

102-27-7676

MOTC-IOT-101-H3DB005b

提昇海岸及港灣海域水位與海流 模擬技術之研究(2/4)



交通部運輸研究所

中華民國 102 年 2 月

102-27-7676

MOTC-IOT-101-H3DB005b

提昇海岸及港灣海域水位與海流 模擬技術之研究(2/4)

著 者：李兆芳、邱永芳、蘇青和、陳明宗
劉正琪、李俊穎、涂力夫、高政宏

交通部運輸研究所

中華民國 102 年 2 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

提昇海岸及港灣海域水位與海流模擬技術之研究.
(2/4) / 李兆芳等著. -- 初版. -- 臺北市 :
交通部運研所, 民 102.02
面 ; 公分
ISBN 978-986-03-6171-1(平裝)

1.海流 2.生態模擬

351.9

102003253

提昇海岸及港灣海域水位與海流模擬技術之研究 (2/4)

著 者：李兆芳、邱永芳、蘇青和、陳明宗、劉正琪、李俊穎、涂力夫、
高政宏

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 102 年 2 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 80 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站

定 價：200 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02) 25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1010200317

ISBN:978-986-03-6171-1 (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分內容者，須徵求交通部
運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：提昇海岸及港灣海域水位與海流模擬技術之研究(2/4)			
國際標準書號 ISBN978-986-03-6171-1 (平裝)	政府出版品統一編號 1010200317	運輸研究所出版品編號 102-27-7676	計畫編號 101-H3DB005b
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：邱永芳、蘇青和 研究人員：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：04-26571329	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：涂力夫、高政宏 地址：701 臺南市大學路一號 聯絡電話：06-2757575 ext 63267	研究期間 自 101 年 1 月 至 101 年 12 月	
關鍵詞：水深積分方程式、有限元素法、調和分析、潮流模式			
摘要： 本計畫為四年期「提昇海岸及港灣海域水位與海流模擬技術之研究」之第二年計畫，本年度計畫為針對臺中港進行模式精進，以及建立布袋港的水動力模式，本期末報告完成工作和成果包括(1)基本資料蒐集與分析—(a)臺中港和布袋港區及鄰近海域地形水深資料，(b)龍洞、基隆港、麟山鼻、竹圍、外埔、臺中港、鹿港、箔仔寮、東石及將軍等潮位站潮汐資料，(c)臺中港與布袋港海流觀測資料，(d)本年度發佈警報之颱風資訊。(2)臺中港水位與海流模擬—更新地形水深資料，選用 NAO.99b 模式建置模式之開放邊界條件，針對原臺中港的水動力模式進行修正，並對有、無風場作用下之港區附近環境流場進行模擬。(3)布袋港水位與海流模擬—利用箔仔寮與將軍漁港潮位觀測資料調和分析結果建置模式之開放邊界條件，新建適於布袋港的水動力模式，並對港域附近的環境流場進行模擬。(4)作業化預測成果評估—針對本計畫第一年度建立之基隆港及臺北港水位與海流模擬子系統作業化預測成果進行評估。(5)臺灣周圍海域暴潮模式建置—初步完成中尺度臺灣周圍海域範圍暴潮模式之建置，並以中尺度 MC 預報風場及氣壓場資料為輸入條件，針對本年度發生的侵臺颱風如輕度颱風泰利、中度颱風蘇拉及中度颱風天秤等模擬颱風引起的暴潮水位偏差。(6)針對臺中港、布袋港潮流模擬及作業化預測評估等工作進行教育訓練。 本計畫研究成果之港區環境流場資訊可提供港務公司等其他相關單位後續之應用。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
102 年 2 月	266	200	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： ☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 （解密條件： ☐ 年 ☐ 月 ☐ 日解密， ☐ 公布後解密， ☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密， ☐ 另行檢討後辦理解密） ☒ 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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

TITLE: Enhancement of water level and current simulation technology on coast, harbor and bay areas (2/4)			
ISBN 978-986-03-6171-1 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010200317	IOT SERIAL NUMBER 102-27-7676	PROJECT NUMBER 101-H3DB005b
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiu Yung-Fang, Su Chin-Ho PROJECT STAFF: Chen Ming-Tzong, Lee Chun-Ying, PHONE: (04) 26587135 FAX: (04) 26571329			PROJECT PERIOD FROM January 2012 TO December 2012
RESEARCH AGENCY: NCKU Research and Development Foundation PRINCIPAL INVESTIGATOR: Lee Jaw-Fang ASSOCIATE INVESTIGATOR: Liu Cheng-Chi PROJECT STAFF: Tu Lih-Fu, Kao Jeng-Hong ADDRESS: NO.1, UNIVERSITY RD., TAINAN 701, TAIWAN, R.O.C. PHONE: (06) 2757575 ext 63267			
KEY WORDS: DEPTH-INTEGRATED EQUATION, FINITE ELEMENT METHOD, HARMONIC ANALYSIS, TIDAL MODELING.			
ABSTRACT: This study is the second year of a four-year project entitled "Enhancement of water level and current simulation technology on coast, harbor and bay areas" of Harbor and Marine Technology Center of IOT under MOTC. Major accomplishments this year include (1) data collection and analysis—(a) water depths in Taichung and Budai Harbors; (b) analysis of tidal level at Longdong, Keelung, Linshanbi, Zhuwei, Waipu, Taichung Harbor, Lukang, Boziliao, Dongshi and Jiangjun tide stations; (c) measured current in Taichung and Budai Harbors; (d) information of the released typhoon alerts this year, (2) water level and current simulation for Taichung Harbor—updating of bathymetry, correction of the original hydrodynamic model for Taichung Harbor by choosing the open boundary conditions build by NAO.99b model, and simulating the flow field around the harbor with and without wind effects, (3) water level and current simulation for Budai Harbor—establishment hydrodynamic model for Budai Harbor by using open boundary conditions predicted by harmonic analysis of tidal data at Boziliao and Jiangjun tide stations, and simulating the flow field around the harbor, (4) assessment of the operationalized prediction— assessment of the operationalized prediction by the simulation subsystems for Keelung and Taipei Harbors build in the first year job of this project, (5) establishment of storm surge model for the sea area around Taiwan— preliminary building up mesoscale storm surge model for the sea area around Taiwan, and applying the predicted wind field of mesoscale convective (MC) system and pressure field as inputs to estimate the storm surges induced by typhoons TALIM, SAOLA and TEMBIN, (6) education and training for the jobs of water level and current simulation for Taichung and Budai Harbors and assessment of the operationalized prediction. The research results of this project provide environmental flow information of the port area for the follow-up application for the Ports Corporation and other relevant units.			
DATE OF PUBLICATION February 2013	NUMBER OF PAGES 266	PRICE 200	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

提昇海岸及港灣海域水位與海流模擬技術之研究

(2/4)

目 錄

中文摘要表	I
英文摘要表	II
目 錄	III
表目錄	VI
圖目錄	VIII
第一章 緒論	1-1
1.1 計畫緣起	1-1
1.2 本年度研究內容與工作項目	1-2
1.3 本年度期末報告內容	1-3
第二章 基本資料蒐集與分析	2-1
2.1 地形水深	2-1
2.2 潮汐資料分析	2-4
2.3 潮流資料分析	2-34
2.4 颱風資料	2-41
第三章 臺中港水位與海流模擬	3-1
3.1 模式數值計算格網之修正	3-1
3.2 水位邊界條件之修正	3-1

3.3 模式參數率定與驗證.....	3-4
3.4 流場模擬特性分析.....	3-7
第四章 布袋港水位與海流模擬.....	4-1
4.1 模式數值計算格網之建置.....	4-1
4.2 水位邊界條件之建置.....	4-1
4.3 模式參數率定與驗證.....	4-4
4.4 流場模擬特性分析.....	4-7
第五章 作業化預測成果評估.....	5-1
5.1 基隆港子系統作業化預測成果評估.....	5-1
5.2 臺北港子系統作業化預測成果評估.....	5-2
第六章 臺灣周圍海域暴潮模式之建置.....	6-1
6.1 模型風場模式.....	6-1
6.2 數值計算網格之建置.....	6-3
6.3 邊界條件及初始條件.....	6-3
6.4 模式參數率定與驗證.....	6-7
6.5 颱風暴潮數值模擬結果.....	6-11
第七章 結論與建議.....	7-1
7.1 結論.....	7-1
7.2 建議.....	7-2
參考文獻.....	參-1
附錄一 中央氣象局潮位觀測資料與調和分析結果之比較.....	附 1-1
附錄二 臺中港 2010 年觀測資料.....	附 2-1

附錄三	布袋港 2012 年觀測資料.....	附 3-1
附錄四	潮流模式.....	附 4-1
附錄五	期中報告審查意見處理情形表.....	附 5-1
附錄六	期末報告審查意見處理情形表	附 6-1
附錄七	期末簡報資料.....	附 7-1
附錄八	教育訓練資料.....	附 8-1

表目錄

表 2-1	基隆港驗潮站 2009-2011 年潮汐資料調和分析成果表	2-25
表 2-2	龍洞驗潮站 2009-2011 年潮汐資料調和分析成果表	2-26
表 2-3	麟山鼻驗潮站 2008-2011 年潮汐資料調和分析成果表	2-27
表 2-4	竹圍驗潮站 2008-2011 年潮汐資料調和分析成果表	2-28
表 2-5	臺中港驗潮站 2008-2011 年潮汐資料調和分析成果表	2-29
表 2-6	鹿港驗潮站 2008-2011 年潮汐資料調和分析成果表	2-30
表 2-7	箔仔寮驗潮站 2008-2011 年潮汐資料調和分析成果表	2-31
表 2-8	東石驗潮站 2008-2011 年潮汐資料調和分析成果表	2-32
表 2-9	將軍驗潮站 2008-2011 年潮汐資料調和分析成果表	2-33
表 2-10	臺中港海流觀測資料調和分析成果表.....	2-35
表 2-11	布袋港海流觀測資料調和分析成果表.....	2-39
表 2-12	本年度侵臺颱風相關資訊.....	2-42
表 5-1	2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報平均水位 統計表	5-8
表 5-2	2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報潮位最高 水位(日/時)統計表	5-8
表 5-3	2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報潮位最低 水位(日/時)統計表	5-9
表 5-4	2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報水位偏差 統計表	5-9
表 5-5	2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報海流平均 流速統計表	5-10

表 5-6	2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報海流主要流向(%)統計表	5-10
表 5-7	2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報海流東西向分量平均流速統計表	5-11
表 5-8	2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報海流南北向分量平均流速統計表	5-11
表 5-9	2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報流場最大流速(流向)統計表	5-12
表 5-10	2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報流場最大流速(日/時)統計表	5-12
表 5-11	2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報流速偏差統計表	5-13
表 5-12	2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報流向偏差統計表	5-13
表 5-13	2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報流速東西向分量偏差統計表	5-14
表 5-14	2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報流速南北向分量偏差統計表	5-14

圖目錄

圖 2.1	臺中港模擬範圍及水深分佈圖	2-2
圖 2.2	布袋港附近海域水深分佈圖	2-3
圖 2.3	本年度潮位資料蒐集之潮位站位置示意圖	2-14
圖 2.4	基隆港 2008~2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖	2-15
圖 2.5	基隆港潮位(2009~2011 年)調和分析結果之分潮振幅 大小分佈圖	2-15
圖 2.6	龍洞 2008~2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖	2-16
圖 2.7	龍洞潮位(2009~2011 年)調和分析結果之分潮振幅大 小分佈圖	2-16
圖 2.8	麟山鼻潮位站 2008~2011 年主要代表性潮位逐月統 計值圖	2-17
圖 2.9	測麟山鼻潮位(2009~2011 年)調和分析結果之分潮振 幅大小分佈圖	2-17
圖 2.10	竹圍潮位站 2008~2011 年主要代表性潮位逐月統計 值圖	2-18
圖 2.11	竹圍潮位(2009~2011 年)調和分析結果之分潮振幅大 小分佈圖	2-18
圖 2.12	外埔潮位站 2008~2011 年主要代表性潮位逐月統計 值圖	2-19
圖 2.13	臺中港潮位站 2008~2011 年主要代表性潮位逐月統 計值圖	2-19
圖 2.14	臺中港潮位(2009~2011 年)調和分析結果之分潮振幅 大小分佈圖	2-20

圖 2.15 鹿港潮位站 2008~2011 年主要代表性潮位逐月統計 值圖	2-20
圖 2.16 鹿港潮位(2009~2011 年)調和分析結果之分潮振幅大 小分佈圖	2-21
圖 2.17 箔子寮潮位站 2008~2011 年主要代表性潮位逐月統 計值圖	2-21
圖 2.18 箔子寮潮位(2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分 佈圖	2-22
圖 2.19 東石潮位站 2008~2011 年主要代表性潮位逐月統計 值圖	2-22
圖 2.20 東石潮位(2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈 圖	2-23
圖 2.21 將軍潮位站 2008~2011 年主要代表性潮位逐月統計 值圖	2-23
圖 2.22 將軍潮位(2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈 圖	2-24
圖 2.23 臺中港海氣象觀測站儀器安裝位置示意圖	2-36
圖 2.24 臺中港區海流與風速觀測資料時序列圖	2-37
圖 2.25 臺中港海流觀測資料 E-W 方向分量頻譜分析結果	2-38
圖 2.26 臺中港海流觀測資料 N-S 方向分量頻譜分析結果	2-38
圖 2.27 布袋港海域潮位與海流觀測點位示意圖	2-39
圖 2.28 布袋港海流觀測資料 E-W 方向分量頻譜分析結果	2-40
圖 2.29 布袋港海流觀測資料 N-S 方向分量頻譜分析結果	2-40
圖 2.30 泰利颱風行進路徑圖	2-43

圖 2.31 杜蘇芮颱風行進路徑圖	2-43
圖 2.32 蘇拉颱風行進路徑圖	2-44
圖 2.33 海葵颱風行進路徑圖	2-44
圖 2.34 啟德颱風行進路徑圖	2-45
圖 2.35 天秤颱風行進路徑圖	2-45
圖 2.36 杰拉華颱風行進路徑圖	2-46
圖 3.1 臺中港區流場模擬範圍與水深分佈圖	3-2
圖 3.2 臺中港區流場模擬範圍之有限元素格網分佈圖	3-3
圖 3.3 臺中港水動力模式南、北開放邊界之水位邊界條件 時序圖	3-4
圖 3.4 臺中港水位及潮流模擬結果與潮流觀測資料調和分 析結果之比較	3-6
圖 3.5 臺中港區大潮高平潮時段潮流流場模擬之流速向量圖	3-8
圖 3.6 臺中港區大潮退潮時段潮流流場模擬之流速向量圖	3-9
圖 3.7 臺中港區大潮低平潮時段潮流流場模擬之流速向量圖	3-10
圖 3.8 臺中港區大潮漲潮時段潮流流場模擬之流速向量圖	3-11
圖 3.9 臺中港區大潮高平潮時段潮流流場模擬之流速向量圖	3-12
圖 3.10 臺中港區風速為 12 m/s 與 18m/s 情況下流速觀測值 分布圖	3-13
圖 3.11 臺中港區風速為 18 m/s 情況下參考點水位、流速與 流向變化圖	3-13
圖 3.12 臺中港區風速為 12 m/s 情況下參考點水位、流速與 流向變化圖	3-14

圖 3.13 臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 18 m/s).....	3-15
圖 3.13 (續 1)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖 (風速 18 m/s)	3-16
圖 3.13 (續 2)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖 (風速 18 m/s)	3-17
圖 3.13 (續 3)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖 (風速 18 m/s)	3-18
圖 3.13 (續 4)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖 (風速 18 m/s)	3-19
圖 3.14 臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 12 m/s).....	3-20
圖 3.14 (續 1)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖 (風速 12 m/s)	3-21
圖 3.14 (續 2)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖 (風速 12 m/s)	3-22
圖 3.14 (續 3)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖 (風速 12 m/s)	3-23
圖 3.14 (續 4)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖 (風速 12 m/s)	3-24
圖 3.15 臺中港含風場效應潮流模擬結果與海流觀測資料 之比較.....	3-25
圖 4.1 布袋港區流場模擬範圍與水深分佈圖.....	4-2
圖 4.2 布袋港區流場模擬範圍之有限元素格網分佈圖.....	4-3
圖 4.3 布袋港水動力模式南、北開放邊界之水位邊界條 件時序圖.....	4-3

圖 4.4	布袋港水位及潮流模擬結果與潮流觀測資料調和分析(O_1 、 K_1 、 N_2 、 M_2 、 S_2)結果之比較.....	4-5
圖 4.5	布袋港區高平潮時段流場模擬結果之流速向量圖.....	4-8
圖 4.6	布袋港區退潮時段流場模擬結果之流速向量圖.....	4-9
圖 4.7	布袋港區低平潮時段流場模擬結果之流速向量圖.....	4-10
圖 4.8	布袋港區漲潮時段流場模擬結果之流速向量圖.....	4-11
圖 4.9	布袋港區高平潮時段流場模擬結果之流速向量圖.....	4-12
圖 4.10	布袋港海流觀測流速與附近風場觀測風速時序圖.....	4-13
圖 4.11	布袋港海流觀測流速與含風場效應模擬流速比較圖	4-13
圖 4.12	布袋港含風場與不含風場效應模擬流速比較圖.....	4-13
圖 5.1	基隆港 2012 年 8 月水位觀測資料與模擬結果之比較	5-4
圖 5.2	基隆港 2012 年 9 月水位觀測資料與模擬結果之比較	5-4
圖 5.3	基隆港 2012 年 8 月海流觀測資料與模擬結果之比較	5-5
圖 5.4	基隆港 2012 年 9 月海流觀測資料與模擬結果之比較	5-5
圖 5.5	臺北港 2012 年 8 月水位觀測資料與模擬結果之比較	5-6
圖 5.6	臺北港 2012 年 9 月水位觀測資料與模擬結果之比較	5-6
圖 5.7	臺北港 2012 年 8 月海流觀測資料與模擬結果之比較	5-7
圖 5.8	臺北港 2012 年 9 月海流觀測資料與模擬結果之比較	5-7
圖 6.1	臺灣周圍海域暴潮模式模擬範圍.....	6-4
圖 6.2	臺灣周圍海域暴潮數值模式之計算網格分布圖.....	6-5
圖 6.3	臺灣周圍海域暴潮數值模式之地形水深分布圖.....	6-5
圖 6.4	臺灣周圍海域暴潮模式之天文潮邊界條件時序圖.....	6-6

圖 6.5	基隆港水位模擬結果與觀測資料之比較.....	6-8
圖 6.6	臺北港水位模擬結果與觀測資料之比較.....	6-8
圖 6.7	臺中港水位模擬結果與觀測資料之比較.....	6-9
圖 6.8	安平港水位模擬結果與觀測資料之比較.....	6-9
圖 6.9	高雄港水位模擬結果與觀測資料之比較.....	6-10
圖 6.10	花蓮港水位模擬結果與觀測資料之比較.....	6-10
圖 6.11	蘇澳港水位模擬結果與觀測資料之比較.....	6-11
圖 6.12	2012 年輕度颱風泰利侵臺期間 MC 風壓場之氣壓 分布及風速向量平面圖(時間 2012/06/20 00:00).....	6-14
圖 6.12 (續 1)	2012 年輕度颱風泰利侵臺期間 MC 風壓場之 氣壓分布及風速向量平面圖(時間 2012/06/20 06:00)	6-14
圖 6.12 (續 2)	2012 年輕度颱風泰利侵臺期間 MC 風壓場之 氣壓分布及風速向量平面圖(時間 2012/06/20 12:00)	6-15
圖 6.12 (續 3)	2012 年輕度颱風泰利侵臺期間 MC 風壓場之 氣壓分布及風速向量平面圖(時間 2012/06/20 18:00)	6-15
圖 6.12 (續 4)	2012 年輕度颱風泰利侵臺期間 MC 風壓場之 氣壓分布及風速向量平面圖(時間 2012/06/21 00:00)	6-16
圖 6.13	2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之氣壓 分布及風速向量平面圖(時間 2012/08/01 00:00).....	6-16
圖 6.13 (續 1)	2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之 氣壓分布及風速向量平面圖(時間 2012/08/01 06:00)	6-17
圖 6.13 (續 2)	2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之 氣壓分布及風速向量平面圖(時間 2012/08/01 12:00)	6-17
圖 6.13 (續 3)	2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之 氣壓分布及風速向量平面圖(時間 2012/08/01 18:00)	6-18

圖 6.13 (續 4) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之 氣壓分布及風速向量平面圖(時間 2012/08/02 00:00)	6-18
圖 6.13 (續 5) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之 氣壓分布及風速向量平面圖(時間 2012/08/02 06:00)	6-19
圖 6.13 (續 6) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之 氣壓分布及風速向量平面圖(時間 2012/08/02 12:00)	6-19
圖 6.13 (續 7) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之 氣壓分布及風速向量平面圖(時間 2012/08/02 18:00)	6-20
圖 6.13 (續 8) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之 氣壓分布及風速向量平面圖(時間 2012/08/03 00:00)	6-20
圖 6.14 2012 年中度颱風天秤侵臺期間 MC 風壓場之氣壓 分布及風速向量平面圖(時間 2012/08/23 00:00).....	6-21
圖 6.14 (續 1) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間 MC 風壓場之 氣壓分布及風速向量平面圖(時間 2012/08/23 06:00)	6-21
圖 6.14 (續 2) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間 MC 風壓場之 氣壓分布及風速向量平面圖(時間 2012/08/23 12:00)	6-22
圖 6.14 (續 3) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間 MC 風壓場之 氣壓分布及風速向量平面圖(時間 2012/08/23 18:00)	6-22
圖 6.14 (續 4) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間 MC 風壓場之 氣壓分布及風速向量平面圖(時間 2012/08/24 00:00)	6-23
圖 6.14 (續 5) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間 MC 風壓場之 氣壓分布及風速向量平面圖(時間 2012/08/24 06:00)	6-23
圖 6.14 (續 6) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間 MC 風壓場之 氣壓分布及風速向量平面圖(時間 2012/08/24 12:00)	6-24
圖 6.15 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏 差分布圖(時間 2012/06/20 06:00).....	6-24

圖 6.15 (續 1)2012 年輕度颱風泰利侵臺期間臺灣周圍海域 暴潮偏差分布圖(時間 2012/06/20 12:00).....	6-25
圖 6.15 (續 2)2012 年輕度颱風泰利侵臺期間臺灣周圍海域 暴潮偏差分布圖(時間 2012/06/20 18:00).....	6-25
圖 6.15 (續 3)2012 年輕度颱風泰利侵臺期間臺灣周圍海域 暴潮偏差分布圖(時間 2012/06/21 00:00).....	6-26
圖 6.15 (續 4)2012 年輕度颱風泰利侵臺期間臺灣周圍海域 暴潮偏差分布圖(時間 2012/06/21 03:00).....	6-26
圖 6.16 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏 差分布圖(時間 2012/08/01 12:00).....	6-27
圖 6.16 (續 1)2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域 暴潮偏差分布圖(時間 2012/08/01 18:00).....	6-27
圖 6.16 (續 2) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域 暴潮偏差分布圖(時間 2012/08/02 00:00).....	6-28
圖 6.16 (續 3) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域 暴潮偏差分布圖(時間 2012/08/02 06:00).....	6-28
圖 6.16 (續 4) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域 暴潮偏差分布圖(時間 2012/08/02 12:00).....	6-29
圖 6.16 (續 5) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域 暴潮偏差分布圖(時間 2012/08/02 18:00).....	6-29
圖 6.16 (續 6) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域 暴潮偏差分布圖(時間 2012/08/03 00:00).....	6-30
圖 6.16 (續 7) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域 暴潮偏差分布圖(時間 2012/08/03 06:00).....	6-30
圖 6.17 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏 差分布圖(時間 2012/08/24 00:00).....	6-31

圖 6.17 (續 1) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域 暴潮偏差分布圖(時間 2012/08/24 06:00).....	6-31
圖 6.17 (續 2) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域 暴潮偏差分布圖(時間 2012/08/24 12:00).....	6-32
圖 6.17 (續 3) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域 暴潮偏差分布圖(時間 2012/08/24 18:00).....	6-32
圖 6.17 (續 4) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域 暴潮偏差分布圖(時間 2012/08/25 00:00).....	6-33
圖 6.18 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏 差分布圖(時間 2012/08/28 00:00).....	6-33
圖 6.18 (續 1) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域 暴潮偏差分布圖(時間 2012/08/28 06:00).....	6-34
圖 6.18 (續 2) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域 暴潮偏差分布圖(時間 2012/08/28 12:00).....	6-34
圖 6.18 (續 3) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域 暴潮偏差分布圖(時間 2012/08/28 18:00).....	6-35
圖 6.18 (續 4) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域 暴潮偏差分布圖(時間 2012/08/29 00:00).....	6-35

第一章 緒論

1.1 計畫緣起

本計畫配合交通部「交通政策白皮書-運輸」所揭櫫之「提供產業健全的物流環境」政策目標，及「應用運輸科技，推動運輸智慧管理，加強資訊便民服務」與「檢討安全管理，加強運輸安全機制，全面維護運輸安全」之發展主軸，及依據運輸資訊政策—建置資訊蒐集系統，發展標準作業環境，加速運輸資訊基礎建設等事項辦理。目前港灣技術研究中心所建置之「近岸海象數值模擬及預警系統」涵蓋風場、波浪、水位、流場及擴散等模擬。其中水位及流場模擬同屬海洋及海岸水動力模擬之範疇，其架構涵蓋大尺度(西太平洋海域)、中尺度(臺灣周圍海域)及小尺度(基隆港、臺北港、臺中港、安平港、高雄港、花蓮港及蘇澳港等七大港口)等三種不同空間尺度之水動力模式。其中大、中尺度水動力模式已分別於 2005 年度完成預報模擬之作業化程序，並自 2008 年由港灣技術研究中心持續運作與維護中。

前期計畫「臺灣近岸防救災預警系統技術與作業化研究」(2007 年~2010 年)^{[4][5][6]}，建立七個主要商港—基隆港、臺北港、臺中港、安平港、高雄港、花蓮港、蘇澳港，及其附近海域水位及流場模式，同時針對基隆港港域水位及海流建立模擬子系統及相關設計水位分析。2009 年計畫完成工作包含(1)七大商港各港口及其鄰近潮位站潮位資料蒐集與分析，並建置各港港域數值模擬所需之水位條件。(2)完成七大商港口有限元素數值計算格網建置。(3)完成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。(4)完成七大商港港域水位變化和流速場。然而後續利用這樣的成果繼續進行流場預測，則需要繼續利用潮位站紀錄，並藉由資料分析調整數值模式邊界條件，然後提供後續預測。因此，每年仍然需要有經常性的計算和分析工作，由觀測值和預測值差異的大小，選擇需要調整的港域再進行計算。2010 年計畫除了將上年度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，模式修正內容包括模式模擬範圍、港池外廓配置、數值計算網格及邊界條件等。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。

為延續前期計畫持續對七大商港港域水位和流場模擬、預測和評估進行改善，本期計畫為四年期「提昇海岸及港灣海域水位與海流模擬技術之研究」(2011 年~2014 年)計畫，在作法上則針對個別商港港域進行即時觀測的潮流資料分析，並與模式預測結果比較，藉以檢討和修正所建立模式的計算範圍、邊界條件以及模式所使用各種參數值，除了讓數值模式預測更為精確可靠外，也讓模式預測作業化進行更為有效快速。本期計畫第一年(2011 年)主要針對基隆港與臺北港水位及海流模擬子系統之建立提出基隆港與臺北港的水動力修正模式^[9]。

本年度為執行本期計畫之第二年，選擇臺中港水位及海流模擬子系統之建立提出臺中港的水動力修正模式，以及建立提出布袋港的水動力修正模式，模式修正(或建立)內容包括模式模擬範圍、港池外廓配置、數值計算網格及邊界條件等。計算結果除提供臺中港與布袋港水動力模式的模擬結果外，並增加考慮風場效應的模擬結果。本研究則接續針對七個港域進行更仔細的潮流預測評估，針對臺中港域與布袋港域，進行即時觀測的潮流資料分析，修訂計算邊界條件，重新作調整計算。另外，也可以檢討數值模式計算範圍，讓作業化進行的更快速。

1.2 本年度研究內容與工作項目

本年度研究內容與工作項目如下：

1. 精進臺中港域及布袋港域水位及流場自動化預報模擬精度：改善臺中港域及布袋港域水動力模式每日 72 小時 (昨日、今日、明日)水位及流場模擬結果。

2. 臺中港域及布袋港域水位及流場預報模式作業化成果評估，以港灣技術研究中心及氣象局現場觀測資料進行校驗及精度評估等工作，含潮位站觀測資料分析。
3. 臺中港域及布袋港域水位及流場模擬結果特性分析，以颱風侵臺時水位及流場變化為研究重點。
4. 建置臺灣周圍海域暴潮模式：以本年度或歷史颱風資料進行暴潮模擬與驗證。
5. 建立臺中港域及布袋港域水位及流場模擬預警系統並進行教育推廣。

1.3 本年度期末報告內容

本年度計畫除了分別針對臺中港與布袋港進行模式的精進與建立，並針對已建立之基隆港與臺北港的水動力模式作業化成果進行評估工作，以及建置臺灣周圍海域的暴潮模式。本期末報告內容如下：

1. 資料蒐集與分析

(a)地形水深資料—針對臺中港與布袋港港域及其鄰近海域，本計畫蒐集海軍測量局刊行海圖圖號 04509 之水深數化資料、布袋港鄰近海域近年水深數化資料，以及 2011 年臺中港與布袋港港區全域水深測量資料。(b)潮位站資料—蒐集龍洞、基隆港、麟山鼻、竹圍、外埔、臺中港、鹿港、箔仔寮、東石及將軍等潮位站之潮汐記錄，並進行潮汐資料調和分析。(c)海流資料—蒐集臺中港北防波堤堤頭外側 150m 之海流觀測站資料，以及布袋港港口西側外海之海流觀測站資料，分析其海流特性。(d)颱風資料—蒐集本年度已發佈警報的颱風相關資訊。

2. 臺中港水位與海流模擬

由地形資料與計算格網的更新，利用 NAO.99b 模式建置模式之

開放邊界條件，並藉由參數之率定與觀測資料之校驗以修正臺中港水動力模式，最後對港域附近考慮風場時的流況進行模擬。

3. 布袋港水位與海流模擬

由地形資料與計算格網之建立，利用箔仔寮與將軍漁港潮位觀測資料調和分析結果預測建置模式之開放邊界條件，並藉由參數之率定與觀測資料之校驗以建立布袋港的水動力模式，並對港域附近的流況進行模擬。

4. 作業化預測成果評估

針對已建立之基隆港與臺北港的水動力模式作業化成果進行評估工作，藉由與水位及海流觀測資料比較評估預測結果的好壞。

5. 臺灣周圍海域暴潮模式建置

建置中尺度臺灣周圍海域範圍暴潮模式，並以中區域 MC 預報風場及氣壓場資料為輸入條件，針對本年度發生的侵臺颱風模擬颱風引起的暴潮水位偏差。

6. 本年度研究成果教育訓練

針對本年度臺中港與布袋港潮流模擬作業方式，以及本計畫第一年度建立之基隆港與臺北港潮流預警子系統作業化預測評估工作配合港灣技術研究中心於 2012 年 12 月 7 日進行教育訓練，教育訓練之教材內容投影片蒐錄於附錄 VIII。

第二章 基本資料蒐集與分析

本年度計畫除了針對臺中港持續蒐集近年海象觀測資料如地形水深、潮位及海流(如附錄 II、附錄 III 所示)等外，另配合臺中港小尺度水動力模式邊界條件更新及布袋港小尺度水動力模式邊界條件建立之需，針對外埔(WP)、臺中港(TC)、鹿港(LK)、箔仔寮(BZ)、東石(DS)及將軍(JG)等潮位站蒐集 2008 年至 2011 年潮位觀測資料並進行潮汐分析。此外，為驗證臺中港及布袋港水動力模式，本計畫亦蒐集本年度(2012 年)臺中港及布袋港海象觀測資料以及侵臺颱風資料進行相關分析與研究。

2.1 地形水深

臺中港及布袋港港口附近地形水深資料簡述如下：

(1)臺中港

針對本計畫臺中港港域及其鄰近海域，本計畫蒐集海軍測量局刊行海圖圖號 04509 之水深數化資料及 2011 年臺中港港區全域水深測量資料，後者為臺中港務分公司定期監測資料，高程系統為臺中港築港高程系統，其測量範圍及地形水深如圖 2.1 所示。

(2)布袋港

針對布袋港港域及其鄰近海域，本計畫蒐集到布袋港北邊外傘頂洲附近海域 2003 年及 2011 年地形水深資料、2005 年急水溪至外傘頂洲南邊外海水深資料，以及 2010 年將軍漁港至急水溪外海水深資料，上述資料由成功大學水工試驗所監測；另外，本計畫亦蒐集 2011 年 11 月布袋港港區全域水深測量資料，此為港研中心定期監測資料。以上資料經數位化整理後如圖 2.2 所示。

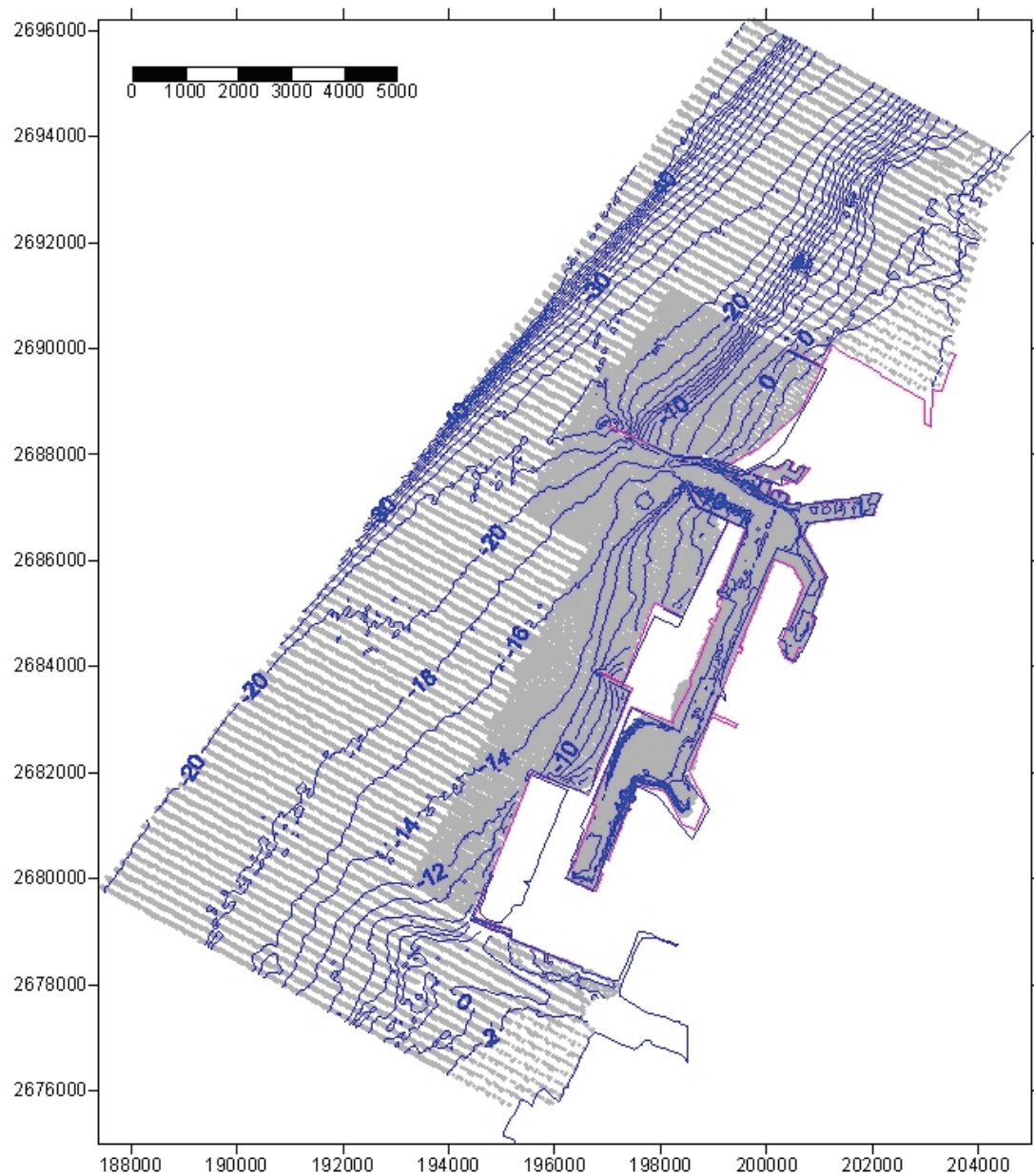


圖 2.1 臺中港模擬範圍及水深分佈圖

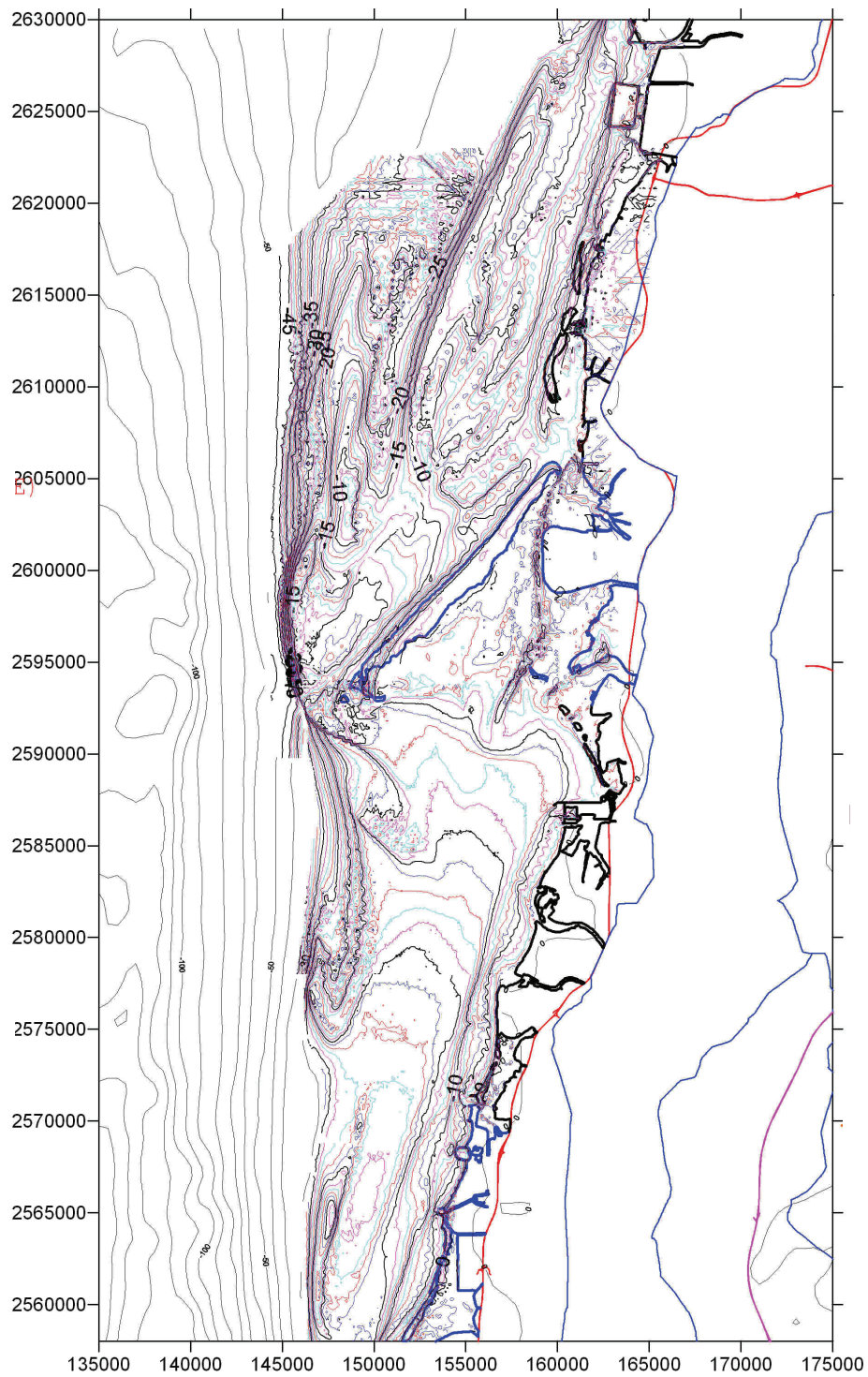


圖 2.2 布袋港附近海域水深分佈圖

2.2 潮汐資料分析

本計畫除了延續上年度計畫持續蒐集基隆港與臺北港以及鄰近潮位站(如龍洞、麟山鼻及竹圍漁港等) 2011 年中央氣象局潮汐逐時觀測資料外，並針對本年度計畫主要港口臺中港域及布袋港域鄰近之潮位站(如外埔、臺中港、鹿港、箔仔寮、東石及將軍等)蒐集中央氣象局 2008~2011 年潮汐逐時觀測資料(如附錄 I 所示)進行相關潮汐分析。圖 2.3 所示為上述潮位站位置示意圖，各潮位站潮位特性分述如下：

(1) 基隆港潮位

本計畫蒐集 2008~2011 年中央氣象局基隆港西 33 號碼頭潮位站之潮汐逐時觀測資料，逐月統計其平均潮位(MWL)及最高潮位(HHWL)、平均高潮位(MHWL)、平均低潮位(MLWL)、最低潮位(LLWL)等代表性潮位值，如圖 2.4 所示。2008~2011 年期間基隆港逐時之最高潮位觀測值為 0.957 m，發生於 2009 年 8 月 6 日 23 時(中度颱風莫拉克侵臺期間)。上述基隆港代表性潮位及潮差統計之平均值(2008~2011 年)如下：

最高高潮位(H.H.W.L.)	E.L.+0.957 m
平均高潮位(M.H.W.L.)	E.L.+0.319 m
平均潮位(M.W.L.)	E.L.+0.056 m
平均低潮位(M.L.W.L.)	E.L. -0.170 m
最低低潮位(L.L.W.L.)	E.L. -1.060 m
最大潮位差	1.590 m
平均潮位差	0.847 m

本計畫選取 2009~2011 年經調和分析方法補遺後之潮位資料，以常見 60 個天文分潮數進行調和分析，各分潮之調和常數(振幅及相位)

分析結果如表 2-1 所列；各分潮振幅大小之變化如圖 2.5 所示，圖中以不同符號分別代表低頻分潮、全日潮、半日分潮、1/3 日分潮及淺水分潮等。由調和分析結果顯示基隆港潮位在全日潮成份上以 K_1 分潮振幅較大，其次為 O_1 分潮振幅；在半日潮成份上則以 M_2 分潮振幅為最大，其次以 N_2 分潮振幅較大， S_2 分潮振幅則次之。如以潮型指標計算 $(O_1+K_1)/(M_2+S_2)$ 之振幅比可得到其值約為 1.231，代表基隆港潮型屬於偏向全日潮之混合潮型。(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)

(2) 龍洞

根據 2008～2011 年中央氣象局龍洞南口遊艇港內潮位站之潮汐逐時觀測資料，經計算其逐月統計之平均潮位(MWL)及最高潮位(HHWL)、平均高潮位(MHWL)、平均低潮位(MLWL)、最低潮位(LLWL)等代表性潮位值，如圖 2.6 所示。2008～2011 年期間龍洞潮位站逐時之最高潮位觀測值為 1.308 m，發生於 2008 年 9 月 28 日 17 時主要受到強烈颱風薔蜜侵臺影響；其次，於 2009 年中度颱風莫拉克侵臺期間，龍洞港潮位亦曾出現 1.213 m 觀測值(8 月 7 日 9 時)。上述龍洞潮位站主要代表性潮位及潮差統計之平均值(2008～2011 年)如下：

最高高潮位(H.H.W.L.)	E.L.+1.308 m
平均高潮位(M.H.W.L.)	E.L.+0.302 m
平均潮位(M.W.L.)	E.L.+0.023 m
平均低潮位(M.L.W.L.)	E.L. -0.238 m
最低低潮位(L.L.W.L.)	E.L. -1.109 m
最大潮位差	1.874 m
平均潮位差	0.845 m

同上，本計畫選取龍洞潮位站 2009~2011 年經調和分析方法補遺後之潮位資料進行調和分析，得到各分潮之調和常數(振幅及相位)分析結果如表 2-2 所列，各分潮振幅大小之分布情形如圖 2.7 所示。由調和分析結果顯示龍洞潮位在全日潮成份上以 K_1 分潮振幅較大，其次為 O_1 分潮振幅；在semi日潮成份上以 M_2 分潮振幅為最大， S_2 分潮振幅次之。以潮型指標計算 $(O_1+K_1)/(M_2+S_2)$ 之振幅比可得到其值約為 1.152，顯示龍洞潮汐型態屬於混合潮型。相較於基隆港潮位調和分析結果得知，龍洞潮位調和分析結果以主要semi日潮成份 S_2 分潮之振幅變大最為顯著，此亦導致龍洞潮位之潮型指標值小於基隆港潮型指標。

(3) 麟山鼻潮位站

根據 2008~2011 年中央氣象局麟山鼻漁港潮位站之逐時潮汐觀測資料，經計算其逐月統計之最高潮位(HHWL)、平均高潮位(MHWL)、平均潮位(MWL)、平均低潮位(MLWL)、最低潮位(LLWL)等代表性潮位值，如圖 2.8 所示。顯示 2008~2011 年期間麟山鼻潮位站逐時最高潮位觀測值為 1.487 m，發生於 2009 年中度颱風莫拉克侵臺期間(8 月 7 日 0 時)。麟山鼻潮位站主要代表性潮位及潮差統計之平均值(2008~2011 年)如下：

最高高潮位(H.H.W.L.)	E.L.+1.487 m
平均高潮位(M.H.W.L.)	E.L.+0.830 m
平均潮位(M.W.L.)	E.L. -0.024 m
平均低潮位(M.L.W.L.)	E.L. -0.735 m
最低低潮位(L.L.W.L.)	E.L. -1.714 m
最大潮位差	2.954 m
平均潮位差	1.930 m

本計畫選取麟山鼻潮位站 2009~2011 年經調和分析方法補遺後之潮位資料進行調和分析，得到各分潮之調和常數(振幅及相位)分析結果如表 2-3 所列，各分潮振幅大小之分布情形如圖 2.9 所示。依據調和分析結果顯示麟山鼻潮位在全日潮成份上仍以 K_1 分潮振幅較大，其次為 O_1 分潮振幅，其振幅大小相較於基隆港與龍洞分析結果僅略微增加；在半月潮成份上則以 M_2 分潮振幅為最大(約為 0.76 m)， S_2 分潮振幅次之。依據表 2-3 分析結果得知麟山鼻潮位之潮型指標 $(O_1+K_1)/(M_2+S_2)$ 振幅比值約為 0.4294，在潮型指標分類上屬於半月潮型。整體而言，麟山鼻潮位站為本島最北端之潮位站，天文潮由太平洋傳播至此，不僅半月潮振幅顯著增大外，受到淺水效應影響部份淺水分潮(如 M_4 及 MS_4 等)之振幅亦有顯著增大之現象發生。

(4) 竹圍潮位站

依據 2008~2011 年中央氣象局竹圍漁港潮位站之逐時潮汐觀測資料，得知其逐月之最高潮位(HHWL)、平均高潮位(MHWL)、平均潮位(MWL)、平均低潮位(MLWL)、最低潮位(LLWL)等代表性潮位值，如圖 2.10 所示。2008~2011 年期間竹圍潮位站逐時最高潮位觀測值為 1.948 m，分別出現於 2008 年 6 月及 2008 年 11 月。竹圍潮位站主要代表性潮位及潮差統計之平均值(2008~2011 年)如下：

最高高潮位(H.H.W.L.)	E.L.+1.948 m
平均高潮位(M.H.W.L.)	E.L.+1.285 m
平均潮位(M.W.L.)	E.L.+0.041 m
平均低潮位(M.L.W.L.)	E.L. -1.160 m
最低低潮位(L.L.W.L.)	E.L. -2.291 m
最大潮位差	4.084 m
平均潮位差	2.851 m

本計畫依據竹圍潮位站 2009~2011 年經調和分析方法補遺後之潮位資料進行調和分析，可得到各分潮之調和常數(振幅及相位)分析結果如表 2-4 所列，各分潮振幅大小之分布情形如圖 2.11 所示。顯示竹圍潮位在全日潮成份上以 K_1 分潮振幅(約為 0.228 m)較大，其次為 O_1 分潮振幅(約為 0.195 m)；在半日潮成份上以 M_2 分潮振幅為最大(約為 1.207 m)， S_2 分潮振幅(約為 0.352 m)次之。另依據表 2-4 分析結果得知竹圍潮位之潮型指標 $(O_1+K_1)/(M_2+S_2)$ 振幅比值約為 0.271，顯示竹圍海域潮位屬於半日潮型。

(5) 外埔潮位站

依據 2008~2011 年中央氣象局外埔漁港潮位站之逐時潮汐觀測資料，得知其逐月之最高潮位(HHWL)、平均高潮位(MHWL)、平均潮位(MWL)、平均低潮位(MLWL)、最低潮位(LLWL)等代表性潮位值，如圖 2.12 所示。由於外埔漁港潮位站在大潮期間潮位觀測明顯受到退潮影響，導致部份退潮時段觀測記錄失真而被移除，受此現象影響上述潮位逐月統計結果在平均低潮位(MLWL)及最低潮位(LLWL)上已失去參考價值。此外，2008~2011 年期間外埔潮位站逐時最高潮位觀測值為 2.933 m，發生於 2011 年 9 月 28 日 11 時；外埔潮位站之主要代表性潮位之統計平均值(2008~2011 年)如下：

最高高潮位(H.H.W.L.)	E.L.+2.933 m
平均高潮位(M.H.W.L.)	E.L.+1.633 m
平均潮位(M.W.L.)	E.L.+0.185 m
平均低潮位(M.L.W.L.)	E.L. -1.476 m
最低低潮位(L.L.W.L.)	E.L. -2.431 m
最大潮位差 ^{*1}	5.267 m
平均潮位差 ^{*1}	3.702 m

基於本計畫採用的調和分析方法並無法有效地將低水位資料補遺，因此本計畫未進一步針對外埔站潮位資料進行天文潮調和分析。

(6) 臺中港潮位站

由於港灣技術研究中心外海水位觀測資料無固定的潮位基準，因此本計畫蒐集 2008~2011 年中央氣象局臺中港 4 號碼頭潮位站(內政部設置)之逐時潮汐觀測資料，計算其逐月之最高潮位(HHWL)、平均高潮位(MHWL)、平均潮位(MWL)、平均低潮位(MLWL)、最低潮位(LLWL)等代表性潮位值，如圖 2.13 所示。2008~2011 年期間臺中港逐時之最高潮位觀測值為 3.075 m，發生於 2011 年 9 月 28 日 11 時。臺中港之主要代表性潮位及潮差之統計平均值(2008~2011 年)如下：

最高高潮位(H.H.W.L.)	E.L.+3.075 m
平均高潮位(M.H.W.L.)	E.L.+1.946 m
平均潮位(M.W.L.)	E.L.+0.137 m
平均低潮位(M.L.W.L.)	E.L. -1.679 m
最低低潮位(L.L.W.L.)	E.L. -3.184 m
最大潮位差	5.753 m
平均潮位差	4.059 m

本計畫依據上述臺中港潮位站 2009~2011 年經調和分析方法補遺後之潮位資料進行調和分析，可得到各分潮之調和常數(振幅及相位)分析結果如表 2-5 所列，各分潮振幅大小之分布情形如圖 2.14 所示。顯示臺中港潮位之全日潮成份以 K_1 分潮振幅(約為 0.254 m)較大，其次為 O_1 分潮振幅(約為 0.219 m)；半日潮成份以 M_2 分潮振幅為最大(約為 1.791 m)， S_2 分潮振幅(約為 0.526 m)次之。另依據表 2-5 分析結果得知臺中港潮位之潮型指標 $(O_1+K_1)/(M_2+S_2)$ 振幅比值約為 0.204，顯示臺中港海域潮汐為典型的半日潮。

(7) 鹿港潮位站

本計畫蒐集國立成功大學水工試驗所 2008~2011 年在鹿港地區之逐時潮汐觀測資料，計算其逐月之最高潮位(HHWL)、平均高潮位(MHWL)、平均潮位(MWL)、平均低潮位(MLWL)、最低潮位(LLWL)等代表性潮位值，如圖 2.15 所示；結果顯示 2008~2011 年期間鹿港海域逐時之最高潮位觀測值為 3.29 m，分別發生於 2011 年 8 月 31 日 0 時及 9 月 28 日 11 時。鹿港海域之主要代表性潮位及潮差之統計平均值(2008~2011 年)如下：

最高高潮位(H.H.W.L.)	E.L.+3.290 m
平均高潮位(M.H.W.L.)	E.L.+2.244 m
平均潮位(M.W.L.)	E.L.+0.360 m
平均低潮位(M.L.W.L.)	E.L. -1.426 m
最低低潮位(L.L.W.L.)	E.L. -2.770 m
最大潮位差	5.630 m
平均潮位差	4.016 m

本計畫依據上述鹿港潮位站 2009~2011 年經調和分析方法補遺後之潮位資料進行調和分析，可得到各分潮之調和常數(振幅及相位)分析結果如表 2-6 所列，各分潮振幅大小之分布情形如圖 2.16 所示。顯示鹿港潮位之全日潮成份以 K_1 分潮振幅(約為 0.263 m)較大，其次為 O_1 分潮振幅(約為 0.227 m)；半日潮成份以 M_2 分潮振幅為最大(約為 1.782 m)， S_2 分潮振幅(約為 0.513 m)次之。相較於臺中港潮位分析結果顯示，鹿港潮位之全日潮分潮 K_1 及 O_1 振幅略增，但半日潮分潮 M_2 及 S_2 振幅則略減。依據表 2-6 分析結果計算鹿港潮位之潮型指標值約為 0.213，略大於臺中港海域之潮型指標值，亦為典型之半日潮型。

(8) 箔子寮潮位站

依據 2008~2011 年中央氣象局箔子寮漁港潮位站之逐時潮汐觀測資料，得知其逐月之最高潮位(HHWL)、平均高潮位(MHWL)、平均潮位(MWL)、平均低潮位(MLWL)、最低潮位(LLWL)等代表性潮位值，如圖 2.17 所示。2008~2011 年期間箔子寮漁港逐時之最高潮位觀測值為 2.488 m，發生於 2011 年 8 月 29 日 11 時。不同於前述外埔潮位站因大潮低潮位資料無法量測而失真，箔子寮漁港潮位站潮位觀測資料則呈現出高潮位資料失真現象，而此一現象直至 2011 年始有改善。因此本計畫僅以 2011 年潮位資料統計箔子寮潮位站之主要代表性潮位及潮差之平均值如下：

最高高潮位(H.H.W.L.)	E.L.+2.488 m
平均高潮位(M.H.W.L.)	E.L.+1.627 m
平均潮位(M.W.L.)	E.L.+0.483 m
平均低潮位(M.L.W.L.)	E.L. -0.520 m
最低低潮位(L.L.W.L.)	E.L. -1.355 m
最大潮位差	3.540 m
平均潮位差	2.531 m

本計畫依據上述箔子寮潮位站 2011 年經調和分析方法補遺後之潮位資料進行調和分析，可得到各分潮之調和常數(振幅及相位)分析結果如表 2-7 所列，各分潮振幅大小之分布情形如圖 2.18 所示。顯示箔子寮潮位之全日潮 K_1 分潮振幅約為 0.226 m， O_1 分潮振幅約為 0.191 m；半日潮 M_2 分潮振幅約為 1.056 m， S_2 分潮振幅約為 0.278 m。依據表 2-7 分析結果計算箔子寮潮位之潮型指標值約為 0.313，因此箔子寮海域潮汐型態屬於半日潮型。

(9) 東石潮位站

依據 2008~2011 年中央氣象局東石漁港潮位站之逐時潮汐觀測資料，得知其逐月之最高潮位(HHWL)、平均高潮位(MHWL)、平均潮位(MWL)、平均低潮位(MLWL)、最低潮位(LLWL)等代表性潮位值，如圖 2.19 所示。2008~2011 年期間東石漁港逐時之最高潮位觀測值為 2.154 m，發生於 2011 年 8 月 29 日 11 時。東石潮位站之主要代表性潮位及潮差之統計平均值(2008~2011 年)如下：

最高高潮位(H.H.W.L.)	E.L.+2.154 m
平均高潮位(M.H.W.L.)	E.L.+1.175 m
平均潮位(M.W.L.)	E.L.+0.438 m
平均低潮位(M.L.W.L.)	E.L. -0.215 m
最低低潮位(L.L.W.L.)	E.L. -1.171 m
最大潮位差	2.722 m
平均潮位差	1.765 m

同上述箔子寮潮位站，本計畫選取東石潮位站 2011 年經調和分析方法補遺後之潮位資料進行調和分析，可得到各分潮之調和常數(振幅及相位)分析結果如表 2-8 所列，各分潮振幅大小之分布情形如圖 2.20 所示。依據調和分析結果得知東石潮位之全日潮 K_1 分潮振幅約為 0.207 m， O_1 分潮振幅約為 0.180 m；半日潮 M_2 分潮振幅約為 0.675 m)， S_2 分潮振幅約為 0.161 m。同理，依據表 2-8 分析結果計算東石潮位之潮型指標值約為 0.463，因此東石海域潮汐型態雖仍屬於半日潮型，但已偏向混合潮型。

(10) 將軍潮位站

依據 2008~2011 年中央氣象局將軍漁港潮位站之逐時潮汐觀測資料，得知其逐月之最高潮位(HHWL)、平均高潮位(MHWL)、平均潮位(MWL)、平均低潮位(MLWL)、最低潮位(LLWL)等代表性潮位值，如圖 2.21 所示。2008~2011 年期間將軍漁港逐時之最高潮位觀測值為 1.522 m，發生於 2011 年 8 月 29 日 10 時。將軍潮位站之主要代表性潮位及潮差之統計平均值(2008~2011 年)如下：

最高高潮位(H.H.W.L.)	E.L.+1.522 m
平均高潮位(M.H.W.L.)	E.L.+0.885 m
平均潮位(M.W.L.)	E.L.+0.328 m
平均低潮位(M.L.W.L.)	E.L. -0.173 m
最低低潮位(L.L.W.L.)	E.L. -1.005 m
最大潮位差	2.199 m
平均潮位差	1.419 m

同上述箔子寮及東石等潮位站，本計畫選取將軍潮位站 2011 年經調和分析方法補遺後之潮位資料進行調和分析，可得到各分潮之調和常數(振幅及相位)分析結果如表 2-9 所列，各分潮振幅大小之分布情形如圖 2.22 所示。依據調和分析結果得知將軍潮位之全日潮 K_1 分潮振幅約為 0.208 m， O_1 分潮振幅約為 0.181 m；半日潮 M_2 分潮振幅約為 0.517 m)， S_2 分潮振幅約為 0.112 m。同理，依據表 2-9 分析結果計算將軍潮位之潮型指標值約為 0.617，因此將軍海域潮汐型態偏向半日潮之混合潮型。

