

103-10-7725  
MOTC-IOT-102-H3DB001a

# 提昇海岸及港灣海域海象模擬 技術之研究(1/2)



交通部運輸研究所

中華民國 103 年 3 月

103-10-7725  
MOTC-IOT-102-H3DB001a

# 提昇海岸及港灣海域海象模擬 技術之研究(1/2)

著 者：劉正琪、邱永芳、李兆芳、蘇青和  
陳明宗、李俊穎、涂力夫、鄭博今

交通部運輸研究所

中華民國 103 年 3 月



提昇海岸及港灣海域海象模擬技術之研究  
(1/2)

交通部運輸研究所

GPN: 1010300183  
定價 350 元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

提昇海岸及港灣海域海象模擬技術之研究. (1/2) /  
劉正琪等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運研所，  
民 103.03  
面；公分  
ISBN 978-986-04-0453-1(平裝)

1.海洋氣象 2.港埠資訊查詢系統

444.94

103002091

提昇海岸及港灣海域海象模擬技術之研究(1/2)

著者：劉正琪、邱永芳、李兆芳、蘇青和、陳明宗、李俊穎  
涂力夫、鄭博今

出版機關：交通部運輸研究所

地址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)

電話：(04)26587176

出版年月：中華民國 103 年 3 月

印刷者：

版(刷)次冊數：初版一刷 75 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站

定價：350 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02)25781515

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

GPN：1010300183

ISBN：978-986-04-0453-1 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

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

## 交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

|  |  |                                     |  |
|--|--|-------------------------------------|--|
| 出版品名稱：提昇海岸及港灣海域海象模擬技術之研究(1/2)  |  |                                     |  |
| 國際標準書號<br>ISBN978-986-04-0453-1<br>(平裝)  | 政府出版品統一編號<br>1010300183  | 運輸研究所出版品編號<br>103-10-7725           | 計畫編號<br>102-H3DB001a   |
| 本所主辦單位：港研中心<br>主管：邱永芳<br>計畫主持人：邱永芳<br>研究人員：蘇青和、陳明宗、李俊穎<br>參與人員：錢爾潔、陳正義、馬維倫、張麗瓊<br>聯絡電話：04-26587120<br>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<br>計畫主持人：劉正琪<br>協同主持人：李兆芳<br>研究人員：涂力夫、林鼎傑、鄭博今、陳信宏<br>地址：701 臺南市東區大學路 1 號<br>聯絡電話：06-2371938 轉 422 | 研究期間<br>自 102 年 2 月<br>至 102 年 12 月 |  |
| 關鍵詞：臺灣近岸海象數值模擬系統、安平港、高雄港、波浪、水位、流場  |  |                                     |  |
| 摘要：<br><p>本年度計畫主要以高雄港域及安平港域為研究對象，分別針對波浪、水位及流場等海象作業化預報模擬技術改善進行相關研究，並分析高雄港域及安平港域波浪、水位及流場等海象模擬結果之特性，協助港灣技術研究中心建置高雄港域及安平港域海象模擬預警子系統、執行本年度 TaiCOMS 之預報模擬作業化成果評估以及作業系統之維護、軟硬體之更新測試等相關工作。</p> <p>本年度研究針對海象模擬作業系統則著手於以第四代天氣預報系統 WRF 風壓場資料取代目前 NFS 風壓場資料研究，不僅達到提昇 TaiCOMS 數值預報風壓場資料精確性，亦將有助於未來改善作業系統海象(如風浪及暴潮)模擬結果準確性。在港區小尺度近岸波浪場模擬方面，除了針對安平港進行小尺度網格改善外，偏重於中尺度網格風浪模擬結果與小尺度網格波浪場模擬條件銜接問題研究，改善兩者之垂直整合問題。另在細尺度港域波浪模擬則著重於模式在雙開口港池波浪場模擬之應用研究，並針對安平港與安平漁港雙開口港池建置有限元素計算網格模擬波浪場變化情形。</p> <p>在水位及流場模擬研究則分為中尺度有限元素網格之天文潮模擬以及含氣象潮(暴潮)之水位變化模擬，以及針對安平港區及高雄港區小尺度有限元素網格水位及流場模擬等兩部份。前者天文潮水位變化模擬經安平港及高雄港潮位驗證具有較佳的模擬預測值，但對於暴潮水位偏差模擬分析結果則仍有改善空間；後者針對安平港海域水位及流場模擬結果較具改善成效，但針對高雄港海域潮流則建議後續持續改進研究。</p> <p>本研究成果效益為建置足以模擬高雄港域及安平港域波浪、水位及流場之數值模式，同時提出模擬結果特性。研究成果可提供港灣技術研究中心以及各港務分公司進行高雄港域及安平港域海象預報模擬。</p> |  |                                     |  |
| 出版日期   | 頁數   | 定價                                  | 本 出 版 品 取 得 方 式  |
| 103 年 3 月  | 448  | 350                                 | 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：<br><input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密<br>(解密條件： <input type="checkbox"/> 年 <input type="checkbox"/> 月 <input type="checkbox"/> 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密，<br><input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密)<br><input checked="" type="checkbox"/> 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**

|  |   |   |   |
|--|---|---|---|
| <b>TITLE: Enhancement of marine meteorology simulation technology on coastal and harbor areas (1/2)</b>  |   |   |   |
| <b>ISBN</b><br>978-986-04-0453-1 (pbk)   | <b>GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER</b><br>1010300183 | <b>IOT SERIAL NUMBER</b><br>103-10-7725 | <b>PROJECT NUMBER</b><br>102-H3DB001a   |
| DIVISION: Harbor & Marine Technology Center<br>DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang<br>PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiu Yung-fang<br>PROJECT STAFF: Su Ching-ho, Chen Ming-tzong, Lee Chun-ting<br>PHONE: (04) 26587115<br>FAX: (04) 26564418   |   |   | <b>PROJECT PERIOD</b><br><br>FROM February 2013<br><br>TO December 2013   |
| RESEARCH AGENCY: NCKU Research and Development Foundation<br>PRINCIPAL INVESTIGATOR: Liu Cheng-Chi<br>CO-PROJECT INVESTIGATOR: Lee Jaw-fang<br>PROJECT STAFF: Tu Lih-fu, Lin Ting-chieh, Cheng Po-chin<br>ADDRESS: NO.1, University Road, Tainan, Taiwan 701, R.O.C.<br>PHONE: (06) 2371938 ext.422  |   |   |   |
| <b>KEY WORDS: TaiCOMS, Anping Harbor, Kaohsiung Harbor, Water Level, Flow</b>  |   |   |   |
| <b>ABSTRACT:</b><br><br><p>The objects of the project in this year are mainly on Kaohsiung Harbor and Anping Harbor. The related jobs include improving techniques of operative forecasting on wave, water level and flow field, analyzing the characteristics of simulating marine meteorology, and assessing the operating results of forecasting of TaiCOMS and maintenance of operating system as well as updating of software and hardware.</p> <p>The wind/pressure data from the forth-generation meteorology forecasting system “WRF” is investigated instead of “NFS”, which not only enhances the accuracy of forecasting wind/pressure data of TaiCOMS, but also improves the accuracy of the marine meteorology simulation results. In the small-scale nearshore wave study, in addition to improvement of small-scale mesh for Anping Harbor and Kaohsiung Harbor, the matching problem between the results of wind wave simulation of medium-scale mesh and the simulating condition of small-scale mesh is studied. In wave simulation of fine-scale harbor area, the resonance phenomenon of Anping Harbor with two openings is studied, and the wave models for both harbors of Kaohsiung Harbor are developed and used to simulate wave field.</p> <p>Research of hydrodynamic simulation can be divided into astronomical tide simulation of medium-scale mesh with water level simulation including storm surge and improvement of water level and flow field simulation of small-scale mesh for Anping and Kaohsiung harbors. The former is verified to present better forecasting in water level simulation, but the simulating results of water level deviation arisen from storm surge need to be improved. The latter presents efficient improvement of simulation result for the sea area of Anping Harbor, but controlling of tidal flow situation of Kaohsiung Harbor is not enough and needs to keep improving.</p> <p>Benefits obtained from this research include establishment of numerical models of waves, water elevations, and flow fields, and characteristics of simulation results. The present research results can provide Harbor &amp; Marine Technology Center and Ports Corporation Company for sea climate forecasting simulation for Kaohsiung and Anping Harbors.</p> |   |   |   |
| <b>DATE OF PUBLICATION</b><br>March 2014   | <b>NUMBER OF PAGES</b><br>448                       | <b>PRICE</b><br>350                     | <b>CLASSIFICATION</b><br><input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL<br><input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET<br><input checked="" type="checkbox"/> 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海象模擬技術之研究(1/2)

## 目 錄

|                            |      |
|----------------------------|------|
| 中文摘要表 .....                | I    |
| 英文摘要表 .....                | II   |
| 目 錄 .....                  | III  |
| 表目錄 .....                  | VI   |
| 圖目錄 .....                  | IX   |
| 第一章 緒論 .....               | 1-1  |
| 1.1 計畫緣起 .....             | 1-1  |
| 1.2 本年度主要工作項目 .....        | 1-2  |
| 1.3 報告內容架構 .....           | 1-3  |
| 第二章 基本資料蒐集與分析 .....        | 2-1  |
| 2.1 港區簡介 .....             | 2-1  |
| 2.2 水深資料 .....             | 2-4  |
| 2.3 潮汐資料 .....             | 2-11 |
| 2.4 海流資料 .....             | 2-24 |
| 2.5 波浪資料 .....             | 2-35 |
| 2.6 風場 .....               | 2-38 |
| 第三章 波浪模擬與探討 .....          | 3-1  |
| 3.1 TaiCOMS 波浪模擬架構說明 ..... | 3-1  |
| 3.2 風浪作業化模擬研究 .....        | 3-22 |
| 3.3 港區近岸波浪場模擬研究 .....      | 3-37 |

|                                 |      |
|---------------------------------|------|
| 3.4 細尺度港域波浪場模擬研究.....           | 3-46 |
| 第四章 水動力(水位及流場)模擬與探討.....        | 4-1  |
| 4.1 水動力模式基本理論介紹.....            | 4-1  |
| 4.2 臺灣周圍海域暴潮模擬與探討.....          | 4-11 |
| 4.3 小尺度安平港區水動力模組改善研究.....       | 4-49 |
| 4.4 小尺度高雄港區水動力模組改善研究.....       | 4-65 |
| 第五章 海象作業化預報成果評估.....            | 5-1  |
| 5.1 風場評估.....                   | 5-1  |
| 5.2 風浪模擬成果評估.....               | 5-4  |
| 5.3 水位模擬成果評估.....               | 5-9  |
| 5.4 流場模擬成果評估.....               | 5-10 |
| 5.5 颱風時期模擬成果評估.....             | 5-13 |
| 第六章 結論與建議.....                  | 6-1  |
| 6.1 結論.....                     | 6-1  |
| 6.2 建議.....                     | 6-2  |
| 參考文獻.....                       | 參-1  |
| 附錄一 中央氣象局安平港及高雄港潮位觀測資料圖.....    | 附1-1 |
| 附錄二 安平港及高雄港潮位觀測資料與天文潮預測值之比較 ... | 附2-1 |
| 附錄三 2012年安平港及高雄港海流觀測資料.....     | 附3-1 |
| 附錄四 2012年安平港及高雄港波浪觀測資料.....     | 附4-1 |
| 附錄五 2012年安平港及高雄港風速及風向觀測資料.....  | 附5-1 |
| 附錄六 2013年安平港預報風場與觀測比較圖.....     | 附6-1 |
| 附錄七 2013年高雄港預報風場與觀測比較圖.....     | 附7-1 |
| 附錄八 2013年安平港風浪模式與觀測之比較.....     | 附8-1 |

|      |  |       |
|------|--|-------|
| 附錄九  | 2013年高雄港風浪模式與觀測之比較.....                | 附9-1  |
| 附錄十  | 2013年颱風時期安平港及高雄港模式預報風浪與觀測<br>值之比較..... | 附10-1 |
| 附錄十一 | 期中報告審查意見處理情形表.....                     | 附11-1 |
| 附錄十二 | 期末報告審查意見處理情形表.....                     | 附12-1 |
| 附錄十三 | 期末簡報資料.....                            | 附13-1 |
| 附錄十四 | 教育訓練簡報資料.....                          | 附14-1 |

## 表目錄

|       |                                   |      |
|-------|-----------------------------------|------|
| 表2-1  | 安平港驗潮站2008～2010年潮汐資料調和分析成果表 ..... | 2-15 |
| 表2-2  | 安平港潮位觀測資料與天文潮預測值誤差分析成果表 .....     | 2-15 |
| 表2-3  | 高雄港驗潮站2010～2012年潮汐資料調和分析成果表 ..... | 2-22 |
| 表2-4  | 高雄港潮位觀測資料與天文潮預測值誤差分析成果表 .....     | 2-22 |
| 表2-5  | 安平港海流觀測資料潮流調和分析成果表.....           | 2-26 |
| 表2-5  | (續)安平港海流觀測資料潮流調和分析成果表.....        | 2-26 |
| 表2-6  | 高雄港海流觀測資料潮流調和分析成果表.....           | 2-29 |
| 表2-6  | (續1)高雄港海流觀測資料潮流調和分析成果表 .....      | 2-29 |
| 表2-6  | (續2)高雄港海流觀測資料潮流調和分析成果表 .....      | 2-30 |
| 表2-6  | (續3)高雄港海流觀測資料潮流調和分析成果表 .....      | 2-30 |
| 表2-6  | (續4)高雄港海流觀測資料潮流調和分析成果表 .....      | 2-30 |
| 表2-6  | (續5)高雄港海流觀測資料潮流調和分析成果表 .....      | 2-31 |
| 表2-7  | 2012年安平港海域示性波高分布統計表.....          | 2-36 |
| 表2-8  | 2012年安平港海域平均波向分布統計表.....          | 2-37 |
| 表2-9  | 2012年高雄港海域示性波高分布統計表.....          | 2-37 |
| 表2-10 | 2012年高雄港海域平均波向分布統計表.....          | 2-37 |
| 表2-11 | 2012年侵臺颱風相關資訊.....                | 2-40 |
| 表2-12 | 歷年(1897～2012年)各月侵臺颱風之次數及頻率統計表...  | 2-40 |
| 表2-13 | 中央氣象局風場NFS風場資料格式 .....            | 2-41 |
| 表2-14 | 中央氣象局風場WRF風場資料格式 .....            | 2-41 |
| 表2-15 | 作業系統內輸出風場資料格式.....                | 2-42 |
| 表3-1  | TaiCOMS各波浪數值模組之特性綜整表 .....        | 3-5  |
| 表3-1  | (續)TaiCOMS各波浪數值模組之特性綜整表 .....     | 3-6  |
| 表5-1  | 2013年安平港與高雄港預報及觀測風場平均風速統計表 ...    | 5-2  |



|       |   |      |
|-------|---|------|
| 表5-2  | 2013年安平港與高雄港預報及觀測風場最大風速風向統計表.....         | 5-3  |
| 表5-3  | 2013年安平港與高雄港預報及觀測風場主要風向百分比統計表.....        | 5-3  |
| 表5-4  | 2013年安平港與高雄港預報及觀測風浪示性波高平均值統計表.....        | 5-5  |
| 表5-5  | 2013年安平港與高雄港預報及觀測風浪示性波高最大值(方向、週期)統計表..... | 5-6  |
| 表5-6  | 2013年安平港與高雄港預報及觀測風浪示性週期平均值統計表.....        | 5-6  |
| 表5-7  | 2013年安平港與高雄港預報及觀測風浪示性週期最大值(方向、波高)統計表..... | 5-7  |
| 表5-8  | 2013年安平港與高雄港預報及觀測風浪主要波高(百分比)統計表.....      | 5-7  |
| 表5-9  | 2013年安平港與高雄港預報及觀測風浪主要週期(百分比)統計表.....      | 5-8  |
| 表5-10 | 2013年安平港與高雄港預報及觀測風浪主要波向(百分比)統計表.....      | 5-8  |
| 表5-11 | 2013年基隆及臺北港觀測1站及小尺度預報水位偏差統計表.....         | 5-9  |
| 表5-12 | 2013年基隆及臺北港觀測及小尺度預報流速偏差統計表.....           | 5-11 |
| 表5-13 | 2013年基隆及臺北港觀測及小尺度預報流向偏差統計表.....           | 5-12 |
| 表5-14 | 2013年颱風期間安平港與高雄港觀測及SWAN預報示性波高各種偏差統計表..... | 5-14 |
| 表5-15 | 2013年颱風期間安平港與高雄港觀測及SWAN預報波向各種偏差統計表.....   | 5-15 |

|       |   |      |
|-------|---|------|
| 表5-16 | 2013年颱風期間安平港與高雄港觀測及SWAN預報示<br>性週期各種偏差統計表..... | 5-16 |
| 表5-17 | 2013年颱風期間安平港與高雄港觀測及WAM預報示<br>性波高各種偏差統計表.....  | 5-17 |
| 表5-18 | 2013年颱風期間安平港與高雄港觀測及WAM預報波<br>向各種偏差統計表.....    | 5-18 |
| 表5-19 | 2013年颱風期間安平港與高雄港觀測及WAM預報示<br>性週期各種偏差統計表.....  | 5-19 |
| 表5-20 | 2013年颱風期間安平港與高雄港觀測1站及中尺度預<br>報水位偏差統計表.....    | 5-20 |
| 表5-21 | 2013年颱風期間安平港與高雄港觀測及中尺度預報流<br>速偏差統計表.....      | 5-21 |
| 表5-22 | 2013年颱風期間安平港與高雄港觀測及中尺度預報流<br>向偏差統計表.....      | 5-22 |

## 圖目錄

|       |   |      |
|-------|---|------|
| 圖2.1  | 安平港港區規劃平面圖(下載自高雄港務安平分公司網站).....                     | 2-2  |
| 圖2.2  | 安平漁港舊港口重建計畫開發範圍(摘自安平漁港舊港口重建計畫開發計畫變更環境影響差異分析報告)..... | 2-2  |
| 圖2.3  | 高雄港港區範圍平面圖(下載自高雄港務分公司資訊網站).....                     | 2-3  |
| 圖2.4  | 安平港港區101年度水深測量點位分布圖.....                            | 2-4  |
| 圖2.5  | 高雄港港區101年度水深測量點位分布圖.....                            | 2-5  |
| 圖2.6  | 安平港及附近海域水深圖.....                                    | 2-6  |
| 圖2.7  | 安平港港區101年度水深調查之水深分布圖.....                           | 2-7  |
| 圖2.8  | 安平港港區近岸水動力模組模擬範圍及水深分布圖.....                         | 2-8  |
| 圖2.9  | 高雄港港區101年度水深調查之水深分布圖.....                           | 2-9  |
| 圖2.9  | (續)高雄港港區101年度水深調查之水深分布圖.....                        | 2-10 |
| 圖2.10 | 高雄港港區近岸水動力模組模擬範圍及水深分布圖.....                         | 2-11 |
| 圖2.11 | 本年度潮位資料蒐集相關潮位站位置示意圖.....                            | 2-12 |
| 圖2.12 | 安平港潮位站代表性潮位逐月統計值之變化情形圖.....                         | 2-16 |
| 圖2.13 | 安平港潮位頻譜分析結果與各分潮頻率對應關係圖.....                         | 2-16 |
| 圖2.14 | 安平港潮位調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖.....                          | 2-17 |
| 圖2.15 | 安平港2012年潮位觀測資料之時序列圖.....                            | 2-18 |
| 圖2.15 | (續)安平港2012年潮位觀測資料之時序列圖.....                         | 2-19 |
| 圖2.16 | 高雄港2010~2012年主要代表性潮位逐月統計值圖.....                     | 2-23 |
| 圖2.17 | 高雄港潮位頻譜分析結果與各分潮頻率對應關係圖.....                         | 2-23 |
| 圖2.18 | 高雄港潮位調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖.....                          | 2-24 |
| 圖2.19 | 港灣技術研究中心安平港港區海象資料測站位置示意圖.....                       | 2-26 |

|       |  |      |
|-------|--|------|
| 圖2.20 | 安平港海流觀測資料E-W及N-S方向速度能譜圖<br>(2012/04/01~2012/05/20) ..... | 2-27 |
| 圖2.21 | 安平港海流觀測資料E-W及N-S方向速度能譜圖<br>(2012/08/16~2012/09/26) ..... | 2-27 |
| 圖2.22 | 港灣技術研究中心高雄港區海象資料測站位置示意圖 .....                            | 2-28 |
| 圖2.23 | 高雄港海流觀測資料E-W及N-S方向速度能譜圖(資料<br>時間：2012/01/01~1/31).....   | 2-31 |
| 圖2.24 | 高雄港海流觀測資料E-W及N-S方向速度能譜圖(資料<br>時間：2012/02/01~02/29).....  | 2-32 |
| 圖2.25 | 高雄港海流觀測資料E-W及N-S方向速度能譜圖(資料<br>時間：2012/03/01~03/31).....  | 2-32 |
| 圖2.26 | 高雄港海流觀測資料E-W及N-S方向速度能譜圖(資料<br>時間：2012/05/01~05/31).....  | 2-33 |
| 圖2.27 | 高雄港海流觀測資料E-W及N-S方向速度能譜圖(資料<br>時間：2012/09/05~09/30).....  | 2-33 |
| 圖2.28 | 高雄港海流觀測資料E-W及N-S方向速度能譜圖(資料<br>時間：2012/10/01~10/31).....  | 2-34 |
| 圖2.29 | 高雄港海流觀測資料E-W及N-S方向速度能譜圖(資料<br>時間：2012/11/01~11/30).....  | 2-34 |
| 圖2.30 | 2012年中央氣象局發布侵臺颱風之行進路徑圖 .....                             | 2-42 |
| 圖2.31 | 侵襲臺灣之颱風路徑統計圖(1897~2012).....                             | 2-43 |
| 圖2.32 | 中央氣象局風場NFS及WRF風場資料範圍圖 .....                              | 2-44 |
| 圖2.33 | MC及WA02風場輸出範圍圖 .....                                     | 2-44 |
| 圖2.34 | WA03風場輸出範圍圖 .....  | 2-45 |
| 圖3.1  | 大尺度西太平洋風浪模組之模擬範圍 .....                                   | 3-7  |
| 圖3.2  | 中尺度臺灣近岸海域風浪模組之模擬範圍 .....                                 | 3-7  |
| 圖3.3  | 國內七大港口地理位置及及小尺度港區近岸波浪模組<br>模擬範圍 .....                    | 3-8  |

|       |  |      |
|-------|--|------|
| 圖3.4  | 臺灣近岸海象數值模擬系統波浪模擬線上作業流程 .....                                       | 3-9  |
| 圖3.5  | TaiCOMS每日線上作業程式模擬時間示意圖 .....                                       | 3-10 |
| 圖3.6  | 波浪能量由高頻向低頻傳遞之示意圖 .....   | 3-14 |
| 圖3.7  | REF/DIF-1數值計算網格座標系統示意圖 .....                                       | 3-18 |
| 圖3.8  | 港域波浪模式計算領域示意圖 .....  | 3-21 |
| 圖3.9  | TaiCOMS波浪模擬大、中及小尺度網格模組關係示意圖 .....                                  | 3-23 |
| 圖3.10 | 大尺度西太平洋範圍風浪模組之模式操作流程圖 .....  | 3-30 |
| 圖3.11 | 大尺度網格風浪模擬結果之平均週期 $T_m$ (圓圈)及 $T_{m02}$ (三角形)與觀測波浪平均週期(圓點)之比較 ..... | 3-30 |
| 圖3.12 | 大尺度西太平洋範圍風浪模組波譜模擬結果輸出點位示意圖 .....                                   | 3-31 |
| 圖3.13 | 輕度颱風泰利侵臺期間大尺度網格分別以RC及MC風場模擬風浪之示性波高與觀測值比較圖 .....                    | 3-32 |
| 圖3.14 | 中度颱風蘇拉侵臺期間大尺度網格分別以RC及MC風場模擬風浪之示性波高與觀測值比較圖 .....                    | 3-32 |
| 圖3.14 | (續)中度颱風蘇拉侵臺期間大尺度網格分別以RC及MC風場模擬風浪之示性波高與觀測值比較圖 .....                 | 3-33 |
| 圖3.15 | 中尺度臺灣周圍海域風浪模組更新後之模擬範圍圖 .....                                       | 3-33 |
| 圖3.16 | 平行化處理下系統SWAN之運算時間與CPU數目關係圖 .....                                   | 3-34 |
| 圖3.17 | 風浪波高模擬值與觀測值間絕對誤差值之逐時變化分布圖 .....                                    | 3-34 |
| 圖3.18 | 波高模擬值與觀測值之絕對誤差與觀測值之比值逐時變化分布圖 .....                                 | 3-35 |
| 圖3.19 | 波高模擬值與觀測值間絕對誤差與觀測值之比值日平均變化分布圖 .....                                | 3-35 |
| 圖3.20 | 波高模擬值與觀測值間標準偏差逐日變化分布圖 .....  | 3-36 |

|       |   |      |
|-------|---|------|
| 圖3.21 | 波高模擬值與觀測值間相關係數逐日變化分布圖.....  | 3-36 |
| 圖3.22 | 安平港小尺度港區近岸波浪模組之模擬範圍圖.....   | 3-39 |
| 圖3.23 | 安平港港區近岸波浪模組小尺度參考網格及地形水深<br>分布圖.....   | 3-40 |
| 圖3.24 | 本計畫安平港港區近岸波浪模組擴大模擬範圍圖.....  | 3-40 |
| 圖3.25 | 本計畫安平港新建小尺度參考網格及地形水深分布圖.....  | 3-41 |
| 圖3.26 | 安平港小尺度波浪場模擬結果，觀測點位O之波高模擬<br>值(縱座標)與觀測值(橫座標)之對應比較圖.....                                      | 3-41 |
| 圖3.27 | 波高條件校正之安平港波浪場模擬結果，觀測點位O<br>之波高模擬值(縱座標)與觀測值(橫座標)之對應比較<br>圖.....                              | 3-42 |
| 圖3.28 | 安平港小尺度網格波浪場模擬結果之波高分布圖<br>( $H=2.45\text{m}$ ， $T=9.6\text{sec}$ ， $\theta=210^\circ$ )..... | 3-42 |
| 圖3.29 | 安平港小尺度網格波浪場模擬結果之波高分布圖<br>( $H=1.96\text{m}$ ， $T=6.3\text{sec}$ ， $\theta=270^\circ$ )..... | 3-43 |
| 圖3.30 | 安平港小尺度網格邊界與中尺度網格點之對應圖.....  | 3-43 |
| 圖3.31 | 高雄港小尺度港區近岸波浪模組之模擬範圍圖.....   | 3-45 |
| 圖3.32 | 高雄港小尺度網格之參考網格及地形水深分布圖.....  | 3-45 |
| 圖3.33 | 雙港口耦合問題及相關參數示意圖.....  | 3-48 |
| 圖3.34 | 本計畫雙港口波浪場數值計算有限元素網格配置圖.....   | 3-49 |
| 圖3.35 | 長矩形港池(#1)之波浪放大率與無因次參數( $k_1$ )之關<br>係圖.....   | 3-49 |
| 圖3.36 | 短矩形港池(#2)之波浪放大率與無因次參數( $k_1$ )之關<br>係圖.....   | 3-50 |
| 圖3.37 | 波浪週期600 sec波浪場模擬結果之波高分布情形圖.....   | 3-51 |
| 圖3.38 | 波浪週期320 sec波浪場模擬結果之波高分布情形圖.....   | 3-52 |
| 圖3.39 | 安平港區港域波浪模組之模擬範圍及水深分布情形圖.....  | 3-54 |

|       |   |      |
|-------|---|------|
| 圖3.40 | 安平港區港域波浪模組更新後之模擬範圍圖.....                          | 3-54 |
| 圖3.41 | 安平港區港域波浪模組更新後之粗網格配置及水深分布情形圖 .....                 | 3-55 |
| 圖3.42 | 安平港區港域波浪模擬結果之波高檢核點位置示意圖 .....                     | 3-57 |
| 圖3.43 | 安平港區港域波浪模擬結果之波高檢核點位置示意圖 .....                     | 3-58 |
| 圖3.44 | 安平港區港域波浪模擬結果之波高檢核點位置示意圖 .....                     | 3-58 |
| 圖3.45 | 安平港區港域波浪模擬結果之波高分布情形(週期20 sec) .....               | 3-59 |
| 圖3.46 | 安平港區港域波浪模擬結果之波高分布情形(週期25 sec) .....               | 3-60 |
| 圖3.47 | 安平港區港域波浪模擬結果之波高分布情形(週期30 sec) .....               | 3-61 |
| 圖3.48 | 高雄港港區範圍影像圖 .....                                  | 3-63 |
| 圖3.49 | 高雄港區港域波浪模組一港口及二港口模擬範圍圖 .....                      | 3-64 |
| 圖3.50 | 高雄港區一港口港域波浪模之粗網格配置圖.....                          | 3-65 |
| 圖3.51 | 高雄港區二港口港域波浪模之粗網格配置圖.....                          | 3-65 |
| 圖3.52 | 高雄港區一港口港域波浪模擬結果之波高KD值分布情形(波浪條件：週期10 sec，波向W)..... | 3-67 |
| 圖3.53 | 高雄港區二港口港域波浪模擬結果之波高KD值分布情形(波浪條件：週期10 sec，波向W)..... | 3-67 |
| 圖4.1  | 三角形元素座標定義.....                                    | 4-5  |
| 圖4.2  | 臺灣周圍海域暴潮模組之模擬範圍.....                              | 4-13 |
| 圖4.3  | 臺灣周圍海域暴潮模組2012版網格三角形元素網格分布圖 .....                 | 4-14 |
| 圖4.4  | 臺灣周圍海域暴潮模組之地形水深分布圖.....                           | 4-14 |
| 圖4.5  | 模式網格修正前安平至高雄海域間三角形元素分布圖 .....                     | 4-15 |
| 圖4.6  | 模式網格修正後安平至高雄海域間三角形元素分布圖 .....                     | 4-15 |

|       |                                      |      |
|-------|--------------------------------------|------|
| 圖4.7  | 臺灣周圍海域暴潮模組有限元素網格更新後三角形元素分布圖 .....    | 4-16 |
| 圖4.8  | 臺灣周圍海域暴潮模組採用的天文潮邊界條件時序圖 .....        | 4-17 |
| 圖4.9  | 安平港區天文潮位模式模擬結果之比較圖 .....             | 4-19 |
| 圖4.10 | 高雄港區天文潮位模式模擬結果之比較圖 .....             | 4-20 |
| 圖4.11 | 安平港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖 .....          | 4-20 |
| 圖4.11 | (續1)安平港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖 .....      | 4-21 |
| 圖4.11 | (續2)安平港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖 .....      | 4-21 |
| 圖4.11 | (續3)安平港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖 .....      | 4-22 |
| 圖4.12 | 高雄港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖 .....          | 4-22 |
| 圖4.12 | (續1)高雄港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖 .....      | 4-23 |
| 圖4.12 | (續2)高雄港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖 .....      | 4-23 |
| 圖4.12 | (續3)高雄港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖 .....      | 4-24 |
| 圖4.13 | 安平港區天文潮位模擬值與TaiCOMS模擬值之比較圖 .....     | 4-24 |
| 圖4.13 | (續1)安平港區天文潮位模擬值與TaiCOMS模擬值之比較圖 ..... | 4-25 |
| 圖4.13 | (續2)安平港區天文潮位模擬值與TaiCOMS模擬值之比較圖 ..... | 4-25 |
| 圖4.13 | (續3)安平港區天文潮位模擬值與TaiCOMS模擬值之比較圖 ..... | 4-26 |
| 圖4.14 | 高雄港區天文潮位模擬值與TaiCOMS模擬值之比較圖 .....     | 4-26 |
| 圖4.14 | (續1)高雄港區天文潮位模擬值與TaiCOMS模擬值之比較圖 ..... | 4-27 |
| 圖4.14 | (續2)高雄港區天文潮位模擬值與TaiCOMS模擬值之比較圖 ..... | 4-27 |
| 圖4.14 | (續3)高雄港區天文潮位模擬值與TaiCOMS模擬值之比較圖 ..... | 4-28 |



|       |   |      |
|-------|---|------|
| 圖4.15 | 臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖 .....            | 4-28 |
| 圖4.15 | (續1)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖 .....        | 4-29 |
| 圖4.15 | (續2)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖 .....        | 4-29 |
| 圖4.15 | (續3)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖 .....        | 4-30 |
| 圖4.15 | (續4)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖 .....        | 4-30 |
| 圖4.15 | (續5)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖 .....        | 4-31 |
| 圖4.15 | (續6)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖 .....        | 4-31 |
| 圖4.15 | (續7)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖 .....        | 4-32 |
| 圖4.15 | (續8)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖 .....        | 4-32 |
| 圖4.15 | (續9)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖 .....        | 4-33 |
| 圖4.15 | (續10)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖 .....       | 4-33 |
| 圖4.15 | (續11)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖 .....       | 4-34 |
| 圖4.15 | (續12)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖 .....       | 4-34 |
| 圖4.16 | TaiCOMS作業化MC風壓場之等壓線分布圖(2012年輕度颱風泰利) ..... | 4-37 |

|       |  |      |
|-------|--|------|
| 圖4.16 | (續)TaiCOMS作業化MC風壓場之等壓線分布圖(2012<br>年輕度颱風泰利) ..... | 4-37 |
| 圖4.17 | 本計畫有限元素網格風壓場之等壓線分布圖(2012年輕<br>度颱風泰利) .....       | 4-38 |
| 圖4.17 | (續)本計畫有限元素網格風壓場之等壓線分布圖(2012<br>年輕度颱風泰利) .....    | 4-38 |
| 圖4.18 | 安平港海域有、無氣象潮效應之水位模擬結果比較圖 ....                     | 4-39 |
| 圖4.18 | (續1)安平港海域有、無氣象潮效應之水位模擬結果比<br>較圖 .....            | 4-39 |
| 圖4.18 | (續2)安平港海域有、無氣象潮效應之水位模擬結果比<br>較圖 .....            | 4-40 |
| 圖4.19 | 高雄港海域有、無氣象潮效應之水位模擬結果比較圖 ....                     | 4-40 |
| 圖4.19 | (續1)高雄港海域有、無氣象潮效應之水位模擬結果比<br>較圖 .....            | 4-41 |
| 圖4.19 | (續2)高雄港海域有、無氣象潮效應之水位模擬結果比<br>較圖 .....            | 4-41 |
| 圖4.20 | 安平港海域檢核點氣壓差變化與模式氣象潮水位變化<br>之時序列圖 .....           | 4-42 |
| 圖4.20 | (續1)安平港海域檢核點氣壓差變化與模式氣象潮水位<br>變化之時序列圖 .....       | 4-42 |
| 圖4.20 | (續2)安平港海域檢核點氣壓差變化與模式氣象潮水位<br>變化之時序列圖 .....       | 4-43 |
| 圖4.21 | 高雄港海域檢核點氣壓差變化與模式氣象潮水位變化<br>之時序列圖 .....           | 4-43 |
| 圖4.21 | (續1)高雄港海域檢核點氣壓差變化與模式氣象潮水位<br>變化之時序列圖 .....       | 4-44 |
| 圖4.21 | (續2)高雄港海域檢核點氣壓差變化與模式氣象潮水位<br>變化之時序列圖 .....       | 4-44 |

|       |  |      |
|-------|--|------|
| 圖4.22 | 高雄港海域檢核點氣壓差預測值、氣象潮水位變化模擬值及觀測資料調和分析預測值之時序列圖.....                          | 4-45 |
| 圖4.22 | (續1)高雄港海域檢核點氣壓差預測值、氣象潮水位變化模擬值及觀測資料調和分析預測值之時序列圖 .....                     | 4-45 |
| 圖4.22 | (續2)高雄港海域檢核點氣壓差預測值、氣象潮水位變化模擬值及觀測資料調和分析預測值之時序列圖 .....                     | 4-46 |
| 圖4.23 | 臺灣周圍海域暴潮模組模擬結果之水位偏差分布圖 .....   | 4-47 |
| 圖4.23 | (續1)臺灣周圍海域暴潮模組模擬結果之水位偏差分布圖 .....   | 4-47 |
| 圖4.23 | (續2)臺灣周圍海域暴潮模組模擬結果之水位偏差分布圖 .....   | 4-48 |
| 圖4.23 | (續3)臺灣周圍海域暴潮模組模擬結果之水位偏差分布圖 .....   | 4-48 |
| 圖4.24 | 安平港區近岸水動力模組之模擬範圍及有限元素格網分佈圖(98年度計畫).....                                  | 4-50 |
| 圖4.25 | 安平港區近岸水動力模組之細網格三角形元素分佈圖 .....  | 4-51 |
| 圖4.26 | 安平港港域及港口附近細網格之三角形元素分布圖.....  | 4-52 |
| 圖4.27 | 前期計畫安平港水動力模組南、北開放邊界近岸節點之水位時序圖 .....                                      | 4-54 |
| 圖4.28 | 本年度計畫安平港水動力模組南、北開放邊界近岸節點之水位時序圖 .....                                     | 4-54 |
| 圖4.29 | 安平港水位及潮流模擬結果與海流觀測資料之調和分析( $O_1$ 、 $K_1$ 、 $M_2$ 、 $S_2$ )結果比較圖 .....     | 4-56 |
| 圖4.30 | 前期計畫安平港水位及潮流模擬結果與海流觀測資料之調和分析( $O_1$ 、 $K_1$ 、 $M_2$ 、 $S_2$ )結果比較圖 ..... | 4-57 |
| 圖4.31 | 安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/07 16:00) .....                                  | 4-58 |
| 圖4.31 | (續1)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/07 17:00) .....                              | 4-59 |

|       |  |      |
|-------|--|------|
| 圖4.31 | (續2)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/07 18:00) .....  | 4-59 |
| 圖4.31 | (續3)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/07 19:00) .....  | 4-60 |
| 圖4.31 | (續4)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/07 20:00) .....  | 4-60 |
| 圖4.31 | (續5)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/07 22:00) .....  | 4-61 |
| 圖4.31 | (續6)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 00:00) .....  | 4-61 |
| 圖4.31 | (續7)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 02:00) .....  | 4-62 |
| 圖4.31 | (續8)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 04:00) .....  | 4-62 |
| 圖4.31 | (續9)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 06:00) .....  | 4-63 |
| 圖4.31 | (續10)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 11:00) ..... | 4-63 |
| 圖4.31 | (續11)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 13:00) ..... | 4-64 |
| 圖4.31 | (續12)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 15:00) ..... | 4-64 |
| 圖4.31 | (續13)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 17:00) ..... | 4-65 |
| 圖4.32 | 高雄港水動力模組之模擬範圍及有限元素格網分佈圖 .....                | 4-68 |
| 圖4.33 | 高雄港水動力模組模擬範圍內等水深線分佈圖 .....                   | 4-68 |
| 圖4.34 | 高雄港水動力模組模擬範圍內等水深線分佈圖 .....                   | 4-69 |
| 圖4.35 | 高雄港水動力模組模擬範圍內等水深線分佈圖 .....                   | 4-69 |

|       |  |      |
|-------|--|------|
| 圖4.36 | 高雄港水動力模組南、北開放邊界近岸節點之水位時序圖 .....  | 4-70 |
| 圖4.37 | 高雄港水位與潮流模擬結果與海流觀測資料調和分析<br>( $O_1$ 、 $K_1$ 、 $N_2$ 、 $M_2$ 、 $S_2$ )之E-W及N-S向速度分量比較圖 ..... | 4-71 |
| 圖4.38 | 高雄港水位及潮流模擬結果與海流觀測資料調和分析<br>( $O_1$ 、 $K_1$ 、 $N_2$ 、 $M_2$ 、 $S_2$ )之流速大小及流向比較圖 .....      | 4-72 |
| 圖4.39 | 高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/17 20:00) .....  | 4-73 |
| 圖4.39 | (續1)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/17<br>21:00) .....   | 4-73 |
| 圖4.39 | (續2)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/17<br>23:00) .....   | 4-74 |
| 圖4.39 | (續3)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18<br>01:00) .....   | 4-74 |
| 圖4.39 | (續4)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18<br>03:00) .....   | 4-75 |
| 圖4.39 | (續5)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18<br>05:00) .....   | 4-75 |
| 圖4.39 | (續6)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18<br>07:00) .....   | 4-76 |
| 圖4.39 | (續7)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18<br>09:00) .....   | 4-76 |
| 圖4.39 | (續8)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18<br>11:00) .....   | 4-77 |
| 圖4.39 | (續9)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18<br>13:00) .....   | 4-77 |
| 圖4.39 | (續10)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18<br>15:00) .....  | 4-78 |
| 圖4.39 | (續11)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18<br>17:00) .....  | 4-78 |

|       |   |      |
|-------|---|------|
| 圖4.39 | (續12)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18<br>19:00) ..... | 4-79 |
| 圖4.39 | (續13)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18<br>21:00) ..... | 4-79 |
| 圖5.1  | 2013年中度颱風蘇力侵臺路徑圖 .....                          | 5-23 |
| 圖5.2  | 2013年輕度颱風西馬隆侵臺路徑圖 .....                         | 5-23 |
| 圖5.3  | 2013年輕度颱風潭美侵臺路徑圖 .....                          | 5-23 |
| 圖5.4  | 2013年輕度颱風康芮侵臺路徑圖 .....                          | 5-23 |
| 圖5.5  | 2013年強烈颱風天兔侵臺路徑圖 .....                          | 5-23 |

# 第一章 緒論

## 1.1 計畫緣起

台灣地狹人稠、陸上資源有限且四面環海，為了能夠合理且有效地規劃與開發近岸生活圈，政府機構近年來積極推動規劃近岸海域的開發利用，更致力保護與維護沿海的百姓生命財產及活動、近海的各種遊憩及漁業活動、海上運輸的安全。除此之外，更從基礎教育著手積極推廣海洋科技教育以向國人傳達正確的海洋知識與海洋資源利用。同時，為了躋身國際先進的海洋國家目標，兼顧海洋/海岸空間利用以及海洋/海岸環境生態復育的政策與法規措施是絕對必須的。執行策略上，除了戮力推動海岸生活圈的開發外，更應著手於海岸災害之預警、防災與避災的架構與規畫。此外，因全球環境變遷所致，水災、風災、地震及海嘯等似乎都進入發生頻率高之時期，使得近岸預警、防災與避災已成為近年來必須列為政府首要施政方針之一。基於此，交通部運輸研究所為考量臺灣周遭水域的船舶與人員航行安全，以及水環境維護等，乃率先推動近岸/近海防救災相關海象預報系統，並配合已經推動多年的海氣象觀測，成立海情中心，提供相關海象觀測與預測的資料，協助相關單位維護臺灣水域的安全。

交通部運輸研究所港灣技術研究中心已於前期四年計畫(民國 96~99 年)「臺灣近岸防救災預警系統技術與作業化之研究」計畫中，推動了 1.)近岸風浪模擬技術之研發及預警精度改進；2.)結合本所相關計畫之海象即時監測作業，發展颱風波浪之模擬技術，建置近岸防災預警方法，以減低颱風期間海岸災害破壞。3.)近岸防災預警系統之作業化研究，加強作業效能之提昇，預報系統採人性化操作界面，以利相關單位使用。然而由於臺灣附近水域的地形與環境複雜，仍有諸多影響因子需要持續進行研究與改善，乃於本四年期計畫(民國 100~103 年)「整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究」之計畫中依據海象模擬技術屬性分別規劃「提昇海岸及港灣海域波浪模擬技術之研究」及「提昇海岸及港灣海域水位與海流模擬技術之研究」四年期合作研

究計畫。並於 100 年度依據期程規劃針對基隆港港區及臺北港港區分別完成波浪、水位及海流等海象模擬相關研究，以及 101 年度分別針對臺中港港區及布袋港港區分別完成波浪、水位及海流等海象模擬相關研究。

然基於海象作業化模擬整合需求，自本年度(102 年)起將上述合作計畫整合為「提昇海岸及港灣海域海象模擬技術之研究」二年期(102 及 103 年)合作研究計畫，藉以提昇臺灣周圍海岸及港灣海域海象(波浪、水位及海流)模擬技術之研究。

### **1.1.1 計畫目的**

本計畫目的除了進行現有波浪、潮位及海流等海象預報系統的維護，以及相關預報與實測資料之比較分析外，並將進一步探討水位對風浪預報的影響與系統建置，此外也進行近岸海象預報系統的改善尋求其他可能方案。

### **1.1.2 計畫研究範圍與對象**

本年度研究範圍與對象主要針對高雄港域及安平港域進行海象模擬相關研究，並協助港研中心建立高雄港域及安平港域海象模擬預警子系統，並進行教育推廣工作。

## **1.2 本年度主要工作項目**

本年度計畫以高雄港域及安平港域為對象進行海象(波浪、水位及流場等)模擬相關研究，主要研究內容與工作項目如下：

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



2. 高雄港域及安平港域波浪、水位及流場等海象預報作業化成果評估：以港灣技術研究中心(或中央氣象局)現場觀測資料進行模擬結果之校驗及精度評估等工作。
3. 高雄港域及安平港域波浪、水位及流場等海象模擬結果之特性分析：包括典型夏季季風、典型冬季季風及颱風侵臺期間等海象分析成果。
4. 建立高雄港域及安平港域海象模擬預警系統：針對本系統辦理教育訓練，另對颱風發生期間之海象進行模擬作業演練。
5. 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，針對高雄港域及安平港域長期水位分析結果，檢核港口之設計水位。
6. 配合港研中心進行作業系統維護與資料分析、軟硬體之更新與測試、預報成果與實測之差異性檢討與改進、模式作業化環境之改善及維護等相關工作。
7. 以上為建立相關數值模擬系統及數值預報系統之模式計算、資料庫維護管理、資料統計、繪圖等工作，需派碩士級（含）以上專業人員一員至本所港研中心駐點服務。

### 1.3 報告內容架構

本報告主要內容及架構簡述如下：

#### 1. 基本資料蒐集與分析

本報告第二章基本資料蒐集包括地形水深、潮位、海流、波浪及風場等，其中(a)地形水深資料主要以安平港區與高雄港區為對象，蒐集 101 年港區水深調查資料及其鄰近海域海軍大氣海洋局刊行的海圖資料；(b)潮位站資料蒐集包括龍洞、基隆港、麟山鼻、竹圍、外埔、臺中港、鹿港、箔仔寮、東石、將軍、安平港、永安、高雄港、東港及小琉球等潮位站之潮汐記錄，並針對將軍、安平港、永安、高雄港、東港及小琉球等潮位資料進行分析；(c)海流資料蒐

集以安平港區與高雄港區觀測資料為主，分別進行潮流調和析探討潮流特性；(d)波浪資料蒐集亦以安平港區與高雄港區觀測資料為主，分別進行波浪統計特性分析；(e)風場資料除了蒐集安平港區與高雄港區觀測資料以及颱風資料外，並針對中央氣象局提供的 NFS 及 WRF 風場資料進行差異性分析。

## **2. 波浪模擬與探討**

本報告第三章係以安平港區及高雄港區為對象，說明本年度計畫波浪模擬之研究內容及成果，內容分為 TaiCOMS 波浪模擬架構說明(包含相關波浪模式介紹)、風浪作業化模擬研究、港區近岸波浪場模擬研究及細尺度港域波浪場模擬研究等四部份。

## **3. 水位及流場模擬與探討**

本報告第四章係以安平港區及高雄港區為對象，說明本年度計畫水位及流場模擬之研究內容及成果，內容分為水動力模式基本理論介紹、臺灣周圍海域暴潮模擬與探討、小尺度安平港區水動力模組改善研究及小尺度高雄港區水動力模組改善研究等四部份呈現。

## **4. 海象模擬作業化成果評估**

本報告第五章海象模擬作業化成果評估，主要以安平港區及高雄港區為對象，說明 TaiCOMS 作業化成果評估內容及結果；內容分為風場評估、風浪模擬成果評估、水位模擬成果評估、流場模擬成果評估及颱風時期模擬成果評估等。

## **5. 結論與建議**

本報告第六章為本年度計畫研究成果之結論與建議。

## 第二章 基本資料蒐集與分析

本年度計畫以高雄港區及安平港區為主要研究對象，因此本章節基本資料(如水深、潮位、海流、波浪及風場等)蒐集與分析主要針對高雄港區及安平港區為之。

### 2.1 港區簡介

#### (1) 安平港區

本計畫安平港係指安平國際商港港區，原為安平新港，闢建於民國 68 年，於民國 86 年 5 月 12 日經交通部公告為高雄港之輔助港，遂由國內商港升格為國際商港。安平港整體規劃之平面配置，如圖 2.1 所示，其中港域總面積約 477 公頃(包含水域 277 公頃及陸域 200 公頃)，規劃興建碼頭共 31 座，總長度約 5,657 公尺；港口主航道及迴船池水域規劃為水深負 12m，預估可供二萬噸級船舶進出。整體安平港港池水域北與安平漁港(原安平舊港)水域相連，東與台南運河相銜接(註：運河另一出口與安平舊港相通)，南與竹溪相通，顯示安平港港池水域不屬於封閉水域。

安平漁港又稱為安平舊港，舊港口航道原址位於安平港港口西北約 2.5 公里處，因航道淤積於民國 63 年封港。民國 89 年 12 月重新啟動安平漁港舊港口重建工程，並於民國 98 年 1 月完工通航；自此 2000 噸級以下漁船將直接由此港口進出，不必再繞道由安平港出海。安平漁港舊港口重建計畫係於舊航道原址重新開闢，計畫範圍如圖 2.2 所示，包括拓寬原航道寬度至 100 m，航道浚深至負 7 m，航道外海新建南、北防波堤至水深負 9 m 處，其中南、北防堤分別長約 745 m 及 545 m。安平漁港之遠洋漁港泊地共計 53.7 公頃，碼頭長度達 4,600 m，其中近海漁港區泊地有 20.4 公頃，碼頭水深-2 ~ -4 m；遠洋漁港區泊地 20.4 公頃，碼頭水深-5 ~ -7 m 不等。



## (2) 高雄港區

高雄港位於臺灣西南海岸，西隔臺灣海峽與大陸福建相望，南臨巴士海峽與菲律賓相對，地理位置優越；臨海有狹長旗后沙洲遮蔽，為臺灣本島西部海岸少見港灣形勢天成之天然良港。高雄港發展至今，其港區範圍緊鄰高雄市，橫跨高雄市 6 個行政區，如圖 2.3 所示，港區面積為 17,678 公頃，其中陸域面積 1,442 公頃，佔全港面積之 8.2%，水域面積 16,236 公頃，佔全港面積之 91.8%(資料來源維基百科)，為臺灣最大的國際商港及世界第十三大港口。第二港口開闢工程(民國 56~66 年)完工後，高雄港仍成為具有雙港口的國際港口，其中第一港口位於東經  $120^{\circ}15'25''$ ，北緯  $22^{\circ}37'01''$ (高雄港燈塔位置)；第二港口位於東經  $120^{\circ}18'26''$ ，北緯  $22^{\circ}33'21''$ (北岸信號臺位置)。



圖 2.3 高雄港港區範圍平面圖(下載自高雄港務分公司資訊網站)

目前高雄港的管理及營運係由中華民國國營之臺灣港務公司高雄港務分公司負責，以高雄港洲際貨櫃中心計畫為其未來的發展及重要建設的藍圖；其中第二期工程計畫已於民國 100 年 3 月 10 日奉行政院核定實施，並於民國 100 年 5 月 25 日舉辦動土儀式。藉由第二期工程計



畫之推動，將可解決高雄港舊港區石化油品儲運業者搬遷安置需求、建設最新現代化貨櫃中心吸引航商進駐及大型貨櫃船彎靠，以確立亞太地區貨櫃運輸樞紐港地位，奠立高雄港未來數十年之營運根基。同時，計畫完成後可藉由整體結構性調整舊港區使用機能，高雄港碼頭整併功能調整，發展親水遊憩，活化港區土地資源、促進區域發展，啟動港市再造動能，發展都會港灣。

## 2.2 水深資料

本年度水深資料蒐集新增內容包括高雄港區及安平港區 101 年度水深調查資料(由高雄港務分公司提供)，其水深測量範圍及測線軌跡分布情形如圖 2.4 及圖 2.5 所示；以及海軍大氣海洋局 101 年度刊行的安平港海圖(圖號 61001，比例尺為萬分之一)，如圖 2.6 所示。有關本計畫安平港區及高雄港區水深資料說明如下：

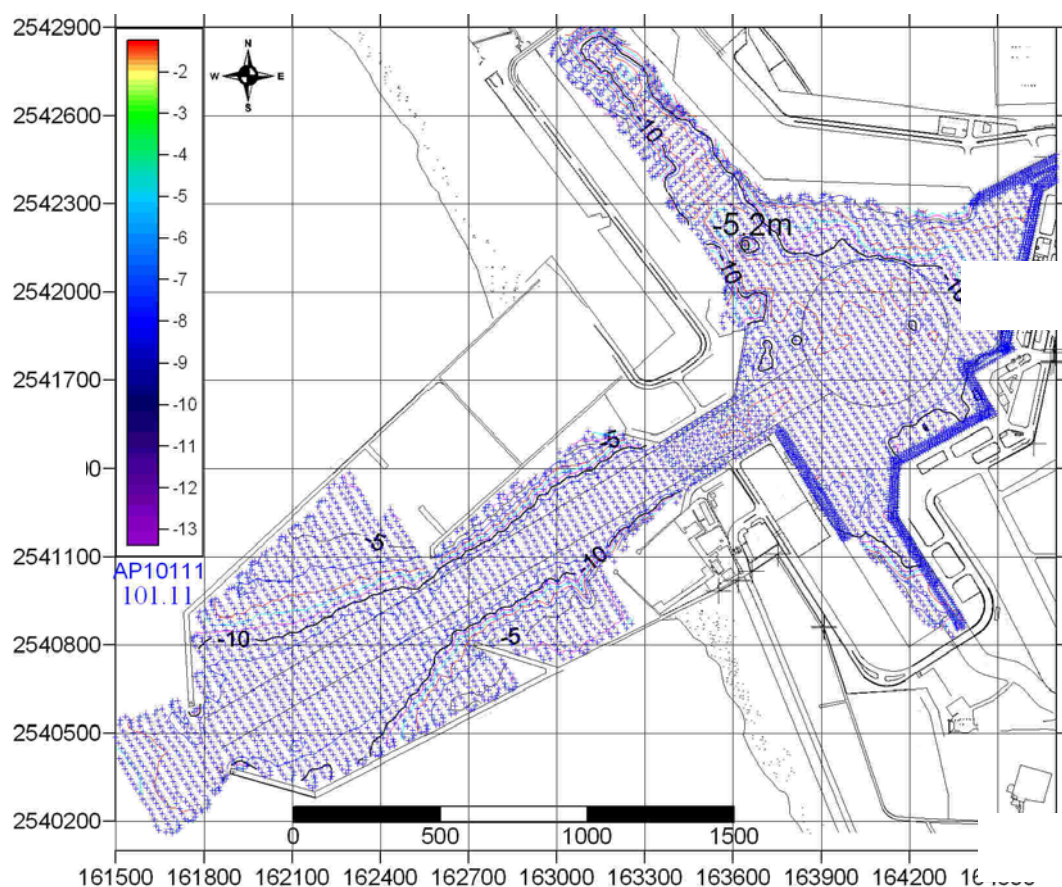


圖 2.4 安平港港區 101 年度水深測量點位分布圖

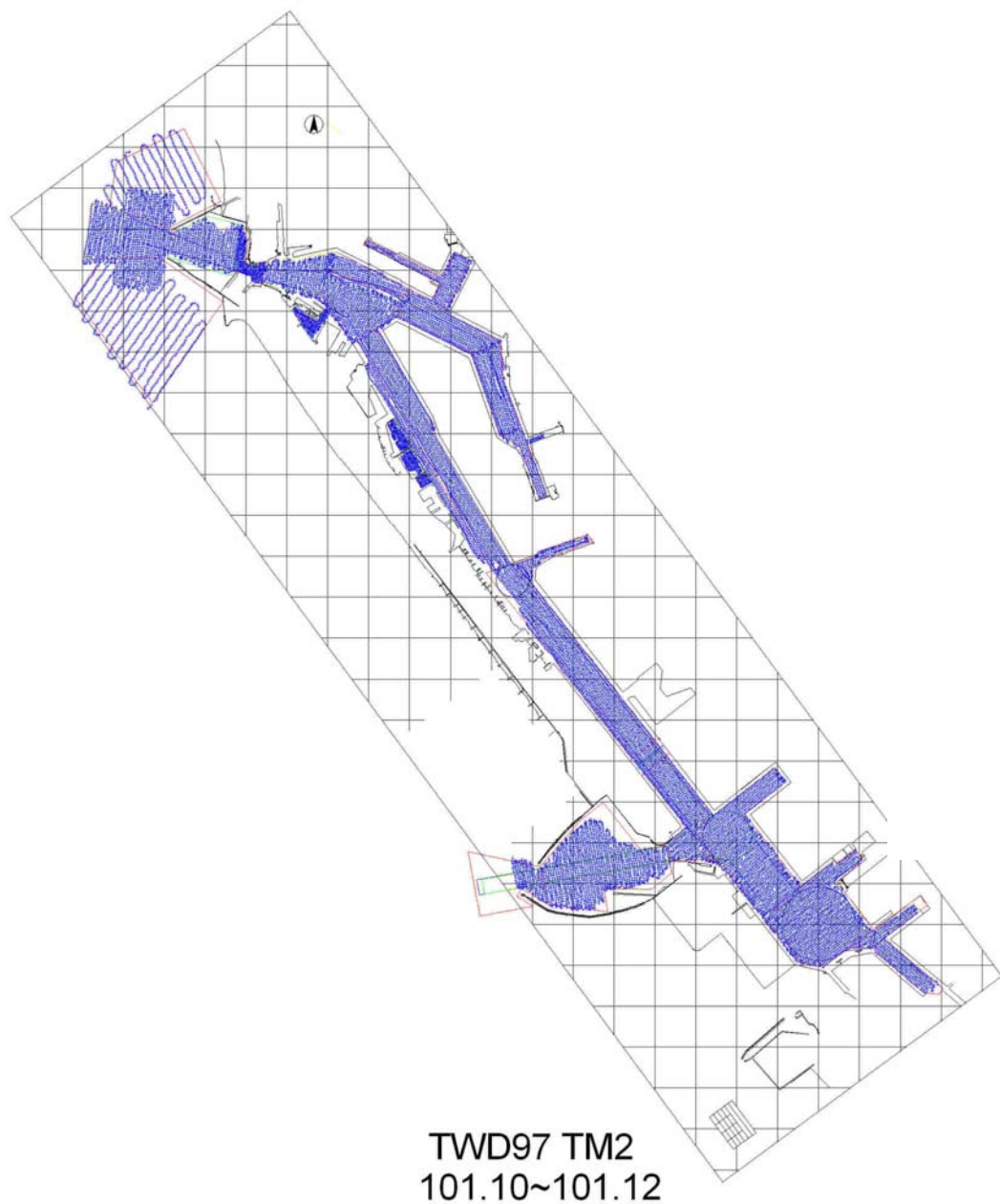


圖 2.5 高雄港港區 101 年度水深測量點位分布圖

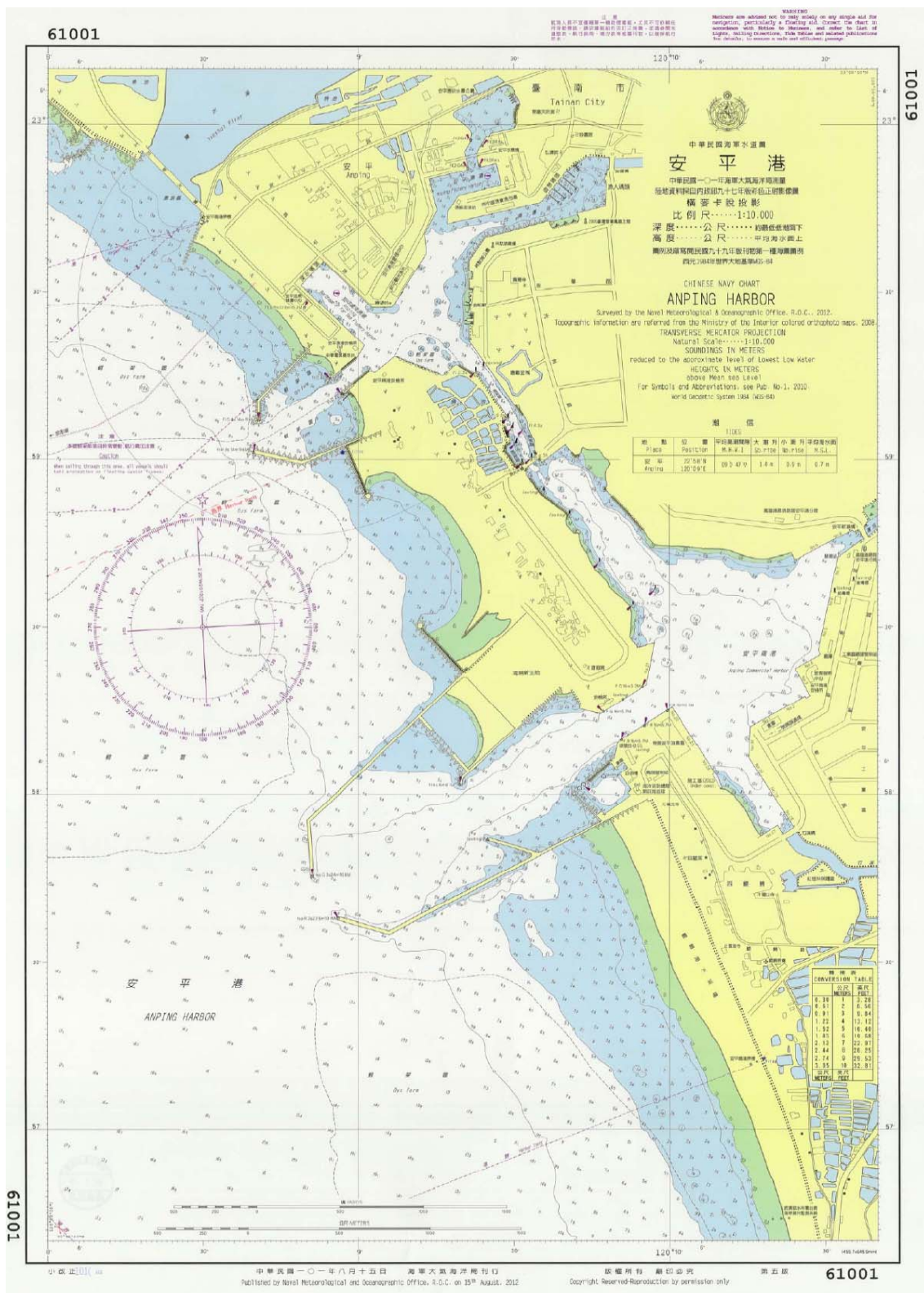


圖 2.6 安平港及附近海域水深圖



### (1) 安平港區水深資料

本計畫依據 101 年度安平港港區水深調查結果繪製等水深線分布圖，如圖 2.7 所示，顯示目前安平港港域大部份水域水深已疏濬至-10 m 至-13 m 之間。由於上述水深資料僅限於商港區水域，因此有關商港區以外水域(如安平漁港及支航道等)或鄰近海域水深資料，本研究另以海軍大氣海洋局刊行的海圖如前述圖號 61001(安平港)以及圖號 04505(高雄港至安平港)、圖號 04506(布袋泊地至安平港)等水深資料補足，作為本計畫 TaiCOMS 安平港區波浪模組及水動力模組水深資料更新之依據。其中安平港區水動力模組模擬範圍更新後，其水深分布情形，如圖 2.8 所示為本年度安平港區水動力模組模擬範圍更新後，其模擬範圍內等水深線之分布情形。

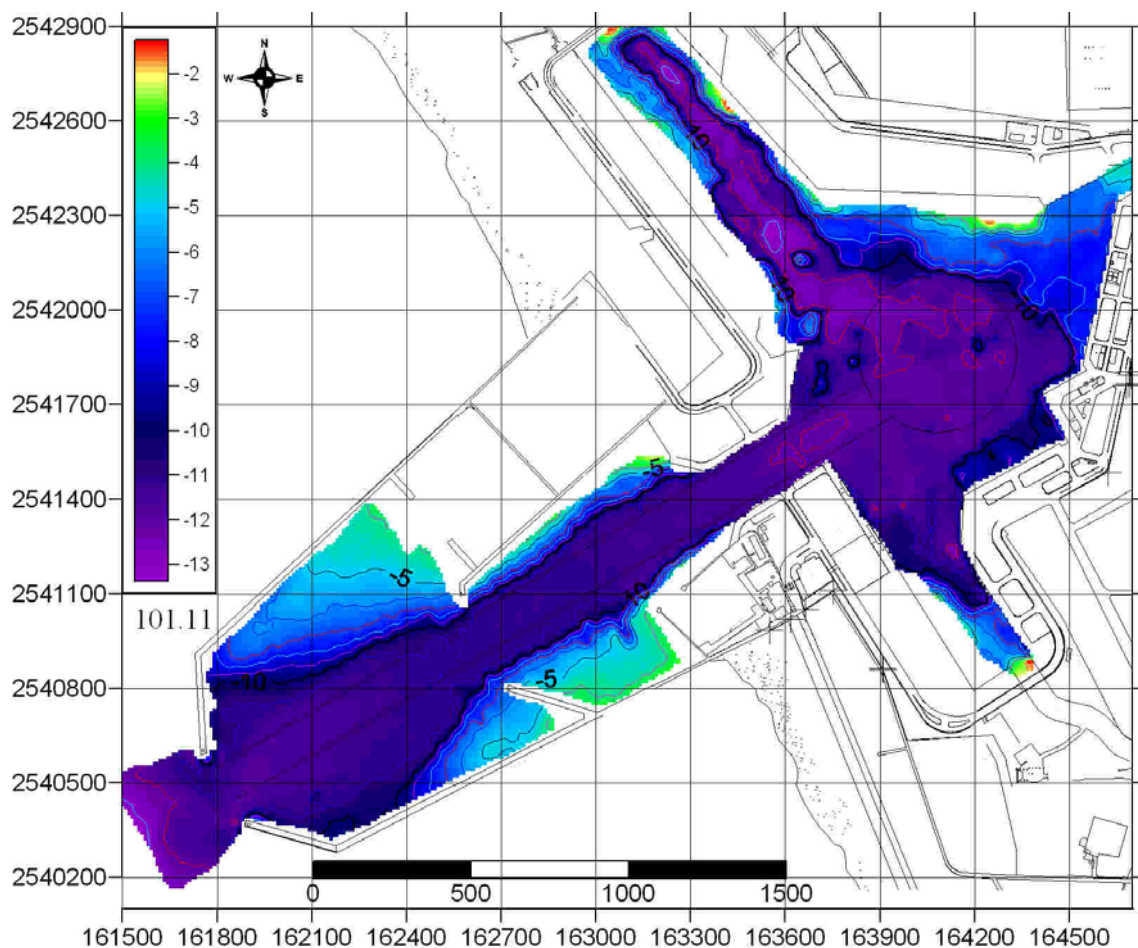


圖 2.7 安平港港區 101 年度水深調查之水深分布圖

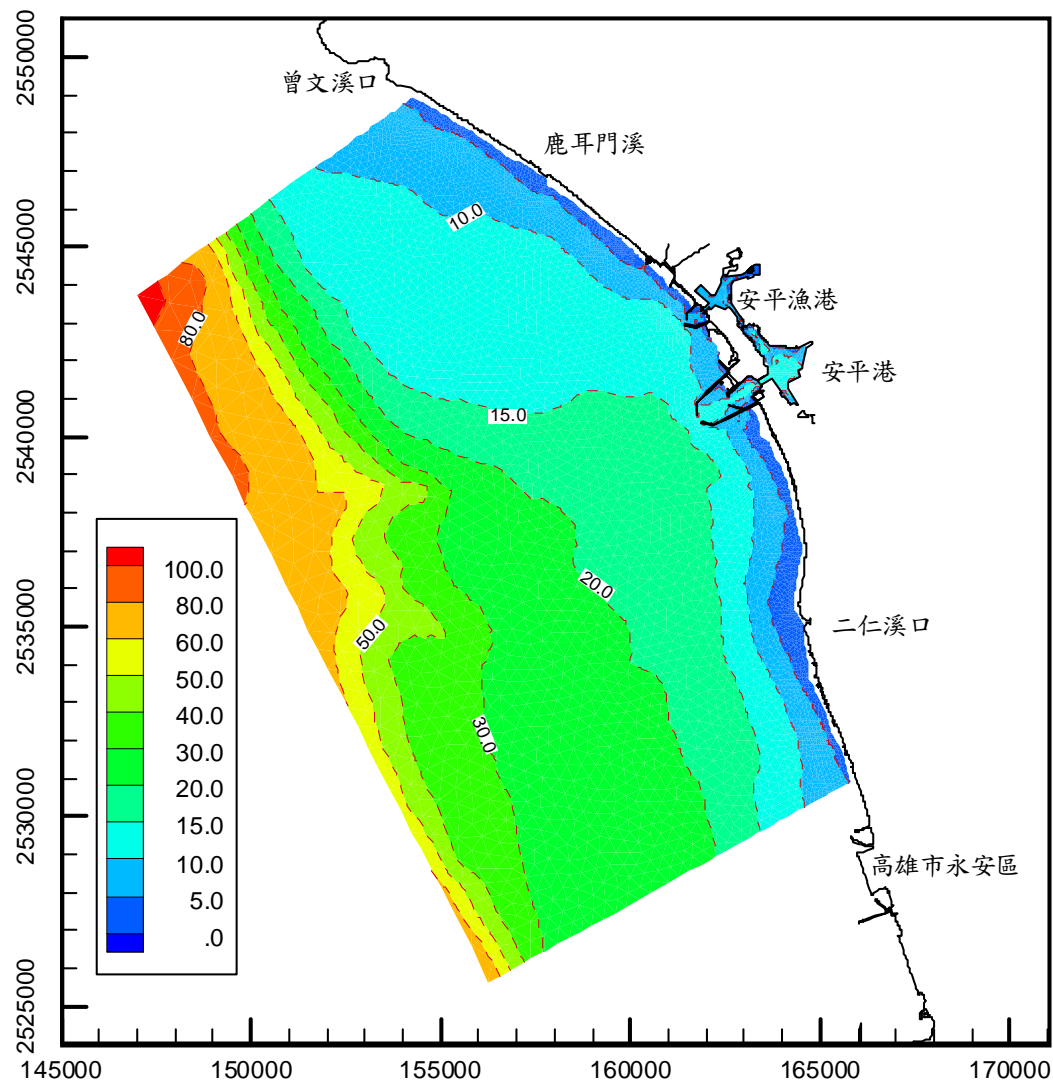


圖 2.8 安平港港區近岸水動力模組模擬範圍及水深分布圖

## (2) 高雄港區

本計畫依據高雄港 101 年度港區水深調查結果繪製港區水深分布情形，如圖 2.9 所示，顯示高雄港一港口航道水深約在-12 m 至-13 m 之間，二港口航道水深約在-17 m 以下，港內部份航道水域水深則可達到-20 m 以下。針對上述高雄港區水深測量範圍以外海域水深資料，本計畫除了選取海軍大氣海洋局刊行的海圖如圖號 04505(高雄港至安平港)及圖號 04504(枋寮泊地至高雄港)等水深資料，作為本計畫 TaiCOMS 高雄港區波浪模組及水動力模組水深資料更新之依據。本年度同時蒐

集近年來高雄港近岸海域水深調查資料，如民國 97 年鳳鼻頭漁港及週邊海域地形水深調查資料以及民國 99 年高雄港洲際貨櫃中心環境監測計畫之海域水深調查資料等。綜整上述水深調查資料及海圖水深資料，更新本計畫高雄港域近岸水動力模組之水深資料，如圖 2.10 所示。

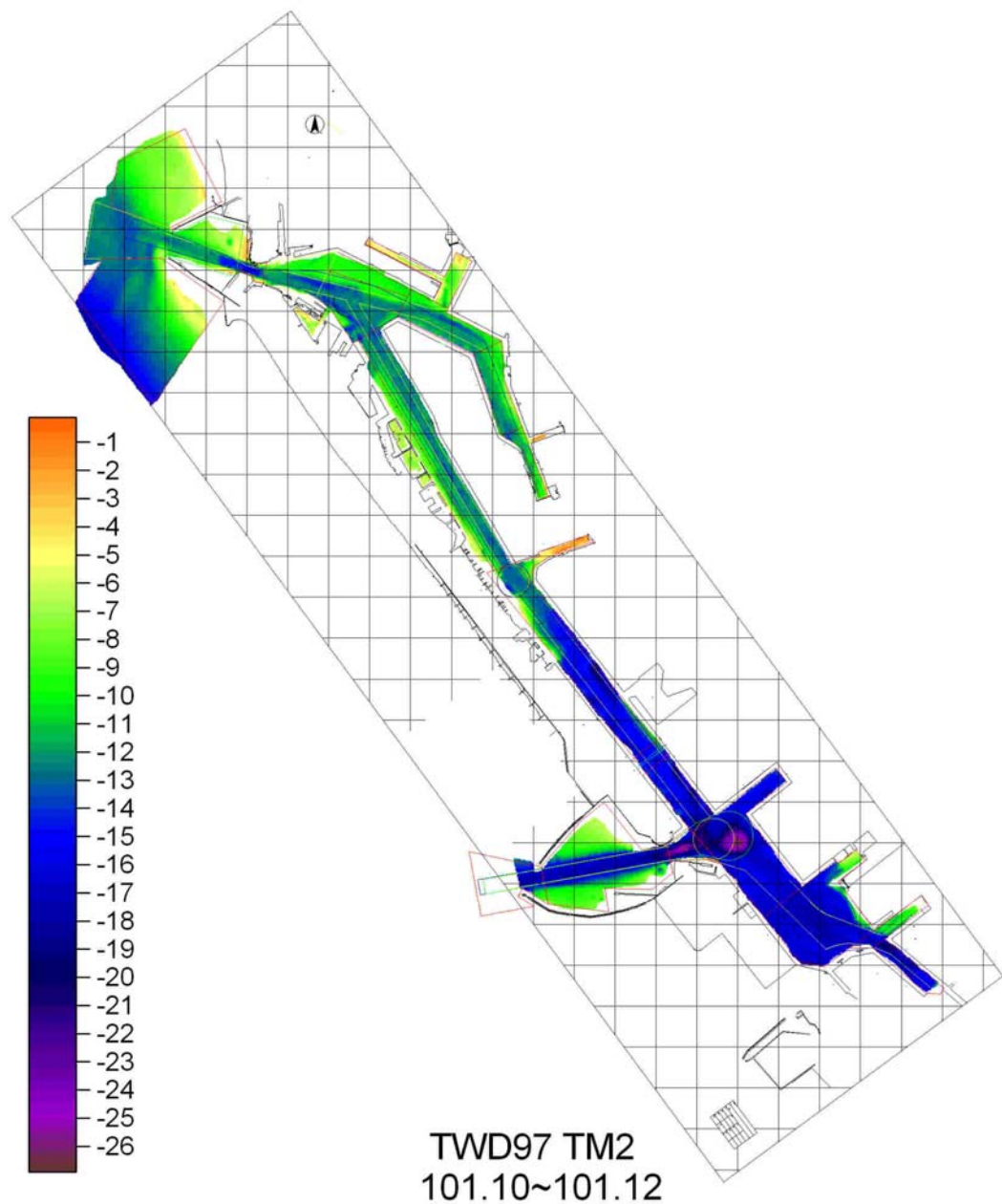


圖 2.9 高雄港港區 101 年度水深調查之水深分布圖

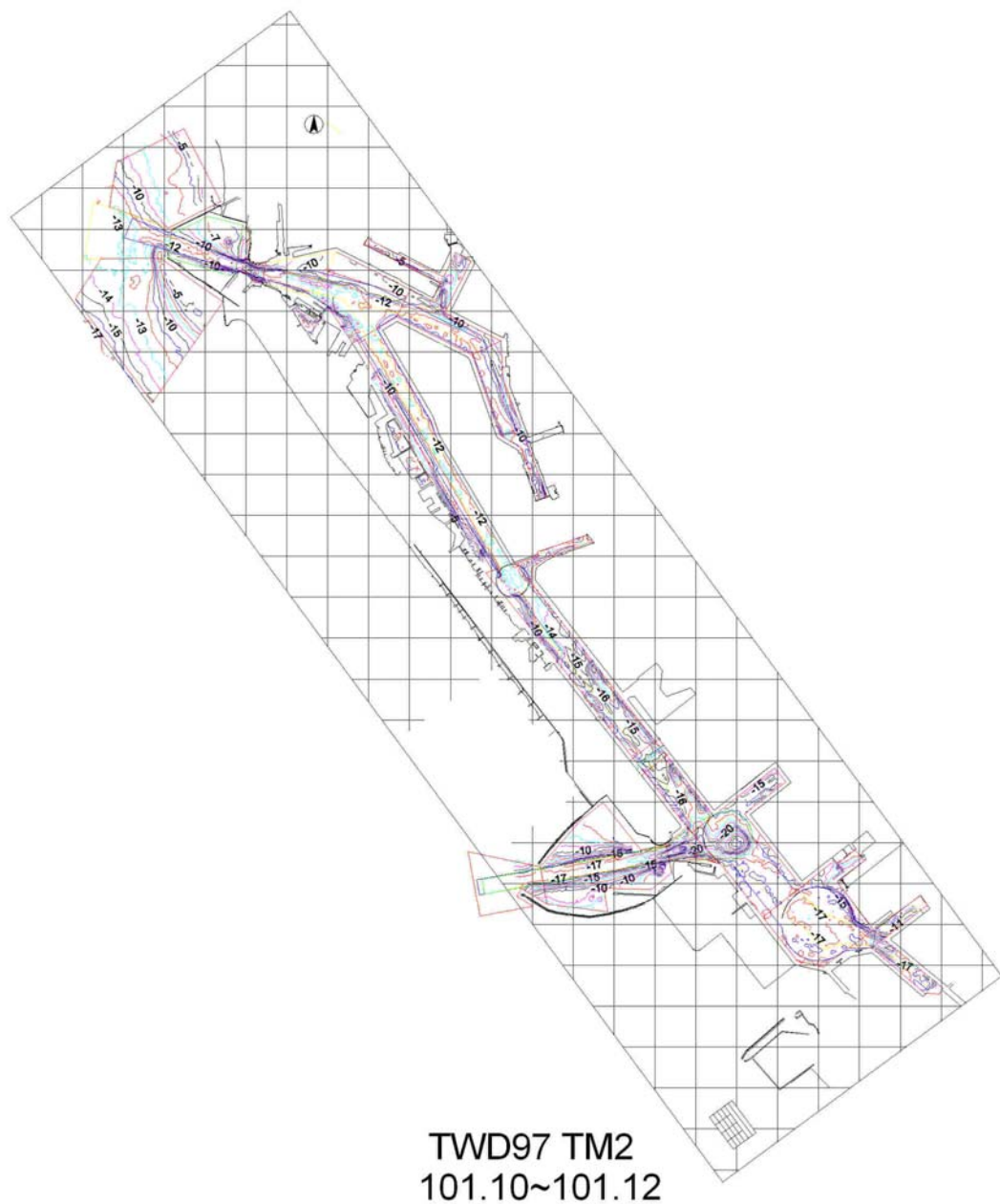


圖 2.9 (續)高雄港港區 101 年度水深調查之水深分布圖



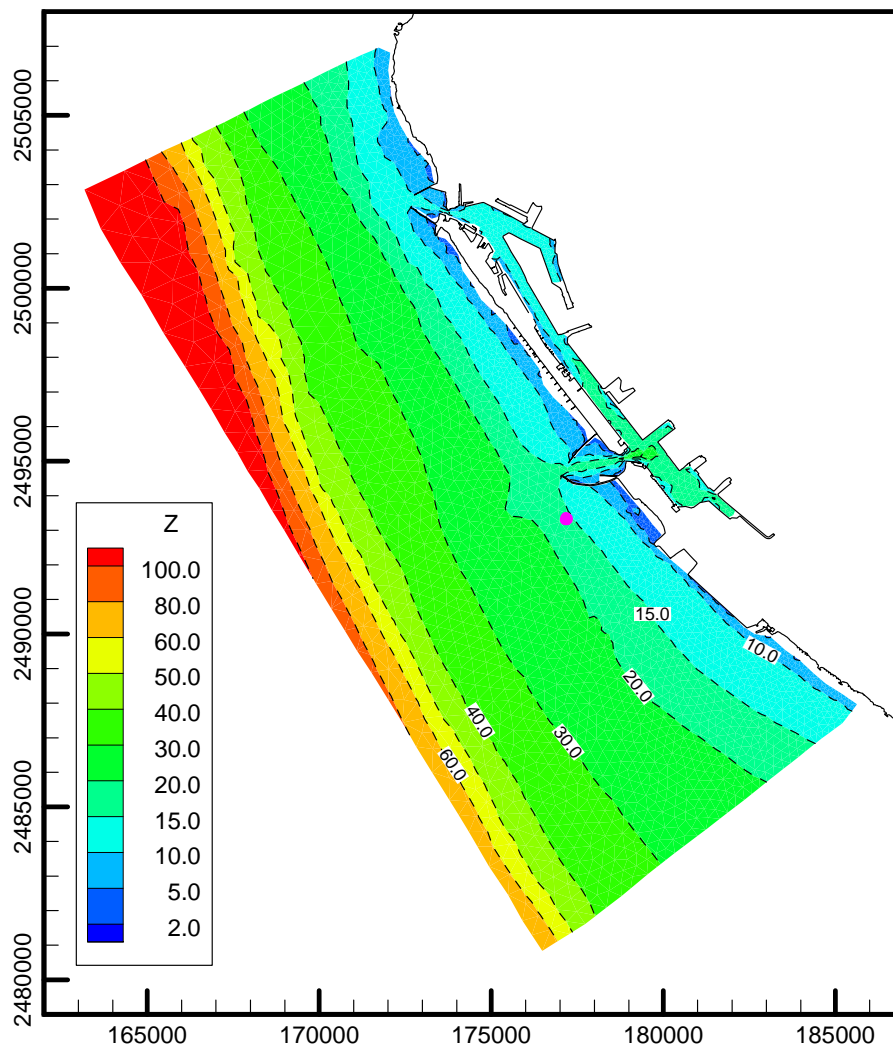


圖 2.10 高雄港港區近岸水動力模組模擬範圍及水深分布圖

## 2.3 潮汐資料

本計畫除了持續針對基隆港、臺北港、臺中港及布袋港等港口以及其鄰近潮位站(如龍洞、麟山鼻、竹圍、外埔、臺中港、箔仔寮、東石及將軍等)蒐集 2012 年中央氣象局潮汐逐時觀測資料外,同時針對本年度計畫主要港口高雄港區及安平港區,以及其鄰近之永安及東港等潮位站蒐集 2008~2012 年逐時潮汐觀測資料(如附錄一所示),上述各潮位站位置之示意圖如圖 2.11 所示。其中安平港潮位資料自 2010 年 7 月起高雄港務局安平港分局即停止安平港潮位觀測計畫,因此本計畫除了自中央氣象局蒐集的安平港潮位觀測資料(2008 年 1 月至 2010 年 6

月)進行潮汐資料分析外,同時蒐集港灣技術研究中心 2012 年安平港潮位觀測資料作為本計畫安平港水位模擬結果驗證之依據。有關各潮位站潮位特性分述如下：



圖 2.11 本年度潮位資料蒐集相關潮位站位置示意圖

### (1) 安平港潮位

由安平港逐時潮位資料(詳見附圖 1.1)得知，安平港潮位觀測基準為低潮系統，除了部份月份無觀測資料外，有些月份潮位觀測資料呈現嚴重短缺現象(如 2008 年 2、6 月、2009 年 5、7、9 月以及 2010 年 4 月等)；此外，2010 年 5、6 月份潮位觀測基準有顯著偏移現象，因此安平港代表性潮位之逐月統計分析將排除上述問題資料之月份。本計畫安平港潮位逐月統計資料包括月之最高潮位(HHWL)、平均高潮位(MHWL)、平均潮位(MWL)、平均低潮位(MLWL)及最低潮位(LLWL)等代表性潮位，各代表性潮位之逐月變化情形，如圖 2.12 所示。由上述逐月統計分析結果本計畫得到安平港各代表性潮位(低潮系統)之平均值如下：

|                  |               |
|------------------|---------------|
| 最高高潮位( H.H.W.L.) | E.L.+1.688 m  |
| 平均高潮位( M.H.W.L.) | E.L.+1.205 m  |
| 平均潮位( M.W.L.)    | E.L.+0.886 m  |
| 平均低潮位( M.L.W.L.) | E.L. +0.577 m |
| 最低低潮位( L.L.W.L.) | E.L. -0.174 m |
| 最大潮位差            | 1.677 m       |
| 平均潮位差            | 0.629 m       |

為瞭解安平港潮汐變化特性，本計畫選取安平港潮位站 2008 年 1 月~2009 年 12 月潮位觀測資料進行天文潮調和分析，針對觀測資料補遺問題，本計畫採取逐步及重覆方式利用調和分析預測值補遺潮位資料，直至調和分析預測值與觀測值間整體殘差值不再顯著變化為止。經資料補遺後，安平港潮位資料之頻譜分析與調和分析所得各天文分潮能譜及振幅大小之分布情形分別如圖 2.13 及圖 2.14 所示，顯示本計畫安平港潮位頻譜分析與調和分析結果具有一致性。表 2-1 所列為本計

畫安平港潮位調和分析結果之天文潮分潮名稱及其角頻率、振幅大小及相位等資料，其中全日潮成份以  $K_1$  分潮振幅(0.204m)較大，其次為  $O_1$  分潮振幅(0.196m)；半日潮成份則以  $M_2$  分潮振幅(0.251m)為最大， $S_2$  分潮振幅(0.061)次之。同時，依據潮型判斷指標 $(O_1+K_1)/(M_2+S_2)$ 計算其振幅比，可得到安平港潮型判斷指標值約為 1.282，顯示安平港潮汐型態應屬於全日潮型。(註：當潮型指標小於 0.5 者屬於半日潮型，大於 1.25 者屬於全日潮型，介於二者之間為混合潮型)。

安平港潮位觀測資料與天文潮調和分析預測值之比較結果，如附圖 2.1 所示，其中調和分析預測值與觀測值間誤差分析結果顯示二者最大誤差值為 0.329m，發生於 2008 年 7 月 28 日中度颱風侵臺期間。另以年度資料為基準，本計畫分別計算觀測值與預測值間均方根誤差(Rmsq)、標準偏差(Sd)以及相關係數值(R)如表 2-2 所示，結果顯示以 2008 年調和分析預測值與觀測資料之均方根誤差較小，且預測值與觀測值之相關性亦較高。

本計畫安平港 2012 年潮位觀測資料係由港灣技術研究中心提供的，如圖 2.15 所示，由於港灣技術研究中心提供的潮位資料均已經過扣除觀測資料之月平均值處理，因此本計畫圖 2.15 所示安平港 2012 年潮位資料僅具水位時序列變化特性。



表 2-1 安平港驗潮站 2008 ~ 2010 年潮汐資料調和分析成果表

| 分潮<br>名稱                 | 角頻率<br>(度/小時) | 振幅<br>(m)     | 位相角<br>(度) | 分潮<br>名稱         | 角頻率<br>(度/小時) | 振幅<br>(m)     | 位相角<br>(度) |
|--------------------------|---------------|---------------|------------|------------------|---------------|---------------|------------|
| S <sub>a</sub>           | 0.04106860    | 0.0978        | 219.6818   | M <sub>2</sub>   | 28.98410416   | <b>0.2510</b> | 24.3355    |
| S <sub>aa</sub>          | 0.08213730    | 0.0355        | 217.8785   | MKS <sub>2</sub> | 29.06624222   | 0.0013        | 72.7394    |
| M <sub>m</sub>           | 0.54437470    | 0.0085        | 128.4390   | λ <sub>2</sub>   | 29.45562553   | 0.0060        | 47.7742    |
| M <sub>sf</sub>          | 1.01589584    | 0.0105        | 162.7948   | L <sub>2</sub>   | 29.52847862   | 0.0102        | 13.8359    |
| M <sub>f</sub>           | 1.09803307    | 0.0035        | 15.3147    | T <sub>2</sub>   | 29.95893288   | 0.0045        | 288.5741   |
| 2Q <sub>1</sub>          | 12.85428619   | 0.0051        | 268.6836   | S <sub>2</sub>   | 30.00000000   | <b>0.0609</b> | 304.4632   |
| σ <sub>1</sub>           | 12.92714024   | 0.0051        | 248.4228   | R <sub>2</sub>   | 30.04106712   | 0.0020        | 261.3815   |
| Q <sub>1</sub>           | 13.39866066   | 0.0409        | 41.9612    | K <sub>2</sub>   | 30.08213806   | 0.0201        | 94.7180    |
| ρ <sub>1</sub>           | 13.47151470   | 0.0067        | 2.0666     | MSN <sub>2</sub> | 30.54437447   | 0.0018        | 22.7283    |
| O <sub>1</sub>           | 13.94303513   | <b>0.1962</b> | 183.8374   | KJ <sub>2</sub>  | 30.62651253   | 0.0018        | 192.2724   |
| MP <sub>1</sub>          | 14.02517319   | 0.0061        | 313.8269   | 2SM <sub>2</sub> | 31.01589584   | 0.0026        | 200.7849   |
| M <sub>1</sub>           | 14.49202538   | 0.0039        | 310.1962   | MO <sub>2</sub>  | 42.92713928   | 0.0010        | 308.7127   |
| χ <sub>1</sub>           | 14.56954765   | 0.0007        | 303.2814   | M <sub>3</sub>   | 43.47615814   | 0.0038        | 53.4389    |
| π <sub>1</sub>           | 14.91786480   | 0.0038        | 92.9153    | SO <sub>3</sub>  | 43.94303513   | 0.0009        | 129.0539   |
| P <sub>1</sub>           | 14.95893097   | 0.0592        | 114.7742   | MK <sub>3</sub>  | 44.02517319   | 0.0006        | 86.0203    |
| S <sub>1</sub>           | 15.00000000   | 0.0073        | 30.8994    | SK <sub>3</sub>  | 45.04106903   | 0.0009        | 143.9525   |
| K <sub>1</sub>           | 15.04106903   | <b>0.2042</b> | 95.8953    | MN <sub>4</sub>  | 57.42383194   | 0.0027        | 32.5017    |
| ψ <sub>1</sub>           | 15.08213520   | 0.0017        | 118.4262   | M <sub>4</sub>   | 57.96820831   | 0.0066        | 170.5979   |
| φ <sub>1</sub>           | 15.12320614   | 0.0026        | 284.6111   | SN <sub>4</sub>  | 58.43972778   | 0.0007        | 341.1517   |
| θ <sub>1</sub>           | 15.51258945   | 0.0012        | 292.2454   | MS <sub>4</sub>  | 58.98410416   | 0.0050        | 119.9279   |
| J <sub>1</sub>           | 15.58544350   | 0.0117        | 229.6035   | MK <sub>4</sub>  | 59.06624222   | 0.0022        | 257.6551   |
| SO <sub>1</sub>          | 16.05696487   | 0.0025        | 5.5843     | S <sub>4</sub>   | 60.00000000   | 0.0008        | 88.1311    |
| OO <sub>1</sub>          | 16.13910103   | 0.0053        | 187.6299   | SK <sub>4</sub>  | 60.08213806   | 0.0004        | 154.2852   |
| OQ <sub>2</sub>          | 27.34169579   | 0.0006        | 355.4602   | 2MN <sub>6</sub> | 86.40793610   | 0.0016        | 231.7148   |
| MNS <sub>2</sub>         | 27.42383385   | 0.0023        | 182.7453   | M <sub>6</sub>   | 86.95231628   | 0.0031        | 27.9329    |
| 2N <sub>2</sub>          | 27.85935402   | 0.0002        | 254.8021   | MSN <sub>6</sub> | 87.42383575   | 0.0007        | 114.5526   |
| μ <sub>2</sub>           | 27.96820450   | 0.0116        | 314.9510   | 2MS <sub>6</sub> | 87.96820831   | 0.0008        | 345.6634   |
| N <sub>2</sub>           | 28.43972969   | 0.0560        | 237.5824   | 2MK <sub>6</sub> | 88.05034637   | 0.0003        | 0.0466     |
| ν <sub>2</sub>           | 28.51258278   | 0.0140        | 230.9158   | 2SM <sub>6</sub> | 88.98410797   | 0.0010        | 231.4129   |
| OP <sub>2</sub>          | 28.90196609   | 0.0028        | 191.8840   | MSK <sub>6</sub> | 89.06623840   | 0.0001        | 248.6679   |
| 平均潮位 = 0.9065m           |               |               |            |                  |               |               |            |
| 資料時間：2008/12/31 11:00:00 |               |               |            |                  |               |               |            |

表 2-2 安平港潮位觀測資料與天文潮預測值誤差分析成果表

| 年    |     | 平均值(m)  | 最大值(m) | 均方根誤差(m) | 標準偏差    | 相關係數    |
|------|-----|---------|--------|----------|---------|---------|
| 2008 | 預測值 | 0.90629 | 1.655  | 0.00501  | 0.07069 | 0.97067 |
|      | 觀測值 | 0.93159 | 1.673  |          |         |         |
| 2009 | 預測值 | 0.90691 | 1.684  | 0.00637  | 0.07956 | 0.96395 |
|      | 觀測值 | 0.87729 | 1.688  |          |         |         |

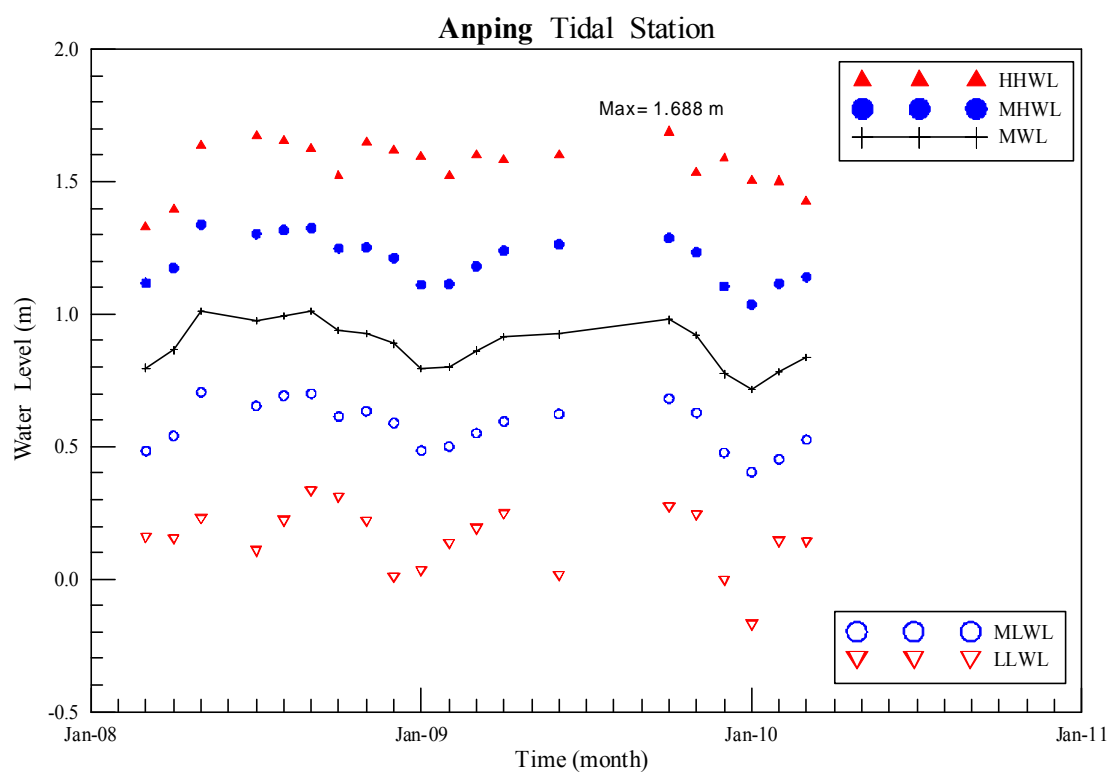


圖 2.12 安平港潮位站代表性潮位逐月統計值之變化情形圖

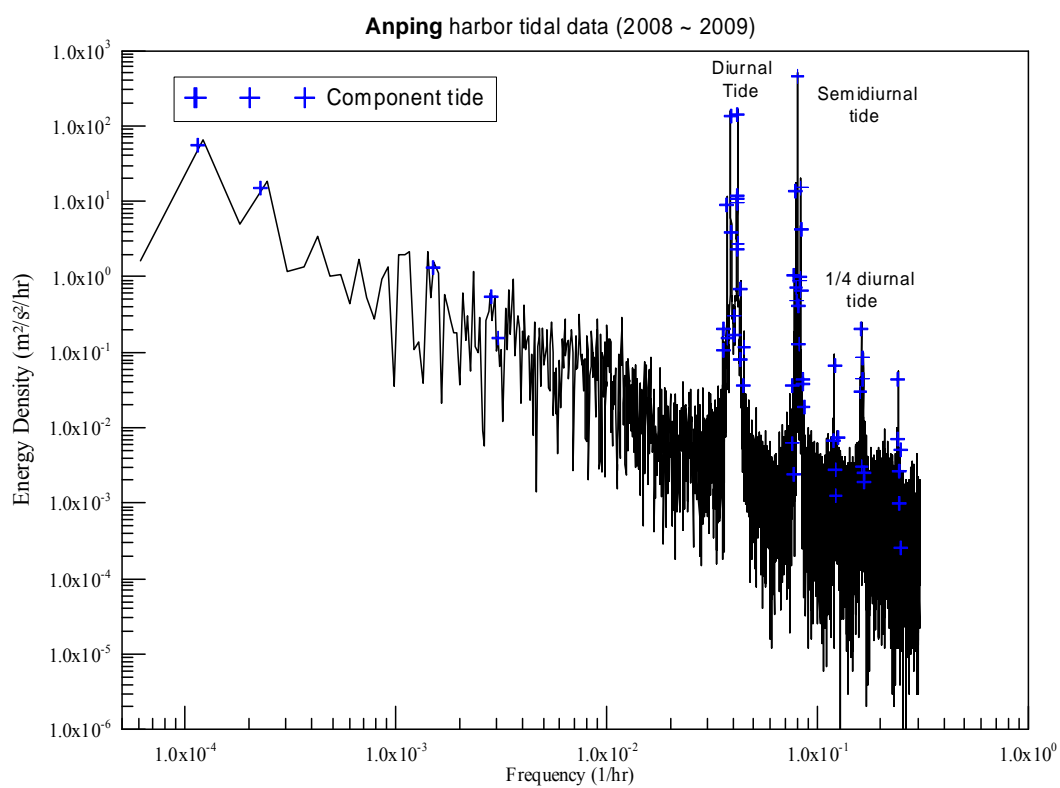


圖 2.13 安平港潮位頻譜分析結果與各分潮頻率對應關係圖

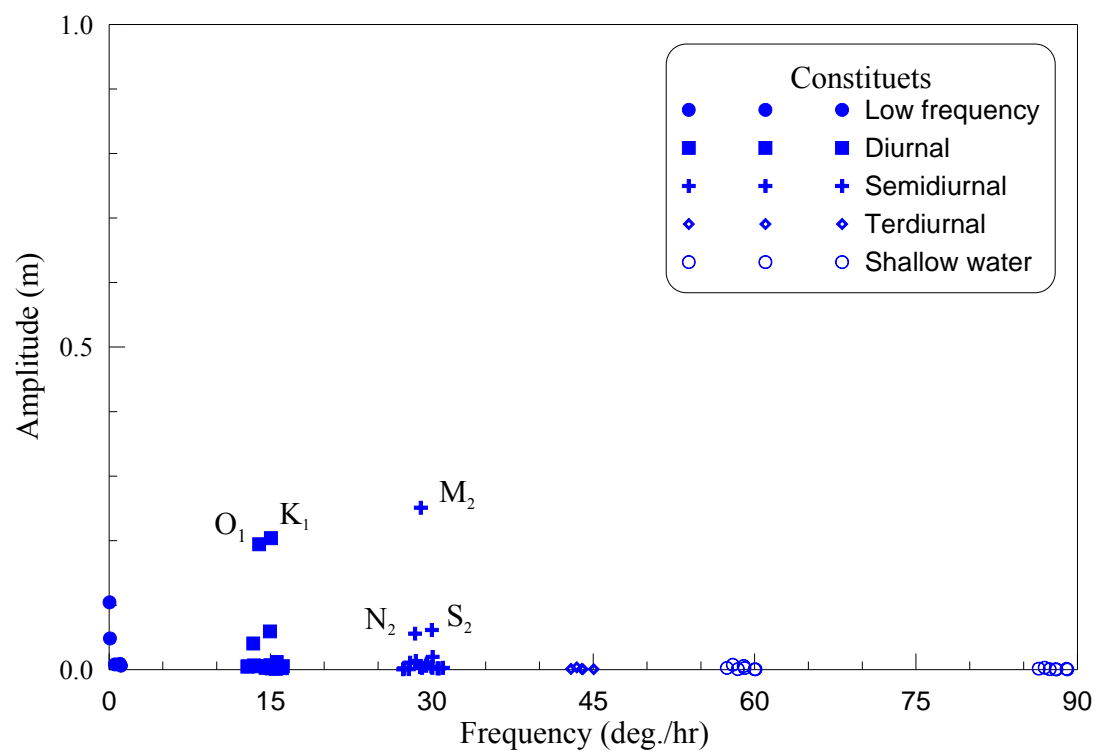


圖 2.14 安平港潮位調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖

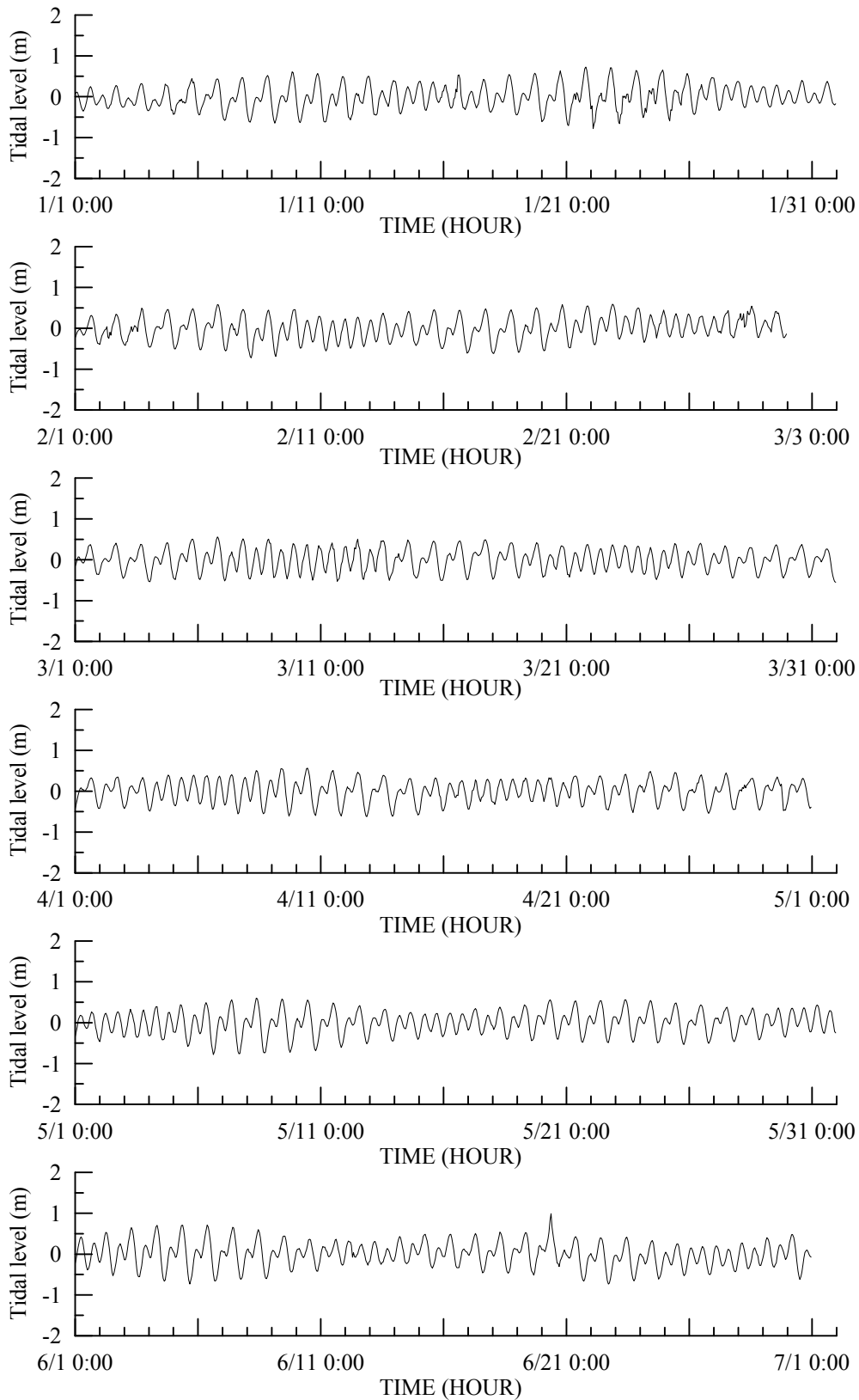


圖 2.15 安平港 2012 年潮位觀測資料之時序列圖

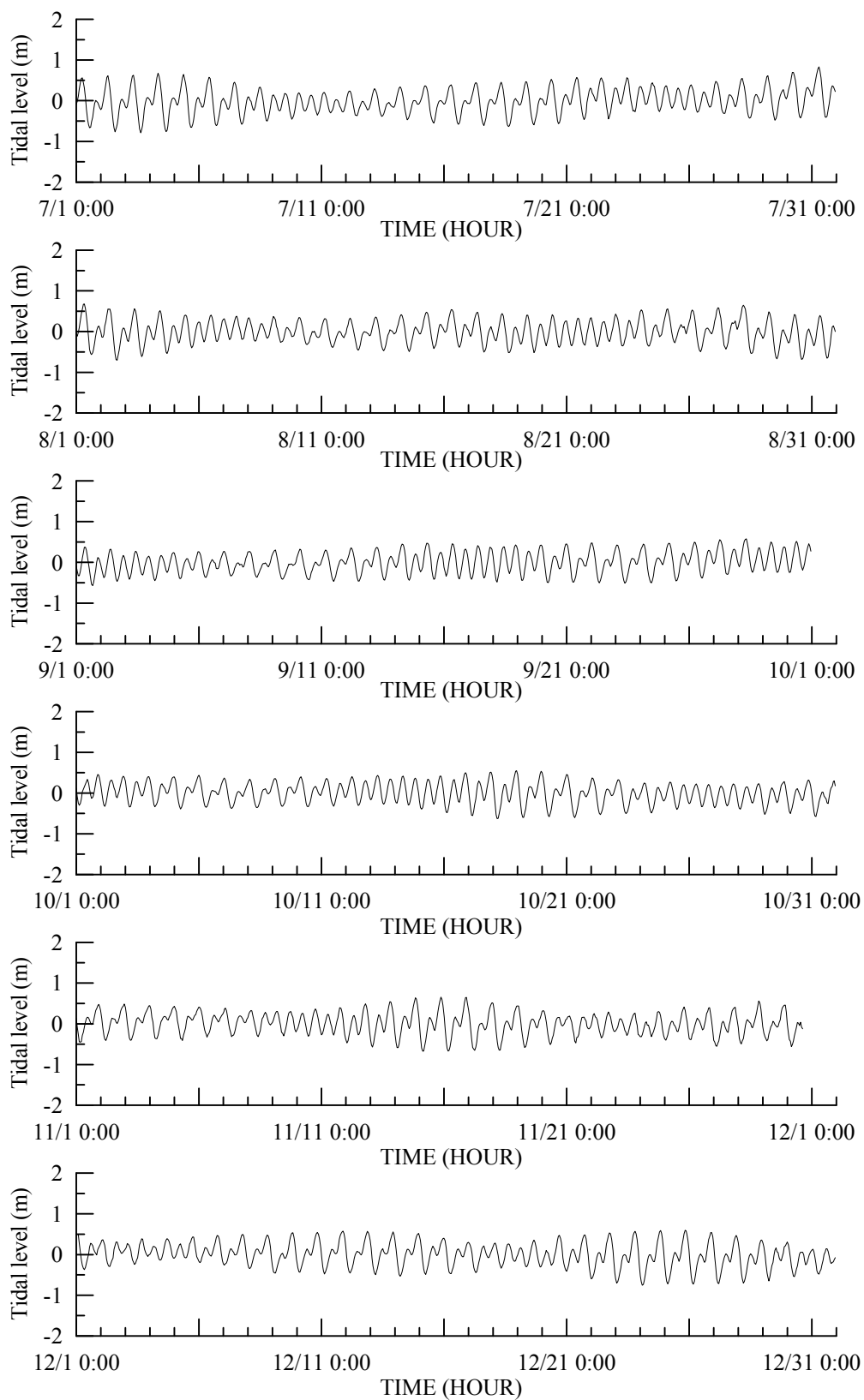


圖 2.15 (續)安平港 2012 年潮位觀測資料之時序列圖

## (2) 高雄港潮位

高雄港潮位逐時資料(詳見附圖 2.2)來自於內政部設置的測站，該測站座標為(22°36'52"N, 120°17'18"E)，潮位觀測基準面採用臺灣高程基準(TWVD2001)。為瞭解高雄港潮位特性，本計畫選取 2010 年 1 月至 2012 年 12 月潮位觀測資料，逐月統計其最高潮位、平均高潮位、平均潮位、平均低潮位及最低潮位等代表性潮位之月變化情形，如圖 2.16 所示；依據上述逐月統計分析結果得到本計畫高雄港各代表性潮位值如下：

|                  |               |
|------------------|---------------|
| 最高高潮位( H.H.W.L.) | E.L.+1.174 m  |
| 平均高潮位( M.H.W.L.) | E.L.+0.457 m  |
| 平均潮位( M.W.L.)    | E.L.+0.201 m  |
| 平均低潮位( M.L.W.L.) | E.L. -0.063 m |
| 最低低潮位( L.L.W.L.) | E.L. -0.505 m |
| 最大潮位差            | 1.366 m       |
| 平均潮位差            | 0.521 m       |

根據上述代表性潮位分析結果得知，2010~2012 年間高雄港觀測的最高潮位值為 E.L.+1.174 m 發生於 2012 年 8 月，平均潮差約 0.52m，最大潮位差約為 1.37m。

本計畫同樣選取高雄港 2010~2012 年潮位觀測資料進行天文潮調和分析，以瞭解高雄港潮汐變化特性；高雄港潮位資料補遺方法如安平港潮位資料補遺之述，以及高雄港潮位資料之頻譜分析與調和分析所得各天文分潮能譜及振幅大小之分布情形分別如圖 2.17 及圖 2.18 所示，得知高雄港潮位頻譜分析與調和分析結果具有一致性，其中天文潮各分潮之振幅及相位分析結果如表 2-3 所列。由高雄港潮位調和分析結果得知高雄港潮汐特性在全日潮成份上以  $K_1$  及  $O_1$  分潮為主，其振幅

大小分別約為 0.178 m 及 0.162 m，半日潮成份則以  $M_2$  分潮為主(振幅約為 0.188 m)，其次為  $S_2$  分潮(振幅約為 0.069 m)。高雄港潮汐之潮型判斷指標  $(O_1+K_1)/(M_2+S_2)$  比值約為 1.322，顯示高雄港海域潮汐變化屬於全日潮型。

本計畫高雄港潮位觀測資料與天文潮調和分析預測值之比較結果，如附圖 2.2 所示，圖中最大誤差值為 0.343m，發生於 2012 年 8 月 1 日中度蘇拉颱風侵臺期間。以年度資料為基準，本計畫分別計算觀測值與預測值間之均方根誤差(Rmsq)、標準偏差(Sd)以及相關係數值(R)如表 2-4 所示，歷年資料分析結果顯示以 2009 年調和分析預測值與觀測資料之均方根誤差較小，且預測值與觀測值之相關性亦較高。

表 2-3 高雄港驗潮站 2010 ~ 2012 年潮汐資料調和分析成果表

| 分潮<br>名稱                 | 角頻率<br>(度/小時) | 振幅<br>(m)     | 位相角<br>(度) | 分潮<br>名稱    | 角頻率<br>(度/小時) | 振幅<br>(m)     | 位相角<br>(度) |
|--------------------------|---------------|---------------|------------|-------------|---------------|---------------|------------|
| $S_a$                    | 0.04106860    | 0.1147        | 45.8371    | $M_2$       | 28.98410416   | <b>0.1880</b> | 300.3661   |
| $S_{aa}$                 | 0.08213730    | 0.0386        | 175.5698   | $MKS_2$     | 29.06624222   | 0.0020        | 131.2153   |
| $M_m$                    | 0.54437470    | 0.0044        | 343.0961   | $\lambda_2$ | 29.45562553   | 0.0021        | 91.5962    |
| $M_{sf}$                 | 1.01589584    | 0.0115        | 301.8601   | $L_2$       | 29.52847862   | 0.0042        | 250.0306   |
| $M_f$                    | 1.09803307    | 0.0081        | 132.2448   | $T_2$       | 29.95893288   | 0.0048        | 76.9097    |
| $2Q_1$                   | 12.85428619   | 0.0034        | 327.9850   | $S_2$       | 30.00000000   | <b>0.0693</b> | 264.7275   |
| $\sigma_1$               | 12.92714024   | 0.0033        | 151.7079   | $R_2$       | 30.04106712   | 0.0019        | 118.3653   |
| $Q_1$                    | 13.39866066   | 0.0320        | 55.7455    | $K_2$       | 30.08213806   | 0.0180        | 51.2911    |
| $\rho_1$                 | 13.47151470   | 0.0061        | 241.4254   | $MSN_2$     | 30.54437447   | 0.0014        | 313.3220   |
| $O_1$                    | 13.94303513   | <b>0.1625</b> | 147.9907   | $KJ_2$      | 30.62651253   | 0.0011        | 153.2099   |
| $MP_1$                   | 14.02517319   | 0.0023        | 257.3627   | $2SM_2$     | 31.01589584   | 0.0003        | 220.5457   |
| $M_1$                    | 14.49202538   | 0.0125        | 10.2787    | $MO_2$      | 42.92713928   | 0.0028        | 336.3810   |
| $\chi_1$                 | 14.56954765   | 0.0028        | 201.8810   | $M_3$       | 43.47615814   | 0.0038        | 154.5831   |
| $\pi_1$                  | 14.91786480   | 0.0053        | 292.8929   | $SO_3$      | 43.94303513   | 0.0012        | 328.6207   |
| $P_1$                    | 14.95893097   | 0.0569        | 127.1341   | $MK_3$      | 44.02517319   | 0.0012        | 220.2465   |
| $S_1$                    | 15.00000000   | 0.0035        | 168.8674   | $SK_3$      | 45.04106903   | 0.0003        | 250.8000   |
| $K_1$                    | 15.04106903   | <b>0.1777</b> | 103.4823   | $MN_4$      | 57.42383194   | 0.0010        | 19.5692    |
| $\psi_1$                 | 15.08213520   | 0.0033        | 274.9314   | $M_4$       | 57.96820831   | 0.0020        | 100.3659   |
| $\phi_1$                 | 15.12320614   | 0.0008        | 226.6732   | $SN_4$      | 58.43972778   | 0.0006        | 351.9911   |
| $\theta_1$               | 15.51258945   | 0.0019        | 11.1362    | $MS_4$      | 58.98410416   | 0.0020        | 88.8286    |
| $J_1$                    | 15.58544350   | 0.0076        | 164.0551   | $MK_4$      | 59.06624222   | 0.0011        | 188.3637   |
| $SO_1$                   | 16.05696487   | 0.0021        | 358.5420   | $S_4$       | 60.00000000   | 0.0003        | 148.8213   |
| $OO_1$                   | 16.13910103   | 0.0019        | 221.5521   | $SK_4$      | 60.08213806   | 0.0006        | 219.1819   |
| $OQ_2$                   | 27.34169579   | 0.0010        | 40.1198    | $2MN_6$     | 86.40793610   | 0.0020        | 162.5021   |
| $MNS_2$                  | 27.42383385   | 0.0023        | 198.0703   | $M_6$       | 86.95231628   | 0.0032        | 255.9974   |
| $2N_2$                   | 27.85935402   | 0.0010        | 134.3851   | $MSN_6$     | 87.42383575   | 0.0009        | 165.3578   |
| $\mu_2$                  | 27.96820450   | 0.0066        | 283.9491   | $2MS_6$     | 87.96820831   | 0.0030        | 271.0563   |
| $N_2$                    | 28.43972969   | 0.0441        | 218.1297   | $2MK_6$     | 88.05034637   | 0.0007        | 68.9312    |
| $\nu_2$                  | 28.51258278   | 0.0084        | 51.2308    | $2SM_6$     | 88.98410797   | 0.0003        | 266.9644   |
| $OP_2$                   | 28.90196609   | 0.0068        | 211.9546   | $MSK_6$     | 89.06623840   | 0.0002        | 290.9814   |
| 平均潮位 = 0.2023m           |               |               |            |             |               |               |            |
| 資料時間：2011/07/02 23:00:00 |               |               |            |             |               |               |            |

表 2-4 高雄港潮位觀測資料與天文潮預測值誤差分析成果表

| 年    |     | 平均值(m)  | 最大值(m) | 均方根誤差(m) | 標準偏差    | 相關係數    |
|------|-----|---------|--------|----------|---------|---------|
| 2010 | 預測值 | 0.20214 | 0.954  | 0.00439  | 0.06119 | 0.97194 |
|      | 觀測值 | 0.1788  | 0.948  |          |         |         |
| 2011 | 預測值 | 0.20219 | 0.897  | 0.00342  | 0.05686 | 0.97450 |
|      | 觀測值 | 0.19024 | 1.002  |          |         |         |
| 2012 | 預測值 | 0.20222 | 0.922  | 0.00717  | 0.07500 | 0.95430 |
|      | 觀測值 | 0.24151 | 1.174  |          |         |         |



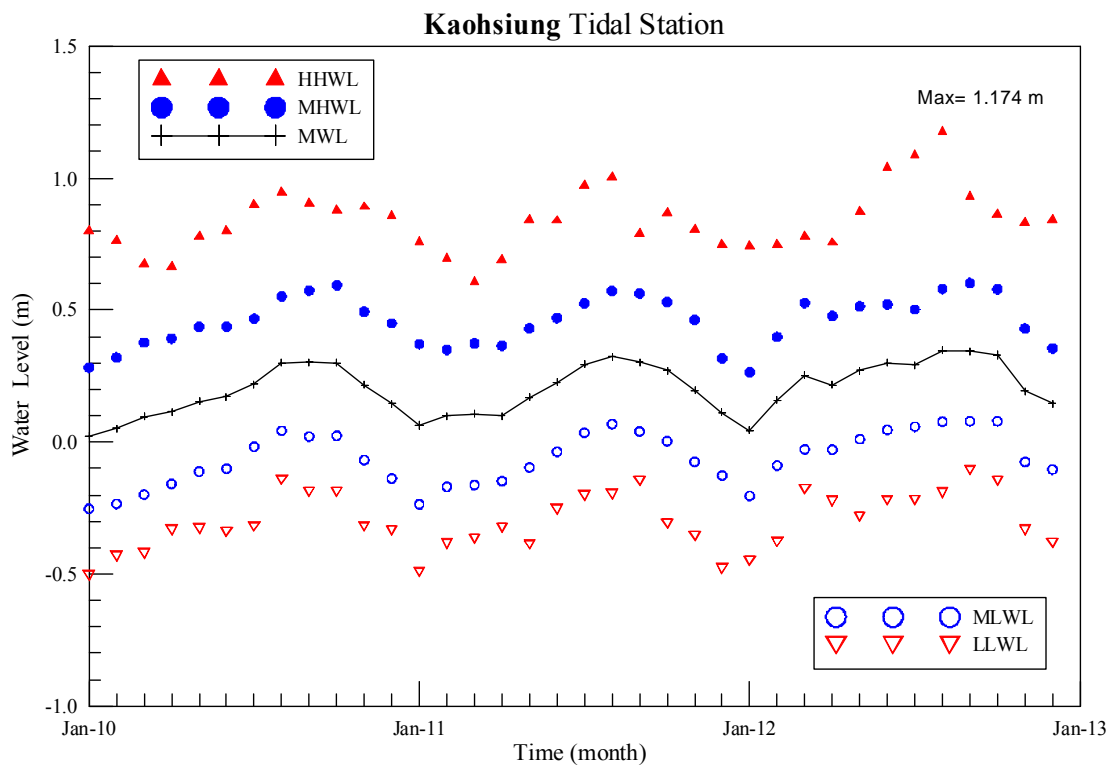


圖 2.16 高雄港 2010~2012 年主要代表性潮位逐月統計值圖

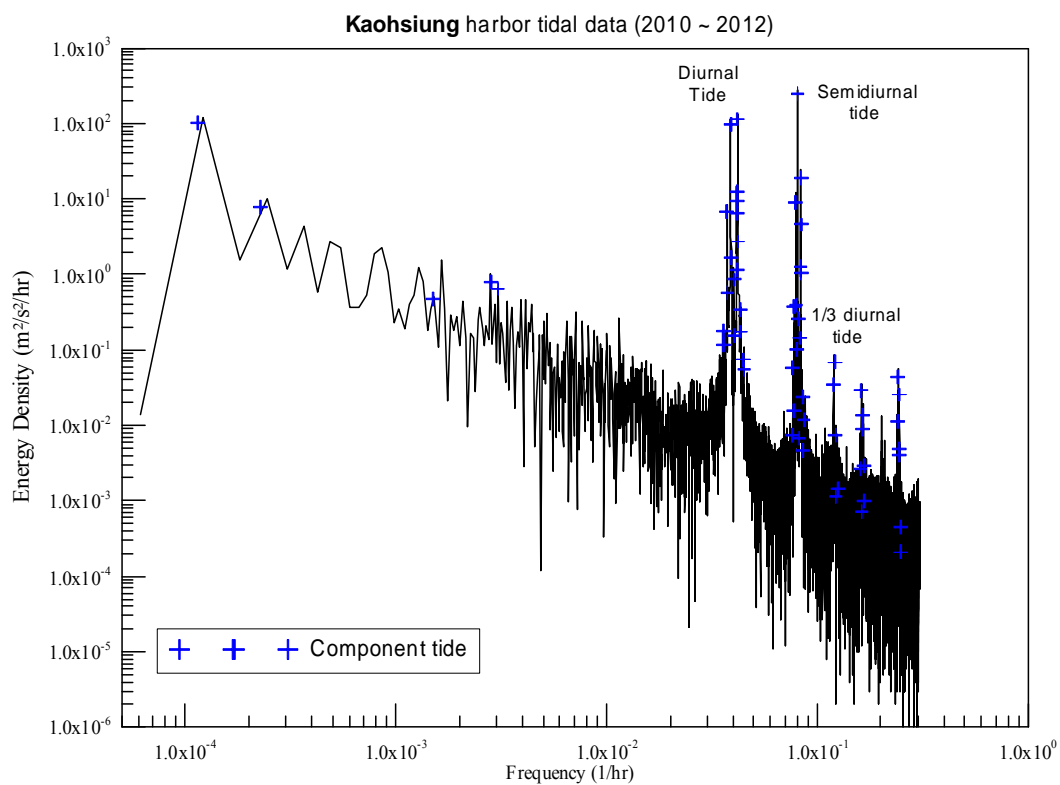


圖 2.17 高雄港潮位頻譜分析結果與各分潮頻率對應關係圖

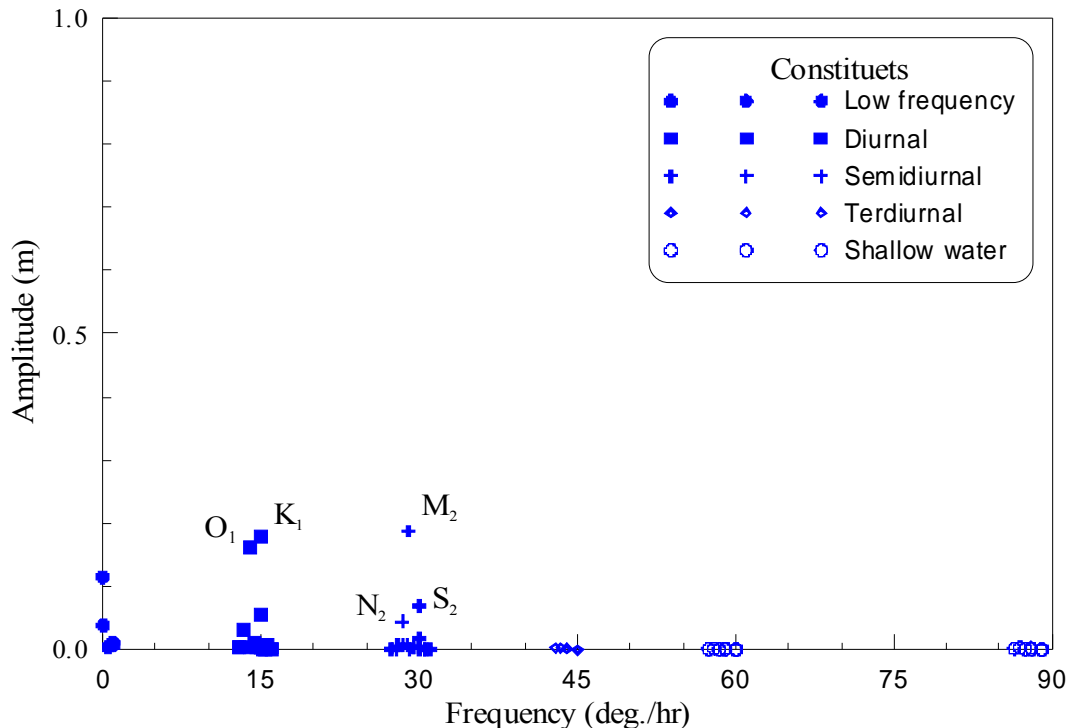


圖 2.18 高雄港潮位調和分析結果之分潮振幅大小分佈圖

## 2.4 海流資料

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需視該海域之特性及季節而定。本研究潮流是指由潮汐漲退引起的海洋水體作週期性往復流動之現象，潮流之強弱不僅會隨著月齡不同而有所變化外，其流速大小及方向亦受到海底地形之影響，因此潮流現象會各地區不同而有不同的變化特性。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，有關本年度蒐集之安平港及高雄港海流觀測資料相關分析結果說明如下：

### (1) 安平港潮流

安平港海域海流觀測站設置於安平港航道出口南側外海約 500 m 水深約 14 m 處，位置如圖 2.19 所示。本計畫整理 2011 年 12 月至 2012

年 11 月間安平港海流觀測資料(詳見附圖 3.1)，顯示安平港海流觀測資料於 5 月中旬中斷，直至 7 月中旬始恢復觀測；另在海流觀測資料檢核上，本計畫亦發現 1~3 月觀測資料流向變化有異常現象，致使南北向流速之月平均值約介於-0.17m/s~-0.26m/s；8 月份部份海流觀測資料有明顯受到侵臺颱風影響，如 8 月初中度颱風蘇拉及下旬中度颱風天秤等，分別有觀測到異常流速資料，其中最大流速觀測值為 1.056 m/sec，流向約為向西，正值中度颱風天秤位於臺灣西南部外海。

為瞭解安平港潮流特性，本計畫依據上述海流觀測資料分別選取 2012 年 4 月 1 日 0 時至 5 月 20 日 14 時共 1191 筆逐時觀測資料，以及 8 月 16 日 17 時至 9 月 26 日 17 時共 985 筆逐時觀測資料進行頻譜分析，結果如圖 2.20 與圖 2.21 所示，顯示安平港海流資料中潮流成份係以半日潮流為主，全日潮流為次之，因此本計畫依據上述頻譜分析結果選取全日潮( $O_1$ 、 $K_1$ )及半日潮( $M_2$ 、 $S_2$ )等四個主要分潮進行安平港潮流調和分析，如表 2-5 所列。另外，由頻譜分析結果得知，第二組觀測資料(08/16 ~ 09/26)其 E-W 方向之速度能譜分布在全日潮能量部份有出現異常狀，此一現象亦反映在潮流調和分析結果之中，如表 2-5(續)全日潮  $K_1$  在 E-W 方向之振幅顯著偏小。有鑑於此，本計畫選取第一組資料為後續安平港水動力模式模擬結果驗證之依據。

表 2-5 安平港海流觀測資料潮流調和分析成果表

| 分潮<br>名稱       | 角頻率<br>(度/小時) | E-W方向分量                             |         | N-S方向分量     |         |
|----------------|---------------|-------------------------------------|---------|-------------|---------|
|                |               | 振幅(m/s)                             | 位相角(度)  | 振幅(m/s)     | 位相角(度)  |
| O <sub>1</sub> | 13.94303513   | 0.0151                              | 0.723   | 0.0219      | 162.370 |
| K <sub>1</sub> | 15.04106903   | 0.0219                              | 335.219 | 0.0309      | 132.820 |
| M <sub>2</sub> | 28.98410416   | 0.0986                              | 245.026 | 0.1679      | 74.042  |
| S <sub>2</sub> | 30.00000000   | 0.0417                              | 179.385 | 0.0574      | 3.874   |
| 平均流速           |               | -0.0364 m/s                         |         | -0.0151 m/s |         |
| 觀測資料時間         |               | 2012/04/01 00:00 ~ 2012/05/20 14:00 |         |             |         |
| 原點時間           |               | 2012/04/25 19:00                    |         |             |         |

表 2-5 (續)安平港海流觀測資料潮流調和分析成果表

| 分潮<br>名稱       | 角頻率<br>(度/小時) | E-W方向分量                             |         | N-S方向分量     |         |
|----------------|---------------|-------------------------------------|---------|-------------|---------|
|                |               | 振幅(m/s)                             | 位相角(度)  | 振幅(m/s)     | 位相角(度)  |
| O <sub>1</sub> | 13.94303513   | 0.0169                              | 170.634 | 0.0249      | 354.579 |
| K <sub>1</sub> | 15.04106903   | 0.0033 <sup>*</sup>                 | 235.579 | 0.0150      | 4.883   |
| M <sub>2</sub> | 28.98410416   | 0.1999                              | 307.840 | 0.2535      | 146.934 |
| S <sub>2</sub> | 30.00000000   | 0.0643                              | 228.196 | 0.0744      | 84.668  |
| 平均流速           |               | -0.1227 m/s                         |         | -0.0521 m/s |         |
| 觀測資料時間         |               | 2012/08/16 00:00 ~ 2012/09/26 17:00 |         |             |         |
| 原點時間           |               | 2012/09/06 05:00                    |         |             |         |

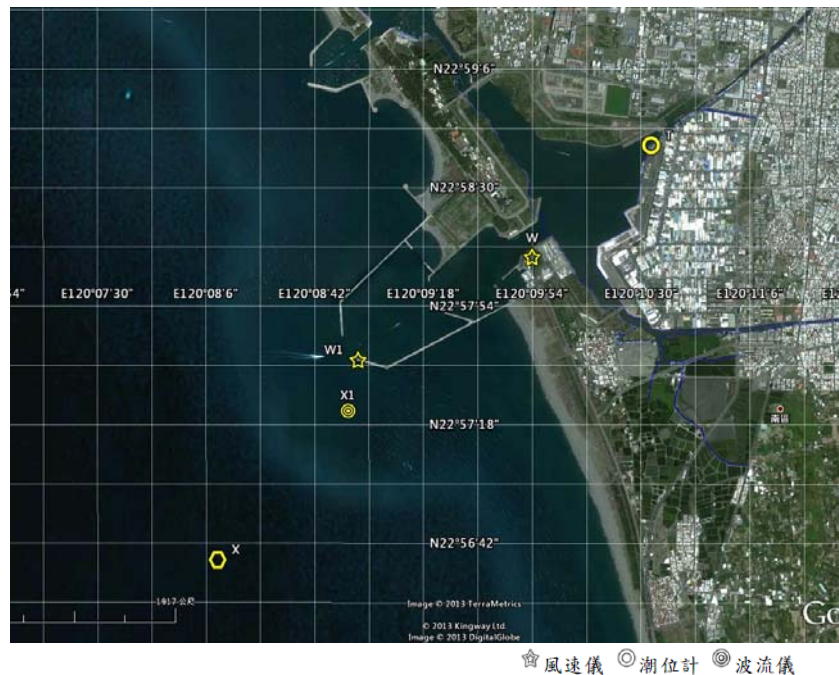
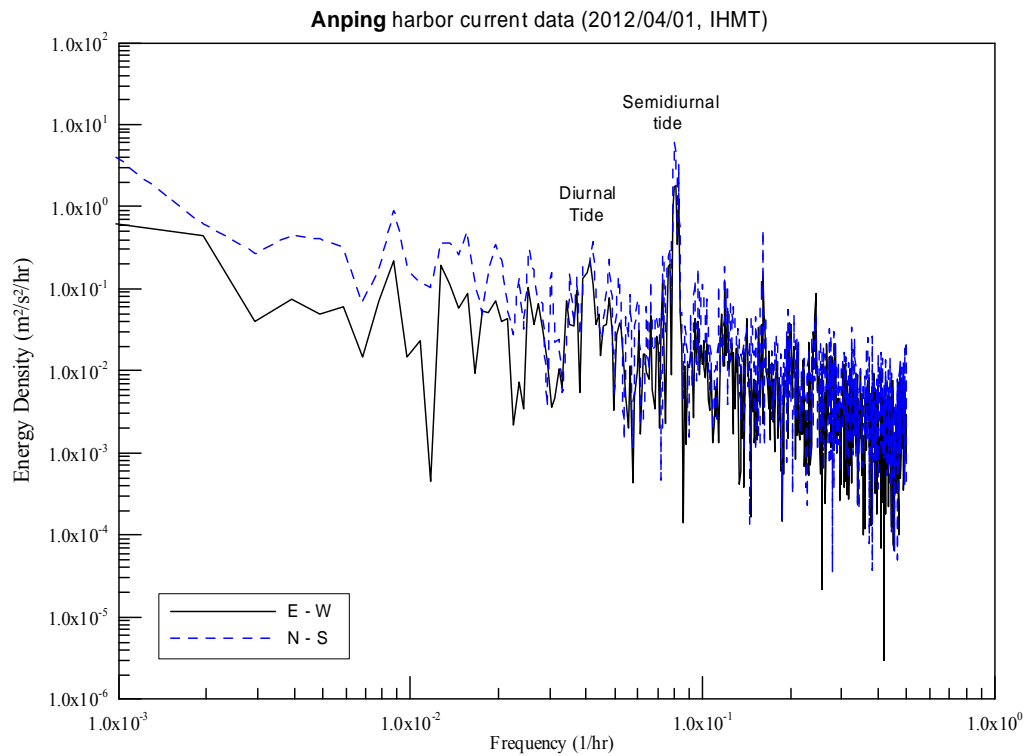
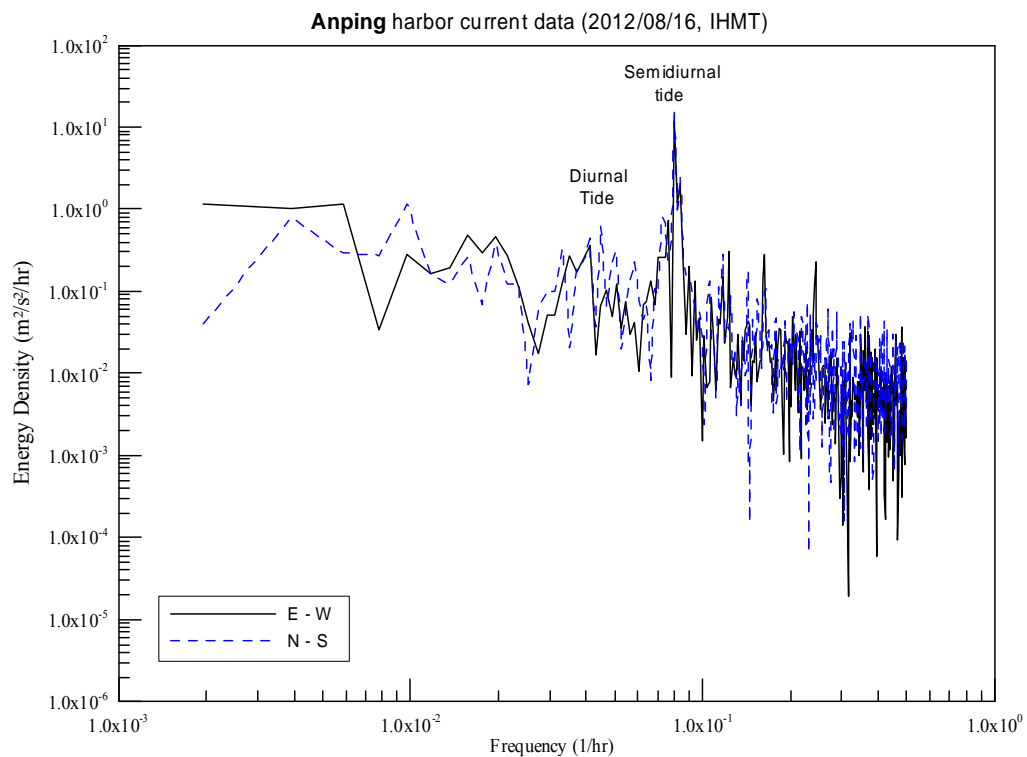


圖 2.19 港灣技術研究中心安平港港區海象資料測站位置示意圖



**圖 2.20 安平港海流觀測資料 E-W 及 N-S 方向速度能譜圖  
(2012/04/01~2012/05/20)**



**圖 2.21 安平港海流觀測資料 E-W 及 N-S 方向速度能譜圖  
(2012/08/16~2012/09/26)**

## (2) 高雄港潮流

高雄港海域海流觀測站設置於二港口航道出口南南西側外海處(67二度分帶座標：E 176657.341, N 2493690.099)，位置如圖 2.22 所示。本計畫蒐集高雄港 2011 年 12 月至 2012 年 11 月間海流觀測資料(如附圖 3.2 所示)，上述海流觀測資料在中度颱風蘇拉侵臺後中斷(8 月 5 日)，直至 9 月初始恢復正常觀測，因此 2012 年影響臺灣南部海域甚鉅之中度颱風天秤侵臺期間高雄港海域缺乏海流觀測資料。就海流觀測資料而言，2012 年高雄港海流觀測最大流速觀測值為 1.469 m/sec，流向約為西北向(311.0 度)，發生於輕度颱風泰利警報期間。

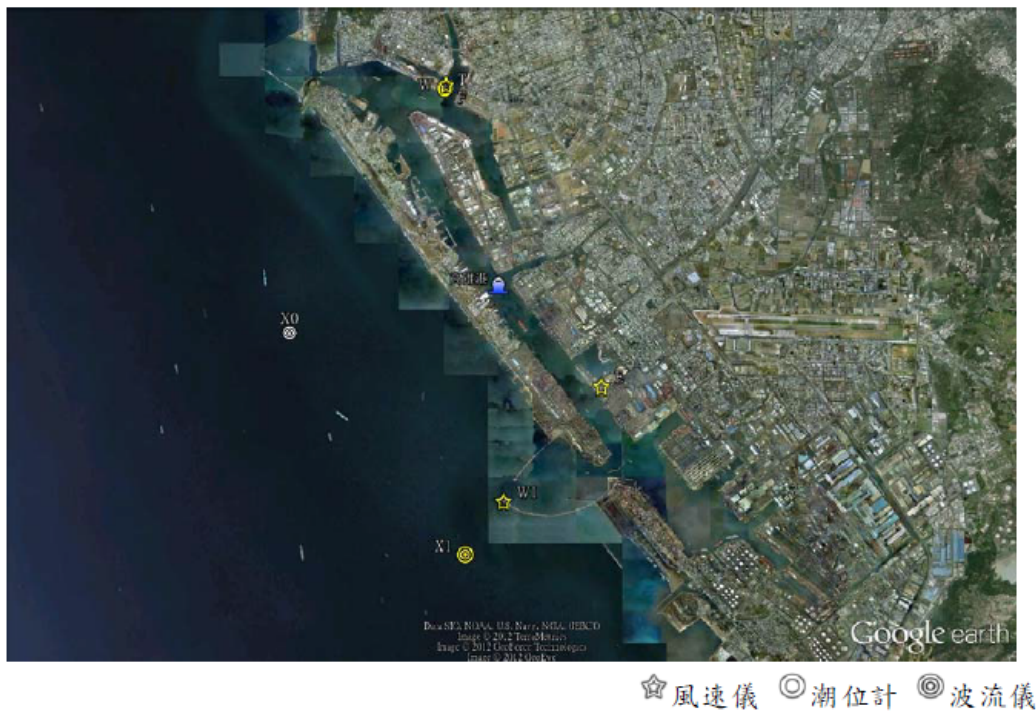


圖 2.22 港灣技術研究中心高雄港區海象資料測站位置示意圖

在海流特性分析上，本年度計畫先針對每月海流觀測資料選取連續觀測達 512 筆以上之月觀測資料，分別進行 E-W 及 N-S 方向速度頻譜分析，如圖 2.23 至圖 2.29 所示分別為高雄港海流月觀測流速之分量能譜圖。由流速分量能譜分析結果得知高雄港外海潮流具有全日潮流能量分布大於半日潮流能量分布之特性，其中全日潮流成份分別以  $K_1$ 、 $O_1$  日分潮為主，半日潮流則以  $M_2$  分潮為主， $S_2$  分潮次之。另就測

站 2012 年海流觀測資料而言，其 N-S 方向速度能量分布普遍大於 E-W 方向速度能量分布，亦即海流偏向以南北向流速為主。同時，本計畫依據上述海流頻譜分析結果選取主要分潮  $K_1$ 、 $O_1$ 、 $M_2$  及  $S_2$  等四個分潮進行潮流調和分析，如表 2-6 所列，藉以得到高雄港主要分潮流之 E-W 及 N-S 方向速度分量，作為後續本年度高雄港小尺度水動力模組模擬結果之驗證依據。

整體而言，高雄港海域因全日潮流能量大於半日潮流能量以及海域地形影響所致，港外潮流呈現出漲潮時自北向南流，退潮時自南向北流之現象。

表 2-6 高雄港海流觀測資料潮流調和分析成果表

| 分潮<br>名稱       | 角頻率<br>(度/小時) | E-W方向分量                             |         | N-S方向分量     |         |
|----------------|---------------|-------------------------------------|---------|-------------|---------|
|                |               | 振幅(m/s)                             | 位相角(度)  | 振幅(m/s)     | 位相角(度)  |
| O <sub>1</sub> | 13.94303513   | 0.0307                              | 193.907 | 0.0412      | 29.785  |
| K <sub>1</sub> | 15.04106903   | 0.0777                              | 358.881 | 0.1072      | 172.953 |
| M <sub>2</sub> | 28.98410416   | 0.0116                              | 154.381 | 0.0142      | 334.860 |
| S <sub>2</sub> | 30.00000000   | 0.0107                              | 66.395  | 0.0171      | 330.796 |
| 平均流速           |               | -0.0116 m/s                         |         | -0.0724 m/s |         |
| 觀測資料時間         |               | 2012/01/01 01:00 ~ 2012/01/31 23:00 |         |             |         |
| 原點時間           |               | 2012/01/16 12:00                    |         |             |         |

表 2-6 (續 1)高雄港海流觀測資料潮流調和分析成果表

| 分潮<br>名稱       | 角頻率<br>(度/小時) | E-W方向分量                             |         | N-S方向分量     |         |
|----------------|---------------|-------------------------------------|---------|-------------|---------|
|                |               | 振幅(m/s)                             | 位相角(度)  | 振幅(m/s)     | 位相角(度)  |
| O <sub>1</sub> | 13.94303513   | 0.0458                              | 232.524 | 0.0627      | 80.096  |
| K <sub>1</sub> | 15.04106903   | 0.0887                              | 6.046   | 0.0974      | 176.362 |
| M <sub>2</sub> | 28.98410416   | 0.0524                              | 331.820 | 0.1000      | 142.309 |
| S <sub>2</sub> | 30.00000000   | 0.0108                              | 111.169 | 0.0251      | 1.540   |
| 平均流速           |               | -0.1227 m/s                         |         | -0.1058 m/s |         |
| 觀測資料時間         |               | 2012/02/01 01:00 ~ 2012/02/29 23:00 |         |             |         |
| 原點時間           |               | 2012/02/15 12:00                    |         |             |         |

表 2-6 (續 2)高雄港海流觀測資料潮流調和分析成果表

| 分潮<br>名稱       | 角頻率<br>(度/小時) | E-W方向分量                             |         | N-S方向分量     |         |
|----------------|---------------|-------------------------------------|---------|-------------|---------|
|                |               | 振幅(m/s)                             | 位相角(度)  | 振幅(m/s)     | 位相角(度)  |
| O <sub>1</sub> | 13.94303513   | 0.0426                              | 231.099 | 0.1259      | 115.585 |
| K <sub>1</sub> | 15.04106903   | 0.0528                              | 43.022  | 0.0528      | 141.294 |
| M <sub>2</sub> | 28.98410416   | 0.0611                              | 312.081 | 0.1342      | 134.489 |
| S <sub>2</sub> | 30.00000000   | 0.0045                              | 107.892 | 0.0924      | 318.814 |
| 平均流速           |               | 0.0529 m/s                          |         | -0.0909 m/s |         |
| 觀測資料時間         |               | 2012/03/01 01:00 ~ 2012/03/31 23:00 |         |             |         |
| 原點時間           |               | 2012/03/16 12:00                    |         |             |         |

表 2-6 (續 3)高雄港海流觀測資料潮流調和分析成果表

| 分潮<br>名稱       | 角頻率<br>(度/小時) | E-W方向分量                             |        | N-S方向分量     |         |
|----------------|---------------|-------------------------------------|--------|-------------|---------|
|                |               | 振幅(m/s)                             | 位相角(度) | 振幅(m/s)     | 位相角(度)  |
| O <sub>1</sub> | 13.94303513   | 0.0156                              | 1.108  | 0.0725      | 200.208 |
| K <sub>1</sub> | 15.04106903   | 0.0515                              | 96.735 | 0.1353      | 32.837  |
| M <sub>2</sub> | 28.98410416   | 0.0523                              | 8.092  | 0.1369      | 184.974 |
| S <sub>2</sub> | 30.00000000   | 0.0270                              | 15.978 | 0.0391      | 346.074 |
| 平均流速           |               | 0.0411 m/s                          |        | -0.0310 m/s |         |
| 觀測資料時間         |               | 2012/05/01 01:00 ~ 2012/05/31 23:00 |        |             |         |
| 原點時間           |               | 2012/05/16 12:00                    |        |             |         |

表 2-6 (續 4)高雄港海流觀測資料潮流調和分析成果表

| 分潮<br>名稱       | 角頻率<br>(度/小時) | E-W方向分量                             |         | N-S方向分量     |         |
|----------------|---------------|-------------------------------------|---------|-------------|---------|
|                |               | 振幅(m/s)                             | 位相角(度)  | 振幅(m/s)     | 位相角(度)  |
| O <sub>1</sub> | 13.94303513   | 0.0616                              | 20.519  | 0.1026      | 222.189 |
| K <sub>1</sub> | 15.04106903   | 0.0684                              | 174.953 | 0.1037      | 6.889   |
| M <sub>2</sub> | 28.98410416   | 0.1259                              | 313.716 | 0.2198      | 123.697 |
| S <sub>2</sub> | 30.00000000   | 0.0516                              | 269.751 | 0.0963      | 97.288  |
| 平均流速           |               | -0.0599 m/s                         |         | -0.0638 m/s |         |
| 觀測資料時間         |               | 2012/09/05 16:00 ~ 2012/09/30 23:00 |         |             |         |
| 原點時間           |               | 2012/09/18 07:00                    |         |             |         |



表 2-6 (續 5)高雄港海流觀測資料潮流調和分析成果表

| 分潮<br>名稱       | 角頻率<br>(度/小時) | E-W方向分量                             |         | N-S方向分量     |         |
|----------------|---------------|-------------------------------------|---------|-------------|---------|
|                |               | 振幅(m/s)                             | 位相角(度)  | 振幅(m/s)     | 位相角(度)  |
| O <sub>1</sub> | 13.94303513   | 0.0766                              | 289.935 | 0.0961      | 131.437 |
| K <sub>1</sub> | 15.04106903   | 0.1362                              | 54.784  | 0.1630      | 255.499 |
| M <sub>2</sub> | 28.98410416   | 0.1242                              | 132.554 | 0.1666      | 311.488 |
| S <sub>2</sub> | 30.00000000   | 0.0452                              | 126.328 | 0.0705      | 317.058 |
| 平均流速           |               | 0.0307 m/s                          |         | -0.1545 m/s |         |
| 觀測資料時間         |               | 2012/10/01 01:00 ~ 2012/10/31 23:00 |         |             |         |
| 原點時間           |               | 2012/10/16 12:00                    |         |             |         |

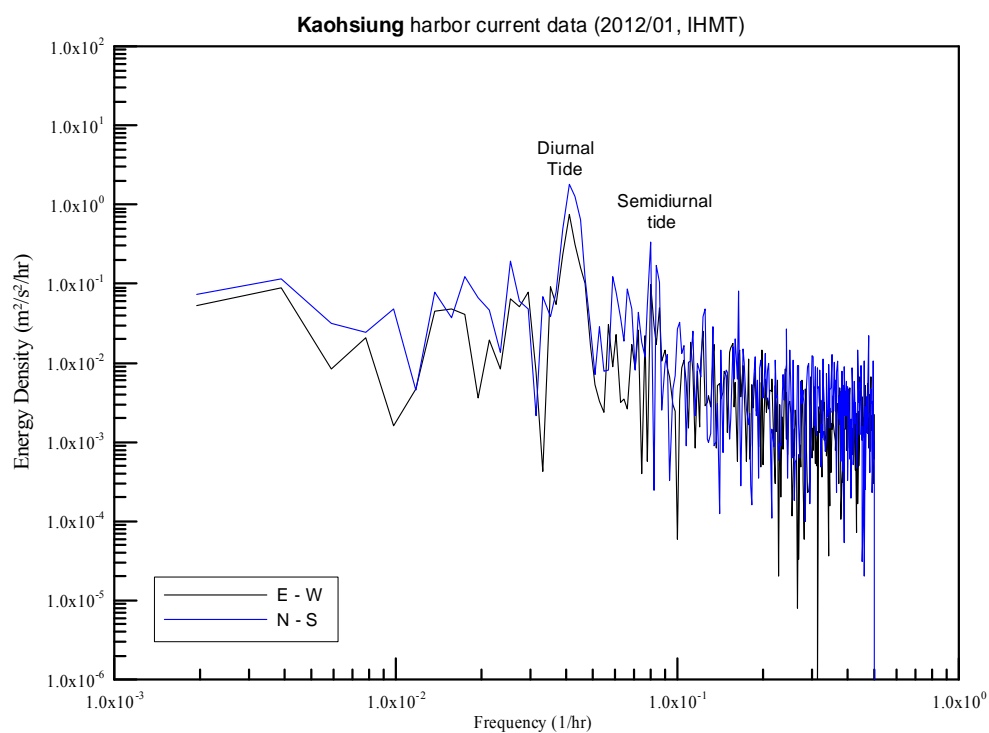


圖 2.23 高雄港海流觀測資料 E-W 及 N-S 方向速度能譜圖  
(資料時間：2012/01/01~1/31)

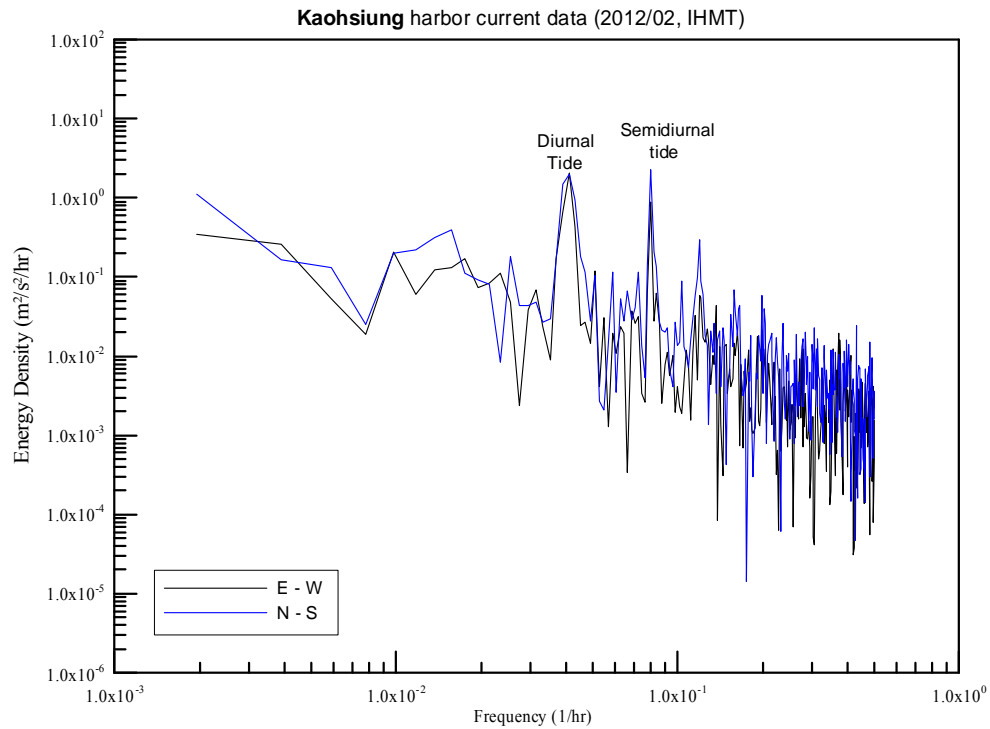


圖 2.24 高雄港海流觀測資料 E-W 及 N-S 方向速度能譜圖  
(資料時間：2012/02/01~02/29)

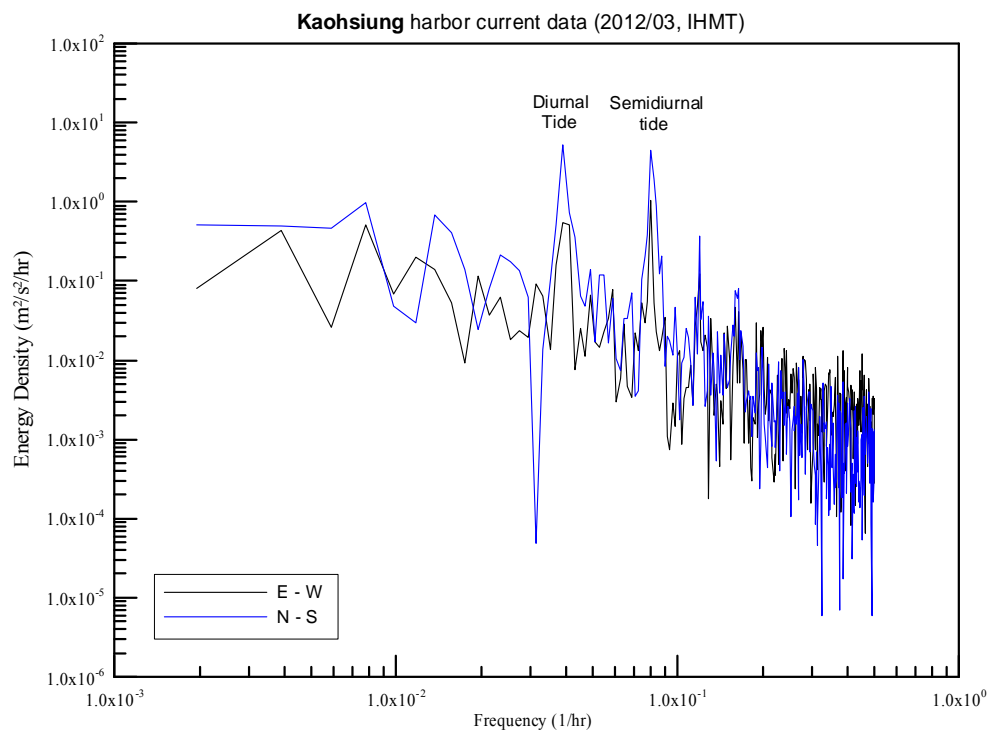


圖 2.25 高雄港海流觀測資料 E-W 及 N-S 方向速度能譜圖  
(資料時間：2012/03/01~03/31)

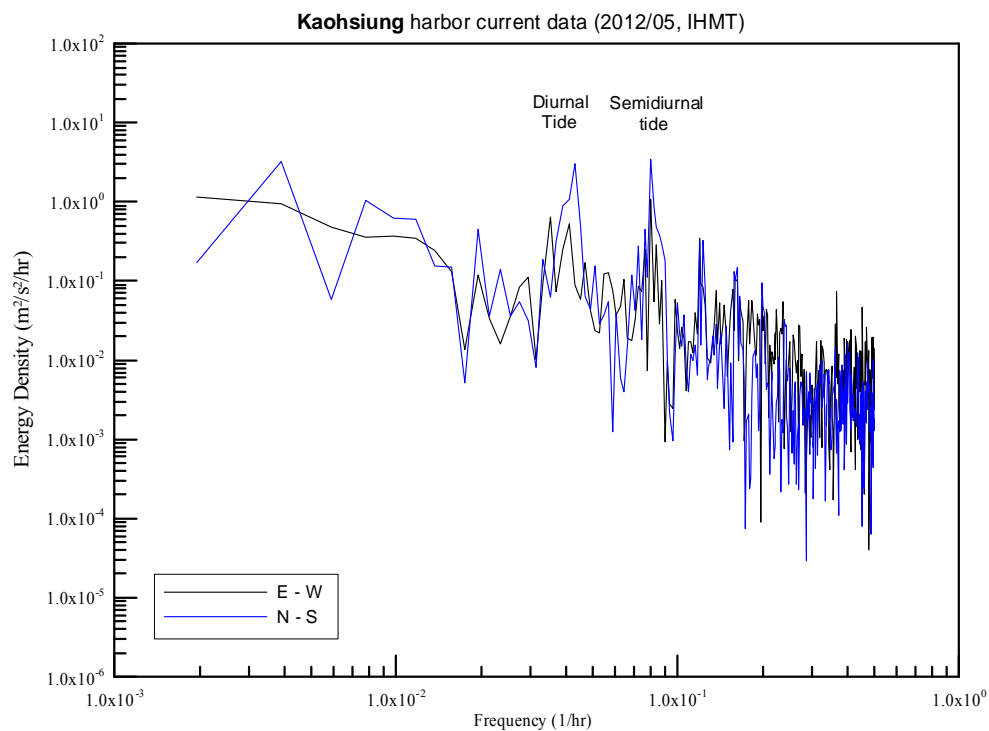


圖 2.26 高雄港海流觀測資料 E-W 及 N-S 方向速度能譜圖  
(資料時間：2012/05/01~05/31)

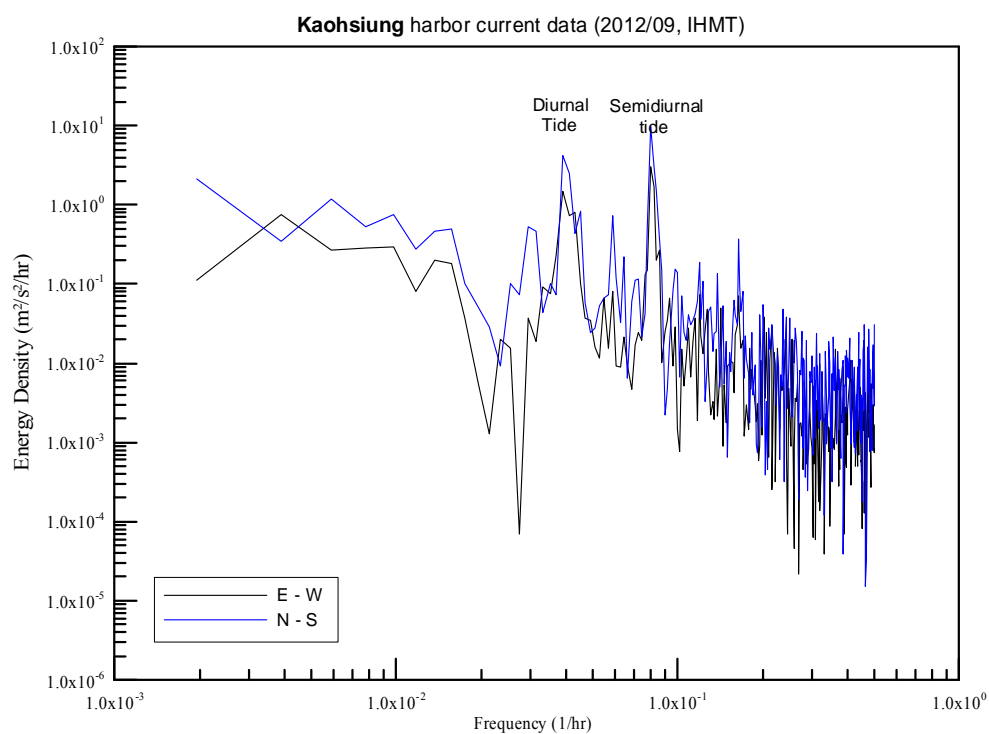


圖 2.27 高雄港海流觀測資料 E-W 及 N-S 方向速度能譜圖  
(資料時間：2012/09/05~09/30)

