97-30-7317
MOTC-IOT-96-H3DB001

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
中華民國 97 年 3 月

97-30-7317
MOTC-IOT-96-H3DB001

近岸海象數值模擬及預警系統之建立(1/4)

著 者：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

交通部運輸研究所
中華民國 97 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目資料

近岸海象數值模擬及預警系統之建立. (1/4) /
李忠潘等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部
運研所, 民97.03
面 ； 公分
參考書目:面
ISBN 978-986-01-3829-0(平裝)

1. 海洋氣象 2. 數值分析 3. 自動化

444.94029 97006300

近岸海象數值模擬及預警系統之建立(1/4)

著　　者：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
出版機關：交通部運輸研究所
地　　址：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 97 年 3 月
印 刷 者：承亞興企業有限公司
版(刷)次冊數：初版一刷 110 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所網站
定　　價：500　元
展 售 處：
交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880
五南文化廣場：臺中市中山路 6 號 • 電話：(04)22260330

GPN：1009700784　　ISBN：978-986-01-3829-0 （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

<table>
<tr><td colspan="4">出版品名稱：近岸海象數值模擬及預警系統之建立(1/4)</td></tr>
<tr><td>國際標準書號（或叢刊號）
ISBN 978-986-01-3829-0 (平裝)</td><td>政府出版品統一編號
1009700784</td><td>運輸研究所出版品編號
97-30-7317</td><td>計畫編號
96-H3DB001</td></tr>
<tr><td>本所主辦單位：港研中心
主管：邱永芳
計畫主持人：邱永芳、蘇青和
研究人員：陳明宗、李俊穎
參與人員：錢爾潔、陳正義
聯絡電話：04-26587135
傳真號碼：04-26571329</td><td colspan="2">合作研究單位：國立中山大學
計畫主持人：李忠潘
協同主持人：陳陽益、劉正琪、于嘉順
林炤圭、張憲國、薛憲文
王兆璋
地址：高雄市鼓山區蓮海路 70 號
聯絡電話：07-5252000-5067</td><td>研究期間
自 96 年 2 月
至 96 年 12 月</td></tr>
<tr><td colspan="4">關鍵詞：近岸海象數值模擬及預警系統；波浪模式；水動力模式</td></tr>
<tr><td colspan="4">摘要：

為保護和利用近岸海域，邁向21世紀的海洋國家，除近岸海域的使用外，應著重百姓生命財產的保護，以補往昔之不足。由於全球環境變遷，藉由過去觀測的資料加以統計分析所得的結果已不足為憑，各項迴歸週期之設計基準也將不足以應付新的自然條件所加諸之嚴酷挑戰。因此，近岸防救災系統的建立是在21世紀配合臺灣要邁向海洋國家最重要的施政項目之一。
本研究屬交通部運輸研究所「臺灣近岸防救災預警系統技術與作業化之研究」計畫規劃四年合作研究計畫之第一年，主要工作有以下幾項：
1.七港區及附近海域模擬上線。2.七港區作業化預報操作及成果評估。3.風、浪、潮及流長期模擬。4.設計參數推估。5.波浪相關模式。6.波浪資料同化。7.建立近岸防救災預報展示資訊系統。8.網站資料更新維護與技術之轉移。

本年度本研究執行完成後，可得到以下的成果：
1. 本土化波浪、水位、流場及污染擴散數值模式，可提供環島海域及港區之波場、水位場、流場及污染擴散計算。
2. 整合性近岸防救災預報系統:包括風壓預報系統、波浪預報系統、水位預報系統、流場預報系統、汙染擴散預警系統等 5 個系統。
3. 年度侵臺颱風期及典型季風期之風場、氣壓、波浪、水位及海流模擬預報及檢驗成果評估。
4. 整合臺灣環島海岸觀測水位資料，及數值模擬結果，迅速且經確的提供海岸溢淹之預警資訊。
5. 區域性之風浪模式及流場模式，迅速的提供港口航運安全所需之風浪、流場等預警資訊。
6. 油污擴散數值模式，以能訊速正確掌控海岸油污染擴散現象，以供環境災害防護措施之使用。</td></tr>
<tr><td>出版日期</td><td>頁數</td><td>定價</td><td>本 出 版 品 取 得 方 式</td></tr>
<tr><td>97 年 3 月</td><td>532</td><td>500</td><td>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。</td></tr>
<tr><td colspan="4">機密等級：
□密□機密 □極機密 □絕對機密
（解密條件：□ 年 月 日解密，□公布後解密，□附件抽存後解密，
□工作完成或會議終了時解密，□另行檢討後辦理解密）
■普通</td></tr>
<tr><td colspan="4">備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。</td></tr>
</table>

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

TITLE: Construction of Taiwan Coastal Ocean Modeling and Prediction System (1/4)

ISBN (OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
ISBN978-986-01-3829-0 (pbk)	1009700784	97-30-7317	96-H3DB001

DIVISION: Harbor & Marine Technology Center
DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang
PRINCIPAL INVESTIGATOR: ChiuYung-fang, Su Ching-ho
PROJECT STAFF: Ming-tzong Chen, Er-jier Chien, Cheng-yi Chen
PHONE: (04) 26587135
FAX: (04) 26571329

PROJECT PERIOD
FROM February 2007
TO December 2007

RESEARCH AGENCY: NATIONAL TAIWAN OCEAN UNIVERSITY
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Lee Chung-Pan
PROJECT STAFF: Chen Yang-yih、Lin Jaw-guei, Liu, C. C., Yu, C. S., Chang Hsien-kuo, Wang Chau-chang, Shyue Shiahn-wern
ADDRESS: National Sun Yat-sen University, 70 Lien-hai Rd. Kaohsiung, Taiwan, R.O.C
PHONE: (07) 5252000-5067

KEY WORDS:
Taiwan coastal ocean modeling and prediction, Wave models, Hydrodynamic models

ABSTRACT:

In order to protect and maximize the applications of the coastal area for stepping into the 21st century as a marine nation, we not only utilize the coastal area but also require measures to protect human lives and properties along the coast. The designing work based on statistical analysis of historical data is no more sufficient due to the global climate changes. The return periods analyzed for various constructions are not suitable for the crucial conditions recently faced in the world. Therefore, the establishment of a coastal defense and rescue system is the top priority of the national policy for Taiwan to become a 21st century ocean nation.

This project is part of a four-year program entitled "Researches on Taiwan Coastal Defense and Rescue Operational Systems", under IOTR, Ministry of Infrastructures. The major tasks for the first year are as follows:

1. On-line operations of the models of the 7 major harbor areas.
2. Evaluations of the on-line operations.
3. Long-term simulations of winds, waves, tides and tidal currents.
4. Estimation of the design parameters.
5. Developments of wave correlation models for the 7 harbors.
6. Developments on the data assimilations techniques for the wave models.
7. Establishment of coastal defense on-line information system.
8. Maintenance of the web pages and technology transfer.

Estimated results will be obtained as follows:

1. Localization of modeling techniques on waves, tides, currents and dispersions.
2. Integration of the defense system including wind predictions, wave and tide forecast systems, and dispersion simulation system.
3. Evaluation of the operations during this year's typhoon periods.
4. Integration of the observations and the model predictions for the use of a flood warning system.
5. Providing wave and tide information for the navigations of the 7 harbors.
6. Oil spill predictions can offer quick and precise information for the necessary risk response system.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
March 2008	532	500	☐RESTRICTED ☐CONFIDENTIAL ☐SECRET ☐TOP SECRET ■UNCLASSIFIED

The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.

近岸海象數值模擬及預警系統之建立（1/4）

目　錄

中文摘要..... Ⅰ

英文摘要..... Ⅱ

目錄..... Ⅲ

表目錄..... Ⅴ

圖目錄..... Ⅶ

第一章　計畫背景..... 1-1

1.1　背景分析..... 1-1

1.1.1　計畫源起..... 1-1

1.1.2　各國近海預報系統評估..... 1-3

1.1.3　未來發展..... 1-9

1.2　研究工作內容..... 1-10

1.3　預期成果..... 1-13

第二章 港區作業化預報操作及成果評估..... 2-1

2.1　作業化預報操作說明..... 2-1

2.2　水位模式成果評估..... 2-4

2.3　波浪模式成果評估..... 2-28

2.4　海流模式成果評估..... 2-106

2.5　風速模式成果評估..... 2-145

第三章　近岸海域及港區海象模擬..... 3-1

3.1　港區周圍及港內流場..... 3-1

3.2　港區周圍及港內波浪..... 3-17

3.3 波浪相關模式 3-65
3.4 類神經季風及颱風波浪模式 3-69
第四章 長期模擬結果分析 4-1
4.1 水位及海流模擬結果分析 4-1
4.2 波浪模擬結果分析 4-7
第五章 港區設計參數推估 5-1
5.1 設計水位 5-1
5.2 設計波高 5-2
第六章 油污染擴散模式 6-1
第七章 波浪資料同化 7-1
第八章 更新防救災預報網站 8-1
第九章 結論與建議 9-1
第十章 參考文獻 參-1
附錄1 WAM模式之流程圖與設定參數 附1-1
附錄2 SWAN模式之流程圖與設定參數 附2-1
附錄3 西太平洋及台灣海域水位及海流模式 附3-1
附錄4 期中報告審查意見處理情形表 附4-1
附錄5 期末報告審查意見處理情形表 附5-1
附錄6 期末簡報 附6-1

表目錄

表2-2-1 第一季實測水位與西太平洋模式水位r.m.s值計算.....2-5
表2-2-2 第二季實測水位與模式水位r.m.s值計算.....2-5
表2-2-3 第三季實測水位與模式水位r.m.s值計算.....2-5
表2-2-4 第四季實測水位與臺灣海域模式水位r.m.s值計算.....2-5
表2-2-5 第一季各月份實測水位資料筆數統計.....2-6
表2-2-6 第二季各月份實測水位資料筆數統計.....2-6
表2-2-7 第三季各月份實測水位資料筆數統計.....2-7
表2-2-8 第四季各月份實測水位資料筆數統計.....2-7
表2-3-1 波高實測資料與模式r.m.s值計算(單位：公尺).....2-30
表2-3-2 週期實測資料與模式r.m.s值計算(單位：秒).....2-31
表2-3-3 第一季各月份實測波浪資料筆數統計.....2-32
表2-3-4 第二季各月份實測波浪資料筆數統計.....2-32
表2-3-5 第三季各月份實測波浪資料筆數統計.....2-33
表2-3-6 第四季各月份實測波浪資料筆數統計.....2-33
表2-4-1 第一季各月份實測流速資料筆數統計.....2-107
表2-4-2 第二季各月份實測流速資料筆數統計.....2-107
表2-4-3 第三季各月份實測流速資料筆數統計.....2-108
表2-4-4 第四季各月份實測流速資料筆數統計.....2-108
表2-5-1 第一季實測風速與模式風速r.m.s值計算(單位：公尺/秒).....2-147
表2-5-2 第二季實測風速與模式風速r.m.s值計算(單位：公尺/秒).....2-147
表2-5-3 第三季實測風速與模式風速r.m.s值計算(單位：公尺/秒).....2-148
表2-5-4 第四季實測風速與模式風速r.m.s值計算(單位：公尺/秒).....2-148
表2-5-5 第一季各月份實測風速資料筆數統計.....2-149
表2-5-6 第二季各月份實測風速資料筆數統計.....2-149
表2-5-7 第三季各月份實測風速資料筆數統計.....2-150
表2-5-8 第四季各月份實測風速資料筆數統計.....2-150
表3-2-1 近岸區域波浪模式數值計算網格資料.....3-26
表3-4-1 花蓮WNAF學習過程之模糊規則輸出表.....3-77
表3-4-2 台中WNAF學習過程之模糊規則輸出表.....3-78
表3-4-3 WANF模式於花蓮及台中之學習及預測比較表.....3-81
表4-1 各測站2005及2006年r.m.s.值統計(公尺).....4-1

表4-2 安平港海流調和分析結果 4-5
表4-3 花蓮港海流調和分析結果 4-6
表4-4 高雄港海流調和分析結果 4-6
表4-5 基隆港海流調和分析結果 4-7
表4-6 蘇澳港海流調和分析結果 4-7
表4-7 台中港海流調和分析結果 4-8
表4-8 台北港海流調和分析結果 4-8
表4-2-1 計算用硬體設備 4-9
表4-2-2 基隆港WAM模式與SWAN模式模擬結果統計 4-13
表4-2-3 台北港WAM模式與SWAN模式模擬結果統計 4-14
表4-2-4 蘇澳港WAM模式與SWAN模式模擬結果統計 4-15
表4-2-5 台中港WAM模式與SWAN模式模擬結果統計 4-16
表4-2-6 花蓮港WAM模式與SWAN模式模擬結果統計 4-17
表4-2-7 安平港WAM模式與SWAN模式模擬結果統計 4-18
表4-2-8 高雄港WAM模式與SWAN模式模擬結果統計 4-19
表5-1-1 各港區模擬期間極值水位統計 5-2
表5-2.1 2005年全年WAM與SWAN模式示性波高推算結果統計值 5-4
表5-2.2 2006年全年WAM與SWAN模式示性波高推算結果統計值 5-5
表8-2-1 地理資訊展示系統優劣表 8-23

圖目錄

圖2-1-1 近岸海象數值模擬及預警系統線上作業流程.....2-3
圖2-1-2 近岸海象數值模擬及預警系統每日線上作業範例.....2-3
圖2-1-3 近岸海象數值模擬及預警系統線上作業成果評估流程.....2-3
圖2-2-1 花蓮港2006年12月西太平洋模式與實測水位比對結果.....2-8
圖2-2-2 基隆港2006年12月西太平洋模式與實測水位比對結果.....2-8
圖2-2-3 高雄港2006年12月西太平洋模式與實測水位比對結果.....2-8
圖2-2-4 蘇澳港2006年12月西太平洋模式與實測水位比對結果.....2-9
圖2-2-5 台中港2006年12月西太平洋模式與實測水位比對結果.....2-9
圖2-2-6 花蓮港2007年1月西太平洋模式與實測水位比對結果.....2-9
圖2-2-7 基隆港2007年1月西太平洋模式與實測水位比對結果.....2-10
圖2-2-8 高雄港2007年1月西太平洋模式與實測水位比對結果.....2-10
圖2-2-9 蘇澳港2007年1月西太平洋模式與實測水位比對結果.....2-10
圖2-2-10 台中港2007年1月西太平洋模式與實測水位比對結果.....2-11
圖2-2-11 花蓮港2007年2月西太平洋模式與實測水位比對結果.....2-11
圖2-2-12 基隆港2007年2月西太平洋模式與實測水位比對結果.....2-11
圖2-2-13 高雄港2007年2月西太平洋模式與實測水位比對結果.....2-12
圖2-2-14 蘇澳港2007年2月西太平洋模式與實測水位比對結果.....2-12
圖2-2-15 台中港2007年2月西太平洋模式與實測水位比對結果.....2-12
圖2-2-16 花蓮港2007年3月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-13
圖2-2-17 基隆港2007年3月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-13
圖2-2-18 高雄港2007年3月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-13
圖2-2-19 蘇澳港2007年3月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-14
圖2-2-20 台中港2007年3月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-14
圖2-2-21 花蓮港2007年4月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-14
圖2-2-22 基隆港2007年4月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-15
圖2-2-23 高雄港2007年4月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-15
圖2-2-24 蘇澳港2007年4月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-15
圖2-2-25 台中港2007年4月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-16
圖2-2-26 花蓮港2007年5月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-16
圖2-2-27 基隆港2007年5月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-16
圖2-2-28 高雄港2007年5月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-17

圖2-2-29 蘇澳港2007年5月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-17
圖2-2-30 台中港2007年5月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-17
圖2-2-31 花蓮港2007年6月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-18
圖2-2-32 基隆港2007年6月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-18
圖2-2-33 高雄港2007年6月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-18
圖2-2-34 蘇澳港2007年6月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-19
圖2-2-35 台中港2007年6月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-19
圖2-2-36 花蓮港2007年7月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-19
圖2-2-37 基隆港2007年7月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-20
圖2-2-38 高雄港2007年7月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-20
圖2-2-39 蘇澳港2007年7月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-20
圖2-2-40 台中港2007年7月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-21
圖2-2-41 花蓮港2007年8月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-21
圖2-2-42 基隆港2007年8月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-21
圖2-2-43 高雄港2007年8月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-22
圖2-2-44 蘇澳港2007年8月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-22
圖2-2-45 台中港2007年8月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-22
圖2-2-46 花蓮港2007年9月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-23
圖2-2-47 基隆港2007年9月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-23
圖2-2-48 高雄港2007年9月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-23
圖2-2-49 蘇澳港2007年9月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-24
圖2-2-50 台中港2007年9月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-24
圖2-2-51 花蓮港2007年10月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-24
圖2-2-52 基隆港2007年10月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-25
圖2-2-53 高雄港2007年10月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-25
圖2-2-54 蘇澳港2007年10月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-25
圖2-2-55 台中港2007年10月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-26
圖2-2-56 花蓮港2007年11月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-26
圖2-2-57 基隆港2007年11月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-26
圖2-2-58 高雄港2007年11月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-27
圖2-2-59 蘇澳港2007年11月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-27
圖2-2-60 台中港2007年11月臺灣海域模式與實測水位比對結果.....2-27
圖2-3-1 安平港2006年12月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-34
圖2-3-2 花蓮港2006年12月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-35

圖2-3-3 基隆港2006年12月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-36
圖2-3-4 高雄港2006年12月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-37
圖2-3-5 蘇澳港2006年12月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-38
圖2-3-6 台中港2006年12月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-39
圖2-3-7 安平港2007年1月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-40
圖2-3-8 花蓮港2007年1月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-41
圖2-3-9 基隆港2007年1月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-42
圖2-3-10 高雄港2007年1月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-43
圖2-3-11 蘇澳港2007年1月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-44
圖2-3-12 台中港2007年1月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-45
圖2-3-13 安平港2007年2月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-46
圖2-3-14 花蓮港2007年2月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-47
圖2-3-15 基隆港2007年2月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-48
圖2-3-16 高雄港2007年2月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-49
圖2-3-17 蘇澳港2007年2月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-50
圖2-3-18 台中港2007年2月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-51
圖2-3-19 安平港2007年3月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-52
圖2-3-20 花蓮港2007年3月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-53
圖2-3-21 基隆港2007年3月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-54
圖2-3-22 高雄港2007年3月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-55
圖2-3-23 蘇澳港2007年3月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-56
圖2-3-24 台中港2007年3月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-57
圖2-3-25 安平港2007年4月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-58
圖2-3-26 花蓮港2007年4月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-59
圖2-3-27 基隆港2007年4月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-60
圖2-3-28 高雄港2007年4月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-61
圖2-3-29 蘇澳港2007年4月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-62
圖2-3-30 台中港2007年4月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-63
圖2-3-31 安平港2007年5月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-64
圖2-3-32 花蓮港2007年5月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-65
圖2-3-33 基隆港2007年5月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-66
圖2-3-34 高雄港2007年5月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-67
圖2-3-35 蘇澳港2007年5月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-68
圖2-3-36 台中港2007年5月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-69

圖2-3-37 安平港2007年6月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-70
圖2-3-38 花蓮港2007年6月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-71
圖2-3-39 基隆港2007年6月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-72
圖2-3-40 高雄港2007年6月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-73
圖2-3-41 蘇澳港2007年6月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-74
圖2-3-42 台中港2007年6月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-75
圖2-3-43 安平港2007年7月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-76
圖2-3-44 花蓮港2007年7月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-77
圖2-3-45 基隆港2007年7月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-78
圖2-3-46 高雄港2007年7月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-79
圖2-3-47 蘇澳港2007年7月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-80
圖2-3-48 台中港2007年7月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-81
圖2-3-49 安平港2007年8月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-82
圖2-3-50 花蓮港2007年8月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-83
圖2-3-51 基隆港2007年8月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-84
圖2-3-52 高雄港2007年8月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-85
圖2-3-53 蘇澳港2007年8月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-86
圖2-3-54 台中港2007年8月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-87
圖2-3-55 安平港2007年9月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-88
圖2-3-56 花蓮港2007年9月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-89
圖2-3-57 基隆港2007年9月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-90
圖2-3-58 高雄港2007年9月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-91
圖2-3-59 蘇澳港2007年9月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-92
圖2-3-60 台中港2007年9月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-93
圖2-3-61 安平港2007年10月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-94
圖2-3-62 花蓮港2007年10月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-95
圖2-3-63 基隆港2007年10月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-96
圖2-3-64 高雄港2007年10月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-97
圖2-3-65 蘇澳港2007年10月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-98
圖2-3-66 台中港2007年10月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-99
圖2-3-67 安平港2007年11月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-100
圖2-3-68 花蓮港2007年11月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-101
圖2-3-69 基隆港2007年11月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-102
圖2-3-70 高雄港2007年11月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-103

圖2-3-71 蘇澳港2007年11月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-104
圖2-3-72 台中港2007年11月WAM及SWAN模式與實測資料比對圖.....2-105
圖2-4-1 安平港2006年12月模式與實測資料比對圖.....2-109
圖2-4-2 花蓮港2006年12月模式與實測資料比對圖.....2-109
圖2-4-3 基隆港2006年12月模式與實測資料比對圖.....2-110
圖2-4-4 高雄港2006年12月模式與實測資料比對圖.....2-110
圖2-4-5 蘇澳港2006年12月模式與實測資料比對圖.....2-111
圖2-4-6 台中港2006年12月模式與實測資料比對圖.....2-111
圖2-4-7 安平港2007年1月模式與實測資料比對圖.....2-112
圖2-4-8 花蓮港2007年1月模式與實測資料比對圖.....2-112
圖2-4-9 基隆港2007年1月模式與實測資料比對圖.....2-113
圖2-4-10 高雄港2007年1月模式與實測資料比對圖.....2-113
圖2-4-11 蘇澳港2007年1月模式與實測資料比對圖.....2-114
圖2-4-12 台中港2007年1月模式與實測資料比對圖.....2-114
圖2-4-13 安平港2007年2月模式與實測資料比對圖.....2-115
圖2-4-14 花蓮港2007年2月模式與實測資料比對圖.....2-115
圖2-4-15 基隆港2007年2月模式與實測資料比對圖.....2-116
圖2-4-16 高雄港2007年2月模式與實測資料比對圖.....2-116
圖2-4-17 蘇澳港2007年2月模式與實測資料比對圖.....2-117
圖2-4-18 台中港2007年2月模式與實測資料比對圖.....2-117
圖2-4-19 安平港2007年3月模式與實測資料比對圖.....2-118
圖2-4-20 花蓮港2007年3月模式與實測資料比對圖.....2-118
圖2-4-21 基隆港2007年3月模式與實測資料比對圖.....2-119
圖2-4-22 高雄港2007年3月模式與實測資料比對圖.....2-119
圖2-4-23 蘇澳港2007年3月模式與實測資料比對圖.....2-120
圖2-4-24 台中港2007年3月模式與實測資料比對圖.....2-120
圖2-4-25 安平港2007年4月模式與實測資料比對圖.....2-121
圖2-4-26 花蓮港2007年4月模式與實測資料比對圖.....2-121
圖2-4-27 基隆港2007年4月模式與實測資料比對圖.....2-122
圖2-4-28 高雄港2007年4月模式與實測資料比對圖.....2-122
圖2-4-29 蘇澳港2007年4月模式與實測資料比對圖.....2-123
圖2-4-30 台中港2007年4月模式與實測資料比對圖.....2-123
圖2-4-31 安平港2007年5月模式與實測資料比對圖.....2-124
圖2-4-32 花蓮港2007年5月模式與實測資料比對圖.....2-124

圖2-4-33 基隆港2007年5月模式與實測資料比對圖.....2-125
圖2-4-34 高雄港2007年5月模式與實測資料比對圖.....2-125
圖2-4-35 蘇澳港2007年5月模式與實測資料比對圖.....2-126
圖2-4-36 台中港2007年5月模式與實測資料比對圖.....2-126
圖2-4-37 安平港2007年6月模式與實測資料比對圖.....2-127
圖2-4-38 花蓮港2007年6月模式與實測資料比對圖.....2-127
圖2-4-39 基隆港2007年6月模式與實測資料比對圖.....2-128
圖2-4-40 高雄港2007年6月模式與實測資料比對圖.....2-128
圖2-4-41 蘇澳港2007年6月模式與實測資料比對圖.....2-129
圖2-4-42 台中港2007年6月模式與實測資料比對圖.....2-129
圖2-4-43 安平港2007年7月模式與實測資料比對圖.....2-130
圖2-4-44 花蓮港2007年7月模式與實測資料比對圖.....2-130
圖2-4-45 基隆港2007年7月模式與實測資料比對圖.....2-131
圖2-4-46 高雄港2007年7月模式與實測資料比對圖.....2-131
圖2-4-47 蘇澳港2007年7月模式與實測資料比對圖.....2-132
圖2-4-48 台中港2007年7月模式與實測資料比對圖.....2-132
圖2-4-49 安平港2007年8月模式與實測資料比對圖.....2-133
圖2-4-50 花蓮港2007年8月模式與實測資料比對圖.....2-133
圖2-4-51 基隆港2007年8月模式與實測資料比對圖.....2-134
圖2-4-52 高雄港2007年8月模式與實測資料比對圖.....2-134
圖2-4-53 蘇澳港2007年8月模式與實測資料比對圖.....2-135
圖2-4-54 台中港2007年8月模式與實測資料比對圖.....2-135
圖2-4-55 安平港2007年9月模式與實測資料比對圖.....2-136
圖2-4-56 花蓮港2007年9月模式與實測資料比對圖.....2-136
圖2-4-57 基隆港2007年9月模式與實測資料比對圖.....2-137
圖2-4-58 高雄港2007年9月模式與實測資料比對圖.....2-137
圖2-4-59 蘇澳港2007年9月模式與實測資料比對圖.....2-138
圖2-4-60 台中港2007年9月模式與實測資料比對圖.....2-138
圖2-4-61 安平港2007年10月模式與實測資料比對圖.....2-139
圖2-4-62 花蓮港2007年10月模式與實測資料比對圖.....2-139
圖2-4-63 基隆港2007年10月模式與實測資料比對圖.....2-140
圖2-4-64 高雄港2007年10月模式與實測資料比對圖.....2-140
圖2-4-65 蘇澳港2007年10月模式與實測資料比對圖.....2-141
圖2-4-66 台中港2007年10月模式與實測資料比對圖.....2-141

圖2-4-67 安平港2007年11月模式與實測資料比對圖.....2-142
圖2-4-68 花蓮港2007年11月模式與實測資料比對圖.....2-142
圖2-4-69 基隆港2007年11月模式與實測資料比對圖.....2-143
圖2-4-70 高雄港2007年11月模式與實測資料比對圖.....2-143
圖2-4-71 蘇澳港2007年11月模式與實測資料比對圖.....2-144
圖2-4-72 台中港2007年11月模式與實測資料比對圖.....2-144
圖2-5-1 安平港2006年12月RC及MC模式與實測資料比對圖.....2-151
圖2-5-2 花蓮港2006年12月RC及MC模式與實測資料比對圖.....2-151
圖2-5-3 基隆港2006年12月RC及MC模式與實測資料比對圖.....2-152
圖2-5-4 高雄港2006年12月RC及MC模式與實測資料比對圖.....2-152
圖2-5-5 蘇澳港2006年12月RC及MC模式與實測資料比對圖.....2-153
圖2-5-6 台中港2006年12月RC及MC模式與實測資料比對圖.....2-153
圖2-5-7 安平港2007年1月RC及MC模式與實測資料比對圖.....2-154
圖2-5-8 花蓮港2007年1月RC及MC模式與實測資料比對圖.....2-154
圖2-5-9 基隆港2007年1月RC及MC模式與實測資料比對圖.....2-155
圖2-5-10 高雄港2007年1月RC及MC模式與實測資料比對圖.....2-155
圖2-5-11 蘇澳港2007年1月RC及MC模式與實測資料比對圖.....2-156
圖2-5-12 台中港2007年1月RC及MC模式與實測資料比對圖.....2-156
圖2-5-13 安平港2007年2月RC及MC模式與實測資料比對圖.....2-157
圖2-5-14 花蓮港2007年2月RC及MC模式與實測資料比對圖.....2-157
圖2-5-15 基隆港2007年2月RC及MC模式與實測資料比對圖.....2-158
圖2-5-16 高雄港2007年2月RC及MC模式與實測資料比對圖.....2-158
圖2-5-17 蘇澳港2007年2月RC及MC模式與實測資料比對圖.....2-159
圖2-5-18 台中港2007年2月RC及MC模式與實測資料比對圖.....2-159
圖2-5-19 安平港2007年3月RC及MC模式與實測資料比對圖.....2-160
圖2-5-20 花蓮港2007年3月RC及MC模式與實測資料比對圖.....2-160
圖2-5-21 基隆港2007年3月RC及MC模式與實測資料比對圖.....2-161
圖2-5-22 高雄港2007年3月RC及MC模式與實測資料比對圖.....2-161
圖2-5-23 蘇澳港2007年3月RC及MC模式與實測資料比對圖.....2-162
圖2-5-24 台中港2007年3月RC及MC模式與實測資料比對圖.....2-162
圖2-5-25 安平港2007年4月RC及MC模式與實測資料比對圖.....2-163
圖2-5-26 花蓮港2007年4月RC及MC模式與實測資料比對圖.....2-163
圖2-5-27 基隆港2007年4月RC及MC模式與實測資料比對圖.....2-164
圖2-5-28 高雄港2007年4月RC及MC模式與實測資料比對圖.....2-164

圖2-5-29 蘇澳港2007年4月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-165
圖2-5-30 台中港2007年4月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-165
圖2-5-31 安平港2007年5月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-166
圖2-5-32 花蓮港2007年5月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-166
圖2-5-33 基隆港2007年5月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-167
圖2-5-34 高雄港2007年5月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-167
圖2-5-35 蘇澳港2007年5月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-168
圖2-5-36 台中港2007年5月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-168
圖2-5-37 安平港2007年6月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-169
圖2-5-38 花蓮港2007年6月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-169
圖2-5-39 基隆港2007年6月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-170
圖2-5-40 高雄港2007年6月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-170
圖2-5-41 蘇澳港2007年6月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-171
圖2-5-42 台中港2007年6月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-171
圖2-5-43 安平港2007年7月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-172
圖2-5-44 花蓮港2007年7月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-172
圖2-5-45 基隆港2007年7月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-173
圖2-5-46 高雄港2007年7月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-173
圖2-5-47 蘇澳港2007年7月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-174
圖2-5-48 台中港2007年7月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-174
圖2-5-49 安平港2007年8月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-175
圖2-5-50 花蓮港2007年8月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-175
圖2-5-51 基隆港2007年8月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-176
圖2-5-52 高雄港2007年8月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-176
圖2-5-53 蘇澳港2007年8月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-177
圖2-5-54 台中港2007年8月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-177
圖2-5-55 安平港2007年9月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-178
圖2-5-56 花蓮港2007年9月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-178
圖2-5-57 基隆港2007年9月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-179
圖2-5-58 高雄港2007年9月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-179
圖2-5-59 蘇澳港2007年9月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-180
圖2-5-60 台中港2007年9月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-180
圖2-5-61 安平港2007年10月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-181
圖2-5-62 花蓮港2007年10月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-181

圖2-5-63 基隆港2007年10月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-182
圖2-5-64 高雄港2007年10月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-182
圖2-5-65 蘇澳港2007年10月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-183
圖2-5-66 台中港2007年10月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-183
圖2-5-67 安平港2007年11月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-184
圖2-5-68 花蓮港2007年11月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-184
圖2-5-69 基隆港2007年11月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-185
圖2-5-70 高雄港2007年11月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-185
圖2-5-71 蘇澳港2007年11月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-186
圖2-5-72 台中港2007年11月RC及MC模式與實測資料比對圖 2-186

圖2-5-73 東吉島2007年5月模式資料與實測資料比對圖.....2-187
圖2-5-74 蘭嶼2007年5月模式資料與實測資料比對圖.....2-188
圖2-5-75 彭佳嶼2007年5月模式資料與實測資料比對圖.....2-189
圖2-5-76 東吉島2007年6月模式資料與實測資料比對圖.....2-190
圖2-5-77 蘭嶼2007年6月模式資料與實測資料比對圖.....2-191
圖2-5-78 彭佳嶼2007年6月模式資料與實測資料比對圖.....2-192
圖2-5-79 東吉島2007年7月模式資料與實測資料比對圖.....2-193
圖2-5-80 蘭嶼2007年7月模式資料與實測資料比對圖.....2-194
圖2-5-81 彭佳嶼2007年7月模式資料與實測資料比對圖.....2-195
圖3-1-1 台中港海域及港區模式之有限元素計算網格.....3-3
圖3-1-2 全區有限元素網格水深分佈圖.....3-4
圖3-1-3 港區內計算網格之水深分佈圖.....3-4
圖3-1-4 台灣海域1分水動力模式所提供之邊界點（如紅線所示）.....3-5
圖3-1-5 2007年1-5月台中港區實測風速分佈.....3-7
圖3-1-6 2007年1-5月台中港區實測流速分佈.....3-7
圖3-1-7 2007年4月台中港區實測風速分佈.....3-7
圖3-1-8 2007年4月台中港區實測流速分佈.....3-7
圖3-1-9 2007年4月台中港區模擬流速時序分佈（包含風場）.....3-9
圖3-1-10 2007年4月台中港區模擬流速時序分佈（無風場）.....3-9
圖3-1-11 2007年4月台中港區模擬流速大小與實測比對.....3-9
圖3-1-12 2007年4月台中港區模擬流速角度與實測比對.....3-9
圖3-1-13 2007年4月台中港區於退潮期間受風場驅動之流速分佈.....3-10
圖3-1-14 2007年4月台中港區於低平潮期間受風場驅動之流速分佈...3-10

圖3-1-15　2007年4月台中港區於漲潮期間受風場驅動之流速分佈.....3-10
圖3-1-16　2007年4月台中港區於高平潮期間受風場驅動之流速分佈...3-10
圖3-1-17 花蓮港海域及港區模式之有限元素計算網格.....3-12
圖3-1.18 港區計算網格之水深分佈圖 3-13
圖3-1-19 台灣海域1分水動力模式所提供之邊界點（如紅線所示）.....3-14
圖3-1-20 花蓮港區於漲潮期間之流速分佈 3-15
圖3-1-21 花蓮港區於退潮期間之流速分佈 3-16
圖3-2-1　REF/DIF數值計算網格座標系統 3-20
圖3-2-2 港域波浪模式計算領域示意圖 3-21
圖3-2-3 國內七大港口位置示意圖 3-24
圖3-2-4 花蓮港近岸區域波浪模式及港域波浪模式之模擬範圍示意圖.3-27
圖3-2-5 基隆港近岸區域波浪模式及港域波浪模式之模擬範圍示意圖.3-27
圖3-2-6 台北港近岸區域波浪及港域波浪模式之模擬範圍示意圖.....3-28
圖3-2-7 安平港近岸區域波浪模式及港域波浪模式之模擬範圍.....3-28
圖3-2-8 台中港近岸區域波浪模式及港域波浪模式之模擬範圍.....3-29
圖3-2-9 台中港近岸區域波浪模式數值計算網格及水深分佈圖.....3-18
圖3-2-10 安平港近域波浪模式之座標系統及三角形元素粗網格分佈圖(內含765個節點及1282個三角形元素) 3-30
圖3-2-11 台中港近域波浪模式之座標系統及三角形元素粗網格分佈圖(內含2344個節點及4041個三角形元素) 3-30
圖3-2-12　2006年台中港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖.3-33
圖3-2-12 (續1) 2006年台中港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖 3-33
圖3-2-12 (續2) 2006年台中港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖 3-34
圖3-2-12 (續3) 2006年台中港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖 3-34
圖3-2-12 (續4) 2006年台中港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖 3-35
圖3-2-12 (續5) 2006年台中港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖 3-35
圖3-2-12 (續6) 2006年台中港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖 3-36
圖3-2-12 (續7) 2006年台中港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

.....3-36
圖3-2-13 台中港波高觀測值與模式推算值之比較及其偏差值.....3-37
圖3-2-14 台中港波向觀測值與模式推算值之比較及其偏差值.....3-37
圖3-2-15 台中港波高觀測值與模式推算值之對應關係.....3-38
圖3-2-16 台中港波高觀測值與模式推算值之關係線性回歸結果.....3-38
圖3-2-17 台中港波高觀測值與模式推算值之比較及其偏差值.....3-39
圖3-2-18 台中港波高觀測值與模式推算值之對應關係.....3-39
圖3-2-19 台中港近岸區域波浪場模擬結果(H=0.89 m，T=5.4 sec，D=8.4º)
.....3-40
圖3-2-20 台中港近岸區域波浪場模擬結果(H=4.42 m，T=9.0 sec，D=360 º)
.....3-40
圖3-2-21 2006年花蓮港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖.3-42
圖3-2-21 (續1) 2006年花蓮港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖
.....3-42
圖3-2-21 (續2) 2006年花蓮港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖
.....3-43
圖3-2-21 (續3) 2006年花蓮港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖
.....3-43
圖3-2-21 (續4) 2006年花蓮港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖
.....3-44
圖3-2-21 (續5) 2006年花蓮港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖
.....3-44
圖3-2-21 (續6) 2006年花蓮港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖
.....3-45
圖3-2-21 (續7) 2006年花蓮港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖
.....3-45
圖3-2-21 (續8) 2006年花蓮港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖
.....3-46
圖3-2-21 (續9) 2006年花蓮港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖
.....3-46
圖3-2-21 (續10) 2006年花蓮港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖
.....3-47
圖3-2-22 花蓮港近岸區域波浪模擬數值計算網格及水深分佈圖.....3-47
圖3-2-23 花蓮港波高觀測值與模式推算結果之比較.....3-48

圖3-2-24 花蓮港波高觀測值與模式推算值之對應關係與線性回歸結果.....3-48
圖3-2-25 花蓮港波高觀測值與模式推算結果之比較(修正後結果).....3-49
圖3-2-26 花蓮港波高觀測值與模式推算值之對應關係 (修正後之結果).....3-49
圖3-2-27 花蓮港近岸區域波浪場模擬結果之波高平面分佈圖(波浪模擬條件: H=2.78m，T=8.76sec，S48°E) 3-50
圖3-2-28 花蓮港近岸區域波浪場模擬結果之波高平面分佈圖(波浪模擬條件: H=3.40m，T=8.61sec，E20.9°N).....3-50
圖3-2-29 2006年安平港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖.3-51
圖3-2-29 (續1) 2006年安平港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖.....3-52
圖3-2-29 (續2) 2006年安平港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖.....3-52
圖3-2-29 (續3) 2006年安平港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖.....3-53
圖3-2-29 (續4) 2006年安平港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖.....3-53
圖3-2-29 (續5) 2006年安平港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖.....3-54
圖3-2-29 (續6) 2006年安平港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖.....3-54
圖3-2-29 (續7) 2006年安平港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖.....3-55
圖3-2-29 (續8) 2006年安平港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖.....3-55
圖3-2-29 (續9) 2006年安平港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖.....3-56
圖3-2-29 (續10) 2006年安平港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖.....3-56
圖3-2-30 安平港波高觀測值與模式推算值之比較.....3-57
圖3-2-31 安平港波高觀測值與模式推算值之關係及線性回歸結果.....3-57
圖3-2-32 台中港港域波高分佈之模擬結果(週期7秒，正向入射).....3-58
圖3-2-33 台中港港域波高分佈之模擬結果(週期8秒，正向入射).....3-59

圖3-2-34 台中港港域波高分佈之模擬結果(週期9秒，正向入射).....3-59
圖3-2-35 台中港港域波高分佈之模擬結果(週期10秒，正向入射).....3-60
圖3-2-36 台中港港域波高分佈之模擬結果(週期11秒，正向入射).....3-60
圖3-2-37 台中港港域波高分佈之模擬結果(週期12秒，正向入射).....3-61
圖3-2-38 台中港港域波高分佈之模擬結果(週期13秒，正向入射).....3-61
圖3-2-39 台中港港域N方向波浪場模擬結果(上：波高；下：相位).....3-62
圖3-2-39 (續1)台中港港域NW方向波浪場模擬結果(上：波高；下：相位)
.....3-63
圖3-2-39 (續2)台中港港域W方向波浪場模擬結果(上：波高；下：相位)
.....3-64
圖3-3-1 波浪場資料庫儲存之圖形資料(上：波高；中：相位；下：波形)
.....3-67
圖3-3-2 波浪相關模式之流程架構示意圖.....3-68
圖3-4-1 模糊邏輯推論示意圖.....3-71
圖3-4-2 適應性網路架構模糊推論系統架構示意圖.....3-71
圖3-4-3 花蓮港波高與模式風速及風向比較圖.....3-74
圖3-4-4 台中港波高與模式風速及風向比較圖.....3-74
圖3-4-5 花蓮港波高與模式風速之不同延時相關性比較圖.....3-75
圖3-4-6 2005年花蓮港模式學習輸出值與實測值比較圖.....3-79
圖3-4-7 2006年花蓮港模式預測輸出值與實測值比較圖.....3-79
圖3-4-8 2005年台中港模式學習輸出值與實測值比較圖.....3-79
圖3-4-9 2006年台中港模式預測輸出值與實測值比較圖.....3-79
圖3-4-10 颱風運動參數符號說明.....3-83
圖3-4-11 台灣東岸 12個虛擬觀測站位置.....3-85
圖3-4-12 台灣西岸9個虛擬觀測站位置.....3-86
圖3-4-13 台灣東岸花蓮港位置與陸地影響區域區分.....3-90
圖3-4-14 台灣西岸台中港位置與陸地影響區域區分.....3-90
圖3-4-15 東岸陸地效應二維模糊關係函數$MF(r,\theta_1)$.....3-91
圖3-4-16 西岸陸地效應二維模糊關係函數.....3-91
圖3-4-17 颱風珍珠(CHANCHU)路徑圖.....3-93
圖3-4-18 珍珠颱風之花蓮港預測示性波高.....3-94
圖3-4-19 珍珠颱風之蘇澳港預測示性波高.....3-95
圖3-4-20 碧利斯颱風路徑圖.....3-96
圖3-4-21 碧利斯颱風之花蓮港預測示性波高.....3-97

圖3-4-22 碧利斯颱風7月9日之衛星雲圖.....3-97
圖3-4-23 碧利斯颱風7月13日之衛星雲圖.....3-98
圖3-4-24 寶發颱風路徑圖.....3-98
圖3-4-25 寶發颱風之花蓮港預測示性波高.....3-99
圖3-4-26 珊珊颱風路徑圖.....3-100
圖3-4-27 珊珊颱風之花蓮港預測示性波高.....3-101
圖3-4-28 珍珠颱風模式推算台中港之示性波高.....3-102
圖3-4-29 碧利斯颱風模式推算台中港之示性波高.....3-103
圖3-4-30 寶發颱風模式推算台中港之示性波高.....3-104
圖3-4-31 珊珊颱風模式推算台中港之示性波高.....3-105
圖3-4-32 韋帕(WIPHA，2007)颱風路徑圖.....3-106
圖3-4-33 韋帕颱風09/17路徑潛勢預報圖.....3-106
圖3-4-34 韋帕颱風9/17 14：00花蓮及蘇澳港波高推算及預測.....3-107
圖3-4-35 韋帕颱風9/18 08：00花蓮及蘇澳港波高推算及預測.....3-107
圖3-4-36 韋帕颱風09/18路徑潛勢預報圖.....3-108
圖3-4-37 韋帕颱風9/18/14：00花蓮及蘇澳港波高推算及預測.....3-108
圖3-4-38 柯羅莎(KROSA，2007)颱風路徑圖.....3-109
圖3-4-39 柯羅莎颱風10/03路徑潛勢預報圖.....3-110
圖3-4-40 柯羅莎颱風10/03/08:00花蓮及蘇澳港波高推算及預測 3-110
圖3-4-41 柯羅莎颱風10/04路徑潛勢預報圖.....3-111
圖3-4-42 柯羅莎颱風10/04/14:00花蓮及蘇澳港波高推算及預測 3-111
圖3-4-43柯羅莎颱風10/05/14:00花蓮及蘇澳港波高推算及預測 3-112
圖3-4-44 柯羅莎颱風10/06/14:00花蓮及蘇澳港波高推算及預測 3-112
圖3-4-45 柯羅莎颱風10/07/14:00花蓮及蘇澳港波高推算及預測 3-112
圖4-1-1 安平模式與實測資料比對圖.....4-2
圖4-1-2 花蓮模式與實測資料比對圖.....4-2
圖4-1-3 高雄模式與實測資料比對圖.....4-3
圖4-1-4 基隆模式與實測資料比對圖.....4-3
圖4-1-5 蘇澳模式與實測資料比對圖.....4-4
圖4-1-6 台中模式與實測資料比對圖.....4-4
圖4-2-1 模式WAM和SWAN計算所耗費時間.....4-10
圖4-2-2 2005年01月份七大商港WAM與SWAN計算結果(示性波高)..4-20
圖4-2-3 2005年02月份七大商港WAM與SWAN計算結果(示性波高)..4-20
圖4-2-4 2005年03月份七大商港WAM與SWAN計算結果(示性波高)..4-21

圖4-2-5　2005年04月份七大商港WAM與SWAN計算結果(示性波高)..4-21
圖4-2-6　2005年05月份七大商港WAM與SWAN計算結果(示性波高)..4-22
圖4-2-7　2005年06月份七大商港WAM與SWAN計算結果(示性波高)..4-22
圖4-2-8　2005年07月份七大商港WAM與SWAN計算結果(示性波高)..4-23
圖4-2-9　2005年08月份七大商港WAM與SWAN計算結果(示性波高)..4-23
圖4-2-10　2005年09月份七大商港WAM與SWAN計算結果(示性波高)4-24
圖4-2-11　2005年10月份七大商港WAM與SWAN計算結果(示性波高)4-24
圖4-2-12　2005年11月份七大商港WAM與SWAN計算結果(示性波高)4-25
圖4-2-13　2005年12月份七大商港WAM與SWAN計算結果(示性波高)4-25
圖4-2-14　2005年01月份七大商港WAM與SWAN計算結果(平均週期)4-26
圖4-2-15　2005年02月份七大商港WAM與SWAN計算結果(平均週期)4-26
圖4-2-16　2005年03月份七大商港WAM與SWAN計算結果(平均週期)4-27
圖4-2-17　2005年04月份七大商港WAM與SWAN計算結果(平均週期)4-27
圖4-2-18　2005年05月份七大商港WAM與SWAN計算結果(平均週期)4-28
圖4-2-19　2005年06月份七大商港WAM與SWAN計算結果(平均週期)4-28
圖4-2-20　2005年07月份七大商港WAM與SWAN計算結果(平均週期)4-29
圖4-2-21　2005年08月份七大商港WAM與SWAN計算結果(平均週期)4-29
圖4-2-22　2005年09月份七大商港WAM與SWAN計算結果(平均週期)4-30
圖4-2-23　2005年10月份七大商港WAM與SWAN計算結果(平均週期)4-30
圖4-2-24　2005年11月份七大商港WAM與SWAN計算結果(平均週期)4-31
圖4-2-25　2005年12月份七大商港WAM與SWAN計算結果(平均週期)4-31
圖4-2-26　2006年01月份七大商港WAM與SWAN計算結果(示性波高)4-32
圖4-2-27　2006年02月份七大商港WAM與SWAN計算結果(示性波高)4-32
圖4-2-28　2006年03月份七大商港WAM與SWAN計算結果(示性波高)4-33
圖4-2-29　2006年04月份七大商港WAM與SWAN計算結果(示性波高)4-33
圖4-2-30　2006年05月份七大商港WAM與SWAN計算結果(示性波高)4-34
圖4-2-31　2006年06月份七大商港WAM與SWAN計算結果(示性波高)4-34
圖4-2-32　2006年07月份七大商港WAM與SWAN計算結果(示性波高)4-35
圖4-2-33　2006年08月份七大商港WAM與SWAN計算結果(示性波高)4-35
圖4-2-34　2006年09月份七大商港WAM與SWAN計算結果(示性波高)4-36
圖4-2-35　2006年10月份七大商港WAM與SWAN計算結果(示性波高)4-36
圖4-2-36　2006年11月份七大商港WAM與SWAN計算結果(示性波高)4-37
圖4-2-37　2006年12月份七大商港WAM與SWAN計算結果(示性波高)4-37
圖4-2-38　2006年01月份七大商港WAM與SWAN計算結果(平均週期)4-38

