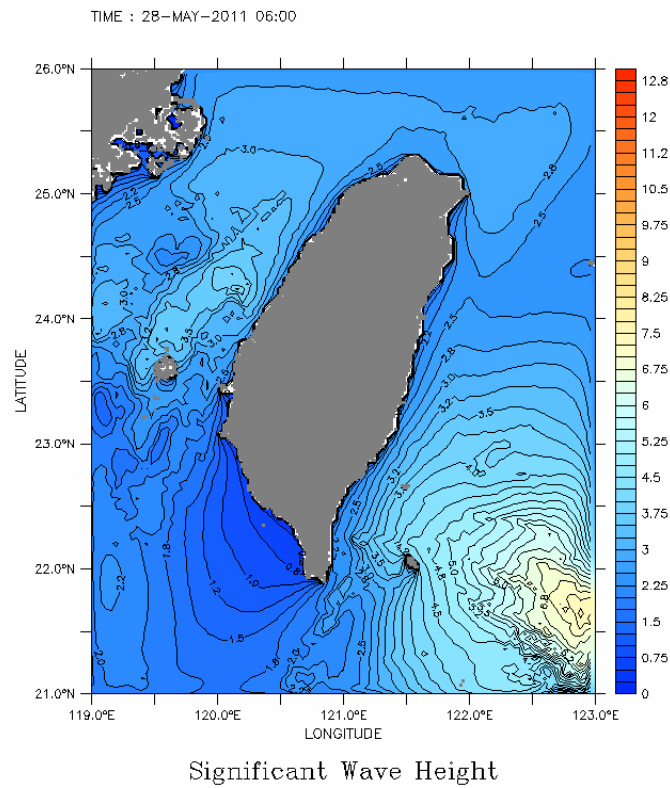


圖 4.23b TaiCOMS 臺灣周圍海域風浪模式推算之波高分佈圖

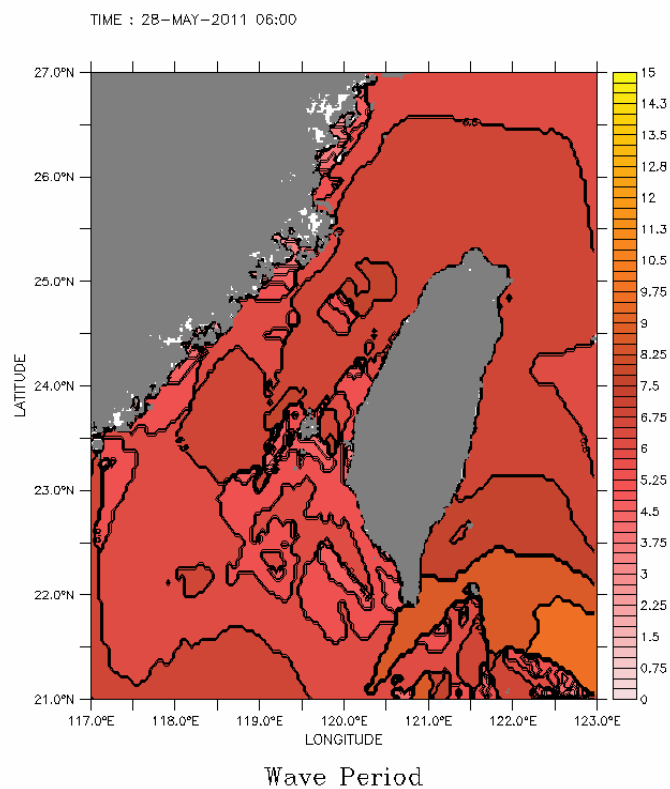


圖 4.24a 本文臺灣周圍海域風浪模式(new)推算之平均週期分佈圖

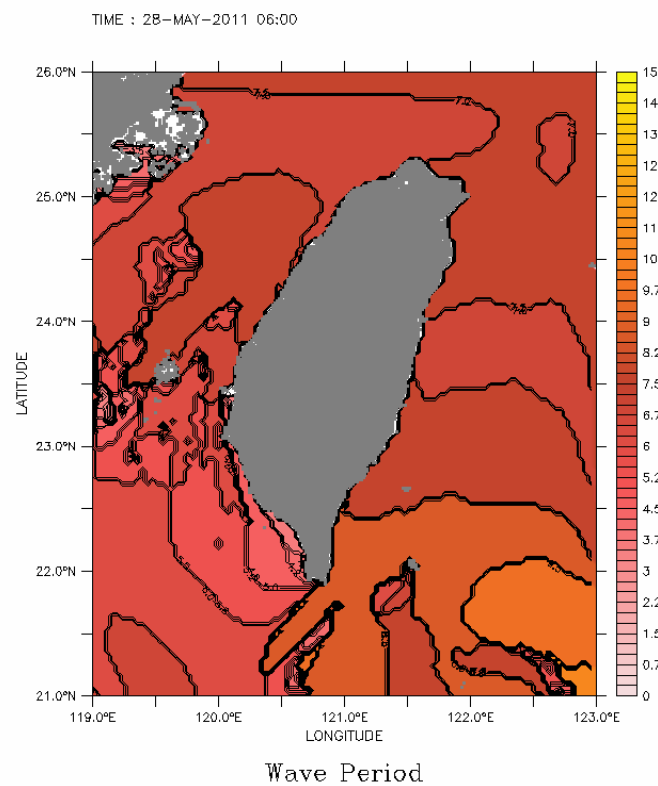


圖 4.24b TaiCOMS 臺灣周圍海域風浪模式推算之平均週期分佈圖

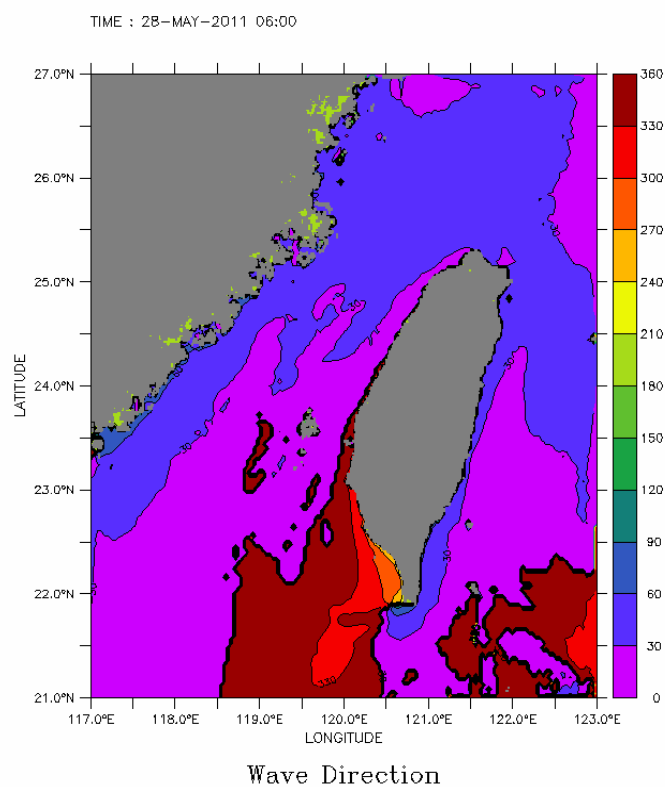


圖 4.25a 本文臺灣周圍海域風浪模式(new)推算之平均波向分佈圖

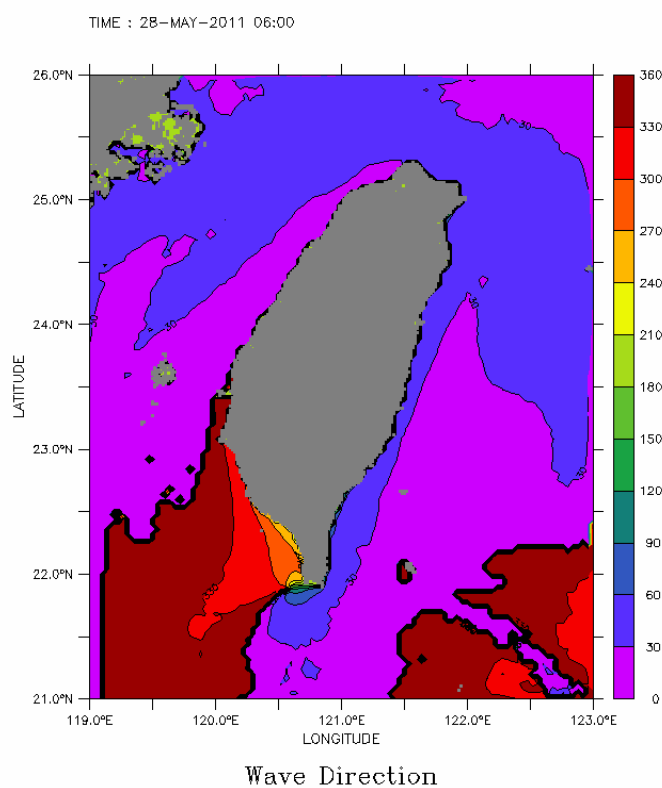


圖 4.25b TaiCOMS 臺灣周圍海域風浪模式推算之平均波向分佈圖

第五章 港區風浪模擬預警子系統

本年度計畫目的之一為建置基隆港區及臺北港區風浪模擬預警子系統，其中基隆港區風浪模擬預警子系統為上年度計畫之延續，因此本年度乃以臺北港區風浪模擬預警子系統之建置為本計畫之研究重點。有關本計畫基隆港區及臺北港區風浪模擬預警子系統之建置說明如下。

5.1 基隆港港區風浪模擬預警子系統

有關基隆港區風浪模擬預警子系統建置之相關研究工作已於上年度(99 年)著手進行，初步已完成工作內容包括基隆港東防波堤延伸工程完工(如圖 5.1 所示)以及基隆港西 18、19 號貨櫃碼頭延建及後線場地填建工程完工(如圖 5.2 所示)後，基隆港近岸港區波浪模式及港域波浪模式之數值計算網格之修正，如圖 5.3 及圖 5.4 所示；以及基隆港近岸港區波浪場及港域波浪場數值模擬研究。其中基隆港近岸港區波浪模式採用 Kirby and Dalrymple (1983)所發展的有限差分法波浪折繞射模式(REF/DIF)模擬港區周圍近岸波浪場狀況；港域波浪模式則採用以有限元素法求解橢圓型緩坡方程式之港域波浪模式，模擬港域內波浪受港池形狀及結構物影響之波高變化情形。

5.1.1 數值計算網格

基隆港近岸港區波浪模式之值計算網格採用方格網建置(模式本射亦適用矩形網格)，依據基隆港港區近岸波浪場模擬範圍，如圖 5.3 所示，其在沿海岸線方向(y 軸)之距離為 7.3km，離岸方向(x 軸)之距離為 6.2km，外海邊界水深約介於 50m~60m 間。本計畫採用 10m 網格間距建置數值計算網格，則基隆港近岸港區波浪模式數值計算網格之大小為 621×731；計算網格原點之二度分帶座標(TW67)為(322539.0，2787360.0)，網格 Y 軸與方位正北之逆時針方向夾角為 256.0°。

基隆港港域波浪模式之數值計算網格係依據圖 5.4 之三角元素粗網格分布而產生的，本計畫選取波浪模擬最小週期為 8 sec 以及網格大小必須滿足一個波長內至少涵蓋 8 個節點等條件，再配合水深資料產生基隆港港域波浪模式之數值計算細網格，如圖 5.5 所示。本計畫數值計算細網格是由 38,554 個節點及 74,850 個三角元素組成的。

5.1.2 港區近岸波浪場模擬

本計畫基隆港港區近岸波浪模式輸入條件主要為波浪週期、波高及波向等波浪條件，其來源主要有二分別為 TaiCOMS 作業化中尺度臺灣海域波浪模式(SWAN)之模擬結果(基隆港代表波浪輸出資料)及基隆港外海波浪觀測資料。前者為本計畫基隆港區風浪模擬預警子系統作業化部份，屬於每日 72 小時作業化模擬預報工作，目前此部份作業化模擬流程已由港研究中心完成建置並進行測試；後者配合基隆港每小時觀測資料而執行之波浪場模擬，此部份作業化模擬流程尚待建置。

圖 5.6 所示為基隆港區近岸波浪模擬結果之波高分布及波向向量示意圖，圖中波浪條件為 $H_{1/3} = 4.07\text{m}$ ， $T_{1/3} = 10.7\text{sec}$ ， $D = 35.4^\circ$ ，模擬結果顯示基隆港港口附近波浪明顯受到外海海底淺灘地形及港口防波堤影響。

此外，在波浪場模擬精度提升方面，本年度已針對模式模擬過程提升 y 軸方向數值計算網格精度一倍，以期增加模式波浪場模擬之精度。

5.1.3 港域波浪場模擬

本計畫基隆港港域波浪場模擬主要針對不同波向及波浪週期之波浪進行波高變化數值模擬。港域波浪模擬輸入條件包括波浪資料，網格資料(節點座標、水深資料、節點代碼、元素節點連結資料等)以及邊界條件(如邊界節點之法線角度、反射係數等)。

本計畫基隆港港域波浪模式之邊界包括自然海岸線、防波堤、碼

頭區及其他非碼頭區邊界等，由於邊界反射係數大小不僅與其構造有關，且與波浪週期關係密切，因此如何決定模式邊界反射係數大小在實際操作上相當困難。除了針對特定波浪條件進行模擬與驗證外，本計畫基於簡化考量，假設邊界反射係數為定值，且不受波浪週期影響而改變。目前基隆港港埠碼頭設施大多為直立壁，其反射率通常接近全反射，因此本計畫假設其反射係為 1.0；港口外防波堤及港內防波堤構造多為直立堤及消波塊，其反射率約介於 0.6~0.8 之間，本計畫對於外防波堤假設其反射係為 0.8，內防波堤反射係為 0.65；至於港內非碼頭區之其他邊界，則假設其反射係為 0.75，如圖 5.7 所示。

本年度基隆港港域波浪模擬條件如下：入射波浪波向(來向)選取 NE、NNE、N、NNW 及 NW 等波向，波浪週期模擬範圍為 4~17 sec，其中 13~17 sec 間隔為 0.5 sec，其餘週期間隔為 0.1 sec。上述波浪條件模擬結果已移交給港研中心建置成港域波浪資料庫，以備不時之需。圖 5.8 所示為基隆港港域波浪模擬結果之波高分布情形。



圖 5.1 基隆港東防波堤延伸工程施工現況



圖 5.2 基隆港西 18、19 貨櫃碼頭延建工程完工後現況

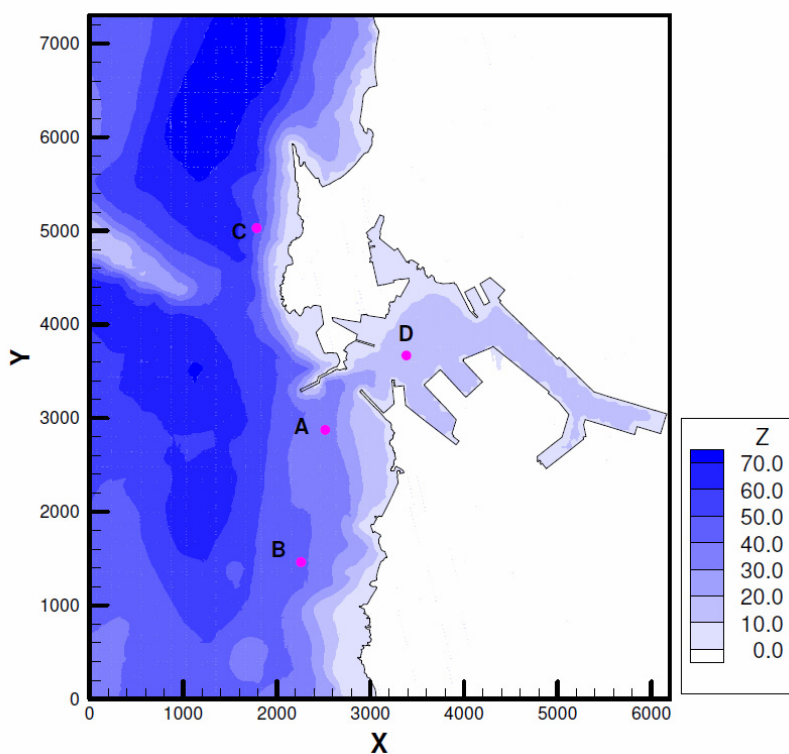


圖 5.3 基隆港港區近岸波浪模式數值計算網格及地形水深分布圖
(點位 A~D 為模式模擬結果之輸出點位)

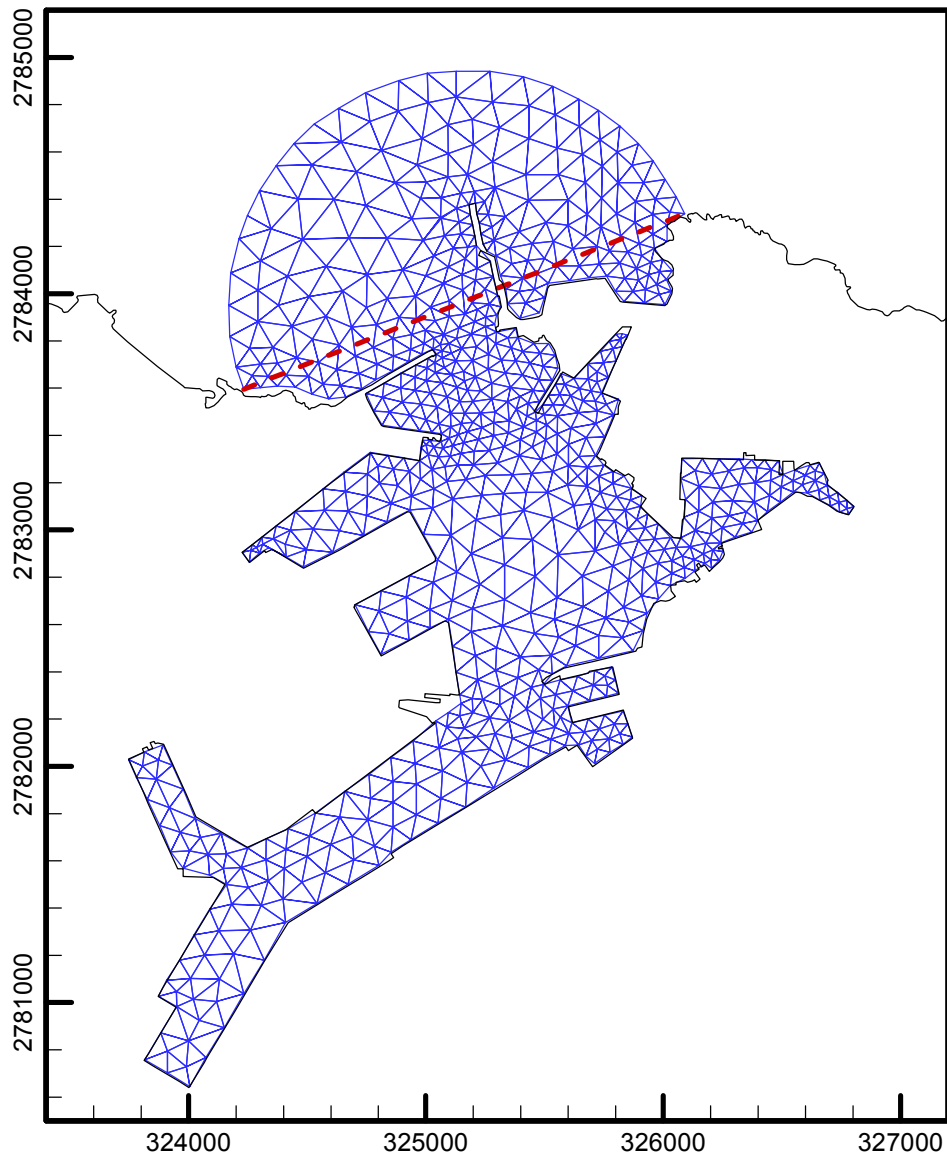


圖 5.4 基隆港東防波堤延伸工程及西 18、19 號貨櫃碼頭延建工程施
工後之港池形狀及其粗網格分布圖

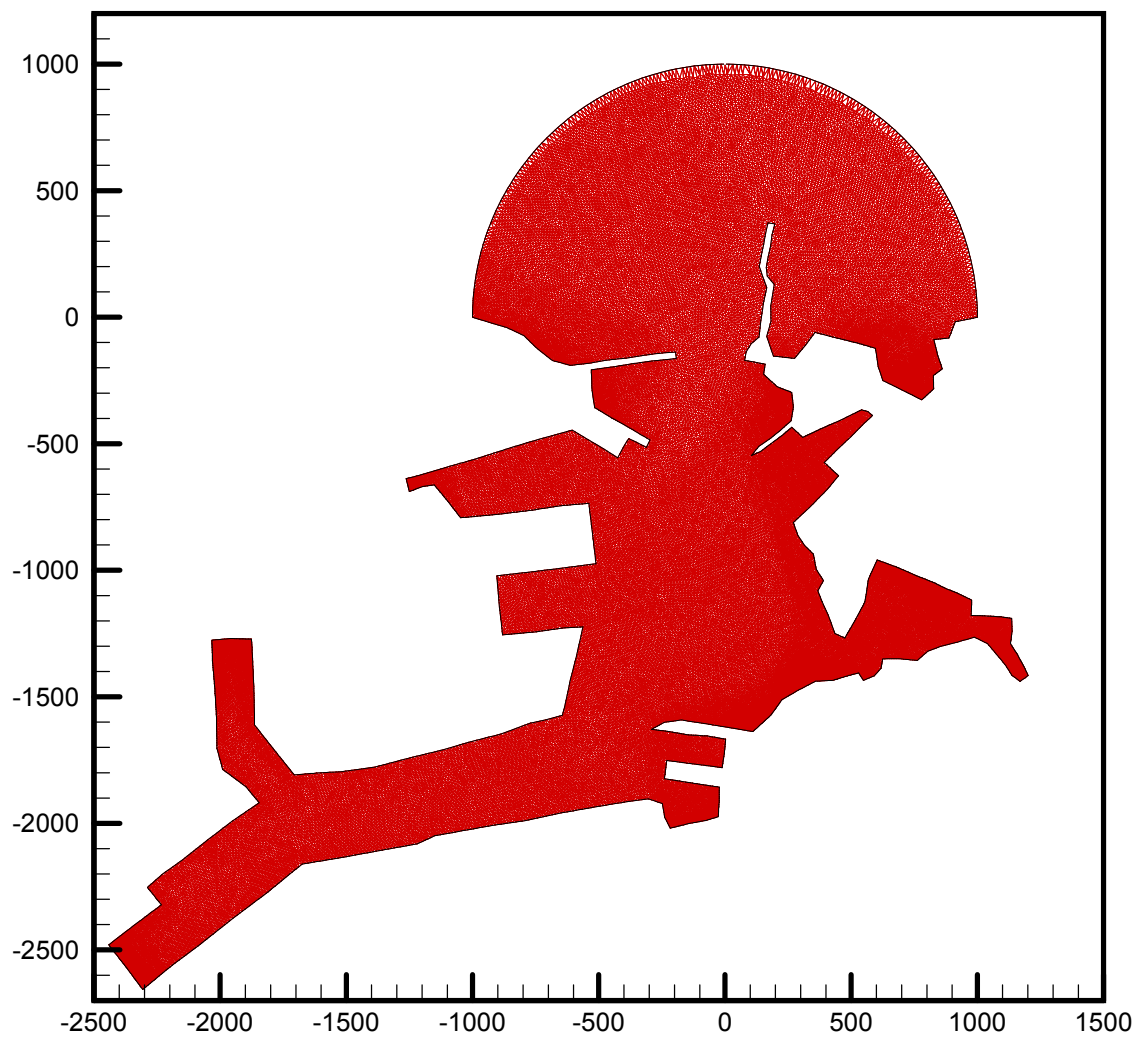


圖 5.5 基隆港港域波浪場數值模擬之細網格分布圖(共 38,554 個節點及 74,850 元素)

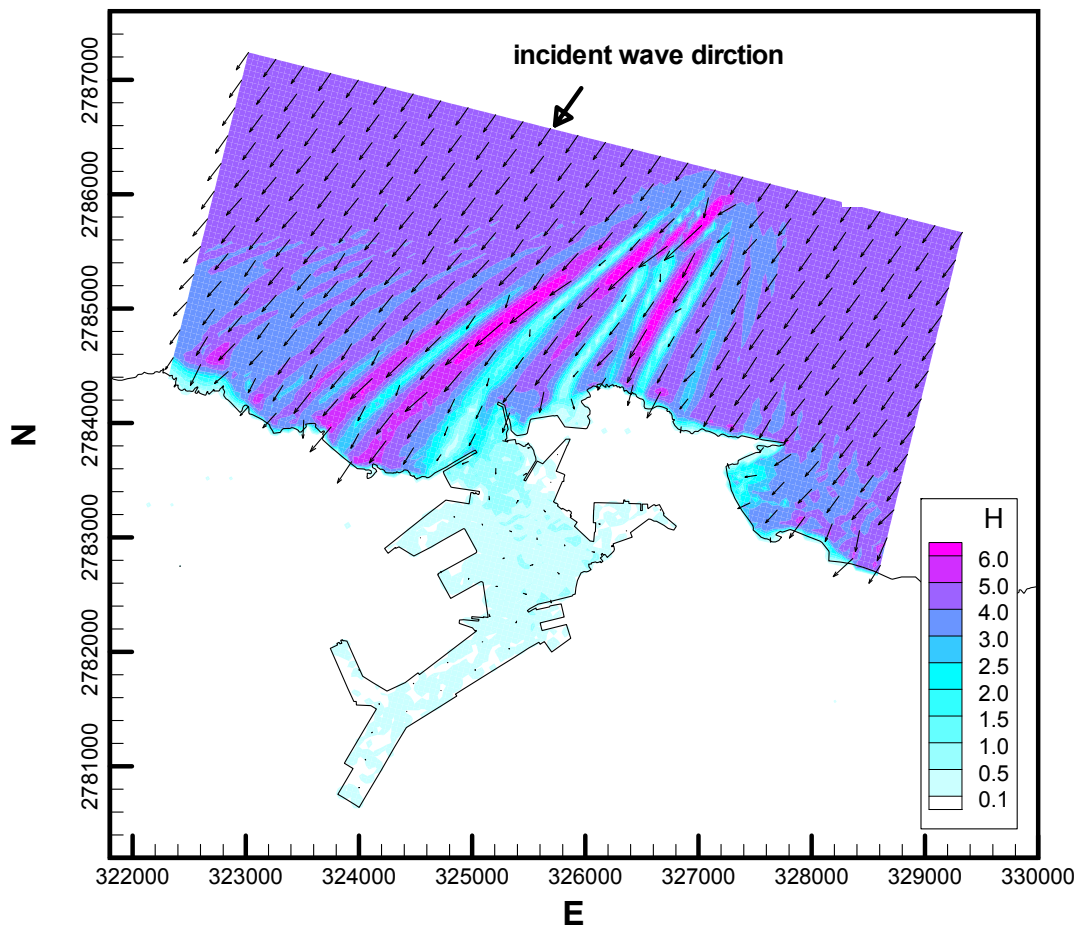


圖 5.6 基隆港近岸波浪場模擬結果之波高分布與波向向量平面圖(波浪條件： $H_{1/3} = 4.07\text{m}$ ， $T_{1/3} = 10.7\text{sec}$ ， $D = 35.4^\circ$)

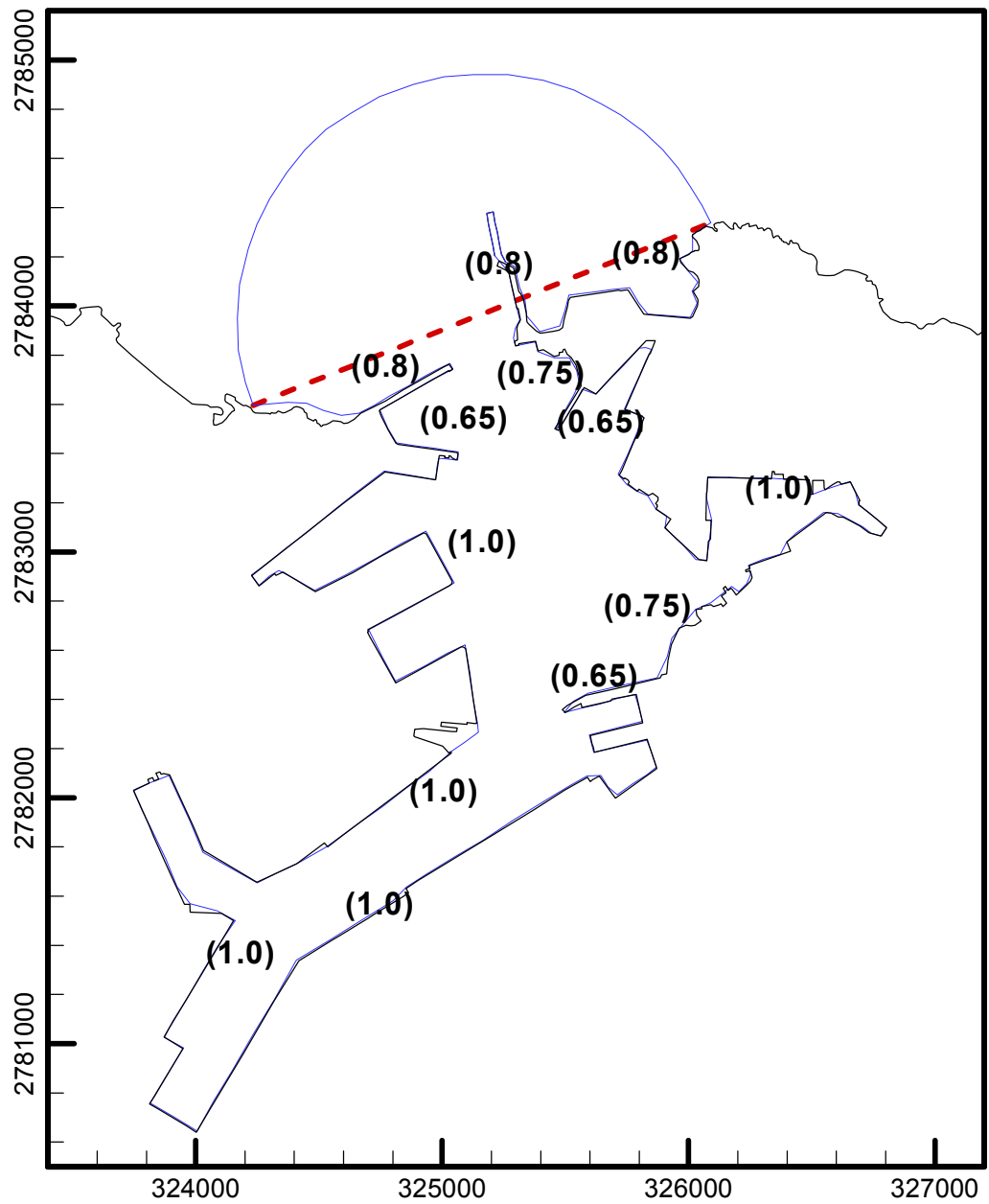


圖 5.7 基隆港港域波浪模式之港池邊界反射係數假設值示意圖

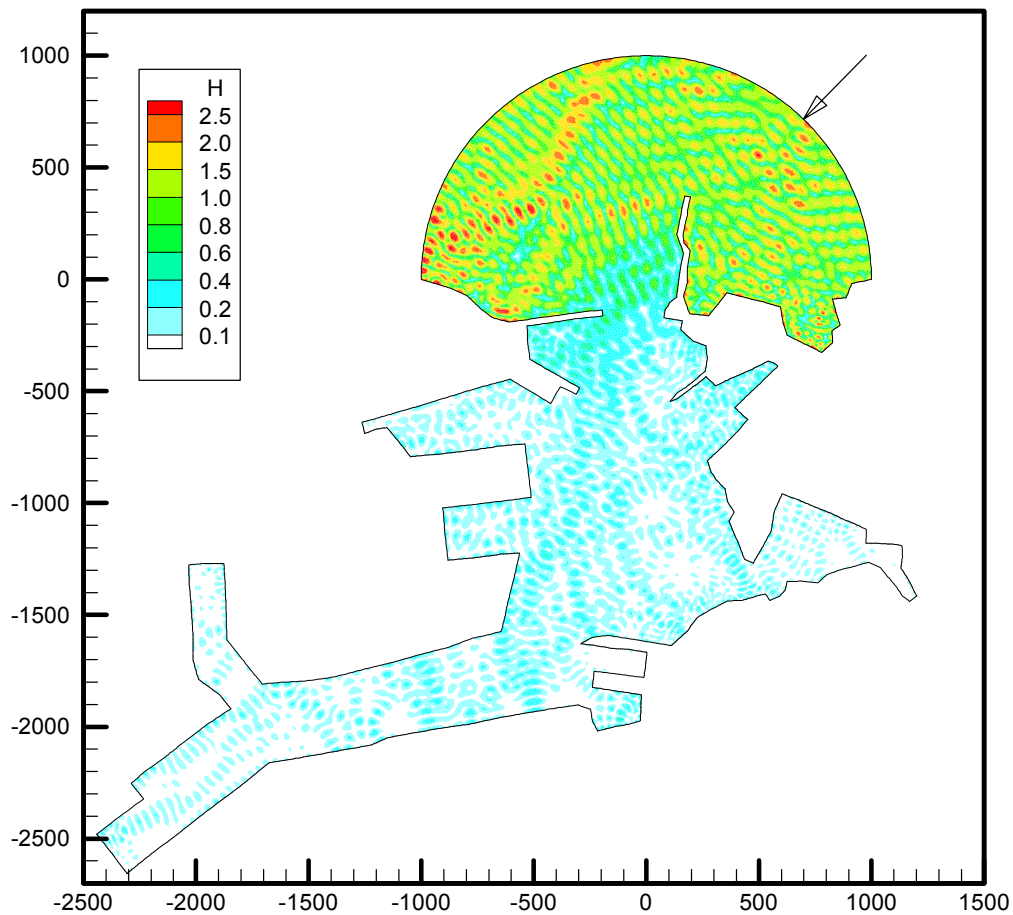


圖 5.8 基隆港港域波浪模擬結果之波高分布情形
(波向 NNE、波浪週期 8 秒)

5.2 臺北港港區風浪模擬預警子系統

目前 TaiCOMS 系統下小尺度臺北港港區近岸波浪模式(如圖 5.9 所示)及細尺度港域波浪模式(如圖 5.10 所示)均為 97 年度建置的，由於臺北港仍持續擴建中，因此北外堤外廓形狀已有重大改變，如圖 5.11 所示。本年度首要工作為針對現有臺北港港區近岸波浪模式及港域波浪模式進行模式修正，內容包括數值計算網格、相關參數之率定及模擬作業系統更新等工作。