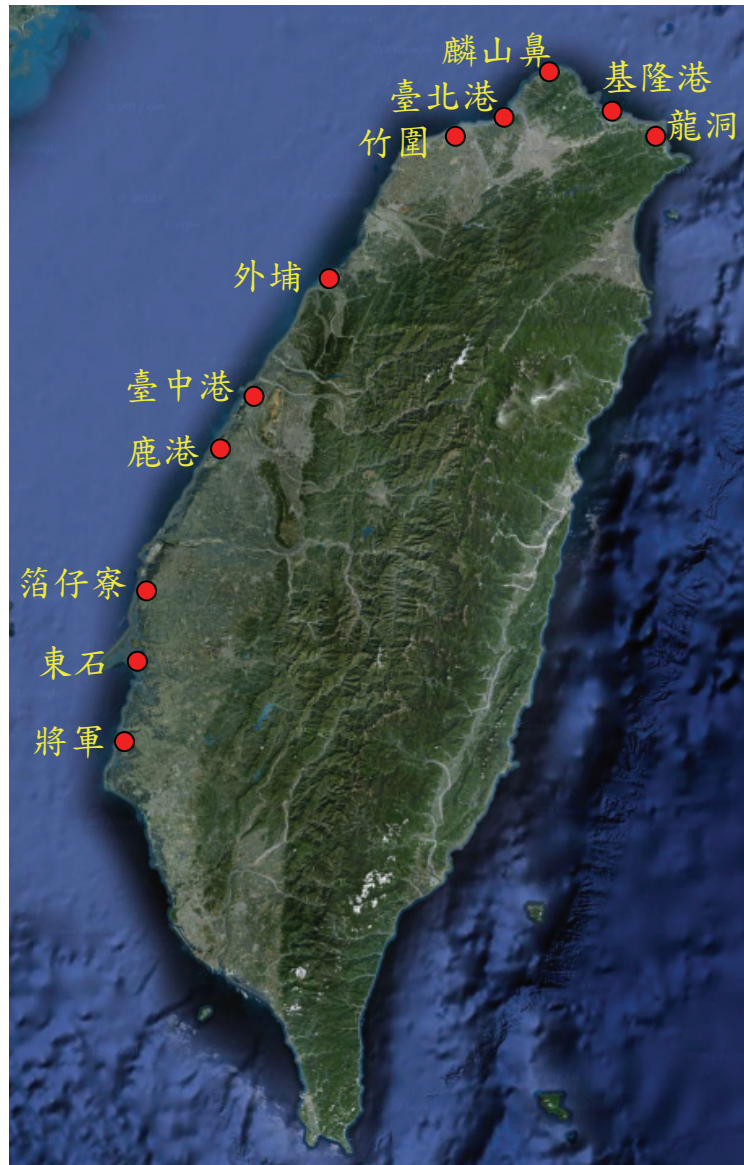


圖 2.3 本年度潮位資料蒐集之潮位站位置示意圖

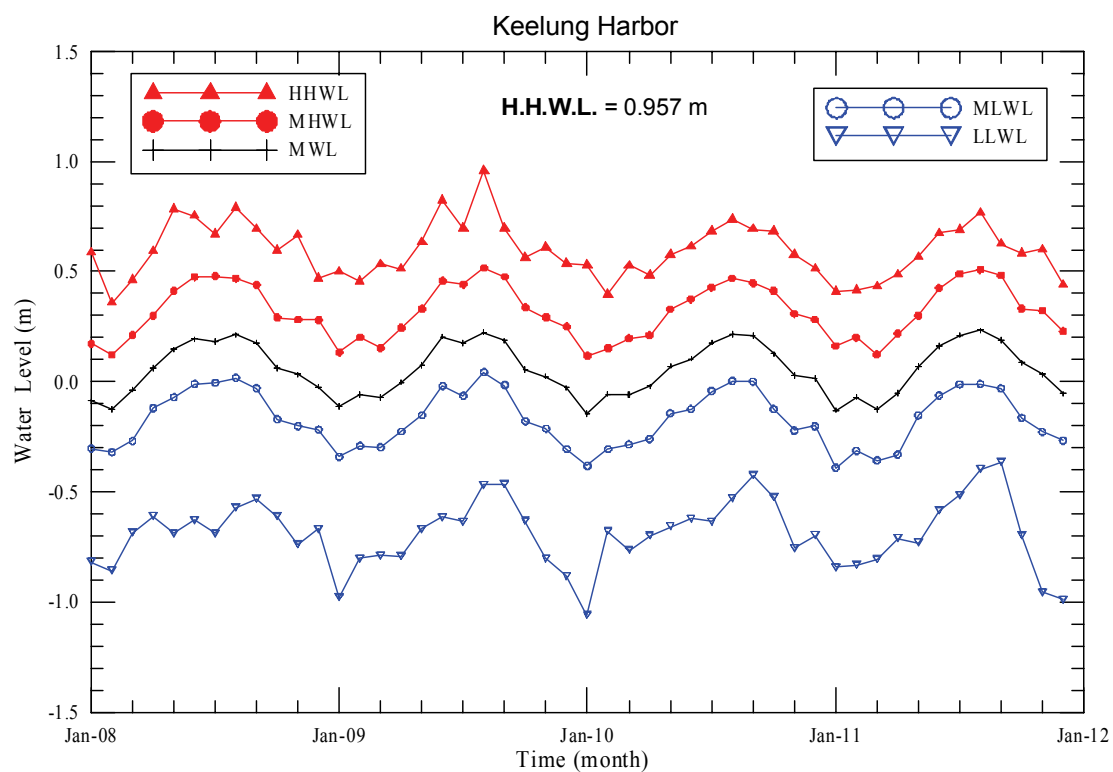


圖 2.4 基隆港 2008~2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖

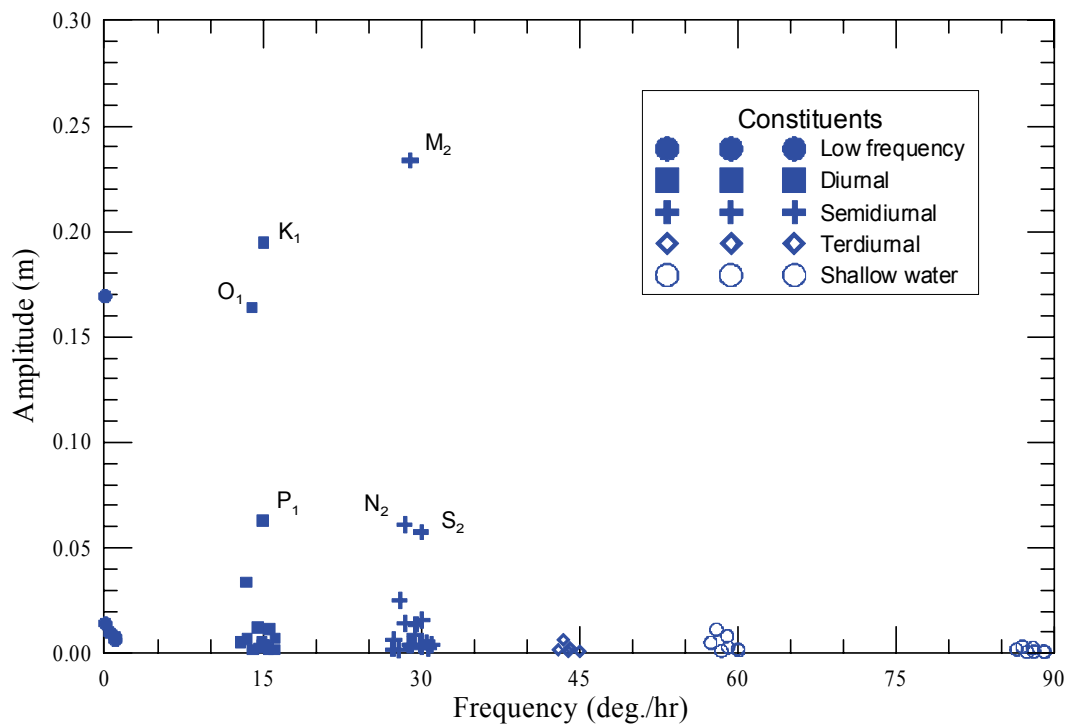


圖 2.5 基隆港潮位(2009~2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖

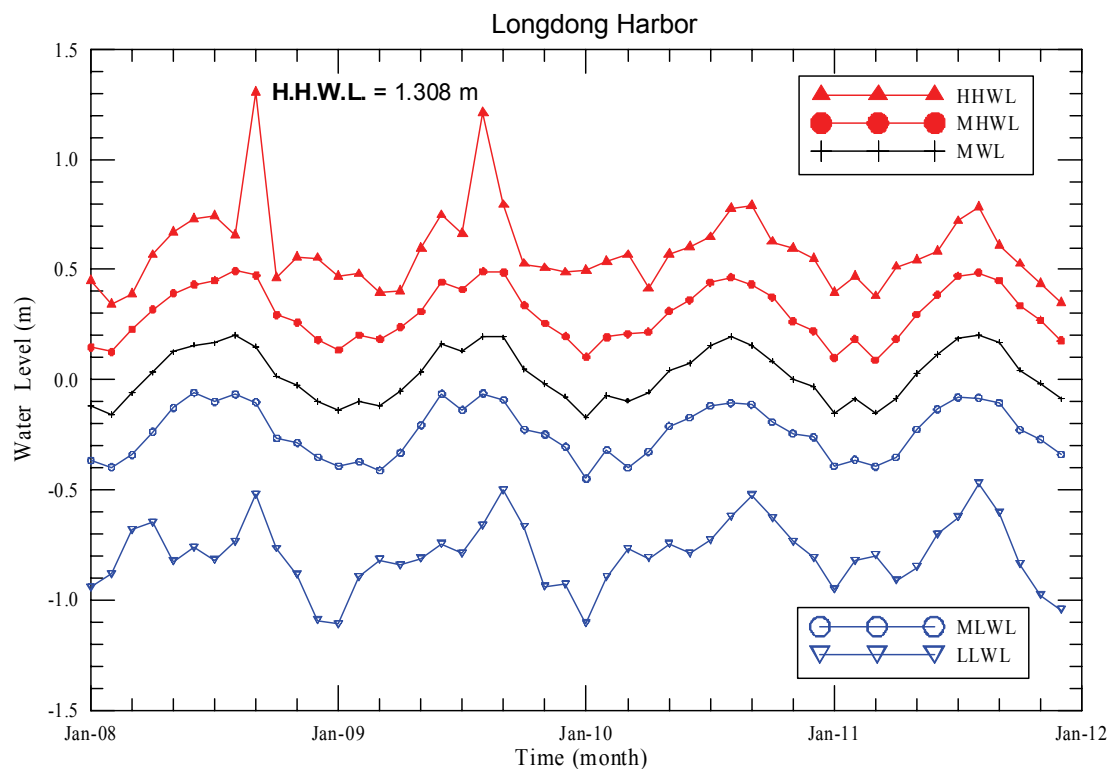


圖 2.6 龍洞 2008~2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖

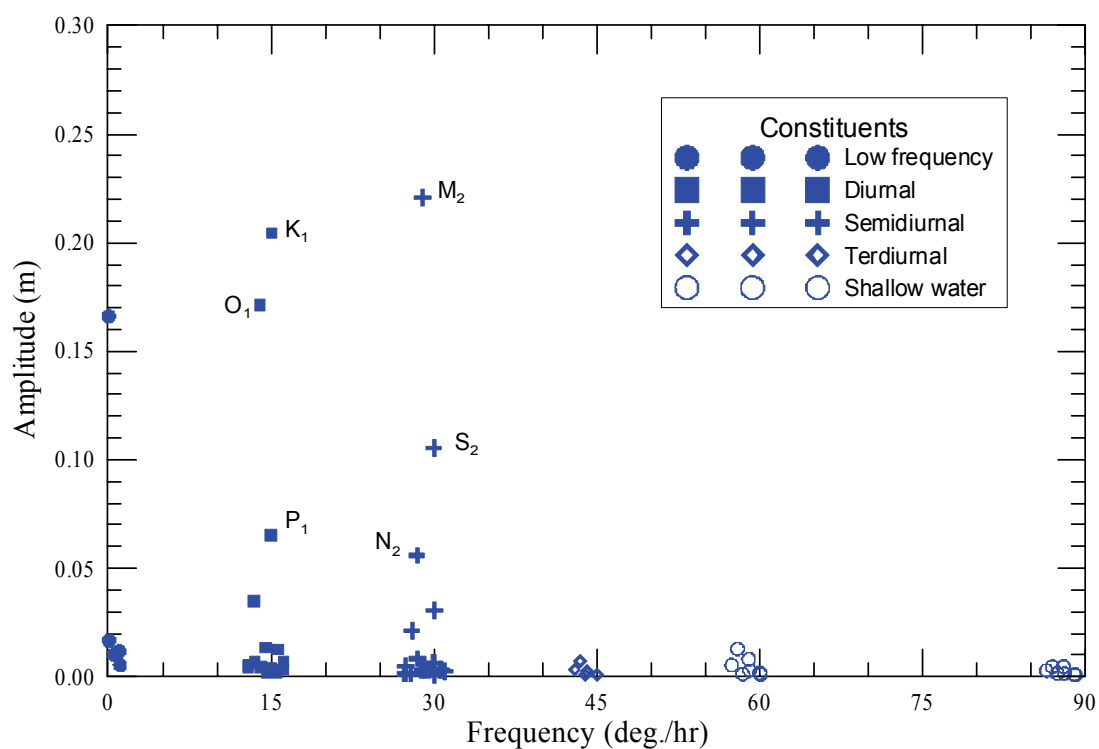


圖 2.7 龍洞潮位(2009~2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖

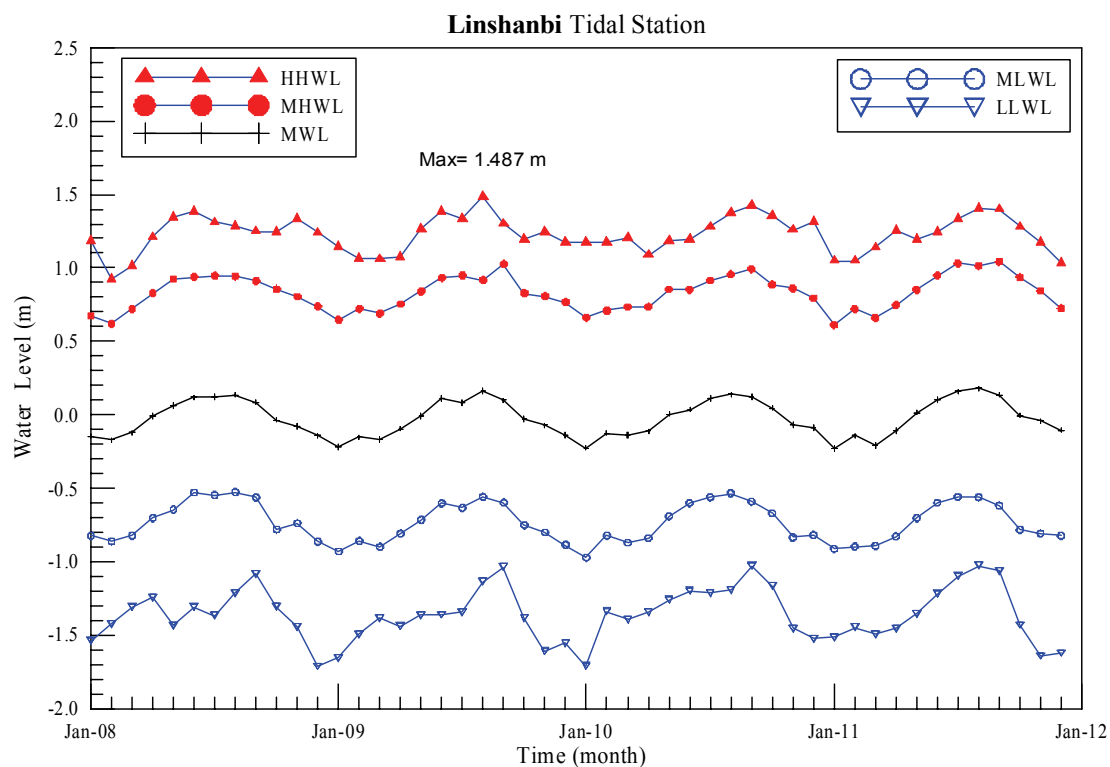


圖 2.8 麟山鼻潮位站 2008~2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖

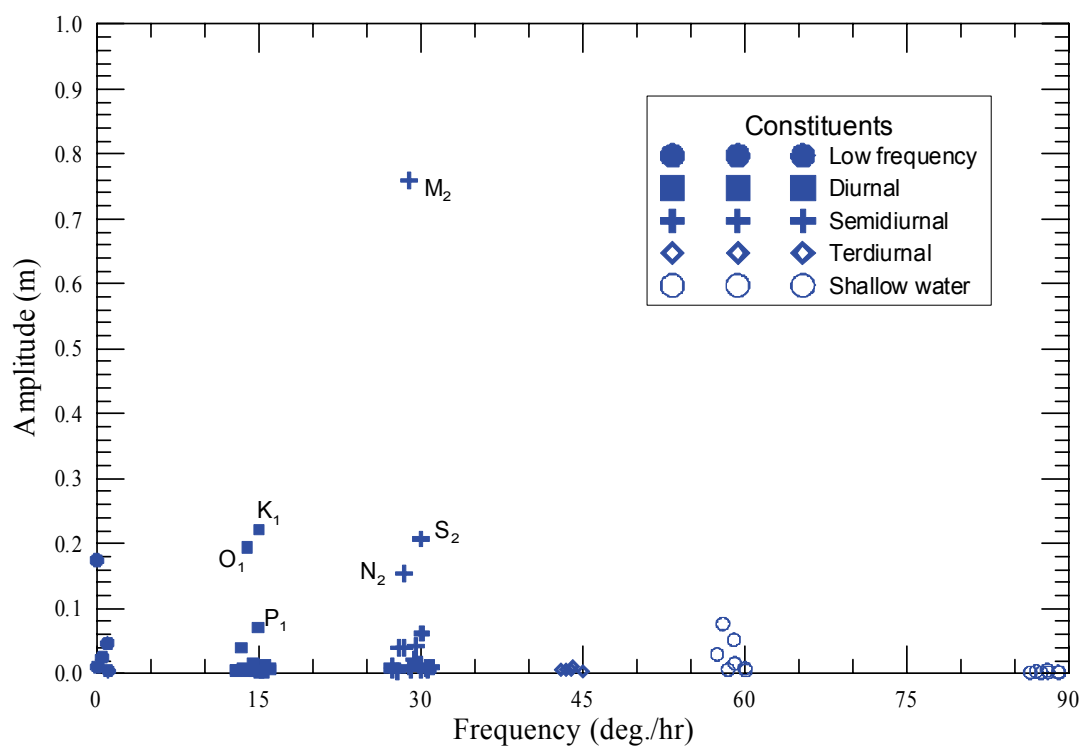


圖 2.9 麟山鼻潮位(2009~2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖

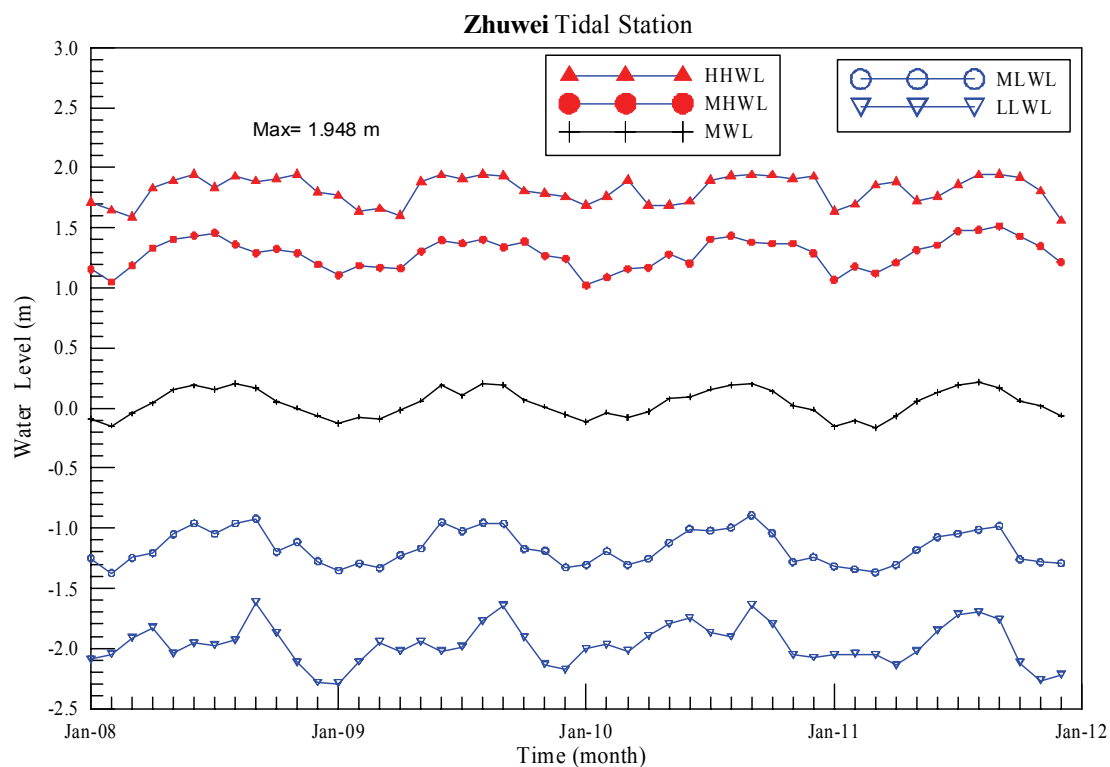


圖 2.10 竹圍潮位站 2008~2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖

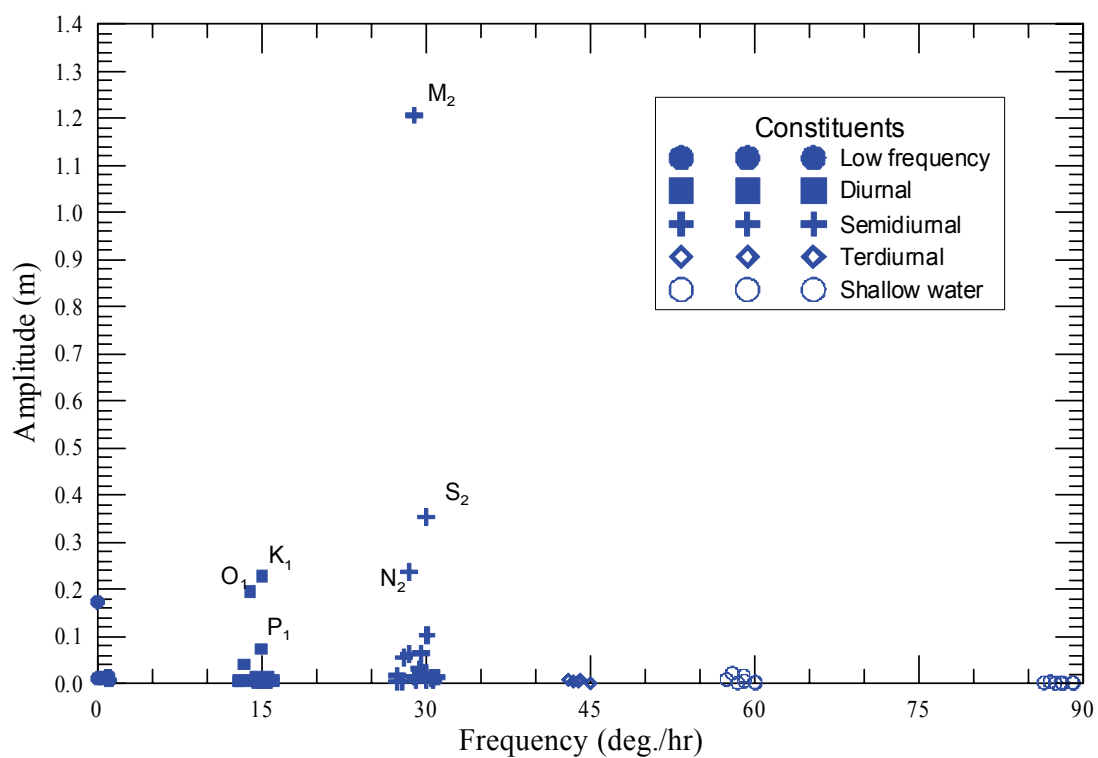


圖 2.11 竹圍潮位(2009~2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖

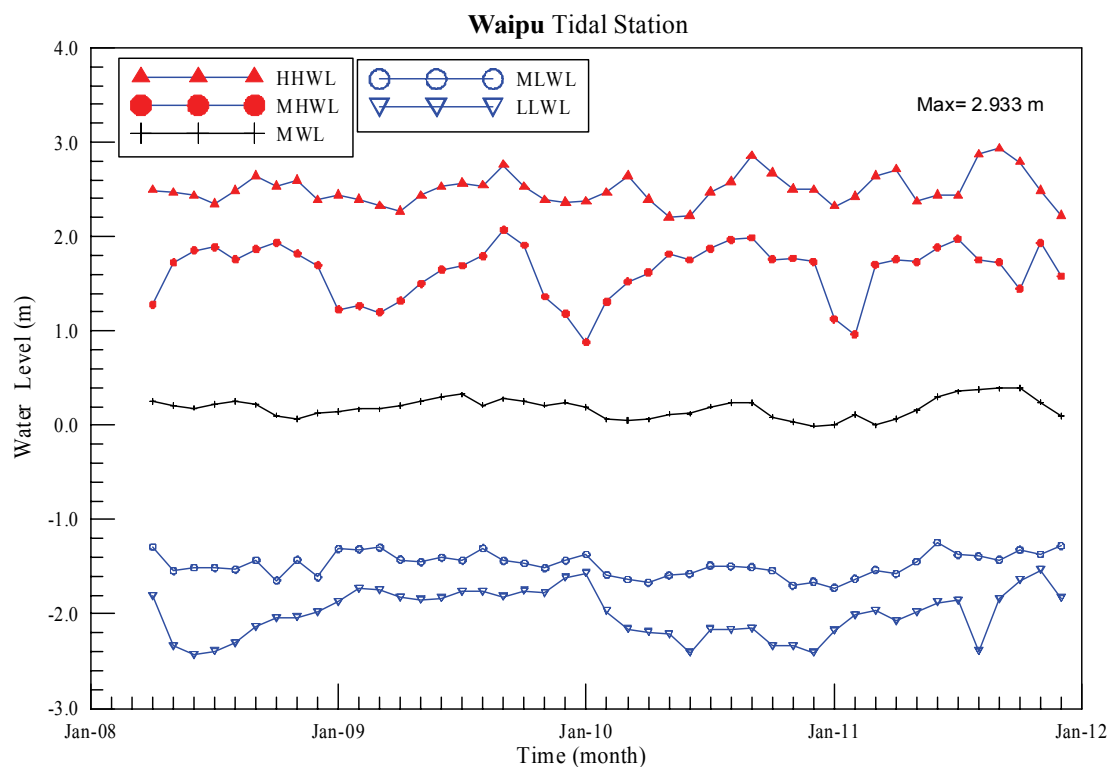


圖 2.12 外埔潮位站 2008~2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖

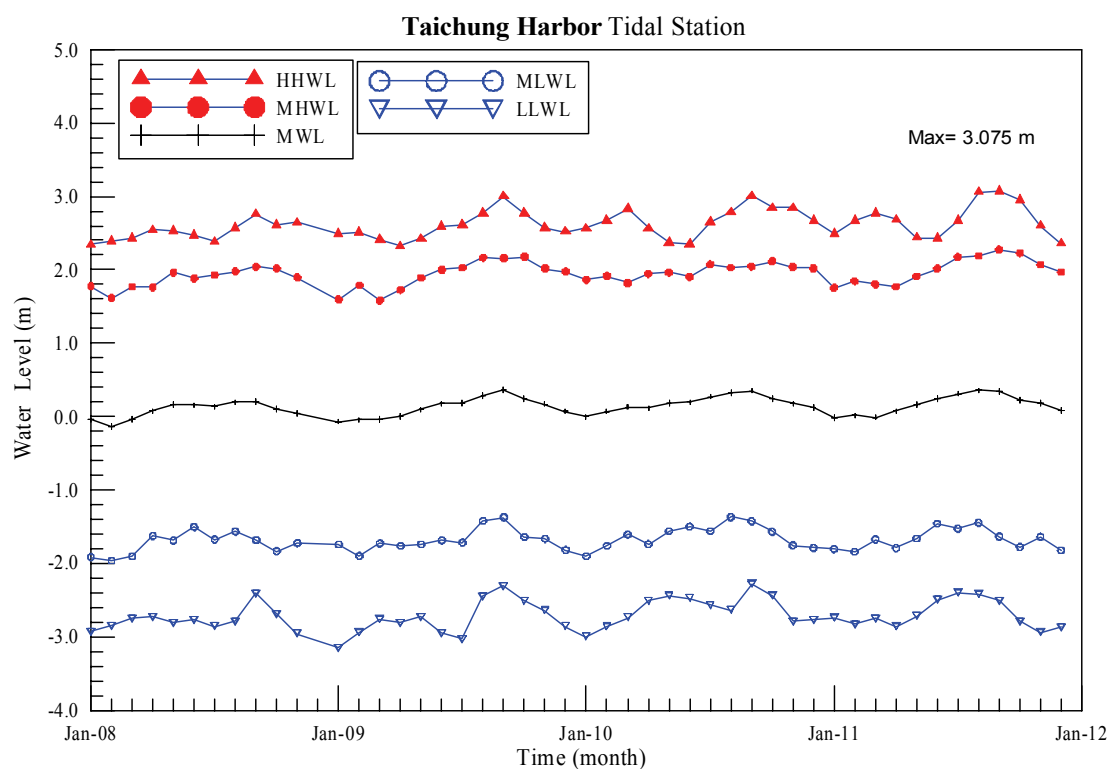


圖 2.13 臺中港潮位站 2008~2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖

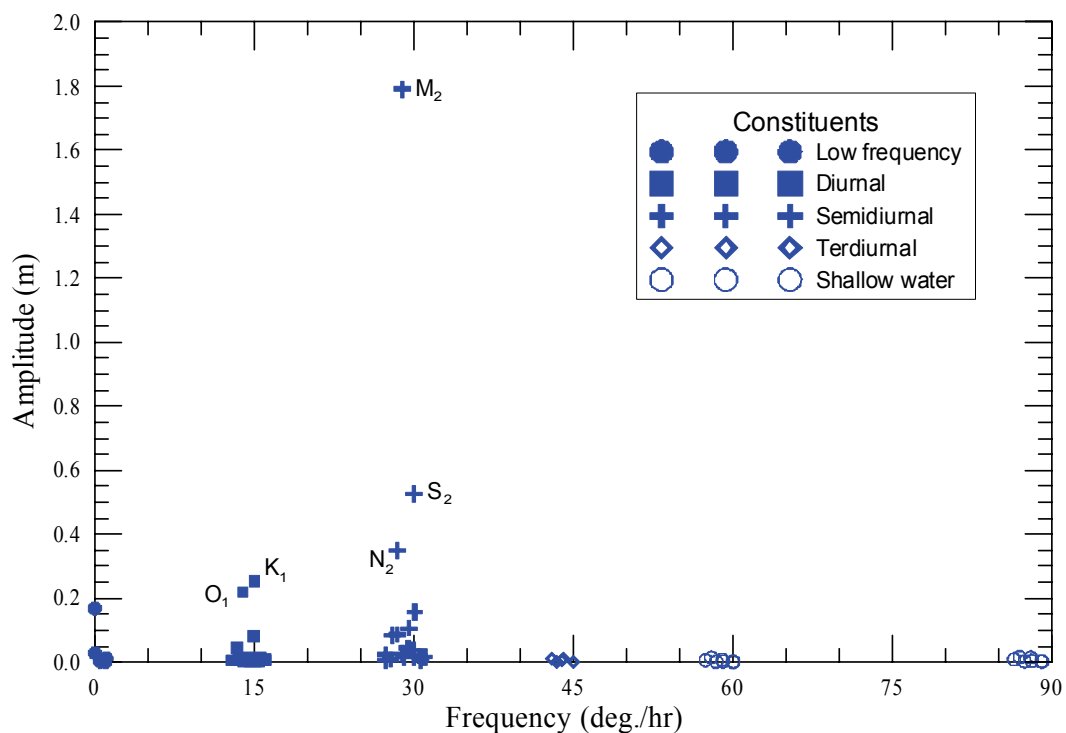


圖 2.14 臺中港潮位(2009~2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖

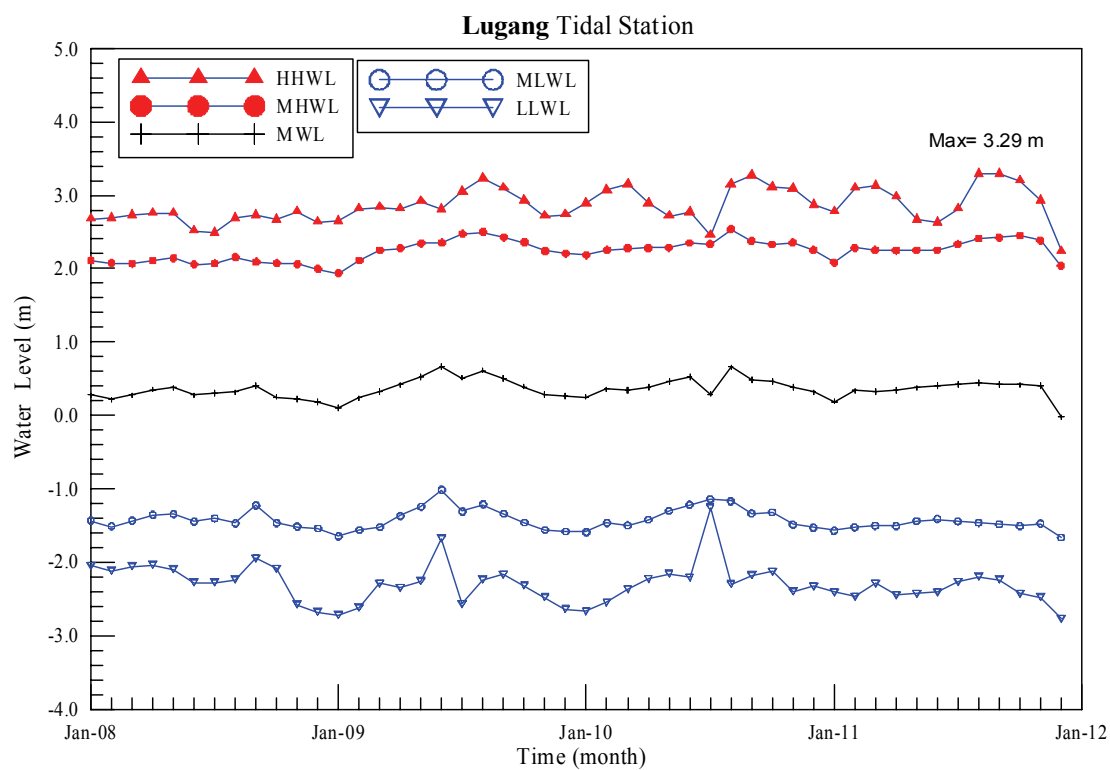


圖 2.15 鹿港潮位站 2008~2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖

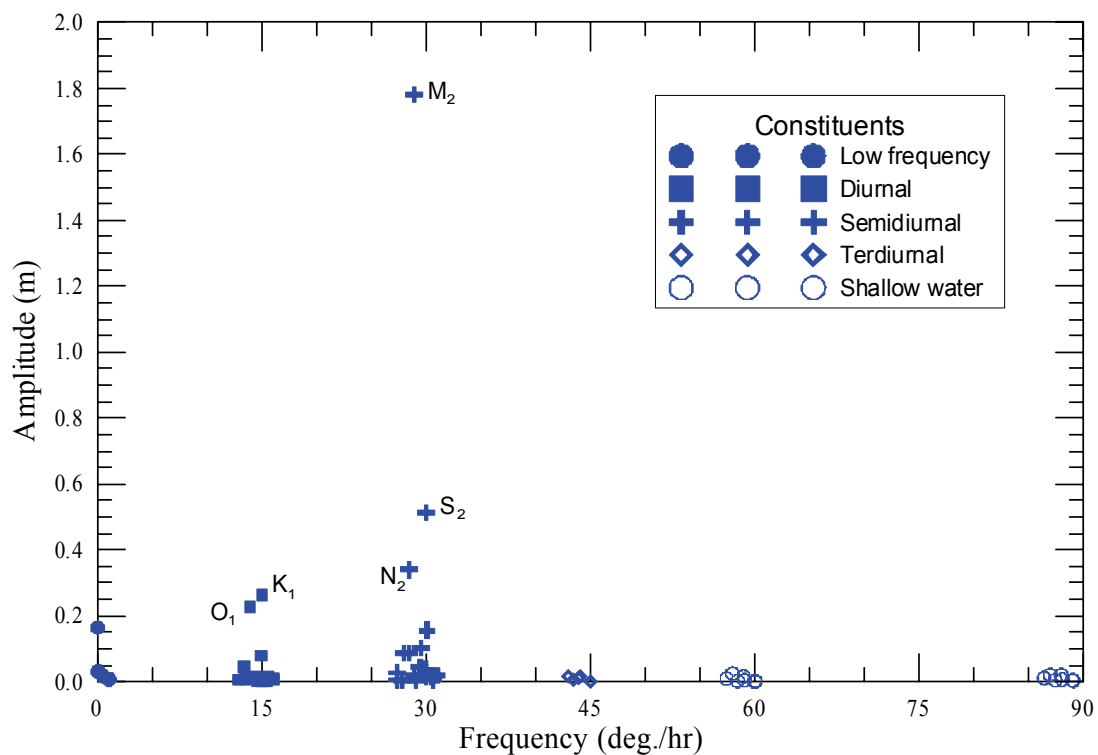


圖 2.16 鹿港潮位(2009~2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖

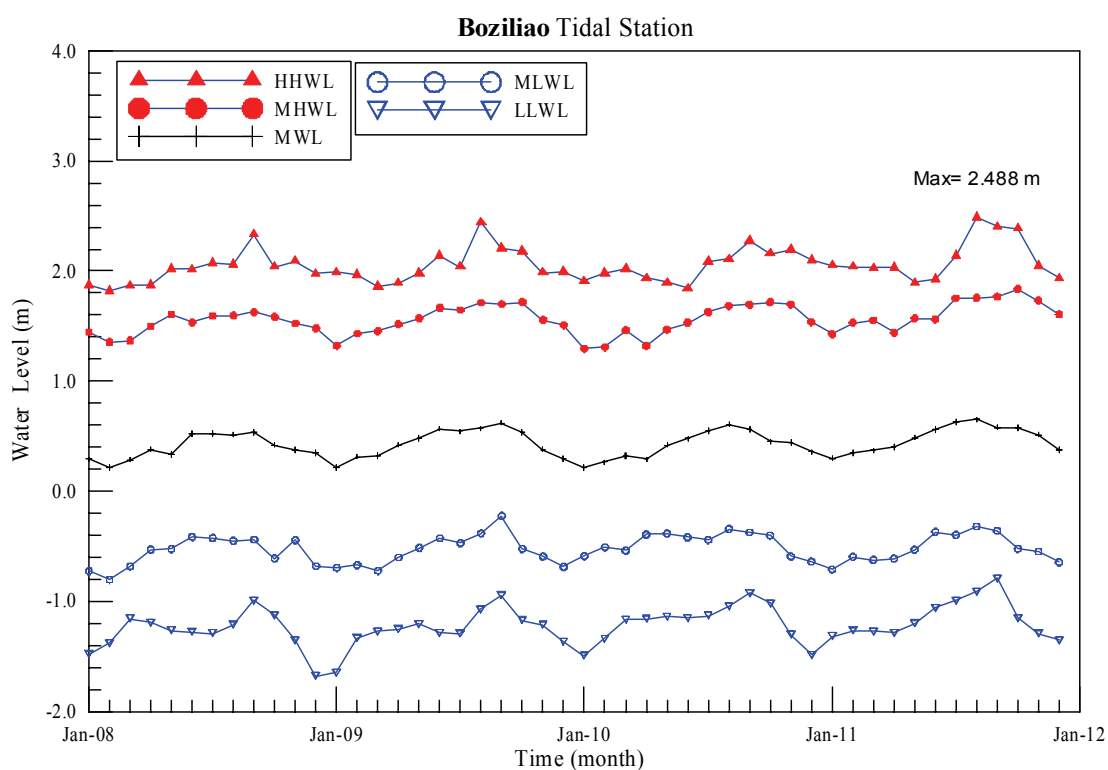


圖 2.17 箔子寮潮位站 2008~2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖

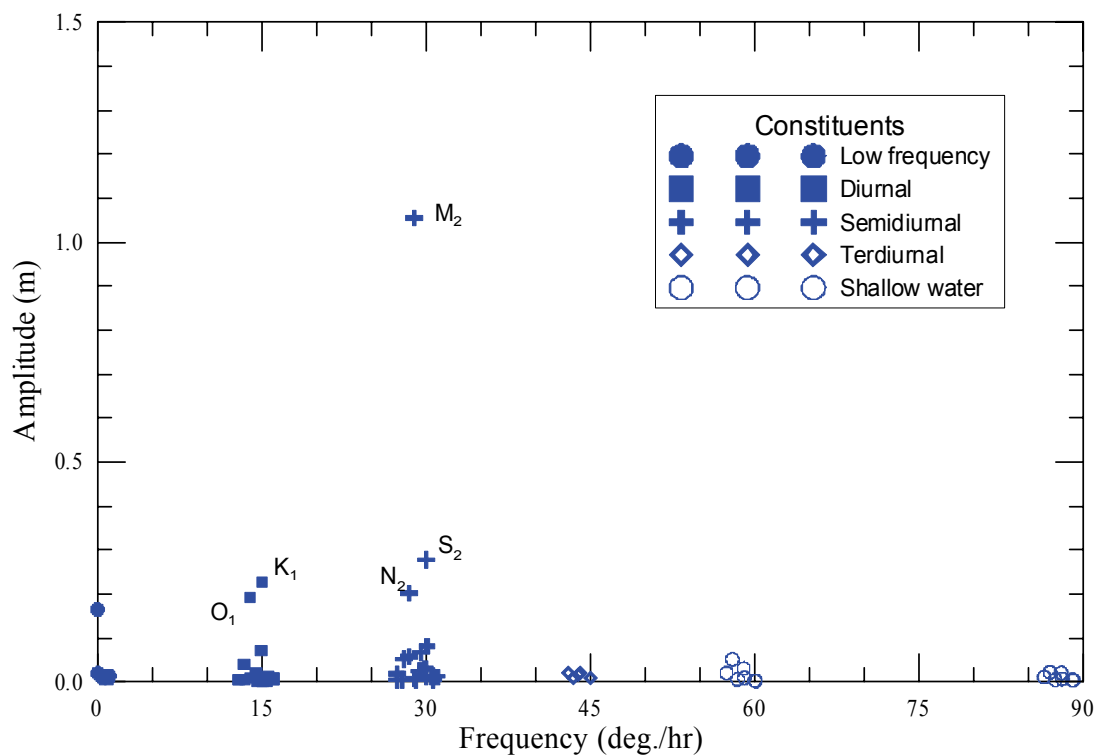


圖 2.18 箔子寮潮位(2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖

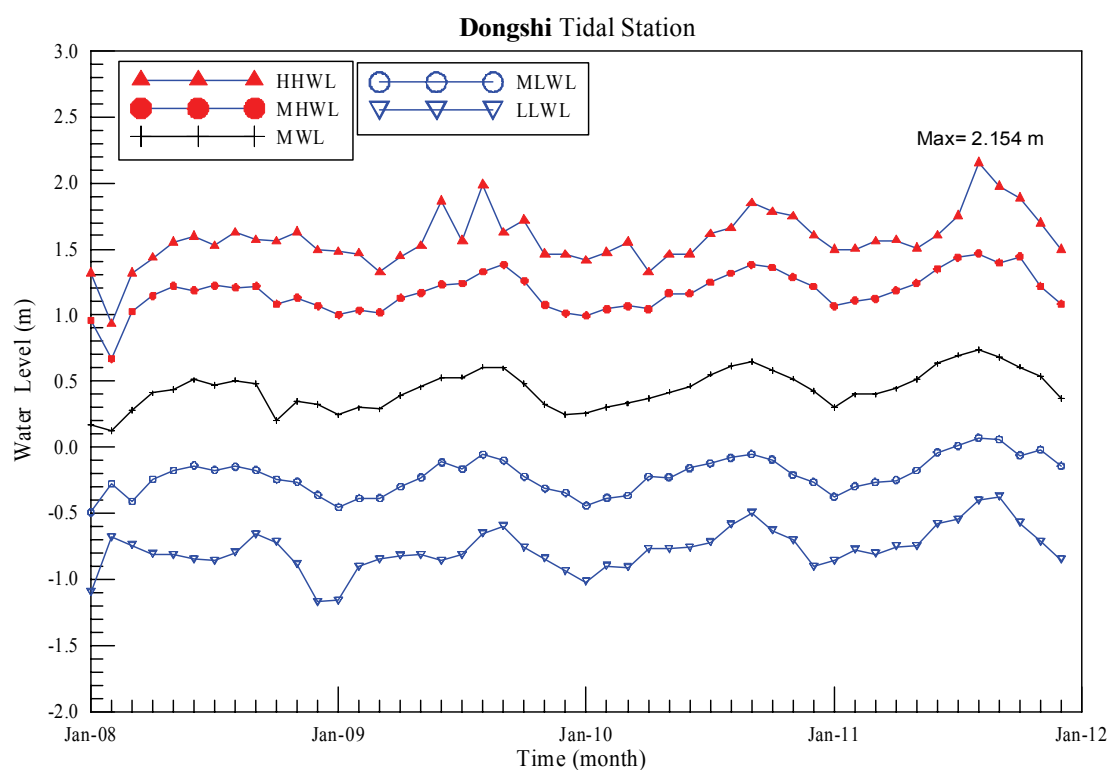


圖 2.19 東石潮位站 2008~2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖

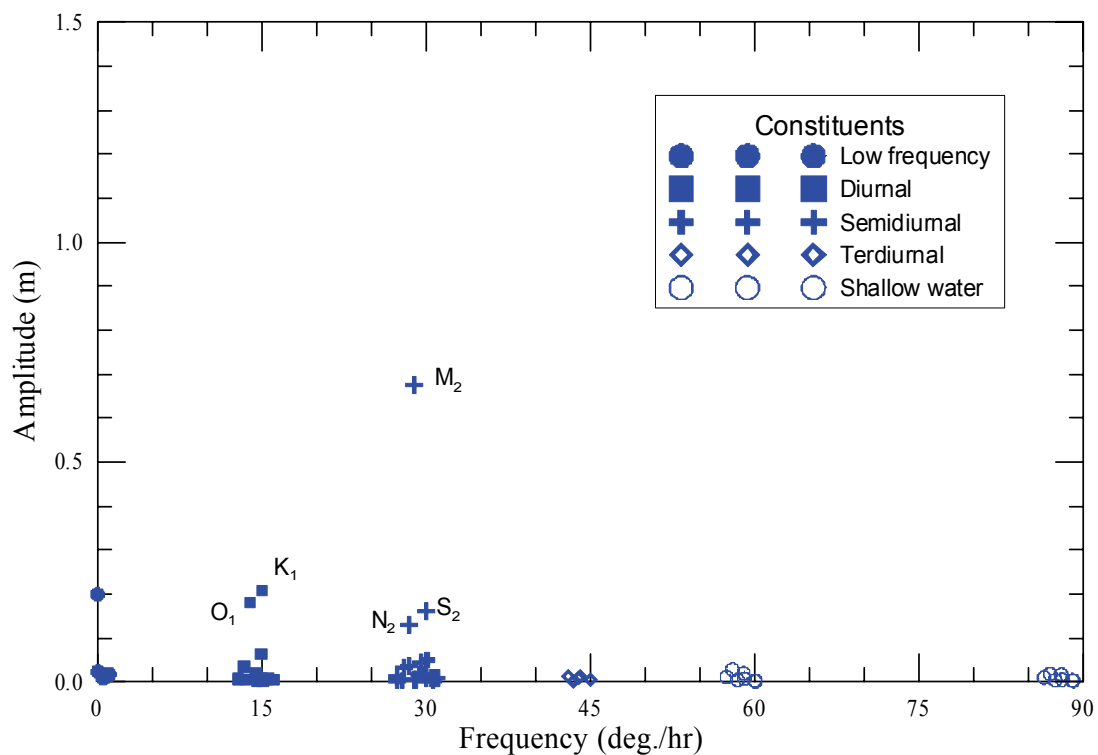


圖 2.20 東石潮位(2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖

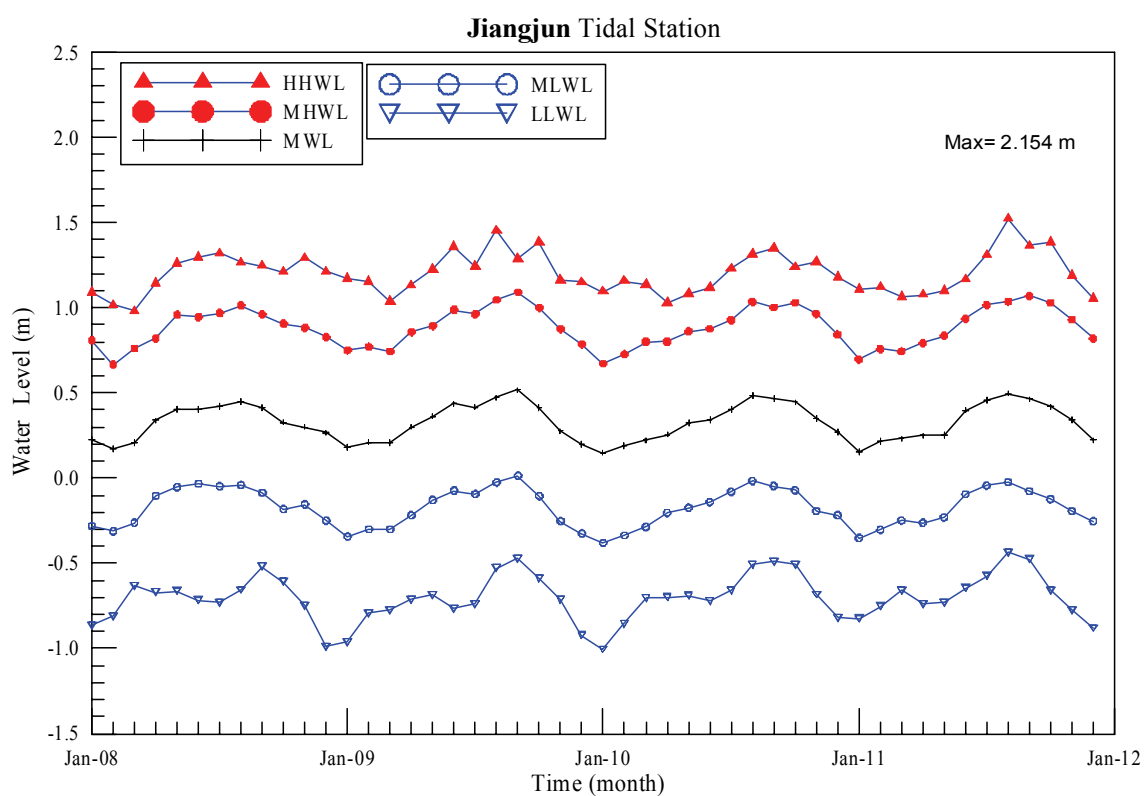


圖 2.21 將軍潮位站 2008~2011 年主要代表性潮位逐月統計值圖

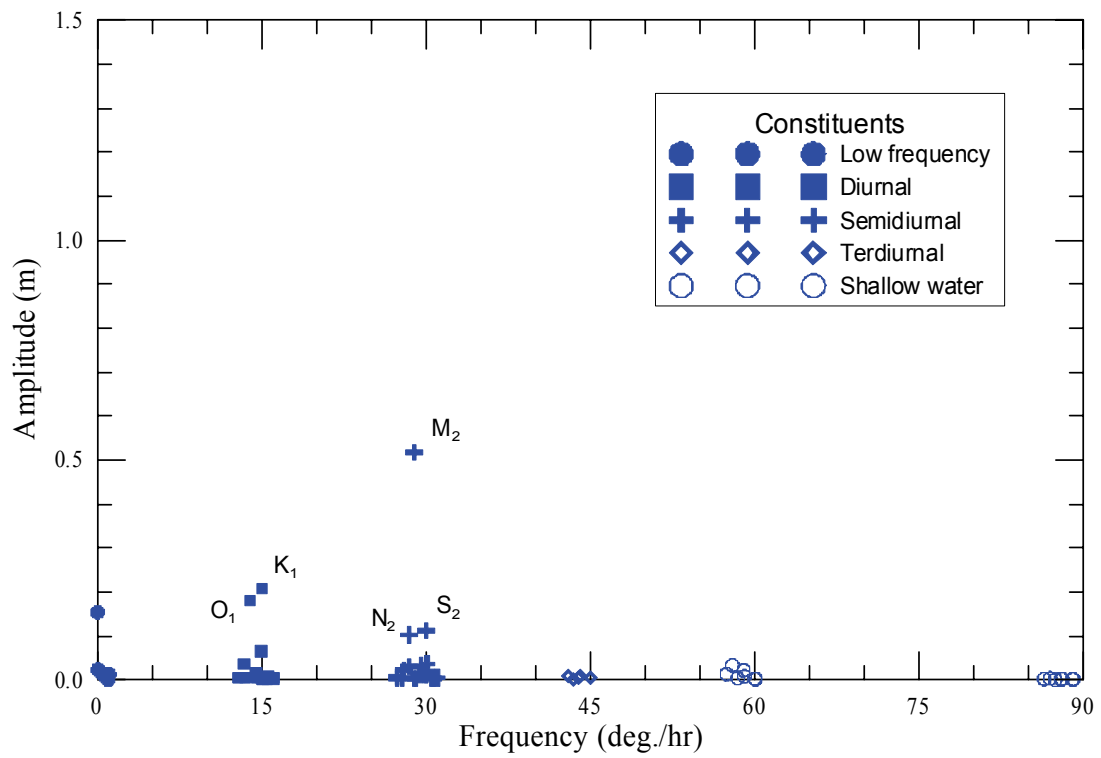


圖 2.22 將軍潮位(2011 年)調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖

表 2-1 基隆港驗潮站 2009-2011 年潮汐資料調和分析成果表

序 號	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)	序 號	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)
1	M2	28.98410	0.2338	84.145	31	OP2	28.90197	0.0040	213.052
2	K1	15.04107	0.1947	224.105	32	2SM2	31.01590	0.0040	176.980
3	SA	0.04107	0.1692	36.175	33	S1	15.00000	0.0039	76.222
4	O1	13.94304	0.1639	6.387	34	T2	29.95893	0.0039	127.352
5	P1	14.95893	0.0629	249.016	35	MKS2	29.06624	0.0038	105.131
6	N2	28.43973	0.0609	252.617	36	VII	15.12321	0.0037	350.897
7	S2	30.00000	0.0576	311.646	37	PHI1	15.08214	0.0036	136.112
8	Q1	13.39866	0.0339	186.858	38	M6	86.95232	0.0032	17.064
9	MU2	27.96820	0.0252	66.452	39	R2	30.04107	0.0030	208.591
10	K2	30.08214	0.0158	88.626	40	MK4	59.06624	0.0028	269.579
11	NU2	28.51258	0.0144	18.686	41	2MS6	87.96821	0.0025	320.506
12	SAA	0.08214	0.0140	88.495	42	KI1	14.56955	0.0024	153.192
13	L2	29.52848	0.0138	161.510	43	KJ2	30.62651	0.0023	246.741
14	M1	14.49203	0.0123	34.929	44	MK3	44.02517	0.0022	71.547
15	J1	15.58544	0.0116	41.572	45	MO2	42.92714	0.0020	299.527
16	M4	57.96821	0.0112	253.160	46	THE1	15.51259	0.0020	303.680
17	MM	0.54437	0.0097	22.656	47	OQ2	27.34170	0.0019	66.994
18	LAM2	29.45563	0.0087	52.158	48	S4	60.00000	0.0019	47.731
19	MS4	58.98410	0.0081	141.867	49	SO1	16.05696	0.0018	166.451
20	OO1	16.13910	0.0072	273.541	50	MP1	14.02517	0.0018	286.527
21	MF	1.09803	0.0072	53.506	51	2N2	27.85935	0.0018	77.445
22	RO1	13.47151	0.0067	293.287	52	2MN6	86.40794	0.0018	181.242
23	MNS2	27.42383	0.0065	225.832	53	SK4	60.08214	0.0014	166.705
24	MSF	1.01590	0.0063	65.434	54	SK3	45.04107	0.0013	337.388
25	M3	43.47616	0.0063	234.130	55	SN4	58.43973	0.0011	305.355
26	2Q1	12.85429	0.0056	3.480	56	SO3	43.94304	0.0010	133.859
27	PI1	14.91786	0.0056	67.958	57	2SM6	88.98411	0.0009	279.925
28	SGM1	12.92714	0.0051	113.732	58	2MK6	88.05035	0.0008	65.860
29	MSN2	30.54437	0.0051	79.206	59	MSN6	87.42384	0.0006	165.277
30	MN4	57.42383	0.0050	73.898	60	MSK6	89.06624	0.0006	20.226
平均潮位=0.0541 m									
調和分析原點資料時間： 2010/7/2 11:00:00									

表 2-2 龍洞驗潮站 2009-2011 年潮汐資料調和分析成果表

序 號	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)	序 號	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)
1	M2	28.98410	0.2209	17.286	31	PI1	14.91786	0.0040	80.617
2	K1	15.04107	0.2046	218.685	32	PHI1	15.08214	0.0038	176.486
3	O1	13.94304	0.1714	0.991	33	LAM2	29.45563	0.0036	52.620
4	SA	0.04107	0.1660	37.570	34	SO1	16.05696	0.0034	145.769
5	S2	30.00000	0.1056	256.820	35	OP2	28.90197	0.0034	181.717
6	P1	14.95893	0.0654	243.648	36	KJ2	30.62651	0.0033	206.427
7	N2	28.43973	0.0560	204.897	37	MSN2	30.54437	0.0030	78.029
8	Q1	13.39866	0.0347	182.096	38	MO2	42.92714	0.0030	274.829
9	K2	30.08214	0.0305	32.696	39	MKS2	29.06624	0.0029	177.241
10	MU2	27.96820	0.0214	78.252	40	MK4	59.06624	0.0028	287.499
11	SAA	0.08214	0.0165	84.884	41	2MN6	86.40794	0.0028	196.030
12	M1	14.49203	0.0135	32.938	42	L2	29.52848	0.0028	166.516
13	J1	15.58544	0.0128	32.564	43	MK3	44.02517	0.0026	103.507
14	M4	57.96821	0.0127	264.110	44	2SM2	31.01590	0.0026	175.543
15	MSF	1.01590	0.0118	75.253	45	S1	15.00000	0.0025	93.390
16	MM	0.54437	0.0102	17.885	46	VI1	15.12321	0.0024	351.537
17	NU2	28.51258	0.0083	327.708	47	THE1	15.51259	0.0021	283.517
18	MS4	58.98410	0.0081	153.938	48	KI1	14.56955	0.0020	124.949
19	OO1	16.13910	0.0073	265.514	49	S4	60.00000	0.0017	48.299
20	M3	43.47616	0.0072	244.963	50	MSN6	87.42384	0.0016	100.750
21	RO1	13.47151	0.0069	279.631	51	2MK6	88.05035	0.0015	65.946
22	T2	29.95893	0.0064	56.503	52	OQ2	27.34170	0.0015	84.304
23	MF	1.09803	0.0054	42.495	53	SK3	45.04107	0.0013	357.982
24	MN4	57.42383	0.0053	81.105	54	2N2	27.85935	0.0013	28.376
25	2Q1	12.85429	0.0050	358.413	55	SN4	58.43973	0.0012	309.916
26	MNS2	27.42383	0.0048	251.488	56	SK4	60.08214	0.0011	184.077
27	2MS6	87.96821	0.0046	301.527	57	2SM6	88.98411	0.0010	217.252
28	M6	86.95232	0.0046	24.246	58	SO3	43.94304	0.0010	129.881
29	SGM1	12.92714	0.0045	111.175	59	R2	30.04107	0.0009	318.095
30	MP1	14.02517	0.0043	312.097	60	MSK6	89.06624	0.0008	337.420
平均潮位=0.0214 m									
調和分析原點資料時間： 2010/7/2 11:00:00									

表 2-3 麟山鼻驗潮站 2009-2011 年潮汐資料調和分析成果表

序 號	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)	序 號	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)
1	M2	28.98410	0.7593	115.288	31	S4	60.00000	0.0076	3.072
2	K1	15.04107	0.2215	236.482	32	M3	43.47616	0.0066	206.484
3	S2	30.00000	0.2075	16.726	33	SO1	16.05696	0.0063	172.420
4	O1	13.94304	0.1936	17.161	34	PI1	14.91786	0.0061	74.412
5	SA	0.04107	0.1741	34.499	35	2Q1	12.85429	0.0060	8.230
6	N2	28.43973	0.1546	285.111	36	R2	30.04107	0.0057	232.166
7	M4	57.96821	0.0761	205.363	37	SN4	58.43973	0.0056	268.667
8	P1	14.95893	0.0707	261.614	38	MO2	42.92714	0.0055	180.511
9	K2	30.08214	0.0613	157.212	39	SO3	43.94304	0.0054	56.600
10	MS4	58.98410	0.0515	108.735	40	2MS6	87.96821	0.0051	23.431
11	MSF	1.01590	0.0461	80.194	41	MKS2	29.06624	0.0050	84.728
12	L2	29.52848	0.0421	149.221	42	MP1	14.02517	0.0049	11.775
13	Q1	13.39866	0.0400	196.324	43	SK4	60.08214	0.0046	142.145
14	NU2	28.51258	0.0398	38.039	44	PHI1	15.08214	0.0045	174.156
15	MU2	27.96820	0.0393	42.521	45	OQ2	27.3417	0.0044	74.822
16	MN4	57.42383	0.0292	18.605	46	SGM1	12.92714	0.0043	132.412
17	MM	0.54438	0.0247	6.116	47	MF	1.09803	0.0042	194.653
18	LAM2	29.45563	0.0211	47.052	48	KJ2	30.62651	0.0040	298.744
19	MK4	59.06624	0.0152	247.543	49	VII	15.12321	0.0037	9.142
20	M1	14.49203	0.0147	49.706	50	2N2	27.85935	0.0033	95.604
21	T2	29.95893	0.0138	195.180	51	M6	86.95232	0.0030	102.265
22	J1	15.58544	0.0136	54.562	52	KI1	14.56955	0.0027	164.892
23	MNS2	27.42383	0.0117	202.252	53	SK3	45.04107	0.0027	291.923
24	SAA	0.08214	0.0102	82.617	54	S1	15.00000	0.0020	88.460
25	OP2	28.90197	0.0099	193.370	55	2SM6	88.98411	0.0020	308.684
26	MK3	44.02517	0.0098	28.970	56	THE1	15.51259	0.0019	294.965
27	2SM2	31.01590	0.0097	166.717	57	2MK6	88.05035	0.0017	157.329
28	MSN2	30.54437	0.0084	79.174	58	MSK6	89.06624	0.0013	89.045
29	OO1	16.13910	0.0084	285.266	59	2MN6	86.40794	0.0013	272.964
30	RO1	13.47151	0.0082	293.338	60	MSN6	87.42384	0.0011	207.226
平均潮位=-0.0281 m									
調和分析原點資料時間： 2010/7/2 11:00:00									

表 2-4 竹圍驗潮站 2009-2011 年潮汐資料調和分析成果表

序 號	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)	序 號	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)
1	M2	28.98410	1.2072	119.511	31	MF	1.09803	0.0064	53.307
2	S2	30.00000	0.3528	24.306	32	MK3	44.02517	0.0064	126.929
3	N2	28.43973	0.2363	291.161	33	R2	30.04107	0.0058	259.420
4	K1	15.04107	0.2279	243.541	34	PI1	14.91786	0.0058	88.262
5	O1	13.94304	0.1948	23.487	35	KJ2	30.62651	0.0058	313.274
6	SA	0.04107	0.1733	37.807	36	2Q1	12.85429	0.0056	13.276
7	K2	30.08214	0.1025	164.388	37	PHI1	15.08214	0.0052	199.196
8	P1	14.95893	0.0724	267.775	38	SGM1	12.92714	0.0050	153.192
9	L2	29.52848	0.0648	144.067	39	MK4	59.06624	0.0049	221.688
10	NU2	28.51258	0.0618	41.016	40	OQ2	27.34170	0.0048	65.174
11	MU2	27.96820	0.0547	28.796	41	SO1	16.05696	0.0043	198.663
12	Q1	13.39866	0.0398	202.680	42	M3	43.47616	0.0041	201.539
13	LAM2	29.45563	0.0310	42.626	43	2N2	27.85935	0.0037	116.191
14	T2	29.95893	0.0225	206.873	44	SO3	43.94304	0.0034	149.857
15	M4	57.96821	0.0214	190.218	45	M6	86.95232	0.0034	271.850
16	MS4	58.98410	0.0164	94.272	46	MP1	14.02517	0.0034	77.489
17	MNS2	27.42383	0.0163	183.621	47	VII	15.12321	0.0032	23.544
18	M1	14.49203	0.0154	51.539	48	S4	60.00000	0.0027	355.693
19	MSF	1.01590	0.0153	71.787	49	KI1	14.56955	0.0024	177.853
20	OP2	28.90197	0.0143	195.501	50	THE1	15.51259	0.0023	287.173
21	2SM2	31.01590	0.0135	165.042	51	2MS6	87.96821	0.0022	139.805
22	J1	15.58544	0.0129	65.012	52	S1	15.00000	0.0021	329.394
23	MSN2	30.54437	0.0112	73.251	53	SN4	58.43973	0.0018	260.169
24	SAA	0.08214	0.0111	113.096	54	2SM6	88.98411	0.0017	3.531
25	MM	0.54437	0.0110	16.561	55	2MN6	86.40794	0.0017	86.641
26	MN4	57.42383	0.0082	2.872	56	SK4	60.08214	0.0015	118.228
27	MKS2	29.06624	0.0081	68.302	57	SK3	45.04107	0.0014	42.329
28	RO1	13.47151	0.0079	297.267	58	MSK6	89.06624	0.0010	138.958
29	OO1	16.13910	0.0075	299.309	59	MSN6	87.42384	0.0008	331.623
30	MO2	42.92714	0.0067	277.597	60	2MK6	88.05035	0.0005	246.307
平均潮位=0.0441 m									
調和分析原點資料時間： 2010/7/2 11:00:00									

表 2-5 臺中港驗潮站 2009-2011 年潮汐資料調和分析成果表

序 號	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)	序 號	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)
1	M2	28.98410	1.7908	128.217	31	2MN6	86.40794	0.0090	80.463
2	S2	30.00000	0.5257	37.145	32	RO1	13.47151	0.0089	316.189
3	N2	28.43973	0.3492	300.509	33	OO1	16.13910	0.0084	315.936
4	K1	15.04107	0.2535	262.209	34	2N2	27.85935	0.0080	81.559
5	O1	13.94304	0.2193	40.266	35	MS4	58.98410	0.0079	44.198
6	SA	0.04107	0.1685	48.747	36	OQ2	27.34170	0.0073	49.031
7	K2	30.08214	0.1560	180.529	37	PI1	14.91786	0.0071	93.310
8	L2	29.52848	0.1065	145.688	38	SGM1	12.92714	0.0069	153.028
9	NU2	28.51258	0.0864	50.155	39	SO3	43.94304	0.0068	158.064
10	MU2	27.96820	0.0828	21.892	40	MN4	57.42383	0.0064	293.153
11	P1	14.95893	0.0824	285.766	41	KJ2	30.62651	0.0060	308.126
12	LAM2	29.45563	0.0446	36.954	42	SO1	16.05696	0.0056	229.322
13	Q1	13.39866	0.0442	217.210	43	2Q1	12.85429	0.0051	30.793
14	T2	29.95893	0.0385	189.588	44	PHI1	15.08214	0.0048	171.106
15	SAA	0.08214	0.0281	167.839	45	KI1	14.56955	0.0044	211.092
16	OP2	28.90197	0.0268	163.638	46	2MK6	88.05035	0.0038	334.241
17	MNS2	27.42383	0.0247	183.205	47	M3	43.47616	0.0036	132.896
18	MSN2	30.54437	0.0192	76.417	48	MP1	14.02517	0.0030	117.547
19	2SM2	31.01590	0.0175	172.066	49	MSN6	87.42384	0.0029	10.448
20	R2	30.04107	0.0171	188.330	50	2SM6	88.98411	0.0028	95.753
21	M1	14.49203	0.0168	66.663	51	MM	0.54437	0.0027	97.718
22	M6	86.95232	0.0155	274.236	52	MK4	59.06624	0.0024	152.870
23	MKS2	29.06624	0.0149	40.103	53	MSK6	89.06624	0.0021	239.242
24	M4	57.96821	0.0142	130.232	54	SN4	58.43973	0.0018	168.352
25	J1	15.58544	0.0141	81.618	55	SK3	45.04107	0.0016	47.199
26	2MS6	87.96821	0.0139	190.047	56	THE1	15.51259	0.0016	291.490
27	MO2	42.92714	0.0121	242.213	57	MSF	1.01590	0.0016	123.062
28	MF	1.09803	0.0116	27.715	58	S4	60.00000	0.0014	287.134
29	MK3	44.02517	0.0110	119.023	59	VII	15.12321	0.0013	347.623
30	S1	15.00000	0.0104	0.229	60	SK4	60.08214	0.0011	80.739
平均潮位=0.1589 m									
調和分析原點資料時間： 2010/7/2 11:00:00									

表 2-6 鹿港驗潮站 2009-2011 年潮汐資料調和分析成果表

序 號	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)	序 號	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)
1	M2	28.98410	1.7820	128.454	31	OO1	16.13910	0.0094	327.999
2	S2	30.00000	0.5134	39.009	32	MN4	57.42383	0.0094	94.171
3	N2	28.43973	0.3404	301.111	33	SO3	43.94304	0.0093	110.702
4	K1	15.04107	0.2626	265.582	34	RO1	13.47151	0.0091	309.819
5	O1	13.94304	0.2268	42.175	35	MSF	1.01590	0.0086	123.895
6	SA	0.04107	0.1644	17.830	36	MP1	14.02517	0.0070	109.006
7	K2	30.08214	0.1553	179.235	37	MF	1.09803	0.0070	35.686
8	L2	29.52848	0.1015	144.243	38	PI1	14.91786	0.0069	100.584
9	MU2	27.96820	0.0871	19.254	39	SGM1	12.92714	0.0067	166.541
10	NU2	28.51258	0.0863	46.772	40	OQ2	27.34170	0.0066	63.273
11	P1	14.95893	0.0794	287.545	41	PHI1	15.08214	0.0066	214.289
12	Q1	13.39866	0.0450	219.151	42	2MK6	88.05035	0.0062	348.134
13	LAM2	29.45563	0.0448	42.777	43	KJ2	30.62651	0.0059	329.270
14	T2	29.95893	0.0362	201.015	44	2Q1	12.85429	0.0058	26.283
15	SAA	0.08214	0.0313	158.140	45	SO1	16.05696	0.0058	232.522
16	MNS2	27.42383	0.0262	174.211	46	MSN6	87.42384	0.0050	16.455
17	M4	57.96821	0.0247	277.519	47	MK4	59.06624	0.0049	349.646
18	M6	86.95232	0.0205	282.045	48	2SM6	88.98411	0.0044	118.008
19	2MS6	87.96821	0.0202	203.748	49	2N2	27.85935	0.0038	126.731
20	OP2	28.90197	0.0195	196.413	50	M3	43.47616	0.0037	155.510
21	2SM2	31.01590	0.0191	171.083	51	MKS2	29.06624	0.0036	44.311
22	MM	0.54437	0.0177	11.788	52	MSK6	89.06624	0.0033	258.098
23	MSN2	30.54437	0.0177	67.424	53	SK3	45.04107	0.0031	6.285
24	M1	14.49203	0.0170	67.909	54	KI1	14.56955	0.0031	209.860
25	MO2	42.92714	0.0166	217.044	55	S1	15.00000	0.0029	16.959
26	MS4	58.98410	0.0161	185.614	56	VII	15.12321	0.0028	4.648
27	MK3	44.02517	0.0154	94.833	57	SN4	58.43973	0.0026	357.940
28	J1	15.58544	0.0147	88.535	58	S4	60.00000	0.0018	64.132
29	R2	30.04107	0.0145	195.458	59	THE1	15.51259	0.0009	300.844
30	2MN6	86.40794	0.0113	87.605	60	SK4	60.08214	0.0008	230.943
平均潮位=0.3939 m									
調和分析原點資料時間： 2010/7/2 11:00:00									

表 2-7 箔仔寮驗潮站 2011 年潮汐資料調和分析成果表

序 號	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)	序 號	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)
1	M2	28.98410	1.0556	24.256	31	J1	15.58544	0.0105	14.875
2	S2	30.00000	0.2780	38.501	32	MK4	59.06624	0.0087	204.188
3	K1	15.04107	0.2261	277.689	33	MM	0.54437	0.0082	345.104
4	N2	28.43973	0.2012	287.082	34	MP1	14.02517	0.0082	22.273
5	O1	13.94304	0.1907	313.083	35	OP2	28.90197	0.0075	83.308
6	SA	0.04107	0.1644	44.921	36	SK3	45.04107	0.0072	269.256
7	K2	30.08214	0.0807	176.585	37	M3	43.47616	0.0072	139.832
8	P1	14.95893	0.0714	302.334	38	MSF	1.01590	0.0069	18.555
9	L2	29.52848	0.0662	309.488	39	2MK6	88.05035	0.0063	141.345
10	NU2	28.51258	0.0568	99.784	40	SO1	16.05696	0.0061	0.339
11	M4	57.96821	0.0510	29.803	41	S1	15.00000	0.0061	2.200
12	MU2	27.96820	0.0508	171.229	42	OO1	16.13910	0.0060	68.620
13	Q1	13.39866	0.0387	219.242	43	SGM1	12.92714	0.0056	314.700
14	T2	29.95893	0.0303	195.647	44	RO1	13.47151	0.0055	22.500
15	MS4	58.98410	0.0301	47.168	45	2Q1	12.85429	0.0055	130.909
16	LAM2	29.45563	0.0230	130.465	46	SN4	58.43973	0.0052	282.655
17	M6	86.95232	0.0214	339.253	47	MSN6	87.42384	0.0045	265.343
18	MK3	44.02517	0.0210	251.315	48	PI1	14.91786	0.0044	89.035
19	MO2	42.92714	0.0209	297.434	49	KJ2	30.62651	0.0039	223.539
20	M1	14.49203	0.0206	193.001	50	2SM6	88.98411	0.0039	48.990
21	2MS6	87.96821	0.0202	7.337	51	2N2	27.85935	0.0036	130.774
22	MN4	57.42383	0.0196	288.330	52	OQ2	27.34170	0.0035	356.213
23	SAA	0.08214	0.0190	172.560	53	MSK6	89.06624	0.0034	178.104
24	MNS2	27.42383	0.0181	64.614	54	MKS2	29.06624	0.0033	225.096
25	SO3	43.94304	0.0157	286.362	55	VI1	15.12321	0.0030	107.456
26	MF	1.09803	0.0136	153.364	56	THE1	15.51259	0.0029	158.261
27	R2	30.04107	0.0121	172.907	57	S4	60.00000	0.0026	28.395
28	MSN2	30.54437	0.0118	336.750	58	KI1	14.56955	0.0026	20.490
29	2SM2	31.01590	0.0112	245.903	59	PHI1	15.08214	0.0022	193.555
30	2MN6	86.40794	0.0106	238.383	60	SK4	60.08214	0.0019	188.051
平均潮位=0.4969 m									
調和分析原點資料時間： 2011/7/2 11:00:00									

表 2-8 東石驗潮站 2011 年潮汐資料調和分析成果表

序 號	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)	序 號	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)
1	M2	28.98410	0.6749	12.859	31	R2	30.04107	0.0080	182.989
2	K1	15.04107	0.2070	278.612	32	MM	0.54437	0.0074	12.483
3	SA	0.04107	0.1986	45.010	33	MSN2	30.54437	0.0072	334.840
4	O1	13.94304	0.1797	313.670	34	MK4	59.06624	0.0066	214.707
5	S2	30.00000	0.1606	25.471	35	2Q1	12.85429	0.0064	131.368
6	N2	28.43973	0.1304	275.175	36	S1	15.00000	0.0059	314.646
7	P1	14.95893	0.0625	301.859	37	MP1	14.02517	0.0057	34.037
8	K2	30.08214	0.0489	165.142	38	OO1	16.13910	0.0056	64.138
9	L2	29.52848	0.0443	303.420	39	RO1	13.47151	0.0052	14.530
10	NU2	28.51258	0.0363	90.192	40	MKS2	29.06624	0.0051	293.008
11	Q1	13.39866	0.0345	220.239	41	PI1	14.91786	0.0046	96.006
12	MU2	27.96820	0.0329	175.344	42	2MK6	88.05035	0.0046	150.928
13	M4	57.96821	0.0277	62.389	43	THE1	15.51259	0.0043	172.813
14	SAA	0.08214	0.0228	164.454	44	SN4	58.43973	0.0041	321.141
15	MS4	58.98410	0.0189	82.287	45	OP2	28.90197	0.0041	196.270
16	M1	14.49203	0.0178	195.558	46	SGM1	12.92714	0.0040	332.186
17	M6	86.95232	0.0177	339.916	47	SK3	45.04107	0.0039	277.716
18	MF	1.09803	0.0176	133.680	48	SO1	16.05696	0.0038	354.486
19	2MS6	87.96821	0.0163	9.242	49	PHI1	15.08214	0.0037	162.390
20	T2	29.95893	0.0157	195.479	50	MSN6	87.42384	0.0035	268.239
21	LAM2	29.45563	0.0153	124.303	51	2N2	27.85935	0.0033	138.434
22	MSF	1.01590	0.0137	13.320	52	2SM6	88.98411	0.0031	68.553
23	MO2	42.92714	0.0134	295.960	53	OQ2	27.34170	0.0030	356.606
24	MK3	44.02517	0.0130	259.709	54	VI1	15.12321	0.0027	131.040
25	MN4	57.42383	0.0107	322.238	55	M3	43.47616	0.0027	141.190
26	MNS2	27.42383	0.0106	65.284	56	MSK6	89.06624	0.0025	199.716
27	SO3	43.94304	0.0103	296.882	57	S4	60.00000	0.0023	106.003
28	2MN6	86.40794	0.0096	242.428	58	KJ2	30.62651	0.0020	196.847
29	2SM2	31.01590	0.0088	247.816	59	KI1	14.56955	0.0017	347.006
30	J1	15.58544	0.0087	11.303	60	SK4	60.08214	0.0015	219.637
平均潮位=0.5458 m									
調和分析原點資料時間： 2011/7/2 11:00:00									

表 2-9 將軍驗潮站 2011 年潮汐資料調和分析成果表

序 號	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)	序 號	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)
1	M2	28.98410	0.5169	0.321	31	2Q1	12.85429	0.0051	119.544
2	K1	15.04107	0.2077	272.787	32	S1	15.00000	0.0048	28.056
3	O1	13.94304	0.1805	308.571	33	SGM1	12.92714	0.0047	301.175
4	SA	0.04107	0.1535	44.344	34	SO3	43.94304	0.0045	320.090
5	S2	30.00000	0.1123	9.164	35	MP1	14.02517	0.0045	20.882
6	N2	28.43973	0.1029	261.449	36	PI1	14.91786	0.0041	83.857
7	P1	14.95893	0.0657	294.164	37	MSN2	30.54437	0.0041	328.996
8	Q1	13.39866	0.0361	213.041	38	2N2	27.85935	0.0036	129.227
9	K2	30.08214	0.0358	153.019	39	KI1	14.56955	0.0035	353.854
10	M4	57.96821	0.0326	58.030	40	VI1	15.12321	0.0034	100.582
11	L2	29.52848	0.0318	299.748	41	SN4	58.43973	0.0033	315.938
12	NU2	28.51258	0.0301	78.831	42	OP2	28.90197	0.0032	56.072
13	SAA	0.08214	0.0229	152.021	43	SK3	45.04107	0.0031	317.117
14	MS4	58.98410	0.0214	74.134	44	M6	86.95232	0.0029	249.493
15	MU2	27.96820	0.0214	181.272	45	THE1	15.51259	0.0024	144.490
16	M1	14.49203	0.0172	180.850	46	MKS2	29.06624	0.0024	195.767
17	LAM2	29.45563	0.0131	116.692	47	S4	60.00000	0.0023	89.655
18	MN4	57.42383	0.0126	320.216	48	SO1	16.05696	0.0022	293.379
19	MF	1.09803	0.0121	135.760	49	KJ2	30.62651	0.0020	159.494
20	MM	0.54437	0.0117	319.838	50	2MN6	86.40794	0.0018	111.433
21	T2	29.95893	0.0111	161.633	51	OQ2	27.34170	0.0018	321.203
22	R2	30.04107	0.0099	166.867	52	M3	43.47616	0.0017	298.942
23	J1	15.58544	0.0095	3.269	53	2MS6	87.96821	0.0017	337.612
24	MK4	59.06624	0.0076	220.538	54	SK4	60.08214	0.0017	224.196
25	MK3	44.02517	0.0074	295.990	55	MSK6	89.06624	0.0012	206.356
26	MO2	42.92714	0.0070	328.240	56	2MK6	88.05035	0.0011	171.318
27	MNS2	27.42383	0.0070	67.024	57	PHI1	15.08214	0.0011	194.807
28	OO1	16.13910	0.0054	52.927	58	2SM6	88.98411	0.0009	100.170
29	2SM2	31.01590	0.0053	247.277	59	MSF	1.01590	0.0004	301.266
30	RO1	13.47151	0.0053	28.743	60	MSN6	87.42384	0.0001	261.928
平均潮位=0.3359 m									
調和分析原點資料時間： 2011/7/2 11:00:00									

2.3 潮流資料分析

為瞭解臺中港與布袋港港口潮流之特性及提供該港口流場模擬之驗證所需資料，本計畫將針對本年度所蒐集的海流觀測資料進行分析與探討。

一般而言，海流觀測資料之主要組成成份包括恆流、潮流及區域性風吹流等，三者組成之強弱比率則視海域之特性及季節而定。潮流通常是指由潮汐漲退所引起的海洋水體週期性往復流動之現象，而潮流之強弱不僅會隨著月齡之不同而有所變化外，其流速大小及方向亦受到海底地形之影響，因此潮流現象各地區不同。本年度潮流資料分析除了延續上年度潮流資料分析方法，選取全日潮(O_1 、 K_1)及半日潮(M_2 、 S_2)等四個主要分潮針對觀測資料逐月進行調和分析，求取各分潮東西向及南北向之流速振幅及其相位角外，針對本年度所蒐集之臺中港及布袋港海流觀測資料相關分析結果說明如下：

臺中港海域海流長期觀測站設置於北防波堤堤頭外側 150m(67 二度分帶座標：E 196568.4、N 2688722.2)水深 25m 處以 AWCP 儀器量測海流資料，位置如圖 2.23 所示。依據港灣技術研究中心長期觀測結果顯示：臺中港夏季海流流速普遍小於冬季海流流速，其中冬季受東北季風影響最大流速可達 1.5m/sec 以上。本計畫蒐集整理 2009 年 10 月至 2010 年 11 月間海流觀測資料如圖附錄 II 所示，結果顯示民國 2009 年 11 月份有部份時段連續測得流速大於 1.5m/sec 以上之記錄。圖 2.24 所示為海流與風速觀測資料時序列圖，顯示當東北季風鋒面南下時，海流觀測流速通常會隨著增大，並且超越潮流漲退之影響，此時海流流向介於西南～西南西向之間。將上述蒐集資料經頻譜分析結果如圖 2.25 與圖 2.26 所示，得知海流觀測資料中，天文潮流成份所占比例不大，其中在海流東西向(E-W)分量半日潮成份流僅略大於全日潮成份流，而在南北向(N-S)分量全日潮成份流則大於半日潮成份流。本計畫選取 2010 年 1~2 月海流觀測資料分別針對東西向及南北向速度分量進行潮流調和分析，其中天文潮分潮之選取則參考潮汐調和分析結果選

取 K_1 、 O_1 、 N_2 、 M_2 及 S_2 等 5 個分潮；表 2-10 所列為 2010 年 1 月 1 日 0 時至 2 月 12 日 16 時(共 1025 筆資料)潮流調和分析結果，結果顯示各分潮之東西向或南北向速度振幅均小於 0.1 m/s，其中東西向平均流速達 0.2 m/s 以上應係海岸地形及北防波堤效應所產生的。

布袋港海域海流觀測站設置於航道出口西側約 800 m 處(67 二度分帶座標：E 159610.4、N 2586507.7)，其北邊距離北防波堤約 700 m，位置如圖 2.27 所示。由於此觀測站為港灣技術研究中心新設置，監測時間始於今年 8 月中旬，因此本計畫至目前為止僅蒐集到 2012 年 8 月 14 日至 9 月 30 日之海流觀測資料，整理蒐錄於附錄 III。依據此期間海流觀測資料，最大測得流速為 0.996 m/s，流向為西北方向(323.3 度)，發生於 8 月 29 日 14 時。將上述蒐集資料經頻譜分析結果如圖 2.28 與圖 2.29 所示，得知海流觀測資料中，東西向與南北向流速分量皆以半日潮成份流為最大，其次為全日潮成份流。四分之一日潮的成份流亦很明顯，其能量在東西向分量的大小接近全日潮成份流。由頻譜分析結果可知海流南北向分量主要分潮的能量較東西向分量大，顯示南北向分量的流速較東西向分量為大。將所蒐集布袋港海流觀測資料分別針對東西向及南北向速度分量進行潮流調和分析，其中天文潮分潮之選取亦參考潮汐調和分析結果選取 K_1 、 O_1 、 N_2 、 M_2 及 S_2 等 5 個分潮；表 2-11 所列為今年 8 月 14 日 16 時至 9 月 30 日 22 時(共 1135 筆資料)潮流調和分析結果，顯示布袋港觀測站南北向速度振幅以 M_2 分潮 0.271 m/s 為最大，南北向其餘分潮流速及東西向各分潮流速均小於 0.1 m/s。

表 2-10 臺中港海流觀測資料調和分析成果表

分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	E-W		N-S	
		振幅(m/s)	位相角(度)	振幅(m/s)	位相角(度)
O1	13.94303513	0.0544	57.178	0.0431	39.299
K1	15.04106903	0.0598	257.877	0.0843	237.661
N2	28.43972969	0.0241	356.588	0.0095	321.453
M2	28.98410416	0.0812	127.992	0.0482	132.918
S2	30.00000000	0.0413	0.198	0.0375	341.527
平均流速		-0.2045 m/s		0.0295 m/s	
觀測資料時間		2010/01/01 00:00 ~ 2010/02/12 16:00			
原點時間		2010/01/22 08:00			



圖 2.23 臺中港海氣象觀測站儀器安裝位置示意圖(資料來源：港灣技術研究中心)

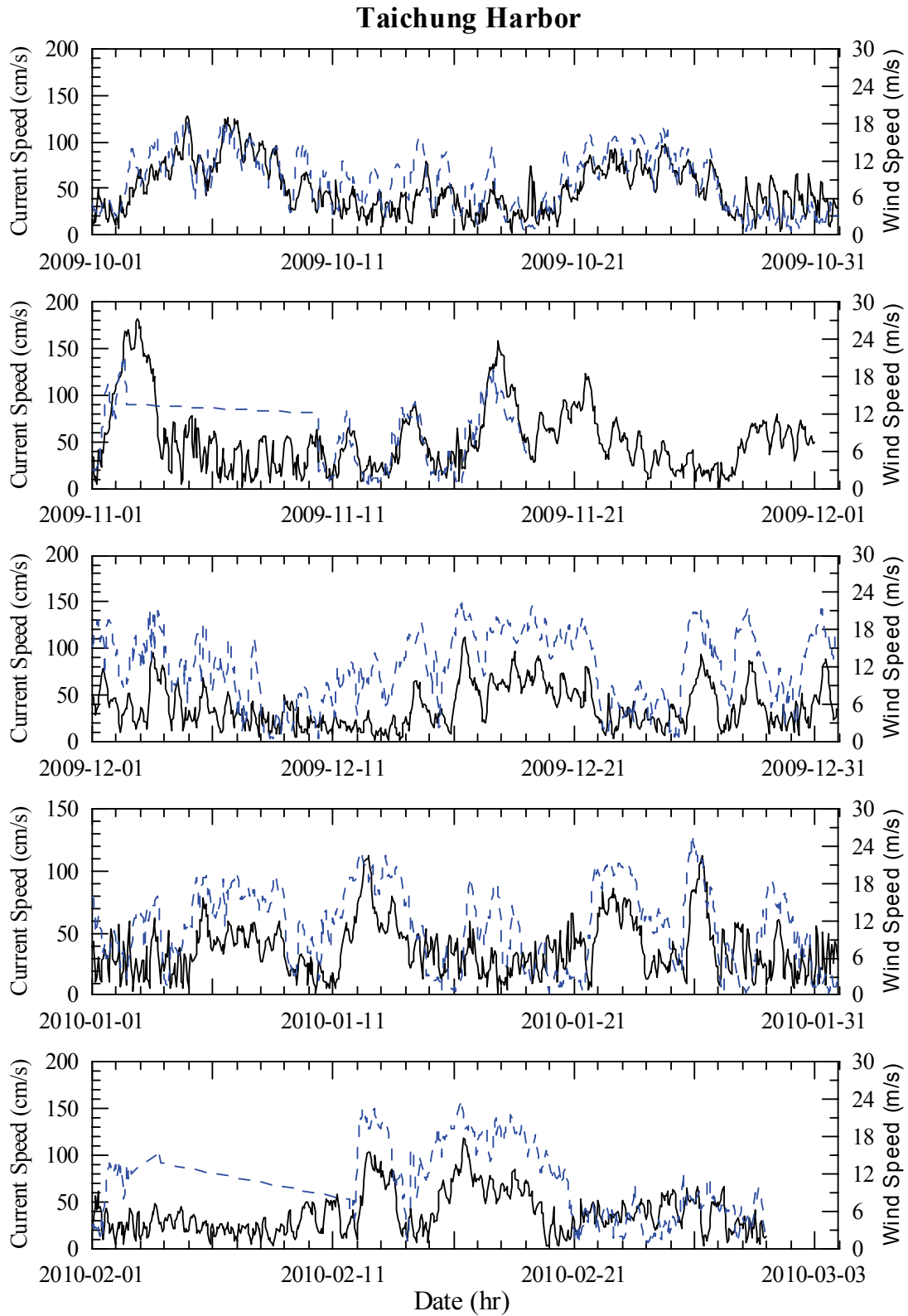


圖 2.24 臺中港區海流與風速觀測資料時序列圖

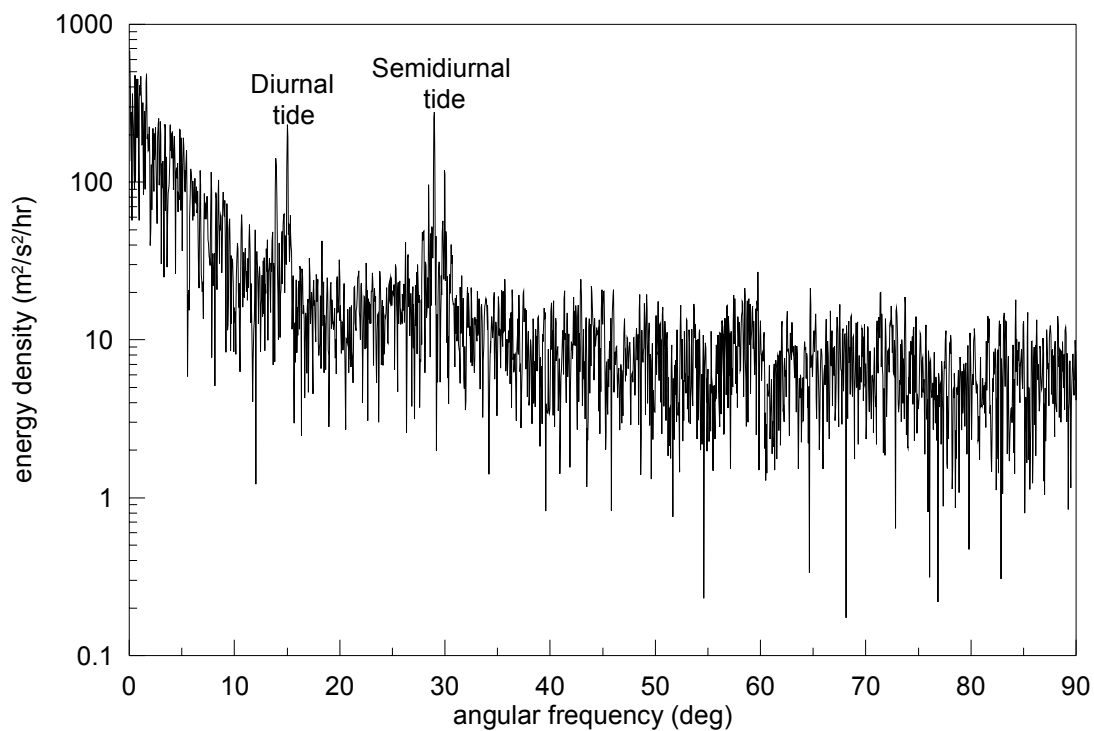


圖 2.25 臺中港海流觀測資料 E-W 方向分量頻譜分析結果
(2009/10/01~2010/03/31)

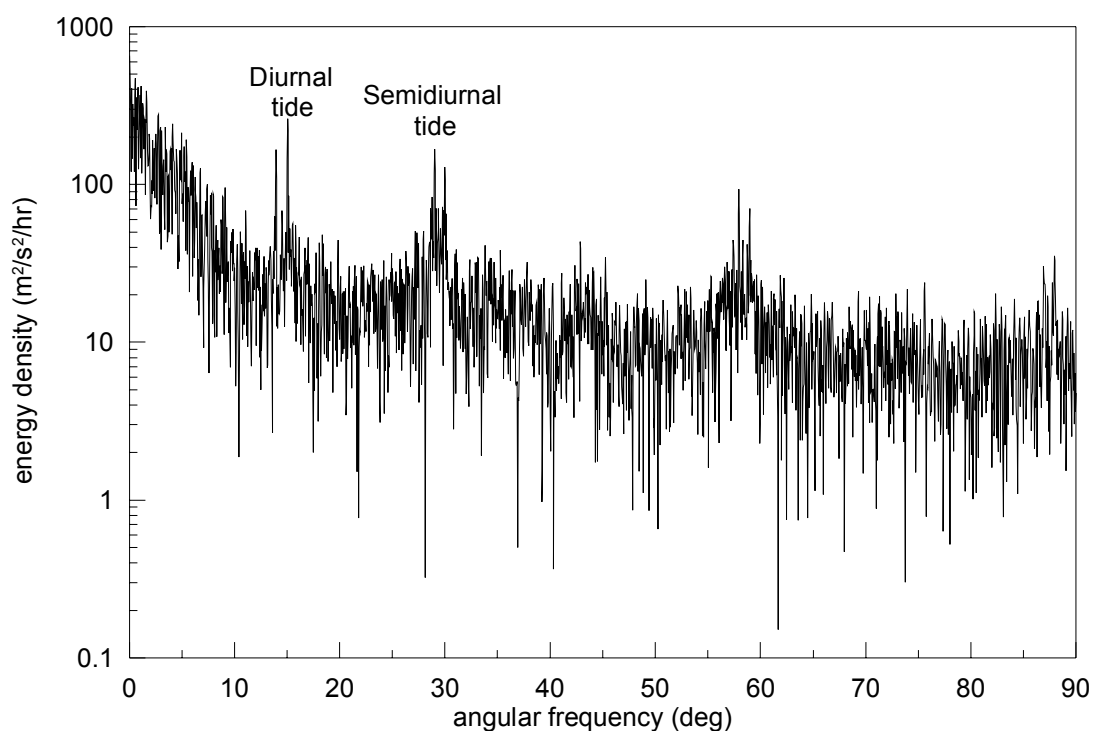


圖 2.26 臺中港海流觀測資料 N-S 方向分量頻譜分析結果
(2009/10/01~2010/03/31)



圖 2.27 布袋港海域潮位與海流觀測點位示意圖

表 2-11 布袋港海流觀測資料調和分析成果表

分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	E-W		N-S	
		振幅(m/s)	位相角(度)	振幅(m/s)	位相角(度)
O1	13.94303513	0.014	205.933	0.037	358.944
K1	15.04106903	0.042	96.827	0.097	311.792
N2	28.43972969	0.013	326.851	0.032	233.901
M2	28.98410416	0.095	171.526	0.271	99.404
S2	30.00000000	0.011	136.691	0.081	7.825
平均流速		-0.0008 m/s		0.0021 m/s	
觀測資料時間		2012/08/14 16:00 ~ 2012/09/30 22:00			
原點時間		2012/09/07 00:00			

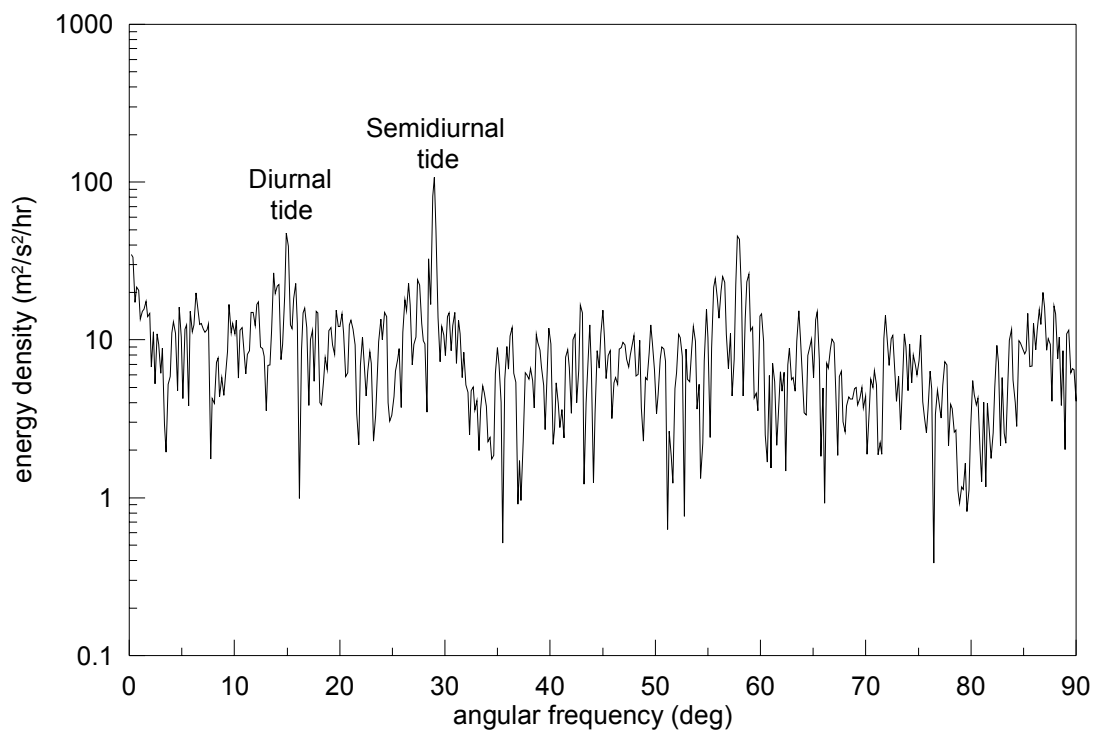


圖 2.28 布袋港海流觀測資料 E-W 方向分量頻譜分析結果(資料時間：
2012/8/14~9/30)

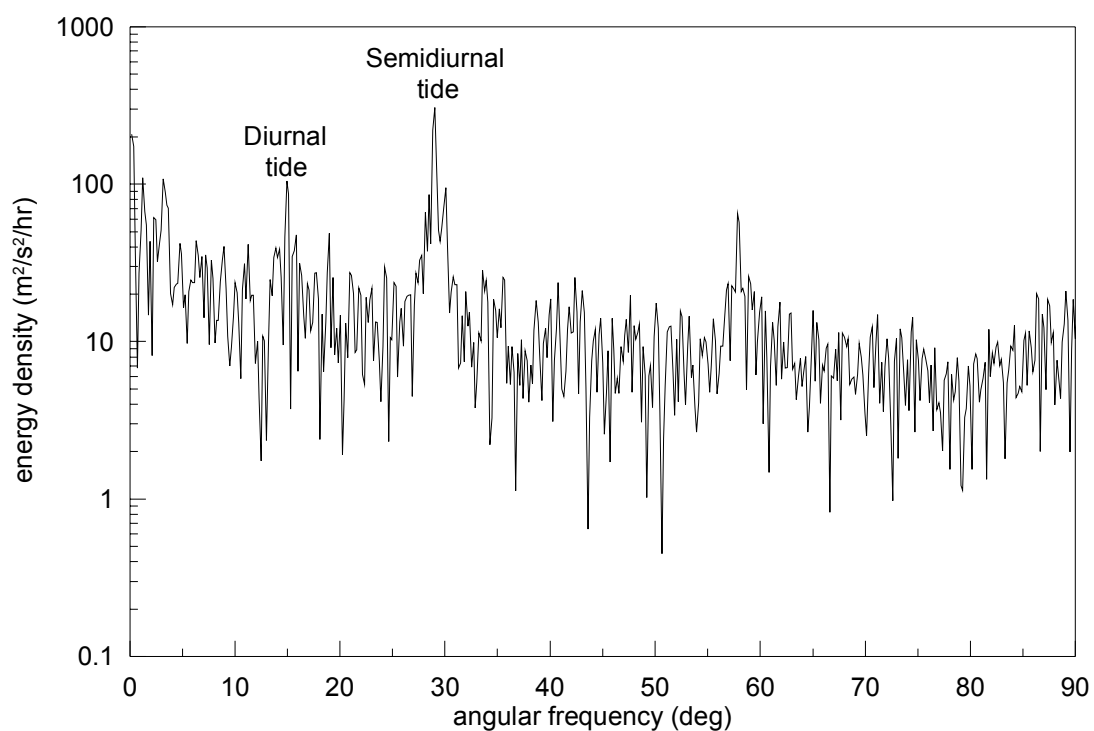


圖 2.29 布袋港海流觀測資料 N-S 方向分量頻譜分析結果(資料時間：
2012/8/14~9/30)

2.4 颱風資料

根據中央氣象局發佈資料，本年度至 9 月底共計有 7 個颱風影響臺灣本島或附近海域，分別為泰利、杜蘇芮、蘇拉、海葵、啟德、天秤以及杰拉華颱風，其相關資訊，包括警報期間、強度、中心最低氣壓、最大風速及暴風半徑等，如表 2-12 所示。由表 2-12 顯示泰利與杜蘇芮颱風警報發佈期間發生在 6 月下旬，今年多數颱風警報發佈在 8 月，包括蘇拉、海葵、啟德與天秤颱風，而強烈颱風杰拉華警報則發佈在 9 月下旬，其接近臺灣時颱風中心最低氣壓皆為 920 hPa，近臺時中心最大風速以桑達颱風最大為 55 m/s，七級風暴風半徑以中度颱風梅花最大為 280 km，十級風暴風半徑則以桑達颱風最大為 100 km。

有關本年度發佈警報颱風之行進路徑如圖 2.30 至圖 2.36 所示，其中以泰利、蘇拉及天秤颱風之暴風圈曾籠罩本年度計畫之海域，以下分別做說明。泰利颱風 6 月 18 日凌晨 2 時於海南島附近生成，以東北方向逐漸往臺灣海峽附近移動，颱風強度維持在輕度颱風，20 日 14 時其中心位於澎湖與金門之間，持續向東北快速移動，21 日 5 時於彭佳嶼東北方轉變為熱帶性低氣壓。根據中央氣象局 2012 年第 5 號颱風警報第 12-1 報，泰利颱風於 6 月 20 日 15 時左右中心位置距本年度計畫之海域最近，當時的中心位置在澎湖的北北西方約 80 公里之海面上，中心氣壓為 990 百帕，七級風暴風半徑為 150 公里，近中心最大風速每秒 23 公尺，相當於 9 級風；瞬間之最大陣風每秒 30 公尺，相當於 11 級風。蘇拉颱風於 7 月 28 日 8 時於菲律賓東方海面生成，初期往北至北北西移動，2 日凌晨 3 時 20 分於花蓮秀林鄉附近登陸，之後呈打轉現象，2 日下午 14 時左右掠過臺灣東北角進入北部海面，於 3 日 6 時左右在馬祖北方進入福建。根據中央氣象局 2012 年第 9 號颱風警報第 20 報，蘇拉颱風於 8 月 2 日 5 時左右中心位置距本年度計畫之海域最近，當時的中心位置在花蓮的西南方約 10 公里之處，中心氣壓為 970 百帕，七級風暴風半徑為 220 公里，十級風暴風半徑為 50 公里，近中心最大風速每秒 33 公尺，相當於 12 級風；瞬間之最大陣風

每秒 43 公尺，相當於 14 級風。天秤颱風於 8 月中旬在呂宋島東方海面形成後向北行進，至鵝鑾鼻東方海面後，向北北西轉西方向移動，至台東東方近海，又轉西南西撲向恆春半島，於 24 日凌晨 5 時於屏東牡丹鄉附近登陸，並穿越恆春半島繼續往西南西方向離去，25 日解除警報後向西南西轉向偏南方向移動，26 日晚間至 27 日清晨再次轉彎，向東轉東北東方向移動，對臺灣及附近海面再次造成威脅。28 日清晨 5 時其中心通過蘭嶼與綠島中間，並向北北東方移動，晚間其中心在宜蘭東北東方海面持續向北北東移動，臺灣陸續脫離其暴風圈。根據中央氣象局 2012 年第 14 號颱風警報第 24-2 報，天秤颱風於 8 月 24 日 13 時左右中心位置距本年度計畫之海域最近，當時的中心位置在高雄的西南方約 30 公里之海面上，中心氣壓為 970 百帕，七級風暴風半徑為 180 公里，十級風暴風半徑為 50 公里，近中心最大風速每秒 33 公尺，相當於 12 級風；瞬間之最大陣風每秒 43 公尺，相當於 14 級風。

表 2-12 本年度侵臺颱風相關資訊(資料來源：中央氣象局網站)

中文名稱	英文名稱	警報期間	近臺強度	近臺颱風中心最低氣壓(hPa)	近臺颱風中心最大風速(m/s)	七級風暴風半徑(km)	十級風暴風半徑(km)
泰利	TALIM	6/19~6/21	輕度	985	25.0	150	--
杜蘇芮	DOKSURI	6/28~6/29	輕度	995	23.0	120	--
蘇拉	SAOLA	7/30~8/3	中度	960	38.0	220	80
海葵	HAIKUI	8/6~8/7	中度	960	35.0	180	50
啟德	KAI-TAK	8/14~8/15	輕度	995	20.0	150	--
天秤	TEMBIN	8/21~8/25	中度	945	45.0	180	50
天秤	TEMBIN	8/26~8/28	中度	965	35.0	180	50
杰拉華	JELAWAT	9/27~9/28	強烈	910	55.0	250	100



圖 2.30 泰利颱風行進路徑圖

資料來源：中央氣象局網站

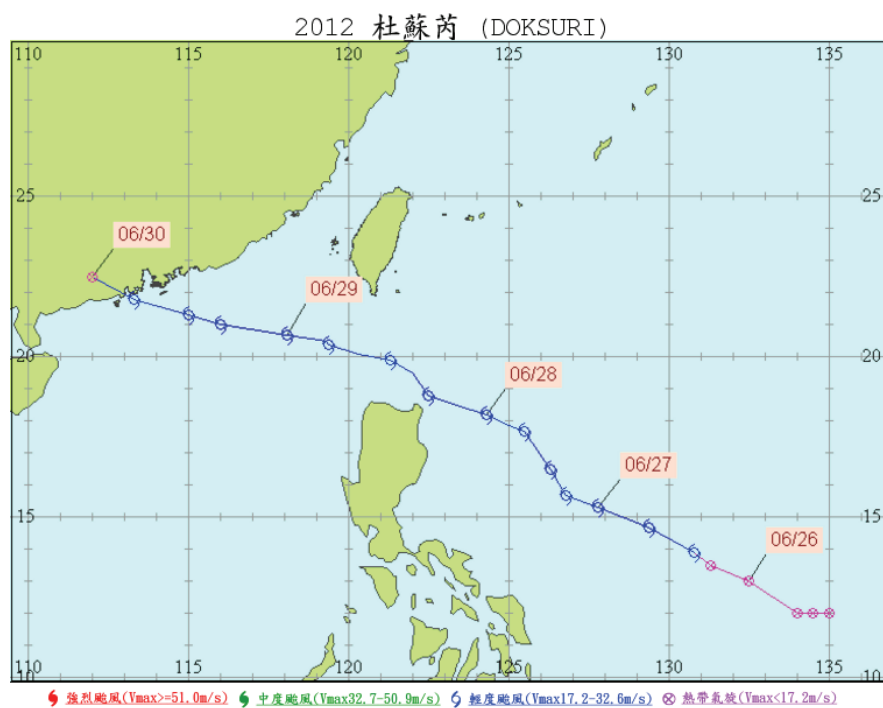


圖 2.31 杜蘇芮颱風行進路徑圖

資料來源：中央氣象局網站

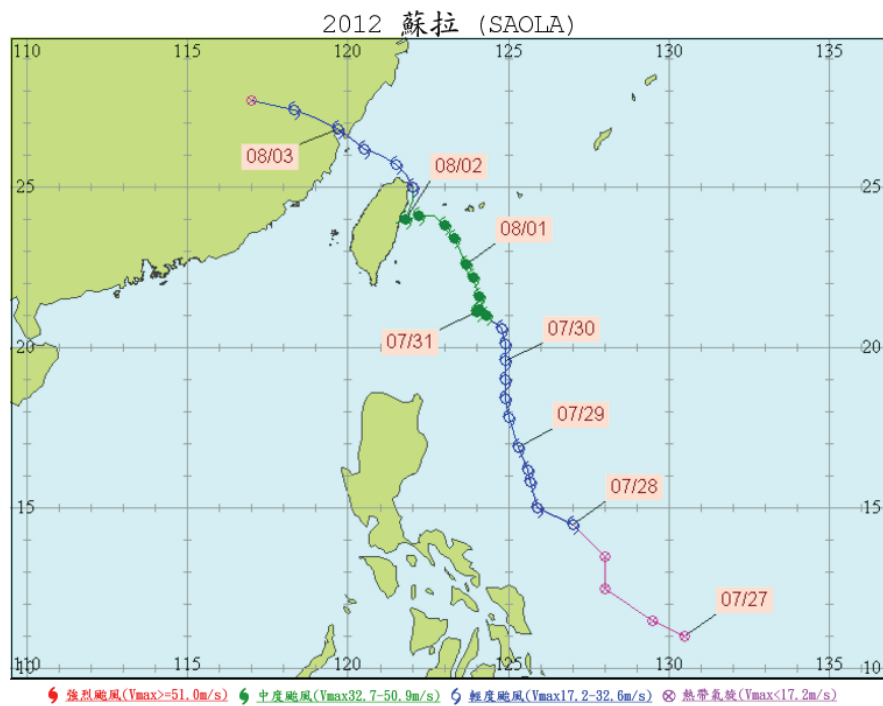


圖 2.32 蘇拉颱風行進路徑圖

資料來源：中央氣象局網站

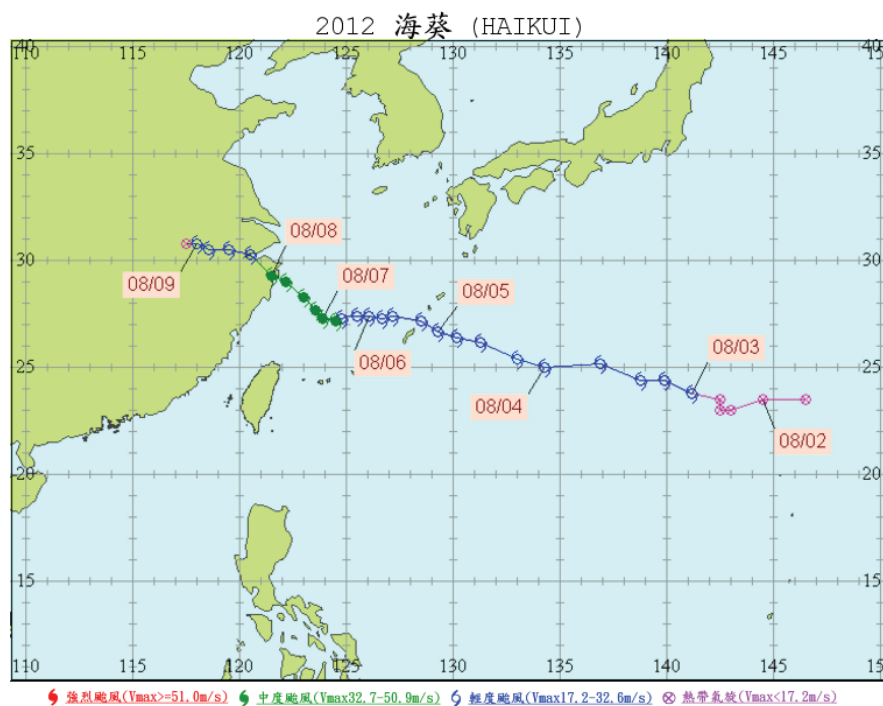


圖 2.33 海葵颱風行進路徑圖

資料來源：中央氣象局網站

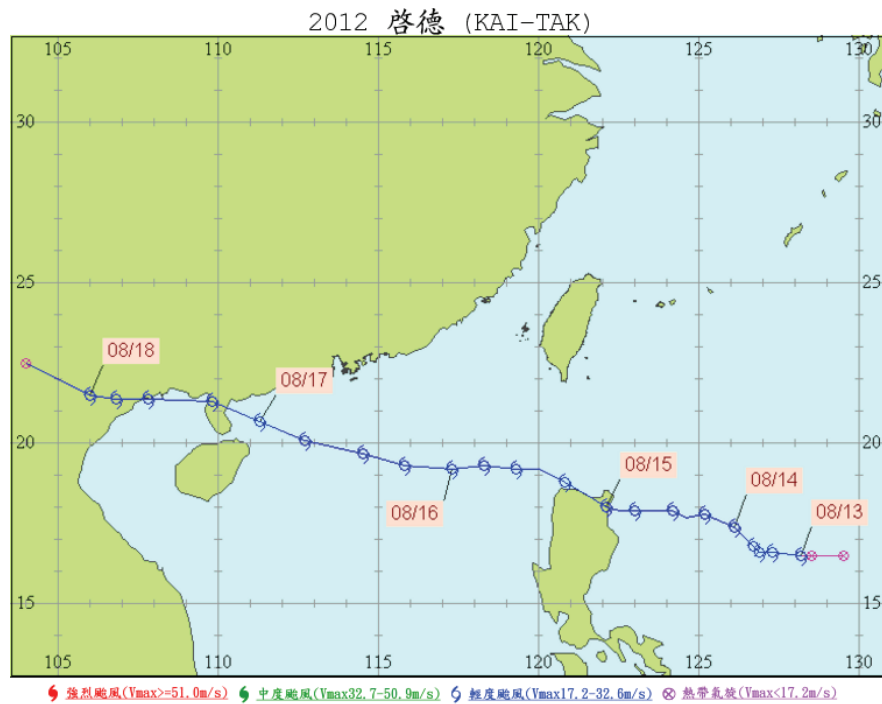


圖 2.34 啟德颱風行進路徑圖

資料來源：中央氣象局網站

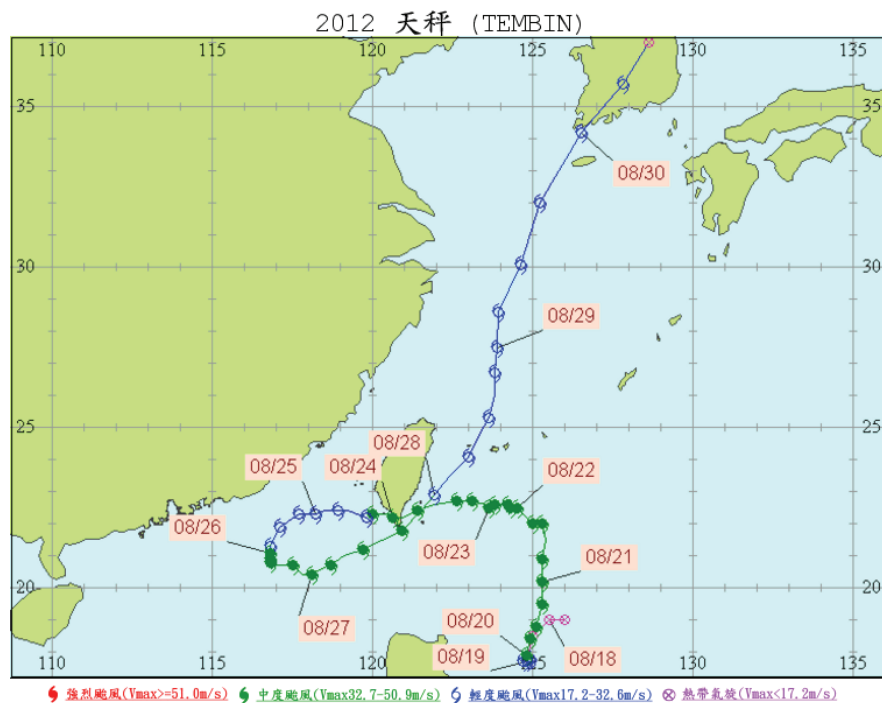


圖 2.35 天秤颱風行進路徑圖

資料來源：中央氣象局網站

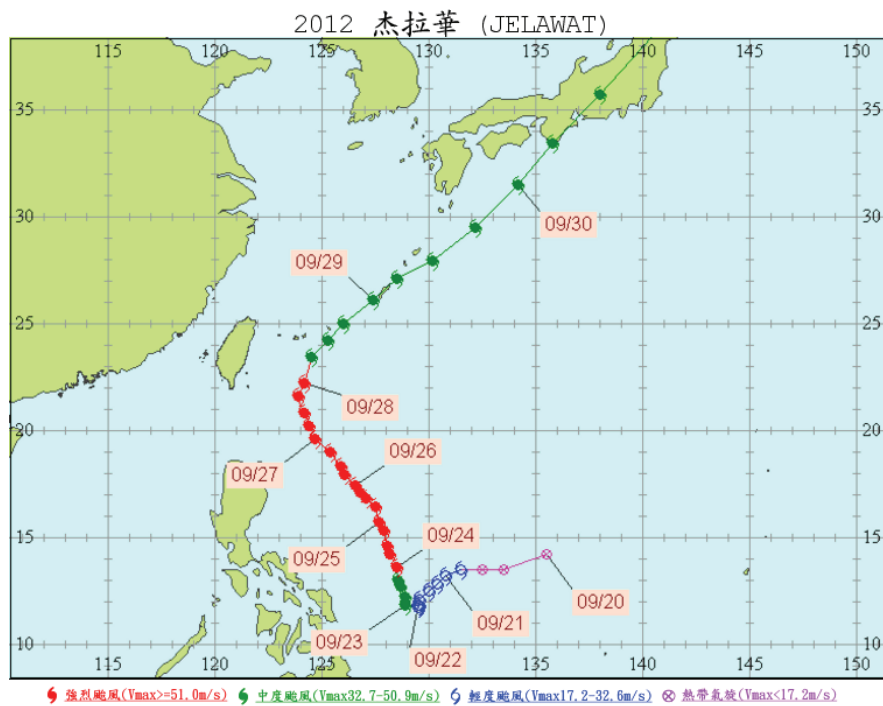


圖 2.36 杰拉華颱風行進路徑圖

資料來源：中央氣象局網站

第三章 臺中港水位與海流模擬

本章節主要依據 2009 年建置之臺中港水動力模擬子系統，配合本年度之工作項目進行 2012 年臺中港港區水位及流場模擬，內容包括地形與計算格網之建立、模式邊界條件之建立、模式參數率定與驗證以及臺中港流況模擬結果。有關水動力模式理論介紹與模式有限元素法求解過程及其相關數值計算則詳列於附錄 IV。