圖4-2-39　2006年02月份七大商港WAM與SWAN計算結果(平均週期) 4-38
圖4-2-40　2006年03月份七大商港WAM與SWAN計算結果(平均週期) 4-39
圖4-2-41　2006年04月份七大商港WAM與SWAN計算結果(平均週期) 4-39
圖4-2-42　2006年05月份七大商港WAM與SWAN計算結果(平均週期) 4-40
圖4-2-43　2006年06月份七大商港WAM與SWAN計算結果(平均週期) 4-40
圖4-2-44　2006年07月份七大商港WAM與SWAN計算結果(平均週期) 4-41
圖4-2-45　2006年08月份七大商港WAM與SWAN計算結果(平均週期) 4-41
圖4-2-46　2006年09月份七大商港WAM與SWAN計算結果(平均週期) 4-42
圖4-2-47　2006年10月份七大商港WAM與SWAN計算結果(平均週期) 4-42
圖4-2-48　2006年11月份七大商港WAM與SWAN計算結果(平均週期) 4-43
圖4-2-49　2006年12月份七大商港WAM與SWAN計算結果(平均週期) 4-43
圖5-2.1　05～06年有發警報颱風資料（資料來源：中央氣象局）.....5-5
圖5-2.2　2005年全年WAM與SWAN模式推算示性波高結果.....5-6
圖5-2.3　2006年全年WAM與SWAN模式推算示性波高結果.....5-6
圖5-2.4 基隆港05～06年WAM與SWAN模式推算示性波高之單月統計值.....5-7
圖5-2.5 台北港05～06年WAM與SWAN模式推算示性波高之單月統計值.....5-7
圖5-2.6 蘇澳港05～06年WAM與SWAN模式推算示性波高之單月統計值.....5-8
圖5-2.7 台中港05～06年WAM與SWAN模式推算示性波高之單月統計值.....5-8
圖5-2.8 花蓮港05～06年WAM與SWAN模式推算示性波高之單月統計值.....5-9
圖5-2.9 安平港05～06年WAM與SWAN模式推算示性波高之單月統計值.....5-9
圖5-2.10 高雄港05～06年WAM與SWAN模式推算示性波高之單月統計值.....5-10
圖6-1 吉尼號（TZINI）洩油事件.....6-2
圖6-2 模擬吉尼號開始發生洩油.....6-2
圖6-3 吉尼號洩油的衛星照片.....6-3
圖6-4 模擬32小時後油團所移動的位置.....6-3
圖6-5　Google Earth的衛星照片.....6-4
圖6-6　NSPO的衛星照片.....6-4

圖6-7 模擬35小時後油團在豆腐峽上岸 6-5
圖7-2-1 風場及波場整合同化及預報系統.....7-7
圖7-5-1 資料同化前後波浪現報的波高差值範例(Chen等人，2004).....7-17
圖7-5-2 不同測站的每小時資料同化前後波高統計比較(Chen等人，2004)
.....7-17
圖7-5-2 (續1)不同測站的資料同化前後波高統計比較(Chen等人，2004)
.....7-18
圖7-5-2 (續2)不同測站的資料同化前後波高統計比較(Chen等人，2004)
.....7-18
圖7-6-2 RC風場與MC風場套疊情形 7-20
圖7-6-3 RC與MC風場之風速相對誤差分佈 7-20
圖7-7-1 2005年海棠颱風侵襲路徑圖 7-24
圖7-7-2 2005年海棠颱風侵襲期間RC風場風速分佈圖 7-25
圖7-7-2 (續1)2005年海棠颱風侵襲期間RC風場風速分佈圖 7-26
圖7-7-2 (續2)2005年海棠颱風侵襲期間RC風場風速分佈圖 7-26
圖7-7-3 2005年海棠颱風侵襲期間WAN推算示性波浪分佈圖 7-26
圖7-7-3 (續1)2005年海棠颱風侵襲期間WAN推算示性波浪分佈圖.....7-26
圖7-7-3 (續2)2005年海棠颱風侵襲期間WAN推算示性波浪分佈圖.....7-27
圖7-7-4 2005年海棠颱風侵襲期間台北港推算波浪比較圖 7-27
圖7-7-5 2005年海棠颱風侵襲期間基隆港推算波浪比較圖 7-28
圖7-7-6 2005年海棠颱風侵襲期間蘇澳港推算波浪比較圖 7-28
圖7-7-7 2005年海棠颱風侵襲期間花蓮港推算波浪比較圖 7-29
圖7-7-8 2005年海棠颱風侵襲期間高雄港推算波浪比較圖 7-29
圖7-7-9 2005年海棠颱風侵襲期間安平港推算波浪比較圖 7-30
圖7-7-10 2005年海棠颱風侵襲期間台中港推算波浪比較圖 7-30
圖7-7-11 2005年海棠颱風侵襲期波浪推算分佈圖(2005/07/17 00h).....7-31
圖7-7-12 2005年海棠颱風侵襲期波浪推算分佈圖(2005/07/17 12h).....7-32
圖7-7-13 2005年海棠颱風侵襲期波浪推算分佈圖(2005/07/18 00h).....7-33
圖7-7-14 2005年海棠颱風侵襲期波浪推算分佈圖(2005/07/18 12h).....7-34
圖7-7-15 2005年海棠颱風侵襲期波浪推算分佈圖(2005/07/19 00h).....7-35
圖8-1-1 TaiCOMS網站架構概念 8-2
圖8-1-2 TaiCOMS網站架構圖 8-2
圖8-1-3 以主題為概分概念圖 8-3
圖8-1-4 網頁以主題作為分類.....8-3

圖8-1-5 資料呈現方式概念圖 8-5
圖8-1-6 TaiCOMS資料呈現方式圖 8-5
圖8-1-7 版面設計、BANNER動畫及內容 8-6
圖8-1-8 以CSS做為網頁連結方法－圖形連結.....8-7
圖8-1-9 以CSS做為網頁連結方法－文字連結.....8-7
圖8-1-10 以CSS做為網頁定位方式－文字、圖形定位.....8-7
圖8-1-11 「風壓模式」之模式說明內容及動畫小圖示.....8-8
圖8-1-12 「波場模式」之模式說明內容及動畫小圖示.....8-8
圖8-1-13 「水位模式」之模式說明內容及動畫小圖示.....8-8
圖8-1-14 「系統說明」之下的相關網頁內容.....8-9
圖8-1-15 「觀測資料」之「觀測網站」及相關網頁內容.....8-9
圖8-1-16 「觀測資料」之「典型水深」及相關網頁內容.....8-9
圖8-1-17 「颱風海象」之「模式說明」及相關網頁內容.....8-9
圖8-1-18 「颱風海象」之「颱風資料」網頁內容.....8-10
圖8-1-19 「颱風資料」之「颱風波浪資料」及相關網頁內容.....8-10
圖8-1-20 「颱風資料」之「水位資料」及相關網頁內容.....8-10
圖8-1-21 「颱風資料」之「風場資料」及「流場資料」網頁內容.....8-10
圖8-1-22 「風壓模式」及「波場模式」之模式說明網頁內容.....8-11
圖8-1-23 「水位模式」及「流場模式」之模式說明網頁內容.....8-11
圖8-1-24 「擴散模式」及「海濤模式」之相關網頁內容.....8-11
圖8-1-25 「重要訊息」小視窗 8-11
圖8-1-26 七十二小時即時模擬網頁-下拉式選單及動畫 8-12
圖8-1-27 七十二小時即時模擬網頁-選擇欲觀看之單張模擬狀況 8-12
圖8-1-28 臺中港港區八點模式點 8-13
圖8-1-29 臺中港港區八點模式點之展現的歷線圖 8-13
圖8-1-30 透過下拉式選單，點選所需要的歷史資訊.....8-14
圖8-1-31 C語言程式處理流程 8-16
圖8-2-1 UrMap地理資訊展示系統 8-18
圖8-2-2 Google map在臺灣衛星照與實際有偏移 8-19
圖8-2-3 Autodesk MapGuide地理資訊展示系統 8-20
圖8-2-4 ArcGIS IMS地理資訊展示系統 8-22
圖8-2-5 使用URMAP來展示臺中港預報地理資訊展示系統.....8-24

第一章　計畫背景

1.1　背景分析

1.1.1　計畫源起

台灣四面環海，陸域面積約 3 萬 6 千平方公里，在這狹小的地區居住約 2 千 4 百萬人口，海洋的發展是必然趨勢，所以城市發展亦多集中於濱海地區，更是居住生活密集的地區，為了保護人民的生命財產，必須在海岸興建人工建築物來抵擋海域的天然災害，如海岸侵蝕、海水倒灌等等的災害。因此，對於近海的海象狀況必需要有一定程度的了解與掌握；另一方面台灣的領海面積約為 17 萬平方公里，比起陸域面積大上許多，提供了許多能源、資源及遊憩活動空間，如台灣海峽廣大的漁場、海岸開發、各縣市政府積極推行的藍色公路等等，皆將人民的生活空間由沿岸陸地漸漸的推向海洋，所以為了讓政府決策單位及人民有一個依據，發展一套近岸海域海象預報系統是迫切需要的，港研中心為配合政府「廿一世紀台灣要邁向海洋國家」的政策，近岸防救災系統的建立是最重要的施政項目之一。

近年來，由於受到全球氣候變遷的影響，天然災害的威脅更為嚴苛，侵襲的頻率也有逐漸增加的趨勢，早期為了近岸防災所設定的標準，已經無法符合現實的需求，因而，防災設施必須隨之從新評估，以因應新的需求標準，因此，根據長期觀測的資料重新分析評估並設定新的防災標準，是防災建設的基礎工作。由於工程科技與電腦技術的進步，利用電腦程式建立數值海象預報模式已是歐美先進國家的發展趨勢，因此除了觀測資料的蒐集與分析，預報資訊已是近岸防救災系統不可或缺的決策支援工具。

近海海水水位變化的原動力可分為由太陽及月球引力產生潮汐（通稱為天文潮）、由風及大氣壓力變化產生的的風暴潮（通稱為氣

象潮，可影響水位變化由數小時到數天），另外就是由風產生的風浪與近岸作用所造成的近岸波浪。風暴潮由於影響水位時間較長，所以暴潮溢淹會造成沿海低窪地區的災害，近岸波浪在碎波時所釋放出的能量，足以破壞岸邊的人工結構物，並且會造成海岸侵蝕，尤其以颱風期間所產生的颱風波浪必須特別注意，由於颱風的風力強大，在海面產生的風剪力也相對較大，所以可以產生週期較長且波高較高能量也較大的颱風浪，經由地形的淺化效應，波高加大，所造成的影響就更為嚴重。影響水位最主要的因素就是天文潮及風暴潮，天文潮由於具有週期性，研究發展的經驗較早，分析及預測的方法與成果很多，所以現在天文潮的預報已經具有相當的基礎；由於引起風暴潮的因素是風場及大氣壓力，並非規則性的現象，所以風暴潮的預報較天文潮困難許多；再加上正確氣象預報資料取得較困難，更增加了推算風暴潮的難度。雖然目前已有大氣模式可以預報大範圍區域的氣象資料，但是風速及風向卻會受到區域性地形的影響，尤其以台灣的地形四面環海中央是高達四千公尺的山脈，要得到近岸地區正確的風場不易。若是風場本身不正確，對於推算波浪以及水位的精確度影響也很大。水位的變化雖然不若波浪那樣的明顯及快速，但是影響的時間比波浪長影響的區域也比較大，而且往往具有增加破壞的效果。當天文大潮適逢颱風暴潮時，整個水位的抬昇會更加嚴重，除了海水倒灌的問題之外，波浪更可藉由抬昇的水位深入到近岸內部陸地，造成更大的損失。

為保護和利用近岸海域，邁向 21 世紀的海洋國家，除近岸海域的使用外，應著重百姓生命財產的保護，以補往昔之不足。由於全球環境變遷，藉由過去觀測的資料加以統計分析所得的結果已不足為憑，各項迴歸週期之設計基準也不足以應付新的自然條件所加諸之嚴酷挑戰。因此，近岸防救災系統的建立是在 21 世紀配合臺灣要邁向海洋國家最重要的施政項目之一。

本年度研究屬交通部運輸研究所「臺灣近岸防救災預警系統技術與作業化之研究」計畫規劃四年合作研究計畫之第一年，本研究之主

要目的有以下幾項:

1. 近岸波潮流之模擬技術與污染控制之研發及預警精度改進。
2. 近岸防災預警系統之作業化研究，加強作業效能之提昇，預報系統並採用地理資訊系統之人性化操作界面，以利相關單位使用。
3. 結合本所相關計畫之海象即時監測作業，發展颱風波浪及暴潮之模擬技術，建置近岸防災預警方法，以減低颱風期間近岸結構物破壞及淹水災害。
4. 沿海防護設施設計水位、設計波高標準推算以做海岸災害防護措施的依據。

1.1.2 各國近海預報系統評估

數值模式的優點在於可得到完整的時空特性並可根據過去的模擬參數預測未來的發展趨勢，由於現在電腦的運算能力比起從前強大許多，再加上數值計算方法的進步，使得數值模式的精度與執行效率較以往大幅的增加，世界各國尤其是歐、美、日等先進國家的近海預報系統皆已使用數值模式來模擬，台灣鄰近的韓國、香港、泰國、新加坡等國亦都已有相當的發展，而國內中央氣象局海象測報中心，近幾年來發展近海預報模式也有相當的成果。

近海預報模式包含風浪、潮汐、暴潮等預報，歐洲在這方面起步較早，近海預報系統也較為完備，美國現在以歐洲發展的基礎，同時依據美國的地區特性，加以改善成為美國本土性的近海預報模式系統，以下就國內外近海海象預報系統的發展情況概述如下。

(1) 挪威

挪威氣象中心（Norwegian Meteorological Institute, DNMI）發展的三維海洋模式 ECOM（Estuarine, Coastal and Ocean Model）預報風暴潮及海流情況（Engedahl, 1995；Martinsen et al., 1997），預報

使用的平面網格解析度為 20 公里的卡氏座標系統，包含大部分西北歐的大陸棚。風暴潮的預報部分，ECOM 使用三維正壓項模擬（垂直分為 12 層），於海流預報則加入斜壓項分為 17 層，預報結果提供海流、海水水位變化及溫度、鹽度等資料。預報的時程部分則是一天做兩次預報，分別在 00 及 12 UTC 預報未來 48 小時的海象狀況。其輸入的風場及氣壓場資料則是由挪威氣象中心執行的 HIRLAM 氣象預報模式所提供。

波浪預報的部分，使用 WAM 波浪模式做為預報波浪的工具，網格解析度為 0.45 度，範圍包含北大西洋、北海，挪威海、格林蘭海及白令海。每天預報 2 次，每次預報 2 天，氣象資料由 HIRLAM 氣象預報模式所提供；另使用 European Centre for Medium-Range Weather Forecasts（ECMWF）所提供的資料做預報，每天 1 次，每次預報 7 天。

(2) 荷蘭

自 1990 年開始荷蘭皇家氣象研究所（KNMI）即使用一套由 Delft Hydraulics 及 Rijkswaterstaat（Gerritsen et al., 1995； Phillippart and Gebraad, 1997）發展的 Dutch Continental Shelf Model（DCSM）預報潮汐及暴潮。模式模擬初期範圍以西北歐洲大陸棚為主，網格解析度為緯度為 1/6 度，經度為 1/4 度，邊界條件為 10 個分潮加上暴潮的水位變化。自 1993 年起，增加了風場的輸入，風場由 KNMI 的 HIRLAM 大氣模式產生。DCSM 預報的時間為每 6 小時 1 次，預報未來 48 小時的海象狀況。自 1998 年開始，DCSM 使用了’state-of-the-art’ 的最佳化方法來校正模式（e.g. Phillippart et al., 1998），於 1992 年起便使用實際的資料來與模式資料同化，增加預報的精度。

波浪部分，自 1977 年起 KNMI 就已經開始預報北海的波浪，到 1990 年開始使用由第三代 WAM 修改的局部區域模式－NEDWAM 做為波浪預報的工具（Komen et al., 1994； Voorrips et al., 1997）。模式的模擬範圍包含北海、挪威海、格林蘭海及英吉利海峽，網格解析度則為 32 公里。風場則由 KNMI－HIRLAM 大氣模式產生。每 6 個小時進行 12 小時的後報及 48 小時的預報。

(3) 比利時

自 1970 年代開始，隸屬比利時國家研究院的北海數值模式管理中心，MUMM（Management Unit of the North Sea Mathematical Model）使用垂直平均二維水動力模式預報潮汐及風暴潮，預報範圍為北海（Adam, 1979）；網格的解析度上，北海北部使用 20 分網格大小，南部則使用 7 公里網格的巢式網格模式系統，但是由於模式範圍的限制，遠洋海域產生的潮波無法傳遞至模式內，所以對某些風暴的型態無法準確的預報。1998 年新版本的大範圍耦合水動力模式（Yu et al, 1994）在 MUMM 及 AWK（公共工程部海岸及航道工程處 Afdeling Waterwegen Kust； Ministry og the Flemish Government）正式啟用（Ozer et al., 1997； van den Eynde et al., 1998）。網格解析度為緯度方面為 2.5 分，經度方面則是 5 分。風場及氣壓場的部分，使用英國氣象局（UKMO）所提供的資料。每天預報兩次，每次後報一天並預報未來 3 天。

自 1992 年起，MUMM 及 AWK 使用由 GKSS(van den Eynde, 1992）發展的第二代風浪模式 HYPAS 預報波浪，使用波浪浮標監測記錄及衛星 ERS-1 波高計的資料進行模式線上校正，使用 HTML 發展使用者介面，方便使用者讀取模式產生的資料，現在亦積極發展以 WAM 結合 SWAN 的近海波浪模式系統上線預報。

(4) 英國

自 1978 年開始，英國氣象局（UKMO）即使用由 POL（Proudman Oceanographic Laboratiry）發展的二維風暴潮模式與潮汐模式預報潮位變化，模擬的範圍自北緯 48 度至北緯 63 度，西經 12 度至東經 13 度，模式解析度在緯度方面為 1/9 度，經度方面為 1/6 度。模式預報時間為每天兩次，每次預報未來 36 小時。於 1999 年以後，使用新的模式來預報風暴潮，此模式已將潮汐的變化考慮進去，所以可以得到更為準確的暴潮水位。

對於波浪的預報，英國氣象局使用由 Goldin（1983）為基礎的第二代波浪模式，之後由 Holt（1994）來維持模式更新。此模式不但可模擬大尺度範圍，亦可模擬水深 200 公尺以內的大陸棚區。在大尺度範圍方面，使用的網格點為 0.833 度 × 0.56 度，風場部分使用同尺度的全球數值氣候預報模式（NWP）預報風場，並使用 ERS-2 波高計資料做為同化資料。每天於 00 UTC 及 12 UTC 預報未來五天的波浪。小尺度區域模式包含西北歐洲大陸棚、地中海、波羅的海及黑海，網格解析度為 0.4 度 × 0.25 度，每天於 0230 UTC 及 1430 UTC 進行預報，預報未來 48 小時波況。風場使用全球數值氣候預報模式（NWP）預報風場，邊界部分則是使用大尺度模式的模擬結果。

(5) 美國

美國的近海海岸預報系統目前是由 NAVOCEANO （Ocean Modeling Branch of the National Weather Service's Environmental Modeling Center、the National Ocean Service's Coast Survey Development Lab、Princeton University、以及 Naval Oceanographic Office） 所共同發展的 Regional Ocean Forecast System（ROFs）。此套系統是由 1991 年開始發展，於 1993 年開始作實驗性的預報。此系統為一三維水動力模式，模擬範圍為北緯 30 度至 47 度，由

美國東岸海岸線向外延伸至西經 50 度，網格解析度為 20 公里，在近岸部分則變為 10 公里，海水表面的驅動力則是由 NCEP（National Centers for Environmental Prediction）的 Eta 中尺度大氣模式提供。此套系統一天預報一次，每次進行未來 48 小時預報。

波浪的部分，使用由 NCEP 下的環境模式中心（EMC）中的海洋模式及分析部門（MMAB）所發展的 WAVEWATCH III，此模式為第三代風浪預報模式 WAM 的修正版本，目前發展至 2.22 版本。

(6) 中央氣象局海象測報中心

中央氣象局海象測報中心採用數值模式與調和分析法來作潮位與潮時的預報。潮位為海水面高度，潮時為每日高、低潮位出現的時間。每月底發布下個月的潮汐預報，同時針對設有潮位觀測站地點，使用調和分析法進行全年潮汐預測，於每年年底出版次年整年潮汐表，其內容包括各觀測地點未來一年的高低潮時、對應潮位值及逐月潮位時序圖。

於颱風影響或侵襲台灣地區時，根據颱風警報資訊，利用暴潮數值模式，預測全省各地最高水位及其出現時間（預報地點與潮汐預報地點相同）。由此預報資料再與各地海堤高度資料比較，適時發布暴潮位之警訊，對於防災扮演積極角色。

中央氣象局海象測報中心的波浪預報是根據數值天氣預報所預測之海面風場，代入二種模式：一是依據風向、風速、吹風歷時、風域長度與波高、週期關係之面積風域法；另一是以能量平衡方程式為基礎之波譜數值模式。自民國八十四年起，每日提供一次上午八時之波浪分析圖及未來二十四小時波浪預報圖，波浪圖涵蓋範圍自東經 105 度至 140 度，北緯 5 度至 35 度，包括台灣海峽、東海、黃海、南海及部分西北太平洋海域，對於我國海域航行安全有相當大助益。自九十年起改進為三十六小時預報，提供次日

上午八時及下午八時之波浪預報圖，含 1 公尺以上波高等值線及波向。民國九十一年引進美國氣象局 NWW3 (NOAA Wave Watch III)波浪模式並加以本土作業化，與原先使用之 WAM 模式並行測試(中央氣象局海象測報中心網站資料)。民國九十二年底 SWAN 模式上線預報，研究東北角海岸模式範圍由東經 121.5 度到 122.5 度，北緯 24.5 度到 25.5 度，網格格點為 500 公尺，每天預報兩次，每次提供未來 24 小時及 36 小時的波浪預報場(中央氣象局海象測報中心提供)。

1.1.3 未來發展

由上述幾個國家的近海海域報系統可以發現，目前在預報近海海象仍然使用不同的模式來提供預報資料，但是就事實來看，近海海域的作用是由波浪、潮汐及暴潮相互影響所造成的，所以要實際呈現海水面變化，就要將這三種模式耦合起來同時考慮，這也是目前各個國家在努力的目標，如歐洲的 PROMISE（Pre-Operational Modelling In the Sea of Europe）計劃便包含整合各個模式的目標；另外各國的預報模式系統並沒有包含流場的預報，對於未來防災及救災時會有不足之處（無法推算油污及污染物傳輸方向），因此本計劃相當完整的預警系統規包括波浪、水位、海流流場、污染擴散等相關模式，並且建立近岸線上預報系統，提供政府機關在規劃近海活動以及救災系統的參考依據。

1.2 研究工作內容

近岸海象數值模擬及預警系統的建置包含許多工作項目，本年度預期完成的工作項目如下所示。

1.風場(氣壓)預報模式作業化成果評估：本計畫引進或建立之各種風場(氣壓)預報模式精確度及成果評估，以自動作業化方式進行全年逐日資料蒐集或推算，並取用港研中心七個商港及氣象局(或其他單位)現場觀測資料進行檢驗及精度評估等工作，並於每個颱風離臺後及每季結束後(分四季)兩星期內將預報資料及評估結果提送港研中心。

2.波浪預報模式作業化成果評估：本計畫建立之各種波浪模式(包括大中小細四種全區域模式及定點類神經網路模式)精確度、計算速度改進及成果評估，以自動作業化方式進行全年逐日預報結果，並取用港研中心七個商及氣象局(或其他單位)現場觀測資料進行校驗及精度評估等工作，並於每個颱風離臺後及每季結束後(分四季)兩星期內將預報資料及評估結果提送港研中心。

3.水位預報模式作業化成果評估：本計畫建立之各種水位模式(包括大中小三種全區域模式及定點類神經網路模式)精確度、計算速度改進及成果評估：以自動作業化方式進行全年逐日預報結果，並取用港研中心七個商港及氣象局(或其他單位)現場觀測資料進行校驗及精度評估等工作，並於每個颱風離臺後及每季結束後(分四季)兩星期內將預報資料及評估結果提送港研中心。

4.海流預報模式作業化成果評估：本計畫建立之各種海流模式(包括大中小三種全區域模式)精確度、計算速度改進及成果評估：，以自動作業化方式進行全年逐日預報結果，並取用港研中心七個商港及氣象局(或其他單位)現場觀測資料進行校驗及精度評估等工

作，並於每個颱風離臺後及每季結束後(分四季)兩星期內將預報資料及評估結果提送港研中心。

5.油汙染擴散預警系統成果評估：以漏油事件，進行擴散模擬，並以觀測或衛星遙測等資料比較評估成果。

6.建立預報系統網站：網站需提供包括利用各種風場、氣壓、波浪、水位、流場等數值模式之計算結果，包括即時預報資訊、典型颱風成果、歷年詳細資料等查詢功能。計畫期間網站需維持穩定提供每日即時海象觀測資訊與預報等資訊之查詢功能，颱風侵臺時期為重點期間。

7.臺灣環島近岸長期風場模擬結果分析：引用風場預報模式推算至少兩年以上之結果(包括夏季、冬季及颱風等重點期間)，並引用港研中心七個商港及其他單位觀測資料進行比較驗證，以求得重要據點之風力特性。

8.臺灣環島近岸長期波場模擬結果分析：引用波浪預報模式推算至少兩年以上之結果(包括夏季、冬季及颱風等重點期間)，並引用港研中心七個商港及其他單位觀測資料進行比較驗證，以求得重要據點之波浪特性。

9.臺灣環島近岸長期水位模擬結果分析：引用水位預報模式推算至少兩年以上之推算結果(包括夏季、冬季及颱風等重點期間)，並引用港研中心七個商港及其他單位觀測資料進行比較驗證，以求得重要據點之水位特性。

10.臺灣環島近岸長期流場模擬結果分析：引用預報模式推算至少一年以上之推算結果(包括夏季、冬季及颱風等重點期間)，並引用港研中心七個商港及其他單位觀測資料進行比較驗證，以求得重要據點(由港灣研究中心指定) 之海流特性(包括恒流、潮流及風驅流)。

11.相關模式(correlation model)：在臺灣環島七個主要商港，利用波浪模式以進行長期且代表性之模擬推算，並引用觀測資料比較驗證，建立相關模式以增進預報速度。

12.資料同化(assimilation)：風浪模式與觀測資料之資料同化模式建立，並引用觀測網量測資料進行測試與比較，評估同化之成效。

13.設計波高：在臺灣環島七個主要商港重要據點，利用波浪預報模式以進行長期模擬推算，並引用觀測資料比較驗證，以求得設計波高。

14.設計水位：在臺灣環島七個主要商港重要據點，利用水位預報模式以進行長期模擬推算，並引用觀測資料比較驗證成果，以求得設計水位。

15.建立近岸防救災預報地理資訊系統:包括整合風場(氣壓)預報系統、波浪預報系統、水位預報系統、流場預報系統、汙染擴散預警系統等 5 個系統於地理資訊系統，並與海情中心資料庫系統整合，以建置人性化操作界面。

16.資料與技術之轉移：數值模式、網站資料及相關資料與技術之轉移，年度結束時，須將風場、氣壓、波浪、潮位、流場、擴散等數值模擬結果，包括各種測試結果、與現場觀測資料比較評估成果、正式預報結果及網站相關資料等，裝設於港研中心之個人電腦，並提供相關程式及使用手冊予港研中心。

1.3 預期成果

1. 本年度工作項目及內容於本計畫書皆有完整說明，而整年度工作完成後可得到以下成果。
2. 本土化風壓數值模式，可提供環島海域及港區之風場及氣壓場計算。
3. 本土化波浪數值模式，可提供環島海域及港區之波場計算。
4. 本土化水位數值模式，可提供環島海域及港區之水位場計算。
5. 本土化流場數值模式，可提供環島海域及港區之流場計算。
6. 本土化污染擴散模式，可提供環島海域及港區污染擴散計算。
7. 整合性近岸防救災預報系統:包括風壓預報系統、波浪預報系統、水位預報系統、流場預報系統、汙染擴散預警系統等 5 個系統。
8. 年度侵臺颱風期及典型季風期之風場及氣壓模擬預報及檢驗成果評估。
9. 年度侵臺颱風期及典型季風期之波浪模擬預報及檢驗成果評估。
10. 年度侵臺颱風期及典型季風期之水位模擬預報及檢驗成果評估。
11. 年度侵臺颱風期及典型季風期之海流模擬預報及檢驗成果評估。
12. 整合臺灣環島海岸觀測水位資料，及數值模擬結果，迅速且經確的提供海岸溢淹之預警資訊。
13. 區域性之風浪模式及流場模式，迅速的提供港口航運安全所需之風浪、流場等預警資訊。
14. 油污擴散數值模式，以能訊速正確掌控海岸油污染擴散現象，以供環境災害防護措施之使用。

第二章 港區作業化預報操作及成果評估

2.1 作業化預報操作說明

近岸海象數值模擬及預警系統最重要的功能便是每日進行模擬計算作業，提供七大港區每日的風場、氣壓、水位、波浪及海流資訊供使用者參考，目前已完成線上預報建置且可進行每日預報的系統如下：

(1)水位模式：

西太平洋天文潮模式

西太平洋複合潮模式

台灣海域複合潮模式

類神經網路預警模式（颱風時期啟動）

(2)波浪模式：

WAM – 西太平洋大範圍模式

SWAN – 台灣周圍海域波浪模式

安平近岸波浪模式

類神經網路預警模式（颱風時期啟動）

(3)海流模式

西太平洋海流模式

台灣海域海流模式

台中近岸及港區海流模式

(4)風壓模式：

中央氣象局 NFS 模式，包含 RC（西太平洋範圍）及 MC（台灣周圍海域）兩種尺度的風場。

本年度會繼續增加近岸港區海流及波浪模式的線上預報工作，待建置

完成後便會加入每季評估報告內，目前港區模式剛進入上線作業，累積的模擬結果量不足以進行每季評估，因此本章節僅進行評估已建置完成的系統為主。

本系統運作及評估方式如下所述，表面氣壓及風場資訊以接收中央氣象局每日 0 點及中午 12 點的預報資訊時間為主，由於氣象預報資料計算完成至上傳仍需數小時，為考量模擬計算的時效性，目前規劃以前一日 12 時的預報資料作為氣象資料，期望能夠在每日凌晨 0 時開始之每日模擬預警計算作業能在清晨 3 點以前下載取得前一日中午 12 時產生的 72 小時預報資料，經解碼重整及內差產出各模式所需氣象資料後，隨即開始進行各模式的計算作業，全部計算結果預計將會於上午 10 點以前完成，待圖表製作完成後，預計於每天中午 12 點即時更新網頁資料，如圖 2-1-1。每次模擬作業時間為三天（72 小時），其中包含 24 小時現報模擬（現報結果將與七大港即時觀測系統資料比對以便由使用者判斷本次模擬作業結果之可信度）及 48 小時預測模擬計算（僅提供模式計算結果），每日作業一次。圖 2-1-2 為即時現報作業範例，即 6 月 27 日下午兩點發佈的現報資料時間為 6 月 26 日 0 時至 6 月 28 日 0 時，此時會將 6 月 27 日 0 時的計算結果存檔，以作為 6 月 28 日的計算起始點（warm start data），如此便可以直接將每日的氣象條件引入模式進行計算，無須重新起使模式，如此更能模擬連續的波浪及水位結果。圖 2-1-3 為本年度規劃進行之線上預報成果評估的流程，各模式評估結果詳述於後面的章節。

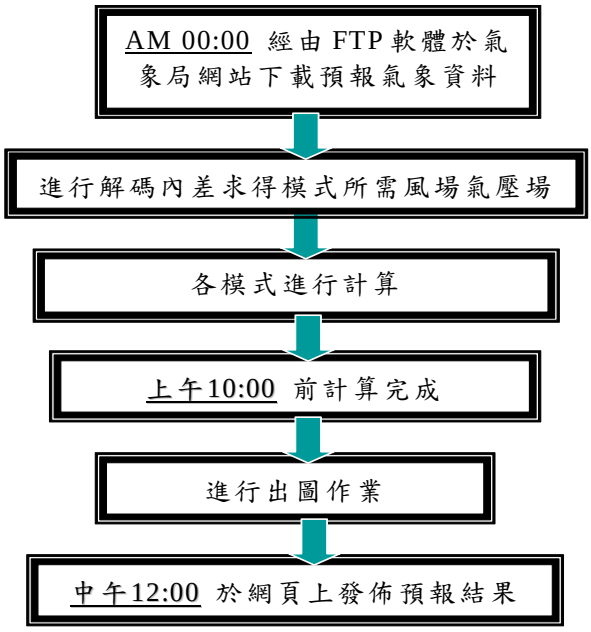


圖 2-1-1　近岸海象數值模擬及預警系統線上作業流程

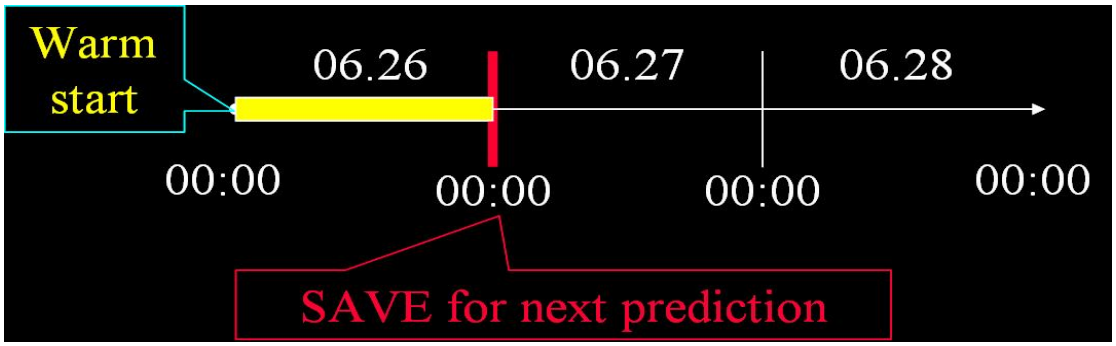


圖 2-1-2　近岸海象數值模擬及預警系統每日線上作業範例

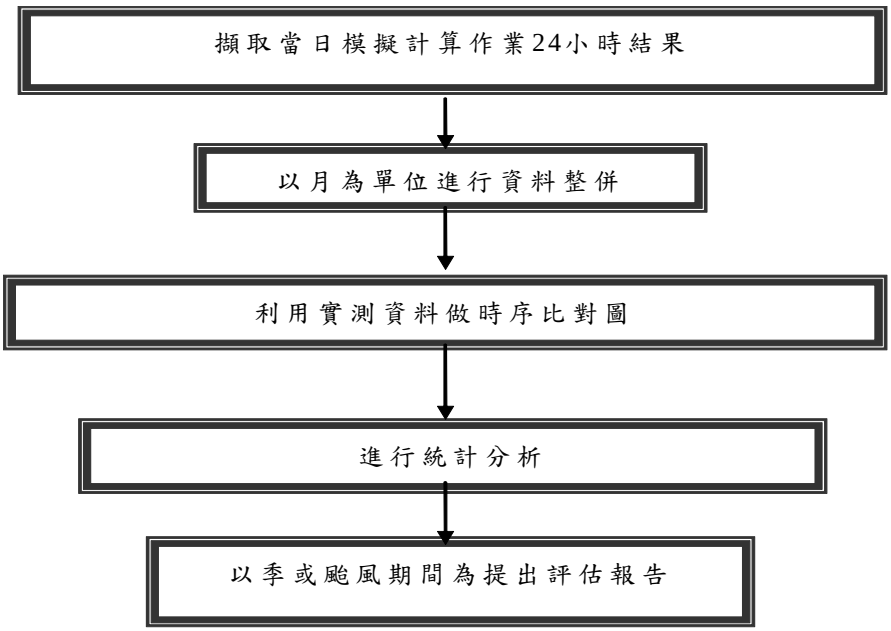


圖 2-1-3　近岸海象數值模擬及預警系統線上作業成果評估流程

2.2 水位模式成果評估

目前完成每日線上預報的模式為西太平洋水位模式(五分網格)及台灣海域水位模式(1 分網格)，台灣海域水位模式在第一季中才加入線上預報系統，經過第一季的測試，已能穩定運作，因此在第二季以後加入評估系統中，瞭解西太平洋水位模式及台灣海域水位模式的差異。

表 2-2-1~表 2-2-4 為全年四季實測水位與模式水位 r.m.s.的計算統計表，表 2-2-5~表 2-2-5 則為全年四季實測資料蒐集率比數統計，圖 2-2-1 至圖 2-2-60 為全年四季模式與實測水位比對結果圖。

由 r.m.s 值計算，西太平洋模式於花蓮測站的 r.m.s.值介於 0.08~2.63 公尺間；基隆測站為 0.18~4.23 公尺；高雄測站為 0.1~0.14 公尺；蘇澳測站為 0.06~0.15 公尺；台中測站為 0.44~1.88 公尺。台灣海域模式的結果，花蓮測站為 0.06~2.63 公尺；基隆測站為 0.09~0.12 公尺；高雄測站為 0.09~0.13 公尺；蘇澳測站為 0.07~0.15 公尺；台中測站則為 0.13~1.76 公尺。可以明顯了解由於台灣海域模式所使用的地形為 1 分網格，因此 r.m.s.計算的結果接優於西太平洋模式。由 r.m.s.結果也可發現 2007 年 8 月份花蓮及台中測站的 r.m.s 值突然增大許多，透過比對圖可以發現，此段期間實測資料的水準產生偏移導致計算結果偏大的現象。2007 年 10 月基隆港計算值偏大，此為中間部份資料偏移導致。

由實測資料比數統計表可發現實測資料在部份測站相當缺乏，如 2006 年 12 月蘇澳測站及 2007 年 01 月基隆測站，資料筆數皆不到 50%，此部份會造成比對上的困難。花蓮測站在 9~11 月完全沒有資料可供比對。

表 2-2-1 第一季實測水位與西太平洋模式 r.m.s.值計算(單位：公尺)

	花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2006 年 12 月	0.09	4.23	0.11	0.08	0.52
2007 年 01 月	0.14	資料不足	0.12	0.06	0.51
2007 年 02 月	0.11	0.23	0.1	0.06	0.5

表 2-2-2 第二季實測水位與模式水位 r.m.s.值計算(單位：公尺)

		花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2007 年 3 月	西太平洋	0.1	0.19	0.1	0.1	0.47
	台灣海域	0.08	0.12	0.09	0.1	0.20
2007 年 4 月	西太平洋	0.08	0.19	0.11	0.07	0.47
	台灣海域	0.07	0.11	0.11	0.07	0.18
2007 年 5 月	西太平洋	0.08	0.18	0.12	0.07	0.46
	台灣海域	0.06	0.07	0.13	0.08	0.13

表 2-2-3 第三季實測水位與模式水位 r.m.s.值計算(單位：公尺)

		花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2007 年 6 月	西太平洋	0.12	0.19	0.14	0.12	0.51
	台灣海域	0.11	0.10	0.13	0.12	0.31
2007 年 7 月	西太平洋	0.12	0.18	0.12	0.07	0.44
	台灣海域	0.10	0.09	0.12	0.07	0.22
2007 年 8 月	西太平洋	2.63	0.21	0.10	0.15	1.88
	台灣海域	2.63	0.12	0.10	0.15	1.76

表 2-2-4 第四季實測與台灣海域模式水位 r.m.s.值計算(單位：公尺)

	花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2007 年 9 月	無資料	0.18	0.1	0.09	0.5
2007 年 10 月	無資料	2	0.09	0.1	0.49
2007 年 11 月	無資料	0.2	0.11	0.05	0.51

表 2-2-5 第一季各月份實測水位資料筆數統計

		花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2006 年 12 月	應到筆數	744	744	744	744	744
	實到筆數	520	51	528	158	528
	百分率	**69.89**	**6.85**	**70.97**	**21.24**	**70.97**
2007 年 1 月	應到筆數	744	744	744	744	744
	實到筆數	446	1	528	529	529
	百分率	**59.95**	**0.13**	**70.97**	**71.1**	**71.1**
2007 年 2 月	應到筆數	672	672	672	672	672
	實到筆數	610	550	624	624	624
	百分率	**90.77**	**81.85**	**92.86**	**92.86**	**92.86**

表 2-2-6 第二季各月份實測水位資料筆數統計

		花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2007 年 3 月	應到筆數	744	744	744	744	744
	實到筆數	729	722	731	731	731
	百分比	**98**	**97**	**98.3**	**98.3**	**98.3**
2007 年 4 月	應到筆數	720	720	720	720	720
	實到筆數	690	680	699	699	699
	百分比	**95.8**	**94.4**	**97.1**	**97.1**	**97.1**
2007 年 5 月	應到筆數	744	744	744	744	744
	實到筆數	722	716	731	731	731
	百分比	**97**	**96.2**	**98.3**	**98.3**	**98.3**

表 2-2-7 第三季各月份實測水位資料筆數統計

		花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2007 年 6 月	應到筆數	720	720	720	720	720
	實到筆數	579	716	718	718	699
	百分比	**80**	**99**	**99**	**99**	**97**
2007 年 7 月	應到筆數	744	744	744	744	744
	實到筆數	732	732	732	732	743
	百分比	**98**	**98**	**98**	**98**	**99**
2007 年 8 月	應到筆數	744	744	744	744	744
	實到筆數	638	668	686	686	480
	百分比	**85**	**89**	**92**	**92**	**64**

表 2-2-8 第四季各月份實測水位資料筆數統計

		花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2007 年 9 月	應到筆數	720	720	720	720	720
	實到筆數	0	708	719	720	720
	百分比	**0**	**98**	**99**	**100**	**100**
2007 年 10 月	應到筆數	744	744	744	744	744
	實到筆數	0	434	742	744	738
	百分比	**0**	**58**	**99**	**100**	**99**
2007 年 11 月	應到筆數	744	744	744	744	744
	實到筆數	0	652	725	725	702
	百分比	**0**	**88**	**97**	**97**	**94**