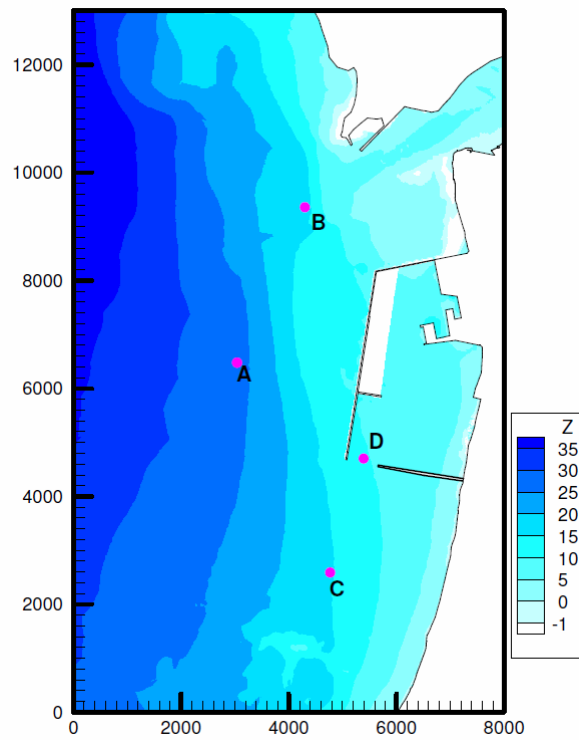


圖 5.9 TaiCOMS 系統下小尺度臺北港港區近岸波浪模式模擬範圍及地形水深分布圖

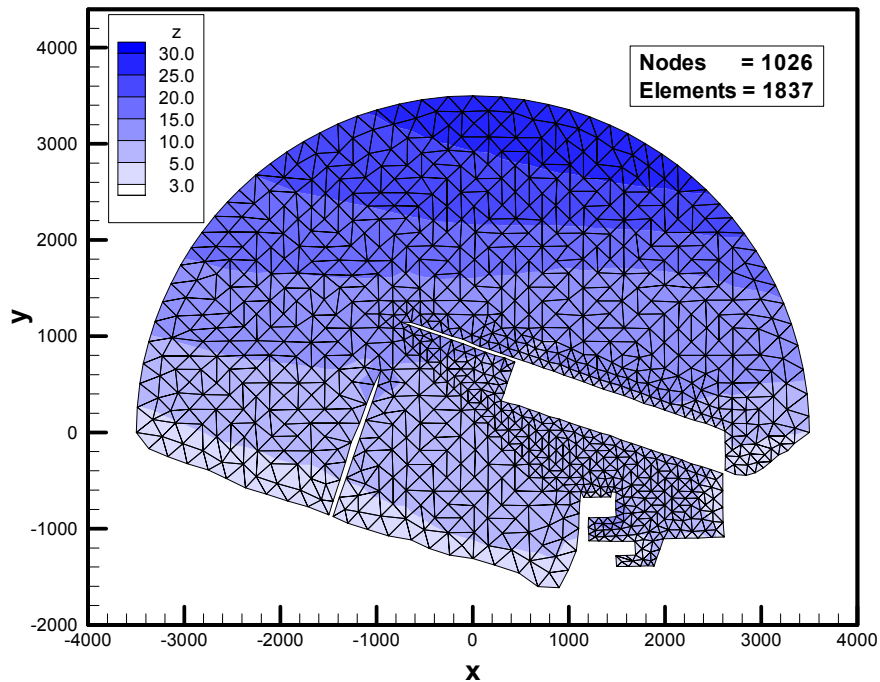


圖 5.10 TaiCOMS 系統下細尺度臺北港港域非結構三角元素粗網格及水深分布圖



圖 5.11 臺北港港池外廓(拍攝日期 2009/07/05)

5.2.1 數值計算網格之修正

本計畫依據 97 年度臺北港港區近岸波浪模式之模擬範圍，如圖 5.12 所示，選取相同之模擬範圍，即圖中所示 8km×13km 之矩形範圍。配合本計畫蒐集 99 年 10 月臺北港港區水深調查資料，如圖 5.13 所示，更新近岸波浪模式之數值計算網格水深資料，如圖 5.14 所示。圖中數值計算網格間距($\Delta x = \Delta y$)為 10m，網格點數為 801×1301，x 軸與二度分帶座標 x 軸夾角為-55.0°。於圖 5.14 中點位 A、B、C、D 為波浪模擬結果輸出之點位，其中點位 A 代表臺北港目前波浪觀測之位置，顯示該觀測點位離臺北港外廓最短距離約 1.2km。

臺北港港域波浪模式之模擬範圍則因北外堤外廓形狀已變，導致 97 年度所建置之模擬範圍已無法滿足，而必須重新研擬模式模擬範圍大小。基於臺北港仍持續擴建中，對於臺北港港域波浪模式之模擬範圍之修正擬待臺北港擴建告一段落再進行。

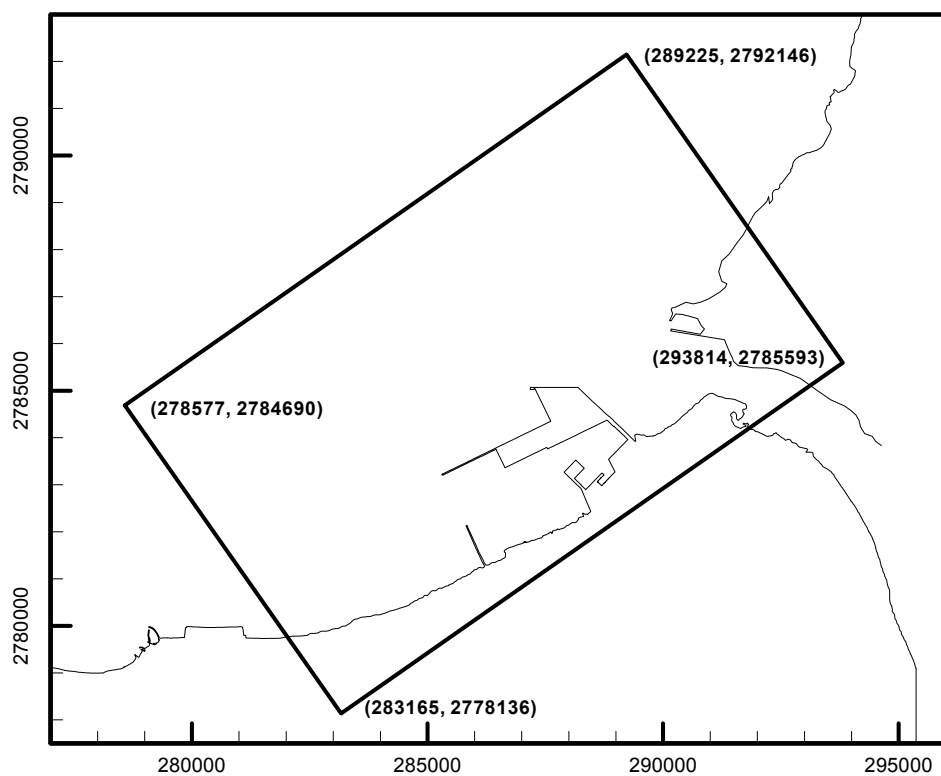


圖 5.12 臺北港港區近岸波浪模式模擬範圍圖

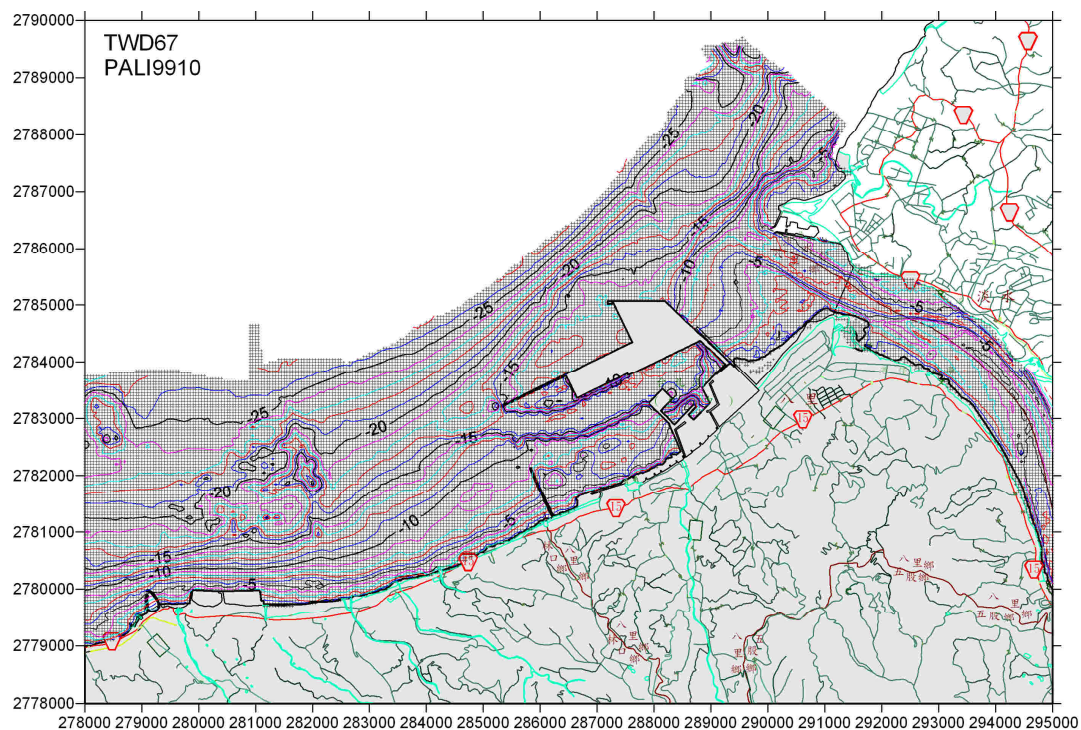


圖 5.13 臺北港 99 年度水深地形量測結果之水深分佈圖

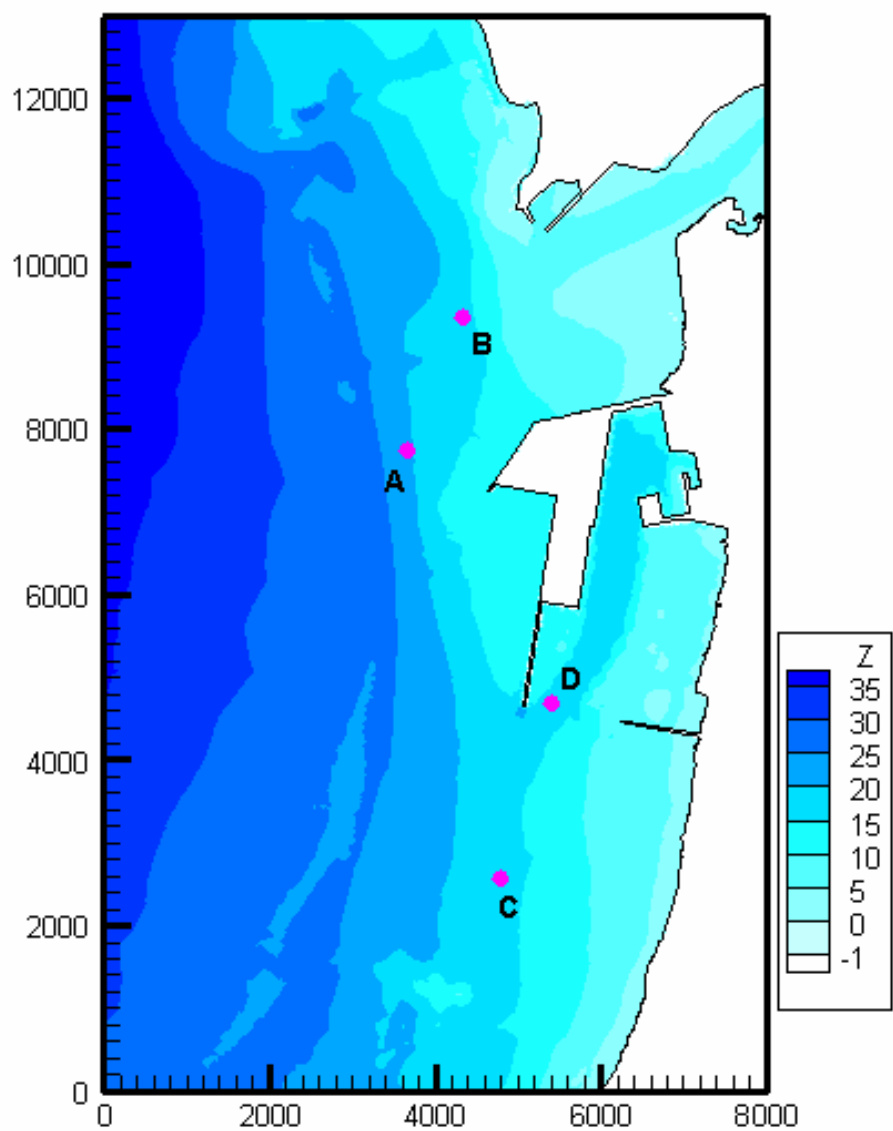


圖 5.14 本年度臺北港近岸港區波浪模式修正之數值計算網格及地形水深分布圖

5.2.2 港區近岸波浪場模擬

如前述，本計畫臺北港港區近岸波浪模式輸入條件主要為波浪週期、波高及波向等波浪條件，波浪模擬條件來源主要有二分別為 TaiCOMS 作業化中尺度臺灣海域波浪模式(SWAN)之模擬結果(臺北港代表波浪之輸出資料)以及臺北港外海觀測樁之波浪觀測資料。前者為本計畫臺北港港區風浪模擬預警子系統作業化部份，屬於每日 72 小時作業化模擬預報工作，目前關於港區近岸波浪模擬作業化流程已由港研究中心完成建置並進行測試；後者為配合臺北港外海觀測樁每小時波浪觀測資料而執行之波浪場模擬，此部份作業化模擬流程尚待建置。

1. 模式波浪模擬條件之校正

由於臺北港外海波浪觀測位置(圖 5.14 之點位 A)位於本研究臺北港港區近岸波浪場模擬範圍之內部，距離模式波浪條件之輸入邊界(圖 5.14 之座標軸 $x=0$ 邊界)有相當之距離。因此考量外海波浪由模式邊界($x=0$)向岸傳播至波浪觀測位置時，波浪之波高及波向受到海域地形水深變化之影響而產生折射及受底床影響導致波浪發生能量損失而與模式邊界上波浪條件出現差異。有鑑於此，本計畫如利用臺北港波浪觀測資料進行臺北港波浪場模擬時，必須先針對波浪觀測資料與模式邊界波浪輸入條件間建立其關連性，藉以校正模式實際輸入之波浪模擬條件。

為建立波浪觀測資料與模式邊界輸入波浪條件間之關係式，本計畫以冬季波浪觀測資料選取波浪週期大於 3 秒且波向(來向)介於 WSW~NNE 間之波浪觀測資料為模式模擬之邊界條件進行波浪場模擬，再依據觀測點(A)波浪模擬結果(波高、波向)與波浪觀測資料進行比較。圖 5.15 所示為觀測點位 A 波高觀測值與模式波高模擬結果之對應關係，顯示在觀測點位上模式波高模擬值略小於波高觀測值，其原因主要為本文模式有考慮波浪傳播過程受底床摩擦所造成的波能損失，且波高愈大波能損失愈大，以及外海波浪傳播至觀測點之過程中

波浪淺化效應不顯著。有鑑此，本研究臺北港近岸波浪場模擬條件之波高值必須考量波浪能量損失(即模式輸入之波高值須大於波高觀測值)，才能降低觀測點位上的波高模擬結果與觀測值間之誤差。此外，圖 5.16 所示為觀測點位 A 在波向上模式模擬值與波向觀測值之比較結果，模式模擬結果顯示受到地形水深變化之影響，外海波浪傳播到觀測點時，波向都會產生些微變化；當波浪入射角度(指模式網格座標定義之角度)愈大時，觀測點位之波向與模式外海邊界波向之偏差會愈大，如圖中波向介於 N 至 NE 方向之模擬結果。

由上述模擬結果得知，如圖 5.15 及圖 5.16 所示，在波浪觀測點位上不論波高或波向本文模式模擬值與觀測值間均具有高度一致性之特性；因此本計畫以線性回歸方式處理上述模式模擬值與觀測值間之關係，分別得到波高模式模擬值與觀測值間及波向模式模擬值與觀測值間之線性回歸關係式，如圖 5.15 及圖 5.16 所示之虛線，且此二線性回歸關係式之相關係數(R-squared)分別為 0.995 及 0.987。因此本計畫乃依據上述線性回歸關係式修正臺北港近岸波浪場模擬之外海波浪條件。

2. 模式波浪模擬結果之驗證

本計畫以校正後之波浪條件重新模擬臺北港近岸波浪場，並依據模式模擬結果輸出觀測點位 A 之波高值與波高觀測值比較，如圖 5.17 所示，結果顯示觀測點位之波高模擬結果與觀測值間已趨於一致。因此証明上述波浪模擬條件之校正關係式可作為為本計畫臺北港港區近岸波浪場模擬條件校正之依據。

圖 5.18 所示為本計畫針對 2011 年強烈颱風桑達侵臺期間(發布海上颱風警報)利用臺北港波浪觀測資料逐時模擬臺北港波浪場之結果與波高觀測值之比較，顯示觀測點位上波高模擬結果與觀測值相當接近，僅少部份時段波高模擬結果出現較大誤差。針對模擬結果與觀測值誤差較大部份，本計畫進一步分析模式模擬之波浪條件，研判多發生於觀測值之波浪平均週期偏小之情況，並繪出模式模擬結果如圖 5.19

所示。圖 5.19 所示為波浪觀測值波高為 3.52m 且週期為 3.9sec 之情況下，本文模式模擬結果之波高分布及波向變化情形，結果顯示波浪由外海邊界向岸傳播過程，波高呈現顯著遞減之現象，導致觀測點位上波高模擬結果明顯偏小；此一波高顯著減衰變化趨勢與其他波浪條件模擬結果不一致的原因，仍有待進一步探討。

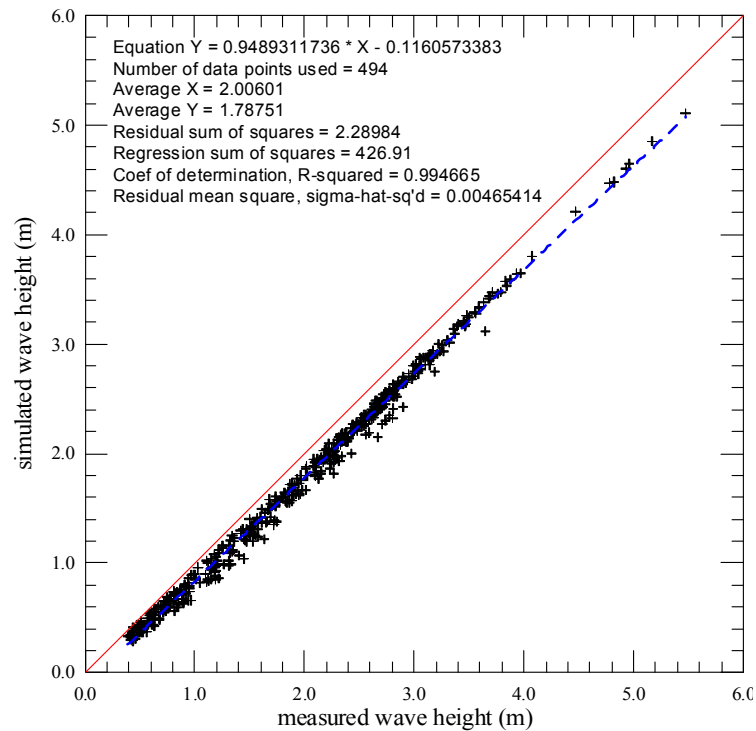


圖 5.15 臺北港觀測點位波高觀測值(橫座標)與模式波高模擬結果(縱座標)之比較

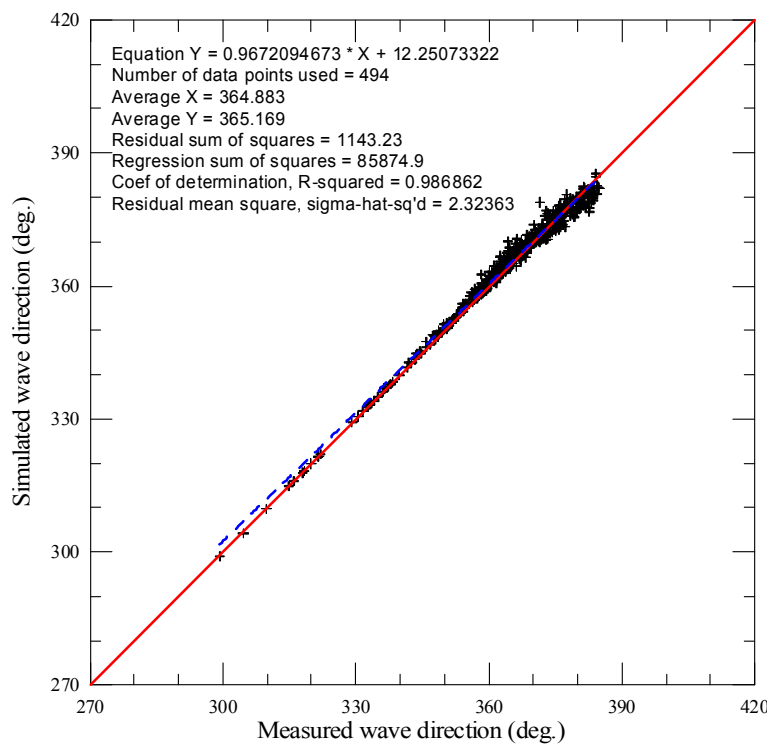


圖 5.16 臺北港觀測點位波向觀測值(橫座標)與模式波向模擬結果(縱座標)之比較

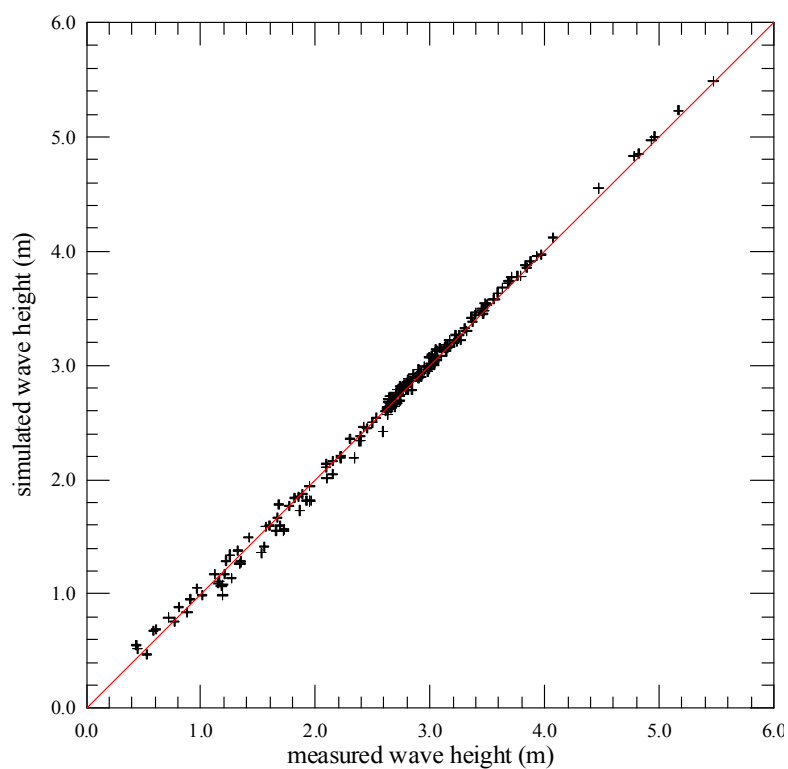


圖 5.17 臺北港觀測點位波高觀測值(橫座標)與模式校正後波高模擬結果(縱座標)之比較

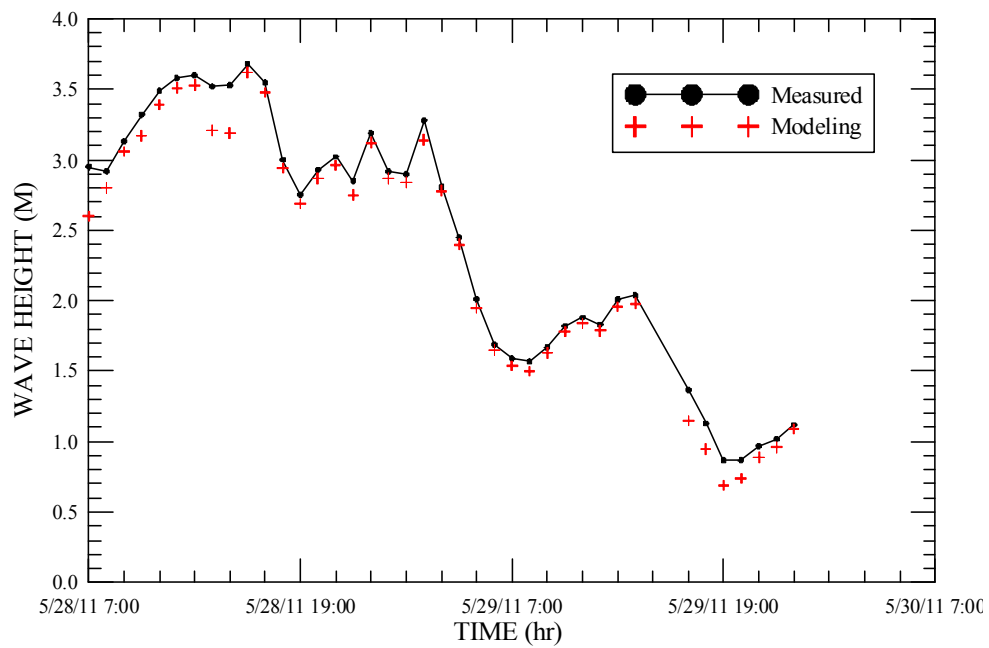


圖 5.18 臺北 2011 年強烈颱風桑達侵臺期間臺北港近岸波浪場波高模擬值與觀測值之比較

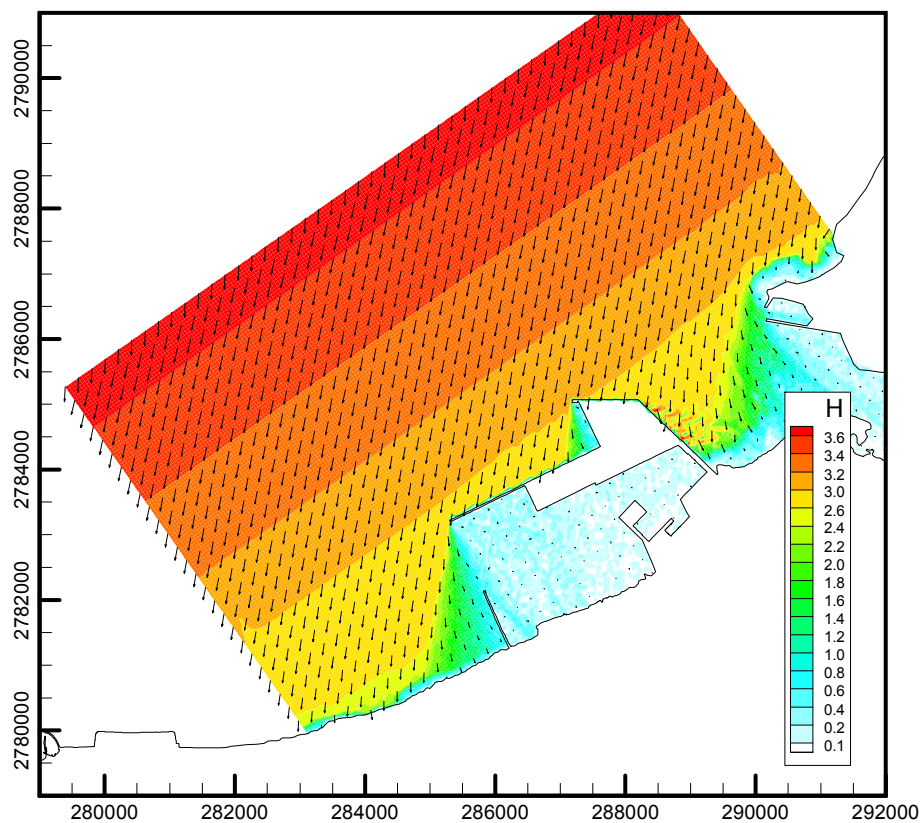


圖 5.19 臺北港近岸波浪場模擬結果(波浪觀測資料： $H_s=3.52\text{m}$ 、 $T_m=3.9\text{sec}$ 、 $D_m=3^\circ$)

第六章 波浪預報作業化評估

本計畫基隆港區及臺北港區風場、波浪預報作業化成果評估主要依據目前 TaiCOMS 每日波浪預報作業化成果部份進行。本章節除了針對本年度侵臺颱風期間風浪模擬成果提出討論外，亦針對長期風場及波浪模擬結果以冬季季風(2010 年 12 月至 2011 年 1 月)與夏季季風(2011 年 7、8 月)為例進行分析。

6.1 2011 年颱風波浪模擬與評估

本年度中央氣象局發布颱風警報之颱風分別為輕度颱風艾利(5 月)、強烈颱風桑達(5 月)、輕度颱風米雷(6 月)、中度颱風梅花(8 月)、強烈颱風南瑪都(8 月)等五個。在上述五個颱風事件中僅強烈颱風南瑪都屬於侵臺之颱風，其餘四個颱風均從台灣東部海面往北過境台灣海域屬於未登臺之颱風，由中央氣象局發布之各颱風侵臺路徑圖分別如圖 6.1 至圖 6.5 所示(資料來源：中央氣象局網站)。

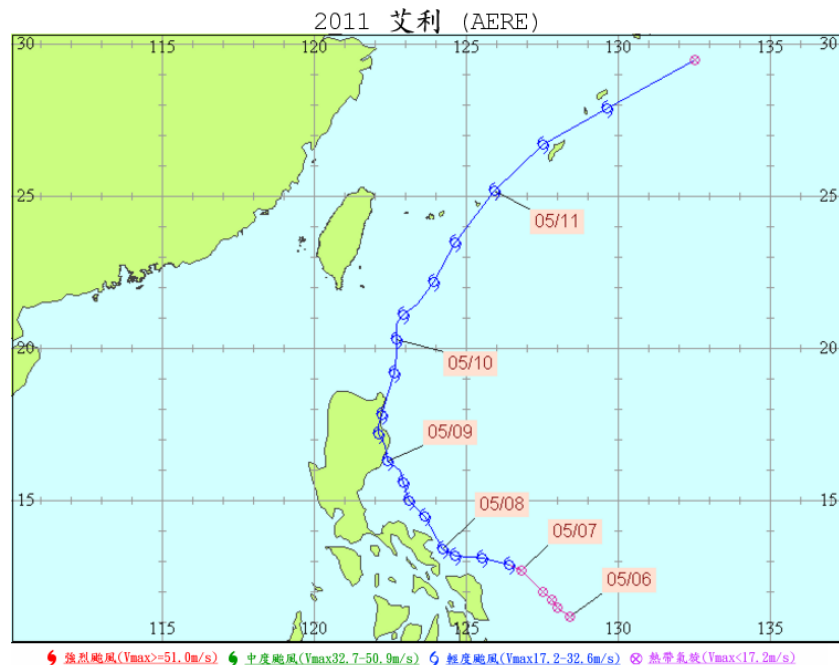


圖 6.1 艾利(AERE) 颱風相關資料與路徑圖

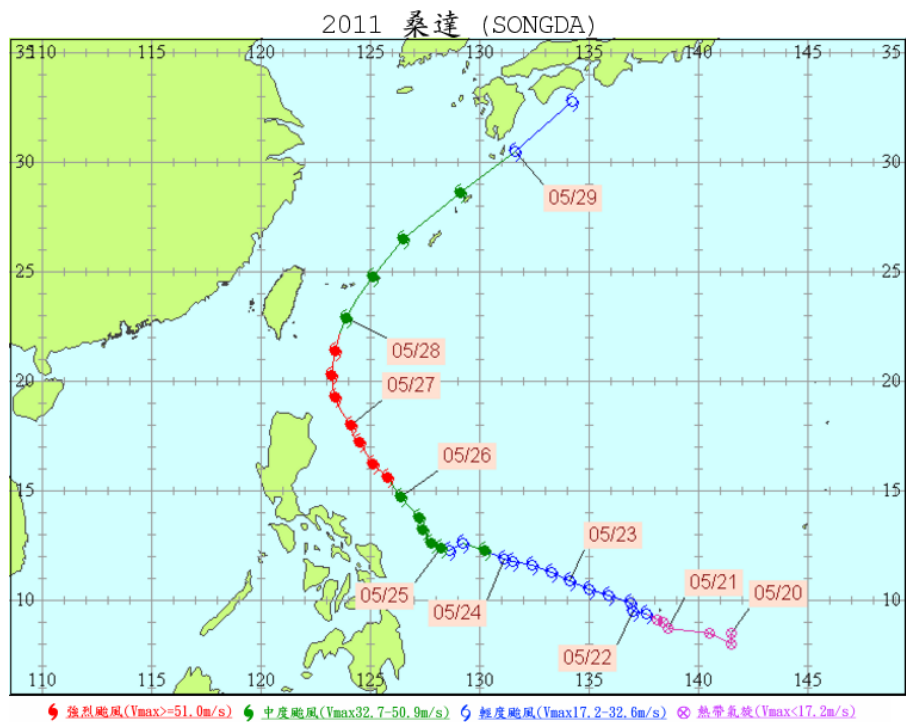


圖 6.2 桑達(SONGDA) 颱風相關資料與路徑圖

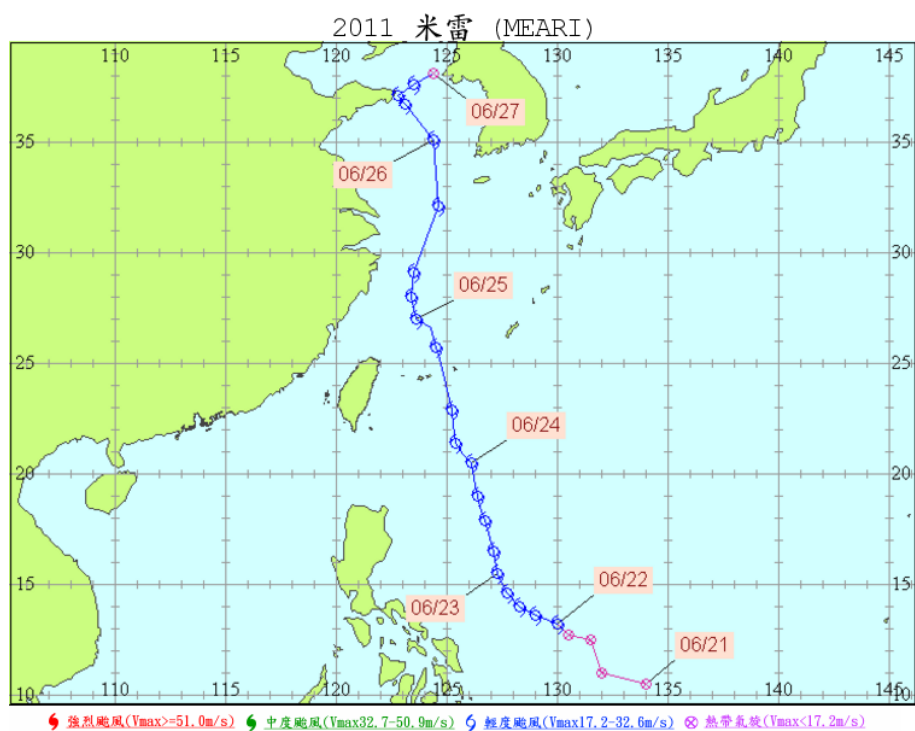


圖 6.3 米雷(MEARI) 颱風相關資料與路徑圖

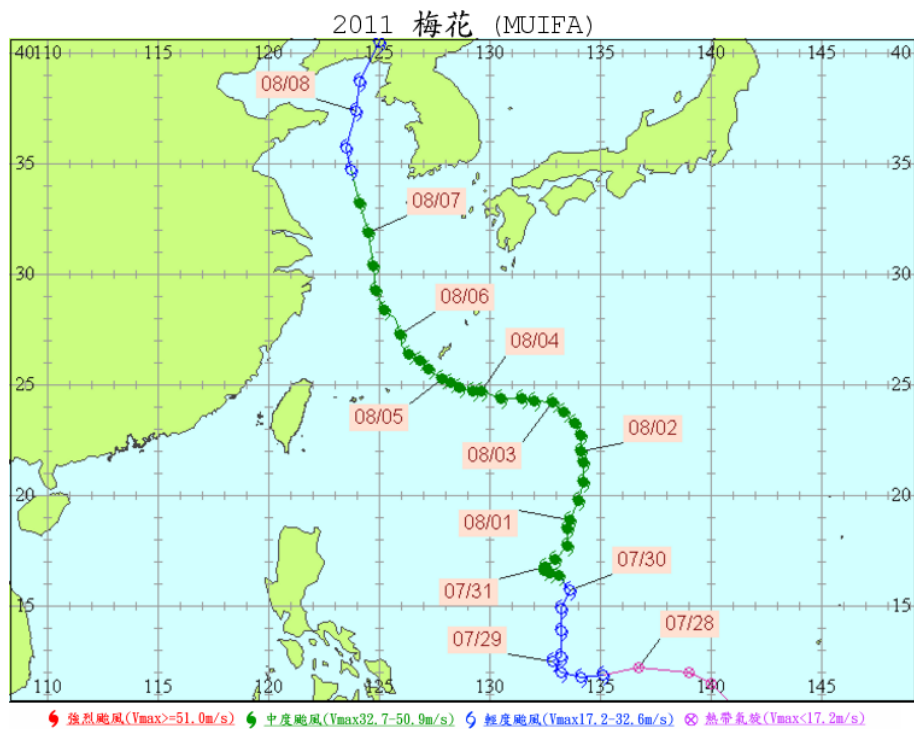


圖 6.4 梅花(MUIFA) 颱風相關資料與路徑圖

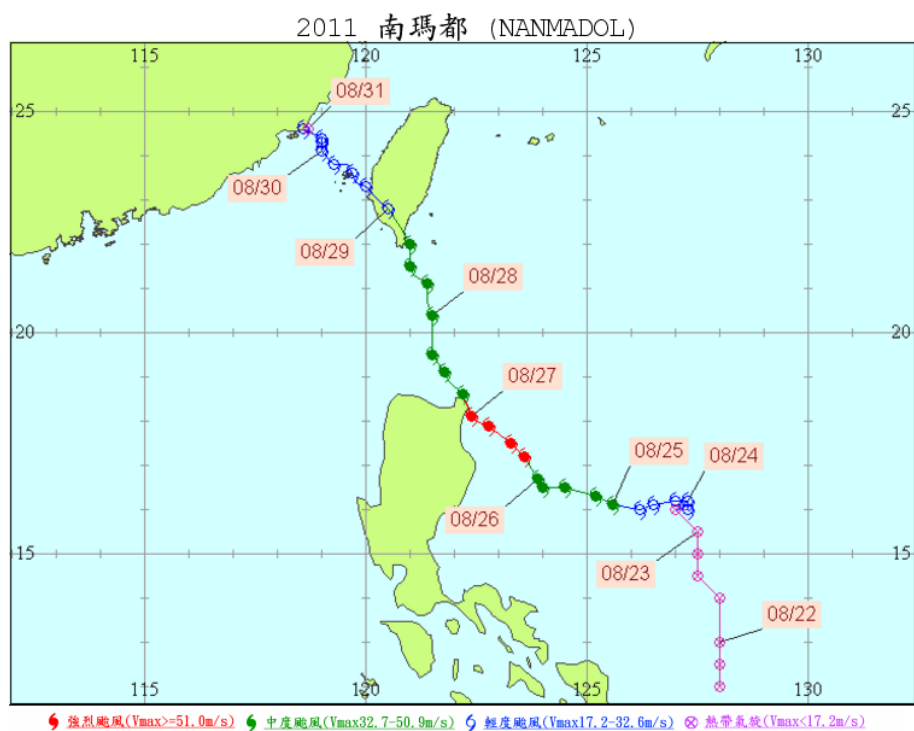


圖 6.5 南瑪都(NANMADOL)颱風相關資料與路徑圖

6.1.1 颱風期間數值風場檢核

對風浪模式而言，影響模式計算結果主要因素之一為輸入模式之風場資訊。本計畫 TaiCOMS 風浪預報作業化模擬則依據中央氣象局提供之大氣模式預報風場為模式之輸入條件，因此在評估風浪預報作業化成果之同時，須就 TaiCOMS 風浪預報作業化輸入之風場特性進行瞭解與評估。