3.1 模式數值計算格網之修正

本計畫依據臺中港區第二期擴建工程及航道浚深拓寬工程完工後之港口及航道配置、臺中港區及其鄰近海域之地形水深資料選取適當之模式模擬範圍，如圖 3.1 所示；模擬範圍北起苗栗縣大安鄉，南至彰化縣鹿港鎮。本計畫依據前述選取之模擬範圍配合中泊渠水域航道、碼頭及護岸配置建置流場數值模擬所需之模式三角形格網如圖 3.2 所示；其中數值網格則由 4809 個節點及 8983 個三角元素所構成，目前方法所建置的細網格(模式 Δt 約在 2 秒)據測試結果已具足夠代表性，可計算得到穩定結果。

3.2 水位邊界條件之修正

本計畫水動力數值模式之模式邊界型態分為海域開放邊界及陸地邊界兩種，其中陸地邊界條件分為不滑動邊界條件(即邊界節點流速等於零)及滑動邊界條件(即邊界節點垂直方向流速為零)，本計畫模式採用滑動邊界為陸地邊界條件。海域開放邊界通常採用水位(潮位)條件為模式之邊界條件，由於模式模擬範圍內僅臺中港區內有潮位資料，因此本計畫選用 Matsumoto et al.(2000)所發展的 NAO.99b 模式建置模式之開放邊界條件^[1]，如圖 3.3 所示，為模式模擬範圍的南北開放邊界之水位邊界條件，在模式計算中南北開放邊界上的每個節點皆以此邊界條件代入，平行海岸之外海開放邊界上每個節點值則以南北邊界值取

線性內插計算而得。由於潮汐在臺中港附近海域交會，因此模式南、北邊界之水位變化差異並不顯著。

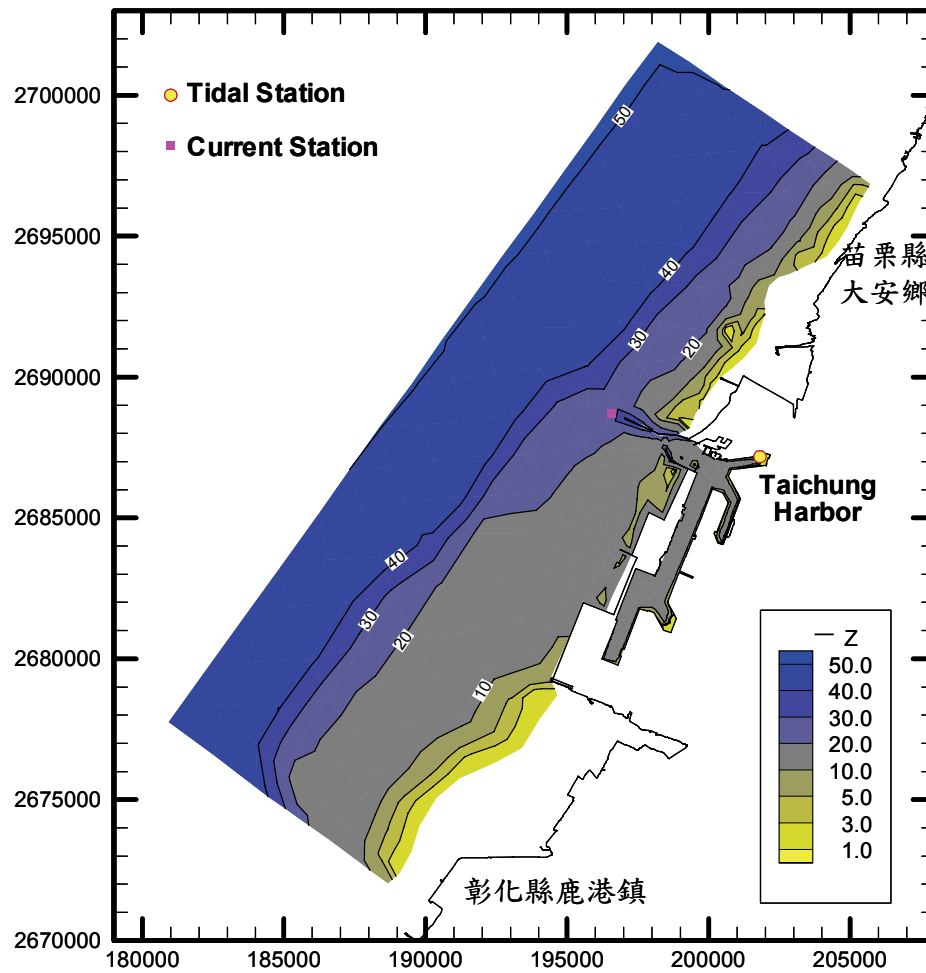


圖 3.1 臺中港區流場模擬範圍與水深分佈圖

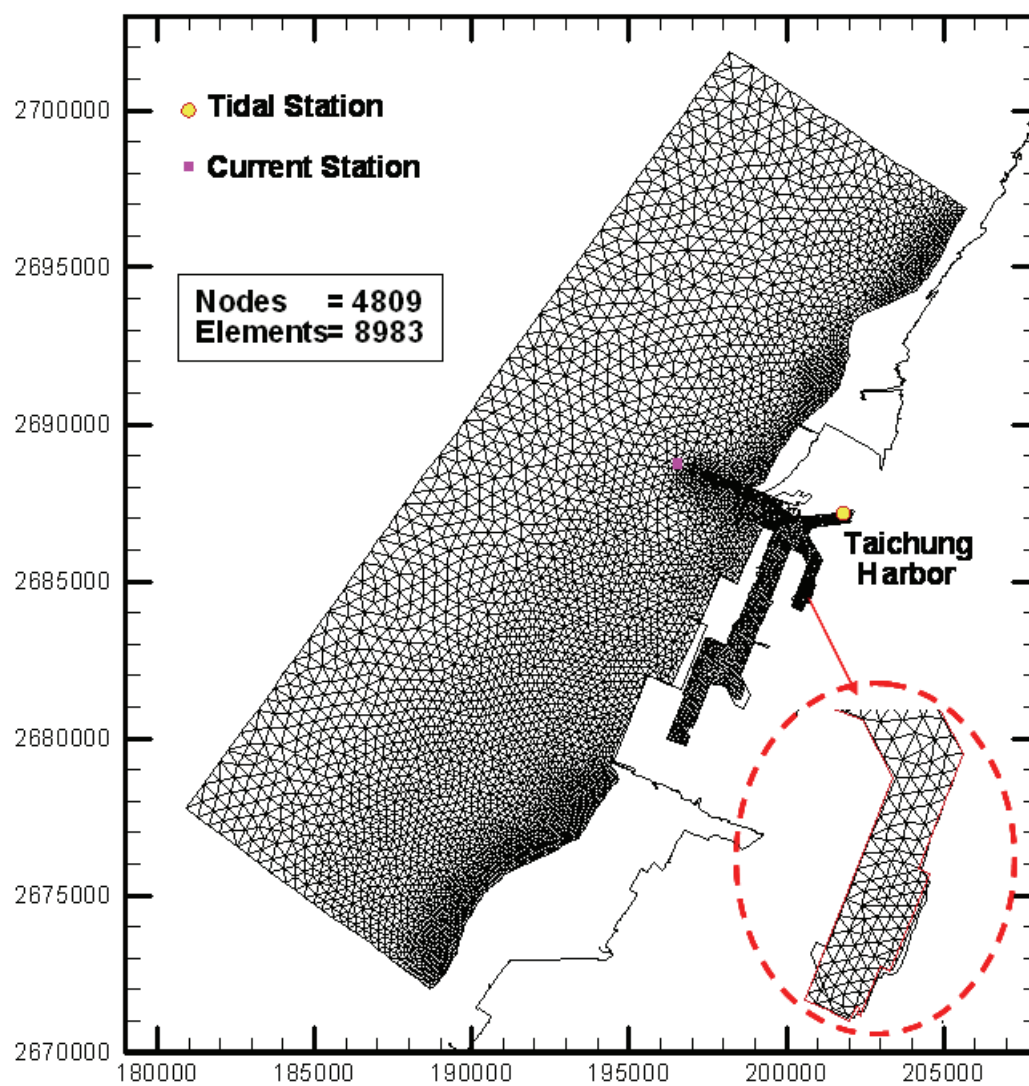


圖 3.2 臺中港區流場模擬範圍之有限元素格網分佈圖

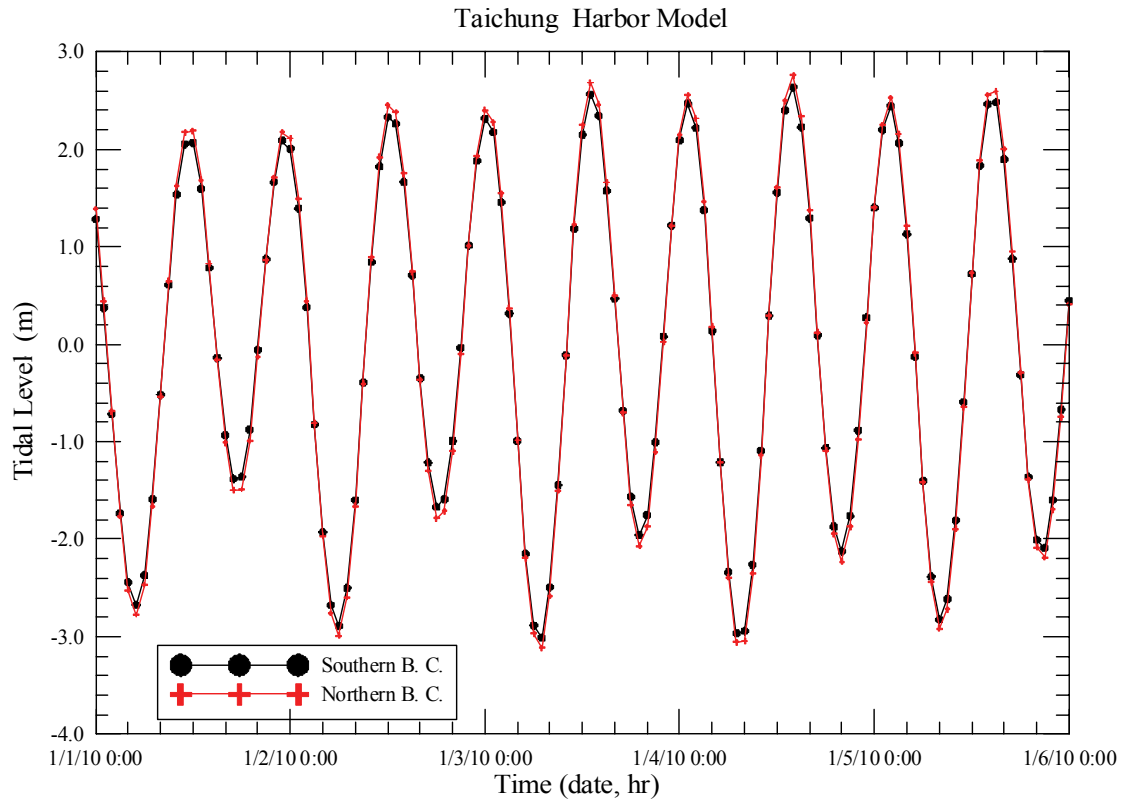


圖 3.3 臺中港水動力模式南、北開放邊界之水位邊界條件時序圖

3.3 模式參數率定與驗證

由於水動力模式數值計算之穩定性除了與三角元素大小、節點水深大小及時間項差分之間距 Δt 大小有關外，模式所使用的物理參數如渦動粘滯性係數及底床摩擦係數大小，以及模式模擬之起始條件等均會影響至模式計算之穩定性。因此相關參數值需進行率定與測試，而本計畫中臺中港水動力模式最終採用的時間間距 Δt 為 1.0 sec。渦動粘滯性係數本計畫參考 Connor and Wang (1974)之假設^[10]，即

$$E_{xx} \sim ag(\tilde{\eta}/\tilde{u})\tilde{x} \dots\dots\dots(3.1)$$

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。經由模式之模擬與率定結果得知：模式渦動粘滯性係數計算無因次係數 a 為 0.02，代表性

流速 $\bar{u}$ 為 1.0m/s，代表性潮差 $\bar{\eta}$ 為 2.5m；底床摩擦係數隨水深而變，其值介於 0.005~0.020 之間。

為驗證模式模擬結果與率定模式相關參數，本計畫選取臺中港海流長期觀測資料與模式鄰近測點之節點模擬結果進行驗證。由於本計畫水動力模式模擬之流場主要為天文潮流，海流觀測資料除了天文潮流成份外，尚有其他成份流及觀測誤差存在。因此本計畫以 2.3 節臺中港海流觀測資料之調和分析結果預測東西向及南北向潮流流速再與本計畫同時段潮流流場模擬結果比較，如圖 3.4 所示，其中水位模擬結果與觀測資料間具有高度一致性，東西向流速大小及變化亦與天文潮流分析結果相符，南北向流速大小亦與天文潮流分析結果相當；但南北向流速之變化與天文潮流分析結果略有出入，其原因有部份為南北向流速潮流分析結果不佳所致，非全然是模式模擬上的問題。整體而言，模式驗證結果顯示本計畫針對臺中港域潮流流場之模擬結果具有高度之可信度。

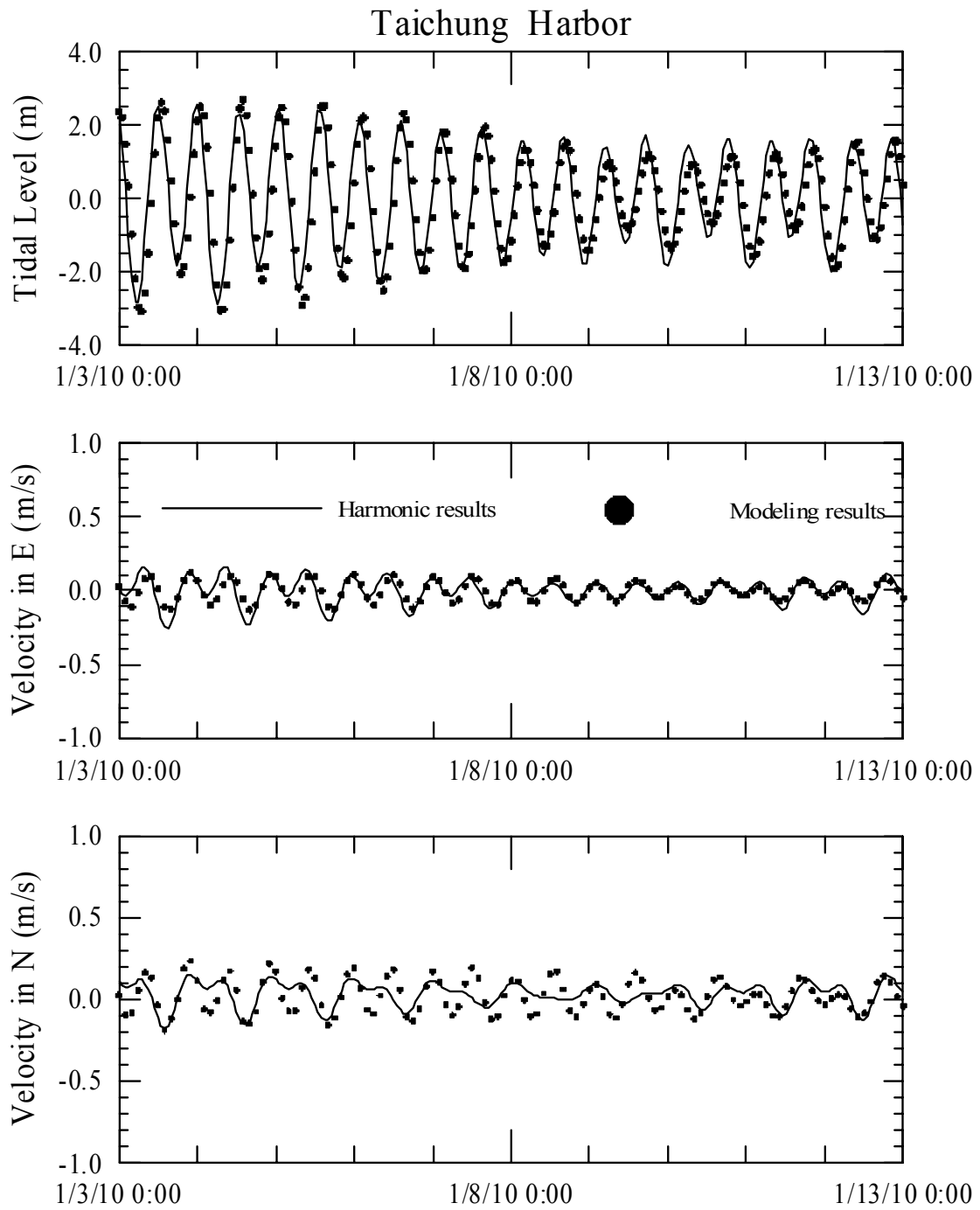


圖 3.4 臺中港水位及潮流模擬結果與潮流觀測資料調和分析結果之比較

3.4 流場模擬特性分析

本節依據風場之有無探討臺中港域附近模擬流場的特性，無風場時模式之水面剪應力項設定為零(參考附錄 IV 之式(附 4.2)及式(附 4.3))，考慮風場時則由式(附 4.4h)計算水面剪應力項。首先為無風場時之模擬結果，圖 3.5 至圖 3.9 所示分別為大潮期間不同潮位下臺中港區環境潮流流場之流矢向量圖，顯示在退平潮階段港內潮流向港口流出，港口外潮流流向大致上朝向西南至西南西之間；在漲平潮階段港口附近潮流流向港內，港口外潮流流向大致上朝向東北至北北東之間。

針對固定風場對流場之影響，本計畫選取風速 12 m/s 和 18 m/s、風向北北東(NNE)之風場條件模擬臺中港區海域的流場。因所計算流場均為固定風速、風向條件下之穩定流場，無法直接利用海流觀測時序列資料判斷流場數值模擬結果之合理性。有鑑於此，本計畫依據 2009 年 12 月至 2010 年 1 月份海流及風速觀測資料，分別選取風速為 12 ± 0.5 m/s 及 18 ± 0.5 m/s 時之流速觀測資料，如圖 3.10 所示，得知風速在 12 ± 0.5 m/s 區間時，觀測資料最大流速可達 0.94 m/s；風速在 18 ± 0.5 m/s 區間時，觀測資料最大流速可達 1.13 m/s。本計畫環境流場模擬將先依據風速為 18 m/s 之條件進行流場模擬，並以參考點最大流速 1.13 m/s 之條件率定模式相關係數(如風應力係數等)，確保參考點位之流速大小能滿足上述流速觀測條件。經由模式模擬結果之率定，本計畫模式參考點位之流速大小約介於 1.04~1.24 m/s 之間，流向約介於 $218^\circ \sim 225^\circ$ 之間，如圖 3.11 所示。之後，本計畫再依據相同的模式參數模擬風速條件為 12 m/s 時之流場，得到測點位置之流速大小約介於 0.48~0.8 m/s 之間，流向約介於 $213^\circ \sim 225^\circ$ 之間，如圖 3.12 所示。本計畫依據模式數值模擬結果分別繪出在風速 18 m/s 及 12 m/s 條件下臺中港區環境流場之流矢向量圖，分別如圖 3.13 與圖 3.14 所示。流場模擬結果顯示在強風作用下，不論漲、退潮臺中港區外海流場均呈現沿海岸地形往南之流向；在南防波堤附近航道及港區內則呈現出漲潮時水流向港內流動，退潮時水流向港外流動。

另外對於瞬態風場對流場變化的效應，本計畫選取 2010 年 1 月上旬的風場逐時資料代入模式計算，並與同時間海流觀測資料比較如圖 3.15 所示，其中模式參數如下：曼寧係數 n 值為 0.02，無因次係數 a 為 0.022，潮汐代表性潮差 $\tilde{\eta}$ 為 1.25 m，代表性潮流流速為 0.4 m/s。計算結果顯示本計畫水動力模式可適時反映風場所引起的流速變化趨勢，多數流速、流向模擬結果與觀測數據接近。

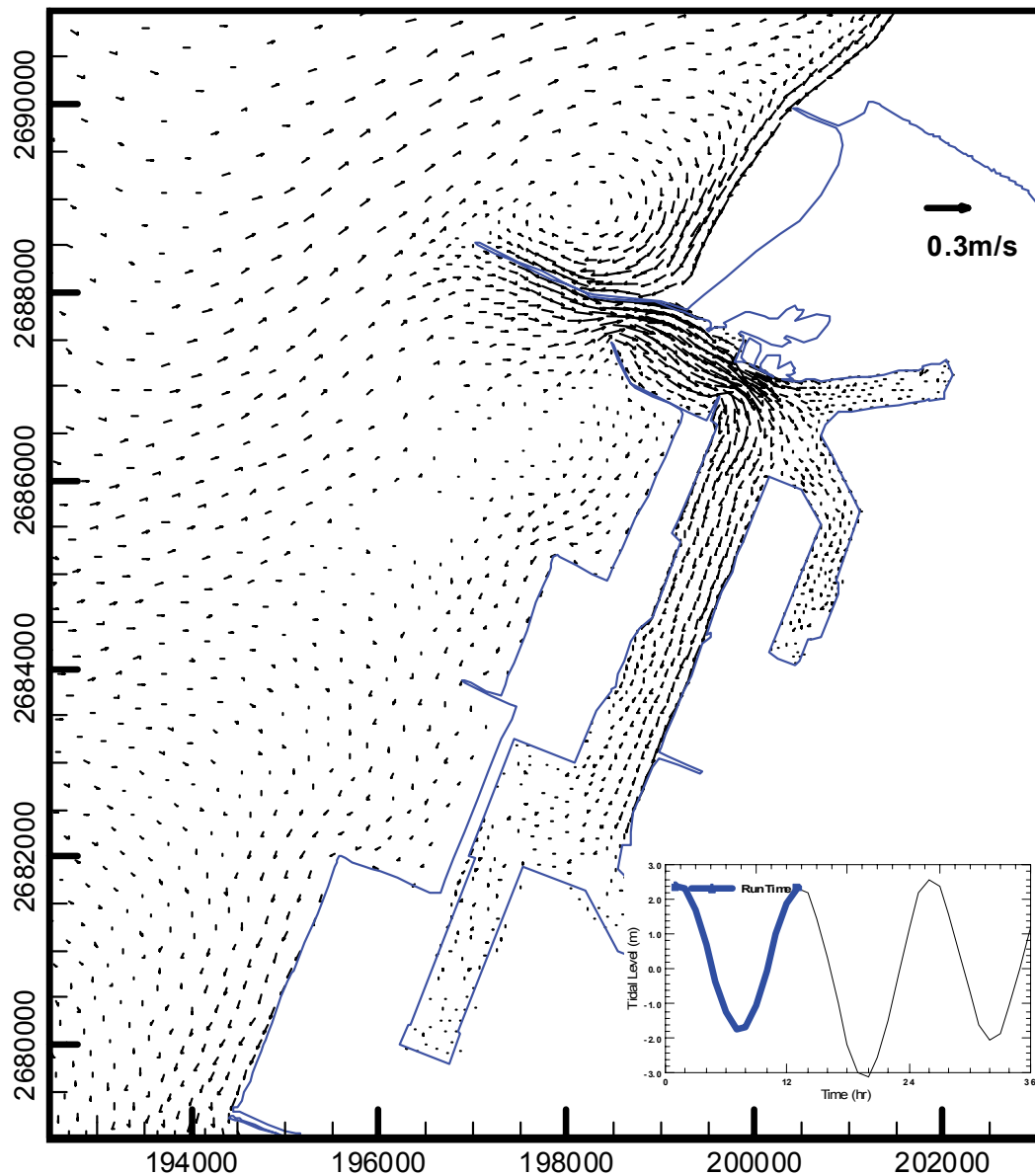


圖 3.5 臺中港區大潮高平潮時段潮流流場模擬之流速向量圖

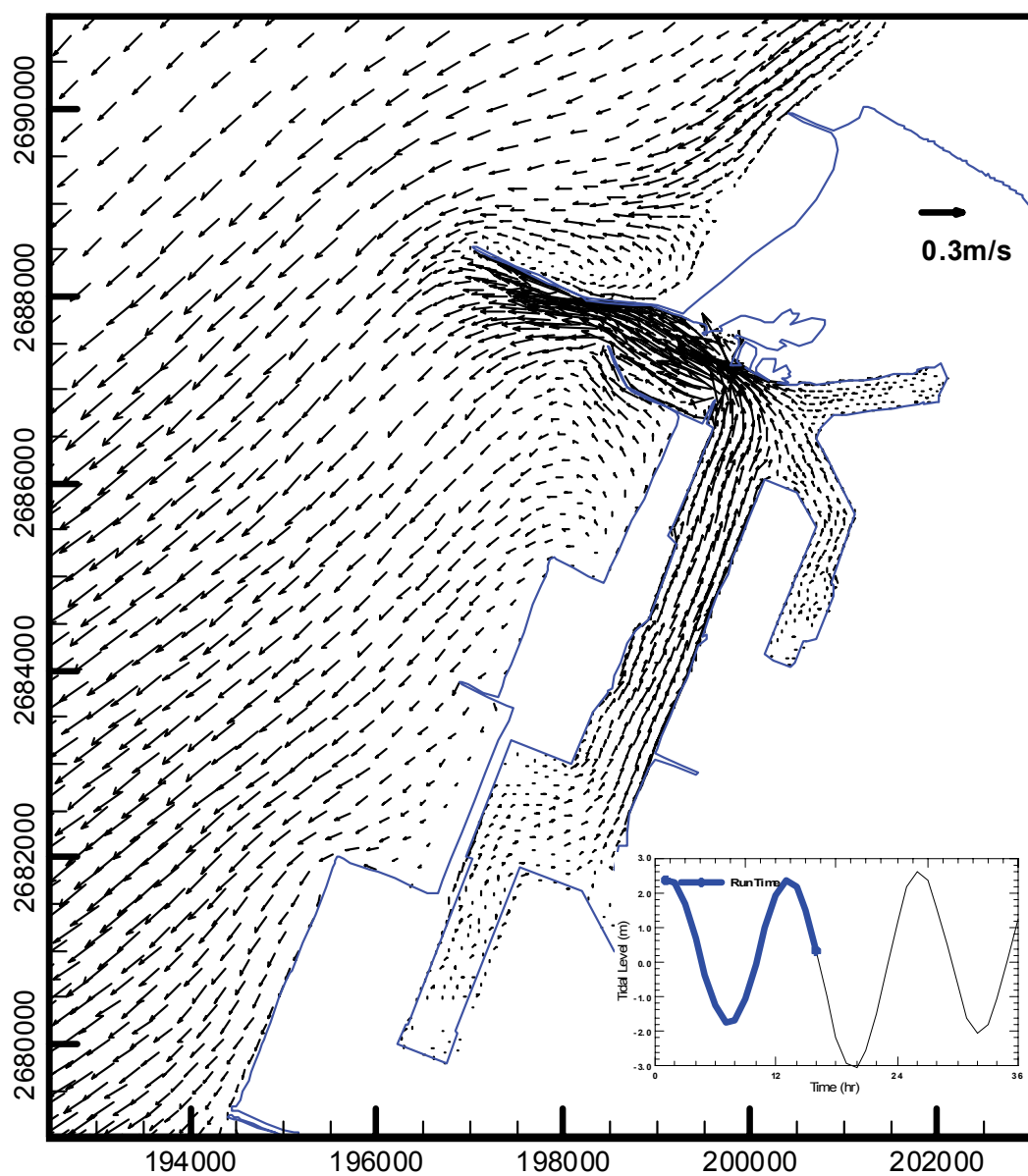


圖 3.6 臺中港區大潮退潮時段潮流流場模擬之流速向量圖

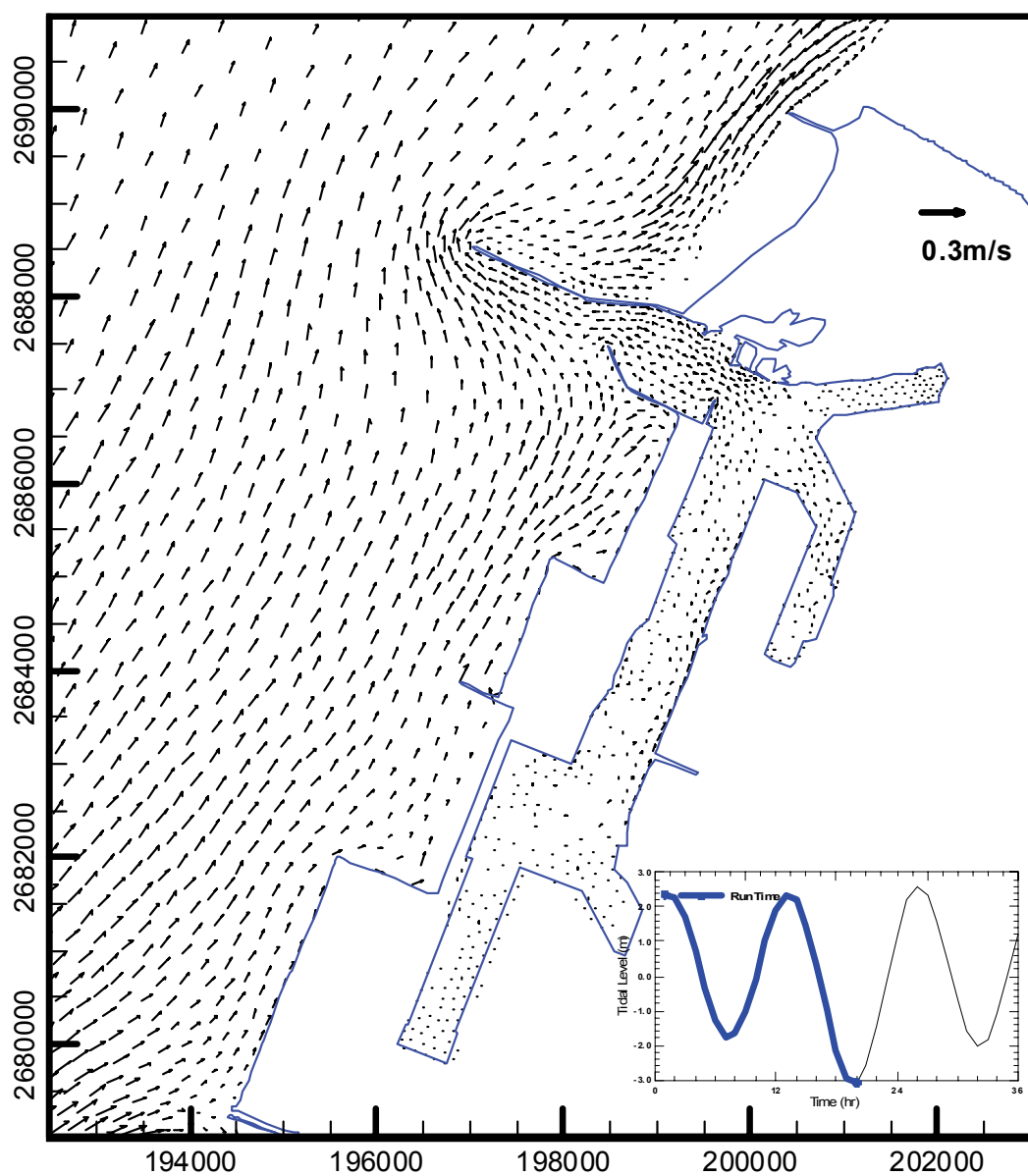


圖 3.7 臺中港區大潮低平潮時段潮流流場模擬之流速向量圖

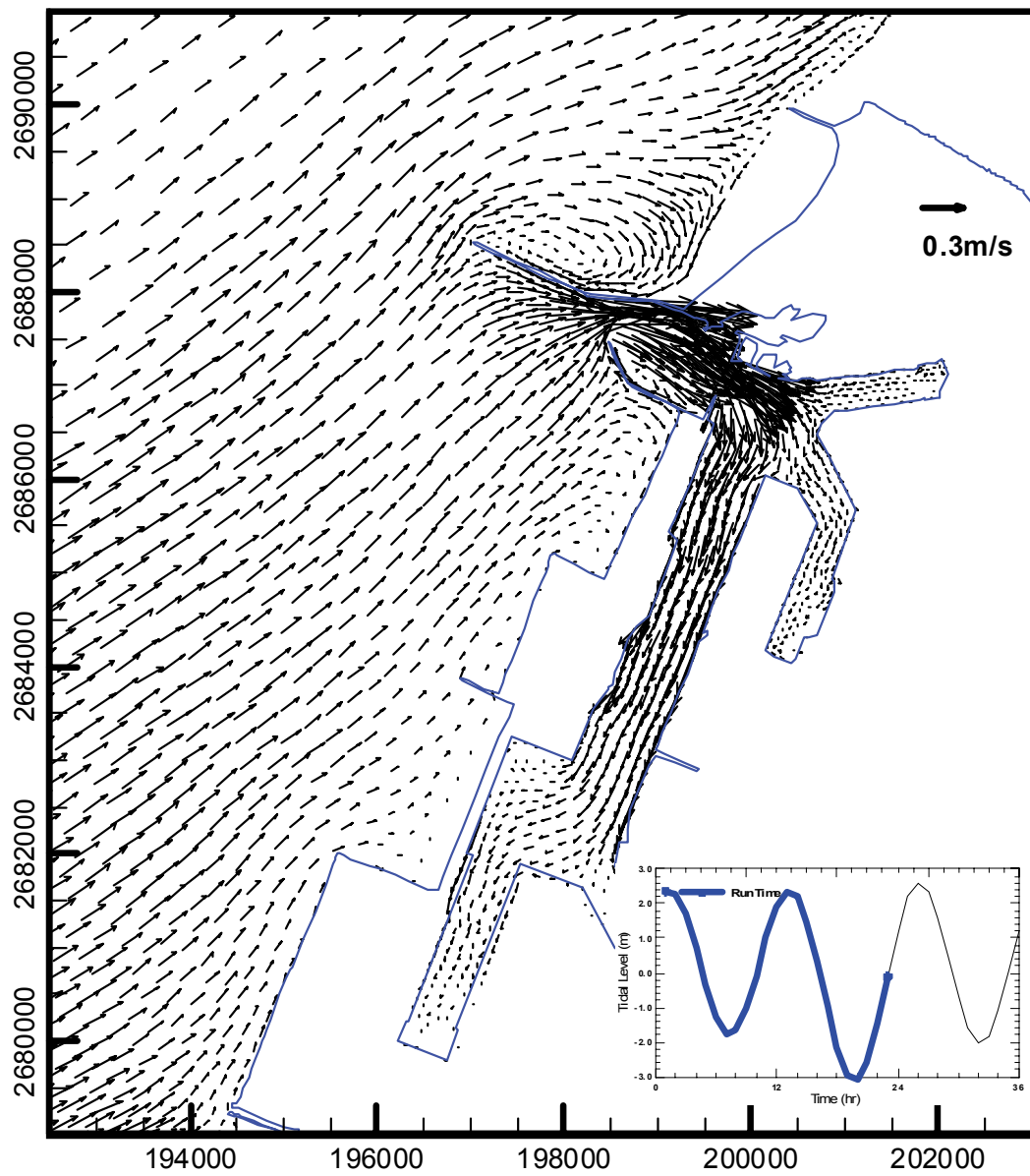


圖 3.8 臺中港區大潮漲潮時段潮流流場模擬之流速向量圖

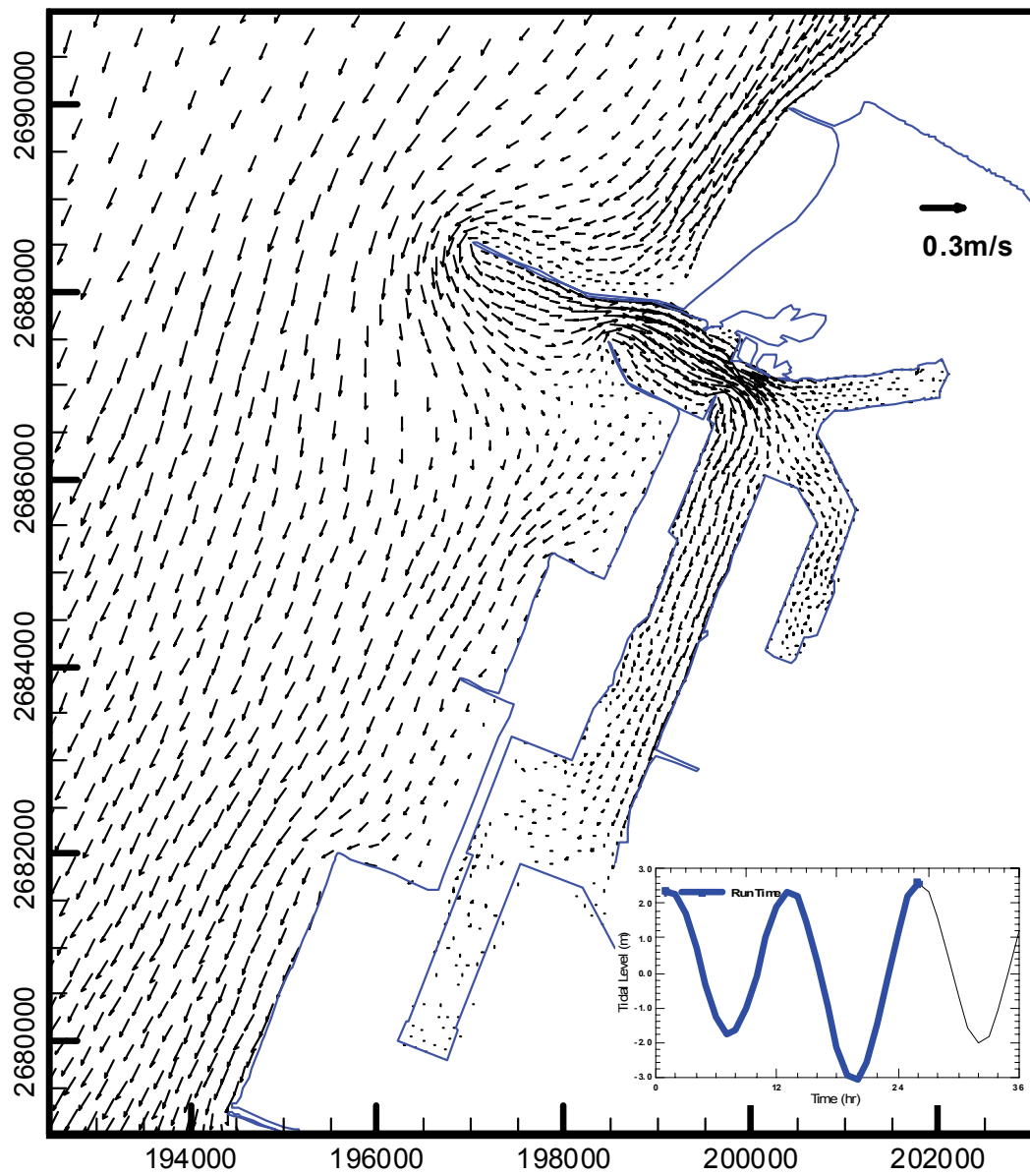


圖 3.9 臺中港區大潮高平潮時段潮流流場模擬之流速向量圖

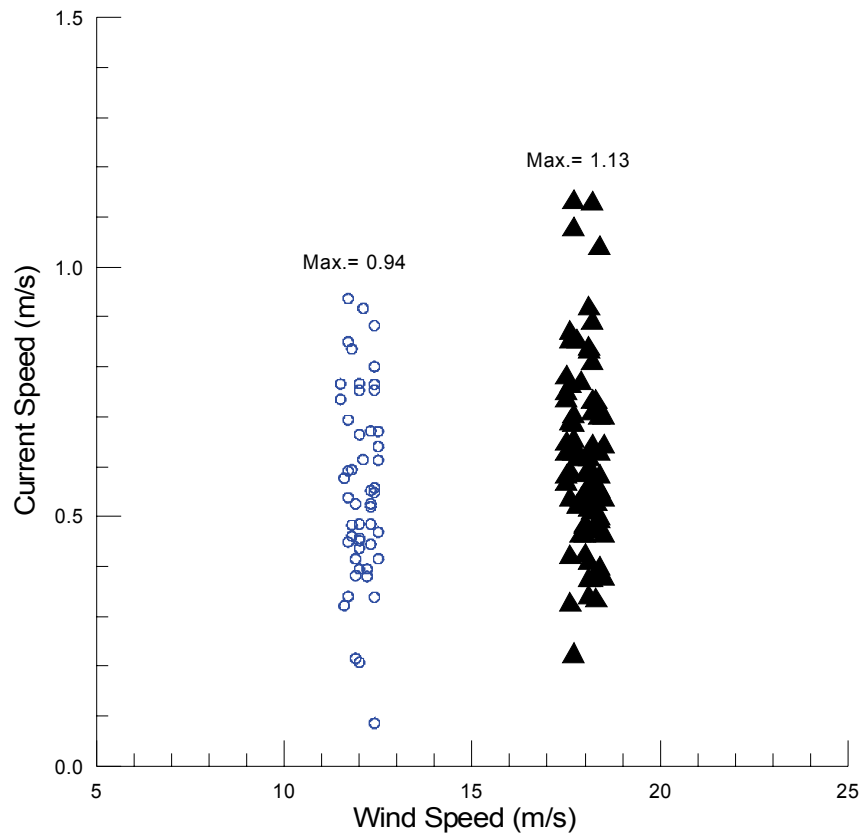


圖 3.10 臺中港區風速為 12 m/s 與 18m/s 情況下流速觀測值分布圖

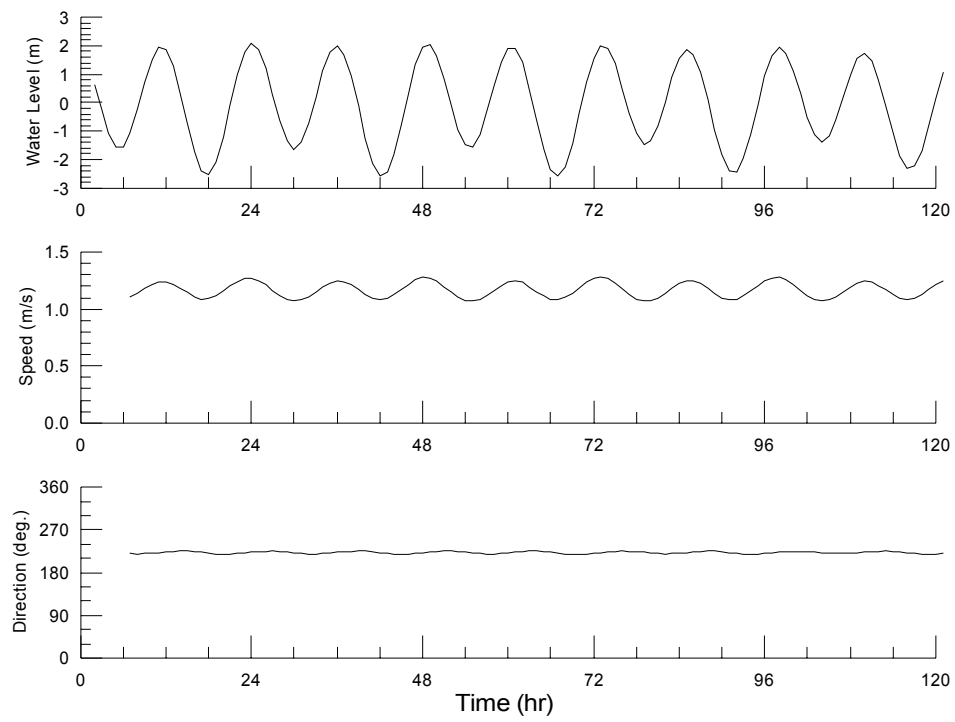


圖 3.11 臺中港區風速為 18 m/s 情況下參考點水位、流速與流向變化圖

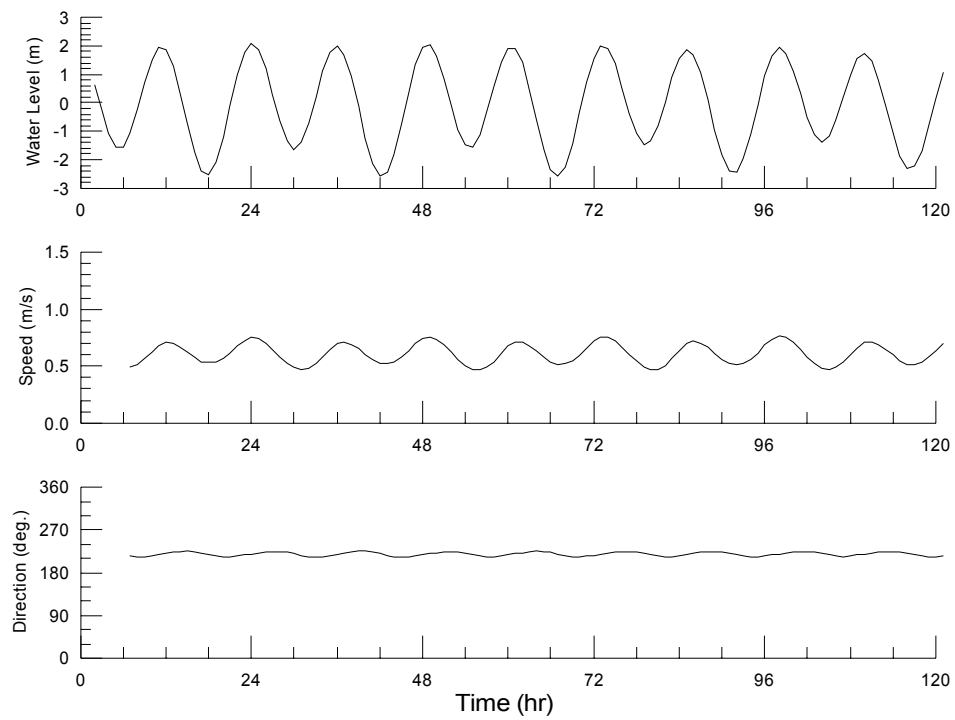


圖 3.12 臺中港區風速為 12 m/s 情況下參考點水位、流速與流向變化圖

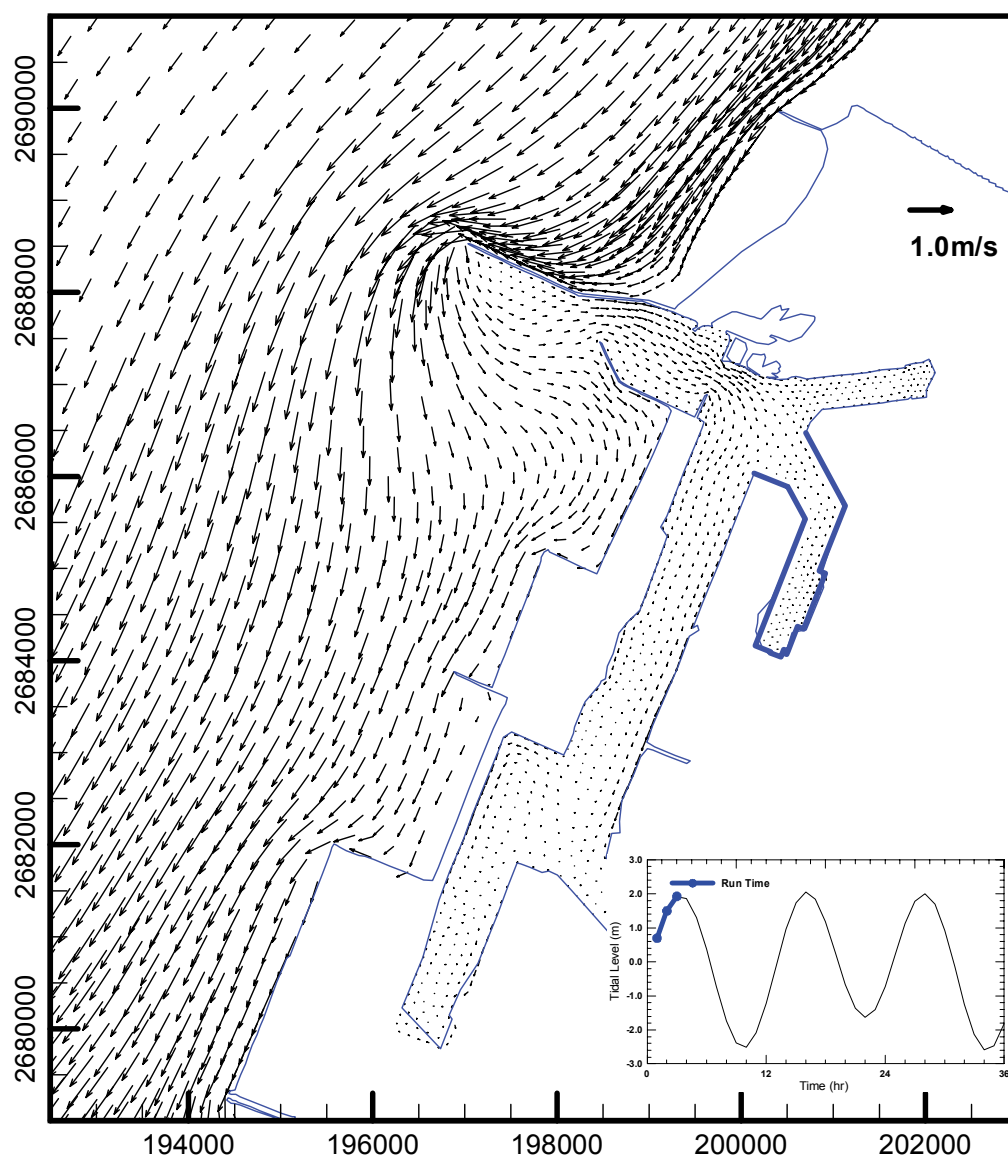


圖 3.13 臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 18 m/s)

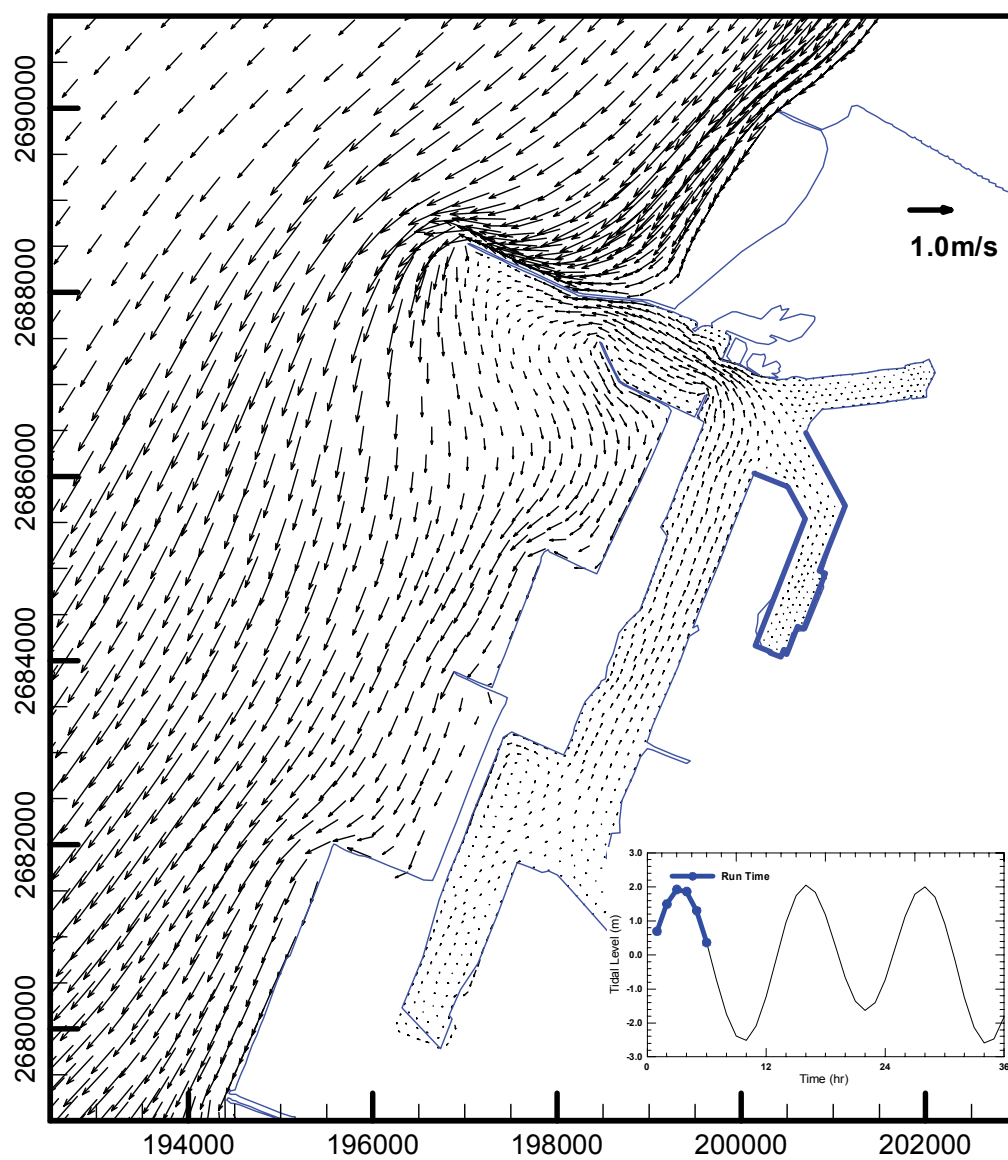


圖 3.13 (續 1)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 18 m/s)

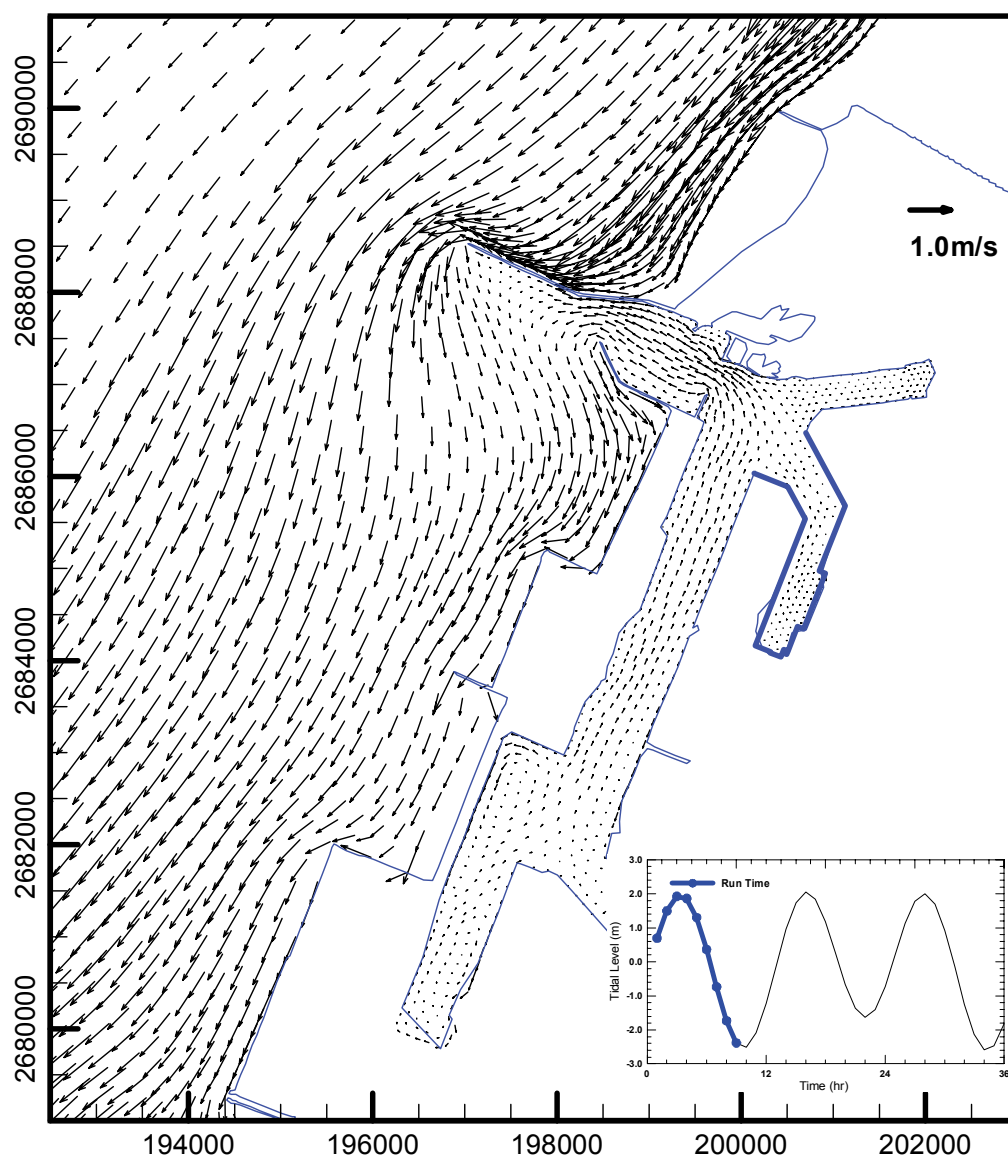


圖 3.13 (續 2)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 18 m/s)

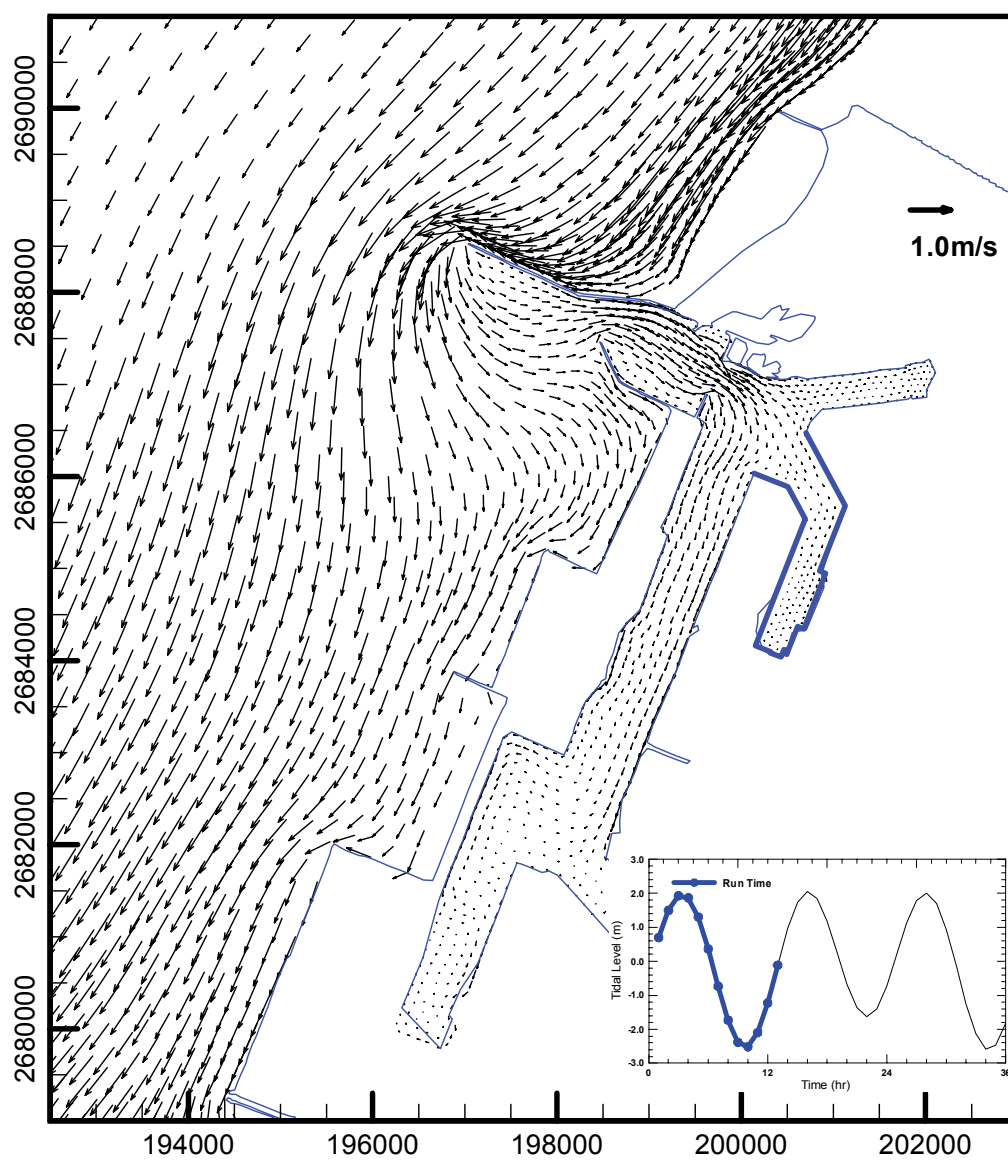


圖 3.13 (續 3)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 18 m/s)

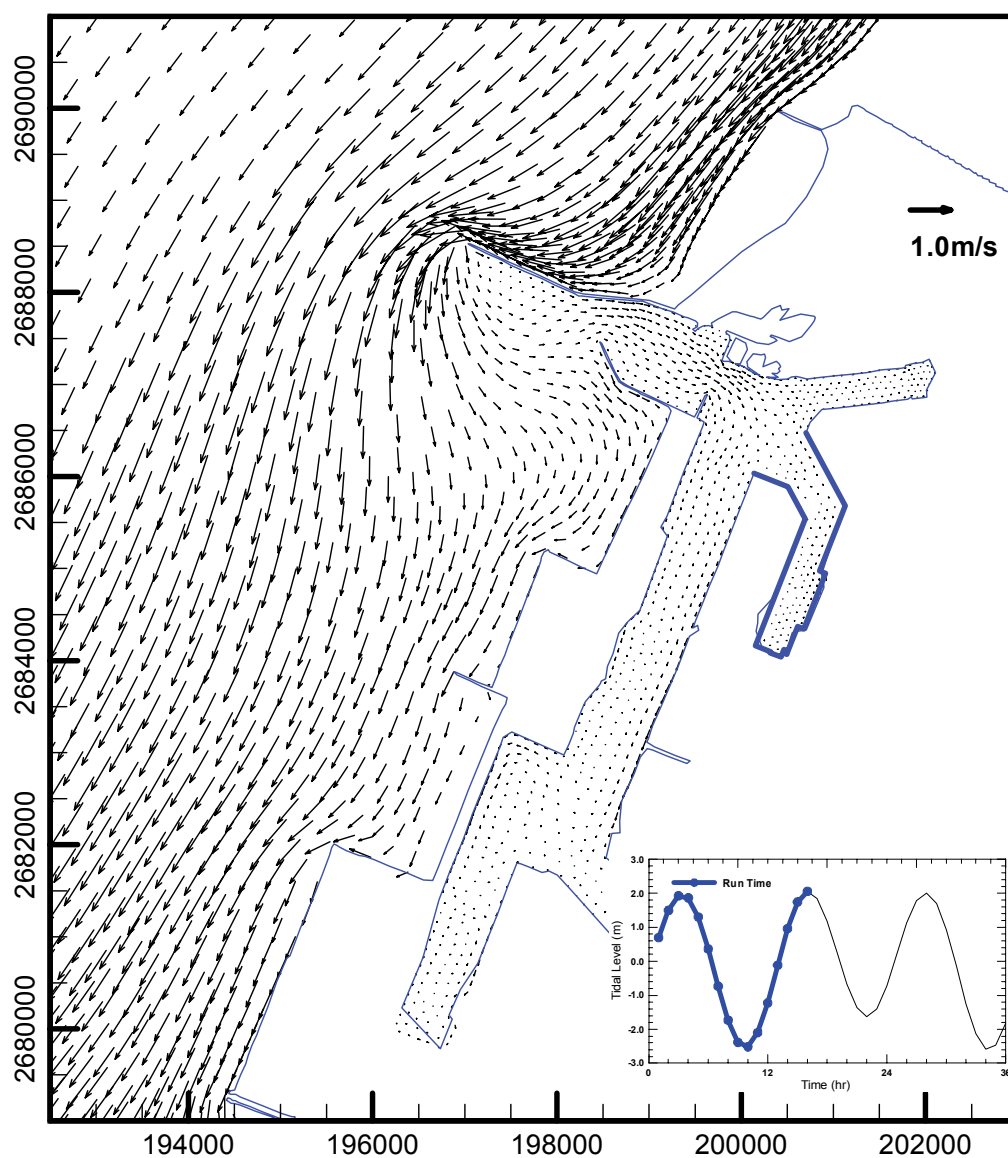


圖 3.13 (續 4)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 18 m/s)

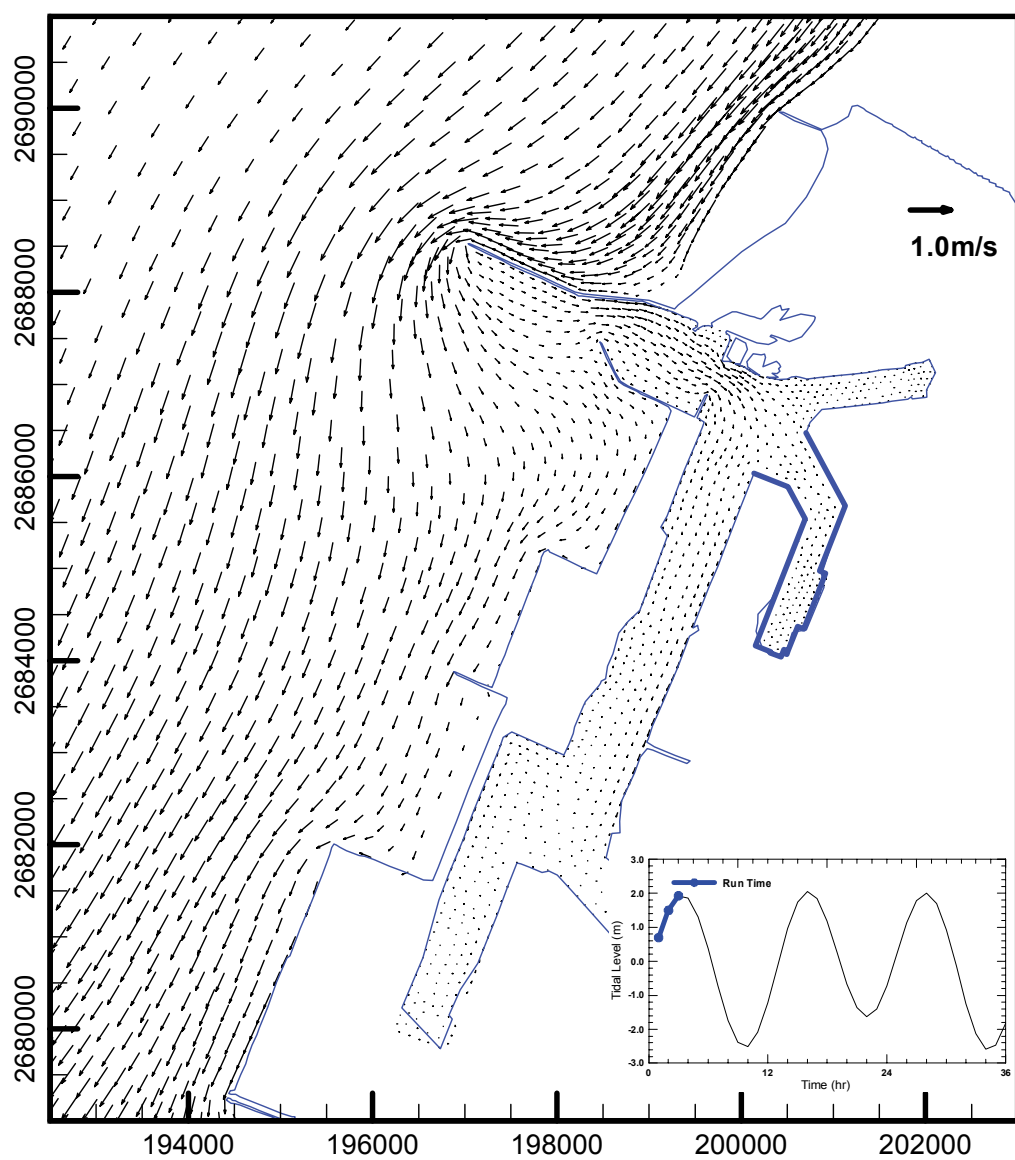


圖 3.14 臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 12 m/s)

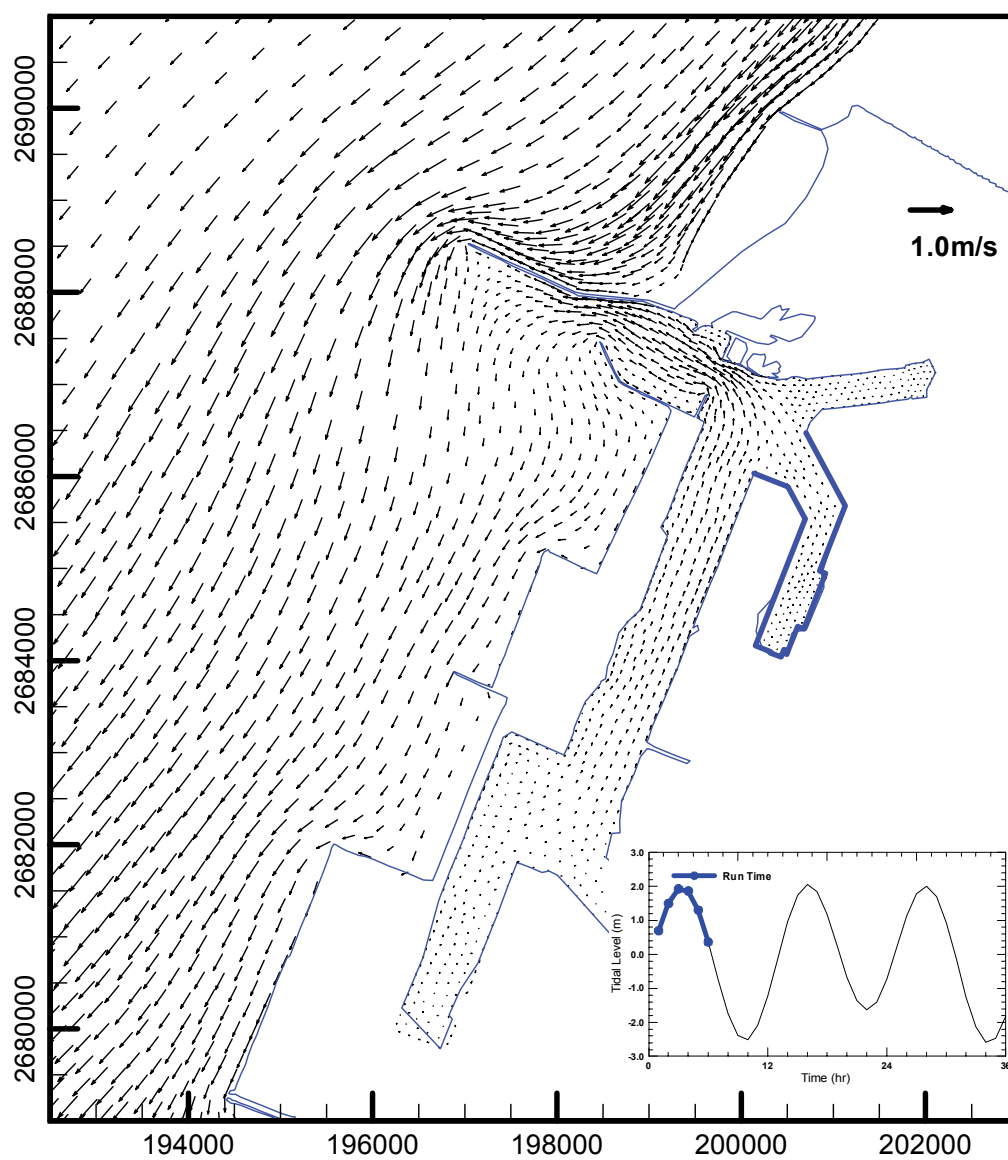


圖 3.14 (續 1)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 12 m/s)

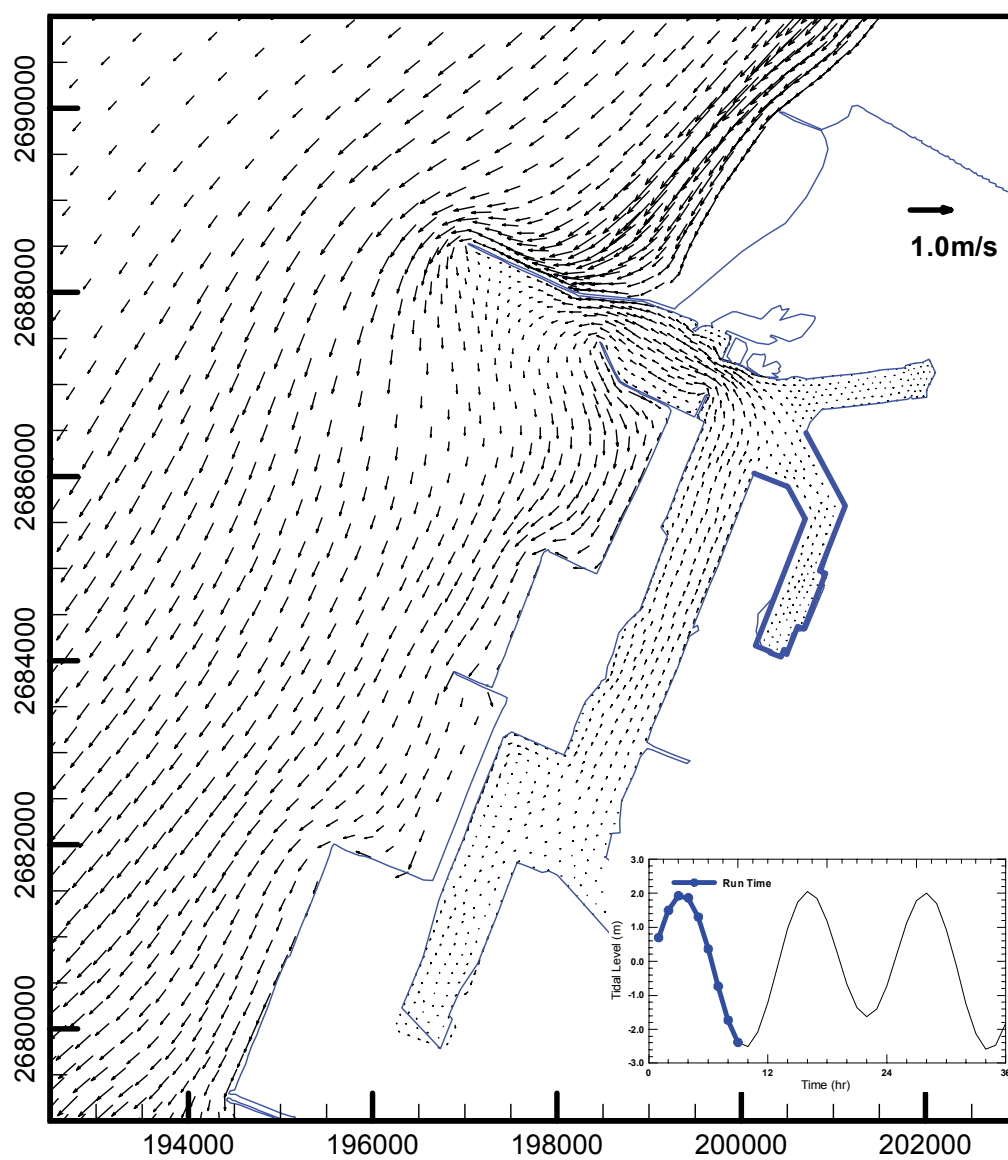


圖 3.14 (續 2)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 12 m/s)

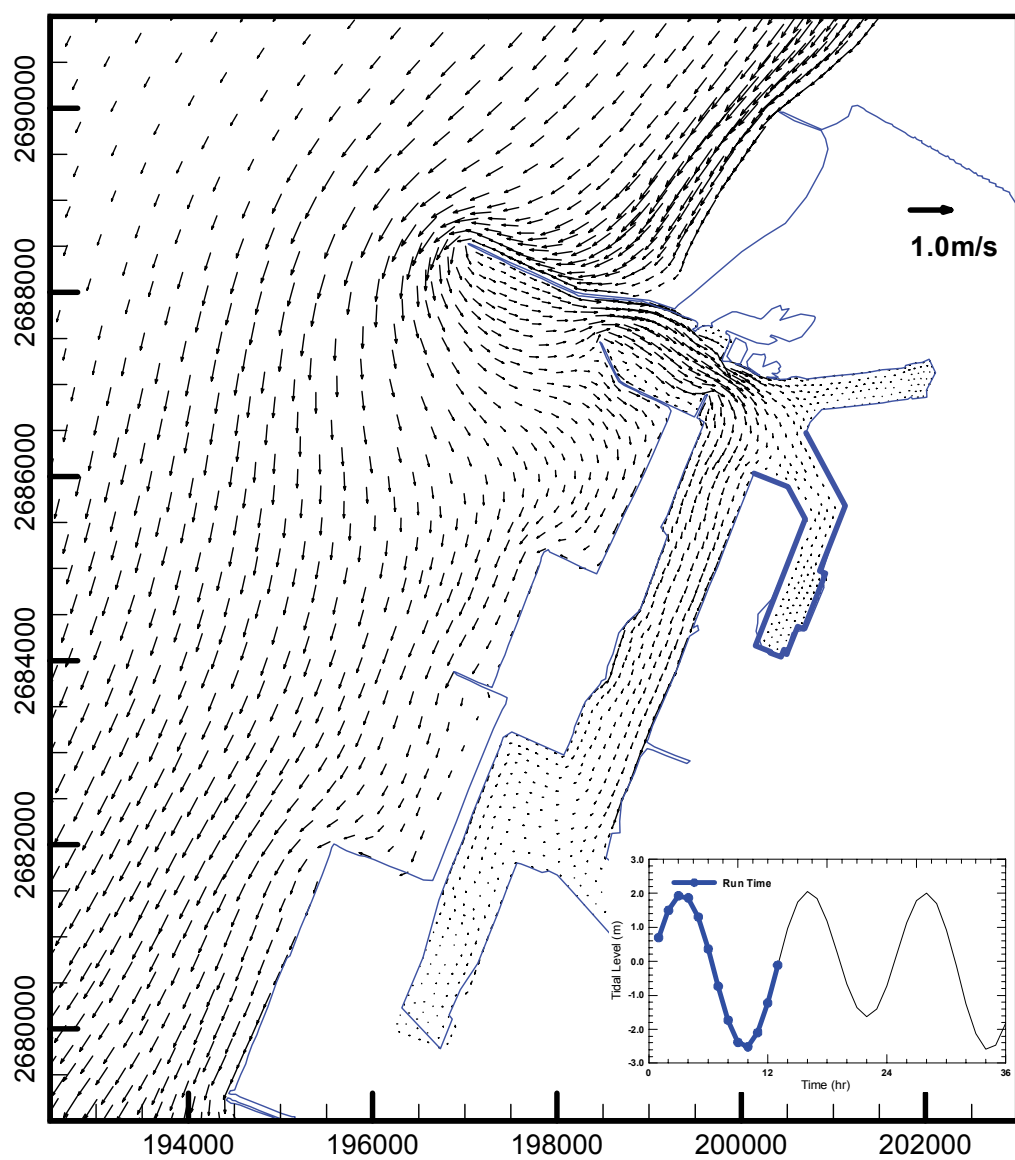


圖 3.14 (續 3)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 12 m/s)

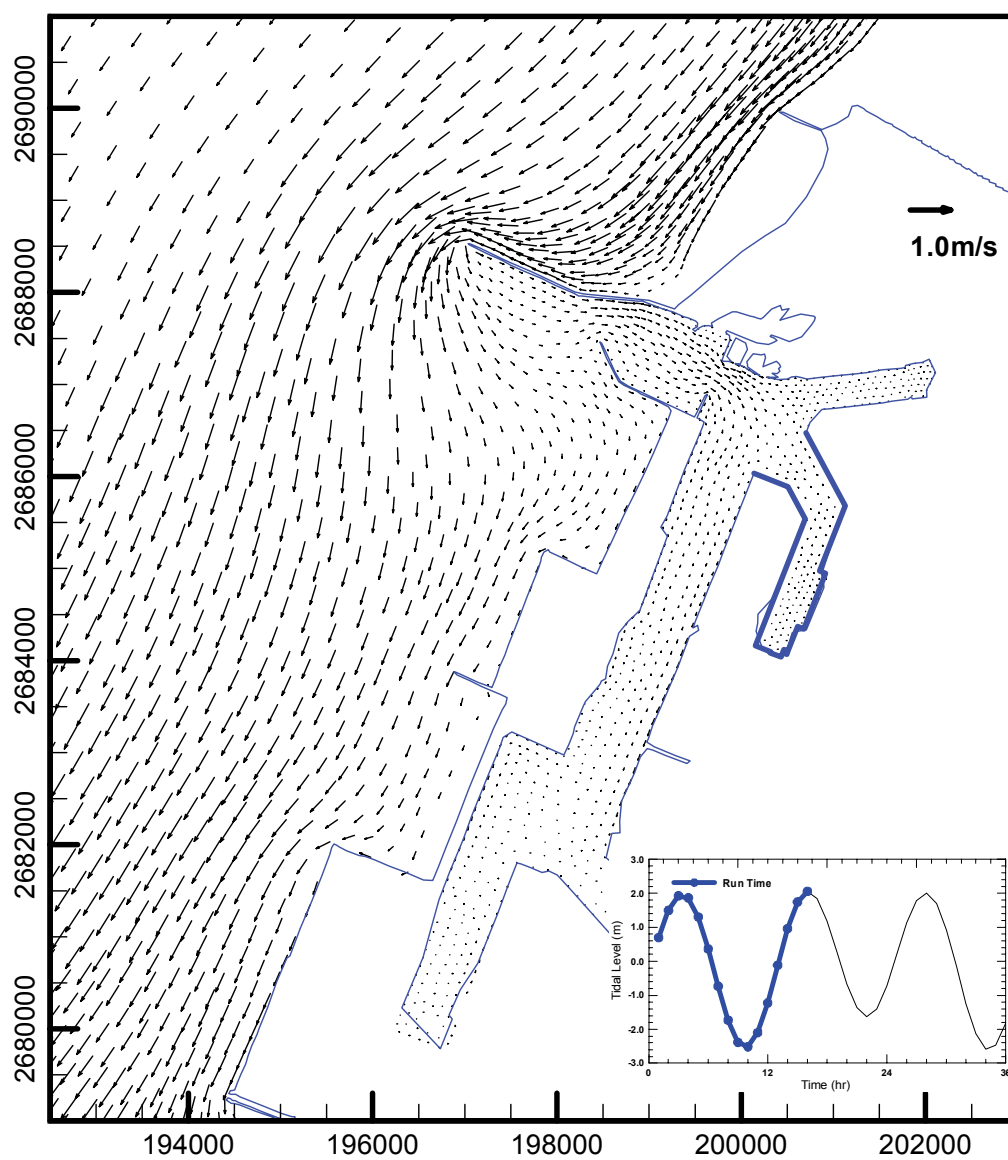


圖 3.14 (續 4)臺中港區環境流場模擬結果之流速向量圖(風速 12 m/s)

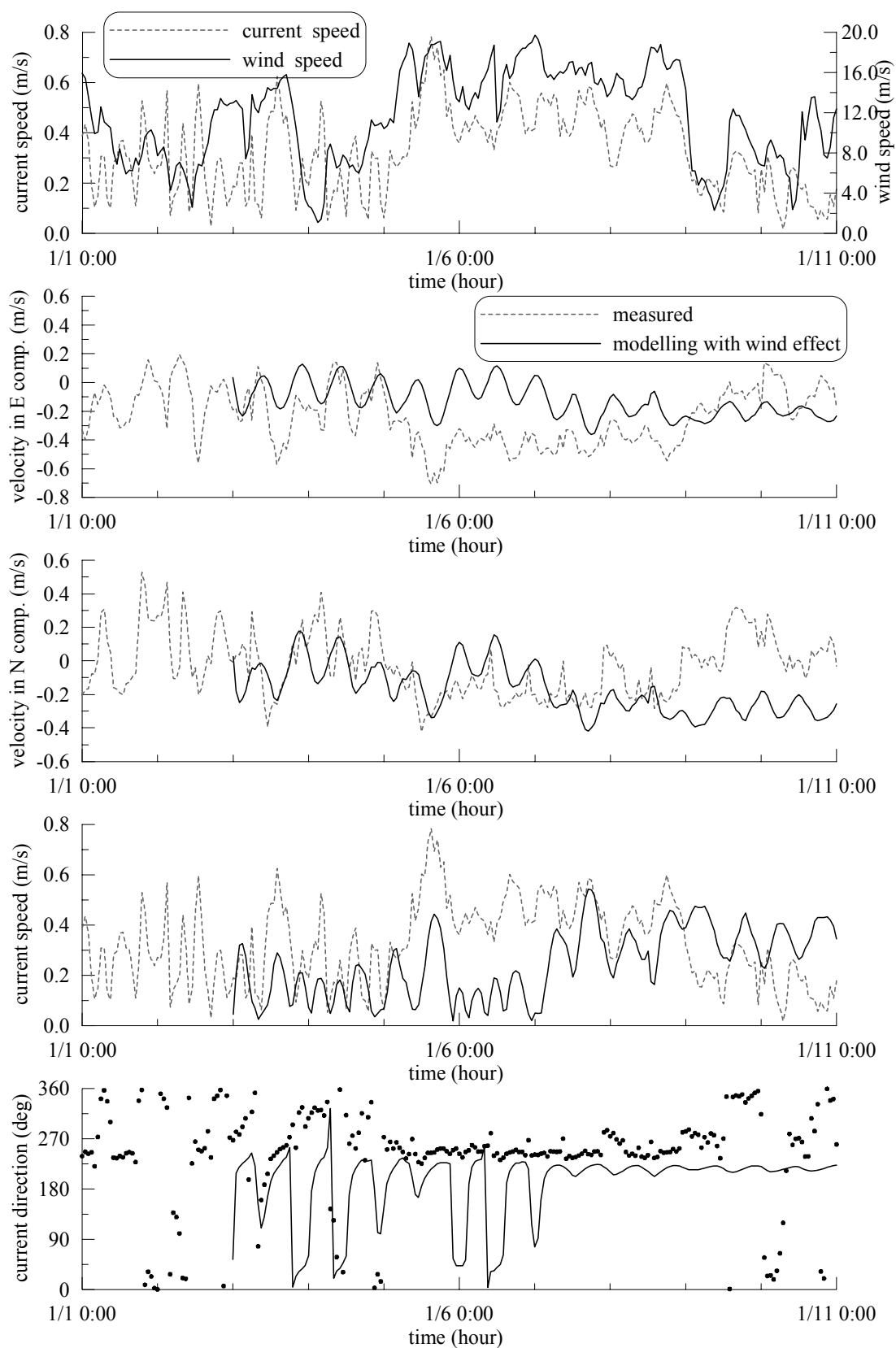


圖 3.15 臺中港含風場效應潮流模擬結果與海流觀測資料之比較

第四章 布袋港水位與海流模擬

本章節主要配合本年度之工作項目進行 2012 年布袋港港區水位及流場模擬，建置適於布袋港區及附近海域之水動力模式，內容包括模式計算格網之建置、模式邊界條件之建置、模式參數率定與驗證以及布袋港流況模擬結果。有關水動力模式理論介紹與模式有限元素法求解過程及其相關數值計算則詳列於附錄 IV。

4.1 模式數值計算格網之建置

本計畫依據布袋港區 1997 年配置情形，加上布袋港區及其鄰近海域之地形水深資料選取適當之模式模擬範圍，如圖 4.1 所示；模擬範圍北起雲林縣箔仔寮漁港，向西延伸約 25.5 公里，南至台南市將軍漁港，向西延伸約 17.6 公里，南北邊界相距約 44.7 公里。本計畫依據前述選取之模擬範圍建置流場數值模擬所需之模式三角形格網如圖 4.2 所示，其中數值網格則由 3457 個節點及 6519 個三角元素所構成，目前方法所建置的細網格(模式 Δt 約在 2 秒)據測試結果已具足夠代表性，可計算得到穩定結果。