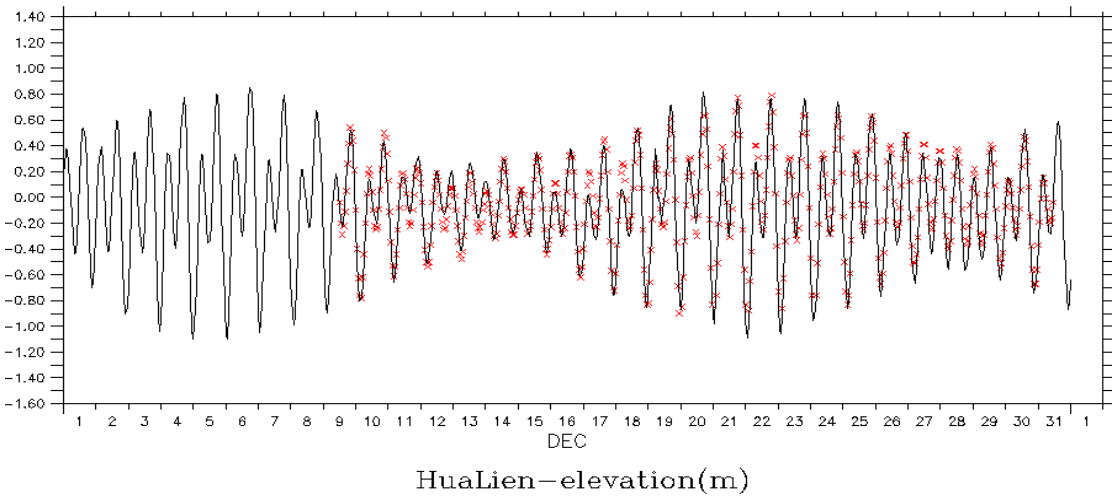


圖 2-2-1　花蓮港 2006 年 12 月西太平洋模式與實測水位比對結果

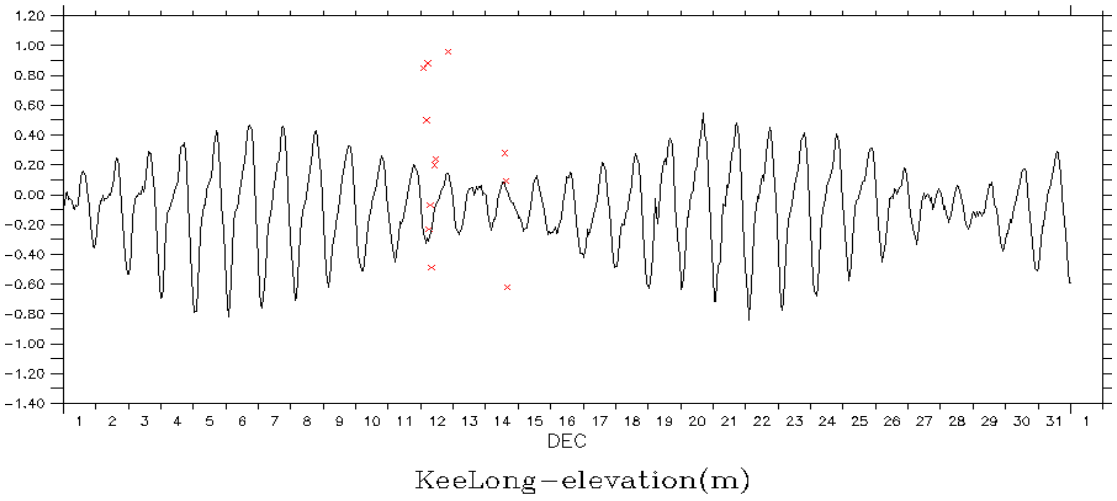


圖 2-2-2 基隆港 2006 年 12 月西太平洋模式與實測水位比對結果

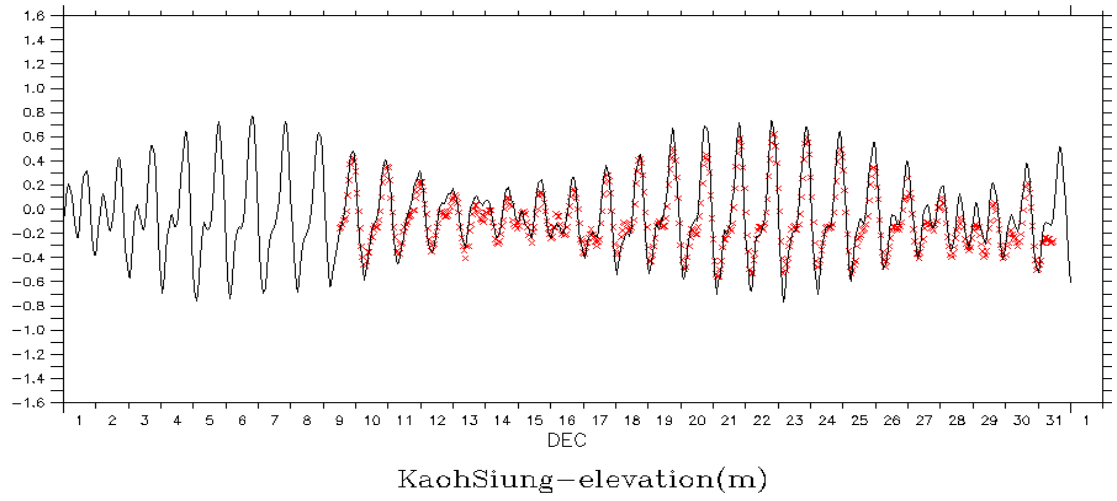


圖 2-2-3　高雄港 2006 年 12 月西太平洋模式與實測水位比對結果

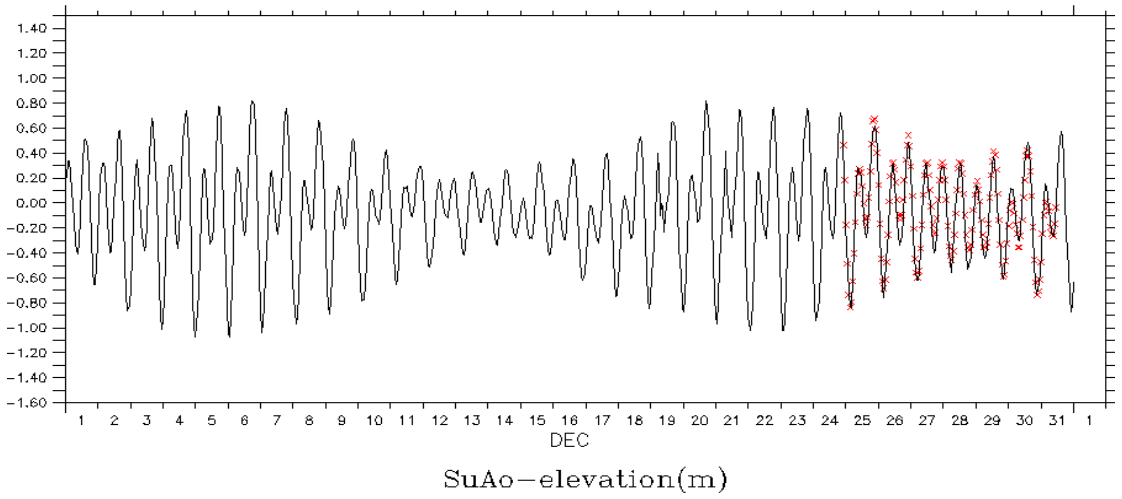


圖 2-2-4　蘇澳港 2006 年 12 月西太平洋模式與實測水位比對結果

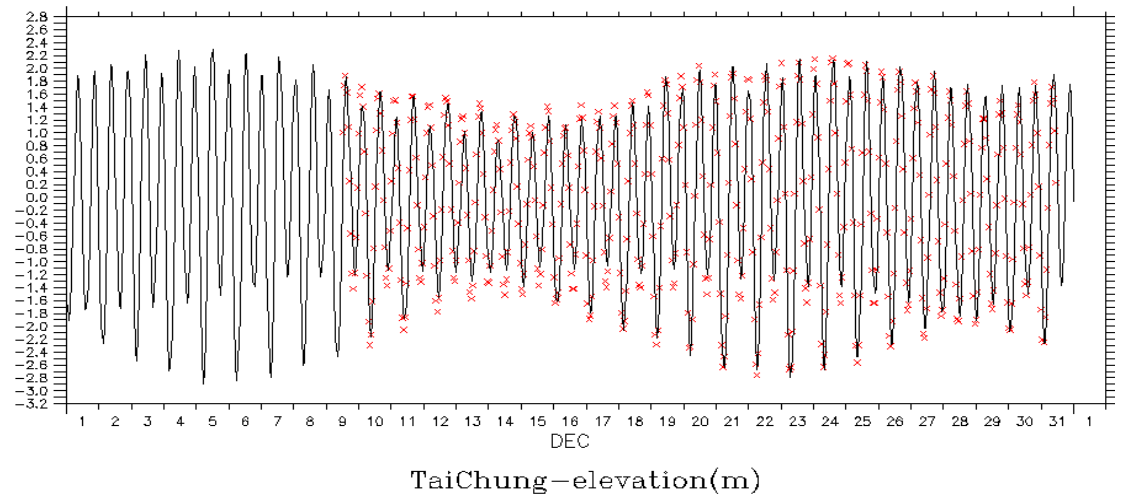


圖 2-2-5　台中港 2006 年 12 月西太平洋模式與實測水位比對結果

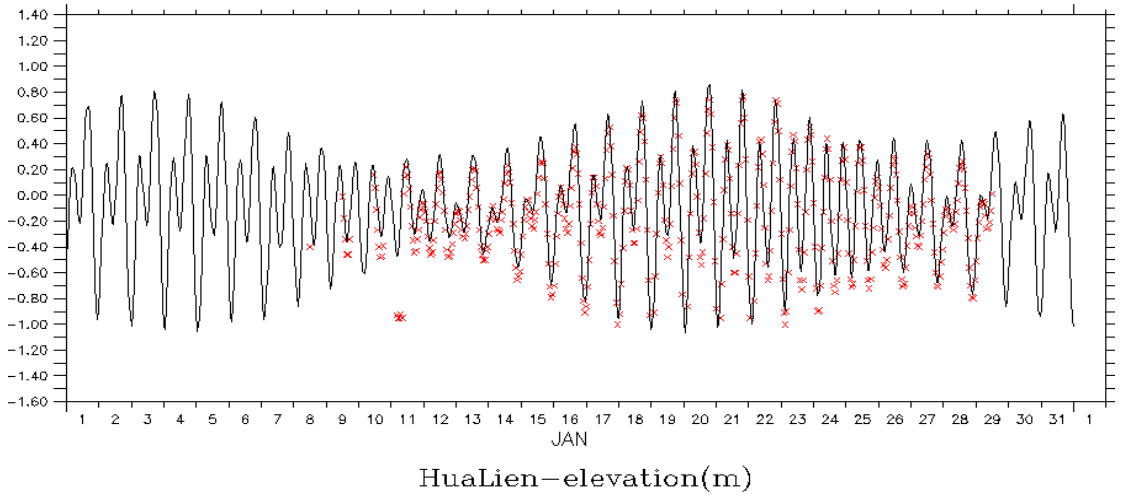


圖 2-2-6　花蓮港 2007 年 1 月西太平洋模式與實測水位比對結果

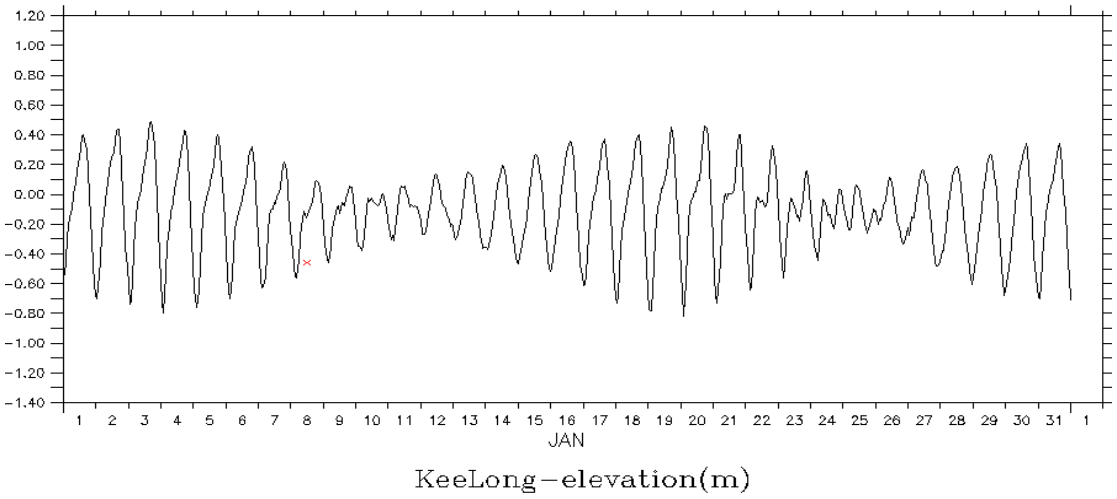


圖 2-2-7　基隆港 2007 年 1 月西太平洋模式與實測水位比對結果

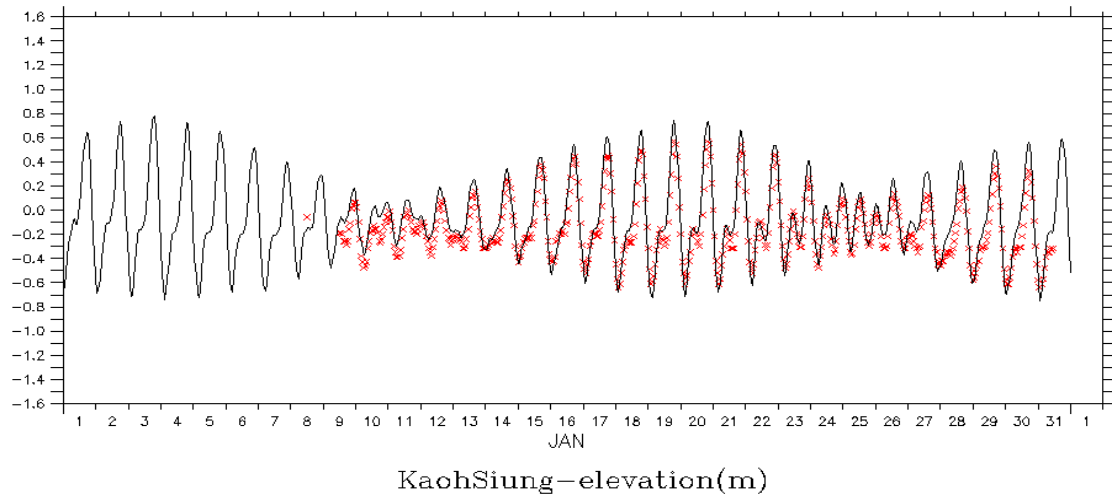


圖 2-2-8　高雄港 2007 年 1 月西太平洋模式與實測水位比對結果

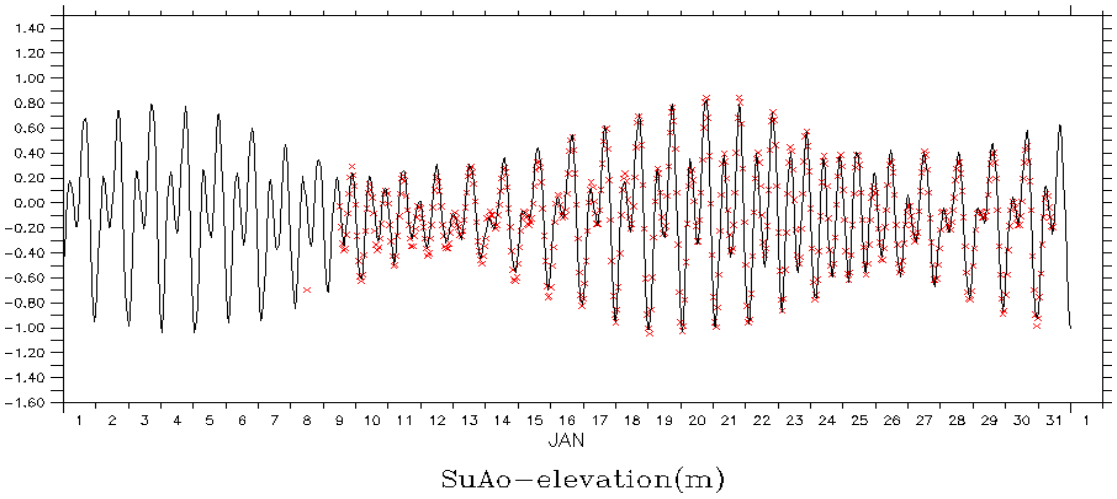


圖 2-2-9　蘇澳港 2007 年 1 月西太平洋模式與實測水位比對結果

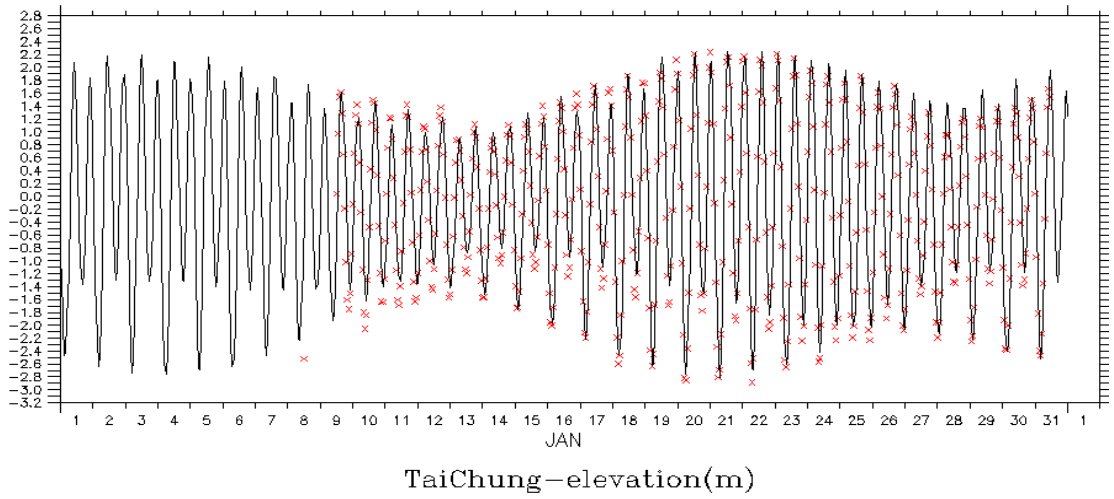


圖 2-2-10　台中港 2007 年 1 月西太平洋模式與實測水位比對結果

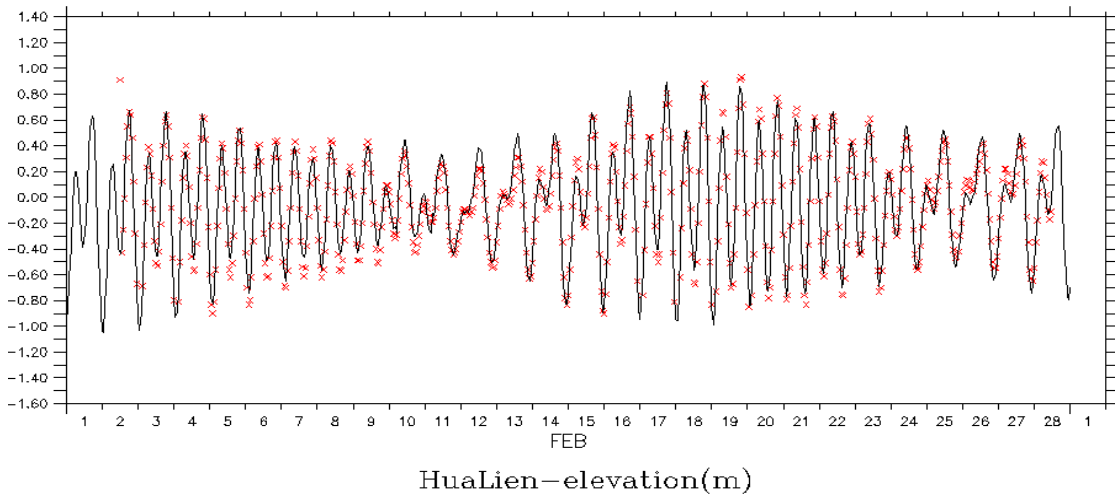


圖 2-2-11　花蓮港 2007 年 2 月西太平洋模式與實測水位比對結果

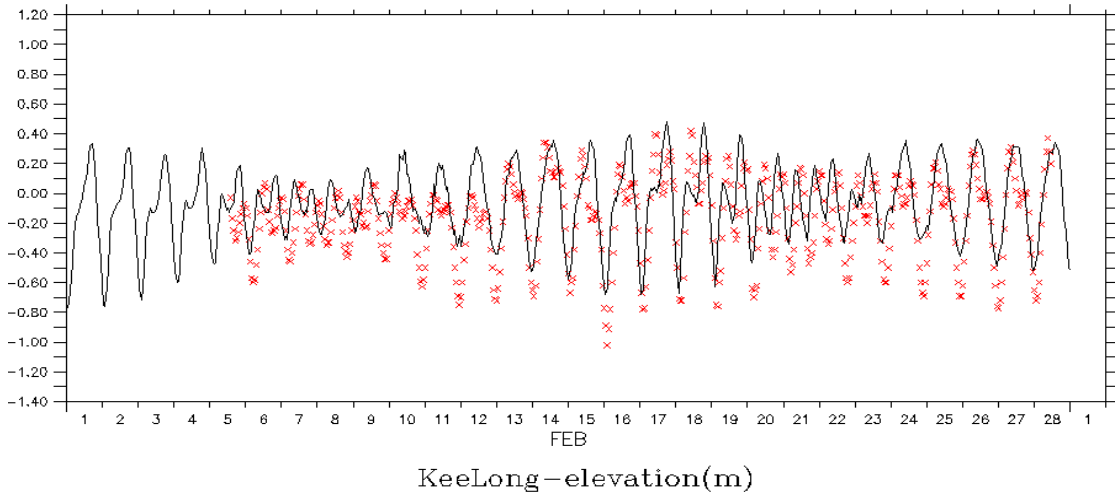


圖 2-2-12　基隆港 2007 年 2 月西太平洋模式與實測水位比對結果

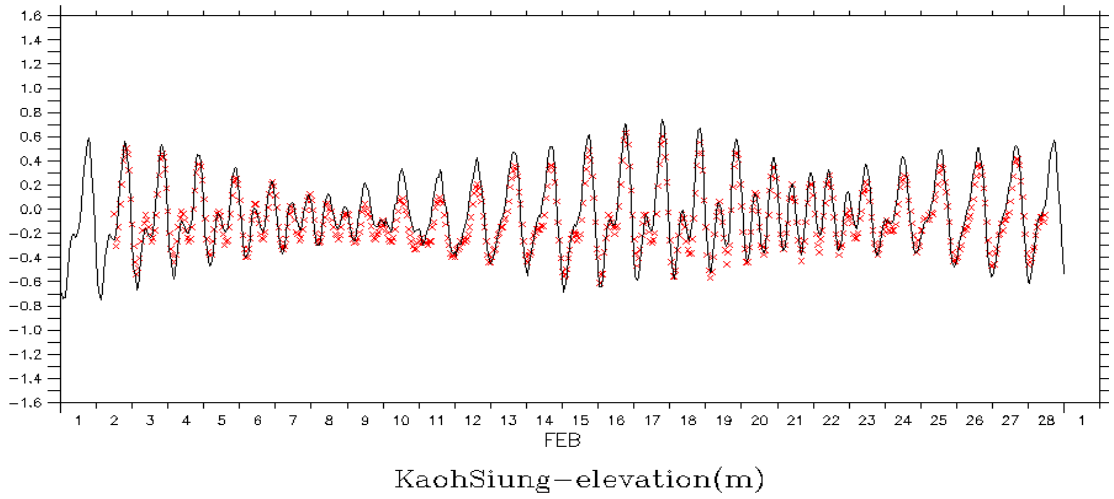


圖 2-2-13　高雄港 2007 年 2 月西太平洋模式與實測水位比對結果

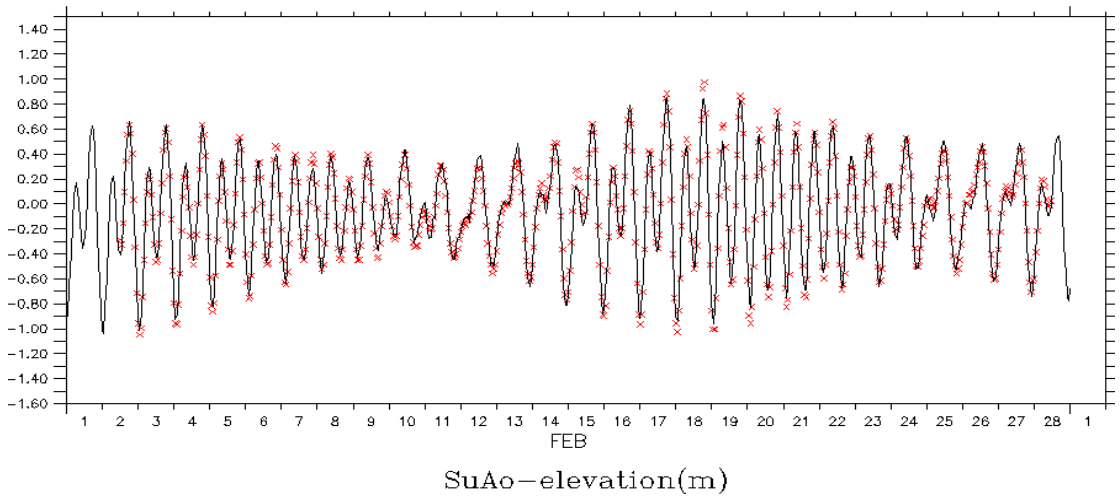


圖 2-2-14　蘇澳港 2007 年 2 月西太平洋模式與實測水位比對結果

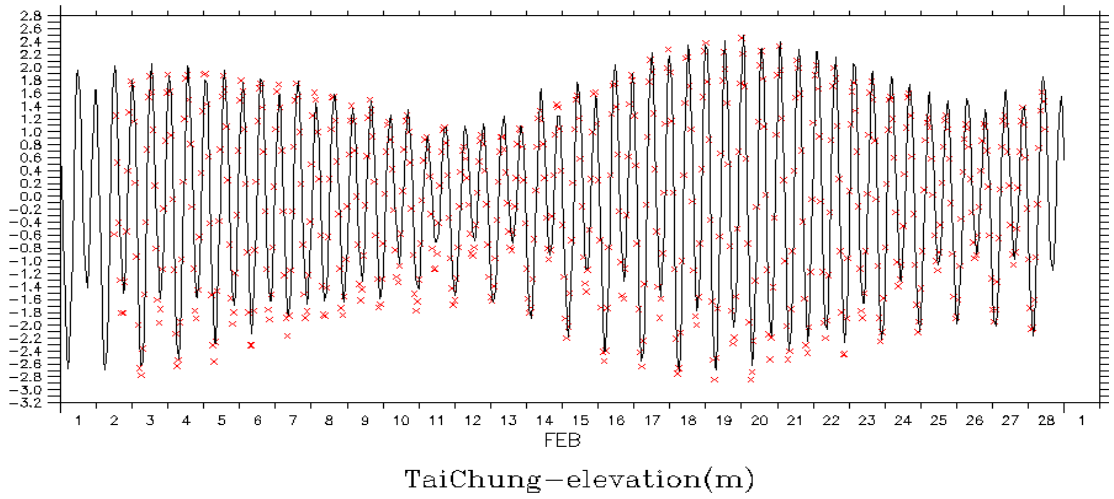


圖 2-2-15　台中港 2007 年 2 月西太平洋模式與實測水位比對結果

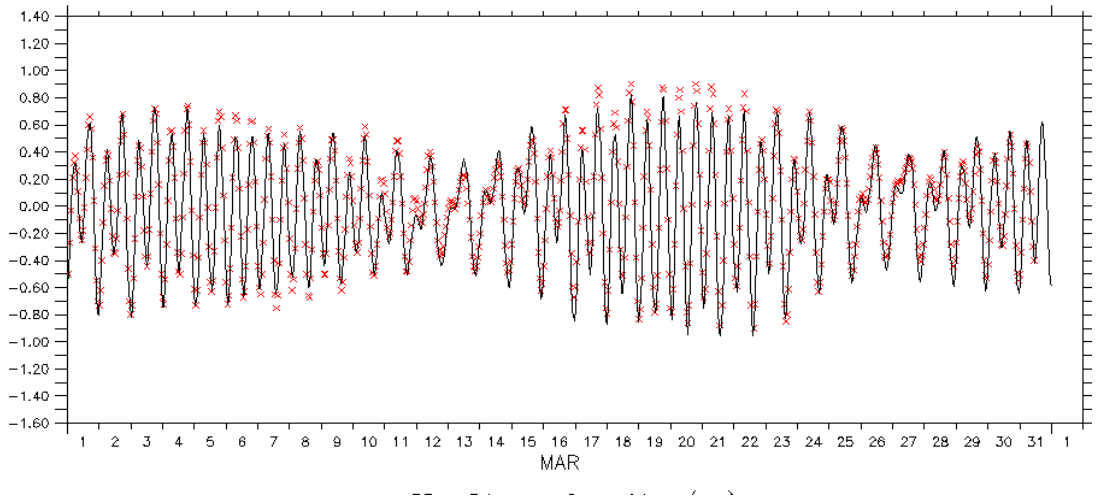


圖 2-2-16　花蓮港 2007 年 3 月台灣海域模式與實測水位比對結果

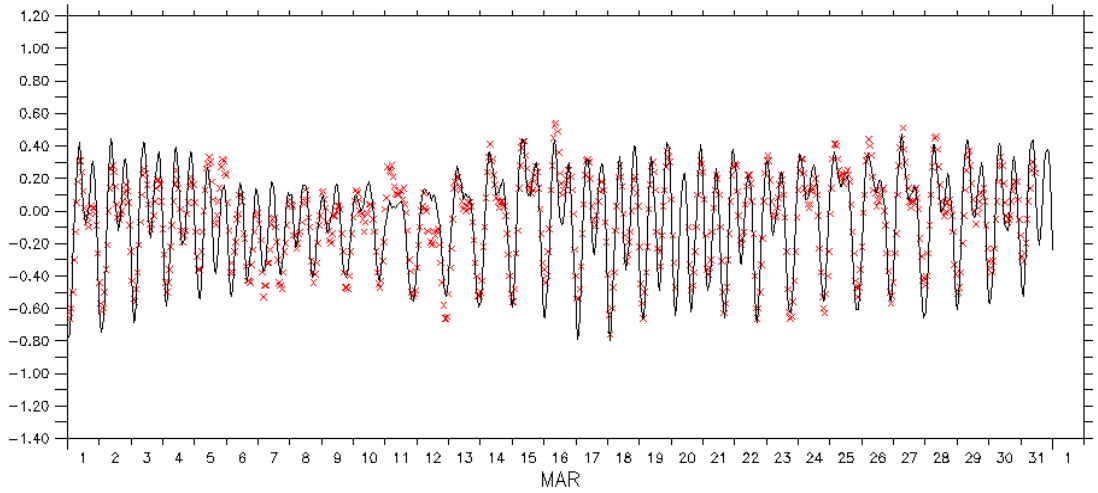


圖 2-2-17　基隆港 2007 年 3 月台灣海域模式與實測水位比對結果

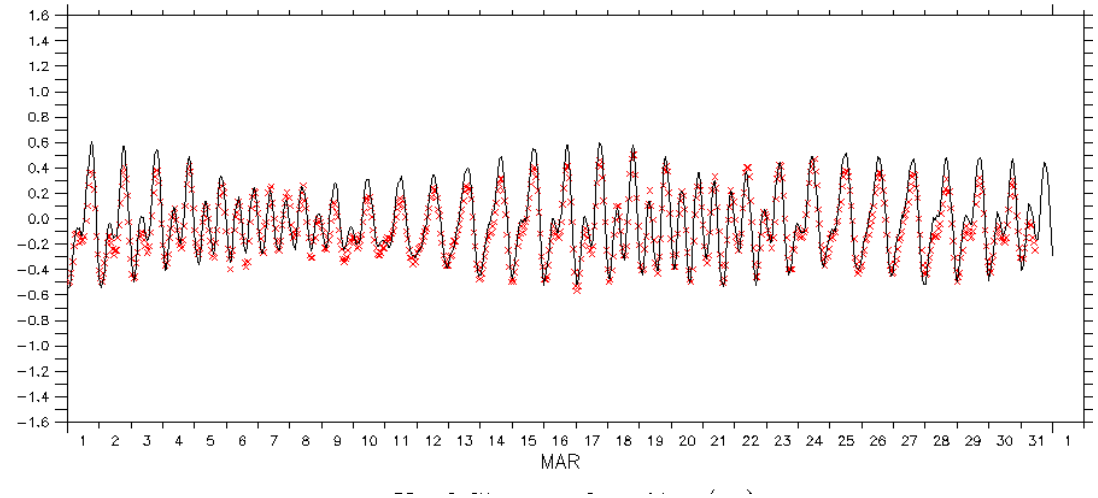


圖 2-2-18　高雄港 2007 年 3 月台灣海域模式與實測水位比對結果

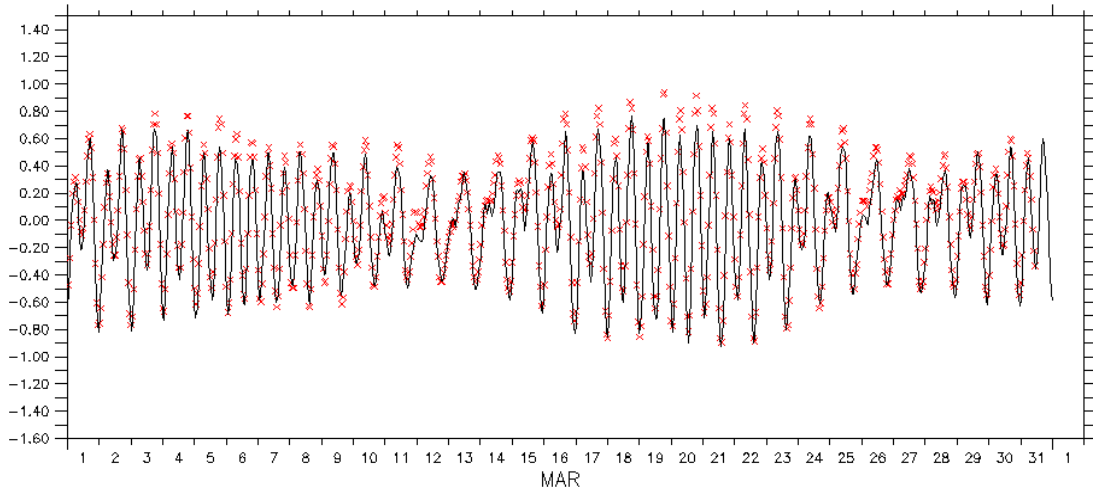


圖 2-2-19　蘇澳港 2007 年 3 月台灣海域模式與實測水位比對結果

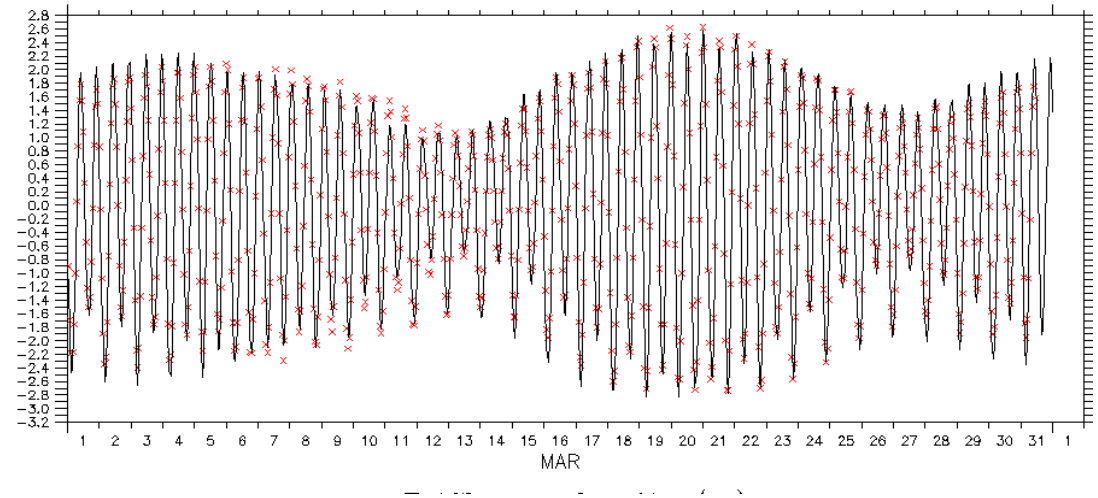


圖 2-2-20　台中港 2007 年 3 月台灣海域模式與實測水位比對結果

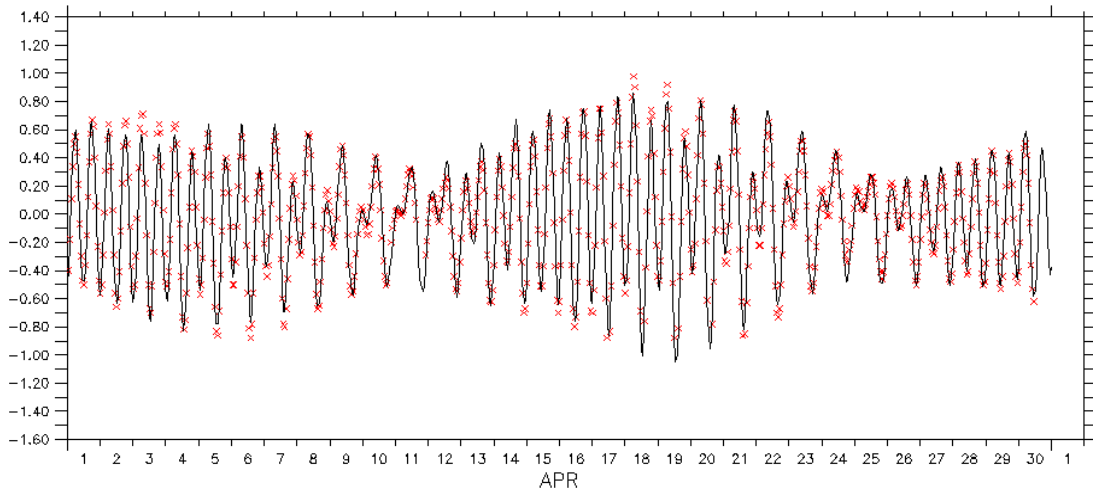


圖 2-2-21　花蓮港 2007 年 4 月台灣海域模式與實測水位比對結果

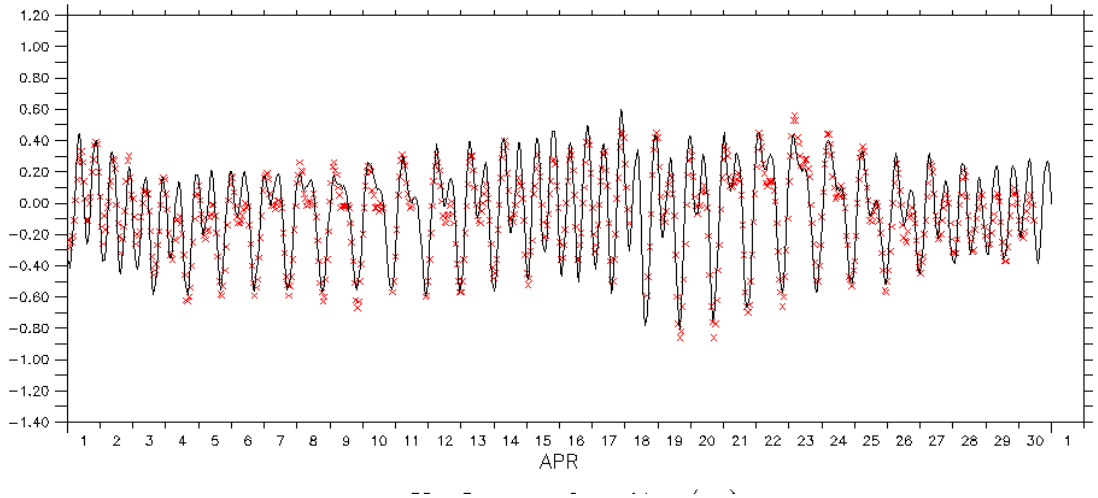


圖 2-2-22　基隆港 2007 年 4 月台灣海域模式與實測水位比對結果

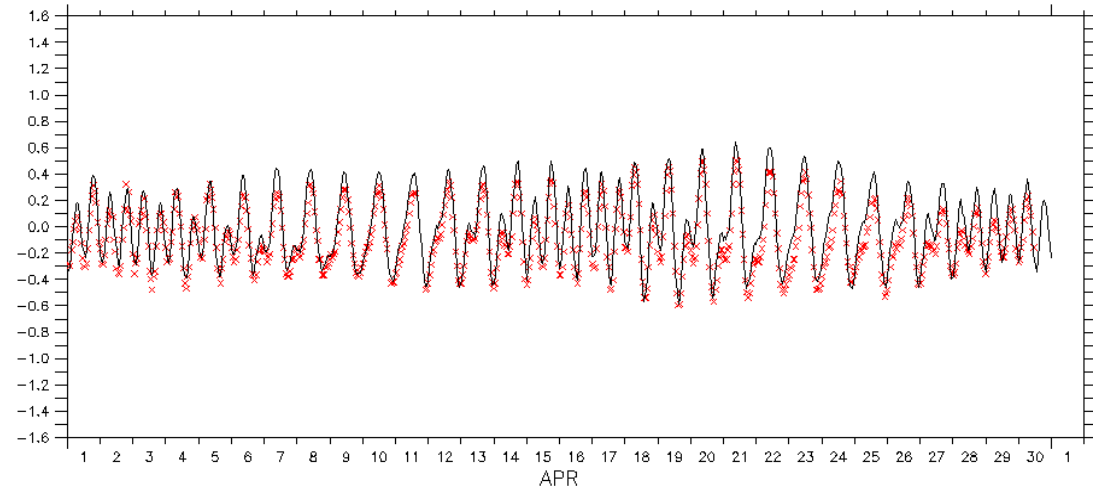


圖 2-2-23　高雄港 2007 年 4 月台灣海域模式與實測水位比對結果

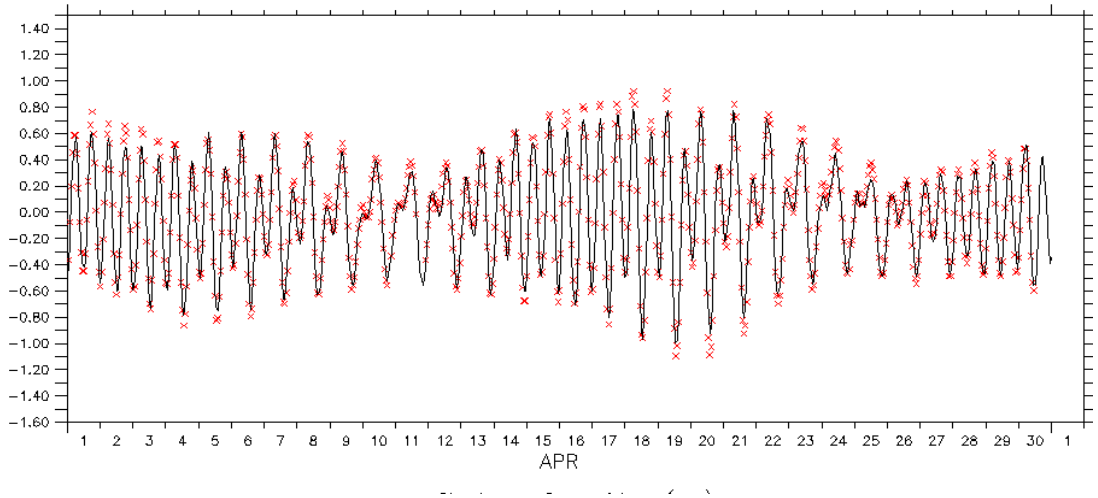


圖 2-2-24　蘇澳港 2007 年 4 月台灣海域模式與實測水位比對結果

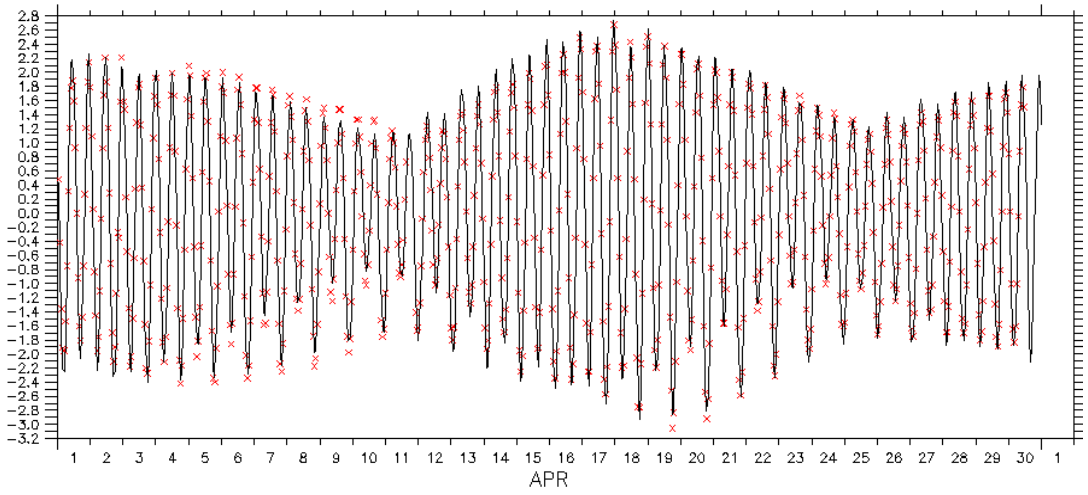


圖 2-2-25　台中港 2007 年 4 月台灣海域模式與實測水位比對結果

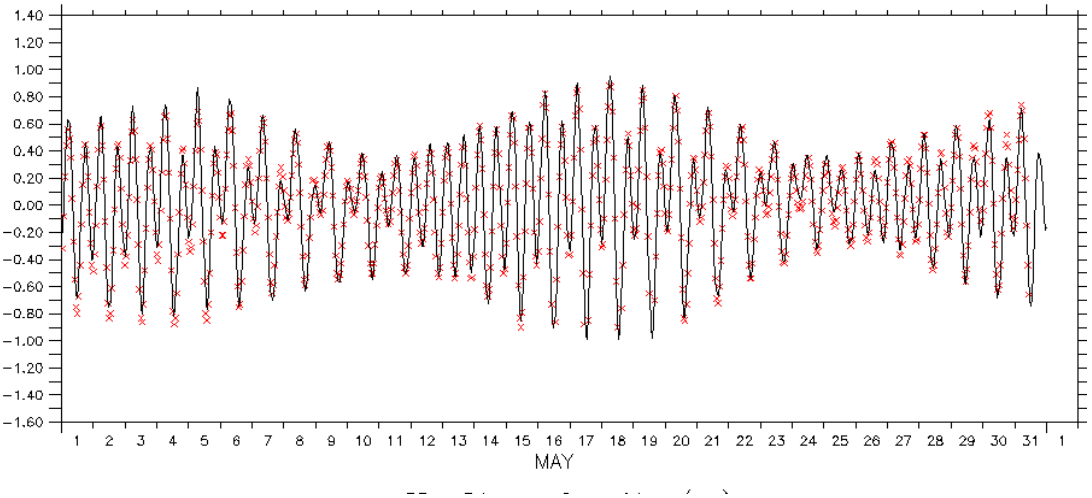


圖 2-2-26　花蓮港 2007 年 5 月台灣海域模式與實測水位比對結果

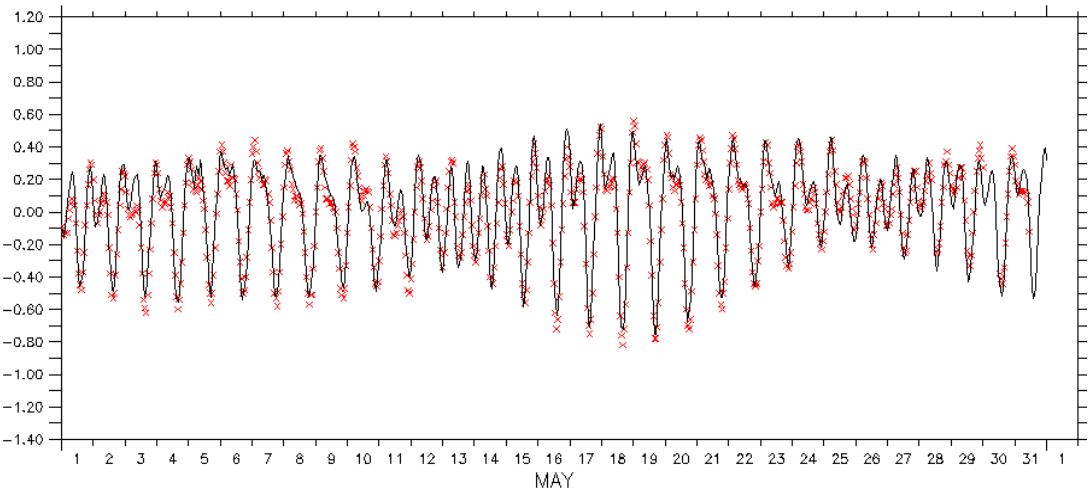


圖 2-2-27　基隆港 2007 年 5 月台灣海域模式與實測水位比對結果

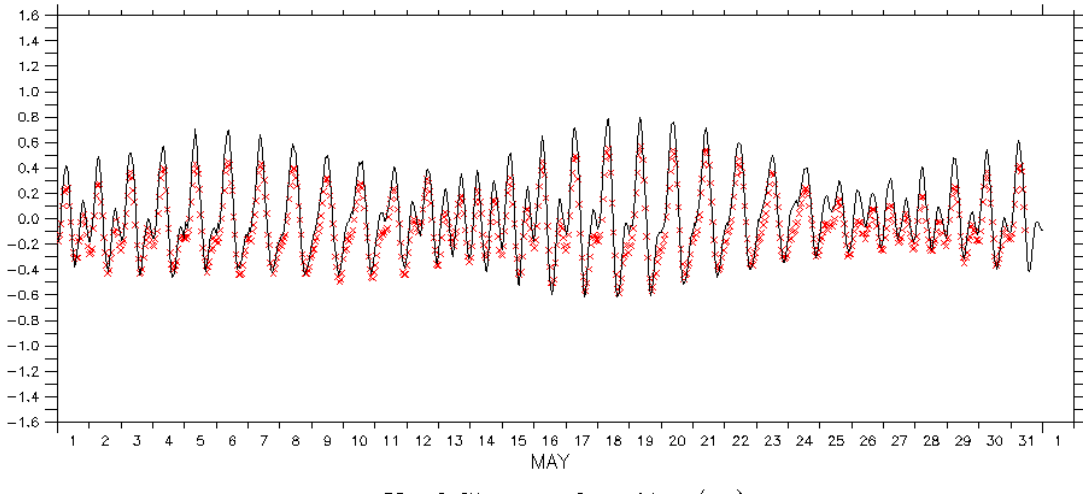


圖 2-2-28　高雄港 2007 年 5 月台灣海域模式與實測水位比對結果

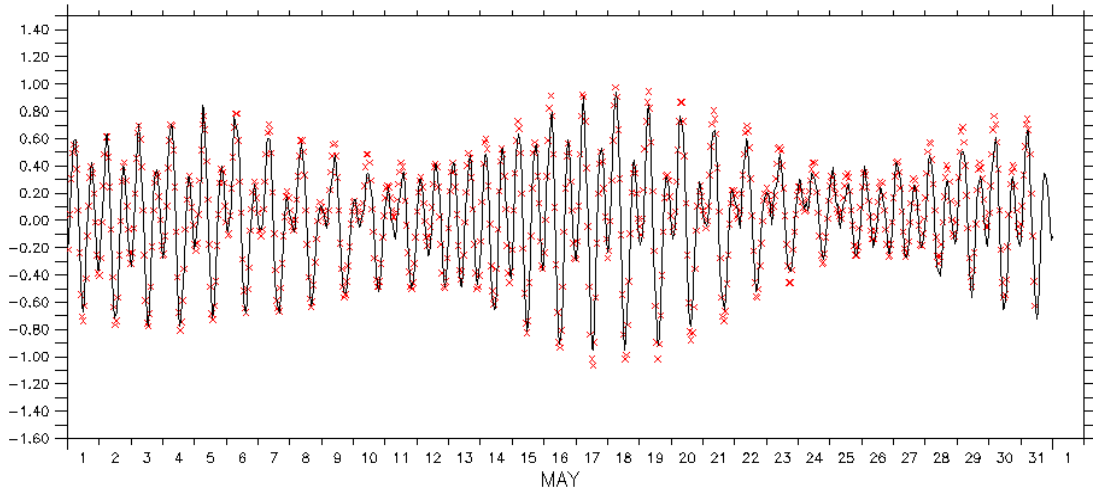


圖 2-2-29　蘇澳港 2007 年 5 月台灣海域模式與實測水位比對結果

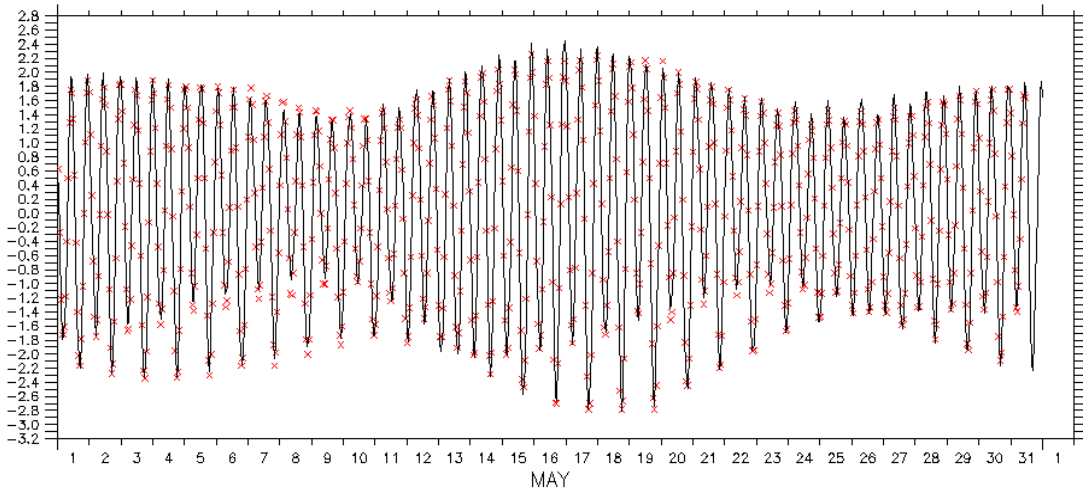


圖 2-2-30　台中港 2007 年 5 月台灣海域模式與實測水位比對結果

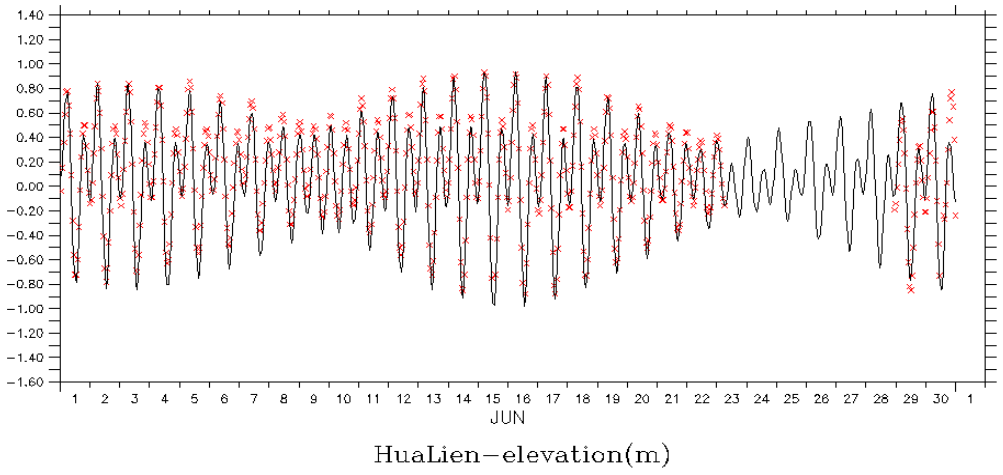


圖 2-2-31 花蓮港 2007 年 6 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

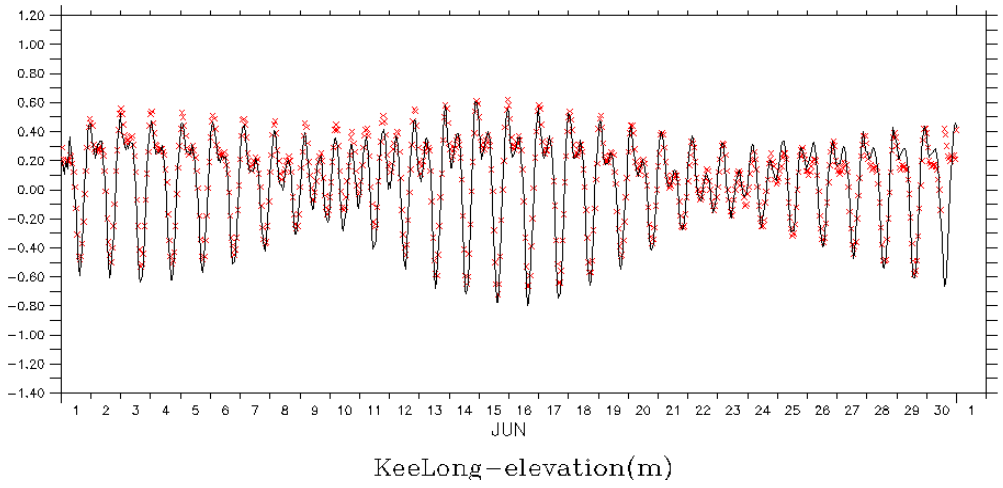


圖 2-2-32 基隆港 2007 年 6 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

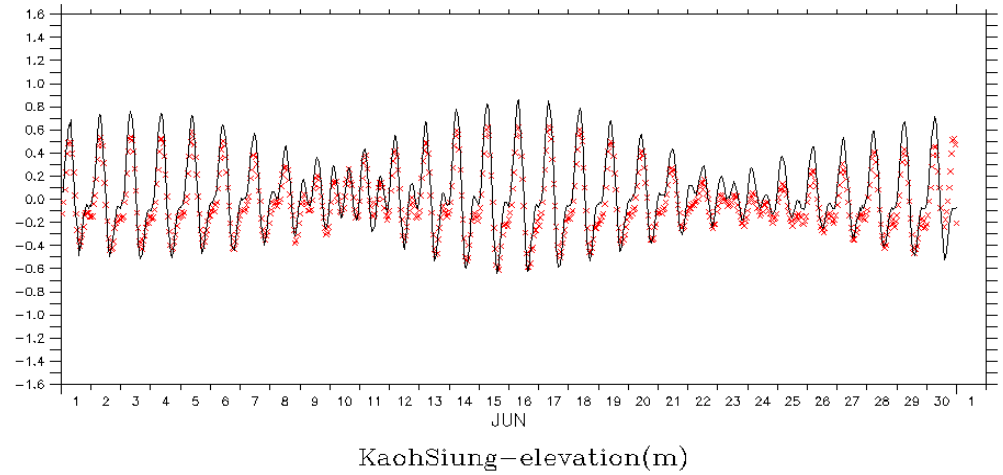


圖 2-2-33 高雄港 2007 年 6 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

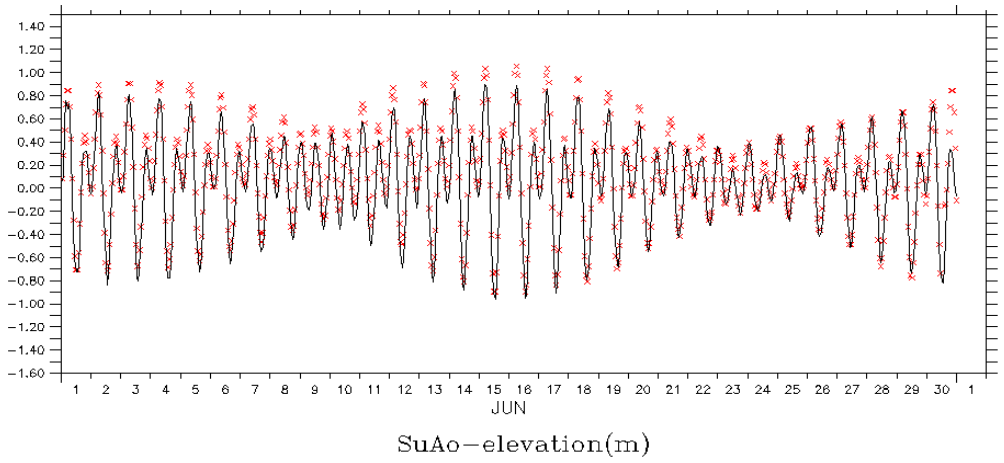


圖 2-2-34 蘇澳港 2007 年 6 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

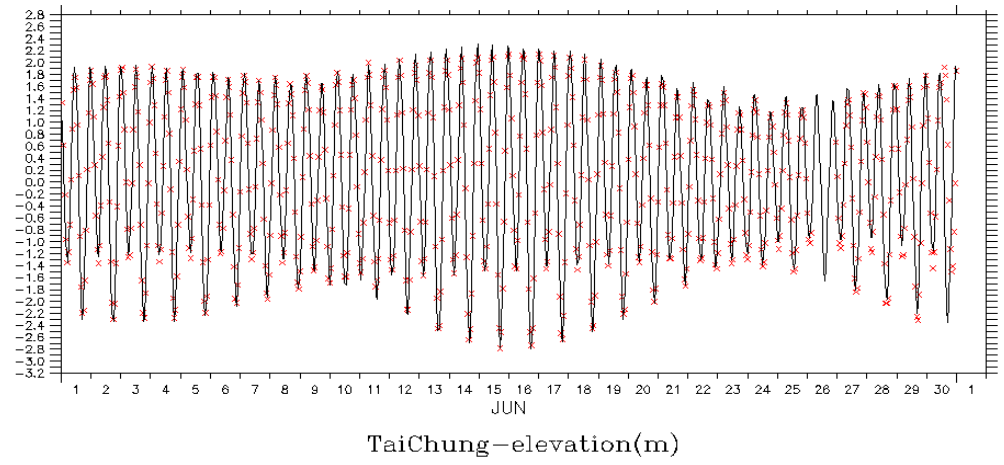


圖 2-2-35 台中港 2007 年 6 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