目前 TaiCOMS 風場係集合中央氣象局每日發布兩次 72 小時風場及氣壓場預報資料組合成 TaiCOMS 之風場，如圖 6.6 所示，其中前 24 小時為系統進行風浪模式追算之風場，後 48 小時為系統進行風浪模式預報之風場。由於中央氣象局發布之風場及氣壓場預報資料，除第一筆資料屬於追算資料外，其餘均為預報資料。故 TaiCOMS 每日所使用之風場亦僅前一日 8 時及 20 時之資料屬追算資料(如圖中垂直箭頭標示之處)，其餘均屬於預報資料。換言之，TaiCOMS 每日作業化之風場結構，在前一日 7、8 時及 19、20 時兩時段之風場均屬不連續之風場，此一風場不連續性在颱風期間尤其顯著，如圖 6.7 及圖 6.8 所示。

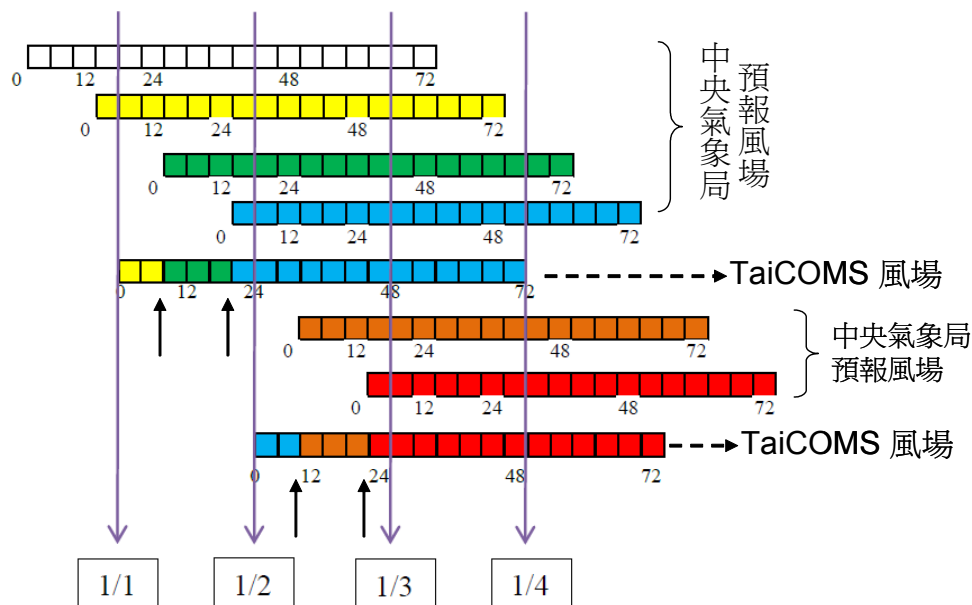
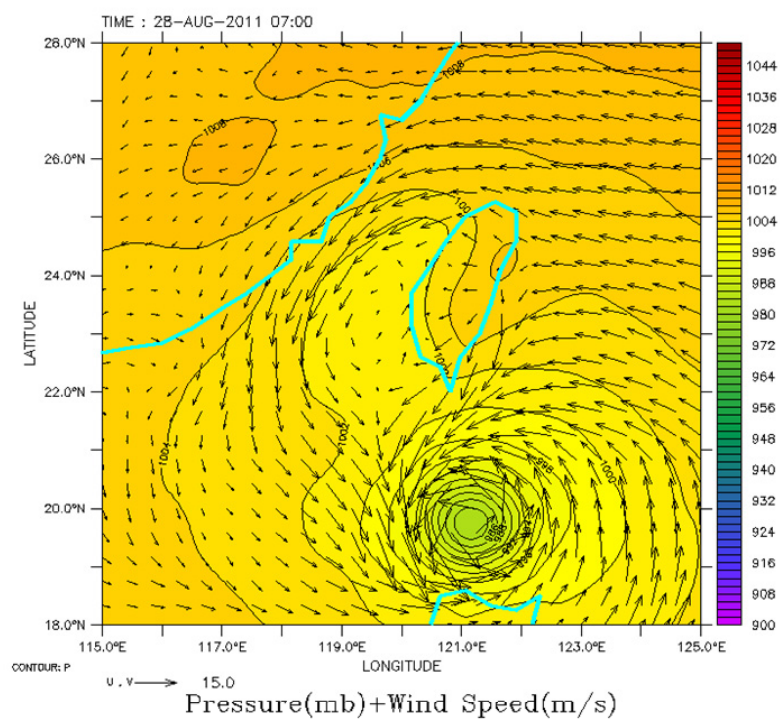
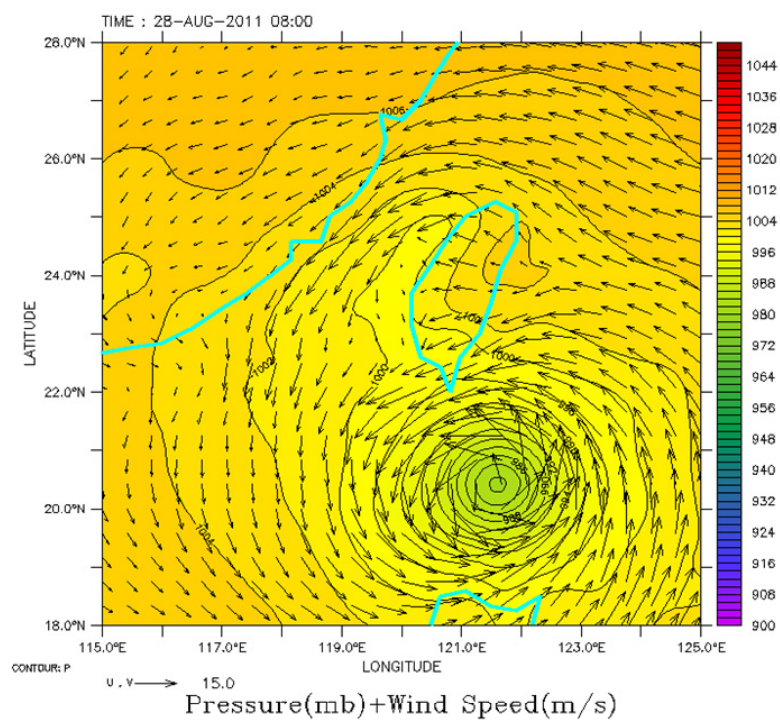


圖 6.6 TaiCOMS 每日作業化 72 小時風場結構組成示意圖

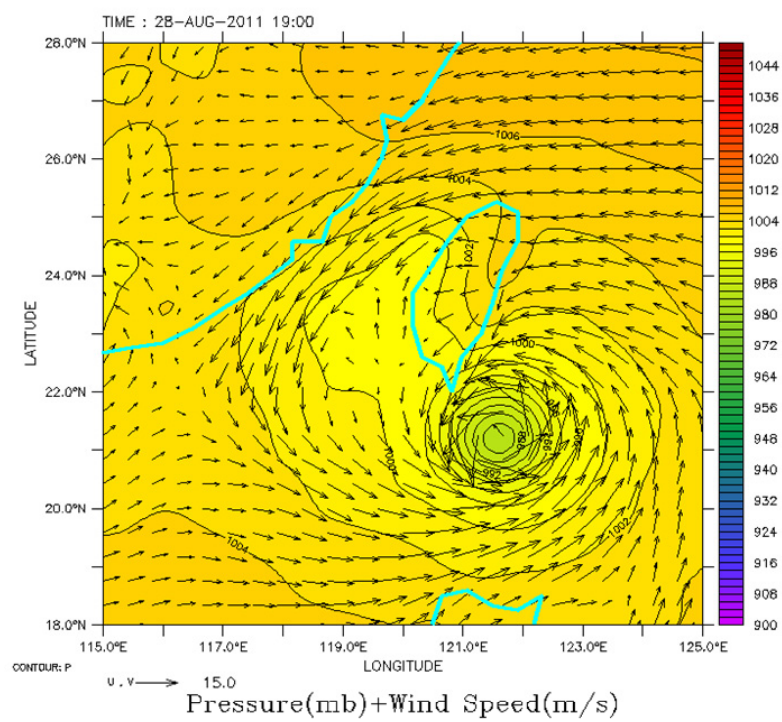


(a)

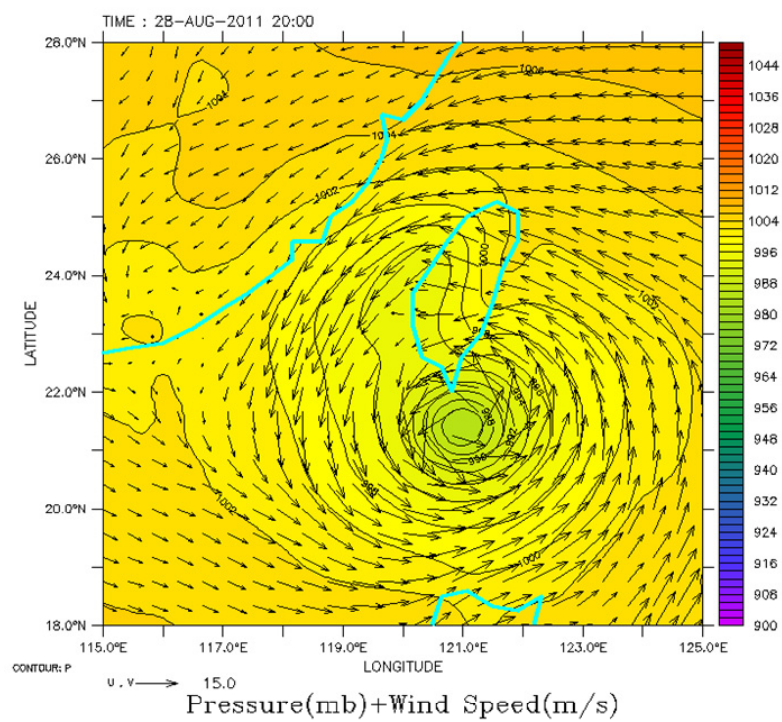


(b)

圖 6.7 TaiCOMS 所採用的 MC 預報風場圖(a) 07H， (b) 08H



(a)



(b)

圖 6.8 TaiCOMS 所採用的 MC 預報風場圖(a) 19H， (b) 20H

依據目前 TaiCOMS 風場資料來源及風場組成結構研判，由於風場組成結構缺乏足夠之追算風場，即每日僅兩組間隔 12 小時之校正風場資料外均屬預測風場，對於提升 TaiCOMS 風浪追算結果精度之要求將造成相當困擾。尤其對於中尺度臺灣海域風浪模式(SWAN)而言，雖然採用解析度較高之 MC 風場資料為模式之輸入條件，但因每日作業化模擬之風浪場模擬時間間距為 3 小時，亦即每日模擬時間為 0、3、6、9...時，因此在作業化模擬過程中均未使用到 8 時及 20 時校正風場，亦即目前 TaiCOMS 中尺度臺灣海域風浪模式(SWAN)每日作業化模擬之追算風場均為前一日之預報風場。

此外，每日 8 時及 20 時整之風浪追算模擬結果可能受到風場不連續之影響而產生波浪模擬結果不連續現象。因此對於風場資料部份仍待港研中心與中央氣象局協商是否可在每日發布之預報風場外，增加前 12 小時之逐時校正風場資料作為未來 TaiCOMS 作業化之追算風場。

6.1.2 颱風波浪模擬評估

本年度(目前)侵臺颱風共有輕度颱風艾利(5 月)、強烈颱風桑達(5 月)、輕度颱風米雷(6 月)、中度颱風梅花(8 月)、強烈颱風南瑪都(8 月)等五個。本章節將針對強烈颱風南瑪都及桑達之風浪預報成果提出討論，其中強烈颱風南瑪都為本年度侵臺且登陸之代表颱風，強烈颱風桑達則為從臺灣東部海域過境颱風之代表。此外，本計畫已於第四章檢討得知目前 TaiCOMS 大尺度西太平洋模式之模擬結果具不正確性，因此，本章風浪預報成果僅就中尺度臺灣周圍海域風浪模式(SWAN)之模擬結果提出說明。

1. 強烈颱風桑達風浪預報成果

強烈颱風桑達侵臺路徑如圖 6.2 所示，本計畫選取其接近臺灣時(5 月 27 日 20:00)之波浪模擬結果進行說明，此時強烈颱風桑達位置約在臺灣東南方海面，圖 6.9 所示為中央氣象局 MC 風速向量及氣壓分布圖，圖 6.10 至圖 6.12 所示分別為中尺度臺灣周圍海域風浪模式(SWAN)推算之示性波高($H_{1/3}$)、平均波向(θ_m)及譜峰週期(T_p)分佈圖。整體而

言，雖然颱風中心位置仍在模式模擬範圍之外，但近颱風中心附近波高最大值分布約在颱風中心之上半部，且波浪譜峰週期分布亦以近颱風中心處較大。(上述波高分布與週期分布特性與第四章本文 WAM 模式模擬結果之趨勢相符)。

圖 6.13 及圖 6.14 所示別為桑達颱風期間基隆港及臺北港之示性波高、平均波向與譜峰週期之實測值、西太平洋風浪模式(WAM)與臺灣周圍海域風浪模式(SWAN)模擬結果之比較。結果顯示本計畫 TaiCOMS 臺灣周圍海域風浪模式針對桑達颱風侵臺期間，基隆港與臺北港颱風波浪模擬結果在示性波高、平均波向與譜峰週期上皆有良好之準確性與一致性。

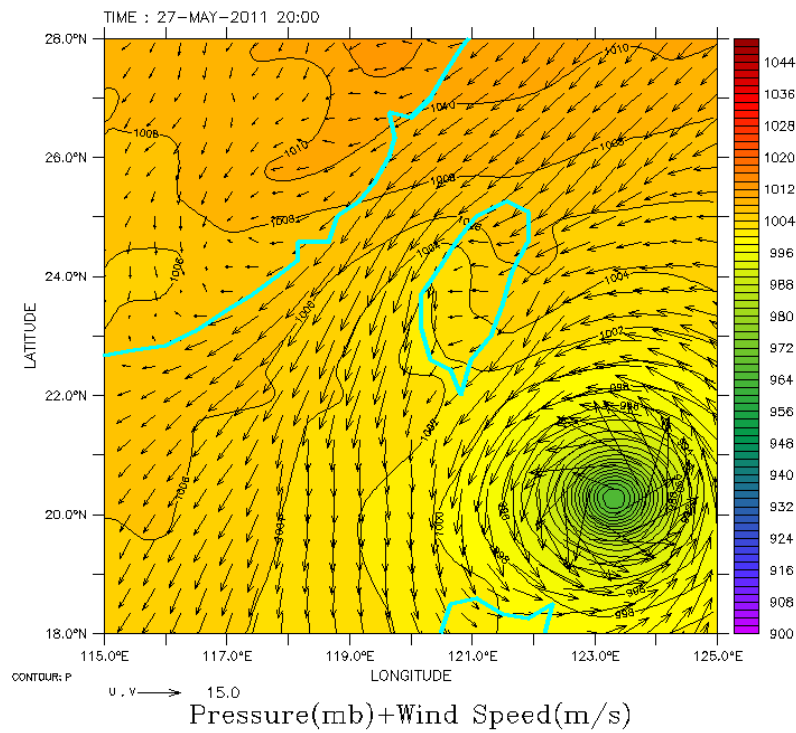


圖 6.9 2011/5/27 20H 桑達颱風 MC 風場分佈及向量圖

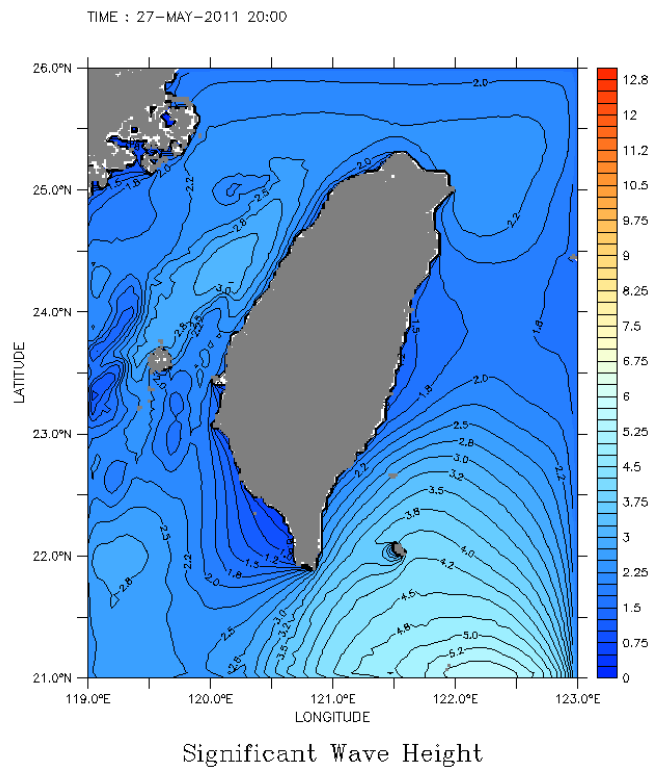


圖 6.10 2011/5/27 20H 桑達颱風 SWAN 推算示性波高分佈圖

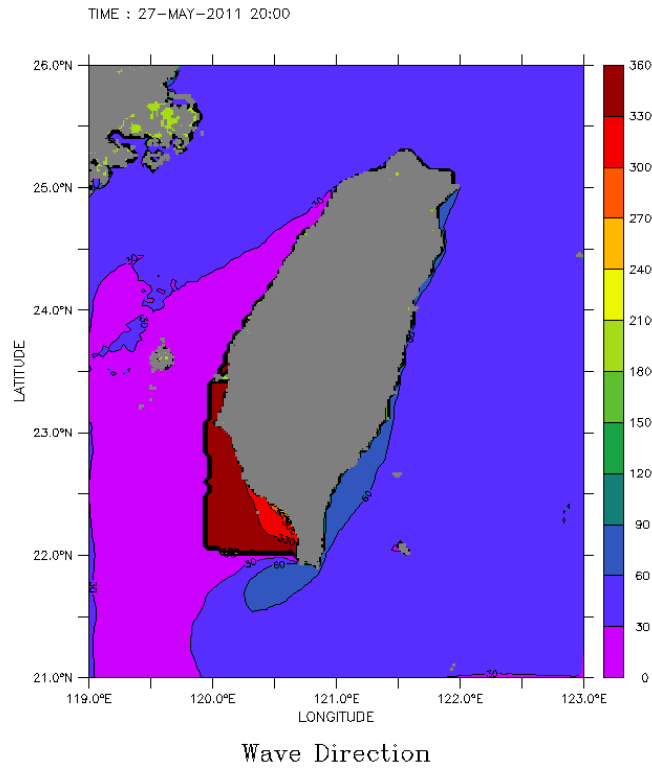


圖 6.11 2011/5/27 20H 桑達颱風 SWAN 推算平均波向分佈圖

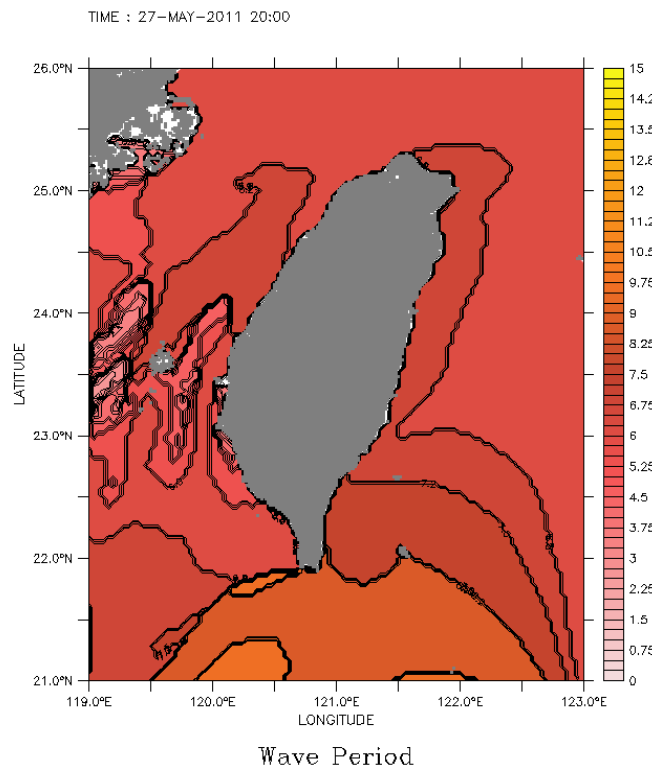


圖 6.12 2011/5/27 20H 桑達颱風 SWAN 推算譜峰週期分佈圖

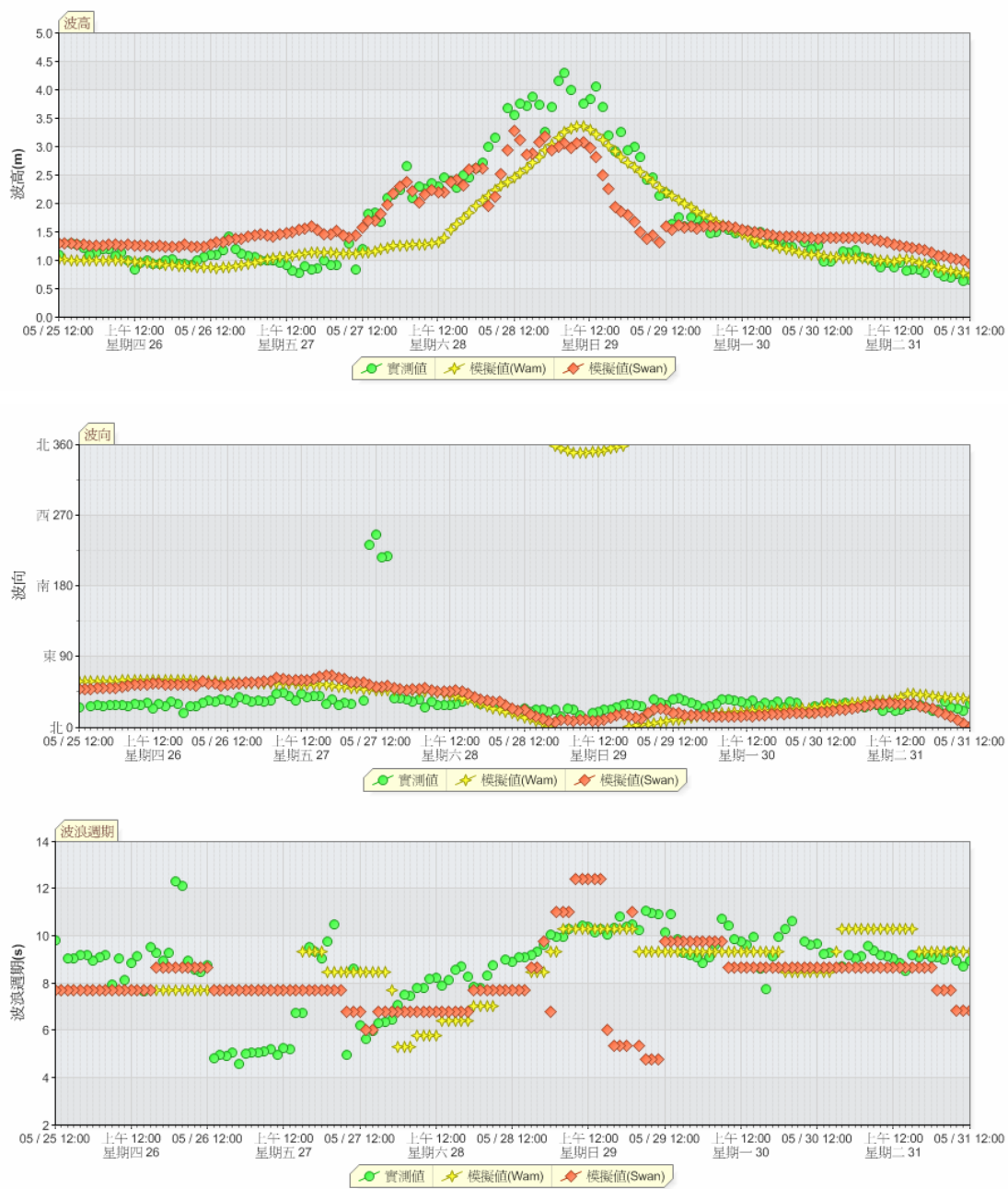


圖 6.13 2011 年桑達颱風期間基隆港之波浪模擬結果

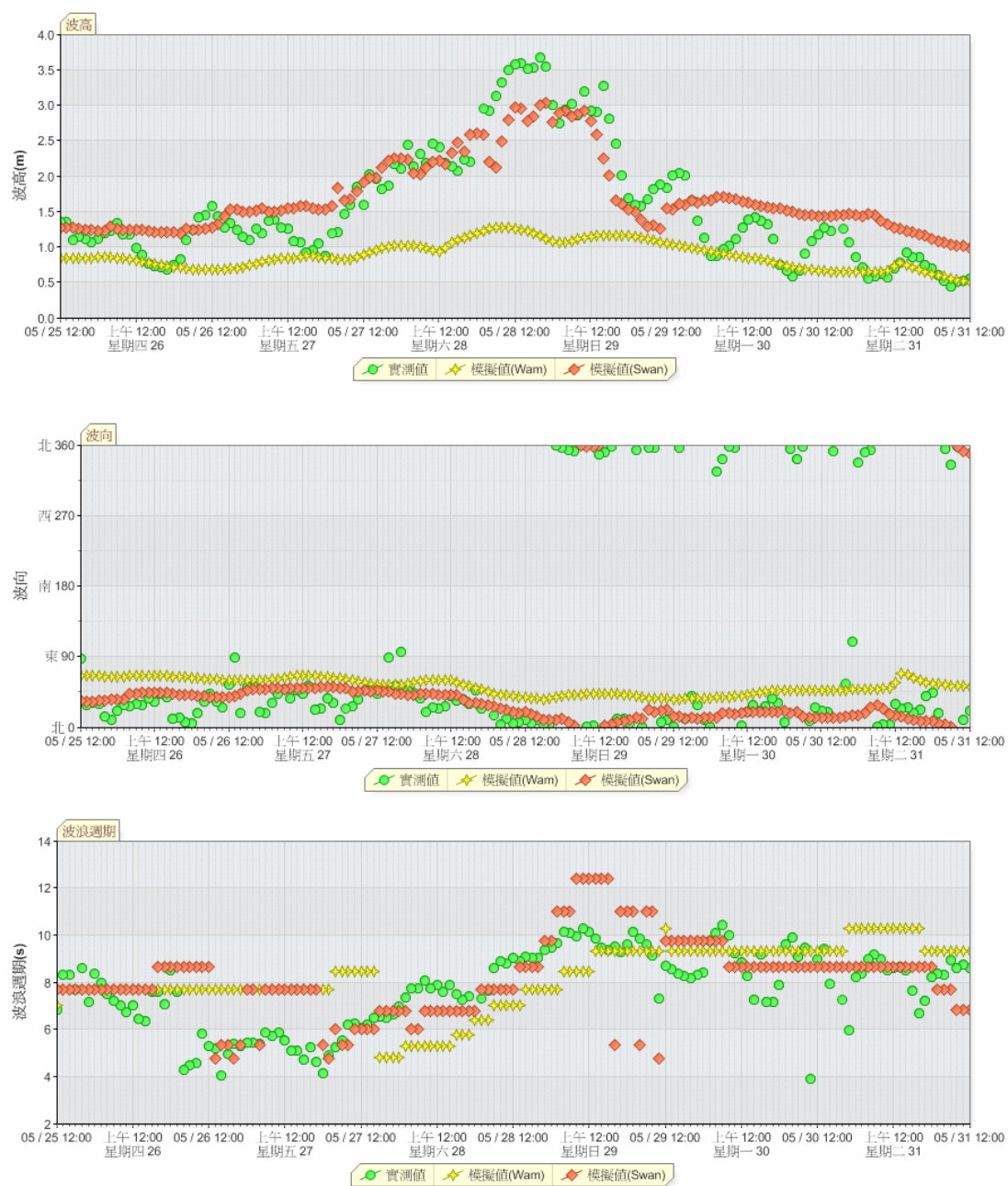


圖 6.14 2011 年桑達颱風期間臺北港之波浪模擬結果

2. 強烈颱風南瑪都風浪預報成果

強烈颱風南瑪都侵臺路徑如圖 6.5 所示，本計畫選取南瑪都登陸臺灣前(8 月 28 日 12:00)之波浪模擬結果進行說明，此時強烈颱風南瑪都位置約在臺灣南端鵝鑾鼻南方海面，如圖 6.15 所示，由圖中 MC 風場之風速向量及氣壓分布得知，此時颱風中心位置仍在中尺度臺灣周圍海域風浪模式範圍之外圍附近。此外，受到颱風南瑪都之影響，臺灣海峽海面風速明顯較鄰近陸地上風速為大。圖 6.16 至圖 6.18 所示分別為中尺度臺灣周圍海域風浪模式(SWAN)推算之示性波高($H_{1/3}$)、平均波向(θ_m)及譜峰週期(T_p)分佈圖。由圖 6.15 模擬結果得知，此時颱風中心位置雖尚未進入中尺度臺灣周圍海域風浪模式範圍內，但模式模擬結果仍可看出波高最大值分布集中出現在颱風中心上半部迎風面之海域。此外，在臺灣海峽波浪最大值分布則在海峽寬度最窄海域附近。

南瑪都颱風期間基隆港與臺北港之波浪實測值與中尺度臺灣周圍海域風浪模式模擬之示性波高、平均波向與譜峰週期之比較，如圖 6.19 與圖 6.20 所示。由圖 6.19 與圖 6.20 得知，於南瑪都颱風期間，基隆港與臺北港之平均波向與譜峰週期之模擬結果與觀測值相當一致，但模式模擬之示性波高有明顯高估現象。究其原因可能與大尺度 WAM 模式模擬結果偏大之影響有關。