4.2 水位邊界條件之建置

關於布袋港水動力數值模式之模式邊界型態亦分為海域開放邊界及陸地邊界兩種，其中陸地邊界條件本計畫亦採用滑動邊界為陸地邊界條件(即邊界節點垂直方向流速為零)。海域開放邊界通常採用水位(潮位)條件為模式之邊界條件，在模式模擬範圍的邊界上於箔仔寮漁港及將軍漁港港區內皆有潮位資料，因此本計畫採用上述兩漁港潮位觀測資料調和分析結果預測建置模式之開放邊界條件，如圖 4.3 所示，為模式模擬範圍的南北開放邊界之水位邊界條件，在模式計算中南北開放邊界上的每個節點水位值皆以此邊界條件代入，平行海岸之外海開放邊界上的每個節點水位值則以南北邊界的水位值取線性內插計算而

得。由圖顯示北部邊界的水位變化較南部邊界大，但兩者相位則相當接近。

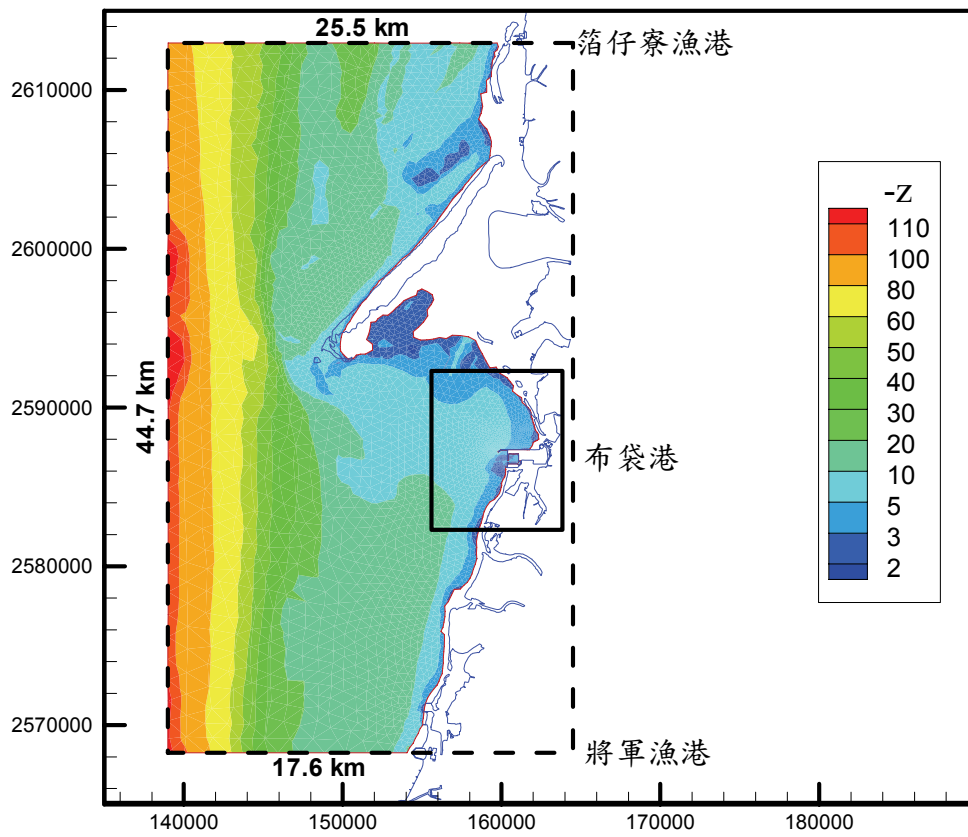


圖 4.1 布袋港區流場模擬範圍與水深分佈圖

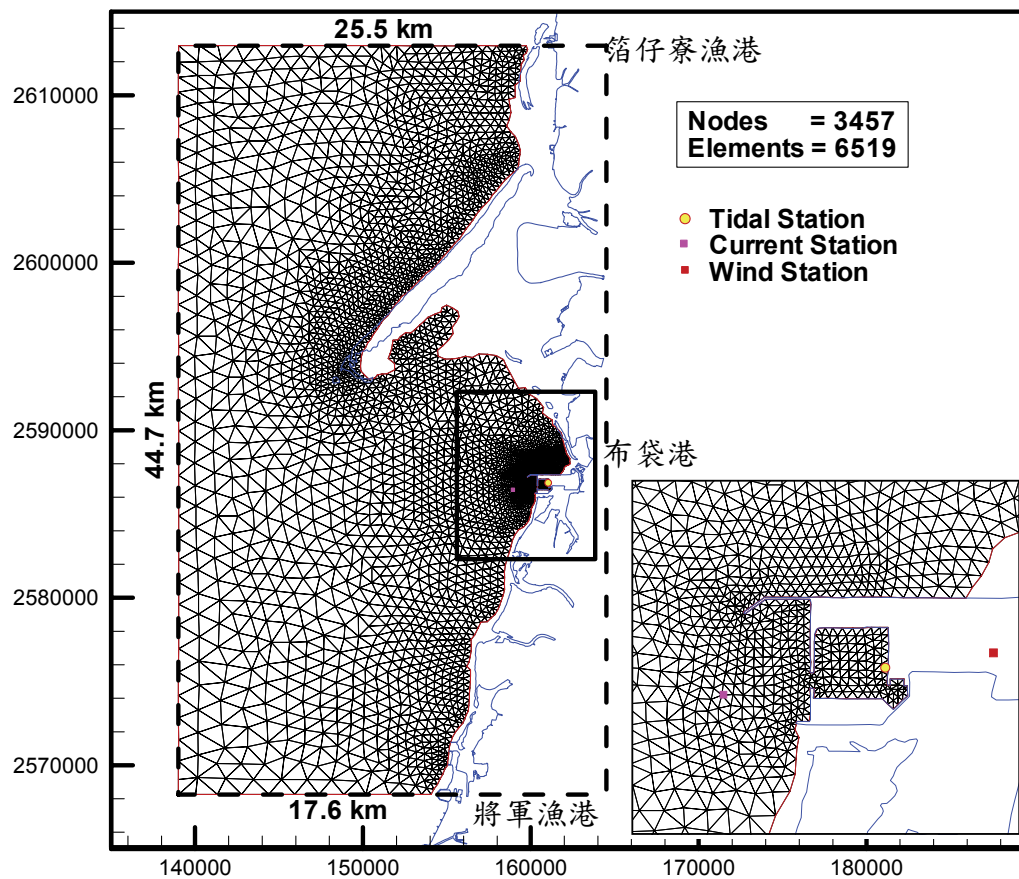


圖 4.2 布袋港區流場模擬範圍之有限元素格網分佈圖

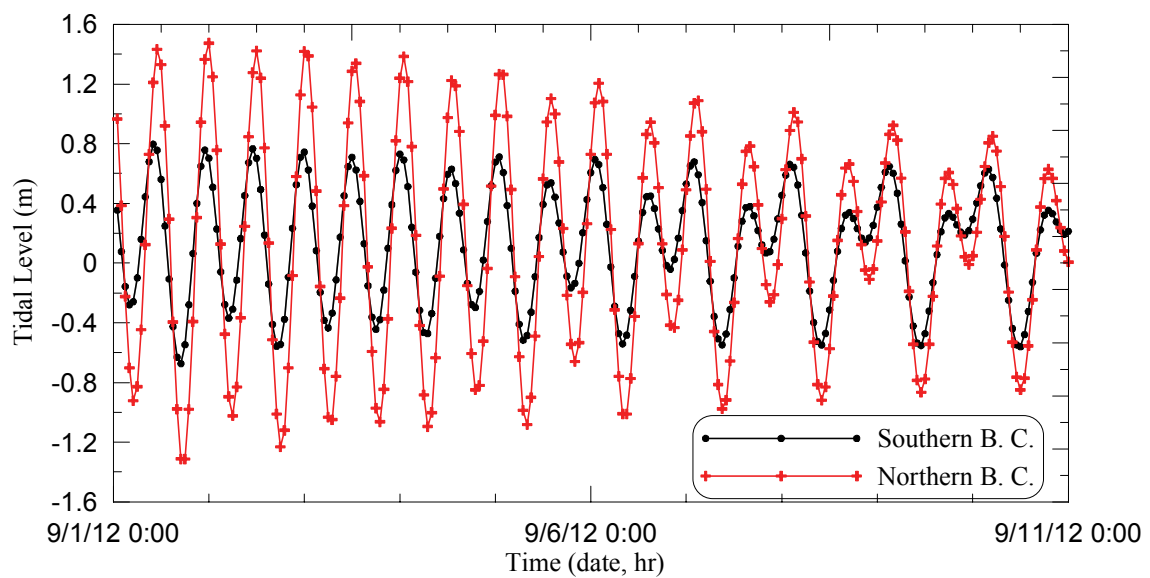


圖 4.3 布袋港水動力模式南、北開放邊界之水位邊界條件時序圖

4.3 模式參數率定與驗證

針對布袋港區水動力模式之參數率定與驗證，可參考 3.3 節。經由模式之模擬與率定結果得知：模式渦動粘滯性係數計算無因次係數 a 為 0.02，代表性流速 $\bar{u}$ 為 0.5m/s，代表性潮差 $\bar{\eta}$ 為 1.0m；底床摩擦係數隨水深而變，其值介於 0.003~0.022 之間。

本計畫選取 2012 年 9 月布袋港港內水位及港外海流觀測資料與鄰近觀測點之模式節點模擬結果進行模式之驗證，其中水位與海流觀測點位置示意圖如圖 4.2 所示。由於模式模擬結果主要為天文潮流成份，而海流觀測資料除了天文潮流成份外，尚有其他成份流及觀測誤差存在，因此本計畫先針對海流觀測資料採逐月方式選取 O_1 、 K_1 、 N_2 、 M_2 及 S_2 等五個主要分潮以調和分析方法得到觀測資料之天文潮流大小，再與本計畫布袋港水動力模式潮流模擬計算結果進行比較。如圖 4.4 所示為模式模擬預測布袋港 2012 年 9 月水位與潮流(東西向及南北向)之結果與觀測點天文潮流調和分析結果之比較，其中水位部分並未做調和分析，在排除部分品質不佳之資料後直接採用觀測資料與模式模擬結果比較。

由驗證結果顯示，水位觀測資料排除部分品質不佳之資料後與模式水位模擬結果相當吻合；潮流東西向分量與南北向分量比對結果顯示水動力模式模擬計算之東西向及南北向流速振幅皆小於調和分析結果，但其相位仍趨一致。由於布袋港鄰近海域有廣大的沙洲與淺灘地形，退潮時淺灘會露出水面之上，使得漲、退潮時段的陸地邊界會不一樣，在模擬上有其難度，本計畫在此問題的處理上目前以水深 2 m 處為數值模擬之固定邊界，與實際情況有些出入，因此針對此邊界問題的處理仍留待後續改善。

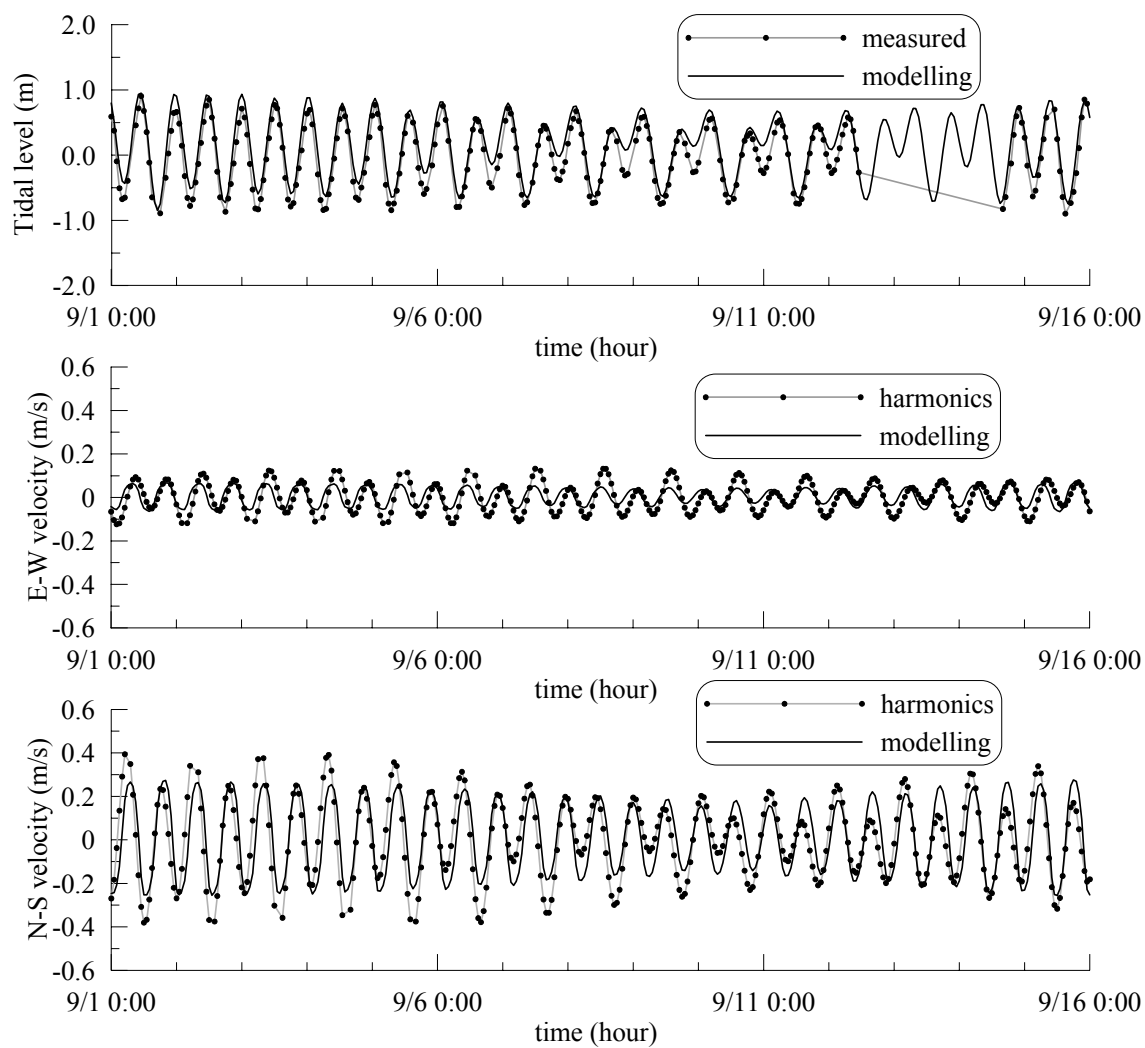


圖 4.4 布袋港水位及潮流模擬結果與潮流觀測資料調和分析(O_1 、 K_1 、 N_2 、 M_2 、 S_2)結果之比較

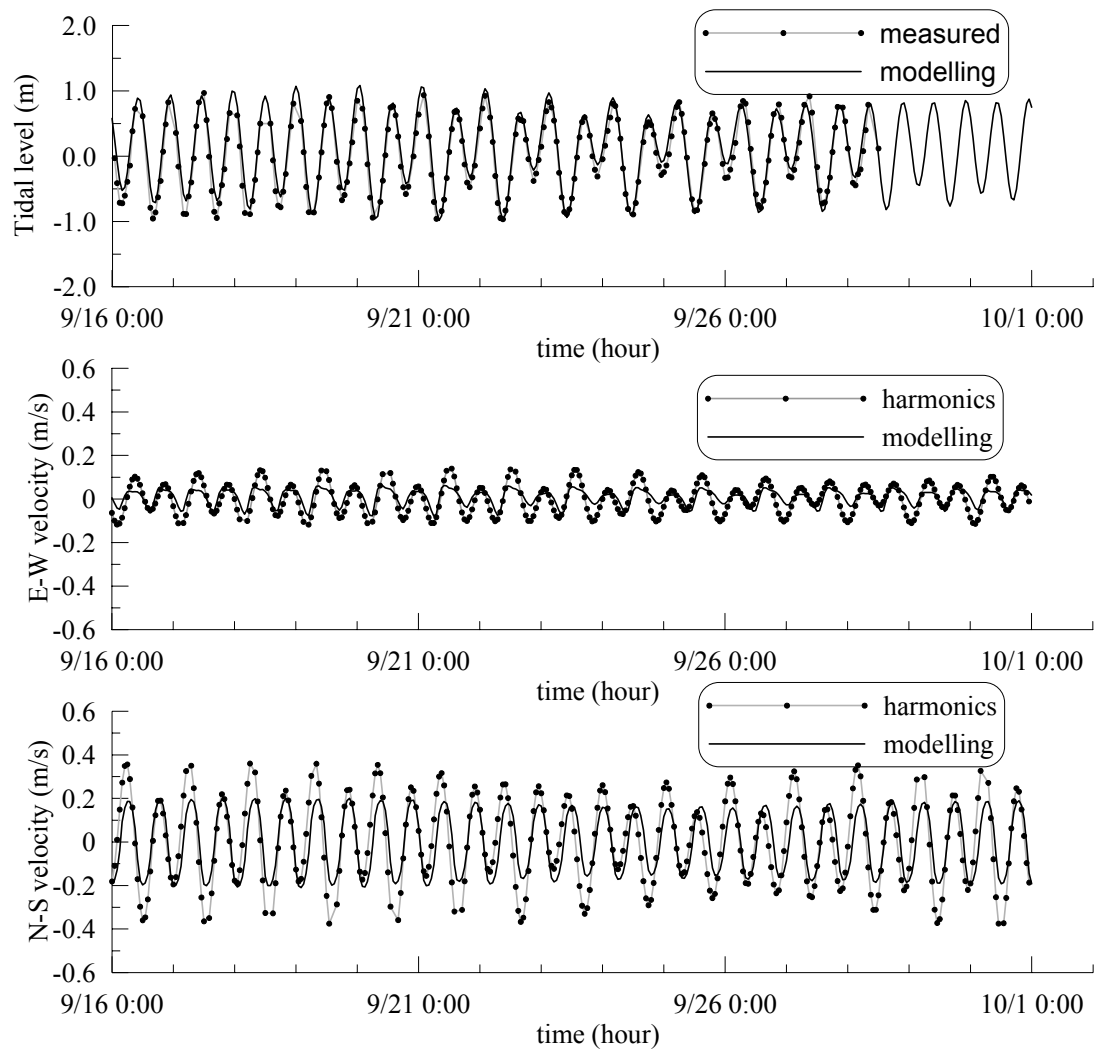


圖 4.4 (續)布袋港水位及潮流模擬結果與潮流觀測資料調和分析(O_1 、 K_1 、 N_2 、 M_2 、 S_2)結果之比較

4.4 流場模擬特性分析

本節依據上述所建立之布袋港水動力模式模擬港區附近海域的流場環境。本計畫選取農曆大潮期間(2012 年 9 月 1 日，農曆 8 月 16 日)數值模擬結果分別繪出布袋港區高、低平潮時段與漲、退時段之環境流場流矢向量圖，如圖 4.5 至圖 4.9 所示。由圖顯示高平潮時段，港口外側有微弱的東南向流場，部分流入港區內；退潮時段港口外側有明顯的南向流，此時海水由港區內往外流，在港口處有較強的流速；低平潮時段流向轉為向北，但整個港區附近流速不大；漲潮時段港口外側有較強的北向流，在港口亦有較強的流速流向港內，直至高平潮時段流向再轉為微弱的南向流。

針對風場的效應，本計畫選擇 2012 年 9 月觀測風場逐時資料代入模式進行模擬，風場觀測位置如圖 4.2 所示(座標系統 GRS67：緯度 23.38165、經度 120.13881)。布袋港海流觀測站流速資料與同時間附近風場觀測風速的時序變化如圖 4.10 所示，顯示該觀測點海流流速與附近風場風速的相關性並不明顯，即使在 9 月 14~15 日風速較大期間，流速並未明顯增加。將觀測風場時序資料代入水動力模式模擬結果與觀測流速資料比較如圖 4.11，顯示風速明顯增加時流速亦隨著明顯增加，但仍小於觀測流速。圖 4.12 為含風場時序變化效應與不含風場效應的模擬結果，顯示觀測風速約在 8 m/s 以下時流速差異不大，若風速增加至 8 m/s 以上時流速有明顯增加的現象。

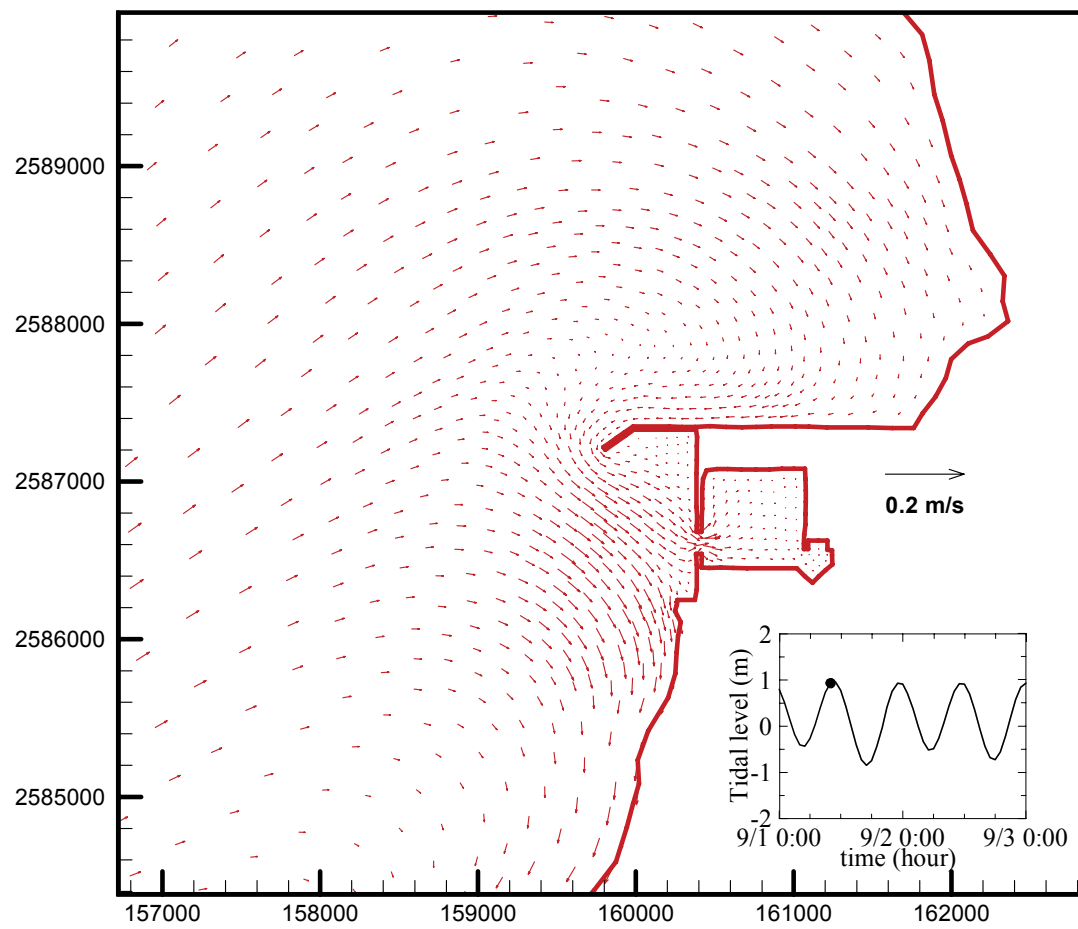


圖 4.5 布袋港區高平潮時段流場模擬結果之流速向量圖

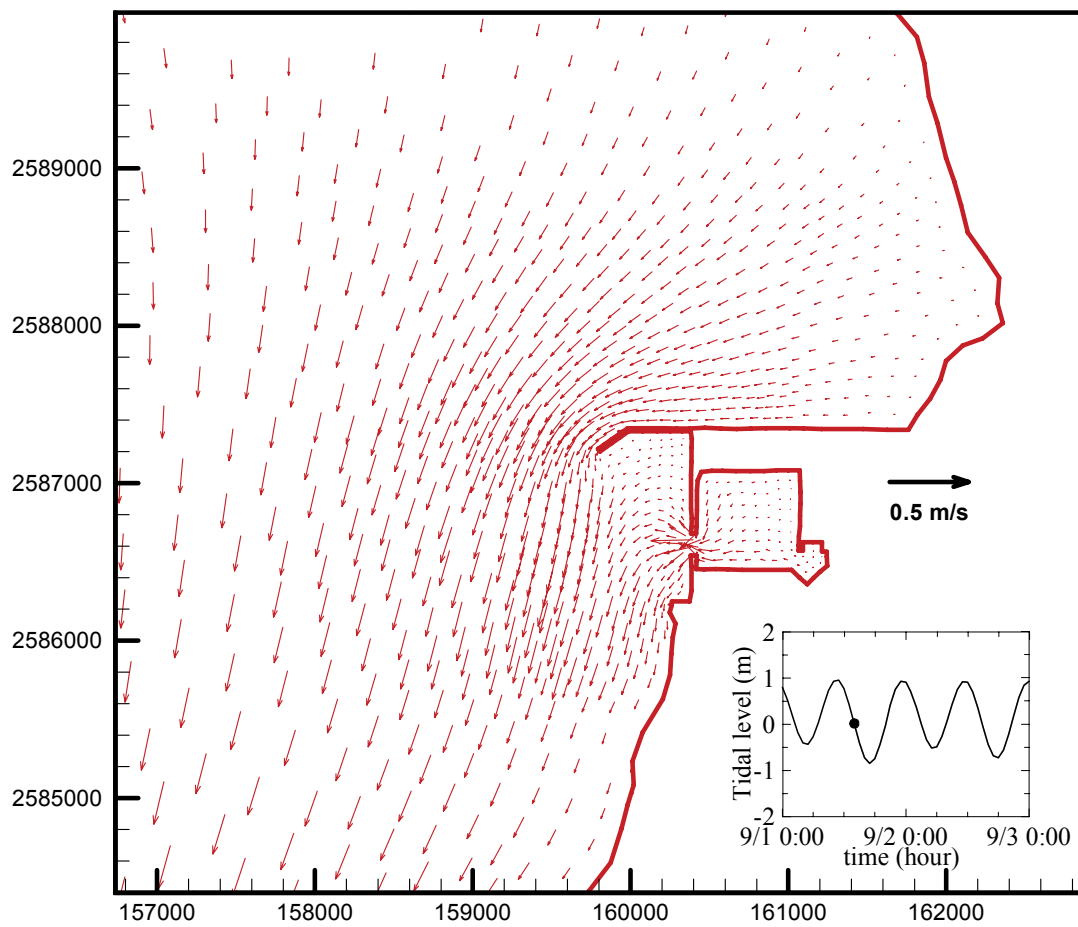


圖 4.6 布袋港區退潮時段流場模擬結果之流速向量圖

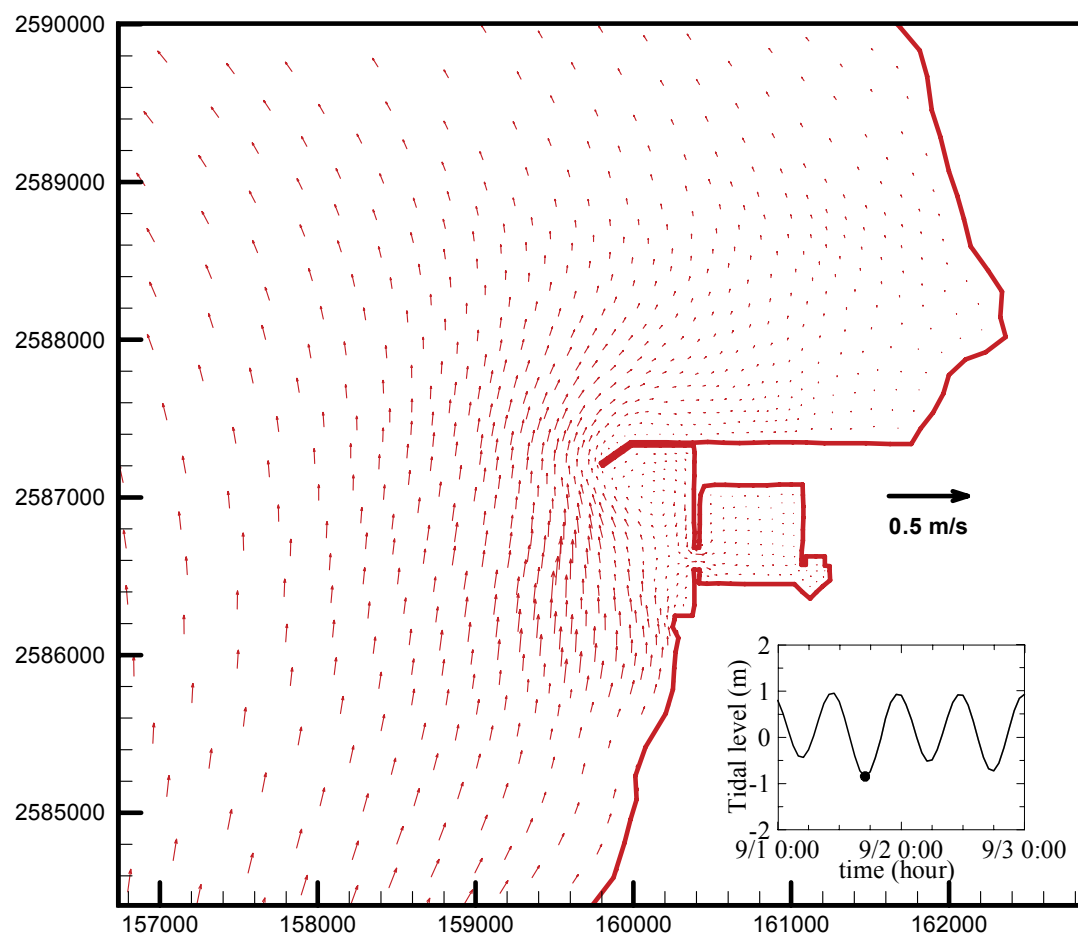


圖 4.7 布袋港區低平潮時段流場模擬結果之流速向量圖

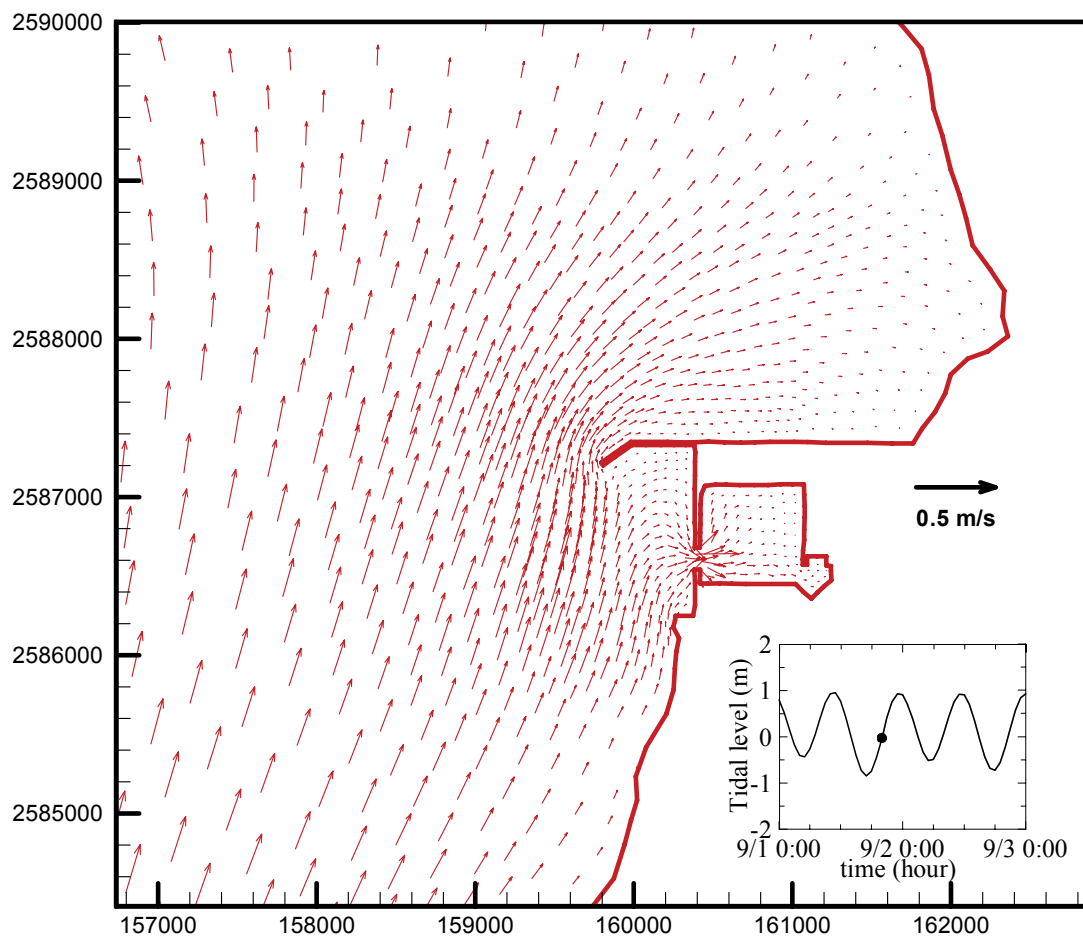


圖 4.8 布袋港區漲潮時段流場模擬結果之流速向量圖

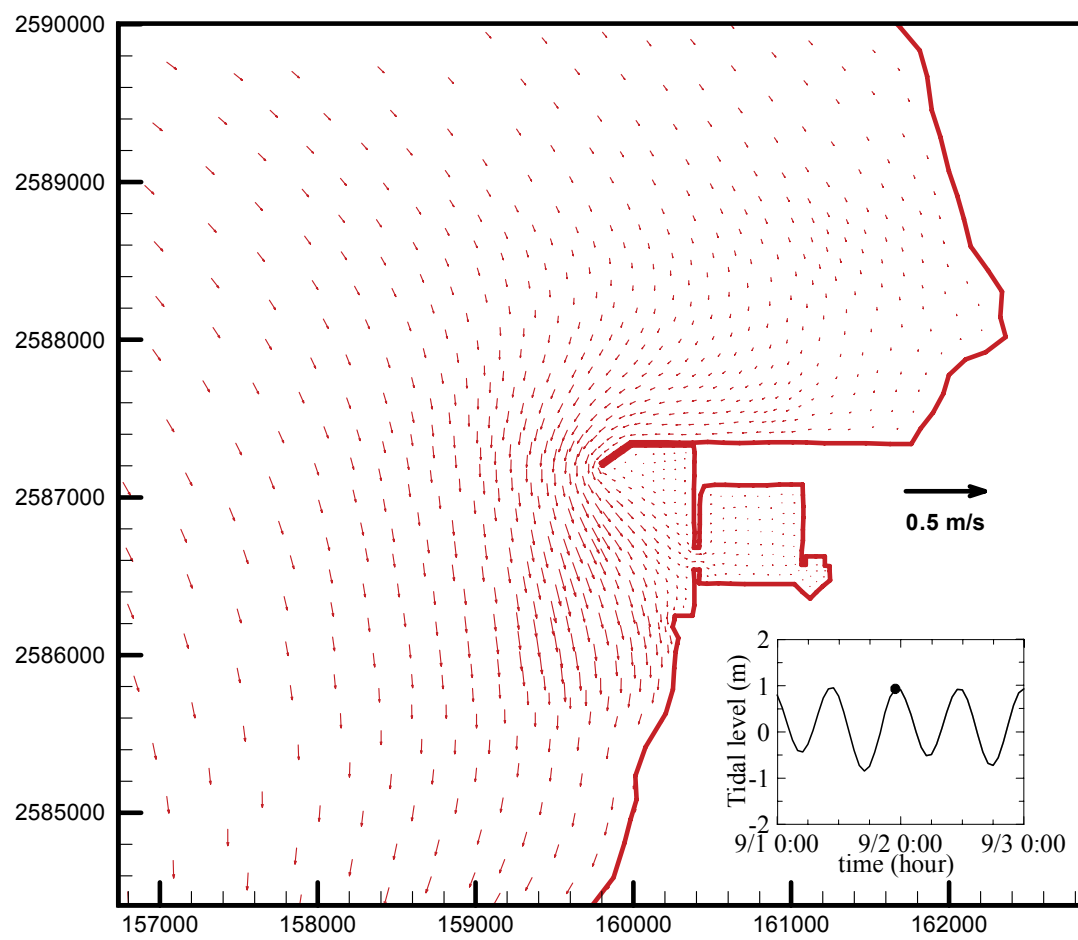


圖 4.9 布袋港區高平潮時段流場模擬結果之流速向量圖

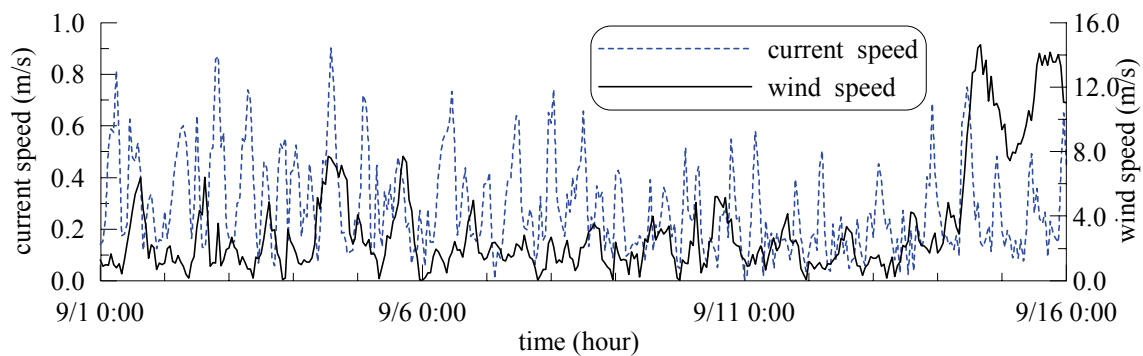


圖4.10 布袋港海流觀測流速與附近風場觀測風速時序圖

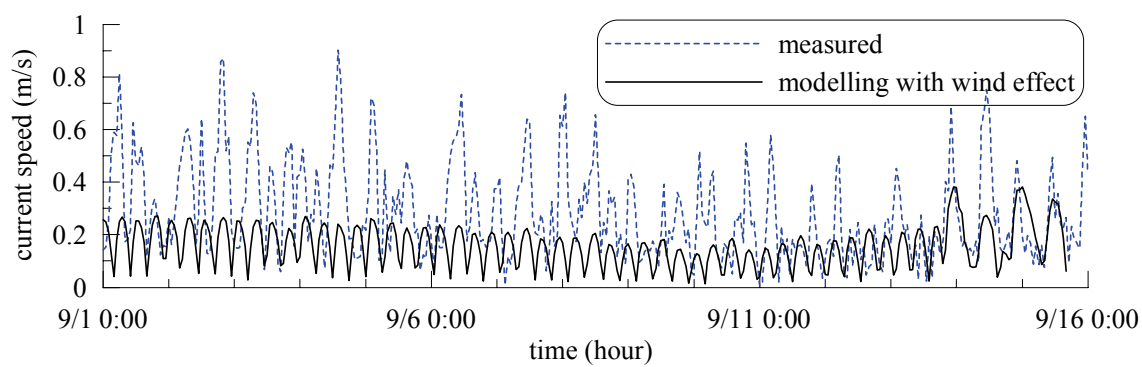


圖4.11 布袋港海流觀測流速與含風場效應模擬流速比較圖

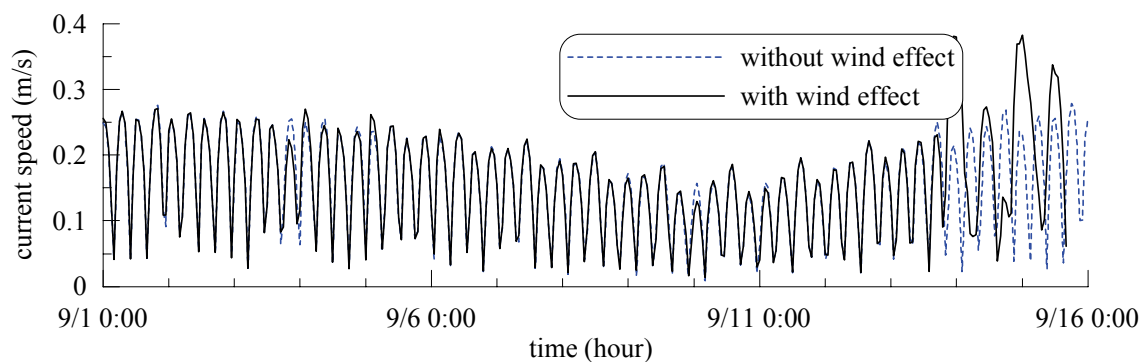


圖4.12 布袋港含風場與不含風場效應模擬流速比較圖

第五章 作業化預測成果評估

本章節針對本計畫第一年度建立的基隆港與臺北港水位及海流模擬預警子系統作業化預測成果進行評估工作。本計畫選取今年 8 月(非東北季風期)及 9 月(東北季風期)期間基隆港和臺北港水位及海流觀測資料與預警子系統預報結果(圖 5-1 至圖 5-8)進行統計，其中水位項目包括平均水位、最高水位(日/時)、最低水位(日/時)及水位偏差等統計，分別如表 5-1 至表 5-4 所示；海流項目包括平均流速統計、主要流向統計、海流東西向及南北向分量平均流速、最大流速(流向、日/時)、流速偏差、流向偏差、流速東西向及南北向分量偏差等統計，分別如表 5-5 至表 5-14 所示。以下兩節分別就基隆港與臺北港子系統統計結果做說明。

5.1 基隆港子系統作業化預測成果評估

基隆港 8 月測得最高水位為 0.57 m(27 日/19 時)，模式預報最高為 0.52 m(1 日/22 時)，9 月測得最高水位為 0.54 m(17 日/9 時)，模式預報最高為 0.45 m(22 日/15 時)，相差皆在 0.1 m 以下；8 月測得最低水位為 -0.70 m，模式預報最低為 -0.72 m，9 月測得最低水位為 -0.56 m，模式預報最低為 -0.63 m，相差亦在 0.1 m 以下；觀測與預報潮位之間的偏差為預報值減去觀測值，8 月和 9 月的標準偏差分別為 0.10 m 與 0.11 m，最大偏差分別為 -0.33 m 與 -0.37 m。

海流方面，基隆港 8 月觀測平均流速 26.6 cm/s，模式預報平均流速 14.7 cm/s，9 月觀測平均流速 24.9 cm/s，模式預報平均流速 14.7 cm/s；8 月和 9 月觀測主要流向皆為東北東向(ENE)，分別占 18.2%與 16.9%，模式預報主要流向皆為東向(E)，占 44.4%；8 月和 9 月觀測海流東西向分量平均流速分別為 3.8 與 3.7 cm/s，模式預報潮流東西向分量平均流速皆為 0.4 cm/s；8 月和 9 月觀測海流南北向分量平均流速分別為 0.6 與 4.6 cm/s，模式預報潮流南北向分量平均流速皆為 -0.1

cm/s；8 月測得最大流速 99.0 cm/s，流向東北東向(ENE)，發生時間 3 日 12 時，9 月測得最大流速 105.0 cm/s，流向東北東向(ENE)，發生時間 16 日 11 時，模式預報 8 月和 9 月最大流速約為 33 cm/s，發生時間分別為 5 日 13 時與 19 日 1 時，流向皆為東向(E)；8 月觀測流速與模式預報流速平均偏差為-11.9 cm/s，標準偏差為 20.5 cm/s，最大偏差-85.9 cm/s，平均比值 0.9，其中偏差為預報值減去觀測值，比值為預報值除觀測值，9 月觀測流速與模式預報流速平均偏差為-10.2 cm/s，標準偏差為 19.2 cm/s，最大偏差-80.3 cm/s，平均比值 1.0；8 月觀測流向與模式預報流向平均偏差為 51.7 度，標準偏差為 72.9 度，最大偏差 177.8 度，9 月份各項偏差亦與 8 月份相近；8 月觀測流速與模式預報流速東西向分量平均偏差為-3.4 cm/s，標準偏差為 20.4 cm/s，最大偏差-69.1 cm/s，9 月觀測流速與模式預報流速東西向分量平均偏差為-3.3 cm/s，標準偏差為 19.9 cm/s，最大偏差-71.3 cm/s；8 月觀測流速與模式預報流速南北向分量平均偏差為-0.8 cm/s，標準偏差為 15.0 cm/s，最大偏差 88.6 cm/s，9 月觀測流速與模式預報流速南北向分量平均偏差為-4.7 cm/s，標準偏差為 14.6 cm/s，最大偏差 57.0 cm/s。

5.2 臺北港子系統作業化預測成果評估

臺北港 8 月測得最高水位為 1.56 m(2 日/23 時)，模式預報最高為 1.43 m(5 日/0 時)，相差 0.13 m，9 月測得最高水位為 1.76 m(17 日/11 時)，模式預報最高為 1.52 m(19 日/12 時)，相差 0.24 m；8 月測得最低水位為-1.79 m(1 日/16 時)，模式預報最低為-1.67 m(3 日/17 時)，相差 0.12 m，9 月測得最低水位為-1.65 m(19 日/6 時)，模式預報最低為-1.54 m(21 日/7 時)，相差 0.11 m；8 月和 9 月觀測與預報潮位之間的標準偏差分別為 0.30 m 與 0.28 m，最大偏差分別為-0.85 m 與-0.71 m。

海流方面，臺北港 8 月觀測平均流速 49.7 cm/s，模式預報平均流速 40.7 cm/s，9 月觀測平均流速 44.3 cm/s，模式預報平均流速 41.1 cm/s；8 月和 9 月觀測主要流向皆為西南向(SW)，分別占 24.2%與 26.5%，模式預報主要流向皆為西南西向(WSW)，分別占 49.1%與

48.3%；8 月和 9 月觀測海流東西向分量平均流速分別為-5.4 與-3.1 cm/s，模式預報潮流東西向分量平均流速分別為-1.5 與-0.5 cm/s；8 月和 9 月觀測海流南北向分量平均流速分別為 9.5 與 7.7 cm/s，模式預報潮流南北向分量平均流速分別為 0.3 與 1.2 cm/s；8 月測得最大流速 138.0 cm/s，流向東北向(NE)，發生時間 3 日 2 時，9 月測得最大流速 115.0 cm/s，流向東北向(NE)，發生時間 16 日 13 時，模式預報 8 月和 9 月最大流速分別為 86.7 與 88.5 cm/s，發生時間分別為 4 日 14 時與 19 日 2 時，流向皆為東北向(NE)；8 月觀測流速與模式預報流速平均偏差為-9.1 cm/s，標準偏差為 22.5 cm/s，最大偏差-94.1 cm/s，平均比值 1.0，9 月觀測流速與模式預報流速平均偏差為-3.2 cm/s，標準偏差為 18.9 cm/s，最大偏差-55.7 cm/s，平均比值 1.2；8 月觀測流向與模式預報流向平均偏差為 30.0 度，標準偏差為 46.2 度，最大偏差 173.8 度，9 月觀測流向與模式預報流向平均偏差為 31.8 度，標準偏差為 51.2 度，最大偏差 177.9 度；8 月觀測流速與模式預報流速東西向分量平均偏差為 3.9 cm/s，標準偏差為 21.3 cm/s，最大偏差 152.7 cm/s，9 月觀測流速與模式預報流速東西向分量平均偏差為 2.5 cm/s，標準偏差為 17.2 cm/s，最大偏差 72.4 cm/s；8 月觀測流速與模式預報流速南北向分量平均偏差為-9.1 cm/s，標準偏差為 22.2 cm/s，最大偏差-69.5 cm/s，9 月觀測流速與模式預報流速南北向分量平均偏差為-6.7 cm/s，標準偏差為 19.1 cm/s，最大偏差-53.2 cm/s。

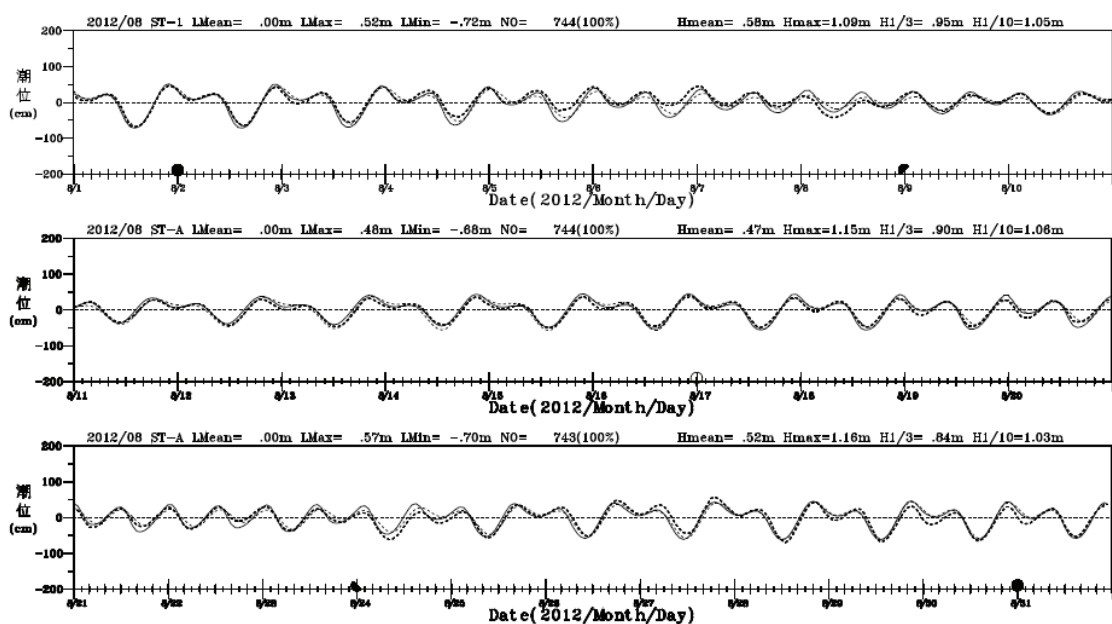


圖 5.1 基隆港 2012 年 8 月水位觀測資料與模擬結果之比較(實線：model，細虛線：調和，粗虛線：觀測)

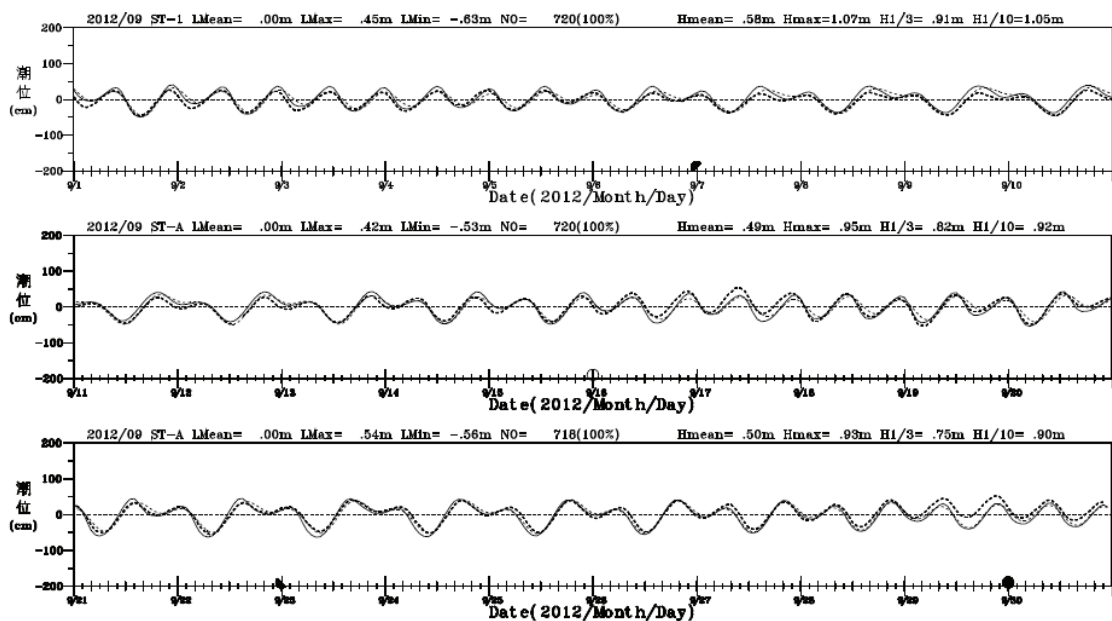


圖 5.2 基隆港 2012 年 9 月水位觀測資料與模擬結果之比較(實線：model，細虛線：調和，粗虛線：觀測)

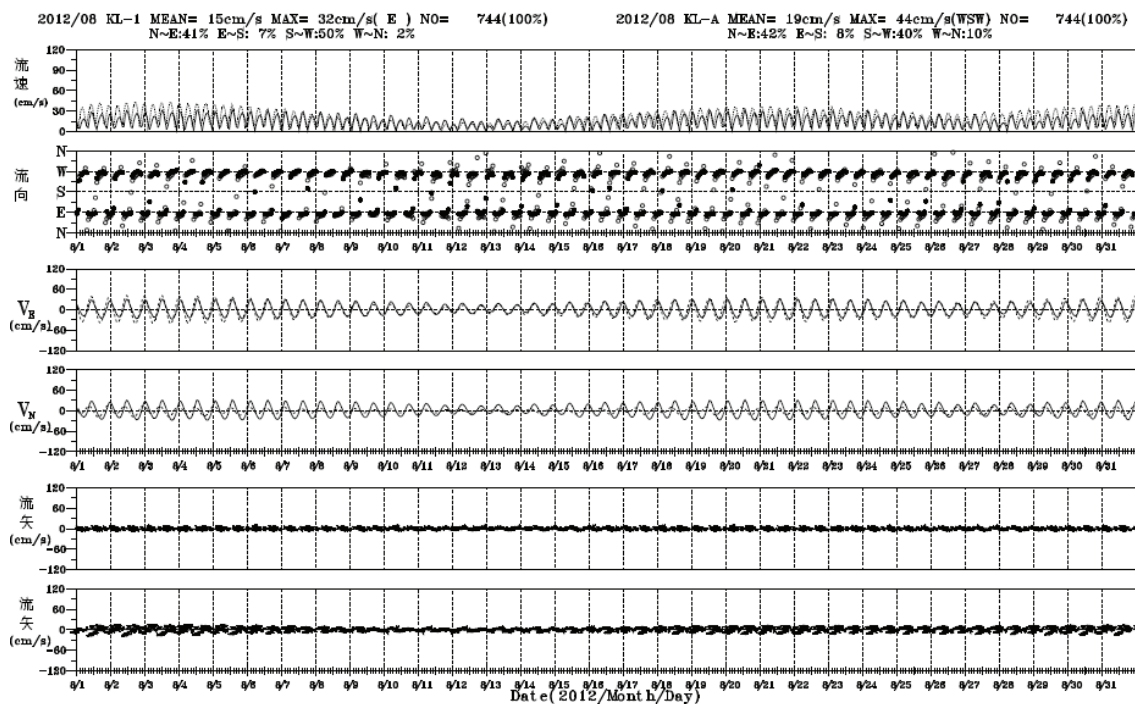


圖 5.3 基隆港 2012 年 8 月海流觀測資料與模擬結果之比較(實線：
model，虛線：調和)

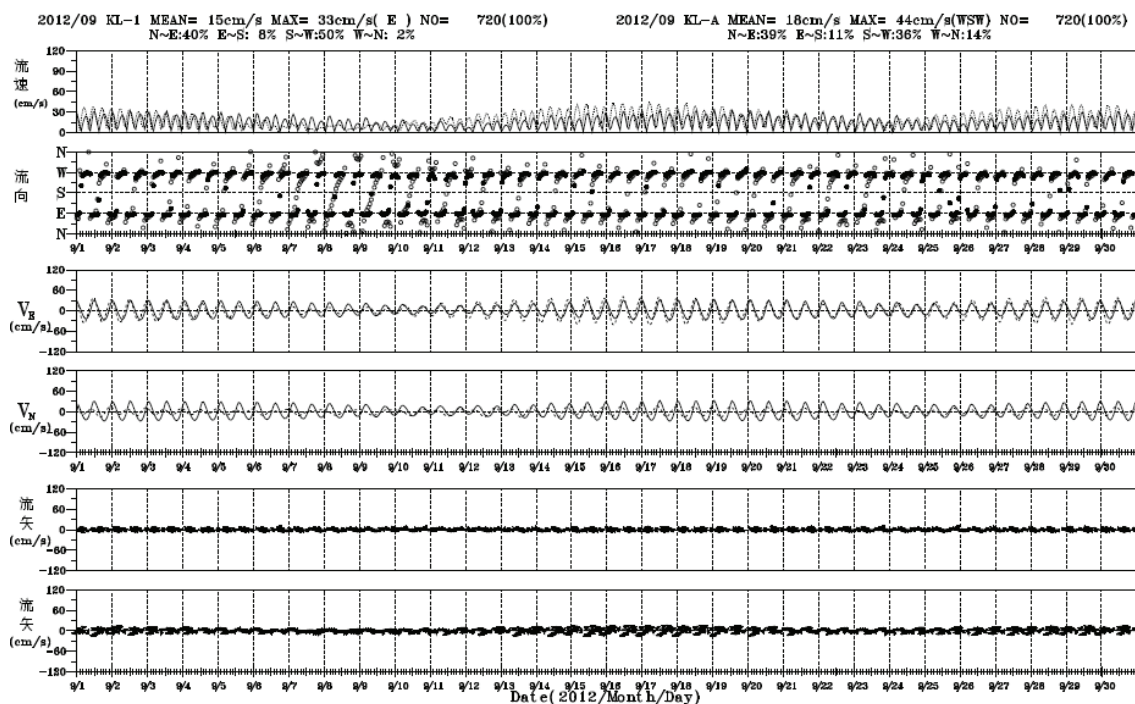


圖 5.4 基隆港 2012 年 9 月海流觀測資料與模擬結果之比較(實線：
model，虛線：調和)

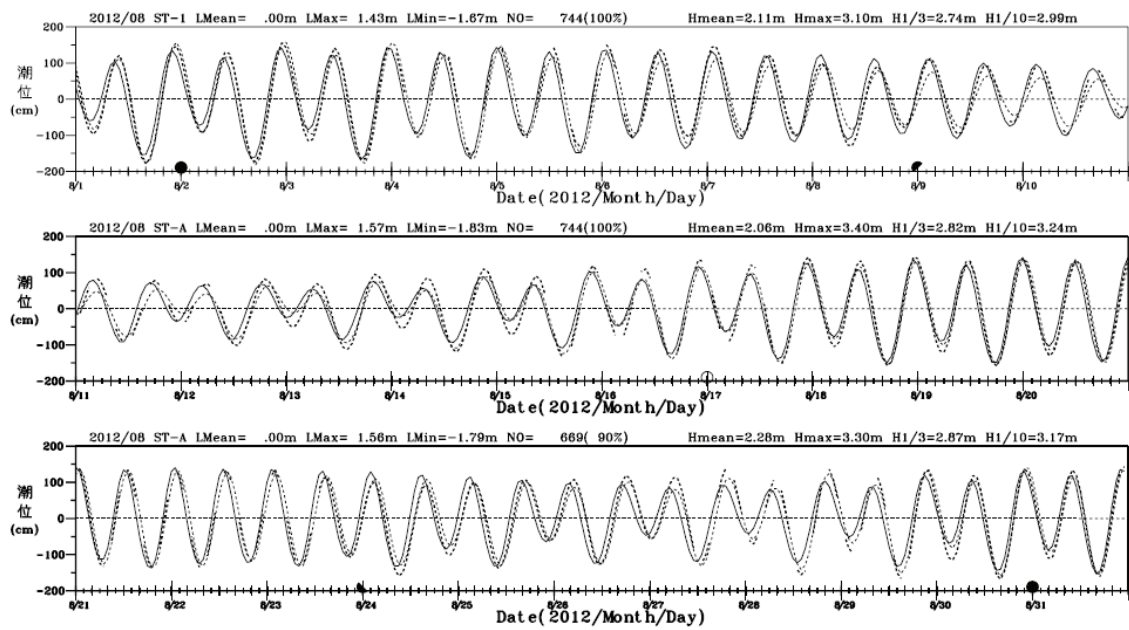


圖 5.5 臺北港 2012 年 8 月水位觀測資料與模擬結果之比較(實線：model，細虛線：調和，粗虛線：觀測)

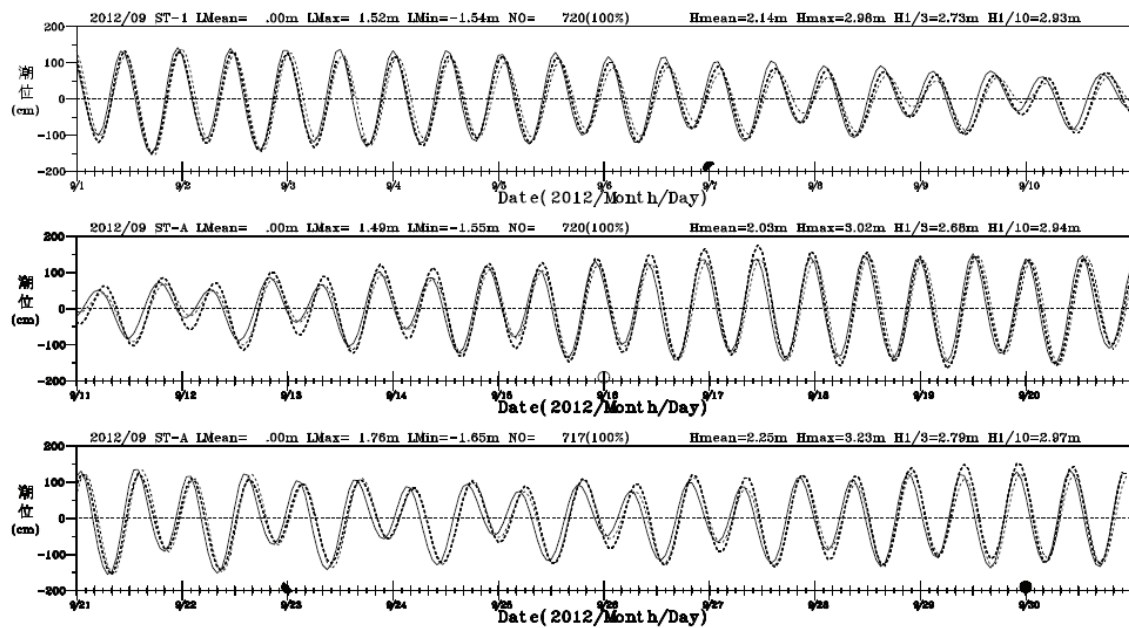


圖 5.6 臺北港 2012 年 9 月水位觀測資料與模擬結果之比較(實線：model，細虛線：調和，粗虛線：觀測)

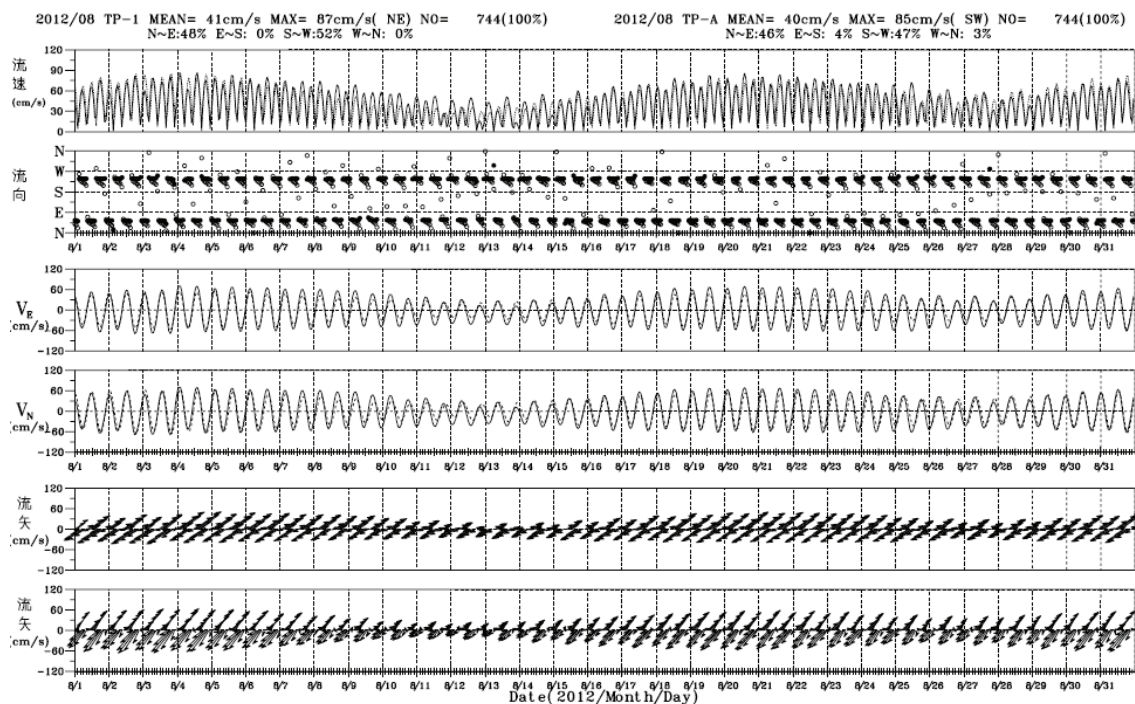


圖 5.7 臺北港 2012 年 8 月海流觀測資料與模擬結果之比較(實線：
model，虛線：調和)

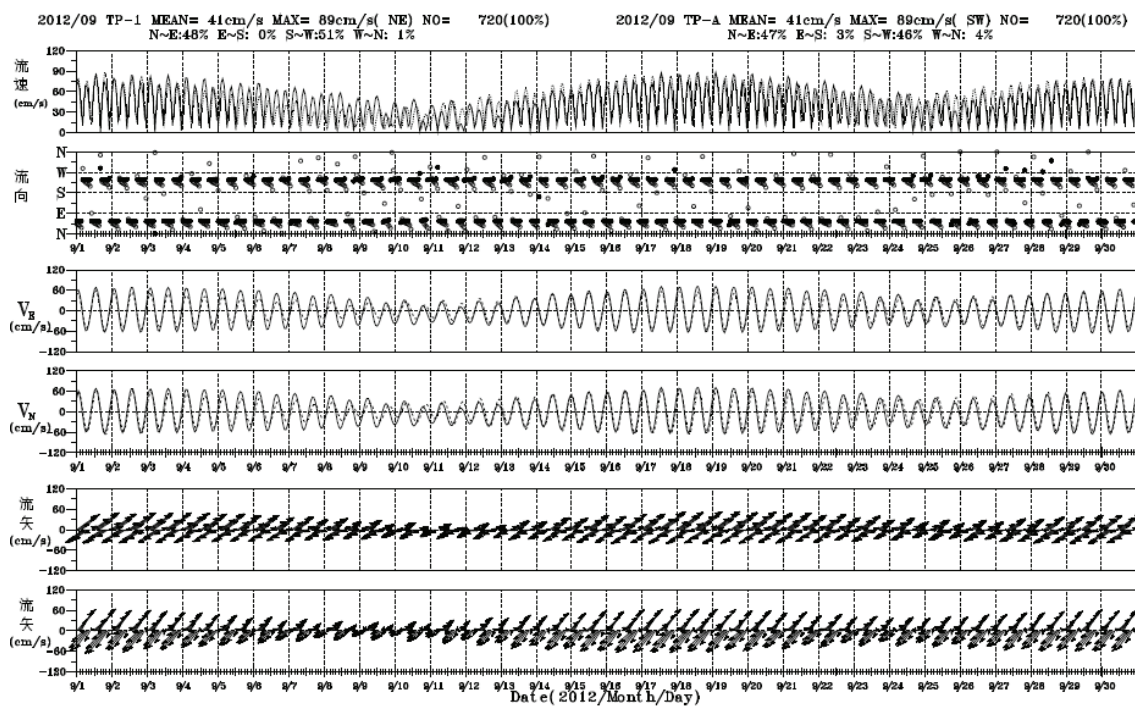


圖 5.8 臺北港 2012 年 9 月海流觀測資料與模擬結果之比較(實線：
model，虛線：調和)

表 5-1 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報平均水位統計表

2012 年月份	方法	基隆港	臺北港
8	OBS1	.00 (99.9%)	.00 (89.9%)
	SMA	.00 (100%)	.00 (100%)
9	OBS1	.00 (99.7%)	.00 (99.6%)
	SMA	.00 (100%)	.00 (100%)

OBS1：港灣技術研究中心觀測 1 站潮位資料

SMA：小尺度水動力模式預報潮位資料

單位：m

表 5-2 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報潮位最高水位(日/時)
統計表

2012 年月份	方法	基隆港	臺北港
8	OBS1	.57 (27/19)	1.56 (02/23)
	SMA	.52 (01/22)	1.43 (05/00)
9	OBS1	.54 (17/09)	1.76 (17/11)
	SMA	.45 (22/15)	1.52 (19/12)

OBS1：港灣技術研究中心觀測 1 站潮位資料

SMA：小尺度水動力模式預報潮位資料

單位：m (日/時)

**表 5-3 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報潮位最低水位(日/時)
統計表**

2012 年月份	方法	基隆港	臺北港
8	OBS1	-.70 (28/13)	-1.79 (01/16)
	SMA	-.72 (01/14)	-1.67 (03/17)
9	OBS1	-.56 (22/08)	-1.65 (19/08)
	SMA	-.63 (23/08)	-1.54 (21/07)

OBS1：港灣技術研究中心觀測 1 站潮位資料

SMA：小尺度水動力模式預測結果

單位：m (日/時)

表 5-4 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報水位偏差統計表

2012 年月份	方法	基隆港	臺北港
8	平均偏差	.00 (99.5%)	.00 (89.8%)
	標準偏差	.10 (99.5%)	.30 (89.8%)
	最大偏差	-.33 (99.5%)	-.85 (89.8%)
9	平均偏差	.00 (99.7%)	.00 (99.4%)
	標準偏差	.11 (99.7%)	.28 (99.4%)
	最大偏差	-.37 (99.7%)	-.71 (99.4%)

[註]：偏差 = 預測值 - 觀測值，單位：m

表 5-5 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報海流平均流速統計表

2012 年月份	方法	基隆港	臺北港
8	OBS1	26.6 (99.9%)	49.7 (89.9%)
	SMA	14.7 (100%)	40.7 (100%)
9	OBS1	24.9 (99.7%)	44.3 (99.6%)
	SMA	14.7 (100%)	41.1 (100%)

OBS1：港灣技術研究中心觀測 1 站流速資料

SMA：小尺度水動力模式預報流速資料

單位：cm/s

表 5-6 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報海流主要流向(%)統計表

2012 年月份	方法	基隆港	臺北港
8	OBS1	ENE (18.2%)	SW (24.2%)
	SMA	E (44.5%)	WSW (49.1%)
9	OBS1	ENE (16.9%)	SW (26.5%)
	SMA	E (44.4%)	WSW (48.3%)

OBS1：港灣技術研究中心觀測 1 站流速資料

SMA：小尺度水動力模式預報流速資料

表 5-7 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報海流東西向分量平均流速統計表

2012 年月份	方法	基隆港	臺北港
8	OBS1	3.8 (99.9%)	-5.4 (89.9%)
	SMA	.4 (100%)	-1.5 (100%)
9	OBS1	3.7 (99.7%)	-3.1 (99.6%)
	SMA	.4 (100%)	-.5 (100%)

OBS1：港灣技術研究中心觀測 1 站流速資料

SMA：小尺度水動力模式預報流速資料

單位：cm/s

表 5-8 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報海流南北向分量平均流速統計表

2012 年月份	方法	基隆港	臺北港
8	OBS1	.6 (99.9%)	9.5 (89.9%)
	SMA	-.1 (100%)	.3 (100%)
9	OBS1	4.6 (99.7%)	7.7 (99.6%)
	SMA	-.1 (100%)	1.2 (100%)

OBS1：港灣技術研究中心觀測 1 站流速資料

SMA：小尺度水動力模式預報流速資料

單位：cm/s

**表 5-9 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報流場最大流速(流向)
統計表**

2012 年月份	方法	基隆港	臺北港
8	OBS1	99.0 (ENE)	138.0 (NE)
	SMA	32.1 (E)	86.7 (NE)
9	OBS1	105.0 (ENE)	115.0 (NE)
	SMA	33.2 (E)	88.5 (NE)

OBS1：港灣技術研究中心觀測 1 站流速資料

SMA：小尺度水動力模式預報流速資料

單位：cm/s (去向)

**表 5-10 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報流場最大流速(日/
時)統計表**

2012 年月份	方法	基隆港	臺北港
8	OBS1	99.0 (03/12)	138.0 (03/02)
	SMA	32.1 (05/13)	86.7 (04/14)
9	OBS1	105.0 (16/11)	115.0 (16/13)
	SMA	33.2 (19/01)	88.5 (19/02)

OBS1：港灣技術研究中心觀測 1 站流速資料

SMA：小尺度水動力模式預報流速資料

單位：cm/s (日/時)

表 5-11 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報流速偏差統計表

2012 年月份	方法	基隆港	臺北港
8	平均偏差	-11.9 (99.7%)	-9.1 (89.9%)
	標準偏差	20.5 (99.7%)	22.5 (89.9%)
	最大偏差	-85.9 (99.7%)	-94.1 (89.9%)
	平均比值	.9 (99.7%)	1.0 (89.9%)
9	平均偏差	-10.2 (99.7%)	-3.2 (99.4%)
	標準偏差	19.2 (99.7%)	18.9 (99.4%)
	最大偏差	-80.3 (99.7%)	-55.7 (99.4%)
	平均比值	1.0 (99.7%)	1.2 (99.4%)

[註]：偏差 = 預報值 - 觀測值

比值 = 預報值 ÷ 觀測值

單位：cm/s

表 5-12 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報流向偏差統計表

2012 年月份	方法	基隆港	臺北港
8	平均偏差	51.7 (99.3%)	30.0 (89.9%)
	標準偏差	72.9 (99.3%)	46.2 (89.9%)
	最大偏差	177.8 (99.3%)	173.8 (89.9%)
9	平均偏差	55.7 (99.6%)	31.8 (99.4%)
	標準偏差	74.1 (99.6%)	51.2 (99.4%)
	最大偏差	179.0 (99.6%)	177.9 (99.4%)

[註]：偏差 = 預報值 - 觀測值

偏差大小範圍為 0-180 度

單位：度

表 5-13 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報流速東西向分量偏差統計表

2012 年月份	方法	基隆港	臺北港
8	平均偏差	-3.4 (98.9%)	3.9 (89.8%)
	標準偏差	20.4 (98.9%)	21.3 (89.8%)
	最大偏差	-69.1 (98.9%)	152.7 (89.8%)
9	平均偏差	-3.3 (99.6%)	2.5 (99.3%)
	標準偏差	19.9 (99.6%)	17.2 (99.3%)
	最大偏差	-71.3 (99.6%)	72.4 (99.3%)

[註]：偏差 = 預報值 - 觀測值

單位：cm/s

表 5-14 2012 年基隆港與臺北港觀測及小尺度預報流速南北向分量偏差統計表

2012 年月份	方法	基隆港	臺北港
8	平均偏差	-8 (98.3%)	-9.1 (89.9%)
	標準偏差	15.0 (98.3%)	22.2 (89.9%)
	最大偏差	88.6 (98.3%)	-69.5 (89.9%)
9	平均偏差	-4.7 (97.6%)	-6.7 (99.3%)
	標準偏差	14.6 (97.6%)	19.1 (99.3%)
	最大偏差	57.0 (97.6%)	-53.2 (99.3%)

[註]：偏差 = 預報值 - 觀測值

單位：cm/s

第六章 臺灣周圍海域暴潮模式之建置

由於目前小尺度各港域水動力模式之水位模擬結果無法實際反映颱風引起的暴潮水位變化，因此本年度將利用本計畫有限元素水動力模式配合模型颱風之建置或中央氣象局大氣模式(NFS)數值預報的風速及氣壓場資料(如 MC 風壓場)，建置足以模擬颱風暴潮影響之中尺度臺灣周圍海域範圍暴潮模式，並選取本年度侵臺颱風如輕度颱風泰利(TALIM)、中度颱風蘇拉(SAOLA)及中度颱風天秤(TEMBIN)等進行颱風暴潮模擬工作。

6.1 模型風場模式

本計畫所採用的二維暴潮數值模式其基本控制方程式與求解方法(FEM)均與前述水動力模式相同(如附錄 IV 所述)，二者差異在於暴潮模式增加模型颱風風場及氣壓場計算副程式。有關本計畫暴潮數值模式所採用的颱風模型風場及氣壓場之計算說明如下：

假設颱風圈內等壓線幾近呈圓形分佈，則颱風之氣壓分佈可採用 Myers(1954)之經驗式，即

$$P = P_c + a_c \exp(-r_0/r) \quad (6.1)$$

式中 P_c 為颱風中心之氣壓(mb)， r_0 為颱風最大風速之半徑， a_c 為颱風中心氣壓常數。氣壓場之氣壓力梯度計算如下：

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{r_0(x - x_c)}{r^3} a_c \exp(-r_0/r) \quad (6.2)$$

$$\frac{\partial P}{\partial y} = \frac{r_0(y - y_c)}{r^3} a_c \exp(-r_0/r) \quad (6.3)$$

式中 x_c 及 y_c 為颱風中心之 x, y 座標。於(6.1)式中 r_0 及 a_c 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 a_c 值之取定，通常採用假設 $a_c = \Delta P_c = P_\infty - P_c$ ， 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 1013.25 mb。

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：

$$r_0 = [28.52 \tanh[0.0873(\phi - 28)]] + 12.22 \exp[(P_c - 1013.2)/33.86] + 0.2V_F + 37.22 \quad (6.4)$$

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，本計畫模式考慮科氏力之影響計算颱風風場之傾度風風速 W_g 如下：

$$W_g = \left[\frac{a_c r_0}{\rho_a r} \exp(-r_0/r) + (rf/2)^2 \right]^{1/2} - \frac{rf}{2} \quad (6.5)$$

式中 ρ_a 為空氣密度， a_c 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：

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

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

其中 c_1 值約為 0.5~0.7 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：。

$$W_x = -\frac{c_1 W_g}{r} [(x - x_c) \sin \alpha + (y - y_c) \cos \alpha] + c_2 \frac{(V_f)_x}{(W_g)_{\max}} W_g \quad (6.6)$$

$$W_y = \frac{c_1 W_g}{r} [(x - x_c) \cos \alpha - (y - y_c) \sin \alpha] + c_2 \frac{(V_f)_y}{(W_g)_{\max}} W_g \quad (6.7)$$

6.2 數值計算網格之建置

本計畫臺灣周圍海域暴潮模式模擬範圍別以東經 116.5° 及 125° 經線為模式之東、西邊界，以北緯 21° 及 26.5° 為模式之南、北邊界，如圖 6.1 所示。由於本計畫有限元素水動力模式之座標系統為直角座標系統，因此本計畫數值計算網格乃採用六度分帶投影座標系統建置有限元素數值計算網格如圖 6.2 所示，圖中有限元素計算網格係由 6528 個節點及 12514 個三角形元素組成。模式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 6.3 所示。

6.3 邊界條件及初始條件

本計畫暴潮數值模式之邊界型態分為海域開放邊界及陸地邊界兩種，其中陸地邊界條件可為滑動或不滑動邊界條件，本計畫暴潮模式採用不滑動邊界為陸地邊界條件，亦即假設陸地邊界節點之流速等於零。

海域開放邊界通常採用水位條件為模式之邊界條件，當模式模擬對象僅為暴潮引起的水位偏差(即所謂的暴潮偏差)時，模式開放邊界之水位條件值可由邊界上氣壓差推估其水位值如下

$$\eta = \eta_a(t) = \frac{\Delta P(t)}{\rho g} \quad (6.8)$$

當模式模擬對象包含天文潮位變化時，模式開放邊界之水位條件

值除了考慮上述氣壓差引起的水位抬昇(如 6.8 式)外，尚需加上天文潮產生的水位時間變化量。有關天文潮引起的水位變化邊界條件，本計畫採用 Matsumoto et al.(2000)所發展的 NAO.99b 模式建置臺灣周圍海域範圍暴潮模式開放邊界之天文潮水位條件，如圖 6.4 所示。圖中所示水位變化時序列資料分別為本計畫以 NAO.99Jb 模式預測臺灣周圍海域範圍數值計算網格開放邊界上四個角落節點(如圖 6-2 所示)之天文潮時序列資料，顯示靠近大陸陸地之開放邊界節點天文潮位呈現半日潮型，臺灣東部大平洋海上開放邊界節點之天文潮位屬於混合潮型態，模式計算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。

此外，模式之初始條件則假設流場初始速度及水位均為零。

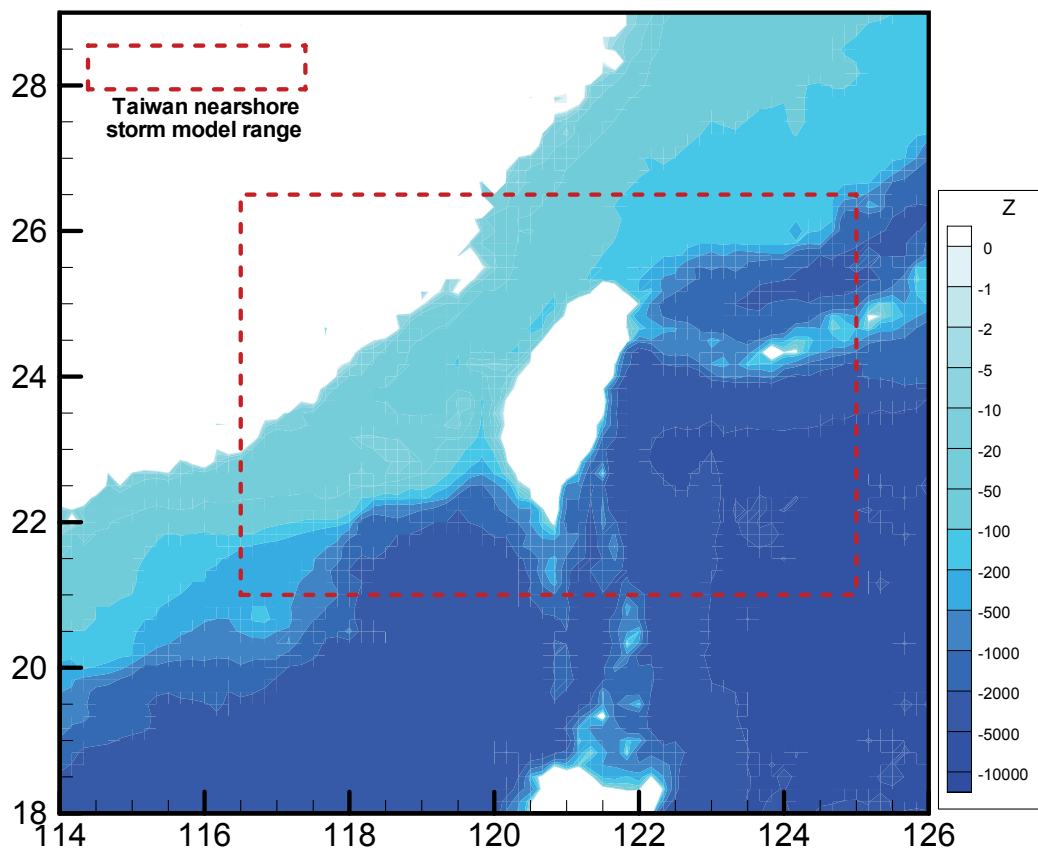


圖 6.1 臺灣周圍海域暴潮模式模擬範圍

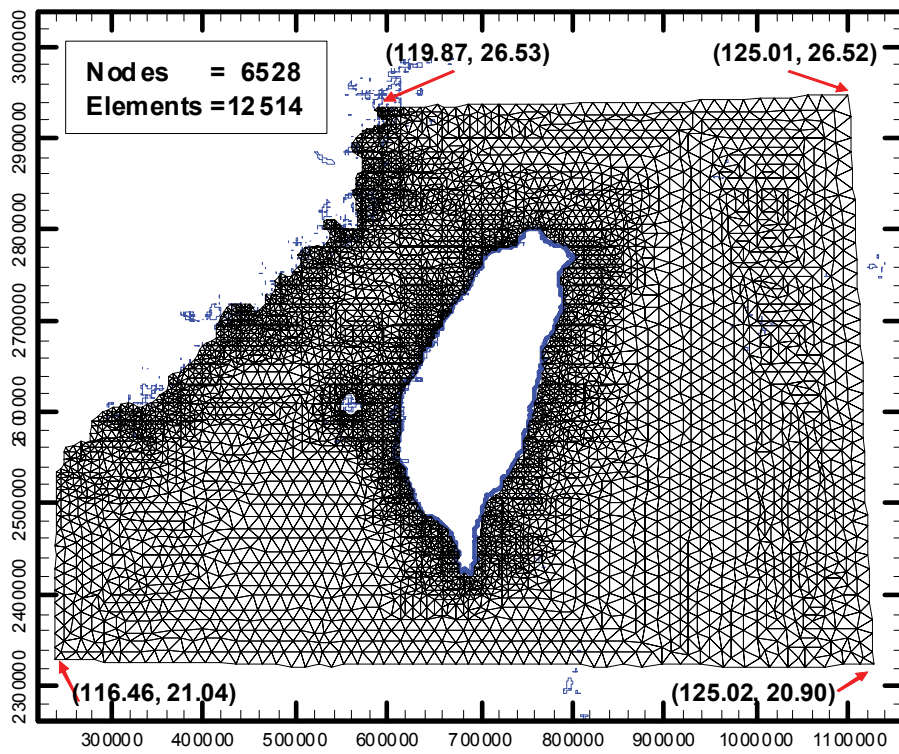


圖 6.2 臺灣周圍海域暴潮數值模式之計算網格分布圖

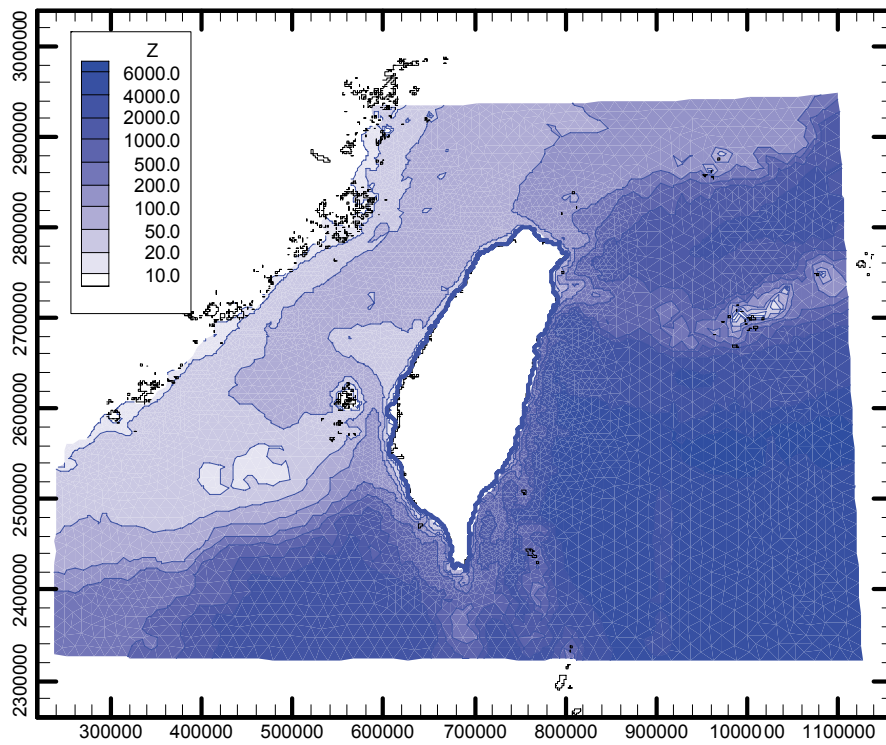


圖 6.3 臺灣周圍海域暴潮數值模式之地形水深分布圖

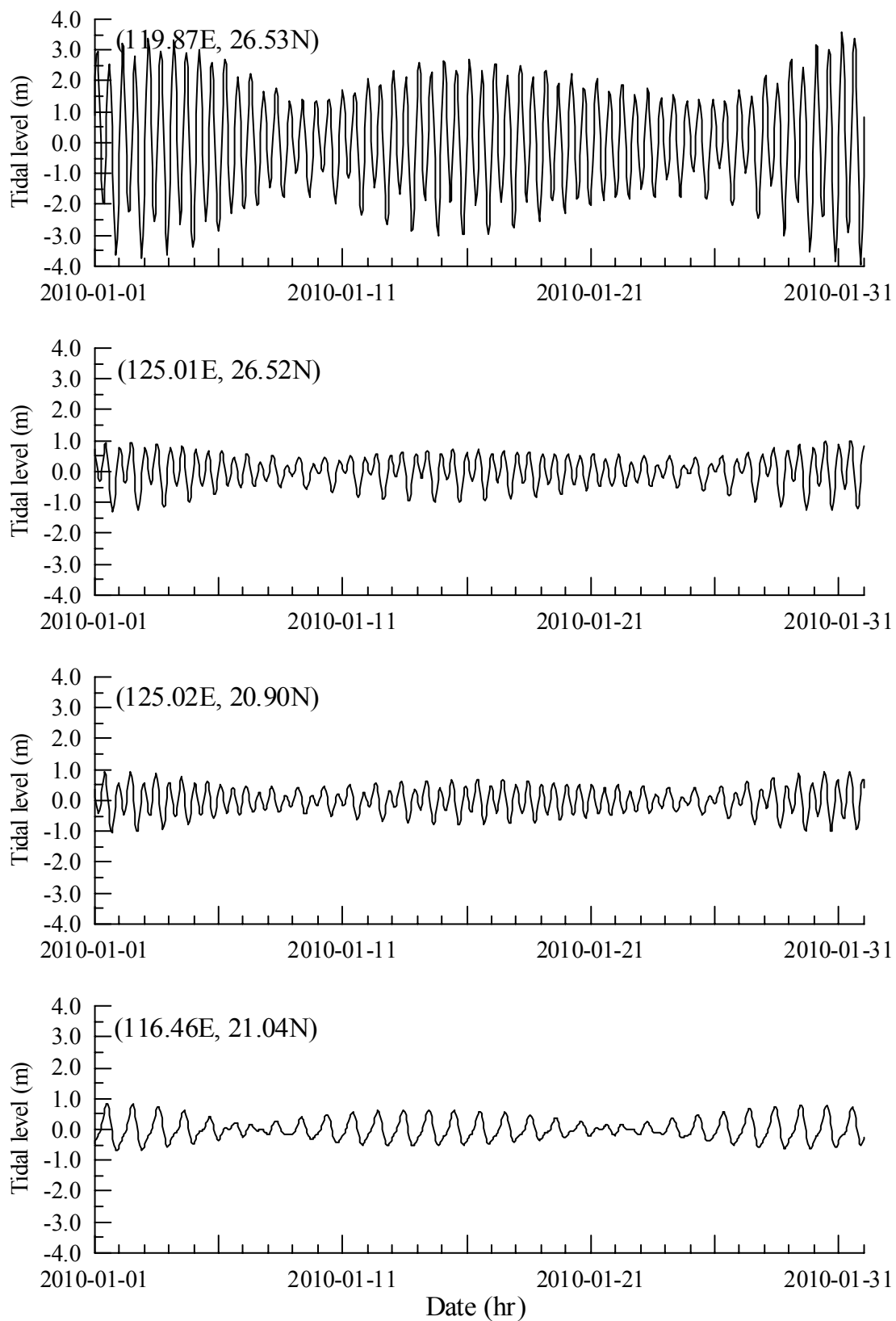


圖 6.4 臺灣周圍海域暴潮模式之天文潮邊界條件時序圖

6.4 模式參數率定與驗證

由於本計畫水動力模式數值計算之穩定性除了與三角元素大小、節點水深大小及時間項差分之間距 Δt 大小有關外，模式所使用的物理參數如渦動粘滯性係數及底床摩擦係數大小，以及模式模擬之起始條件等均會影響至模式計算之穩定性。因此本計畫在不考慮風場及氣壓變化之情況下，先依據圖 6-4 所示之天文潮邊界條件進行天文潮水位變化模擬，並依據水位模擬結果率定上述相關參數值。模式參數率定結果說明如下：模式模擬之時間間距 Δt 為 2.0 sec，底床摩擦係數採用曼寧公式計算，其中曼寧係數 n 值為 0.02；渦動粘滯性係數如前述採用(3-1)式計算，其中無因次係數 a 為 0.025，潮汐代表性潮差 $\tilde{\eta}$ 為 1.25 m，代表性潮流流速為 0.5 m/s。

