

105-022-7862
MOTC-IOT-104-H3DC001

海氣象自動化預報模擬系統 作業化校修與維運



交通部運輸研究所

中華民國 105 年 3 月

105-022-7862
MOTC-IOT-104-H3DC001

海氣象自動化預報模擬系統 作業化校修與維運

著 者：李兆芳、邱永芳、劉正琪、蘇青和、陳明宗
李俊穎、唐宏結、江朕榮、謝佳紘

交通部運輸研究所

中華民國 105 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運 / 李
兆芳等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運輸研究所，民
105.03

面；公分

ISBN 978-986-04-8217-1(平裝)

1.海洋氣象

444.94

105004034

海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運

著者：李兆芳、邱永芳、劉正琪、蘇青和、陳明宗、李俊穎、
唐宏結、江朕榮、謝佳紘

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 105 年 3 月

印刷者：禾泰印刷設計有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 70 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站

定價：250 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：1010500321 ISBN：978-986-04-8217-1 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

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

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維護			
國際標準書號 ISBN：978-986-04-8217-1 (平裝)	政府出版品統一編號 1010500321	運輸研究所出版品編號 105-022-7862	計畫編號 104-H3DC001
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 計畫主持人：李兆芳 協同主持人：劉正琪 研究人員：唐宏結、江朕榮、謝佳紘 地址：70101 臺南市東區大學路 1 號 聯絡電話：06-2371938 轉 422		研究期間 自 104 年 2 月 至 104 年 12 月
關鍵詞：澎湖群島、龍門尖山港區			
<p>摘要：</p> <p>本研究屬於交通部運輸研究所 104 年科技計畫「海洋防災科技及永續發展計畫」綱要計畫之「臺灣主要商港海象暨溢淹資訊建置之研究」分項計畫之子計畫，目的在確保波浪、水位及海流等海象預報模擬系統(TaiCOMS)作業化之運作與維護，並針對臺灣周圍海域建置中尺度水動力模擬子系統，以及依據澎湖海域海象特性規劃與建置合適的波浪、水位及流場等海象模擬子系統。</p> <p>本年度具體研究成果包括(1)利用有限元素水動力模式分別完成臺灣周圍海域中尺度天文潮及颱風暴潮水位模擬與驗證、澎湖海域小尺度近岸水位及流場模擬與驗證，以及(2)利用有限元素波浪模式完成澎湖龍門尖山港區港域波場模擬等。此外，針對海象預報模擬系統完成 2015 年海象預報作業化成果評估、協助進行軟硬體更新與維護、提出基隆港近岸水動力模組、臺北港近岸水動力模組及港域波浪模組校修成果。</p> <p>本計畫達成效益包括確保海象預報模擬系統正常運作、改善海象模擬預報品質有助於港口營運及海上航運安全維護，颱風期間或緊急海難、海岸災害時可提供防救災必要資訊。此外，本計畫得到之臺灣周圍海域及澎湖海域波浪、水位及流場等海象模擬資料可應用於本島與離島藍色公路，提供船舶即時海象資訊，保障船舶交通安全。</p>			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
105 年 3 月	308	250	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。
<p>機密等級：</p> <p><input type="checkbox"/>密 <input type="checkbox"/>機密 <input type="checkbox"/>極機密 <input type="checkbox"/>絕對機密</p> <p>(解密條件：<input type="checkbox"/> 年 <input type="checkbox"/> 月 <input type="checkbox"/> 日解密，<input type="checkbox"/>公布後解密，<input type="checkbox"/>附件抽存後解密，<input type="checkbox"/>工作完成或會議終了時解密，<input type="checkbox"/>另行檢討後辦理解密)</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>普通</p>			
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: Operational calibration and maintenance of the marine meteorology automatic forecast simulation system			
ISBN 978-986-04-8217-1 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010500321	IOT SERIAL NUMBER 105-022-7862	PROJECT NUMBER 104-H3DC001
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiu Yung-fang PROJECT STAFF: Su Ching-ho, Chen Ming-tzong, Lee Chun-ting PHONE: (04) 26587135 FAX: (04) 26564415			PROJECT PERIOD FROM February 2015 TO December 2015
RESEARCH AGENCY: NCKU Research and Development Foundation PRINCIPAL INVESTIGATOR: Lee Jaw-fang CO-PROJECT INVESTIGATOR: Liu Cheng-chi PROJECT STAFF: Tang Hung-jie, Chiang Chen-jung, Shieh Chia-hon ADDRESS: NO.1, University Road, Tainan, Taiwan 70101, R.O.C. PHONE: (06) 2371938 ext. 422			
KEY WORDS: PENGHU ISLANDS, LONGMEN JIANSAN HARBOR			
ABSTRACT: <p>This research project is a subprogram of Research on establishment of marine meteorology of Taiwan main commercial harbors and flooding information under the main project 2015 Ocean disaster prevention technology and sustainable development project belonging to Institute of Transportation, Ministry of Transportation and Communications. The purpose is to ensure automatic operation and maintenance of the forecast simulation system TaiCOMS for waves, water elevations, and currents.</p> <p>The achievements this year include (1) simulation and verification of middle scale astronomical tides, typhoon surges water levels, and small scale nearshore water level and flow field using finite element hydrodynamic models; (2) wave field simulations of Longmen-Jianshan harbors of Penghu islands, using finite element wave models. In addition, evaluations of 2015 operational forecasts of marine meteorology, assisting update and maintenance of hardware and software, calibration of nearshore hydrodynamic modules for Keelung and Taipei harbors, and wave modules for Taipei Harbor are accomplished.</p> <p>Beneficial results obtained in this project include ascertaining normal operation of the marine meteorology forecast simulation system and improving forecast quality for helping harbor operation, safeguarded seakeeping, providing information for prevention and rescuing disasters during typhoon and emergent sea perils. In addition, simulation results obtained in this project can be applied to blue highway between islands, in-time marine meteorology for seakeeping, and ensuring safety of ship navigation.</p>			
DATE OF PUBLICATION March 2016	NUMBER OF PAGES 308	PRICE 250	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運

目 錄

計畫摘要	I
目 錄	III
表目錄	VII
圖目錄	IX
第一章 緒論	1-1
1.1 計畫緣起及目的	1-1
1.2 相關本計畫	1-2
1.3 研究範圍與對象	1-4
1.4 本年度主要工作項目	1-5
第二章 臺灣近岸海象預報模擬系統維運與改善	2-1
2.1 臺灣近岸海象預報系統簡介	2-1
2.2 海象模擬作業化系統	2-3
2.2.1 風(壓)場處理系統	2-3
2.2.2 波浪模擬系統	2-4
2.2.3 水動力模擬系統	2-6
2.2.4 海象模擬作業化流程	2-7
2.3 本年度海象模擬作業化系統改善成果	2-18
2.3.1 軟硬體設備更新與測試	2-18
2.3.2 臺北港近岸水動力模組	2-24
2.3.3 臺北港港域波浪模組	2-27
2.3.4 基隆港近岸水動力模組	2-29

2.4 本年度海象預報作業化成果評估	2-32
2.4.1 東北季風期間成果評估	2-32
2.4.2 西南季風期間成果評估	2-32
第三章 中尺度臺灣周圍海域水動力模式	3-1
3.1 中尺度臺灣周圍海域水動力模式之演進	3-1
3.1.1 模擬範圍	3-1
3.1.2 數值計算網格	3-2
3.1.3 地形水深資料	3-3
3.2 模式邊界條件及初始條件	3-6
3.3 模式物理參數率定	3-7
3.4 數值模擬風壓場	3-9
3.4.1 移動風域之風壓場(湯，1971)	3-9
3.4.2 修正型 Holland 風場模式	3-10
3.4.3 外部輸入風壓場資料中央氣象局天氣預報模式 模擬之風壓場	3-14
3.5 臺灣周圍海域水動力模式模擬結果與討論	3-14
3.5.1 天文潮模擬	3-14
3.5.2 颱風暴潮偏差模擬(不含潮汐)	3-19
3.5.3 颱風期間水位及流場模擬	3-19
第四章 澎湖海域基本資料蒐集與分析	4-1
4.1 地理位置	4-1
4.2 水深	4-1
4.3 潮汐	4-7
4.4 海流	4-28
4.5 波浪	4-39

4.6 風力	4-41
第五章 澎湖海域水動力模式建置	5-1
5.1 模式模擬範圍	5-1
5.2 數值計算網格	5-1
5.3 邊界條件及初始條件	5-1
5.4 模式物理參數設定	5-2
5.5 澎湖海域水動力模擬結果與驗證	5-7
第六章 澎湖海域近岸風浪模式建置	6-1
6.1 數值計算網格	6-1
6.1.1 模式模擬範圍	6-1
6.1.2 數值計算網格建置	6-2
6.2 風場資料及邊界條件	6-4
6.2.1 作業化風場	6-4
6.2.2 邊界條件設定	6-4
6.3 風浪模組設定	6-5
6.3.1 遠域風浪模組	6-5
6.3.2 近域風浪模組	6-7
6.3.3 澎湖海域近岸風浪模組	6-7
6.4 風浪模擬作業化系統安裝與模擬測試	6-8
第七章 澎湖港龍門尖山港區港域波浪模式建置	7-1
7.1 龍門尖山港區介紹	7-1
7.2 數值計算網格建置	7-1
7.2.1 模式模擬範圍	7-1
7.2.2 地形水深資料	7-1
7.2.3 數值計算有限元素網格建置	7-1

7.2.4 邊界條件設定	7-2
7.3 港域波浪場模擬.....	7-2
第八章 結論與建議.....	8-1
8.1 結論.....	8-1
8.2 建議.....	8-2
參考文獻.....	參-1
附錄一 有限元素法二維水動力模式.....	附1-1
附錄二 相關波浪模式介紹.....	附2-1
附錄三 主要商港潮位觀測資料調和分析成果.....	附3-1
附錄四 澎湖海域海流觀測資料.....	附4-1
附錄五 SWAN模式設定說明	附5-1
附錄六 期中報告審查意見處理情形表.....	附6-1
附錄七 期末報告審查意見處理情形表.....	附7-1
附錄八 期末簡報資料.....	附8-1

表目錄

表2.1	主要商港港區近岸波浪模組之數值參考網格基本資料	2-6
表2.2	港研中心海象模擬伺服器主要功能說明.....	2-20
表2.3	系統內主要應用軟體說明.....	2-22
表3.1	中尺度模擬範圍M2歷年數值計算網格主要差異性比較表	3-2
表3.2	2015年1月水位模擬結果與觀測值間統計量表.....	3-15
表3.3	2015年1月水位模擬結果與調和分析預測值間統計量表	3-15
表4.1	澎湖港馬公潮位站觀測資料代表性潮位及潮差年統計表	4-8
表4.2	澎湖馬公潮位站潮位資料調和分析成果表(2008).....	4-9
表4.2	(續1)澎湖馬公潮位站潮位資料調和分析成果表(2009).....	4-10
表4.2	(續2)澎湖馬公潮位站潮位資料調和分析成果表(2010).....	4-11
表4.2	(續3)澎湖馬公潮位站潮位資料調和分析成果表(2011).....	4-12
表4.2	(續4)澎湖馬公潮位站潮位資料調和分析成果表(2012).....	4-13
表4.2	(續5)澎湖馬公潮位站潮位資料調和分析成果表(2013).....	4-14
表4.2	(續6)澎湖馬公潮位站潮位資料調和分析成果表(2014).....	4-15
表4.3	2008 ~ 2014年侵臺颱風事件一覽表.....	4-16
表4.3	(續1)2008 ~ 2014年侵臺颱風事件一覽表.....	4-17
表4.3	(續2)2008 ~ 2014年侵臺颱風事件一覽表.....	4-18
表4.4	澎湖資料浮標2014年逐時海流之流速大小及流向分布 統計	4-31
表4.5	澎湖資料浮標2014年1月海流觀測資料之調和分析成果表 ..	4-31
表4.6	澎湖資料浮標2014年2月海流觀測資料之調和分析成果表 ..	4-31
表4.7	澎湖資料浮標2014年3月海流觀測資料之調和分析成果表 ..	4-32
表4.8	東吉島測站2014年逐時海流之流速大小及流向分布統計	4-32
表4.9	東吉島測站2014年1月海流觀測資料之調和分析成果表	4-32
表4.10	東吉島測站2014年2月海流觀測資料之調和分析成果表	4-33

表4.11 東吉島測站標2014年3月海流觀測資料之調和分析成果表 ..	4-33
表4.12 澎湖海域波高分布2014年統計結果.....	4-40
表4.13 澎湖海域波向分布2014年統計結果.....	4-41
表4.14 澎湖測站及東吉島測站歷年各月份風速統計表.....	4-42
表4.15 澎湖資料浮標測站風速風向統計表 (2006/9/1~2010/12/31).....	4-43
表4.16 歷年(1897~2012年)各月侵臺颱風之次數及頻率統計表.....	4-43

圖目錄

圖1.1	近岸海象數值模擬及預警系統架構圖.....	1-4
圖1.2	澎湖群島、澎湖港與臺灣本島之相關位置圖.....	1-5
圖2.1	臺灣近岸海象預報系統整體架構圖.....	2-1
圖2.2	國內主要商港海氣象觀測站位置圖.....	2-2
圖2.2	(續)國內主要商港海氣象觀測站位置圖.....	2-3
圖2.3	海象模擬作業化系統整體模式架構圖.....	2-9
圖2.4	中央氣象局NFS及WRF風場資料巢狀網模擬範圍圖.....	2-10
圖2.5	海象模擬作業化系統風場資料輸出範圍示意圖.....	2-10
圖2.6	TaiCOMS遠域風浪模擬範圍及計算網格地形水深分布圖....	2-11
圖2.7	TaiCOMS近域風浪模擬範圍及計算網格地形水深分布圖....	2-11
圖2.8	各主要商港港區近岸波浪模組模擬範圍示意圖.....	2-12
圖2.9	各主要商港細尺度港域波浪模組模擬範圍圖.....	2-13
圖2.10	遠域及近域水動力模組模擬範圍示意圖.....	2-14
圖2.11	各主要商港小尺度水動力模組模擬範圍圖.....	2-15
圖2.12	海象模擬作業化系統作業化流程圖.....	2-16
圖2.13	海象模擬作業化系統產生組合風場之資料擷取時段與 組合示意圖.....	2-17
圖2.14	海象模擬作業化系統之作業時間流程.....	2-17
圖2.15	海象作業化模擬之追算與推算時間示意圖.....	2-18
圖2.16	系統新硬體及資料流程說明圖.....	2-20
圖2.17	系統新硬體及資料流程說明圖.....	2-23
圖2.18	系統新硬體及資料流程說明圖.....	2-23
圖2.19	臺北港外廓及港池配置今昔圖.....	2-25
圖2.20	臺北港近岸水動力模組前期計畫建置的數值計算網格圖....	2-26
圖2.21	本期計畫更新臺北港港域配置及數值計算網格圖.....	2-26

圖2.22 臺北港近岸水動力模組本期計畫建置的數值計算網格圖 ...	2-27
圖2.23 前期計畫臺北港港域波浪模擬範圍及三角元素粗網格 配置圖	2-28
圖2.24 本計畫臺北港港域波浪模擬範圍及三角元素粗網格配 置圖	2-28
圖2.25 基隆港海氣象觀測位置(2010年).....	2-30
圖2.26 基隆港海氣象觀測位置(2012年).....	2-30
圖2.27 基隆港水動力模組流速驗證點位修正前、後模擬值之比 較圖	2-31
圖2.28a 近域風浪模組東北季風期間花蓮港波高與觀測值之比 較圖	2-33
圖2.28b 近域風浪模組東北季風期間基隆港波高與觀測值之比 較圖	2-33
圖2.28c 近域風浪模組東北季風期間臺中港波高與觀測值之比 較圖	2-33
圖2.28d 近域風浪模組東北季風期間高雄港波高與觀測值之比 較圖	2-34
圖2.29a 近域風浪模組西南季風期間花蓮港波高與觀測值之比 較圖	2-34
圖2.29b 近域風浪模組西南季風期間基隆港波高與觀測值之比 較圖	2-34
圖2.29c 近域風浪模組西南季風期間臺中港波高與觀測值之比 較圖	2-35
圖2.29d 近域風浪模組西南季風期間高雄港波高與觀測值之比 較圖	2-35
圖3.1 臺灣周圍海域暴潮模式模擬範圍(M1：100年計畫， M2：101年計畫).....	3-3
圖3.2 臺灣周圍海域模擬範圍M1之非結構性三角形元素網格圖	3-4

圖3.3	臺灣周圍海域模擬範圍M2之非結構性三角形元素網格 (R1版本).....	3-4
圖3.4	臺灣周圍海域模擬範圍M2之非結構性三角形元素網格 (R2版本).....	3-5
圖3.5	臺灣周圍海域模擬範圍M2之非結構性三角形元素網格 (R3版本，本年度計畫)	3-5
圖3.6	臺灣周圍海域暴潮模式之地形水深分布圖	3-6
圖3.7	中尺度臺灣周圍海域水動力模式採用的天文潮水位邊 界條件圖	3-8
圖3.8	本計畫非結構三角形元素網格之風場及等壓線分布圖	3-14
圖3.9	主要商港颱風暴潮模擬結果之輸出點位圖.....	3-16
圖3.10	本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港 潮位觀測值(圓點)之比較圖	3-17
圖3.11	本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港 天文潮位調和分析預測值(圓點)之比較圖	3-18
圖3.12	2015年蘇迪勒颱風路徑圖	3-20
圖3.13	蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模擬輸入預報風場及氣壓場圖	3-20
圖3.13 (續1)	蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模擬輸入預報風場及氣 壓場圖	3-21
圖3.13 (續2)	蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模擬輸入預報風場及氣 壓場圖	3-21
圖3.13 (續3)	蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模擬輸入預報風場及氣 壓場圖	3-22
圖3.13 (續4)	蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模擬輸入預報風場及氣 壓場圖	3-22
圖3.14	蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差 分布圖	3-23

圖3.14 (續1)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮 偏差分布圖	3-23
圖3.14 (續2)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮 偏差分布圖	3-24
圖3.14 (續3)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮 偏差分布圖	3-24
圖3.14 (續4)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮 偏差分布圖	3-25
圖3.14 (續5)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮 偏差分布圖	3-25
圖3.14 (續6)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮 偏差分布圖	3-26
圖3.14 (續7)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮 偏差分布圖	3-26
圖3.14 (續8)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮 偏差分布圖	3-27
圖3.14 (續9)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮 偏差分布圖	3-27
圖3.14 (續10)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮 偏差分布圖	3-28
圖3.14 (續11)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮 偏差分布圖	3-28
圖3.15 臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較，(a) 天文潮，(b)颱風暴潮(含天文潮)	3-29
圖3.15 (續1)臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較， (a)天文潮，(b)颱風暴潮(含天文潮)	3-30
圖3.15 (續2)臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較， (a)天文潮，(b)颱風暴潮(含天文潮)	3-31

圖3.15 (續3)臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較， (a)天文潮，(b)颱風暴潮(含天文潮).....	3-32
圖3.15 (續4)臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較， (a)天文潮，(b)颱風暴潮(含天文潮).....	3-33
圖3.15 (續5)臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較， (a)天文潮，(b)颱風暴潮(含天文潮).....	3-34
圖3.15 (續6)臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較， (a)天文潮，(b)颱風暴潮(含天文潮).....	3-35
圖3.15 (續7)臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較， (a)天文潮，(b)颱風暴潮(含天文潮).....	3-36
圖4.1 澎湖群島地理位置圖	4-2
圖4.2 澎湖海域水深資料點位分布圖	4-3
圖4.3 澎湖海域水深分布圖	4-4
圖4.4 澎湖港馬公港區水深資料圖	4-5
圖4.5 澎湖港龍門尖山港區水深資料圖	4-6
圖4.6 澎湖馬公潮位站(2008 ~ 2014年)代表性潮位逐月統計值 之變化	4-18
圖4.7 2009 ~ 2014年澎湖港馬公測站潮位能譜圖	4-19
圖4.8 澎湖港馬公測站(2008 ~ 2014年)主要分潮(O1、K1、 M2、S2) 振幅大小之年變化趨勢圖	4-20
圖4.9 澎湖港馬公潮位站2014年觀測值與天文潮預測值圖	4-21
圖4.9 (續)澎湖港馬公潮位站2014年觀測值與天文潮預測值圖	4-22
圖4.10 澎湖馬公潮位站颱風暴潮歷線圖(2008年中度颱風鳳凰).....	4-23
圖4.10 (續1)澎湖馬公潮位站颱風暴潮歷線圖(2008年中度颱風 薔蜜).....	4-23
圖4.10 (續2)澎湖馬公潮位站颱風暴潮歷線圖(2009年輕度颱風 蓮花).....	4-24

圖4.10 (續3)澎湖馬公潮位站颱風暴潮歷線圖(2009年中度颱風 莫拉克).....	4-24
圖4.10 (續4)澎湖馬公潮位站颱風暴潮歷線圖(2010年中度颱風 凡那比).....	4-25
圖4.10 (續5)澎湖馬公潮位站颱風暴潮歷線圖(2010年中度颱風 梅姬).....	4-25
圖4.10 (續6)澎湖馬公潮位站颱風暴潮歷線圖(2011年強烈颱風 南瑪都).....	4-26
圖4.10 (續7)澎湖馬公潮位站颱風暴潮歷線圖(2012年中度颱風 蘇拉).....	4-26
圖4.10 (續8)澎湖馬公潮位站颱風暴潮歷線圖(2012年輕度颱風 泰利).....	4-27
圖4.10 (續9)澎湖馬公潮位站颱風暴潮歷線圖(2013年強烈颱風 蘇力).....	4-27
圖4.10 (續10)澎湖馬公潮位站颱風暴潮歷線圖(2014年中度颱 風麥德姆).....	4-28
圖4.11 澎湖資料浮標及東吉島波浪測站位置示意圖.....	4-34
圖4.12 澎湖資料浮標冬季海流東西向速度能譜圖.....	4-35
圖4.13 澎湖資料浮標冬季海流南北向速度能譜圖.....	4-35
圖4.14 澎湖資料浮標冬季海流資料之潮流及非潮流成份圖	4-36
圖4.15 東吉島測站冬季海流東西向速度能譜圖.....	4-37
圖4.16 東吉島測站冬季海流南北向速度能譜圖.....	4-37
圖4.17 東吉島測站冬季海流資料之潮流及非潮流成份圖.....	4-38
圖4.18 歷年(1897~2013)侵襲臺灣之颱風路徑統計圖	4-44
圖4.19 侵臺颱風路徑統計圖(1897-2013).....	4-45
圖5.1 澎湖海域水動力模式模擬範圍圖.....	5-3
圖5.2 澎湖海域水動力模式使用的非結構性三角形元素網格圖	5-4

圖5.3	澎湖海域水深分布圖	5-4
圖5.4	澎湖海域水動力模式開放邊界天文潮水位邊界條件 (Nao99Jb)	5-5
圖5.4	(續)澎湖海域水動力模式開放邊界天文潮水位邊界條件 (Nao99Jb)	5-5
圖5.5	澎湖海域水動力模式開放邊界天文潮水位邊界條件(由 本計畫中尺度水動力模式產生)	5-6
圖5.5	(續)澎湖海域水動力模式開放邊界天文潮水位邊界條件 (由本計畫中尺度水動力模式產生)	5-6
圖5.6	澎湖海域水動力模式模擬結果與澎湖資料浮標潮流調 和分析結果比較	5-8
圖5.6	(續)澎湖海域水動力模式模擬結果與澎湖資料浮標潮流 調和分析結果比較	5-9
圖5.7	澎湖海域水動力模式流場模擬結果	5-10
圖5.7	(續1)澎湖海域水動力模式流場模擬結果	5-10
圖5.7	(續2)澎湖海域水動力模式流場模擬結果	5-11
圖5.7	(續3)澎湖海域水動力模式流場模擬結果	5-11
圖5.7	(續4)澎湖海域水動力模式流場模擬結果	5-12
圖5.7	(續5)澎湖海域水動力模式流場模擬結果	5-12
圖5.7	(續6)澎湖海域水動力模式流場模擬結果	5-13
圖5.7	(續7)澎湖海域水動力模式流場模擬結果	5-13
圖5.7	(續8)澎湖海域水動力模式流場模擬結果	5-14
圖5.7	(續9)澎湖海域水動力模式流場模擬結果	5-14
圖5.7	(續10)澎湖海域水動力模式流場模擬結果	5-15
圖5.7	(續11)澎湖海域水動力模式流場模擬結果	5-15
圖5.7	(續12)澎湖海域水動力模式流場模擬結果	5-16
圖5.8	澎湖港龍門尖山港區外海水位及流速流向數值模擬結果	5-17

圖6.1	西太平洋範圍遠域風浪模組模擬範圍及水深分布圖	6-2
圖6.2	臺灣周圍海域近域風浪模組模擬範圍及水深分布圖	6-3
圖6.3	澎湖海域風浪模擬範圍示意圖(細虛線為遠域計算網 格，實線為近域計算網格)	6-3
圖6.4	澎湖海域小尺度風浪模式計算網格之地形水深分布圖	6-4
圖6.5	遠域風浪模擬操作流程圖	6-7
圖6.6	近域風浪模擬操作流程圖	6-8
圖7.1	澎湖港地理位置圖	7-4
圖7.2	龍門尖山碼頭區平面規劃圖(資料來自臺灣港務股份有 限公司網站).....	7-4
圖7.3	澎湖港龍門尖山港區港域波浪模擬範圍示意圖.....	7-5
圖7.4	海軍大氣海洋局刊行海圖61709龍門及尖山漁港	7-5
圖7.5	海軍大氣海洋局刊行海圖04529澎湖群島東南部	7-6
圖7.6	澎湖港龍門尖山港區模擬範圍有限元素粗網格分布圖	7-7
圖7.7	澎湖港龍門尖山港區模擬範圍粗網格地形水深分布圖	7-7
圖7.8a	澎湖港龍門尖山港區W向波浪場模擬結果相位分布圖	7-8
圖7.8b	澎湖港龍門尖山港區W向波浪場模擬結果波高分布圖	7-8
圖7.9a	澎湖港龍門尖山港區WSW向波浪場模擬結果相位分布圖	7-9
圖7.9b	澎湖港龍門尖山港區WSW向波浪場模擬結果波高分布圖	7-9
圖7.10a	澎湖港龍門尖山港區SW向波浪場模擬結果相位分布圖	7-10
圖7.10b	澎湖港龍門尖山港區SW向波浪場模擬結果波高分布圖	7-10
圖7.11a	澎湖港龍門尖山港區SSW向波浪場模擬結果相位分布圖	7-11
圖7.11b	澎湖港龍門尖山港區SSW向波浪場模擬結果波高分布圖	7-11
圖7.12a	澎湖港龍門尖山港區S向波浪場模擬結果相位分布圖	7-12
圖7.12b	澎湖港龍門尖山港區S向波浪場模擬結果波高分布圖	7-12
圖7.13a	澎湖港龍門尖山港區SSE向波浪場模擬結果相位分布圖	7-13
圖7.13b	澎湖港龍門尖山港區SSE向波浪場模擬結果波高分布圖	7-13

圖7.14a 澎湖港龍門尖山港區SE向波浪場模擬結果相位分布圖7-14

圖7.14b 澎湖港龍門尖山港區SE向波浪場模擬結果波高分布圖7-14

第一章 緒論

1.1 計畫緣起及目的

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

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

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

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

本計畫除了協助港灣技術研究中心針對現有的主要商港有關風力、波浪、潮位及海流等海象預報系統進行改善及維護，及相關預報與實測資料的比較分析外，在既有的系統及研究基礎上，本年度將針

對離島澎湖港海域規劃與建置合適的波浪、水位及流場等海象模擬子系統，提供澎湖港與本島各港口間藍色公路相關的海象模擬資訊；另於颱風侵襲期間，藍色公路相關海象模擬結果亦可作為防災預警之評估依據，以確保藍色公路海上航行安全。

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

1.2 相關本計畫

交通部運輸研究所港灣技術研究中心(以下簡稱港研中心)自民國 92 年起著手於整合近岸海象數值模擬與海象觀測資料之研究計畫，建構適用於臺灣本土四周海域之海象數值模擬與預警系統。規劃中的「近岸海象數值模擬及預警系統」架構，如圖 1.1 所示，顯示此海象數值模擬及預警系統之規劃係以結合波浪、水位、海流、海嘯及污染擴散等相關數值模式，以及海象即時觀測系統，構建成整合性的近岸海域海象數值模擬及預警系統為研究方向。整體研究之先期計畫係由中山大學陳陽益教授及李忠潘教授所組成的跨領域研究團隊及港研中心研究人員共同進行合作研究，除了參考國內外近海海象預報系統及相關海象數值模式的發展與應用外，並依據臺灣周圍海域海象特性及模擬需求，規劃不同尺度與解析度之數值計算網格及其適用的相關海象數值模式。在研究團隊整合研究下，陸續完成相關軟、硬體之建置，以及海象數值模擬相關作業化模組開發。之後，由港研中心與國立中山大學合作於民國 96 年取得「臺灣近岸海象預報系統(Taiwan Coastal Operational Modeling System)」之專利權，並將整個近岸海象數值模擬作業化系統移轉至港研中心持續運作與維護至今。

港灣技術研究中心於四年期計畫(民國 96~99 年)「臺灣近岸防救災預警系統技術與作業化之研究」計畫中，陸續推動 1.)近岸風浪模擬技術之研發及預警精度改進；2.)結合運輸研究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。另在水動力部分，於 98 年計畫進行 1.)各港口及其鄰近潮位站潮位資料蒐集與分析，並建置各港口數值模擬所需之預測水位條件；2.)完成基隆港等七大商港港口三角形有限元素數值計算網格之建置；3.)進行七大商港水位及流場之模擬，並進行模擬結果的驗證，同時率定相關參數及邊界條件。99 年的計畫除了將七大商港港口水位及流場模擬成果提供港研中心進行模擬作業外，再針對基隆港水位及海流模擬子系統提出水動力修正模式，計算結果除提供較精確基隆港模擬結果外，並增加風場效應對於港域水位和流場模擬結果之影響。

由於臺灣附近水域的地形與環境複雜，仍有諸多影響因子需要持續進行研究與改善，港研中心乃於四年期計畫(民國 100~103 年)進行「整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究」分項研究計畫。計畫中先於 100 年及 101 年規劃了「提昇海岸及港灣海域波浪模擬技術之研究」與「提昇海岸及港灣海域水位與海流模擬技術之研究」等合作研究計畫，102 年規劃「提昇海岸及港灣海域海象模擬技術之研究」及 103 年規劃「臺灣主要商港海象模擬技術之精進及系統維運」等合作研究計畫。目的為了提升海岸及港灣海域海象模擬技術之研究，除了進行現有波浪、潮位及海流等海象預報系統的維護，以及相關預報與實測資料的比較分析以外，並將進一步探討水位對風浪預報的影響與系統建置，此外也進行近岸海象預報系統的改善尋求其他可能方案。第一年(民國 100 年)計畫係以基隆港域及臺北港域為對象分別進行波浪、水位及流場等海象模擬結果精進之研究，第二年(民國 101 年)計畫則以臺中港域及布袋港域為對象分別進行波浪、水位及流場等海象模擬結果精進之研究，第三年(民國 102 年)計畫改以安平港域及高雄港域為對象分別進行波浪、水位及流場等海象模擬結果精進之研究，第四年(民國 103 年)計畫除了將蘇澳港域及花蓮港域列為主要研究對象外，同時針對前述基隆、臺北、高雄、安平、臺中及布袋等 6 個港域之研究成果進行整合。

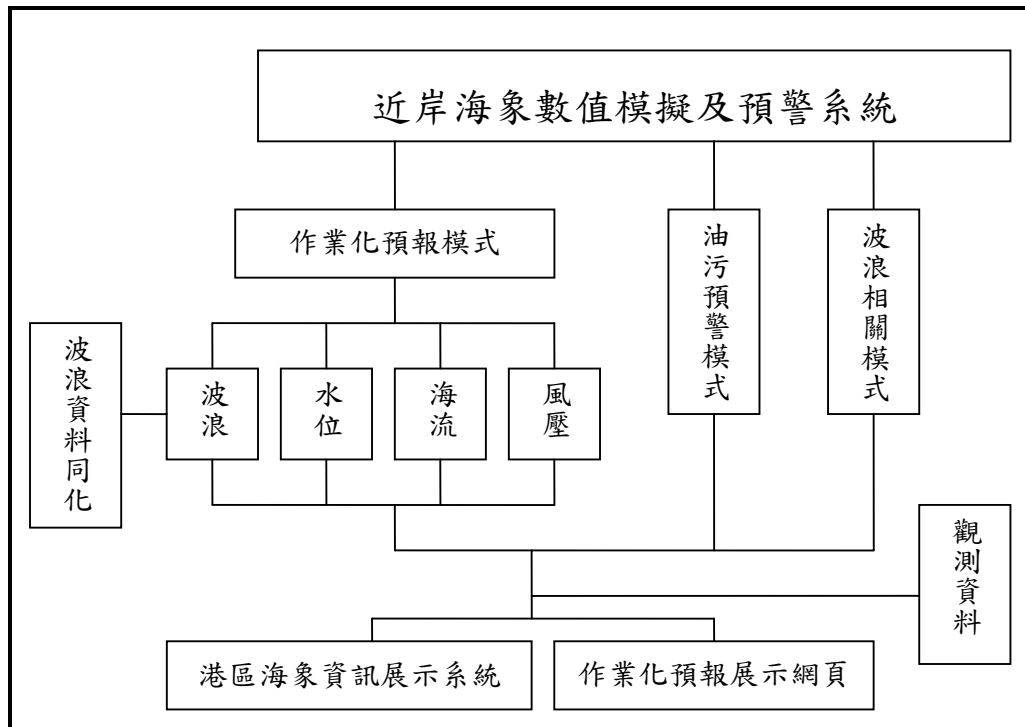


圖 1.1 近岸海象數值模擬及預警系統架構圖

1.3 研究範圍與對象

本計畫研究範圍含蓋波浪、水位及海流等海象模擬資訊，同時以離島澎湖港海域為研究對象，規劃與建置合適的波浪、水位及流場等海象模擬子系統，提供澎湖港與本島各港口間藍色公路相關的海象模擬資訊。圖 1.2 所示為本計畫研究對象澎湖群島、澎湖港(馬公港區及龍門尖山港區)與臺灣本島之相關位置圖。

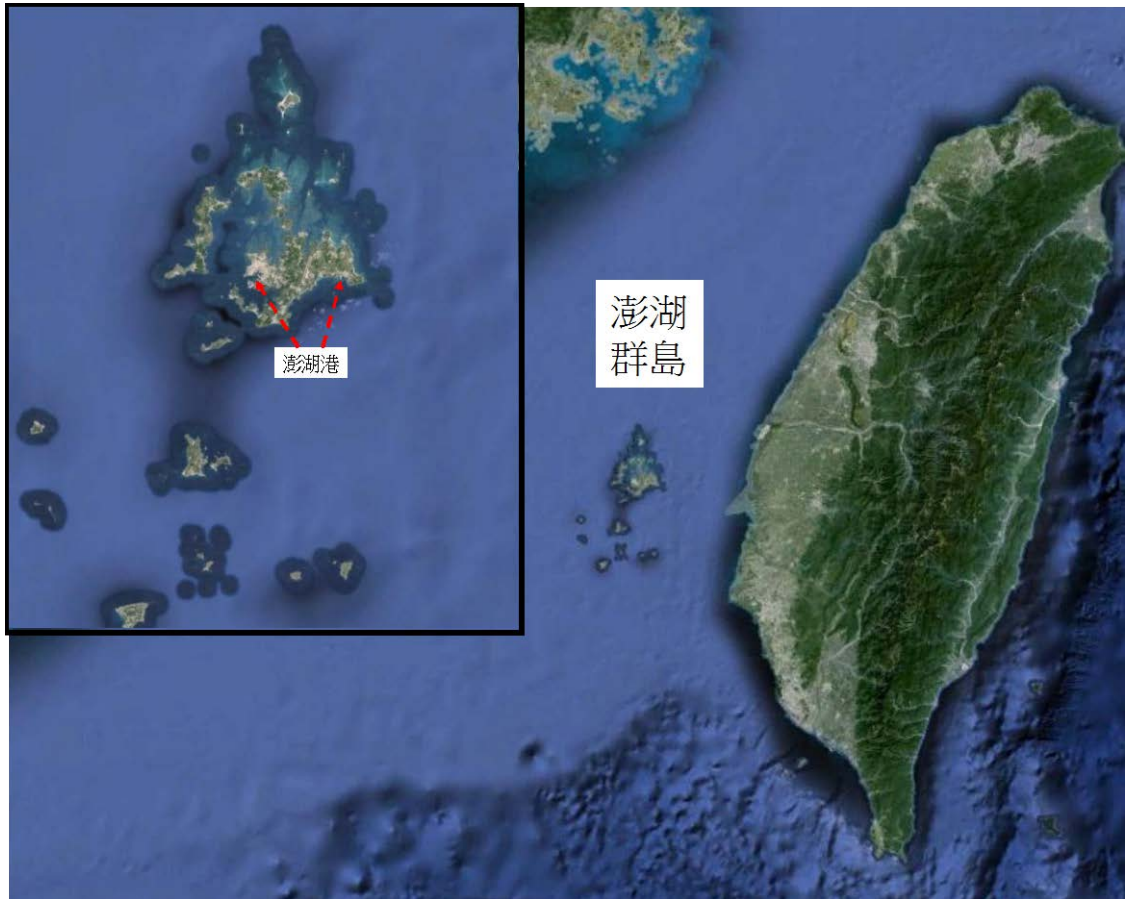


圖 1.2 澎湖群島、澎湖港與臺灣本島之相關位置圖

1.4 本年度主要工作項目

本計畫「海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運」合作研究計畫，本年度主要工作項目及研究內容說明如下：

1. 海氣象自動化預報模擬系統校修與維運：配合港灣技術研究中心進行臺灣近岸海象模擬系統(TaiCOMS)之維護與資料更新、軟硬體更新與測試、模式作業化環境之改善及維護等相關工作。
2. 海象自動化預報模擬系統之預報精確度改善：臺灣本島主要商港海象作業化預報之精確度改善。
3. 波浪、水位及流場等海象預報作業化成果評估：配合港灣技術研究中心(或中央氣象局)臺灣本島主要商港之現場觀測資料，以進行年度預報成果評估。

4. 澎湖海域基本資料蒐集與分析：包括地形水深、風(壓)場、波浪、水位及海流等海象資料分析及藍色公路相關資訊蒐集與建置。
5. 澎湖海域近岸風浪模式建置：依據澎湖海域海象條件規劃與建置合適的風浪模式模擬澎湖海域近岸風浪，同時利用港灣技術研究中心(或中央氣象局)澎湖海域波浪觀測資料校驗模式相關參數及數值模擬結果。
6. 澎湖細尺度港域波浪模式建置：針對澎湖港龍門尖山港區現況建置合適的細尺度波浪模式模擬港區波浪場。
7. 澎湖海域近岸水動力模式建置：依據澎湖海域海象條件規劃與建置合適的水動力模式模擬澎湖海域近岸水位及流場，同時利用港灣技術研究中心澎湖海域水位及海流觀測資料校驗模式相關參數及數值模擬結果。
8. 中尺度臺灣周圍海域水動力模式校驗：依據港灣技術研究中心水位及海流觀測資料校驗模式模擬結果，作為後續模式修正之依據；並針對本年度或歷史颱風資料進行模擬與評估。
9. 為建立相關數值模擬系統及數值預報系統之模式計算、資料庫維護管理、資料統計、繪圖等工作，派遣碩士級(含)以上專業人員一員至本所港灣技術研究中心駐點服務，其人員工作期間為履約時限(自簽約日起算)。

第二章 臺灣近岸海象預報模擬系統維運與改善

本章節主要針對本年度計畫在海氣象自動化預報模擬系統校修與維運、海象自動化預報模擬系統之預報精確度改善及海象預報作業化成果評估等工作項目之成果做說明。

2.1 臺灣近岸海象預報系統簡介

臺灣近岸海象預報系統(Taiwan Coastal Operational Modeling System, TaiCOMS)整體架構如圖 2.1 所示，係由即時海象觀測網、海象模擬作業化系統及海象資訊展示端等三部份構成；其中即時海象觀測網目前計有基隆港等 10 個測站，如圖 2.2 所示，觀測內容包括風力(風速、風向)、波浪(波高、週期及波向)、水位及海流(流速、流向)等；海象模擬作業化系統提供的海象模擬資訊包括風場、波浪、水位、海流及海嘯等，其中風場模擬資料係透過合作方式取得中央氣象局天氣預報之數值風(壓)場資料；在海象資訊展示端上，系統以港研中心『港灣環境資訊網』為界面，展示觀測網各測站即時海象觀測資料及海象模擬作業化系統相關海象模擬資訊。

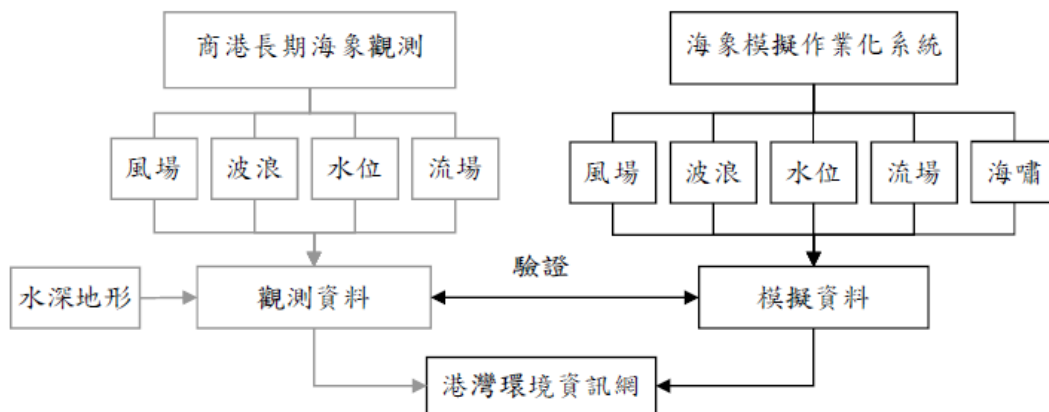


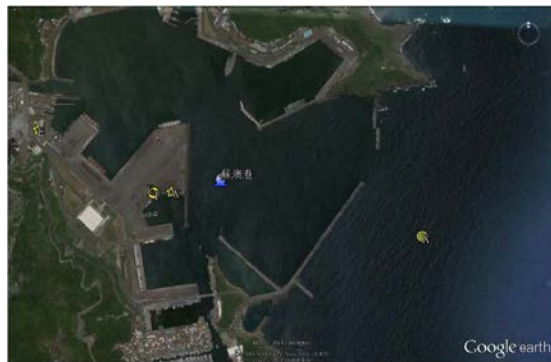
圖 2.1 臺灣近岸海象預報系統整體架構圖



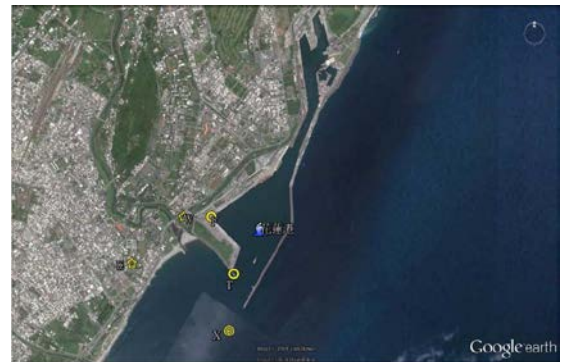
☆ 風速儀 ◎ 潮位計 ● 觀測格
臺北港



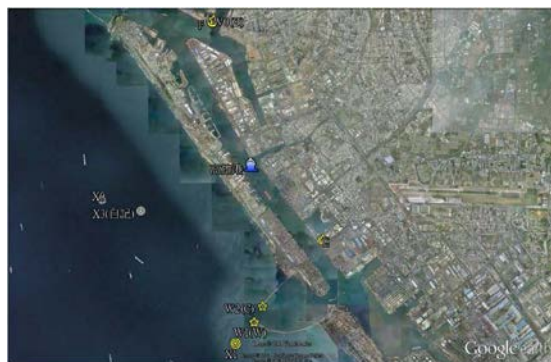
☆ 風速儀 ◎ 潮位計 ● 波流儀
基隆港



☆ 風速儀 ◎ 潮位計 ● 波流儀
蘇澳港



☆ 風速儀 ◎ 潮位計 ● 波流儀
花蓮港



☆ 風速儀 ◎ 潮位計 ● 波流儀
高雄港



☆ 風速儀 ◎ 潮位計 ● 觀測格
安平港

圖 2.2 國內主要商港海氣象觀測站位置圖

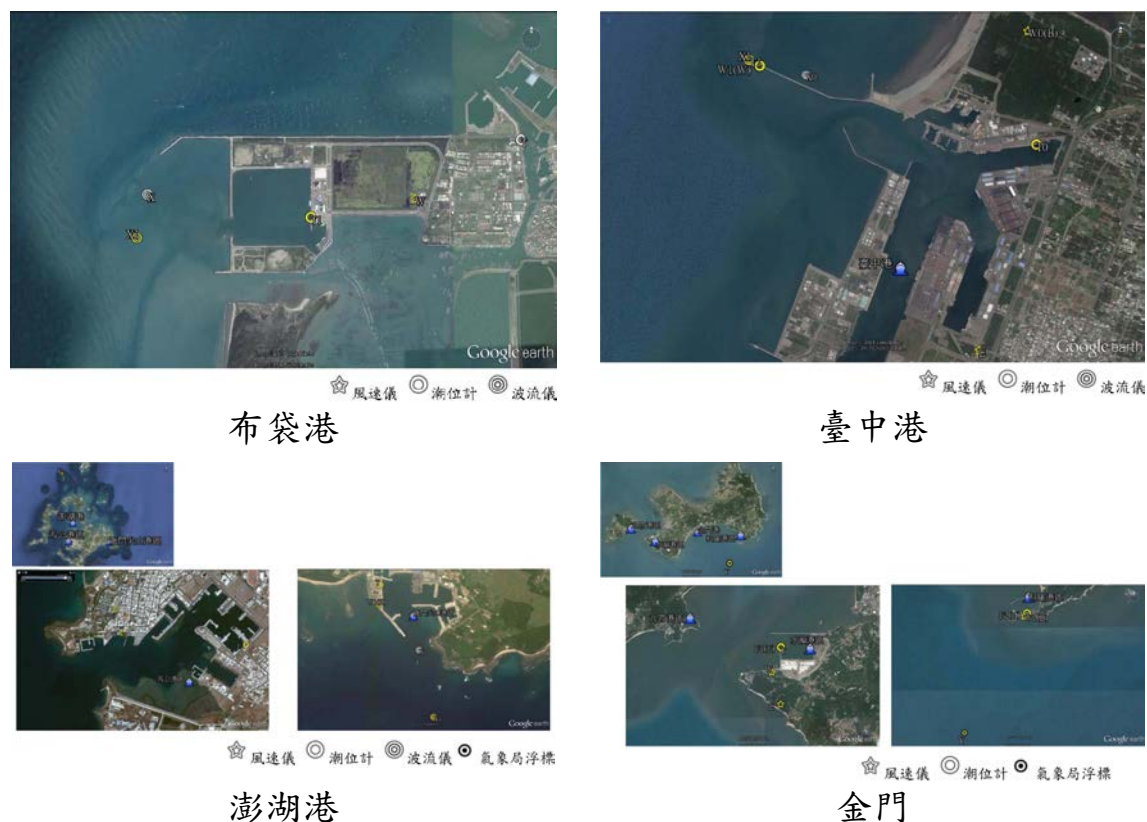


圖 2.2 (續)國內主要商港海氣象觀測站位置圖

2.2 海象模擬作業化系統

為了能夠充份模擬臺灣周圍及近岸海域海象特性，港研中心建置的海象模擬作業化系統包含了多種尺度及多種模式，其整體架構如圖 2.3 所示。在此架構下，海象模擬作業化系統組成區分為風(壓)場處理系統、波浪模擬系統、水動力模擬系統及海嘯模擬系統等四個子系統。以下僅針對與本計畫相關的風(壓)場處理系統、波浪模擬系統及水動力模擬系統簡介如下：

2.2.1 風(壓)場處理系統

自 2014 年 5 月起 TaiCOMS 改採用中央氣象局第四代數值天氣預報系統(Weather Research and Forecasting model, WRF)每日預報之 M00 模組風(壓)場資料為海象模擬作業化系統預報之風(壓)場數值(預報)資

料，執行每日 72 小時(昨日、今日及明日)相關海象模擬預測。因此風(壓)場處理系統主要目的為將下載的天氣數值預報之氣象資料解碼、重組及內插產生本系統海象模擬所需之格式化風、壓場資料。依據 WRF 風場數值模擬使用的水平三層巢狀網格(如圖 2.4 所示)分別產生本系統定義的西太平洋風場及氣壓(WA01)、中國海域風場及氣壓(WA02)及臺灣海域風場及氣壓(WA03)等三種不同尺度模式預報資料。

1. 西太平洋風場及氣壓(WA01)：依據 WRF 水平第一層解析度 45km 網格之風(壓)場資料產生，資料輸出範圍為西太平洋北緯 0° 至 35° ，東經 99° 至 150° ，參考圖 2.5 所示；資料網格為解析度 $1/6^{\circ}$ (或 $10'$)之球面座標規則網格，又稱為大尺度風壓場。目前西太平洋風場及氣壓(WA01)主要功用為提供遠域風浪模組及水動力模組作業化模擬所需之風(壓)場。
2. 中國海域風場及氣壓(WA02)：依據 WRF 水平第二層解析度 15km 網格之風(壓)場資料產生，資料輸出範圍為西太平洋北緯 10° 至 35° ，東經 110° 至 135° ，參考圖 2.5 所示；資料網格為解析度 $1/12^{\circ}$ (或 $5'$)之球面座標規則網格，又稱為中尺度風壓場。目前中國海域風場及氣壓資料(WA02)主要功用為提供近域風浪模組及水動力模組作業化模擬所需之風(壓)場。
3. 臺灣海域風場及氣壓(WA03)：依據 WRF 水平第三層解析度 5km 網格之風(壓)場資料產生，資料輸出範圍為臺灣周圍海域北緯 20.5° 至 28° ，東經 117.5° 至 124.5° ，參考圖 2.5 所示；資料網格為解析度 $1/24^{\circ}$ (或 $2.5'$)之球面座標規則網格，又稱為小尺度風壓場。臺灣海域風場及氣壓(WA01)主要功用為提供未來近域及小尺度風浪模組作業化模擬所需之風(壓)場。

2.2.2 波浪模擬系統

波浪模擬作業化系統主要目的為針對國內主要商港(如基隆港等)近岸及港域波浪進行作業化模擬與預測，整體架構分為遠域風浪、近

域風浪、近岸波浪及港域波浪等四種不同尺度波浪模組，各模組特性及主要功用分述如下：

1. 遠域風浪模組：以西太平洋北緯 10° 至 35° ，東經 110° 至 134° 之海域為模擬範圍，如圖 2.6 所示；數值計算格網採用 0.2° (或 $12'$) 之地球弧形網格，又稱之為大尺度風浪模組。遠域風浪模擬目的除了可提供西太平洋範圍遠域風浪場模擬資訊外，主要功能為產生作業系統近域風浪模擬所需的開放邊界條件。因此遠域風浪模擬作業化系統使用的數值模式為海洋波浪預測模式 WAM (Wave Modeling)，模式相關介紹如附錄二所述。
2. 近域風浪模組：以臺灣周圍海域北緯 21° 至 27° ，東經 117° 至 123° 為模擬範圍，如圖 2.7 所示；數值計算格網採用 0.04° (或 $2.4'$) 之球面座標規則網格，又稱之為中尺度風浪模組。近域波浪模擬目的：
(1) 提供臺灣周圍海域較高解析度與較精確的風浪場模擬結果，
(2) 提供各主要商港近岸預測波浪條件作為各商港近岸波浪場及港域波浪場模擬之依據。因此近域風浪模擬作業化系統使用的數值模式為荷蘭 Delft 大學所發展之近海風浪模式 SWAN (Simulating Waves Nearshore)，模式簡介如附錄二所述。
3. 近岸波浪模組：以基隆港、臺北港、臺中港、布袋港、安平港、高雄港、花蓮港及蘇澳港等 8 個主要商港為模擬對象，分別針對各商港近岸海域建置適當的模擬範圍，如圖 2.8 所示；各商港近岸波浪模擬採用的數值計算格網為解析度 10 m 之規則網格，網格相關資料如表 2.1 所列，又稱為小尺度近岸波浪模組。近岸波浪模擬目的主要針對各港口依據近域風浪模擬預測的波浪資訊，模擬外海波浪向岸傳播過程產生的波浪場變化，提供各港口外海特定區域之波高及波向模擬預測資訊。因此各港口近岸波浪場模擬作業化系統採用的數值模式為 Kirby and Dalrymple (1983) 依據拋物線型緩坡方程式所發展的波浪折、繞射模式 (REF/DIF 1)，模式基本理論說明如附錄二所述。

表 2.1 主要商港港區近岸波浪模組之數值參考網格基本資料

港口 名稱	原點座標(tw97 二度分帶)		座標系統 旋轉角度	網格大小 (10m)
	X(m)	Y(m)		
基隆港	322539.0	2787360.0	256.0°	621× 731
台北港	278577.0	2784690.0	-55.0°	801×1301
台中港	198113.0	2696163.0	-36.0°	1001×1901
布袋港	150038.7	2579393.8	11.00°	1601× 901
安平港	160526.8	2531091.8	31.44°	1401×1041
高雄港	177877.0	2487555.0	38.0°	801×1701
蘇澳港	342011.8	2725729.3	185.00°	601× 801
花蓮港	316892.0	2655232.0	150.0°	321× 801

4. 港域波浪模組：同樣以基隆港、臺北港、臺中港、布袋港、安平港、高雄港、花蓮港及蘇澳港等 8 個主要商港港域為對象，模擬預測各港港域內波浪場變化情形；各港港域波浪模場擬範圍，如圖 2.9 所示。為能夠充份展現港域形狀不規則及波浪場變化受到地形及結構物影響等特性，港域波浪模擬使用的數值計算網格為有限元素三角形網格，且因建置的非結構數值計網格之解析度高於前述近岸波浪模組，故又稱為細尺度港域波浪模組。港域波浪模擬主要目的為模擬外海波浪進到港域內波浪場變化情形，因考量港域波浪會受到港口構造物存在及地形水深變化等因素影響，產生波浪折射、繞射、反射及波能損失等作用，因此港域波浪模擬系統採用的數值模式屬於以橢圓型緩坡方程式為基礎的有限元素港域波浪模式。

2.2.3 水動力模擬系統

水動力模擬作業化系統主要目的同樣是針對國內主要商港(如基隆港等)港區及近岸海域進行水位及流場模擬與預測，整體架構分為遠域水動力模組、近域水動力模組及港區近岸水動力模組浪等三種不同尺度的水動力模組，各模組特性及功用分述如下：

1. 遠域水動力模組：以西太平洋北緯 10°至 42°，東經 105°至 150°之海域為模擬範圍，如圖 2.10 所示；數值計算格網採用 1/6°(或 10')

之球形座標之規則網格，又稱為大尺度水動力模組。遠域水位及流場模擬採用的數值模式為歐盟發展的模式 COHERENS (COupled Hydrodynamical Ecological model for REgioNal Shelf seas)，與中央氣象局每日預報之動態風(壓)場結合，成為適用於臺灣海域之潮汐及風暴潮複合之水動力模式。

2. 近域水動力模擬：以臺灣周圍海域為模擬範圍，含蓋北緯 21° 至 26.5° ，東經 116.5° 至 125° 之海域，如圖 2.10 所示；模式數值計算網格採用 $1/60^{\circ}$ (或 $1'$) 之球面座標規則網格，又稱為中尺度水動力模組。與前述遠域水動力模組相同，近域水動力模組採用歐盟發展的模式 COHERENS，結合中央氣象局每日預報之動態風場進行臺灣周圍海域潮汐變化及風驅流作業化模擬。
3. 港區近岸水動力模擬：以基隆港、臺北港、臺中港、布袋港、安平港、高雄港、花蓮港及蘇澳港等 8 個主要商港為對象，分別針對各商港及其鄰近海域建置適當的水位及流場模擬範圍，如圖 2.11 所示；因其模擬範圍明顯小於前述遠域及近域水動力模組，因此又稱為小尺度港區近岸水動力模組。同樣地，為能夠充份呈現港域形狀特性，各港港區近岸水動力模組數值計算網格採用較具調適性的有限元素三角形網格；數值模式則採用，水深積分平均之二維有限元素水動力模式(Finite Element Hydraulic Dynamic Model, FEHDM)。

2.2.4 海象模擬作業化流程

海象模擬作業化系統自 2006 年起由港研中心維護運作至今，系統維運主要工作為確保系統每日執行海象模擬作業，並提供臺灣主要港區每日 72 小時(昨日、今日、明日)之模擬風場、波浪、水位及海流等資訊於港灣環境資訊網站供港研中心同仁及相關使用者參考。目前系統海象模擬每日作業化之流程，如圖 2.12 所示，依序分為風場後處作業流程、海象數值模擬作業流程、數值模資料整合及港灣環境資訊網展出等流程。

風場作業化流程除了配合中央氣象局每日 0、6、12 及 18 時數值預報風壓場資料(WRF)發布的時間起動下載資料程式外，基於海象模擬預報之時效性考量，本系統採取彙整前兩日發布之預報風壓場資料方式，組合成系統 72 小時(昨日、今日、明日)海象模擬所需的氣象預報資料。風壓場預報資料擷取時段與組合方式，如圖 2.13 所示，此規劃將可預留氣象資料下載傳輸時間，以及減少因自氣象局下載資料過程發生部份資料短缺導致整體作業系統無法運作之困擾。

本系統海象模擬作業化流程設定於每日凌晨 3 時啟動，其中風場處理作業及遠、近域海象模擬整體作業之時間流程，如圖 2.14 所示，即相關海象模擬結果可於每日上午 7 時展示於港灣環境資訊網。

本系統每日海象模擬時間長度為 72 小時(昨日、今日、明日)，其中前 24 小時代表海象模擬追算之結果，後 48 小時代表海象模擬預測推算之結果，如圖 2.15 所示。此模擬預測方式主要規劃目的是提供 24 小時數值模擬結果(含追算及預測)與即時海象觀測比對資訊，以利評估當日海象模擬及預測結果之可信度。

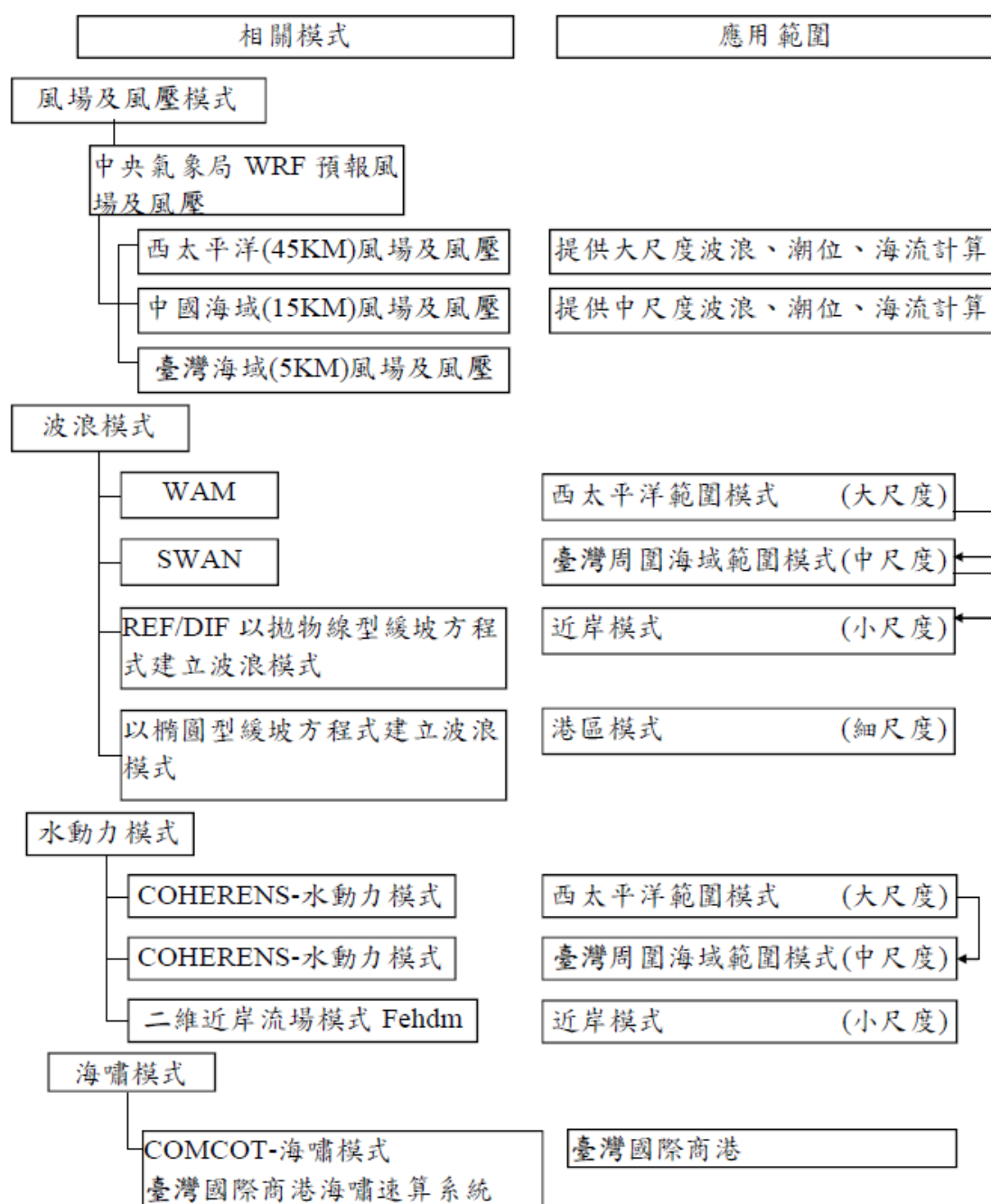


圖 2.3 海象模擬作業化系統整體模式架構圖

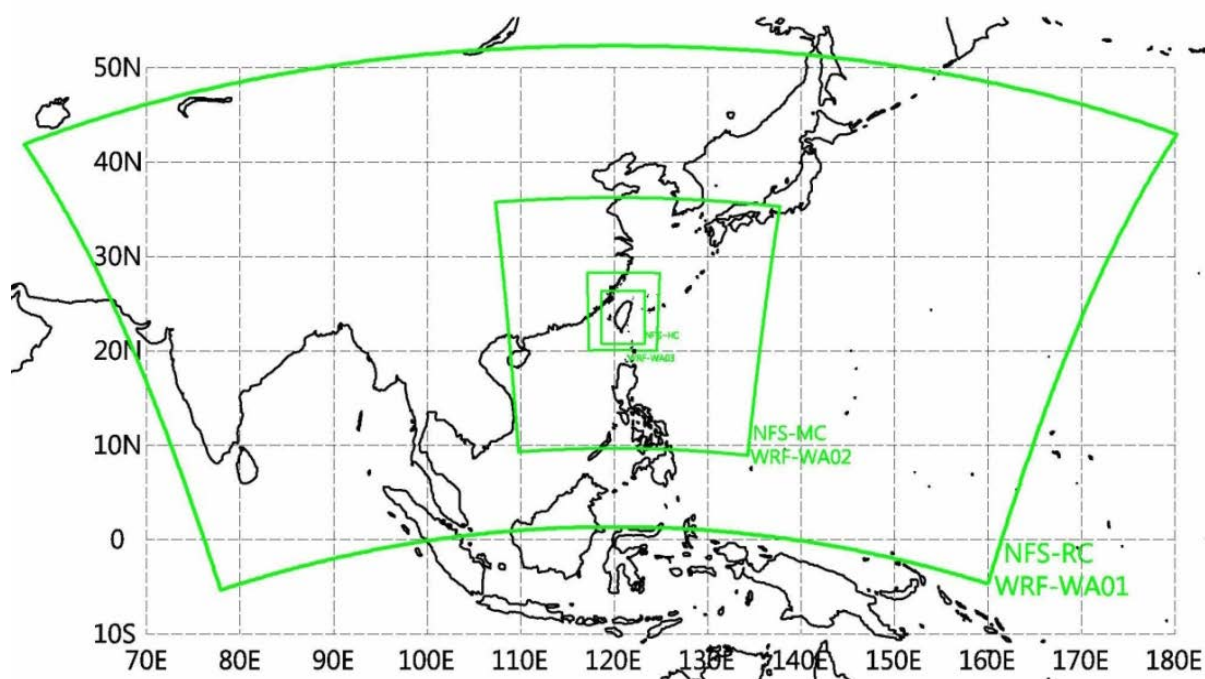


圖 2.4 中央氣象局 NFS 及 WRF 風場資料巢狀網模擬範圍圖

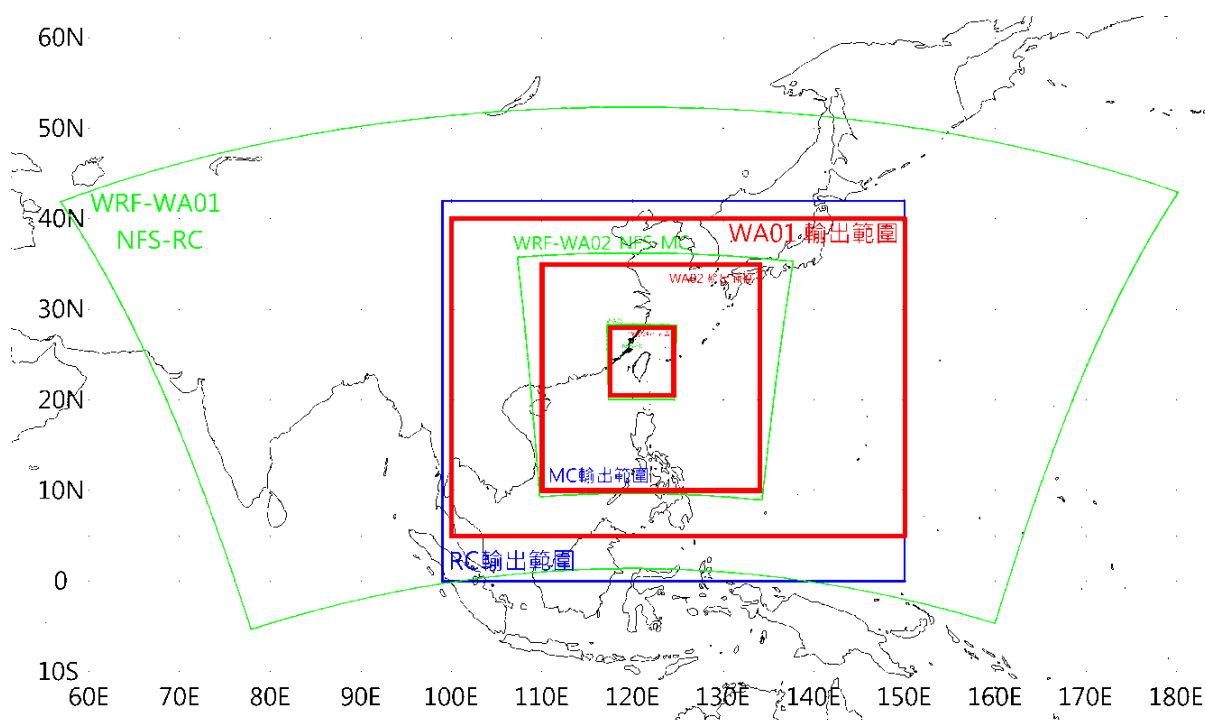


圖 2.5 海象模擬作業化系統風場資料輸出範圍示意圖

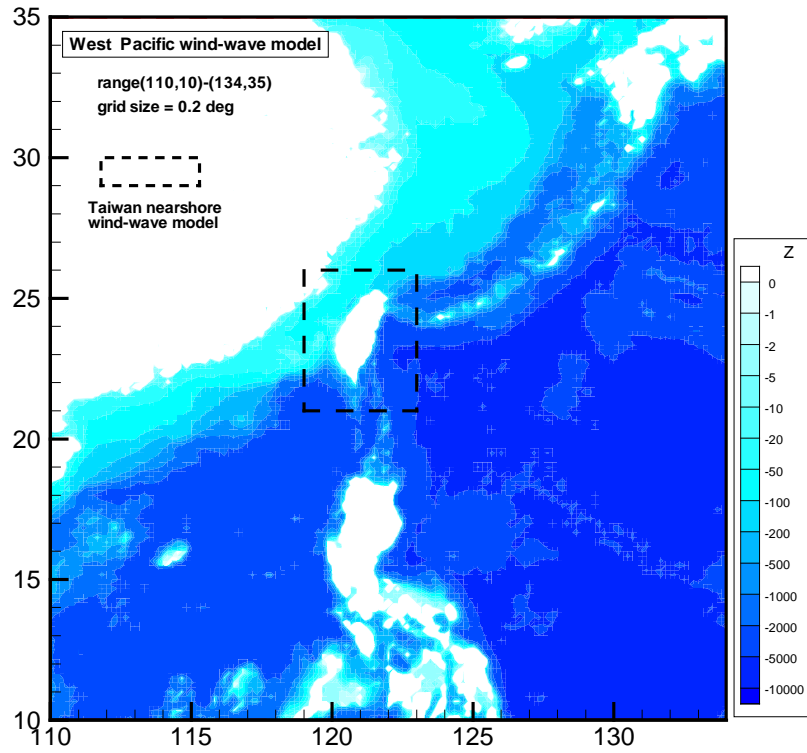


圖 2.6 TaiCOMS 遠域風浪模擬範圍及計算網格地形水深分布圖

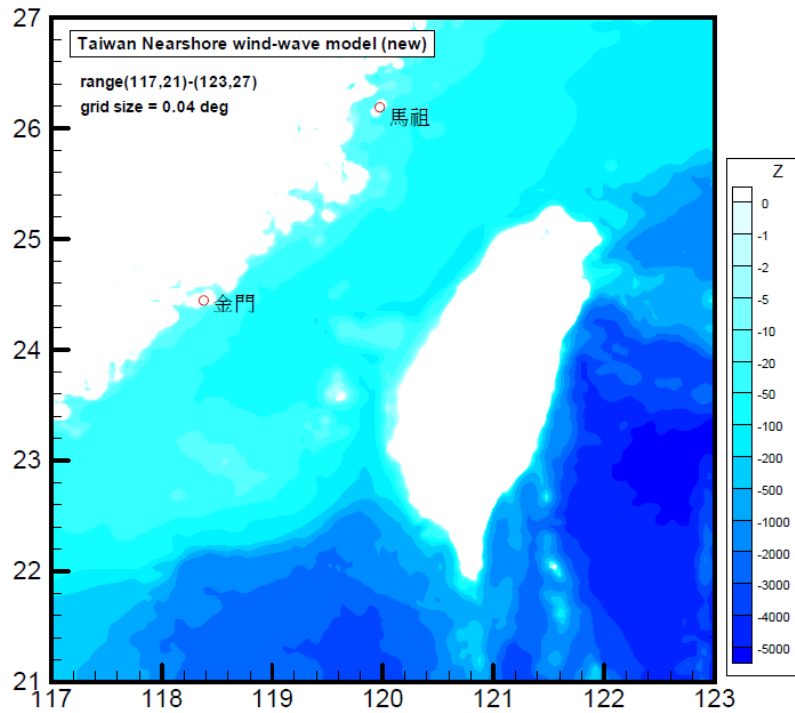
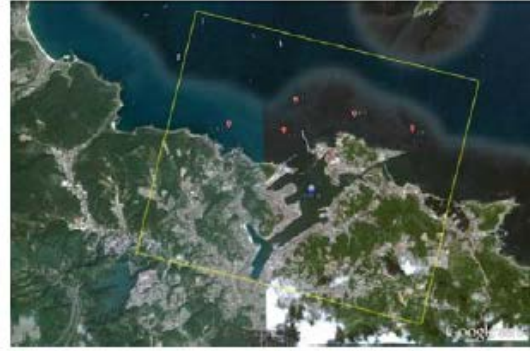


圖 2.7 TaiCOMS 近域風浪模擬範圍及計算網格地形水深分布圖



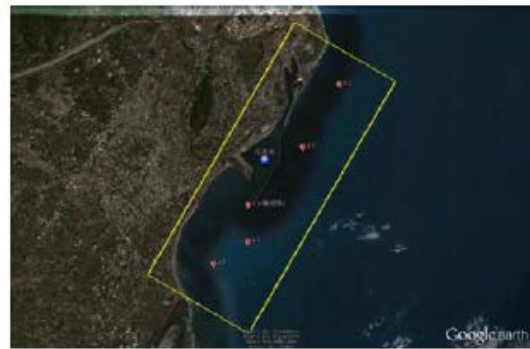
臺北港



基隆港



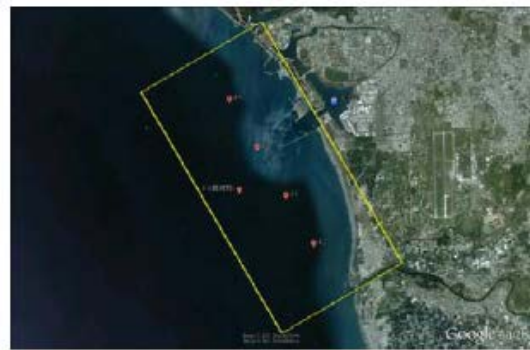
蘇澳港



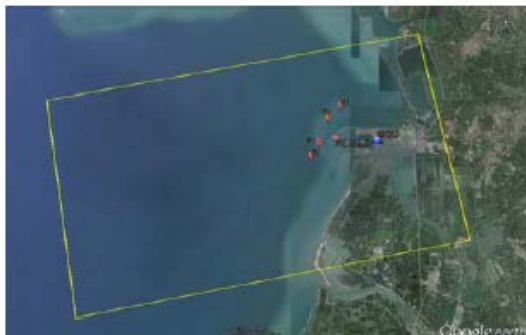
花蓮港



高雄港



安平港

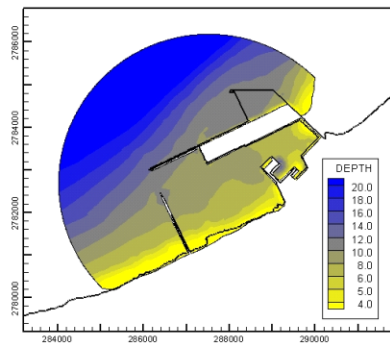


布袋港

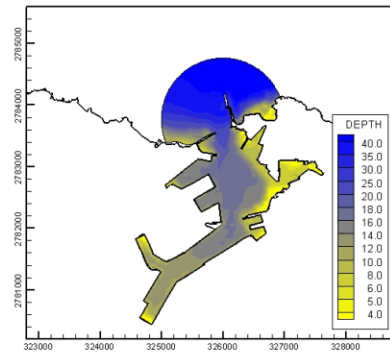


臺中港

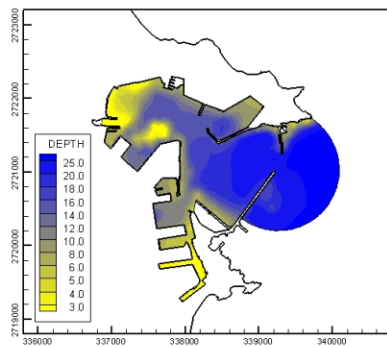
圖 2.8 各主要商港港區近岸波浪模組模擬範圍示意圖



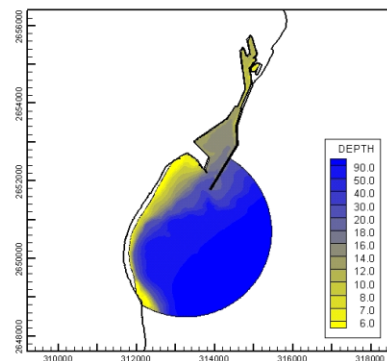
臺北港



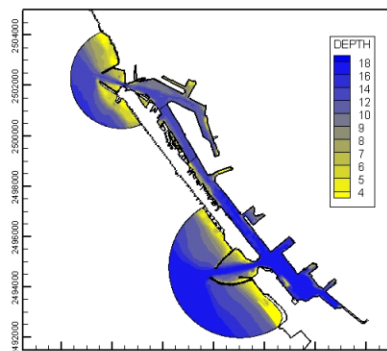
基隆港



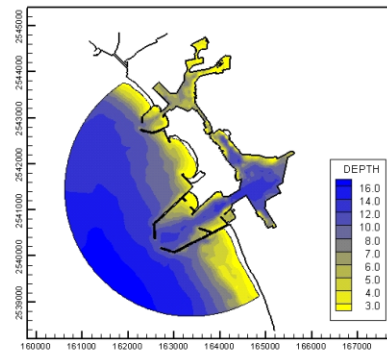
蘇澳港



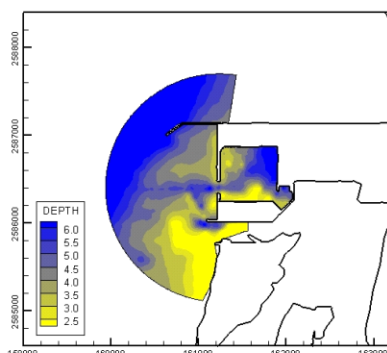
花蓮港



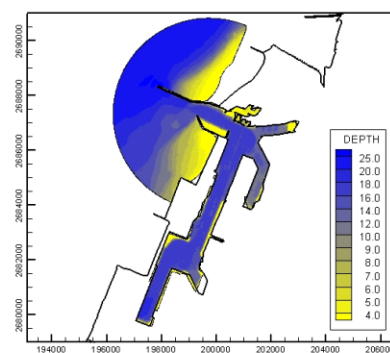
高雄港



安平港



布袋港



臺中港

圖 2.9 各主要商港細尺度港域波浪模組模擬範圍圖

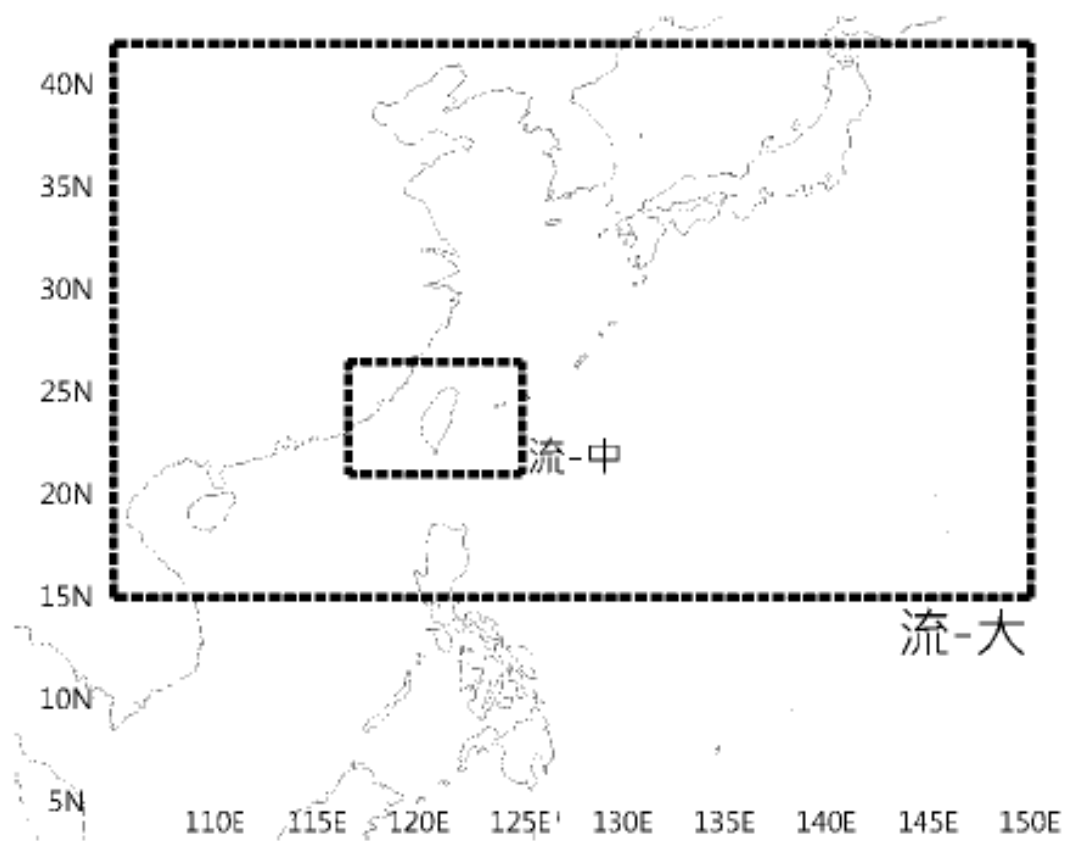
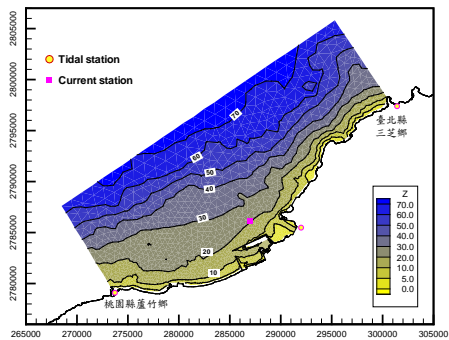
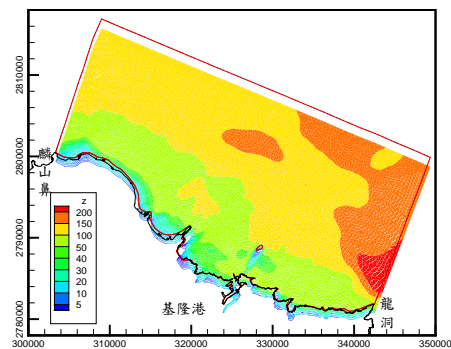


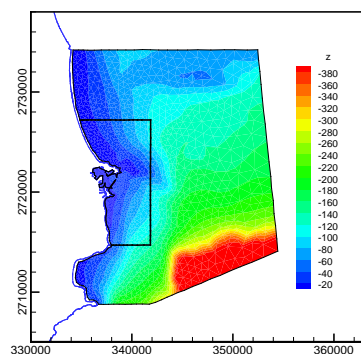
圖 2.10 遠域及近域水動力模組模擬範圍示意圖



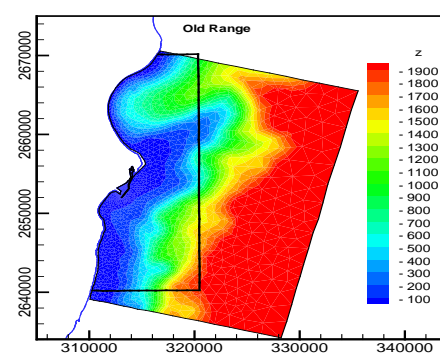
臺北港



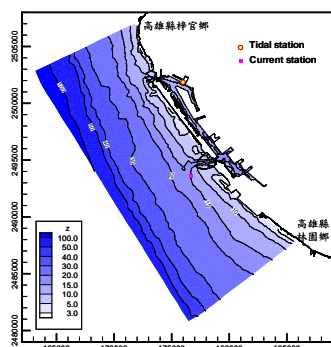
基隆港



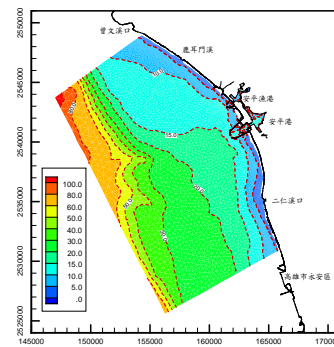
蘇澳港



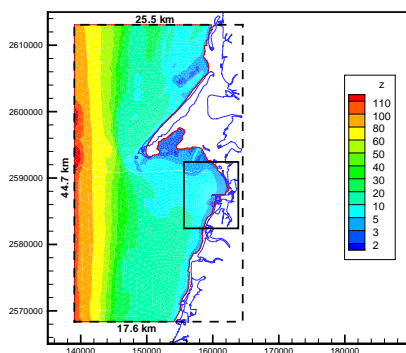
花蓮港



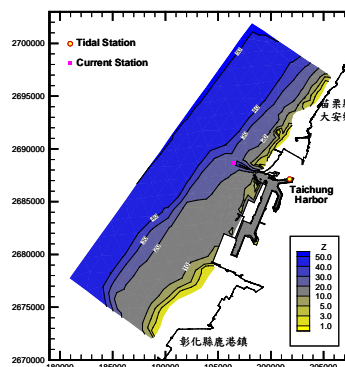
高雄港



安平港



布袋港



臺中港

圖 2.11 各主要商港小尺度水動力模組模擬範圍圖

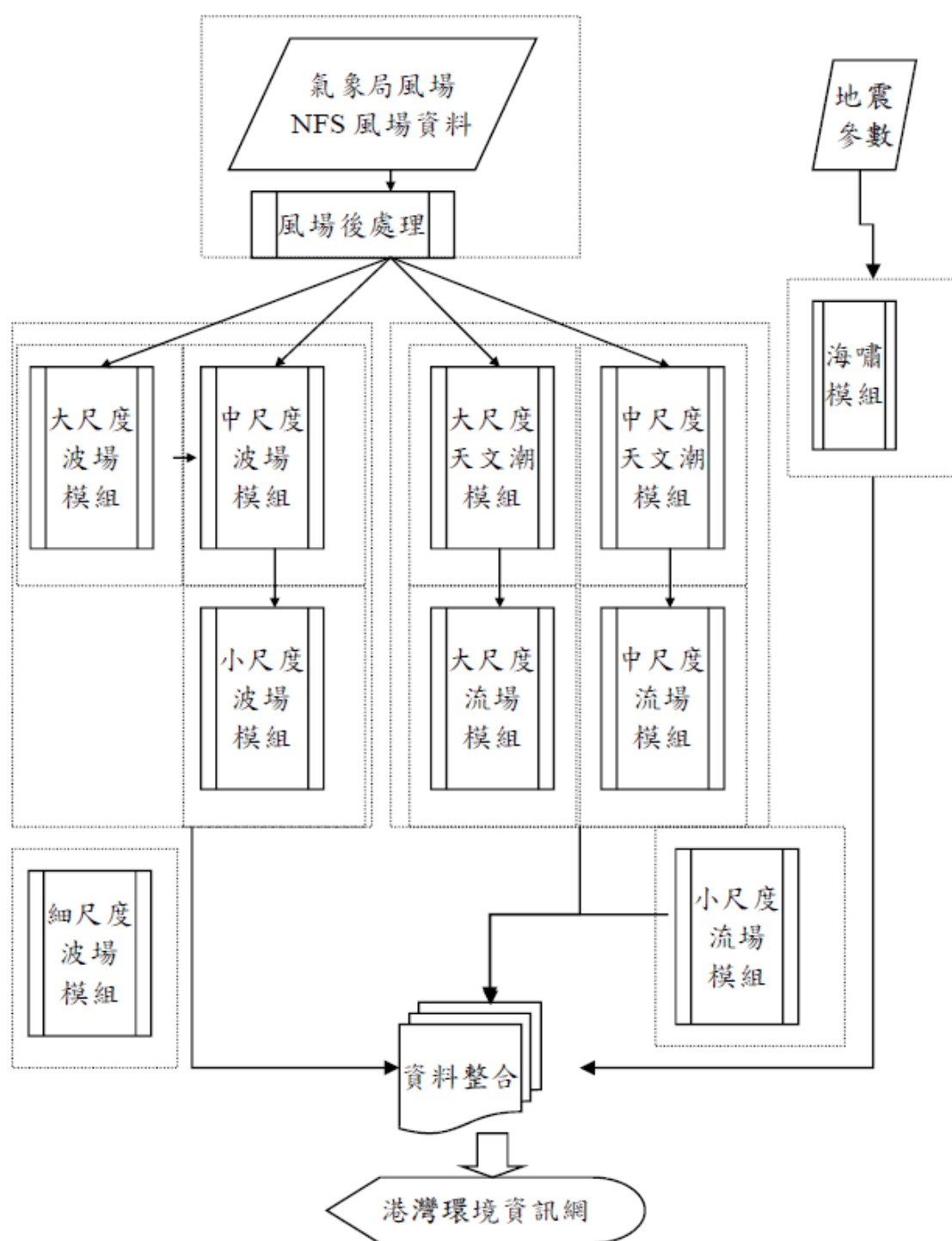
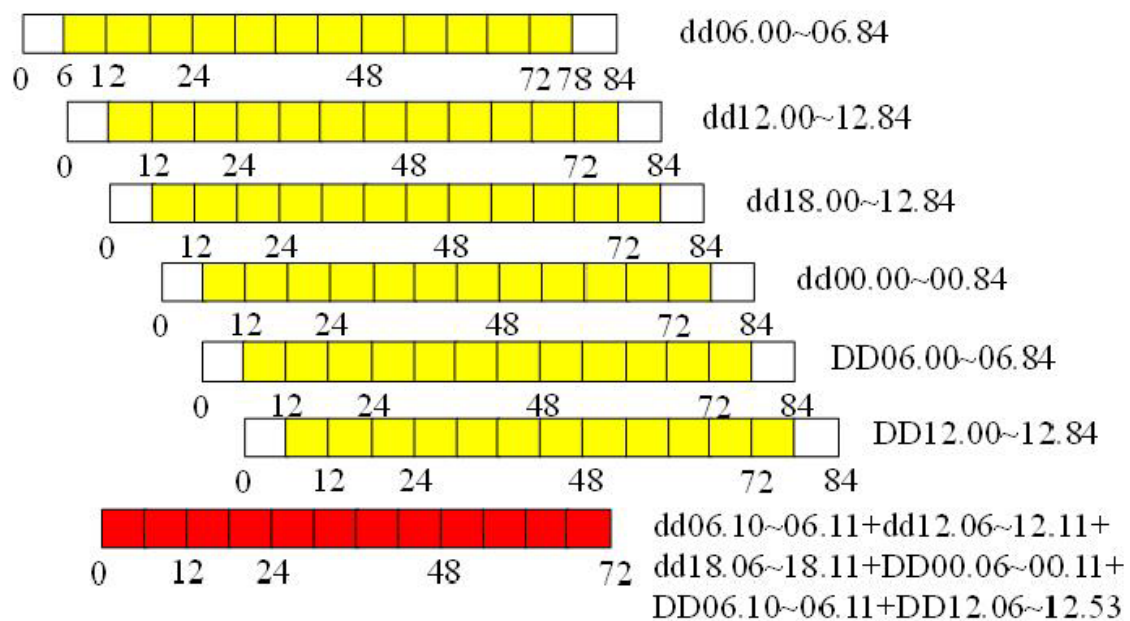


圖 2.12 海象模擬作業化系統作業化流程圖



dd 為 DD 減 1 日

圖 2.13 海象模擬作業化系統產生組合風場之資料擷取時段與組合示意圖

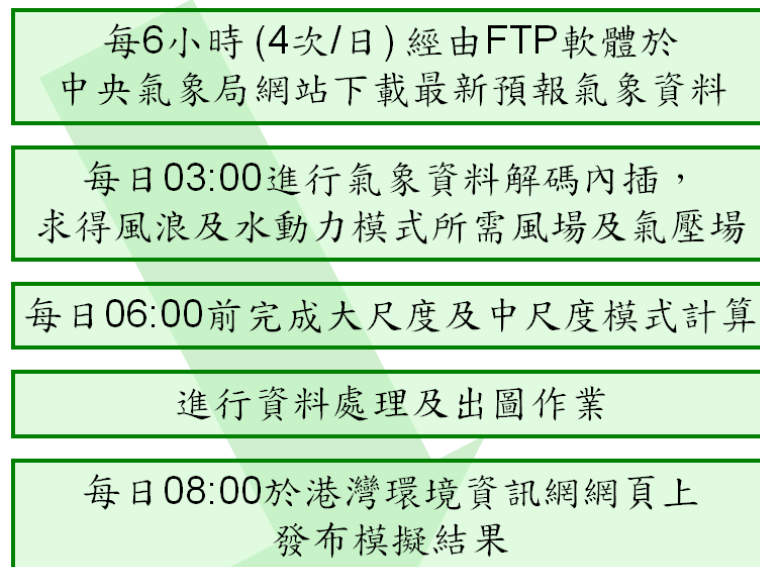


圖 2.14 海象模擬作業化系統之作業時間流程

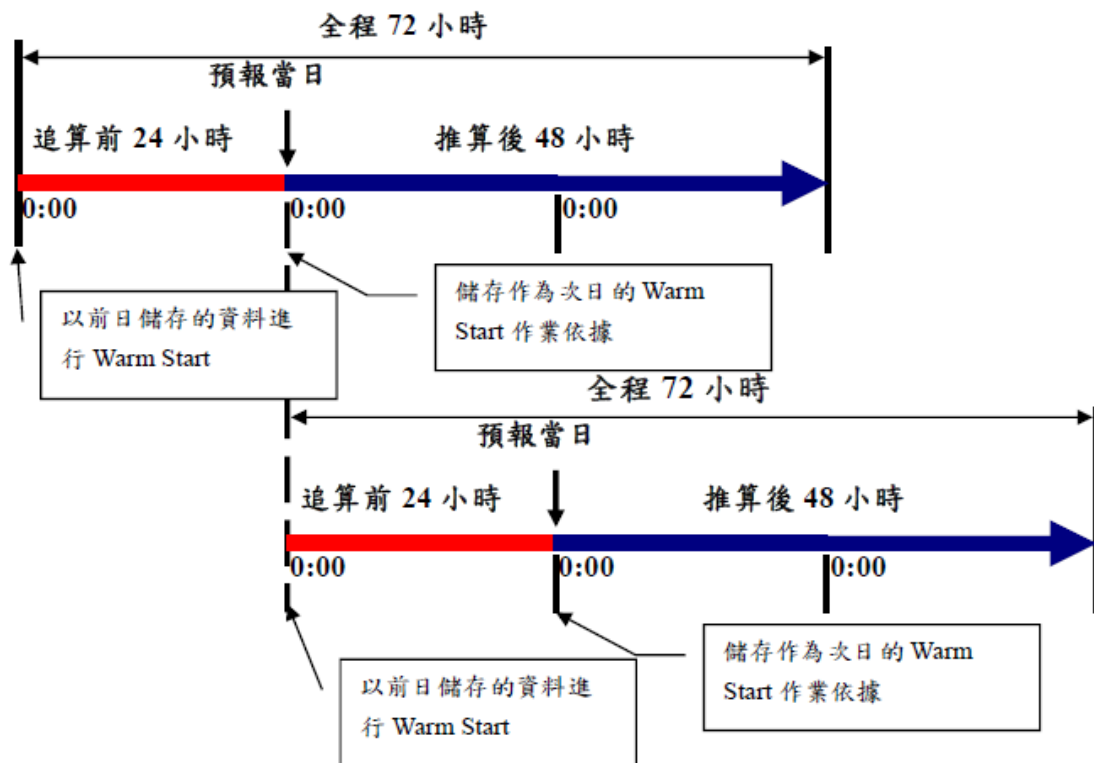


圖 2.15 海象作業化模擬之追算與推算時間示意圖

2.3 本年度海象模擬作業化系統改善成果

2.3.1 軟硬體設備更新與測試

本計畫主要工作項目之一就是維持海象模擬作業化系統每日定時執行各海象模擬預報作業正常運作，提供數值資料包括 72 小時風場、波場、潮位及流等數值模擬結果。在系統硬體設備方面，本年度以硬體區分方式將各主要模擬程式規劃成分工計算以節省部分時間並可確保整體系統資料不至於同時發生損毀情形，在港研中心之伺服器內原規劃共區分為資料、風場、波場、水動力、資料儲存備份共五部中低階伺服器進行計算及備份。各伺服器主要功能說明如下：

1. 資料伺服器：主要功能為讀取本中心各港口觀測資料。
2. 風場伺服器：主要功能為讀取氣象局的風場資料，解碼內插風場資料(昨日、今日、明日)，彙整本所相關觀測資料，做為本系統資料

溝通平臺且提供波場伺服器及水動力伺服器相關計算所需風場資料及時間參數。

3. 水動力伺服器：主要功能為計算三日的水動力模擬(昨日、今日、明日)，其中包含了大尺度流場、中尺度流場及早期發展港域流場的即時模擬。
4. 波場伺服器：主要功能為提供三日的波場模擬(昨日、今日、明日)，其中包含了大尺度風浪模擬、中尺度風浪模擬、及早期發展小尺度和港域波場的即時模擬。
5. 資料儲存備份伺服器：主要功能為備份各模組程式及輸出結果。

各伺服器為確保資料安全，且由於經費及實際工作考量僅於硬碟部分採用硬碟陣列 RAID level 5 方式 (RAID, Redundant Array of Independent Disks)，此方式可將多個硬碟組合起來，成為一個大的硬碟陣列組，其效能達到甚至超過一個價格昂貴、容量巨大的硬碟，並確保當伺服器內硬碟若有一顆損壞時，並不影響整體系統資料，且可持續運作，另加入資料儲存備份伺服器來保全資料完整性。硬體及資料流程相關說明，如圖 2.16 所示。

小尺度流場計算及海嘯計算系統，建置於微軟 windows server 作業系統，小尺度流場亦採取相似觀念，同時建置 2 套模式於 2 臺伺服主機內，今年度新增 server (HP ProLiant PL380p Gen8) 其 OS 作業系統由 windows server 2008 (32 bit) 提昇至 windows server 2012R2(64 bit) 版本，記憶體由 4G 提昇至 64G。平時主要運作小尺度流場系統，原來之 windows server 2008 亦同時執行每日小尺度流場作為備援之用。小尺度流場計算及海嘯計算系統也可作為相互備援，並防止伺服主機損毀造成作業中斷及損毀，如圖 2.17 所示。原先小尺度流場系統之作業時間，已可從 6 小時提昇為 4 小時內完成相關作業，各伺服器主要功能說明如表 2.2。

表 2.2 港研中心海象模擬伺服器主要功能說明

伺服器	主要功能
資料伺服器	抓取各國際港及國內港之風、波、潮、流觀測資料。
風場伺服器	抓取氣象局 WRF 風場資料並進行資料解碼內插(昨日、今日、明日)。 彙整本所相關觀測資料。 提供波場伺服器及水動力伺服器相關計算所需之每日風場資料。
水動力伺服器	大尺度流場、中尺度流場。
波場伺服器	資料整合平臺：提供海情中心每日風、波、潮、流模擬結果。 三日模擬：大尺度波場、中尺度波場、小尺度波場。
資料儲存備份伺服器	主要功能為備份各模組程式及輸出結果。
備援伺服器	每日同步進行風場、波場及水動力模擬。
小尺度水動力伺服器	小尺度流場(作為海嘯伺服器備援)。
海嘯伺服器	海嘯模擬計算(作為小尺度水動力伺服器備援)。

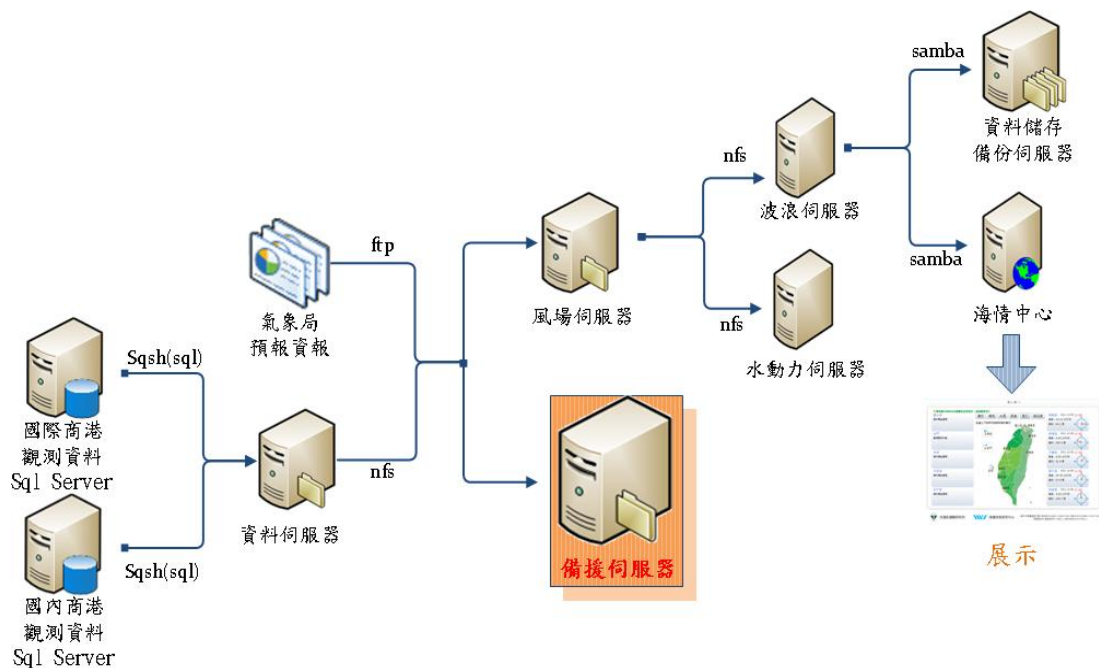


圖 2.16 系統新硬體及資料流程說明圖

在軟體設備方面，整體作業流程在遠域及近域(含風、波浪、水位、海流)模組部分以及各港區近岸波浪模組部分，延續前期系統架構將主要作業軟體建置於 SUSE linux 作業系統內，目前已陸續將作業系統版本由 SUSE linux10、11 更新至 11、12 版，並將風、波浪及水動力分別建置於不同伺服器進行運作，作業環境利用系統內 shell script 程式語言撰寫，部分則利用 fortran 程式語言撰寫，過程中同時使用美國海洋大氣總署(NOAA)太平洋環境實驗室(PMEL)所發展鮐(ferret)軟體，作為本系統作業化主要的排程包含資料格式建置及前後處理軟體繪圖等。軟體目前已發展到 6.85 版本，主要功能可分析其數值海洋模式的產出和網格化，並與觀測數據進行比較。