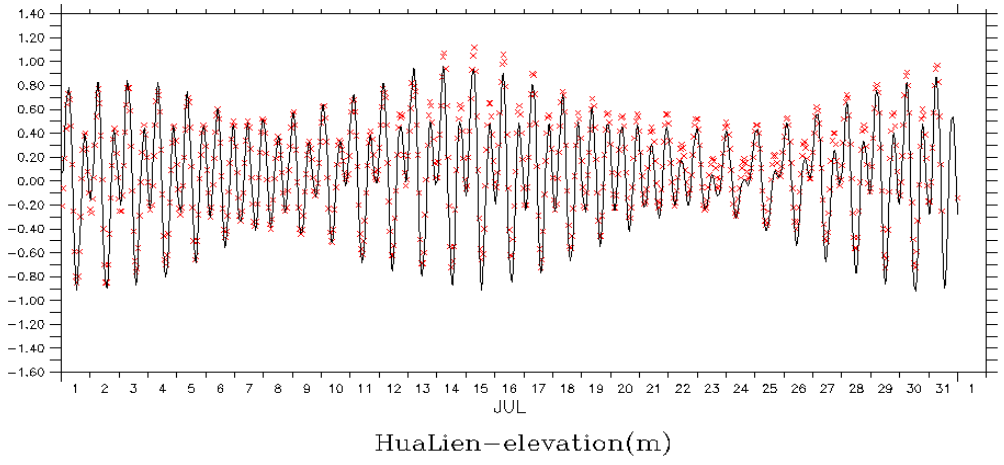


圖 2-2-36 花蓮港 2007 年 7 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

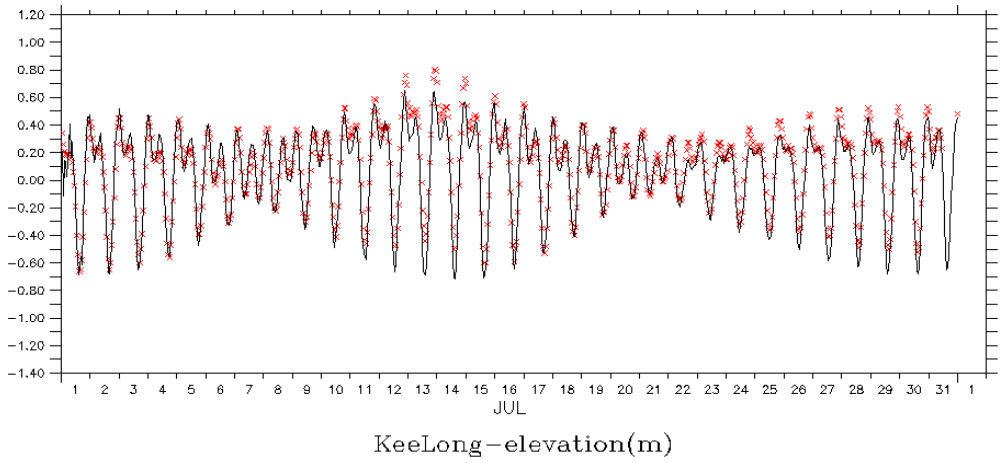


圖 2-2-37 基隆港 2007 年 7 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

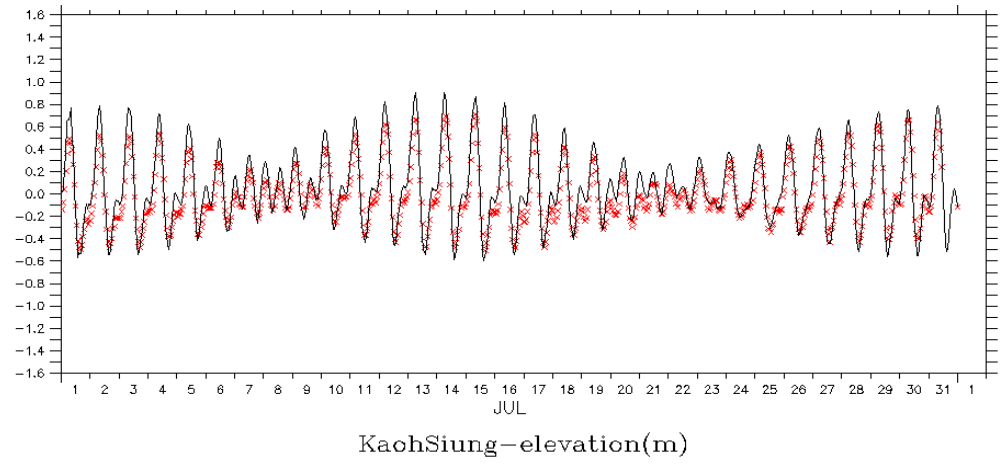


圖 2-2-38 高雄港 2007 年 7 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

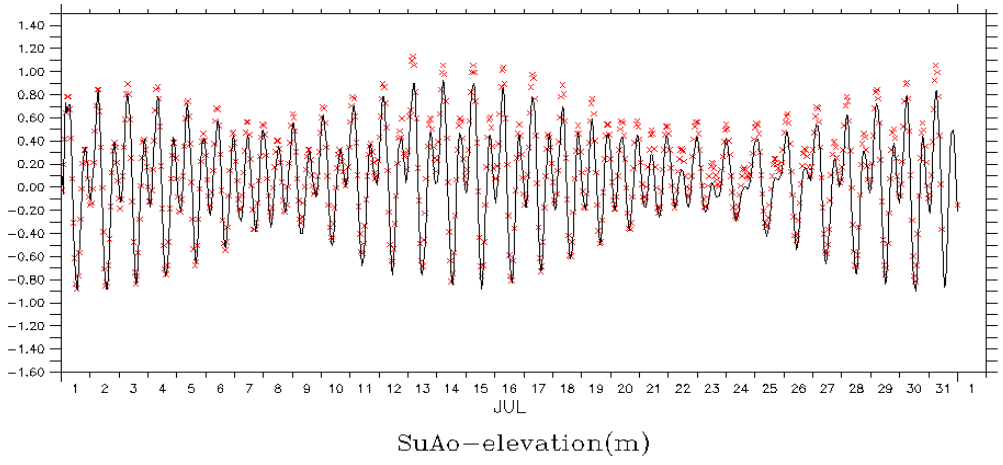


圖 2-2-39 蘇澳港 2007 年 7 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

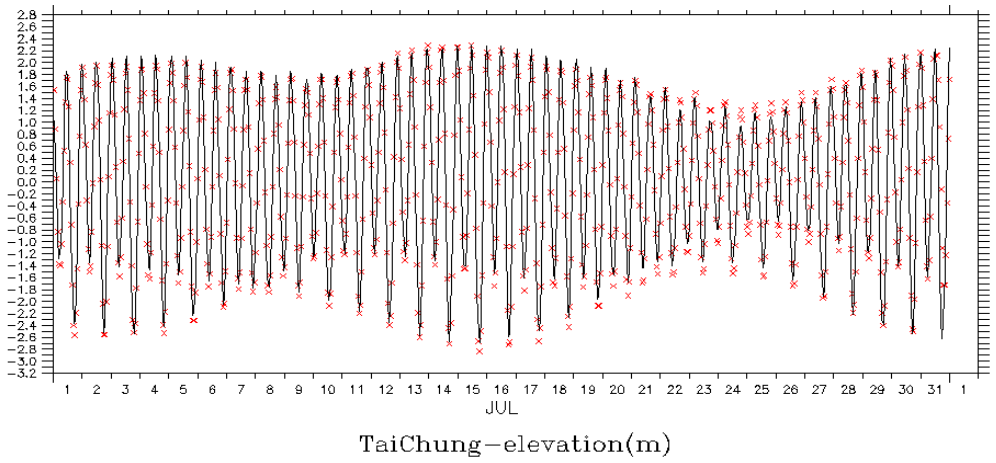


圖 2-2-40 台中港 2007 年 7 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

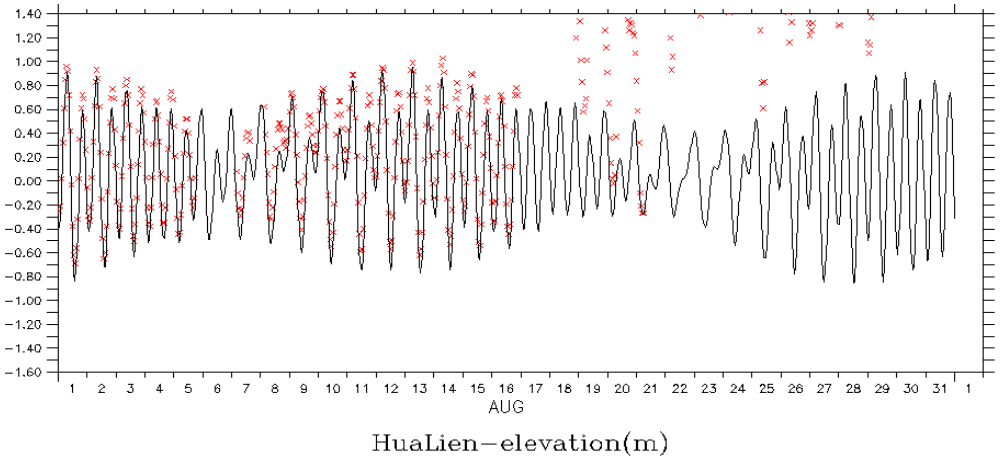


圖 2-2-41 花蓮港 2007 年 8 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

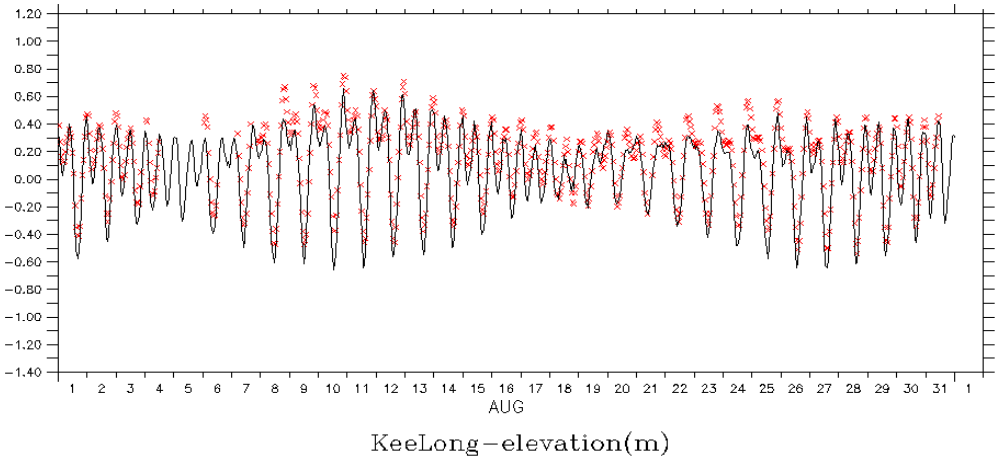


圖 2-2-42 基隆港 2007 年 8 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

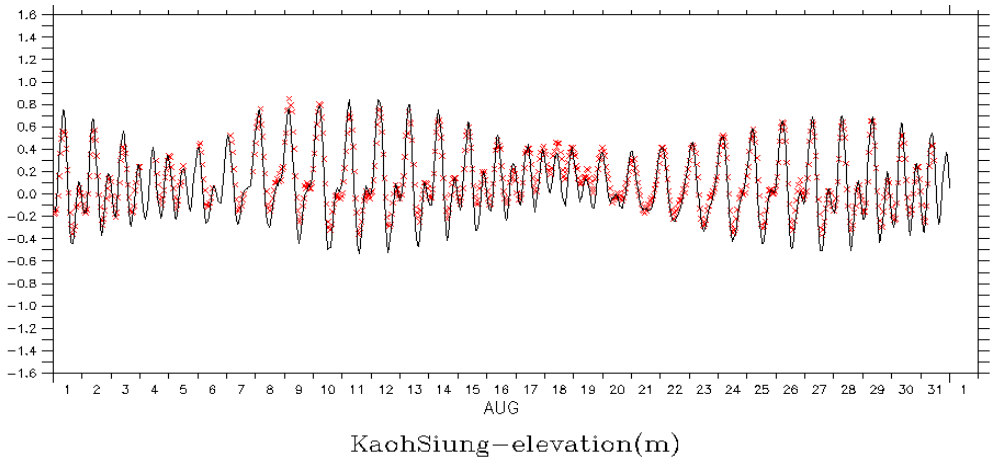


圖 2-2-43 高雄港 2007 年 8 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

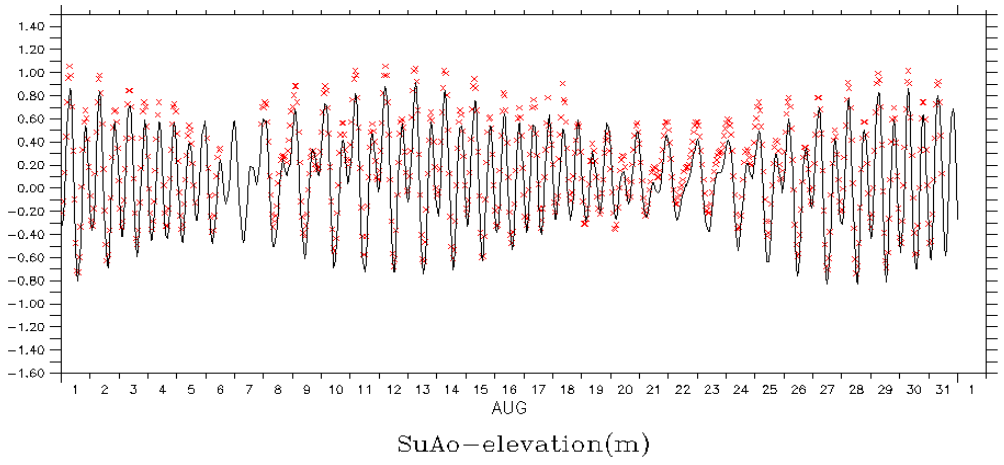


圖 2-2-44 蘇澳港 2007 年 8 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

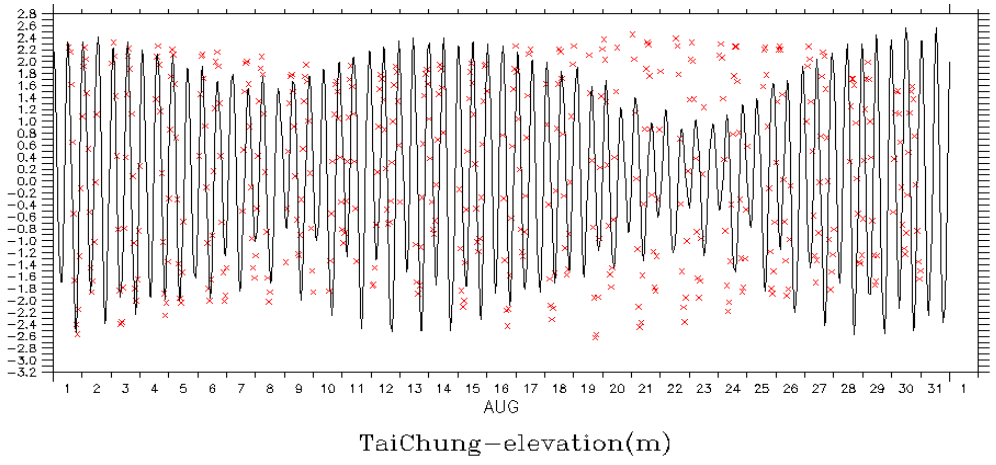


圖 2-2-45 台中港 2007 年 8 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

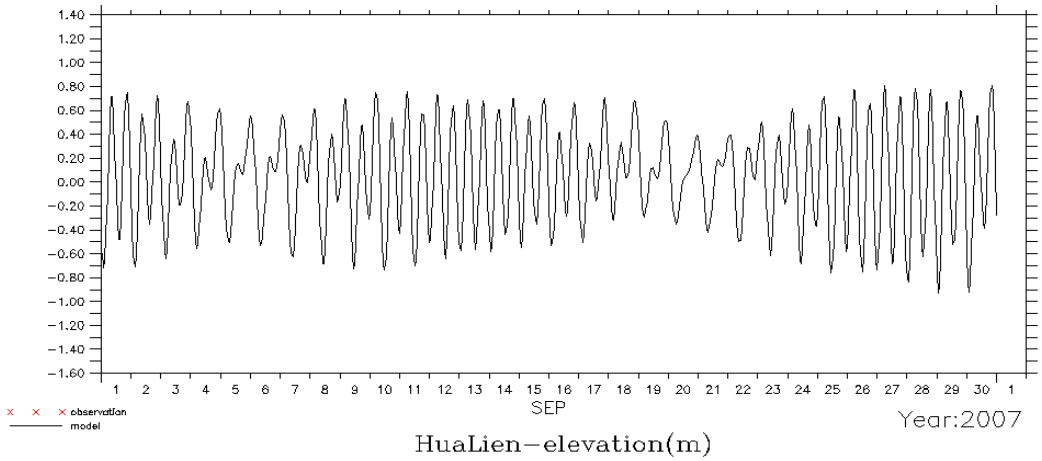


圖 2-2-46 花蓮港 2007 年 9 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

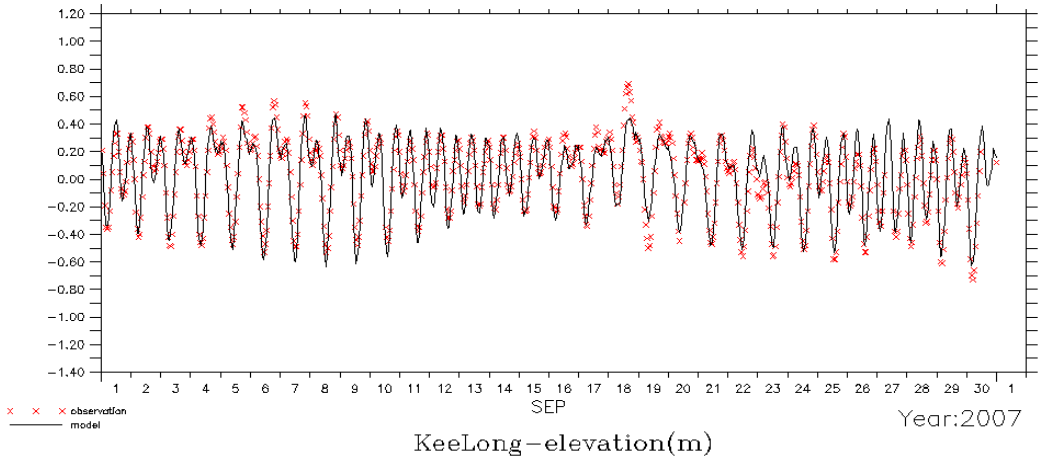


圖 2-2-47 基隆港 2007 年 9 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

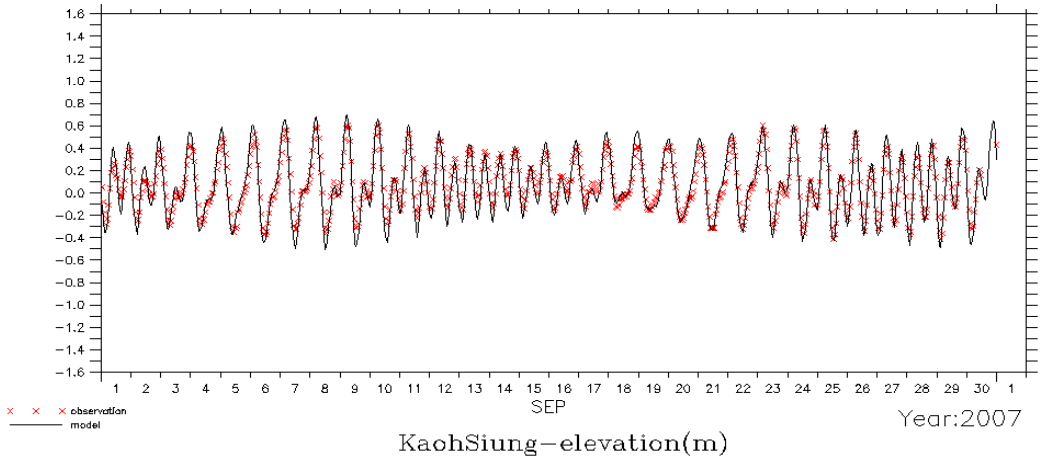


圖 2-2-48 高雄港 2007 年 9 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

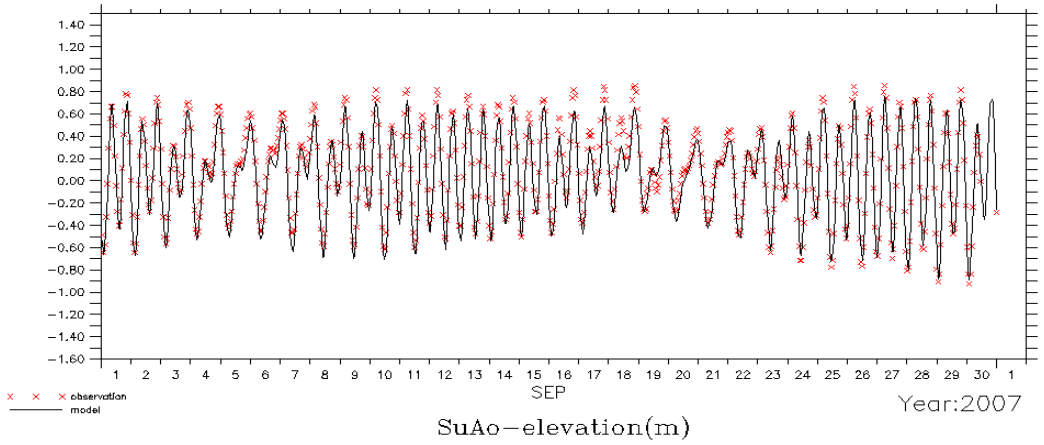


圖 2-2-49 蘇澳港 2007 年 9 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

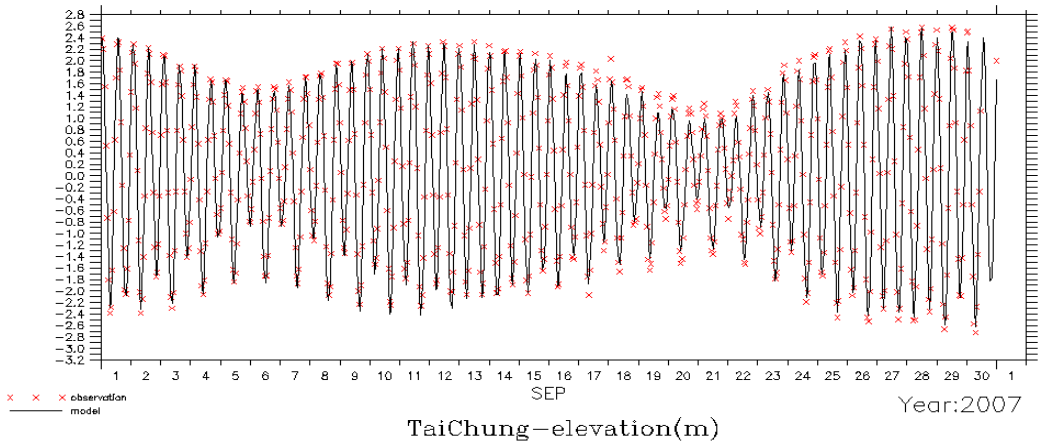


圖 2-2-50 台中港 2007 年 9 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

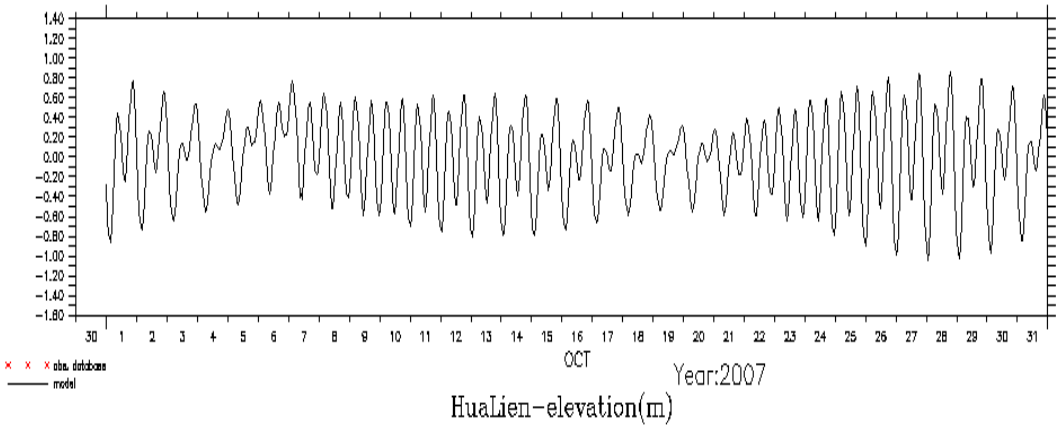


圖 2-2-51 花蓮港 2007 年 10 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

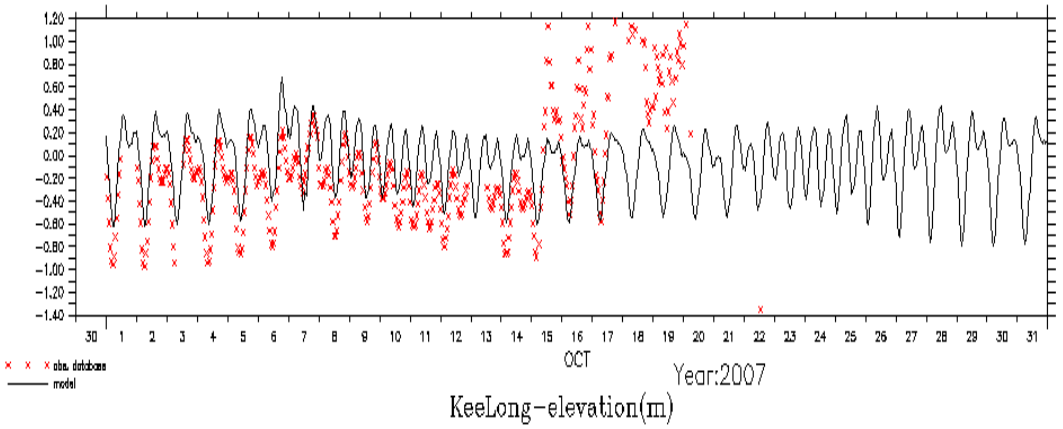


圖 2-2-52 基隆港 2007 年 10 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

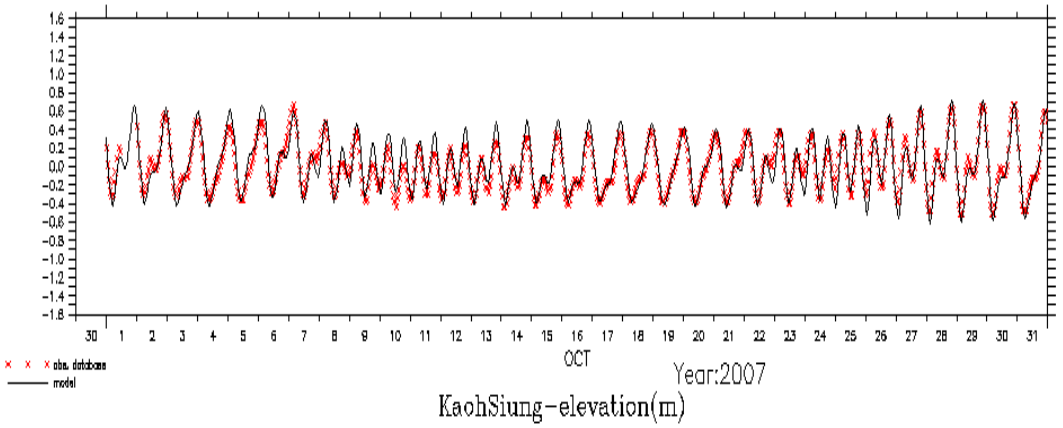


圖 2-2-53 高雄港 2007 年 10 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

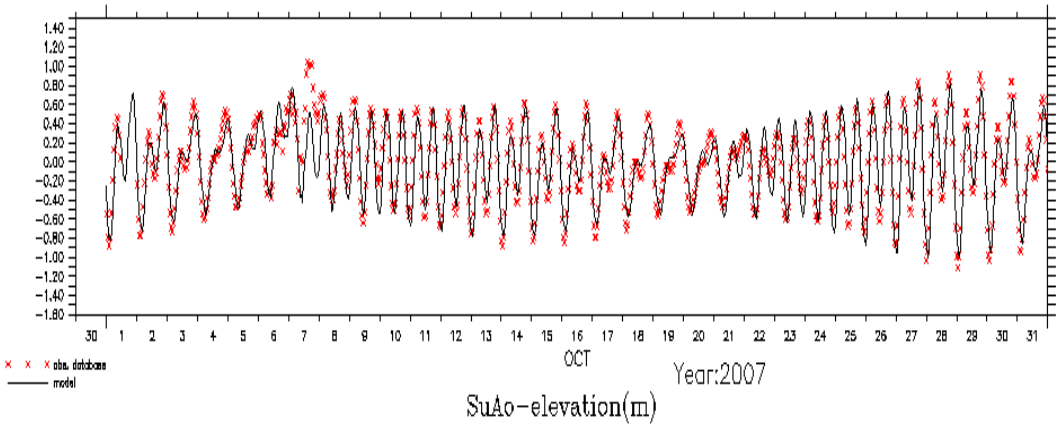


圖 2-2-54 蘇澳港 2007 年 10 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

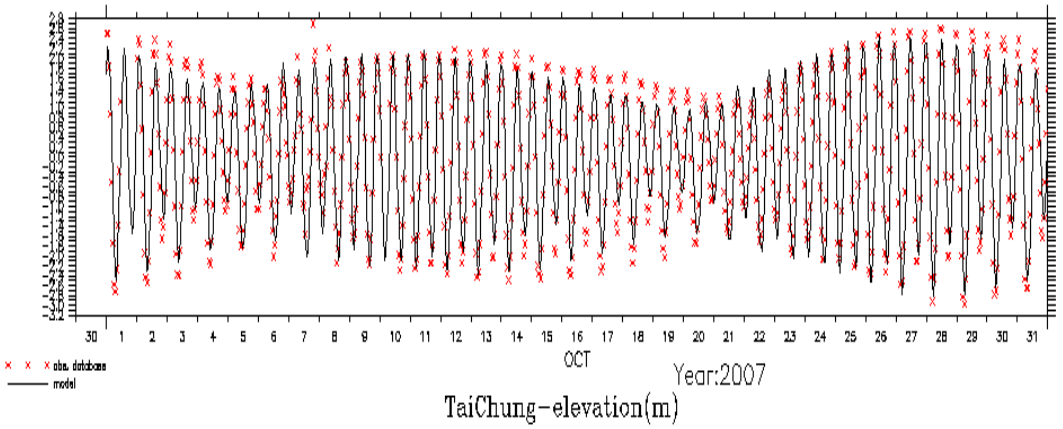


圖 2-2-55 台中港 2007 年 10 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

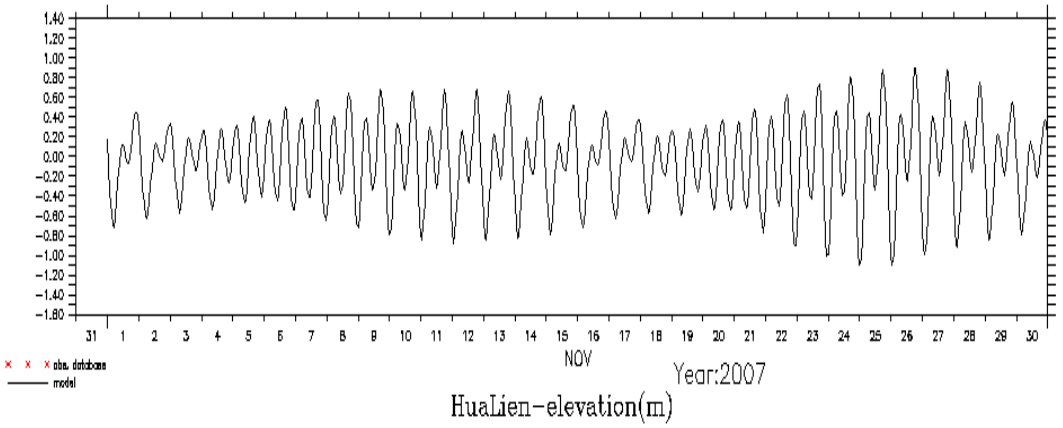


圖 2-2-56 花蓮港 2007 年 11 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

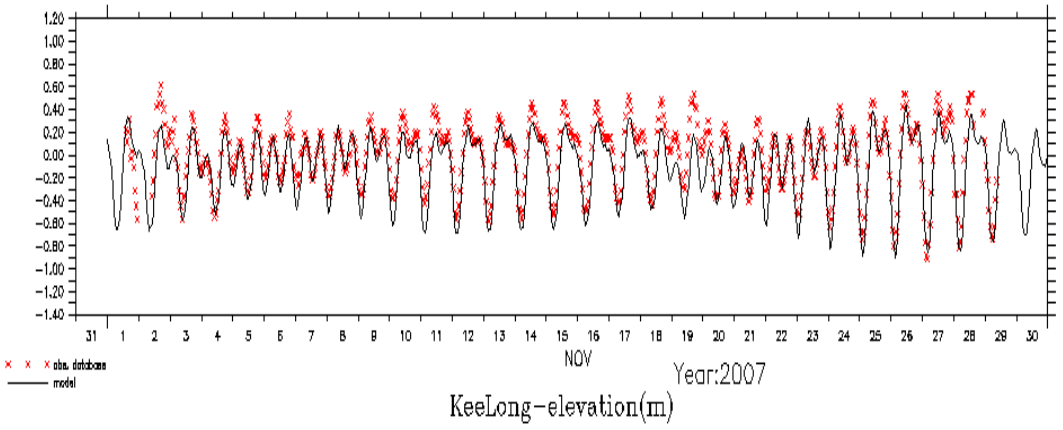


圖 2-2-57 基隆港 2007 年 11 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

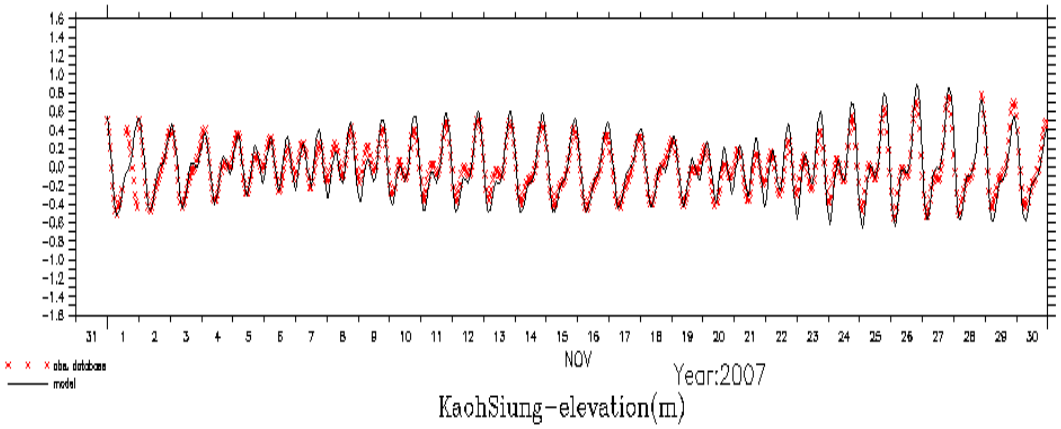


圖 2-2-58 高雄港 2007 年 11 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

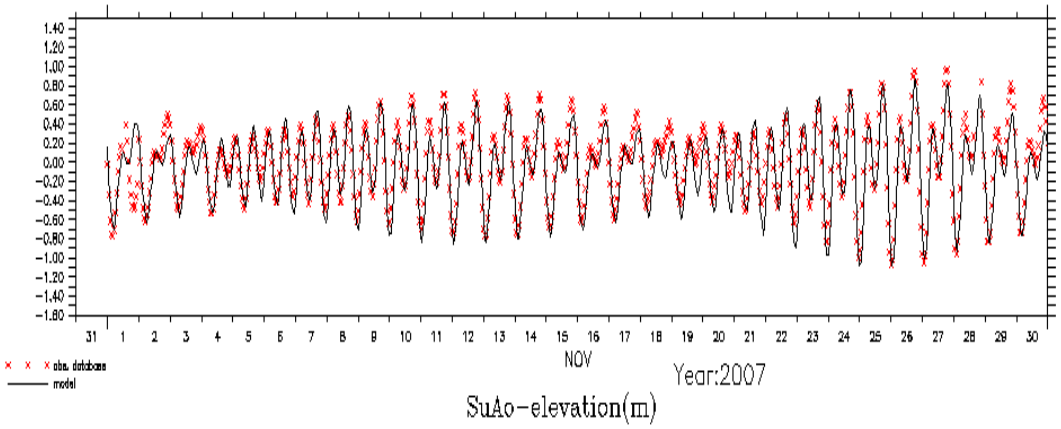


圖 2-2-59 蘇澳港 2007 年 11 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

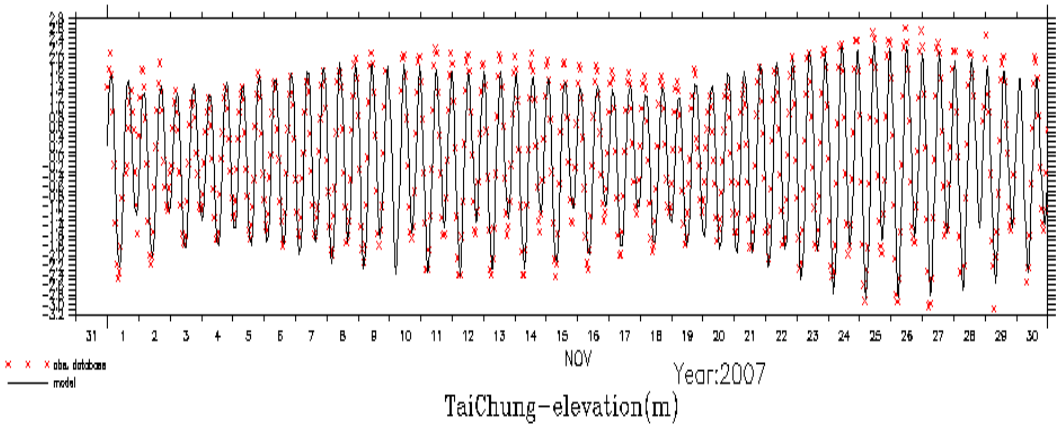


圖 2-2-60 台中港 2007 年 11 月台灣海域模式結果與實測資料比對圖

2.3 波浪模式成果評估

目前已完成的波浪線上預報模式包括大尺度(WAM)及中尺度(SWAN)兩種範圍，近岸及港區模式仍在積極發展測試中，本年度會完成台中及花蓮近岸及港區波浪模式線上預報，並加入評估系統中。