在水位模擬結果之驗證方面，本計畫選取基隆港、臺北港、臺中港、安平港、高雄港、花蓮港及蘇澳港等港口外海潮波儀觀測資料(港灣技術研究中心)與模式水位模擬結果比較，如圖 6.5 至圖 6.11 所示，結果顯示僅基隆港水位模擬結果與觀測資料偏差較大外，其餘各港口水位模擬結果之振幅及相位變化均與觀測值近似。

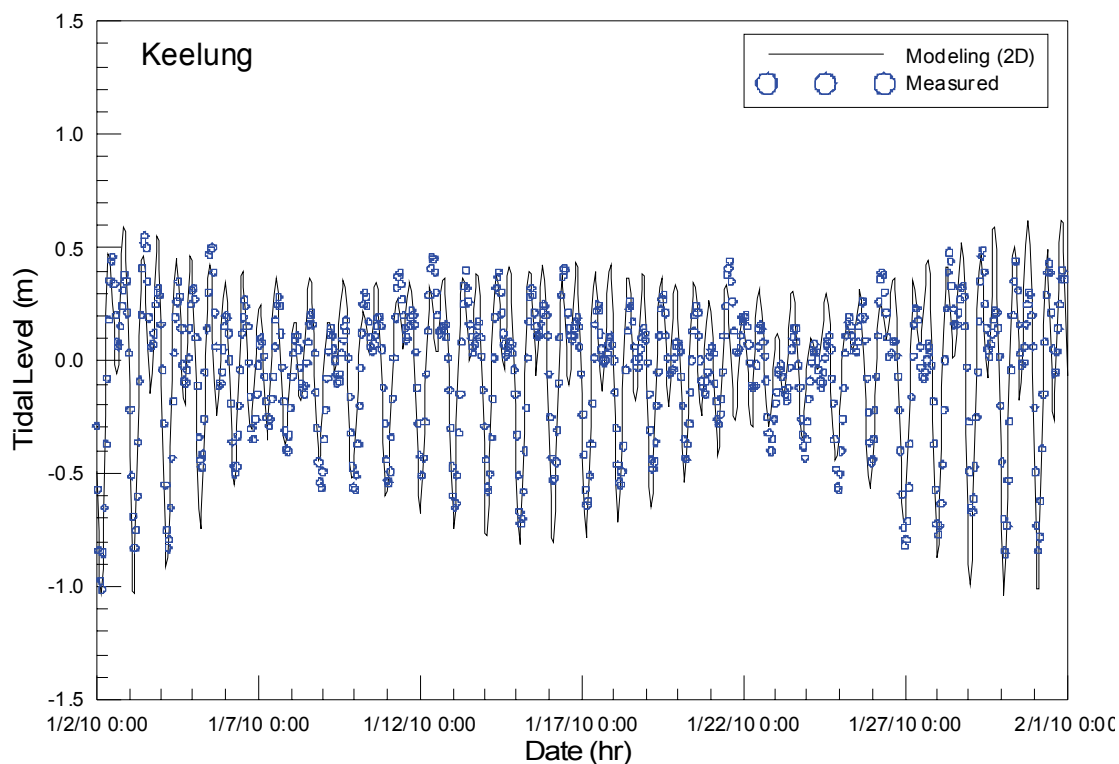


圖 6.5 基隆港水位模擬結果與觀測資料之比較

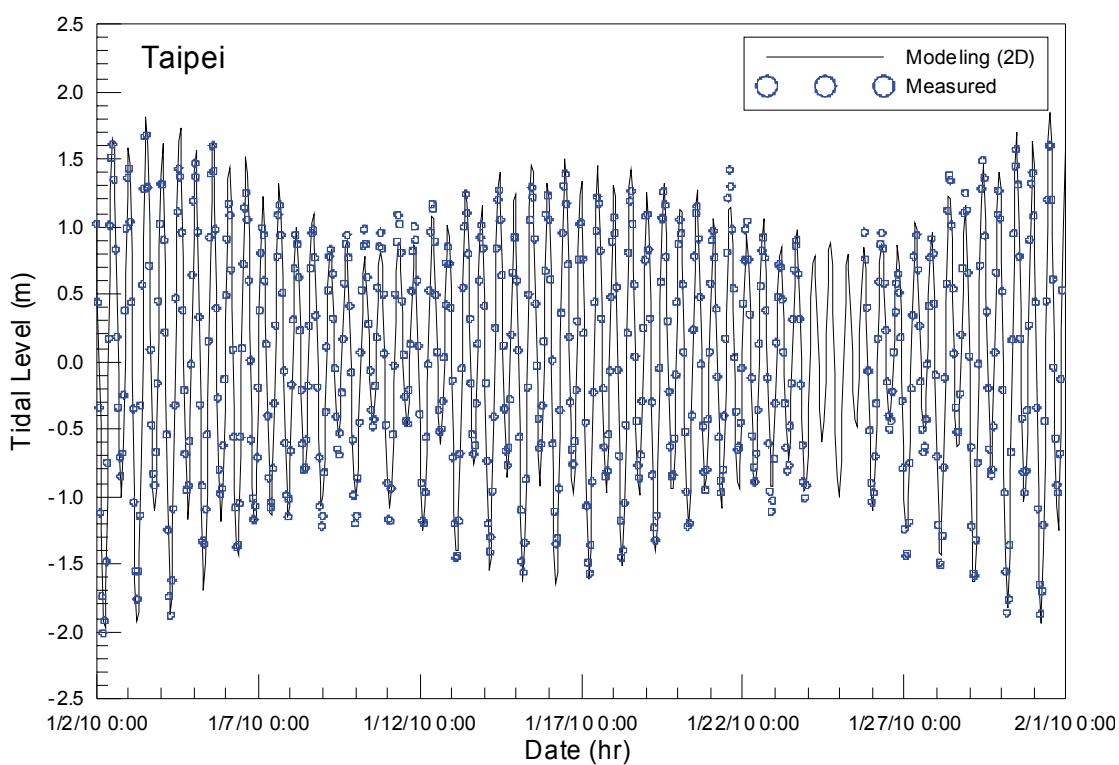


圖 6.6 臺北港水位模擬結果與觀測資料之比較

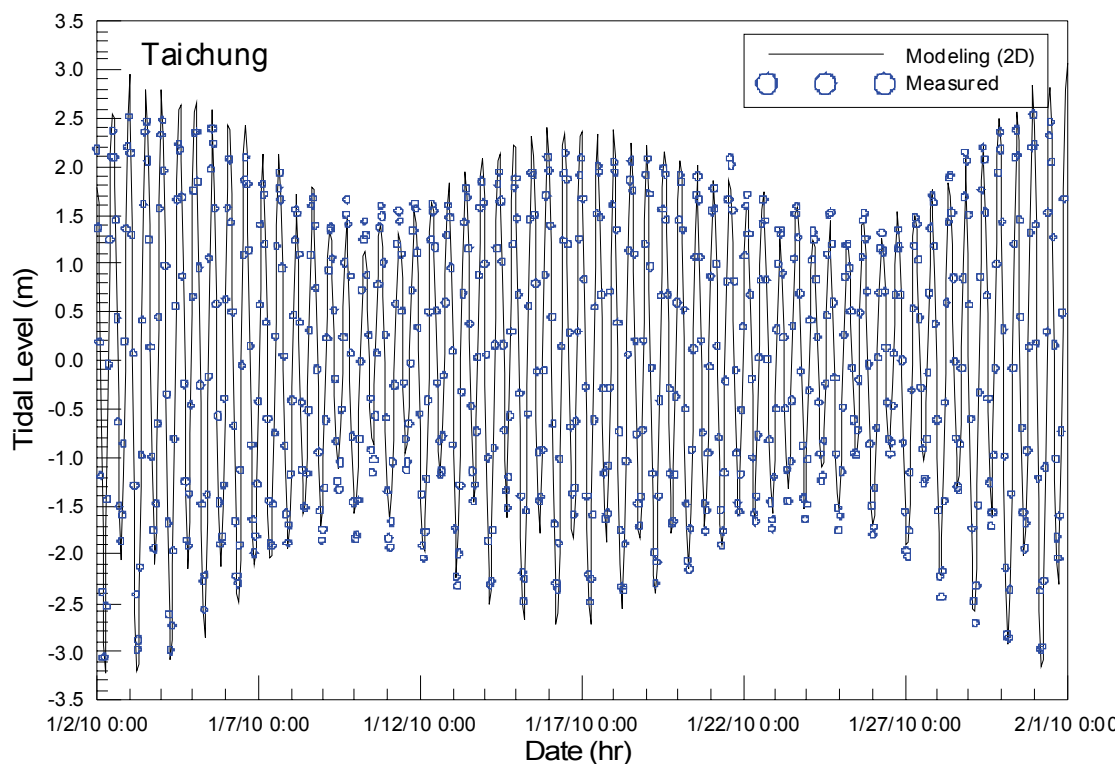


圖 6.7 臺中港水位模擬結果與觀測資料之比較

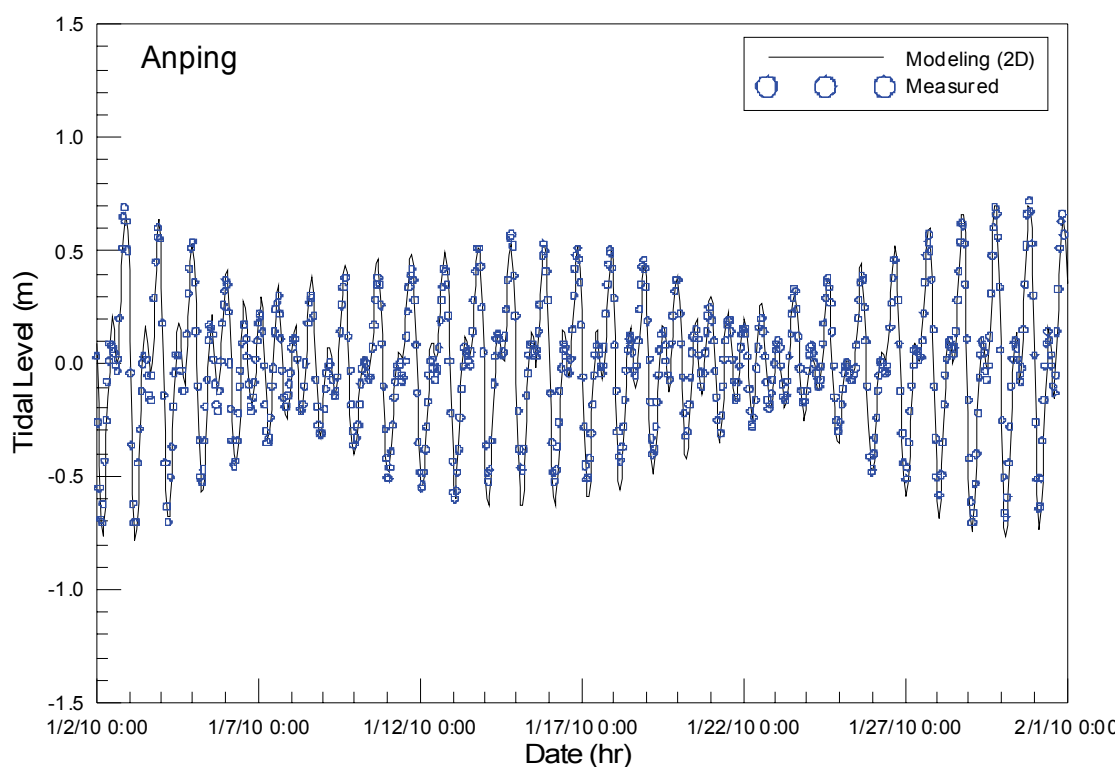


圖 6.8 安平港水位模擬結果與觀測資料之比較

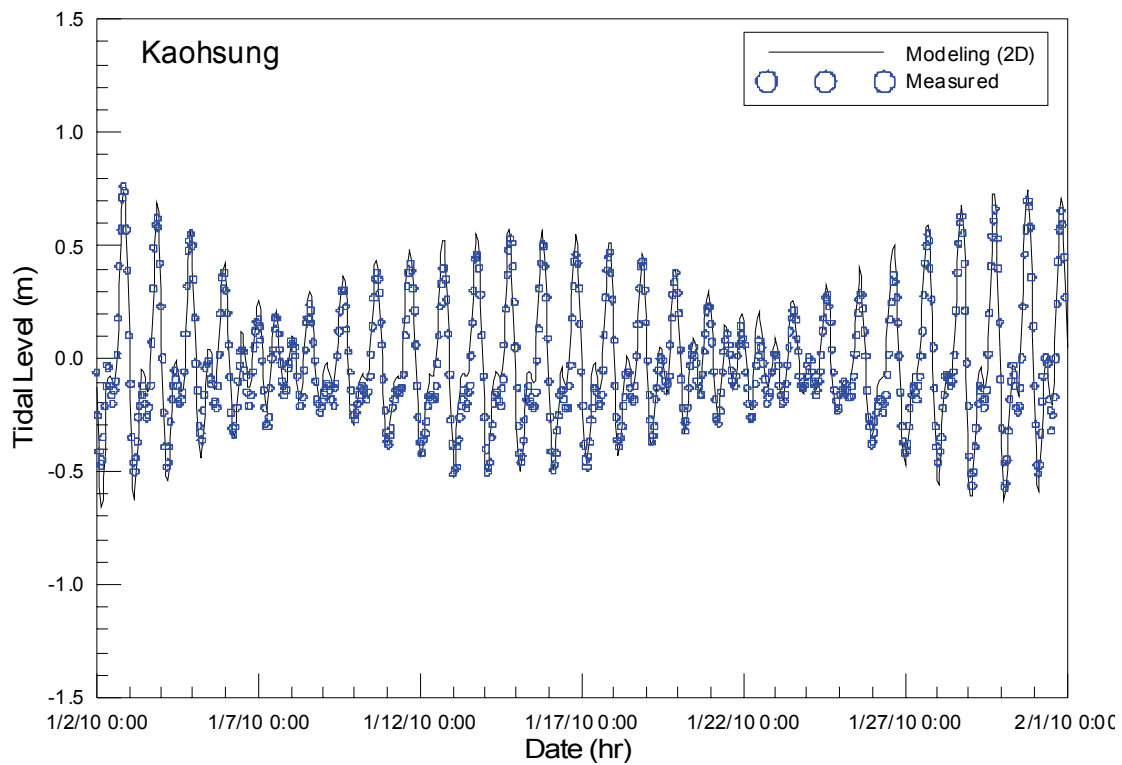


圖 6.9 高雄港水位模擬結果與觀測資料之比較

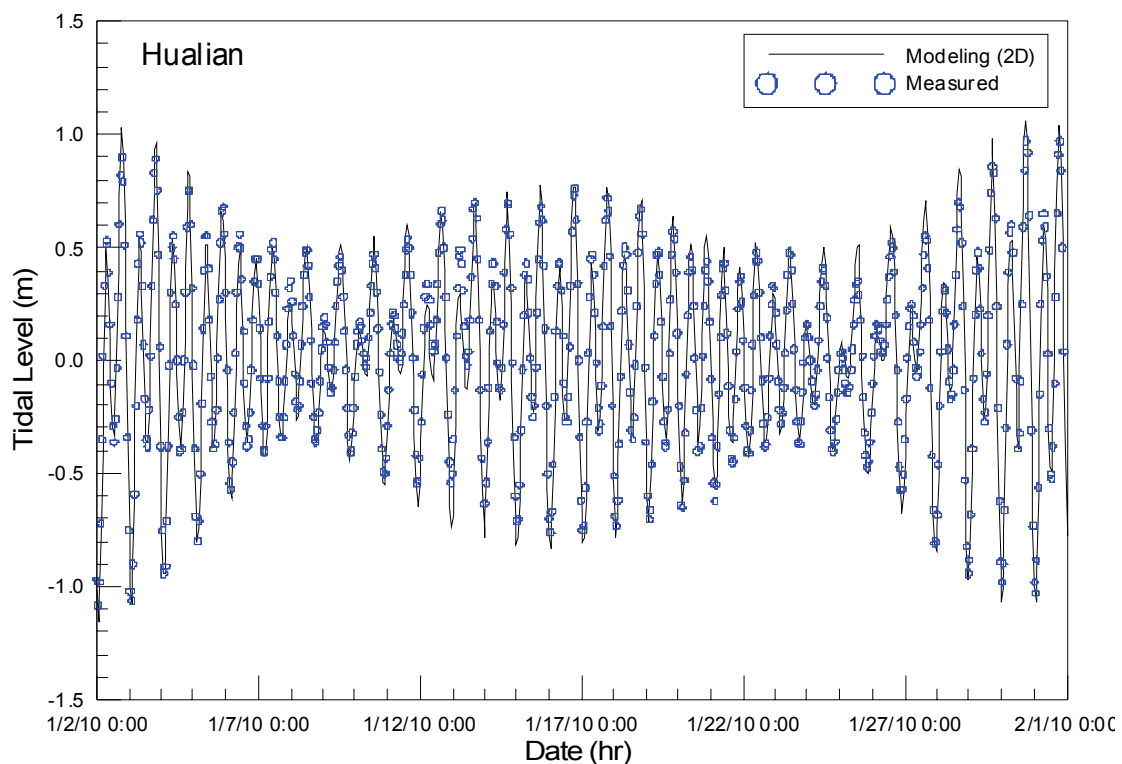


圖 6.10 花蓮港水位模擬結果與觀測資料之比較

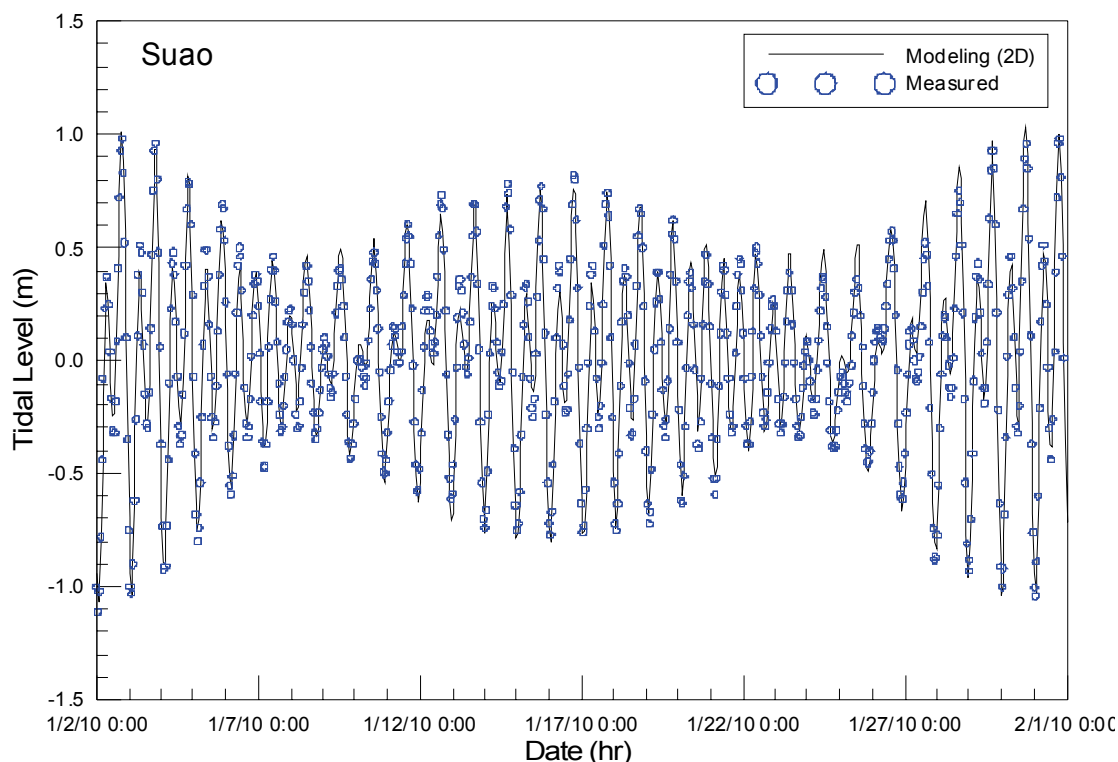


圖 6.11 蘇澳港水位模擬結果與觀測資料之比較

6.5 颱風暴潮數值模擬結果

本年度(101)侵臺颱風依據 9 月底前中央氣象局發佈颱風資料顯示，總計有泰利等 7 個侵臺颱風影響臺灣本島或附近海域(如 2-4 節所述)。本計畫選取對臺灣近岸海域影響較大的侵臺颱風如輕度颱風泰利(TALIM)、中度颱風蘇拉(SAOLA)及中度颱風天秤(TEMBIN)等進行颱風暴潮模擬工作，颱風移動路徑分別如圖 2-30、圖 2-32 及圖 2-35 所示。

(1) 颱風風場及氣壓場

基於本計畫臺灣周圍海域範圍暴潮模式建置目的之一為納入港研中心 TaiCOMS 之作業系統，取代目前作業中之中尺度臺灣周圍海域範圍之暴潮水位模式(採用歐洲系統之數值模式 COHERENS 建置的)。因此本年度嘗試採用由中央氣象局提供大氣模式(NFS)數值預報的 MC 風場及氣壓場資料進行颱風暴潮模擬。關於本計畫數值模擬採用的風場

及氣壓場資料說明如下。

目前中央氣象局每日會提供 08:00 及 20:00 (相當於格林威治時間的 0:00 及 12:00)執行的 72 小時天氣預報數值資料(風場及氣壓場)供港研中心下載作為 TaiCOMS 相關模式使用之風場及氣壓場資料。因此本計畫乃配合 TaiCOMS 作業化風場及氣壓場資料建構本計畫颱風暴潮模擬所需風場及氣壓場資料，其中每日風場及氣壓場資料(0 時至 23 時)係由前一日 20 時及當日 8 時及 20 時之預報資料所組成的。

圖 6-12 所示為輕度颱風泰利侵臺期間 6 月 20 日 0 時至 6 月 21 日 0 時 MC 風場及氣壓場近臺灣周圍海域之氣壓分布及風速變化情形，圖 6-13 所示分別為中度颱風蘇拉侵臺期間 8 月 1 日 0 時至 8 月 3 日 0 時 MC 風場及氣壓場在臺灣周圍海域附近之氣壓分布及風速變化情形，圖 6-14 所示分別為中度颱風天秤侵臺期間 8 月 23 日 0 時至 8 月 24 日 12 時 MC 風場及氣壓場在臺灣周圍海域附近之氣壓分布及風速變化情形。

(2) 颱風暴潮模擬結果

輕度颱風泰利(TALIM)於 6 月 18 日凌晨 2 時生成於海南島附近，以東北方向逐漸往臺灣海峽附近移動，於 20 日 14 時颱風中心於位於澎湖與金門之間，至 6 月 21 日 5 時於彭佳嶼東北方轉變為熱帶性低氣壓，如圖 2-30 所示。因此，本計畫選取上述由中央氣象局提供的每日 MC 預報風場及氣壓場資料，組成 6 月 17 日 0 時至 6 月 23 日 0 時之風場及氣壓場資料進行泰利颱風暴潮模擬。圖 6-15 所示為輕度颱風泰利接近臺灣周圍海域時，本計畫暴潮模式模擬之暴潮水位偏差分布情形，圖中粗虛線表示由每小時風壓場資料推估的颱風中心移動路徑，箭頭位置表示颱風中心目前位置。

中度颱風蘇拉(SAOLA)於 7 月 28 日 8 時生成於菲律賓東方海面，初期往北至北北西移動，於 8 月 2 日凌晨 3 時 20 分於花蓮秀林鄉附近登陸，之後呈打轉現象，2 日下午 14 時左右掠過臺灣東北角進入北部海面，於 8 月 3 日 6 時左右在馬祖北方進入福建，如圖 2-32 所示。本

計畫選取 7 月 28 日 0 時至 8 月 4 日 0 時之 MC 預報風場及氣壓場資料進行颱風暴潮模擬，模擬結果如圖 6-16 所示。

中度颱風天秤(TEMBIN)於 8 月 18 日生成於菲律賓東方海面，形成後向北行進，21 日行至鵝鑾鼻東方海面後，向北北西轉西方向移動，23 日行至台東東方近海，又轉西南西撲向恆春半島，於 24 日凌晨 5 時於屏東牡丹鄉附近登陸，並穿越恆春半島繼續往西南西方向離去。25 日解除警報後向西南西轉向偏南方向移動，26 日晚間至 27 日清晨再次轉彎，向東轉東北東方向移動，對臺灣及附近海面再次造成威脅。28 日清晨 5 時其中心通過蘭嶼與綠島中間，並向北北東方移動，晚間其中心在宜蘭東北東方海面持續向北北東移動，臺灣陸續脫離其暴風圈，其移動路徑如圖 2-35 所示。同樣地，本計畫選取 8 月 18 日 0 時至 8 月 29 日 0 時之 MC 預報風場及氣壓場資料進行颱風暴潮模擬，其中圖 6-17 所示為本計畫暴潮模式模擬結果於中度颱風天秤第一次侵臺期間 8 月 24 日 0 時至 8 月 25 日 0 時之暴潮水位偏差分布情形，圖 6-18 所示為中度颱風天秤第二次侵臺期間 8 月 28 日 0 時至 8 月 29 日 0 時之暴潮水位偏差分布情形。

本年度依據本計畫有限元素法水動力模式初步完成中尺度臺灣周圍海域範圍暴潮模式之建置，並以中央氣象局提供的中區域 MC 預報風場及氣壓場資料為輸入條件，針對本年度發生的侵臺颱風如輕度颱風泰利、中度颱風蘇拉及中度颱風天秤等模擬颱風引起的暴潮水位偏差。綜合上述颱風暴潮水位偏差模擬結果得知，當颱風在開闊海面上時近颱風中心暴潮水位偏差之等值線大致上呈現圓形狀分布，此與風場及氣壓場分布相近似；當颱風接近陸地時模式模擬結果之暴潮水位偏差分布情形，顯著受到大陸棚地形水深變淺之影響，此時暴潮水位偏差變化與風場及氣壓場分布之關聯性明顯地降低。

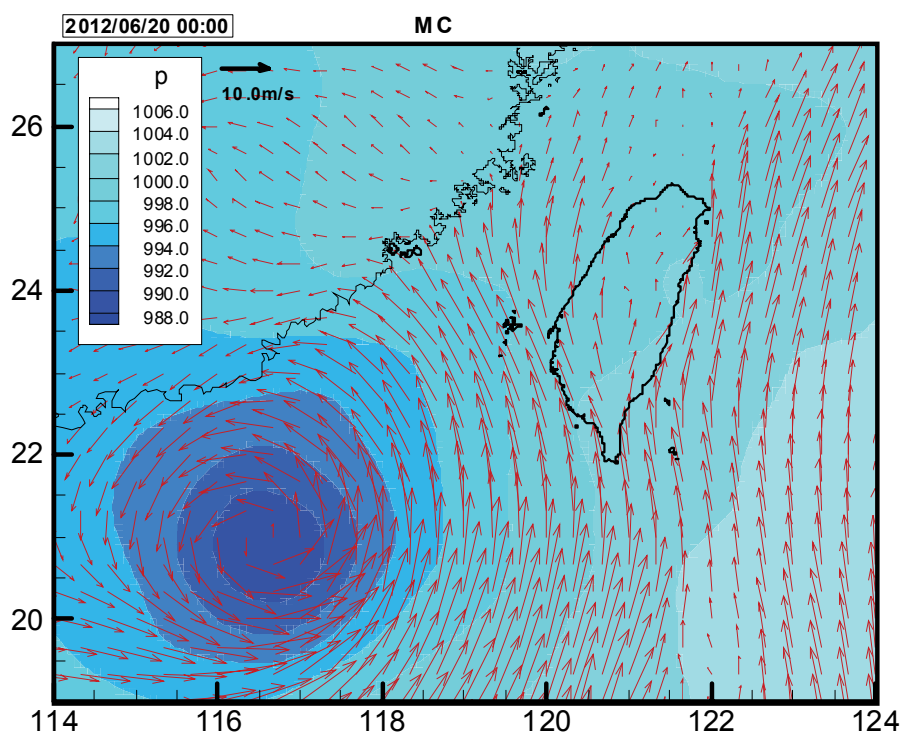


圖 6.12 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/06/20 00:00)

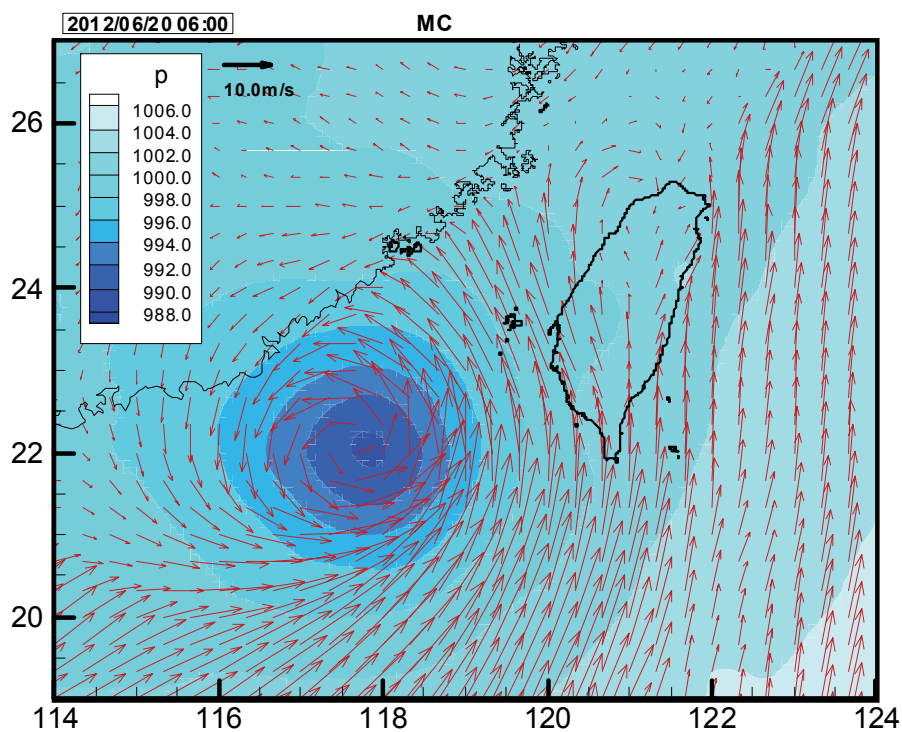


圖 6.12 (續 1) 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/06/20 06:00)

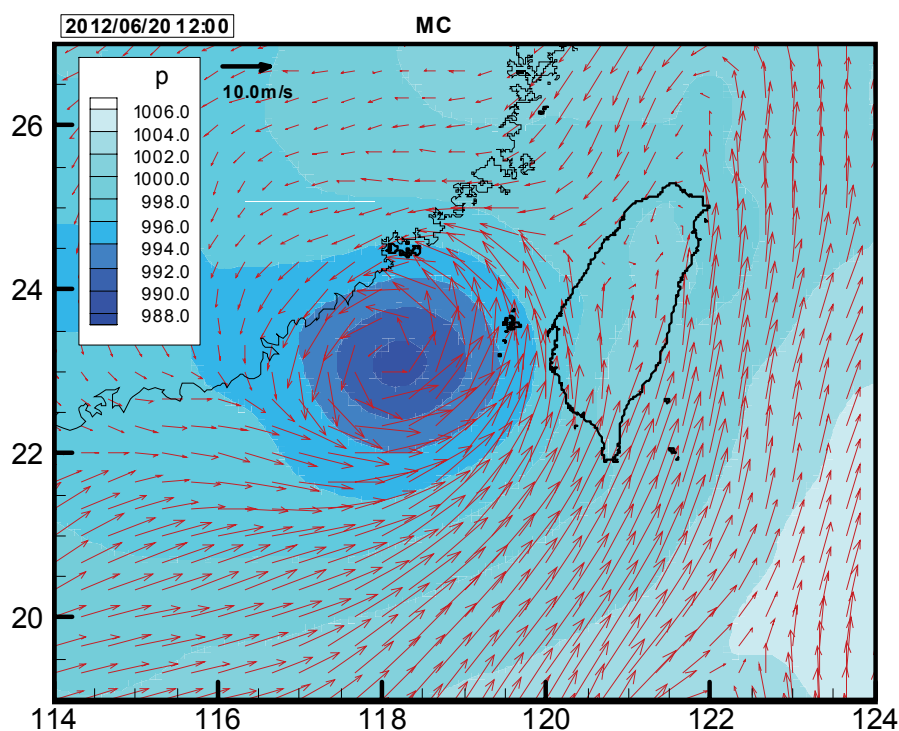


圖 6.12 (續 2) 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/06/20 12:00)

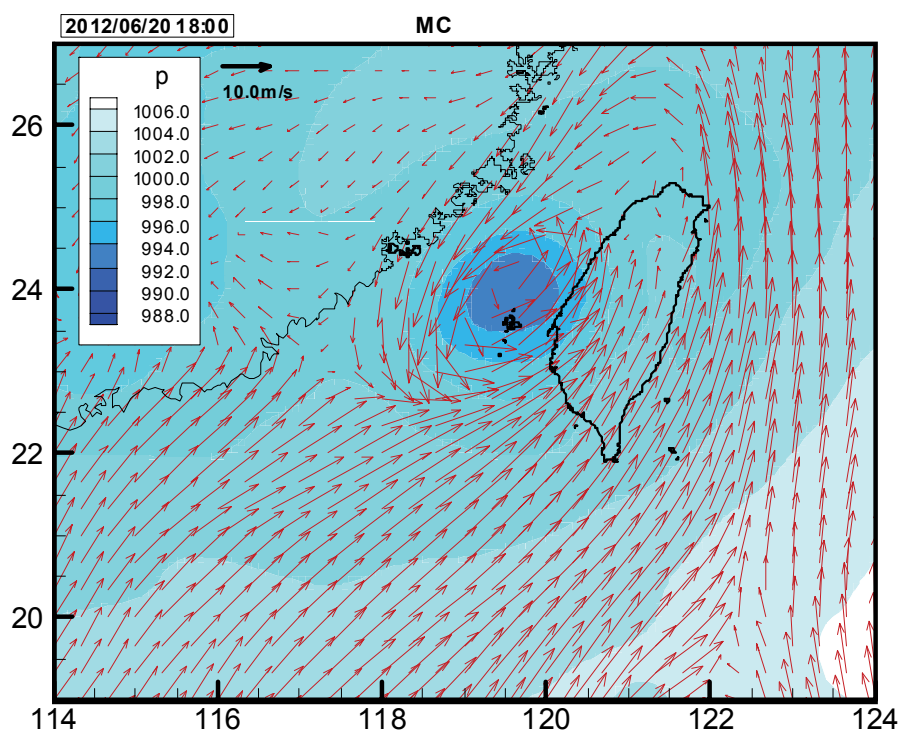


圖 6.12 (續 3) 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/06/20 18:00)

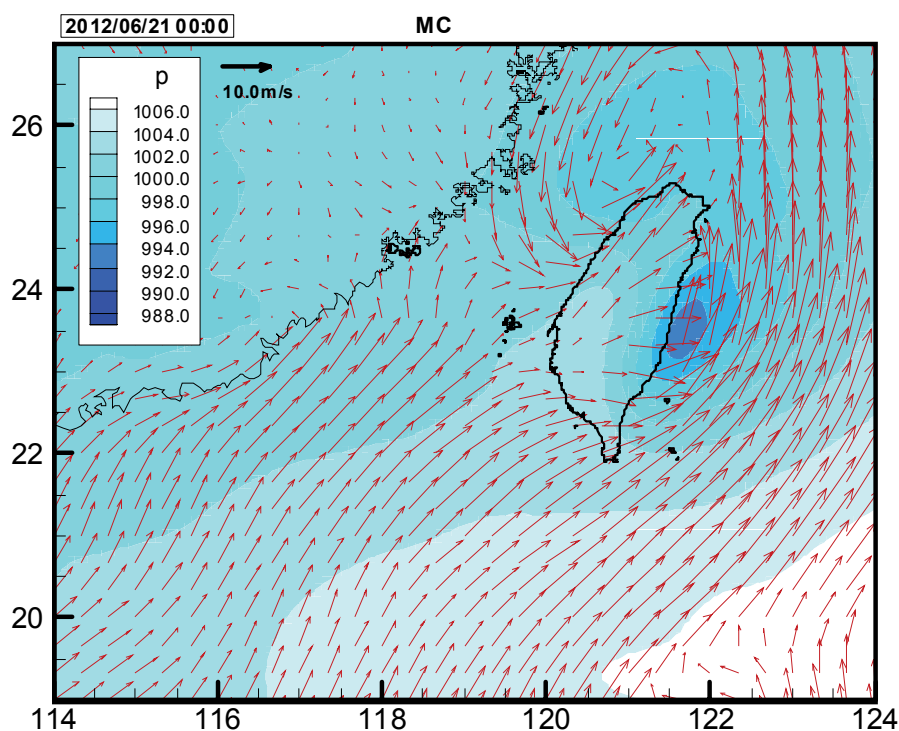


圖 6.12 (續 4) 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/06/21 00:00)

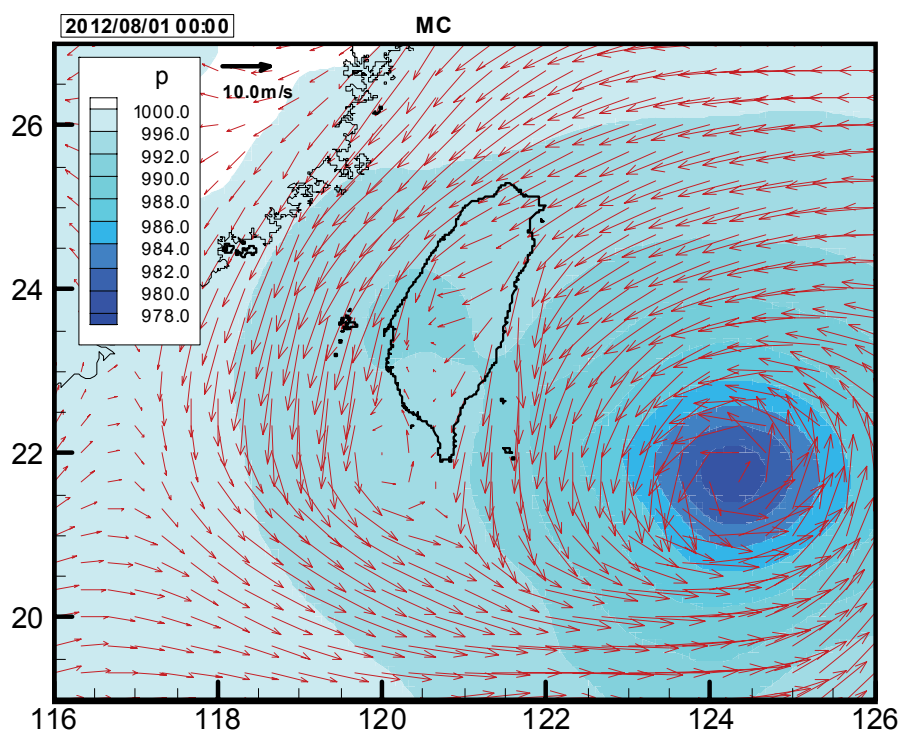


圖 6.13 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/01 00:00)

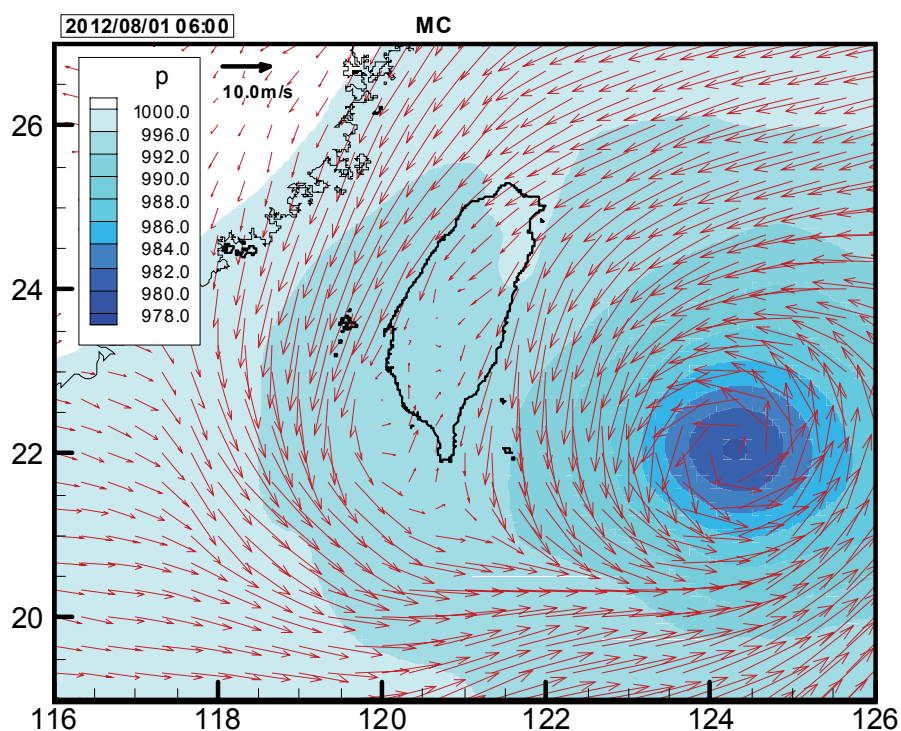


圖 6.13 (續 1) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/01 06:00)

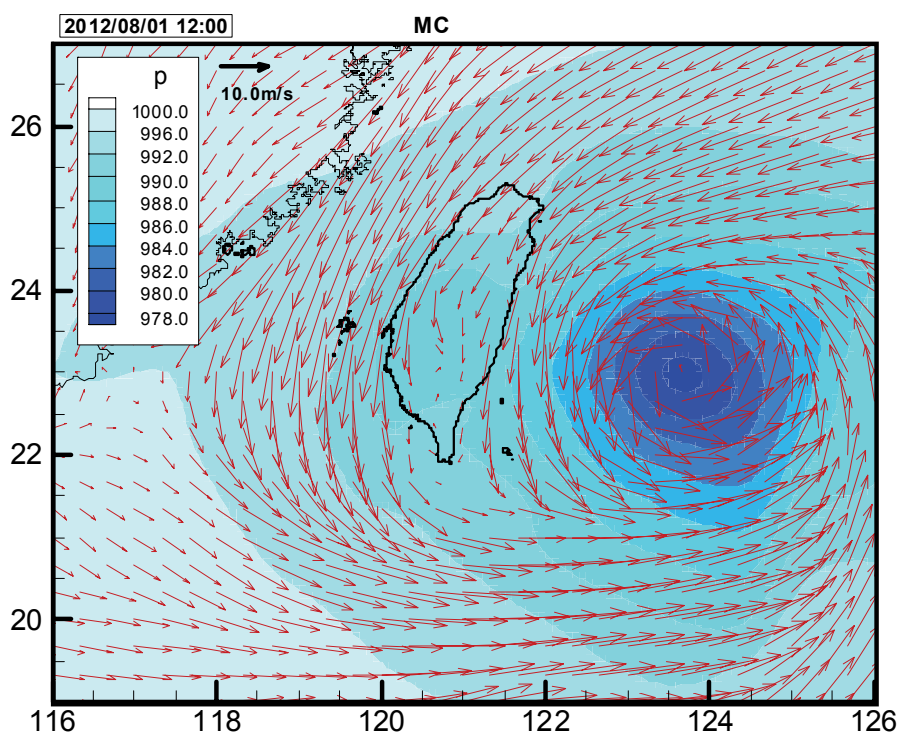


圖 6.13 (續 2) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/01 12:00)

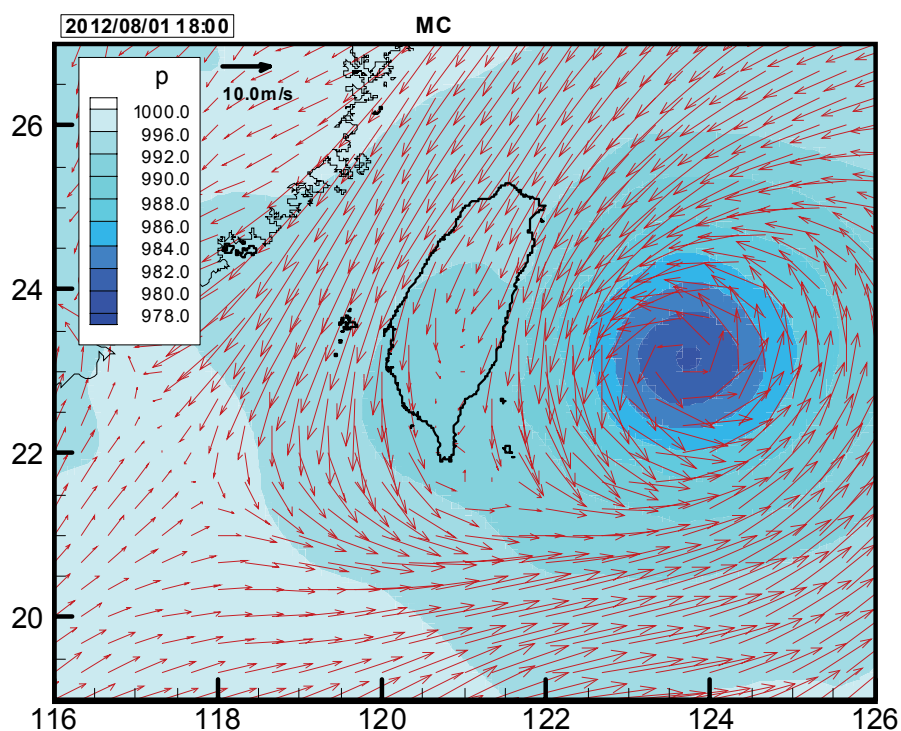


圖 6.13 (續 3) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/01 18:00)

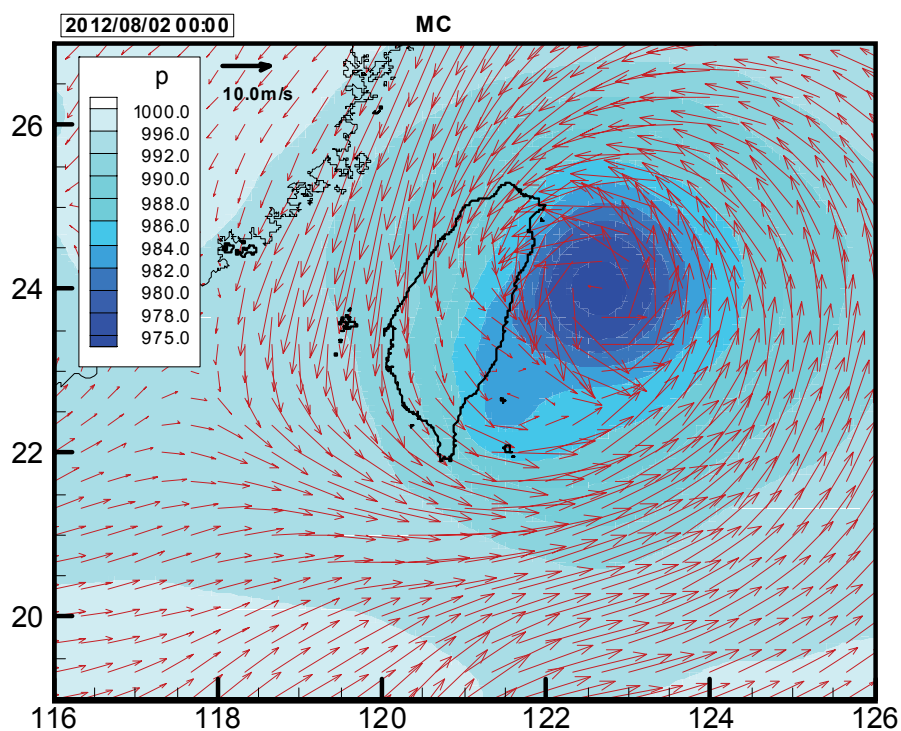


圖 6.13 (續 4) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/02 00:00)

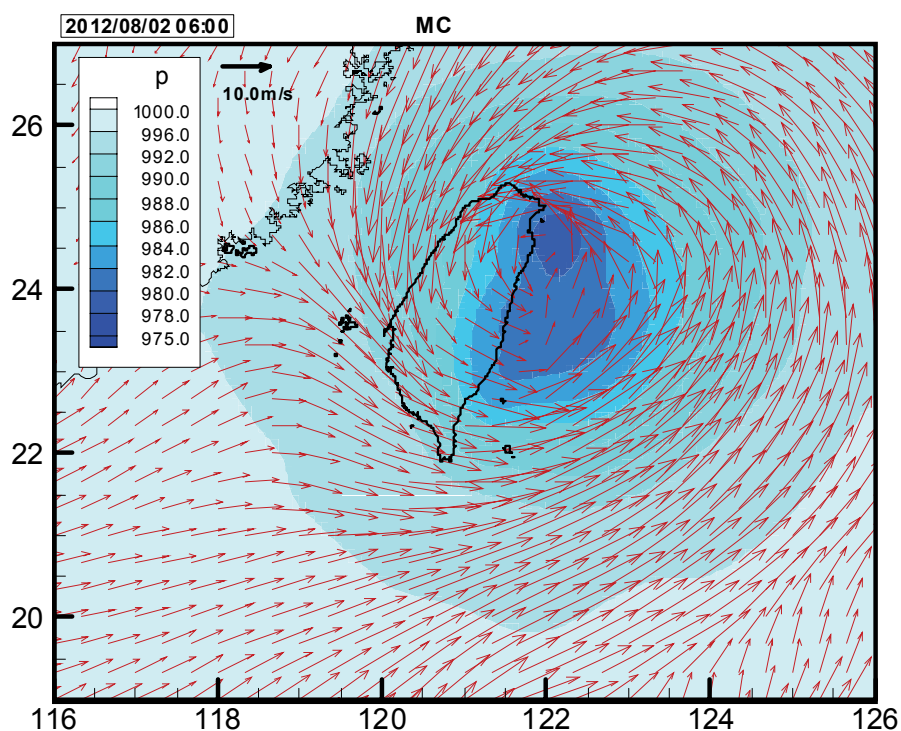


圖 6.13 (續 5) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/02 06:00)

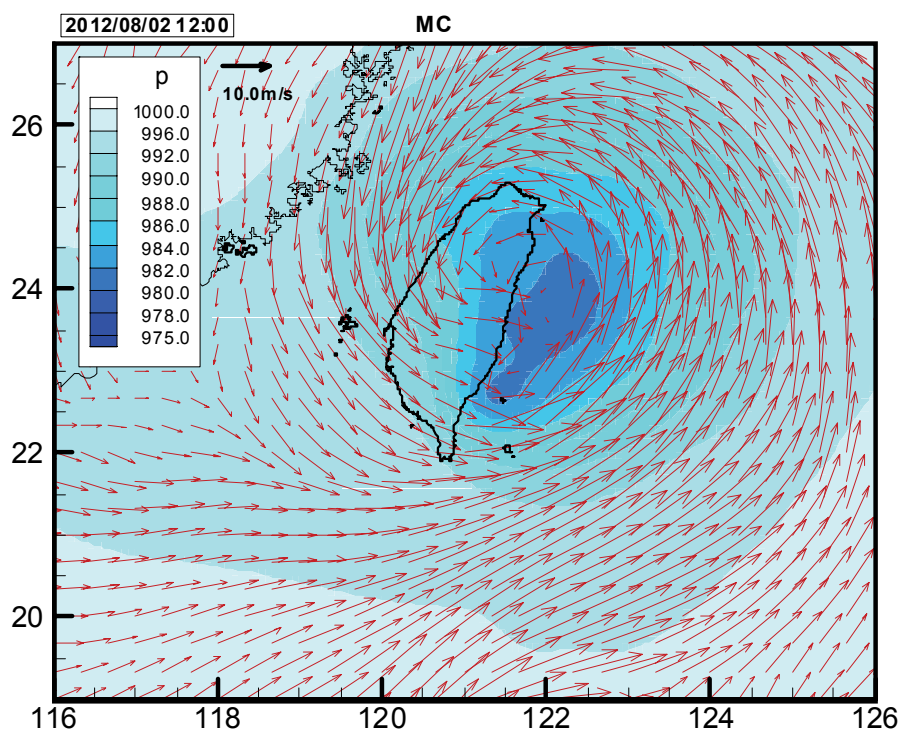


圖 6.13 (續 6) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/02 12:00)

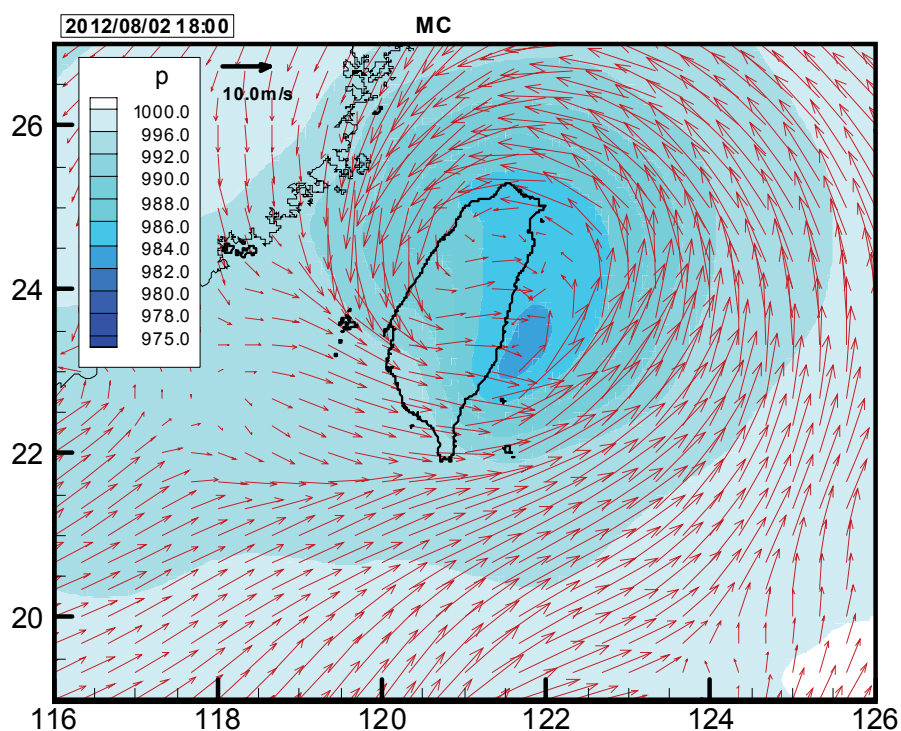


圖 6.13 (續 7) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/02 18:00)

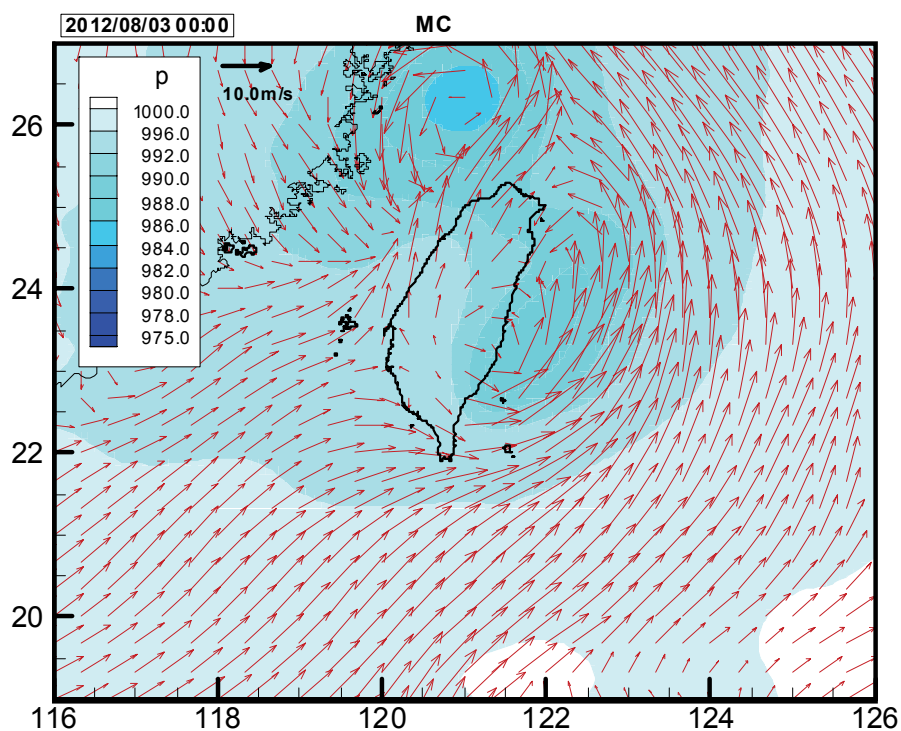


圖 6.13 (續 8) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/03 00:00)

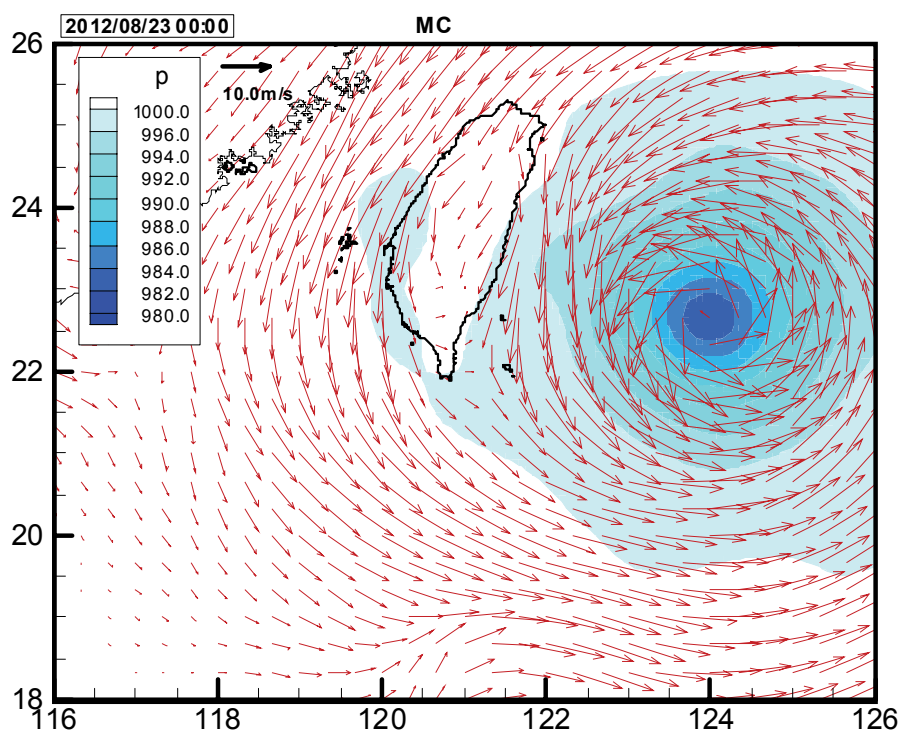


圖 6.14 2012 年中度颱風天秤侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/23 00:00)

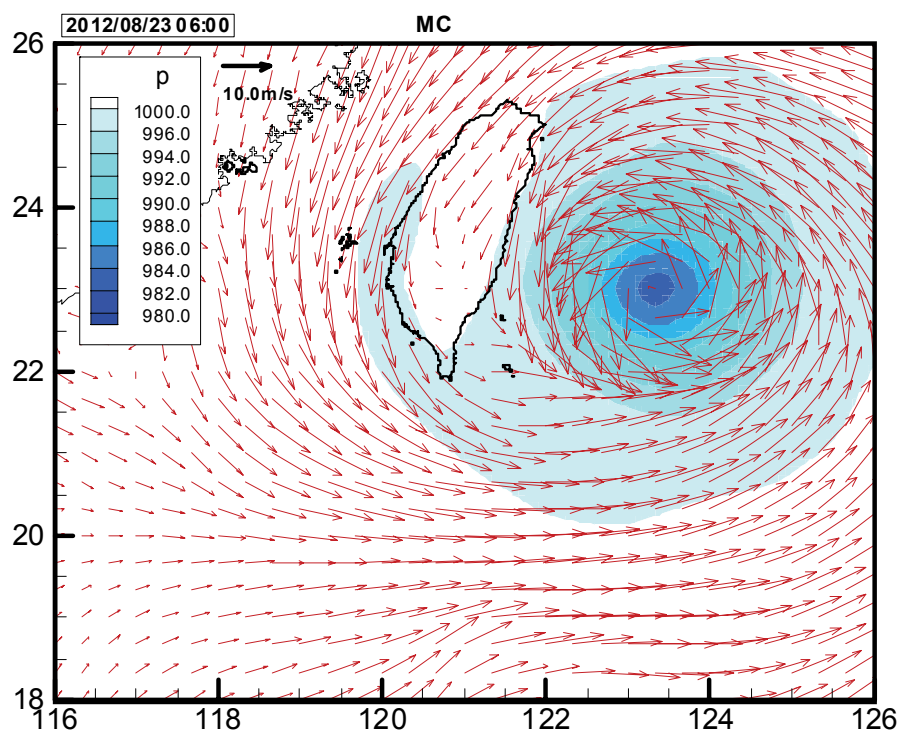


圖 6.14 (續 1) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/23 06:00)

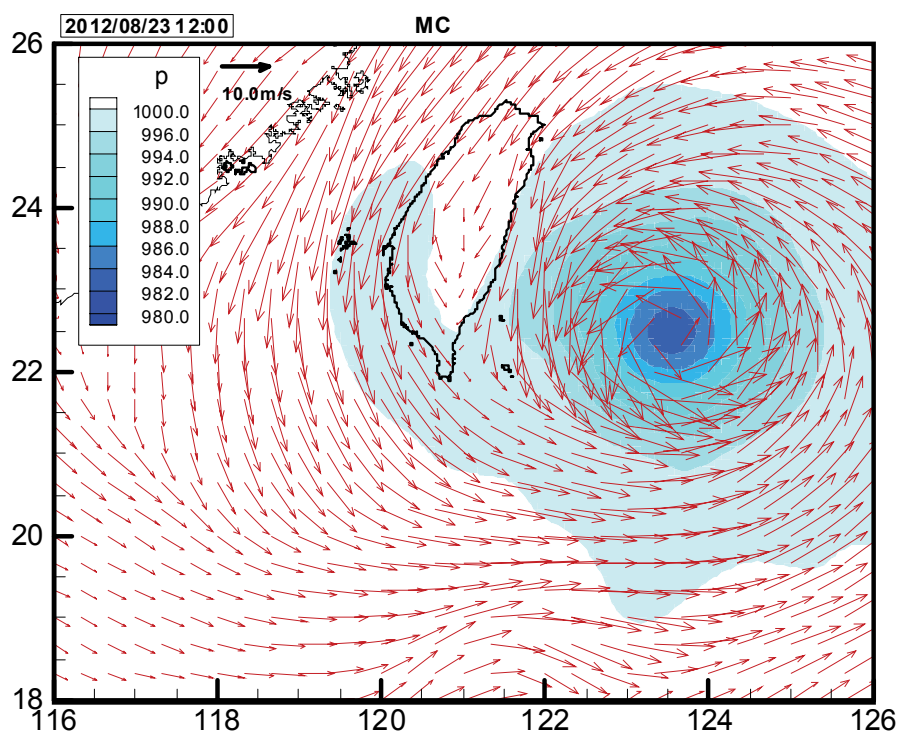


圖 6.14 (續 2) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/23 12:00)

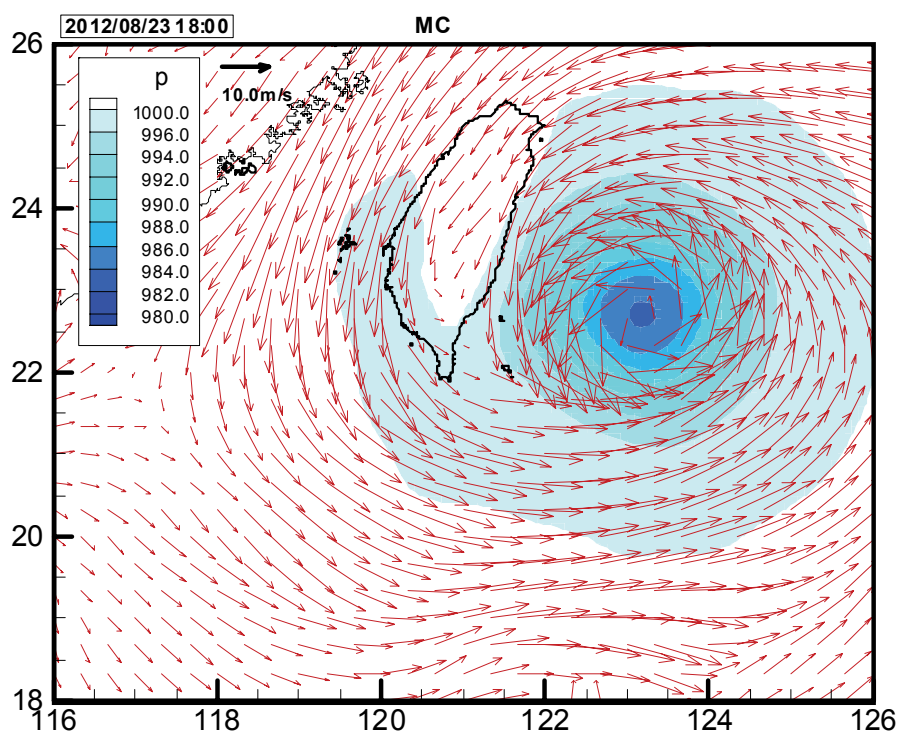


圖 6.14 (續 3) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/23 18:00)

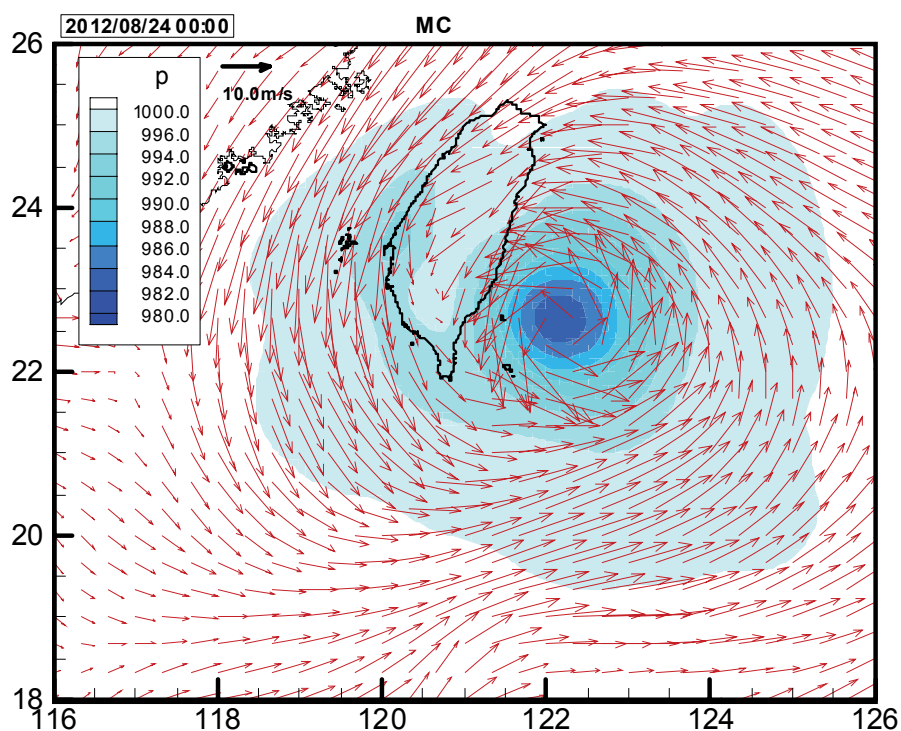


圖 6.14 (續 4) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/24 00:00)

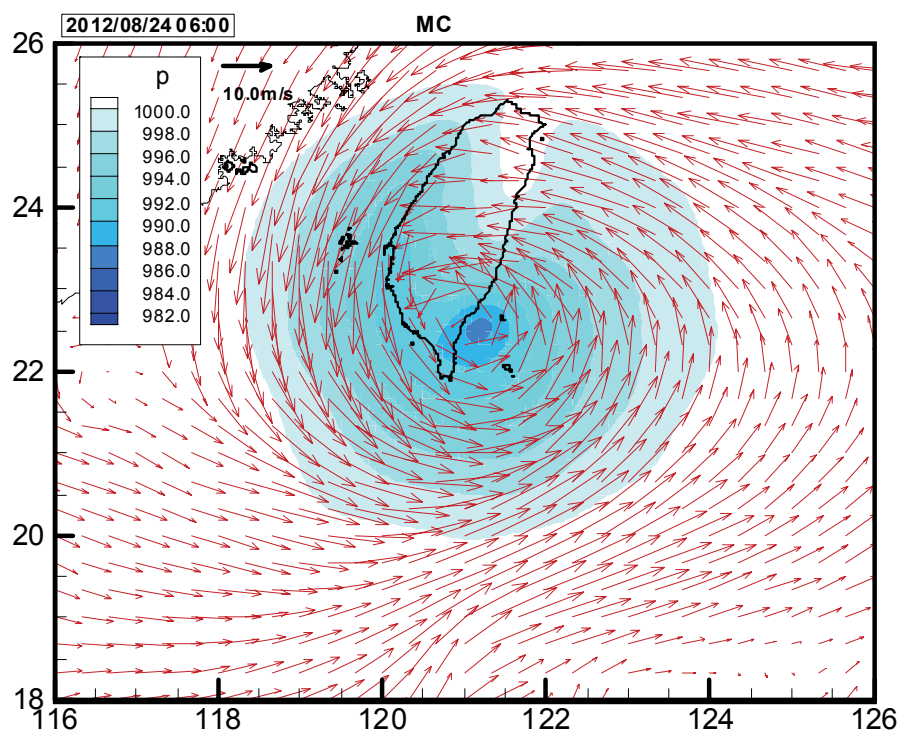


圖 6.14 (續 5) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/24 06:00)

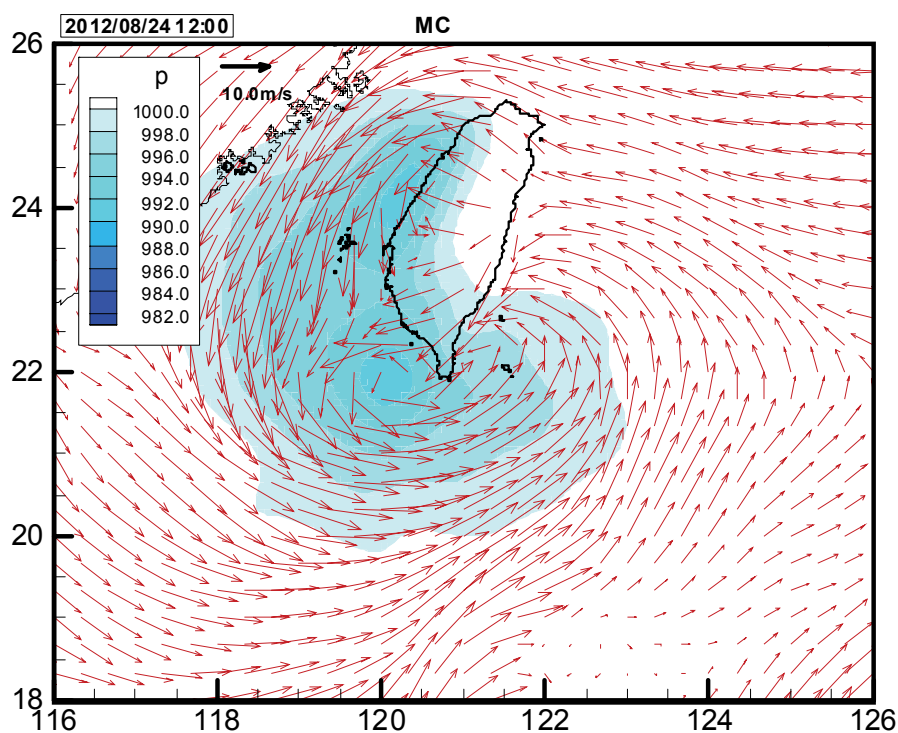


圖 6.14 (續 6) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間 MC 風壓場之氣壓分布及風速向量平面圖 (時間 2012/08/24 12:00)

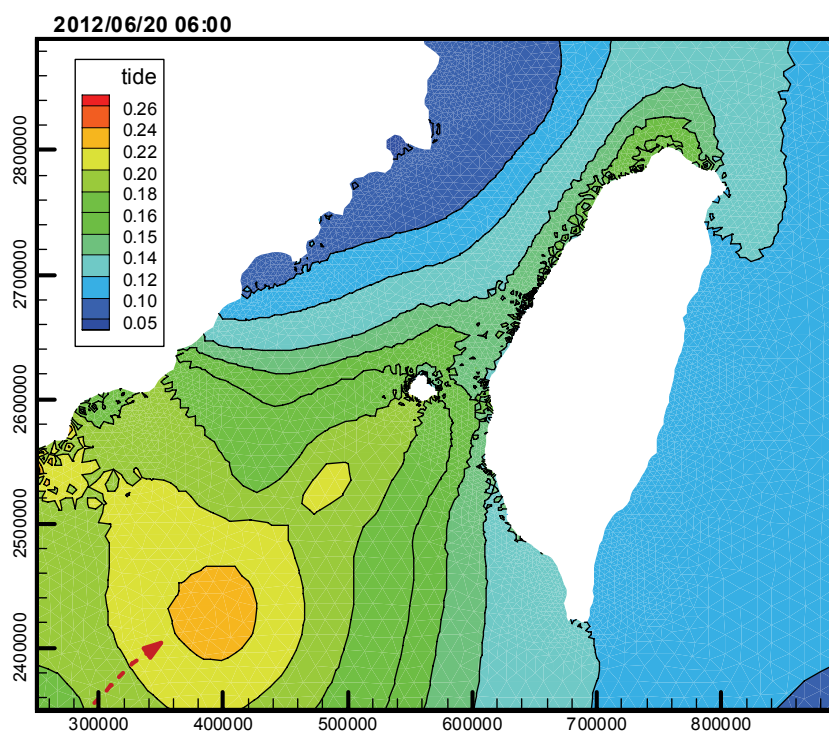


圖 6.15 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/06/20 06:00)

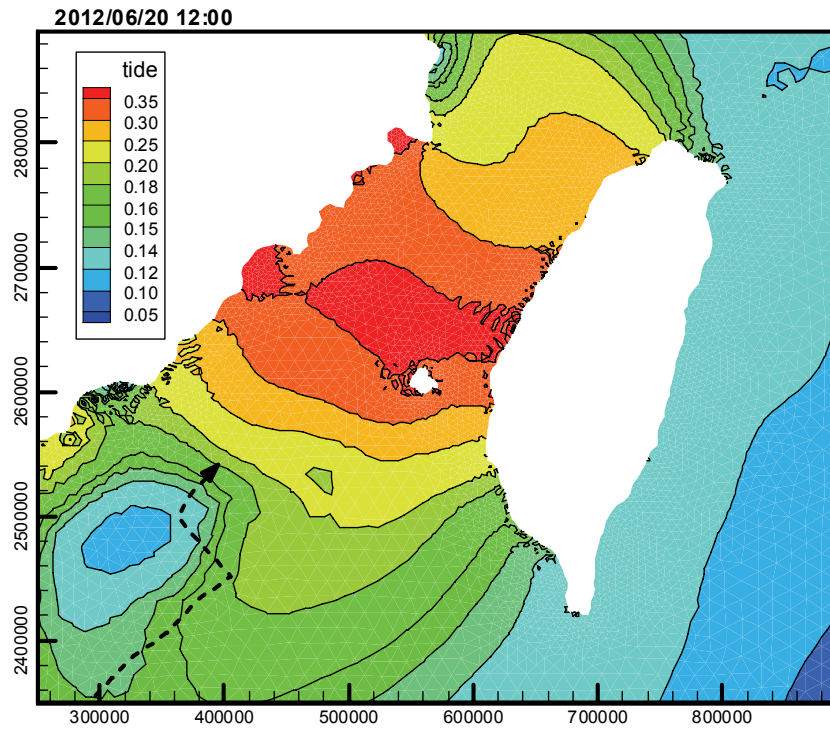


圖 6.15 (續 1) 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/06/20 12:00)

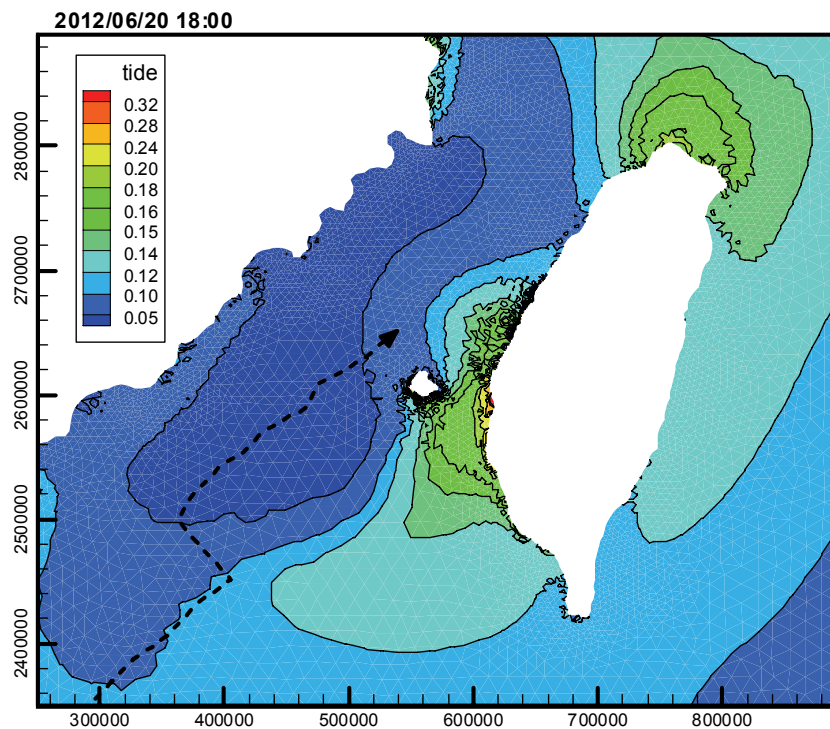


圖 6.15 (續 2) 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/06/20 18:00)

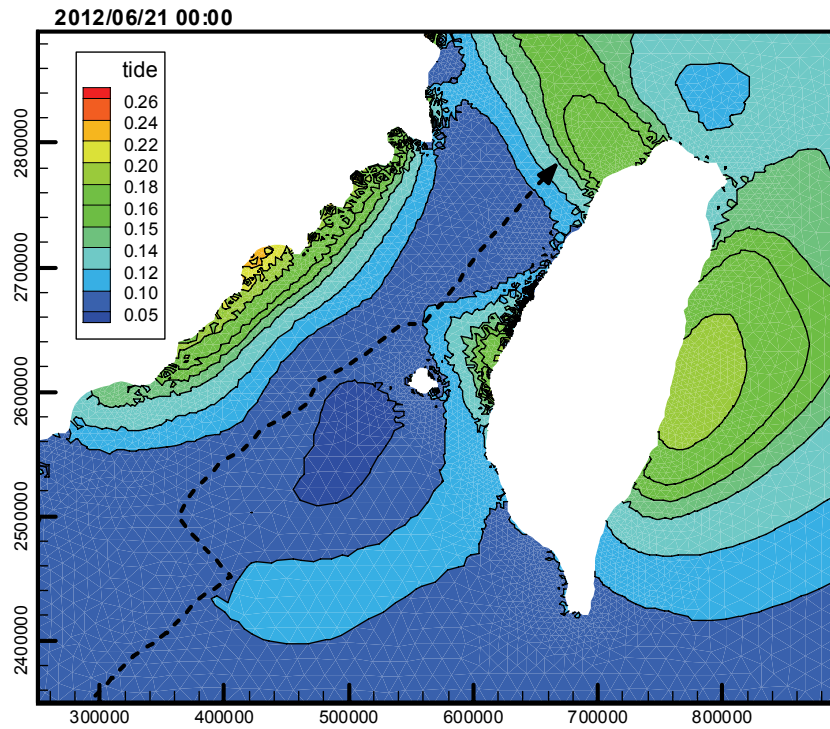


圖 6.15 (續 3) 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/06/21 00:00)

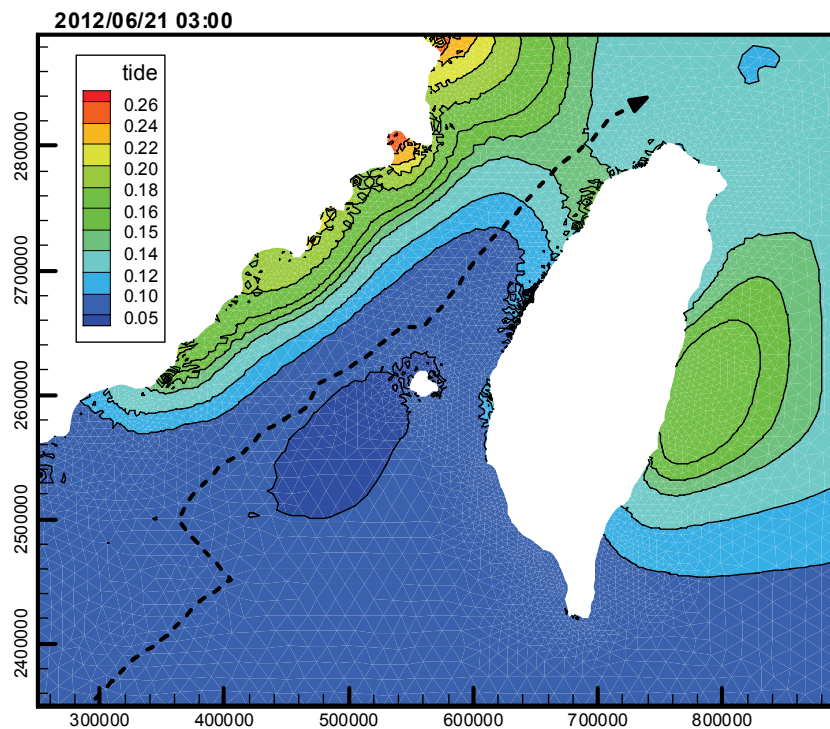


圖 6.15 (續 4) 2012 年輕度颱風泰利侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/06/21 03:00)

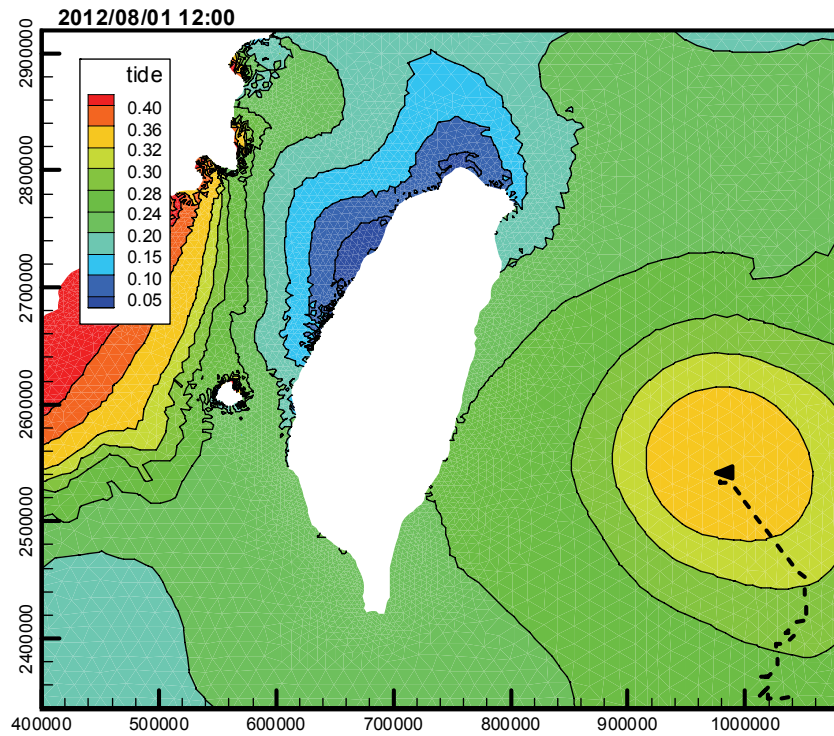


圖 6.16 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/01 12:00)

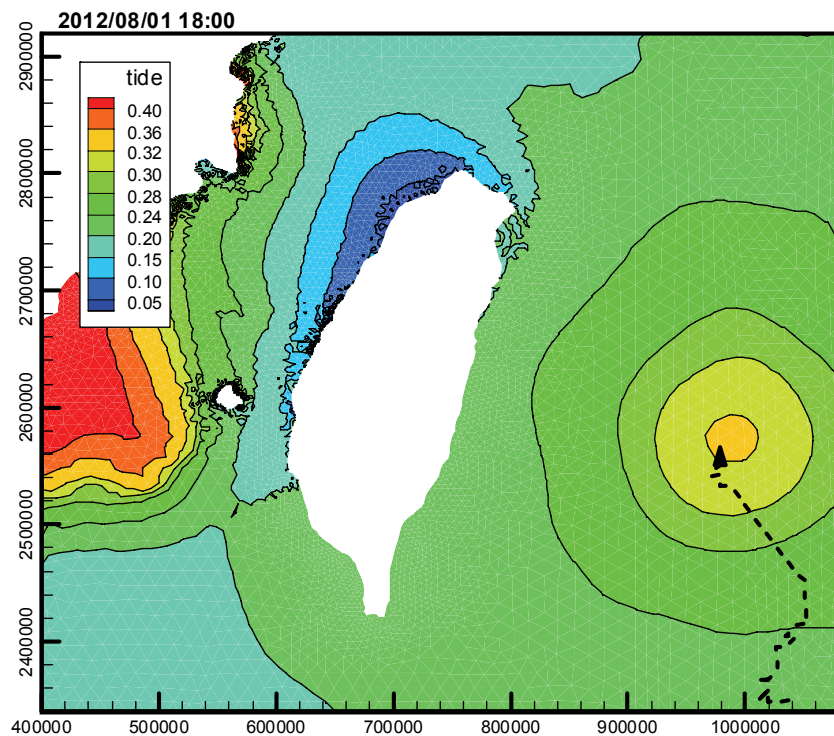


圖 6.16 (續 1) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/01 18:00)