各港區近岸水動力模組及海嘯模組部分則配合目前發展合作團隊建置於微軟作業系統，其中近岸水動力模組目前已陸續將作業系統由 Window server 2003、2008 更新至 Window server2008、2012R2。此部分可分別透過商用 tecplot 及 matlab 軟體進行後處理出圖。系統內相關應用軟體如表 2.3 所示，海象模擬風波潮流計算作業流程，如圖 2.18 所示。

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

1. 系統聯外部分：如連接中央氣象局，由於氣象局以 FTP(File Transfer Protocol server)方式提供氣象資料，於是本系統內已建置 FTP 軟體及 linux 系統內 shell script 程式語言撰寫排程定時下載相關資料。
2. 系統連結區網內電腦部分：由於系統內模擬資料必須讀取海象觀測資料庫內資料比對驗證，故在系統內安裝 freetds 及 sqsh 軟體，並撰寫資料庫語法建置相關程式後，可由 Linux 伺服器主機直接讀取海象觀測所建置微軟資料庫伺服器。平時所內操作電腦則透過 SSH(Secure Shell)方式進行遠端登入，進行系統維護管理。

3. 在作業系統內部環境：主要透過 linux 作業系統內安裝 NFS 伺服器軟體(NFS 就是 Network FileSystem 的縮寫)。NFS 主要功能為透過網路，讓不同的電腦、可以彼此分享 NFS 伺服器主機的檔案。所以本系統內主要檔案可以在其他伺服器主機來將網路端的 NFS 伺服器主機分享的目錄，掛載到本地端的主機中，在本地端的主機使用該目錄檔案就如同使用主機內的檔案。
4. 在 linux 作業系統及微軟作業系統資訊傳遞部分：該部分則是透過安裝 SAMBA 伺服器軟體的設定安裝的話，透過區域網路『網路芳鄰』的功能，直接連線遠端伺服器所提供的目錄。

表 2.3 系統內主要應用軟體說明

軟體套件	說明
一、作業系統：	
SUSE linux 11、12	作業系統
Window server2008、2012R2	作業系統
二、原有 suse 套件：	
gcc、gcc-fortran	編譯軟體
NFS server (NFS client)	提供各伺服器共同資料
samba	提供 linux 伺服器與 window 系統資料路徑網路芳鄰
三、個別安裝套件：	
pgifortran	Fortran 語言編譯軟體
ferret	主要前後處理及繪圖工具
wgrib	讀取及解碼風場資料
gifsicle	產生 gif 動畫圖檔
freetds	為 linux 系統提供 TDS 協議的客戶端
sqsh	為資料庫系統提供交談介面
Tecplot(裝於微軟作業系統)	繪圖軟體

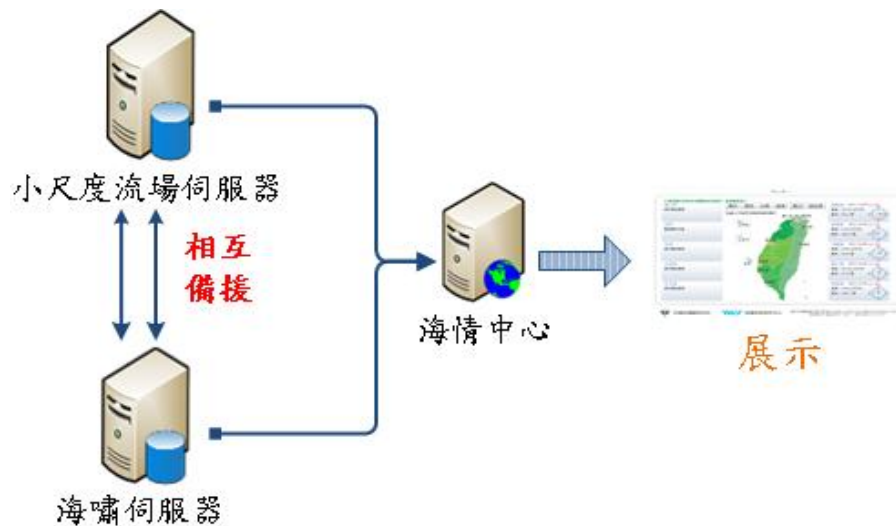


圖 2.17 系統新硬體及資料流程說明圖

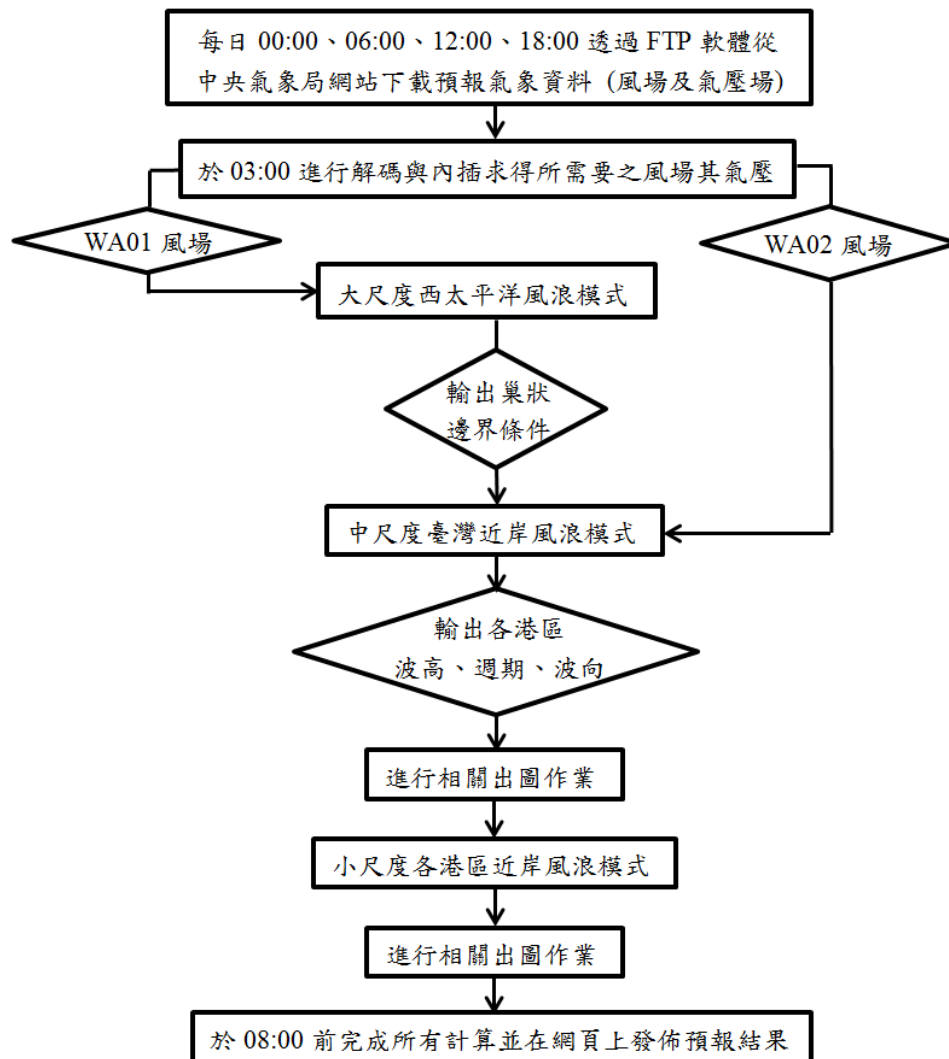


圖 2.18 系統新硬體及資料流程說明圖

2.3.2 臺北港近岸水動力模組

臺北港近岸水動力模組自前期計畫 2011 年建置以來，港池外廓及港內構造物形狀已有顯著變化，如圖 2.19 所示；因此本年度先針對臺北港近岸水動力模組提出改善研究，內容包括數值計算網格更新、地形水深資料更新、模式邊界條件修正以及模式輸出後處理等。

1. 數值計算網格更新：針對臺北港近岸水動力模組前期計畫建置的數值計算網格如圖 2.20 所示，計有 1867 個節點及 3388 個三角形元素；本年度計畫依據港池現況配置修正原數值計算網格港域周圍三角元素網格配置如圖 2.21 所示，更新後的數值計算網格計有 2389 個節點及 4341 個三角形元素，如圖 2.22 所示。此外，數計網格座標系統更新為 TWD97 二度分帶座標系統。
2. 港域水深資料更新：本計畫利用 2013 年 11 月臺北港地形水深調查資料更新港域數值計算網格水深值。
3. 模式邊界條件修正：目前臺北港近岸水動力模組輸入的開放邊界水位資料係利用 NAO.99b 模式建立的，本年度則針對利用本計畫中尺度臺灣周圍海域水動力模式模擬結果建立小尺度近岸水動力模組開放邊界條件進行改善研究。
4. 模式輸出後處理：目前水動力模式模擬結果輸出資料內容包括逐時的一維網格節點水位及流速資料檔及含網格資料之水位及流速繪圖資料檔，前者用於直接讀取節點水位、東西向流速及南北向流速時序列資料，或利用建構的後處理程式利用有限元素網格資料檔，計算模擬範圍內海域任意位置之水位及流速(東西分量、南北分量、流速大小及流向)等時序列資料；後者除了可以直接利用繪圖軟體 TECPLOT 繪出流場向量圖及水位分布圖，亦可透過 TECPLOT 繪圖軟體查詢模擬領域內平面空間上任意點位之模擬值及其流線走向。



圖 2.19 臺北港外廓及港池配置今昔圖

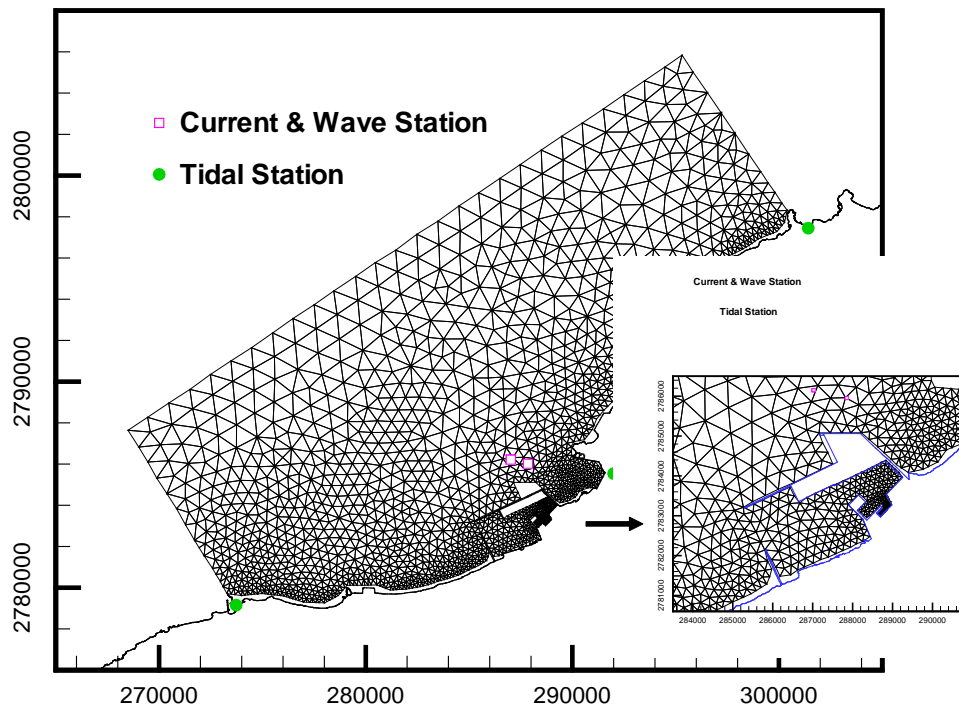


圖 2.20 臺北港近岸水動力模組前期計畫建置的數值計算網格圖

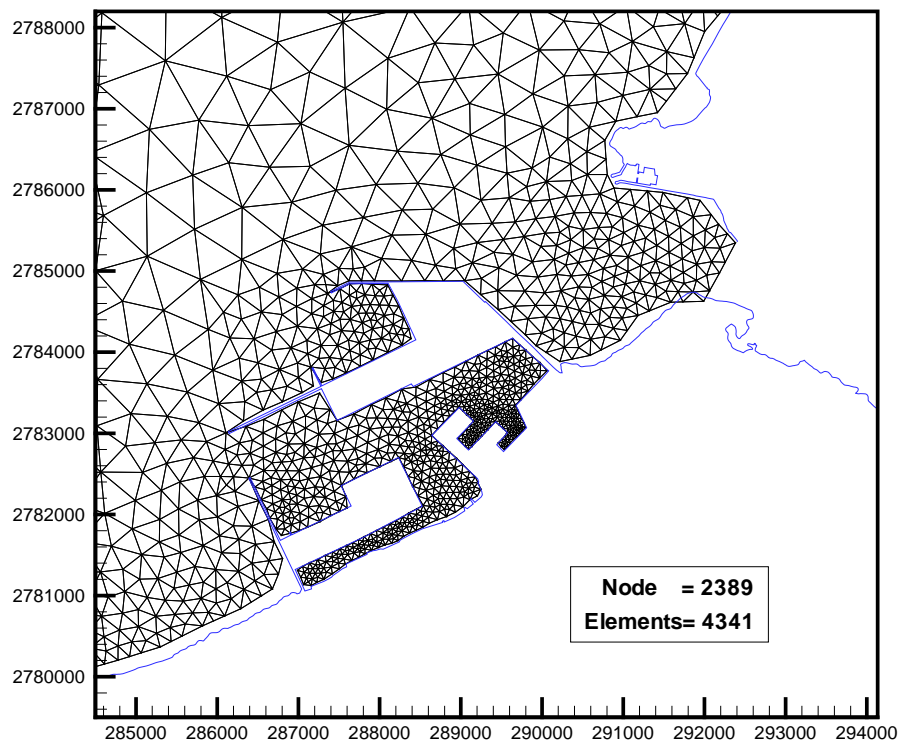


圖 2.21 本期計畫更新臺北港港域配置及數值計算網格圖

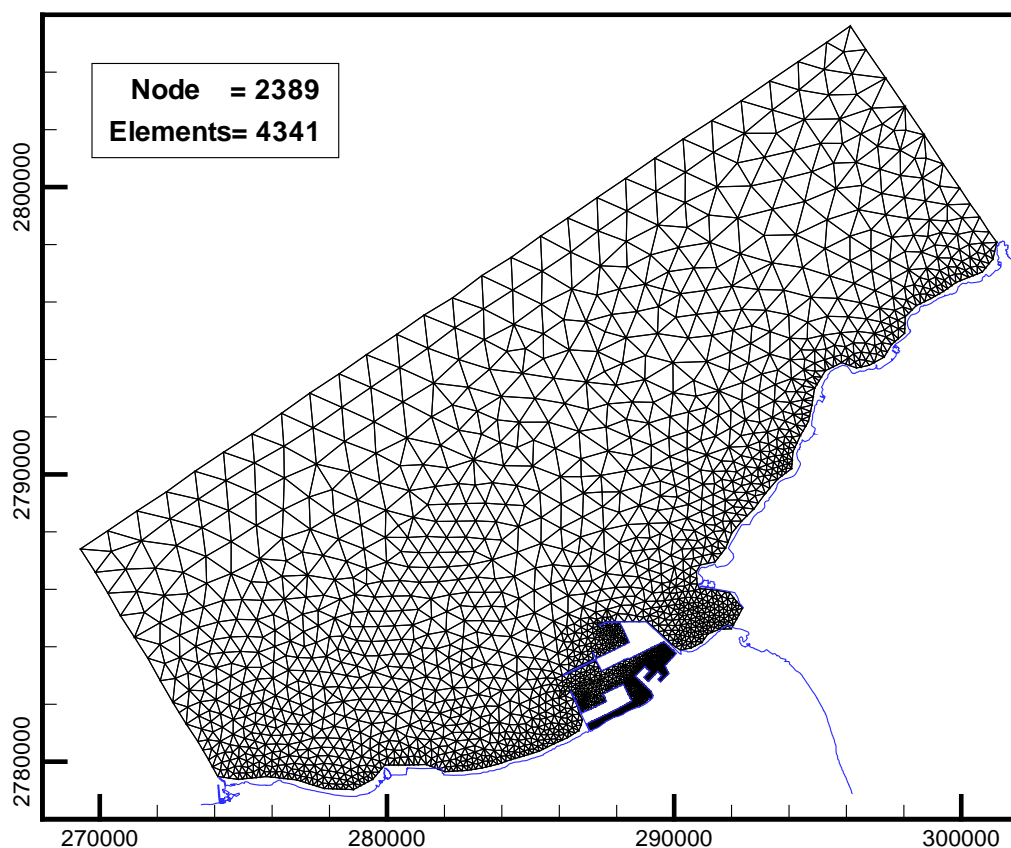


圖 2.22 臺北港近岸水動力模組本期計畫建置的數值計算網格圖

2.3.3 臺北港港域波浪模組

與臺北港近岸水動力模組相同，前期計畫建置的細尺度港域波浪數值計算網格，如圖 2.23 所示，已不適用於臺北港港池現況，因此本年度重新建置臺北港港域波浪模擬細尺度數值計算網格，並更新相關數值模擬結果。圖 2.24 所示為本年度計畫依據臺北港港池配置現況重新規劃的模擬範圍及所建置的三角形元素粗網格配置，圖中粗虛線代表外海半圓領域之直徑(長度為 5.0km)；模式數值模擬使用的數值計算網格，本計畫採用波浪週期 10sec 條件產出，共計 99,435 個節點及 196,329 三角形元素。

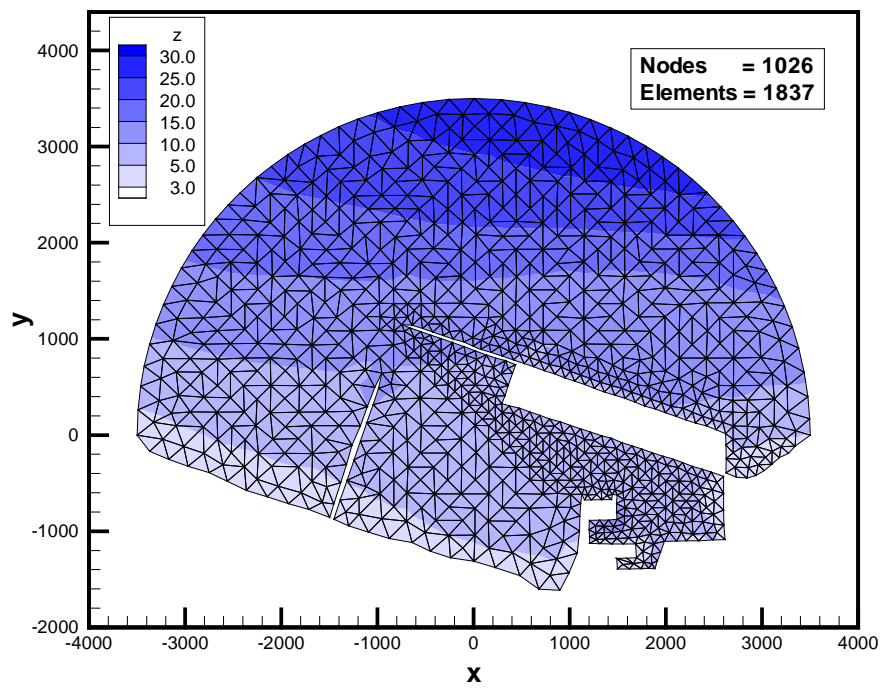


圖 2.23 前期計畫臺北港港域波浪模擬範圍及三角元素粗網格配置圖

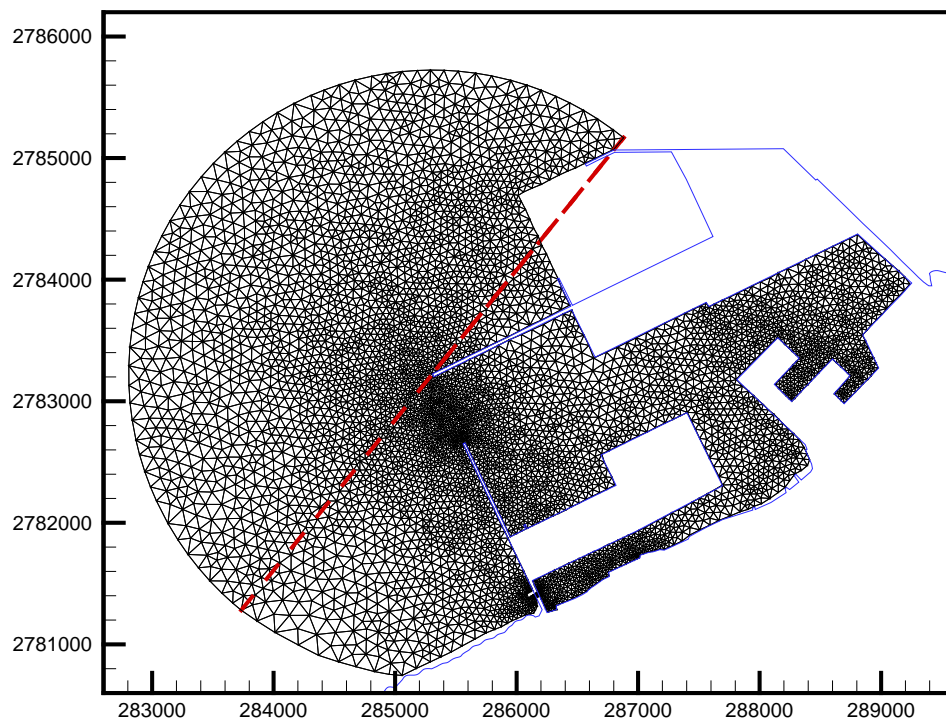


圖 2.24 本計畫臺北港港域波浪模擬範圍及三角元素粗網格配置圖

2.3.4 基隆港近岸水動力模組

海象模擬系統目前作業化的基隆港近岸水動力模組建置於 2011 年，模式流場模擬結果驗證點位，如圖 2.25 所示，圖中波流儀施放位置位於西防波堤外海處；目前港研中心基隆港波流儀施放位置已移至東防波堤延長段堤頭外海，位如圖 2.26 所示。由於海象模擬系統作業化的基隆港近岸水動力模組並未配合將模式流場模擬結果驗證點位修正，致使基隆港近岸水動力模擬之作業化成果評估存在誤差偏大現象。本年度因查覺問題原因出在作業化後處理流程上，因此本計畫將作業化後處理問題予以修正。圖 2.27 所示為流場驗證點位於作業化後處理修正前、後，數值模擬結果與海流觀測之潮流成份資料比較；顯示於正確流場驗證點位處，流速大小及變化相位均與觀測值調和分析結果相近似，因此預期本年度基隆港近岸水動力模擬作業化成果評估應可獲得相當程度之改善。

此外，本年度針對基隆港近岸水動力模組改善研究內容主要為建立與測試模式開放邊界水位條件輸入方式，即利用本計畫中尺度臺灣周圍海域水動力模式模擬結果建立基隆港近岸水動力模組之開放邊界條件，以取代目前利用 NAO.99b 模式建立的開放邊界水位條件，建立本計畫中尺度臺灣周圍海域水動力模組與近岸水動力模組耦合之關連性。



☆ 風速儀 ◎ 潮位計 ⊙ 波流儀

圖 2.25 基隆港海氣象觀測位置(2010 年)



☆ 風速儀 ◎ 潮位計 ⊙ 波流儀

圖 2.26 基隆港海氣象觀測位置(2012 年)

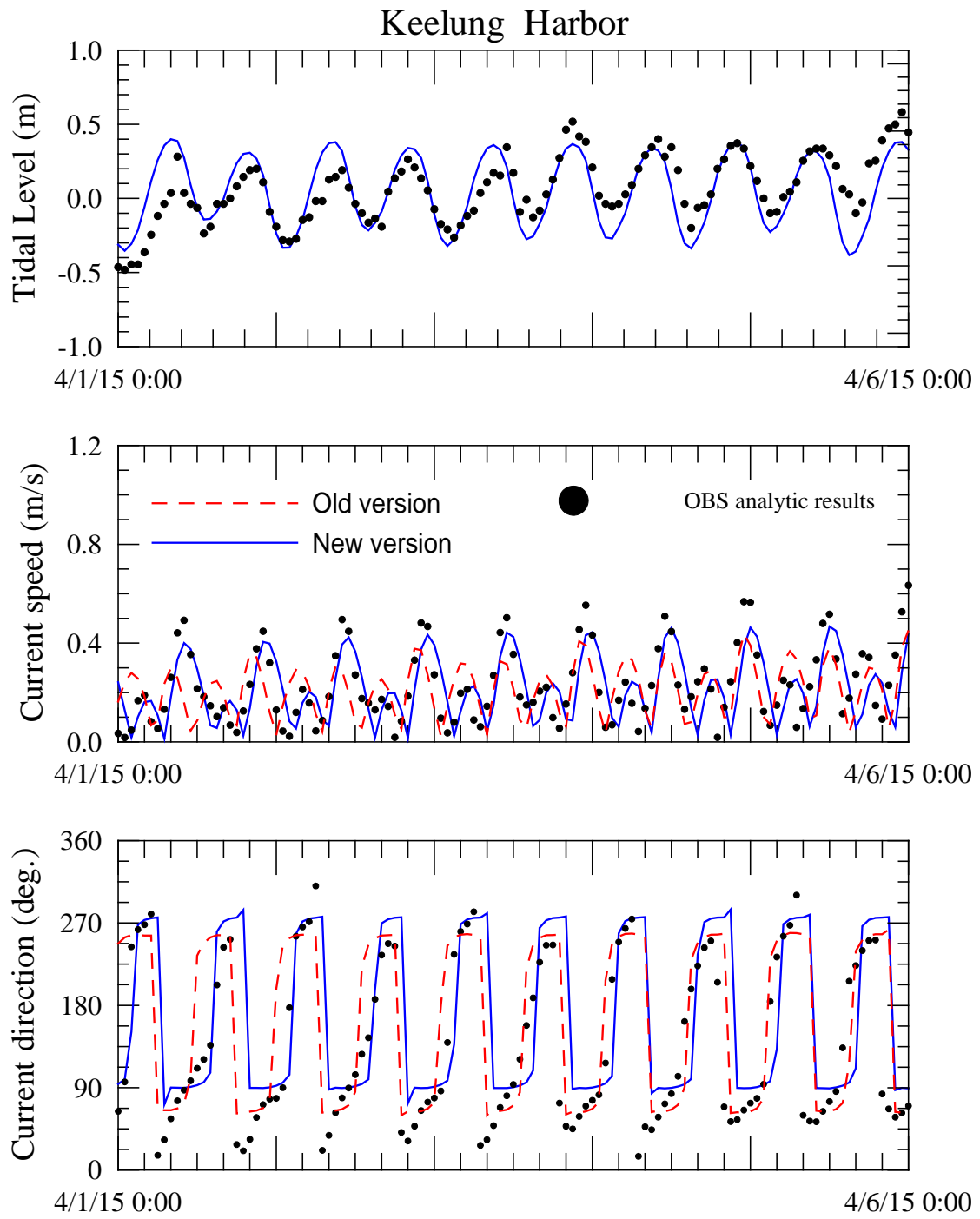


圖 2.27 基隆港水動力模組流速驗證點位修正前、後模擬值之比較圖

2.4 本年度海象預報作業化成果評估

本項工作由本研究團隊派駐港灣技術研究中心人員負責，本年度(104 年)已完成 2014 年 12 月至 2015 年 11 月海象預報作業化成果評估(詳見附冊 2015 年海象預報作業化成果評估)。內容分為風力、波浪、水位及流場等四部份，內容包括各模式模擬值與觀測資料間各種歷線比較圖，以及模擬值與觀測值每月資料蒐集率、平均值、極端值、誤差分析等統計表。另外針對本年度侵臺颱風(強烈颱風紅霞(2015/05/10 08 時至 2015/05/11 20 時)、輕度颱風蓮花(2015/07/06 08 時至 2015/07/09 05 時)、中度颱風昌鴻(2015/07/09 05 時至 2015/07/11/ 23 時)、中度颱風蘇迪勒(2015/08/06 08 時至 2015/08/09 09 時)、中度颱風天鵝(2015/08/20 17 時至 2015/08/23 21 時)、強烈颱風杜鵑(2015/09/27 08 時至 2015/09/29 18 時)分別製作颱風期間海象預報作業化成果評估。

2.4.1 東北季風期間成果評估

針對東北季風期間海象模擬作業化成果評估比較，本報告以近域風浪作業化模擬波高評估成果為例，選取 2014 年 1 月及 2015 年 1 月花蓮港、基隆港、臺中港及高雄港示性波高(H_s)模擬值與觀測值比較結果，如圖 2.28 所示，顯示除了花蓮港外，其餘三個港口 2015 年 1 月預報模擬值與觀測值間誤差分析值與去年度同期(2014 年 1 月)作業化模擬成果評估之誤差分析值比較，誤差分析值均有明顯下降現象。

2.4.2 西南季風期間成果評估

針對西南季風期間海象模擬作業化成果評估比較，本報告同樣以近域風浪作業化模擬波高評估成果為例，選取 2014 年 6 月及 2015 年 6 月花蓮港、基隆港、臺中港及高雄港示性波高(H_s)模擬值與觀測值比較結果，如圖 2.29 所示，進行誤差分析值比較。同樣顯示除了花蓮港外，其餘三個港口 2015 年 6 月預報模擬值與觀測值間誤差分析值與去年度同期(2014 年 6 月)作業化模擬成果評估之誤差分析值比較，誤差分析值均有下降現象，其中以基隆港示性波高誤差分析值幅度較大。

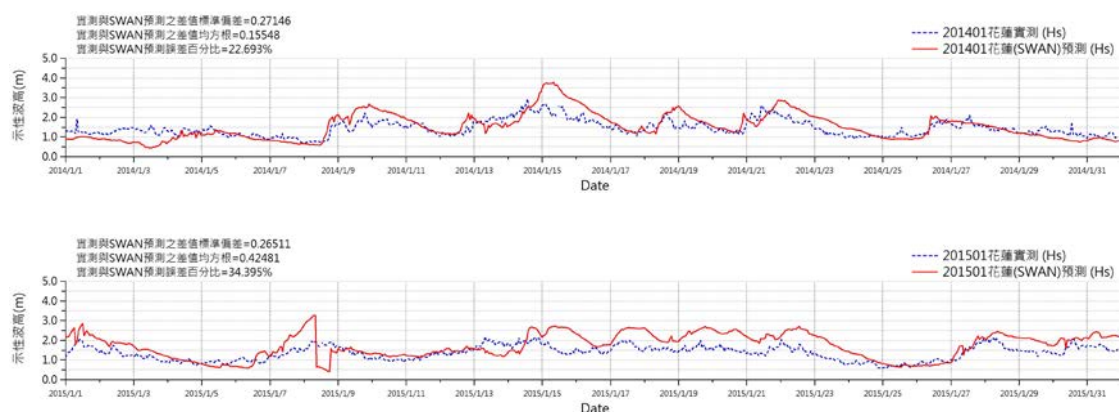


圖 2.28a 近域風浪模組東北季風期間花蓮港波高與觀測值之比較圖

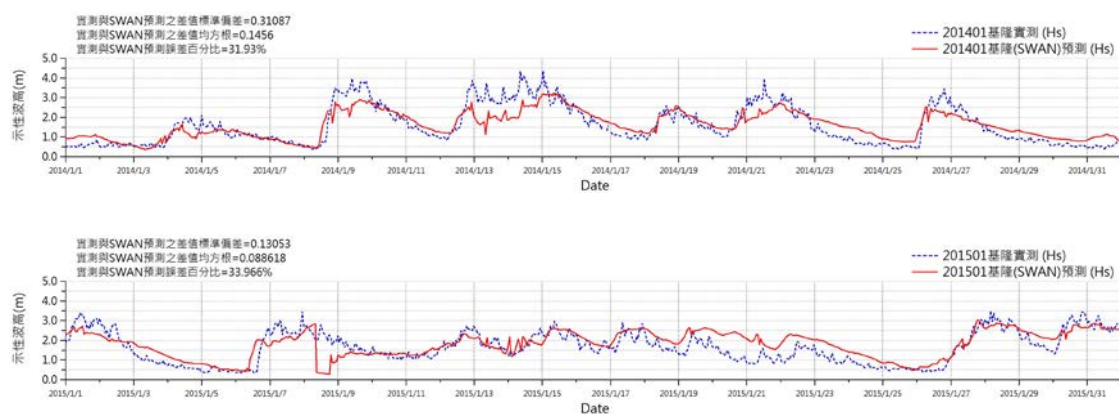


圖 2.28b 近域風浪模組東北季風期間基隆港波高與觀測值之比較圖

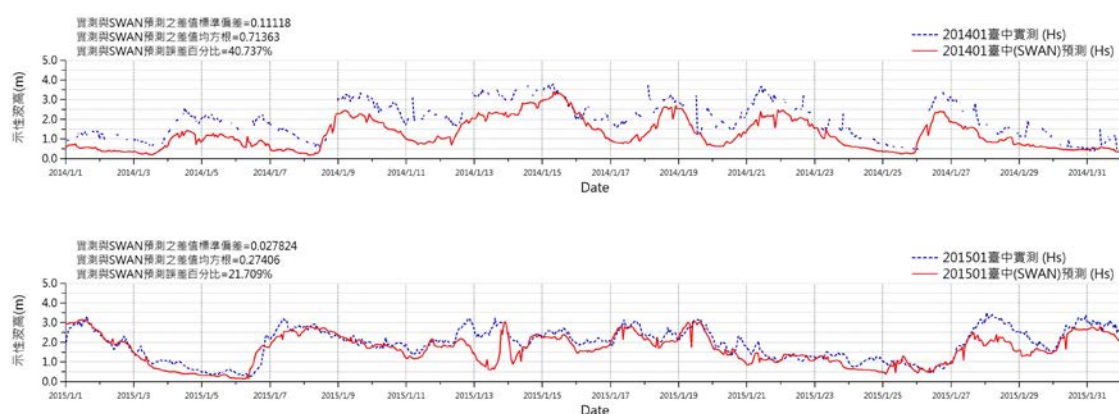


圖 2.28c 近域風浪模組東北季風期間臺中港波高與觀測值之比較圖

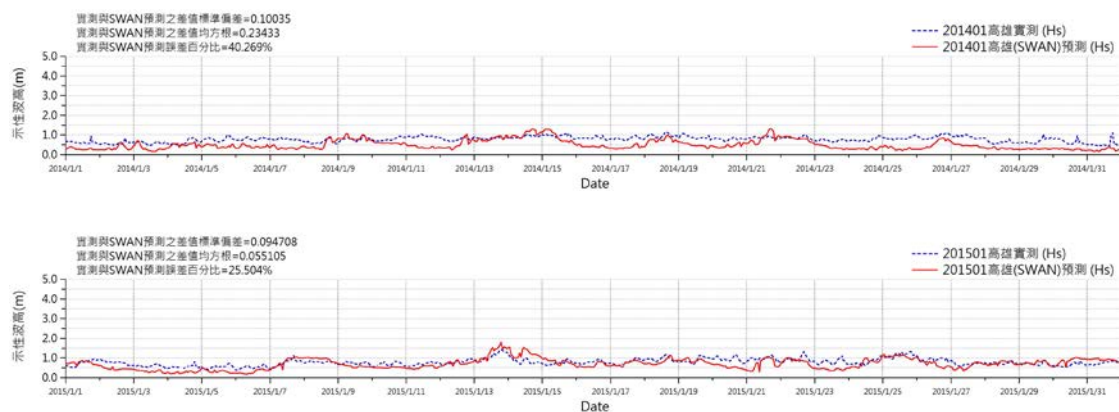


圖 2.28d 近域風浪模組東北季風期間高雄港波高與觀測值之比較圖

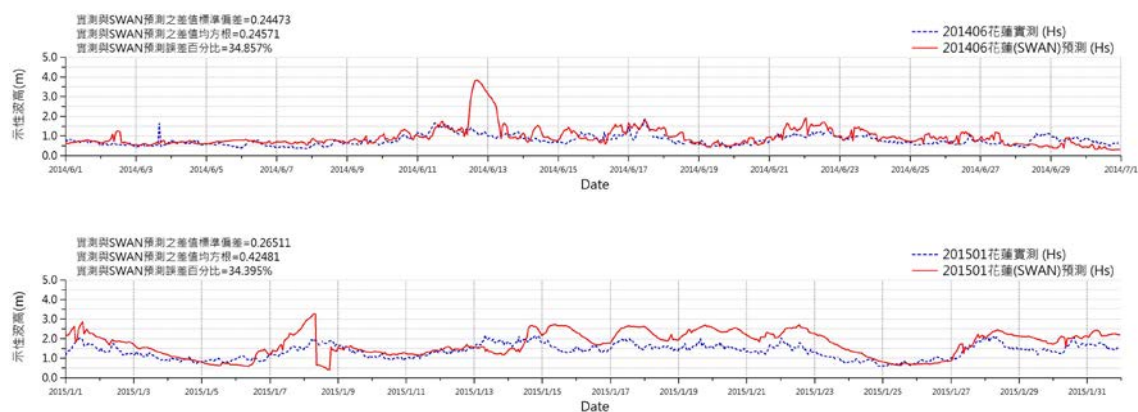


圖 2.29a 近域風浪模組西南季風期間花蓮港波高與觀測值之比較圖

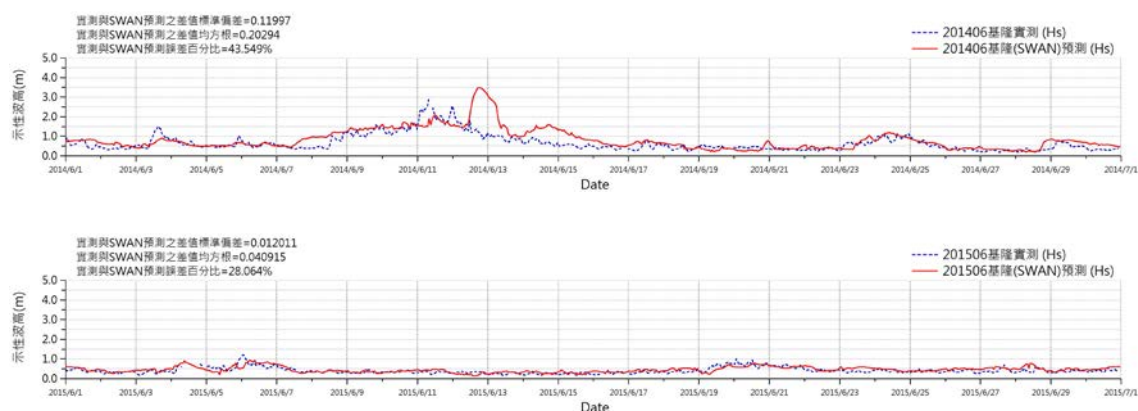


圖 2.29b 近域風浪模組西南季風期間基隆港波高與觀測值之比較圖

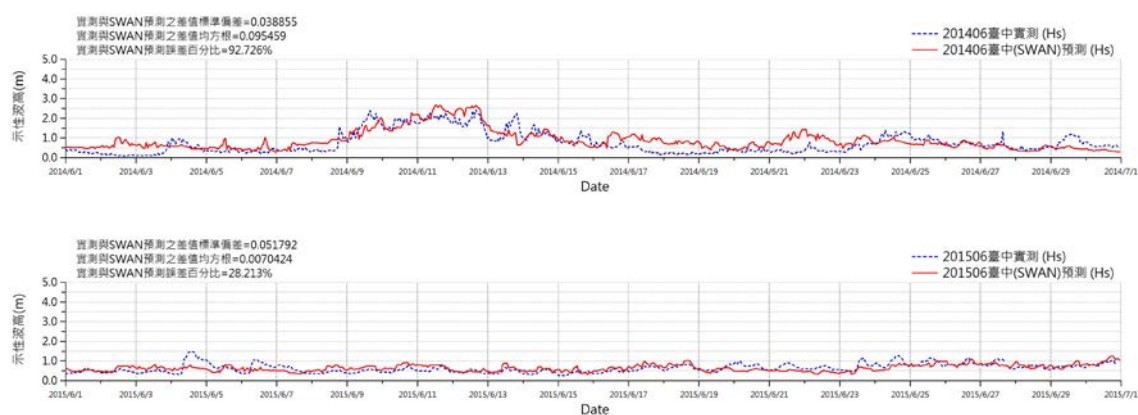


圖 2.29c 近域風浪模組西南季風期間臺中港波高與觀測值之比較圖

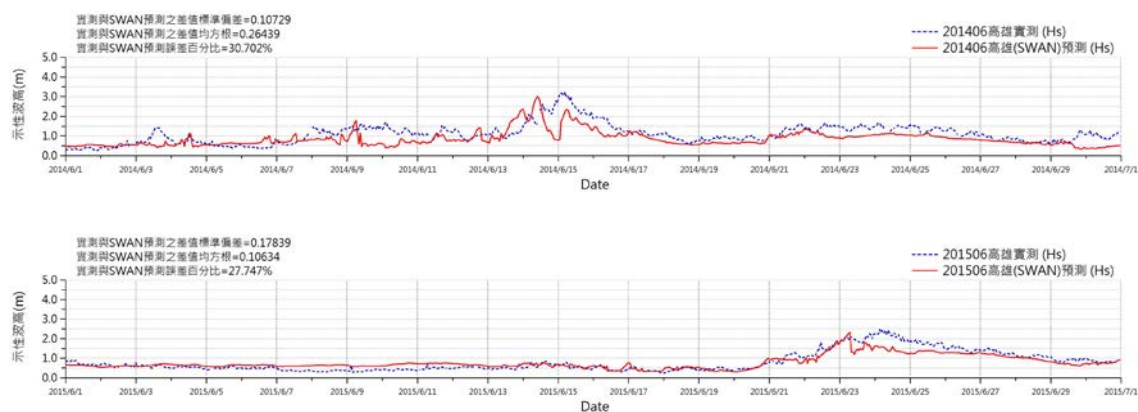


圖 2.29d 近域風浪模組西南季風期間高雄港波高與觀測值之比較圖

第三章 中尺度臺灣周圍海域水動力模式

本計畫中尺度臺灣周圍海域水動力模式實為前期計畫建置的中尺度臺灣周圍海域暴潮模式，本年度研究目的為持續針對水位及流場模擬結果進行修正與改善，並針對本年度或歷史颱風資料進行模擬與評估。

3.1 中尺度臺灣周圍海域水動力模式之演進

基於 TaiCOMS 原建置用於大、中尺度水位及流場的水動力模式，因研究團隊改組造成既有的作業化水位及流場模擬系統維護及更新不易；港研中心遂於前期計畫(100 年~103 年)將臺灣周圍海域暴潮模式建置納入研究工作項目，初期目標規劃以颱風暴潮為研究對象，最終目標為完成 TaiCOMS 中尺度水位及流場模組與各港區小尺度水位及流場模組作業化模擬整合為目的。

有鑑於此，本計畫團隊於前期計畫(100 年~103 年)採用與各港區小尺度水位及流場模組相同的有限元素法二維水動力數值模式，納入模型颱風風壓場模式，建置成臺灣周圍海域暴潮模式(本計畫中尺度臺灣周圍海域水動力模式之前身)。有關本計畫中尺度臺灣周圍海域水動力模組歷年在模式模擬範圍、數值計算網格、地形水深建置的演變說明如下：

3.1.1 模擬範圍

如圖 3.1 所示本計畫中尺度臺灣周圍海域水動力模式之模擬範圍版本演進有二，(1) 模擬範圍 M1：100 年度計畫臺灣周圍海域暴潮模式選取的模擬範圍為東經 $116^{\circ} \sim 123^{\circ}$ 及北緯 $21^{\circ} \sim 26^{\circ}$ 之間的水域，約略與 TaiCOMS 之中尺度風浪模組模擬範圍相當(邱等，2012)；(2) 模擬範圍 M2：基於港研中心擬規劃將離島馬祖海域納入 TaiCOMS 作業化模擬範圍內，以及考量模擬範圍 M1 之東邊界(東經 123°)與臺灣本島東部海岸距離不足可能無法反映颱風暴潮水位的變化，乃於 101 年度

計畫擴大臺灣周圍海域暴潮模式模擬範圍為東經 $116.5^{\circ} \sim 125^{\circ}$ 及北緯 $21^{\circ} \sim 26.5^{\circ}$ 之海域(李等，2013)，並延用至今。

3.1.2 數值計算網格

100 年計畫針對模擬範圍 M1 建置的有限元素數值計算網，如圖 3.2 所，圖中非結構性三角形元素網格係由 5,807 個節點及 11,103 個三角形元素組成，其中最小三角形元素之邊長約 2.5km，主要構建於本計畫所在之海域；最大三角形元素之邊長約 15km，分佈於水深較深之海洋開放邊界附近。101 年度計畫針對模擬範圍 M2 建置的數值計算網(R1 版本)，如圖 3.3 所示，圖中非結構性三角形元素網格係由 6528 個節點及 12514 個三角形元素組成。102 年度計畫針對數值計算網(R1)進行局部加密高雄港等港口附近海域三角形元素網格配置，註記為 R2 版本，如圖 3.4 所示，圖中非結構性三角形元素網格係由 6695 個節點及 12813 個三角形元素組成。

有鑑於 102 年度計畫研究結果顯示高雄港等港口附近海域網格解析度提昇後，高雄港等海域水位及流場模擬結果呈現出較明顯的改善現象(劉等，2014)；遂於 103 年計畫著手規劃針對臺灣本島海岸線離岸約 20~30 公里範圍的數值計算網，建置較高網格解析度的三角形元素計算網格，如圖 3.5 所示，圖中非結構性三角形元素網格係由 8237 個節點及 15800 個三角形元素組成(註記為 R3 版本)。中尺度模擬範圍 M2 歷年數值計算網格 R1、R2、R3 版本之主要差異性，如表 3.1 所列。

表 3.1 中尺度模擬範圍 M2 歷年數值計算網格主要差異性比較表

版本	網格節點數量	網格三角形元素數量	臺灣本島陸地節點數	備 註
R1	6528	12514	227	101 年度計畫
R2	6695	12813	262	102 年度計畫
R3	8237	15800	359	104 年度計畫
R3-R1	1709	3286	132	
R3-R2	1542	2987	97	

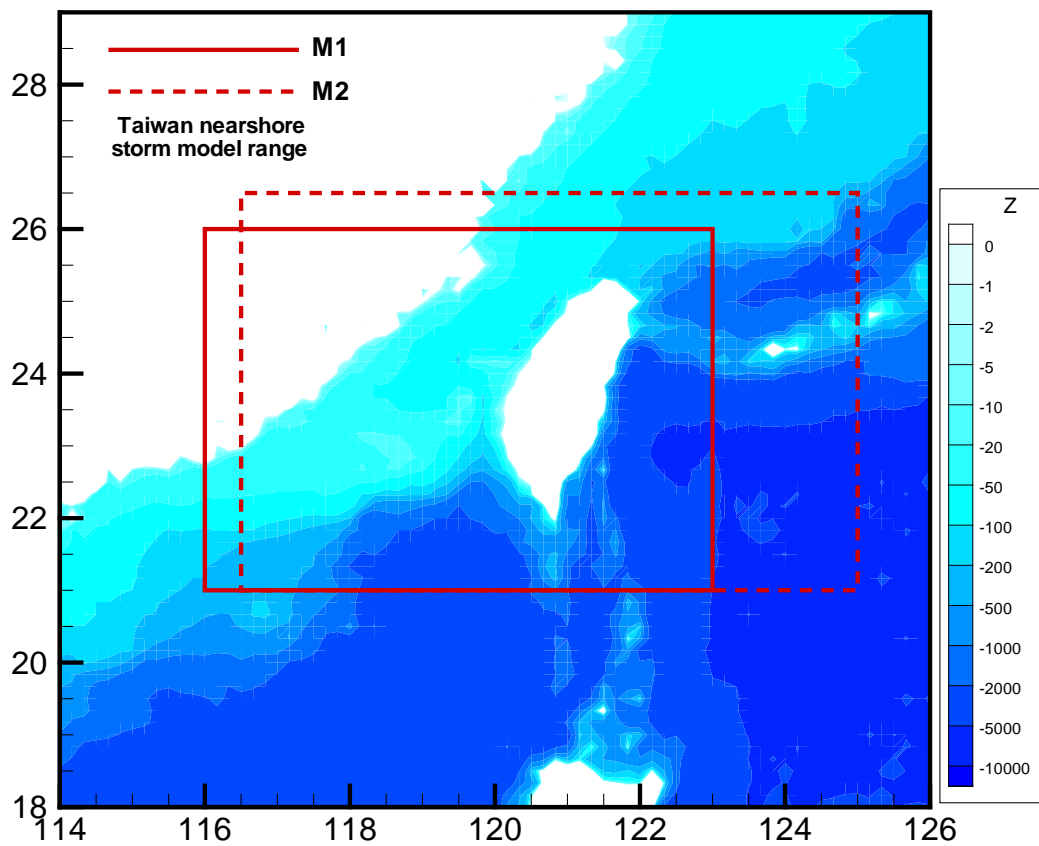


圖 3.1 臺灣周圍海域暴潮模式模擬範圍(M1：100 年計畫，
M2：101 年計畫)

3.1.3 地形水深資料

數值計算網格之水深資料來源為海科中心臺灣附近海域格網數值地形資料及海軍測量局刊行之海軍水道圖(編號 0307)，如圖 3.6 所示。

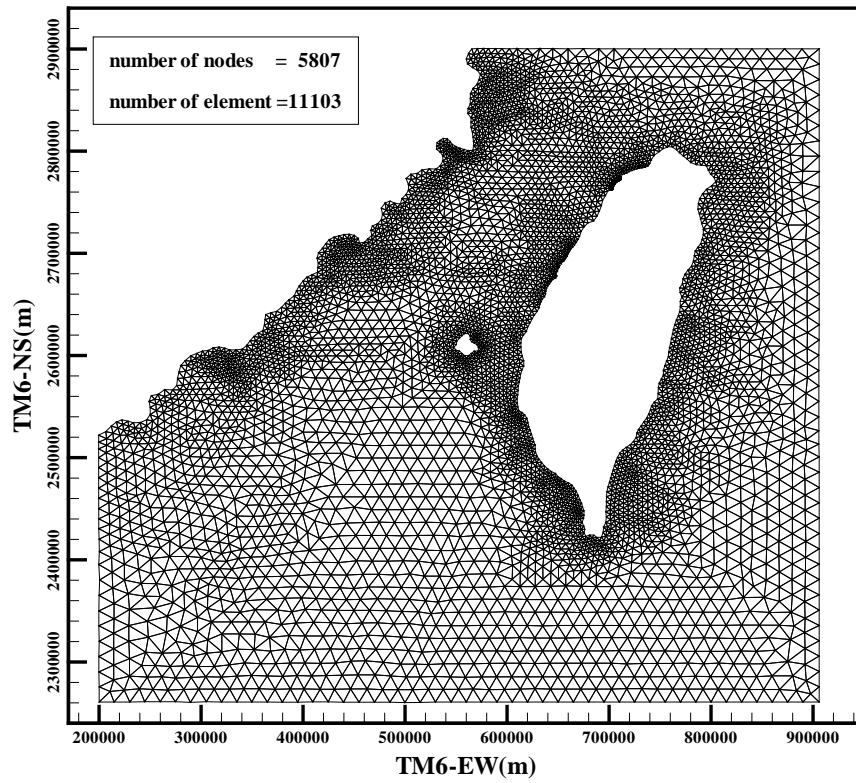


圖 3.2 臺灣周圍海域模擬範圍 M1 之非結構性三角形元素網格圖

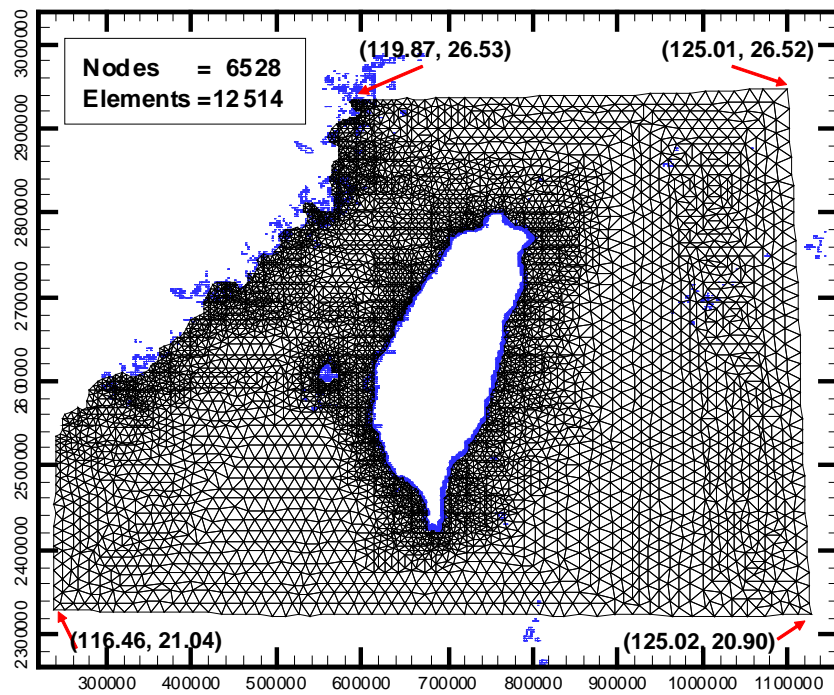


圖 3.3 臺灣周圍海域模擬範圍 M2 之非結構性三角形元素網格
(R1 版本)

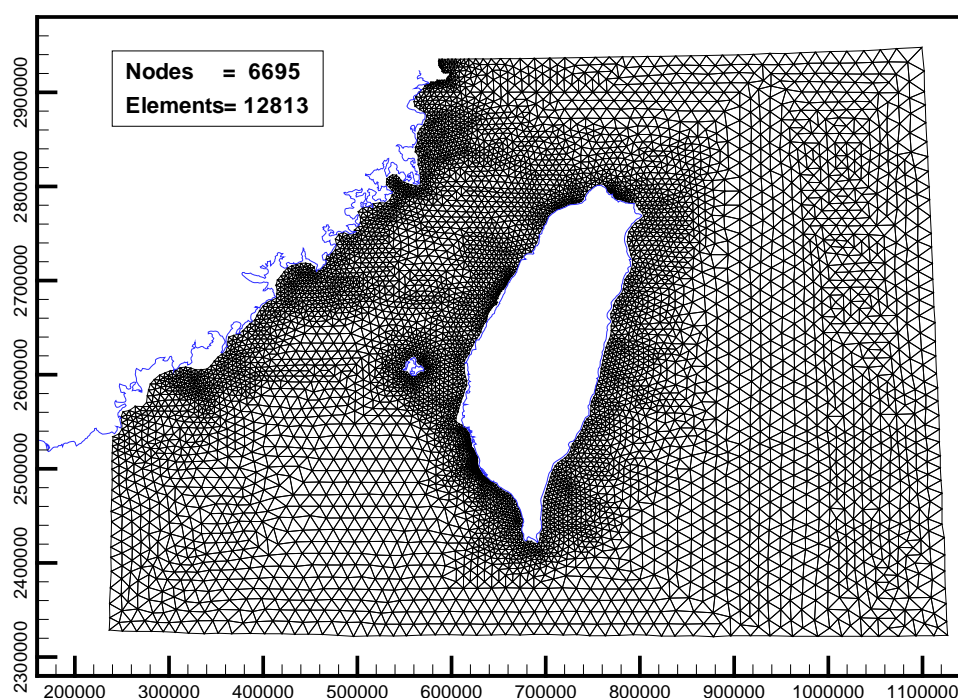


圖 3.4 臺灣周圍海域模擬範圍 M2 之非結構性三角形元素網格
(R2 版本)

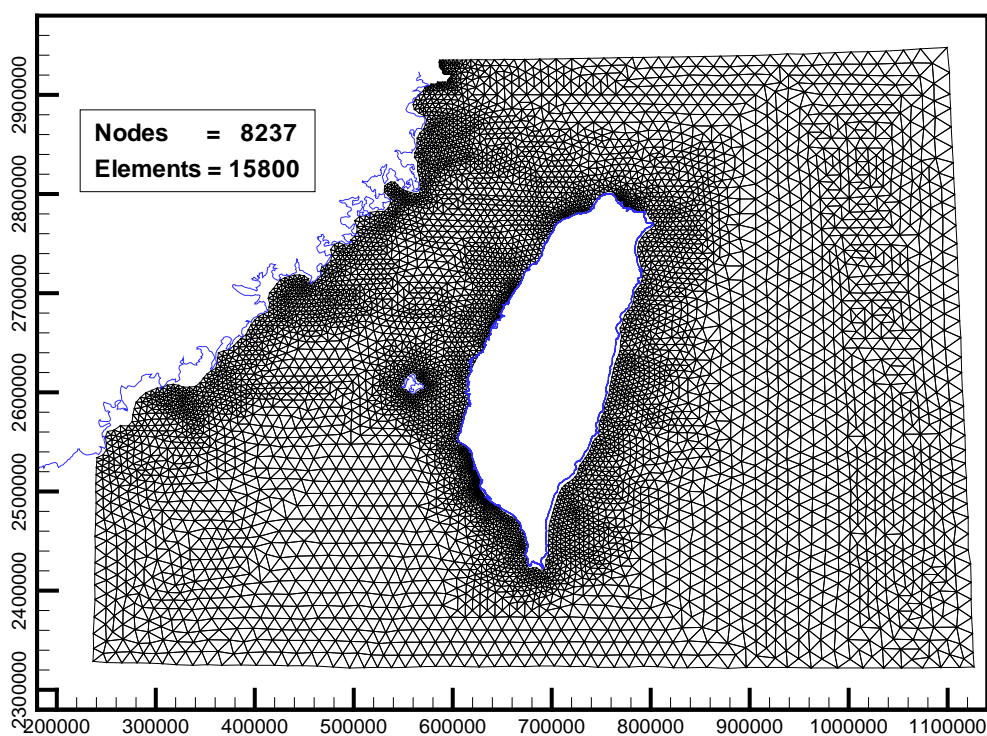


圖 3.5 臺灣周圍海域模擬範圍 M2 之非結構性三角形元素網格
(R3 版本，本年度計畫)

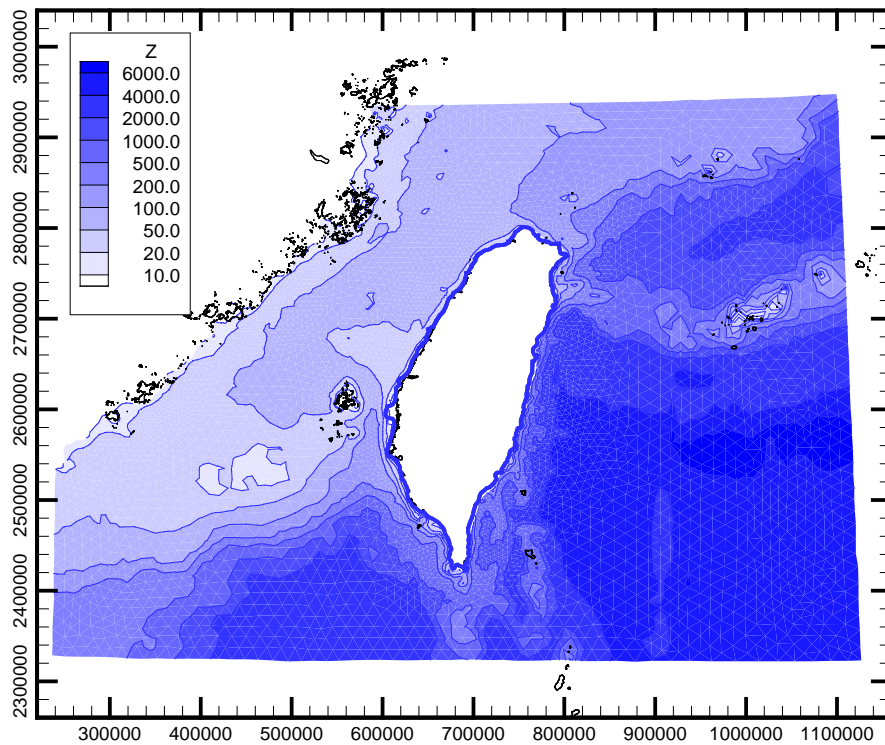


圖 3.6 臺灣周圍海域暴潮模式之地形水深分布圖

3.2 模式邊界條件及初始條件

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

$$\eta = \eta_a(t) + \frac{\Delta P(t)}{\rho g} \dots\dots\dots (3.1)$$

式中 $\eta_a(t)$ 代表天文潮引起的水位變化，第二項代表氣壓變化引起的水位變化。其中天文潮引起的水位變化，本計畫採用 Matsumoto et al.(2000)發展的 NAO.99Jb 模式(註：網格間距為 1 分)，預測本計畫數值計算網格開放邊界各節點天文潮水位時序列資料，如圖 3.7 所示。圖 3.7 所示水位時序列變化分別為數值計算網格 R3 開放邊界上四個角落節點(參考圖 3.3 所示)之天文潮時序列資料，顯示數值計算網格左上角臨近陸地(中國大陸)之開放邊界節點天文潮位呈現半日潮型，臺灣東部太平洋海上開放邊界節點之天文潮位屬於混合潮型態，網格西南角落

開放邊界節點之天文潮位則呈現全日潮型態。

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

3.3 模式物理參數率定

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

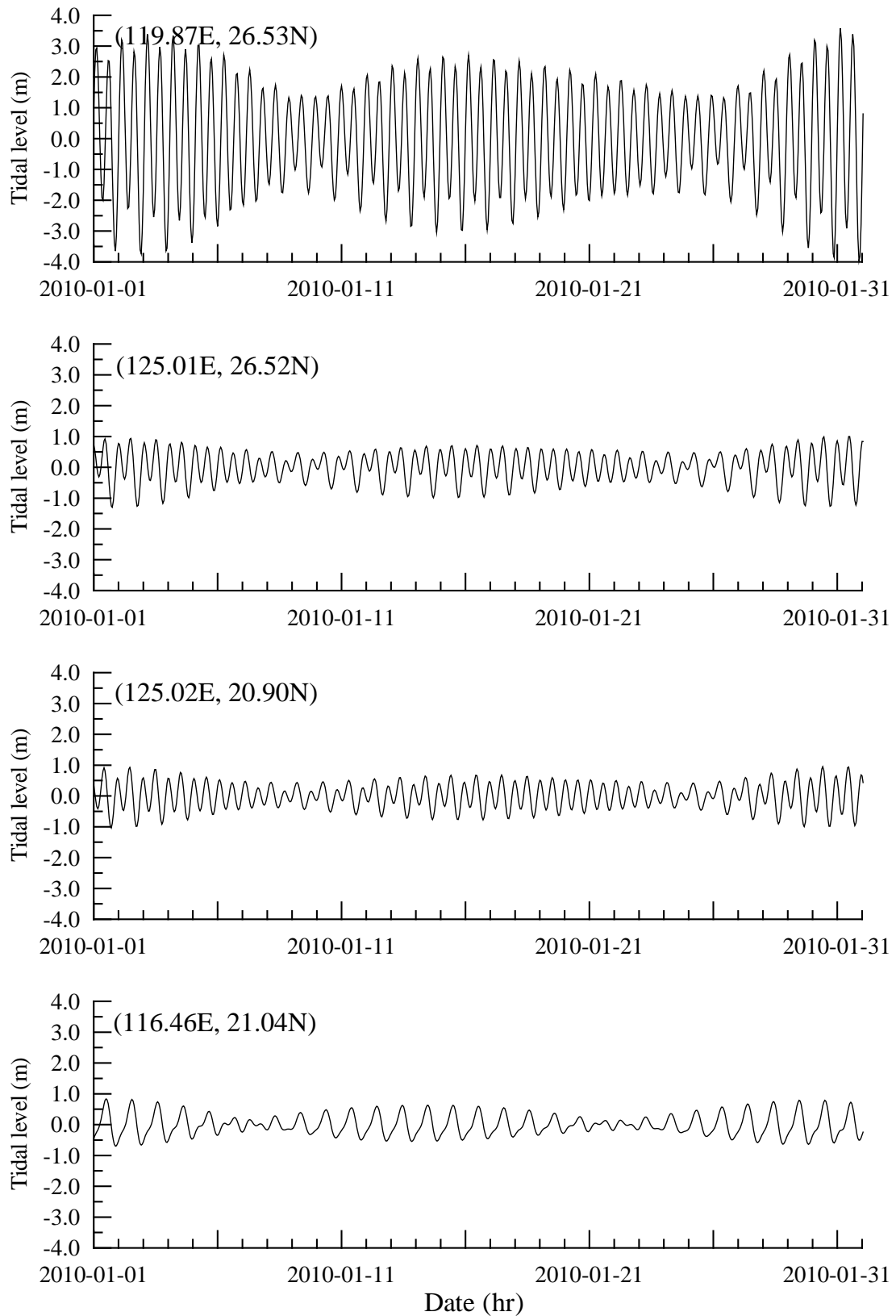


圖 3.7 中尺度臺灣周圍海域水動力模式採用的天文潮水位邊界條件圖

3.4 數值模擬風壓場

本計畫數值模擬風壓場輸入方式有二：(1)利用程式碼內建之模型颱風數值風壓場，(2)由外部輸入中央氣象局天氣預報模式提供的數值風壓場資料。其中模式內建模型颱風數值風壓場說明如下：

3.4.1 移動風域之風壓場(湯，1971)

假設模型颱風之等壓線幾近呈現圓形分佈，則模型颱風之氣壓分佈可採用 Myers(1954)之經驗式表示如下：

$$P = P_c + a \exp(-r_0/r) \dots\dots\dots(3.2)$$

式中 P_c 為颱風中心之氣壓值(mb)， r_0 為颱風最大風速之半徑， a 為颱風中心氣壓常數。任意座標位置(x,y)之模型颱風氣壓梯度計算如下：

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{r_0(x - x_c)}{r^3} a \exp(-r_0/r) \dots\dots\dots(3.3)$$

$$\frac{\partial P}{\partial y} = \frac{r_0(y - y_c)}{r^3} a \exp(-r_0/r) \dots\dots\dots(3.4)$$

式中 x_c 及 y_c 為颱風中心座標。於(3.2)式中 r_0 及 a 值較不易估計，如有數站氣壓資料，便可由最小二乘法求出，惟海上颱風暴風圈內之氣壓值通常不易獲得。因此係數 a 值通常採用假設值，即假設 $a = \Delta P_c = P_\infty - P_c$ ， P_∞ 為遠離颱風中心之外圍氣壓，一般取其值為標準海平面氣壓約 1013mb。

颱風最大風速半徑 r_0 值可根據 Graham 及 Nunn 提出之經驗公式如下：

$$r_0 = [28.52 \tanh[0.0873(\phi - 28)]] + 12.22 \exp[(P_c - 1013.2)/33.86] + 0.2V_F + 37.22 \dots\dots\dots(3.5)$$

式中 ϕ 為緯度， V_F 為颱風移動速度(km/hr)。

在颱風風場之計算上，模式將科氏力之影響納入，因此颱風風場引起的傾度風風速 W_g 計算如下

$$W_g = \left[\frac{ar_0}{\rho_a r} \exp(-r_0/r) + (fr/2)^2 \right]^{1/2} - (fr/2) \dots\dots\dots (3.6)$$

式中 ρ_a 為空氣密度， a 為颱風中心氣壓常數， f 為科氏參數， r_0 為颱風最大風速之半徑。當 $r = r_0$ 時可得到最大傾度風 $(W_g)_{\max}$ 。

此外，移動中之颱風除了因氣壓梯度引起的風速 \vec{W}' 外，尚有因颱風移動而產生的速度 \vec{W}'' 。其中 \vec{W}' 與傾度風成正比， \vec{W}'' 與颱風進行速度 \vec{V}_f 成正比，即

$W' = c_1 V_g$ ，其方向與等壓線切線夾角 α 約為 $30^\circ \sim 35^\circ$ ；

$\vec{W}' = c_2 \vec{V}_f$ ，其方向與颱風進行方向同。

其中 c_1 值約為 $0.5 \sim 0.7$ 之間，臺灣地區可用 0.6 ； $c_2 = \frac{0.6V_g}{(V_g)_{\max}}$ 。

因此颱風圈內，任何地點之海面上風速可表示如下：

$$W_x = -\frac{c_1 W_g}{r} [(x - x_c) \sin \alpha + (y - y_c) \cos \alpha] + c_2 \frac{(V_f)_x}{(W_g)_{\max}} W_g \dots\dots\dots (3.7)$$

$$W_y = \frac{c_1 W_g}{r} [(x - x_c) \cos \alpha - (y - y_c) \sin \alpha] + c_2 \frac{(V_f)_y}{(W_g)_{\max}} W_g \dots\dots\dots (3.8)$$

本計畫模型颱風風壓場主要依據中央氣象局發布的颱風警報單之內容，選取颱風中心位置(觀測時間及經緯度座標)、颱風中心氣壓值等資料為輸入條件；至於，颱風移動速度則由颱風中心之觀測時間及經緯度座標推算，颱風最大風速半徑 r_0 值利用(3.5)式計算。有關模型颱風風壓場之計算本計畫直接建置於模式之程式碼內，因此風壓場資料產生之時間與水動力模擬的時間同步。

3.4.2 修正型 Holland 風場模式

常見的參數化颱風模式分別有修正型的 Rankine vortex 風場模式、Jelesnianski et al. (1992)之 SLOSH 模式以及 Holland (1980)等模式

風壓場；本研究以修正型 Holland 風場模式為基礎建置參數化颱風模式，相關說明如下：

假設颱風暴風圈內氣壓分佈可表示成

$$P = P_c + a_c \exp\left[(-r_0/r)^B\right] \dots\dots\dots (3.9)$$

式中 P_c 為颱風中心之氣壓值(mb)， a_c 為颱風中心氣壓常數($=P_a - P_c$)， P_a 為遠域氣壓值， B 為尖銳度參數； r_0 為颱風最大風速之半徑， r 為計算點至颱風中心之距離。

當 $B=1$ 時，(3.9)式可簡化為 Myers(1954)理論式(3.2)；關於 B 值經驗式之討論，劉(1987)建議採用下列經驗式：

$$B = 2.7 - 0.0166667(P_c - 940) \dots\dots\dots (3.10a)$$

Harper and Holland (1999)提出估算 B 值之經驗式：

$$B = 2 - \frac{(P_c - 900)}{160}, \text{ for } 1 \leq B \leq 2.5 \dots\dots\dots (3.10b)$$

近颱風中心最大風速之暴風半徑 r_0 值除了可由氣象觀測資料決定外，亦可利用相關經驗公式計算之；如 Graham 及 Nunn (1952)提出 r_0 值與颱風中心所在緯度 ϕ 及颱風移動速度 V_f 有關係之經驗式(3.5)；或龔(1997)分析 1945 至 1996 年中央氣象局發佈之颱風資料，得到 r_0 值與颱風中心氣壓值 P_c 之多項式迴歸關係式(3.11)：

$$r_0 = 2 \times 10^{-5} P_c^3 + 0.0625 P_c^2 - 56.112 P_c + 16899 \dots\dots\dots (3.11a)$$

MacAfee and Pearson (2006)提出以颱風中心所在緯度 ϕ 、颱風中心氣壓 P_c 及颱風最外圍閉合之等氣壓 P_n 計算 r_0 值之經驗公式(3.11b)：

$$\ln r_0 = 2.636 - 0.00005086(P_n - P_c) + 0.0394899\phi \dots\dots\dots (3.11b)$$

其中

$$P_n = P_c - 20.69 + 1.33W_{\max} + 0.11\phi \dots\dots\dots (3.12)$$

當考慮科氏力影響時，颱風模型風場之梯度風風速(*gradient wind*)

speed) W_g 計算如下：

$$W_g(r) = \sqrt{\frac{Ba_c}{\rho_a} \left(\frac{r_0}{r}\right)^B \exp\left[-\left(\frac{r_0}{r}\right)^B\right] + \frac{(rf)^2}{4} - \frac{rf}{2}} \dots\dots\dots(3.13)$$

當 r 值趨近於 r_0 時，相較於壓力差科氏力之影響可以忽略，此時最大旋衡風速 W_{\max} 等於：

$$W_{\max} = \sqrt{B \frac{(P_a - P_c)}{\rho_a e}} \dots\dots\dots(3.14)$$

對於近颱風中心最大風速 W_{\max} 之估算，Atkinson and Holliday (1977) 提出 W_{\max} 與颱風中心氣壓值 P_c 之經驗式如下：

$$W_{\max} = 3.44(1010. - P_c)^{0.644} \dots\dots\dots(3.15)$$

本研究亦針對修正型的 Rankine vortex 風場模式及 SLOSH 風場模式進行評估，提供未來颱風模型風場改善之依據；其中修正型的 Rankine vortex 風場模式其軸向風速分布如下：

$$W(r) = W_{\max} (r/r_0)^b \quad , \quad r < r_0 \dots\dots\dots(3.16a)$$

$$W(r) = W_{\max} (r_0/r)^b \quad , \quad r_0 \leq r \dots\dots\dots(3.16b)$$

式中指數 b 為形狀參數，具有調整軸向風速分布之功用，其值約介於 0.4~0.6 之間。

SLOSH 風場模式其風速分布採用下列表示式：

$$W(r) = W_{\max} \left(\frac{2r_0 r}{r_0^2 + r^2} \right) \dots\dots\dots(3.17)$$

基於上述各風場模式之風速均屬海面風速，因此必須將海面風速 W 校正至海面 10m 處風速 W_{10} ，即

$$W_{10} = k_m W \dots\dots\dots(3.18)$$

式中 k_m 為校正係數，Harper and Holland (1999) 建議 $k_m=0.7$ ，另

Powell (1987) 建議 $0.75 < k_m < 0.8$ ，湯(1971)建議採用 0.6，本計畫採用 0.8。

由於實際颱風風場受到表面摩擦效應之影響，颱風風向通常會沿等壓線向颱風中心傾斜；此風向與等壓線切線夾角 β 值，Bretschneider (1972)提出下列近似關係式：

$$\beta = 10^\circ (1 + r/r_0) \quad , \quad 0 \leq r < r_0 \dots\dots\dots (3.19a)$$

$$\beta = 20^\circ + 25^\circ (r/r_0 - 1) \quad , \quad r_0 \leq r < 1.2r_0 \dots\dots\dots (3.19b)$$

$$\beta = 25^\circ \quad , \quad r > 1.2r_0 \dots\dots\dots (3.19c)$$

當颱風移動對風場產生的校正風速 W' 通常可表示成

$$W' = c_2 V_f \dots\dots\dots (3.20)$$

式中 V_f 為颱風移動速度(m/s)，係數 c_2 值之估算，湯(1971)建議臺灣地區可採用下列關係式

$$c_2 = 0.6 \frac{W_g}{W_{\max}} \dots\dots\dots (3.21)$$

Jelesnianski(1966)曾針對緩慢移動颱風提出下列關係式

$$c_2 = \frac{r_0 r}{r_0^2 + r^2} \dots\dots\dots (3.22)$$

因此在颱風暴風圈內任何地點(x,y)之海面上 10m 風速可表示如下：

$$W_x = -W_{10} \left(\frac{\Delta x}{r} \sin \beta + \frac{\Delta y}{r} \cos \beta \right) + c_2 V_f \sin \theta \dots\dots\dots (3.23a)$$

$$W_y = W_{10} \left(\frac{\Delta x}{r} \cos \beta - \frac{\Delta y}{r} \sin \beta \right) + c_2 V_f \cos \theta \dots\dots\dots (3.23b)$$

式中 $\Delta x = x - x_c$ ， $\Delta y = y - y_c$ ， θ 為颱風移動方向。

3.4.3 外部輸入風壓場資料中央氣象局天氣預報模式模擬之風壓場

目前 TaiCOMS 作業化模擬使用的風壓場資料，分為大尺度西太平洋範圍風場 WA01、中尺度中國海域風場 WA02 及小尺度臺灣海域風場 WA03，臺灣海域風場 WA03 資料雖然解析度最高，但因其資料範圍略小於本計畫臺灣周圍海域水動力模式模擬範圍，因此本計畫採用網格解析度為 $1/12^\circ$ (或 $5'$) 之 WA02 風場資料，預生產模式輸入所需之非結構三角形元素網格風(壓)場逐時資料，如圖 3.8 所示。

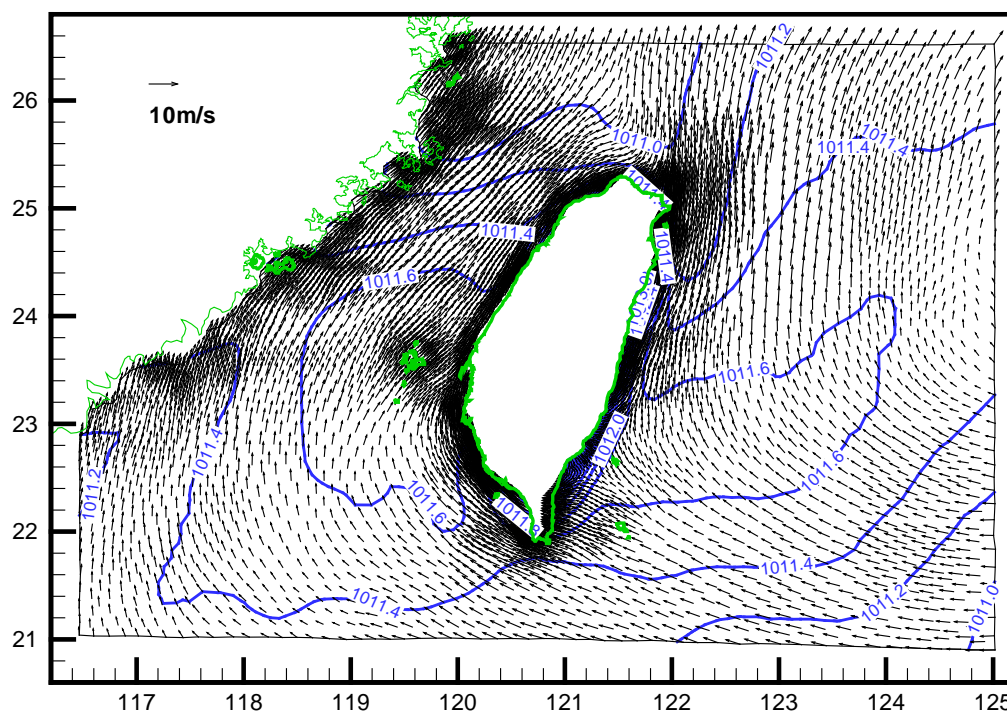


圖 3.8 本計畫非結構三角形元素網格之風場及等壓線分布圖

3.5 臺灣周圍海域水動力模式模擬結果與討論

3.5.1 天文潮模擬

在不考慮氣象因素(如風場及氣壓場)之情況下，本計畫水動力模式可用於模擬臺灣周圍海域天文潮引起的潮汐水位及流場變化，本年度計畫已先後完成 2015 年 1 月至 12 月間潮汐水位及流場模擬預測。

針對主要商港基隆港、臺北港、臺中港、高雄港、花蓮港及蘇澳

港等港口，本計畫分別輸出各港口代表性點位(參考圖 3.9 所示)水位逐時模擬預測值，與各商港潮位觀測值及潮位調和分析預測值分別比較，如圖 3.10 及圖 3.11 所示。圖 3.10 顯示除了高雄港外，各商港潮位觀測值之潮差變化普遍較本計畫水動力模式數值模擬結果大；圖 3.11 顯示本計畫模式水位潮差變化與各港口天文潮調和分析預測值(不含平均潮位值)相當近似。各港口模擬結果與觀測值、調和分析預測值間統計量分析結果如表 3.2 及表 3.3 所列，顯示各港口模式模擬值與觀測值間相關係數值僅基隆港較低約為 0.82，其餘各港口相關係數值均可達到 0.97 以上，呈現高度相關性；各港口模式模擬值與調和分析預測值間相關係數值均高於 0.98。

表 3.2 2015 年 1 月水位模擬結果與觀測值間統計量表

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

註：M：模式、O：觀測值

表 3.3 2015 年 1 月水位模擬結果與調和分析預測值間統計量表

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

註：H：調和分析預測值

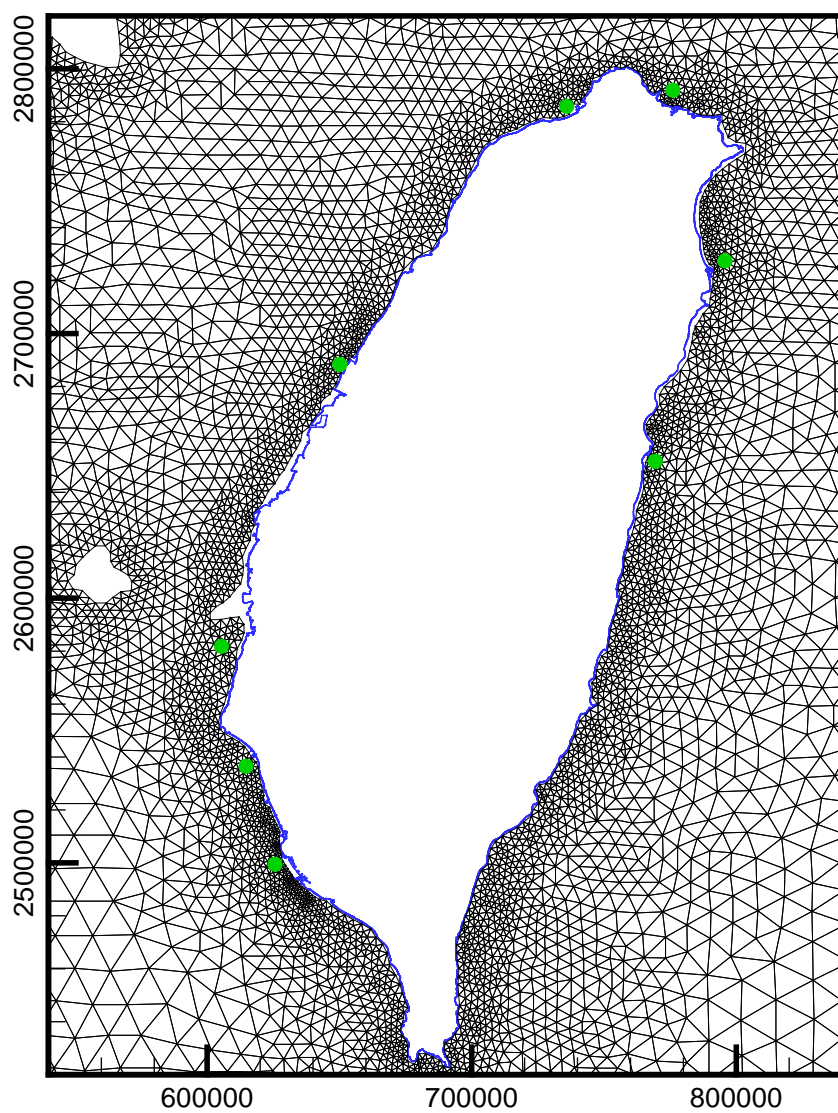


圖 3.9 主要商港颱風暴潮模擬結果之輸出點位圖

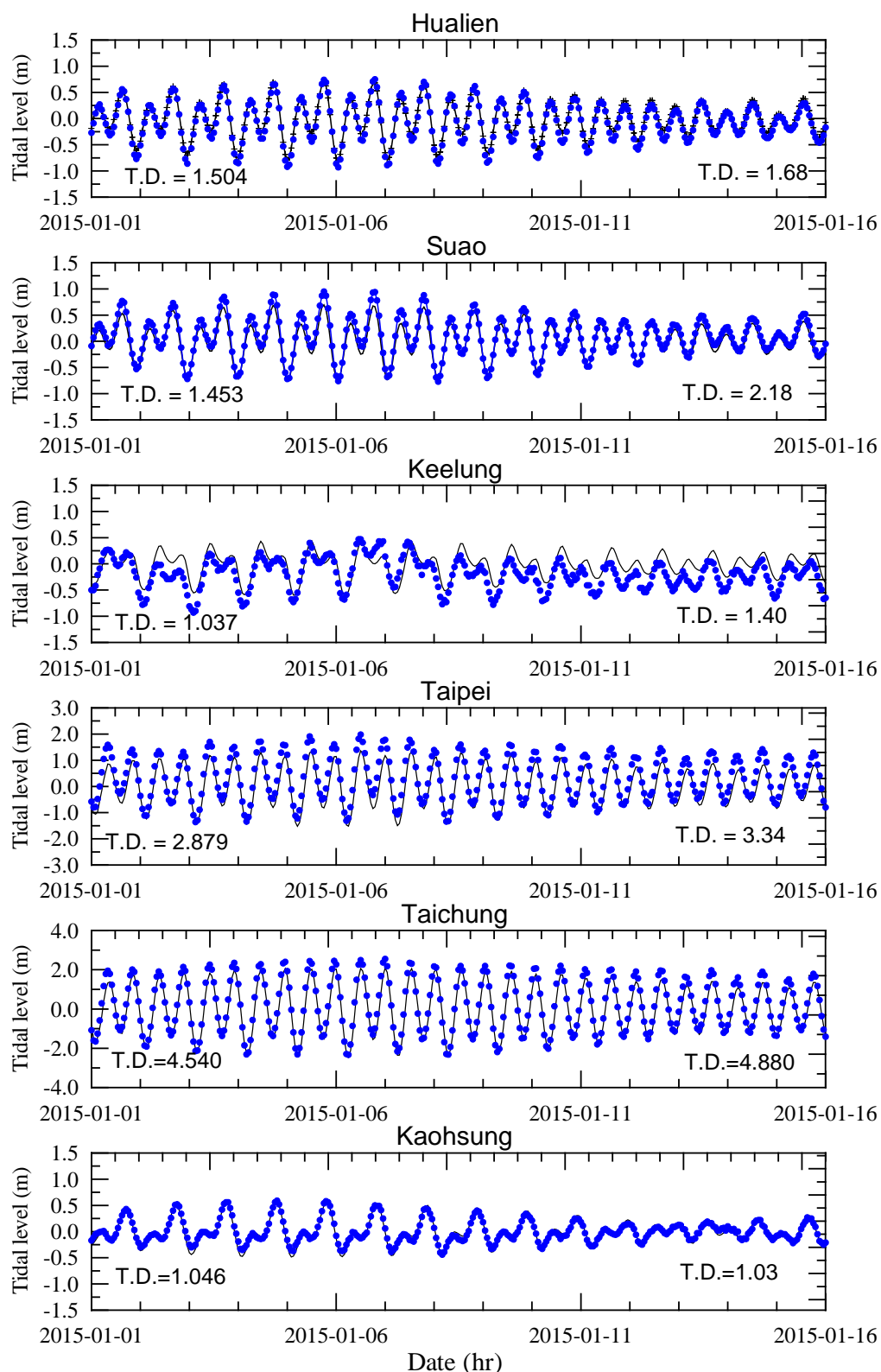


圖 3.10 本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港潮位觀測值(圓點)之比較圖

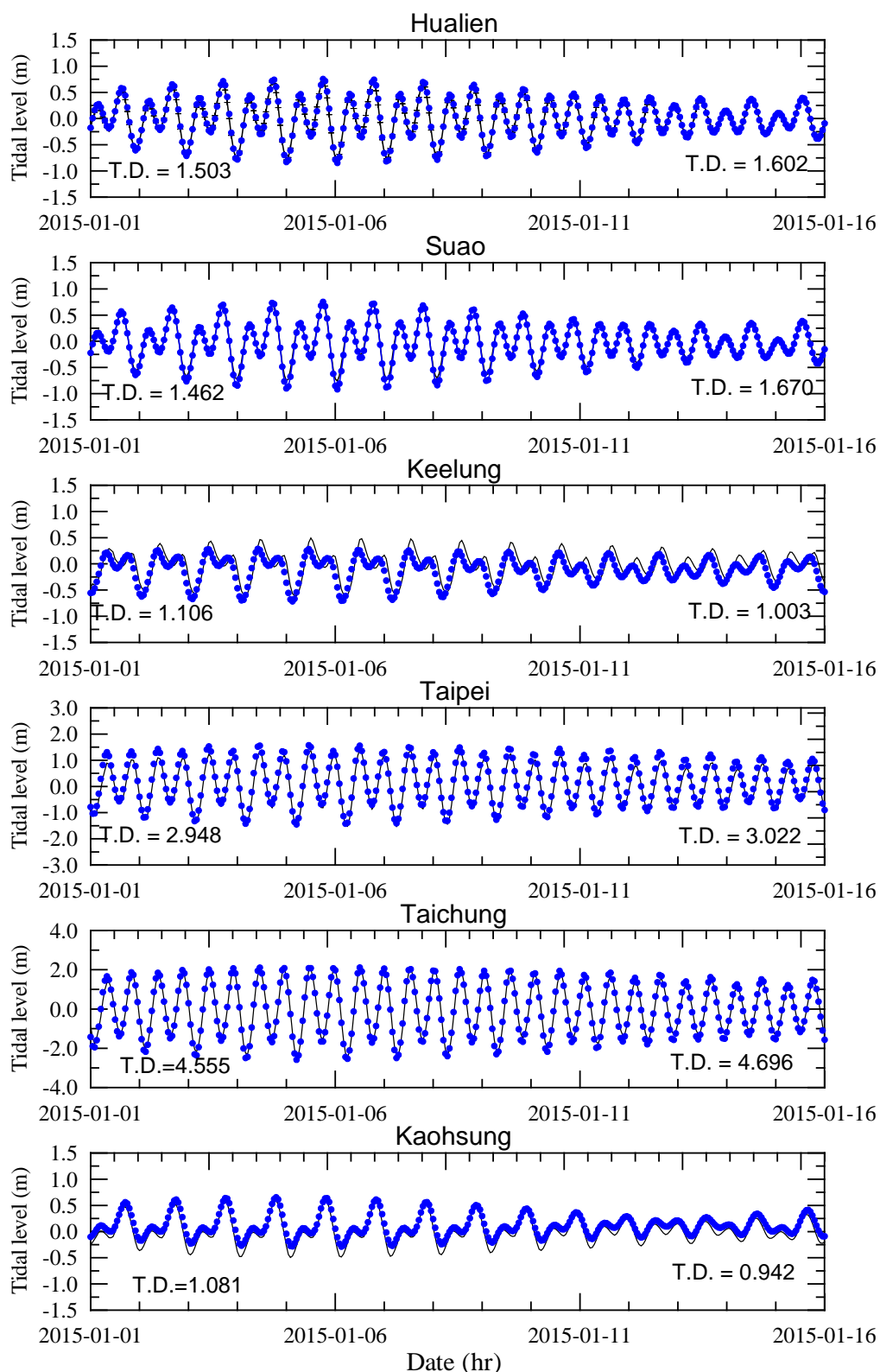


圖 3.11 本計畫中尺度水動力模式模擬結果(實線)與主要商港天文潮位調和分析預測值(圓點)之比較圖

3.5.2 颱風暴潮偏差模擬(不含潮汐)

由於本年度(104 年)侵臺颱風以中度颱風蘇迪勒(SOUDELOR)對臺灣影響最大，因此本計畫以中度颱風蘇迪勒(SOUDELOR)為例說明模式暴潮偏差模擬結果。

圖 3.12 為蘇迪勒颱風行進之路徑，顯示蘇迪勒颱風在 8 月 1 日形成輕度颱風，行進過程增強為強烈颱風，最後以中度颱風規模侵襲臺灣陸地。圖 3.13 為本計畫依據 TaiCOMS 作業化風(壓)場資料 WA02 產生的數值模式非結構網格風場及氣壓場資料，顯示蘇迪勒颱風結構在受到臺灣陸地破壞前近似圓形風場模型。

在不考慮天文潮作用情況下，即模式開放邊界條件僅考慮氣壓與標準氣壓差引起的水位變動量，本計畫水動力模式水位模擬結果相當於颱風風壓場作用引起的暴潮偏差。圖 3.14 為本計畫模式針對蘇迪勒颱風作業化風壓場模擬的流場及暴潮偏差分布情形，顯示臺灣東部海域海面暴潮偏差分布情形與颱風風壓場結構相當近似，西部海域受到陸地及臺灣海峽效應影響，除了流場流速顯著增加外，暴潮偏差分布多呈現不規則狀，尤其近岸海域更為複雜。

3.5.3 颱風期間水位及流場模擬

同時考慮天文潮汐及颱風風壓場作用時，本計畫將數值模式模擬結果與前述僅考慮天文潮汐作用模擬結果繪出流場及水位分布比較，如圖 3.15 所示。顯示因為模式具有非線性效應因素，因此颱風期間水位模擬結果扣除天文潮水位模擬結果並不等於上述暴潮偏差水位模擬結果(3.5.2 節)。