表 2-3-1 為本年度全年四季波高資料與實測資料之 r.m.s.計算值統計，表 2-3-2 為本年度全年四季週期資料與實測資料之 r.m.s.計算值統計，表 2-3-3~表 2-2-6 則為全年四季實測資料蒐集率比數統計，圖 2-3-1 至圖 2-3-72 為全年四季波浪資料與實測資料比對圖。

由 r.m.s.統計表，安平測站 SWAN 模式之 r.m.s.值介於 0.25~0.67 公尺，WAM 模式則介於 0.24~0.67 公尺；花蓮測站 SWAN 模式 r.m.s.值介於 0.21~0.87 公尺，WAM 模式則介於 0.33~0.63；基隆測站 SWN 模式的 r.m.s.值介於 0.3~0.75 公尺，WAM 模式則介於 0.14~0.73 公尺；高雄測站 SWAN 模式 r.m.s.值介於 0.21~0.5 公尺，WAM 模式則介於 0.19~0.71 公尺；蘇澳測站 SWAN 模式 r.m.s.值介於 0.27~1.05 公尺，WAM 模式則介於 0.37~1.02 公尺 ；台中測站 SWAN 模式 r.m.s.值介於 0.2~0.93 公尺，WAM 模式則介於 0.24~1.52 公尺。

週期的部份則為，安平測站 SWAN 模式之 r.m.s.值介於 2.82~4.36 秒，WAM 模式則介於 1.33~2.94 秒；花蓮測站 SWAN 模式 r.m.s.值介於 3.66~6.99 秒，WAM 模式則介於 2.22~4.67 秒；基隆測站 SWN 模式的 r.m.s.值介於 3.59~5.95 秒，WAM 模式則介於 2.27~3.95 秒；高雄測站 SWAN 模式 r.m.s.值介於 2.57~5.16 秒，WAM 模式則介於 1.33~3.08 秒；蘇澳測站 SWAN 模式 r.m.s.值介於 4~5.86 秒，WAM 模式則介於 2.02~3.96 秒 ；台中測站 SWAN 模式 r.m.s.值介於 2.67~3.71 秒，WAM 模式則介於 1.78~2.52 秒。

由於 WAM 及 SWAN 模式的解析度皆比較大，對於近岸的模擬誤差較大，因此在波向的部份差異最大，其次為週期，差異最小的為波高。在波高的模擬，SWAN 模式的結果較 WAM 模式大，不過仍在部份測站低於實測資料，在趨勢上與實測資料還算吻合:週期的比對

則剛好相反，WAM 模式結果的週期較 SWAN 大，但是一樣低於實測資料，而且趨勢性較不明顯。

表 2-3-1　波高實測資料與模式 r.m.s.值計算(單位：公尺)

		安平	花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2006 年 12 月	SWAN	0.30	0.87	0.75	0.31	0.99	0.93
	WAM	0.31	0.63	0.73	0.21	0.69	1.52
2007 年 01 月	SWAN	0.28	0.62	0.82	無資料	1.01	0.92
	WAM	0.33	0.58	0.71	無資料	0.45	1.37
2007 年 02 月	SWAN	0.27	0.51	0.66	無資料	0.41	0.79
	WAM	0.26	0.52	0.31	無資料	0.46	1.01
2007 年 03 月	SWAN	0.28	0.58	0.30	0.32	0.58	0.9
	WAM	0.24	0.46	0.14	0.21	0.48	1.2
2007 年 04 月	SWAN	0.26	0.51	0.64	0.31	0.53	0.85
	WAM	0.28	0.41	0.42	0.24	0.39	1.0
2007 年 05 月	SWAN	0.25	0.41	0.15	0.21	0.41	0.34
	WAM	0.24	0.33	0.16	0.19	0.35	0.57
2007 年 06 月	SWAN	0.37	0.21	0.31	0.32	0.27	0.20
	WAM	0.41	0.33	0.16	0.34	0.35	0.24
2007 年 07 月	SWAN	0.4	0.44	0.32	0.41	0.59	0.43
	WAM	0.49	0.43	0.27	0.49	0.56	0.50
2007 年 08 月	SWAN	0.67	0.81	0.70	0.50	1.05	0.92
	WAM	0.67	0.54	0.48	0.71	1.02	0.84
2007 年 09 月	SWAN	0.3	0.25	0.36	0.3	無資料	無資料
	WAM	0.38	0.3	0.2	0.3	無資料	無資料
2007 年 10 月	SWAN	0.35	0.47	0.28	0.45	0.59	無資料
	WAM	0.4	0.45	0.26	0.4	0.57	無資料
2007 年 11 月	SWAN	0.6	0.79	0.71	0.45	1.08	無資料
	WAM	0.6	0.5	0.5	0.7	1.0	無資料

表 2-3-2　週期實測資料與模式 r.m.s.值計算(單位：秒)

		安平	花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2006 年 12 月	SWAN	3.32	4.44	3.59	4.39	4.58	3.43
	WAM	1.33	2.9	2.27	2.42	3	2.34
2007 年 01 月	SWAN	3.16	4.37	3.95	無資料	4.56	3.47
	WAM	1.75	2.81	2.54	無資料	3.2	2.52
2007 年 02 月	SWAN	3.01	4.13	3.94	無資料	4.42	3.17
	WAM	1.46	2.46	2.72	無資料	2.68	1.9
2007 年 03 月	SWAN	3.05	4.55	5.79	2.88	4.54	3.24
	WAM	1.61	2.54	2.86	1.83	2.51	1.83
2007 年 04 月	SWAN	3.01	4.86	4.05	3.09	4.66	3.26
	WAM	1.54	2.87	2.09	1.6	2.76	1.84
2007 年 05 月	SWAN	2.87	5.48	4.22	3.18	5.33	2.47
	WAM	1.55	3.79	3.65	1.84	3.77	1.78
2007 年 06 月	SWAN	2.82	3.66	4.8	2.57	4.0	3.71
	WAM	1.53	2.22	2.71	1.33	2.02	2.04
2007 年 07 月	SWAN	4.01	5.82	5.95	4.09	5.86	2.84
	WAM	2.94	4.12	3.95	2.99	3.96	2.08
2007 年 08 月	SWAN	4.36	6.99	4.42	5.16	5.56	2.67
	WAM	2.22	4.67	2.85	3.08	3.63	1.96
2007 年 09 月	SWAN	2.5	3.26	4.1	2.5	無資料	無資料
	WAM	1.50	2.12	2.79	1.3	無資料	無資料
2007 年 10 月	SWAN	4.1	5.52	5.75	4.19	5.46	無資料
	WAM	2.9	4.02	3.45	2.69	3.76	無資料
2007 年 11 月	SWAN	4.26	6.79	4.02	5.16	5.5	無資料
	WAM	2.12	4.37	2.65	3.18	3.33	無資料

表 2-3-3　第一季各月份實測波浪資料筆數統計

		安平	花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2006 年 12 月	應到筆數	744	744	744	744	744	744
	實到筆數	**183**	**743**	**589**	**102**	**715**	**707**
	百分率	**24.6**	**99.78**	**79.17**	**13.71**	**96.1**	**95.27**
2007 年 01 月	應到筆數	744	744	744	744	744	744
	實到筆數	**726**	**743**	**627**	**0**	**426**	**691**
	百分率	**97.58**	**99.78**	**84.27**	**0**	**57.26**	**92.88**
2007 年 02 月	應到筆數	672	672	672	672	672	672
	實到筆數	**627**	**671**	**79**	**0**	**594**	**639**
	百分率	**93.3**	**99.85**	**11.76**	**0**	**88.39**	**95.09**

表 2-3-4　第二季各月份實測波浪資料筆數統計

		安平	花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
	百分率	**93.3**	**99.85**	**11.76**	**0**	**88.39**	**95.09**
2007 年 03 月	應到筆數	744	744	744	744	744	744
	實到筆數	709	729	57	369	684	683
	百分比	95.3	98	7.7	49.6	91.9	91.8
2007 年 04 月	應到筆數	720	720	720	720	720	720
	實到筆數	619	720	449	697	674	614
	百分比	86	100	62.4	96.8	93.6	85.3
2007 年 05 月	應到筆數	744	744	744	744	744	744
	實到筆數	585	558	55	506	665	639
	百分比	78.6	75	7.4	68	88	85.9

表 2-3-5　第三季各月份實測波浪資料筆數統計

		安平	花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2007 年 06 月	應到筆數	720	720	720	720	720	720
	實到筆數	694	156	31	656	606	48
	百分比	**96**	**21**	**4**	**91**	**84**	**6**
2007 年 07 月	應到筆數	744	744	744	744	744	744
	實到筆數	730	682	462	676	665	442
	百分比	**98**	**91**	**62**	**90**	**89**	**59**
2007 年 08 月	應到筆數	744	744	744	744	744	744
	實到筆數	629	175	588	150	512	318
	百分比	**84**	**23**	**79**	**20**	**68**	**42**

表 2-3-6　第四季各月份實測波浪資料筆數統計

		安平	花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2007 年 09 月	應到筆數	720	720	720	720	720	720
	實到筆數	713	595	708	428	0	0
	百分比	**99**	**83**	**98**	**59**	**0**	**0**
2007 年 10 月	應到筆數	744	744	744	744	744	744
	實到筆數	739	634	574	651	310	0
	百分比	**99**	**85**	**77**	**88**	**42**	**0**
2007 年 11 月	應到筆數	744	744	744	744	744	744
	實到筆數	578	574	608	611	608	0
	百分比	**78**	**77**	**82**	**82**	**82**	**0**

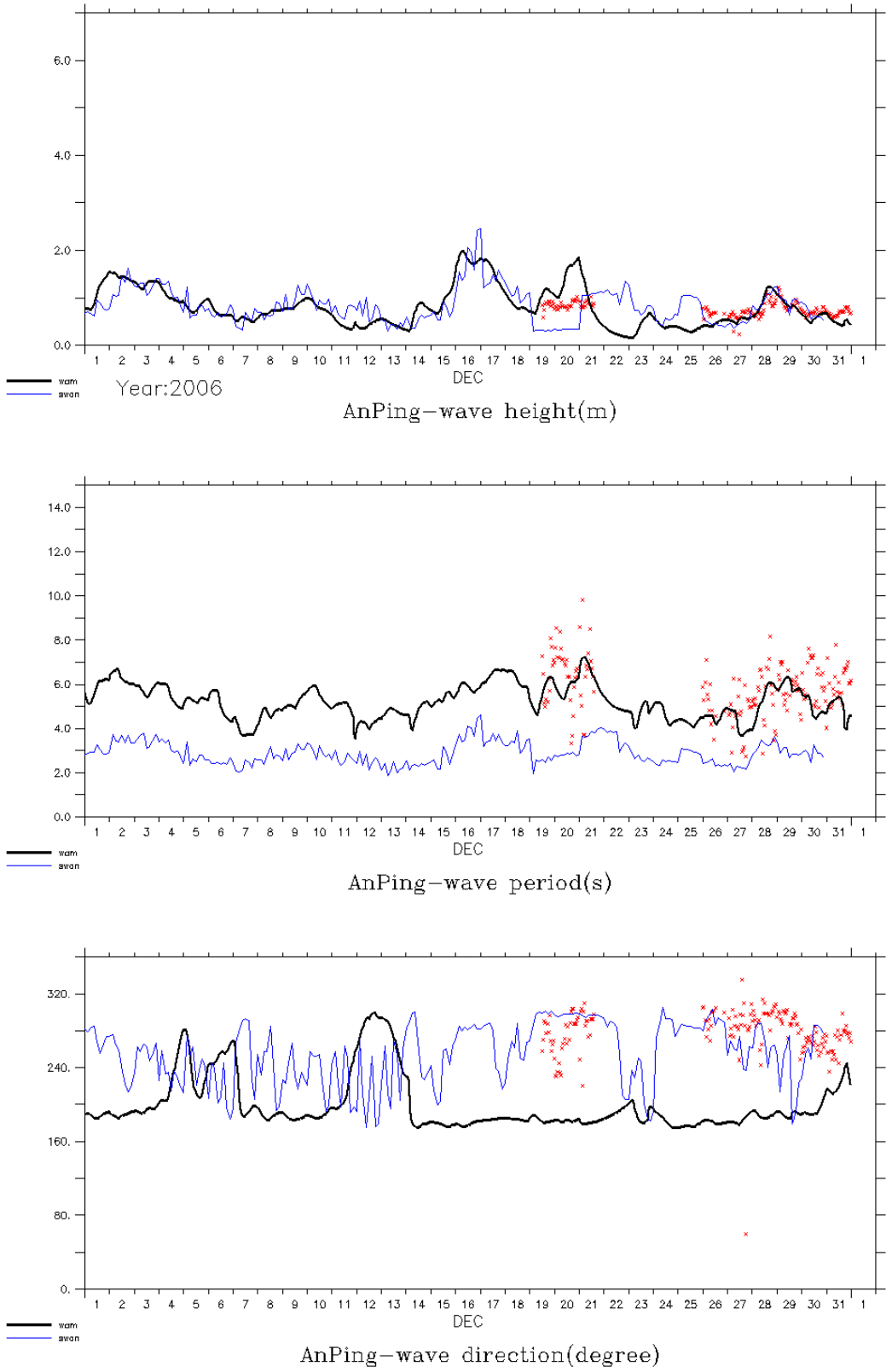


圖 2-3-1　安平港 2006 年 12 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

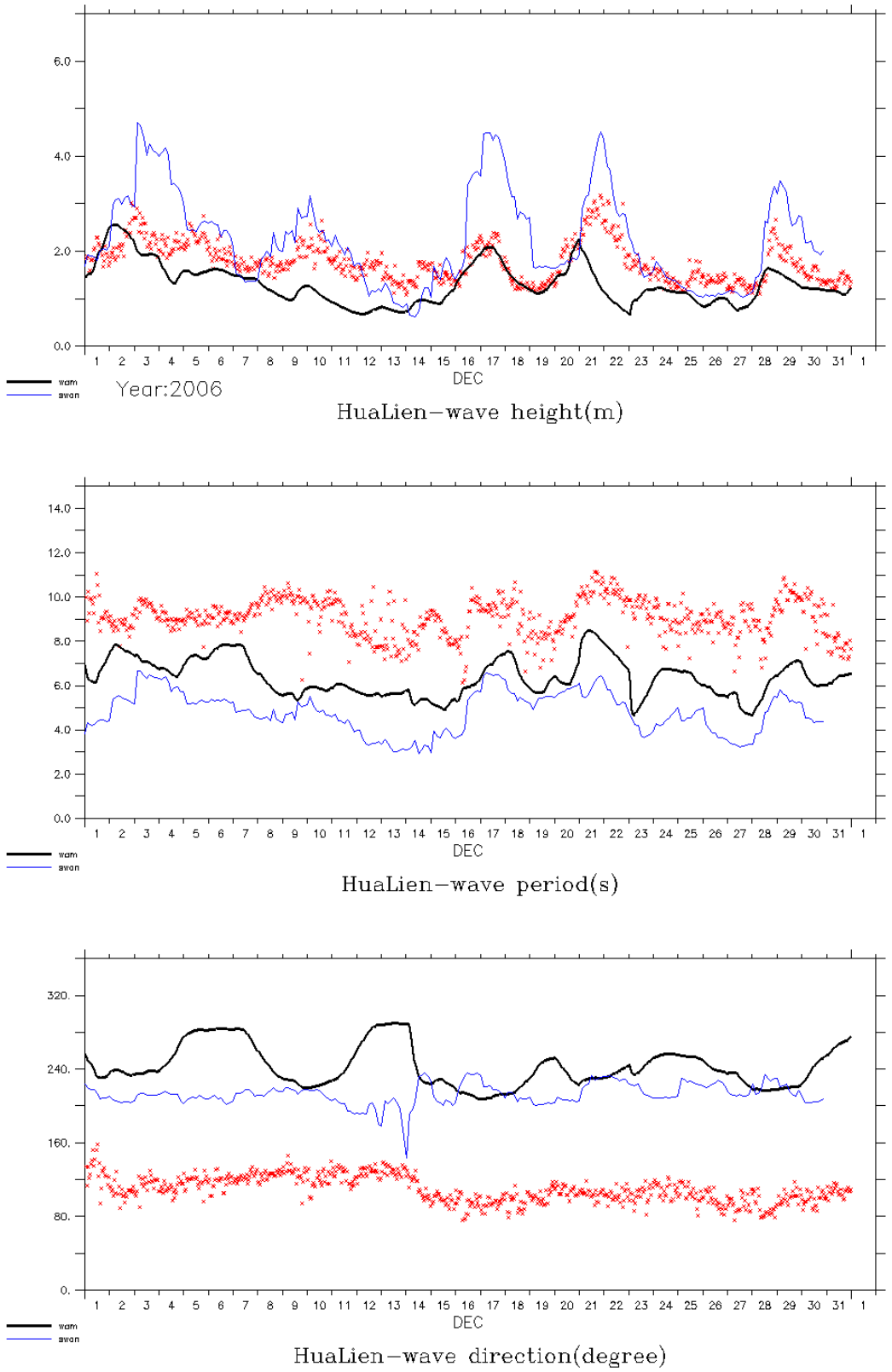


圖 2-3-2　花蓮港 2006 年 12 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

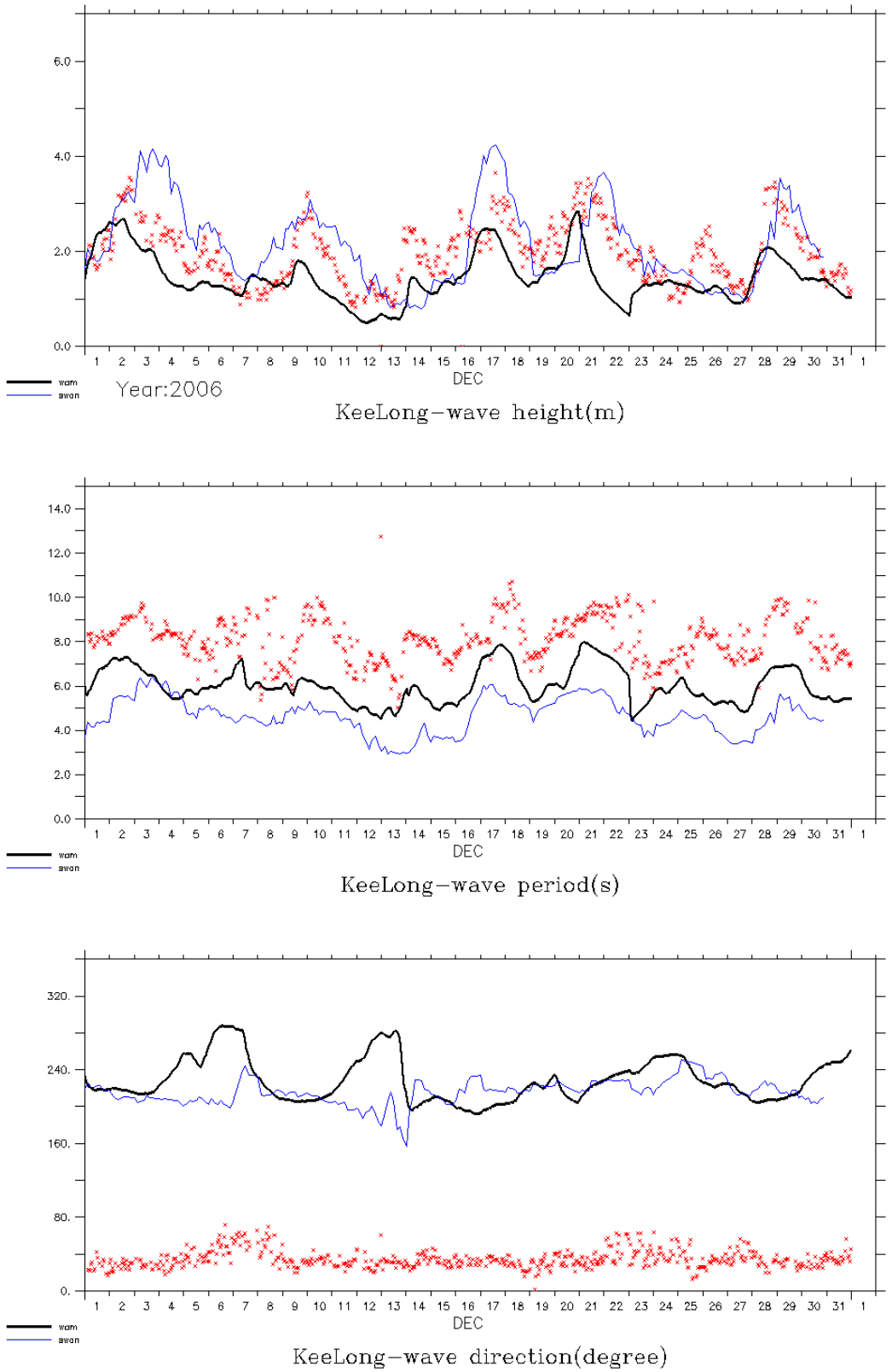


圖 2-3-3　基隆港 2006 年 12 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

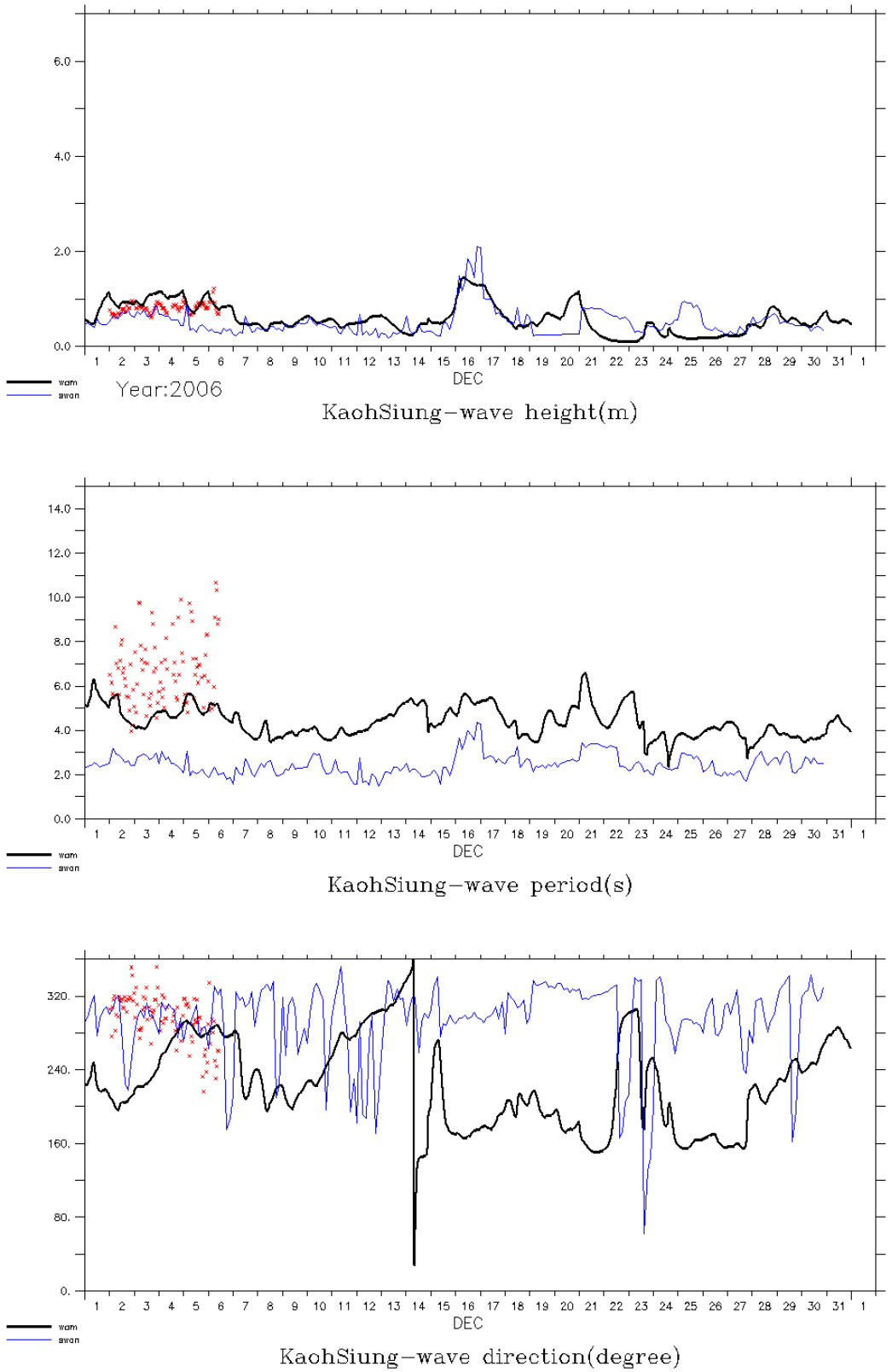
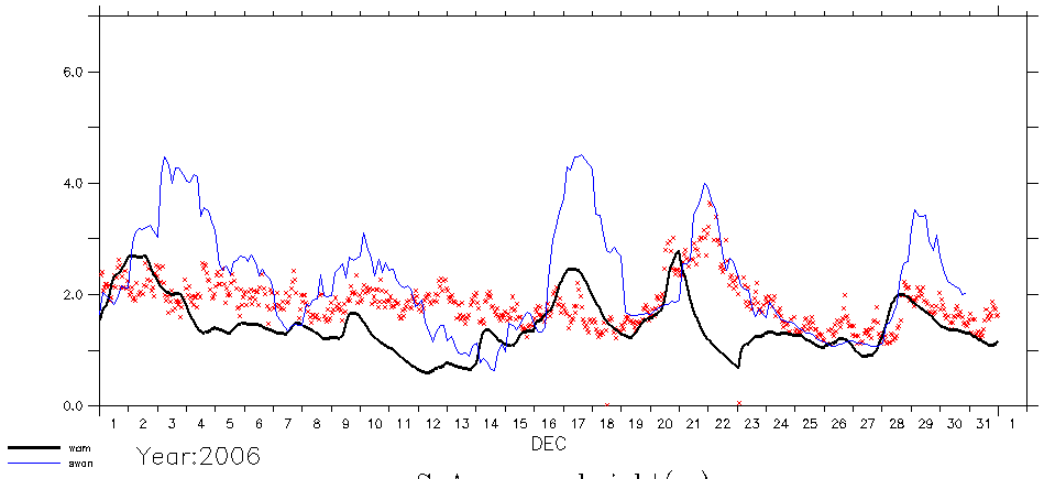
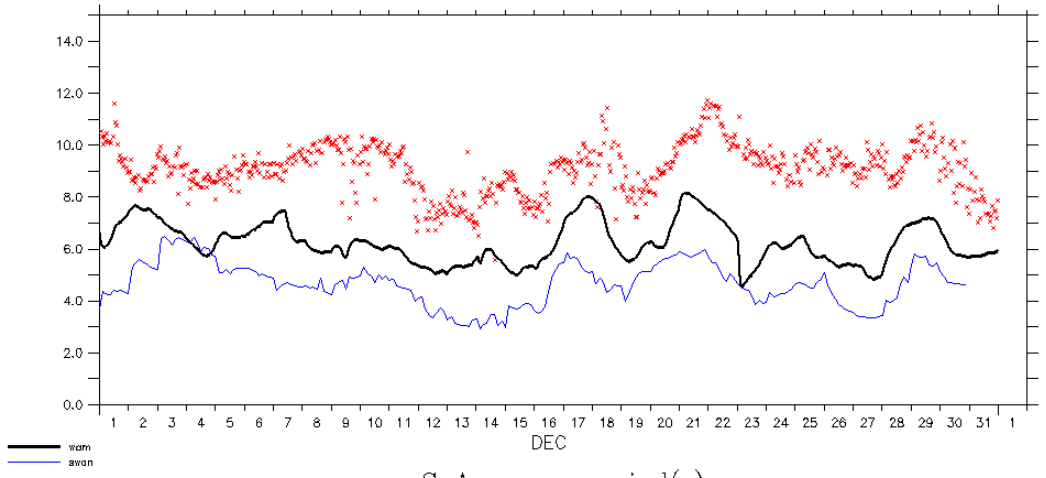