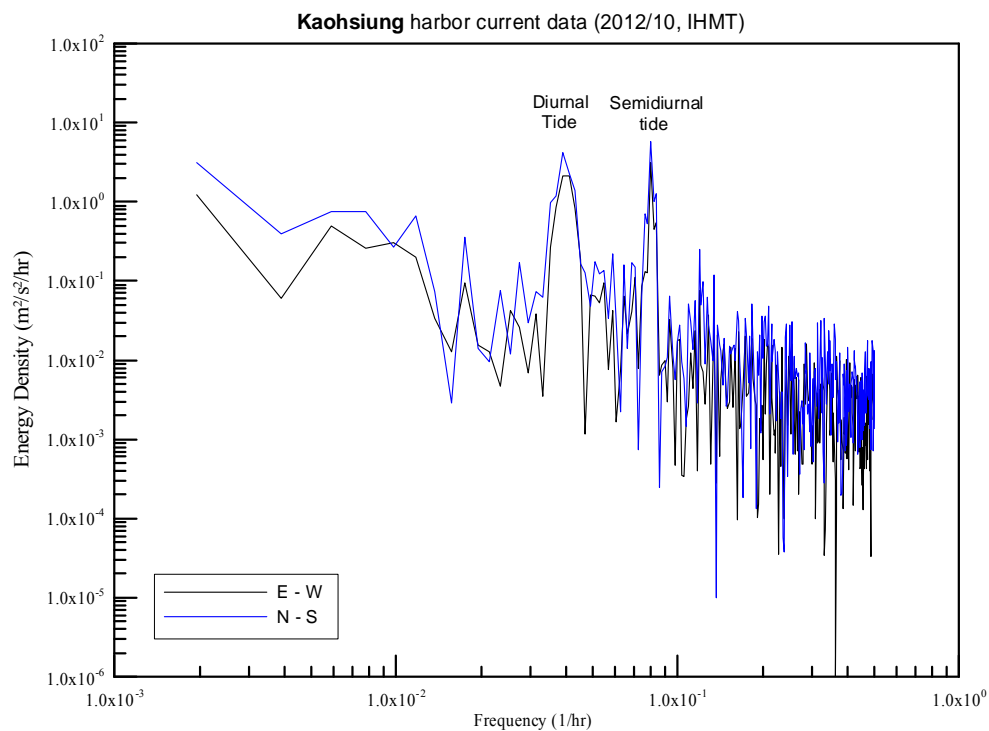


圖 2.28 高雄港海流觀測資料 E-W 及 N-S 方向速度能譜圖  
(資料時間：2012/10/01~10/31)

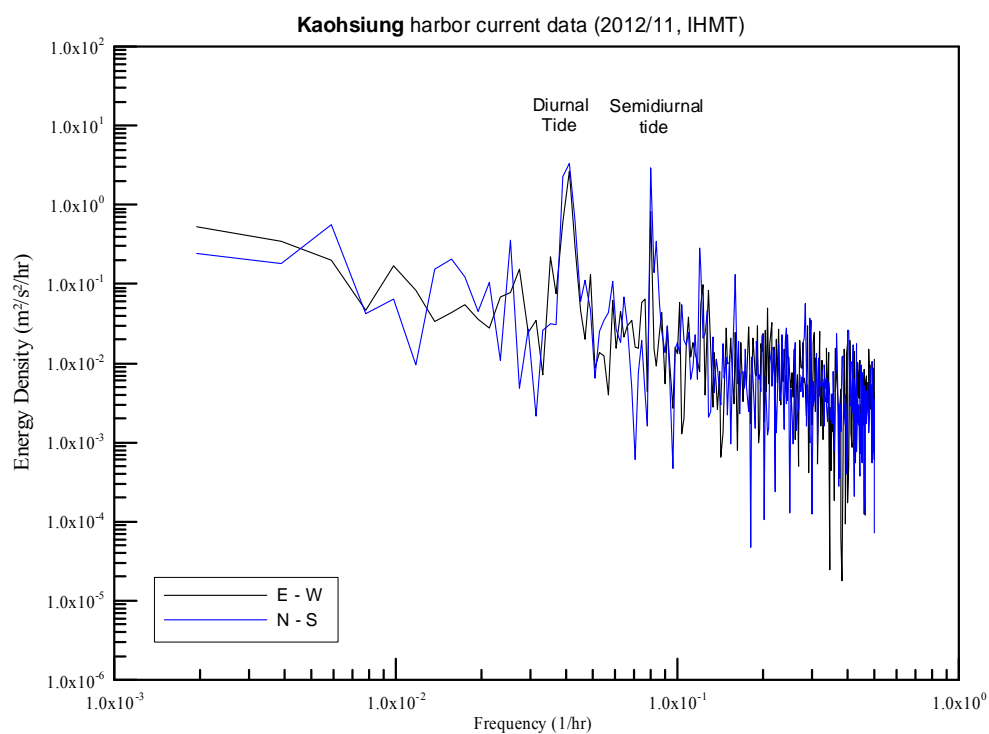


圖 2.29 高雄港海流觀測資料 E-W 及 N-S 方向速度能譜圖  
(資料時間：2012/11/01~11/30)

## 2.5 波浪資料

### (1) 安平港

本計畫蒐集 2012 年(1~11 月)安平港逐時波浪觀測資料(如附圖 4.1 所示)，同海流觀測，安平港波浪觀測資料自 5 月 21 日 6 時起因故觀測中斷，直至 7 月 19 日 12 時始恢復正常觀測，期間經歷輕度颱風泰利警報發布(6/19~6/21)；以及 10 月及 11 月份觀測資料均有觀測資料中斷數日之現象，總計 2012 年 1 月至 11 月有效波浪觀測資料達 6179 筆。表 2-7 及表 2-8 所列分別為 2012 年安平港海域波浪觀測資料之示性波高分布範圍及平均波向分布範圍統計結果，顯示安平港海域示性波高分布以波高小於 0.5 m 及波高介於 0.5 m~1.0 m 為主要分布區間，前者約佔觀測資料數之 37.0% (波浪平均週期之平均值約為 6.35 sec)，後者約佔觀測資料數之 50.1% (波浪平均週期之平均值約為 6.42 sec)。此外，安平港 2012 年波浪觀測期間示性波高最大值為 4.05 m(平均週期為 11.8 sec、波向 233.1°)，發生於 7 月 23 日(註：非颱風警報發布期間且高雄港海域波浪觀測亦有相同現象，參考附圖 4.2 所示)；波浪觀測之平均週期最大值為 12.3 sec，分別發生於上述 7 月 23 日(波高為 3.67 m、波向 233.5°)及中度颱風天秤侵臺第二次警報期間(波高為 3.43 m、波向 231.8°)。整體而言，安平港 2012 年波浪觀測資料統計結果顯示波浪平均週期之平均值呈現出隨示性波高增大而遞增之趨勢，如表 2-7 所示。

此外，由表 2-8 所列安平港海域平均波向分布之統計結果顯示，波向分布主要集中於 SW 至 WNW 之間，約佔年度觀測資料之 87.4%。

### (2) 高雄港

本計畫蒐集 2012 年(1~11 月)高雄港外海波浪逐時觀測資料(如附圖 4.2 所示)，顯示 8 月 5 日 17 時起觀測資料因故中斷，直至 9 月 5 日 16 時始恢復正常觀測；惟該波浪觀測中斷期間分別經歷中度颱風海葵、輕度颱風啟德以及中度颱風天秤等侵臺颱風發布，未能有效觀測到颱風波浪至為可惜。本計畫統計 2012 年 1 月至 11 月有效波浪觀測資料共達 6737 筆，其示性波高分布範圍及平均波向分布範圍統計結果

分別如表 2-9 及表 2-10 所列；結果顯示 2012 年高雄港海域示性波高分布以波高 0.5 m ~ 1.0 m 為主要分布區間，約佔觀測資料數之 70.0%，該示性波高區間內波浪平均週期之平均值約為 6.48 sec。整體而言，2012 年波浪觀測期間示性波高最大值為 5.74 m(平均週期為 12.5 sec、波向 236.2°)，發生於輕度颱風泰利警報發布期間；波浪觀測之平均週期最大值為 16.0 sec(波高為 0.79 m、波向 166.7°)，發生於強烈颱風杰拉華侵臺期間，可視為颱風引起的長週期湧浪。整體而言，高雄海域波浪平均週期之平均值大致上呈現隨示性波高增大而遞增之趨勢，如表 2-9 所示，此與安平港海域波浪觀測資料統計趨勢一致。

同樣地，由表 2-10 所列高雄港海域平均波向分布之統計結果顯示，波向分布大部份集中於 SSW 至 WNW 之間，約佔 2012 年度觀測資料之 72.0%。

**表 2-7 2012 年安平港海域示性波高分布統計表**

| 波高範圍(m)  | 資料數目 | 週期平均值(sec) | 百分率(%) |
|--|------|------------|--------|
| <b>&lt;0.5</b>   | 2287 | 6.35       | 37.01  |
| <b>0.5~1.0</b>   | 3097 | 6.42       | 50.07  |
| <b>1.0~1.5</b>   | 406  | 7.37       | 6.57   |
| <b>1.5~2.0</b>   | 243  | 8.33       | 3.93   |
| <b>2.0~2.5</b>   | 75   | 8.98       | 1.21   |
| <b>2.5~3.0</b>   | 33   | 9.93       | 0.53   |
| <b>3.0~3.5</b>   | 30   | 10.64      | 0.49   |
| <b>3.5~4.0</b>   | 10   | 10.98      | 0.16   |
| <b>≥4.0</b>  | 1    | 11.80      | 0.02   |
| 合計/平均值   | 6179 | 6.613      | 100    |
| 觀測期間示性波高最大值為 4.050 m<br>觀測期間平均週期最大值為 12.30 sec<br>觀測期間示性波高平均值為 0.683 m |      |            |        |

**表 2-8 2012 年安平港海域平均波向分布統計表**

| 波向         | 資料數目       | 百分率(%)      | 波向         | 資料數目        | 百分率(%)       |
|------------|------------|-------------|------------|-------------|--------------|
| <b>N</b>   | <b>1</b>   | <b>0.02</b> | <b>S</b>   | <b>118</b>  | <b>1.91</b>  |
| <b>NNE</b> | <b>8</b>   | <b>0.13</b> | <b>SSW</b> | <b>274</b>  | <b>4.43</b>  |
| <b>NE</b>  | <b>20</b>  | <b>0.32</b> | <b>SW</b>  | <b>1245</b> | <b>20.15</b> |
| <b>ENE</b> | <b>55</b>  | <b>0.89</b> | <b>WSW</b> | <b>1186</b> | <b>19.19</b> |
| <b>E</b>   | <b>169</b> | <b>2.74</b> | <b>W</b>   | <b>1551</b> | <b>25.10</b> |
| <b>ESE</b> | <b>32</b>  | <b>0.52</b> | <b>WNW</b> | <b>1417</b> | <b>22.93</b> |
| <b>SE</b>  | <b>12</b>  | <b>0.19</b> | <b>NW</b>  | <b>32</b>   | <b>0.52</b>  |
| <b>SSE</b> | <b>58</b>  | <b>0.94</b> | <b>NNW</b> | <b>1</b>    | <b>0.02</b>  |

**表 2-9 2012 年高雄港海域示性波高分布統計表**

| 波高範圍(m)  | 資料數目 | 週期平均值(sec) | 百分率(%) |
|--|------|------------|--------|
| <b>&lt;0.5</b>   | 866  | 5.94       | 12.85  |
| <b>0.5~1.0</b>   | 4716 | 6.48       | 70.00  |
| <b>1.0~1.5</b>   | 724  | 6.99       | 10.75  |
| <b>1.5~2.0</b>   | 205  | 8.56       | 3.04   |
| <b>2.0~2.5</b>   | 115  | 8.80       | 1.71   |
| <b>2.5~3.0</b>   | 67   | 9.72       | 0.99   |
| <b>3.0~3.5</b>   | 16   | 11.33      | 0.24   |
| <b>3.5~4.0</b>   | 9    | 12.24      | 0.13   |
| <b>4.0~4.5</b>   | 4    | 12.57      | 0.06   |
| <b>4.5~5.0</b>   | 5    | 11.92      | 0.07   |
| <b>≥5.0</b>  | 10   | 13.00      | 0.15   |
| 合計/平均值   | 6737 | 6.637      | 100    |
| 觀測期間示性波高最大值為 5.740 m<br>觀測期間平均週期最大值為 16.00 sec<br>觀測期間示性波高平均值為 0.818 m |      |            |        |

**表 2-10 2012 年高雄港海域平均波向分布統計表**

| 波向         | 資料數目       | 百分率(%)      | 波向         | 資料數目        | 百分率(%)       |
|------------|------------|-------------|------------|-------------|--------------|
| <b>N</b>   | <b>4</b>   | <b>0.06</b> | <b>S</b>   | <b>689</b>  | <b>10.23</b> |
| <b>NNE</b> | <b>2</b>   | <b>0.03</b> | <b>SSW</b> | <b>752</b>  | <b>11.16</b> |
| <b>NE</b>  | <b>1</b>   | <b>0.01</b> | <b>SW</b>  | <b>1043</b> | <b>15.48</b> |
| <b>ENE</b> | <b>2</b>   | <b>0.03</b> | <b>WSW</b> | <b>897</b>  | <b>13.31</b> |
| <b>E</b>   | <b>4</b>   | <b>0.06</b> | <b>W</b>   | <b>917</b>  | <b>13.61</b> |
| <b>ESE</b> | <b>16</b>  | <b>0.24</b> | <b>WNW</b> | <b>1245</b> | <b>18.48</b> |
| <b>SE</b>  | <b>145</b> | <b>2.15</b> | <b>NW</b>  | <b>393</b>  | <b>5.83</b>  |
| <b>SSE</b> | <b>599</b> | <b>8.89</b> | <b>NNW</b> | <b>28</b>   | <b>0.42</b>  |

## 2.6 風場

本計畫除了持續蒐集中央氣象局(Central Weather Bureau)發布之颱風資訊及其相關統計資料外，針對風場資料蒐集包括 2012 年安平港及高雄港風速及風向港灣技術研究中心之觀測資料(如附圖 5.1 及附圖 5.2 所示)，以及由中央氣象局提供的風(氣壓)場數值預報資料等，其中後者為本計畫相關海象模擬之輸入資料。

### (1) 2012 年侵臺颱風

2012 年中央氣象局發布颱風警報之相關資訊，如表 2-11 所列，分別有輕度颱風泰利(6 月 19 日~6 月 21 日)、輕度颱風杜蘇芮(6 月 28 日~6 月 29 日)、中度颱風蘇拉(7 月 30 日~8 月 3 日)、中度颱風海葵(8 月 6 日~8 月 8 日)、輕度颱風啟德(8 月 14 日~8 月 15 日)、中度颱風天秤(8 月 21 日~8 月 25 日以及 8 月 26 日~8 月 28 日)、強烈颱風杰拉華(9 月 27 日~9 月 28 日)等七個，上述中央氣象局發布颱風警報之侵臺颱風移動路徑如圖 2.30 所示。其中輕度颱風泰利颱風中心雖未登陸臺灣，但因移動路徑沿臺灣海峽北上，故仍對臺灣西部海域造成一定程度之影響；中度颱風蘇拉及中度颱風天秤因颱風中心曾登陸臺灣造成較大的影響災害。

歷年(1897 ~ 2012 年)侵臺颱風頻率統計如表 2-12 所示，顯示自 1897 年至 2012 年間侵臺颱風總數為 407 次，其中侵臺颱風最早出現之月份為 4 月，最晚發生之月份為 12 月，各月份發生颱風侵臺次數以 8 月份最高，約佔總數之 30.2%；其次依序分別為 7 月及 9 月，分別佔總數之 24.1%及 22.9%。

在侵臺颱風路徑分類上，中央氣象局侵臺颱風分析資料庫系統將影響臺灣地區之颱風路徑劃分為十類，如圖 2.31 所示，相關說明如下：

第一類侵臺路徑為通過台灣北部海面向西或西北進行者，共 54 次佔 13.27%；第二類侵臺路徑為通過台灣北部向西或西北進行者，共 53 次佔 13.02%；第三類侵臺路徑為通過中部向西或西北進行者，共 47 次佔 11.55%；第四類侵臺路徑為通過台灣南部向西或西北進行者，共



42 次佔 10.32%；第五類侵臺路徑為通過台灣南部海面向西或西北進行者，共 72 次佔 17.69%；第六類侵臺路徑為沿東岸或東部海面北上者，共 45 次佔 11.06%。第七類侵臺路徑為沿西岸或台灣海峽北上者，共 30 次佔 7.37%；第八類侵臺路徑為通過台灣南部海面向東或東北進行者，共 13 次佔 3.19%；第九類侵臺路徑為通過台灣南部向東或東北進行者，共 33 次佔 8.11%；第十類侵臺路徑為近海過境者(未移至 122°E)，共 18 次佔 4.42%。

## (2) 中央氣象局天氣預報數值風場

由於本計畫波浪及水位的預報皆會受到海面氣象條件的影響，特別是風速及氣壓的影響最大，因此港灣技術研究中心自 2004 年起透過合作關係由中央氣象局提供第三代數值天氣預報系統(簡稱 NFS)的數值預報風(氣壓)場資料，作為 TaiCOMS 作業化預報模擬的風(氣壓)場資料，及相關海象數值模式之風場、氣壓場輸入資料。

有鑑於中央氣象局天氣預報系統目前已發展至第四代數值天氣預報系統(簡稱 WRF)，因此本年度港灣技術研究中心再度透過合作關係由中央氣象局提供第四代數值天氣預報系統 WRF 之數值預報風(氣壓)場資料；此舉將可藉由提昇 TaiCOMS 作業化風(氣壓)場資料精確性，達到提昇海象模擬精度之目的。因此本年度主要工作為進行以 WRF 風(氣壓)場資料取代 NFS 風(氣壓)場資料為 TaiCOMS 作業化模擬風(氣壓)場之作業系統轉換測試。

NFS 及 WRF 風(氣壓)場資料格式分別整理如表 2-13 及表 2-14 所列，顯示在網格解析度上，NFS 及 WRF 風(氣壓)場資料同樣區分為解析度 45km、15km 及 5km 等大、中、小三層；在網格模擬範圍方面，除了 5km 解析度之網格資料 WA03 模擬範圍明顯大於 HC 外，其餘各層(45km 及 15km 解析度之網格) NFS 及 WRF 風(氣壓)場資料模擬範圍均相同，如圖 3.32 所示。

由於中央氣象局 NFS 及 WRF 風(氣壓)場資料網格座標系統與本計畫 TaiCOMS 使用的模式網格座標系統不同，因此必須透過內插方式將中央氣象局 NFS 及 WRF 風(氣壓)場資料轉換成 TaiCOMS 作業化網格

資料；有關本計畫針對 NFS 及 WRF 風(氣壓)場資料規劃輸出之資料範圍及格式對照如表 2-15 所列及參考圖 2.33 及圖 2.34 所示。

**表 2-11 2012 年侵臺颱風相關資訊**

| 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         |

資料來源：中央氣象局網站

**表 2-12 歷年(1897~2012 年)各月侵臺颱風之次數及頻率統計表**

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

表 2-13 中央氣象局風場 NFS 風場資料格式

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

表 2-14 中央氣象局風場 WRF 風場資料格式

|      |                                 |         |      |   |
|------|---------------------------------|---------|------|---|
| WA01 | Lambert<br>conformal<br>mapping | 221*127 | 45KM | Center(120E), true(10N,40N)<br>座標(114,71)位置位於(30N,120E)<br>底圖左下點(-5.34068N,77.91867E)<br>右上點(42.92812N,180.2034E)   |
| WA02 | Lambert<br>conformal<br>mapping | 181*193 | 15KM | Center(120E), true(10N,40N)<br>座標(76,148)位置位於(30N,120E)<br>底圖左下點(9.28194N,109.7727E)<br>右上點(35.26665N,137.7342E)<br>座標(1,1)對應至 45KM MESH 之(89,22)<br>座標位置         |
| WA03 | Lambert<br>conformal<br>mapping | 148*178 | 5KM  | Center(120E), true(10N,40N)<br>座標(55,214)位置位於(30N,120E)<br>底圖左下點(20.07030 N, 117.3342 E)<br>右上點(28.24893°N , 124.9106°E)<br>座標(1,1)對應至 15KM MESH 之(59,78)<br>座標位置 |

表 2-15 作業系統內輸出風場資料格式

|      | 模式                 | DIMENSION | 模式格網   | 格點位置                                   |
|------|--------------------|-----------|--------|--|
| 風場 1 | 採用 NFS 之 RC 風場內插   | 307*211   | 1/6 度  | 底圖左下點(0N,99E)<br>右上點(35N,150E)         |
|      | 採用 NFS 之 MC 風場內插   | 301*301   | 1/12 度 | 底圖左下點(10N,110E)<br>右上點(35N,134E)       |
| 風場 2 | 採用 WRF 之 WA01 風場內插 | 101*71    | 1/2 度  | 底圖左下點(5N,100E)<br>右上點(40N,150E)        |
|      | 採用 WRF 之 WA02 風場內插 | 145*154   | 1/6 度  | 底圖左下點(10N,110E)<br>右上點(35N,134E)       |
|      | 採用 WRF 之 WA03 風場內插 | 169*181   | 1/24 度 | 底圖左下點(20.5N,117.5E)<br>右上點(28N,124.5E) |

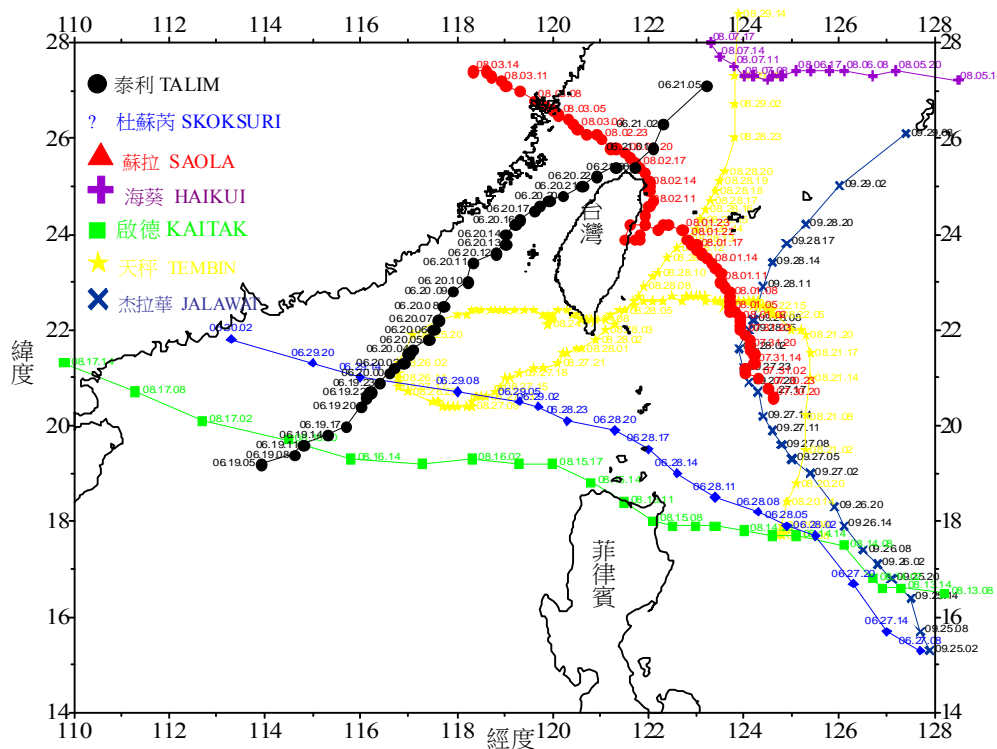


圖 2.30 2012 年中央氣象局發布侵臺颱風之行進路徑圖

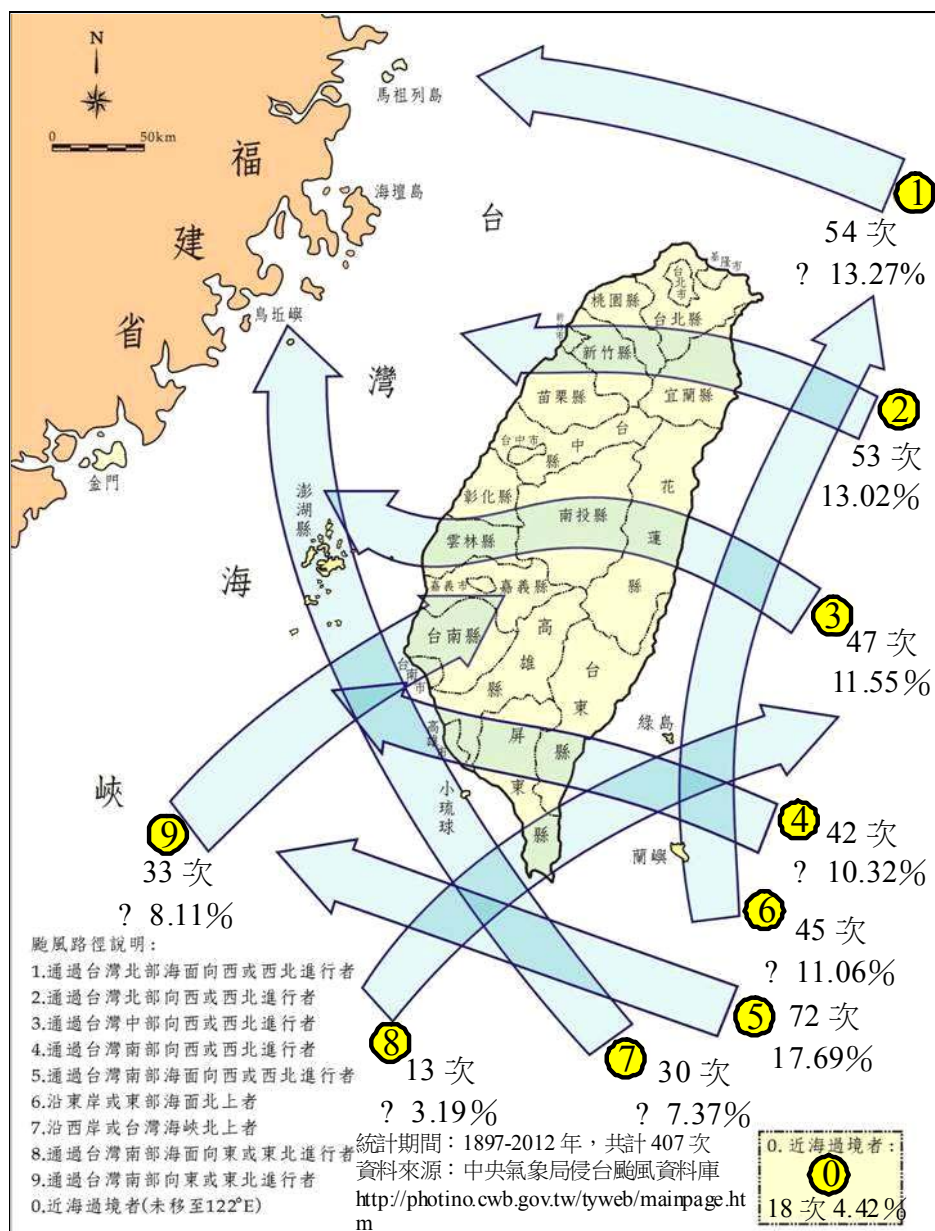


圖 2.31 侵襲臺灣之颱風路徑統計圖(1897~2012)

資料來源：中央氣象局網站

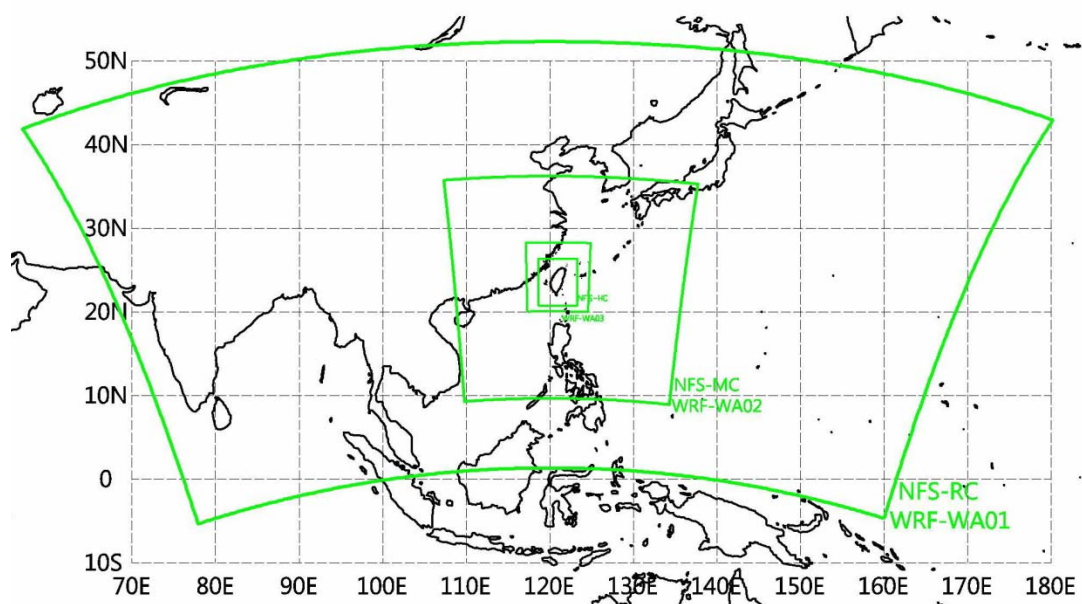


圖 2.32 中央氣象局風場 NFS 及 WRF 風場資料範圍圖

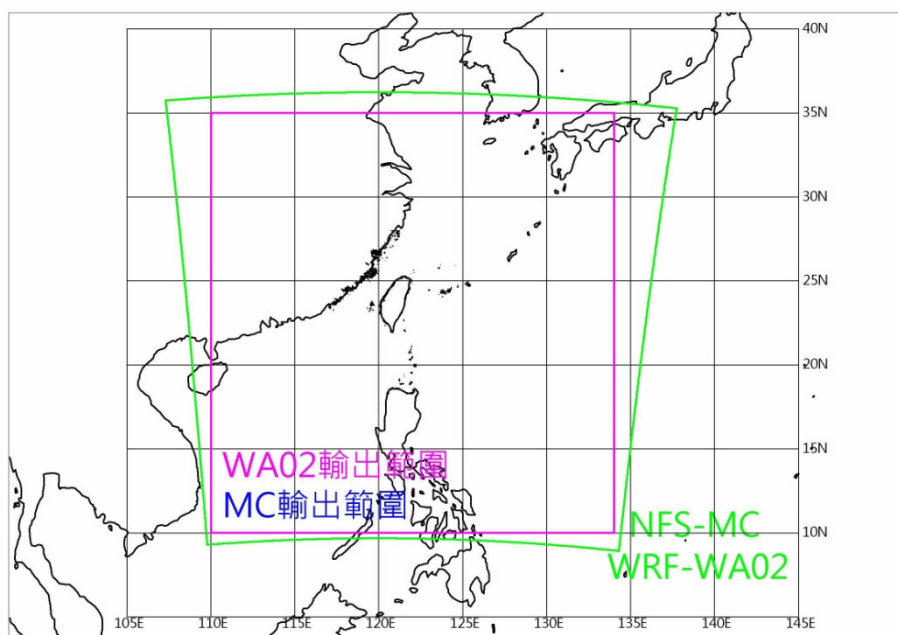


圖 2.33 MC 及 WA02 風場輸出範圍圖

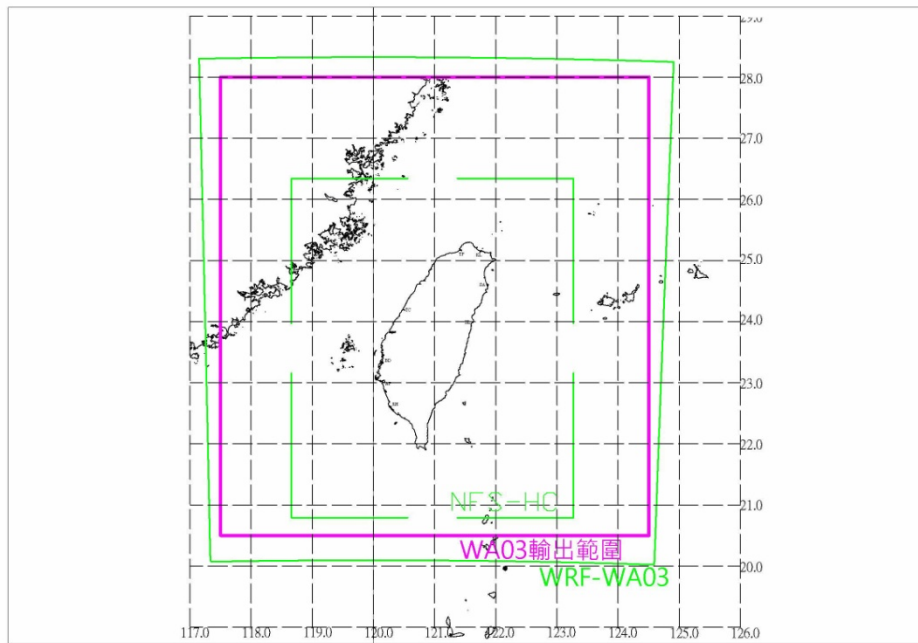


圖 2.34 WA03 風場輸出範圍圖

### 第三章 波浪模擬與探討

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

#### 3.1 TaiCOMS 波浪模擬架構說明

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

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



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

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

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

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

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

目前 TaiCOMS 系統中海面風(氣壓)場資料係採用由中央氣象局提供非靜力區域預報模式(Nonhydrostatic Forecast System，簡稱 NFS)每日 72 小時預報之數值資料，依 NFS 之數值資料含蓋 3 層不同範圍之巢狀網格，以臺灣為中心由最外層大域至最內層小域之水平網格間距分別為 45 km、15 km 及 5 km，如圖 2.32 所示。本計畫分別以大域 RC(或簡稱 RC)風(氣壓)場資料、中域 MC(或簡稱 MC)風(氣壓)場資料及小域 HC(或簡稱 HC)風(氣壓)場資料稱之。基於中央氣象局每日於 08:00 及 20:00 (相當於格林威治時間的 0:00 及 12:00)會下載由美國海洋及大氣總署提供的表面氣壓場，開始推算相關風場預報資料(RC、MC 及 HC)，並於每日 11:00 及 23:00 前上傳推算至 ftp 站供下載。因此 TaiCOMS 作業系統乃規劃以前一日 20:00 時中央氣象局預報氣象資料作為推算的

基準，並設定於每日 0 時及 12 時分別自中央氣象局 ftp 站下載前一日 20:00 時及當日 08:00 預報的風(壓)場數值資料；再於每日(以 D 日表示) 03:00 時開始解碼 D-1 日預報的風(壓)場數值資料，再經重整及內插方式產生大、中尺度風浪模組模擬範圍所需之每小時風場資料，如圖 2.33 所示，共 73 組資料。在每日作業化模擬更新的 73 組風場資料中，其前 24 小時風場代表 D-1 日 0 時至 23 時之風場。之後，系統會隨作業化流程依序進行大尺度西太平洋範圍風浪模擬、中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模擬以及各港區小尺度近岸波浪場模擬。目前 TaiCOMS 系統每日進行的風浪作業化模擬，係配合上述風場資料長度將各模組的模擬時間長度設定為 72 小時模擬，因此系統各波浪模組之模擬時間示意圖如圖 3.5 所示；其中前 24 小時屬於現報模擬，其現報結果將與各港口即時觀測系統資料比對，目的提供使用者判斷本次模擬作業結果之可信度；後 48 小時屬於預測模擬計算，內容上僅呈現各模式計算之結果，此部份結果因具有相當的不確性，故目的上僅提供港研中心或港勤參考之用途。

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

表 3-1 TaiCOMS 各波浪數值模組之特性綜整表

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

表 3-1 (續) TaiCOMS 各波浪數值模組之特性綜整表

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

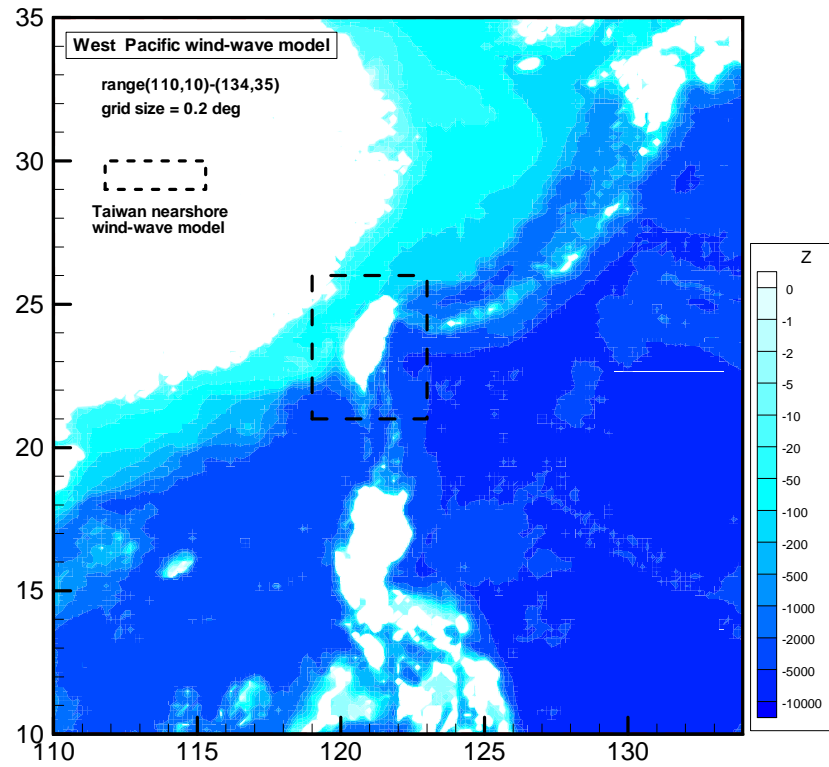


圖 3.1 大尺度西太平洋風浪模組之模擬範圍

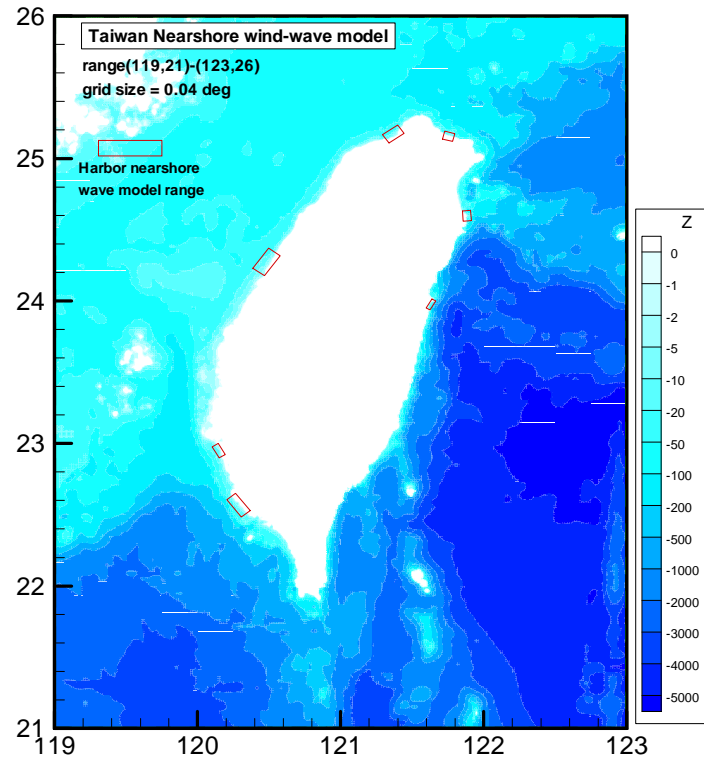


圖 3.2 中尺度臺灣近岸海域風浪模組之模擬範圍

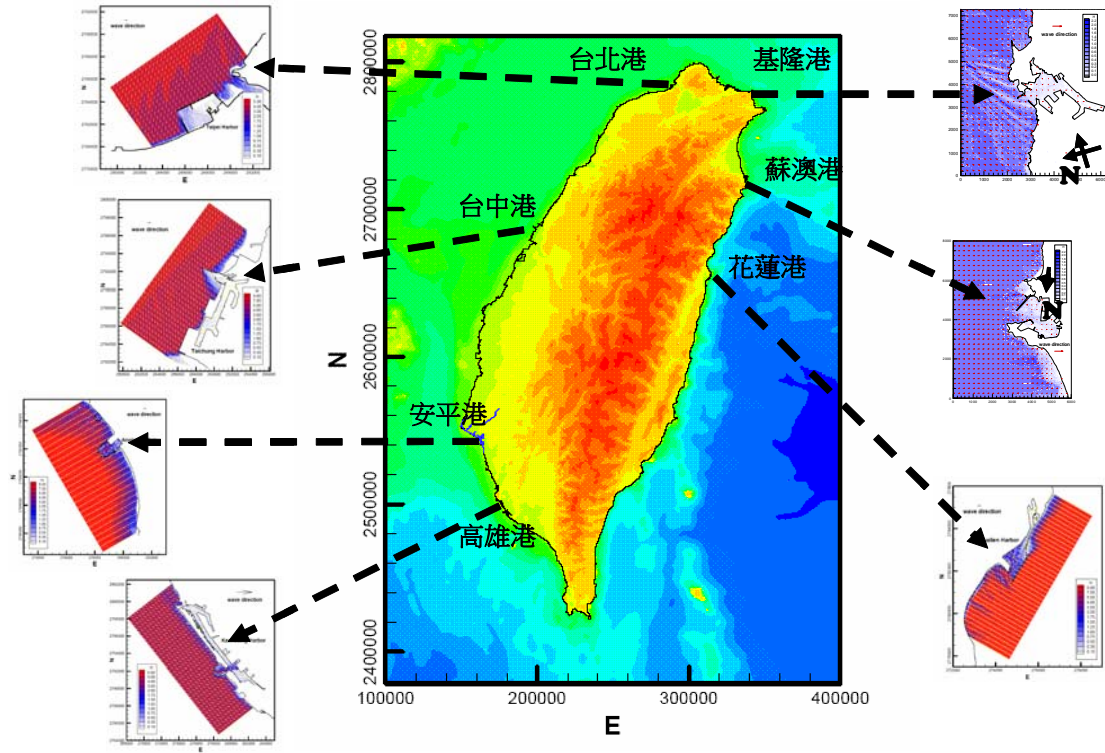


圖 3.3 國內七大港口地理位置及小尺度港區近岸波浪模組模擬範圍

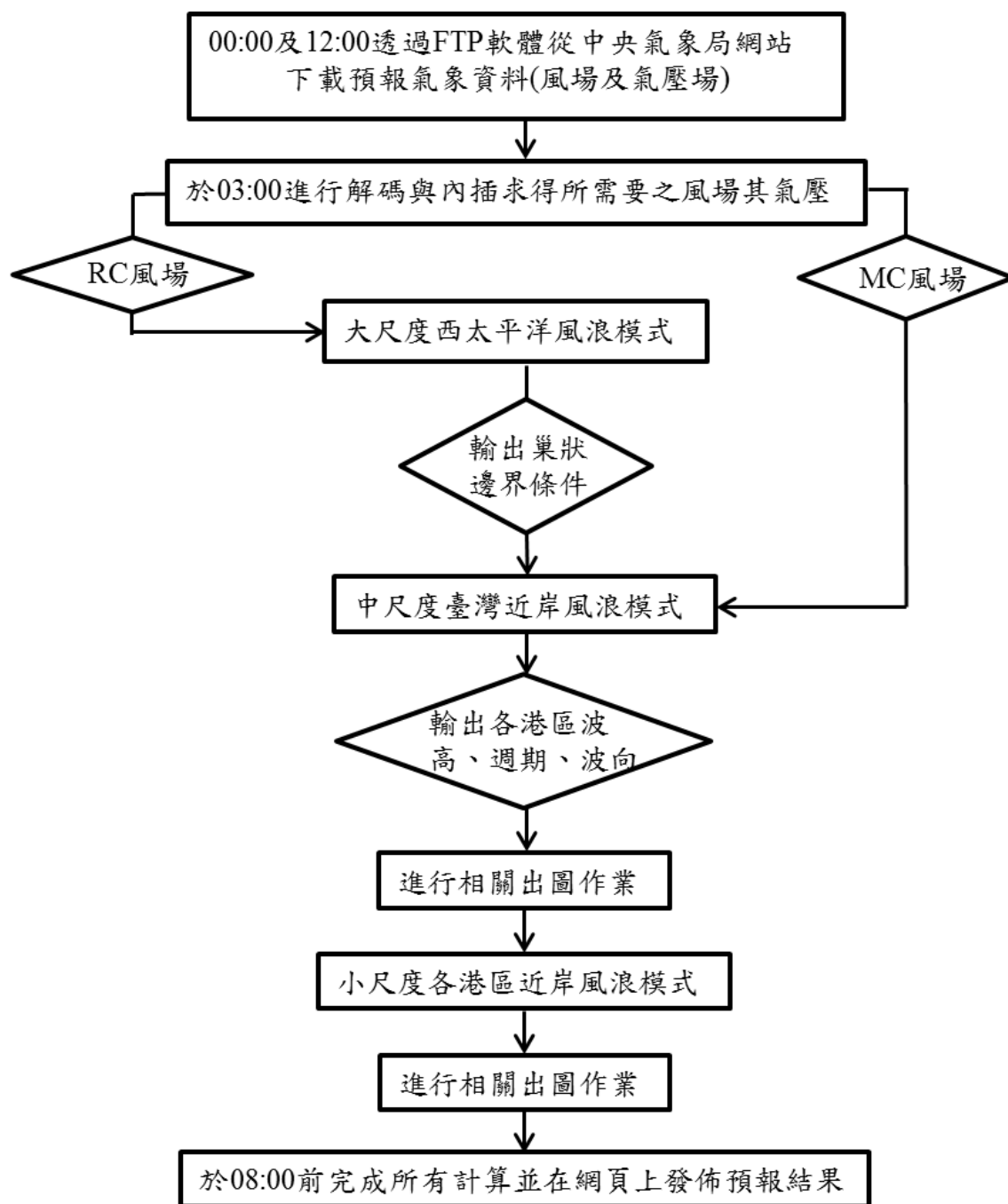


圖 3.4 臺灣近岸海象數值模擬系統波浪模擬線上作業流程



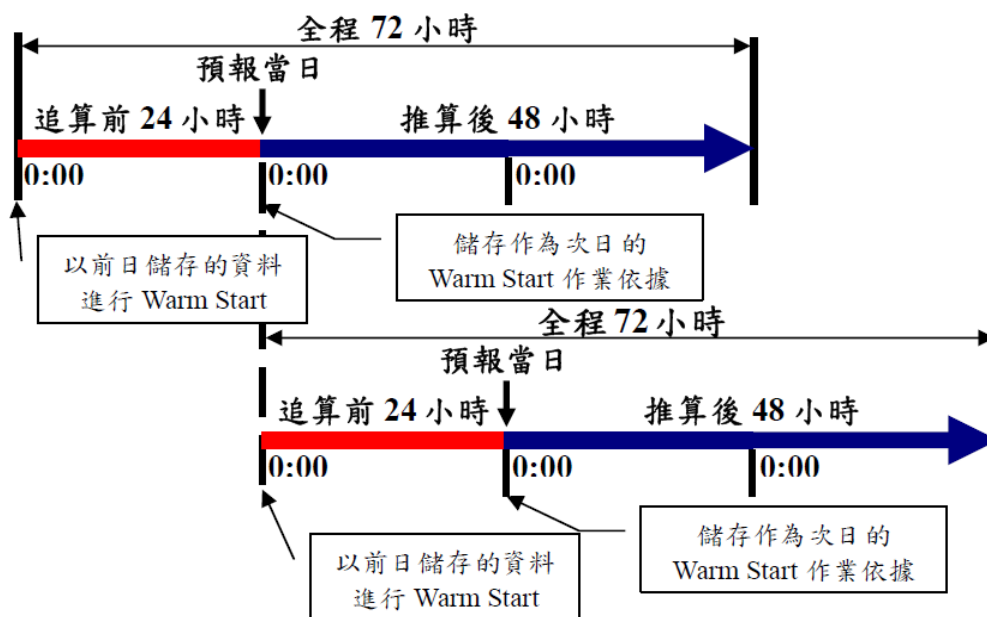


圖 3.5 TaiCOMS 每日線上作業程式模擬時間示意圖

### 3.1.1 西太平洋範圍風浪模組之基本理論

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

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{C}_g F) = S \dots\dots\dots (3.1)$$

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

在大範圍波浪場計算時，因地球曲率會影響波浪的傳遞，因此常以球面座標系統( $\phi, \lambda$ )推導(3.1)式，得到下列描述二維波浪能量平衡

方程式之球面座標表示式如下：

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\gamma = \varepsilon \omega \beta (u_*/c)^2 \cos^2(\bar{\theta} - \theta_w), \quad |\bar{\theta} - \theta_w| < \pi/2 \quad (3.8)$$

式中  $\varepsilon$  為空氣與水之密度比率( $=1.225 \times 10^{-3}$ )， $\beta$  為 Miles 常數( $=1.2$ ，

Janssen 1991 或 Komen et al. 1994)， $u_*$ 為風作用於海面之摩擦速度， $c$ 為波速(或為波浪位相速度)， $\bar{\theta}$ 為平均波向(指波浪傳播方向)， $\theta_w$ 為平均風向。另依據 Janssen (1991)之研究得知，Miles 常數 $\beta$ 可由下列表示式計算得到

$$\beta = \frac{1.2}{\kappa^2} \mu \ln^4(\mu) \quad , \quad \mu \leq 1.0 \quad \dots\dots\dots (3.9)$$

其中

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

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

針對粗糙長度  $z_0$  之計算如下：

$$z_0 = \frac{\alpha \tau}{g} \quad \dots\dots\dots (3.11)$$

$$\alpha = \frac{\hat{\alpha}}{\sqrt{1 - (\tau_w / \tau)}} \quad \dots\dots\dots (3.12)$$

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

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

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

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

其中未知係數  $\hat{\alpha}$  建議採用 0.01。

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

$$S_{dis} = \gamma_{ds} \cdot F \dots\dots\dots(3.15)$$

其中

$$\gamma_{ds} = -C_{ds} \langle \omega \rangle [\langle k \rangle^2 E]^{\frac{1}{2}} \left[ \frac{k}{\langle k \rangle} + \left( \frac{k}{\langle k \rangle} \right)^2 \right] \dots\dots\dots(3.16)$$

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

$$E = \iint F(f, \theta) df \cdot d\theta \dots\dots\dots(3.17)$$

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

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

關於底床摩擦引起的能量損失項  $S_{bot}$ ，其計算如下：

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

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

至於非線性交互作用項  $S_{nl}$  之計算則採用 Hasselmann (1963) 之四個波之波浪交互作用理論，即波譜的急劇成長是由波譜尖峰頻率從風獲得能量後再經由非線性作用使得波譜尖峰頻率的能量分別向高頻及低頻處傳遞，且隨著風速加大導致尖峰頻率向低頻移動的現象，如圖 3.6 所示。當紛紜波浪中存在有四組波浪滿足下列共振(resonant)條件 (3.21a,b) 式時，則此四組波浪會產生能量之交換。

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

$$\omega_1 + \omega_2 = \omega_3 + \omega_4 \dots\dots\dots (3.21b)$$

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

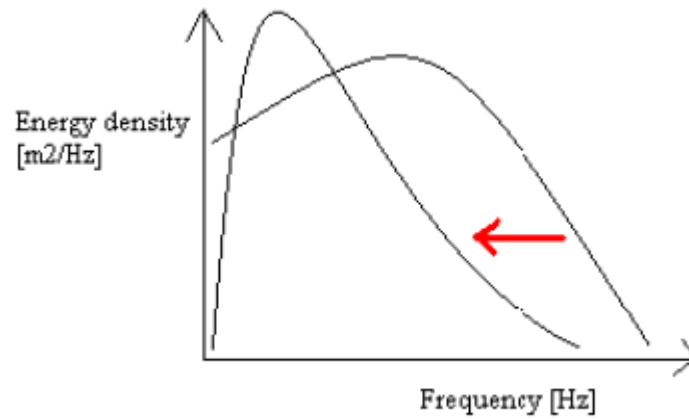


圖 3.6 波浪能量由高頻向低頻傳遞之示意圖

### 3.1.2 臺灣周圍海域範圍風浪模組之基本理論

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

總之，SWAN 風浪模式是一個利用風、海底底床及海流狀況獲得在海岸地區、湖泊或河口附近水域的合理預估的波浪參數的波浪數值模式，此數值模式基本上是依據波浪作用力平衡方程式(wave action balance equation)，如(3.22)式所示，以及源函數項等求解波浪作用力密

度波譜(action density spectrum)， $N(\sigma, \theta)$ ，其中 $\sigma$ 為相對的波浪頻率； $\theta$ 為波浪方向角；因此 SWAN 本質上屬於第三代風浪預報模式。

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{\bar{S}}{\sigma} \dots\dots\dots (3.22)$$

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

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

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

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

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

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

於(3.22)式中第一項代表波浪作用力密度譜  $N(\sigma, \theta)$  隨時間之變化率；第二及第三項為波浪作用力密度譜  $N(\sigma, \theta)$  在平面空間上分別以  $c_x$  及  $c_y$  之速度在  $x$ -及  $y$ -軸方向傳遞；第四項代表波浪作用力密度譜  $N(\sigma, \theta)$  受到水深及流變化影響導致在相對頻率  $\sigma$ -軸上以  $c_\sigma$  的速度位移；第五項代表波浪作用力密度譜  $N(\sigma, \theta)$  因水深或流所引起的折射效應；等號右邊  $\bar{S}(\sigma, \theta)$  代表以能量密度表示之源函數項，其包含能量的生成、衰減、及非線性的波浪交互作用(有關各項源函數計算之詳細理論說明可參考 SWAN 使用手冊)。

在 SWAN 風浪數值模式中，主要是利用有限差分法來求解(3.22)式；在邊界條件處理上，SWAN 模式假定波浪能量遇到陸地邊界為

完全消散，亦即無任何波浪能量反射；外海開放邊界條件則假設沒有任何波浪能量可以由開放邊界外進入計算領域，但允許波浪能量可以由開放邊界內自由離開計算領域。

### 3.1.3 近岸波浪折繞射模式之基本理論

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

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

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

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

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

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

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

式中

$$\mathcal{G} = \frac{k_{,x}}{k^2} + \frac{[k(p - U_x^2)]_{,x}}{2k^2(p - U_x^2)} \dots\dots\dots (3.30)$$

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

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

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

$$\frac{\partial A}{\partial x} = \frac{i}{k} \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + \nu A \dots\dots\dots (3.32)$$



式中  $i = \sqrt{-1}$ 。

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

$$\nu = \frac{2\sigma k f |A|(1-i)}{3\pi \sinh(2kh) \sinh(kh)} \dots\dots\dots (3.33)$$

式中  $f = 0.01$ ；至於碎波引起的波浪能量損失率則採用下列公式計算：

$$\nu = \frac{\psi C_g [1 - (\gamma h / 2|A|)]}{h} \dots\dots\dots (3.34)$$

式中  $\psi$  及  $\gamma$  為經驗常數，在模式中分別設定為 0.017 及 0.4。

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

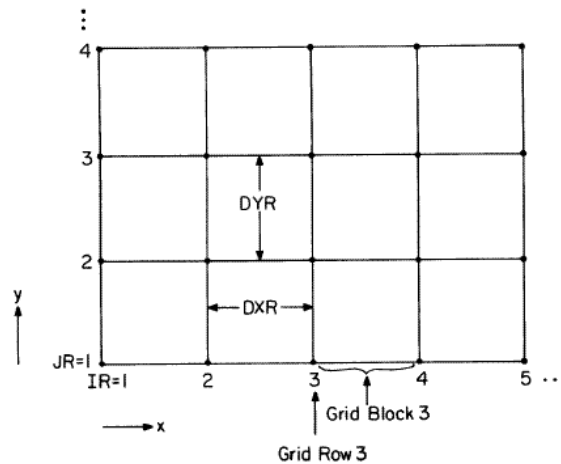


圖 3.7 REF/DIF-1 數值計算網格座標系統示意圖

### 3.1.4 港域波浪模式之理論簡述

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

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

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

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

在在領域(I)內

$$\nabla^2 \zeta_1 + k_1^2 \zeta_1 = 0 \quad (3.36)$$

在在領域(II)內

$$\nabla \cdot (C_2 C_{2g} \nabla \zeta_2) + (C_2 C_{2g} k_2^2 + i\omega\mu + iC_{2g}\omega\gamma_b)\zeta_2 = 0 \quad (3.37)$$

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

$$\tilde{n} = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2k_2 h_2}{\sinh(2k_2 h_2)} \right) \dots\dots\dots (3.38)$$

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

$$\mu = \frac{2n\omega}{k_2} \left( \frac{2C_r}{3\pi} \frac{\alpha k_2^2}{(2k_2 h_2 + \sinh 2k_2 h_2) \sinh k_2 h_2} \right) \dots\dots\dots (3.39)$$

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

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

式中  $\chi$  及  $\Gamma$  分別為經驗常數(其值可分別採用 0.15 及 0.4)。

在領域(I)及(II)之交接假想邊界( $B_1$ )上須滿足下列連續條件：

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

$$C_1 C_{1g} \frac{\partial \zeta_1}{\partial n} = -C_2 C_{2g} \frac{\partial \zeta_2}{\partial n} \quad , \quad \text{在假想邊界 } B_1 \text{ 上} \dots\dots\dots (3.41b)$$

此外，在一般海岸線或結構物邊界( $B_2$ )上須滿足下列部份反射邊界條件：

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

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

$$\alpha = \frac{1 - K_r}{1 + K_r} \dots\dots\dots (3.43)$$

式中  $K_r$  為邊界之反射係數。

在領域(I)內波浪之波函數  $\zeta_1$  通常是由入射波  $\zeta_i$  及受到直線海岸線

影響產生的反射波  $\zeta_R$  及受到防波堤配置和港池開口影響而向外傳播之散射波  $\zeta_S$  等構成的，因此  $\zeta_1$  可表示

$$\zeta_1 = \zeta_I + \zeta_R + \zeta_S \dots\dots\dots(3.44)$$

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

$$\lim_{k_1 r \rightarrow \infty} \sqrt{r} \left( \frac{\partial}{\partial r} + i k_1 \right) \zeta_S = 0 \dots\dots\dots(3.45)$$

假設入射波浪  $\eta^I(x, y, t)$  之振幅為  $A^I$ ，波長為  $L_1$ ，週波數為  $k_1$ ，波向為與正 x 軸成  $\theta_0$  角度，其複數表示為：

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

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

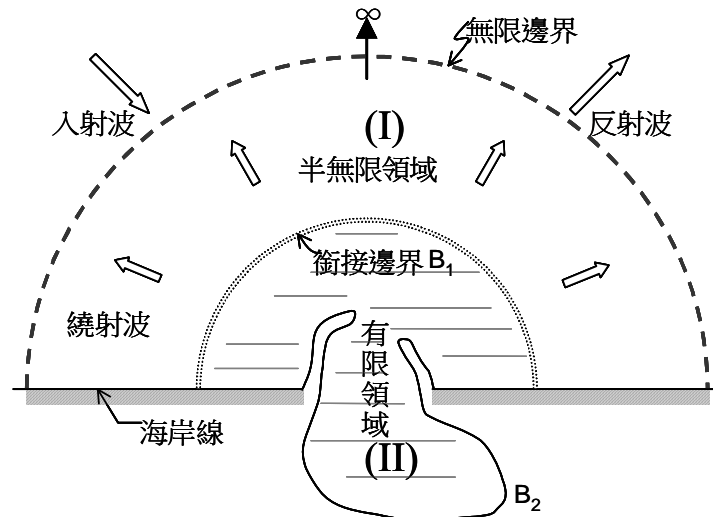


圖 3.8 港域波浪模式計算領域示意圖

## 3.2 風浪作業化模擬研究

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

### 3.2.1 作業化預報流程探討

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

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

經檢視目前運作中的 TaiCOMS 波浪作業化流程，仍可發現幾個流程待解決之問題，包括大尺度網格風浪模組與中尺度網格風浪模組間邊界波浪條件銜接問題，以及大尺度網格風浪模組與中尺度網格風浪

模組每日熱啟動接續問題等。針對上述問題，本計畫目前已針對大尺度網格風浪模組之熱啟動接續問題及大尺度網格風浪模組模擬過程輸出中尺度網格開放邊界波譜資料問題提出解決及改善成果。

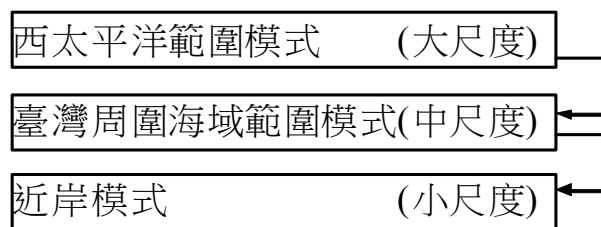


圖 3.9 TaiCOMS 波浪模擬大、中及小尺度網格模組關係示意圖

### 3.2.2 西太平洋範圍風浪模組改善成果

有關本計畫大尺度西太平洋範圍風浪模組之改善成果，簡述如下：

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

之波譜資料檔(即圖中 CBO 部份)，提供中尺度網格風浪模擬所需之邊界條件。

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

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

$$M_n = \int f^n F(f, \theta) df \cdot d\theta \dots\dots\dots (3-47)$$

2. 波浪頻率譜  $E(f)$ ：為

$$E(f) = \int F(f, \theta) d\theta \dots\dots\dots (3-48)$$

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

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

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

$$T_m = M_{-1}/M_0 \dots\dots\dots (3-50)$$

5. 平均波向( $\theta_m$ )：定義為

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

式中

$$SF = \int \sin \theta \cdot F(f, \theta) df \cdot d\theta \dots\dots\dots (3-52)$$

$$CF = \int \cos \theta \cdot F(f, \theta) df \cdot d\theta \dots\dots\dots (3-53)$$

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

$$T_p = 1/f_p \dots\dots\dots (3-54)$$

有鑑於，目前港灣技術研究中心之波浪觀測資料其波浪平均週期 ( $T_{m02}$  或  $T_z$ ) 是採用波浪觀測資料能譜之零階動差與 2 階動差比值之平方根定義，即

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

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

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

1. 增列模式平均週期之定義：本計畫於程式中增列平均週期  $T_{m02}$  計算選項，並証明模式模擬結果之平均週期  $T_{m02}$  值與觀測資料輸出之平均週期較為接近，如圖 3.11 所示，可以有效降低以往作業化成果評估結果大尺度網格風浪模擬結果之平均週期較觀測值過度高估之現象。
2. 增列模式譜峰週期  $T_P$  平滑化計算：本計畫於模式後處理程式中增加採用二次拋物線契合(fit)方法校正譜峰週期  $T_{Pl}$  值，藉以改善目前模式輸出之譜峰週期  $T_{Pl}$  值過度不連續狀。有關二次拋物線契合(fit)方法簡述如下：

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

$$P = f_u + f_d \dots\dots\dots (3-56)$$

$$Q = (E_d - E_u)/(f_d - f_u) \dots\dots\dots (3-57)$$

$$R = f_d + f_p \dots\dots\dots (3-58)$$

$$T = (E_d - E_p)/(f_d - f_p) \dots\dots\dots (3-59)$$

$$A = (T - Q)/(R - P) \dots\dots\dots (3-60)$$



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

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

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

### 3.2.3 臺灣周圍海域範圍風浪模組

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

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

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

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

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

### 3.2.4 風浪模擬結果評估之量化指標

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

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

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

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

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

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

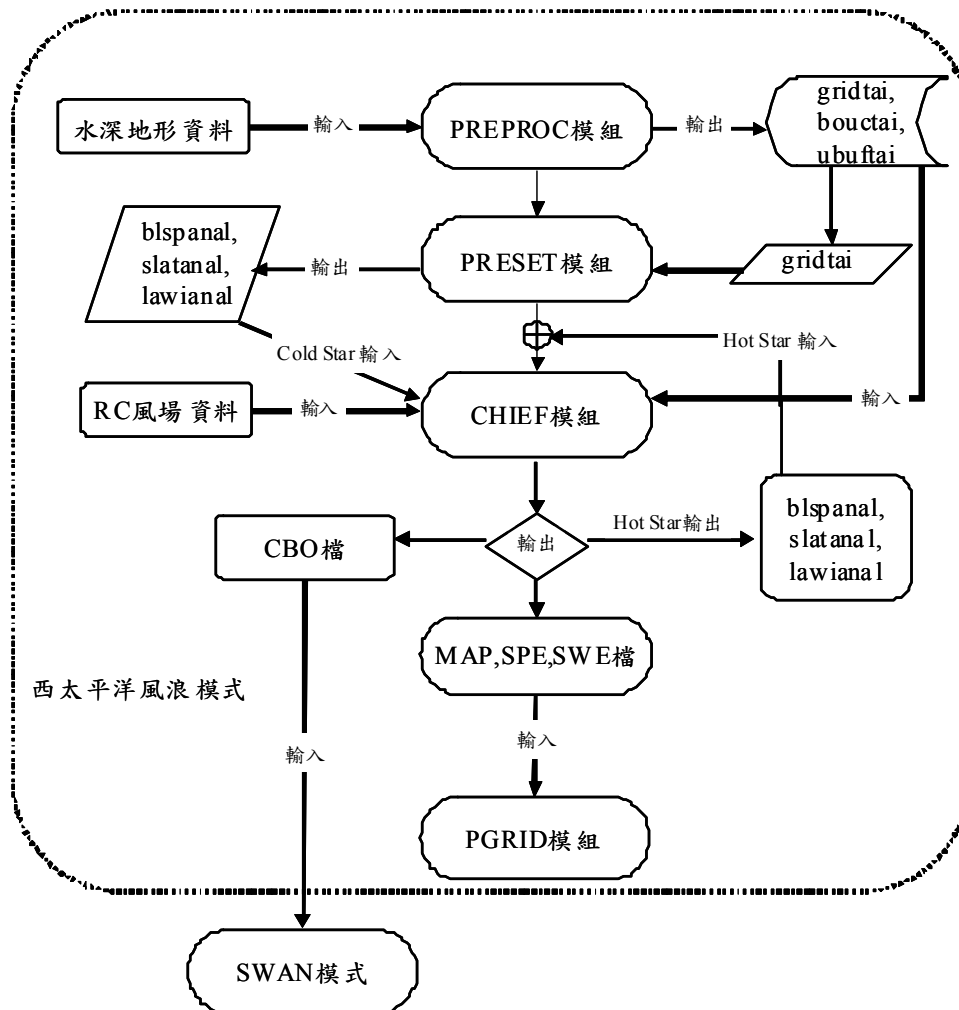


圖 3.10 大尺度西太平洋範圍風浪模組之模式操作流程圖

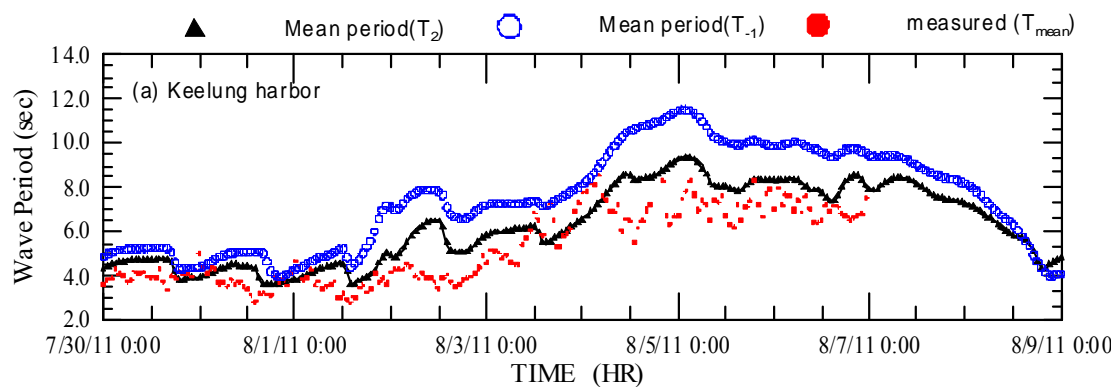


圖 3.11 大尺度網格風浪模擬結果之平均週期  $T_m$ (圓圈)及  $T_{m02}$ (三角形)與觀測波浪平均週期(圓點)之比較

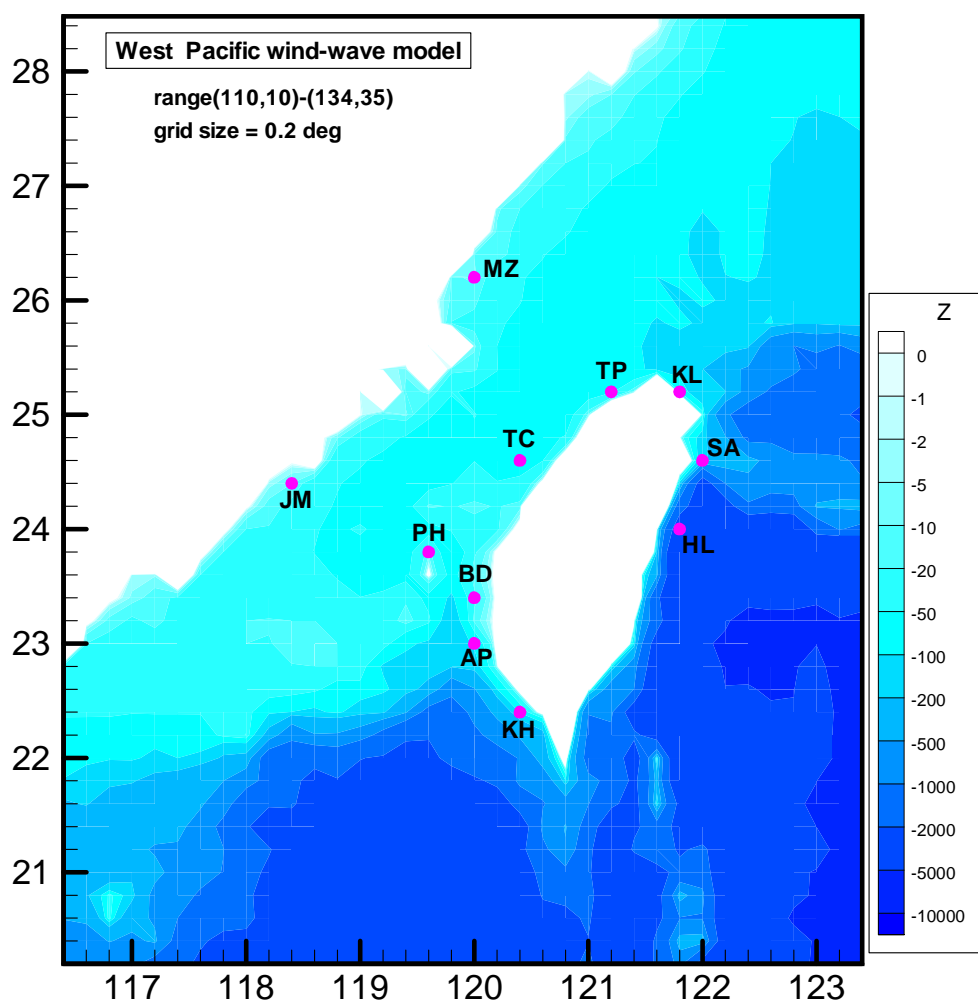


圖 3.12 大尺度西太平洋範圍風浪模組波譜模擬結果輸出點位示意圖

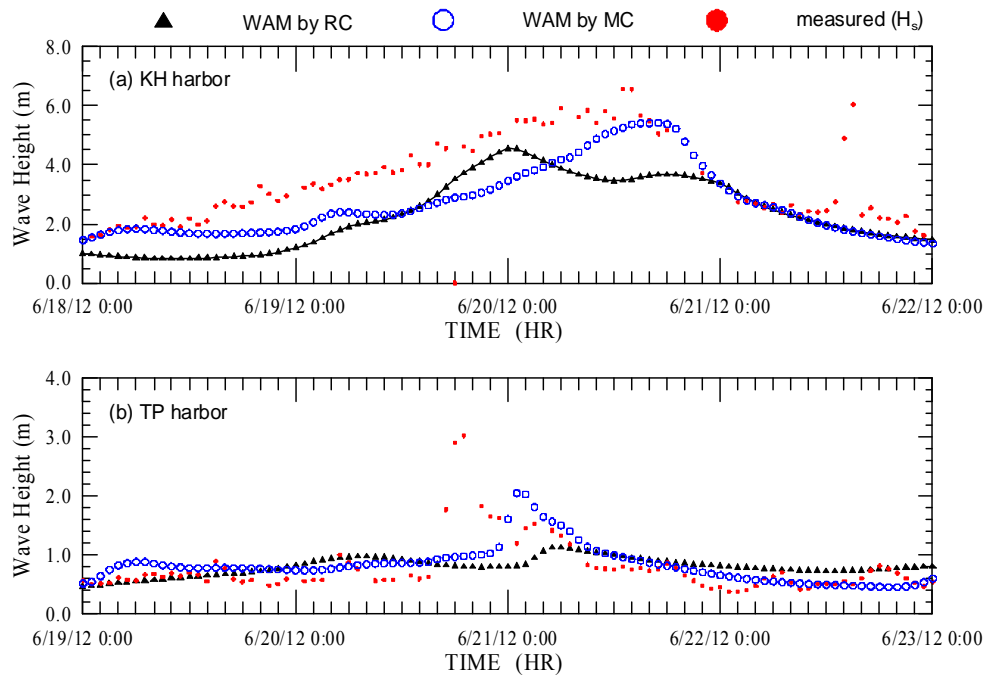


圖 3.13 輕度颱風泰利侵臺期間大尺度網格分別以 RC 及 MC 風場模擬風浪之示性波高與觀測值比較圖

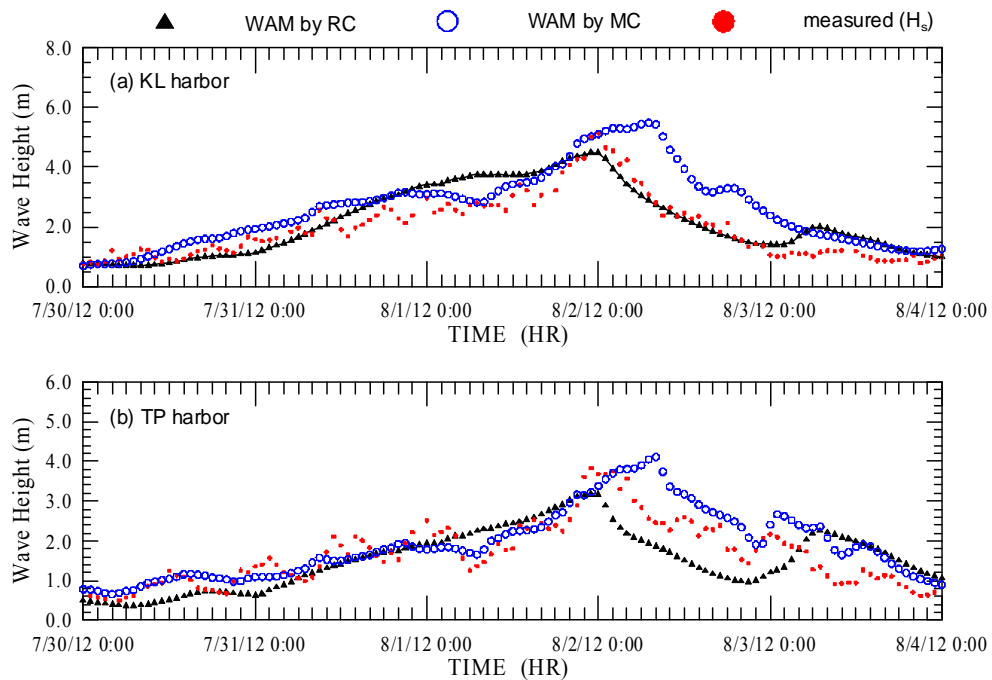


圖 3.14 中度颱風蘇拉侵臺期間大尺度網格分別以 RC 及 MC 風場模擬風浪之示性波高與觀測值比較圖

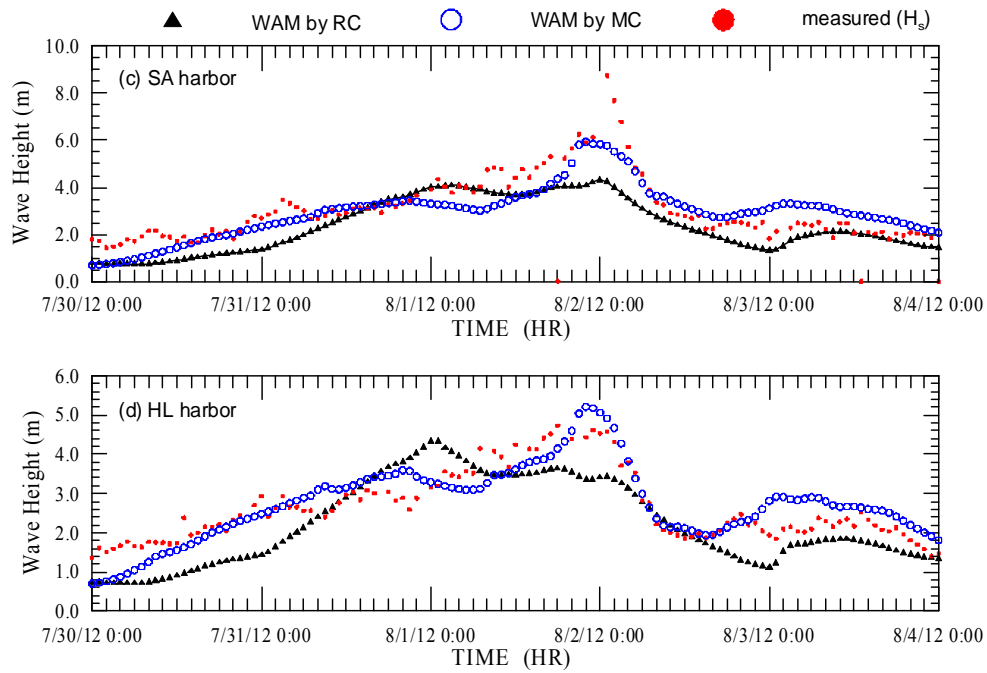


圖 3.14 (續)中度颱風蘇拉侵臺期間大尺度網格分別以 RC 及 MC 風場模擬風浪之示性波高與觀測值比較圖

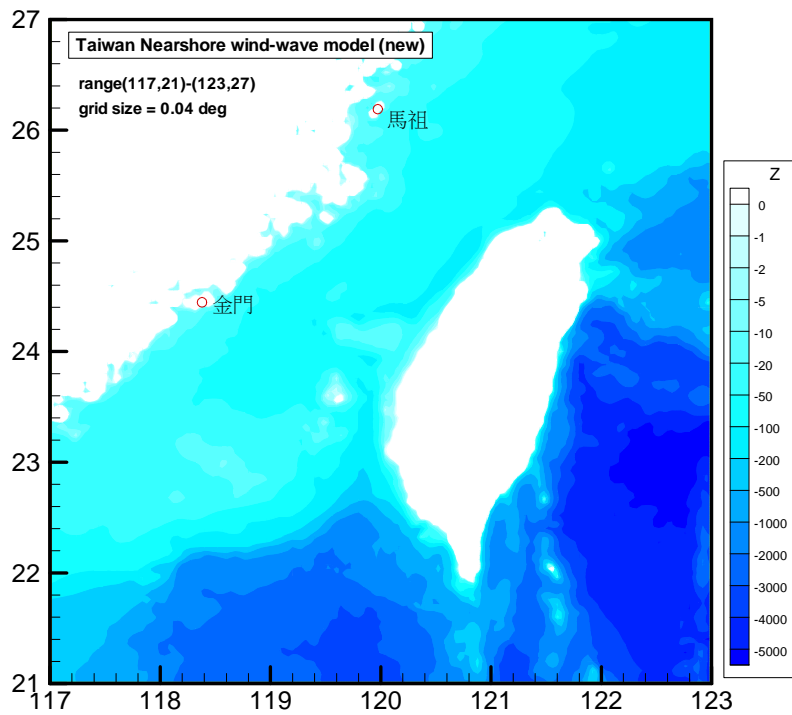


圖 3.15 中尺度臺灣周圍海域風浪模組更新後之模擬範圍圖



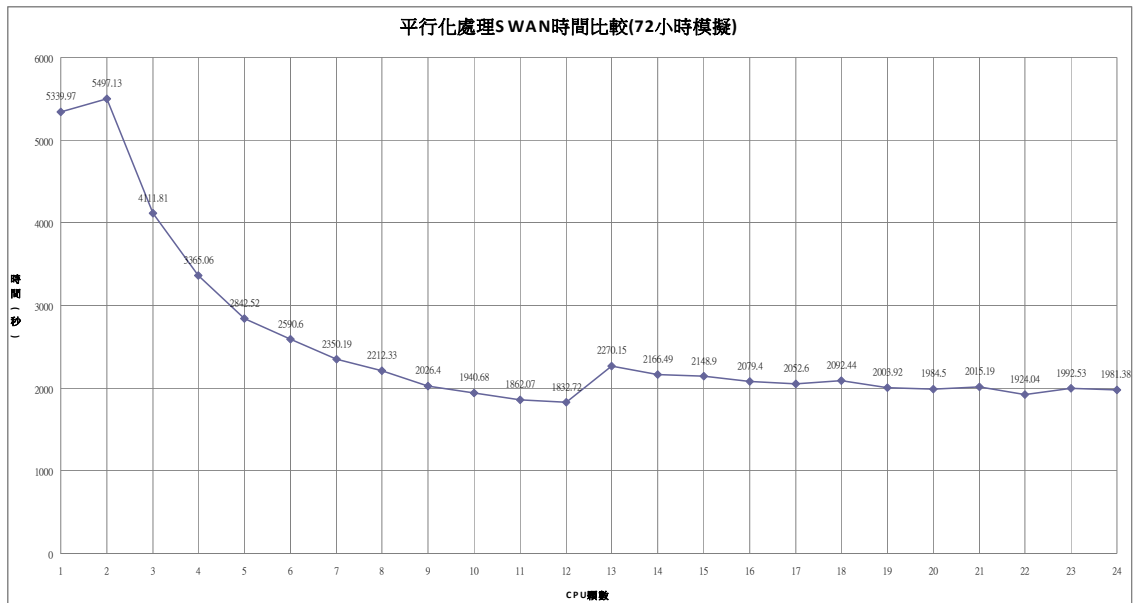


圖 3.16 平行化處理下系統 SWAN 之運算時間與 CPU 數目關係圖

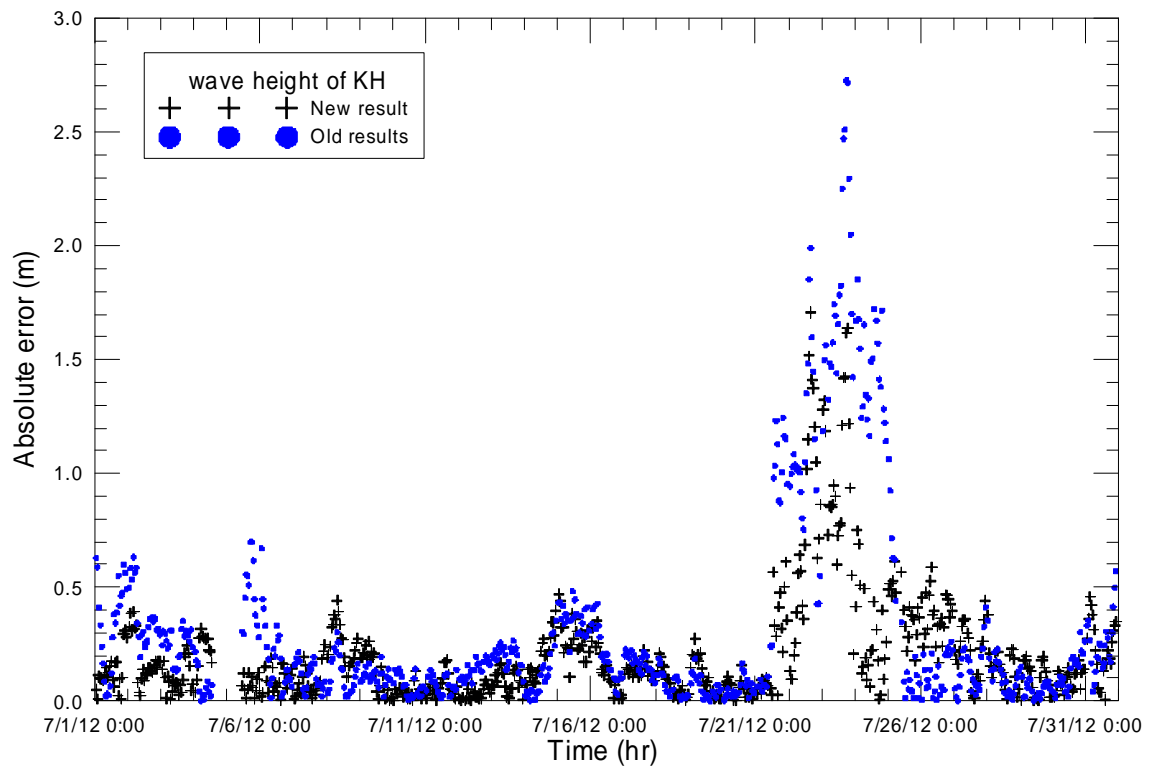


圖 3.17 風浪波高模擬值與觀測值間絕對誤差值之逐時變化分布圖

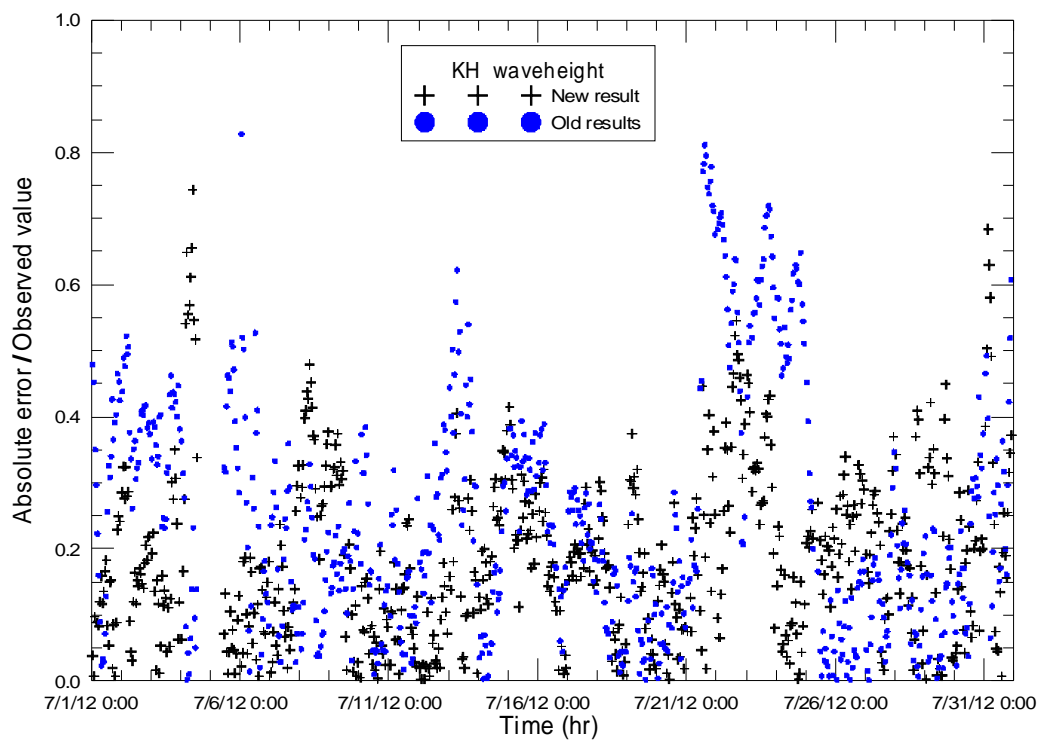


圖 3.18 波高模擬值與觀測值之絕對誤差與觀測值之比值逐時變化分布圖

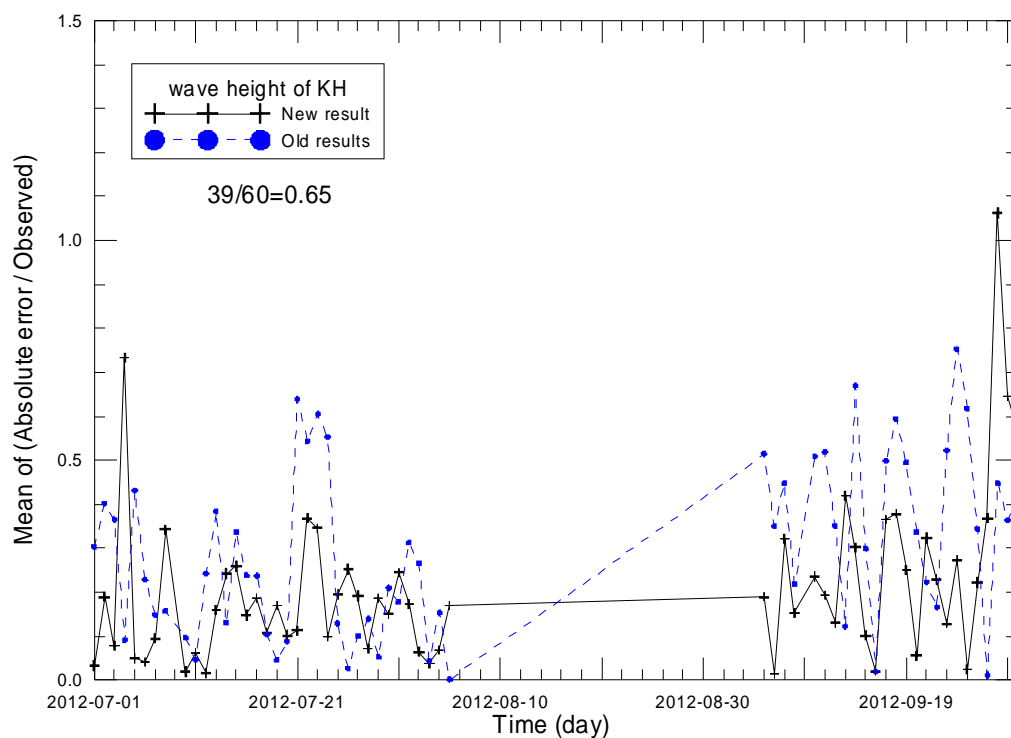


圖 3.19 波高模擬值與觀測值間絕對誤差與觀測值之比值日平均變化分布圖

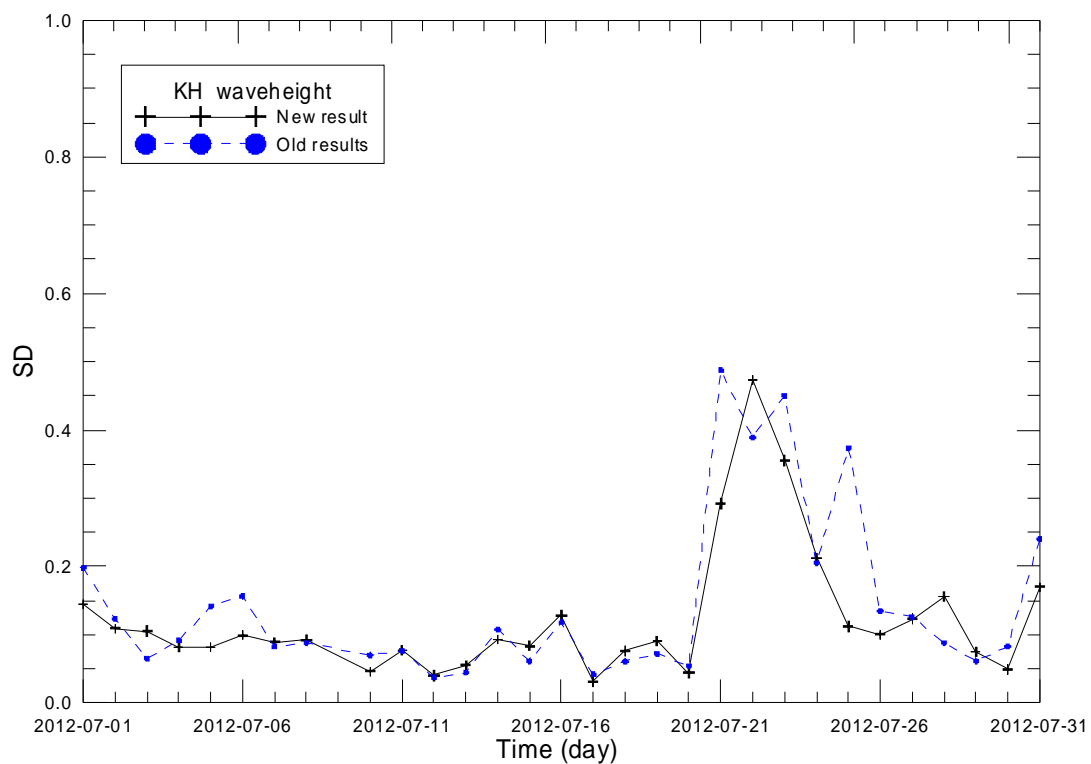


圖 3.20 波高模擬值與觀測值間標準偏差逐日變化分布圖

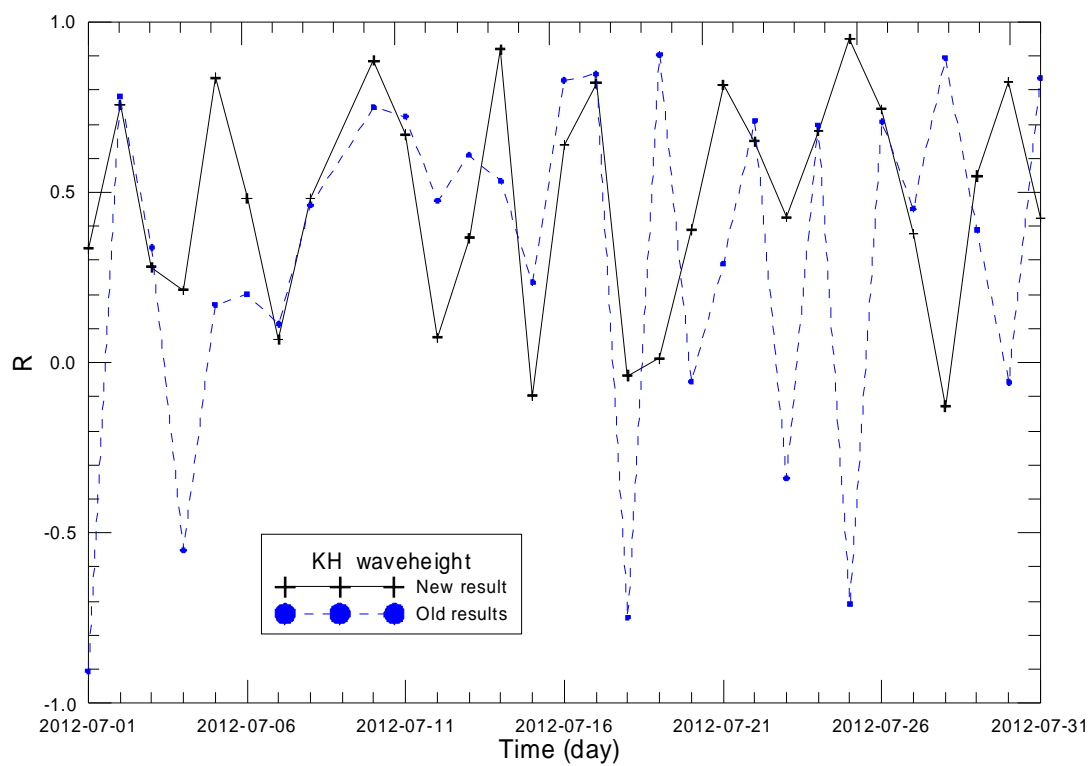


圖 3.21 波高模擬值與觀測值間相關係數逐日變化分布圖

### 3.3 港區近岸波浪場模擬研究

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

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

#### 3.3.1 安平港小尺度港區近岸波浪模組

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

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

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

(2)更新及建置小尺度參考網格資料：因應模擬範圍擴大後，本計畫重新建置滿足安平港近岸海域波浪模擬需求之小尺度參考網格；經分別採取 20 m 及 10 m 等間距網格進行模擬測試後，本計畫選取 10 m 等間距建置之小尺度參考網格為安平港近岸港區波浪模組所用。同時針對新建置的小尺度參考網格，本計畫依據本年度蒐集的水深資料(如 2.2 所述)更新安平港小尺度參考網格之水深資料，如圖 3.25 所示。同前述圖中參考網格定義 x 軸向岸方向為正，y 軸沿海岸方向向上為正，網格間距為 10 m，格點陣列大小為 1401×1021，參考網格之原點座標(TW67)為(162072.0，2533583.0)，x 軸與二度分帶座標之 EW 方向座標軸夾角為  $58.56^{\circ}$ 。圖示點位 A～D 及 O 代表安平港小尺度波浪場模擬結果之輸出點位，其中點位 A 代表港灣技術研究中心原在安平港外海設置波浪觀測之位置，點位 O 代表目前安平港外海波浪觀測位置。

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

$T=6.3\text{sec}$ ， $\theta=270^\circ$  (8月2日9時，潮位+0.548m)，分別繪出其波場波高分布圖，如圖 3.28 及圖 3.29 所示；圖中帶有箭頭之向離岸方向曲線代表波浪傳播前進方向，沿海岸方向曲線代表等水深線。由波高分布情形得知波浪向岸傳播過程，受到海域地形變化的影響，出現局部區域波高變大的現象。

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

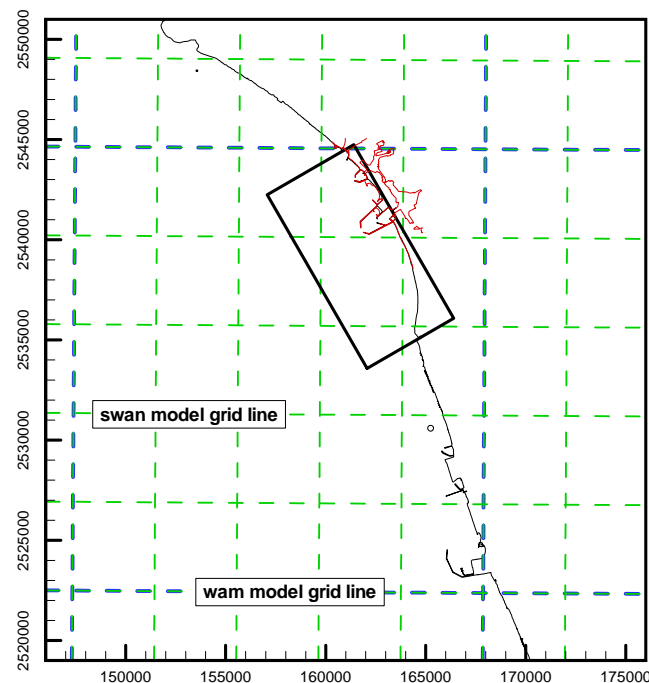


圖 3.22 安平港小尺度港區近岸波浪模組之模擬範圍圖

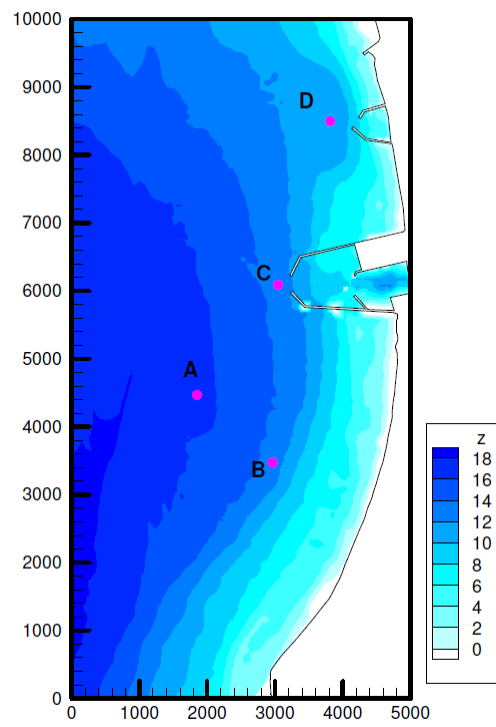


圖 3.23 安平港港區近岸波浪模組小尺度參考網格及地形水深分布圖

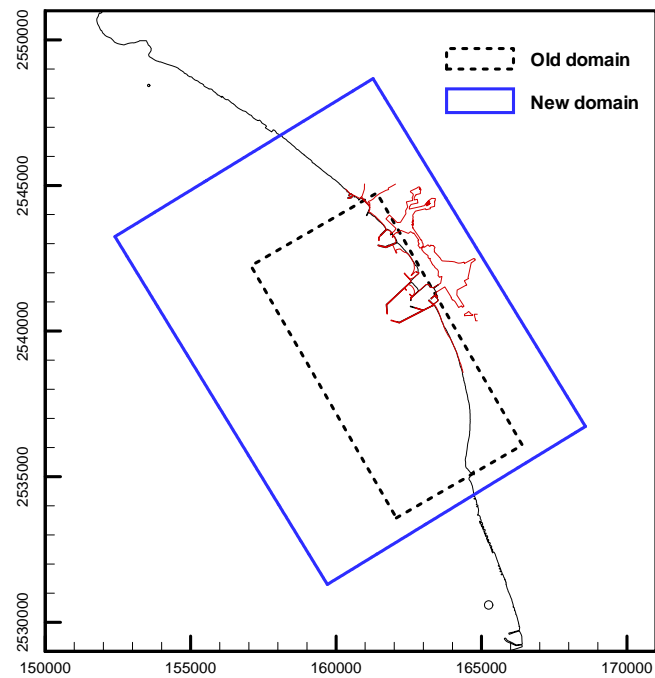


圖 3.24 本計畫安平港港區近岸波浪模組擴大模擬範圍圖

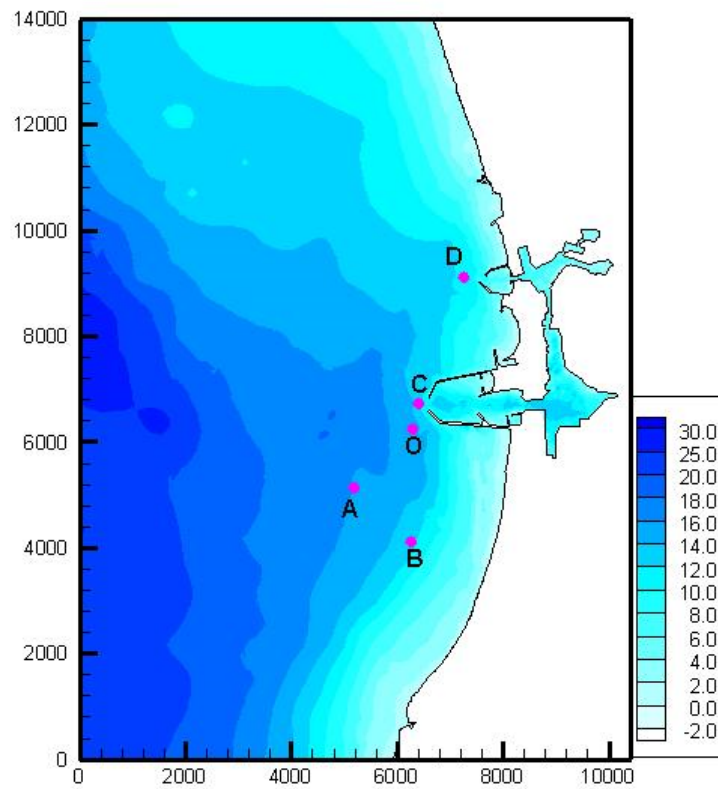


圖 3.25 本計畫安平港新建小尺度參考網格及地形水深分布圖

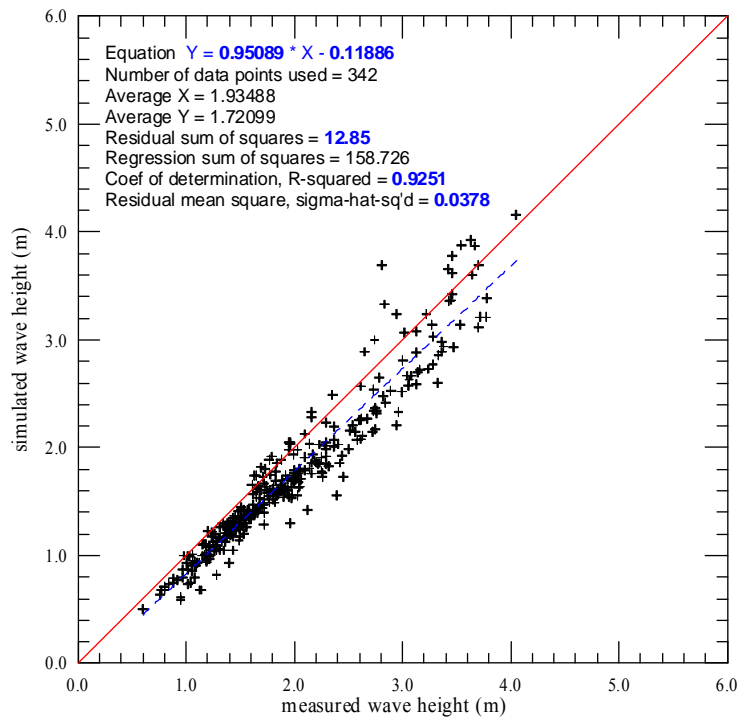


圖 3.26 安平港小尺度波浪場模擬結果，觀測點位 O 之波高模擬值 (縱座標)與觀測值(橫座標)之對應比較圖



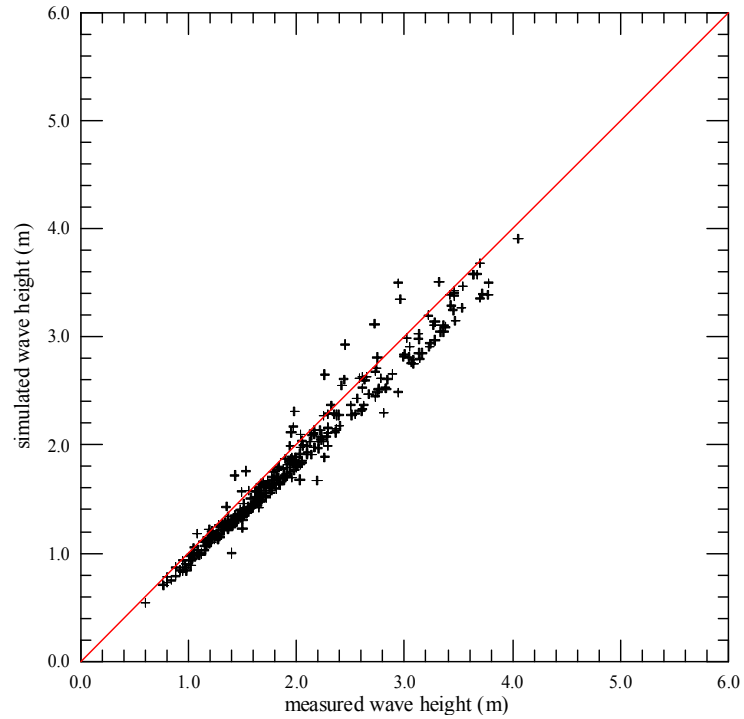


圖 3.27 波高條件校正之安平港波浪場模擬結果，觀測點位 O 之波高模擬值(縱座標)與觀測值(橫座標)之對應比較圖

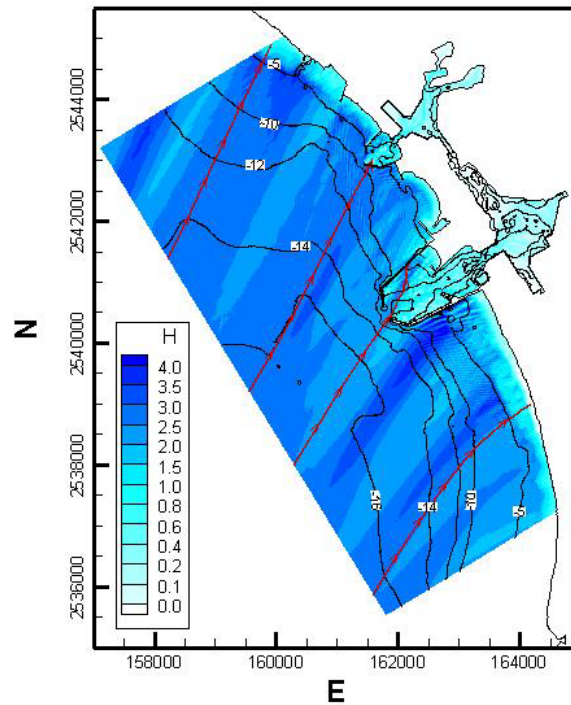


圖 3.28 安平港小尺度網格波浪場模擬結果之波高分布圖  
( $H=2.45\text{m}$  ,  $T=9.6\text{sec}$  ,  $\theta=210^\circ$ )

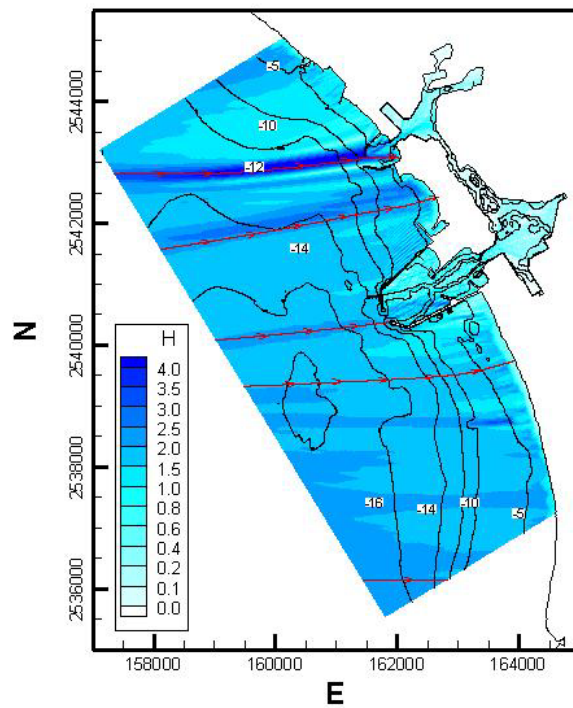


圖 3.29 安平港小尺度網格波浪場模擬結果之波高分布圖  
( $H=1.96\text{m}$  ,  $T=6.3\text{sec}$  ,  $\theta=270^\circ$ )

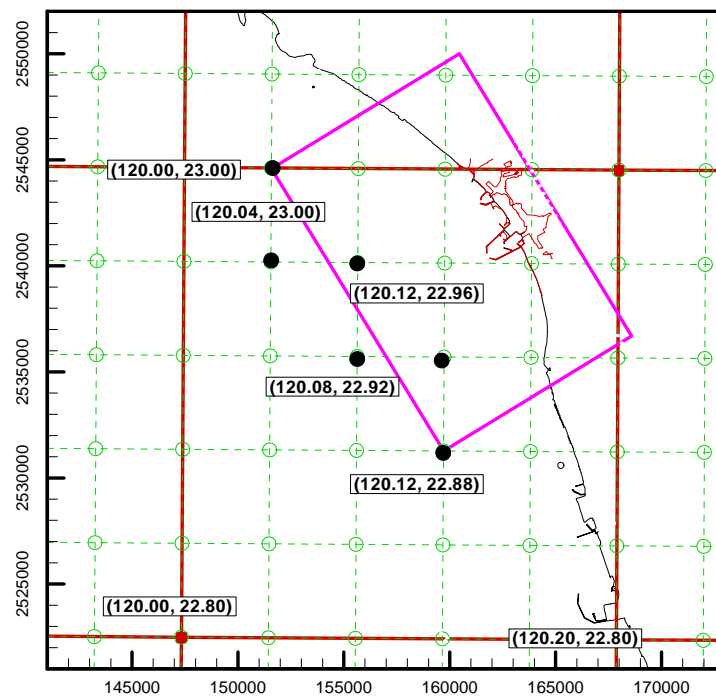


圖 3.30 安平港小尺度網格邊界與中尺度網格點之對應圖

### 3.3.2 高雄港小尺度港區近岸波浪模組

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

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

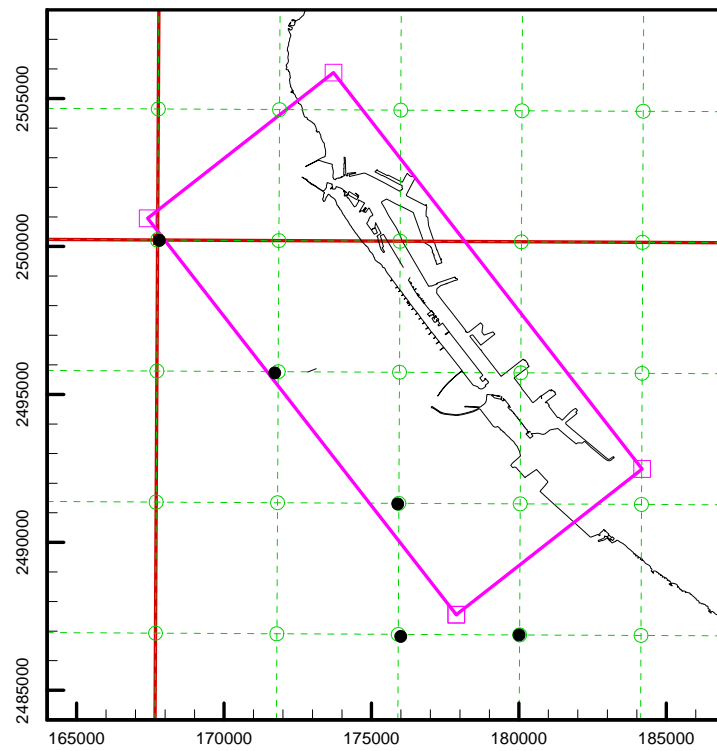


圖 3.31 高雄港小尺度港區近岸波浪模組之模擬範圍圖

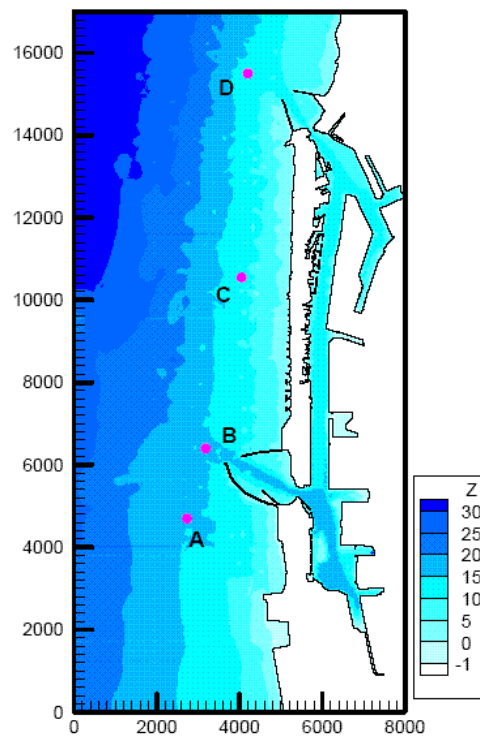


圖 3.32 高雄港小尺度網格之參考網格及地形水深分布圖

### 3.4 細尺度港域波浪場模擬研究

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

#### 3.4.1 雙港口港池共振模擬驗證

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

$$\tilde{R}_j = \frac{U_j}{V_j}, \quad j = 1, 2 \dots\dots\dots (3.62)$$

$$U_j = \cos(kl_m) + \frac{2kb_m}{\pi} \sin(kl_m) \ln\left(\frac{2\gamma kb_m}{\pi e}\right) - ikb_m \sin(kl_m) [1 - H_0^{(1)}(kd)] \dots\dots\dots (3.63)$$

$$V_j = \left[ \cos(kl_j) + \frac{2kb_j}{\pi} \sin(kl_j) \ln\left(\frac{2\gamma kb_j}{\pi e}\right) - ikb_j \sin(kl_j) \right] \times \left[ \cos(kl_m) + \frac{2kb_m}{\pi} \sin(kl_m) \ln\left(\frac{2\gamma kb_m}{\pi e}\right) - ikb_m \sin(kl_m) \right] \dots\dots\dots (3.64)$$

$$+ (kb_j)(kb_m) \sin(kl_j) \sin(kl_m) [H_0^{(1)}(kd)]^2$$

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

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

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

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

另外，有關相鄰雙港口耦合效應最顯著的現象應屬當入射波浪條

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

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

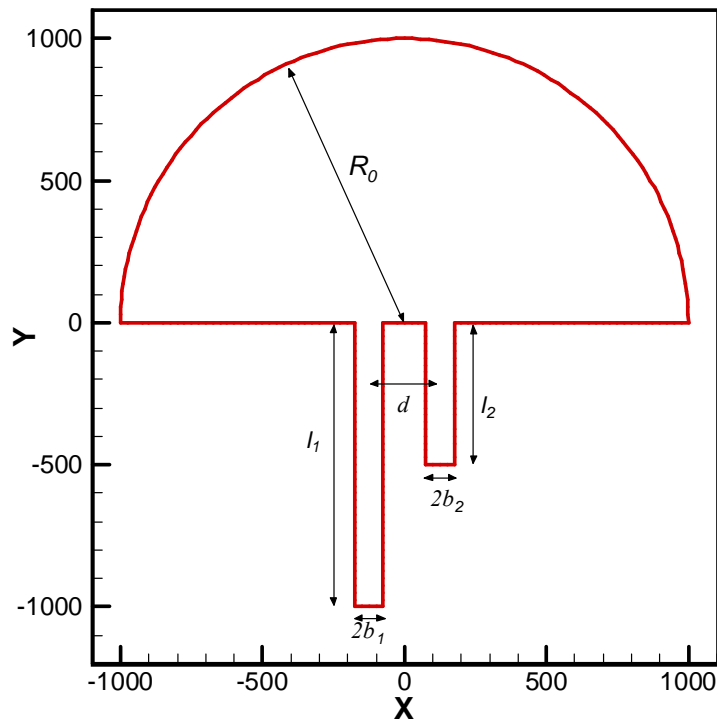


圖 3.33 雙港口耦合問題及相關參數示意圖

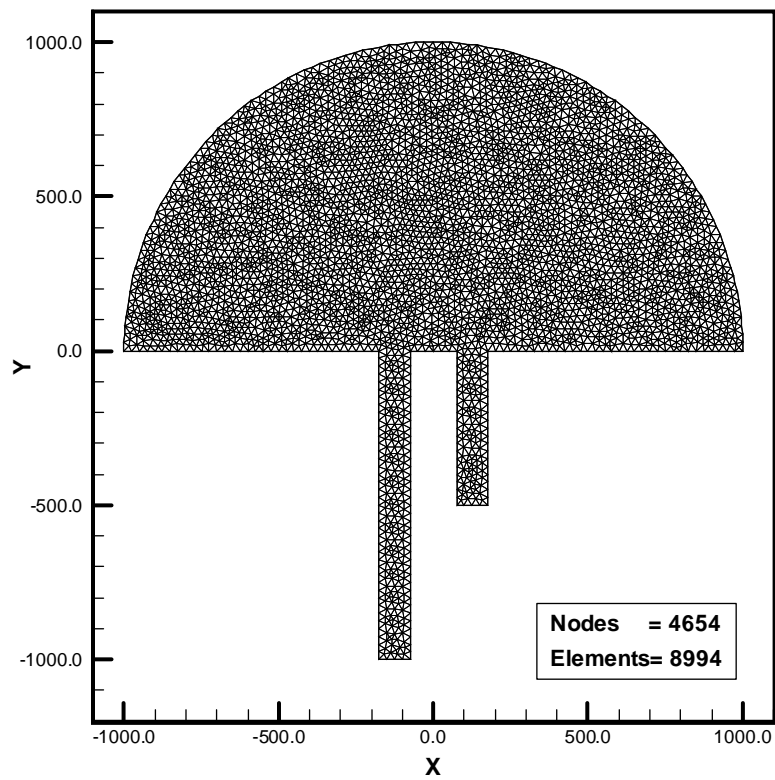


圖 3.34 本計畫雙港口波浪場數值計算有限元素網格配置圖

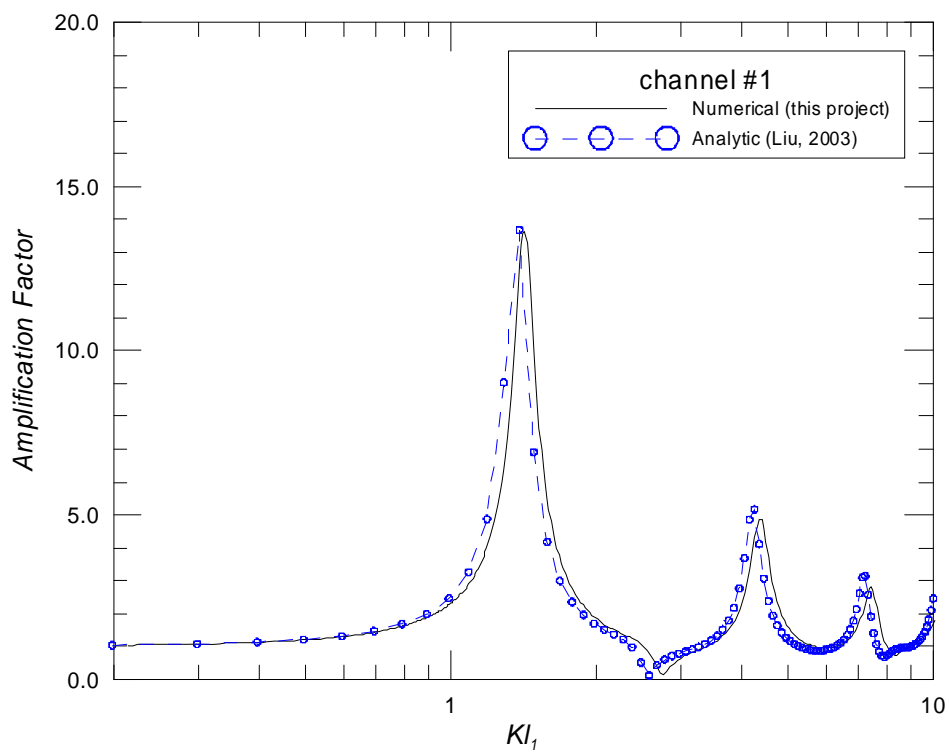


圖 3.35 長矩形港池(#1)之波浪放大率與無因次參數( $kl_1$ )之關係圖



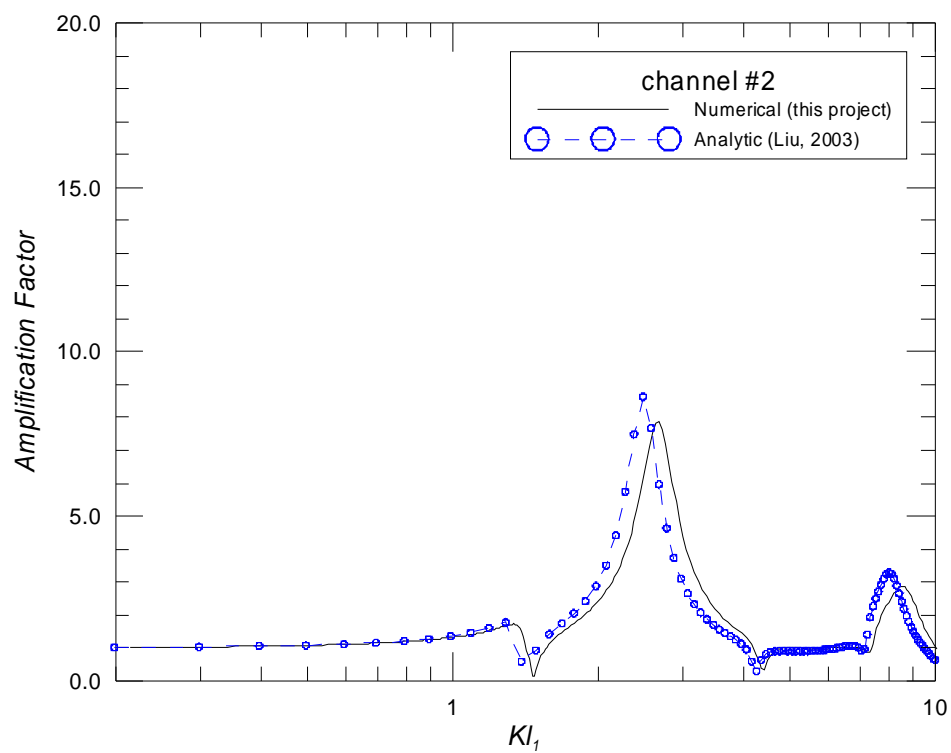


圖 3.36 短矩形港池(#2)之波浪放大率與無因次參數( $kl_1$ )之關係圖

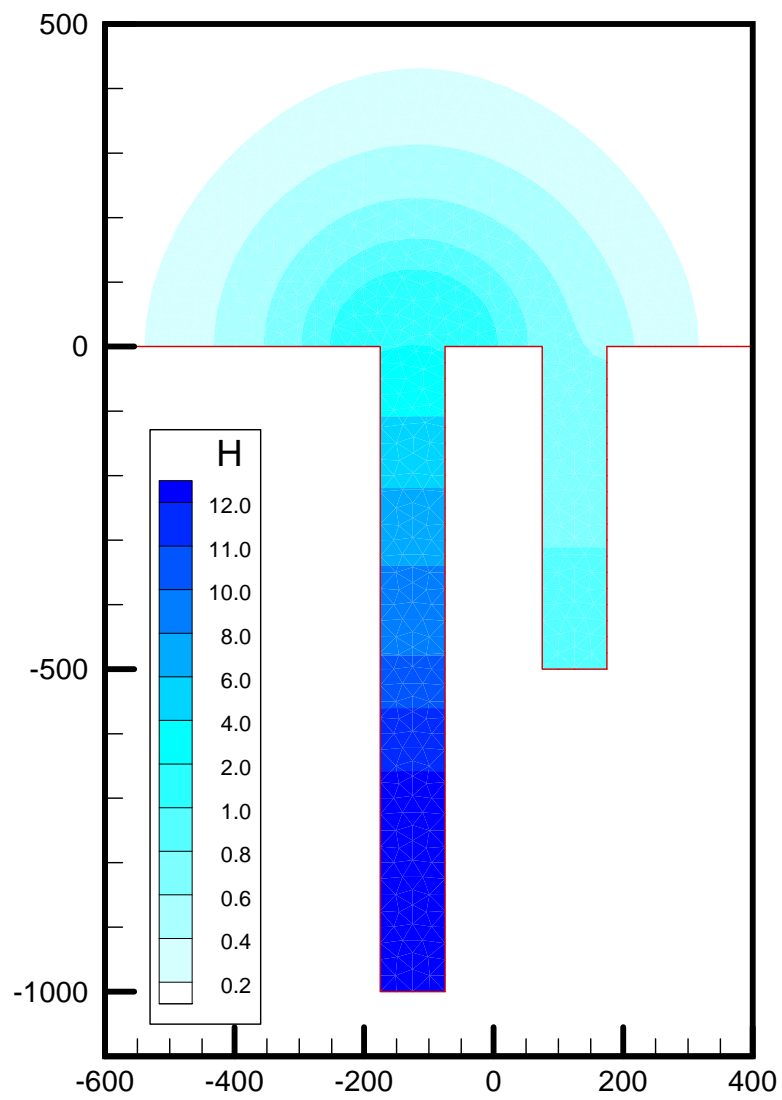


圖 3.37 波浪週期 600 sec 波浪場模擬結果之波高分布情形圖

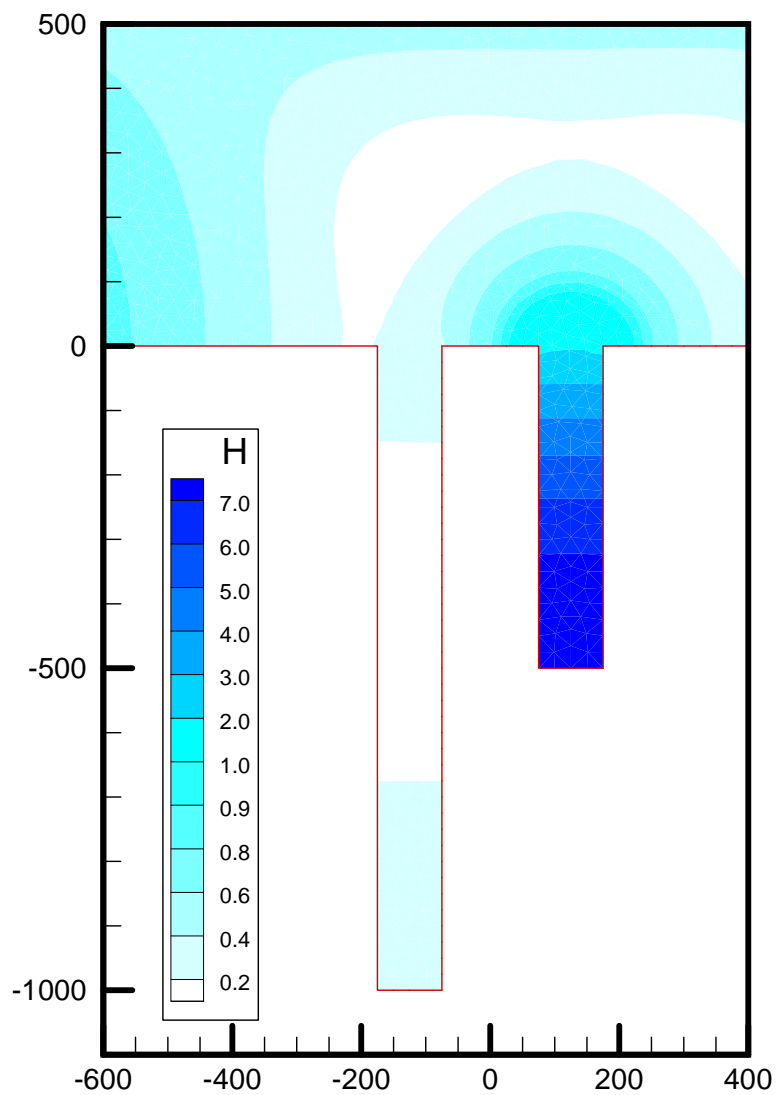


圖 3.38 波浪週期 320 sec 波浪場模擬結果之波高分布情形圖

#### 3.4.2 安平港區細尺度港域波浪模組之建置

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

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

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

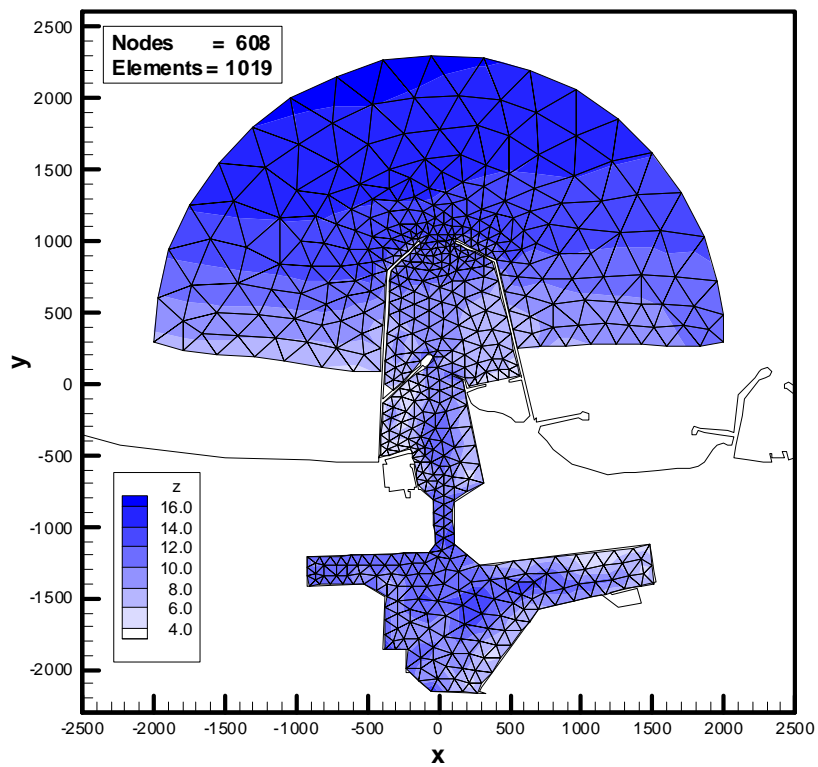


圖 3.39 安平港區港域波浪模組之模擬範圍及水深分布情形圖

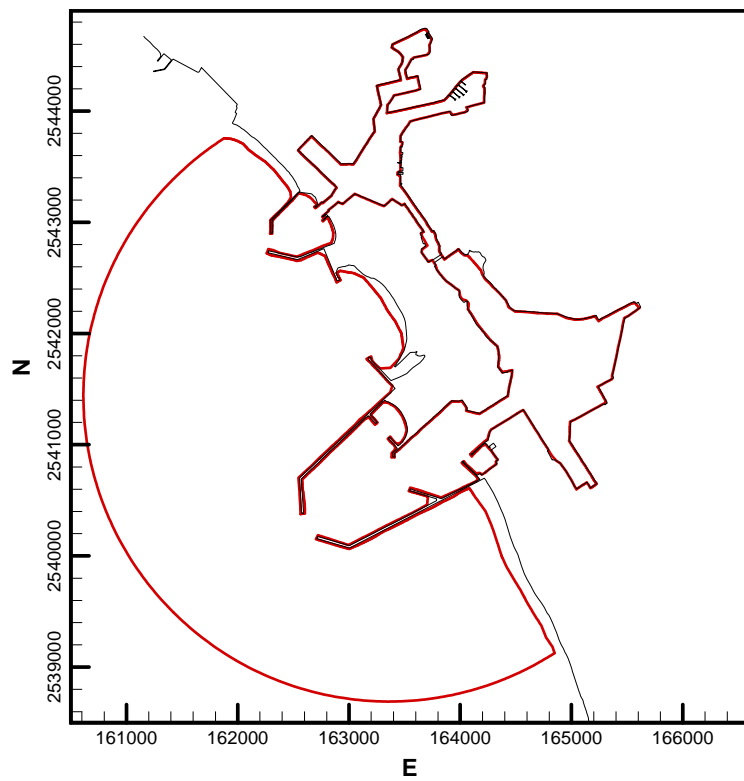


圖 3.40 安平港區港域波浪模組更新後之模擬範圍圖

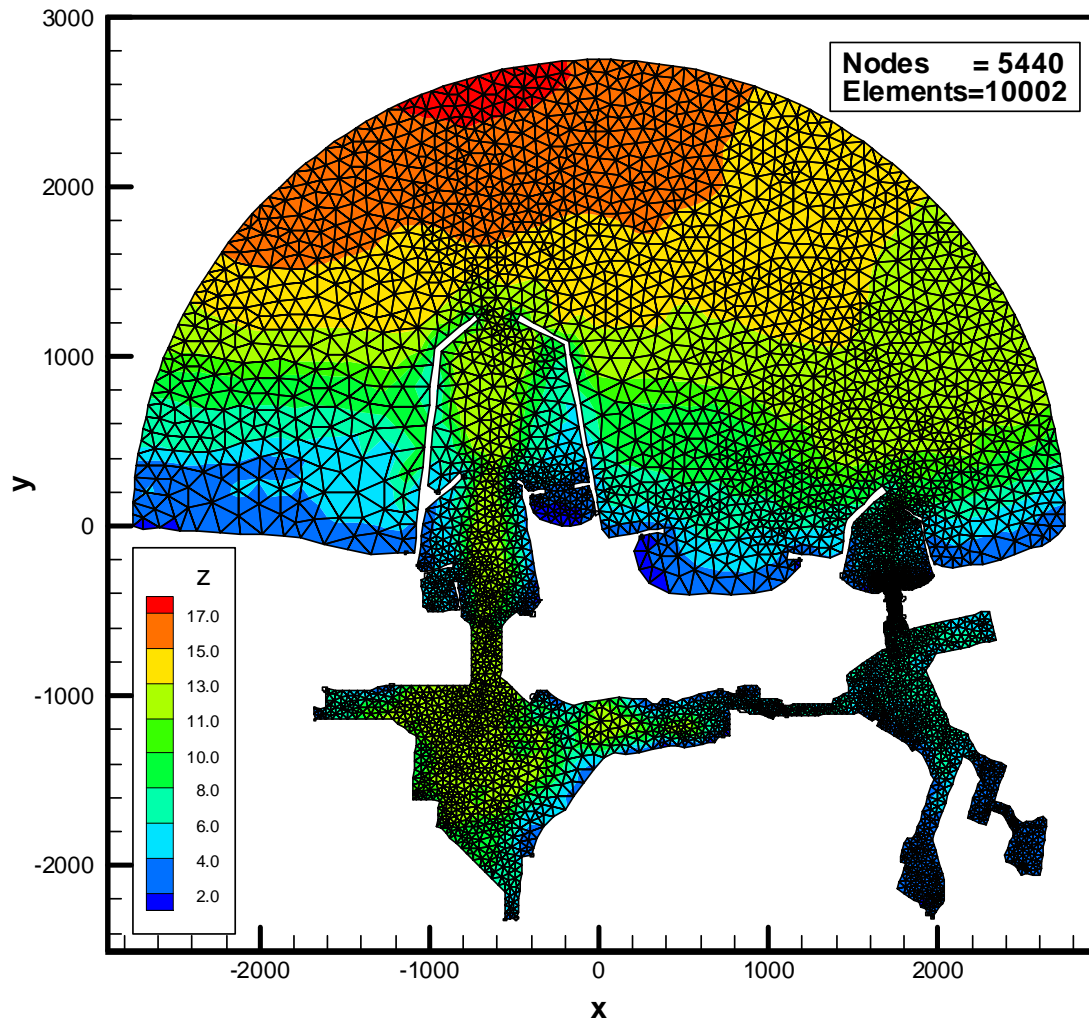


圖 3.41 安平港區港域波浪模組更新後之粗網格配置及水深分布情形圖

### 3.4.3 安平港區港域波浪場共振現象探討

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

針對港域波浪模擬結果，本計畫除了儲存含波高及相位二維平面資料供波浪場繪圖使用外，另針對安平港與安平漁港水域分別選取鄰近安平漁港舊港口之水景公園(A)、漁港區(B)、漁人碼頭區(C)、遊艇碼頭區(D)、以及鄰近安平商港港口之第四海巡隊停泊區(E)及客貨碼頭區(G)等水域，如圖 3.42 所示，計算其岸壁波高放大率與無因次參數  $kl$  之關係曲線，如圖 3.43 及圖 3.44 所示。

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

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

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

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

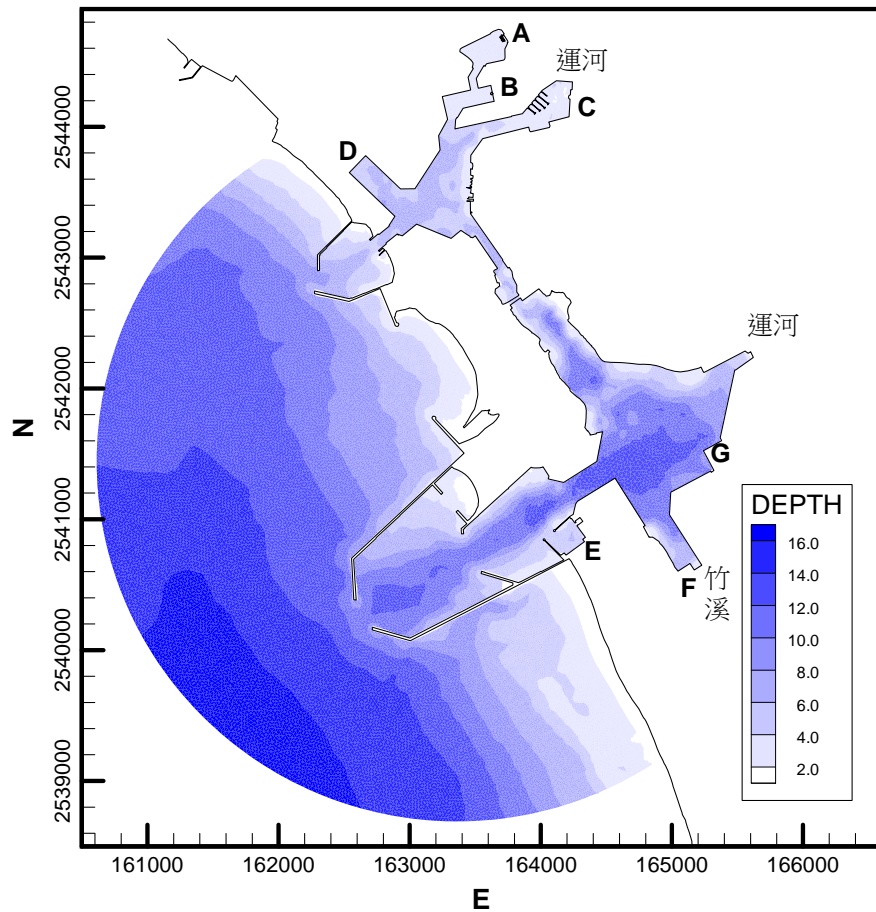


圖 3.42 安平港區港域波浪模擬結果之波高檢核點位置示意圖



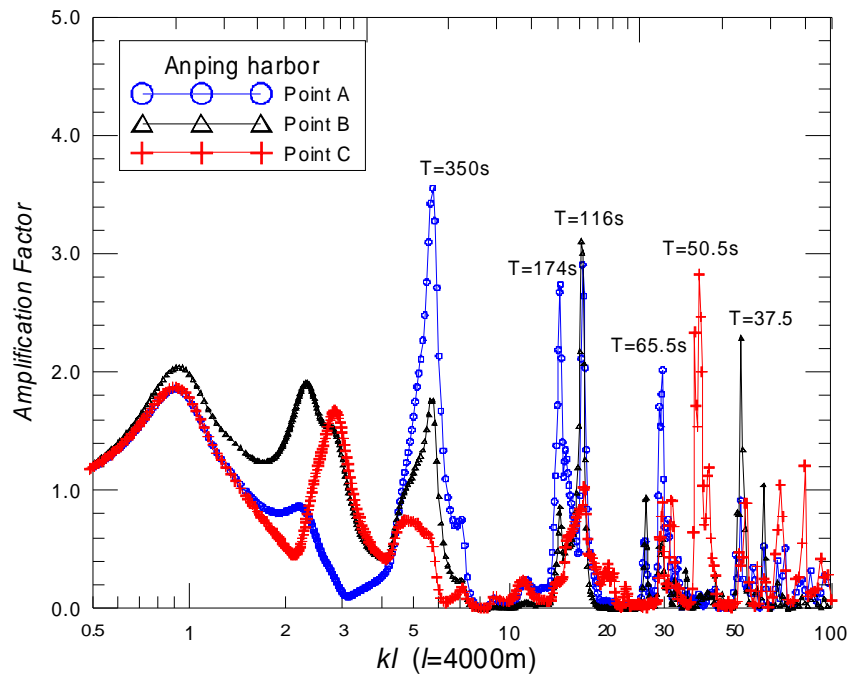


圖 3.43 安平港區港域波浪模擬結果之波高檢核點位置示意圖

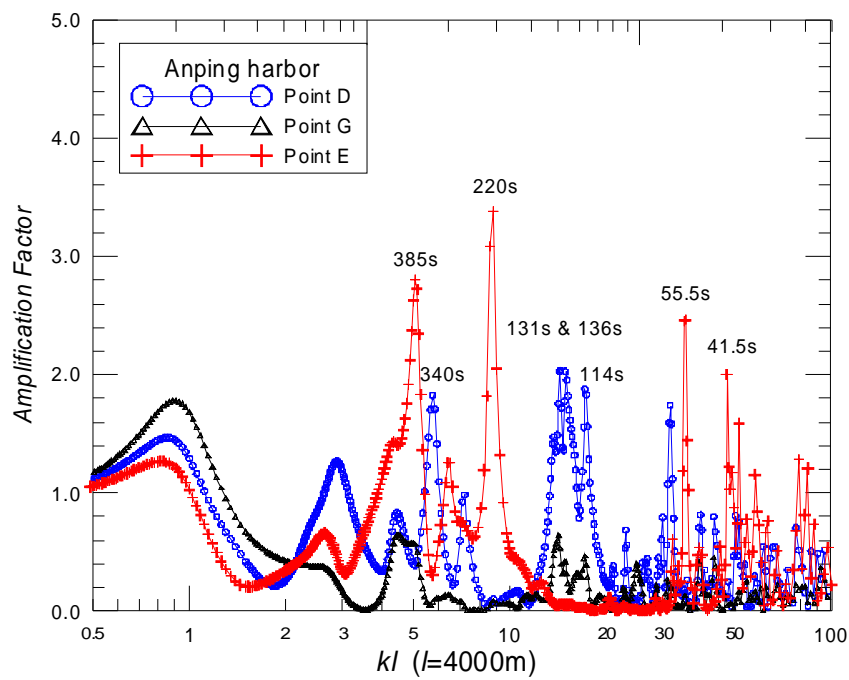


圖 3.44 安平港區港域波浪模擬結果之波高檢核點位置示意圖

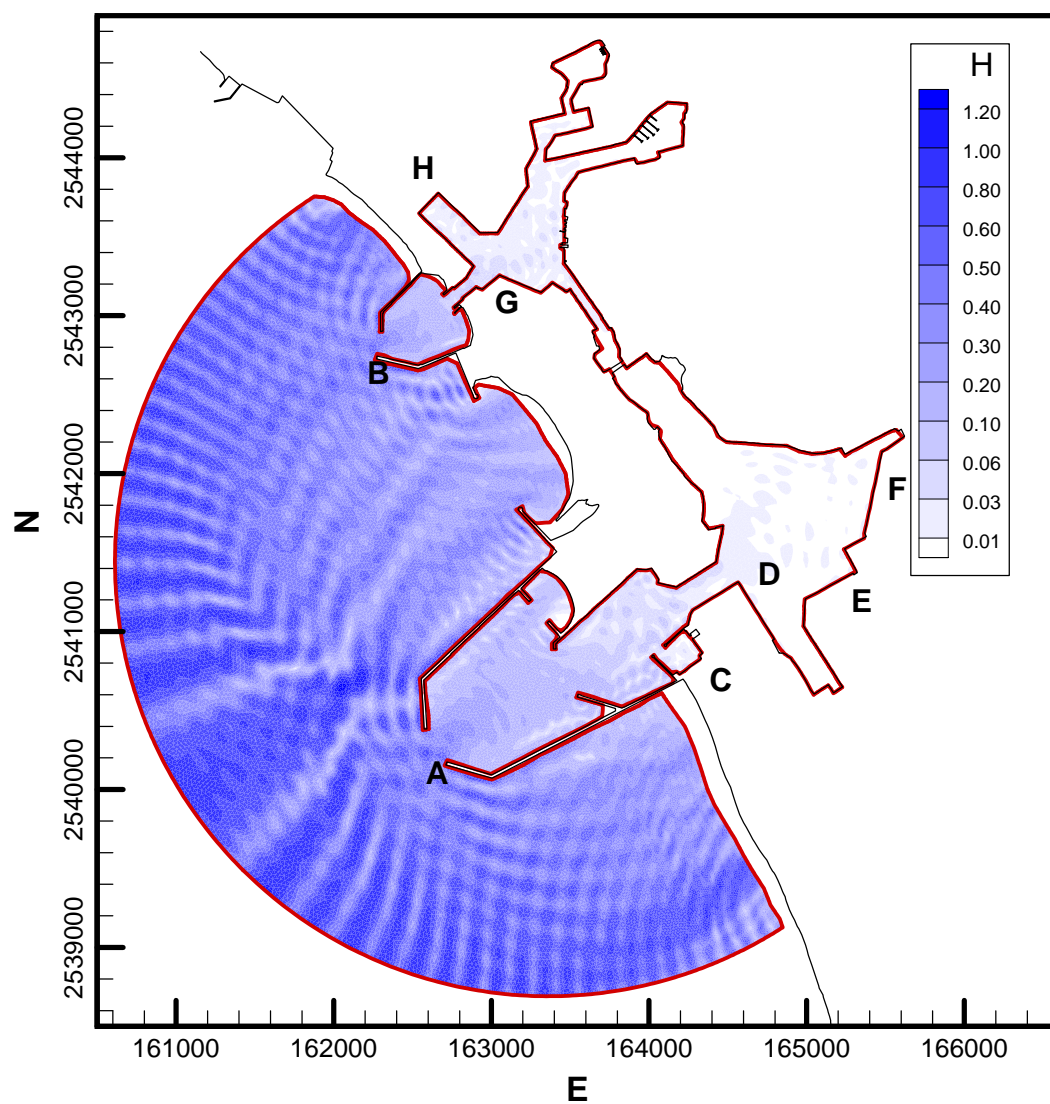


圖 3.45 安平港區港域波浪模擬結果之波高分布情形(週期 20 sec)

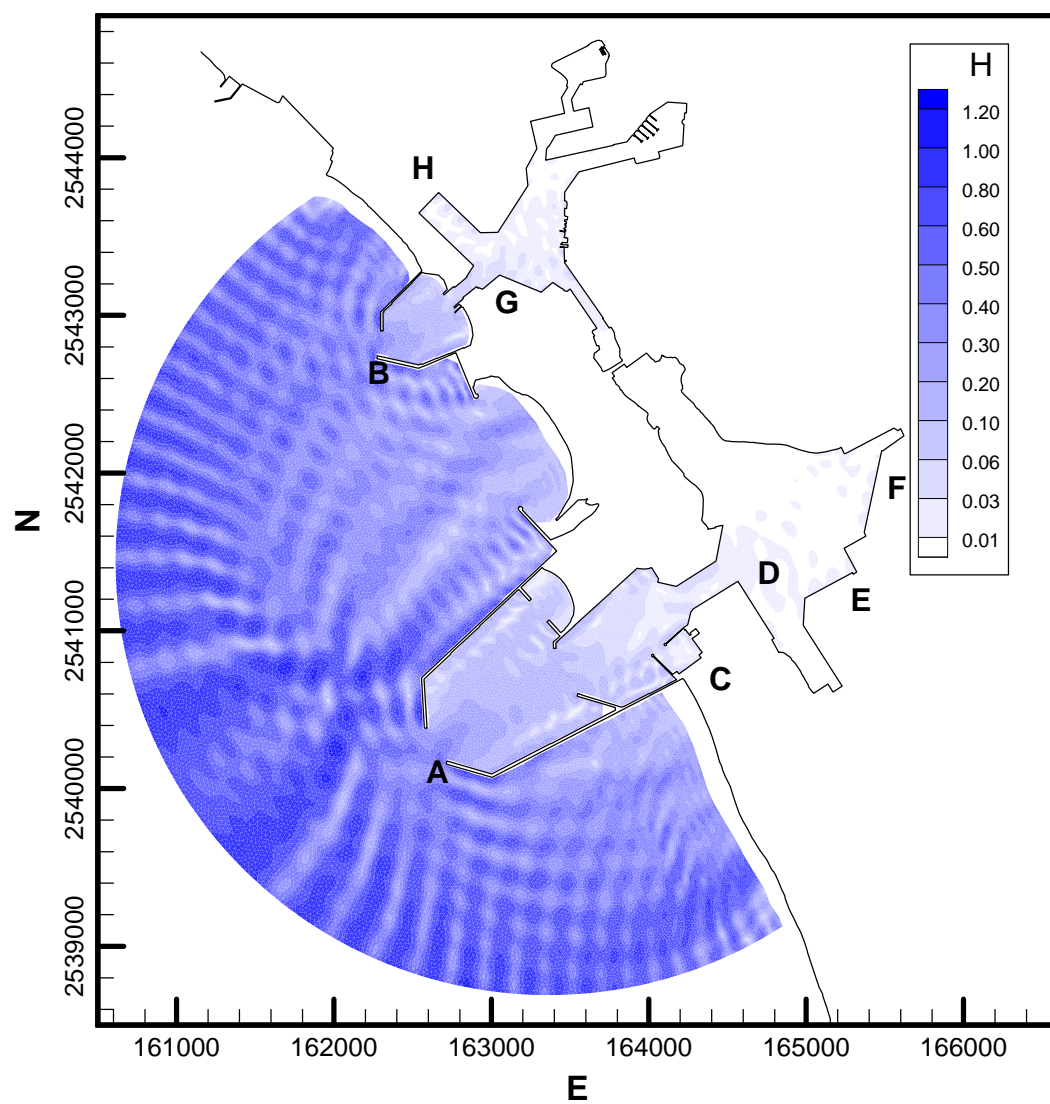


圖 3.46 安平港區港域波浪模擬結果之波高分布情形(週期 25 sec)

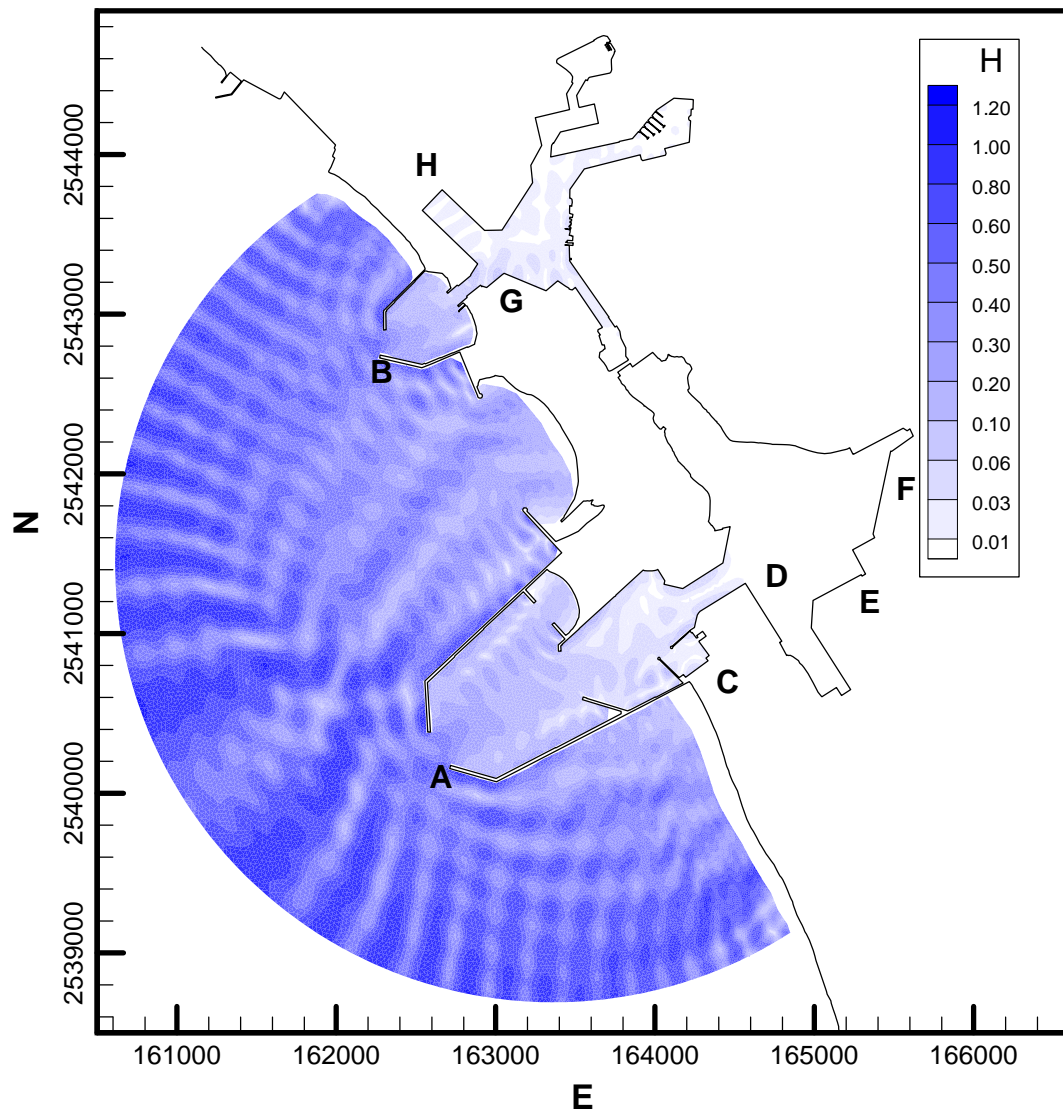


圖 3.47 安平港區港域波浪模擬結果之波高分布情形(週期 30 sec)

#### 3.4.4 高雄港區細尺度港域波浪模組之建置

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

圖 3.49 所示，分別建置有限元素計算網格。其中一港口外海半圓有限領域之半徑為 2,000 m，外海半圓最大水深達為 15 m；二港口外海半圓有限領域之半徑為 2,800 m，外海半圓最大水深達為 18 m。

依據一港口及二港口模擬範圍，本計畫初步建置的三角形元素粗網格分別如圖 3.50 及圖 3.51 所示，其中一港口有限元素粗網格係由 3111 個節點及 5663 個三角形元素所組，二港口有限元素粗網格係由 1600 個節點及 2699 個三角形元素所組成。本計畫再依據粗網格及其水深資料進一步以波浪週期為 10 sec 條件產生滿足港域波浪模式精確度要求的有限元素細網格，其中一港口有限元素細網格共計有 64,838 個節點及 126,709 個三角形元素，二港口有限元素細網格共計有 109,157 個節點及 214,486 個三角形元素。