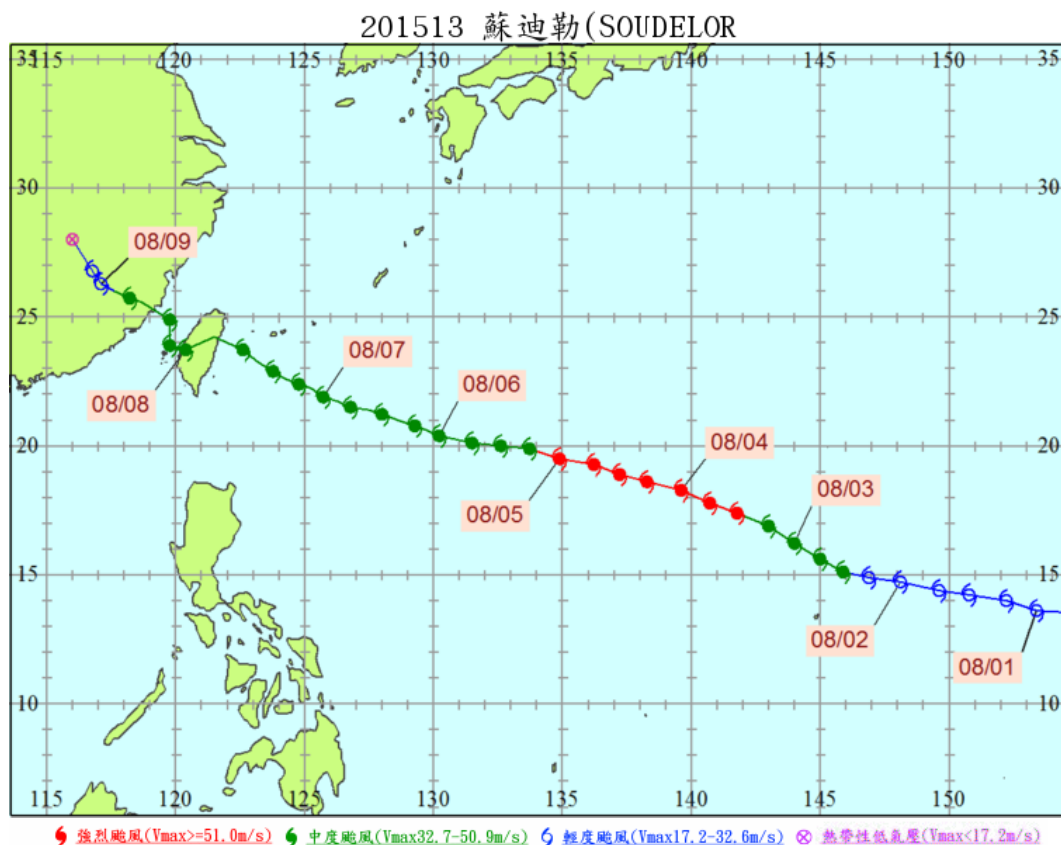


圖 3.12 2015 年蘇迪勒颱風路徑圖

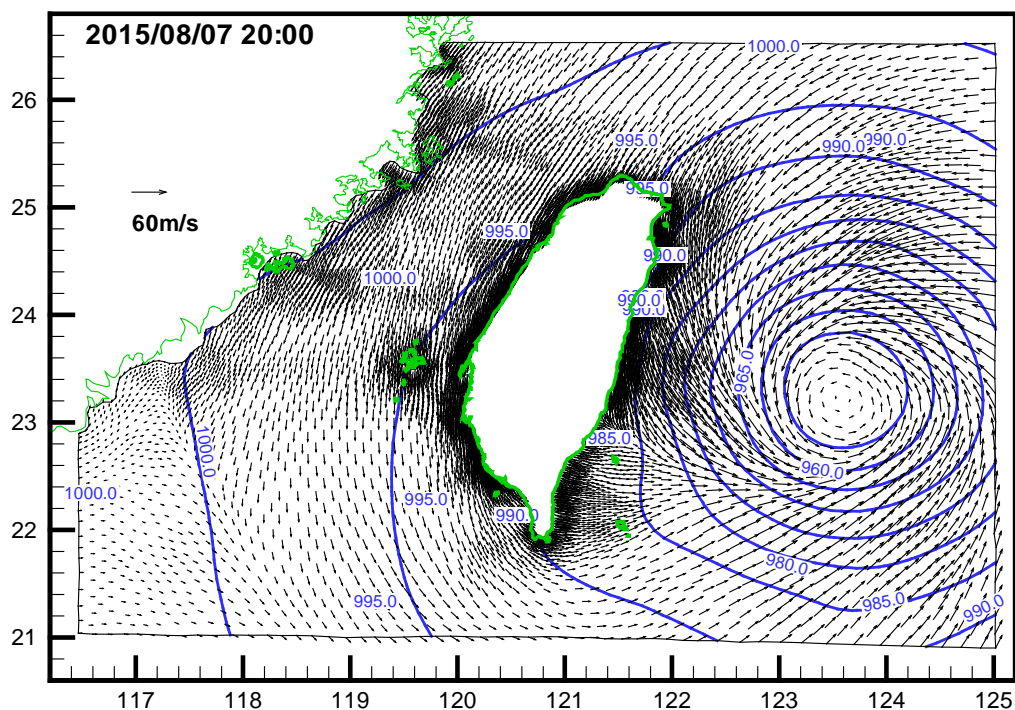


圖 3.13 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模擬輸入預報風場及氣壓場圖

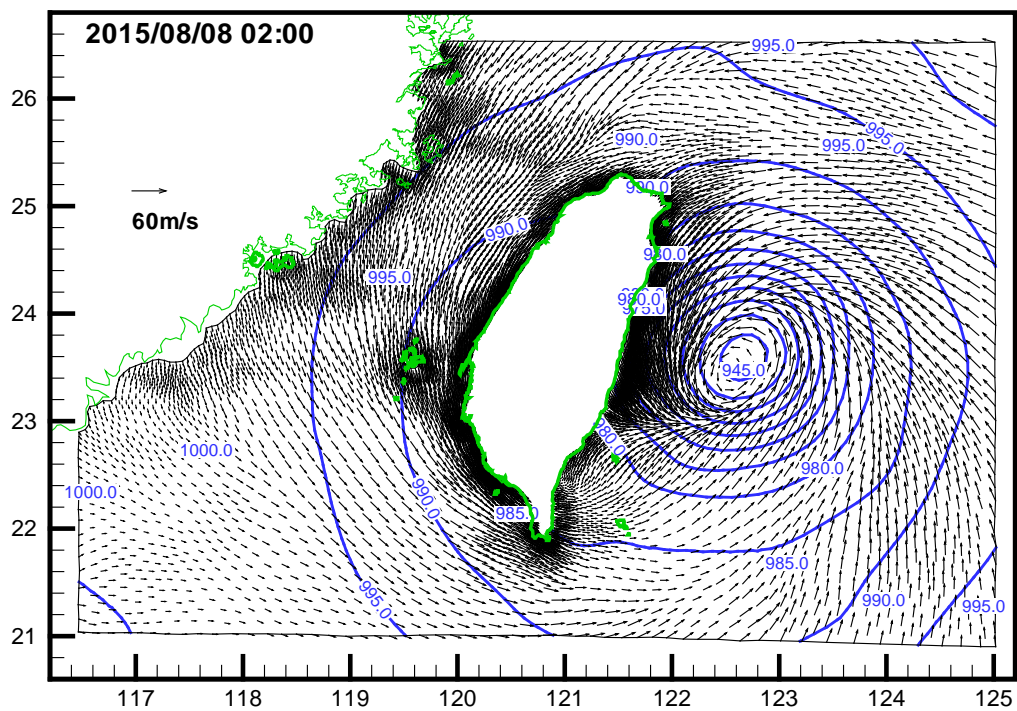


圖 3.13 (續 1)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模擬輸入預報風場及氣壓場圖

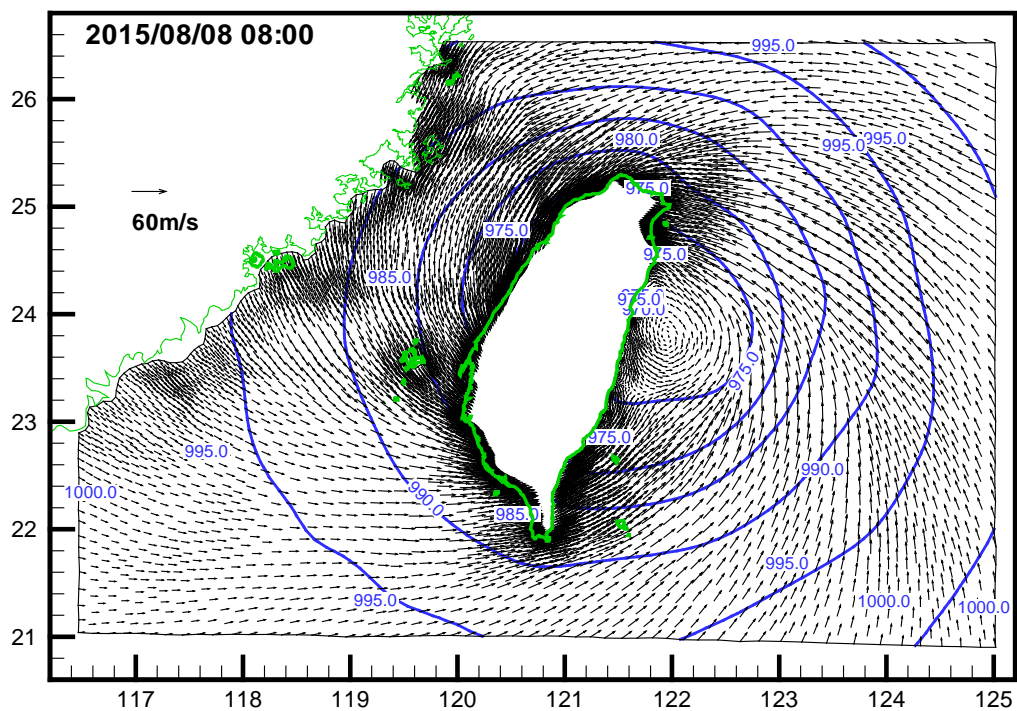


圖 3.13 (續 2)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模擬輸入預報風場及氣壓場圖

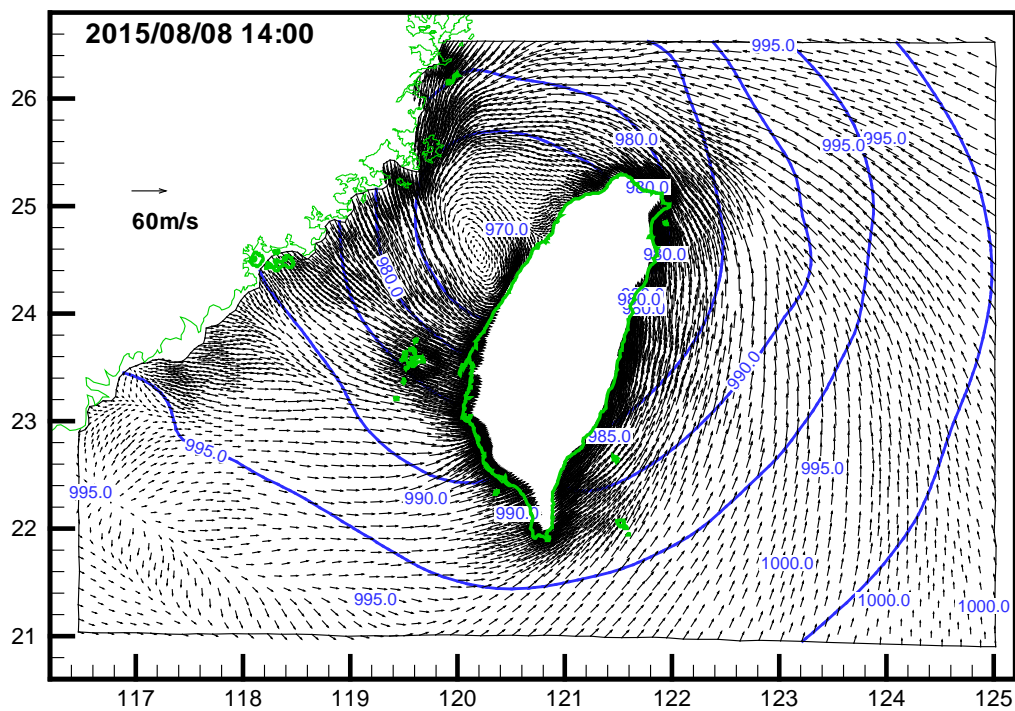


圖 3.13 (續 3) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模擬輸入預報風場及氣壓場圖

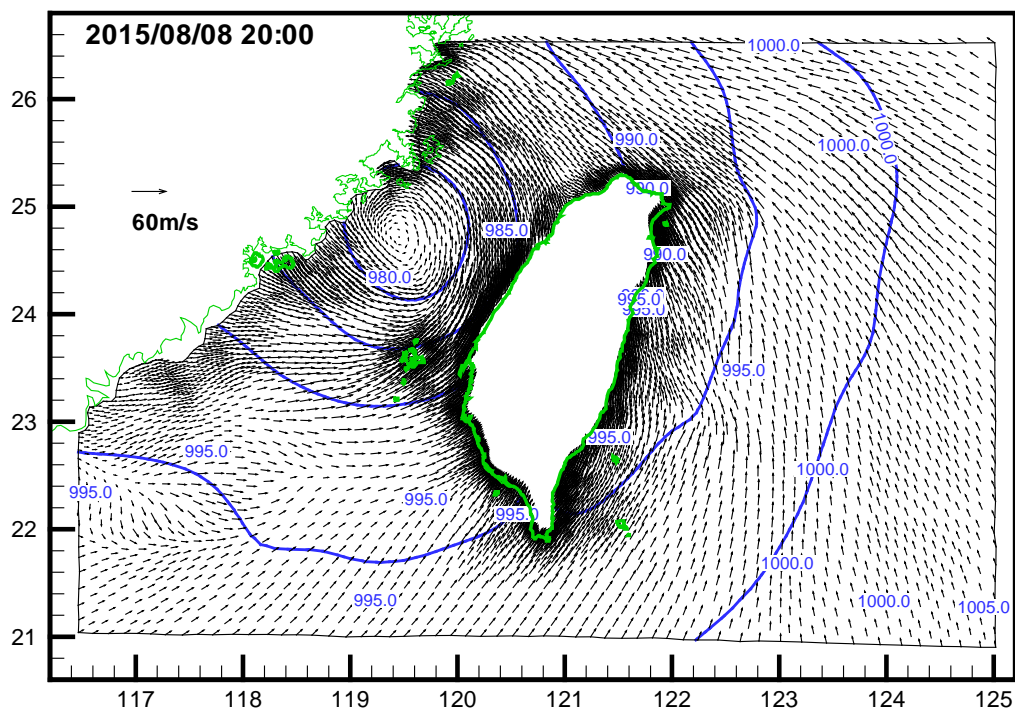


圖 3.13 (續 4) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模擬輸入預報風場及氣壓場圖

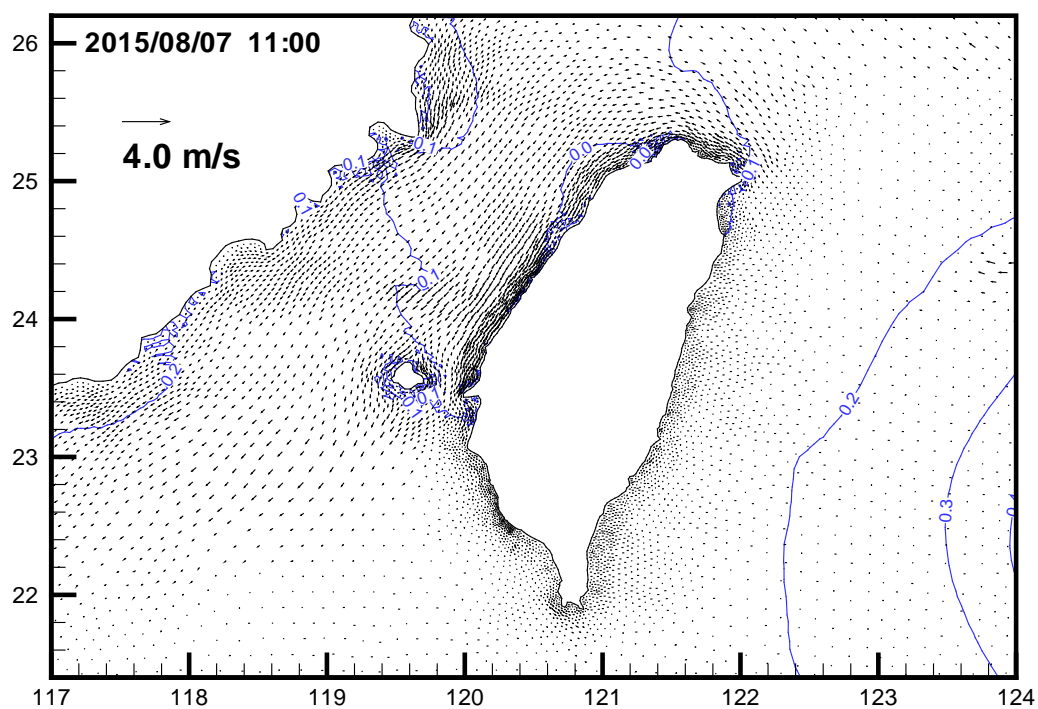


圖 3.14 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

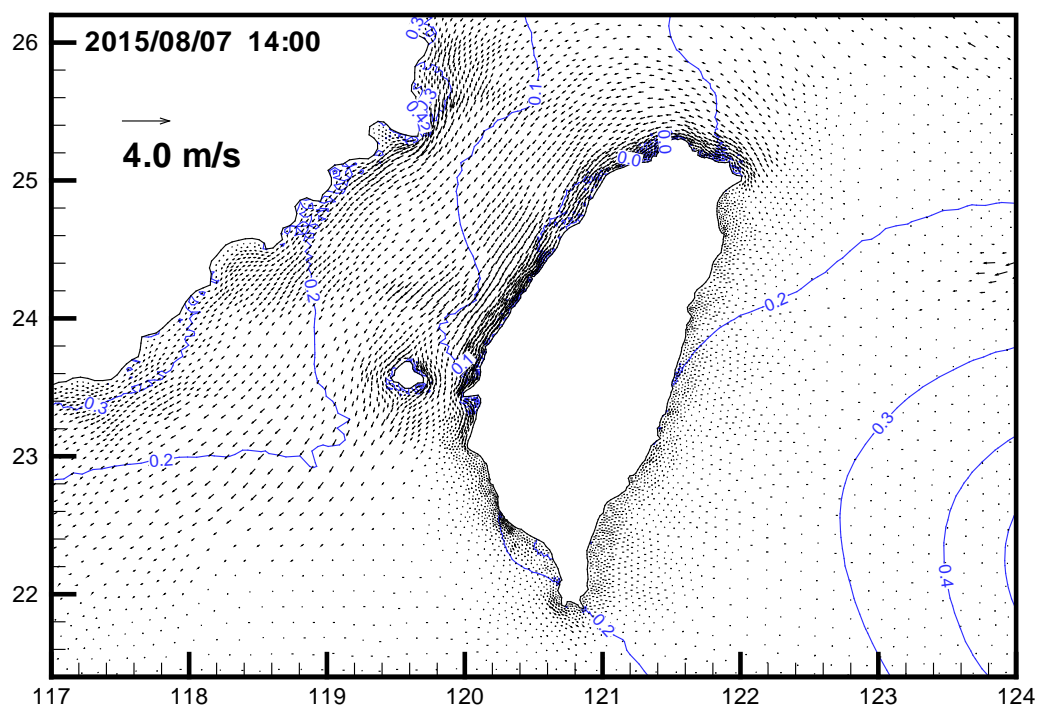


圖 3.14 (續 1) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

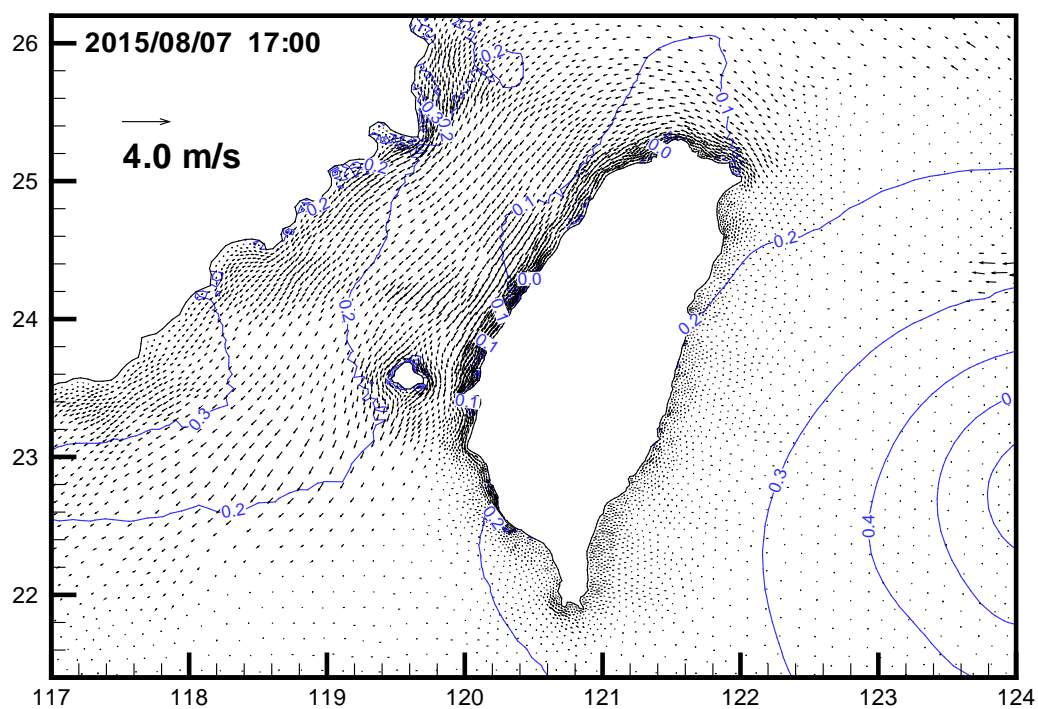


圖 3.14 (續 2)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

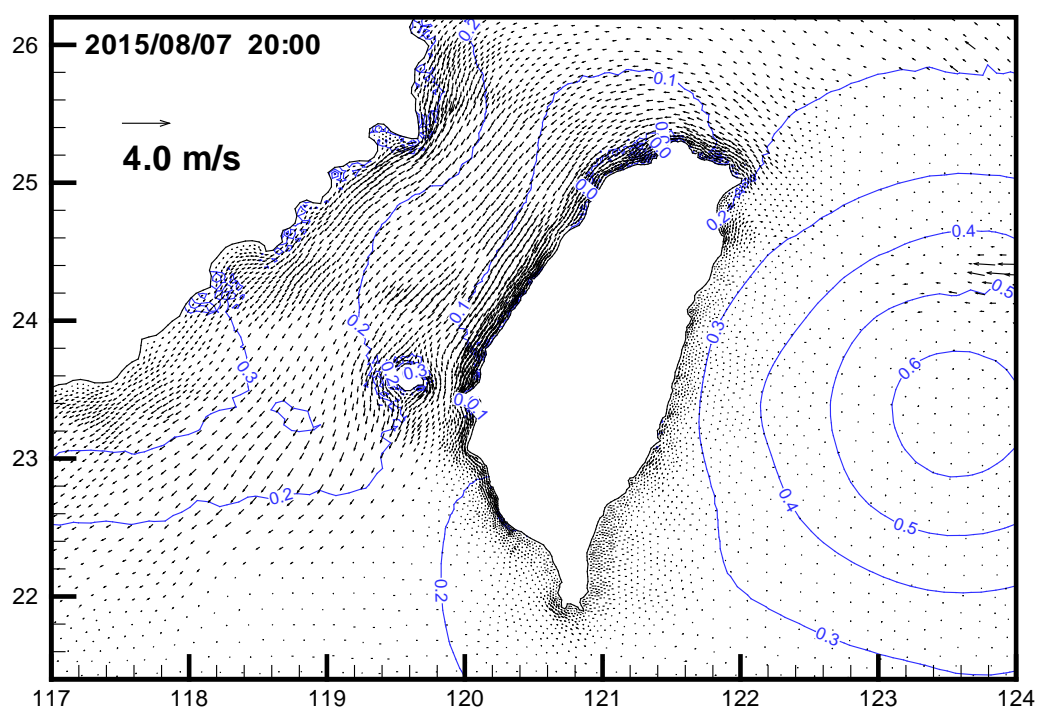


圖 3.14 (續 3)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

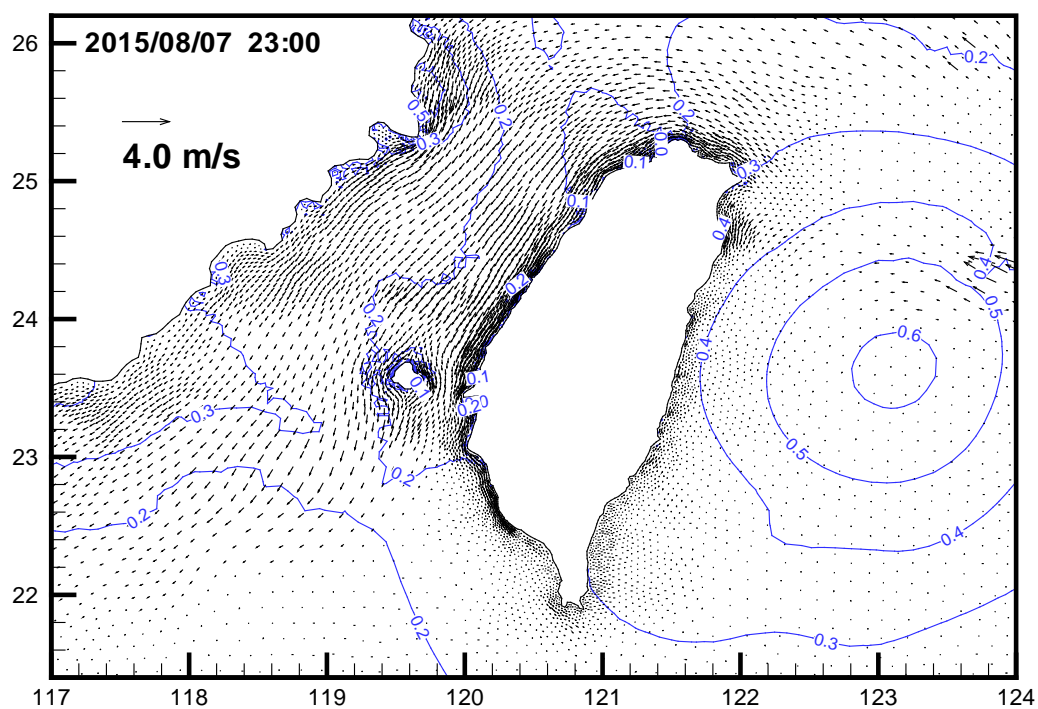


圖 3.14 (續 4)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

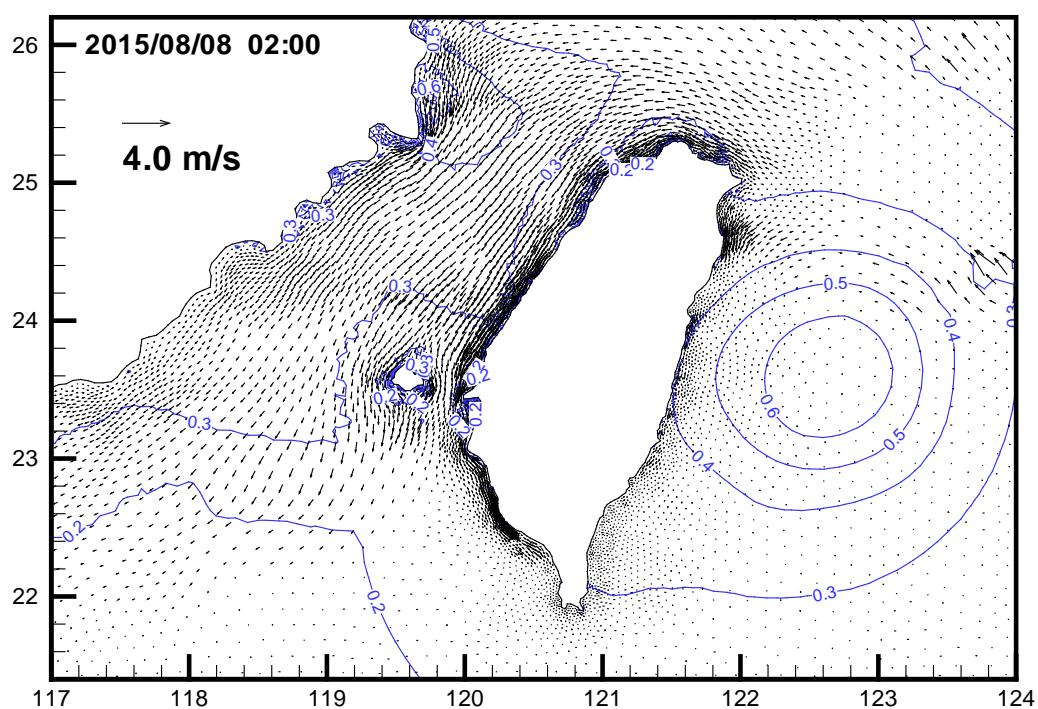


圖 3.14 (續 5)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

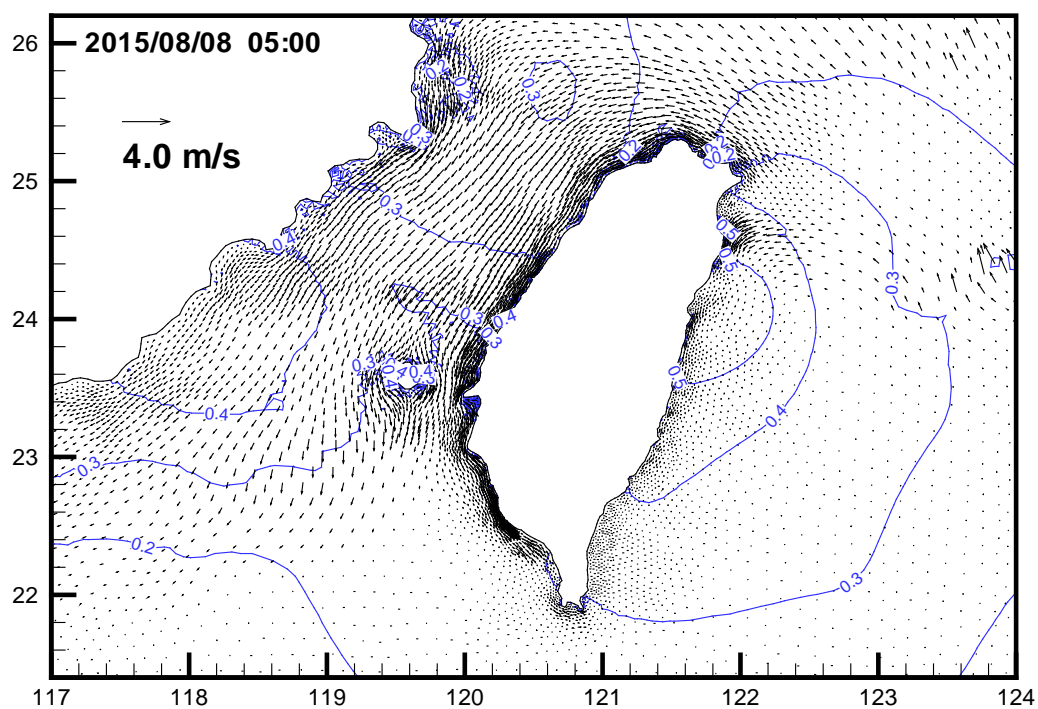


圖 3.14 (續 6) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

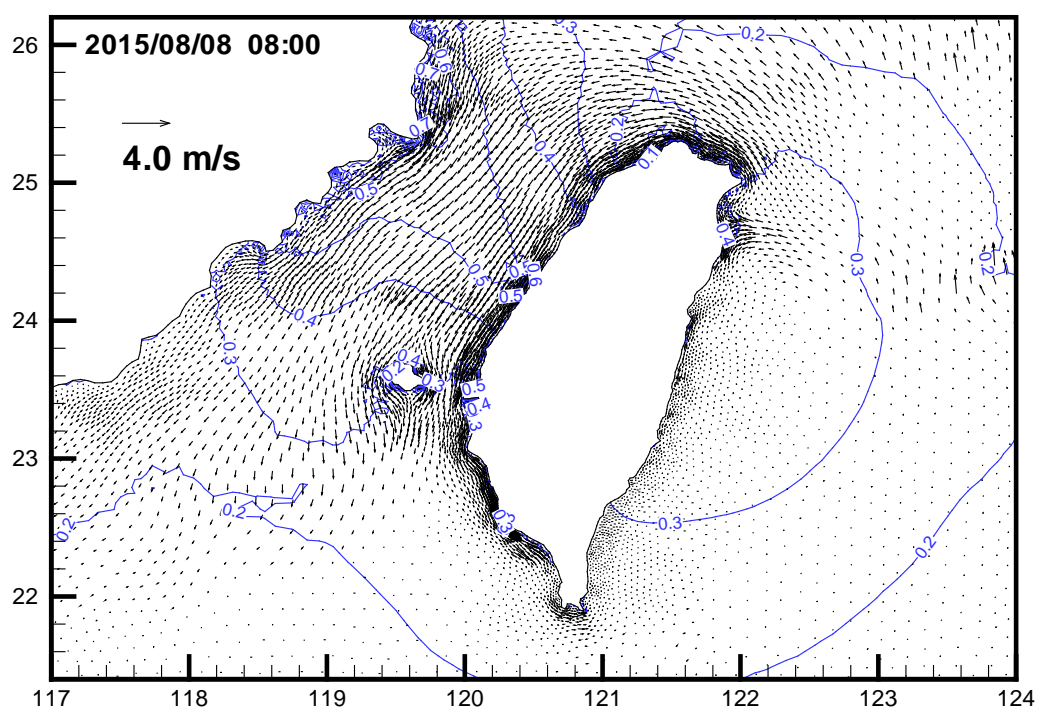


圖 3.14 (續 7) 蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

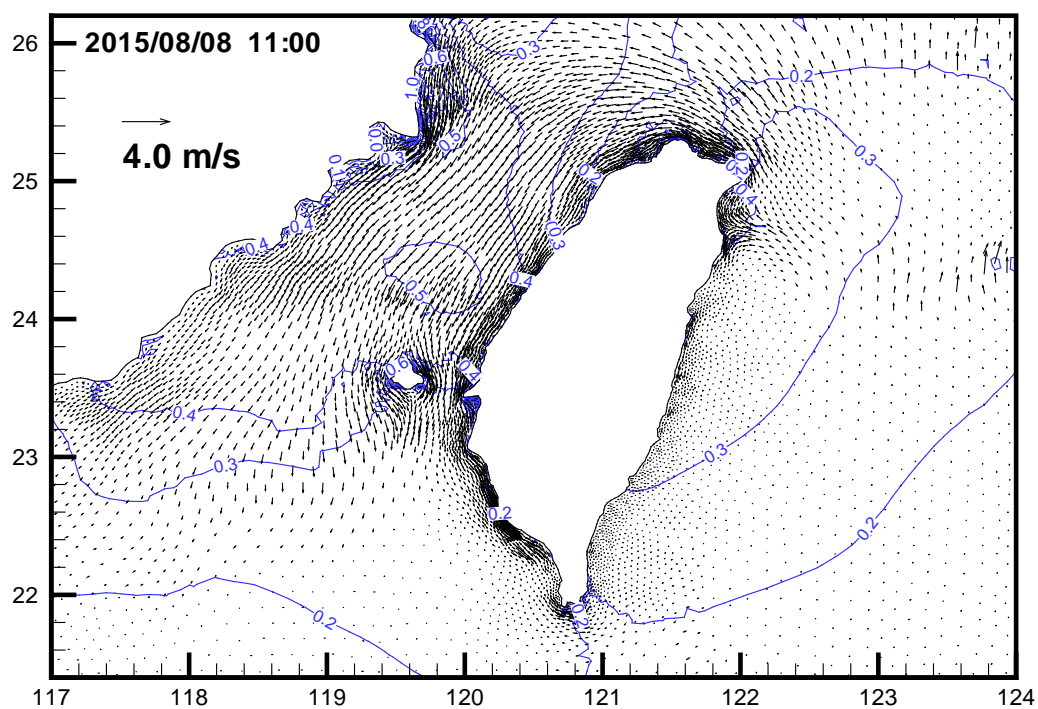


圖 3.14 (續 8)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

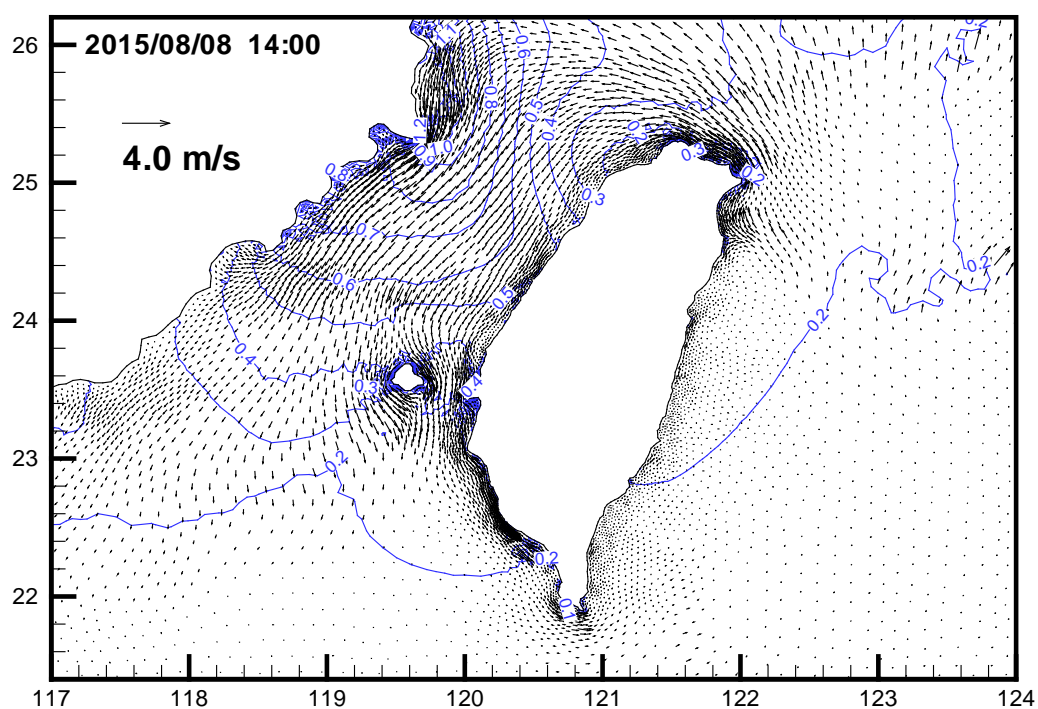


圖 3.14 (續 9)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

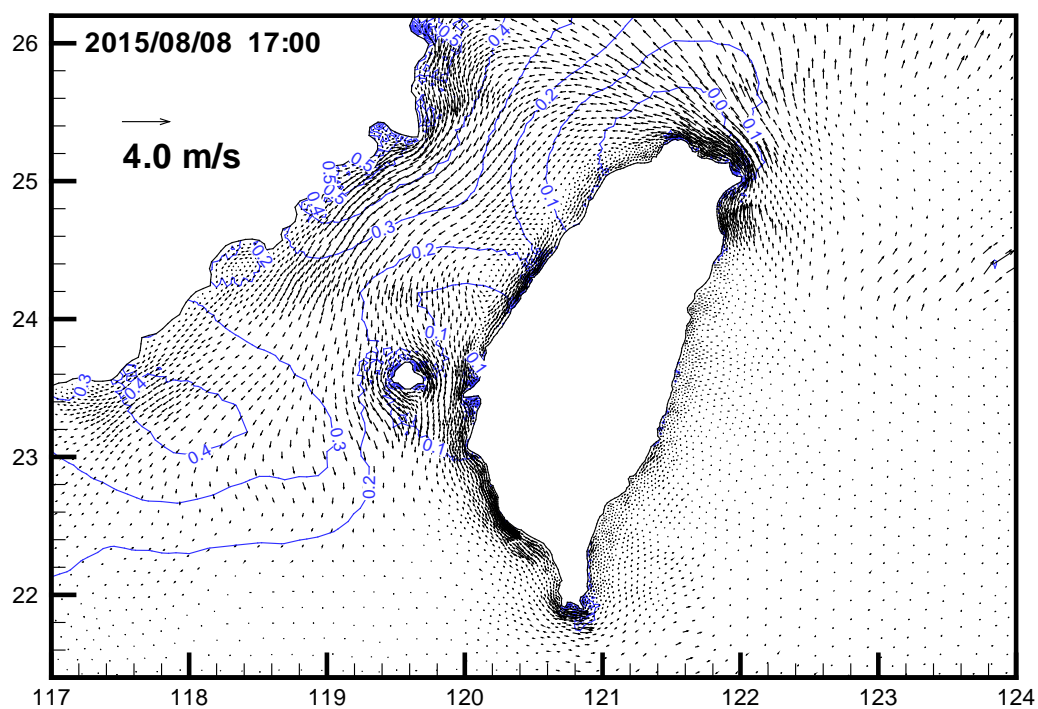


圖 3.14 (續 10)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

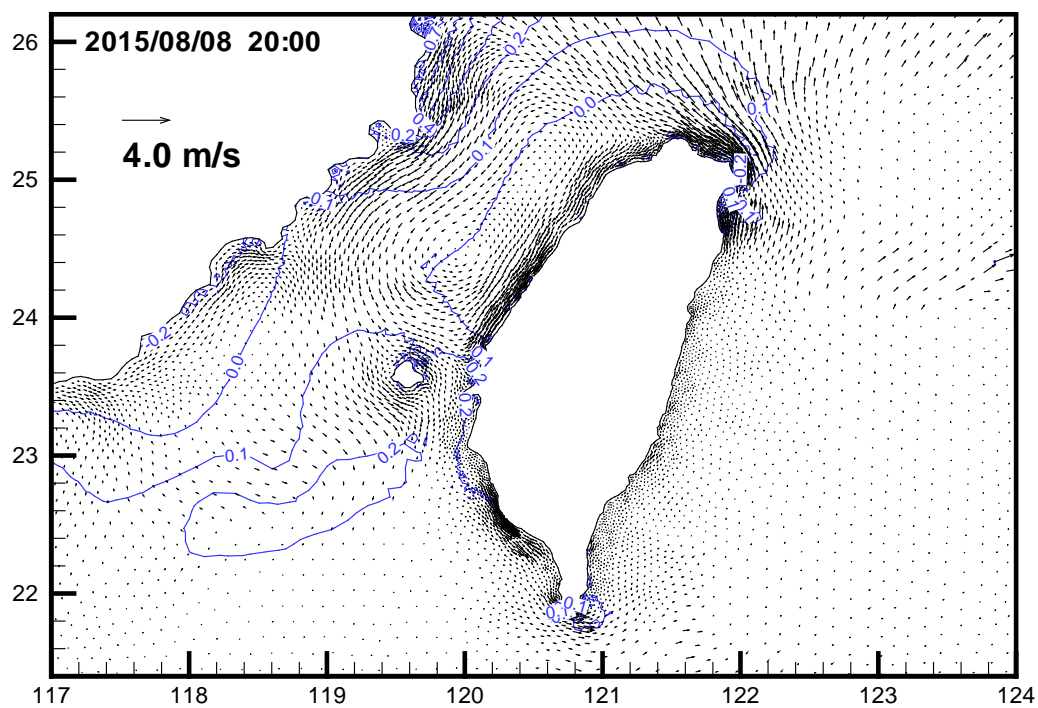


圖 3.14 (續 11)蘇迪勒颱風侵臺期間暴潮模式模擬之流場及暴潮偏差分布圖

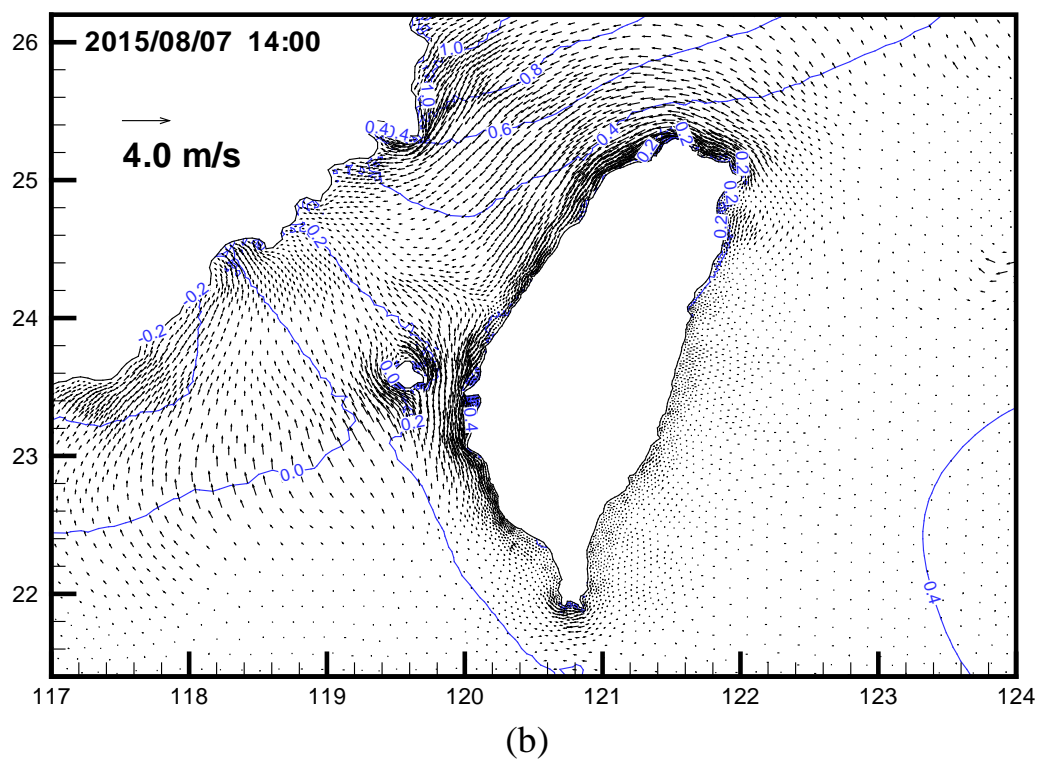
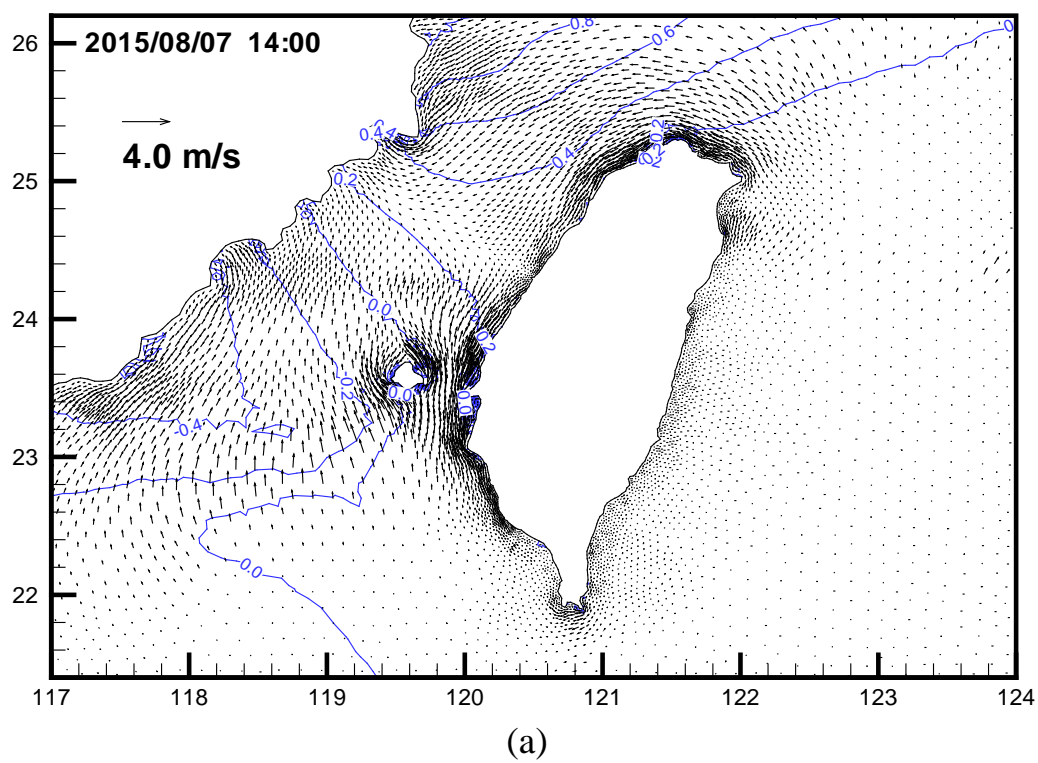


圖 3.15 臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較，
(a)天文潮，(b)颱風暴潮(含天文潮)

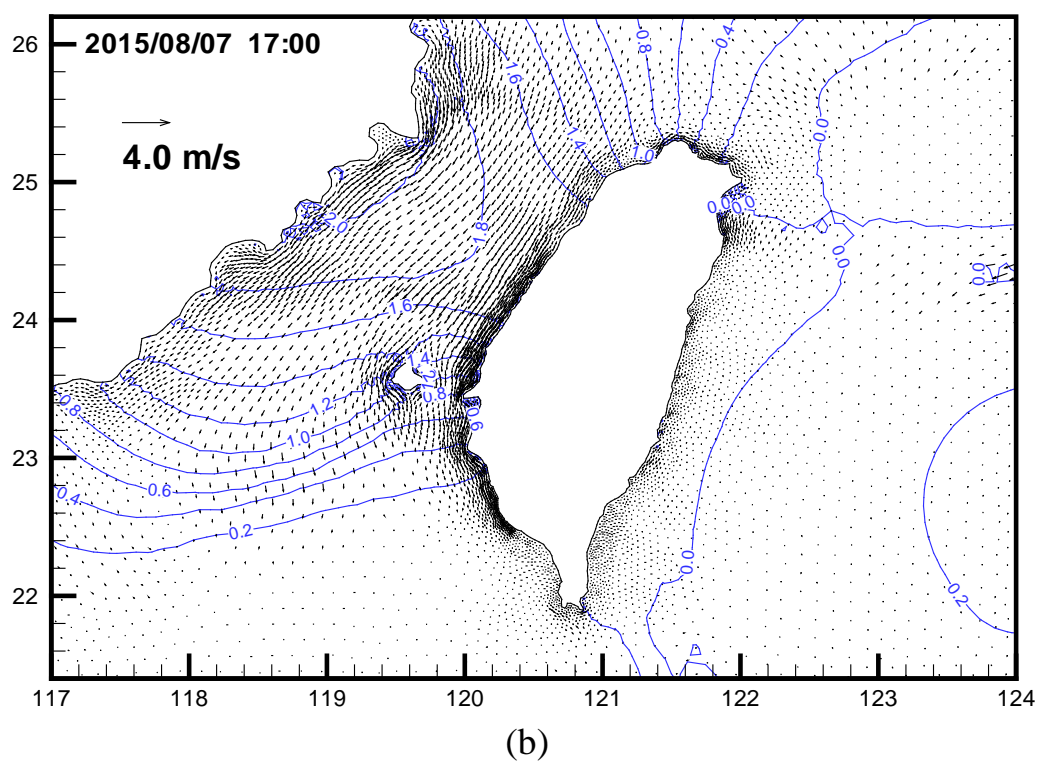
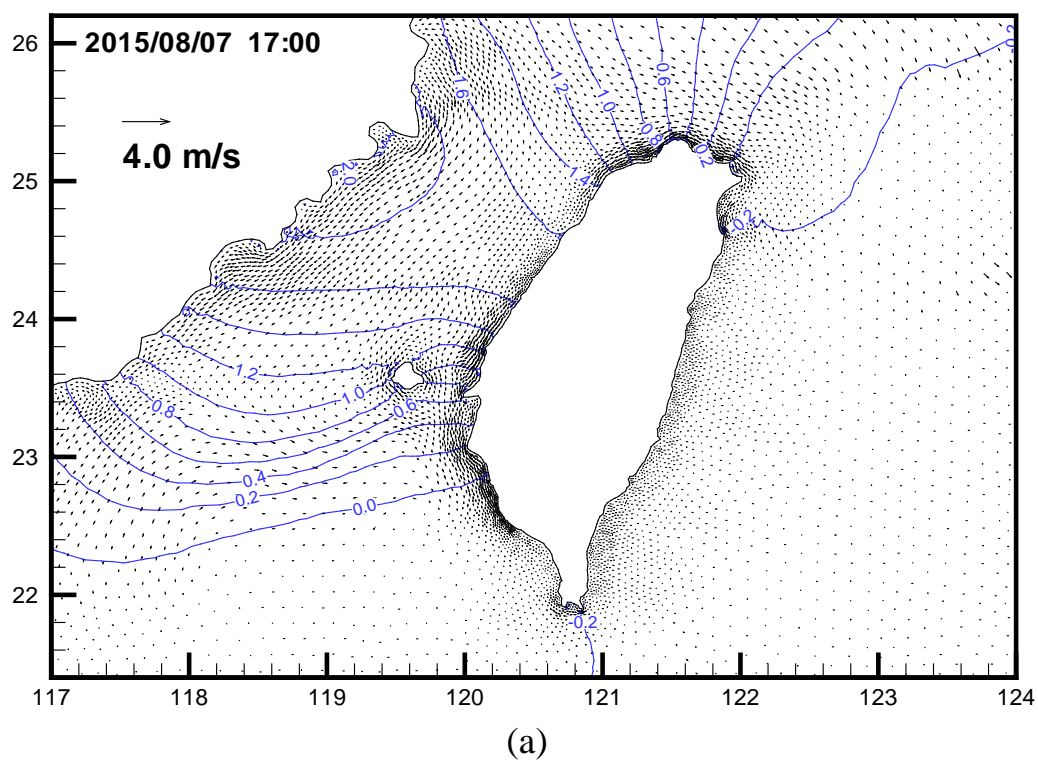


圖 3.15 (續 1)臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較，
(a)天文潮，(b)颱風暴潮(含天文潮)

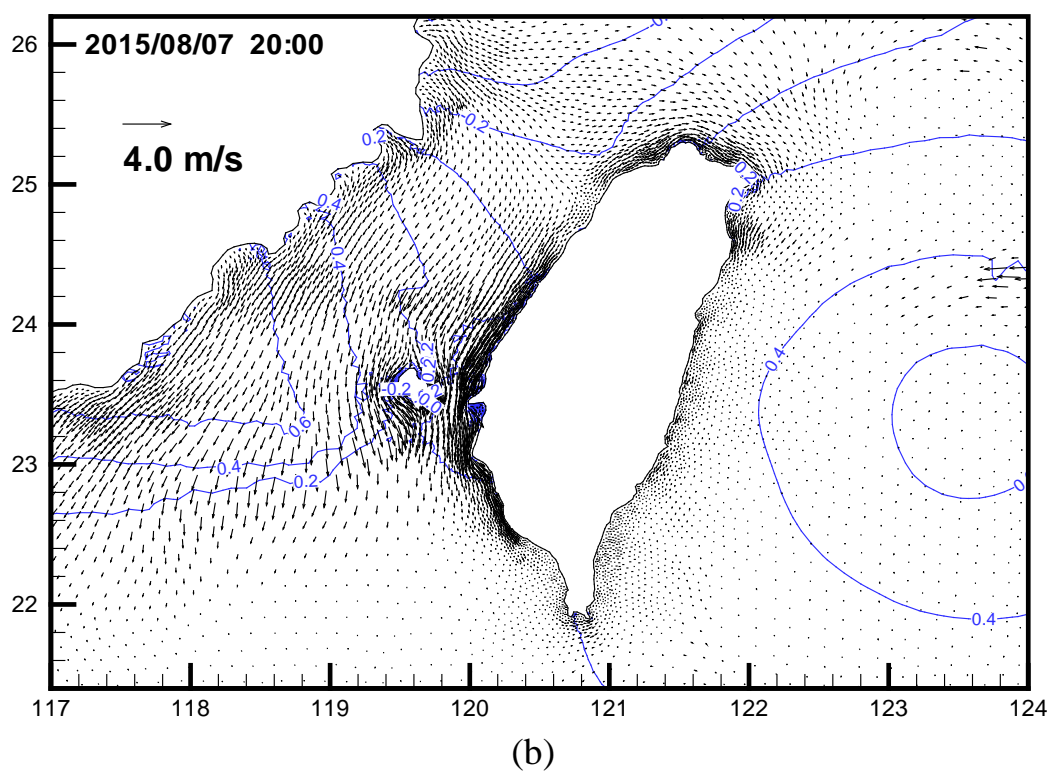
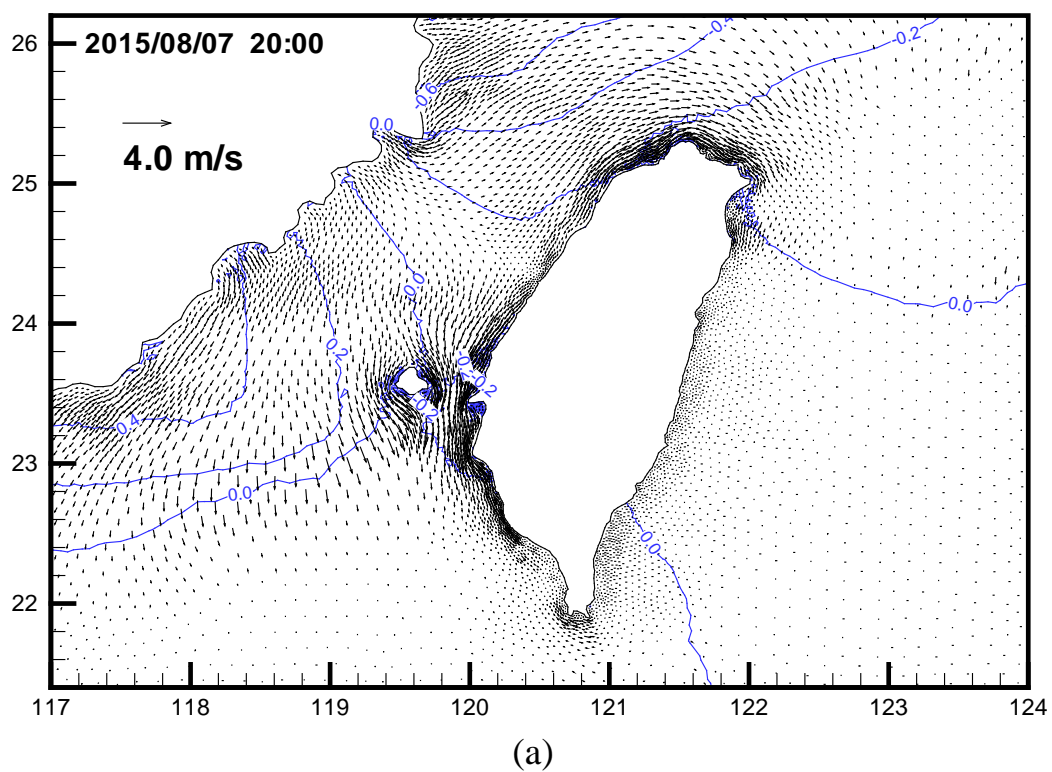


圖 3.15 (續 2)臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較，
(a)天文潮，(b)颱風暴潮(含天文潮)

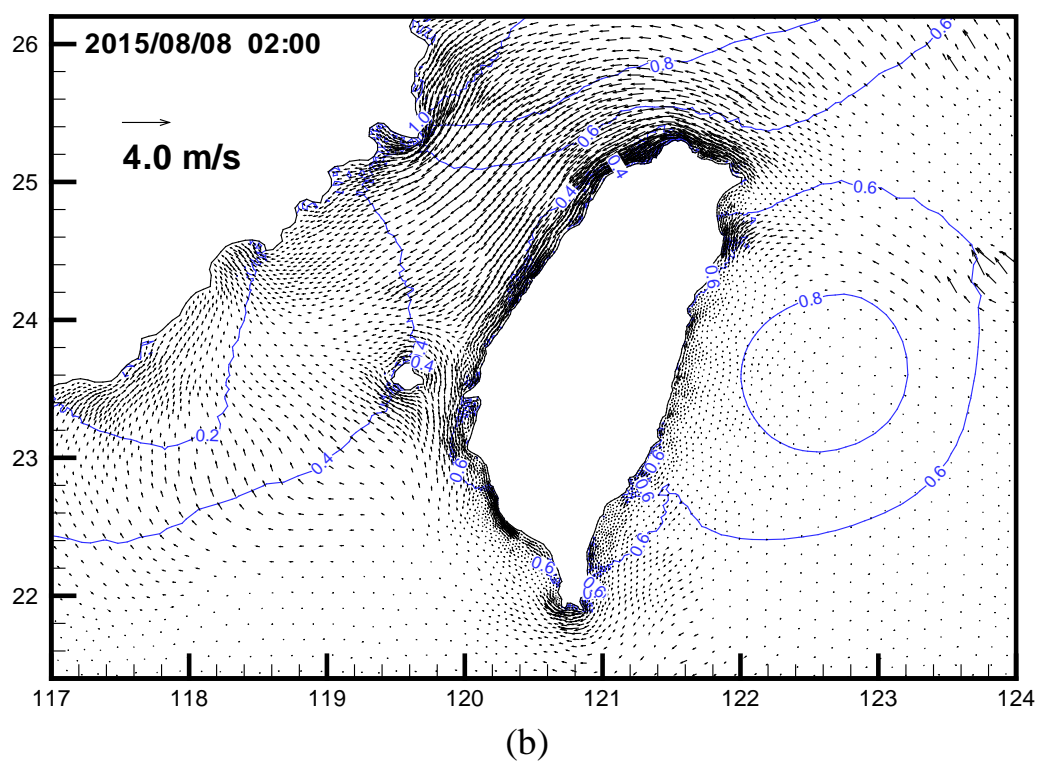
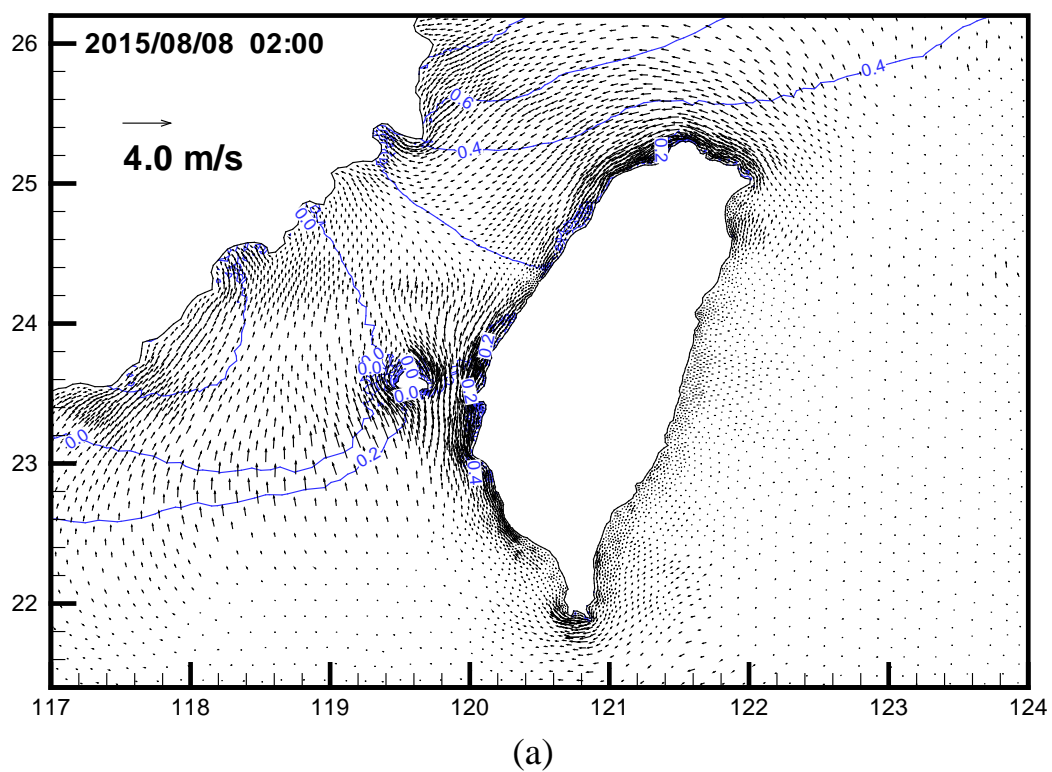
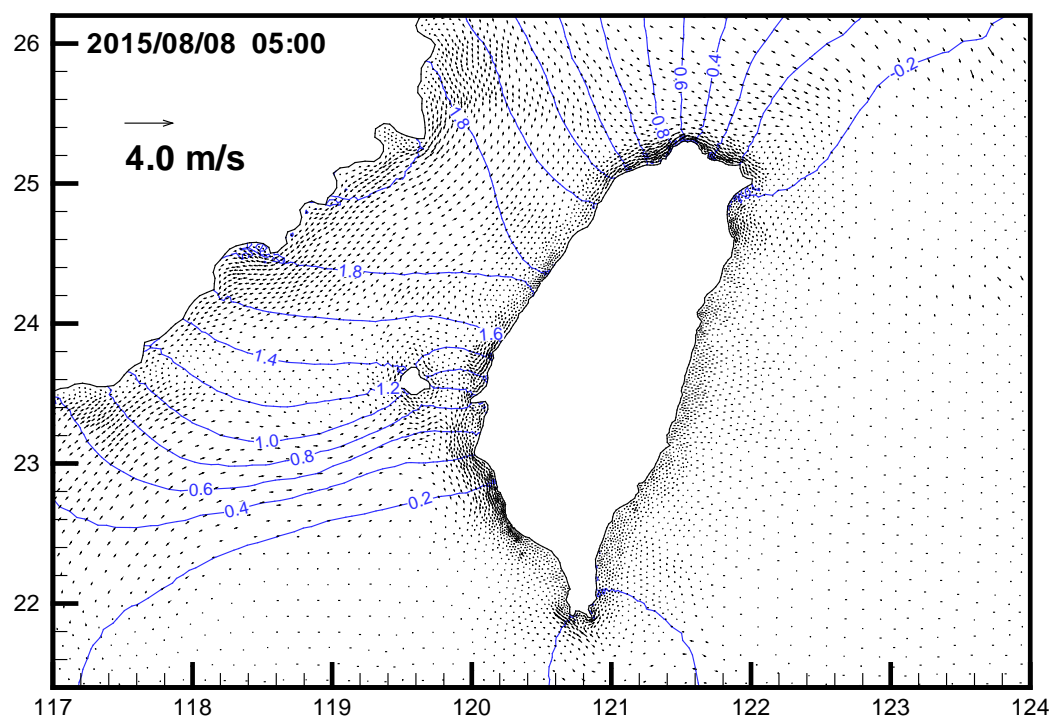
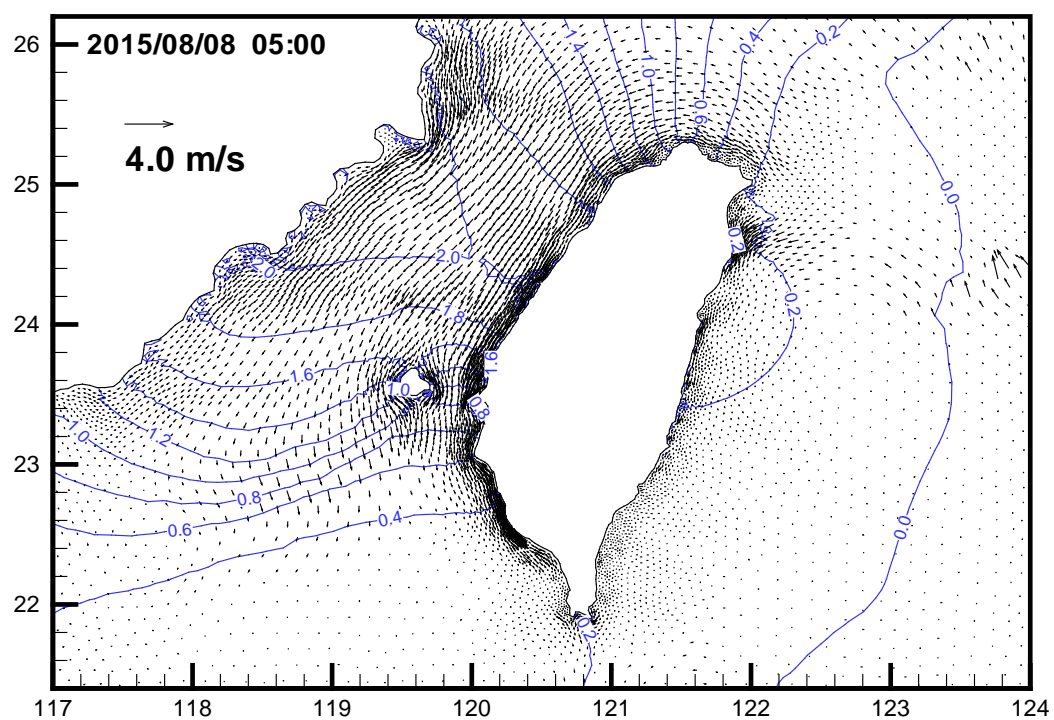


圖 3.15 (續 4)臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較，
(a)天文潮，(b)颱風暴潮(含天文潮)

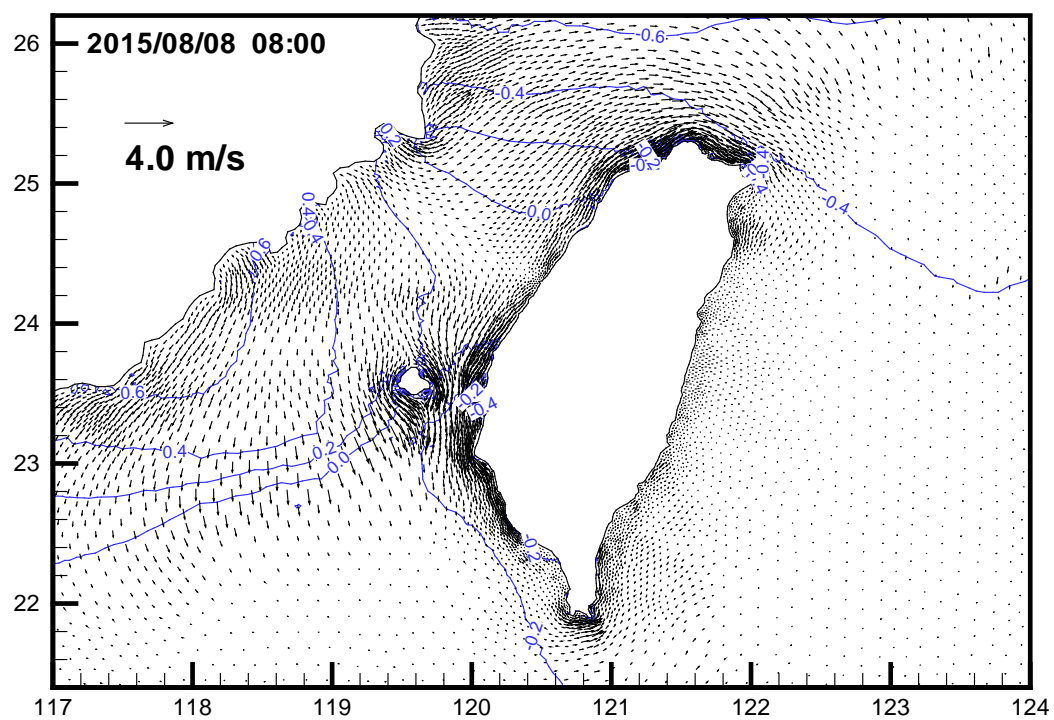


(a)

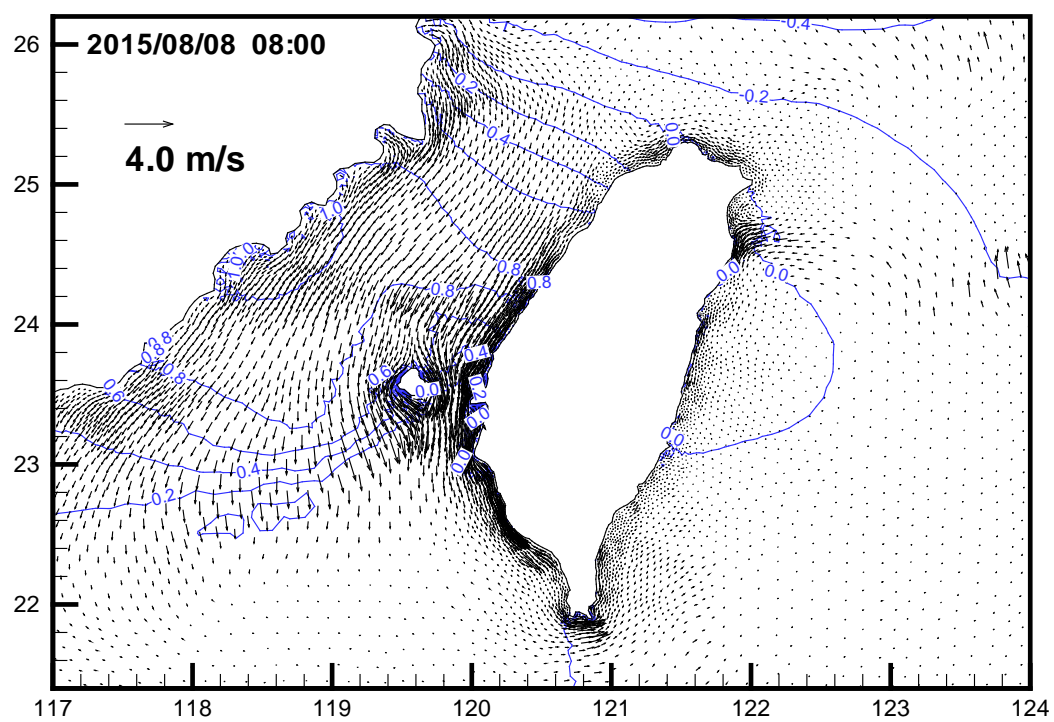


(b)

圖 3.15 (續 5)臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較，
(a)天文潮，(b)颱風暴潮(含天文潮)



(a)



(b)

圖 3.15 (續 6)臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較，
(a)天文潮，(b)颱風暴潮(含天文潮)

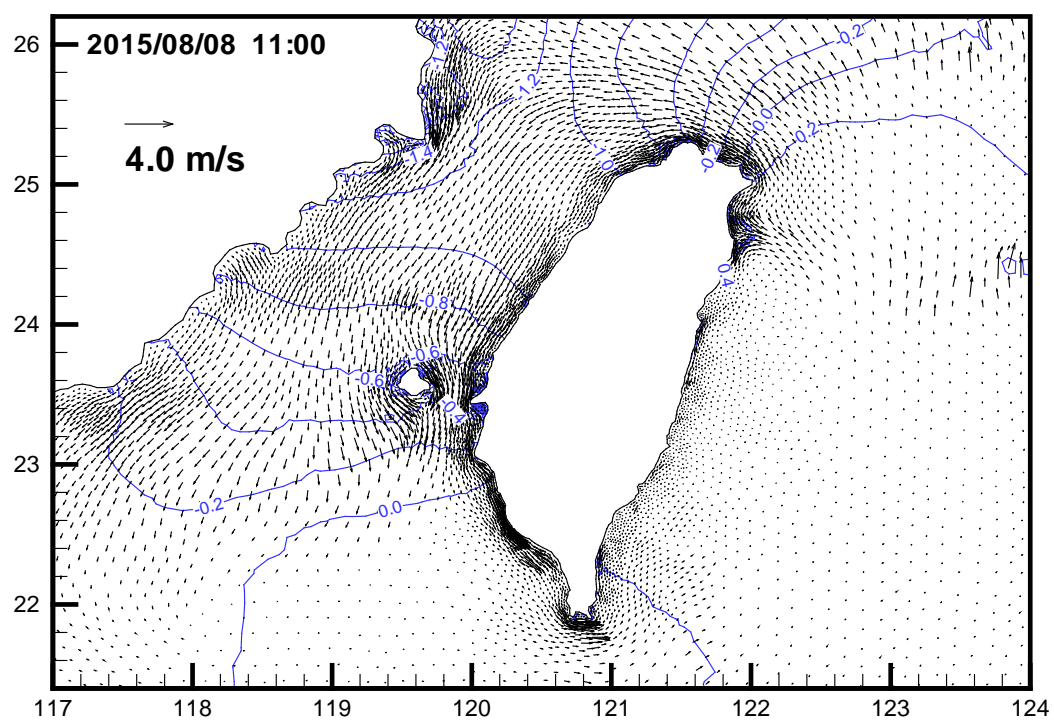
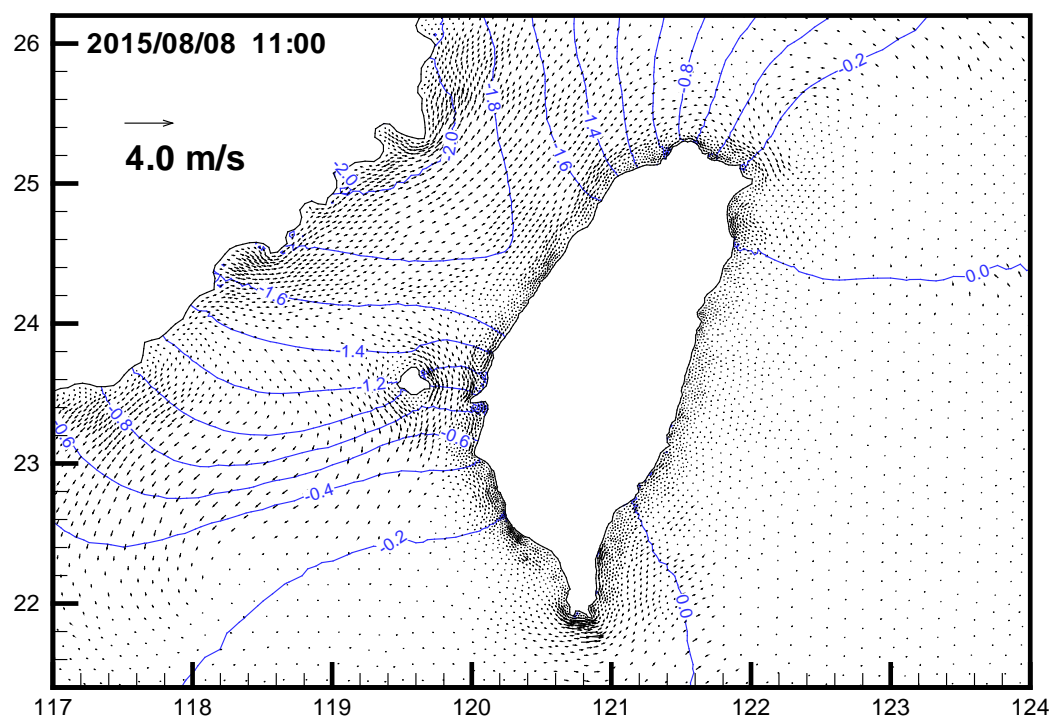


圖 3.15 (續 7)臺灣周圍海域水動力模擬結果水位及流場之比較，
(a)天文潮，(b)颱風暴潮(含天文潮)

第四章 澎湖海域基本資料蒐集與分析

澎湖海域為本年度計畫研究重點之一，因此本章節將針對澎湖海域之地形水深、潮汐、海流及波浪等海象觀測資料，以及藍色公路相關資訊等進行蒐集與分析說明。

4.1 地理位置

澎湖群島位於臺灣海峽，範圍介於北緯 $23^{\circ}12'$ 至 $23^{\circ}47'$ ，東經 $119^{\circ}19'$ 至 $119^{\circ}43'$ 之間，東距臺灣本島約 50 公里，西離中國大陸約 140 公里。澎湖群島共有大小島嶼 90 座，多數為無人居住之小島，極東為查母嶼，極西為花嶼，極北為目斗嶼，極南是七美嶼，以澎湖本島、白沙嶼及西嶼三島為最大。澎湖群島南北長約 60 餘公里，東西寬約 40 餘公里，陸地總面積約為 127.9636 平方公里，海岸線總長約 449 公里，如圖 4.1 所示。

澎湖群島的地質，為更新世火山作用使然，其組成除花嶼為安山岩質的火成岩外，多為玄武岩質的火成岩，其中夾雜沉積岩而成，是第三紀末期以後產生的岩層。內部淺礁灣澳環繞，外部則是寬闊的臺灣海峽海域。澎湖群島各島嶼的最高標高，以虎井嶼的 61 公尺最高，其次為 56 公尺的澎湖本島。

4.2 水深

針對澎湖海域地形水深資料，本計畫蒐集海軍大氣海洋局刊行的海圖(圖號 0336)及澎湖內海海圖水深資料、成大水工試驗所於澎湖觀音亭及跨海大橋附近海域施測之水深資料，相關水深資料點位分布如圖 4.2 所示。

依據上述水深資料繪製澎湖周圍海域地形水深分布情形，如圖 4.3 所示，顯示澎湖群島海床多為淺礁灣澳地形，深度變化大；澎湖群島與台灣之間存在一北尖南寬之海槽，水深介於 100~200 公尺之間，俗稱「澎湖水道」。另外，澎湖群島西南方海域有一淺灘，俗稱「台灣灘」，

深度亦淺於 40 公尺，屬於淹沒的水下丘陵，最淺之處低潮時甚至會露出水面。

此外，本計畫澎湖港馬公港區及龍門尖山港區地形水深資料，如圖 4.4 及圖 4.5 所示。

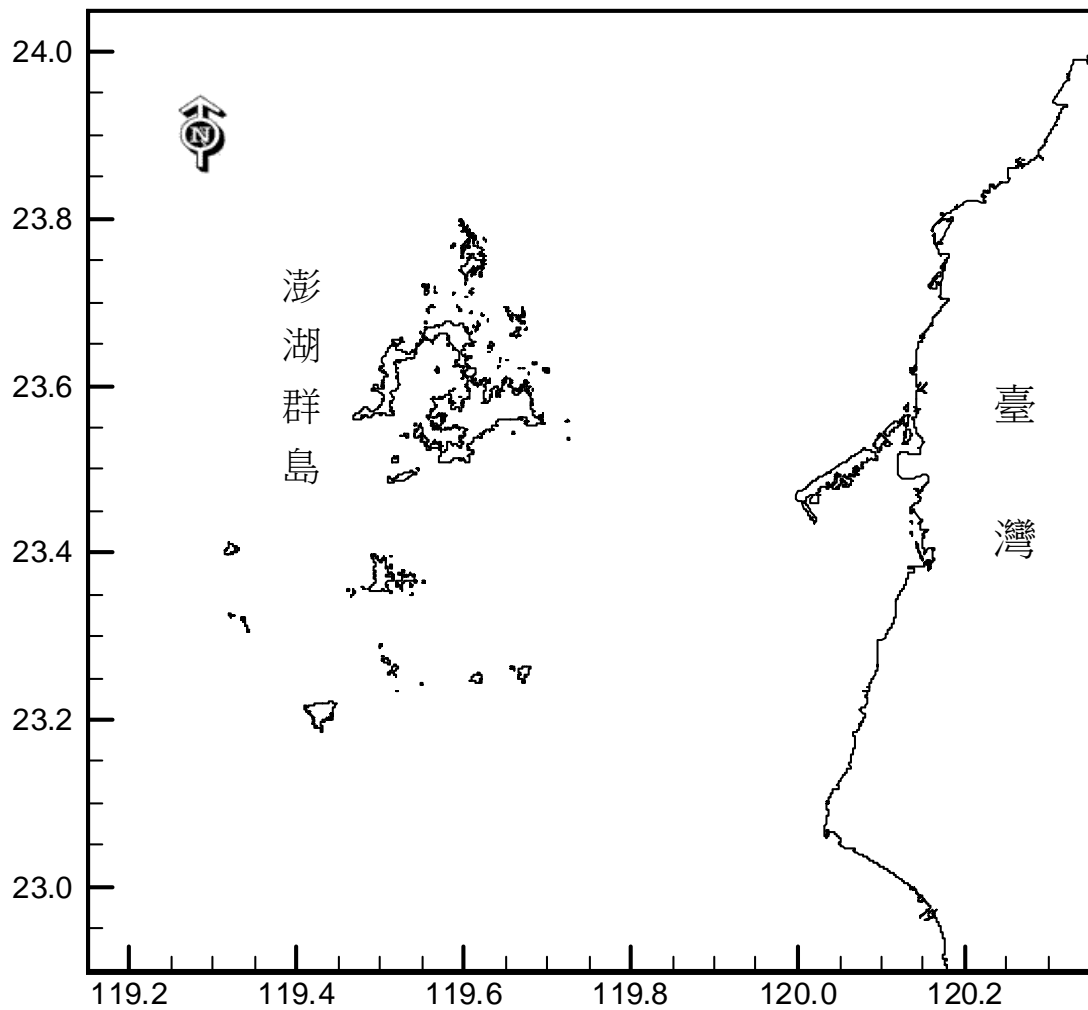


圖 4.1 澎湖群島地理位置圖

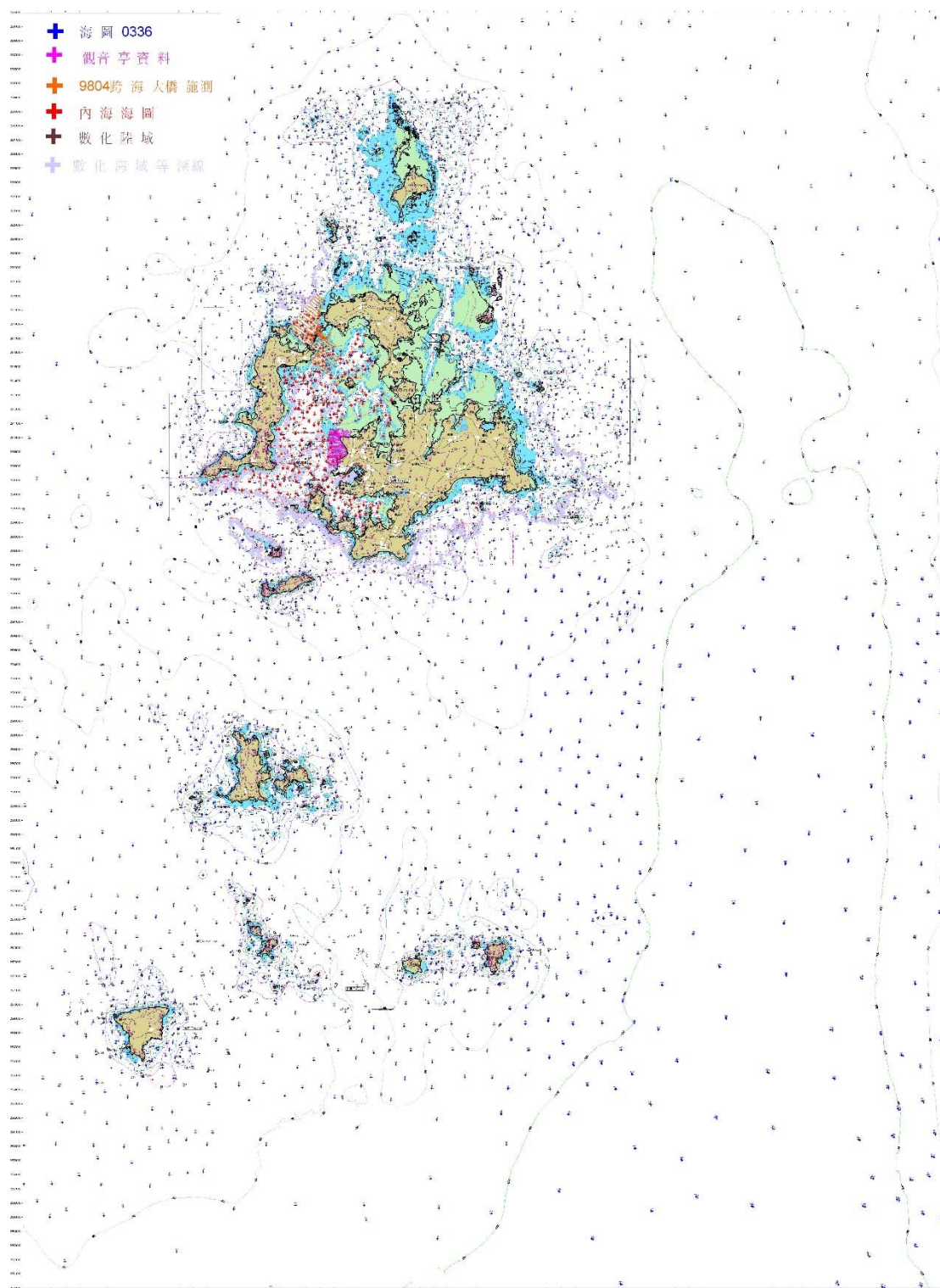


圖 4.2 澎湖海域水深資料點位分布圖

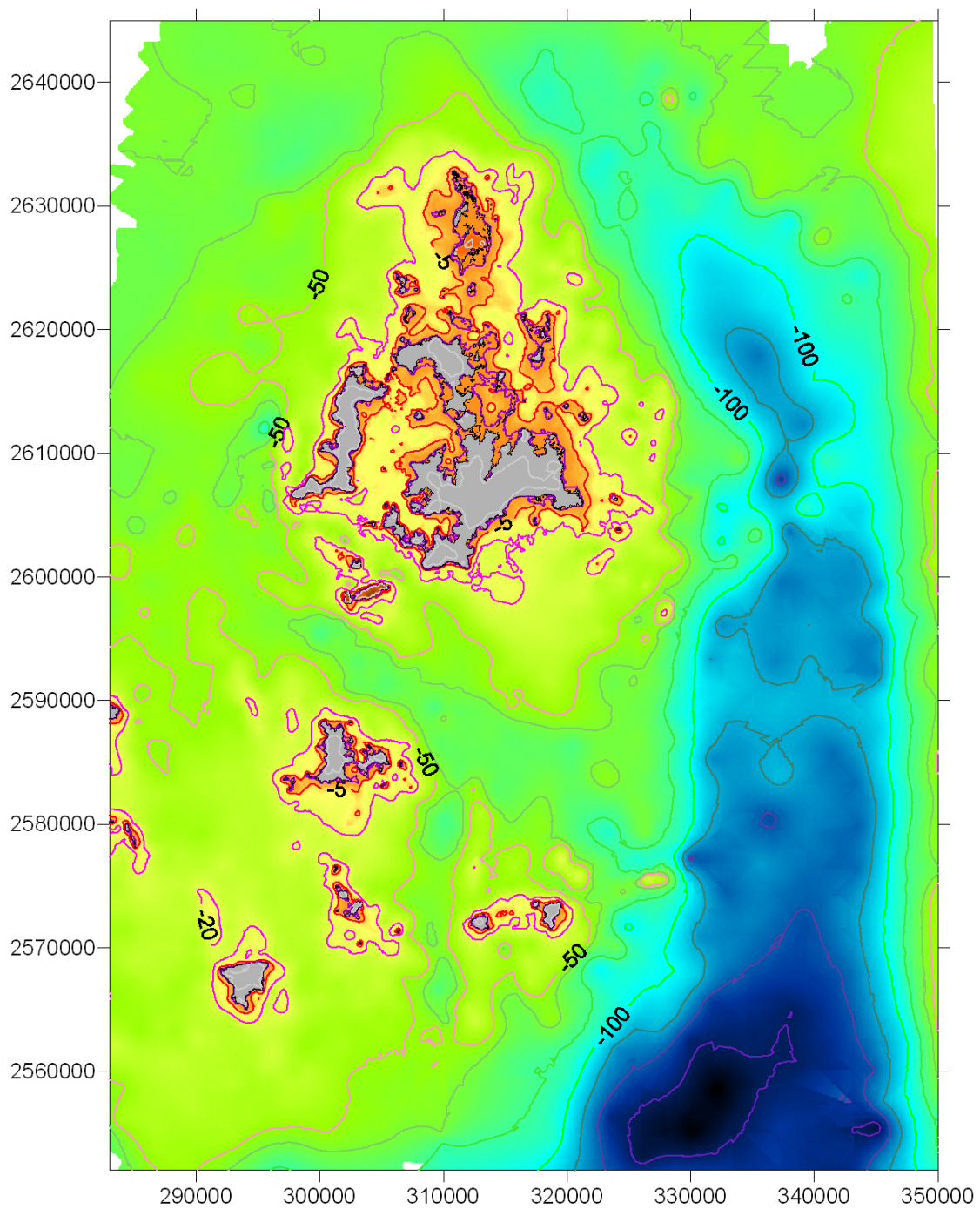


圖 4.3 澎湖海域水深分布圖

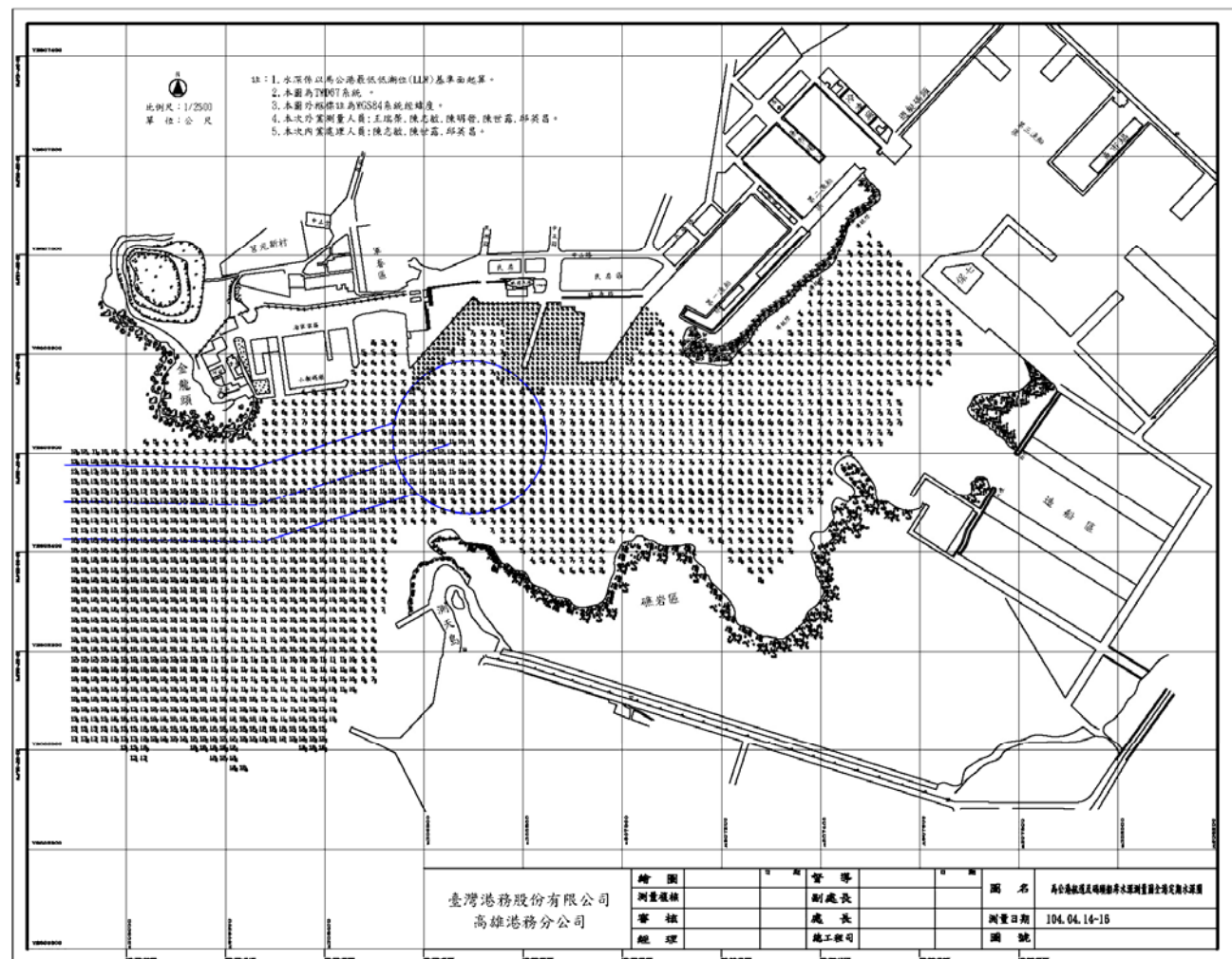


圖 4.4 澎湖港馬公港區水深資料圖

4.3 潮汐

針對澎湖海域潮汐本年度計畫蒐集中央氣象局馬公潮位站 2008 ~ 2014 年潮位觀測資料進行相關潮位統計及天文潮分析。

澎湖馬公潮位站 2008 年 1 月至 2014 年 12 月逐時潮位觀測資料(測站代碼 1356)，共計 58,427 筆資料，潮位觀測資料之觀測率(資料觀測數/資料應觀測數)達 0.952。2008 至 2014 年馬公潮位站代表性潮位逐月統計特性，如圖 4.6 所示；代表性潮位及潮差之年統計特性如表 4.1 所示，顯示 2008 至 2014 年馬公潮位站潮位平均值為 -0.413 m，高潮位及低潮位之平均值分別為 0.651 及 -1.295 m，潮差平均值為 1.946 m，最大潮差值為 3.206 m。2008 至 2014 年間馬公潮位站最高潮位觀測值為 1.509 m，發生於 2012 年 8 月 2 日 11 時，適值中度颱風蘇拉(SAOLA)侵臺期間。

在天文潮特性分析上，本計畫選取 60 個天文分潮進行調和分析，同時利用天文潮調和分析預測值進行潮位觀測資料補遺。經由潮位資料補遺後，馬公潮位站潮位歷年(2009~2014 年)資料之能譜分析結果，如圖 4.7 所示，圖中“+”代表為天文潮 60 個分潮之能量密度值。由能譜分析結果得知，澎湖馬公測站潮位能譜在全日潮、半日潮、1/3 日潮、1/4 日潮及 1/8 日潮區間均有顯著能量分布，最大能量密度值落在 M_2 半日分潮。

馬公潮位站歷年(2008~2014 年)潮位資料之天文分潮調和分析結果，如表 4.2 所列。本計畫依據表 4.2 天文分潮調和分析結果分別選出主要分潮 O_1 、 K_1 、 M_2 及 S_2 之振幅探討其年變化特性，如圖 4.8 所示；結果顯示在 2008~2014 年全日潮 O_1 及 K_1 分潮振幅大小呈現逐年下降之趨勢相當明顯，半日潮 M_2 分潮振幅大小微幅上升， S_2 分潮振幅變化不顯著。2008 ~ 2014 年全日潮 O_1 及 K_1 分潮振幅之平均值分別為 0.2128m 及 0.2458m，半日潮 M_2 及 S_2 分潮振幅之平均值分別為 0.9298m 及 0.2386 m，則馬公潮位站之潮型指標 $[(O_1+K_1)/(M_2+S_2)]$ 值約等於 0.3925，顯示澎湖海域潮汐型態應屬於半日潮型。(註：當潮型指標小於 0.5 者屬於半日潮型，大於 1.25 者屬於全日潮型，介於二者之間為混合潮型)

依據天文潮調和分析結果(表 4.2)得到，馬公潮位站觀測值與天文潮預測值間絕對誤差值之年平均值約介於 0.065m~0.074m 之間，如圖 4.9 所示為 2014 年 1~12 月馬公潮位站觀測值與天文潮預測值之比較。本計畫乃利用觀測值與天文潮預測值之差，分析颱風期間馬公潮位站之暴潮偏差歷線。本計畫統計 2008~2014 年中央氣象局發布之侵臺颱風，如表 4.3 所列，共計 36 個侵臺颱風，平均每年 5.1 個。依颱風侵臺路徑分類可推論對澎湖海域影響較劇烈的路徑，主要有第二至第四類及第九類侵臺路徑；因此本計畫依據 2008~2014 年馬公潮位站潮位分析結果，整理出颱風侵臺期間發生的暴潮偏差歷線，如圖 4.10 所示，其中最大暴潮偏差值為 0.741 m，發生於 2008 年中度颱風鳳凰侵臺期間。

表 4.1 澎湖港馬公潮位站觀測資料代表性潮位及潮差年統計表

年	最高 高潮位	平均 高潮位	平均 潮位	平均 低潮位	最低 低潮位	最大 潮差	平均 潮差	資料數
2008	1.202	0.627	-0.409	-1.271	-2.178	3.282	1.898	8432
2009	1.299	0.639	-0.415	-1.282	-2.167	3.212	1.921	8549
2010	1.196	0.618	-0.435	-1.302	-2.195	3.137	1.920	8471
2011	1.369	0.654	-0.423	-1.310	-2.094	3.231	1.964	8592
2012	1.509	0.696	-0.382	-1.277	-2.147	3.235	1.973	8201
2013	1.421	0.654	-0.420	-1.310	-2.176	3.185	1.964	8136
2014	1.432	0.671	-0.410	-1.312	-2.171	3.159	1.983	8046
極值/平均	1.509	0.651	-0.413	-1.295	-2.195	3.282	1.946	58427

表 4.2 澎湖馬公潮位站潮位資料調和分析成果表(2008)

澎湖馬公潮位站							
分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)
S _a	0.04106860	0.0683	39.0765	M ₂	28.98410416	0.9042	320.4784
S _{aa}	0.08213730	0.0363	257.4724	MKS ₂	29.06624222	0.0085	41.3021
M _m	0.54437470	0.0082	130.2011	λ ₂	29.45562553	0.0218	215.1233
M _{sf}	1.01589584	0.0112	285.7305	L ₂	29.52847862	0.0440	156.3000
M _f	1.09803307	0.0050	302.1638	T ₂	29.95893288	0.0247	198.6183
2Q ₁	12.85428619	0.0073	43.8181	S ₂	30.00000000	0.2374	44.4230
σ ₁	12.92714024	0.0078	3.5256	R ₂	30.04106712	0.0160	200.0434
Q ₁	13.39866066	0.0515	50.0376	K ₂	30.08213806	0.0891	186.5805
ρ ₁	13.47151470	0.0111	355.3093	MSN ₂	30.54437447	0.0075	241.4744
O ₁	13.94303513	0.2437	55.5423	KJ ₂	30.62651253	0.0013	44.8380
MP ₁	14.02517319	0.0089	115.2873	2SM ₂	31.01589584	0.0153	327.6430
M ₁	14.49202538	0.0106	117.3695	MO ₂	42.92713928	0.0175	10.1238
χ ₁	14.56954765	0.0043	337.3276	M ₃	43.47615814	0.0043	82.5166
π ₁	14.91786480	0.0026	297.4552	SO ₃	43.94303513	0.0092	69.9106
P ₁	14.95893097	0.0750	119.9466	MK ₃	44.02517319	0.0170	45.0811
S ₁	15.00000000	0.0006	238.0309	SK ₃	45.04106903	0.0054	129.9158
K ₁	15.04106903	0.2676	99.4280	MN ₄	57.42383194	0.0234	278.2442
ψ ₁	15.08213520	0.0019	208.5252	M ₄	57.96820831	0.0668	291.9509
ϕ ₁	15.12320614	0.0020	225.0659	SN ₄	58.43972778	0.0055	339.1328
θ ₁	15.51258945	0.0039	161.1349	MS ₄	58.98410416	0.0434	13.5214
J ₁	15.58544350	0.0168	100.9689	MK ₄	59.06624222	0.0155	152.1870
SO ₁	16.05696487	0.0052	215.8253	S ₄	60.00000000	0.0044	95.7098
OO ₁	16.13910103	0.0077	340.4020	SK ₄	60.08213806	0.0030	216.8608
OQ ₂	27.34169579	0.0071	288.5292	2MN ₆	86.40793610	0.0022	143.2208
MNS ₂	27.42383385	0.0103	21.3644	M ₆	86.95231628	0.0040	133.8762
2N ₂	27.85935402	0.0099	258.5639	MSN ₆	87.42383575	0.0012	297.7513
μ ₂	27.96820450	0.0491	44.9182	2MS ₆	87.96820831	0.0068	249.4681
N ₂	28.43972969	0.1678	307.0861	2MK ₆	88.05034637	0.0034	27.5037
v ₂	28.51258278	0.0495	250.4449	2SM ₆	88.98410797	0.0032	339.7249
OP ₂	28.90196609	0.0010	308.9918	MSK ₆	89.06623840	0.0020	135.7029
平均潮位 = -0.4060m				絕對誤差平均值 = 0.07255 m			
資料原點時間：2008/07/01 23:00:00							

表 4.2 (續 1)澎湖馬公潮位站潮位資料調和分析成果表(2009)

澎湖馬公潮位站							
分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)
S _a	0.04106860	0.1083	60.4354	M ₂	28.98410416	0.9145	231.0793
S _{aa}	0.08213730	0.0401	187.8192	MKS ₂	29.06624222	0.0039	27.5745
M _m	0.54437470	0.0227	152.0278	λ ₂	29.45562553	0.0264	299.0065
M _{sf}	1.01589584	0.0035	70.4182	L ₂	29.52847862	0.0581	330.5835
M _f	1.09803307	0.0066	61.2196	T ₂	29.95893288	0.0207	192.2518
2Q ₁	12.85428619	0.0059	324.1409	S ₂	30.00000000	0.2395	44.2721
σ ₁	12.92714024	0.0062	12.4435	R ₂	30.04106712	0.0084	109.9436
Q ₁	13.39866066	0.0491	239.0727	K ₂	30.08213806	0.0838	188.5126
ρ ₁	13.47151470	0.0116	250.2159	MSN ₂	30.54437447	0.0107	155.8094
O ₁	13.94303513	0.2363	149.4385	KJ ₂	30.62651253	0.0025	36.9936
MP ₁	14.02517319	0.0086	216.0579	2SM ₂	31.01589584	0.0110	82.9415
M ₁	14.49202538	0.0114	348.2857	MO ₂	42.92713928	0.0176	9.9241
χ ₁	14.56954765	0.0035	61.4322	M ₃	43.47615814	0.0021	230.3488
π ₁	14.91786480	0.0085	89.9752	SO ₃	43.94303513	0.0099	162.2130
P ₁	14.95893097	0.0778	298.3110	MK ₃	44.02517319	0.0159	133.3797
S ₁	15.00000000	0.0054	335.4734	SK ₃	45.04106903	0.0051	318.6801
K ₁	15.04106903	0.2619	277.0912	MN ₄	57.42383194	0.0268	196.1644
ψ ₁	15.08213520	0.0014	302.9115	M ₄	57.96820831	0.0676	112.6392
ϕ ₁	15.12320614	0.0042	38.5157	SN ₄	58.43972778	0.0066	10.0657
θ ₁	15.51258945	0.0037	200.6852	MS ₄	58.98410416	0.0433	281.1962
J ₁	15.58544350	0.0156	189.8972	MK ₄	59.06624222	0.0166	68.9659
SO ₁	16.05696487	0.0050	132.4859	S ₄	60.00000000	0.0063	82.5051
OO ₁	16.13910103	0.0089	234.4042	SK ₄	60.08213806	0.0047	223.2378
OQ ₂	27.34169579	0.0056	164.5124	2MN ₆	86.40793610	0.0015	301.7221
MNS ₂	27.42383385	0.0107	287.0602	M ₆	86.95231628	0.0034	212.0547
2N ₂	27.85935402	0.0082	71.2476	MSN ₆	87.42383575	0.0014	152.7439
μ ₂	27.96820450	0.0546	229.1031	2MS ₆	87.96820831	0.0057	55.4895
N ₂	28.43972969	0.1775	314.2714	2MK ₆	88.05034637	0.0027	204.3454
v ₂	28.51258278	0.0451	346.0047	2SM ₆	88.98410797	0.0021	271.7153
OP ₂	28.90196609	0.0120	302.1981	MSK ₆	89.06623840	0.0021	42.0430
平均潮位 = -0.4153m				絕對誤差平均值 = 0.07203 m			
資料原點時間：2009/07/02 11:00:00							

表 4.2 (續 2)澎湖馬公潮位站潮位資料調和分析成果表(2010)