圖 2-3-4　高雄港 2006 年 12 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對





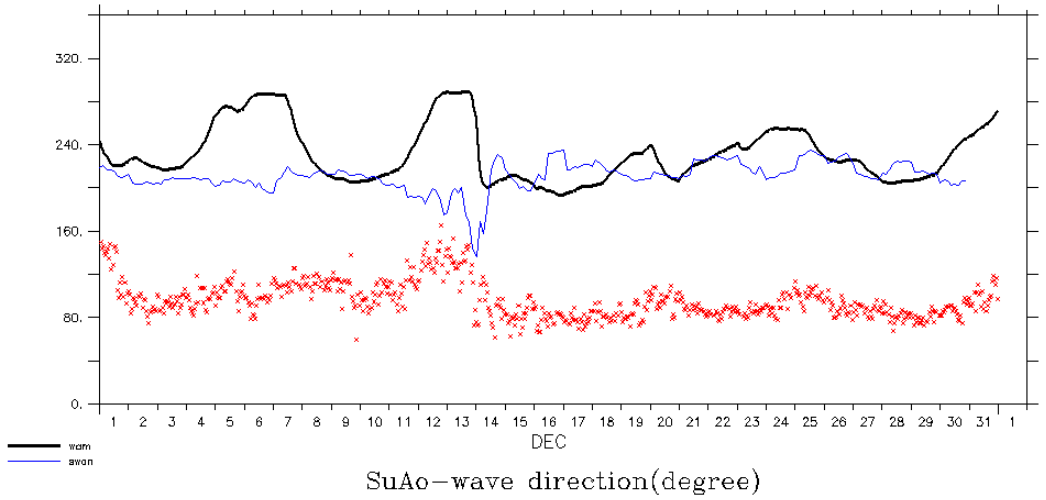


圖 2-3-5　蘇澳港 2006 年 12 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

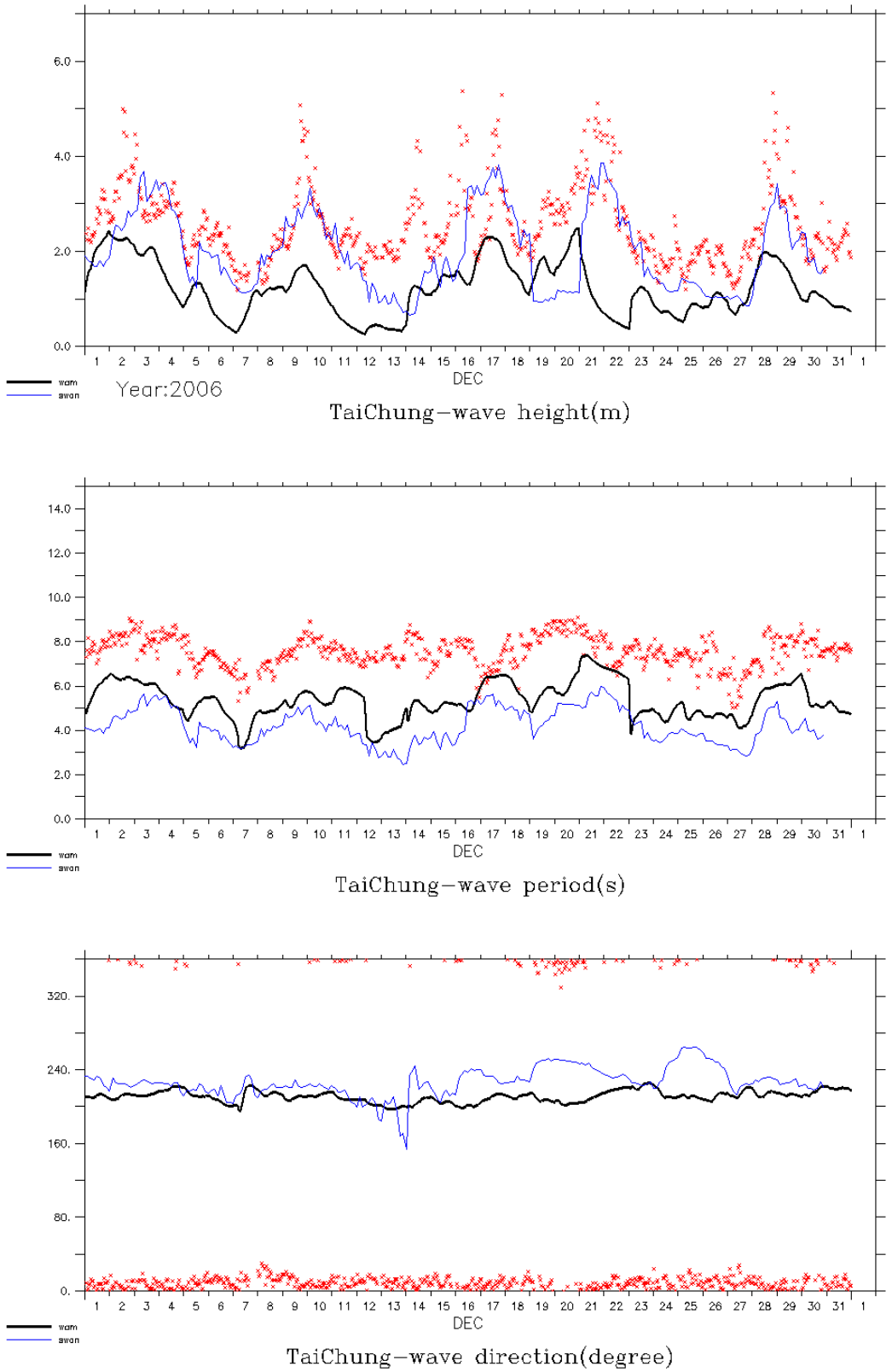


圖 2-3-6　台中港 2006 年 12 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

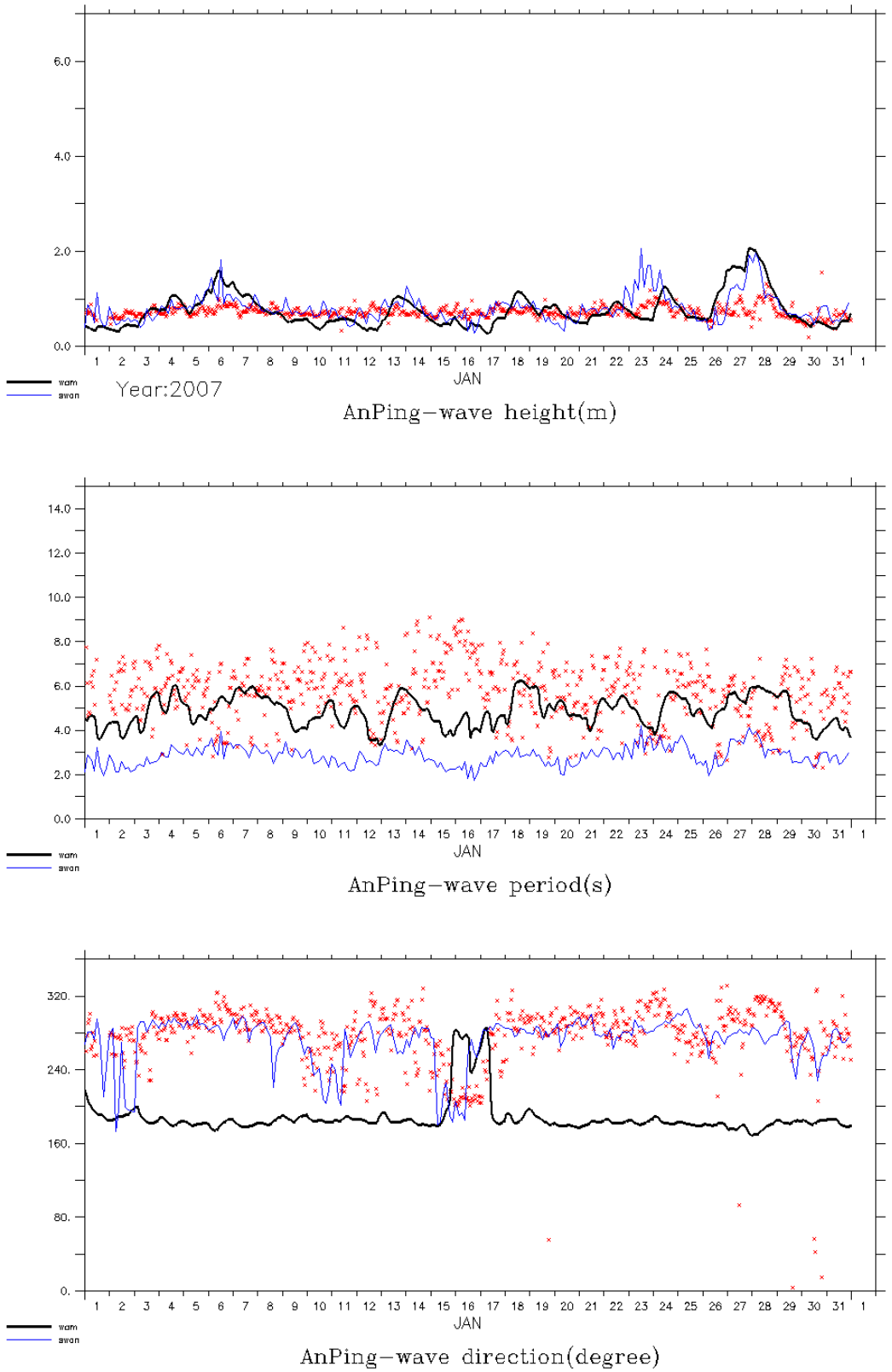


圖 2-3-7　安平港 2007 年 1 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

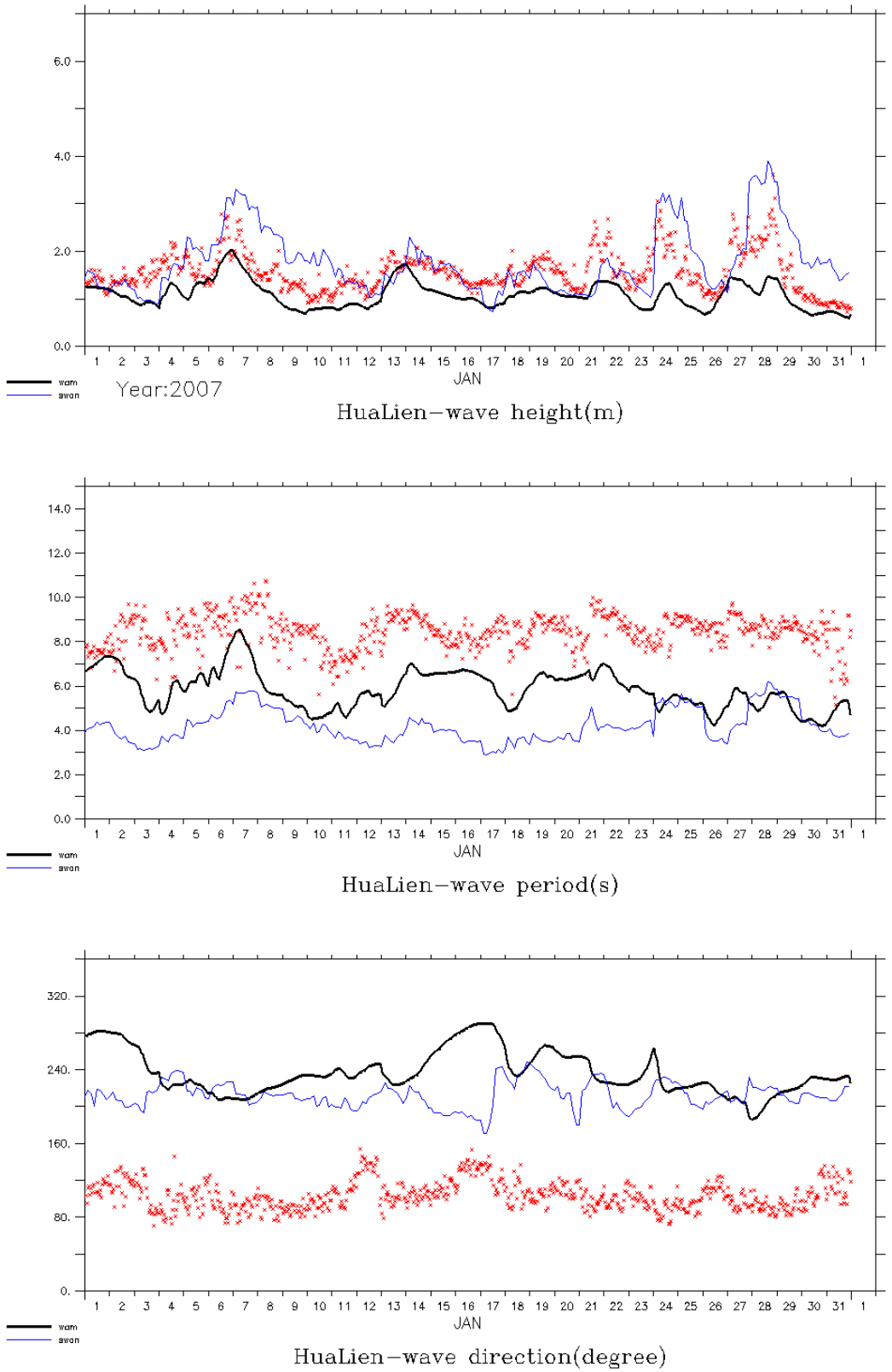


圖 2-3-8　花蓮港 2007 年 1 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

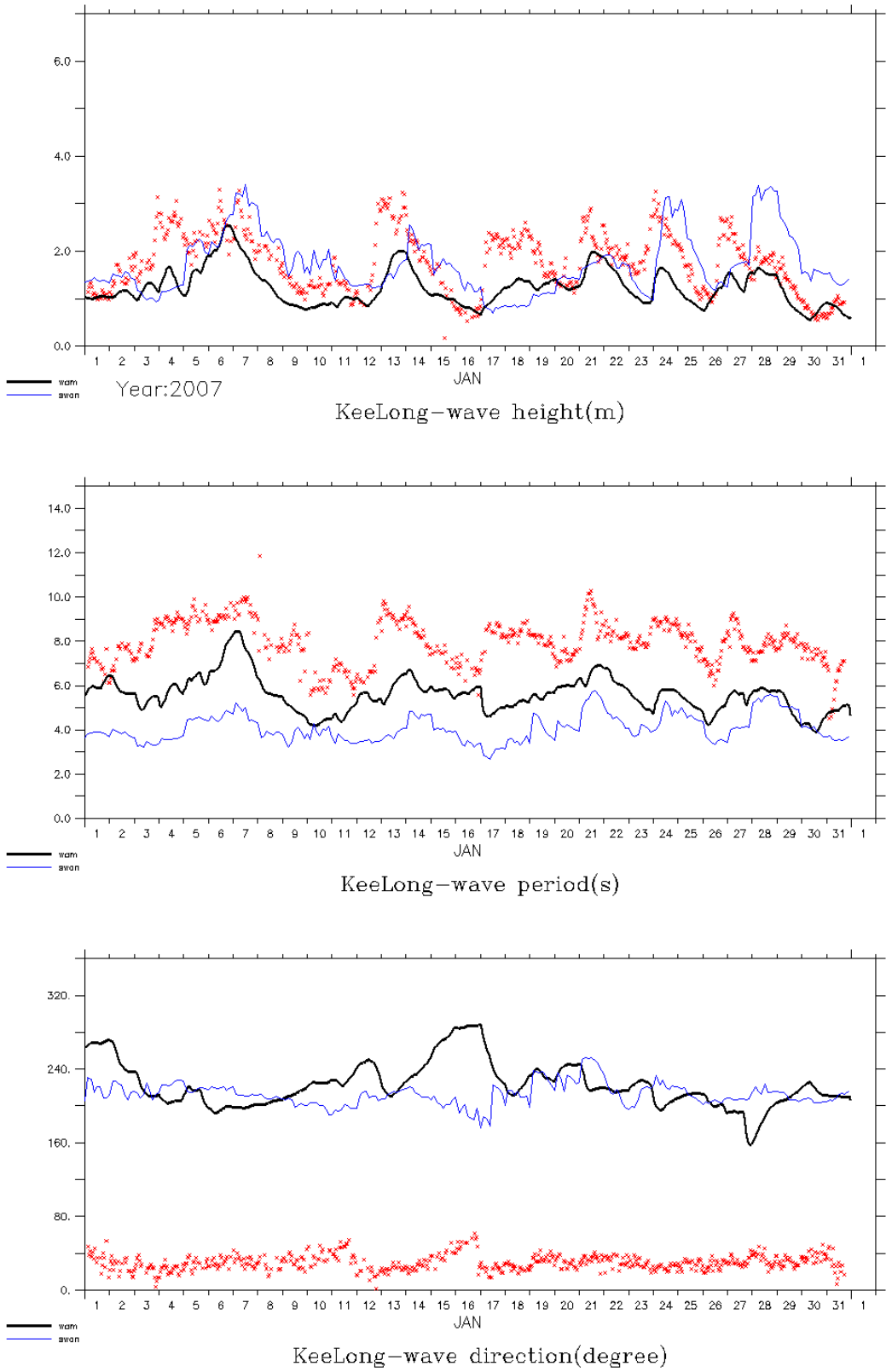


圖 2-3-9 基隆港 2007 年 1 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

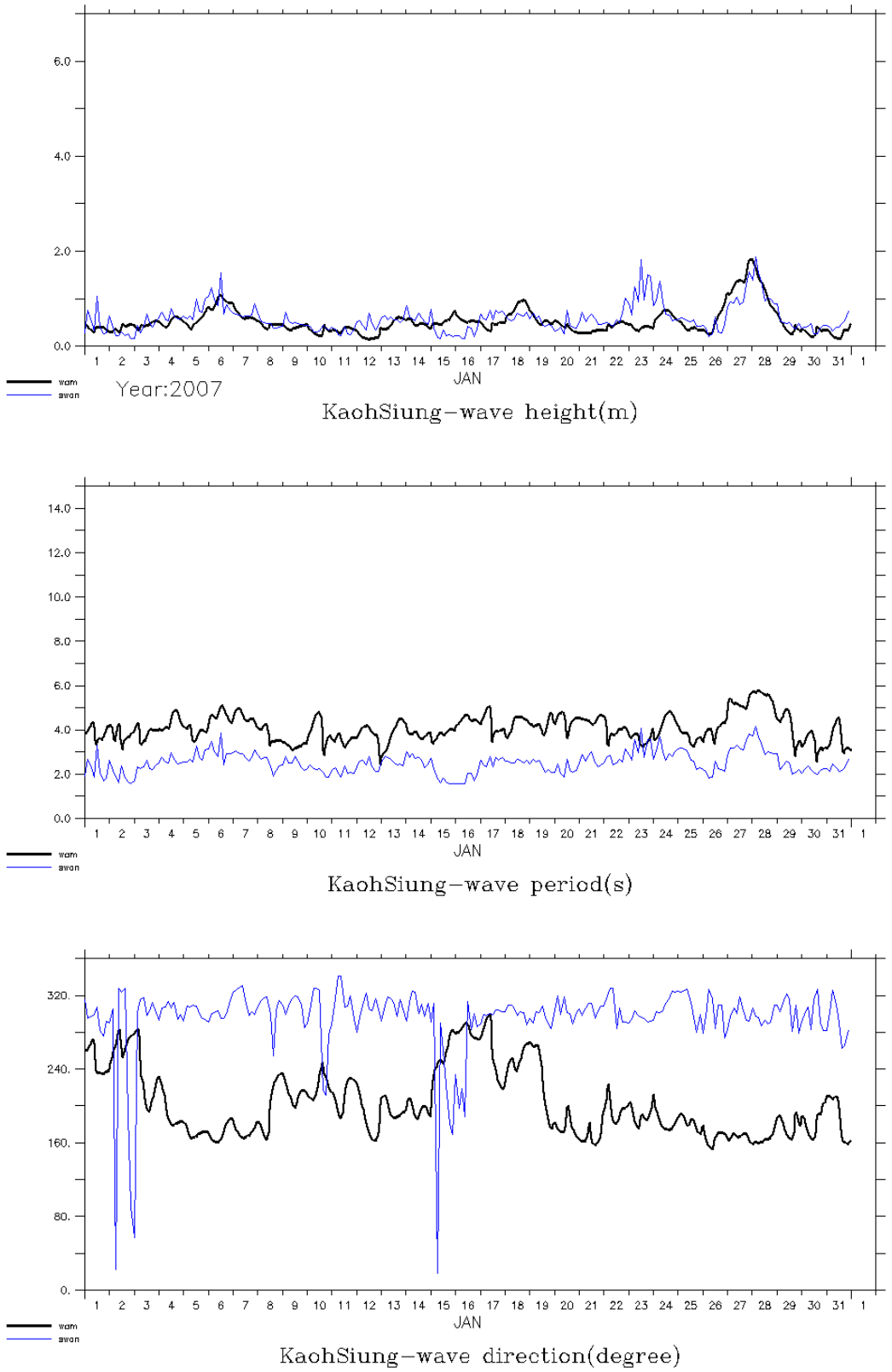


圖 2-3-10　高雄港 2007 年 1 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

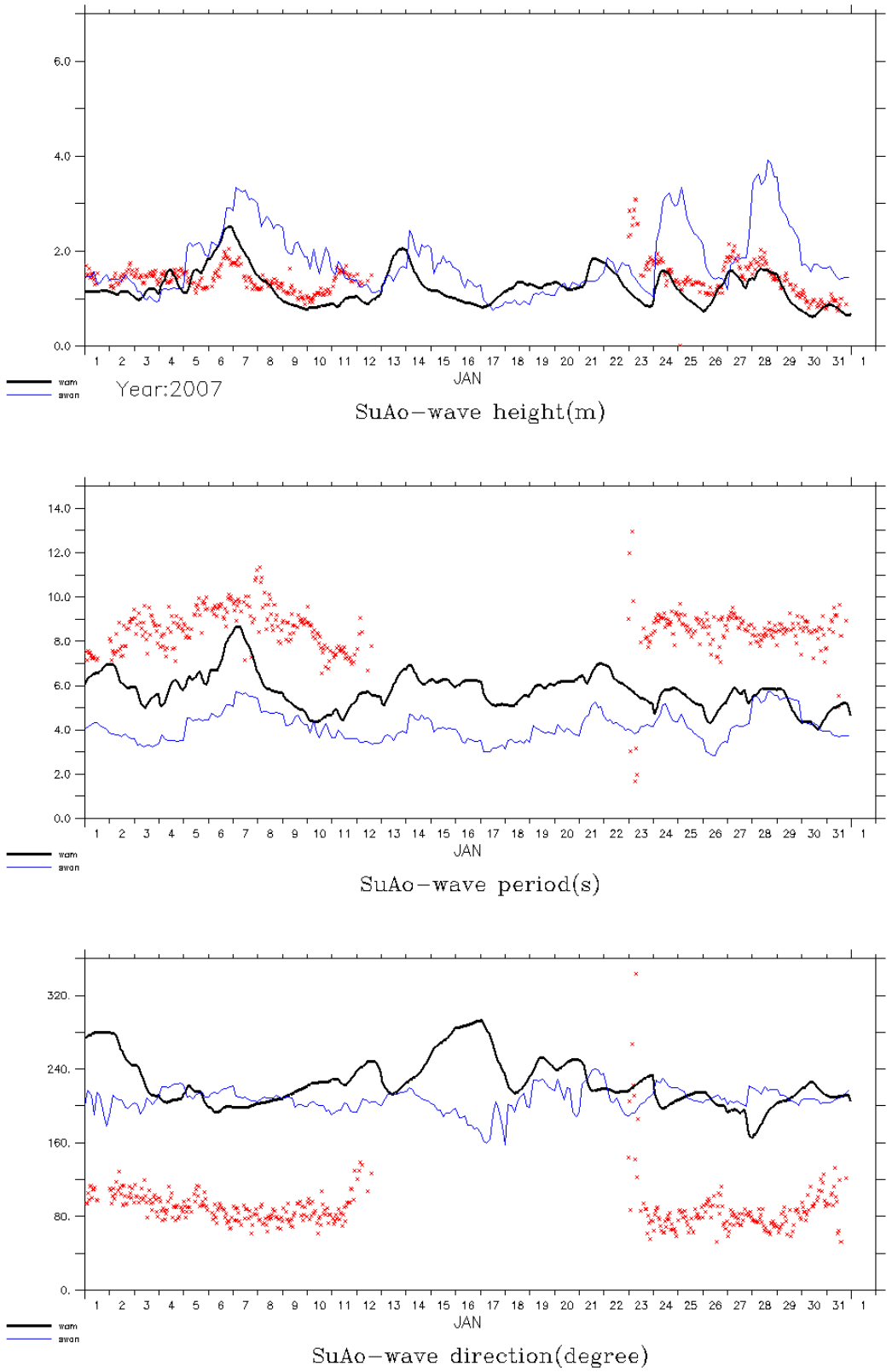


圖 2-3-11　蘇澳港 2007 年 1 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

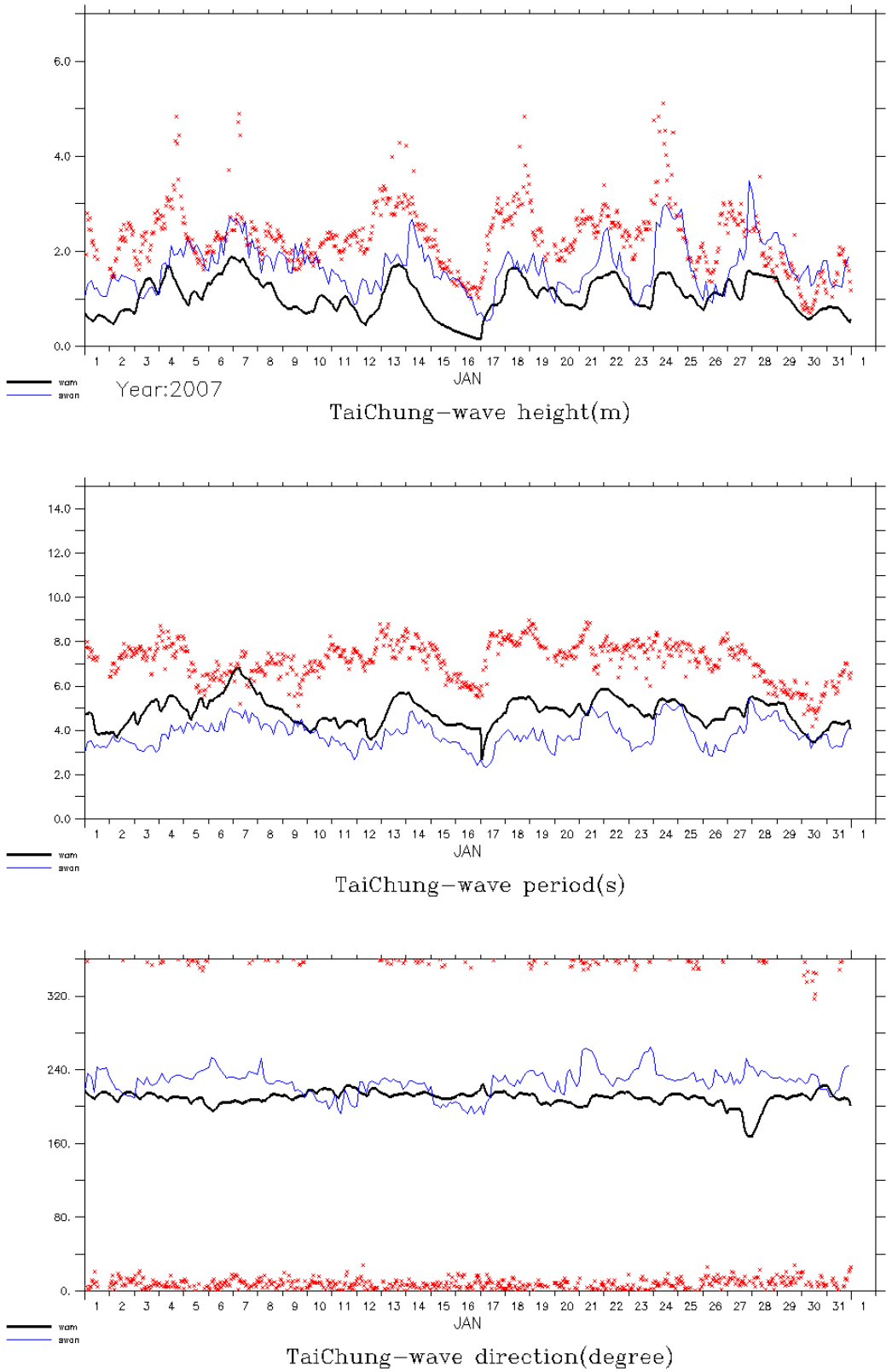


圖 2-3-12 台中港 2007 年 1 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

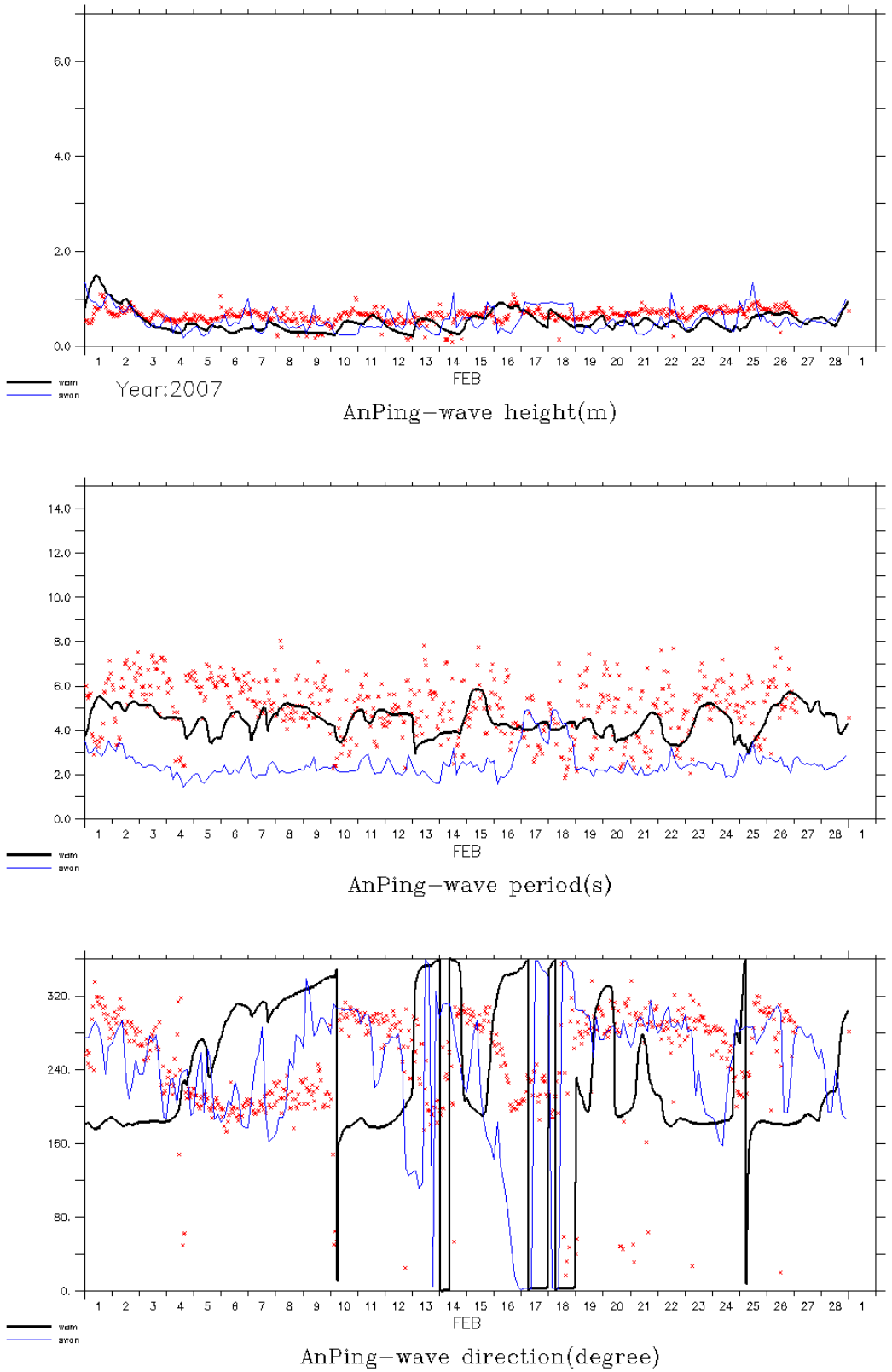
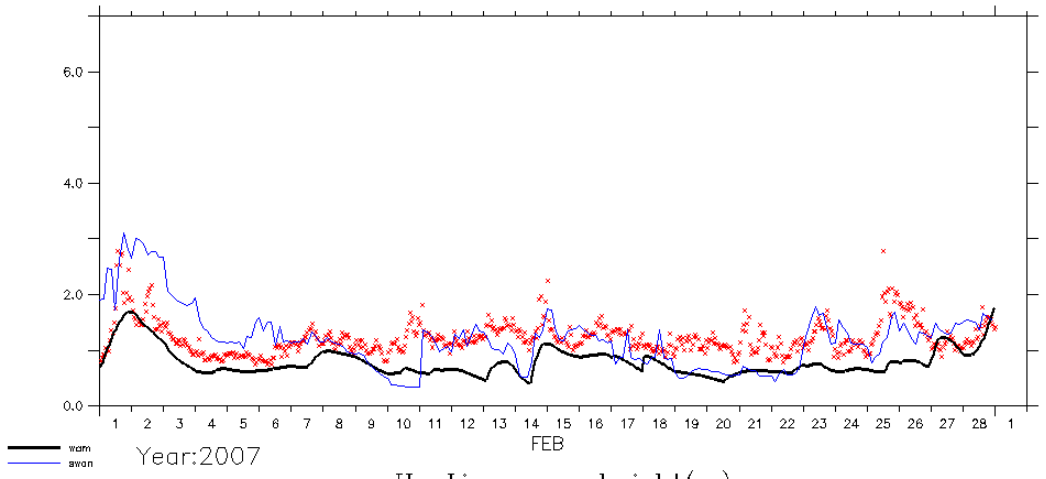
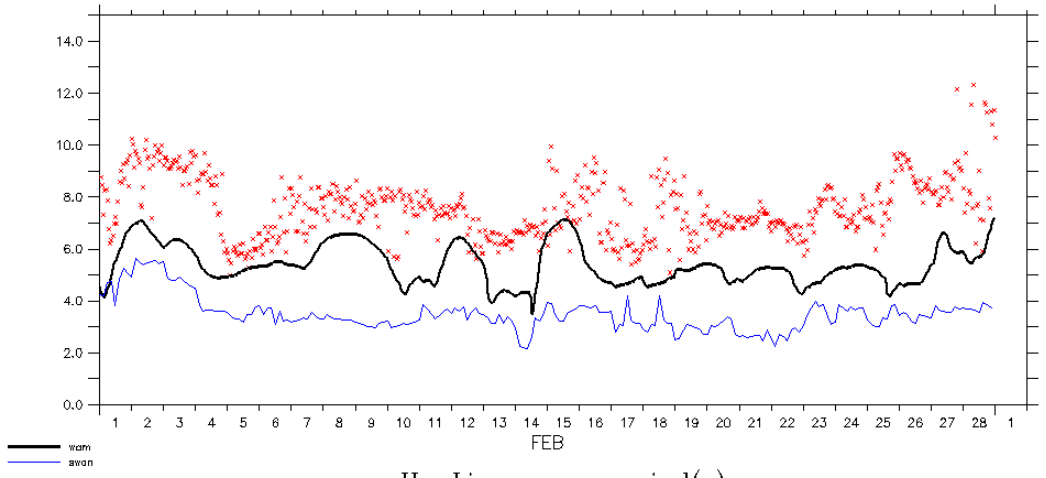


圖 2-3-13　安平港 2007 年 2 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對





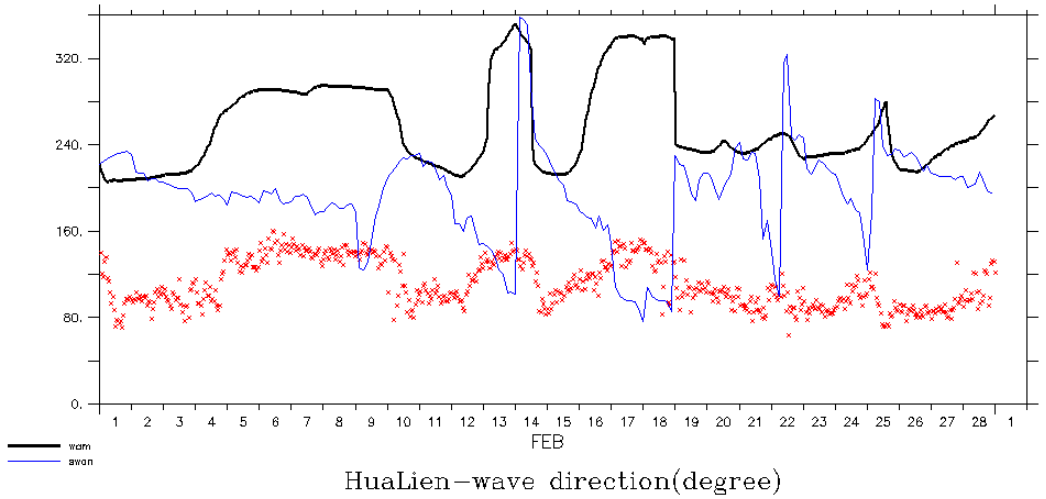


圖 2-3-14　花蓮港 2007 年 2 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

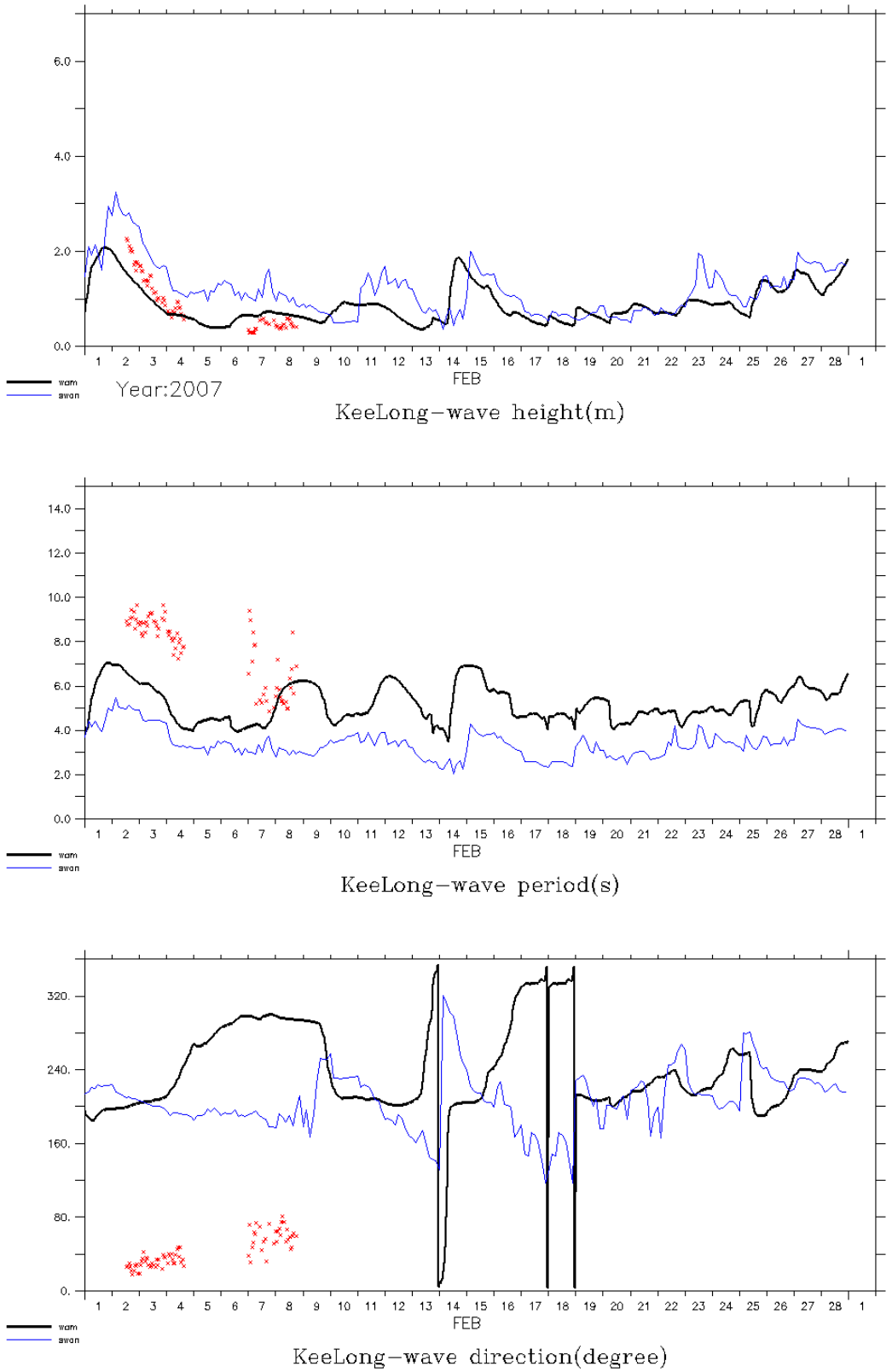
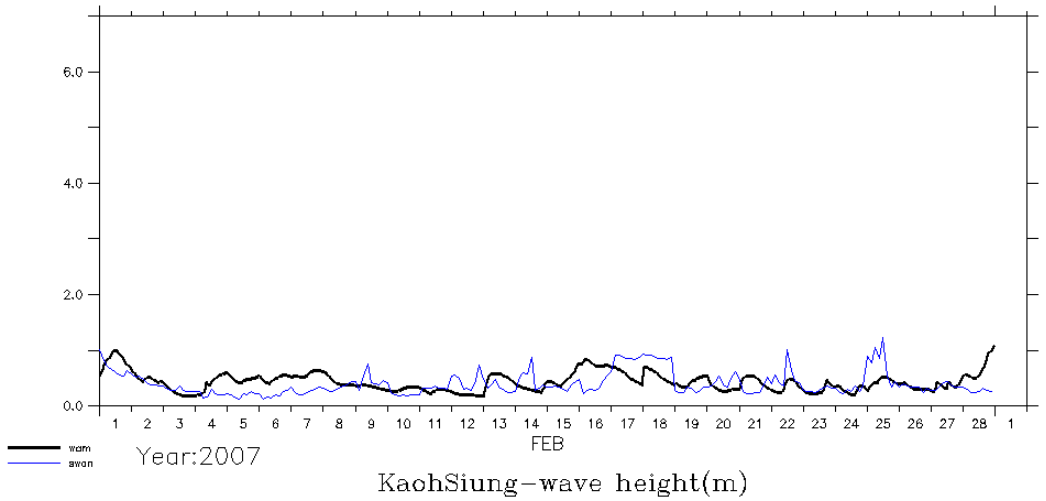
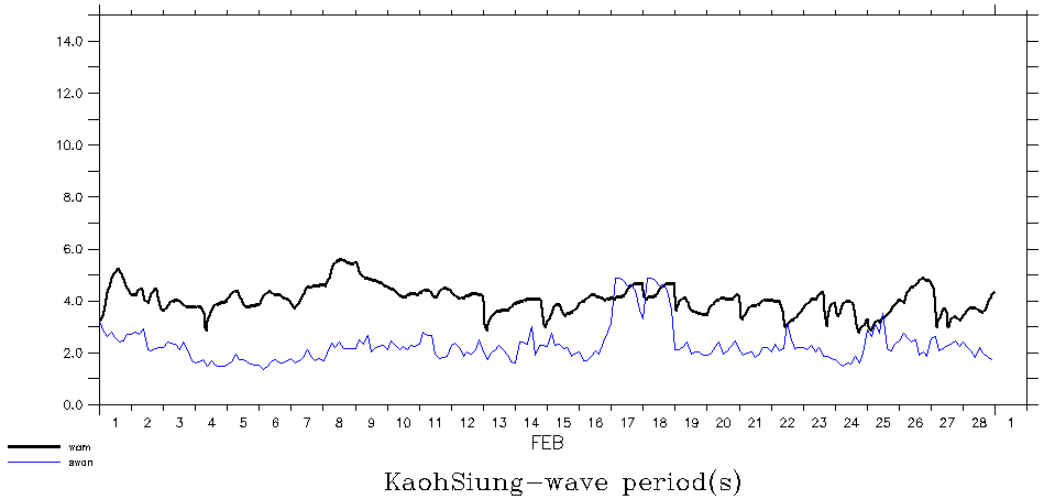