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





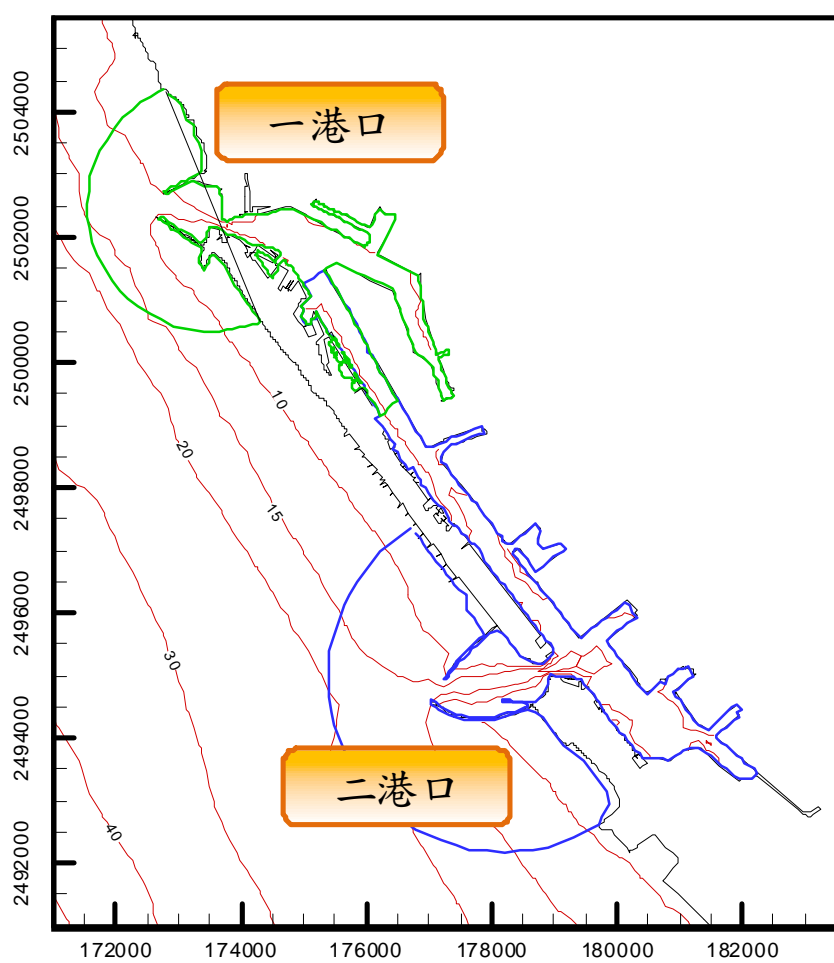


圖 3.49 高雄港區港域波浪模組一港口及二港口模擬範圍圖

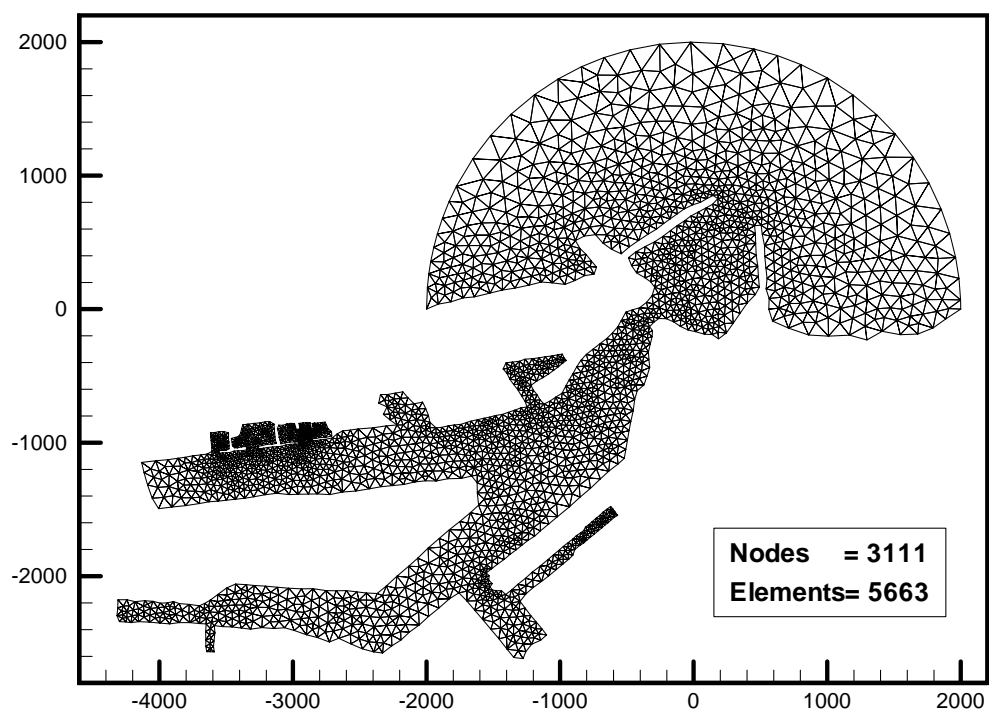


圖 3.50 高雄港區一港口港域波浪模之粗網格配置圖

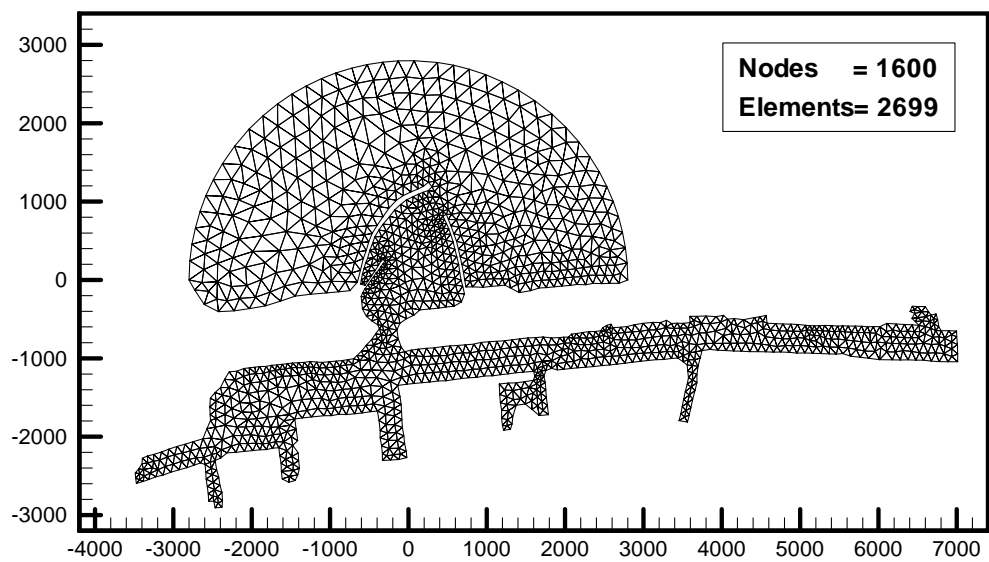


圖 3.51 高雄港區二港口港域波浪模之粗網格配置圖



### 3.4.5 高雄港區港域波浪場模擬結果

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

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

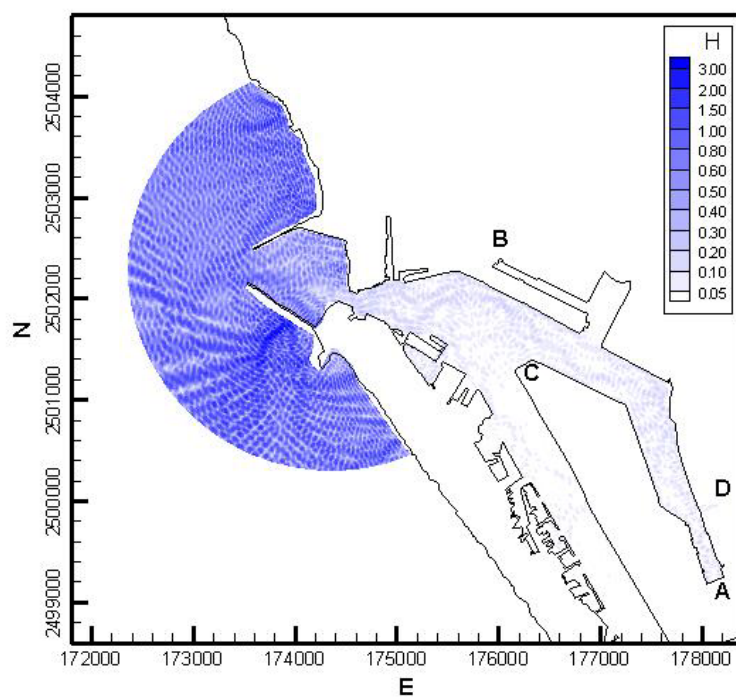


圖 3.52 高雄港區一港口港域波浪模擬結果之波高 KD 值分布情形  
(波浪條件：週期 10 sec，波向 W)

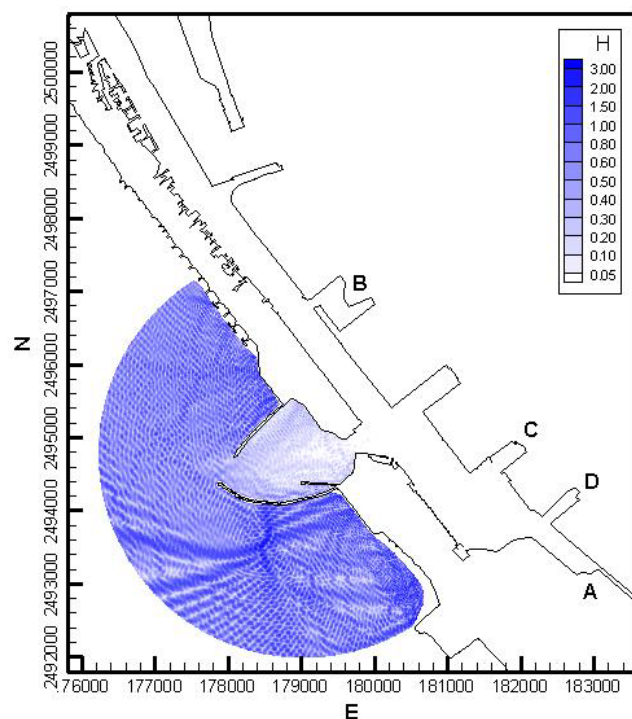


圖 3.53 高雄港區二港口港域波浪模擬結果之波高 KD 值分布情形  
(波浪條件：週期 10 sec，波向 W)

## 第四章 水動力(水位及流場)模擬與探討

### 4.1 水動力模式基本理論介紹

#### 4.1.1 水動力控制方程式

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

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

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

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

其中

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

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

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

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

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

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

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

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

此處

$h$  = 靜水深，

$\eta$  = 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，

$\rho_0$  = 流體平均密度，

$\rho_a$  = 空氣密度，

$p^s$  = 水面壓力，

$g$  = 重力常數，

$\tau_x^b$  =  $x$  方向之底床剪應力，

$\tau_y^b$  =  $y$  方向之底床剪應力，

$\tau_x^s$  =  $x$  方向之水面剪應力

$\tau_y^s$  =  $y$  方向之水面剪應力

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

$n$  = 曼寧係數，

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

$U_{10}$  = 海面上 10 公尺處之風速

$E_{ij}$  = 渦動黏滯係數(Eddy coefficient)，

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

$\omega$  = 地球自轉之位相速度，

$\phi$  = 計算領域所在位置之緯度，

問題之初始條件為

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

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

式中  $\eta_0$ 、 $H_0$ 、 $q_{x0}$  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：

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

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

或

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

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

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

此外，內應力項之邊界條件為

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

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

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

#### 4.1.2 有限元素法方程式

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

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

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

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

式中  $A$  代表計算領域， $\partial A$  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， $\delta H$ 、 $\delta q_x$  及  $\delta q_y$  分別為權函數 (weighting function)， $F'_x$  及  $F'_y$  分別代表邊界上的內應力量。

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

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

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

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

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

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

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

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

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

其中三角元素之線性內插函數  $N_j^e$  計算如下

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

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

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

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

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

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

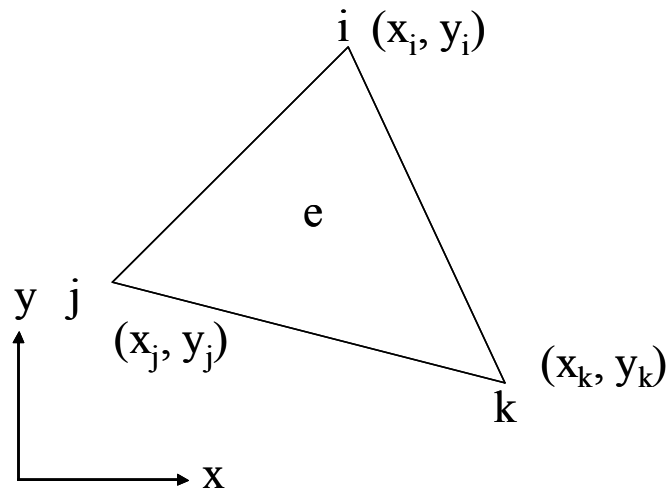


圖 4.1 三角形元素座標定義

(4.9)式各項積分式之計算說明如下：

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

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

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

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

其中

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

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

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

將上述各項積分離散式代入積分方程式(4.9)式，則(4.9)式可簡化成



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

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(4.18)式可結合成一矩陣方程式如下

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

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 $[M_h^e] \{Q_0^e\}$ 結合後之整體矩陣列，其中整體矩陣 $[M_h]$ 為一對稱矩陣。

由於陣列 $\{\delta H\}^T$ 為任意函數，故可得到

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

(4.10)式各項積分式之計算說明如下：

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned}\iint_A \left( F_{yx} \frac{\partial \delta q_x}{\partial x} \right) dA &= \sum_{e \in A} \iint_e \left( F_{yx} \frac{\partial \delta q_x}{\partial x} \right) dA^e \\ &= \sum_{e \in A} \left\{ \delta q_x^e \right\}^T \frac{E_{yx} \bar{H}}{24\Delta^e} \left\{ \left[ M_{cb}^e \right] \left\{ \bar{v}^e \right\} + \left[ M_{cc}^e \right] \left\{ \bar{u}^e \right\} \right\} \dots\dots\dots (4.21j)\end{aligned}$$

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

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

$$\left[ M_{bb}^e \right] = \begin{bmatrix} b_1^2 & b_1 b_2 & b_1 b_3 \\ b_2 b_1 & b_2^2 & b_2 b_3 \\ b_3 b_1 & b_3 b_2 & b_3^2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (4.22a)$$

$$\left[ M_{cb}^e \right] = \begin{bmatrix} c_1 b_1 & c_1 b_2 & c_1 b_3 \\ c_2 b_1 & c_2 b_2 & c_2 b_3 \\ c_3 b_1 & c_3 b_2 & c_3 b_3 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (4.22b)$$

$$\left[ M_{cc}^e \right] = \begin{bmatrix} c_1^2 & c_1 c_2 & c_1 c_3 \\ c_2 c_1 & c_2^2 & c_2 c_3 \\ c_3 c_1 & c_3 c_2 & c_3^2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (4.22c)$$

同理，(4.11)式各項積分式之計算如下：

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

先將一階時間項常微分方程組(4.20)式及(4.24)式重組成

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

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

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(4.25)式及(4.26)式可改寫成

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

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

或

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 4.2 臺灣周圍海域暴潮模擬與探討

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

### 4.2.1 有限元素網格之修正

如圖 4.2 所示本計畫臺灣周圍海域暴潮模組之模擬範圍係以東經 116.5°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。數值計算網格之座標系統採用六度分帶投影座標系統，101 年度計畫初步建置的有限元素計算網格如圖 4.3 所示，圖中有限元素網格係由 6528 個節點及 12514 個三角形元素所組成。模式採用的水深資料係由海科中心臺灣附近海域格網數值地形資料及海軍測量局刊行之海軍水道圖(編號 0307)所組成的，如圖 4.4 所示，圖中模式最大水深超過 9000 m，最小水深則小於 10.0 m。

針對中尺度臺灣周圍海域暴潮模組之數值計算網格改善研究，因本年度計畫主要研究對象為安平港及高雄港，故本計畫乃以鄰近安平港域及高雄港域之海岸為本年度優先改善目標。其中圖 4.5 所示為上年度計畫建置的數值計算網格(如圖 4.3 所示)在安平港海域至高雄港海域間三角形元素之配置情形，顯示除了在安平港北側海域三角形元素配置情形與海岸線現況略有出入外，另在網格解析度上，模式鄰近海岸線之海域元素大小仍有改善之需求。因此本年度計畫乃針對上述三角形元素配置及大小修正問題，選取的數值計算網格修正及改善的範圍如圖 4.5 粗虛線之標示範圍；網格更新後三角形元素之配置情形，如圖 4.6 所示，其中安平港港口與高雄港港口附近元素大小之精度約可提昇至 1~2 km 左右。因此，本年度計畫重新產生的臺灣周圍海域暴潮模組有限元素計算網格(稱之為 2013 版網格)係由 6695 個節點及 12813 個三角形元素組成，如圖 4.7 所示。

#### 4.2.2 邊界條件及初始條件

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

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

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

基於中尺度臺灣周圍海域暴潮模組其海域開放邊界並無潮汐觀測資料可供利用，因此本計畫採用 Matsumoto et al.(2000)發展的天文潮區域模式 NAO.99Jb(其網格間距為 1/12 度)，建置中尺度臺灣周圍海域暴潮模組開放邊界之天文潮水位資料。如圖 4.8 所示分別為本計畫臺灣周

圍海域暴潮模組以 NAO.99Jb 模式計算開放邊界上四個角落節點(參考圖 4.3 所示)每小時天文潮水位變化之資料，顯示在模式開放邊界鄰近大陸海岸處天文潮屬於半日潮型，在模式太平洋海上開放邊界處天文潮水位變化屬於混合潮型，另在模式西南角落開放邊界處天文潮位變化則呈現全日潮型態。

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

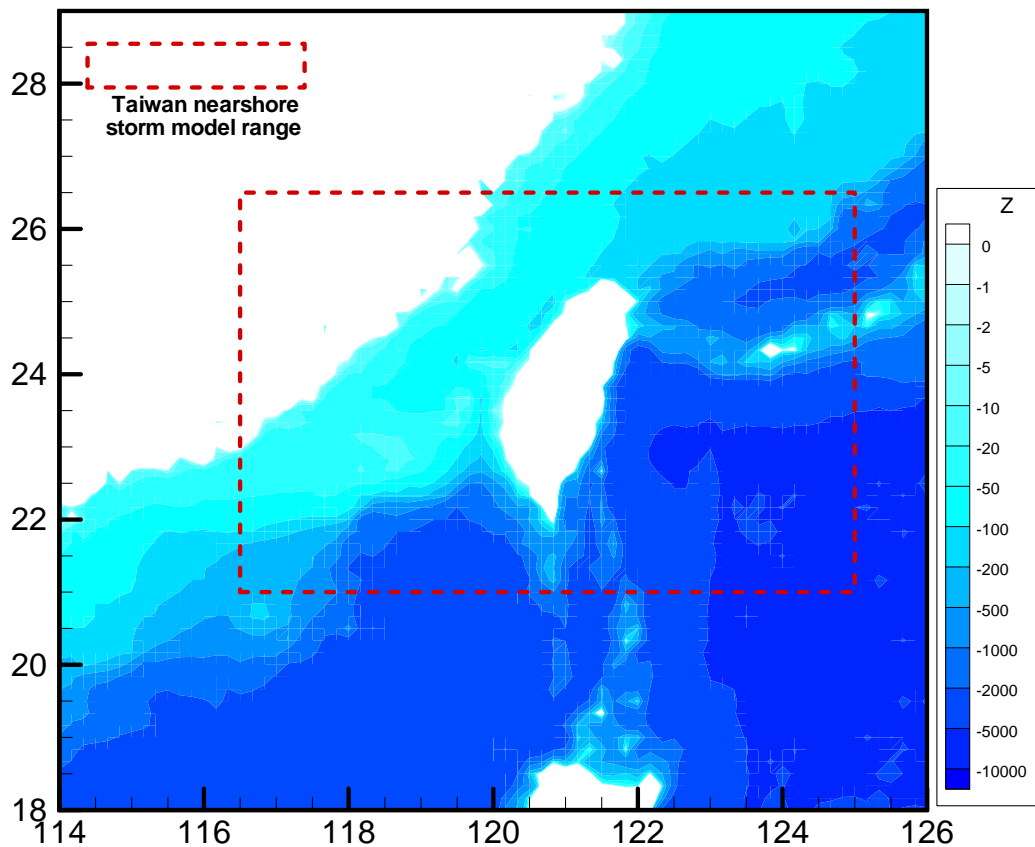


圖 4.2 臺灣周圍海域暴潮模組之模擬範圍

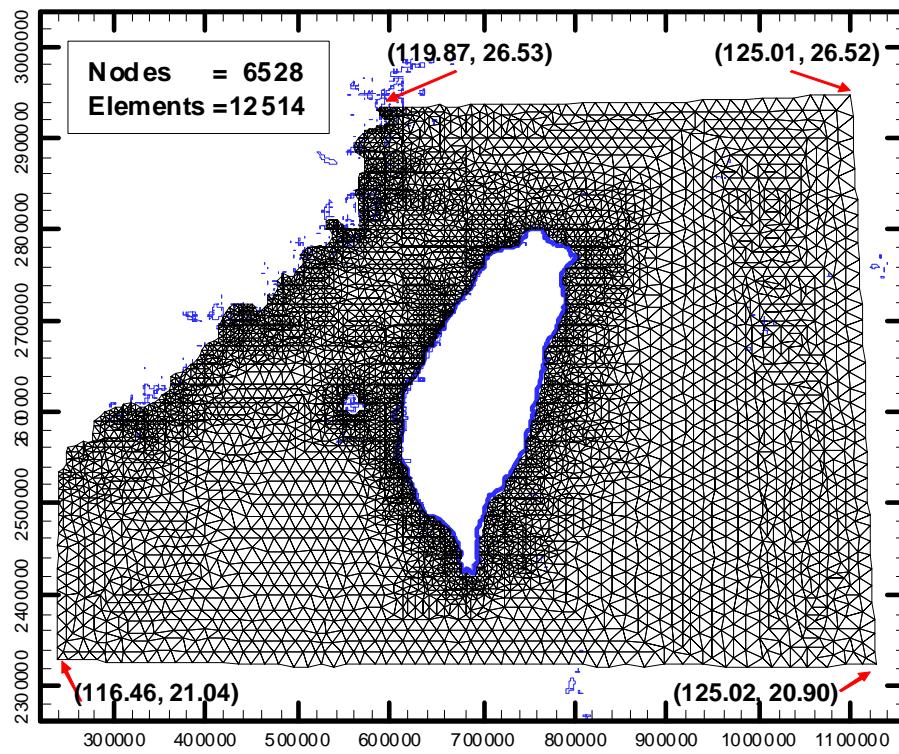


圖 4.3 臺灣周圍海域暴潮模組 2012 版網格三角形元素網格分布圖

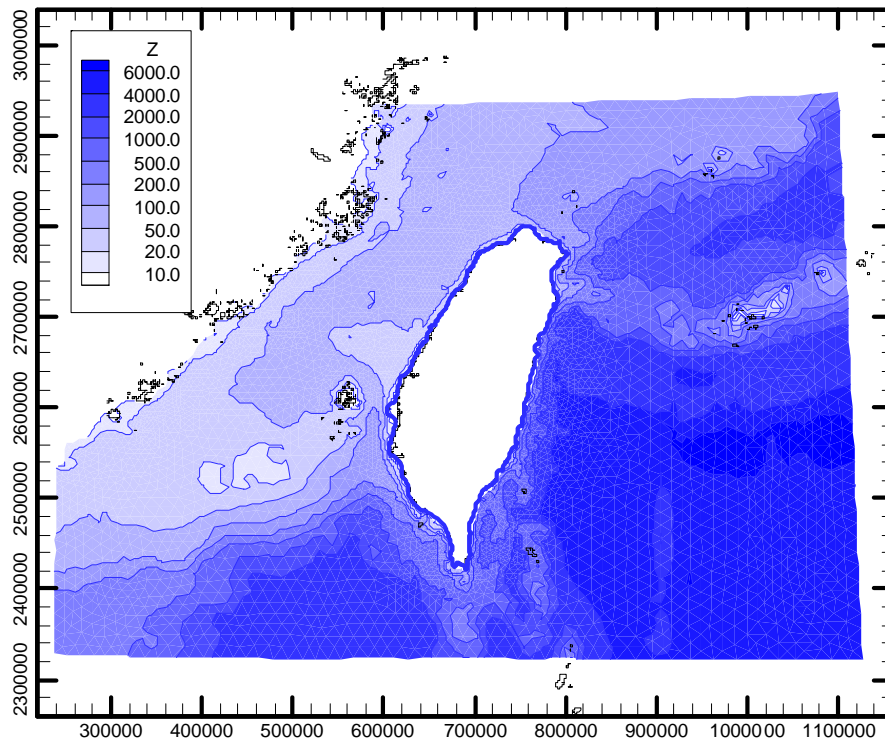


圖 4.4 臺灣周圍海域暴潮模組之地形水深分布圖



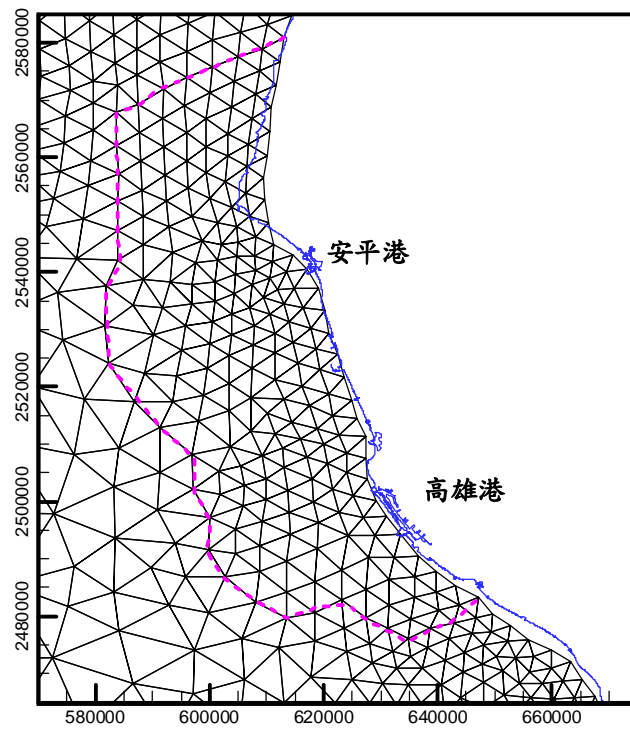


圖 4.5 模式網格修正前安平至高雄海域間三角形元素分布圖

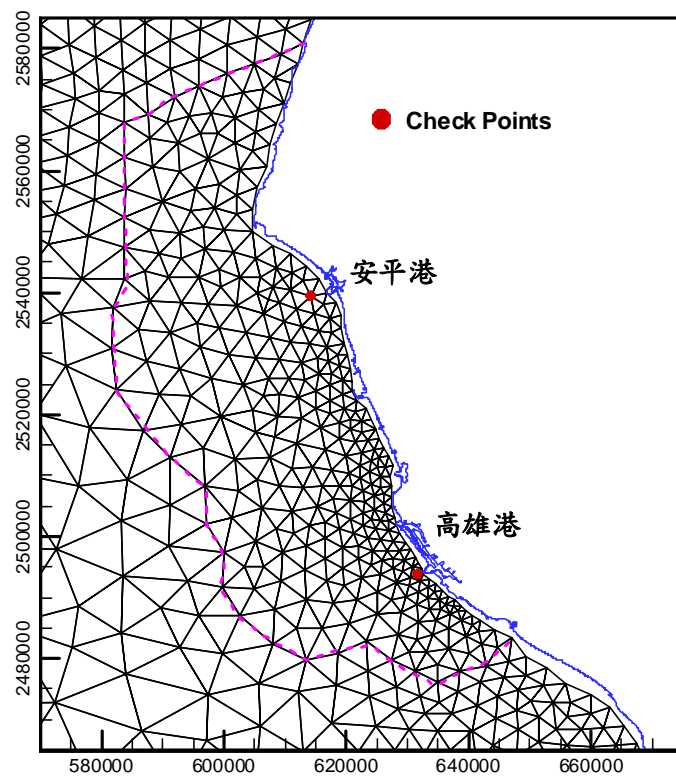


圖 4.6 模式網格修正後安平至高雄海域間三角形元素分布圖

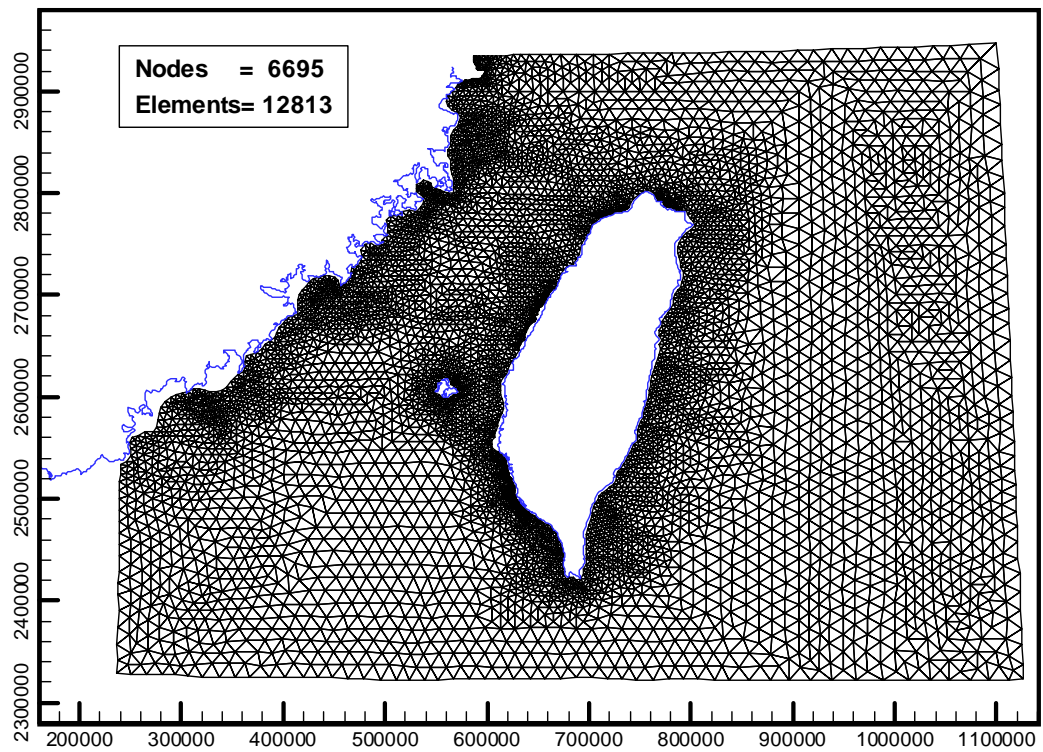


圖 4.7 臺灣周圍海域暴潮模組有限元素網格更新後三角形元素分布圖

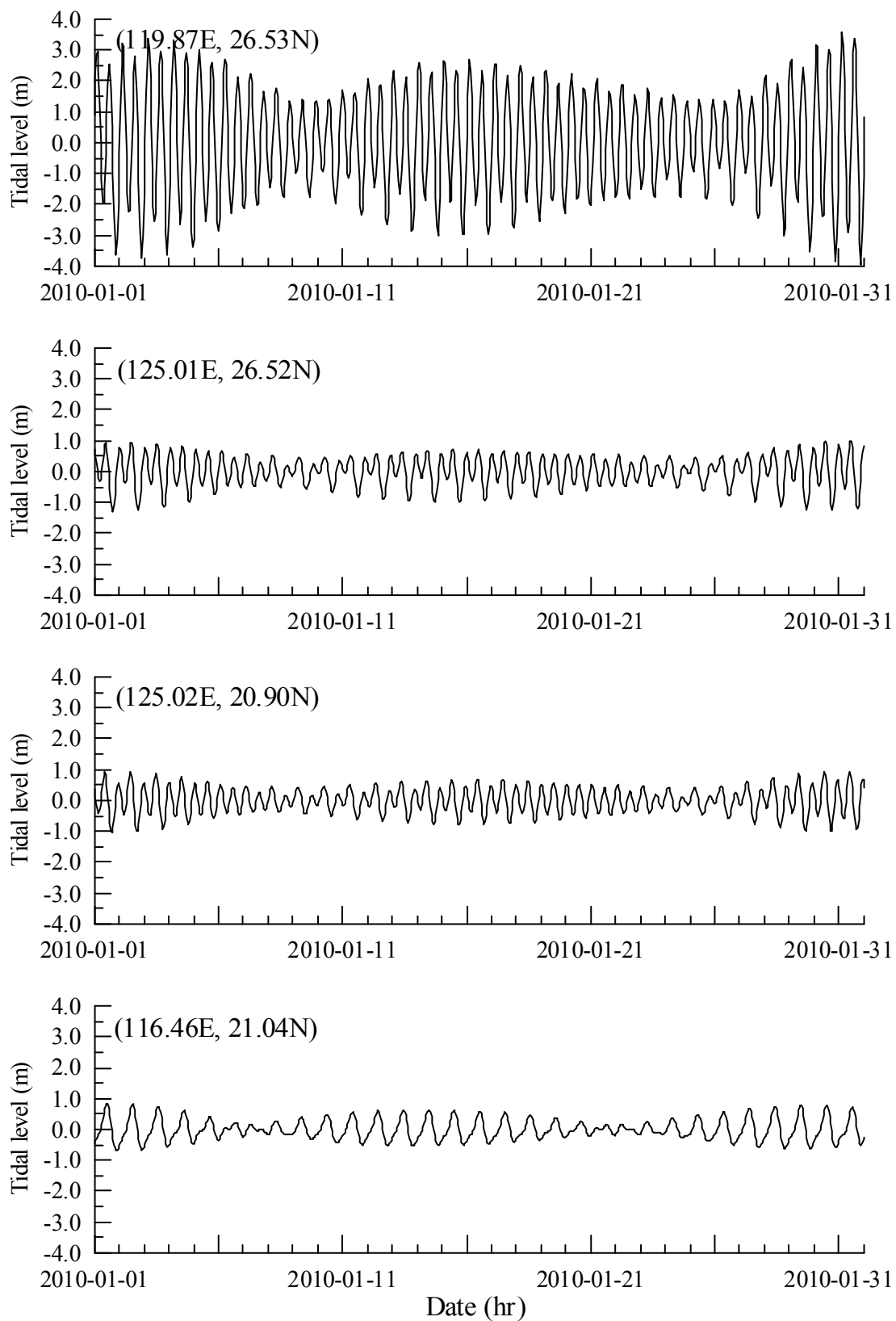


圖 4.8 臺灣周圍海域暴潮模組採用的天文潮邊界條件時序圖

#### 4.2.3 模式物理參數率定

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

#### 4.2.4 天文潮位模擬結果驗證

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

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

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

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

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

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

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

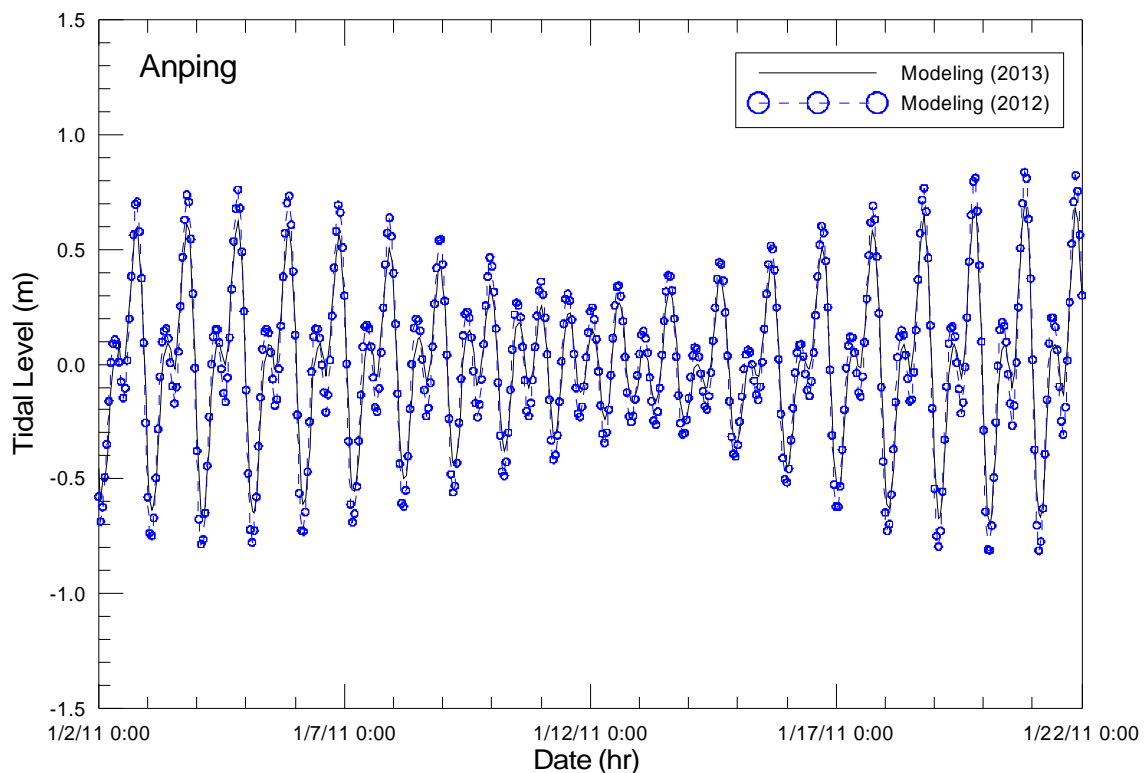


圖 4.9 安平港區天文潮位模式模擬結果之比較圖

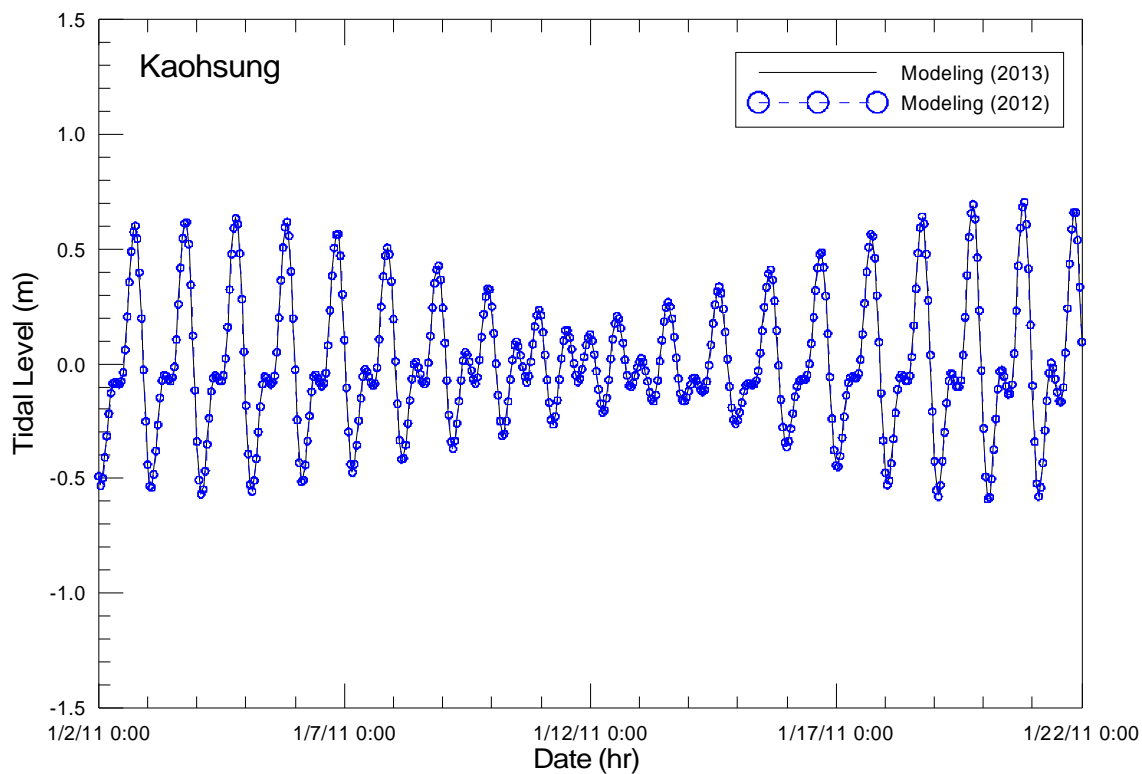


圖 4.10 高雄港區天文潮位模式模擬結果之比較圖

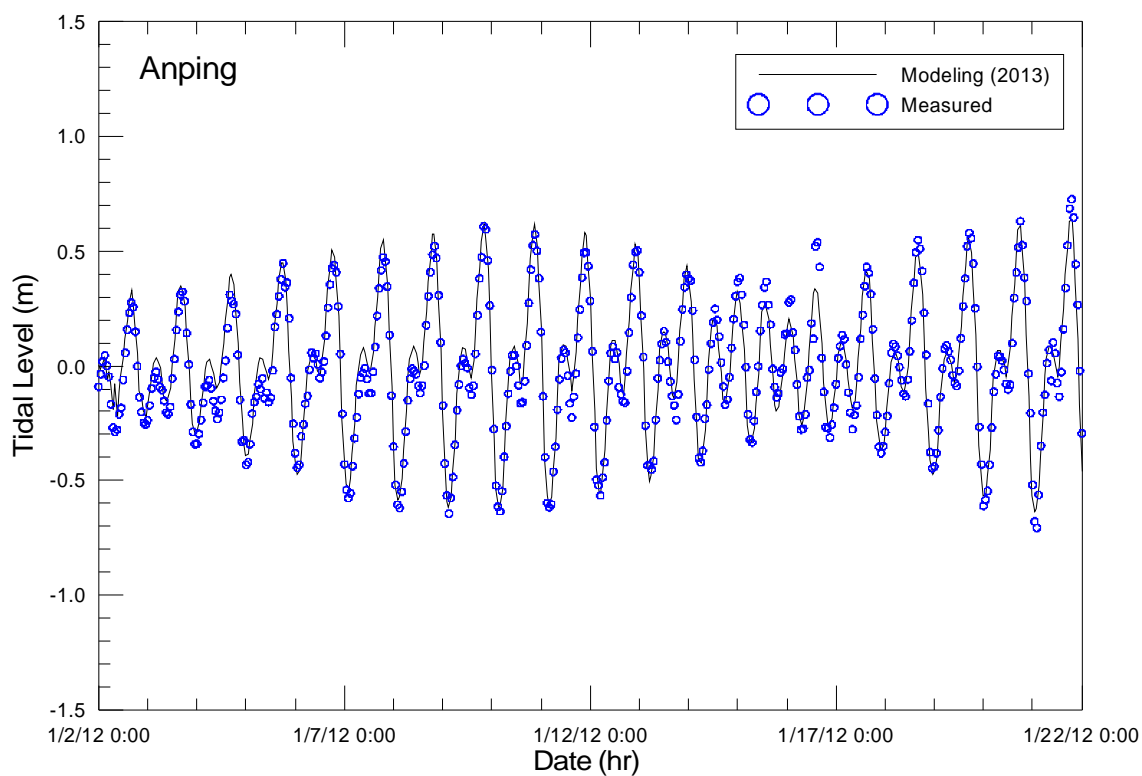


圖 4.11 安平港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖

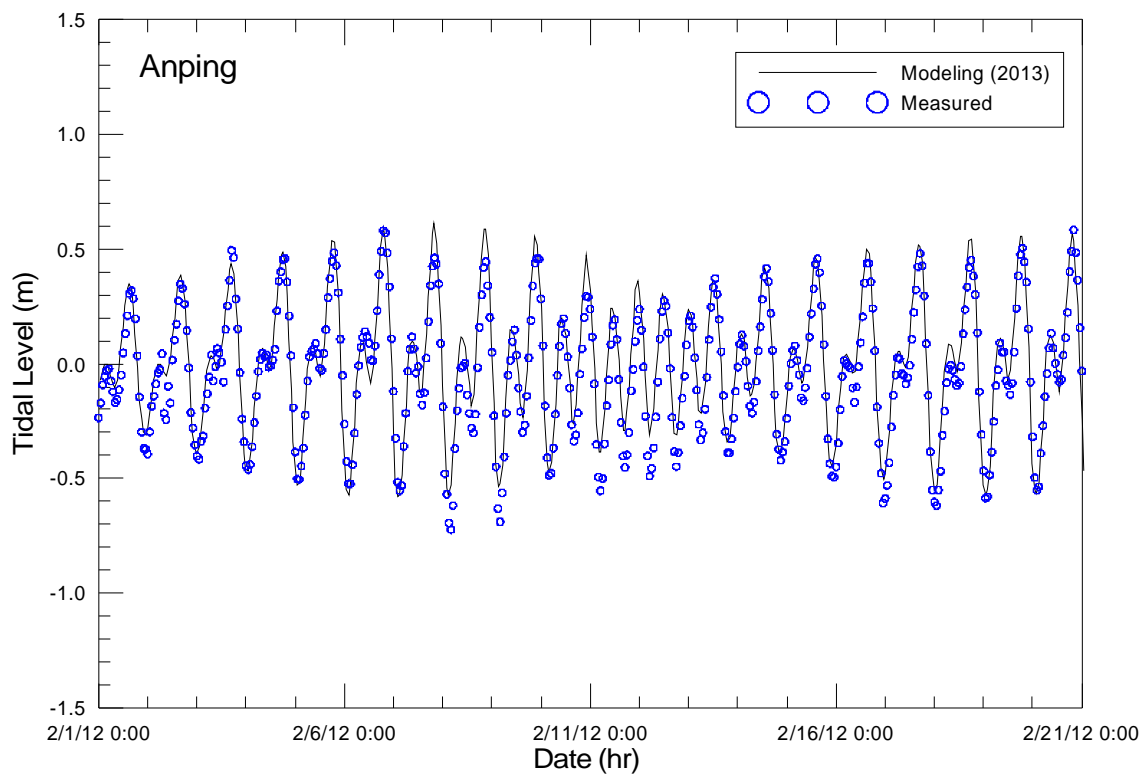


圖 4.11 (續 1)安平港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖

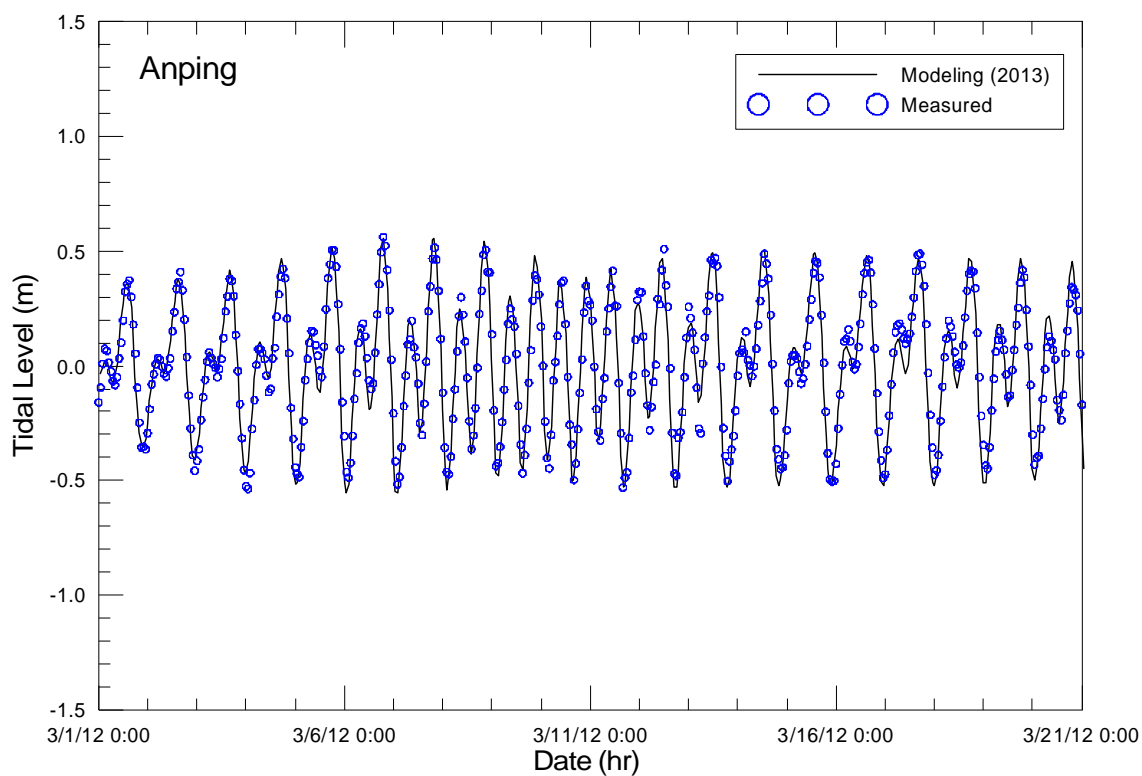


圖 4.11 (續 2)安平港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖

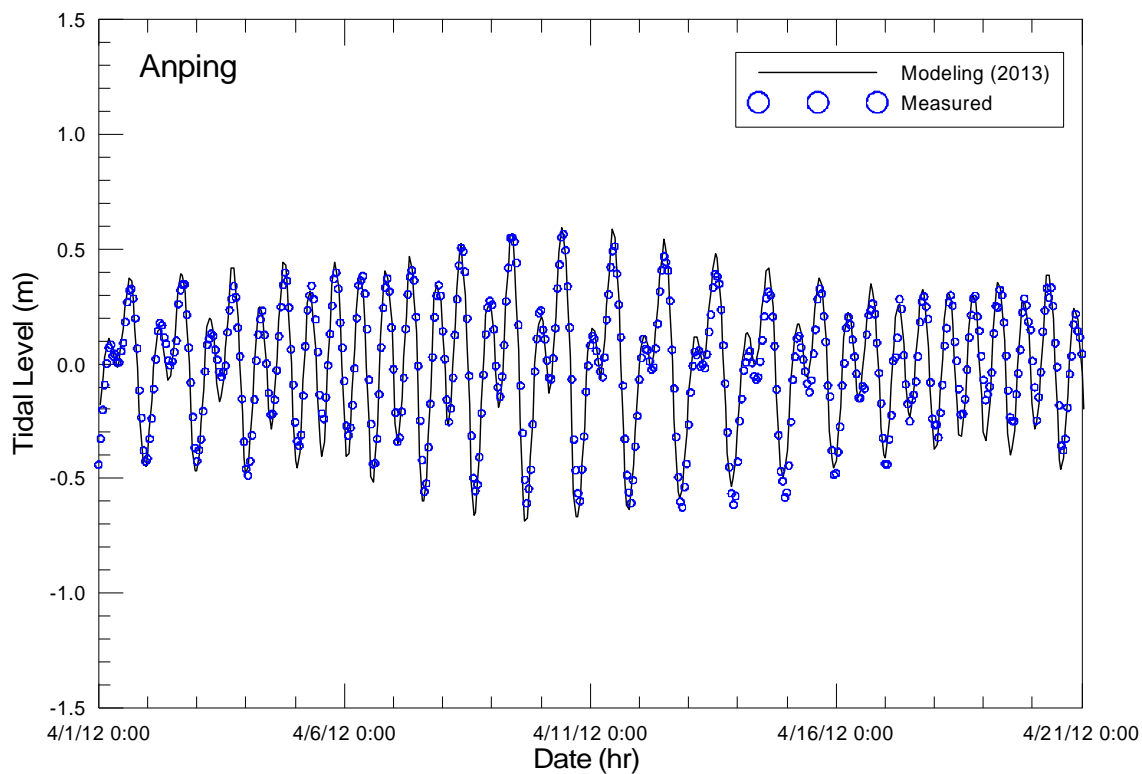


圖 4.11 (續 3)安平港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖

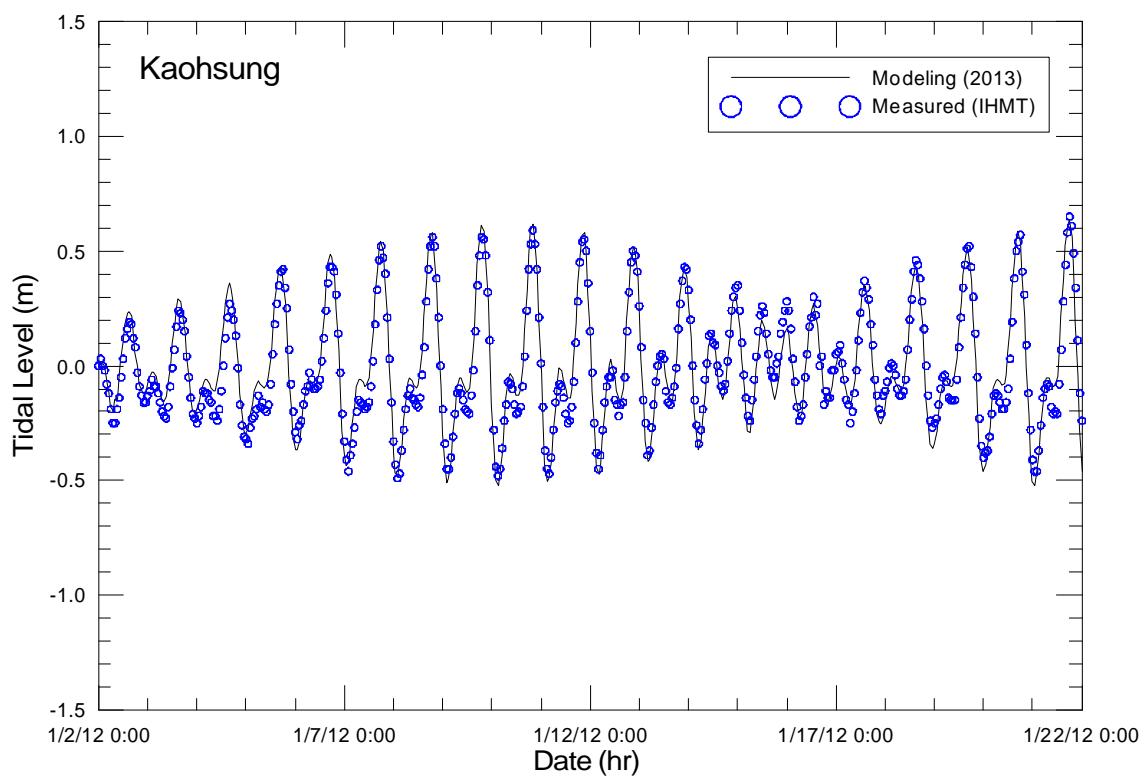


圖 4.12 高雄港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖



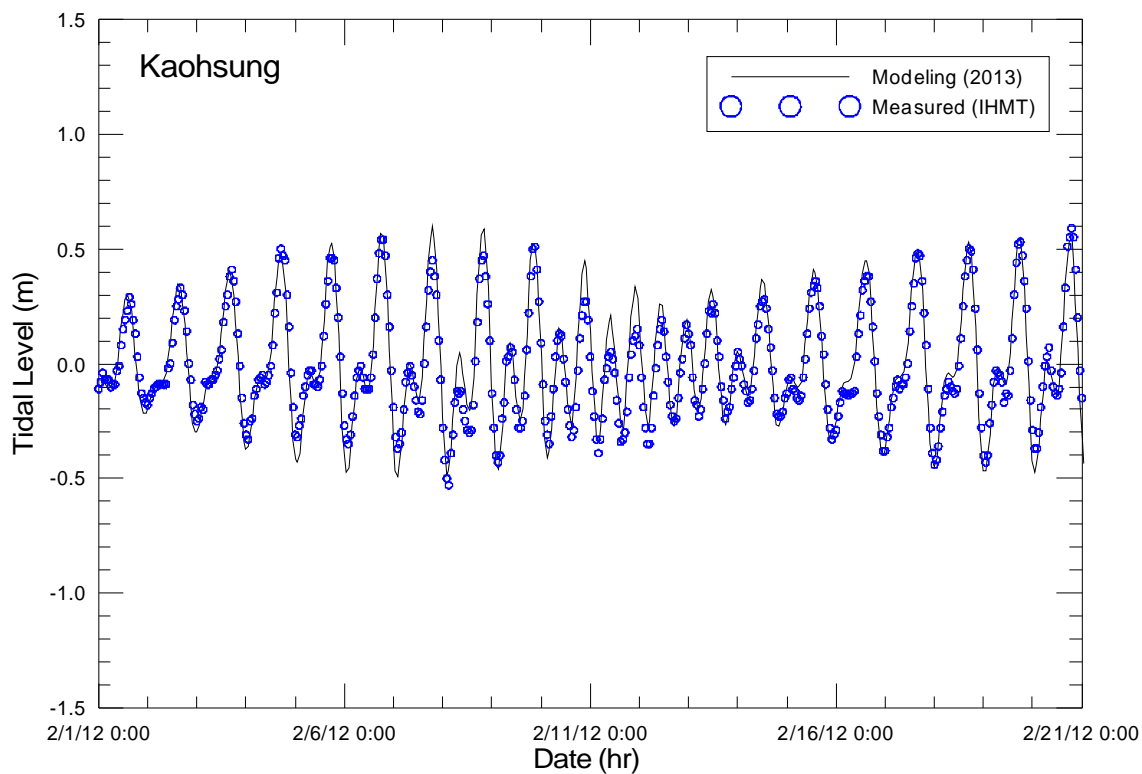


圖 4.12 (續 1)高雄港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖

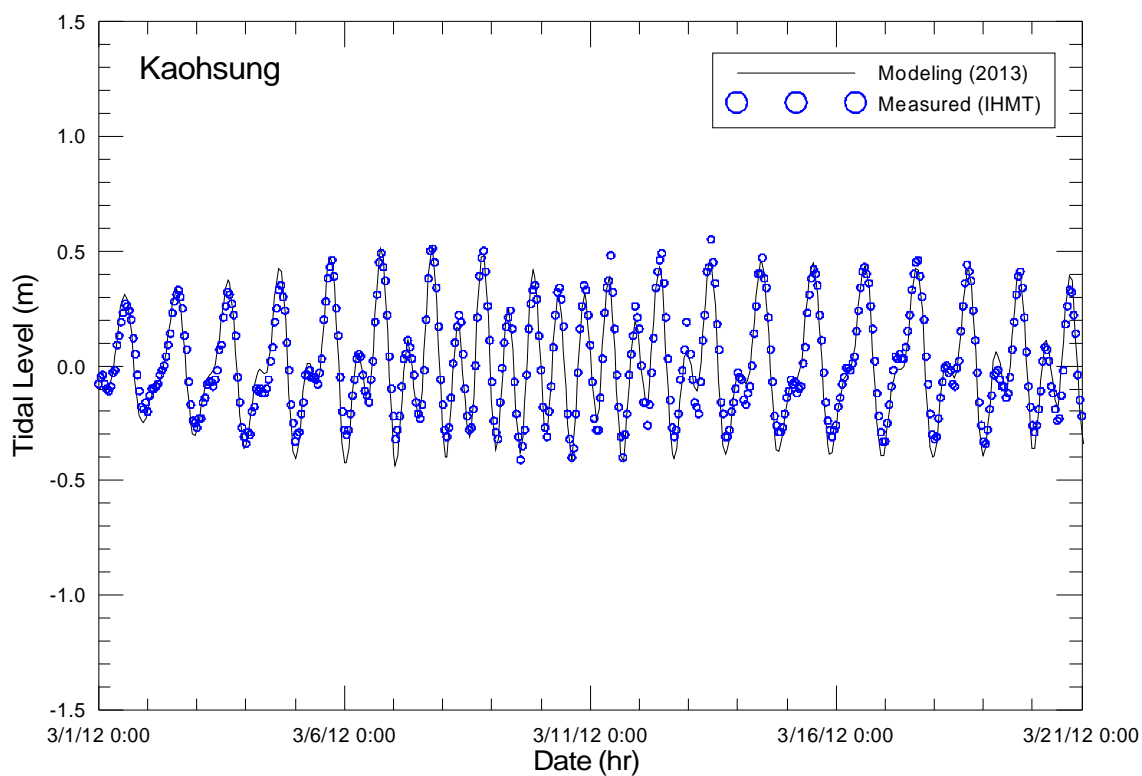


圖 4.12 (續 2)高雄港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖

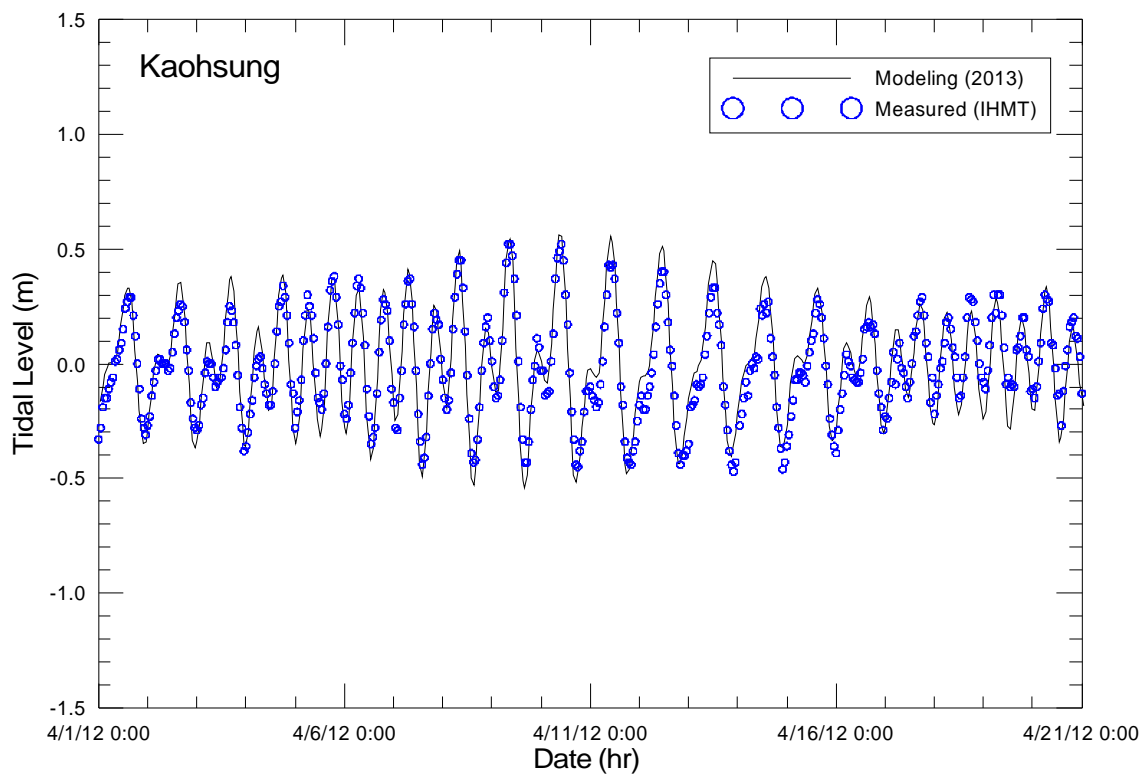


圖 4.12 (續 3)高雄港區天文潮位模擬結果與觀測資料之比較圖

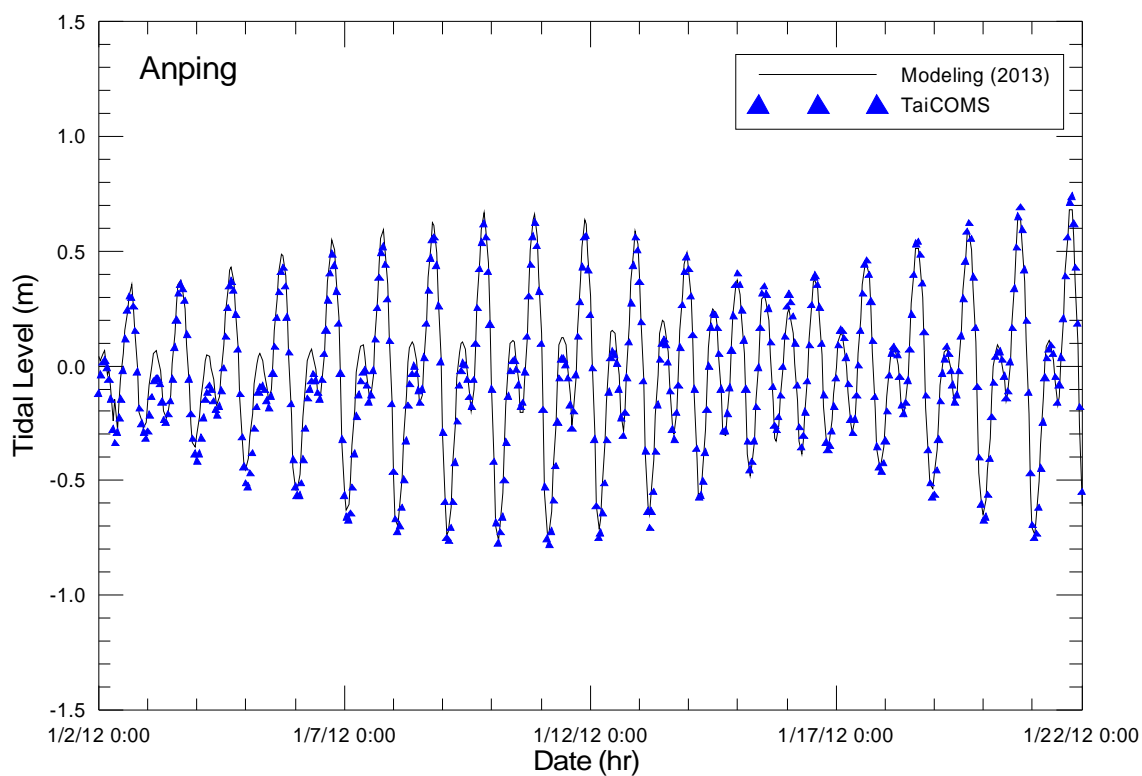


圖 4.13 安平港區天文潮位模擬值與 TaiCOMS 模擬值之比較圖

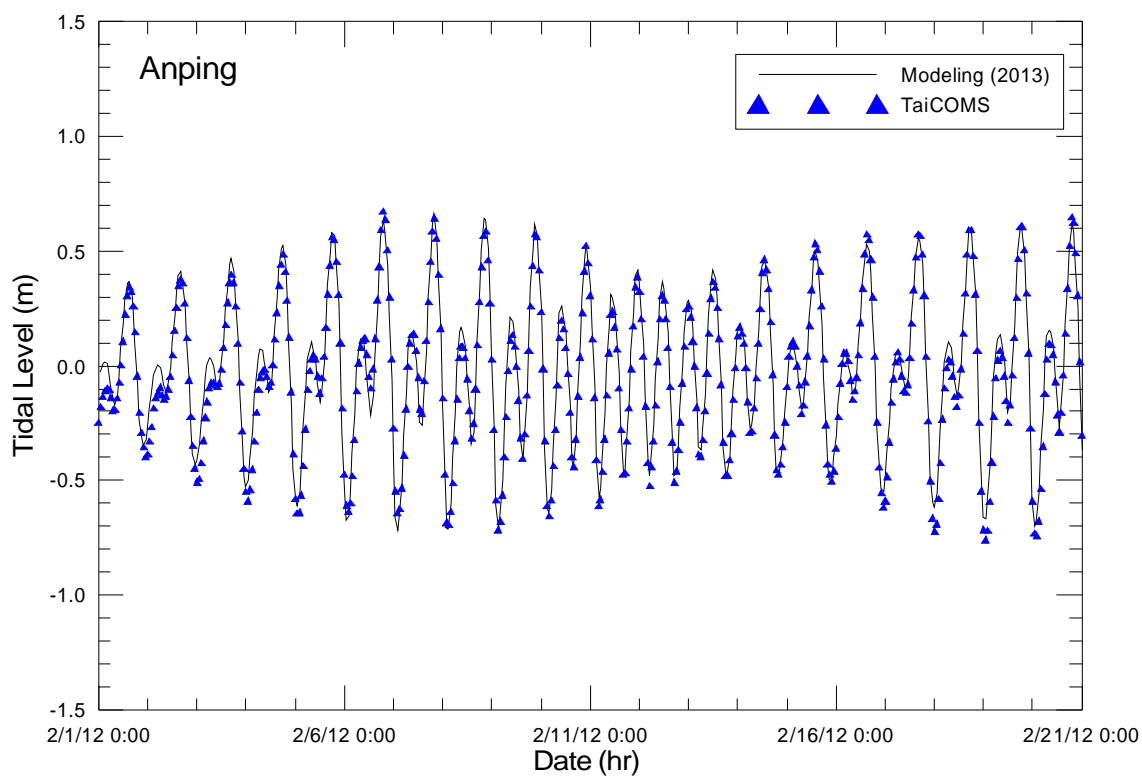


圖 4.13 (續 1)安平港區天文潮位模擬值與 TaiCOMS 模擬值之比較圖

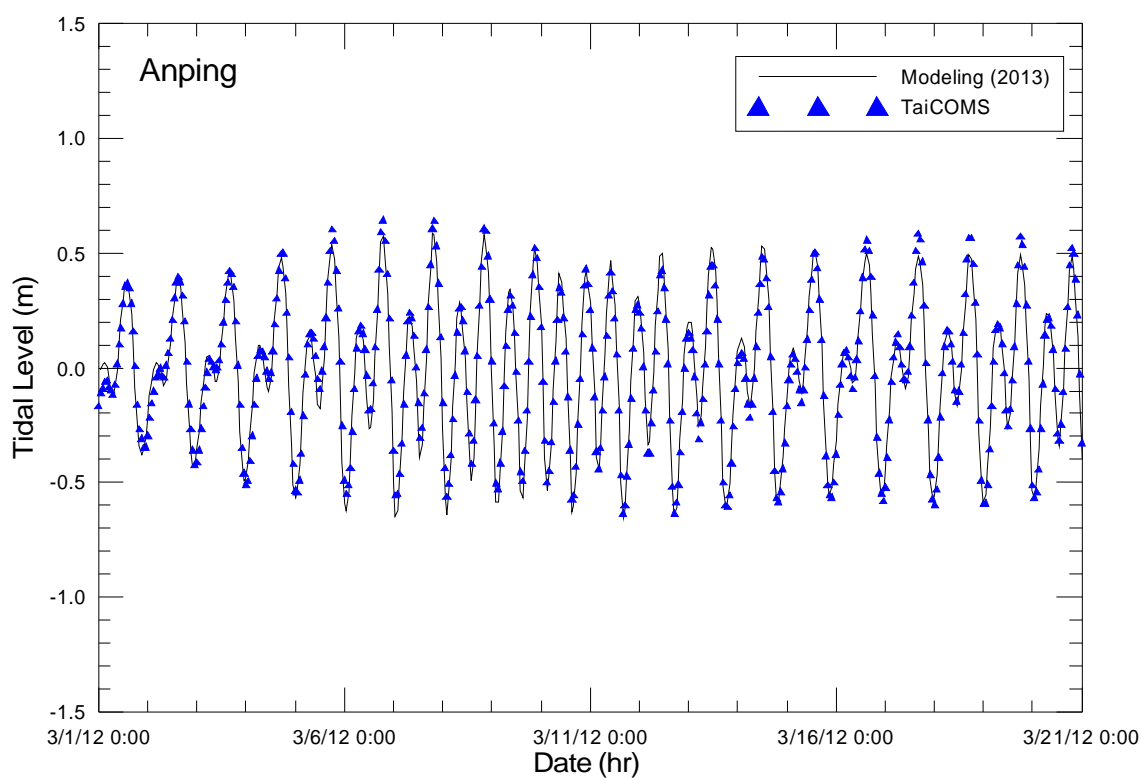


圖 4.13 (續 2)安平港區天文潮位模擬值與 TaiCOMS 模擬值之比較圖

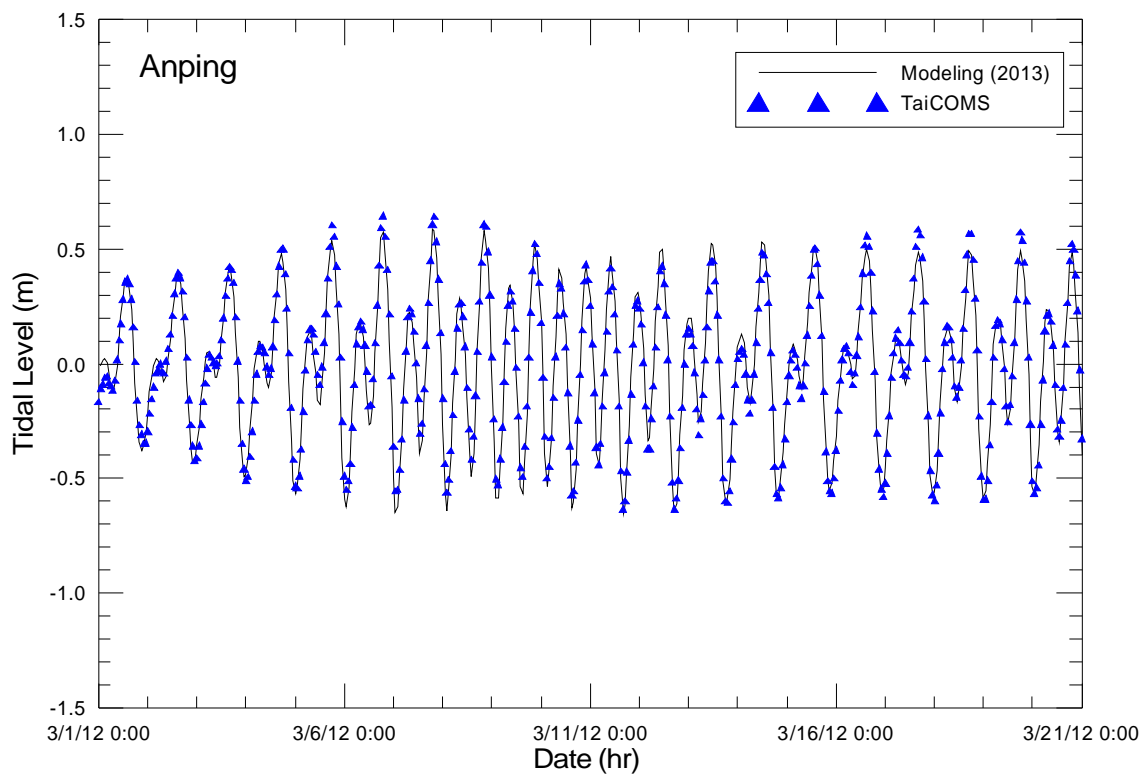


圖 4.13 (續 3)安平港區天文潮位模擬值與 TaiCOMS 模擬值之比較圖

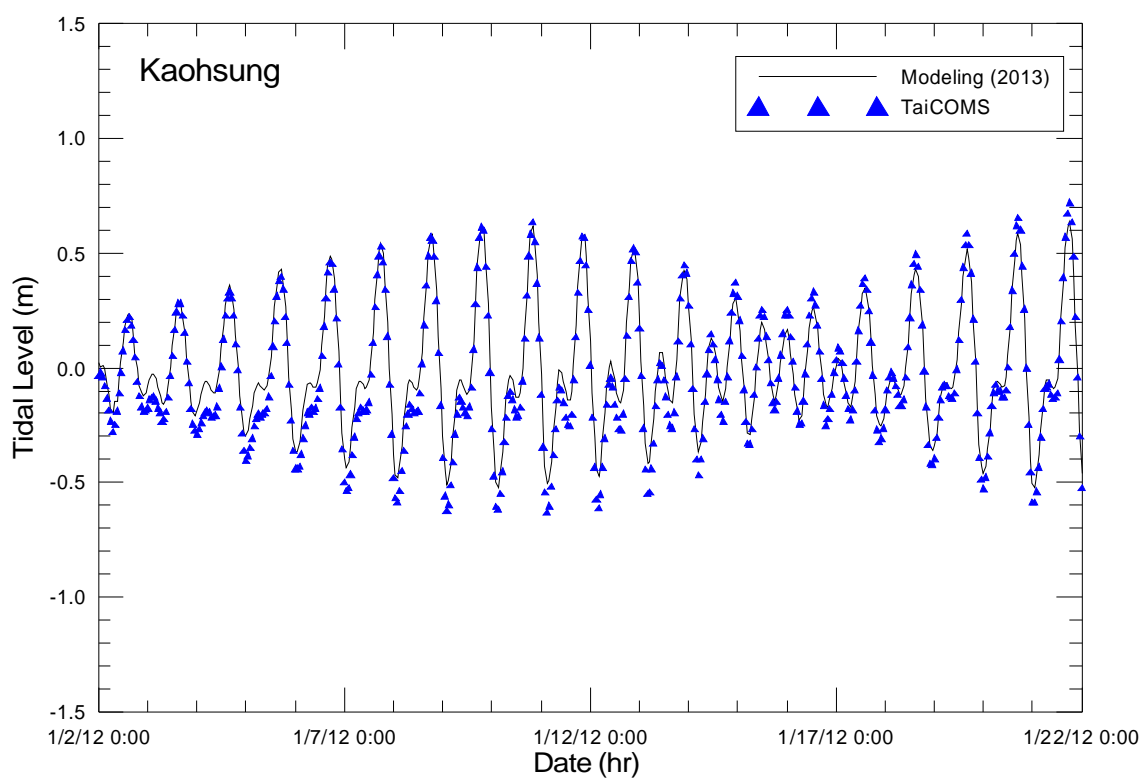


圖 4.14 高雄港區天文潮位模擬值與 TaiCOMS 模擬值之比較圖

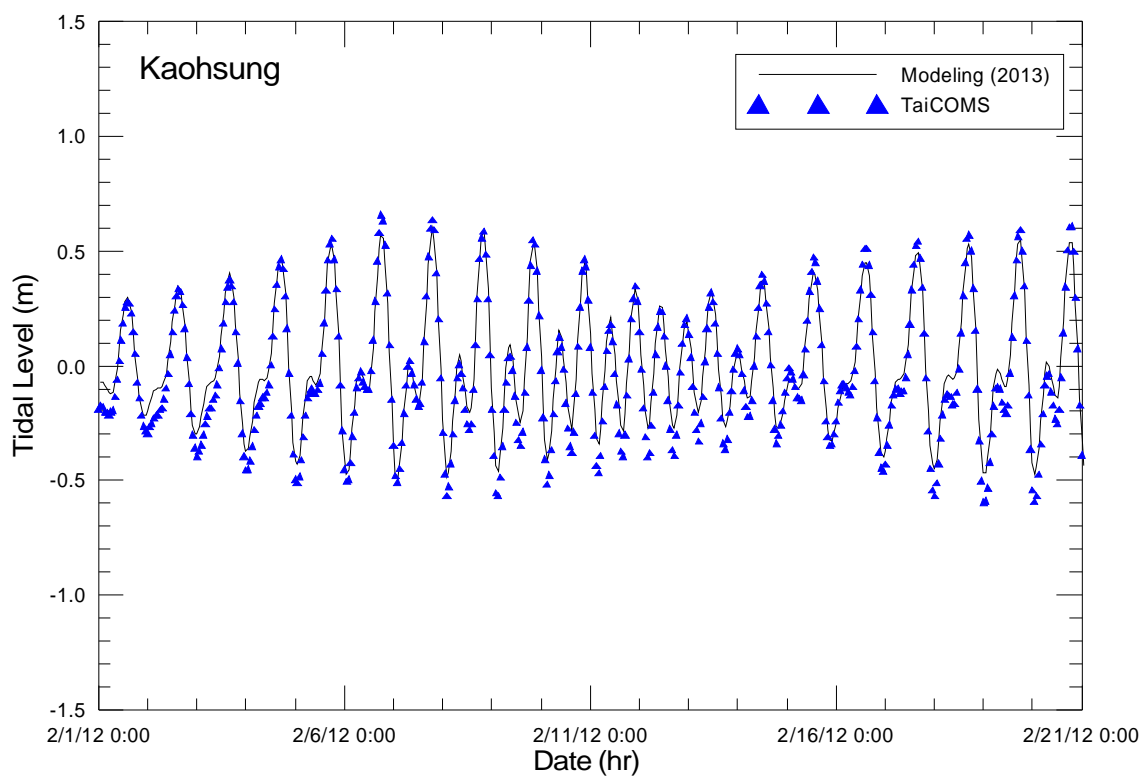


圖 4.14 (續 1)高雄港區天文潮位模擬值與 TaiCOMS 模擬值之比較圖

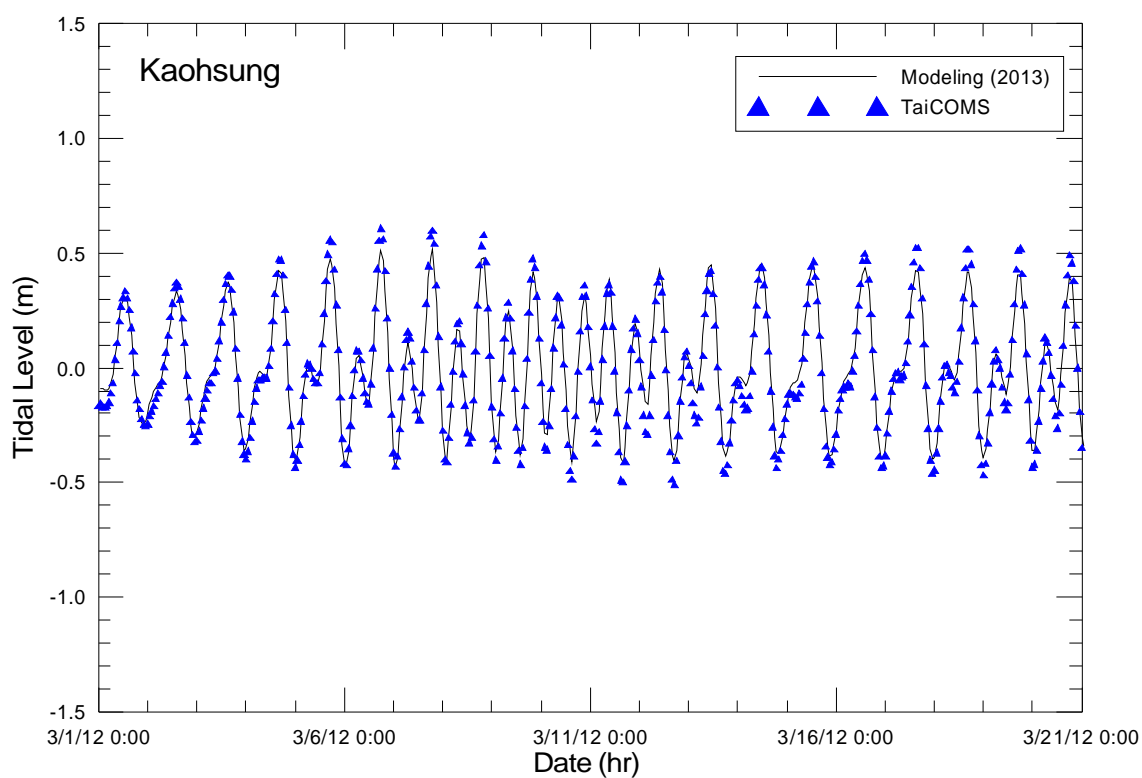


圖 4.14 (續 2)高雄港區天文潮位模擬值與 TaiCOMS 模擬值之比較圖

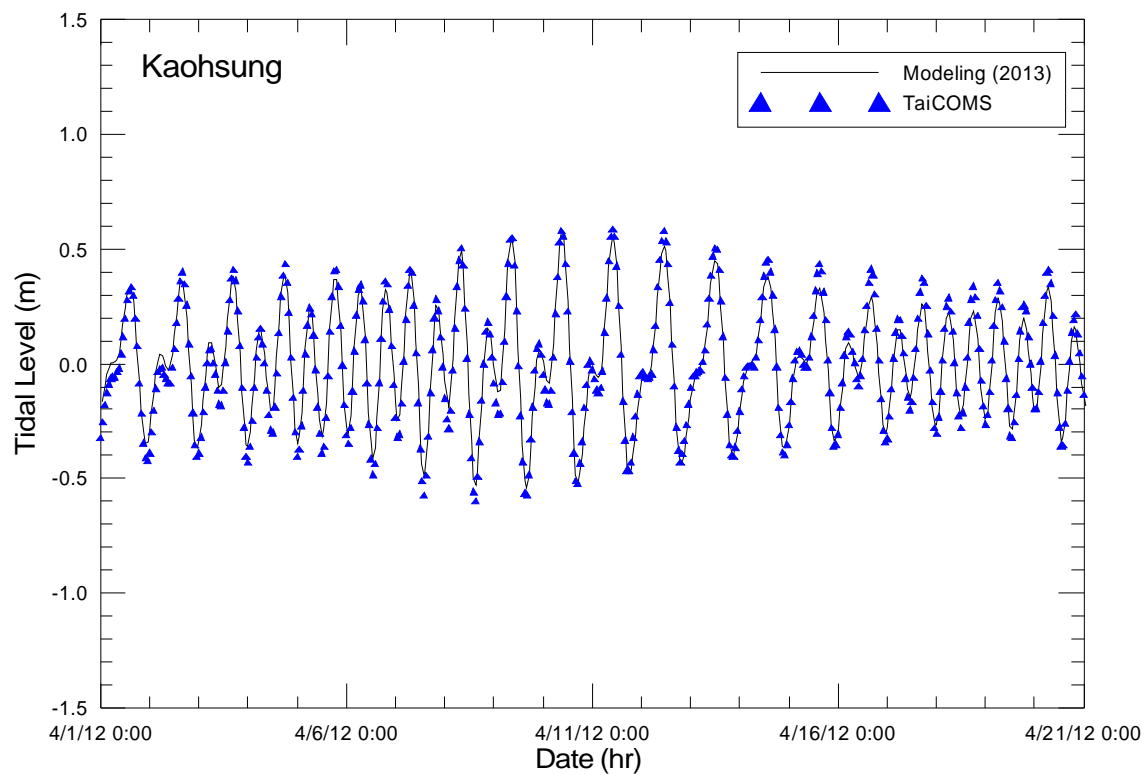


圖 4.14 (續 3)高雄港區天文潮位模擬值與 TaiCOMS 模擬值之比較圖

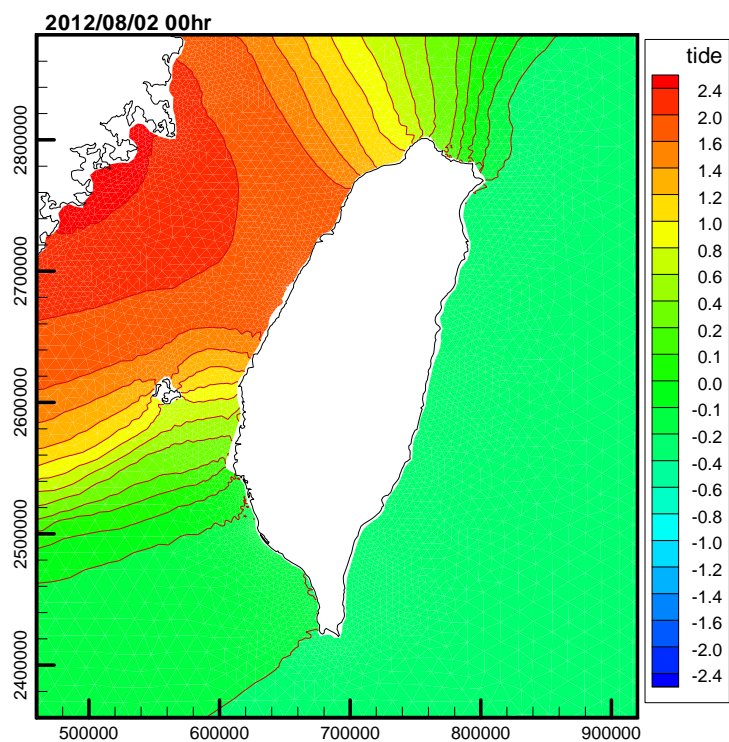


圖 4.15 臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖

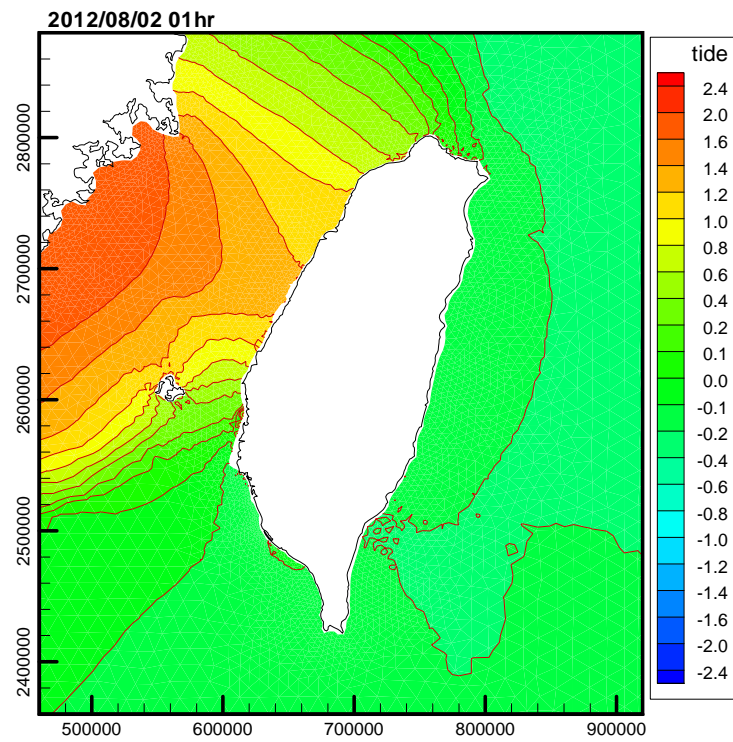


圖 4.15 (續 1)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖

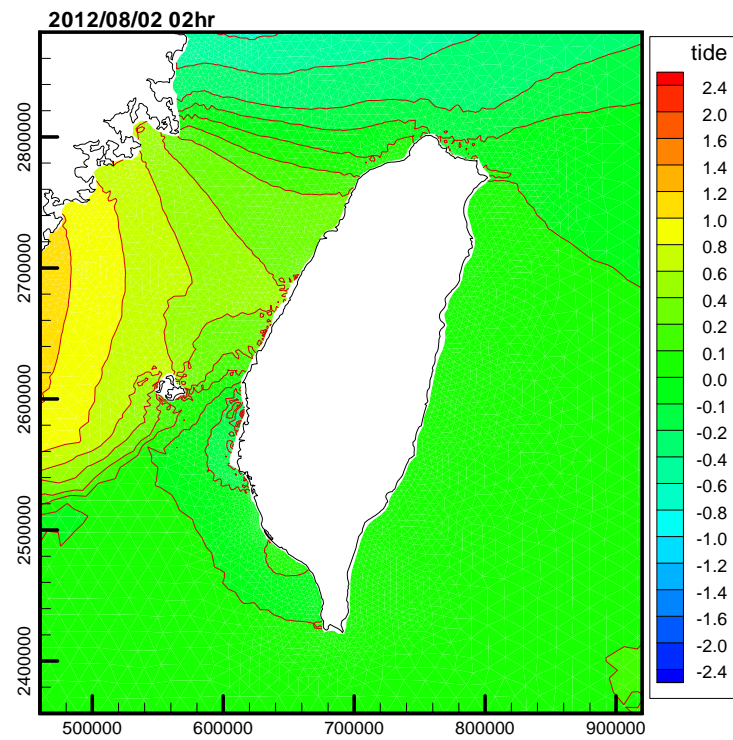


圖 4.15 (續 2)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖



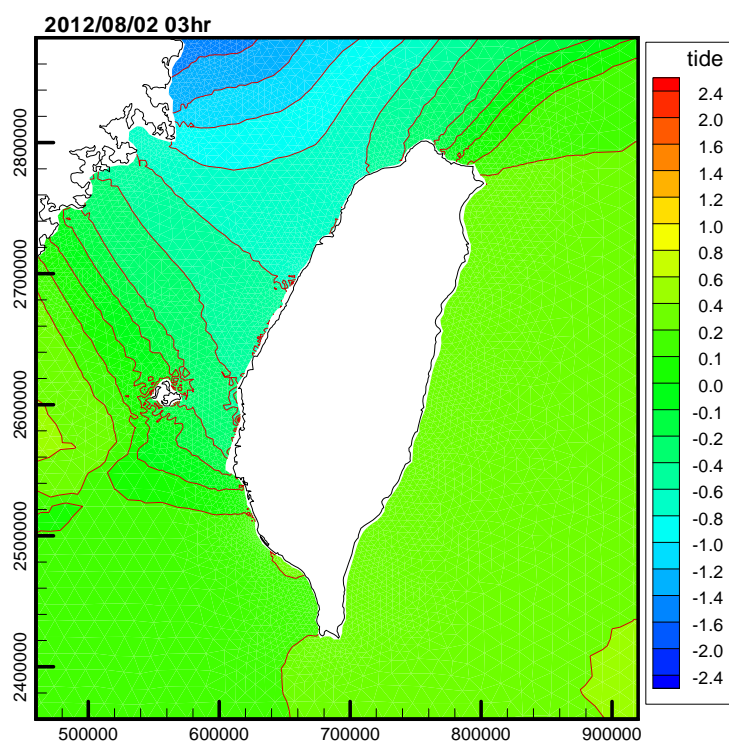


圖 4.15 (續 3)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖

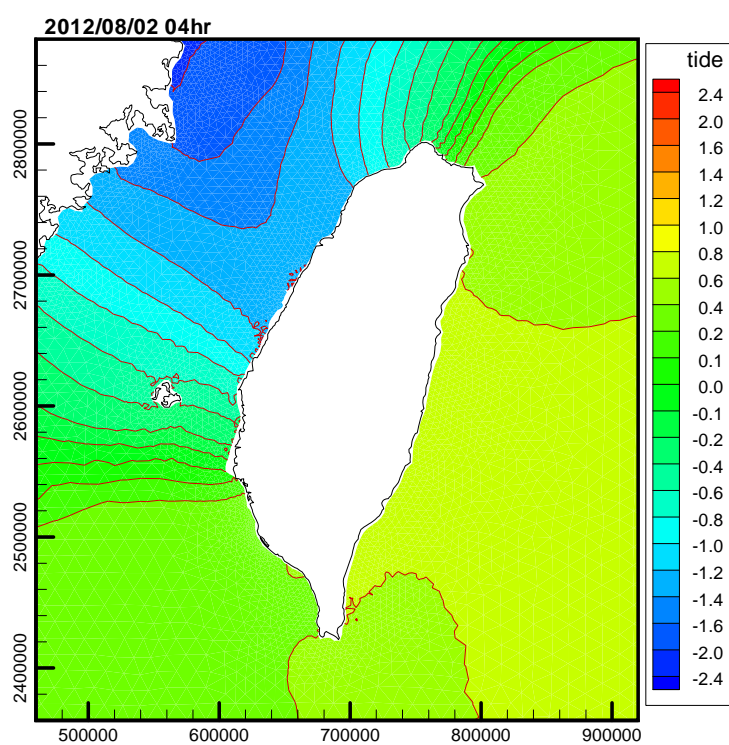


圖 4.15 (續 4)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖



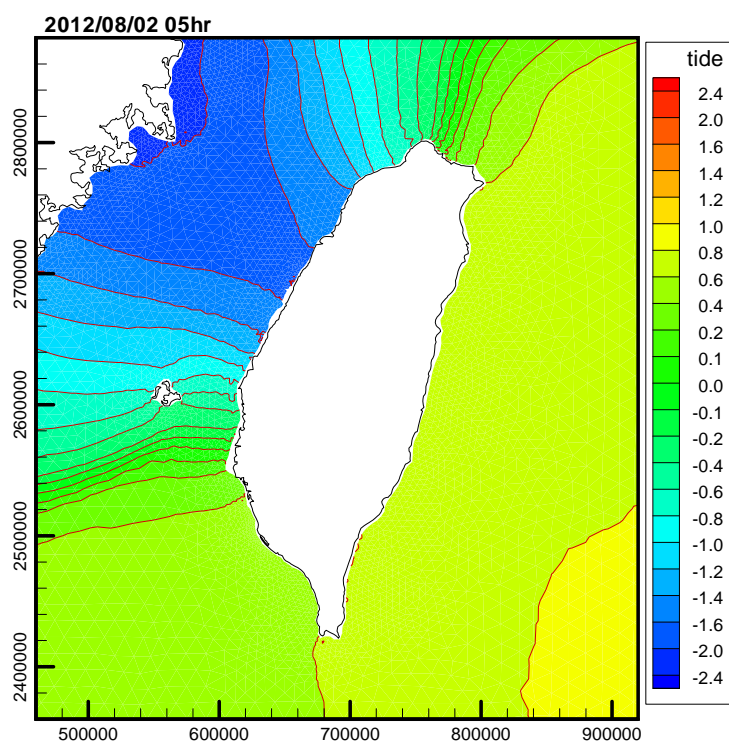


圖 4.15 (續 5)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖

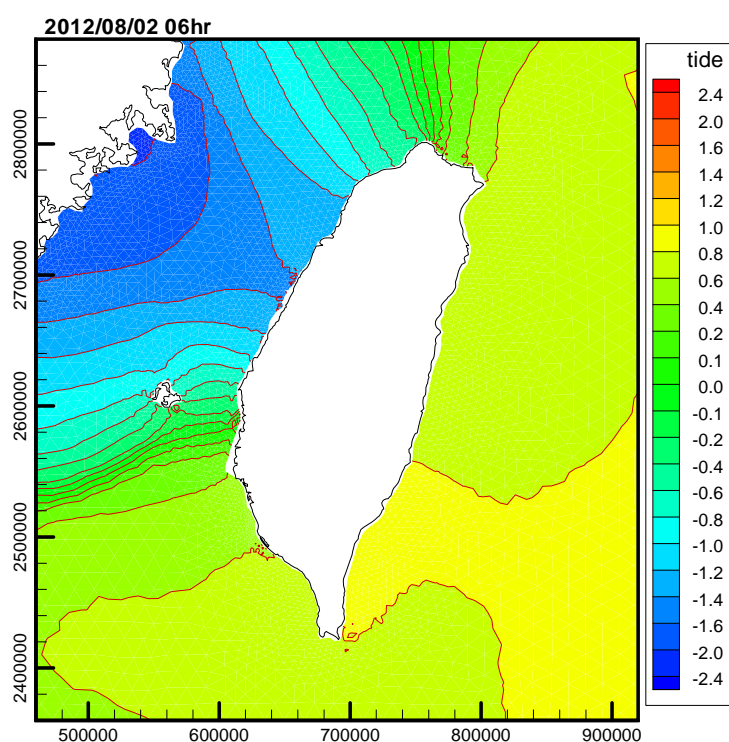


圖 4.15 (續 6)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖

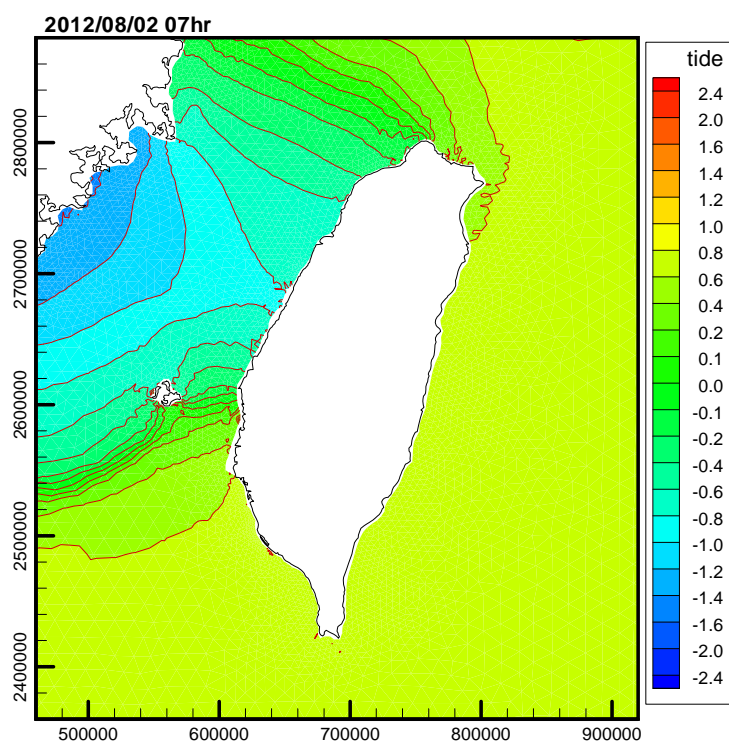


圖 4.15 (續 7)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖

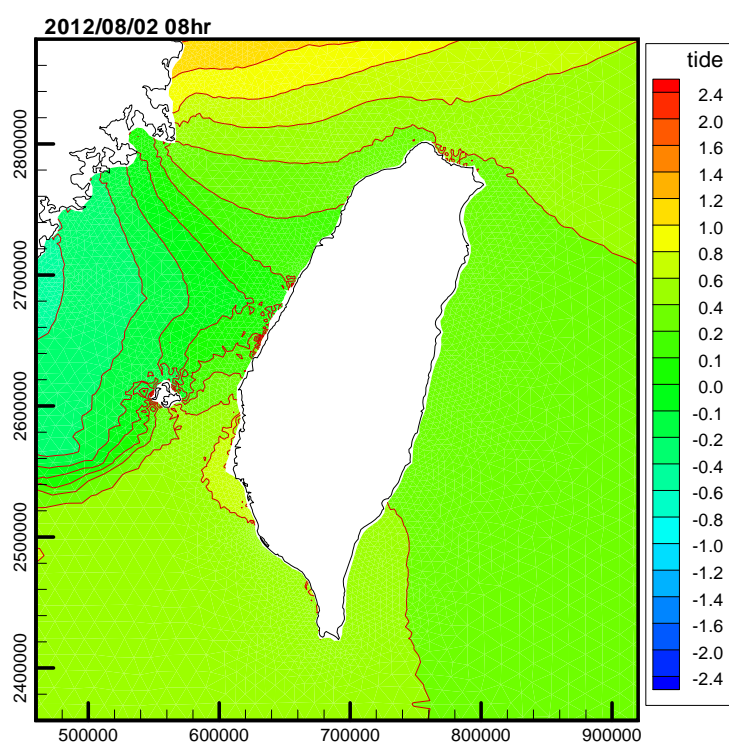


圖 4.15 (續 8)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖

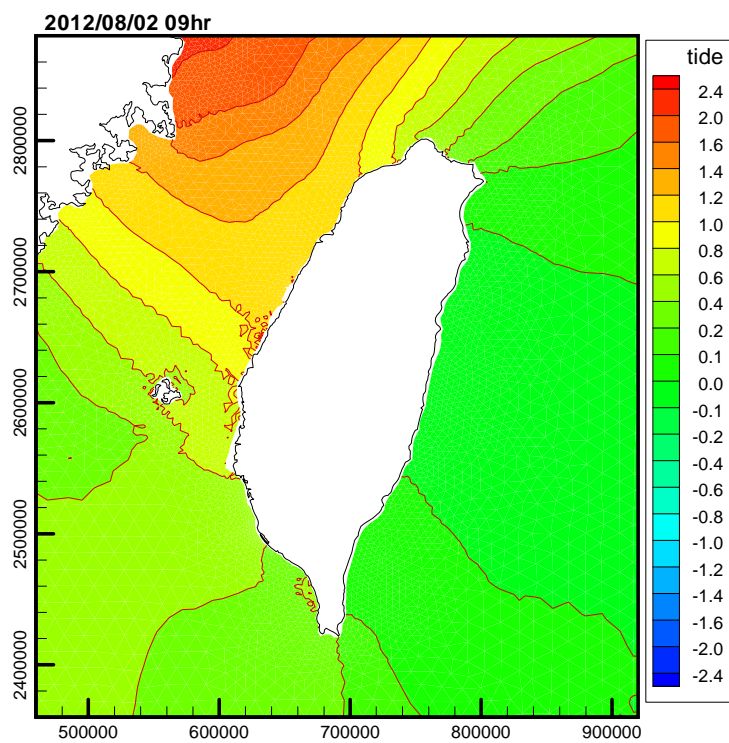


圖 4.15 (續 9)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖

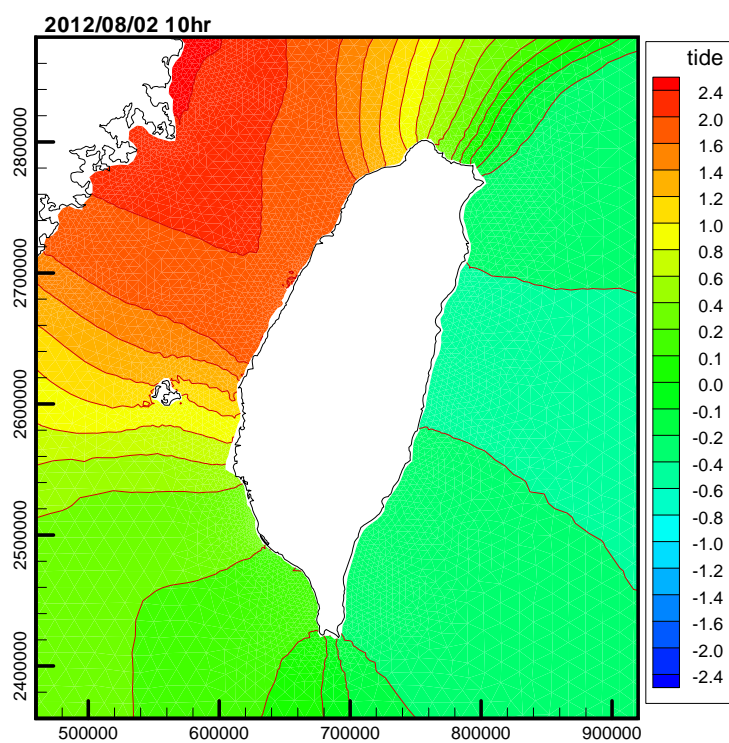


圖 4.15 (續 10)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖

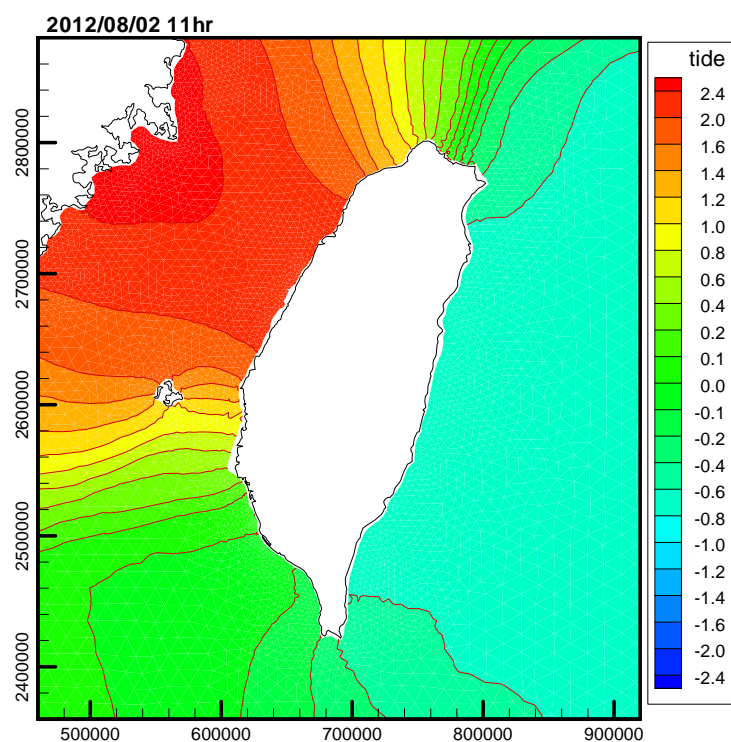


圖 4.15 (續 11)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖

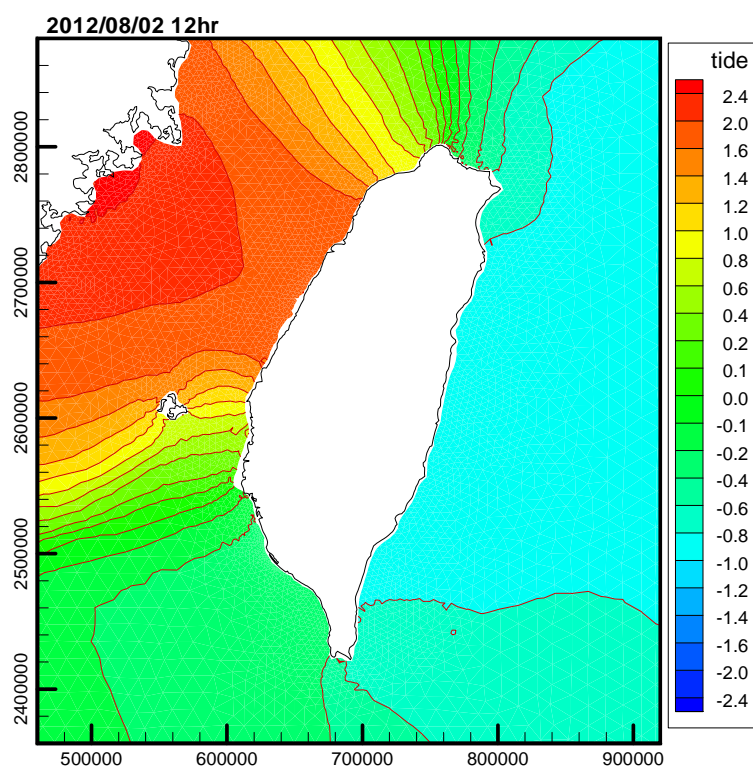


圖 4.15 (續 12)臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬結果之等水位分布圖



#### 4.2.5 颱風期間水位模擬結果

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

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

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

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

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

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

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

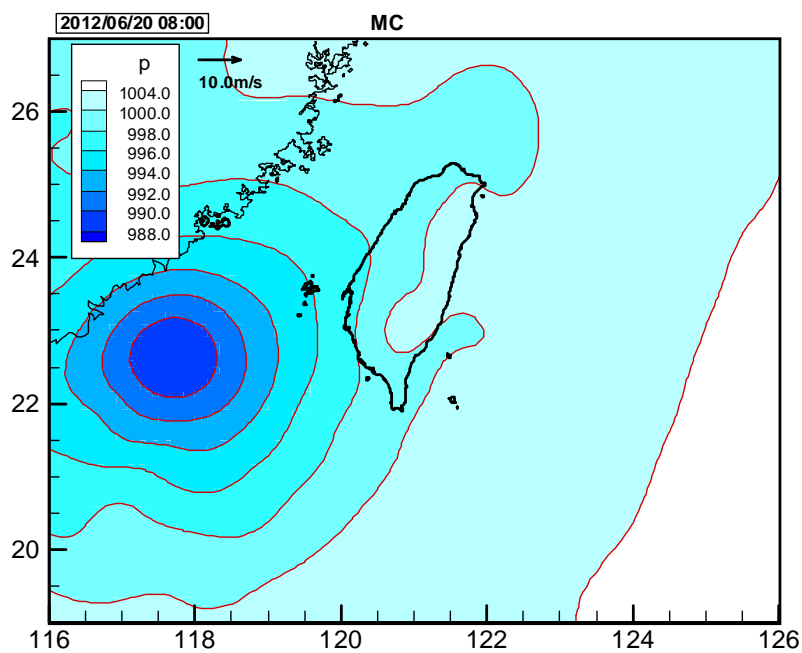


圖 4.16 TaiCOMS 作業化 MC 風壓場之等壓線分布圖  
(2012 年輕度颱風泰利)

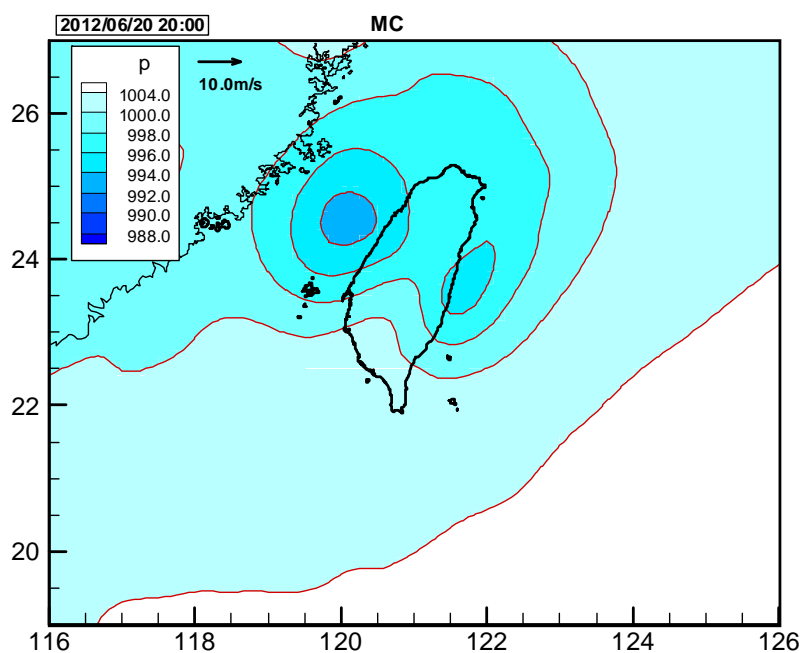


圖 4.16 (續) TaiCOMS 作業化 MC 風壓場之等壓線分布圖  
(2012 年輕度颱風泰利)

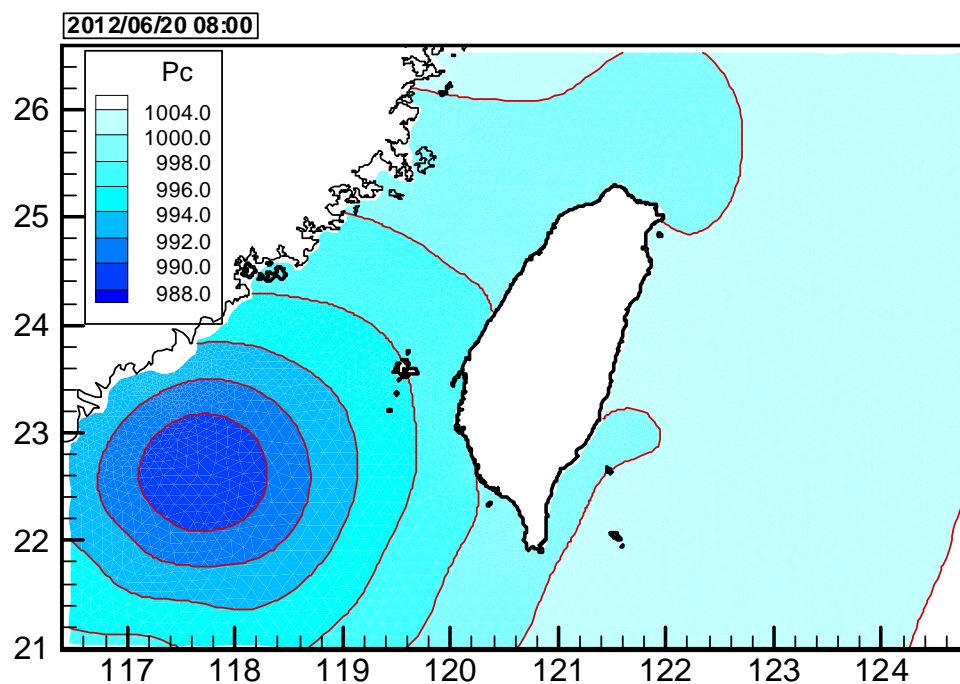


圖 4.17 本計畫有限元素網格風壓場之等壓線分布圖  
(2012 年輕度颱風泰利)

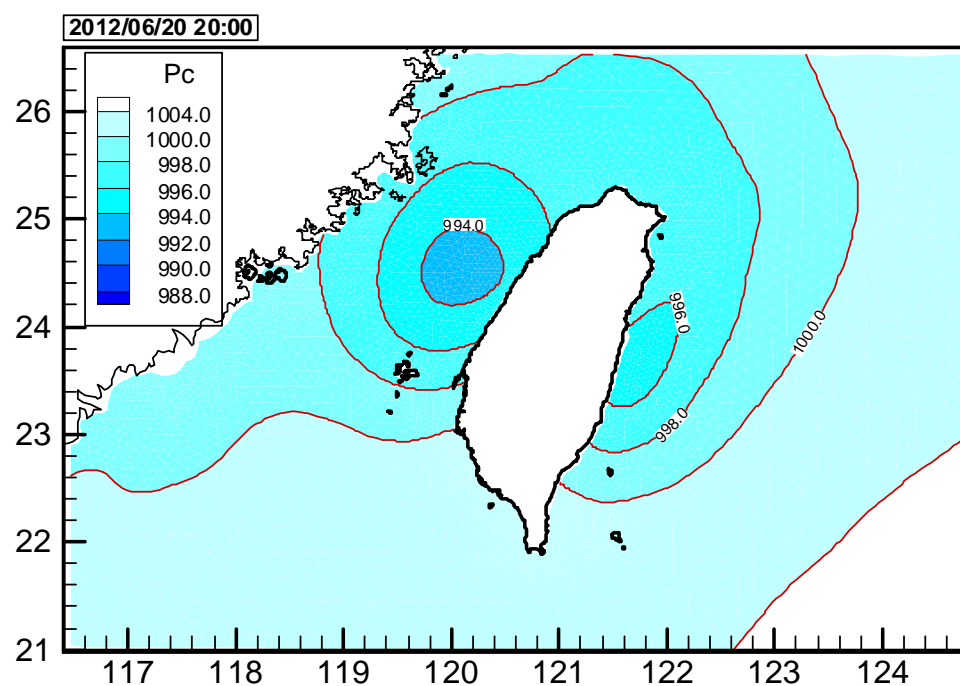


圖 4.17 (續)本計畫有限元素網格風壓場之等壓線分布圖  
(2012 年輕度颱風泰利)



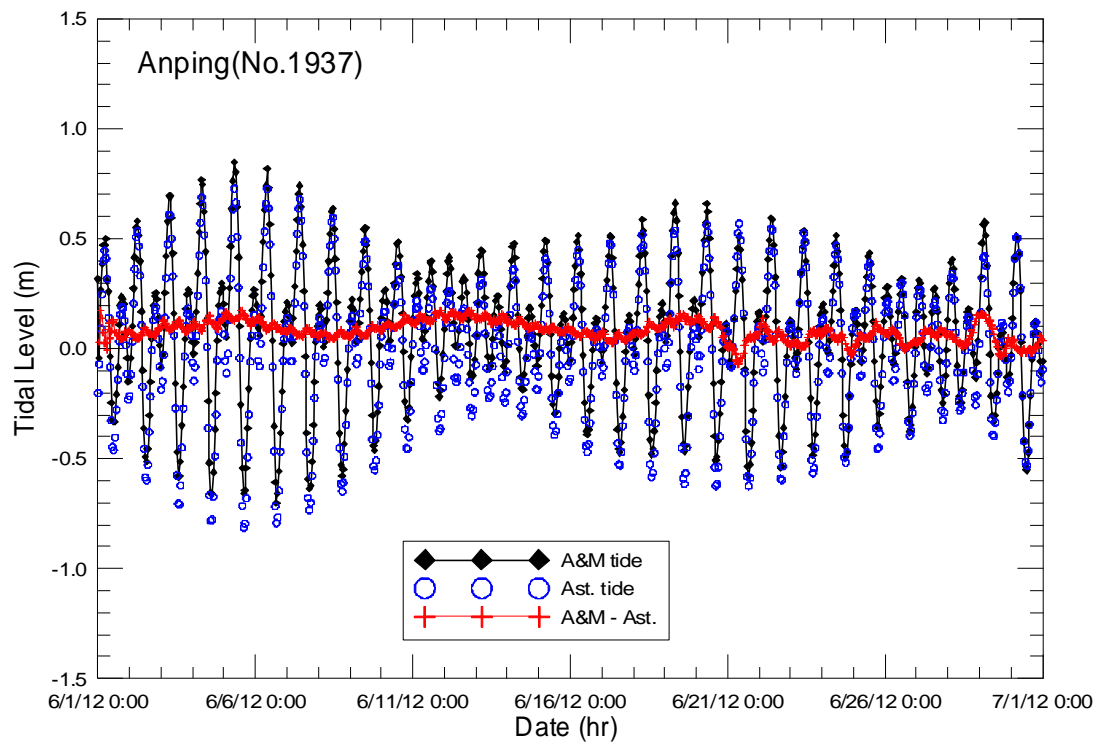


圖 4.18 安平港海域有、無氣象潮效應之水位模擬結果比較圖

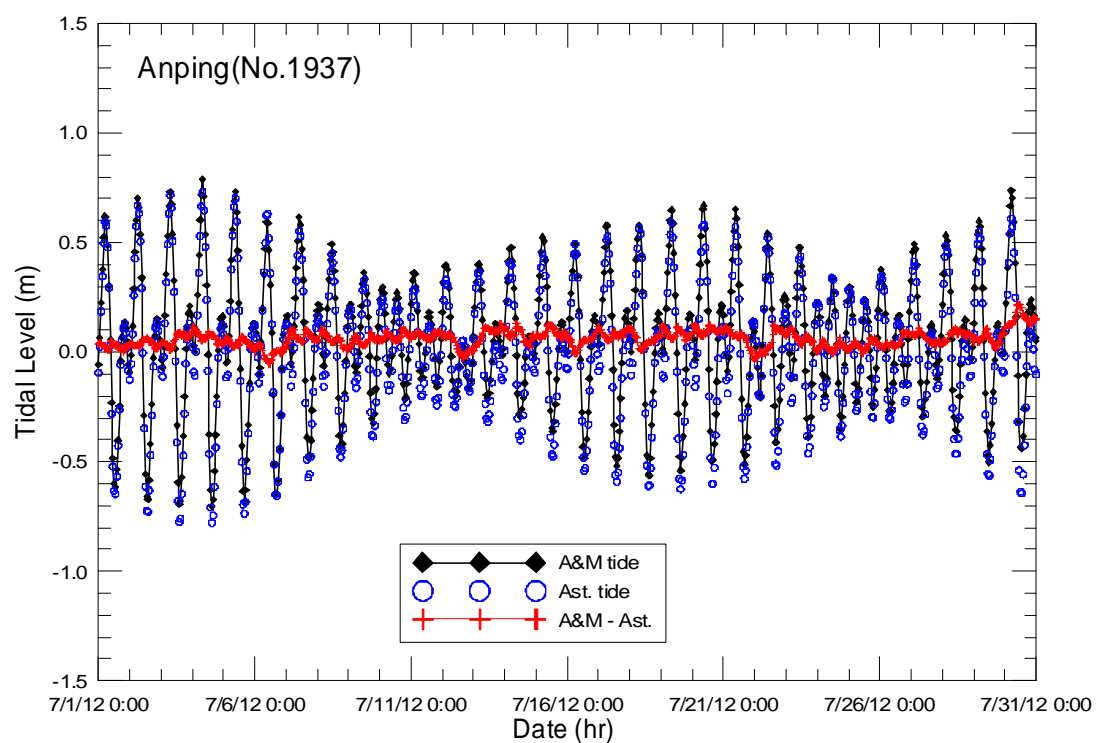


圖 4.18 (續 1)安平港海域有、無氣象潮效應之水位模擬結果比較圖

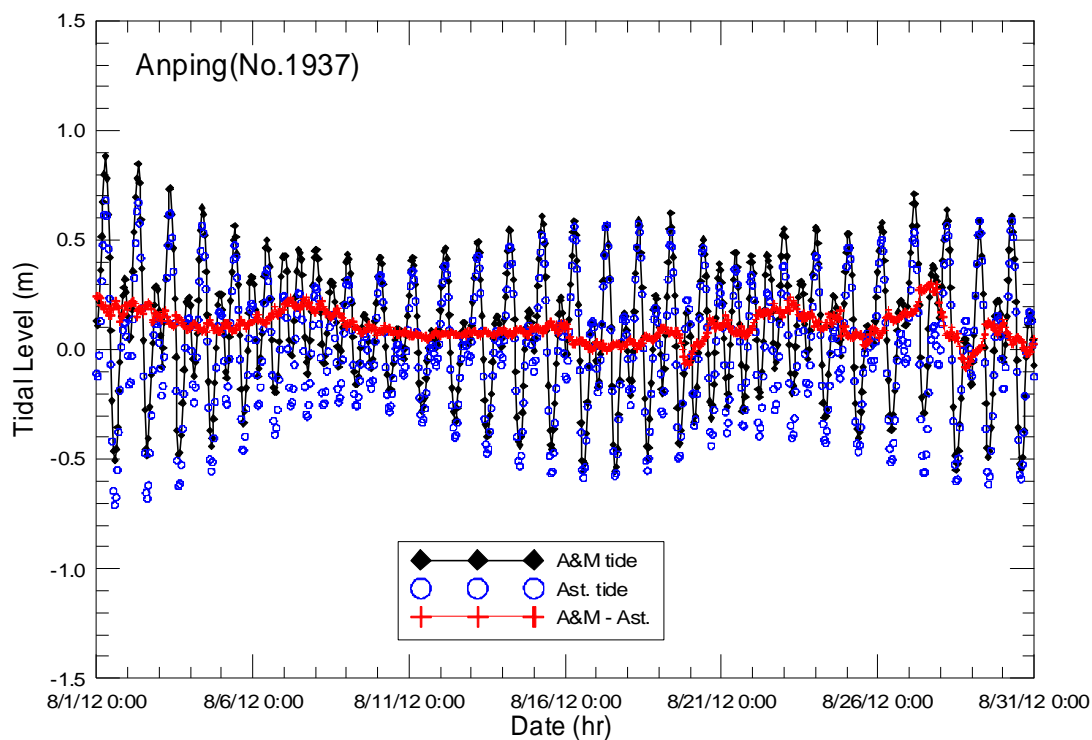


圖 4.18 (續 2)安平港海域有、無氣象潮效應之水位模擬結果比較圖

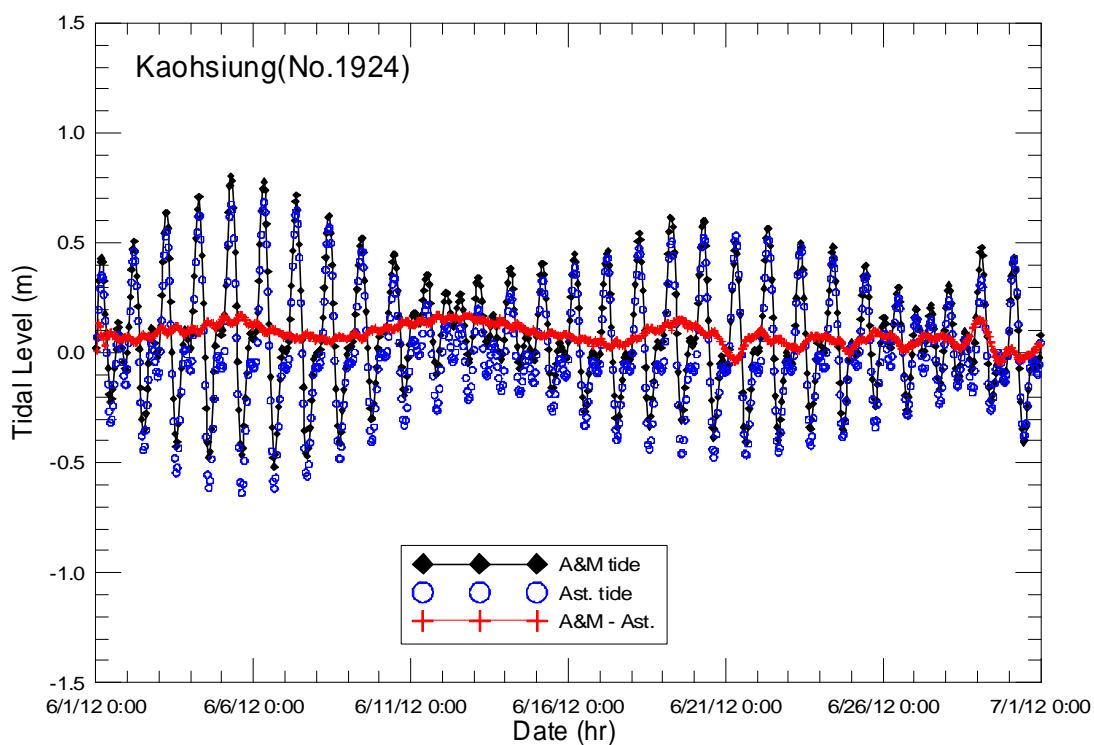


圖 4.19 高雄港海域有、無氣象潮效應之水位模擬結果比較圖

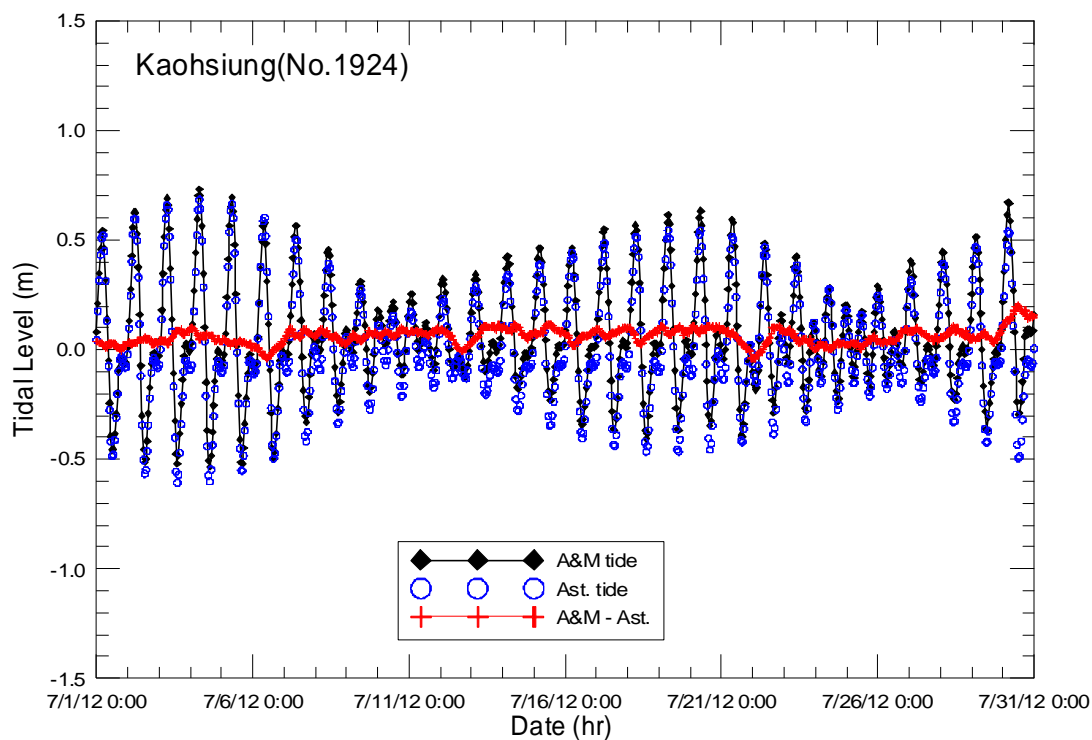


圖 4.19 (續 1)高雄港海域有、無氣象潮效應之水位模擬結果比較圖

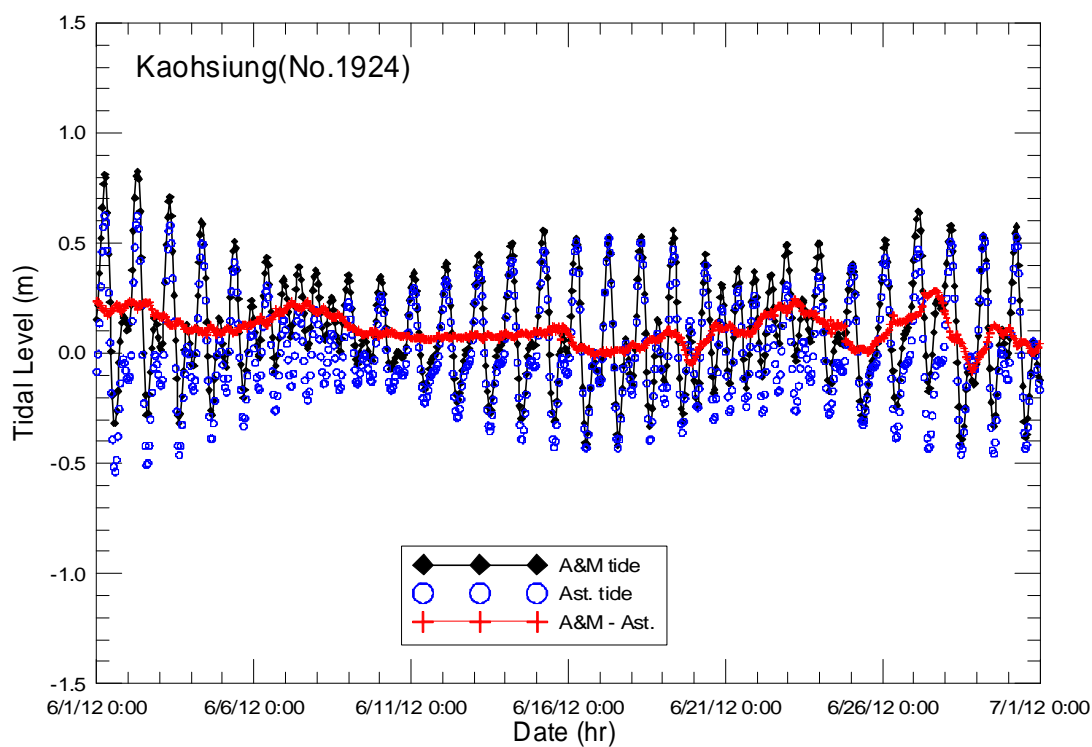


圖 4.19 (續 2)高雄港海域有、無氣象潮效應之水位模擬結果比較圖

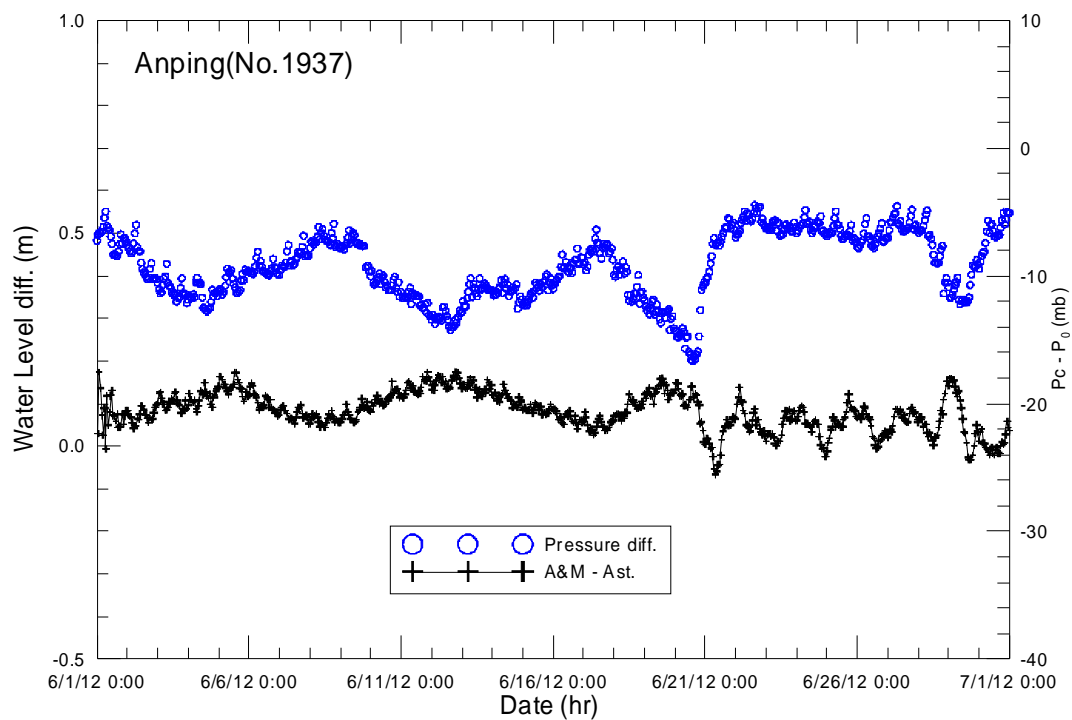


圖 4.20 安平港海域檢核點氣壓差變化與模式氣象潮水位變化之時序列圖

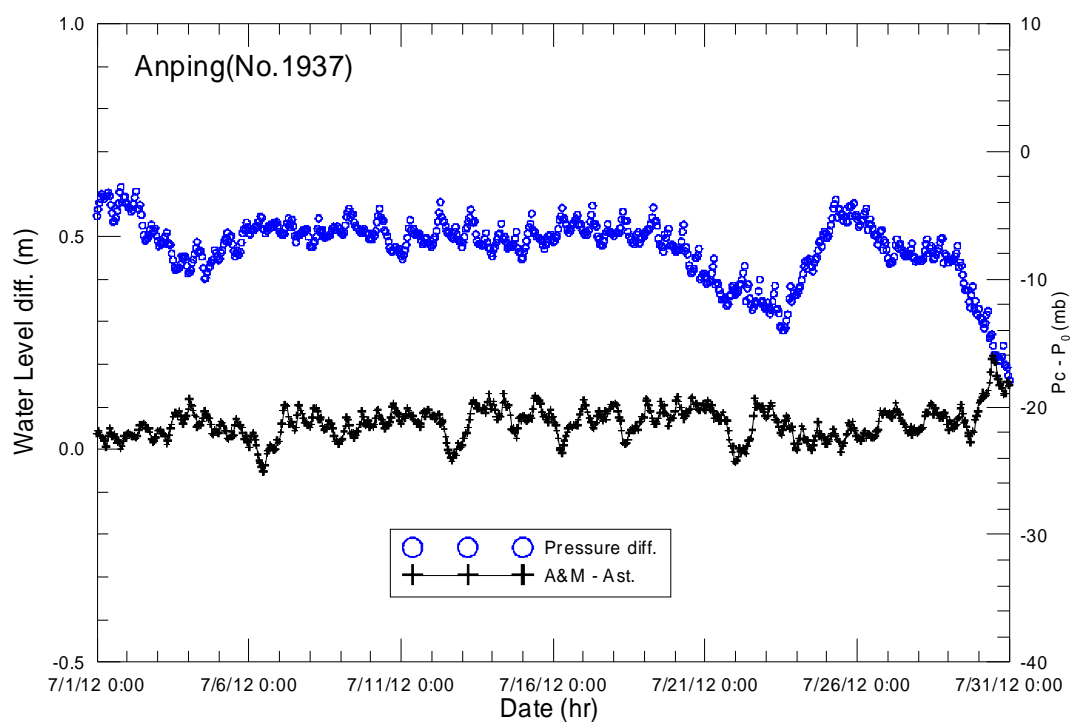


圖 4.20 (續 1) 安平港海域檢核點氣壓差變化與模式氣象潮水位變化之時序列圖

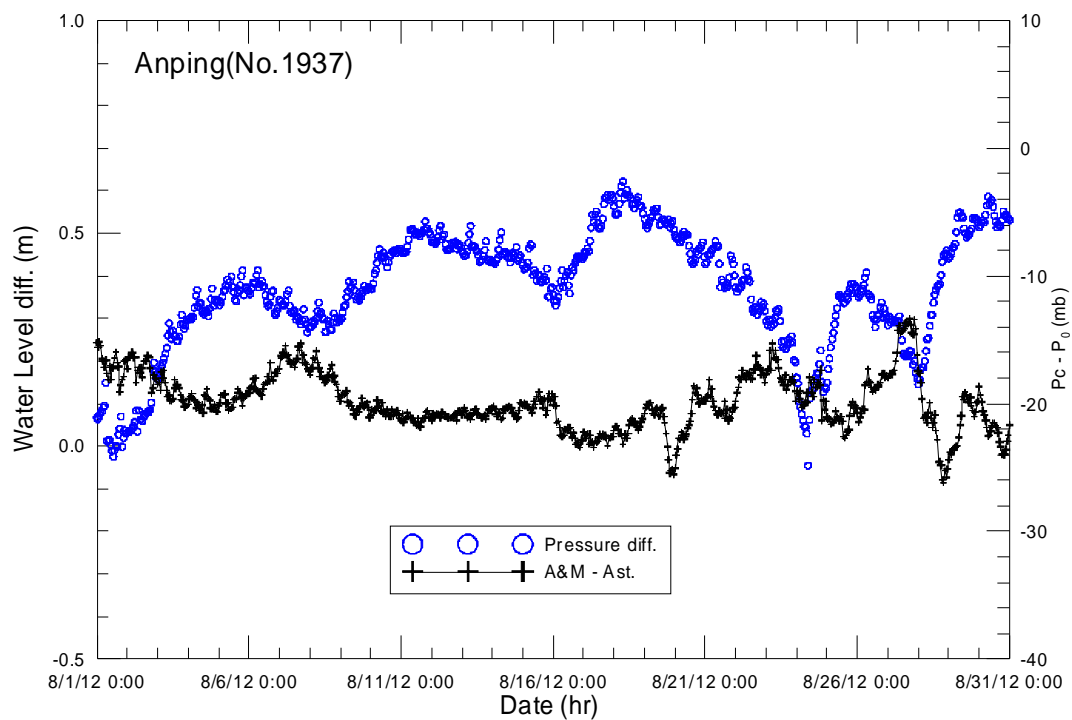


圖 4.20 (續 2)安平港海域檢核點氣壓差變化與模式氣象潮水位變化之時序列圖

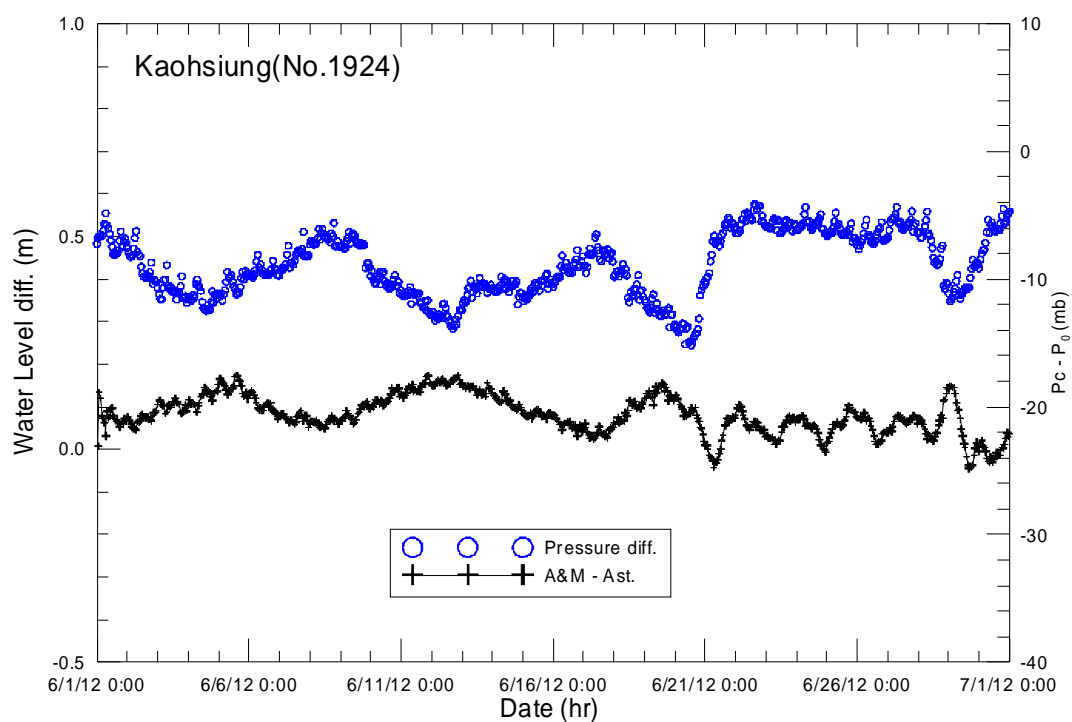


圖 4.21 高雄港海域檢核點氣壓差變化與模式氣象潮水位變化之時序列圖

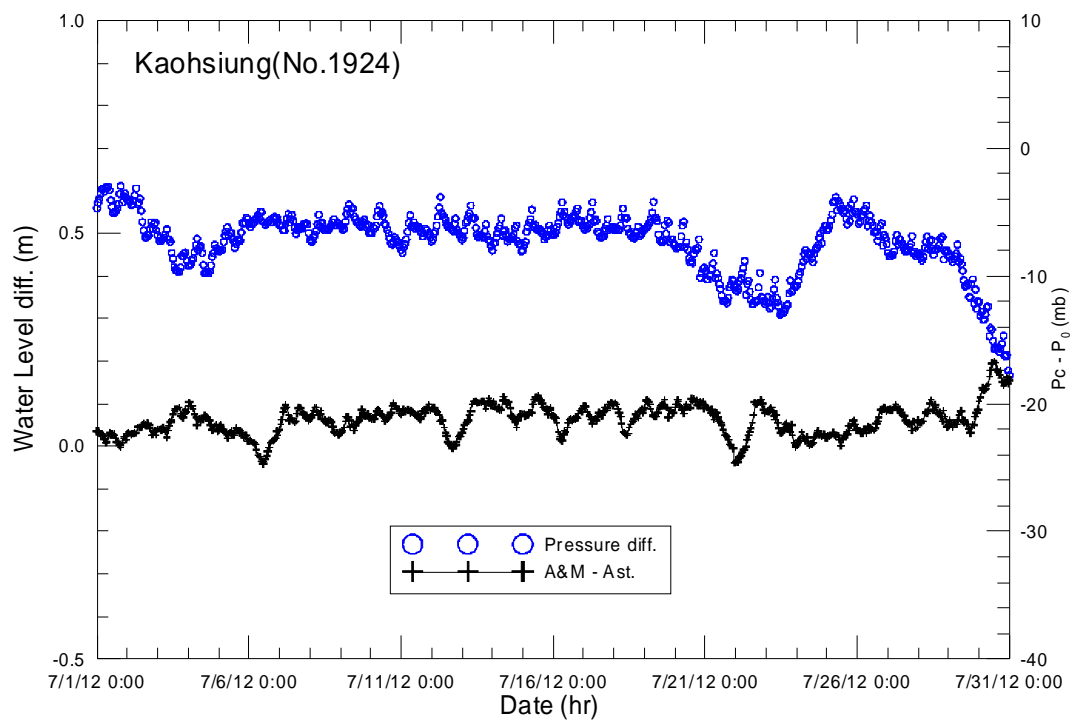


圖 4.21 (續 1)高雄港海域檢核點氣壓差變化與模式氣象潮水位變化之時序列圖

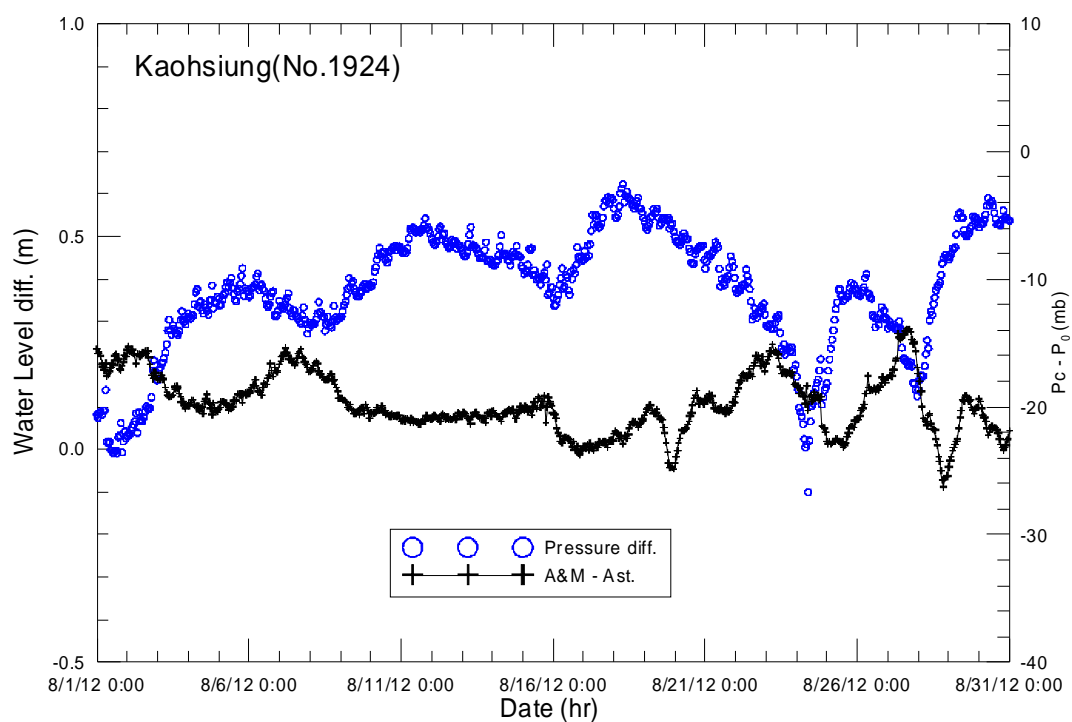


圖 4.21 (續 2)高雄港海域檢核點氣壓差變化與模式氣象潮水位變化之時序列圖

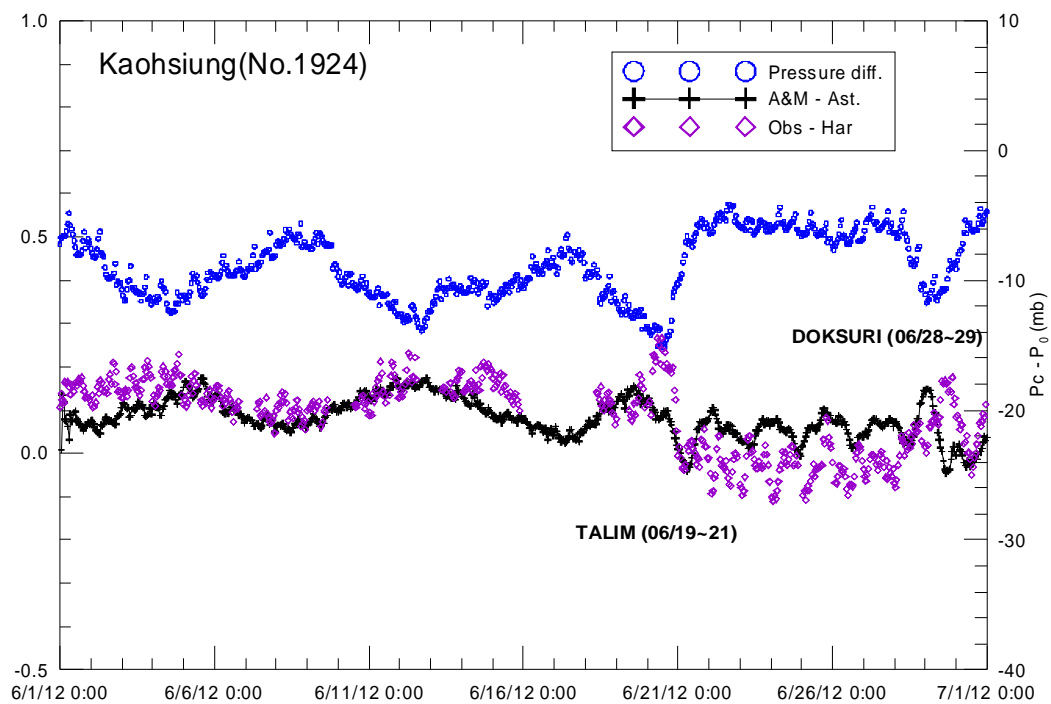


圖 4.22 高雄港海域檢核點氣壓差預測值、氣象潮水位變化模擬值及觀測資料調和分析預測值之時序列圖

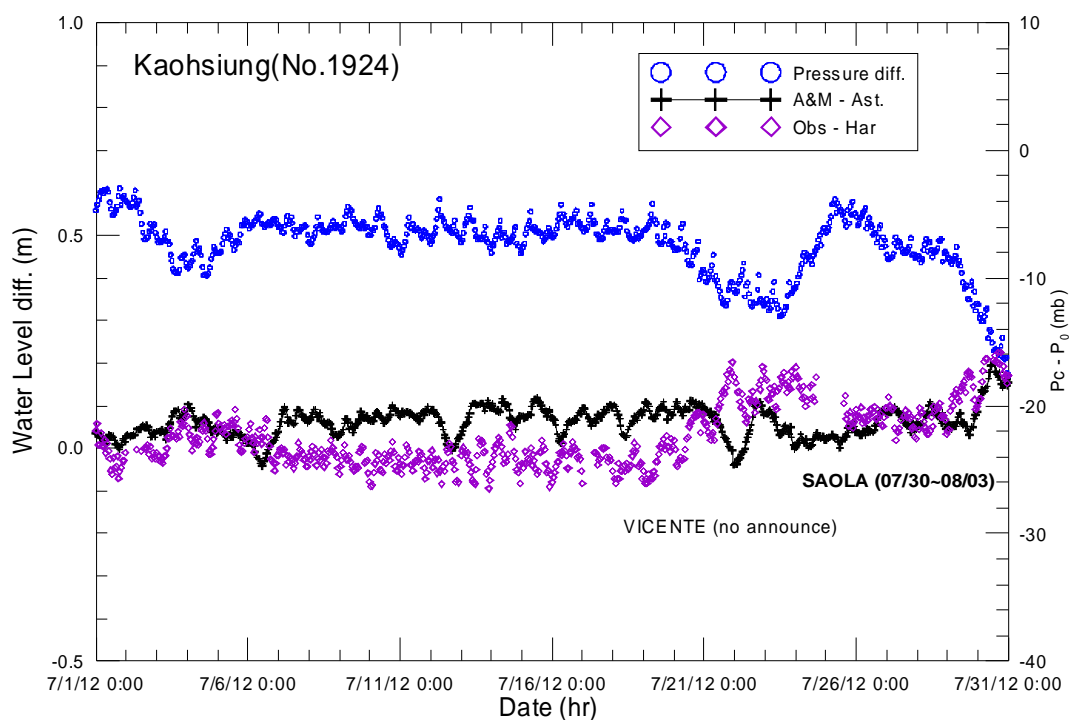


圖 4.22 (續 1)高雄港海域檢核點氣壓差預測值、氣象潮水位變化模擬值及觀測資料調和分析預測值之時序列圖

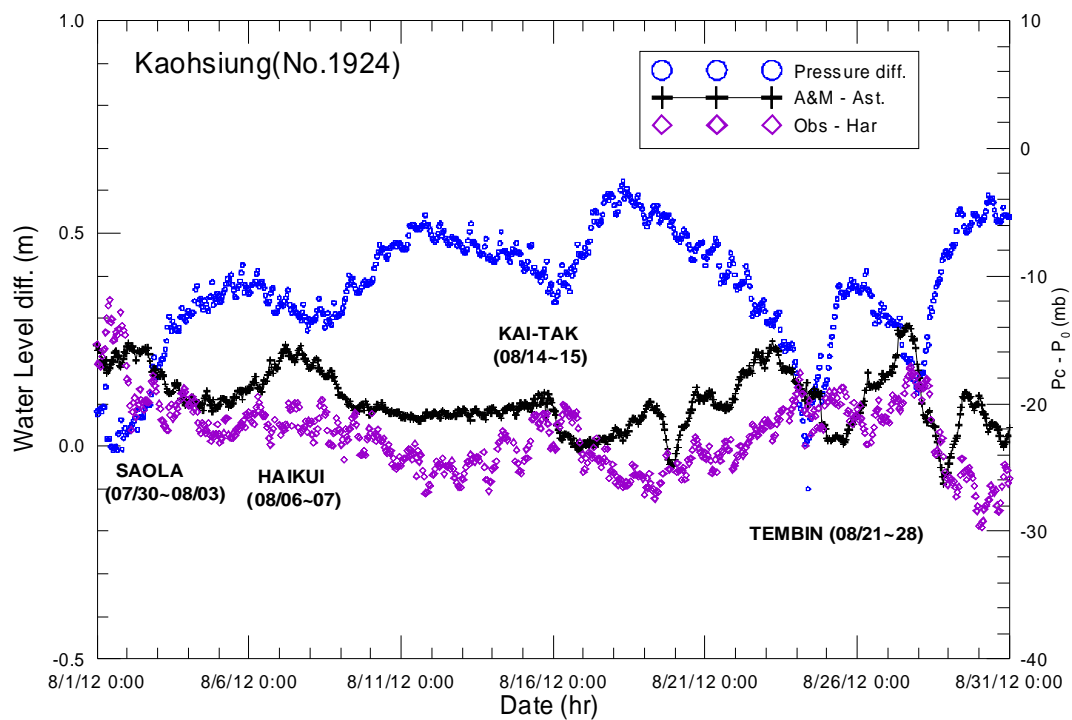


圖 4.22 (續 2)高雄港海域檢核點氣壓差預測值、氣象潮水位變化模擬值及觀測資料調和分析預測值之時序列圖



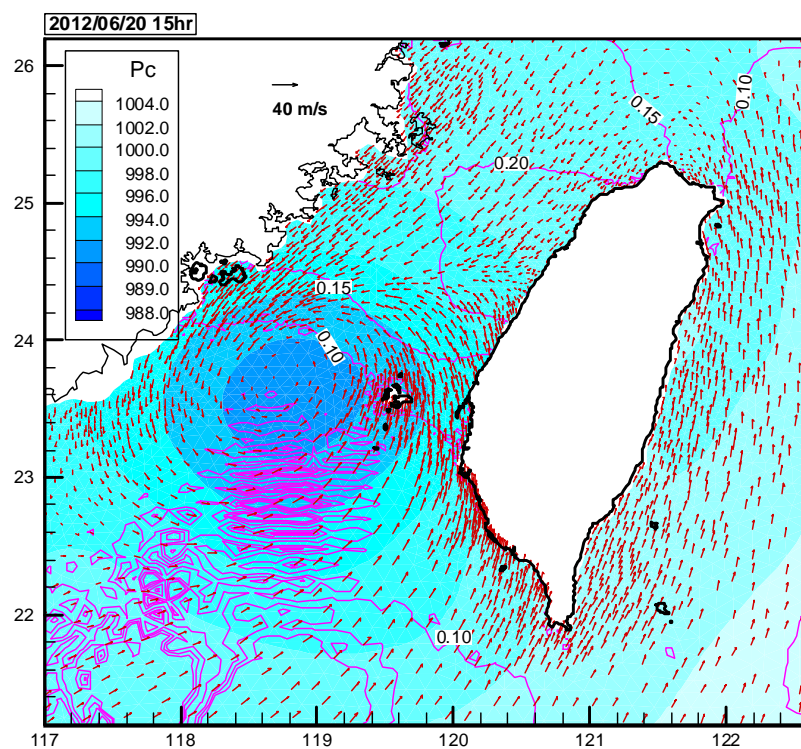


圖 4.23 臺灣周圍海域暴潮模組模擬結果之水位偏差分布圖

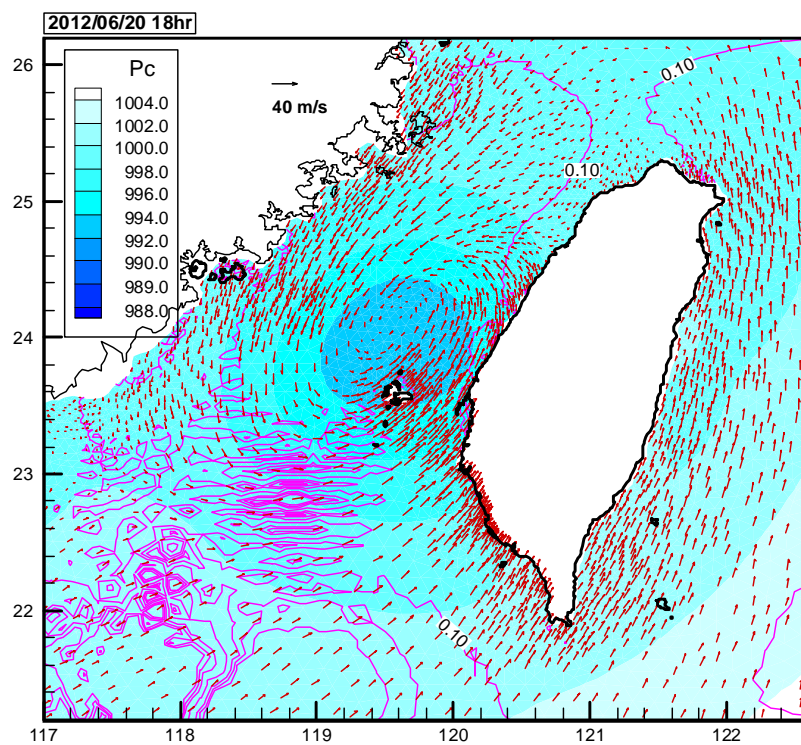


圖 4.23 (續 1) 臺灣周圍海域暴潮模組模擬結果之水位偏差分布圖

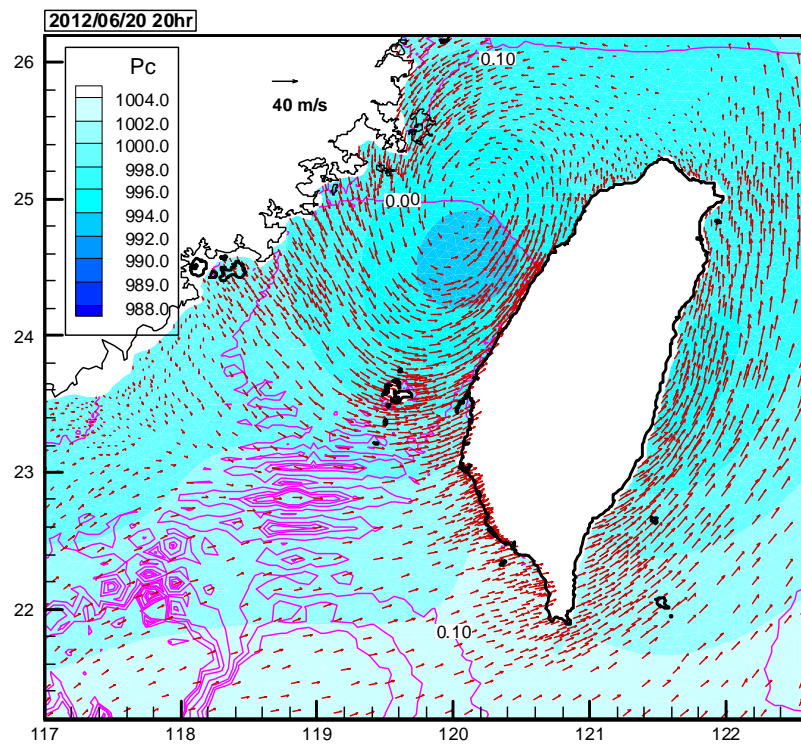


圖 4.23 (續 2) 臺灣周圍海域暴潮模組模擬結果之水位偏差分布圖

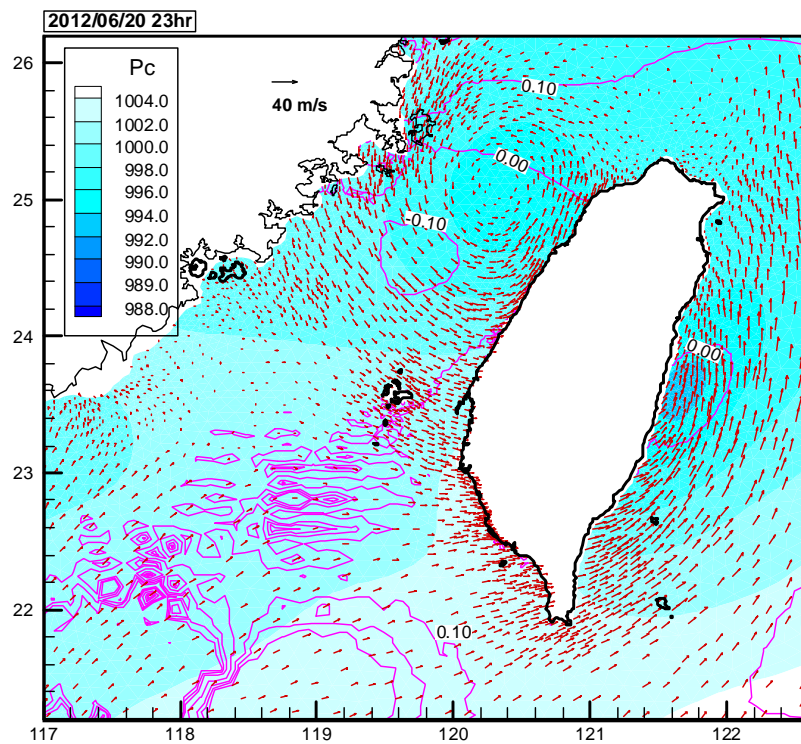


圖 4.23 (續 3) 臺灣周圍海域暴潮模組模擬結果之水位偏差分布圖

### 4.3 小尺度安平港區水動力模組改善研究

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

#### 4.3.1 模擬範圍及有限元素網格之修正

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

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

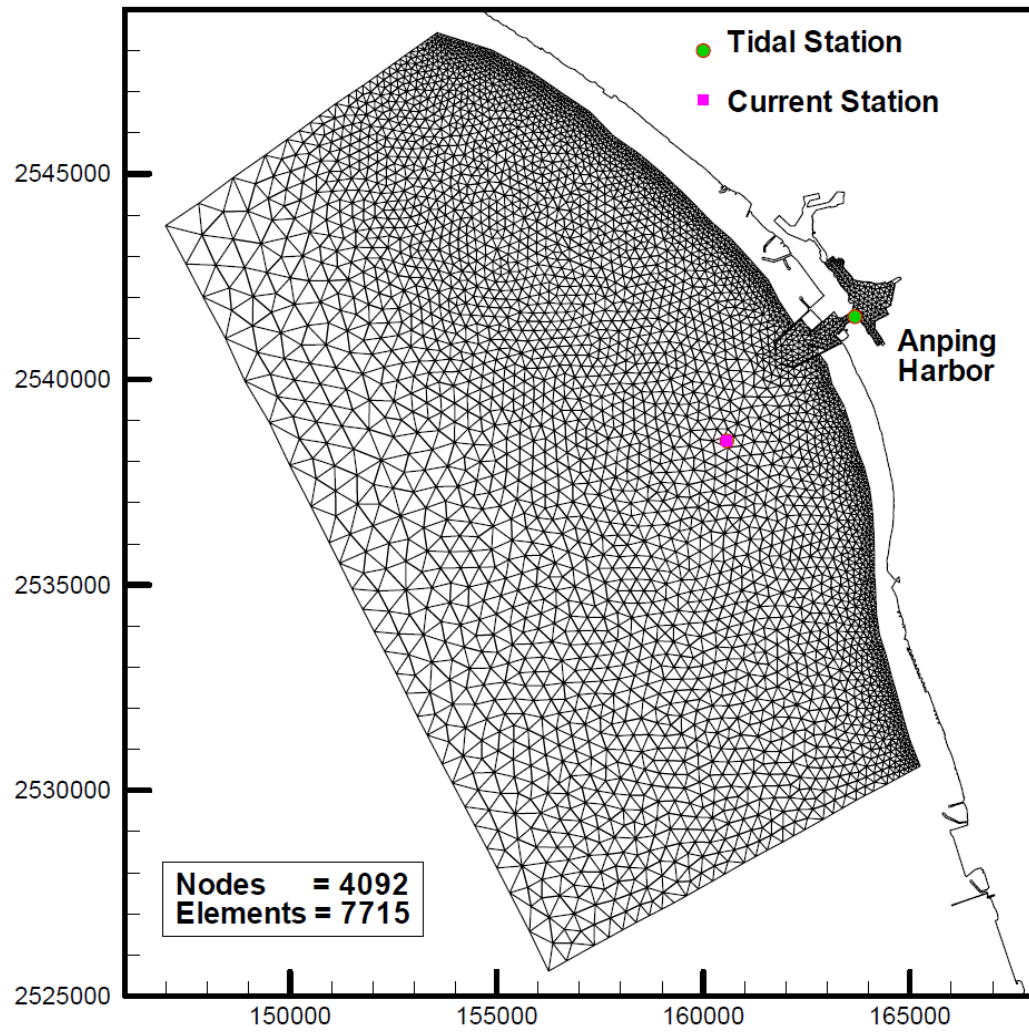


圖 4.24 安平港區近岸水動力模組之模擬範圍及有限元素格網分佈圖  
(98 年度計畫)