澎湖馬公潮位站							
分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)
S _a	0.04106860	0.1017	82.5719	M ₂	28.98410416	0.9092	130.6126
S _{aa}	0.08213730	0.0563	209.0823	MKS ₂	29.06624222	0.0067	315.2648
M _m	0.54437470	0.0224	27.4730	λ ₂	29.45562553	0.0194	36.2628
M _{sf}	1.01589584	0.0200	109.9898	L ₂	29.52847862	0.0538	142.1013
M _f	1.09803307	0.0051	277.8505	T ₂	29.95893288	0.0239	197.3950
2Q ₁	12.85428619	0.0038	46.1303	S ₂	30.00000000	0.2383	45.4872
σ ₁	12.92714024	0.0063	167.3987	R ₂	30.04106712	0.0112	193.9004
Q ₁	13.39866066	0.0453	229.8099	K ₂	30.08213806	0.0734	185.7037
ρ ₁	13.47151470	0.0098	317.2788	MSN ₂	30.54437447	0.0132	65.6638
O ₁	13.94303513	0.2271	50.6061	KJ ₂	30.62651253	0.0008	299.9308
MP ₁	14.02517319	0.0074	99.6550	2SM ₂	31.01589584	0.0128	181.0089
M ₁	14.49202538	0.0214	74.6093	MO ₂	42.92713928	0.0174	171.8750
χ ₁	14.56954765	0.0048	201.2811	M ₃	43.47615814	0.0025	212.3003
π ₁	14.91786480	0.0051	76.9293	SO ₃	43.94303513	0.0110	67.1258
P ₁	14.95893097	0.0771	300.6446	MK ₃	44.02517319	0.0172	32.4868
S ₁	15.00000000	0.0051	324.0444	SK ₃	45.04106903	0.0054	319.6379
K ₁	15.04106903	0.2568	275.9779	MN ₄	57.42383194	0.0269	85.0698
ψ ₁	15.08213520	0.0019	177.7506	M ₄	57.96820831	0.0691	272.5587
ϕ ₁	15.12320614	0.0046	35.4861	SN ₄	58.43972778	0.0061	7.9305
θ ₁	15.51258945	0.0010	318.3130	MS ₄	58.98410416	0.0443	185.2177
J ₁	15.58544350	0.0138	96.1940	MK ₄	59.06624222	0.0147	327.1234
SO ₁	16.05696487	0.0071	218.5662	S ₄	60.00000000	0.0059	84.6635
OO ₁	16.13910103	0.0102	337.1554	SK ₄	60.08213806	0.0040	236.3753
OQ ₂	27.34169579	0.0047	359.2575	2MN ₆	86.40793610	0.0012	131.7555
MNS ₂	27.42383385	0.0170	177.0907	M ₆	86.95231628	0.0034	303.9055
2N ₂	27.85935402	0.0021	247.4458	MSN ₆	87.42383575	0.0010	22.4486
μ ₂	27.96820450	0.0480	15.5421	2MS ₆	87.96820831	0.0049	223.7063
N ₂	28.43972969	0.1780	303.4065	2MK ₆	88.05034637	0.0026	13.6552
v ₂	28.51258278	0.0453	56.6245	2SM ₆	88.98410797	0.0018	177.4101
OP ₂	28.90196609	0.0248	178.0153	MSK ₆	89.06623840	0.0014	296.4702
平均潮位 = -0.4337m				絕對誤差平均值 = 0.06662 m			
資料原點時間：2010/07/02 11:00:00							

表 4.2 (續 3)澎湖馬公潮位站潮位資料調和分析成果表(2011)

澎湖馬公潮位站							
分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)
S _a	0.04106860	0.1166	78.7111	M ₂	28.98410416	0.9337	28.7059
S _{aa}	0.08213730	0.0245	184.1471	MKS ₂	29.06624222	0.0024	289.2147
M _m	0.54437470	0.0149	324.9582	λ ₂	29.45562553	0.0225	132.9350
M _{sf}	1.01589584	0.0124	191.1662	L ₂	29.52847862	0.0576	316.0718
M _f	1.09803307	0.0093	203.5130	T ₂	29.95893288	0.0226	196.7116
2Q ₁	12.85428619	0.0055	120.3081	S ₂	30.00000000	0.2400	45.0571
σ ₁	12.92714024	0.0065	318.7884	R ₂	30.04106712	0.0137	180.5649
Q ₁	13.39866066	0.0410	218.1546	K ₂	30.08213806	0.0709	182.9230
ρ ₁	13.47151470	0.0052	19.6378	MSN ₂	30.54437447	0.0097	341.0221
O ₁	13.94303513	0.2103	311.3156	KJ ₂	30.62651253	0.0027	227.5463
MP ₁	14.02517319	0.0073	9.9512	2SM ₂	31.01589584	0.0100	251.8430
M ₁	14.49202538	0.0230	188.5766	MO ₂	42.92713928	0.0170	326.7387
χ ₁	14.56954765	0.0035	5.2753	M ₃	43.47615814	0.0036	181.0687
π ₁	14.91786480	0.0040	56.6013	SO ₃	43.94303513	0.0096	322.3812
P ₁	14.95893097	0.0787	299.3888	MK ₃	44.02517319	0.0159	293.5853
S ₁	15.00000000	0.0071	307.4919	SK ₃	45.04106903	0.0053	313.6324
K ₁	15.04106903	0.2460	276.0610	MN ₄	57.42383194	0.0279	329.6144
ψ ₁	15.08213520	0.0010	238.7636	M ₄	57.96820831	0.0707	65.7239
ϕ ₁	15.12320614	0.0030	92.8279	SN ₄	58.43972778	0.0043	319.9113
θ ₁	15.51258945	0.0043	151.8700	MS ₄	58.98410416	0.0447	80.9006
J ₁	15.58544350	0.0113	5.6305	MK ₄	59.06624222	0.0143	220.5269
SO ₁	16.05696487	0.0056	331.8991	S ₄	60.00000000	0.0049	98.9625
OO ₁	16.13910103	0.0067	68.5274	SK ₄	60.08213806	0.0035	225.3218
OQ ₂	27.34169579	0.0041	338.9802	2MN ₆	86.40793610	0.0013	244.3469
MNS ₂	27.42383385	0.0141	67.0821	M ₆	86.95231628	0.0041	337.6482
2N ₂	27.85935402	0.0038	157.1128	MSN ₆	87.42383575	0.0019	258.6397
μ ₂	27.96820450	0.0428	180.1935	2MS ₆	87.96820831	0.0057	16.1943
N ₂	28.43972969	0.1779	290.6586	2MK ₆	88.05034637	0.0022	189.3923
v ₂	28.51258278	0.0479	103.3020	2SM ₆	88.98410797	0.0027	61.9005
OP ₂	28.90196609	0.0076	69.9446	MSK ₆	89.06623840	0.0023	196.0558
平均潮位 = -0.4219m				絕對誤差平均值 = 0.06651 m			
資料原點時間：2011/07/02 11:00:00							

表 4.2 (續 4)澎湖馬公潮位站潮位資料調和分析成果表(2012)

澎湖馬公潮位站							
分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)
S _a	0.04106860	0.0854	60.1514	M ₂	28.98410416	0.9449	300.3192
S _{aa}	0.08213730	0.0476	168.3405	MKS ₂	29.06624222	0.0106	323.8731
M _m	0.54437470	0.0042	344.5848	λ ₂	29.45562553	0.0277	212.7530
M _{sf}	1.01589584	0.0171	352.5713	L ₂	29.52847862	0.0601	129.4102
M _f	1.09803307	0.0070	243.9773	T ₂	29.95893288	0.0232	191.0071
2Q ₁	12.85428619	0.0069	37.2503	S ₂	30.00000000	0.2408	43.6989
σ ₁	12.92714024	0.0088	344.5562	R ₂	30.04106712	0.0073	149.9474
Q ₁	13.39866066	0.0386	43.0553	K ₂	30.08213806	0.0610	179.4656
ρ ₁	13.47151470	0.0088	323.5189	MSN ₂	30.54437447	0.0144	246.7886
O ₁	13.94303513	0.2000	43.3676	KJ ₂	30.62651253	0.0023	103.7495
MP ₁	14.02517319	0.0068	88.1442	2SM ₂	31.01589584	0.0128	358.4704
M ₁	14.49202538	0.0155	114.0107	MO ₂	42.92713928	0.0168	330.1129
χ ₁	14.56954765	0.0043	333.6061	M ₃	43.47615814	0.0050	342.4514
π ₁	14.91786480	0.0065	289.9223	SO ₃	43.94303513	0.0089	61.9203
P ₁	14.95893097	0.0749	119.3261	MK ₃	44.02517319	0.0155	24.2977
S ₁	15.00000000	0.0054	127.5889	SK ₃	45.04106903	0.0036	118.9714
K ₁	15.04106903	0.2367	96.4169	MN ₄	57.42383194	0.0286	251.8080
ψ ₁	15.08213520	0.0009	57.1618	M ₄	57.96820831	0.0734	251.2241
ϕ ₁	15.12320614	0.0030	201.6314	SN ₄	58.43972778	0.0034	347.6365
θ ₁	15.51258945	0.0024	187.1892	MS ₄	58.98410416	0.0448	351.5317
J ₁	15.58544350	0.0119	90.2626	MK ₄	59.06624222	0.0112	127.0435
SO ₁	16.05696487	0.0062	233.9372	S ₄	60.00000000	0.0041	80.0829
OO ₁	16.13910103	0.0027	351.9535	SK ₄	60.08213806	0.0018	201.8086
OQ ₂	27.34169579	0.0021	267.0956	2MN ₆	86.40793610	0.0017	38.0112
MNS ₂	27.42383385	0.0084	4.4408	M ₆	86.95231628	0.0031	61.7816
2N ₂	27.85935402	0.0105	287.2281	MSN ₆	87.42383575	0.0025	189.8448
μ ₂	27.96820450	0.0419	8.5650	2MS ₆	87.96820831	0.0057	185.0603
N ₂	28.43972969	0.1797	299.6199	2MK ₆	88.05034637	0.0013	320.2053
v ₂	28.51258278	0.0440	210.7508	2SM ₆	88.98410797	0.0023	313.3004
OP ₂	28.90196609	0.0146	197.4592	MSK ₆	89.06623840	0.0015	98.4729
平均潮位 = -0.3793m				絕對誤差平均值 = 0.07379 m			
資料原點時間：2012/07/01 23:00:00							

表 4.2 (續 5)澎湖馬公潮位站潮位資料調和分析成果表(2013)

澎湖馬公潮位站							
分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)
S _a	0.04106860	0.0802	58.6884	M ₂	28.98410416	0.9438	212.7981
S _{aa}	0.08213730	0.0744	184.6515	MKS ₂	29.06624222	0.0150	340.4641
M _m	0.54437470	0.0083	108.6558	λ ₂	29.45562553	0.0324	324.4126
M _{sf}	1.01589584	0.0105	42.9284	L ₂	29.52847862	0.0542	300.9080
M _f	1.09803307	0.0091	281.5428	T ₂	29.95893288	0.0261	192.6497
2Q ₁	12.85428619	0.0043	337.7678	S ₂	30.00000000	0.2354	44.0249
σ ₁	12.92714024	0.0064	330.7410	R ₂	30.04106712	0.0132	153.5244
Q ₁	13.39866066	0.0369	226.5091	K ₂	30.08213806	0.0559	181.7947
ρ ₁	13.47151470	0.0121	219.9567	MSN ₂	30.54437447	0.0092	137.9464
O ₁	13.94303513	0.1913	132.0088	KJ ₂	30.62651253	0.0009	308.1166
MP ₁	14.02517319	0.0083	180.0746	2SM ₂	31.01589584	0.0118	76.2273
M ₁	14.49202538	0.0115	22.3974	MO ₂	42.92713928	0.0161	329.8901
χ ₁	14.56954765	0.0029	356.3595	M ₃	43.47615814	0.0058	175.9185
π ₁	14.91786480	0.0043	70.2064	SO ₃	43.94303513	0.0090	147.2148
P ₁	14.95893097	0.0794	300.9938	MK ₃	44.02517319	0.0157	120.2340
S ₁	15.00000000	0.0067	302.7920	SK ₃	45.04106903	0.0055	297.3981
K ₁	15.04106903	0.2274	278.1185	MN ₄	57.42383194	0.0259	170.8486
ψ ₁	15.08213520	0.0043	113.7610	M ₄	57.96820831	0.0747	75.8028
ϕ ₁	15.12320614	0.0016	23.1196	SN ₄	58.43972778	0.0031	2.3215
θ ₁	15.51258945	0.0027	229.0373	MS ₄	58.98410416	0.0446	263.7274
J ₁	15.58544350	0.0112	177.9104	MK ₄	59.06624222	0.0105	42.9344
SO ₁	16.05696487	0.0038	146.2779	S ₄	60.00000000	0.0044	90.9361
OO ₁	16.13910103	0.0032	269.6233	SK ₄	60.08213806	0.0031	219.7328
OQ ₂	27.34169579	0.0079	184.9794	2MN ₆	86.40793610	0.0015	284.2024
MNS ₂	27.42383385	0.0131	265.3110	M ₆	86.95231628	0.0031	175.3727
2N ₂	27.85935402	0.0045	6.3785	MSN ₆	87.42383575	0.0013	126.4136
μ ₂	27.96820450	0.0482	186.9226	2MS ₆	87.96820831	0.0048	17.4595
N ₂	28.43972969	0.1722	306.4224	2MK ₆	88.05034637	0.0021	164.3686
v ₂	28.51258278	0.0572	294.3517	2SM ₆	88.98410797	0.0025	235.7820
OP ₂	28.90196609	0.0099	348.0280	MSK ₆	89.06623840	0.0019	352.3356
平均潮位 = -0.4167m				絕對誤差平均值 = 0.07159 m			
資料原點時間：2013/07/02 11:00:00							

表 4.2 (續 6)澎湖馬公潮位站潮位資料調和分析成果表(2014)

澎湖馬公潮位站							
分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)
S _a	0.04106860	0.0774	68.9402	M ₂	28.98410416	0.9580	112.8701
S _{aa}	0.08213730	0.0355	203.5970	MKS ₂	29.06624222	0.0016	238.3725
M _m	0.54437470	0.0135	277.3321	λ ₂	29.45562553	0.0195	65.5932
M _{sf}	1.01589584	0.0189	105.3556	L ₂	29.52847862	0.0490	113.6630
M _f	1.09803307	0.0108	148.8542	T ₂	29.95893288	0.0243	198.3808
2Q ₁	12.85428619	0.0038	56.3170	S ₂	30.00000000	0.2379	46.3882
σ ₁	12.92714024	0.0067	125.5048	R ₂	30.04106712	0.0117	178.4786
Q ₁	13.39866066	0.0363	213.1014	K ₂	30.08213806	0.0552	196.4784
ρ ₁	13.47151470	0.0083	273.5965	MSN ₂	30.54437447	0.0115	30.9756
O ₁	13.94303513	0.1807	26.9151	KJ ₂	30.62651253	0.0023	23.9358
MP ₁	14.02517319	0.0062	97.1970	2SM ₂	31.01589584	0.0094	176.1995
M ₁	14.49202538	0.0134	111.1652	MO ₂	42.92713928	0.0146	123.3403
χ ₁	14.56954765	0.0006	253.0446	M ₃	43.47615814	0.0079	197.8891
π ₁	14.91786480	0.0051	89.6523	SO ₃	43.94303513	0.0103	39.7728
P ₁	14.95893097	0.0781	301.4737	MK ₃	44.02517319	0.0161	19.7412
S ₁	15.00000000	0.0044	293.1559	SK ₃	45.04106903	0.0056	313.4896
K ₁	15.04106903	0.2240	280.3264	MN ₄	57.42383194	0.0247	60.3729
ψ ₁	15.08213520	0.0041	111.1646	M ₄	57.96820831	0.0766	236.0723
ϕ ₁	15.12320614	0.0020	348.3117	SN ₄	58.43972778	0.0041	341.2977
θ ₁	15.51258945	0.0014	80.7041	MS ₄	58.98410416	0.0474	166.2153
J ₁	15.58544350	0.0124	109.8926	MK ₄	59.06624222	0.0121	316.7129
SO ₁	16.05696487	0.0046	249.6003	S ₄	60.00000000	0.0071	96.2281
OO ₁	16.13910103	0.0043	18.9871	SK ₄	60.08213806	0.0027	250.8609
OQ ₂	27.34169579	0.0050	2.9197	2MN ₆	86.40793610	0.0007	96.6345
MNS ₂	27.42383385	0.0187	156.5237	M ₆	86.95231628	0.0016	226.7277
2N ₂	27.85935402	0.0098	201.2906	MSN ₆	87.42383575	0.0020	26.8957
μ ₂	27.96820450	0.0568	344.0692	2MS ₆	87.96820831	0.0048	188.3631
N ₂	28.43972969	0.1661	295.6485	2MK ₆	88.05034637	0.0015	330.1301
v ₂	28.51258278	0.0520	359.3612	2SM ₆	88.98410797	0.0010	148.9542
OP ₂	28.90196609	0.0112	216.8048	MSK ₆	89.06623840	0.0004	336.4168
平均潮位 = -0.4156m				絕對誤差平均值 = 0.06495 m			
資料原點時間：2014/07/02 11:00:00							

表 4.3 2008 ~ 2014 年侵臺颱風事件一覽表

年份	颱風名稱	路徑分類	警報時間	颱風強度	中心最低氣壓(hpa)	7 級暴風半徑(km)	近台近中心最大風速(m/s)
2008	卡玫基(KALMAEGI)	2	2008/07/16 14 2008/07/18 23	中度	970	120	23
	鳳凰(FUNG-WONG)	3	2008/07/26 11 2008/07/29 11	中度	948	220	43
	如麗(NURI)	...	2008/08/19 14 2008/08/21 23	中度	955	220	40
	辛樂克(SINLAKU)	2	2008/09/11 08 2008/09/16 23	強烈	925	250	51
	哈格比(HAGUPIT)	...	2008/09/21 14 2008/09/23 08	中度	940	280	45
	薔蜜(JANGMI)	2	2008/09/26 23 2008/09/29 23	強烈	925	280	53
2009	蓮花(LINFA)	9	2009/06/19 20 2009/06/22 08	輕度	980	150	28
	莫拉菲(MOLAVE)	...	2009/07/16 22 2009/07/18 08	輕度	978	100	28
	莫拉克(MORAKOT)	3	2009/08/05 20 2009/08/10 05	中度	950	250	40
	芭瑪(PARMA)	特殊	2009/10/03 05 2009/10/06 17	中度	920	250	40
2010	萊羅克(LIONROCK)	9	2010/08/31 20 2010/09/02 14	輕度	990	100	23
	南修(NAMTHEUN)	...	2010/08/30 22 2010/08/31 20	輕度	995	80	18
	莫蘭蒂(MERANTI)	...	2010/09/09 10 2010/09/10 11	輕度	990	100	23
	凡那比(FANAPI)	4	2010/09/17 23 2010/09/20 14	中度	940	200	45
	梅姬(MEGI)	9	2010/10/21 02 2010/10/23 23	中度	935	250	48
2011	艾利(AERE)	...	2011/05/09 05 2011/05/10 17	輕度	990	150	23
	桑達(SONGDA)	...	2011/05/27 02 2011/05/28 14	強烈	920	200	55

表 4.3 (續 1)2008 ~ 2014 年侵臺颱風事件一覽表

年份	颱風名稱	路徑分類	警報時間	颱風強度	中心最低氣壓(hpa)	7 級暴風半徑(km)	近台近中心最大風速(m/s)
2011	米雷(MEARI)	...	2011/06/23 23 2011/06/25 14	輕度	982	200	28
	梅花(MUIFA)	...	2011/08/04 17 2011/08/06 11	中度	928	280	43
	南瑪都(NANMADOL)	4	2011/08/27 05 2011/08/31 08	強烈	920	180	53
2012	泰利(TALIM)	9	2012/06/19 05 2012/06/21 05	輕度	985	150	25
	杜蘇芮(DOKSURI)	...	2012/06/28 05 2012/06/29 08	輕度	995	120	23
	蘇拉(SAOLA)	2	2012/07/30 20 2012/08/03 14	中度	960	220	38
	海葵(HAIKUI)	...	2012/08/06 11 2012/08/07 17	中度	960	180	35
	啟德(KAI-TAK)	...	2012/08/14 14 2012/08/15 17	輕度	995	150	20
	天秤(TEMBIN)	特殊	2012/08/21 14 2012/08/25 14	中度	945	180	35
			2012/08/26 11 2012/08/28 23	中度	945	180	45
	杰拉華(JELAWAT)	...	2012/09/27 02 2012/09/28 20	強烈	910	250	55
2013	蘇力(SOULIK)	2	2013/07/11 08 2013/07/13 23	強烈	92	280	51
	西馬隆(CIMARON)	...	2013/07/17 10 2013/07/18 11	輕度	998	100	18
	潭美(TRAMI)	1	2013/08/20 11 2013/08/22 08	輕度	970	180	30
	康芮(KONG-REY)	6	2013/08/27 11 2013/08/29 20	輕度	985	120	25
	天兔(USAGI)	5	2013/09/19 23 2013/09/22 14	強烈	910	280	55
	菲特(FITOW)	1	2013/10/04 23 2013/10/07 08	中度	960	250	38

表 4.3 (續 2)2008 ~ 2014 年侵臺颱風事件一覽表

年份	颱風名稱	路徑分類	警報時間	颱風強度	中心最低氣壓(hpa)	7 級暴風半徑(km)	近台近中心最大風速(m/s)
2014	哈吉貝(HAGIBIS)	...	2014/06/14 23 2014/06/15 17	輕度	992	100	20
	麥德姆(MATMO)	3	2014/07/21 17 2014/07/23 23	中度	960	200	38
	鳳凰(FUNG-WONG)	特殊	2014/09/23 23 2014/09/25 14	輕度	985	150	25

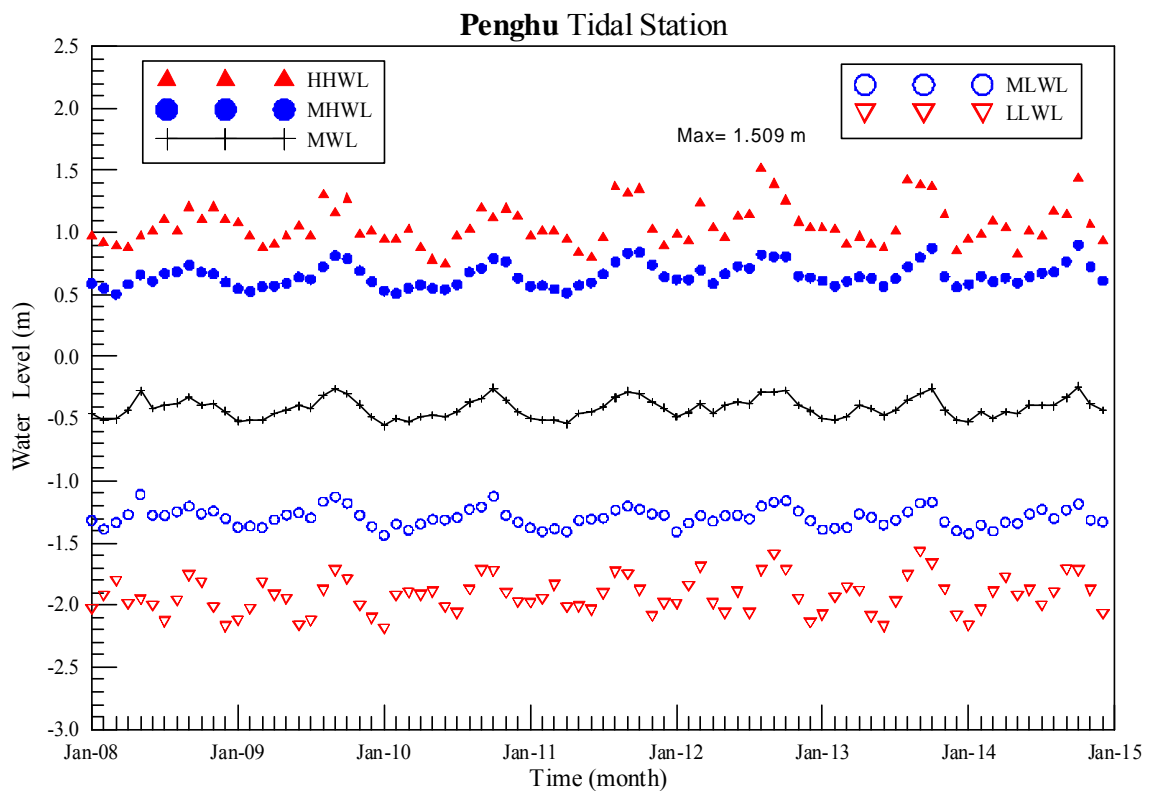


圖 4.6 澎湖馬公潮位站(2008 ~ 2014 年)代表性潮位逐月統計值之變化

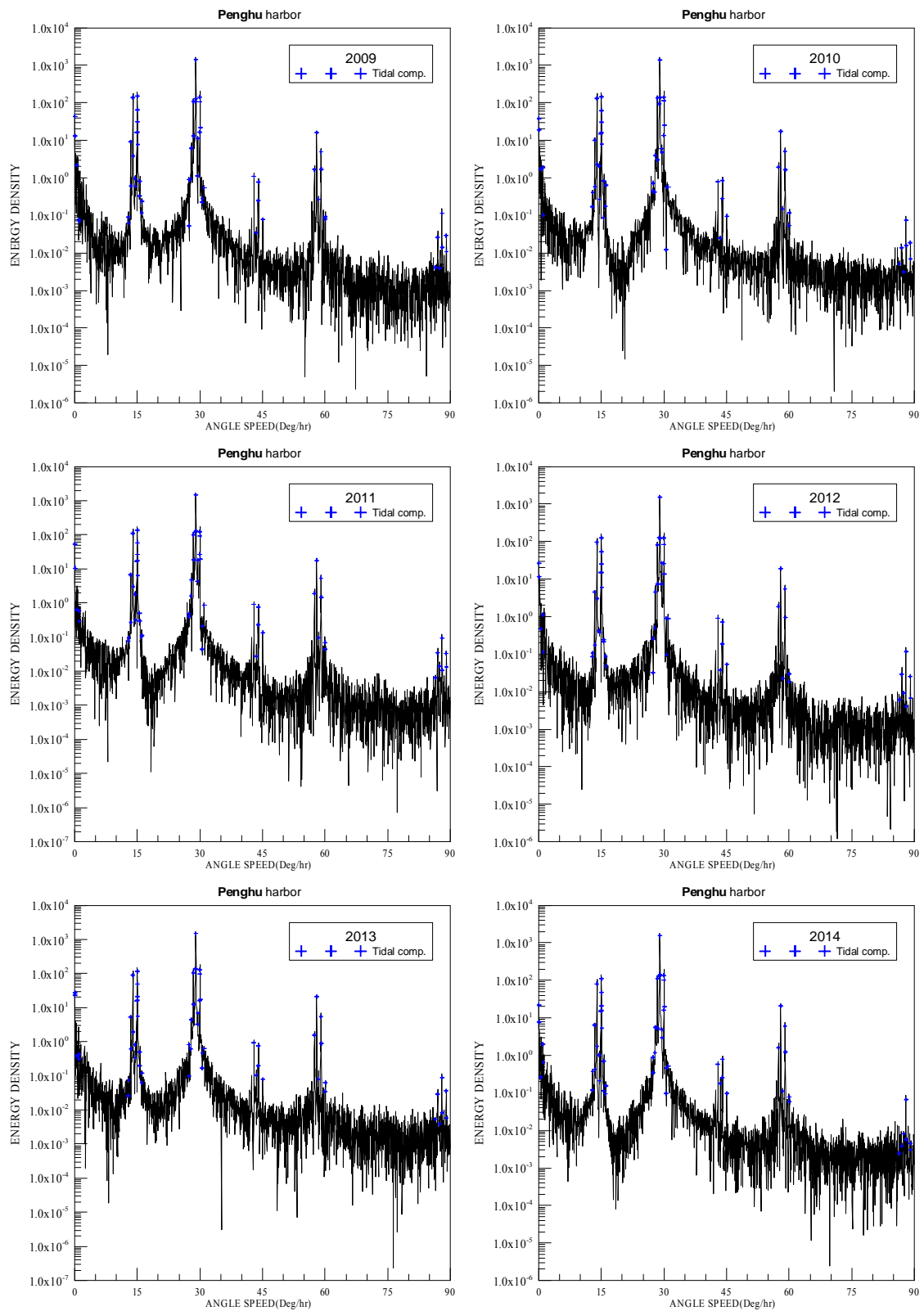


圖 4.7 2009 ~ 2014 年澎湖港馬公測站潮位能譜圖

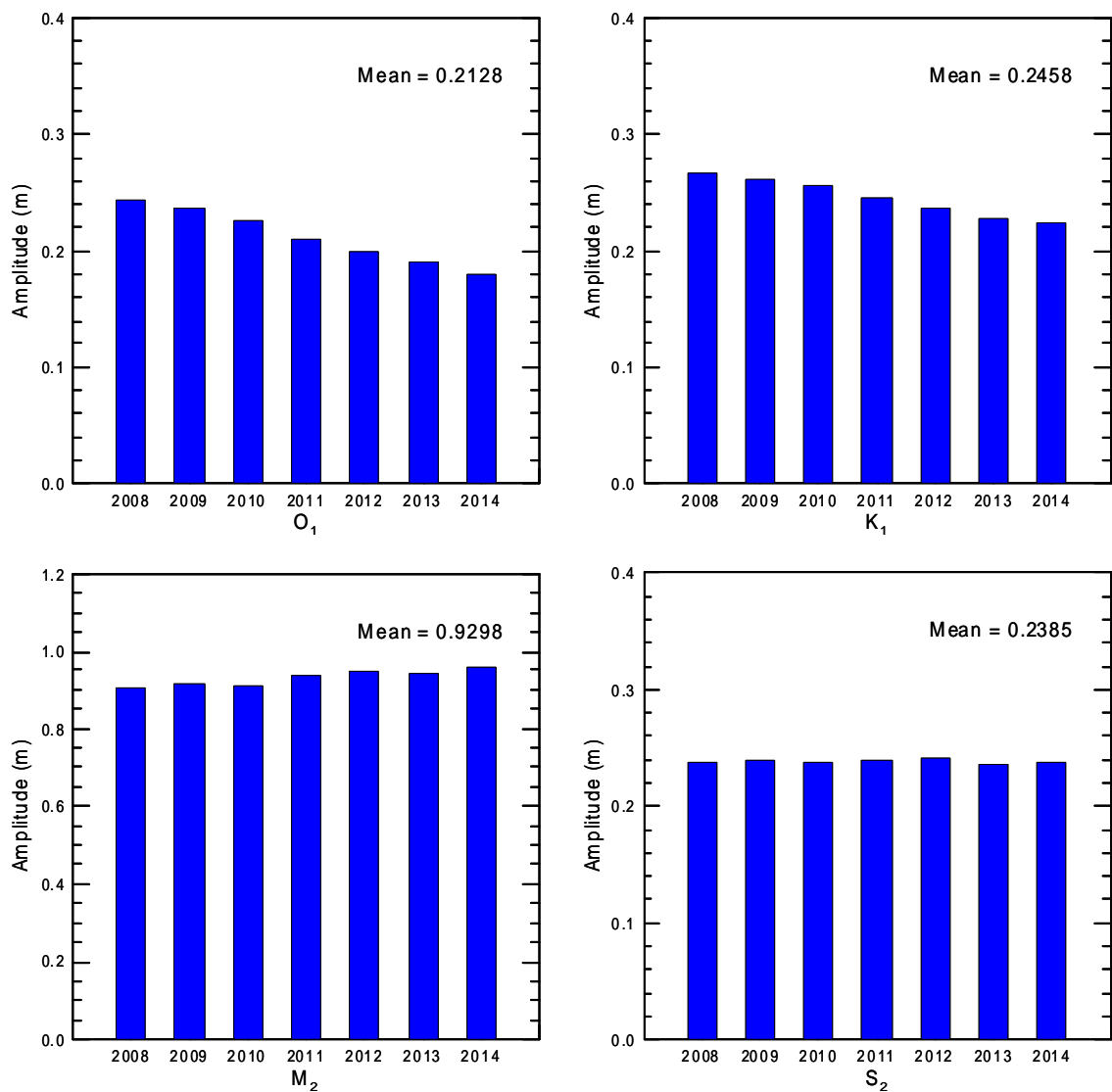


圖 4.8 澎湖港馬公測站(2008~2014 年)主要分潮(O₁、K₁、M₂、S₂)
振幅大小之年變化趨勢圖

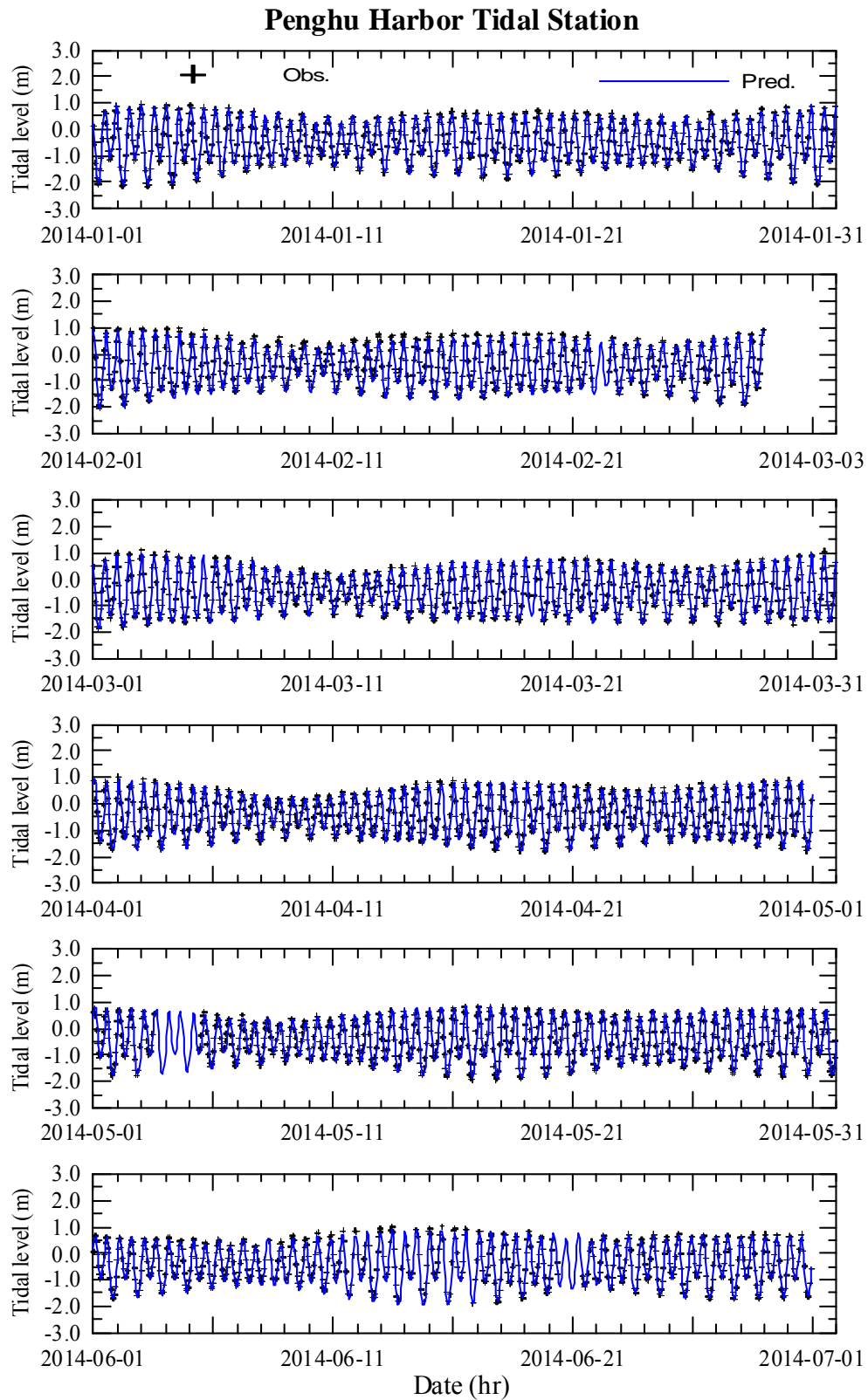


圖 4.9 澎湖港馬公潮位站 2014 年觀測值與天文潮預測值圖

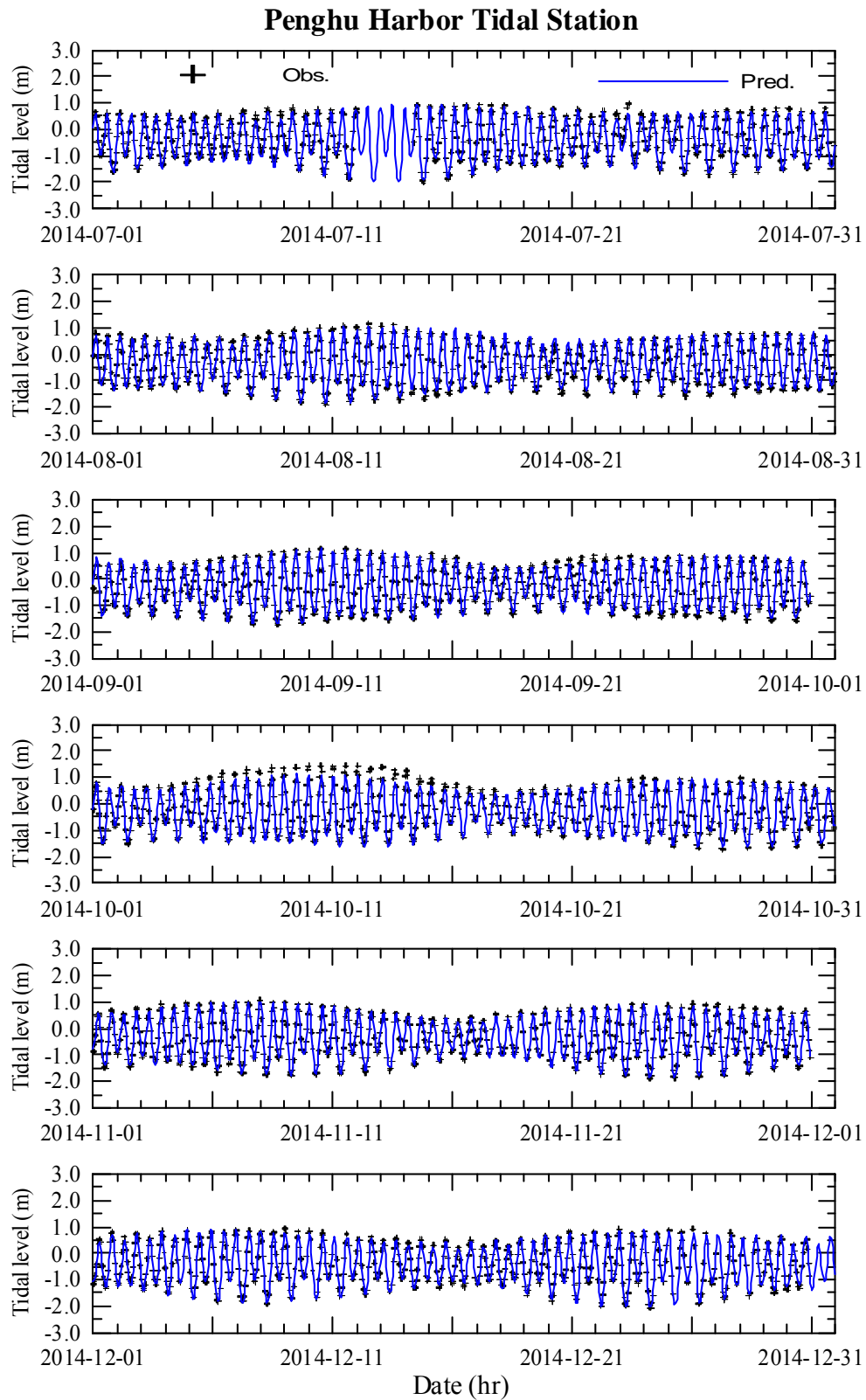


圖 4.9 (續)澎湖港馬公潮位站 2014 年觀測值與天文潮預測值圖

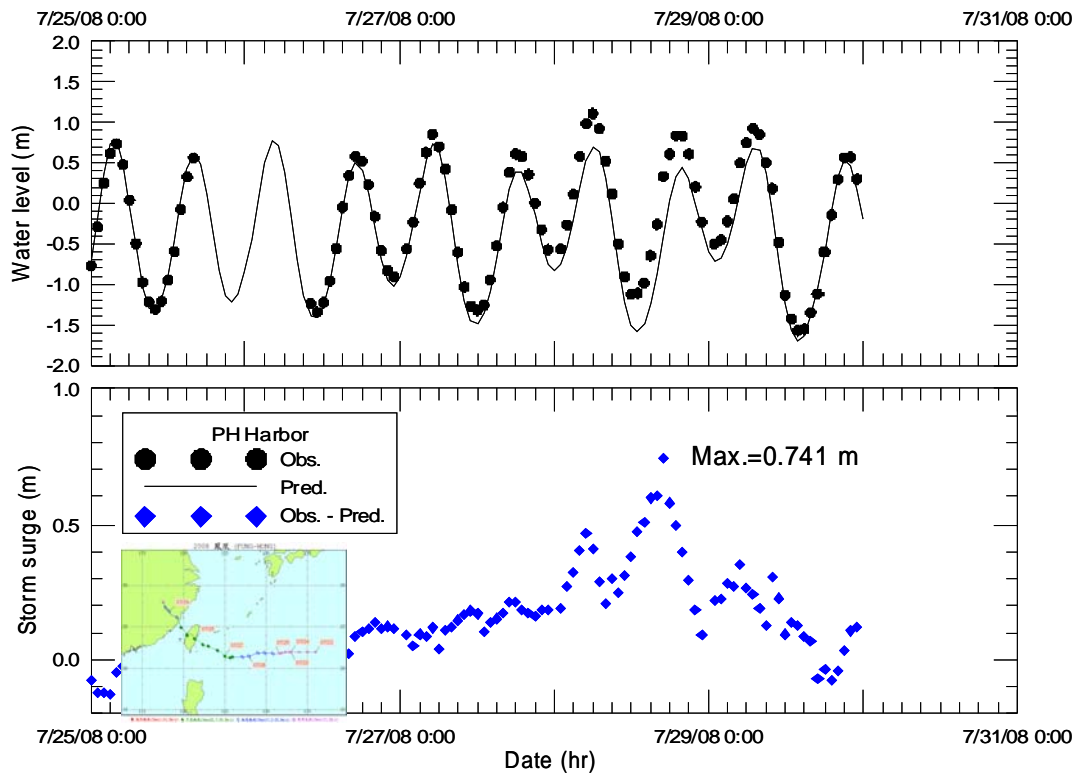


圖 4.10 澎湖馬公潮位站颱風暴潮歷線圖(2008 年中度颱風鳳凰)

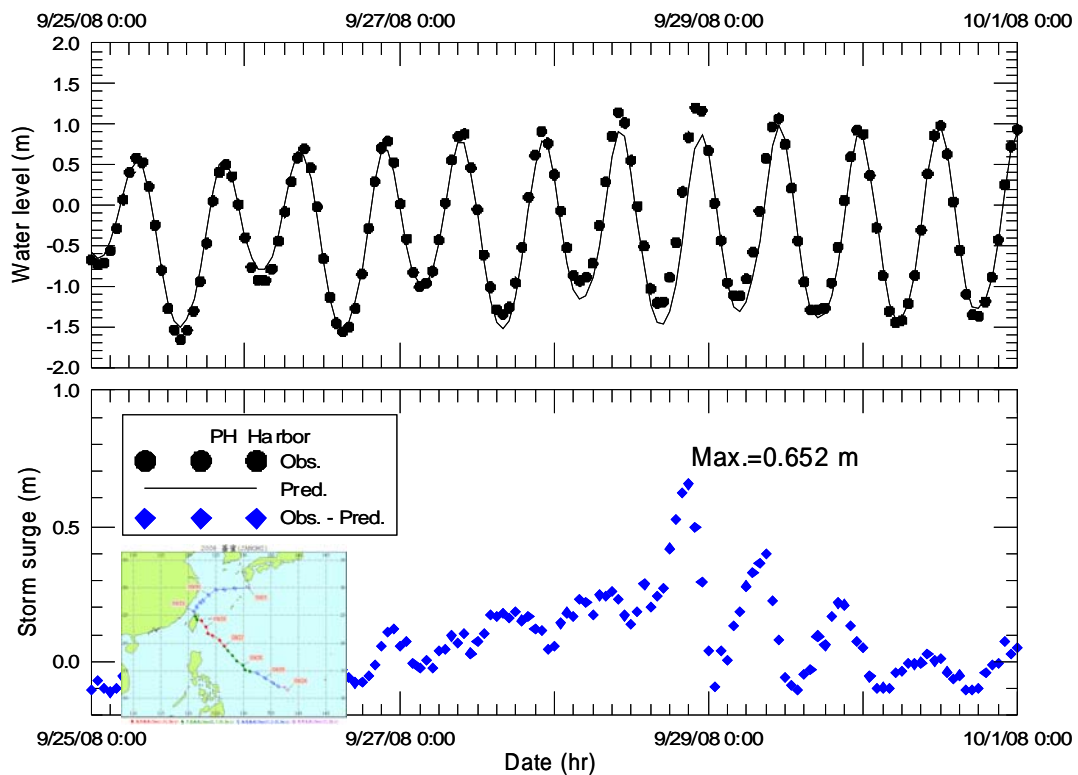


圖 4.10 (續 1)澎湖馬公潮位站颱風暴潮歷線圖(2008 年中度颱風薔蜜)

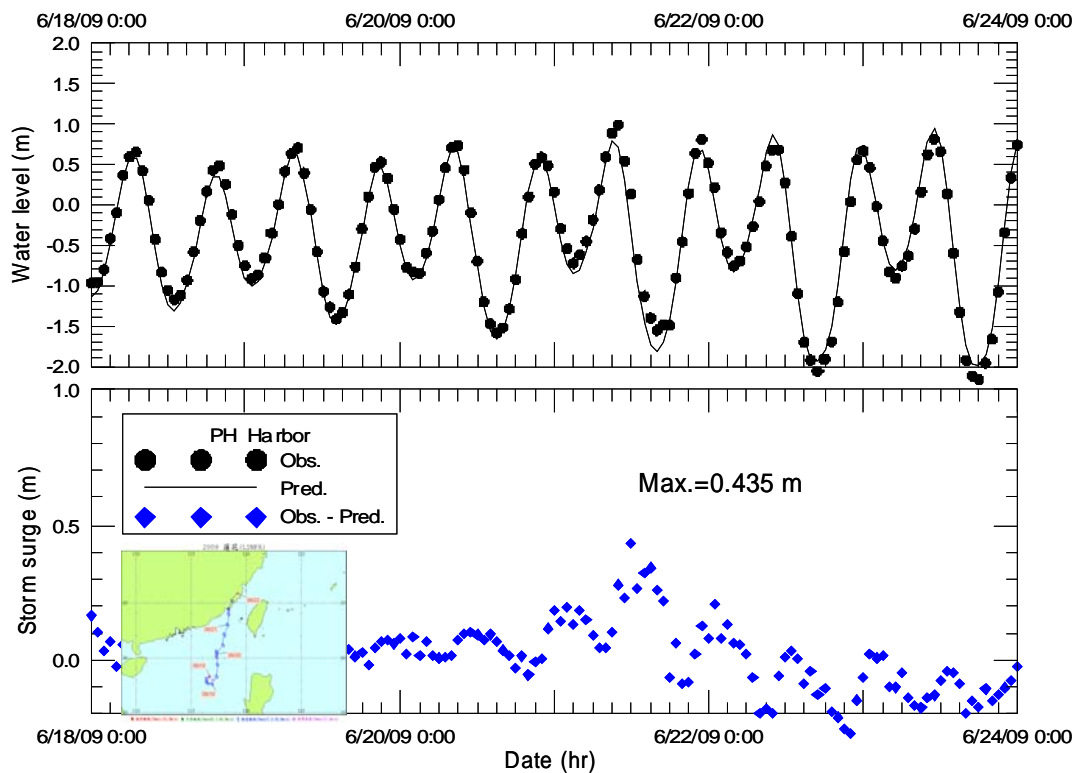


圖 4.10 (續 2)澎湖馬公潮位站颱風暴潮歷線圖(2009 年輕度颱風蓮花)

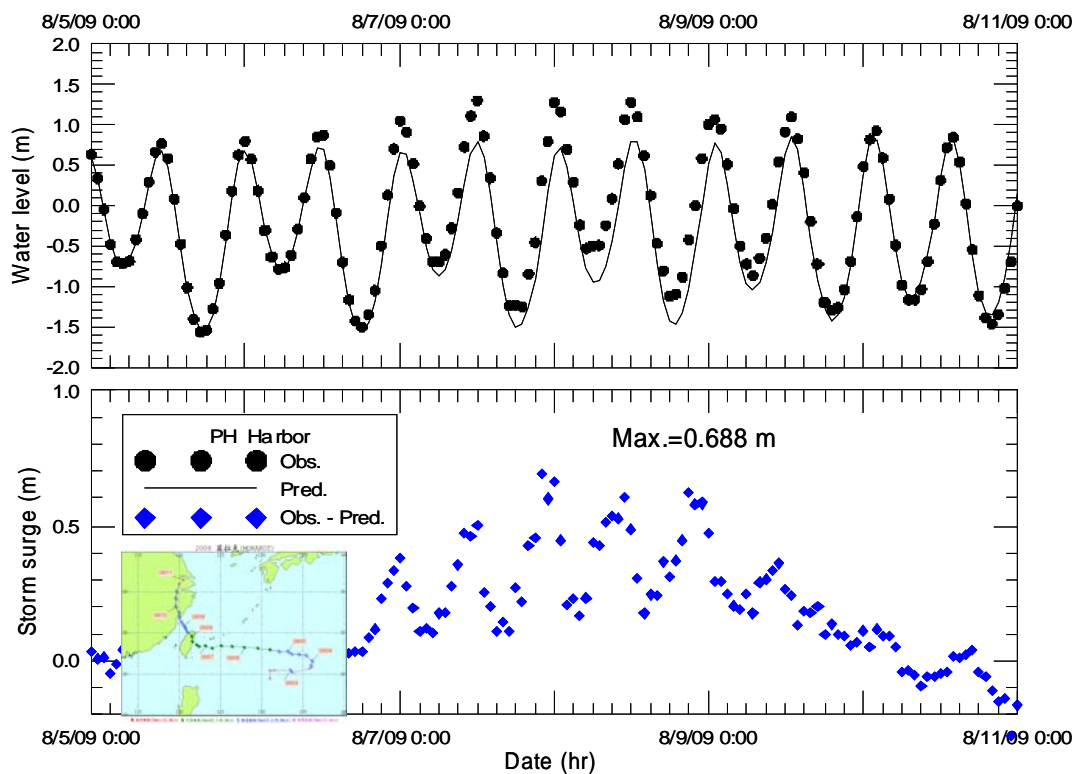


圖 4.10 (續 3)澎湖馬公潮位站颱風暴潮歷線圖(2009 年中度颱風莫拉克)

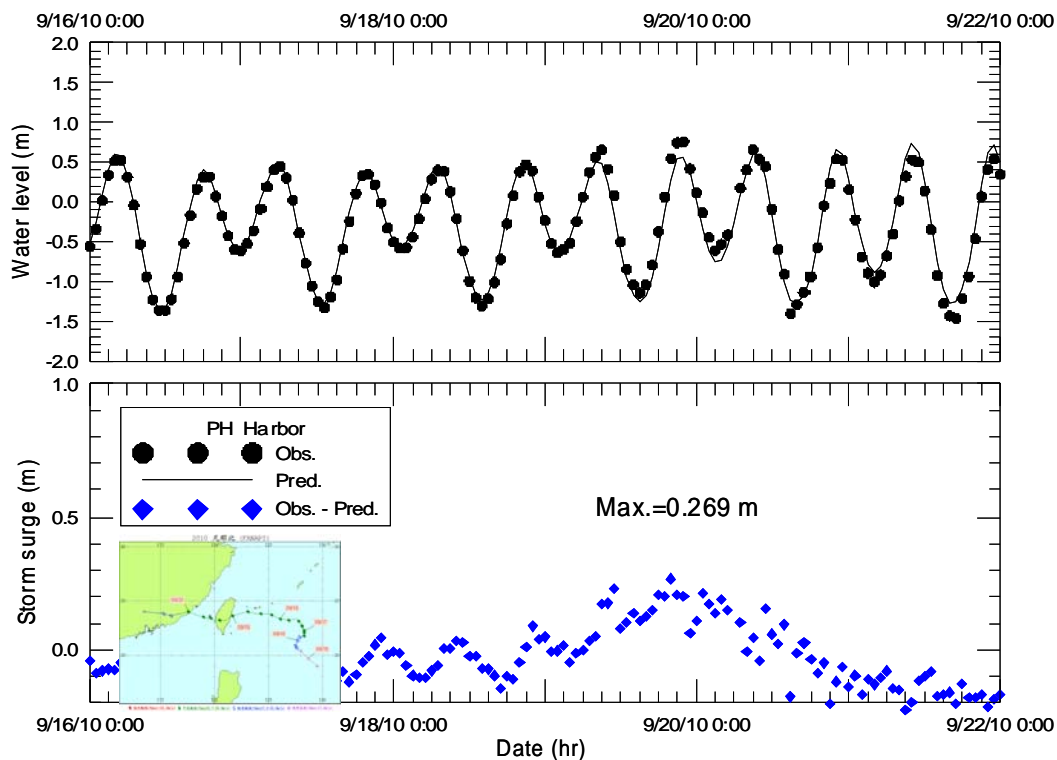


圖 4.10 (續 4)澎湖馬公潮位站颱風暴潮歷線圖(2010 年中度颱風凡那比)

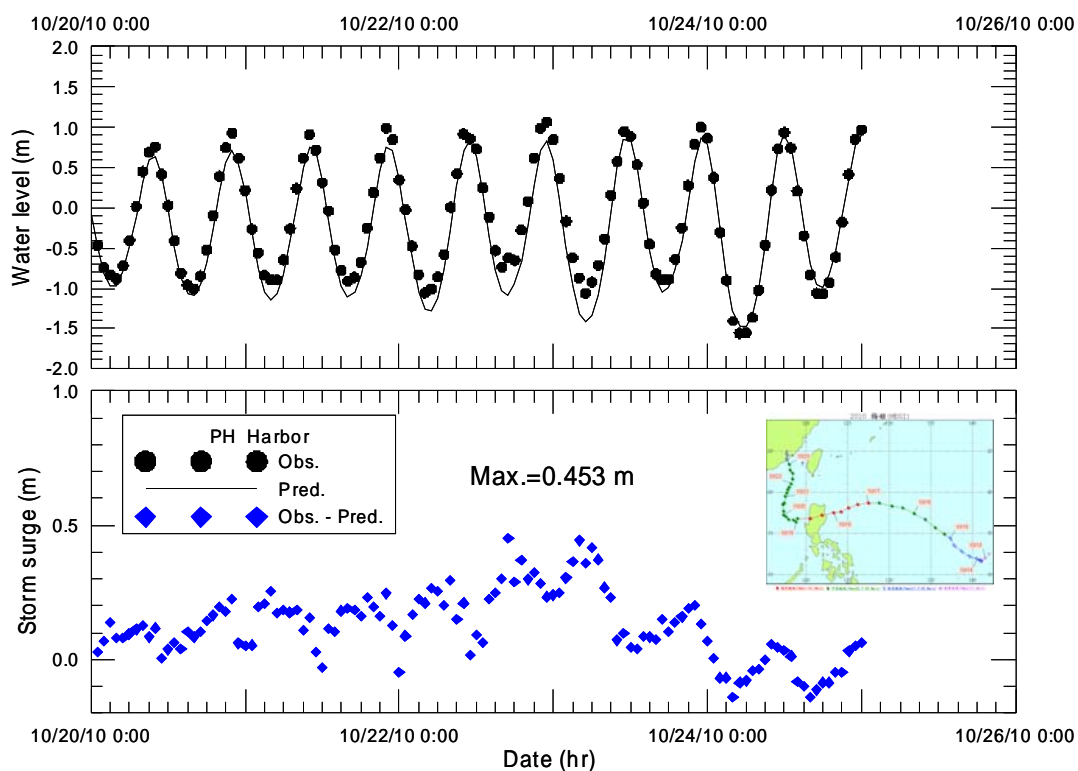


圖 4.10 (續 5)澎湖馬公潮位站颱風暴潮歷線圖(2010 年中度颱風梅姬)

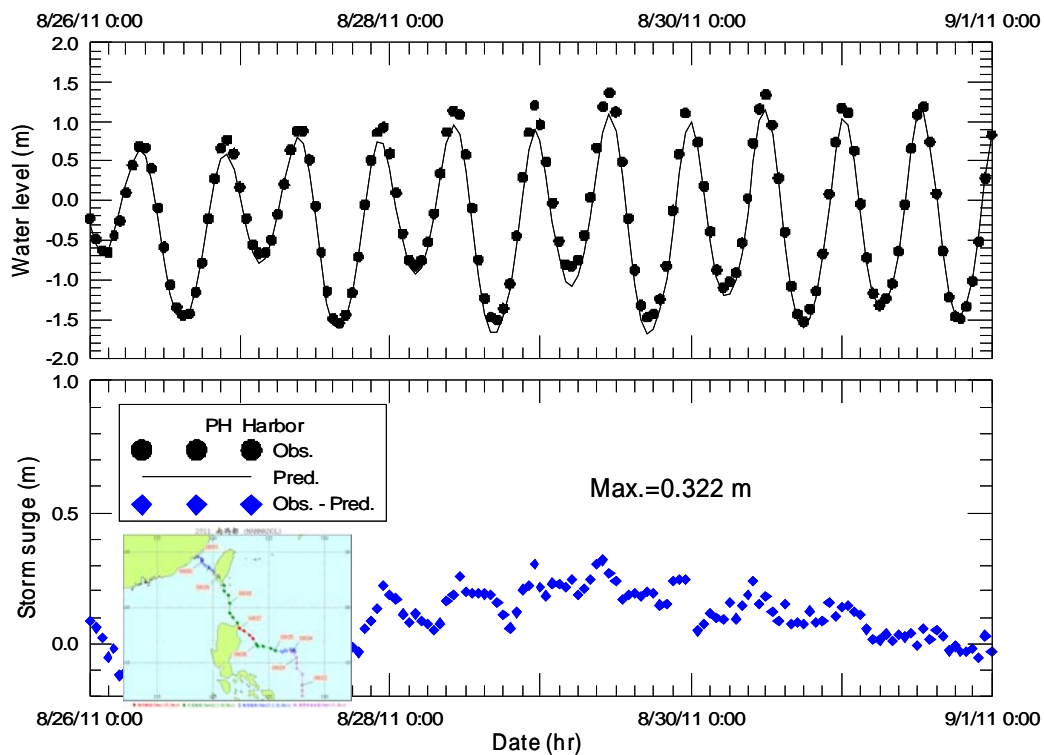


圖 4.10 (續 6)澎湖馬公潮位站颱風暴潮歷線圖(2011 年強烈颱風南瑪都)

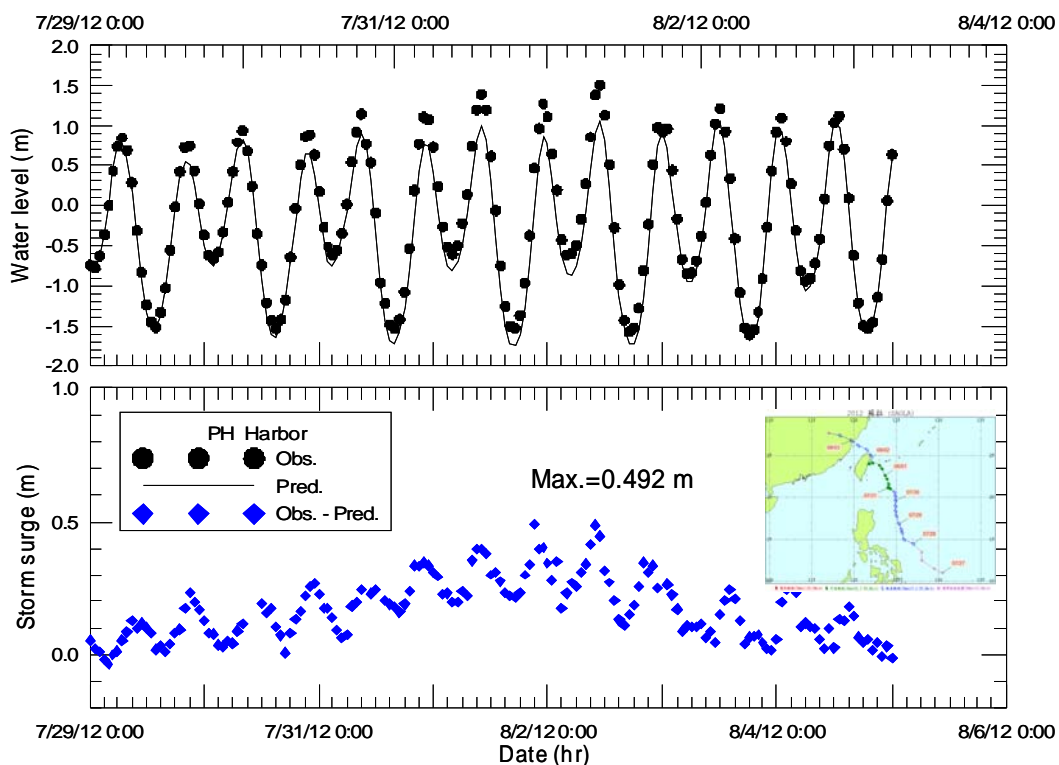


圖 4.10 (續 7)澎湖馬公潮位站颱風暴潮歷線圖(2012 年中度颱風蘇拉)

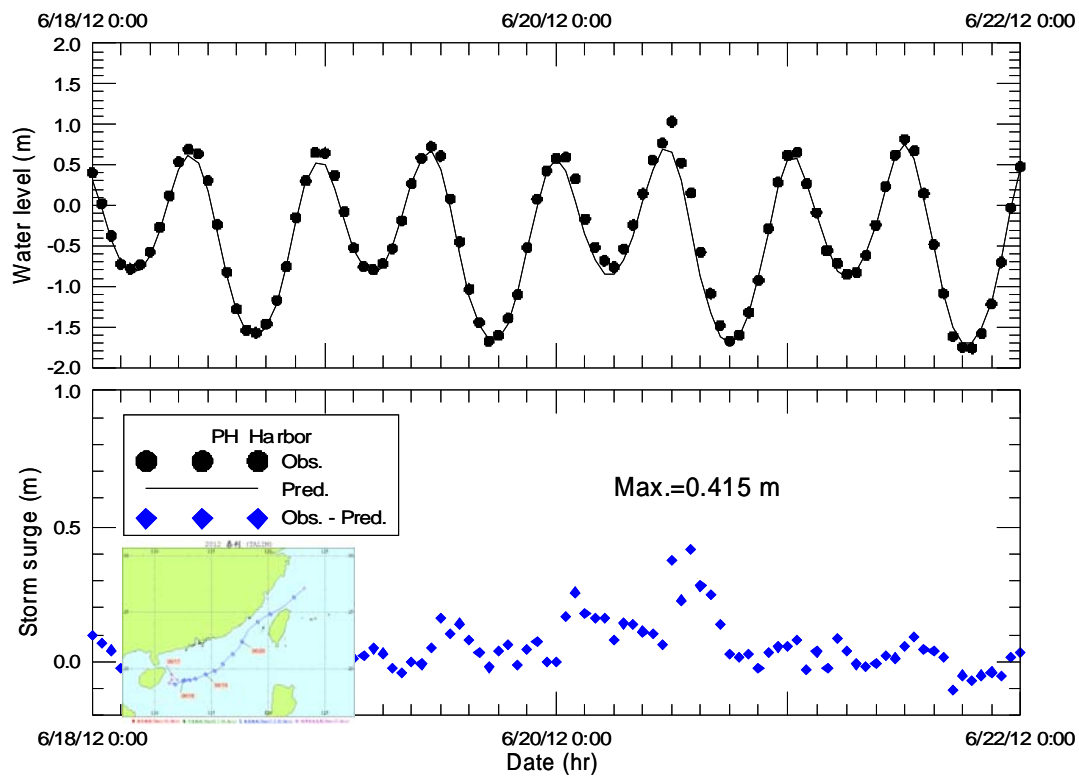


圖 4.10 (續 8)澎湖馬公潮位站颱風暴潮歷線圖(2012 年輕度颱風泰利)

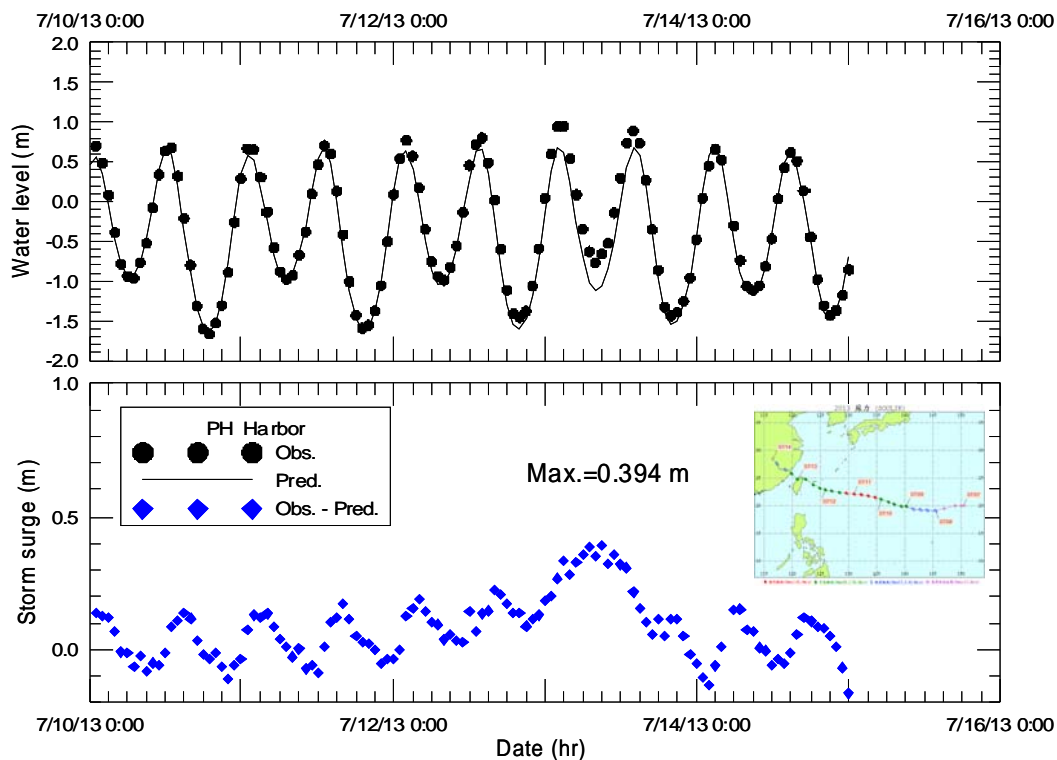


圖 4.10 (續 9)澎湖馬公潮位站颱風暴潮歷線圖(2013 年強烈颱風蘇力)

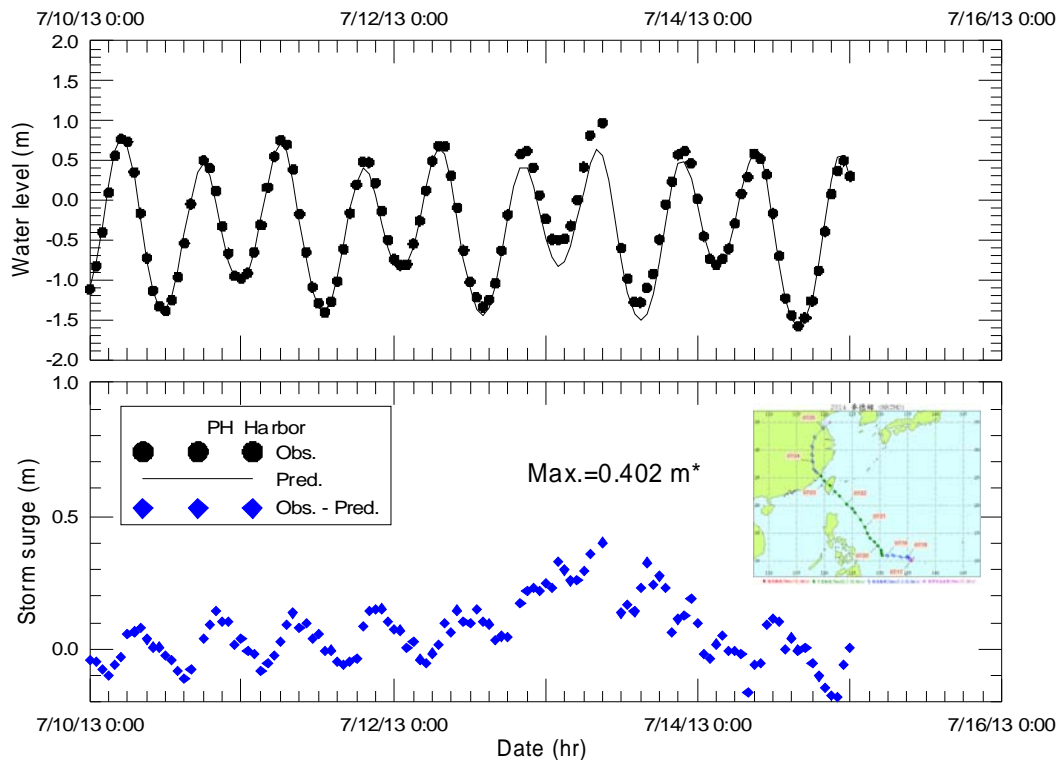


圖 4.10 (續 10)澎湖馬公潮位站颱風暴潮歷線圖(2014 年中度颱風麥德姆)

4.4 海流

本計畫分別蒐集港研中心澎湖港龍門尖山港區外海海象觀測站、中央氣象局東吉島波流觀測站及水利署澎湖資料浮標等測站之逐時海流觀測資料，分別進行海(潮)流特性分析。其中龍門尖山港區外海海流觀測資料因品質不佳，故本章節僅針對水利署澎湖資料浮標及東吉島測站逐時資料(參考附錄四)進行說明。澎湖資料浮標及東吉島測站位置如圖 4.11 所示，圖中澎湖資料浮標位於澎湖本島北邊，測站座標為東經 119.5519、北緯 23.7269，測站水深約 26.6 m；東吉島波流觀測站位於澎湖群島南邊，測站座標為東經 119.6839、北緯 23.2564，測站水深約 20.0 m。

(1) 澎湖資料浮標

水利署澎湖資料浮標 2014 年 1 月至 2014 年 12 月逐時海流觀測資料共計 7,615 筆，海流資料觀測率約為 0.87。2014 年整年海流流速大小及流向聯合分布之統計分析結果，如表 4.4 所列；表中由流速大小之分布得知，澎湖資料浮標海流流速小於 0.25 m/s 者約佔全部觀測資料之 70.31%，流速介於 0.25~0.50 m/s 區間者佔全部觀測資料之 28.30%，二者合計約達 98.61%；流向分布統計結果顯示，以西南向(SW)所佔比例最大約為 34.9%，其次為西向(W)約佔 23.9%。2014 年最大流速觀測值為 0.74 m/s，流向為 245.0°(西南偏西向)，發生時間為 2014 年 10 月 7 日 11 時。

針對 2014 年 1 月至 2014 年 3 月逐時海流觀測資料共計 2,048 筆(缺失資料以調和分析預測值補遺)，本計畫分別就東西向及南北向速度分量進行能譜分析，如圖 4.12 及圖 4.13 所示，圖中“+”代表為天文潮 60 個分潮對應的值。經由能譜分析結果得知，澎湖資料浮標測站海流之東西向及南北向速度分量在半月潮及 1/4 日潮範圍均有顯著的能量分布，其中東西向速度能譜在全日潮及 1/8 日潮範圍無明顯的能量變化，南北向速度能譜則在 1/3 日潮範圍能量無明顯的能量變化。

針對 2014 年 1~3 月海流觀測資料，本計畫選取 O_1 、 K_1 、 M_2 、 S_2 及 M_4 等 5 個分潮逐月進行天文潮流調和分析，如表 4.5 至表 4.7 所列，顯示各月份天文潮流調和常數值具有一定程度之相似性。2014 年 1~3 月海流淨流速大小有逐月減小之趨勢，流向則穩定維持約西南偏西。本計畫依據潮流調和分析結果，將東西向及南北向流速資料分別分離成潮流及非潮流兩種成份流，如圖 4.14 所示，其中大、小潮期間潮流速度振幅變化不明顯，此與全日潮流能量不顯著有關。此外，潮流調和分析結果將作為本計畫澎湖海域水動力數值模擬結果驗證之依據。

(2) 東吉島測站

中央氣象局東吉島測站 2014 年 1 月至 2014 年 12 月逐時海流觀測資料共計 8,057 筆，海流資料觀測率約為 0.92。2014 年整年海流流

速大小及流向聯合分布之統計分析結果，如表 4.8 所列；表中由流速大小之分布得知，東吉島測站海流流速小於 0.25 m/s 者約佔全部觀測資料之 46.88%，流速介於 0.25~0.50 m/s 區間者佔全部觀測資料之 16.83%，二者合計約達 63.71%；流向分布統計結果顯示，以東北向(NE)所佔比例最大約為 44.92%，其次為東向(E)約佔 23.95%。2014 年最大流速觀測值為 1.49 m/s，流向為 54.0°(東北偏東向)，發生時間為 2014 年 1 月 2 日 7 時。

同樣地，本計畫選取 2014 年 1 月至 3 月逐時海流觀測資料共計 2,048 筆(缺失資料以調和分析預測值補遺)，分別針對東西向及南北向速度分量進行能譜分析，如圖 4.15 及圖 4.16 所示。由東吉島測站海流能譜分析結果得知，該處海流東西向及南北向速度分量在半月潮及 1/4 日潮範圍均有顯著的能量分布，其中 1/4 日潮 M_4 之能量明顯高於半月潮 S_2 之能量。

針對 2014 年 1 月至 3 月逐時海流觀測資料，本計畫選取 O_1 、 K_1 、 N_2 、 M_2 、 S_2 及 M_4 等 6 個分潮逐月進行天文潮流調和分析，如表 4.9 至表 4.11 所列，分析結果同樣顯示各月份天文潮流調和常數值具有一定程度之相似性。2014 年 1~3 月海流淨流速大小變化分別為 0.31、0.289 及 0.317(m/s)，流向則穩定維持約東北偏東。同樣地，本計畫依據潮流調和分析結果，將東吉島測站東西向及南北向流速資料分別分離成潮流及非潮流兩種成份流，如圖 4.17 所示。

東吉島測站海流調和分析結果可提供本計畫澎湖海域水動力數值模擬結果驗證所需資料。

綜合以上海流分析結果得知，東吉島測站因鄰近澎湖水道，海流流速明顯大於澎湖資料浮標測站海流流速，因此各主要天文分潮之流速振幅亦明顯高於澎湖資料浮標測站；此外，東吉島測站與澎湖資料浮標測站海流淨流速之流向分別為東北偏東及西南偏西，顯示流經澎湖水道往北之恆(洋)流在澎湖北側海域可能產生分流的現象。

表 4.4 澎湖資料浮標 2014 年逐時海流之流速大小及流向分布統計

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	資料數	百分比
< 0.25	508	424	241	265	614	1495	1278	529	5354	70.31
0.25 ~ 0.50	124	203	17	4	176	1079	525	27	2155	28.30
0.50 ~ 0.75	0	2	0	0	2	84	17	1	106	1.39
0.75 ~ 1.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計百分比	632 8.30	629 8.26	258 3.39	269 3.53	792 10.4	2685 34.9	1820 23.9	577 7.31	7615	100.00
備註	最大流速值(0.74m/s) 流向(245.0°) 時間(10/07 11:00:00)									

表 4.5 澎湖資料浮標 2014 年 1 月海流觀測資料之調和分析成果表

分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	E-W方向分量		N-S方向分量	
		振幅(m/s)	位相角(度)	振幅(m/s)	位相角(度)
O ₁	13.94303513	0.0140	211.942	0.0078	253.379
K ₁	15.04106903	0.0109	206.073	0.0120	109.735
M ₂	28.98410416	0.1427	197.622	0.1488	179.818
S ₂	30.00000000	0.0378	225.781	0.0464	189.383
M ₄	57.96820831	0.0448	314.676	0.0311	224.100
平均淨流速		-0.1397 m/s		-0.0946 m/s	
絕對誤差平均值		0.07864 m/s		0.07614 m/s	
觀測資料時間		2014/01/01 00:00 ~ 2014/01/31 23:00			
原點時間		2014/01/16 11:00			

表 4.6 澎湖資料浮標 2014 年 2 月海流觀測資料之調和分析成果表

分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	E-W方向分量		N-S方向分量	
		振幅(m/s)	位相角(度)	振幅(m/s)	位相角(度)
O ₁	13.94303513	0.0086	9.293	0.0082	309.543
K ₁	15.04106903	0.0069	5.769	0.0190	282.628
M ₂	28.98410416	0.1287	198.260	0.1669	168.668
S ₂	30.00000000	0.0411	238.254	0.0699	188.057
M ₄	57.96820831	0.0449	303.372	0.0354	243.674
平均淨流速		-0.1226 m/s		-0.0781 m/s	
絕對誤差平均值		0.07014 m/s		0.07387 m/s	
觀測資料時間		2014/02/01 00:00 ~ 2014/02/28 23:00			
原點時間		2014/02/13 23:00			

表 4.7 澎湖資料浮標 2014 年 3 月海流觀測資料之調和分析成果表

分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	E-W方向分量		N-S方向分量	
		振幅(m/s)	位相角(度)	振幅(m/s)	位相角(度)
O ₁	13.94303513	0.0145	259.560	0.0060	183.533
K ₁	15.04106903	0.0037	116.267	0.0128	66.119
M ₂	28.98410416	0.1270	201.151	0.1496	169.612
S ₂	30.00000000	0.0489	235.321	0.0663	196.979
M ₄	57.96820831	0.0490	328.161	0.0360	246.622
平均淨流速		-0.1140 m/s		-0.0760 m/s	
絕對誤差平均值		0.07241 m/s		0.07632 m/s	
觀測資料時間		2014/03/01 00:00 ~ 2014/03/31 23:00			
原點時間		2013/03/16 11:00			

表 4.8 東吉島測站 2014 年逐時海流之流速大小及流向分布統計

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	資料 數	百分 比
< 0.25	204	525	1032	546	276	592	391	211	3777	46.88
0.25 ~ 0.50	1	536	535	147	9	117	11	0	1356	16.83
0.50 ~ 0.75	0	646	283	1	0	2	0	0	932	11.57
0.75 ~ 1.00	0	1037	74	0	0	0	0	0	1111	13.79
1.00 ~ 1.25	0	749	6	0	0	0	0	0	755	9.37
1.25 <	0	126	0	0	0	0	0	0	126	1.56
合 計 百分比	205	3619	1930	694	285	711	402	211	8057	100.00
	2.54	44.92	23.95	8.61	3.54	8.82	4.99	2.62		
備 註	最大流速值(1.49m/s) , 流 向(54.0°) 時 間(01/02 07:00:00)									

表 4.9 東吉島測站 2014 年 1 月海流觀測資料之調和分析成果表

分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	E-W方向分量		N-S方向分量	
		振幅(m/s)	位相角(度)	振幅(m/s)	位相角(度)
O ₁	13.94303513	0.0279	327.707	0.0138	290.592
K ₁	15.04106903	0.0392	319.093	0.0159	301.495
N ₂	28.43972969	0.1065	58.187	0.0705	45.423
M ₂	28.98410416	0.3467	246.224	0.2393	229.223
S ₂	30.00000000	0.1198	303.451	0.0701	288.189
M ₄	57.96820831	0.1802	132.870	0.0986	123.882
平均淨流速		0.2778 m/s		0.1375 m/s	
絕對誤差平均值		0.15583 m/s		0.09807 m/s	
觀測資料時間		2014/01/01 00:00 ~ 2014/01/31 23:00			
原點時間		2014/01/16 11:00			

表 4.10 東吉島測站 2014 年 2 月海流觀測資料之調和分析成果表

分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	E-W方向分量		N-S方向分量	
		振幅(m/s)	位相角(度)	振幅(m/s)	位相角(度)
O ₁	13.94303513	0.0239	160.882	0.0178	139.037
K ₁	15.04106903	0.0303	116.720	0.0134	128.130
N ₂	28.43972969	0.0887	080.823	0.0687	61.563
M ₂	28.98410416	0.3475	248.675	0.2501	229.704
S ₂	30.00000000	0.1183	305.762	0.0817	291.036
M ₄	57.96820831	0.1791	129.551	0.1045	126.629
平均淨流速		0.2591 m/s		0.1259 m/s	
絕對誤差平均值		0.15388 m/s		0.09371 m/s	
觀測資料時間		2014/02/01 00:00 ~ 2014/02/28 23:00			
原點時間		2014/02/13 23:00			

表 4.11 東吉島測站標 2014 年 3 月海流觀測資料之調和分析成果表

分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	E-W方向分量		N-S方向分量	
		振幅(m/s)	位相角(度)	振幅(m/s)	位相角(度)
O ₁	13.94303513	0.0212	357.601	0.0133	313.203
K ₁	15.04106903	0.0206	257.543	0.0139	263.850
N ₂	28.43972969	0.0725	87.539	0.0469	77.640
M ₂	28.98410416	0.3670	243.928	0.2639	230.169
S ₂	30.00000000	0.1089	281.273	0.0762	263.258
M ₄	57.96820831	0.1706	132.618	0.1036	125.422
平均淨流速		0.2859 m/s		0.1376 m/s	
絕對誤差平均值		0.15515 m/s		0.09166 m/s	
觀測資料時間		2014/03/01 00:00 ~ 2014/03/31 23:00			
原點時間		2013/03/16 11:00			

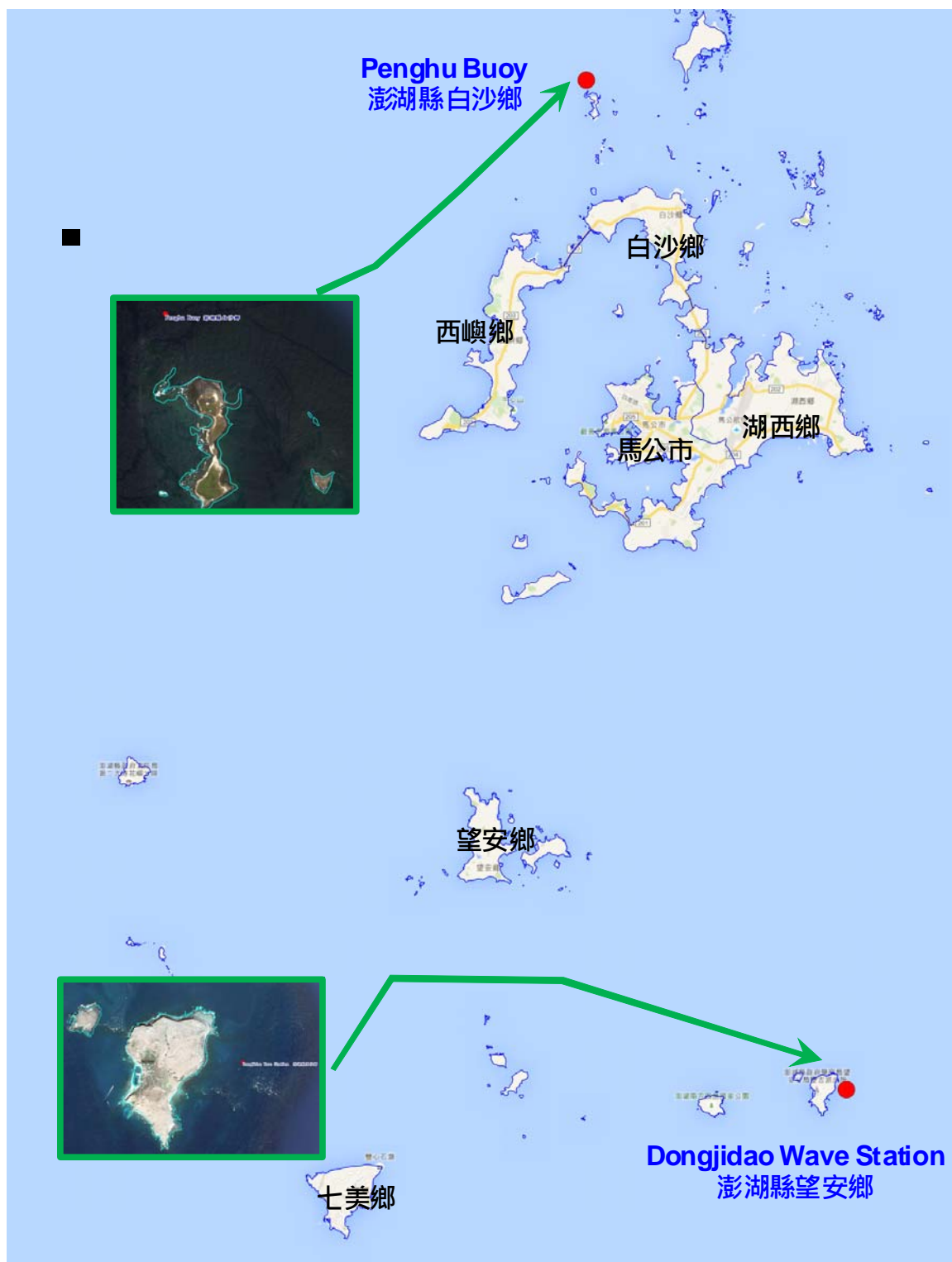


圖 4.11 澎湖資料浮標及東吉島波浪測站位置示意圖

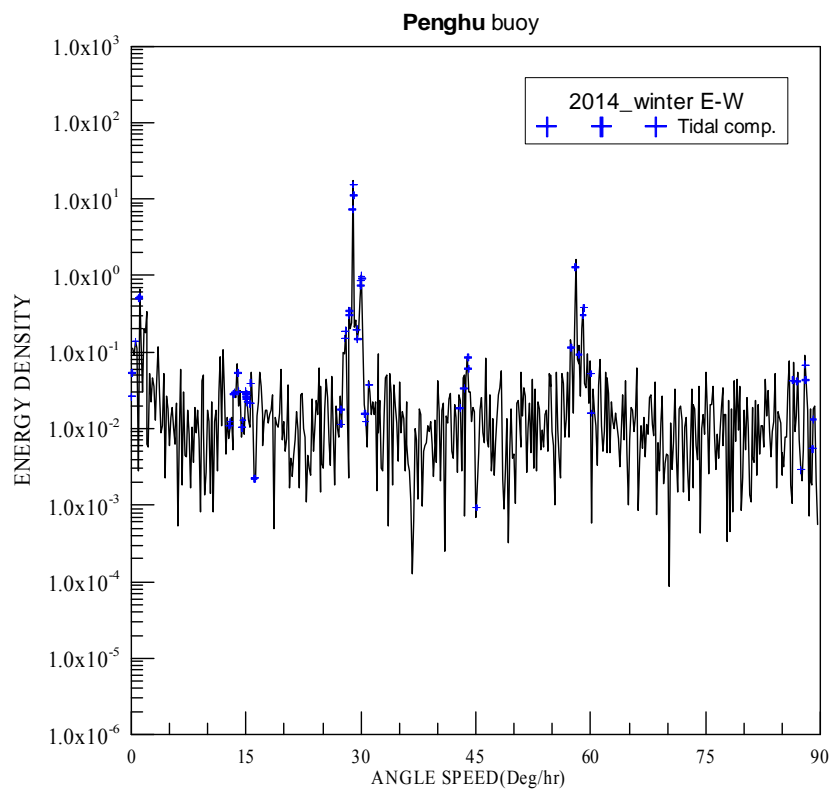


圖 4.12 澎湖資料浮標冬季海流東西向速度能譜圖

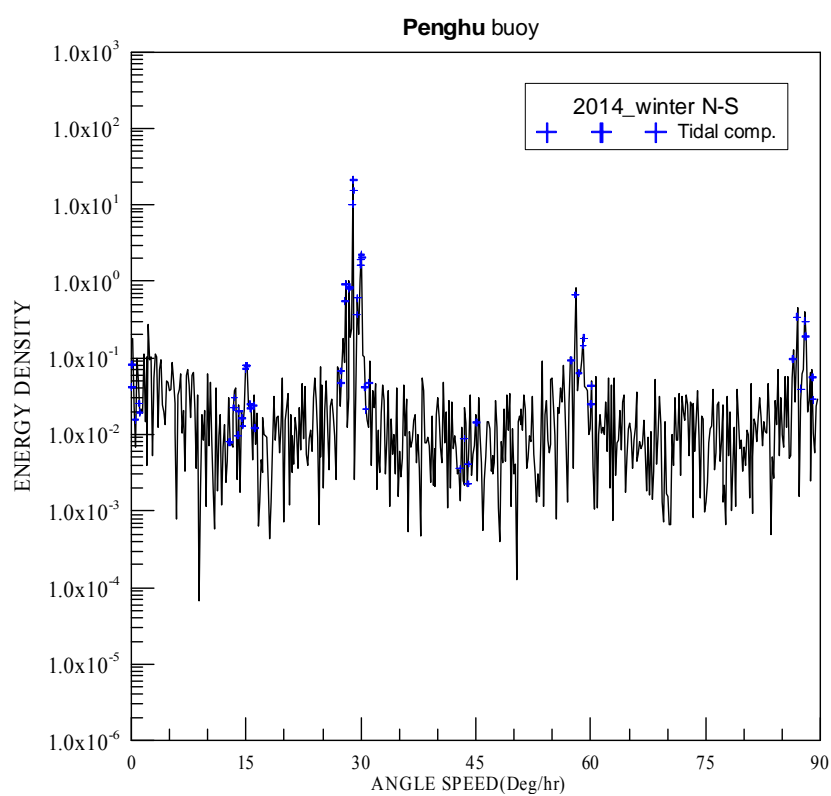


圖 4.13 澎湖資料浮標冬季海流南北向速度能譜圖

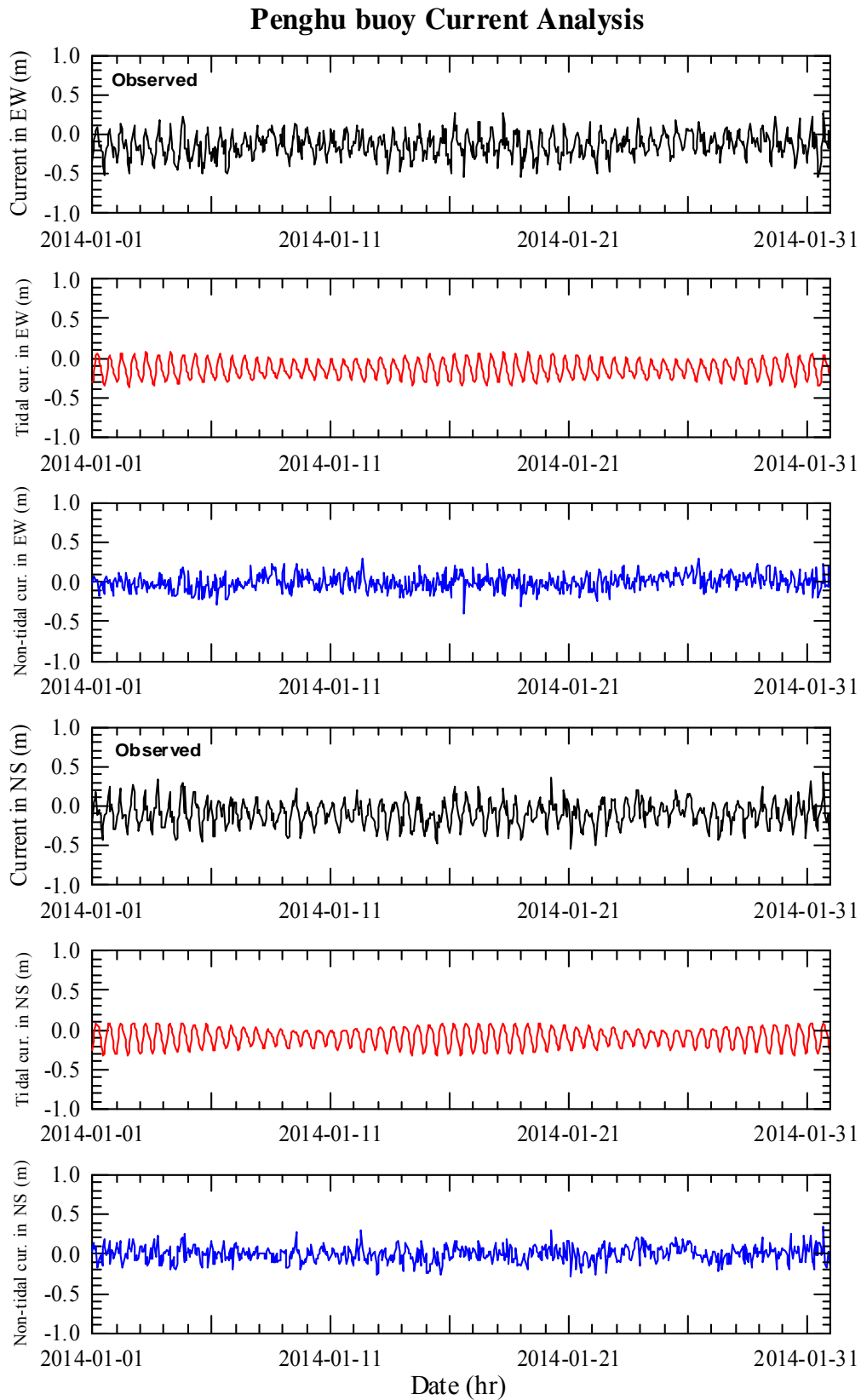


圖 4.14 澎湖資料浮標冬季海流資料之潮流及非潮流成份圖

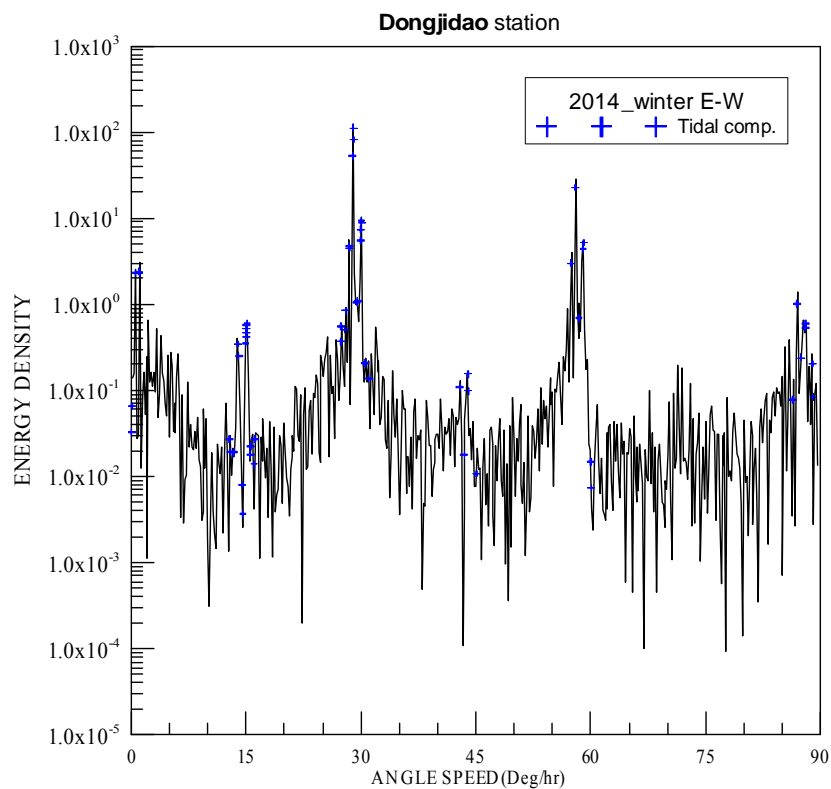


圖 4.15 東吉島測站冬季海流東西向速度能譜圖

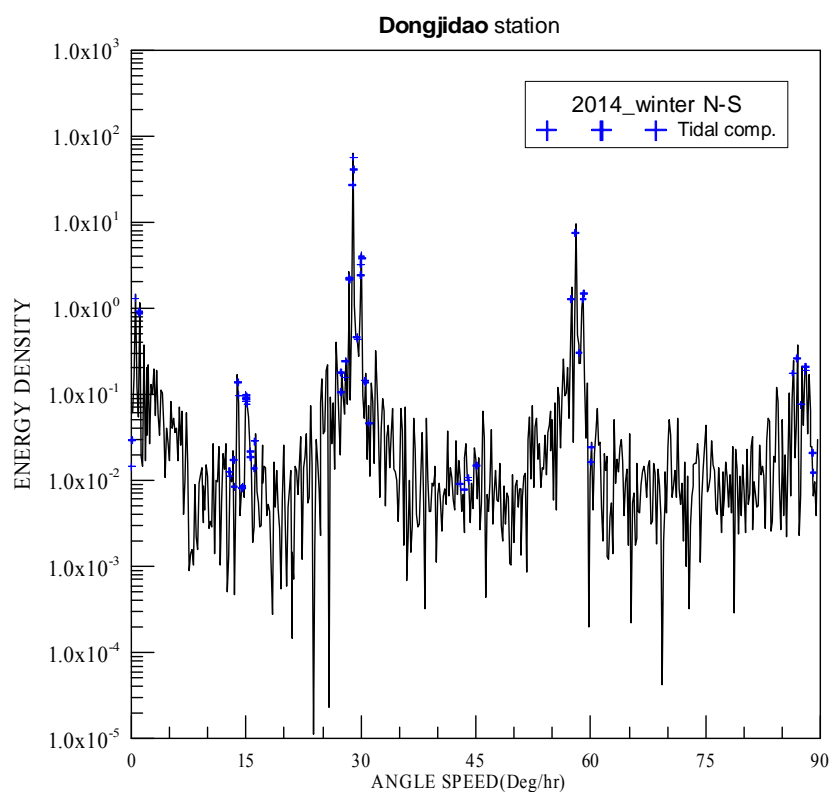


圖 4.16 東吉島測站冬季海流南北向速度能譜圖

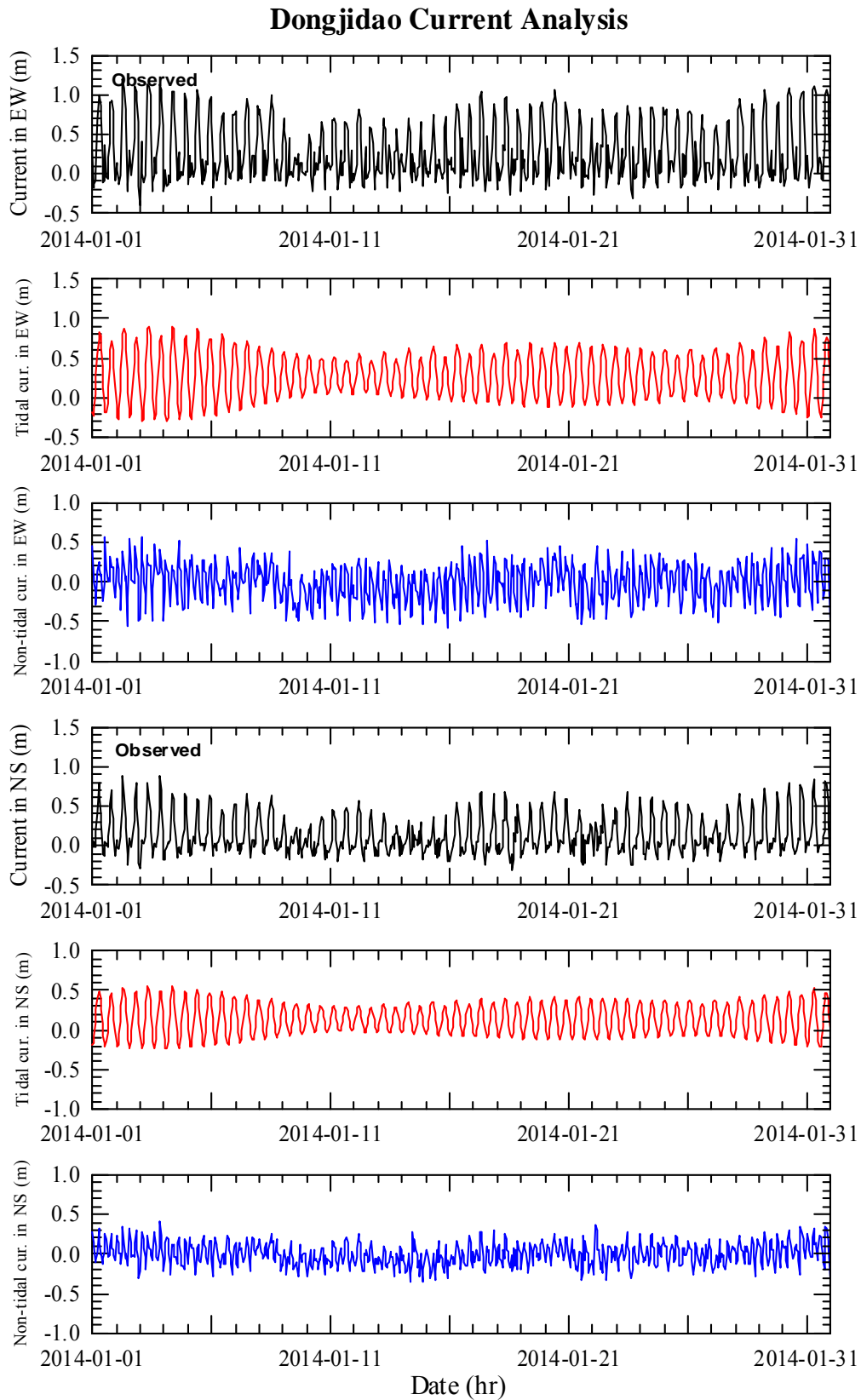


圖 4.17 東吉島測站冬季海流資料之潮流及非潮流成份圖

4.5 波浪

針對澎湖海域本計畫分別蒐集港研中心澎湖港龍門尖山港區外海海象測站、中央氣象局東吉島測站及水利署澎湖資料浮標等測站之逐時海流觀測資料，分別進行波浪統計特性分析。

(1) 澎湖資料浮標

水利署澎湖資料浮標 2014 年 1 月至 2014 年 12 月逐時波浪觀測資料共計 8,270 筆，資料觀測率約為 0.944；觀測資料之波高及波向年統計分析結果，如表 4.12 及表 4.13 所列。