圖 2-3-15　基隆港 2007 年 2 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對





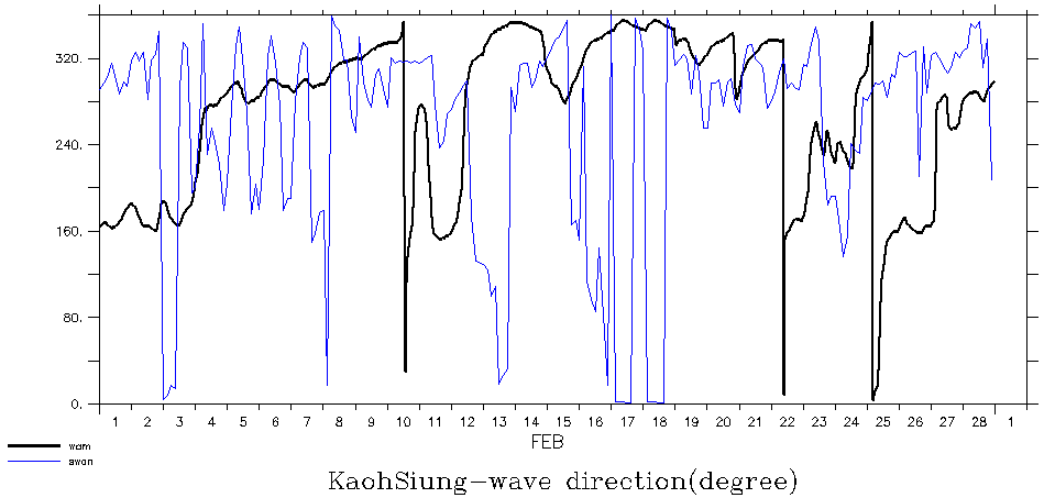


圖 2-3-16　高雄港 2007 年 2 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

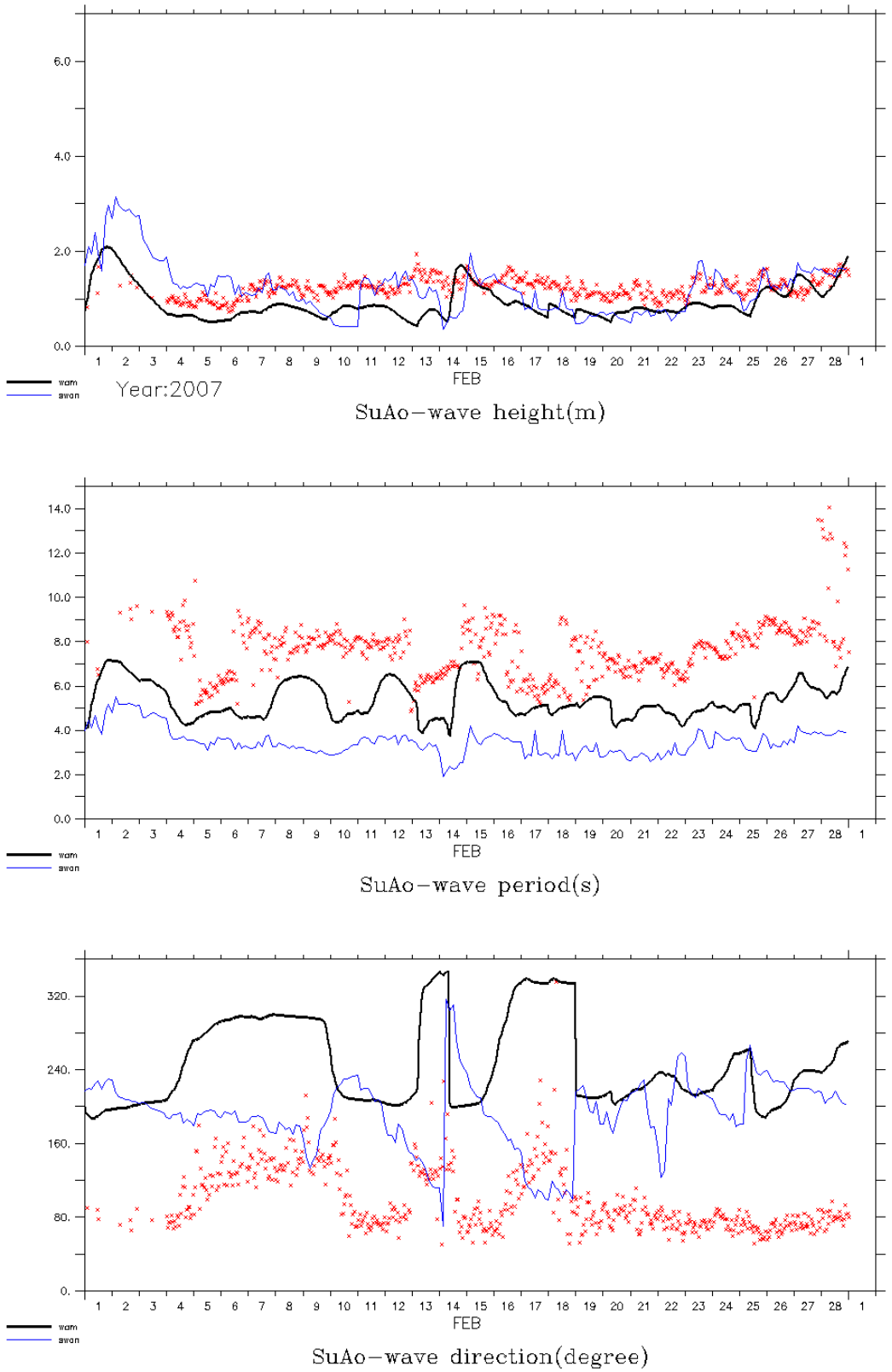


圖 2-3-17　蘇澳港 2007 年 2 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

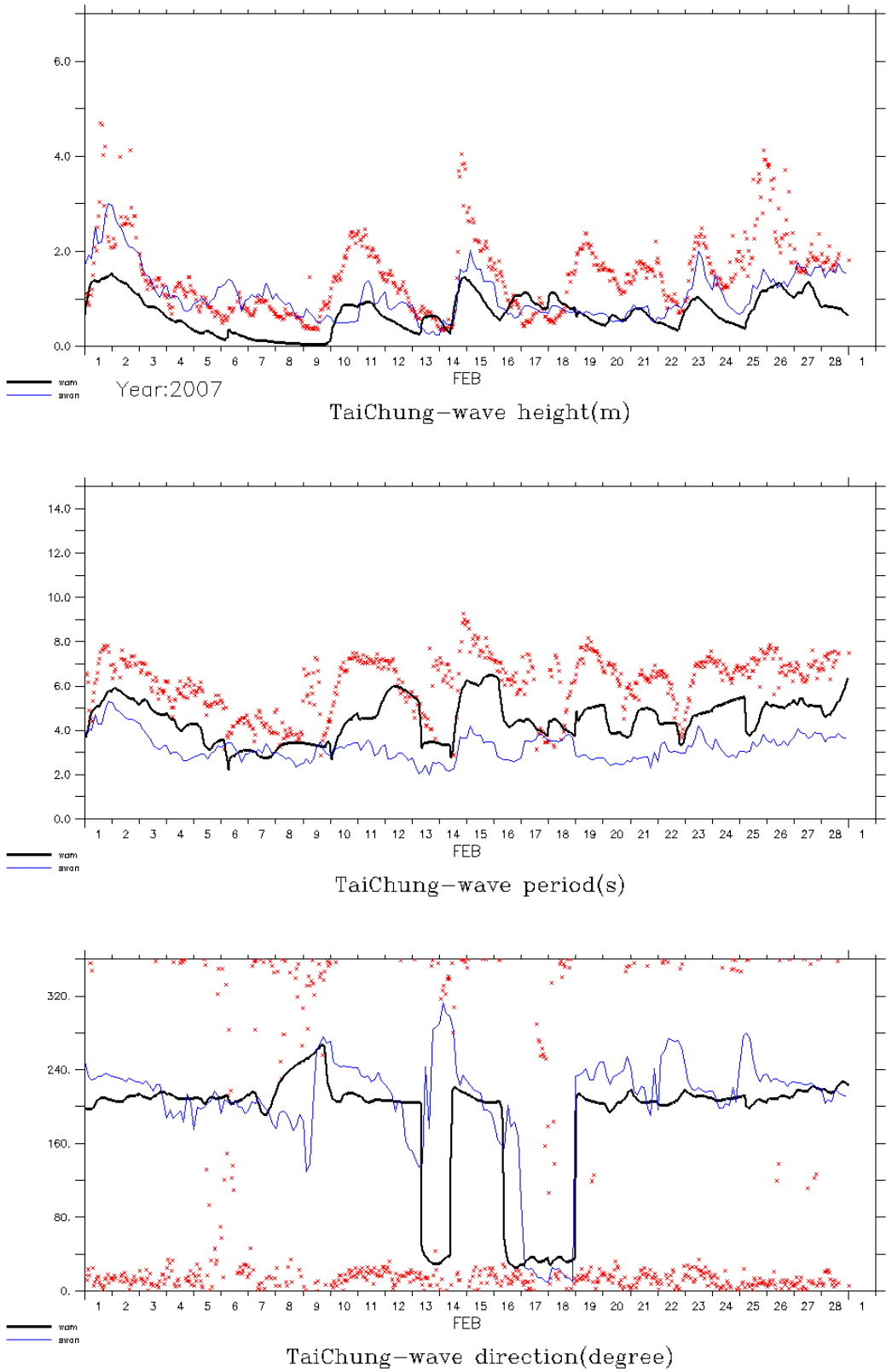


圖 2-3-18　台中港 2007 年 2 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

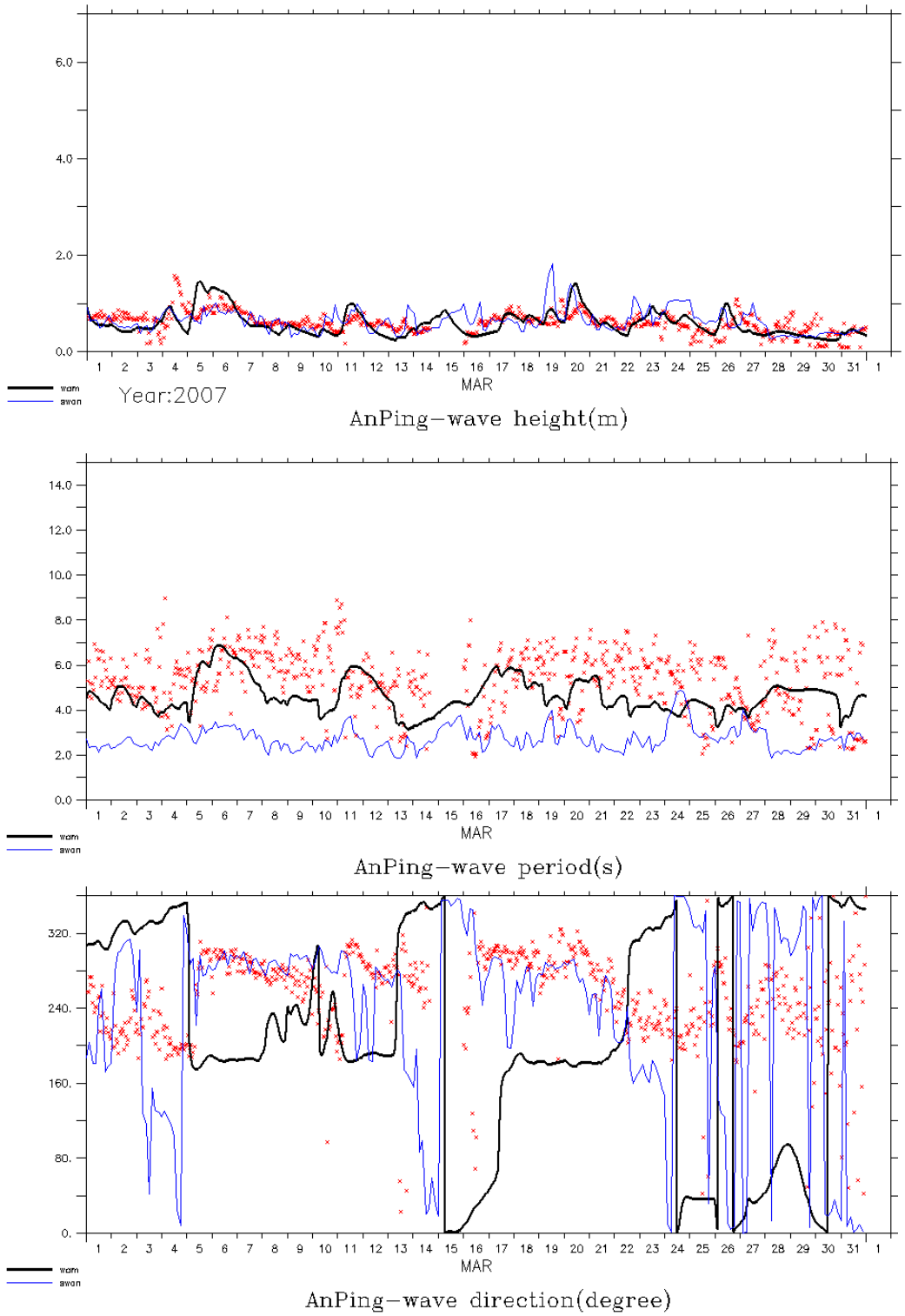


圖 2-3-19　安平港 2007 年 3 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

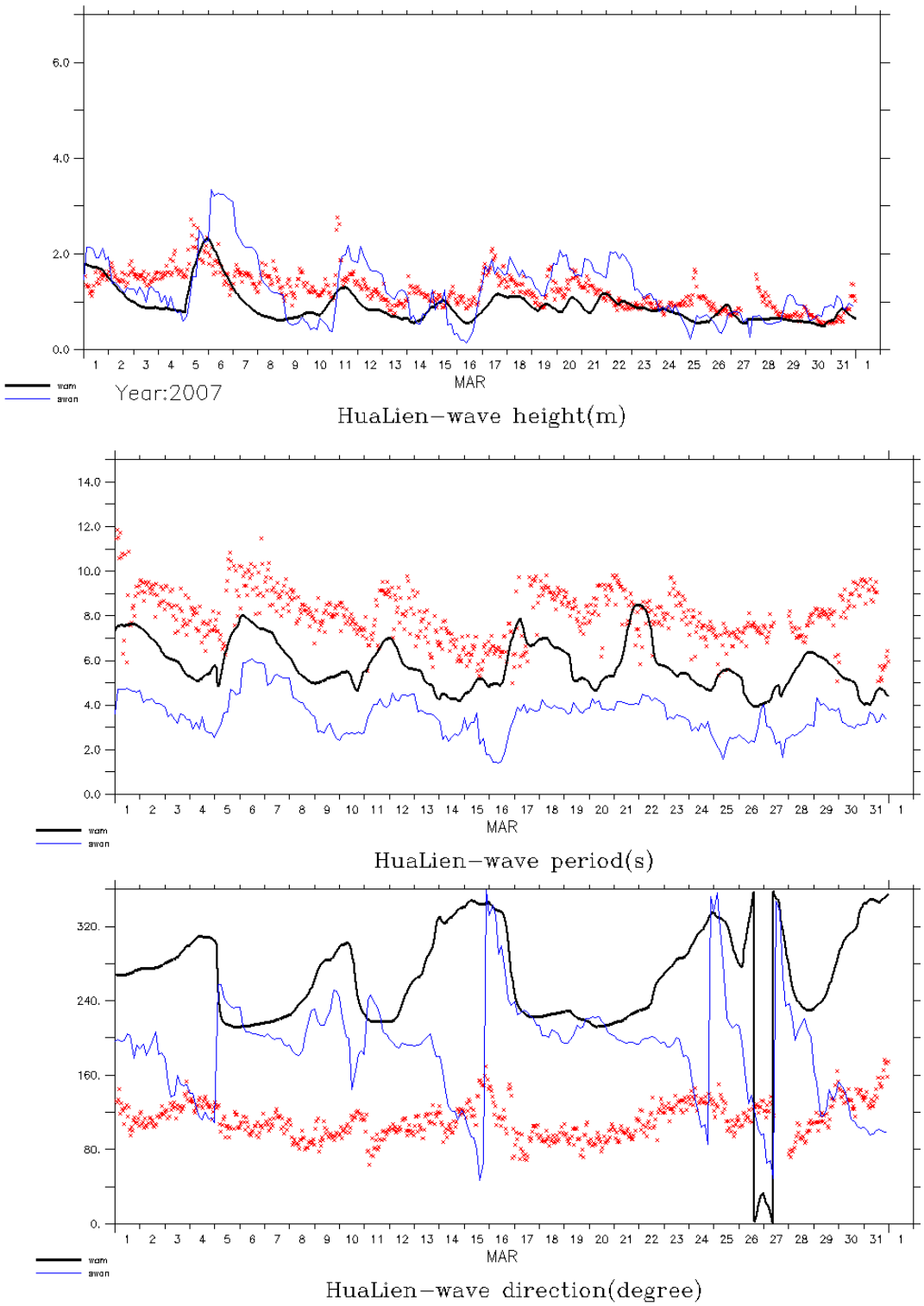


圖 2-3-20　花蓮港 2007 年 3 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

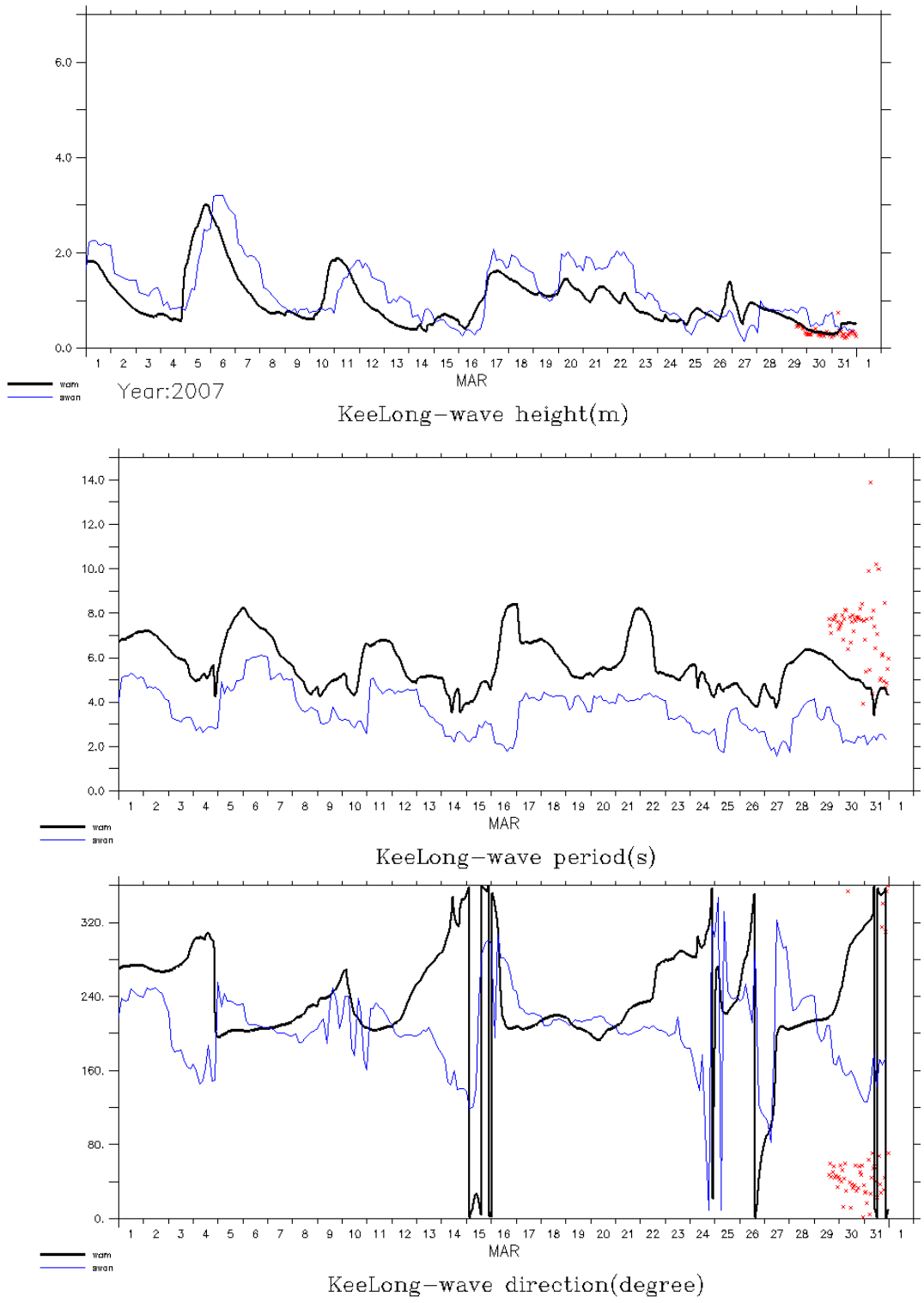


圖 2-3-21　基隆港 2007 年 3 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

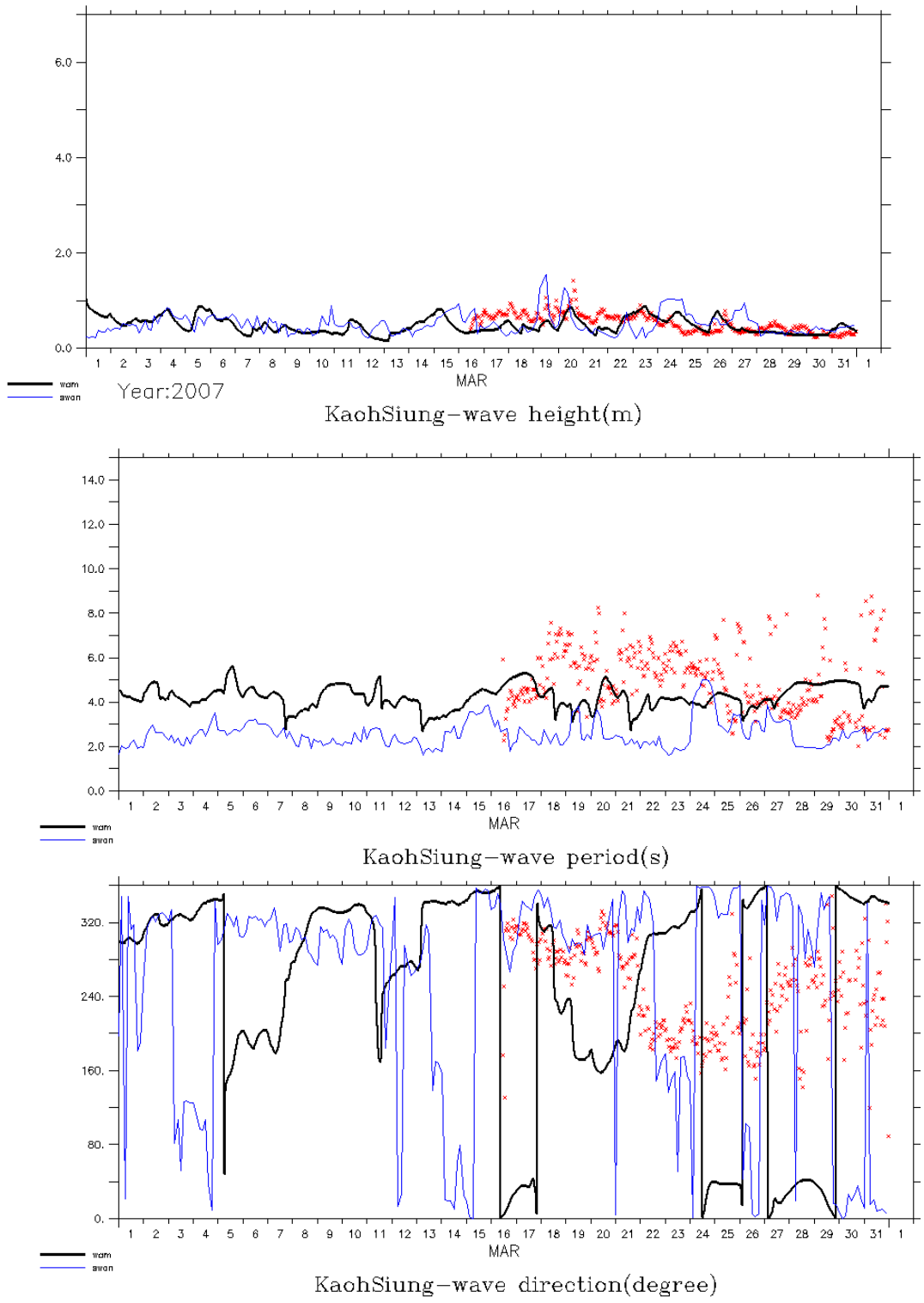


圖 2-3-22　高雄港 2007 年 3 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

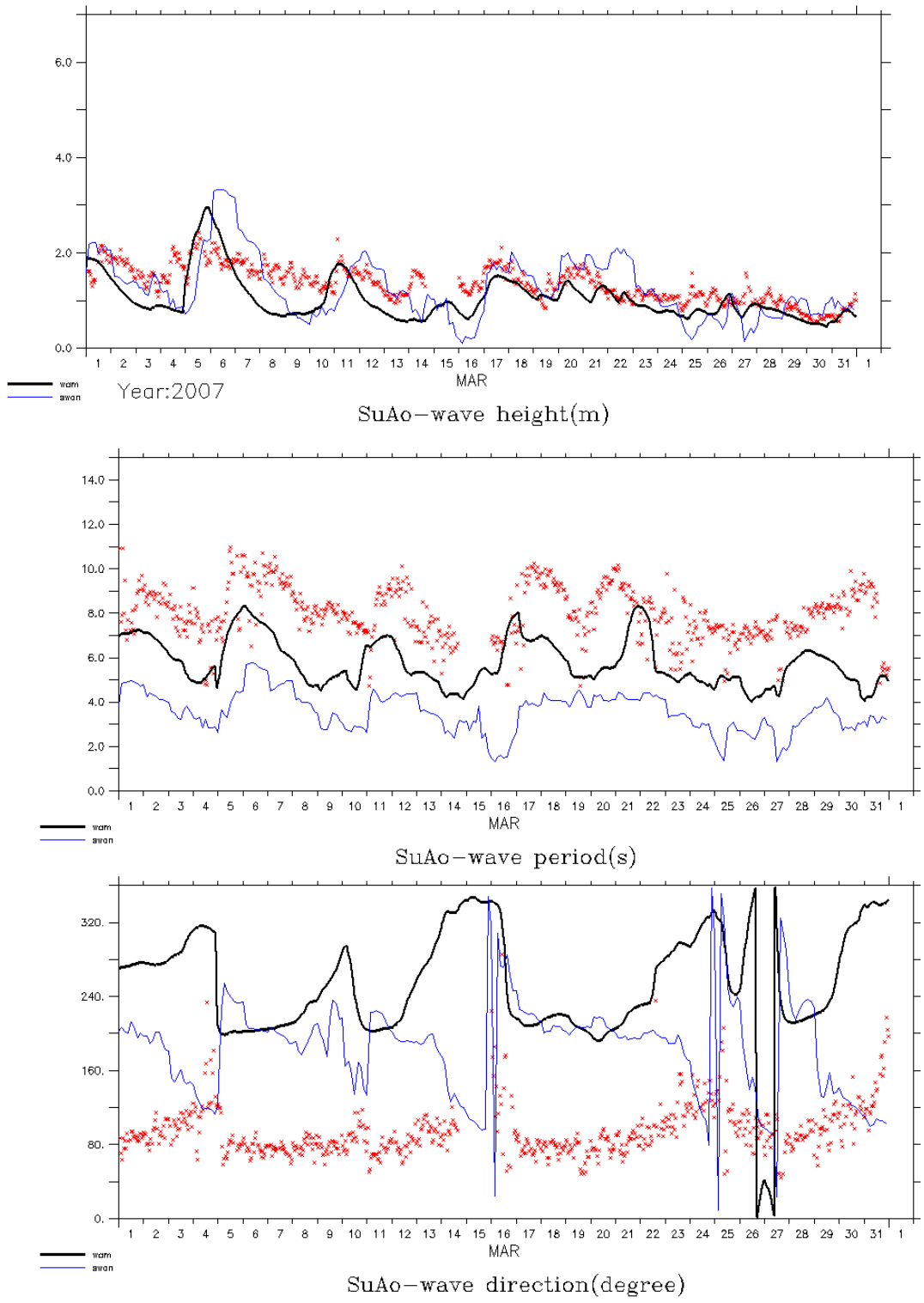


圖 2-3-23　蘇澳港 2007 年 3 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

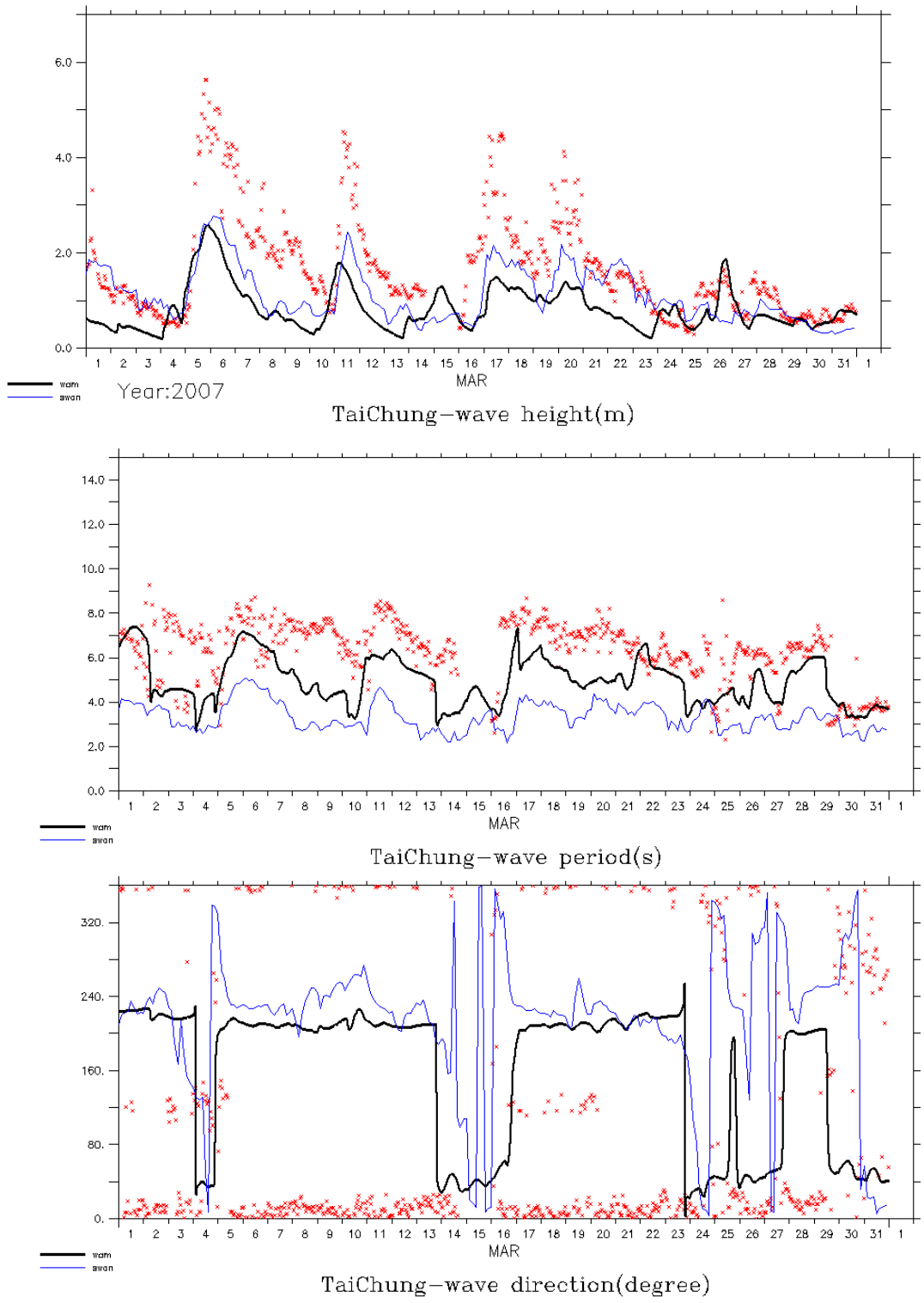


圖 2-3-24　台中港 2007 年 3 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

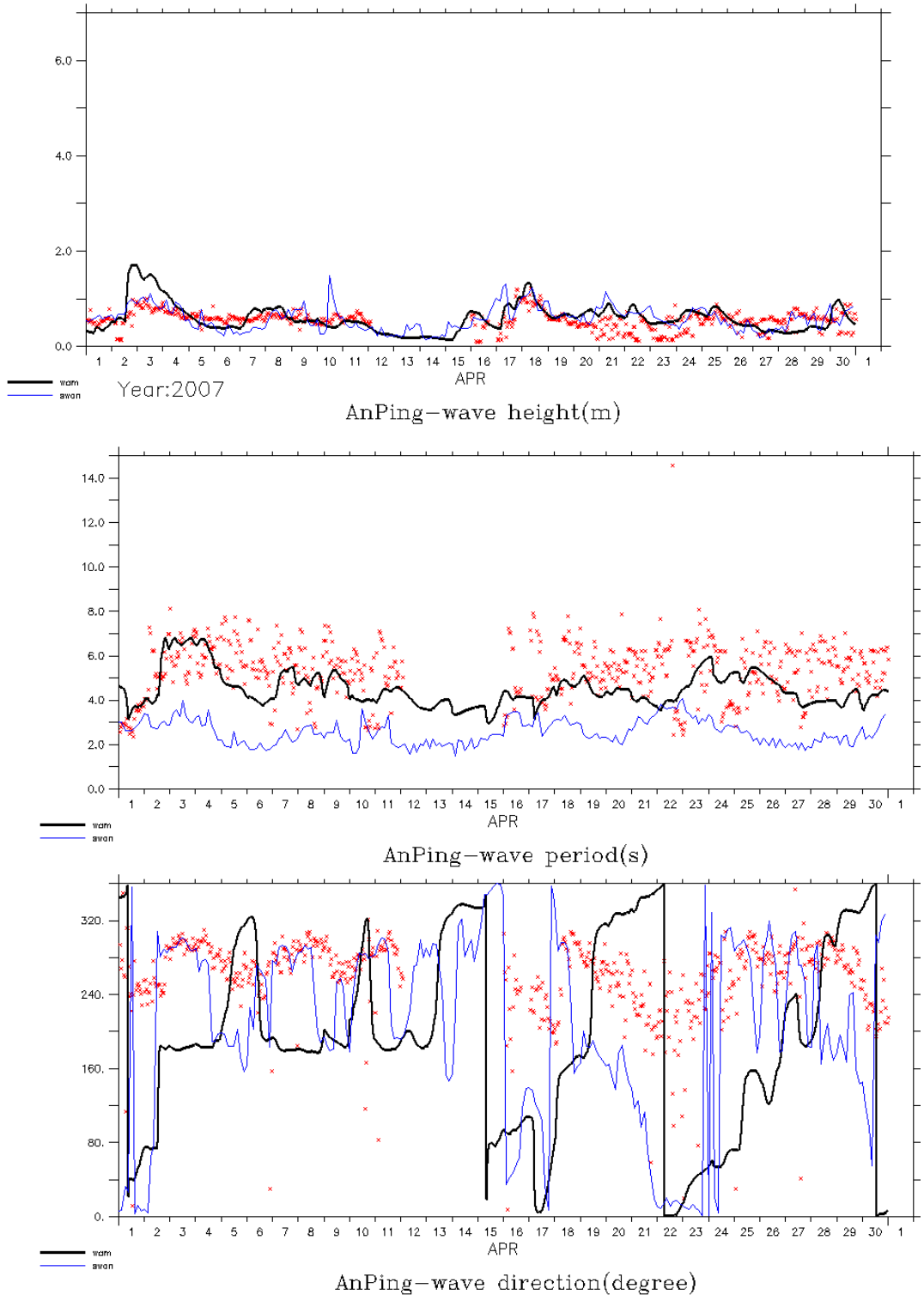


圖 2-3-25　安平港 2007 年 4 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

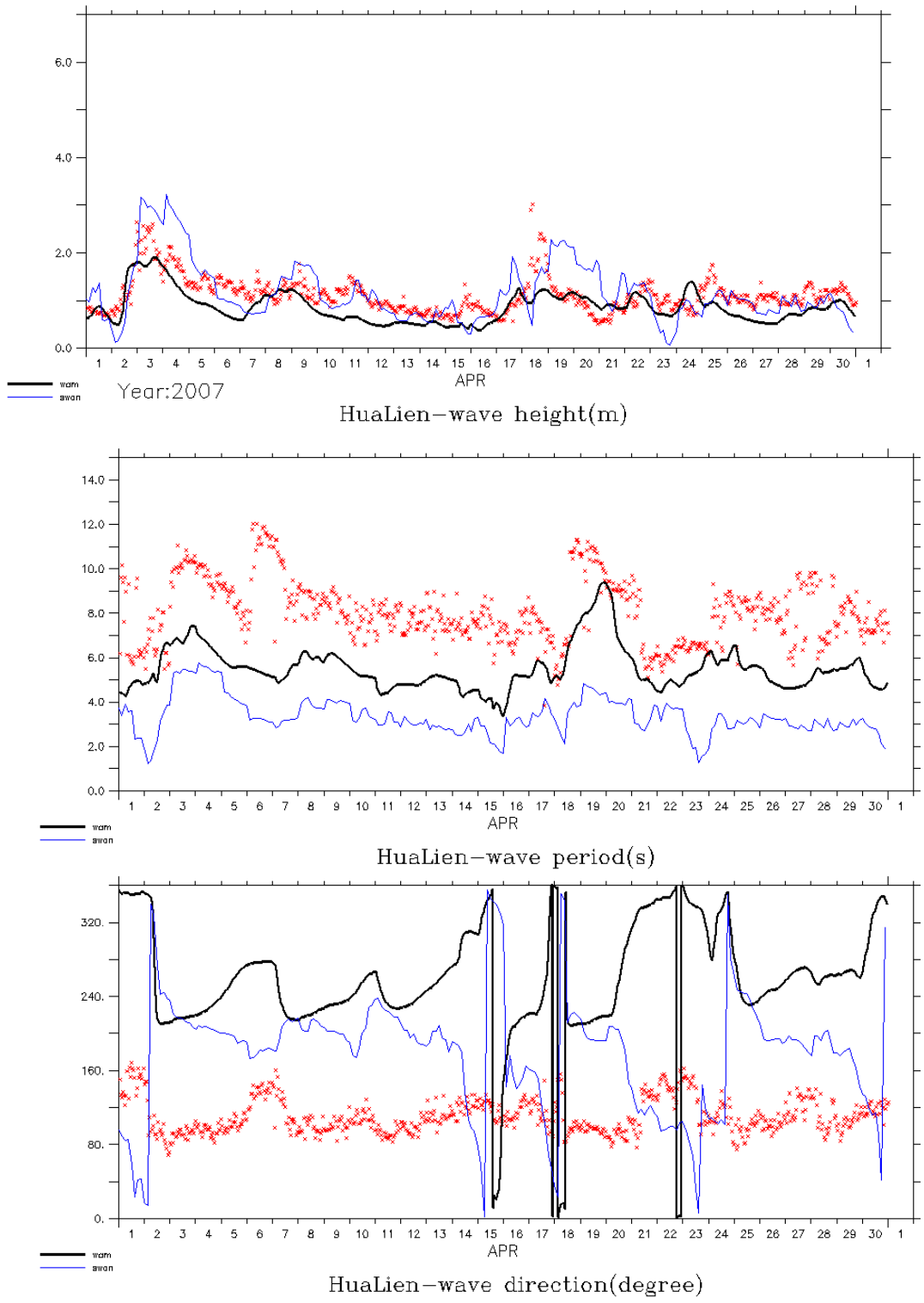


圖 2-3-26　花蓮港 2007 年 4 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

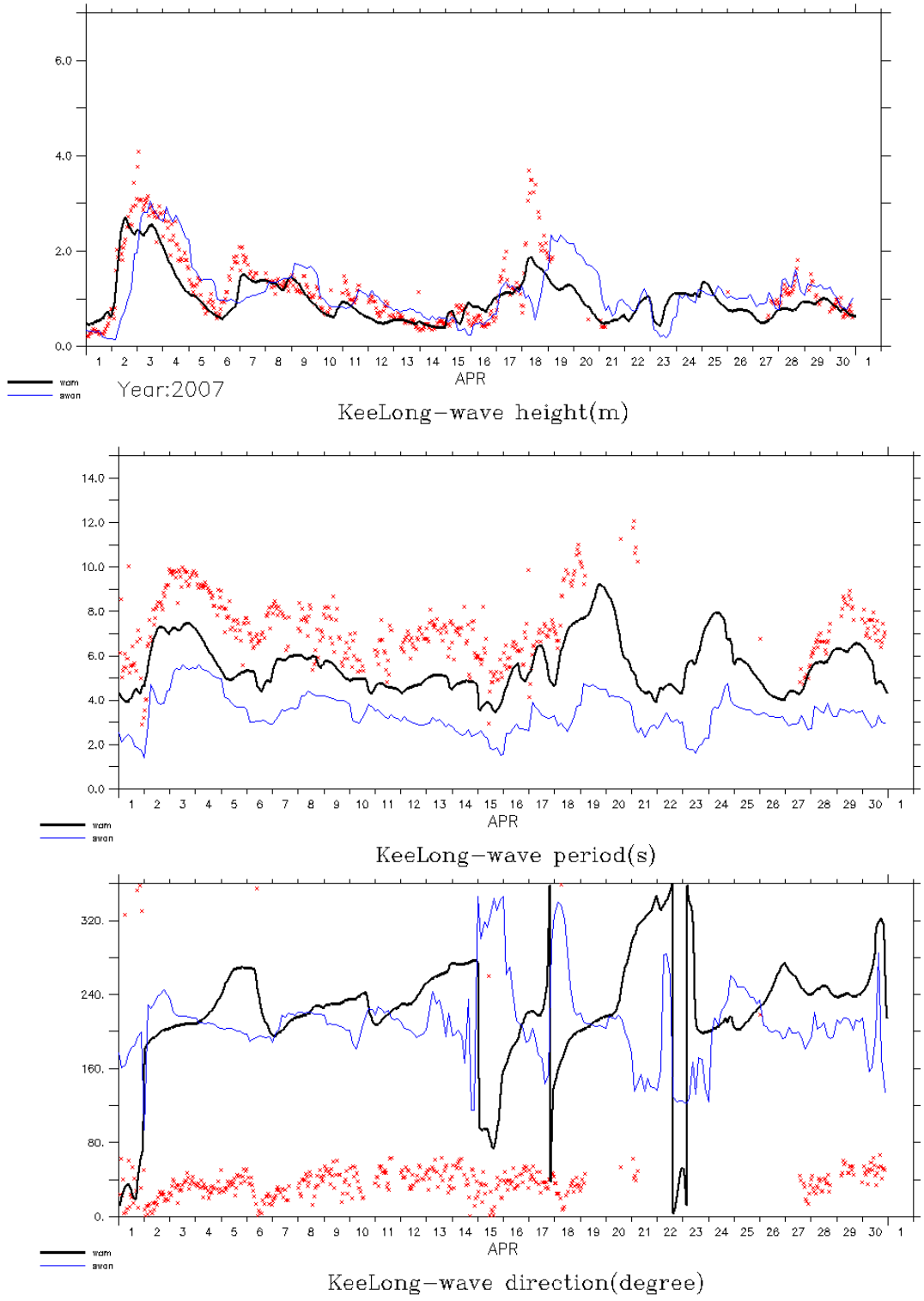


圖 2-3-27　基隆港 2007 年 4 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

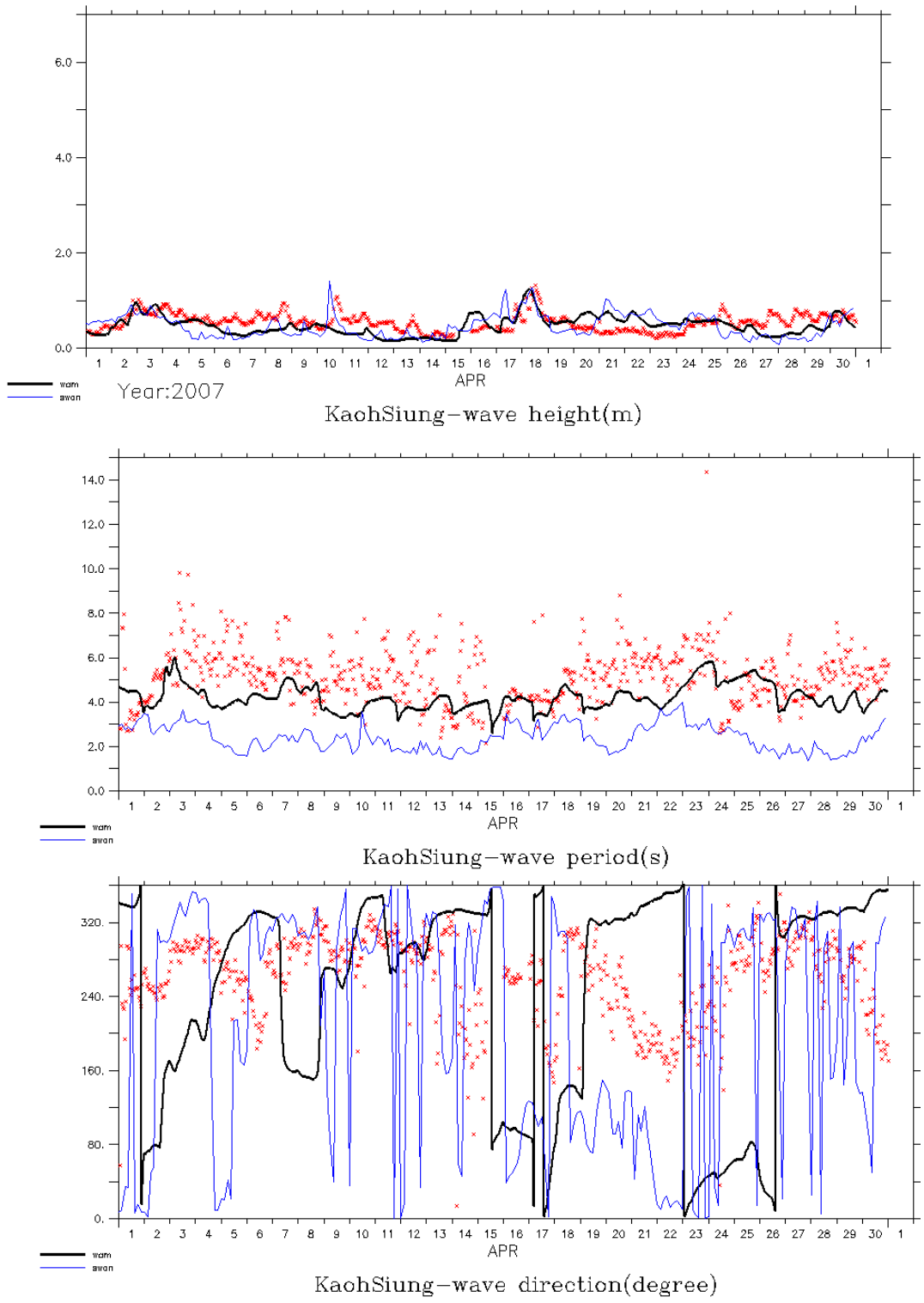


圖 2-3-28　高雄港 2007 年 4 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

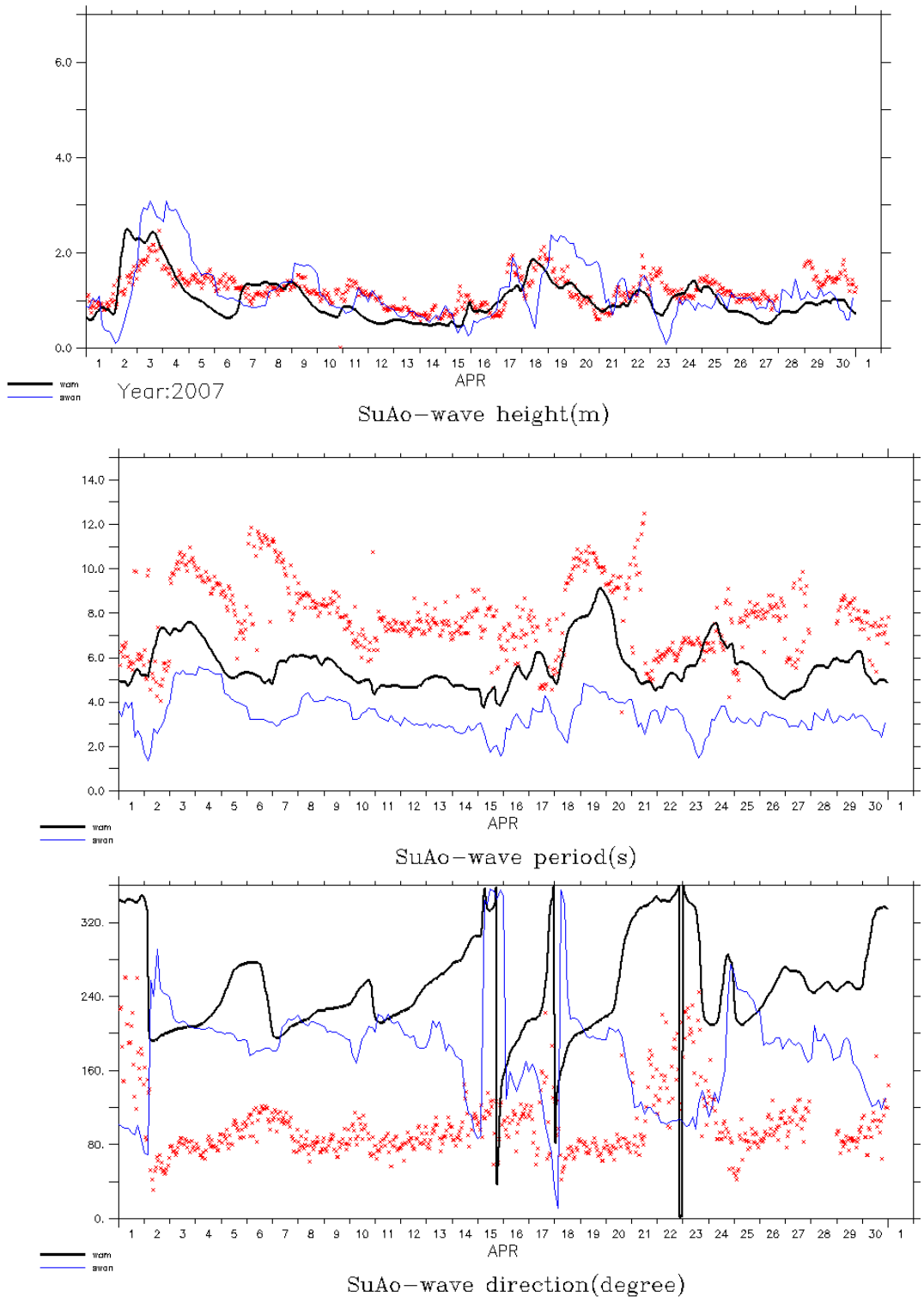


圖 2-3-29　蘇澳港 2007 年 4 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

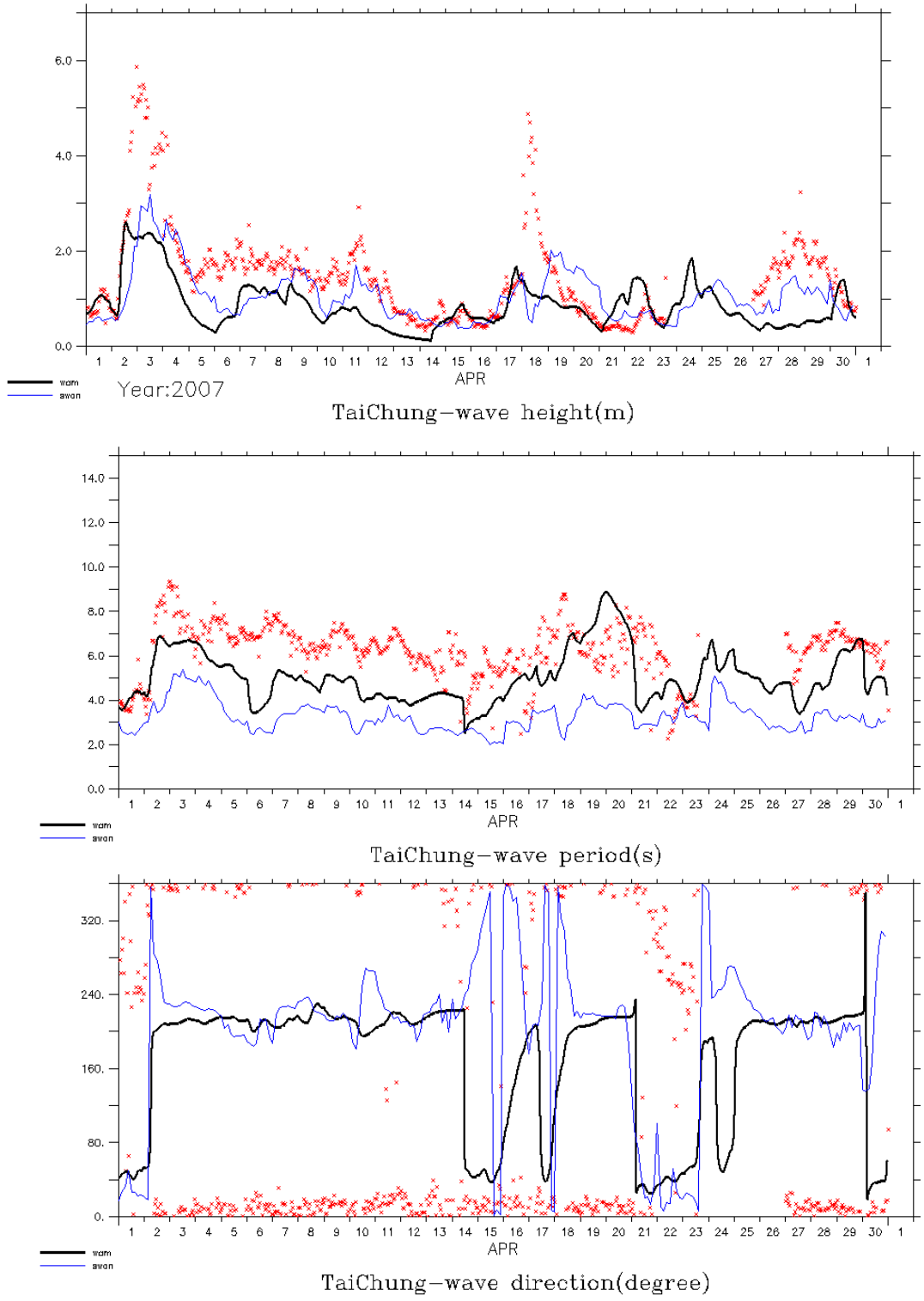


圖 2-3-30　台中港 2007 年 4 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

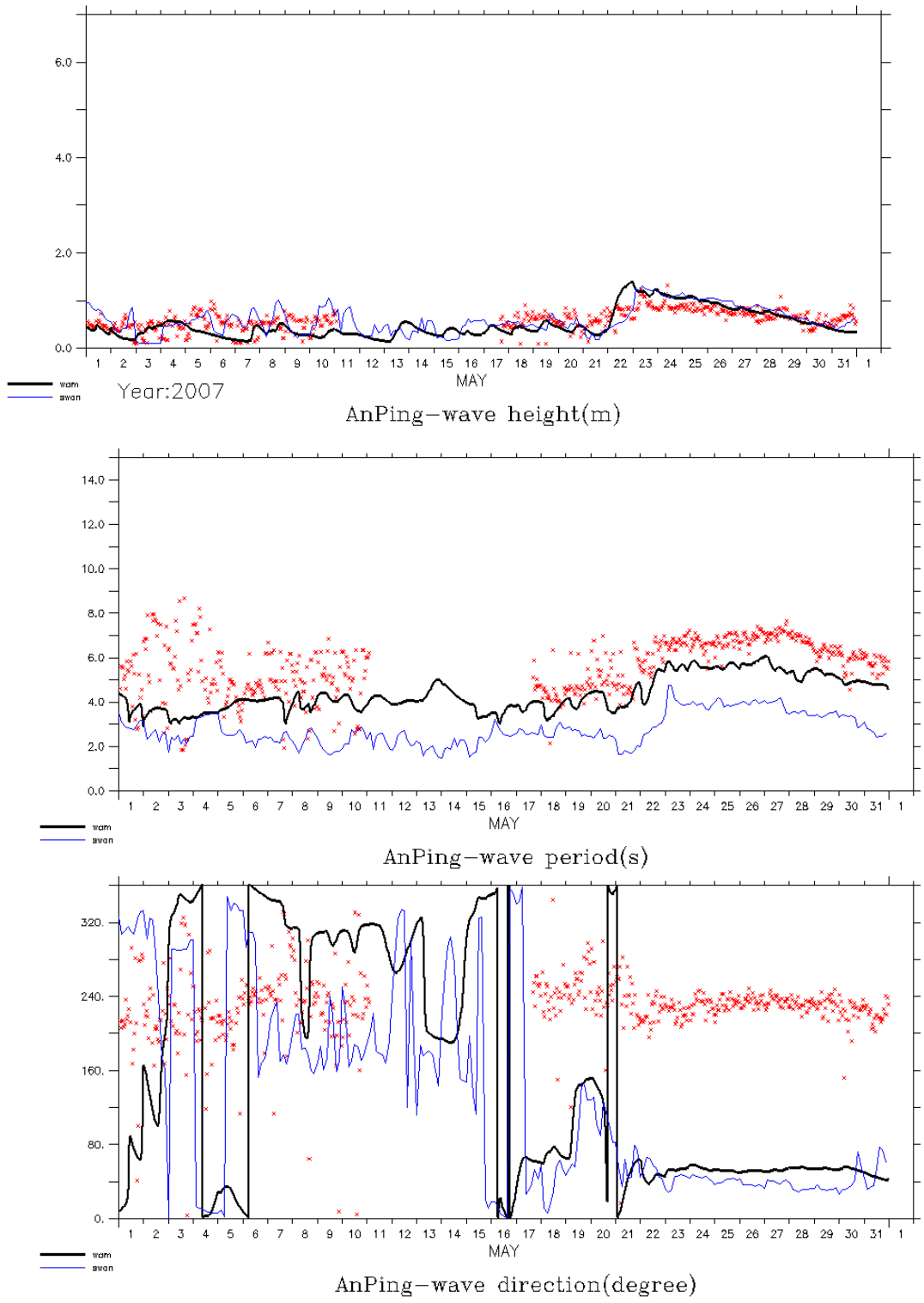