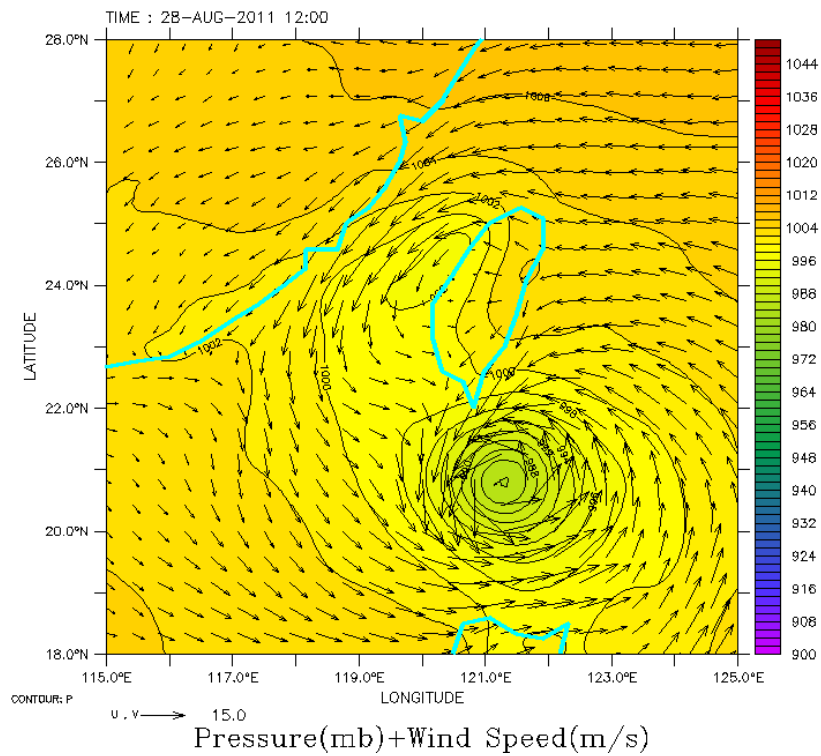


圖 6.15 2011/8/28 12H 南瑪都颱風 MC 風場分佈及向量圖

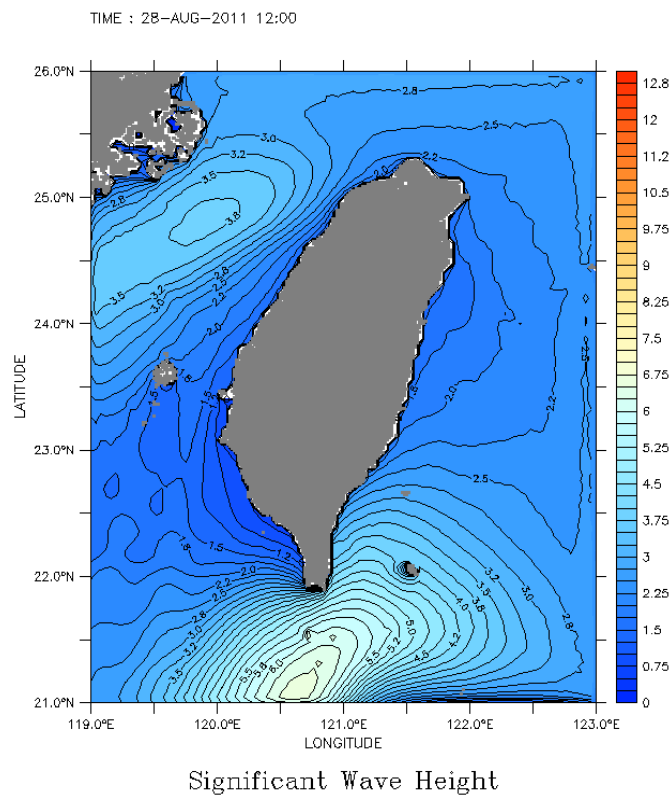


圖 6.16 2011/8/28 12H 南瑪都颱風 SWAN 推算示性波高分佈圖

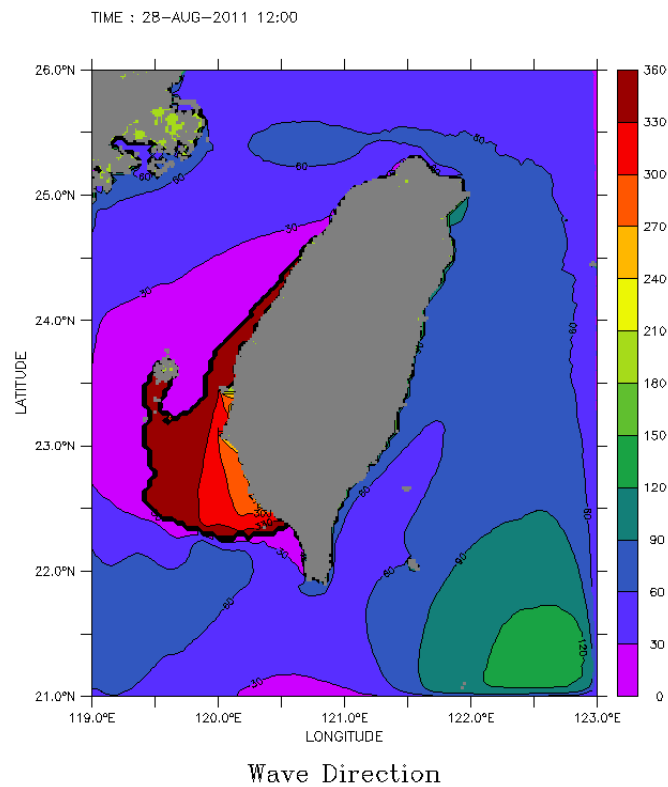


圖 6.17 2011/8/28 12H 南瑪都颱風 SWAN 推算平均波向分佈圖

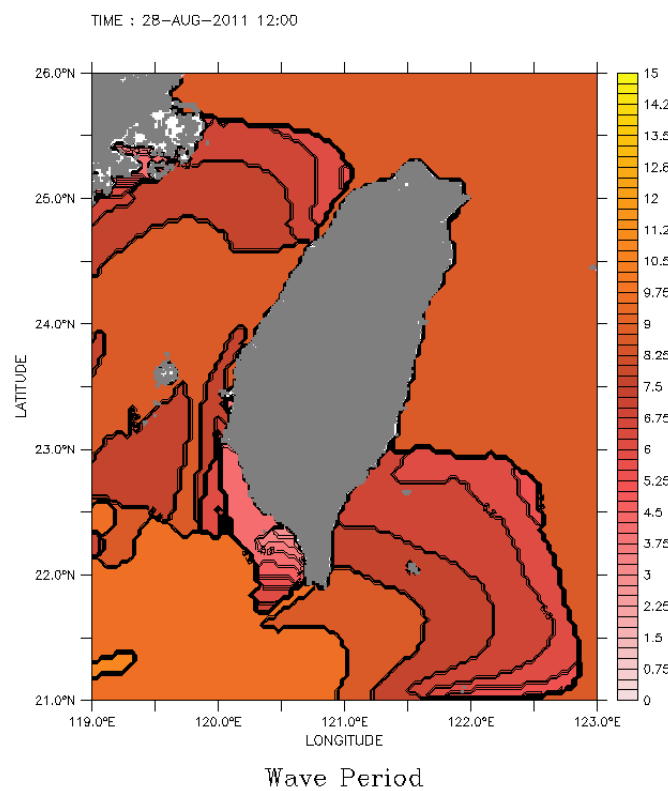


圖 6.18 2011/8/28 12H 南瑪都颱風 SWAN 推算譜峰週期分佈圖

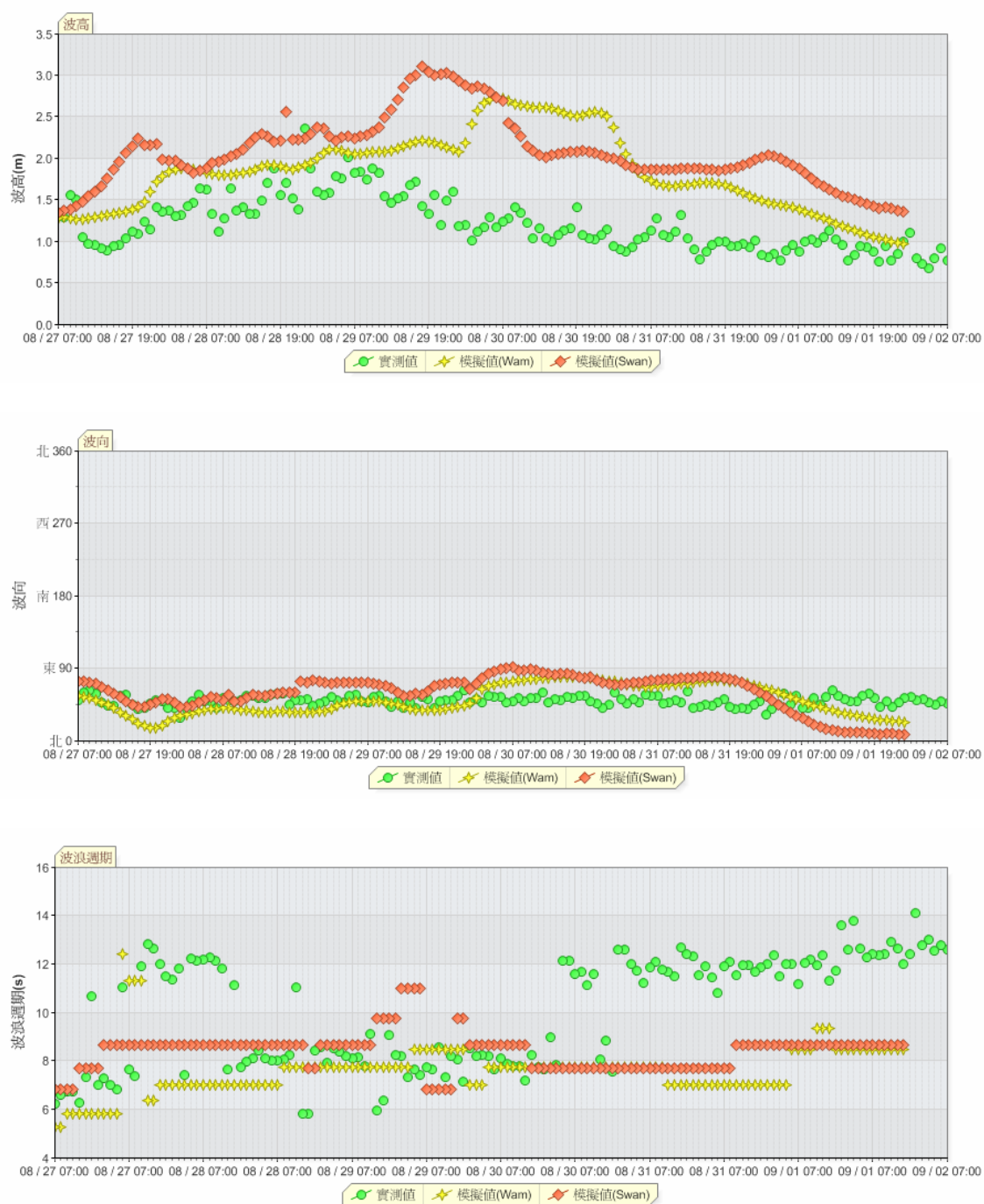


圖 6.19 2011 年南瑪都颱風基隆港之波浪模擬結果

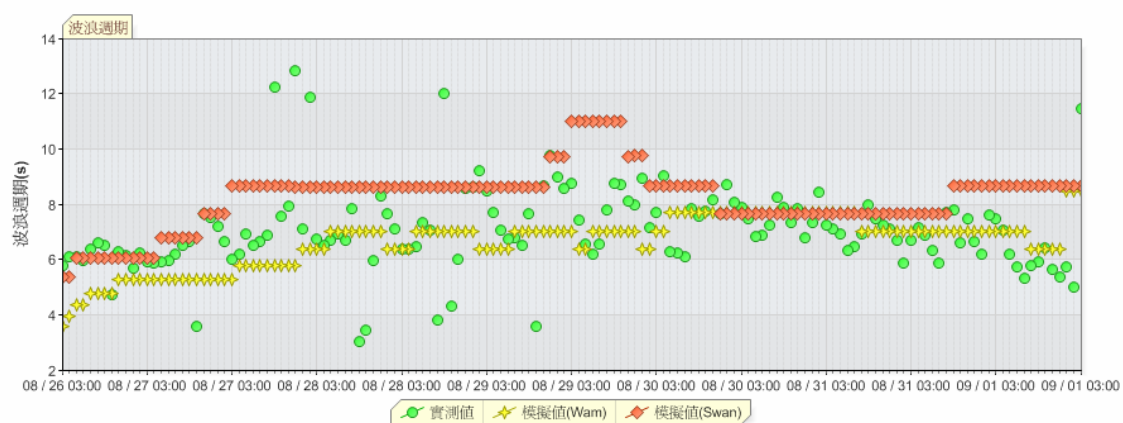
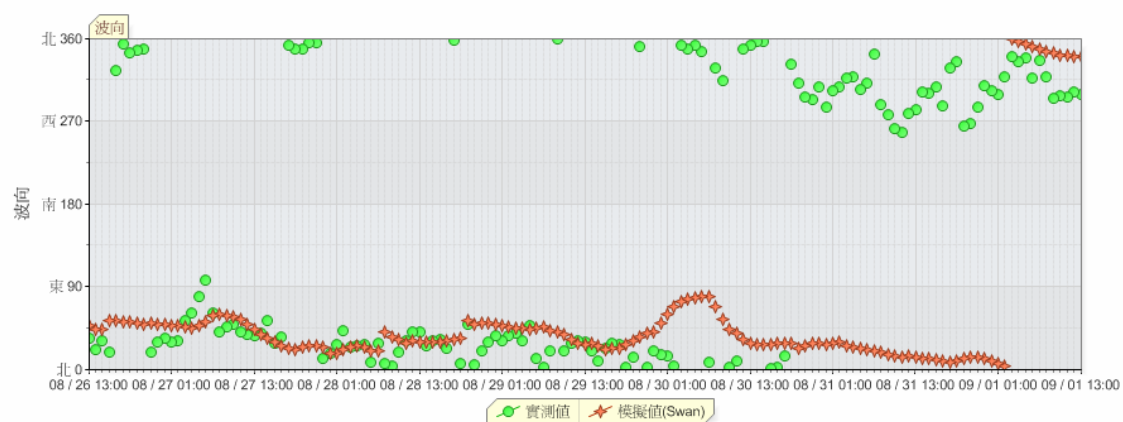
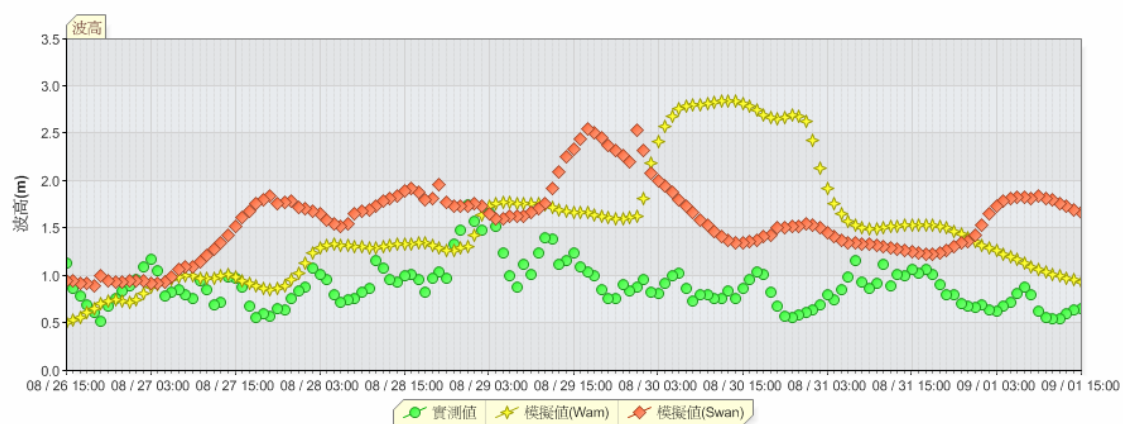


圖 6.20 2011 年南瑪都颱風臺北港之波浪模擬結果

6.2 長期風場與波浪模擬結果評估

本年度長期風場與波浪模擬結果之評估選取冬季季風(2010 年 12 月至 2011 年 1 月)與夏季季風(2011 年 7 月至 2011 年 8 月)風場進行長期風浪模擬。本年度長期風場之組成選取中央氣象局每日發布 2 次預報風場之前 12 小時組成，亦即每日 4 時及 16 時之風場資料屬於校正之風場資料。在風浪模擬方面，本計畫依據第四章修正之 WAM 模式以 RC 風場資料分別模擬大尺度冬季季風波浪及夏季季風波浪，並輸出本計畫第四章擴大模擬範圍之中尺度臺灣海域風浪模式(SWAN)之波浪邊界條件；之後，由擴大模擬範圍之中尺度臺灣海域風浪模式(SWAN)依據 MC 風場資料及上述波浪邊界條件分別模擬中尺度冬季季風波浪及夏季季風波浪。

本章節針對冬季季風波浪及夏季季風波浪模擬結果分別討論如下：

6.2.1 冬季季風波浪模擬評估

關於冬季季風波浪場模擬結果，本文選取 2011 年 1 月 1 日 16 時之模擬結果進行說明。圖 6.21 及圖 6.22 所示分別代表本計畫風浪模擬輸入之冬季季風之 RC 風場及 MC 風場；圖 6.23 至圖 6.25 所示分別為本文 WAM 模式模擬大尺度西太平洋範圍之平均波向、示性波高與譜峰週期之分佈圖，其中圖 6.23 所示之平均波向定義為波浪傳播之方向，即所謂的波浪的”去向”；圖 6.26 至圖 6.28 所示分別為本文擴大模擬範圍後之中尺度臺灣海域風浪模式(SWAN)以 MC 風場模擬之平均波向、示性波高與譜峰週期之分佈圖。整體而言，冬季季風大尺度西太平洋範圍波浪場模擬結果與中尺度臺灣海域風浪模式模擬結果在波高、波向及週期分布上趨勢是一致的。

為進一步評估波浪模擬結果，本文以基隆港與臺北港波浪觀測資料與本計畫大尺度及中尺度冬季季風波浪模擬結果比較，如圖 6.29 及

圖 6.30 所示。圖 6.29 所示為基隆港、臺北港冬季季風波浪模擬結果之波高與觀測資料之波高比較結果，結果顯示不論大尺度或中尺度模擬模擬結果均與觀測資料相當接近。圖 6.30 所示為基隆港、臺北港冬季季風波浪模擬結果之波向與觀測資料之波高比較結果，結果顯示大尺度模式波向模擬結果與觀測資料誤差較大，其中臺北港比基隆港更為顯著，其原因已於第四章說明。整體而言，中尺度模式模擬結果較佳之原因，除了網格解析度較高外，中尺度模式波浪模擬有考慮波浪淺水效為主因。

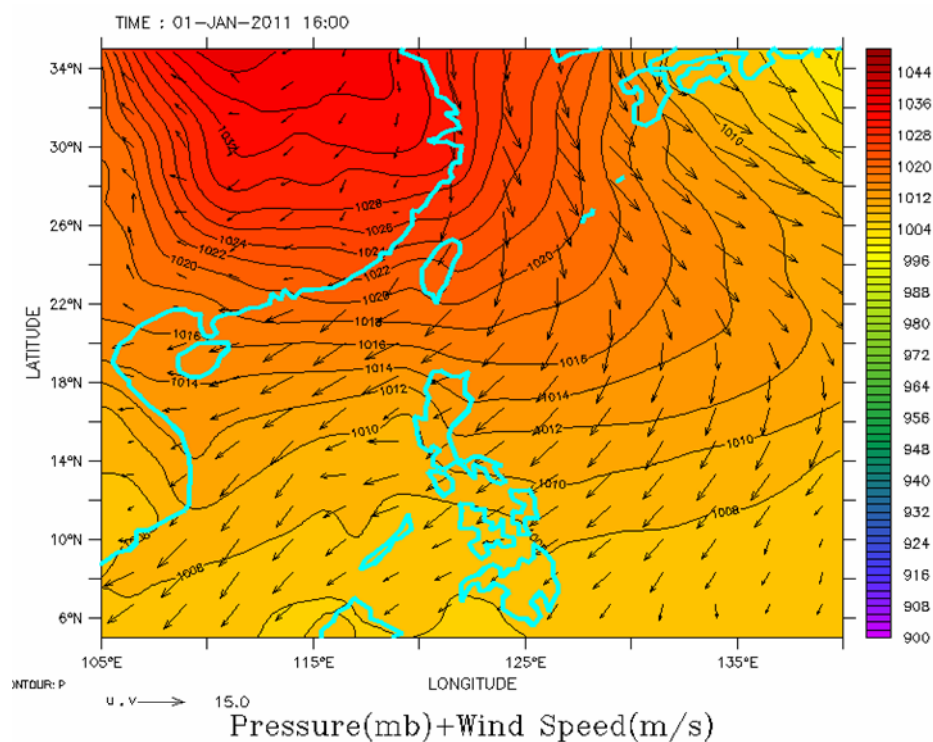


圖 6.21 冬季季風之 RC 風場氣壓分佈及風場向量圖

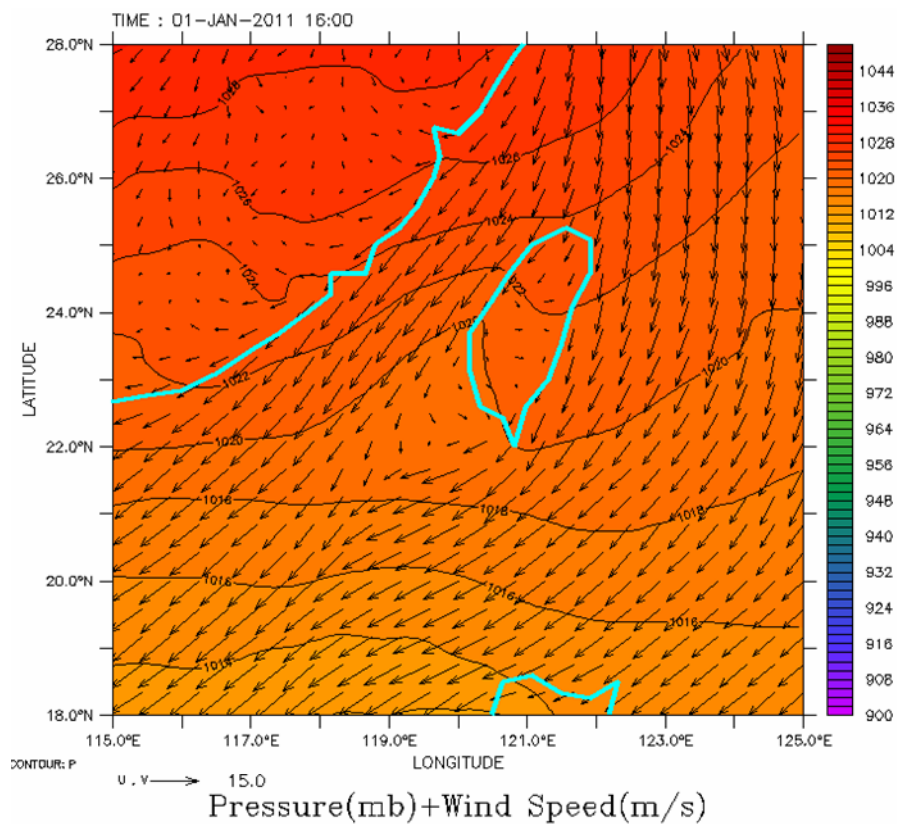


圖 6.22 冬季季風之 MC 風場氣壓分佈及風場向量圖

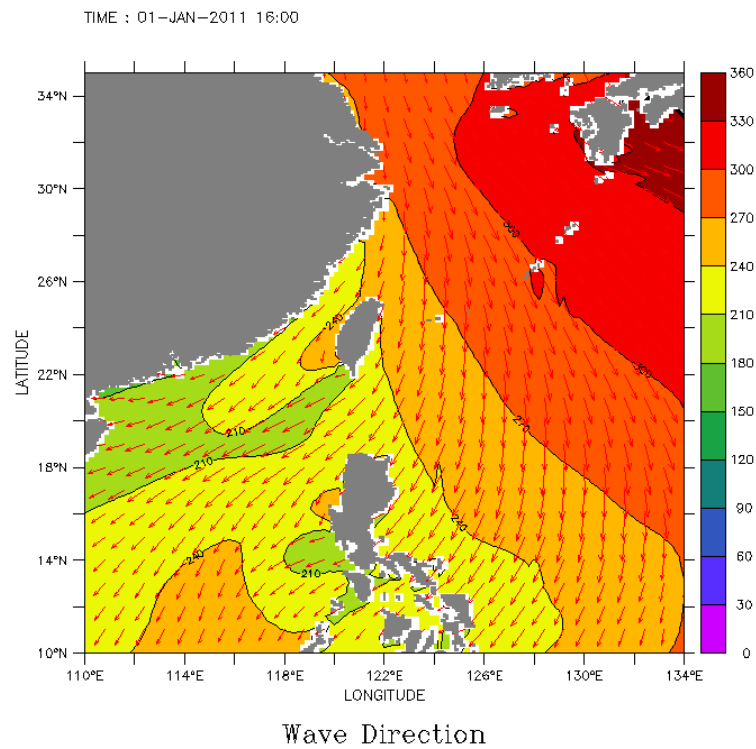


圖 6.23 冬季季風 RC 風場模擬結果之平均波向(傳播方向)分佈圖

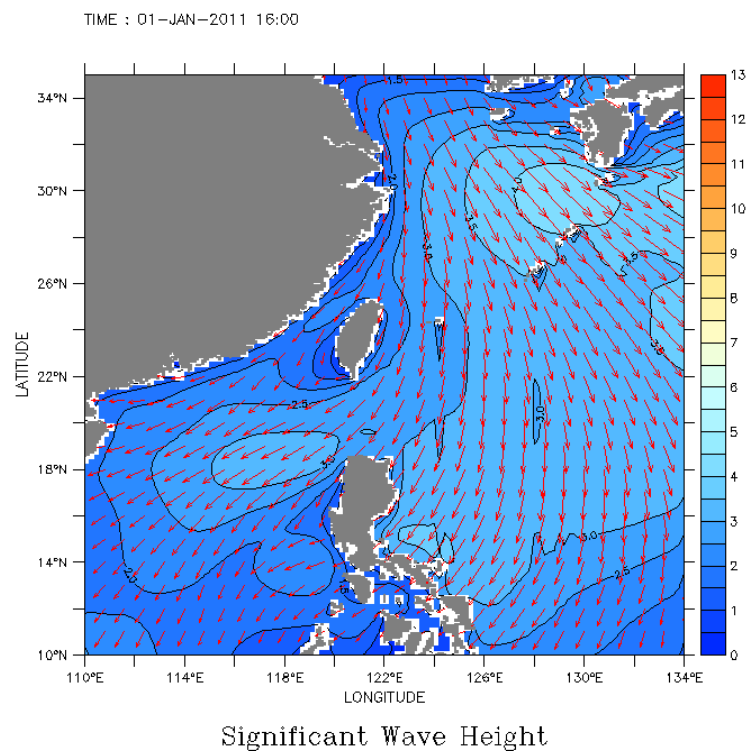


圖 6.24 冬季季風 RC 風場模擬結果之平均波高分佈圖

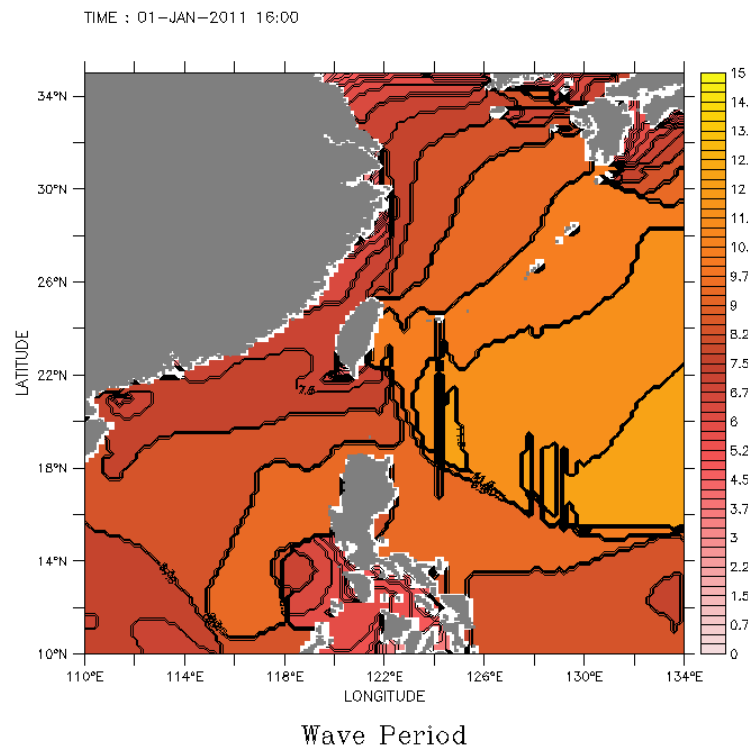


圖 6.25 冬季季風 RC 風場模擬結果之譜峰週期分佈圖

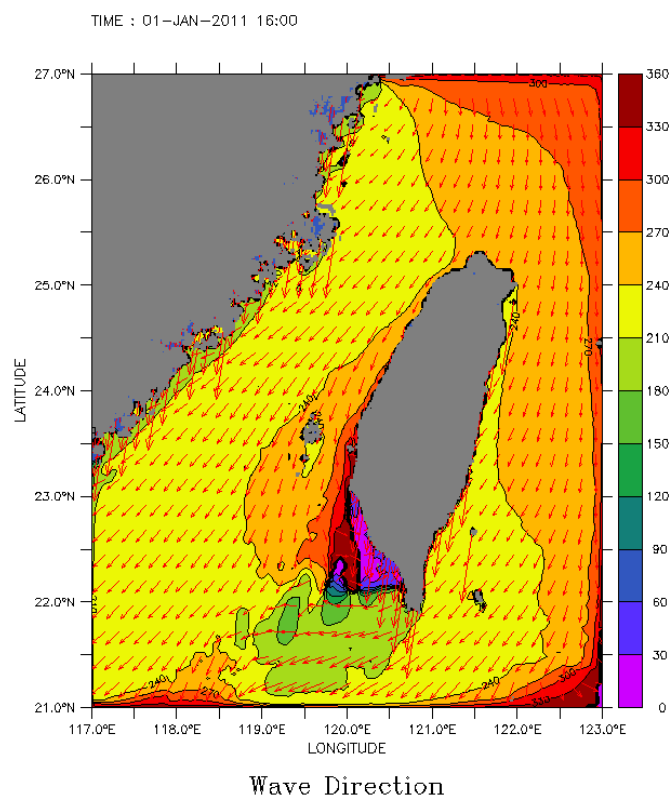


圖 6.26 冬季季風 MC 風場模擬結果之平均波向(傳播方向)分佈圖

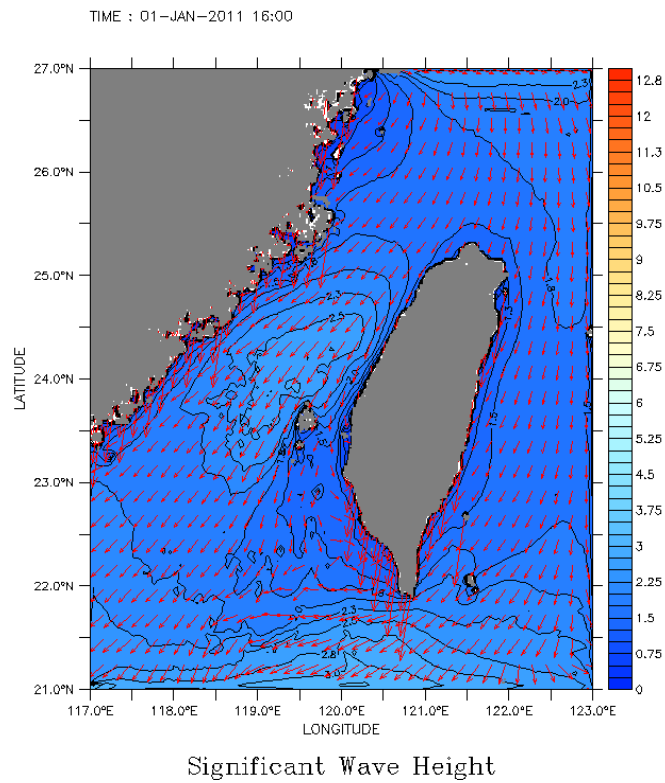


圖 6.27 冬季季風 RC 風場模擬結果之平均波高分佈圖

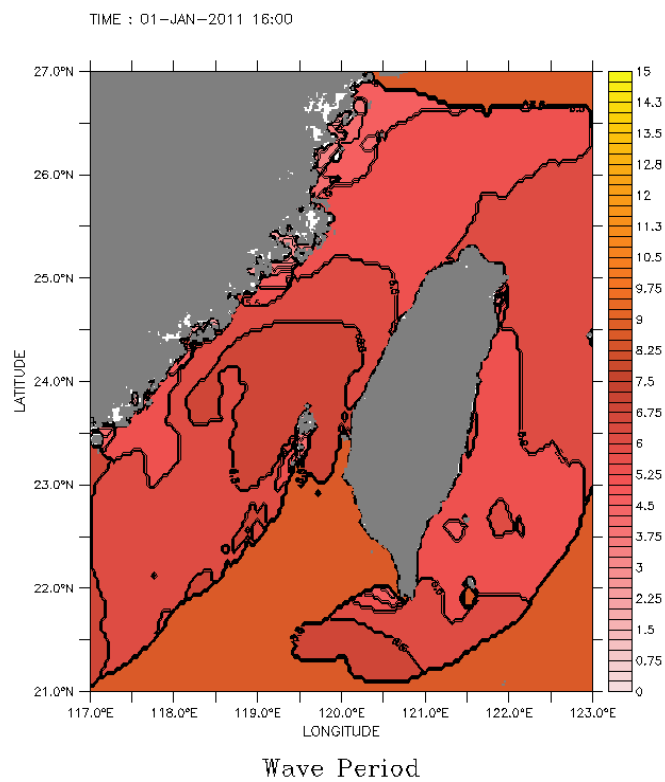


圖 6.28 冬季季風 RC 風場模擬結果之譜峰週期分佈圖

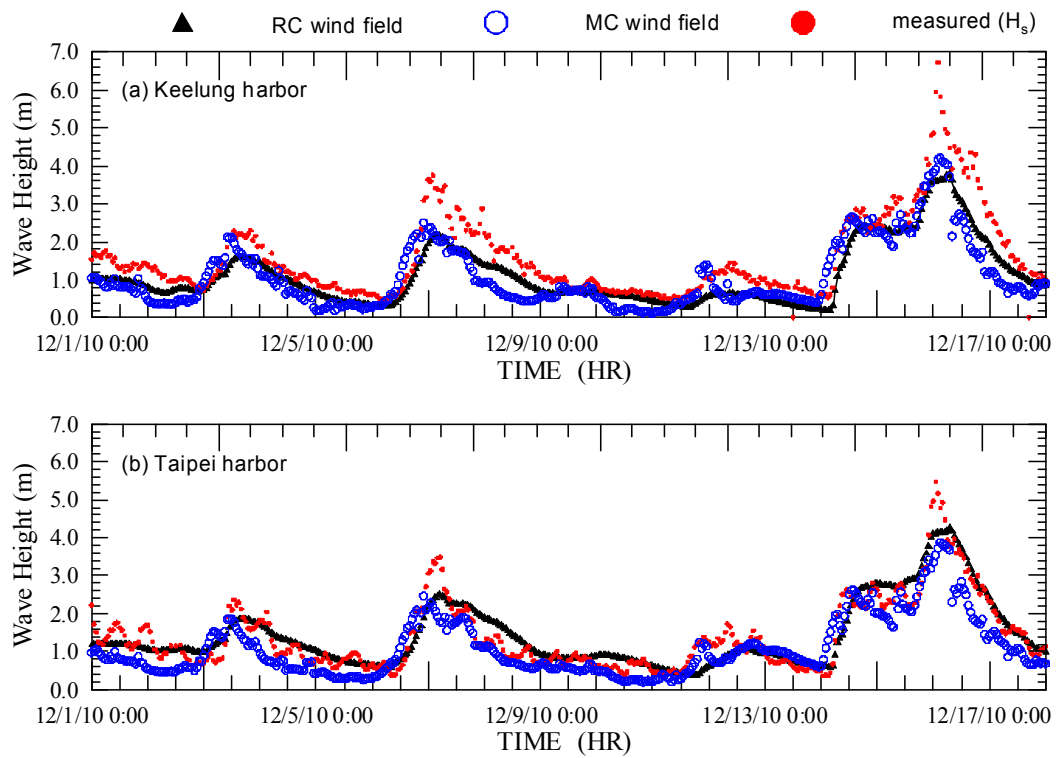


圖 6.29 冬季季風波浪場模擬結果與觀測資料之波高比較

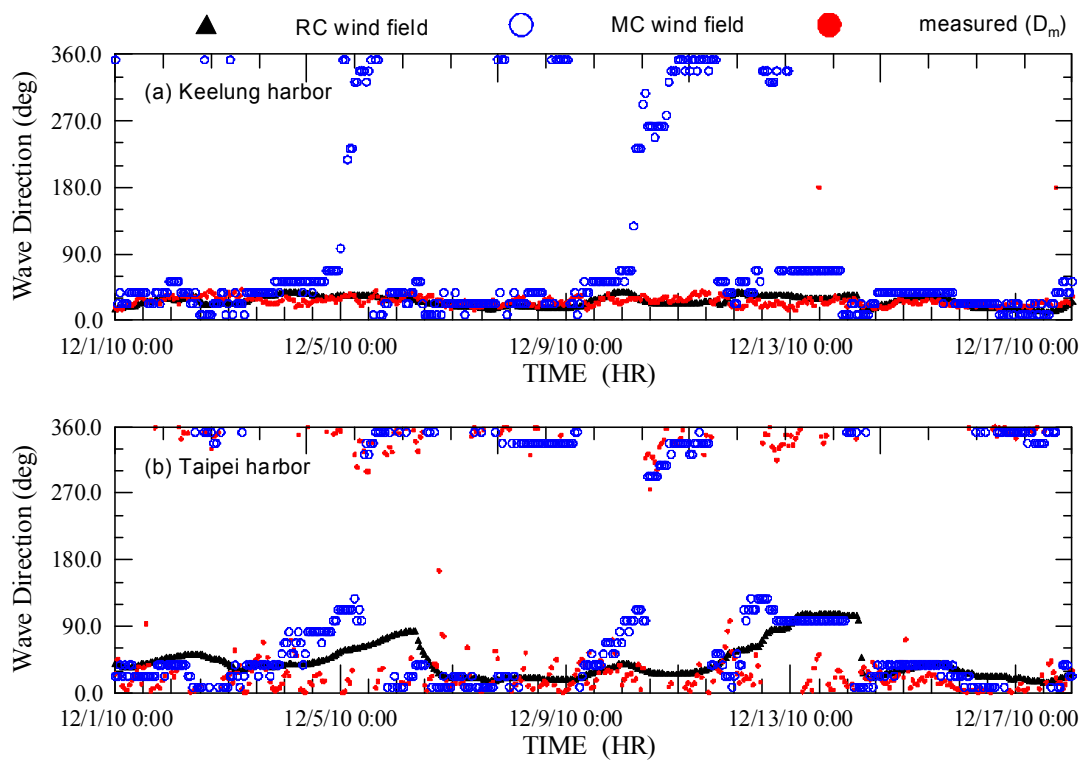


圖 6.30 冬季季風波浪場模擬結果與觀測資料之波向比較

6.2.2 夏季季風波浪模擬評估

針對夏季季風波浪場模擬結果，本文選取 2011 年 7 月 21 日 16 時之模擬結果進行說明。圖 6.31 及圖 6.32 所示分別代表本計畫風浪模擬輸入之夏季季風之 RC 風場及 MC 風場；圖 6.33 至圖 6.35 所示分別為本文 WAM 模式以 RC 風場模擬大尺度西太平洋範圍之平均波向、示性波高與譜峰週期之分佈圖，其中圖 6.33 所示之平均波向定義為波浪傳播之方向，即所謂的波浪的”去向”；圖 6.36 至圖 6.38 所示分別為本文擴大模擬範圍後之中尺度臺灣海域風浪模式(SWAN)以 MC 風場模擬之平均波向、示性波高與譜峰週期之分佈圖。整體而言，夏季季風大尺度西太平洋範圍波浪場模擬結果與中尺度臺灣海域風浪模式模擬結果在波高、波向及週期分布上趨勢是一致的。