依據示性波高大小分布統計結果得知，澎湖資料浮標波浪波高小於 0.5 m 約佔 37.53%，波高小於 1.0 m 以下的波浪約佔 61.09%，波高介於 1.0 m ~ 2.0 m 者約佔 28.28%；最大示性波高觀測值為 3.96m，週期為 7.1 sec，波向為 0°。另由波高分布與波浪週期平均值之關係得知，澎湖資料浮標示性波高大小之分布與波浪週期平均值具有正相關性，即波浪週期平均值之變化會隨示性波高值增大而增加。

波向分布統計結果顯示，澎湖資料浮標波浪之波向分布以 N 方向所佔比例最高約 42.52%，其次為 NNW 向(約佔 20.85%)、WSW 向(約佔 15.99%)及 W 向(約佔 10.13%)。

(2) 東吉島測站

東吉島測站 2014 逐時波浪觀測資料共計 8,071 筆，資料觀測率約為 0.921；觀測資料之波高及波向年統計分析結果，如表 4.12 及表 4.13 所列。

依據東吉島測站示性波高大小分布統計結果得知，東吉島波浪波高小於 0.5 m 約佔 28.91%，波高小於 1.0 m 以下的波浪約佔 61.24%(與澎湖資料浮標統計結果相近)；波高介於 1.0 m ~ 2.0 m 者約佔 24.91%；波高大於 4.0 m 以上的資料計有 32 筆，約佔 0.39%；最大示性波高觀測值為 5.49m，週期為 13.6 sec，波向為 62°。同樣地，由波高分布與波浪週期平均值之關係得知，東吉島測站示性波高大小之分布與波浪

週期平均值亦具有正相關性，即波浪週期平均值之變化會隨示性波高值增大而增加。

東吉島測站波浪波向分布統計結果顯示，東吉島波浪之波向分布以 ENE 方向所佔比例最高約 31.93%，其次為 S 向(約佔 13.77%)、SSE 向(約佔 11.86%)及 E 向(約佔 10.79%)。

表 4.12 澎湖海域波高分布 2014 年統計結果

測站 波高 (m)	澎湖資料浮標		東吉島測站		累計百分比
	資料數 / (百分比)	週期平均值(sec)	資料數 / (百分比)	週期平均值(sec)	
< 0.5	3104 / (37.35)	4.31	2333 / (28.91)	5.35	0.74
0.5 ~ 1.0	1948 / (23.56)	4.54	2609 / (32.33)	5.83	29.78
1.0 ~ 1.5	1281 / (15.49)	4.79	1216 / (15.07)	6.12	66.31
1.5 ~ 2.0	1058 / (12.79)	5.12	794 / (9.84)	6.58	88.20
2.0 ~ 2.5	610 / (7.38)	5.50	530 / (6.57)	6.94	95.52
2.5 ~ 3.0	184 / (2.22)	5.97	330 / (4.09)	7.31	97.93
3.0 ~ 3.5	72 / (0.87)	6.37	161 / (1.99)	7.74	98.79
3.5 ~ 4.0	13 / (0.16)	7.95	66 / (0.82)	8.27	99.28
4.0 ~ 5.0	—	—	29 / (0.36)	8.84	99.64
5.00 <	—	—	3 / (0.04)	11.03	100.00
合計	8270 / (100.00)		8071 / (100.00)		
備 註	最大波高值：3.96 m 週 期：7.1 sec 波 向：0.0° 發 生 時 間：02/10 04		最大波高值：5.49 m 週 期：13.6 sec 波 向：62.0° 發 生 時 間：11/17 22		

表 4.13 澎湖海域波向分布 2014 年統計結果

波向	澎湖資料 浮標	東吉島 測站	波向	澎湖資料 浮標	東吉島 測站
	資料數 (百分率)	資料數 (百分率)		資料數 (百分率)	資料數 (百分率)
N	3516 (42.52)	419 (5.19)	S	2 (0.02)	1111 (0.05)
NNE	297 (3.59)	7 (0.09)	SSW	10 (0.12)	456 (5.65)
NE	9 (0.11)	569 (7.05)	SW	198 (2.39)	87 (1.08)
ENE	4 (0.05)	2577 (31.93)	WSW	1322 (15.99)	12 (0.15)
E	2 (0.02)	871 (10.79)	W	838 (10.13)	0 (0.00)
ESE	1 (0.01)	406 (5.03)	WNW	166 (2.01)	1 (0.01)
SE	1 (0.01)	597 (7.40)	NW	177 (2.14)	1 (0.01)
SSE	3 (0.04)	957 (11.86)	NNW	1724 (20.85)	0 (0.00)
1. 波向判斷採用 $\pm 11.25^\circ$ 2. 澎湖及東吉島資料浮標波浪觀測資料數分別為8270及8071					

4.6 風力

依據中央氣象局歷年年平均風速統計結果，如表 4.14 所列，得知澎湖及東吉島年平均風速分別為 4.4 m/sec、8.0 m/sec，其中東北季風盛行期間(10 月~翌年 2 月)，澎湖測站月平均風速均超過 5.3 m/sec，東吉島測站月平均風速均超過 9.9 m/sec。另外，依據國立成功大學近海水文中心針對澎湖資料浮標風速風向記錄(2006/9/1 ~ 2010/12/31)之風速—風向聯合機率分佈統計分析結果，如表 4.15 所列；得知觀測期間風速觀測值約介於 1.5 ~ 19.6 m/sec 之間，各風向(16 方位)之平均風約介於 2.3 ~ 10.7 m/sec；風向發生頻率以 NNE 向最多，約佔 54.2%；其次為 N 向，約佔觀測資料數之 8.3%。

依據中央氣象局颱風統計資料顯示：自 1897 至 2013 年間侵襲臺灣及其附近海域之颱風共計 412 次，相關統計特性簡述如下：

(1) 颱風侵臺頻率

歷年(1887～2012 年)颱風侵襲臺灣之頻率統計如表 4.16 所示，其中出現颱風侵臺事件最早之月份為 4 月共計 1 次，最晚之月份為 12 月份共計 1 次；發生颱風侵臺事件最多之月份為 8 月份，共計 123 次，約佔總數之 30.22%，其次分別為 7 月及 9 月；每年發生颱風侵臺事件之次數最多可達 9 次，最少為零次；平均每年發生颱風侵臺事件之次數約為 3.48 次，其中 8 月份平均每年發生颱風侵臺事件約一次以上。

(2) 颱風侵臺路徑

歷年颱風侵臺路徑分類及統計，如圖 4.18 所示，顯示以第五類侵臺路徑，即經由臺灣南部海面向西或西北行進之颱風，發生次數最多共計 73 次，約佔總數之 17.72%；其次為第一類侵臺路徑，共計發生 56 次，約佔總數之 13.59%。

(3) 颱風侵臺登陸地點

歷年颱風侵臺事件中登陸臺灣本島共計 202 次，約佔侵臺颱風總數之 43.82%，如圖 4.19 所示，其中登陸地段以宜蘭、花蓮間之 42 次最多。

表 4.14 澎湖測站及東吉島測站歷年各月份風速統計表

月份 風速	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均值
澎湖	5.6	5.3	4.5	3.7	3.2	3.3	2.8	2.8	3.8	5.6	5.8	5.9	4.4
東吉島	11.0	10.1	8.4	6.7	5.6	5.7	5.2	4.9	6.5	9.9	10.9	11.4	8.0

資料來源：中央氣象局；統計期間：1981~2010 年；單位：m/sec。

表 4.15 澎湖資料浮標測站風速風向統計表(2006/9/1~2010/12/31)

風向	發生頻率(%)	風速(m/sec)		
		最小值	最大值	平均值
N	8.3	1.5	19.0	3.9
NNE	54.2	1.6	19.4	9.4
NE	7.8	1.5	19.6	10.7
ENE	1.5	1.7	16.0	8.4
E	0.3	1.6	6.5	3.3
SE	0.5	1.6	4.2	2.7
SSE	1.8	1.9	14.9	4.3
S	7.3	1.9	14.7	5.0
SSW	6.1	1.7	12.6	4.4
SW	4.3	1.9	10.6	4.1
WSW	1.7	2.0	13.7	3.9
W	0.4	2.0	2.8	2.3
WNW	1.2	1.7	3.8	2.5
NW	1.4	1.6	16.8	3.9
NNW	3.3	1.9	16.9	3.9

資料來源：近海水文中心。

表 4.16 歷年(1897~2012 年)各月侵臺颱風之次數及頻率統計表

月份	侵台次數	佔總數百分比(%)	年平均次數
1	0	0.0	0.00
2	0	0.0	0.00
3	0	0.0	0.00
4	2	0.49	0.02
5	15	3.69	0.13
6	30	7.37	0.26
7	98	24.08	0.84
8	123	30.22	1.05
9	93	22.85	0.79
10	37	9.09	0.32
11	8	1.97	0.07
12	1	0.25	0.01
合計	407	100.00	3.48

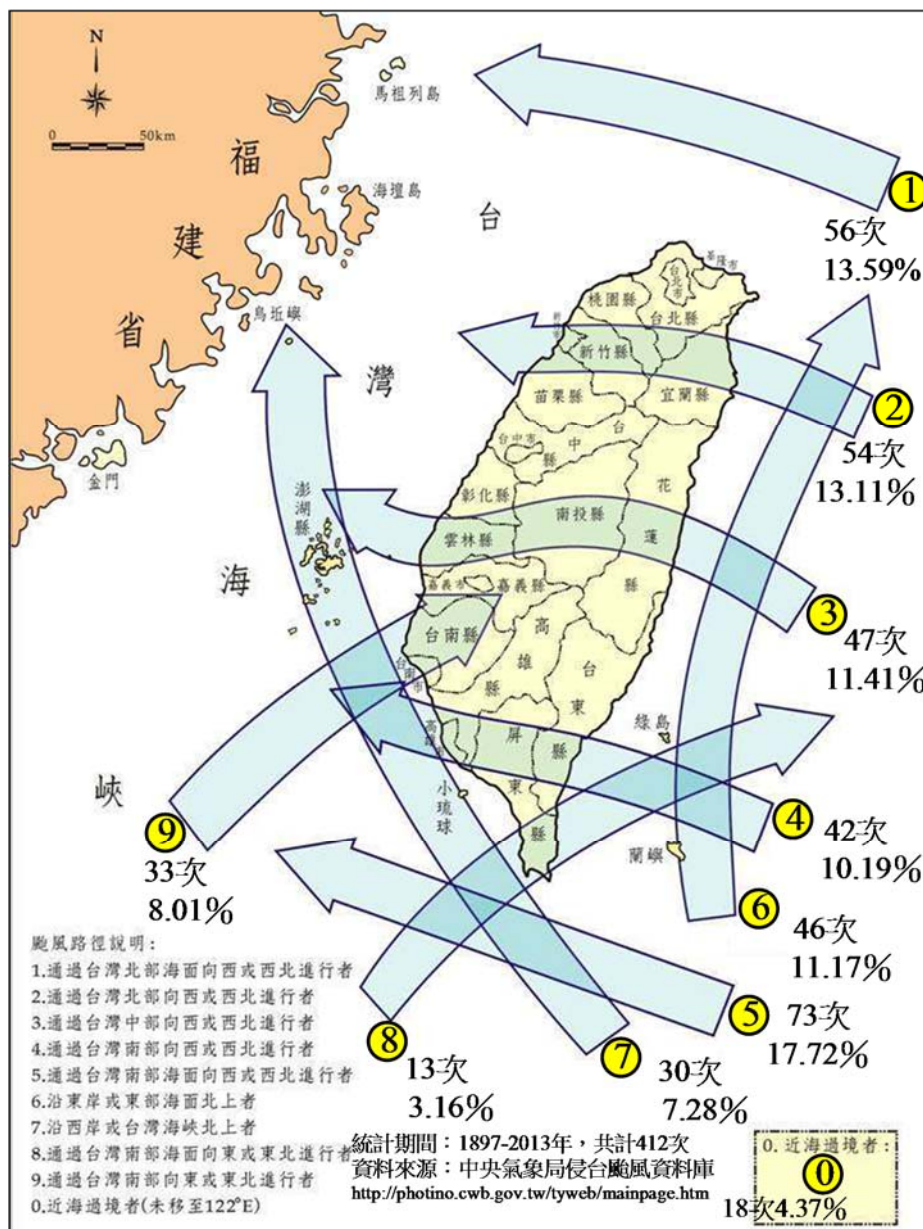
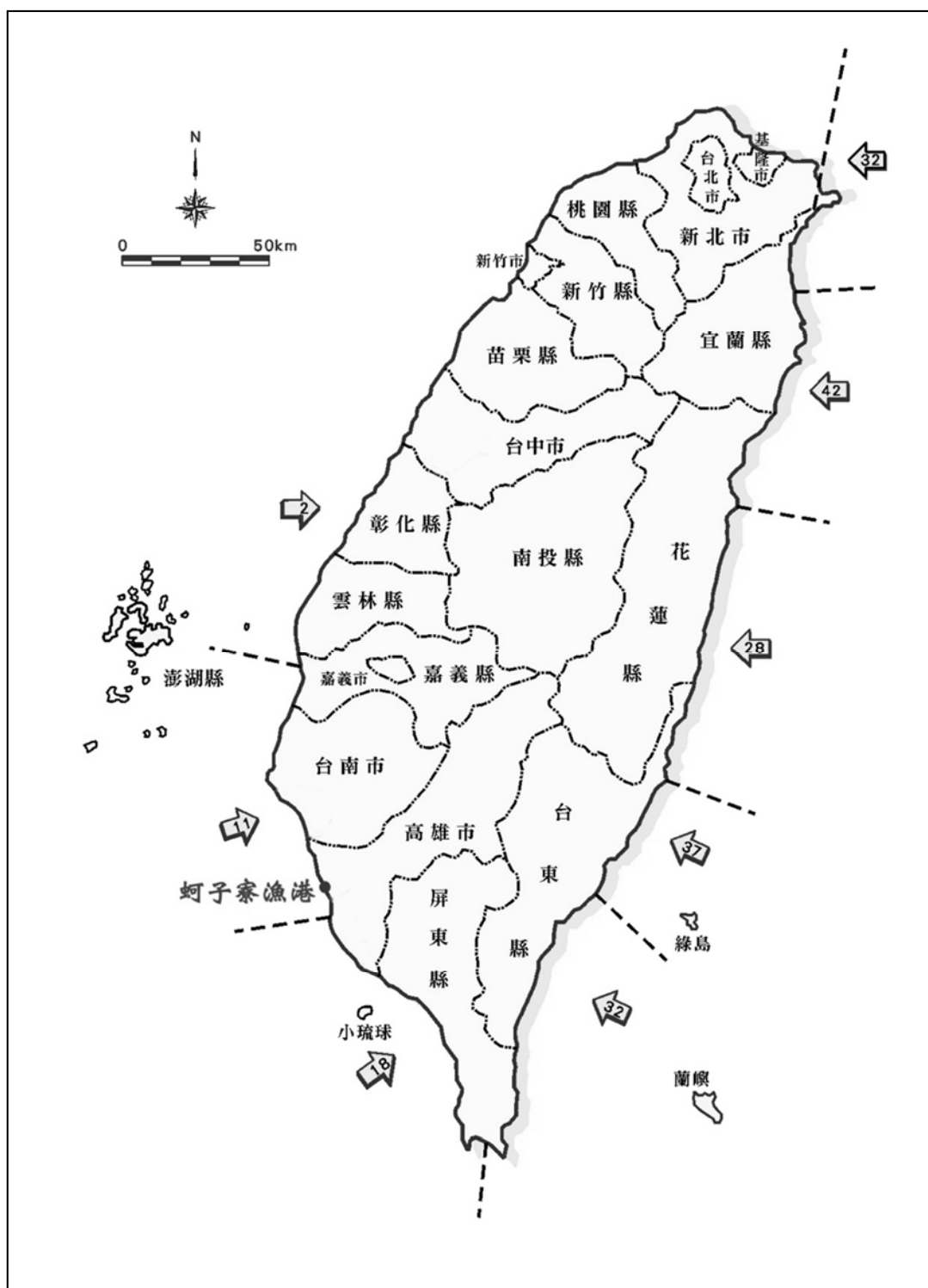


圖 4.18 歷年(1897~2013)侵襲臺灣之颱風路徑統計圖



第五章 澎湖海域水動力模式建置

參照 TaiCOMS 主要商港小尺度水動力模組及中尺度臺灣周圍海域暴潮模組，本計畫採用以有限元素法(FEM)建構的二維水動力數值模式(詳見於附錄一)，著手建置澎湖海域水動力模組，模擬澎湖海域潮汐水位及流場，並以蒐集的水位及流速資料進行模擬結果驗證。

5.1 模式模擬範圍

本計畫規劃的澎湖海域水動力模擬範圍，如圖 5.1 所示，範圍介於北緯 23.2° 至 23.955° ，東經 119.17° 至 120.3° 之間，其優勢為模式東側以臺灣本島西部海岸線為陸地邊界，可降低模式開放邊界條件之需求量，有利於將澎湖海域水位及流場模擬問題簡單化；南北邊界與西部海岸線交界分別選在台南將軍及彰化王功海岸，因鄰近海域均設有潮位站可提供潮位水位觀測資料驗證本計畫模式開放邊界條件之正確性。

5.2 數值計算網格

本計畫採用二度分帶投影座標系統(TWD97)建置非結構三角形元素計算網格，如圖 5.2 所示，計有 4,159 個節點及 7,807 個三角形元素。圖中澎湖群島陸地部份除了考慮澎湖本島外，尚包含了吉貝嶼、桶盤嶼、虎井嶼、望安島及將軍嶼等鄰近島嶼。本計畫數值計算網格水深資料，如圖 5.3 所示，顯示澎湖群島東側澎湖水道水深 100 m 之等水深往北漸縮且轉為西北向；澎湖群島島嶼周圍水深普遍小於 10 m。

5.3 邊界條件及初始條件

本計畫水動力模式使用的邊界型態分為海域開放邊界及陸地邊界兩種，其中陸地邊界條件又可分為滑動邊界條件及不滑動邊界條件，本計畫假設模式之陸地邊界為滑動邊界條件，亦即假設陸地邊界節點垂直方向之流速等於零(即允許切線方向流速存在)。海域開放邊界則採

用水位條件為模式之開放邊界條件，即直接給定節點水位時序列資料，如式(5.1)。

$$\eta = \eta_a(t) \dots\dots\dots (5.1)$$

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

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

圖 5.4 及圖 5.5 所示分別為本計畫利用 NAO.99Jb 模式及本報告(第三章)中尺度水動力模式產生的海域開放邊界上天文潮水位資料，顯示在鄰近臺灣本島之邊界節點(位置 A 及 B)兩種方式產生的天文潮水位資料無明顯的差異，惟鄰近澎湖海域西側北端開放邊界(位置 D)由 NAO.99Jb 模式所產生的天文潮水位資料則呈現明顯偏小的現象。

5.4 模式物理參數設定

模式相關物理參數率定包括時間間距(Δt)、底床摩擦係數(C_f)及渦動粘滯性係數等，其中模式模擬之時間間距與網格三角形元素最小尺度有關，且需滿足下列條件式(5.2)

$$\Delta t < 1.5 \Delta t_{cr} = 1.5 \Delta s^* / U^* \dots\dots\dots (5.2)$$

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

渦動粘滯性係數則採用 Connor and Wang (1974)提出的經驗公式(5.3)推估，

$$E_{xx} \sim ag(\tilde{\eta}/\tilde{u})\tilde{x} \dots\dots\dots (5.3)$$

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

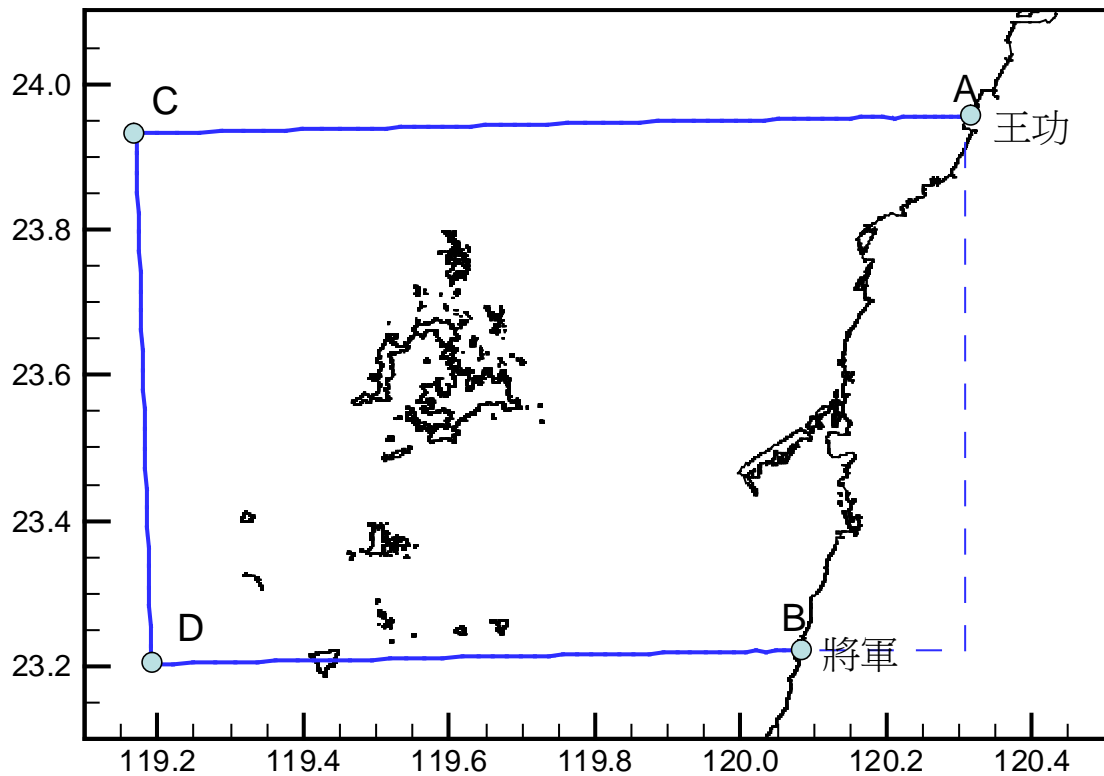


圖 5.1 澎湖海域水動力模式模擬範圍圖

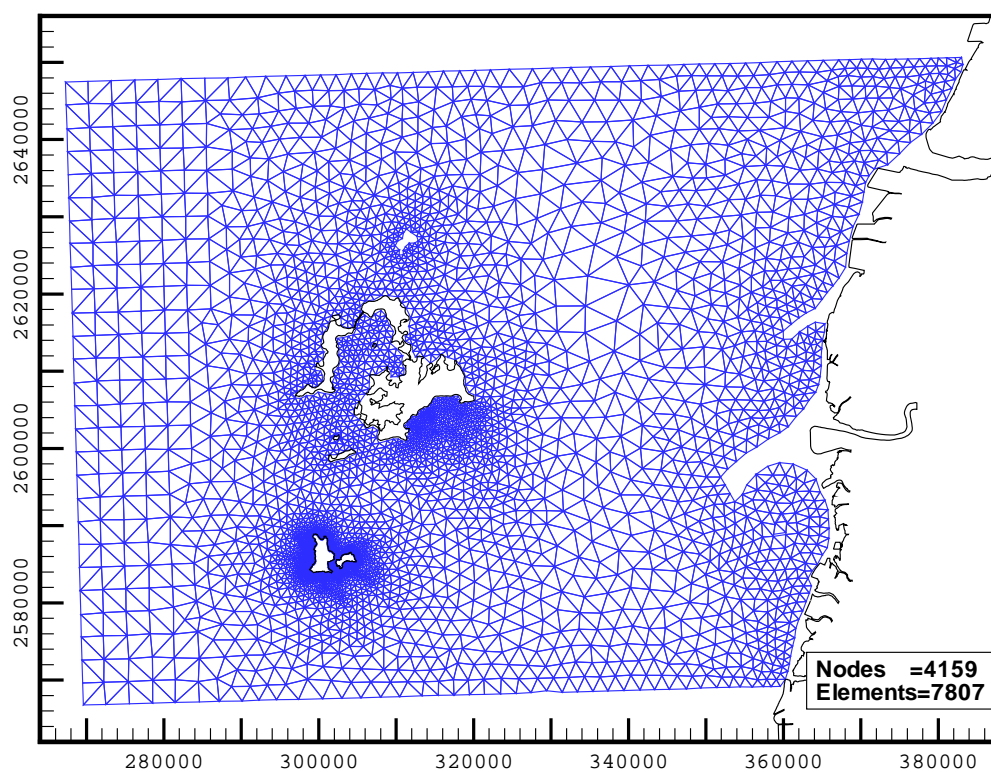


圖 5.2 澎湖海域水動力模式使用的非結構性三角形元素網格圖

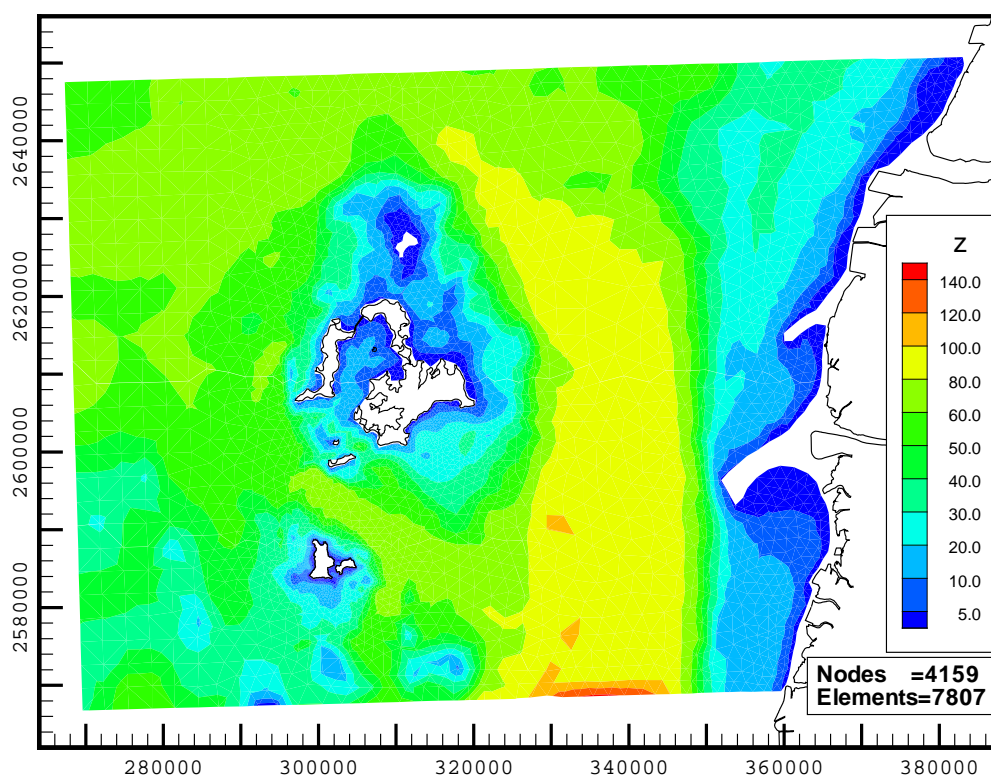


圖 5.3 澎湖海域水深分布圖

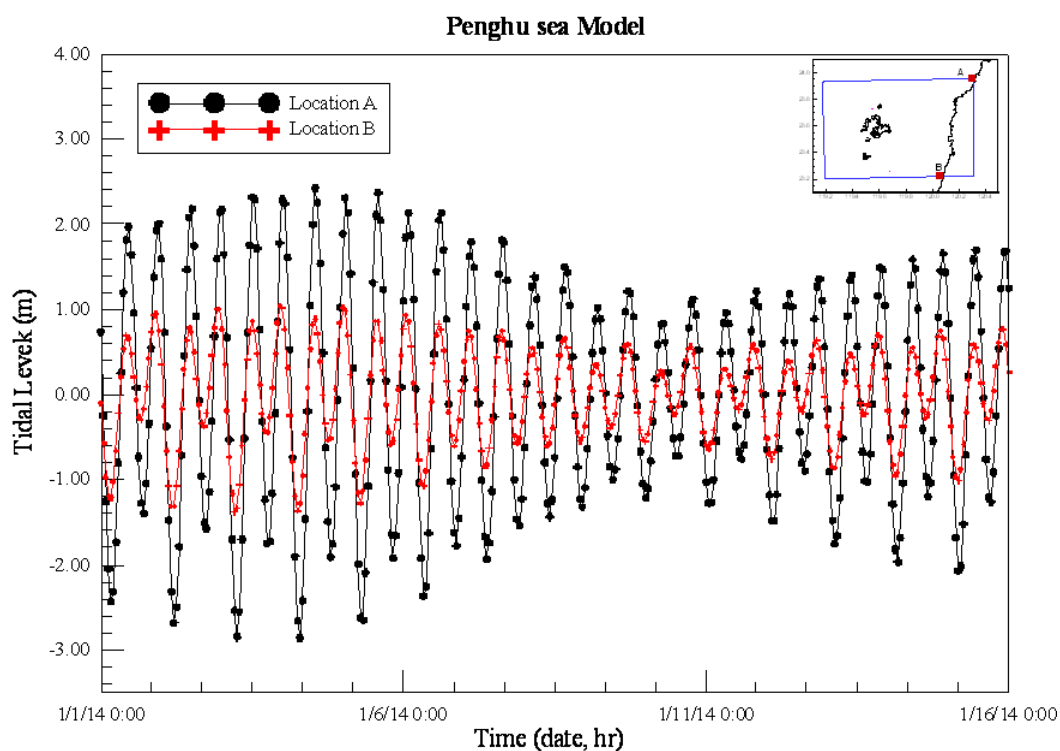


圖 5.4 澎湖海域水動力模式開放邊界天文潮水位邊界條件(Nao99Jb)

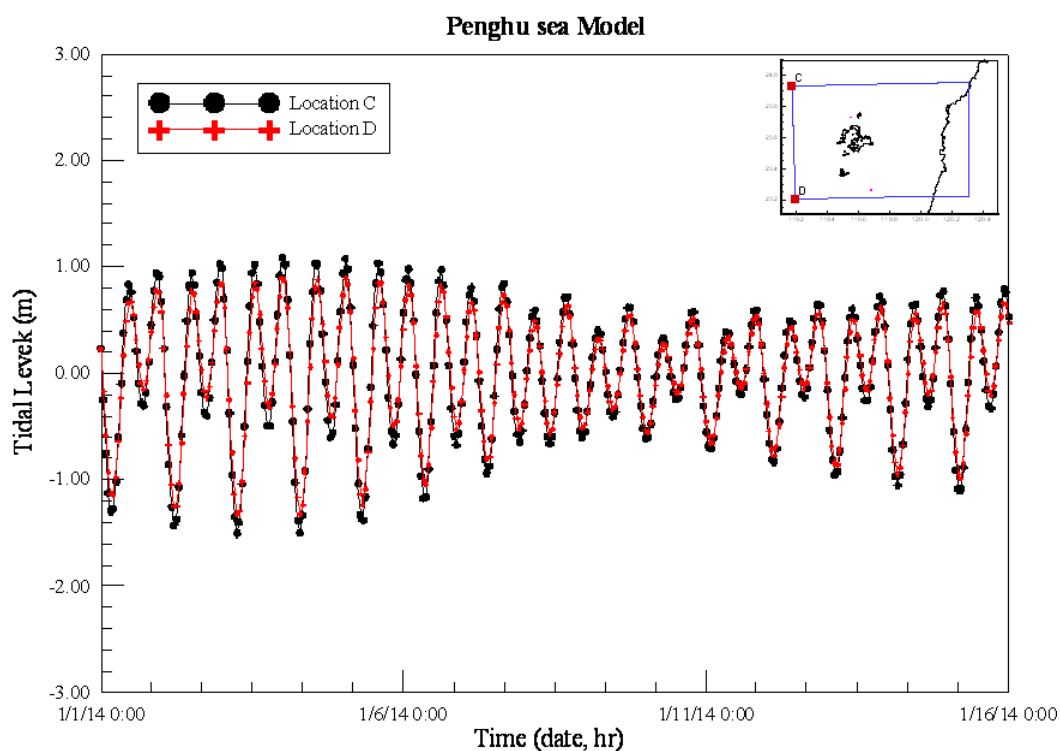


圖 5.4 (續)澎湖海域水動力模式開放邊界天文潮水位邊界條件
(Nao99Jb)

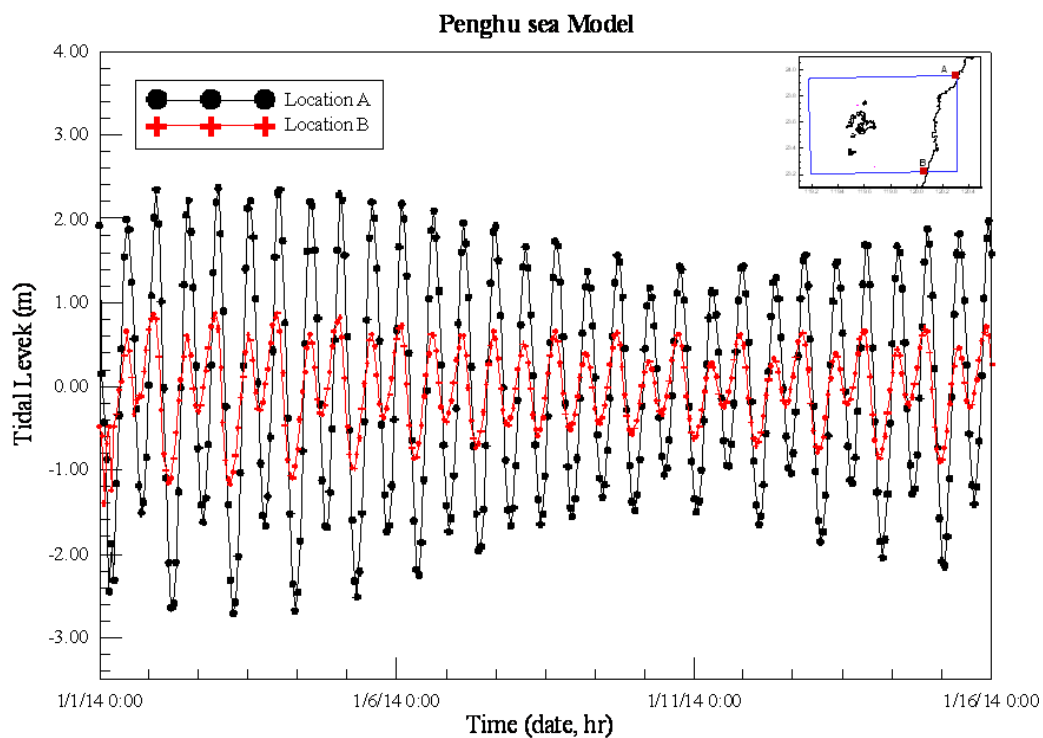


圖 5.5 澎湖海域水動力模式開放邊界天文潮水位邊界條件(由本計畫中尺度水動力模式產生)

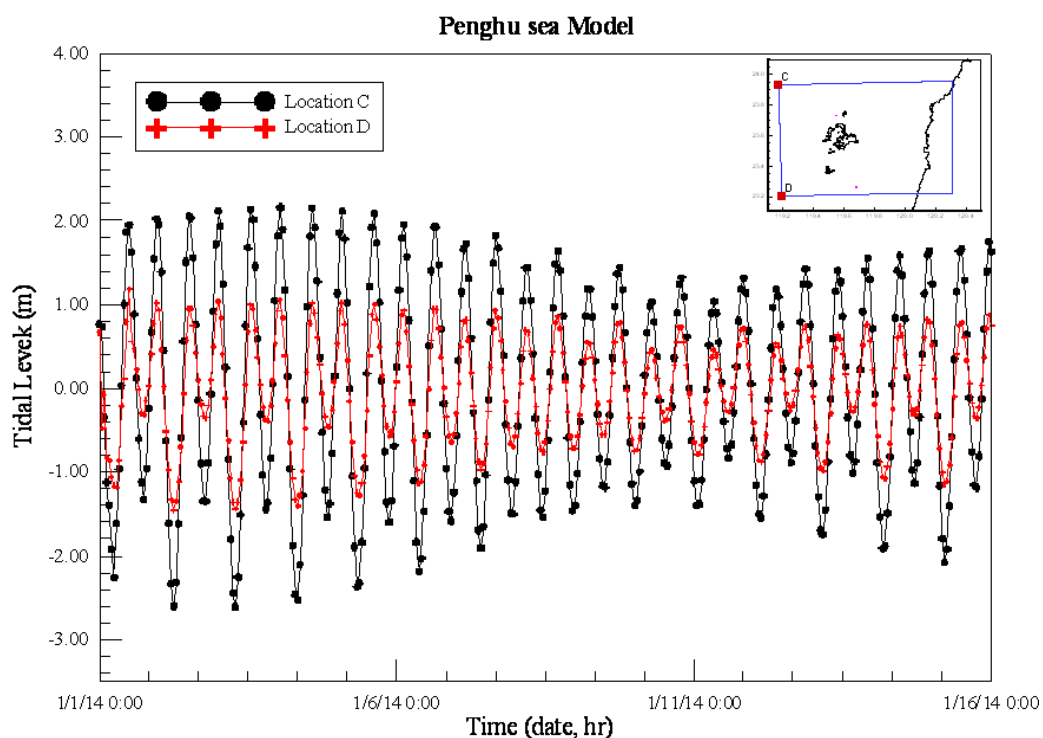


圖 5.5 (續)澎湖海域水動力模式開放邊界天文潮水位邊界條件(由本計畫中尺度水動力模式產生)

5.5 澎湖海域水動力模擬結果與驗證

在模擬結果之驗證上，本計畫選取 2014 年 1 月份澎湖馬公潮位站潮位觀測資料與澎湖資料浮標海流觀測資料之調和分析結果進行模式模擬水位與流速之驗證。

圖 5.6 所示為本計畫澎湖海域水動力模式採用 Nao.99Jb 產生水位邊界條件之模擬結果與馬公潮位站潮位觀測資料、澎湖資料浮標海流調和分析資料之比較，圖中潮位逐時觀測資料為觀測值扣除月平均潮位值(-0.522m)之結果，觀測值調和分析資料為選取 O_1 、 K_1 、 M_2 、 S_2 及 M_4 等主要天文分潮調和分析之結果。顯示水位模擬結果與馬公港潮位變化趨勢相當近似；潮流漲退流速大小的變化亦與澎湖資料浮標海流調和分析資料相近似，惟在流向變化的角度上，數值模擬結果與測站間均存在有近似固定的流向誤差，此應與數值計算網格解析度與地形水深變化無法反映出實際現況有關。

本計畫依據澎湖海域水動力模式模擬結果，繪出 2014 年 1 月 2 日 0 時至 3 日 0 時平面流場圖，如圖 5.7 所示；整體上，澎湖海域漲潮階段潮流流向往北，退潮時潮流流向往南。圖 5.8 所示為澎湖港龍門尖山港區外海水位及流速流向模擬結果之時序列圖，模擬結果顯示龍門尖山港區外海受到島嶼地形屏障，潮流流經港口附近時流速相當小，最大流速約 0.1 m/sec，此與港研中心在龍門尖山港區外海測站(MG)海流觀測現象相近似。

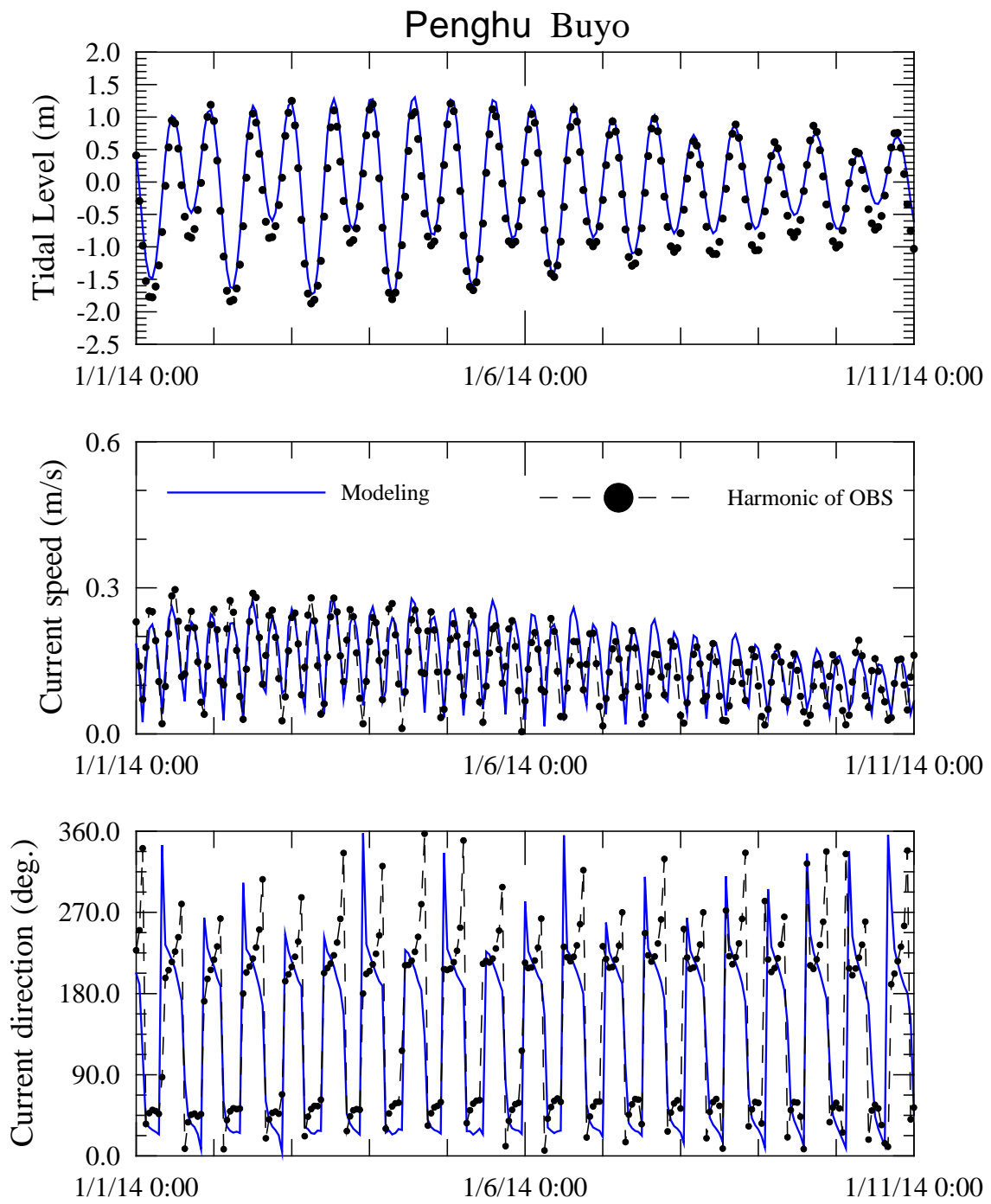


圖 5.6 澎湖海域水動力模式模擬結果與澎湖資料浮標潮流調和分析
結果比較

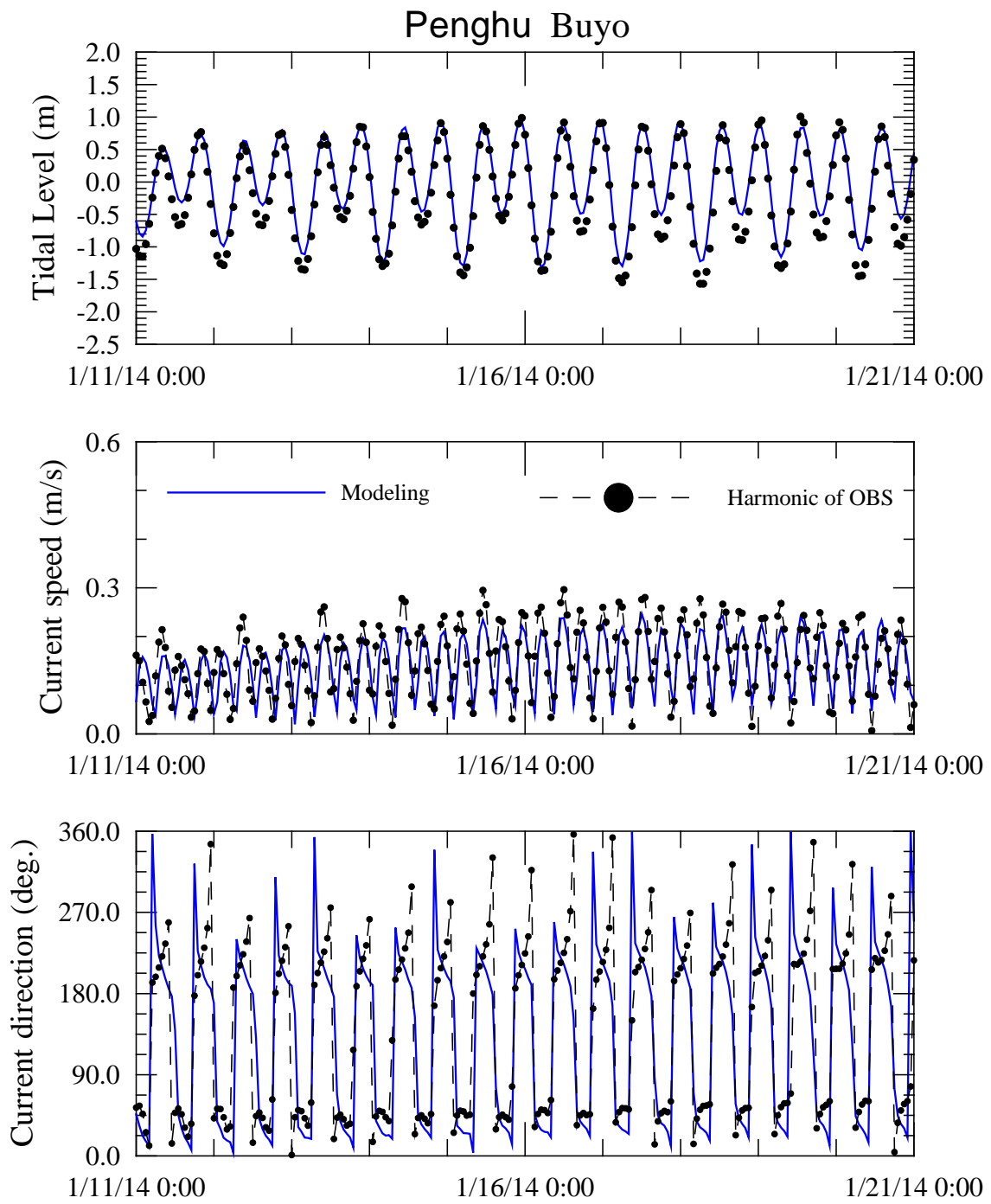


圖 5.6 (續)澎湖海域水動力模式模擬結果與澎湖資料浮標潮流調和分析結果比較

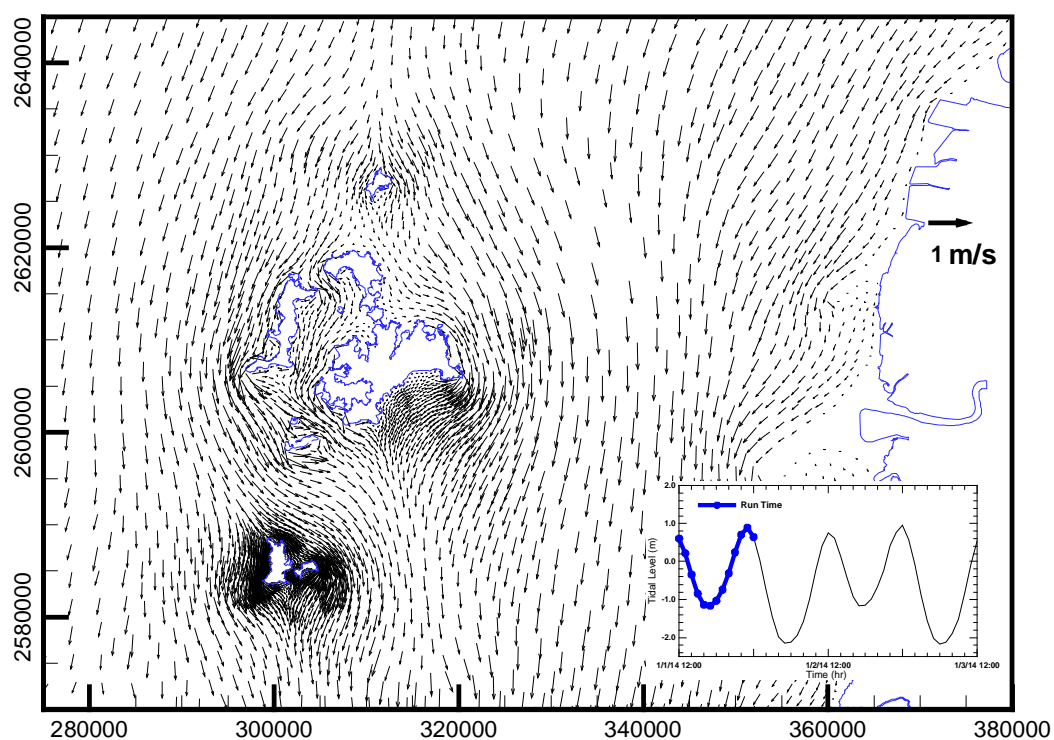


圖 5.7 澎湖海域水動力模式流場模擬結果

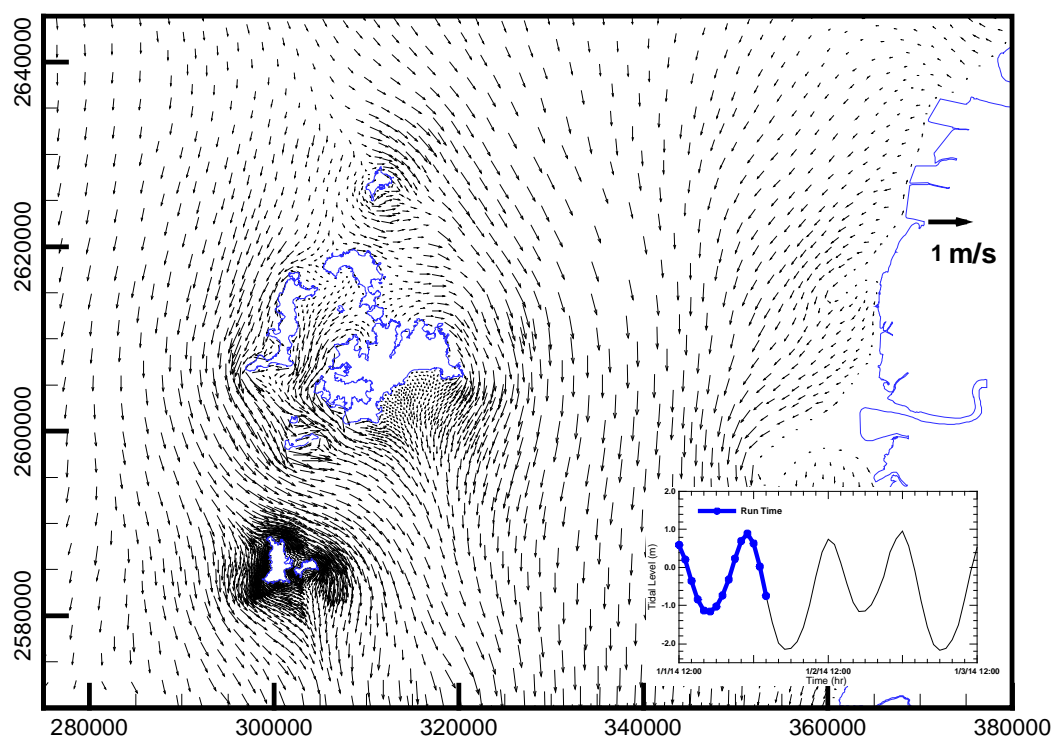


圖 5.7 (續 1)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

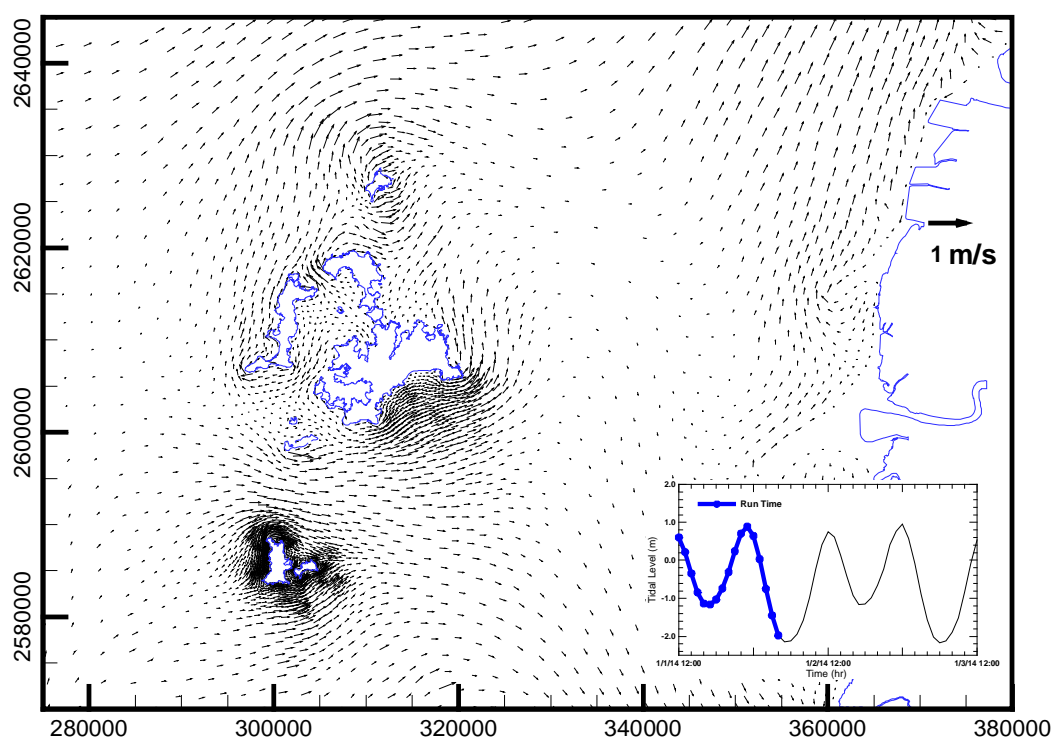


圖 5.7 (續 2)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

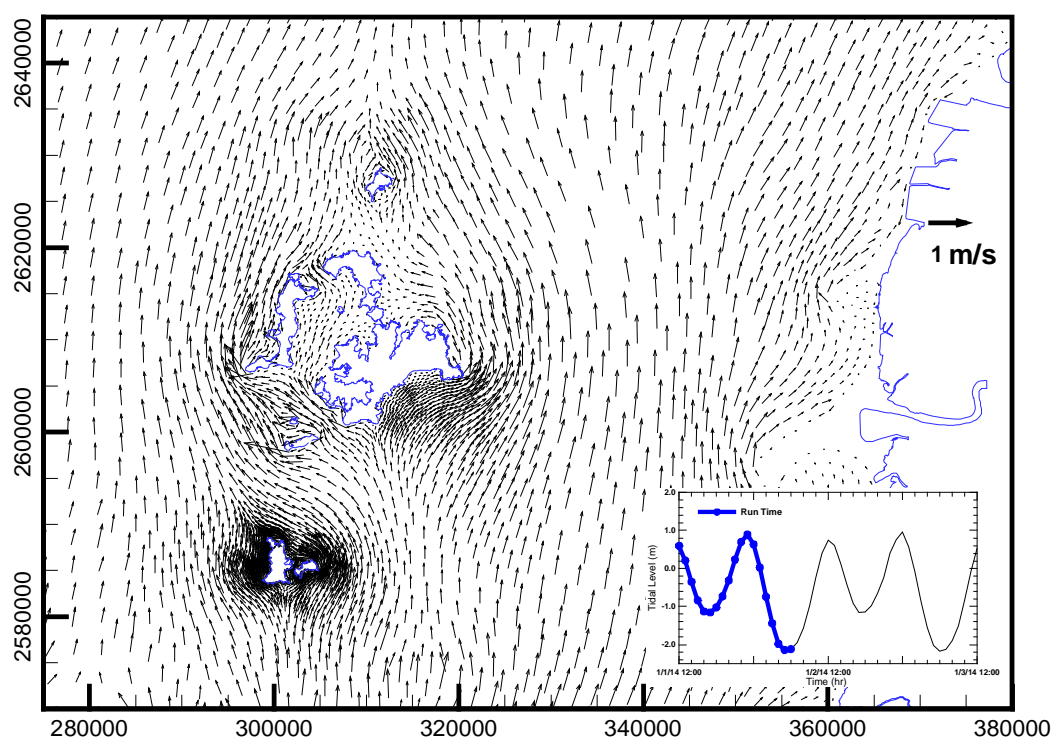


圖 5.7 (續 3)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

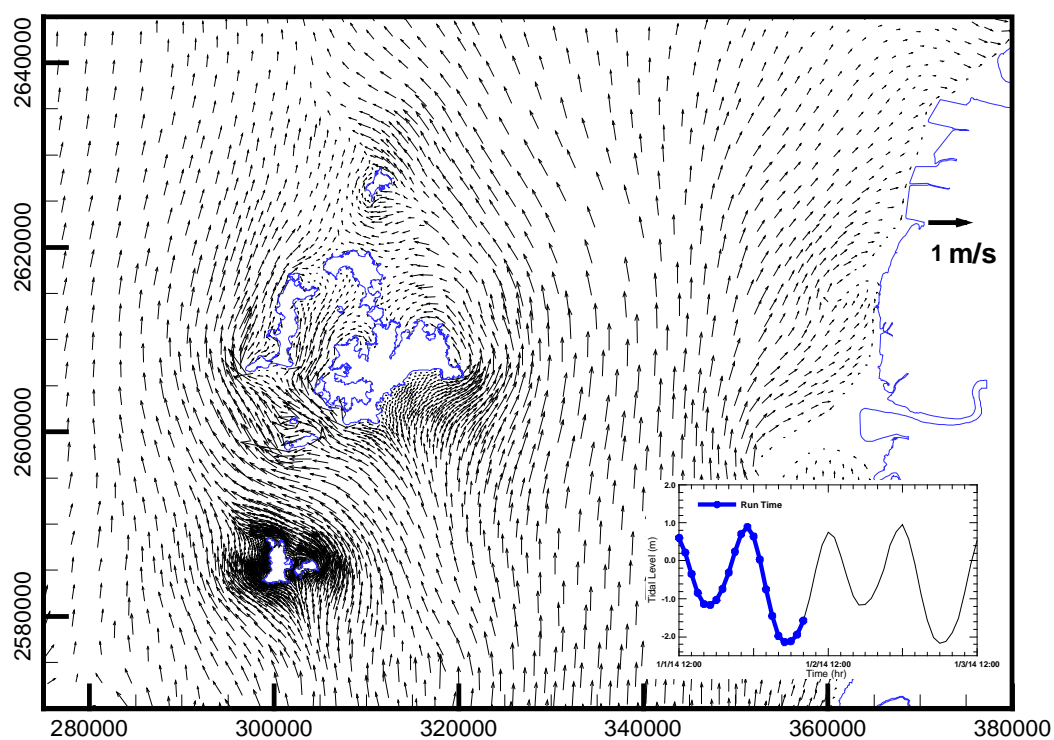


圖 5.7 (續 4)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

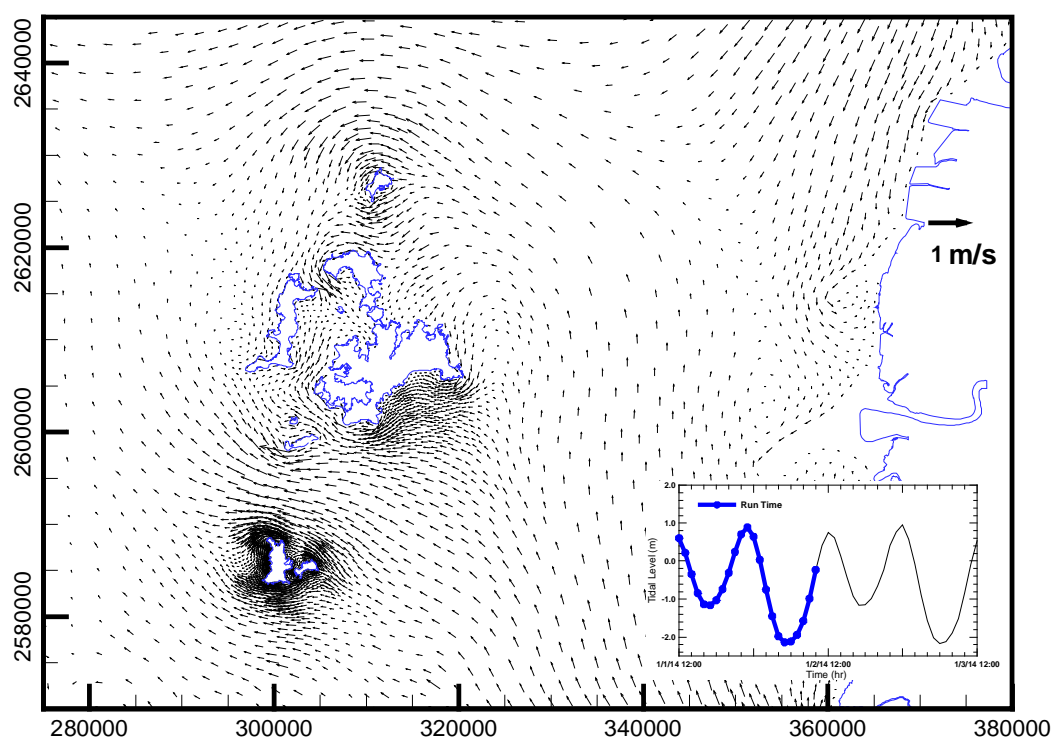


圖 5.7 (續 5)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

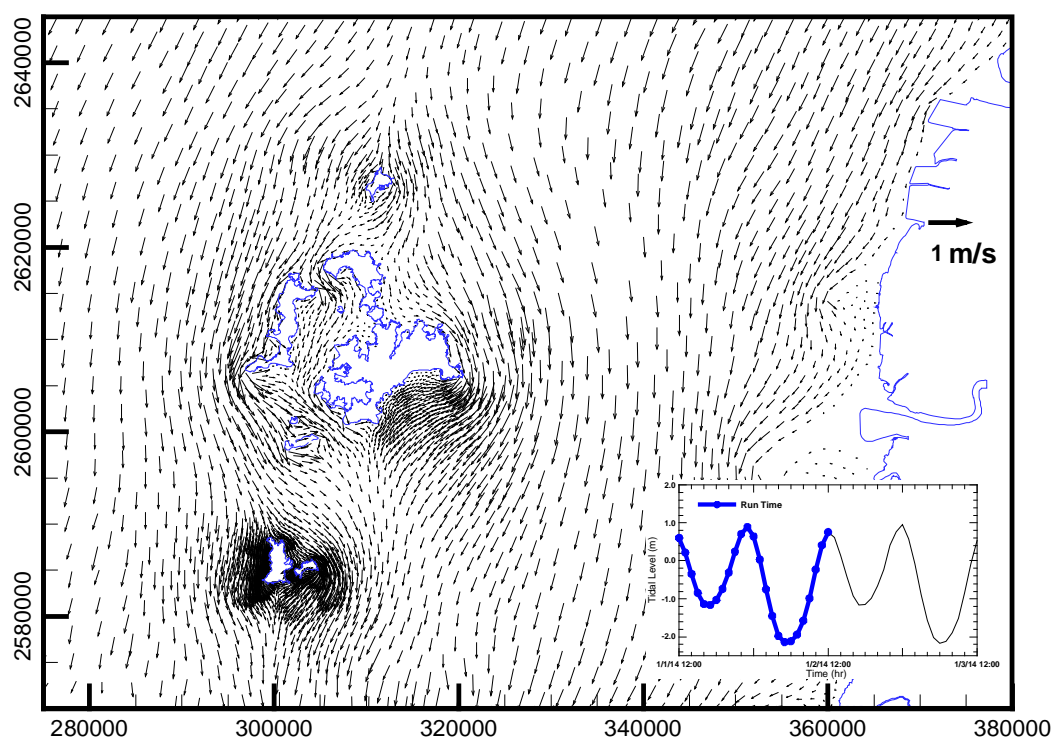


圖 5.7 (續 6)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

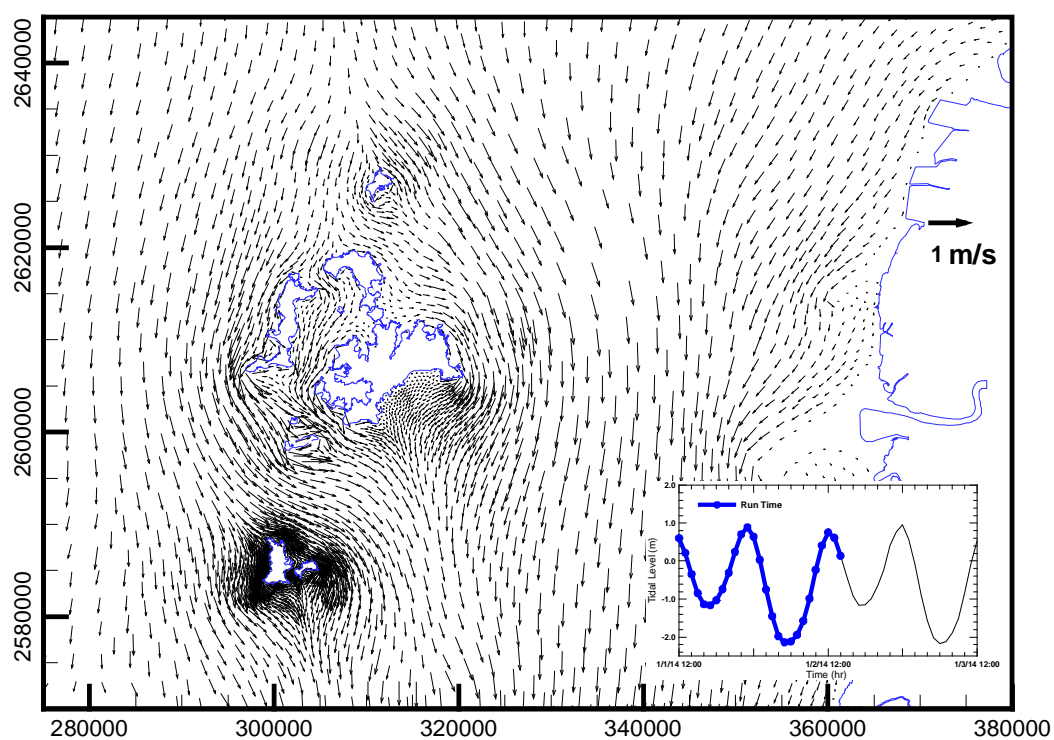


圖 5.7 (續 7)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

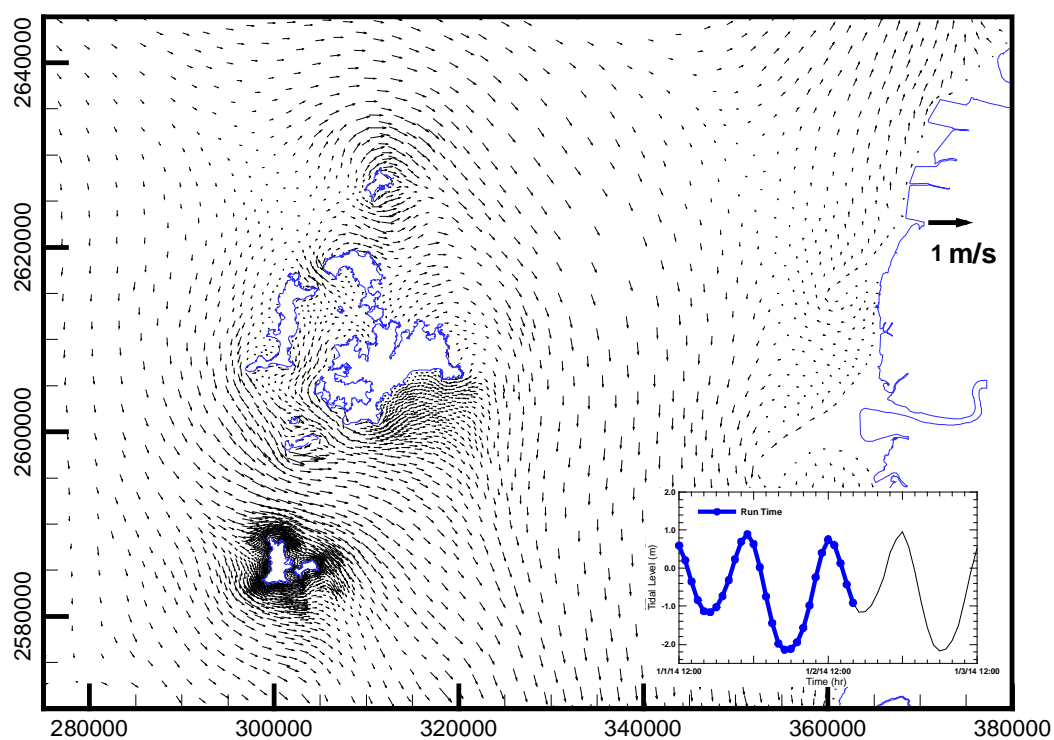


圖 5.7 (續 8)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

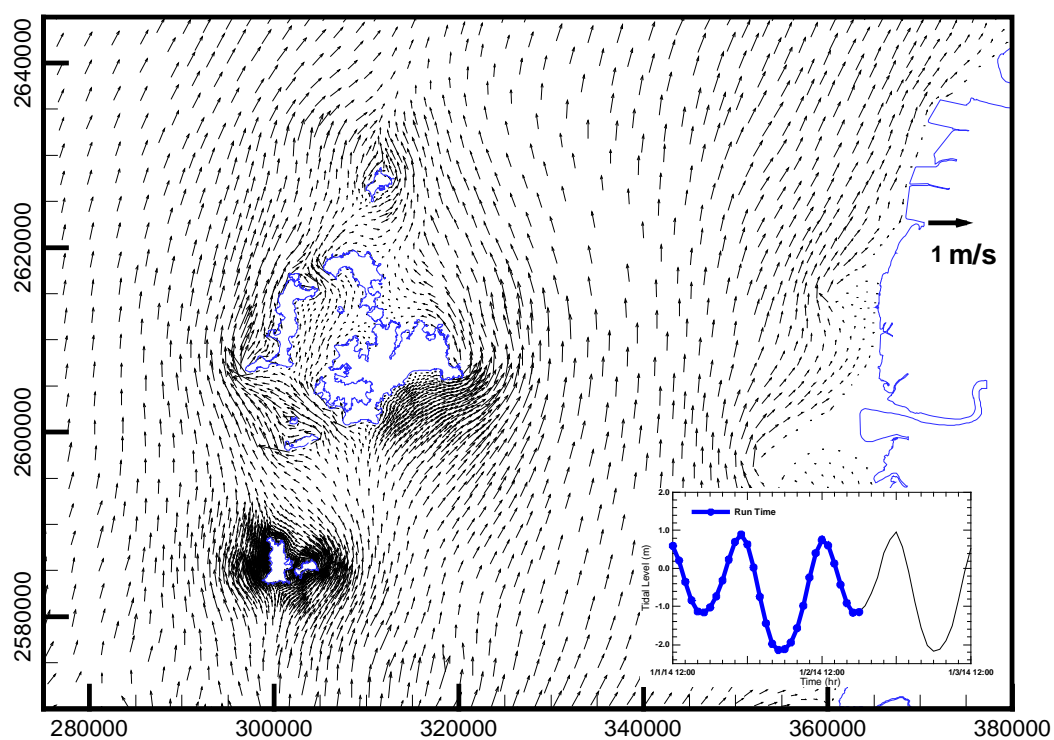


圖 5.7 (續 9)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

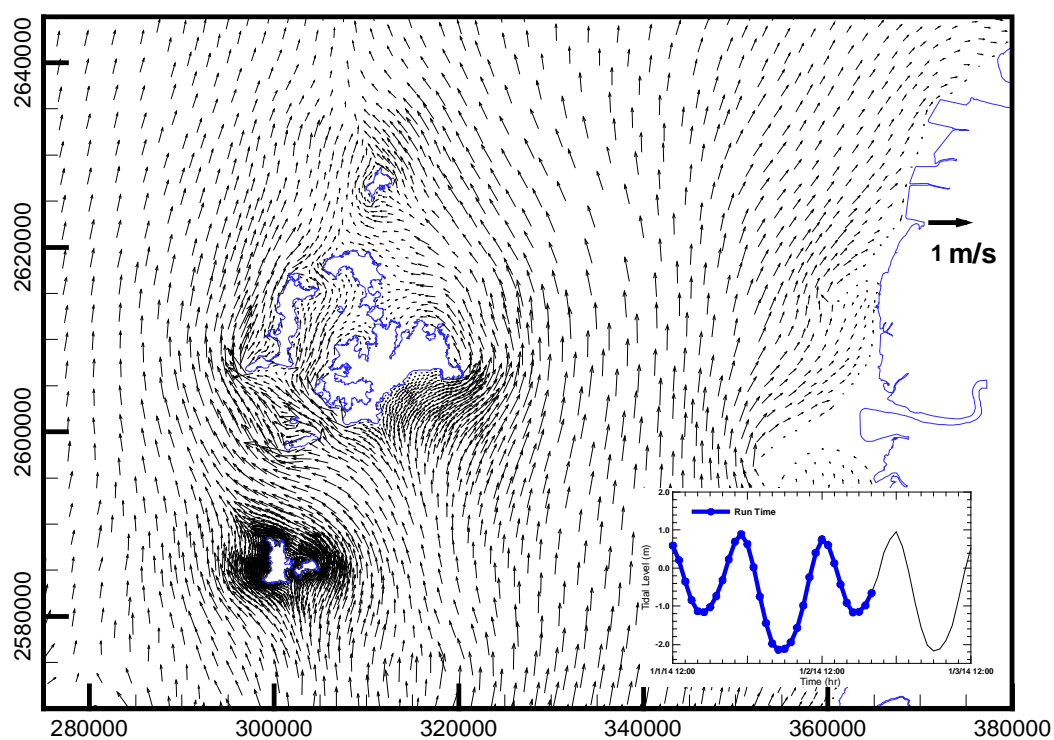


圖 5.7 (續 10)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

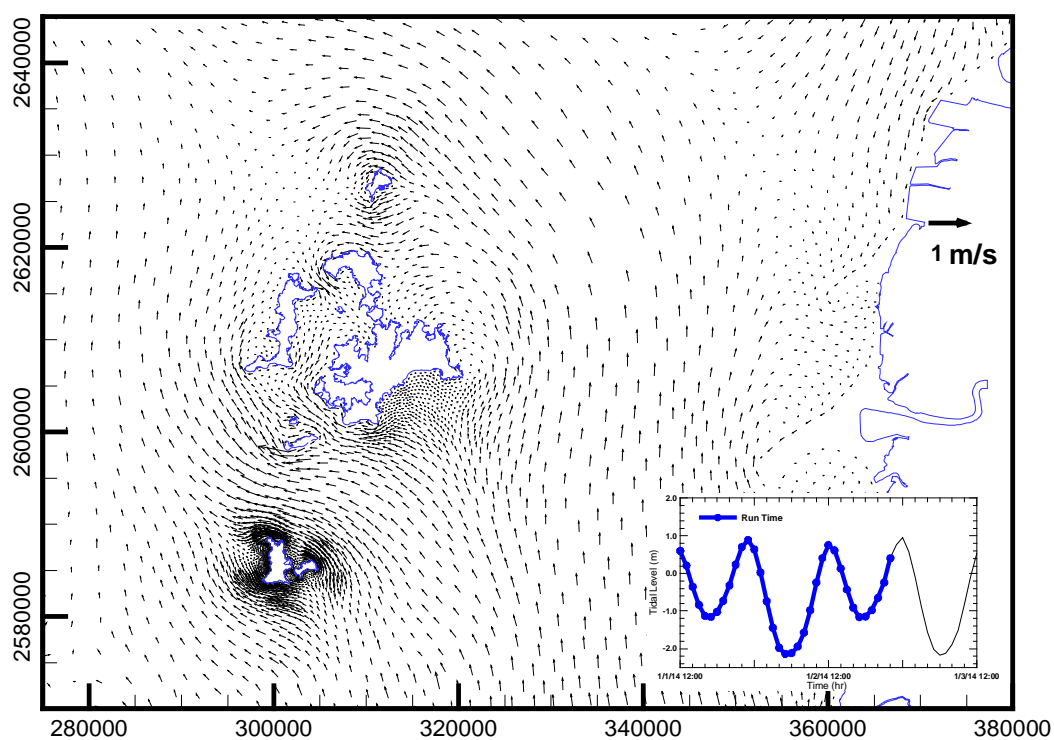


圖 5.7 (續 11)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

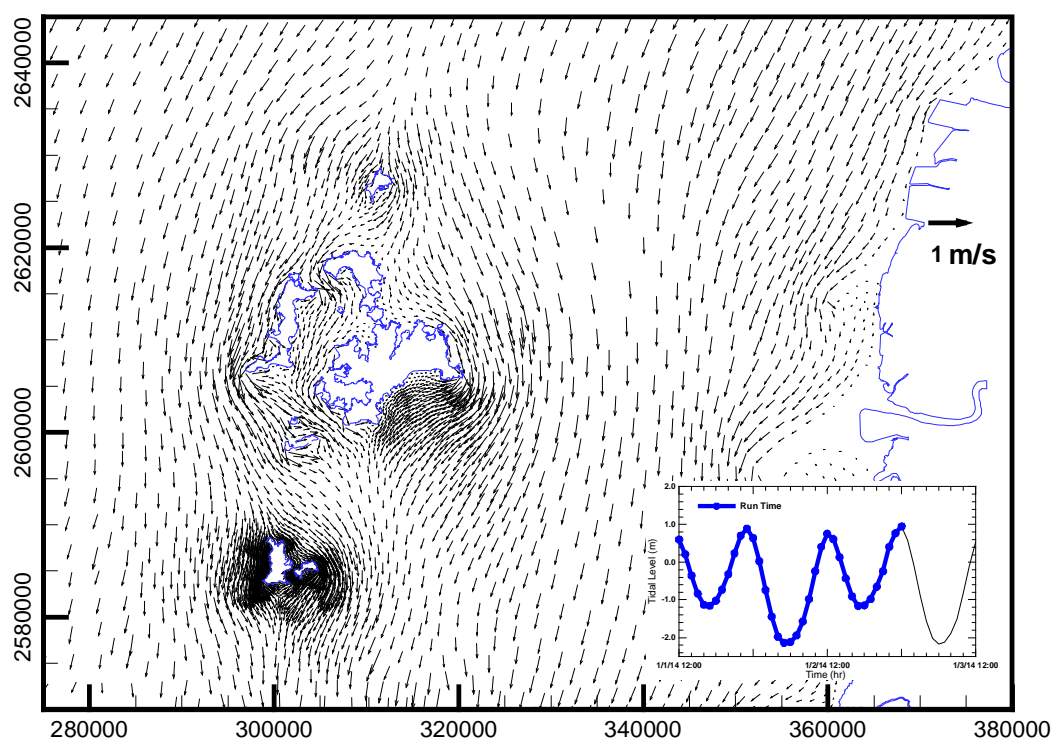


圖 5.7 (續 12)澎湖海域水動力模式流場模擬結果

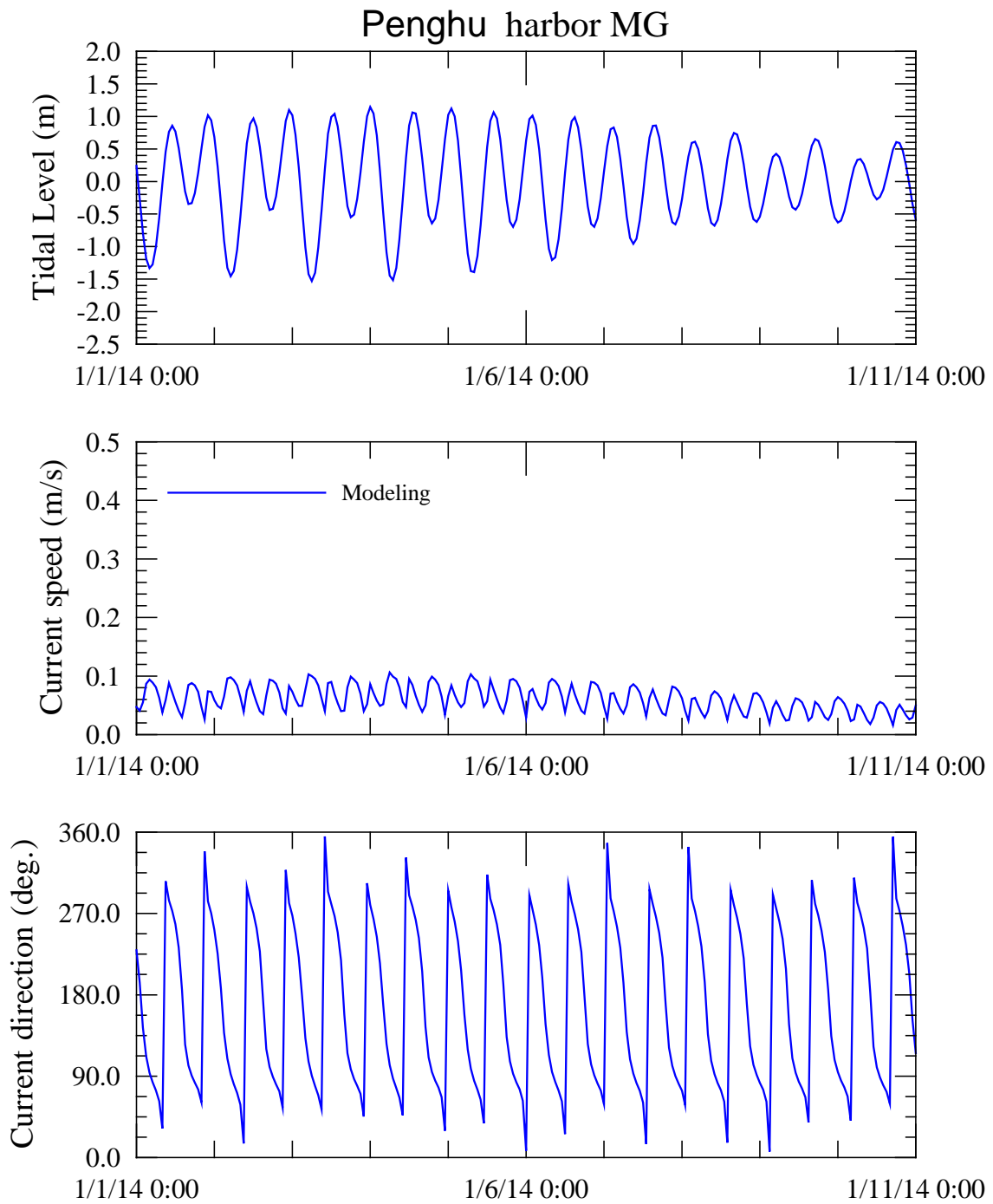


圖 5.8 澎湖港龍門尖山港區外海水位及流速流向數值模擬結果

第六章 澎湖海域近岸風浪模式建置

有鑑於 TaiCOMS 海象模擬作業化系統下遠域風浪模組及近域風浪模組數值計算網格之解析度無法模擬澎湖海域近岸風浪特性，因此港研中心規劃在近域風浪模組下建置小尺度澎湖海域近岸風浪模式，藉以模擬澎湖海域近岸風浪特性，並納入 TaiCOMS 海象模擬作業化系統。本項研究屬於兩年期(104~105)研究項目，本年度(104)為此項研究工作第一年，工作內容以模式設定及模擬系統測試為主

由於澎湖海域近岸風浪模式必須能夠銜接 TaiCOMS 近域風浪模組執行作業化澎湖海域近岸風浪模擬，因此本計畫規劃採用近域風浪模組相同的數值模式 SWAN 建置澎湖海域近岸風浪模組。本年度相關工作成果說明如下：

6.1 數值計算網格

6.1.1 模式模擬範圍

圖 6.1 及圖 6.2 分別為 TaiCOMS 遠域風浪模組及近域風浪模組之模擬範圍，其中遠域風浪模組模擬範圍含蓋西太平洋北緯 10° 至 35° ，東經 110° 至 134° 之海域，數值計算網格解析度為 0.2° (或 $12'$)；近域風浪模組模擬範圍含蓋臺灣周圍海域北緯 21° 至 27° ，東經 117° 至 123° 之海域，數值計算網格解析度為 0.04° (或 $2.4'$)。基於提昇 TaiCOMS 風浪模擬作業化風場資料精度考量，本計畫遠域及近域風浪模擬分別改採用作業化風場 WA02 及 WA03 資料；同時，為配合作業化風場 WA03 資料範圍大小，本計畫將近域風浪模組模擬範圍調整為北緯 21° 至 27° ，東經 117.5° 至 124° 之海域。

圖 6.3 粗虛線矩形區域為本計畫澎湖海域近岸風浪模組模擬範圍，圖中粗虛線矩形區域之左下及右上角經緯度座標分別為(119.0, 22.8)及(120.48, 24.2)。本計畫模式模擬範圍含蓋臺灣本島西部陸地，係基於減少模式開放邊界條件數量及降低開放邊界對數值模擬之影響。

6.1.2 數值計算網格建置

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

本計畫遠域風浪模組、近域風浪模組及澎湖海域近岸風浪模組數值計算網格採用的地形水深資料為 ETOPO1 地形水深資料，圖 6.4 為澎湖海域近岸風浪模式數值計算網格數。各模組採用正值表示海域水深值，負值表示陸地高程，另以“-10.0”代表非計算格點。

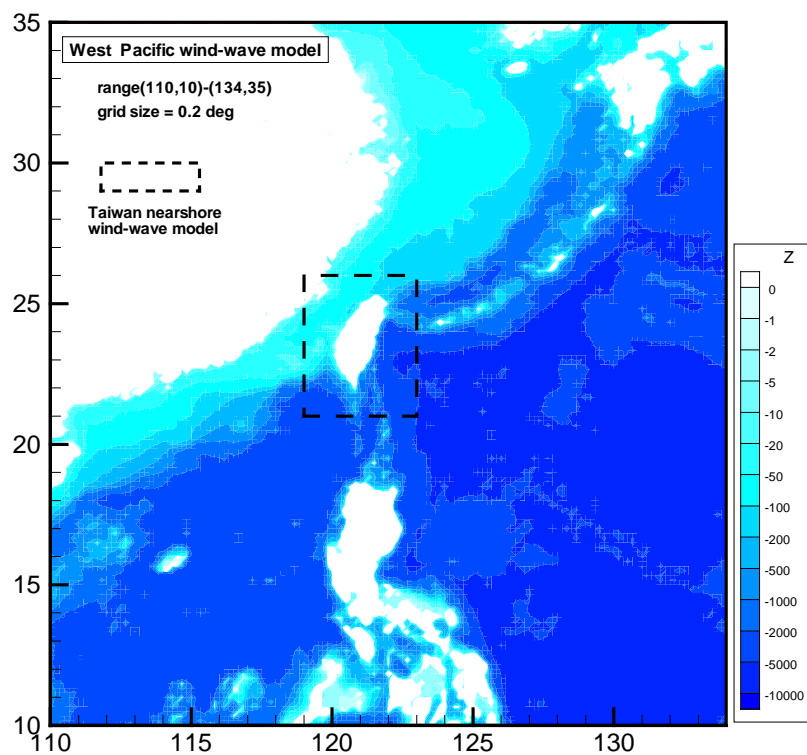


圖 6.1 西太平洋範圍遠域風浪模組模擬範圍及水深分布圖

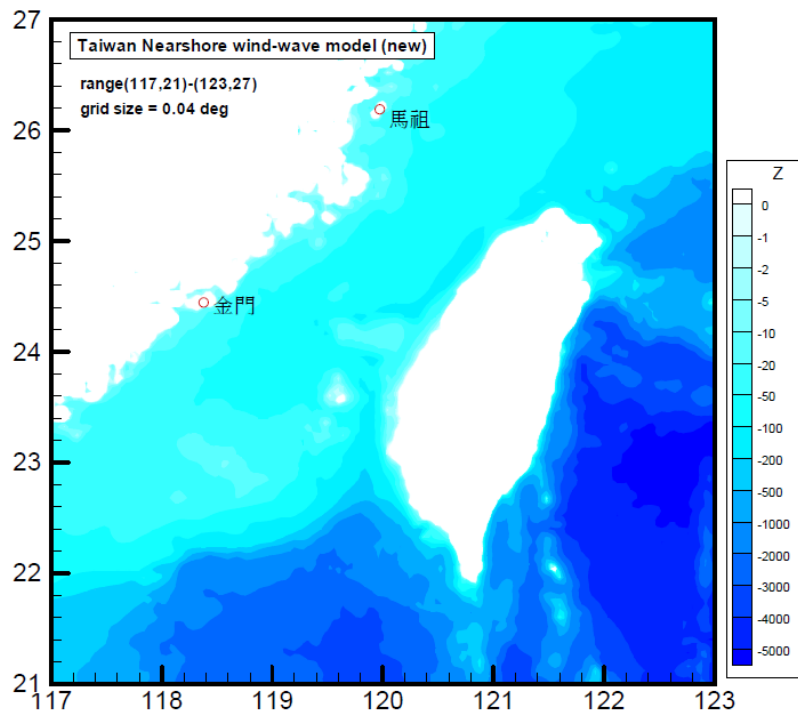


圖 6.2 臺灣周圍海域近域風浪模組模擬範圍及水深分布圖

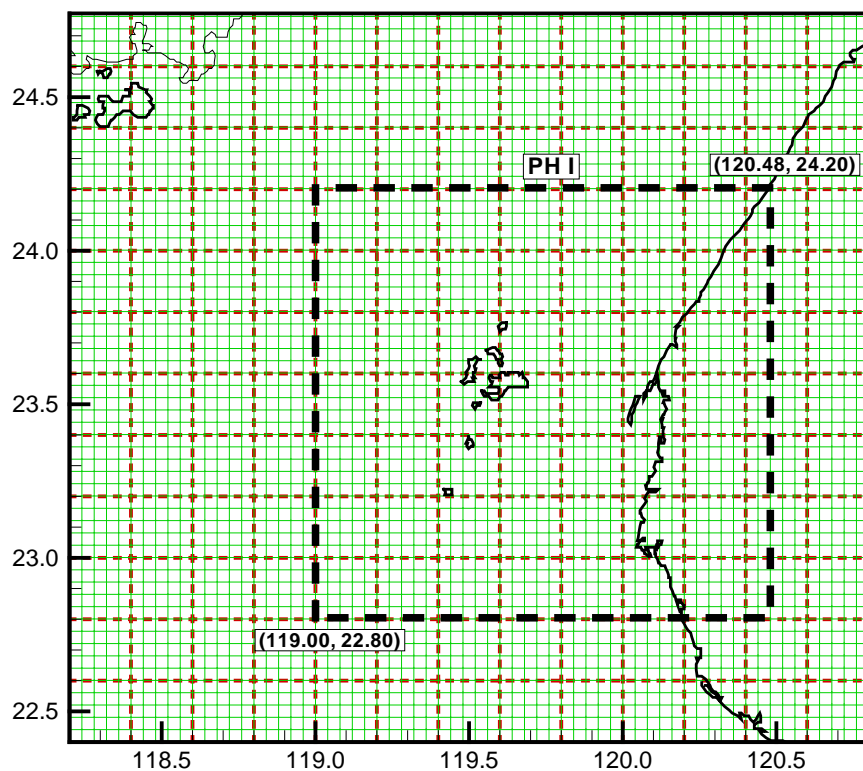


圖 6.3 澎湖海域風浪模擬範圍示意圖(細虛線為遠域計算網格,實線為近域計算網格)

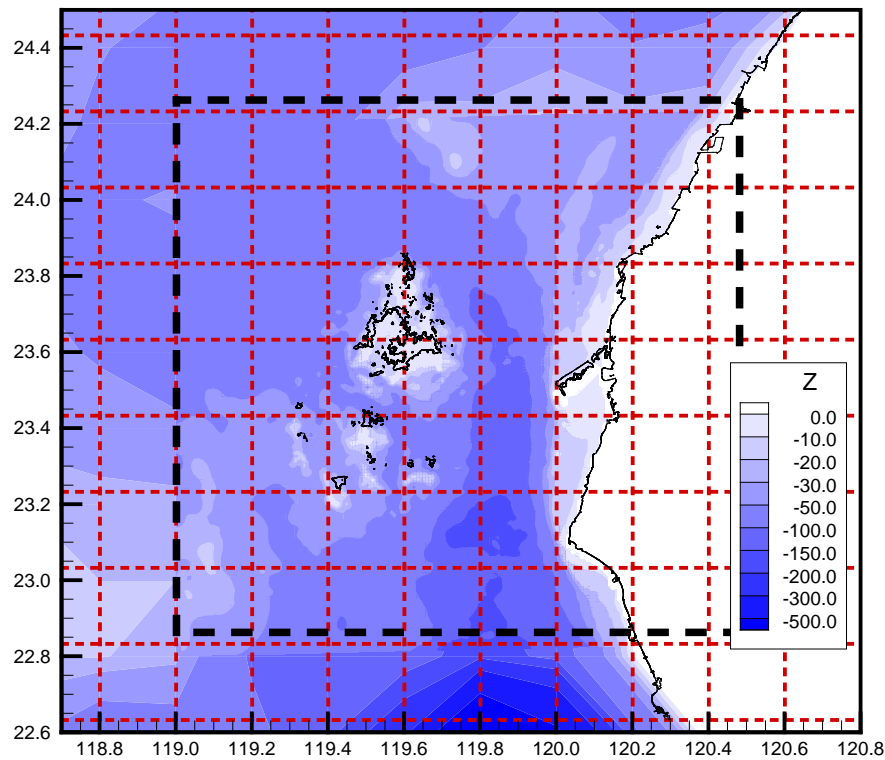


圖 6.4 澎湖海域小尺度風浪模式計算網格之地形水深分布圖

6.2 風場資料及邊界條件

6.2.1 作業化風場

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

6.2.2 邊界條件設定

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

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

資料檔名開頭為“cbo”)

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

6.3 風浪模組設定

6.3.1 遠域風浪模組

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

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

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

波向及平均週期)、海面波譜及湧浪波譜等次要選項輸出。

模式中關於波浪之積分參數說明如下：

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

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

2. 頻率譜 $\bar{E}(f)$ 為

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

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

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

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

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

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

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

6. 平均波向定義為

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

其中

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

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

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

本計畫遠域風浪模擬操作流程如圖 6.5 所示，圖中 PREPROC 及 PRESET 模組代表此二模組僅需於首次或系統重新設定時才執行。

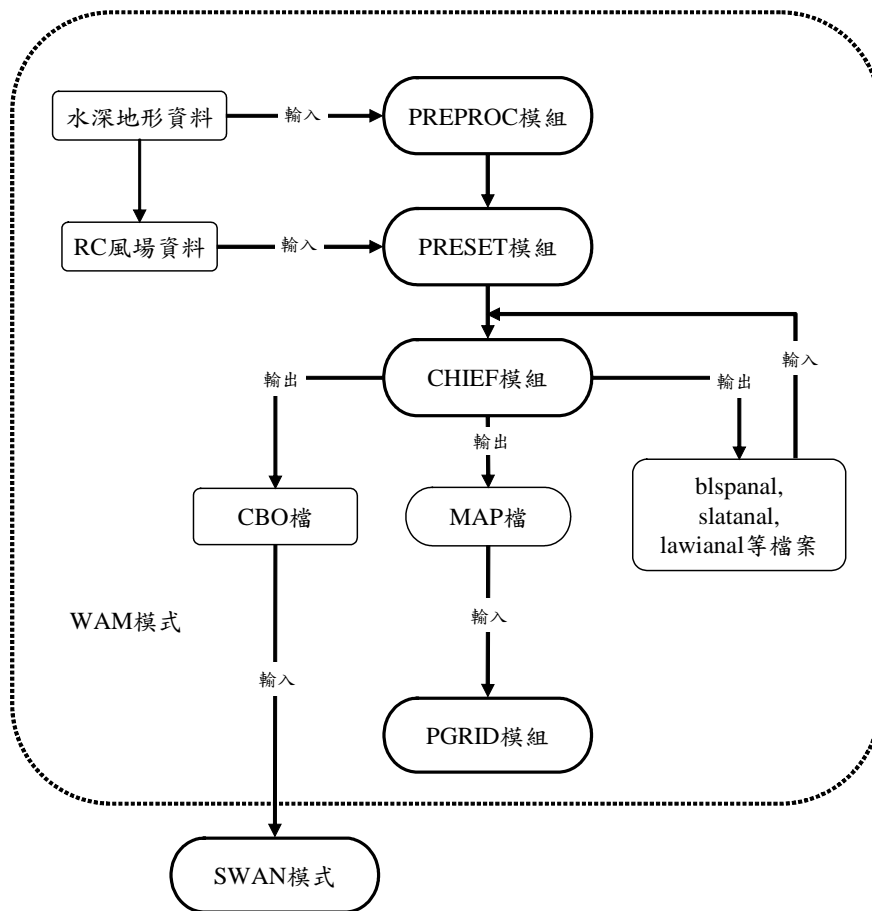


圖 6.5 遠域風浪模擬操作流程圖

6.3.2 近域風浪模組

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

本計畫近域風浪模擬利用遠域風浪模組(或 WAM)計算出來的二維波浪頻譜結果，作為近域風浪模組(或 SWAN)之邊界條件；即採用“WAM+SWAN”套疊網格進行計算，可清楚模擬出颱風波浪於臺灣周圍海域近岸處分佈情形。圖 6.6 為近域風浪模擬操作流程，其中“中繼檔”是給下一個時段波浪模擬所需的資料。

6.3.3 澎湖海域近岸風浪模組

澎湖海域近岸風浪模擬有關 SWAN 參數設定同樣可參考附錄五所述。

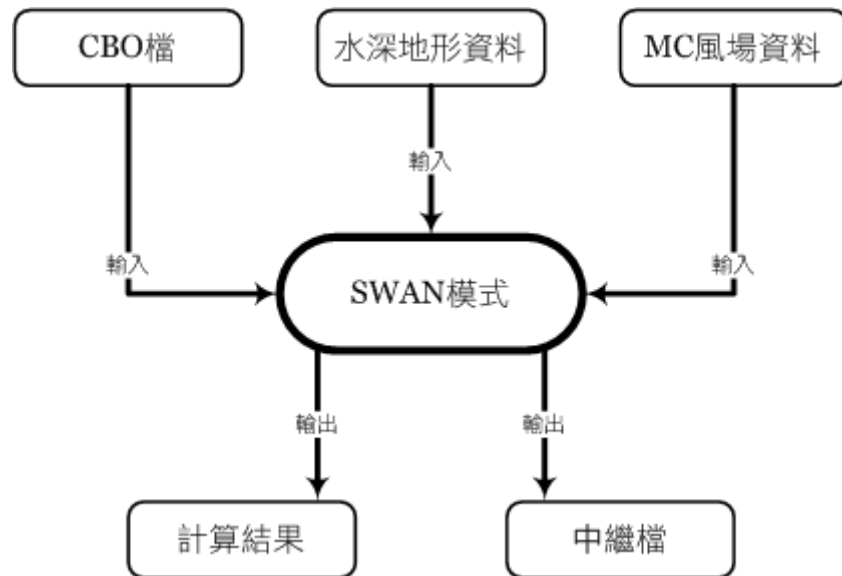


圖 6.6 近域風浪模擬操作流程圖

6.4 風浪模擬作業化系統安裝與模擬測試

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

第七章 澎湖港龍門尖山港區港域波浪模式建置

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

7.1 龍門尖山港區介紹

澎湖港龍門尖山港區位於澎湖縣湖西鄉，如圖 7.1 所示；定位為澎湖港散雜貨及油品等危險貨品裝卸碼頭區。龍門尖山碼頭區港區整體規劃，如圖 7.2 所示，龍門尖山碼頭區現有 8 座碼頭，碼頭岸線總長 1,003 公尺，包含一般散雜貨碼頭 6 座(1~6 號碼頭)、大宗散貨碼頭 1 座(9 號碼頭)、油品碼頭 1 座(10 號碼頭)。航道及迴船池深度為 -7.5 公尺，可進 5,000 噸(DWT)級貨輪。

7.2 數值計算網格建置

7.2.1 模式模擬範圍

針對澎湖港龍門尖山港區港域波浪模擬，本計畫選取的數值模擬範圍，如圖 7.3 所示，圖中外海有限領域假想半圓之半徑為 1,600 m；港域面積除了龍門尖山港區水域外，亦含蓋龍門及尖山兩漁港水域。

7.2.2 地形水深資料

本計畫除了蒐集 103 年測繪澎湖港龍門尖山港區地形水深資料(參考圖 4.5)外，同時蒐集海軍大氣海洋局刊行的海圖 61709 龍門及尖山漁港(比例尺 2,500 分之一)及海圖 04529 澎湖群島東南部(比例尺 50,000 分之一)，如圖 7.4 及圖 7.5 所示，建置地形水深資料。