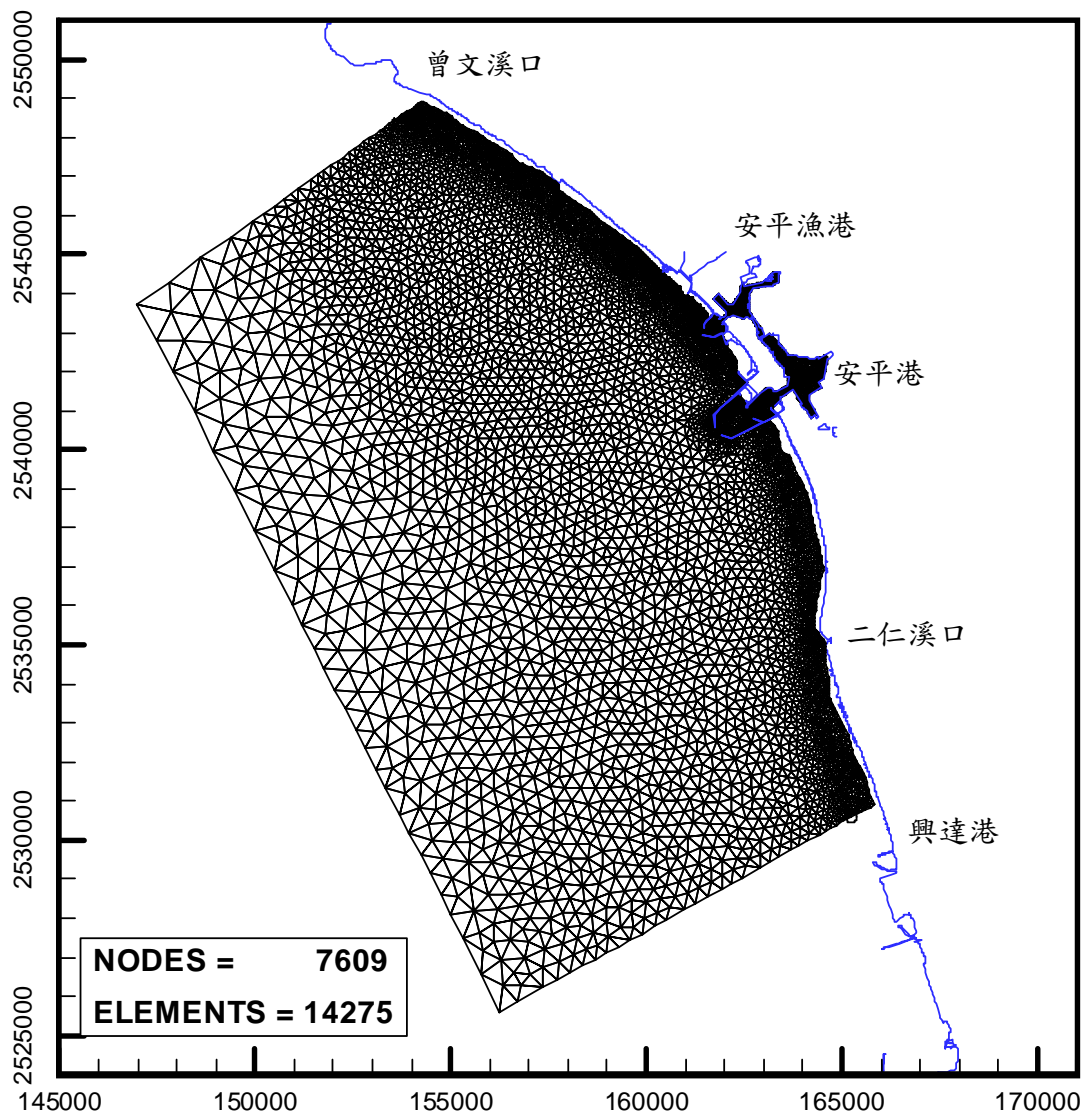


圖 4.25 安平港區近岸水動力模組之細網格三角形元素分佈圖

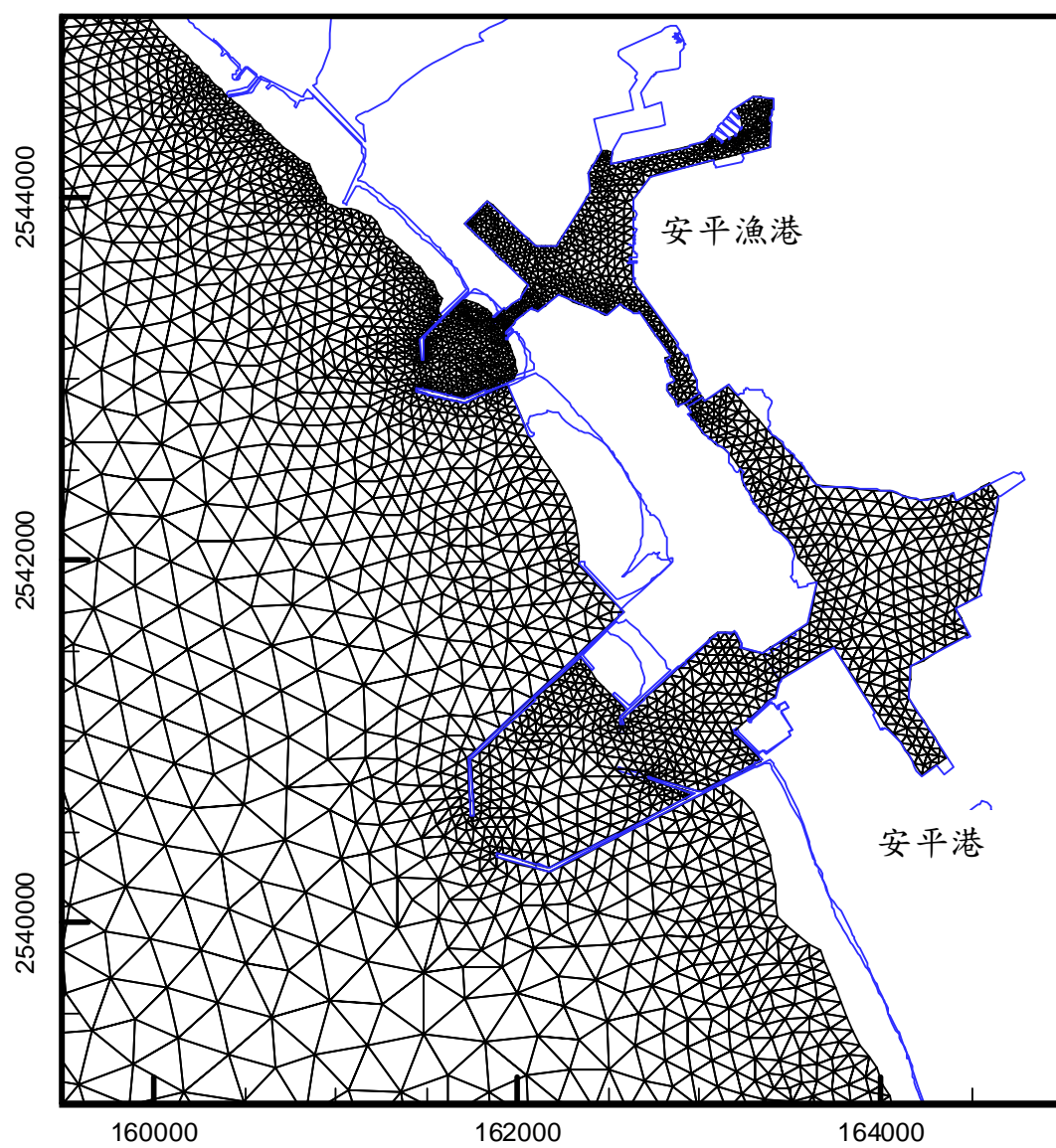


圖 4.26 安平港港域及港口附近細網格之三角形元素分布圖

#### 4.3.2 模式邊界條件修正

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

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

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

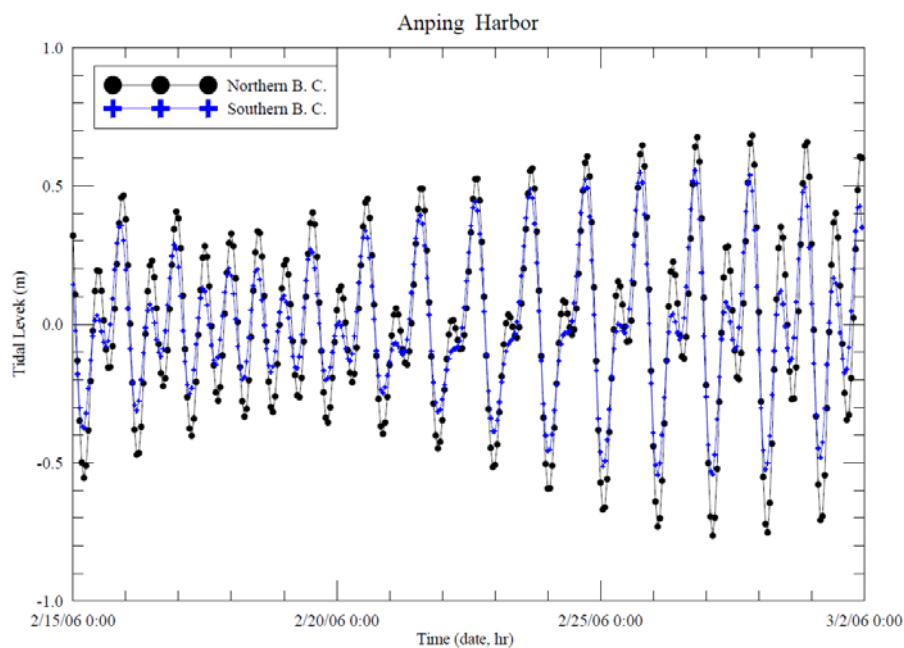


圖 4.27 前期計畫安平港水動力模組南、北開放邊界近岸節點之水位  
時序圖

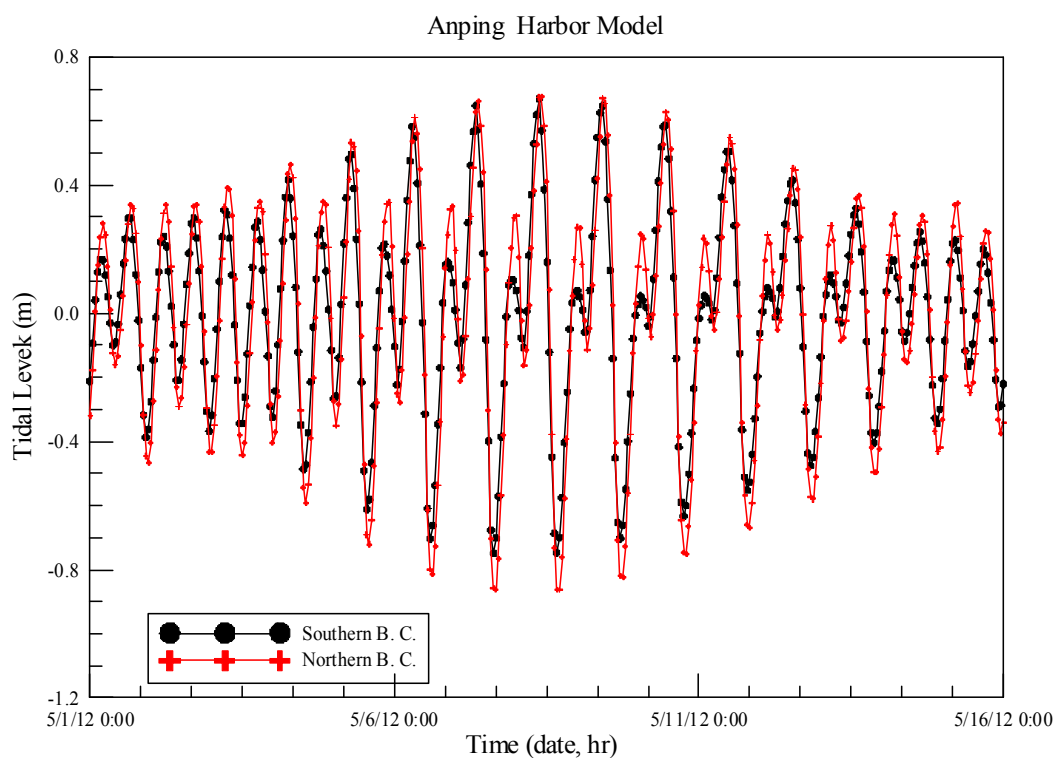


圖 4.28 本年度計畫安平港水動力模組南、北開放邊界近岸節點之水位  
時序圖



### 4.3.3 模式參數率定與驗證

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

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

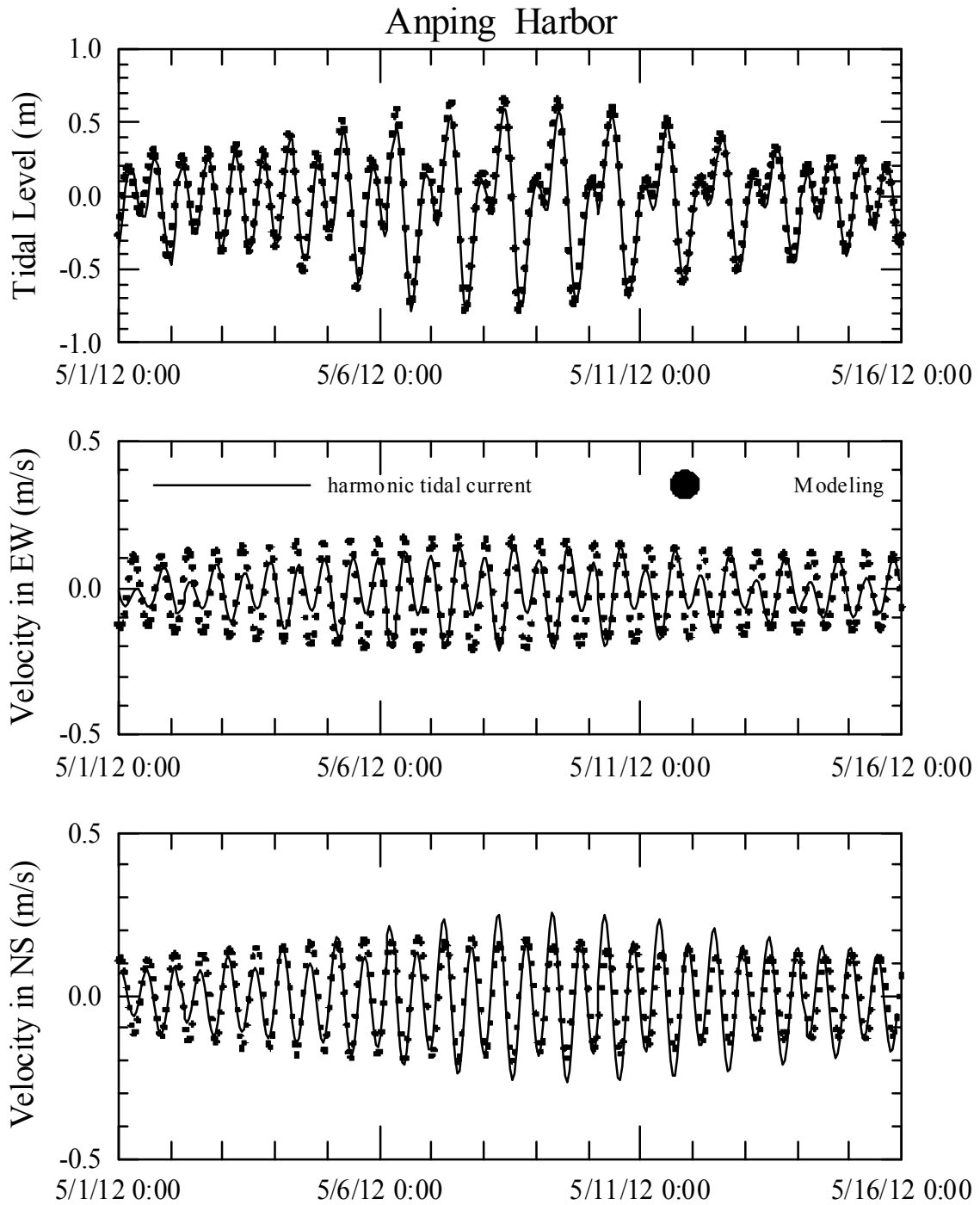


圖 4.29 安平港水位及潮流模擬結果與海流觀測資料之調和分析  
 $(O_1、K_1、M_2、S_2)$ 結果比較圖

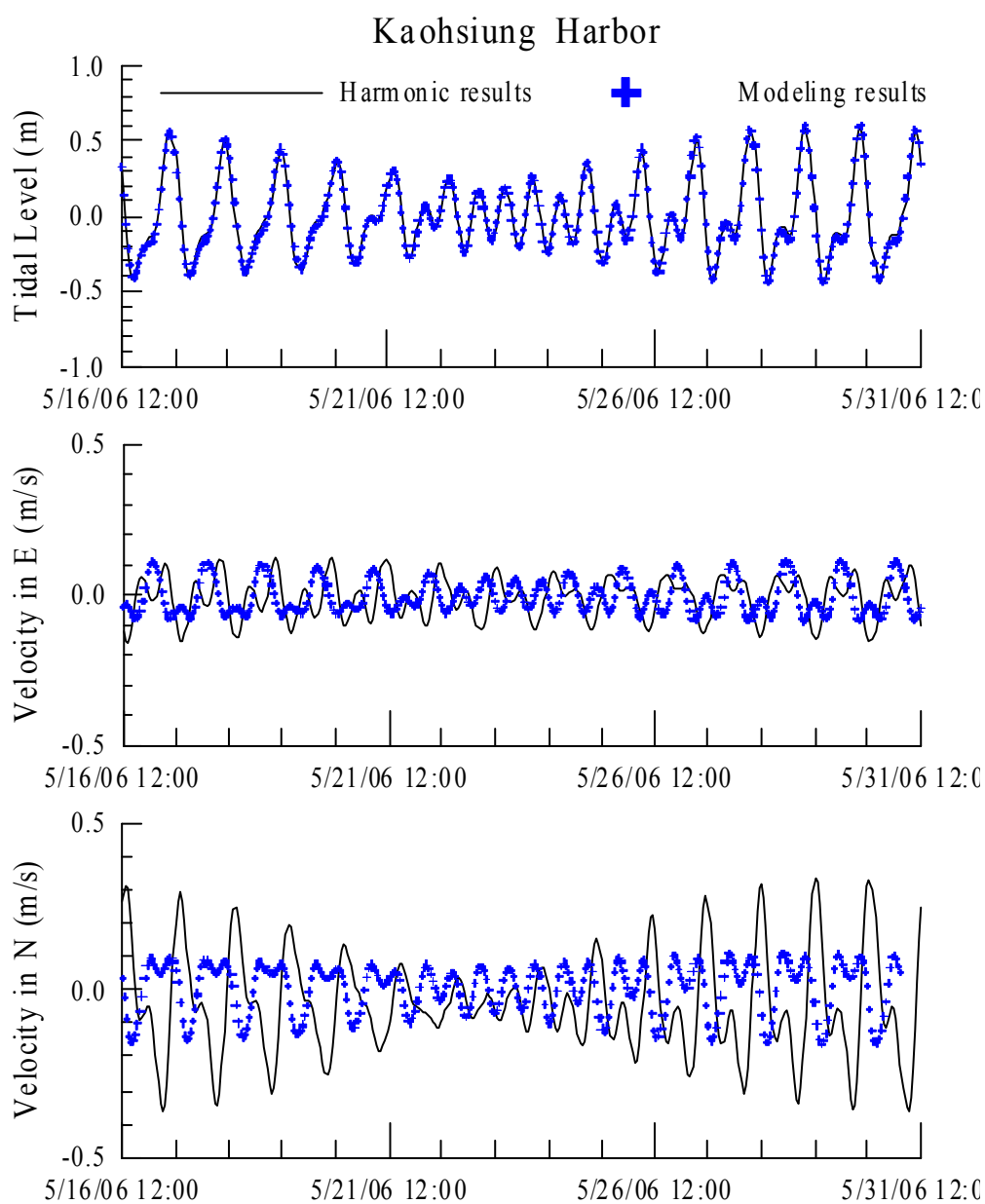


圖 4.30 前期計畫安平港水位及潮流模擬結果與海流觀測資料之調和分析( $O_1$ 、 $K_1$ 、 $M_2$ 、 $S_2$ )結果比較圖

#### 4.3.4 安平港海域流場模擬結果

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

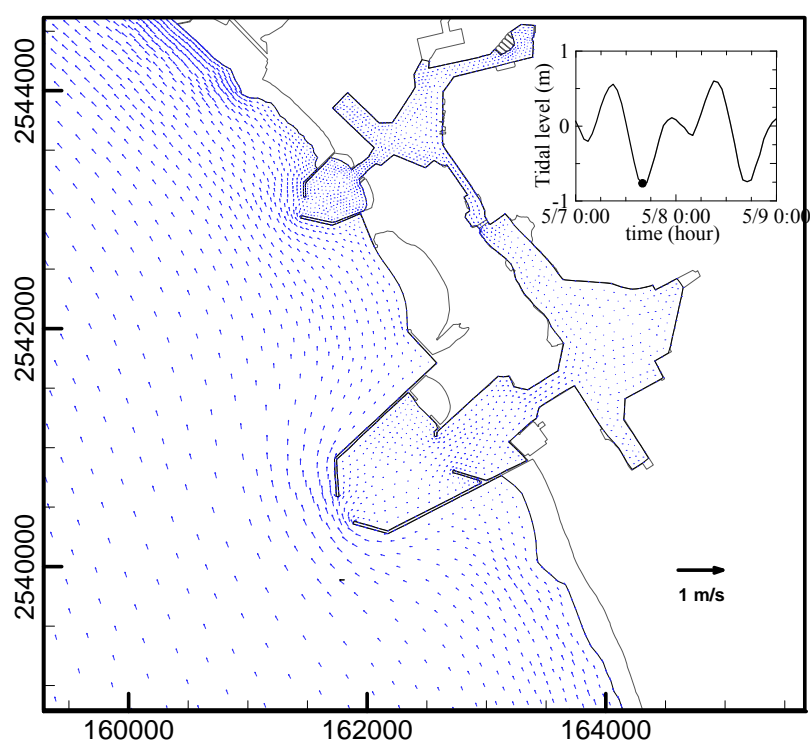


圖 4.31 安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/07 16:00)

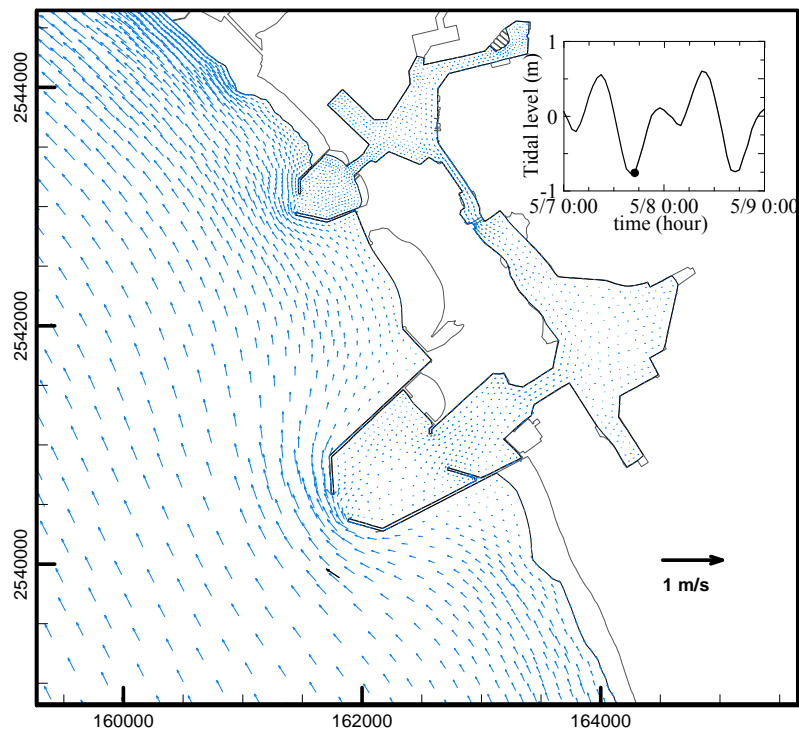


圖 4.31 (續 1)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/07 17:00)

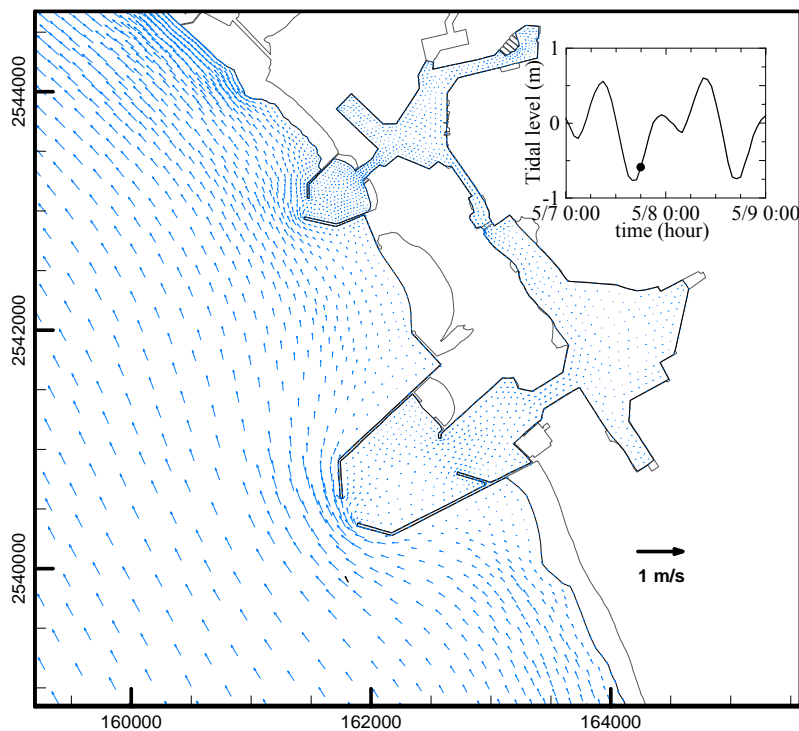


圖 4.31 (續 2)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/07 18:00)

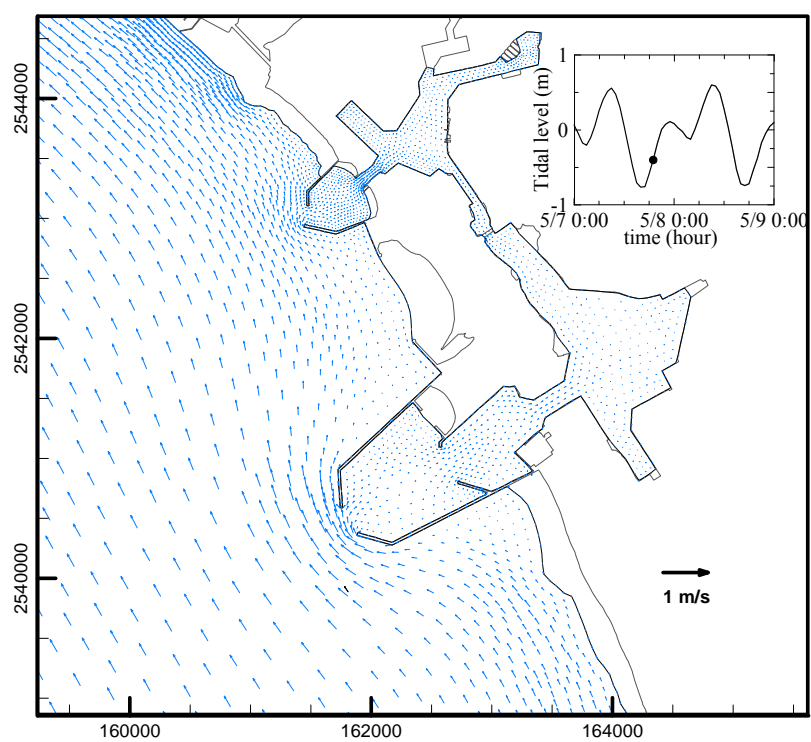


圖 4.31 (續 3)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/07 19:00)

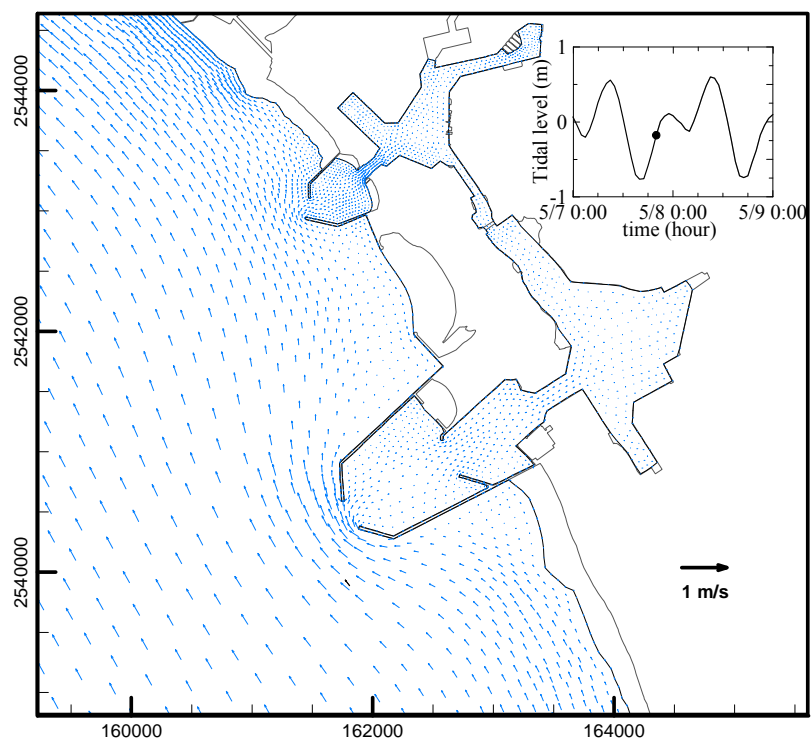


圖 4.31 (續 4)安平港流場模擬結果之流速向量圖 (2012/05/07 20:00)

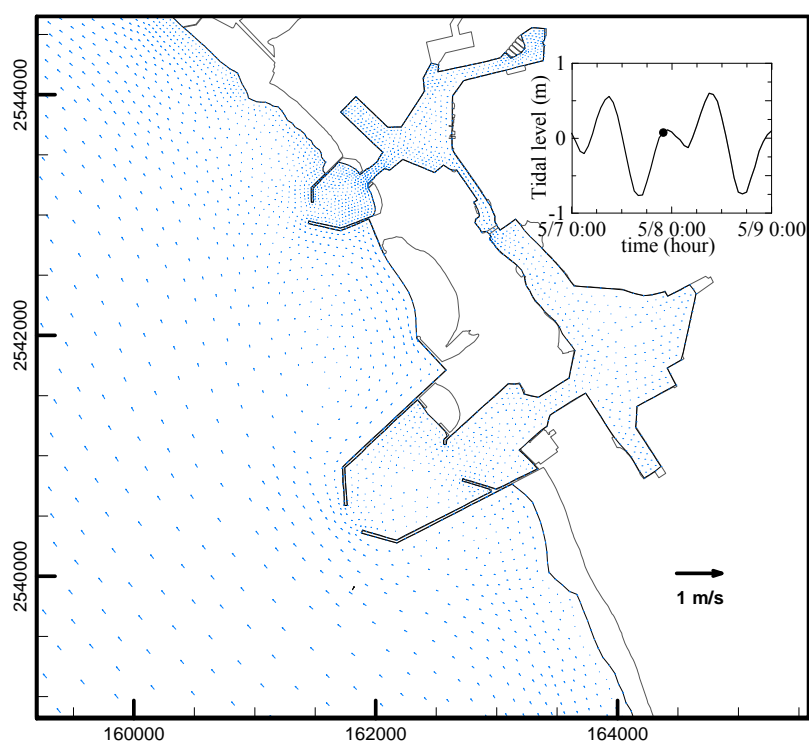


圖 4.31 (續 5)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/07 22:00)

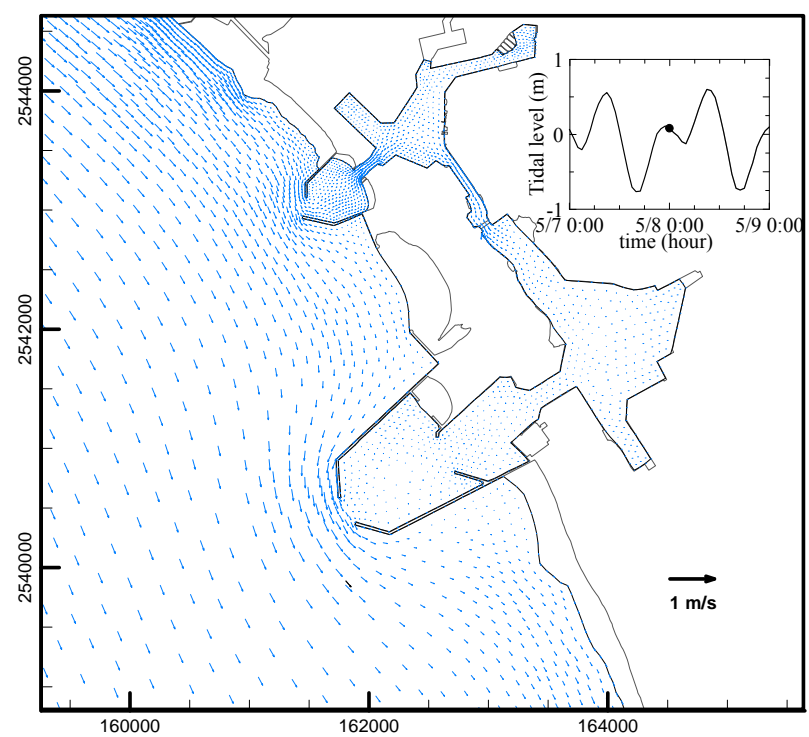


圖 4.31 (續 6)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 00:00)

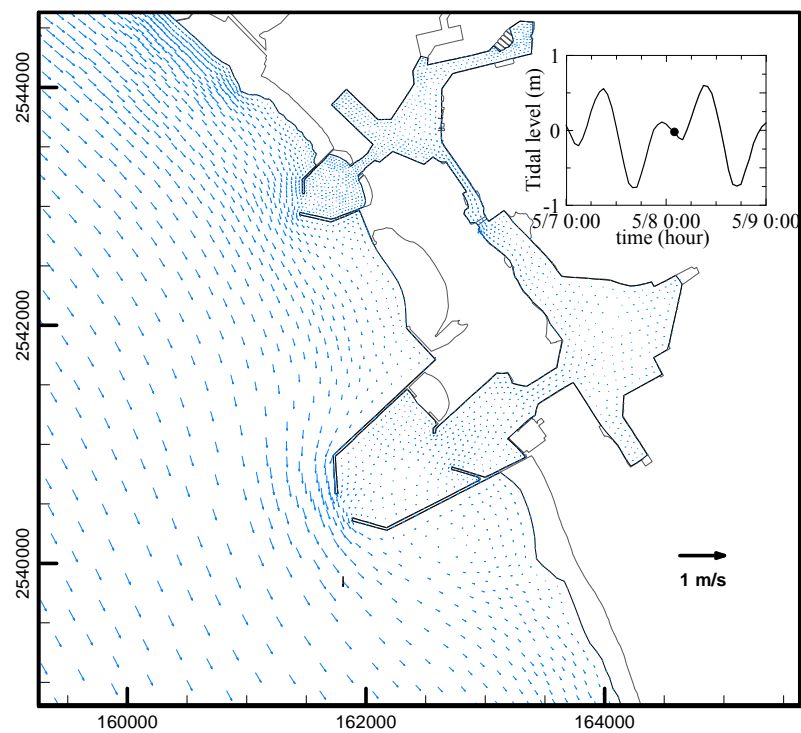


圖 4.31 (續 7)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 02:00)

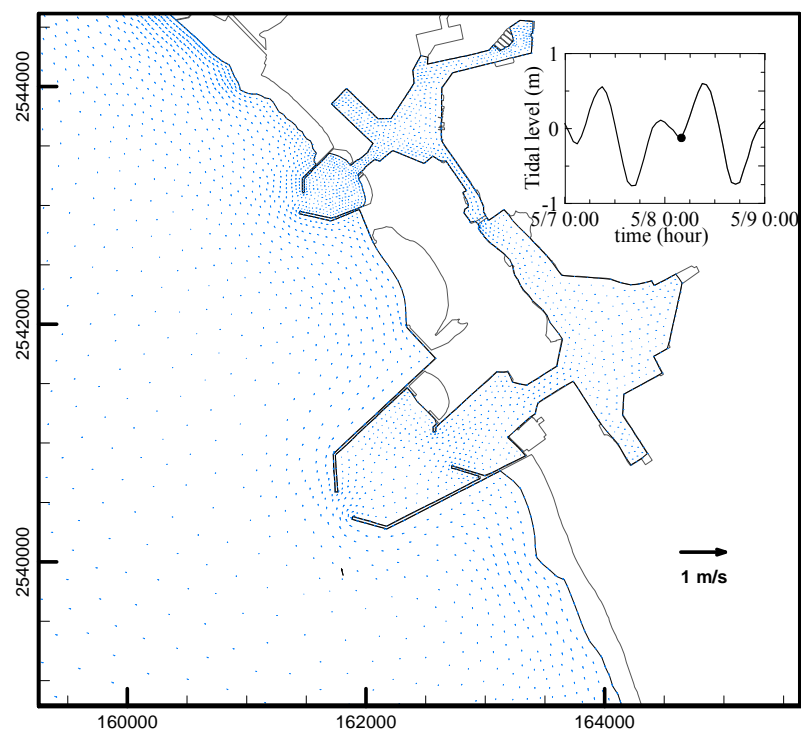


圖 4.31 (續 8)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 04:00)



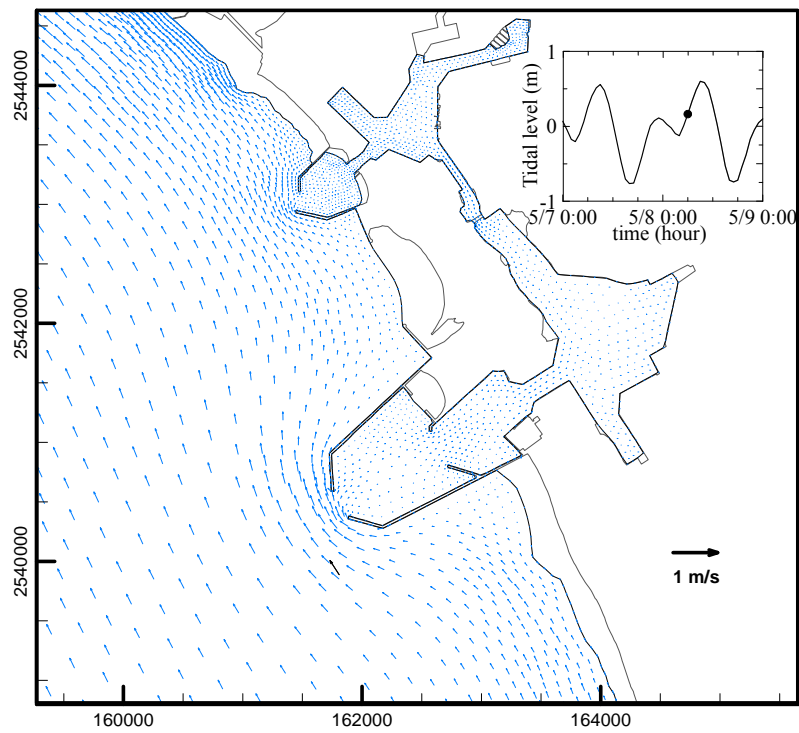


圖 4.31 (續 9)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 06:00)

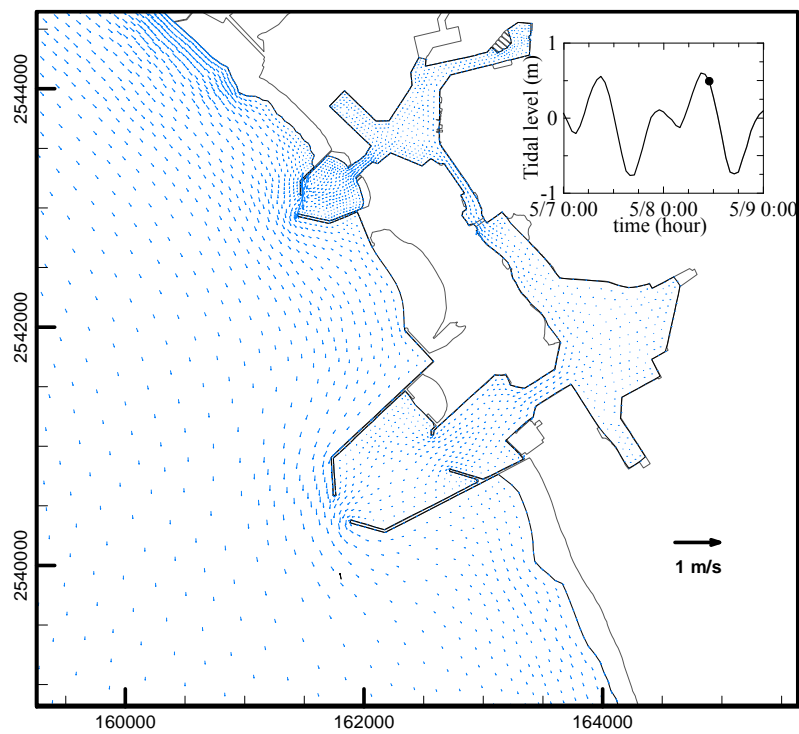


圖 4.31 (續 10)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 11:00)

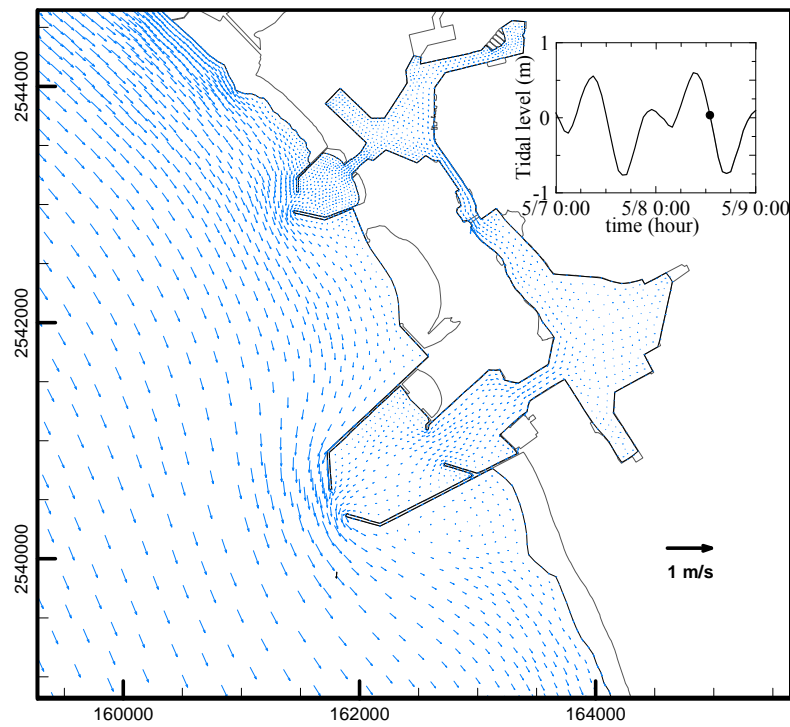


圖 4.31 (續 11)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 13:00)

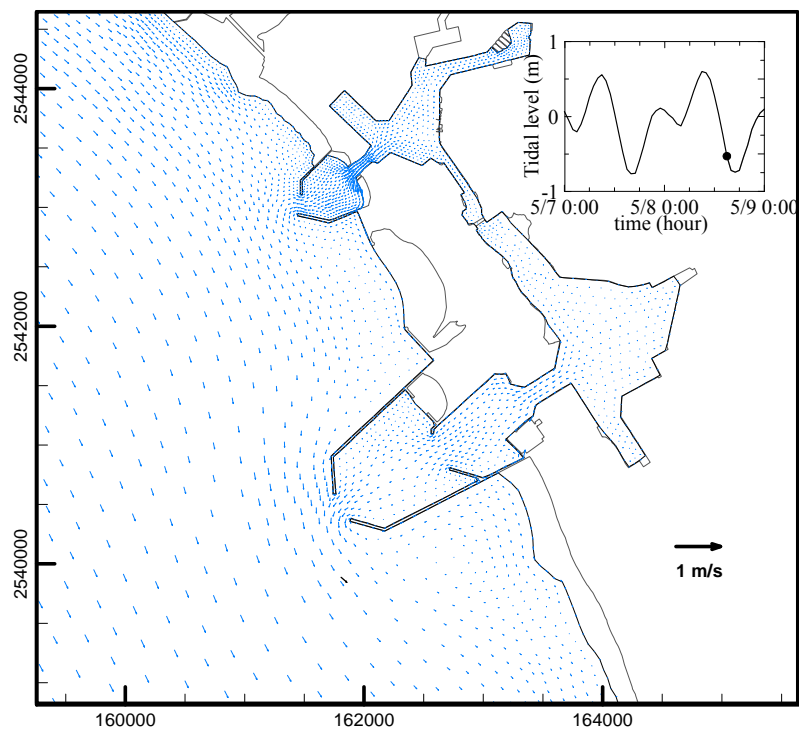


圖 4.31 (續 12)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 15:00)

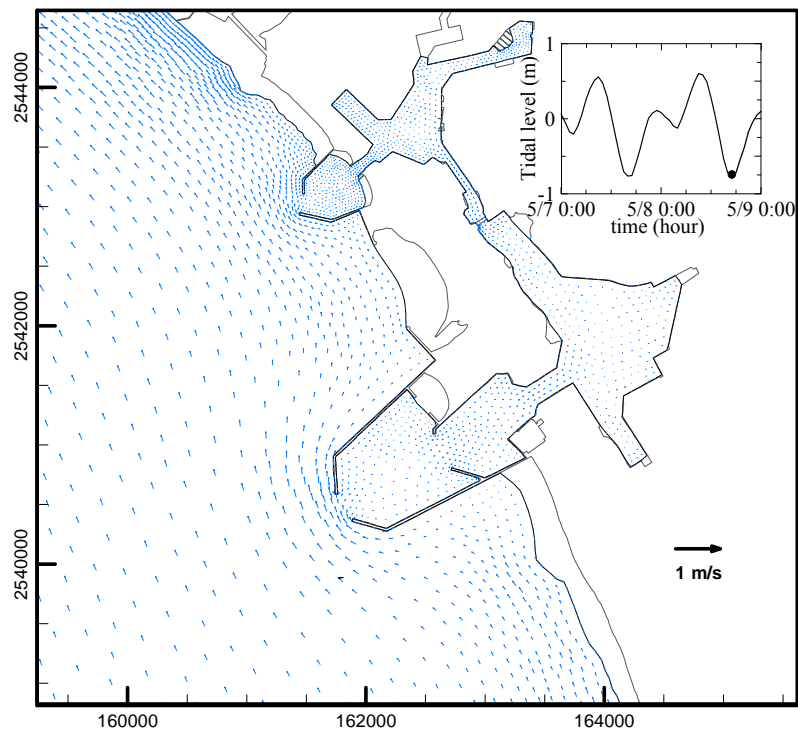


圖 4.31 (續 13)安平港流場模擬結果之流速向量圖(2012/05/08 17:00)

#### 4.4 小尺度高雄港區水動力模組改善研究

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

#### 4.4.1 有限元素網格修正及水深資料更新

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

#### 4.4.2 邊界條件修正

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

#### 4.4.3 模式參數率定與驗證

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

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

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

#### 4.4.4 高雄港海域流場模擬結果

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

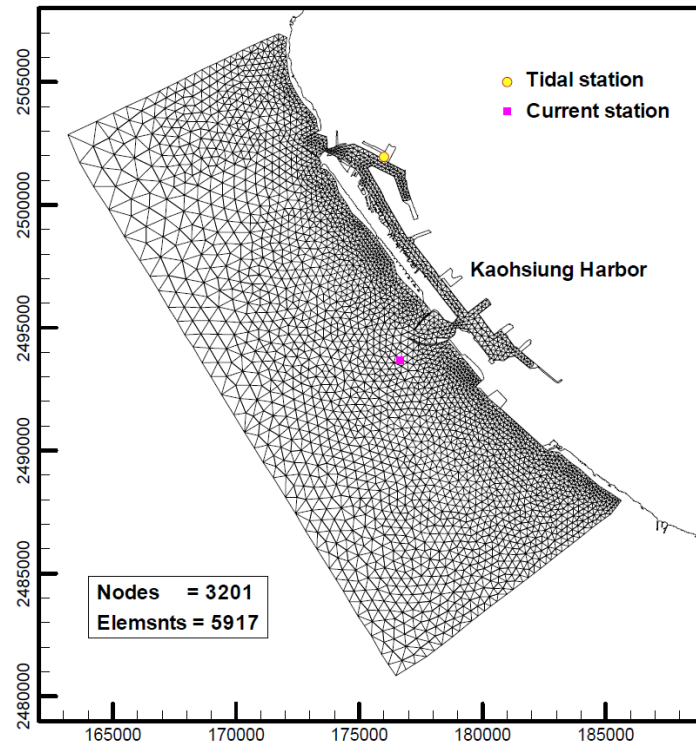


圖 4.32 高雄港水動力模組之模擬範圍及有限元素格網分佈圖

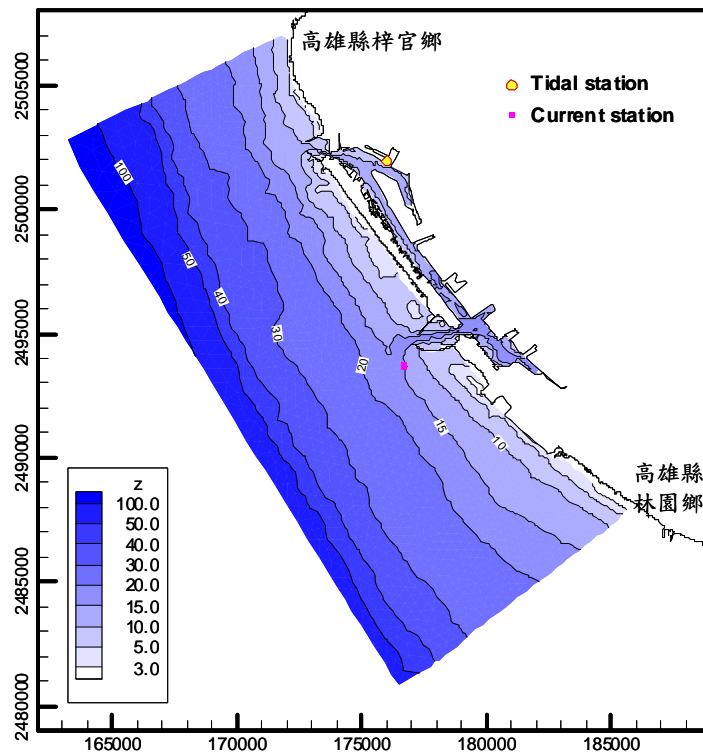


圖 4.33 高雄港水動力模組模擬範圍內等水深線分布圖

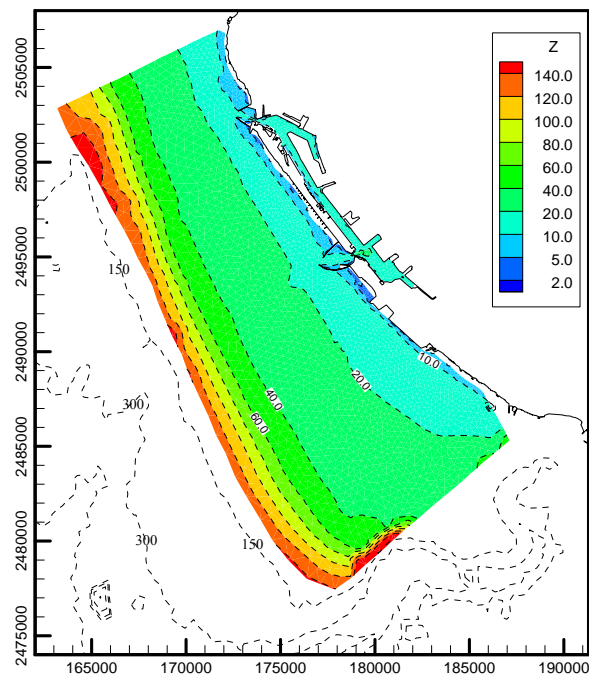


圖 4.34 高雄港水動力模組模擬範圍內等水深線分布圖

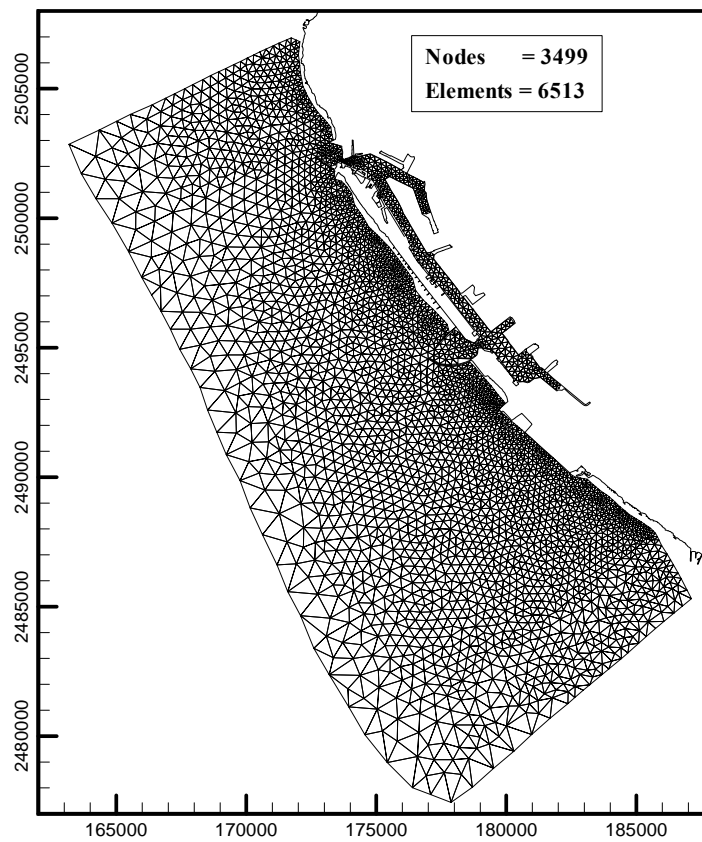


圖 4.35 高雄港水動力模組模擬範圍內等水深線分布圖

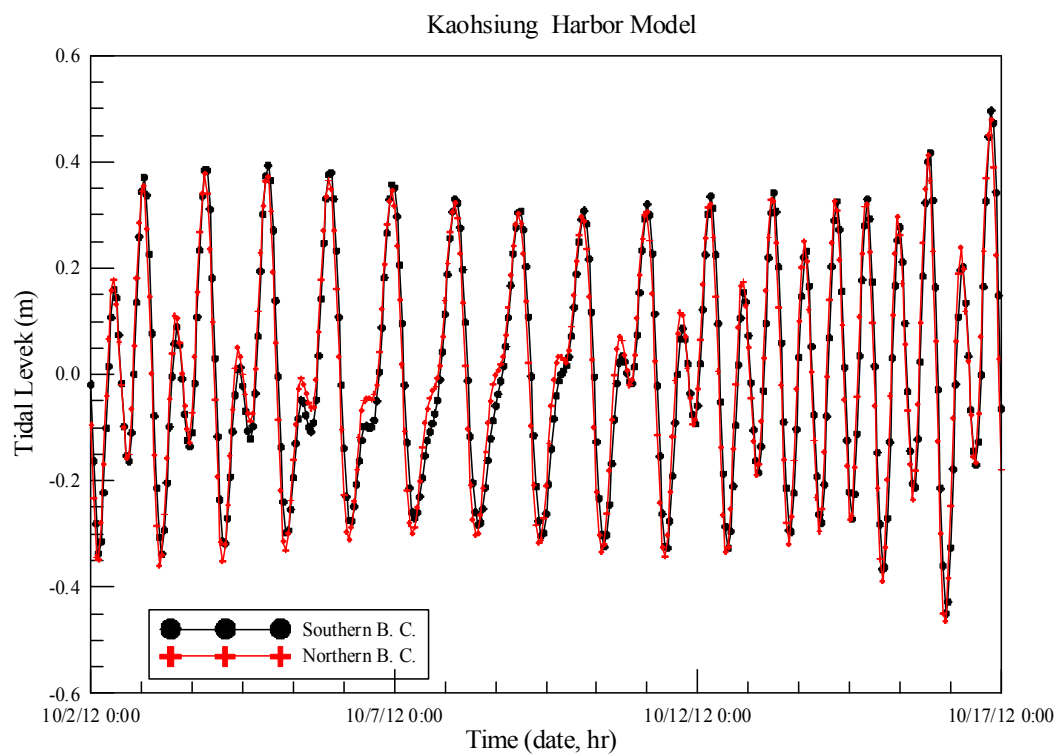


圖 4.36 高雄港水動力模組南、北開放邊界近岸節點之水位時序圖



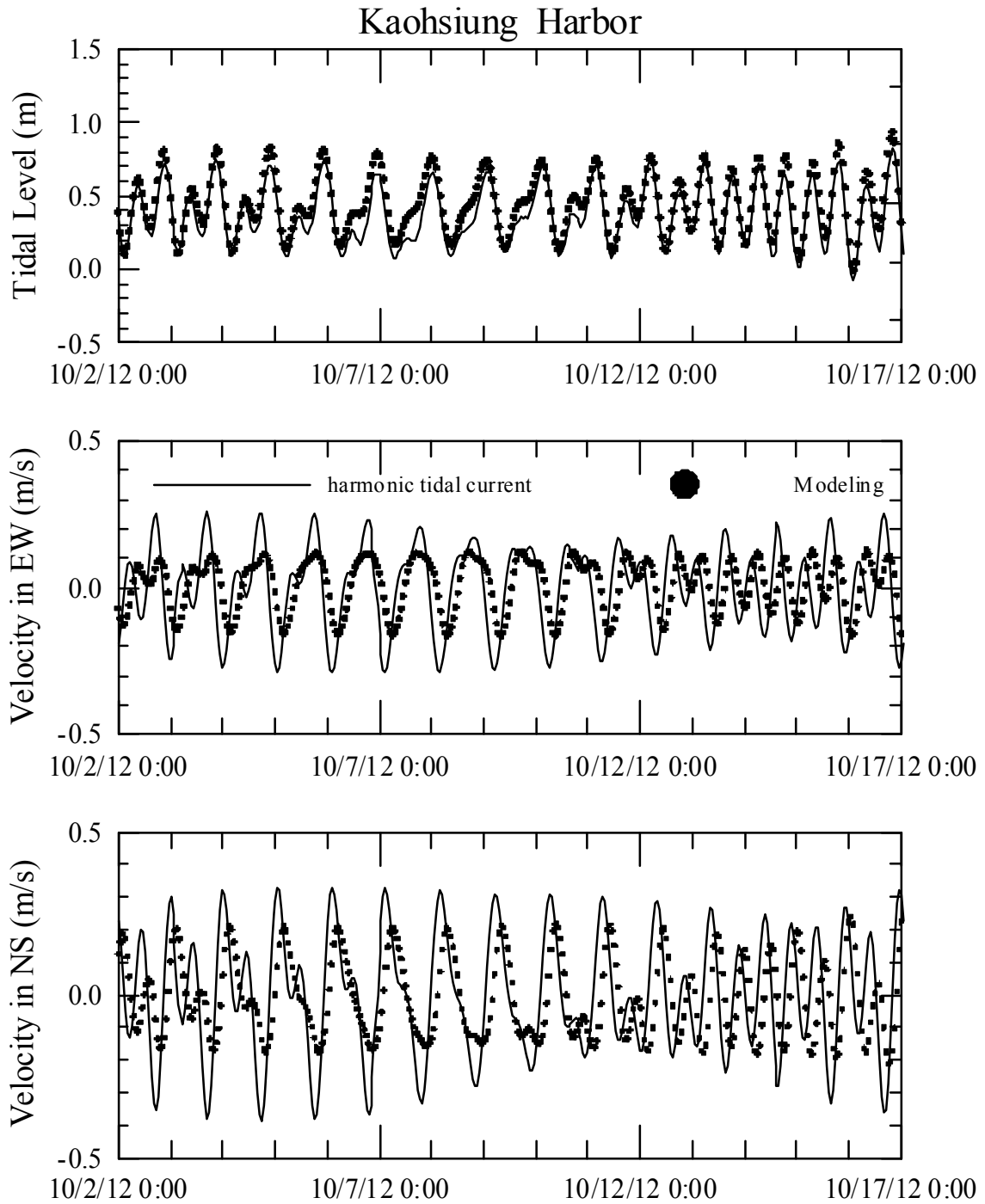


圖 4.37 高雄港水位與潮流模擬結果與海流觀測資料調和分析  
 $(O_1、K_1、N_2、M_2、S_2)$ 之 E-W 及 N-S 向速度分量比較圖

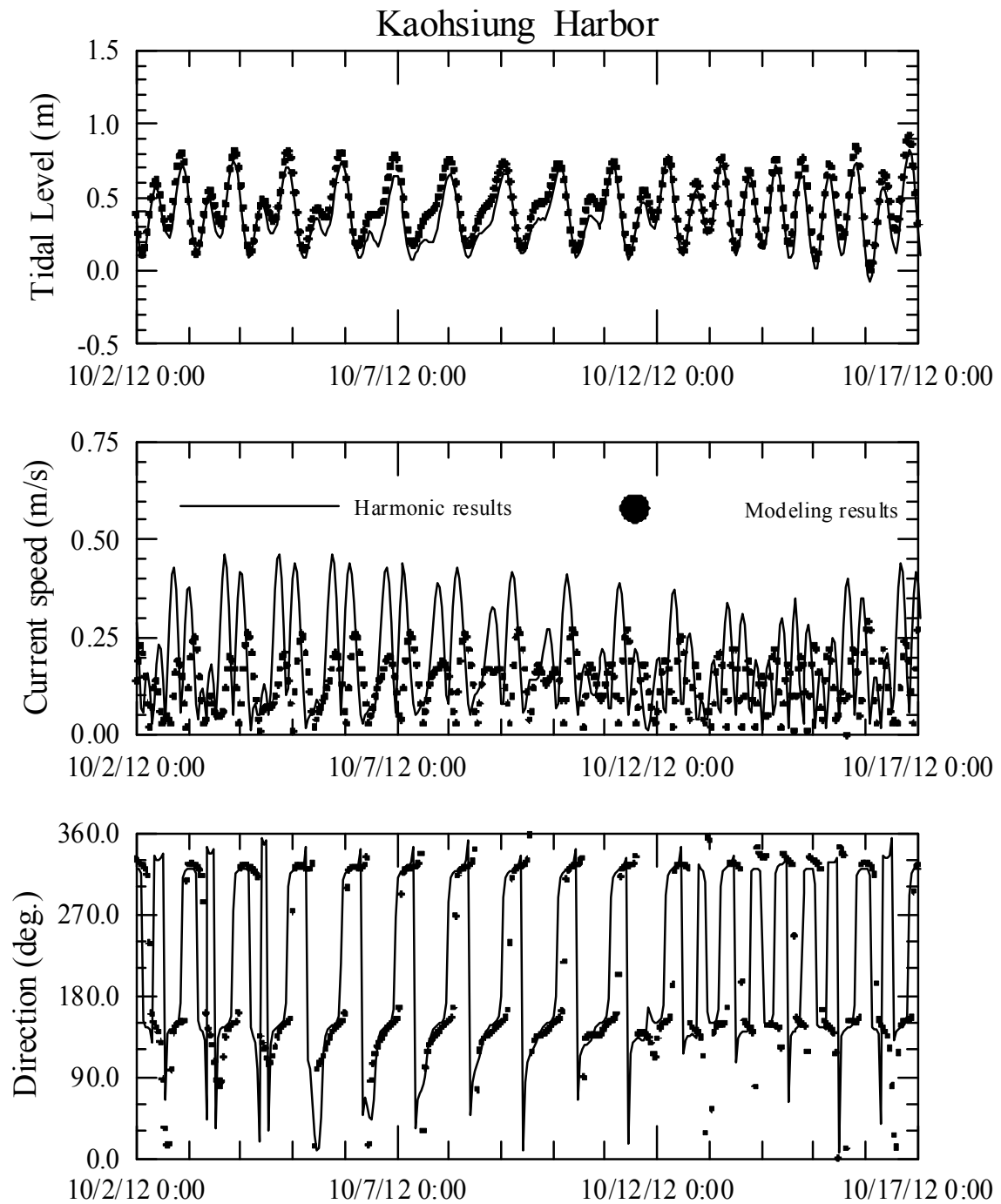


圖 4.38 高雄港水位及潮流模擬結果與海流觀測資料調和分析  
( $O_1$ 、 $K_1$ 、 $N_2$ 、 $M_2$ 、 $S_2$ )之流速大小及流向比較圖

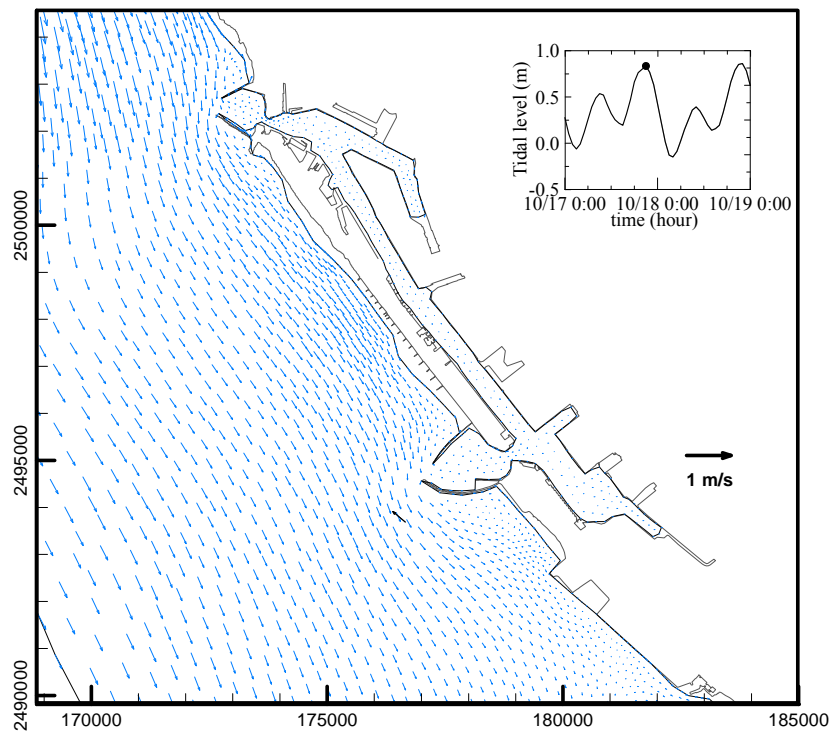


圖 4.39 高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/17 20:00)

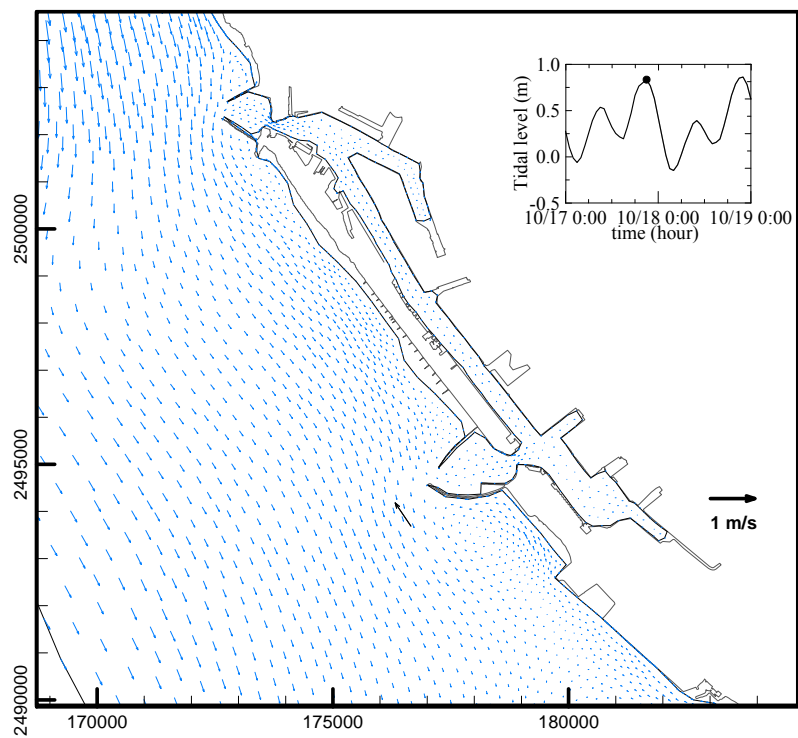


圖 4.39 (續 1)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/17 21:00)

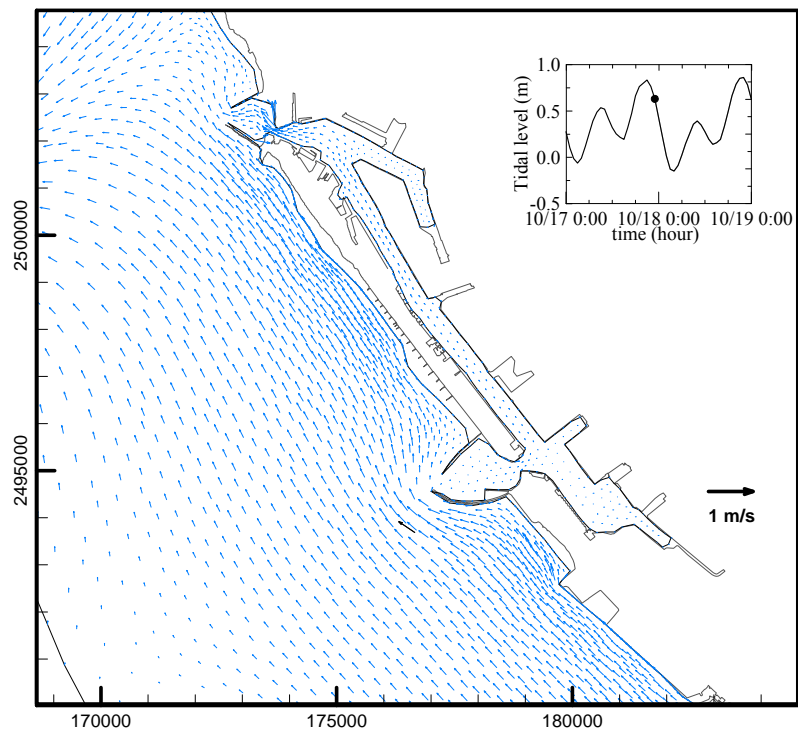


圖 4.39 (續 2)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/17 23:00)

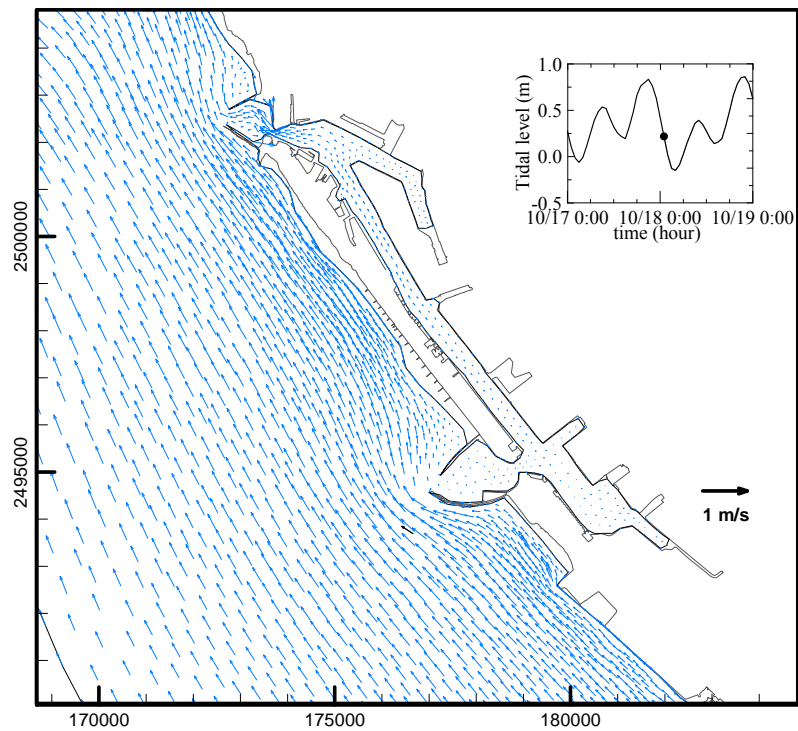


圖 4.39 (續 3)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 01:00)

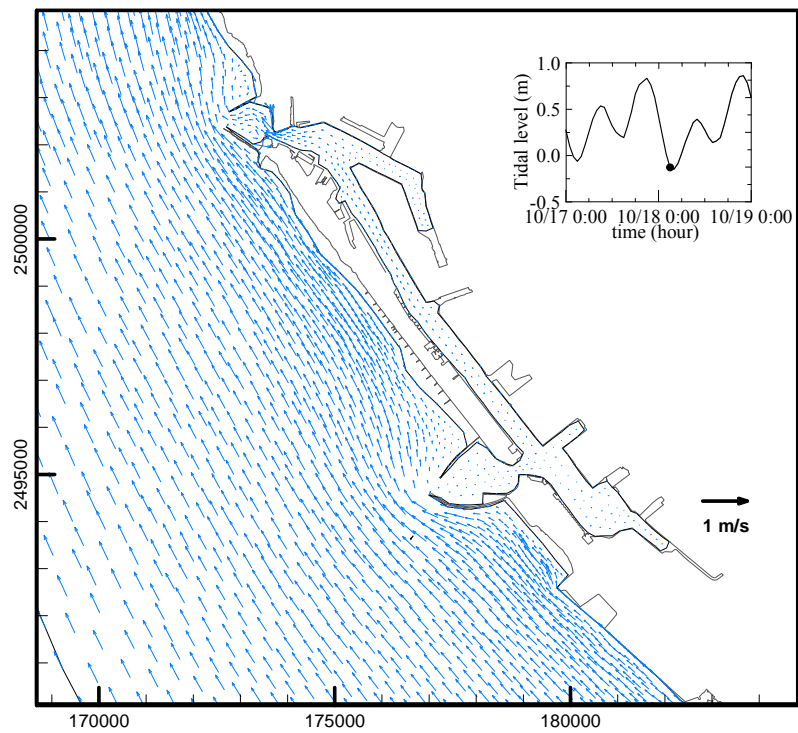


圖 4.39 (續 4)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 03:00)

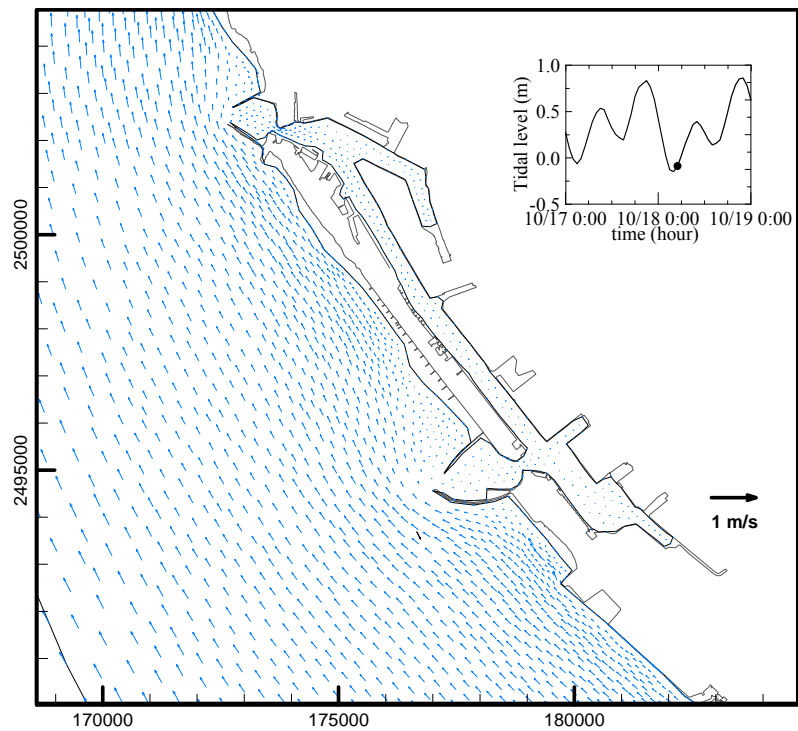


圖 4.39 (續 5)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 05:00)

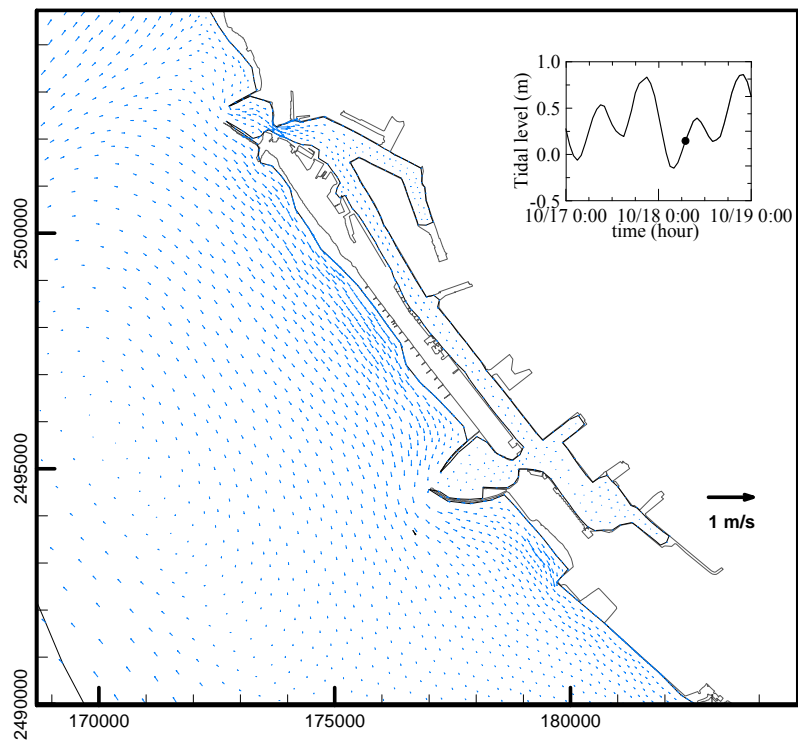


圖 4.39 (續 6)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 07:00)

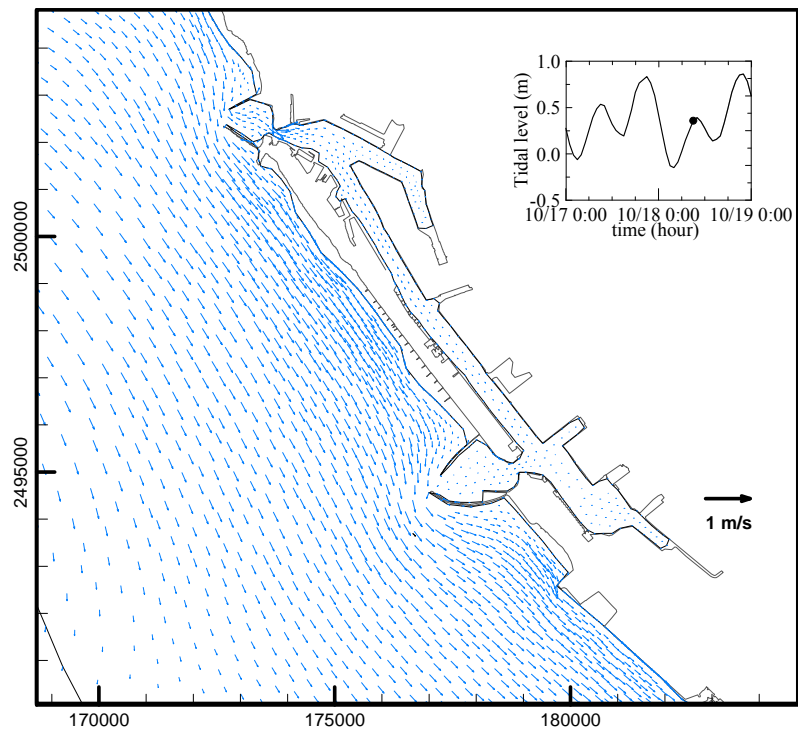


圖 4.39 (續 7)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 09:00)

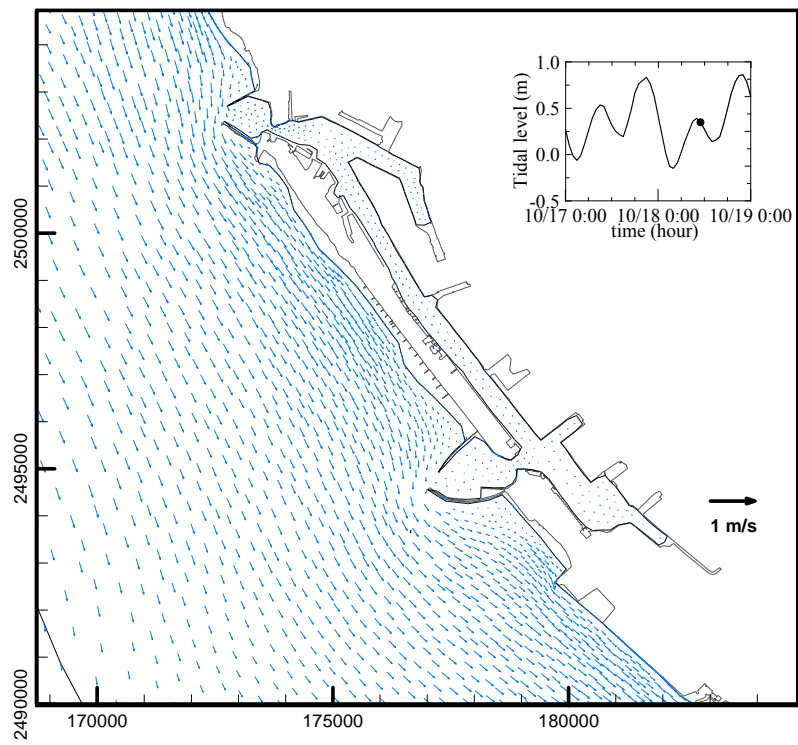


圖 4.39 (續 8)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 11:00)

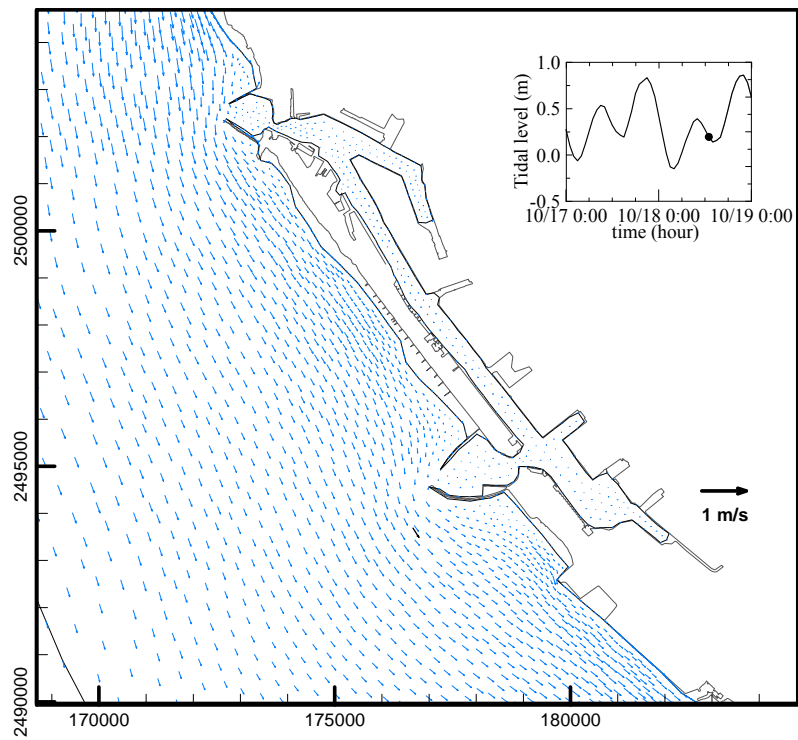


圖 4.39 (續 9)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 13:00)

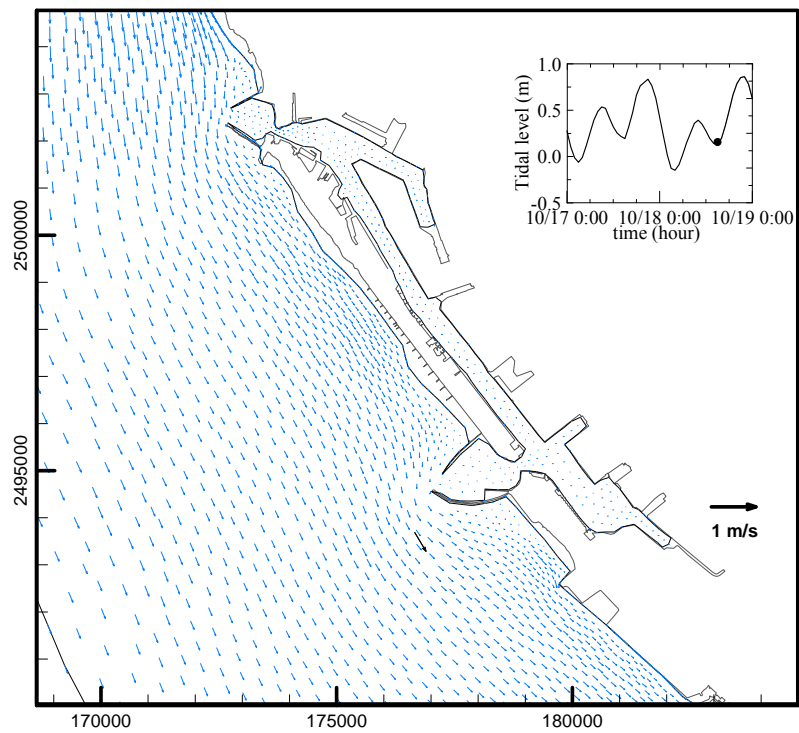


圖 4.39 (續 10)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 15:00)

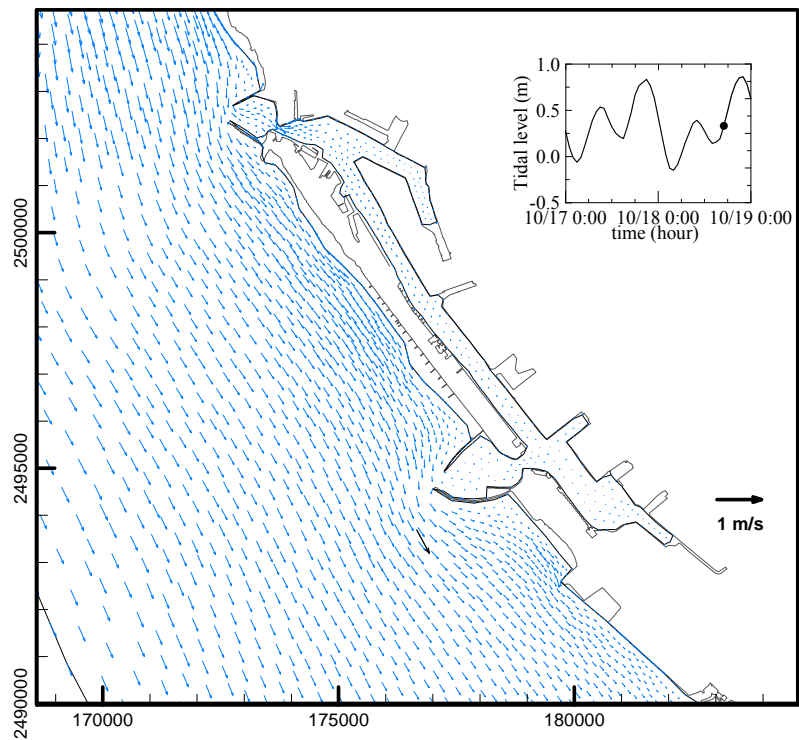


圖 4.39 (續 11)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 17:00)



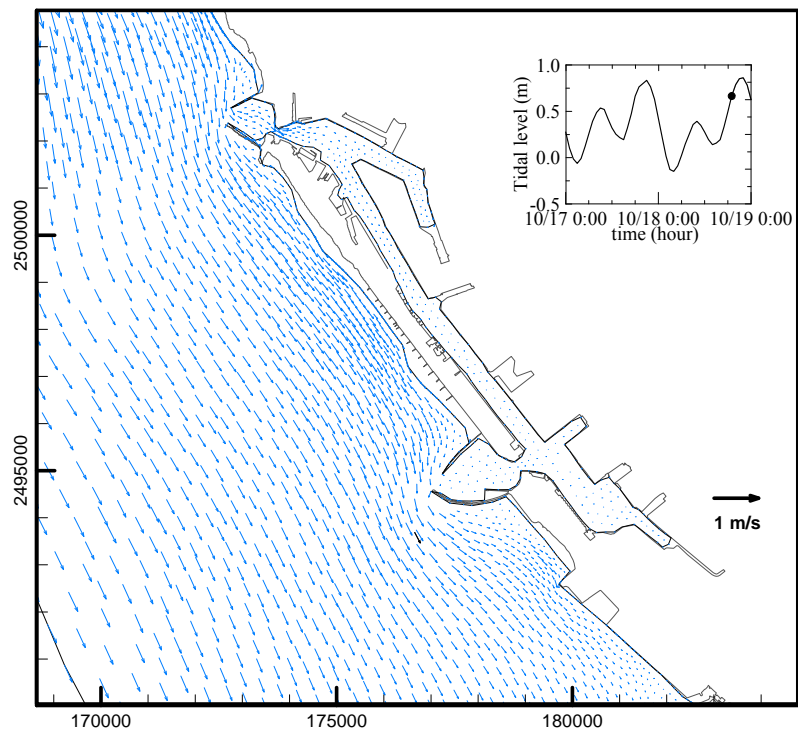


圖 4.39 (續 12)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 19:00)

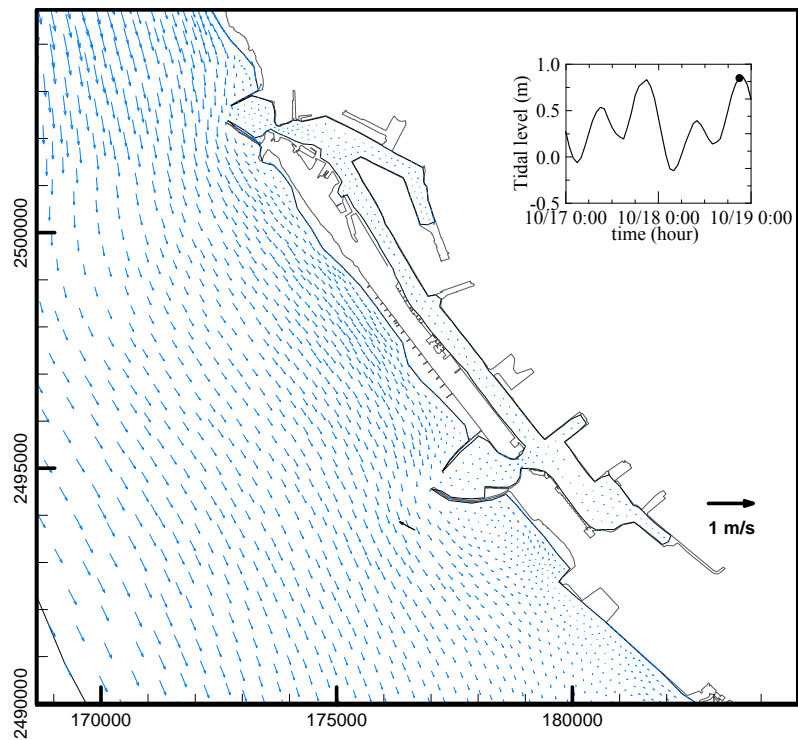


圖 4.39 (續 13)高雄港流場模擬結果之流速向量圖(2012/10/18 21:00)

## 第五章 海象作業化預報成果評估

本章節首先針對本年度計畫海域安平港及高雄港之風場進行評估說明，接著評估本年度安平港與高雄港之風浪模式預報成果，以及已作業化的小尺度基隆港與臺北港水動力模式。由於臺灣本島季風盛行，其中以夏季季風(每年 6 月至 8 月)與冬季季風(每年 10 月至翌年 3 月)較為明顯，因此評估期間以兩個季風時期為主。最後，針對本年度颱風期間之風浪、水位及流場預報成果另進行評估說明。

### 5.1 風場評估

風場預報包括 MC 風場與 RC 風場，本年度安平港冬季季風期間(1 月至 3 月)與夏季季風期間(6 月至 8 月)MC 及 RC 預報風場與觀測風場資料之時序列圖如附錄六所示，高雄港冬季季風期間與夏季季風期間 MC 及 RC 預報風場與觀測風場資料之時序列圖如附錄七所示。統計今年度季風期間安平港與高雄港每月預報風場及觀測風場平均風速、最大風速以及主要風向所占百分比分別列如表 5-1 至表 5-3 所示。由表 5-1 顯示安平港冬季季風期間觀測平均風速介於 5.1~7.1 m/s 之間，MC 及 RC 風場平均風速則介於 3.5~5.2 m/s 之間，且皆有逐月減小之趨勢；夏季季風期間觀測及預報平均風速較為接近，介於 3.5~4.8 m/s 之間。高雄港冬季季風與夏季季風期間所觀測之平均風速差異不大，MC 預報風場之平均風速有偏小的情形。

表 5-2 顯示安平港冬季季風期間觀測及預報最大風速以偏北向為多，介於 8.1~15.9 m/s 之間，其中以 RC 預報風場之風速較小；夏季季風期間觀測及預報最大風速則以偏南或偏西方向為多，介於 7.5~12.7 m/s 之間。高雄港季風期間預報的最大風速皆明顯小於觀測的最大風速，最大風速所發生的方向除了 8 月之外，其他月份較不一致。

表 5-3 顯示安平港冬季季風期間觀測及預報主要風向多集中在 N~E 向之間，夏季季風期間觀測及預報主要風向則集中在 S~W 向之間。高雄港冬季季風期間觀測主要風向多集中在 W~N 向之間，預報

風場主要風向則集中在 N~E 向之間；夏季季風期間觀測及預報風場主要風向則集中在 S~W 向與 E~S 向之間。

**表 5-1 2013 年安平港與高雄港預報及觀測風場平均風速統計表**

| 2013 年月份 | 資料來源  | 安平港 | 高雄港 |
|----------|-------|-----|-----|
| 1        | OBS   | 7.1 | 5.2 |
|          | MC 風場 | 5.2 | 4.0 |
|          | RC 風場 | 5.2 | 5.6 |
| 2        | OBS   | 6.1 | 5.2 |
|          | MC 風場 | 4.4 | 3.5 |
|          | RC 風場 | 4.3 | 4.9 |
| 3        | OBS   | 5.1 | 4.6 |
|          | MC 風場 | 3.8 | 3.1 |
|          | RC 風場 | 3.5 | 3.9 |
| 6        | OBS   | 3.5 | 4.2 |
|          | MC 風場 | 3.5 | 3.7 |
|          | RC 風場 | 4.2 | 4.4 |
| 7        | OBS   | 3.5 | 5.5 |
|          | MC 風場 | 4.5 | 4.8 |
|          | RC 風場 | 4.8 | 5.1 |
| 8        | OBS   | 5.4 | 5.5 |
|          | MC 風場 | 4.2 | 4.3 |
|          | RC 風場 | 4.6 | 4.8 |

OBS：觀測資料

單位：m/s

**表 5-2 2013 年安平港與高雄港預報及觀測風場最大風速風向統計表**

| 2013 年月份 | 資料來源  | 安平港      | 高雄港      |
|----------|-------|----------|----------|
| 1        | OBS   | 15.9 NE  | 15.4 NNW |
|          | MC 風場 | 12.6 N   | 11.1 N   |
|          | RC 風場 | 12.3 N   | 11.8 N   |
| 2        | OBS   | 12.4 NE  | 12.8 NW  |
|          | MC 風場 | 10.4 NNE | 7.8 N    |
|          | RC 風場 | 8.8 NNE  | 9.8 E    |
| 3        | OBS   | 13.0 NE  | 15.2 N   |
|          | MC 風場 | 10.1 N   | 8.2 SSE  |
|          | RC 風場 | 8.1 NNE  | 8.9 E    |
| 6        | OBS   | 7.5 SW   | 14.7 S   |
|          | MC 風場 | 9.2 SSE  | 9.8 SE   |
|          | RC 風場 | 9.2 SE   | 9.2 SE   |
| 7        | OBS   | 10.8 SW  | 17.9 NW  |
|          | MC 風場 | 12.2 N   | 11.6 SE  |
|          | RC 風場 | 12.7 NNW | 13.7 ESE |
| 8        | OBS   | 10.4 WNW | 18.5 W   |
|          | MC 風場 | 12.2 W   | 12.8 W   |
|          | RC 風場 | 11.4 SW  | 11.1 E   |

單位：m/s

**表 5-3 2013 年安平港與高雄港預報及觀測風場主要風向百分比統計表**

| 2013 年月份 | 資料來源  | 安平港      | 高雄港      |
|----------|-------|----------|----------|
| 1        | OBS   | N~E(97%) | W~N(71%) |
|          | MC 風場 | N~E(75%) | N~E(67%) |
|          | RC 風場 | N~E(86%) | N~E(84%) |
| 2        | OBS   | N~E(87%) | W~N(75%) |
|          | MC 風場 | N~E(51%) | N~E(43%) |
|          | RC 風場 | N~E(66%) | N~E(63%) |
| 3        | OBS   | N~E(63%) | W~N(65%) |
|          | MC 風場 | N~E(43%) | N~E(46%) |
|          | RC 風場 | N~E(45%) | N~E(45%) |
| 6        | OBS   | S~W(35%) | W~N(37%) |
|          | MC 風場 | S~W(41%) | E~S(38%) |
|          | RC 風場 | S~W(53%) | S~W(49%) |
| 7        | OBS   | N~E(28%) | E~S(38%) |
|          | MC 風場 | S~W(41%) | E~S(52%) |
|          | RC 風場 | E~S(55%) | E~S(66%) |
| 8        | OBS   | N~E(60%) | E~S(29%) |
|          | MC 風場 | S~W(44%) | S~W(39%) |
|          | RC 風場 | S~W(47%) | S~W(41%) |

## 5.2 風浪模擬成果評估

風浪模擬包括 SWAN 模式與 WAM 模式，本年度安平港冬季季風期間與夏季季風期間 SWAN 模式及 WAM 模式預報波浪與觀測波浪資料之比較如附錄八所示，高雄港冬季季風期間與夏季季風期間 SWAN 模式及 WAM 模式預報波浪與觀測波浪資料之比較如附錄九所示。統計今年度季風期間安平港與高雄港每月模式預報風浪及觀測波浪之示性波高平均值與最大值、示性週期平均值與最大值、主要波高分佈百分比、主要週期分佈百分比以及主要波向分佈百分比分別列如表 5-4 至表 5-10 所示。安平港冬季季風期間觀測與模式之示性波高平均值差異不大，介於 0.4~0.7 m 之間；夏季季風期間觀測之示性波高平均值則較大，尤以 8 月差異較大。高雄港冬季季風期間觀測之示性波高平均值(0.6~0.9 m)則較模式(0.4~0.6 m)為大；夏季季風期間高雄港無觀測資料，SWAN 與 WAM 模式預報結果相近，介於 0.7~1.0 m 之間。安平港及高雄港冬季季風期間觀測與模式之示性波高最大值差異不大，夏季季風期間可能受到颱風影響，安平港觀測之示性波高最大值明顯偏大。

安平港及高雄港冬季季風期間示性週期之平均值較短，其中以 WAM 模式預報之示性週期平均值較觀測值為大；夏季季風期間示性週期之平均值較長，而以 SWAN 模式預報之示性週期平均值較觀測值略小。在示性週期之最大值方面，安平港及高雄港冬季季風期間 SWAN 模式預報結果偏小；夏季季風期間安平港觀測之示性週期最大值較模式預報為大。

波高分佈方面，冬季季風期間安平港及高雄港觀測波高多集中在 0.5~1 m 之間，模式預報則多小於 0.5 m；夏季季風期間波高多分佈在 0.5~1 m 之間，8 月安平港觀測波高較大，多分佈在 1~5 m 之間，佔 55%。兩個港季風期間預報與觀測風浪週期多小於 6 sec，但 8 月安平港觀測波浪週期則多集中在 8~10 sec 之間，佔 48%。冬季季風期間安平港及高雄港觀測及 SWAN 模式之主要波向多集中在 W~N 之間，安

平港 WAM 模式之主要波向則集中在 N~E 之間，高雄港 WAM 模式之主要波向集中在 E~S 之間。夏季季風期間兩個港模式預報與觀測之主要風向則一致集中在 S~W 之間。

**表 5-4 2013 年安平港與高雄港預報及觀測風浪示性波高平均值統計表**

| 2013 年月份 | 資料來源    | 安平港 | 高雄港 |
|----------|---------|-----|-----|
| 1        | OBS     | 0.6 | 0.8 |
|          | SWAN 模式 | 0.6 | 0.6 |
|          | WAM 模式  | 0.7 | 0.5 |
| 2        | OBS     | 0.6 | 0.9 |
|          | SWAN 模式 | 0.5 | 0.5 |
|          | WAM 模式  | 0.7 | 0.5 |
| 3        | OBS     | 0.5 | 0.6 |
|          | SWAN 模式 | 0.4 | 0.4 |
|          | WAM 模式  | 0.6 | 0.4 |
| 6        | OBS     | 0.8 | --  |
|          | SWAN 模式 | 0.6 | 0.7 |
|          | WAM 模式  | 0.8 | 0.8 |
| 7        | OBS     | 0.9 | --  |
|          | SWAN 模式 | 0.7 | 0.7 |
|          | WAM 模式  | 0.7 | 0.7 |
| 8        | OBS     | 1.4 | --  |
|          | SWAN 模式 | 0.9 | 1.0 |
|          | WAM 模式  | 0.9 | 0.9 |

單位：m

**表 5-5 2013 年安平港與高雄港預報及觀測風浪示性波高最大值  
(方向、週期)統計表**

| 2013 年月份 | 資料來源    | 安平港           | 高雄港           |
|----------|---------|---------------|---------------|
| 1        | OBS     | 1.1 (WNW, 1s) | 1.4 (WNW, 4s) |
|          | SWAN 模式 | 1.4 (NNW, 3s) | 1.4 (NW, 3s)  |
|          | WAM 模式  | 1.8 (N, 6s)   | 1.2 (N, 5s)   |
| 2        | OBS     | 1.4 (S, 4s)   | 1.4 (SSE, 3s) |
|          | SWAN 模式 | 1.3 (NNW, 3s) | 1.2 (NW, 4s)  |
|          | WAM 模式  | 1.5 (N, 7s)   | 0.9 (ESE, 4s) |
| 3        | OBS     | 1.2 (SSW, 4s) | 1.3 (SSE, 3s) |
|          | SWAN 模式 | 1.2 (NW, 3s)  | 1.0 (NW, 3s)  |
|          | WAM 模式  | 1.8 (N, 7s)   | 0.9 (NNW, 5s) |
| 6        | OBS     | 2.5 (S, 4s)   | --            |
|          | SWAN 模式 | 1.5 (SW, 4s)  | 1.7 (SW, 4s)  |
|          | WAM 模式  | 2.2 (SW, 7s)  | 2.1 (SW, 7s)  |
| 7        | OBS     | 3.0 (WSW, 7s) | --            |
|          | SWAN 模式 | 2.0 (SW, 7s)  | 2.1 (W, 6s)   |
|          | WAM 模式  | 1.8 (WSW, 6s) | 1.6 (WSW, 6s) |
| 8        | OBS     | 4.3 (SW, 8s)  | --            |
|          | SWAN 模式 | 2.4 (SW, 8s)  | 2.5 (SW, 8s)  |
|          | WAM 模式  | 2.5 (SSW, 8s) | 2.5 (SSW, 8s) |

單位：m

**表 5-6 2013 年安平港與高雄港預報及觀測風浪示性週期平均值統計表**

| 2013 年月份 | 資料來源    | 安平港 | 高雄港 |
|----------|---------|-----|-----|
| 1        | OBS     | 3   | 3   |
|          | SWAN 模式 | 2   | 3   |
|          | WAM 模式  | 5   | 4   |
| 2        | OBS     | 3   | 3   |
|          | SWAN 模式 | 2   | 3   |
|          | WAM 模式  | 5   | 4   |
| 3        | OBS     | 2   | 3   |
|          | SWAN 模式 | 2   | 2   |
|          | WAM 模式  | 5   | 4   |
| 6        | OBS     | 4   | --  |
|          | SWAN 模式 | 3   | 3   |
|          | WAM 模式  | 5   | 5   |
| 7        | OBS     | 6   | --  |
|          | SWAN 模式 | 4   | 5   |
|          | WAM 模式  | 6   | 6   |
| 8        | OBS     | 8   | --  |
|          | SWAN 模式 | 6   | 6   |
|          | WAM 模式  | 7   | 7   |

單位：sec

**表 5-7 2013 年安平港與高雄港預報及觀測風浪示性週期最大值  
(方向、波高)統計表**

| 2013 年月份 | 資料來源    | 安平港            | 高雄港            |
|----------|---------|----------------|----------------|
| 1        | OBS     | 5 (WNW, 0.6m)  | 5 (SW, 0.7m)   |
|          | SWAN 模式 | 3 (NNW, 1.4m)  | 3 (NW, 1.1m)   |
|          | WAM 模式  | 6 (N, 1.4m)    | 5 (SE, 0.4m)   |
| 2        | OBS     | 5 (W, 0.6m)    | 5 (S, 0.7m)    |
|          | SWAN 模式 | 3 (S, 0.4m)    | 3 (NW, 1.0m)   |
|          | WAM 模式  | 7 (N, 1.4m)    | 6 (NNW, 0.5m)  |
| 3        | OBS     | 4 (S, 0.4m)    | 5 (SSW, 0.3m)  |
|          | SWAN 模式 | 3 (NW, 1.2m)   | 3 (WNW, 1.0m)  |
|          | WAM 模式  | 7 (N, 1.7m)    | 6 (NNW, 0.6m)  |
| 6        | OBS     | 6 (SW, 2.2m)   | --             |
|          | SWAN 模式 | 4 (SW, 1.2m)   | 4 (SW, 1.4m)   |
|          | WAM 模式  | 7 (SW, 1.7m)   | 7 (SW, 1.7m)   |
| 7        | OBS     | 11 (S, 0.6m)   | --             |
|          | SWAN 模式 | 7 (S, 1.0m)    | 6 (SW, 2.0m)   |
|          | WAM 模式  | 8 (SE, 0.6m)   | 8 (SE, 0.8m)   |
| 8        | OBS     | 13 (SSW, 0.5m) | --             |
|          | SWAN 模式 | 11 (SSW, 1.8m) | 11 (SSW, 2.1m) |
|          | WAM 模式  | 10 (S, 1.1m)   | 10 (S, 1.1m)   |

單位：sec

**表 5-8 2013 年安平港與高雄港預報及觀測風浪主要波高(百分比)  
統計表**

| 2013 年月份 | 資料來源    | 安平港          | 高雄港          |
|----------|---------|--------------|--------------|
| 1        | OBS     | 0.5~1m (68%) | 0.5~1m (90%) |
|          | SWAN 模式 | <0.5m (49%)  | <0.5m (49%)  |
|          | WAM 模式  | 0.5~1m (57%) | <0.5m (60%)  |
| 2        | OBS     | 0.5~1m (64%) | 0.5~1m (80%) |
|          | SWAN 模式 | <0.5m (53%)  | <0.5m (50%)  |
|          | WAM 模式  | 0.5~1m (56%) | <0.5m (50%)  |
| 3        | OBS     | <0.5m (61%)  | 0.5~1m (69%) |
|          | SWAN 模式 | <0.5m (72%)  | <0.5m (71%)  |
|          | WAM 模式  | <0.5m (48%)  | <0.5m (73%)  |
| 6        | OBS     | 0.5~1m (48%) | --           |
|          | SWAN 模式 | <0.5m (44%)  | 0.5~1m (47%) |
|          | WAM 模式  | 0.5~1m (38%) | 0.5~1m (38%) |
| 7        | OBS     | 0.5~1m (48%) | --           |
|          | SWAN 模式 | 0.5~1m (48%) | 0.5~1m (51%) |
|          | WAM 模式  | 0.5~1m (72%) | 0.5~1m (70%) |
| 8        | OBS     | 1~5m (55%)   | --           |
|          | SWAN 模式 | 0.5~1m (52%) | 1~5m (42%)   |
|          | WAM 模式  | 0.5~1m (51%) | 0.5~1m (43%) |



**表 5-9 2013 年安平港與高雄港預報及觀測風浪主要週期(百分比)**  
**統計表**

| 2013 年月份 | 資料來源    | 安平港         | 高雄港        |
|----------|---------|-------------|------------|
| 1        | OBS     | <6s (99%)   | <6s (99%)  |
|          | SWAN 模式 | <6s (99%)   | <6s (99%)  |
|          | WAM 模式  | <6s (90%)   | <6s (99%)  |
| 2        | OBS     | <6s (99%)   | <6s (99%)  |
|          | SWAN 模式 | <6s (99%)   | <6s (99%)  |
|          | WAM 模式  | <6s (87%)   | <6s (98%)  |
| 3        | OBS     | <6s (99%)   | <6s (99%)  |
|          | SWAN 模式 | <6s (99%)   | <6s (99%)  |
|          | WAM 模式  | <6s (86%)   | <6s (99%)  |
| 6        | OBS     | <6s (97%)   | --         |
|          | SWAN 模式 | <6s (99%)   | <6s (99%)  |
|          | WAM 模式  | <6s (88%)   | <6s (87%)  |
| 7        | OBS     | <6s (44%)   | --         |
|          | SWAN 模式 | <6s (83%)   | <6s (80%)  |
|          | WAM 模式  | <6s (50%)   | 6~8s (50%) |
| 8        | OBS     | 8~10s (48%) | --         |
|          | SWAN 模式 | <6s (55%)   | <6s (49%)  |
|          | WAM 模式  | 6~8s (58%)  | 6~8s (59%) |

**表 5-10 2013 年安平港與高雄港預報及觀測風浪主要波向(百分比)**  
**統計表**

| 2013 年月份 | 資料來源    | 安平港       | 高雄港       |
|----------|---------|-----------|-----------|
| 1        | OBS     | W~N (82%) | W~N (59%) |
|          | SWAN 模式 | W~N (81%) | W~N (68%) |
|          | WAM 模式  | N~E (74%) | N~E (46%) |
| 2        | OBS     | W~N (63%) | W~N (44%) |
|          | SWAN 模式 | W~N (67%) | W~N (52%) |
|          | WAM 模式  | N~E (57%) | E~S (59%) |
| 3        | OBS     | W~N (53%) | W~N (51%) |
|          | SWAN 模式 | W~N (51%) | W~N (44%) |
|          | WAM 模式  | N~E (47%) | E~S (50%) |
| 6        | OBS     | S~W (83%) | --        |
|          | SWAN 模式 | S~W (83%) | S~W (71%) |
|          | WAM 模式  | S~W (73%) | S~W (79%) |
| 7        | OBS     | S~W (83%) | --        |
|          | SWAN 模式 | S~W (87%) | S~W (48%) |
|          | WAM 模式  | S~W (73%) | S~W (66%) |
| 8        | OBS     | S~W (92%) | --        |
|          | SWAN 模式 | S~W (87%) | S~W (76%) |
|          | WAM 模式  | S~W (86%) | S~W (80%) |

### 5.3 水位模擬成果評估

目前已作業化的小尺度水動力模式包括基隆港及臺北港水動力模式，本節針對此二港今年度水位模擬作業化成果進行評估說明。冬季季風期間基隆港模式預報水位標準偏差最小為 0.10 m，最大偏差為 -0.91 m；夏季季風期間模式預報水位標準偏差最小為 0.09 m，最大偏差為 -0.30 m。臺北港冬季季風期間模式預報水位標準偏差最小為 0.21 m，最大偏差為 -1.15 m。

表 5-11 2013 年基隆及臺北港觀測 1 站及小尺度預報水位偏差統計表

| 2013 年月份 | 方法   | 基隆港  | 臺北港     |
|----------|------|------|---------|
| 1        | 平均偏差 | -.02 | -.02    |
|          | 標準偏差 | .27  | .21     |
|          | 最大偏差 | -.91 | .42     |
| 2        | 平均偏差 | .00  | --      |
|          | 標準偏差 | .10  | --      |
|          | 最大偏差 | .27  | --      |
| 3        | 平均偏差 | .00  | -.03    |
|          | 標準偏差 | .12  | .47     |
|          | 最大偏差 | .39  | -1.15   |
| 6        | 平均偏差 | .00  | .00     |
|          | 標準偏差 | .10  | (1.09)  |
|          | 最大偏差 | -.30 | (-2.57) |
| 7        | 平均偏差 | .00  | .00     |
|          | 標準偏差 | .09  | (1.61)  |
|          | 最大偏差 | .25  | (-3.22) |
| 8        | 平均偏差 | .00  | .00     |
|          | 標準偏差 | .09  | (4.24)  |
|          | 最大偏差 | .29  | (-9.72) |

[註]：偏差 = 預報值 - 觀測值

單位：m

## 5.4 流場模擬成果評估

潮流模擬亦針對已作業化之小尺度基隆港及臺北港水動力模式進行流場模擬成果評估說明。今年度冬季季風及夏季季風期間基隆港與臺北港觀測及小尺度預報流速與流向偏差統計分別如表 5-12 與表 5-13 所示。冬季季風期間基隆港模式預報流速標準偏差最小為 20.0 cm/s，最大偏差為-96.0 cm/s，平均比值為 0.8；夏季季風期間模式預報流速標準偏差最小為 14.9 cm/s，最大偏差為-81.4 cm/s，平均比值介於 1.0~1.3 之間。臺北港冬季季風期間模式預報流速標準偏差最小為 21.5 cm/s，最大偏差為-58.4 cm/s，平均比值為 0.9；夏季季風期間模式預報流速標準偏差最小為 22.4 cm/s，最大偏差為-101.5 cm/s。

基隆港冬季季風期間模式預報流向標準偏差最小為 74.4 度，最大偏差為 179.9 度；夏季季風期間模式預報流向標準偏差最小為 69.8 度，最大偏差為 180 度。臺北港冬季季風期間模式預報流向標準偏差最小為 29.6 度，最大偏差為 179.9 度；臺北港夏季季風期間模式預報流向標準偏差最小為 11.0 度，最大偏差為 179.9 度。

表 5-12 2013 年基隆及臺北港觀測及小尺度預報流速偏差統計表

| 2013 年月份 | 方法   | 基隆港   | 臺北港    |
|----------|------|-------|--------|
| 1        | 平均偏差 | -13.3 | -12.8  |
|          | 標準偏差 | 21.4  | 22.6   |
|          | 最大偏差 | -81.4 | -58.4  |
|          | 平均比值 | .8    | .9     |
| 2        | 平均偏差 | -13.5 | -15.7  |
|          | 標準偏差 | 21.2  | 24.2   |
|          | 最大偏差 | -69.3 | -51.9  |
|          | 平均比值 | .8    | .9     |
| 3        | 平均偏差 | -12.7 | -13.2  |
|          | 標準偏差 | 20.0  | 21.5   |
|          | 最大偏差 | -96.0 | -54.1  |
|          | 平均比值 | .8    | .9     |
| 6        | 平均偏差 | -7.8  | -15.3  |
|          | 標準偏差 | 16.6  | 33.0   |
|          | 最大偏差 | -62.2 | -101.5 |
|          | 平均比值 | 1.0   | 1.1    |
| 7        | 平均偏差 | -4.0  | -10.5  |
|          | 標準偏差 | 14.9  | 43.8   |
|          | 最大偏差 | -81.4 | -53.1  |
|          | 平均比值 | 1.3   | 2.0    |
| 8        | 平均偏差 | -5.9  | -12.9  |
|          | 標準偏差 | 15.5  | 22.4   |
|          | 最大偏差 | -60.4 | -89.4  |
|          | 平均比值 | 1.1   | .9     |

[註]：偏差 = 預報值 - 觀測值

單位：cm/sec

**表 5-13 2013 年基隆及臺北港觀測及小尺度預報流向偏差統計表**

| 2013 年月份 | 方法   | 基隆港   | 臺北港   |
|----------|------|-------|-------|
| 1        | 平均偏差 | 53.7  | 35.0  |
|          | 標準偏差 | 77.5  | 54.1  |
|          | 最大偏差 | 179.9 | 176.6 |
| 2        | 平均偏差 | 51.2  | 16.3  |
|          | 標準偏差 | 74.4  | 29.6  |
|          | 最大偏差 | 179.8 | 113.4 |
| 3        | 平均偏差 | 50.7  | 21.8  |
|          | 標準偏差 | 74.5  | 45.4  |
|          | 最大偏差 | 179.7 | 179.9 |
| 6        | 平均偏差 | 52.1  | 41.2  |
|          | 標準偏差 | 69.8  | 63.9  |
|          | 最大偏差 | 179.9 | 179.9 |
| 7        | 平均偏差 | 63.1  | 10.3  |
|          | 標準偏差 | 77.6  | 11.0  |
|          | 最大偏差 | 180.0 | 14.3  |
| 8        | 平均偏差 | 56.1  | 27.9  |
|          | 標準偏差 | 73.4  | 50.3  |
|          | 最大偏差 | 179.8 | 179.5 |

[註]：偏差 = 預報值 - 觀測值

偏差大小範圍為 0-180 度

單位：度

## 5.5 颱風時期模擬成果評估

本年度至 9 月底止計有 5 個颱風侵襲臺灣本島或附近海域，分別為蘇力、西馬隆、潭美、康芮及天兔，其侵臺路徑分別如圖 5.1 至圖 5.2 所示。每個颱風影響時期預報風浪、潮位及流場與觀測資料之時序列比較圖蒐錄於附錄十。統計每個颱風時期風浪、潮位及流場之模式預報與觀測值之間的各種偏差如表 5-14 至表 5-22 所示。由於此期間高雄港波浪及海流皆無觀測資料，故僅有水位觀測資料可供評估。由統計結果得知，SWAN 模式在安平港的示性波高預報以西馬隆颱風時期的標準偏差最小，為 0.43 m，平均比值為 0.87，最大偏差發生在潭美颱風時期，為 -3.51 m，此時期之標準偏差亦最大為 1.07 m。SWAN 模式預報波向則以潭美颱風時期標準偏差最小，為 22.6 度，而以西馬隆颱風時期的標準偏差與最大偏差最大，分別為 35.5 度與 111.1 度。示性週期則以蘇力颱風時期標準偏差最小，為 0.6 sec，平均比值為 1.0。WAM 模式預報安平港示性波高以西馬隆颱風時期的標準偏差最小，為 0.47 m；預報波向則以康芮颱風時期的標準偏差 29.2 度為最小；預報示性週期亦以西馬隆颱風時期的標準偏差 1.0 sec 為最小，平均比值為 1.0。

由於安平港及高雄港小尺度水動力模式尚未作業化，因此以中尺度水動力模式作業化預報成果做說明。模式預報水位在安平港以康芮颱風時期的標準偏差 0.13 m 為最小，此期間最大偏差為 -0.22 m；模式預報水位在高雄港亦以康芮颱風時期的標準偏差 0.05 m 為最小，此期間最大偏差僅 0.11 m。安平港模式預報流速以西馬隆颱風時期的標準偏差 11.1 cm/sec 為最小，此時期最大偏差為 22.2 cm/sec；安平港模式預報流向以潭美颱風時期的標準偏差 58.2 度為最小，康芮颱風時期的標準偏差 81.4 度為最大。

表 5-14 2013 年颱風期間安平港與高雄港觀測及 SWAN 預報示性波高  
各種偏差統計表

| 颱風名稱 | 方法   | 安平港   | 高雄港 |
|------|------|-------|-----|
| 蘇力   | 平均偏差 | -.09  | --  |
|      | 標準偏差 | .60   | --  |
|      | 最大偏差 | -1.55 | --  |
|      | 平均比值 | 1.17  | --  |
| 西馬隆  | 平均偏差 | -.24  | --  |
|      | 標準偏差 | .43   | --  |
|      | 最大偏差 | -1.06 | --  |
|      | 平均比值 | .87   | --  |
| 潭美   | 平均偏差 | -.62  | --  |
|      | 標準偏差 | 1.07  | --  |
|      | 最大偏差 | -3.51 | --  |
|      | 平均比值 | .76   | --  |
| 康芮   | 平均偏差 | -.40  | --  |
|      | 標準偏差 | .69   | --  |
|      | 最大偏差 | -2.08 | --  |
|      | 平均比值 | .78   | --  |
| 天兔   | 平均偏差 | .10   | --  |
|      | 標準偏差 | .99   | --  |
|      | 最大偏差 | 2.60  | --  |
|      | 平均比值 | 1.42  | --  |

[註]：偏差 = 預報值 - 觀測值

比值 = 預報值 / 觀測值

單位：m

表 5-15 2013 年颱風期間安平港與高雄港觀測及 SWAN 預報波向各種  
偏差統計表

| 颱風名稱 | 方法   | 安平港   | 高雄港 |
|------|------|-------|-----|
| 蘇力   | 平均偏差 | 24.5  | --  |
|      | 標準偏差 | 29.8  | --  |
|      | 最大偏差 | 85.5  | --  |
| 西馬隆  | 平均偏差 | 23.6  | --  |
|      | 標準偏差 | 35.5  | --  |
|      | 最大偏差 | 111.1 | --  |
| 潭美   | 平均偏差 | 18.9  | --  |
|      | 標準偏差 | 22.6  | --  |
|      | 最大偏差 | 39.6  | --  |
| 康芮   | 平均偏差 | 19.0  | --  |
|      | 標準偏差 | 22.9  | --  |
|      | 最大偏差 | 57.9  | --  |
| 天兔   | 平均偏差 | 26.7  | --  |
|      | 標準偏差 | 34.7  | --  |
|      | 最大偏差 | 104.9 | --  |

[註]：偏差 = 預報值 - 觀測值

偏差大小範圍為 0-180 度

單位：度



表 5-16 2013 年颱風期間安平港與高雄港觀測及 SWAN 預報示性週期  
各種偏差統計表

| 颱風名稱 | 方法   | 安平港  | 高雄港 |
|------|------|------|-----|
| 蘇力   | 平均偏差 | -.1  | --  |
|      | 標準偏差 | .6   | --  |
|      | 最大偏差 | -2.0 | --  |
|      | 平均比值 | 1.0  | --  |
| 西馬隆  | 平均偏差 | -1.6 | --  |
|      | 標準偏差 | 1.7  | --  |
|      | 最大偏差 | -2.6 | --  |
|      | 平均比值 | .7   | --  |
| 潭美   | 平均偏差 | -2.0 | --  |
|      | 標準偏差 | 2.5  | --  |
|      | 最大偏差 | -5.5 | --  |
|      | 平均比值 | .8   | --  |
| 康芮   | 平均偏差 | -2.8 | --  |
|      | 標準偏差 | 3.0  | --  |
|      | 最大偏差 | -5.0 | --  |
|      | 平均比值 | .6   | --  |
| 天兔   | 平均偏差 | -3.2 | --  |
|      | 標準偏差 | 3.6  | --  |
|      | 最大偏差 | -5.7 | --  |
|      | 平均比值 | .6   | --  |

[註]：偏差 = 預報值 - 觀測值

比值 = 預報值 / 觀測值

單位：s

表 5-17 2013 年颱風期間安平港與高雄港觀測及 WAM 預報示性波高  
各種偏差統計表

| 颱風名稱 | 方法   | 安平港   | 高雄港 |
|------|------|-------|-----|
| 蘇力   | 平均偏差 | -.40  | --  |
|      | 標準偏差 | .55   | --  |
|      | 最大偏差 | -1.25 | --  |
|      | 平均比值 | .70   | --  |
| 西馬隆  | 平均偏差 | -.37  | --  |
|      | 標準偏差 | .47   | --  |
|      | 最大偏差 | -.99  | --  |
|      | 平均比值 | .66   | --  |
| 潭美   | 平均偏差 | -.54  | --  |
|      | 標準偏差 | .95   | --  |
|      | 最大偏差 | -2.22 | --  |
|      | 平均比值 | .83   | --  |
| 康芮   | 平均偏差 | -.73  | --  |
|      | 標準偏差 | 1.04  | --  |
|      | 最大偏差 | -2.70 | --  |
|      | 平均比值 | .56   | --  |
| 天兔   | 平均偏差 | .96   | --  |
|      | 標準偏差 | 2.06  | --  |
|      | 最大偏差 | 4.58  | --  |
|      | 平均比值 | 2.47  | --  |

[註]：偏差 = 預報值 - 觀測值

比值 = 預報值 / 觀測值

單位：m

表 5-18 2013 年颱風期間安平港與高雄港觀測及 WAM 預報波向各種  
偏差統計表

| 颱風名稱 | 方法   | 安平港   | 高雄港 |
|------|------|-------|-----|
| 蘇力   | 平均偏差 | 26.0  | --  |
|      | 標準偏差 | 35.3  | --  |
|      | 最大偏差 | 101.7 | --  |
| 西馬隆  | 平均偏差 | 56.2  | --  |
|      | 標準偏差 | 60.1  | --  |
|      | 最大偏差 | 113.8 | --  |
| 潭美   | 平均偏差 | 33.3  | --  |
|      | 標準偏差 | 35.5  | --  |
|      | 最大偏差 | 54.2  | --  |
| 康芮   | 平均偏差 | 26.8  | --  |
|      | 標準偏差 | 29.2  | --  |
|      | 最大偏差 | 61.5  | --  |
| 天兔   | 平均偏差 | 97.4  | --  |
|      | 標準偏差 | 100.5 | --  |
|      | 最大偏差 | 176.6 | --  |

[註]：偏差 = 預報值 - 觀測值

偏差大小範圍為 0-180 度

單位：度

表 5-19 2013 年颱風期間安平港與高雄港觀測及 WAM 預報示性週期  
各種偏差統計表

| 颱風名稱 | 方法   | 安平港  | 高雄港 |
|------|------|------|-----|
| 蘇力   | 平均偏差 | .9   | --  |
|      | 標準偏差 | 1.1  | --  |
|      | 最大偏差 | 2.5  | --  |
|      | 平均比值 | 1.3  | --  |
| 西馬隆  | 平均偏差 | .3   | --  |
|      | 標準偏差 | 1.0  | --  |
|      | 最大偏差 | 1.8  | --  |
|      | 平均比值 | 1.1  | --  |
| 潭美   | 平均偏差 | -.7  | --  |
|      | 標準偏差 | 1.1  | --  |
|      | 最大偏差 | -2.2 | --  |
|      | 平均比值 | .9   | --  |
| 康芮   | 平均偏差 | -1.0 | --  |
|      | 標準偏差 | 1.2  | --  |
|      | 最大偏差 | -2.2 | --  |
|      | 平均比值 | .9   | --  |
| 天兔   | 平均偏差 | -1.4 | --  |
|      | 標準偏差 | 2.0  | --  |
|      | 最大偏差 | -4.7 | --  |
|      | 平均比值 | .9   | --  |

[註]：偏差 = 預報值 - 觀測值

比值 = 預報值 / 觀測值

單位：s

表 5-20 2013 年颱風期間安平港與高雄港觀測 1 站及中尺度預報水位  
偏差統計表

| 颱風名稱 | 方法   | 安平港  | 高雄港 |
|------|------|------|-----|
| 蘇力   | 平均偏差 | .04  | .04 |
|      | 標準偏差 | .16  | .12 |
|      | 最大偏差 | .34  | .26 |
| 西馬隆  | 平均偏差 | .01  | .02 |
|      | 標準偏差 | .15  | .07 |
|      | 最大偏差 | -.27 | .16 |
| 潭美   | 平均偏差 | .08  | .09 |
|      | 標準偏差 | .19  | .13 |
|      | 最大偏差 | .40  | .30 |
| 康芮   | 平均偏差 | .02  | .01 |
|      | 標準偏差 | .13  | .05 |
|      | 最大偏差 | -.22 | .11 |
| 天兔   | 平均偏差 | .13  | .11 |
|      | 標準偏差 | .22  | .16 |
|      | 最大偏差 | .46  | .38 |

[註]：偏差 = 預報值 - 觀測值

單位：m

表 5-21 2013 年颱風期間安平港與高雄港觀測及中尺度預報流速偏差  
統計表

| 颱風名稱 | 方法   | 安平港    | 高雄港 |
|------|------|--------|-----|
| 蘇力   | 平均偏差 | -9.2   | --  |
|      | 標準偏差 | 21.1   | --  |
|      | 最大偏差 | -73.4  | --  |
|      | 平均比值 | .9     | --  |
| 西馬隆  | 平均偏差 | 3.2    | --  |
|      | 標準偏差 | 11.1   | --  |
|      | 最大偏差 | 22.2   | --  |
|      | 平均比值 | 2.0    | --  |
| 潭美   | 平均偏差 | -4.8   | --  |
|      | 標準偏差 | 23.3   | --  |
|      | 最大偏差 | -66.0  | --  |
|      | 平均比值 | 1.4    | --  |
| 康芮   | 平均偏差 | -8.1   | --  |
|      | 標準偏差 | 24.3   | --  |
|      | 最大偏差 | -65.3  | --  |
|      | 平均比值 | 1.5    | --  |
| 天兔   | 平均偏差 | -4.2   | --  |
|      | 標準偏差 | 34.6   | --  |
|      | 最大偏差 | -122.7 | --  |
|      | 平均比值 | 1.6    | --  |

[註]：偏差 = 預報值 - 觀測值

比值 = 預報值 / 觀測值

單位：cm/s

表 5-22 2013 年颱風期間安平港與高雄港觀測及中尺度預報流向偏差  
統計表

| 颱風名稱 | 方法   | 安平港   | 高雄港 |
|------|------|-------|-----|
| 蘇力   | 平均偏差 | 47.3  | --  |
|      | 標準偏差 | 60.8  | --  |
|      | 最大偏差 | 151.1 | --  |
| 西馬隆  | 平均偏差 | 54.8  | --  |
|      | 標準偏差 | 77.7  | --  |
|      | 最大偏差 | 164.6 | --  |
| 潭美   | 平均偏差 | 40.1  | --  |
|      | 標準偏差 | 58.2  | --  |
|      | 最大偏差 | 179.9 | --  |
| 康芮   | 平均偏差 | 61.7  | --  |
|      | 標準偏差 | 81.4  | --  |
|      | 最大偏差 | 160.0 | --  |
| 天兔   | 平均偏差 | 49.7  | --  |
|      | 標準偏差 | 69.3  | --  |
|      | 最大偏差 | 174.1 | --  |

[註]：偏差 = 預報值 - 觀測值

偏差大小範圍為 0-180 度

單位：度

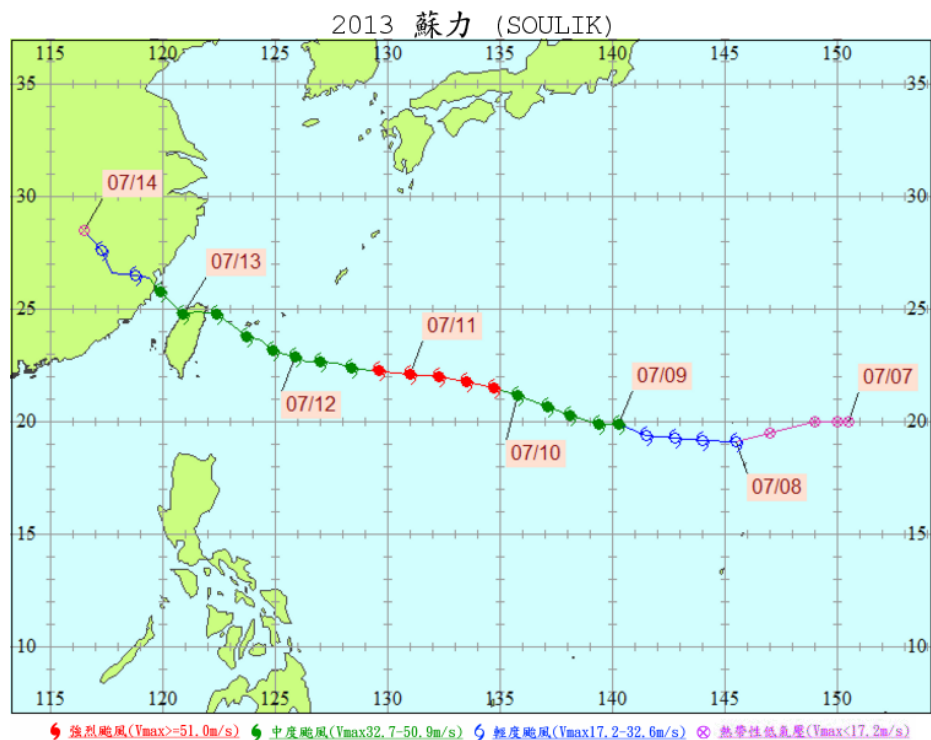


圖 5.1 2013 年中度颱風蘇力侵臺路徑圖

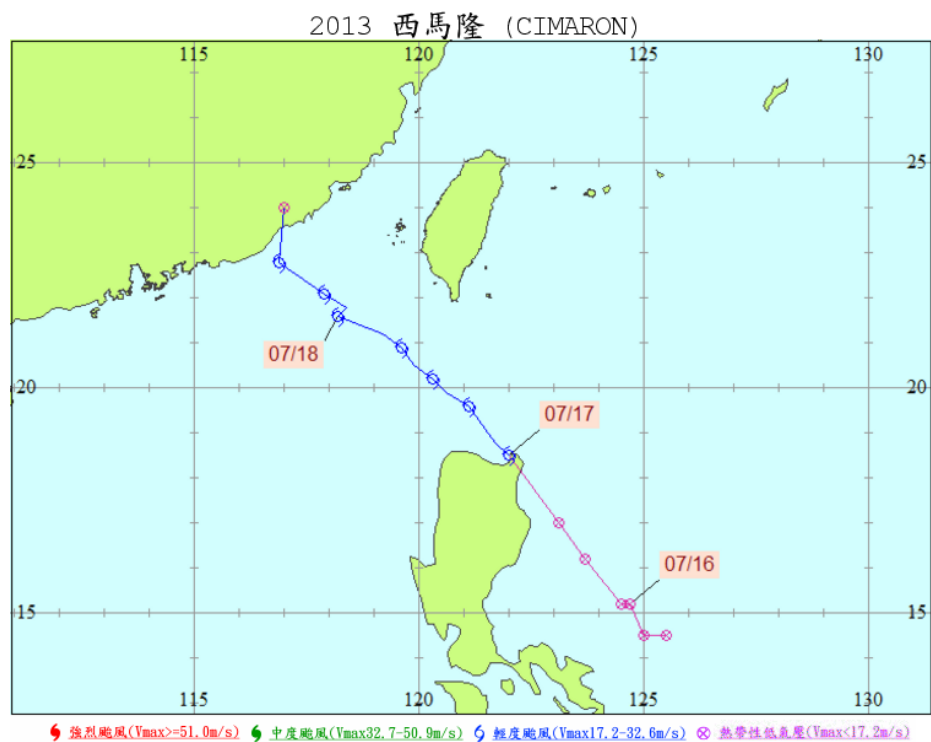


圖 5.2 2013 年輕度颱風西馬隆侵臺路徑圖



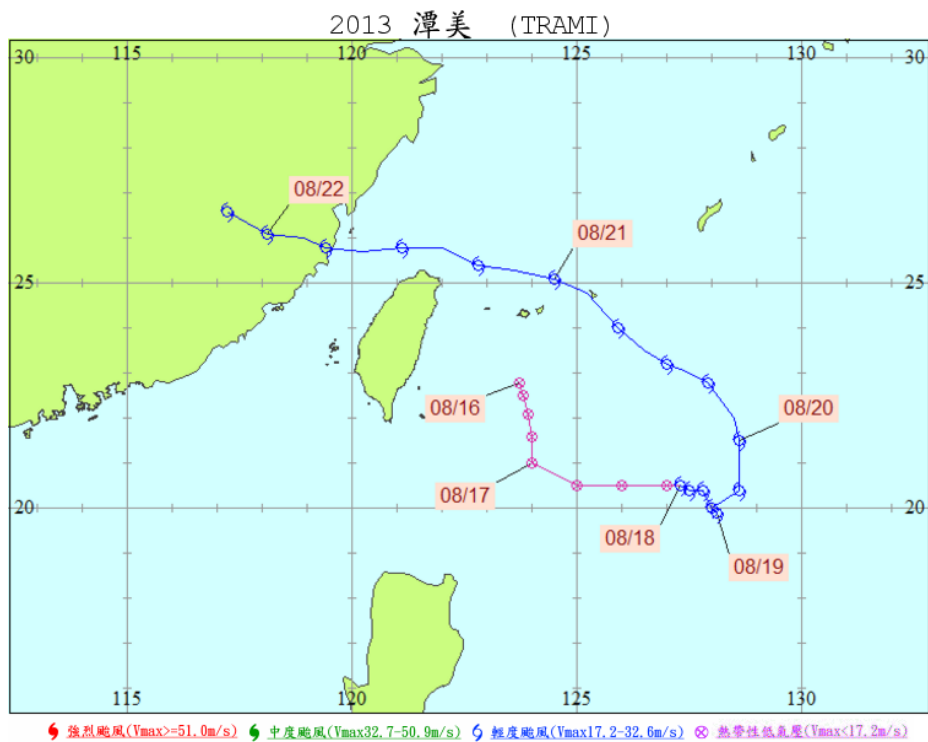


圖 5.3 2013 年輕度颱風潭美侵臺路徑圖

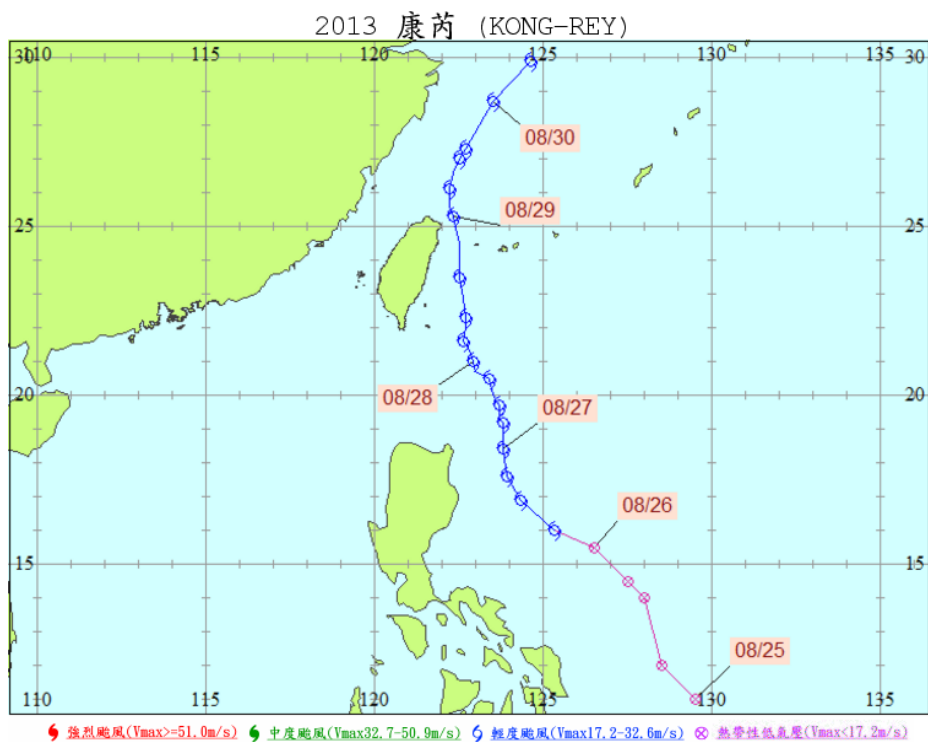


圖 5.4 2013 年輕度颱風康芮侵臺路徑圖

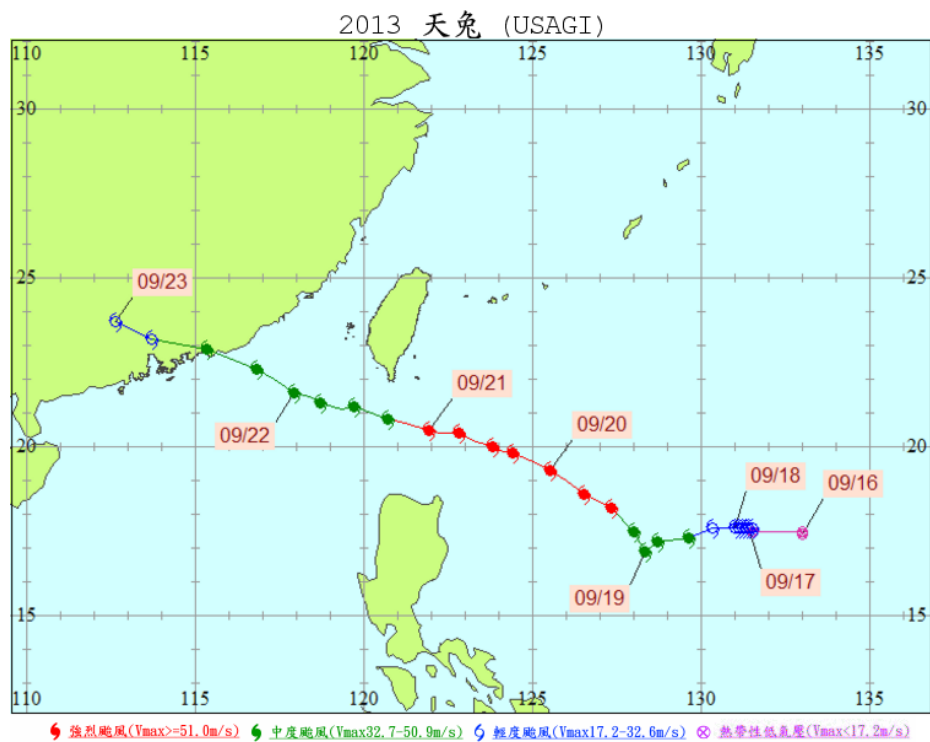


圖 5.5 2013 年強烈颱風天兔侵臺路徑圖

## 第六章 結論與建議

本年度計畫為「提昇海岸及港灣海域海象模擬技術之研究」二年期合作計畫之第一年，本計畫以提昇臺灣周圍海岸及港灣海域海象(波浪、水位及海流)模擬技術為研究目的。本年度計畫以安平港區及高雄港區為研究對象，進行包括波浪、水位及流場等海象模擬研究。依據本報告研究及工作成果綜整得到下列結論及建議事項：

### 6.1 結論

1. 在基本資料蒐集方面，本計畫蒐集安平港區及高雄港區 2012 年水深調查資料、2008 年~2012 年潮位觀測資料以及 2012 年海流、波浪及風速風向等觀測資料，提供本計畫相關海象模擬資料更新及驗證之需。另外，在作業化系統之數值預報風壓場資料方面，除了持續接收 NFS 風壓場資料外，亦同時接收 WRF 風壓場資料進行作業化系統數值預報風壓場資料更新相關研究工作。
2. 在風浪作業化模擬方面，本計畫大尺度西太平洋範圍風浪模組具體改善內容包括：在作業化模擬流程修正使其更能符合 TaiCOMS 之設計規劃預報流程；在模擬技術成果方面包括風場資料更新(如以 MC 風場取代 RC 風場)以及風浪模擬結果之波向、週期及波高等呈現均有實質改善成效；在風浪模擬資訊提供方面除了原七大商港外，增加布袋港及澎湖、金門及馬祖等離島海域風浪模擬資訊至港灣資訊網供外界查詢等；此外，本計畫亦配合港灣技術研究中心硬體設備更新，針對中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組採行多核心平行化處理，顯著提昇中尺度網格風浪模擬效率，縮短 72 小時模擬預報時間。
3. 在港區小尺度及細尺度網格波浪模擬研究上，本計畫除了針對安平港及高雄港小尺度網格波浪場模擬進行必要的資料更新研究外，更針對安平港進行細尺度網格改善研究，使其能符合現況同時模擬安平港與安平漁港水域之波浪場。

4. 在臺灣周圍海域暴潮模組建置研究方面，本年度分別針對天文潮引起的水位變化及含氣象潮效應之天文潮水位變化進行模擬結果驗證與分析；其中天文潮水位變化模擬結果均能夠與高雄港及安平港潮位變化相符，證明中尺度有限元素網格之水位模擬結果能符合計畫需求；另在氣象潮水位變化分析結果得知，氣象潮水位變化趨勢與氣壓差值變化趨勢具有高度相關性，但二者相關性之決定係數值約為 0.45，顯示模式模擬結果而言風場效應引起的水位變化亦居重要的影響地位。
5. 在小尺度網格水動力模組研究上，本計畫分別針對安平港區近岸水動力模組及高雄港區近岸水動力模組進行必要的更新研究，內容除了針對模式主要的物理參數率定外，同時對開放邊界之水位資料改採用中尺度有限元素網格天文潮水位模擬結果進行小尺度有限元素網格水位及流場模擬；經由模擬結果驗證得知，安平港小尺度有限元素網格水位及流場模擬結果具有顯著改善成效，但高雄港小尺度有限元素網格水位及流場模擬結果則改善成效有限。

## 6.2 建議

1. 本年度新增中央氣象局第四代天氣數值預報系統之 WRF 風壓場資料，除了有助於提昇作業化系統風壓場資料精確性外，在作業化系統資料轉換過程對於可能涉及相關海象模擬模組模擬範圍之修正問題，建議後續研究宜做整體性評估考量。
2. 本年度臺灣周圍海域暴潮模組建置研究雖然已能夠提供較精確的臺灣周圍海域天文潮水位變化模擬值，但對於氣象潮的模擬，特別是颱風期間暴潮模擬，仍有部份模擬技術問題需持續研究改善與驗證。
3. 本年度針對安平港及高雄港小尺度水動力模組開放邊界條件與中尺度有限元素網格水位模擬值進行相銜接研究，初步研究結果僅在安平港水位及流場模擬上具有較顯著改善成效，因此後續仍需針對

其他港域再進行研究，才能進一步評估本計畫臺灣周圍海域暴潮模組模擬結果之應用範圍。

## 參考文獻

1. Battjes, J. A. and Janssen, J. P. F. M., "Energy loss and set-up due to breaking of random waves," *Proc. 16th Int. Conf. Coastal engineering, ASCE*, 569-587 (1978).
2. Booij, N., *Gravity waves on water with non-uniform depth and current*, Report No 81-1, Department of Civil Engineering, Delft Univ. of Technology, Delft, The Netherland (1981).
3. Booij, N., Holthuijsen, L. H. and Ris, R. C., "The "SWAN" wave model for shallow water," *Proc. 25th Int. Conf. Coastal Engng.*, Orlando, 668-676 (1996).
4. Booij, N., Holthuijsen, L. H. and Haagsma, IJ. G., "Comparing the secondgeneration HISWA wave model with the third-generation SWAN wave model," *5<sup>th</sup> International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting*, Melbourne, Florida, 215-222 (1998).
5. Booij, N., Haagsma, J.G., Holthuijsen, L.H., Kieftenburg, A. T. M. M., Ris, R. C., van der Westhuysen, A. J. and Zijlema, M., *SWAN Cycle III version 40.41 USER MANUAL*, Delft University of Technology (2004).
6. Dingemans, M. W., *Water wave propagation over uneven bottoms. Part 1 –linear wave propagation*, Advanced Series on Ocean Engineering, 13, World Scientific, 471p (1997).
7. Hasselmann, K. "On the spectral dissipation of ocean waves due to whitecapping," *Bound.-layer Meteor.*, 6, 1-2, 107-127 (1974).
8. Holthuijsen, L. H., Booij, N., Ris, R., Andorka Gal, J. H. and de Jong, J. C. M., "A verification of the third-generation wave model "SWAN" along the southern North Sea coast," *Proceedings 3rd International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis, WAVES '97, ASCE*, 49-63 (1997).
9. Kirby, J. T., "Rational approximations in the parabolic equation method for water waves," *Coastal Eng.*, Vol. 10, 355-378 (1986).