同理，本文以基隆港與臺北港波浪觀測資料與本計畫大尺度及中尺度冬季季風波浪模擬結果比較，如圖 6.39 及圖 6.40 所示。

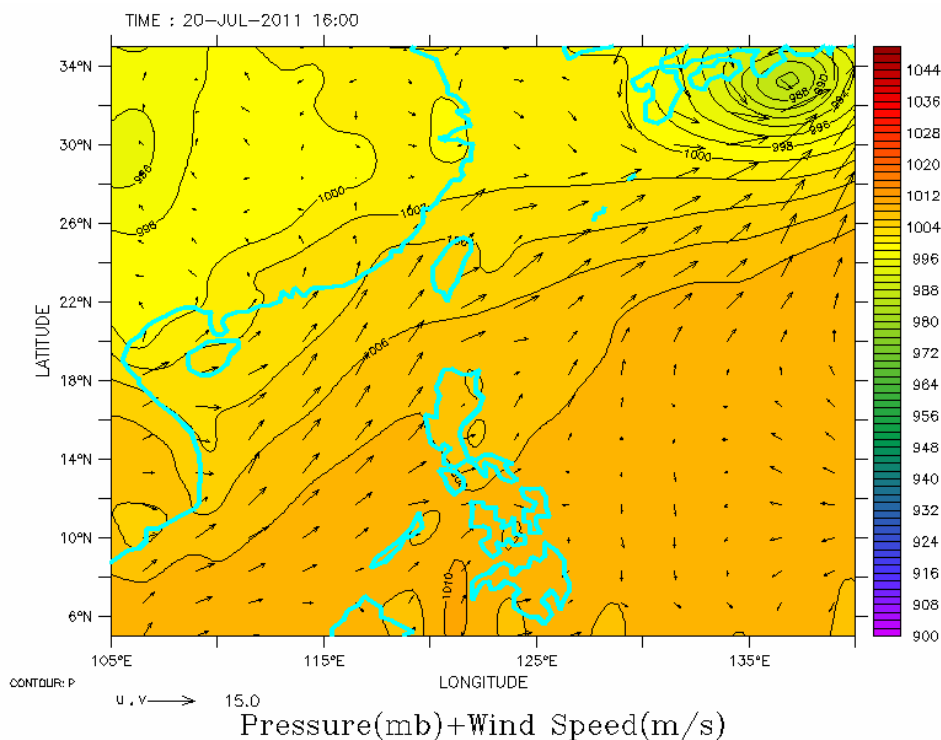


圖 6.31 夏季季風之 RC 風場氣壓分佈及風場向量圖

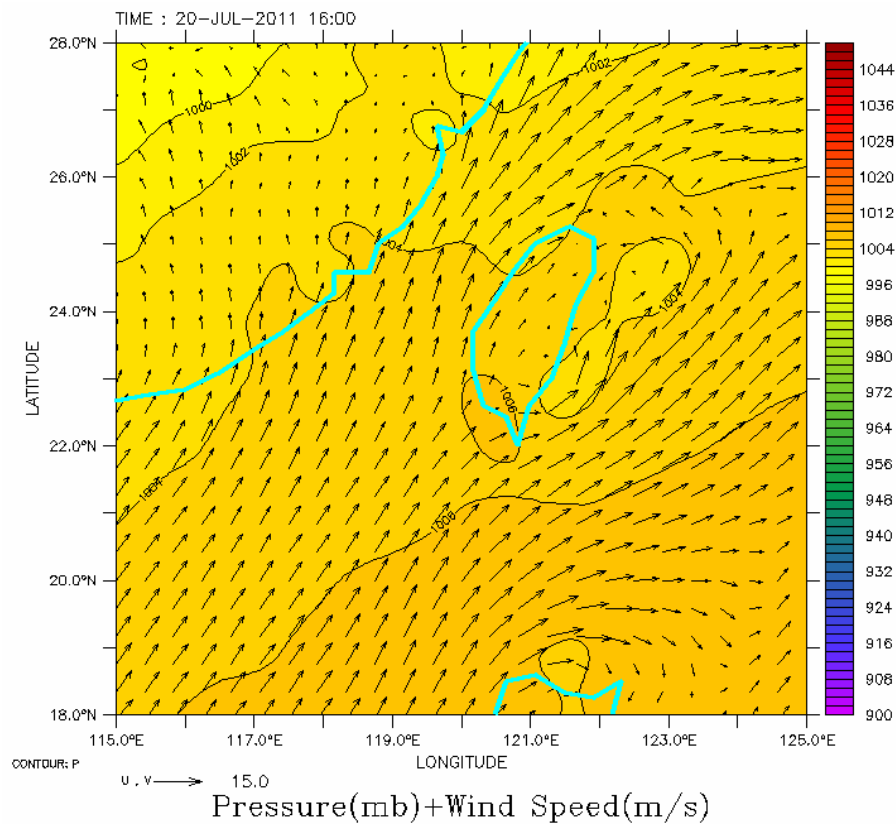


圖 6.32 夏季季風之 MC 風場氣壓分佈及風場向量圖

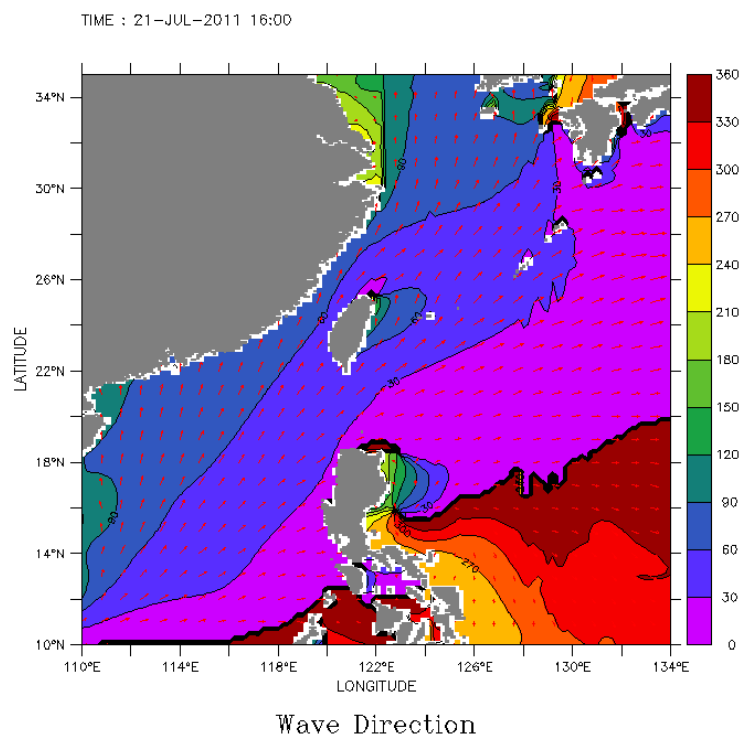


圖 6.33 夏季季風 RC 風場模擬結果之平均波向(傳播方向)分佈圖

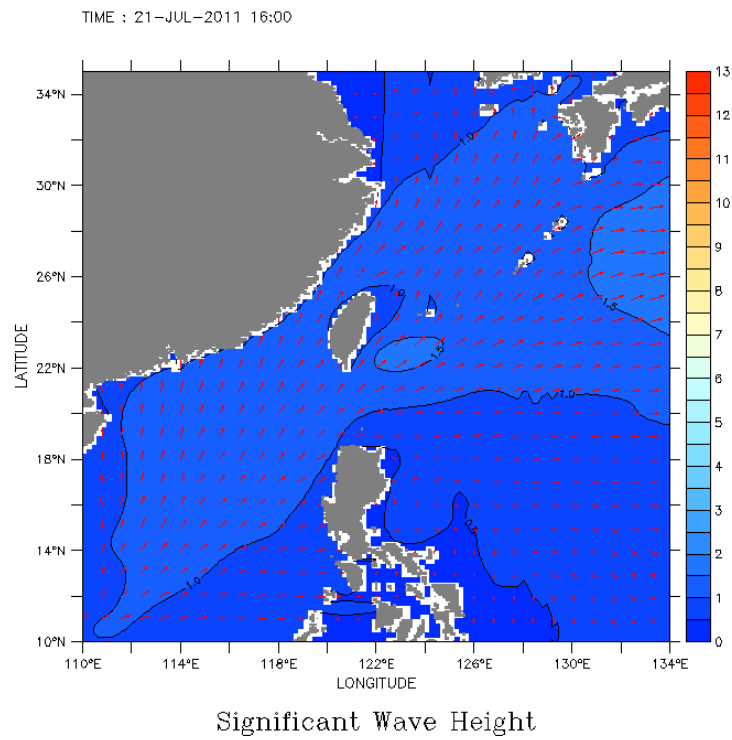


圖 6.34 夏季季風 RC 風場模擬結果之平均波高分佈圖

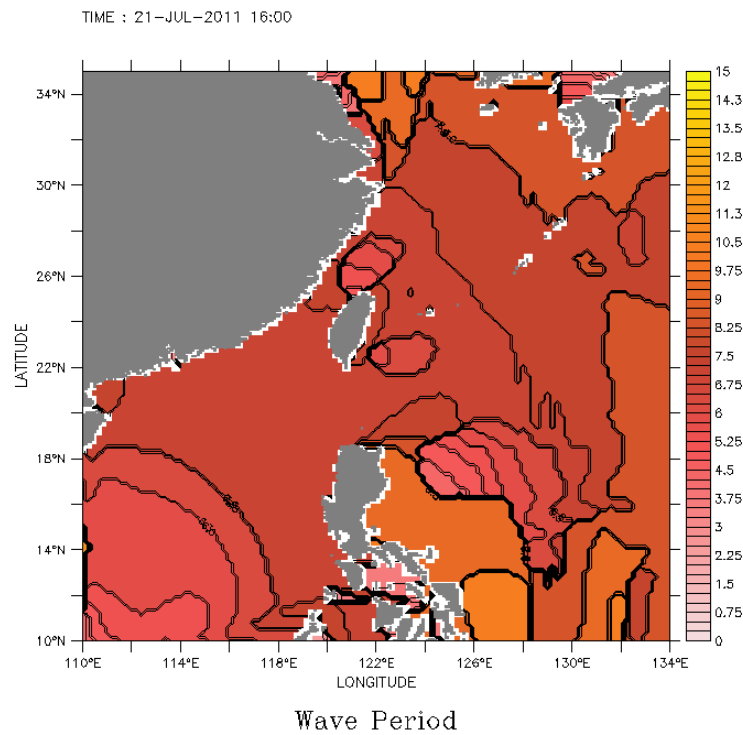


圖 6.35 夏季季風 RC 風場模擬結果之譜峰週期分佈圖

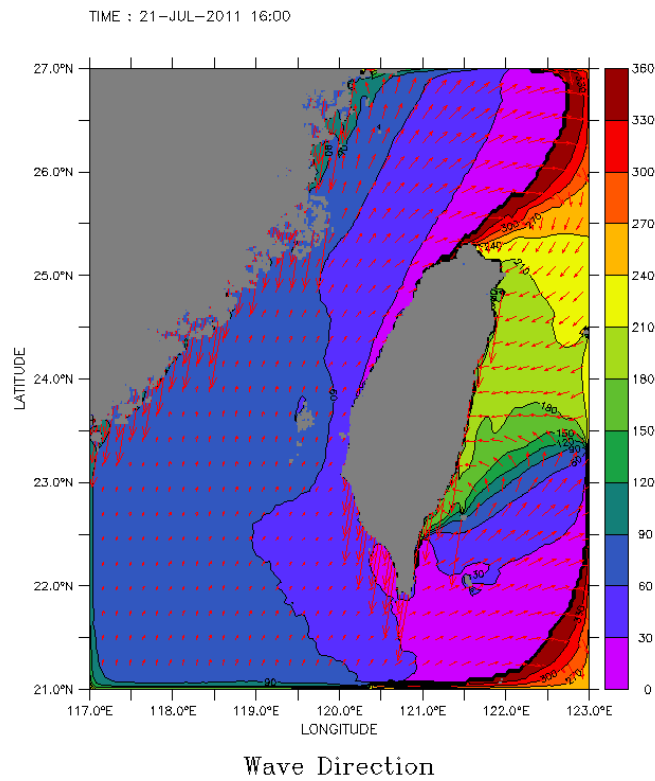


圖 6.36 夏季季風 MC 風場模擬結果之平均波向(傳播方向)分佈圖

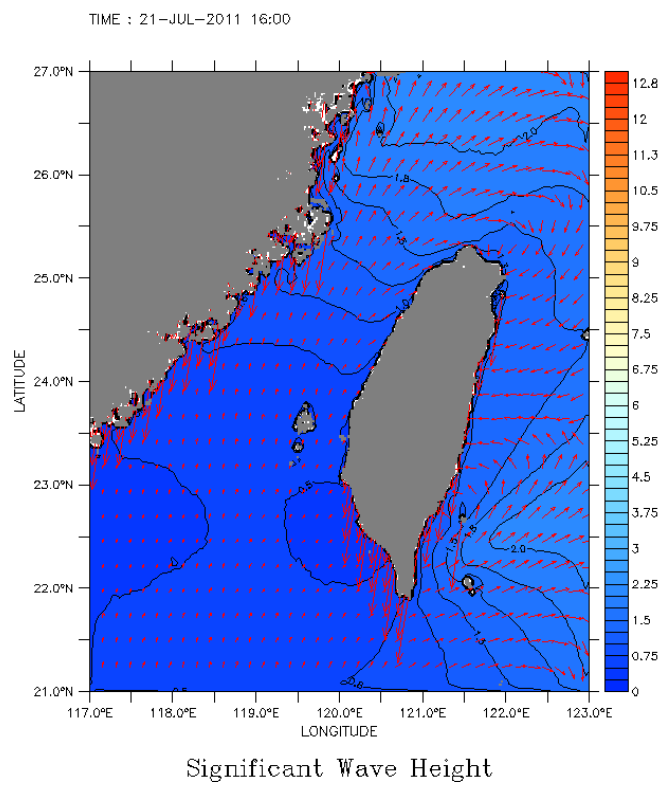


圖 6.37 夏季季風 RC 風場模擬結果之平均波高分佈圖

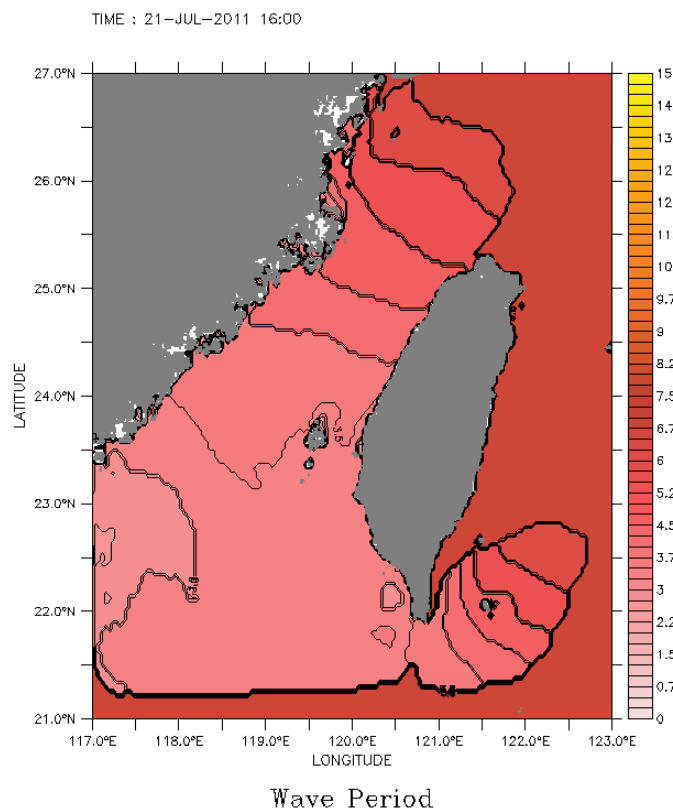


圖 6.38 夏季季風 RC 風場模擬結果之譜峰週期分佈圖

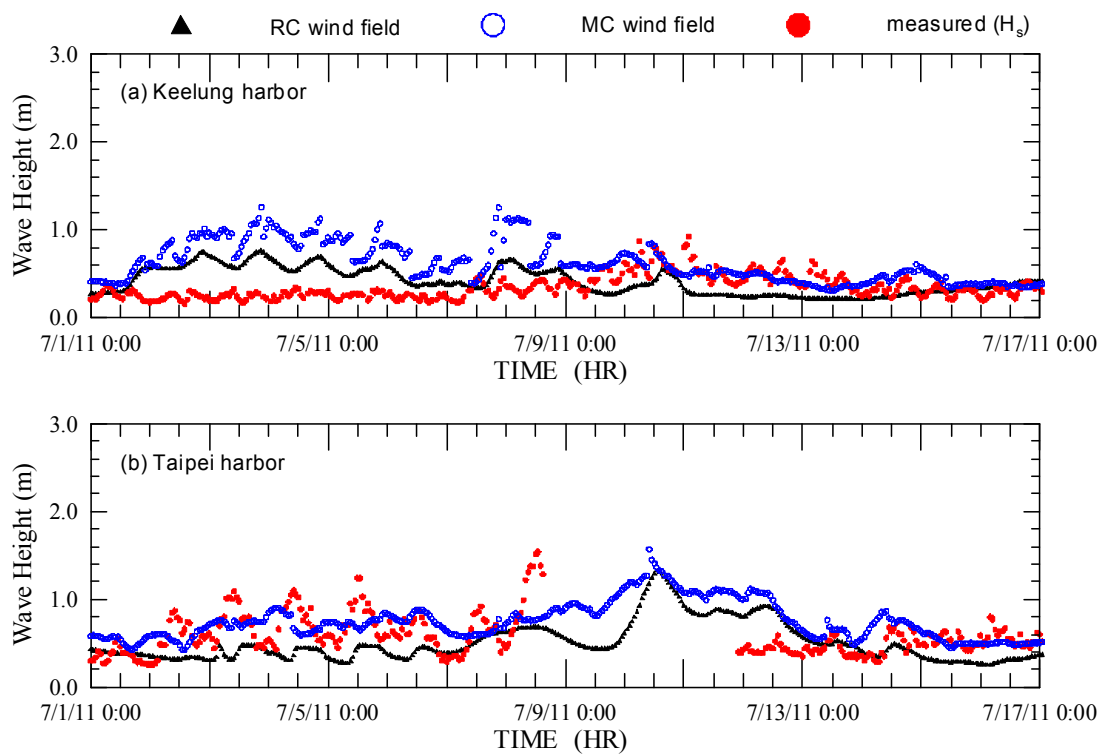


圖 6.39 夏季季風波浪場模擬結果與觀測資料之波高比較

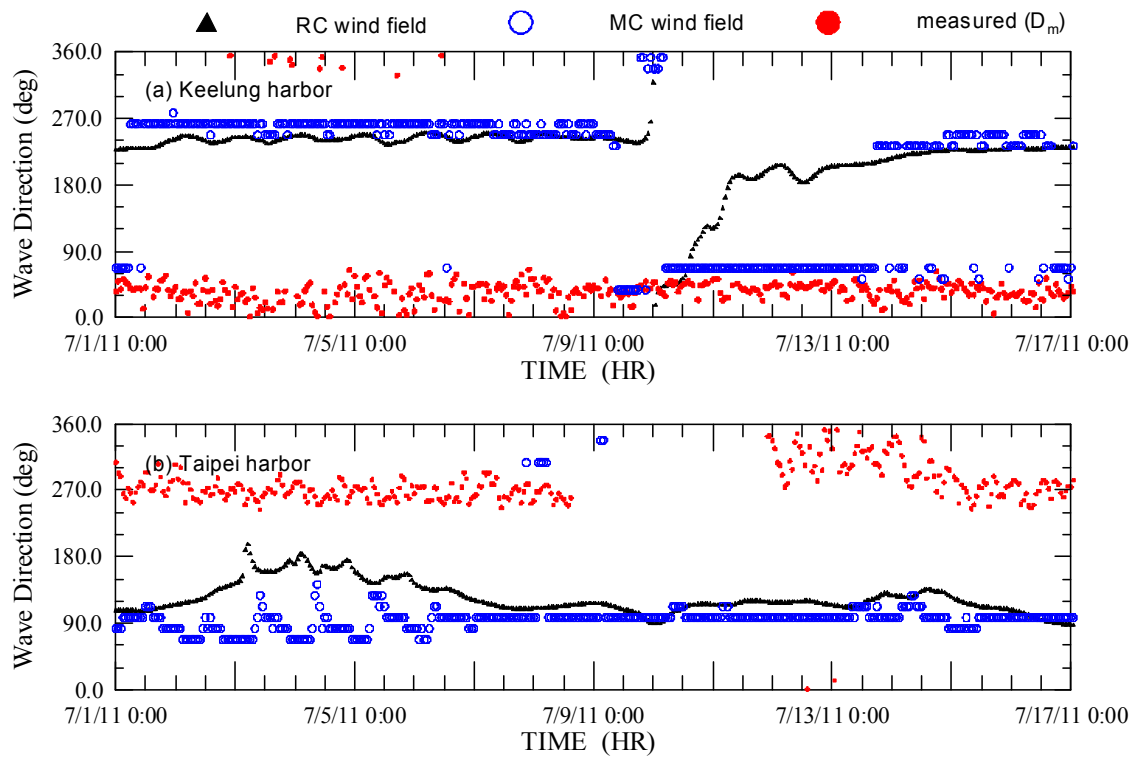


圖 6.40 夏季季風波浪場模擬結果與觀測資料之波向比較

第七章 結論與建議

7.1 結論

本年度為「提昇海岸及港灣海域波浪模擬技術之研究」四年期計畫第一年，除了將大、中尺度波浪模擬作業系統複製架設於成功大學水工試驗所進行模擬測試外，本年度已陸續完成下列工作事項：

1. 針對本計畫大尺度西太平洋風浪模式模擬結果進行檢討，並提出作業化程式修正版本，經測試初步已達到提升模式模擬結果精確性之目的。
2. 擴大本計畫中尺度臺灣海域風浪模式模擬範圍至包含離島金門、馬祖等海域，並完成相關模式作業化流程之修正。
3. 完成基隆港區及臺北港港區近岸風浪模擬預警子系統建置相關模式之更新工作。
4. 完成基隆港及臺北港港區波浪模擬作業化預報成果評估相關之工作事項。
5. 完成颱風期間基隆港及臺北港波浪預報作業化成果評估。
6. 完成基隆港及臺北港長期風場與波浪場模擬結果之評估。

7.2 建議事項

1. 在 TaiCOMS 之風場資料方面：建議港研中心與中央氣象局協商能否提供本計畫每日 72 小時作業化模擬，前 24 小時所需之校正(或追算)數值風場資料，以增進目前作業化預報模擬結果之精度。
2. 本年度對於提升及精進風浪預報模擬精度之研究已見初步成效，後續研究工作仍應持續進行。

參考文獻

1. Battjes, J. A. and Janssen, J. P. F. M., “Energy loss and set-up due to breaking of random waves,” *Proc. 16th Int. Conf. Coastal engineering, ASCE*, 569-587 (1978).
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., Holthuijsen, L. H. and Ris, R. C., “The “SWAN” wave model for shallow water,” *Proc. 25th Int. Conf. Coastal Engng.*, Orlando, 668-676 (1996).
4. Booij, N., Holthuijsen, L. H. and Haagsma, IJ. G., “Comparing the second generation HISWA wave model with the third-generation SWAN wave model,” *5th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting*, Melbourne, Florida, 215-222 (1998).
5. Booij, N., Haagsma, J.G., Holthuijsen, L.H., Kieftenburg, A. T. M. M., Ris, R. C., van der Westhuysen, A. J. and Zijlema, M., *SWAN Cycle III version 40.41 USER MANUAL*, Delft University of Technology (2004).
6. Dingemans, M. W., *Water wave propagation over uneven bottoms. Part 1 –linear wave propagation*, Advanced Series on Ocean Engineering, 13, World Scientific, 471p (1997).
7. Hasselmann, K. “On the spectral dissipation of ocean waves due to whitecapping,” *Bound.-layer Meteor.*, 6, 1-2, 107-127 (1974).
8. Holthuijsen, L. H., Booij, N., Ris, R., Andorka Gal, J. H. and de Jong, J. C. M., “A verification of the third-generation wave model “SWAN” along the southern North Sea coast,” *Proceedings 3rd International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis, WAVES '97, ASCE*, 49-63 (1997).

9. Kirby, J. T., "Rational approximations in the parabolic equation method for water waves," *Coastal Eng.*, Vol. 10, 355-378 (1986).
10. Kirby, J. T. and Dalrymple, R. A., "A parabolic equation for combined refraction- diffraction of Stokes waves by mildly varying topography," *J. Fluid Mech.*, Vol. 136, 219-232 (1983).
11. Komen, G. J., Cavaleri, L., Donelan, M. Hasselmann, K., Hasselmann, S. and Janssen, P. A. E. M., *Dynamics and modeling of Ocean Waves*. Cambridge Univ. Press, Cambridge UK (1994).
12. Mei, C. C., *The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves*, John Wiley, New York (1989).
13. Miles, J. W., "On the generation of surface waves by shear flows," *J. Fluid Mech.*, 3, 185-204 (1957).
14. Phillips, O. M., "On the generation of waves by turbulent wind," *J. Fluid Mech.*, 2, 417-445 (1957).
15. Radder, A. C., "On the parabolic equation method for water-wave propagation," *J. Fluid. Mech.*, Vol. 95, 159-176 (1979).
16. WAMDI group, "The WAM model – a third generation ocean wave prediction model," *J. Phys. Oceanogr.*, 18, 1775-1810 (1988).
17. Whitham, G. B., *Linear and nonlinear waves*, Wiley, New York, 636 p (1974).
18. 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，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，MOTC-IOT-92-H3BB002，中華民國93年3月。
19. 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(I)，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，MOTC-IOT-93-H3DB001，中華民國93年11月。

20. 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(II)，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，MOTC-IOT-94-H3DB001，中華民國94年11月。
21. 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(III)，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，MOTC-IOT-95-H3DB001，中華民國95年11月。
22. 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，MOTC-IOT-96-H3DB001，中華民國96年12月。
23. 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)，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，MOTC-IOT-97-H3DB001，中華民國98年3月。
24. 林炤圭、劉正琪、邱永芳、蘇青和、陳明宗、李俊穎、林莉鳳，近岸海象數值模擬及預警系統之建立(3/4)-波浪部份，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，MOTC-IOT-98-H3DB001a，中華民國99年5月。
25. 林炤圭、劉正琪、邱永芳、蘇青和、陳明宗、李俊穎、林莉鳳，近岸海象數值模擬及預警系統之建立(4/4)-波浪部份，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，MOTC-IOT-98-H3DB001a，中華民國99年12月。
26. 歐善惠、許泰文、臧效義、方介群、廖建明，1999，「應用SWAN波浪模式推算臺灣附近海域颱風波浪之研究」，第二十一屆海洋工程研討會論文集，87頁-95頁。
27. 歐善惠、許泰文、臧效義、廖建明、方介群，2000，「應用SWAN模式於臺灣西部海岸之波浪預測」，第二屆國際海洋大氣會議論文集，台北，183頁-188頁。

附錄 1

WAM 模式輸入檔之範例說明

附錄 1 WAM 模式輸入檔之範例說明

1.1 模式流程圖

下圖 1.1 為 WAM 模式的執行流程，各部分詳細的說明請參考之後的說明。

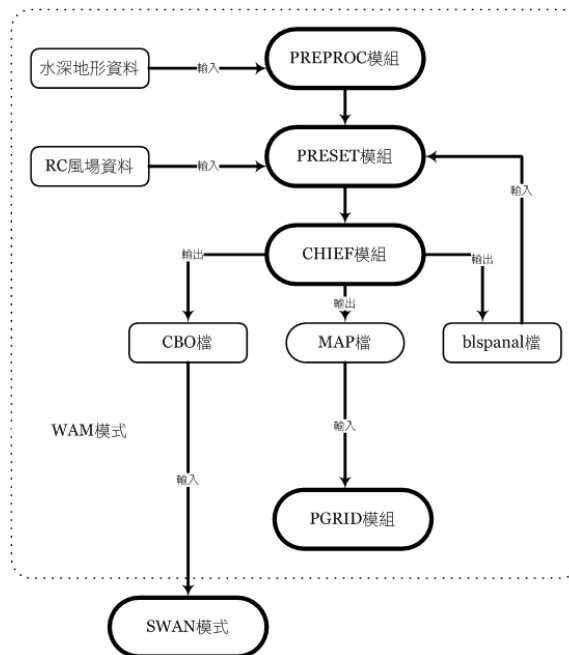


圖 1.1 WAM 風浪模式操作流程

1.2 模式相關程式檔說明

目前所使用的 WAM 版本是 WAM cycle 4，其中包含數個模組 PREPROC、PRESET、CHIEF、BOUINT、PGRID、PSWGRID、PSPEC 及 PSWSPEC 等，而目前只使用到地形格網處理模組 PREPROC、風場初始值給定模組 PRESET、風浪計算模組 CHIEF 與後處理模組 PGRID。以下說明各模組之處理程序。

WAM 模式計算時，首先執行格網處理模組 PREPROC，程式檔檔名為 preproc.exe，此模組為模式計算前置作業之一，主要處理模式計算所需之格網水深資料、頻率帶及方位角、巢狀格網等相關資料，記錄於目錄/coarse 下之 gridtai、ubuf tai、bouctai。前置作業之二為初始值給定模組 PRESET，程式檔檔名為 preset.exe，此模組主要為 JONSWAP 波譜相關參數及風場輸入資料之設定，並將模式計算之初始條件記錄於目錄/coarse 下之 blspanal、

slatanal、lawianal。本計劃應用 WAM 模式進行長期波浪推算，因模式計算設定條件相同，故僅於首次計算時執行此二模組，初始條件則紀錄於相關檔案中，供後續模式計算使用。

風浪計算模組 CHIEF，程式檔檔名為 wamodel.exe，此模組為模式計算之主軸，包含決定模式計算時間、座標系、考慮折射與否以及計算結果相關輸出內容。後處理模組 PGRID，程式檔檔名為 pgrid.exe，此模組則是將風浪計算模組計算輸出之二維資料，分析為簡易作業之格式。

1.3 模式相關輸入檔(*.NML)說明

本計劃使用格網處理模組 PREPROC、初始值給定模組 PRESET、風浪計算模組 CHIEF 與後處理模組 PGRID 等，各模組在模式中處理不同之程序，其所需之輸入檔亦包含處理相關程序之區塊，以下分別說明。

(1) PREPROCmdd.NML (mdd 為計算時間的月日)

格網處理模組 PREPROC 所需之輸入檔主要包含標頭 (runhead)、頻率及角度 (freqdir)、格網輸出 (outgrid)、地形變更 (fudge)、波譜輸出 (outspec)、模式選擇 (options)、巢狀格網 (nest)、相關資料路徑 (interface) 等八個區塊，本計劃使用之相關區塊格式內容及相關說明如下所示。