7.2.3 數值計算有限元素網格建置

本計畫港域波浪模式數值計算有限元素網格採用三角形元素建

構，如圖 7.6 所示為本計畫針對模式模擬範圍建構的有限元素粗網格，粗網格水深資料則利用前述 7.2 節蒐集的水深資料內插得到，模式模擬範圍內水深分布情形如圖 7.7 所示。由於本計畫港域波浪模式數值計算網格解析度，須滿足波長至少涵蓋 8 個網格節點，因此圖 7.6 建構的有限元素粗網格無法直接應用於本計畫港域波浪模式。

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

7.2.4 邊界條件設定

本計畫港域波浪模式邊界條件設定分為四類，說明如下：

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

7.3 港域波浪場模擬

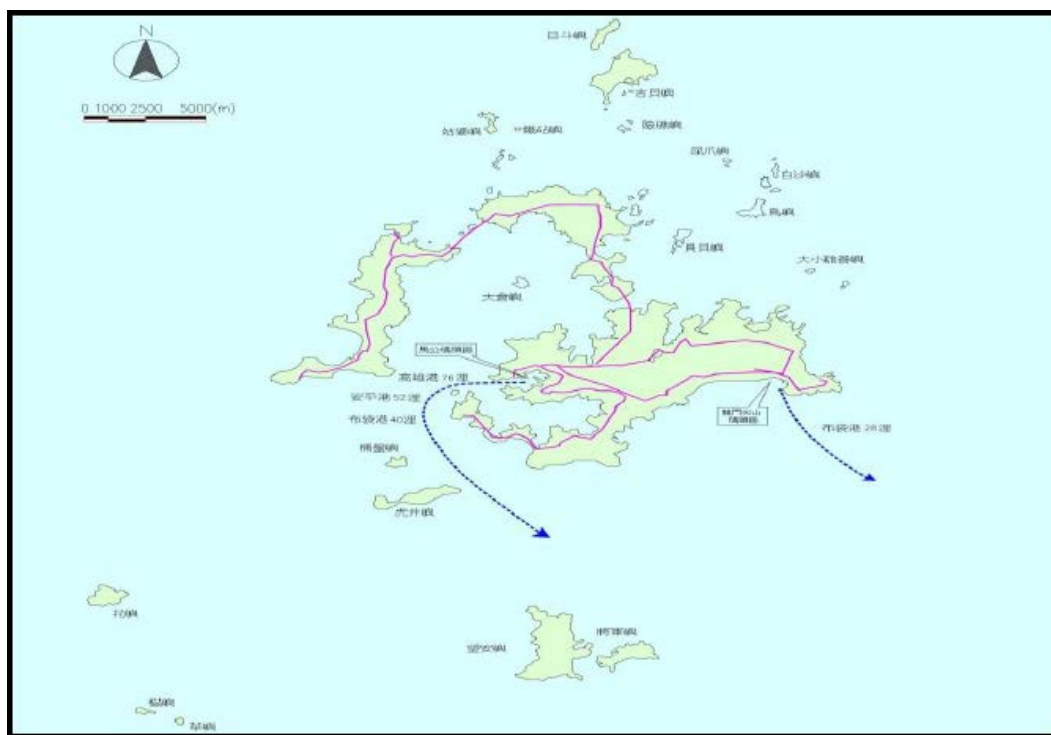
本計畫針對颱風波浪及湧浪規劃的波浪場模擬條件如下：

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

本報告針對波浪週期 9sec 數值模擬結果分別繪出波場相位分布圖及波高分布圖，如圖 7.8 至圖 7.14 所示；由波場相位分布圖可以判斷波浪傳播方向、受地形水深影響的折射現象、波浪通過結構物的繞射現象等，由波高分布可以判斷港區遮蔽現象及水域靜穩程度。

例如 W 波向波浪場數值模擬結果，如圖 7.8a,b 所示；相位分布圖顯示 W 向波浪大致沿著海岸傳播，於淺水區域波浪受到西防波堤阻礙產生反射波向外海傳播，基本上不會對港內水域產生影響；波浪通過西外防波堤延長段堤頭時，波浪場以堤頭為控制點形成繞射波現象，部份繞射波浪通過內港口時再度形成繞射現象，此時波浪繞射現象係以東、西防波堤頭為控制點。波高分布顯示 W 向波浪傳播過程明顯受到西防波堤阻礙，進入港內波浪主要為繞射波浪成份，因此港域內波高分布均小於 0.1m。

SW 波向波浪場數值模擬結果，如圖 7.10a,b 所示；相位分布圖顯示 SW 向波浪傳播方向大致上與西防波堤外海段堤線平行，沿深槽水域傳播波浪可以直接進入外港池水域；通過西外防波堤延長段堤頭之波浪會形成繞射波向內港口傳播，並以東、西防波堤頭為控制點形成繞射波向內港池傳播。波高分布顯示 SW 向波浪通過外港口進入外港池波浪能量明顯受到東防波堤阻礙，惟西防波堤對 SW 向波浪產生的遮蔽效應並不顯著，因此通過東、西防波堤頭進入港內的波浪，因反射波作用水域波高約 0.1~0.2m 左右。



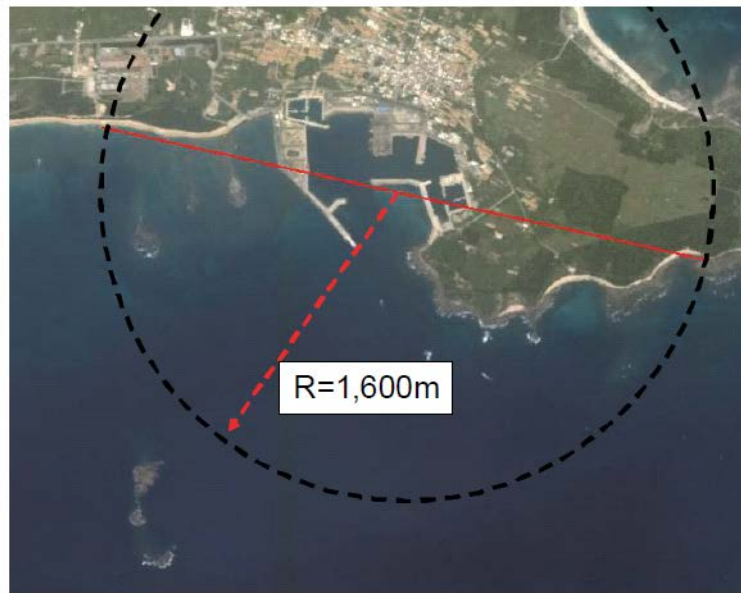


圖 7.3 澎湖港龍門尖山港區港域波浪模擬範圍示意圖



圖 7.4 海軍大氣海洋局刊行海圖 61709 龍門及尖山漁港

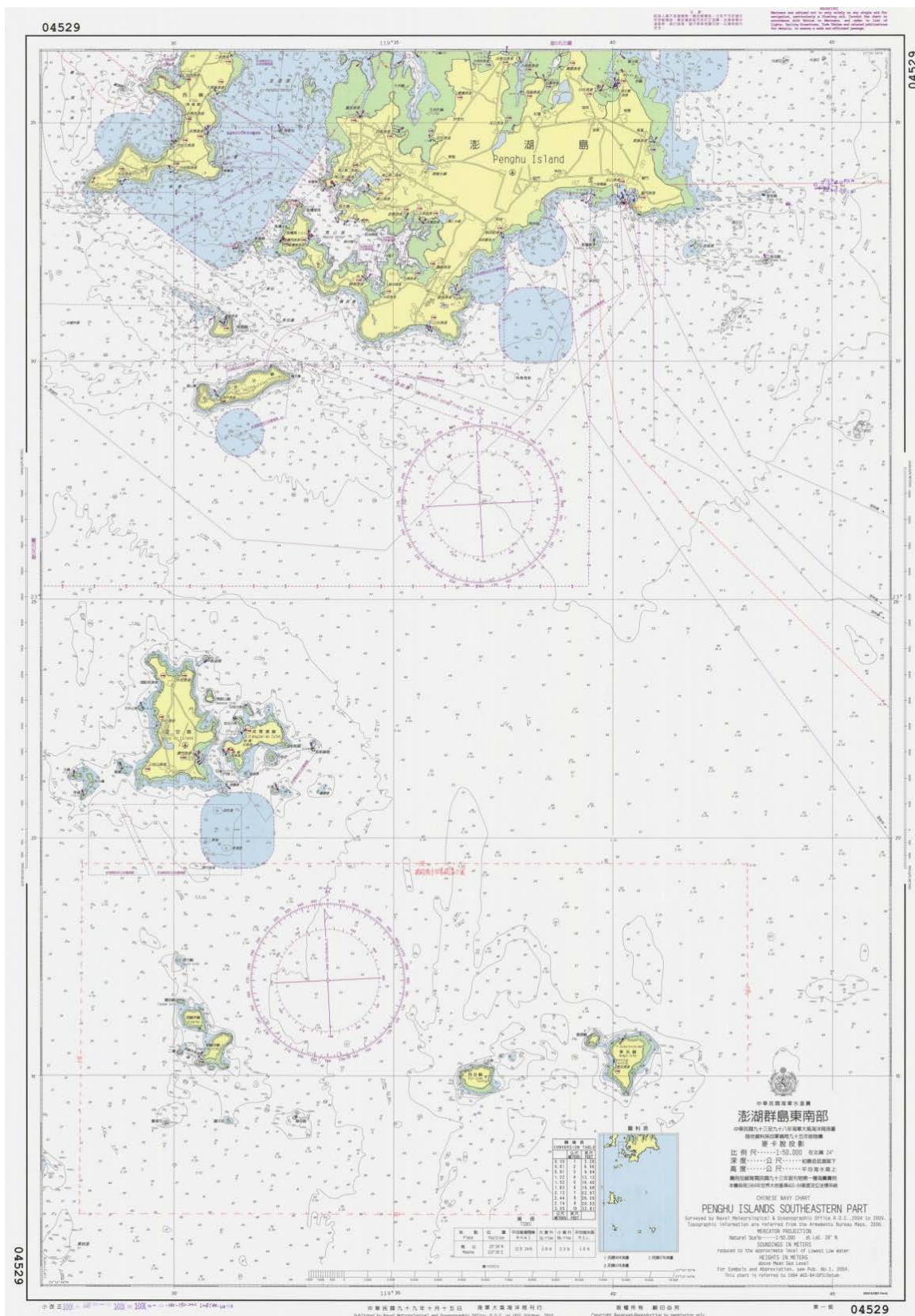


圖 7.5 海軍大氣海洋局刊行海圖 04529 澎湖群島東南部

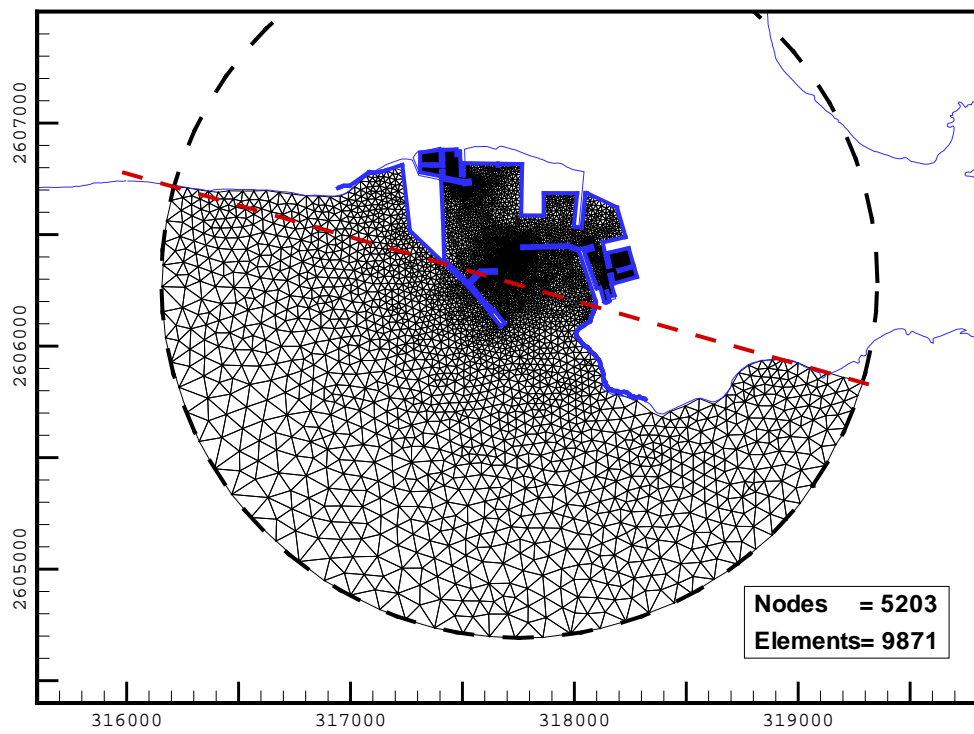


圖 7.6 澎湖港龍門尖山港區模擬範圍有限元素粗網格分布圖

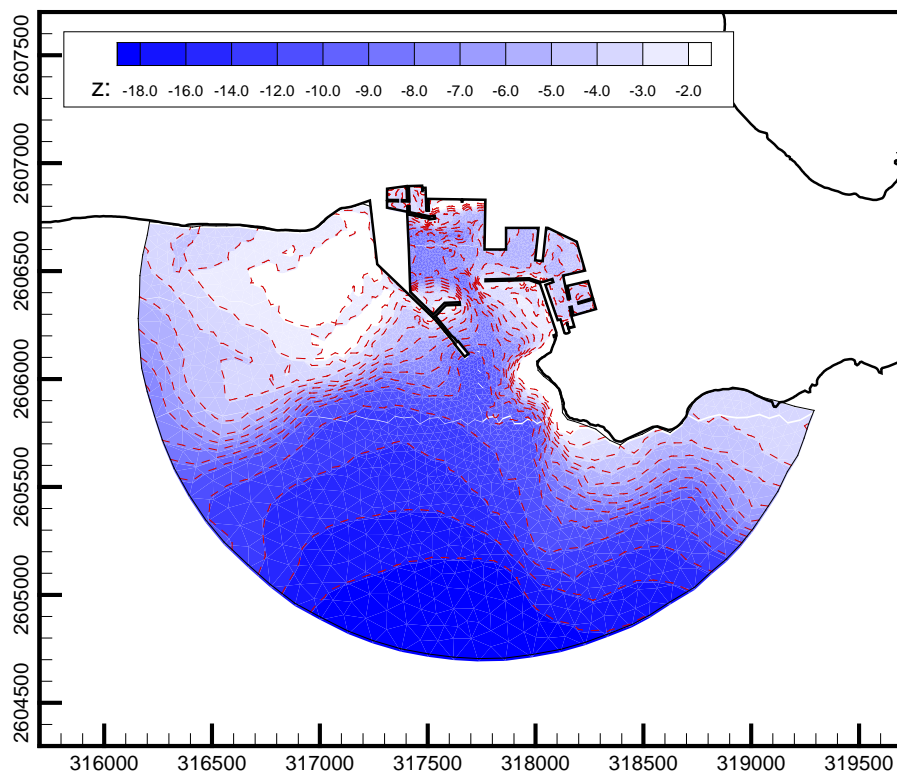


圖 7.7 澎湖港龍門尖山港區模擬範圍粗網格地形水深分布圖

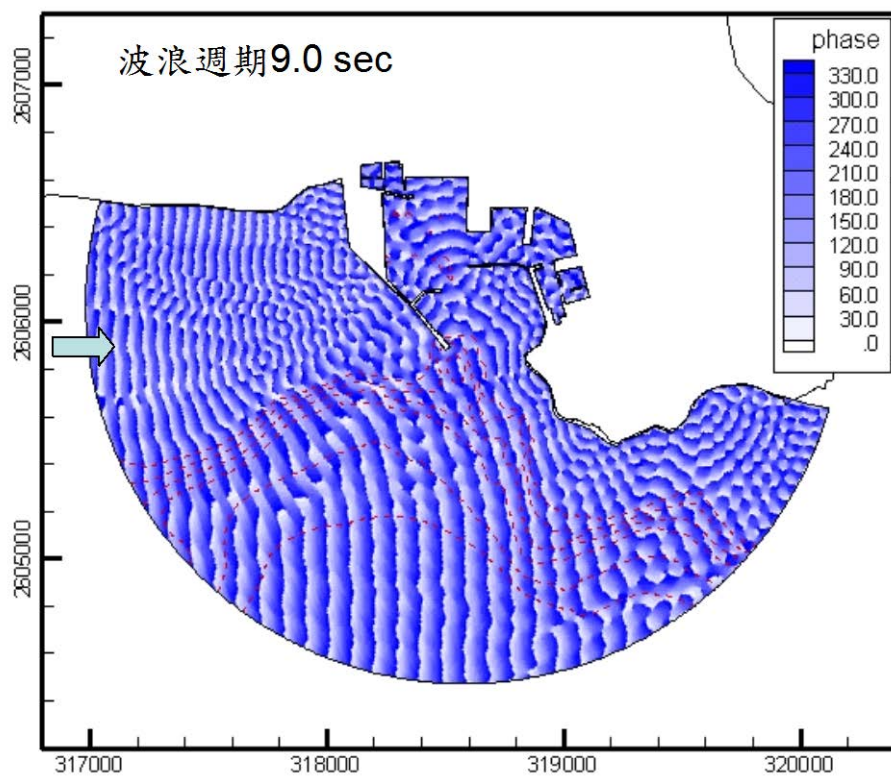


圖 7.8a 澎湖港龍門尖山港區 W 向波浪場模擬結果相位分布圖

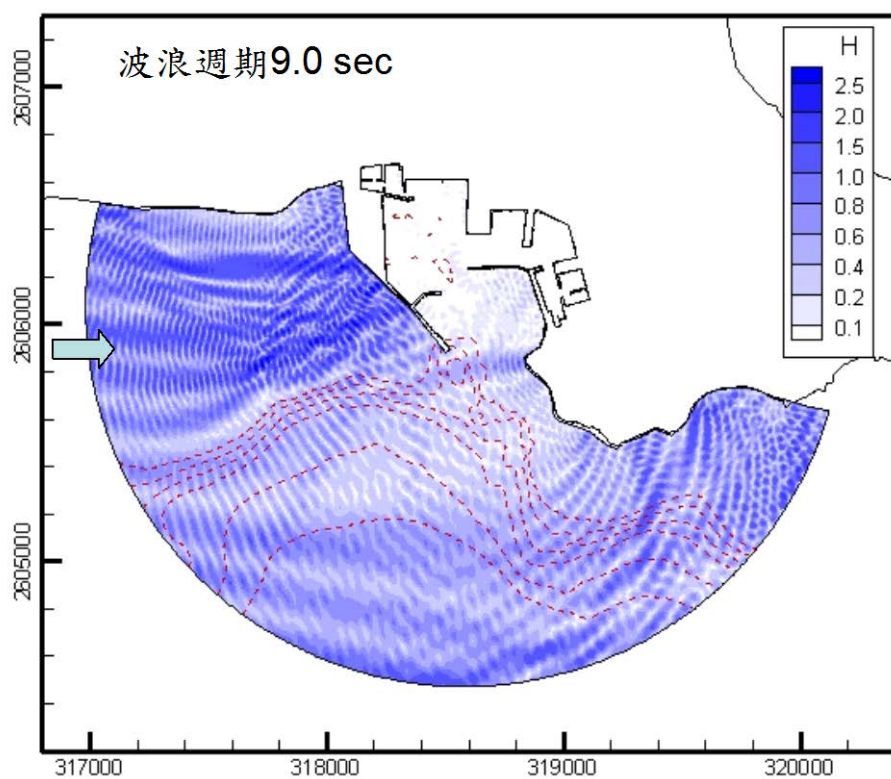


圖 7.8b 澎湖港龍門尖山港區 W 向波浪場模擬結果波高分布圖

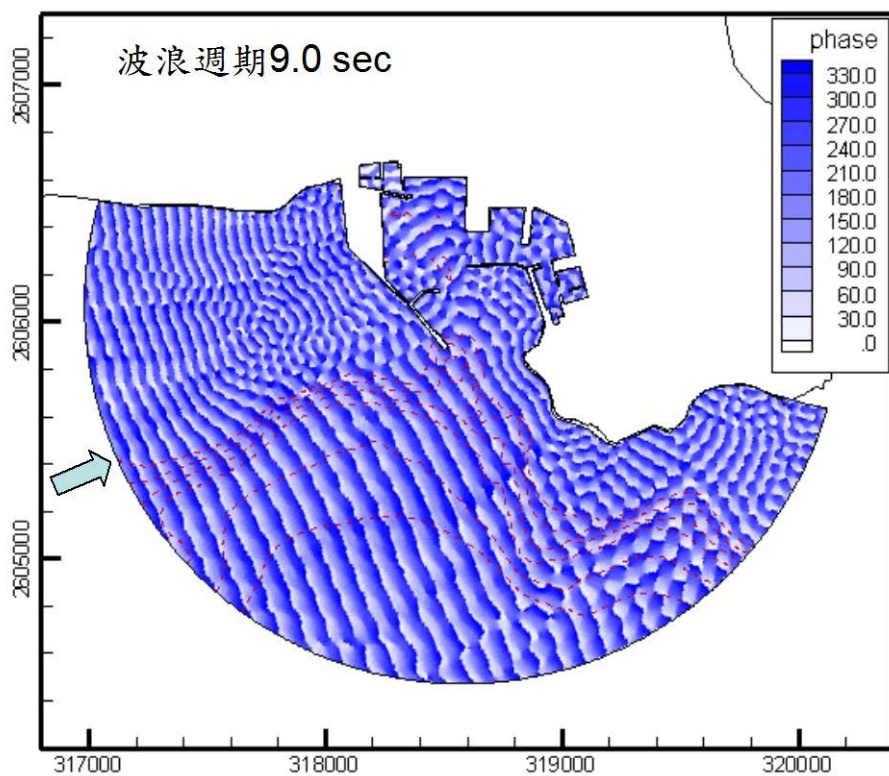


圖 7.9a 澎湖港龍門尖山港區 WSW 向波浪場模擬結果相位分布圖

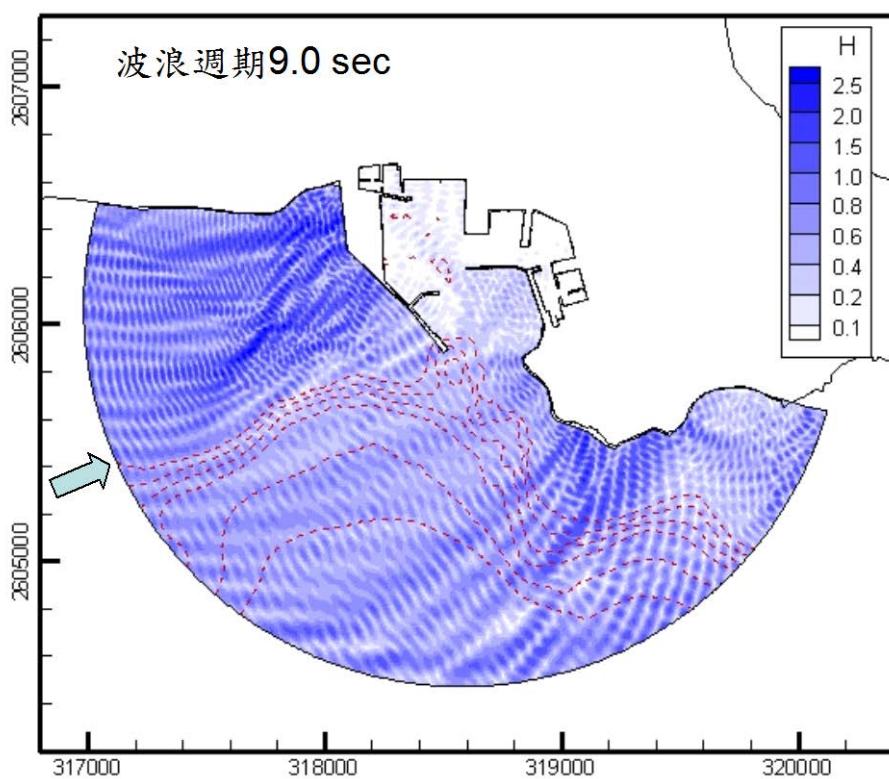


圖 7.9b 澎湖港龍門尖山港區 WSW 向波浪場模擬結果波高分布圖

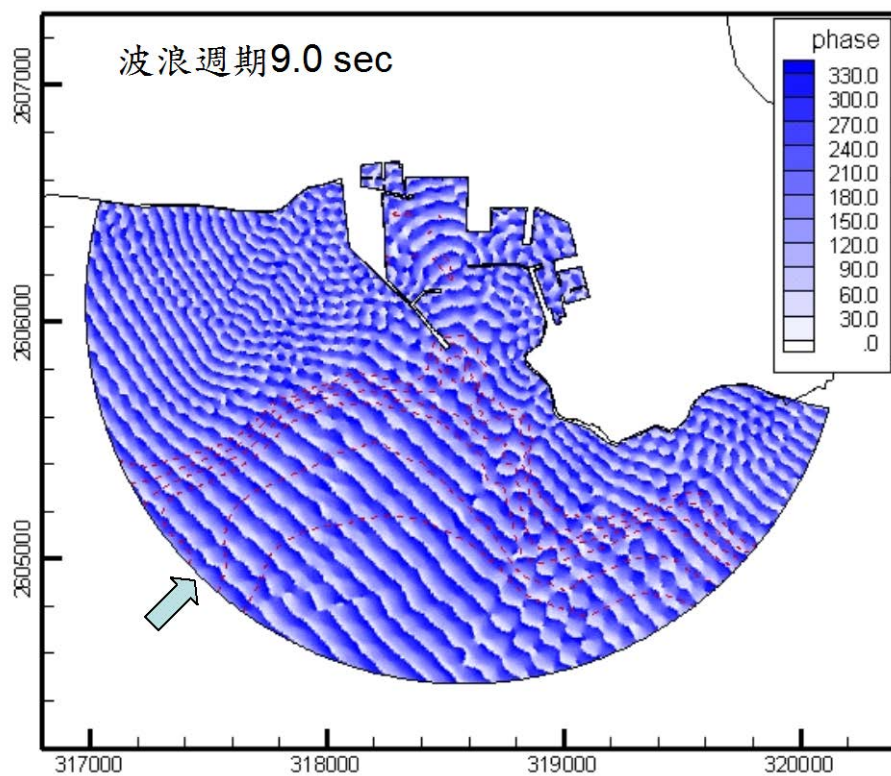


圖 7.10a 澎湖港龍門尖山港區 SW 向波浪場模擬結果相位分布圖

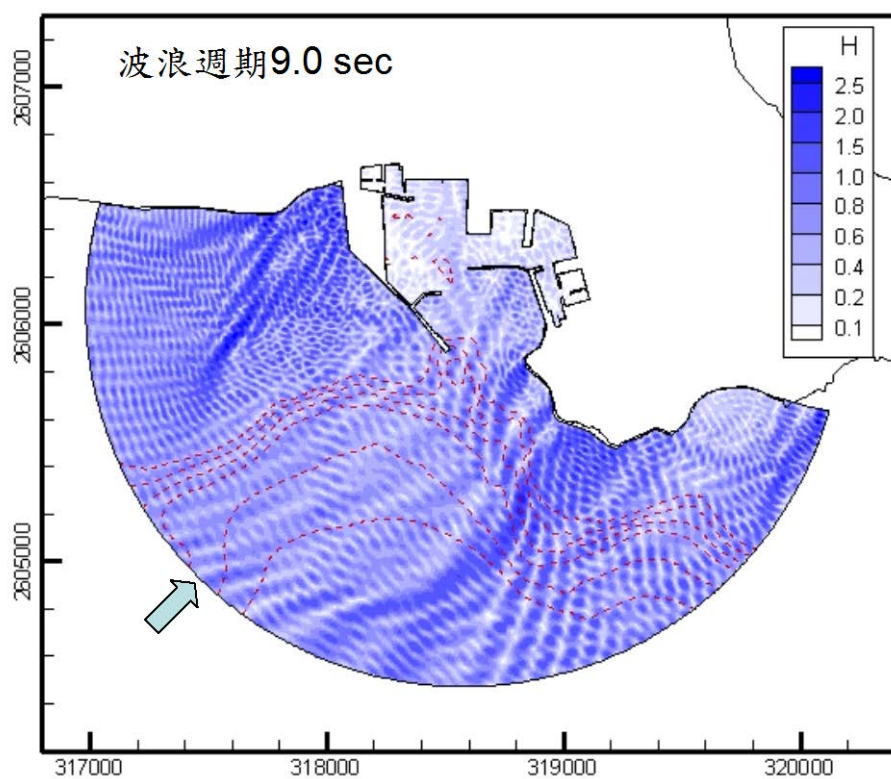


圖 7.10b 澎湖港龍門尖山港區 SW 向波浪場模擬結果波高分布圖

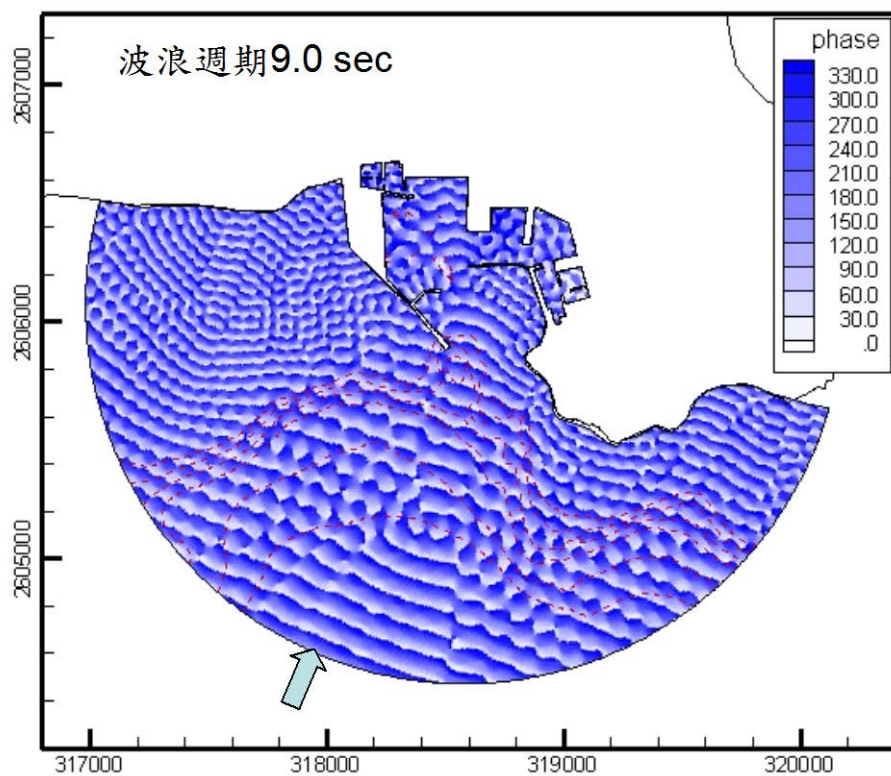


圖 7.11a 澎湖港龍門尖山港區 SSW 向波浪場模擬結果相位分布圖

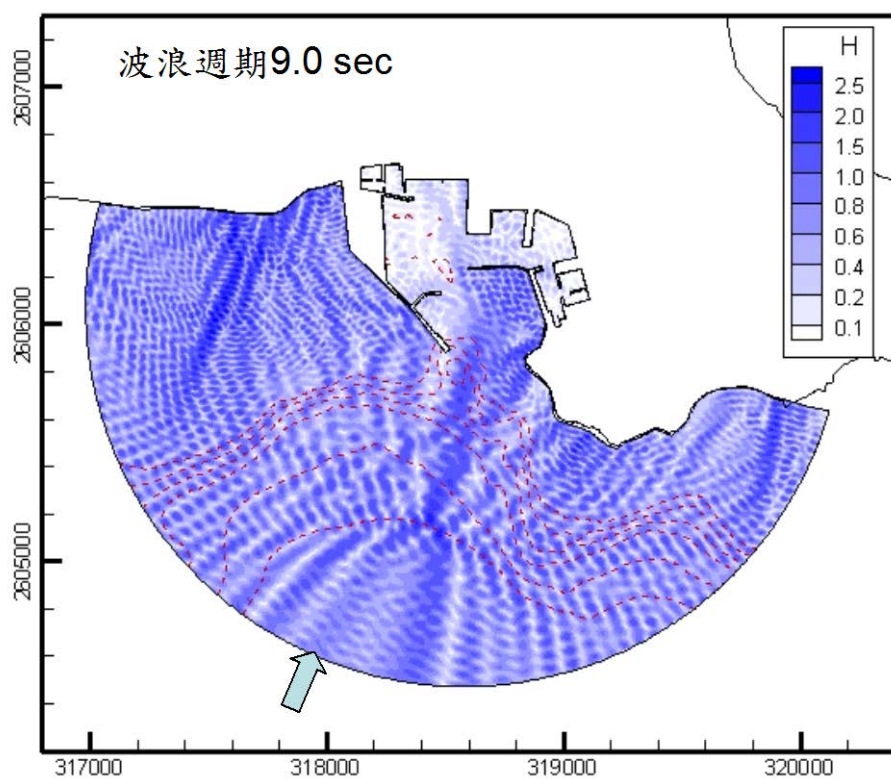


圖 7.11b 澎湖港龍門尖山港區 SSW 向波浪場模擬結果波高分布圖

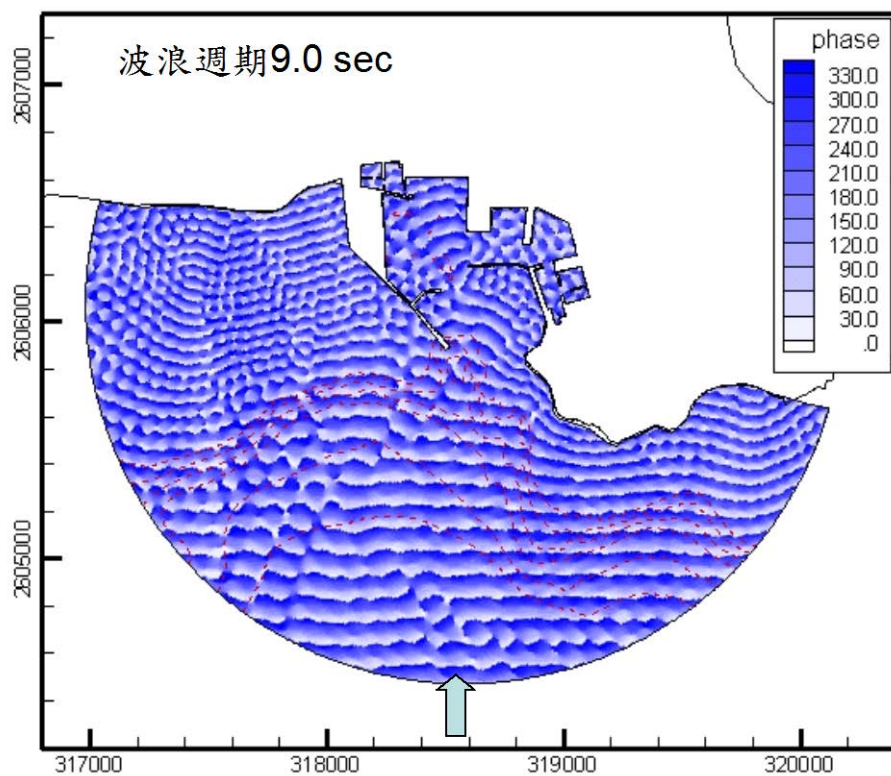


圖 7.12a 澎湖港龍門尖山港區 S 向波浪場模擬結果相位分布圖

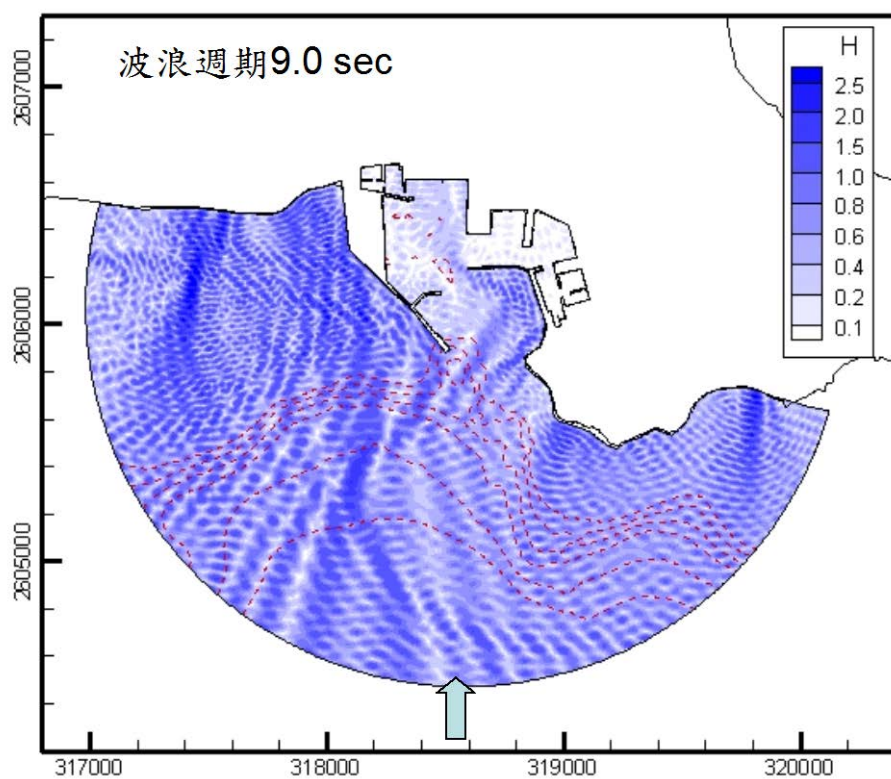


圖 7.12b 澎湖港龍門尖山港區 S 向波浪場模擬結果波高分布圖

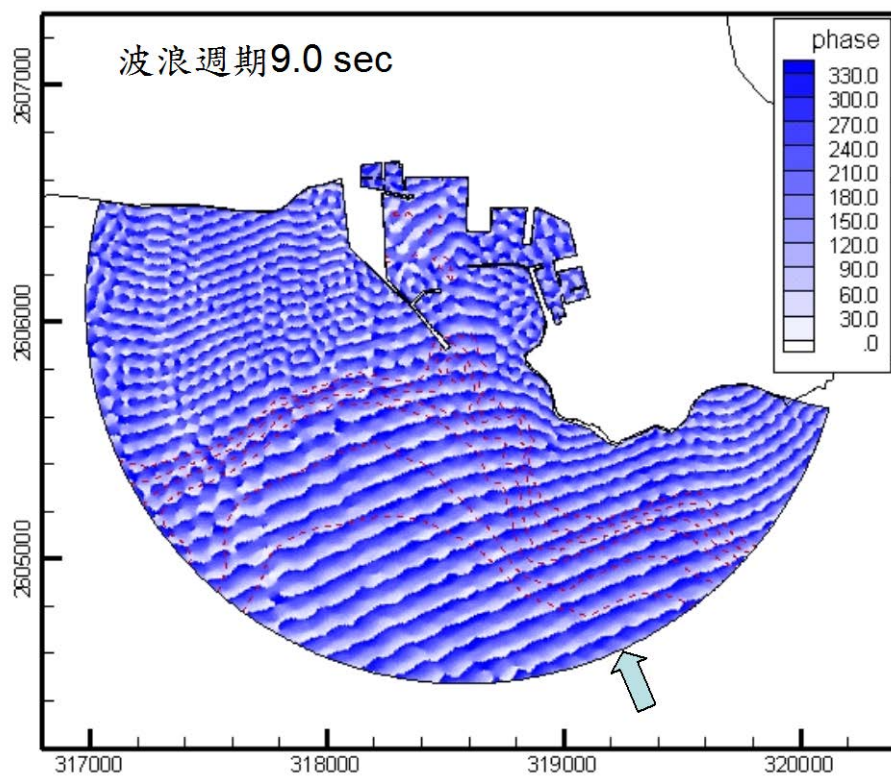


圖 7.13a 澎湖港龍門尖山港區 SSE 向波浪場模擬結果相位分布圖

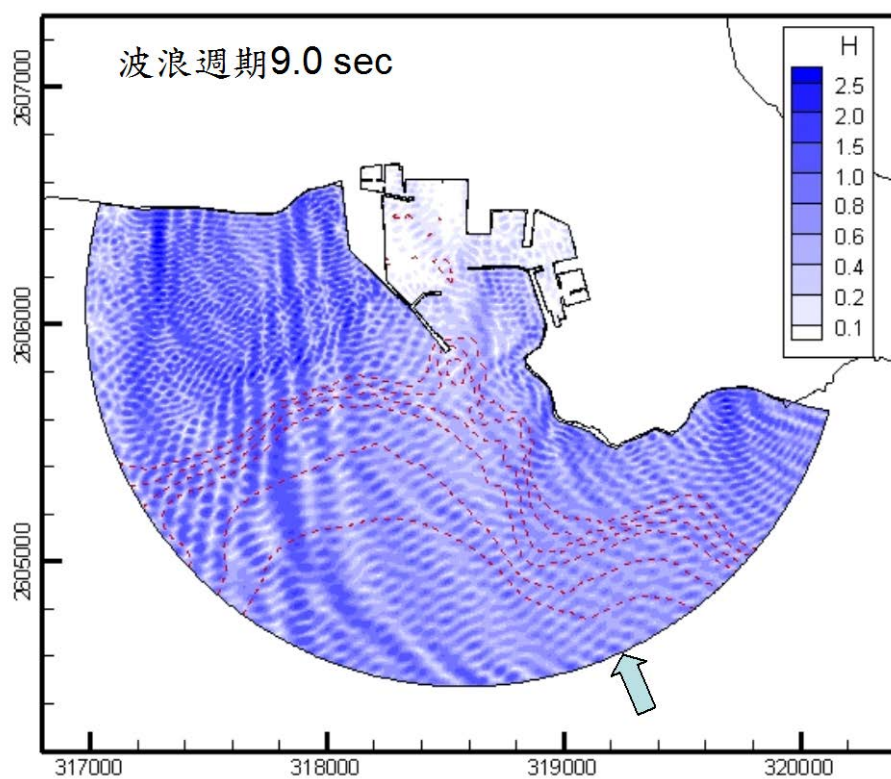


圖 7.13b 澎湖港龍門尖山港區 SSE 向波浪場模擬結果波高分布圖

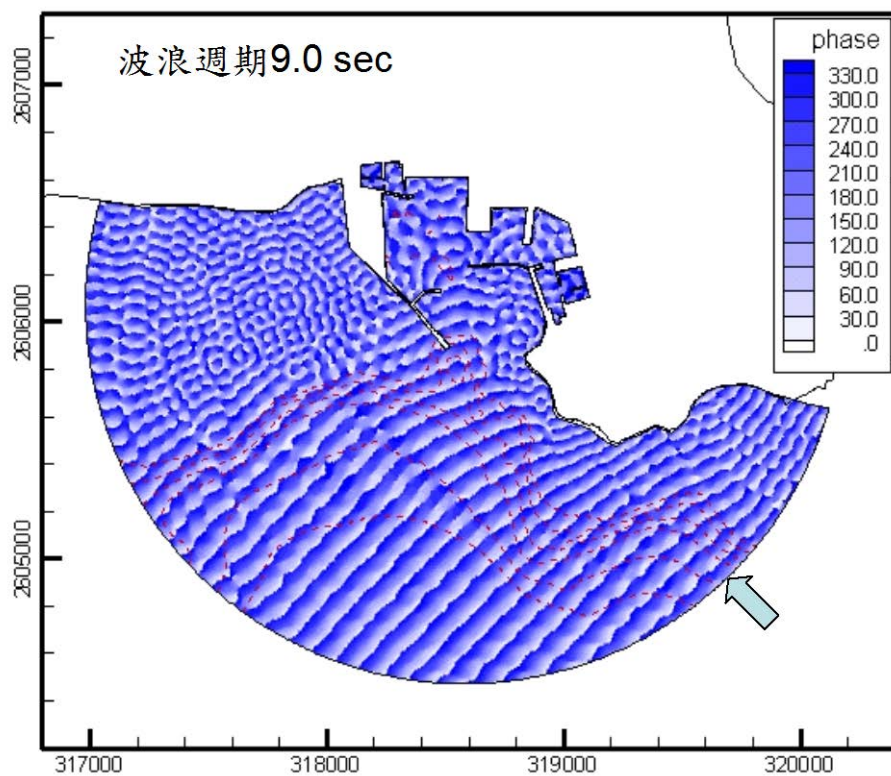


圖 7.14a 澎湖港龍門尖山港區 SE 向波浪場模擬結果相位分布圖

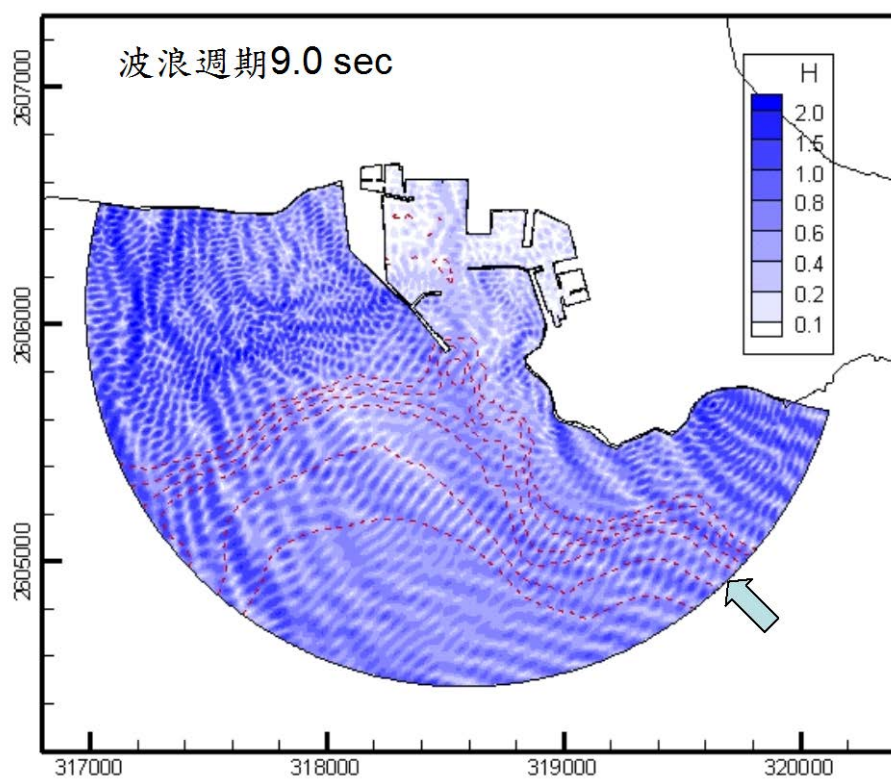


圖 7.14b 澎湖港龍門尖山港區 SE 向波浪場模擬結果波高分布圖

第八章 結論與建議

本研究屬於交通部運輸研究所 104 年科技綱要計畫「海洋防災科技及永續發展計畫」下細部計畫「臺灣主要商港海象暨溢淹資訊建置之研究」之子計畫，目的在確保風力、波浪、水位及海流等海象預報模擬系統(TaiCOMS)作業化之運作與維護，並針對臺灣周圍海域建置中尺度水動力模擬子系統，以及依據澎湖海域海象特性規劃與建置合適的風力、波浪、水位及流場等海象模擬子系統。

本計畫達成效益包括確保海象預報模擬系統正常運作、改善海象模擬預報品質有助於港口營運及海上航運安全維護，颱風期間或緊急海灘、海岸災害時可提供防救災必要資訊。此外，臺灣周圍海域及澎湖海域波浪、水位及流場等海象模擬資料，可應用於本島與離島藍色公路，以提供船舶即時海象資訊，保障船舶交通航行安全。

8.1 結論

1. 在海象預報模擬系統維運與改善方面：本年度除了完成海象模擬作業化系統部份軟硬體設備更新與測試外，同時針對基隆港近岸水動力模式及臺北港近岸水動力模式、港域波浪模式進行模擬成果改善研究，並提出相關模式之改善成果。
2. 風力、波浪、水位及流場等海象預報作業化成果評估：完成 2014 年 12 月至 2015 年 11 月風力、波浪、水位及流場等海象預報作業化成果評估報告，含年度侵臺颱風之風力、波浪、水位及流場等海象預報作業化成果評估。針對年度東北及西南季風期間風浪模擬結果誤差分析值，與上年度(103 年)同期風浪模擬結果誤差分析值比較，除花蓮港外，年度各港口風浪模擬之示性波高值誤差分析值有明顯下降現象。
3. 中尺度臺灣周圍海域水動力模式校驗：除了利用各港口潮位觀測資料校驗 2015 年天文潮模擬結果外，並以本年度侵臺颱風中度颱風蘇迪勒為例進颱風暴潮模擬。數值模擬方式為輸入海象預報模擬系

統之作業化組合風(壓)場 WA02，分別針對暴潮偏差模擬以及天文潮與氣象潮耦合水位模擬。模擬結果顯示採用天文潮與氣象潮耦合方式與實際現象較為吻合，在不考慮氣象潮影響情況下，中尺度臺灣周圍海域水動力模式水位模擬結果與各港口天文潮位調和分析預測值間有較小的偏差。

4. 澎湖海域基本資料蒐集與分析：澎湖海域潮汐特性屬於半日潮型，平均潮差約為 1.95 m，2008～2014 年最大潮差為 3.282 m，最大暴潮偏差分析值約為 0.741 m，發生於 2008 年中度颱風鳳凰侵臺期間。水利署澎湖資料浮標及中央氣象局東吉島測站之海流分析結果，均顯示除了半日潮 M_2 分潮流速相當顯著外，1/4 日潮 M_4 分潮流速普遍高於全日潮 O_1 及 K_1 分潮流速。澎湖資料浮標月平均淨流速約介於 0.13～0.16 m/s，流向為西南偏西；東吉島測站月平均淨流速約介於 0.28～0.31 m/s，流向為東北偏東。
5. 澎湖海域水動力模式建置：已完成水動力模式數值計算網格初步建置工作，並以馬公潮位觀測資料及澎湖資料浮標海流觀測資料驗證數值模擬結果。
6. 澎湖海域近岸風浪模式建置：除了於成大水工所完成 TaiCOMS 風浪模擬作業化系統安裝與測試外，並針對澎湖海域近岸風浪模擬依據巢狀網格方式規劃出模擬作業流程包含了遠域風浪模擬、近域風浪模擬及澎湖海域近岸風浪模擬三個階段，並於風浪模擬作業化系統逐步進行模擬測試。
7. 澎湖細尺度港域波浪模式建置：已針對澎湖港龍門尖山港區現況完成模式數值計算網格建置工作，並針對颱風波浪及湧浪規劃數值模擬條件，執行港區波浪場模擬及建置模擬波浪場資料庫。

8.2 建議

1. 針對中尺度臺灣周圍海域水動力模式之流場校驗，建議蒐集外海現場觀測或遙測資料，以進行模擬結果之校驗。
2. 有關中尺度臺灣周圍海域波浪模式流場校驗，建議蒐集外海衛星資料進行模擬結果比對。
3. 有關海象模擬作業化系統海象模擬產出之二維平面資料檔案，建議建立資料庫，因應防災應用後處理之需要。

參考文獻

1. Atkinson, G.D., and Holliday, C.R. (1977). Tropical cyclone minimum sea level pressure - maximum sustained wind relationship for the western North Pacific. *Monthly Weather Review*, 105,421-427.
2. 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).
3. 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).
4. 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).
5. Booij, N., Holthuijsen, L. H. and Haagsma, IJ. G., “Comparing the secondgeneration HISWA wave model with the third-generation SWAN wave model,” *5th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting*, Melbourne, Florida, 215-222 (1998).
6. 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).
7. Bretschneider, C.L. (1972). A non- dimensional stationary hurricane wave model. *Proceedings of the Offshore Technology Conference*, Paper No. OTC 1517, Houston, Texas, Vol. I, pp. 51-68.
8. Connor, J.J., and Wang, J.D. (1975) *Mathematical Modelling of Near Coastal Circulation*, Pentech Press.
9. Dingemans, M. W., *Water wave propagation over uneven bottoms. Part 1 –linear wave propagation*, *Advanced Series on Ocean Engineering*, 13, World Scientific, 471p (1997).

10. Graham, H. E. and Nunn, D. E. (1959), Meteorological conditions pertinent to standard project hurricane, Atlantic and Gulf Coasts of United States, National Hurricane Research Project, Report No. 3, US Weather Service.
11. Harper, B.A., and Holland, G.J. (1999). An updated parametric model of the tropical cyclone. Proceedings of the 23th Conference of Hurricane and Tropical Meteorology, Dallas, Texas, pp. 893-896.
12. Hasselmann, K. "On the spectral dissipation of ocean waves due to whitecapping," *Bound.-layer Meteor.*, 6, 1-2, 107-127 (1974).
13. Holland, G.J. (1980). An analytic model of the wind and pressure profiles in hurricanes. *Monthly Weather Review*, 108, 1212-1218.
14. 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).
15. Jelesnianski, C.P. (1966). Numerical computations of storm surges without bottom stress. *Monthly Weather Review*, 94(6), 379-394.
16. Jelesnianski, C.P., Chen, J., and Shaffer, W.A. (1992). SLOSH: Sea, Lake, and Overland Surges from Hurricanes. NOAA Technical Report, NWS 48, Silver Springs, Maryland, 71 p.
17. Kirby, J. T., "Rational approximations in the parabolic equation method for water waves," *Coastal Eng.*, Vol. 10, 355-378 (1986).
18. 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).
19. 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).
20. Liu, P. L.-F., S. Monserrat, M. Marcos, and A. B. Rabinovich, "Coupling between two inlets: Observation and modeling," *J. Geophys. Res.*, 108(C3), 3069, (2003).

21. MacAfee, A. W. and Pearson, G. M., (2006), Development and testing of tropical cyclone parametric wind models tailored for midlatitude application : Preliminary results, *Appl. Meteorol. Climatol.*, 45, pp. 1244–1260.
22. Matsumoto, K., Takanezawa, T. and Ooe, M., (2000) “Ocean tide models developed by assimilating TOPEX/ POSEIDON altimeter data into hydrodynamical model: A global model and a regional model around Japan,” *J. Oceanogr.*, Vol. 56, pp. 567-581.
23. Mei, C. C., and M. Foda (1979), An analytical theory
24. Mei, C. C., *The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves*, John Wiley, New York (1989).
25. Miles, J. W., “On the generation of surface waves by shear flows,” *J. Fluid Mech.*, 3, 185-204 (1957).
26. Myers, V. A. (1954) Characteristics of United States hurricanes pertinent to levee design for Lake Okeechobee, Florida, Hydrometeorological Report No. 32, U.S. Department of Commerce, Weather Bureau, Washington, DC.
27. Phillips, O. M., “On the generation of waves by turbulent wind,” *J. Fluid Mech.*, 2, 417-445 (1957).
28. Radder, A. C., “On the parabolic equation method for water-wave propagation,” *J. Fluid. Mech.*, Vol. 95, 159-176 (1979).
29. Sobey R.J., Harper B.A., and Stark K.P. (1977). Numerical Simulation of Tropical Cyclone Storm Surge. Research Bulletin CS-14, Department of Civil and Systems Engineering, James Cook University, Australia.
30. WAMDI group, “The WAM model – a third generation ocean wave prediction model,” *J. Phys. Oceanogr.*, 18, 1775-1810 (1988).
31. Whitham, G. B., *Linear and nonlinear waves*, Wiley, New York, 636 p (1974).
32. 劉肖孔(1987)，台灣海域颱風暴潮及氣象潮數值預報模式研究計畫，第三階段成果報告，中央氣象局研究報告第279 號。
33. 龔誠山(1997)，颱風暴潮推算，中興工程顧問社專案研究報告書。

34. 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。
35. 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。
36. 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。
37. 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。
38. 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。
39. 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。
40. 林炤圭、劉正琪、邱永芳、蘇青和、陳明宗、李俊穎、林莉鳳(2009)，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。

41. 李兆芳、劉正琪、高政宏、謝依潔、曾俊傑、丁嘉鴻、陳宜芝、王顥豪、王聖瀚、鄭宇君(2009)，近岸海象數值模擬及預警系統之建立(3/4)－水動力部份，交通部運輸研究所研究報告。
42. 林炤圭、劉正琪、邱永芳、蘇青和、陳明宗、李俊穎、林莉鳳(2010)，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。
43. 李兆芳、劉正琪、高政宏、陳宜芝、鄭宇君、謝佳穎(2010) 近岸海象數值模擬及預警系統之建立(4/4)－水動力部份，交通部運輸研究所研究報告。
44. 邱永芳、劉正琪、蘇青和、陳明宗、李俊穎、鄭博今、陳信宏，提昇海岸及港灣海域波浪模擬技術之研究(1/4)，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，MOTC-IOT-100-H3DB005a，中華民國 101 年 3 月。
45. 劉正琪、邱永芳、李兆芳、蘇青和、陳明宗、李俊穎、涂力夫、鄭博今，提昇海岸及港灣海域海象模擬技術之研究(1/2)，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，MOTC-IOT-102-H3DB001a，中華民國 103 年 3 月。

附錄一

有限元素法二維水動力模式

水動力控制方程式

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

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = Q_0 \dots\dots\dots (A1.1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial(H^{-1}q_x^2)}{\partial x} + \frac{\partial(H^{-1}q_xq_y)}{\partial y} - fq_y \\ = -\frac{H}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial x} (p^s + \rho g \eta) + \frac{1}{\rho_0} (\tau_x^s - \tau_x^b) + \left(\frac{\partial F_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial F_{xy}}{\partial y} \right) \dots\dots (A1.2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial(H^{-1}q_xq_y)}{\partial x} + \frac{\partial(H^{-1}q_y^2)}{\partial y} + fq_x \\ = -\frac{H}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial y} (p^s + \rho g \eta) + \frac{1}{\rho_0} (\tau_y^s - \tau_y^b) + \left(\frac{\partial F_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial F_{yy}}{\partial y} \right) \dots\dots (A1.3) \end{aligned}$$

其中

$$H = \int_{-h}^{\eta} dz = h + \eta \dots\dots\dots (A1.4a)$$

$$q_x = \int_{-h}^{\eta} u dz = \bar{u} H \dots\dots\dots (A1.4b)$$

$$q_y = \int_{-h}^{\eta} v dz = \bar{v} H \dots\dots\dots (A1.4c)$$

$$\bar{u} = \frac{1}{(h + \eta)} \int_{-h}^{\eta} u dz \dots\dots\dots (A1.4d)$$

$$\bar{v} = \frac{1}{(h + \eta)} \int_{-h}^{\eta} v dz \dots\dots\dots (A1.4e)$$

$$F_{ij} = E_{ij} (q_{j,i} + q_{i,j}) \quad i, j = x, y \dots\dots\dots (A1.4f)$$

$$\tau_i^b = C_f (q_x^2 + q_y^2)^{1/2} \frac{q_i}{H^2} \quad i = x, y \dots\dots\dots (A1.4g)$$

$$\tau_i^s = \rho_a C_d |U_{10}| U_i \quad i, j = x, y \dots\dots\dots (A1.4h)$$

此處

h = 靜水深，

η = 水位變化，

u = x 方向之水平流速，

v = y 方向之水平流速，

Q_0 = 以 Source 或 Sink 形式進出領域之流量，

ρ_0 = 流體平均密度，

ρ_a = 空氣密度，

p^s = 水面壓力，

g = 重力常數，

τ_x^b = x 方向之底床剪應力，

τ_y^b = y 方向之底床剪應力，

τ_x^s = x 方向之水面剪應力

τ_y^s = y 方向之水面剪應力

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

n = 曼寧係數，

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

U_{10} = 海面上10公尺處之風速

E_{ij} = 渦動黏滯係數(Eddy coefficient)，

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

ω = 地球自轉之位相速度，

ϕ = 計算領域所在位置之緯度，

問題之初始條件為

$$\eta(x, y, t) = \eta_0(x, y) \quad \text{或} \quad H(x, y, t) = H_0(x, y) \dots\dots\dots (A1.5a)$$

$$q_x(x, y, t) = q_{x0}(x, y) \quad \text{及} \quad q_y(x, y, t) = q_{y0}(x, y) \dots\dots\dots (A1.5b)$$

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

問題之邊界條件則考慮流量邊界條件如下：

$$q_n = \alpha_{nx} q_x + \alpha_{ny} q_y = \hat{q}_n \dots\dots\dots (A1.6a)$$

$$q_s = -\alpha_{ny} q_x + \alpha_{nx} q_y = \hat{q}_s \dots\dots\dots (A1.6b)$$

或

$$q_x = \alpha_{nx} q_n - \alpha_{ny} q_s \dots\dots\dots (A1.7a)$$

$$q_y = \alpha_{nx} q_s + \alpha_{ny} q_n \dots\dots\dots (A1.7b)$$

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

此外，內應力項之邊界條件為

$$F_x = \alpha_{nx} F_{xx} + \alpha_{ny} F_{yx} = \hat{F}_x \dots\dots\dots (A1.8a)$$

$$F_y = \alpha_{nx} F_{xy} + \alpha_{ny} F_{yy} = \hat{F}_y \dots\dots\dots (A1.8b)$$

式中 \hat{F}_x 及 \hat{F}_y 表示給定之邊界條件。

有限元素法方程式

本計畫二維有限元素水動力模式係採用葛金斯加權殘差有限元素數值方法求解二維水動力系統控制方程式(A1.1)~(A1.3)式及其邊界值問題。依據 Stokes 理論(A1.1)~(A1.3)式可改寫成下列積分方程式：

$$\iint_A \left[\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} - Q_0 \right] \delta H \, dA = 0 \dots\dots\dots (A1.9)$$

$$\begin{aligned} & \iint_A \left[\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial (H^{-1} q_x^2)}{\partial x} + \frac{\partial (H^{-1} q_y q_x)}{\partial y} - f q_y + \frac{H}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial x} (P^s + \rho g \eta) \right] \delta q_x \, dA \\ & - \iint_A \left[\frac{\tau_x^s - \tau_x^b}{\rho_0} \delta q_x - F_{xx} \frac{\partial (\delta q_x)}{\partial x} - F_{yx} \frac{\partial (\delta q_x)}{\partial y} \right] dA - \int_{\partial A} F'_x \delta q_x \, dL = 0 \end{aligned} \dots (A1.10)$$

$$\begin{aligned} & \iint_A \left[\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial (H^{-1} q_x q_y)}{\partial x} + \frac{\partial (H^{-1} q_y^2)}{\partial y} + f q_x + \frac{H}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial y} (P^s + \rho g \eta) \right] \delta q_y \, dA \\ & - \iint_A \left[\frac{\tau_y^s - \tau_y^b}{\rho_0} \delta q_y - F_{xy} \frac{\partial (\delta q_y)}{\partial x} - F_{yy} \frac{\partial (\delta q_y)}{\partial y} \right] dA - \int_{\partial A} F'_y \delta q_y \, dL = 0 \end{aligned} \dots (A1.11)$$

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

常見求解上述積分方程式 (A1.9)~ (A1.11) 式之方法為有限元素近似法，即將計算領域分割成有限個次領域 (subdomain) 稱之為元素 (element)，各元素之間以節點 (nodes) 連接，節點上的未知數稱為自由度 (degree of freedom)。本計畫採用含有三個節點之三角形元素分割計算領域，在每個元素內上述物理量 H 、 q_x 及 q_y 可以分別用線性內插函數 (或稱為形狀函數) N_j^e ($j = 1, 2, 3$ ，對應於三角元素三個節點) 及節點上未知函數 H_j^e 、 q_{xj}^e 及 q_{yj}^e 近似表示，即

$$H^e = N_1^e H_1^e + N_2^e H_2^e + N_3^e H_3^e = \{N^e\}^T \{H^e\} = \{H^e\}^T \{N^e\} \dots\dots\dots (A1.12)$$

$$q_x^e = N_1^e q_{x1}^e + N_2^e q_{x2}^e + N_3^e q_{x3}^e = \{N^e\}^T \{q_x^e\} = \{q_x^e\}^T \{N^e\} \dots\dots\dots (A1.13a)$$

$$q_y^e = N_1^e q_{y1}^e + N_2^e q_{y2}^e + N_3^e q_{y3}^e = \{N^e\}^T \{q_y^e\} = \{q_y^e\}^T \{N^e\} \dots\dots\dots (A1.13b)$$

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

$$\{H^e\}^T = \{H_1^e, H_2^e, H_3^e\} \dots\dots\dots (A1.14a)$$

$$\{q_x^e\}^T = \{q_{x1}^e, q_{x2}^e, q_{x3}^e\} \dots\dots\dots (A1.14b)$$

$$\{q_y^e\}^T = \{q_{y1}^e, q_{y2}^e, q_{y3}^e\} \dots\dots\dots (A1.14c)$$

$$\{N^e\}^T = \{N_1^e, N_2^e, N_3^e\} \dots\dots\dots (A1.14d)$$

其中三角元素之線性內插函數 N_j^e 計算如下

$$N_j^e = (a_j + b_j x + c_j y) / 2\Delta^e, \quad j = 1, 2, 3 \dots\dots\dots (A1.15a)$$

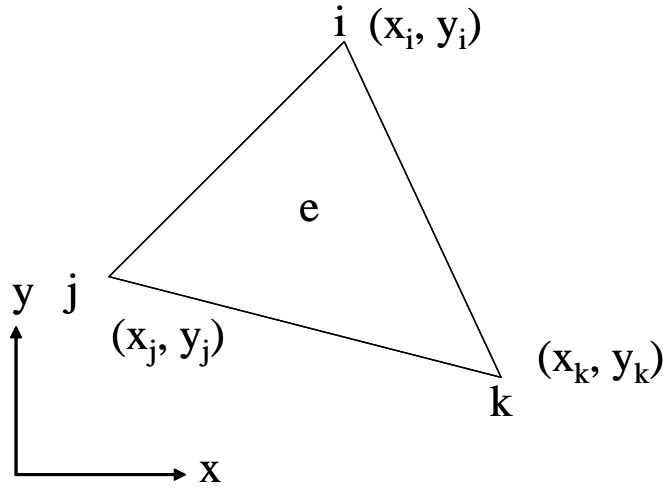
$$a_i = x_j^e y_k^e - x_k^e y_j^e \dots\dots\dots (A1.15b)$$

$$b_i = y_j^e - y_k^e \dots\dots\dots (A1.15c)$$

$$c_i = x_k^e - x_j^e \dots\dots\dots (A1.15d)$$

$$\Delta^e = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} 1 & x_1^e & y_1^e \\ 1 & x_2^e & y_2^e \\ 1 & x_3^e & y_3^e \end{vmatrix} \dots\dots\dots (A1.15e)$$

式中 (x_j^e, y_j^e) 為三角元素節點 j 之座標(如附圖 1.1 所示)，(A1.15e) 式代表座標之線性函數。



附圖 1.1 三角形元素座標定義

(A1.9)式各項積分式之計算說明如下：

$$\begin{aligned} \iint_A \frac{\partial H}{\partial t} \delta H^T dA &= \sum_{e \in A} \iint_e \left(\frac{\partial H}{\partial t} \delta H \right) dA^e \\ &= \sum_{e \in A} \{ \delta H^e \}^T \iint_e \{ N^e \} \{ N^e \}^T \frac{\partial \{ H^e \}}{\partial t} dA^e = \sum_{e \in A} \{ \delta H^e \}^T [M_h^e] \frac{\partial \{ H^e \}}{\partial t} \end{aligned} \quad (A1.16a)$$

$$\begin{aligned} \iint_A \frac{\partial q_x}{\partial x} \delta H^T dA &= \sum_{e \in A} \iint_e \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} \delta H \right) dA^e \\ &= \sum_{e \in A} \{ \delta H^e \}^T \iint_e \{ N^e \} \frac{\partial \{ N^e \}^T}{\partial x} \{ q_x^e \} dA^e = \sum_{e \in A} \{ \delta H^e \}^T [G_x^e] \{ q_x^e \} \end{aligned} \quad \dots (A1.16b)$$

$$\begin{aligned} \iint_A \frac{\partial q_y}{\partial y} \delta H^T dA &= \sum_{e \in A} \iint_e \left(\frac{\partial q_y}{\partial y} \delta H \right) dA^e \\ &= \sum_{e \in A} \{ \delta H^e \}^T \iint_e \{ N^e \} \frac{\partial \{ N^e \}^T}{\partial y} \{ q_y^e \} dA^e = \sum_{e \in A} \{ \delta H^e \}^T [G_y^e] \{ q_y^e \} \end{aligned} \quad \dots (A1.16c)$$

$$\begin{aligned} \iint_A Q_0 \delta H^T dA &= \sum_{e \in A} \iint_e (Q_0 \delta H) dA^e \\ &= \sum_{e \in A} \{ \delta H^e \}^T \iint_e \{ N^e \} \{ N^e \}^T \{ Q_0^e \} dA^e = \sum_{e \in A} \{ \delta H^e \}^T [M_h^e] \{ Q_0^e \} \end{aligned} \quad \dots (A1.16d)$$

其中

$$[M_h^e] = \iint_e \{N^e\} \{N^e\}^T dA^e = \frac{\Delta^e}{12} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (A1.17a)$$

$$[G_x^e] = \iint_e \{N^e\} \frac{\partial \{N^e\}^T}{\partial x} dA^e = \frac{1}{6} \begin{bmatrix} b_1 & b_2 & b_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (A1.17b)$$

$$[G_y^e] = \iint_e \{N^e\} \frac{\partial \{N^e\}^T}{\partial y} dA^e = \frac{1}{6} \begin{bmatrix} c_1 & c_2 & c_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (A1.17c)$$

將上述各項積分離散式代入積分方程式(A1.9)式，則(A1.9)式可簡化成

$$\sum_{e \in A} \{\delta H^e\}^T \left\{ [M_h^e] \frac{\partial \{H^e\}}{\partial t} + [G_x^e] \{q_x^e\} + [G_y^e] \{q_y^e\} - [M_h^e] \{Q_0^e\} \right\} = 0 \dots (A1.18)$$

定義陣列 $\{\delta H\}$ 及 $\{H\}$ 分別為全部的 $\{\delta H^e\}$ 及 $\{H^e\}$ 結合後之整體陣列(global array)，陣列 $\{q\}$ 為 $\{q_x^e\}$ 及 $\{q_y^e\}$ 合併後之整體陣列，則(A1.18)式可結合成一矩陣方程式如下

$$\{\delta H\}^T \left\{ [M_h] \frac{\partial \{H\}}{\partial t} + [G_h] \{q\} + \{R_h\} \right\} = 0 \dots\dots\dots (A1.19)$$

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

由於陣列 $\{\delta H\}^T$ 為任意函數，故可得到

$$\left\{ [M_h] \frac{\partial \{H\}}{\partial t} + [G_h] \{q\} + \{R_h\} \right\} = 0 \dots\dots\dots (A1.20)$$

(A1.10)式各項積分式之計算說明如下：

$$\iint_A \left(\frac{\partial q_x}{\partial t} \delta q_x \right) dA = \sum_{e \in A} \iint_e \left(\frac{\partial q_x}{\partial t} \delta q_x \right) dA^e = \sum_{e \in A} \{ \delta q_x^e \}^T [M_h^e] \frac{\partial \{ q_x^e \}}{\partial t} \quad \text{..... (A1.21a)}$$

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

$$\iint_A \left(\frac{\partial H^{-1} q_x^2}{\partial x} \delta q_x \right) dA = \sum_{e \in A} \iint_e \left(\frac{\partial H^{-1} q_x^2}{\partial x} \delta q_x \right) dA^e = \sum_{e \in A} \{ \delta q_x^e \}^T [G_x^e] \{ \hat{q}_{xx}^e \} \quad \text{(A1.21b)}$$

$$\iint_A \left(\frac{\partial H^{-1} q_x q_y}{\partial y} \delta q_x \right) dA = \sum_{e \in A} \iint_e \left(\frac{\partial H^{-1} q_x q_y}{\partial y} \delta q_x \right) dA^e = \sum_{e \in A} \{ \delta q_x^e \}^T [G_y^e] \{ \hat{q}_{yx}^e \} \quad \text{..... (A1.21c)}$$

$$\iint_A (f q_y \delta q_x) dA = \sum_{e \in A} \iint_e (f q_y \delta q_x) dA^e = \sum_{e \in A} \{ \delta q_x^e \}^T f [M_h^e] \{ q_y^e \} \quad \text{..... (A1.21d)}$$

$$\begin{aligned} \iint_A \left(\frac{H}{\rho_0} \frac{\partial p^s}{\partial x} \delta q_x \right) dA &= \sum_{e \in A} \iint_e \left(\frac{H}{\rho_0} \frac{\partial p^s}{\partial x} \delta q_x \right) dA^e \\ &= \sum_{e \in A} \{ \delta q_x^e \}^T [M_h^e] \{ H^e \} \frac{(b_1 p_1 + b_2 p_2 + b_3 p_3)}{2 \rho_0 \Delta^e} \quad \text{..... (A1.21e)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \iint_A \left(g H \frac{\partial \eta}{\partial x} \delta q_x \right) dA &= \sum_{e \in A} \iint_e \left(g H \frac{\partial \eta}{\partial x} \delta q_x \right) dA^e \\ &= \sum_{e \in A} \{ \delta q_x^e \}^T [M_h^e] \{ H^e \} \frac{g(b_1 \eta_1^e + b_2 \eta_2^e + b_3 \eta_3^e)}{2 \Delta^e} \quad \text{..... (A1.21f)} \end{aligned}$$

$$\iint_A \left(\frac{\tau_x^s}{\rho_0} \delta q_x \right) dA = \sum_{e \in A} \iint_e \left(\frac{\tau_x^s}{\rho_0} \delta q_x \right) dA^e = \sum_{e \in A} \{ \delta q_x^e \}^T \frac{1}{\rho_0} [M_h^e] \{ \tau_x^{se} \} \quad \text{..... (A1.21g)}$$

$$\iint_A \left(\frac{\tau_x^b}{\rho_0} \delta q_x \right) dA = \sum_{e \in A} \iint_e \left(\frac{\tau_x^b}{\rho_0} \delta q_x \right) dA^e = \sum_{e \in A} \{ \delta q_x^e \}^T \frac{1}{\rho_0} [M_h^e] \{ \tau_x^{be} \} \quad \text{..... (A1.21h)}$$

$$\iint_A \left(F_{xx} \frac{\partial \delta q_x}{\partial x} \right) dA = \sum_{e \in A} \iint_e \left(F_{xx} \frac{\partial \delta q_x}{\partial x} \right) dA^e = \sum_{e \in A} \{ \delta q_x^e \}^T \frac{E_{xx} \bar{H}}{12 \Delta^e} [M_{bb}^e] \{ \bar{u}^e \} \quad \text{(A1.21i)}$$

$$\begin{aligned} \iint_A \left(F_{yx} \frac{\partial \delta q_x}{\partial x} \right) dA &= \sum_{e \in A} \iint_e \left(F_{yx} \frac{\partial \delta q_x}{\partial x} \right) dA^e \\ &= \sum_{e \in A} \{ \delta q_x^e \}^T \frac{E_{yx} \bar{H}}{24 \Delta^e} \{ [M_{cb}^e] \{ \bar{v}^e \} + [M_{cc}^e] \{ \bar{u}^e \} \} \quad \text{..... (A1.21j)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\int_{\partial A} (F'_x \delta q_x) dL &= \sum_{\partial e \in \partial A} \int_{\partial e} (F'_x \delta q_x) dL^e = \sum_{\partial e \in \partial A} \left\{ \delta q_x^e \right\}^T \int_{\partial e} \left\{ N^e \right\} \left\{ N^e \right\}^T \left\{ F'_x \right\} dL^e \\
&= \sum_{\partial e \in \partial A} \left\{ \delta q_x^e \right\}^T \frac{L^e}{6} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \left\{ F'_x \right\}^e
\end{aligned} \tag{A1.21k}$$

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

$$\left[M_{bb}^e \right] = \begin{bmatrix} b_1^2 & b_1 b_2 & b_1 b_3 \\ b_2 b_1 & b_2^2 & b_2 b_3 \\ b_3 b_1 & b_3 b_2 & b_3^2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots \tag{A1.22a}$$

$$\left[M_{cb}^e \right] = \begin{bmatrix} c_1 b_1 & c_1 b_2 & c_1 b_3 \\ c_2 b_1 & c_2 b_2 & c_2 b_3 \\ c_3 b_1 & c_3 b_2 & c_3 b_3 \end{bmatrix} \dots\dots\dots \tag{A1.22b}$$

$$\left[M_{cc}^e \right] = \begin{bmatrix} c_1^2 & c_1 c_2 & c_1 c_3 \\ c_2 c_1 & c_2^2 & c_2 c_3 \\ c_3 c_1 & c_3 c_2 & c_3^2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots \tag{A1.22c}$$

同理，(A1.11)式各項積分式之計算如下：

$$\iint_A \left(\frac{\partial q_y}{\partial t} \delta q_y \right) dA = \sum_{e \in A} \left\{ \delta q_y^e \right\}^T \left[M_h^e \right] \frac{\partial \left\{ q_y^e \right\}}{\partial t} \dots\dots\dots \tag{A1.23a}$$

$$\iint_A \left(\frac{\partial H^{-1} q_x q_y}{\partial x} \delta q_y \right) dA = \sum_{e \in A} \left\{ \delta q_y^e \right\}^T \left[G_x^e \right] \left\{ \hat{q}_{xy}^e \right\} \dots\dots\dots \tag{A1.23b}$$

$$\iint_A \left(\frac{\partial H^{-1} q_y^2}{\partial y} \delta q_y \right) dA = \sum_{e \in A} \left\{ \delta q_y^e \right\}^T \left[G_y^e \right] \left\{ \hat{q}_{yy}^e \right\} \dots\dots\dots \tag{A1.23c}$$

$$\iint_A \left(f q_x \delta q_y \right) dA = \sum_{e \in A} \left\{ \delta q_y^e \right\}^T f \left[M_h^e \right] \left\{ q_x^e \right\} \dots\dots\dots \tag{A1.23d}$$

$$\iint_A \left(\frac{H}{\rho_0} \frac{\partial p^s}{\partial y} \delta q_y \right) dA = \sum_{e \in A} \left\{ \delta q_y^e \right\}^T \left[M_h^e \right] \left\{ H^e \right\} \frac{(c_1 p_1 + c_2 p_2 + c_3 p_3)}{2 \rho_0 \Delta^e} \dots\dots \tag{A1.23e}$$

$$\iint_A \left(g H \frac{\partial \eta}{\partial y} \delta q_y \right) dA = \sum_{e \in A} \left\{ \delta q_y^e \right\}^T \left[M_h^e \right] \left\{ H^e \right\} \frac{g(c_1 \eta_1^e + c_2 \eta_2^e + c_3 \eta_3^e)}{2 \Delta^e} \dots\dots \tag{A1.23f}$$

$$\iint_A \left(\frac{\tau_y^s}{\rho_0} \delta q_y \right) dA = \sum_{e \in A} \{ \delta q_y^e \}^T \frac{1}{\rho_0} [M_h^e] \{ \tau_y^{se} \} \dots\dots\dots (A1.23g)$$

$$\iint_A \left(\frac{\tau_y^b}{\rho_0} \delta q_y \right) dA = \sum_{e \in A} \{ \delta q_y^e \}^T \frac{1}{\rho_0} [M_h^e] \{ \tau_y^{be} \} \dots\dots\dots (A1.23h)$$

$$\iint_A \left(F_{yx} \frac{\partial \delta q_y}{\partial y} \right) dA = \sum_{e \in A} \{ \delta q_y^e \}^T \frac{E_{xy} \bar{H}}{24 \Delta^e} \{ [M_{cb}^e] \{ \bar{u}^e \} + [M_{bb}^e] \{ \bar{v}^e \} \} \dots\dots\dots (A1.23i)$$

$$\iint_A \left(F_{yy} \frac{\partial \delta q_y}{\partial y} \right) dA = \sum_{e \in A} \{ \delta q_y^e \}^T \frac{E_{yy} \bar{H}}{12 \Delta^e} [M_{cc}^e] \{ \bar{v}^e \} \dots\dots\dots (A1.23j)$$

$$\int_{\partial A} (F_y' \delta q_y) dL = \sum_{\partial e \in \partial A} \{ \delta q_y^e \}^T \frac{L^e}{6} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \{ F_y'^e \} \dots\dots\dots (A1.23k)$$

將上述各項積分式分別代入(A1.10)式及(A1.11)式並且將其組合成一整體矩陣方程式如下：

$$[M_m] \frac{\partial \{q\}}{\partial t} + [G_m] \{q\} + [K_m] \{\eta\} + \{R_m\} = 0 \dots\dots\dots (A1.24)$$

以上推導得知透過有限元素空間座標積分可以將原積分方程式(A1.9)~(A1.11)離散化成求解一階時間項常微分方程組(A1.20)式及(A1.24)式。

一般而言，求解上述一階時間項常微分方程組(A1.20)式及(A1.24)式之方法甚多，原則上以求解方法之精確性、穩定性及效率為主要考量因素。本研究採用時間分離(split-time)之前項差分方法求解(A1.20)式及(A1.24)式，有關求解之程序說明如下：

先將一階時間項常微分方程組(A1.20)式及(A1.24)式重組成

$$[M_h] \frac{\partial \{H\}}{\partial t} = \{P_h\} \dots\dots\dots (A1.25)$$

$$[M_m] \frac{\partial \{q\}}{\partial t} = \{P_m\} \dots\dots\dots (A1.26)$$

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

求解上時間項採用梯型法則計算且 H 及 q 分別在時間序列上交錯排列，即 H 及 q 分別在時間 $t_{n-\frac{1}{2}}$ 及 t_n ($n = 1, 2, 3, \dots$)上求解，則(A1.25)式及(A1.26)式可改寫成

$$[M_h] \left\{ \{H\}_{n+\frac{1}{2}} - \{H\}_{n-\frac{1}{2}} \right\} = \Delta t \left\{ P_h \left(\{H\}_{n-\frac{1}{2}}, \{q\}_n, t_n \right) \right\} \dots\dots\dots (A1.27)$$

$$[M_m] \left\{ \{q\}_{n+1} - \{q\}_n \right\} = \Delta t \left\{ P_m \left(\{H\}_{n+\frac{1}{2}}, \{q\}_n, t_{n+\frac{1}{2}} \right) \right\} \dots\dots\dots (A1.28)$$

或

$$\{H\}_{n+\frac{1}{2}} = \{H\}_{n-\frac{1}{2}} + \Delta t [M_h]^{-1} \left\{ P_h \left(\{H\}_{n-\frac{1}{2}}, \{q\}_n, t_n \right) \right\} \dots\dots\dots (A1.29)$$

$$\{q\}_{n+1} = \{q\}_n + \Delta t [M_m]^{-1} \left\{ P_m \left(\{H\}_{n+\frac{1}{2}}, \{q\}_n, t_{n+\frac{1}{2}} \right) \right\} \dots\dots\dots (A1.30)$$

因此當初始條件 $\{H\}_{n-\frac{1}{2}}$ 及 $\{q\}_n$ 已知時，可由(A1.29)式直接求解 $\{H\}_{n+\frac{1}{2}}$ ，再由(A1.30)式求解 $\{q\}_{n+1}$ ，然後重複上述步驟連續求解。

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

$$\Delta t < 1.5 \Delta t_{cr} = 1.5 \Delta s^* / U^* \dots\dots\dots (A1.31)$$

式中 Δs^* 為代表性網格大小， $U^* = \sqrt{2gH}$ 。

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

$$E_{xx} \sim ag(\tilde{\eta}/\tilde{u})\tilde{x} \dots\dots\dots (A1.32)$$

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

附錄二 相關波浪模式介紹

2.1 西太平洋範圍風浪模組之基本理論

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

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{C}_g F) = S \dots\dots\dots (A2.1)$$

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

在大範圍波浪場計算時，因地球曲率會影響波浪的傳遞，因此常以球面座標系統(ϕ, λ)推導(A2.1)式，得到下列描述二維波浪能量平衡方程式之球面座標表示式如下：

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{\cos \phi} \frac{\partial}{\partial \phi} (C_\phi F) + \frac{\partial}{\partial \lambda} (C_\lambda F) + \frac{\partial}{\partial \theta} (C_\theta F) = S \dots\dots\dots (A2.2)$$

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

$$C_\phi = \left| \vec{C}_g \right| \frac{\sin \theta}{R} \dots\dots\dots (A2.3)$$

$$C_\lambda = \left| \vec{C}_g \right| \frac{\cos \theta}{R} \dots\dots\dots (A2.4)$$

$$C_{\theta} = \frac{1}{k} \frac{\partial \omega}{\partial d} \left(\frac{\sin \theta}{\cos \phi} \frac{\partial d}{\partial \lambda} - \cos \theta \frac{\partial d}{\partial \phi} \right) / R \dots\dots\dots (A2.5)$$

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

在 WAM 模式(cycle 4 及 cycle 5)中，源函數 S 可表示成

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{dis} + S_{bot} \dots\dots\dots (A2.6)$$

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

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

$$S_{in} = \gamma \cdot F \dots\dots\dots (A2.7)$$

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

$$\gamma = \varepsilon \omega \beta (u_*/c)^2 \cos^2(\bar{\theta} - \theta_w), \quad |\bar{\theta} - \theta_w| < \pi/2 \dots\dots\dots (A2.8)$$

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

$$\beta = \frac{1.2}{\kappa^2} \mu \ln^4(\mu), \quad \mu \leq 1.0 \dots\dots\dots (A2.9)$$

其中

$$\mu = \left(\frac{u_*}{\kappa c} \right) \left(\frac{gz_0}{u_*^2} \right) \exp \left[\left(\frac{\kappa c}{u_*} \right) \frac{1}{\cos(\theta - \theta_w)} \right] \dots\dots\dots (A2.10)$$

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

針對粗糙長度 z_0 之計算如下：

$$z_0 = \frac{\alpha \tau}{g} \dots\dots\dots (A2.11)$$

$$\alpha = \frac{\hat{\alpha}}{\sqrt{1 - (\tau_w / \tau)}} \dots\dots\dots (A2.12)$$

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

$$\tau = u_*^2 = \left(\frac{\kappa U(z_{obs})}{\ln(z_{obs} / z_0)} \right)^2 \dots\dots\dots (A2.13)$$

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

$$\tau_w = 2\pi \varepsilon^{-1} g \int df d\theta \cdot S_{in} \vec{k} \dots\dots\dots (A2.14)$$

其中未知係數 $\hat{\alpha}$ 建議採用 0.01。

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

$$S_{dis} = \gamma_{ds} \cdot F \dots\dots\dots (A2.15)$$

其中

$$\gamma_{ds} = -C_{ds} \langle \omega \rangle \left[\langle k \rangle^2 E \right]^p \left[\frac{k}{\langle k \rangle} + \left(\frac{k}{\langle k \rangle} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (A2.16)$$

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

其中

$$E = \iint F(f, \theta) df \cdot d\theta \dots\dots\dots (A2.17)$$

$$\langle \omega \rangle = E \left\{ \iint F(f, \theta) (2\pi f)^{-1} df \cdot d\theta \right\}^{-1} \dots\dots\dots (A2.18)$$

$$\langle k \rangle = E \left\{ \iint F(f, \theta) k^{-1} df \cdot d\theta \right\}^{-1} \dots\dots\dots (A2.19)$$

關於底床摩擦引起的能量損失項 S_{bot} ，其計算如下：

$$S_{bot} = -C_{bot} \frac{k \tanh(kd)}{g \sinh^2(kd)} F \dots\dots\dots (A2.20)$$

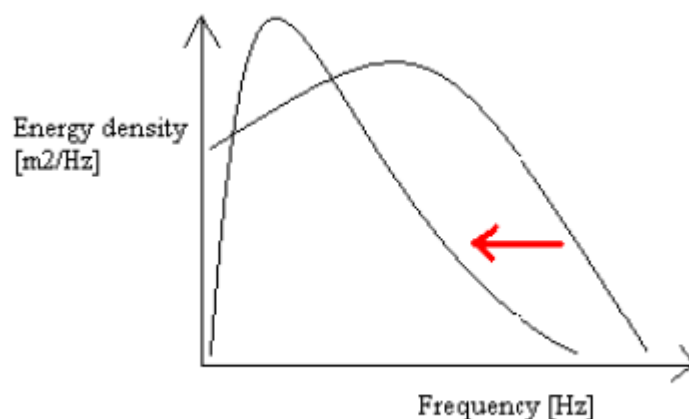
式中 g 為重力加速度， k 為波數， d 為水深， C_{bot} 為底床摩擦係數；在 WAM 模式中對於床摩擦係數 C_{bot} 值建議採用 Hasselmann 等人 (1973) 在湧浪的條件下以 JONSWAP 的實驗求得之底床摩擦係數 $C_{bot} = 0.038 \text{m}^2 \text{s}^{-3}$ 。

至於非線性交互作用項 S_{nl} 之計算則採用 Hasselmann (1963) 之四個波之波浪交互作用理論。即波譜的急劇成長是由波譜尖峰頻率從風獲得能量後再經由非線性作用使得波譜尖峰頻率的能量分別向高頻及低頻處傳遞，且隨著風速加大導致尖峰頻率向低頻移動的現象，如附圖 2.1 所示。當紛紜波浪中存在有四組波浪滿足下列共振(resonant)條件 (A2.21a,b) 式時，則此四組波浪會產生能量之交換。

$$\vec{k}_1 + \vec{k}_2 = \vec{k}_3 + \vec{k}_4 \dots\dots\dots (A2.21a)$$

$$\omega_1 + \omega_2 = \omega_3 + \omega_4 \dots\dots\dots (A2.21b)$$

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



附圖 2.1 波浪能量由高頻向低頻傳遞之示意圖

2.2 臺灣周圍海域範圍風浪模組之基本理論

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

總之，SWAN 風浪模式是一個利用風、海底底床及海流狀況獲得在海岸地區、湖泊或河口附近水域的合理預估的波浪參數的波浪數值模式，此數值模式基本上是依據波浪作用力平衡方程式(wave action balance equation)，如(A2.22)式所示，以及源函數項等求解波浪作用力密度波譜(action density spectrum)， $N(\sigma, \theta)$ ，其中 σ 為相對的波浪頻率； θ 為波浪方向角；因此 SWAN 本質上屬於第三代風浪預報模式。

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{\bar{S}}{\sigma} \dots\dots\dots (A2.22)$$

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

$$c_x = \frac{dx}{dt} = C_g \cos \theta + U_x \dots\dots\dots (A2.23)$$

$$c_y = \frac{dy}{dt} = C_g \sin \theta + U_y \dots\dots\dots (A2.24)$$

$$c_\theta = \frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{k} \frac{\partial \sigma}{\partial d} (\sin \theta \frac{\partial d}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial d}{\partial y}) + (\sin \theta \frac{\partial U_s}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial U_s}{\partial y}) \dots\dots\dots (A2.25)$$

$$c_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial d} (\frac{\partial d}{\partial t} + U_x \frac{\partial d}{\partial x} + U_y \frac{\partial d}{\partial y}) - C_g k (\cos \theta \frac{\partial U_s}{\partial x} + \sin \theta \frac{\partial U_s}{\partial y}) \dots\dots\dots (A2.26)$$

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

於(A2.22)式中第一項代表波浪作用力密度譜 $N(\sigma, \theta)$ 隨時間之變化率；第二及第三項為波浪作用力密度譜 $N(\sigma, \theta)$ 在平面空間上分別以 c_x 及 c_y 之速度在 x -及 y -軸方向傳遞；第四項代表波浪作用力密度譜 $N(\sigma, \theta)$ 受到水深及流變化影響導致在相對頻率 σ -軸上以 c_σ 的速度位移；第五項代表波浪作用力密度譜 $N(\sigma, \theta)$ 因水深或流所引起的折射效應；等號右邊 $\bar{S}(\sigma, \theta)$ 代表以能量密度表示之源函數項，其包含能量的生成、衰減、及非線性的波浪交互作用(有關各項源函數計算之詳細理論說明可參考 SWAN 使用手冊)。

在 SWAN 風浪數值模式中，主要是利用有限差分法來求解(A2.22)式；在邊界條件處理上，SWAN 模式假定波浪能量遇到陸地邊界為完全消散，亦即無任何波浪能量反射；外海開放邊界條件則假設沒有任何波浪能量可以由開放邊界外進入計算領域，但允許波浪能量可以由開放邊界內自由離開計算領域。

2.3 近岸波浪折繞射模式之基本理論

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

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

$$\begin{aligned} & (C_g + U_x)A_x + U_y A_y + i(\bar{k} - k)(C_g + U_x)A + \frac{\sigma}{2} \left\{ \left(\frac{C_g + U_x}{\sigma} \right)_{,x} + \left(\frac{U_y}{\sigma} \right)_{,y} \right\} A \\ & - \frac{i}{2\sigma} [(p - U_y^2)A_y]_{,y} - \sigma \frac{k^2}{2} D|A|^2 A = 0 \end{aligned} \quad \dots (A2.27)$$

式中 $A(x, y)$ 為複數型式之自由表面波形振幅， A_x 及 A_y 分別為 x 及 y 方向之振幅分量， $\sigma = \omega - kU$ 為相對頻率(intrinsic frequency)， ω 為波浪角頻率， $k(x, y)$ 為波浪波數， \bar{k} 為參考波數(定義為沿 y 軸上波數之平均值)， U 為水流流速(此處通常為平均流)， U_x 及 U_y 分別為 x 及 y 方向之水流速度分量，參數 $p = CC_g$ ， C 為波浪之波速， C_g 為波浪群速度， D 為非線性影響項等於

$$D = \frac{\cosh(4kh) + 8 - 2 \tanh^2(kh)}{8 \sinh^4(kh)} \dots (A2.28)$$

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

$$\begin{aligned}
& (C_g + U_x)A_x - 2\Delta_1 U_y A_y + i(\bar{k} - a_0 k)(C_g + U_x)A + \left\{ \frac{\sigma}{2} \left(\frac{C_g + U_x}{\sigma} \right) - \Delta_1 \sigma \left(\frac{U_y}{\sigma} \right) \right\} A \\
& + i\Delta_3 \left[\left(p - U_y^2 \right) \left(\frac{A}{\sigma} \right) \right]_{,y} - i\Delta_1 \left\{ \left[U_x U_y \left(\frac{A}{\sigma} \right) \right]_{,yx} + \left[U_x U_y \left(\frac{A}{\sigma} \right) \right]_{,xy} \right\} \\
& + i\sigma \frac{k^2}{2} D|A|^2 A + \frac{\nu}{2} A - \frac{b_1}{k} \left\{ \left[\left(p - U_y^2 \right) \left(\frac{A}{\sigma} \right) \right]_{,y} + 2i \left[\sigma U_y \left(\frac{A}{\sigma} \right) \right]_{,yx} \right\} \\
& + b_1 \mathcal{G} \left\{ 2i\omega U_x \left(\frac{A}{\sigma} \right)_{,x} + 2i\sigma U_y \left(\frac{A}{\sigma} \right)_{,y} - 2U_x U_y \left(\frac{A}{\sigma} \right)_{,xy} + \left[\left(p - U_y^2 \right) \left(\frac{A}{\sigma} \right) \right]_{,y} \right\} \\
& - \frac{i}{k} b_1 \left[(\omega U_y)_{,y} + 3(\omega U_x)_{,x} \right] \left(\frac{A}{\sigma} \right)_{,x} - \Delta_2 \left[\omega U_x \left(\frac{A}{\sigma} \right)_{,x} + \frac{1}{2} \omega \left(\frac{A}{\sigma} \right) (U_x)_{,x} \right] \\
& + ik\omega U_x (a_0 - 1) \left(\frac{A}{\sigma} \right) = 0
\end{aligned}
\tag{A2.29}$$

式中

$$\mathcal{G} = \frac{k_{,x}}{k^2} + \frac{[k(p - U_x^2)]_{,x}}{2k^2(p - U_x^2)} \tag{A2.30}$$

$$\Delta_1 = a_1 - b_1, \quad \Delta_2 = 1 + 2a_1 - 2b_1, \quad \Delta_3 = a_1 - b_1 \frac{\bar{k}}{k} \tag{A2.31}$$

上述各式中， ν 為波浪消散因子，可依據能量消散特性給定不同的型式。而係數 a_0 ， a_1 及 b_1 可依據所考慮的波浪入射角度範圍利用 Minimax approximation 決定之，此處模式所採用的係數值分別為 $a_0=0.994733$ ， $a_1=-0.890065$ ， $b_1=-0.451641$ 。

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

$$\frac{\partial A}{\partial x} = \frac{i}{k} \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + \nu A \tag{A2.32}$$

式中 $i = \sqrt{-1}$ 。

有關波浪消散因子 ν 之選取，模式提供了包括底床邊界摩擦引起的波浪能量消散，以及波浪碎波引起的波浪能量損失等，針對前者本計

畫選取模式中紊流底床邊界層觀念計算波能損失因子，即

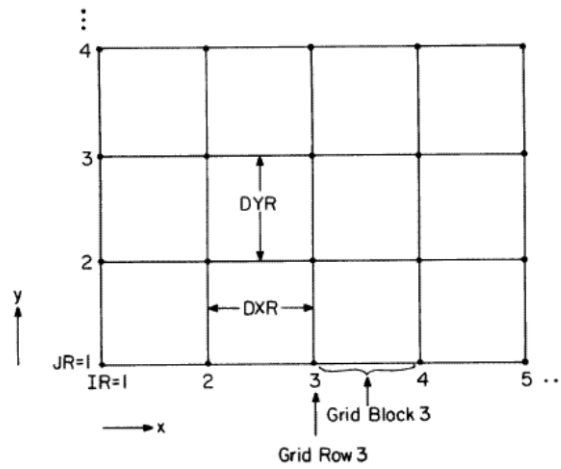
$$v = \frac{2\sigma k f |A|(1-i)}{3\pi \sinh(2kh) \sinh(kh)} \dots\dots\dots (A2.33)$$

式中 $f=0.01$ ；至於碎波引起的波浪能量損失率則採用下列公式計算：

$$v = \frac{\psi C_g [1 - (\gamma h / 2|A|)]}{h} \dots\dots\dots (A2.34)$$

式中 ψ 及 γ 為經驗常數，在模式中分別設定為 0.017 及 0.4。

本計畫 REF/DIF-1 模式採用有限差分數值方法求解此一拋物線型方程式，亦即將計算領域分割成具 Δx 及 Δy 大小之矩形網格，並求解格點上之複數振幅 $A(x, y)$ ，振幅 A 所在之位置係以 (i, j) 表示而非以座標 (x, y) (x, y) ，如附圖 2.2 所示，惟模式計算所需之地形可以輸入具 (x_i, y_j) 座標，其中 $x_i = (i-1)\Delta x$ ， $y_j = (j-1)\Delta y$ 。



附圖 2.2 REF/DIF-1 數值計算網格座標系統示意圖

2.4 港域波浪模式之理論簡述

當波浪自外海傳播至港域時，受到水深地形變化以及海岸線、防波堤和港內岸壁等結構物之影響，波浪會產生繞射、折射及反射等現象。針對此一問題常見之求解方法是將整個問題的領域分為外海半無限領域和港池有限領域等兩個領域，如附圖 2.3 所示；同時假設外海半無限領域為等水深，僅考慮港池有限領域則為緩變之不等深水域，且不考慮波浪的碎波現象。

如附圖 2.3 所示，所取之直角座標系統為 X 軸與海岸線重合，Y 軸向外海為正，Z 軸垂直紙面向上為正，Z=0 為靜水面。外海半無限領域及有限領域別以領域(I)及(II)稱之，領域(I)及領域(II)之相連邊界為半徑 R_0 之半圓，以 B_1 表示。領域(II)則包含了港池內及港外半徑 R_0 之半圓區內水域部分，其所包括的海岸邊界、防波堤邊界及港池岸壁邊界以 B_2 表示。假設領域(I)為等水深 h_1 ，領域(II)之水深變化為 $h_2(x, y)$ 。各領域內水位變化 $\eta_j(x, y; t)$ 可表示成

$$\eta_j(x, y, t) = \zeta_j(x, y)e^{i\omega t}, \quad j=1, 2 \dots\dots\dots (A2.35)$$

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

在在領域(I)內

$$\nabla^2 \zeta_1 + k_1^2 \zeta_1 = 0 \dots\dots\dots (A2.36)$$

在在領域(II)內

$$\nabla \cdot (C_2 C_{2g} \nabla \zeta_2) + (C_2 C_{2g} k_2^2 + i\omega\mu + iC_{2g}\omega\gamma_b)\zeta_2 = 0 \dots\dots\dots (A2.37)$$

式中 $\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y)$ 為二維梯度運算子， μ 為摩擦因子， γ_b 為波浪碎波之碎波參數， k_1 及 k_2 分別為波浪在領域(I)及(II)內之波數， C_2 為波浪在領域(II)內之波速($=L_2/T$)， C_{2g} 為群速度($=\tilde{n}C_2$)。其中 \tilde{n} 定義為

$$\tilde{n} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2k_2 h_2}{\sinh(2k_2 h_2)} \right) \dots\dots\dots (A2.38)$$