10. Kirby, J. T. and Dalrymple, R. A., "A parabolic equation for combined refraction- diffraction of Stokes waves by mildly varying topography," *J. Fluid Mech.*, Vol. 136, 219-232 (1983).
11. Komen, G. J., Cavaleri, L., Donelan, M. Hasselmann, K., Hasselmann, S. and Janssen, P. A. E. M., *Dynamics and modeling of Ocean Waves*. Cambridge Univ. Press, Cambridge UK (1994).
12. Liu, P. L.-F., S. Monserrat, M. Marcos, and A. B. Rabinovich, "Coupling between two inlets: Observation and modeling," *J. Geophys. Res.*, 108(C3), 3069, (2003).
13. Mei, C. C., and M. Foda (1979), An analytical theory
14. Mei, C. C., *The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves*, John Wiley, New York (1989).
15. Miles, J. W., "On the generation of surface waves by shear flows," *J. Fluid Mech.*, 3, 185-204 (1957).
16. Phillips, O. M., "On the generation of waves by turbulent wind," *J. Fluid Mech.*, 2, 417-445 (1957).
17. Radder, A. C., "On the parabolic equation method for water-wave propagation," *J. Fluid. Mech.*, Vol. 95, 159-176 (1979).
18. WAMDI group, "The WAM model – a third generation ocean wave prediction model," *J. Phys. Oceanogr.*, 18, 1775-1810 (1988).
19. Whitham, G. B., *Linear and nonlinear waves*, Wiley, New York, 636 p (1974).
20. 李忠潘、陳陽益、邱永芳、許泰文、張憲國、薛憲文、王兆璋、劉景毅、于嘉順、蘇青和、陳冠宇、廖建明、劉正琪、錢維安、許友貞、余孟娟，規劃海象觀測網暴潮數值最佳網格化系統，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，MOTC-IOT-92-H3BB002，中華民國93年3月。
21. 李忠潘、陳陽益、邱永芳、于嘉順、許泰文、王兆璋、張憲國、劉景毅、蘇青和、簡仲璟、薛憲文、廖建明、劉正琪、江朕榮、尤皓正、錢維安、許友貞、莊曜陽，近岸數值模擬系統之建立(I)，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，MOTC-IOT-93-H3DB001，中華民國93年11月。

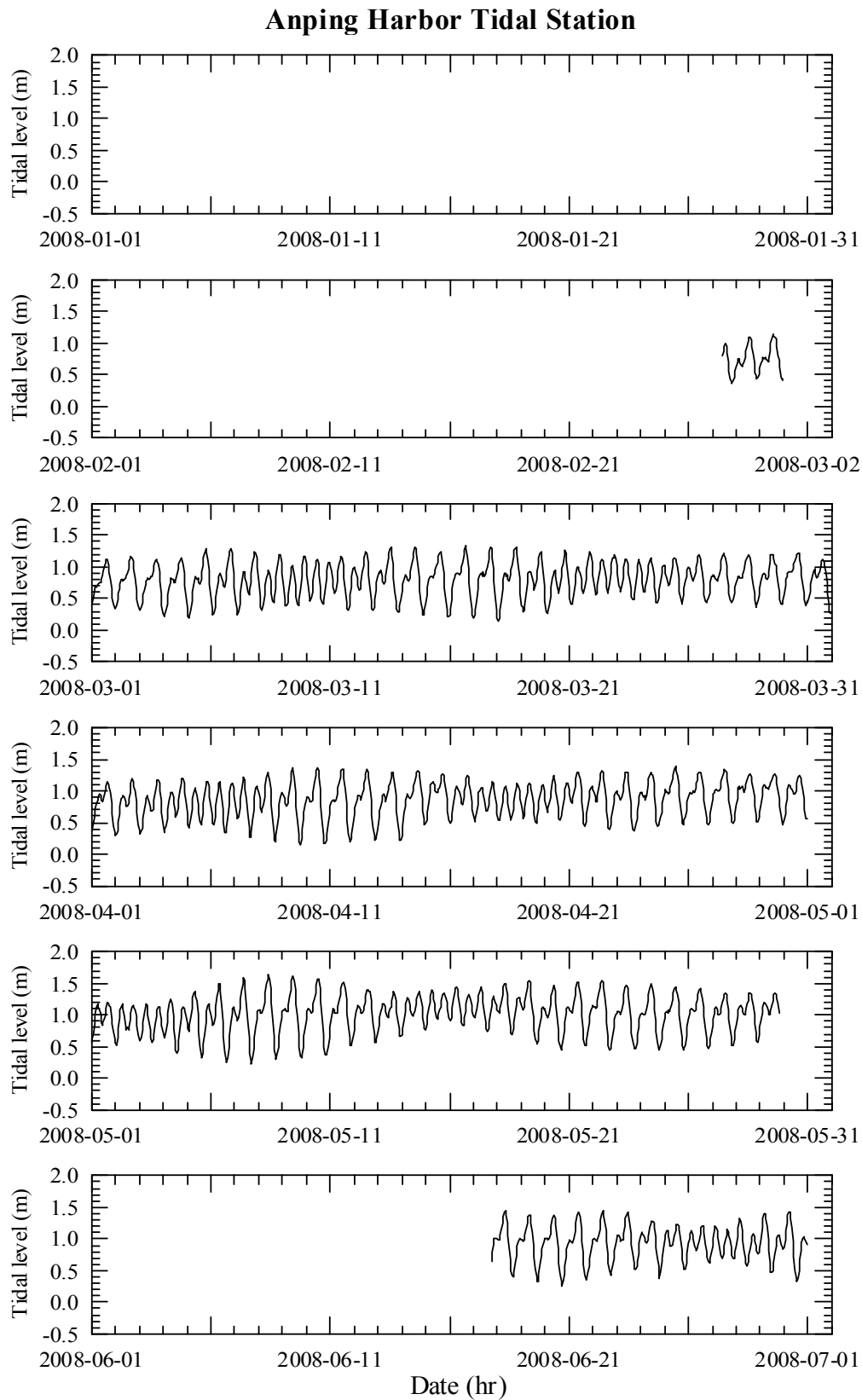
22. 李忠潘、陳陽益、于嘉順、王兆璋、薛憲文、張憲國、林炤圭、劉正琪、許泰文、莊曜陽，近岸數值模擬系統之建立(II)，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，MOTC-IOT-94-H3DB001，中華民國94年11月。
23. 李忠潘、邱永芳、陳陽益、于嘉順、蘇青和、劉正琪、林炤圭、張憲國、王兆璋，近岸數值模擬系統之建立(III)，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，MOTC-IOT-95-H3DB001，中華民國95年11月。
24. 李忠潘、陳陽益、邱永芳、蘇青和、劉正琪、于嘉順、林炤圭、張憲國、薛憲文、王兆璋、陳明宗、李俊穎，近岸海象數值模擬及預警系統之建立(1/4)，交通部運輸研究所，MOTC-IOT-96-H3DB001，中華民國96年12月。
25. 江文山等，“鳳鼻頭漁港及週邊海域地形與波浪調查分析”，高雄市政府海洋局，中華民國97年。
26. 邱永芳、蘇青和、李忠潘、劉正琪、于嘉順、陳陽益、林炤圭、江朕榮、李俊穎、陳明宗，近岸海象數值模擬及預警系統之建立(2/4)，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，MOTC-IOT-97-H3DB001，中華民國98年3月。
27. 三普環境分析股份有限公司，“99年度高雄港洲際貨櫃中心環境監測計畫—海岸地形調查”，交通部高雄港務局，中華民國99年。
28. 林炤圭、劉正琪、邱永芳、蘇青和、陳明宗、李俊穎、林莉鳳，近岸海象數值模擬及預警系統之建立(3/4)-波浪部份，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，MOTC-IOT-98-H3DB001a，中華民國99年5月。
29. 林炤圭、劉正琪、邱永芳、蘇青和、陳明宗、李俊穎、林莉鳳，近岸海象數值模擬及預警系統之建立(4/4)-波浪部份，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，MOTC-IOT-98-H3DB001a，中華民國99年12月。



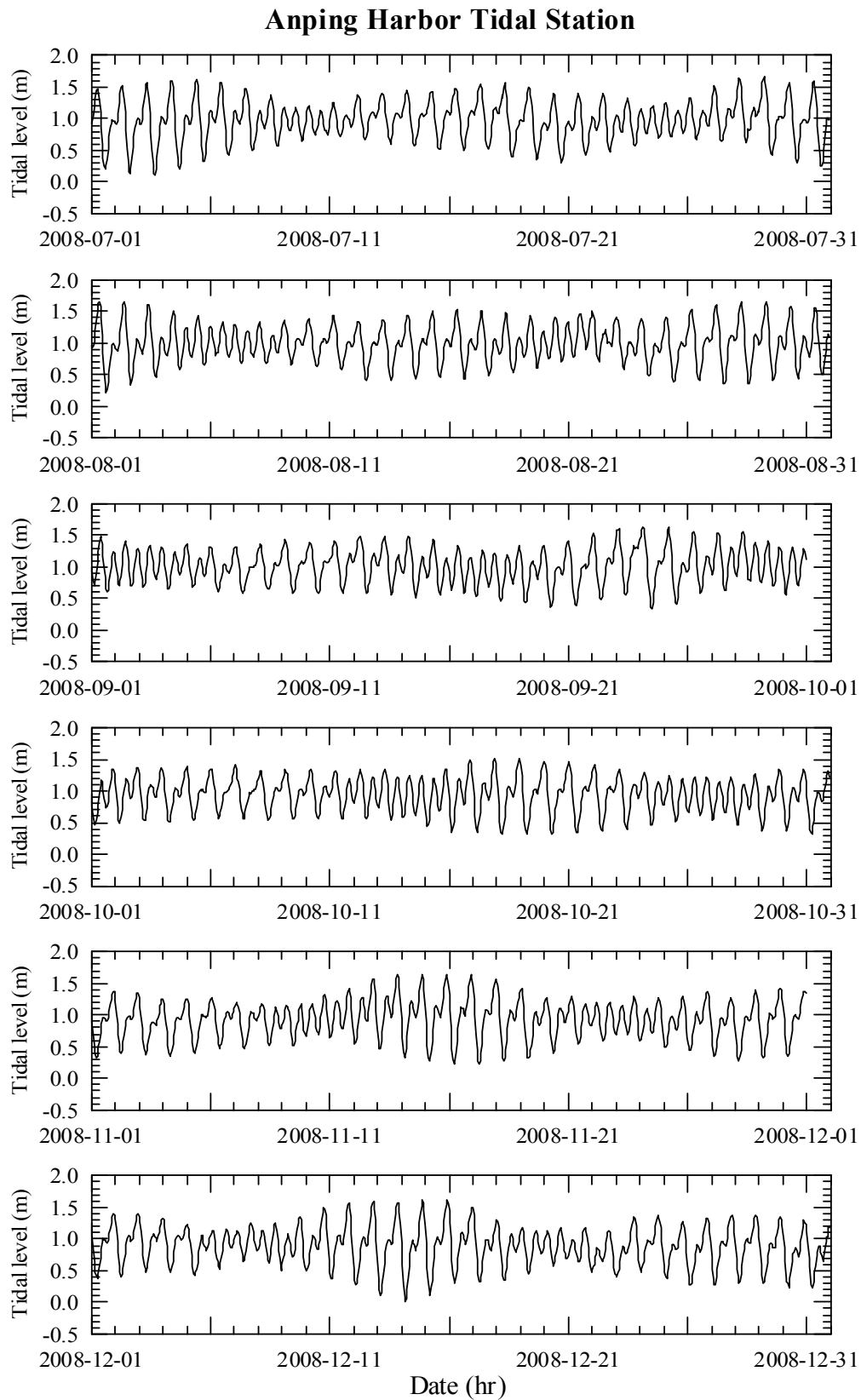
30. 歐善惠、許泰文、臧效義、方介群、廖建明，1999，「應用 SWAN 波浪模式推算臺灣附近海域颱風波浪之研究」，第二十一屆海洋工程研討會論文集，87 頁-95 頁。
31. 歐善惠、許泰文、臧效義、廖建明、方介群，2000，「應用 SWAN 模式於臺灣西部海岸之波浪預測」，第二屆國際海洋大氣會議論文集，台北，183 頁-188 頁。
32. 曾相茂，「臺灣國際港口海氣象觀測技術及資料分析」，海氣象觀測資料應用暨港灣結構物安全檢測作業研討會論文集，1-1 頁至 1-27 頁，2011 年。
33. 邱永芳、劉正琪、蘇青和、陳明宗、李俊穎、鄭博今、陳信宏，提昇海岸及港灣海域波浪模擬技術之研究(1/4)，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，MOTC-IOT-100-H3DB005a，中華民國 101 年 3 月。

## 附錄一

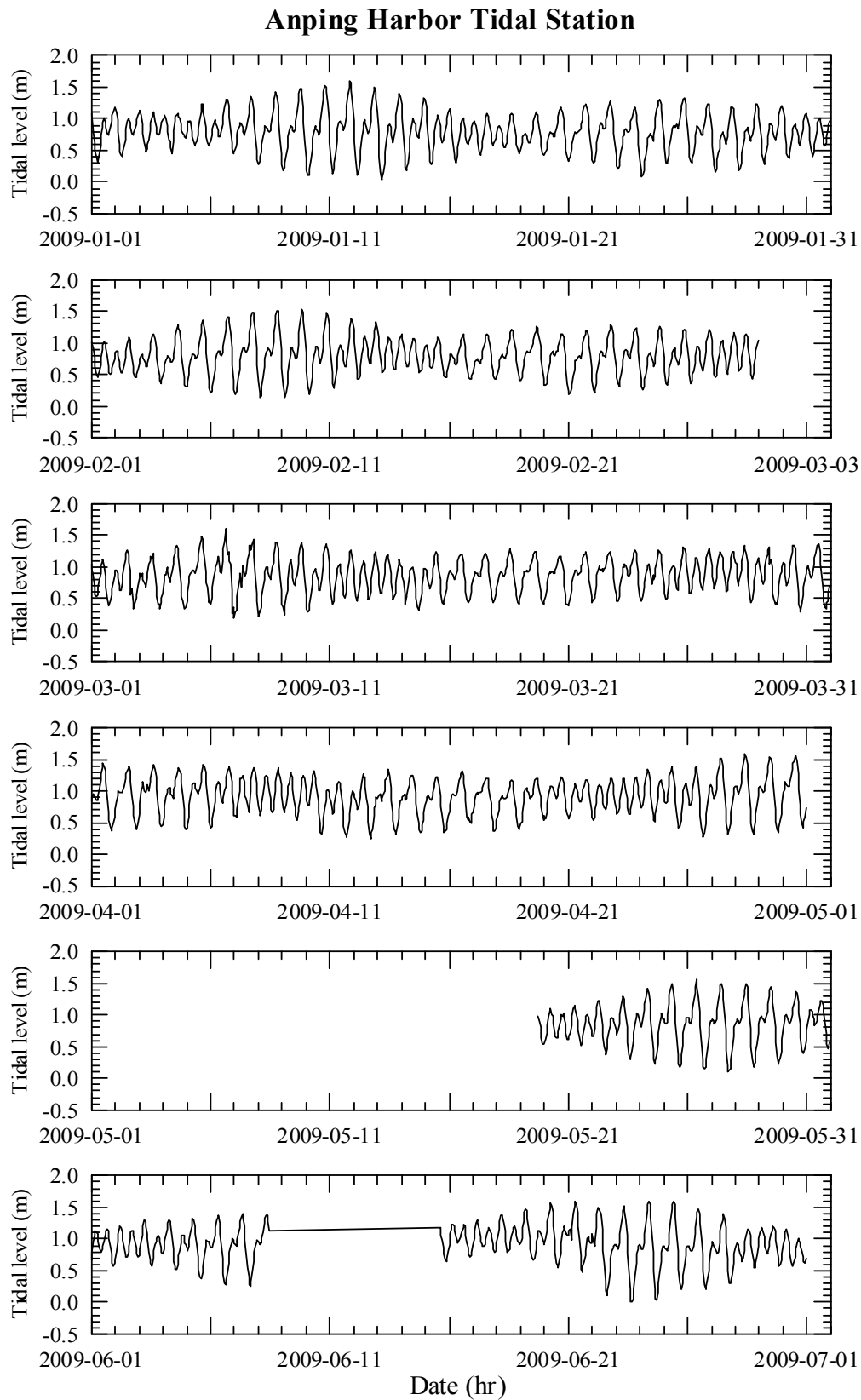
### 中央氣象局安平港及高雄港潮位觀測資料圖



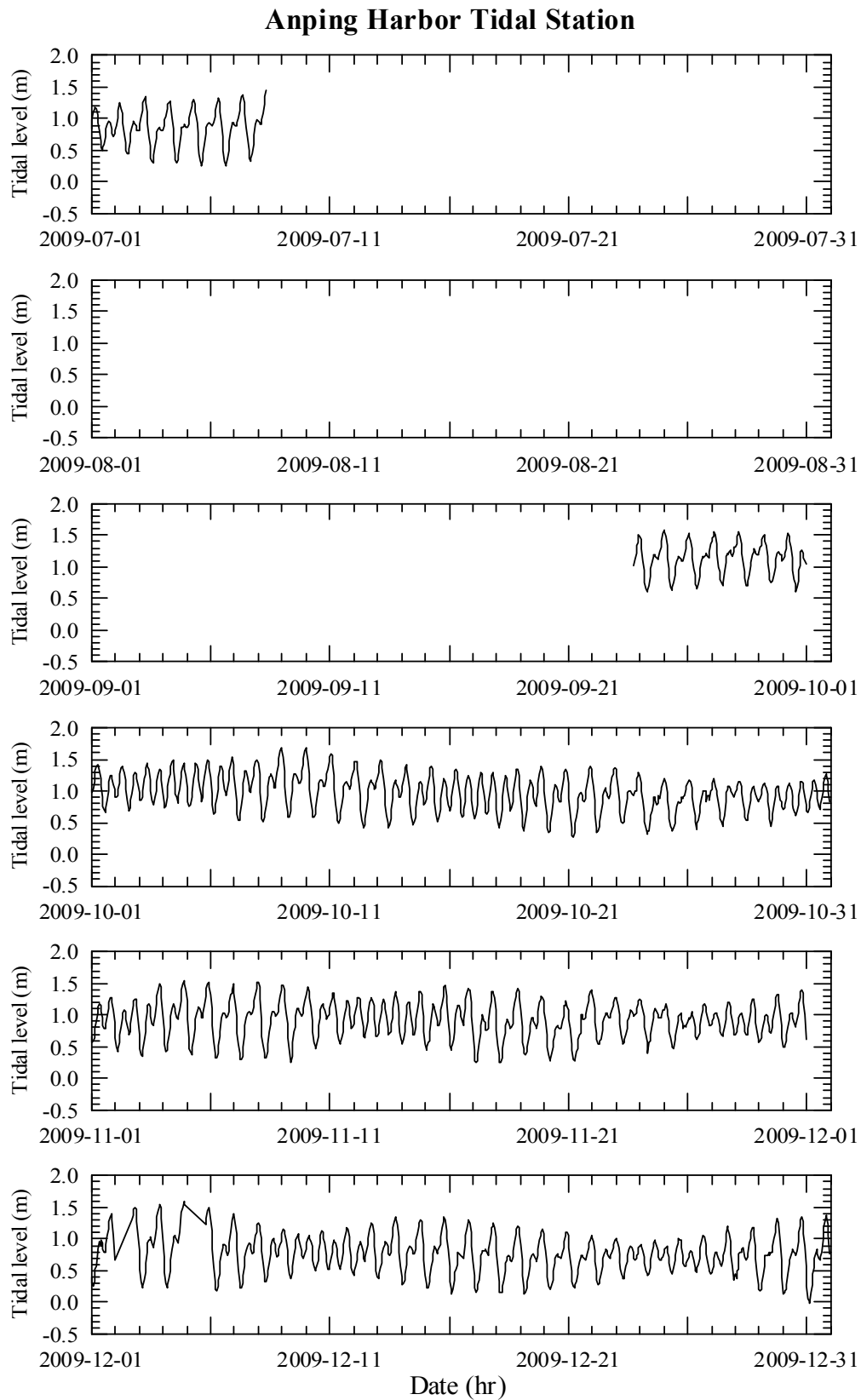
附圖1.1 安平港潮位觀測資料(2008年1~6月)



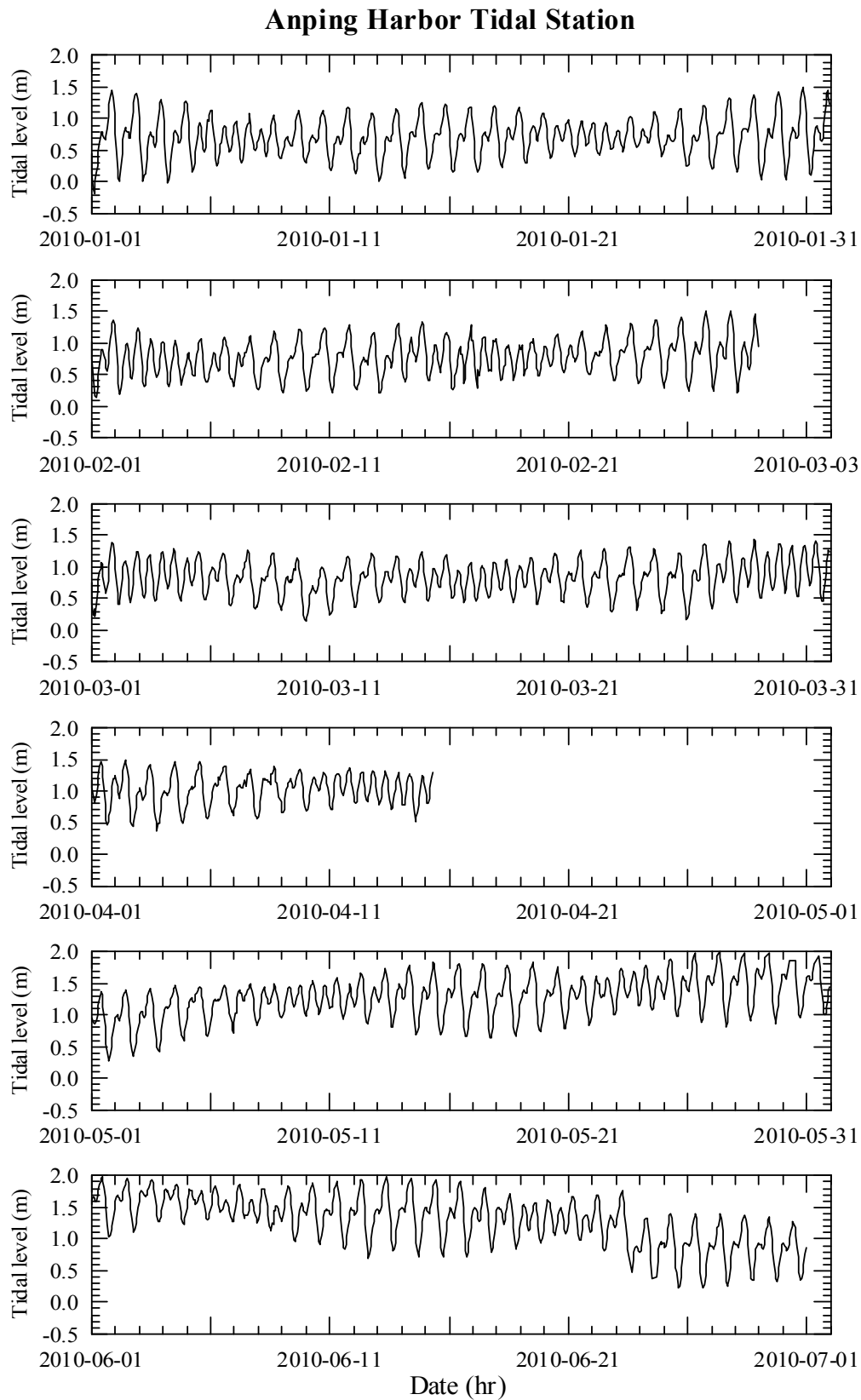
**附圖1.1 (續1)安平港潮位觀測資料(2008年7~12月)**



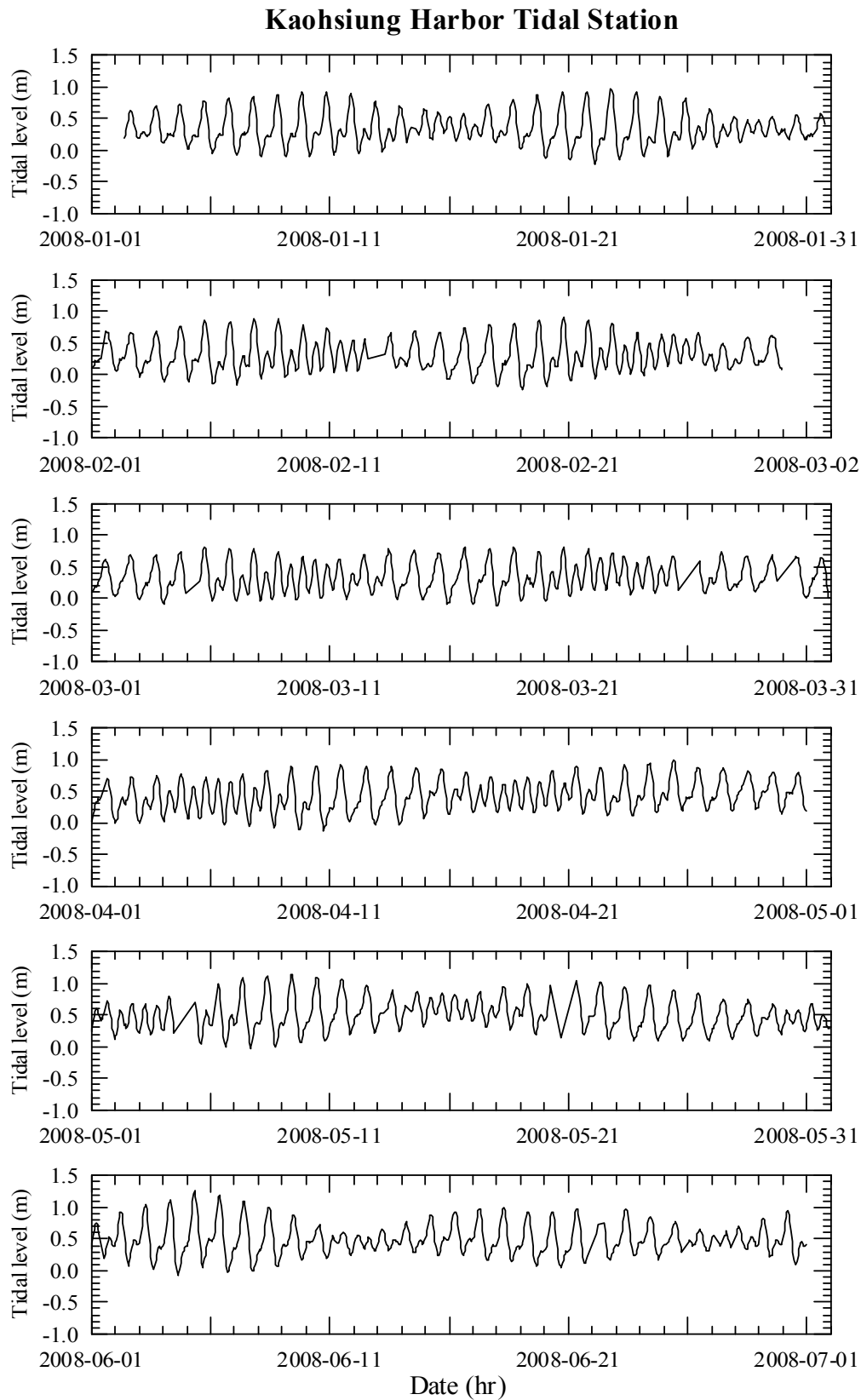
**附圖1.1 (續2)安平港潮位觀測資料(2009年1~6月)**



附圖1.1 (續3)安平港潮位觀測資料(2009年7~12月)

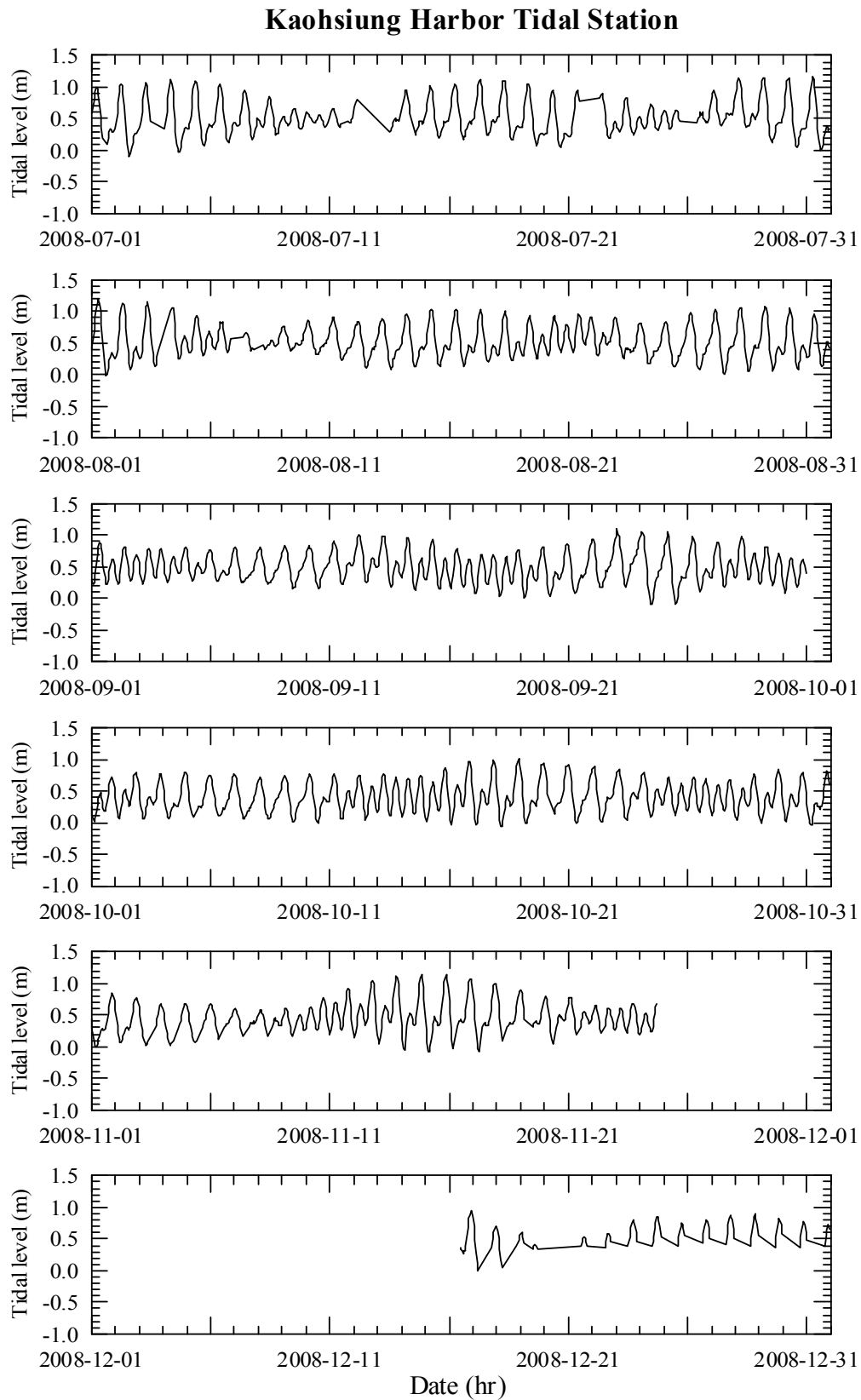


**附圖1.1 (續4)安平港潮位觀測資料(2010年1~6月)**

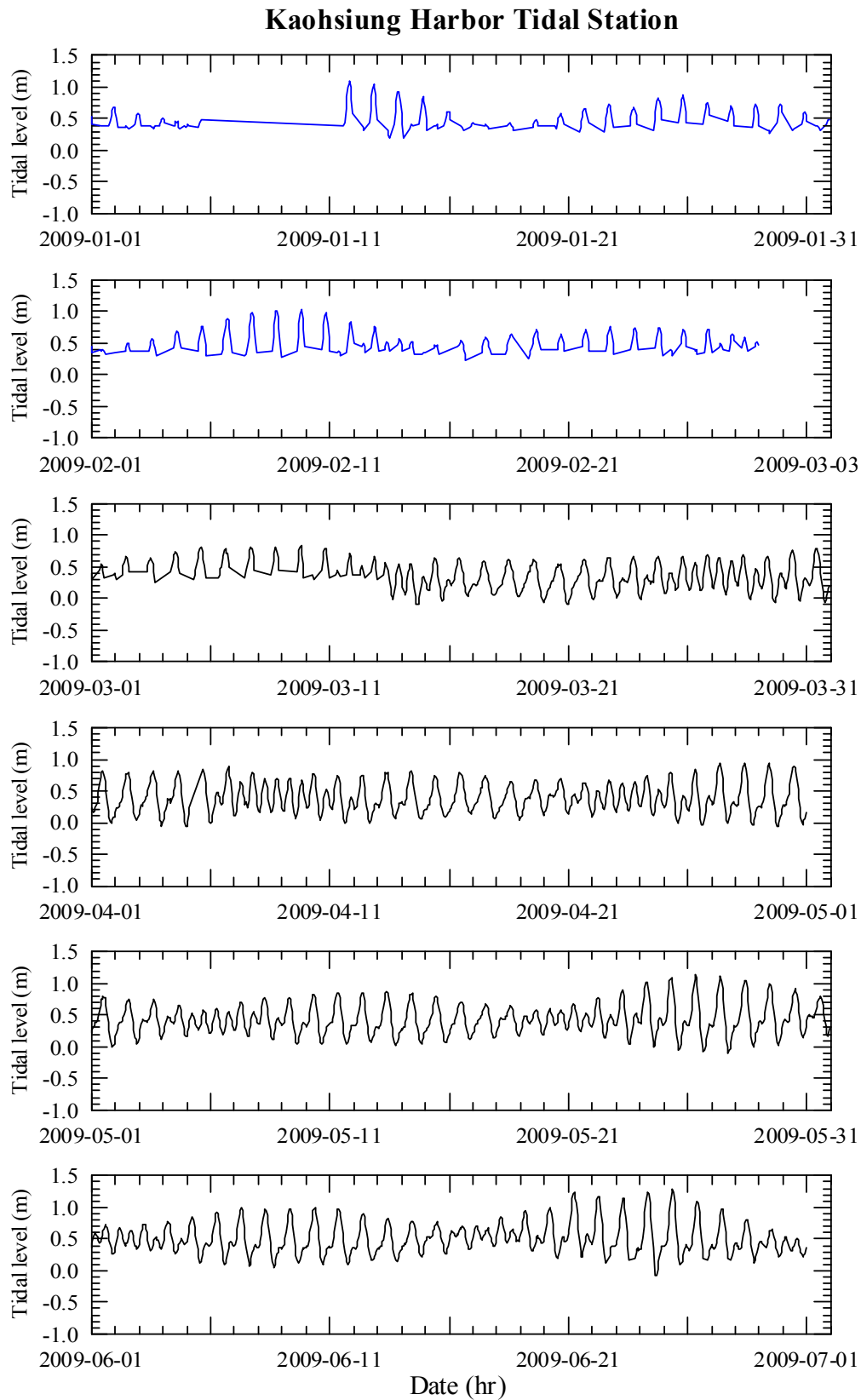


**附圖1.2 高雄港潮位觀測資料(2008年1~6月)**

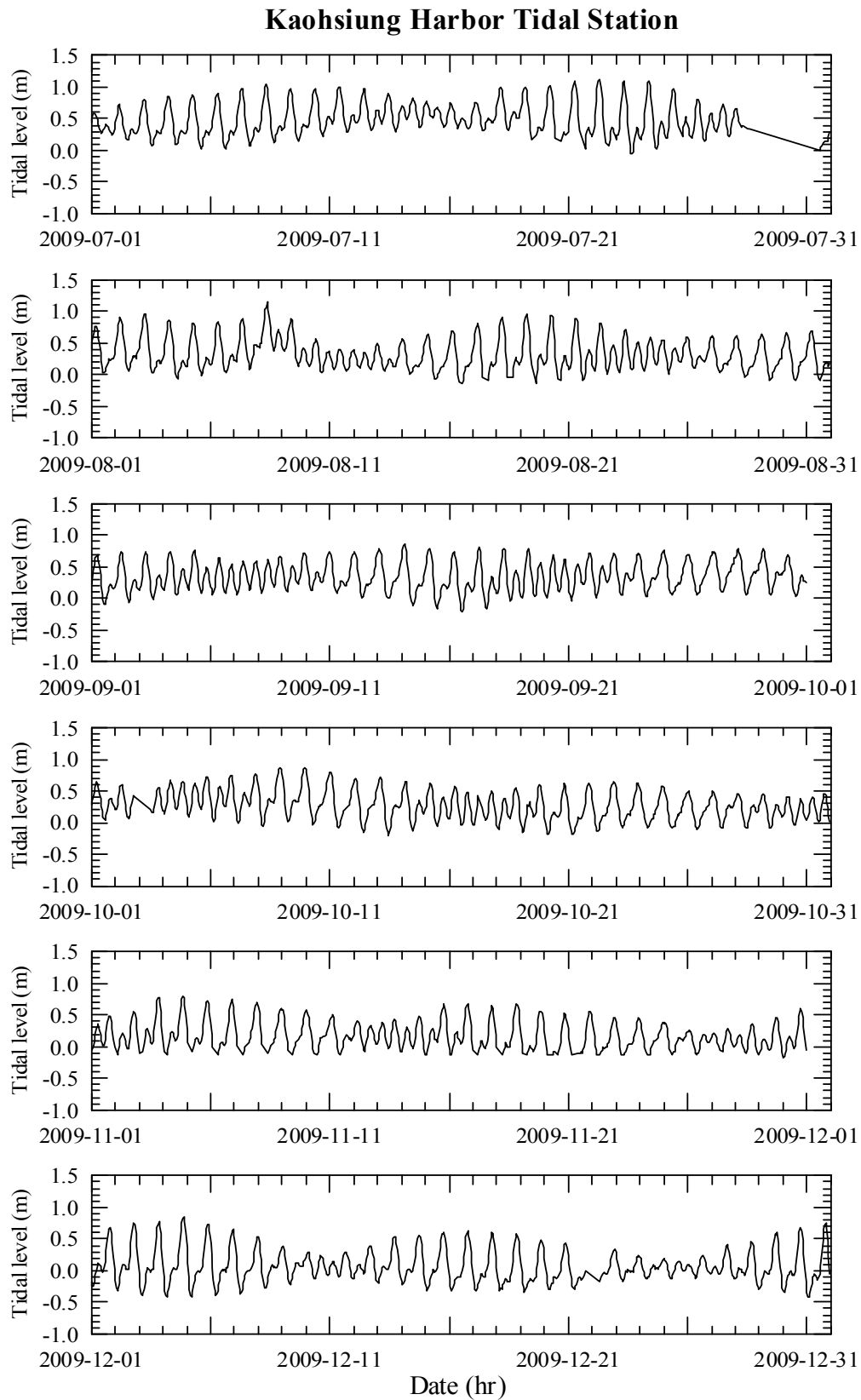




附圖1.2 (續1)高雄港潮位觀測資料(2008年7~12月)

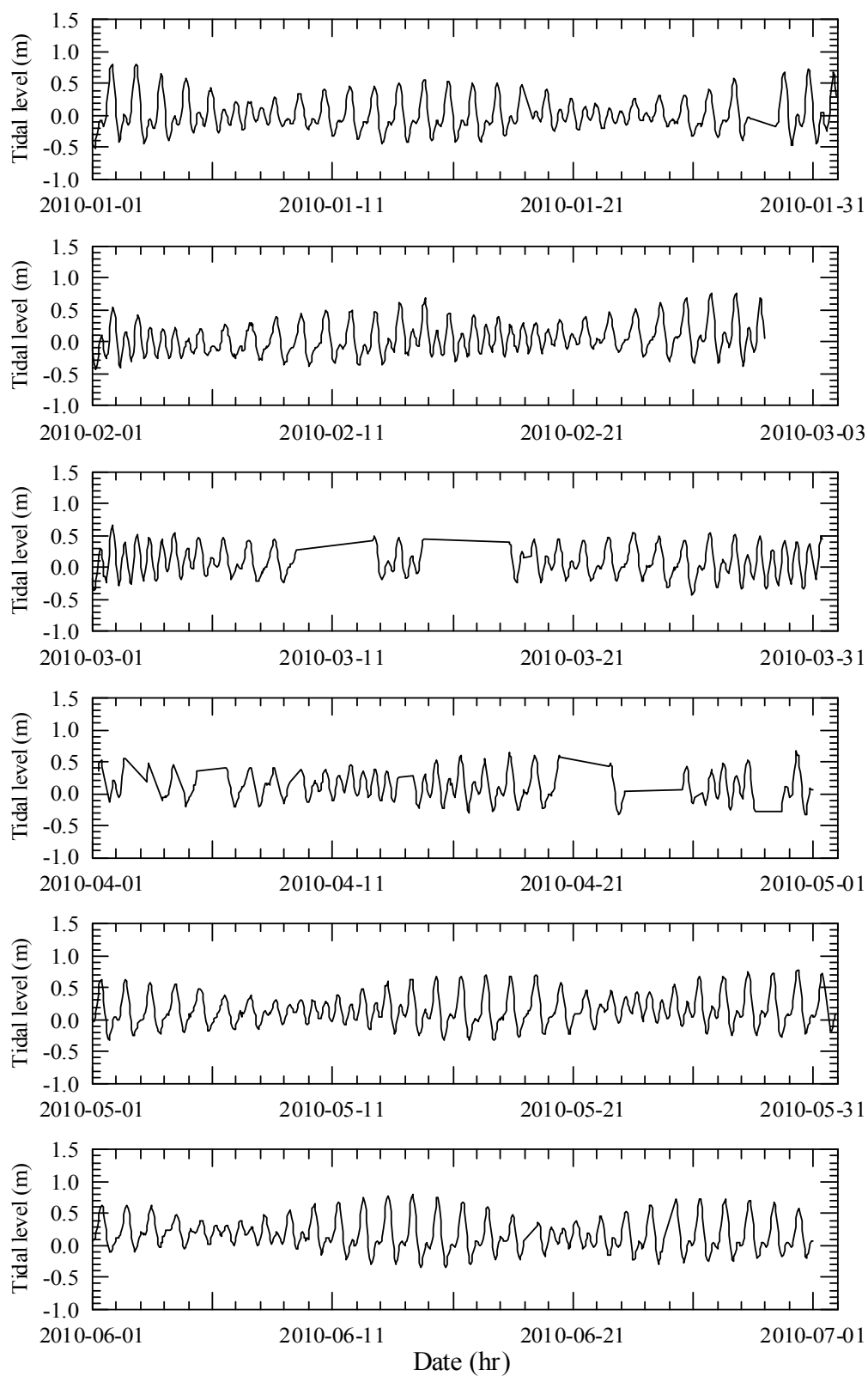


附圖1.2 (續2)高雄港潮位觀測資料(2009年1~6月)

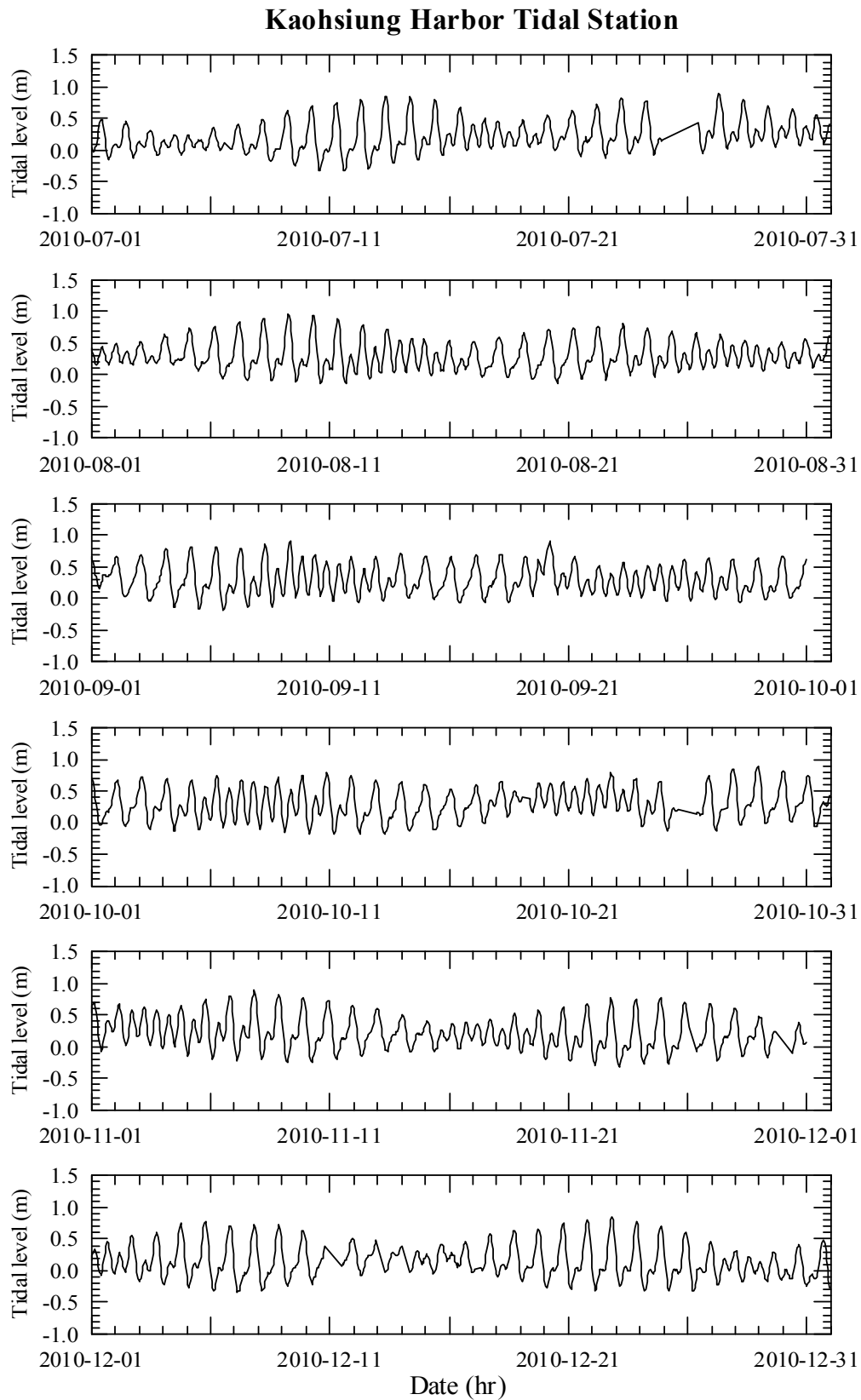


附圖1.2 (續3)高雄港潮位觀測資料(2009年7~12月)

### Kaohsiung Harbor Tidal Station

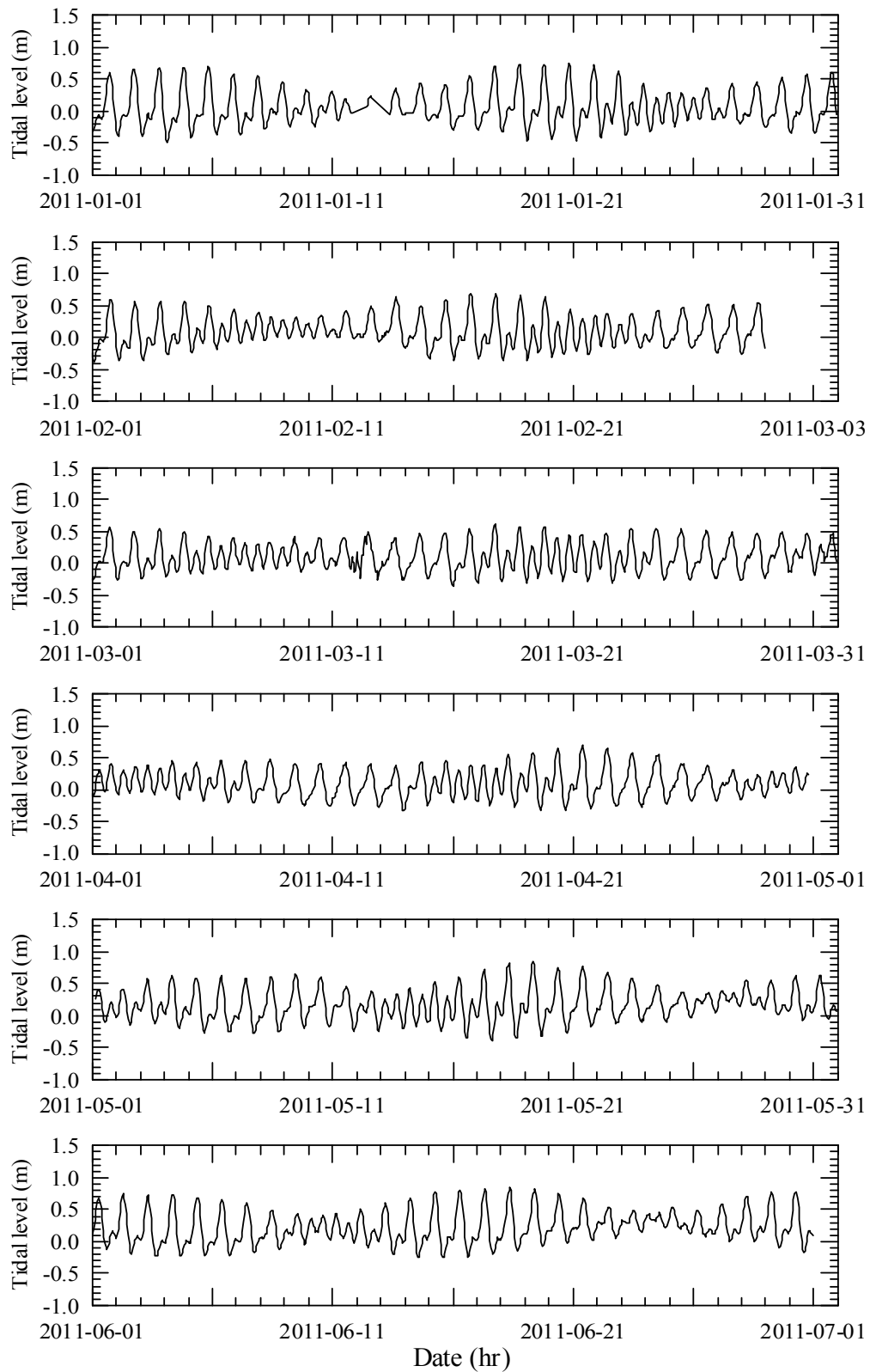


附圖1.2 (續4)高雄港潮位觀測資料(2010年1~6月)



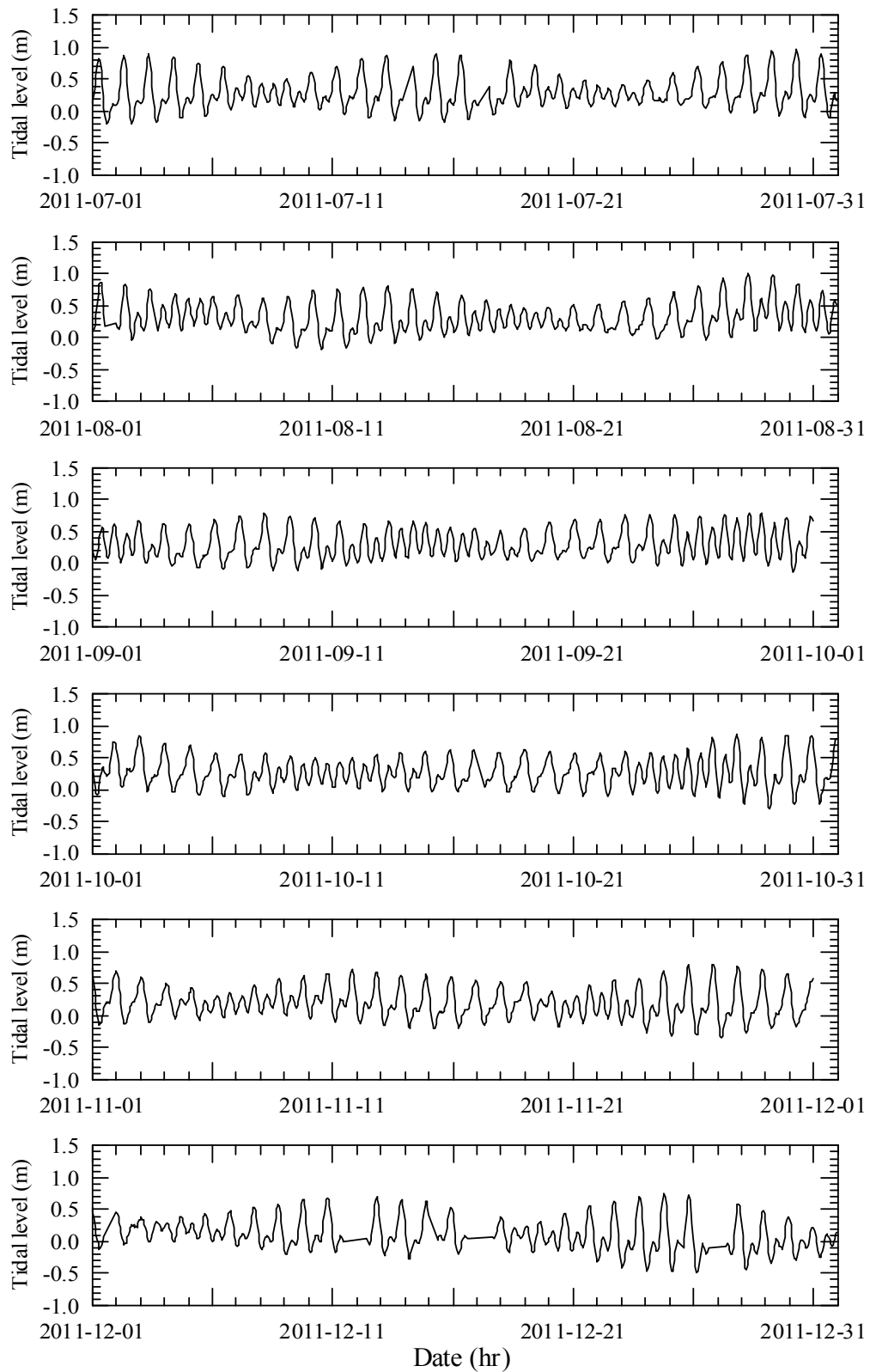
附圖1.2 (續5)高雄港潮位觀測資料(2010年7~12月)

### Kaohsiung Harbor Tidal Station



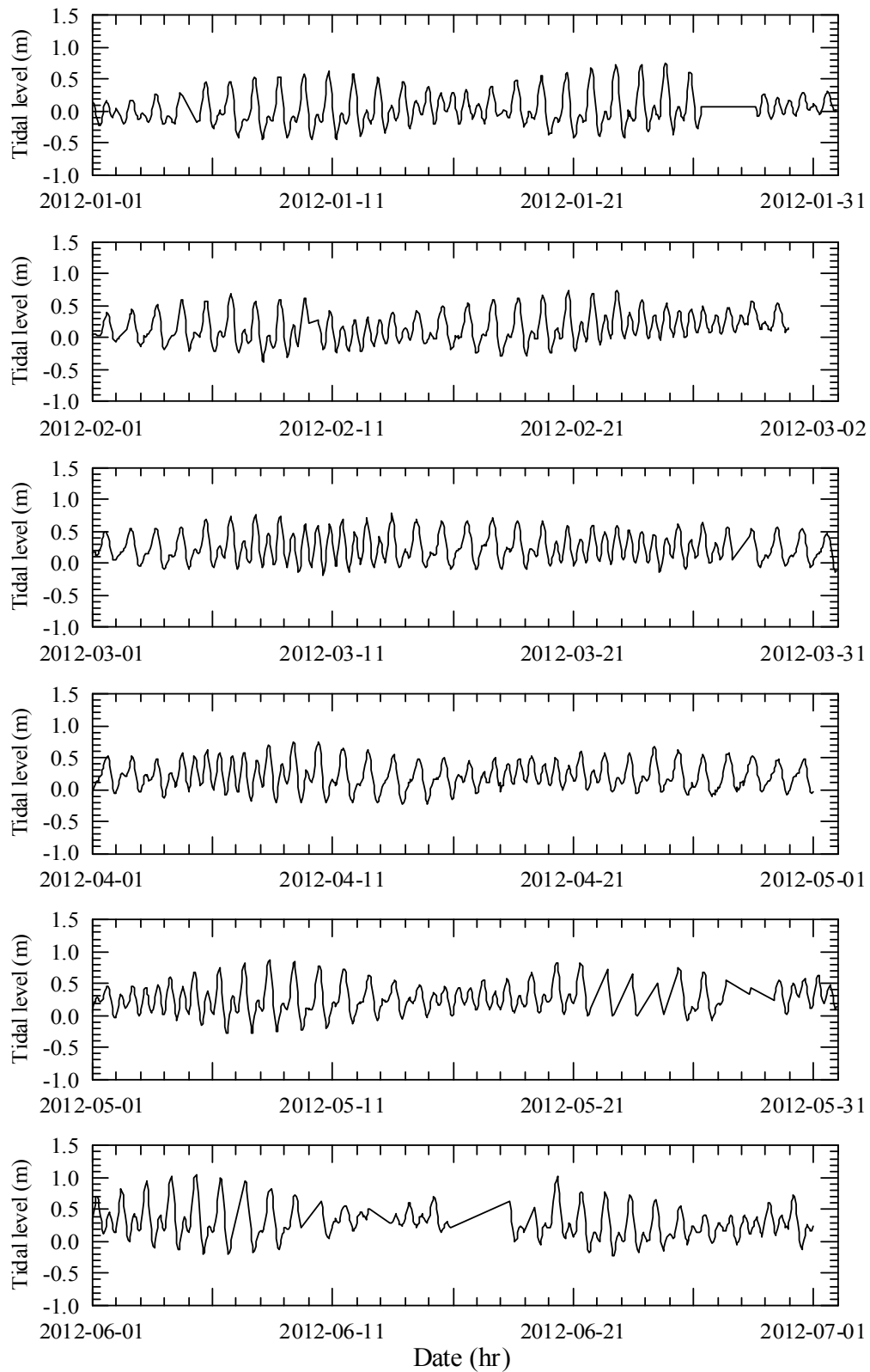
附圖1.2 (續6)高雄港潮位觀測資料(2011年1~6月)

### Kaohsiung Harbor Tidal Station



附圖1.2 (續7)高雄港潮位觀測資料(2011年7~12月)

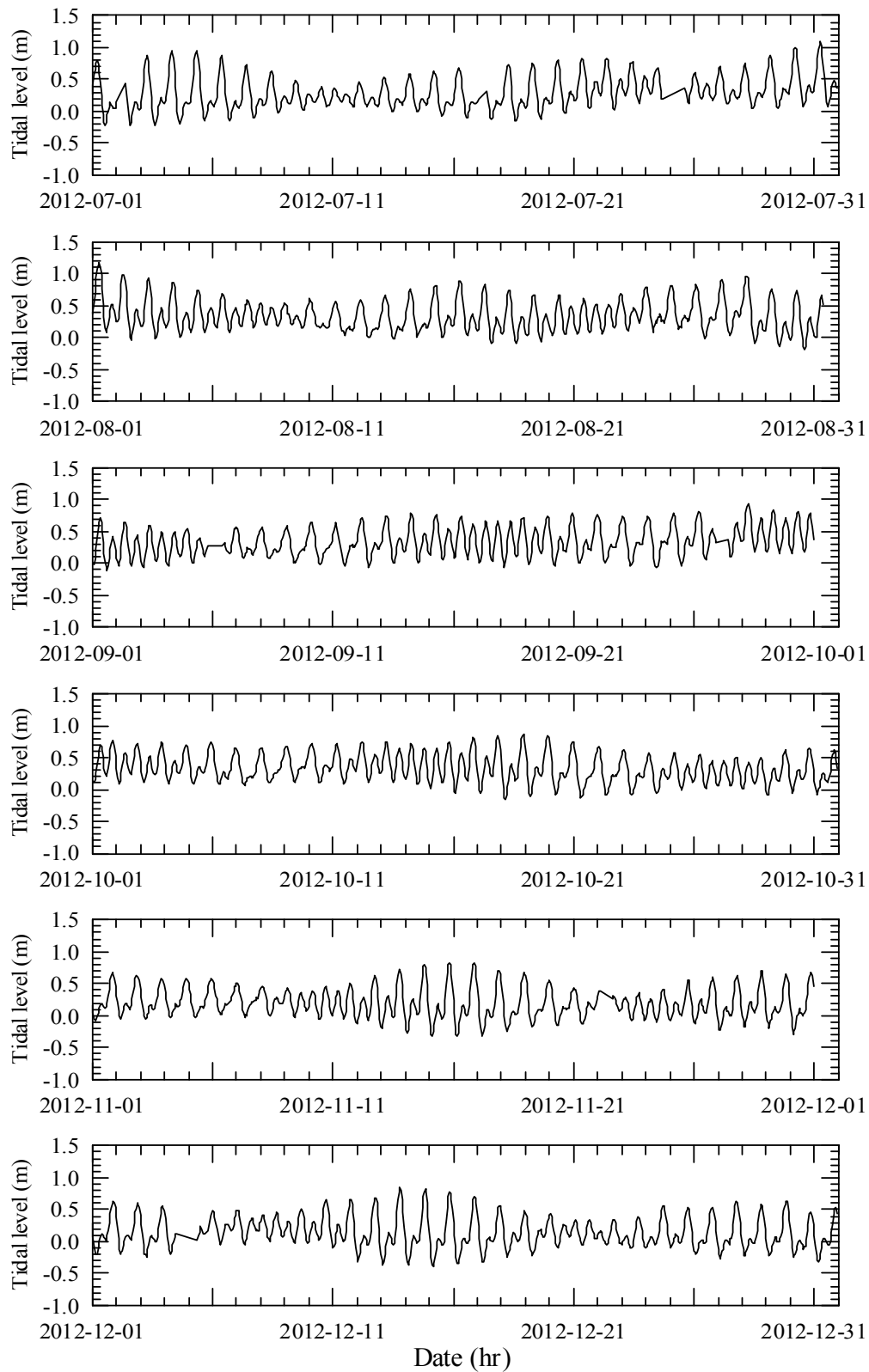
### Kaohsiung Harbor Tidal Station



附圖1.2 (續8)高雄港潮位觀測資料(2012年1~6月)



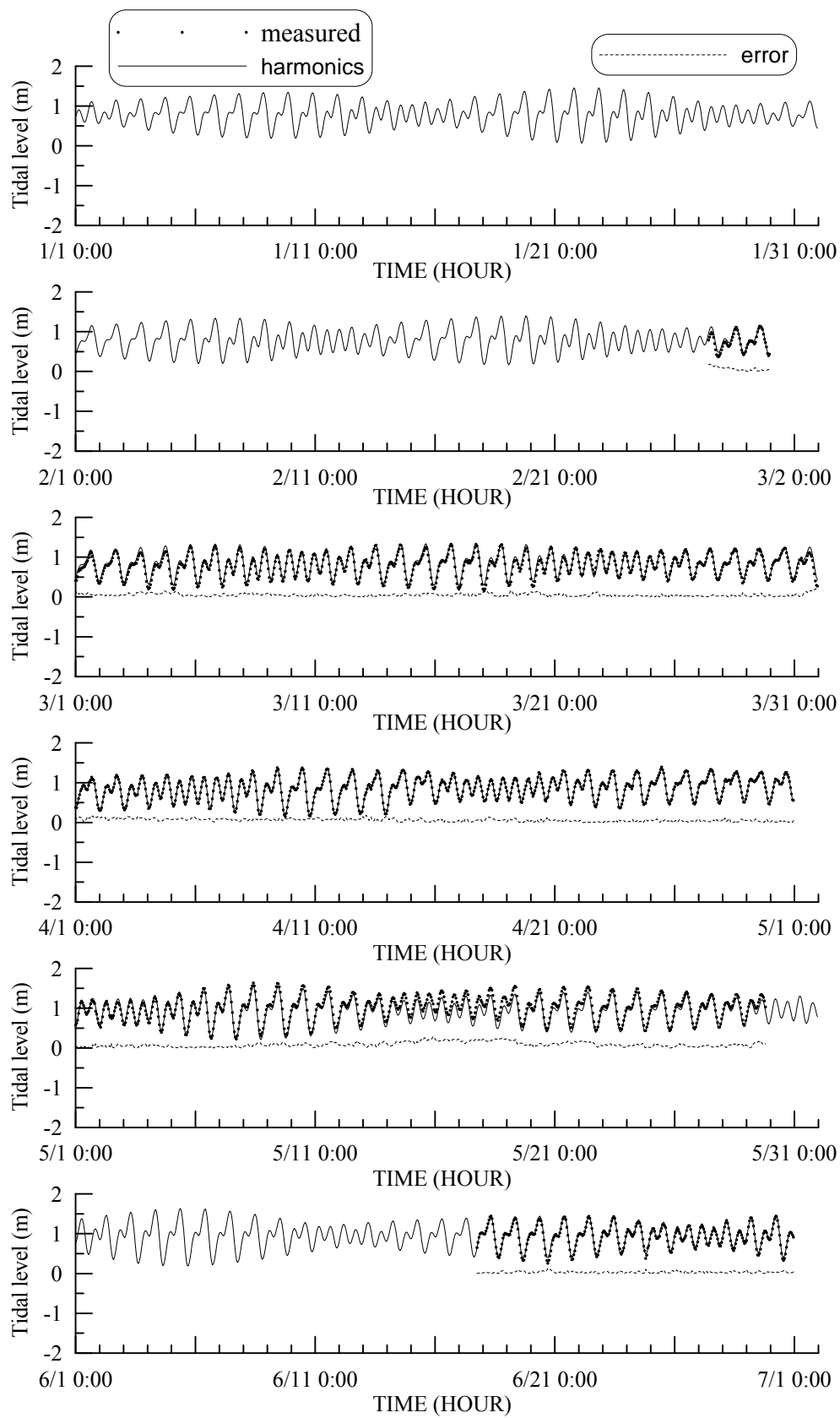
### Kaohsiung Harbor Tidal Station



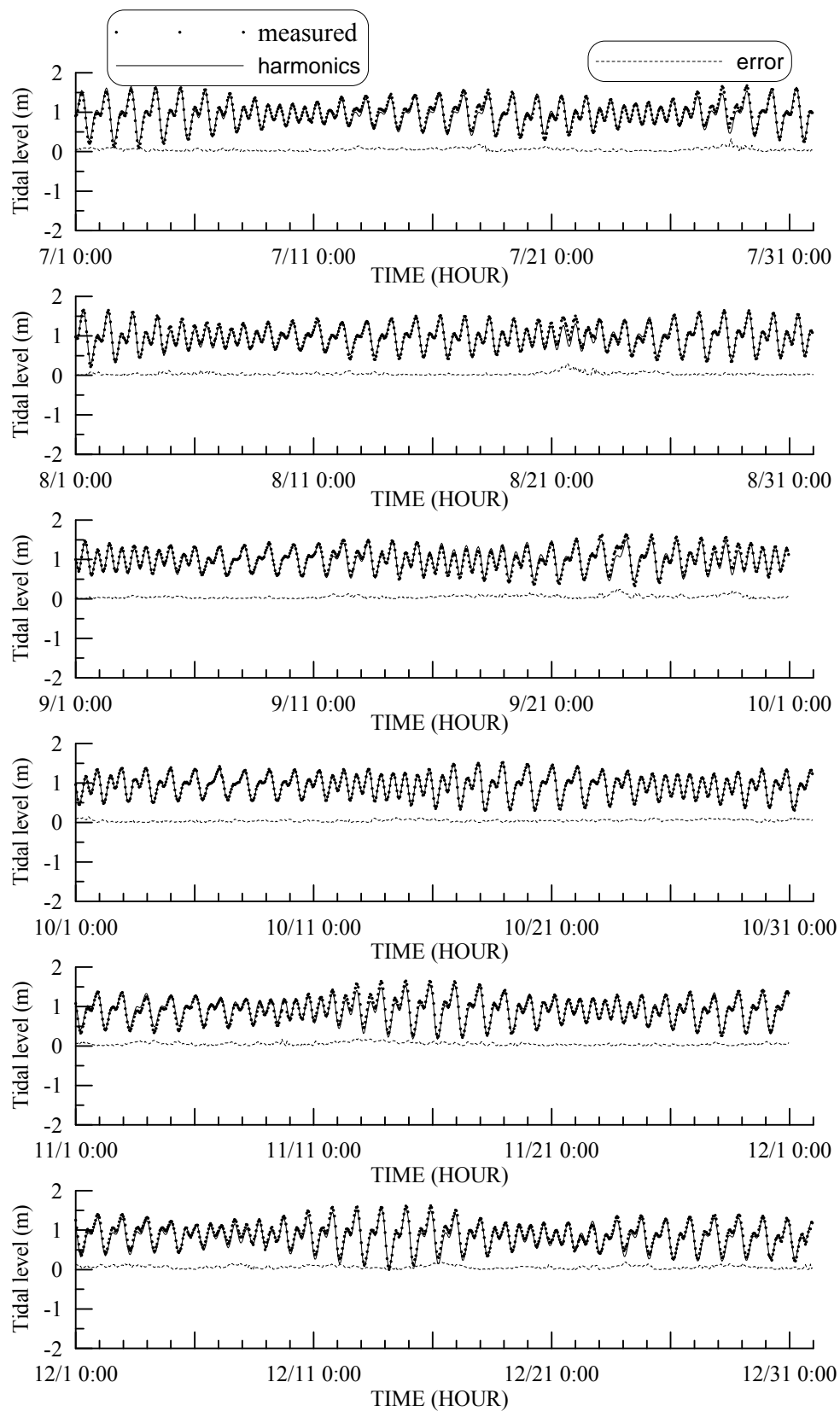
附圖1.2 (續9)高雄港潮位觀測資料(2012年7~12月)

## 附錄二

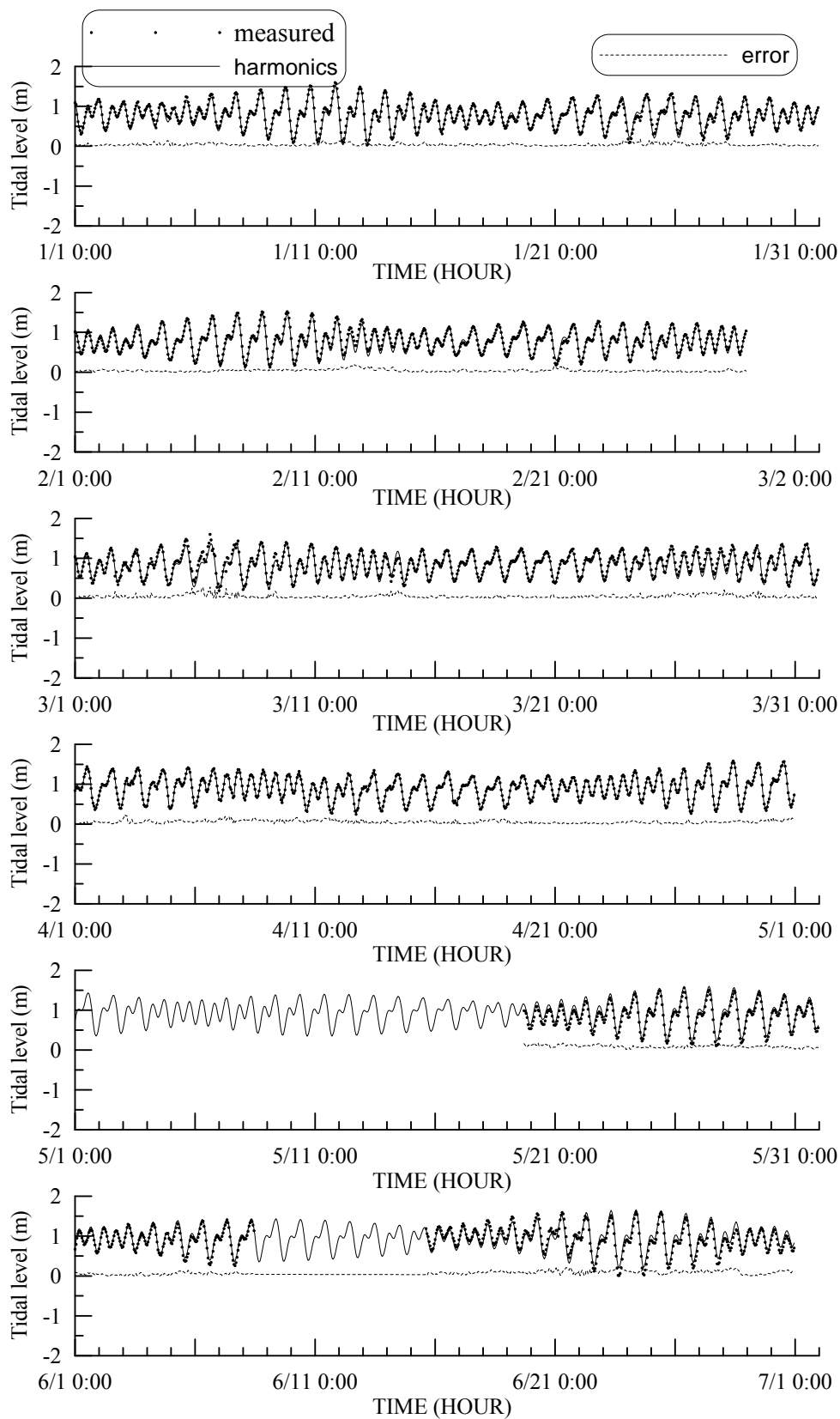
### 安平港及高雄港潮位觀測資料與天文潮預測值之比較



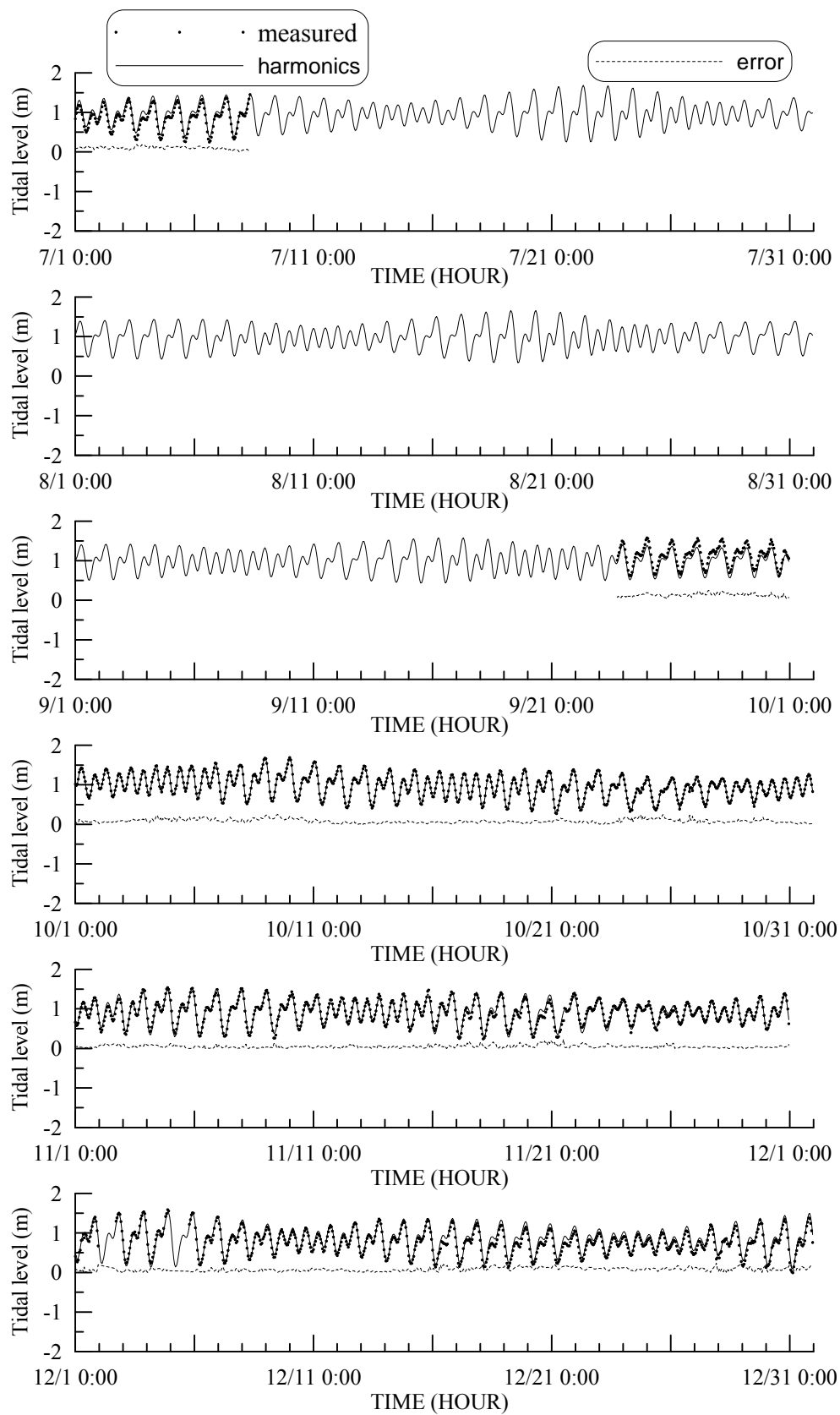
附圖2.1 安平港2008年潮位觀測資料與天文潮預測值之比較



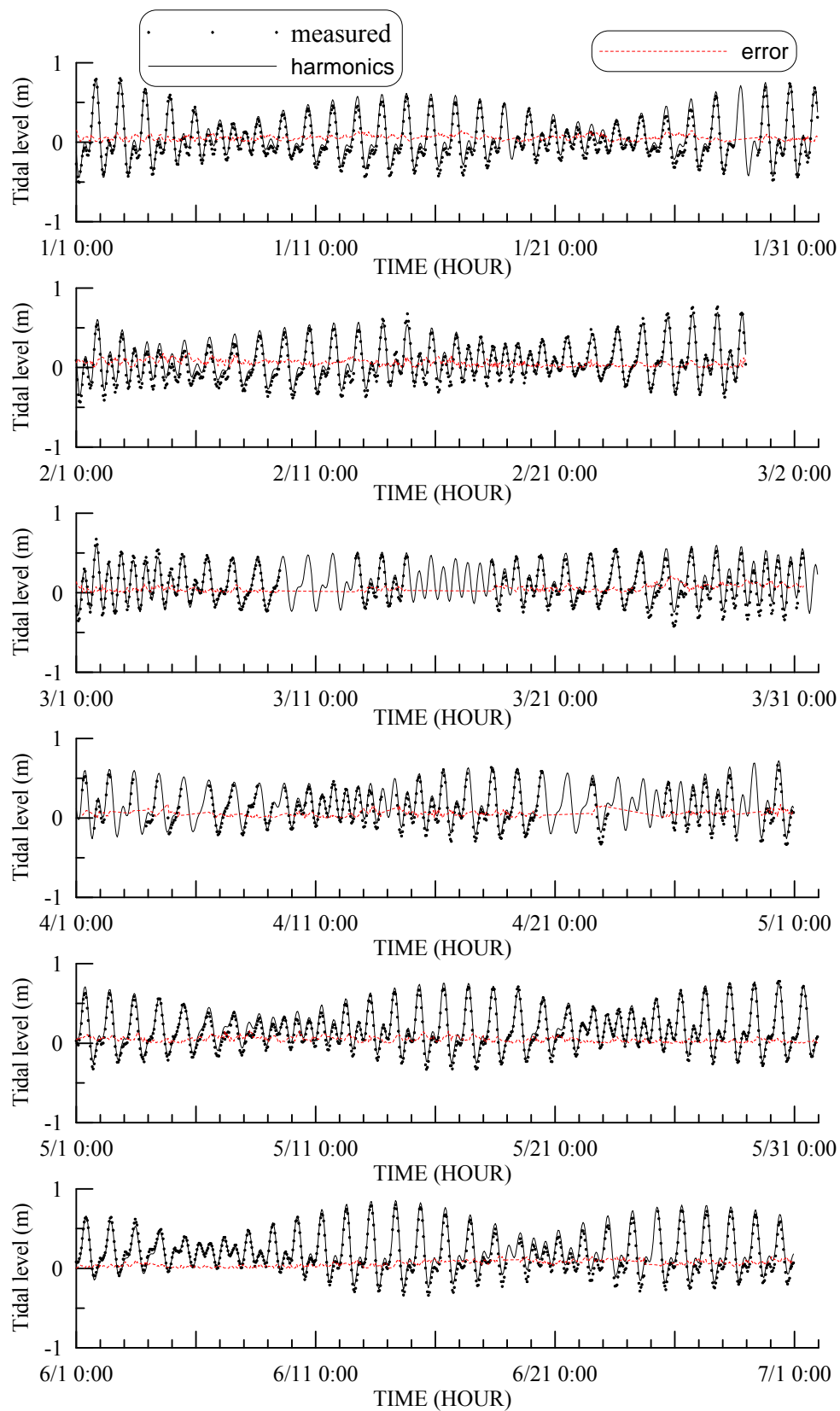
附圖2.1 (續)安平港2008年潮位觀測資料與天文潮預測值之比較



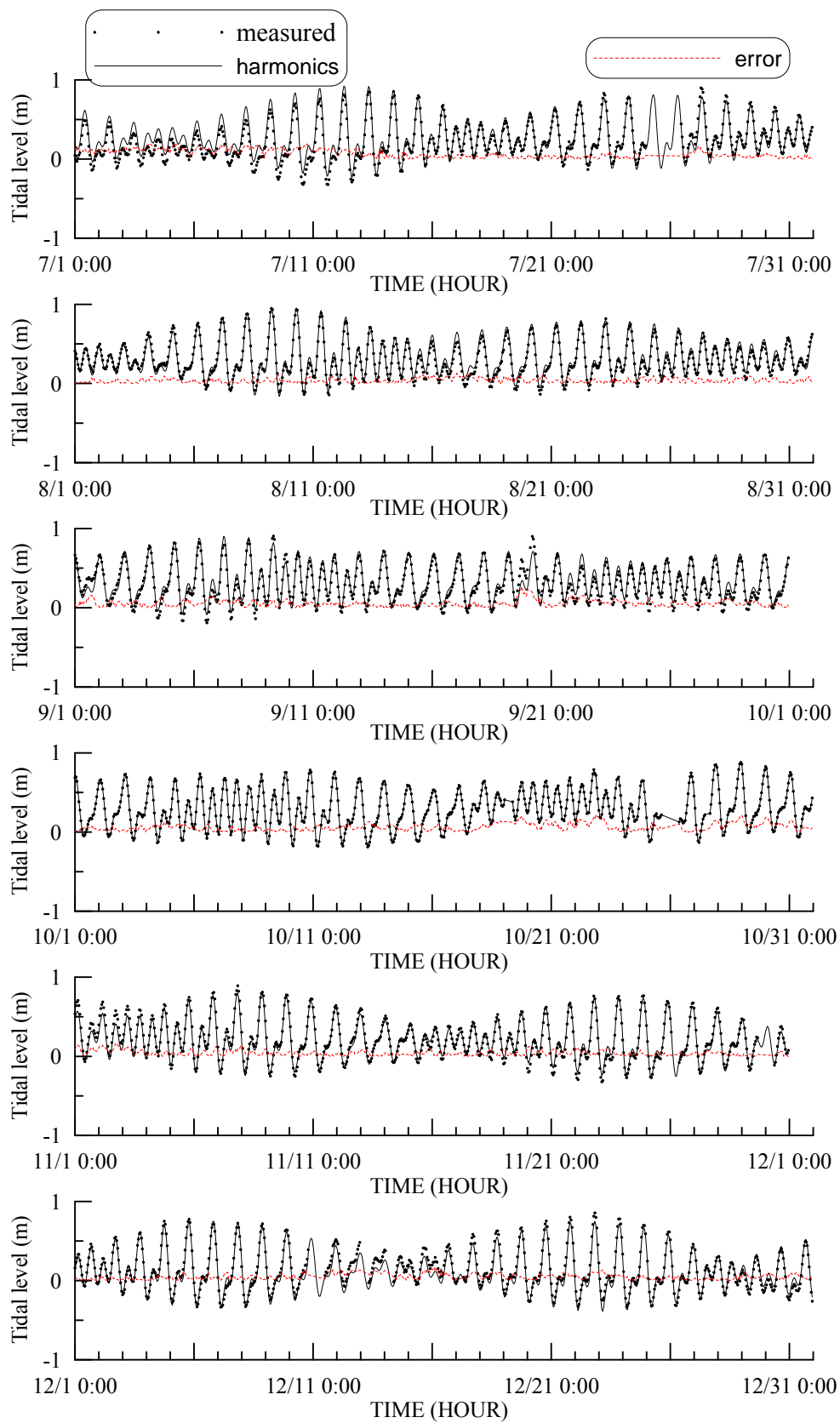
附圖2.2 安平港2009年潮位觀測資料與天文潮預測值之比較



附圖2.2 (續)安平港2009年潮位觀測資料與天文潮預測值之比較

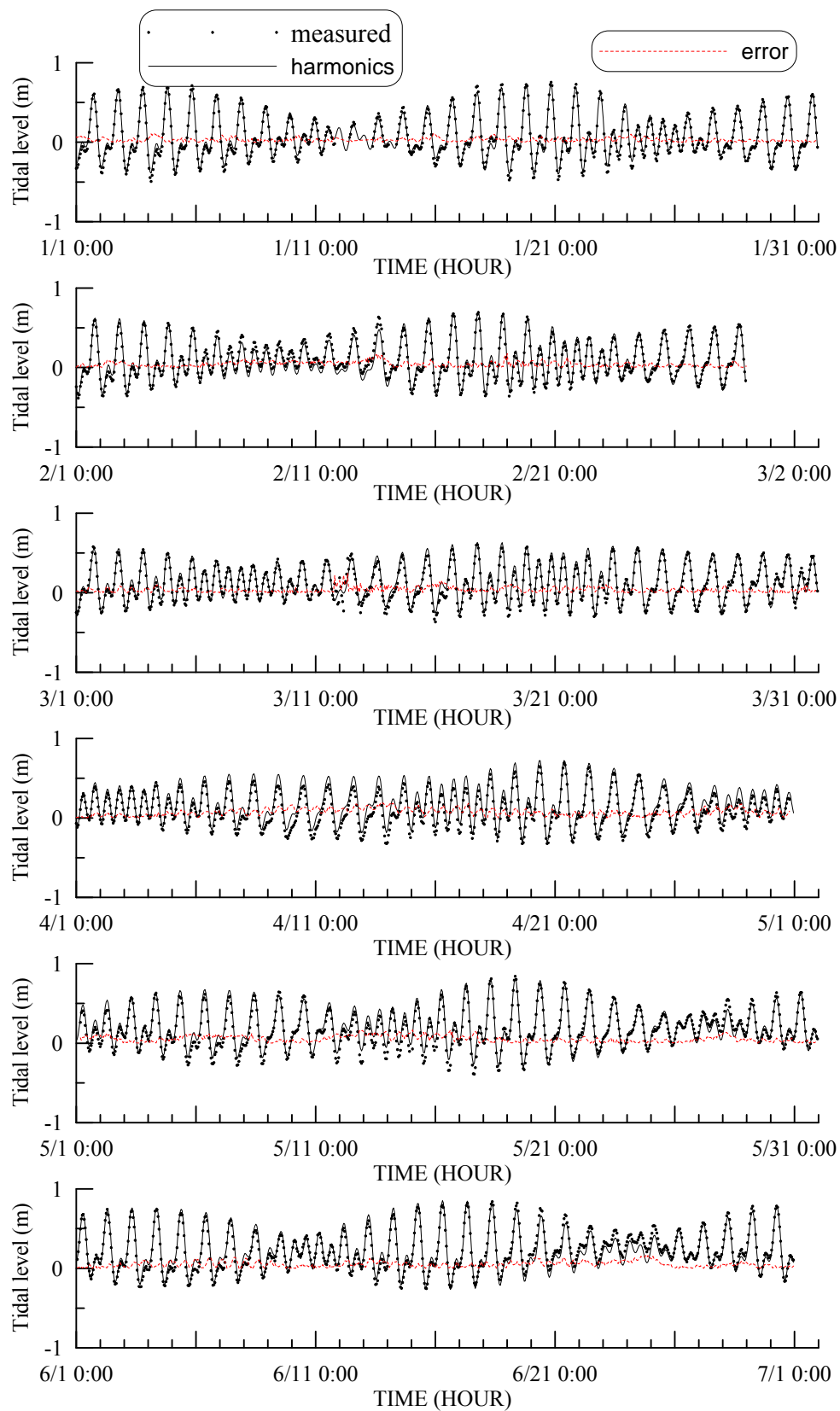


附圖2.3 高雄港2010年潮位觀測資料與天文潮預測值之比較

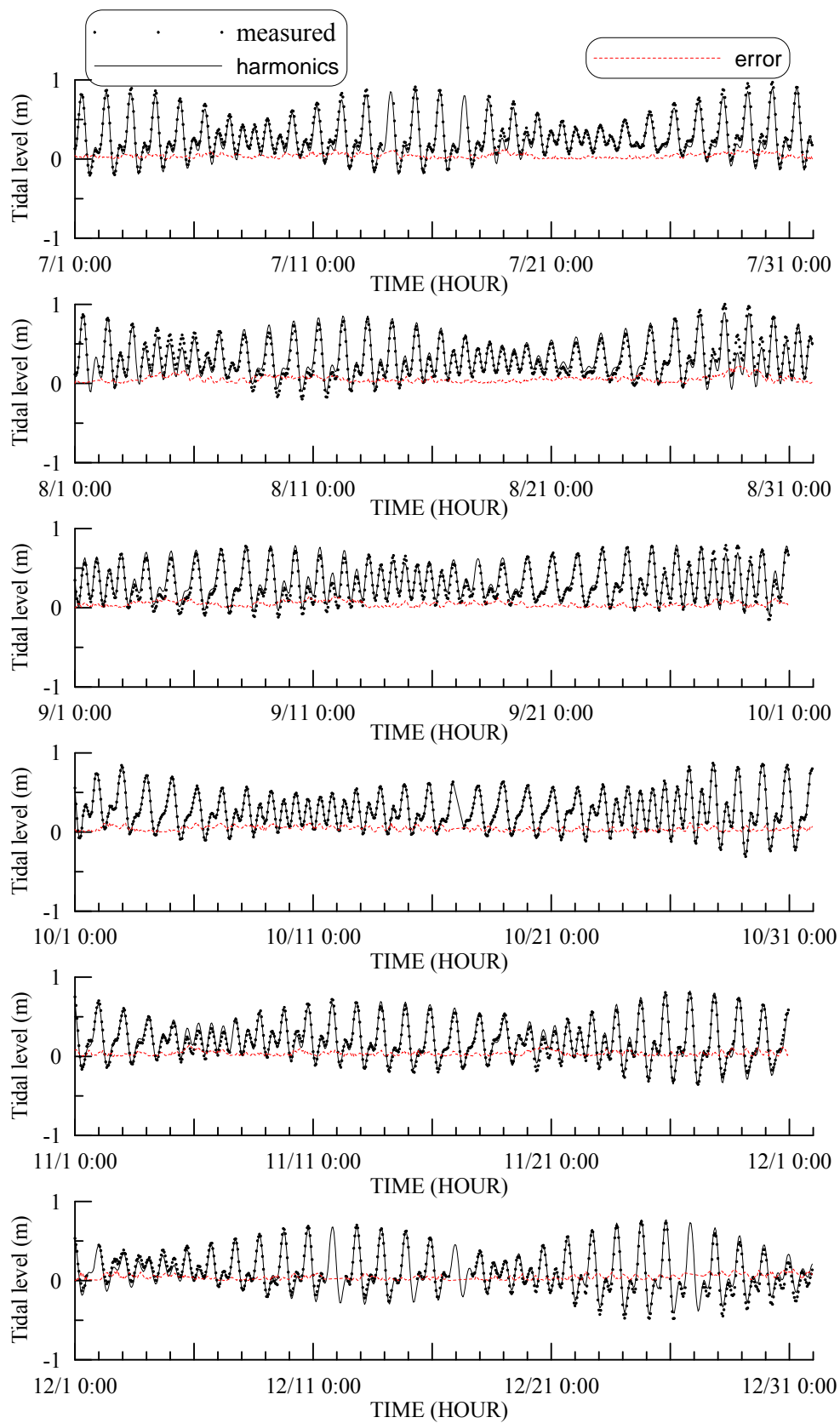


附圖2.3 (續)高雄港2010年潮位觀測資料與天文潮預測值之比較

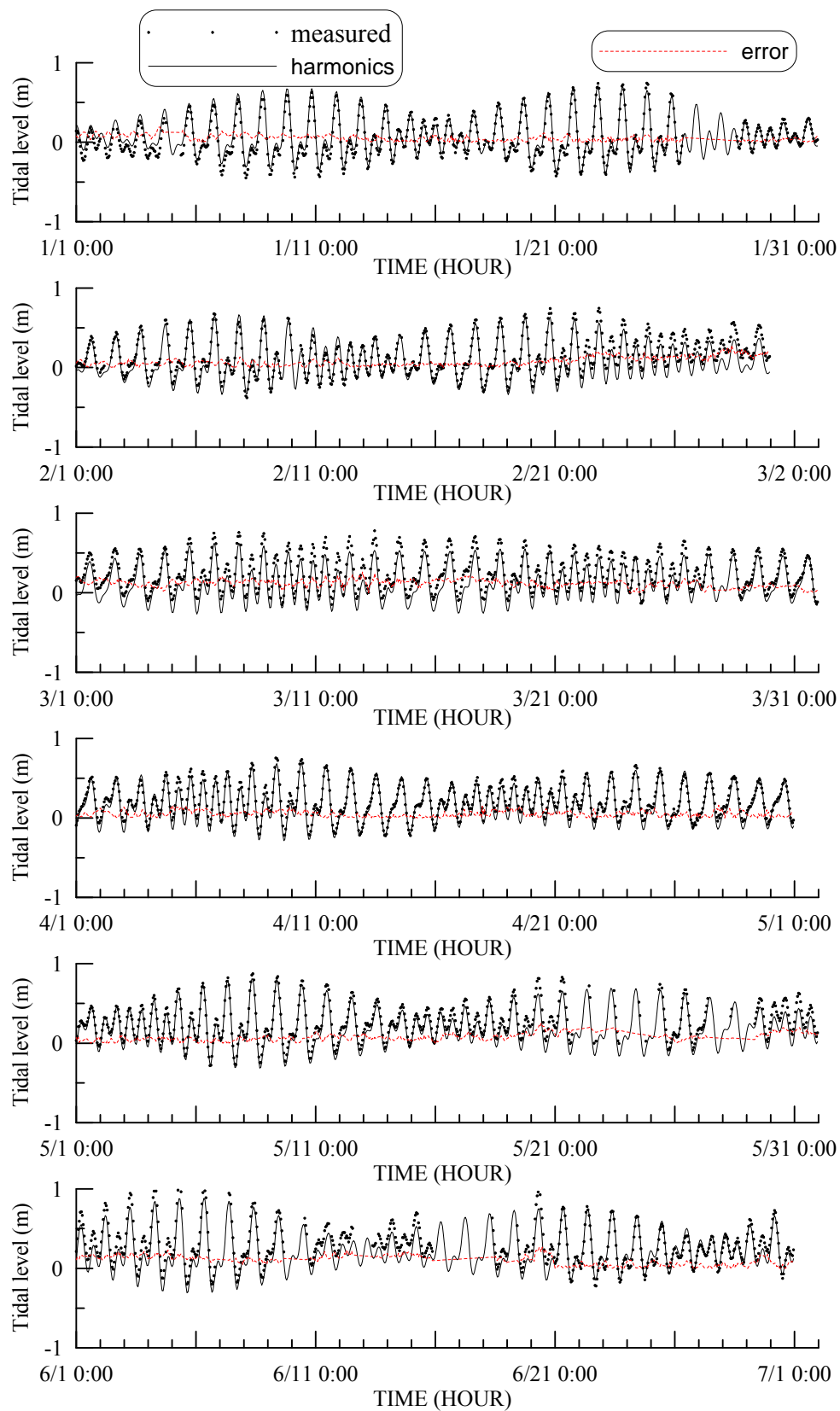




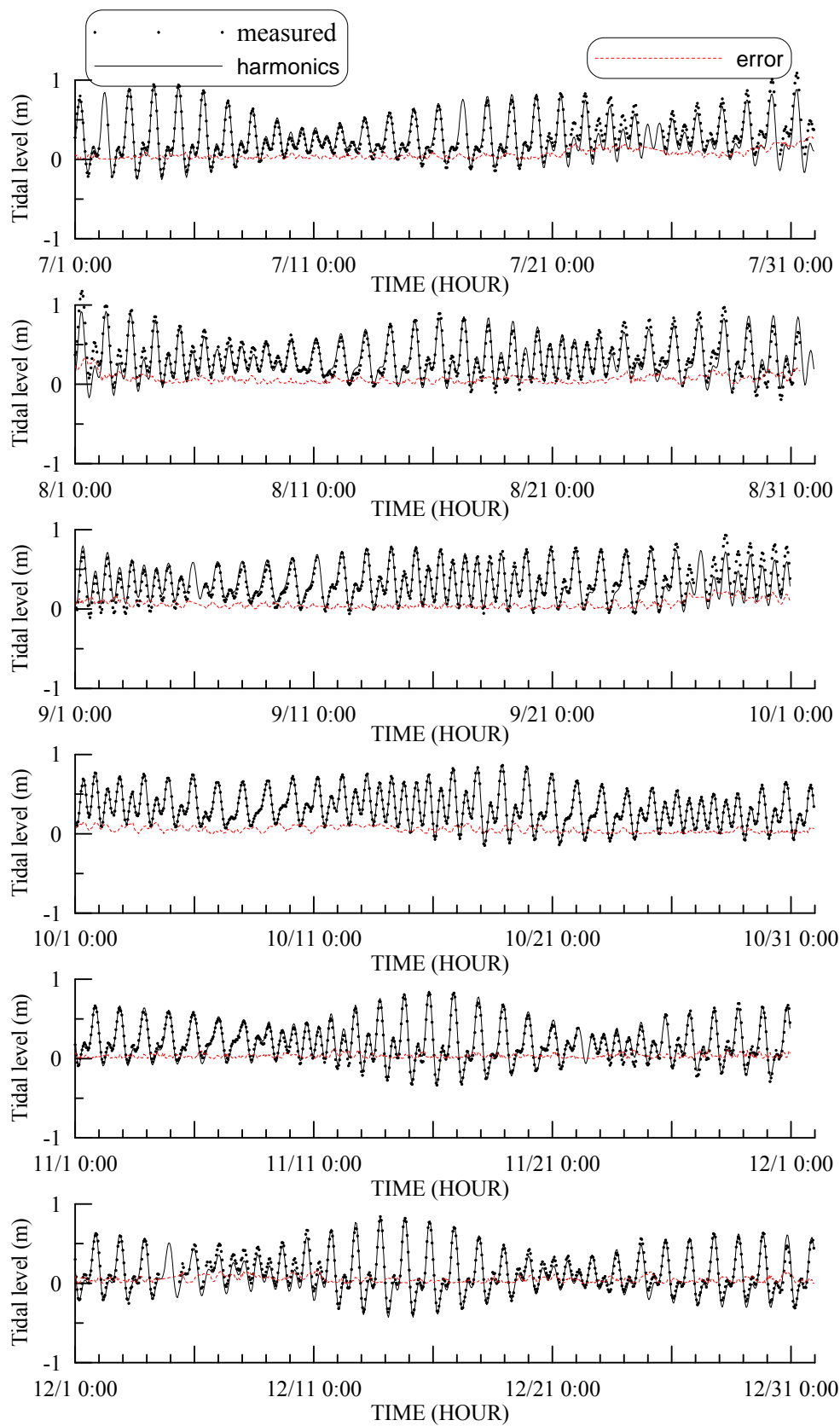
附圖2.4 高雄港2011年潮位觀測資料與天文潮預測值之比較



附圖2.4 (續)高雄港2011年潮位觀測資料與天文潮預測值之比較



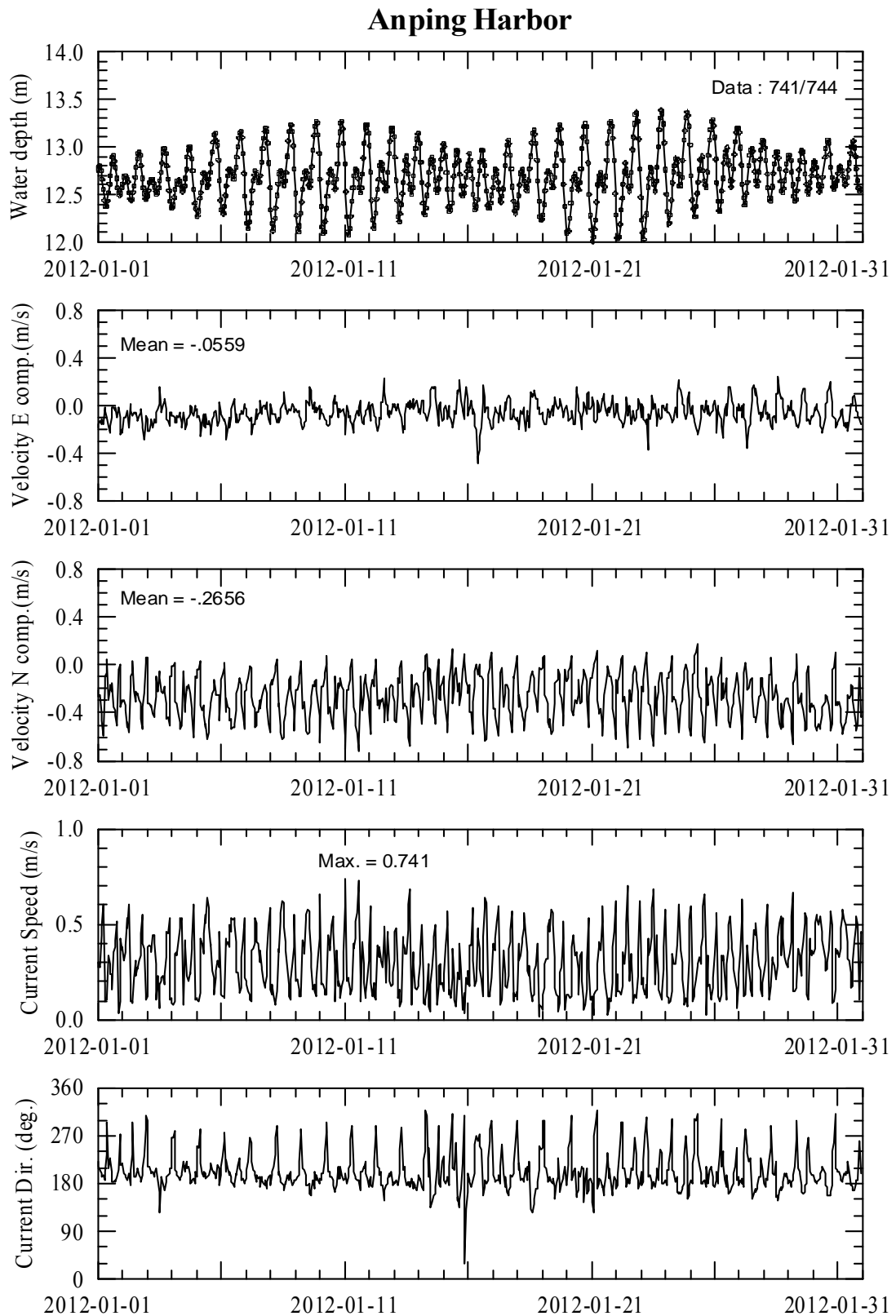
附圖2.5 高雄港2012年潮位觀測資料與天文潮預測值之比較



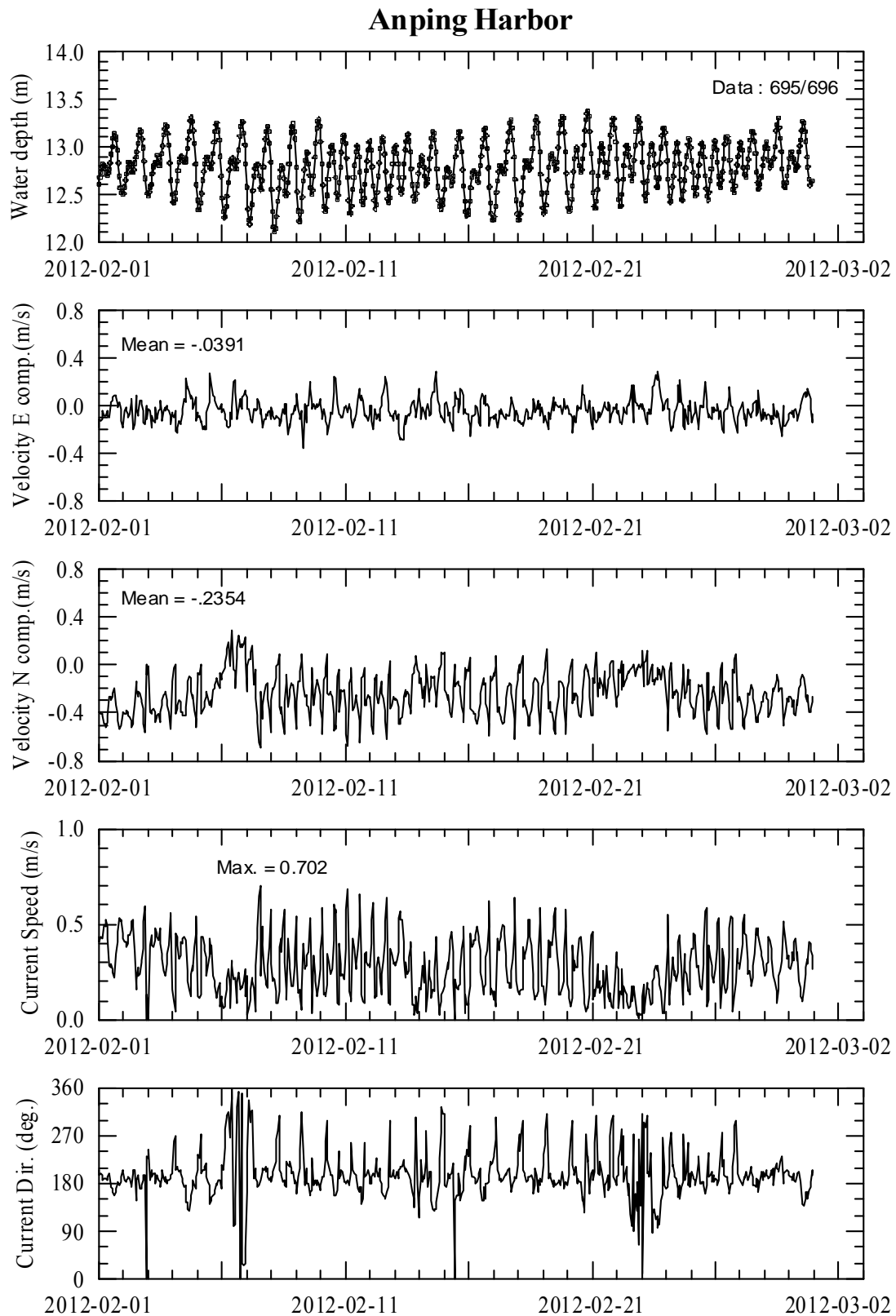
附圖2.5 (續)高雄港2012年潮位觀測資料與天文潮預測值之比較

## 附錄三

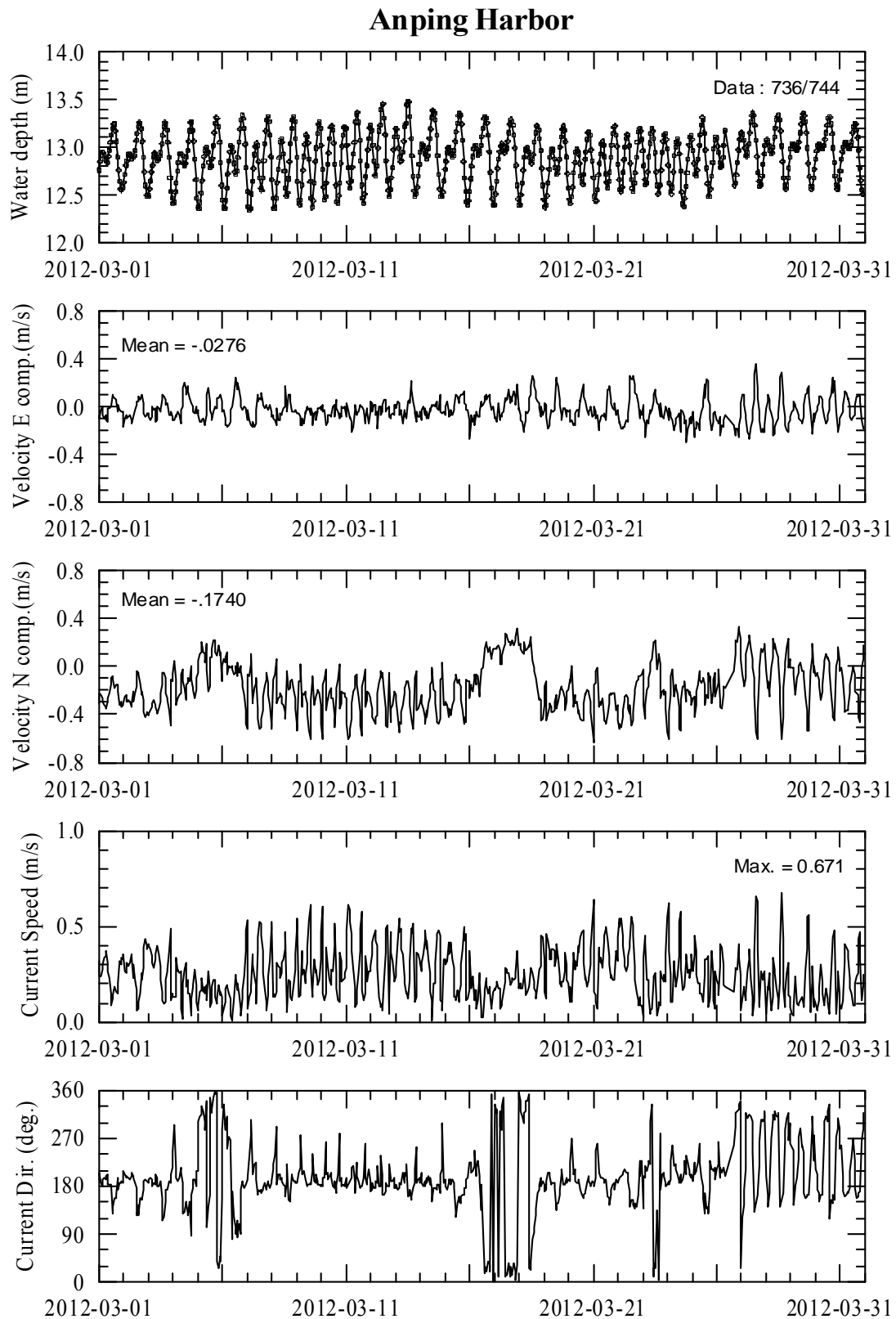
### 2012 年安平港及高雄港海流觀測資料



附圖3.1 安平港區海流觀測資料時序列圖

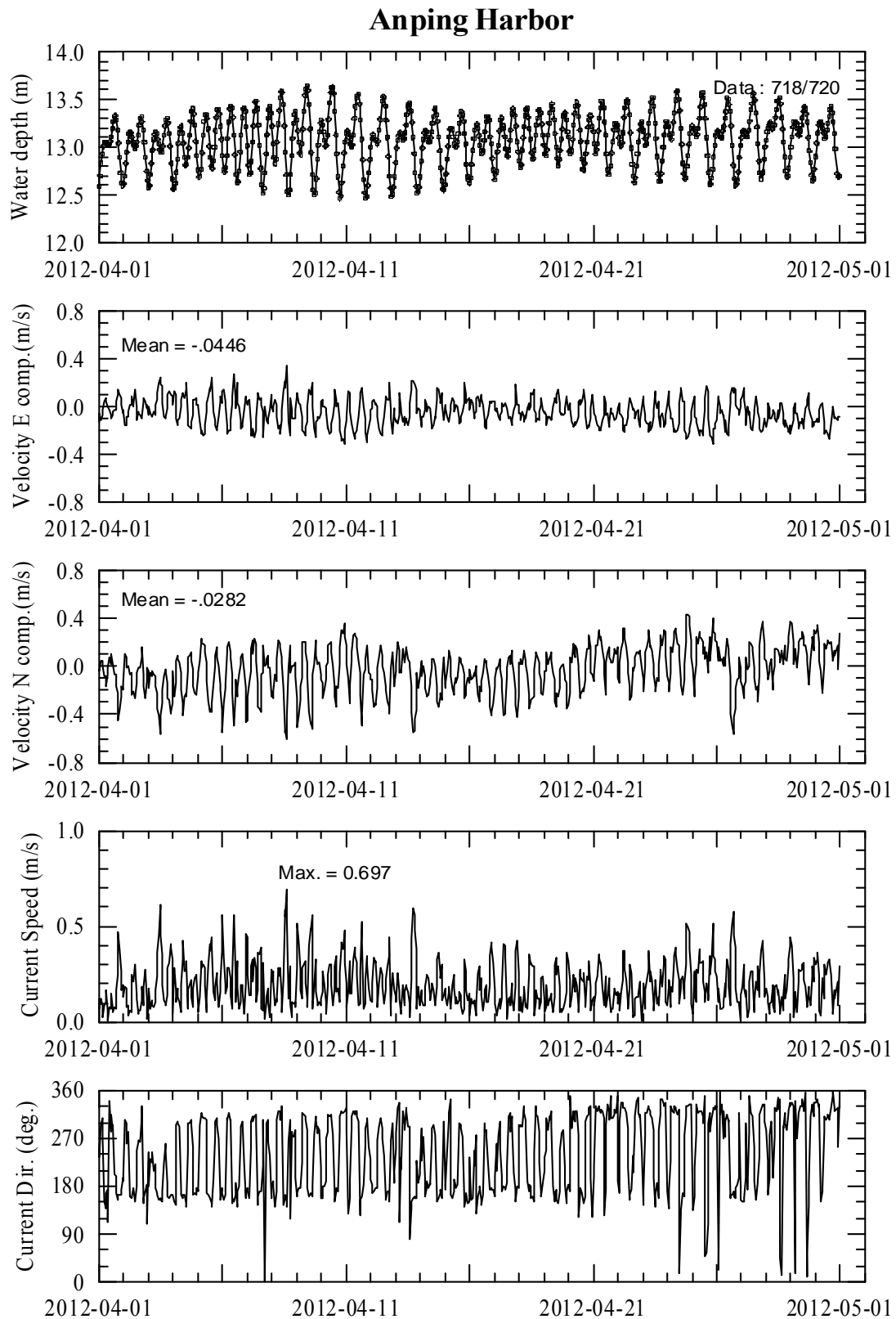


附圖3.1 (續1)安平港區海流觀測資料時序列圖

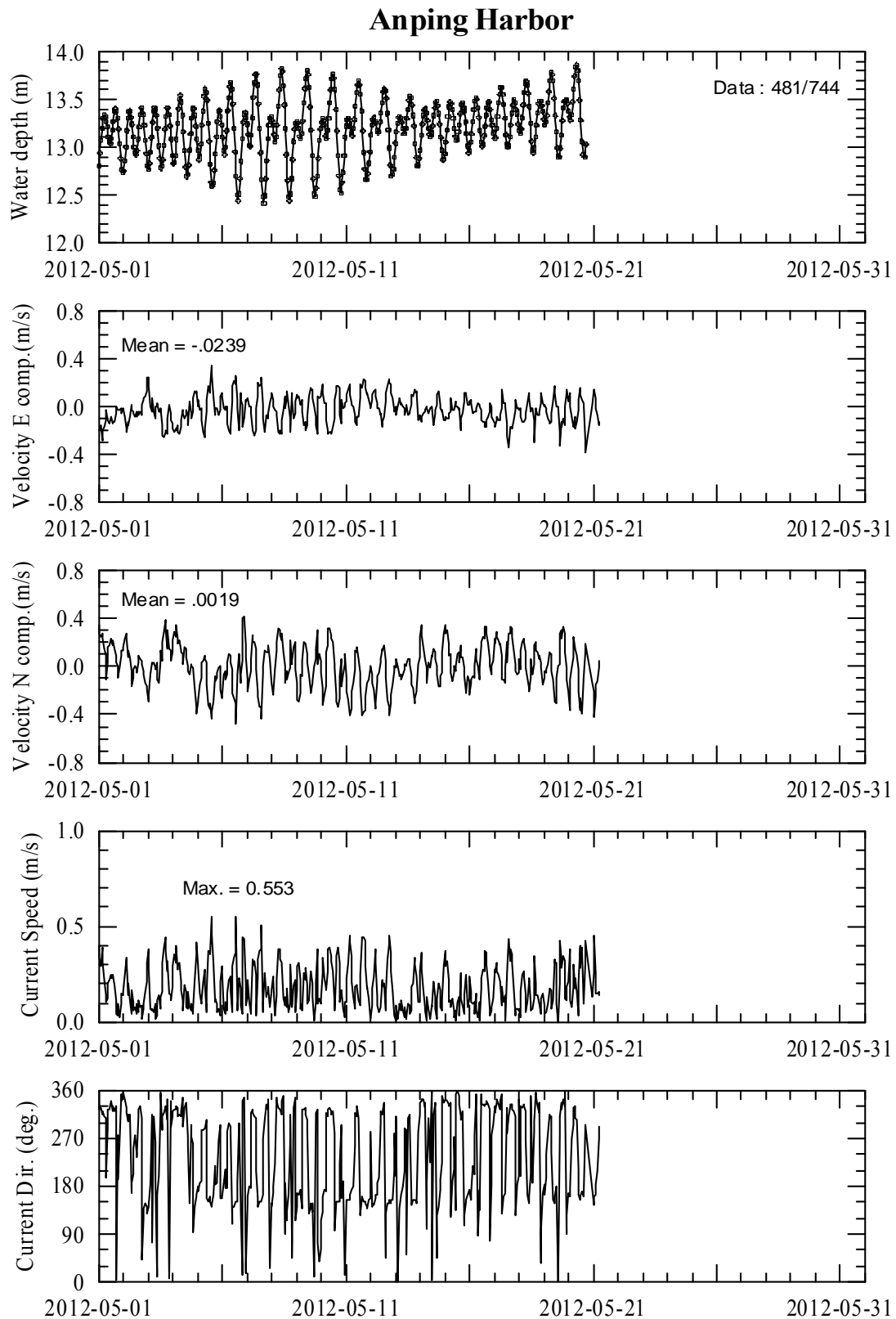


附圖3.1 (續2)安平港區海流觀測資料時序列圖

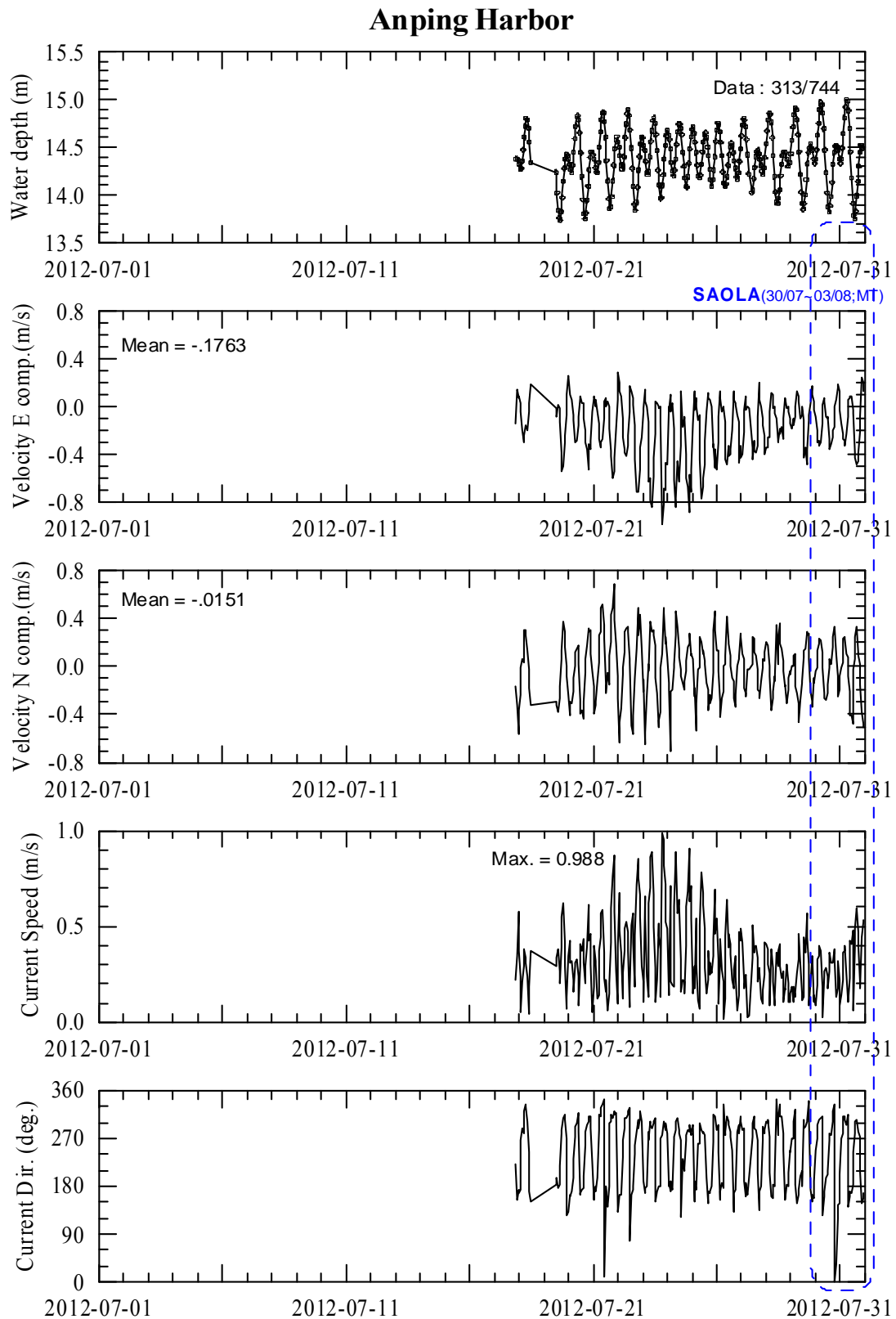




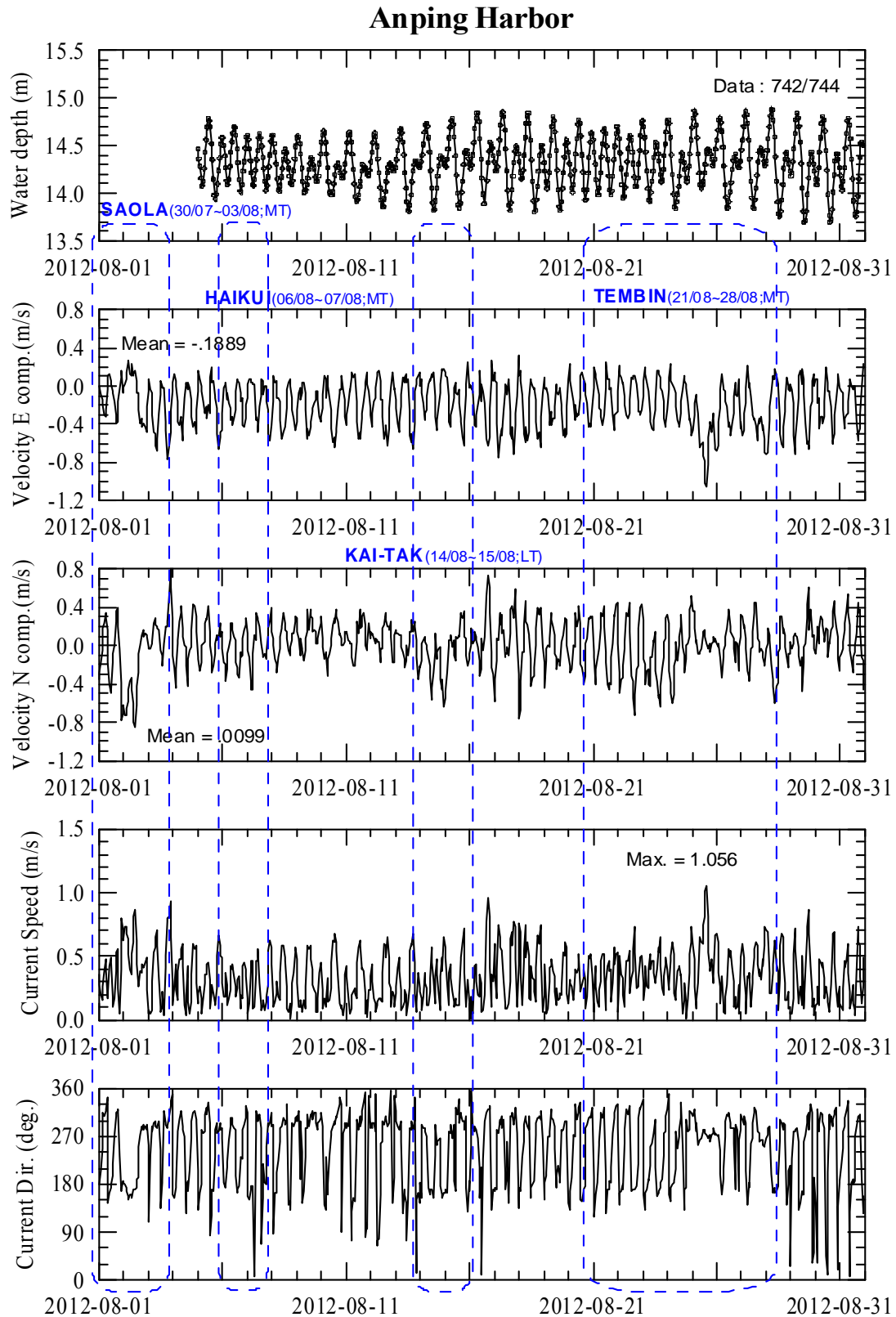
附圖3.1 (續3)安平港區海流觀測資料時序列圖



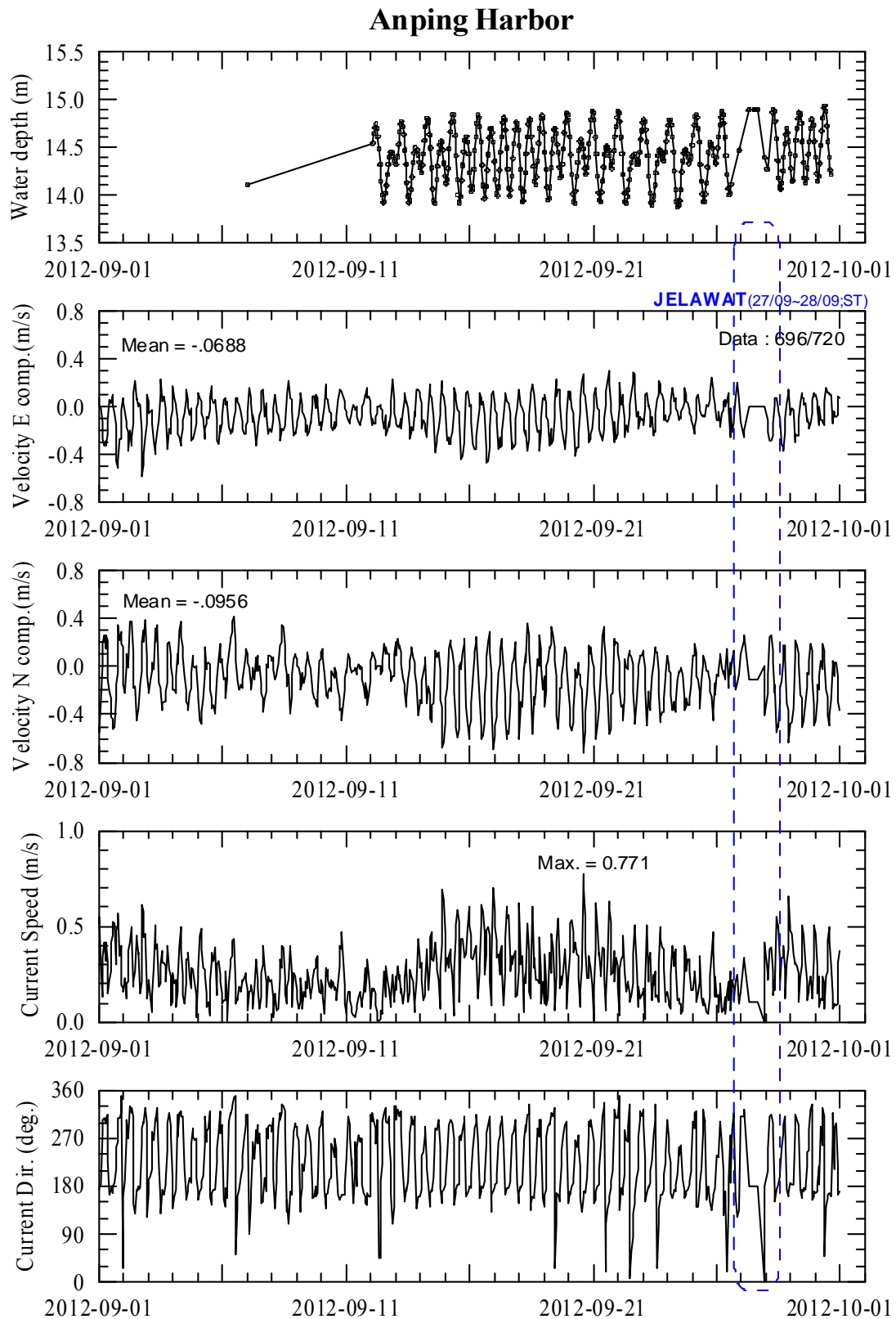
附圖3.1 (續4)安平港區海流觀測資料時序列圖



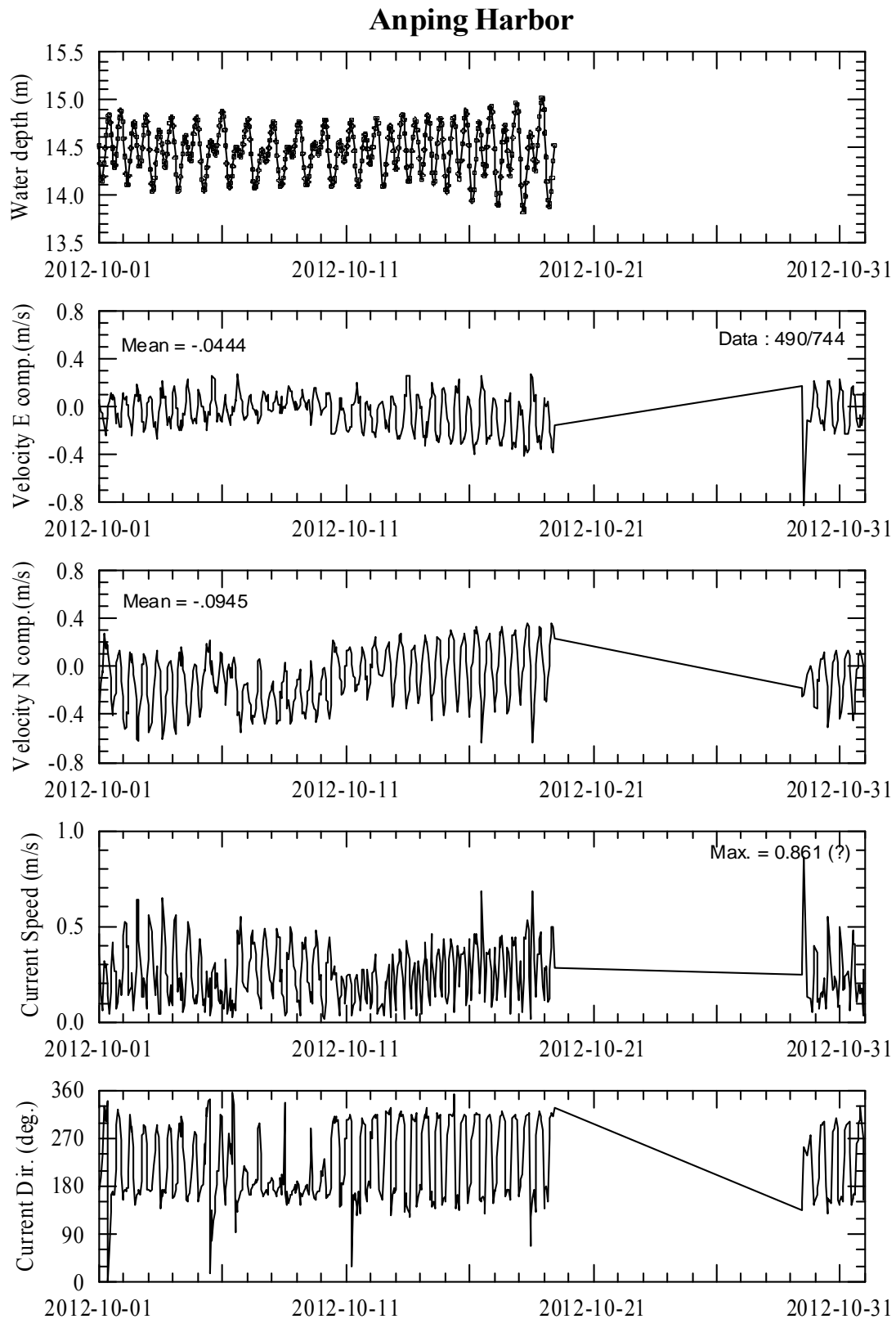
附圖3.1 (續5)安平港區海流觀測資料時序列圖



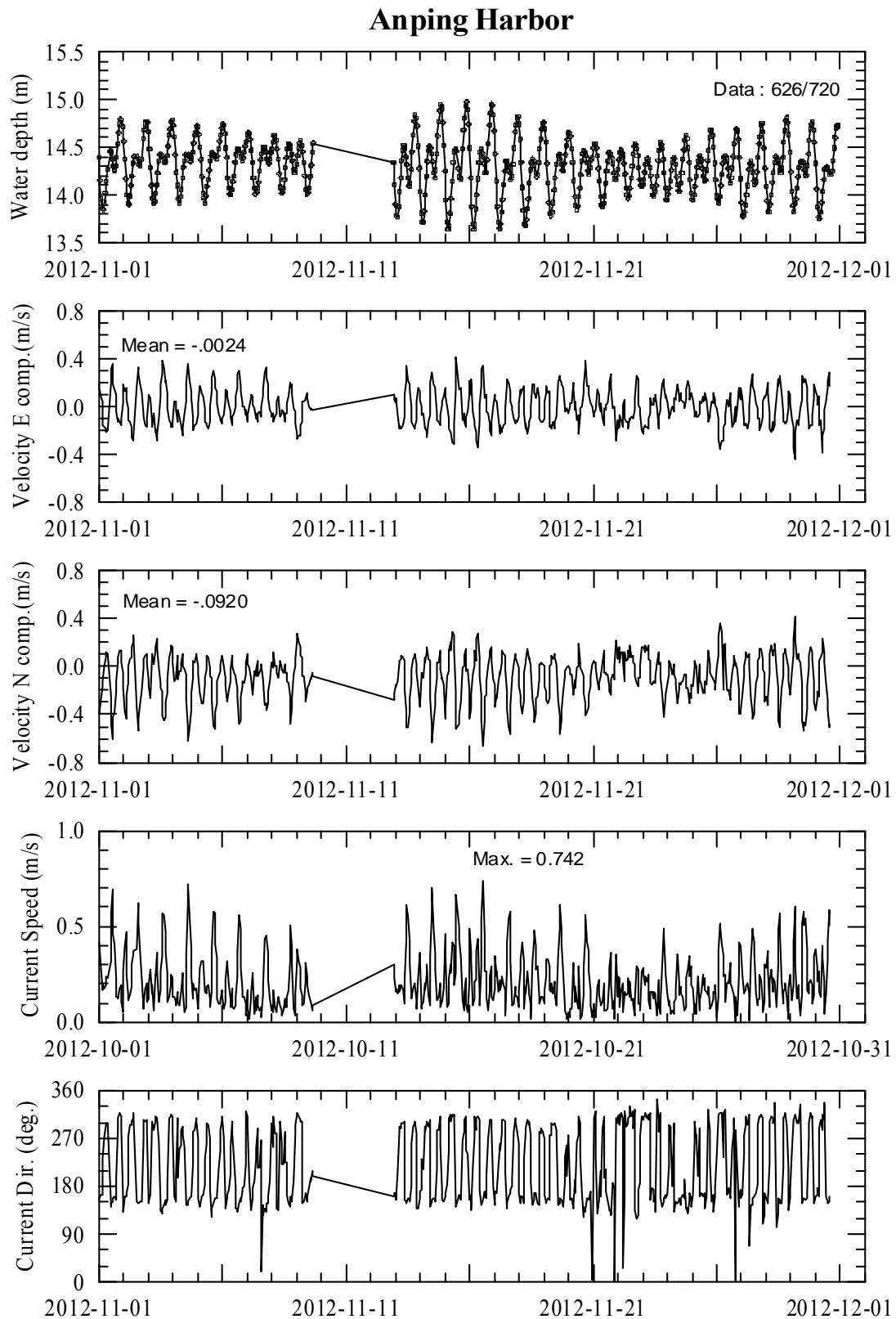
附圖3.1 (續6)安平港區海流觀測資料時序列圖



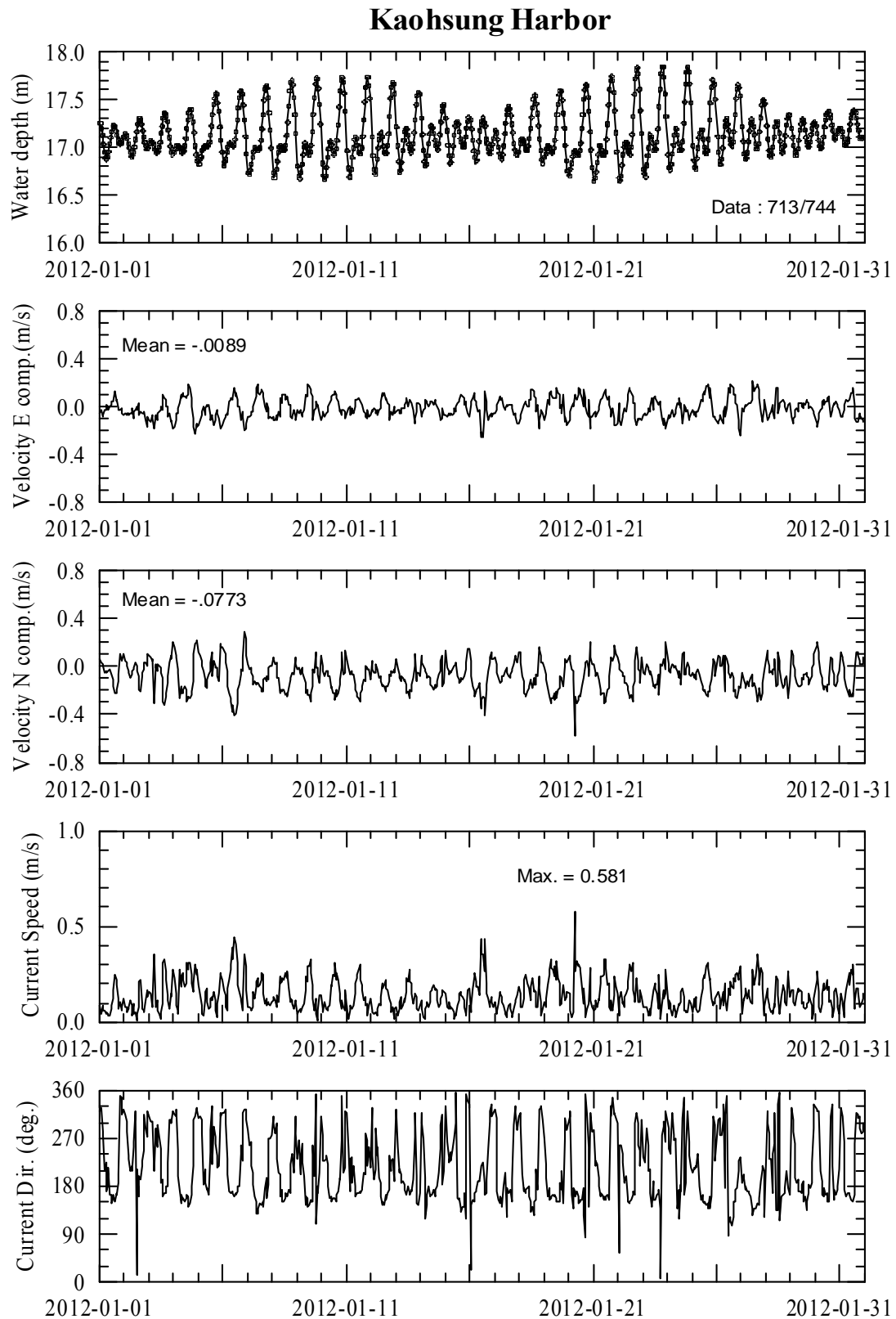
附圖3.1 (續7)安平港區海流觀測資料時序列圖



附圖3.1 (續8)安平港區海流觀測資料時序列圖

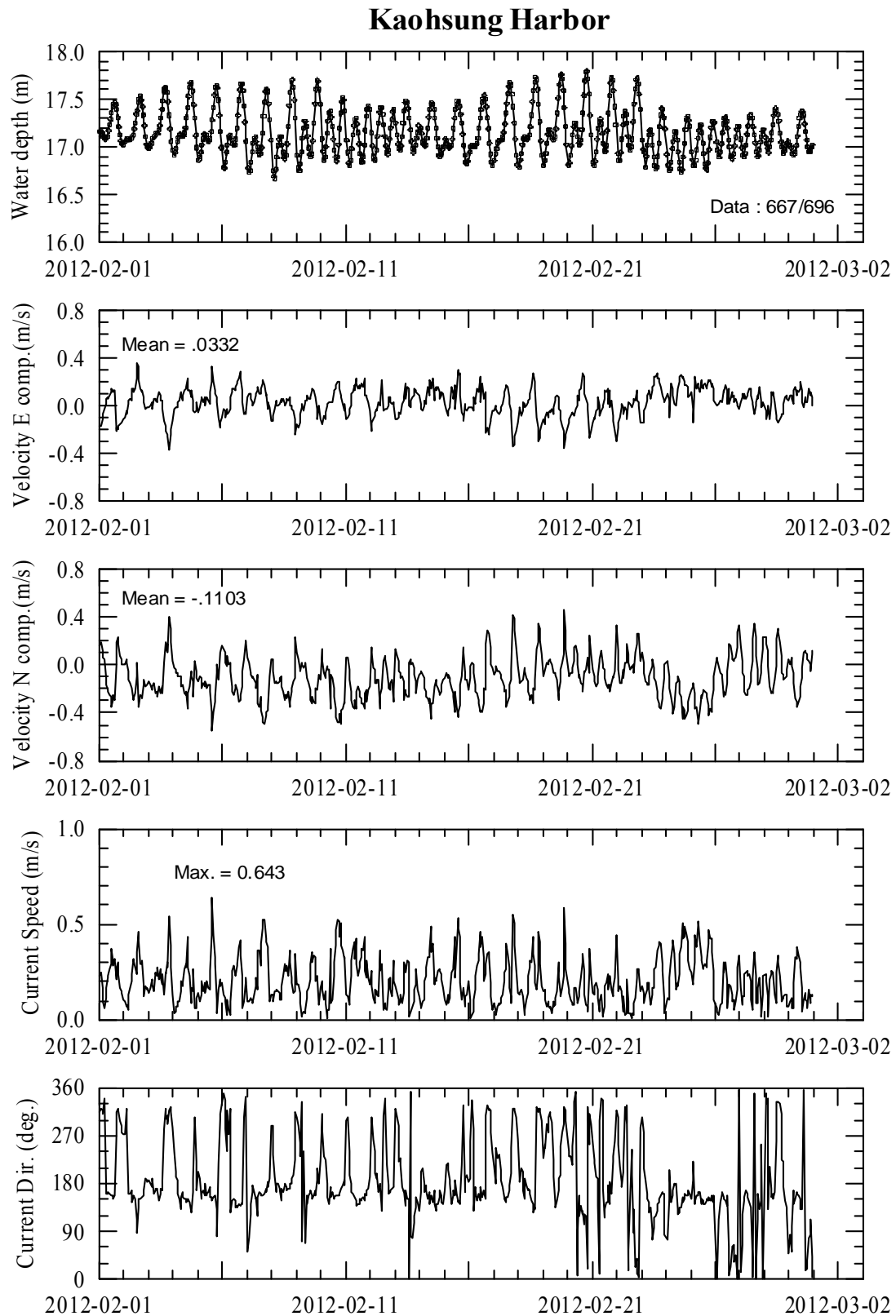


附圖3.1 (續9)安平港區海流觀測資料時序列圖

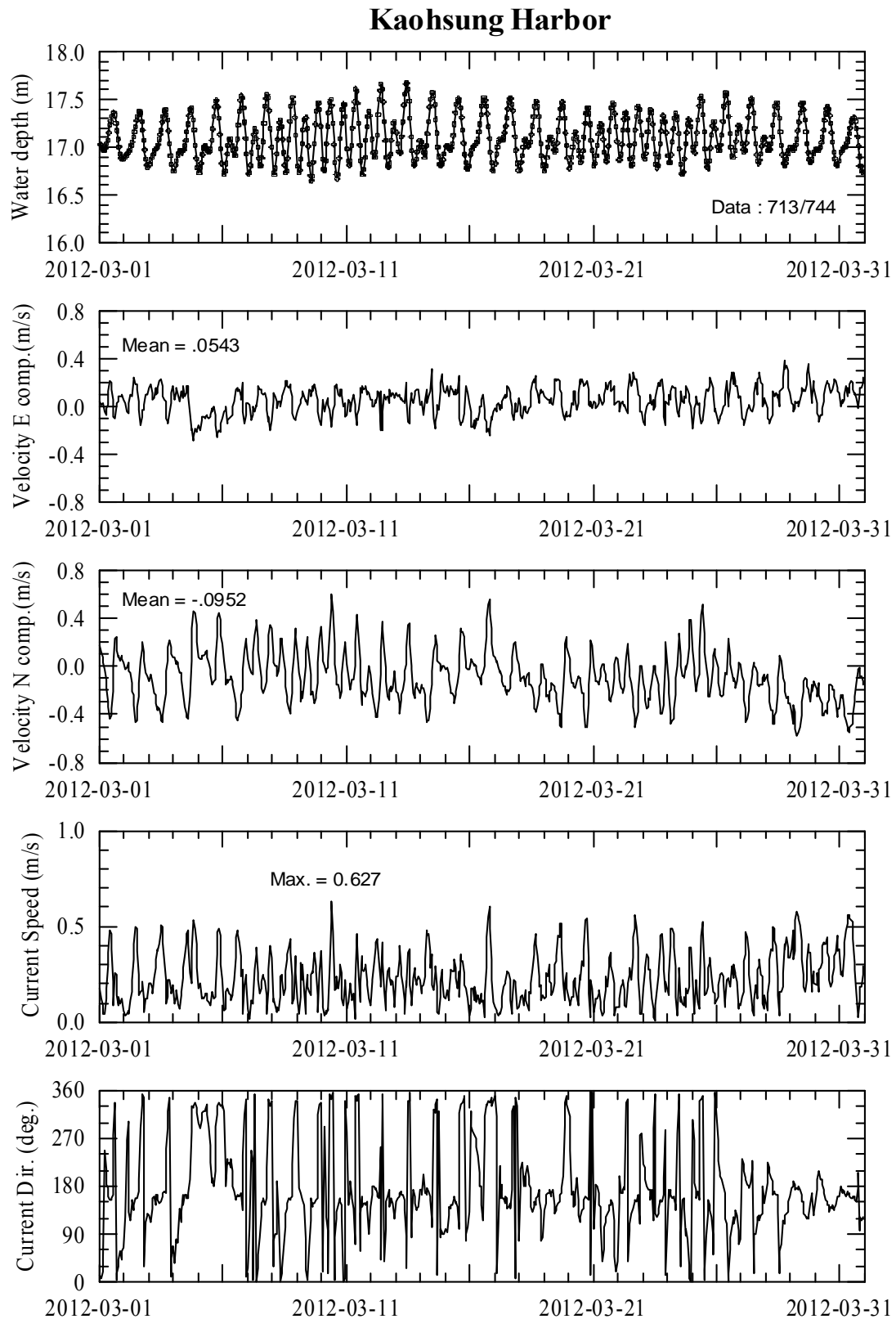


附圖3.2 高雄港海流觀測資料時序列圖

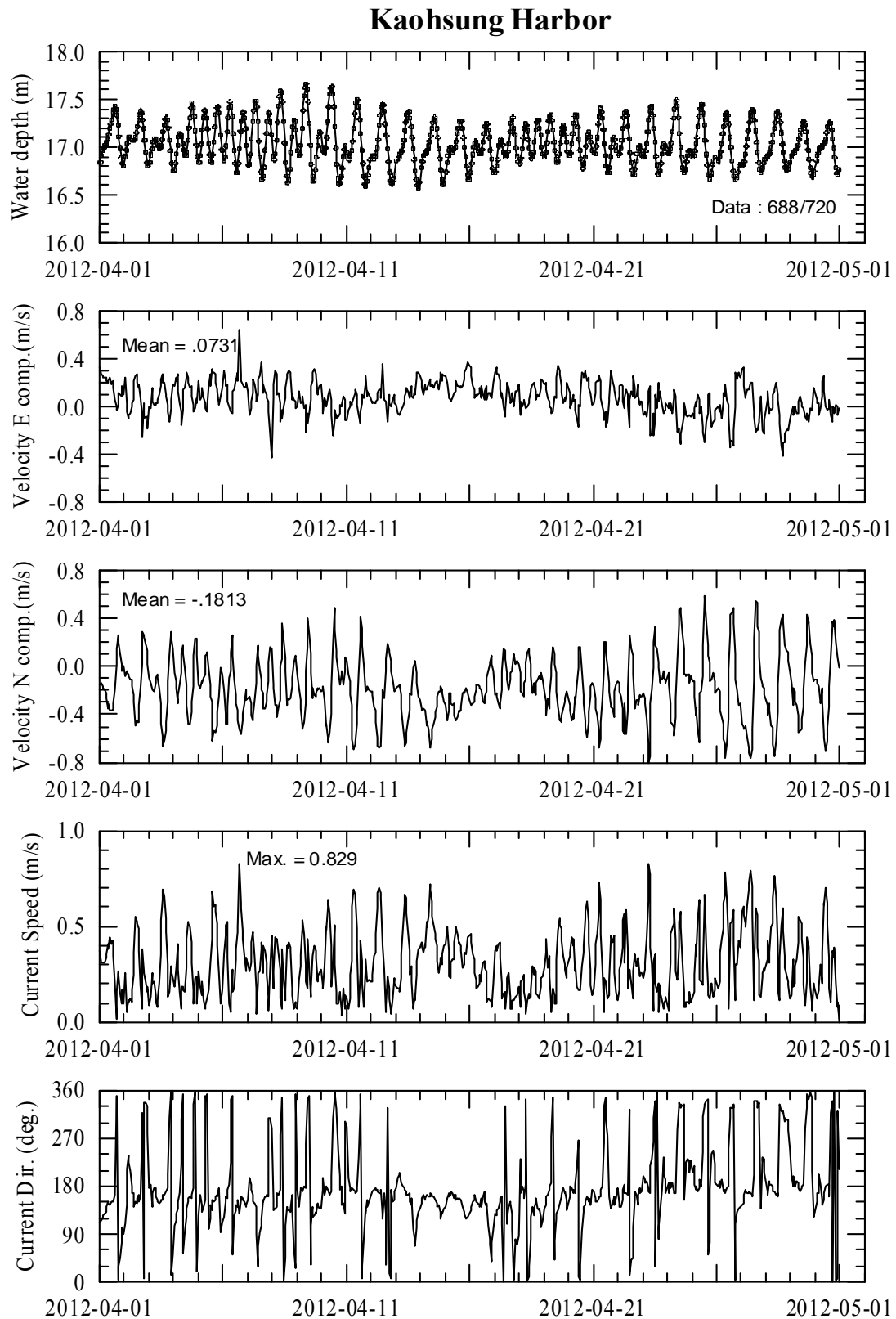




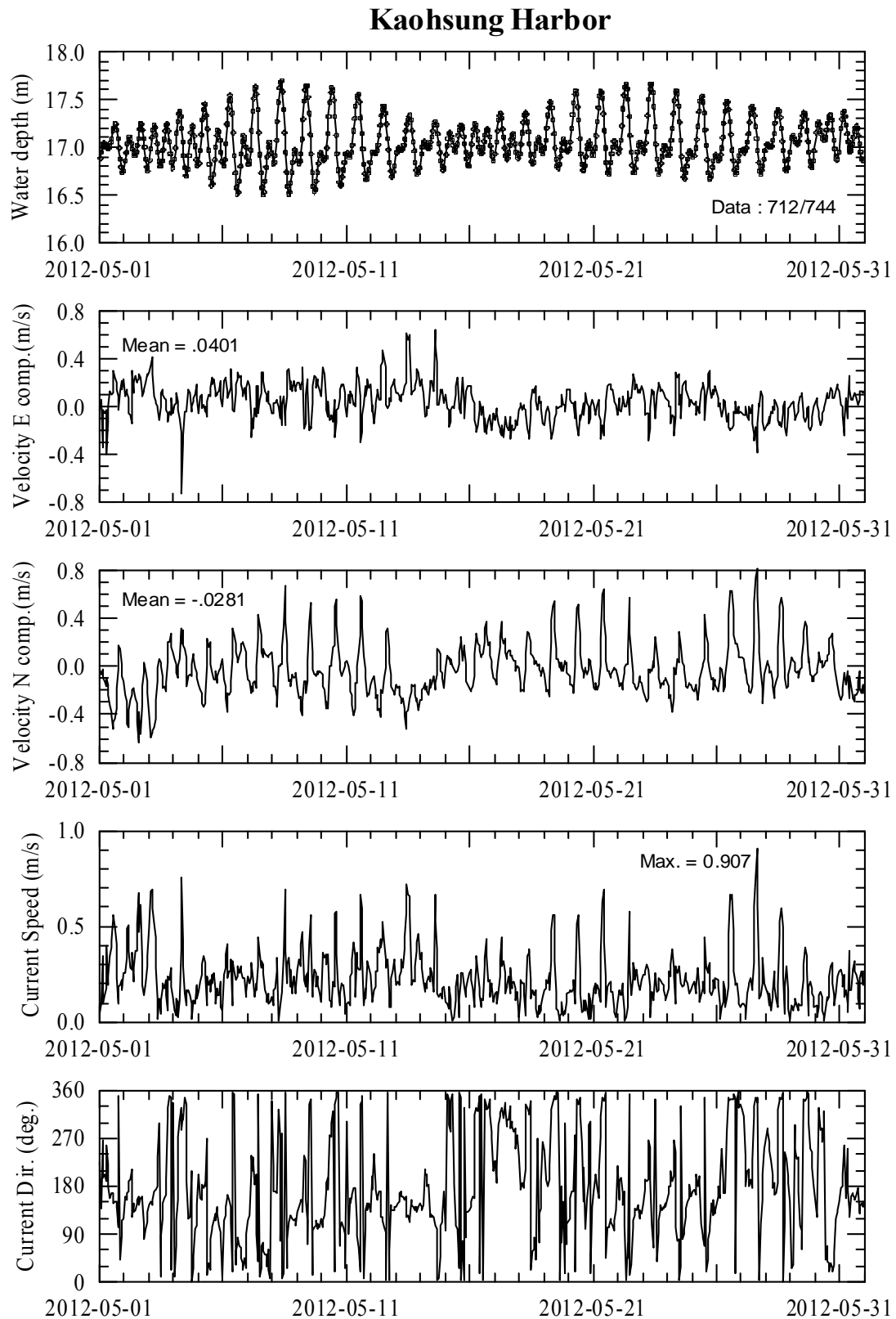
附圖3.2 (續1)高雄港區海流觀測資料時序列圖



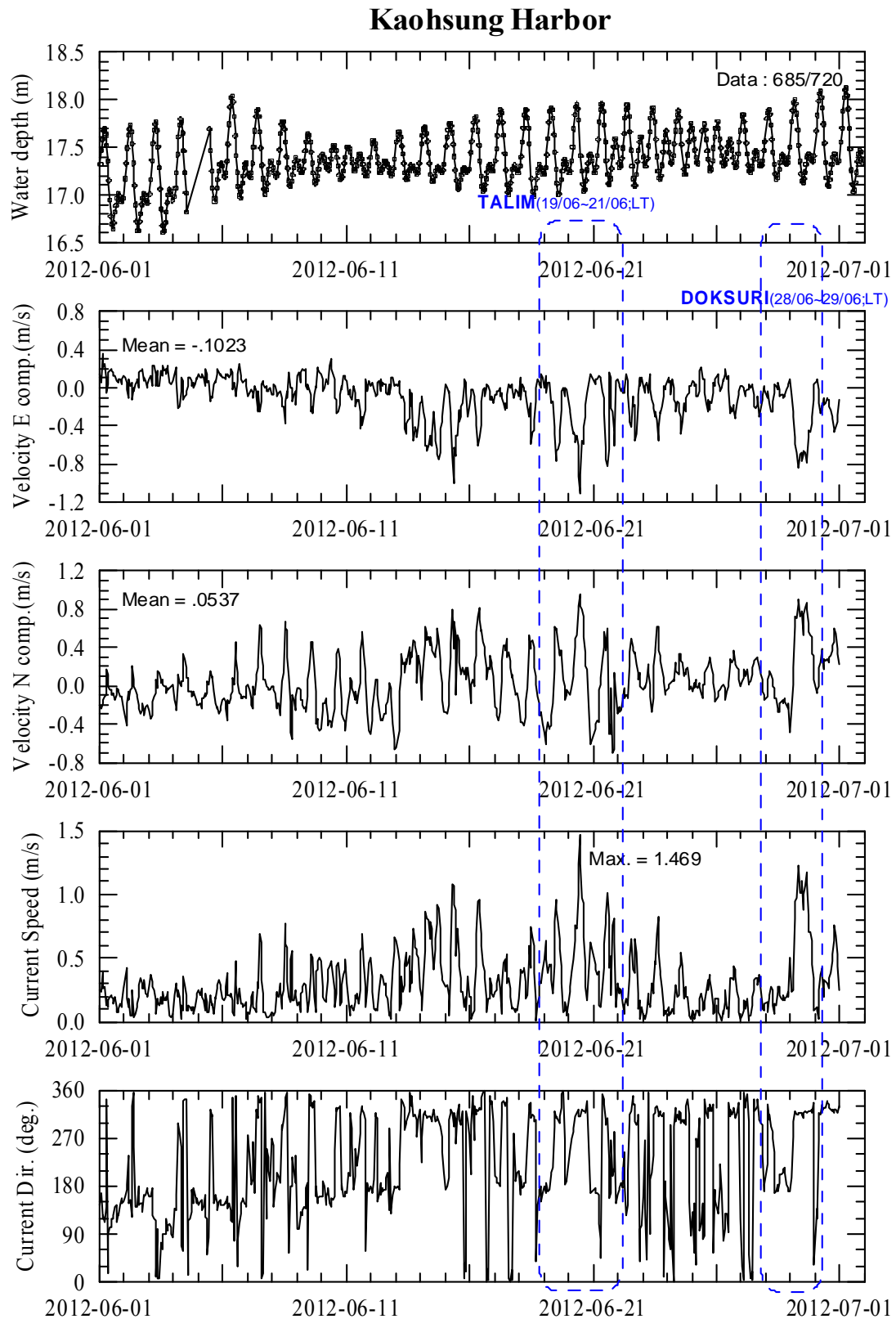
附圖3.2 (續2)高雄港區海流觀測資料時序列圖



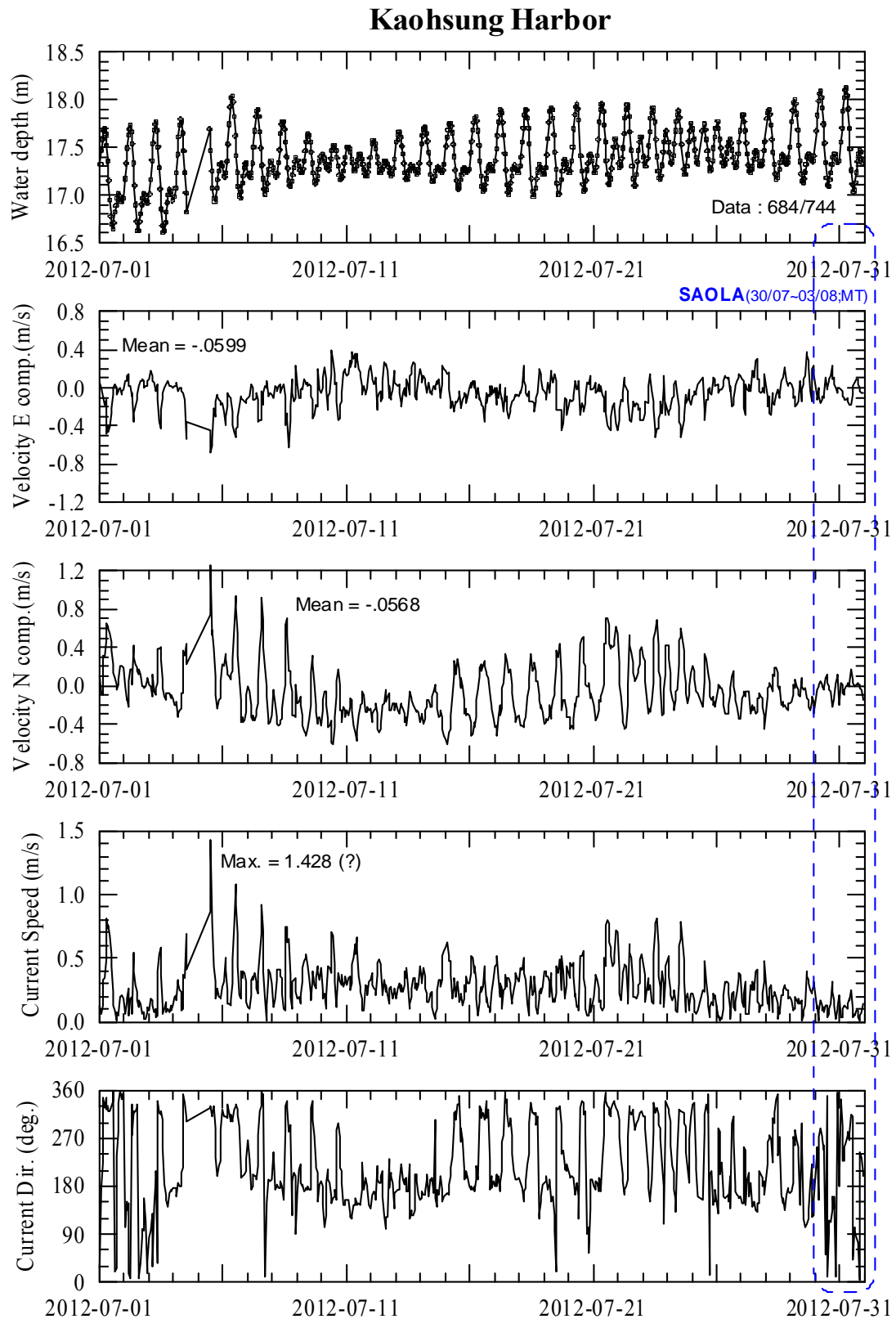
附圖3.2 (續3)高雄港區海流觀測資料時序列圖



附圖3.2 (續4)高雄港區海流觀測資料時序列圖

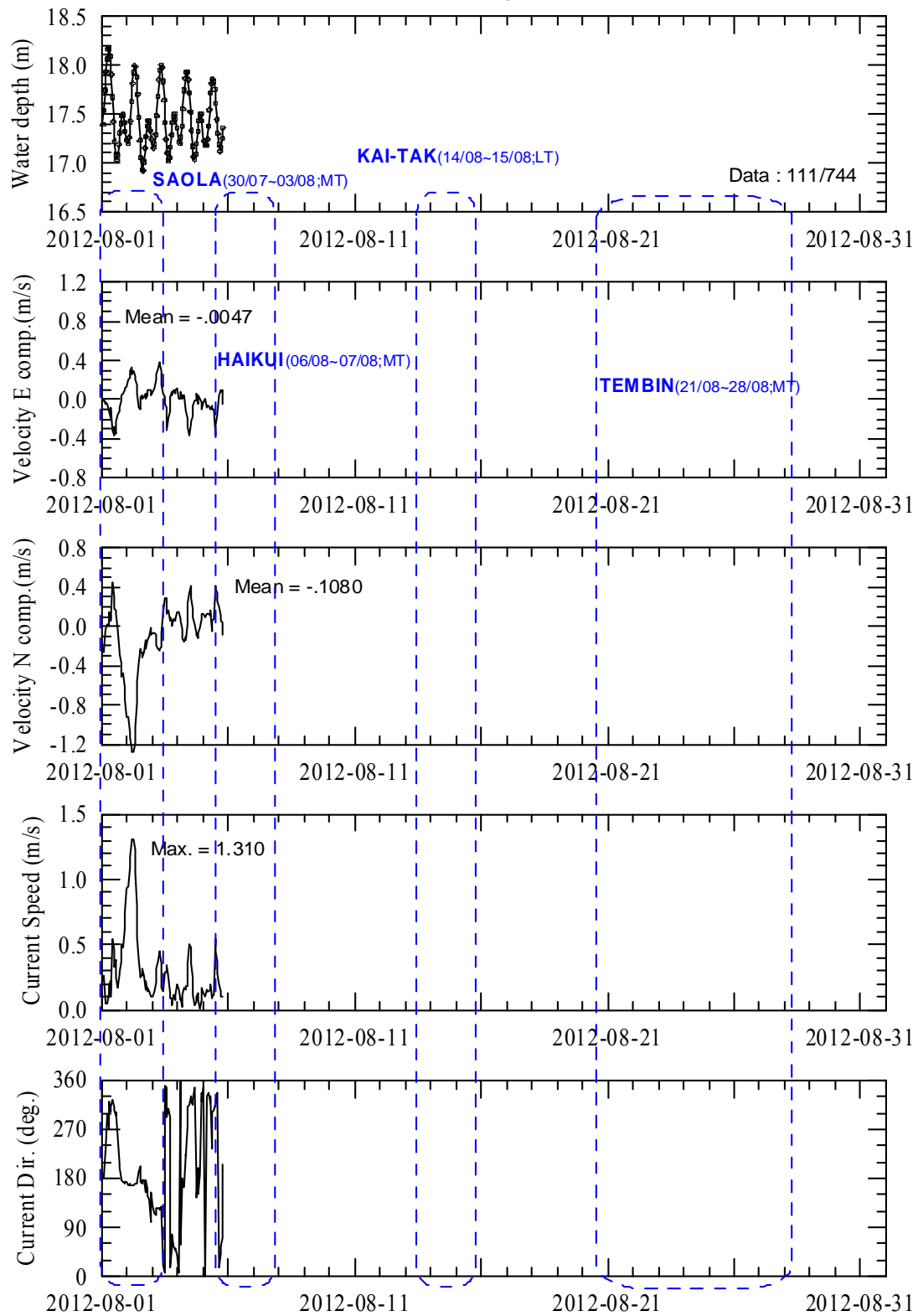


附圖3.2 (續5)高雄港區海流觀測資料時序列圖

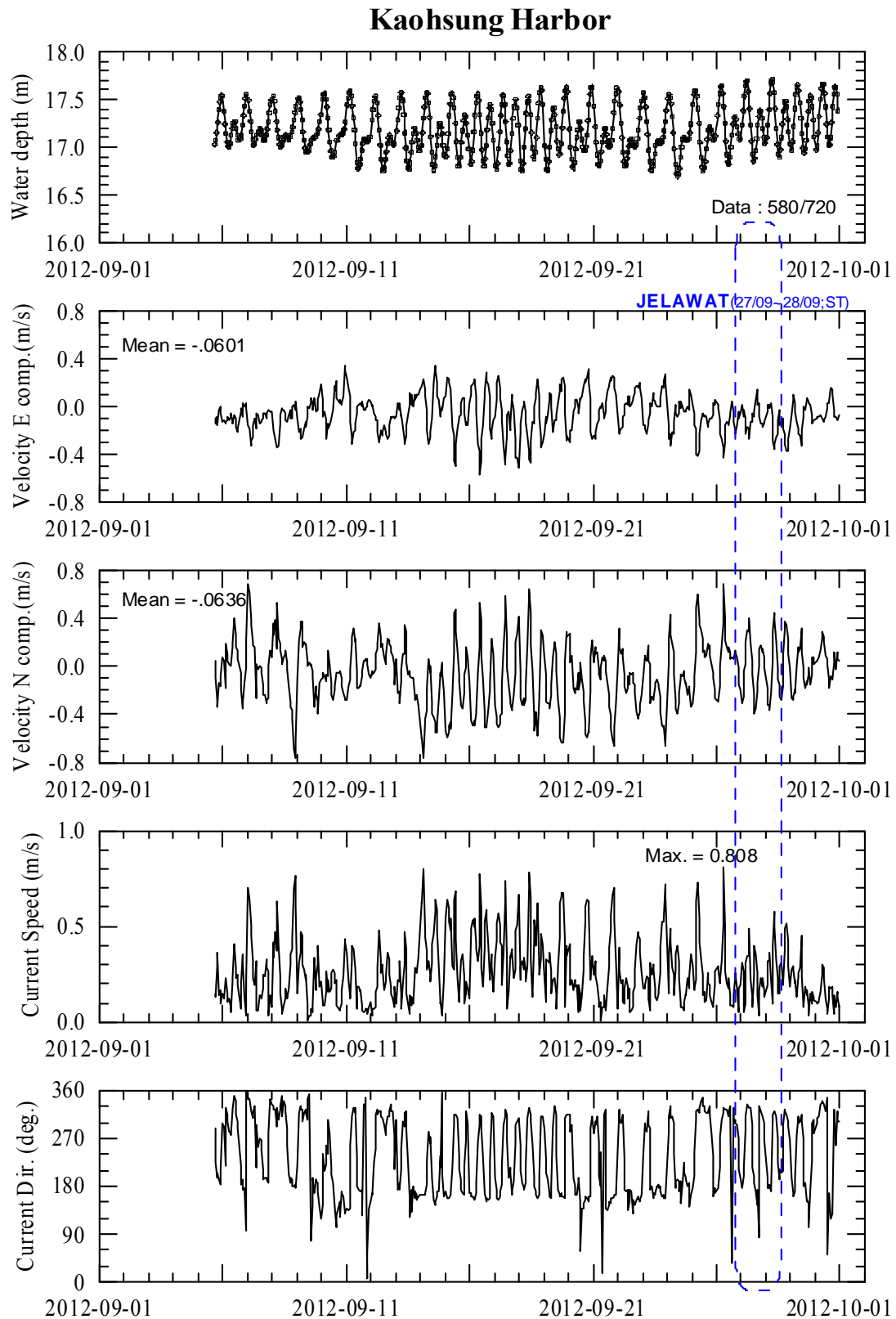


附圖3.2 (續6)高雄港區海流觀測資料時序列圖

## Kaohsiung Harbor

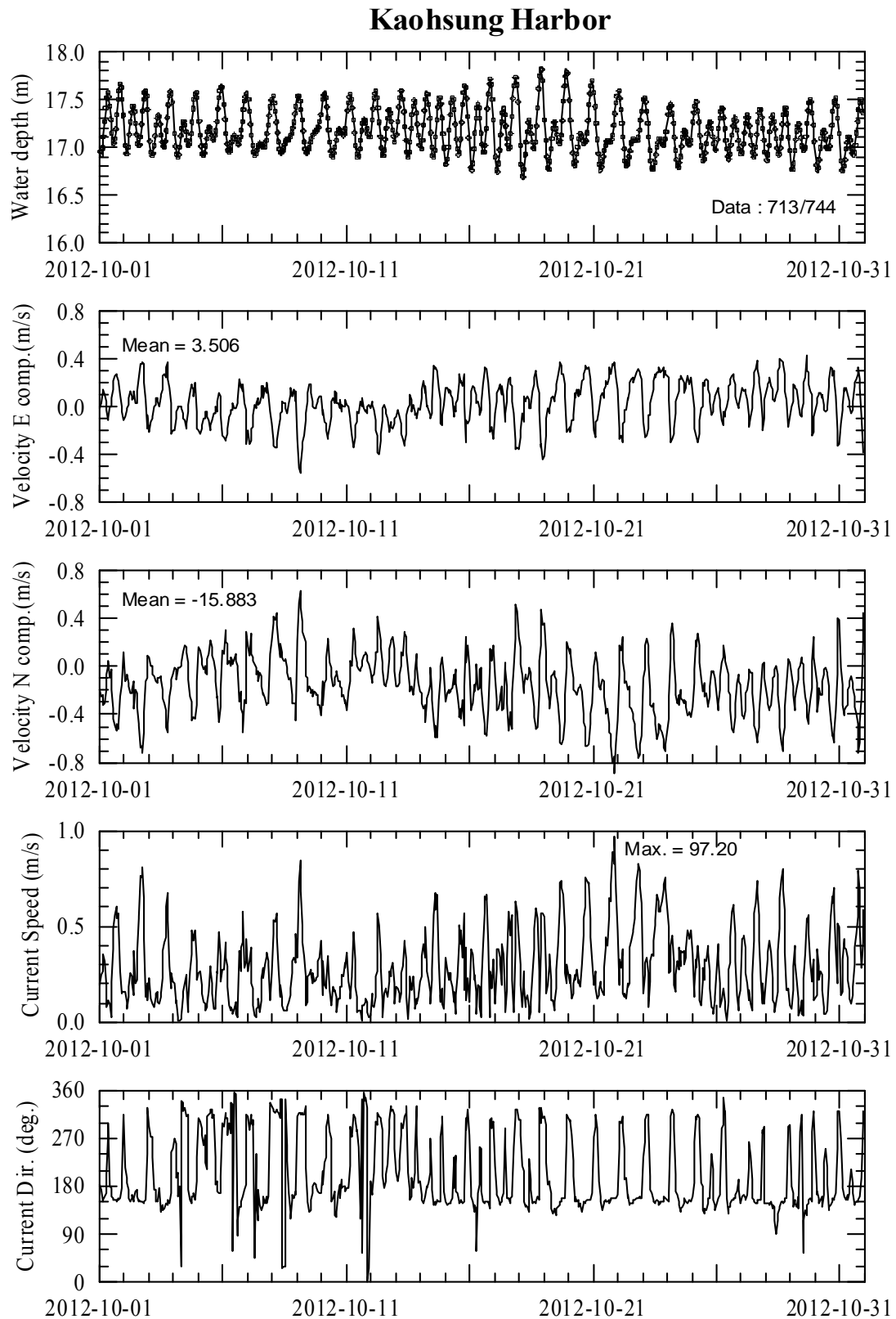


附圖3.2 (續7)高雄港區海流觀測資料時序列圖

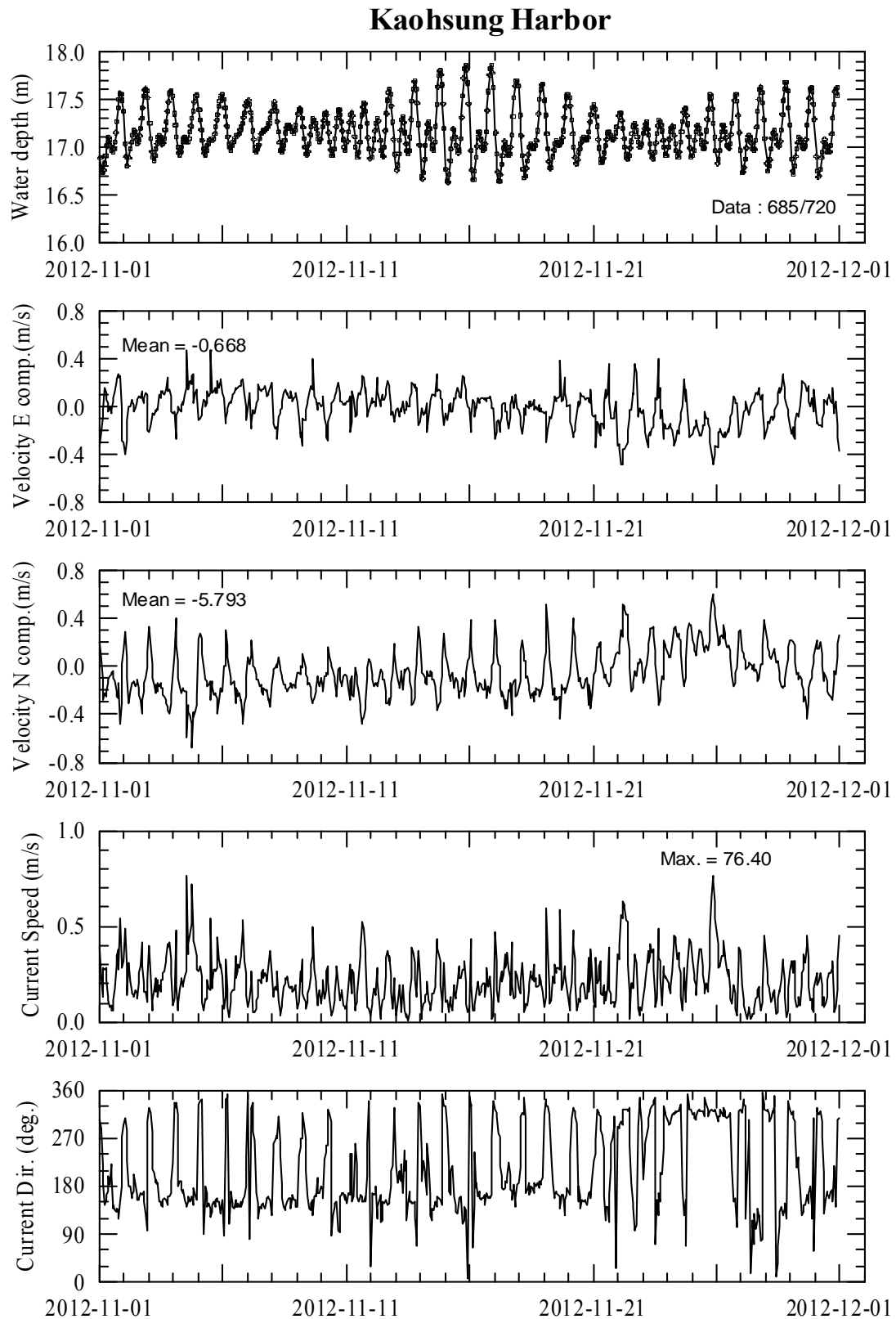


附圖3.2 (續8)高雄港區海流觀測資料時序列圖





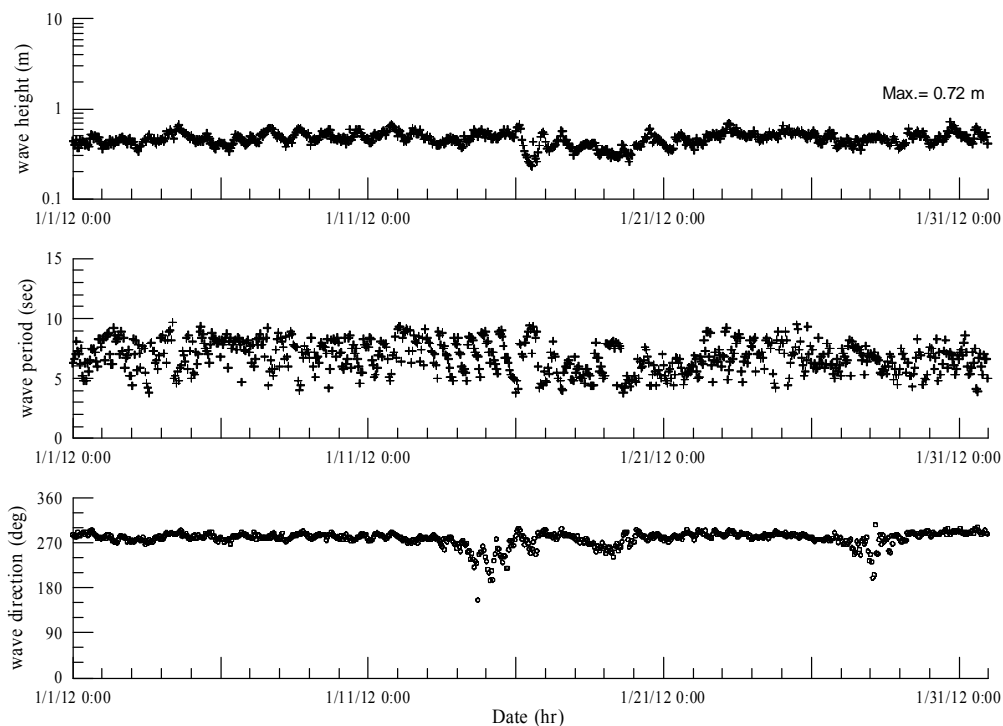
附圖3.2 (續9)高雄港區海流觀測資料時序列圖



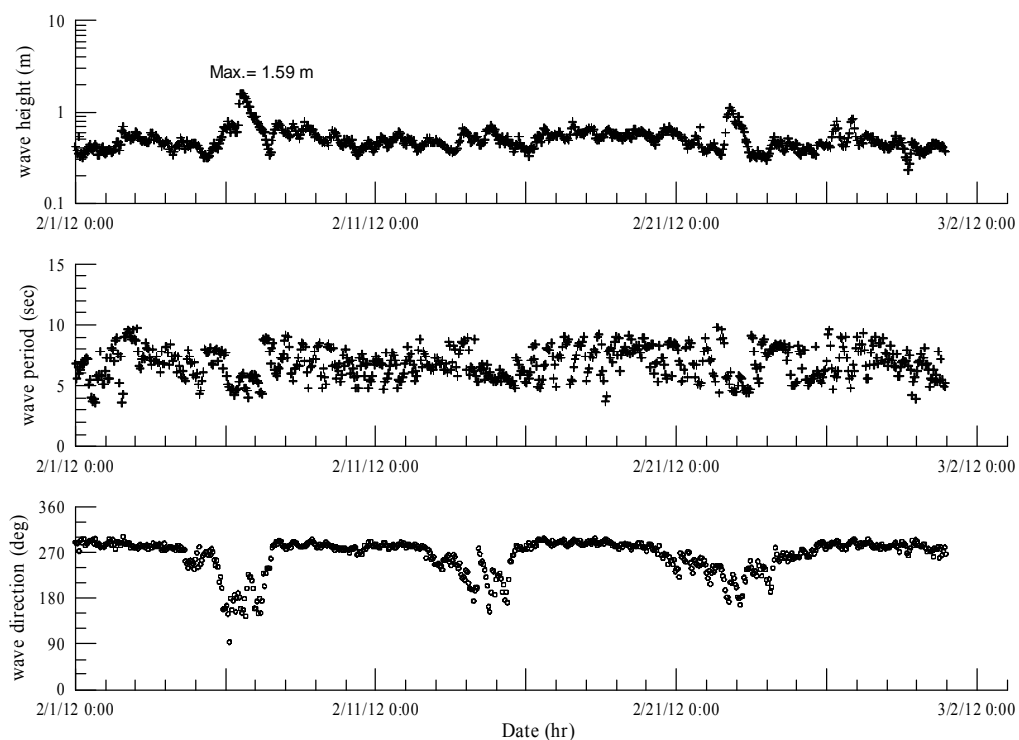
附圖3.2 (續10)高雄港區海流觀測資料時序列圖

## 附錄四

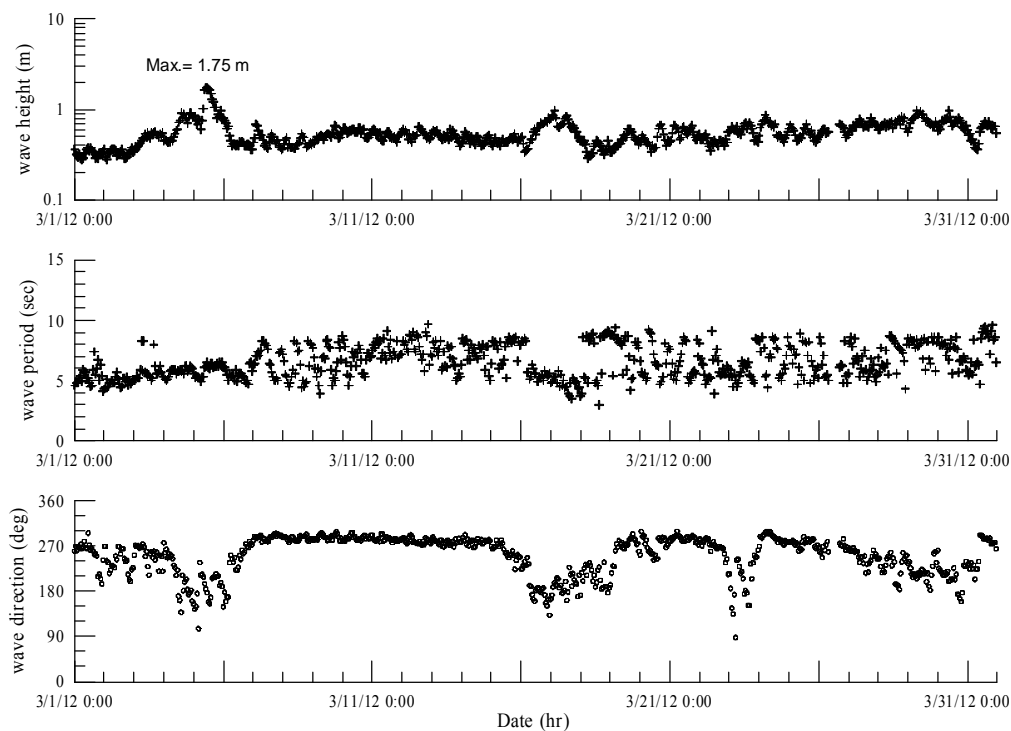
### 2012 年安平港及高雄港波浪觀測資料



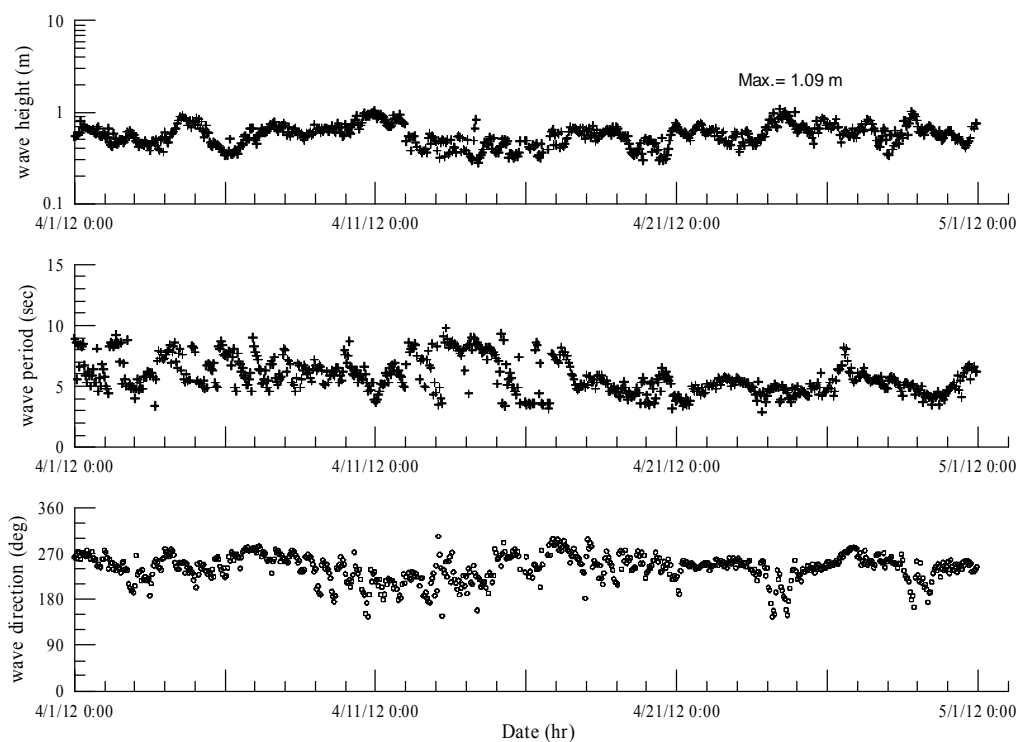
附圖4.1 2012年安平港外海波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖



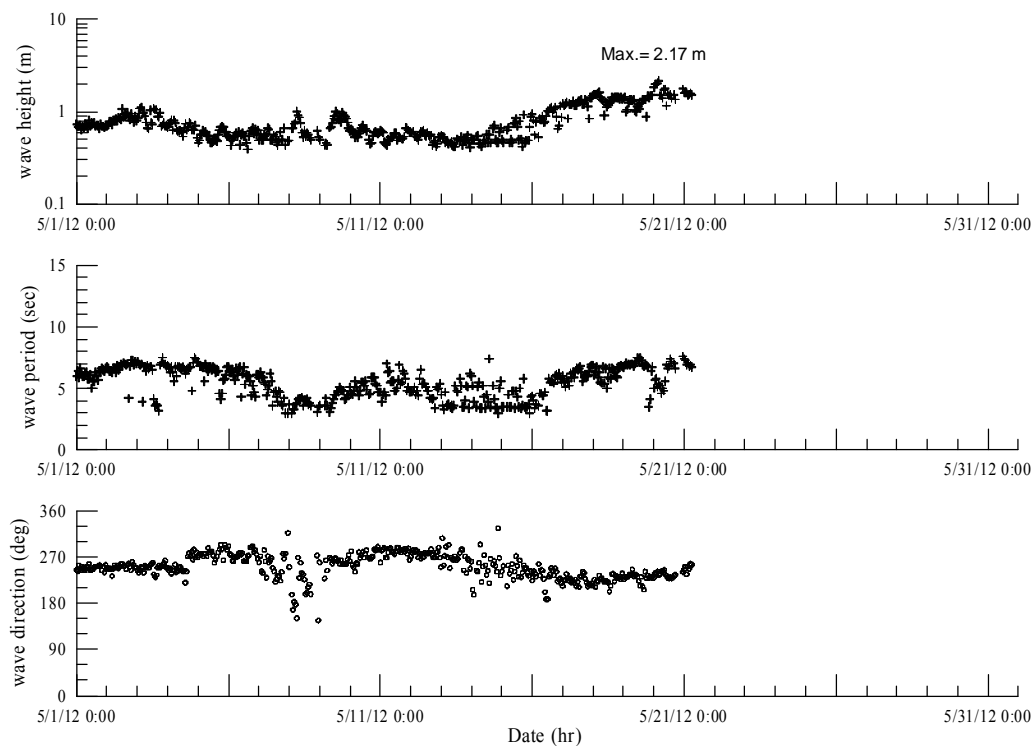
附圖4.1 (續1) 2012年安平港外海波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖



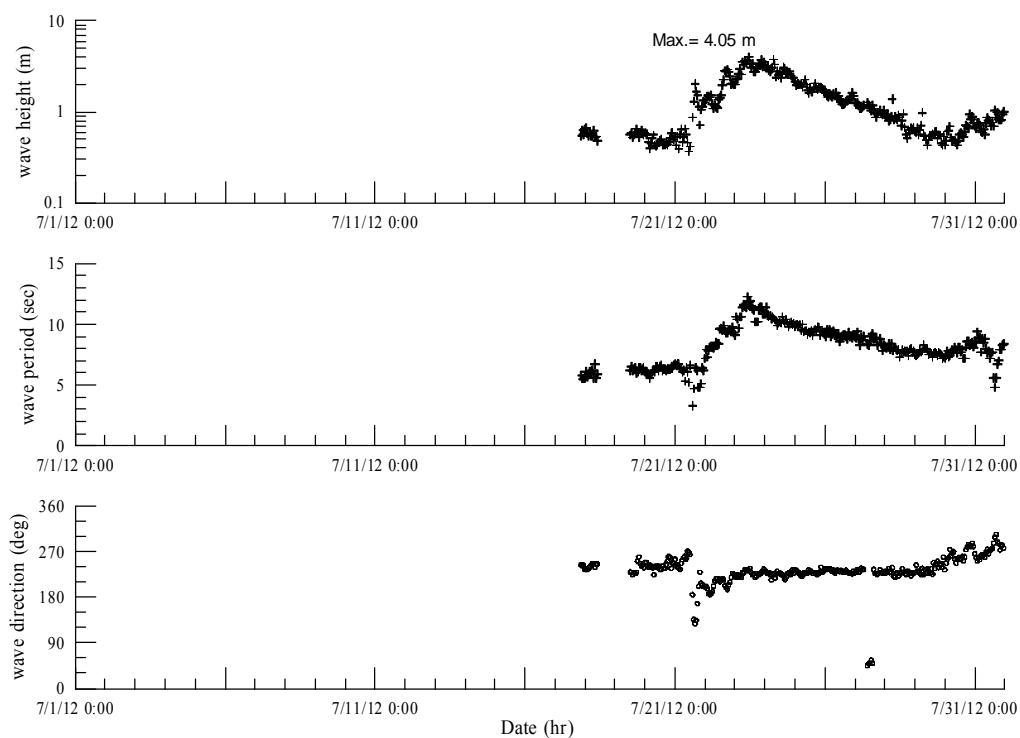
附圖 4.1 (續 2) 2012 年安平港外海波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖



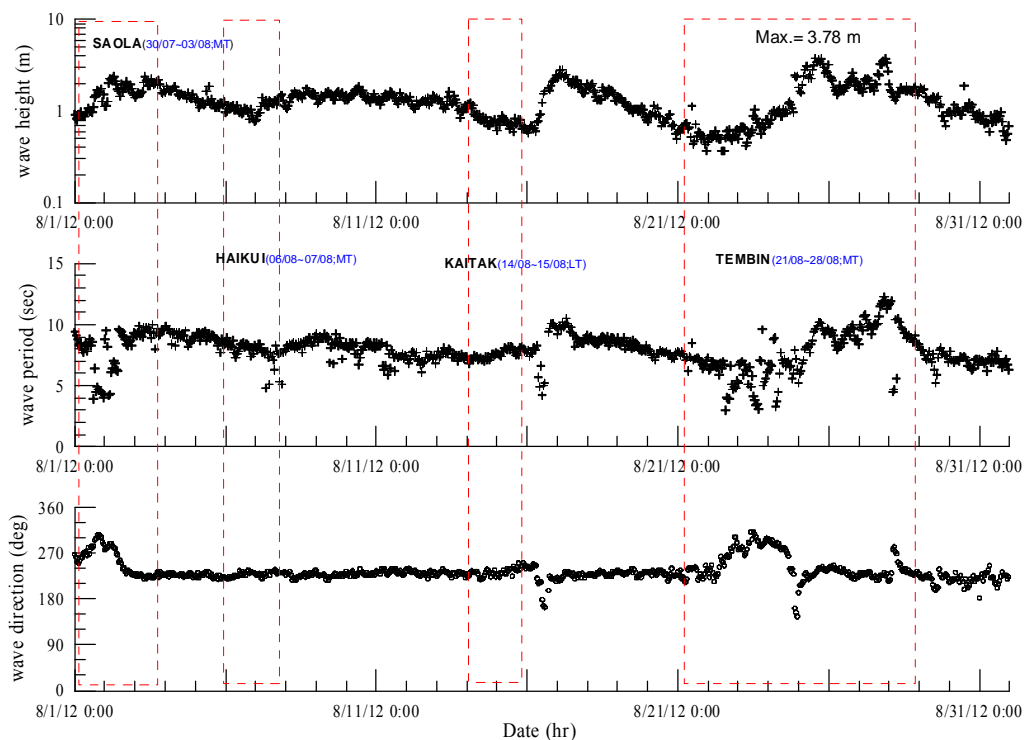
附圖 4.1 (續 3) 2012 年安平港外海波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖



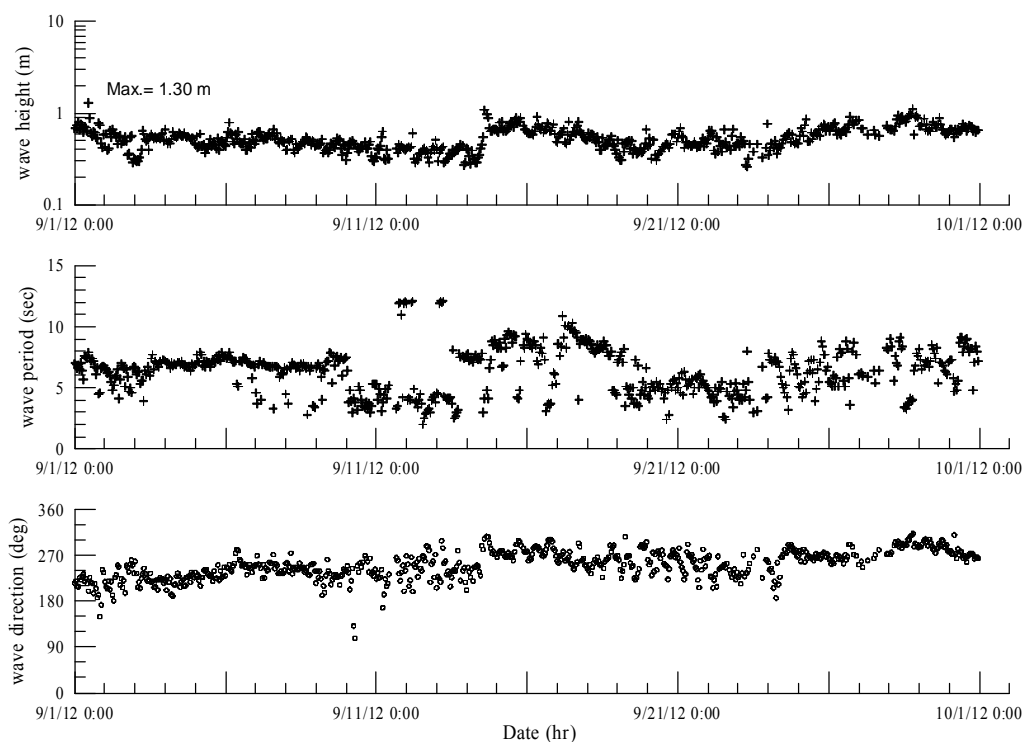
附圖 4.1 (續 4) 2012 年安平港外海波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖



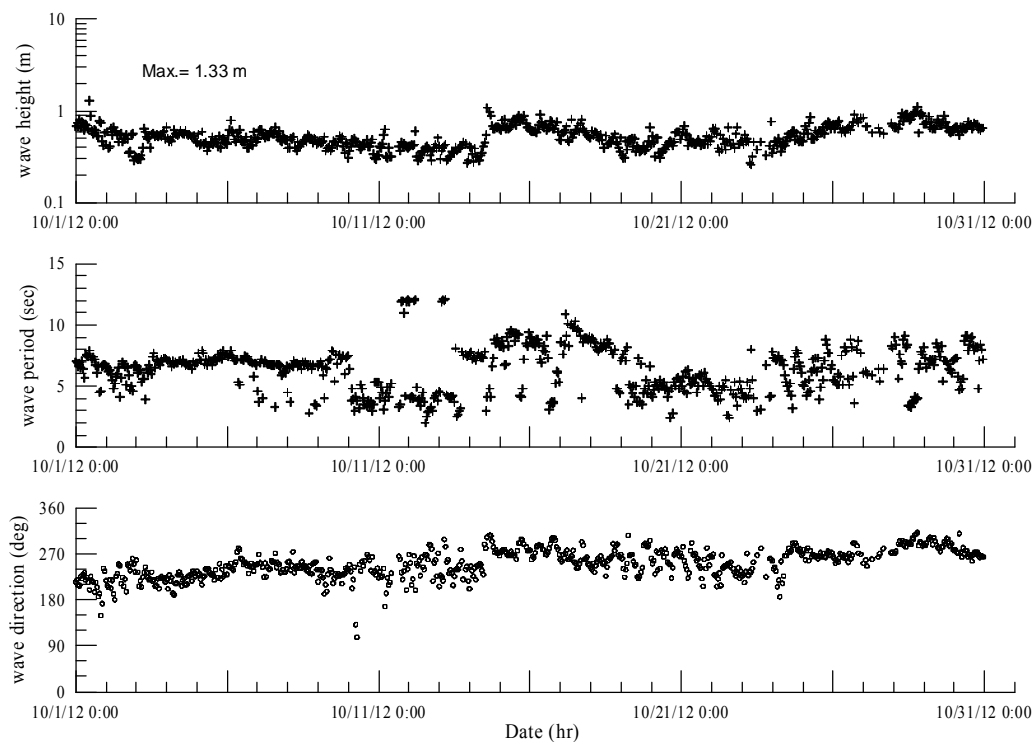
附圖 4.1 (續 5) 2012 年安平港外海波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖



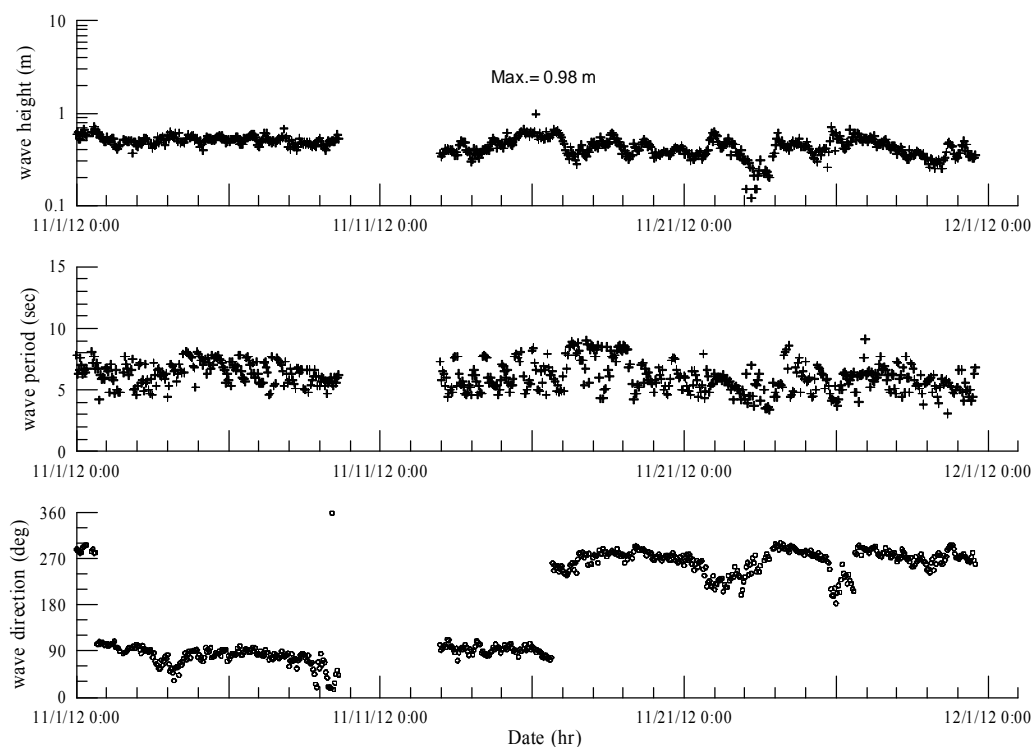
附圖 4.1 (續 6) 2012 年安平港外海波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖



附圖 4.1 (續 7) 2012 年安平港外海波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖

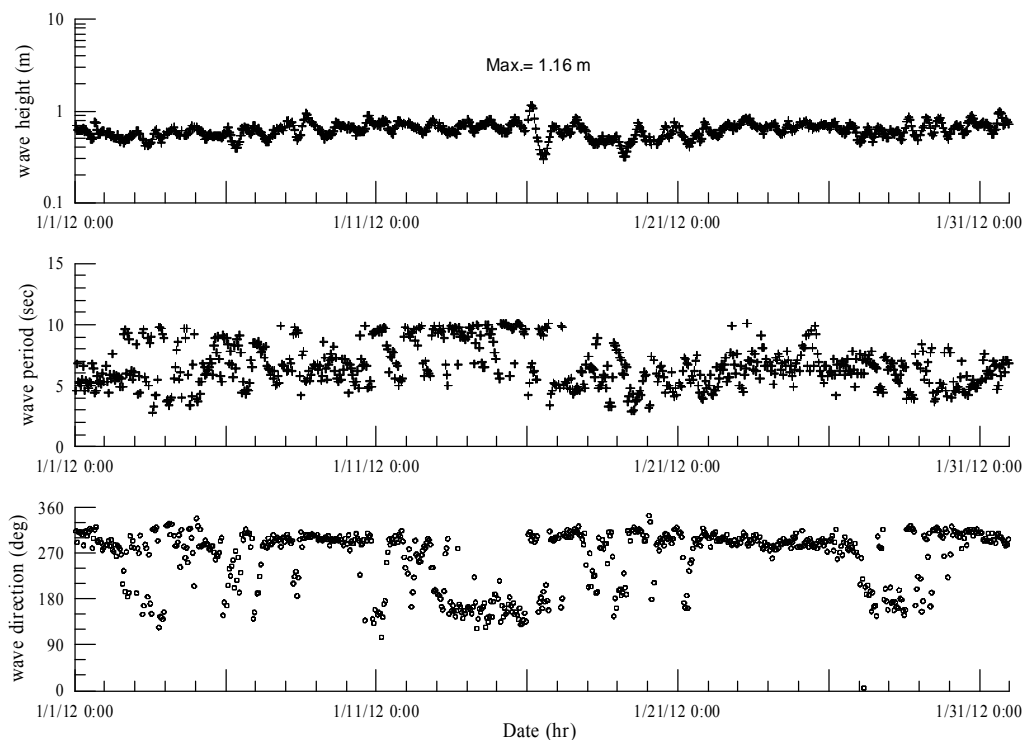


附圖 4.1 (續 8) 2012 年安平港外海波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖

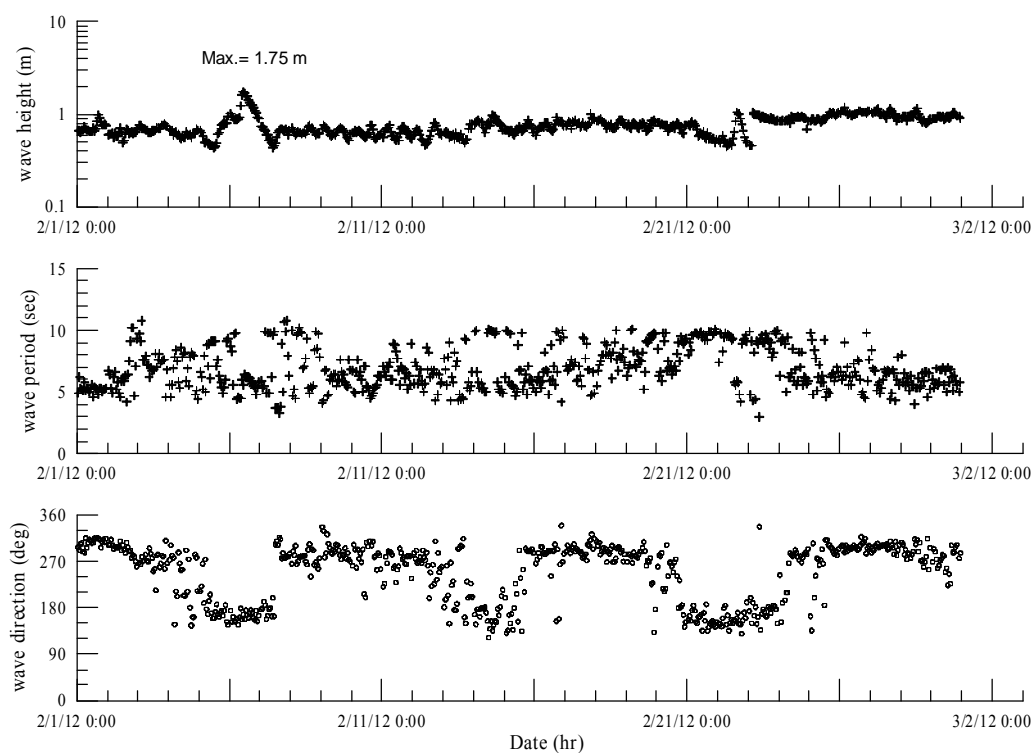


附圖 4.1 (續 9) 2012 年安平港外海波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖

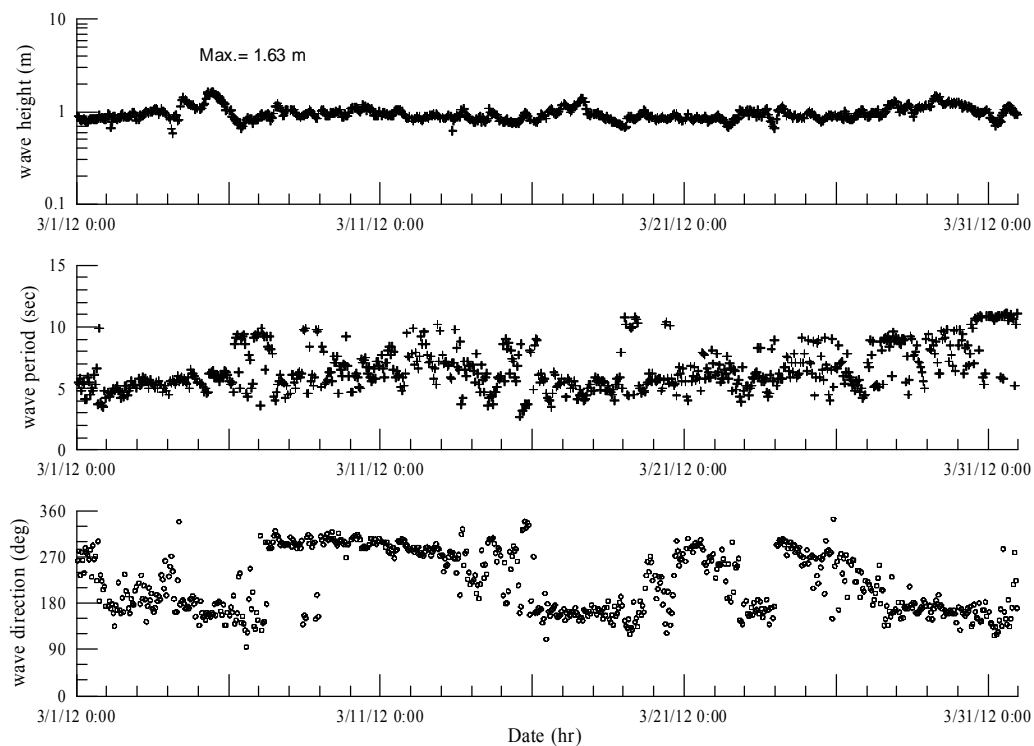




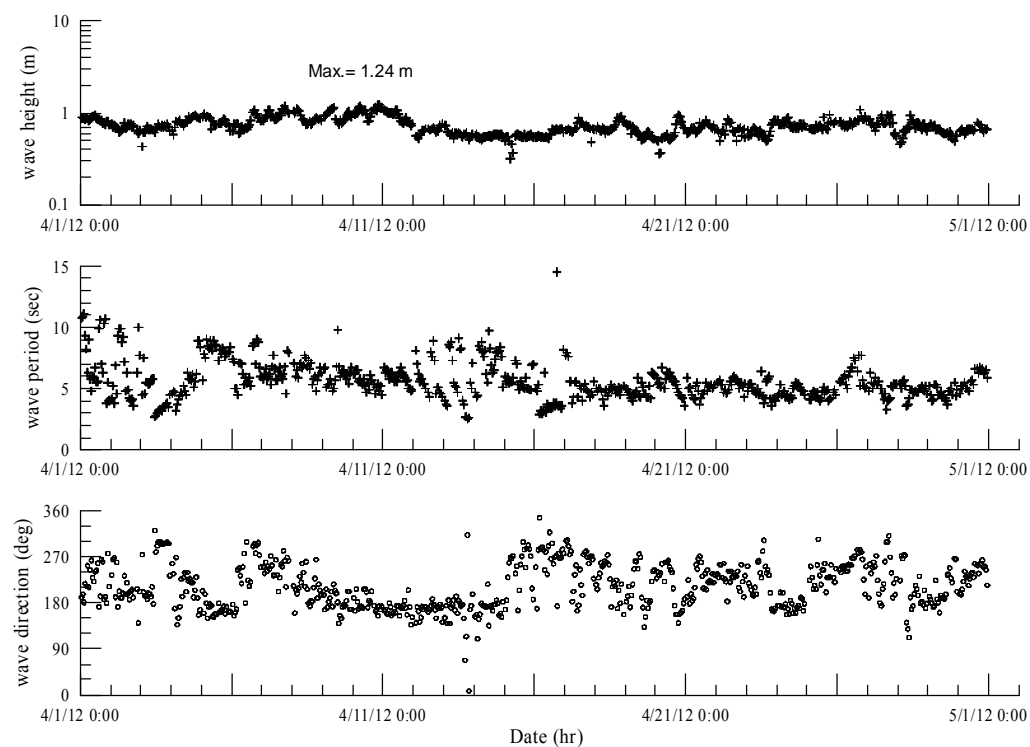
附圖 4.2 2012 年高雄港外海波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖



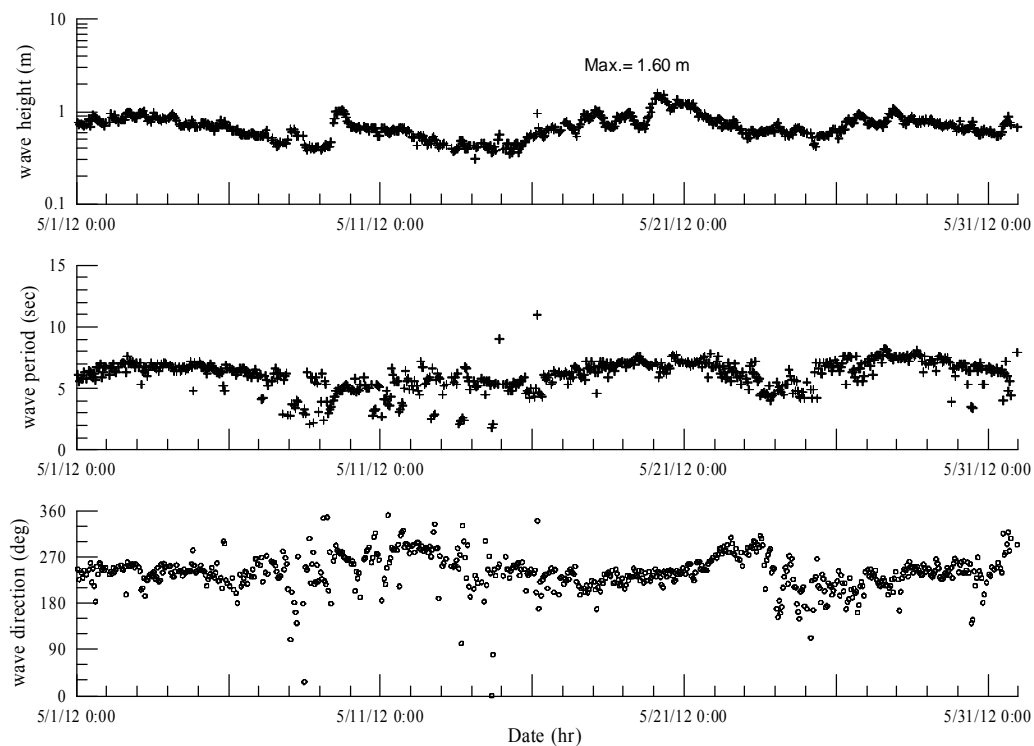
附圖 4.2 (續 1) 2012 年高雄港外海波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖



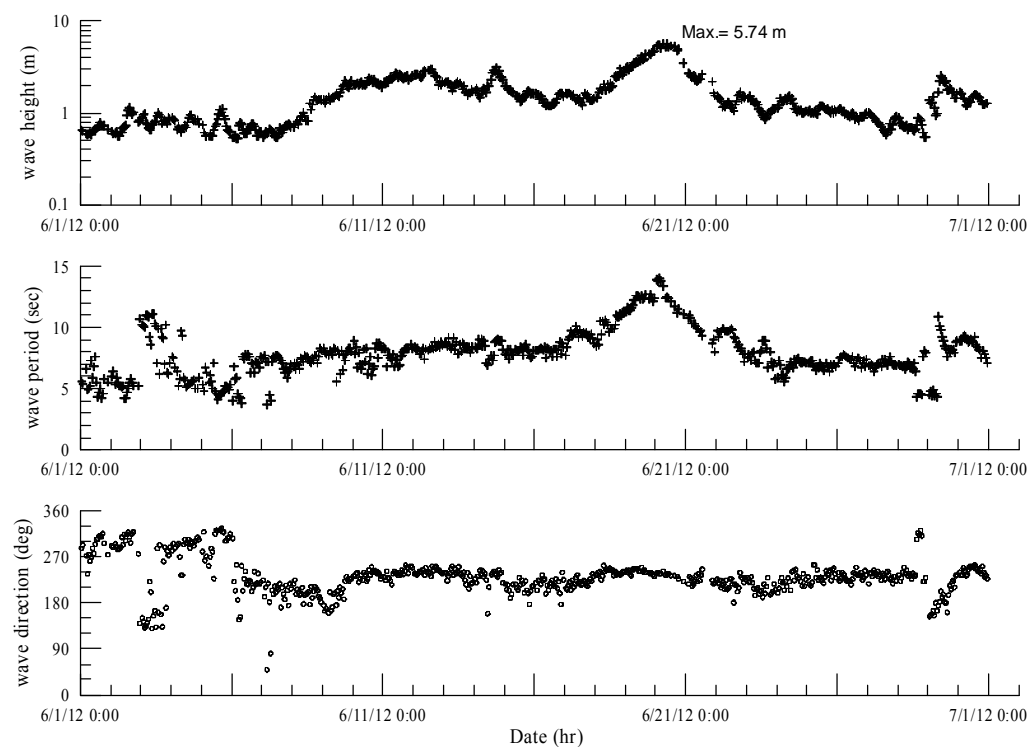
附圖 4.2 (續 2) 2012 年高雄港外海波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖



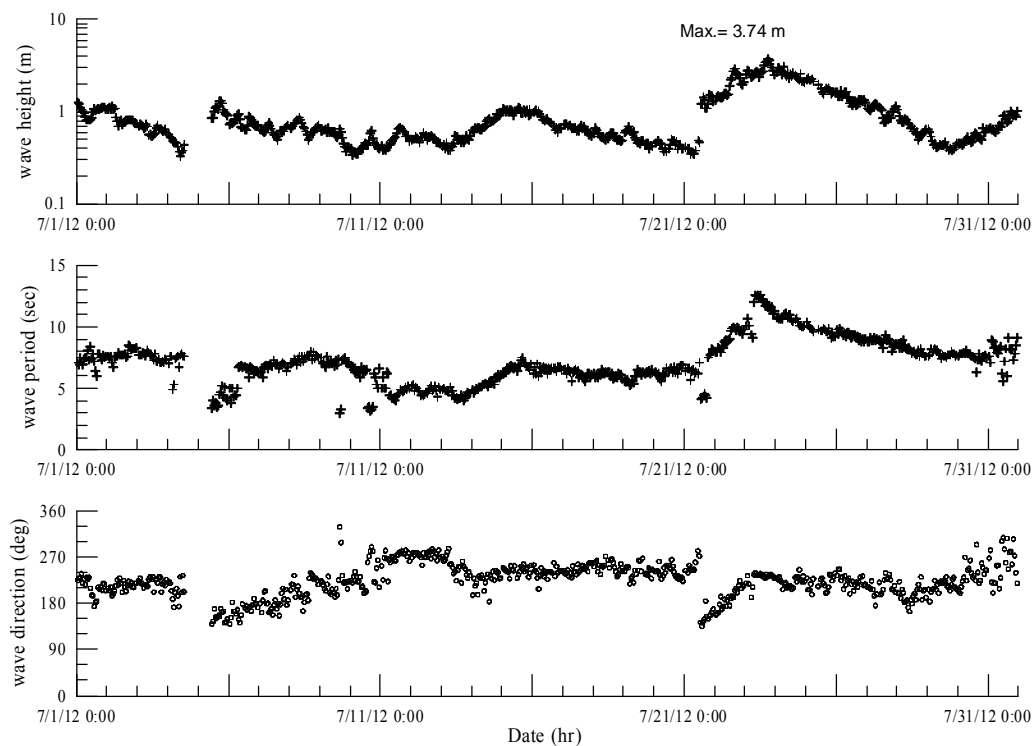
附圖 4.2 (續 3) 2012 年高雄港外海波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖



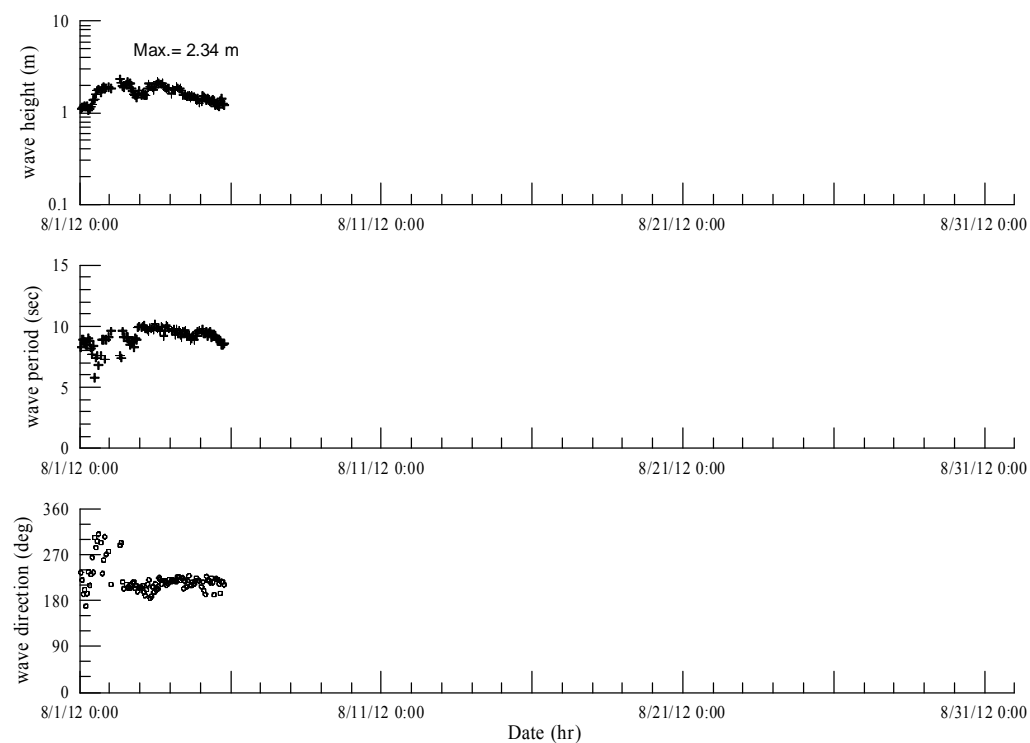
附圖 4.2 (續 4) 2012 年高雄港外海波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖



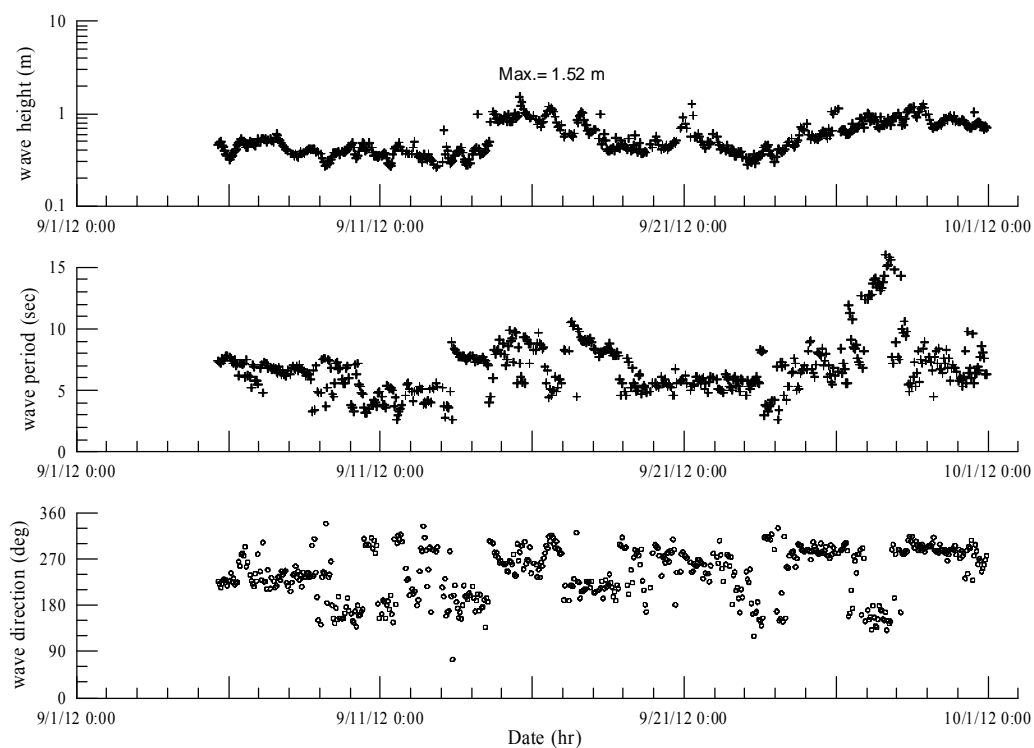
附圖 4.2 (續 5) 2012 年高雄港外海波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖



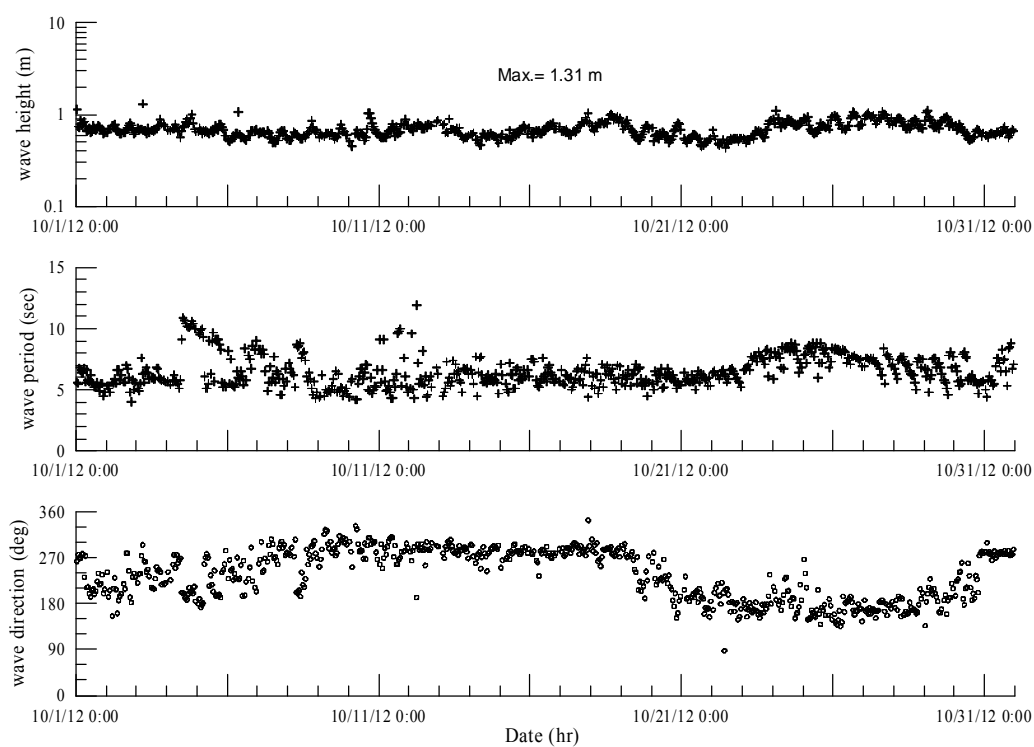
附圖 4.2 (續 6) 2012 年高雄港外海波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖



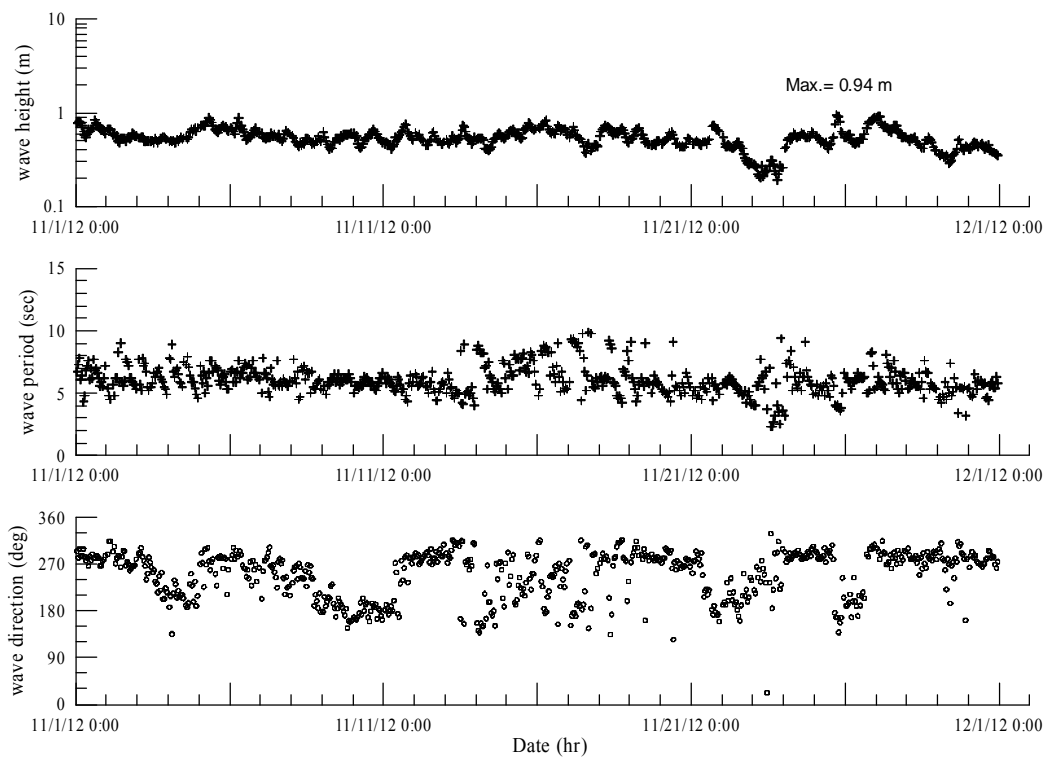
附圖 4.2 (續 7) 2012 年高雄港外海波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖



附圖 4.2 (續 8) 2012 年高雄港外海波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖



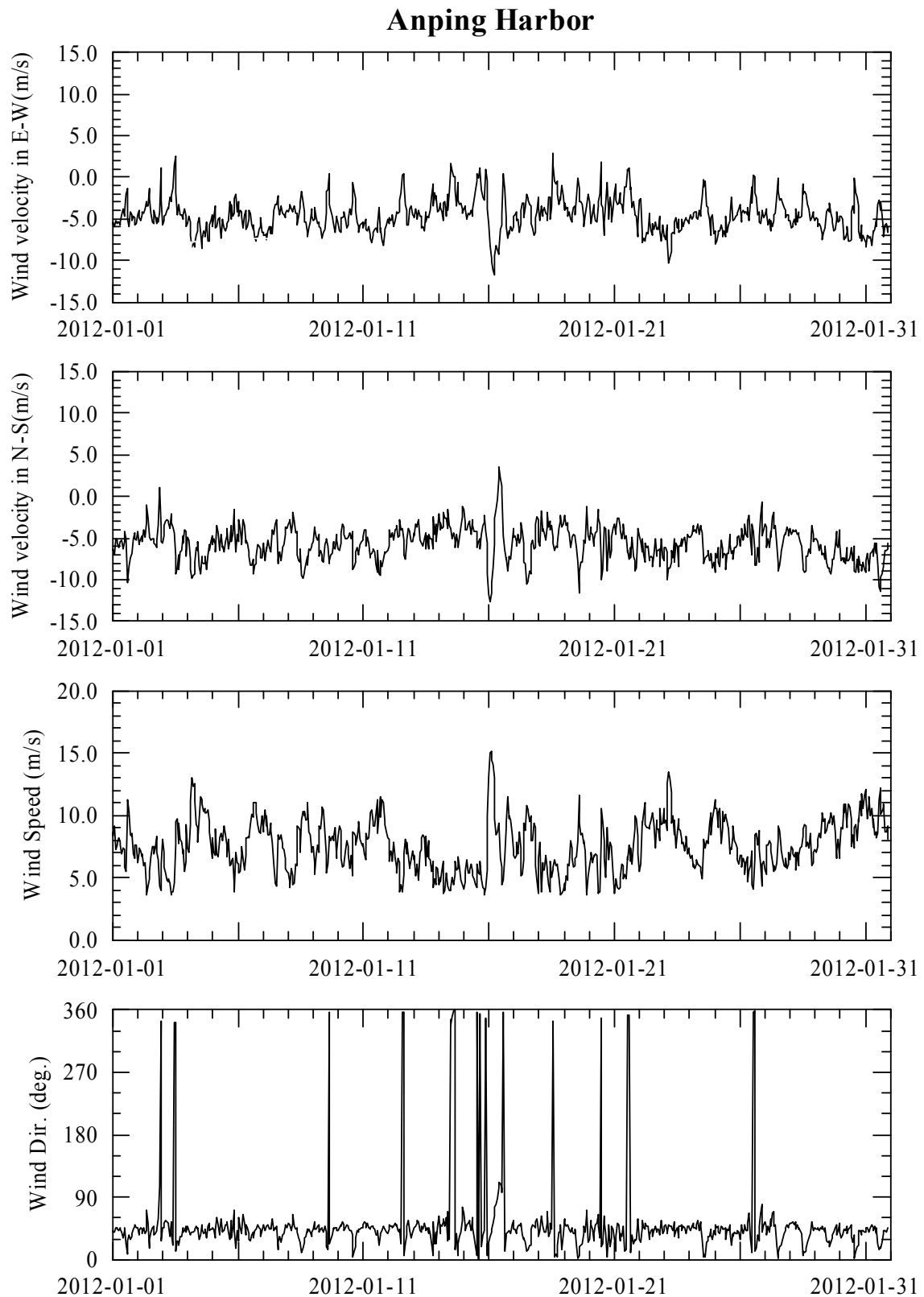
附圖 4.2 (續 9) 2012 年高雄港外海波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖



附圖 4.2 (續 10) 2012 年高雄港外海波浪觀測資料之示性波高、平均週期與平均波向時序列圖

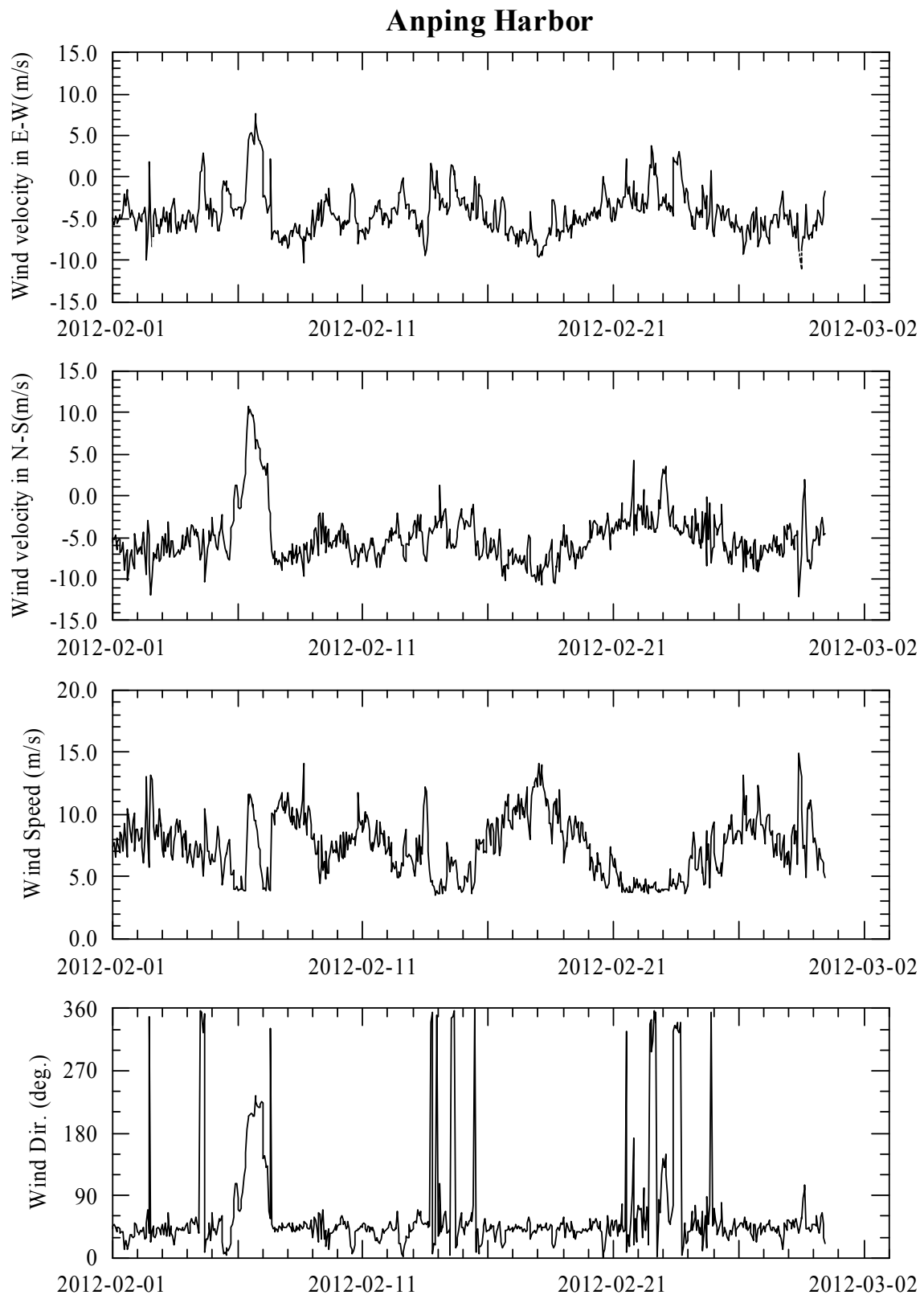
## 附錄五

### 2012 年安平港及高雄港風速及風向觀測資料

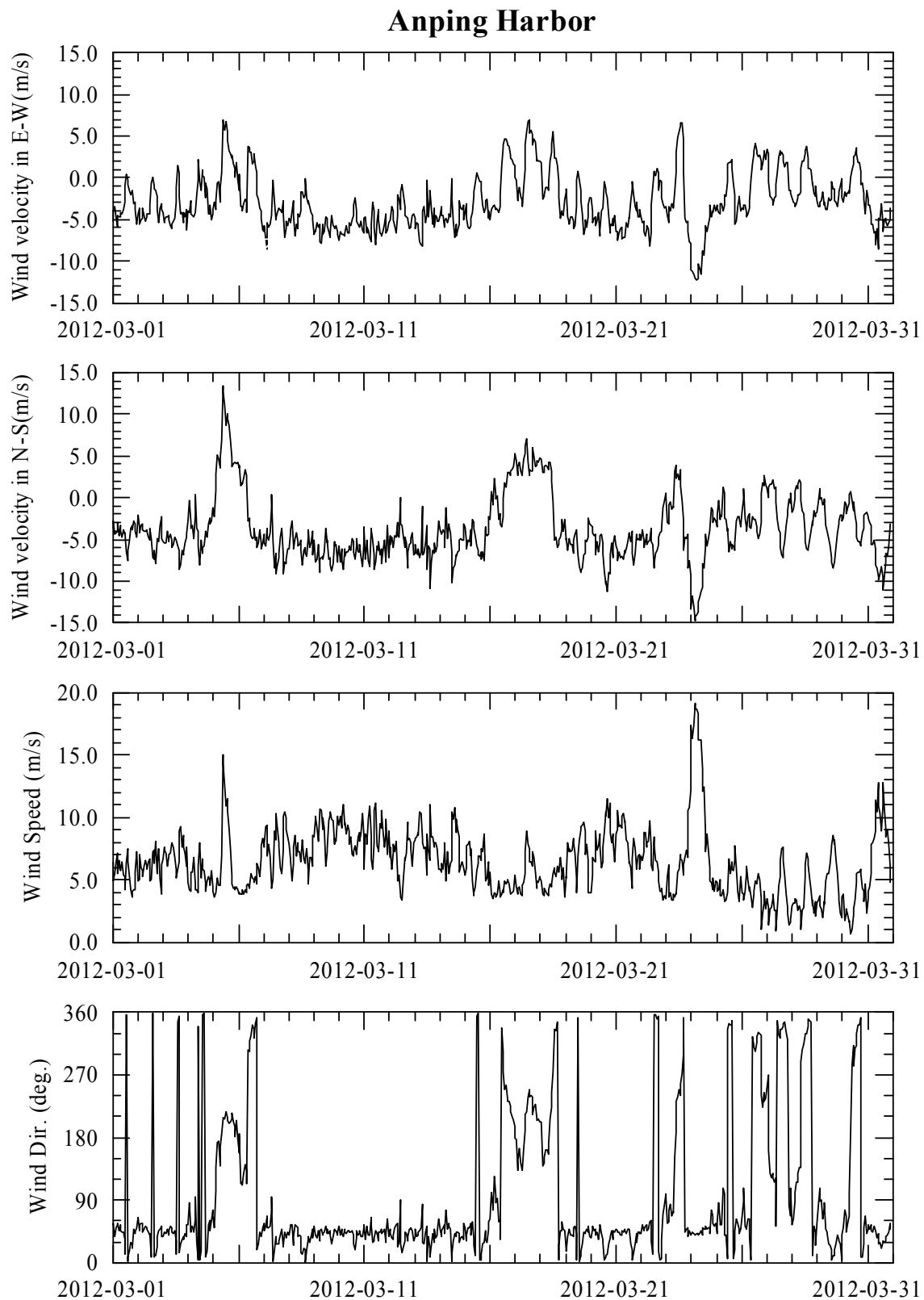


**附圖 5.1 2012 年安平港風速分量(E-W 及 N-S 向)、風速大小及風向觀測資料時序列圖**

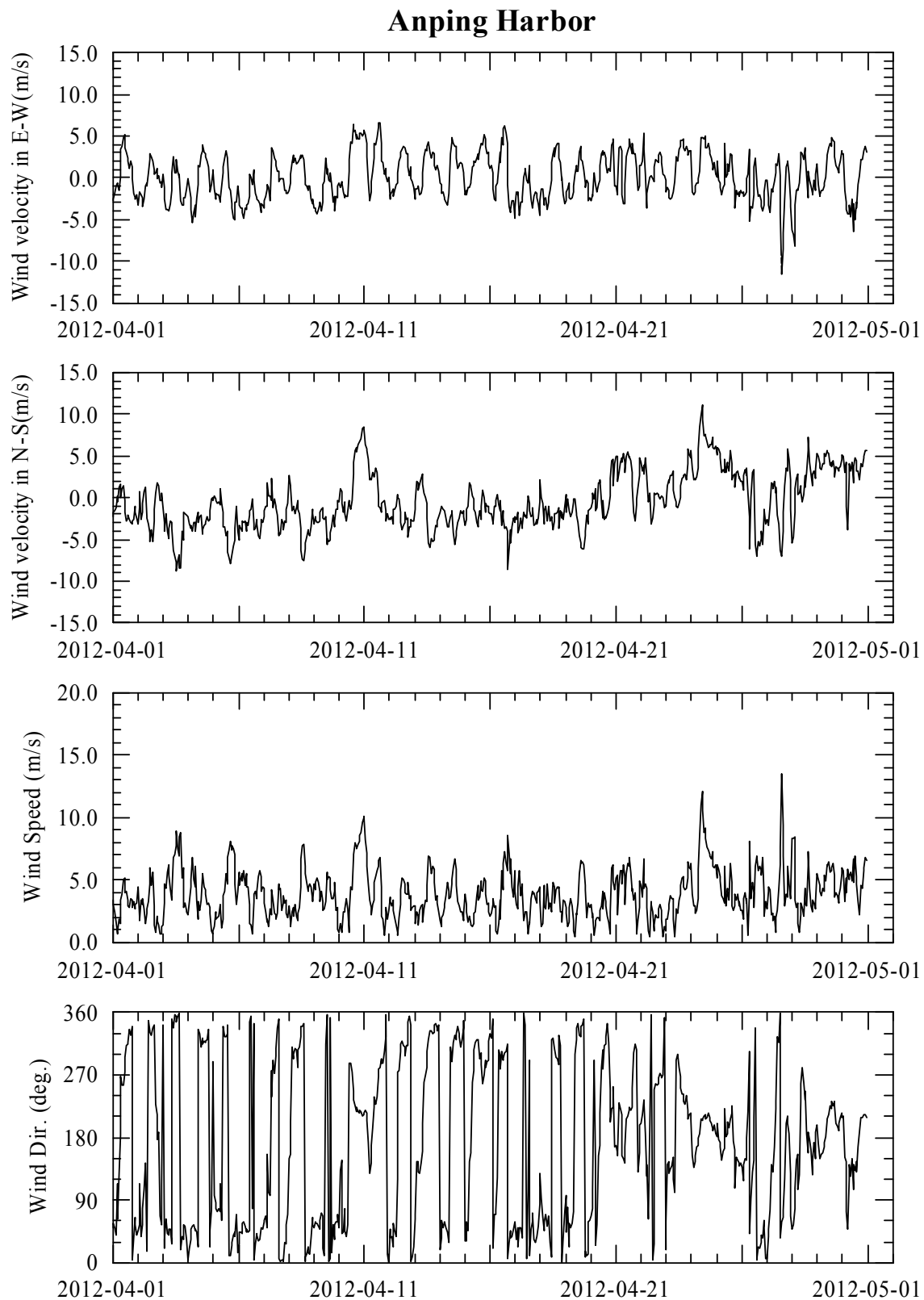




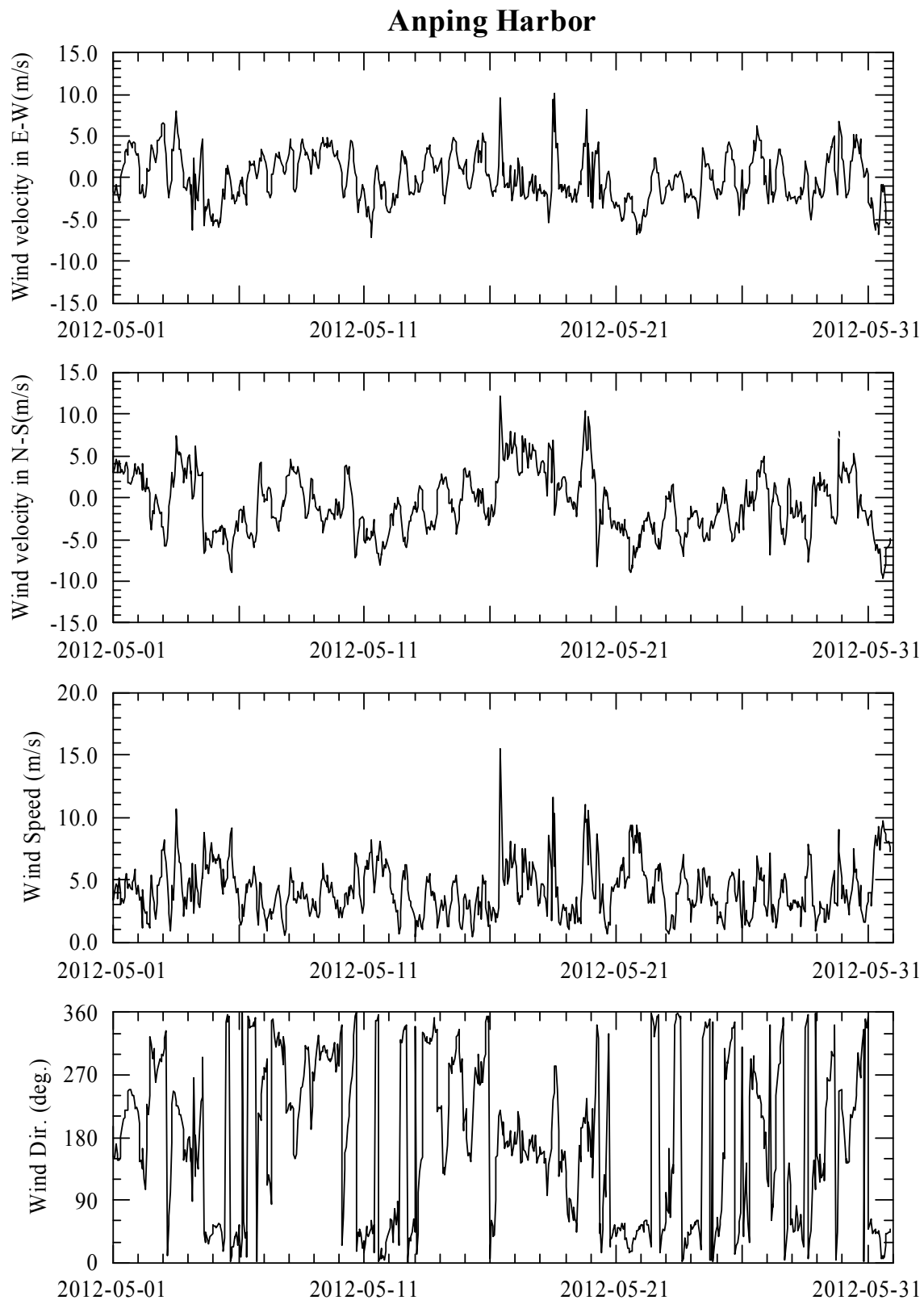
附圖 5.1 (續 1) 2012 年安平港風速分量(E-W 及 N-S 向)、風速大小及風向觀測資料時序列圖圖



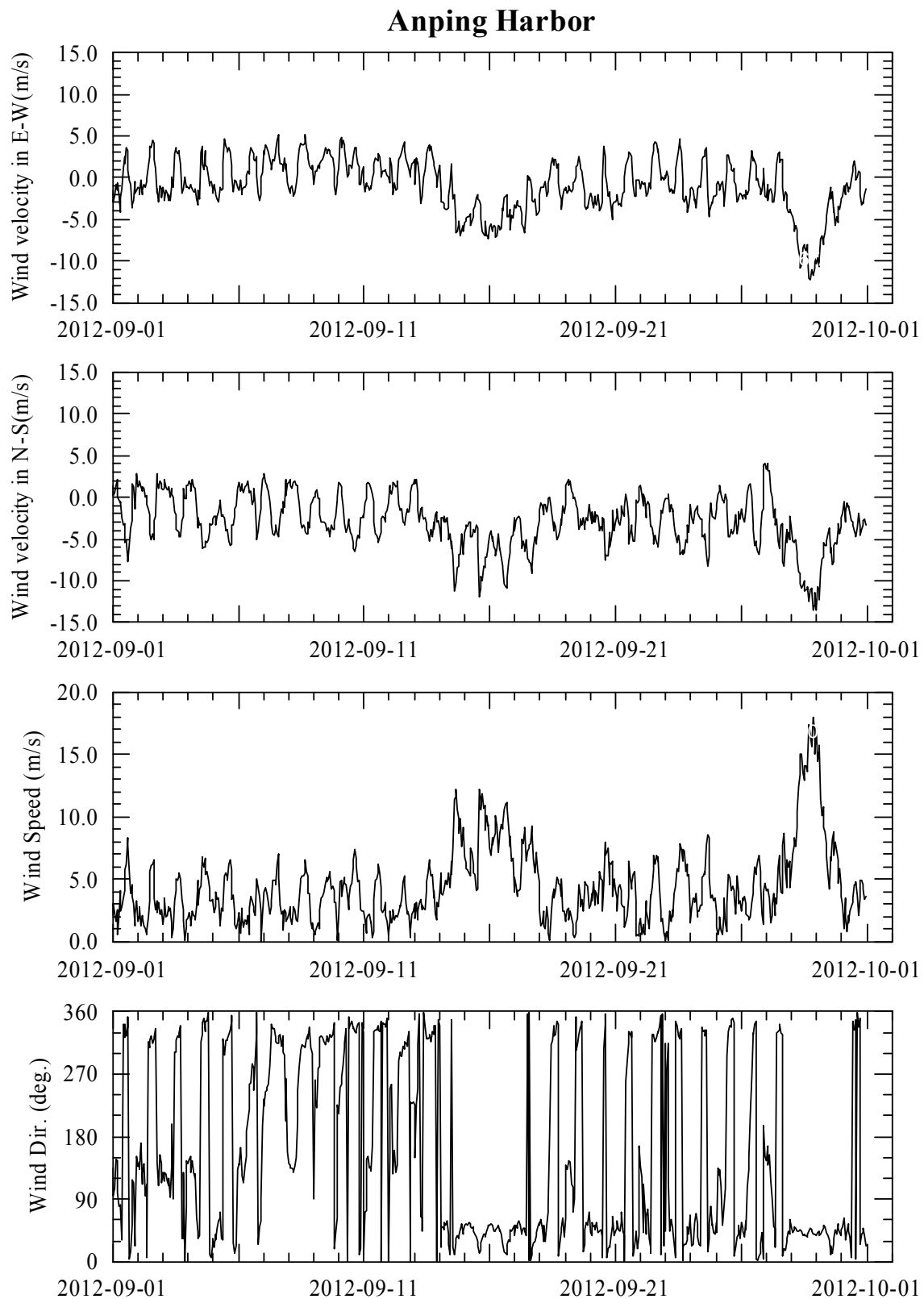
附圖 5.1 (續 2) 2012 年安平港風速分量(E-W 及 N-S 向)、風速大小及風向觀測資料時序列圖



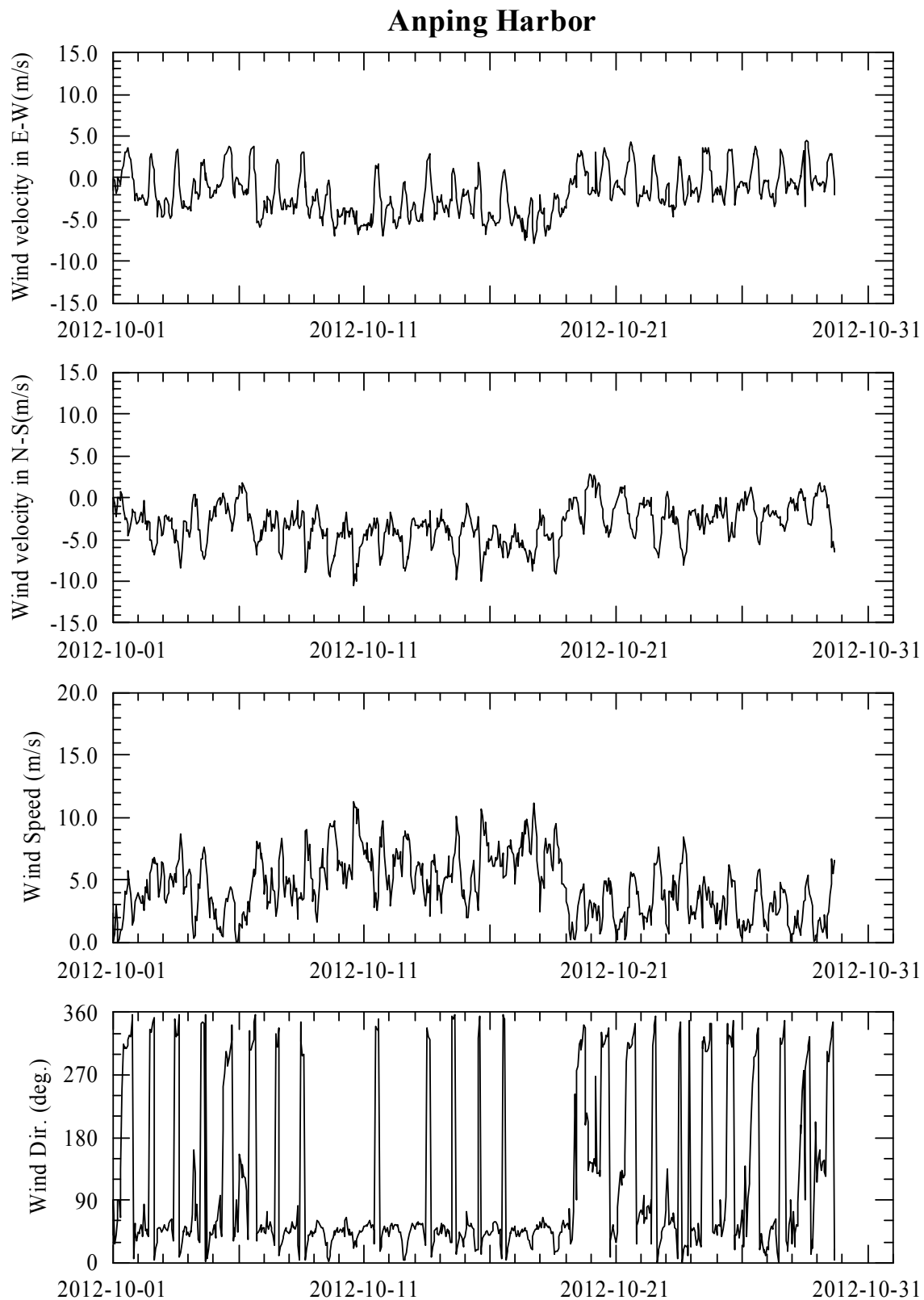
附圖 5.1 (續 3) 2012 年安平港風速分量(E-W 及 N-S 向)、風速大小及風向觀測資料時序列圖



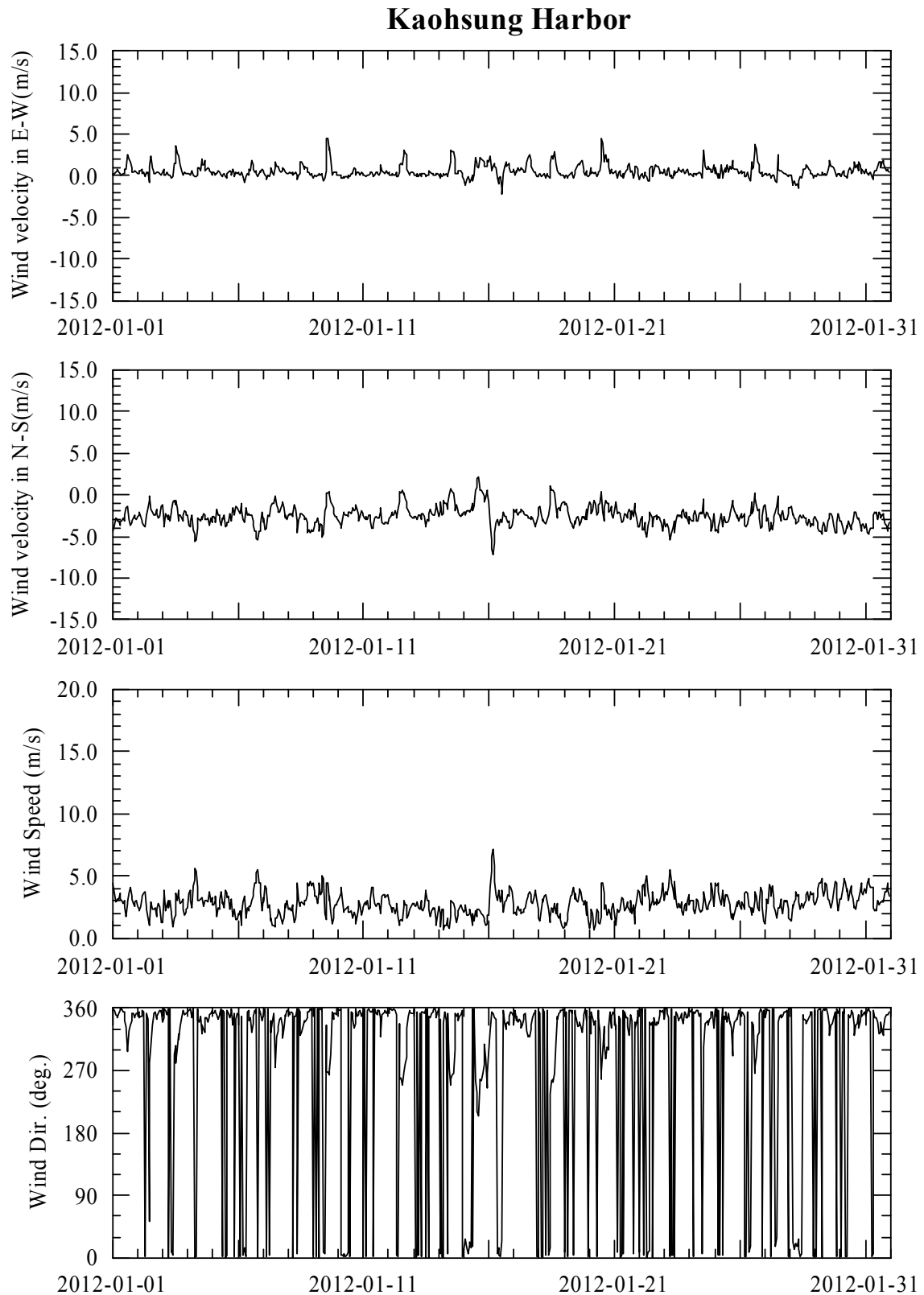
附圖 5.1 (續 4) 2012 年安平港風速分量(E-W 及 N-S 向)、風速大小及風向觀測資料時序列圖



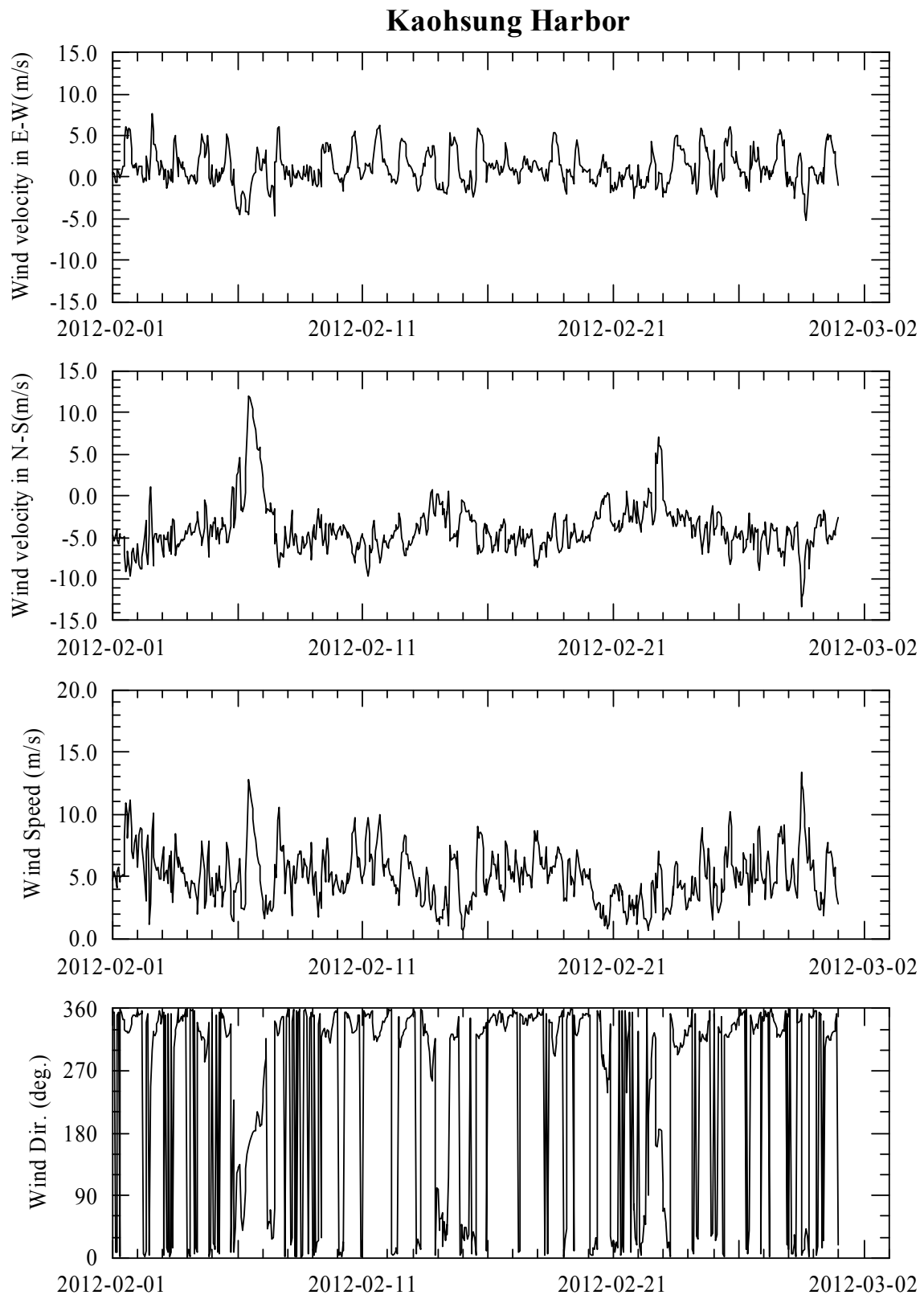
附圖 5.1 (續 5) 2012 年安平港風速分量(E-W 及 N-S 向)、風速大小及風向觀測資料時序列圖



附圖 5.1 (續 6) 2012 年安平港風速分量(E-W 及 N-S 向)、風速大小及風向觀測資料時序列圖

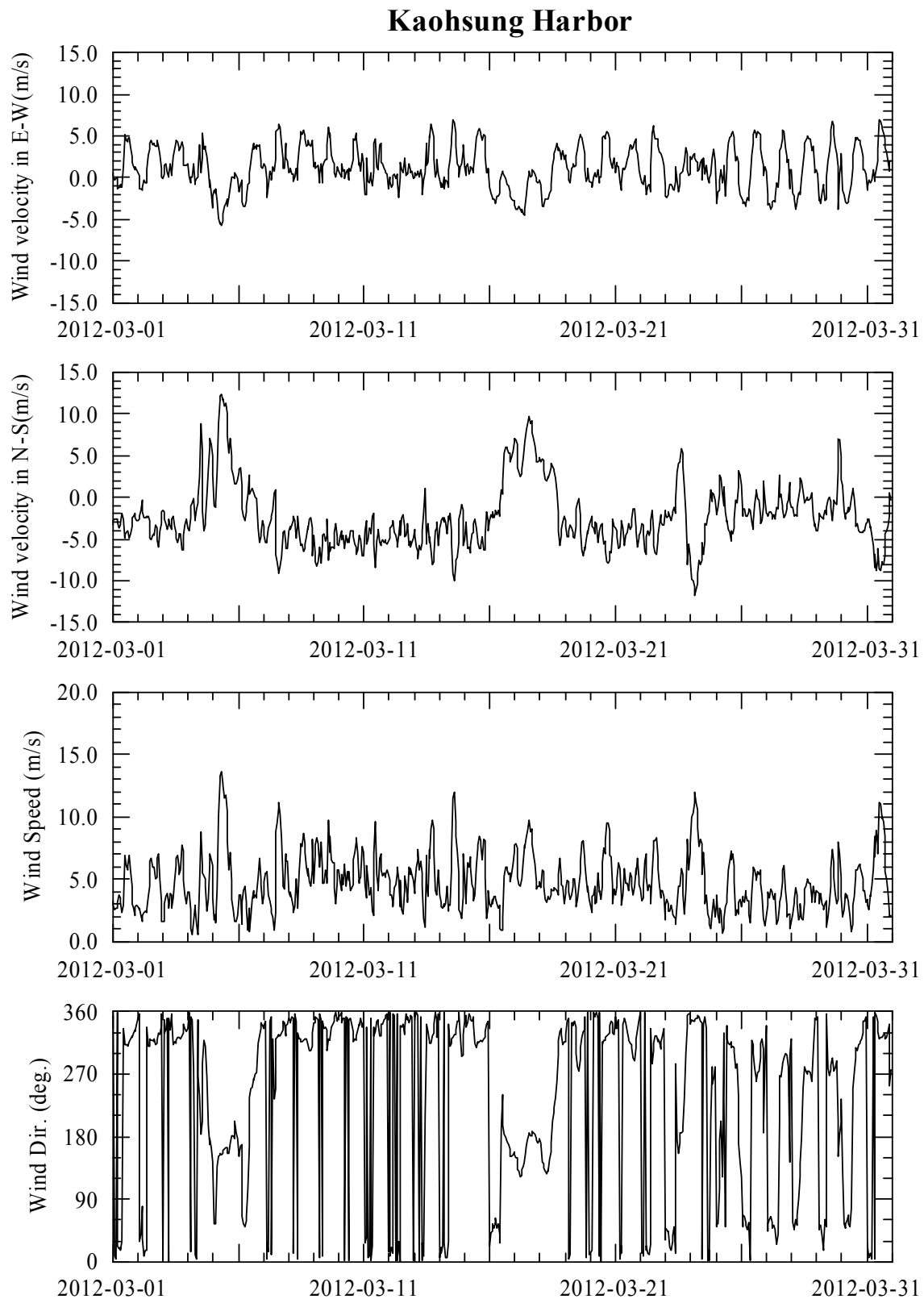


附圖 5.2 2012 年高雄港風速分量(E-W 及 N-S 向)、風速大小及風向觀測資料時序列圖

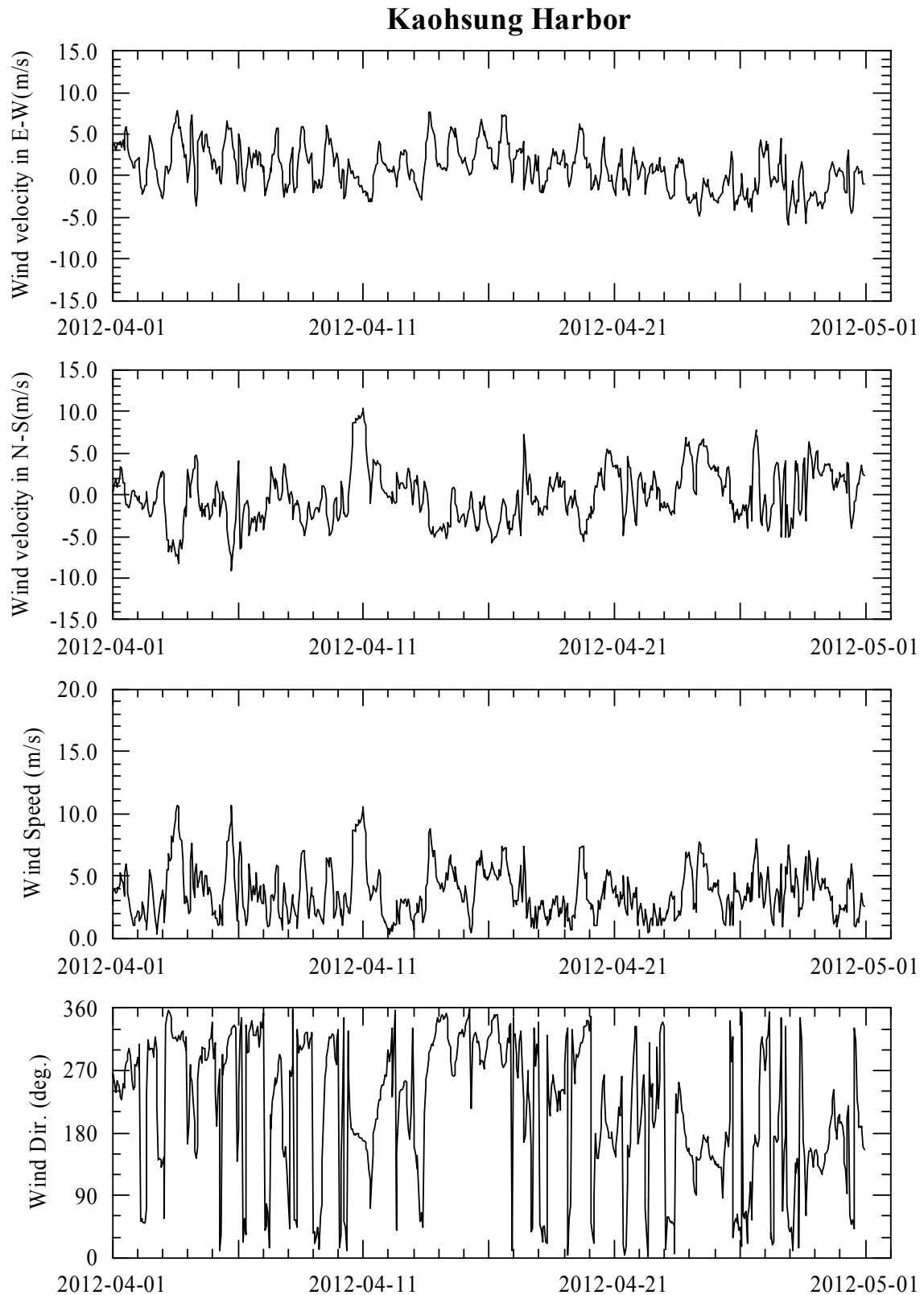


附圖 5.2 (續 1) 2012 年高雄港風速分量(E-W 及 N-S 向)、風速大小及風向觀測資料時序列圖

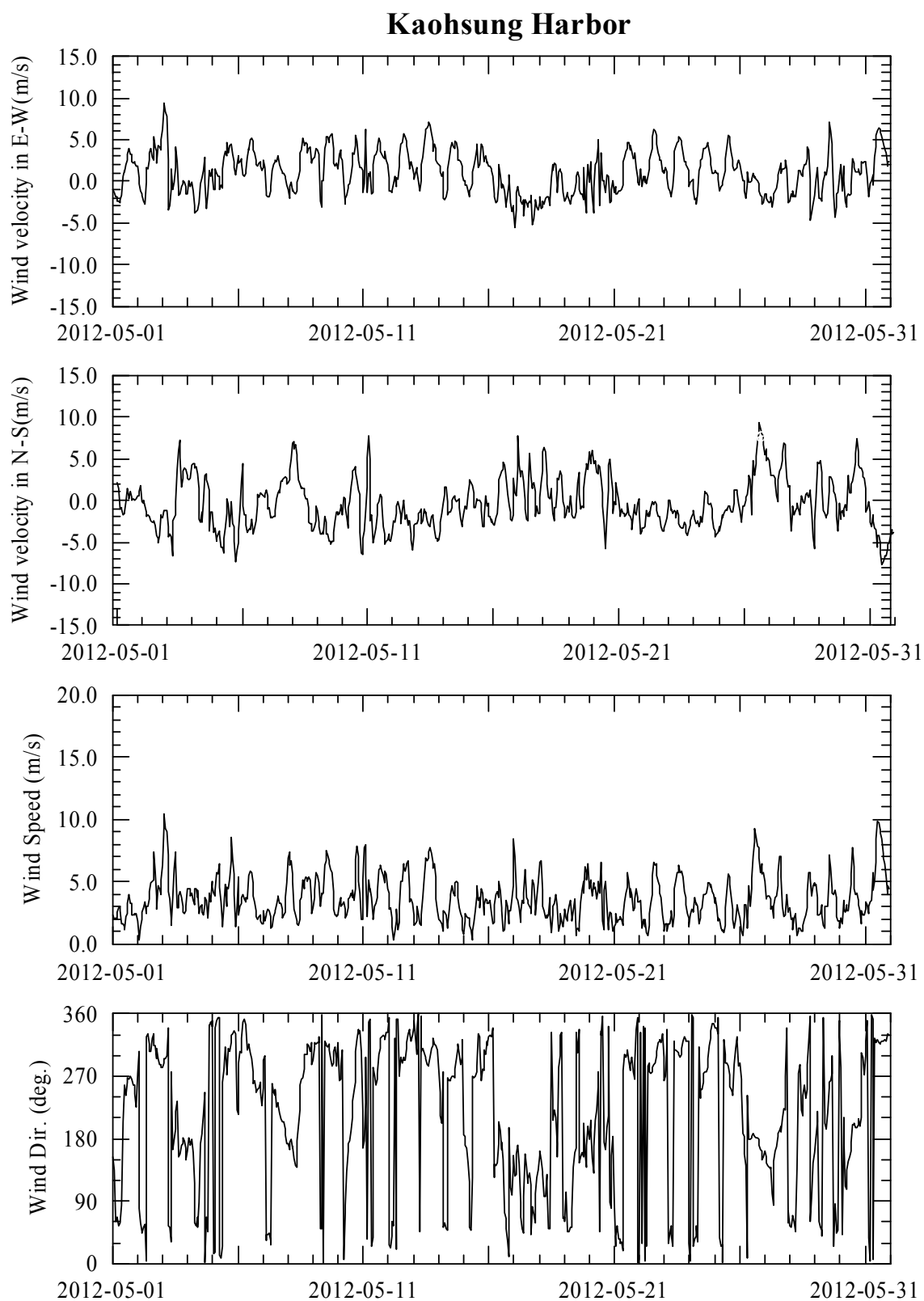




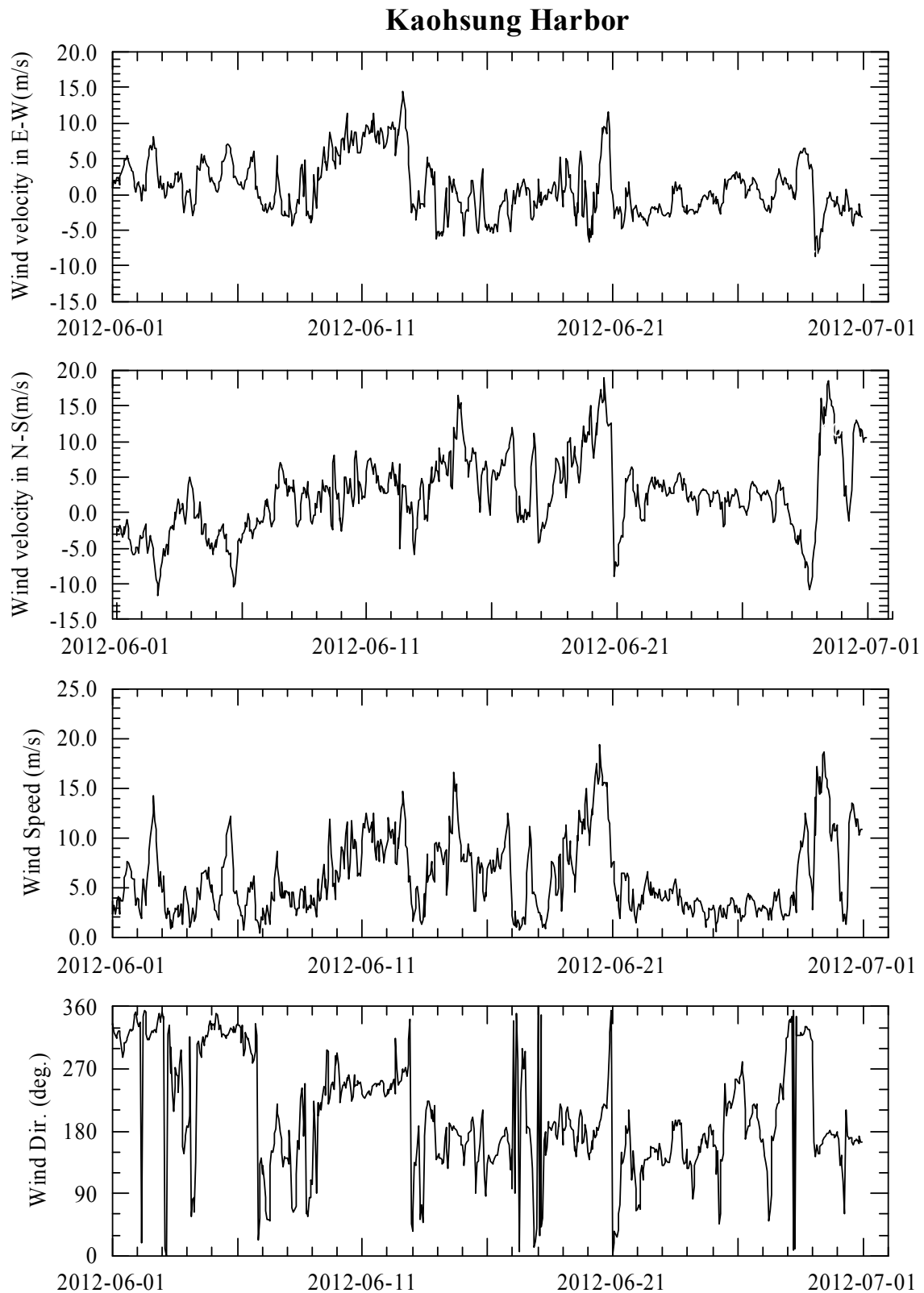
附圖 5.2 (續 2) 2012 年高雄港風速分量(E-W 及 N-S 向)、風速大小及風向觀測資料時序列圖



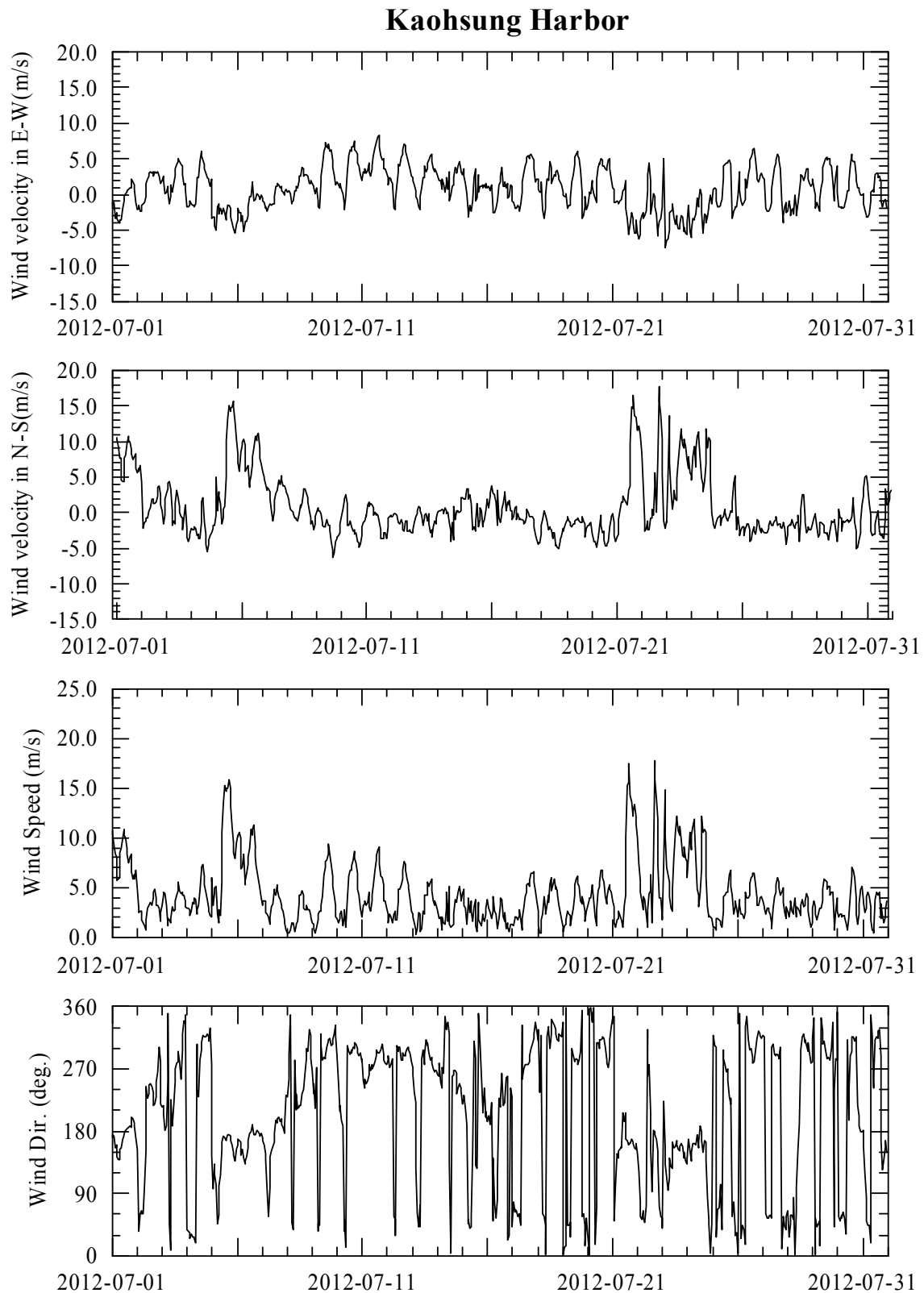
附圖 5.2 (續 3) 2012 年高雄港風速分量(E-W 及 N-S 向)、風速大小及風向觀測資料時序列圖



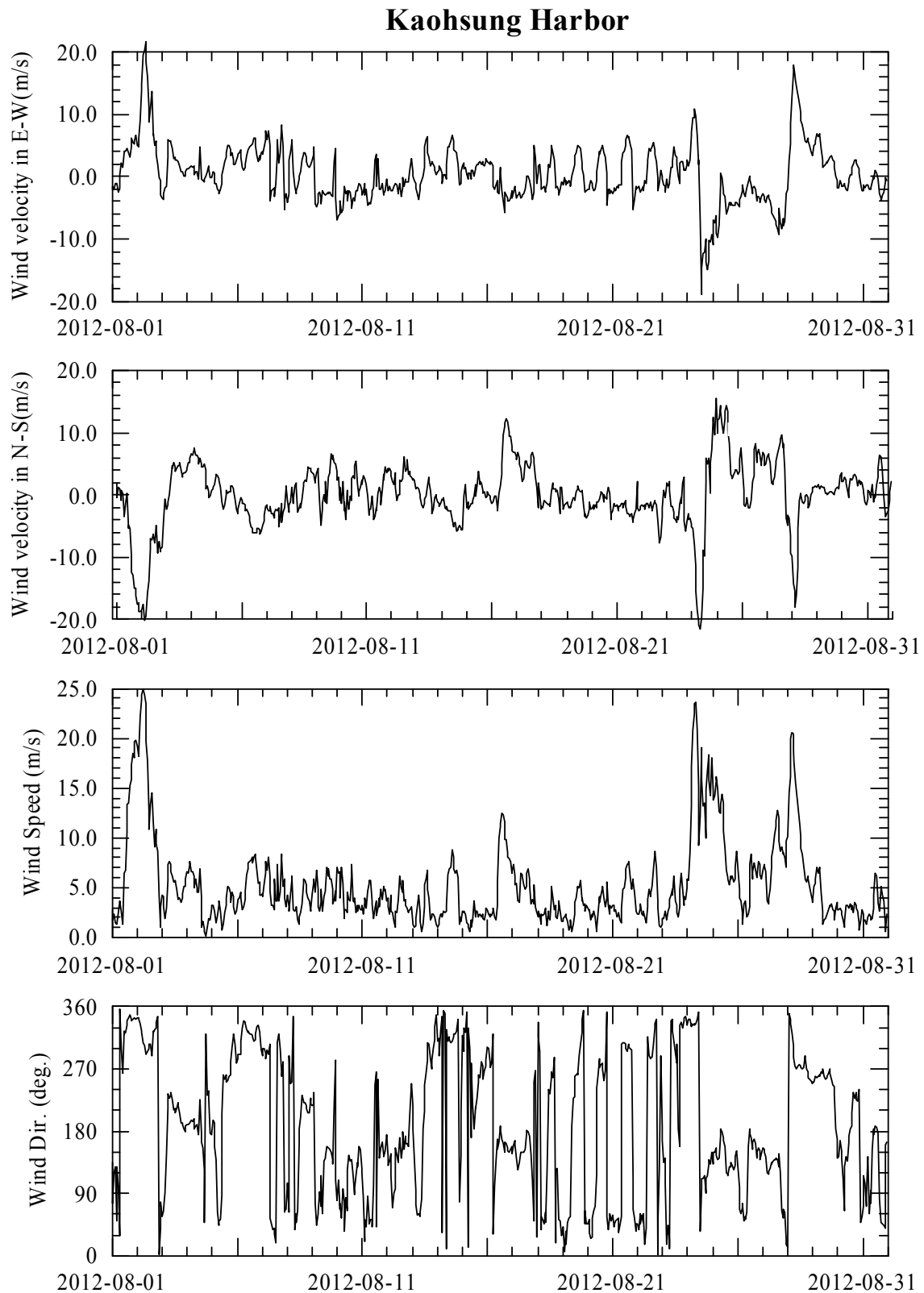
附圖 5.2 (續 4) 2012 年高雄港風速分量(E-W 及 N-S 向)、風速大小及風向觀測資料時序列圖



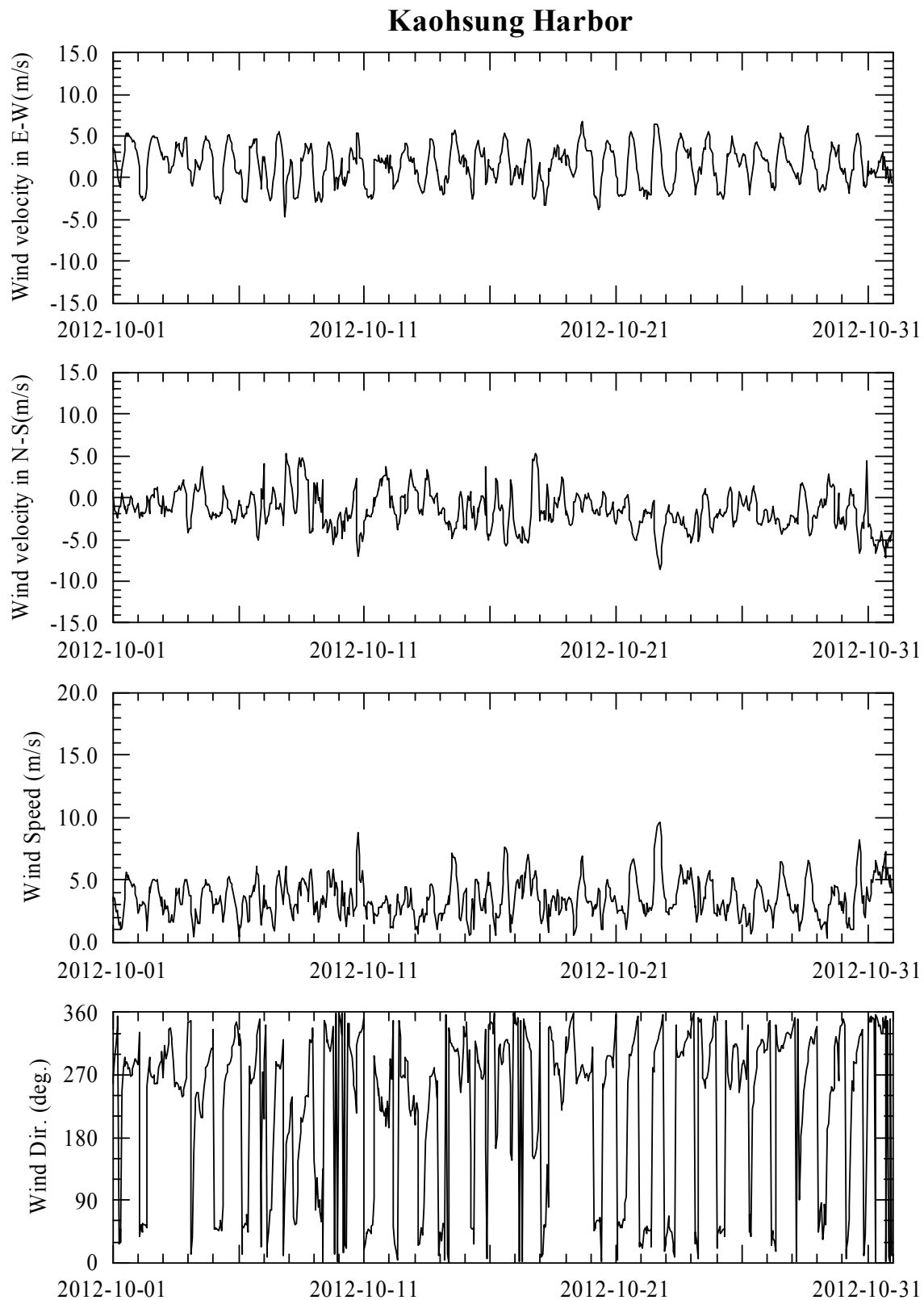
附圖 5.2 (續 5) 2012 年高雄港風速分量(E-W 及 N-S 向)、風速大小及風向觀測資料時序列圖



附圖 5.2 (續 6) 2012 年高雄港風速分量(E-W 及 N-S 向)、風速大小及風向觀測資料時序列圖



附圖 5.2 (續 7) 2012 年高雄港風速分量(E-W 及 N-S 向)、風速大小及風向觀測資料時序列圖

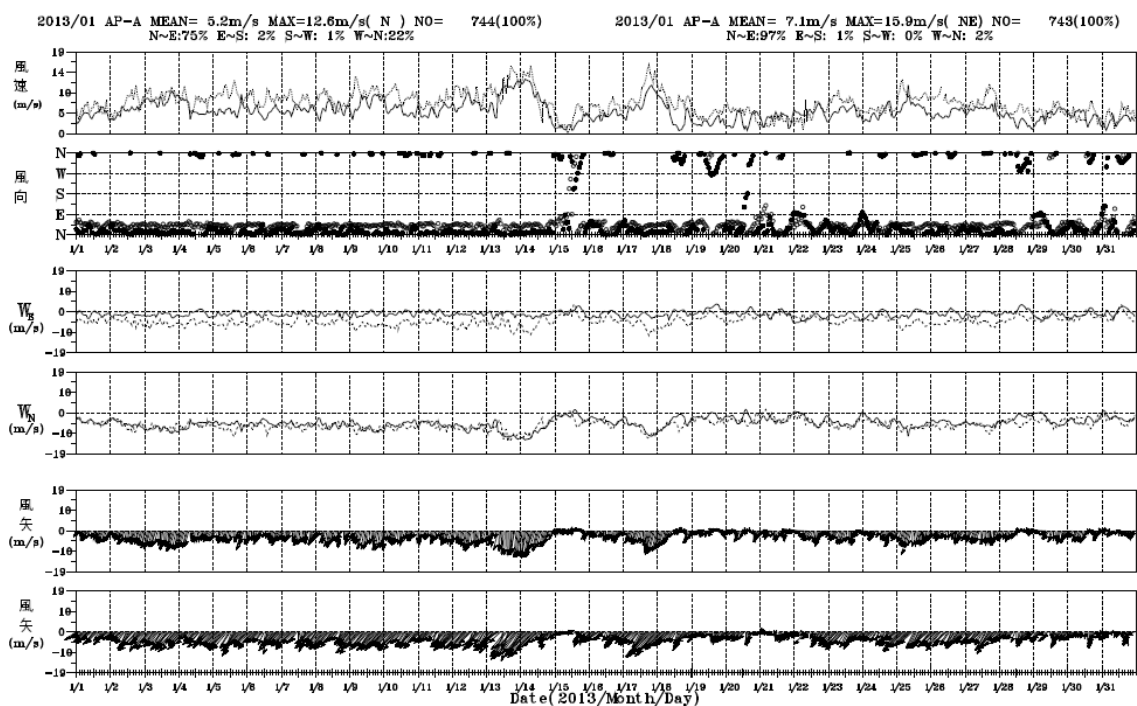


附圖 5.2 (續 8) 2012 年高雄港風速分量(E-W 及 N-S 向)、風速大小及風向觀測資料時序列圖

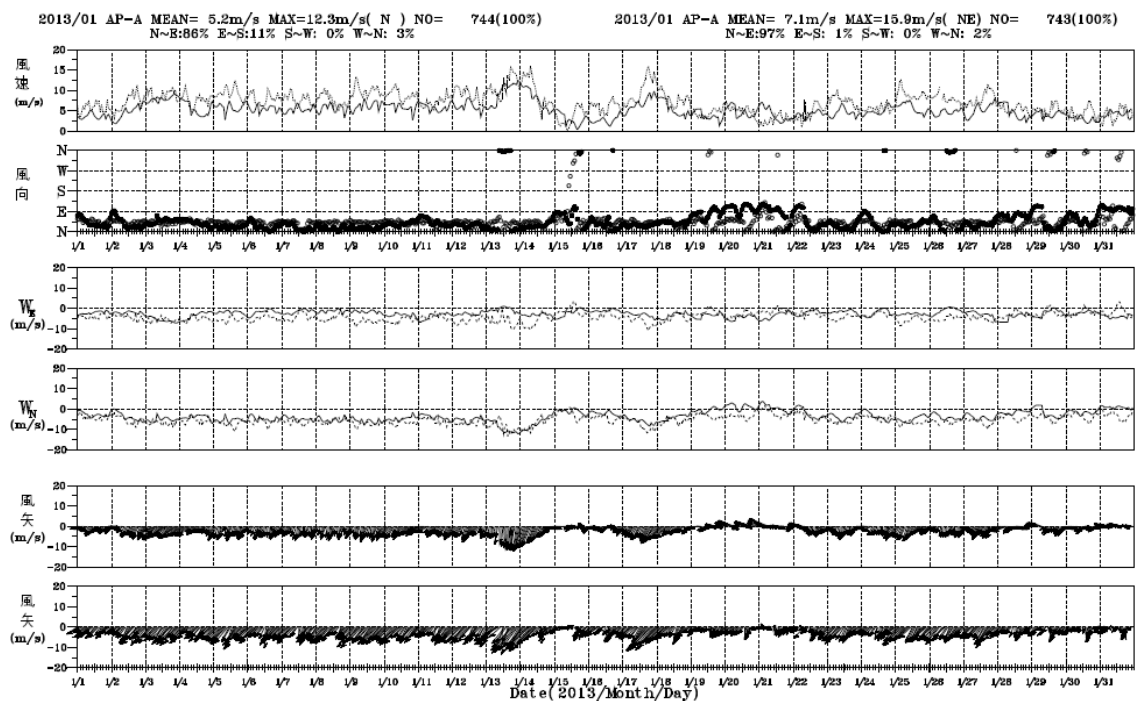
## 附錄六

### 2013 年安平港預報風場與觀測比較圖

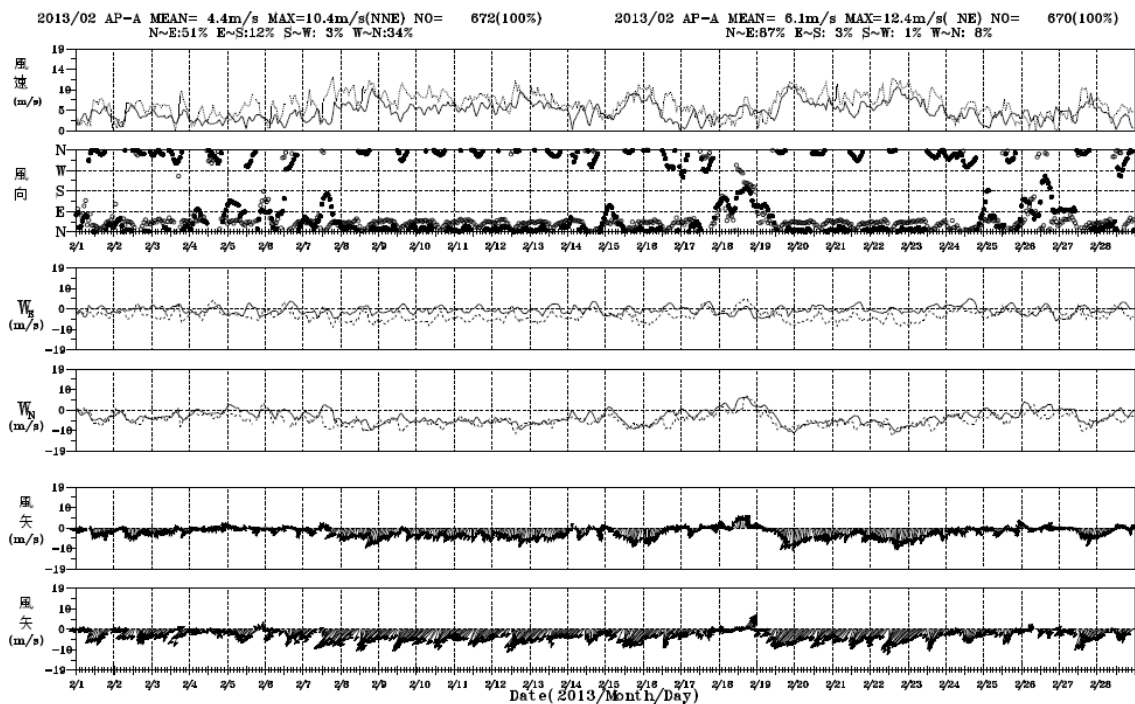




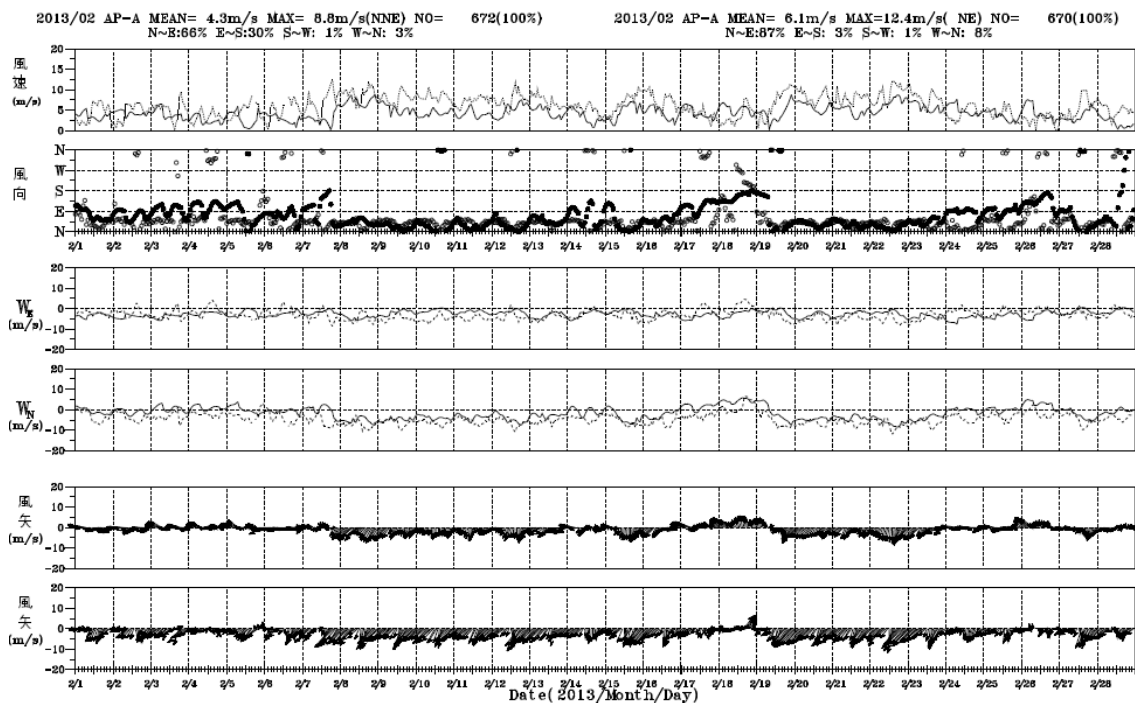
附圖 6.1 2013 年 1 月安平港 MC 風場與觀測比較圖(實線：MC)



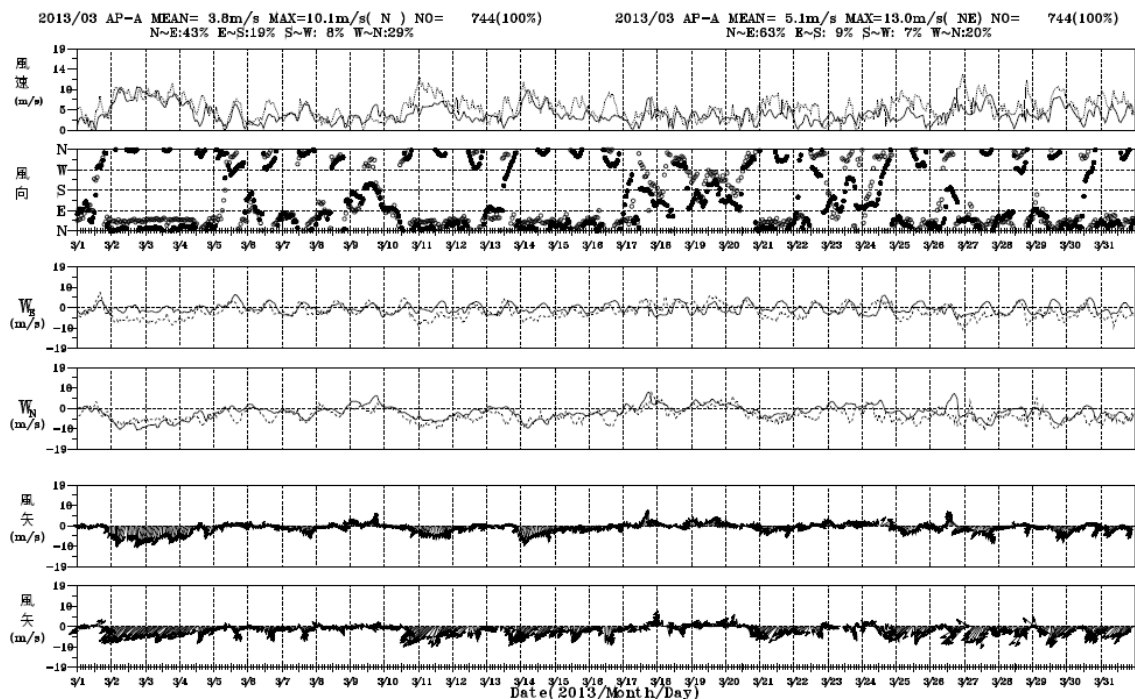
附圖 6.2 2013 年 1 月安平港 RC 風場與觀測比較圖(實線：RC)



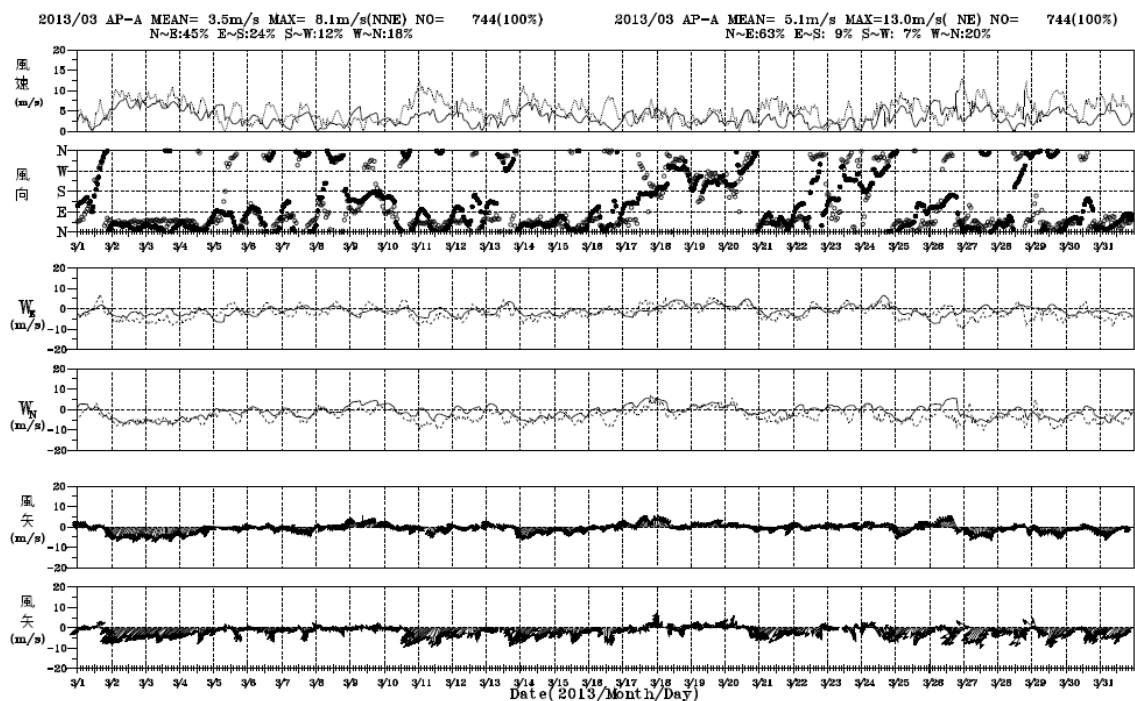
附圖 6.3 2013 年 2 月安平港 MC 風場與觀測比較圖(實線：MC)



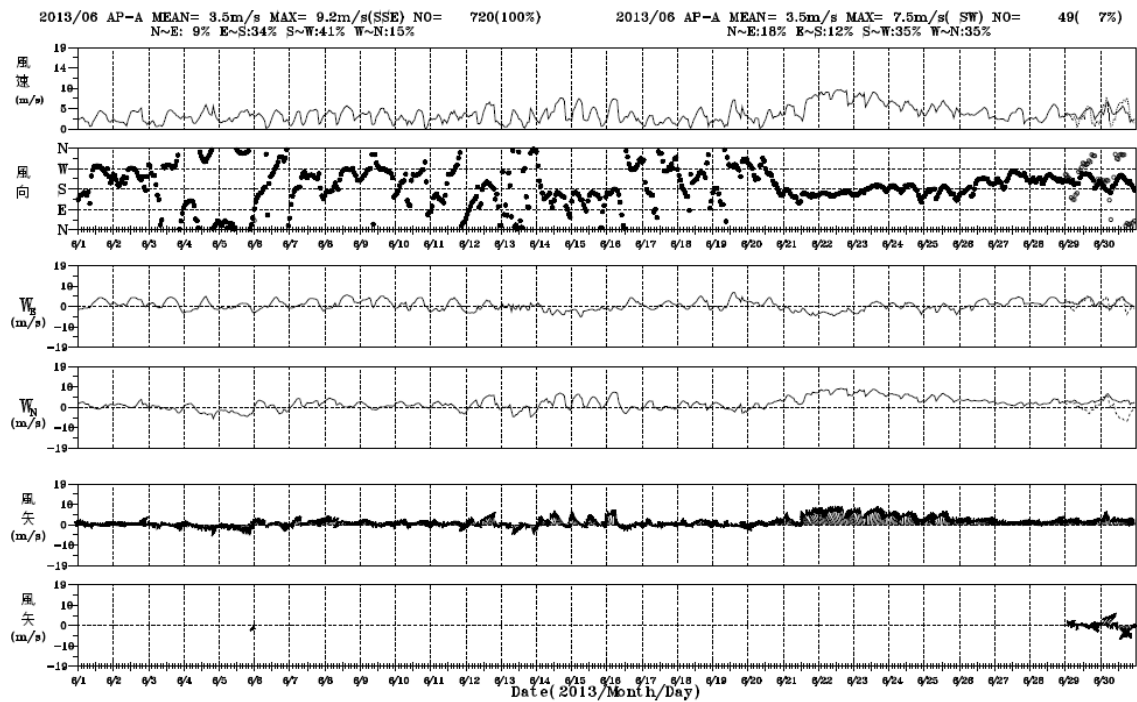
附圖 6.4 2013 年 2 月安平港 RC 風場與觀測比較圖(實線：RC)



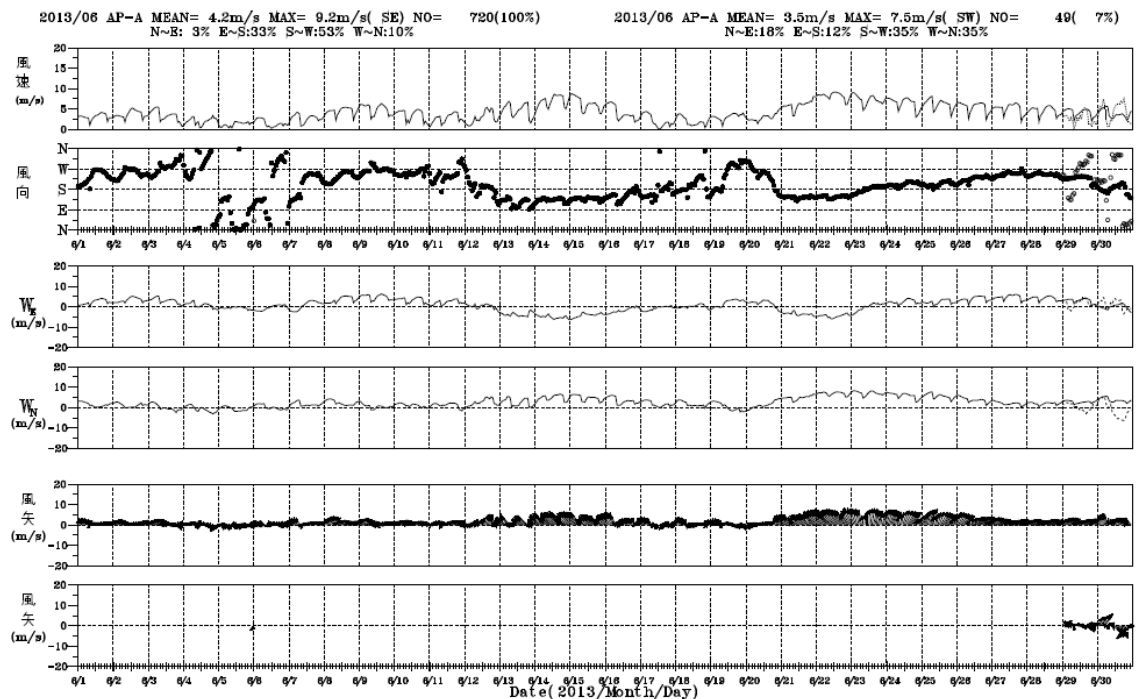
附圖 6.5 2013 年 3 月安平港 MC 風場與觀測比較圖(實線：MC)



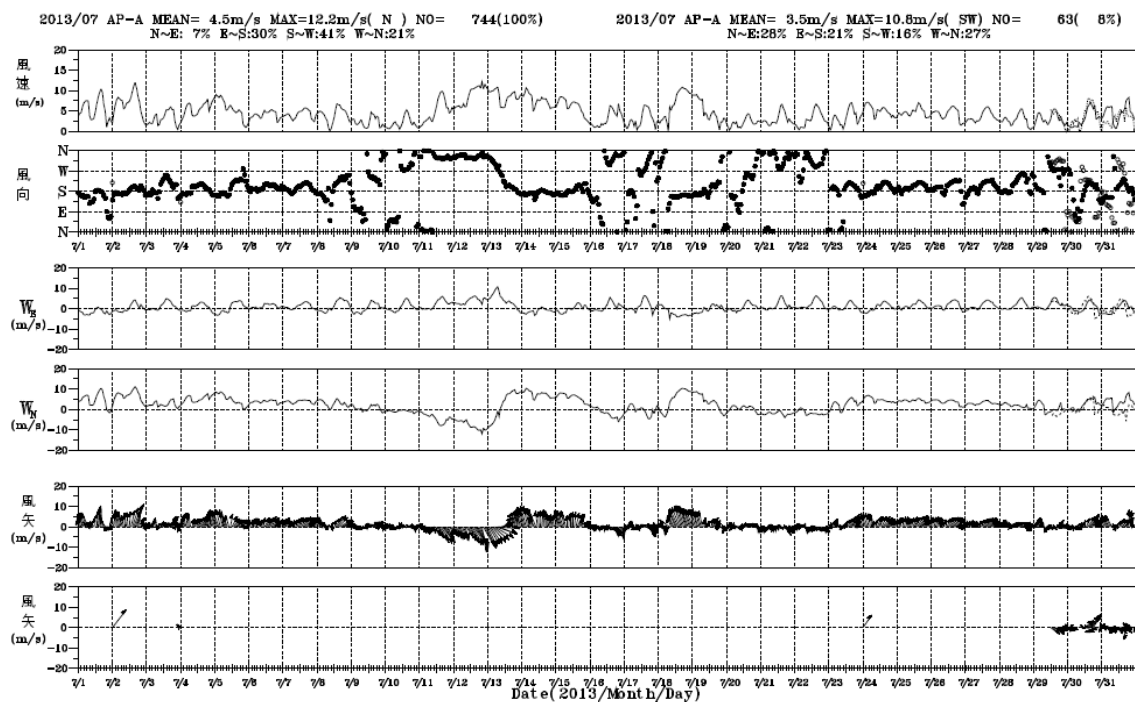
附圖 6.6 2013 年 3 月安平港 RC 風場與觀測比較圖(實線：RC)



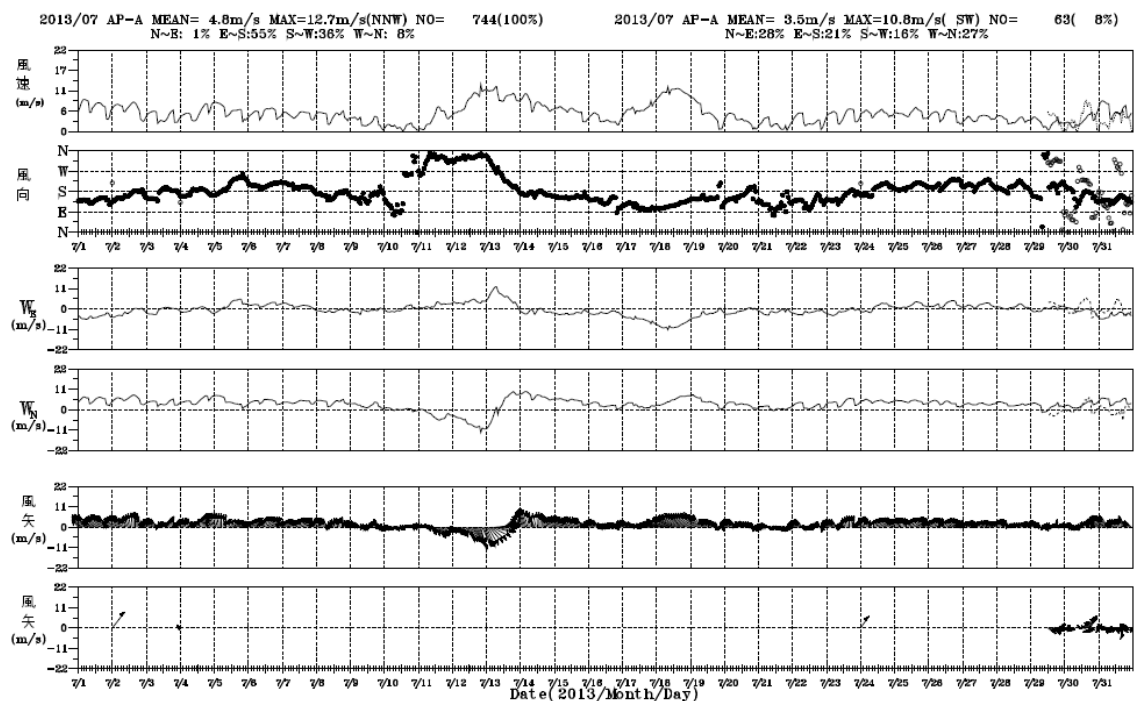
附圖 6.7 2013 年 6 月安平港 MC 風場與觀測比較圖(實線：MC)



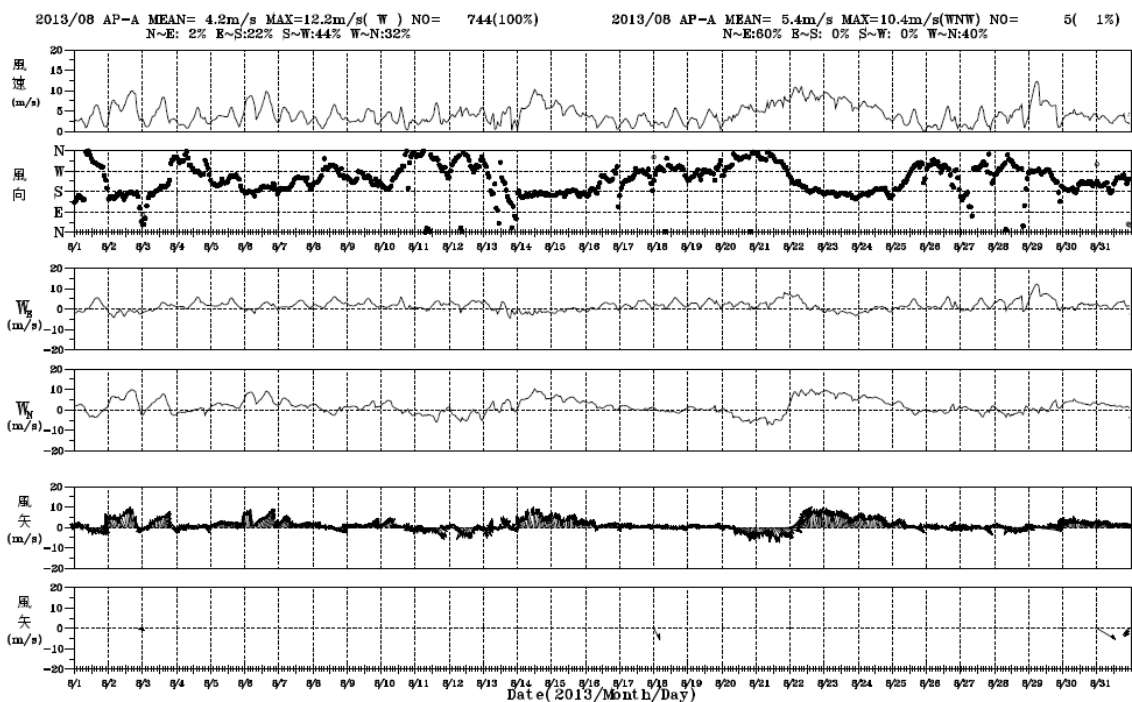
附圖 6.8 2013 年 6 月安平港 RC 風場與觀測比較圖(實線：RC)



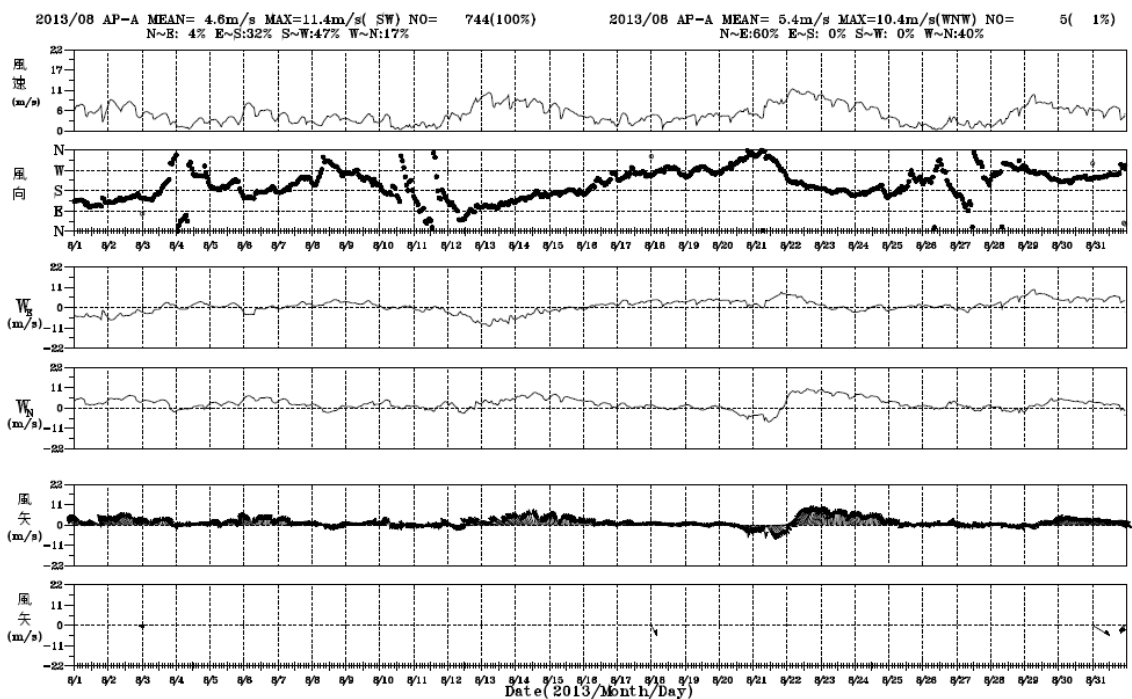
附圖 6.9 2013 年 7 月安平港 MC 風場與觀測比較圖(實線：MC)



附圖 6.10 2013 年 7 月安平港 RC 風場與觀測比較圖(實線：RC)



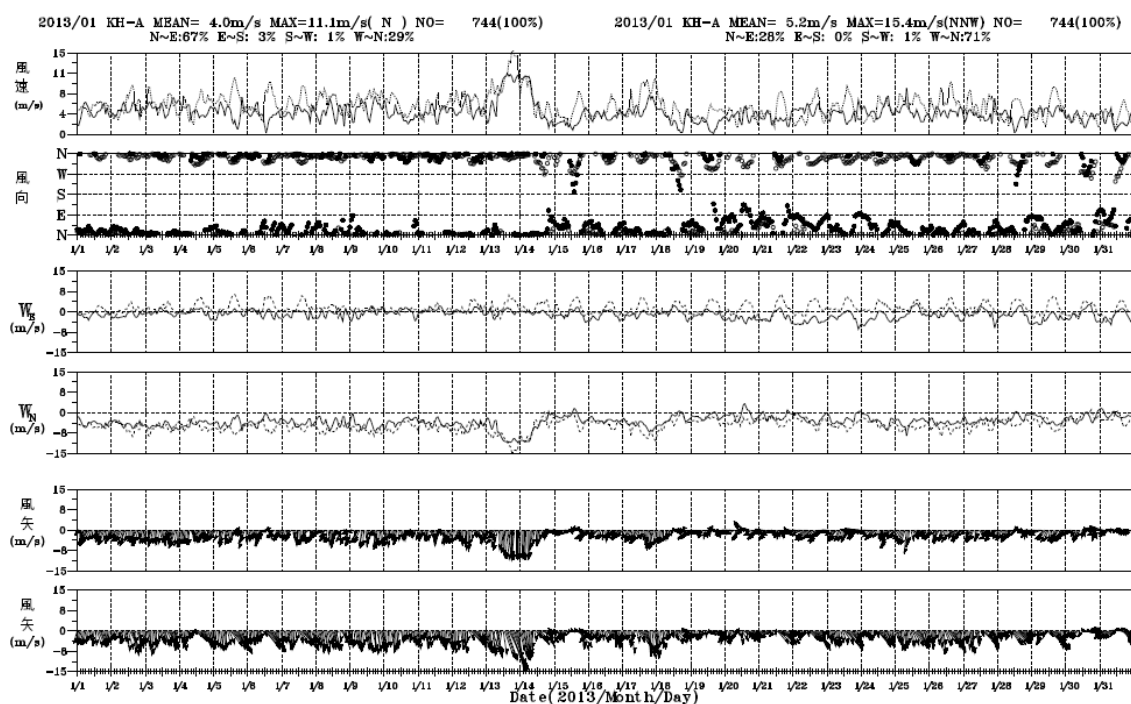
附圖 6.11 2013 年 8 月安平港 MC 風場與觀測比較圖(實線：MC)



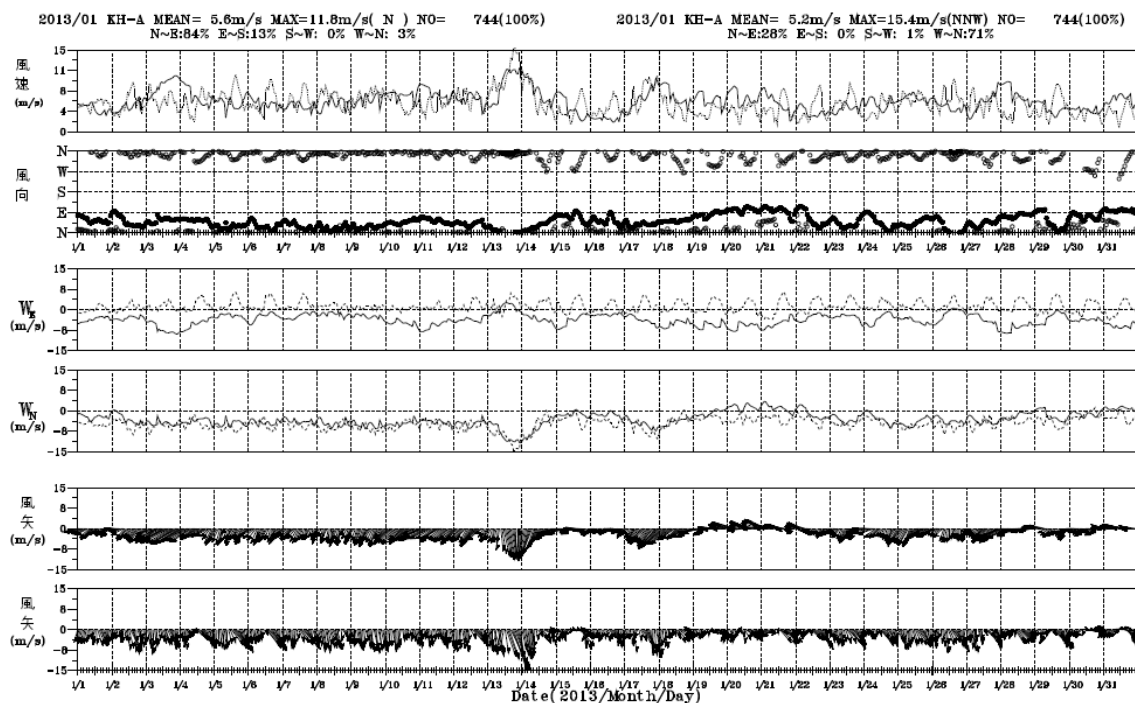
附圖 6.12 2013 年 8 月安平港 RC 風場與觀測比較圖(實線：RC)