圖 1.2 格網處理模組輸入檔(PREPROCmdd.NML)區塊格式說明

```
! preproc 設定檔
!
!      user input of preproc.          created 06/02/2001
!      =====
! 本使用者輸入檔案主要是提供給 uiprep 程式讀取，
! 其中各列若以"! "為首字的內容將被視為註解文字
! -----
! 表頭區塊(會輸出到相關的檔案裡，最多 70 個字)
!
!&runhead
!  header = 'wave model daily run version 4.0a in Taicom's',
!&end
! -----
! 頻率及方向分割格網區塊
!      ml      integer*5      頻率分割數
!      kl      integer*5      方向分割數
!      fr(1)   real*10        最低頻率(Hz)
!&freqdir
!      ml = 25,
!      kl = 24,
!      fr1 = 0.05,
```

```

&end
! -----
! 定義計算(輸出)格網
!      xdella    real      格網緯度的增量 (度) — 格網分隔間距
!      xdello    real      格網經度的增量 (度) — 格網分隔間距
!      amosop     real      格網最南端緯度 (度)
!      amonop     real      格網最北端緯度 (度)
!      amowep     real      格網最西端經度 (度)
!      amoeap     real      格網最東端經度 (度)
!
&outgrid
  xdella = 0.2,
  xdello = 0.2,
  amosop = 10.0,
  amonop = 35.0,
  amowep = 110.0,
  amoeap = 134.0,
&end
! -----
! 格網內要改變水深的區域(最多 80 個矩形區域)
!
!      nout       integer    要改變水深的區域數目
!      xouts      real       最南端緯度 (度)
!      xoutn      real       最北端緯度 (度)
!      xoutw      real       最西端經度 (度)
!      xoute      real       格網最東端經度 (度)
!      noutd      integer    新的水深(以公尺計，-999 表示為陸地)
!
&fudge
  nout  = 0,
  xouts = 0.0,
  xoutn = 0.0,
  xoutw = 0.0,
  xoute = 0.0,
  noutd = -999,
&end
! -----
! 指定輸出頻譜的位置點座標 (最多可有 100 個點位)
!
!      ngout      integer    總輸出點數
!      outlat     real       各點的座標緯度(度)
!      outlong    real       各點的座標經度(度)
!
&outspec
  ngout  = 3,
  outlat = 24.00, 24.85, 24.85,
  outlong = 121.70, 121.90, 120.80,
&end
! -----
! 模式的特殊設定 (options)
!
!      iform      integer    = 1    只作非格式化(unformatted)輸出
!                               = 2    只作格式化(formatted)輸出
!                               =其他  同時作非格式化及格式化輸出

```

```

!      irefra      integer    = 2      加入一個流場的處理
!                                     =其他  不作任何處理
!      itest       integer    輸出測試結果的等級
!                                     > 0      到輸出副程式計算過程的等級
!                                     = 0      不作任何測試輸出
!      itestb      integer    若 itest>0，輸出區塊等級的測試結果
!                                     > 0      輸出測試結果的區塊等級
!
!&options
!      iform = 3,
!      irefra = 0,
!
!      itest = 0,
!      itestb = 4,
!&end
!-----
!巢狀格網設定 (本程式是提供給後續的 SWAN 波浪推算使用)
!
!      ibounc      integer    粗格網的控制旗標
!                                     = 1      產生給巢狀(細)格網所需要的資訊
!                                     = 其他  不輸入邊界點
!      ibounf      integer    細格網的控制旗標
!                                     = 1      設定本程式是在執行一個細格網的計算，其邊界上的相關資訊將
!                                     期待由一個先前執行過的粗格網計算結果所提供
!                                     = 其他  不輸入邊界點
!      amosoc      real       巢狀格網的最南端緯度 (度)
!      amonoc      real       巢狀格網的最北端緯度 (度)
!      amowec      real       巢狀格網的最西端經度 (度)
!      amoeac      real       巢狀格網的最東端經度 (度)
!                                     (當 ibounc = 1 時，這些格網邊界一定要設定)
!
!&nest
!      ibounc = 1,
!      ibounf = 0,
!      amosoc = 21.0,
!      amonoc = 26.0,
!      amowec = 119.0,
!      amoeac = 123.0,
!&end
!-----
!輸出的 I/O 介面(檔名或路徑)
!
!      pth_iu01     character*40 輸入地形資料檔名
!      pth_iu02     character*40 輸出水流資料 (若 irefra == 2)
!      pth_iu03     character*40 輸入粗格網邊界(若 ibounf == 1)
!      pth_iu07     character*40 輸出格網 (unformatted)
!      pth_iu08     character*40 輸出 ubuf(unformatted)
!      pth_iu09     character*40 輸出粗格網邊界資訊 (unformatted)
!      pth_iu10     character*40 輸出細格網邊界資訊 (unformatted)
!      pth_iu17     character*40 輸出格網 (formatted)
!      pth_iu18     character*40 輸出 ubuf(formatted)
!      pth_iu19     character*40 輸出粗格網邊界資訊(formatted)
!      pth_iu20     character*40 輸出細格網邊界資訊(formatted)

```

```

!      gradspath   character*40  輸出 grads 路徑 (沒有檔名)
!      netcdfpath  character*40  輸出 netcdf 路徑 (沒有檔名)
!
&interface
pth_iu01 = '/home/knicks/taicoms/wam/topo_taiwan.dat', ! 地形資料檔路徑
pth_iu02 = '????',
pth_iu03 = '????',
pth_iu07 = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse/gridtai',
pth_iu08 = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse/ubuftai',
pth_iu09 = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse/bouctai',
pth_iu10 = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse/bfintai',
pth_iu17 = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse/fgridtai',
pth_iu18 = '????',
pth_iu19 = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse/fbouctai',
pth_iu20 = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse/fbfintai',
gradspath = '/home/knicks/taicoms/wam/grads',
netcdfpath = '/home/knicks/taicoms/wam/output',
&end
! -----
!      end of user input of preproc
! -----

```

(2) PRESETmmdd.NML (mmdd 為計算時間的月日)

初始值給定模組 PRESET 所需之輸入檔主要包含標頭 (runhead)、模式選擇 (options)、波譜參數 (sparams)、輸入風場 (wparams)、相關資料路徑 (interface) 等五個區塊，本計劃使用之相關區塊格式及相關說明如下所示。

圖 1.3 初始值給定模組輸入檔(PRESETmmdd.NML)區塊格式說明

```

! preset 設定檔
!
!      user input of preset.                      created 06/02/2001
!      =====
! 本使用者輸入檔案中各列若以"! "為首字的内容將被視為註解文字
! -----
! 表頭區塊(會輸出到相關的檔案裡，最多 70 個字)
!
&runhead
  header = 'wave model daily run version 4.0a in Taicoms',
&end
! -----
! 初始頻譜的設定
!
!      iopti      = 0 與風力無關的初始值
!                  = 1 風力引發的初始值，但若風速為 0 時其能量等於 0
!                  = 2 風力引發的初始值，但若風速為 0 時其能量有給定的參數計算
!      itest      = 0 不作任何測試輸出
!                  > 0 執行到副程式等級的測試輸出
!      itestb     > 0 執行到區塊等級的測試輸出
!
&options

```

```

    iopti = 1,
    itest = 0,
    itestb = 0,
&end
! -----
! 初始頻譜的參數
!
!     alfa   = phillips' 參數 (若 iopti = 1 則無效)
!     fm     = 譜峰頻率或最大頻率 (Hz)
!     gamma  = overshoot factor
!     sa     = 譜峰左側寬度
!     sb     = 譜峰右側寬度
!     theta  = 主波方向 (度) (若 iopti = 1 則無效)
!     fetch  = 風域長度 (以公尺計, 若為 0 則採用經度的格網增量)
!
&sparams
    alfa = 0.018,
    fm   = 0.2,
    gamma = 3.0,
    sa   = 0.07,
    sb   = 0.09,
    theta = 0.0,
    fetch = 0.0,
&end
! -----
! 風場的輸入參數
!
!     idatea  integer*10  起算日期 (yyymmddhhmm)
!     idelwi  integer*7   風場輸入檔案的時間間隔 (秒或小時)
!     tunit   character*1  時間的單位 ('s'或'h')
!
&wparams
    idatea = '0901010000',
    idelwi = 1,
    tunit  = 'h',
&end
! -----
! 檔案名稱
!
!     uid      character*3  使用者辨識代號
!     rid      character*3  執行代碼
!     ingrid   character*70  從 preproc 得到的無格式化輸入格網
!     inwind   character*70  外部輸入風場檔案路徑及名稱
!     outpath  character*60  輸出檔案的路徑
!
&interface
    userid = 'jgl',
    runid  = 'adr',
    ingrid = 'g:\wam_swan\wam\coarse\ugridws',
    inwind = 'g:\wam_swan\wam\wind_wam_0101.dat',
    outpath = 'g:\wam_swan\wam\coarse',
&end
!
! -----

```

```
!
! end of user input prog. preset.
! -----
```

(3) CHIEFmmdd.NML (mmdd 為計算時間的月日)

風浪計算模組 CHIEF 所需之輸入檔主要包含標頭 (runhead)、計算時間 (period)、時間設定 (timings)、輸出時間 (outime)、波譜輸出 (specout)、輸出內容 (outdata)、模式選擇 (options)、邊界 (boundary)、相關資料路徑 (interface) 等九個區塊，本計劃使用之相關區塊格式內容及相關說明如下所示。

圖 1.4 風浪計算模組輸入檔(CHIEFmmdd.NML)區塊格式說明

```
! wamodel 設定檔
!
! user input of model. created 07/02/2001
! =====
! 本使用者輸入檔案中各列若以"! "為首字的内容將被視為註解文字
!
! -----
! 表頭區塊(會輸出到相關的檔案裡，最多 70 個字)
!
! &runhead
!   header='wave model daily run version 4.0a in Taicoms',
! &end
! -----
! 模式計算的時間範圍
!
!   idatea  interger*10  起算時間  (yymmddhhmm)
!   idatee  interger*10  終止時間  (yymmddhhmm)
!
! &period
!   idatea = '0901010000',
!   idatee = '0901040000',
! &end
! -----
! 模式的計算時間間隔
!
!   idelpro  interger*7  波浪傳播的時間間隔
!   idelt    interger*7  外力的時間間隔
!   idelwo   interger*7  輸出風場的時間間隔
!   idelwi   interger*7  輸入風場資料的時間間隔
!   u        character*1 時間間隔單位('s'或'h')
!
!   -----
!   要求： 所有的比例必須要是整數 n 或其倒數 1/n
!   -----
!
! &timings
!   idelpro = 360,
!   prounit = 's',
!   idelt   = 360,
```

```

sunit   = 's',
idelwo   = 1,
wounit   = 'h',
idelwi   = 1,
wiunit   = 'h',
&end
! -----
! 固定區間的輸出時間
!
! -----
! 要求： 所有的輸出時間間隔必須要 是 idelpro 的倍數
! -----
!
! idelint  interger*7    整個海面的整合參數
! idelins  interger*7    湧浪的整合參數
! idelspt  interger*7    整個海面的頻譜
! idelsps  interger*7    湧浪的頻譜
! idelres  interger*7    儲存的輸出及重新啟動檔
! u        character*1   時間單位('s'或'h')
!
&outime
idelint = 1,
intunit = 'h',
idelins = 1,
swunit  = 'h',
idelspt = 1,
sptunit = 'h',
idelsps = 1,
spsunit = 'h',
idelres = 24,
resunit = 'h',
&end
! -----
! 指定的輸出時間
! 最多可以指定 100 個時間(yymmddhhmm).
! 假如 noutt > 0，則以上所有指定的輸出時間都將被忽略
!
! -----
! 要求： 所有的輸出時間必須要是一個波播過程的結束時間
! -----
!
&specout
noutt = 0,
iouut = '0901020000',
&end
! -----
! 輸出資料的選定
!
! pflag      邏輯印表輸出
!             .t: 資料要列印； 其他：不列印
! fflag      邏輯檔案輸出
!             .t: 資料要列印； 其他：不列印
! outfield list: 可以輸出的變數

```

```

!          1) significant wave height 2) mean wave direction
!          3) wave mean frequency      4) friction velocity
!          5) wind direction           6) wave peak frequency
!          7) drag coefficient         8) normalised wave stress

!          9) swell wave height       10) swell direction
!          11) wind wave direction    12) swell mean frequency
!          13) spectra of total sea   14) swell spectra
!

!          1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14
&outdata

pflag      = .f.,.f.,.f.,.f.,.f.,.f.,.f.,.f.,.f.,.f.,.f.,.f.,.f.,.f.,
fflag      = .t.,.t.,.t.,.t.,.t.,.t.,.t.,.t.,.t.,.t.,.t.,.t.,.t.,.t.,
&end

! -----
! 模式的特殊設定 (options)
!
!   icase   integer*7   波浪傳播設定
!                   = 1   球面座標系統(spherical)
!                   =其他 直角座標系統(cartesian)
!   ishallo integer*7   淺水波模式旗標
!                   = 1   啟動深水波模式
!                   =其他 啟動淺水波模式
!   irefra  integer    淺化效應設定
!                   = 0   不考慮淺化效應
!                   = 1   考慮地形引起的淺化效應
!                   = 2   考慮地形及水流引起的淺化效應
!   itest   integer    輸出測試結果的等級
!                   > 0   到輸出副程式計算過程的等級
!                   = 0   不作任何測試輸出
!   itestb  integer    若 itest>0，輸出區塊等級的測試結果
!                   > 0   輸出測試結果的區塊等級
!   irest   integer*7  重新啟動設定
!                   = 1   儲存重新啟動檔案
!                   =其他 不儲存重新啟動檔案
!
&options

icase = 1,

```



```

ishallo = 1,

irefra = 1,

itest = 0,

itestb = 4,

irest = 1,

&end

! -----
! 邊界點屬性
!
!
!      ibounc  integer  粗格網的控制旗標
!                      = 1      產生給巢狀(細)格網所需要的資訊
!                      = 其他    不輸入邊界點
!      ibounf  integer  細格網的控制旗標
!                      = 1      設定本程式是在執行一個細格網的計算，其邊界上的相關資訊將
!                      期待由一個先前執行過的粗格網計算結果所提供
!                      = 其他    不輸入邊界點
!
!
&boundary

ibounc = 1,

ibounf = 0,

&end

! -----
! 檔案名稱
!
!      uid      character*3  使用者辨識代號

```

```
!      rid      character*3  執行代碼
!      path      character*60  檔案的路徑
!
```

```
&interface
```

```
userid  = 'jgl',
runid   = 'adr',
inwind  = '/home/knicks/taicoms/wam/wind_wam_0101.dat',
inspec  = '????',
ingrid  = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse/ugridws',
inubuf  = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse/uubufws',
incbou  = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse/ubcrsws',
infbou  = '????',
```

```
resblsp = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse/blspanal',
resslat = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse/slatanal',
reslawi = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse/lawianal',
outpath = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse',
```

```
&end
```

```
! -----
!                      end of user input prog model.
! -----
```

(4) PGRIDmmdd.NML (mmdd 為計算時間的月日)

後處理模組 PGRID 所需之輸入檔主要包含標頭 (runhead)、輸出時間 (outime)、特殊輸出 (outspec)、相關資料路徑 (interface)、輸出內容 (pflags)、輸出格點 (site) 等六個區塊，本計劃使用之相關區塊格式內容及相關說明如下所示。

圖 1.5 後處理模組輸入檔(PGRIDmmdd.NML)區塊格式說明

```
! pgrid 設定檔
!
!
!
!          input of program pgrid (print grid)
!          =====
!  本使用者輸入檔案中各列若以"! "為首字的内容將被視為註解文字
!  -----
!  表頭區塊(會輸出到相關的檔案裡，最多 70 個字)
```

```

!
&runhead

    header='wave model daily run version 4.0a in taiwan',
&end

! -----
!指定區間的輸出時間
!

!          idatea = 起始輸出時間    (yymmddhhmm)
!          idatee  = 終止輸出時間    (yymmddhhmm)
!          ideldo  = 輸出時間的間隔  (second)
!          u       = 時間的單位 ('s'或'h')
!
&outime
    idatea = '0901010000',
    idatee = '0901040000',
    ideldo = 1,
    dunit  = 'h',
&end
! -----
!指定的輸出時間
! 最多可以指定 100 個時間(yymmddhhmm).
! 假如 noutt > 0，則以上所有指定的輸出時間都將被忽略

! -----
!

&outspec

    noutt = 0,

    doutt = '0901010600',
&end

! -----
!檔案要求
!
```

```

!      idatef    = 第一個檔案名稱的時間 (yymmddhhmm)
!      idelfi    = 檔案的時間間隔 (seconds)

!      u         = 時間的單位 ('s'或'h')
!      usd       = 使用者代碼(3 個字元)
!      rid       = 個案代碼(3 個字元，僅限於 cyber_205)
!      fid       = 檔案代碼(3 個字元，建議用'map')
!      path      = 路徑(60 個字元，不含檔名)
!      gradspath = 輸出 grads 的路徑(60 個字元，不含檔名)
!

```

```

&interface

```

```

    idatef = '0901020000',

    idelfi  = 24,
    tunit   = 'h',

    userid  = 'jgl',

    runid    = 'adr',

    fileid   = 'map',

    inpath   = 'g:\wam_swan\wam\coarse',
    gradspath = 'g:\wam_swan\wam\grads',
    netcdfpath = 'g:\wam_swan\wam\output',

    filecont = 'wam090101',
&end

```

```

! -----
! 列印參數設定
!      pflag    : 列印旗標
!                  = t (true) 要列印
!                  = f (false)不列印
! 可列印的參數
!      1) wam wave heights

!      2) wam wave directions

!      3) 10m wind speed

```

```

!          4) friction velocity

!          5) wind direction

!          6) mean period

!          7) peak period

!          8) drag coefficient

!          9) normalised wave stress

!

!          1   2   3   4   5   6   7   8   9

&pflags

pflag = .t.,t.,t.,t.,t.,t.,t.,t.,t.,

&end
!-----
!巢狀格網設定 (本程式是提供給後續的 SWAN 波浪推算使用)
!
!   filenest           = 供巢狀格網計算的檔案名稱

!   ibounc  integer    粗格網的控制旗標
!                       = 1      產生給巢狀(細)格網所需要的資訊
!                       = 其他    不輸入邊界點
!   ibounf   integer    細格網的控制旗標
!                       = 1 設定本程式是在執行一個細格網的計算，其邊界上的相關資訊將
!                       期待由一個先前執行過的粗格網計算結果所提供
!                       = 其他    不輸入邊界點
!   amosoc   real       巢狀格網的最南端緯度 (度)
!   amonoc   real       巢狀格網的最北端緯度 (度)
!   amowec   real       巢狀格網的最西端經度 (度)
!   amoeac   real       巢狀格網的最東端經度 (度)
!                       (當 ibounc = 1 時，這些格網邊界一定要設定)
!
&nest
  filenest = 'swan090101',
  ibounc   = 1,
  ibounf   = 0,
  amosoc   = 21.0,
  amonoc   = 26.0,
  amowec   = 119.0,
  amoeac   = 123.0,

```

```

&end
! -----
! 指定輸出點位座標
! siteno =          輸出點位數目
! sitex  =          指定點位的經度座標 (度)
! sitey  =          指定點位的緯度座標 (度)
! siten  =          指定點位的代碼
!
&site

siteno = 7

sitex = 121.20, 120.48, 120.00, 120.25,
        121.76, 121.90, 121.80
sitey = 25.17, 24.60, 22.94, 22.51,
        25.17, 24.60, 23.96
siten = taipei, taichung, anping, kaohsung,
        keelung, suao, hualien
&end
! -----
!          end of user input program pgrid.
! -----

```

1.4 模式相關輸出檔說明

透過後處理模組 PGRID 可將模式計算結果輸出，每小時輸出一筆資料，輸出內容包含時間、經度、緯度、示性波高、波向、風速、摩擦速度、風向、平均週期、尖峰週期、拖曳力係數以及波浪應力，如下圖所示。

圖 1.6 WAM 模式計算結果輸出檔格式說明

time	lon	lat	Hs	T0	wvdir	Tpeak	U10	wnspd	wndir	drage	wstr
0603040100	120.000	23.000	1.4962	4.8811	4.4763	5.2666	2.6601	0.0853	255.0807	0.0010	0.1020
0603040200	120.000	23.000	1.2926	5.2109	7.4853	6.3726	3.0055	0.0927	256.0548	0.0010	0.0529
0603040300	120.000	23.000	1.1863	5.3875	9.6794	6.3726	3.2330	0.0987	257.5161	0.0009	0.0283
0603040400	120.000	23.000	1.1179	5.4955	11.3118	6.3726	2.8230	0.0863	261.1470	0.0009	0.0193
0603040500	120.000	23.000	1.0664	5.5696	12.5582	6.3726	2.4205	0.0748	268.6367	0.0010	0.0178
0603040600	120.000	23.000	1.0237	5.6218	13.5259	6.3726	2.6361	0.0810	277.3594	0.0009	0.0193
0603040700	120.000	23.000	0.9856	5.6566	14.2603	6.3726	2.9188	0.0890	286.0992	0.0009	0.0249
0603040800	120.000	23.000	0.9503	5.6740	14.7089	6.3726	3.1776	0.0973	294.1059	0.0009	0.0404
0603040900	120.000	23.000	0.9176	5.6693	14.6661	6.3726	3.6900	0.1155	297.0196	0.0010	0.0791

1.5 模式實例操作說明及輸入與輸出結果列印

本計畫應用 WAM 模式能快速模擬風浪能力與 SWAN 模式能解析近岸較小校格網之功能，利用兩者相互配合模擬海面風浪，使用 WAM 模式模擬大範圍海域風浪演變，利用 SWAN 模式內插 WAM 模式所計算出來的二

維頻譜，獲得小範圍 SWAN 模式所需之邊界入射條件，使用巢狀格網進行計算，可清楚模擬出颱風波浪於近岸處的分佈情形。

說明 WAM 模式實例操作過程。遠域計算利用適用於大範圍計算的 WAM 風浪模式進行，其計算範圍為南至北緯 10 度，北至北緯 35 度，西至東經 110 度與中國大陸陸地為界，東至東經 134 度，計算範圍應足可包含台灣附近風浪的影響範圍，且可計算移動較為快速的湧浪，模式的格網大小為 0.2 度，約為 20 公里，最小與最大頻率解析度為 0.05 Hz 和 1.0 Hz，並採指數遞增分佈共 25 個頻率帶，方向波譜之解析度則採用 15 度，計算時間間隔為 6 分鐘。

首先執行格網處理模組 PREPROC，輸入檔檔名為 preproc.nml，依據計算條件設定輸入檔，如圖 1.2 所示，其中包含頻率帶、方位角、最小截頻、計算範圍格網、巢狀格網輸出邊界，並指定地形水深檔輸入路徑，水深檔名為 topo_taiwan.dat。接著執行初始值給定模組 PRESET，輸入檔檔名為 preset.nml，相關設定如圖 1.3 所示，其中包含 JONSWAP 波譜參數設定，並指定輸入風場路徑，輸入風場資料檔名為 wind_WAM_0101.dat，輸入風場範圍為南至北緯 10 度，北至北緯 40 度，西至中國大陸約在東經 110 度，東至東經 140 度。

完成上述模式計算前置作業後，執行風浪計算模組 CHIEF，輸入檔檔名為 wamodel_0101.nml，相關輸入檔設定如圖 1.4 所示，其中包含模式計算時間、時間間距及計算結果輸出時間等。由於風浪計算模組將計算結果以 MAP 檔二為資料格式輸出，必須再執行後處理模組 PGRID，後處理模組輸入檔檔名為 pgrid.nml，相關設定如圖 1.5 所示，其中包含輸出內容及格點等。輸出結果以東吉島為例，如圖 1.6 所示。

1.6 參考文獻

WAMDI Group, "The WAM Model – A Third Generation Ocean Wave Prediction Model," Journal of Physical Oceanography, Vol. 18, pp. 1775-1810 (1988).

附錄 2

SWAN 模式輸入檔範例說明

附錄 2 SWAN 模式輸入檔範例說明

2.1 操作流程

藉由 WAM 所計算出來的二維波浪頻譜結果，作為近域 SWAN 所需之邊界條件；使用 WAM+SWAN 套疊網格進行計算，可清楚模擬出颱風波浪於近岸處的分佈情形。SWAN 操作流程須具備 CBO 邊界資料檔案、MC 風場資料及水深資料，並依計算條件設定相關輸入檔，即可進行波浪計算。中繼檔是給下一個時段 SWAN 模擬所需的資料。

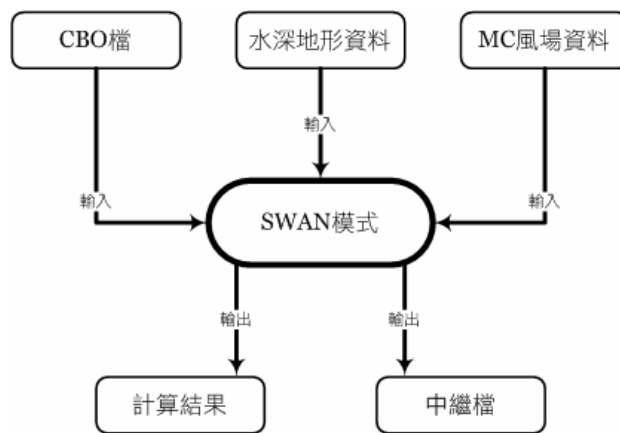


圖 2.1 SWAN 風浪模式操作流程

2.2 模式相關程式檔說明

目前所使用的 SWAN 模式版本為 SWAN cycle III Version 40.51A，模式執行程式包含前處理程式(preswan.exe)及主要計算程式(swan.exe)。為了簡化相關操作程序，使用了批次處理的方式來進行模式計算，以便能輕易地完成整個模式的計算過程。

模式程式檔之執行方式簡介如下：在 Linux 環境下，模式所在目錄須包括下列檔案：模式輸入檔(由 taicoms_run.exe 產生)、水深資料(sub1_6hc.z)、風場資料(原始資料需經 taicoms_run.exe 處理)及 CBO 邊界資料檔(wam 模式計算產生)。執行批次檔(/taicoms/wam/mainrun.sh)，即可完成模式計算。

2.3 模式相關輸入檔說明

下面為 SWAN 輸入設定檔 taicoms0001.swn 範例，基本的說明資料已直接附加在其中。另外礙於計算時間考量，目前下方所使用的設定檔內容並未完全使用到 SWAN 所有的功能。

```
$ SWAN 輸入設定檔案
$ 輸入列最大長度 = 120 字元
$ 檔案名稱最大長度 = 36 字元
$ 繪圖標題最大長度 = 36 字元
$ 檔案名稱最大個數 = 99 個
PROJ '港灣技術研究中心' '0101'
$ 基本常數設定包括：水位、正北方角度、門檻水深、錯誤訊息容許量、重力加速度、海水密度等
等
SET level 0
SET nor 90
SET depmin 0.05
SET maxmes 200
SET maxerr 1
SET grav 9.81
SET rho 1025
SET inrhog 0
SET hsrerr 0.10
SET CART
SET pwtail 4
SET froudmax 0.8
SET printf 4
SET prtest 4
$ 定常模式 二維
MODE STAT TWOD
$ 球面座標系統 投影方式
COORD SPHE CCM
$ 計算格點設定
CGRID REG 119.000 21.000 0.0 4.000 5.000 100 125 CIR 24 0.05 1 25
$ 輸入地形格點設定
INP BOT REG 119.000 21.000 0.0 100 125 0.040 0.040
$ 讀取地形
READ BOT 1. '/home/knicks/taicoms/swan/sub1_6hc.z' 3 0 FRE
$ 輸入風場格點設定
INP WI REG 110.0 10.0 0.0 300 300 0.08333 0.0833
$ 讀取風場
READ WI 1. '/home/knicks/taicoms/swan/0501010100wnd' 3 0 FOR '(10x, 10f9.4)'
$ 邊界條件設定
BOUN SHAP JON 3.3 MEAN DSPR POW
$由 CBO 檔案取出邊界條件
BOUN SIDE N CLOCKW VAR PAR 0.02 1.06 4.62 203.29 2. &
0.04 1.16 4.65 201.02 2. 0.04 1.22 4.66 199.97 2. &
0.04 1.28 4.67 198.98 2. 0.04 1.32 4.68 197.32 2. &
0.04 1.35 4.69 195.10 2. 0.04 1.38 4.69 192.38 2. &
0.04 1.39 4.70 188.98 2. 0.04 1.41 4.71 185.53 2. &
0.04 1.43 4.72 182.00 2. 0.04 1.47 4.74 178.66 2. &
0.04 1.51 4.76 175.80 2. 0.04 1.55 4.79 173.31 2. &
0.04 1.60 4.81 171.23 2. 0.04 1.64 4.83 169.63 2. &
0.04 1.68 4.85 168.22 2. 0.02 1.70 4.86 167.00 2.
BOUN SIDE E CLOCKW VAR PAR 0.02 1.70 4.86 167.00 2. &
```

0.04	1.70	4.86	168.40	2.	0.04	1.70	4.86	169.87	2.	&
0.04	1.70	4.86	171.41	2.	0.04	1.70	4.86	173.10	2.	&
0.04	1.70	4.85	174.91	2.	0.04	1.69	4.85	176.97	2.	&
0.04	1.69	4.85	179.20	2.	0.04	1.68	4.84	181.61	2.	&
0.04	1.68	4.84	184.19	2.	0.04	1.68	4.84	186.81	2.	&
0.04	1.69	4.84	189.42	2.	0.04	1.70	4.84	191.88	2.	&
0.04	1.71	4.85	194.10	2.	0.04	1.73	4.86	196.05	2.	&
0.04	1.75	4.87	197.68	2.	0.04	1.77	4.89	199.11	2.	&
0.04	1.78	4.90	200.29	2.	0.04	1.79	4.90	201.37	2.	&
0.04	1.80	4.91	202.37	2.	0.04	1.80	4.92	203.35	2.	&
0.04	1.80	4.92	204.31	2.	0.04	1.80	4.92	205.25	2.	&
0.04	1.79	4.92	206.15	2.	0.04	1.78	4.92	207.03	2.	&
0.02	1.77	4.92	207.82	2.						
BOUN SIDE S CLOCKW VAR PAR 0.02 1.77 4.92 207.82 2. &										
0.04	1.77	4.92	209.23	2.	0.04	1.77	4.92	210.70	2.	&
0.04	1.77	4.91	212.23	2.	0.04	1.77	4.91	213.78	2.	&
0.04	1.76	4.91	215.30	2.	0.04	1.74	4.90	216.77	2.	&
0.04	1.71	4.88	218.04	2.	0.04	1.67	4.86	219.15	2.	&
0.04	1.61	4.84	219.83	2.	0.04	1.55	4.81	220.14	2.	&
0.04	1.49	4.78	219.86	2.	0.04	1.44	4.76	218.85	2.	&
0.04	1.39	4.74	217.28	2.	0.04	1.36	4.73	215.15	2.	&
0.04	1.33	4.72	212.82	2.	0.04	1.34	4.72	210.62	2.	&
0.04	1.36	4.72	208.86	2.	0.04	1.39	4.74	207.72	2.	&
0.04	1.43	4.75	207.11	2.	0.02	1.47	4.78	207.07	2.	&
BOUN SIDE W CLOCKW VAR PAR 0.02 1.47 4.78 207.07 2. &										
0.04	1.47	4.77	207.49	2.	0.04	1.48	4.77	207.87	2.	&
0.04	1.50	4.78	208.15	2.	0.04	1.53	4.79	208.28	2.	&
0.04	1.57	4.81	208.30	2.	0.04	1.61	4.83	208.28	2.	&
0.04	1.67	4.85	208.28	2.	0.04	1.72	4.88	208.31	2.	&
0.04	1.78	4.90	208.39	2.	0.04	1.83	4.93	208.55	2.	&
0.04	1.87	4.94	208.74	2.	0.04	1.89	4.95	208.92	2.	&
0.04	1.89	4.95	209.09	2.	0.04	1.86	4.94	209.18	2.	&
0.04	1.80	4.91	209.18	2.	0.04	1.72	4.87	209.10	2.	&
0.04	1.61	4.82	208.85	2.	0.04	1.48	4.76	208.68	2.	&
0.04	1.33	4.68	209.13	2.	0.02	1.07	4.51	212.59	2.	&
\$ 物理現象模擬										
\$ 第三代波浪模式										
GEN3 KOM 2.36e-5 3.02e-3										
\$ 碎波參數										
BRE CONSTANT 1.0 0.73										
\$ 摩擦係數										
FRICTION JON 0.067										
\$ 三波交互作用										
TRI 0.1 2.2 0.2 0.01										
\$ 輸出單點或全區域的資料，包括示性波高、波向、主波向、平均週期等等										
POIN 'tp'	121.20 25.17									
TAB 'tp'	HEAD	'swan05010101tp' HS DIR PDIR TM01 RTP PER TM02 DEP WIND XP YP								
POIN 'tc'	120.48 24.60									
TAB 'tc'	HEAD	'swan05010101tc' HS DIR PDIR TM01 RTP PER TM02 DEP WIND XP YP								
POIN 'ap'	120.00 22.94									
TAB 'ap'	HEAD	'swan05010101ap' HS DIR PDIR TM01 RTP PER TM02 DEP WIND XP YP								
POIN 'ks'	120.25 22.51									
TAB 'ks'	HEAD	'swan05010101ks' HS DIR PDIR TM01 RTP PER TM02 DEP WIND XP YP								
POIN 'kl'	121.76 25.17									
TAB 'kl'	HEAD	'swan05010101kl' HS DIR PDIR TM01 RTP PER TM02 DEP WIND XP YP								
POIN 'sa'	121.90 24.60									

```

TAB 'sa'    HEAD    'swan05010101sa' HS DIR PDIR TM01 RTP PER TM02 DEP WIND XP YP
POIN 'hl'   121.80 23.96
TAB 'hl'    HEAD    'swan05010101hl' HS DIR PDIR TM01 RTP PER TM02 DEP WIND XP YP
TAB 'COMPGRID' HEAD    'swan05010101.tbl' HS DIR PDIR TM01 RTP PER TM02 DEP WIND XP
YP
$ 測試用指標
TEST 1      0
$ 開始計算
COMP
$ 產生中繼檔
HOTF 'swanhot0001'
$ 計算結束
STOP

```

2.4 結果輸出檔案說明

SWAN 計算的結果輸出格式依照輸入設定檔中 TABLE 指令之設定，結果如表 2.1 之範例，TABLE 指令之設定為每小時輸出一筆資料，輸出內容包含時間、經度、緯度、示性波高、平均週期、尖峰週期、波向、x 方向風速、y 方向風速、水深、風速及風向。另外輸出的表格除單點(七大商港)資料外，另外會輸出全部計算範圍的資料。

表 2.1 結果輸出檔範例格式

TIME	XP	YP	HS	TM01	RTP	DIR	WX	WY	DEP	WSPEED	WDIR
101010900	119.6	23.56	0.5483	2.035	2.94	209.5	-6.948	-4.589	25	8.326681512	213.4438752
101011000	119.6	23.56	0.5846	2.012	2.94	209.1	-6.2	-4.698	25	7.77889478	217.1527332
101011100	119.6	23.56	0.5865	1.965	2.94	210.8	-5.421	-4.784	25	7.230068948	221.4282073
101011200	119.6	23.56	0.5815	1.988	2.608	219.3	-4.325	-4.666	25	6.362167948	227.1720032
101011300	119.6	23.56	0.5799	2.038	2.608	234.8	-3.162	-4.493	25	5.494114396	234.8635937
101011400	119.6	23.56	0.5769	2.12	2.94	269	-1.913	-4.212	25	4.626068849	245.5734687
101011500	119.6	23.56	0.5788	2.213	3.736	305.1	-1.554	-4.533	25	4.791972976	251.0772926
101011600	119.6	23.56	0.5943	2.27	3.736	313.7	-1.178	-4.816	25	4.95797741	256.2552482
101011700	119.6	23.56	0.6069	2.31	3.736	316.7	-0.7924	-5.063	25	5.124633329	261.1049098
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