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

$$\mu = \frac{2n\omega}{k_2} \left(\frac{2C_r}{3\pi} \frac{\alpha k_2^2}{(2k_2 h_2 + \sinh 2k_2 h_2) \sinh k_2 h_2} \right) \dots\dots\dots (A2.39)$$

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

$$\gamma_b = \frac{\chi}{h_2} \left(1 - \frac{\Gamma^2 h_2^2}{4a^2} \right) \dots\dots\dots (A2.40)$$

式中 χ 及 Γ 分別為經驗常數(其值可分別採用 0.15 及 0.4)。

在領域(I)及(II)之交接假想邊界(B_1)上須滿足下列連續條件：

$$\zeta_1 = \zeta_2 \quad , \quad \text{在假想邊界 } B_1 \text{ 上} \dots\dots\dots (A2.41a)$$

$$C_1 C_{1g} \frac{\partial \zeta_1}{\partial n} = -C_2 C_{2g} \frac{\partial \zeta_2}{\partial n} \quad , \quad \text{在假想邊界 } B_1 \text{ 上} \dots\dots\dots (A2.41b)$$

此外，在一般海岸線或結構物邊界(B_2)上須滿足下列部份反射邊界條件：

$$\nabla \zeta_2 \cdot \vec{n} = \partial \zeta_2 / \partial n = -i\alpha k_2 \zeta_2 \quad , \quad \text{在假想邊界 } B_2 \text{ 上} \dots\dots\dots (A2.42)$$

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

$$\alpha = \frac{1 - K_r}{1 + K_r} \dots\dots\dots (A2.43)$$

式中 K_r 為邊界之反射係數。

在領域(I)內波浪之波函數 ζ_1 通常是由入射波 ζ_i 及受到直線海岸線

影響產生的反射波 ζ_R 及受到防波堤配置和港池開口影響而向外傳播之散射波 ζ_S 等構成的，因此 ζ_1 可表示

$$\zeta_1 = \zeta_I + \zeta_R + \zeta_S \dots\dots\dots (A2.44)$$

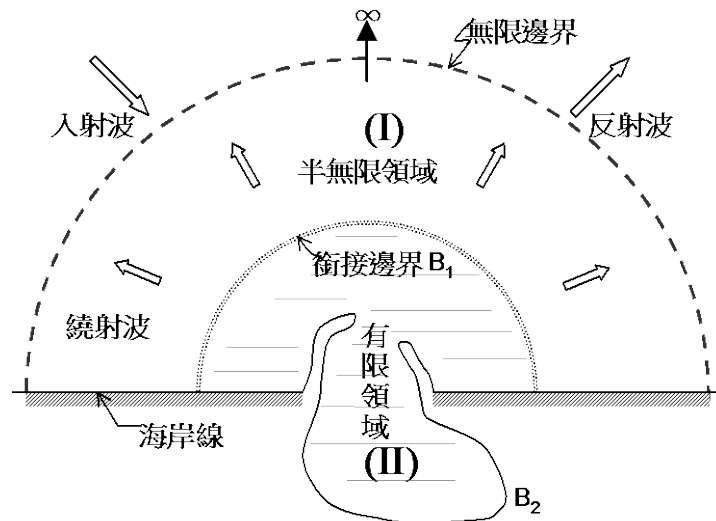
其中散射波 ζ_S 係由港池開口往外海方向輻射出去，在無窮遠處滿足波浪輻射條件：

$$\lim_{k_1 r \rightarrow \infty} \sqrt{r} \left(\frac{\partial}{\partial r} + ik_1 \right) \zeta_S = 0 \dots\dots\dots (A2.45)$$

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

$$\eta^I(x, y; t) = A^I e^{-i[k_1(x \cos \theta_0 + y \sin \theta_0) - \omega t]} \dots\dots\dots (A2.46)$$

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



附圖 2.3 港域波浪模式計算領域示意圖

附錄三

主要商港潮位觀測資料調和分析成果

附表 3.1 花蓮港 2014 年潮位調和分析成果表

花蓮港潮位站							
分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)
S_a	0.04106860	0.1069	32.3560	M_2	28.98410416	0.4647	323.5780
S_{aa}	0.08213730	0.0268	144.1101	MKS_2	29.06624222	0.0031	228.0773
M_m	0.54437470	0.0171	193.5188	λ_2	29.45562553	0.0055	266.8599
M_{sf}	1.01589584	0.0068	255.0479	L_2	29.52847862	0.0123	288.5754
M_f	1.09803307	0.0114	76.4916	T_2	29.95893288	0.0154	43.8547
$2Q_1$	12.85428619	0.0030	335.0557	S_2	30.00000000	0.1956	236.7749
σ_1	12.92714024	0.0050	59.4729	R_2	30.04106712	0.0033	215.9940
Q_1	13.39866066	0.0254	171.3512	K_2	30.08213806	0.0402	24.8284
ρ_1	13.47151470	0.0035	244.5004	MSN_2	30.54437447	0.0026	263.2555
O_1	13.94303513	0.1167	343.3379	KJ_2	30.62651253	0.0026	179.0087
MP_1	14.02517319	0.0021	227.1062	$2SM_2$	31.01589584	0.0014	357.3972
M_1	14.49202538	0.0083	29.4993	MO_2	42.92713928	0.0020	247.2466
χ_1	14.56954765	0.0018	64.1486	M_3	43.47615814	0.0082	39.1473
π_1	14.91786480	0.0044	53.6467	SO_3	43.94303513	0.0007	260.6551
P_1	14.95893097	0.0509	242.8012	MK_3	44.02517319	0.0013	280.8086
S_1	15.00000000	0.0008	60.4650	SK_3	45.04106903	0.0014	313.0910
K_1	15.04106903	0.1406	219.9628	MN_4	57.42383194	0.0013	199.5858
ψ_1	15.08213520	0.0019	131.6524	M_4	57.96820831	0.0067	40.8687
ϕ_1	15.12320614	0.0043	303.2501	SN_4	58.43972778	0.0001	183.9964
θ_1	15.51258945	0.0009	287.8181	MS_4	58.98410416	0.0041	356.1437
J_1	15.58544350	0.0063	25.3418	MK_4	59.06624222	0.0026	212.0651
SO_1	16.05696487	0.0023	171.5028	S_4	60.00000000	0.0010	233.0403
OO_1	16.13910103	0.0043	267.7379	SK_4	60.08213806	0.0009	62.4279
OQ_2	27.34169579	0.0016	230.7288	$2MN_6$	86.40793610	0.0005	324.6275
MNS_2	27.42383385	0.0046	237.4618	M_6	86.95231628	0.0007	149.0623
$2N_2$	27.85935402	0.0006	255.6000	MSN_6	87.42383575	0.0002	33.7685
μ_2	27.96820450	0.0138	46.3328	$2MS_6$	87.96820831	0.0005	259.2240
N_2	28.43972969	0.0912	159.2904	$2MK_6$	88.05034637	0.0005	108.2196
v_2	28.51258278	0.0186	229.8869	$2SM_6$	88.98410797	0.0003	257.7125
OP_2	28.90196609	0.0020	79.5652	MSK_6	89.06623840	0.0002	63.2319
平均潮位=0.1270m							
資料時間：2014/07/02 11:00:00							

附表 3.2 高雄港 2014 年潮位調和分析成果表

高雄港潮位站							
分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)
S_a	0.04106860	0.0994	44.6261	M_2	28.98410416	0.1897	10.5559
S_{aa}	0.08213730	0.0111	207.5465	MKS_2	29.06624222	0.0031	268.7073
M_m	0.54437470	0.0080	185.7076	λ_2	29.45562553	0.0019	82.3594
M_{sf}	1.01589584	0.0055	182.6262	L_2	29.52847862	0.0052	62.3978
M_f	1.09803307	0.0063	104.0141	T_2	29.95893288	0.0059	78.0028
$2Q_1$	12.85428619	0.0032	60.8795	S_2	30.00000000	0.0690	260.5674
σ_1	12.92714024	0.0034	106.2071	R_2	30.04106712	0.0043	169.0766
Q_1	13.39866066	0.0276	212.3472	K_2	30.08213806	0.0136	62.2023
ρ_1	13.47151470	0.0063	277.3843	MSN_2	30.54437447	0.0033	44.6197
O_1	13.94303513	0.1319	31.4857	KJ_2	30.62651253	0.0005	226.0677
MP_1	14.02517319	0.0041	159.3732	$2SM_2$	31.01589584	0.0006	81.0444
M_1	14.49202538	0.0094	95.5122	MO_2	42.92713928	0.0040	284.7406
χ_1	14.56954765	0.0019	200.7528	M_3	43.47615814	0.0038	79.7260
π_1	14.91786480	0.0035	66.0643	SO_3	43.94303513	0.0009	182.6556
P_1	14.95893097	0.0570	306.7384	MK_3	44.02517319	0.0008	113.9670
S_1	15.00000000	0.0053	339.8821	SK_3	45.04106903	0.0006	206.0405
K_1	15.04106903	0.1562	287.0799	MN_4	57.42383194	0.0001	84.7674
ψ_1	15.08213520	0.0052	82.2205	M_4	57.96820831	0.0013	253.1779
ϕ_1	15.12320614	0.0006	244.9718	SN_4	58.43972778	0.0006	238.7635
θ_1	15.51258945	0.0021	341.5312	MS_4	58.98410416	0.0015	162.9031
J_1	15.58544350	0.0042	86.4348	MK_4	59.06624222	0.0006	236.5692
SO_1	16.05696487	0.0026	106.3827	S_4	60.00000000	0.0003	42.7407
OO_1	16.13910103	0.0023	2.9783	SK_4	60.08213806	0.0004	160.0093
OQ_2	27.34169579	0.0023	187.8974	$2MN_6$	86.40793610	0.0017	275.7652
MNS_2	27.42383385	0.0011	195.4982	M_6	86.95231628	0.0038	106.0063
$2N_2$	27.85935402	0.0015	319.1152	MSN_6	87.42383575	0.0009	217.7458
μ_2	27.96820450	0.0074	54.6932	$2MS_6$	87.96820831	0.0023	41.8686
N_2	28.43972969	0.0423	204.3260	$2MK_6$	88.05034637	0.0009	233.1226
v_2	28.51258278	0.0066	282.5230	$2SM_6$	88.98410797	0.0004	340.7333
OP_2	28.90196609	0.0020	126.8603	MSK_6	89.06623840	0.0004	142.9868
平均潮位=0.2094m							
資料時間：2014/07/02 11:00:00							

附表 3.3 基隆港 2014 年潮位調和分析成果表

基隆港潮位站							
分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)
S_a	0.04106860	0.1611	24.6523	M_2	28.98410416	0.2485	63.4969
S_{aa}	0.08213730	0.0243	145.2052	MKS_2	29.06624222	0.0018	139.1328
M_m	0.54437470	0.0200	165.6024	λ_2	29.45562553	0.0063	46.2542
M_{sf}	1.01589584	0.0023	128.7585	L_2	29.52847862	0.0115	145.7276
M_f	1.09803307	0.0073	53.0853	T_2	29.95893288	0.0023	144.9972
$2Q_1$	12.85428619	0.0029	335.1040	S_2	30.00000000	0.0637	309.8554
σ_1	12.92714024	0.0045	73.2863	R_2	30.04106712	0.0025	219.2643
Q_1	13.39866066	0.0266	170.1437	K_2	30.08213806	0.0128	94.9255
ρ_1	13.47151470	0.0057	258.1707	MSN_2	30.54437447	0.0043	57.8490
O_1	13.94303513	0.1292	344.4309	KJ_2	30.62651253	0.0019	181.7280
MP_1	14.02517319	0.0028	182.7005	$2SM_2$	31.01589584	0.0041	196.6719
M_1	14.49202538	0.0085	36.9749	MO_2	42.92713928	0.0033	210.3275
χ_1	14.56954765	0.0022	148.0164	M_3	43.47615814	0.0061	16.3752
π_1	14.91786480	0.0060	69.1092	SO_3	43.94303513	0.0012	87.6890
P_1	14.95893097	0.0616	249.4862	MK_3	44.02517319	0.0031	59.0493
S_1	15.00000000	0.0014	103.4457	SK_3	45.04106903	0.0016	344.5089
K_1	15.04106903	0.1685	228.1565	MN_4	57.42383194	0.0056	46.3209
ψ_1	15.08213520	0.0046	98.8287	M_4	57.96820831	0.0120	213.5303
ϕ_1	15.12320614	0.0034	334.0922	SN_4	58.43972778	0.0003	208.7760
θ_1	15.51258945	0.0021	280.2949	MS_4	58.98410416	0.0085	114.5772
J_1	15.58544350	0.0079	53.2842	MK_4	59.06624222	0.0032	254.5145
SO_1	16.05696487	0.0006	142.9572	S_4	60.00000000	0.0020	25.7128
OO_1	16.13910103	0.0025	272.9002	SK_4	60.08213806	0.0010	197.2434
OQ_2	27.34169579	0.0009	316.4649	$2MN_6$	86.40793610	0.0018	116.5661
MNS_2	27.42383385	0.0075	190.2086	M_6	86.95231628	0.0041	302.0999
$2N_2$	27.85935402	0.0014	289.0039	MSN_6	87.42383575	0.0008	73.3268
μ_2	27.96820450	0.0248	29.9954	$2MS_6$	87.96820831	0.0032	253.9620
N_2	28.43972969	0.0608	241.5534	$2MK_6$	88.05034637	0.0008	25.0009
v_2	28.51258278	0.0204	335.1792	$2SM_6$	88.98410797	0.0005	208.3355
OP_2	28.90196609	0.0034	189.7519	MSK_6	89.06623840	0.0006	45.3280
平均潮位=0.0670m							
資料時間：2014/07/02 11:00:00							

附表 3.4 蘇澳港 2014 年潮位調和分析成果表

蘇澳港潮位站							
分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)
S_a	0.04106860	0.1295	29.8951	M_2	28.98410416	0.4402	319.4944
S_{aa}	0.08213730	0.0220	142.2975	MKS_2	29.06624222	0.0036	199.0613
M_m	0.54437470	0.0203	185.3987	λ_2	29.45562553	0.0047	201.3518
M_{sf}	1.01589584	0.0059	303.6451	L_2	29.52847862	0.0125	289.1708
M_f	1.09803307	0.0073	76.7406	T_2	29.95893288	0.0117	53.5007
$2Q_1$	12.85428619	0.0037	358.5911	S_2	30.00000000	0.1822	233.5754
σ_1	12.92714024	0.0050	59.8698	R_2	30.04106712	0.0008	115.9223
Q_1	13.39866066	0.0293	167.1406	K_2	30.08213806	0.0362	22.0469
ρ_1	13.47151470	0.0065	232.0238	MSN_2	30.54437447	0.0006	33.6784
O_1	13.94303513	0.1424	341.1436	KJ_2	30.62651253	0.0042	160.1091
MP_1	14.02517319	0.0015	172.0298	$2SM_2$	31.01589584	0.0012	316.0452
M_1	14.49202538	0.0103	34.9297	MO_2	42.92713928	0.0027	222.9561
χ_1	14.56954765	0.0013	133.1065	M_3	43.47615814	0.0077	39.7682
π_1	14.91786480	0.0033	86.9201	SO_3	43.94303513	0.0009	200.5906
P_1	14.95893097	0.0652	247.2128	MK_3	44.02517319	0.0015	106.5658
S_1	15.00000000	0.0007	292.4283	SK_3	45.04106903	0.0007	313.5632
K_1	15.04106903	0.1773	225.9832	MN_4	57.42383194	0.0009	231.5573
ψ_1	15.08213520	0.0017	103.7157	M_4	57.96820831	0.0029	62.9890
ϕ_1	15.12320614	0.0027	322.0179	SN_4	58.43972778	0.0015	147.7117
θ_1	15.51258945	0.0017	264.9694	MS_4	58.98410416	0.0025	34.6152
J_1	15.58544350	0.0082	44.8607	MK_4	59.06624222	0.0011	193.7015
SO_1	16.05696487	0.0019	128.5618	S_4	60.00000000	0.0002	29.0519
OO_1	16.13910103	0.0039	266.0114	SK_4	60.08213806	0.0006	137.6876
OQ_2	27.34169579	0.0015	161.7164	$2MN_6$	86.40793610	0.0008	27.3954
MNS_2	27.42383385	0.0029	227.0412	M_6	86.95231628	0.0012	237.7954
$2N_2$	27.85935402	0.0019	8.3517	MSN_6	87.42383575	0.0003	188.7053
μ_2	27.96820450	0.0162	60.3487	$2MS_6$	87.96820831	0.0008	158.1723
N_2	28.43972969	0.0843	156.4858	$2MK_6$	88.05034637	0.0006	21.0823
v_2	28.51258278	0.0148	226.5665	$2SM_6$	88.98410797	0.0005	124.9404
OP_2	28.90196609	0.0039	46.9677	MSK_6	89.06623840	0.0003	53.9903
平均潮位=0.1086m							
資料時間：2014/07/02 11:00:00							

附表 3.5 臺中港 2010 年潮位調和分析成果表

臺中港潮位站							
分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)
S_a	0.04106860	0.1537	28.8389	M_2	28.98410416	1.8734	106.1764
S_{aa}	0.08213730	0.0248	180.3536	MKS_2	29.06624222	0.0033	306.1345
M_m	0.54437470	0.0192	179.4772	λ_2	29.45562553	0.0330	54.5246
M_{sf}	1.01589584	0.0030	45.1153	L_2	29.52847862	0.0924	114.0308
M_f	1.09803307	0.0050	98.7702	T_2	29.95893288	0.0458	206.5811
$2Q_1$	12.85428619	0.0055	26.1356	S_2	30.00000000	0.5251	32.4663
σ_1	12.92714024	0.0056	108.2940	R_2	30.04106712	0.0172	180.4527
Q_1	13.39866066	0.0356	202.3757	K_2	30.08213806	0.1130	182.8328
ρ_1	13.47151470	0.0081	264.4415	MSN_2	30.54437447	0.0212	46.1676
O_1	13.94303513	0.1768	14.8994	KJ_2	30.62651253	0.0024	51.6283
MP_1	14.02517319	0.0043	102.2174	$2SM_2$	31.01589584	0.0204	180.7474
M_1	14.49202538	0.0123	94.1839	MO_2	42.92713928	0.0109	172.2107
χ_1	14.56954765	0.0026	202.6767	M_3	43.47615814	0.0093	254.8609
π_1	14.91786480	0.0068	104.8237	SO_3	43.94303513	0.0069	115.3665
P_1	14.95893097	0.0802	283.5854	MK_3	44.02517319	0.0123	86.8370
S_1	15.00000000	0.0060	344.8293	SK_3	45.04106903	0.0029	3.0609
K_1	15.04106903	0.2246	264.5998	MN_4	57.42383194	0.0047	266.7173
ψ_1	15.08213520	0.0057	139.8080	M_4	57.96820831	0.0065	78.5251
ϕ_1	15.12320614	0.0033	337.9085	SN_4	58.43972778	0.0004	249.0897
θ_1	15.51258945	0.0013	109.2194	MS_4	58.98410416	0.0043	1.1027
J_1	15.58544350	0.0108	93.4697	MK_4	59.06624222	0.0019	42.8446
SO_1	16.05696487	0.0064	259.6917	S_4	60.00000000	0.0018	207.5350
OO_1	16.13910103	0.0034	349.7971	SK_4	60.08213806	0.0008	12.8005
OQ_2	27.34169579	0.0095	351.1060	$2MN_6$	86.40793610	0.0094	18.3203
MNS_2	27.42383385	0.0308	150.1824	M_6	86.95231628	0.0187	207.0376
$2N_2$	27.85935402	0.0116	185.7317	MSN_6	87.42383575	0.0039	324.0047
μ_2	27.96820450	0.0923	340.7519	$2MS_6$	87.96820831	0.0168	143.1463
N_2	28.43972969	0.3327	289.1660	$2MK_6$	88.05034637	0.0032	307.5417
v_2	28.51258278	0.1011	355.0502	$2SM_6$	88.98410797	0.0037	72.1754
OP_2	28.90196609	0.0176	190.4231	MSK_6	89.06623840	0.0019	205.4587
平均潮位=0.1647m							
資料時間：2014/07/02 11:00:00							

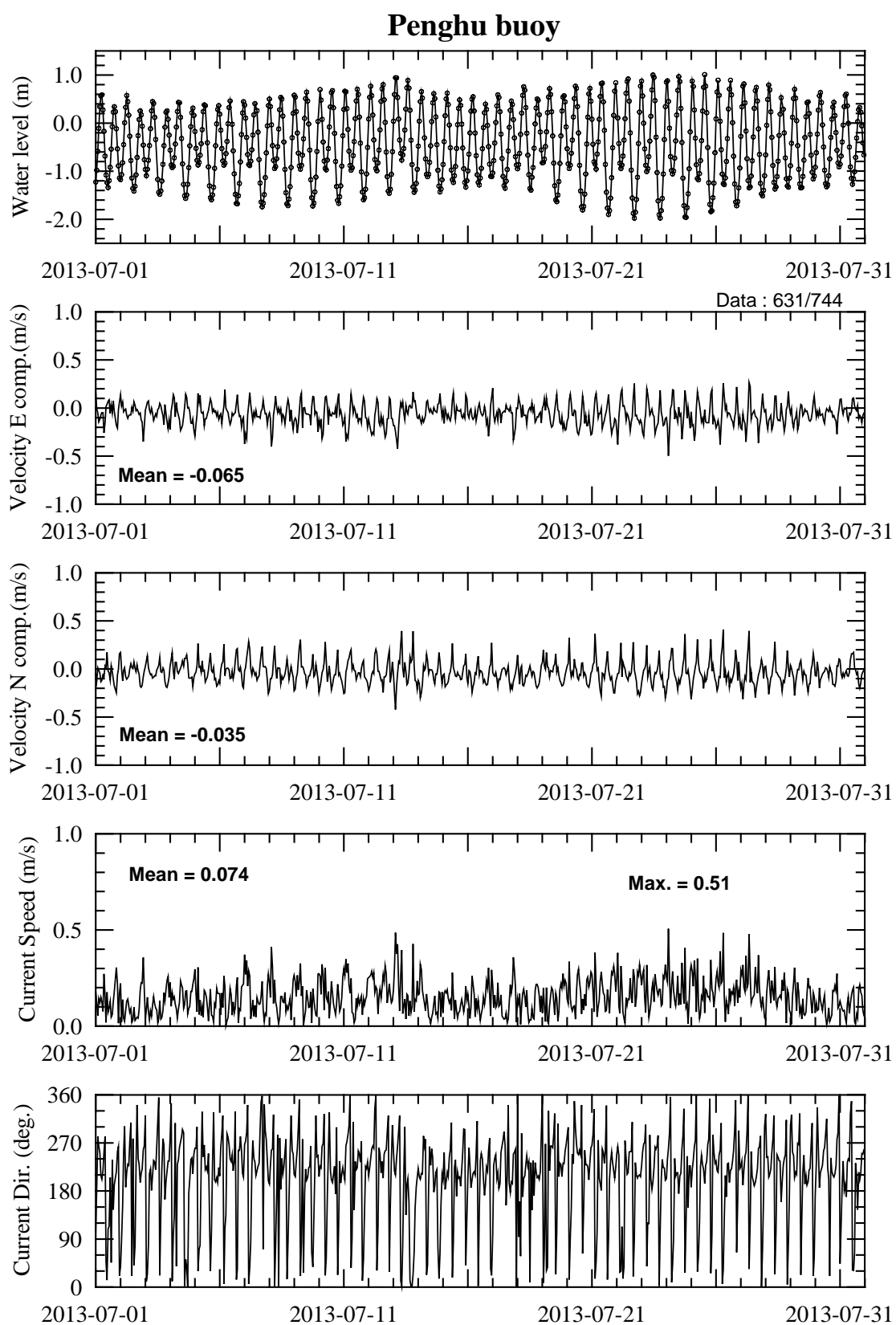
附表 3.6 臺北港 2010 年潮位調和分析成果表

臺北港潮位站							
分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)
S_a	0.04106860	0.1795	72.3229	M_2	28.98410416	1.1317	99.8563
S_{aa}	0.08213730	0.0917	176.0935	MKS_2	29.06624222	0.0094	51.9712
M_m	0.54437470	0.0290	189.8431	λ_2	29.45562553	0.0261	53.1633
M_{sf}	1.01589584	0.0052	50.7888	L_2	29.52847862	0.0578	115.5533
M_f	1.09803307	0.0094	79.5796	T_2	29.95893288	0.0281	196.8933
$2Q_1$	12.85428619	0.0035	82.1852	S_2	30.00000000	0.3060	21.6247
σ_1	12.92714024	0.0090	119.8180	R_2	30.04106712	0.0053	147.1671
Q_1	13.39866066	0.0289	190.7280	K_2	30.08213806	0.0728	165.6322
ρ_1	13.47151470	0.0099	270.1755	MSN_2	30.54437447	0.0138	73.4679
O_1	13.94303513	0.1510	359.0441	KJ_2	30.62651253	0.0040	155.2827
MP_1	14.02517319	0.0016	83.1787	$2SM_2$	31.01589584	0.0142	188.2216
M_1	14.49202538	0.0116	58.5606	MO_2	42.92713928	0.0080	230.9801
χ_1	14.56954765	0.0015	194.9286	M_3	43.47615814	0.0073	336.2398
π_1	14.91786480	0.0059	126.6866	SO_3	43.94303513	0.0054	160.0346
P_1	14.95893097	0.0692	262.9879	MK_3	44.02517319	0.0069	119.0867
S_1	15.00000000	0.0090	188.0530	SK_3	45.04106903	0.0023	63.9823
K_1	15.04106903	0.1945	245.2263	MN_4	57.42383194	0.0047	6.9021
ψ_1	15.08213520	0.0084	144.3140	M_4	57.96820831	0.0084	174.2044
ϕ_1	15.12320614	0.0037	335.2902	SN_4	58.43972778	0.0011	1.3738
θ_1	15.51258945	0.0014	175.5532	MS_4	58.98410416	0.0106	87.5912
J_1	15.58544350	0.0094	80.6056	MK_4	59.06624222	0.0029	172.2189
SO_1	16.05696487	0.0025	204.1082	S_4	60.00000000	0.0036	12.8155
OO_1	16.13910103	0.0028	348.1529	SK_4	60.08213806	0.0021	164.6342
OQ_2	27.34169579	0.0055	299.1732	$2MN_6$	86.40793610	0.0020	96.6648
MNS_2	27.42383385	0.0167	153.5678	M_6	86.95231628	0.0046	237.3795
$2N_2$	27.85935402	0.0051	262.1628	MSN_6	87.42383575	0.0020	279.5144
μ_2	27.96820450	0.0605	349.7321	$2MS_6$	87.96820831	0.0011	216.8734
N_2	28.43972969	0.2085	281.8925	$2MK_6$	88.05034637	0.0020	335.3565
v_2	28.51258278	0.0628	354.9872	$2SM_6$	88.98410797	0.0020	344.3748
OP_2	28.90196609	0.0108	202.2629	MSK_6	89.06623840	0.0022	344.5590
平均潮位=0.5501m							
資料時間：2014/07/02 11:00:00							

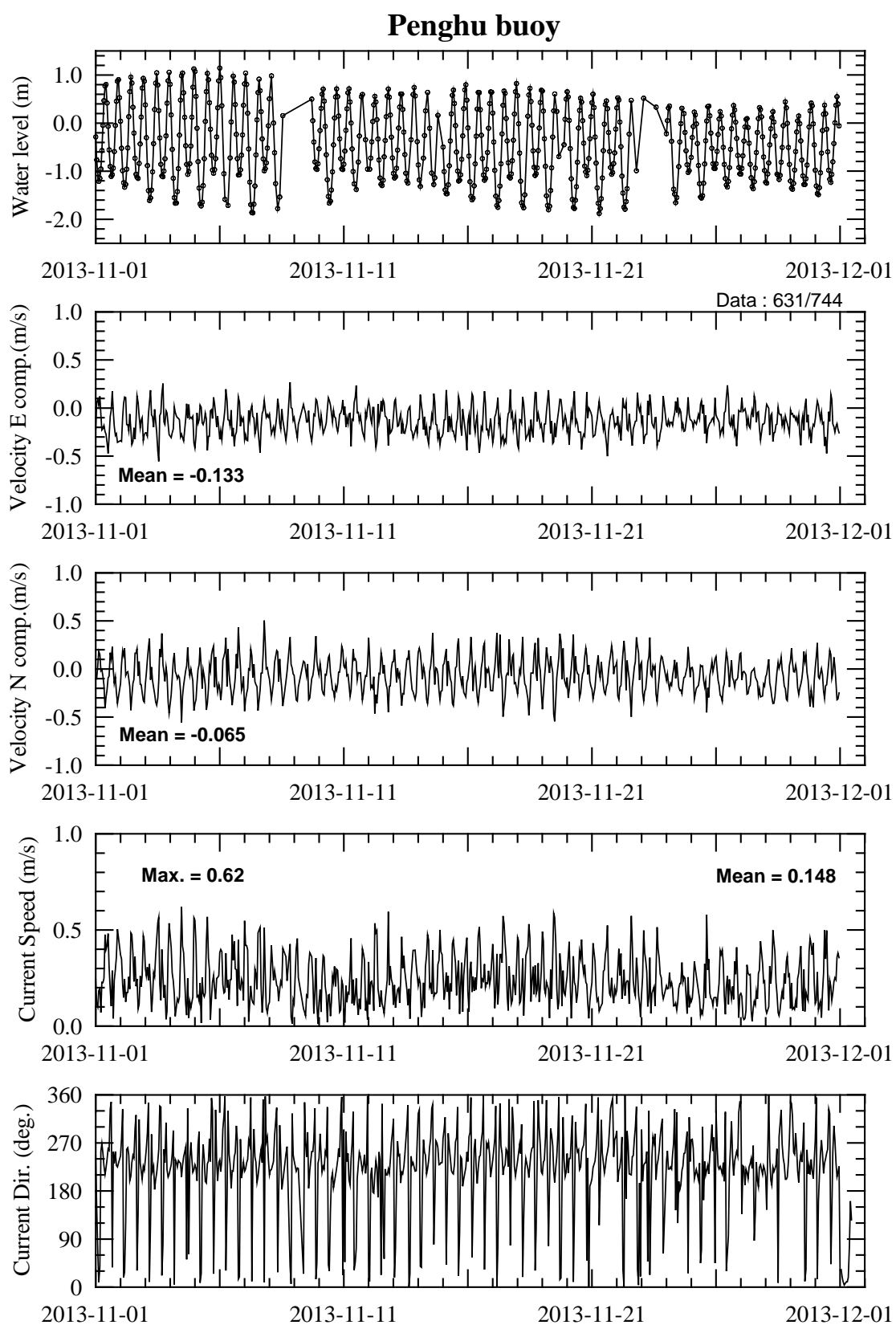
附錄四

澎湖海域海流觀測資料

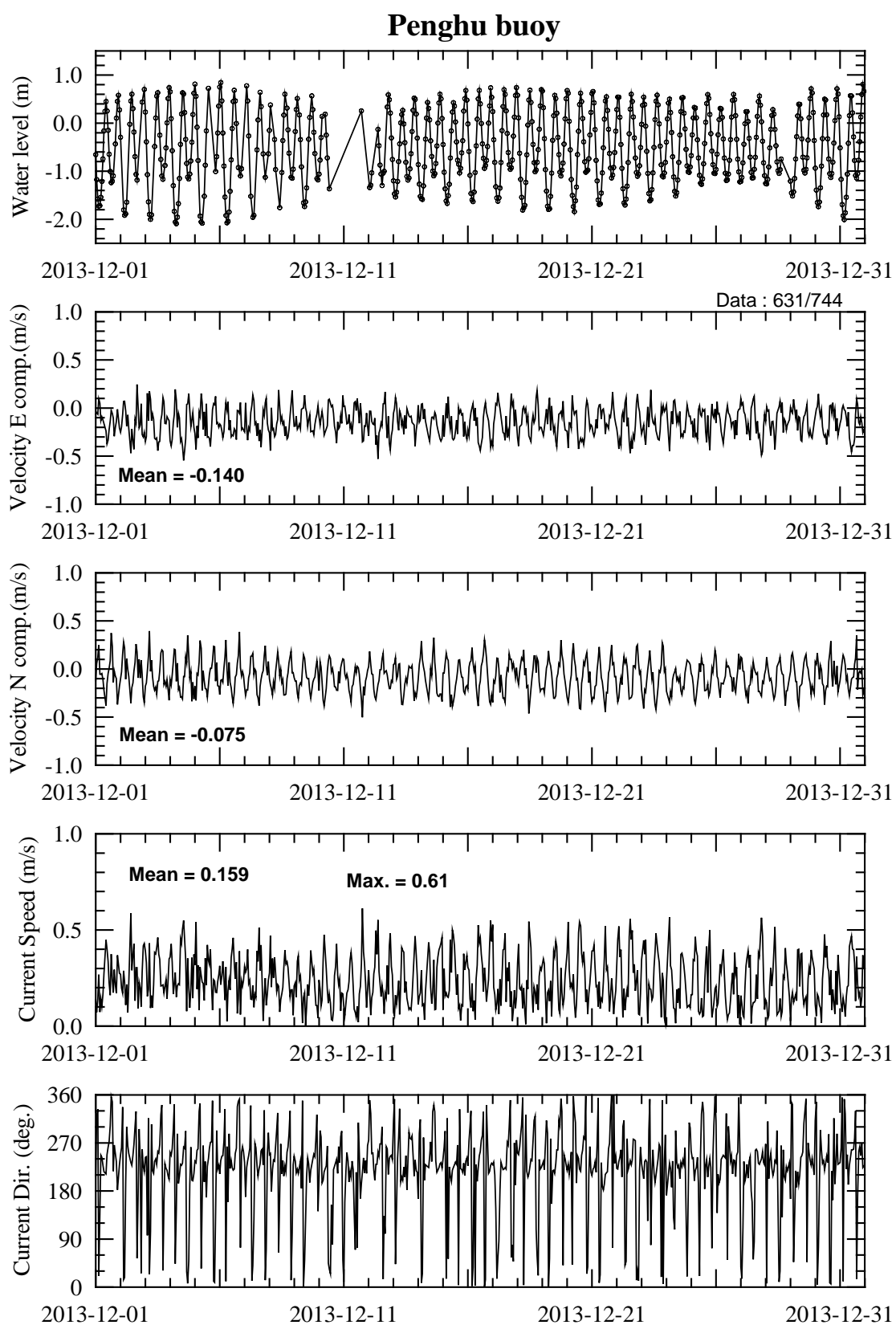
澎湖資料浮標(水利署)