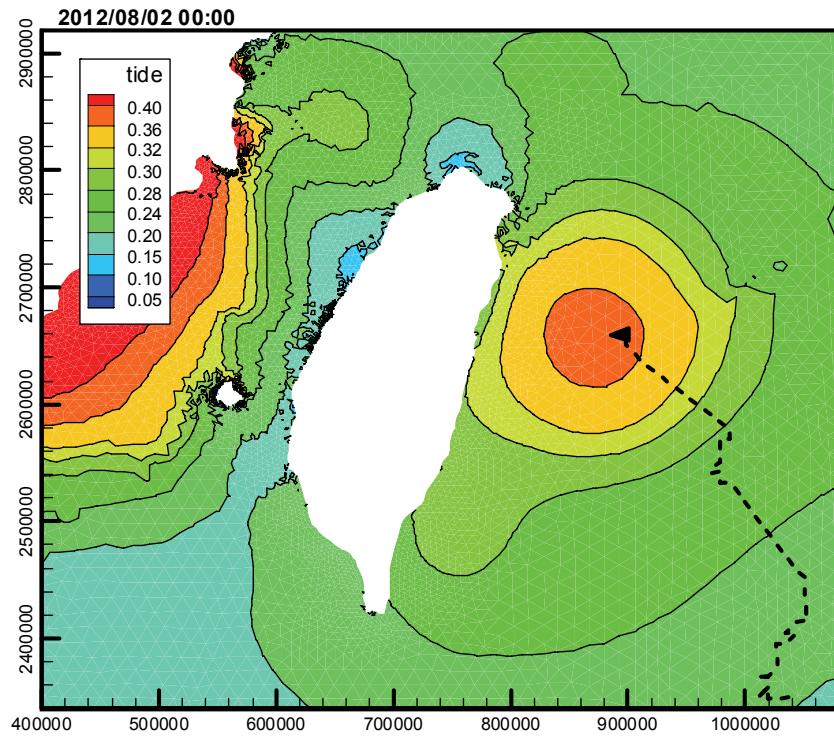


圖 6.16 (續 2) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/02 00:00)

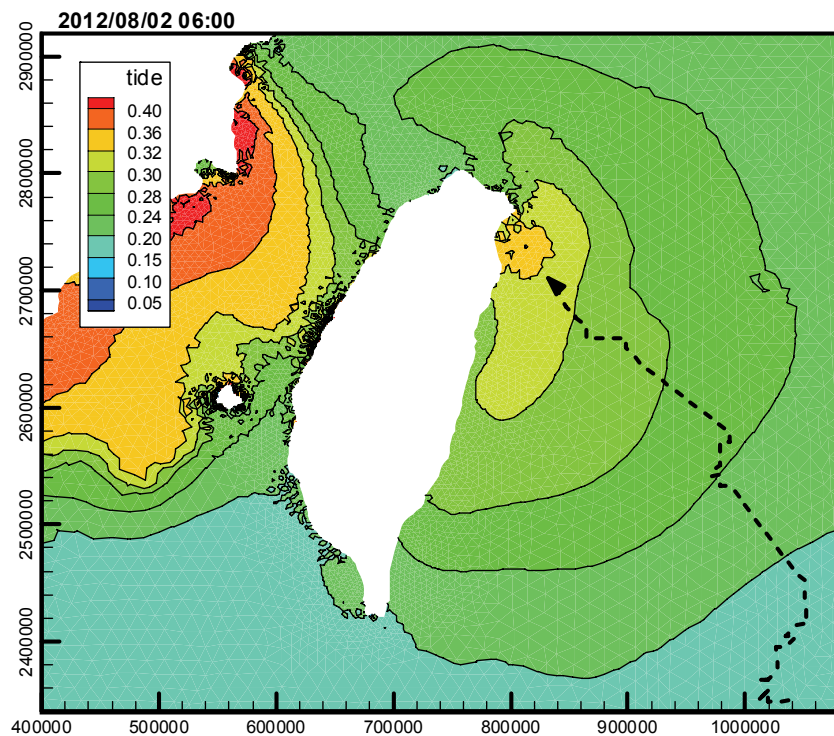


圖 6.16 (續 3) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/02 06:00)

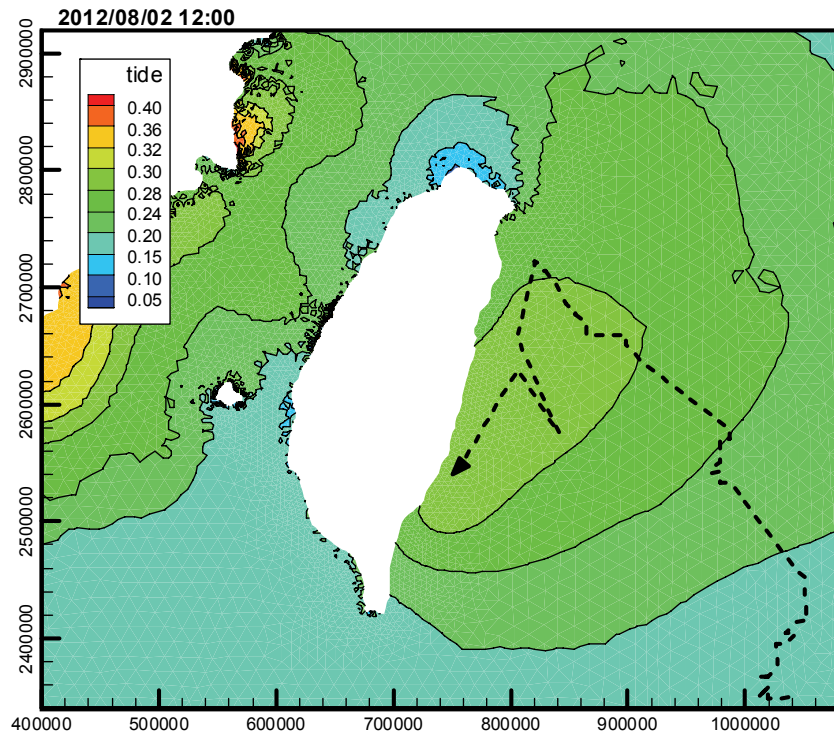


圖 6.16 (續 4) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/02 12:00)

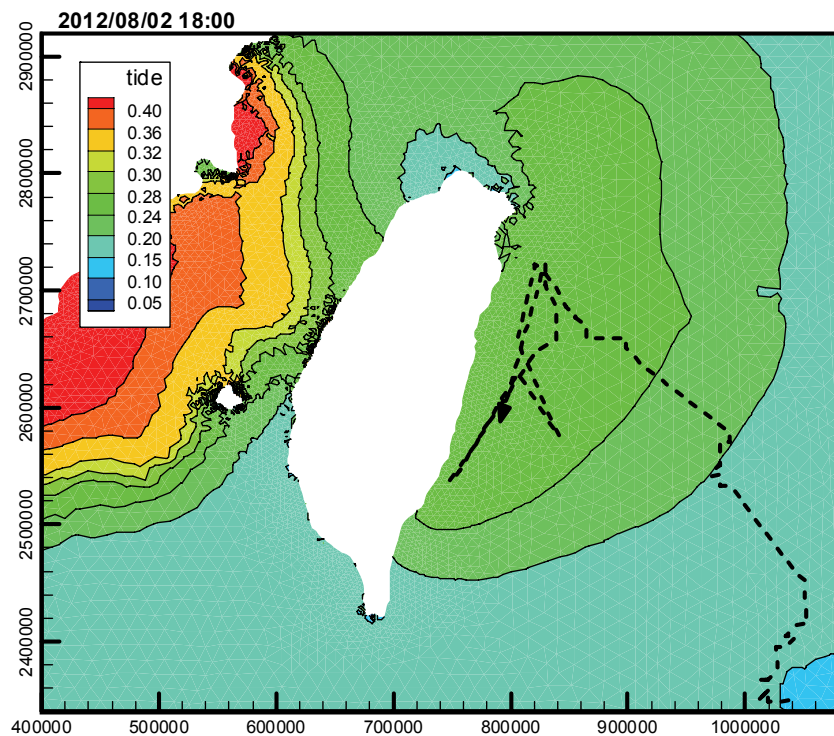


圖 6.16 (續 5) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/02 18:00)

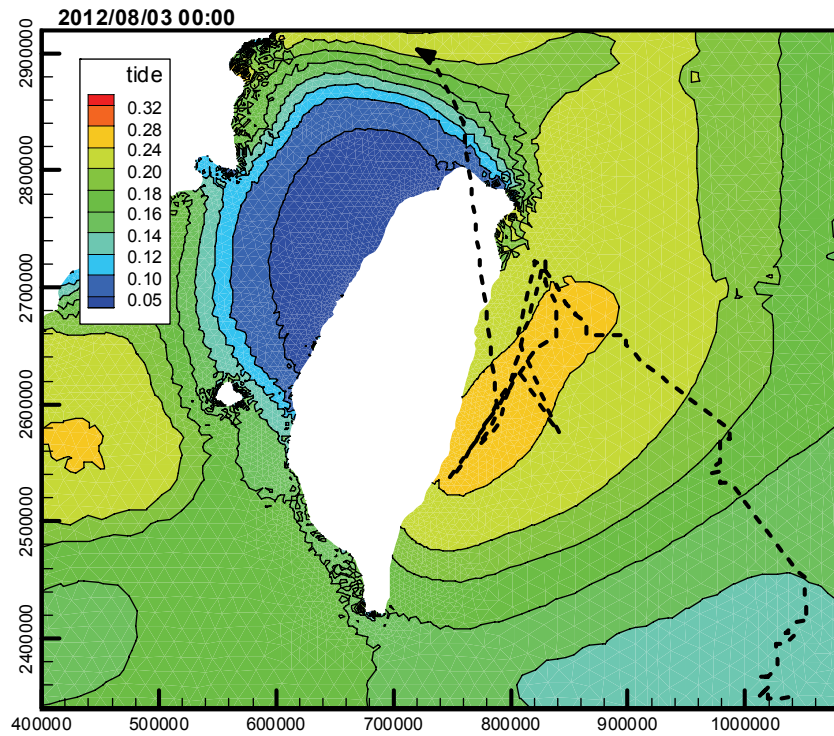


圖 6.16 (續 6) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/03 00:00)

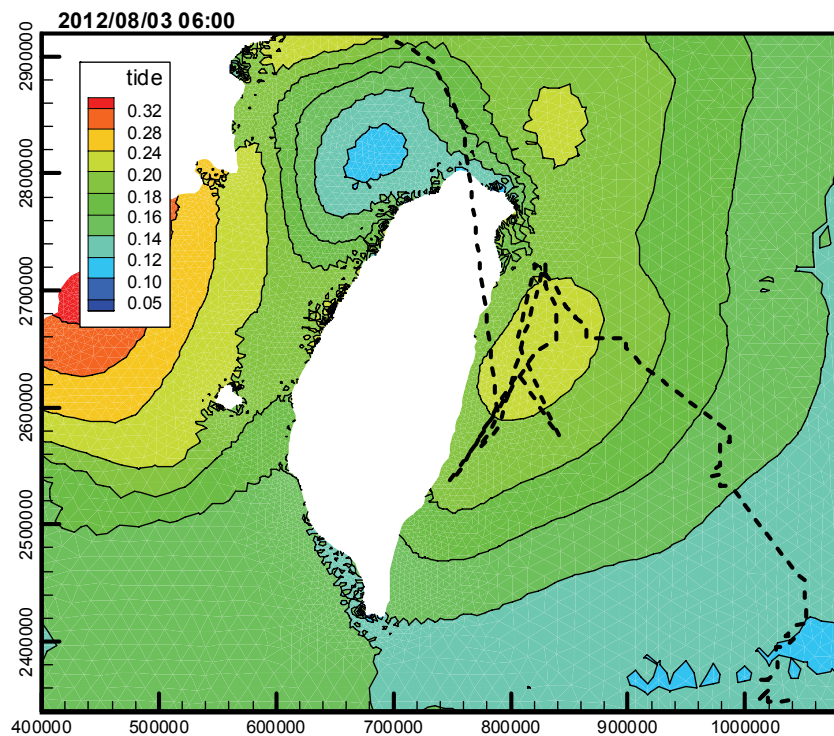


圖 6.16 (續 7) 2012 年中度颱風蘇拉侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/03 06:00)

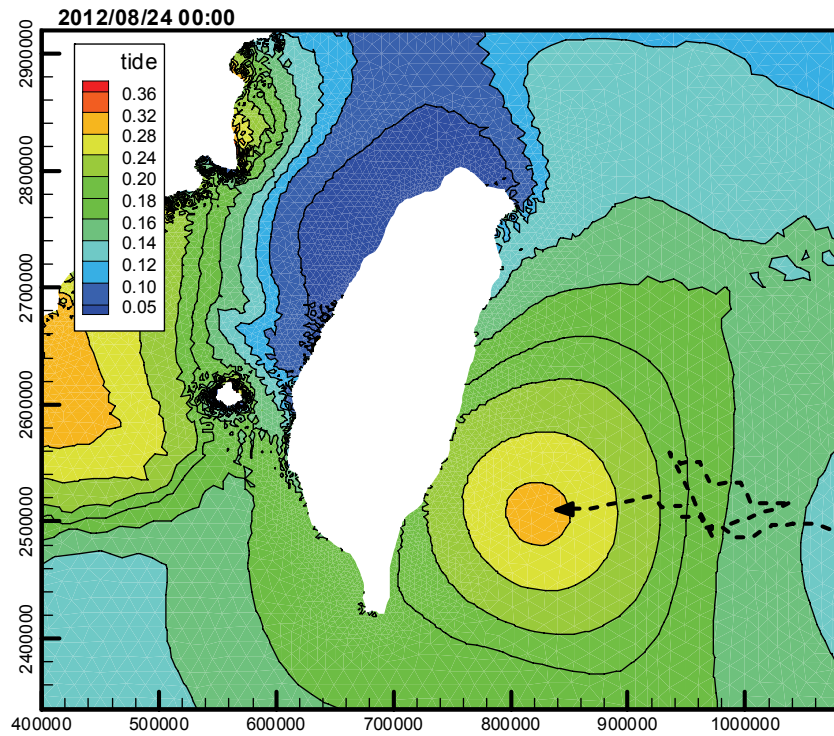


圖 6.17 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/24 00:00)

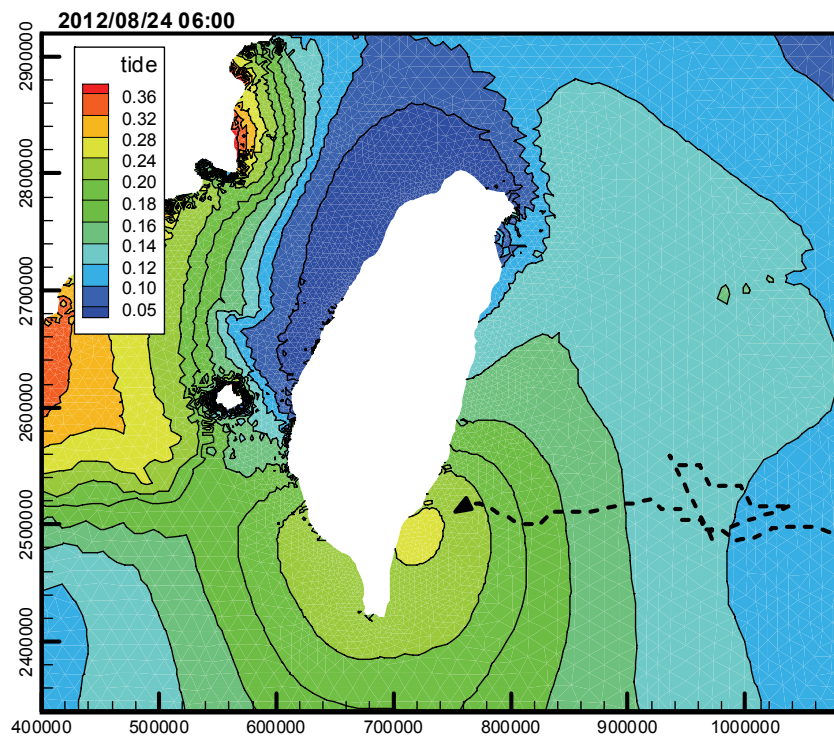


圖 6.17 (續 1) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/24 06:00)

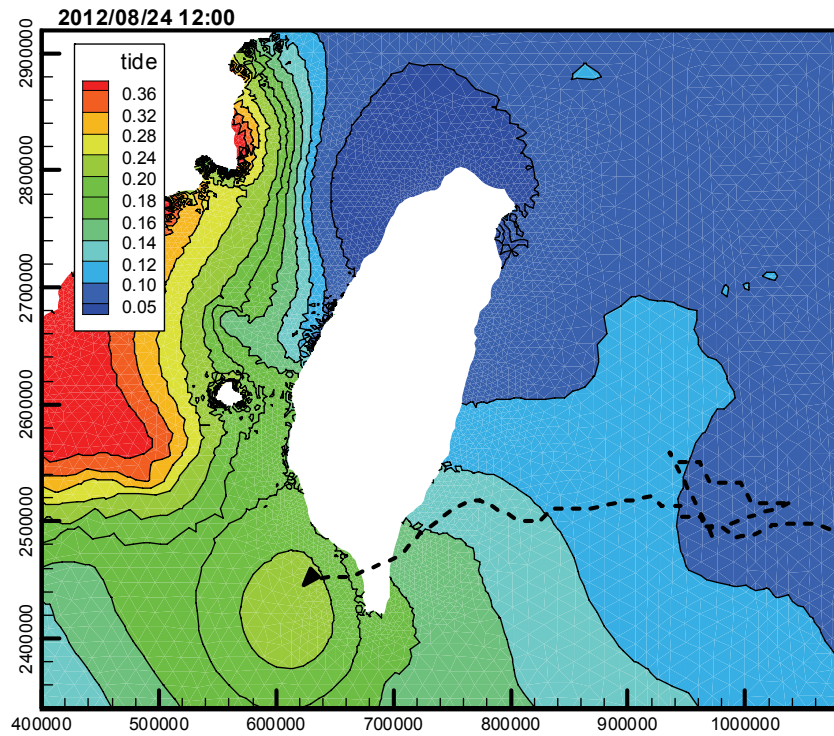


圖 6.17 (續 2) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/24 12:00)

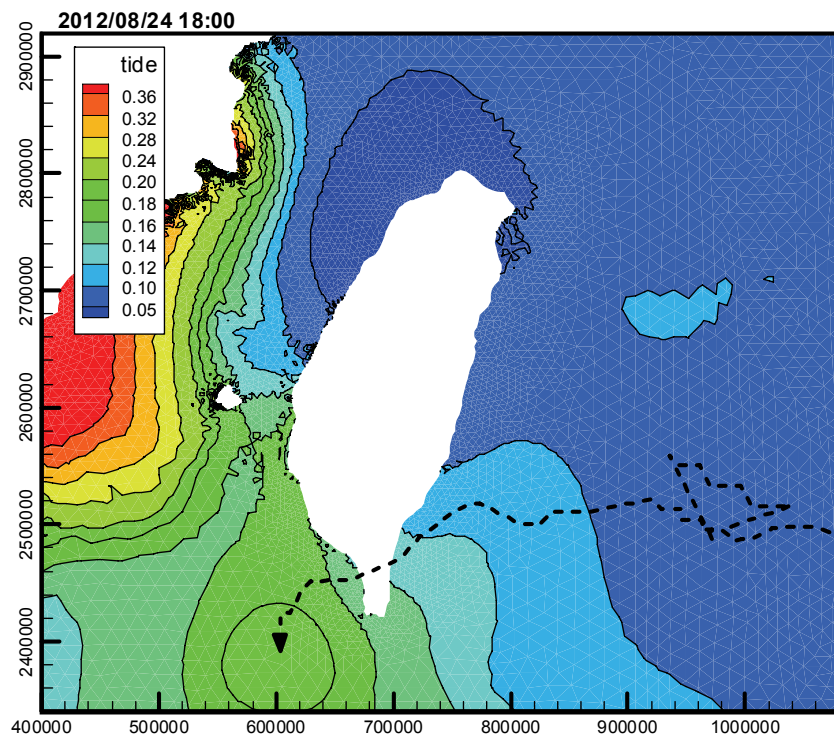


圖 6.17 (續 3) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/24 18:00)

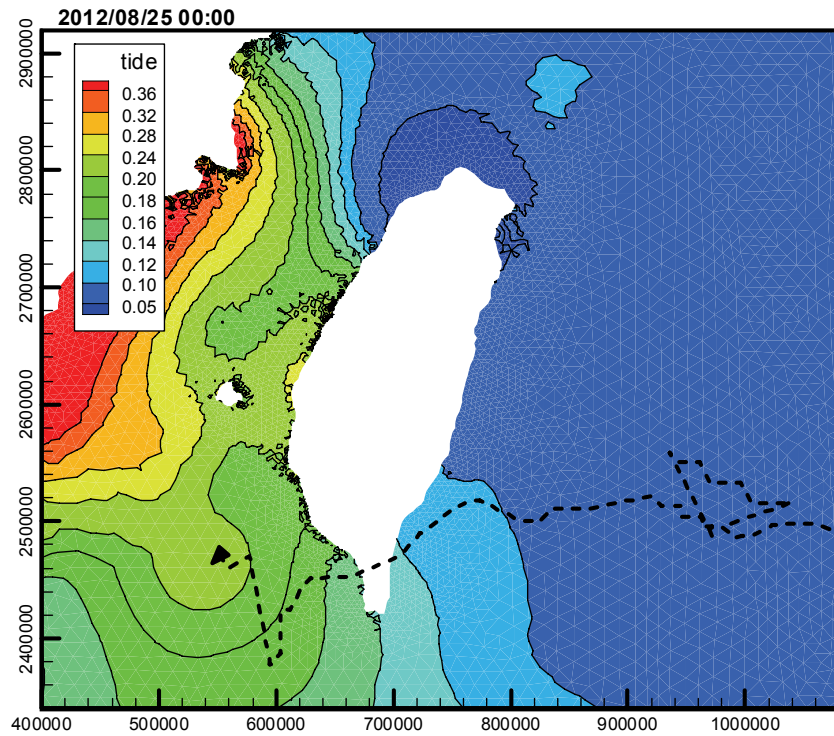


圖 6.17 (續 4) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/25 00:00)

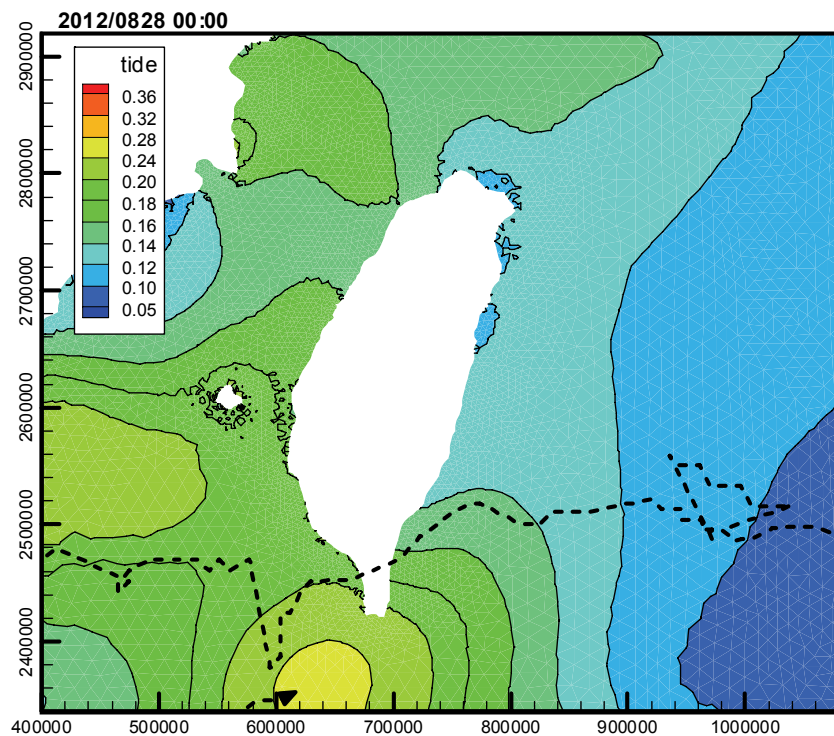


圖 6.18 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/28 00:00)

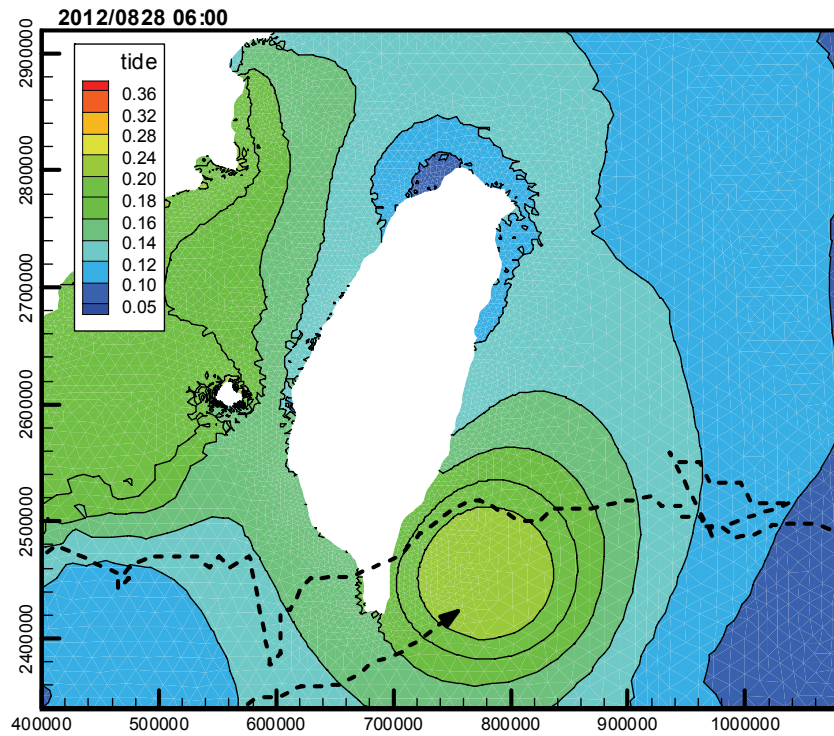


圖 6.18 (續 1) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/28 06:00)

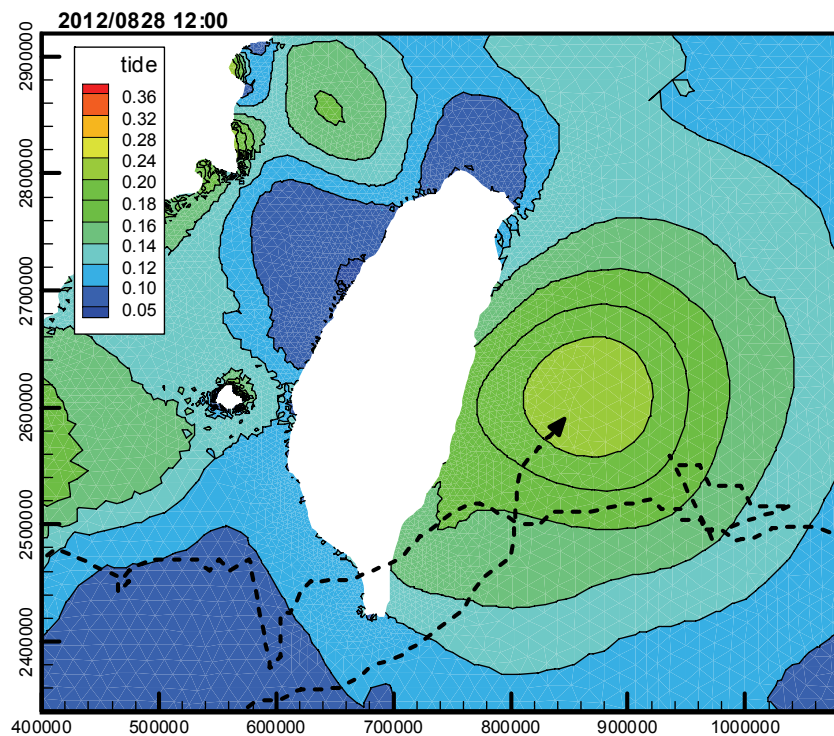


圖 6.18 (續 2) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/28 12:00)

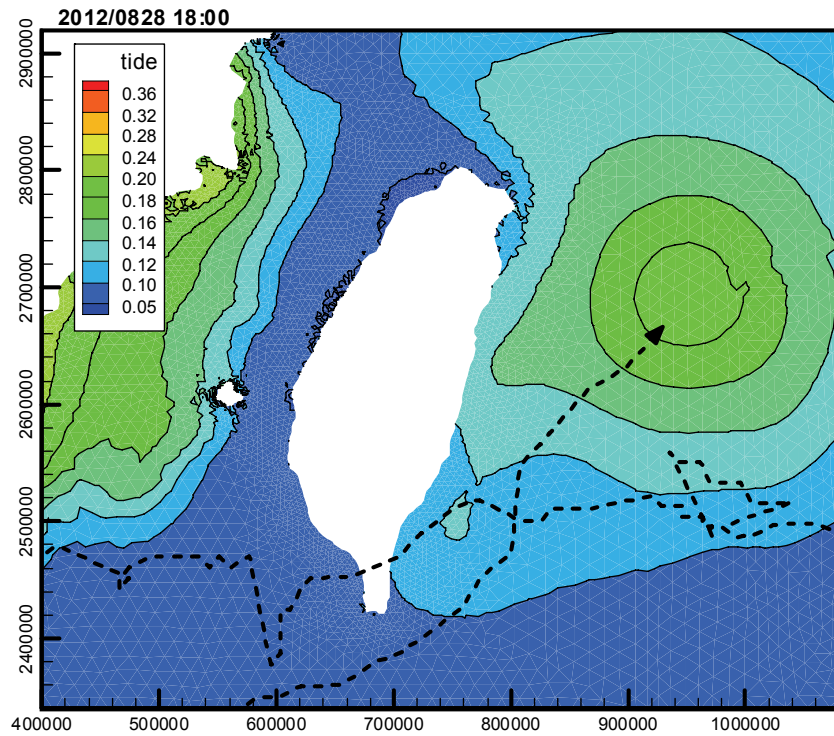


圖 6.18 (續 3) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/28 18:00)

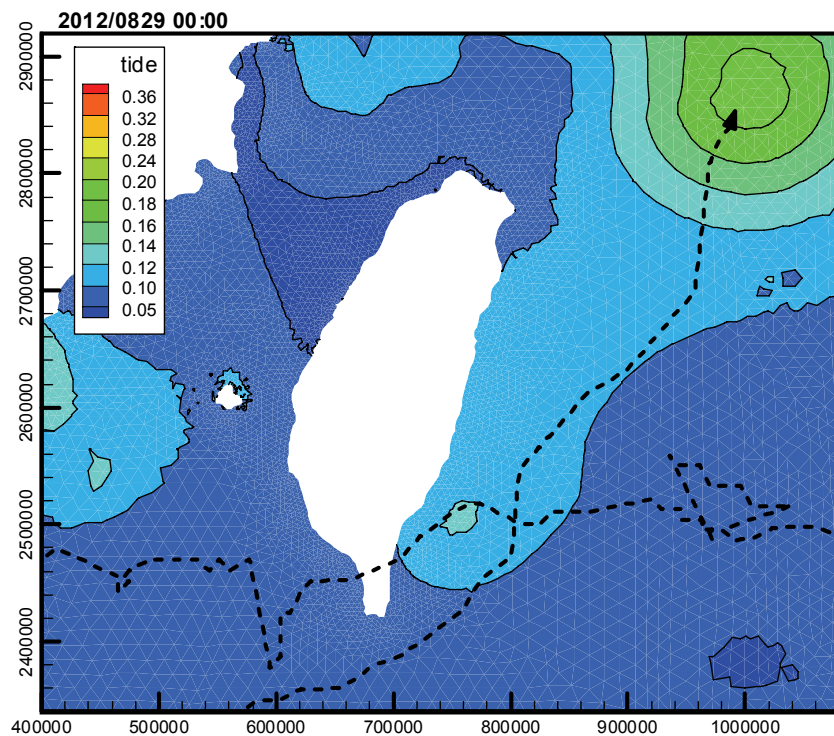


圖 6.18 (續 4) 2012 年中度颱風天秤侵臺期間臺灣周圍海域暴潮偏差分布圖 (時間 2012/08/29 00:00)

第七章 結論與建議

針對前期計畫初步建立之臺中港域水位及流場模式精度問題，以及日益重要的布袋港域尚未有流場資訊可供參考，本年度研究計畫目的特別針對臺中港潮流模擬之精確性加以改進，以及建立布袋港的水動力模式，以期提供更精確的流場資訊供相關單位參考。本期末報告內容整理得以下結論與建議。

7.1 結論

1. 蒐集更新臺中港及布袋港港區全域地形水深資料作為數值模擬使用；蒐集分析 2008 年至 2011 年龍洞、基隆港、麟山鼻、竹圍、外埔、臺中港、鹿港、箔仔寮、東石及將軍等潮位站之潮位資料進行分析，潮位分析結果提供潮流模式邊界條件之建立及水位模擬結果之驗證。
2. 海流觀測資料之蒐集包括臺中港北防波堤堤頭外側長期測站之觀測資料，以及布袋港港口西側外海的海流觀測資料。海流蒐集資料以頻譜分析方式篩選主要分潮後，再進行調和分析得到主要分潮流速，分析結果提供潮流模式潮流模擬結果之驗證。
3. 針對的臺中港水動力模式修正包括地形資料的更新、格網的建立與模式參數的率定，為縮減模擬範圍，邊界條件選用 NAO.99b 模式建置模式之開放邊界條件。在無風的條件下流場模擬結果顯示在退平潮階段港內潮流向港口流出，港口外潮流流向大致上朝向西南至西南西之間；在漲平潮階段港口附近潮流流向港內，港口外潮流流向大致上朝向東北至北北東之間；在強烈的北北東之風場下，流場模擬結果顯示不論漲、退潮臺中港區外海流場均呈現沿海岸地形往南之流向。
4. 布袋港的水動力模式為本年度新建立，包括地形資料、數值格網與邊界條件的建立。在無風的條件下流場模擬結果顯示高平潮時段，

港口外側有微弱的東南向流場，部分流入港區內；退潮時段港口外側有明顯的南向流，此時海水由港區內往外流，在港口處有較強的流速；低平潮時段流向轉為向北，但整個港區附近流速不大；漲潮時段港口外側有較強的北向流，在港口亦有較強的流速流向港內。

5. 基隆港與臺北港水位及海流模擬子系統作業化預測成果評估，顯示本年度8月和9月基隆港觀測與預報潮位之間的標準偏差為0.1 m左右；海流預報的平均流速小於觀測值，觀測主要流向為東北東向，模式預報主要流向為東向；觀測流速與模式預報流速標準偏差為20 cm/s左右，平均比值為1.0左右；觀測流向與模式預報流向標準偏差為70度左右。臺北港觀測與預報潮位之間的標準偏差為0.3 m左右；海流預報的平均流速與觀測值相當，約40~50 cm/s；觀測主要流向為西南向，模式預報主要流向為西南西向；觀測流速與模式預報流速標準偏差亦為20 cm/s左右，平均比值為1.0~1.2；觀測流向與模式預報流向標準偏差為50度左右。
6. 本計畫初步完成中尺度臺灣周圍海域範圍暴潮模式之建置，並以中尺度預報風場及氣壓場資料為輸入條件，針對本年度發生的侵臺颱風模擬颱風引起的暴潮水位偏差。綜合模擬結果得知，當颱風在開闊海面上時近颱風中心暴潮水位偏差與風場及氣壓場分布近似；當颱風接近陸地時，與風場及氣壓場分布之關聯性明顯地降低。

7.2 建議

1. 本年度臺中港域小尺度潮流流場模擬改善研究雖已較上期計畫模擬結果有顯著改善成果，但位於北防堤延伸段堤頭附近海域流場模擬結果與海流觀測資料之驗證與比較仍有待改善空間；經評估後推測可能與目前數值網格解析度不足以反映北防堤堤頭附近水深劇烈變化有關，故具體作法建議針對增加堤頭附近海域有限元素網格解析度進行改善研究。
2. 本年度新建布袋港小尺度港區水動力模組，僅屬初步完成建置階段，因此仍有許多缺失如整體流場流速偏小以及觀測資料品質及

分析等，建議後續仍應持續進行布袋港小尺度港區流場模擬改善研究。

3. 本年度中尺度臺灣周圍海域範圍暴潮模組之建置，亦僅屬初步完成建置階段，對於颱風暴潮模擬結果之驗證則建議先針對各港口潮位觀測資料進行暴潮水位偏差分析，再依據暴潮水位偏差分析結果選取適合之觀測資料做為暴潮模組模擬結果之驗證依據。

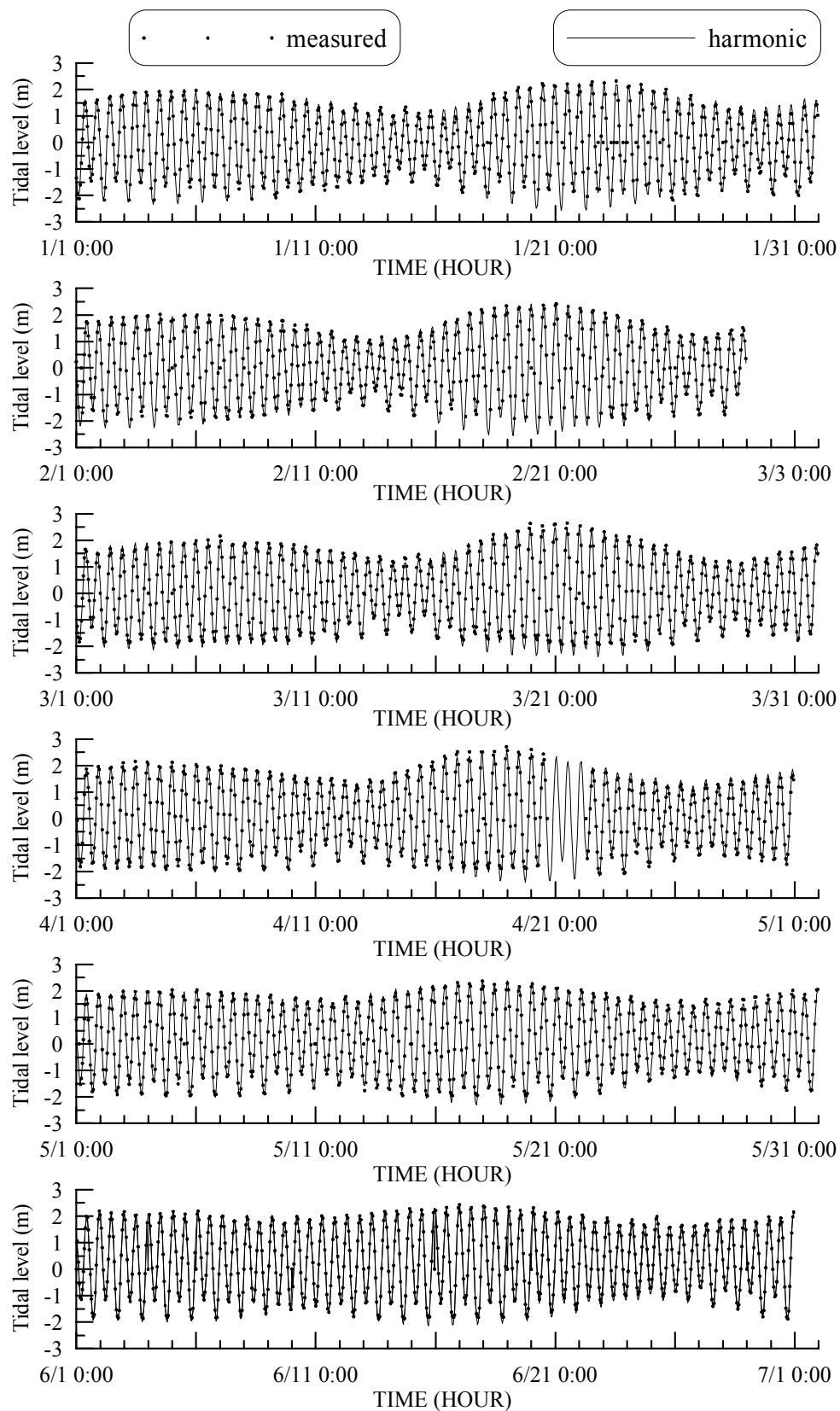
參考文獻

1. 張憲國、黃金維，2001，「以 NAO99b 潮汐模式預測台灣西岸潮汐之評估」，第 23 屆海洋工程研討會論文集，第 105-111 頁。
2. 劉美君、蔡政翰、蕭松山，2006，「臺灣附近海域一公里網格之潮汐調和常數」，第 28 屆海洋工程研討會論文集，第 295-300 頁。
3. 李忠潘、陳陽益、薛憲文、林炤圭、劉正琪、張憲國、于嘉順、王兆璋，2006，「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。
4. 李忠潘、陳陽益、薛憲文、林炤圭、劉正琪、于嘉順、王兆璋，2008，「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。
5. 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。
6. 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。
7. 廖建明、莊文傑、許泰文、何興亞，2010，「台灣西南海域海潮流模擬與特性探討」，第 32 屆海洋工程研討會論文集，第 521-526 頁。
8. 顏沛華、蔡宗旻、莊文傑、謝東發、林明毅，2010，「直接應用 NAO99b 全球潮汐模式預報臺灣環島沿岸潮位之適用性評估」，第 32 屆海洋工程研討會論文集，第 659-664 頁。
9. 邱永芳、李兆芳、蘇青和、陳明宗、劉正琪、李俊穎、涂力夫、高政宏、鄭宇君、陳宜芝，2012，「提昇海岸及港灣海域水位與海流模擬技術之研究(1/4)」，交通部運輸研究所研究報告。

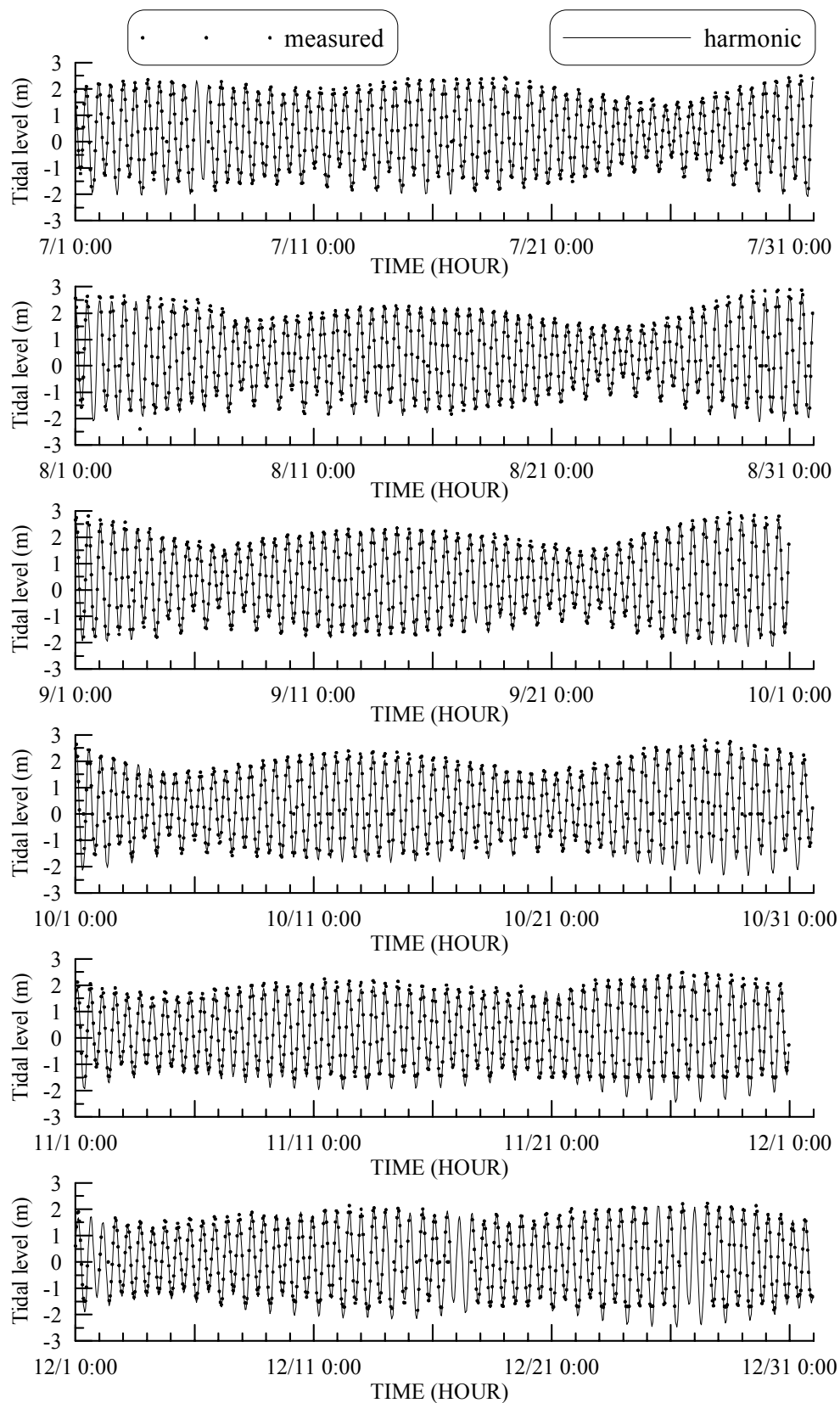
10. Connor, J. and Wang, J., 1974, "Finite Element Modeling of Hydrodynamic Circulation, in Numerical Methods in Fluid Dynamics," ed. By Brebbia and Connor, Pentech Press.
11. Matsumoto, K., Takanezawa, T. and Ooe, M., 2000, "Ocean tide models developed by assimilating TOPEX/POSEIDON altimeter data into hydrodynamical model: A global model and a regional model around Japan," J. Oceanogr., Vol. 56, pp. 567-581.
12. Makin, V. K., 2005, "A note on the drag of the sea surface at hurricane winds," Bound.-Layer Meteor., 115, pp. 169–176.
13. Lu, F.-C., Juang, H.-M. H., and Liao, C.-C., 2007, "A Numerical Case Study of the Passage of a Cold Surge across Taiwan," Meteorol. Atmos. Phys., 95, pp. 27-52.
14. Liou, Y.-C., Y.-J. Chang, 2009, "A variational multiple-Doppler radar three-dimensional wind synthesis method and its impact on thermodynamic retrieval," Mon. Wea. Rev., 137, pp. 3992-4010.
15. Soltani, M., Knudsen, T. and Bak, T., 2009, "Modeling and Simulation of Offshore Wind Farms for Farm Level Control," In European Offshore Wind Conference and Exhibition (EOW).
16. Vickery, P.J., Wadhera, D., Powell, M.D., and Chen, Y., 2009, "A Hurricane Boundary Layer and Wind Field Model for Use in Engineering Applications," American Meteorological Society, pp. 381-405.