2.5 模式操作說明

利用 WAM 模式能快速模擬風浪能力與 SWAN 模式能解析近岸較小網格之功能，利用兩者相互套疊來模擬海面風浪，使用 WAM 模式模擬大範圍海域風浪演變，利用 SWAN 模式內插 WAM 模式所計算出來的二維頻譜，獲得小範圍 SWAN 模式所需之邊界入射條件，使用套疊網格進行計算，可清楚模擬出颱風波浪於近岸處的分佈情形。

SWAN 模式實例操作過程。SWAN 模式之計算範圍：緯度介於北緯 21 度與北緯 26 度之間，經度則介於東經 119 度與東經 123 度之間；模式所使用的網格大小 0.04 度，最小與最大頻率解析度為 0.05 Hz 和

1.0 Hz，並採指數遞增分佈共 25 個頻率帶，方向波譜之解析度為 15 度，共計 24 個方位角，計算時間間隔為 10 分鐘。地形水深檔檔名為 sub1_6hc.z，資料排列方式自左下往右排列，再由下往上排列。輸入風場範圍為南至北緯 10 度，北至北緯 34 度，西至東經 110 度，東至東經 135 度，格網大小 0.2 度，每 1 小時輸入一筆風場資料，風場序列檔檔名為 yymmddhhnnwnd(年年月月日日時時分分 wnd)。利用 WAM 模式生成之套疊網格邊界檔檔名為 wam_nestmdd.dat。模式計算結果輸出於 swan_yymmddhh.tbl，依據上述計算條件進行模式設定模式相關輸入檔。

2.6 模式原始程式檔

目前所使用的 SWAN 風浪模式為 SWAN Cycle III version 40.51A，由於 SWAN 原始程式碼相當龐大，此處不特別印出，有興趣查閱者請經由上述網址取得原始程式碼觀看。

2.7 參考文獻

1. Booij, N., L.H. Holthuijsen and R.C. Ris, "The SWAN Wave Model for Shallow Water," Proceedings of 24th International Conference on Coastal Engineering, ASCE, Orlando, Vol. 1, pp. 668-676 (1996).
2. Booij, N., L.H. Holthuijsen and I.J.G. Haagama, "Comparison the Second-Generation HISWA Wave Model with the Third-Generation SWAN Wave Model," Proceedings of 5th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, Jan. 27-30, Melbourne, Florida, pp. 215-212 (1998).
3. Holthuijsen, L.H., N. Booij, R.C. 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).
4. 歐善惠、許泰文、臧效義、方介群、廖建明，「應用 SWAN 波浪模式推算台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)。

5. 歐善惠、許泰文、臧效義、廖建明、方介群，「應用 SWAN 模式於台灣西部海域之波浪預測」，第二屆國際海洋大氣會議論文彙編，183 頁-188 頁 (2000)。
6. 歐善惠、許泰文、廖建明、臧效義、鄧秋霞，「近岸颱風波浪推算之研究」，2001 海洋數值模式研討會論文集，5-1 頁-5-19 頁 (2001)。

附錄 3

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
■期中□期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：提昇海岸及港灣海域波浪模擬技術之研究(1/4)

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

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、楊德良委員： 1. 在報告之撰寫上，仍有待改進的地方，例如：有錯別字，WAM 代表全部之英文字，文獻上要一致，作者要全部寫出來；模擬與實測數據之比較，應以彩色區別等，以利閱讀之完整性。 2. 在數值模式，都使用目前之模式，如 WAM，SWAN，REF/DIF-1，使用模式時，對相接邊界條件之連接，Mesh 之獨立性，參數之敏感度，模擬數據與觀測資料相似或不相似，其物理機制為何？如何改善，應檢視其因果關係。 3. 報告中，許多數模細節並沒有交代，如內容太多，可放在 APPendix 詳加說明。 4. 請與另一子計畫－水動力，相互配合。	1. 謝謝委員指正，將於期末報告修正。 2. 將於期末報告加強說明及檢視相關問題之因果關係。 3. 將於期末報告加強說明，惟對於 WAM 及 SWAN 因程式過於複雜將視研究進度逐步詳加說明。 4. 謝謝委員建議。	同意合作研究單位之說明與處理情形。 同意合作研究單位之說明與處理情形。 同意合作研究單位之說明與處理情形。

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
四、林銘崇委員：(書面審查)： 1. 計算成果豐富，計算處裡執行技巧純熟。 2. 針對目前已進行之模擬技術提昇改善之說明可加強。	1. 謝謝委員肯定。 2. 謝謝委員建議，將於期末報告加強說明。	同意合作研究單位之說明與處理情形。
五、蘇青和委員： 1. 提昇波浪模擬技術為計畫重點工作，建議對整體精進或提昇作為作較詳細說明。 2. 第3章大、中、小及細等4個波浪模式相關理論介紹可置於附錄，增加模式系統之流程圖。 3. 第4章預報成果評估，除年度每個颱風為重點外，建議增加冬季及夏季代表性期間，模擬與觀測值比對及檢核，評估也增加誤差統計說明。 4. 中尺度波浪模擬(SWAN)，與觀測值比對成果評估，除基隆港與臺北港外，建議增加本中心目前設有現場觀測資料之港口(包括澎湖、馬公港)。 5. 基隆港與臺北港之小尺度波浪模擬(REF/DIF)，與觀測值比對成果評估，建議增加年度颱風、冬季及夏季代	1. 謝謝委員建議，將於期末報告加強說明。 2. 將於期末報告加強說明。 3. 將於期末報告加強冬季及夏季模擬結果說明。 4. 將與中心進一步討論相關細節。 5. 將於期末報告補充說明。	同意合作研究單位之說明與處理情形。 同意合作研究單位之說明與處理情形。 同意合作研究單位之說明與處理情形。 同意合作研究單位之說明與處理情形。 同意合作研究單位之說明與處理情形。

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
表性之歷線比對。 6. 基隆港與臺北港之細尺度港內波浪模擬，與觀測值比對成果評估，建議增加年度颱風之港內波高分析、並與觀測值比對檢核。	6. 謝謝委員建議。	
六、簡仲璟委員： 1. 有效且精確模擬各主要港區波浪為本計畫目標，因此對於目前波浪模式之計算結果與實測值之比較可再加強，除檢討其差異原因外(例如波向、週期)對模式之改善應研擬較具體之作法。 2. 風浪模擬評估除颱風時期外，是否可增加季風期間或波高超某一設定值(如 1 公尺)以上才納入評估。 3. 第 4-22 頁中所述拉長疊代天數為何可克服地形差異問題?圖 4-26 不容易檢視地形差異到底有多少?建議縮小色階範圍。波向圖建議改用向量(箭矢圖)表示較目前色階圖容易判讀。 4. 港區小尺度波浪折繞射模式(REF/DIF)目前建置情形及計算結果如何?建議補充說明。	1. 謝謝委員建議，遵照辦理。 2. 將與中心進一步討論細節。 3. 有關文章內容描述語意不清楚地方將於期末報告修正。 此外，地形差異色階的調整與箭矢波向圖的呈現將於期末報告做修正與說明。 4. 將於期末報告補充說明。	同意合作研究單位之說明與處理情形。 同意合作研究單位之說明與處理情形。 同意合作研究單位之說明與處理情形。 同意合作研究單位之說明與處理情形。

附錄 4

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
☐期中 ☒期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：提昇海岸及港灣海域波浪模擬技術之研究(1/4)

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

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、林銘崇委員：		
1. WAM 模式模擬淺水波浪+流對波浪之影響係如何處理？	1. 淺水波浪係指風浪模擬過程波浪相關參數計算考慮水深變化引起的淺化效應；此處所指淺水波浪+流對波浪之影響是指模式模擬結果除了考慮地形水深變化引起的淺化及折射效應外，同時考慮流對波浪的影響包括波數(向量)及頻率之改變，實際的處理情形仍需進一步由程式 code 的計算流程反推(因為尚未找到更詳細描述的使用手冊)。	同意合作研究單位之說明與處理情形。
2. 波向定義修正之說明可加強。	2. 謝謝委員建議，將於文章說明清楚，避免誤解。	定稿已說明。
3. WAM 模式模擬係以西太平洋為對象，依其結果比較、分析臺灣近海甚至港區波浪，並不盡適切。	3. 謝謝委員意見，目前大尺度西太平洋模擬範圍之網格解析度實不足以描述臺灣近海甚至港區波浪；本文以港區波浪觀測資料做比較之目的主要說明本年度 WAM 模式模擬結果改善之情形。	同意合作研究單位之說明與處理情形。

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
二、梁乃匡委員： 1. 已對 TaiCom 的波浪模式做了改進。 2. 颱風期間以模型颱風的風場來推算，但颱風之外的風場則未考慮，如此有時與實際差異不小，例如共伴效應，此問題不可忽視。 3. 圖 4-8 b, c 的波向頗為怪異，請檢討。	1. 謝謝委員之肯定。 2. 颱風期間以模型颱風的風場來推算是 TaiCOMS 初期之規畫，目前仍以中央氣象局預報之風場為主，故有考慮到颱風之外的風場。 3. 圖 4-8 所示為模式 Cold start 之初始結果，主要說明在 Cold start 階段波浪場是給定一假設的均勻波譜能量且波向角假設為零度(正北)，因此採用 Cold start 方式模擬時模式必需經歷一段時間才能達到完全發展(成熟)的階段，故模式初期不正確的模擬結果必須排除。	同意合作研究單位之說明與處理情形。 同意合作研究單位之說明與處理情形。
三、楊德良委員： 1. P.3-1, Eq(3-2)，既為三維，為何沒有 R? 但有 θ 為何？沒有定義？請補足之。 2. P3-11, 3.4 港域波浪模式理論簡述，既為自己研發，請強調之，是否用 mild slope 橢圓線性模式。	1. 模式中 θ 為波向角，非空間座標角度，故模式空間座標維度實際上考慮經度及緯度為平面(曲面)二維座標；有關模式符號定義及說明將於正式報告補充說明。 2. 謝謝委員建議。港域波浪模式是採用線性橢圓型緩坡方程式發展而成的。	定稿已補充說明。 同意合作研究單位之說明與處理情形。

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. P4-33, 圖 4-22a→圖 4-24b, 比較圖應放在同一頁, 臺灣 scale 兩者 (本文與 TaiComs) 請繪一致。	3. 謝謝委員建議。 正式報告相關圖形版面配置會調整至同一頁, 以利閱讀及比較。	定稿已調整。
4. P5-6, 圖 5-5 mesh 因紅色太濃, 而看不清楚, 何不用黑白印刷, 以改善品質(並放大紙面)。	4. 謝謝委員建議。	定稿已改進。
5. P-5-13, 圖 5-14 看不到計算網格請補足之。	5. 謝謝委員建議。	定稿已補充。
6. P5-18, measured 之繪圖應為・不要用實線, Modeling 不要用+, 而是應實線連接, 因為 measured 為 discrete, modeling 為 continuous。	6. 謝謝委員建議。	定稿已改進。
7. P6-30, 為何圖 6-40, measured 與用 RC Wind 及 MC Wind 相差那麼多, 請詳加說明。	7. 圖 6-39 及圖 6-40 所示應為大尺度西太平洋風浪模式(採用 RC 風場)及中尺度臺灣近海風浪模式(採用 MC 風場)之模擬結果, 其中臺灣近海風浪模式採用 SWAN 模式, 故二者在波向之模擬結果會出現較大差異。	同意合作研究單位之說明與處理情形。
8. 大、中、小細尺寸之邊界相接, 請詳細以數據及圖說明之。	8. 謝謝委員建議, 由於目前在大、中尺度間模式之相接處仍有部份處理上的問題待釐清, 因此擬於下年度計畫再一併詳細補充說明。 此外, 目前中尺度、小尺度及細尺度模式間暫無考慮邊界銜接之問題。	同意合作研究單位之說明與處理情形。

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
9. 參-1，參考之文獻，請再對照補全。 10. 請在計算圖於中尺度SWAN模擬範圍，加上金門、馬祖站。 11. 中文專有名詞請附上英文。 12. 文中符號應全程使用，請統一之。	9. 謝謝委員建議。 10. 謝謝委員建議，已於正式報告中加註。 11. 謝謝委員建議。 12. 謝謝委員建議。已於正式報告中增列符號統一說明。	定稿已改進。 定稿已改進。 定稿已附。 定稿已改進。
四、蔡清標委員： 1. 本年度先針對WAM模式之模擬精度改善，研究結果確有提昇預報精度。 2. 研究摘要及結論與建議太簡略，建議改善。 3. 某些符號作不同定義，請修正，並附符號說明表。 4. 大、中、小細尺度範圍建議先以一張整合圖說明之，其選定原則為何？建議有說明。 5. 網格大小對精度之影響如能探討，將更佳。 6. 夏季風浪之模擬結果精度較差，原因何在？	1. 謝謝委員肯定。 2. 謝謝委員建議，已於正式報告中增列符號統一說明。 3. 謝謝委員建議，遵照辦理。 4. 謝謝委員建議，遵照辦理。 5. 謝謝委員建議，網格大小對模擬精度之影響擬於下年度列為優先探討主題。 6. 對於本年度探討的基隆港及臺北港而言，夏季風浪波向觀測結果顯示除了受到臺灣本島遮蔽及繞射影響外，還受到近岸地形水深變化產生的折射效應影響；但大尺度模擬結果除了受到計算網格解析度較低影響	定稿已改進。 定稿已修正。 定稿已改進。 同意合作研究單位之說明與處理情形。 同意合作研究單位之說明與處理情形。

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
	外，目前波浪模擬結果僅為深水波浪，不僅無法呈現出地形水深變化對波浪之影響，亦無法模擬出臺灣本島對波浪傳播之影響，故大尺度模式夏季季風波浪模擬結果在北部海域與近岸波浪觀測結果易出現較大誤差；中尺度模擬結果誤差較大的原因仍有待進一步探討。	
7. 港池岸壁之反射率，於本研究之設定為何？	7. 港池岸壁之反射率之決定主要參考岸壁結構物型式而假定其反射率，有關基隆港及臺北港港池岸壁之反射率之大小可參考 99 年及 97 年研究報告說明。	同意合作研究單位之說明與處理情形。
8. 小尺度 REF/DIF 模式為非線性，但細尺度之 FEHWM 為線性（兩者均為緩坡方程式），這樣銜接好嗎？小、細尺度可能整合為一模式嗎？	8. 謝謝委員建議，由於中心對於二模式之考量主要著眼於功能性取向，暫時沒有整合為一模式之計畫。	同意合作研究單位之說明與處理情形。
9. 附錄 3 期中處理情形應依定稿內容作修正。	9. 謝謝委員建議並遵照辦理。	定稿已修正。
五、蘇青和委員：		
1. 針對大尺度 WAM 模式之精度有突破改進部份，建議增加此部份之成果說明。	1. 謝謝委員肯定，遵照辦理。	定稿已改進。
2. 中尺度 SWAN 模擬範圍擴大，建議增加金門及澎湖之成果比對及驗證。	2. 有關金門及澎湖之成果比對及驗證擬於下年度計畫一併考慮。	同意合作研究單位之說明與處理情形。

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. 第六章建議增加基隆港及臺北港兩港，在年度颱風期間之小尺度及細尺度成果比對評估。	3. 遵照辦理，於正式報告中增加小尺度之成果比對與評估。	同意合作研究單位之說明與處理情形。
4. 第六章成果評估，風場比對及波場比對部份，應加強誤差原因說明及探討。	4. 遵照辦理。	同意合作研究單位之說明與處理情形。
六、簡仲璟委員：		
1. 報告之章節順序與名稱建議作調整及修改。如原第二章與第三章互換。原第二章之預警系統及第五章之預警子系統，報告並無相關對應說明，為避免誤解，因此建議刪除”預警”字眼。第六章主要在進行風場及波浪數值模擬結果與現場觀測之比較評估，因此本章節名稱建議改為「風場及波浪模擬結果與實測比較評估」。	1. 謝謝委員建議，經過評估如將第二章與第三章互換則目前文章論述修正過大，因此傾向於下年度報告再做調整；其餘則遵照辦理。	同意合作研究單位之說明與處理情形。
2. 100年約10月1日至4日期間橫越菲律賓呂宋島之秋颱奈格(氣象局未發佈颱風警報)與東北季風出現共伴效應，致使基隆港實測示性波高達5.5公尺，砂石船瑞興輪於野柳外海擱淺後斷成二截，造成多人傷亡。故建議計對該期間之波浪預報結果與實測作比較探	2. 相關颱風波浪之模擬結果將於正式報告補充說明。	定稿已補充說明。

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
討，以明瞭特殊氣象條件下之計算結果。 3. 模式精進方面對於利用二次拋物線契合方法改善波浪週期階梯狀變化及用內插方式改善模式計算點與現測點位相距過遠所造成之偏差過大等，請進一步詳細說明其改善方法。若有改善後的成果也請一併顯示及比較說明。 4. TaiCOMS (Taiwan Coastal Operation Modeling System) 之中文名稱宜統一，其內容是模式?模組?系統?請補充說明。	3. 有關譜峰週期部份，本計畫已修正平均週期之計算，因此可比照觀測資料採用 T_p 及 T_{m2} 間線性關係計算 T_p 值。 關於空間內插問題目前尚無成果，擬於下年度再進行研究。 4. 謝謝委員建議。	同意合作研究單位之說明與處理情形。 定稿已說明。

附錄 5

期末簡報資料

交通部運輸研究所合作研究計畫

(MOTC-IOT-100-H3DB005a)

提昇海岸及港灣海域波浪模擬技術之研究
(1/4)

期末簡報

財團法人成大研究發展基金會
劉正琪



提昇海岸及港灣海域波浪模擬技術之研究(1/4)

簡 報 大 綱

1. 期中審查意見說明
2. 本計畫目的、研究內容及工作項目
3. 近岸海象波浪模擬系統之模式簡介
4. 風浪模式之精進與評估
5. 港區風浪模擬預警子系統
6. 結論與建議

期中審查意見說明

❖ 關於各模式之邊界條件及其銜接性、網格獨立性、參數之敏感度以及模擬結果與觀測資料間相似及不相似之物理機制為何？等問題說明及檢討

由於上述問題除了與各模式之基本方程式及其能求解之物理機制有關外，更涉及到各模式之程式核心，(實無法在短期內逐一完成)，因此本年度先針對WAM模式進行檢討並僅可能地將成果呈現於期末報告中。

❖ 有關各數模細節未能交代清楚部份

本年度已先針對WAM模式就瞭解部份加強說明，未來再針對SWAN部份補充說明，以期建立計畫完整性。

❖ 關於WAM及SWAN模式模擬結果差異頗大問題？

目前WAM模式模擬結果不合理的地方已大部份獲得改善(如期末報告所述)，未來將朝向改善模式淺水波模擬能力及提升網格解析度等方向著手，則

WAM模式模擬結果仍值得期待。

❖ 有關“提昇波浪模擬技術或改善”方面之作為應加強說明部份

期末報告已先針對WAM模式波浪模擬結果之改善成果加強說明，未來(下年度)再針對SWAN部份進行研究。

❖ 有關小尺度及細尺度模式模擬結果與觀測值比較之成果評估部份

目前細尺度(港域波浪部份)尚無法做到與觀測值之比較成果評估程度，小尺度部份擬於期末正式報告補充說明。

❖ 其他關於文章勘誤、圖示不清、文字說明需加強等

已於初稿儘可能地修正，仍有遺漏之處，尚請委員見諒，不吝指正，以期使本報告更加完善。此外，部份審查意見及建議如回覆不盡理想或不克處理的地方，亦請委員見諒。

本計畫目的、研究 內容及工作項目

計畫目的

本計畫之目的：

- 1) 提昇海岸及港灣海域波浪模擬之技術；
- 2) 執行預報模式作業化成果評估；
- 3) 協助港研中心執行作業系統之維護、軟硬體之更新測試等相關工作。



本年度研究內容

本年度為四年計畫之第一年：

研究對象：**基隆港區及台北港區**

研究範圍：
1)波浪模擬作業化相關技術之改善；
2)系統作業化成果之評估；
3)協助港研中心建立基隆港區及臺北港區
風浪模擬預警子系統



本年度工作項目

1. 自動化波浪預報模擬精度之改善，以颱風侵臺時期颱風波浪為研究重點；
2. 基隆港區及臺北港區風場(氣壓)、波浪預報模式作業化成果評估，以港灣技術研究中心及氣象局現場觀測資料進行校驗及精度評估等工作。
3. 基隆港區及臺北港區兩港口長期風場及波場模擬結果特性分析；
4. 協助建立基隆港區及臺北港區風浪模擬預警子系統，並進行教育訓練。
5. 作業系統維護與資料分析等相關工作。

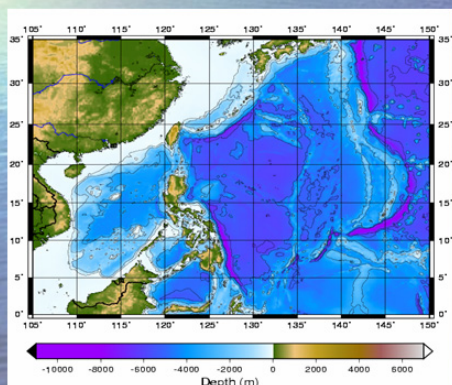
近岸海象波浪模擬 系統之模式簡介

近岸海象波浪數值模擬—模式簡介(1)

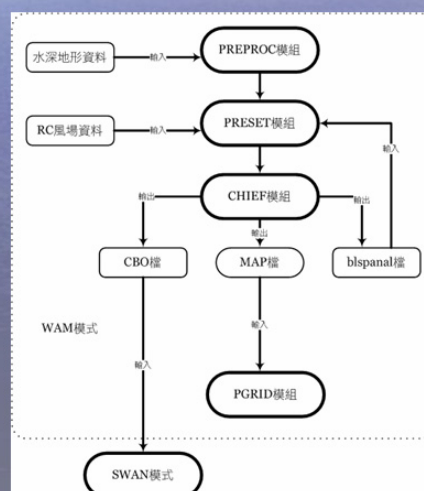
1. 大尺度之西太平洋範圍風浪模式(WAM)

波浪能量平衡方程式

$$\frac{\partial E}{\partial t} + (\cos \phi)^{-1} \frac{\partial}{\partial \phi} (C_{\phi} E) + \frac{\partial}{\partial \lambda} (C_{\lambda} E) + \frac{\partial}{\partial \theta} (C_{\theta} E) = S_{net}$$



西太平洋範圍風浪預報模式

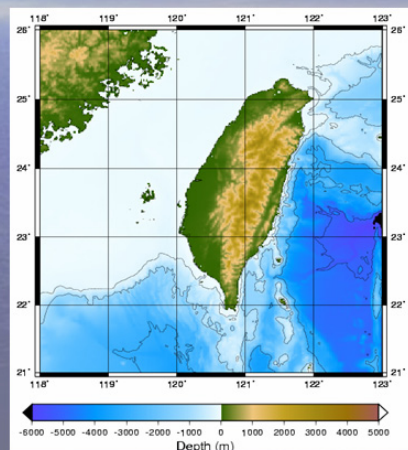


近岸海象波浪數值模擬—模式簡介(2)

2. 中尺度之臺灣周圍海域風浪模式(SWAN)

頻譜作用力平衡方程式

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S}{\sigma}$$



台灣周圍海域風浪預報模式

財團法人成大研究發展基金會

13

近岸海象波浪數值模擬—模式簡介(3)

3. 小尺度港區近岸波浪折繞射模式(REF/DIF)

基本假設

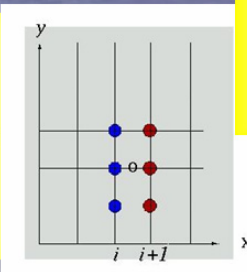
- 緩坡…底床變化緩慢($\Delta h/L$ is small)
- 弱非線性…($U_f = HL^2/h^3 < 40$);
- 波向有限制;
- Forward scattering of waves;

能量消散

$$\frac{\partial A}{\partial x} = \frac{i}{k} \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + \nu A$$

數值求解方法

- Crank-Nicolson 求解技巧
- x方向採前項差分，但中心在 $i+1/2$;
- y方向採中央差分 ($\Delta x^2, \Delta y^2$);
- 有效率的 tridiagonal solver;



側向邊界

- Close B.C.
- Open B.C. (Snell's Law)

財團法人成大研究發展基金會

14

近岸海象波浪數值模擬－模式簡介(4)

4. 細尺度港域波浪模式(FEHWM)

基本假設及理論

- 緩坡…底床變化緩慢($\Delta h/L$ is small)

- 線性橢圓型緩坡方程式

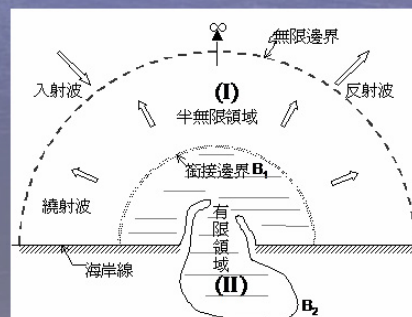
$$\nabla \cdot (C_g \nabla \phi) + (C_g K^2 + i\omega \mu + iC_g \omega) \phi = 0$$

- 無波向限制

數值求解方法

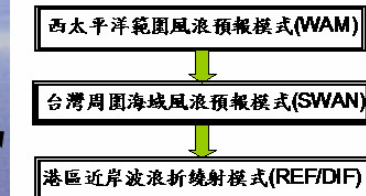
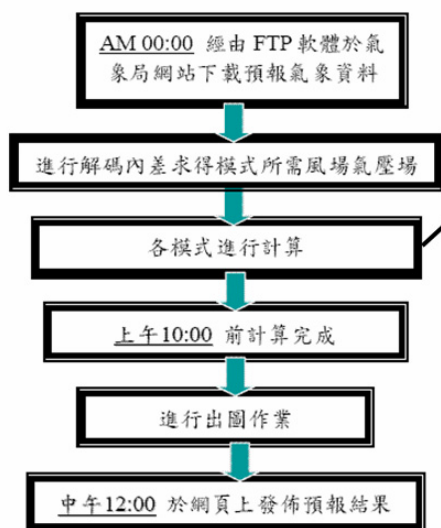
- 領域(I)使用理論解析法，領域(II)使用有限元素法合併求解；
- 採用線性三角形元素描述變數之空間變化；
- 採用高斯消去法求解係數矩陣；

財團法人成大研究發展基金會



15

近岸海象波浪數值模擬－作業化流程



近岸海象數值模擬及預警系統
每日線上作業(72小時模擬)

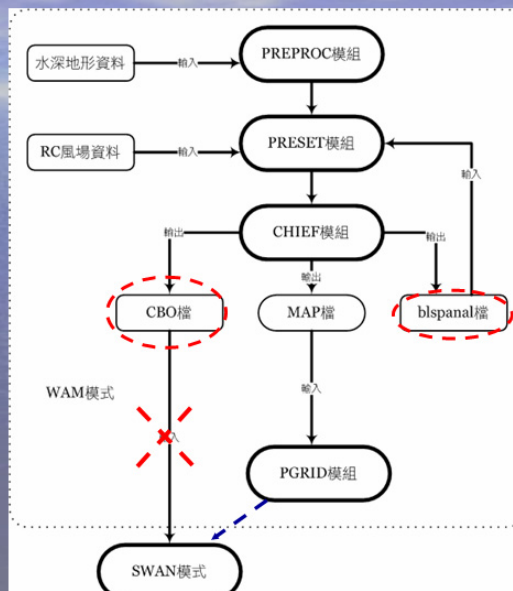
財團法人成大研究發展基金會

16

風浪模式之精進與評估

WAM模式架構與程式流程之研究

1. 前置處理模組 (PREPROC及PRESET)；
2. 波浪模擬主程式 (CHIEF及BOUNT)；
3. 後處理模組(PGRID、PSWGRID、PSPEC及PSWSPEC)；





WAM模式模擬選項之研究

波浪模擬型態

1. 深水波浪模擬
(TaiCOMS操作模式)
2. 淺水波浪模擬
(地形水深變化效應)
3. 淺水波浪+流對波浪之影響；

1. 海面10m處風速資料
2. 海面上風摩擦速度資料

其他模擬選項

1. 粗網格波浪模擬
(TaiCOMS操作模式)
巢狀(細)網格波浪模擬
2. Cold start 或 Hot start
3. 初始波浪場(Cold start)
 - 1) 給定均勻之波譜場
 - 2) 由風場計算波譜場
 - 3) 假設波浪能量為零

財團法人成大研究發展基金會

19



WAM模式輸出結果之研究

一維模擬結果輸出檔

1. 指定格點時序列模擬
結果輸出(非格式化)
(座標、時間、波浪能譜之頻率數目及方向數目、能譜之起始計算波向及最小頻率、示性波高、平均波向、平均週期、風引起的摩擦速度、風向、波浪能譜資料等)
2. 巢狀網格邊界點之時
序列模擬結果輸出
(波譜資料，非格式化)

二維模擬結果輸出檔

1. 平面網格資料輸出檔
(示性波高、平均波向、平均週期、風引起的摩擦速度、風向、譜峰週期、風曳力係數及無因次化波浪應力等8項)
2. 湧浪資料輸出檔
3. 海面波譜資料輸出檔
4. 湧浪波譜資料輸出檔

財團法人成大研究發展基金會

20

WAM模式輸出結果之研究

波浪能譜 $E(f, \theta)$

波浪頻率模擬範圍：

$$f_{\max}/f_{\min} = (1.1)^{ML-1}, \text{ 當 } ML=24 \text{ 時,}$$

波浪頻率介於 $0.05 \sim 0.4925$ (1/S)

波向計算數目(KL)為24

波浪能譜 $E(f, \theta)$ 之 n 階動差

$$M_n = \int f^n E(f, \theta) df_s d\theta$$

波浪總能量 E_0

$$E_0 = M_0$$

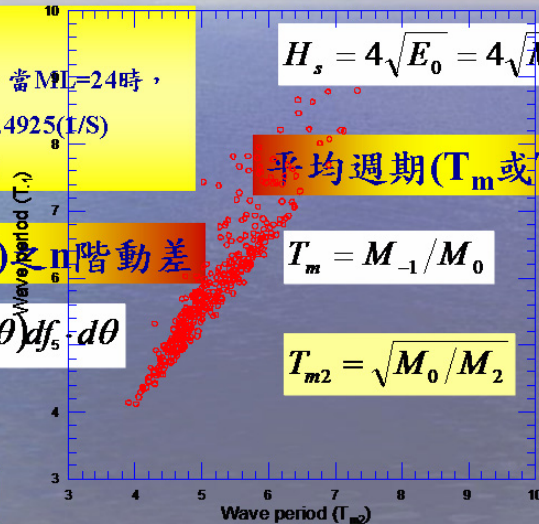
示性波高 (H_s)

$$H_s = 4\sqrt{E_0} = 4\sqrt{M_0}$$

平均週期 (T_m 或 T_{-1})

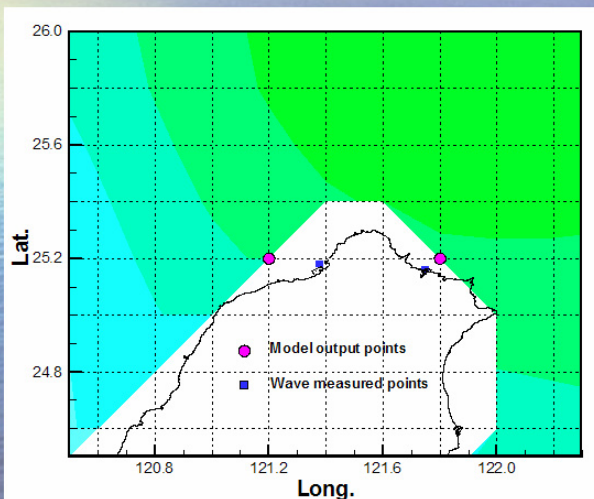
$$T_m = M_{-1}/M_0$$

$$T_{m2} = \sqrt{M_0/M_2}$$

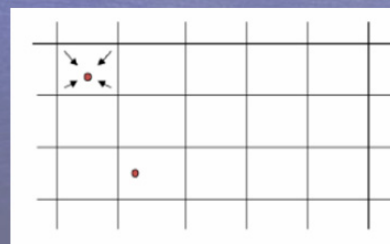


WAM模式輸出結果之研究

模擬結果輸出點位與觀測點位之比較



1. 指定點位模擬結果輸出計算方法



利用四個網格點計算內插點位代表波浪值



WAM模式模擬結果之探討(1)

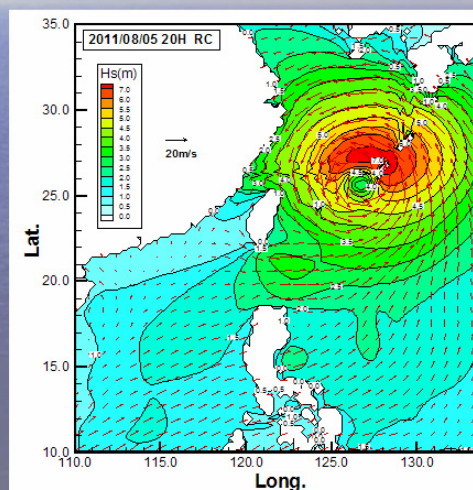
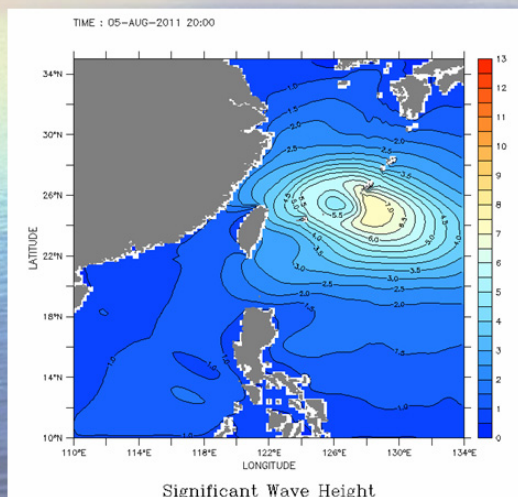
模式模擬結果精進作為

1. 模式波向定義之釐清
(此為困擾本計畫多年之問題)
2. Cold start 或 Hot start
3. RC風場與MC風場模擬結果之比較
4. 波浪週期之探討
(平均週期及譜峰週期之計算)