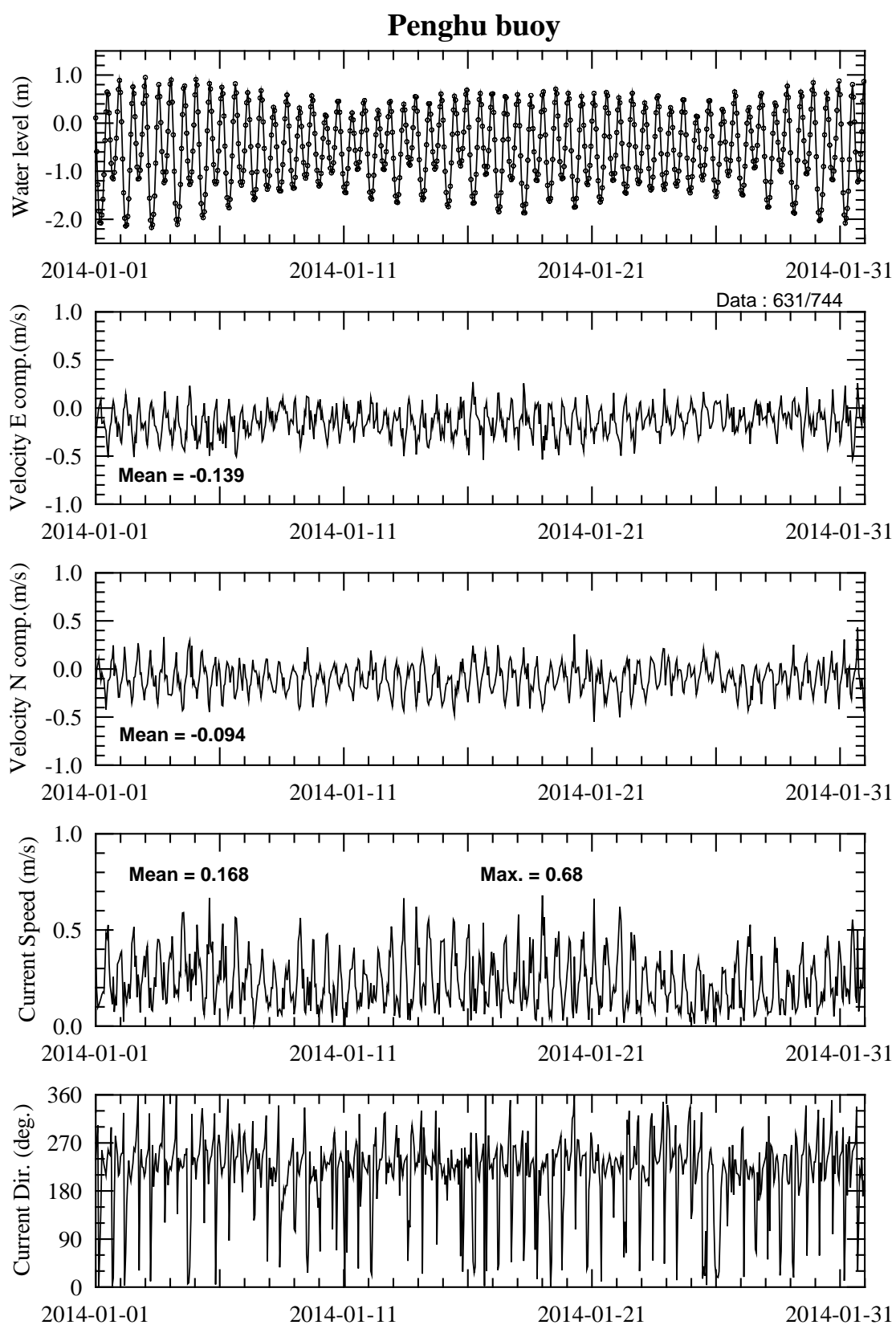
附圖 4.1 澎湖資料浮標海流觀測資料時序列圖



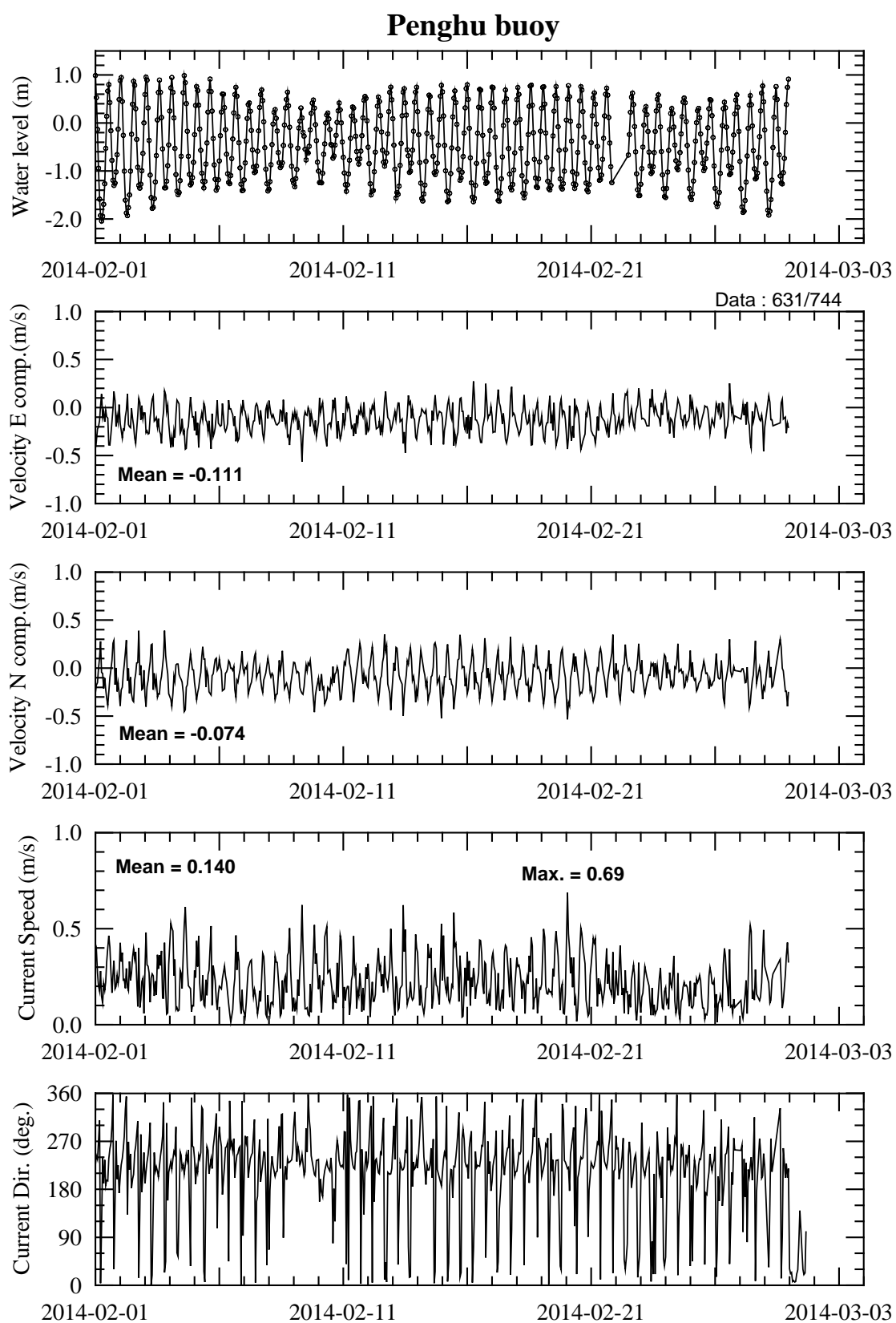
附圖 4.1 (續 1) 澎湖資料浮標海流觀測資料時序列圖



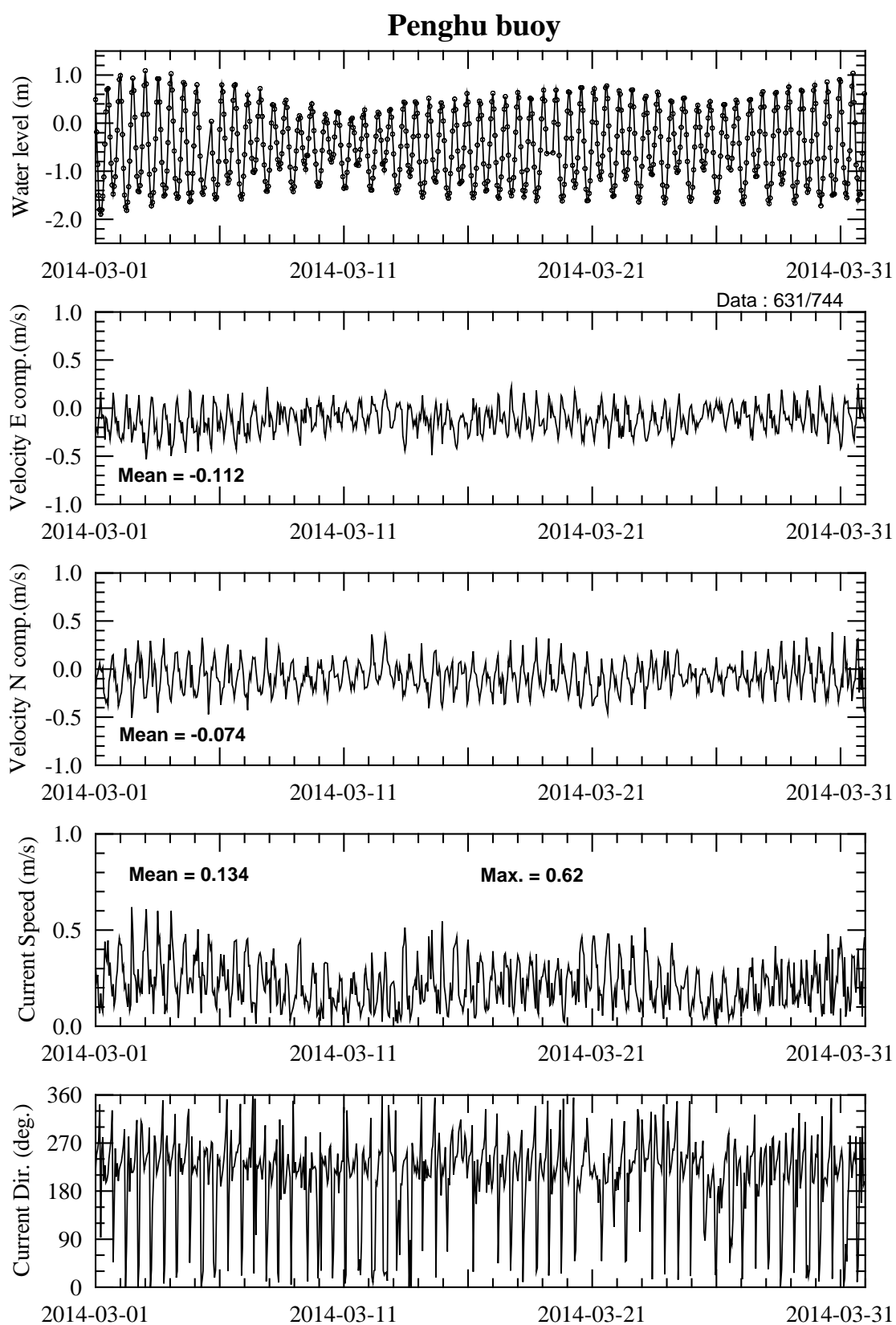
附圖 4.1 (續 2) 澎湖資料浮標海流觀測資料時序列圖



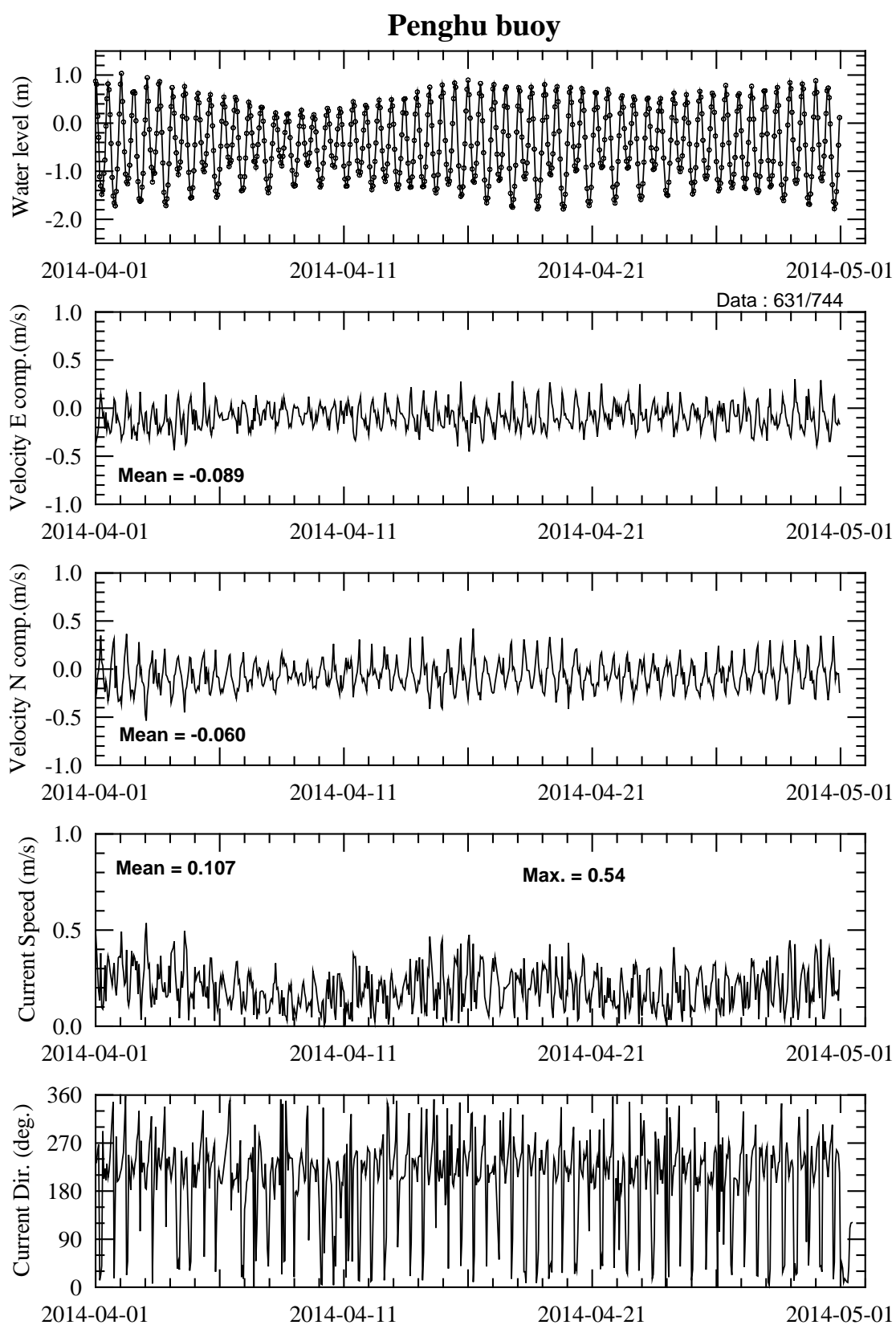
附圖 4.1 (續 3) 澎湖資料浮標海流觀測資料時序列圖



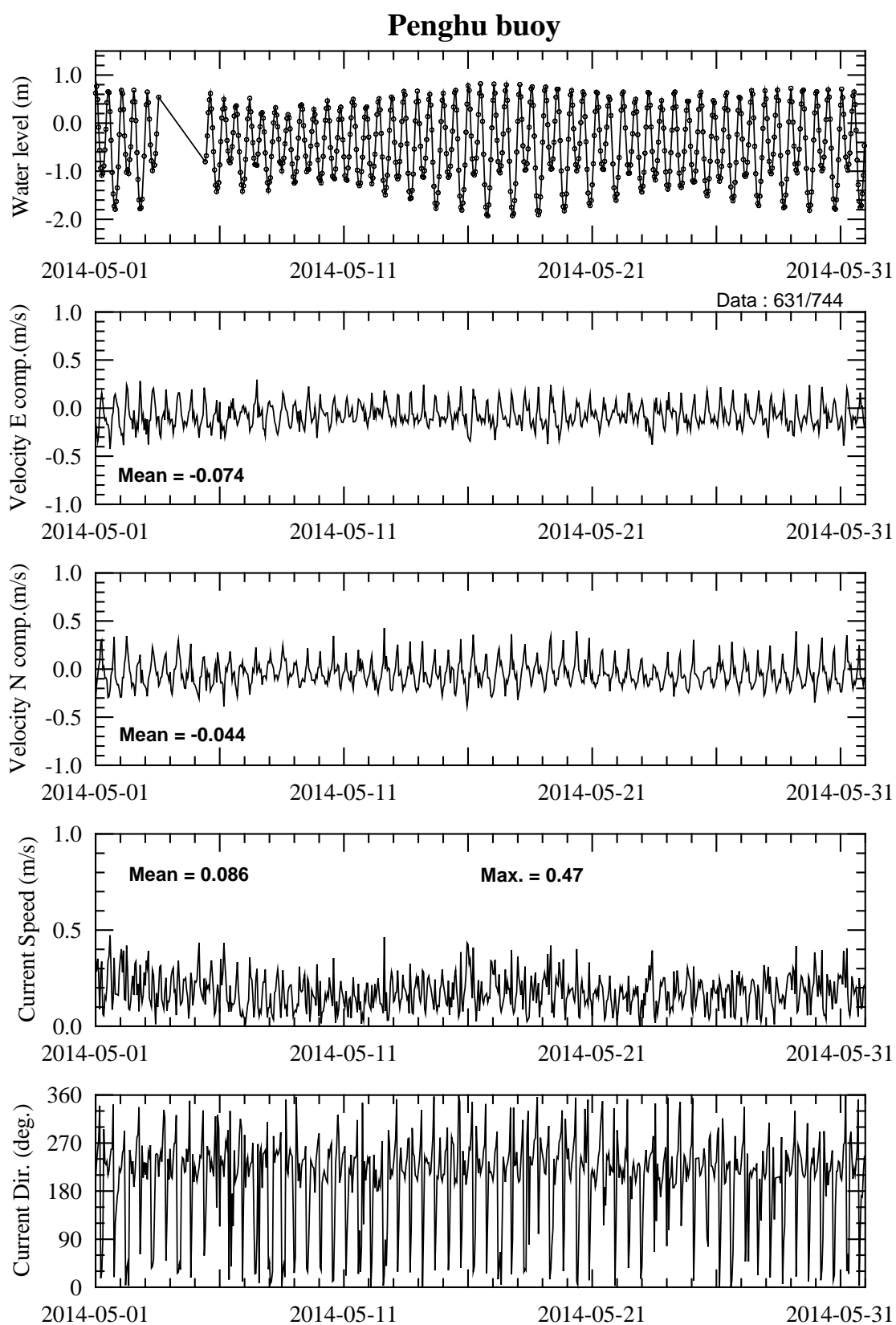
附圖 4.1 (續 4) 澎湖資料浮標海流觀測資料時序列圖



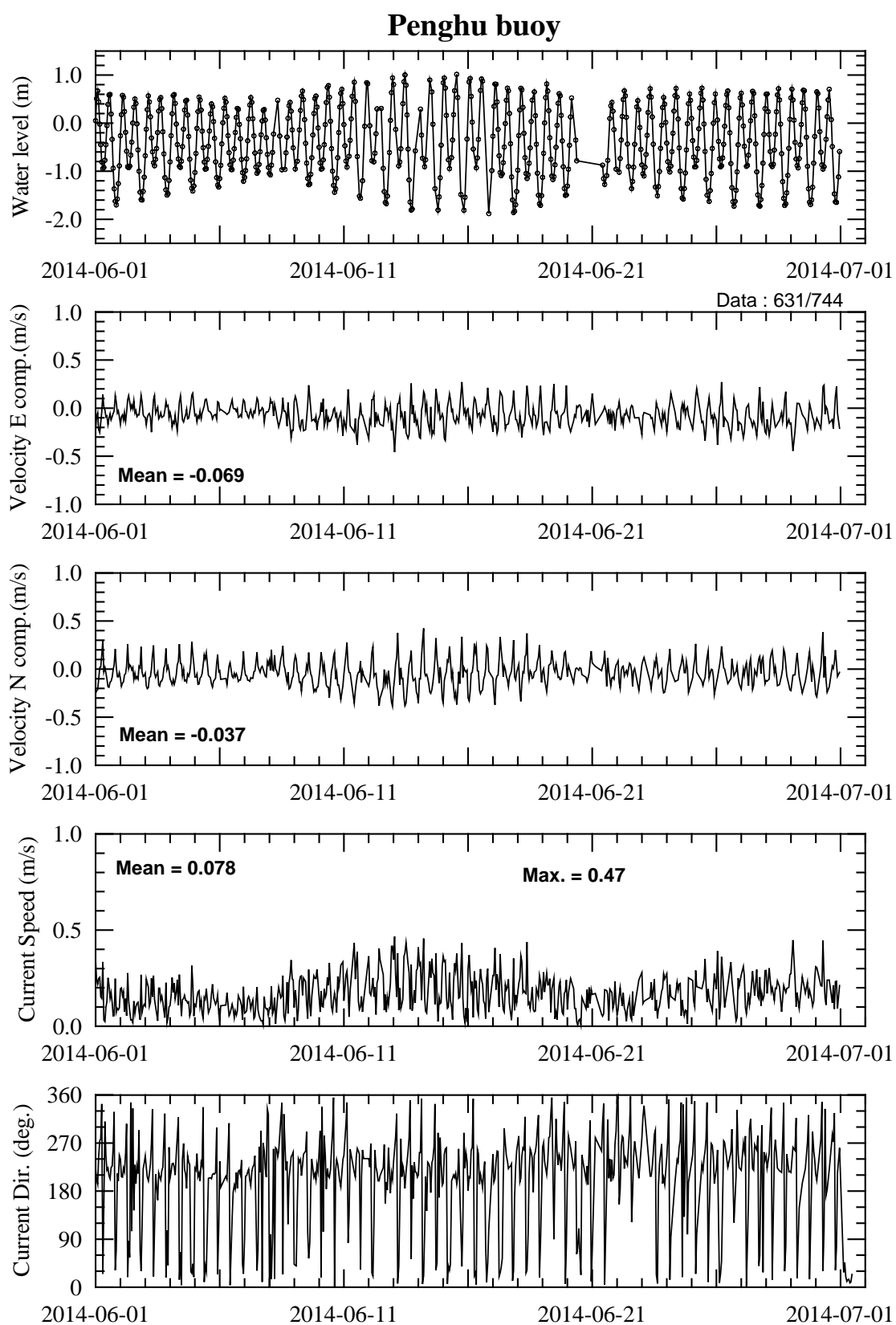
附圖 4.1 (續 5) 澎湖資料浮標海流觀測資料時序列圖



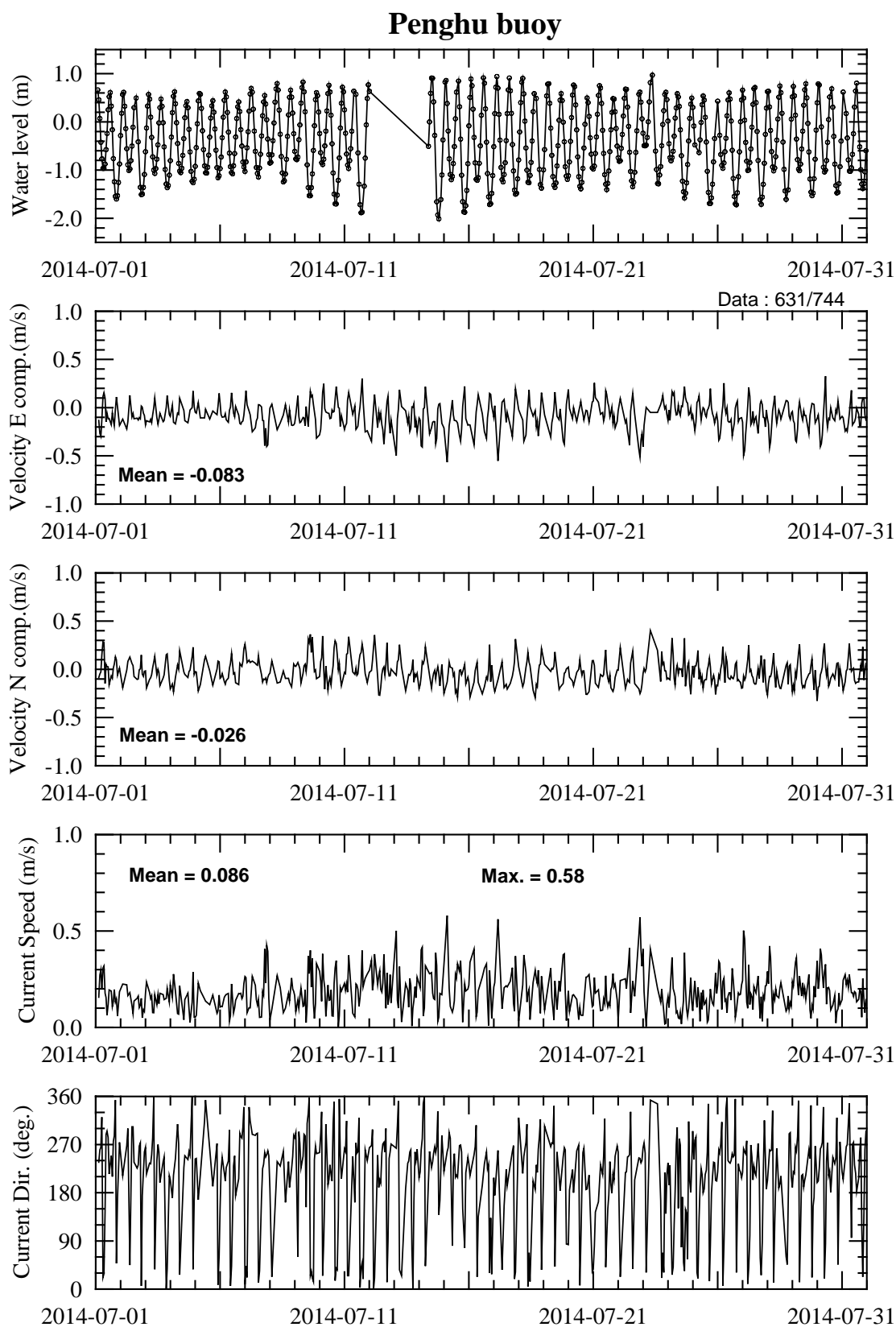
附圖 4.1 (續 6) 澎湖資料浮標海流觀測資料時序列圖



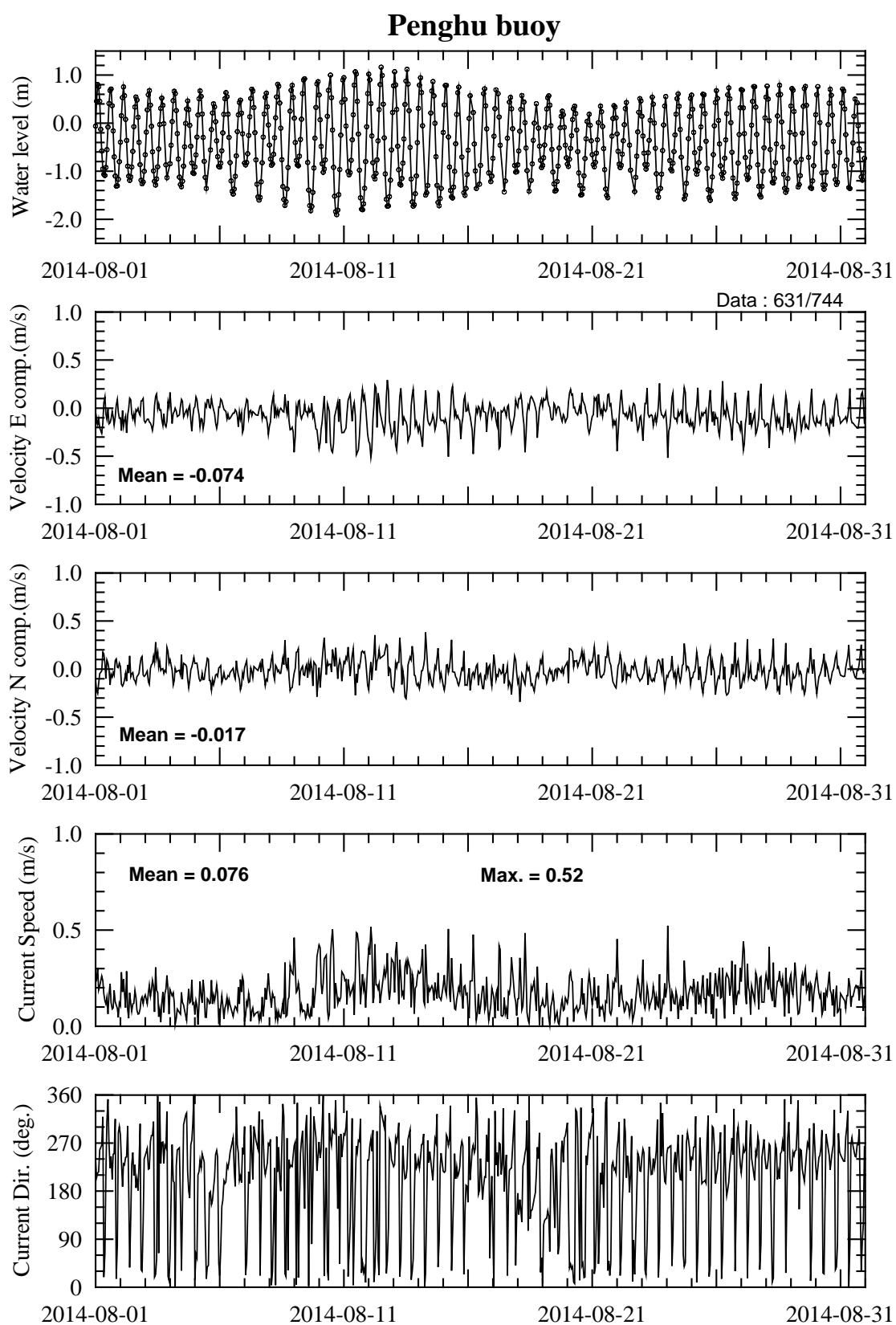
附圖 4.1 (續 7) 澎湖資料浮標海流觀測資料時序列圖



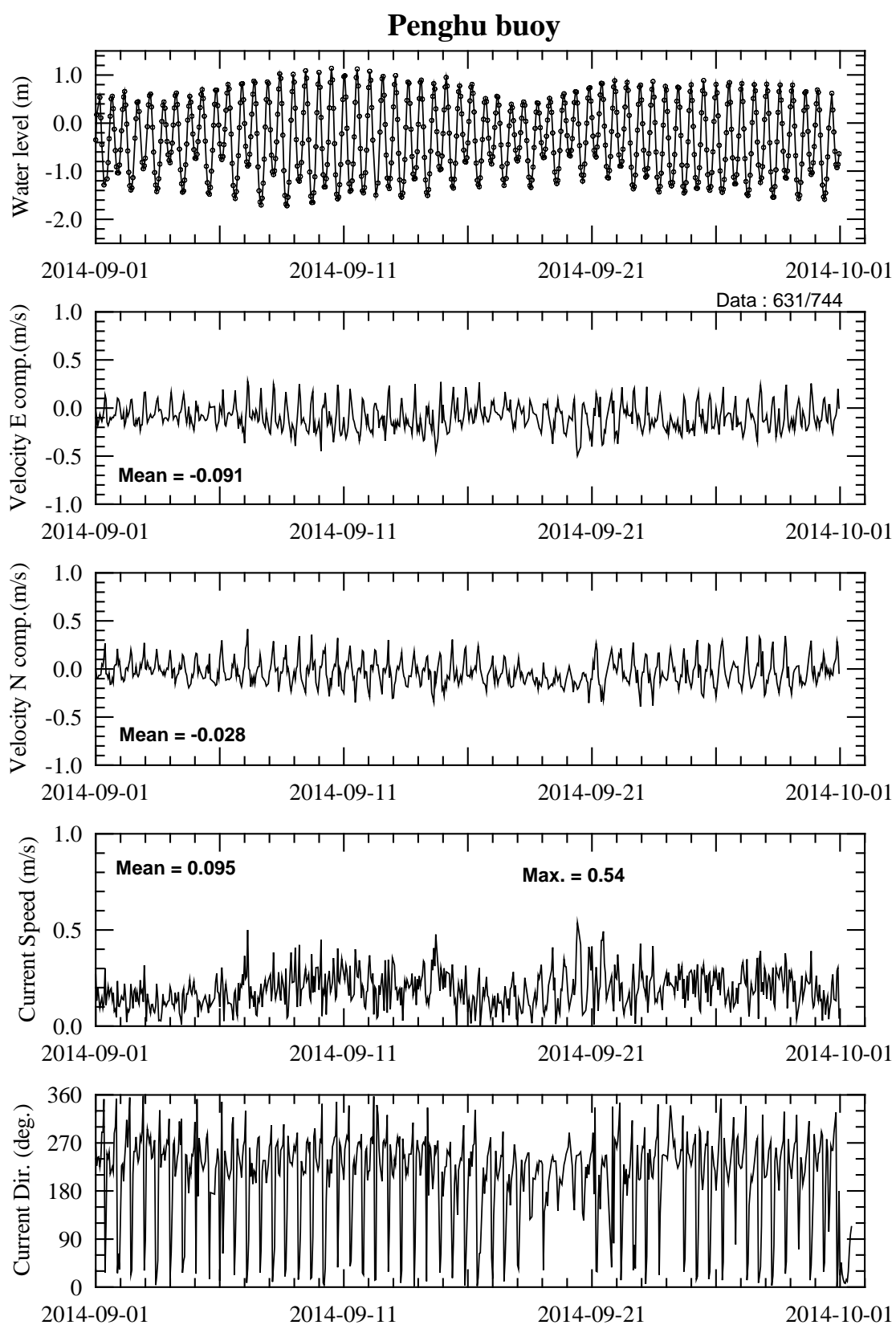
附圖 4.1 (續 8) 澎湖資料浮標海流觀測資料時序列圖



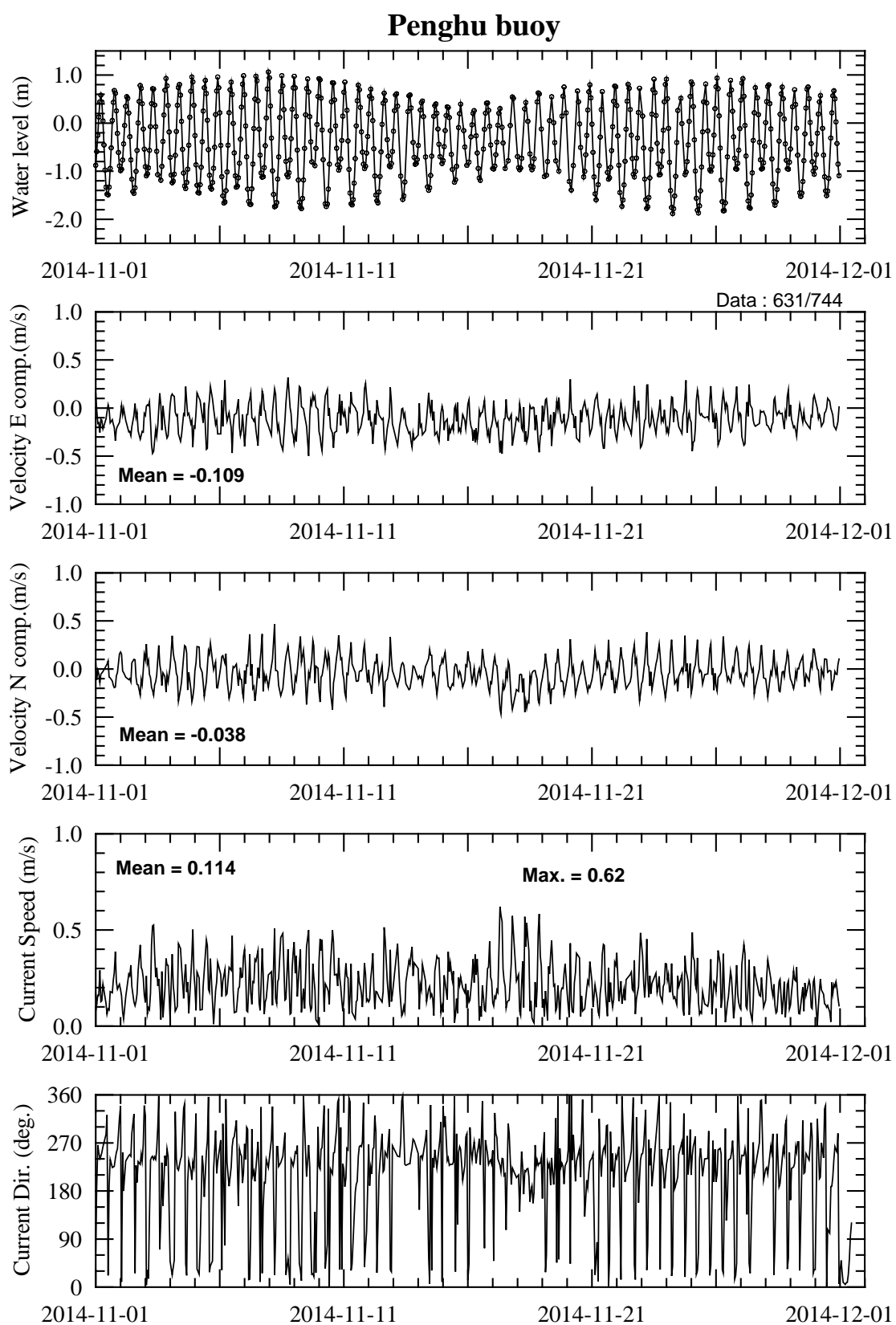
附圖 4.1 (續 9) 澎湖資料浮標海流觀測資料時序列圖



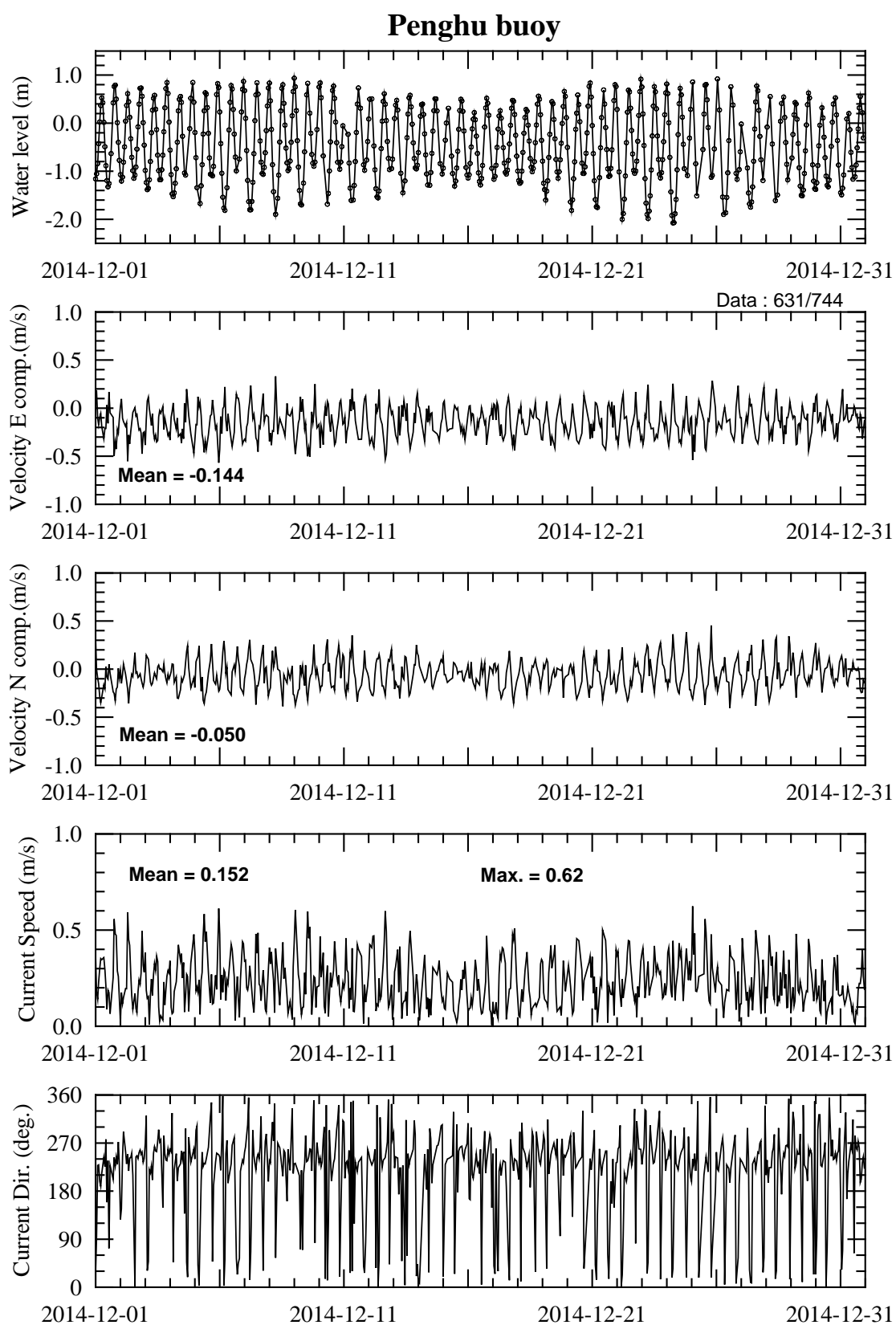
附圖 4.1 (續 10) 澎湖資料浮標海流觀測資料時序列圖



附圖 4.1 (續 11) 澎湖資料浮標海流觀測資料時序列圖



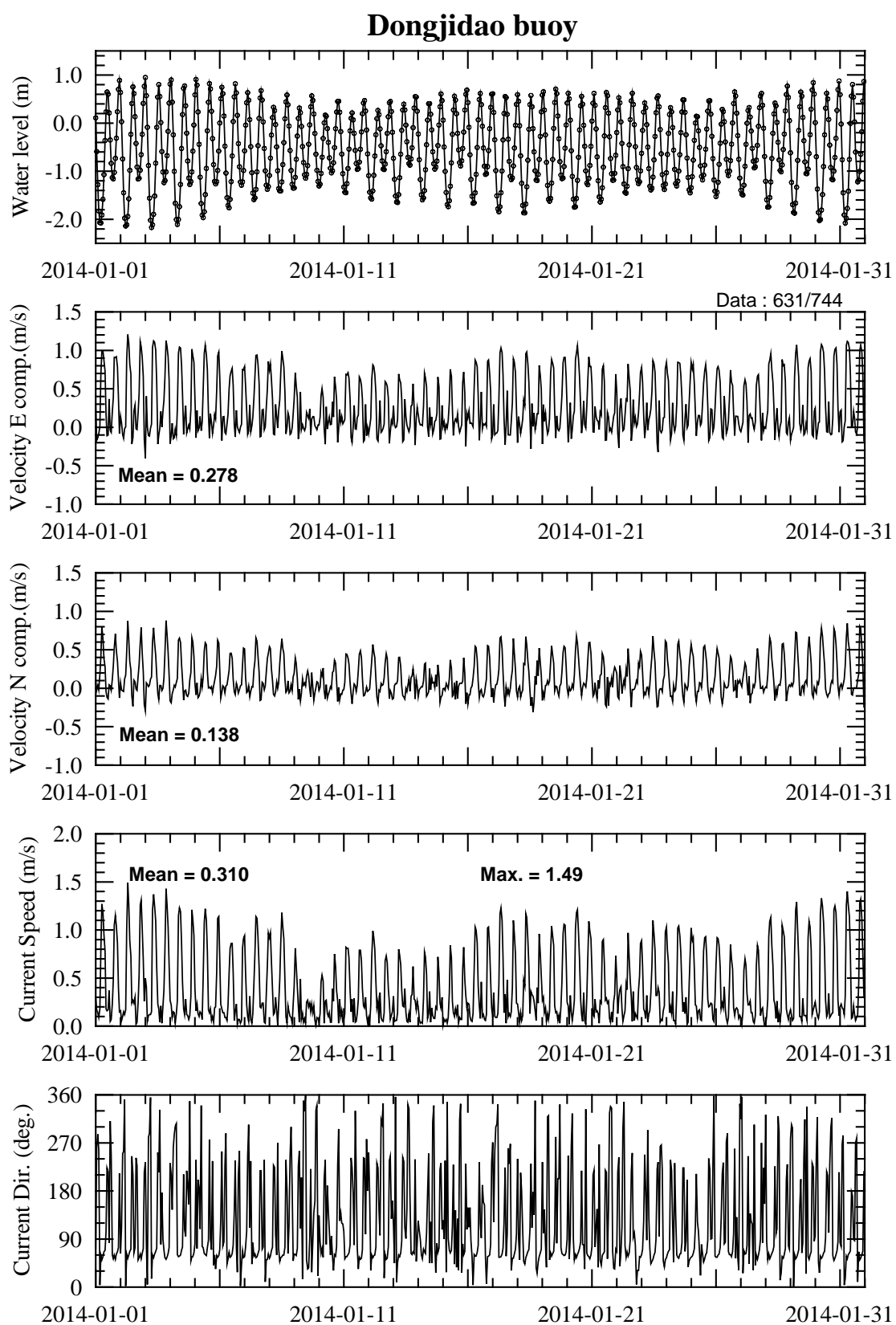
附圖 4.1 (續 12) 澎湖資料浮標海流觀測資料時序列圖



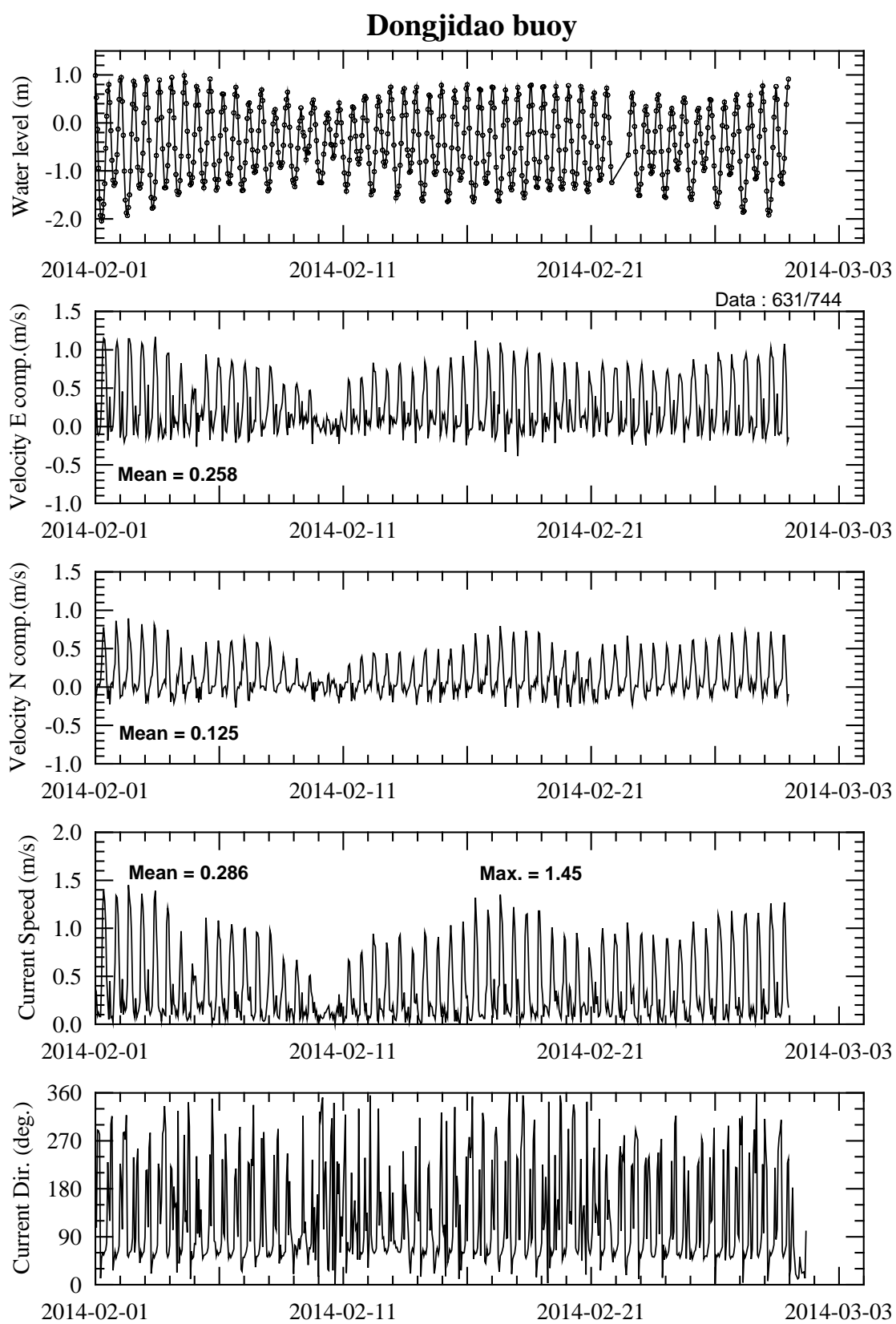
附圖 4.1 (續 13) 澎湖資料浮標海流觀測資料時序列圖

澎湖海域海流觀測資料

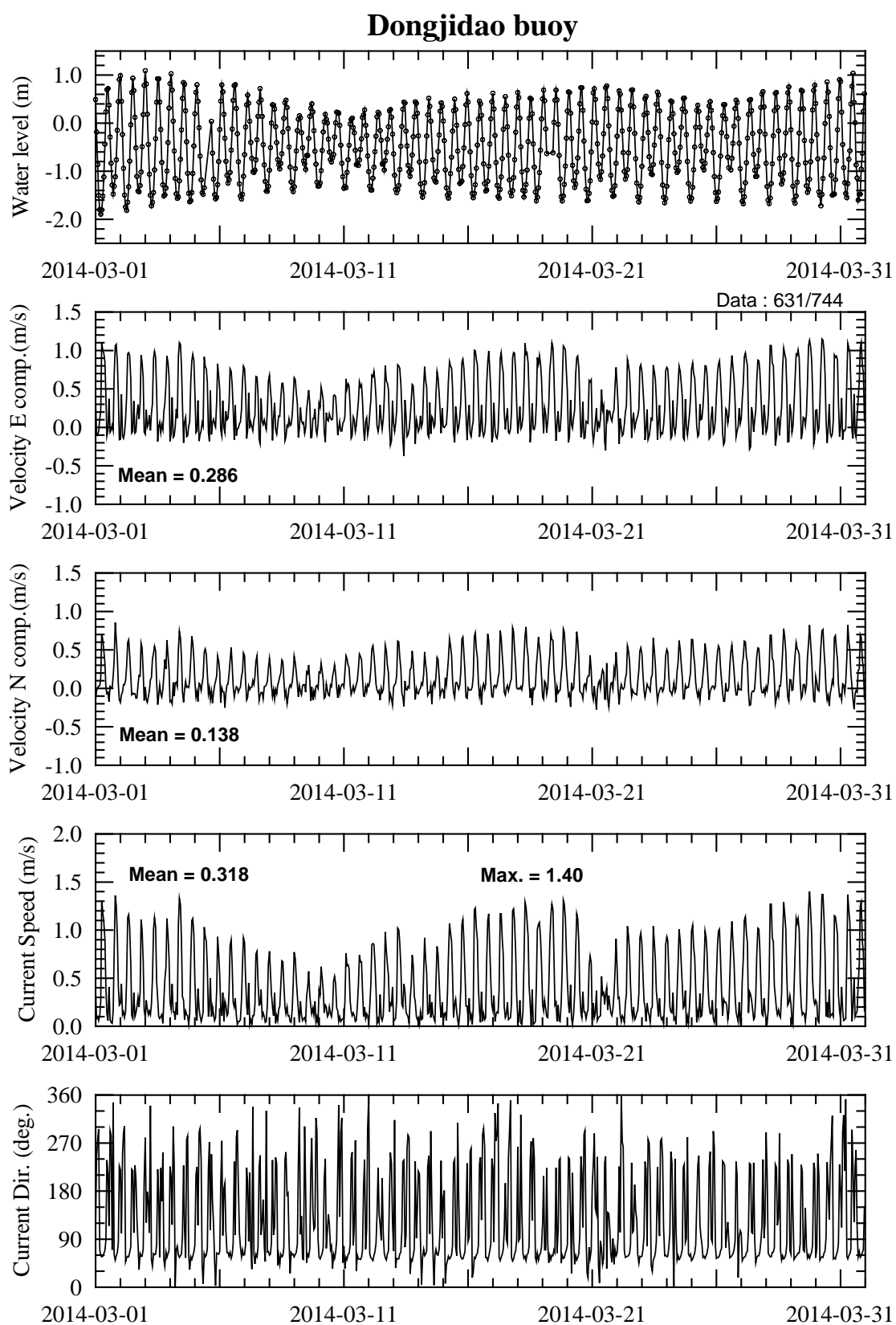
東吉島資料浮標



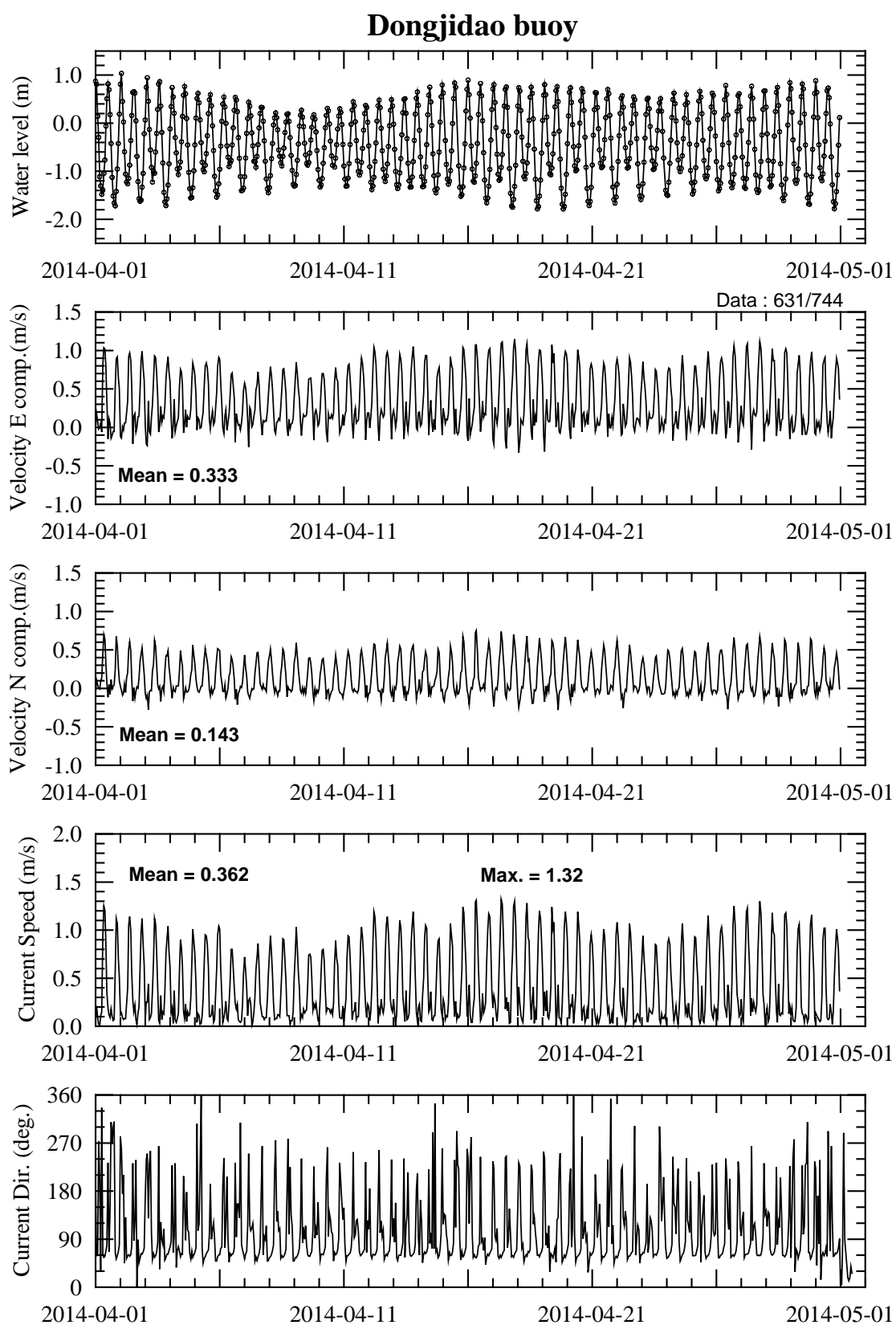
附圖 4.2 東吉島資料浮標海流觀測資料時序列圖



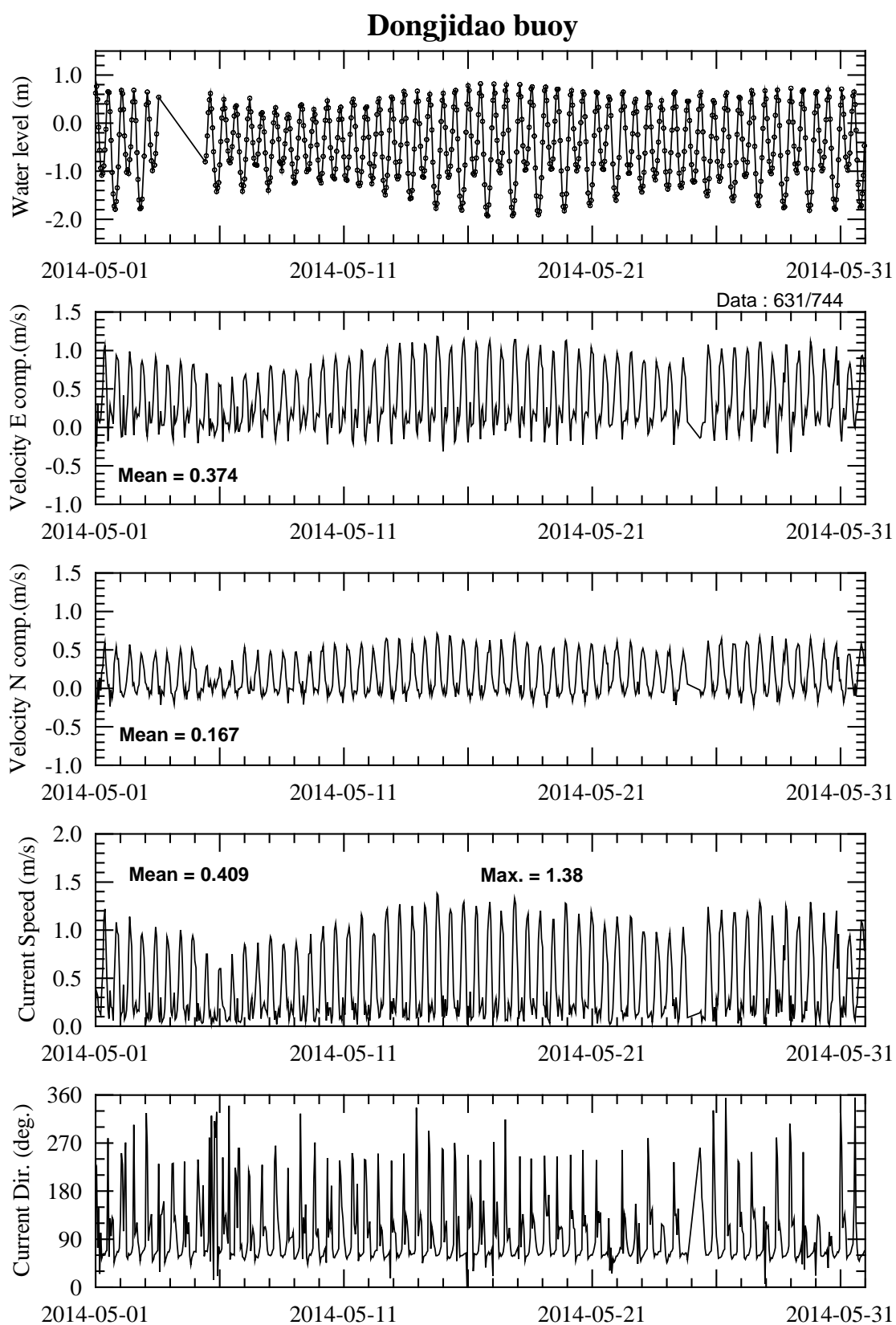
附圖 4.2 (續 1) 東吉島資料浮標海流觀測資料時序列圖



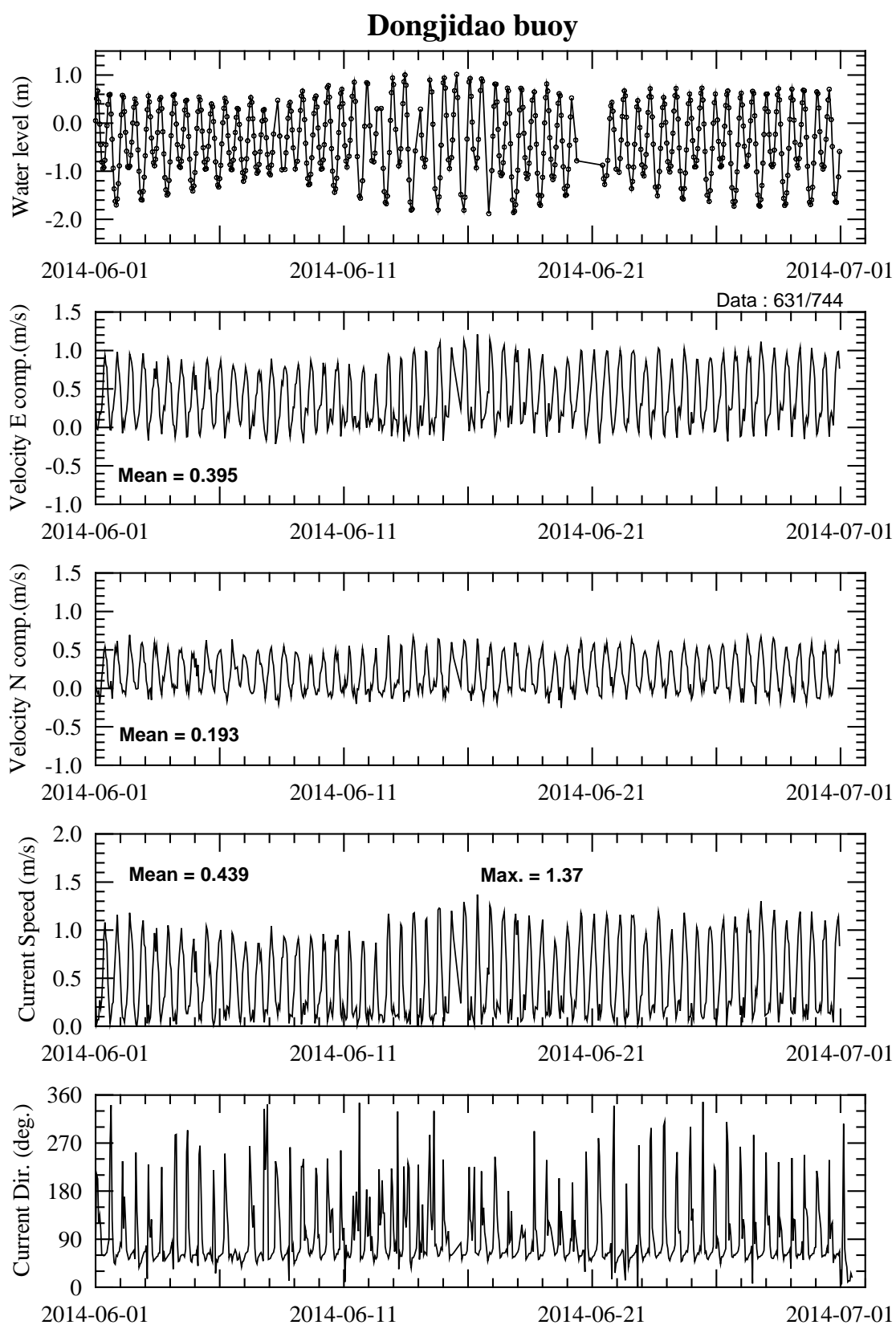
附圖 4.2 (續 2) 東吉島資料浮標海流觀測資料時序列圖



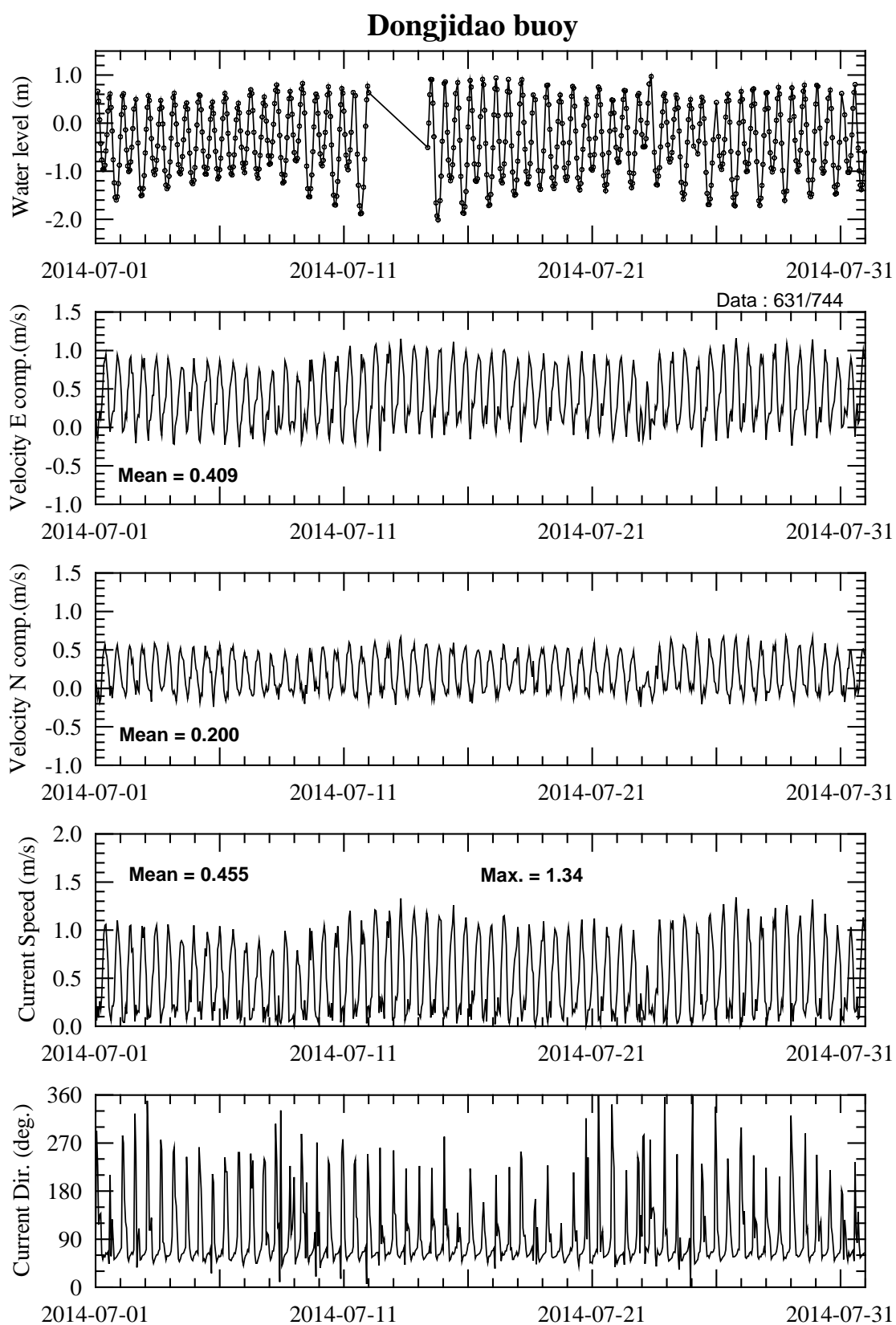
附圖 4.2 (續 3) 東吉島資料浮標海流觀測資料時序列圖



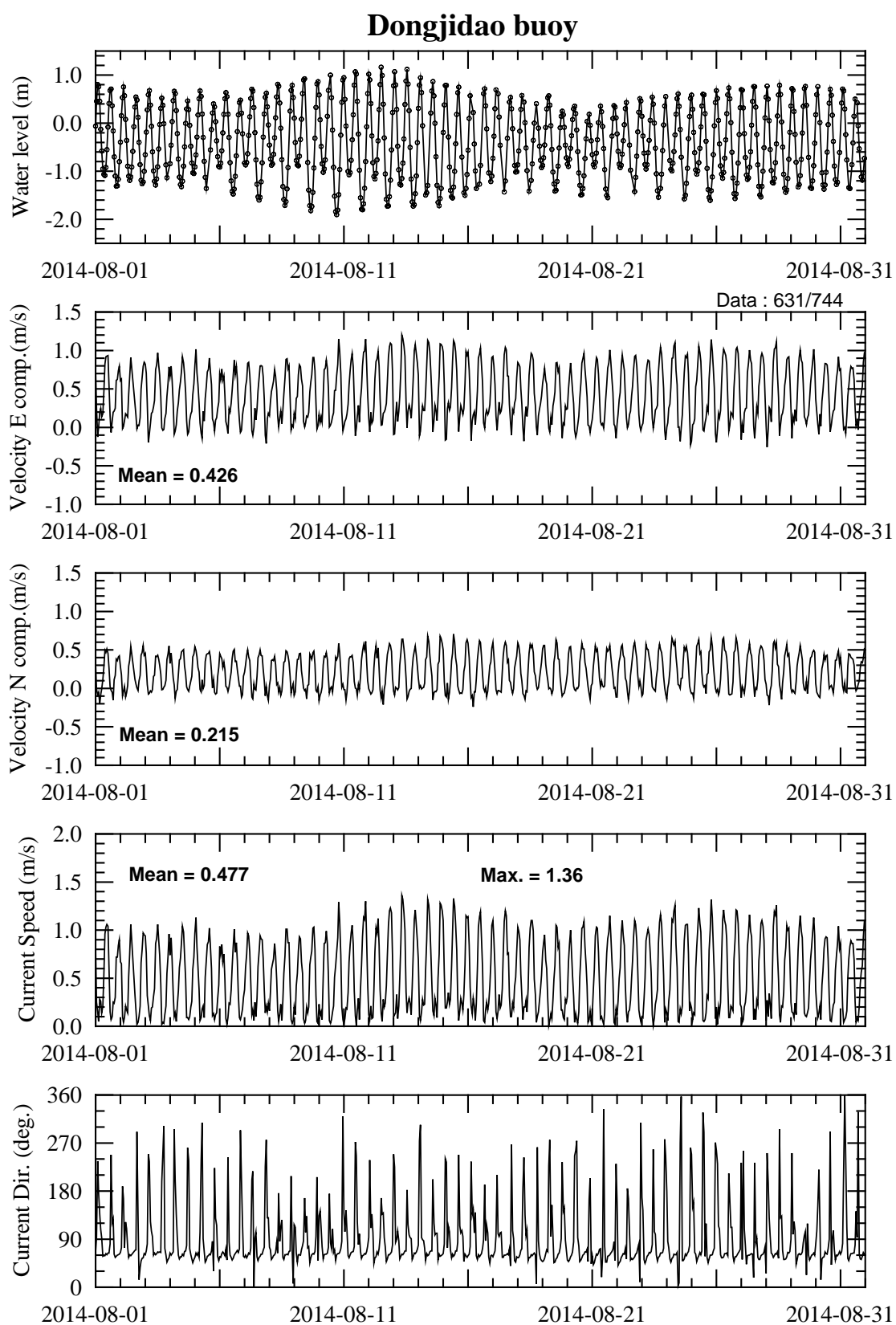
附圖 4.2 (續 4) 東吉島資料浮標海流觀測資料時序列圖



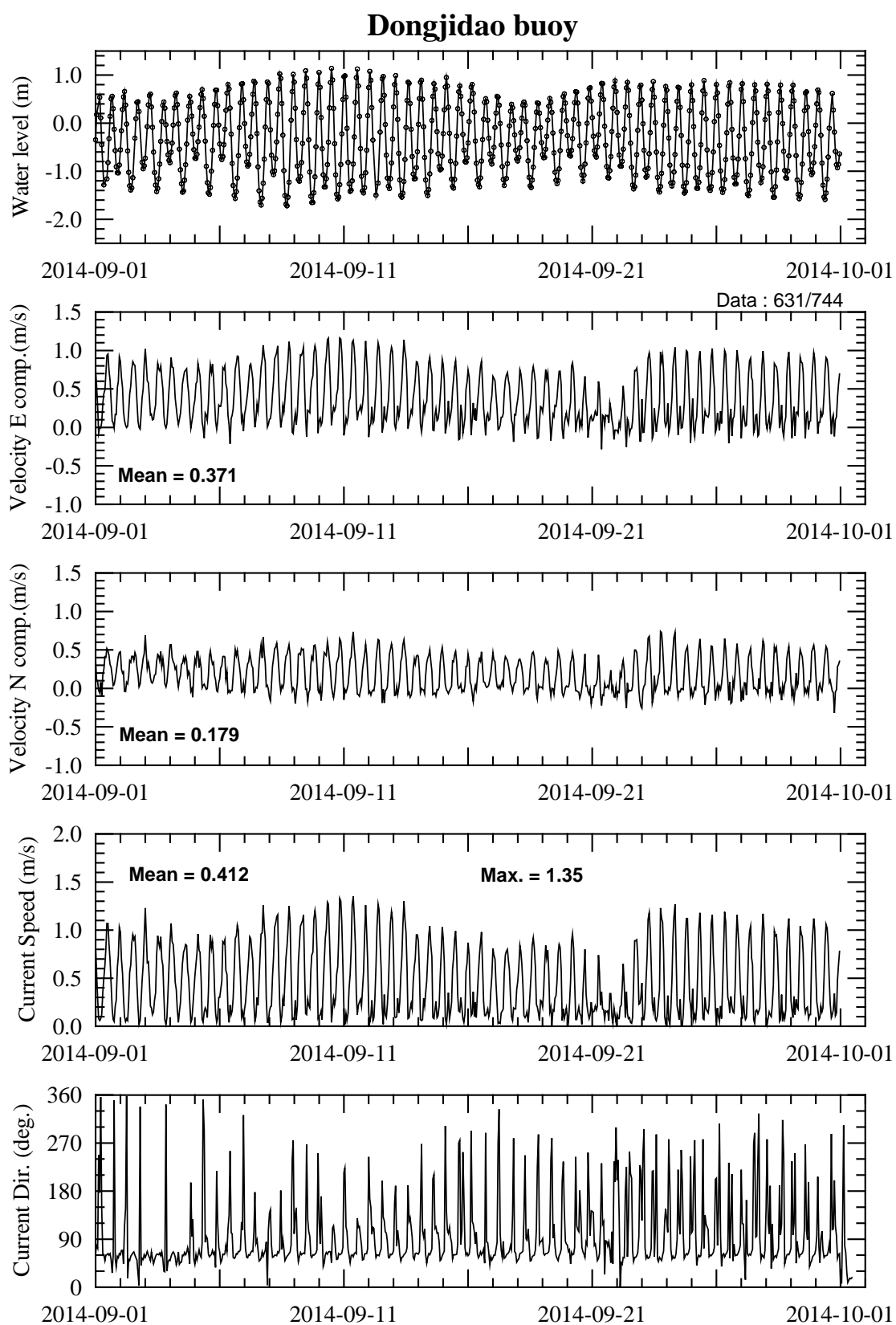
附圖 4.2 (續 5) 東吉島資料浮標海流觀測資料時序列圖



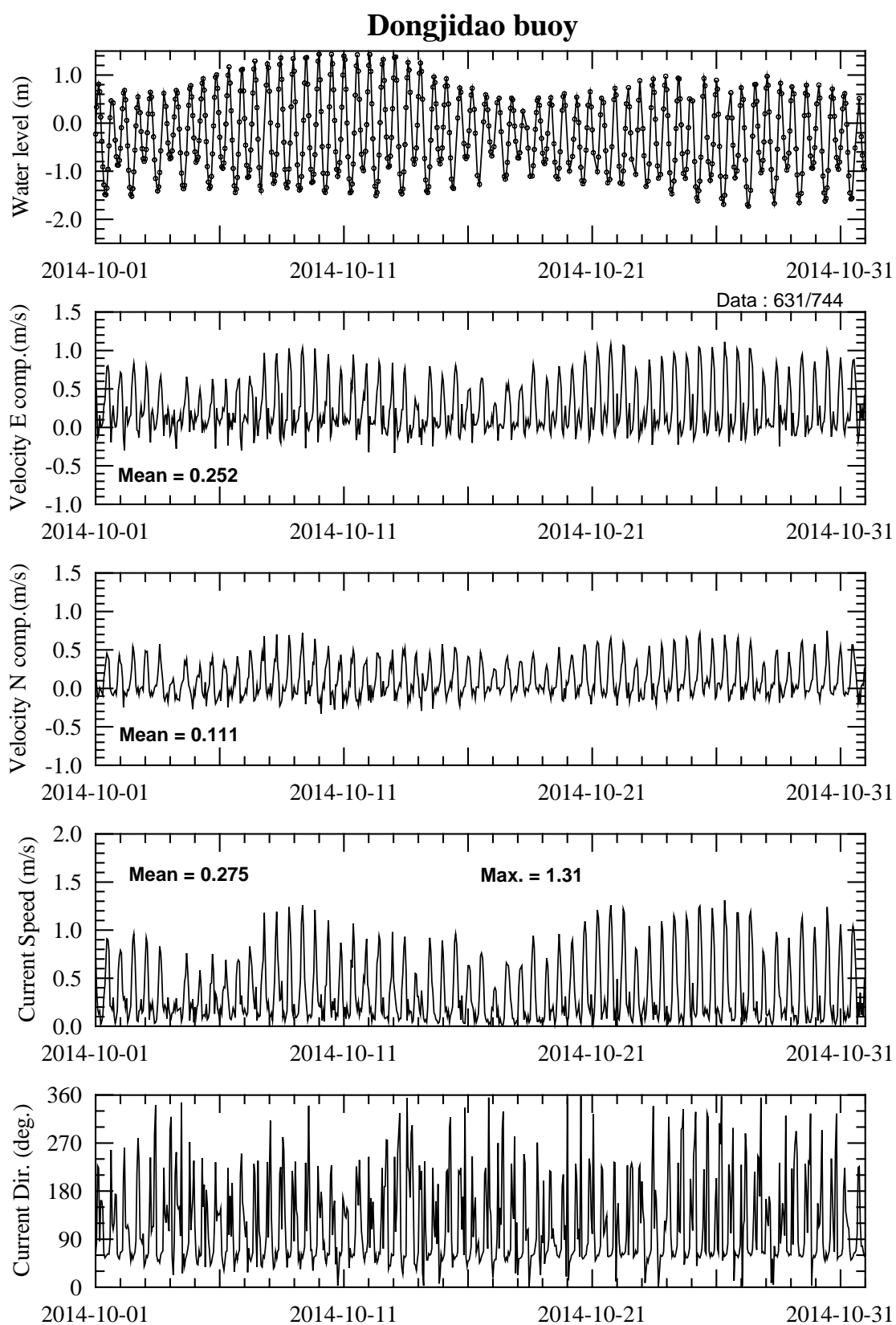
附圖 4.2 (續 6) 東吉島資料浮標海流觀測資料時序列圖



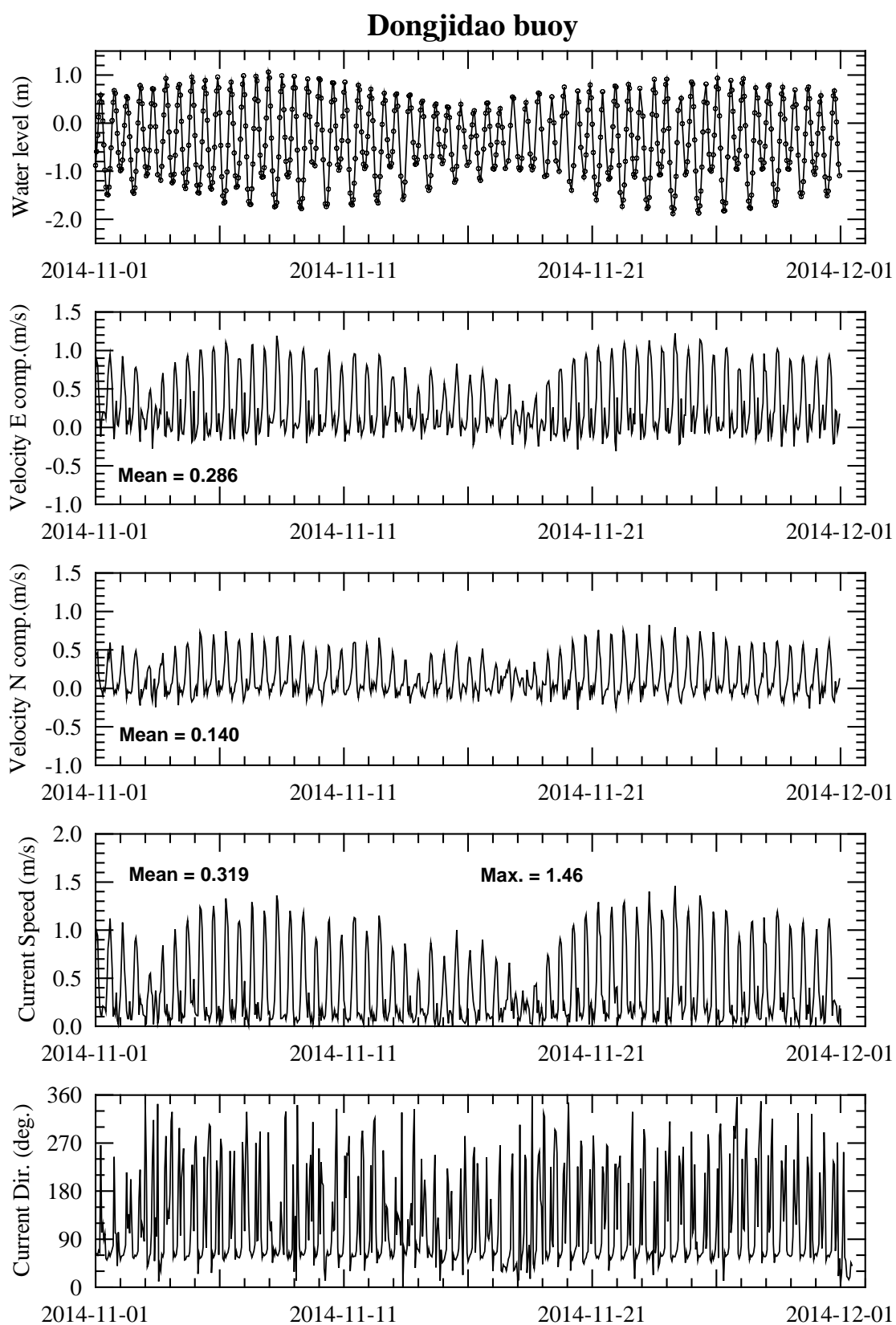
附圖 4.2 (續 7) 東吉島資料浮標海流觀測資料時序列圖



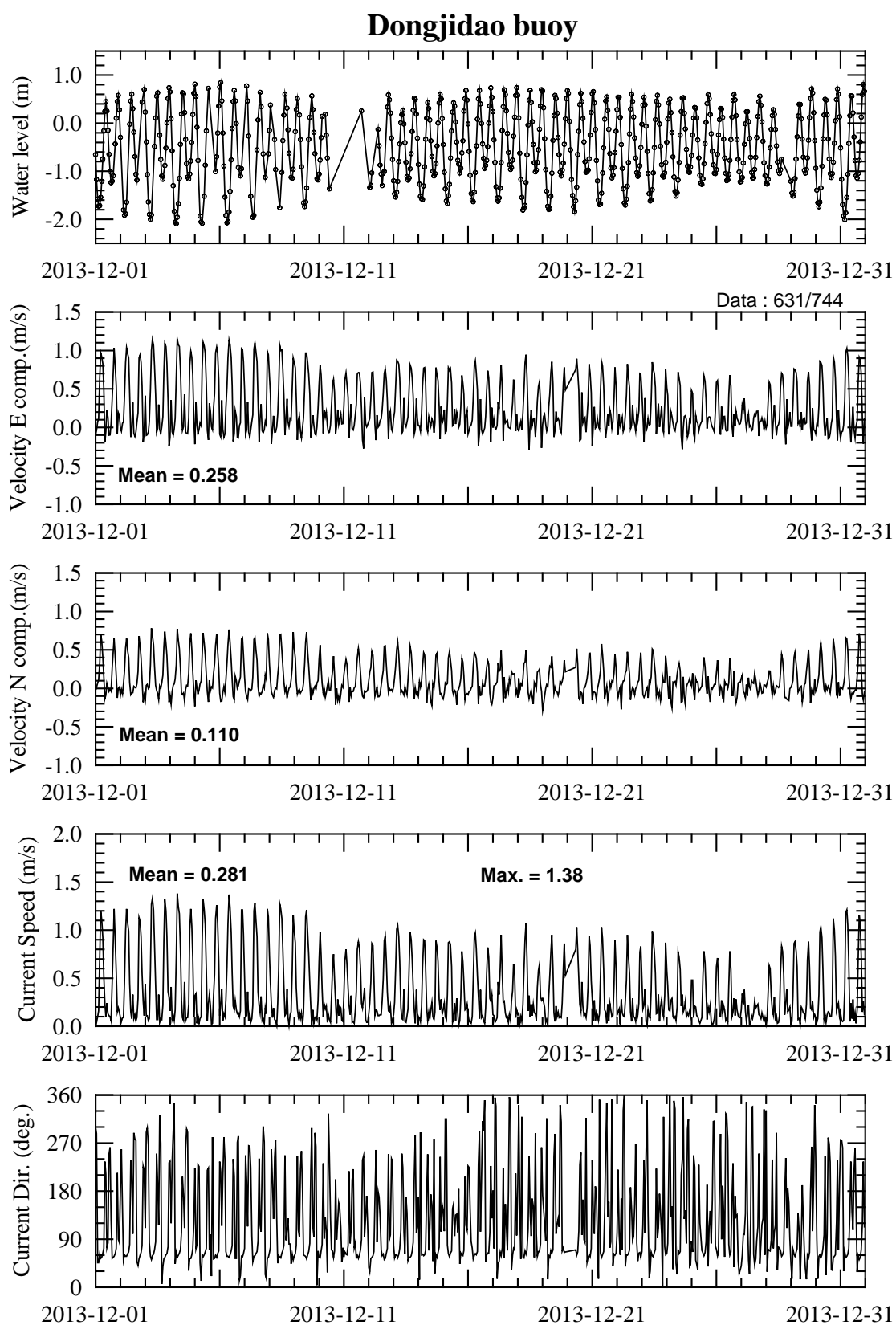
附圖 4.2 (續 8) 東吉島資料浮標海流觀測資料時序列圖



附圖 4.2 (續 9) 東吉島資料浮標海流觀測資料時序列圖



附圖 4.2 (續 10) 東吉島資料浮標海流觀測資料時序列圖



附圖 4.2 (續 11) 東吉島資料浮標海流觀測資料時序列圖

附錄五

SWAN 模式設定說明

5.1 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。

5.2 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。若需要更詳細的使用說明，可以參考下面網址：

http://vlm089.citg.tudelft.nl/swan/online_doc/swanuse/swanuse.html

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

```

5.3 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，結果如附表 5.1 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。

附表 5.1 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
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

5.4 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。

5.5 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，相關資訊(包含主程式碼、Windows 版本之執行檔及使用手冊等等)均可在下列網址：

<http://vlm089.citg.tudelft.nl/swan/index.htm>

中取得，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。

5.6 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)。

附錄六

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：海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運

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、李汴軍委員： 1. 期中報告當中，尚未附甘梯圖，無法知道進度，但報告內容均達到工作項目要求。 2. 報告當中，補充說明颱風圓型風場模式與中央氣象局風場之間，將來計畫完成後，作業化如何處理。 3. 模式模擬 cold start 與 hot start 時間差距多少。	1. 謝謝委員意見及肯定，往後計畫期中報告會增加甘梯圖。 2. 颱風圓型風場模式為本計畫暴潮模式發展過程研究課題之一，未來作業化模擬仍依規劃採用中央氣象局提供的數值預報風場進行。 3. 水動力部份約 6 小時，風浪部份則視模式而定，其中大尺度風浪模式約 6~12 小時。	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。
二、張憲國委員： 1. 澎湖島嶼多，底質特性不同且地形變化大，造成波浪數模擬的困難，執行單位應注意細節才能有好的結果。	1. 謝謝委員建議。針對計畫澎湖港(馬公港區及龍門港區)已蒐集最新水深資料更新，其他單位如水利局第七河川局量測的海岸水深資料亦已有蒐集，後續將逐步更新相關模式網格水深	同意合作研究單位之說明與處理情形。

<p>2. 相似的實測圖與模擬比較圖可以放在附錄，內文把比較的重點整理出表格來說明。</p> <p>3. 如結論 3 模擬結果不要以定性上評估應以量化表示出模式的適用性。</p> <p>4. 中小區域模式中，利用 NAO99JB 模式推算水位在淺水區域會產生較大的誤差，進而造成模式計算波浪及水流的誤差。若是模式評估不佳時，可以修改模式邊界水位的設定。</p>	<p>資料。</p> <p>2. 謝謝委員建議，期末報告將朝此方向修定。</p> <p>3. 期末報告將針對兩者差異性補充誤差分析結果，以量化方式呈現。</p> <p>4. 本計畫中小尺度模式在應用 NAO99JB 模式推算的水位均會事先檢核，確定無明顯偏差才會應用於模式中；本年度則發現 NAO99JB 模式推算澎湖海域西側及北側水位值有偏小現象且無法透過其他方式修正，故後續將改以本計畫中尺度水位模擬結果建置澎湖海域水動力模式之邊界條件。</p>	<p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p> <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p> <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p>
<p>三、陳文俊委員： （書面審查）</p> <p>1. 執行內容符合期中進度需求且有成果，給予肯定。</p> <p>2. 表 2.1 之潮位資料建議文中或表中加述潮位系統。</p>	<p>1. 謝謝委員肯定。</p> <p>2. 中央氣象局提供的潮位資料並無潮位基準。另早期潮位觀測資料之基準並不適用</p>	<p>同意合作研究單位之說明。</p>

<p>3. 表 2.12 東吉島最大波高 $H_{1/3} = 5.49 \text{ m}$，週期 13.6 sec 之時間是否為颱風期間？抑或長浪？</p> <p>4. P.4-7 代表性潮差 1.2 m，潮流代表流速值 0.5 m/s 是海域現況合理值抑或數模調校之數值？</p> <p>5. P.4-8 中尺度採用之天文潮水位邊界，其潮差及潮型是否有驗證符合現況海域之狀況？</p> <p>6. 未來海流之驗證將採用何種數據？</p>	<p>於報告中的潮位資料 (2008~)</p> <p>3. 依發生時間研判只能確定不是侵臺颱風造成的，是否為非侵臺颱風造成的仍待查証。</p> <p>4. 為模式建置數值計算渦動係數值採用的假設值(率定後)</p> <p>5. 相信 NAO99JB 模式已有驗證。</p> <p>6. 採用觀測值經調和分析之結果。</p>	<p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p> <p>同意合作研究單位之說明。</p> <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p> <p>同意合作研究單位之說明。</p>
<p>四、蘇青和委員：</p> <p>1. 第 2 章建議加強臺灣近岸海象模擬系統，有關系統維護與資料更新、軟硬體更新與測試、模式作業化環境之改善及維護等相關維運工作。</p> <p>2. 第 3 章建議加強小尺度水動力模式之建置(澎湖)及精確度改善(國內主要商港)，建議與第 4 章順序對調。</p> <p>3. 第 4 章中尺度水動力模式之精確度改善，</p>	<p>1. 將於期末報告修正。</p> <p>2. 期末報告將 3、4 章節對調，並增加基隆港等改善成果。</p> <p>3. 有關中尺度流場驗證將待蒐集到合適的資</p>	<p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p> <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p> <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p>

建議加強流場之驗證比對，順序與第 3 章順序對調。	料再補充說明。	
4. 第 5 章風浪模式方面，建議加強大尺度、中尺度模式、主要商港之小尺度及細尺度之精進成果，其次澎湖海域小尺度及細尺度之驗證比對也是重點。	4. 遵照辦理。	
5. 第 6 章海象作業畫成果評估，各項評估參數建議做較完整說明，針對近年來之成果評估也建議作比較分析，其次加強東北季風、西南季風及颱風期間之精度評估。	5. 謝謝委員意見，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。
6. 報告撰寫內容請依本所規定，期末報告增加納入英文摘要。	6. 遵照辦理，並將英文摘要納入期末報告。	同意合作研究單位之說明與處理情形。
7. 報告之結論，期末報告建議改為”結論與建議”，結論應顯示各項具體成果。	7. 遵照辦理。	
五、簡仲璟委員：		
1. 各工作項目之執行成果概況及進度建議配合報告書內容章節列表對照說明。此外報告書之章節順序是否可作調整，例如第三與第四章對調。	1. 遵照辦理。	

<p>2. 澎湖海域海流模擬結果流向在180°~270°間似乎有較大誤差，但若相位調整後似乎可改善。此外東吉島的差異較明顯，其原因可進一步探討。</p> <p>3. 第 5-5 頁有關風浪模擬與驗證，建議其比較結果可以量化作說明。第 6.2 節有關作業化模擬成果評估非僅列表而已，應有評估比較結果之說明。</p> <p>4. 圖 6.2 及圖 6.3 之氣象局風場資料是 NFS 還是 WRF？請查對後修正。</p> <p>5. 風暴潮歷線圖為何仍有近天文潮汐週期的變動存在如圖 2.10 所示，請再核對。</p>	<p>2. 東吉島差異較明顯的原因是否有地形以外的因素將於期末報告說明。</p> <p>3. 遵照辦理。</p> <p>4. 將於期末報告修正。</p> <p>5. 此為觀測值與調和分析間誤差現象，期末報告擬於圖中加繪移動平均線以減少振盪現象。</p>	<p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p> <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p> <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p>
---	--	--

附錄七

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：海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運

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. 預報精確度改善，其評估基準依據為何？ 2. 作業化成果評估，除現場觀測資料比較外，是否設定評估基準或指標？ 3. 澎湖海域潮流分析中，所提之殘差流係如何定義、分析？ 4. 中尺度水動力模式計算成果與其他細小尺度計算是否有所連結？	1. 以去年(103年)同期主要商港海象模擬預報與觀測資料誤差分析結果為評估之基準。 2. 目前仍以主要商港海象觀測資料為依據。 3. 本文殘差流實為海流觀測資料與調和分析潮流預測值之差。 4. 目前已著手進行中尺度水動力模擬結果與主要商港小尺度水動力模擬邊界條件之連結。	同意合作研究單位之說明。 同意合作研究單位之說明。 同意合作研究單位之說明。 同意合作研究單位之說明與處理情形。
二、張憲國委員： 1. 本報告內容相當豐富，詳述本計畫的研究方法及結果，頗具學術及應用價值。 2. 本研究比對各種物理量來說明模式的可行性，評估指標是否可以採取一般模式表現(model performance)	1. 感謝委員肯定。 2. 謝謝委員建議，下年度計畫除了既有的指標 BIAS 及 SD 外，將增列 RMSE 及 SI 等值作參考。	同意合作研究單位之說明與處理情形。

<p>的指標如 BIAS，RMSE 及 SI 值等，因 SD 值已扣除平均值只能呈現偏離平均值的量，而無法真正表示實測值與推算值的偏差量。另外，流速為二維向量，除了速率的差異外，角度也是重要因素，如何量化二維向量流速的模擬精度也是須要考慮的。</p> <p>3. 澎湖地區灣澳很多，地形相當複雜，模擬海象相當的困難，執行單位應要說明在系統操作上，其準備模式的資料如何獲得，模式計算時間及模擬的精度等，都是作業化模式應要考慮的。</p>	<p>3. 謝謝委員的建議，基本上，系統操作主要由駐點人員負責，針對問題提供快速釋疑。另外，對作業化模式而言，模式計算時間及模擬的精度不易兼顧，最後通常選擇模式計算時間。</p>	<p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p>
<p>三、翁文凱委員： (書面審查)</p> <p>1. 本計畫針對基隆港增加網格數後，在流速的相位大小與實測值更為接近，顯示有明顯改善，但流速方向上仍有差異較大的情形，模擬的流向有差異 45° 以上情形，此部份建議增加說明。</p> <p>2. 表 3.2 模式與觀測值</p>	<p>1. 流向的偏差主要與網格解析度仍無法反映測站附近實際水深地形有關。</p> <p>2. 部份原因緣自於觀測</p>	<p>同意合作研究單位之說明。</p> <p>同意合作研究單位之說明。</p>

<p>在平均水位分析上有很大的差異，但與調和分析預測結果較為接近，其原因為何？建議增加說明。</p> <p>3. 圖 4-10 圖說建議分開說明，如圖 4-10 下方之圖(暴潮歷線)是否包含預測值或僅為實測值？</p> <p>4. 圖 4-12 與圖 4-13 分別為 E-W 與 S-N 向流圖，橫軸為 Angle speed，但單位為 (DEG)是否正確，請檢核。</p> <p>5. 澎湖水動水分析結果，水位與流速差異不大，但在流向上有相當大的差異，尤其圖 5-7 在方向分佈向幾乎相反，顯示流向分析結果與實際測量結果為不同方向，建議增加說明。</p>	<p>值含有氣象潮成份，本文模式模擬結果僅考慮天文潮效應，故與調和分析預測結果較接近。</p> <p>3. 圖中暴潮歷線為潮位觀測值減去潮位調和分析預測值之結果。</p> <p>4. 謝謝委員指正，單位為 deg/hr。</p> <p>5. 東吉島測站比對結果流向差異近 90 度主要是模式並未考慮東吉島存在所致，已於文章中補述理由。</p>	<p>正式報告已改正。</p> <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p>
<p>四、李汴軍委員： (書面審查)</p> <p>1. 檢視報告書內容，符合本年所要求的工作項目。</p> <p>2. 建議增加說明： (1) P2-31，可否稍加列出”颱風期間海象預報作業化成果評</p>	<p>1. 謝謝委員的肯定。</p> <p>2. (1)附冊另於期末審查會議提供委員參考。</p>	<p>同意合作研究單位之說明。</p>

<p>估”重要成果，因並無附冊 2015... 參閱。</p> <p>(2) P2-29，最後一行說明非模式模擬所產生的偏差，可否稍加說明是何原因造成的。</p> <p>(3) 請修改計畫摘要為成果摘要。</p>	<p>(2) 已於文章中補充說明，主要是模式驗證點位未隨觀測儀器遷移所致。</p> <p>(3) 遵照辦理。</p>	<p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p>
<p>五、陳文俊委員： (書面審查)</p> <p>1. 本案於資料蒐集，模擬系統作業化，模擬與驗證等皆有詳細結果，給予肯定。</p> <p>2. P5.2 提及由 NAO.99Jb 模式所產生之天文潮位於開放邊界 D 點之結果明顯偏小，其原因可能為何？</p> <p>3. 圖 5.1 中驗證放邊界之 A, B, C, D 建議於圖上標出，以利辨識。</p> <p>4. 文中提及 NAO.99Jb 模式於部分點位之水位模擬有偏小情形，為何 5.5 節模擬結果之驗證中仍採用 NAO.99Jb 模式之水位邊界結果？</p> <p>5. 水動力模式流場模擬結果中，能否知道澎</p>	<p>1. 謝謝委員肯定。</p> <p>2. 待進一步深入分析後釐清。</p> <p>3. 於正式報告提出修正圖。</p> <p>4. 主要與本文利用中尺度模式模擬結果轉出之邊界條件進行比對。</p> <p>5. 基本上可以做到。</p>	<p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p> <p>正式報告已提出修正圖。</p> <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p> <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p>

湖海域潮位與潮流大概有幾小時之延遲現象。		
6. P7.1 提及龍門尖山港區細尺度網格建置採"最短週期 7 秒",為前述資料蒐集中,澎湖海域波浪較常發生之最短週期似乎為 5~6 秒。	6. 若考慮 5~6 秒風浪則模式所需之數值計算網格可能過於龐大,相當耗費計算時間,故本計畫細尺度港域波浪模擬主要針對颱風波浪,數值計算網格採用週期 7 秒波浪條件產生應屬適當的評估。	同意合作研究單位之說明與處理情形。
六、李俊穎委員： 1. 建議在中尺度水動力模式建置章節內,加入與現有作業化水動力模式成果進行比對。 2. 建議加強說明澎湖海域近岸風浪模式建置情形。 3. 請補充說明澎湖海域細尺度波浪模式之邊界條件。	1. 於正式報告補充說明。 2. 遵照辦理。 3. 相關說明如 7.2.4 節。	正式報告已補充說明。 正式報告已補充說明。
七、蘇青和委員： 1. 第 2 章海象作業畫成果評估,各項評估參數建議做較完整說明,針對近年來之成果評估也建議作比較分析,其次附冊成果評估之重要期間如東北季風、西南季風及	1. 將於正式報告補充說明。	正式報告已補充說明。

<p>颱風期間之精度評估應納入重點討論。</p> <p>2. 第 3 章中尺度水動力模式之精確度改善，建議增加流場之驗證比對。</p> <p>3. 第 4 章澎湖觀測資料流場能譜比對部分，建議增加港研中心觀測資料之分析。</p> <p>4. 第 5 章澎湖小尺度水動力模式與觀測值比較比對，檢核部分時段之誤差甚明顯，建議未來應加強精確度改善。</p> <p>5. 第 6 章澎建議加強湖小尺度風浪模式與觀測值比對檢核，以增進精確度。</p> <p>6. 報告撰寫內容請依本所規定，期末報告增加納入英文摘要。</p> <p>7. 報告之結論，期末報告建議改為”結論與建議”，結論應顯示各項具體成果。</p>	<p>2. 流場驗證資料擬於未來蒐集更多外海觀測資料進行比對。</p> <p>3. 此部份擬於未來增加中心資料進行比對。</p> <p>4. 東吉島測站比對結果擬於正式報告移除。因為模式未考慮東吉島，故該測站觀測資料不適合做為小尺度之驗證依據。</p> <p>5. 此部份擬於未來蒐集更多觀測資料比對。</p> <p>6. 遵照辦理。</p> <p>7. 遵照辦理。</p>	<p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p> <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p> <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p> <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p>
--	---	---

附錄八

期末簡報資料

海氣象自動化預報模擬系統 作業化校修與維運

期末簡報

計畫主持人：李兆芳 教授
協同主持人：劉正琪 研究員



委辦單位：交通部運輸研究所

執行單位：財團法人成大研究發展基金會



期末
簡報

海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運

1



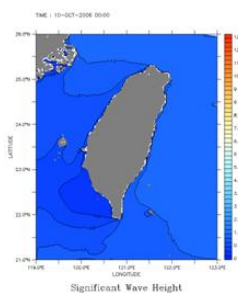
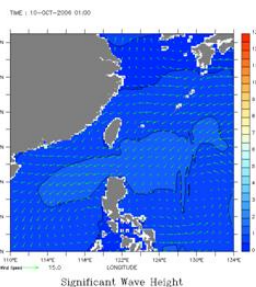
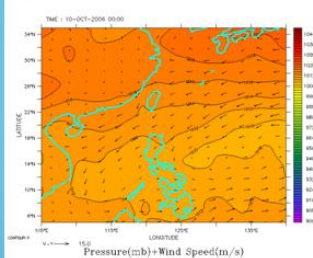
簡報大綱

- 壹 前言
- 貳 臺灣近岸海象預報模擬系統維運與改善
- 參 中尺度臺灣周圍海域水動力模式
- 肆 澎湖海域基本資料蒐集與分析
- 伍 澎湖海域水動力模式建置
- 陸 澎湖海域近岸風浪模式建置
- 柒 澎湖港龍門尖山港區港域波浪模式建置
- 捌 結論



壹、前言

計畫目的、相關本計畫及工作內容

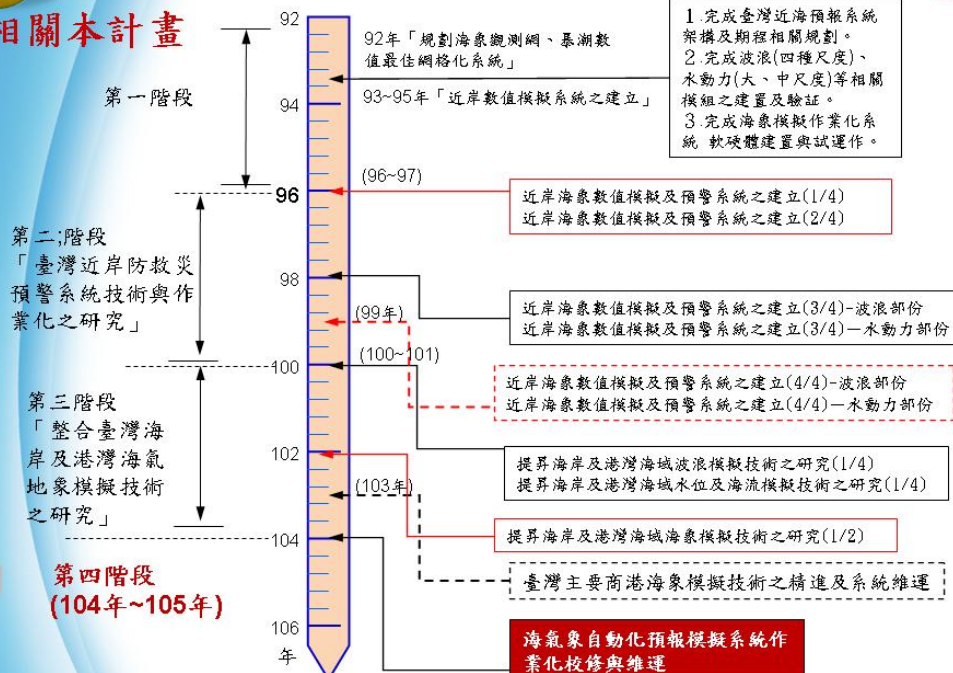


本研究為港研中心分項計畫「臺灣主要商港海象暨溢淹資訊建置之研究」兩年計畫之第一年合作子計畫

計畫目的

- ◆ 針對現有臺灣主要商港海象(風力、波浪、潮位及海流)預報系統進行改善及維護，相關預報與實測資料的比較分析。
- ◆ 針對離島澎湖港海域規劃與建置合適的波浪、水位及流場等海象模擬子系統，提供澎湖港與本島各港口間藍色公路相關的海象模擬資訊；於颱風侵襲期間，相關海象模擬亦可作為防災預警之評估依據，確保藍色公路海上航行安全。

相關本計畫



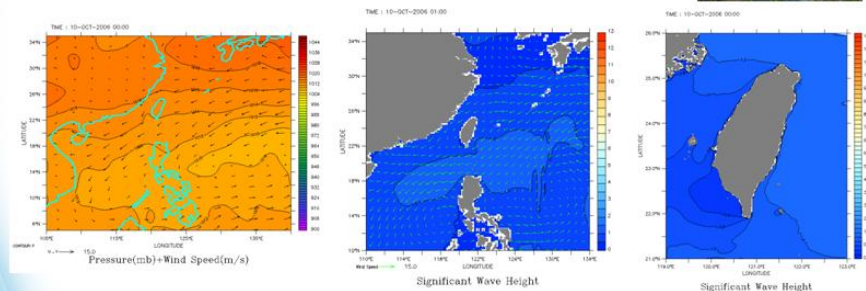
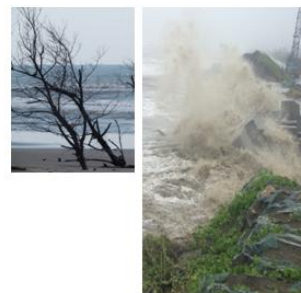
工作項目及內容

- ◆ **海氣象自動化預報模擬系統校修與維運**：配合港灣技術研究中心進行臺灣近岸海象模擬系統(TaiCOMS)之維護與資料更新、軟體更新與測試、模式作業化環境之改善及維護等相關工作。
- ◆ **海象自動化預報模擬系統之預報精確度改善**：臺灣本島主要商港海象作業化預報之精確度改善。
- ◆ **波浪、水位及流場等海象預報作業化成果評估**：配合港灣技術研究中心(或中央氣象局)臺灣本島主要商港之現場觀測資料，以進行年度預報成果評估。
- ◆ **澎湖海域基本資料蒐集與分析**：包括地形水深、風(壓)場、波浪、水位及海流等海象資料分析及藍色公路相關資訊蒐集與建置。
- ◆ **澎湖海域近岸風浪模式建置**：依據澎湖海域海象條件規劃與建置合適的風浪模式模擬澎湖海域近岸風浪，同時利用港灣技術研究中心(或中央氣象局)澎湖海域波浪觀測資料校驗模式相關參數及數值模擬結果。

工作項目及內容(續)

- ◆ **澎湖細尺度港域波浪模式建置**：針對澎湖港龍門尖山港區現況建置合適的細尺度波浪模式模擬港區波浪場。
- ◆ **澎湖海域近岸水動力模式建置**：依據澎湖海域海象條件規劃與建置合適的水動力模式模擬澎湖海域近岸水位及流場，同時利用港灣技術研究中心澎湖海域水位及海流觀測資料校驗模式相關參數及數值模擬結果。
- ◆ **中尺度臺灣周圍海域水動力模式校驗**：依據港灣技術研究中心水位及海流觀測資料校驗模式模擬結果，作為後續模式修正之依據；並針對本年度或歷史颱風資料進行模擬與評估。
- ◆ 為建立相關數值模擬系統及數值預報系統之模式計算、資料庫維護管理、資料統計、繪圖等工作，需派碩士級（含）以上專業人員一員至本所港灣技術研究中心駐點服務，其人員工作期間為履約時限(自簽約日起算)。

貳、 臺灣近岸海象預報模 擬系統維運與改善



期末簡報

海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運

17:19:27

8

臺灣近岸海象預報模擬系統維運與改善

內容

臺灣近岸海象預報系統簡介	<ul style="list-style-type: none"> ● 臺灣近岸海象預報系統整體架構
海象模擬作業化系統	<ul style="list-style-type: none"> ● 風(壓)場處理系統 ● 波浪模擬系統 ● 水動力模擬系統 ● 海象模擬作業化流程
海象模擬作業化系統改善成果	<ul style="list-style-type: none"> ● 軟硬體設備更新與測試 ● 基隆港小尺度水動力模組 ● 臺北港近岸水動力模組 ● 臺北港港域波浪模組
本年度海象預報作業化成果評估	<ul style="list-style-type: none"> ● 基隆港小尺度水動力模組 ● 臺北港近岸水動力模組 ● 臺北港港域波浪模組

期末簡報

海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運

17:19:27

9

臺灣近岸海象預報系統簡介

```

graph TD
    A[商港長期海象觀測] --> B[風場]
    A --> C[波浪]
    A --> D[水位]
    A --> E[流場]
    B --> F[觀測資料]
    C --> F
    D --> F
    E --> F
    G[水深地形] --> F
    H[海象模擬作業化系統] --> I[風場]
    H --> J[波浪]
    H --> K[水位]
    H --> L[流場]
    H --> M[海嘯]
    I --> N[模擬資料]
    J --> N
    K --> N
    L --> N
    M --> N
    F -- 驗證 --> N
    F --> O[港灣環境資訊網]
    N --> O
  
```

此系統是由即時海象觀測網、海象模擬作業化系統及海象資訊展示端三個單元構成的，海象模擬資訊包括風場、波浪、水位、海流及海嘯等。

海象模擬作業化系統

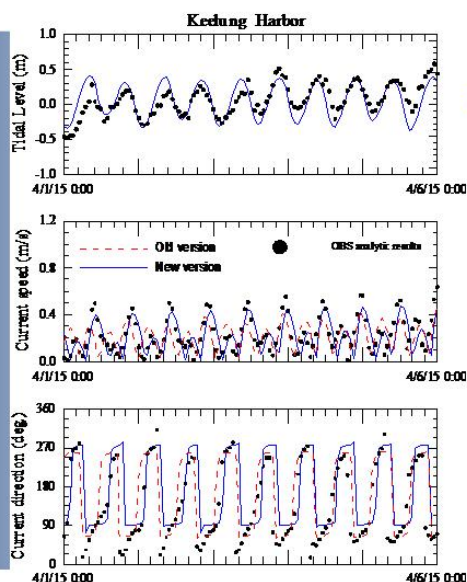
整體模式架構圖



因應各種海象(風、波、流等)特性及不同需求(航運、防災)，發展出多模式及多尺度的海象模擬作業化系統。

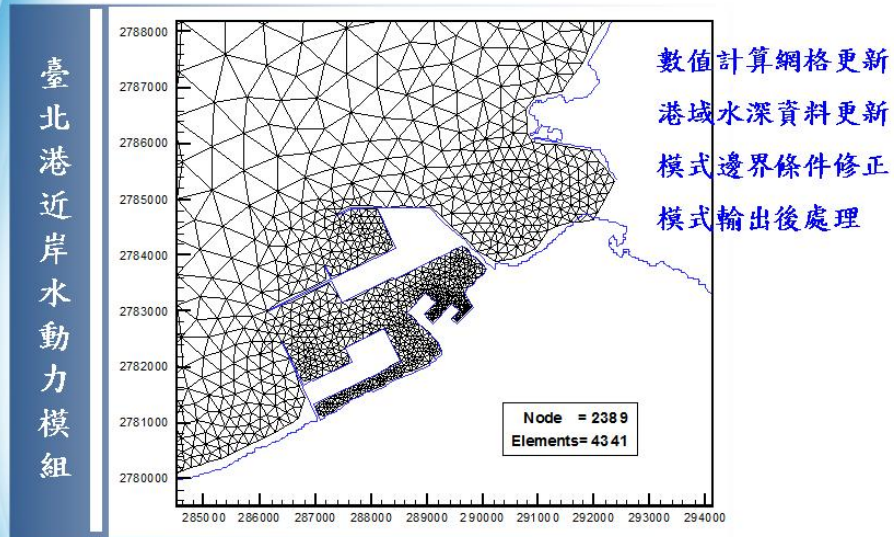
海象模擬作業化系統改善成果(一)

基隆港近岸水動力模組

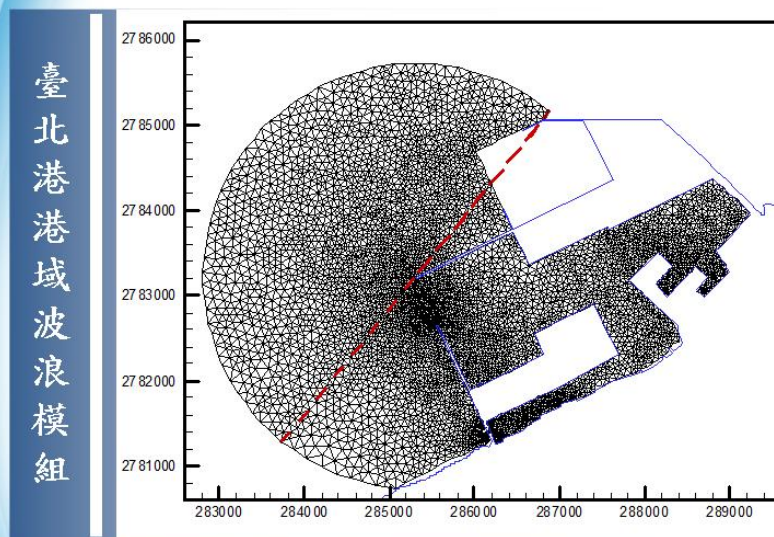


海流驗證點位的修正：
因原海流觀測點位已移至東防波堤延長段堤頭外海，基隆港近岸水動力模組模式驗證點位未配合調整，導致成果評估誤差分析偏大。

海象模擬作業化系統改善成果(二)

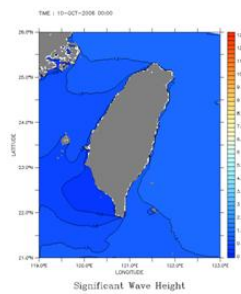
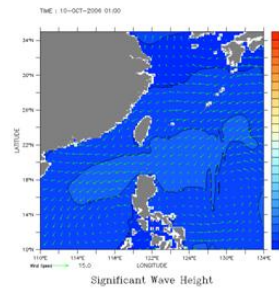
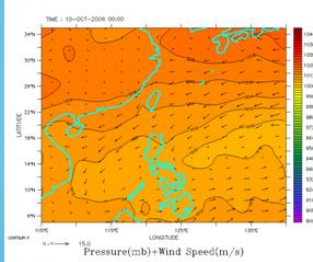


海象模擬作業化系統改善成果(三)





參、 中尺度臺灣周圍海域 水動力模式



中尺度臺灣周圍海域水動力模式

民國 104/03

104/06

104/11

內

模式之演進

邊界條件及初始條件

模式物理參數率定

數值模擬風壓場

容

中尺度水動力模擬結果與驗證

- 模擬範圍
- 數值計算網格
- 地形水深

- 陸地邊界條件採用滑動邊界
- 開放邊界則採用水位條件
- cold start及hot start

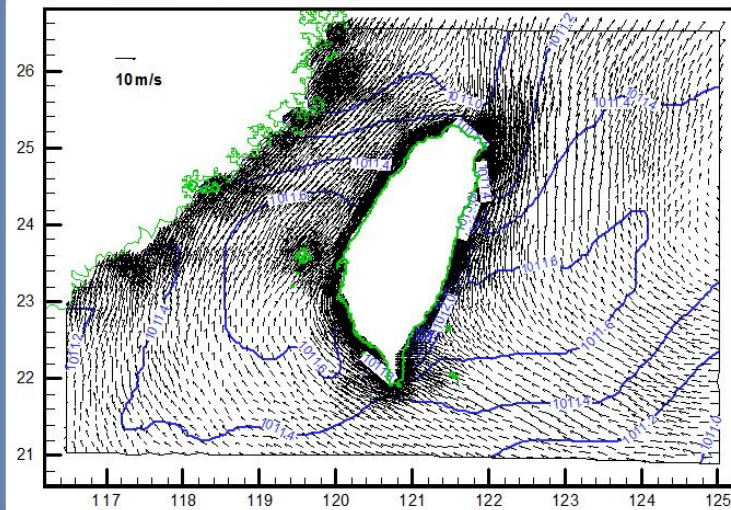
- 時間間距(Δt)
- 底床摩擦係數(C_f)
- 渦動粘滯性係數

- 移動風域之風壓場(湯, 1971)
- 修正型Holland風場模式
- 中央氣象局天氣預報模式模擬之風壓場

- 天文潮模擬
- 颱風暴潮偏差模擬(不含潮汐)
- 颱風期間水位及流場模擬

數值模擬風壓場

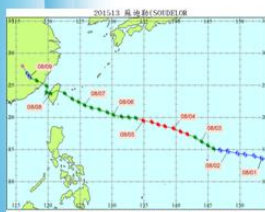
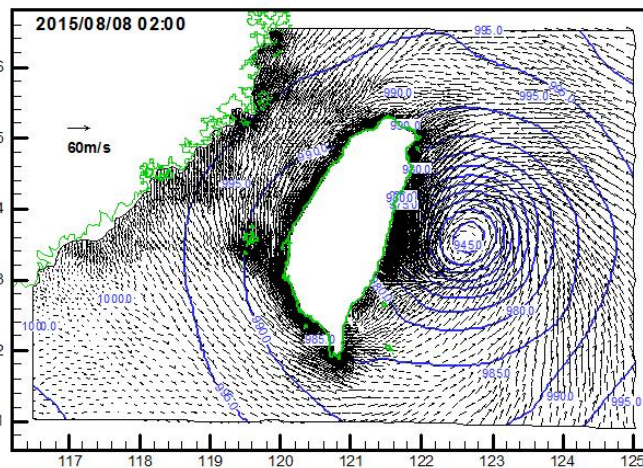
外部輸入風壓場資料



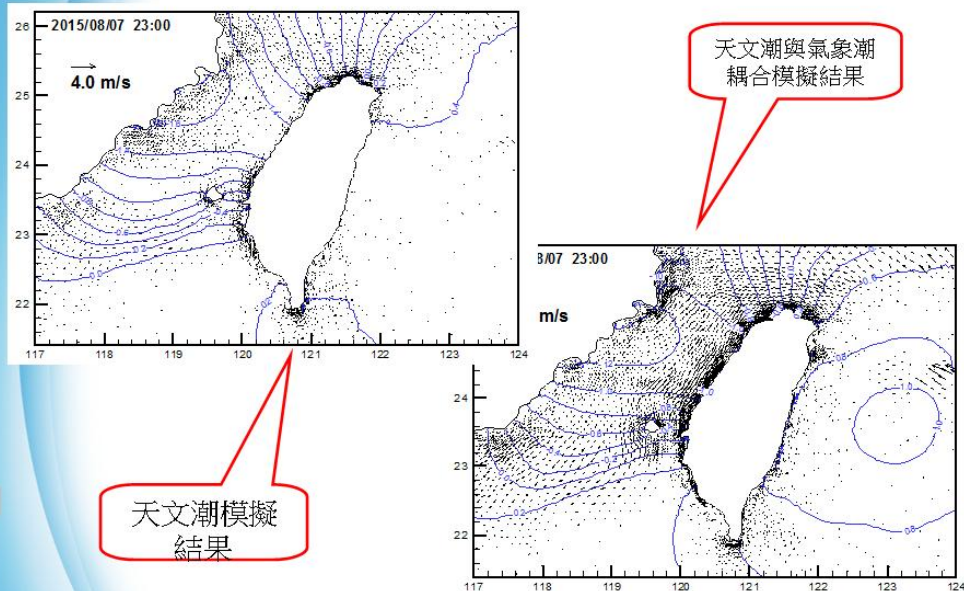
由TaiCOMS作業化模擬組合風場資料WA02輸出逐時非結構有限元素網節點風速(W_x, W_y)及氣壓

颱風期間水位及流場模擬(一)

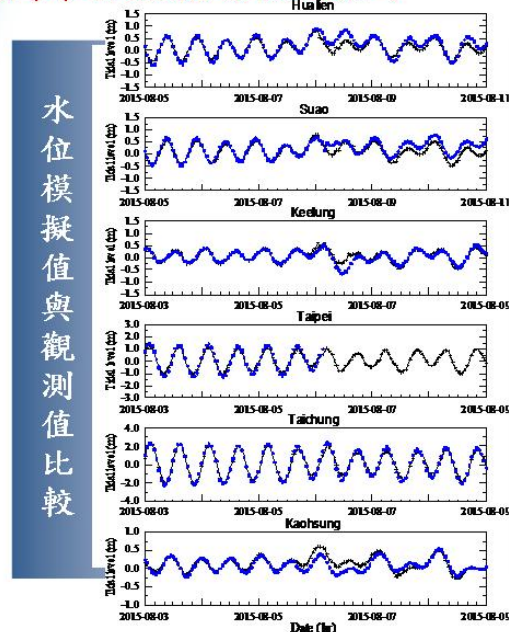
蘇迪勒颱風氣象預報數值模擬風壓場



颱風期間水位及流場模擬(二)



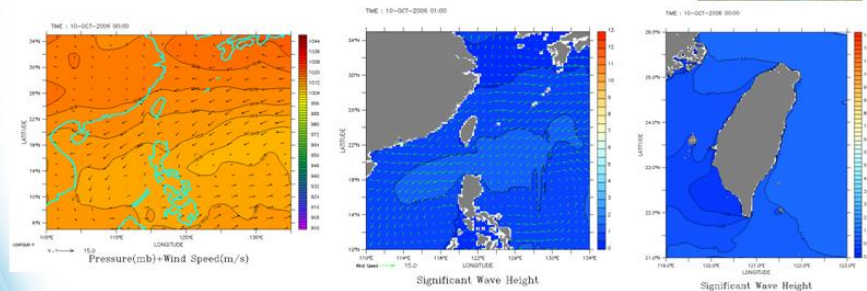
颱風期間水位及流場模擬(三)



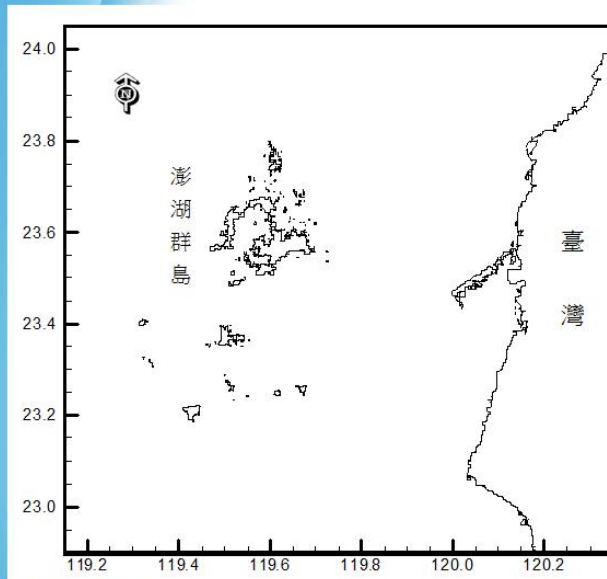
在颱風與陸地實質接觸前，水位模擬值與觀測值相當近似；

模擬值與觀測值間出現明顯偏差時段約發生於颱風中心登陸前，推測此時天氣預報數值風壓場可能與現況有明顯的誤差。

肆、 澎湖海域基本資料 蒐集與分析



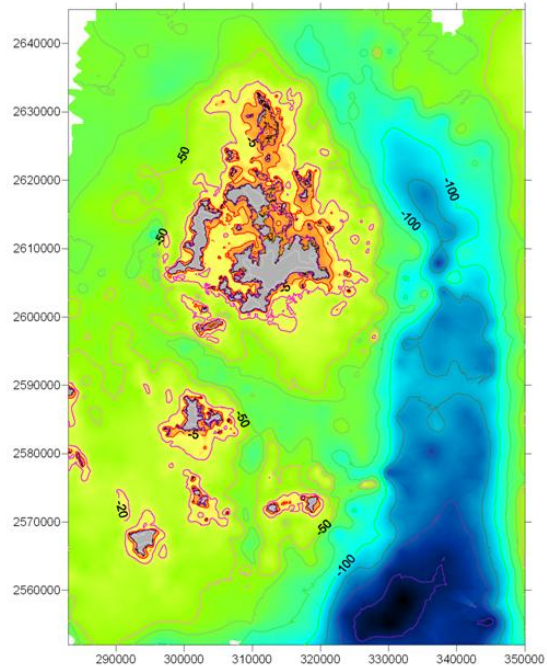
地理位置



澎湖群島位於臺灣海峽，東距臺灣本島約50公里；
共有大小島嶼90座，
南北長約60餘公里，
東西寬約40餘公里，
陸地總面積約為127.9636平方公里，
海岸線總長約449公里。

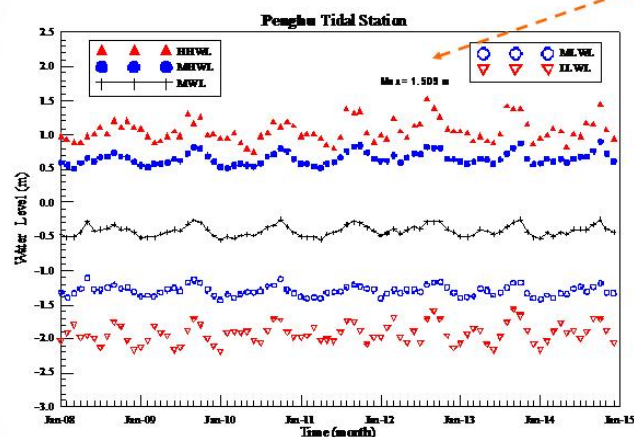
地形水深

「澎湖水道」形狀為北尖南寬，水深介於100~200公尺之間；澎湖群島海床多為淺礁灣澳地形，深度變化大。



澎湖潮汐統計特性

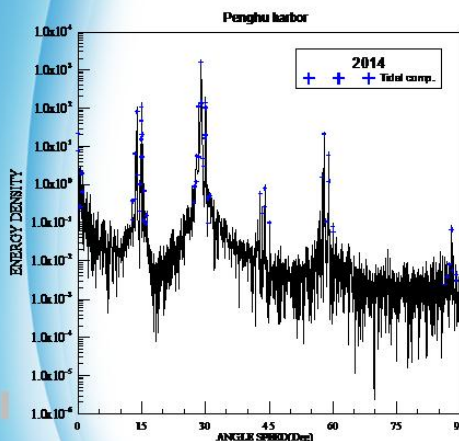
平均潮差約為1.946 m，最大潮差值為3.206 m；
潮汐型態應屬於半日潮型(潮型指標等於0.3925)。



2008~2014年代表性潮位逐月變化趨勢

澎湖潮汐天文潮分析

頻譜分析



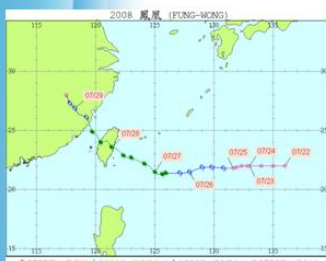
調和分析

分潮名稱	振幅 (度/小時)	相位 (度)	分潮名稱	振幅 (度/小時)	相位 (度)
S ₂	0.04106860	0.0774	68.9402	M ₂	21.93404116 0.9580 112.8791
S ₁	0.08213730	0.0355	203.5970	M ₂ S ₂	29.06624222 0.0016 238.3725
M ₂	0.54437470	0.0135	277.3321	L ₂	29.45562553 0.0195 65.5932
M ₄	1.01589584	0.0180	105.3556	L ₂	29.52847862 0.0490 113.6630
M ₄	1.09803307	0.0108	148.8542	S ₂	29.95893288 0.0243 198.3808
2Q ₂	12.85428619	0.0038	56.3170	S ₁	30.00000000 0.2379 46.3082
Q ₂	12.92714024	0.0067	125.5048	R ₂	30.04106712 0.0117 178.4786
Q ₂	13.39866066	0.0363	213.1014	R ₂	30.08213806 0.0552 106.4784
P ₂	13.47151470	0.0083	273.5965	M ₂ S ₂	30.54437447 0.0115 30.9756
Q ₁	13.94383513	0.1187	26.9151	R ₂	30.62651253 0.0023 23.9358
M ₂	14.02517319	0.0062	97.1970	2S ₂	31.01589584 0.0094 176.1095
M ₂	14.49202538	0.0134	111.1652	M ₂	42.92713928 0.0146 123.3403
S ₂	14.56954765	0.0066	253.0446	M ₂	43.47615814 0.0079 197.8891
S ₂	14.91786480	0.0051	89.6523	SD ₂	43.94303513 0.0103 39.7728
P ₂	14.95893097	0.0781	301.4737	M ₂	44.02517319 0.0161 19.7412
S ₂	15.00000000	0.0044	293.1559	SC ₂	45.04106903 0.0056 313.4896
R ₂	15.04106903	0.2348	229.3264	M ₂	57.42383194 0.0247 60.3729
Q ₂	15.08213730	0.0041	111.1646	M ₂	57.96820831 0.0766 236.0723
Q ₂	15.12320614	0.0020	348.3117	SN ₂	58.43972778 0.0041 341.2977
Q ₂	15.51258945	0.0014	80.7041	M ₂	58.98410416 0.0474 166.2153
S ₂	15.58544350	0.0124	109.8926	M ₂	59.06624222 0.0121 316.7129
SD ₂	16.0506487	0.0046	249.6003	S ₂	60.00000000 0.0071 96.2281
CO ₂	16.13910103	0.0043	18.9871	SC ₂	60.08213806 0.0027 250.8609
CO ₂	17.34169579	0.0050	2.9197	2M ₂	86.40793610 0.0007 96.6345
M ₂ S ₂	17.42383185	0.0187	156.5237	M ₂	86.95231628 0.0016 236.7277
2M ₂	17.85935402	0.0098	201.2906	M ₂ S ₂	87.42383575 0.0020 26.8957
M ₂	17.96820831	0.0588	344.0692	2M ₂	87.96820831 0.0048 188.3631
N ₂	18.43972969	0.1661	295.6485	2M ₂	88.05034637 0.0015 330.1301
N ₂	18.51258278	0.0520	359.3612	2S ₂	88.98410797 0.0010 148.9542
CR ₂	18.90196609	0.0112	216.8048	M ₂ S ₂	89.06623840 0.0004 336.4168
平均振幅=0.4115mm			最高值至平均振幅=0.0095mm		
資料參考時間：2014/07/02 11:00:00					

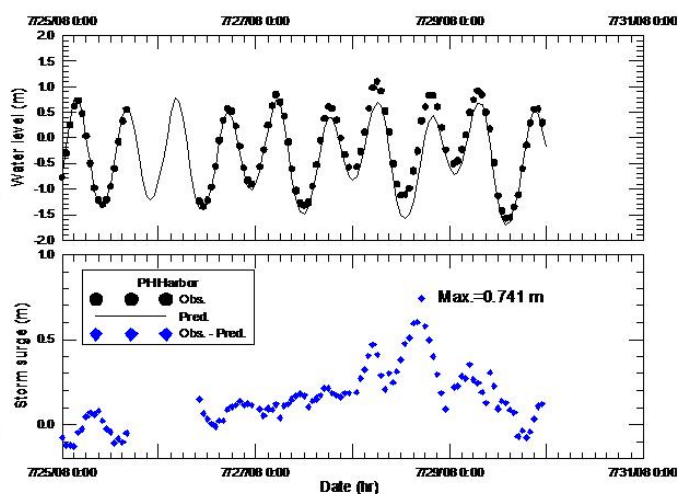
平均潮差：-0.415m 總潮差平均：0.0095m
資料處理時間：2014/07/02 11:00:00

澎湖潮汐暴潮分析

暴潮偏差分析



2008 ~ 2014年中央氣象局發布之侵臺颱風共計36個，平均每年5.1個。



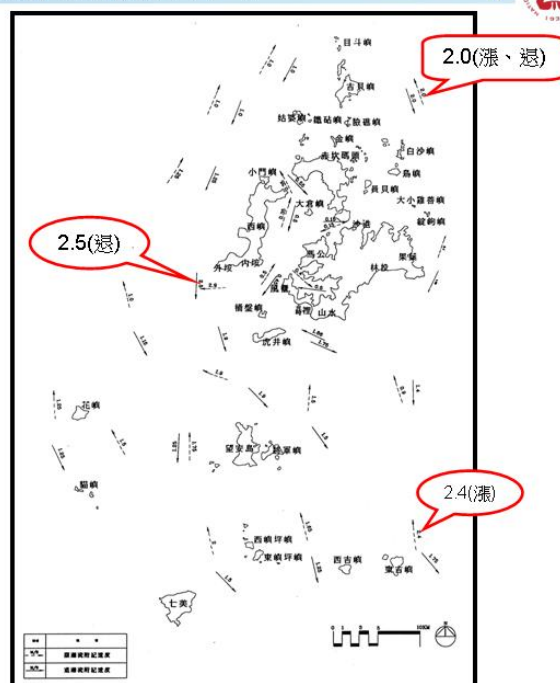
澎湖海流

澎湖海域海流測站



澎湖海流特性

由海軍海洋測量局刊行海圖整理出各離島間海流漲、退潮流速(最大值)及流向



「澎湖地區人工漁礁之分佈調查」，民國81年

澎湖海流特性

流速大小及流向分布統計

澎湖資料浮標

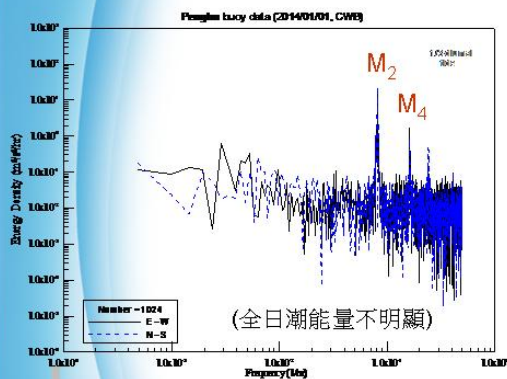
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	資料數	百分比
< 0.25	508	424	241	265	614	1495	1278	529	5354	70.31
0.25 ~ 0.50	124	203	17	4	176	1079	525	27	2155	28.30
0.50 ~ 0.75	0	2	0	0	2	84	17	1	106	1.39
0.75 ~ 1.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	632	629	258	269	792	2685	1820	577	7615	100.00
百分比	8.30	8.26	3.39	3.53	10.4	34.9	23.9	7.31		
備註	最大流速值(0.74m/s) 流向(245.0°) 時間(10/07 11:00:00)									

東吉島波浪測站

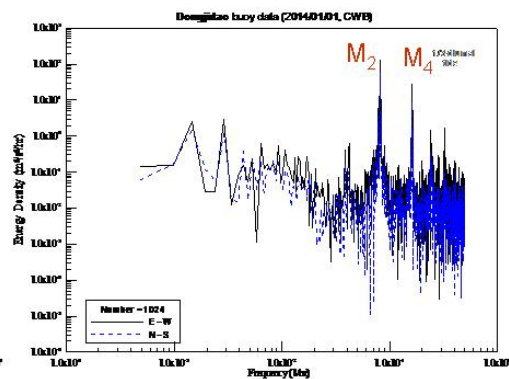
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	資料數	百分比
< 0.25	204	525	1032	546	276	592	391	211	3777	46.88
0.25 ~ 0.50	1	536	535	147	9	117	11	0	1356	16.83
0.50 ~ 0.75	0	646	283	1	0	2	0	0	932	11.57
0.75 ~ 1.00	0	1037	74	0	0	0	0	0	1111	13.79
1.00 ~ 1.25	0	749	6	0	0	0	0	0	755	9.37
1.25 <	0	126	0	0	0	0	0	0	126	1.56
合計	205	3619	1930	694	285	711	402	211		
百分比	2.54	44.92	23.95	8.61	3.54	8.82	4.99	2.62	8057	100.00
備註	最大流速值(1.49m/s) 流向(54.0°) 時間(01/02 07:00:00)									

澎湖海流頻譜分析

澎湖資料浮標



東吉島波浪測站



冬季海流東西及南北向速度能譜分析

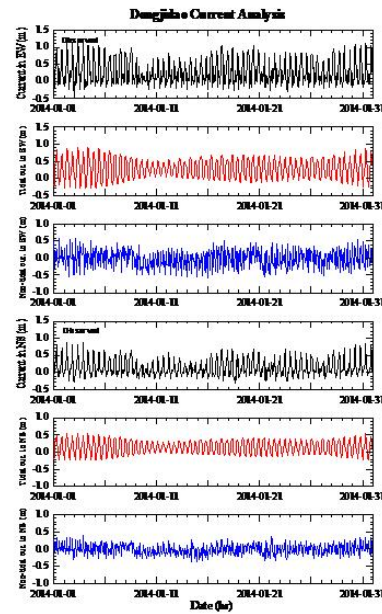
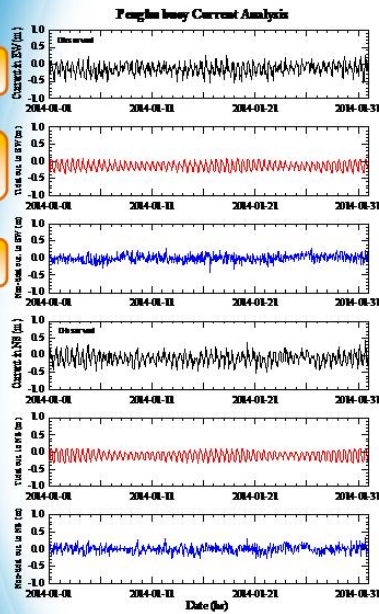
澎湖海流特性

潮流調和分析結果

觀測值

潮流+
平均流

殘差流



東西向

南北向

澎湖波浪

澎湖海域波浪測站



澎湖波浪特性

波高分布統計

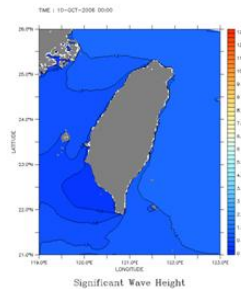
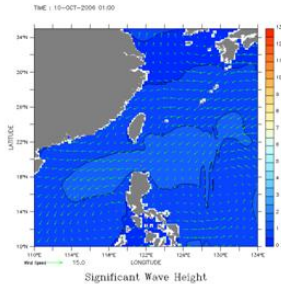
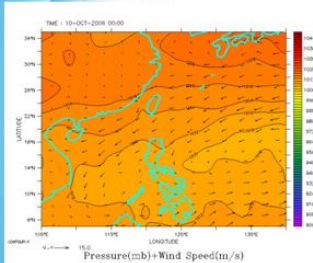
測站	澎湖資料浮標		東吉島資料浮標		累計百分比
	資料數 / (百分比)	週期平均波高(m)	資料數 / (百分比)	週期平均波高(m)	
<0.5	3194 / (37.35)	4.31	2333 / (28.91)	5.35	0.74
0.5~1.0	1948 / (23.56)	4.54	2609 / (32.33)	5.83	29.78
1.0~1.5	1281 / (15.49)	4.79	1216 / (15.07)	6.12	66.31
1.5~2.0	1058 / (12.79)	5.12	794 / (9.84)	6.58	88.20
2.0~2.5	610 / (7.38)	5.50	530 / (6.57)	6.94	95.52
2.5~3.0	184 / (2.22)	5.97	330 / (4.09)	7.31	97.93
3.0~3.5	72 / (0.87)	6.37	161 / (1.99)	7.74	98.79
3.5~4.0	13 / (0.16)	7.95	66 / (0.82)	8.27	99.28
4.0~5.0	—	—	29 / (0.36)	8.84	99.64
5.00 <	—	—	3 / (0.04)	11.03	100.00
合計	8270 / (100.00)		8071 / (100.00)		
備註	最大波高值: 3.96 m 週期: 7.1 sec 波向: 0.0°		最大波高值: 5.49 m 週期: 13.6 sec 波向: 62.0°		
發生時間	02/10/04		11/17/22		

波向分布流計

波向	澎湖資料浮標	東吉島測站	波向	澎湖資料浮標	東吉島測站
	資料數 (百分率)	資料數 (百分率)		資料數 (百分率)	資料數 (百分率)
N	3516 (42.52)	419 (5.19)	S	2 (0.02)	1111 (0.05)
NNE	297 (3.59)	7 (0.09)	SSW	10 (0.12)	456 (5.65)
NE	9 (0.11)	569 (7.05)	SW	198 (2.39)	87 (1.08)
ENE	4 (0.05)	2577 (31.93)	WSW	1322 (15.99)	12 (0.15)
E	2 (0.02)	871 (10.79)	W	838 (10.13)	0 (0.00)
ESE	1 (0.01)	406 (5.03)	WNW	166 (2.01)	1 (0.01)
SE	1 (0.01)	597 (7.40)	NW	177 (2.14)	1 (0.01)
SSE	3 (0.04)	957 (11.86)	NNW	1724 (20.85)	0 (0.00)

1. 波向判斷採用 $\pm 11.25^\circ$
2. 澎湖及東吉島資料浮標波浪觀測資料數分別為8270及8071

伍、澎湖海域水動力模式建置



澎湖海域水動力模式建置

民國 104/03

104/06

104/11

內

模式模擬範圍

- 介於北緯 23.2° 至 23.955° ，東經 119.17° 至 120.3° 之間

數值計算網格

- 由4,159個節點及7,807個三角形元素組成
- 陸地部份包括澎湖本島、吉貝嶼、桶盤嶼、虎井嶼、望安島及鄰近的將軍嶼等島嶼

邊界條件及初始條件

- 陸地邊界條件採用滑動邊界
- 開放邊界則採用水位條件
- cold start及hot start

模式物理參數設定

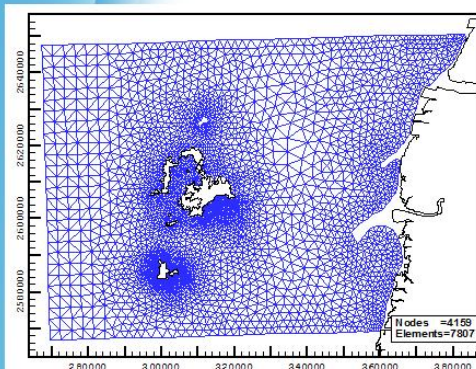
- 時間間距(Δt)
- 底床摩擦係數(C_f)
- 渦動粘滯性係數

澎湖海域水動力模擬結果與驗證

- 馬公潮位資料驗證
- 澎湖資料浮標潮流調和分析預測值
- 東吉島資料浮標潮流調和分析預測值

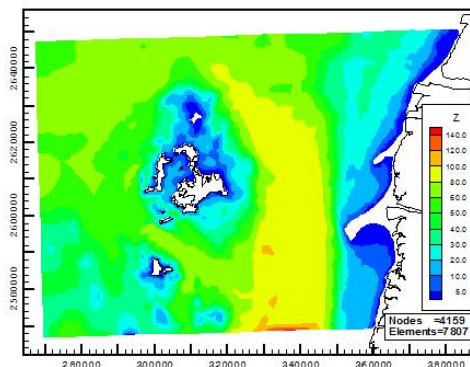
容

澎湖海域水動力模式數值計算網格建置

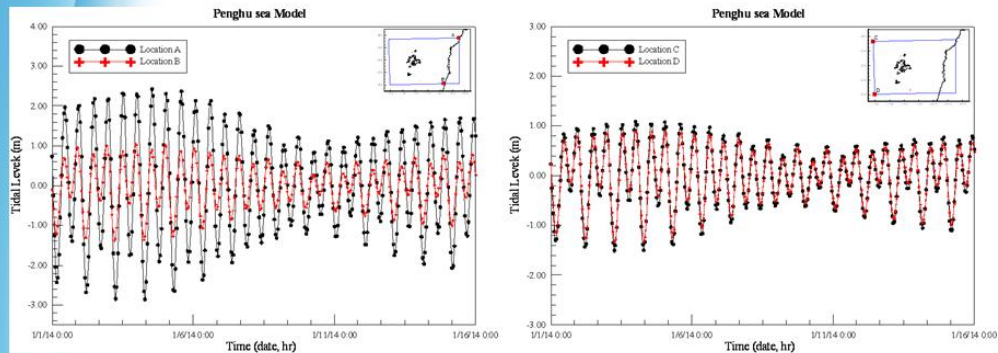


模式數值計算網格

數值計算網格水深分布

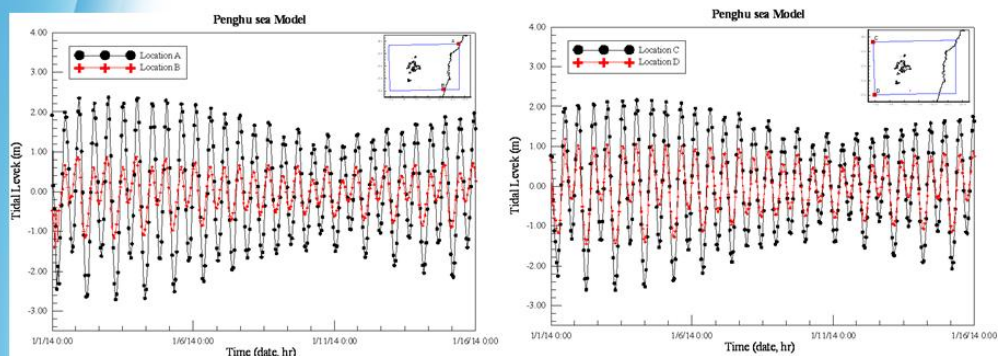


澎湖海域水動力模式邊界條件(一)



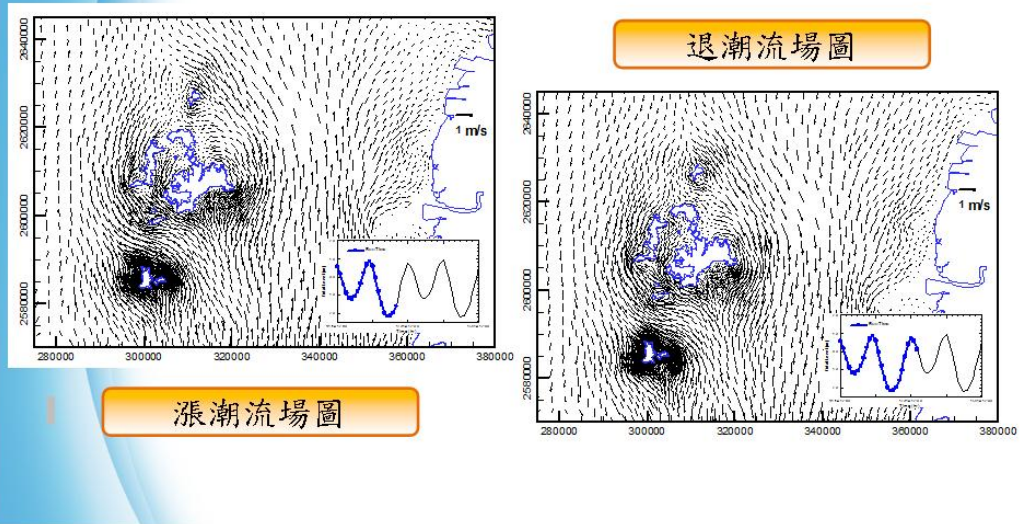
澎湖水動力模式開放邊界天文潮水位邊界條件
(Nao99Jb)

澎湖海域水動力模式邊界條件(二)

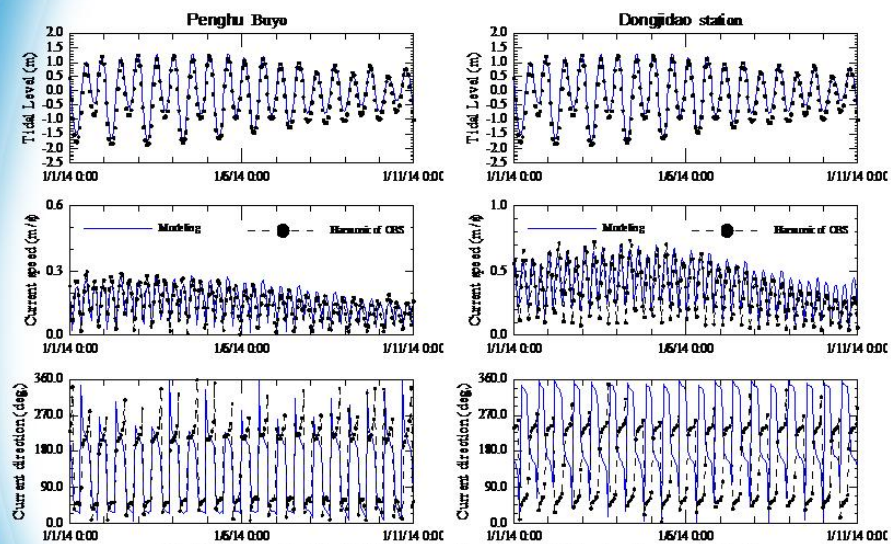


澎湖水動力模式開放邊界天文潮水位邊界條件
(本計畫中尺度模式)

澎湖海域水動力模式流場模擬結果

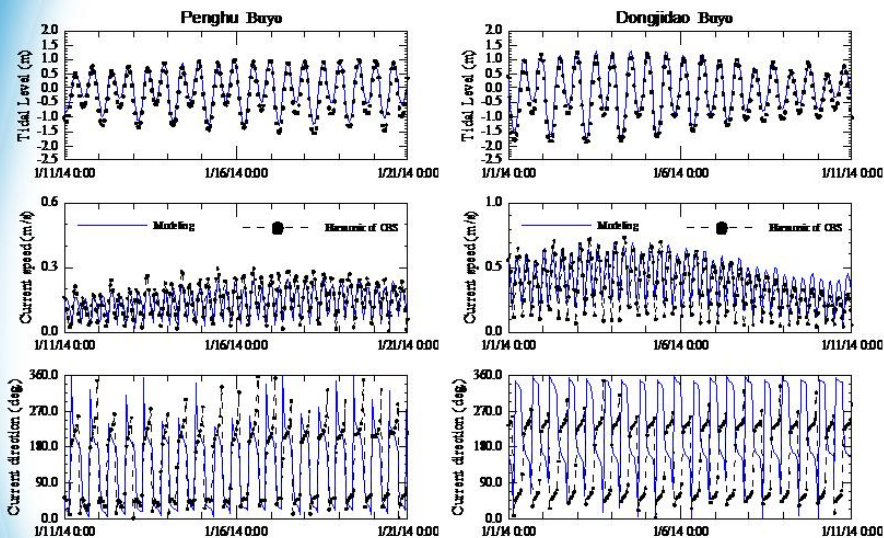


澎湖海域水動力模式模擬結果驗證



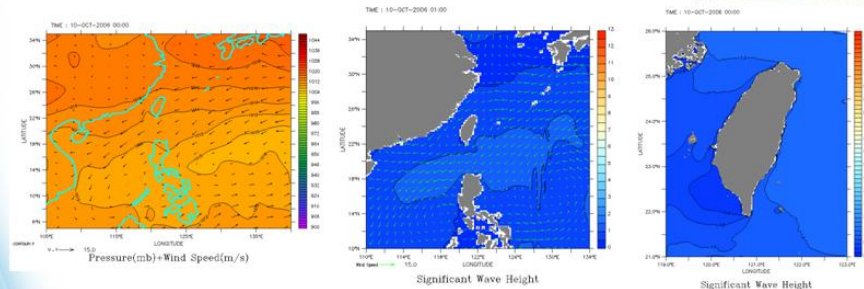
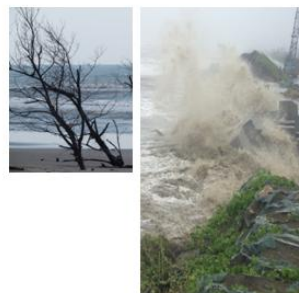
模式模擬結果與觀測資料潮流調和分析結果比較

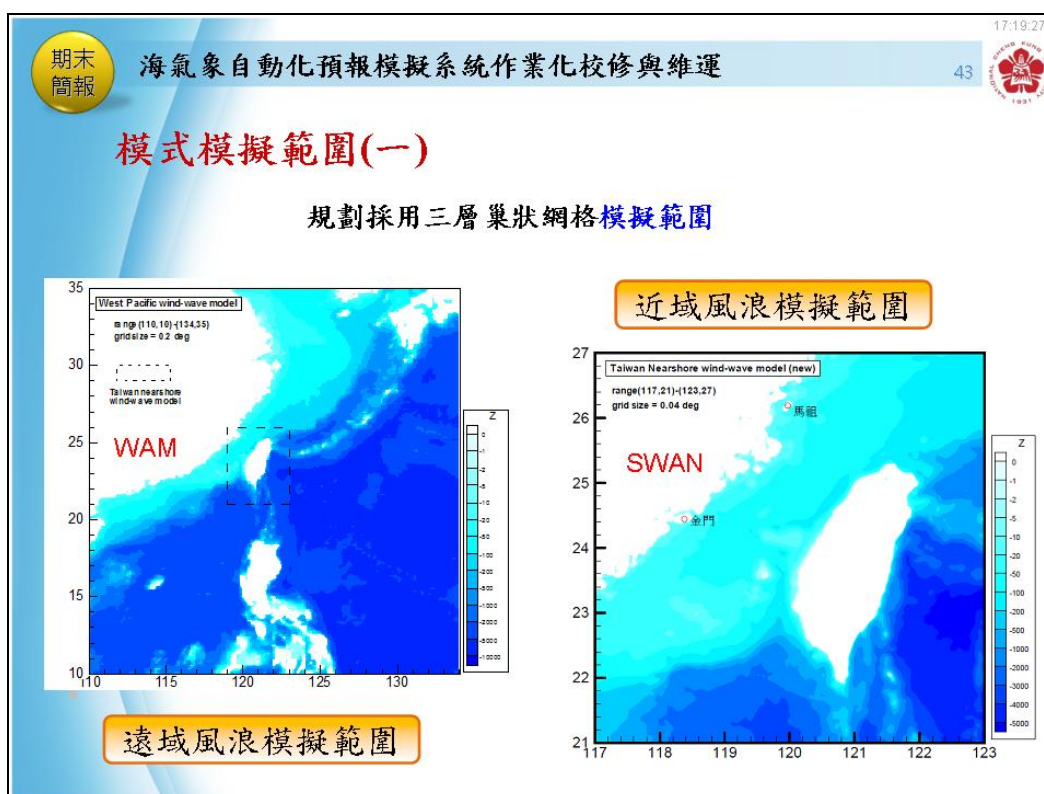
澎湖海域水動力模式模擬結果驗證



模式模擬結果與資料浮標潮流調和分析結果比較

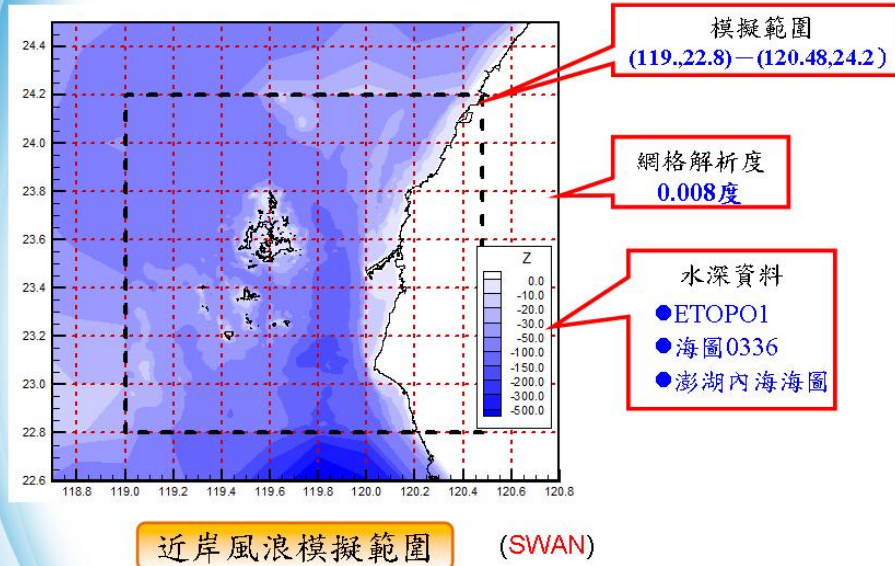
陸、澎湖海域近岸風浪模式建置



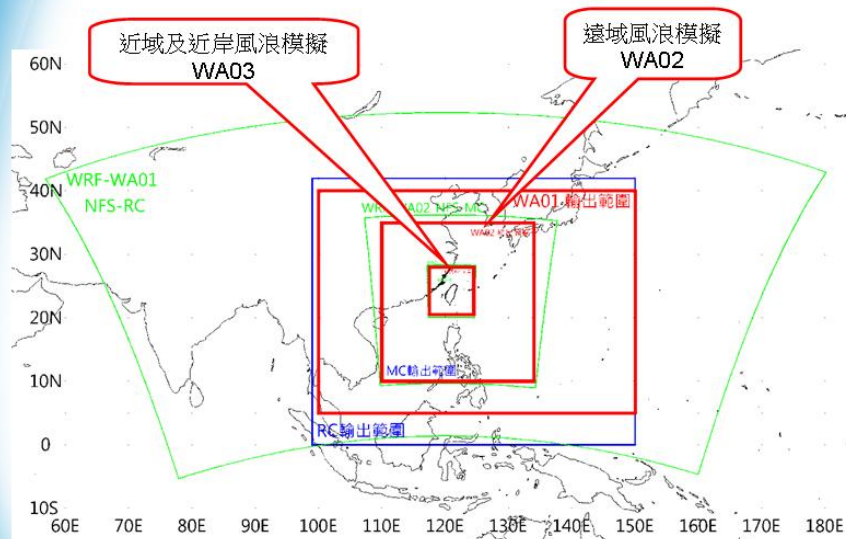


模式模擬範圍(二)

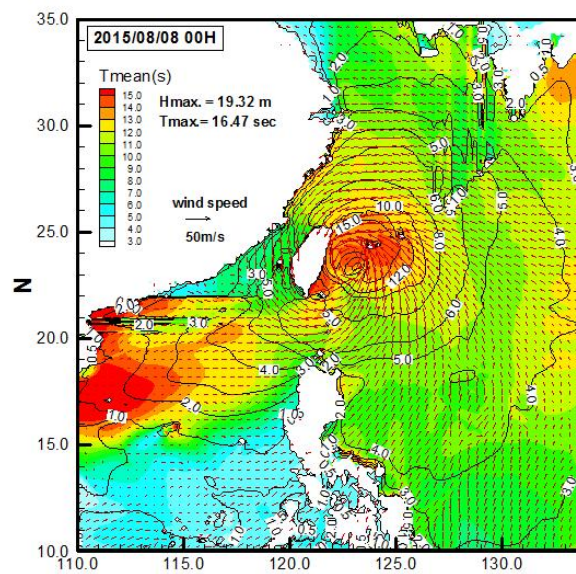
澎湖海域近岸風浪模式模擬範圍



作業化風場



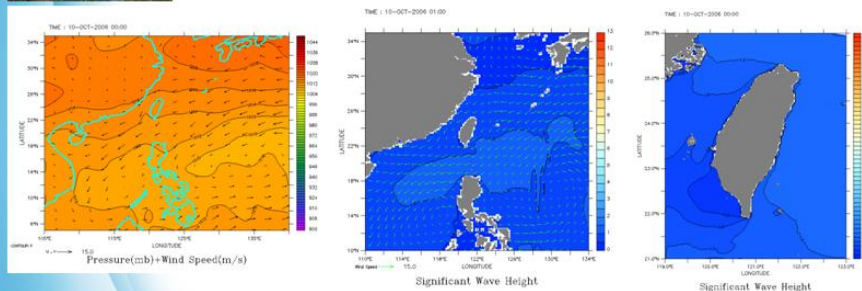
風浪模擬作業化系統安裝與模擬測試



遠域風浪模擬結果(中度颱風蘇迪勒，2015/08/08 00H)



柒、澎湖港龍門尖山港區港域波浪模式建置



澎湖港龍門尖山港區

地理位置



澎湖港龍門尖山港區

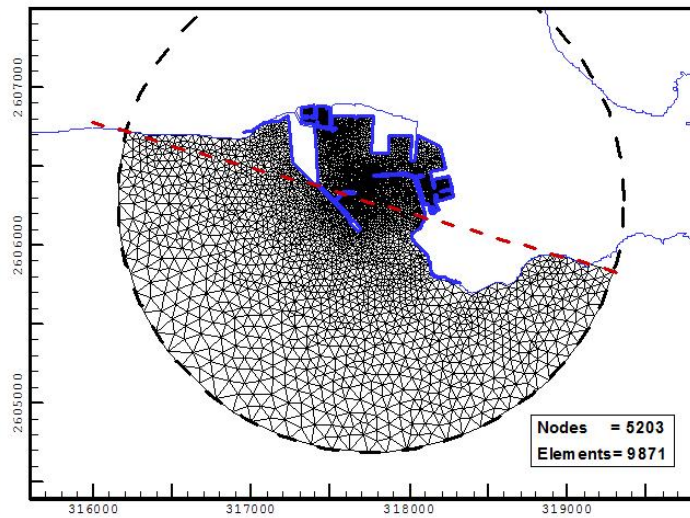
碼頭區平面規劃



龍門尖山碼頭區平面規劃圖

澎湖港龍門尖山港區

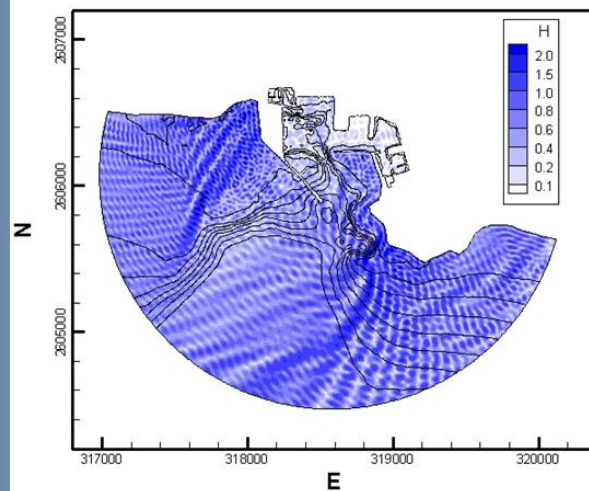
數
值
計
算
網
格
建
置



模式計算用細網格，節點85659個，三角元素169308個。

澎湖港龍門尖山港區

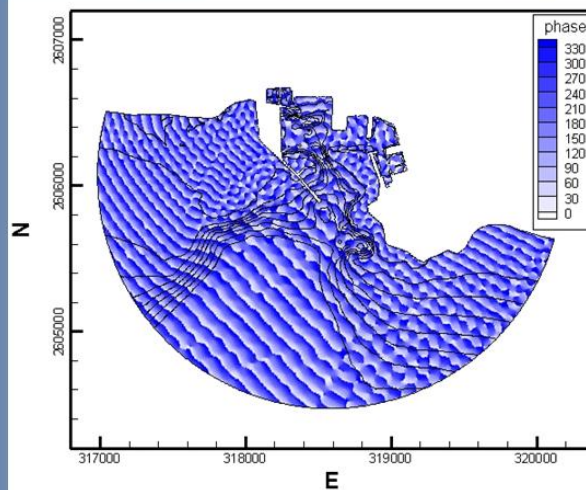
港
域
波
浪
場
模
擬
結
果



週期10 sec，波向225，波高1.0 m

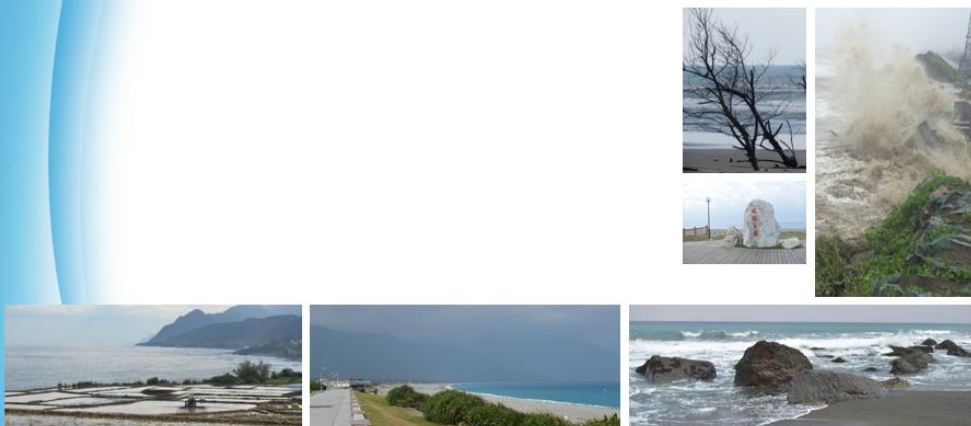
澎湖港龍門尖山港區

港域波浪場模擬結果



週期10 sec，波向225，波高1.0 m

捌、 結論



結論

- ◆ **海象預報模擬系統維運與改善**：協助港研中心完成海象模擬作業化系統部份軟硬體設備更新與測試，同時針對基隆港及臺北港提出相關模式改善研究。
- ◆ **中尺度臺灣周圍海域水動力模式校驗**：以今年中度颱風蘇迪勒為例，完成**暴潮偏差**模擬及**天文潮與氣象潮耦合**模擬及相關測站水位比對；完成2015年整年天文潮水位及流場模擬，並輸出逐時水位及流場二維資料供港研中心參考。
- ◆ **完成澎湖海域小尺度水動力模式建置初步研究成果**，並以馬公潮位觀測資料、澎湖資料浮標及東吉島測站海流觀測資料驗證數值模擬結果。

結論

- ◆ **澎湖海域近岸風浪模式建置**：針對澎湖海域近岸風浪模擬依據巢狀網格方式規劃出模擬作業流程包含了遠域風浪模擬、近域風浪模擬及澎湖海域近岸風浪模擬三個階段，並於風浪模擬作業化系統進行模擬測試。
- ◆ **澎湖港細尺度港域波浪模式建置**：本年度已完成數值計算網格建置、模式邊界條件、相關參數設定及初步波浪場模擬。
- ◆ **作業化模擬成果評估**：完成2014年12月至2015年10月各項作業化成果逐月評估報告及本年度侵臺颱風作業化成果評估。

簡報完畢 敬請指正



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