附錄一

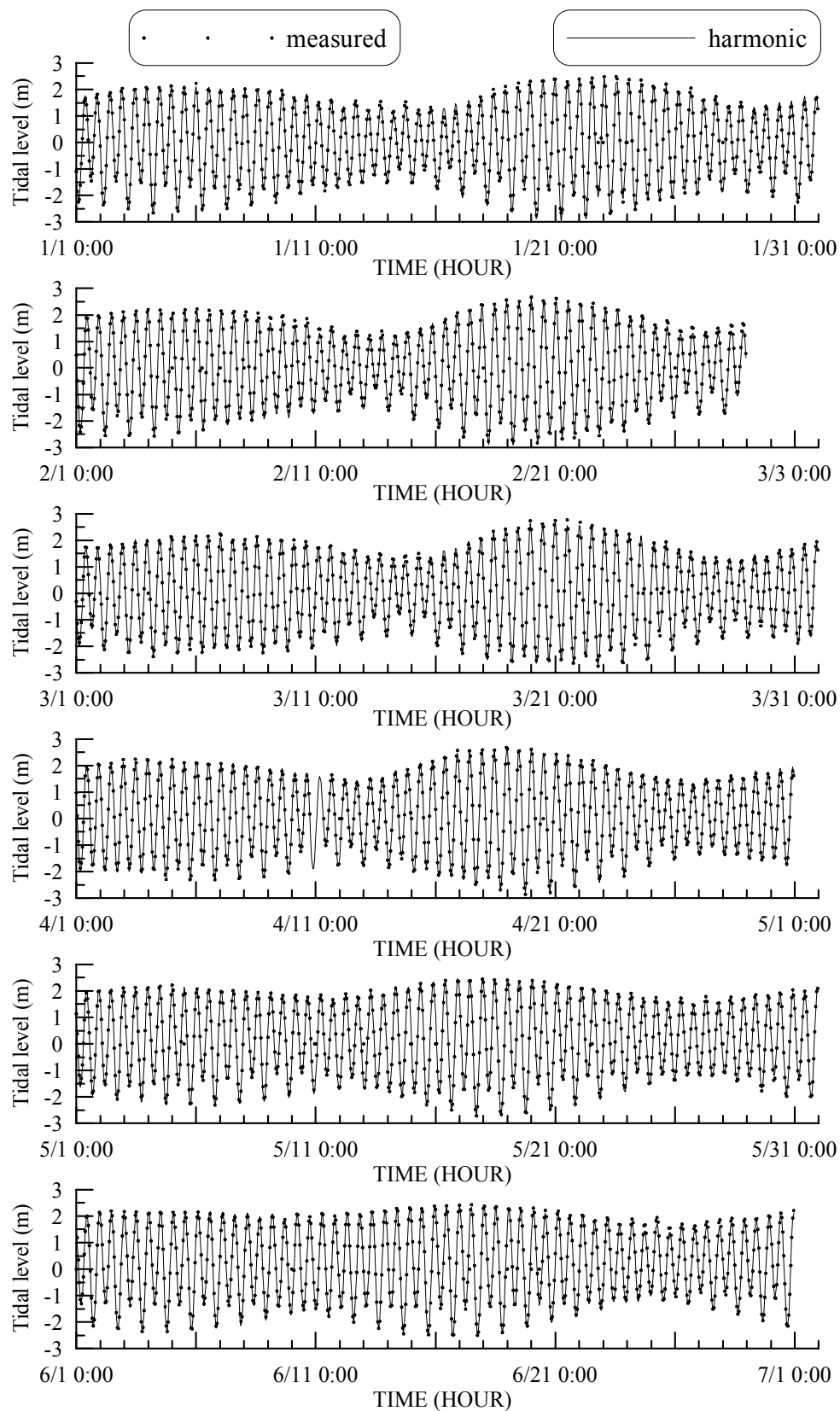
中央氣象局潮位觀測資料與調和分析結果之比較



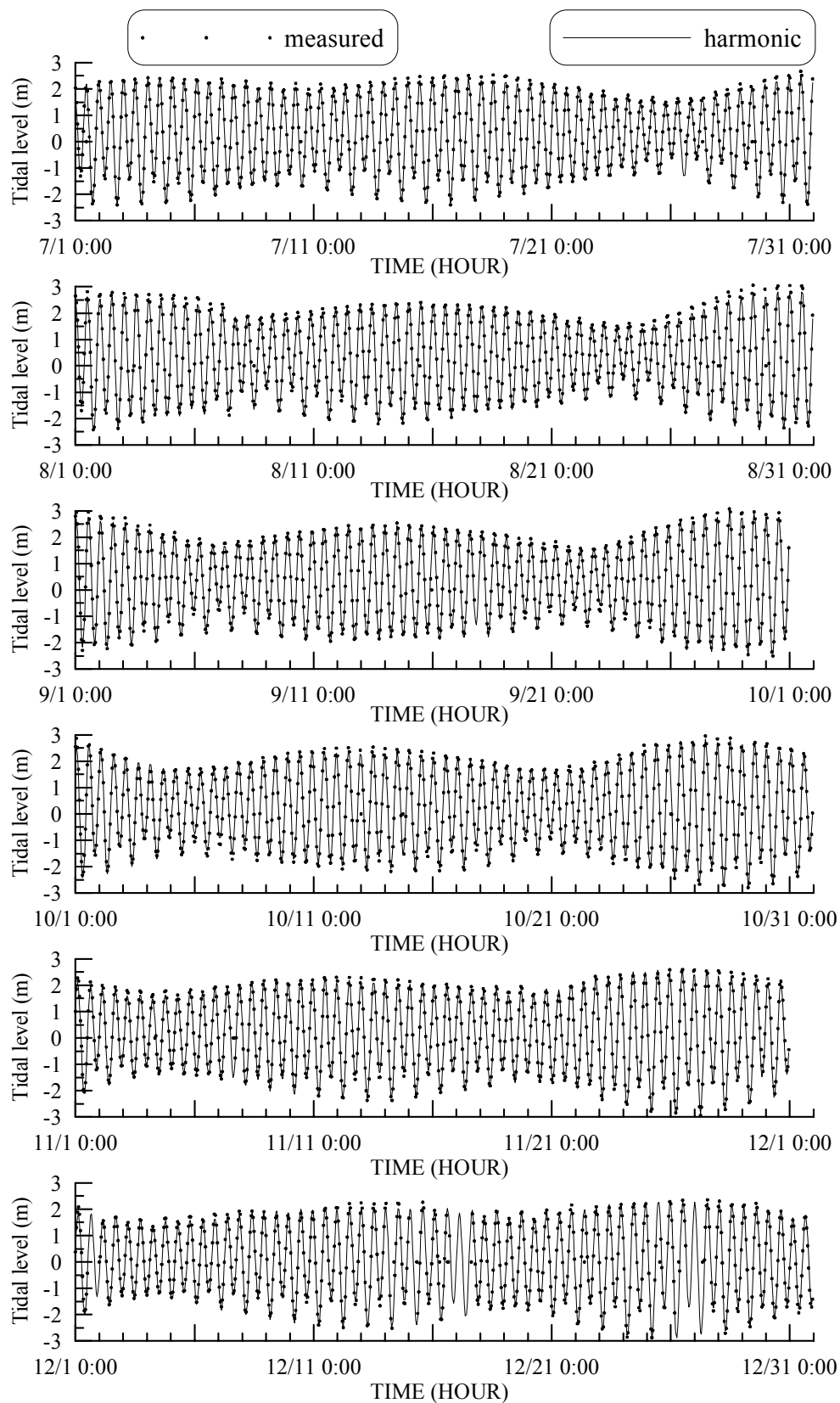
附圖2.1 外埔潮位2011年觀測資料與調和分析結果之比較圖



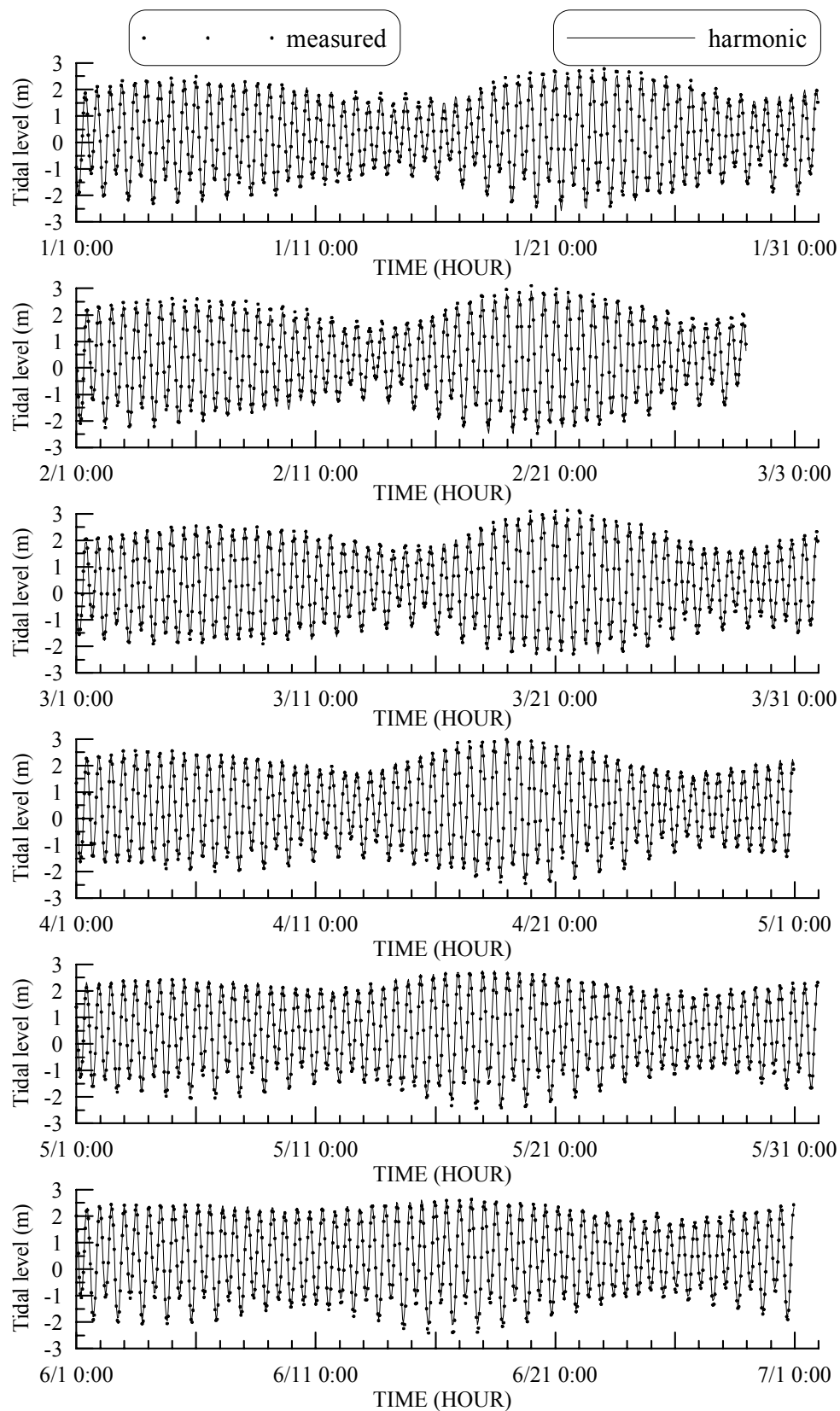
附圖2.1 (續)外埔潮位2011年觀測資料與調和分析結果之比較圖



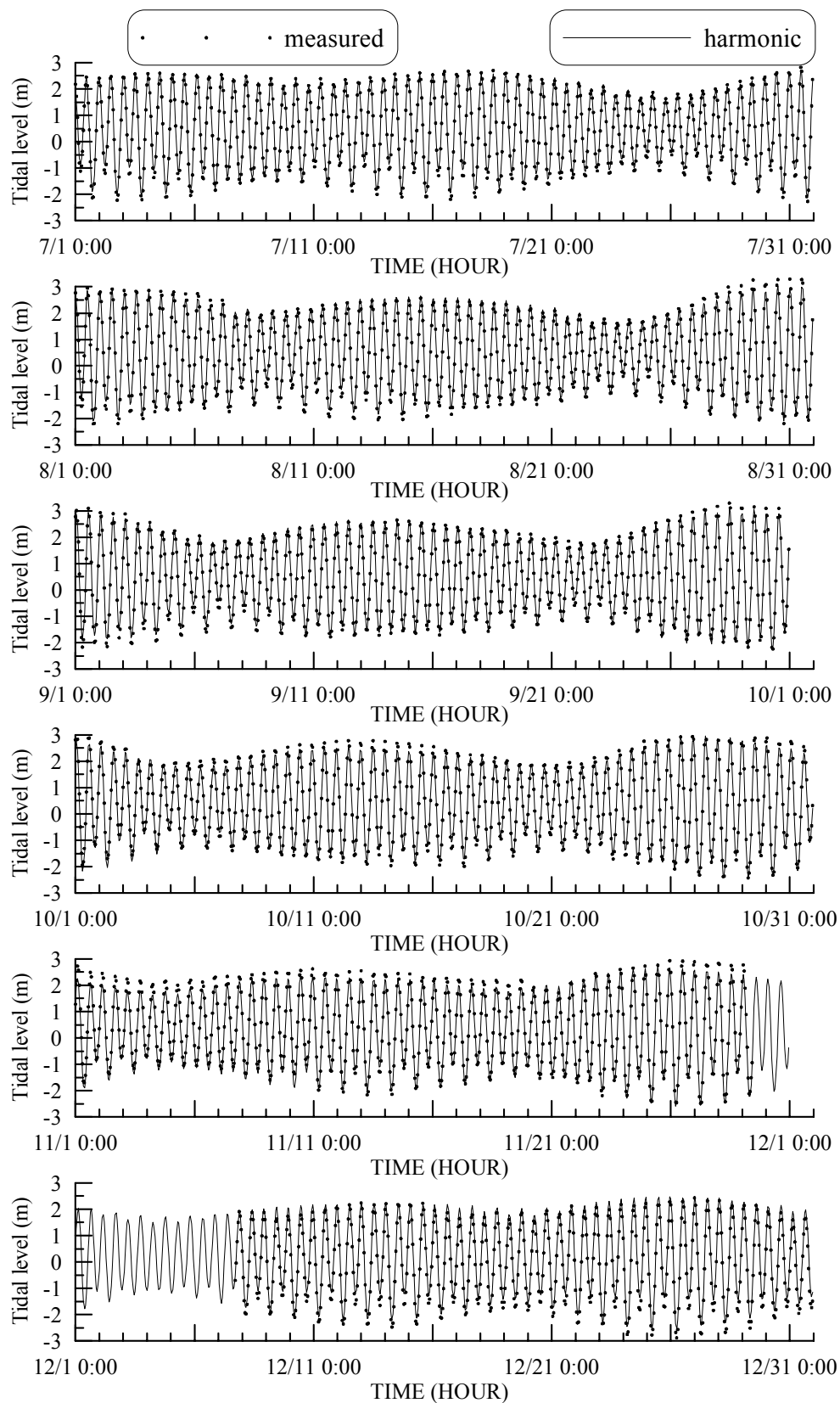
附圖2.2 臺中港潮位2011年觀測資料與調和分析結果之比較圖



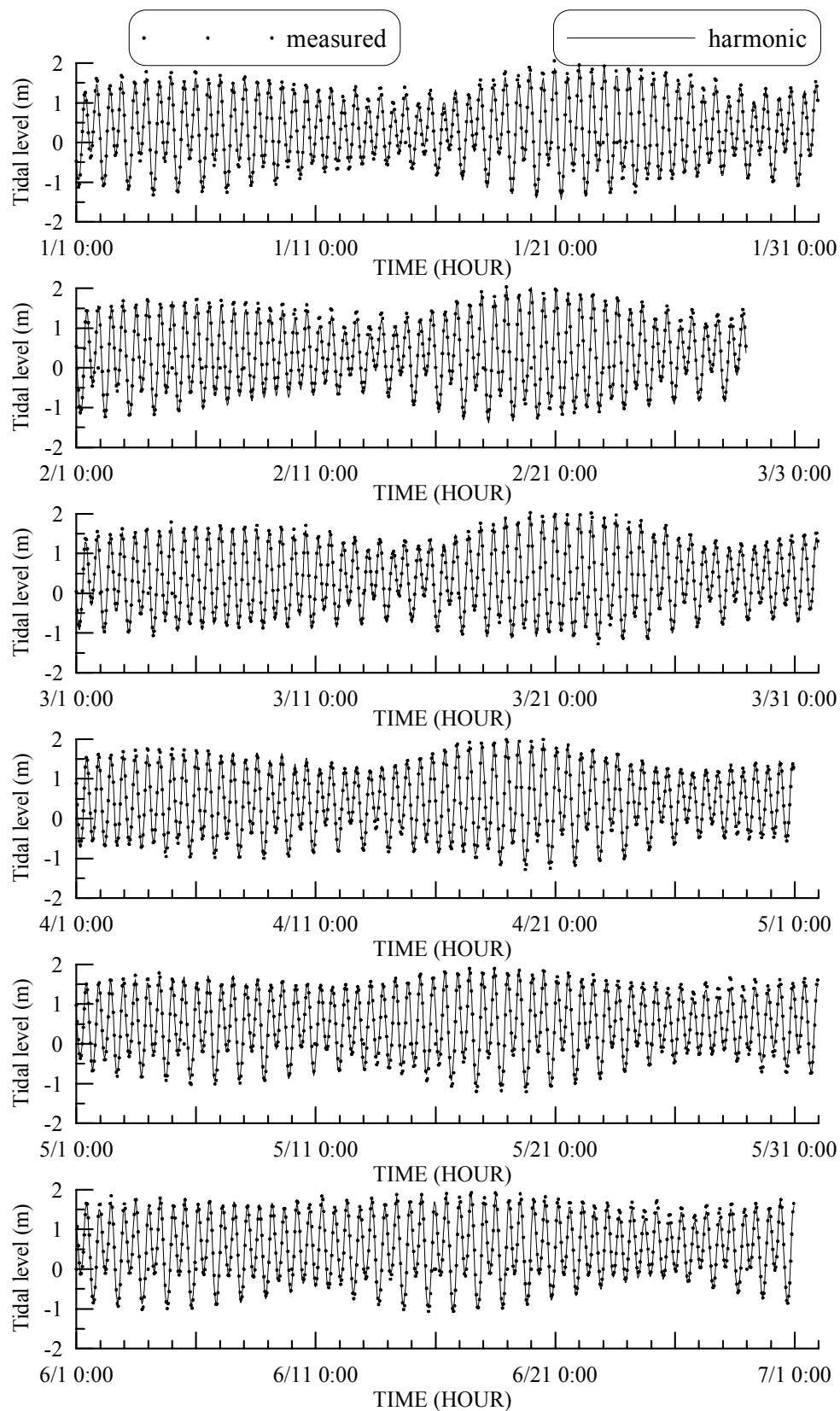
附圖2.2 (續)臺中港潮位2011年觀測資料與調和分析結果之比較圖



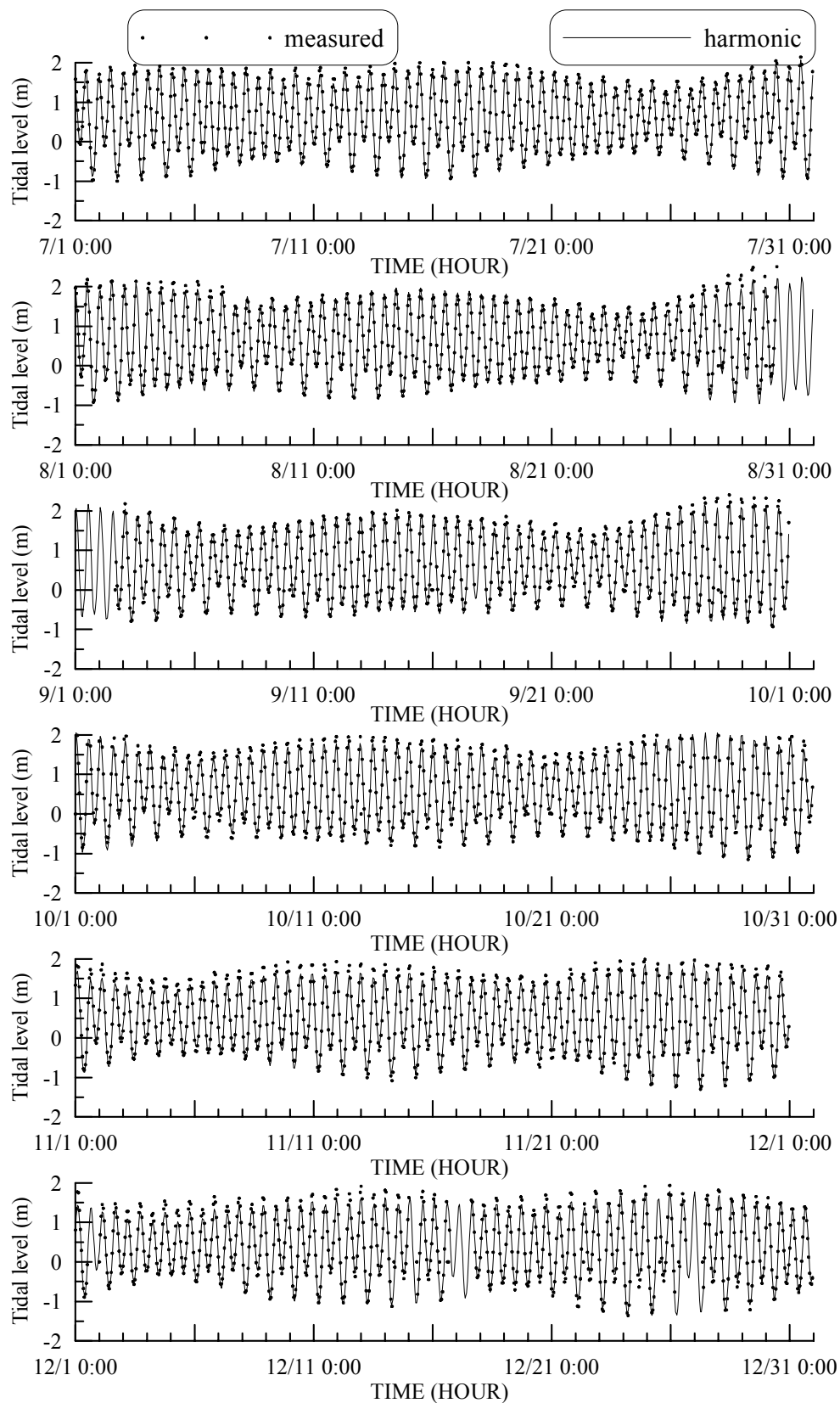
附圖2.3 鹿港潮位2011年觀測資料與調和分析結果之比較圖



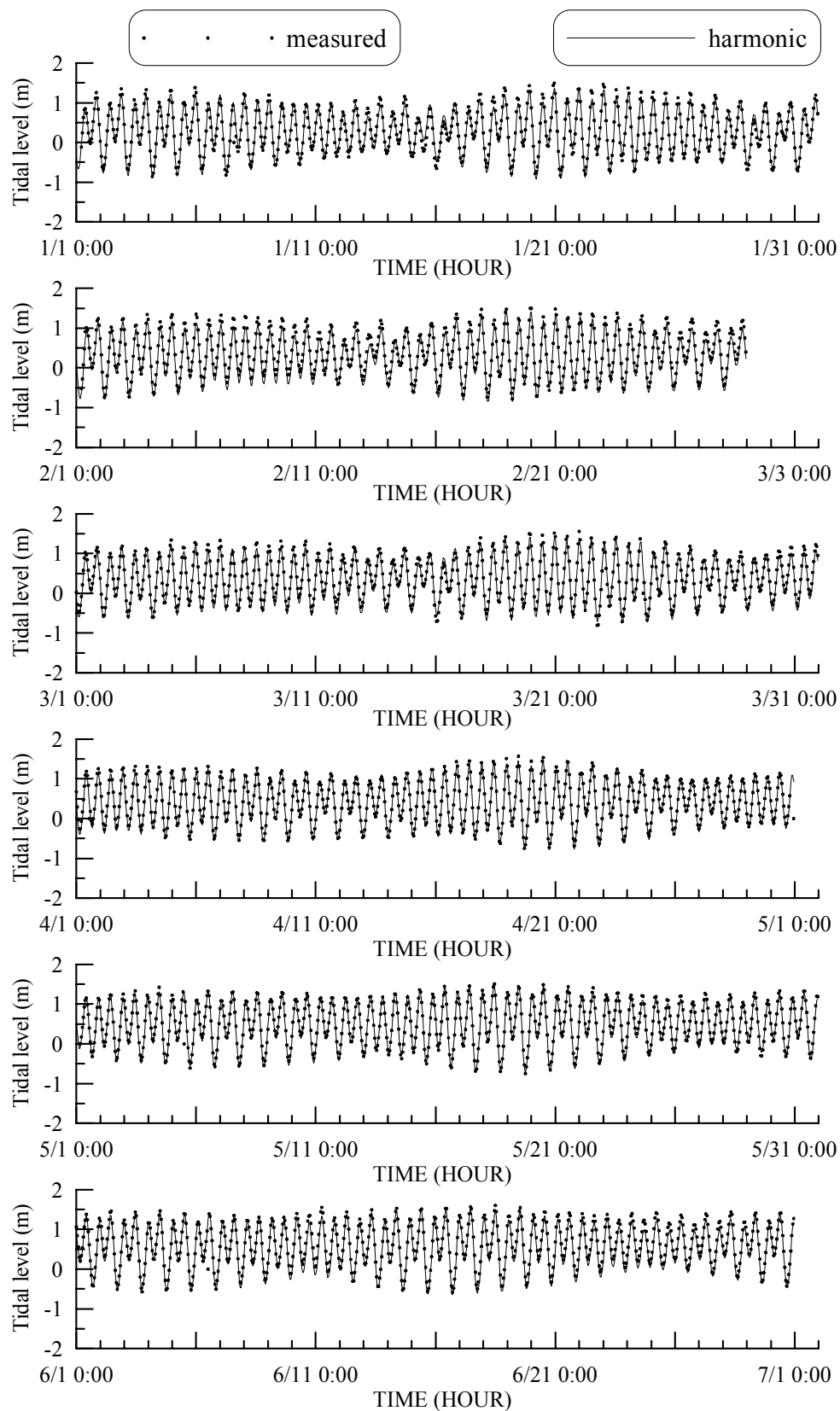
附圖2.3 (續)鹿港潮位2011年觀測資料與調和分析結果之比較圖



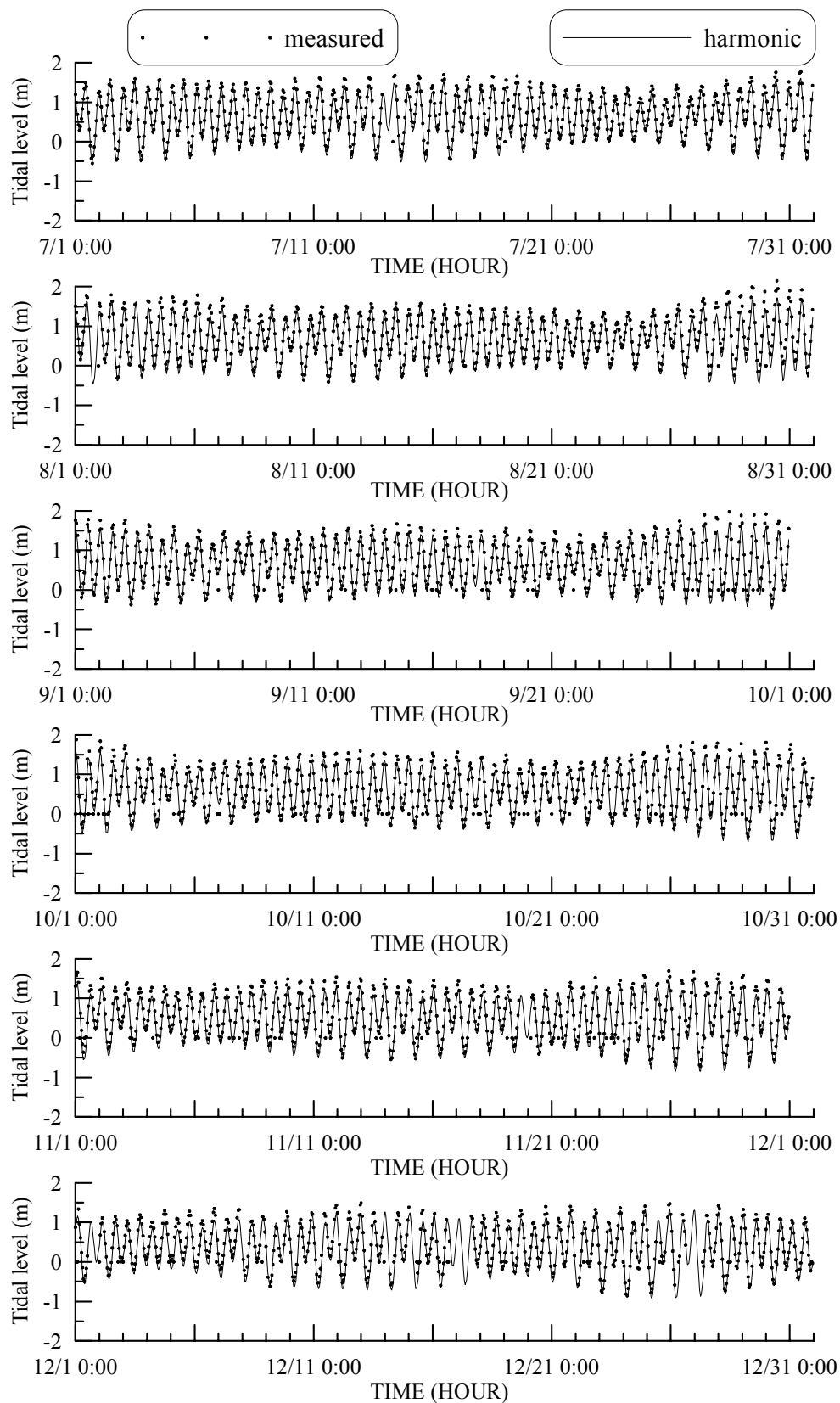
附圖2.4 箔仔寮潮位2011年觀測資料與調和分析結果之比較圖



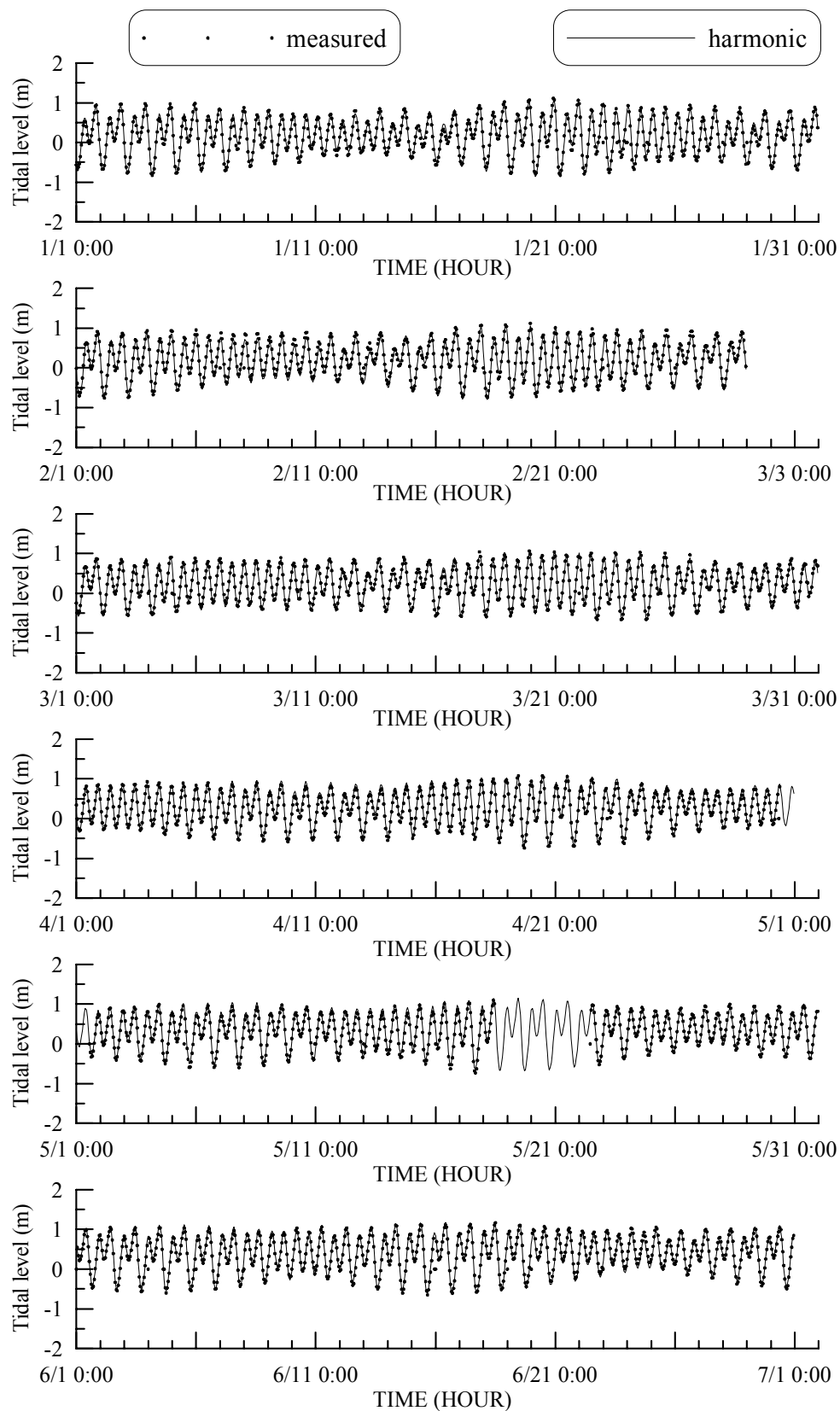
附圖2.4 (續)箔仔寮潮位2011年觀測資料與調和分析結果之比較圖



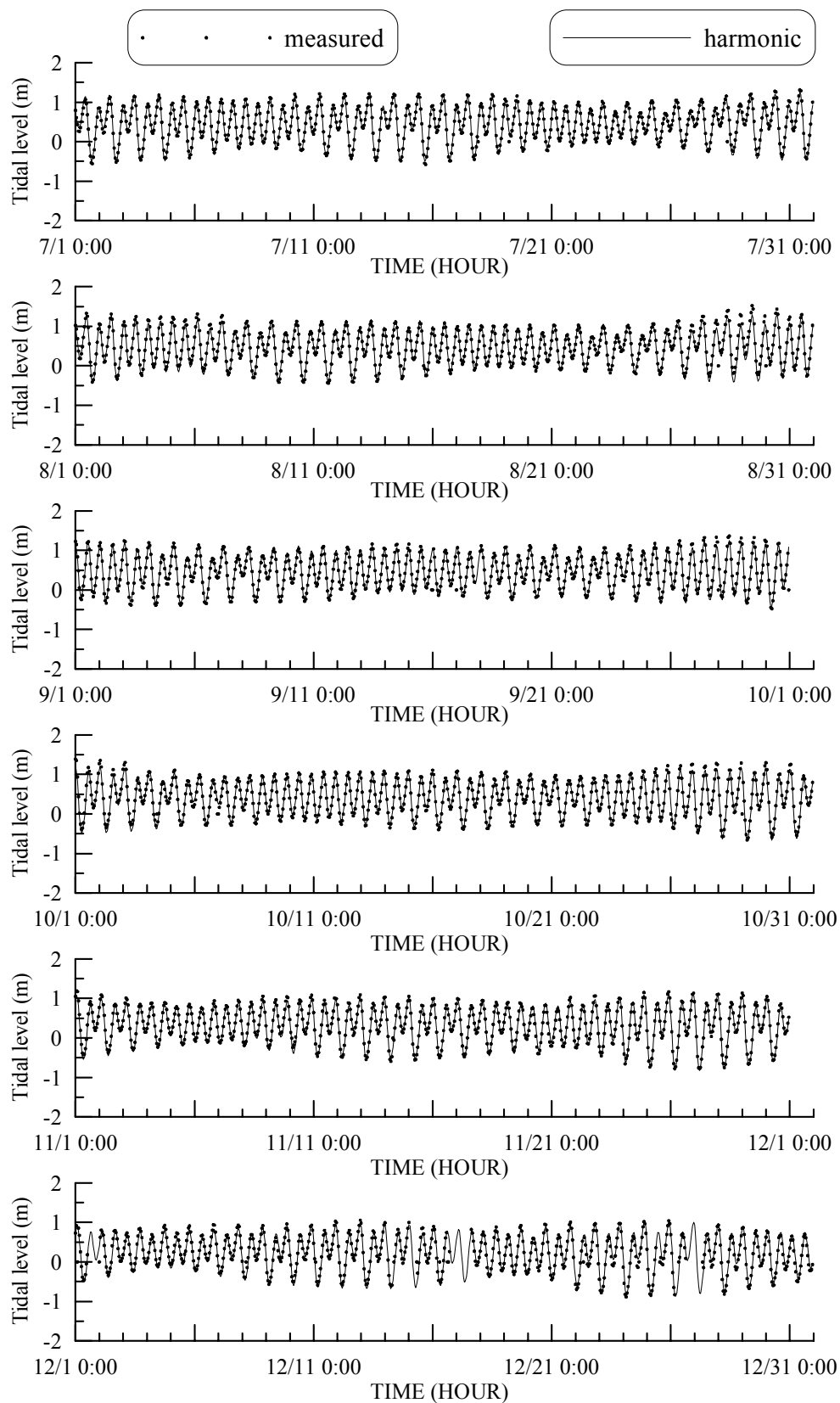
附圖2.5 東石潮位2011年觀測資料與調和分析結果之比較圖



附圖2.5 (續)東石潮位2011年觀測資料與調和分析結果之比較圖



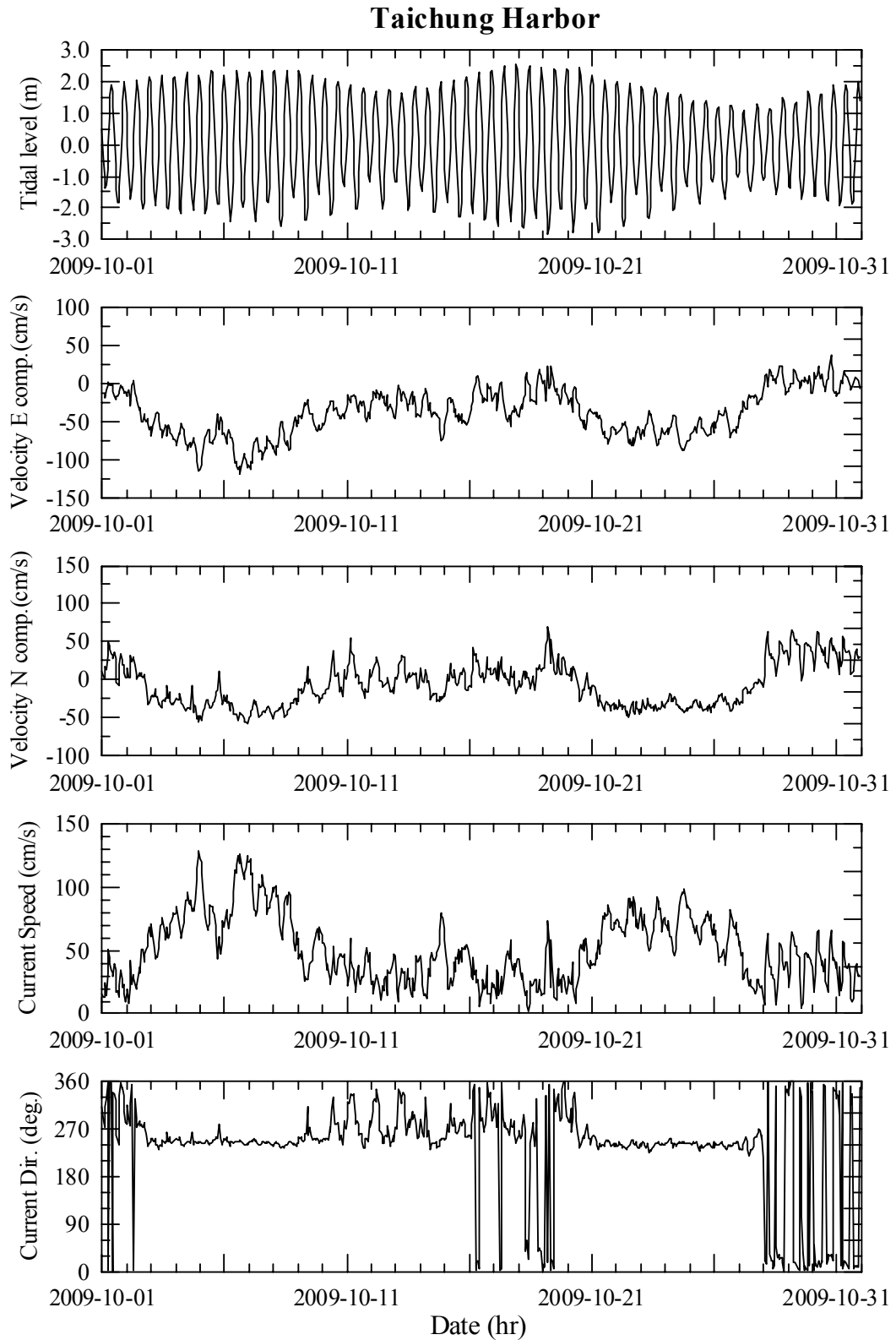
附圖2.6 將軍潮位2011年觀測資料與調和分析結果之比較圖



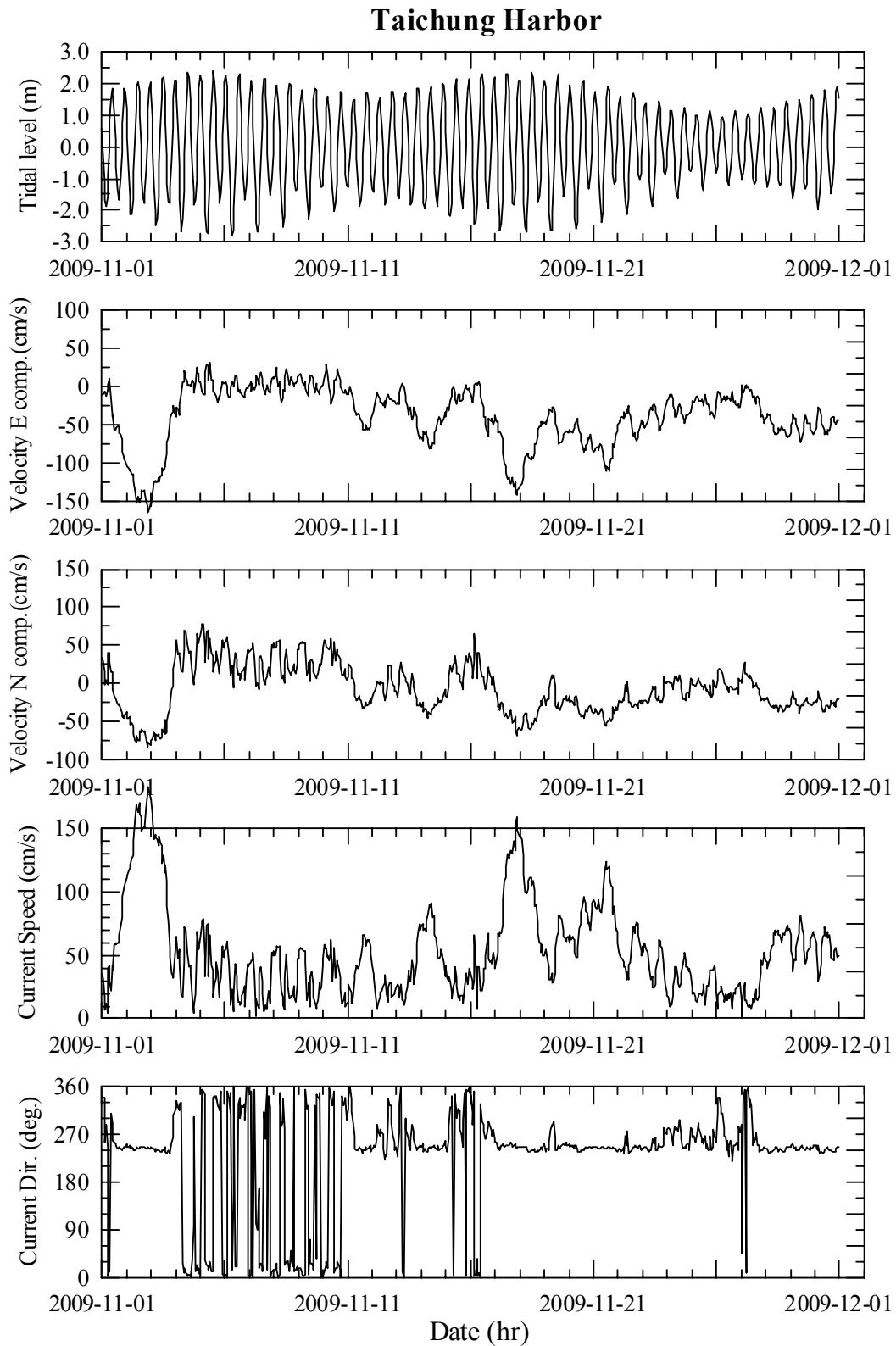
附圖2.6 (續)將軍潮位2011年觀測資料與調和分析結果之比較圖

附錄二

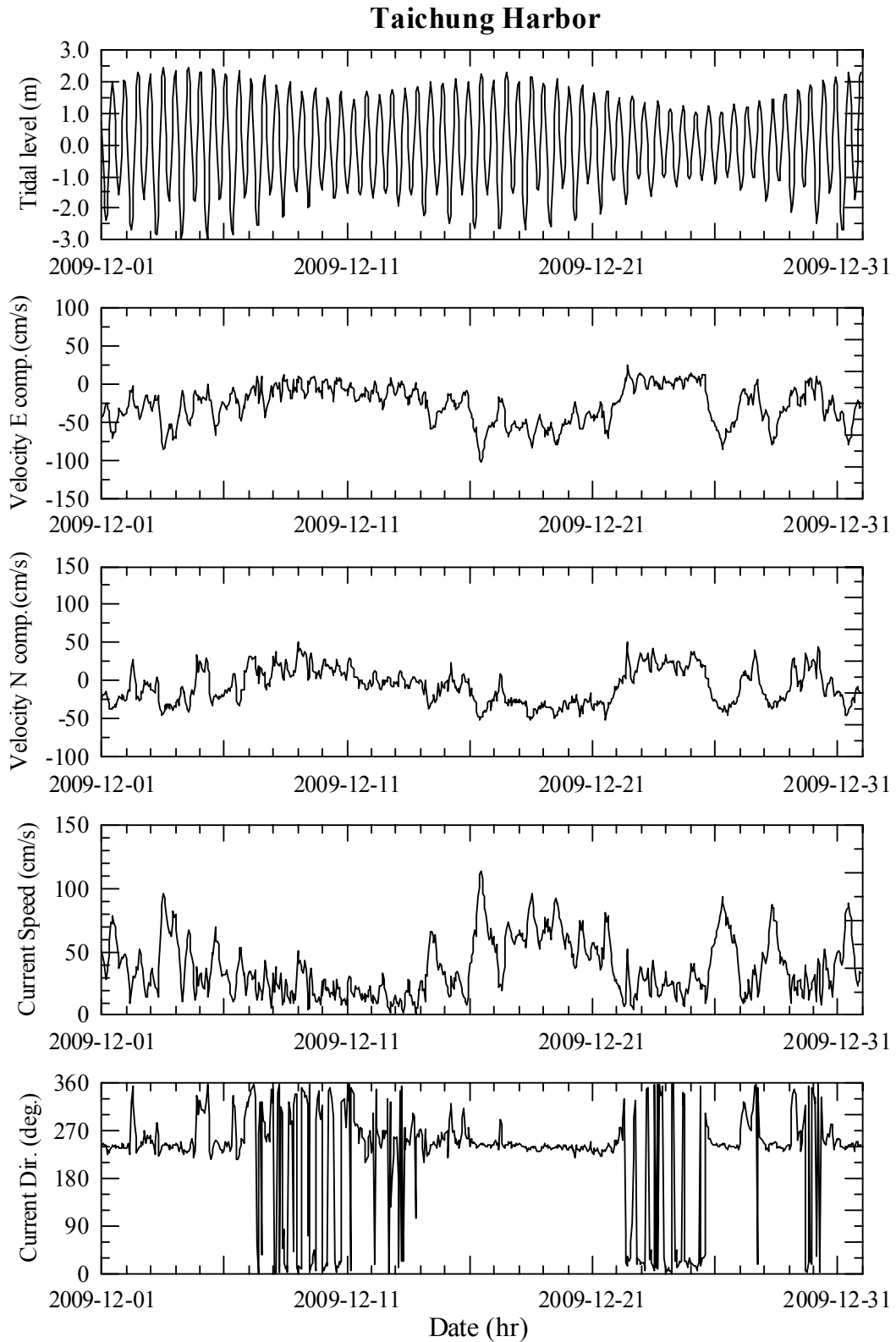
臺中港 2010 年觀測資料



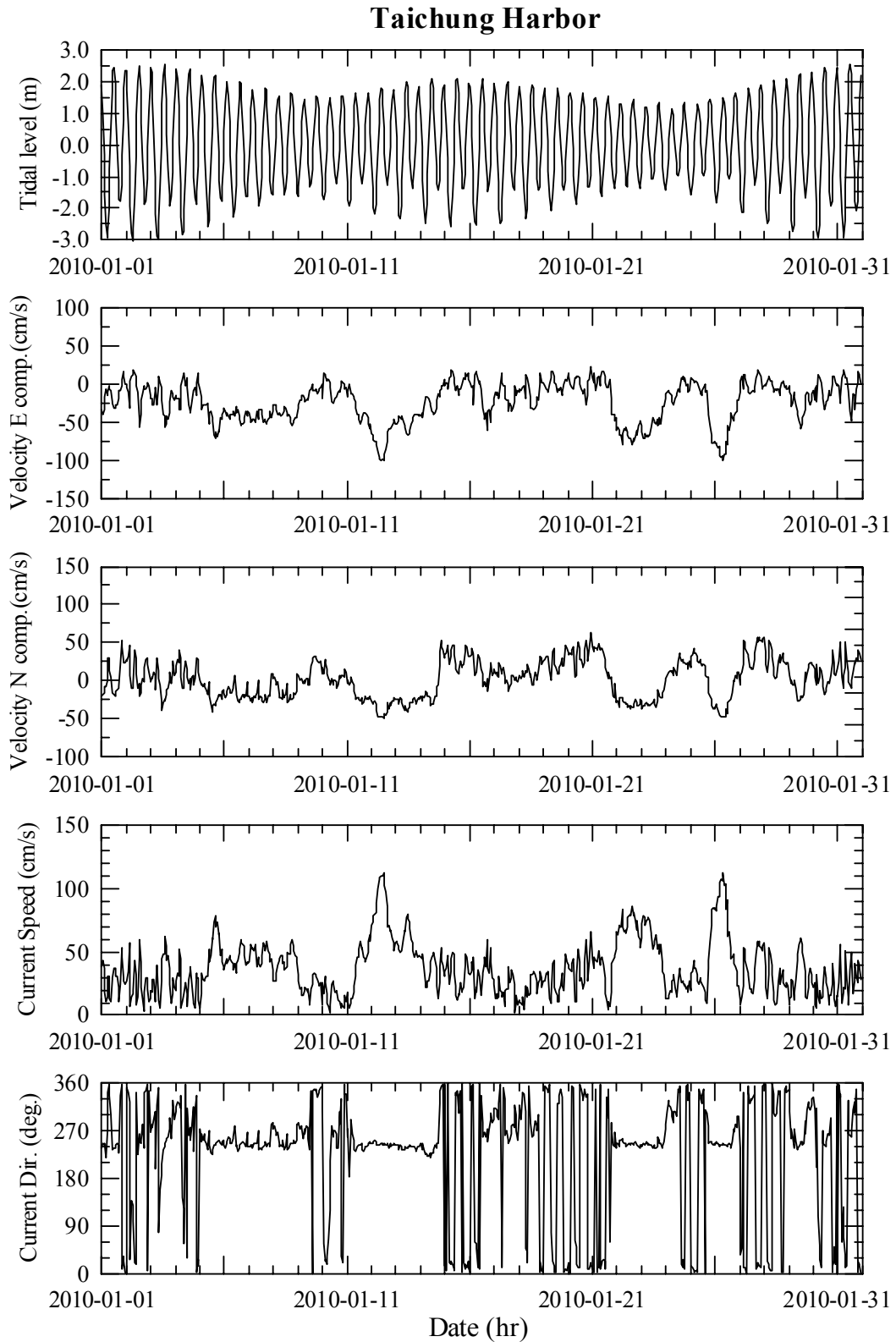
附圖2.1 臺中港區海流觀測資料時序列圖



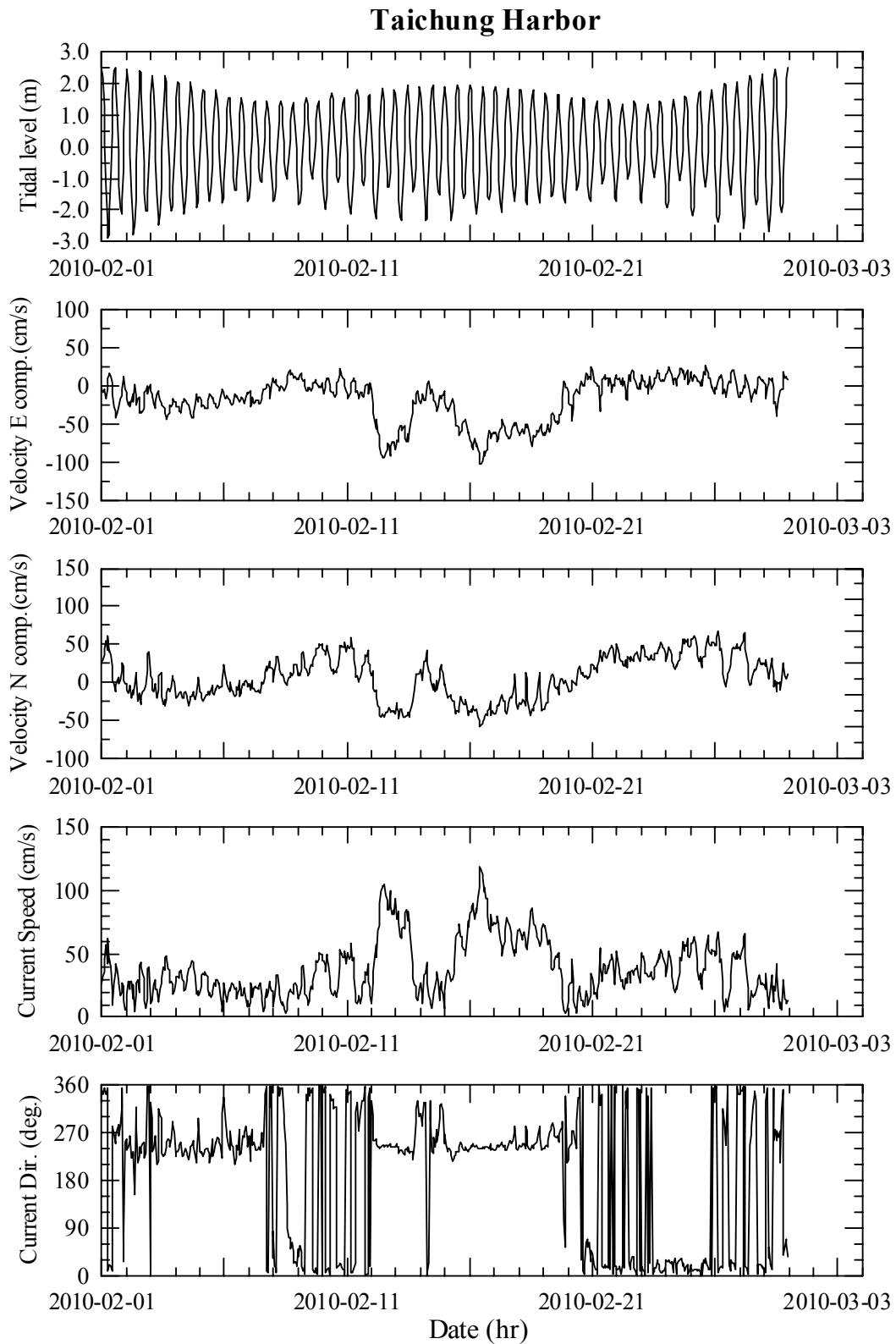
附圖2.1 (續1)臺中港區海流觀測資料時序列圖



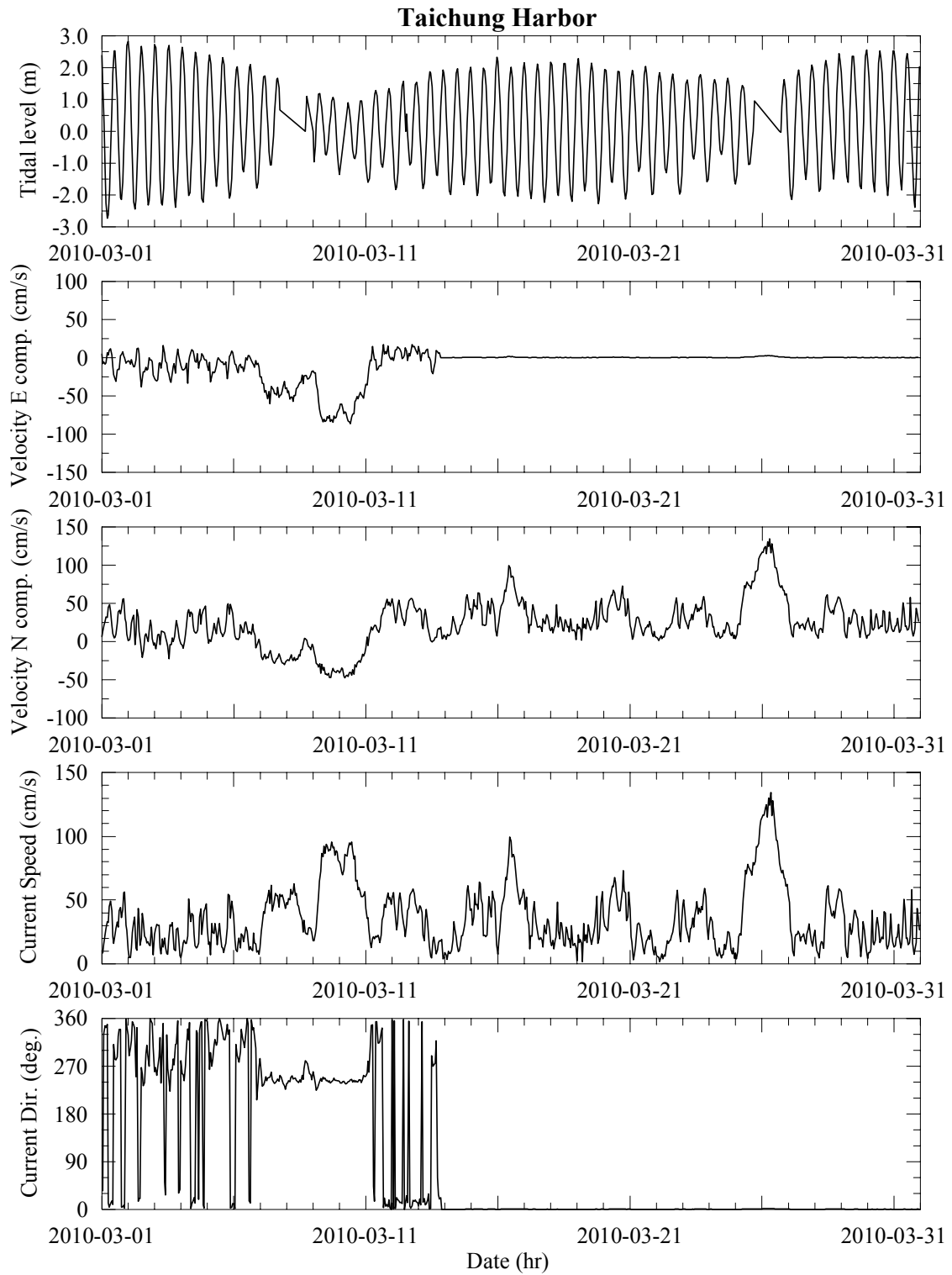
附圖2.1 (續2)臺中港區海流觀測資料時序列圖



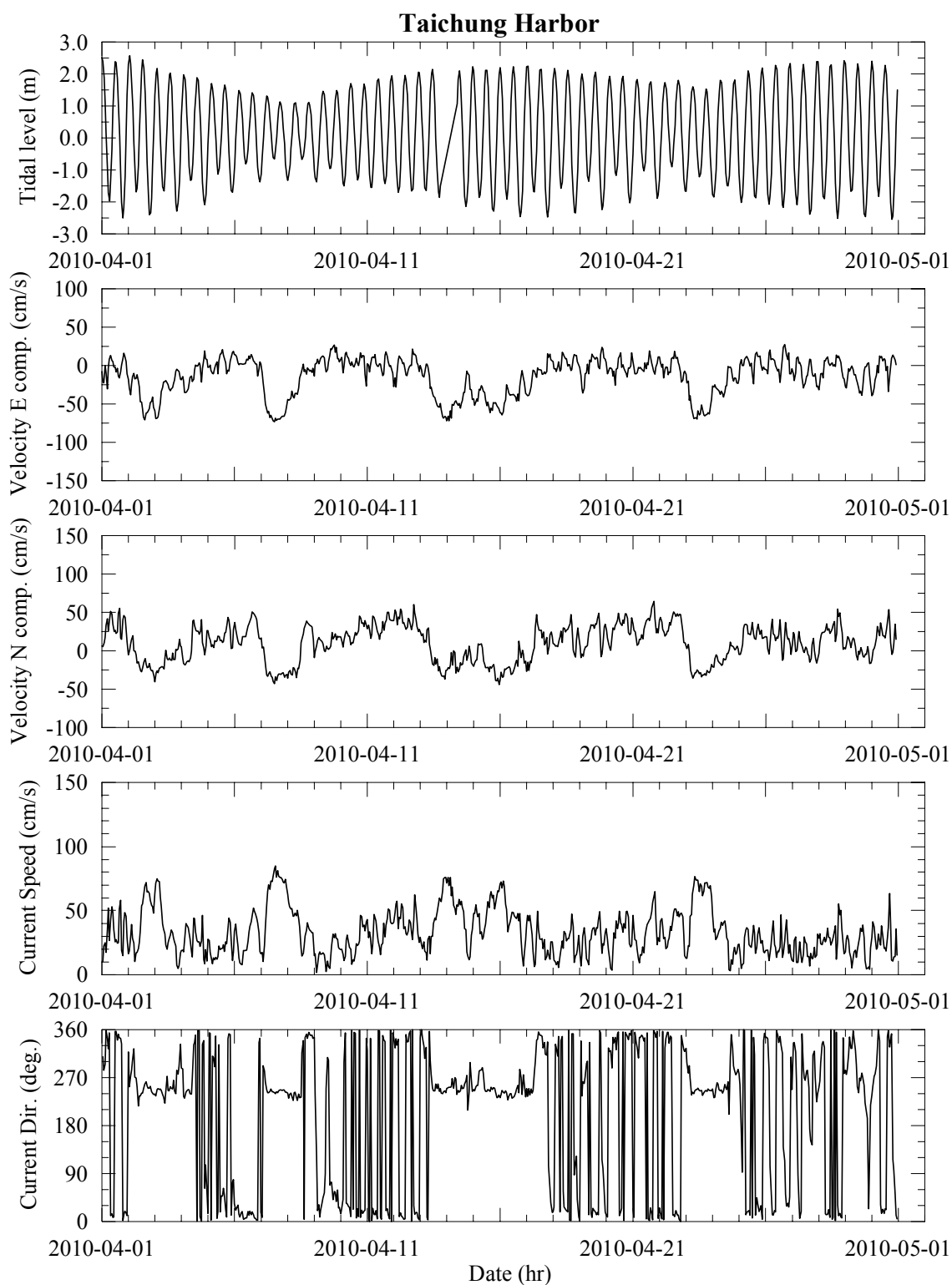
附圖2.1 (續3)臺中港區海流觀測資料時序列圖



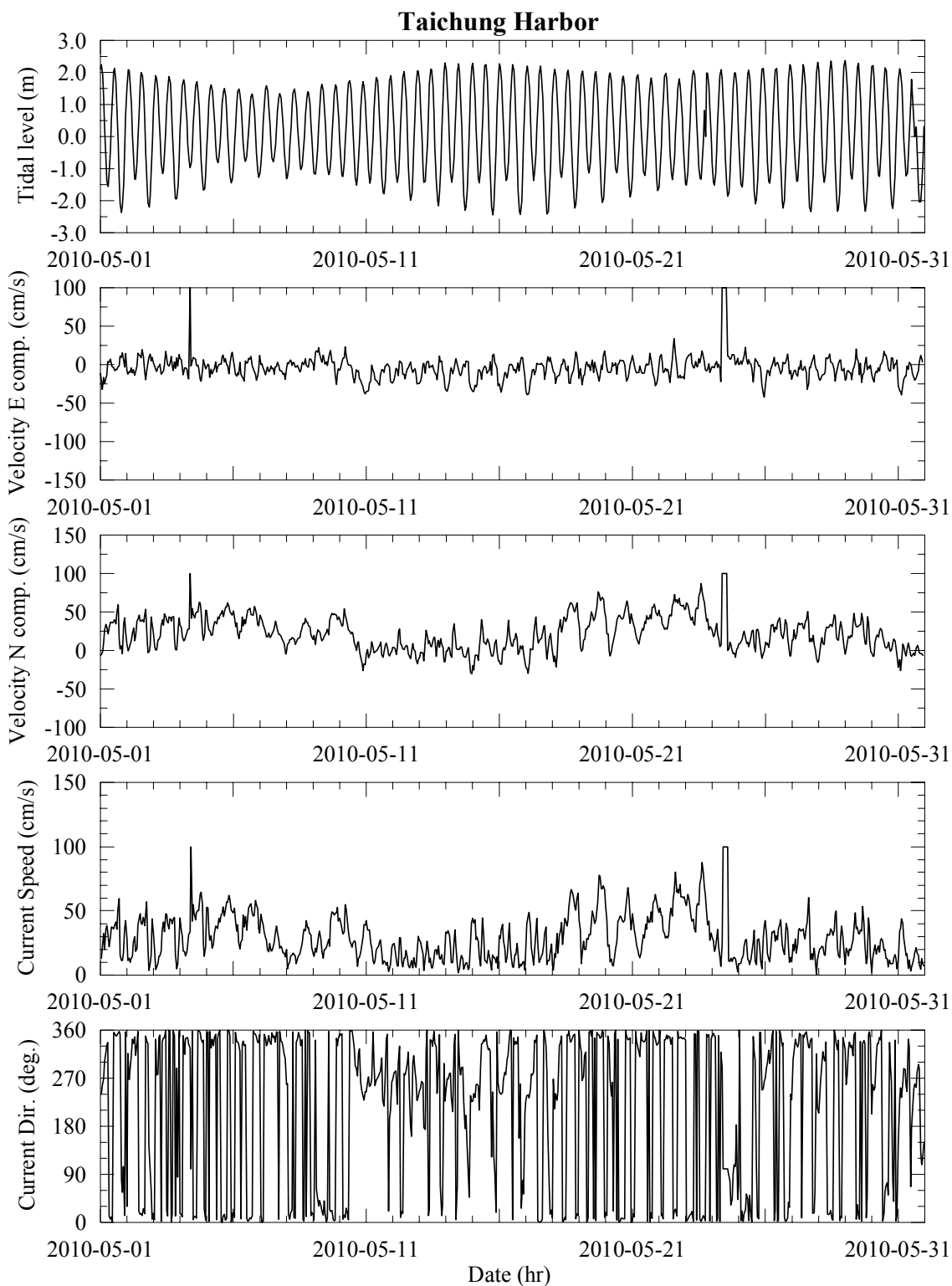
附圖2.1 (續4)臺中港區海流觀測資料時序列圖



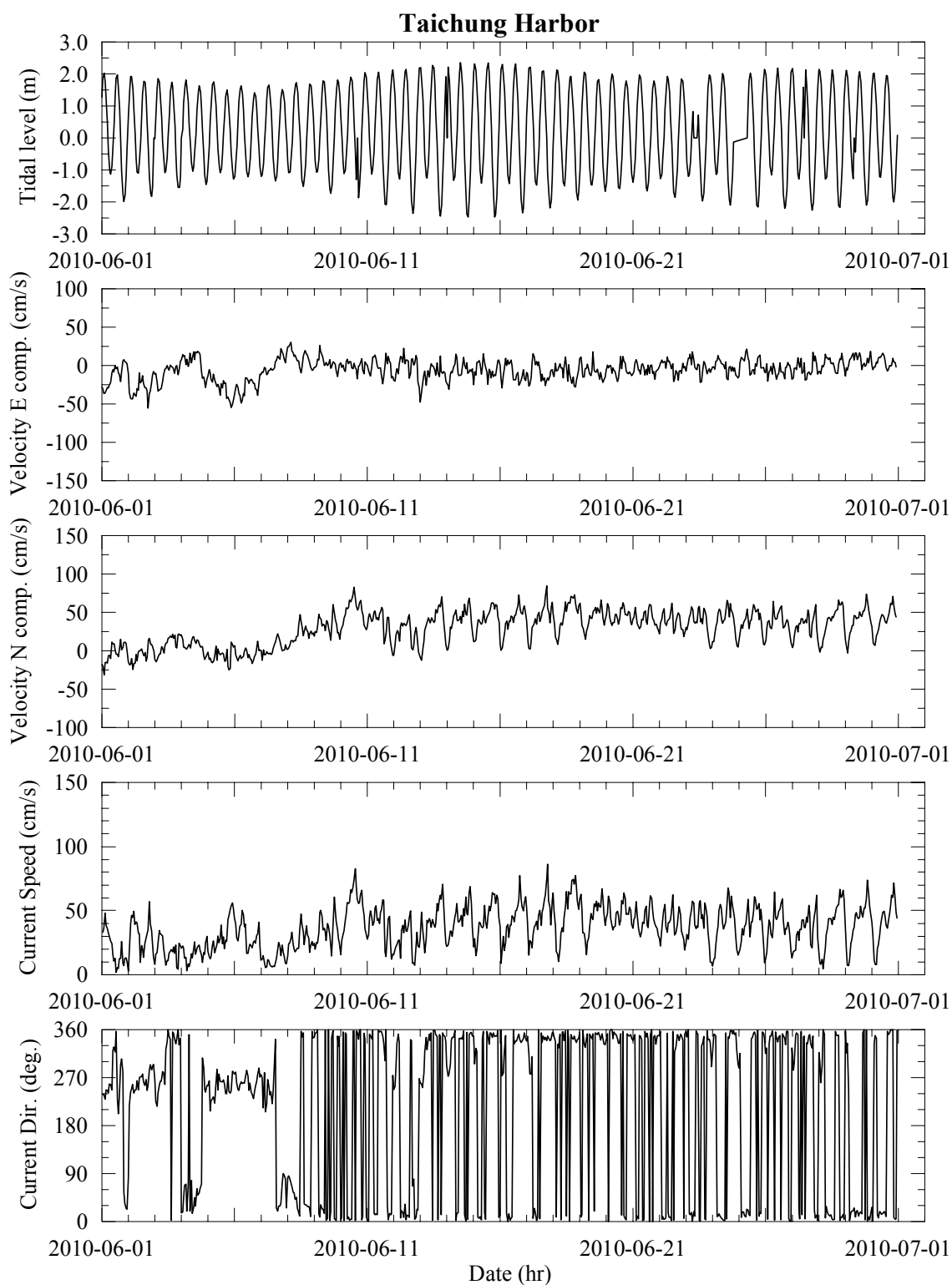
附圖2.1 (續5)臺中港區海流觀測資料時序列圖



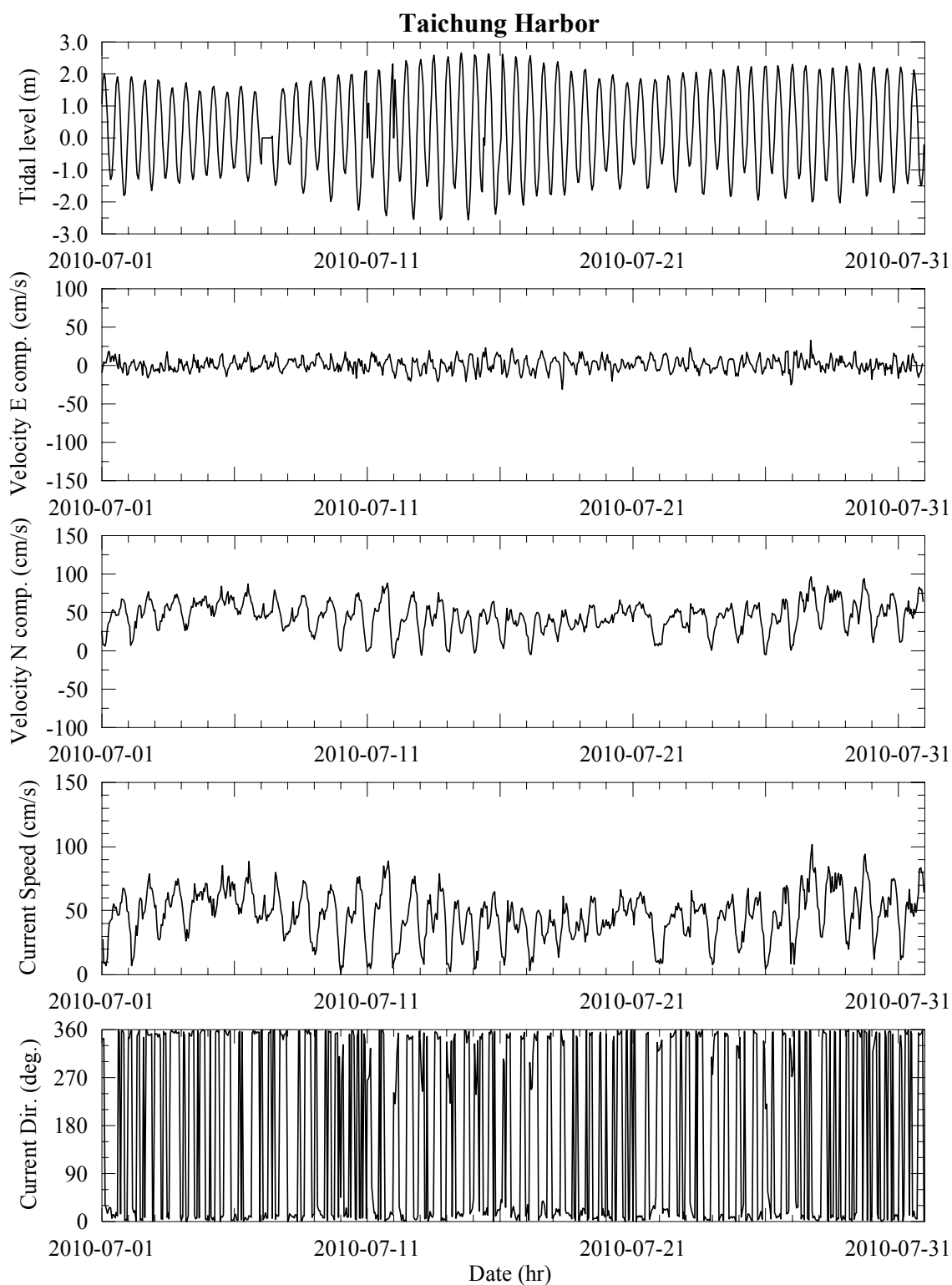
附圖2.1 (續6)臺中港區海流觀測資料時序列圖



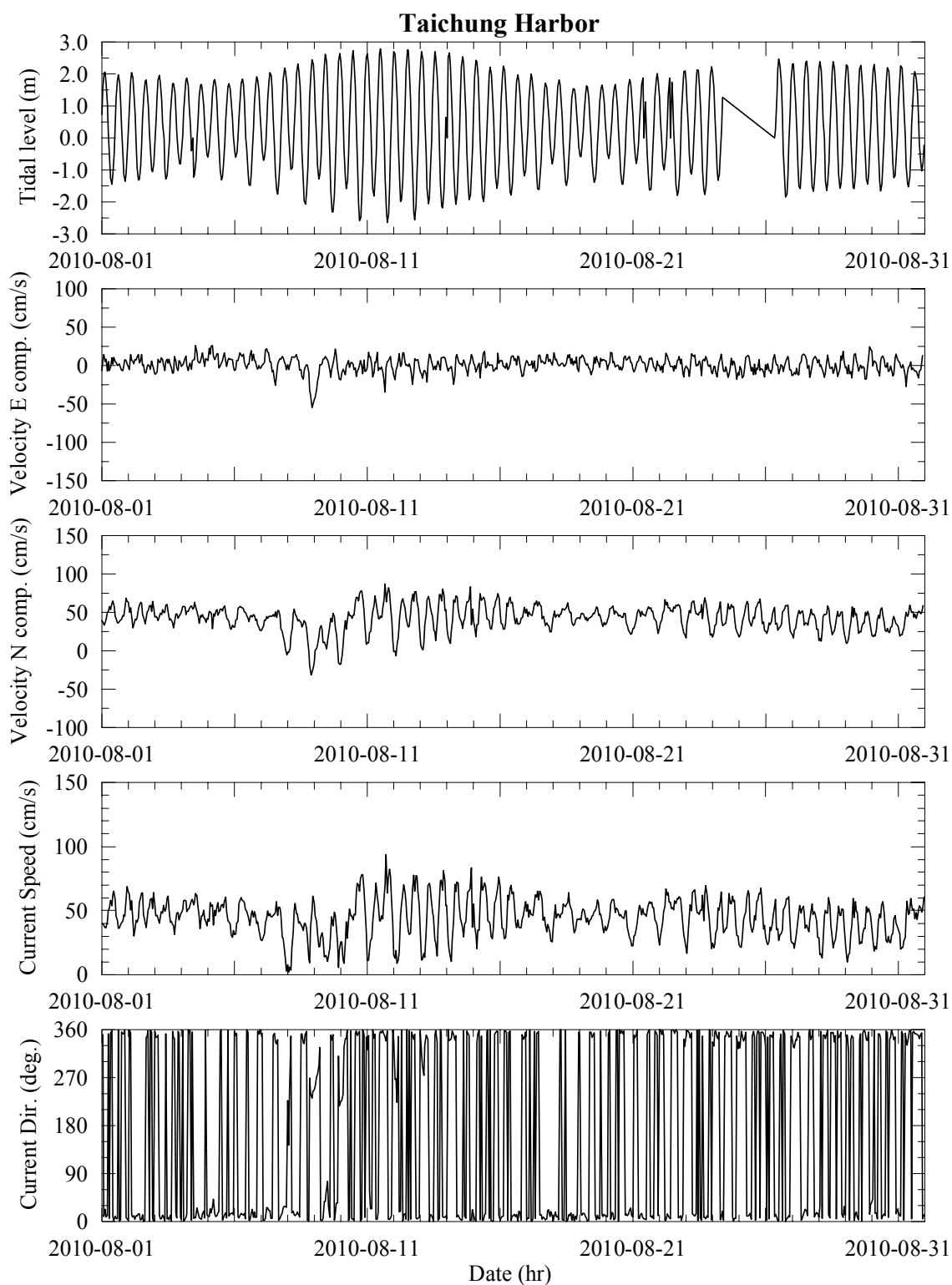
附圖2.1 (續7)臺中港區海流觀測資料時序列圖



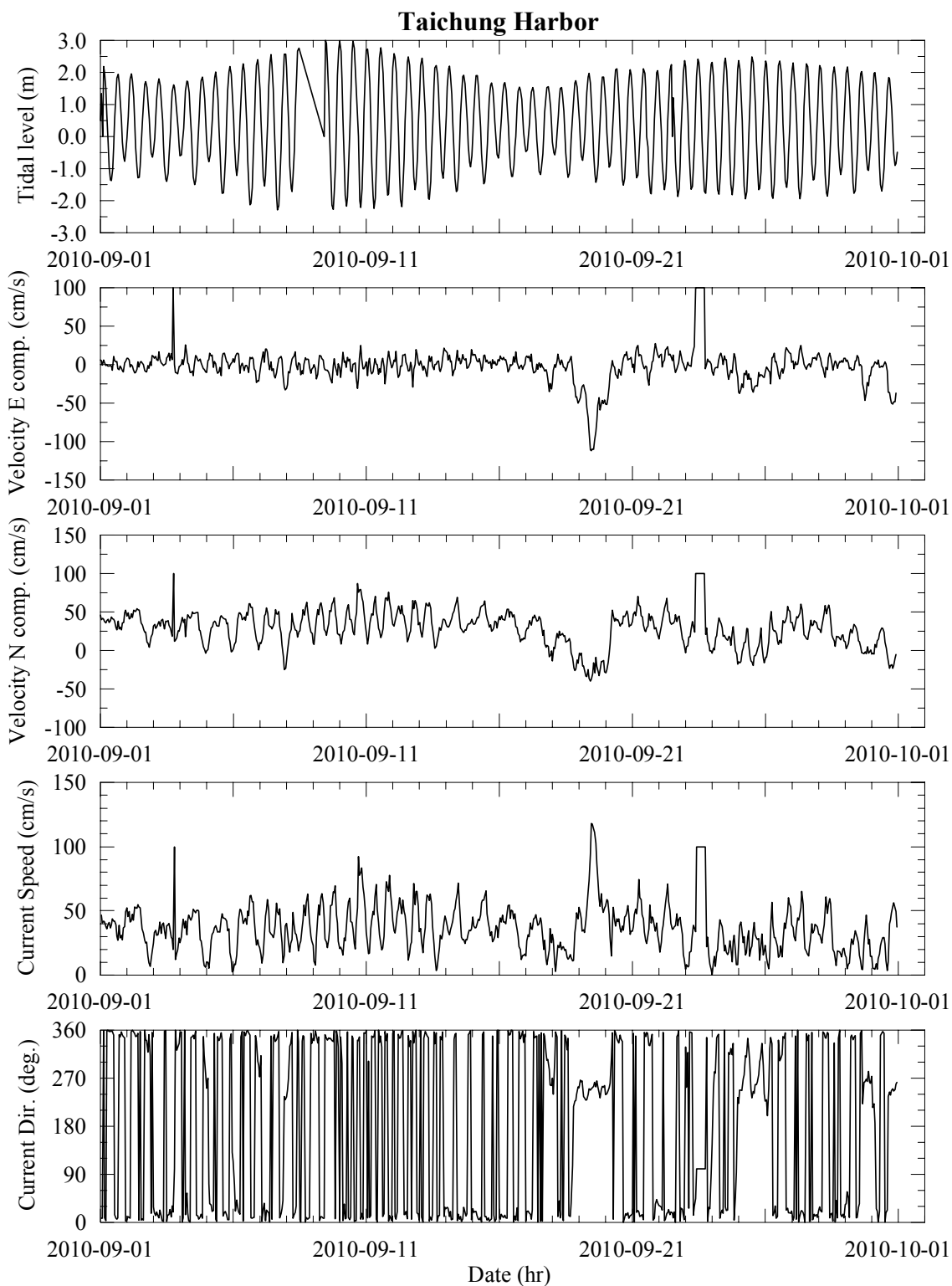
附圖2.1 (續8)臺中港區海流觀測資料時序列圖



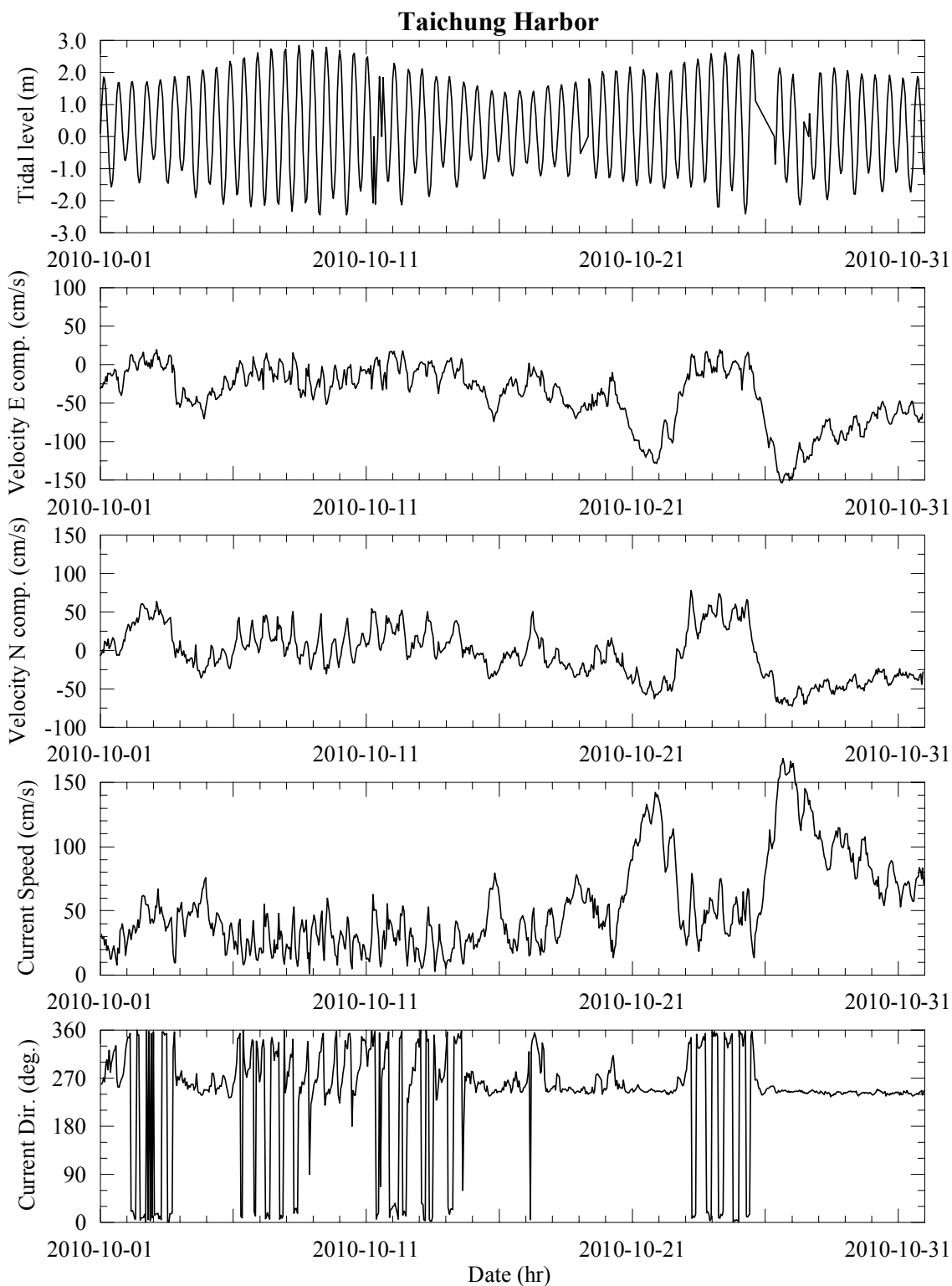
附圖2.1 (續9)臺中港區海流觀測資料時序列圖



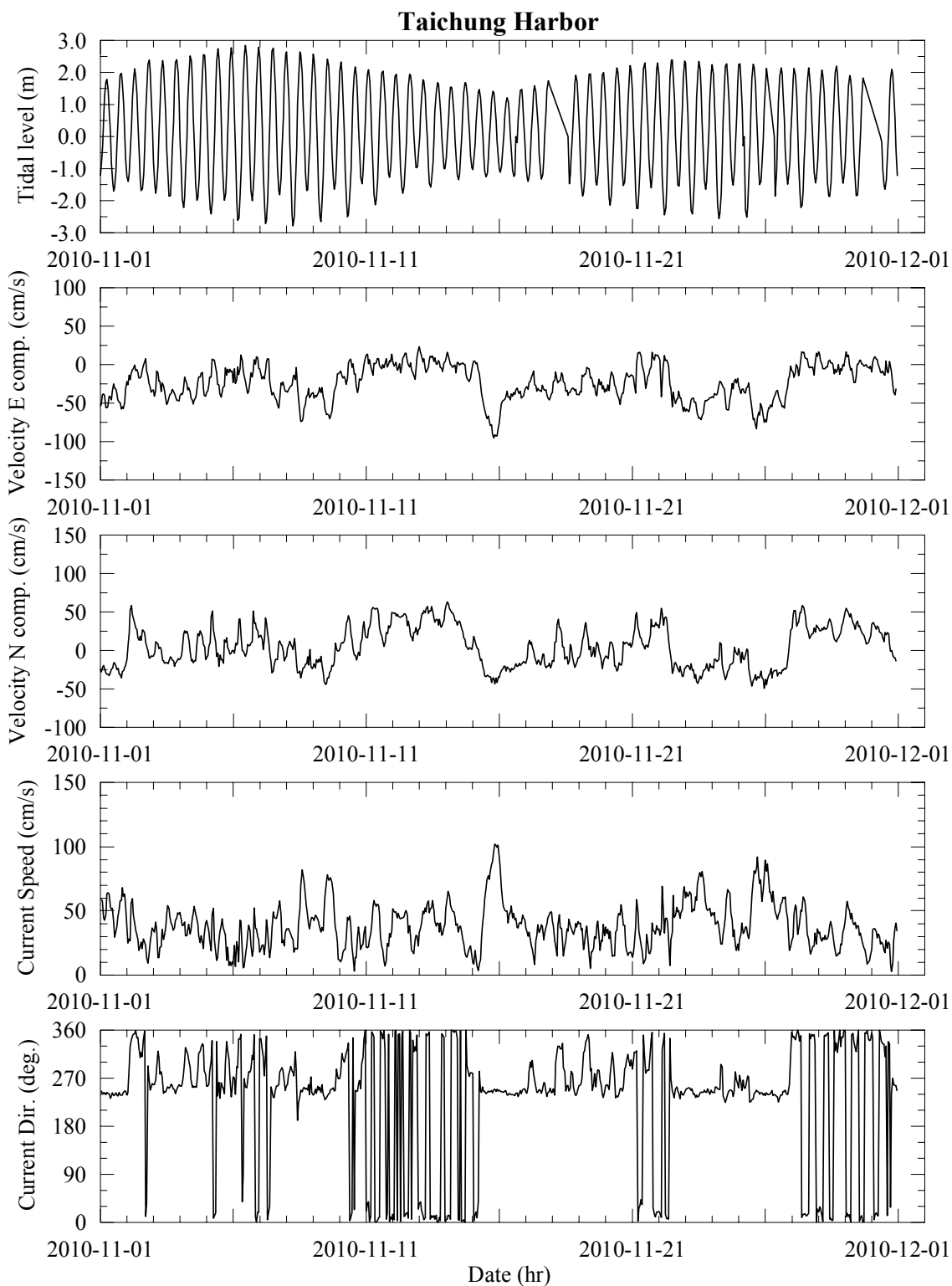
附圖2.1 (續10)臺中港區海流觀測資料時序列圖



附圖2.1 (續11)臺中港區海流觀測資料時序列圖



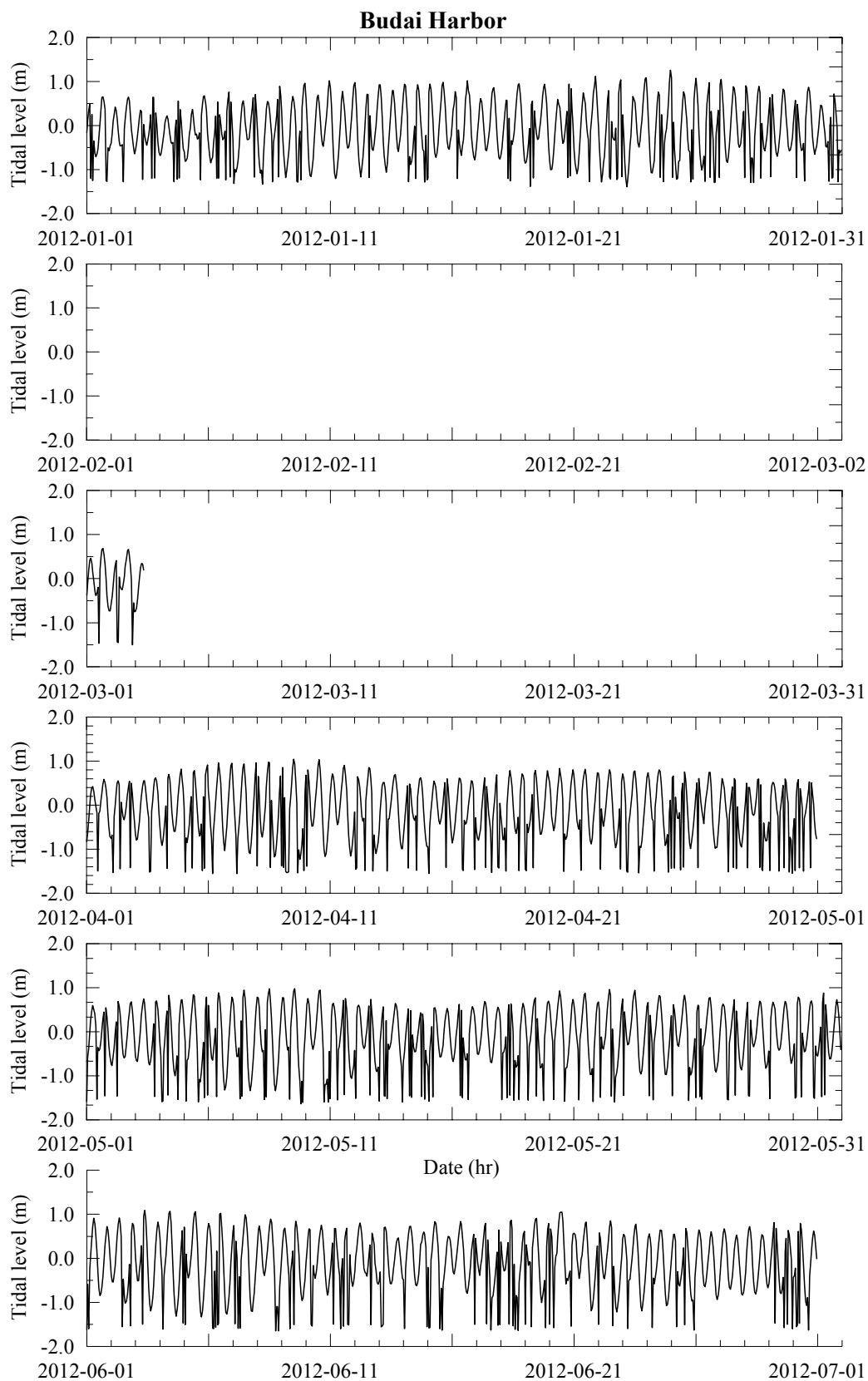
附圖2.1 (續12)臺中港區海流觀測資料時序列圖



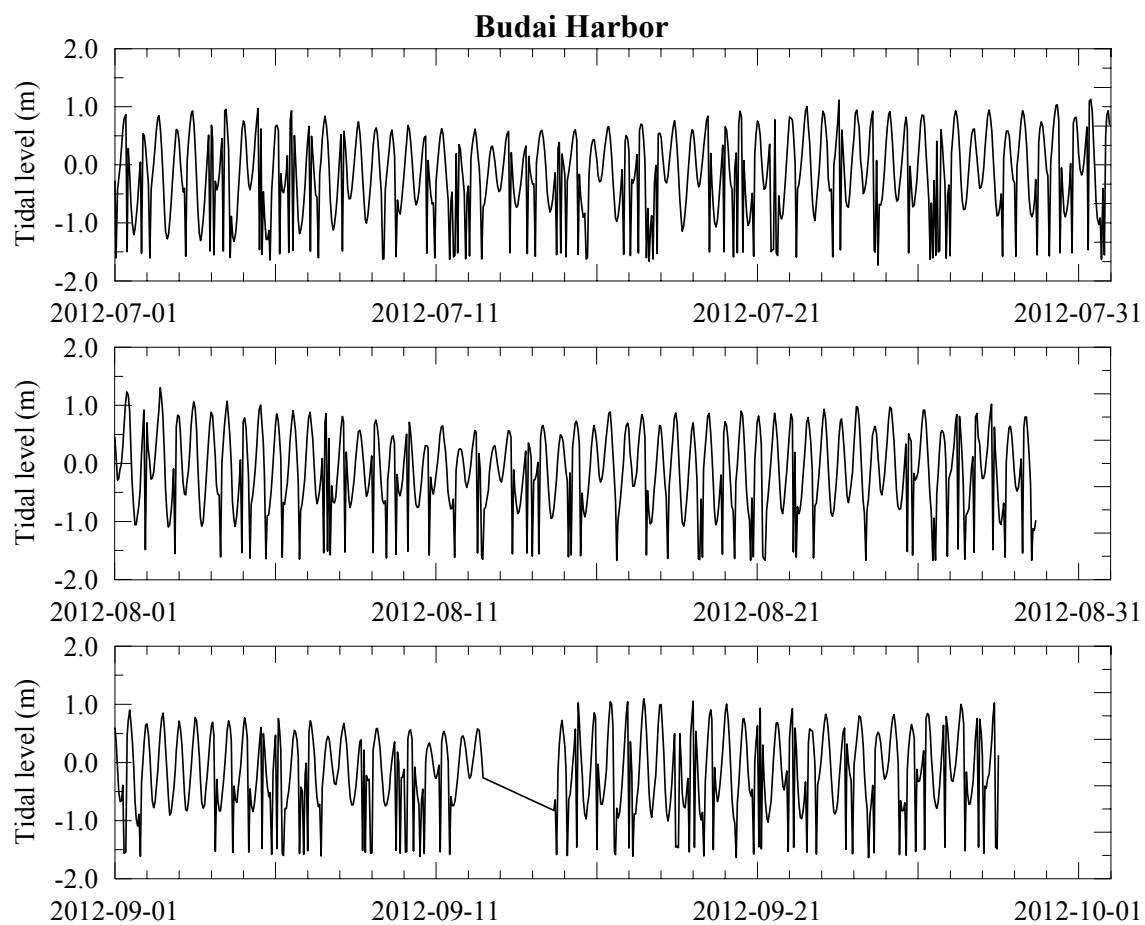
附圖2.1 (續13)臺中港區海流觀測資料時序列圖

附錄三

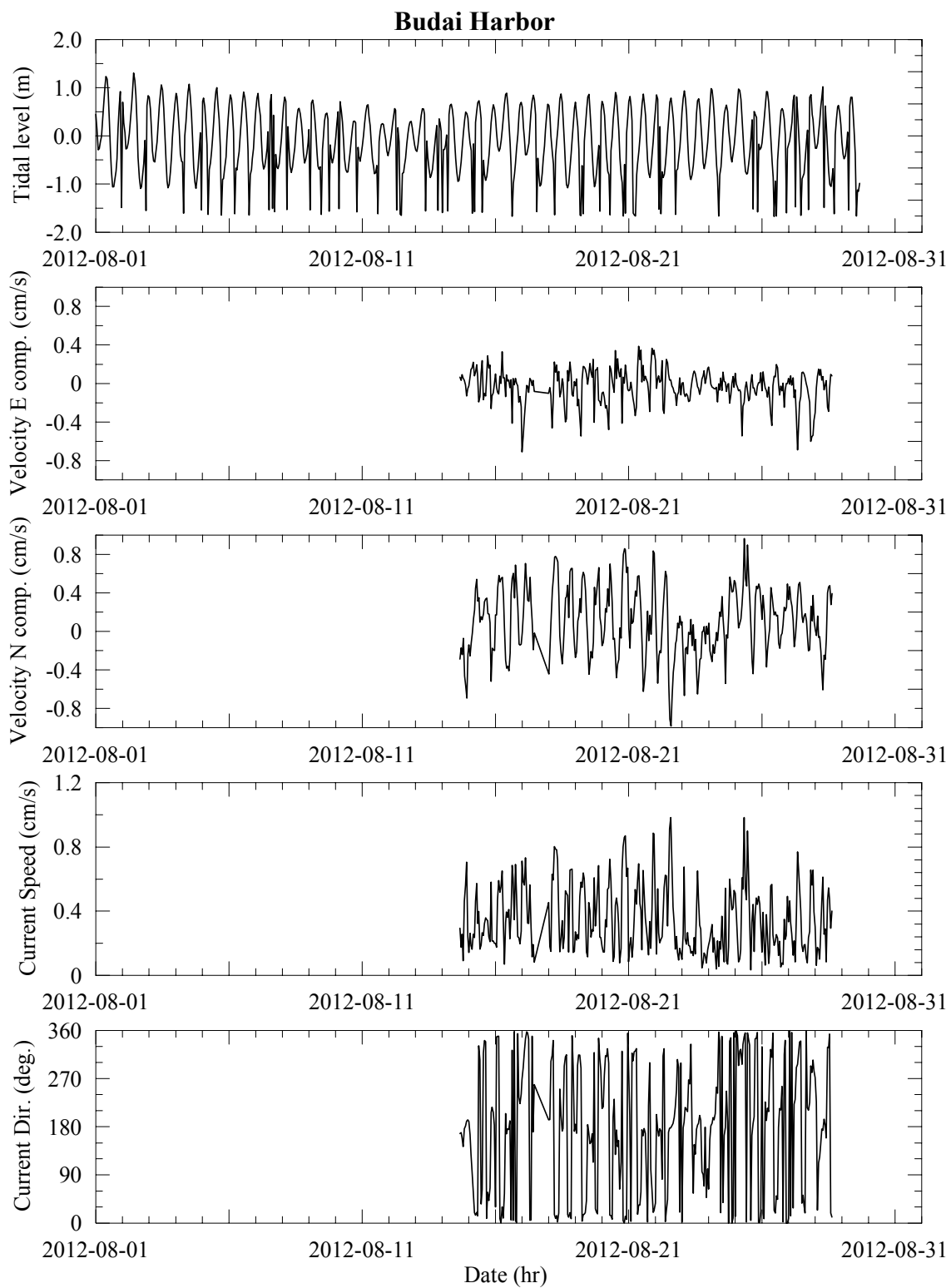
布袋港 2012 年觀測資料



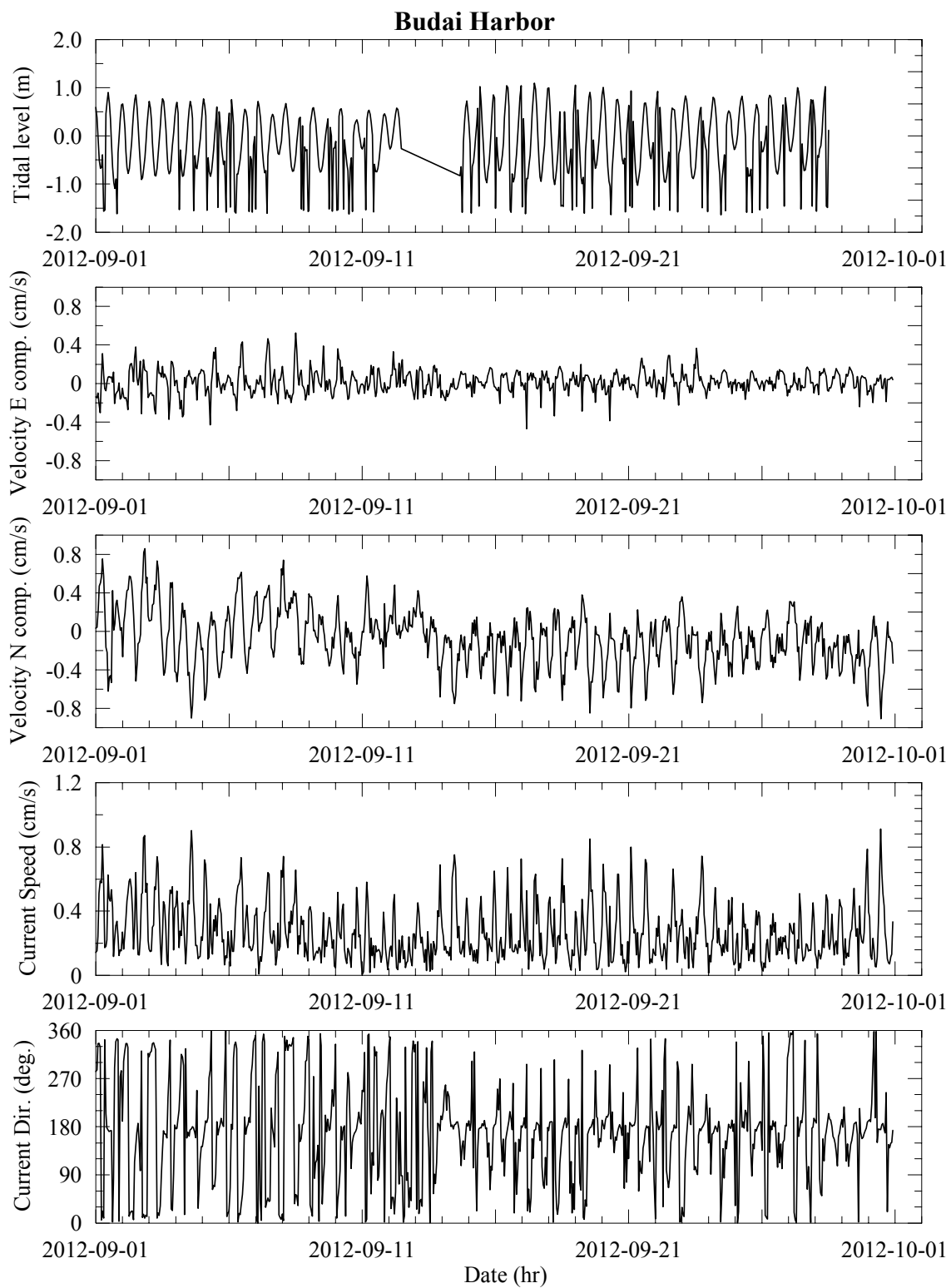
附圖3.1 布袋港區潮汐觀測資料時序列圖



附圖3.1 (續)布袋港區潮汐觀測資料時序列圖



附圖3.2 布袋港區海流觀測資料時序列圖



附圖3.2 (續)布袋港區海流觀測資料時序列圖

附錄四

潮流模式

本附錄針對如何以有限元素法求解二維水深積分水動力控制方程式相關程序進行詳細說明。

1. 水動力控制方程式

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

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = Q_0 \dots\dots\dots (附4.1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial(H^{-1}q_x^2)}{\partial x} + \frac{\partial(H^{-1}q_xq_y)}{\partial y} - fq_y \\ = -\frac{H}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial x} (p^s + \rho g \eta) + \frac{1}{\rho_0} (\tau_x^s - \tau_x^b) + \left(\frac{\partial F_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial F_{xy}}{\partial y} \right) \dots\dots\dots (附4.2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial(H^{-1}q_xq_y)}{\partial x} + \frac{\partial(H^{-1}q_y^2)}{\partial y} + fq_x \\ = -\frac{H}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial y} (p^s + \rho g \eta) + \frac{1}{\rho_0} (\tau_y^s - \tau_y^b) + \left(\frac{\partial F_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial F_{yy}}{\partial y} \right) \dots\dots\dots (附4.3) \end{aligned}$$

其中

$$H = \int_{-h}^{\eta} dz = h + \eta \dots\dots\dots (附4.4a)$$

$$q_x = \int_{-h}^{\eta} u dz = \bar{u} H \dots\dots\dots (附4.4b)$$

$$q_y = \int_{-h}^{\eta} v dz = \bar{v} H \dots\dots\dots (附4.4c)$$

$$\bar{u} = \frac{1}{(h + \eta)} \int_{-h}^{\eta} u dz \dots\dots\dots (附4.4d)$$

$$\bar{v} = \frac{1}{(h + \eta)} \int_{-h}^{\eta} v dz \dots\dots\dots (附4.4e)$$

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

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

$$\tau_i^s = \rho_a C_d |U_{10}| U_i \quad i, j = x, y \dots\dots\dots (附4.4h)$$

此處

h = 靜水深，

η = 水位變化，

u = x 方向之水平流速，

v = y 方向之水平流速，

Q_0 = 以 Source 或 Sink 形式進出領域之流量，

ρ_0 = 流體平均密度，

ρ_a = 空氣密度，

p^s = 水面壓力，

g = 重力常數，

τ_x^b = x 方向之底床剪應力，

τ_y^b = y 方向之底床剪應力，

τ_x^s = x 方向之水面剪應力

τ_y^s = y 方向之水面剪應力

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

n = 曼寧係數，

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

U_{10} = 海面上10公尺處之風速

E_{ij} = 渦動黏滯係數(Eddy coefficient)，

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

ω = 地球自轉之位相速度，

ϕ = 計算領域所在位置之緯度，

問題之初始條件為

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

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

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

問題之邊界條件則考慮流量邊界條件如下：

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

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

或

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

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

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，內應力量之邊界條件為

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

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

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

2. 有限元素法方程式

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

$$\iint_A \left[\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} - Q_0 \right] \delta H \, dA = 0 \quad \dots\dots\dots (附4.9)$$

$$\begin{aligned} & \iint_A \left[\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial (H^{-1} q_x^2)}{\partial x} + \frac{\partial (H^{-1} q_y q_x)}{\partial y} - f q_y + \frac{H}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial x} (P^s + \rho g \eta) \right] \delta q_x \, dA \\ & - \iint_A \left[\frac{\tau_x^s - \tau_x^b}{\rho_0} \delta q_x - F_{xx} \frac{\partial (\delta q_x)}{\partial x} - F_{yx} \frac{\partial (\delta q_x)}{\partial y} \right] dA - \int_{\partial A} F'_x \delta q_x \, dL = 0 \quad \dots\dots\dots (附4.10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \iint_A \left[\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial (H^{-1} q_x q_y)}{\partial x} + \frac{\partial (H^{-1} q_y^2)}{\partial y} + f q_x + \frac{H}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial y} (P^s + \rho g \eta) \right] \delta q_y \, dA \\ & - \iint_A \left[\frac{\tau_y^s - \tau_y^b}{\rho_0} \delta q_y - F_{xy} \frac{\partial (\delta q_y)}{\partial x} - F_{yy} \frac{\partial (\delta q_y)}{\partial y} \right] dA - \int_{\partial A} F'_y \delta q_y \, dL = 0 \quad \dots\dots\dots (附4.11) \end{aligned}$$

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

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

$$H^e = N_1^e H_1^e + N_2^e H_2^e + N_3^e H_3^e = \{N^e\}^T \{H^e\} = \{H^e\}^T \{N^e\} \dots\dots\dots (附4.12)$$

$$q_x^e = N_1^e q_{x1}^e + N_2^e q_{x2}^e + N_3^e q_{x3}^e = \{N^e\}^T \{q_x^e\} = \{q_x^e\}^T \{N^e\} \dots\dots\dots (附4.13a)$$

$$q_y^e = N_1^e q_{y1}^e + N_2^e q_{y2}^e + N_3^e q_{y3}^e = \{N^e\}^T \{q_y^e\} = \{q_y^e\}^T \{N^e\} \dots\dots\dots (附4.13b)$$

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

$$\{H^e\}^T = \{H_1^e, H_2^e, H_3^e\} \dots\dots\dots (附4.14a)$$

$$\{q_x^e\}^T = \{q_{x1}^e, q_{x2}^e, q_{x3}^e\} \dots\dots\dots (附4.14b)$$

$$\{q_y^e\}^T = \{q_{y1}^e, q_{y2}^e, q_{y3}^e\} \dots\dots\dots (附4.14c)$$

$$\{N^e\}^T = \{N_1^e, N_2^e, N_3^e\} \dots\dots\dots (附4.14d)$$

其中三角元素之線性內插函數 N_j^e 計算如下

$$N_j^e = (a_j + b_j x + c_j y) / 2\Delta^e, \quad j = 1, 2, 3 \dots\dots\dots (附4.15a)$$

$$a_i = x_j^e y_k^e - x_k^e y_j^e \dots\dots\dots (附4.15b)$$

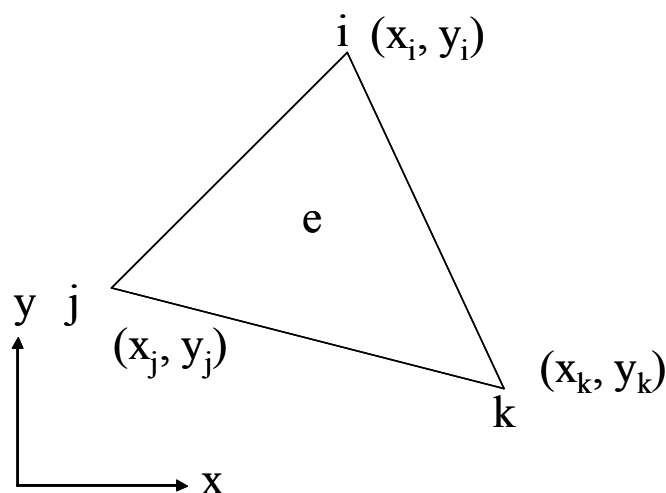
$$b_i = y_j^e - y_k^e \dots\dots\dots (附4.15c)$$

$$c_i = x_k^e - x_j^e \dots\dots\dots (附4.15d)$$

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

式中 (x_j^e, y_j^e) 為三角元素節點 j 之座標(如附圖 4.1 所示), (附 4.15e)

式代表座標之線性函數。



附圖 4.1 三角形元素座標定義

(附 4.9)式各項積分式之計算說明如下：

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

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

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

$$\begin{aligned} \iint_A Q_0 \delta H^e dA &= \sum_{e \in A} \iint_e (Q_0 \delta H^e) dA^e \\ &= \sum_{e \in A} \{ \delta H^e \}^T \iint_e \{ N^e \} \{ N^e \}^T \{ Q_0^e \} dA^e = \sum_{e \in A} \{ \delta H^e \}^T [M_h^e] \{ Q_0^e \} \quad \text{..... (附4.16d)} \end{aligned}$$

其中

$$[M_h^e] = \iint_e \{N^e\} \{N^e\}^T dA^e = \frac{\Delta^e}{12} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (附4.17a)$$

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

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

將上述各項積分離散式代入積分方程式(附 4.9)式，則(附 4.9)式可簡化成

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

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(附 4.18)式可結合成一矩陣方程式如下

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

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

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

(附 4.10)式各項積分式之計算說明如下：

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

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

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

$$\iint_A \left(\frac{\partial H^{-1} q_x q_y}{\partial y} \delta q_x \right) dA = \sum_{e \in A} \iint_e \left(\frac{\partial H^{-1} q_x q_y}{\partial y} \delta q_x \right) dA^e = \sum_{e \in A} \{ \delta q_x^e \}^T [G_y^e] \{ \hat{q}_{yx}^e \} \quad \text{(附4.21c)}$$

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

$$\begin{aligned} \iint_A \left(\frac{H}{\rho_0} \frac{\partial p^s}{\partial x} \delta q_x \right) dA &= \sum_{e \in A} \iint_e \left(\frac{H}{\rho_0} \frac{\partial p^s}{\partial x} \delta q_x \right) dA^e \\ &= \sum_{e \in A} \{ \delta q_x^e \}^T [M_h^e] \{ H^e \} \frac{(b_1 p_1 + b_2 p_2 + b_3 p_3)}{2 \rho_0 \Delta^e} \quad \text{..... (附4.21e)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \iint_A \left(g H \frac{\partial \eta}{\partial x} \delta q_x \right) dA &= \sum_{e \in A} \iint_e \left(g H \frac{\partial \eta}{\partial x} \delta q_x \right) dA^e \\ &= \sum_{e \in A} \{ \delta q_x^e \}^T [M_h^e] \{ H^e \} \frac{g(b_1 \eta_1^e + b_2 \eta_2^e + b_3 \eta_3^e)}{2 \Delta^e} \quad \text{..... (附4.21f)} \end{aligned}$$

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

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

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

$$\begin{aligned}\iint_A \left(F_{yx} \frac{\partial \delta q_x}{\partial x} \right) dA &= \sum_{e \in A} \iint_e \left(F_{yx} \frac{\partial \delta q_x}{\partial x} \right) dA^e \\ &= \sum_{e \in A} \{ \delta q_x^e \}^T \frac{E_{yx} \bar{H}}{24 \Delta^e} \{ [M_{cb}^e] \{ \bar{v}^e \} + [M_{cc}^e] \{ \bar{u}^e \} \} \end{aligned} \quad \text{..... (附42.1j)}$$

$$\begin{aligned}\int_{\partial A} (F'_x \delta q_x) dL &= \sum_{\partial e \in \partial A} \int_{\partial e} (F'_x \delta q_x) dL^e = \sum_{\partial e \in \partial A} \{ \delta q_x^e \}^T \int_{\partial e} \{ N^e \} \{ N^e \}^T \{ F'_x \} dL^e \\ &= \sum_{\partial e \in \partial A} \{ \delta q_x^e \}^T \frac{L^e}{6} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \{ F_x'^e \} \end{aligned} \quad \text{.... (附4.21k)}$$

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

$$[M_{bb}^e] = \begin{bmatrix} b_1^2 & b_1 b_2 & b_1 b_3 \\ b_2 b_1 & b_2^2 & b_2 b_3 \\ b_3 b_1 & b_3 b_2 & b_3^2 \end{bmatrix} \quad \text{..... (附4.22a)}$$

$$[M_{cb}^e] = \begin{bmatrix} c_1 b_1 & c_1 b_2 & c_1 b_3 \\ c_2 b_1 & c_2 b_2 & c_2 b_3 \\ c_3 b_1 & c_3 b_2 & c_3 b_3 \end{bmatrix} \quad \text{..... (附4.22b)}$$

$$[M_{cc}^e] = \begin{bmatrix} c_1^2 & c_1 c_2 & c_1 c_3 \\ c_2 c_1 & c_2^2 & c_2 c_3 \\ c_3 c_1 & c_3 c_2 & c_3^2 \end{bmatrix} \quad \text{..... (附4.22c)}$$

同理(2.3)式各項積分式之計算如下：

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

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

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

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

$$\iint_A \left(\frac{H}{\rho_0} \frac{\partial p^s}{\partial y} \delta q_y \right) dA = \sum_{e \in A} \{ \delta q_y^e \}^T [M_h^e] \{ H^e \} \frac{(c_1 p_1 + c_2 p_2 + c_3 p_3)}{2 \rho_0 \Delta^e} \dots\dots\dots (\text{附4.23e})$$

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

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

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

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

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

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

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

$$[M_m] \frac{\partial \{q\}}{\partial t} + [G_m] \{q\} + [K_m] \{\eta\} + \{R_m\} = 0 \dots\dots\dots (\text{附4.24})$$

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

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

先將一階時間項常微分方程組(附 4.20)式及(附 4.24)式重組成

$$[M_h] \frac{\partial \{H\}}{\partial t} = \{P_h\} \dots\dots\dots (附4.25)$$

$$[M_m] \frac{\partial \{q\}}{\partial t} = \{P_m\} \dots\dots\dots (附4.26)$$

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

求解上時間項採用梯型法則計算且 H 及 q 分別在時間序列上交錯排列，即 H 及 q 分別在時間 $t_{n-\frac{1}{2}}$ 及 t_n ($n = 1, 2, 3, \dots$) 上求解，則(附 4.25)

式及(附 4.26)式可改寫成

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

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

或

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

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

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

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

$$\Delta t < 1.5 \Delta t_{cr} = 1.5 \Delta s^* / U^* \dots\dots\dots (附4.31)$$

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

附錄五

期中報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫
■期中□期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：提昇海岸及港灣海域水位與海流模擬技術之研究(2/4)

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
一、楊德良委員： 1. 報告中仍有許多筆誤，請改正之！ 1.1 P1 期中→期末 1.2 P2-14 圖 2.5,圖例藍色代表 Wind speed?黑色代表 Current speed? 1.3 P3-3,圖 3.2 能否放大些，避免有些黑色不容易閱讀之處。 1.4 P3-4 圖 3.3 Tidal Levek→Tidal Level? 1.5 P5-4，左上，右上，右下及左下→右上，右，右下及左下 1.6 (附 3.31)式可否加入 P3-4 內？ 1.7 P3-4，渦動黏滯性係數之單位為何？ 2. 請說明 P2-10 為何祇有將軍港為混合潮？而其他均為半日潮？	1. 謝謝委員指正。已對照修正。 1.1 對照修正。 1.2 增加圖例說明。 1.3 已配合編輯放大說明。 1.4 誤植修改。 1.5 已在圖上位置標出。 1.6 已配合所使用網格大小說明。 1.7 已加入單位。 2. 此為分析結果，已增加說明。	報告中之筆誤已修正。 同意合作研究單位之說明與處理情形。

3. 請再詳細說明風場模式如何與水動力模式相結合?是否再 BC 風剪力進入?	3. 風場為利用風速配合檢應力公式計算，已增加說明。	同意合作研究單位之說明與處理情形。
4. 請再說明程式之精進部份為何?	4. 本年計畫主要為利用去年潮汐資料修改模式計算條件提供更正確的模擬結果，模式本身架構沒有改變。已增加說明。	同意合作研究單位之說明與處理情形。
5. 請再說明暴潮模式中，基隆港偏差最大?	5. 已增加說明基隆港偏差可能產生原因。	同意合作研究單位之說明與處理情形。
6. P3-4, $\Delta t = 1.0 \text{ sec}$, P5-7, $\Delta t = 2.0 \text{ sec}$ 為何不一樣?是否因為 CFL 穩定條件之限制，P 附錄 3-12，式(附 3.31)之限制條件?	6. 主要是因為 CFL 穩定條件之限制所致。	同意合作研究單位之說明與處理情形。
7. 布袋港沒有進度，台中港祇有潮位，沒有潮流，是否要加強進度管控?	7. 期中到期末這段期間已加入布袋港模擬。	同意合作研究單位之說明與處理情形。
二、林銘崇委員：		
1. 計算值呈現大於調和分解值，尤其流速，可能原因為何?位相角則呈一致，結果良好。	1. 可能模擬過程中所使用到係數調整太大，已增加說明。	同意合作研究單位之說明與處理情形。
2. 暴潮與潮流之基本控制方程式雖然相同，但力學機制仍有差異，針對處理過程，可適度加強說明。	2. 已增加模擬動機說明。	同意合作研究單位之說明與處理情形。

三、梁乃匡委員： 1. 台中港在南北向分量的潮流成份流大於半日潮成份流，其原因是台中港潮汐的半日潮是重覆波，台中港約在腹點附近，所以半日潮成份流小。 2. 台中港港口潮流東西向較大，可能受到防波堤的影響。	1. 謝謝委員提供資料，已在報告內容增加說明。 2. 已由模擬結果，配合配置情形說明。	同意合作研究單位之說明與處理情形。 同意合作研究單位之說明與處理情形。
四、蔡清標委員： 1. 本研究針對水位與海流模擬之精度，研提模式精進，具初步結果。 2. 圖 2-4，AWCP 之經緯度建議標出。 3. 圖 2-11~2.14 等，同一位置同時具有半日潮與全日潮特性物理意義為何？而 P.3-5 末段說明南北向流水動力模式與調和分析結果之潮型不同，如何解釋？ 4. 圖 3-4 模擬結果，水位值偏低，而流速值偏大，為何？未來將如何精進？ 5. 圖 3.8~3.9，為潮流加風場效應之模擬結果，建議增加並列純潮流之結果，以顯示風場效應之影響。	1. 謝謝委員認可，已於期末完成計畫內容。 2. 已標出並增加說明。 3. 觀測資料有些不合理情形已經排除。本計畫數值模擬結果為盡量調整參數和邊界條件得到最好的結果，產生的結果盡量說明和所使用參數之間的變化關聯性。 4. 已調整所使用參數，得到更合理結果，並增加說明。 5. 謝謝委員建議，已增加有無風效應的比較結果。	同意合作研究單位之說明與處理情形。 報告中已加說明。 同意合作研究單位之說明與處理情形。 同意合作研究單位之說明與處理情形。 同意合作研究單位之說明與處理情形。

6. 圖 5.5~5.11,建議增加一些 agreement index 值, 如 RMS, 相關係數等。而這些圖之結果基本上並無暴潮。 7. 參考文獻應加強。 8. 方程式(3.1)中, ,與§5-1 之 a, 意義不同, 應變更符號。	6. 目前這部分僅僅是大範圍潮汐流場的模擬結果, 期末報告已加入暴潮模擬結果。 7. 謝謝委員指正, 已加強文獻說明。 8. 謝謝委員指正, 已編輯修改。	同意合作研究單位之說明與處理情形。 同意合作研究單位之說明與處理情形。 同意合作研究單位之說明與處理情形。
五、蘇青和委員： 1. 第二章應先介紹水動力模式相關理論介紹, 增加模式系統之流程圖, 並詳細說明中、小兩個尺度之功能及應用目的等。 2. 建議增加預報模式作業化及成果評估章節, 有關年度預報成果評估, 除年度代表性模擬與觀測值比對及檢核, 評估也增加誤差統計說明。 3. 成果評估除今年增加之臺中港及布袋港外, 上年度基隆港與臺北港也建議納入重點。 4. 小尺度臺中港觀測值與調和分析結果比對, 顯示潮位趨勢尚佳, 但潮流部份誤差甚大, 全日潮流模擬部份無法顯現, 計算範圍調整, 或與中尺度模式如何整	1. 謝謝委員建議。 2. 謝謝委員建議, 已在第四章增加內容說明。 3. 謝謝委員建議, 已配合港研中心作業化進度配合辦理。 4. 已配合整個計畫的執行內容, 調整模式進行計算。	同意合作研究單位之說明與處理情形。 同意合作研究單位之說明與處理情形。 同意合作研究單位之說明與處理情形。

合，皆有待進一步改進。 5. 風力對臺中港海流之影響甚大，建議作較完整比對分析。 6. 利用中尺度模式作臺灣周圍海域暴潮推算，建議以颱風為重點，增加與環島主要港口之暴潮偏差觀測值比對驗證。 7. 臺中港及布袋港波浪及布袋港水位及流場模擬結果特性分析應專章討論。	5. 已經對目前模擬結果增加說明風效應對海流的影響。 6. 暴潮模擬部分，已先完成計畫工作內容，委員建議部分盡力完成，或於計畫中增加未來工作內容。 7. 已在對應的模擬內容中增加特性整理說明。	同意合作研究單位之說明與處理情形。 同意合作研究單位之說明與處理情形。 同意合作研究單位之說明與處理情形。
六、簡仲璟委員： 1. 第三章台中港水動力模式是否僅適用於台中港?後續是否有僅適用於布袋港(或其他港口)之水動力模式?若無僅是針對不同港口皆使用相同的模式，但參數設定不同而已，則請補充說明(第三章標題修正) 2. 第 1-4 頁缺暴潮模式建置之期中報告內容說明，請補充。第 4-1 頁之 4.1 小節標題名稱”台中港水位極端值統計”與該節內容(檢討觀測與預測水位間之差異情形比較)似乎不符請修正。圖 2.5 中之黑實線與藍虛線請標明是	1. 謝謝委員指正，已適當調整第三章、第四章標題。 2. 謝謝委員指正。已修改或補充適當內容。	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。

風速或流速。另如果缺資料時，請以斷線繪製。附錄 II，請補充風速風向資料。 3. 無風及風速 12m/s 及 18m/s 情況下之台中港區流場差異建議進一步作比較說明，以瞭解模式對風力作用之影響。 4. 暴潮模式之結果不易由圖 5.5~圖 5.11 看出差異情形，建議同第四章之水位偏差統計分析進行說明。 5. 觀測與預測水位之偏差統計說明，建議以最大及最小作說明。(非僅以最大之 2 月份說明) 6. 第五章風場模式有部份錯誤請修正。	3. 已比較有無風的模擬結果，說明風效應的影響。 4. 已配合計畫工作項目完成計畫內容，並增加模擬結果說明。 5. 遵照辦理。 6. 遵照辦理。	同意合作研究單位之說明與處理情形。 同意合作研究單位之說明與處理情形。 同意合作研究單位之說明與處理情形。 同意合作研究單位之說明與處理情形。
---	--	---

附錄六

期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫
☐期中 ☒期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：提昇海岸及港灣海域水位與海流模擬技術之研究(2/4)

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
一、楊德良委員： 1. 期末報告很充實，第 2 年之布袋港已有初步結果，值得肯定。 2. 報告中仍有少許筆誤，如 p.4-2，z 應為”負值” (-)，才對？ 3. 向 NAO.99b 做開放邊界條件，可否選港內或港外有觀測之潮位，加以檢驗之。如有觀測值，為何不比較兩者之差異？	1. 謝謝委員之肯定。 2. 於正式報告配合修正為 -z。 3. 選用 NAO.99b 資料前均會事先與港內潮位資料比較判斷其合理性。原則上，如各港口附近海岸有適合的潮位長期觀測站及資料，則各港口流場模擬將採用潮位站觀測資料建置模式邊界條件；但考量非每一港口均有適合之潮位站及觀測資料，如臺中港其北測最近潮位站在苗栗外埔漁港，距離臺中港不僅太遠且因其潮位觀測資料可能受到測站位置水深不足或淤積等因素影響，至觀測資料無法為模式所利用。再者依前期計畫之經驗得知僅由鹿港及臺中港潮	正式報告已修正。 同意合作研究單位之說明與處理情形。

4. p.6-4，最後一行，初始條件假設初速速度及水位均為零，是否太過簡化？如是，建議有一段 warm up 之時間，再開始模擬？ 5. p.6-3、p.4-1、p.3-1，網格及元素是否可說明 mesh independent，再粗或再細的網格，其精度之敏感度如何解釋？	位觀測資料實不易建置合適的邊界條件，故本年度計畫乃嘗試採用 NAO.99b 資料建置本計畫臺中港潮流流場之邊界條件。 4. 本計畫暴潮模擬結果均有設定至少 12 小時以上的 warm up 時間(依經驗已足夠達到穩定狀態)。 5. 有關網格大小敏感度問題因上年度報告已針對基隆港選用更細之網格測試，得知目前方法所建置的細網格(模式 dt 約在 2 秒)應已具足夠代表性，故本年度計畫未再針對各港口分別討論。	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。
二、蔡清標委員： 1. 研究報告中，潮流模擬包含有無風場效應，是否即附 4.2 及附 4.3 方程式中，水面剪應力項設定為零或不為零之差異，建議文中應說明。 2. 圖 3.15 及圖 4.10~圖 4.12 等，觀測流速是合成的海流或純潮流流速？本研究是否有將觀測海流速度經由橢圓	1. 謝謝委員之建議。 2. 報告中上述圖示之觀測值均代表實際海流觀測值(即包括潮流及其他成份流)。有關海流觀測資料分析如報告第 2 章	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。