## 附錄七

### 2013 年高雄港預報風場與觀測比較圖

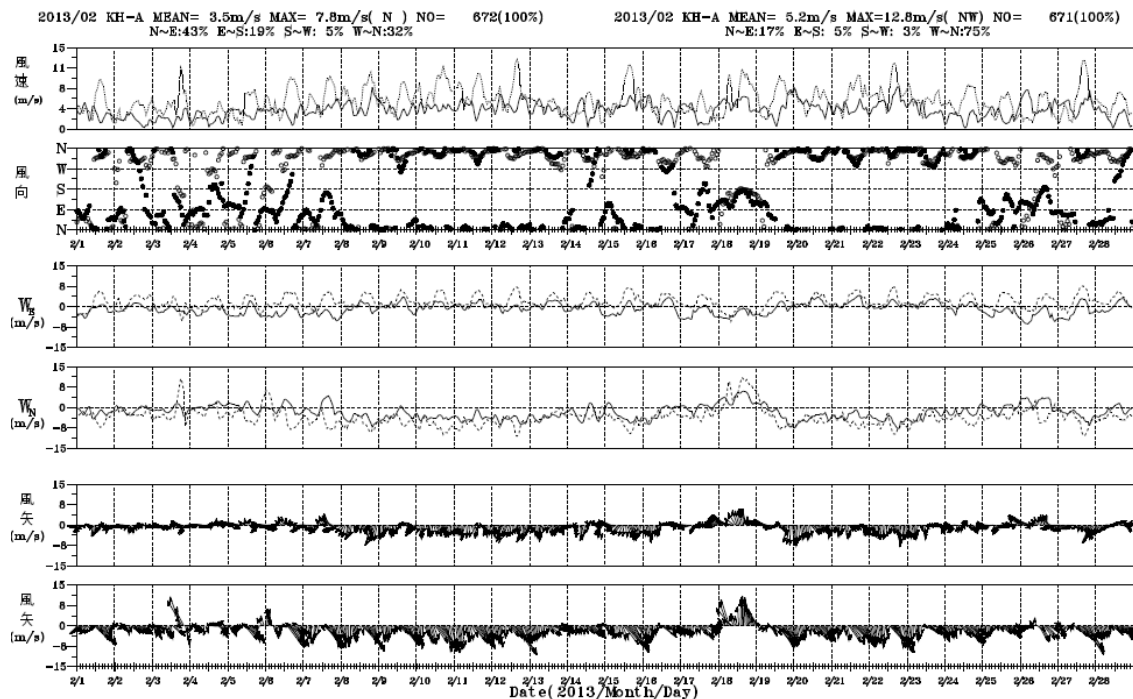


附圖 7.1 2013 年 1 月高雄港 MC 風場與觀測比較圖(實線：MC)

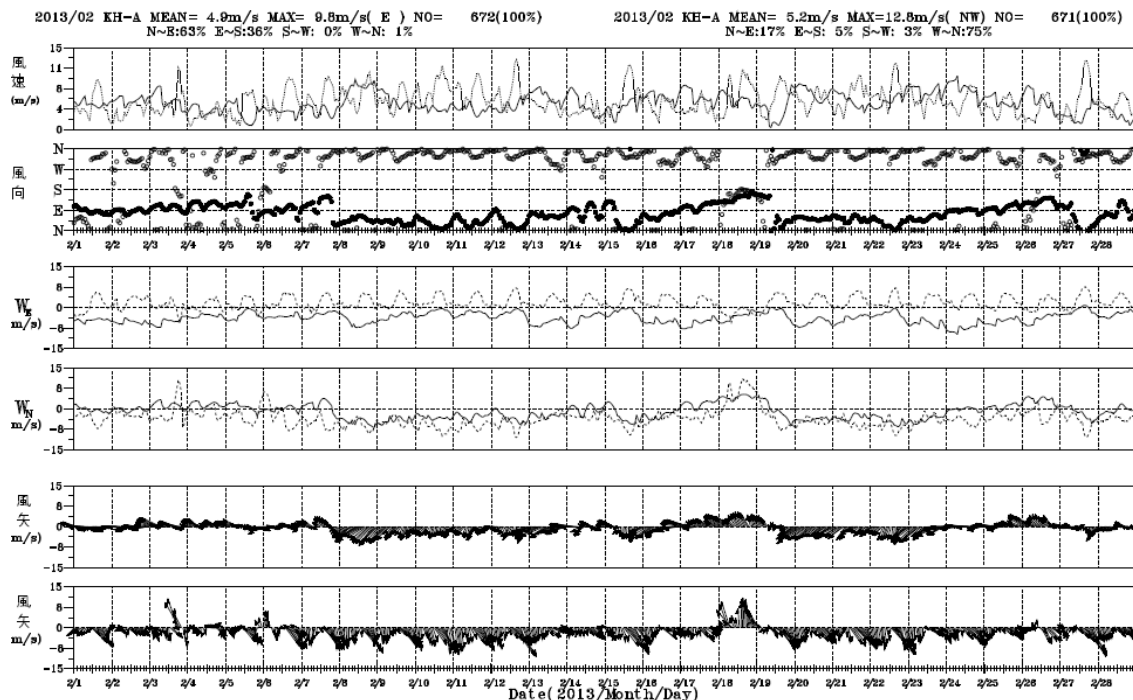


附圖 7.2 2013 年 1 月高雄港 RC 風場與觀測比較圖(實線：RC)

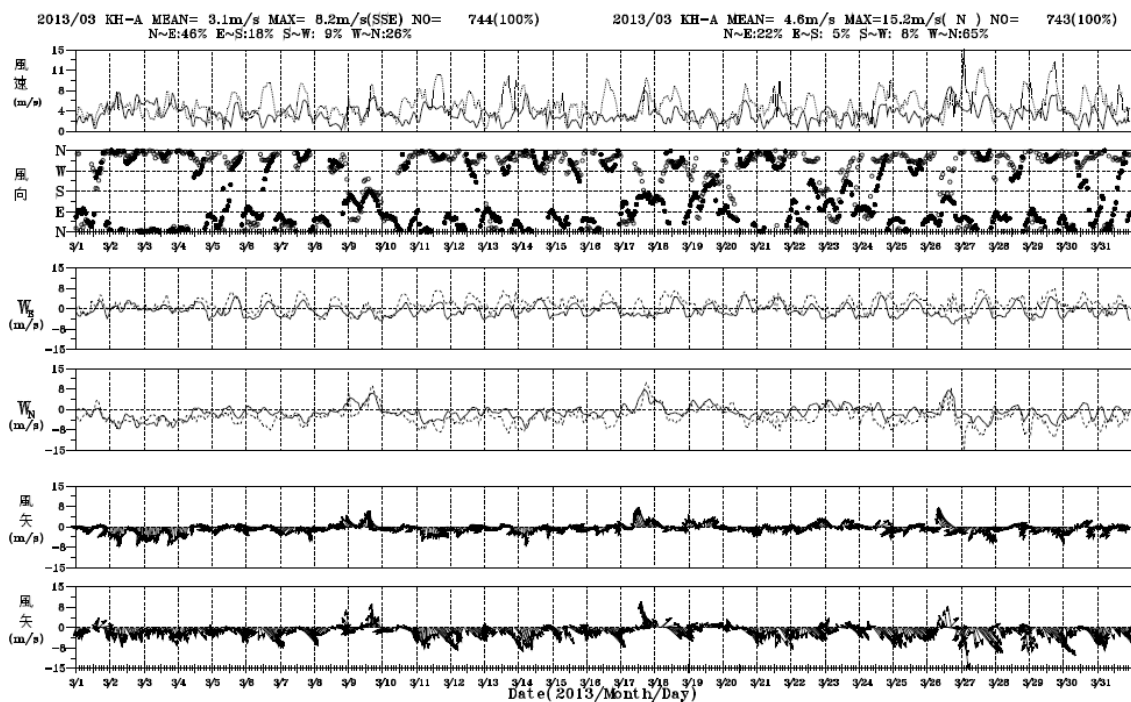




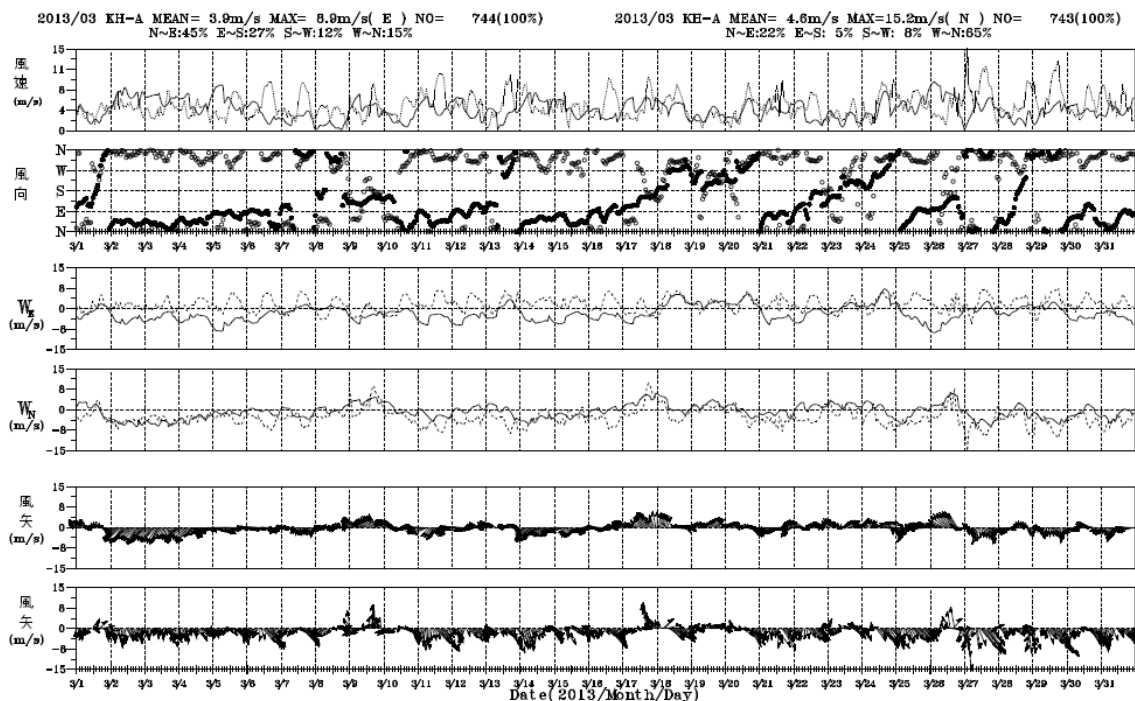
附圖 7.3 2013 年 2 月高雄港 MC 風場與觀測比較圖(實線：MC)



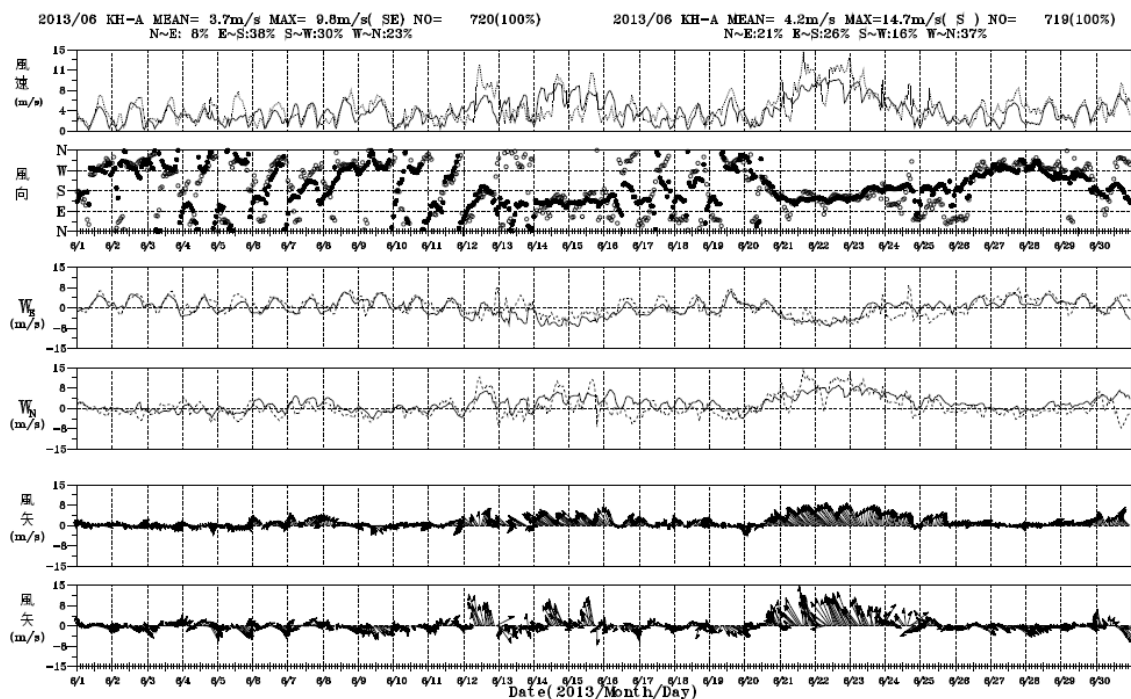
附圖 7.4 2013 年 2 月高雄港 RC 風場與觀測比較圖(實線：RC)



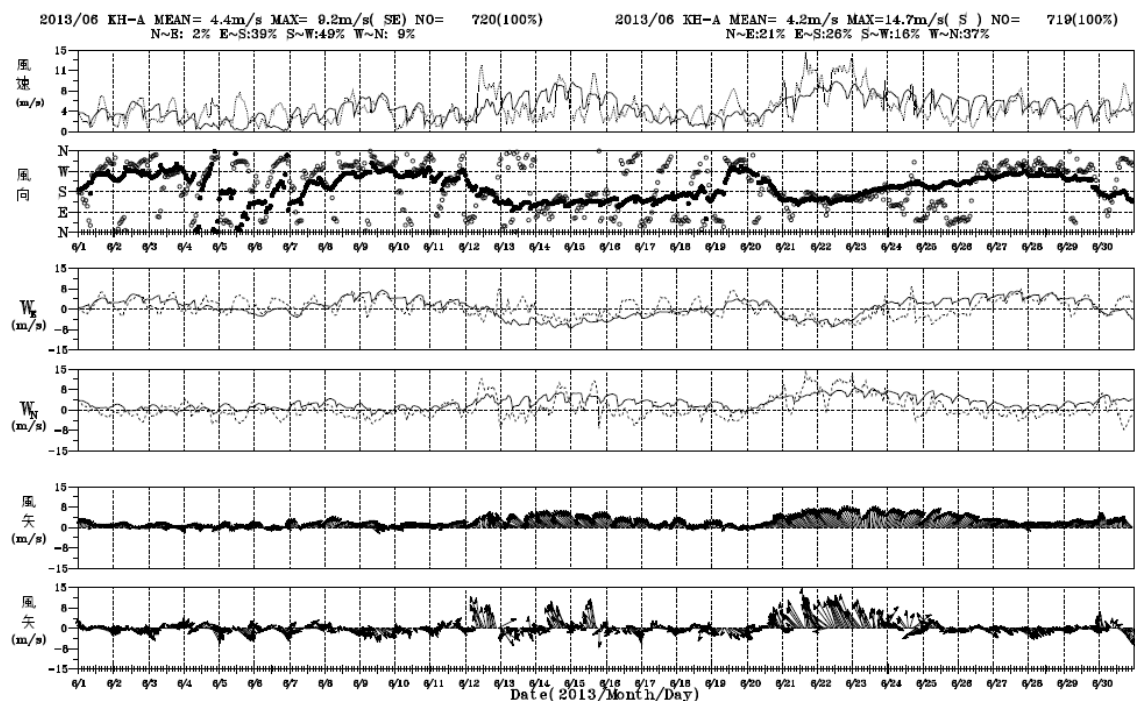
附圖 7.5 2013 年 3 月高雄港 MC 風場與觀測比較圖(實線：MC)



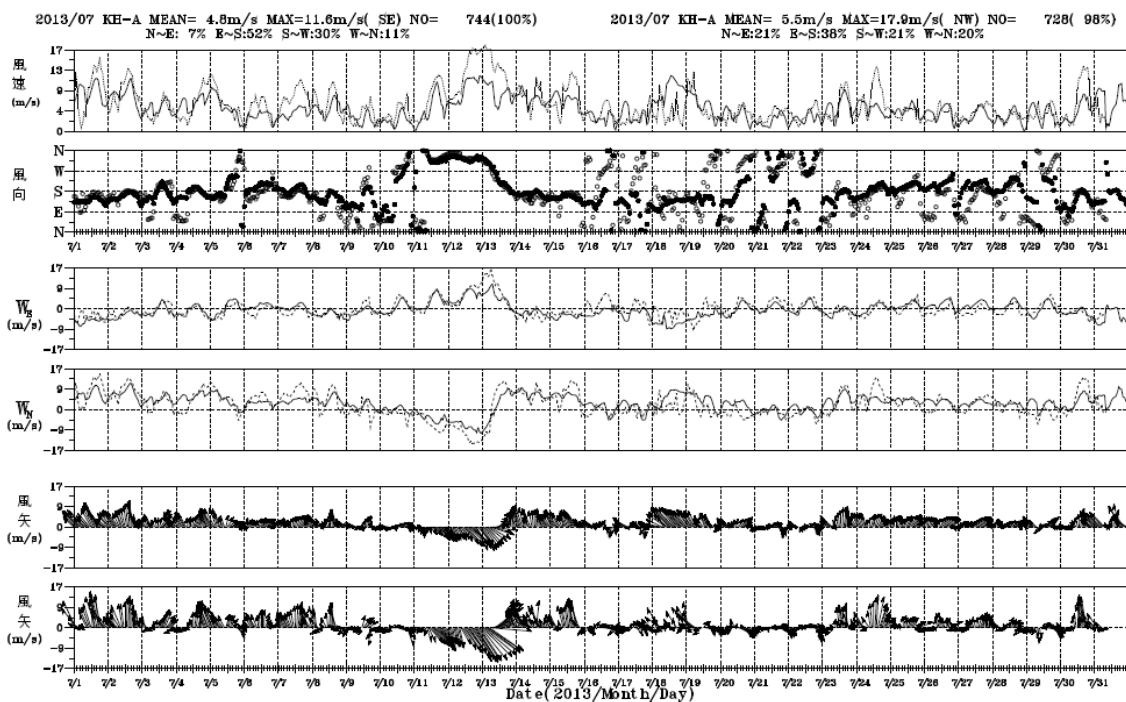
附圖 7.6 2013 年 3 月高雄港 RC 風場與觀測比較圖(實線：RC)



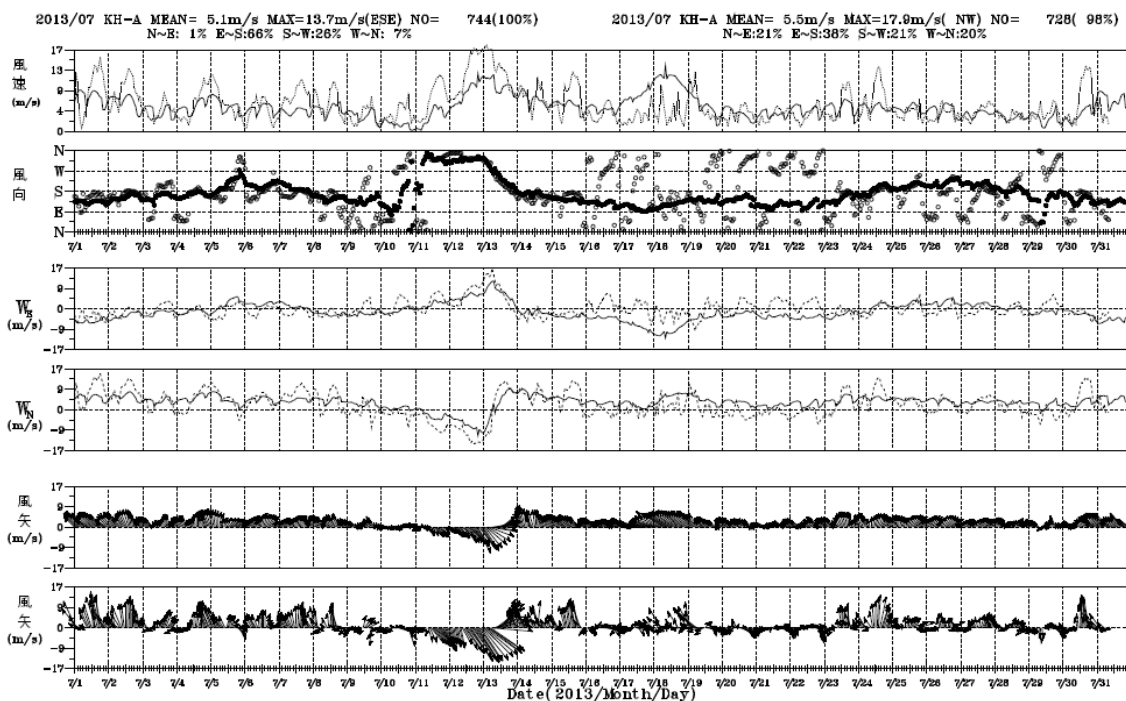
附圖 7.7 2013 年 6 月高雄港 MC 風場與觀測比較圖(實線：MC)



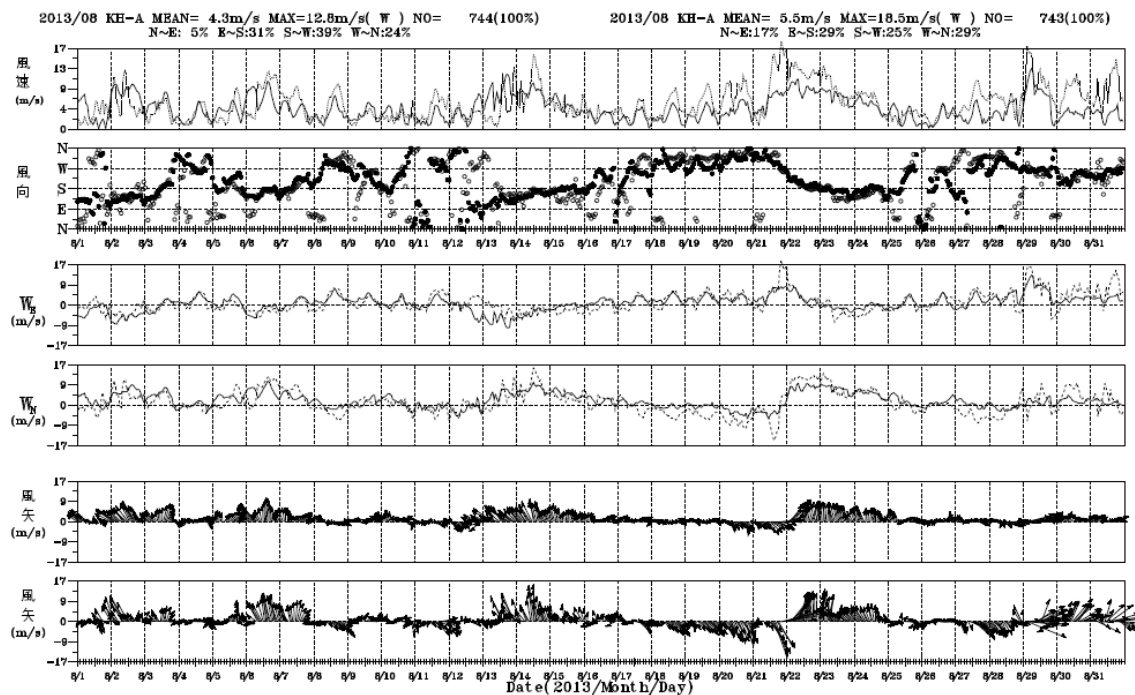
附圖 7.8 2013 年 6 月高雄港 RC 風場與觀測比較圖(實線：RC)



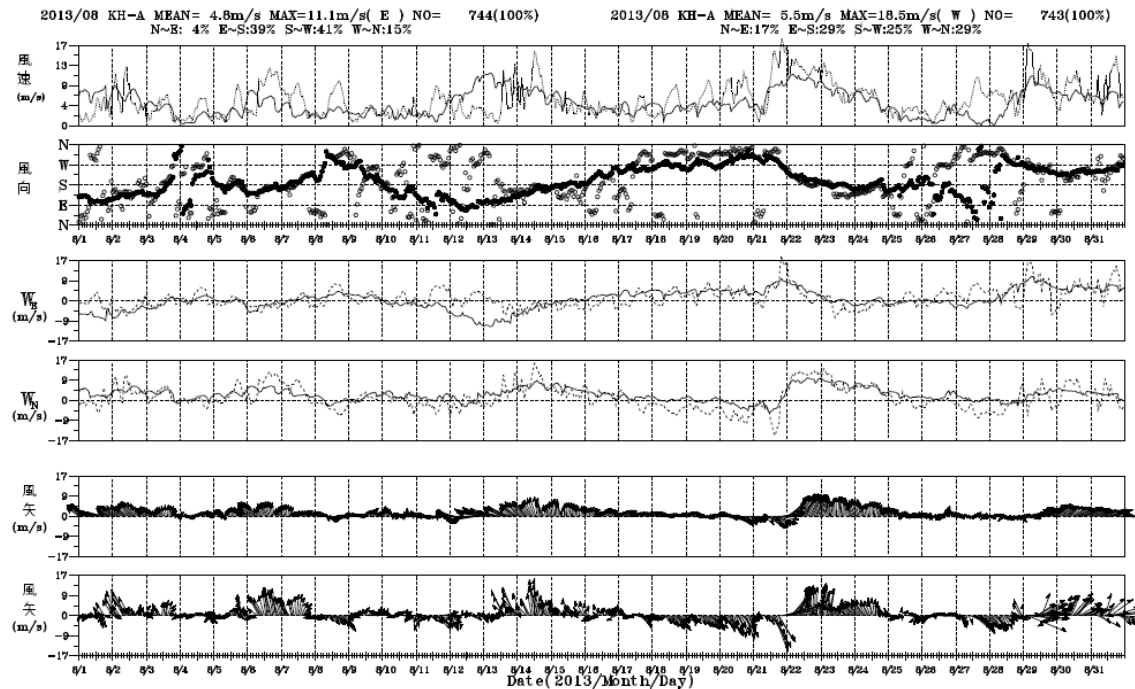
附圖 7.9 2013 年 7 月高雄港 MC 風場與觀測比較圖(實線：MC)



附圖 7.10 2013 年 7 月高雄港 RC 風場與觀測比較圖(實線：RC)



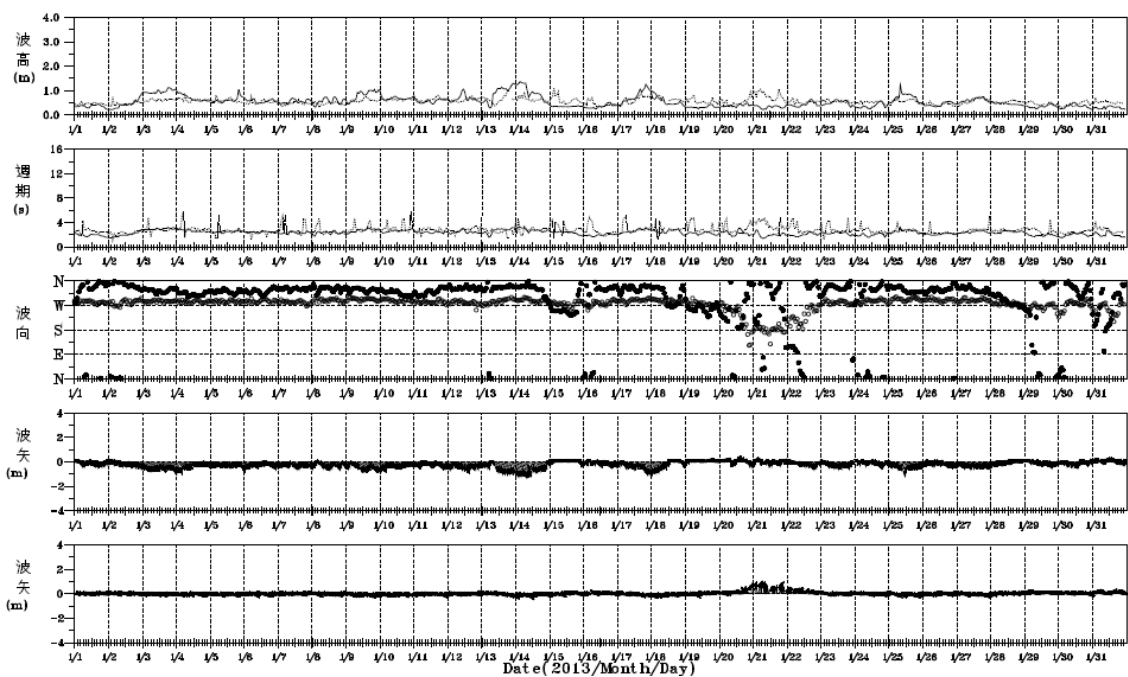
附圖 7.11 2013 年 8 月高雄港 MC 風場與觀測比較圖(實線：MC)



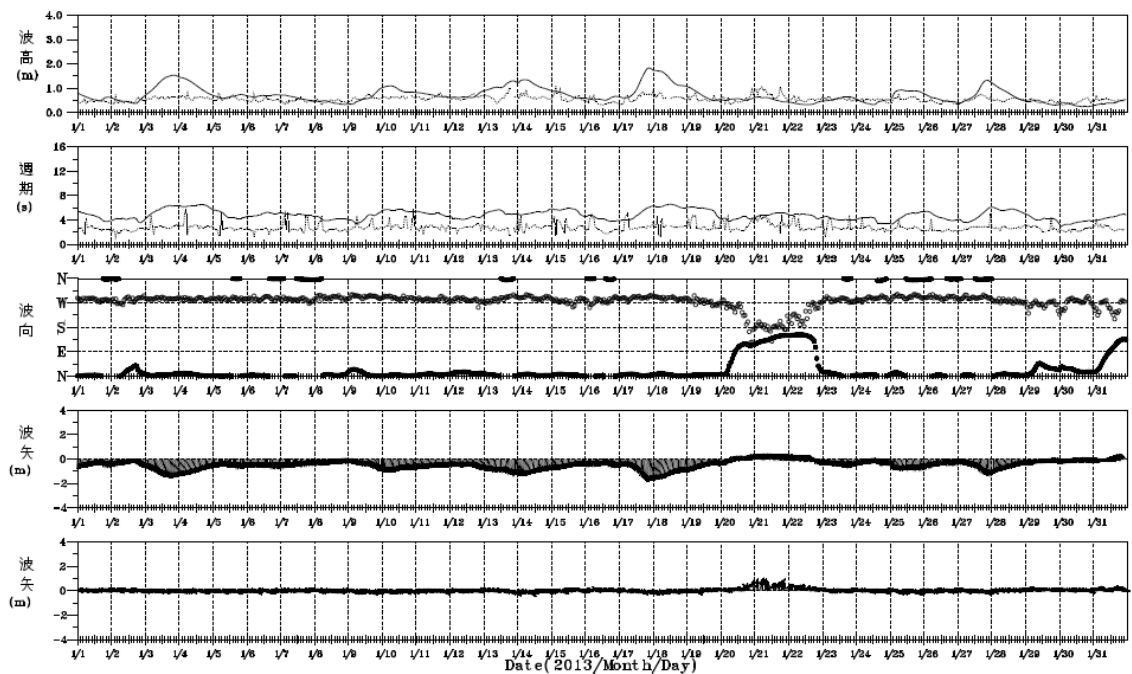
附圖 7.12 2013 年 8 月高雄港 RC 風場與觀測比較圖(實線：RC)

## 附錄八

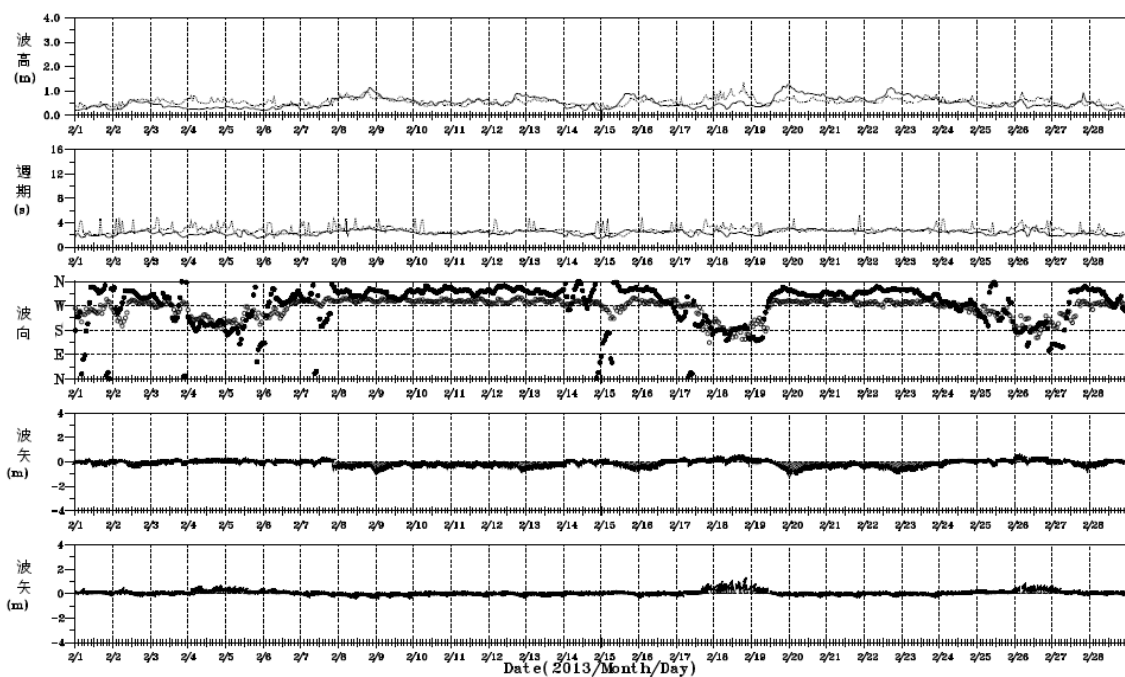
### 2013 年安平港風浪模式與觀測之比較



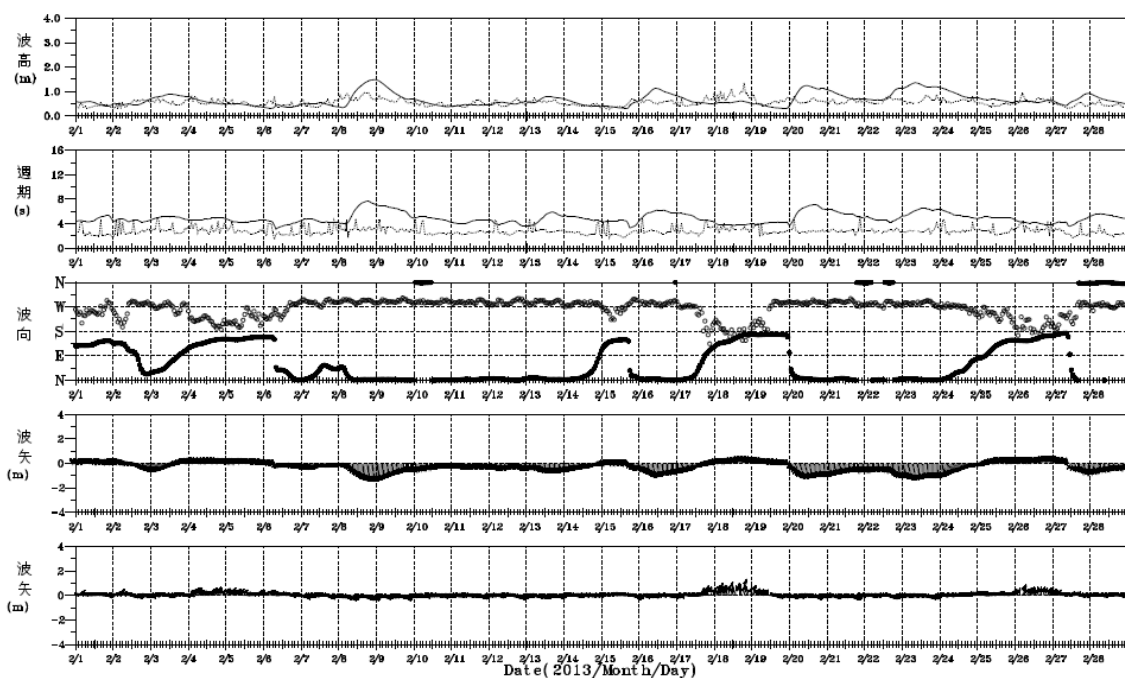
附圖 8.1 2013 年 1 月安平港 SWAN 波浪與觀測比較(實點：SWAN)



附圖 8.2 2013 年 1 月安平港 WAM 波浪與觀測比較(實線：WAM)

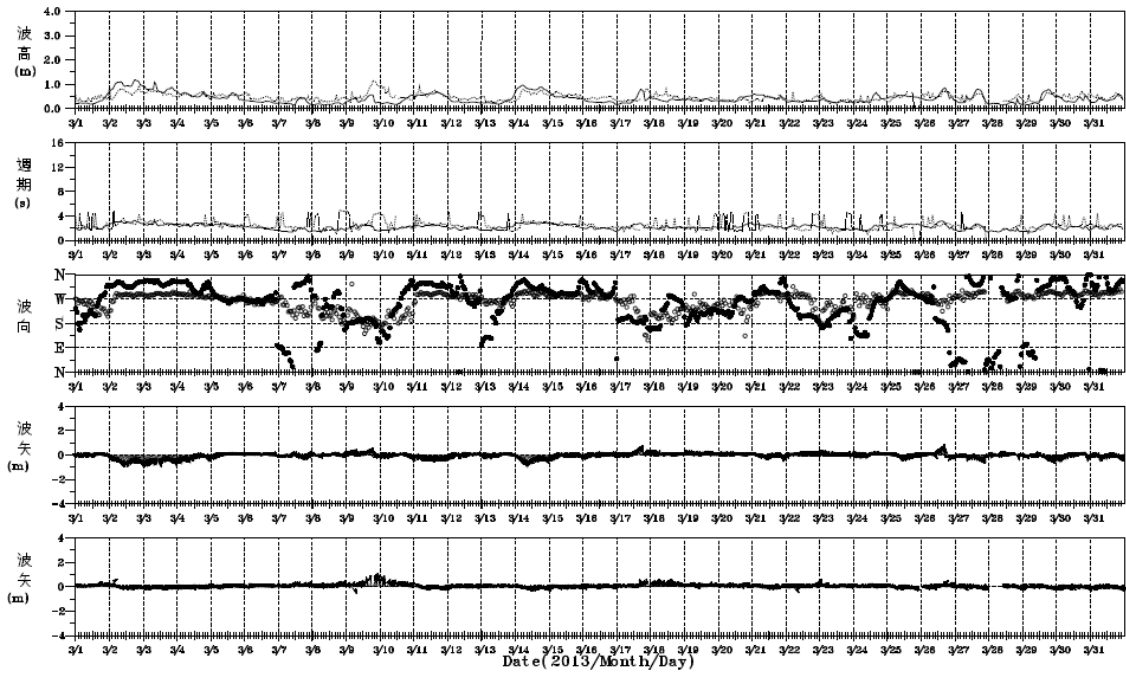


附圖 8.3 2013 年 2 月安平港 SWAN 波浪與觀測比較(實點：SWAN)

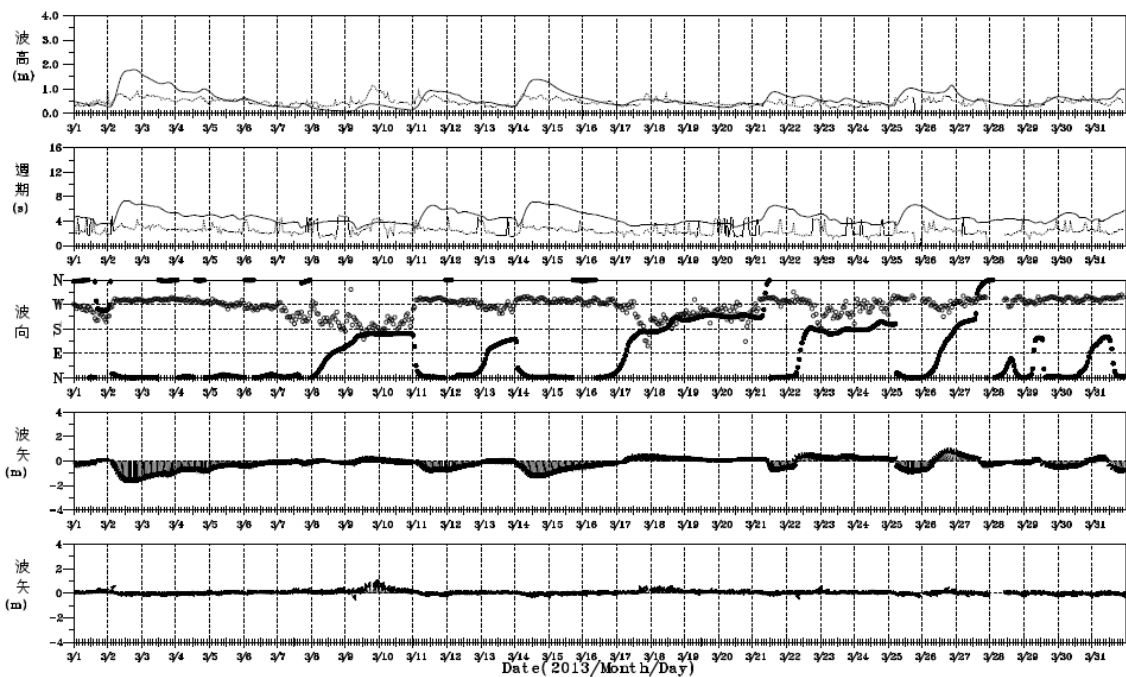


附圖 8.4 2013 年 2 月安平港 WAM 波浪與觀測比較(實線：WAM)

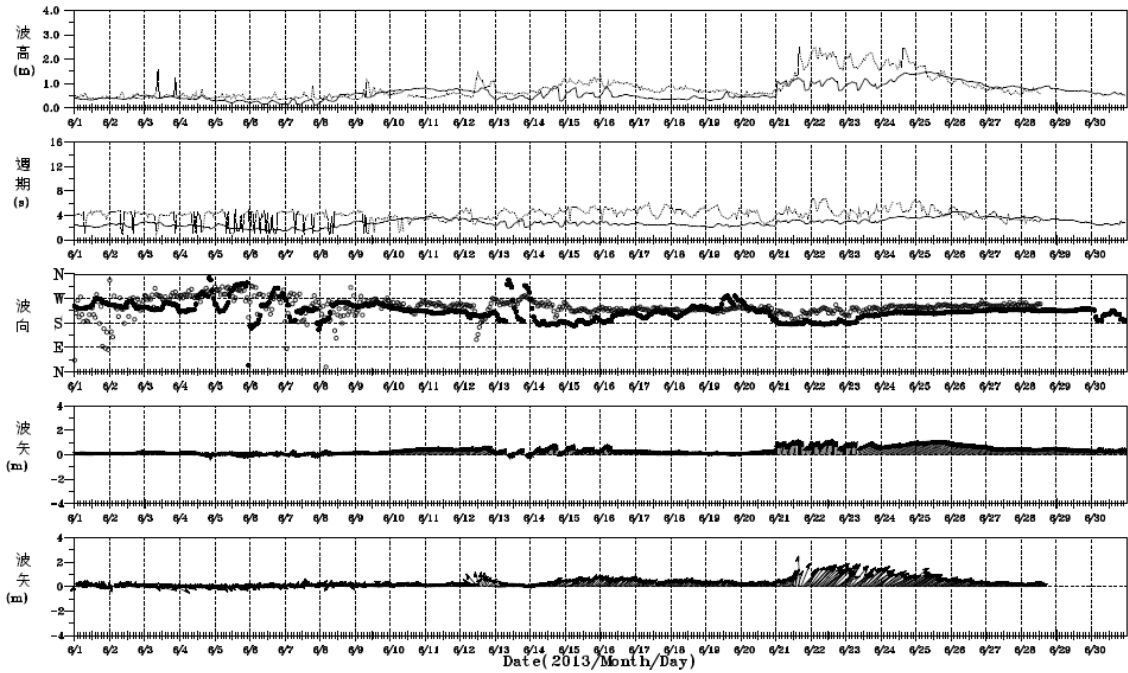




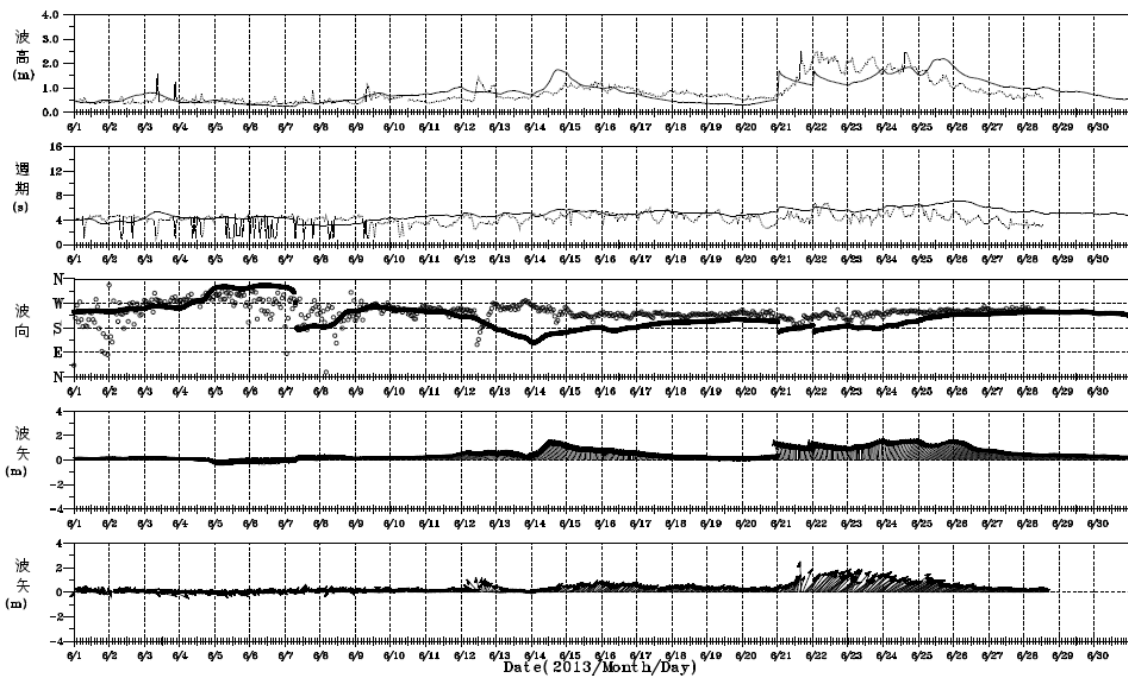
附圖 8.5 2013 年 3 月安平港 SWAN 波浪與觀測比較(實點：SWAN)



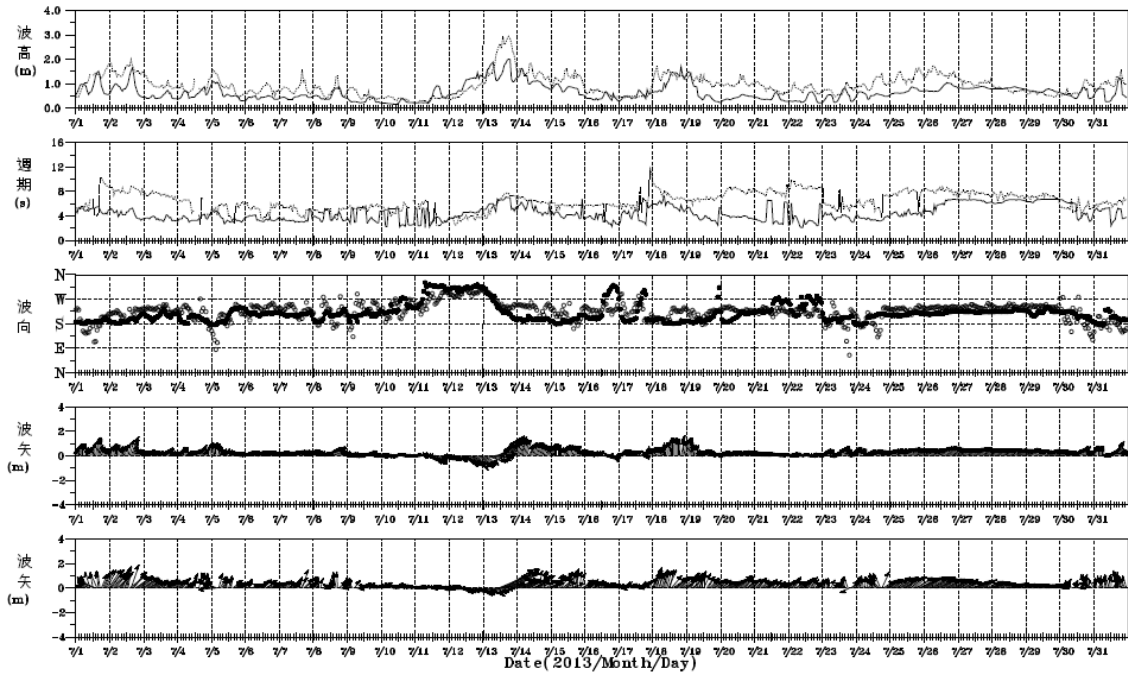
附圖 8.6 2013 年 3 月安平港 WAM 波浪與觀測比較(實線：WAM)



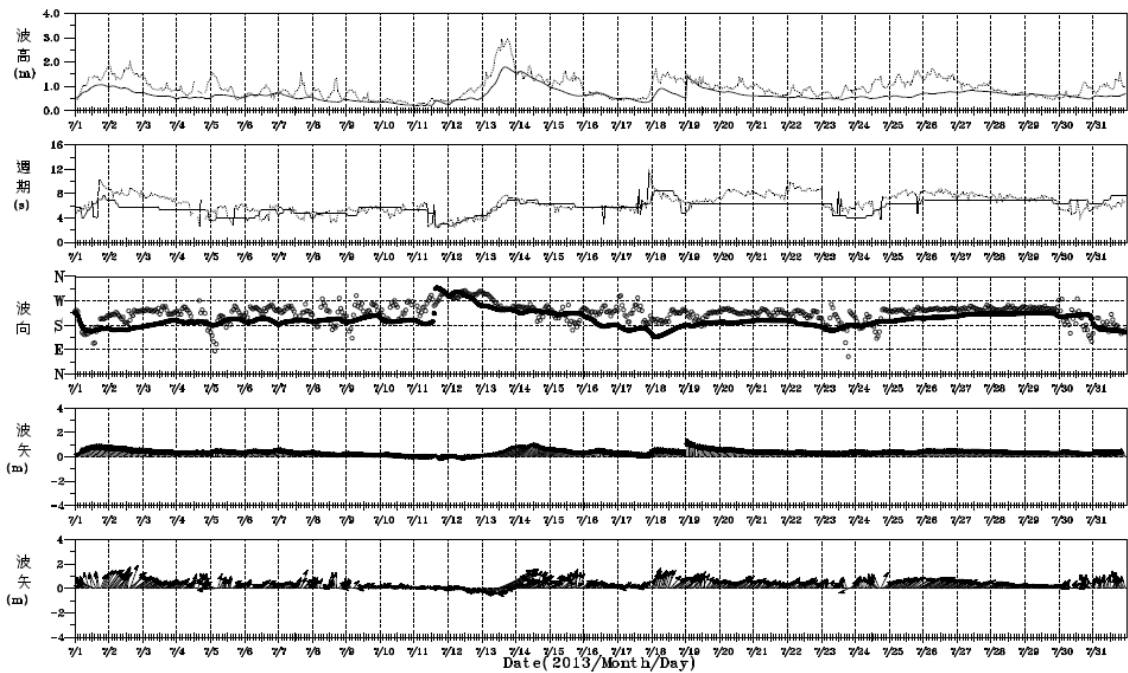
附圖 8.7 2013 年 6 月安平港 SWAN 波浪與觀測比較(實點：SWAN)



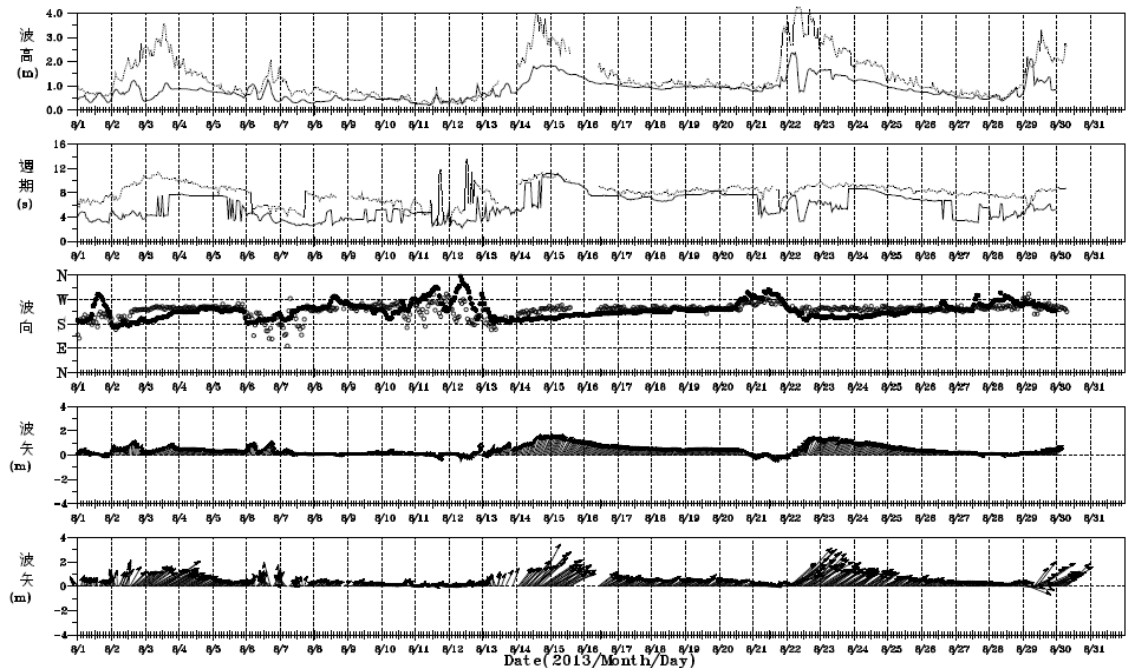
附圖 8.8 2013 年 6 月安平港 WAM 波浪與觀測比較(實線：WAM)



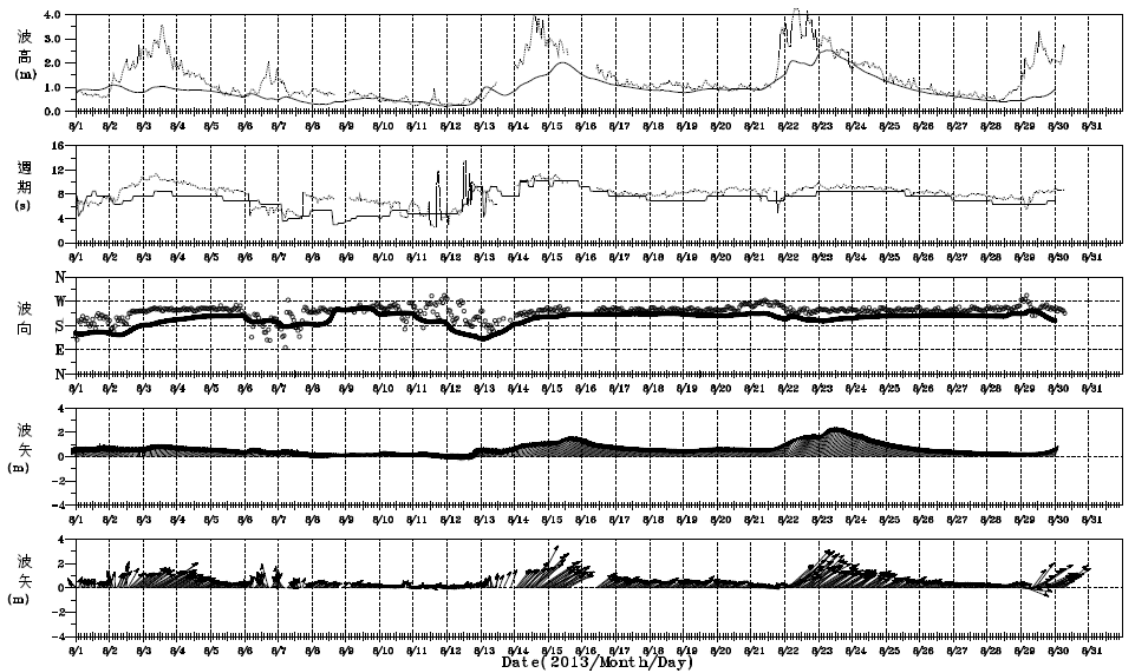
附圖 8.9 2013 年 7 月安平港 SWAN 波浪與觀測比較(實點：SWAN)



附圖 8.10 2013 年 7 月安平港 WAM 波浪與觀測比較(實線：WAM)



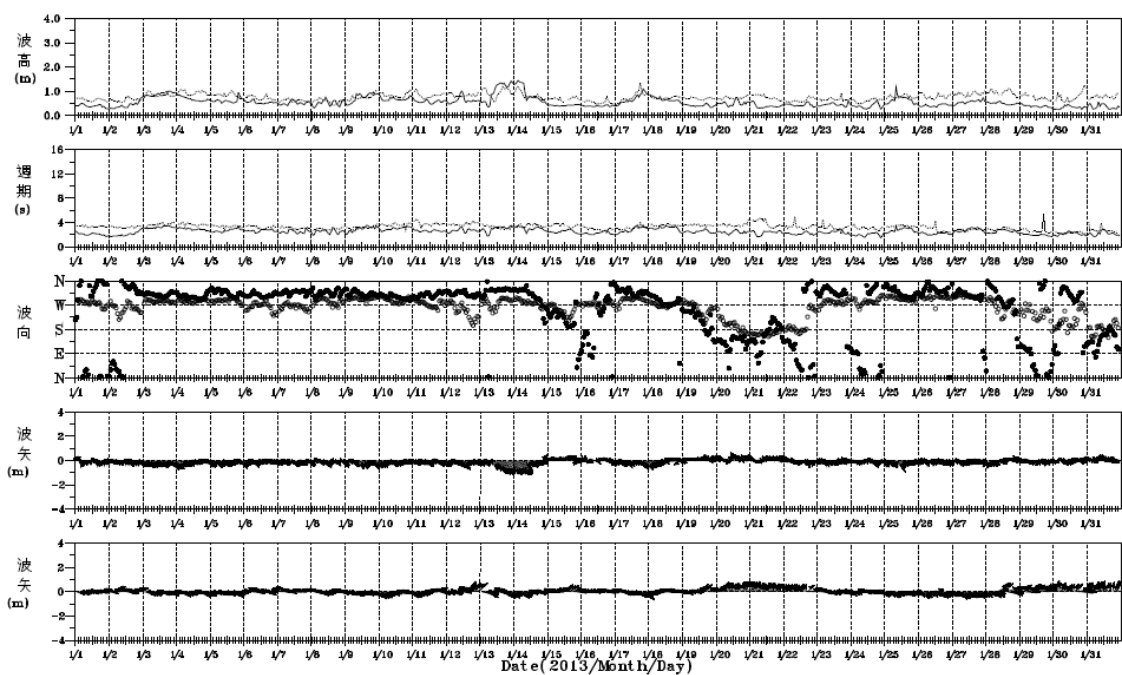
附圖 8.11 2013 年 8 月安平港 SWAN 波浪與觀測比較(實點：SWAN)



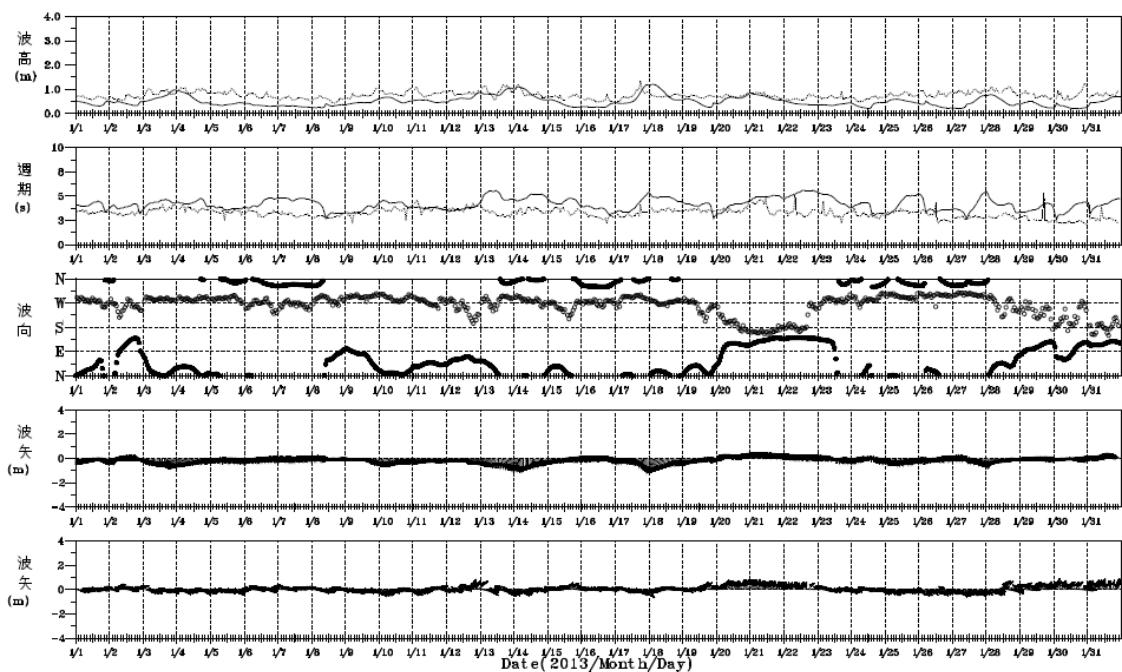
附圖 8.12 2013 年 8 月安平港 WAM 波浪與觀測比較(實線：WAM)

## 附錄九

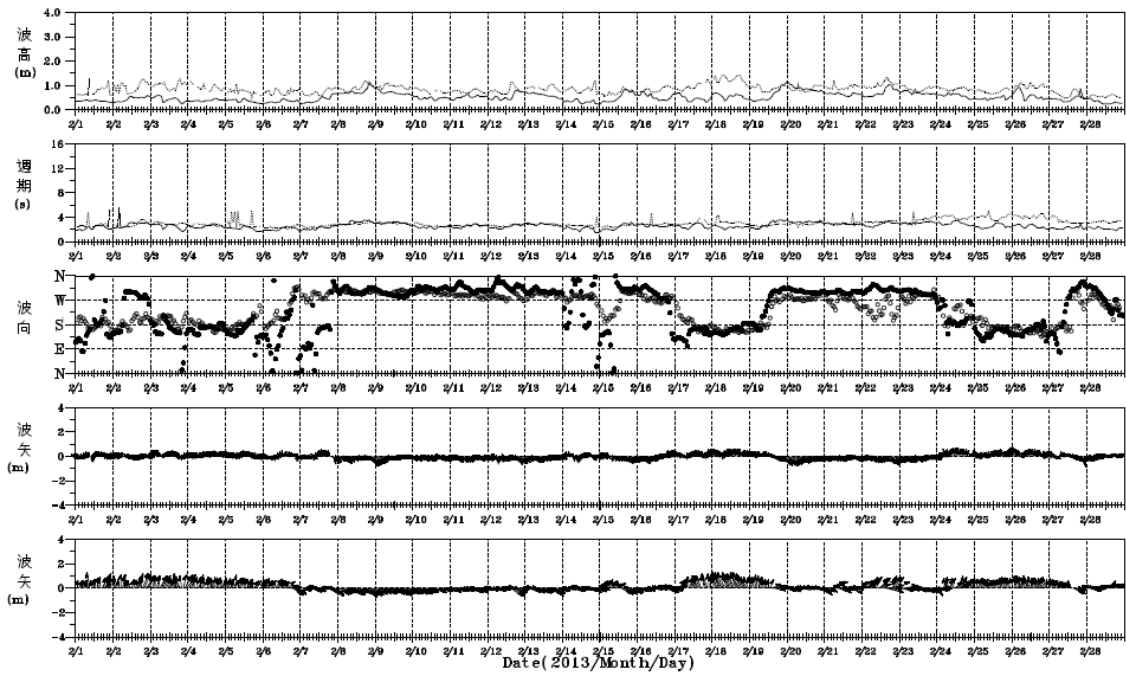
### 2013 年高雄港風浪模式與觀測之比較



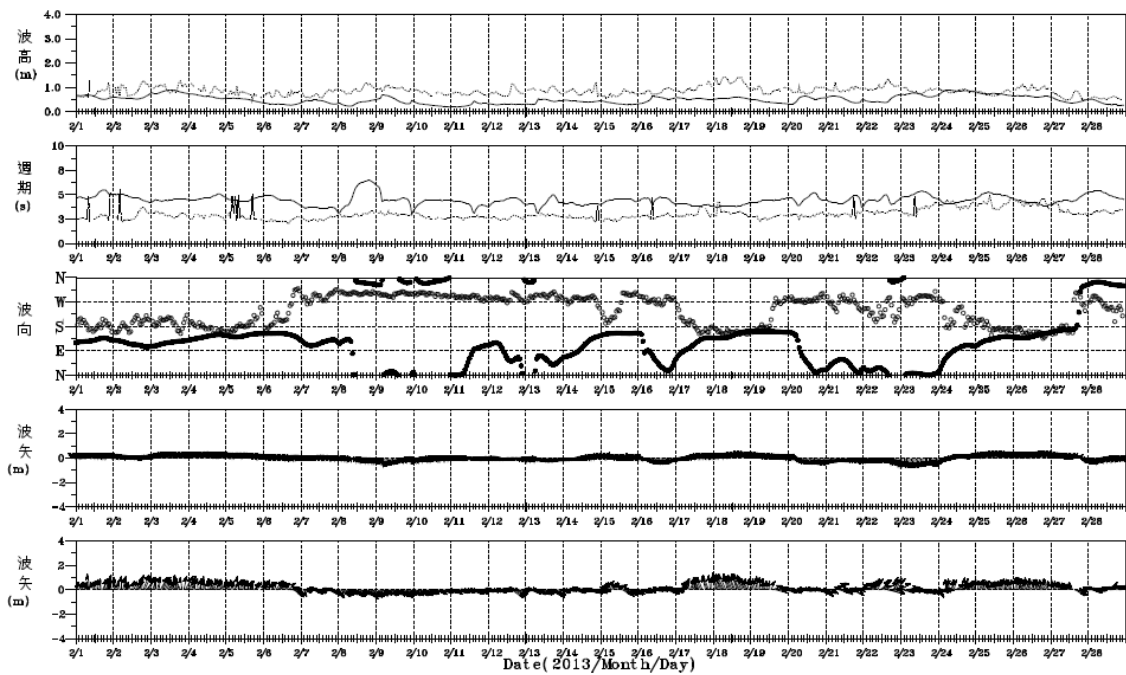
附圖 9.1 2013 年 1 月高雄港 SWAN 波浪與觀測比較(實點：SWAN)



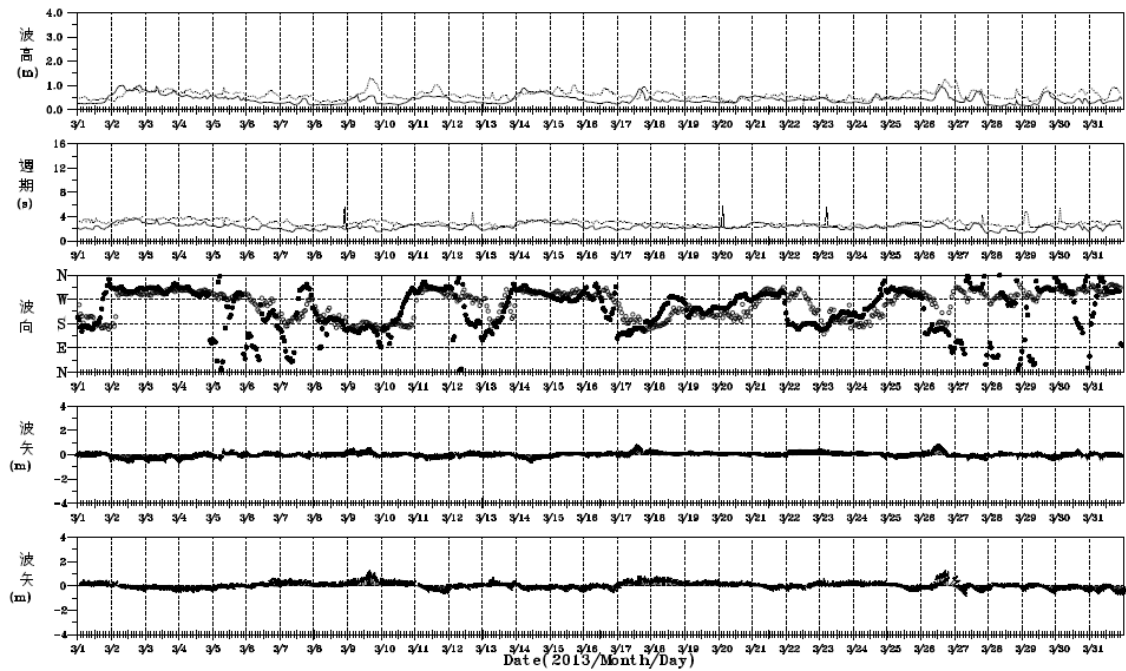
附圖 9.2 2013 年 1 月高雄港 WAM 波浪與觀測比較(實線：WAM)



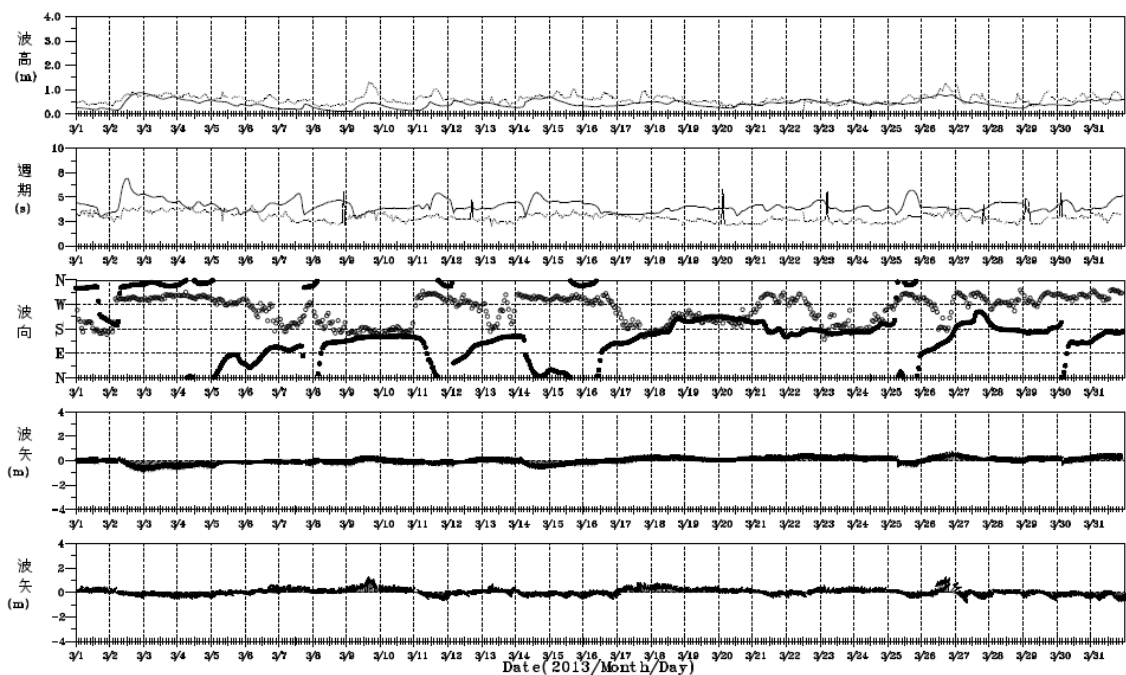
附圖 9.3 2013 年 2 月高雄港 SWAN 波浪與觀測比較(實點：SWAN)



附圖 9.4 2013 年 2 月高雄港 WAM 波浪與觀測比較(實線：WAM)

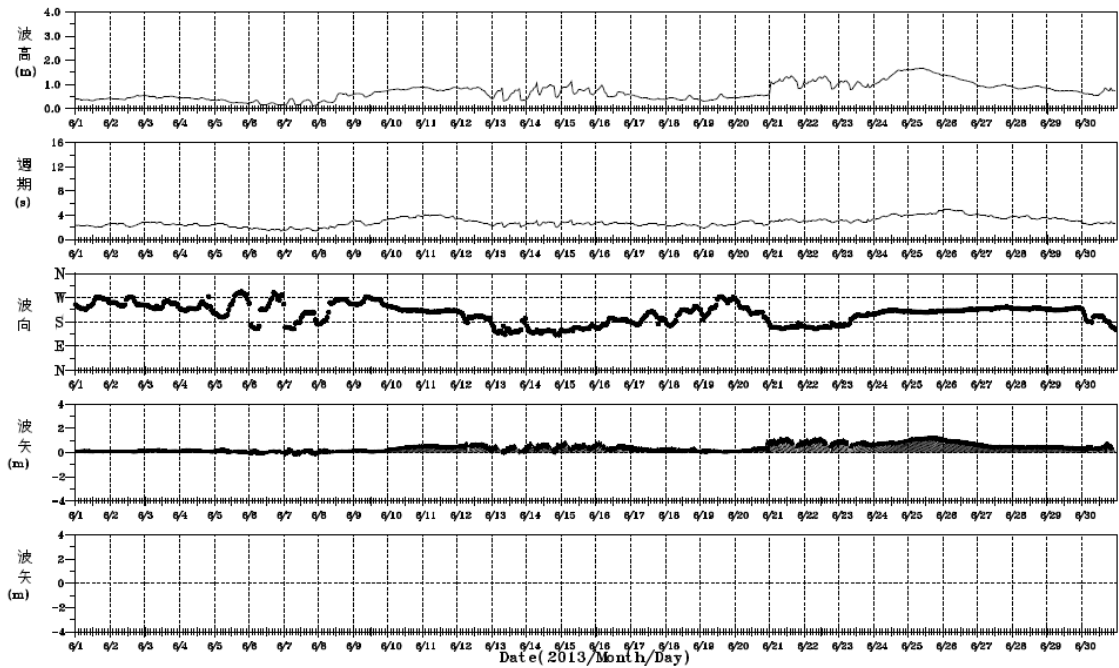


附圖 9.5 2013 年 3 月高雄港 SWAN 波浪與觀測比較(實點：SWAN)

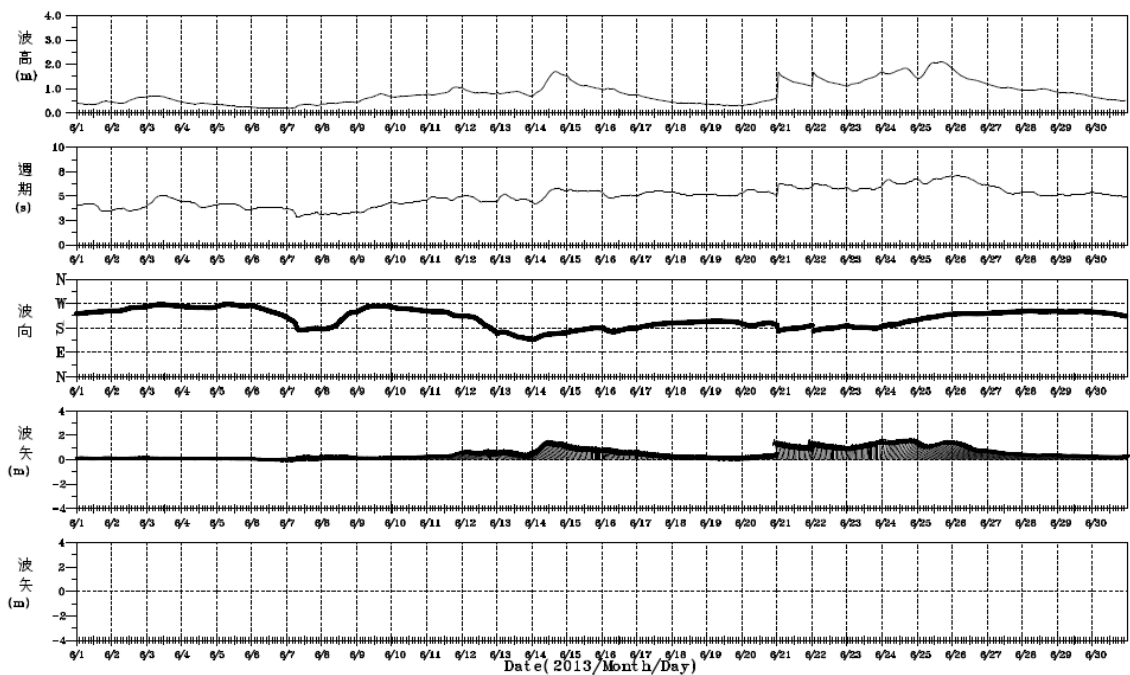


附圖 9.6 2013 年 3 月高雄港 WAM 波浪與觀測比較(實線：WAM)

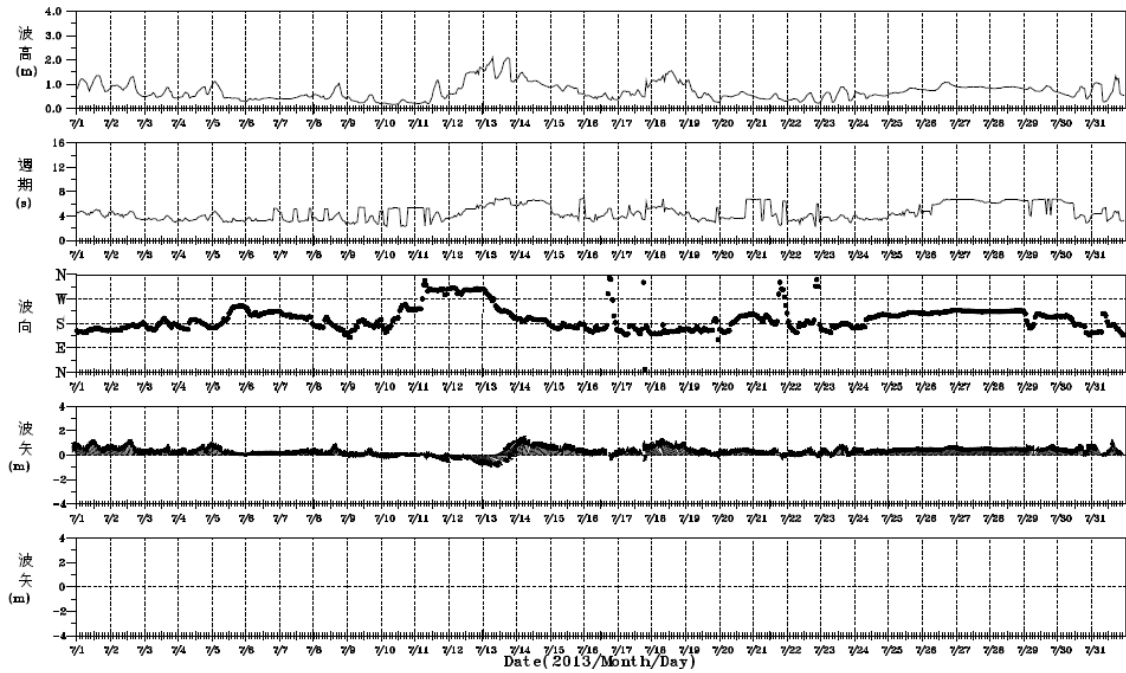




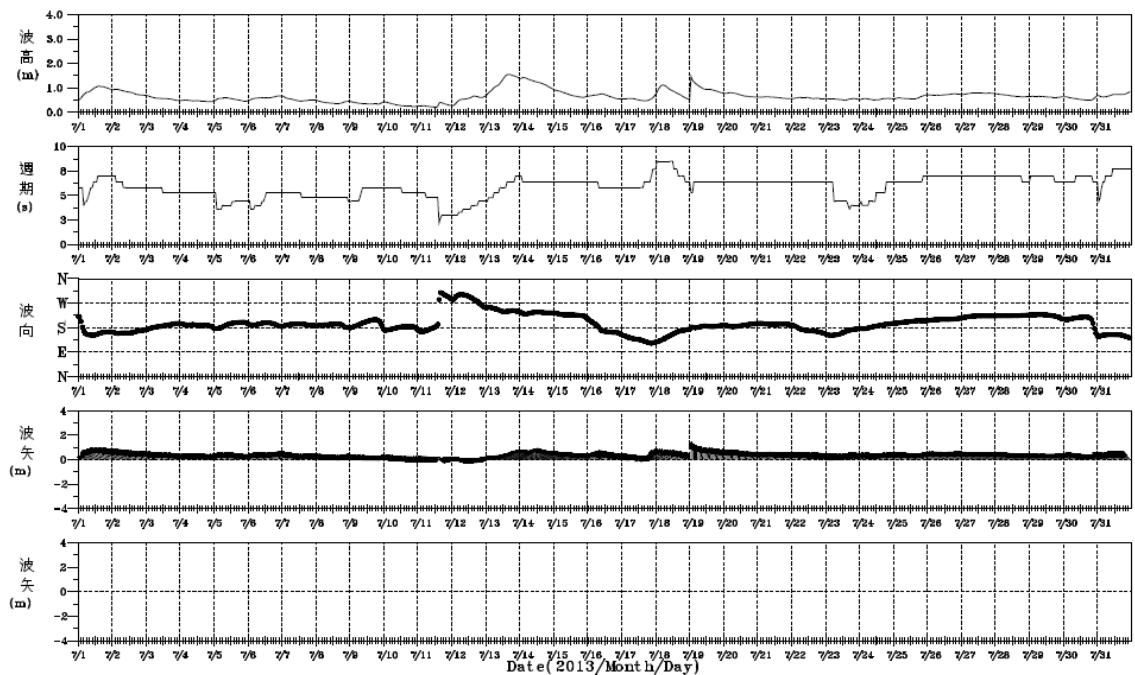
附圖 9.7 2013 年 6 月高雄港 SWAN 波浪與觀測比較(實點：SWAN)



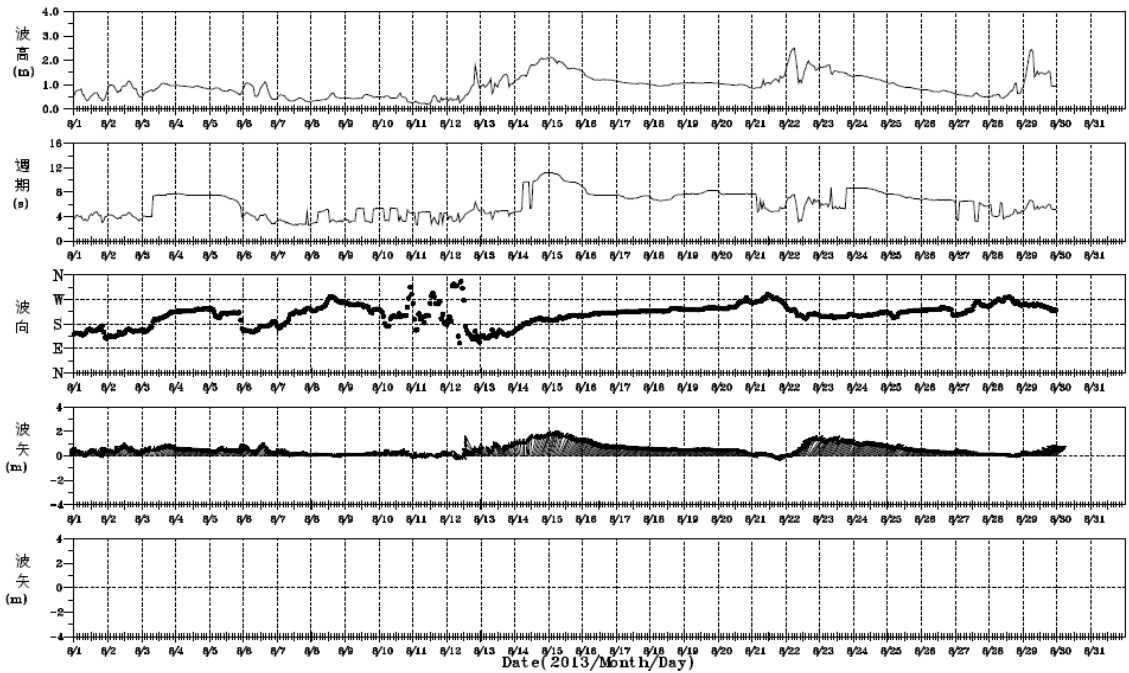
附圖 9.8 2013 年 6 月高雄港 WAM 波浪與觀測比較(實線：WAM)



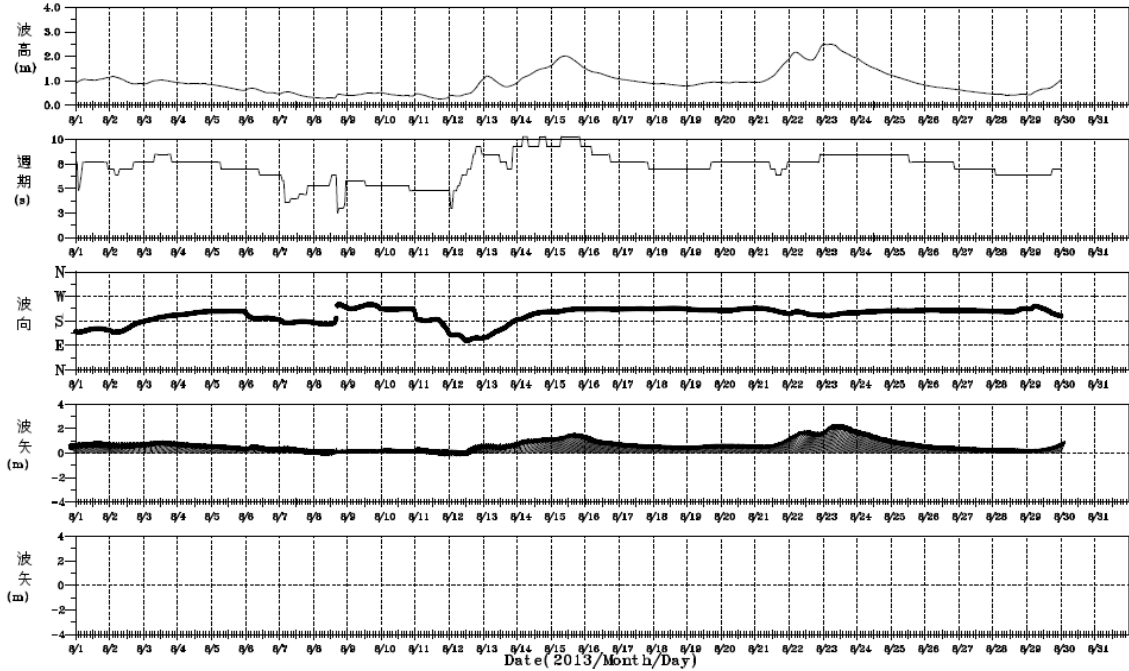
附圖 9.9 2013 年 7 月高雄港 SWAN 波浪與觀測比較(實點：SWAN)



附圖 9.10 2013 年 7 月高雄港 WAM 波浪與觀測比較(實線：WAM)



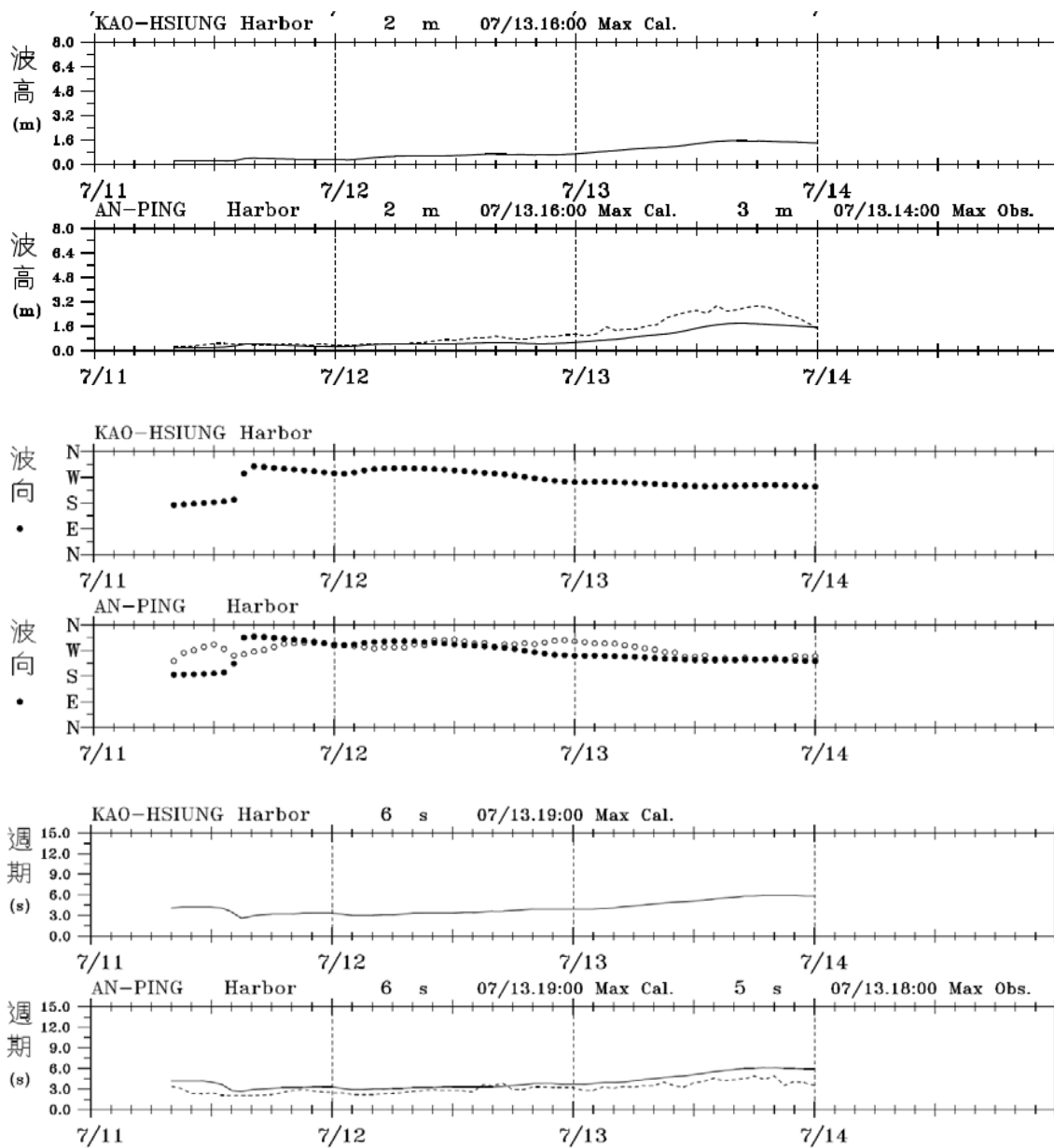
附圖 9.11 2013 年 8 月高雄港 SWAN 波浪與觀測比較(實點：SWAN)



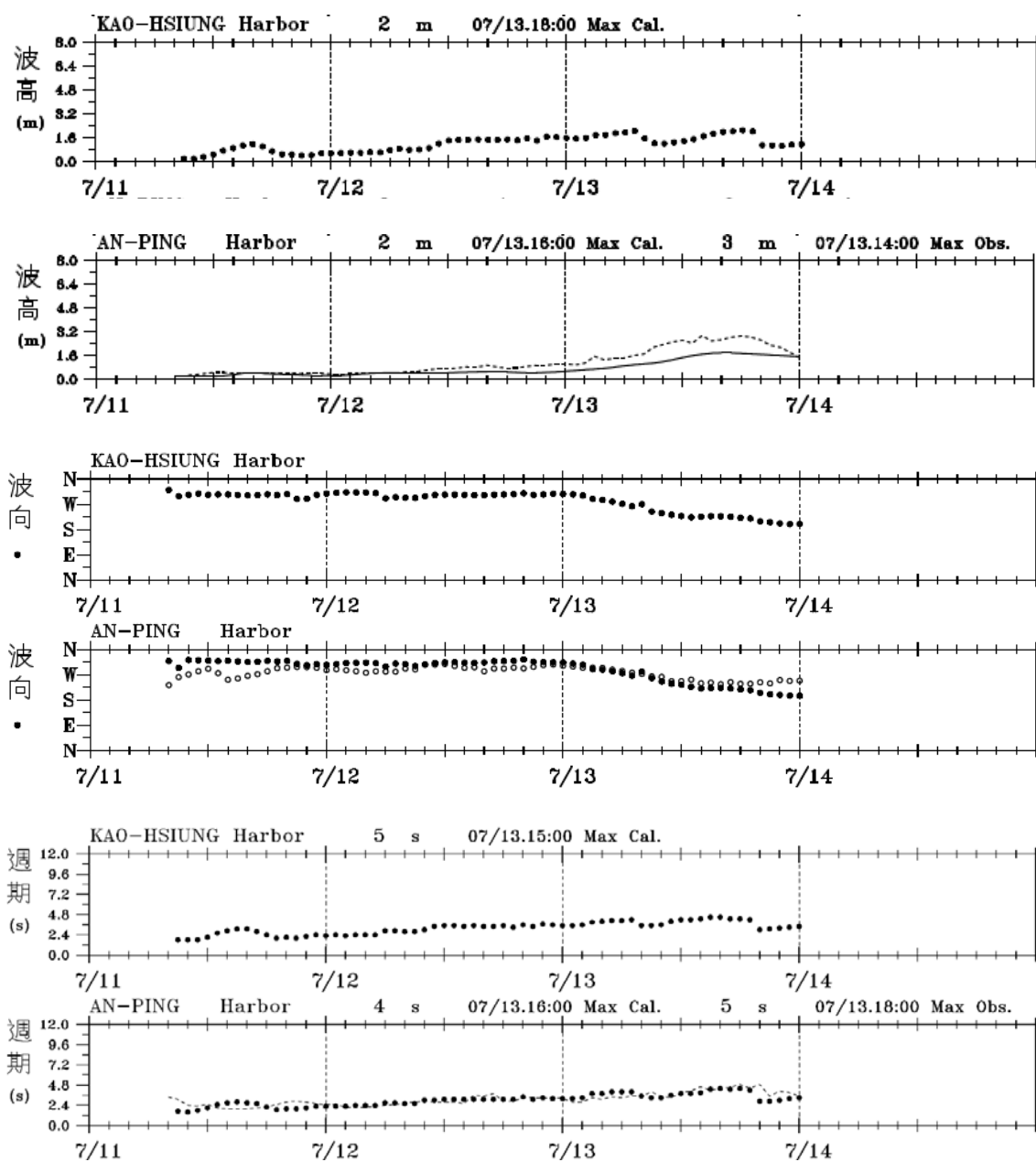
附圖 9.12 2013 年 8 月高雄港 WAM 波浪與觀測比較(實線：WAM)

## 附錄十

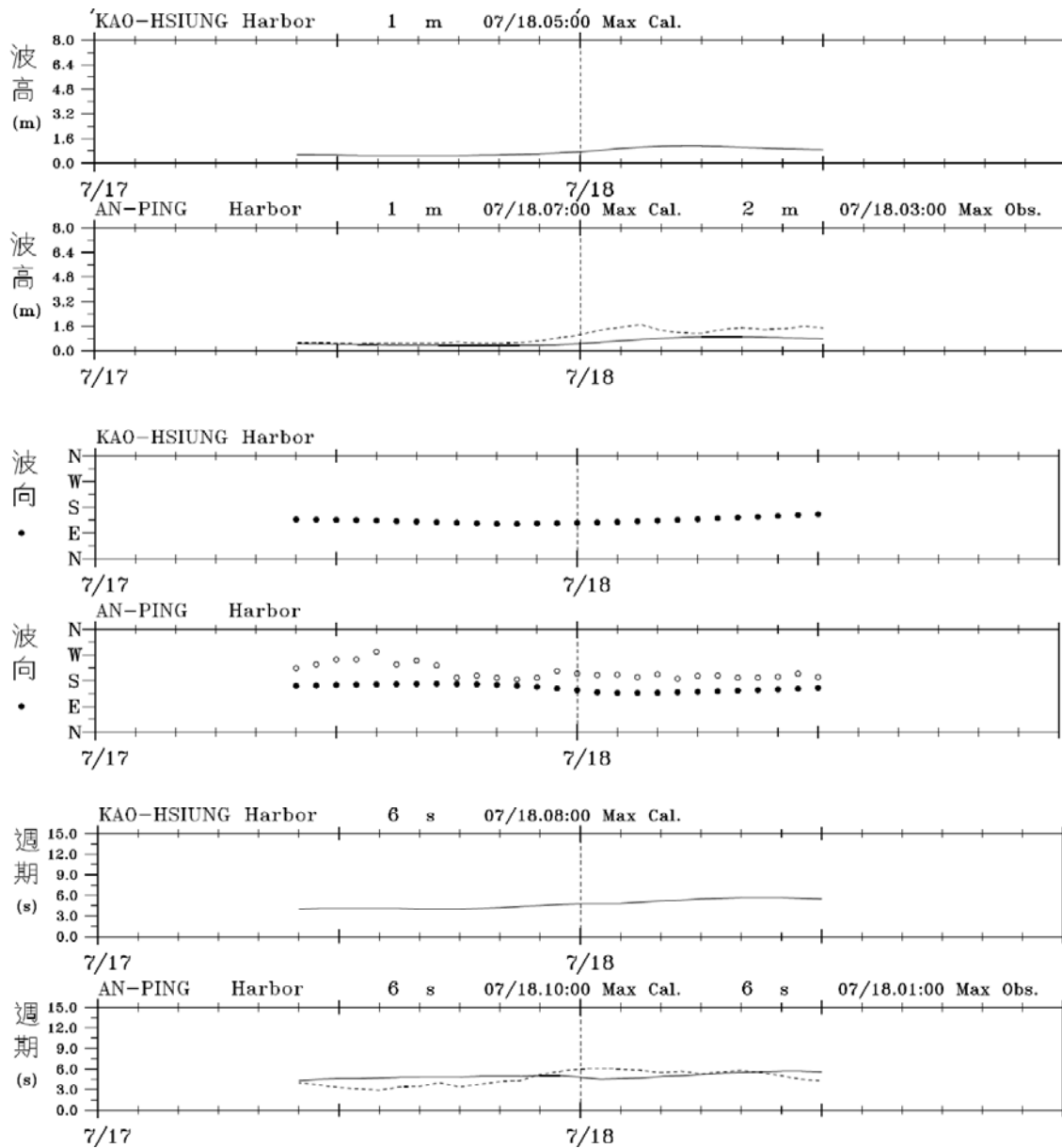
### 2013 年颱風時期安平港及高雄港模式預報風浪與 觀測值之比較



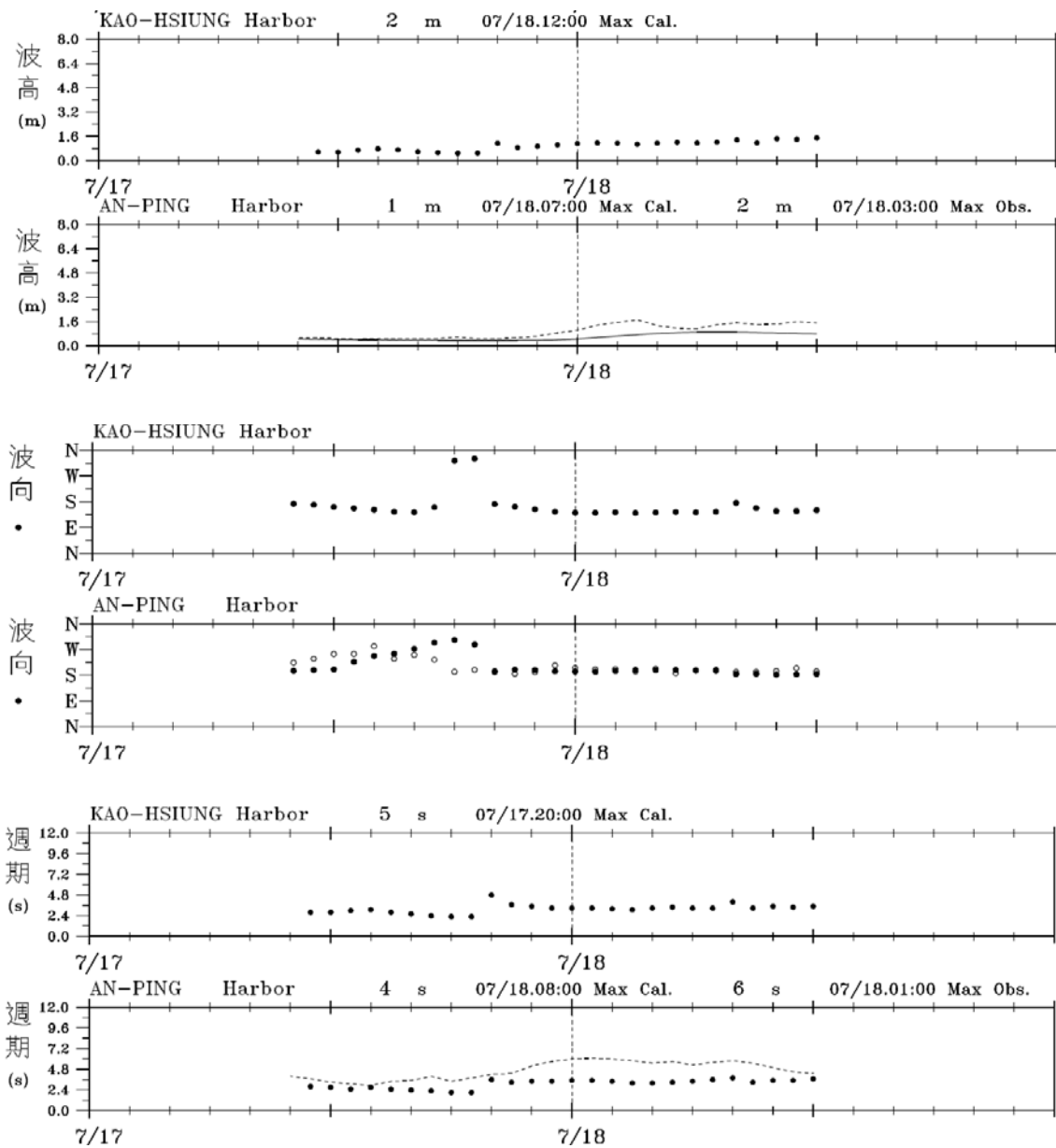
附圖 10.1 蘇力颱風 WAM 波浪與觀測比較(實點：WAM)



附圖 10.2 蘇力颱風 SWAN 波浪與觀測比較(實點：SWAN)

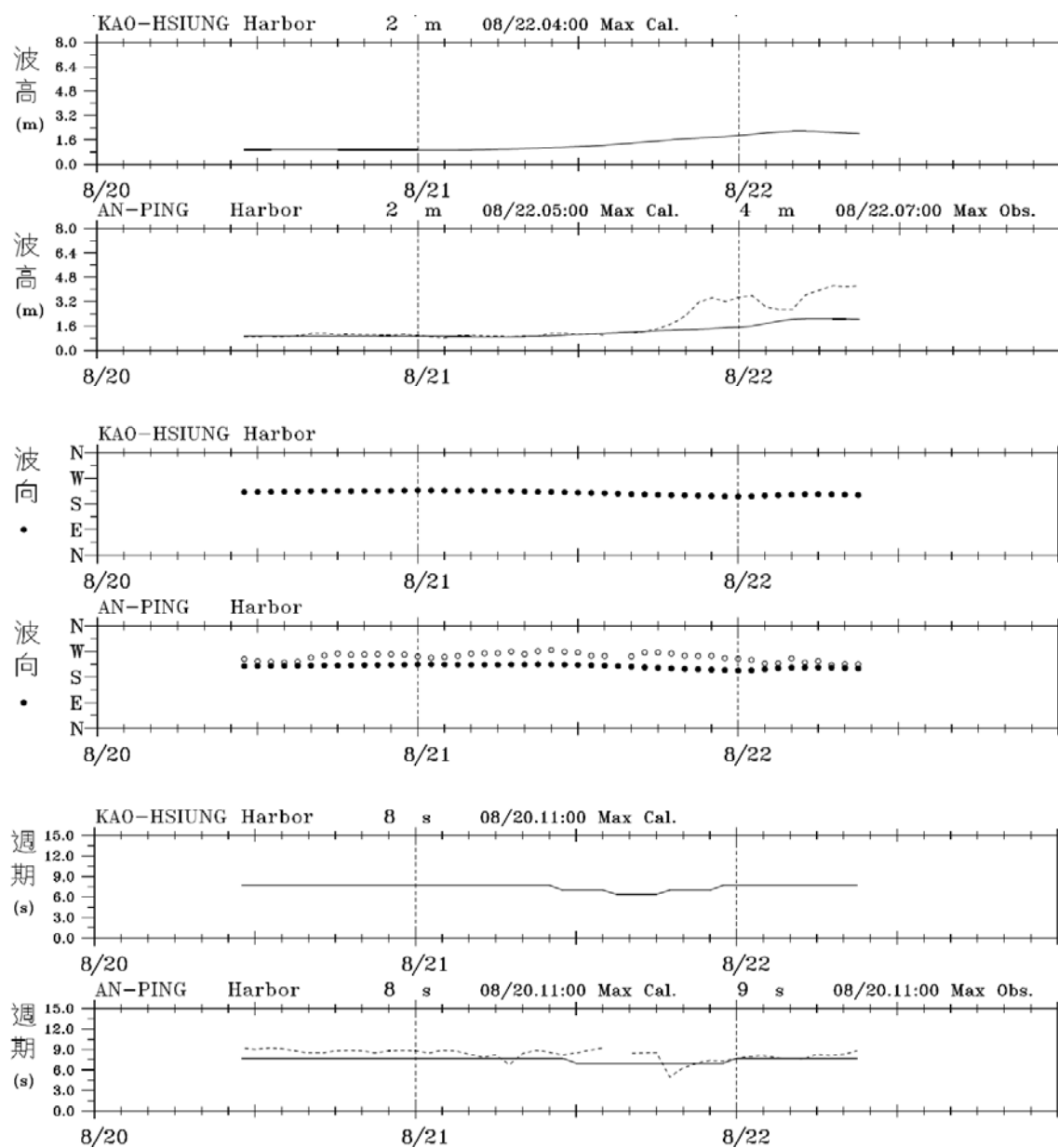


附圖 10.3 西馬隆颱風 WAM 波浪與觀測比較(實點：WAM)

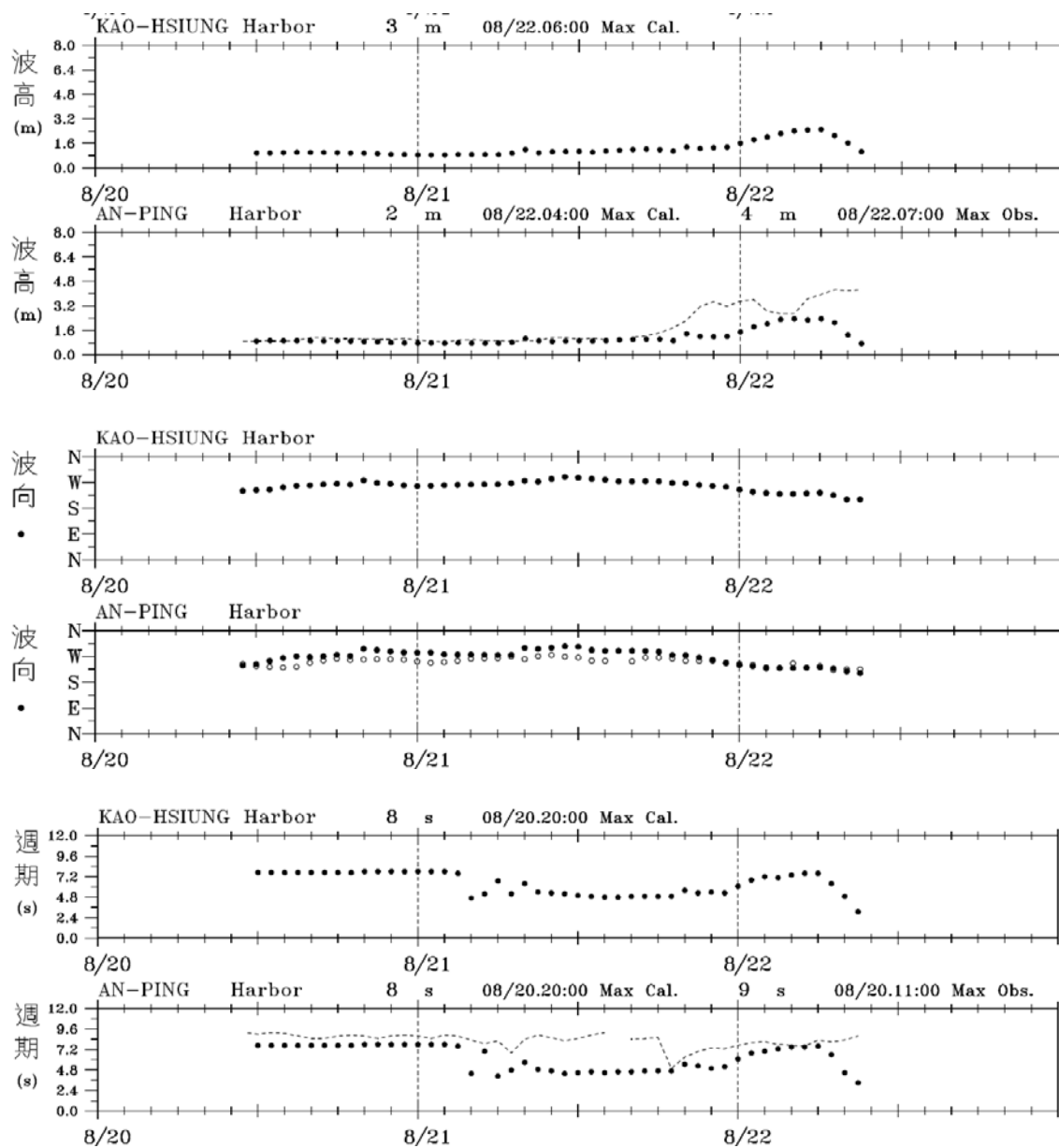


附圖 10.4 西馬隆颱風 SWAN 波浪與觀測比較(實點：SWAN)

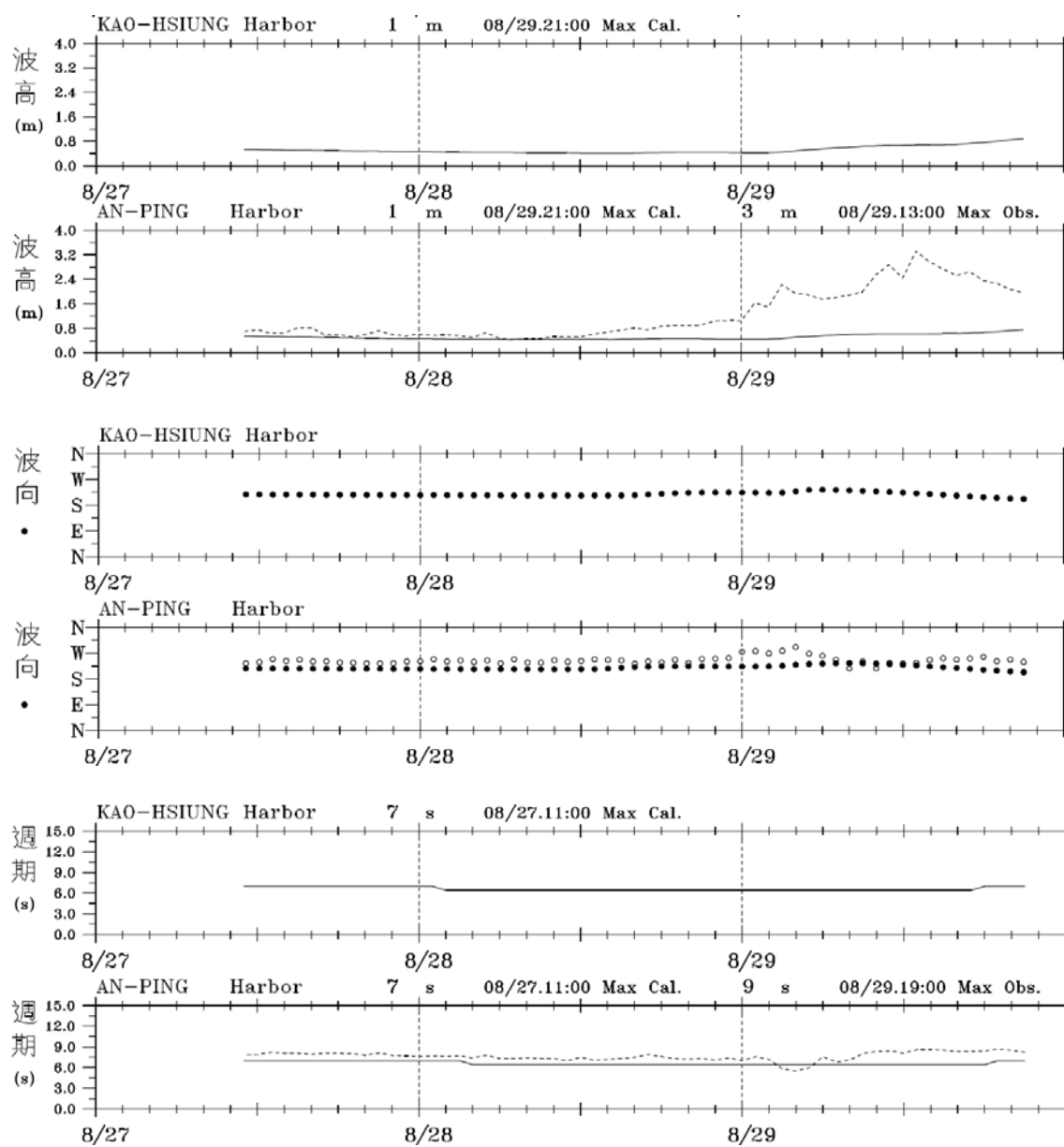




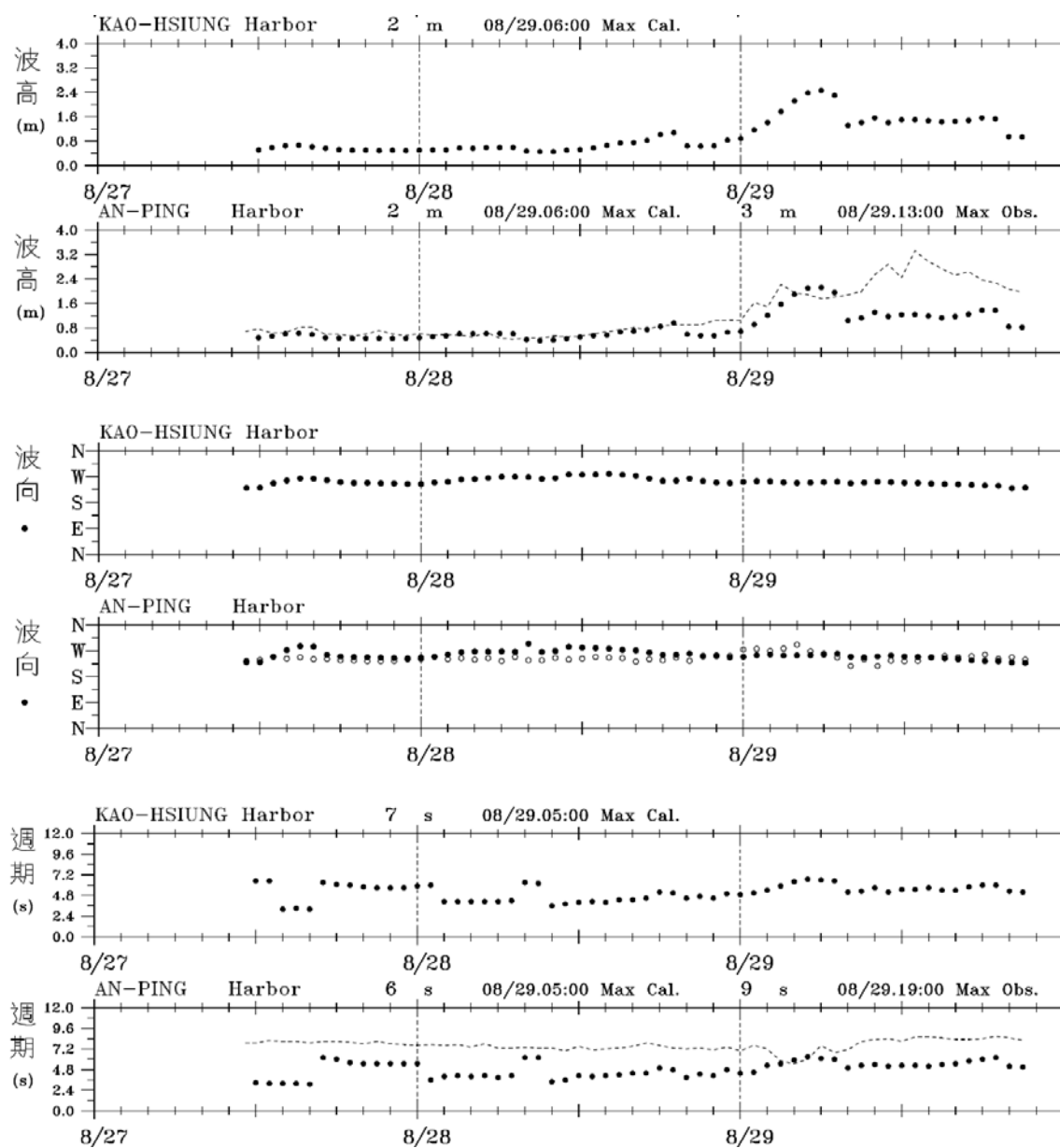
附圖 10.5 潭美颱風 WAM 波浪與觀測比較(實點：WAM)



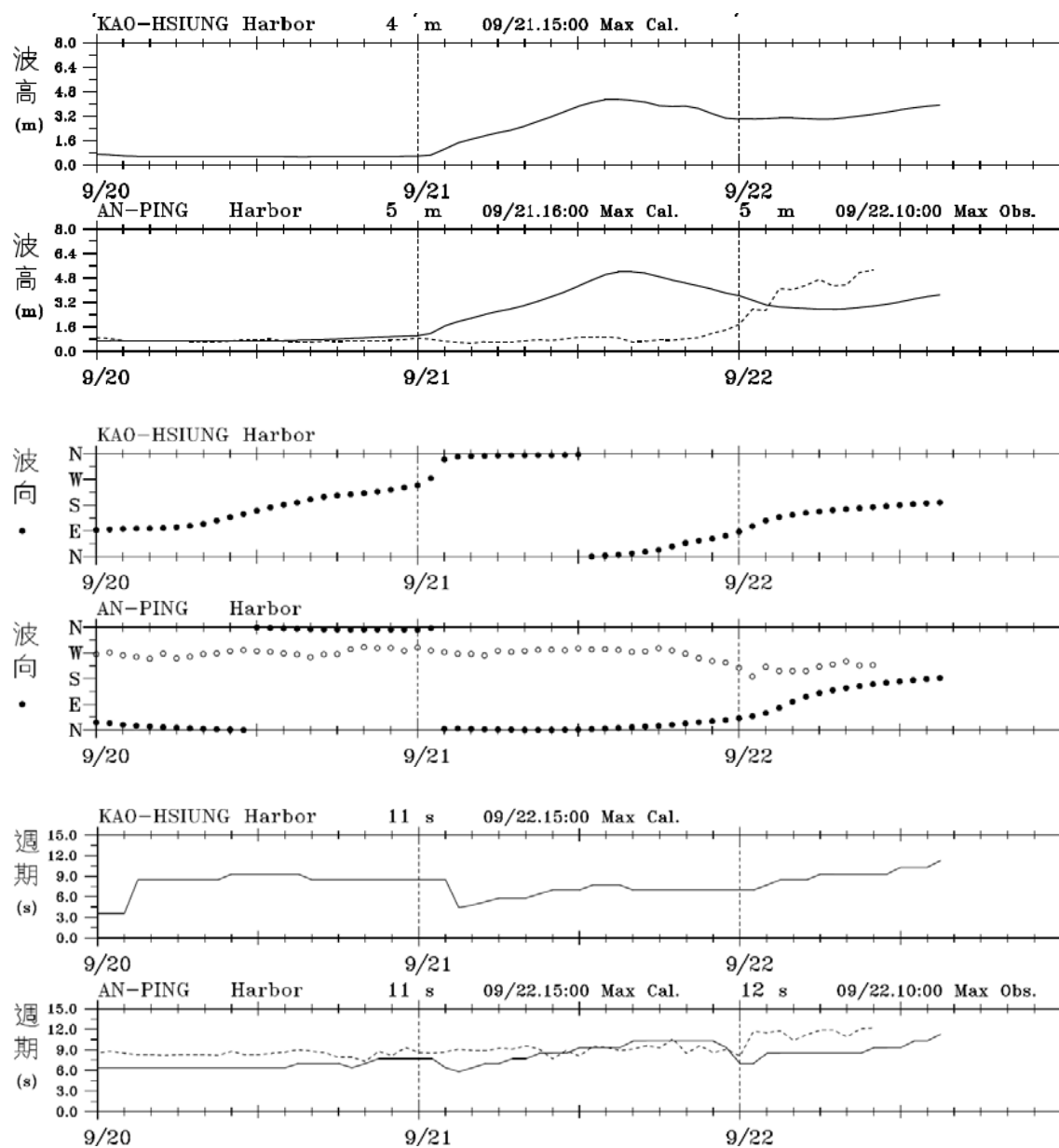
附圖 10.6 潭美颱風 SWAN 波浪與觀測比較(實點：SWAN)



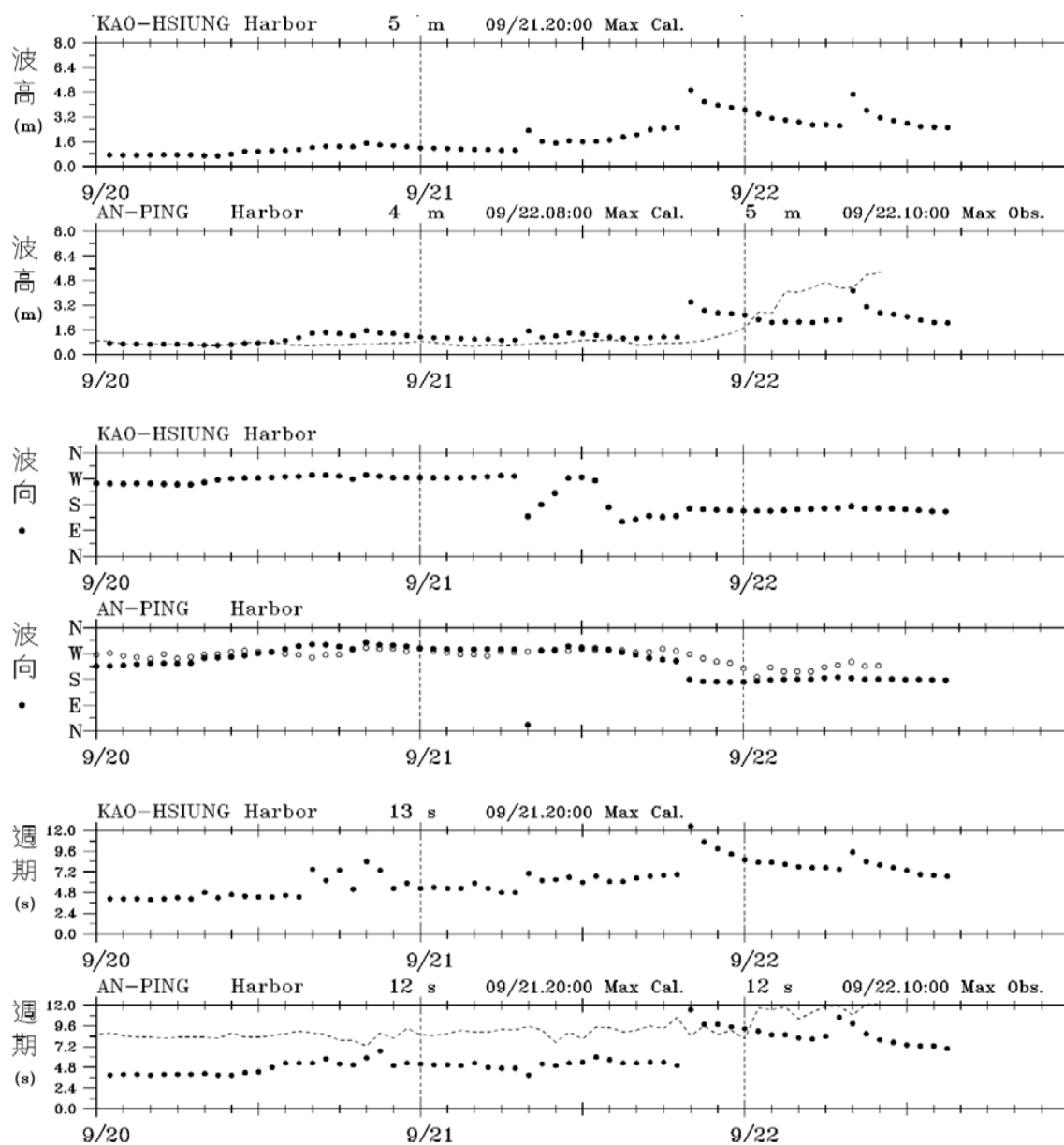
附圖 10.7 康芮颱風 WAM 波浪與觀測比較(實點：WAM)



附圖 10.8 康芮颱風 SWAN 波浪與觀測比較(實點：SWAN)



附圖 10.9 天兔颱風 WAM 波浪與觀測比較(實點：WAM)



附圖 10.10 天兔颱風 SWAN 波浪與觀測比較(實點：SWAN)

## 附錄十一

### 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海象模擬技術之研究(1/2)

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

| 參與審查人員<br>及其所提之意見  | 合作研究單位<br>處理情形  | 本所計畫承辦單位<br>審查意見  |
|--|---|-------------------|
| <b>一、蔡政翰委員：</b>  |   |                   |
| 1. P2-24 表 2-4 放錯，應放永安站。   | 1. 此部份已於期末報告移除。   | 同意合作研究單位之說明與處理情形。 |
| 2. 圖 2.29 與圖 2.30 是否需要，請考慮。  | 2. 圖 2.29 及圖 2.30 內容將移至期末報告附錄 IV 2012 年安平港及高雄港波浪觀測資料。                 | 同意合作研究單位之說明與處理情形。 |
| 3. P3-2 第 2 段提出大尺度模組之波向謹作參考用，請在此說明，如何解決？                             | 3. 由於大尺度模組之波向受到網格解析限制，致使與港研中心近岸波浪觀測結果比較上易出現誤差偏大之結果。期末報告已針對相關文字說明予以修正。 | 同意合作研究單位之說明與處理情形。 |
| 4. P3-38，安平港之 20,25,30s 週期之波浪模擬僅有圖，請作些文字說明。                          | 4. 謝謝委員指正，相關文字說明將於期末報告補述。   | 同意合作研究單位之說明與處理情形。 |
| 5. P4-39 至 4-42 的圖僅有模擬之潮流向量圖，可否給流速流向與實測值之比對。                         | 5. 謝謝委員建議，已於期末報告中將觀測值以向量方式併呈現於圖中。                                     | 同意合作研究單位之說明與處理情形。 |
| 6. P3-28 之 P. L.-F. Liu et.al.(2003)應是”Liu et al.(2003)”類似情況出現在文內多次。 | 6. 已將相關錯誤更正。  | 已將相關錯誤更正。         |



|   |  |  |
|---|--|--|
| <p><b>二、楊德良委員：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 報告很清楚，成果豐碩，給予高度肯定。</li> <li>2. 報告仍有改進空間，如報告應以彩色印刷，以利閱讀，盼期末報告能朝彩色印刷為之，不勝感激。</li> <li>3. 報告仍需詳細校正，如 P3-2, mild slop 應為 mild slope；P3-5 表 3-1 大、中尺度模擬範圍/解析度都相同，經查視中尺度有誤，請改正之。</li> <li>4. 請再探討大、中、小及細尺度之解析度，及邊界條件及輸入條件之細節交代清楚，既然模式都是二維(細尺度)，網格應可以擴大都上百萬點？請加強軟體設備，加快加大計算能力。</li> <li>5. 暴潮在颱風事件模擬有點 delay，請後續作業加強。</li> <li>6. P3-21 <math>\frac{\partial \zeta_2}{\partial \bar{n}}</math> 請改為 <math>\nabla \zeta_2 * \bar{n} = \frac{\partial \zeta_2}{\partial n}</math> 為宜？</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員肯定。</li> <li>2. 因印刷作業疏失，造成委員困擾，致感抱歉，本期末報告已採用彩色印刷為主。</li> <li>3. 謝謝委員指正，相關錯誤已更正。</li> <li>4. 有關大、中、小及細尺度之解析度，及邊界條件及輸入條件等將於期末報告中補述；另網格問題主要受到模式 CODE 編寫語法及軟體 FORTRAN 編譯器限制等因素所致，短期內欲解決有其困難性。</li> <li>5. 感謝委員提醒，將會加快速度執行。</li> <li>6. 錯誤已更正。</li> </ol> | <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p> <p>相關錯誤已更正。</p> <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p> <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p> <p>錯誤已更正。</p> |
| <p><b>三、梁乃匡委員：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 波高圖的座標改用一般刻度不用對數座標。</li> <li>2. 圖 2.31 的圖例無◆的資</li> </ol>  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 將進一步評估是否不用對數座標。</li> <li>2. 謝謝委員指正，該圖例</li> </ol>  | <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p> <p>同意合作研究單位之說明</p>  |

|  |   |  |
|--|---|--|
| 料。   | 為杜蘇芮颱風，已於期末報修正圖說遺漏錯誤。   | 與處理情形。   |
| 3. P6-1 結論 3，安平港最大波浪發生在 7 月 23 日，請說明是何颱風造成。  | 3. 已針對 2012 年未發布警報之颱風查出可能受韋森特颱風影響所致。  | 同意合作研究單位之說明與處理情形。  |
| <b>四、蔡清標委員：</b><br>1. 本計畫旨在提昇海象模擬技術，究竟擬提昇哪些，建議於摘要中即予述明，以利閱讀及理解本計畫之重要意義。<br>2. 方程式(3.32)中，波浪碎波及摩擦能損 $U$ 如何考量，建議有所說明。<br>3. 簡報中某些模擬成果，尚未納入期中報告中，請補充。而修正後之模擬波高，亦較大波高情形，模擬結果較偏大，且分散，可否探討其緣由，未來是否有改善提昇之道。<br>4. 安平港區過去是否有港池共振現象，建議先予述明。而入射波浪週期 20sec~60min，是否實際？§3.4.3 之計算結果尚未有文字說明，請補充。而 C 點及 H 點振幅放大，是否係因雙港口耦合而發生，建議探 | 1. 謝謝委員建議，已於期末報告摘要加強補述。<br>2. 有關波浪碎波及摩擦能損 $U$ 之說明，已補述如(3-33)及(3-34)式。<br>3. 謝謝委員建議，相關問題後續研究會進一步分析及評估可能改善之道。<br>4. 港池共振與港池幾何形狀有關且主要共振頻率偏向長波，此為本計畫波浪計算條件選取之考量；針對一般颱風波浪或湧浪條件本計畫亦已進行相關模擬，其結果將於期末報告呈現。 | 同意合作研究單位之說明與處理情形。<br>同意合作研究單位之說明與處理情形。<br>同意合作研究單位之說明與處理情形。<br>同意合作研究單位之說明與處理情形。 |

|   |  |   |
|---|--|---|
| <p>討，(由 P.29 簡報，放大率均遠小於 1，是否符合共振定義?)建議模擬泰利颱風案例，比較單一港口及雙港口之波高分佈，探討雙港口之影響較有意義。</p> <p>5. 圖 4.21 缺水位及 E 向流速圖。</p> <p>6. 圖 4.22 潮流模擬結果精度已稍有改善(雖誤差仍大)，建議文中討論，究竟是細網格或物理參數或其他調整因素所致。</p> <p>7. 波高分佈圖，港區部份建議放大圖示。</p> | <p>5. 有關報告編排錯誤已補正。</p> <p>6. 謝謝委員意見，誤差原因除了物理參數為主要影響外，邊界條件修正亦是影響因素之一。</p> <p>7. 謝謝建議。</p>                     | <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p> <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p> |
| <p><b>五、蘇青和委員：</b></p> <p>1. 第二章 2.4 節潮流建議更名為海流，並增加冬季及夏季代表性期間之平均流或風吹流之特性探討，2.5 節與 2.6 節對調，增加冬季及夏季代表性期間之風與浪相關特性探討。</p> <p>2. 提昇波浪模擬技術為計畫重點工作，第三章建議增加波浪預報模式大尺度、中尺度、小尺度、及細尺度等四個模式之提昇技術及成果評估等論述。作業化及成果評</p>       | <p>1. 平均流已有分析結果，但風吹流尚未有進一步成果；有關風與浪相關特性探討將於期末報告補述。</p> <p>2. 謝謝委員建議，將於 3-1 節再加強相關論述；作業化及成果評估章節內容將依委員意見進行。</p> | <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p> <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p> |

|  |  |   |
|--|--|---|
| <p>估章節，有關年度預報成果評估，除年度每個颱風為重點外，建議增加冬季及夏季代表性期間，模擬與觀測值比對及檢核，評估也增加誤差統計說明。</p> <p>3. 提昇流場模擬技術為計畫重點工作，第四章水動力模擬部分中尺度與小尺度等兩模式，建議作一整合，應可提升高雄港之流場模擬精確度。作業化及成果評估章節，有關年度預報成果評估，除潮流為重點外，建議增加平均流於冬季及夏季代表性期間之影響，模擬與觀測值比對及檢核，評估也增加誤差統計說明。</p> <p>4. 報告撰寫內容請依本所規定，期末報告增加納入中英摘要。</p> | <p>3. 有關中尺度與小尺度模式之整合，將參考委員意見進行研究；在年度預報成果評估上，將遵照委員意見進行，針對評估結果將增加誤差統計說明。</p> <p>4. 遵照辦理。</p> | <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p>                          |
| <p><b>六、簡仲璟委員：</b></p> <p>1. 精進海象自動化預報模擬系統之預報精確度，其量化成果建議應有所顯示及說明。</p> <p>2. 颱風所引發之暴潮，除氣壓差為主要影響因素外，颱風路徑、位置、</p>   | <p>1. 相關成果已於期末報告呈現。</p> <p>2. 均有影響，<math>\Delta P(t)</math>並非單指推算點之氣壓差時序列資料，目前設定由中</p>     | <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p> <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p> |

|   |  |                          |
|---|--|--------------------------|
| <p>規模及推算點地形等是否有影響？報告中(4.33)式中之<math>\Delta P(C)</math>是否為推算點位之氣壓差時序列資料？若是如何得知以作暴潮模擬？</p> <p>3. 潮流模擬，請進一步多幾個案例作比較，例如颱風侵襲或西南季風或大潮時段等。另外潮流與實測資料(未經調和分析)作比較，以明瞭實際應用時之可靠度。</p> | <p>央氣象局提供的數值預報 MC 風壓場資料(與中心 TaiCOMS 作業化環境一致)計算得到。</p> <p>3. 有關潮流模擬結果將依委員意見於期末報告具體呈現。</p> | <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p> |
|---|--|--------------------------|

## 附錄十二

### 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海象模擬技術之研究(1/2)

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

| 參與審查人員<br>及其所提之意見  | 合作研究單位<br>處理情形   | 本所計畫承辦單位<br>審查意見                                       |
|--|--|--|
| <b>一、梁乃匡委員：</b><br>1. 圖 4.22，4.23 的標示說明請更正。<br>2. 附錄 X 為 2013 年颱風時期安平港及高雄港模式預報風浪與觀測值比較，宜增加颱風路徑圖以資方便參考。<br>3. 颱風時波高推算偏小，宜檢討原因。最好能提出改進方法。  | 1. 謝謝委員指正，圖 4.22 及圖 4.23 圖說錯誤已更正。<br>2. 謝謝委員建議，附錄 X 已補上 2013 年侵臺颱風路徑圖。<br>3. 有關颱風時作業化預報波高推算偏小原因檢討，將於下年度計畫列入工作事項進行檢討。 | 圖說錯誤已更正。<br>已補上 2013 年侵臺颱風路徑圖。<br>同意合作研究單位之說明與處理情形。    |
| <b>二、楊德良委員：</b><br>1. 期末報告充實，大致已達既定目標，給予高度肯定。<br>2. 請詳細校正報告之正確性，比方 P4-71 圖 4.37 安平港水動力模組，是否應為高雄港之筆誤？<br>3. P-I 有中文摘要，獨缺英文 Abstract，請補充之。<br>4. 為何安平港對於港池共振仍無法獲得較合理的結果？除地形考量外，是 | 1. 謝謝委員肯定。<br>2. 謝謝委員指正，相關筆誤已更正。<br>3. 英文 Abstract 已於期末正式報告補正。<br>4. 安平港港池共振已獲得合理的模擬結果，相關說明已於期末正式報告                  | 相關筆誤已更正。<br>英文 Abstract 已於期末正式報告補正。<br>相關說明已於期末正式報告補正。 |

|  |   |  |
|--|---|--|
| <p>否進入波浪之頻率無法 Excite 自然頻率?</p> <p>5. 為何給開放條件，安平港可獲改善結果，而高雄港則不然?是否高雄港有奇異分流處或開放邊界有誤?請查明之?</p>  | <p>補正。</p> <p>5. 高雄港海域流況較為特殊，實不易模擬，推測本計畫目前中尺度水動力組可能無法反映實際海域地形變化，因此未來仍將持續研究以模擬正確的潮波變化現象。</p>   | <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p>   |
| <p><b>三、蔡政翰委員：</b></p> <p>1. P2-3 高雄港區與安平港區 101 年水深資料來源為何?請註明。</p> <p>2. P2-14 表 2-2 與表 2-4 請加單位。</p> <p>3. P2-36 表 2-10 請註明歷年是(1897-2012)，侵台非侵月。</p> <p>4. P4-57 最後一行寫“驗證結果均較前期計畫具顯著改善成效”，請用數據呈現改善成效。</p> <p>5. P4-65 與 P4-75 安平港外模擬之流場在漲潮時是北向流，退潮是南向流，然而高雄港模擬流場在漲潮時反而是南向流，退潮是北向流。高雄港之實測流是否也有</p> | <p>1. 高雄港區與安平港區 101 年水深調查資料均為港灣技術研究中心向高雄港務公司申請提供的。</p> <p>2. 表 2-2 與表 2-4 已補上單位說明。</p> <p>3. 謝謝委員指正，颱風資料統計年份為 1897-2012 年，筆誤部份已更正。</p> <p>4. 已將語義不明文字刪除。</p> <p>5. 高雄港觀測資料確實呈現出漲潮時往南流及退潮時往北流現象為主，此現象將於海流資料加強說明。</p> | <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p> <p>已補上單位說明。</p> <p>筆誤部份已更正。</p> <p>已將語義不明文字刪除。</p> <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p> |



|   |  |                   |
|---|--|-------------------|
| 此現象。  |  |                   |
| 6. P4-46, P4-47 之圖 4.22 與圖 4.23 之氣象潮水位偏差與氣壓差之 $R^2$ 值低是當然的，水位偏差還有風的效應，建議這些圖不必放。   | 6. 謝謝委員議見，將於正式報告刪除該段文字說明。  | 同意合作研究單位之說明與處理情形。 |
| <b>四、蕭松山委員：</b>   |  |                   |
| 1. 簡報資料齊全清楚，建議期末報告書納入補充修正。  | 1. 相關資料會在正式報告中呈現。  | 同意合作研究單位之說明與處理情形。 |
| 2. 本計畫目標之一為前期水動力模式之改善、精進，建議增加探討前期模式缺失，本期改善那些？如何評估改善成效（評估指標定義說明）？或專節以圖表說明，以彰顯計畫貢獻。 | 2. 有關前期模式模擬結果缺失風浪部份已於 100 及 101 年計畫報告說明，本年度計畫主要針對高雄港及安平港小尺度（含細尺度）網格模組進行研究。 | 同意合作研究單位之說明與處理情形。 |
| 3. 本年度風場以 WRF 取代 NFS 改善特點及報告書中以 MC 風場取代 RC 風場之異同說明之。                              | 3. WRF 風場為港研中心本年度新增風場資料，有關 WRF 風場特性仍在初步研究及測試階段，預計下年度才會用於海象模擬。              | 同意合作研究單位之說明與處理情形。 |
| 4. 波浪模擬架構流程〔(P3-9)圖 3.4〕建議港區波浪模擬納入（網尺度）。  | 4. 細尺度港域波浪模組並不在 TaiCOMS 波浪模擬架構中，僅提供港研中心於颱風期間針對特殊的颱風波浪條件模擬港內波高分布狀況。         | 同意合作研究單位之說明與處理情形。 |
| 5. 港區波浪模擬岸壁反射   | 5. 謝謝委員建議。   |                   |

|  |   |  |
|--|---|--|
| 率應隨入射波週期不同，底床摩擦係數效應等建議多考量。   |   |  |
| <b>五、李俊穎委員：</b><br>1. 新舊風場比對成果請納入期末報告內。<br>2. 有關高雄港波浪細尺度成果請納入期末報告內。<br>3. 成果評估部分附件內請增加潮汐及海流比對成果(含颱風期間)。<br>4. 建議後續有關小尺度水動力模式，邊界潮位請考量引用中尺度成果進行模擬。                   | 1. 遵照辦理。<br>2. 高雄港細尺度波浪模擬成果已納入正式報告內。<br>3. 遵照辦理。<br>4. 此已設定為未來計畫目標。   | 同意合作研究單位之說明與處理情形。<br>同意合作研究單位之說明與處理情形。<br>同意合作研究單位之說明與處理情形。<br>同意合作研究單位之說明與處理情形。 |
| <b>六、簡仲璟委員：</b><br>1. 預報結果已和觀測資料作初步誤差統計，建議持續加強誤差分析並由其結果探討提昇準確度的方法外，也可考量以機率式作預報，例如預報波高 $4 \pm 1$ 公尺之機率為 80% 的訊息提供。<br>2. WRF 風場及 MC 或 RC 風場對波浪推算(預報)結果之差異如何?建議補充說明。 | 1. 謝謝委員建議，唯以預報模擬值搭配機率方式提供訊息供參考仍有待進一步研究。<br>2. 本年度僅針對 WRF 風場評估其用於 TaiCOMS 之可行性及其作業化流程，後續計畫才會針對 WRF 風場模擬海象進行操作模擬，故有關 WRF 風場 | 同意合作研究單位之說明與處理情形。<br>同意合作研究單位之說明與處理情形。   |

|  |   |   |
|--|---|---|
| <p>3. 配合硬體設備更新及多核心平行化處理後，是否可提高預報作業頻率?例如每 6 小時更新一次，及預報時間範圍加大?例如往後 3 日。</p> <p>4. 港區流場模擬及其作業化目前僅基隆及台北港，請加強辦理其他港區之流場預報。</p> | <p>及 MC 或 RC 風場對波浪推算(預報)結果之差異將於後續計畫再行補充說明。</p> <p>3. 多核心平行化處理目前僅適用於中尺度風浪模組，故如欲提高作業化模擬頻率，依目前作業化流程仍需再評估其可行性。</p> <p>4. 遵照辦理。預估年底前完成作業化模擬測試。</p> | <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p> <p>同意合作研究單位之說明與處理情形。</p> |
|--|---|---|

## 附錄十三

### 期末簡報資料

交通部運輸研究所合作研究計畫

(MOTC-IOT-102-H3DB001a)

## 提昇海岸及港灣海域海象模擬技術之研究 (1/2)

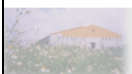
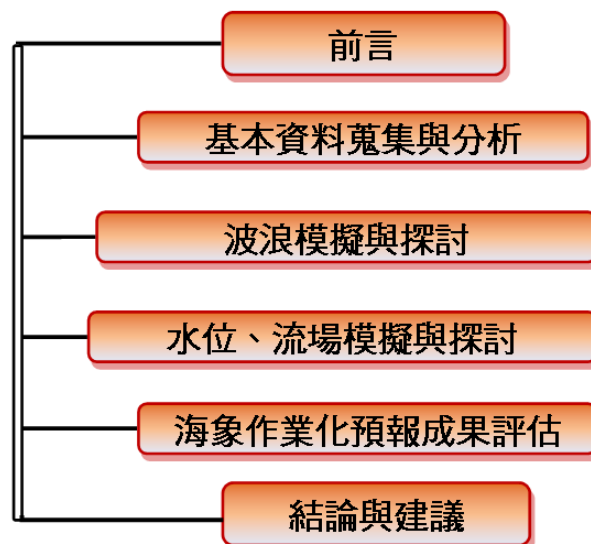
### 期末簡報

計畫主持人：劉正琪 博士  
協同主持人：李兆芳 教授

財團法人成大研究發展基金會  
2013年11月15日



### 簡 報 大 綱





## 前言

- **計畫目的：** 提升(改善)臺灣周圍海岸及港灣海域海象(包括波浪、水位及海流等)模擬技術或結果



進行現有波浪、潮位及海流等海象預報系統的維護

進行相關預報與實測資料之比較分析

探討水位對風浪預報的影響與系統建置

進行近岸海象預報系統的改善尋求其他可能方案



財團法人成大研究發展基金會



## 前言

### ● 主要工作項目(1)：

- **精進海象自動化預報模擬系統之預報精確度：**針對高雄港及安平港，進行波浪、水位及流場等海象每日72 小時作業化模擬(昨日、今日、明日)、即時作業化模擬等相關資訊之改善研究，並以颱風侵臺時期之颱風波浪及暴潮為研究重點。
- **高雄港及安平港波浪、水位及流場等海象預報作業化成果評估：**以港研中心或氣象局現場觀測資料進行模擬結果之校驗及精度評估等工作。
- **高雄港域及安平港域波浪、水位及流場等海象模擬結果之特性分析。**
- **建立高雄港域及安平港域海象模擬預警系統並進行教育推廣。**



財團法人成大研究發展基金會



## 前言

### ● 主要工作項目(2)：

- **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，針對高雄港域及安平港域長期水位分析結果檢核港口設計水位。
- 作業系統維護與資料分析，軟硬體之更新測試，預報成果與實測的差異性進行可能的檢討與改進，模式作業化環境的改善及維護。
- 以上為建立相關數值模擬系統及數值預報系統之模式計算、資料庫維護管理、資料統計、繪圖等工作，需派碩士級（含）以上專業人員一員至本所港研中心駐點服務。

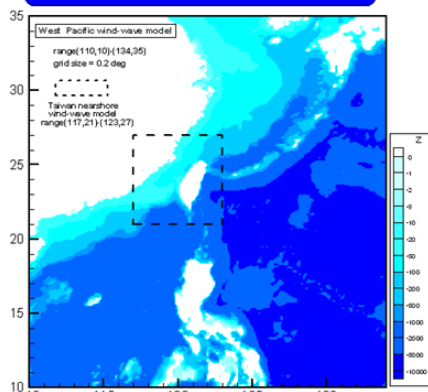


財團法人成大研究發展基金會

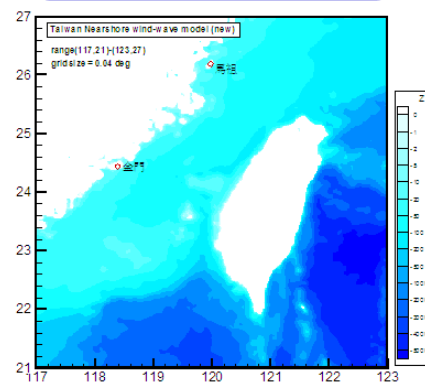
## 前言

### ● 研究內容：風浪作業化模擬結果改善研究

大尺度西太平洋範圍風浪組



中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組

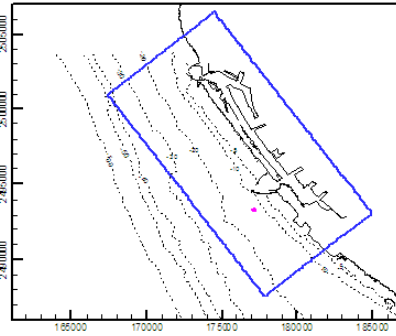


財團法人成大研究發展基金會

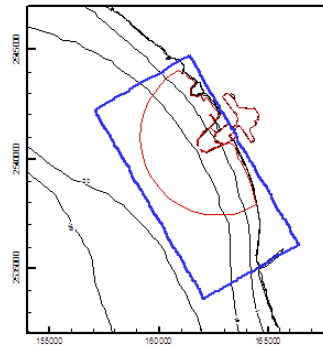
## 前言

### ● 研究內容：港區近岸波浪作業化模擬改善研究

高雄港域波浪場模擬範圍



安平港域波浪場模擬範圍

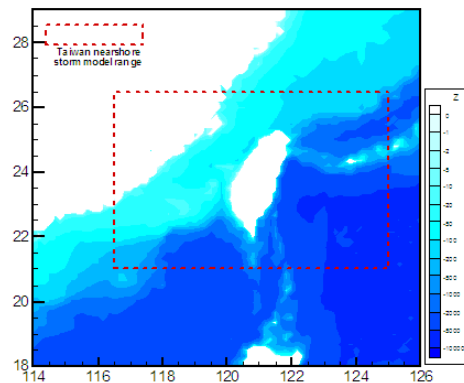


財團法人成大研究發展基金會

## 前言

### ● 研究內容：颱風暴潮作業化模擬建置研究

中尺度臺灣周圍海域暴潮模擬範圍



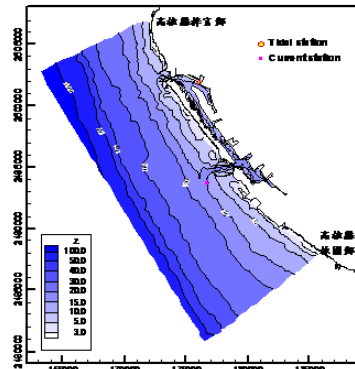
財團法人成大研究發展基金會



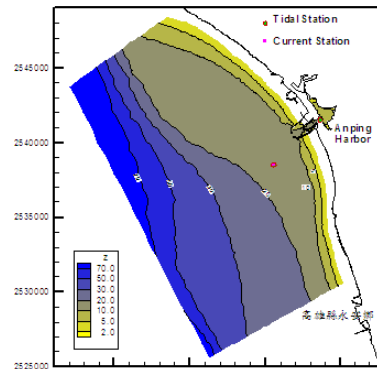
## 前言

### ● 研究內容：港區近岸水位流場作業化模擬改善研究

#### 高雄港域近岸水動力模組



#### 安平港域近岸水動力模組



財團法人成大研究發展基金會

## 基本資料蒐集與分析

### 報告內容

港口背景資料

安平港、高雄港

水深資料

港務局、海圖

潮汐資料

港研中心、氣象局、水利署

海流資料

港研中心

波浪資料

港研中心

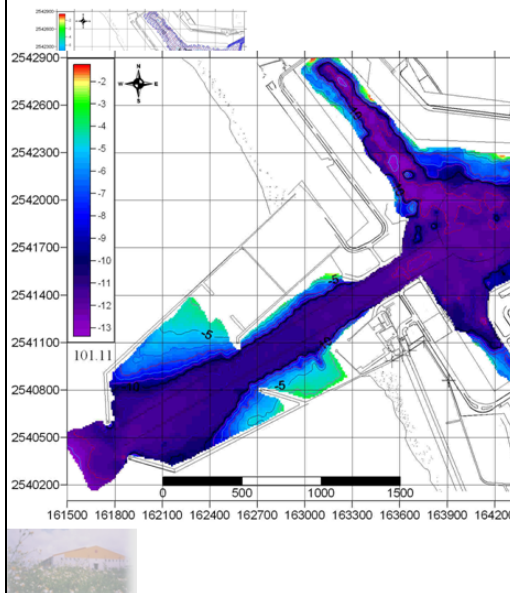
風場資料

港研中心、氣象局

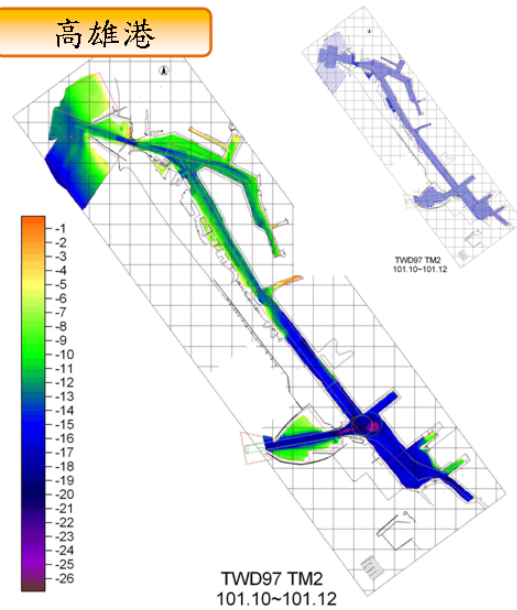
財團法人成大研究發展基金會

## 水深資料

### 安平港



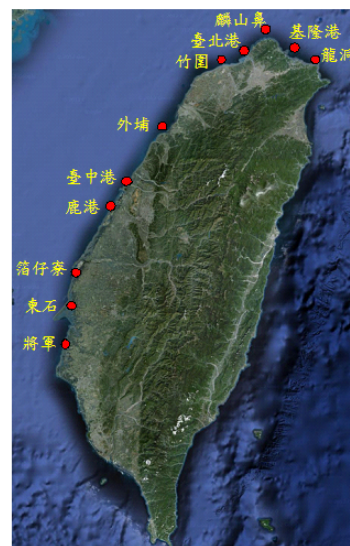
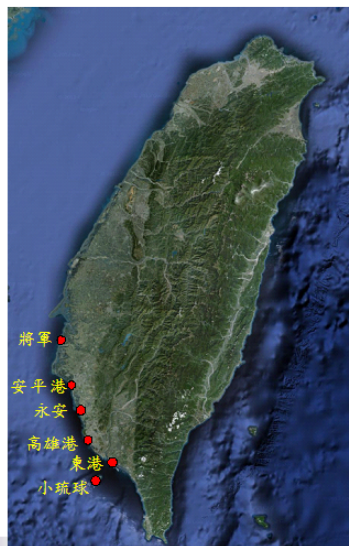
### 高雄港



財團法人成大研究發展基金會

## 潮汐資料

### 潮位站

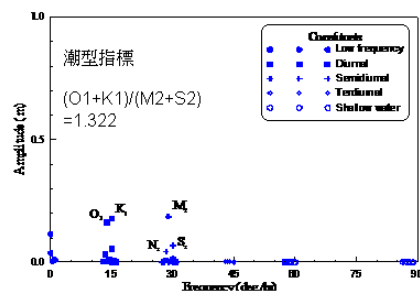
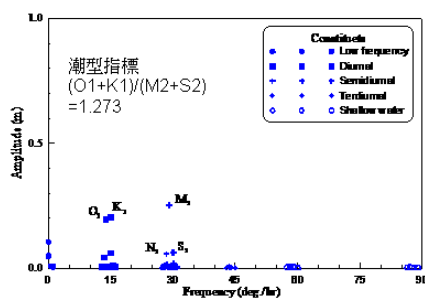
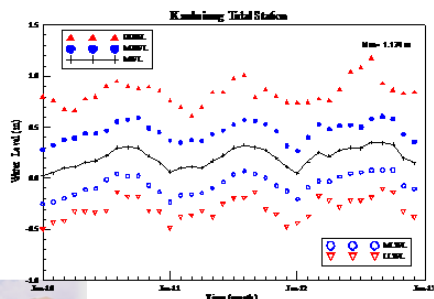
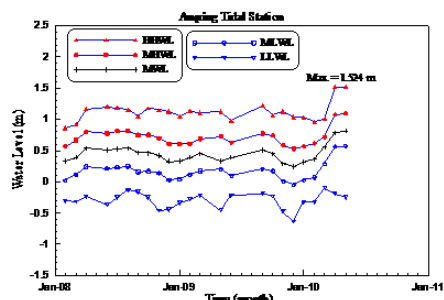


財團法人成大研究發展基金會

潮汐資料

潮位統計

天文潮調和分析



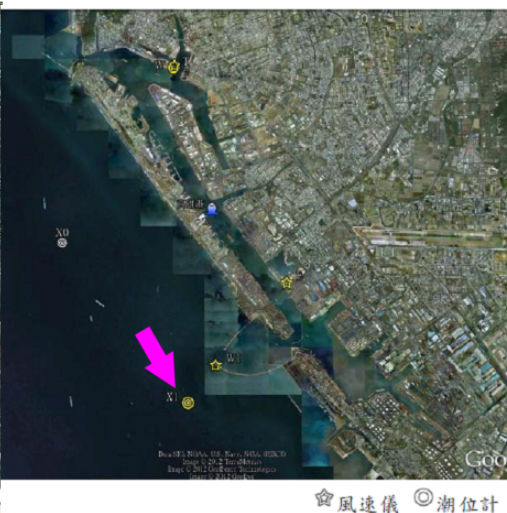
財團法人成大研究發展基金會

海流資料

測站位置

安平港

高雄港



財團法人成大研究發展基金會

海流資料

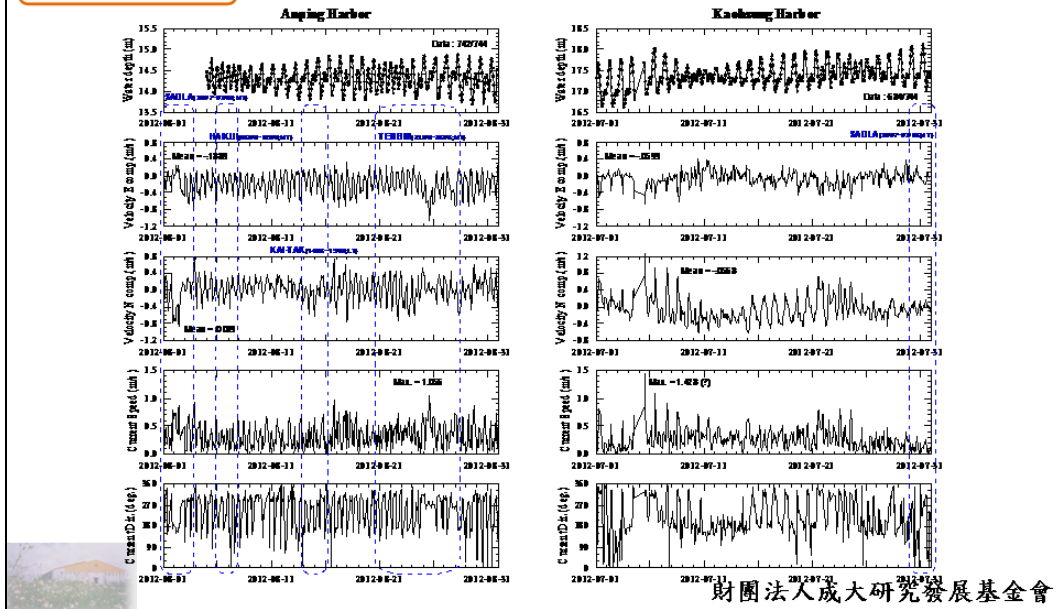
逐時資料

流速、流向統計分析

安平港

海流時序列資料

高雄港



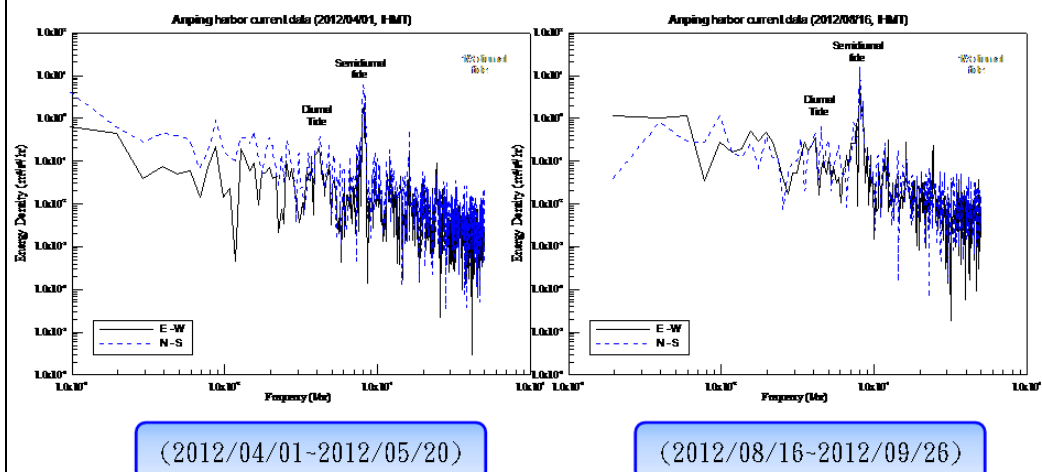
財團法人成大研究發展基金會

海流資料

流速頻譜分析

潮流調和分析

安平港



(2012/04/01-2012/05/20)