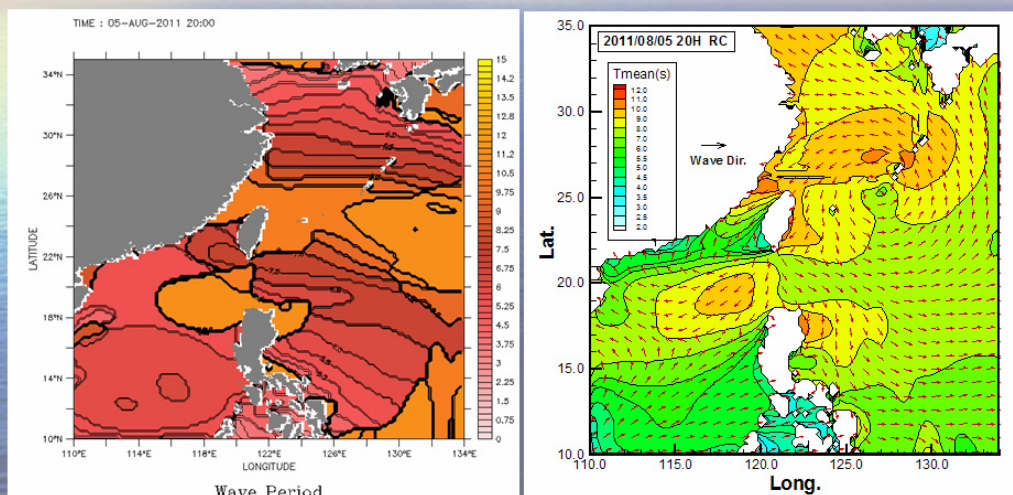
WAM模式模擬結果之探討(2)

模式波向定義修正前、後模擬結果比較



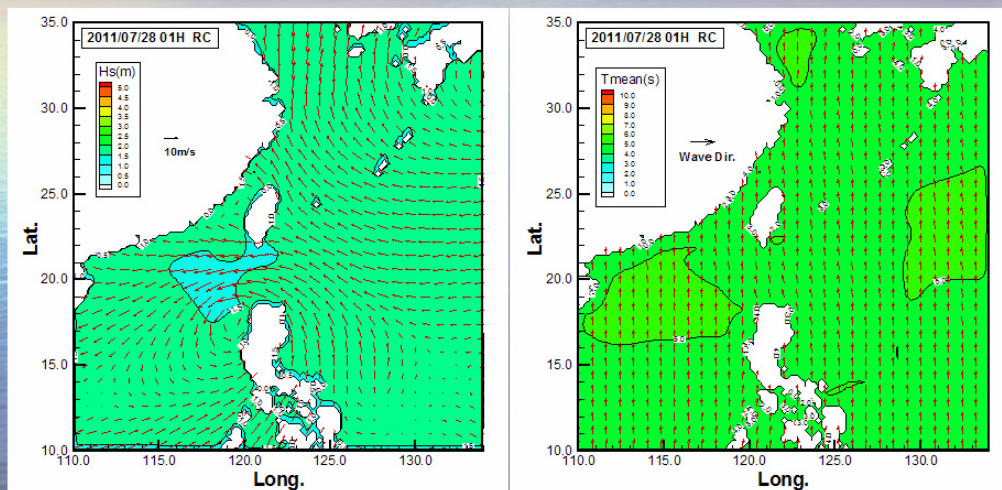
WAM模式模擬結果之探討(3)

模式波向定義修正前、後模擬結果比較



WAM模式模擬結果之探討(4)

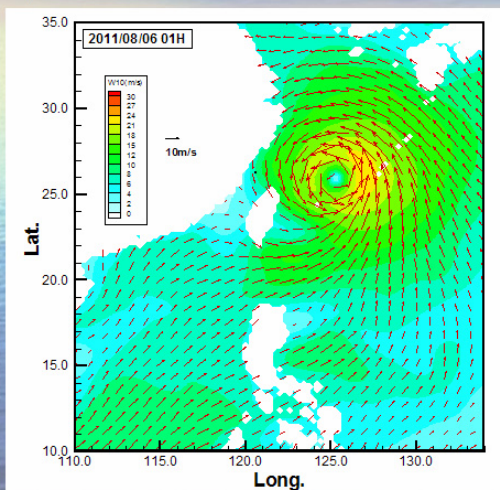
Cold start 及 Hot start 初始模擬結果



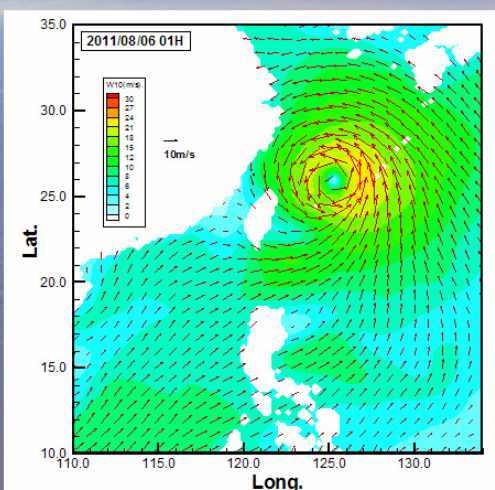


WAM模式模擬結果之探討(5)

Cold start 及 Hot start 初始模擬結果



由08/05 00H開始模擬至08/06 01H之結果
財團法人成大研究發展基金會



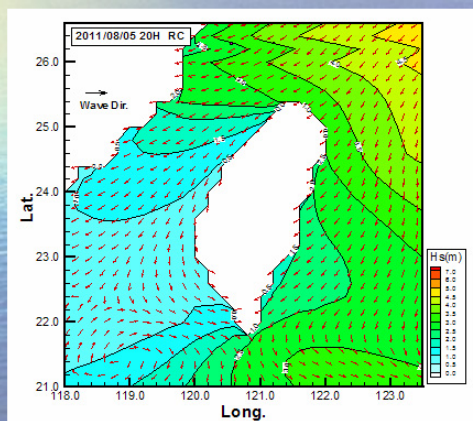
熱啟動下由08/06 00H開始模擬至08/06 01H之結果

27

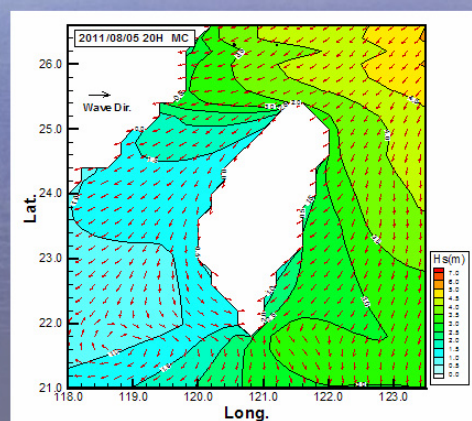


WAM模式模擬結果之探討(6)

RC風場與MC風場模擬結果之比較



RC風場波浪模擬結果之波高分布及波向



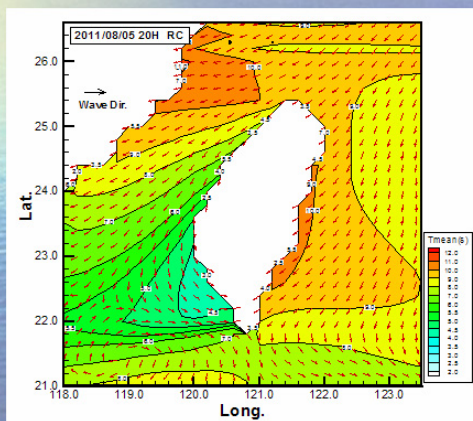
MC風場波浪模擬結果之波高分布及波向

財團法人成大研究發展基金會

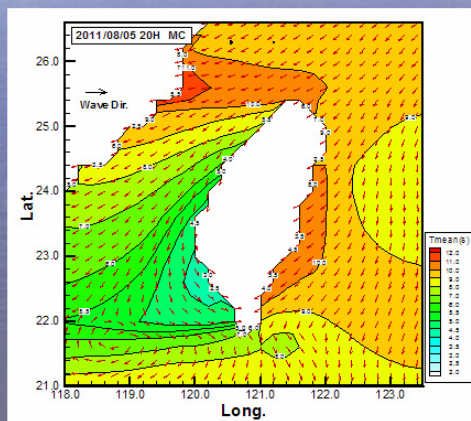
28

WAM模式模擬結果之探討(7)

RC風場與MC風場模擬結果之比較



RC風場波浪模擬結果之週期分布及波向

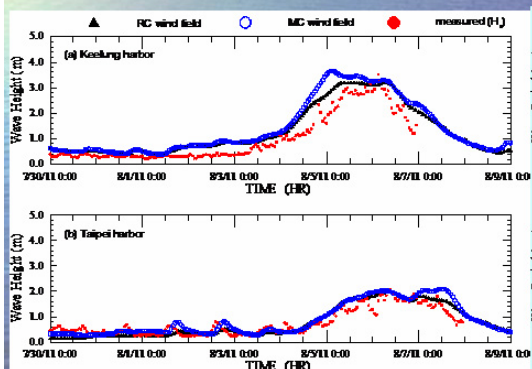


MC風場波浪模擬結果之週期分布及波向

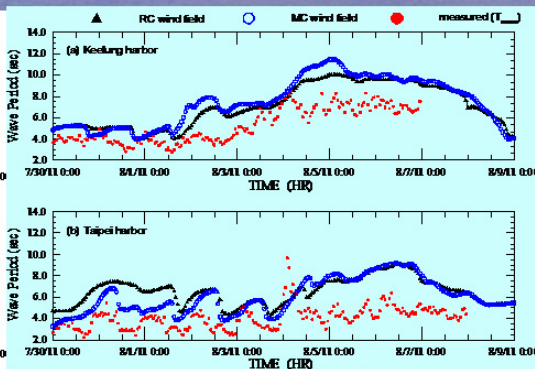
WAM模式模擬結果之探討(8)

RC風場與MC風場模擬結果之比較

整體而言，採用MC風場模擬波浪場之結果
優於採用RC風場模擬波浪場之結果



RC風場及MC風場波浪模擬結果之波高比較

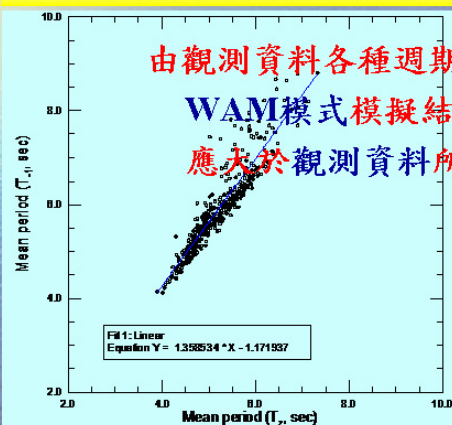


RC風場及MC風場波浪模擬結果之週期比較

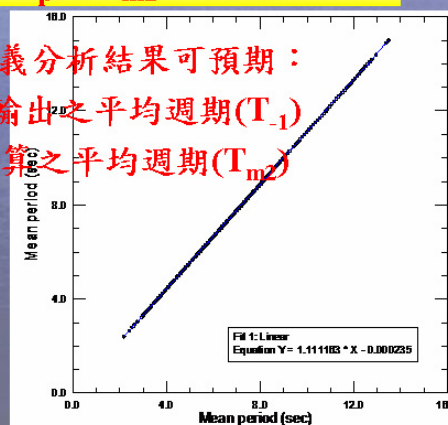
WAM模式模擬結果之探討(9)

模式輸出波浪之週期探討

1. 波浪觀測資料之週期 T_{-1} 、 T_p 與 T_{m2} 之關係



波浪觀測資料之週期 T_{-1} 與 T_{m2} 之關係

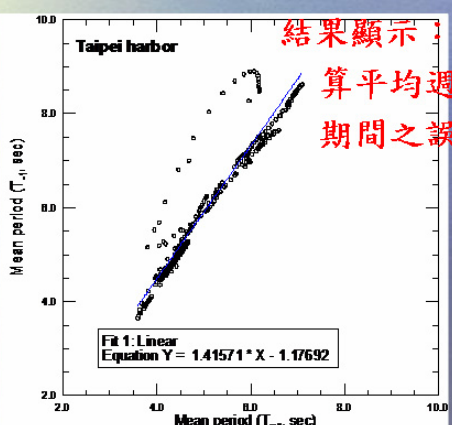


波浪觀測資料之週期 T_p 與 T_{m2} 之關係

WAM模式模擬結果之探討(10)

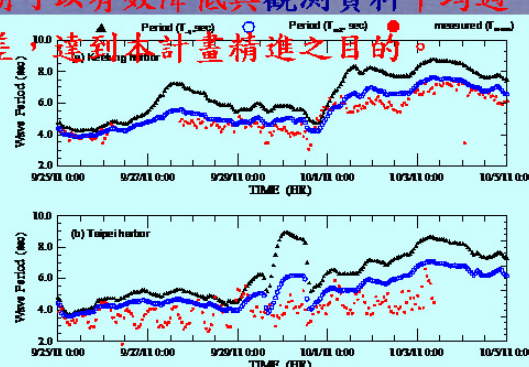
模式輸出波浪之週期探討

2. 模式模擬結果輸出之週期 T_{-1} 與 T_{m2} 之關係



波浪觀測資料之週期 T_{-1} 與 T_{m2} 之關係

結果顯示：WAM模式模擬結果如採用(T_{m2})計算平均週期可以有效降低與觀測資料平均週期間之誤差，達到本計畫精進之目的。



MC風場波浪模擬結果與觀測資料之週期比較



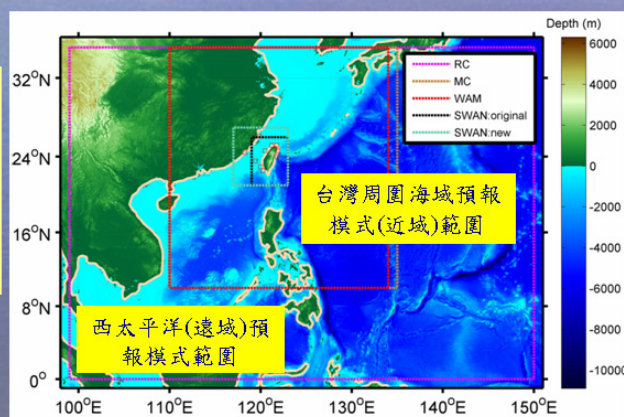
中尺度臺灣近岸海域模擬範圍之檢討(1)

1. 更新中尺度臺灣周圍海域風浪模擬範圍

巢狀計算網格

✓ 擴大中尺度(SWAN)計算領域涵蓋金門與馬祖兩離島。

- Etopo1
- 往西增加2度
- 往北增加1度

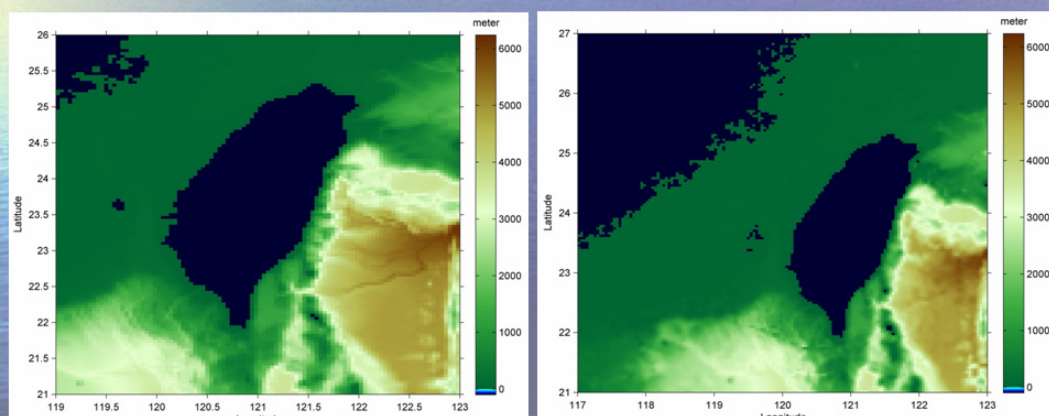


中尺度臺灣近岸海域模擬範圍之檢討(2)

2. 地形水深資料之更新

● 原計算域 (Etopo2+TaiDBMv5)

● 擴大後算域 (Etopo1)

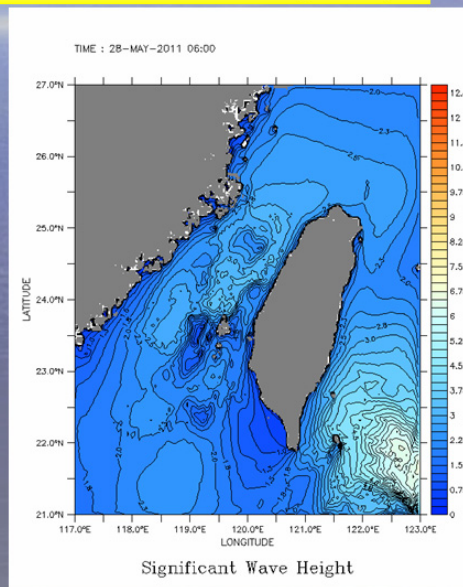
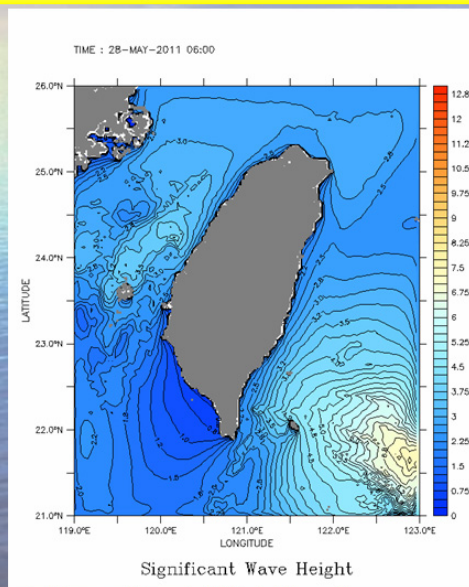


二者誤差集中在台灣東側與南側，計畫與新版之TaiDBMv6做合併以達到精確的地形。



中尺度臺灣近岸海域模擬範圍之檢討(3)

3. 模擬範圍更新前、後風浪模擬結果之比較(波高)

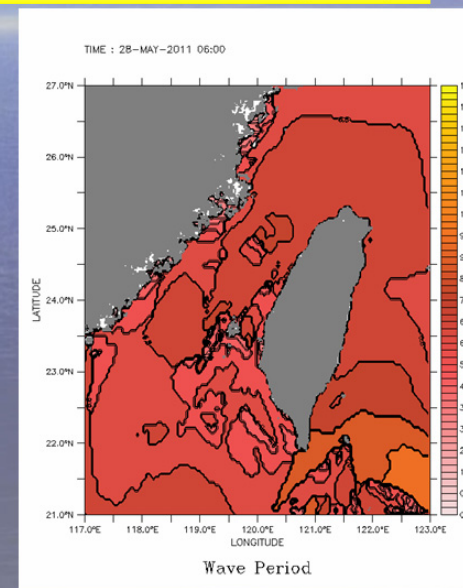
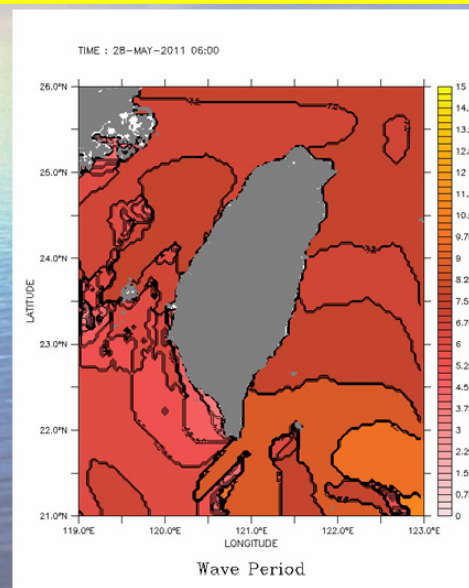


35



中尺度臺灣近岸海域模擬範圍之檢討(4)

4. 模擬範圍更新前、後風浪模擬結果之比較(週期)



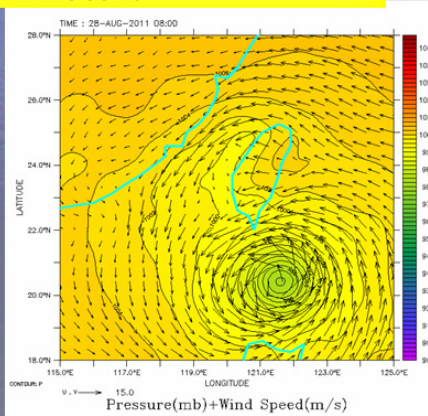
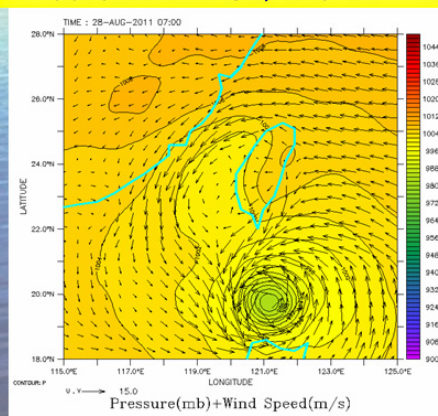
36

近岸風浪模擬結果與評估

1. RC及MC風場評估...

風場中颱風移動速度與實際移動速度仍存在誤差；

目前提供每日作業化波浪模擬之風場資料，在前24小時追算之風場資料僅08H及20H之風場屬於校正之風場資料，其餘段之風場屬於未校正之預報風場資料。

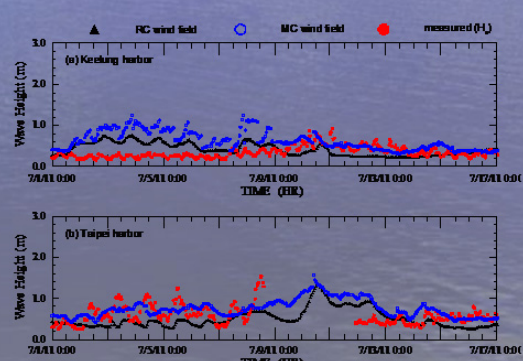
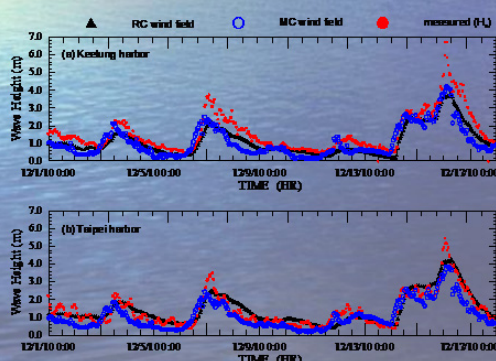


37

近岸風浪模擬結果與評估

2. 長期風浪模擬結果評估

基隆港與臺北港冬季季風波浪模擬結果普遍優於夏季季風波浪模擬結果；



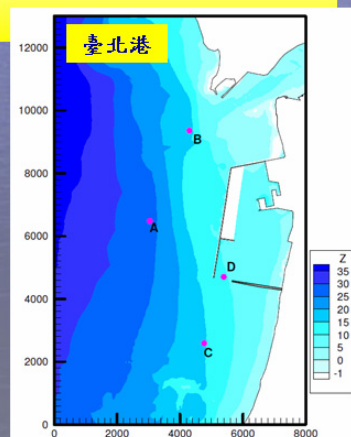
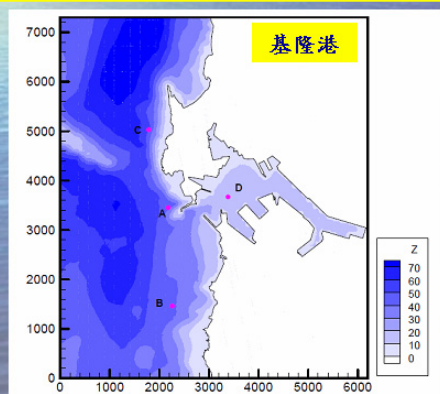
財團法人成大研究發展基金會

38

港區風浪模擬 預警子系統

港區風浪模擬預警子系統

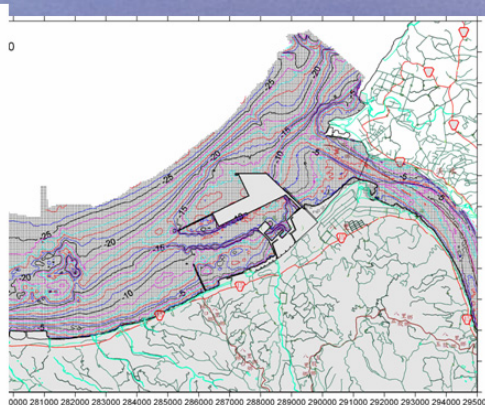
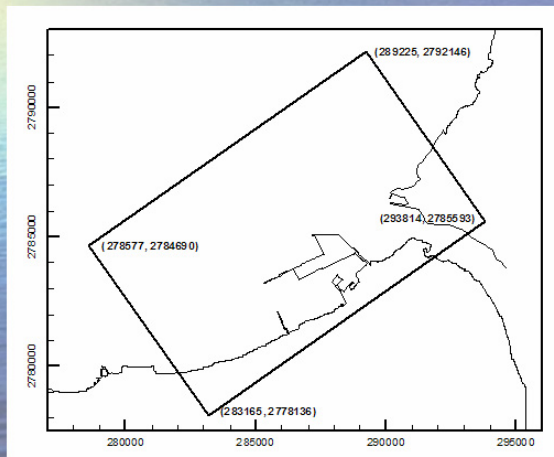
1. 本年度主要針對**基隆港區**及**臺北港區**近岸波浪模擬進行研究，
2. 協助港研中心建置基隆港區及臺北港區波浪模擬預警子系統，





臺北港區近岸波浪模擬(1)

1. 更新模式地形水深資料(99年10月測量資料)
2. 更新臺北港外廓配置



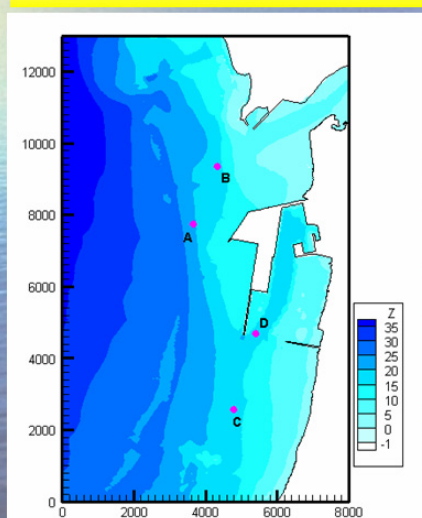
財團法人成大研究發展基金會

41



臺北港區近岸波浪模擬(2)

3. 更新模式計算參考網格資料
4. 模式模擬邊界條件之設定



模式模擬邊界條件來源

- 中尺度SWAN模擬結果
- 波浪觀測資料

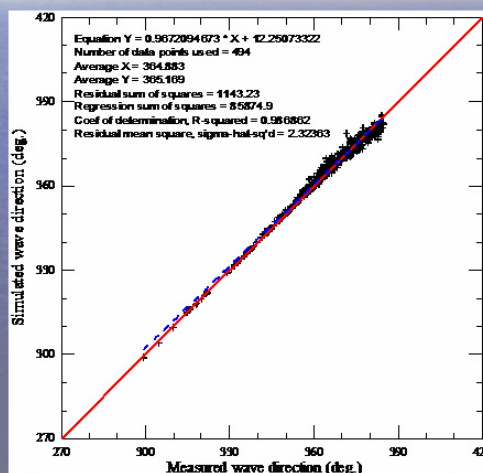
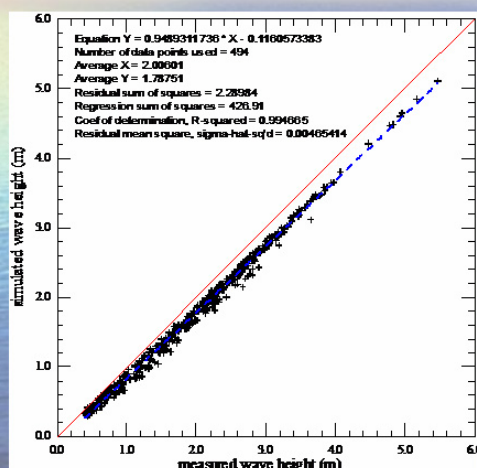
2010年6~11月波浪觀測資料與
SWAN模式模擬資料

42



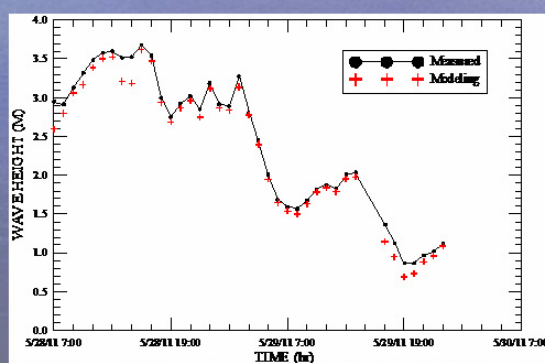
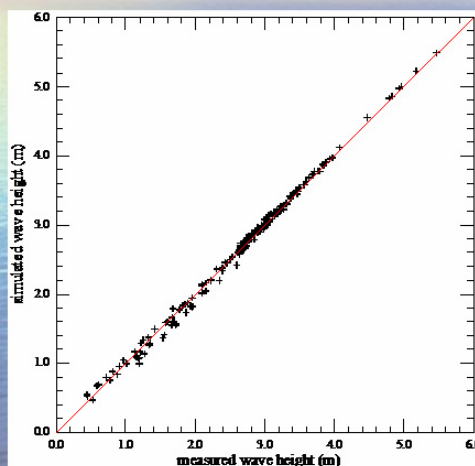
臺北港區近岸波浪模擬(3)

1. 觀測點位波高及波向模擬結果



臺北港區近岸波浪模擬(4)

2. 模式模擬波浪條件校正後之波高模擬結果

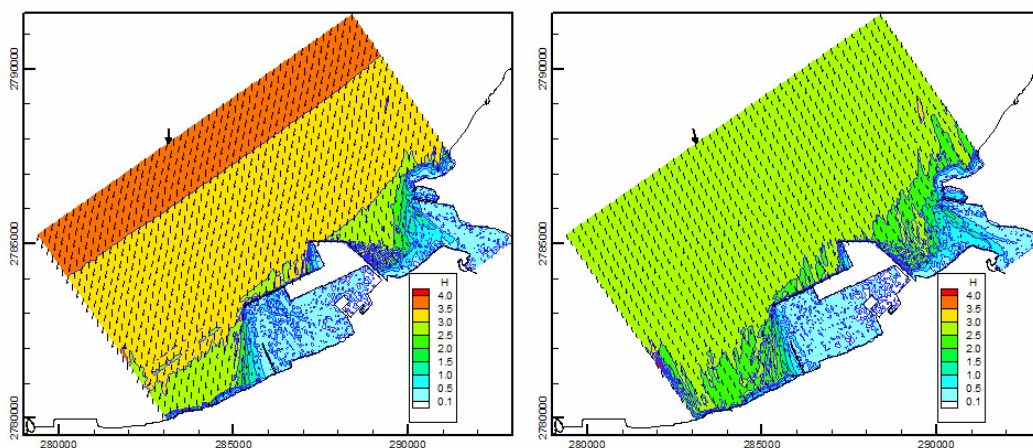


臺北2011年強烈颱風桑達侵臺期間臺北港近岸波浪場波高模擬值與觀測值之比較



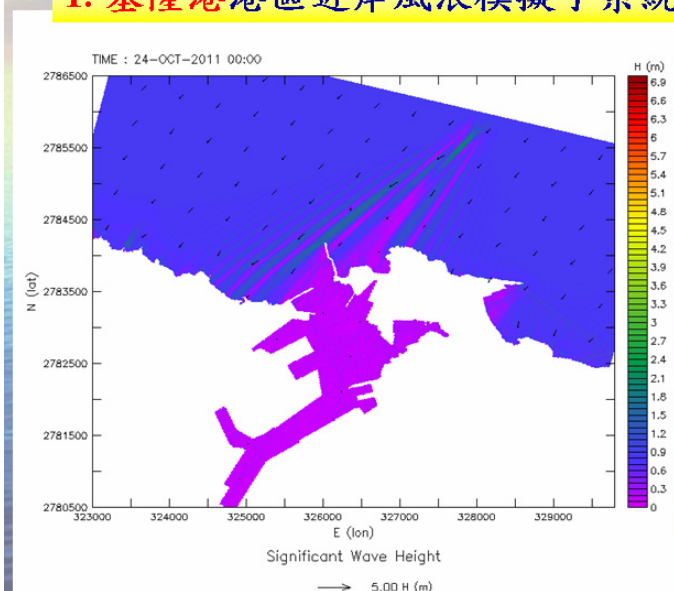
臺北港區近岸波浪模擬(5)

3. 波高分布及波向向量圖



港區風浪模擬預警子系統

1. 基隆港港區近岸風浪模擬子系統，

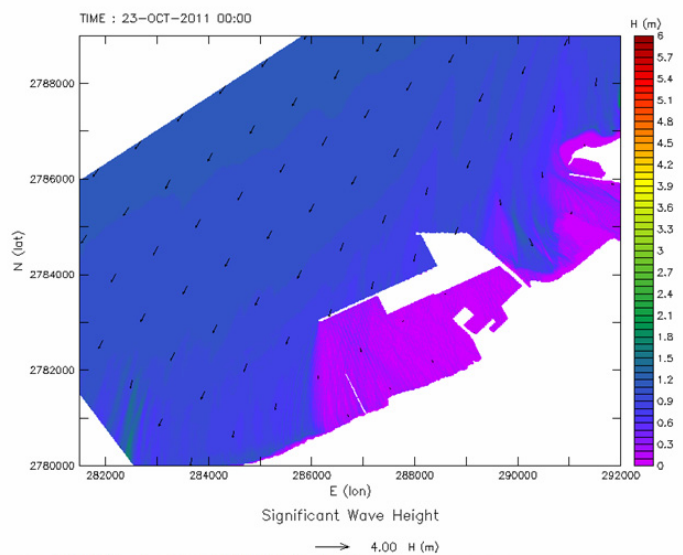


輸出資料型態

- 二維平面動畫
- 一維波高時序列圖(特定點位如波浪觀測點)

港區風浪模擬預警子系統

1. 臺北港港區近岸風浪模擬子系統，



輸出資料型態

- 二維平面動畫
- 一維波高時序列圖(特定點位如波浪觀測點)

結論與建議

結論與建議(1)

1. 針對本計畫大尺度西太平洋風浪模式模擬結果進行檢討，並提出作業化程式修正版本，經測試初步已達到提升模式模擬結果精確性之目的；
2. 模式波浪輸出之平均週期採用與觀測資料平均週期相同定義(T_{m2})計算，不僅具提升模式成果評估之精確性，且可做為修正模式譜峰週期(T_p)之依據；
3. 擴大本計畫中尺度臺灣海域風浪模式模擬範圍至包含離島金門、馬祖等海域，並完成相關模式作業化流程之修正；
4. 完成基隆港區及臺北港港區近岸風浪模擬預警子系統建置相關模式之更新工作；

結論與建議(2)

5. 完成基隆港及臺北港港區波浪模擬作業化預報成果評估相關之工作事項；
6. 完成颱風期間基隆港及臺北港波浪預報作業化成果評估；
7. 完成基隆港及臺北港長期風場與波浪場模擬結果之評估。

結論與建議(3)

1. 在TaiCOMS之風場資料方面：建議港研中心與中央氣象局協商能否提供已校正(或追算)之數值風場資料，以增進目前作業化預報模擬結果之精度；
2. 為提昇大尺度模式模擬結果之準確性，以及降低大、尺度模式使用不同尺度風場而衍生模式邊界嵌合上問題，建議將TaiCOMS之風場均改以MC風場為主；
3. 本年度對於提升及精進風浪預報模擬精度之研究已見初步成效，後續有關WAM模式之研究仍應持續進行，並評估以WAM取代SWAN為中尺度風浪模擬之數值模式之可行性；

簡報完畢

敬請指教