向量分析分解為海流及潮流？而布袋港之模擬結果與觀測速度之比較，誤差甚大，其原因仍建議詳加探討，並列為未來改進之建議事項。	所述，僅選取部份時段觀測資料分成東西向及南北向分量分別進行潮流調和分析，並將此潮流調和分析結果作為本計畫模式參數率定及模擬結果驗證之依據。另有關於布袋港模擬結果誤差大原因，將配合委員建議列為未來改進之建議事項，並於後續計畫持續進行改善研究。	
3. 圖 4.4，潮位及潮流速度誤差亦大，原因如何？	3. 潮位模擬結果與觀測資料間誤差大原因主要為潮位觀測資料未經資料品管過濾不合理的觀測資料所致。	同意合作研究單位之說明與處理情形。
4. 參考文獻，尤其國外既有模式之文獻，建議加強，並補充於內文對應。	4. 謝謝委員意見，已參照辦理納入正式報告。	正式報告已有補充。
5. 第六章之暴潮偏差，建議與觀測資料比較分析。	5. 謝謝委員之建議。由於計畫中暴潮模擬主要針對今年度颱風選用中央氣象局提供的風場數值預報資料測試模式運作情況是否適用於預報作業化上。有關暴潮偏差與觀測資料之比較分析，仍需視後續蒐集本年度潮位資料之暴潮分析結果及情況而定，再判斷是否納入本年度正	同意合作研究單位之說明與處理情形。

6. 研究報告內容充實具體。	式報告中。 6. 感謝委員之肯定。	
三、林銘崇委員： 1. 模式驗證何以需要分開流速東西、南北向分量而不用合成流速？其次，臺中港南北向流速分量比較誤差不小。 2. 有風場效應之流況模擬結果顯示港外海域於漲潮、退潮時段流場趨勢大致相同，似與一般認知有所差異。	1. 因潮流具有向量特性，故調和分析必須採用分量為之。本計畫配合模式座標軸之定義，故模式驗證及海流分量及採用東西向及南北向為之；另在模擬結果作業化評估中則有考慮合成流速及流向；臺中港南北向流速分量在模式驗證上誤差大的現象，主要受到本計畫觀測資料南北向流速分量調和分析結果呈現的變化型態與模式模擬結果之半日潮型不一致影響所致。 2. 由於港口外海定點觀測資料在東北季風期間大多(或長時間)呈現在主要流向上狹幅變化之特性，因此本計畫乃針對強風條件(如風速在 12 m/s 以上)之情況，利用調整風剪應力係數方法模擬此種流向狹幅變化特性之流場。此外，由於目前海流觀測資料僅此一測站，無法判斷外海遠離港口處流場是否仍具有在主要流向上狹	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。

	幅變化之特性，故模式模擬結果實無法整體考量該流場之合理性，僅能著重於港口附近流場是否能重現此流向狹幅變化之流場特性。	
四、梁乃匡委員：（書面審查） 1. 已按預定進度完成工作。 2. 水位模擬比較好，潮流比較不理想。	1. 謝謝委員之肯定。 2. 潮流模擬結果不佳，實為本計畫後續仍待加強改善之處。	同意合作研究單位之說明與處理情形。
五、蘇青和委員： 1. 報告撰寫內容請依本所規定，增加英文摘要。 2. 正式報告應增加教育推廣之成果。 3. 第二章基本資料分析，臺中港及布袋港之頻譜分析圖 2.25(圖 2.26)及圖 2.28(圖 2.29)是否具代表性或普遍性，應作補充說明。 4. 第三章臺中港潮流觀測值與調和分析結果比對(圖 3.4)，顯示潮位及 E 分量潮流趨勢尚佳，但 N 分量潮流部份誤差甚大，且潮形不一致，全日潮流模擬部份無法顯現，計算範圍調整，或	1. 遵照辦理。 2. 配合辦理，已規畫將後續教育推廣之成果納入附錄之中。 3. 謝謝委員之建議，相關資料之頻譜分析結果僅能代表該組資料之特性，因此無法判斷是否能成為該測站資料之代表性或普遍性之頻譜特性。 4. 臺中港觀測資料在 N 方向分量潮流分析結果與模式模擬結果誤差大原因如上述回覆。對於南北向分量之近全日潮流特性原因及計算範圍調整，或與中尺度模式如何整合可於後續計畫進	正式報告已增加。 教育推廣之成果已納入附錄之中。 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。

與中尺度模式如何整合，建議作補充說明。 圖 3.4 也建議增加流速與流向之比對。	行討論與評估。	
5. 第三章臺中港潮流觀測值與整體海流分析結果比對(圖 3.15)，顯示流速、流向、N 分量及 E 分量等部份皆有誤差，風力對臺中港海流之影響甚大，此部份建議作補充說明。	5. 圖中數值模擬結果係為風應力係數未率定前之結果，故與海流觀測資料直接比對造成誤差大是必然的現象；因此於正式報告內將另補充風應力係數率定後之模擬結果。	同意合作研究單位之說明與處理情形。
6. 第六章利用中尺度模式作臺灣周圍海域暴潮推算，建議以颱風為重點，增加與環島主要港口之暴潮偏差推算與觀測值之比對驗證。	6. 對於主要港口之暴潮偏差推算與觀測值之比對驗證，仍需視後續蒐集本年度潮位資料之暴潮分析結果及情況而定，再判斷是否納入本年度正式報告中，如未能則擬納入下年度計畫再進行。	同意合作研究單位之說明與處理情形。
六、簡仲璟委員： 1. 本計畫為提昇水位與海流模擬技術之研究，主要在提昇或精進模擬之精度、準確度，至於精進或提昇多少，宜有具體量化之標準，可予以思考。 2. 海流預報模擬之作業化目前是否可上線？如果沒有，其預定時程是如何？在第五章中冬季以	1. 謝謝委員意見，納入後續計畫辦理。 2. 原則上臺中港海流預報模擬之作業化已能夠上線，布袋港流場模擬結果對於模式邊界之處理	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。

9 月份資料來做評估似嫌不妥，應以 12 月、1 月等較適宜月份之資料來做評估。 3. 暴潮模式之結果驗證請以實測資料比較作補充說明。 4. 期中回覆意見若已改善或完成，請把“將”字改成“已”字。	及相關參數之率定仍需再修正，故目前作業化時程暫無法明確回覆；另有關冬季流場模擬評估本計畫將修正以 2010 年 1 月流場模擬結果說明。 3. 有關暴潮模式模擬結果驗證如上述回覆與說明。 4. 遵照辦理。	同意合作研究單位之說明與處理情形。 期中回覆意見已修正。
---	---	--

附錄七

期末簡報資料

MOTC-IOT-101-H3DB005b

提昇海岸及港灣海域水位與海流模擬技術 之研究(2/4)

期末簡報

財團法人成大研究發展基金會

2012年 11月 14日

1

報告大綱

- 一、期中報告審查意見處理情形
- 二、計畫緣起
- 三、本年度(2/4)研究內容與工作項目
- 四、臺中港水位與潮流模擬
- 五、布袋港水位與潮流模擬
- 六、基隆港與臺北港作業化成果評估
- 七、臺灣周圍海域暴潮模式建置
- 八、結論

2

一、期中報告審查意見處理情形

綜合審查委員所提之意見	合作研究單位處理情形
1. 報告中編輯修正。 2. <u>風場模式</u>如何與水動力模式相結合? 是否在BC風剪力加入? 3. 請再說明<u>程式之精進部份</u>為何? 4. P3-4, $\Delta t = 1.0 \text{ sec}$, P5-7, $\Delta t = 2.0 \text{ sec}$ 為何不一樣?是否因為CFL穩定條件之限制, P附錄3-12, 式(附3.31)之限制條件? 5. 計算值呈現大於調和分析值, 尤其流速, 可能原因為何?位相角則呈一致, 結果良好。	1. 對照修正。 2. 風場為利用風速配合剪應力公式計算, $\tau_i^s = \rho_s C_d U_{10} U_i$, 代入水動力模式之控制方程式(p.附4-2)。 3. 本年計畫主要為利用去年潮汐資料修改模式計算條件提供更正確的模擬結果, 模式本身架構沒有改變。已增加說明。 4. 主要是因為CFL穩定條件之限制所致。 5. 可能模擬過程中所使用到係數調整太大, 已增加說明。

3

綜合審查委員所提之意見	合作研究單位處理情形
6. <u>臺中港在南北向分量的潮流成份流大於半日潮成份流</u>, 其原因是臺中港潮汐的半日潮是重覆波, 台中港約在腹點附近, 所以半日潮成份流小。 7. 圖2-11~2-14等, 同一位置同時具有半日潮與全日潮特性物理意義為何?而P3-5末段說明南北向流水動力模式與調和分析結果之潮型不同如何解釋? 8. 圖3.8~3.9(期中報告), 為潮流加風場效應之模擬結果, 建議增加並列<u>純潮流之結果</u>, 以顯示風場效應之影響。 9. 觀測與預測水位之偏差統計說明, 建議以最大及最小作說明。(非僅以最大之2月份說明)。	6. 謝謝委員提供資料, 已在報告內容增加說明。 7. 觀測資料有些不合理情形已增加說明。<u>本計畫數值模擬結果為盡量調整參數和邊界條件得到最好的結果</u>, 產生的結果已盡量說明和所使用參數之間的變化關聯性。 8. 謝謝委員建議, 已增加有無風效應的比較結果(期末報告圖3.5~3.9圖3.13~3.14)。 9. 遵照辦理。

4

二、計畫緣起

前期計畫「臺灣近岸防救災預警系統技術與作業化研究」
(2007~2010)

1. 2009建立七大商港海域流場模式
2. 2010針對基隆港港域水位及海流建立模擬子系統及相關設計水位分析。

本期計畫(2011~2014)為持續對七大商港(港域水位和流場)進行改善

1. 作法上，逐年檢討各港海流模擬結果，利用前一年觀測資料預測當年度的水位與海流。同時間也作觀測資料分析，以及作業化評估。
2. 第一年(2011)基隆港與臺北港水位及海流模擬子系統之建立。

5

三、本年度(2/4)研究內容與工作項目

1. 針對臺中港沿用2009所建立模式，利用2011觀測資料進行2012預測模擬。
2. 建立布袋港模式進行水位及流場模擬。
3. 臺中港域及布袋港域水位及流場模擬結果特性分析。
4. 持續進行基隆港與臺北港水位及流場預測模式作業化評估。
5. 建置臺灣周圍海域暴潮模式。
6. 建置臺中港與布袋港水位及流場模擬子系統於港研中心，並進行教育訓練。

6

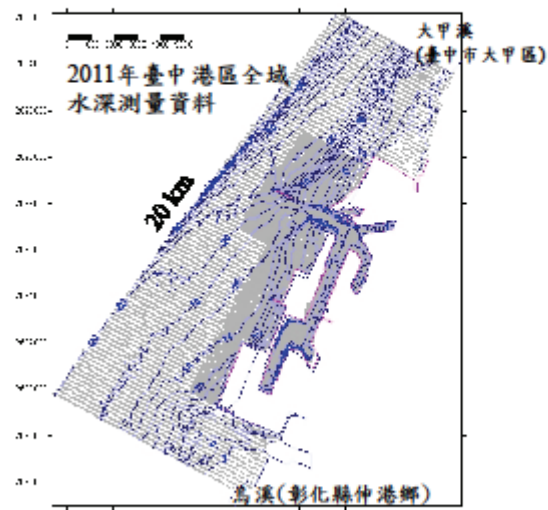
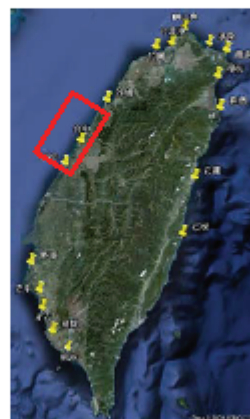
四、臺中港水位與潮流模擬

1. 臺中港基本資料蒐集與分析
(a)地形水深 (b)潮汐水位 (c)海流資料
2. 地形與計算格網之建立
3. 邊界條件之建立
4. 模式驗證
5. 流況模擬結果

7

1.臺中港基本資料蒐集與分析

(a)地形水深資料



8

(b) 潮汐水位資料

分析結果(主要分潮振幅、潮型指標)

潮位站	臺中港	鹿港
O ₁	0.2193	0.2268
K ₁	0.2535	0.2626
M ₂	1.7908	1.7820
S ₂	0.5257	0.5134
潮型指標	0.204	0.213
潮型	半日潮	半日潮

各分潮振幅單位為 m

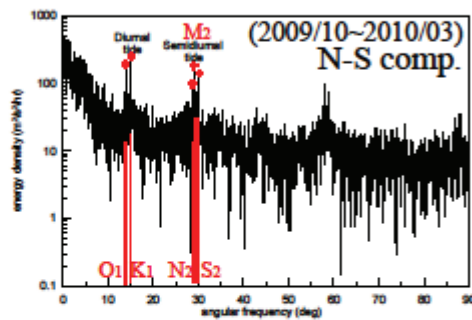
潮型指標 = $(O_1 + K_1) / (M_2 + S_2)$

外埔低潮位失真無法有效補遺，故無結果。



9

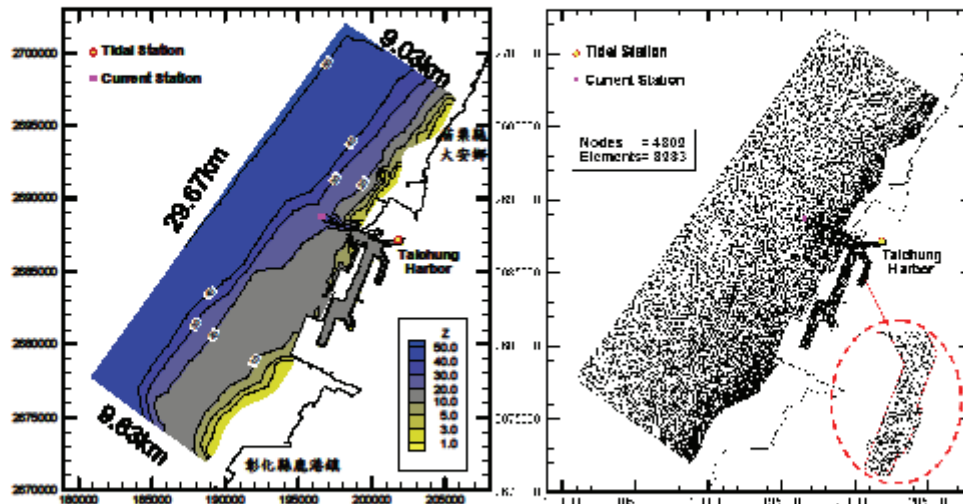
(c) 海流資料—臺中港海流觀測資料分析結果



分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	E-W		N-S	
		振幅(m/s)	位相角(度)	振幅(m/s)	位相角(度)
O1	13.94303513	0.0544	57.178	0.0431	39.299
K1	15.04106903	0.0598	257.877	0.0843	237.661
N2	28.43972969	0.0241	356.588	0.0095	321.453
M2	28.98410416	0.0812	127.992	0.0482	132.918
S2	30.00000000	0.0413	0.198	0.0375	341.527
平均流速		-0.2045 m/s		0.0295 m/s	
觀測資料時間		2010/01/01 00:00 ~ 2010/02/12 16:00			
原點時間		2010/01/22 08:00			

10

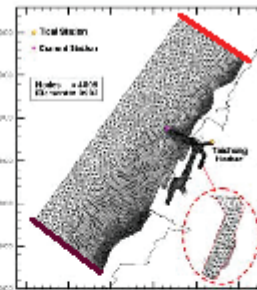
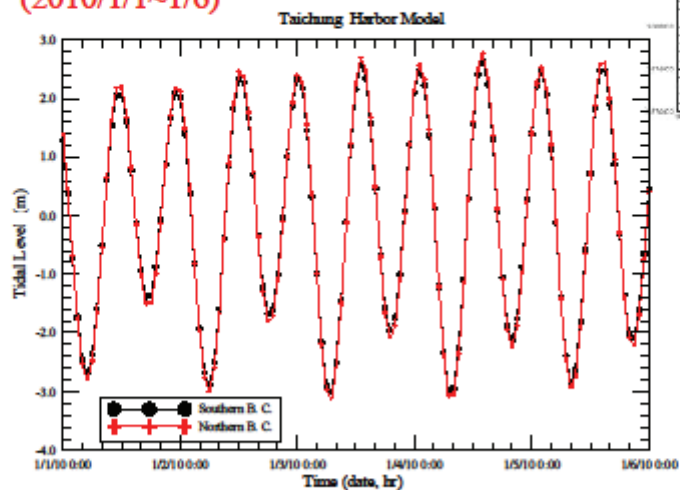
2. 臺中港域地形與計算格網



11

3. 臺中港水動力模式邊界條件 (NAO.99b模式所推算)

南、北開放邊界之水位邊界條件時序圖
(2010/1/1~1/6)



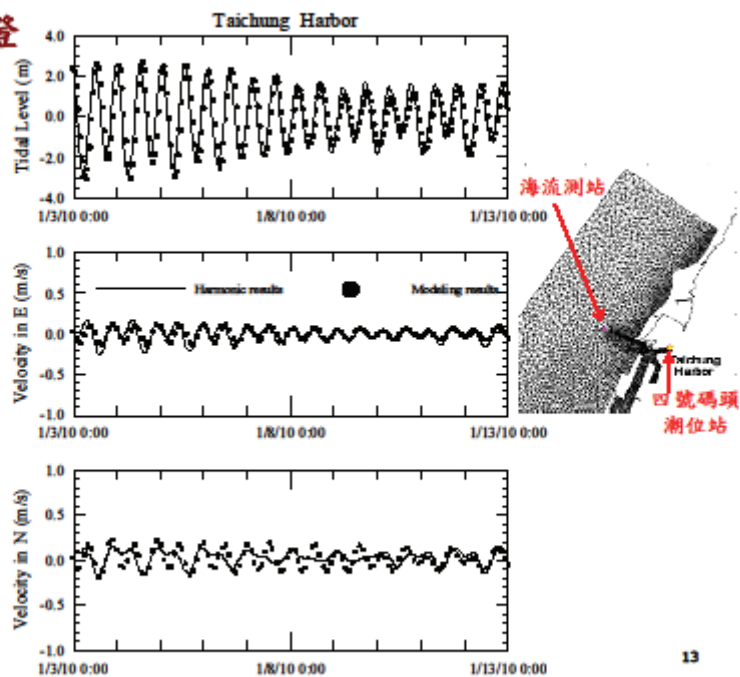
12

4. 模式驗證

潮位
(四號碼頭)

流速東西向
分量

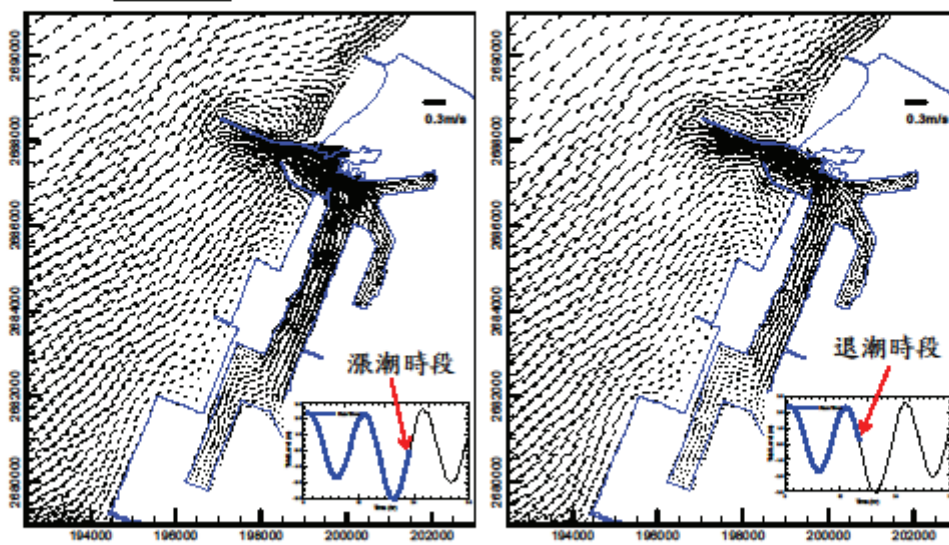
流速南北向
分量



13

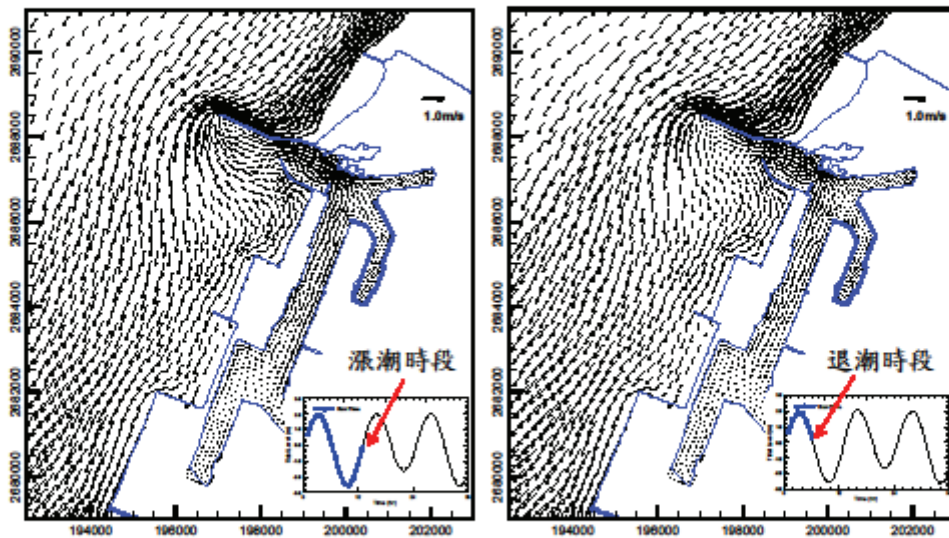
5. 流況模擬結果

(a) 無風場效應之流況模擬結果



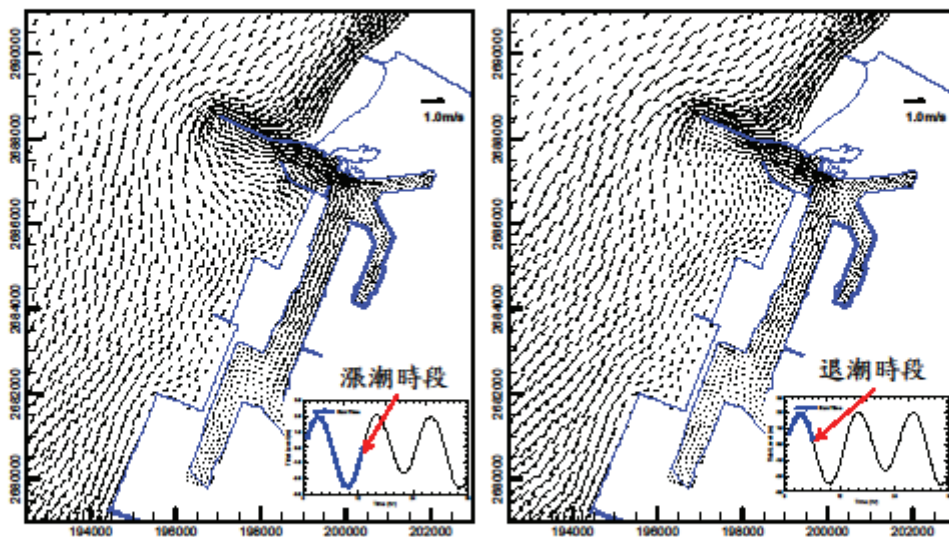
14

(b)有風場效應之流況模擬結果(風速：18m/s，風向：北北東)



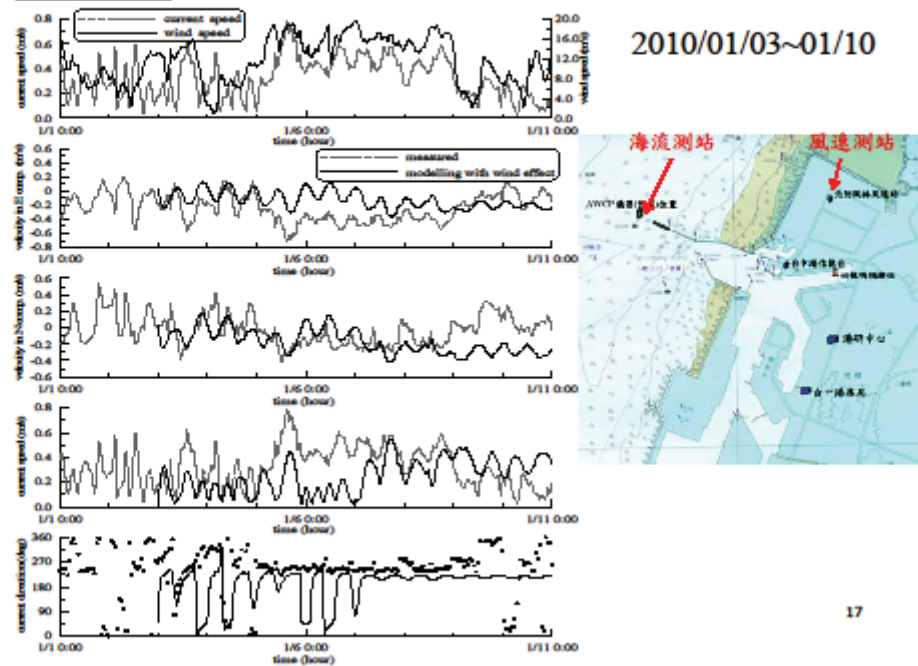
15

(b)有風場效應之流況模擬結果(風速：12m/s，風向：北北東)



16

(c)瞬態風場效應潮流模擬結果與觀測資料之比較



17

五、布袋港水位與潮流模擬

1. 布袋港基本資料蒐集與分析

(a)地形水深 (b)潮汐水位 (c)海流資料

2. 地形與計算格網之建立

3. 邊界條件之建立

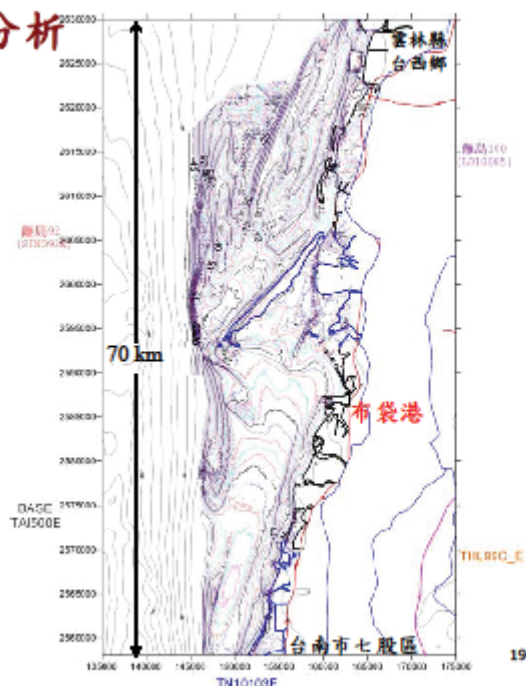
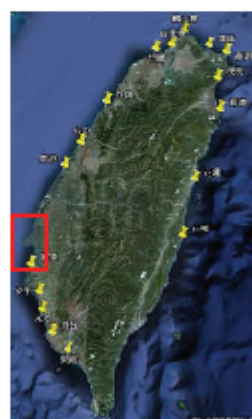
4. 模式驗證

5. 流況模擬結果

18

1.基本資料蒐集與分析

(a)地形水深資料



19

(b)潮汐水位資料

分析結果(主要分潮振幅、潮型指標)

潮位站	箔仔寮	東石	將軍
O_1	0.1907	0.1797	0.1805
K_1	0.2261	0.2070	0.2077
M_2	1.0556	0.6749	0.5169
S_2	0.2780	0.1606	0.1123
潮型指標	0.313	0.463	0.617
潮型	半日潮	半日潮	混合潮

各分潮振幅單位為 m

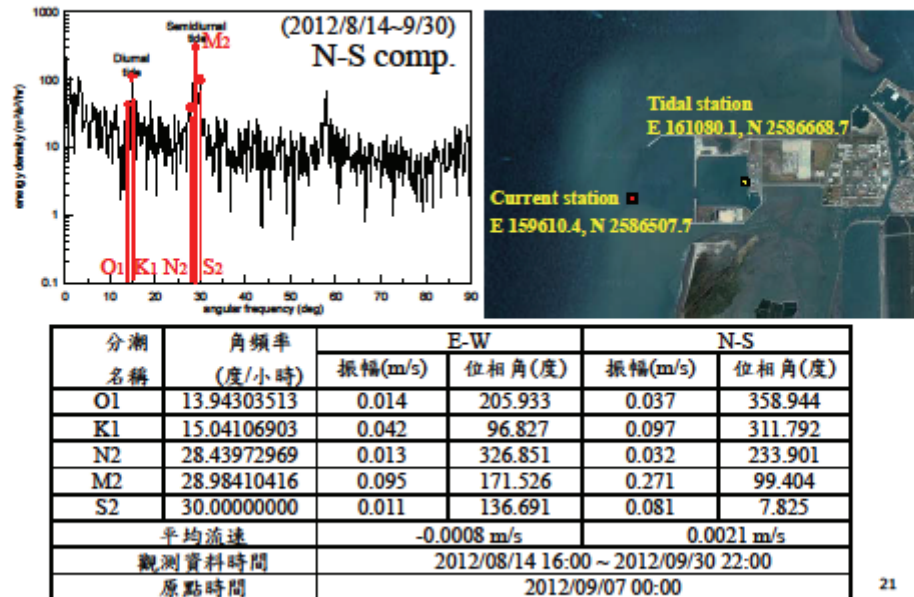
潮型指標 = $(O_1 + K_1) / (M_2 + S_2)$

分析結果做為推算水動力模式邊界條件



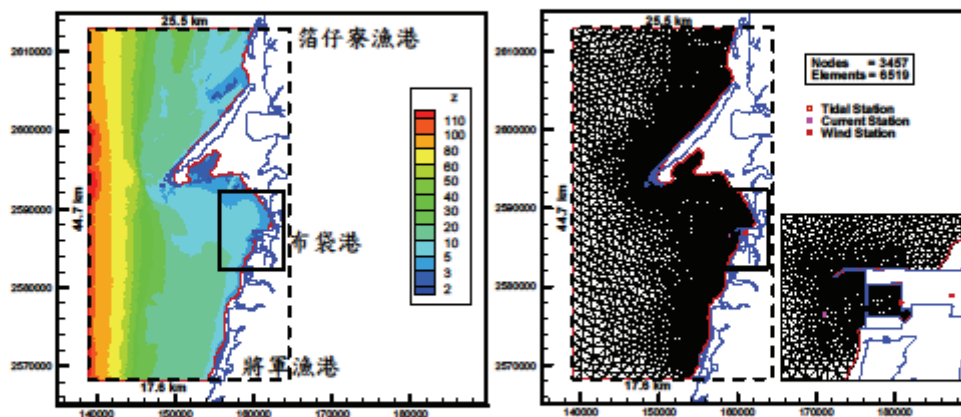
20

(c) 海流資料—布袋港海流觀測資料分析結果



21

2. 布袋港域地形與計算格網

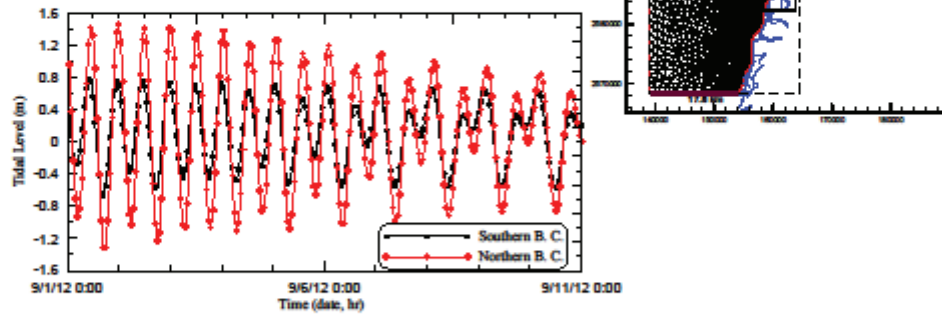


22

3.布袋港水動力模式邊界條件

(潮位調和分析結果所推算)

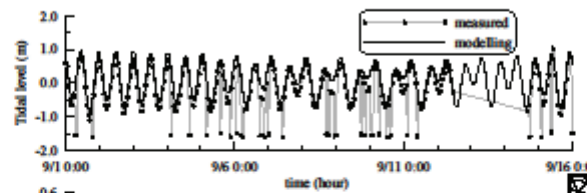
南、北開放邊界之水位邊界條件時序圖
(2012/9/1~9/10)



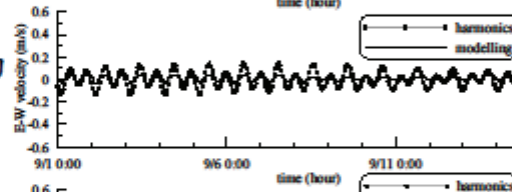
23

4.模式驗證

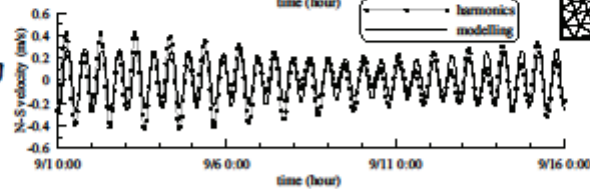
潮位



流速東西向
分量



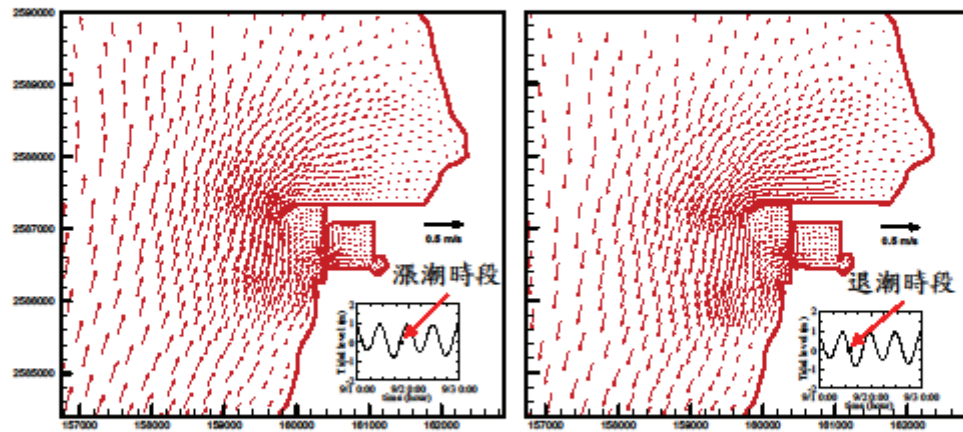
流速南北向
分量



24

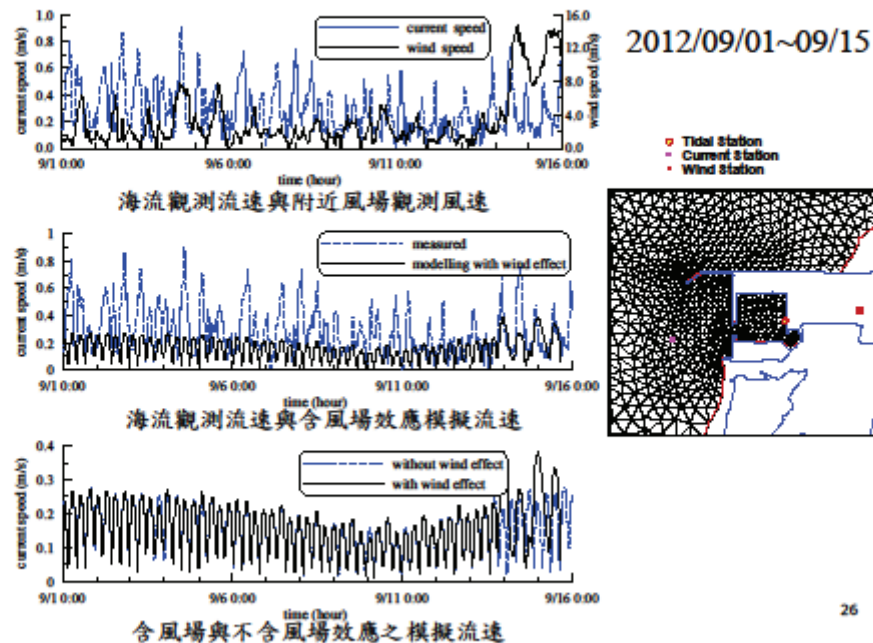
5. 流況模擬結果

(a) 無風場效應之流況模擬結果



25

(b) 瞬態風場效應潮流模擬結果與觀測資料之比較



26

六、基隆港與臺北港作業化成果評估

1. 基隆港及臺北港潮位資料蒐集與分析

2. 作業化成果

(a) 圖形

預報及觀測之潮位資料

預報之潮流資料及觀測海流之調和分析資料

(b) 統計表

水位統計：最高水位、最低水位、偏差統計

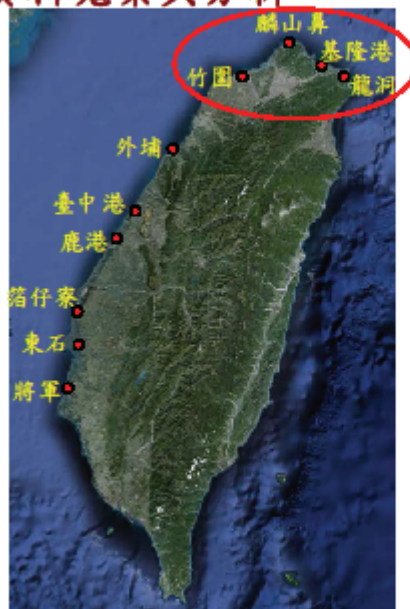
流速統計：平均流速、主要流向、最大流速
(流向)、流速偏差、流向偏差。

27

1.基隆港及臺北港潮位資料蒐集與分析

主要分潮振幅、潮型指標

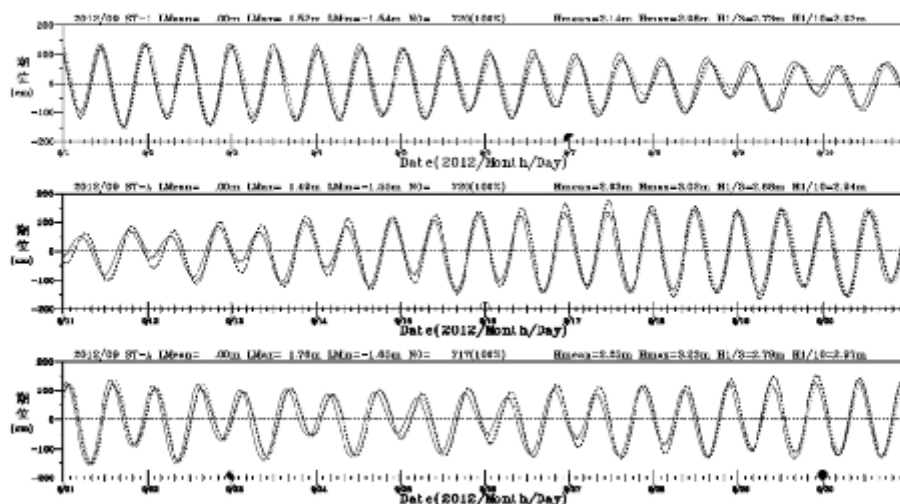
潮位站	龍洞	基隆港	麟山鼻	竹圍
O ₁	0.1714	0.1639	0.1936	0.1948
K ₁	0.2046	0.1947	0.2215	0.2279
M ₂	0.2209	0.2338	0.7593	1.2072
S ₂	0.1056	0.0576	0.2075	0.3528
潮型指標	1.152	1.231	0.429	0.271
潮型	混合潮	混合潮	半日潮	半日潮



28

2.作業化成果

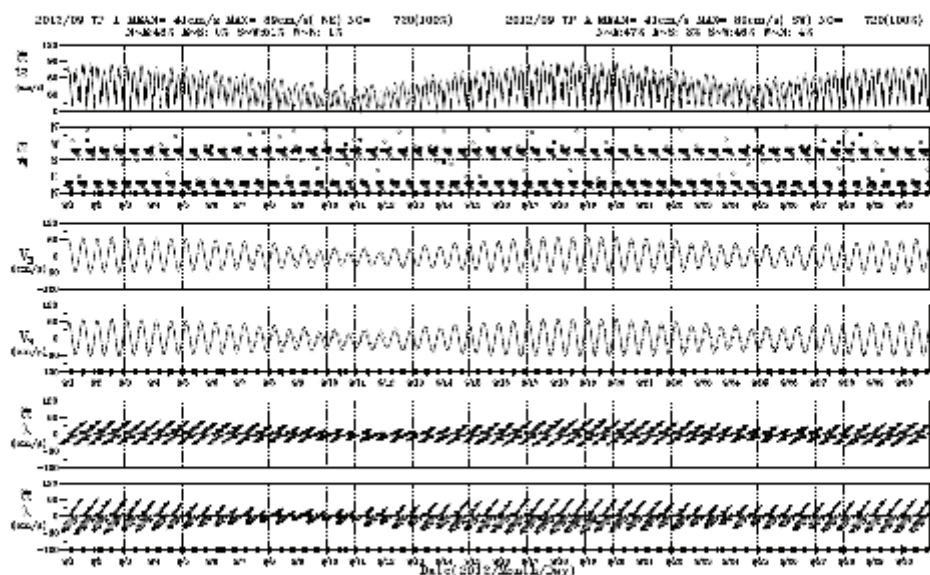
水位觀測資料與預報結果(以臺北港2012年9月為例)



實線：model，細虛線：調和分析結果，粗虛線：觀測

29

流速觀測資料調和分析結果與預報結果(以臺北港2012年9月為例)



實線：model，虛線：調和分析結果

30

預測與觀測潮位最高水位(日/時)統計表

2012年月份	方法	基隆港	臺北港
8	OBS1	.57 (27/19)	1.56 (02/23)
	SMA	.52 (01/22)	1.43 (05/00)
9	OBS1	.54 (17/09)	1.76 (17/11)
	SMA	.45 (22/15)	1.52 (19/12)

OBS1：港灣技術
研究中心觀測1站
潮位資料

SMA：小尺度水
動力模式預測結果

單位：m (日/時)

偏差
= 預報值 - 觀測值

預測與觀測潮位最低水位(日/時)統計表

2012年月份	方法	基隆港	臺北港
8	OBS1	- .70 (28/13)	-1.79 (01/16)
	SMA	- .72 (01/14)	-1.67 (03/17)
9	OBS1	- .56 (22/08)	-1.65 (19/08)
	SMA	- .63 (23/08)	-1.54 (21/07)

預測與觀測潮位偏差(資料蒐集率)統計表

2012年月份	方法	基隆港	臺北港
8	平均偏差	.00 (99.5%)	.00 (89.8%)
	標準偏差	.10 (99.5%)	.30 (89.8%)
	最大偏差	-.33 (99.5%)	-.85 (89.8%)
9	平均偏差	.00 (99.7%)	.00 (99.4%)
	標準偏差	.11 (99.7%)	.28 (99.4%)
	最大偏差	-.37 (99.7%)	-.71 (99.4%)

31

預測與觀測海流平均流速(資料蒐集率)統計表

2012年月份	方法	基隆港	臺北港
8	OBS1	26.6 (99.9%)	49.7 (89.9%)
	SMA	14.7 (100%)	40.7 (100%)
9	OBS1	24.9 (99.7%)	44.3 (99.6%)
	SMA	14.7 (100%)	41.1 (100%)

OBS1：港灣技術
研究中心觀測1站
潮位資料

SMA：小尺度水
動力模式預報結果

單位：cm/s (去向)

預測與觀測海流主要流向(%)統計表

2012年月份	方法	基隆港	臺北港
8	OBS1	ENE (18.2%)	SW (24.2%)
	SMA	E (44.5%)	WSW (49.1%)
9	OBS1	ENE (16.9%)	SW (26.5%)
	SMA	E (44.4%)	WSW (48.3%)

預測與觀測海流最大流速(流向)統計表

2012年月份	方法	基隆港	臺北港
8	OBS1	99.0 (ENE)	138.0 (NE)
	SMA	32.1 (E)	86.7 (NE)
9	OBS1	105.0 (ENE)	115.0 (NE)
	SMA	33.2 (E)	88.5 (NE)

32

預測與觀測海流流速偏差(資料蒐集率)統計表

2012年月份	方法	基隆港	臺北港
8	平均偏差	-11.9 (99.7%)	-9.1 (89.9%)
	標準偏差	20.5 (99.7%)	22.5 (89.9%)
	最大偏差	-85.9 (99.7%)	-94.1 (89.9%)
	平均比值	.9 (99.7%)	1.0 (89.9%)
9	平均偏差	-10.2 (99.7%)	-3.2 (99.4%)
	標準偏差	19.2 (99.7%)	18.9 (99.4%)
	最大偏差	-80.3 (99.7%)	-55.7 (99.4%)
	平均比值	1.0 (99.7%)	1.2 (99.4%)

單位：cm /s

偏差

= 預報值 - 觀測值

比值

= 預報值 ÷ 觀測值

預測與觀測海流流向偏差(%)統計表

2012年月份	方法	基隆港	臺北港
8	平均偏差	51.7 (99.3%)	30.0 (89.9%)
	標準偏差	72.9 (99.3%)	46.2 (89.9%)
	最大偏差	177.8 (99.3%)	173.8 (89.9%)
9	平均偏差	55.7 (99.6%)	31.8 (99.4%)
	標準偏差	74.1 (99.6%)	51.2 (99.4%)
	最大偏差	179.0 (99.6%)	177.9 (99.4%)

偏差

= 預報值 - 觀測值

偏差大小範圍為0-180度

單位：度

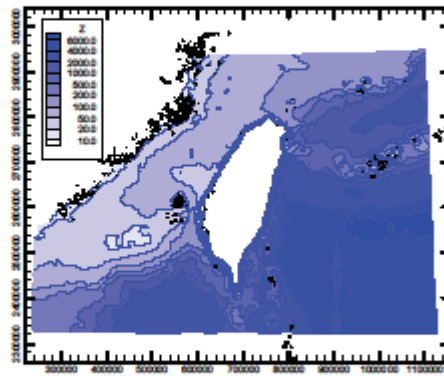
33

七、臺灣周圍海域暴潮模式建置

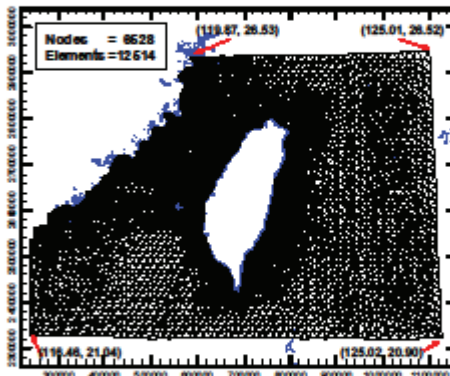
1. 暴潮數值模式地形及計算格網
2. 模式初始及邊界條件
3. 暴潮模式驗證
4. 本年度侵臺颱風資料
5. 颱風暴潮數值模擬結果

34

1. 暴潮數值模式地形及計算格網



地形水深分佈



暴潮數值模式有限元素格網

35

2. 模式初始及邊界條件

初始條件：假設流場初始速度及水位均為零

邊界條件

陸地邊界：不滑動邊界

開放邊界：

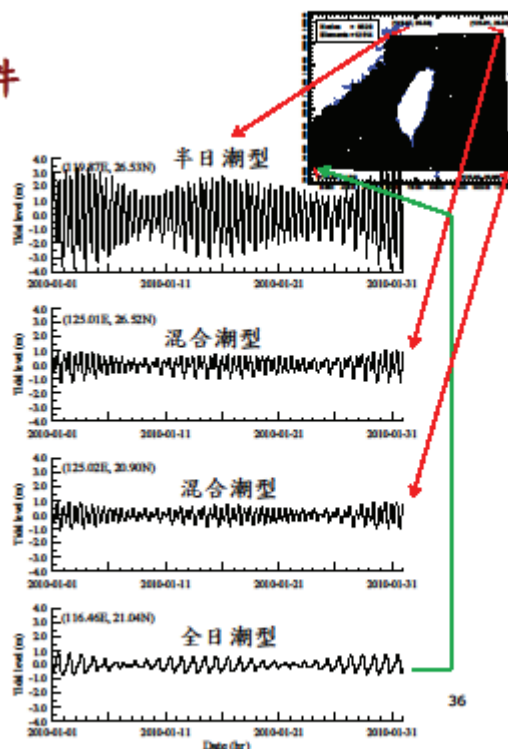
氣壓差引起之水位抬昇

$$\eta - \eta_0(t) - \frac{\Delta P(t)}{\rho g}$$

+

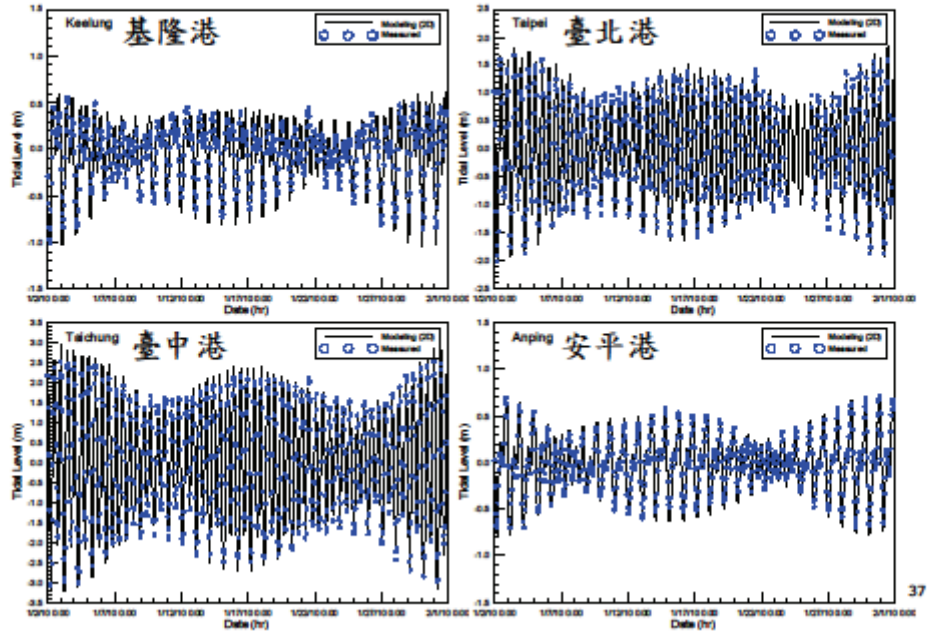
天文潮位變化 →

(NAO.99b)

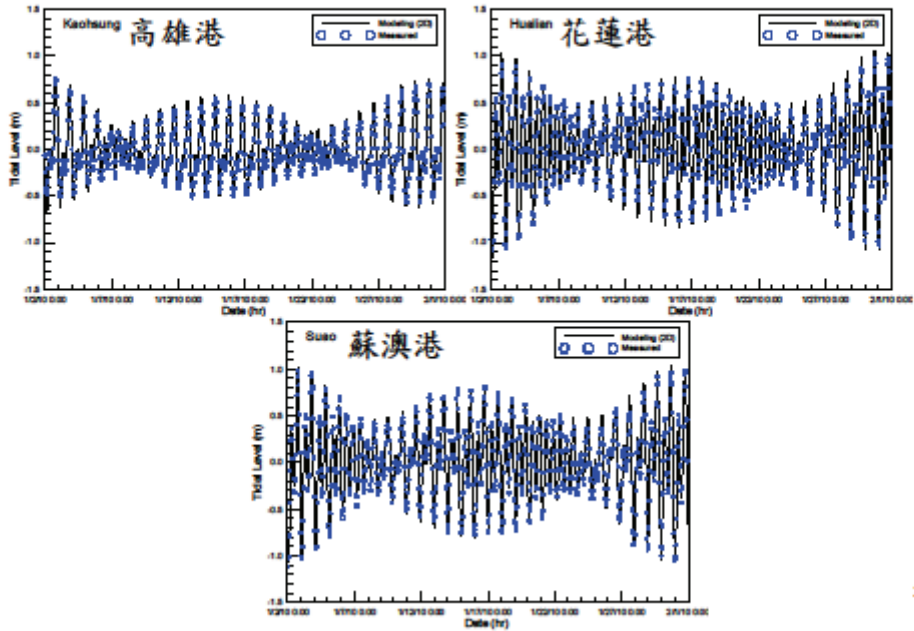


36

3. 暴潮模試驗證



37



38

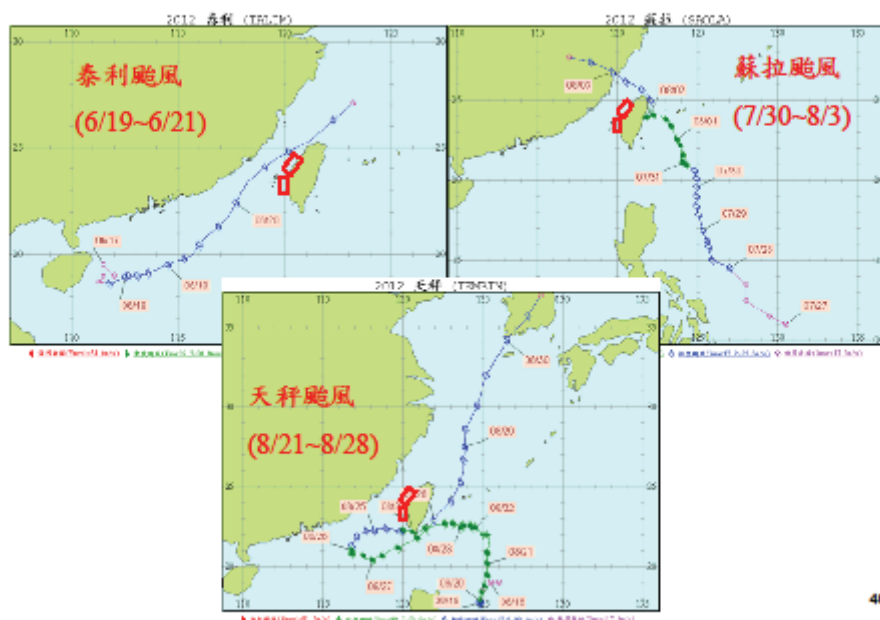
4.本年度侵臺颱風資料

中文名稱	英文名稱	警報期間	近臺強度	近臺颱風中心最低氣壓(hPa)	近臺颱風中心最大風速(m/s)	七級風暴風半徑(km)	十級風暴風半徑(km)
泰利	TALIM	6/19~6/21	輕度	985	25.0	150	—
杜蘇芮	DOKSURI	6/28~6/29	輕度	995	23.0	120	—
蘇拉	SAOLA	7/30~8/3	中度	960	38.0	220	80
海葵	HAIKUI	8/6~8/7	中度	960	35.0	180	50
啟德	KAI-TAK	8/14~8/15	輕度	995	20.0	150	—
天秤	TEMBIN	8/21~8/25	中度	945	45.0	180	50
天秤	TEMBIN	8/26~8/28	中度	965	35.0	180	50
杰拉華	JELAWAT	9/27~9/28	強烈	910	55.0	250	100

* 天秤颱風今年兩次侵臺

39

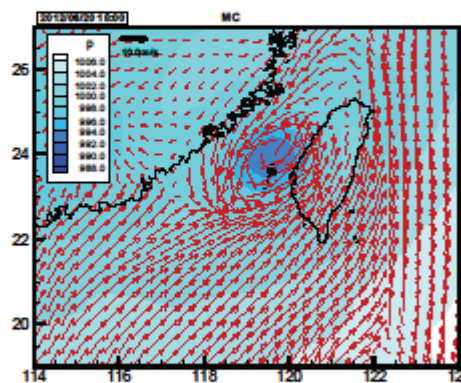
本年度暴風圈曾籠罩計畫海域之颱風及路徑



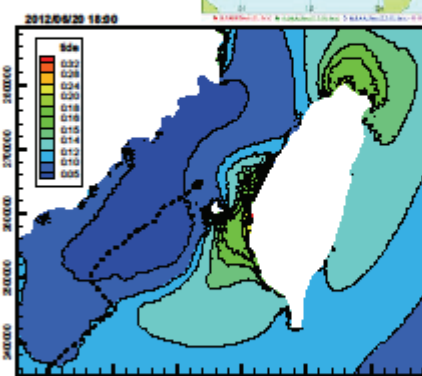
40

5. 颱風暴潮數值模擬結果

(泰利颱風— 2012/06/20 18:00)



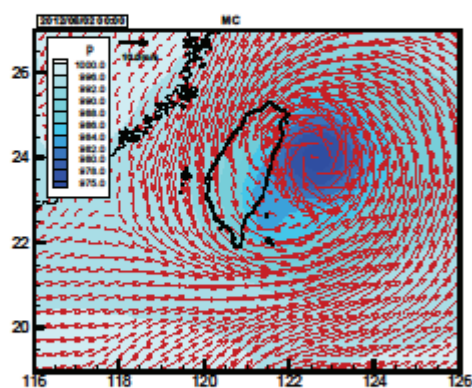
MC風壓場之氣壓分布及風速向量



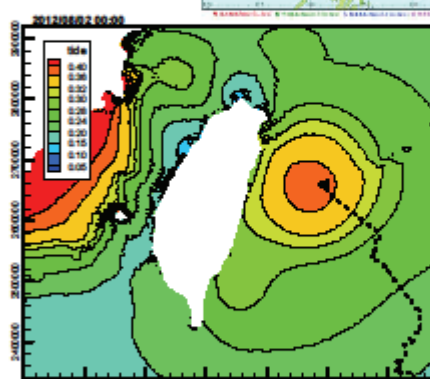
暴潮偏差分布圖

41

(蘇拉颱風— 2012/08/02 00:00)



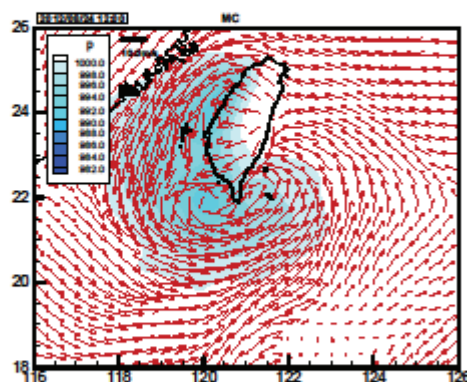
MC風壓場之氣壓分布及風速向量



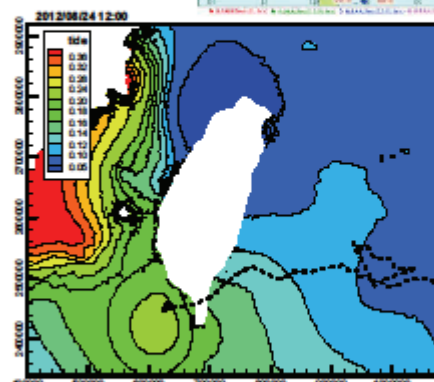
暴潮偏差分布圖

42

(天秤颱風— 2012/08/24 12:00)



MC風壓場之氣壓分布及風速向量



暴潮偏差分布圖

43

八、結論

1. 更新臺中港及布袋港港區全域地形；蒐集分析2008~2011基隆港模式(龍洞、基隆港)，臺北港模式(麟山鼻、竹圍)，臺中港模式(外埔、臺中港、鹿港)，布袋港模式(箔仔寮、東石及將軍)潮位站之潮位資料進行分析。
2. 臺中港海流長期觀測結果顯示：夏季海流流速普遍小於冬季海流，冬季受東北季風影響最大流速可達1.5m/sec以上；頻譜分析結果顯示，觀測站之海流東西向分量半日潮成份流略大於全日潮成份流，而在南北向分量全日潮成份流則大於半日潮成份流。
3. 布袋港海流觀測期間最大流速約為1.0m/s，流向約為西北方向；頻譜分析結果顯示，東西向與南北向流速分量皆以半日潮成份流為最大。

44

4. 臺中港流場模擬結果顯示，(1)無風的條件下在退平潮階段港內潮流向港口流出，港口外潮流流向大致上朝向西南至西南西之間；在漲平潮階段港口附近潮流流向港內，港口外潮流流向大致上朝向東北至北北東之間；(2)在強烈的北北東之風場下，流場模擬結果顯示不論漲、退潮臺中港區外海流場均呈現沿海岸地形往南之流向；在南防波堤附近航道及港區內則呈現出漲潮時水流向港內流動，退潮時水流向港外流動。
5. 布袋港流場模擬結果顯示，在無風的條件(1)退潮時段港口外側有明顯的南向流，此時海水由港區內往外流，在港口處有較強的流速；(2)漲潮時段港口外側有較強的北向流，在港口亦有較強的流速流向港內。

45

6. 作業化預測成果評估顯示，基隆港觀測與預報潮位的標準偏差為0.1m左右；海流預報的平均流速小於觀測值，觀測主要流向為東北東向，模式預報主要流向為東向；流速標準偏差為20cm/s左右，平均比值為1.0左右；流向標準偏差為70度左右。臺北港觀測與預報潮位的標準偏差為0.3m左右；海流預報的平均流速與觀測值相當；觀測主要流向為西南向，模式預報主要流向為西南西向；流速標準偏差亦為20cm/s左右，平均比值為1.0~1.2；流向標準偏差為50度左右。
7. 本計畫初步完成中尺度臺灣周圍海域暴潮模式之建置，針對本年度發生的侵臺颱風進行暴潮偏差模擬。當颱風接近陸地時，水位明顯受到大陸棚水深變淺之影響，暴潮水位偏差變化與風場及氣壓場之關聯性明顯降低。

46

附錄八

教育訓練資料

『港灣海氣象資訊及模擬操作』教育訓練講習會

**臺中港、布袋港潮流模擬及作業化預測
評估**

計畫主持人：國立成功大學 李兆芳

協同主持人：成大水工試驗所 劉正琪

2012年 12月 7日

報告大綱

- 一、計畫沿革
- 二、本年度教育訓練內容
 - 1.臺中港水位與潮流模擬
 - 2.布袋港水位與潮流模擬
 - 3.潮流模擬作業化預測評估
- 三、總結

一、計畫沿革

前期計畫「臺灣近岸防救災預警系統技術與作業化研究」(2007年~2010年)

建立七大商港(基隆港、臺北港、臺中港、安平港、高雄港、花蓮港、蘇澳港)附近海域水位及流場模式

本期計畫為持續對各港域水位和流場進行改善。

1. 作法上，逐年度對各個商港港域進行模式更新及校驗工作，模擬預測結果並與各港觀測資料進行比較評估。
2. 建立各港模擬子系統，提供模擬作業化。

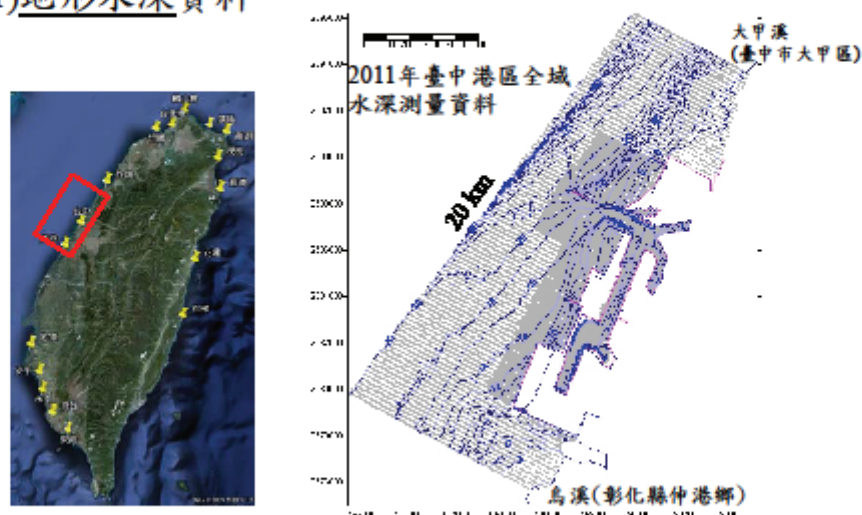
二、本年度教育訓練內容

1. 臺中港水位與潮流模擬

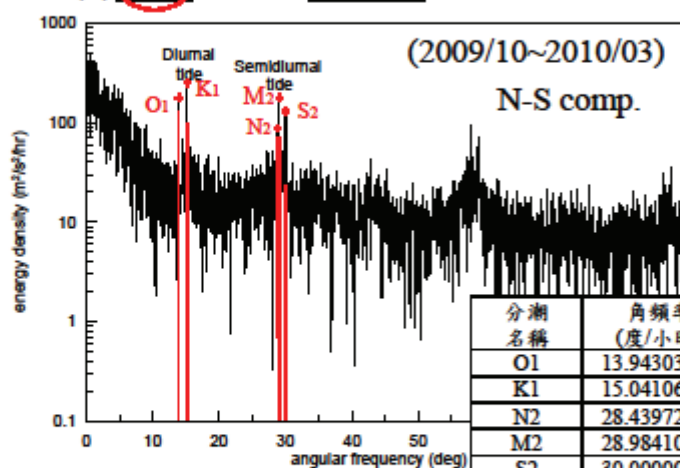
- (a) 臺中港基本資料蒐集與分析
- (b) 地形與計算格網之建立
- (c) 邊界條件之建立
- (d) 模式驗證
- (e) 流況模擬結果

(a) 臺中港基本資料蒐集與分析

(1) 地形水深資料



(2) 海流資料—臺中港海流觀測資料分析結果

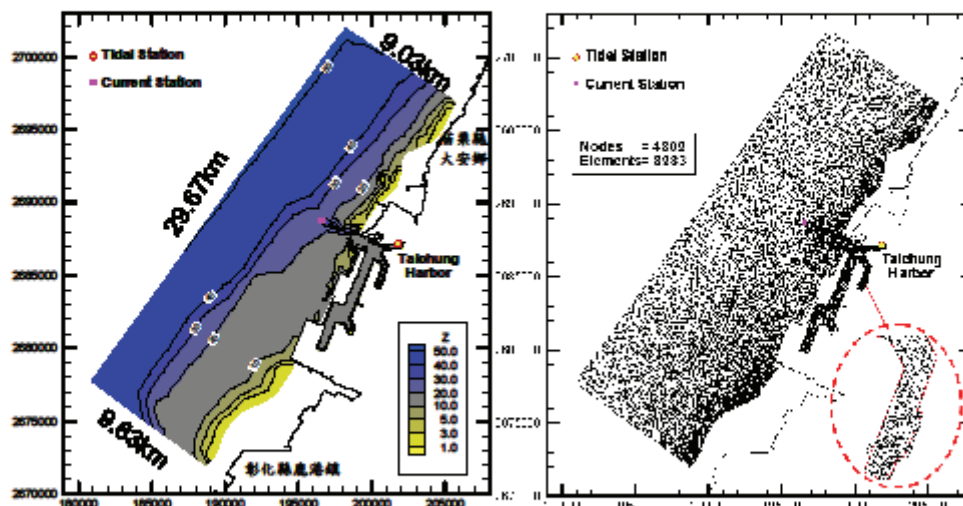


先由頻譜分析篩選主要分潮，再以主要分潮進行調和分析求得振幅及位相角。

分潮名稱	角頻率 (度/小時)	N-S	
		振幅(m/s)	位相角(度)
O1	13.94303513	0.0431	39.299
K1	15.04106903	0.0843	237.661
N2	28.43972969	0.0095	321.453
M2	28.98410416	0.0482	132.918
S2	30.00000000	0.0375	341.527
平均流速		0.0295 m/s	
觀測資料時間		2010/01/01 00:00 ~ 2010/02/12 16:00	
調和分析原點時間		2010/01/22 08:00	

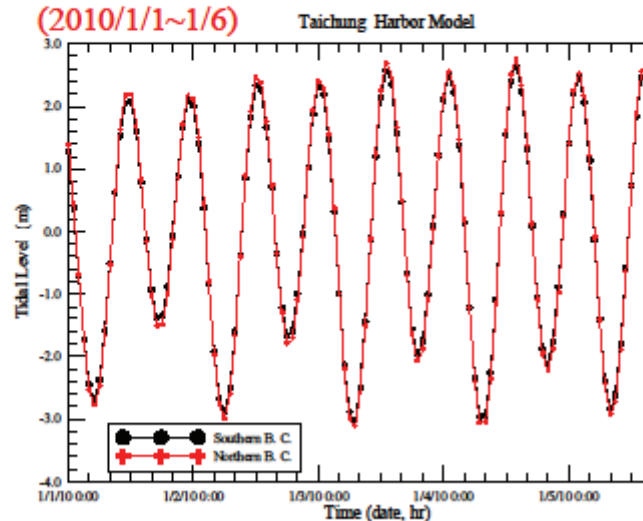
因2011年海流觀測資料品質不佳，取2010年1月資料做分析，分析結果供模式驗證。

(b) 臺中港域地形與計算格網

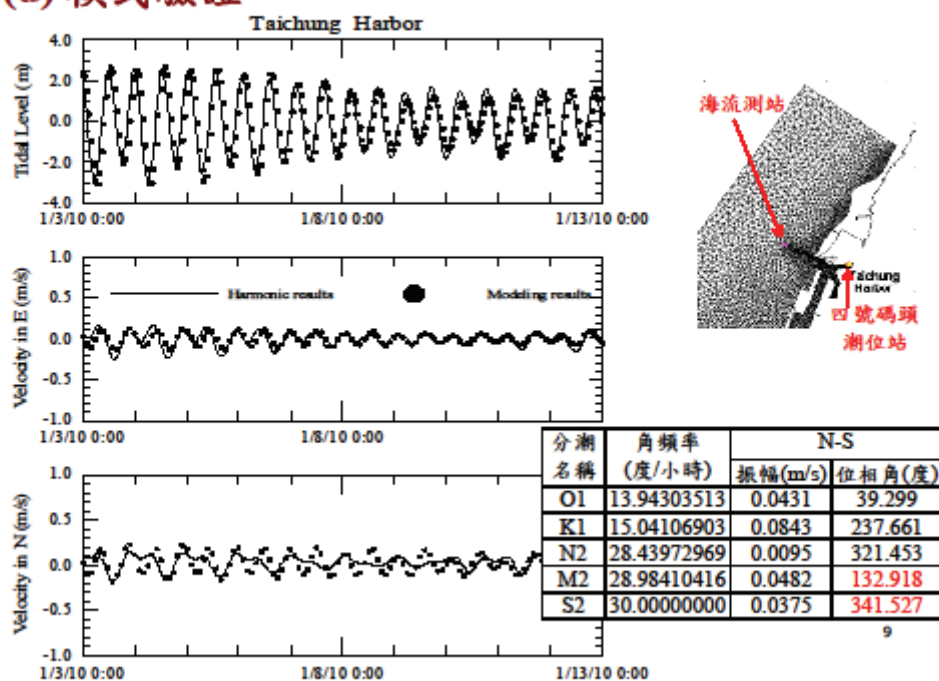


(c) 臺中港水動力模式邊界條件 (NAO.99b模式所推算)

南、北開放邊界之水位邊界條件時序圖
(2010/1/1~1/6)

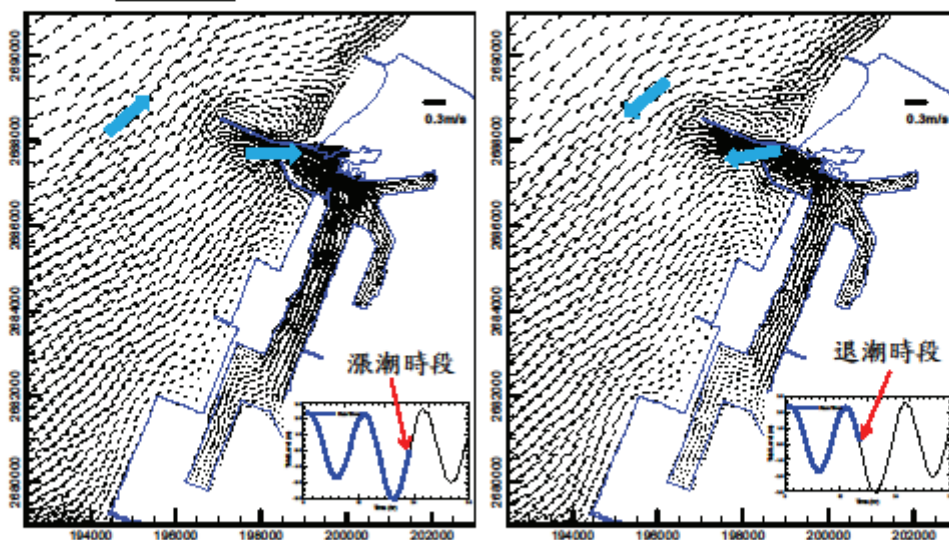


(d) 模式驗證

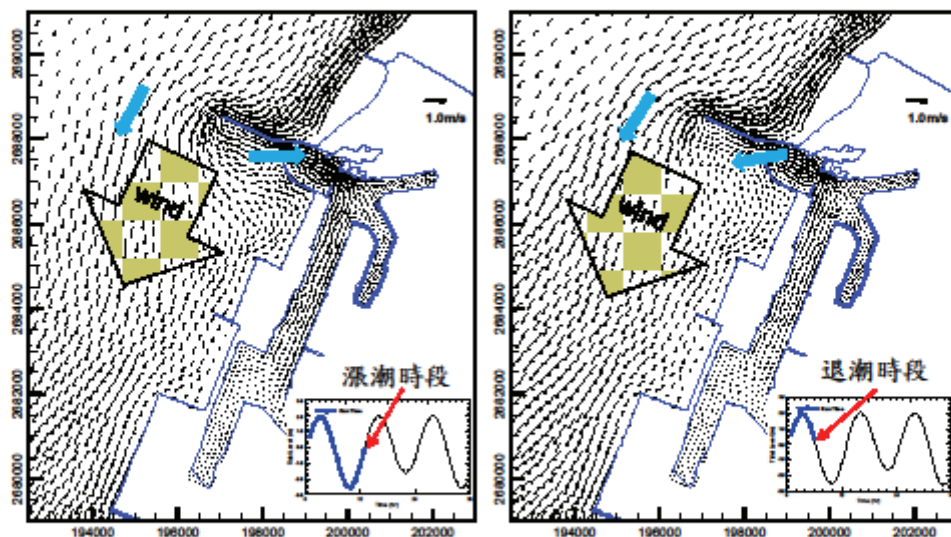


(e) 流況模擬結果

(1) 無風場效應之流況模擬結果



(2)有風場效應之流況模擬結果(風速：12m/s，風向：北北東)



11

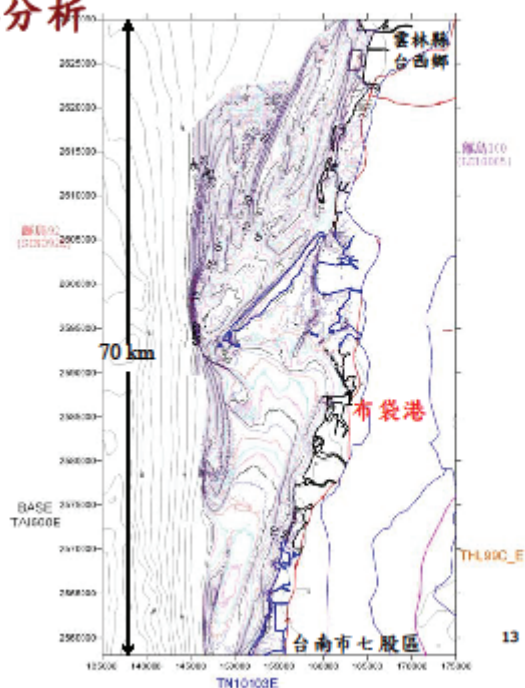
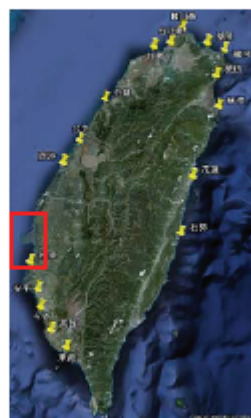
2. 布袋港水位與潮流模擬

- (a) 布袋港基本資料蒐集與分析
- (b) 地形與計算格網之建立
- (c) 邊界條件之建立
- (d) 模式驗證
- (e) 流況模擬結果

12

(a) 基本資料蒐集與分析

(1) 地形水深資料



13

(2) 潮汐水位資料

2011年分析結果

潮位站	箔仔寮	將軍
O ₁	0.1907	0.1805
K ₁	0.2261	0.2077
M ₂	1.0556	0.5169
S ₂	0.2780	0.1123
潮型指標	0.313	0.617
潮型	半日潮	混合潮

分析結果供計算模式邊界條件

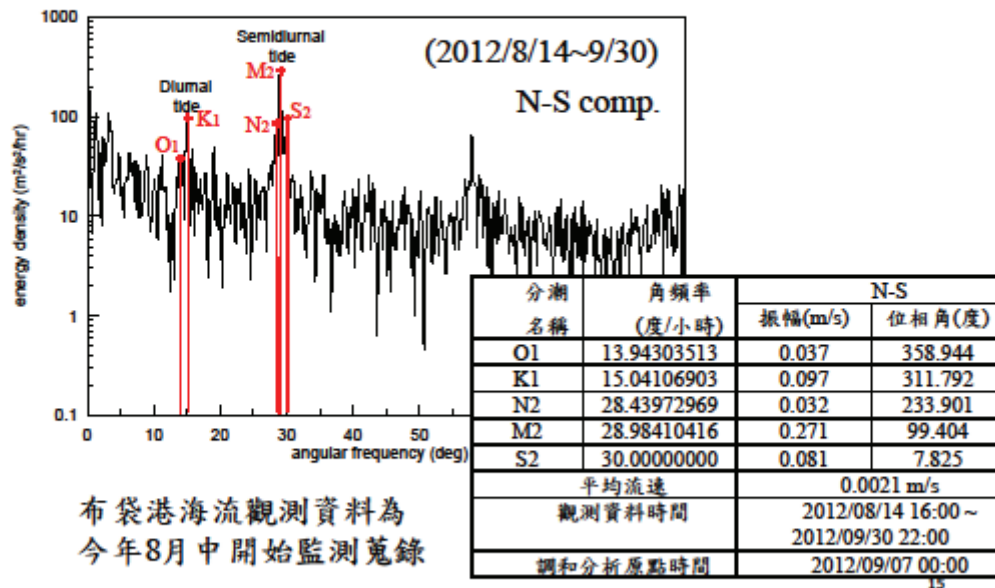
各分潮振幅單位為 m

潮型指標 = $(O_1 + K_1) / (M_2 + S_2)$

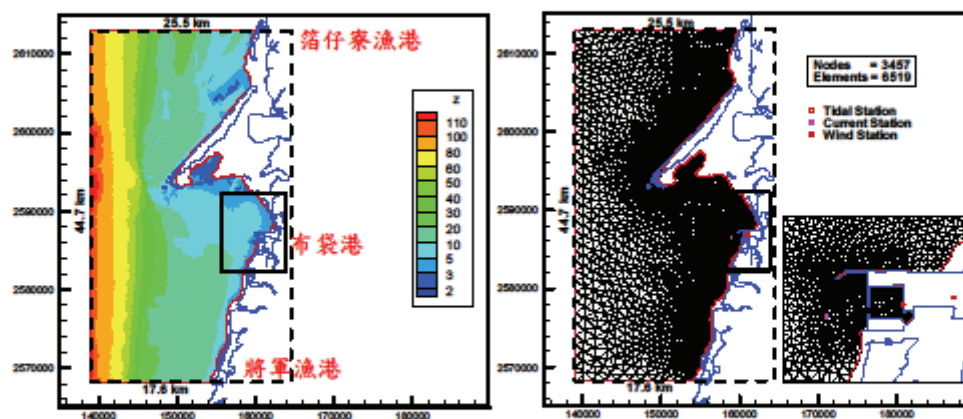


14

(3)海流資料—布袋港海流觀測資料分析結果



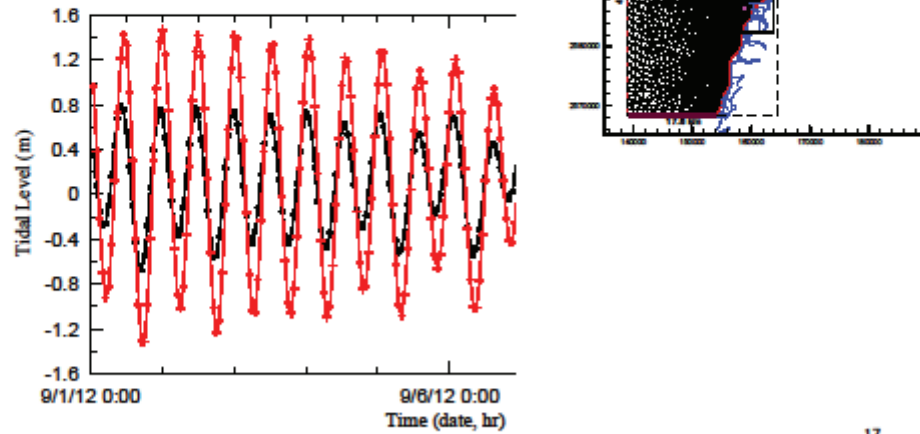
(b) 布袋港域地形與計算格網



(c) 布袋港水動力模式邊界條件

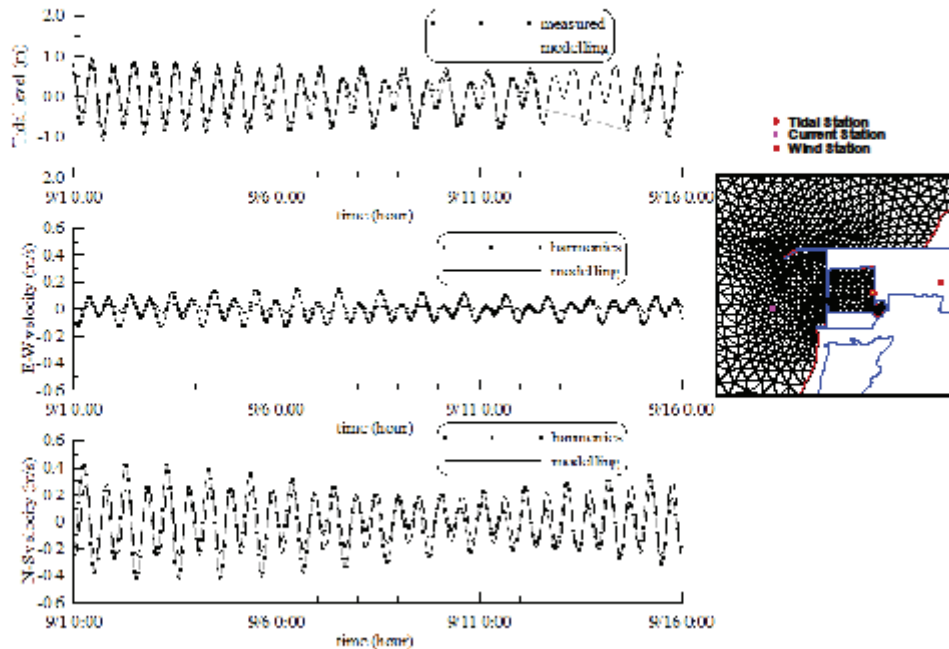
(潮位調和分析結果所推算)

南、北開放邊界之水位邊界條件時序圖
(2012/9/1~9/10)

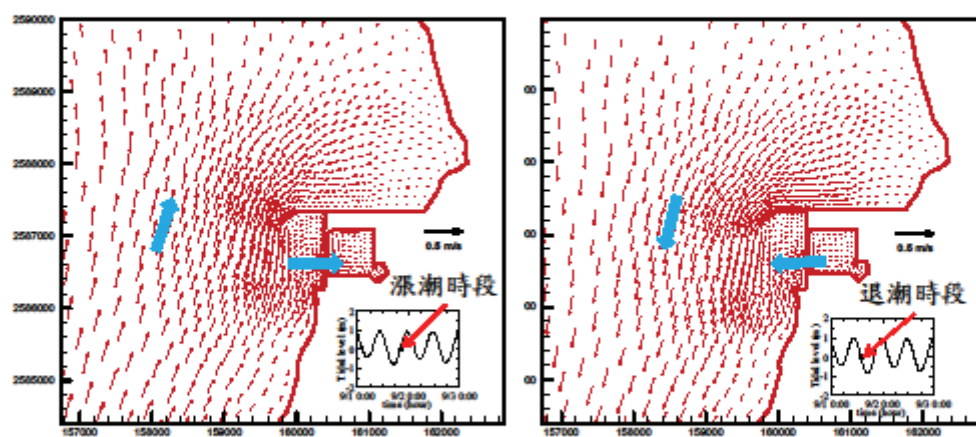


17

(d) 模式驗證



(e) 流況模擬結果



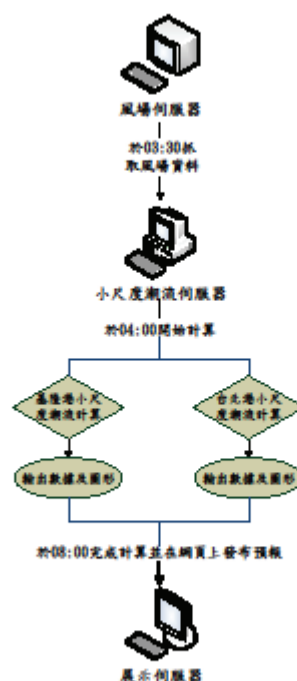
19

3. 潮流模擬作業化預測評估

(a) 作業化流程

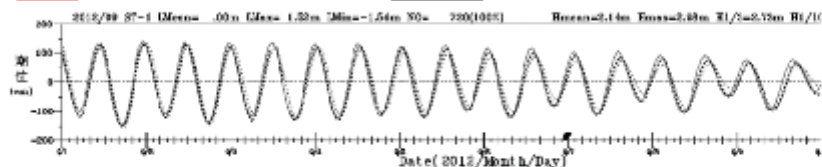
- 1) 每日由電腦自動於早上3:30分接收風場資料。
- 2) 早上4點開始計算昨天、今天、明天共3天的數據(臺北港計算時間約1.5~2小時，基隆計算時間約3~4小時)。
- 3) 由於每日計算時間不固定，所以伺服器統一於早上8點抓取計算結果(包含圖和數據)。
- 4) 每天保留當日的數據共24筆資料，於日後每月統計圖表用。

- 現在目前都是熱啟動，只有剛上線的第一次計算時是用冷啟動。
- 目前臺北港和基隆港小尺度潮流子系統均已上線。

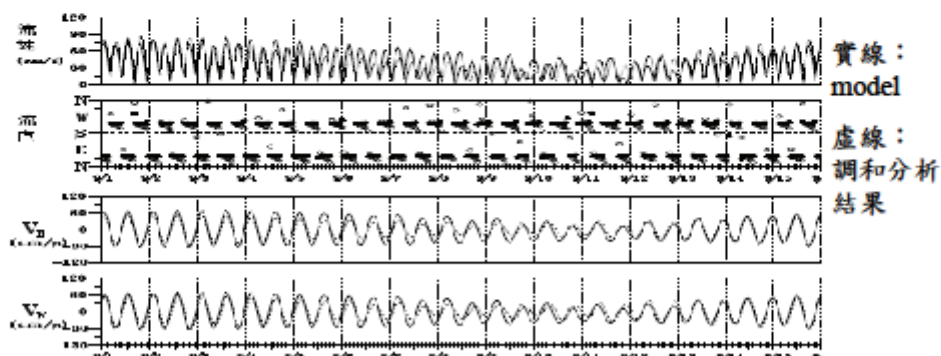


(b) 作業化成果-圖形

水位觀測資料與預報結果(以臺北港2012年9月為例)



流速觀測資料調和分析結果與預報結果(以臺北港2012年9月為例)



(b) 作業化成果-統計報表 (以臺北港2012年9月為例)

預測與觀測**潮位**偏差(資料蒐集率)統計表

2012年月份	方法	臺北港
9	平均偏差	.00 (99.4%)
	標準偏差	.28 (99.4%)
	最大偏差	-.71 (99.4%)

單位: m

偏差 = 預報值 - 觀測值

預測與觀測**海流**流速偏差(資料蒐集率)統計表

2012年月份	方法	臺北港
9	平均偏差	-3.2 (99.4%)
	標準偏差	18.9 (99.4%)
	最大偏差	-55.7 (99.4%)
	平均比值	1.2 (99.4%)

單位: cm/s

偏差 = 預報值 - 觀測值

比值 = 預報值 ÷ 觀測值

預測與觀測**海流**流向偏差(%)統計表

2012年月份	方法	臺北港
9	平均偏差	31.8 (99.4%)
	標準偏差	51.2 (99.4%)
	最大偏差	177.9 (99.4%)

單位: 度

偏差 = 預報值 - 觀測值

偏差大小範圍為0-180度

三、總結

本年度針對臺中港與布袋港潮汐流場進行模擬改進，以及基隆港與臺北港子系統之預測評估。

1. **資料蒐集與分析**：包括各港域附近驗潮站近年之潮位記錄、臺中港與布袋港之海流觀測資料，以及臺中港與布袋港地形水深資料更新。
2. **臺中港與布袋港潮流模式**：有限元素格網及邊界條件之建立、模式驗證，以及流況模擬。
3. **模式預測結果評估**：臺北港預測及觀測之水位、流速、流向時序變化圖，以及偏差統計表。