(2012/08/16-2012/09/26)

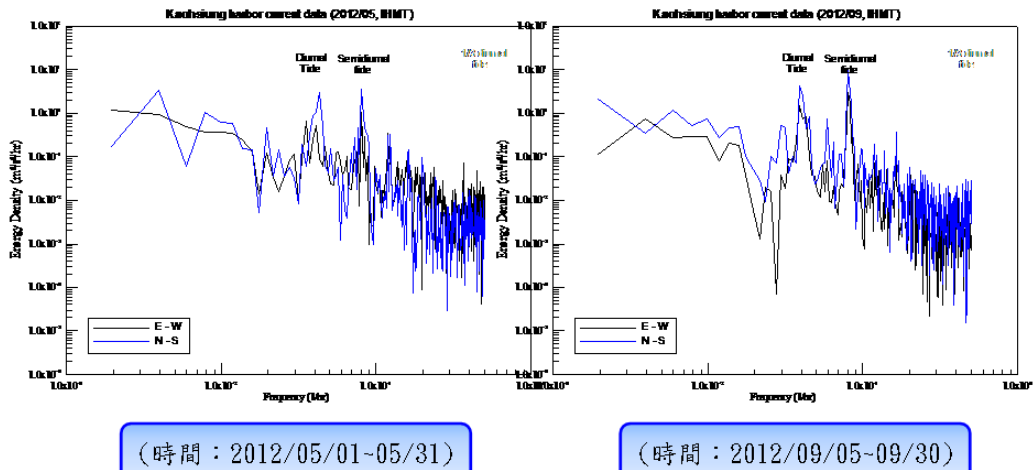
財團法人成大研究發展基金會

海流資料

流速頻譜分析

潮流調和分析

高雄港



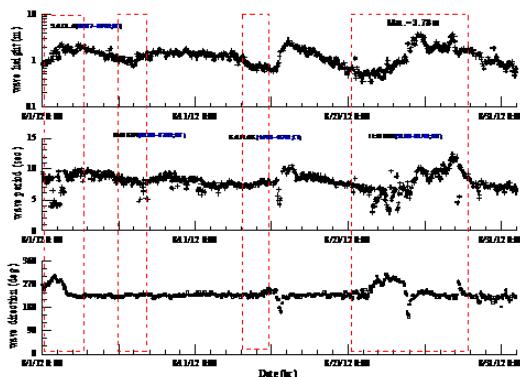
財團法人成大研究發展基金會

波浪資料

逐時資料

波高、波向統計分析

安平港



波浪時序列資料

| 波高範圍(m) | 資料數目 | 週期平均值(sec) | 百分率(%) |
|---------|------|------------|--------|
| <0.5    | 2287 | 6.35       | 37.01  |
| 0.5~1.0 | 3097 | 6.42       | 50.07  |
| 1.0~1.5 | 406  | 7.37       | 6.57   |
| 1.5~2.0 | 243  | 8.33       | 3.93   |
| 2.0~2.5 | 75   | 8.98       | 1.21   |
| 2.5~3.0 | 33   | 9.93       | 0.53   |
| 3.0~3.5 | 30   | 10.64      | 0.49   |
| 3.5~4.0 | 10   | 10.98      | 0.16   |
| >4.0    | 1    | 11.80      | 0.02   |
| 合計/平均值  | 6179 | 6.613      | 100    |

觀測期間示性波高最大為 4.050 m  
 觀測期間平均週期最大為 12.30 sec  
 觀測期間示性波高平均為 0.683 m

| 波向  | 資料數目 | 百分率(%) | 波向  | 資料數目 | 百分率(%) |
|-----|------|--------|-----|------|--------|
| N   | 1    | 0.02   | S   | 118  | 1.91   |
| NNE | 8    | 0.13   | SSW | 274  | 4.43   |
| NE  | 20   | 0.32   | SW  | 1245 | 20.15  |
| ENE | 55   | 0.89   | WSW | 1186 | 19.19  |
| E   | 169  | 2.74   | W   | 1551 | 25.10  |
| ESE | 32   | 0.52   | WNW | 1417 | 22.93  |
| SE  | 12   | 0.19   | NW  | 32   | 0.52   |
| SSE | 58   | 0.94   | NNW | 1    | 0.02   |

財團法人成大研究發展基金會

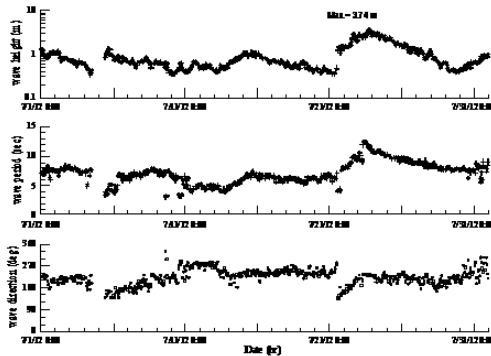


波浪資料

逐時資料

波高、波向統計分析

高雄港



波浪時序列資料

| 波高範圍(m) | 資料數目 | 週期平均值(sec) | 百分率(%) |
|---------|------|------------|--------|
| <0.5    | 866  | 5.94       | 12.85  |
| 0.5~1.0 | 4716 | 6.48       | 70.00  |
| 1.0~1.5 | 724  | 6.99       | 10.75  |
| 1.5~2.0 | 205  | 8.56       | 3.04   |
| 2.0~2.5 | 115  | 8.80       | 1.71   |
| 2.5~3.0 | 67   | 9.72       | 0.99   |
| 3.0~3.5 | 16   | 11.33      | 0.24   |
| 3.5~4.0 | 9    | 12.24      | 0.13   |
| 4.0~4.5 | 4    | 12.57      | 0.06   |
| 4.5~5.0 | 5    | 11.92      | 0.07   |
| >5.0    | 10   | 13.00      | 0.15   |
| 合計/平均值  | 6737 | 6.637      | 100    |

觀測期間示性波高最大值為 5.740 m  
觀測期間平均週期最大值為 16.00 sec  
觀測期間示性波高平均值為 0.818 m

| 波向  | 資料數目 | 百分率(%) | 波向  | 資料數目 | 百分率(%) |
|-----|------|--------|-----|------|--------|
| N   | 4    | 0.06   | S   | 689  | 10.23  |
| NNE | 2    | 0.03   | SSW | 752  | 11.16  |
| NE  | 1    | 0.01   | SW  | 1043 | 15.48  |
| ENE | 2    | 0.03   | WSW | 897  | 13.31  |
| E   | 4    | 0.06   | W   | 917  | 13.61  |
| ESE | 16   | 0.24   | WNW | 1245 | 18.48  |
| SE  | 145  | 2.15   | NW  | 393  | 5.83   |
| SSE | 599  | 8.89   | NNW | 28   | 0.42   |

財團法人成大研究發展基金會

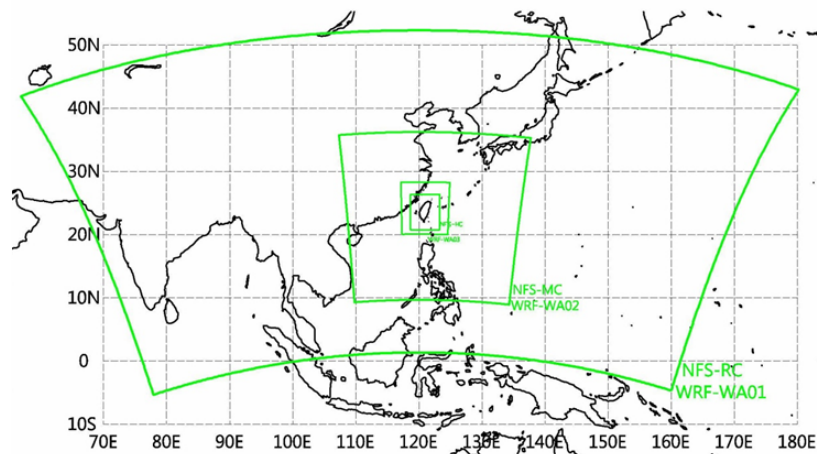
數值風場資料

NFS(第三代)

WRF(第四代)

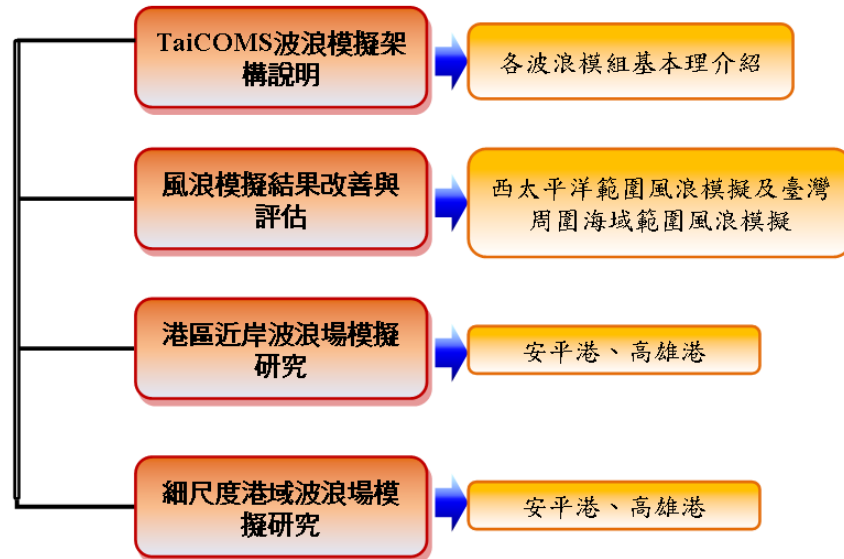
高雄港

波浪時序列資料



財團法人成大研究發展基金會

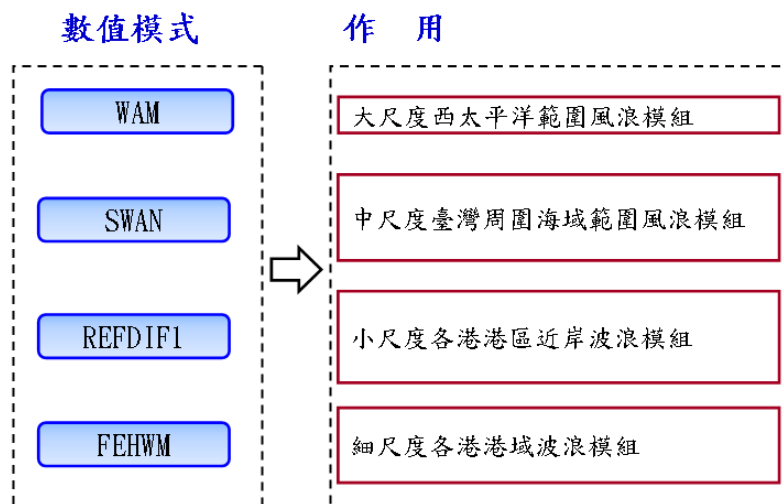
## 波浪模擬與探討



財團法人成大研究發展基金會

## 波浪模擬與探討

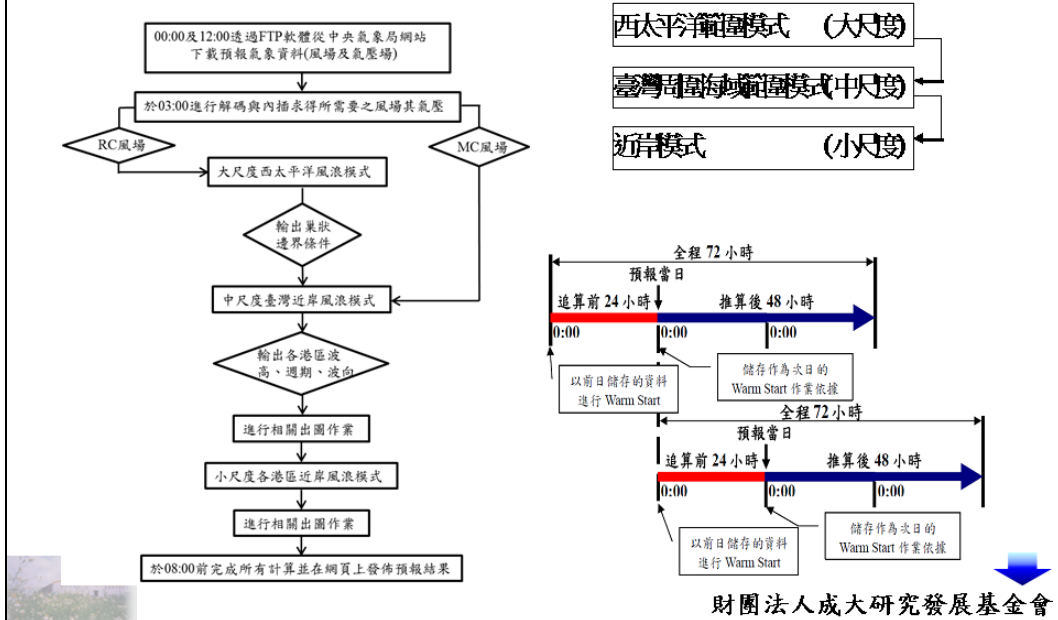
### ● 波浪模組簡介：



財團法人成大研究發展基金會

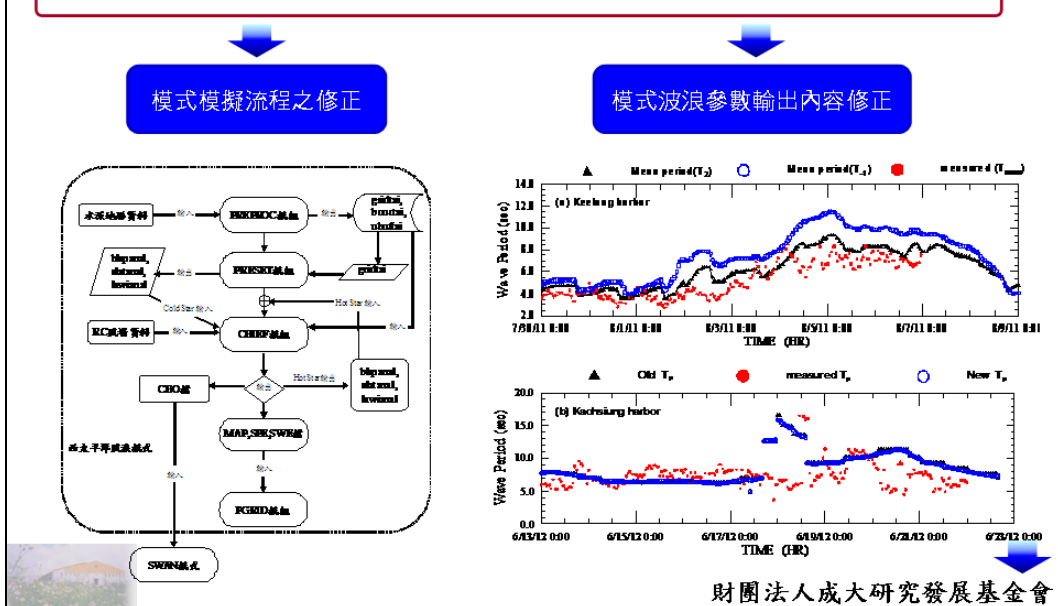
## 波浪模擬與探討

### ● 波浪模擬架構及流程：



## 波浪模擬與探討

### ● 西太平洋範圍風浪模組改善成果：

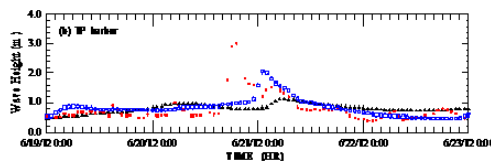
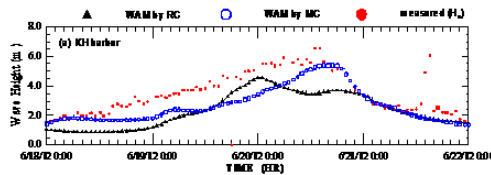




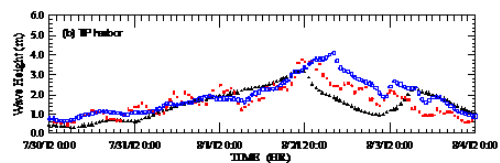
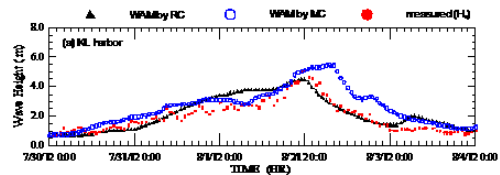
## 波浪模擬與探討

### ● 西太平洋範圍風浪模組改善成果：

MC風場取代RC風場之修正



輕度颱風泰利侵臺期間



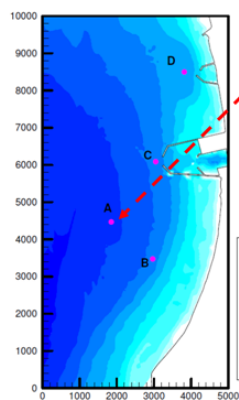
中度颱風蘇拉侵臺期間

財團法人成大研究發展基金會

## 波浪模擬與探討

### ● 港區近岸波浪場模擬：安平港區近岸波浪場模組修正與模擬結果

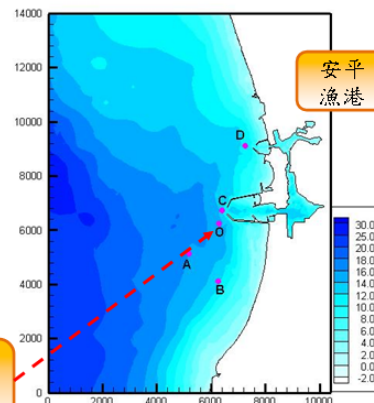
前期計畫：安平港區近岸波浪場模組



觀測點位  
(2011, 11  
以前)

觀測點位  
(2011, 12  
以後)

本年度：安平港區近岸波浪場模組



財團法人成大研究發展基金會

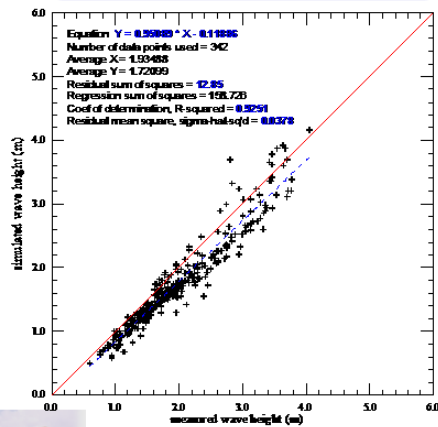


### 波浪模擬與探討

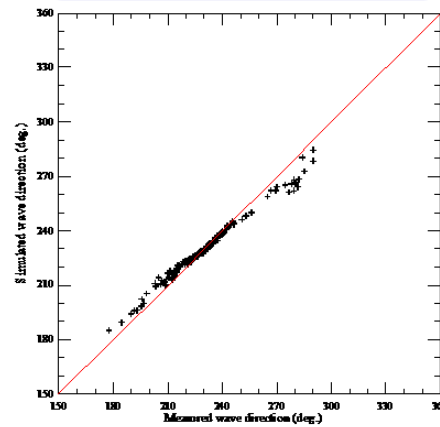
### 研究方法與執行步驟

#### ● 港區近岸波浪場模擬：安平港區近岸波浪場模組修正與模擬結果

觀測點位波高模擬結果之比較



觀測點位波向模擬結果之比較



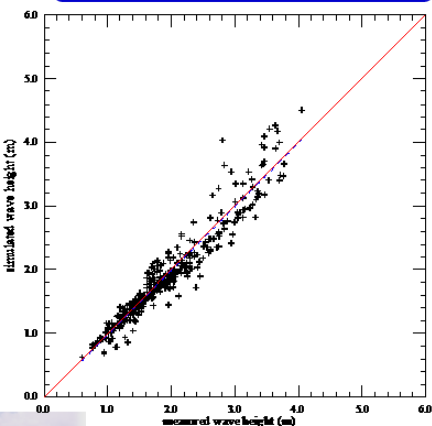
財團法人成大研究發展基金會



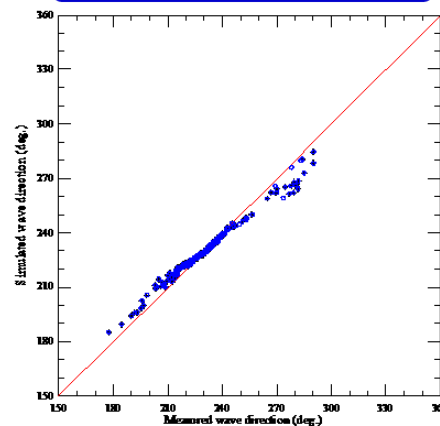
### 波浪模擬與探討

#### ● 港區近岸波浪場模擬：安平港區近岸波浪場模組修正與模擬結果

觀測點位波高模擬結果之比較  
(校正後)



觀測點位波向模擬結果之比較  
(校正後)



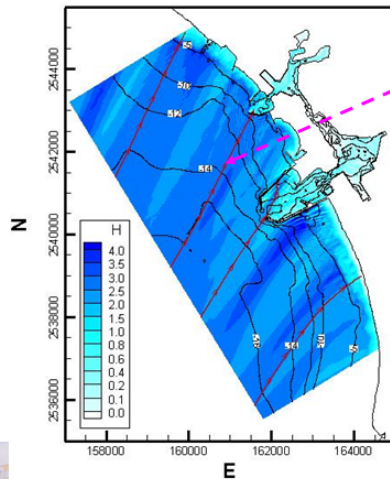
財團法人成大研究發展基金會

## 波浪模擬與探討

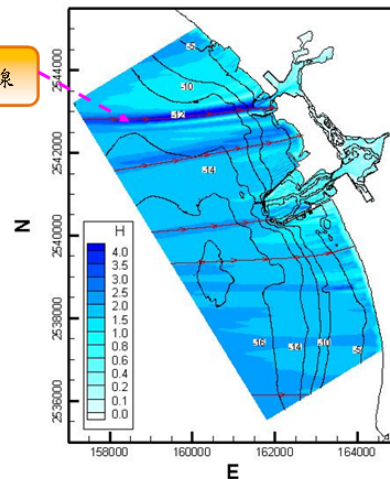
### ● 港區近岸波浪場模擬：安平港區近岸波浪場模組修正與模擬結果

Time:12/7/22:20 H=2.45, P=9.6,  
D=210

Time:12/8/02:09 H=1.96, P=6.3,  
D=270



波向線



財團法人成大研究發展基金會

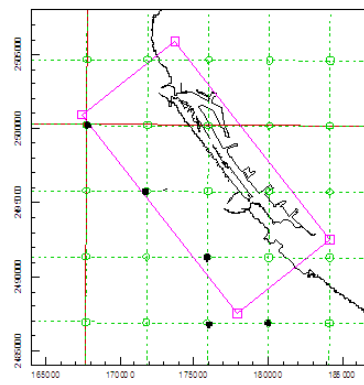
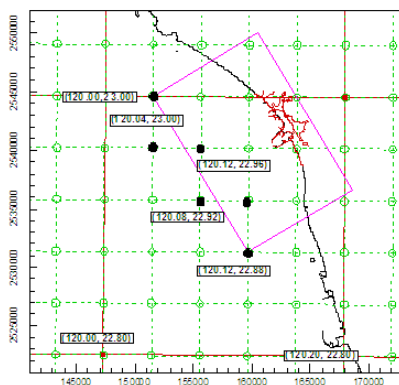
## 波浪模擬與探討

## 研究方法與執行步驟

### ● 港區近岸波浪場模擬：小尺度網格波場作業化模擬修正構想

安平港小尺度模擬範與中尺度網格關係

高雄港小尺度模擬範與中尺度網格關係

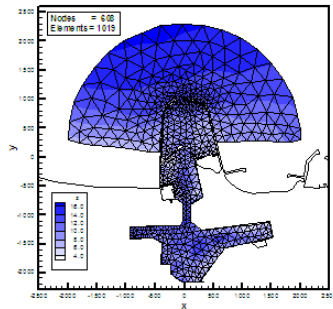


財團法人成大研究發展基金會

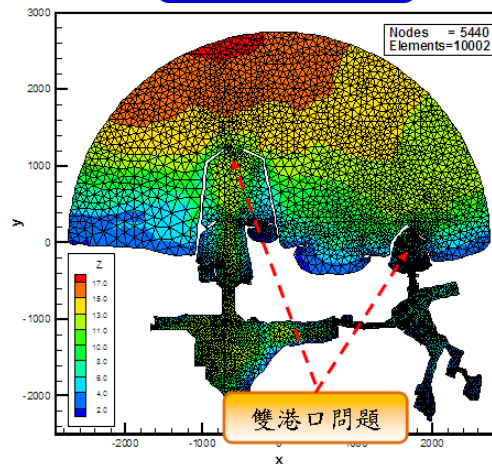
## 波浪模擬與探討

### ● 港域波浪場模擬：安平港區港域波浪場模組有限元素網格修正

前期計畫：安平港港域波浪場模組



本年度：安平港港域波浪場模組

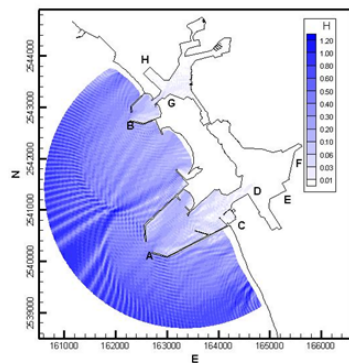


## 波浪模擬與探討

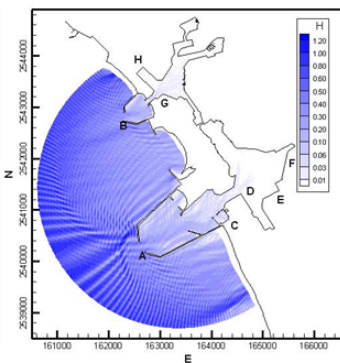
## 研究方法與執行步驟

### ● 港域波浪場模擬：安平港區港域波浪場模組模擬結果

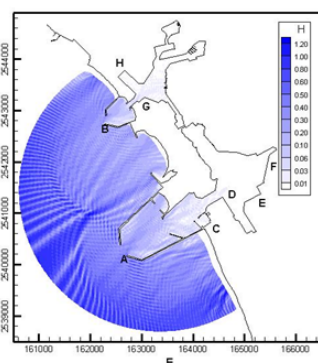
週期10sec：SW波向



週期10sec：WSW波向



週期10sec：W波向



有限元素網格：由107016個節點及210394個三角形元素組成

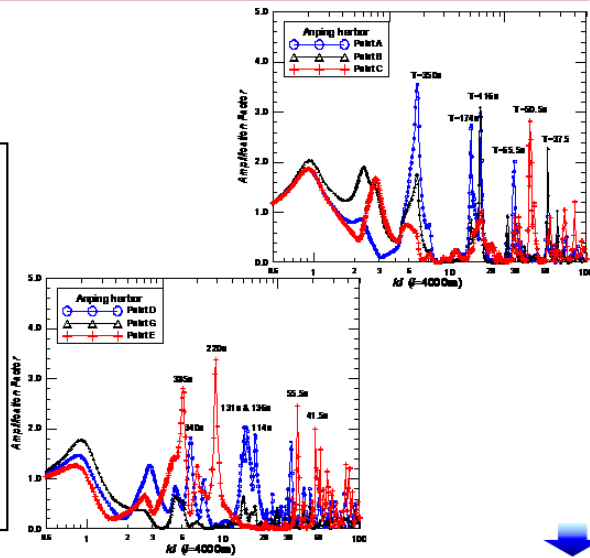
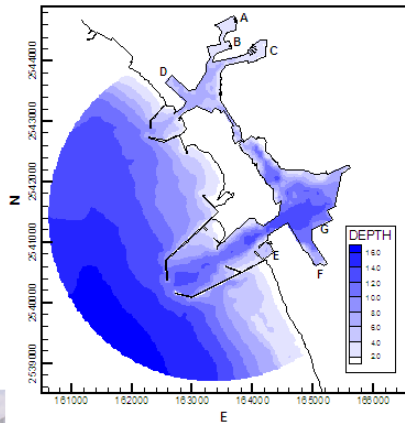
財團法人成大研究發展基金會



## 波浪模擬與探討

### ● 港域波浪場模擬：安平港港域長週期波浪共振特性研究

波浪振幅放大率輸出點位

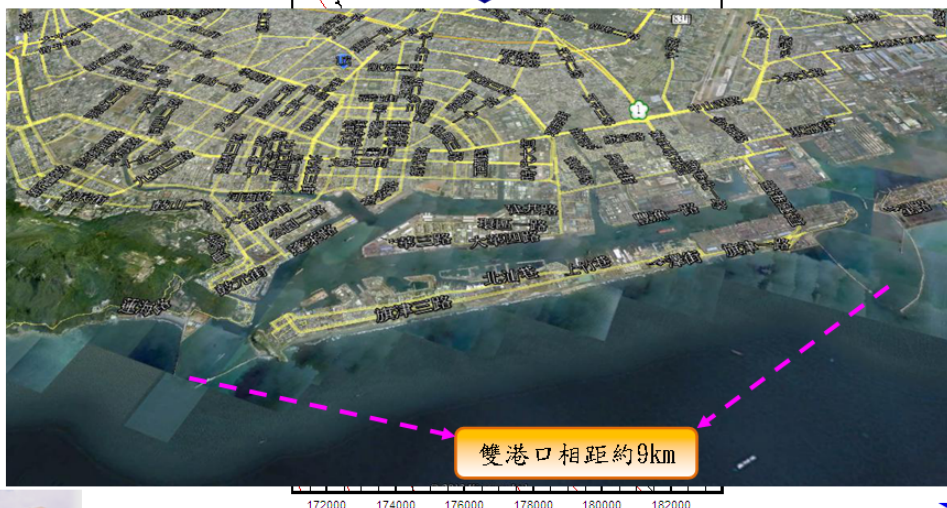


財團法人成大研究發展基金會



## 波浪模擬與探討

### ● 港域波浪場模擬：高雄港區港域波浪場模組模擬範圍



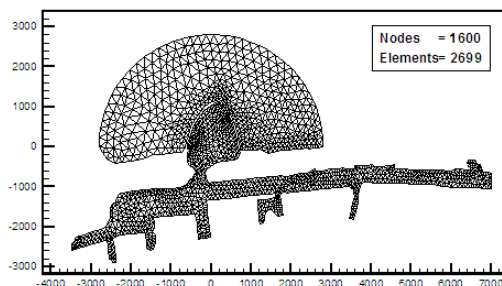
財團法人成大研究發展基金會



## 波浪模擬與探討

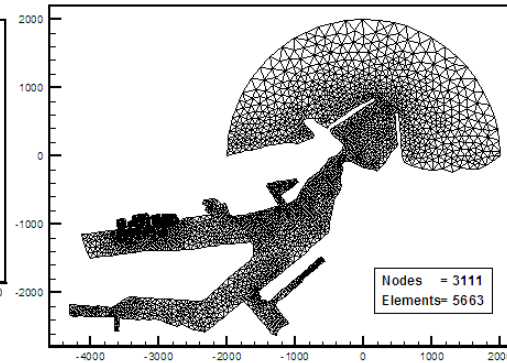
### ● 港域波浪場模擬：高雄港港域波浪場模組有限元素網格

高雄港二港口港域  
波浪場模組之粗網格



前期計畫之成果

高雄港一港口港域  
波浪場模組之粗網格



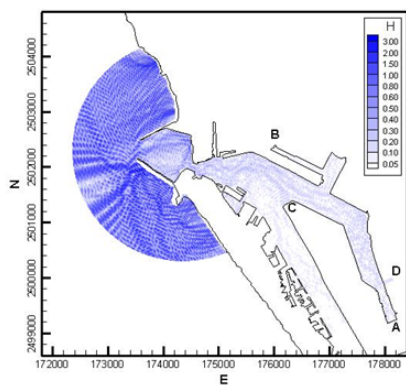
財團法人成大研究發展基金會

## 波浪模擬與探討

## 研究方法與執行步驟

### ● 港域波浪場模擬：高雄港港域波浪場模組模擬結果

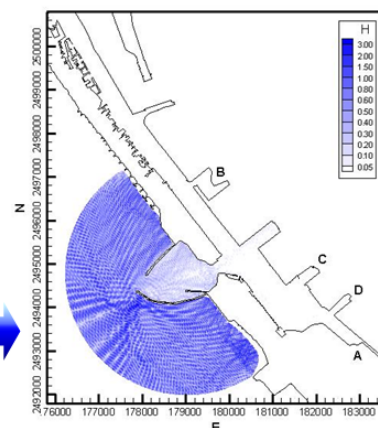
週期10sec：波向  
246.8°



有限元素網格  
64838個節點  
126709個元素

有限元素網格  
109157個節點  
214486個元素

週期10sec：波向  
237.7°

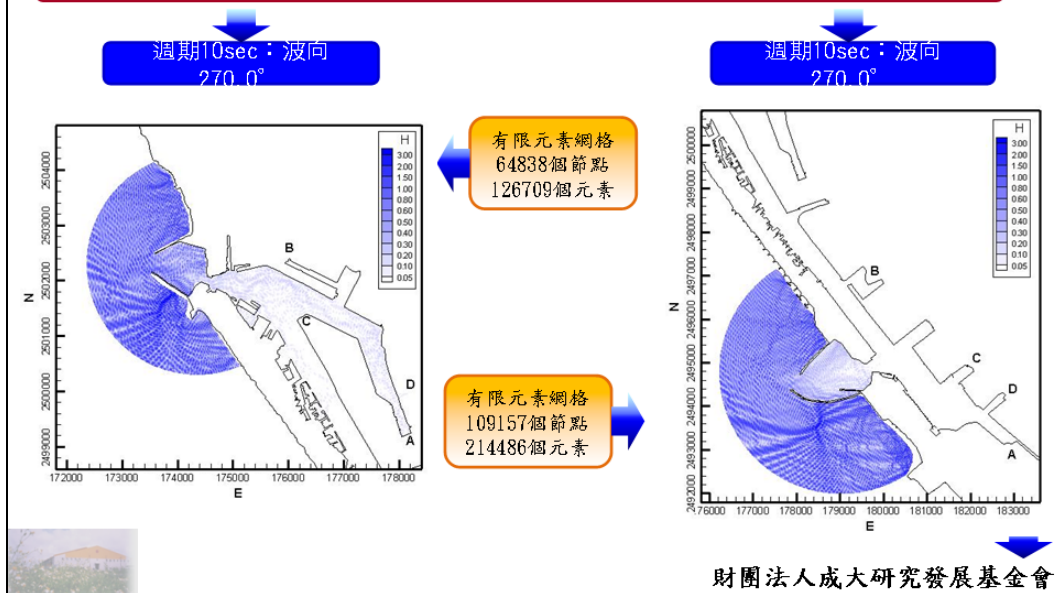


財團法人成大研究發展基金會

## 波浪模擬與探討

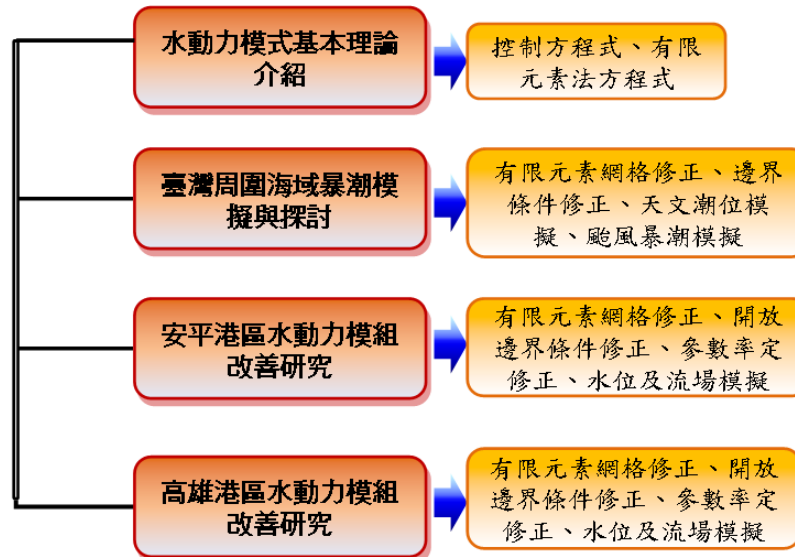
## 研究方法與執行步驟

### ● 港域波浪場模擬：高雄港港域波浪場模組模擬結果



## 水位、流場模擬與探討

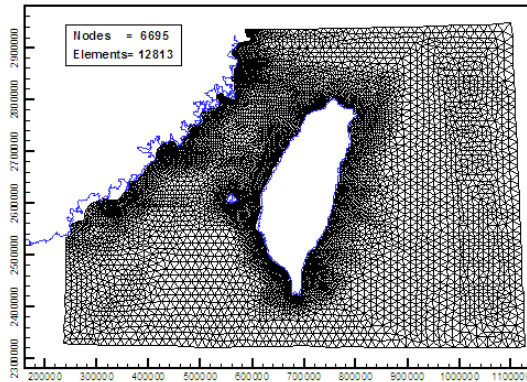
### 報告內容



## 臺灣周圍海域暴潮模擬與探討

### ● 中尺度水動力模組建置：

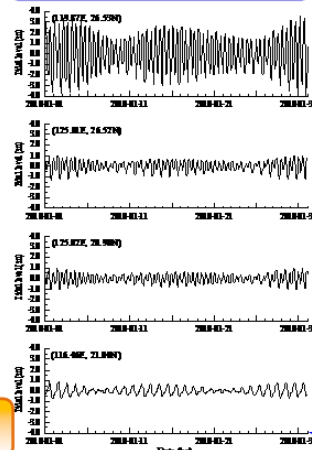
有限元素網格建置



東經(116.5°-125°)、北緯21°-26.5°

NAO.99Jb

開放海域邊界條件



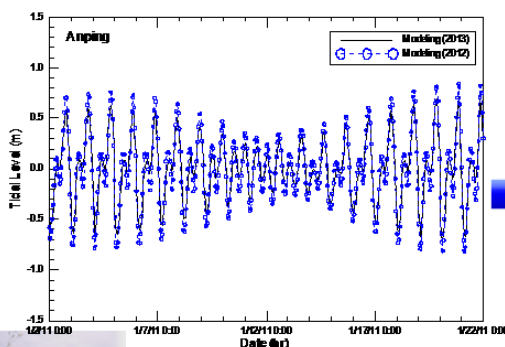
財團法人成大研究發展基金會

## 臺灣周圍海域暴潮模擬與探討

### ● 天文潮模擬：

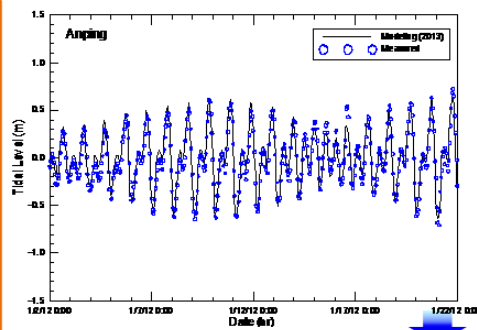
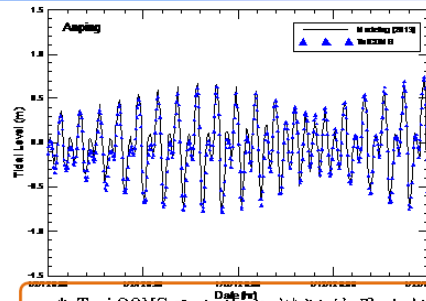
中尺度臺灣周圍海域暴潮模組

安平港天文潮位模擬結果



與觀測資料比較

與TaiCOMS天文潮位模擬結果比較



財團法人成大研究發展基金會

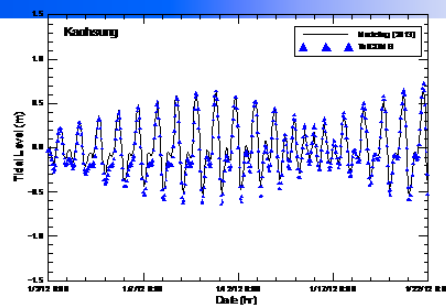
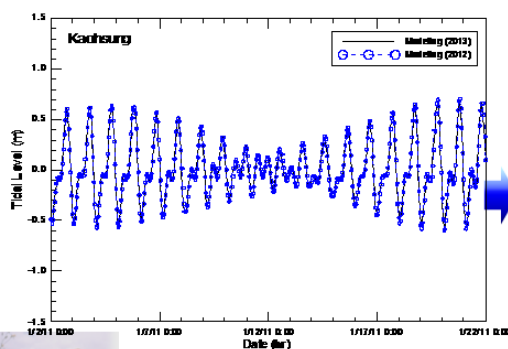


## 臺灣周圍海域暴潮模擬與探討

### ● 天文潮模擬：

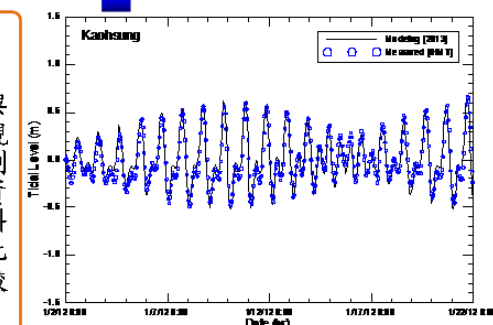
中尺度臺灣周圍海域暴潮模組

高雄港天文潮位模擬結果



與TaiCOMS天文潮位模擬結果比較

與觀測資料比較

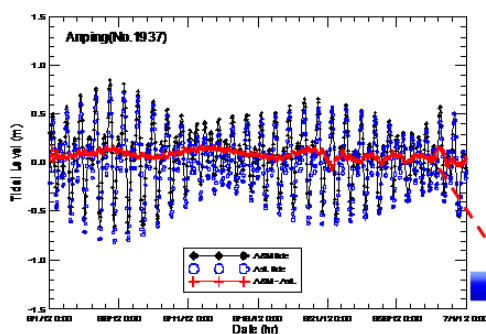


財團法人成大研究發展基金會

## 臺灣周圍海域暴潮模擬與探討

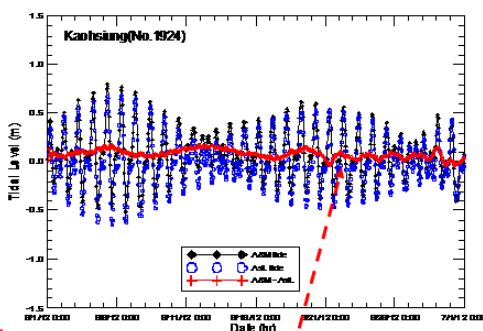
### ● 颱風期間暴潮偏差模擬研究：

天文潮+氣象潮水位模擬結果



安平港水位模擬結果比較

高雄港水位模擬結果比較

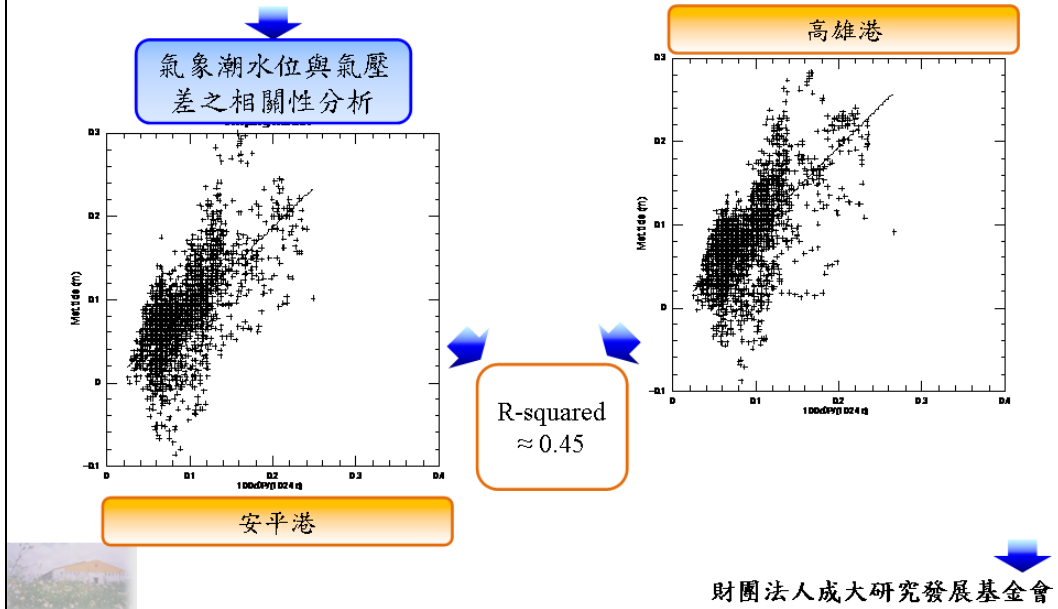


氣象潮水位變化

財團法人成大研究發展基金會

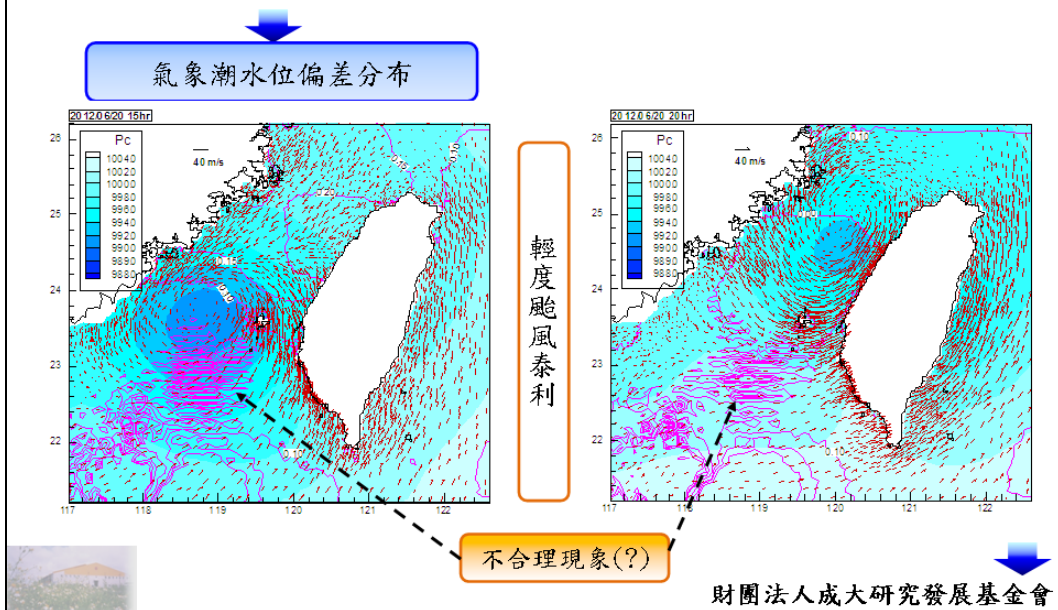
## 臺灣周圍海域暴潮模擬與探討

### ● 颱風期間暴潮偏差模擬研究：



## 臺灣周圍海域暴潮模擬與探討

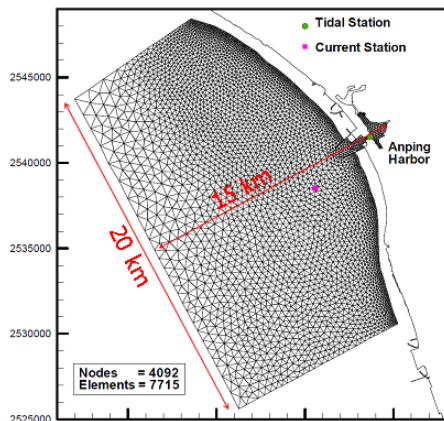
### ● 颱風期間暴潮偏差模擬研究：



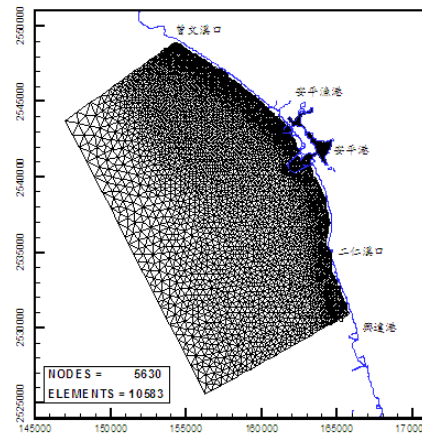
## 安平港區水動力模組改善研究

### ● 有限元素網格修正：

#### 安平港區近岸水動力模組(前期)



#### 安平港區近岸水動力模組(修正)

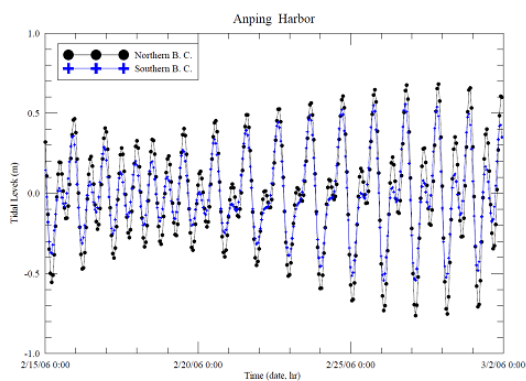


財團法人成大研究發展基金會

## 安平港區水動力模組改善研究

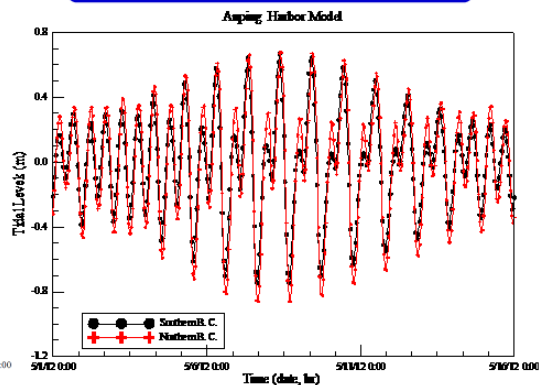
### ● 開放邊界水位條件修正：

#### 安平港區近岸水動力模組(前期)



採用主要分潮調和分析預測值

#### 安平港區近岸水動力模組(本計畫)

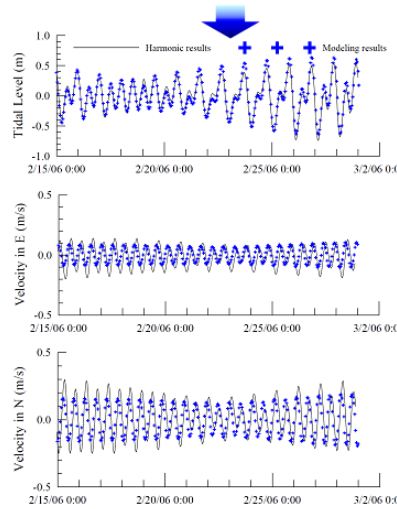


採用中尺度模組天文潮模擬值

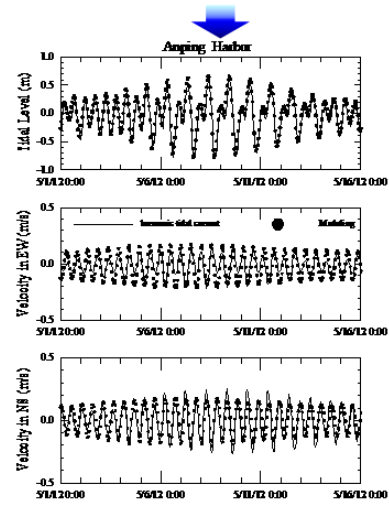
財團法人成大研究發展基金會

## 安平港區水動力模組改善研究

### ● 水位及流速模擬結果驗證：



安平港水位及流速驗證(前期)

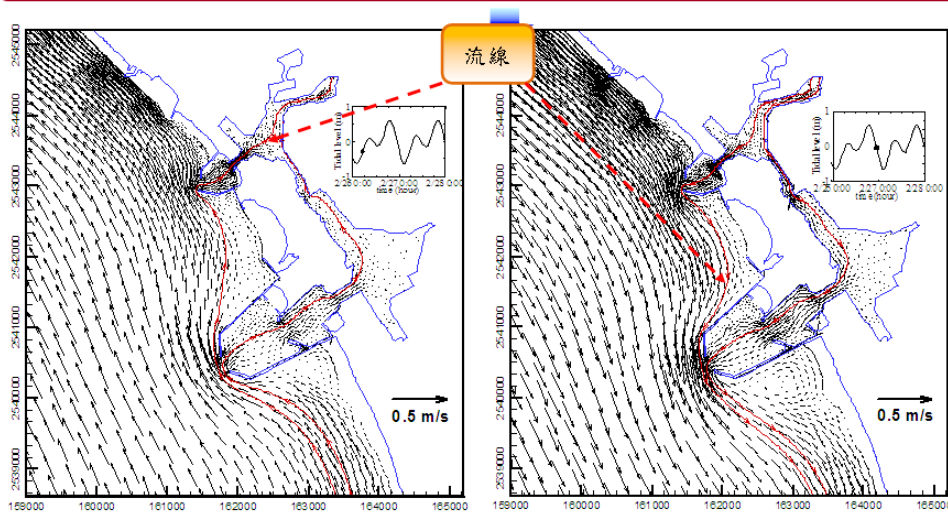


安平港水位及流速驗證(本計畫)

財團法人成大研究發展基金會

## 安平港區水動力模組改善研究

### ● 近岸水位及流場模擬結果：



安平港漲潮時段流場模擬結果

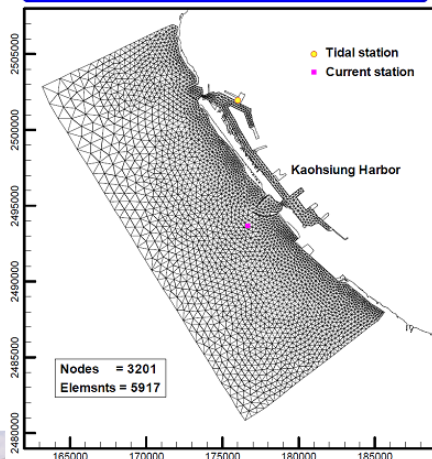
安平港退潮時段流場模擬結果

財團法人成大研究發展基金會

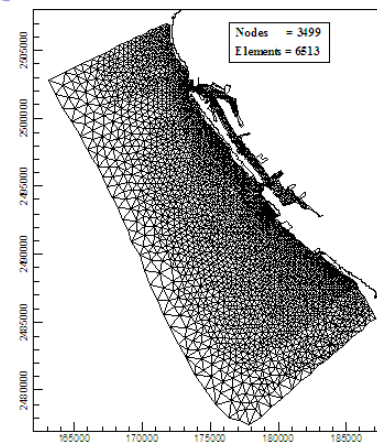
## 高雄港區水動力模組改善研究

### ● 有限元素網格修正：

高雄港區近岸水動力模組(前期)



高雄港區近岸水動力模組(修正)

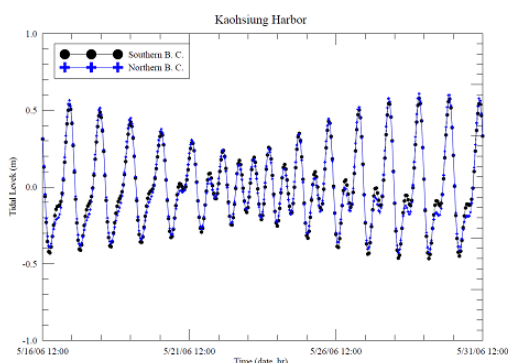


財團法人成大研究發展基金會

## 高雄港區水動力模組改善研究

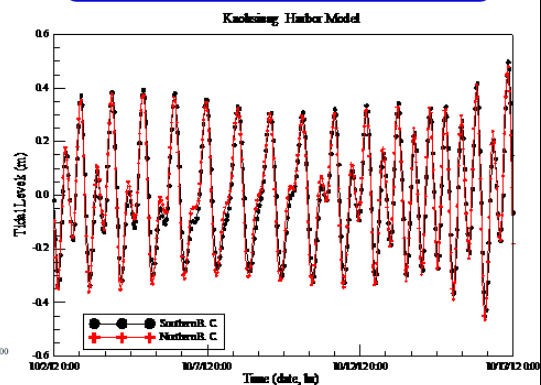
### ● 開放邊界水位條件修正：

高雄港區近岸水動力模組(前期)



採用主要分潮調和分析預測值

高雄港區近岸水動力模組(本計畫)



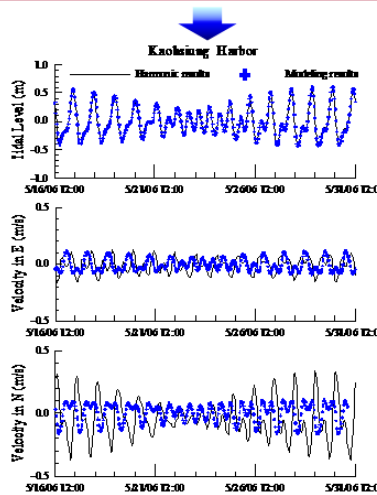
採用中尺度模組天文潮模擬值

財團法人成大研究發展基金會

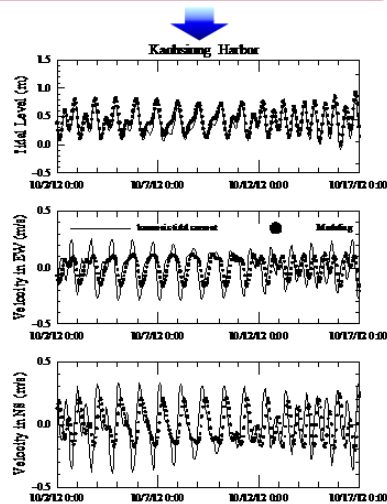


## 高雄港區水動力模組改善研究

### ● 水位及流速模擬結果驗證：



高雄港水位及流速驗證(前期)



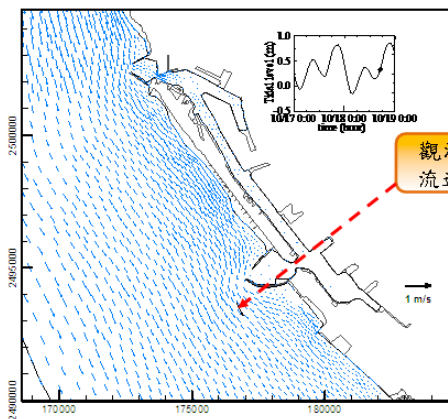
高雄港水位及流速驗證(本計畫)

財團法人成大研究發展基金會

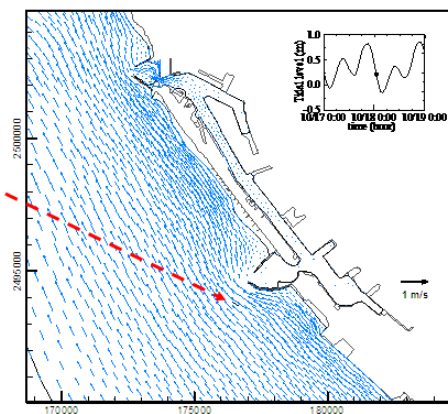
## 高雄港區水動力模組改善研究

### ● 近岸水位及流場模擬結果：

高雄港漲潮時段流場模擬結果



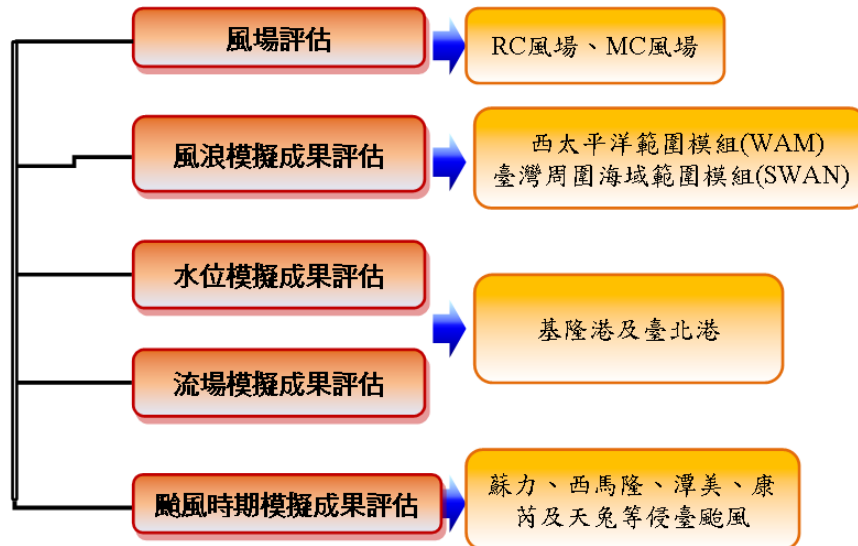
高雄港退潮時段流場模擬結果



財團法人成大研究發展基金會

## 海象作業化預報成果評估

### 報告內容

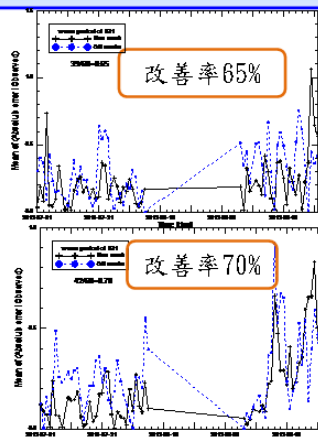


財團法人成大研究發展基金會

## 海象模擬改善評估指標研究

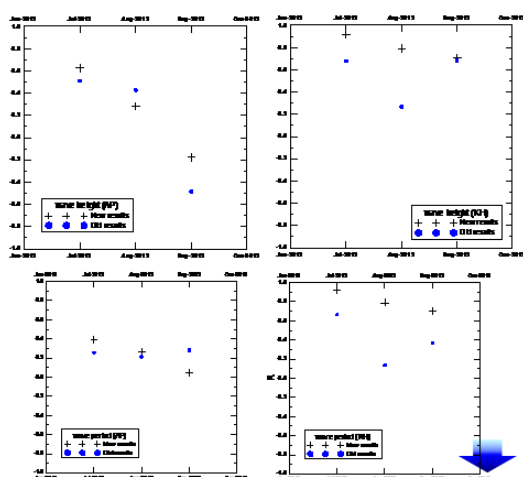
### ● 風浪模擬改善評估指標研究：波高、週期

#### 誤差分析



絕對誤差日平值/觀測值

#### 相關係數分析



財團法人成大研究發展基金會



## 海象模擬改善評估指標研究

## 高雄港水位模擬結果比較

## ● 水位模擬改善評估指標研究：中尺度

## 誤差分析

## 安平港

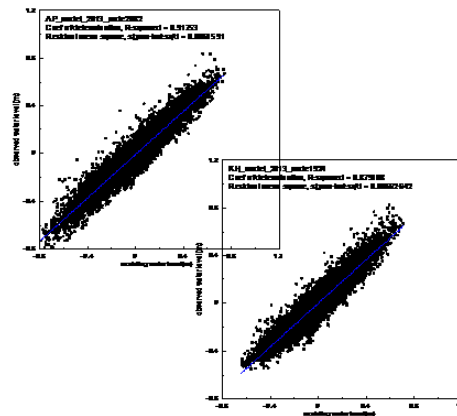
| 模式與單位     | < 0.1 m | 0.1 ~ 0.5 m | > 0.5 m |
|-----------|---------|-------------|---------|
| Old model | 25.75   | 73.95       | 0.30    |
| Node 1956 | 81.44   | 18.26       | 0.30    |
| Node 1957 | 67.96   | 31.74       | 0.30    |
| Node 2080 | 92.22   | 7.78        | 0.00    |
| Node 2081 | 23.95   | 75.75       | 0.30    |
| Node 2082 | 77.54   | 22.16       | 0.30    |
| Node 2205 | 89.52   | 10.48       | 0.00    |

## 高雄港

| 模式與單位     | < 0.1 m | 0.1 ~ 0.5 m | > 0.5 m |
|-----------|---------|-------------|---------|
| Old model | 15.79   | 83.10       | 1.11    |
| Node 1923 | 70.91   | 28.81       | 0.28    |
| Node 1924 | 75.62   | 24.10       | 0.28    |
| Node 2068 | 70.36   | 29.36       | 0.28    |
| Node 2069 | 60.86   | 38.78       | 0.25    |

間誤差百分比統計表(單位：%)

## 相關係數分析



財團法人成大研究發展基金會



## 結論與建議

- 本年度為「提昇海岸及港灣海域海象模擬技術之研究」二年期合作計畫之第一年，本計畫目的為提昇臺灣周圍海岸及港灣海域海象(波浪、水位及海流)模擬技術或結果之研究。
- 本年度以安平港區及高雄港區為研究對象，進行包括波浪、水位及流場等海象模擬之相關研究。依據本報告完成內容綜整得到下列結論及建議如下：

財團法人成大研究發展基金會



## 結論與建議

### 結論

#### □ 在基本資料蒐集與分析方面，

1. 安平港區及高雄港區2012年水深調查資料；
2. 2008年~2012年潮位觀測資料；
3. 2012年海流、波浪及風速風向等觀測資料；

在作業化系統之數值預報風壓場資料方面，除了持續接收NFS風壓場資料外，亦同時接收WRF風壓場資料進行作業化系統數值預報風壓場資料更新相關研究工作。



## 結論與建議

### 結論

#### □ 在風浪作業化模擬方面，本計畫大尺度西太平洋範圍風浪模組具體改善內容包括：

- 1.修正作業化模擬流程使其更能符合TaiCOMS原設計規劃預報流程；
- 2.模擬技術成果包括風場資料更新(如以MC風場取代RC風場)以及風浪模擬結果之波向、週期及波高等呈現均有實質改善成效；
- 3.風浪模擬資訊提供方面，增加布袋港及澎湖、金門及馬祖等離島海域風浪模擬資訊至港灣資訊網供外界查詢；  
針對中尺度臺灣周圍海域範圍風浪模組採行多核心平行化處理，提昇中尺度網格風浪模擬效率，縮短72小時模擬預報時間。



## 結論與建議

□ **臺灣周圍海域暴潮模組建置研究方面**，本年度分別針對天文潮引起的水位變化及含氣象潮效應之天文潮水位變化進行模擬結果驗證與分析；其中

### 結論

1. 天文潮水位變化模擬結果均能夠與高雄港及安平港潮位變化相符，證明中尺度有限元素網格之水位模擬結果能符合計畫需求；

2. 氣象潮水位變化分析結果得知，氣象潮水位變化趨勢與氣壓差值變化趨勢具有高度相關性，但二者相關性之決定係數值約為0.45，顯示模式模擬結果而言風場效應引起的水位變化亦居重要的影響地位。



財團法人成大研究發展基金會

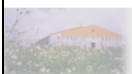
## 結論與建議

□ **在港域小尺度及細尺度波浪模擬研究上**，除了針對安平港及高雄港小尺度網格波浪場模擬進行必要的資料更新研究外，

### 結論

1. 針對安平港細尺度波浪模組進行改善研究，使其能符合現況同時模擬安平港與安平漁港水域之波浪場；

2. 針對高雄港一港口水域建置細尺度港域波浪模組模擬一港口港域波浪場；



財團法人成大研究發展基金會

## 結論與建議

□ 小尺度網格水動力模組研究上，本計畫分別針對安平港區近岸水動力模組及高雄港區近岸水動力模組進行必要的更新研究，內容

### 結論

1. 針對模式主要的物理參數更新率定值，
2. 開放邊界之水位資料改採用中尺度有限元素網格天文潮水位模擬結果進行小尺度有限元素網格水位及流場模擬；
3. 模擬結果驗證得知，安平港小尺度近岸水位及流場模擬結果具有顯著改善成效，但高雄港小尺度近岸水位及流場模擬結果則改善成效有限。



財團法人成大研究發展基金會

## 結論與建議

### 建議

WRF風壓場  
資料

臺灣周圍海  
域暴潮模組

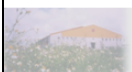
小尺度水動  
力模組改善  
研究



在作業化系統風場資料轉換過程對於可能涉及相關海象模擬模組模擬範圍之修正問題，建議後續研究宜進一步做整體性評估考量。

對於氣象潮的模擬，特別是颱風期間暴潮模擬，仍有部份模擬技術問題需持續研究改善與驗證。

小尺度水動力模組開放邊界條件與中尺度有限元素網格水位模擬值相銜接問題仍需持續研究及評估作業化模擬之可行性



財團法人成大研究發展基金會

# 簡報完畢 敬請指正



提昇海岸及港灣海域海象模擬技術之研究(1/2)



財團法人成大研究發展基金會  
NCKU Research & Development Foundation



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

## 附錄十四

### 教育訓練簡報資料



# 「102年港灣海氣象模擬技術及 資訊查詢教育訓練」

提昇海岸及港灣海域海象模擬  
技術之研究(1/2)

主 講 人：涂 力 夫



經濟部水利署 水工試驗所  
國立成功大學  
Tainan Hydraulics Laboratory  
National Cheng Kung University, since 1950



財團法人成大研究發展基金會  
NCKU Research & Development Foundation

(MOTC-IOT-102-H3DB001a)



國立成功大學水工試驗所  
Tainan Hydraulics Laboratory  
National Cheng Kung University, since 1950

TaiCOMS 風浪模擬改善評估

教育訓練簡報

## 報告大綱

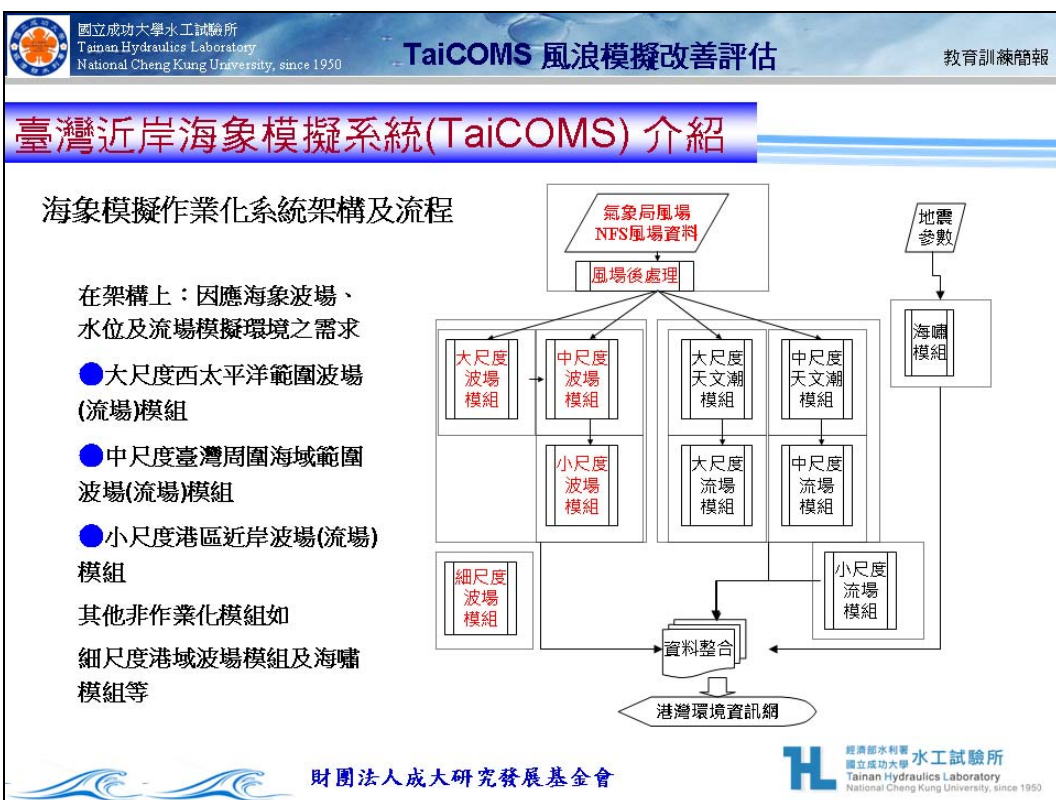
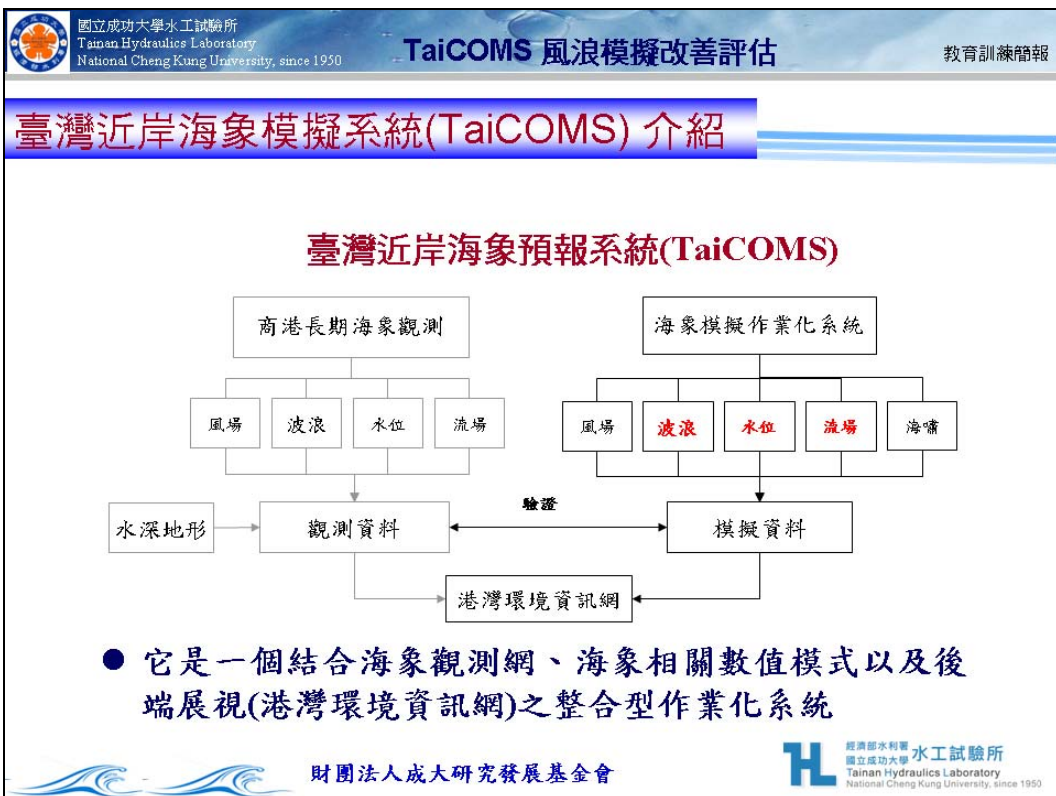
- ◆臺灣近岸海象模擬系統(TaiCOMS) 介紹
- ◆波浪模擬與探討
- ◆水位、流場模擬與探討
- ◆海象作業化預報成果評估
- ◆結語



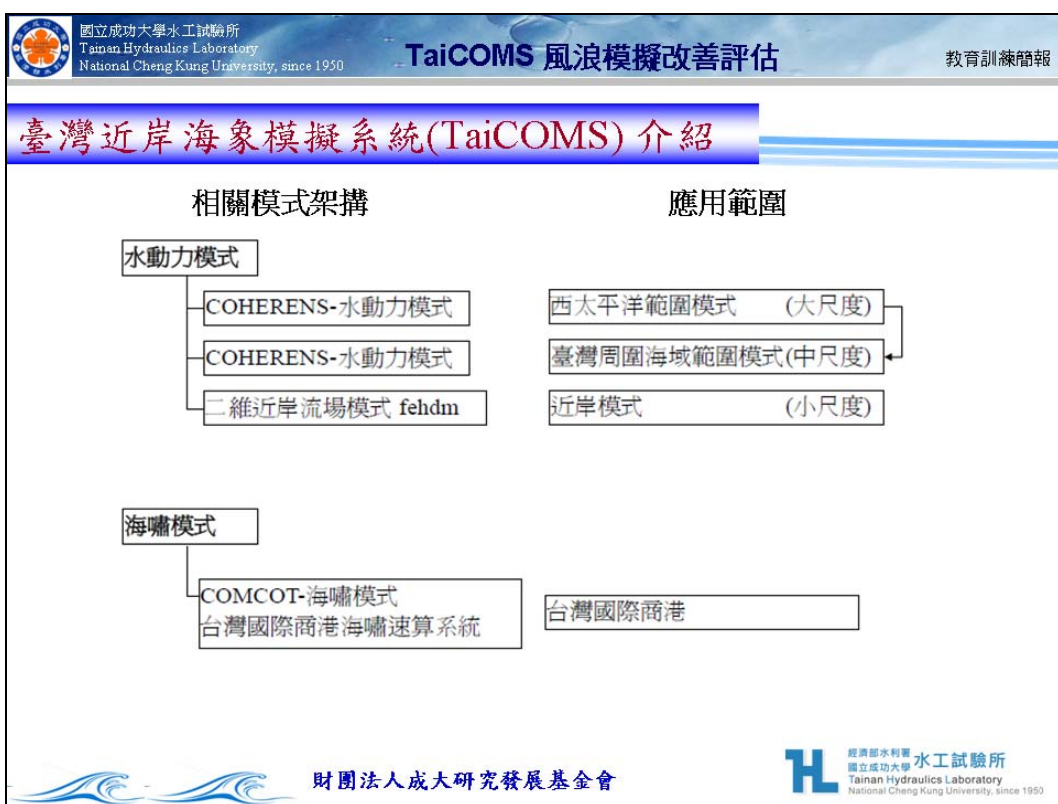
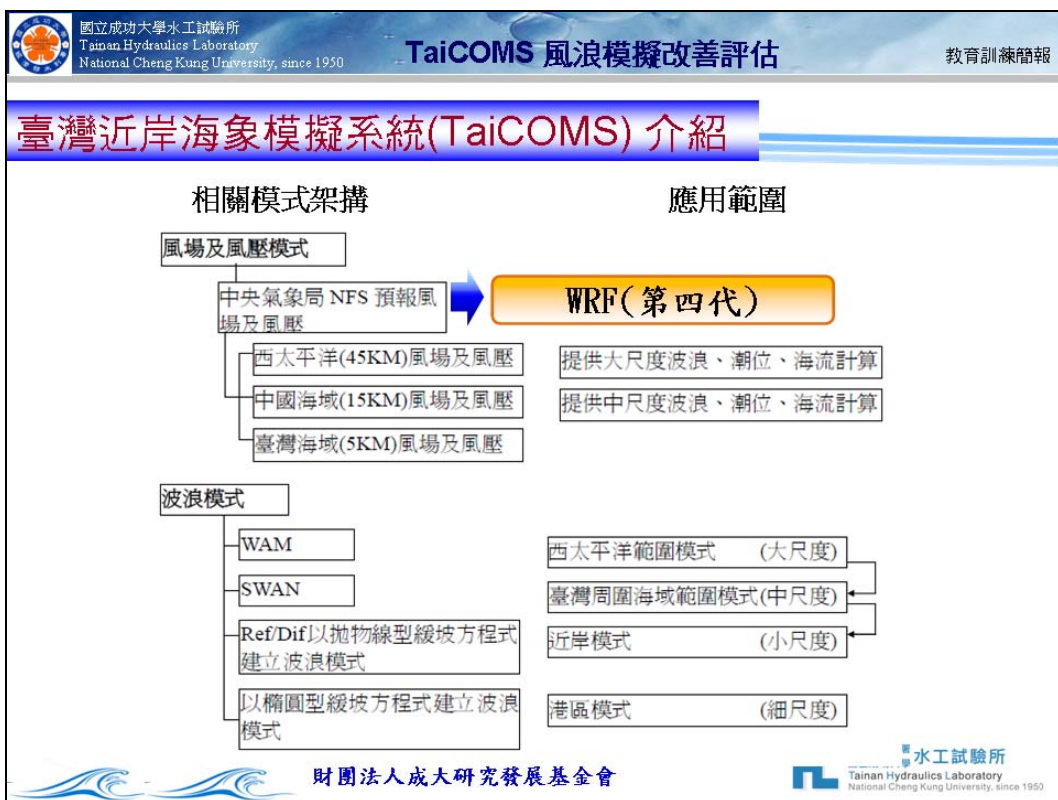
財團法人成大研究發展基金會



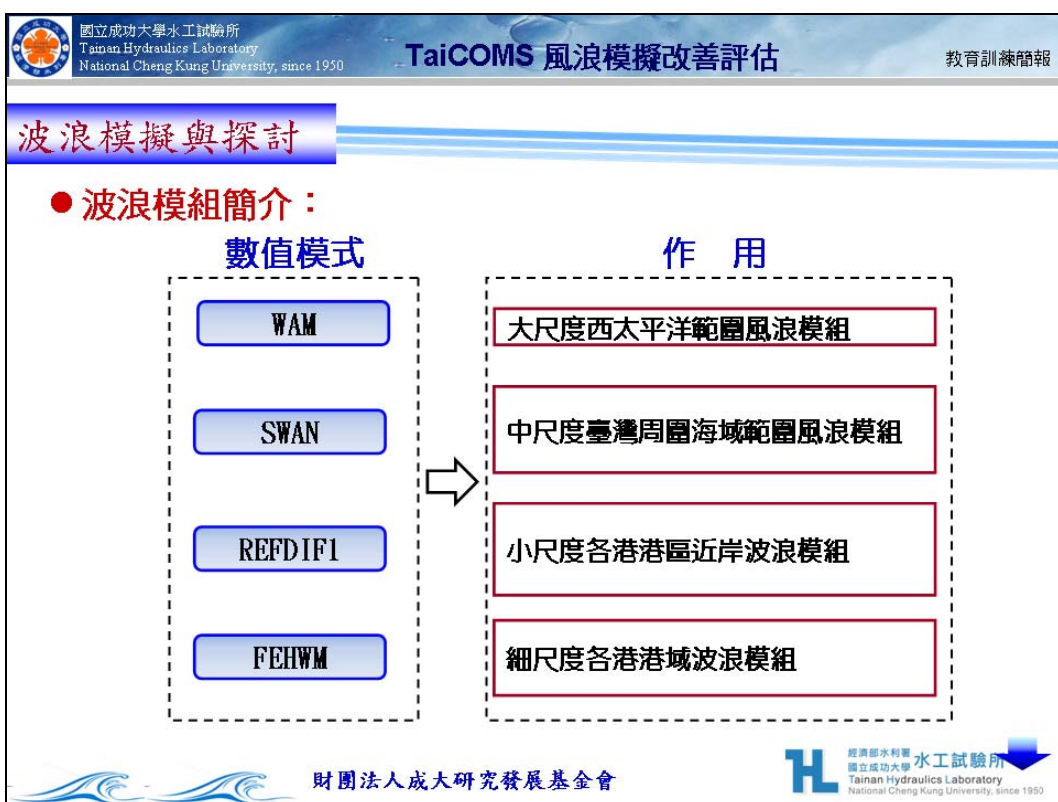
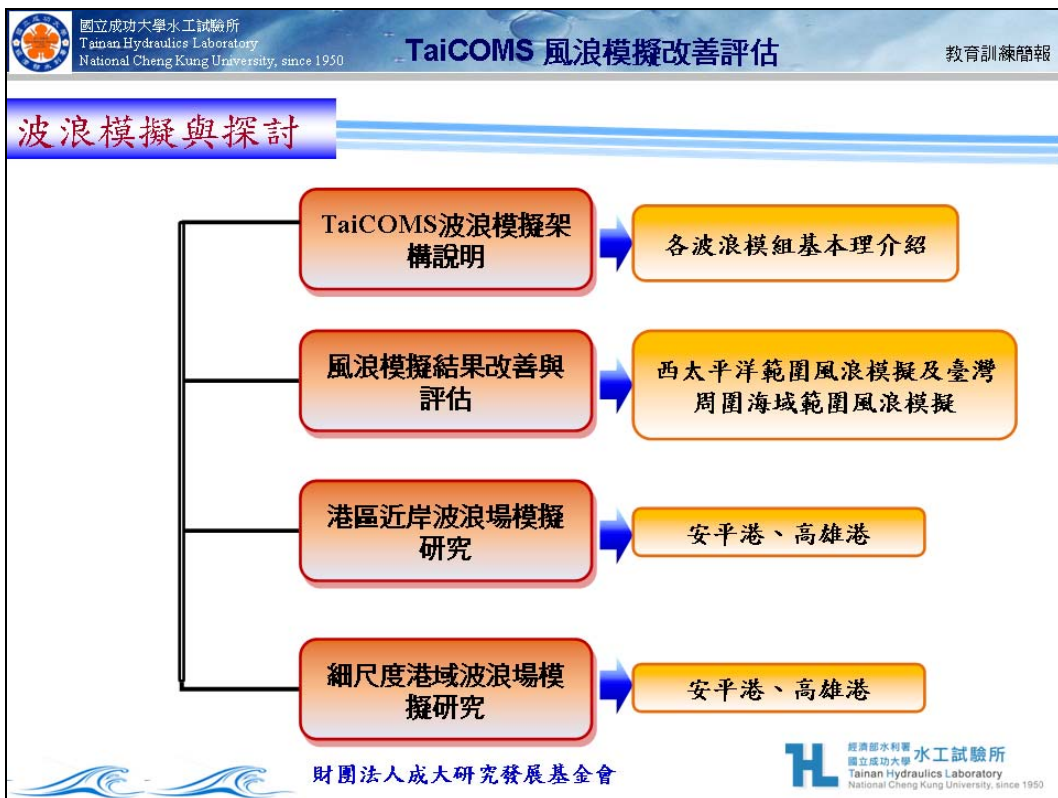
經濟部水利署 水工試驗所  
國立成功大學  
Tainan Hydraulics Laboratory  
National Cheng Kung University, since 1950

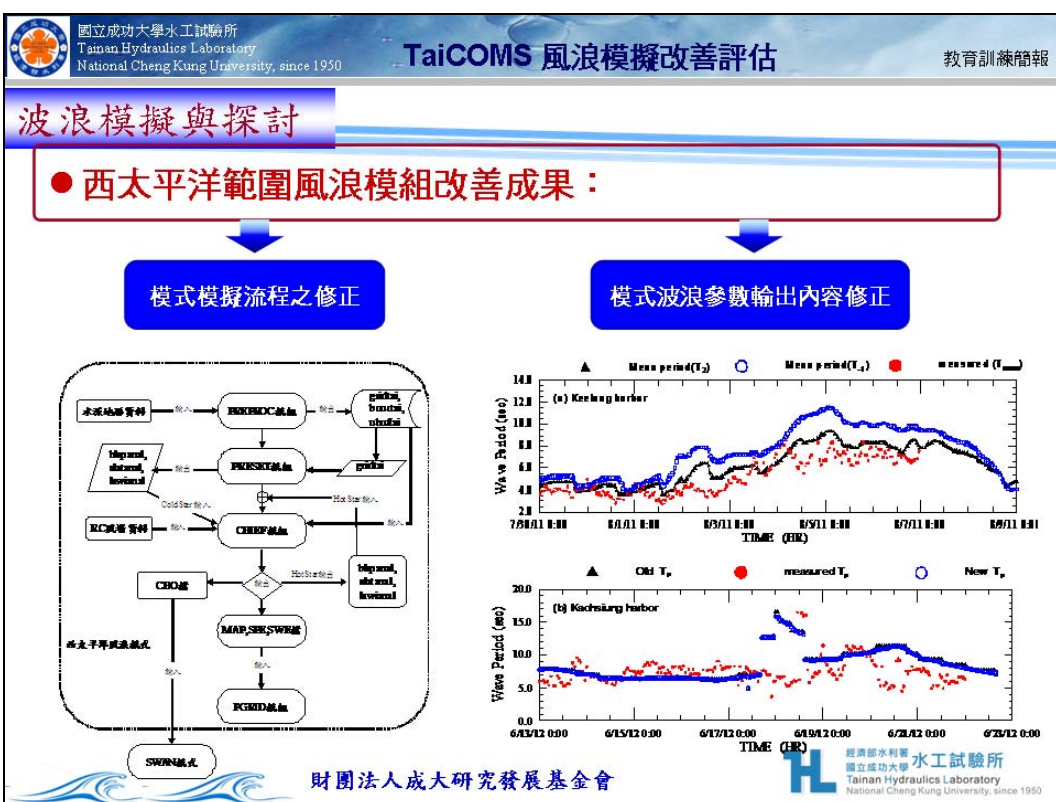
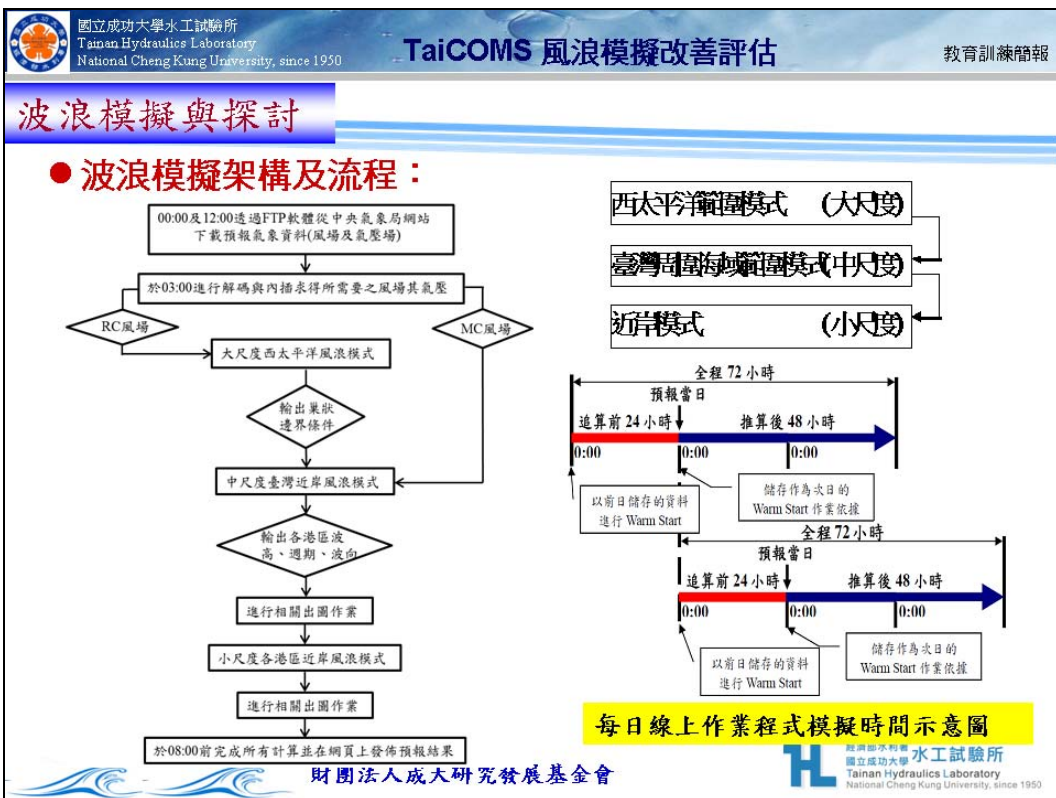


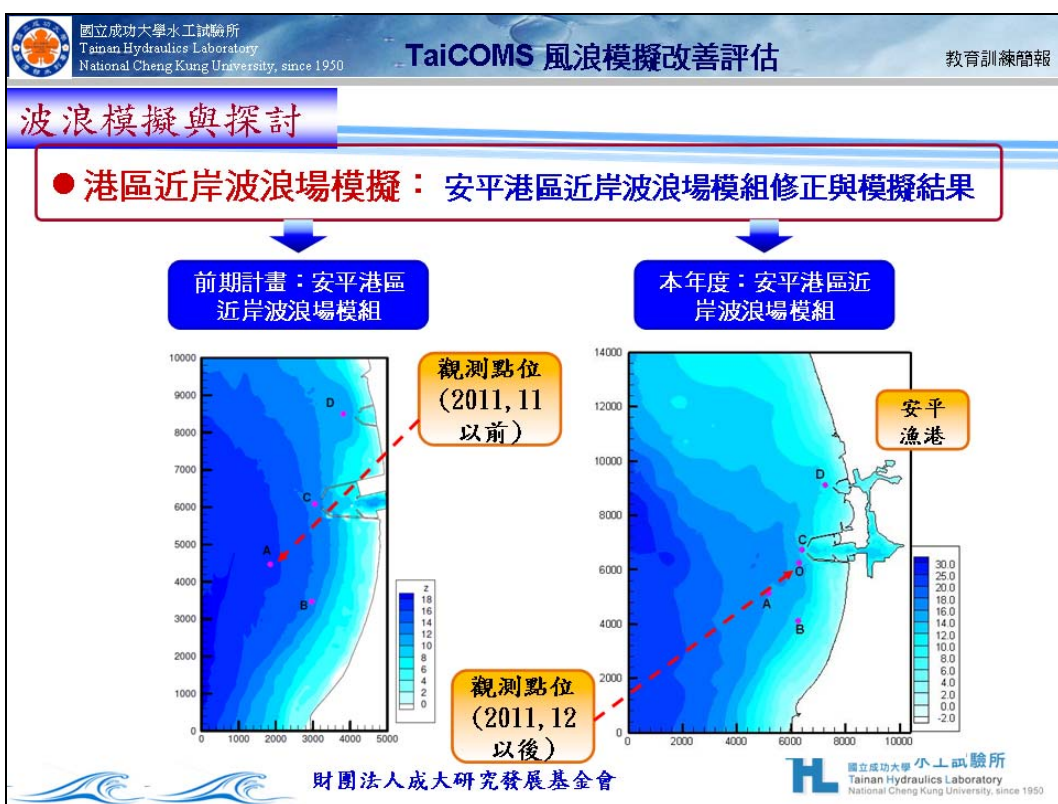
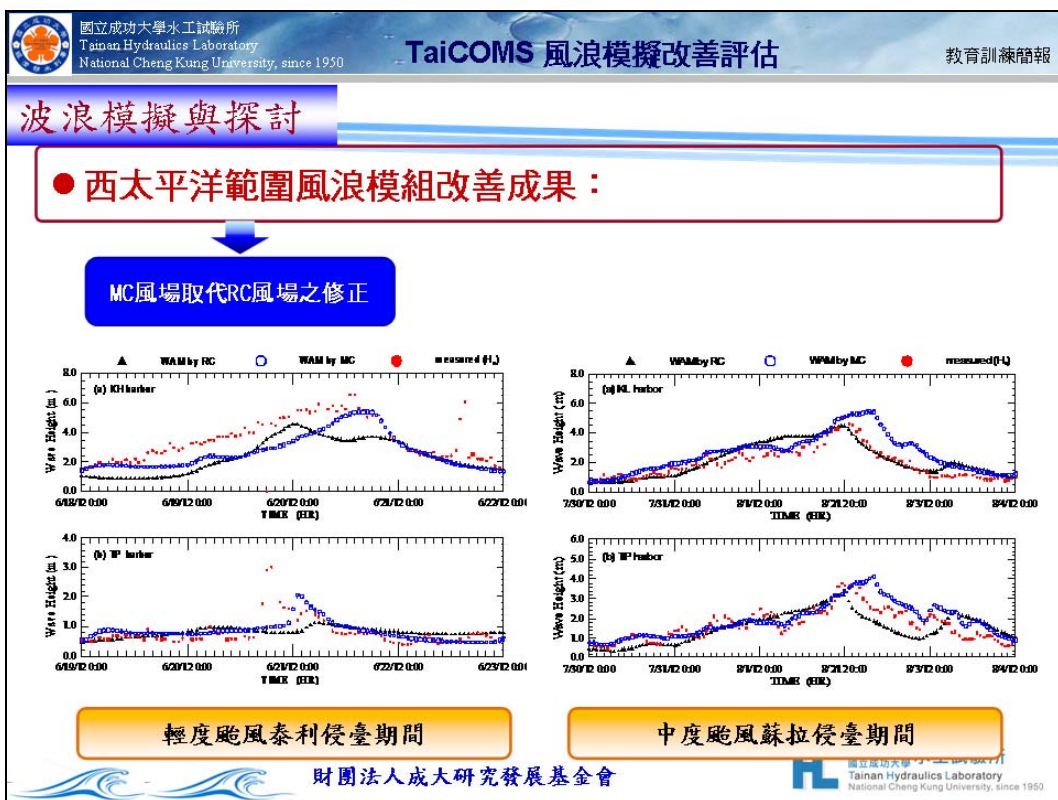




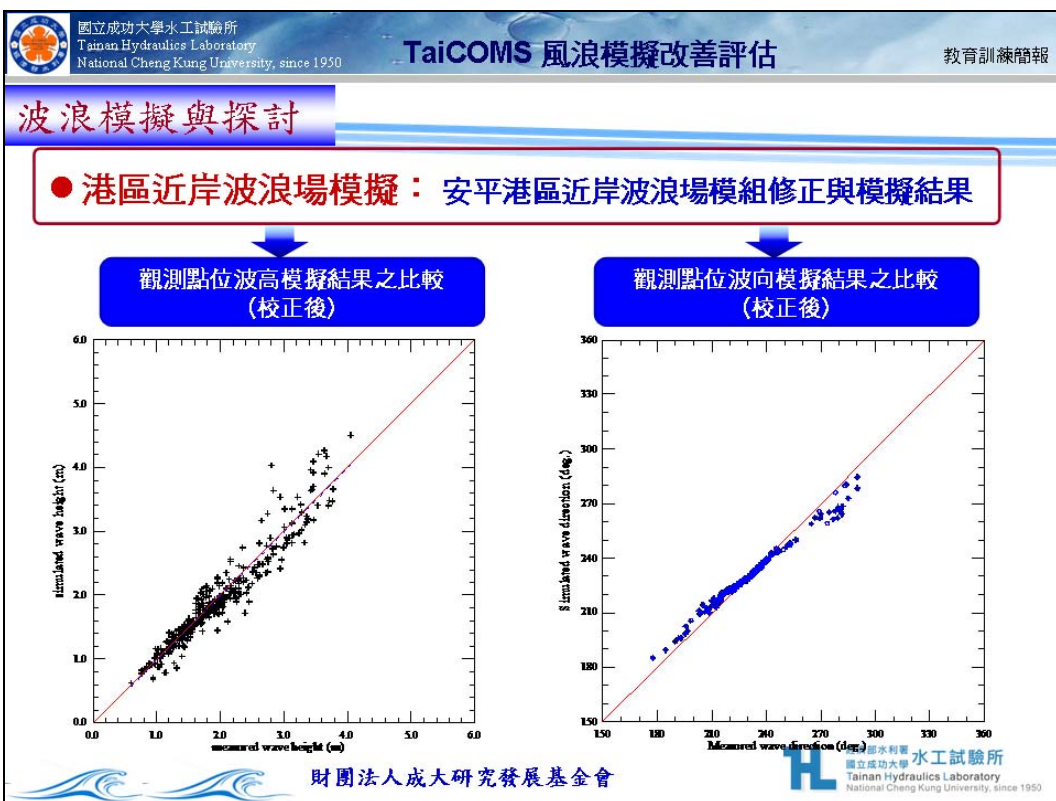
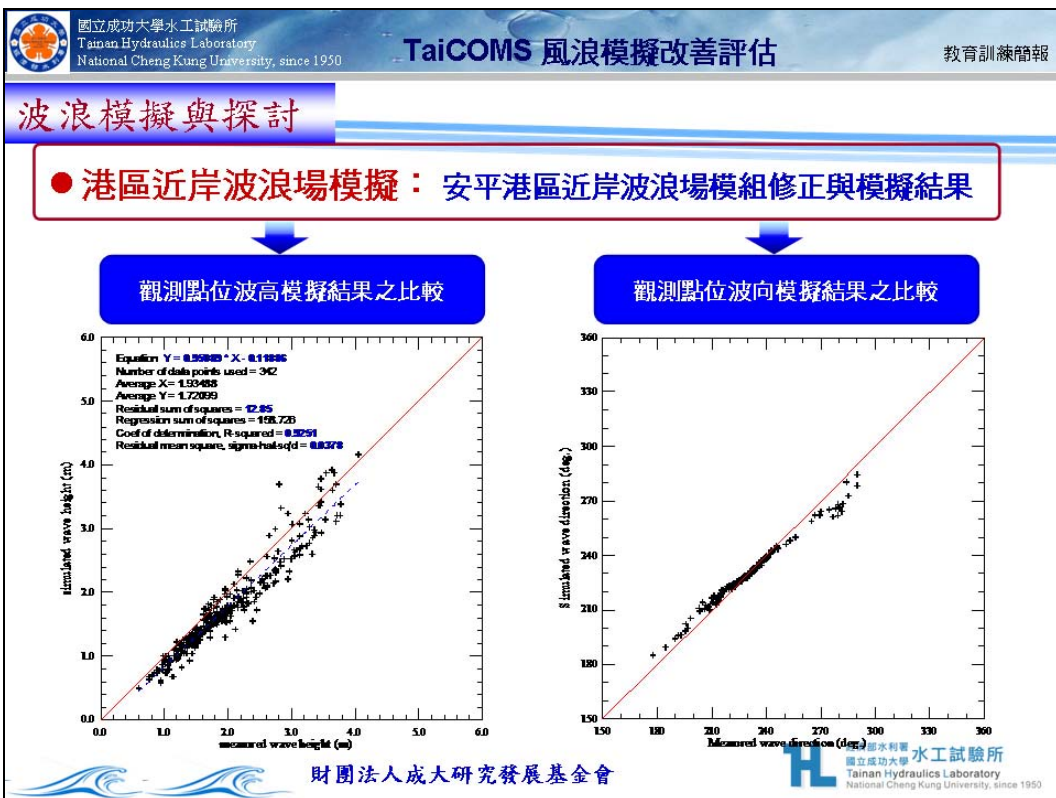


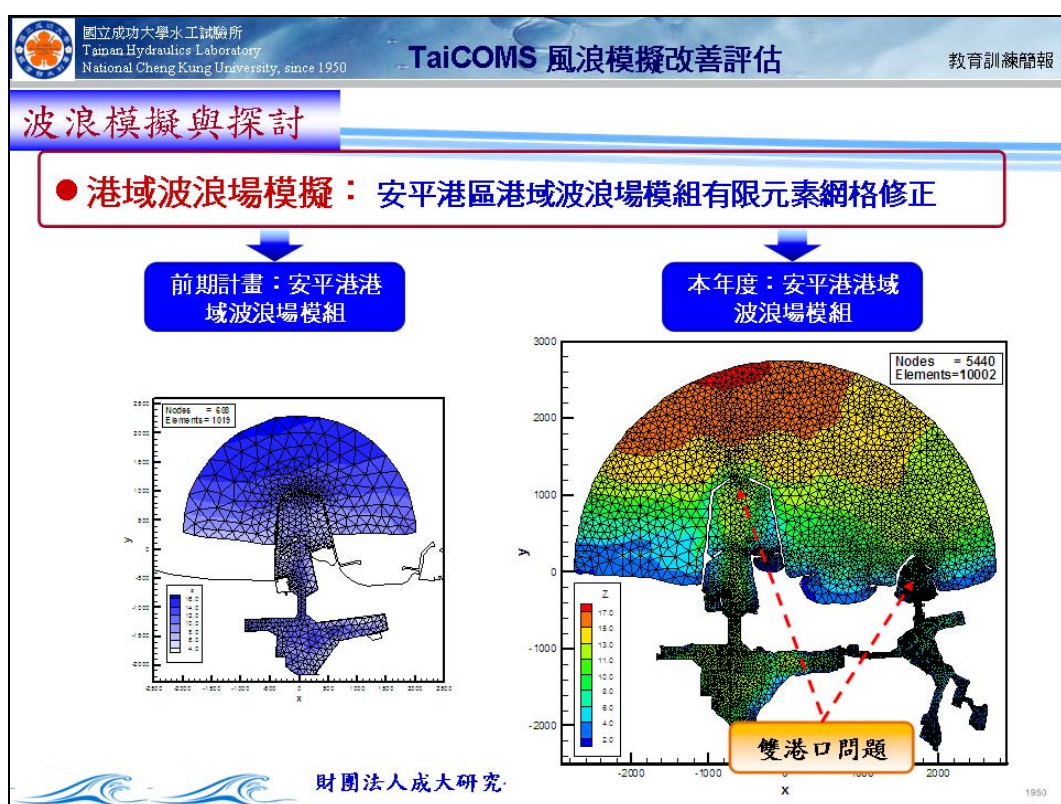
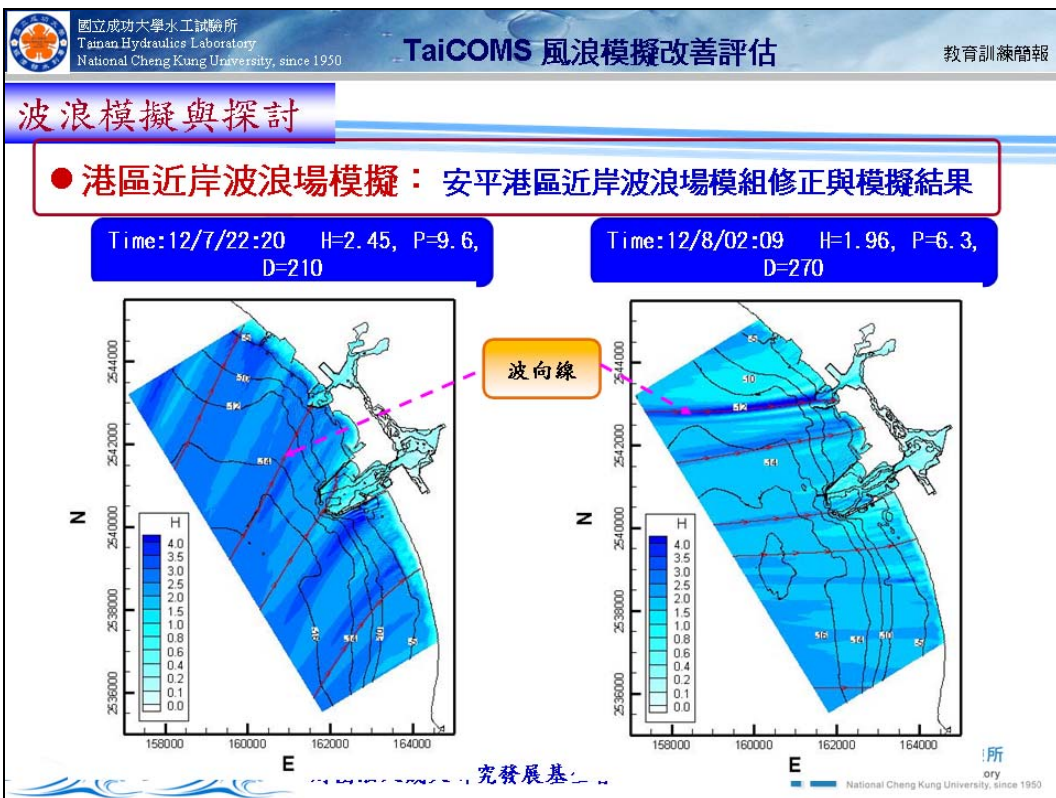




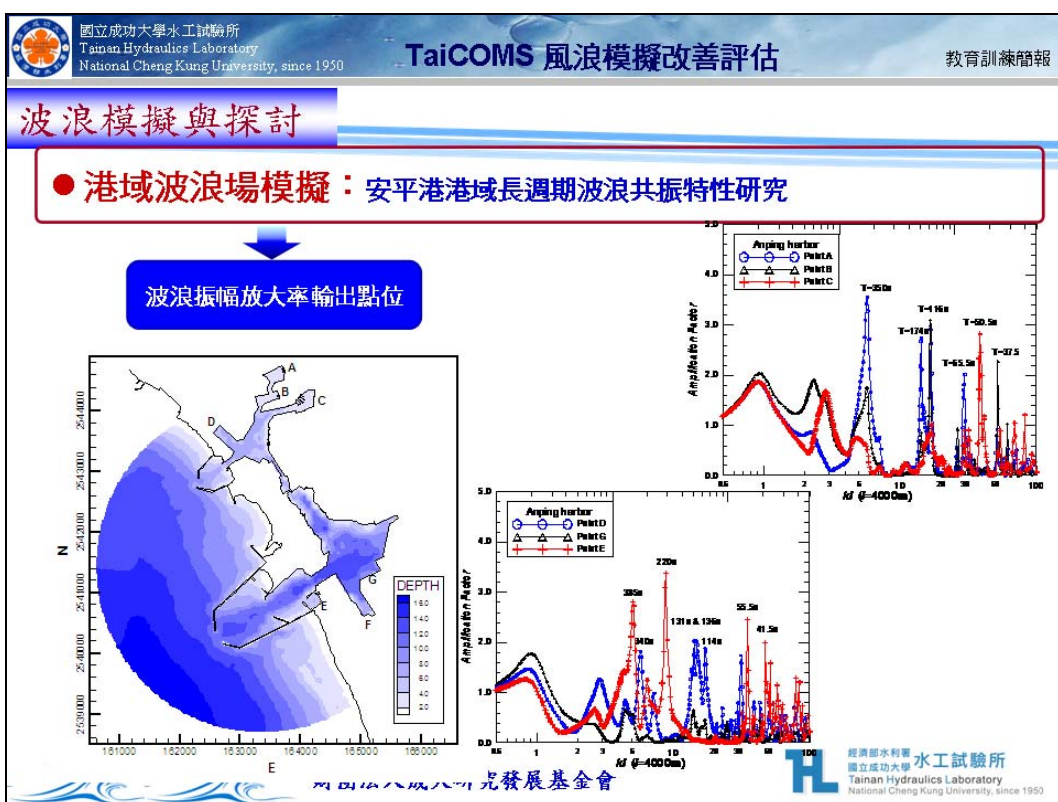
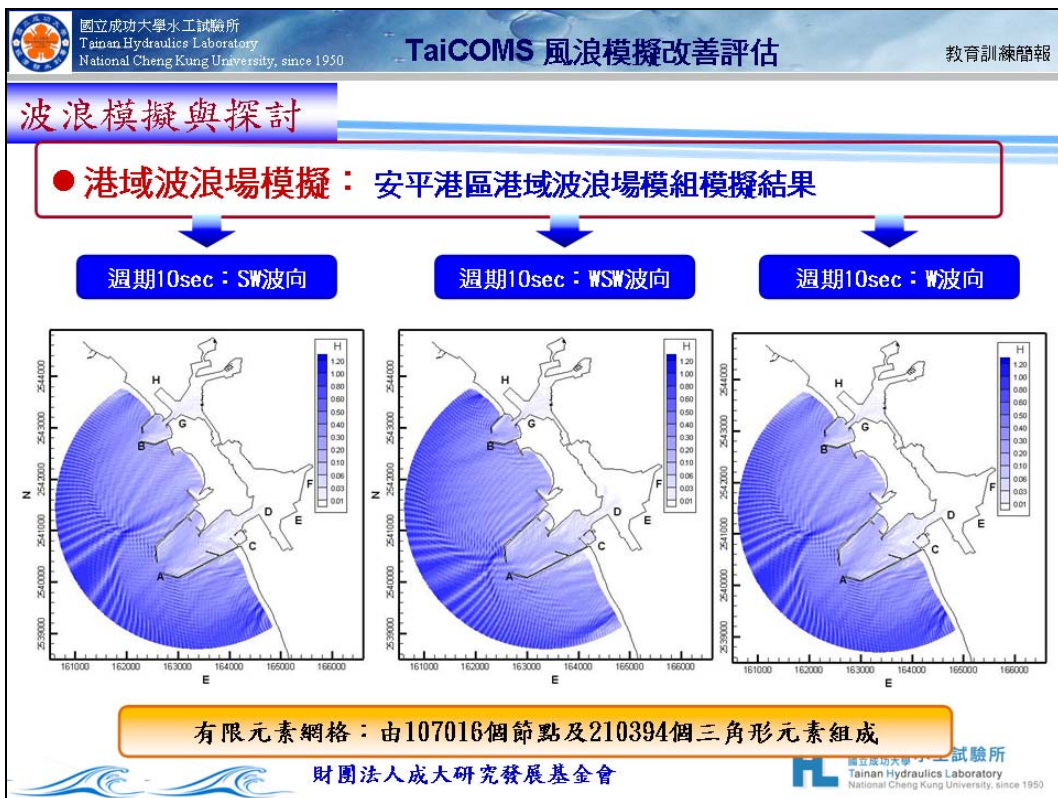


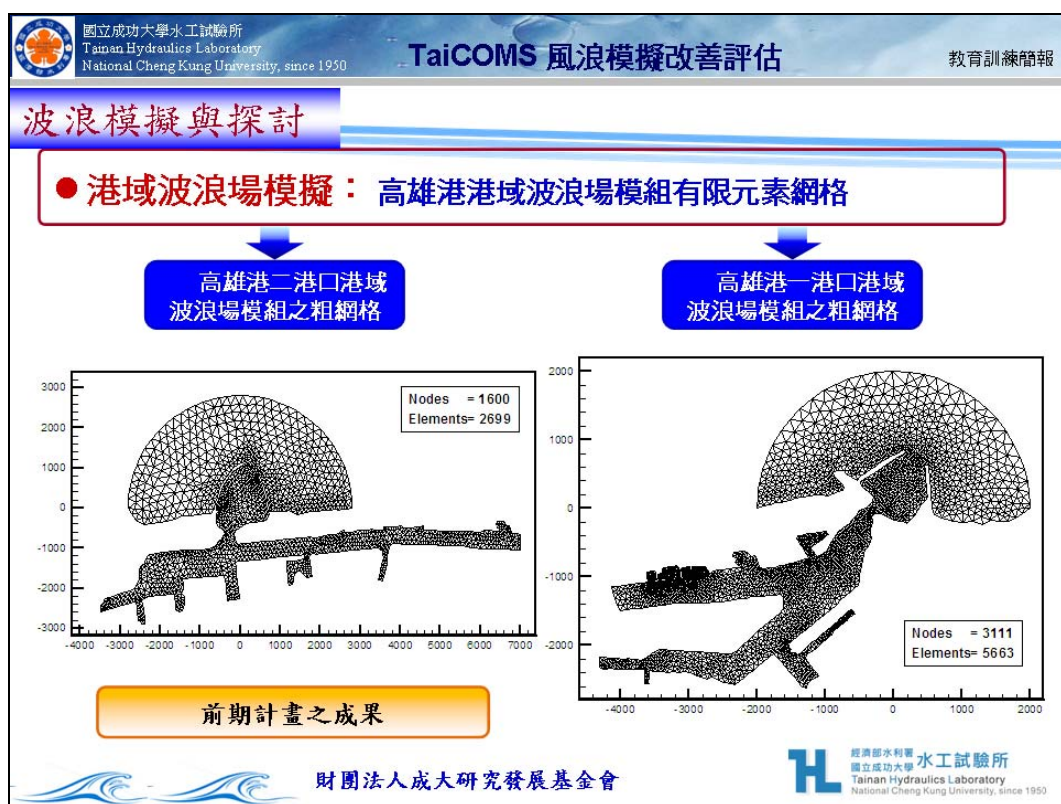
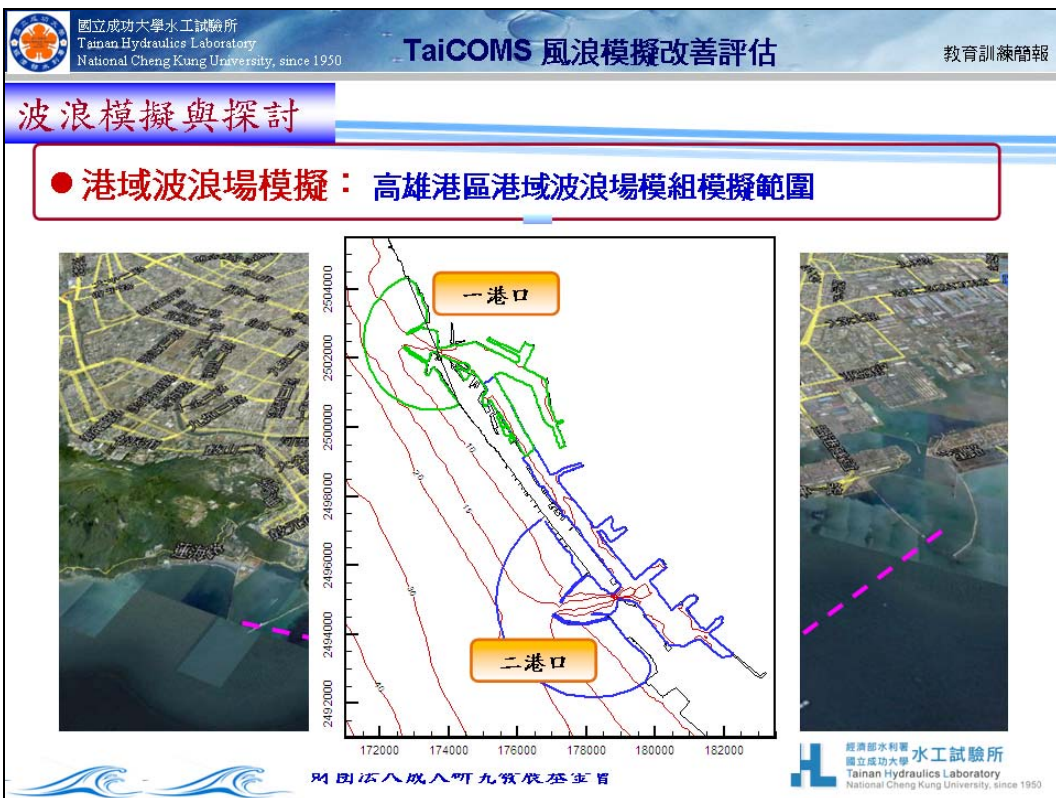




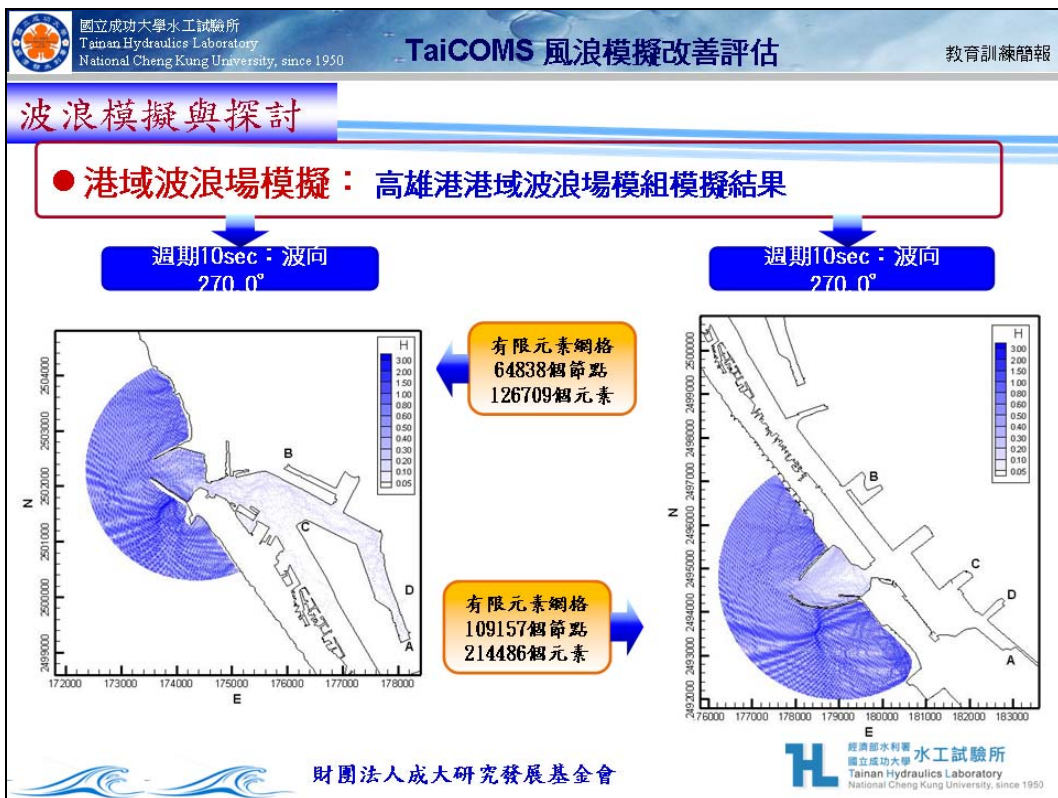




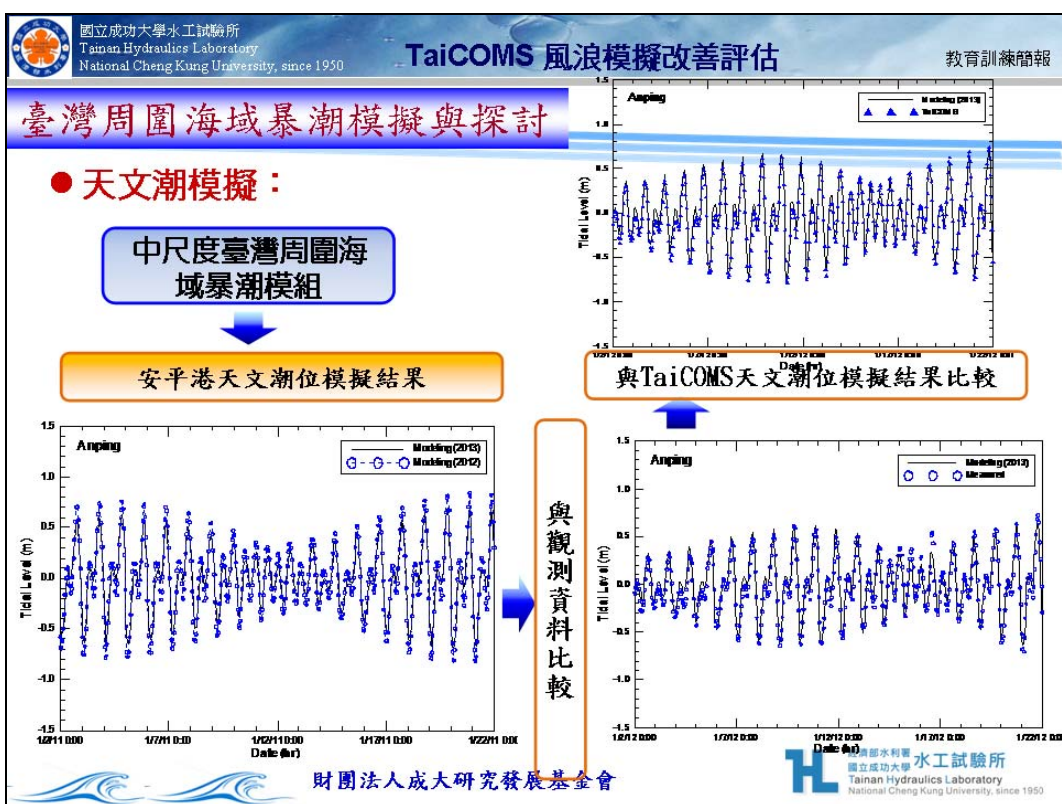
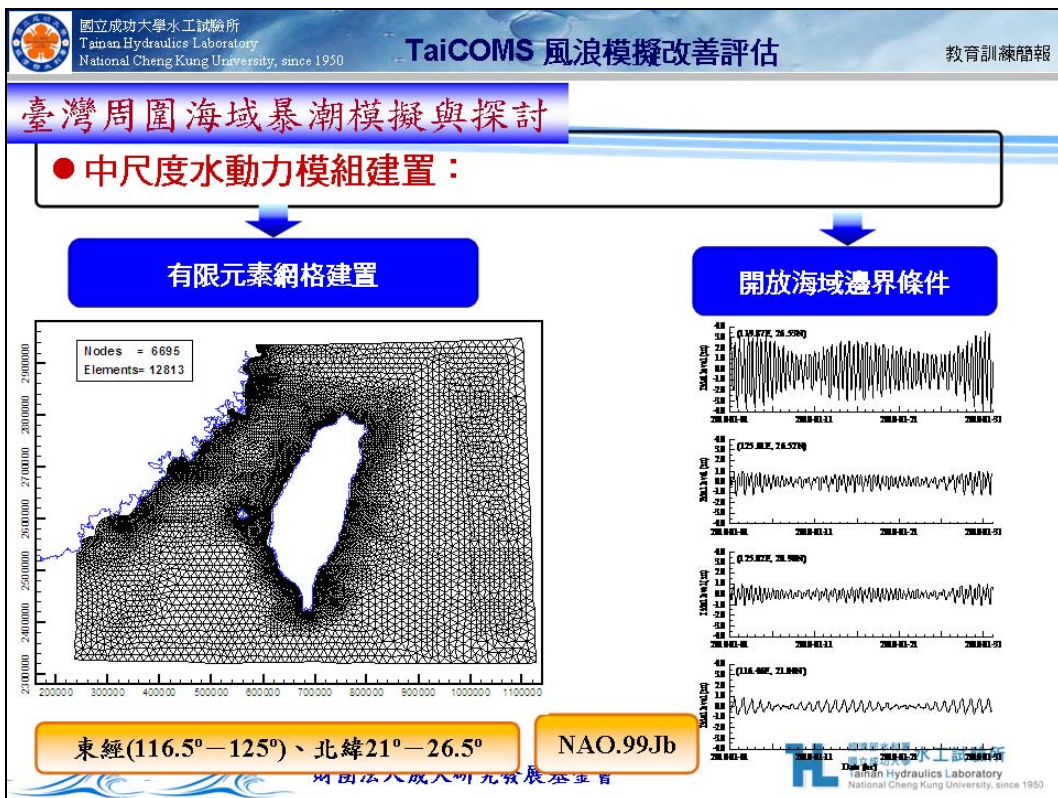


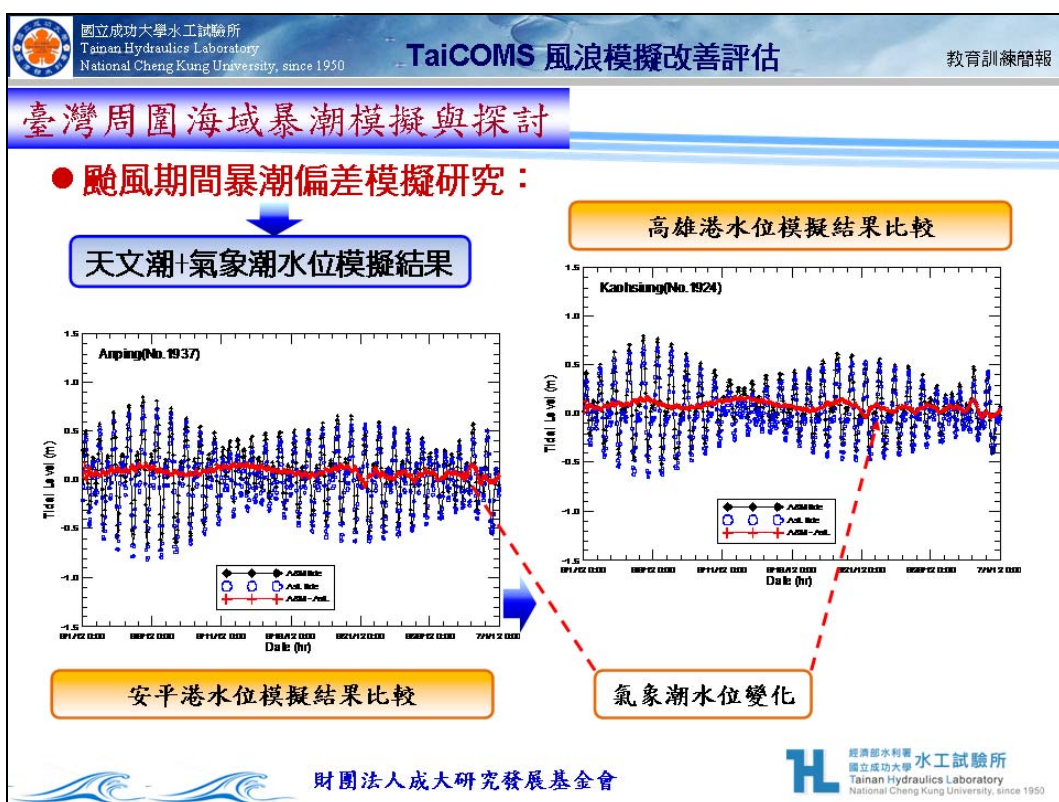
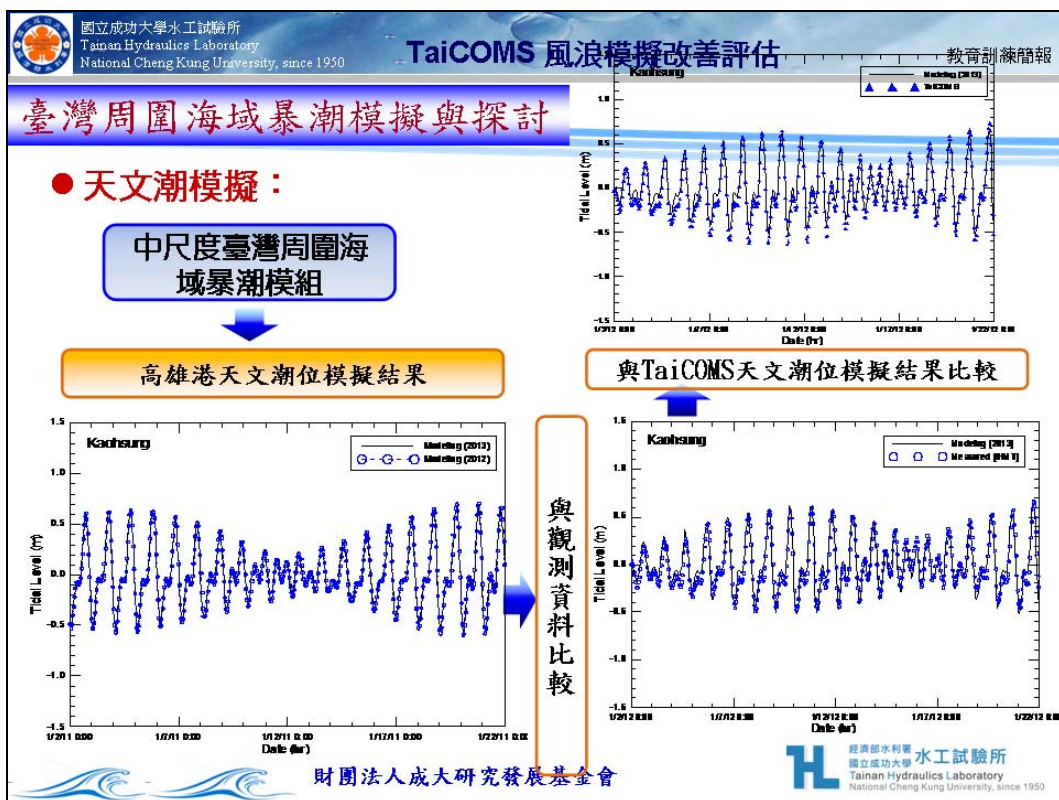




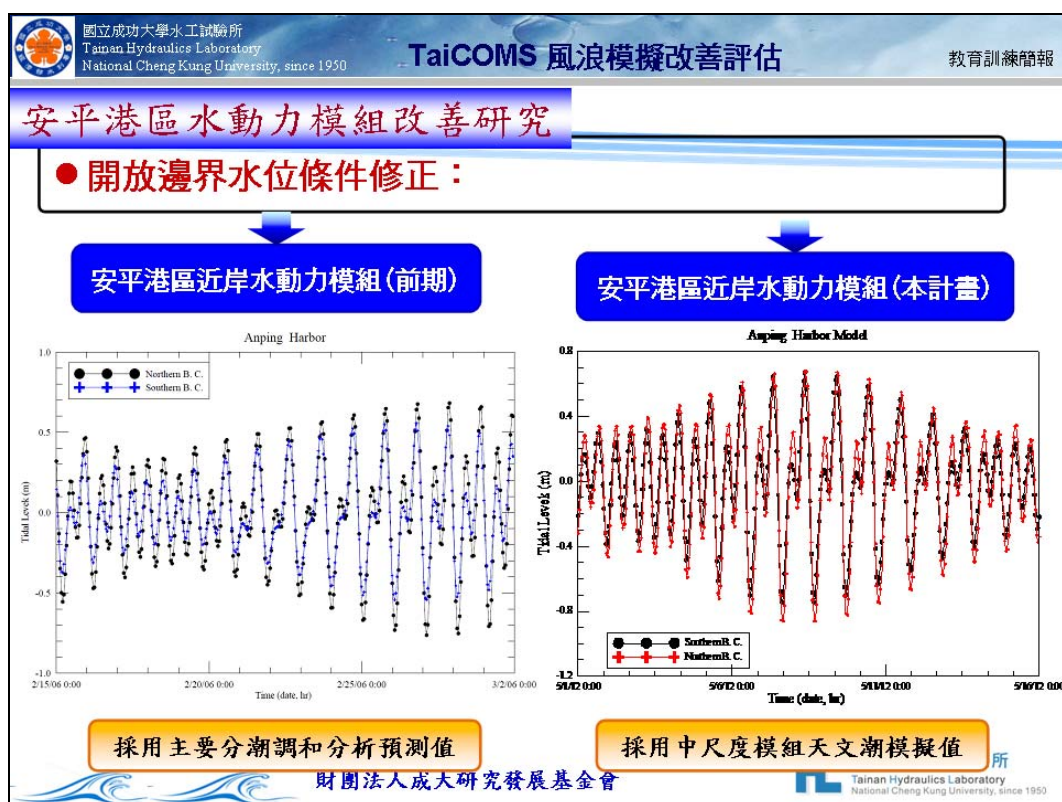
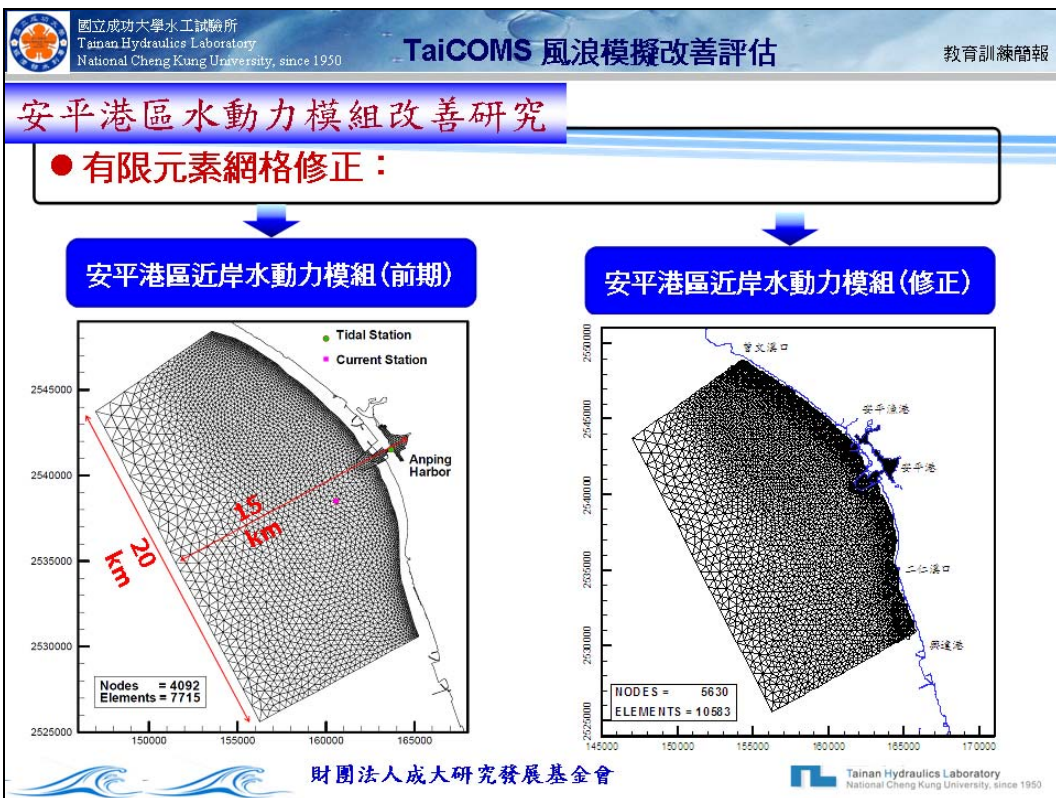


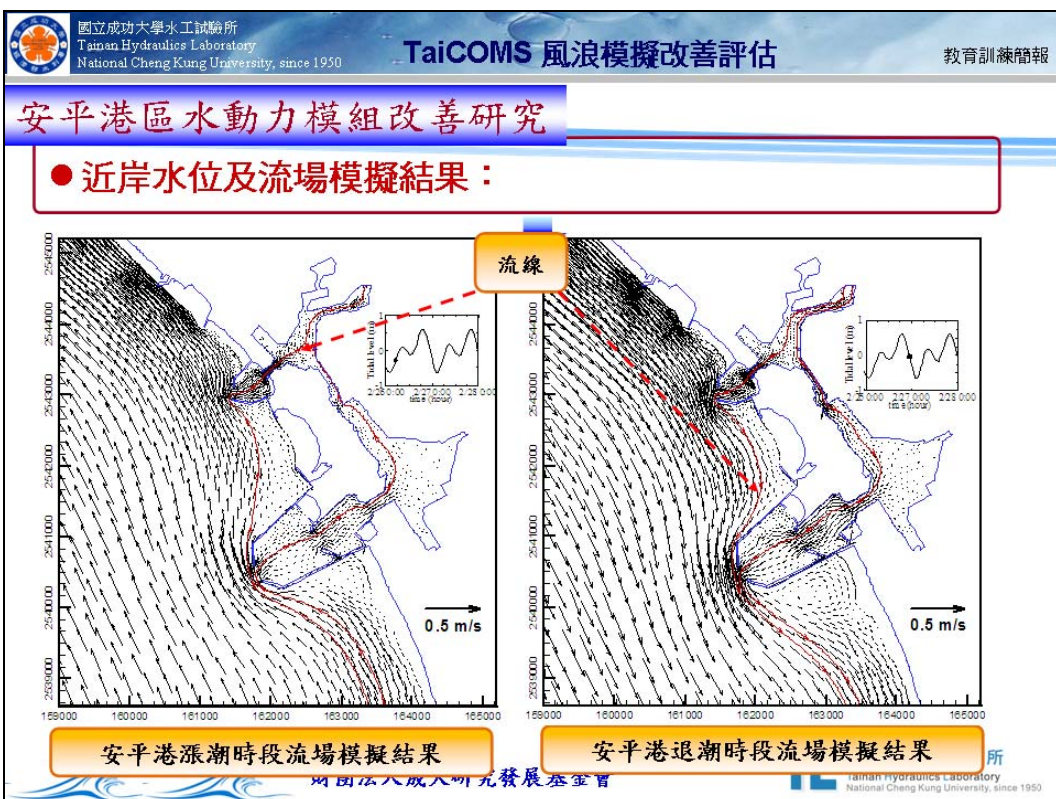
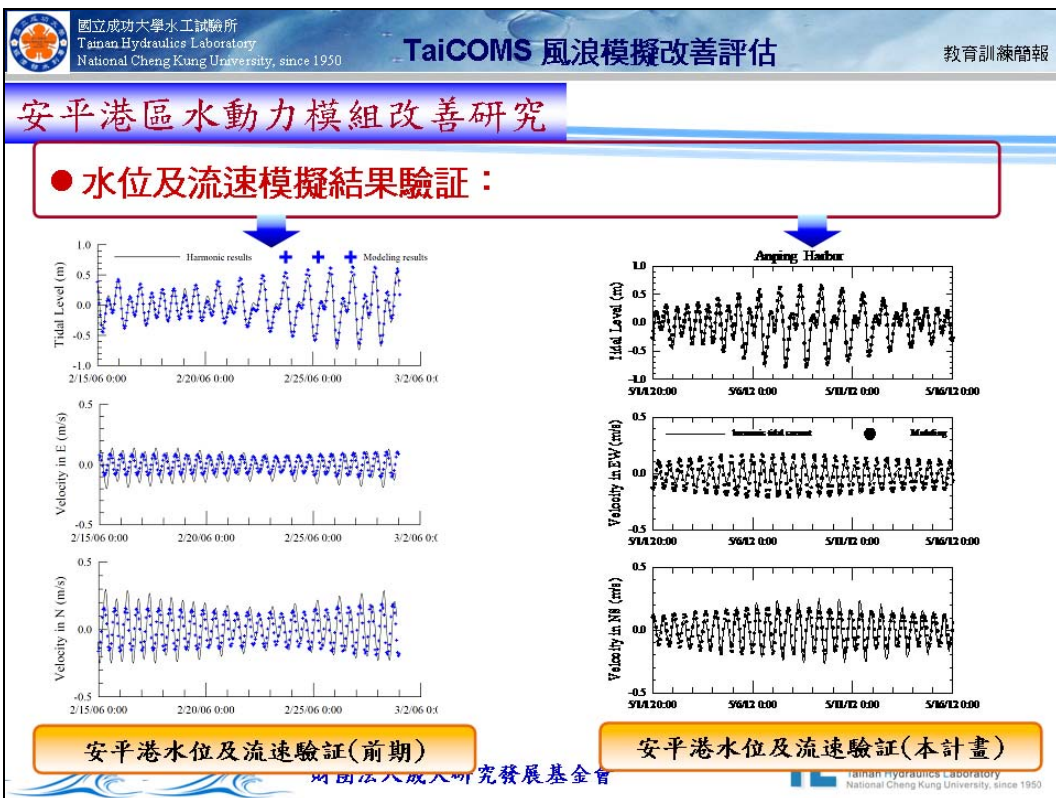




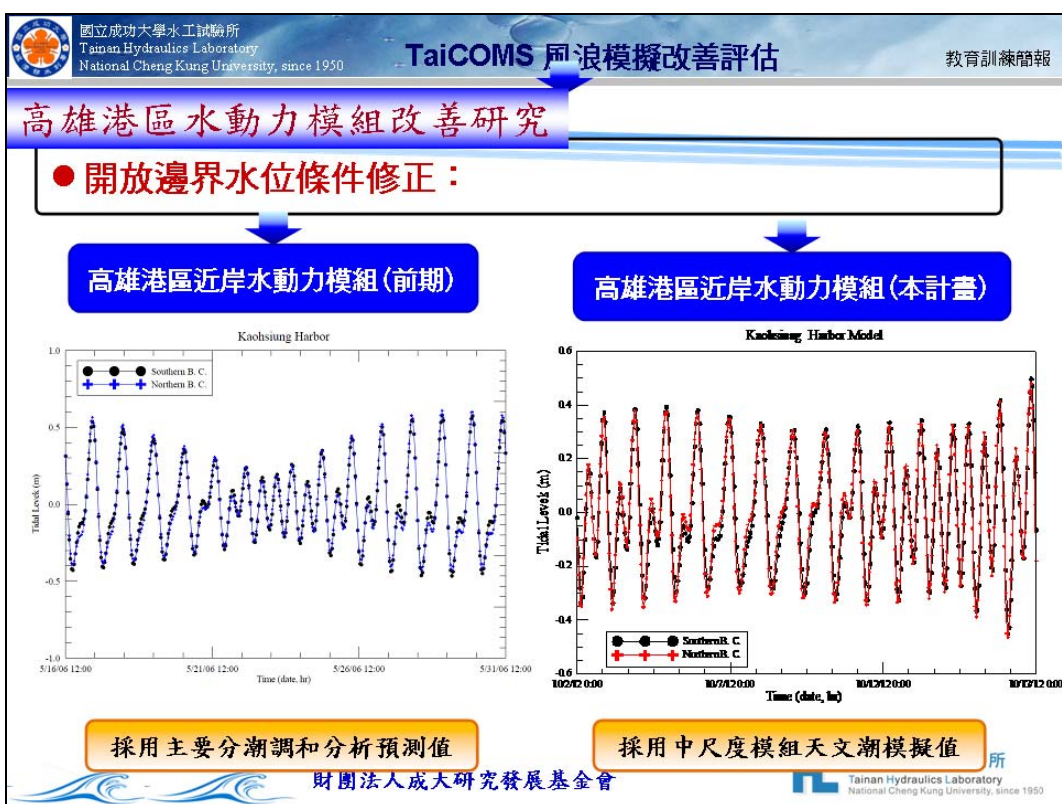
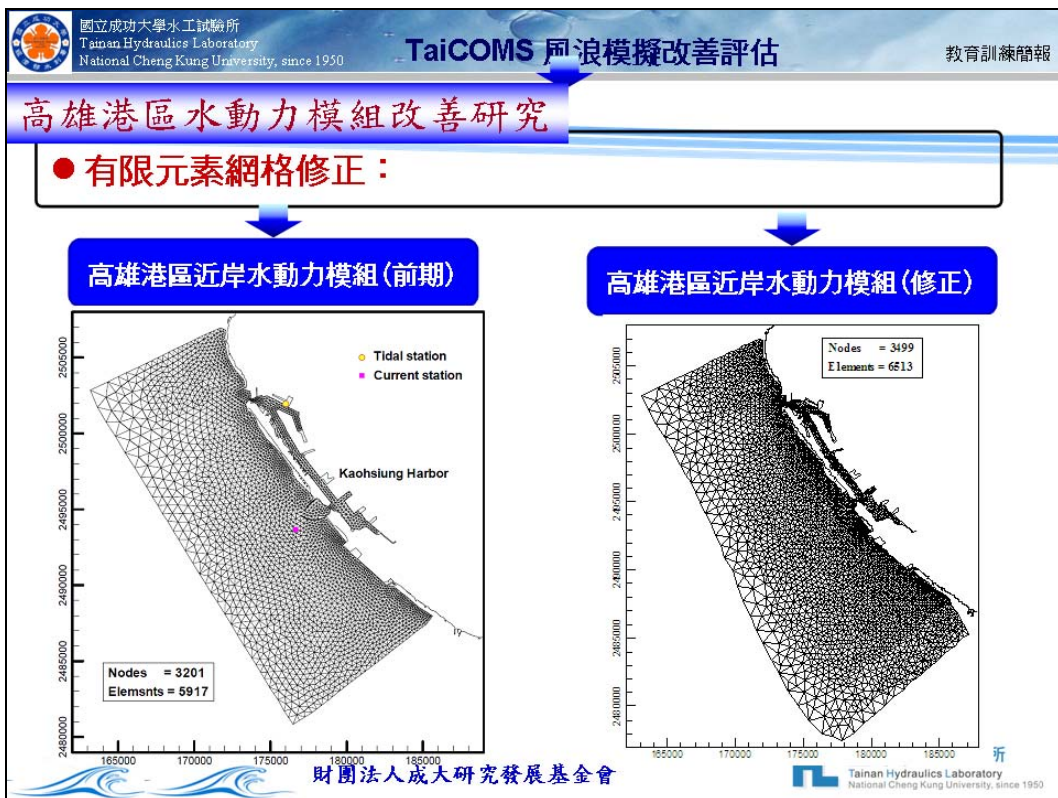


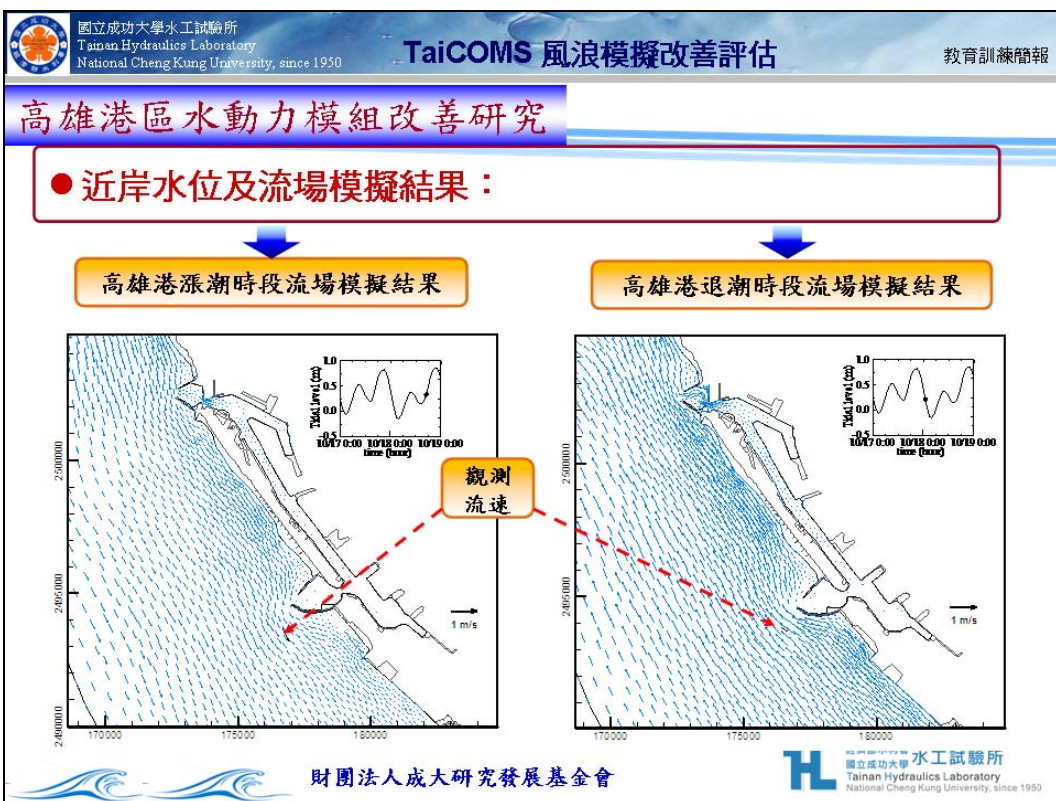
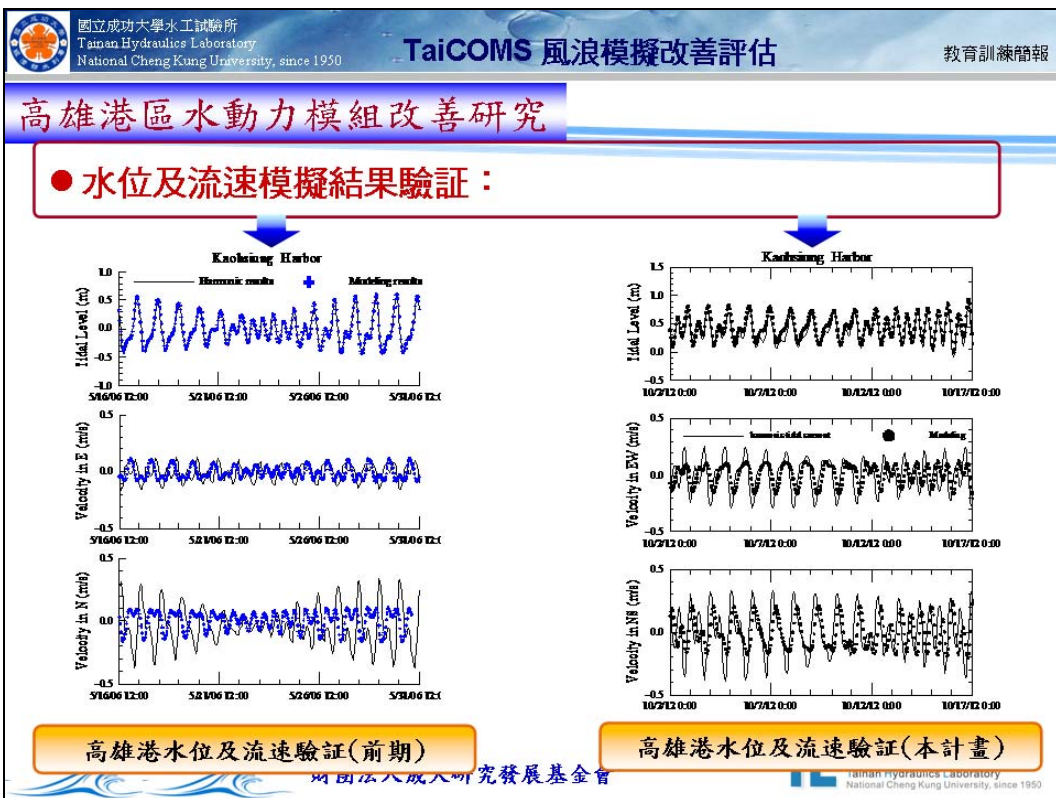




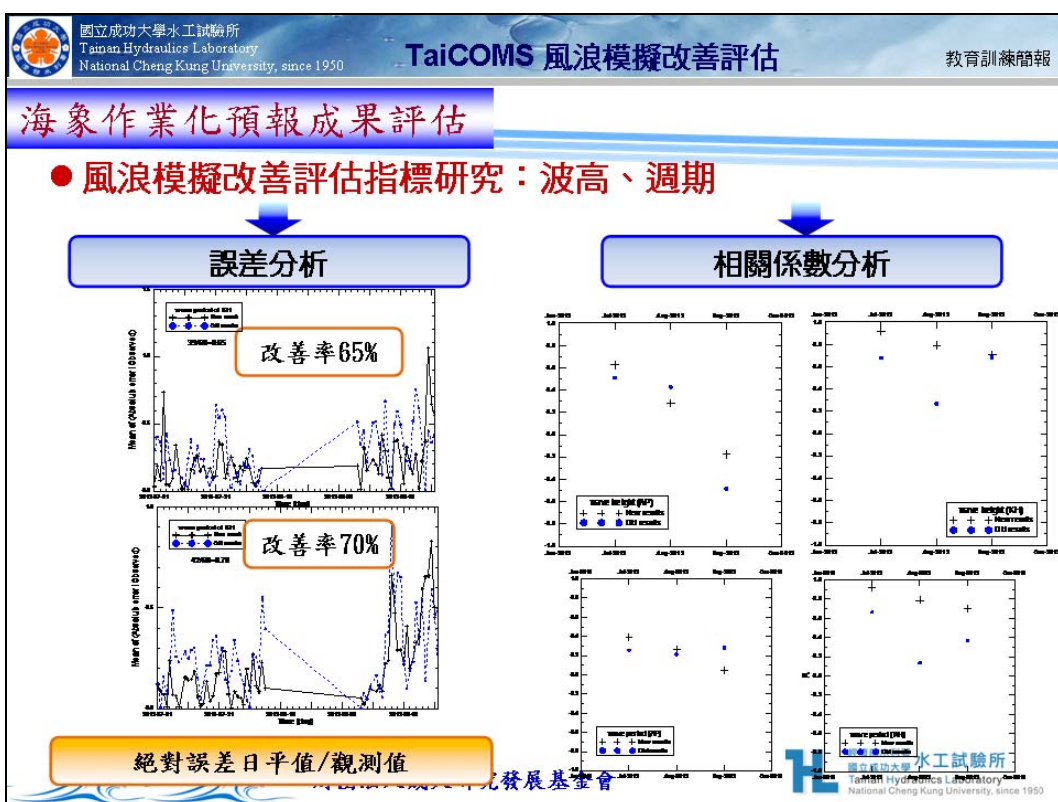


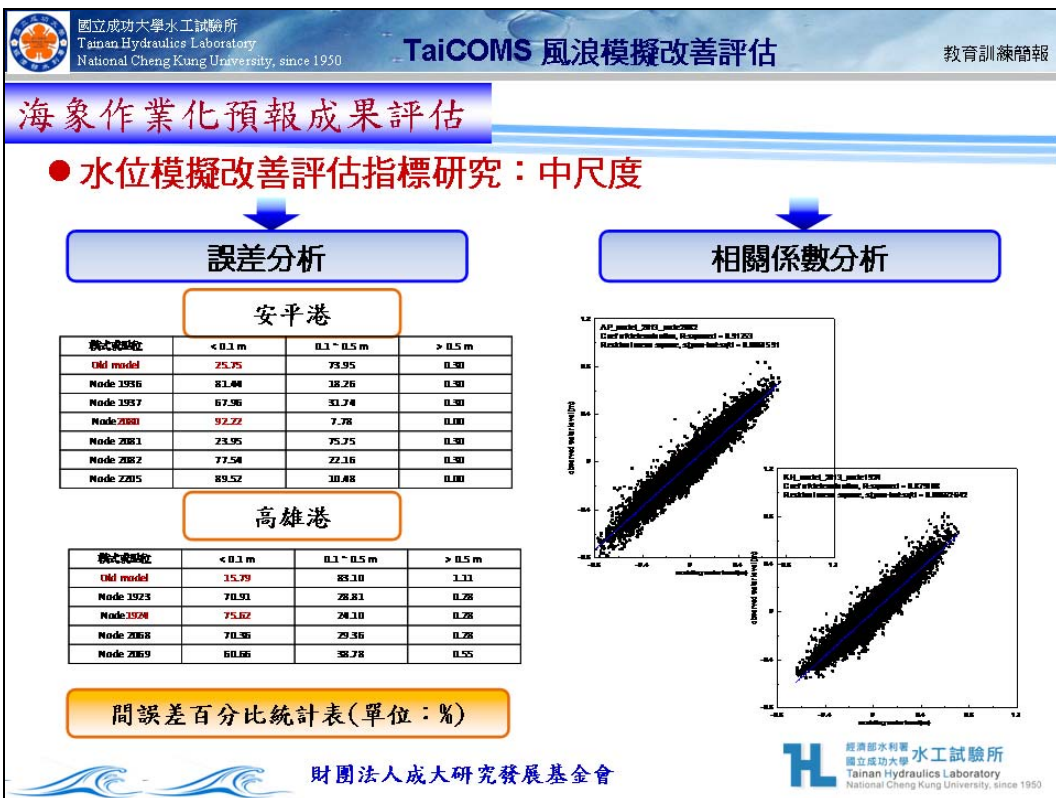












國立成功大學水工試驗所  
Tainan Hydraulics Laboratory  
National Cheng Kung University, since 1950

TaiCOMS 風浪模擬改善評估

教育訓練簡報

## 結語

本年度為「提昇海岸及港灣海域海象模擬技術之研究」  
二年期合作計畫之第一年

- 在風浪作業化模擬方面，本計畫大尺度西太平洋範圍風浪模組具體改善內容包括：
  1. 修正作業化模擬流程；
  2. 模擬技術成果包括風場資料更新(如以MC風場取代RC風場)以及風浪模擬結果呈現均有實質改善成效；
  3. 風浪模擬資訊增加布袋港及澎湖、金門及馬祖等離島海域風浪模擬資訊至港灣資訊網供外界查詢。
- 在作業化系統之數值預報風壓場資料方面，除了持續接收NFS風壓場資料外，亦同時接收WRF風壓場資料進行作業化系統數值預報風壓場資料更新相關研究工作。

財團法人成大研究發展基金會

經濟部水利署 水工試驗所  
國立成功大學 Tainan Hydraulics Laboratory  
National Cheng Kung University, since 1950



## 結語

- 臺灣周圍海域暴潮模組建置研究方面，分別針對天文潮引起的水位變化及含氣象潮效應之天文潮水位變化進行模擬結果驗證與分析。
- 在港域小尺度及細尺度波浪模擬研究上，針對安平港細尺度波浪模組進行改善研究，使其能符合現況同時模擬安平港與安平漁港水域之波浪場；針對高雄港一港口水域建置細尺度港域波浪模組模擬一港口港域波浪場；
- 小尺度網格水動力模組研究上，分別針對安平港區及高雄港區近岸水動力模組主要的物理參數更新率定值；開放邊界之水位資料改採用中尺度有限元素網格天文潮水位模擬結果。驗證結果得知，安平港小尺度近岸水位及流場模擬結果具有顯著改善成效，但高雄港小尺度近岸水位及流場模擬結果則改善成效有限。

財團法人成大研究發展基金會

經濟部水利署 水工試驗所  
國立成功大學 Tainan Hydraulics Laboratory  
National Cheng Kung University, since 1950



# 簡報完畢 敬請指教



經濟部水利署 水工試驗所  
國立成功大學 Tainan Hydraulics Laboratory  
National Cheng Kung University, since 1950