圖 2-3-31　安平港 2007 年 5 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

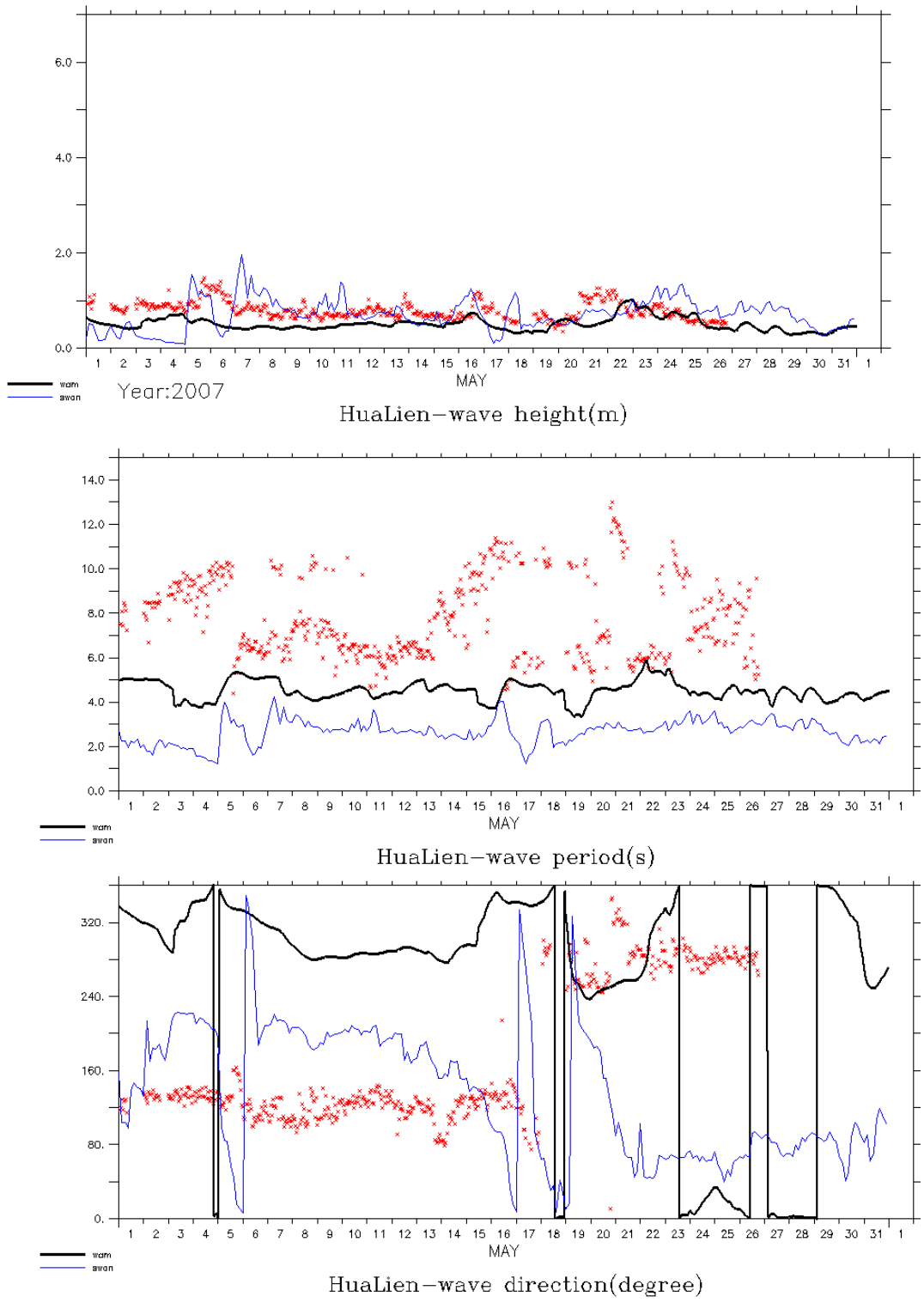


圖 2-3-32　花蓮港 2007 年 5 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

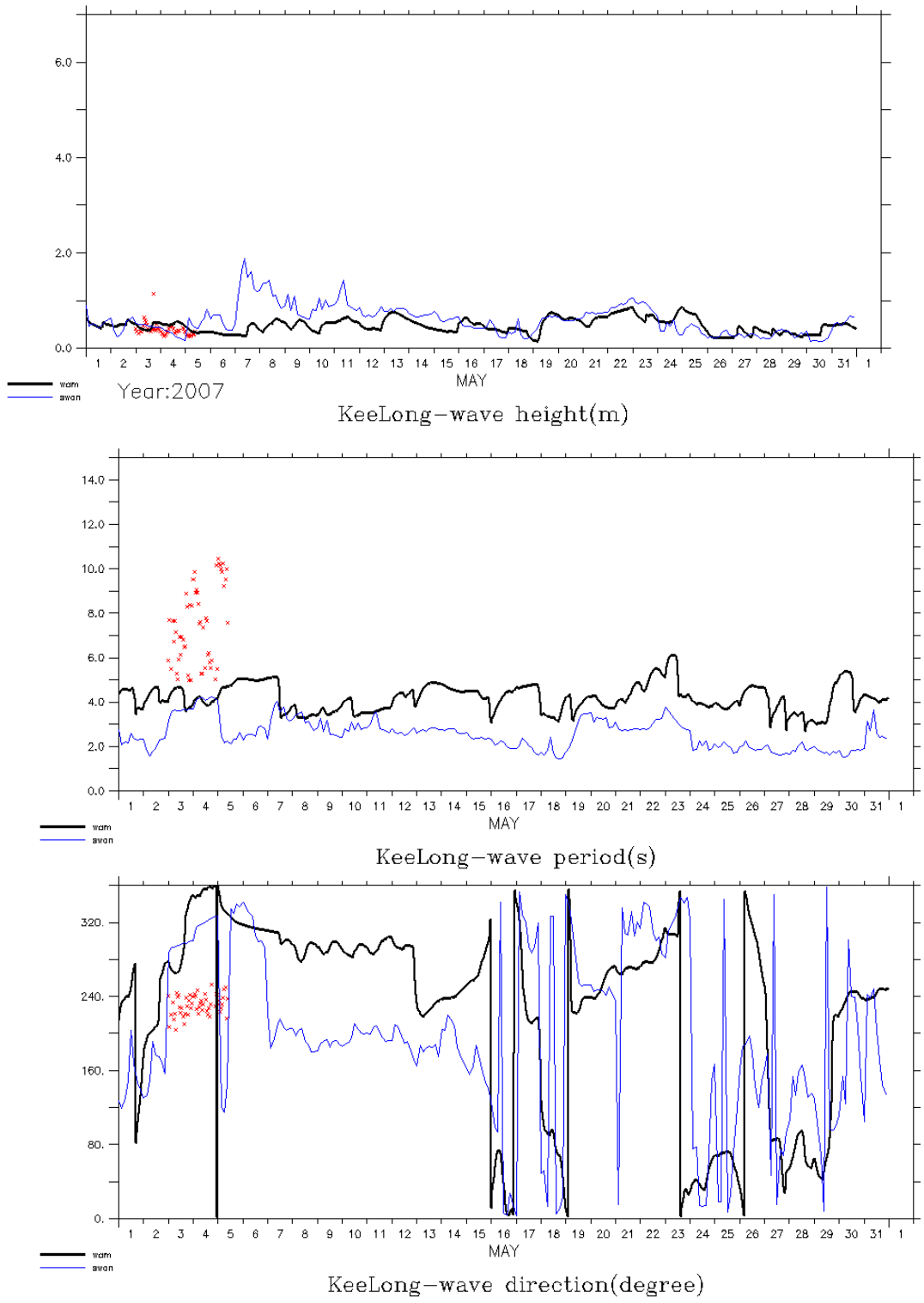


圖 2-3-33　基隆港 2007 年 5 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

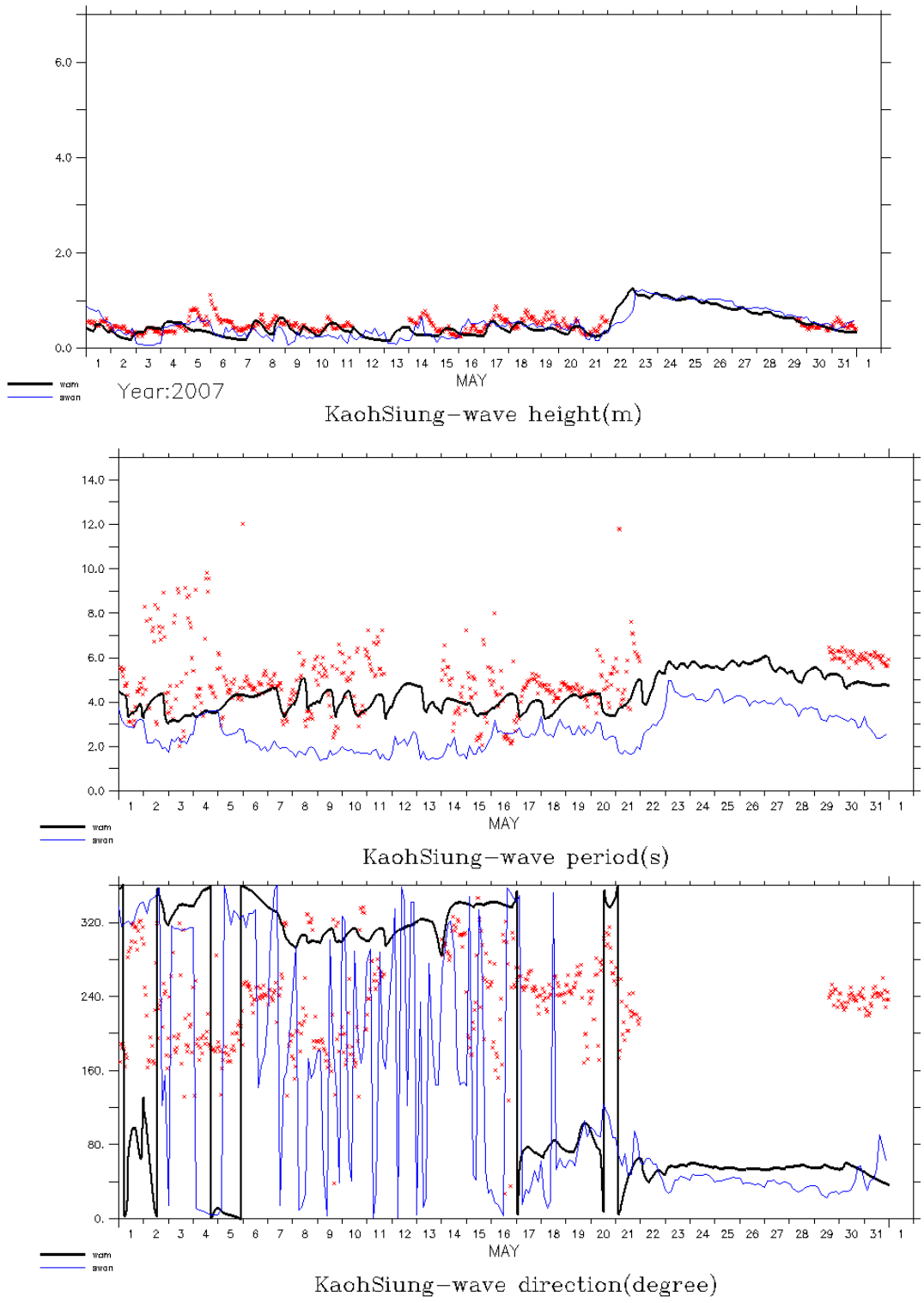


圖 2-3-34　高雄港 2007 年 5 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

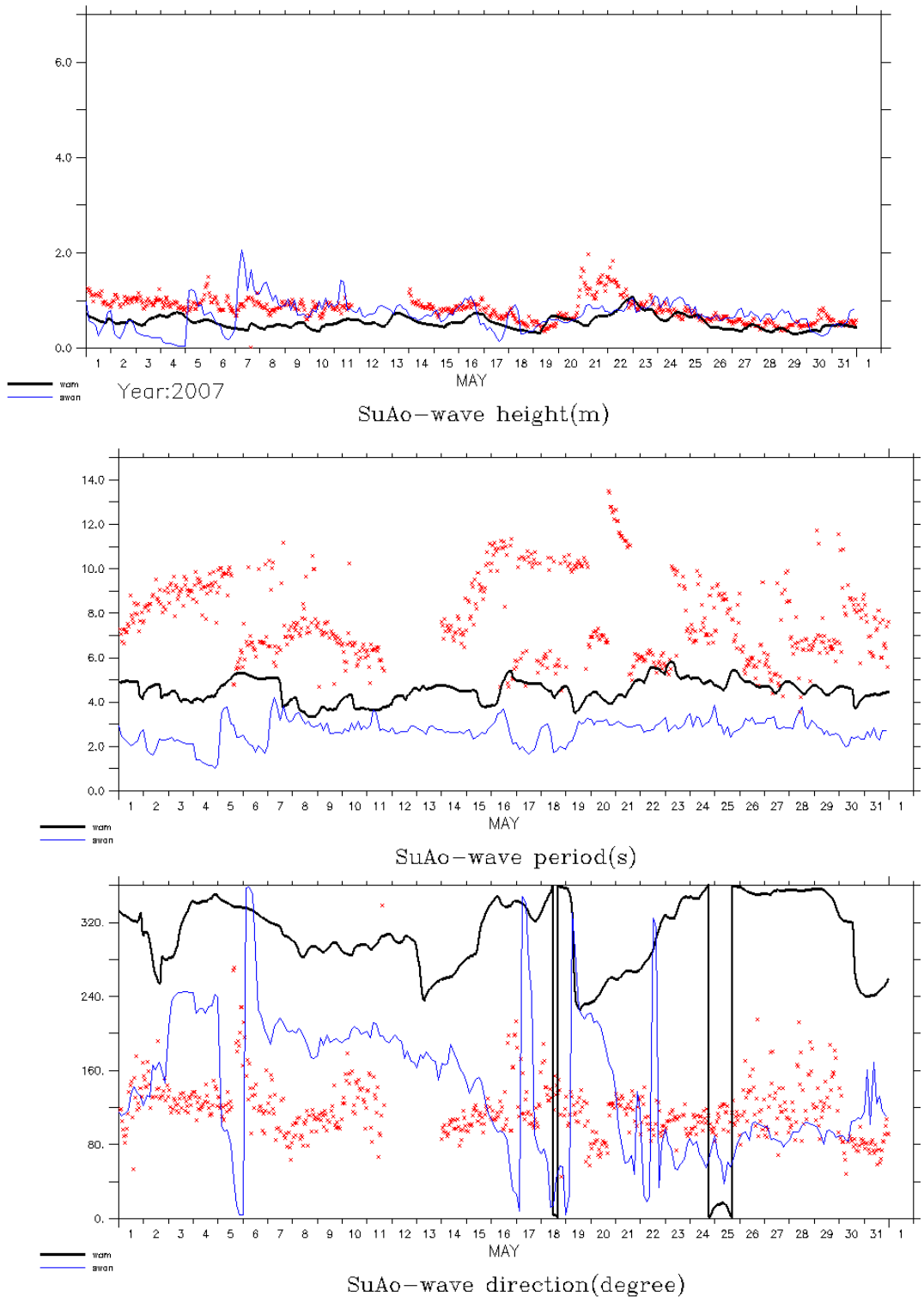


圖 2-3-35　蘇澳港 2007 年 5 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

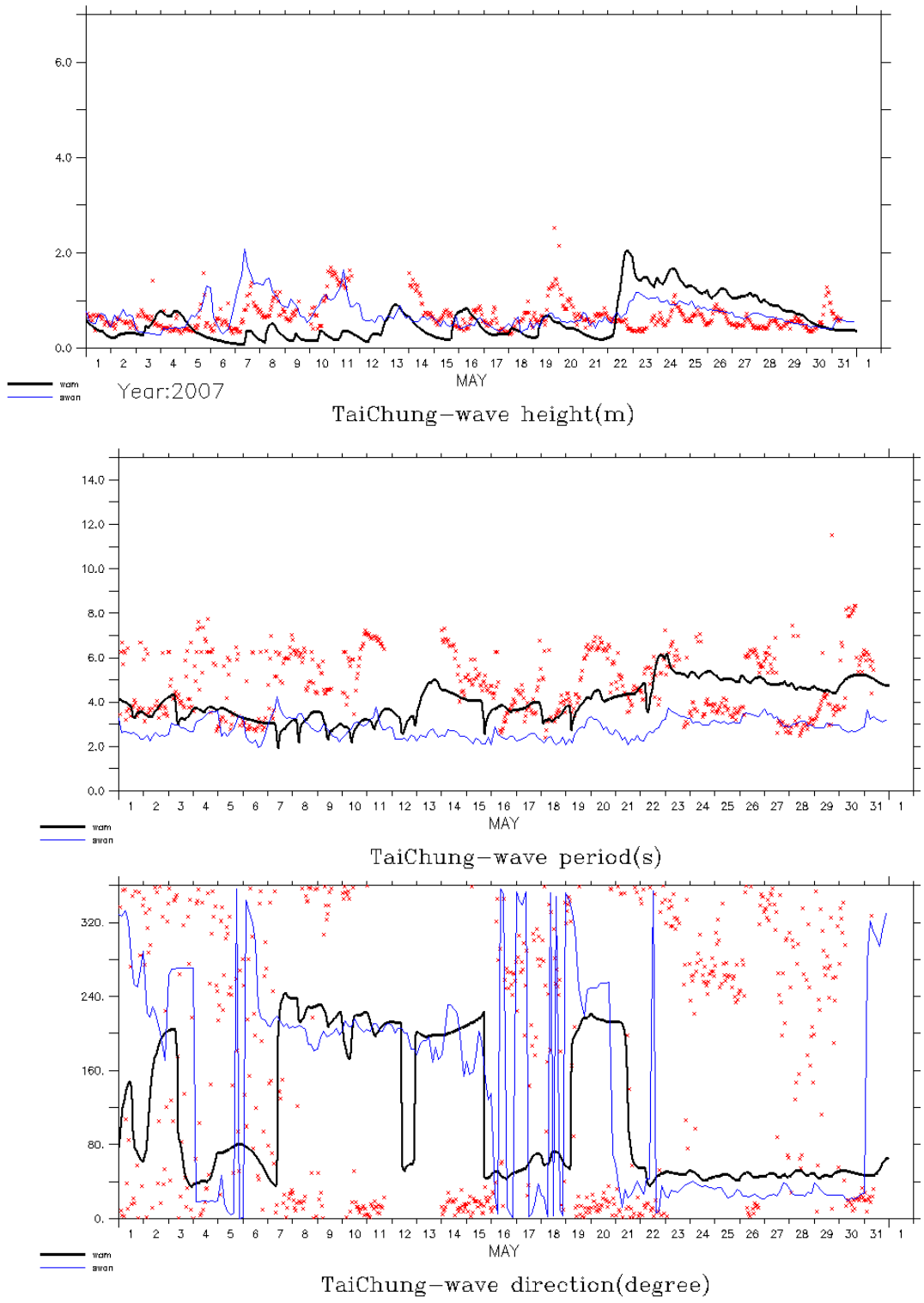


圖 2-3-36　台中港 2007 年 5 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對

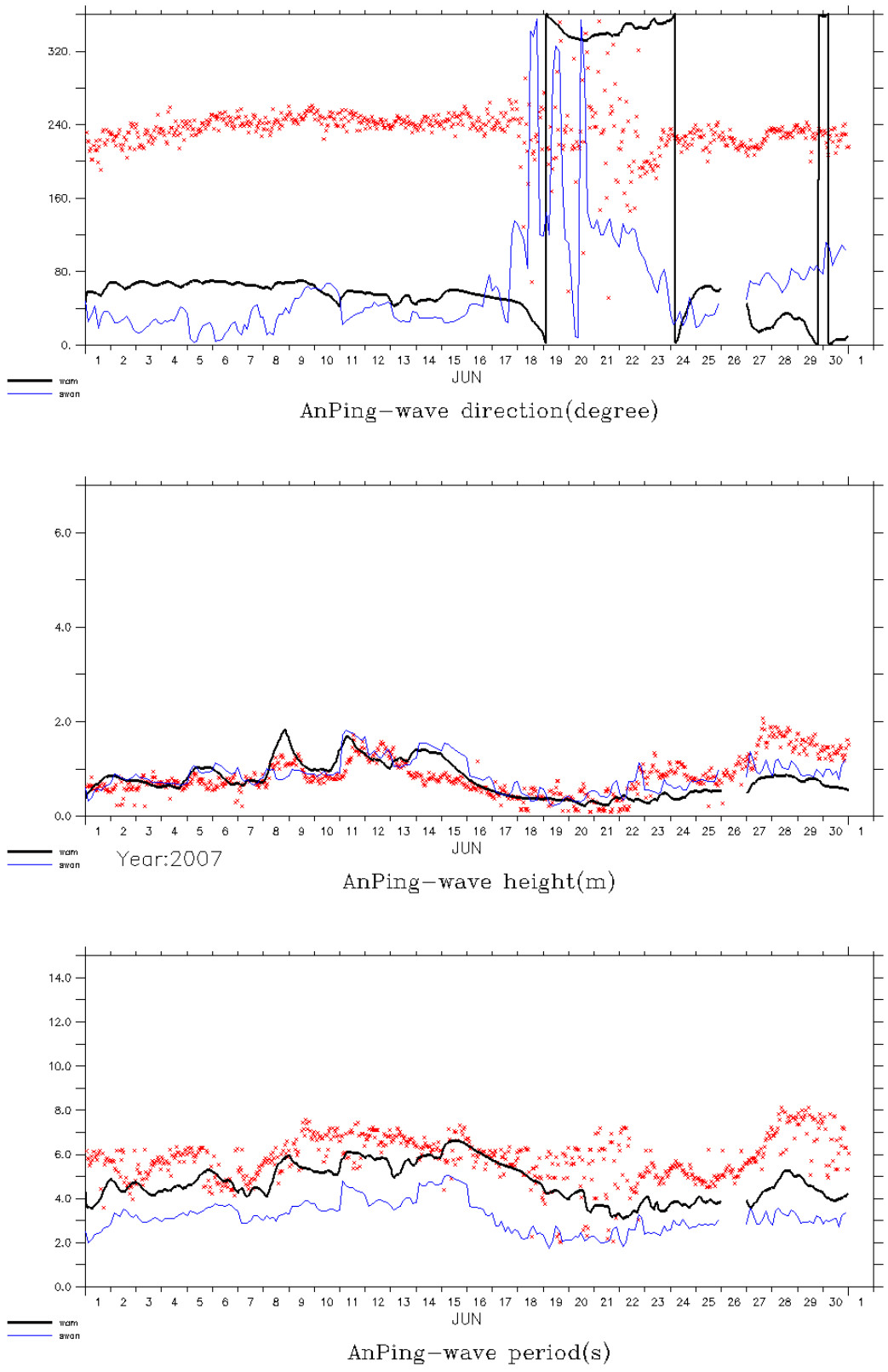


圖 2-3-37 安平港 2007 年 6 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

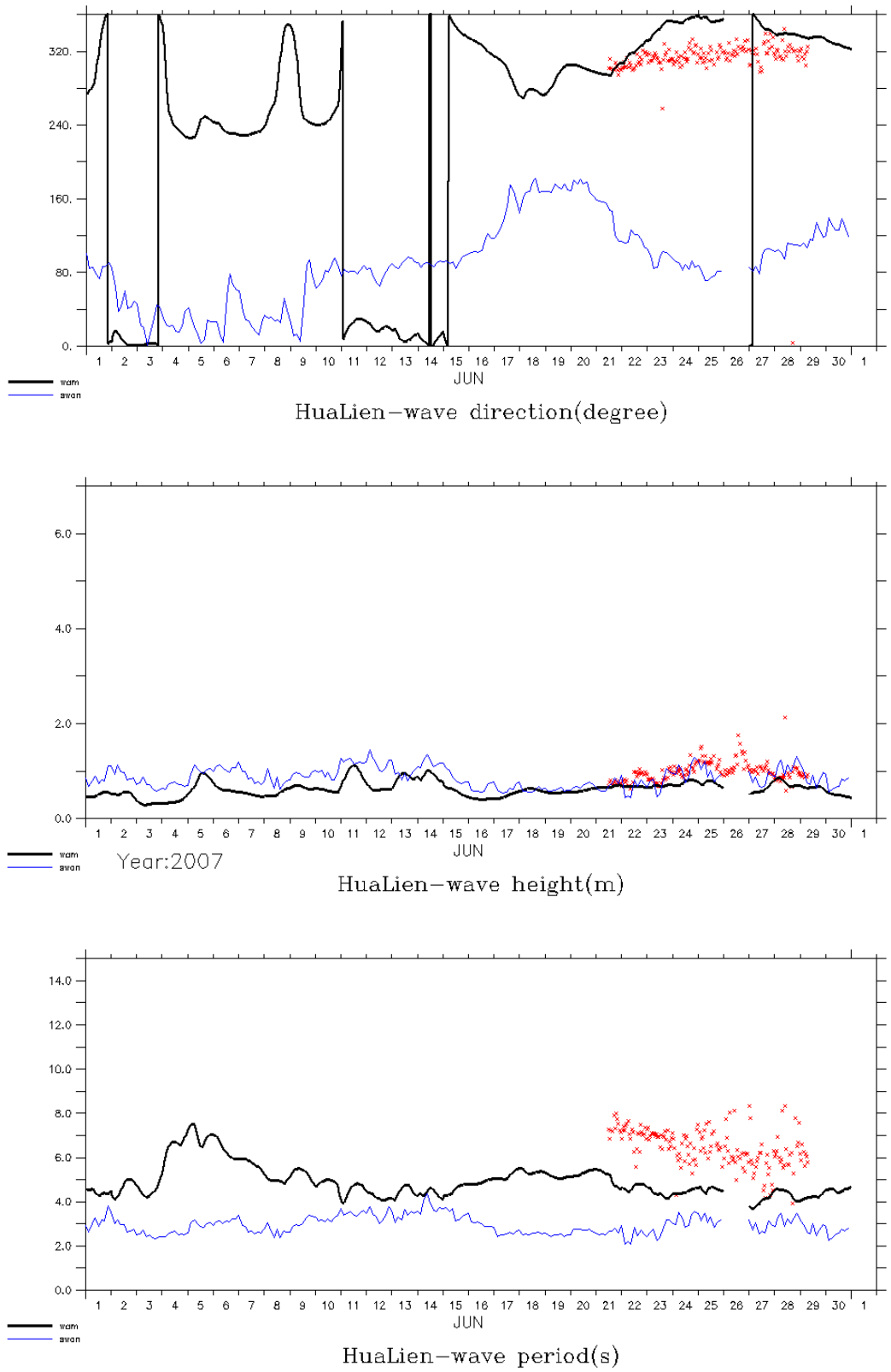


圖 2-3-38 花蓮港 2007 年 6 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

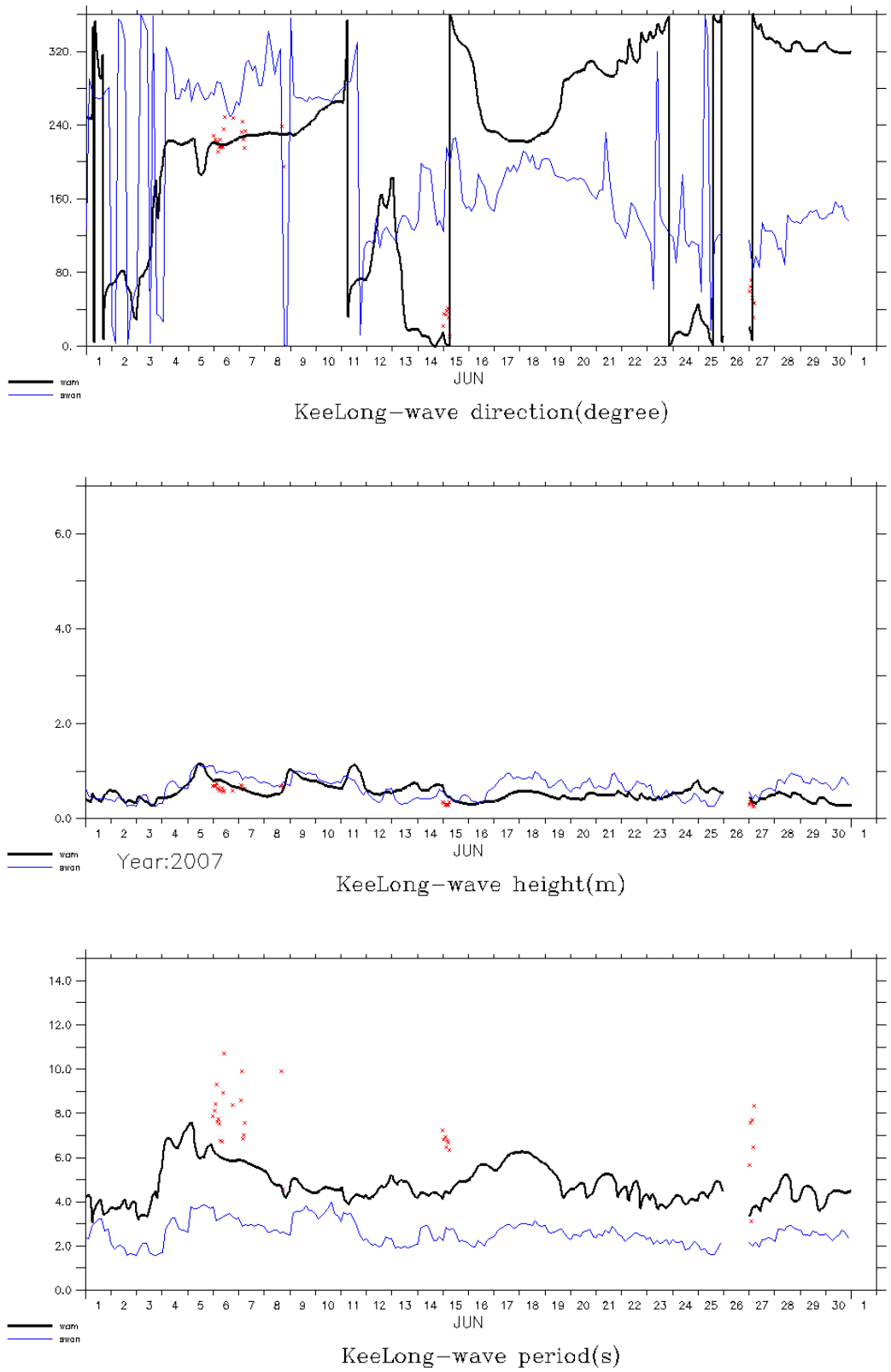


圖 2-3-39 基隆港 2007 年 6 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

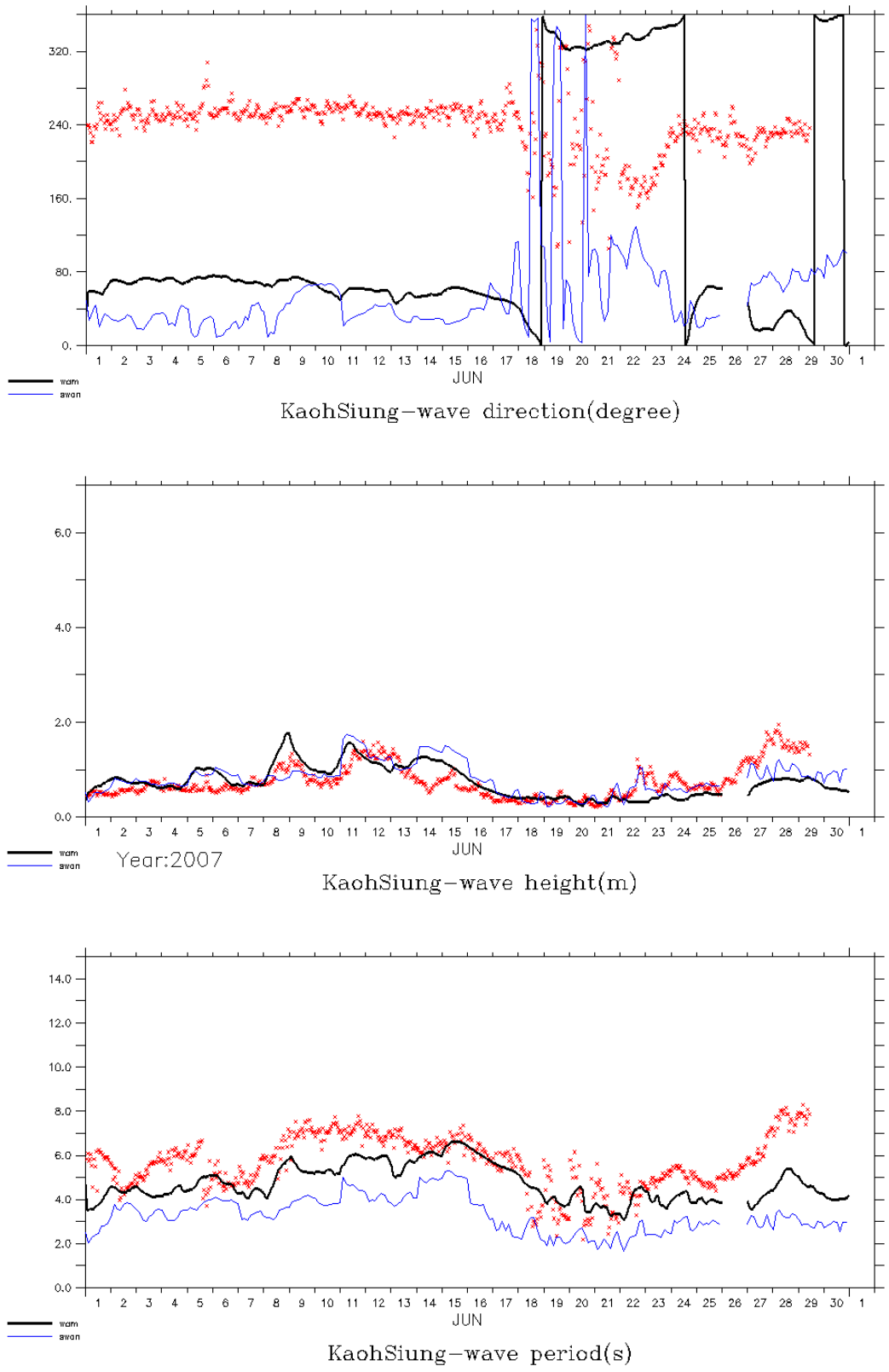


圖 2-3-40 高雄港 2007 年 6 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

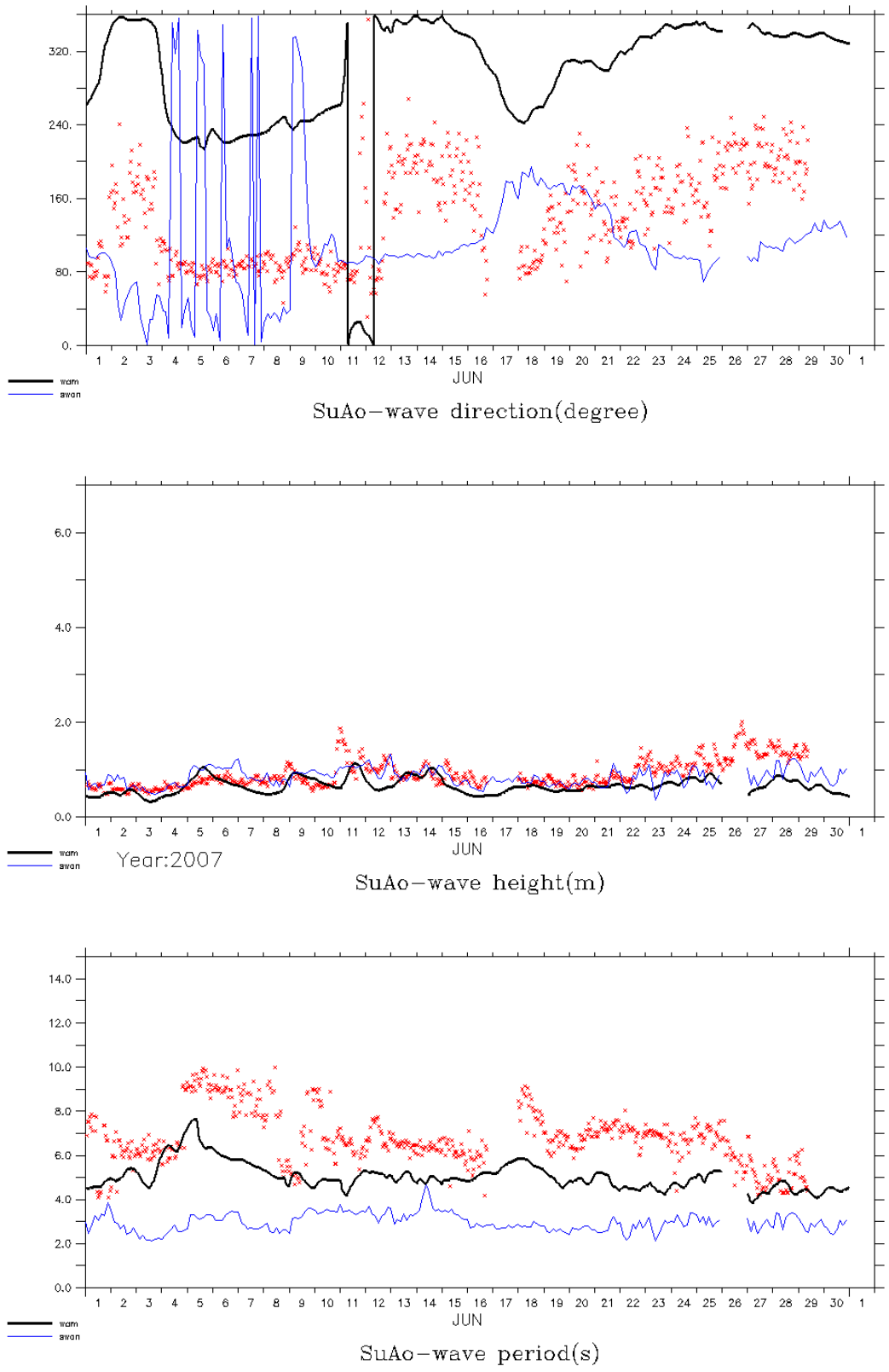


圖 2-3-41 蘇澳港 2007 年 6 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

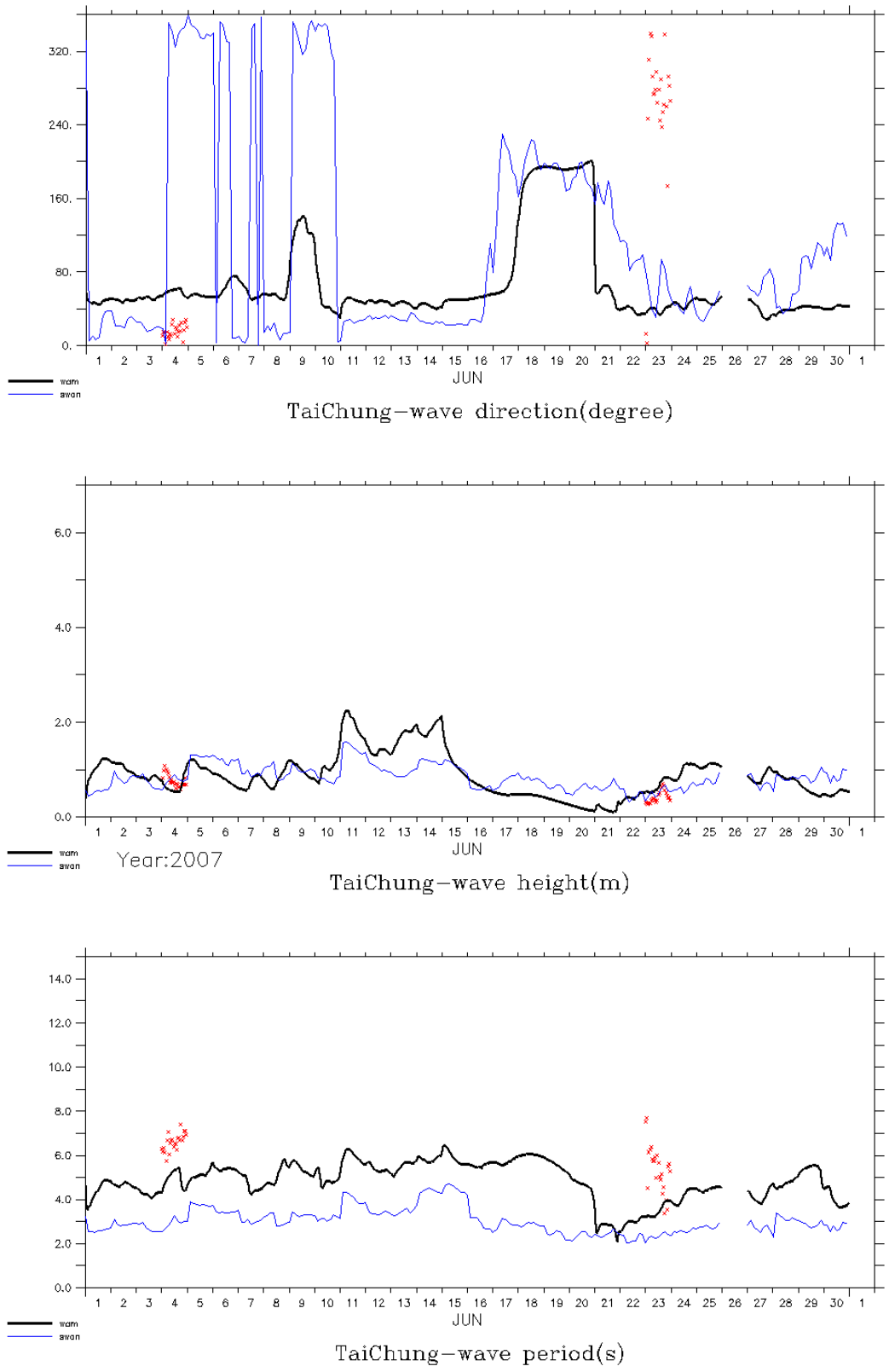
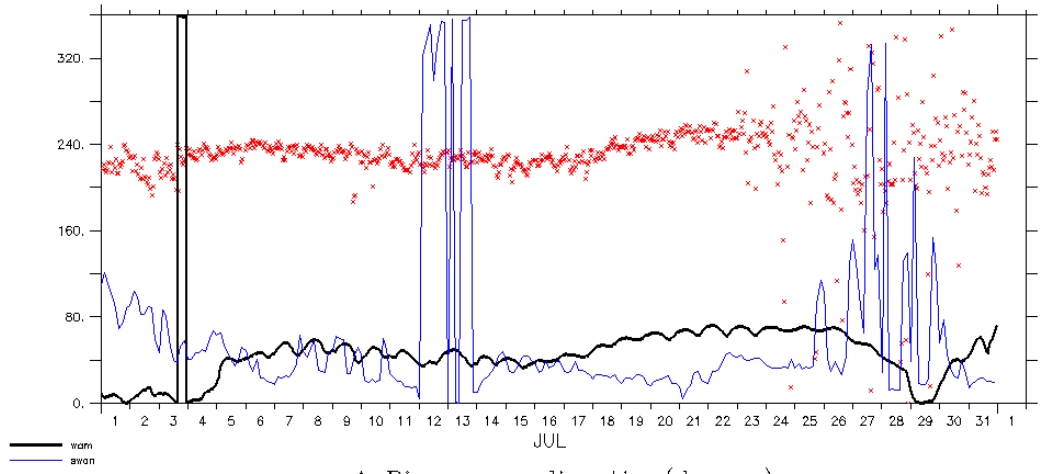
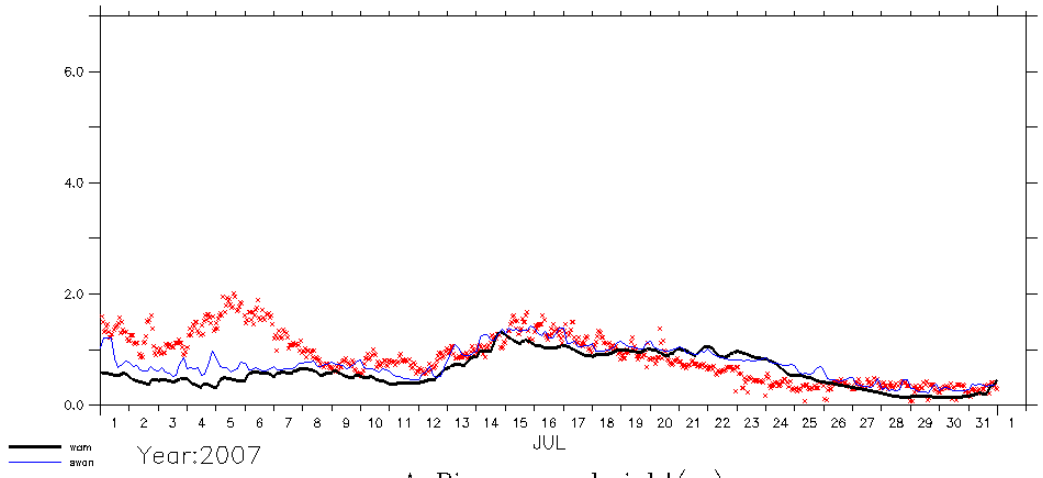


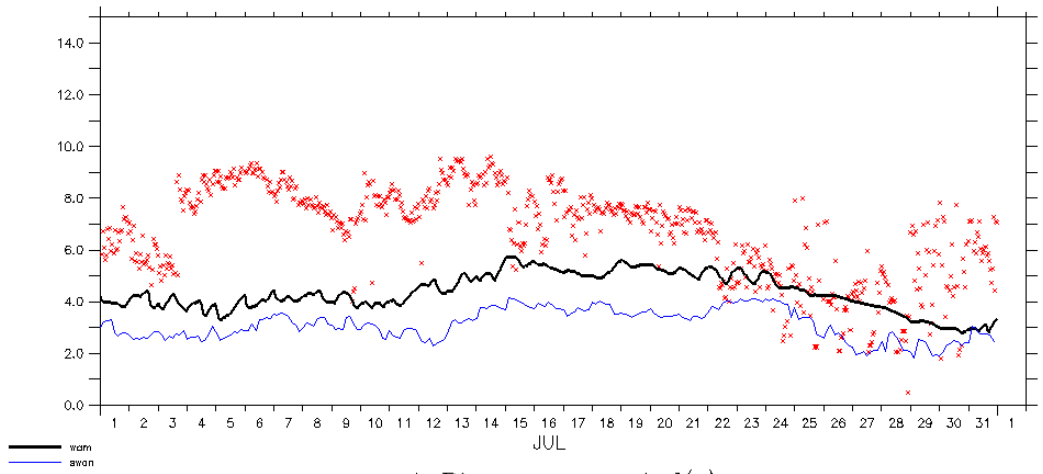
圖 2-3-42 台中港 2007 年 6 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖



AnPing－wave direction(degree)



AnPing－wave height(m)



AnPing－wave period(s)

圖 2-3-43 安平港 2007 年 7 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

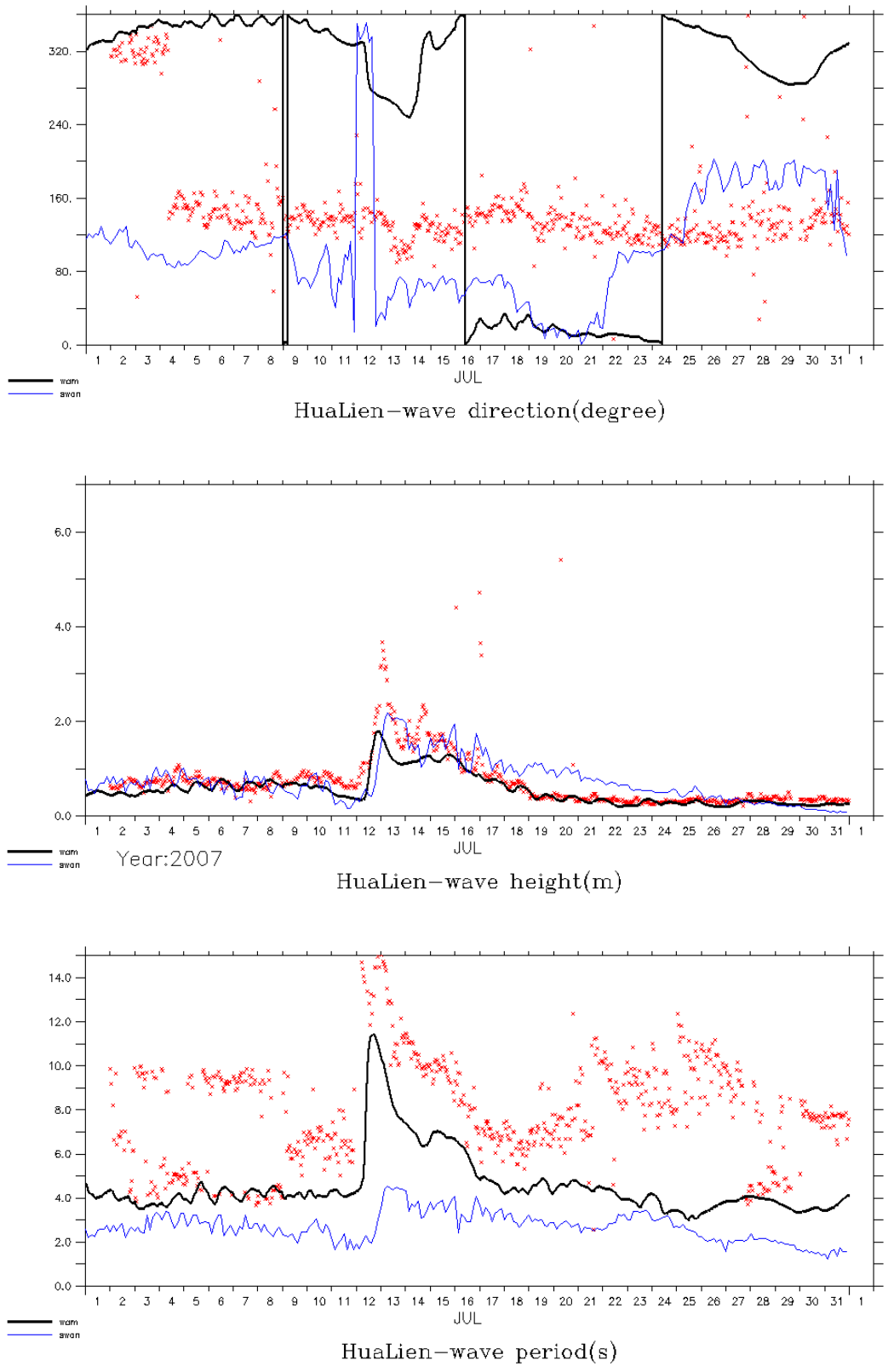


圖 2-3-44 花蓮港 2007 年 7 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

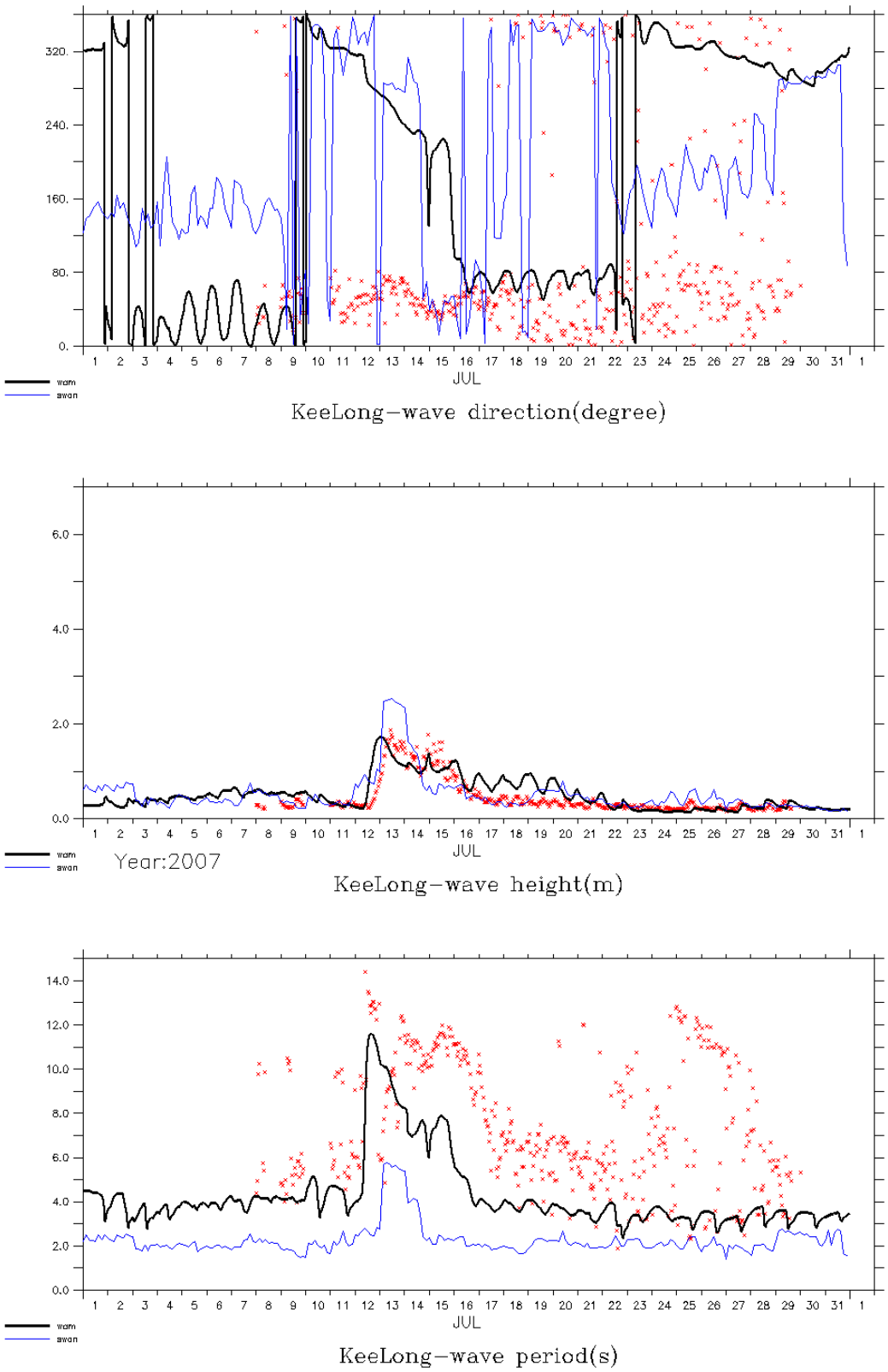


圖 2-3-45 基隆港 2007 年 7 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

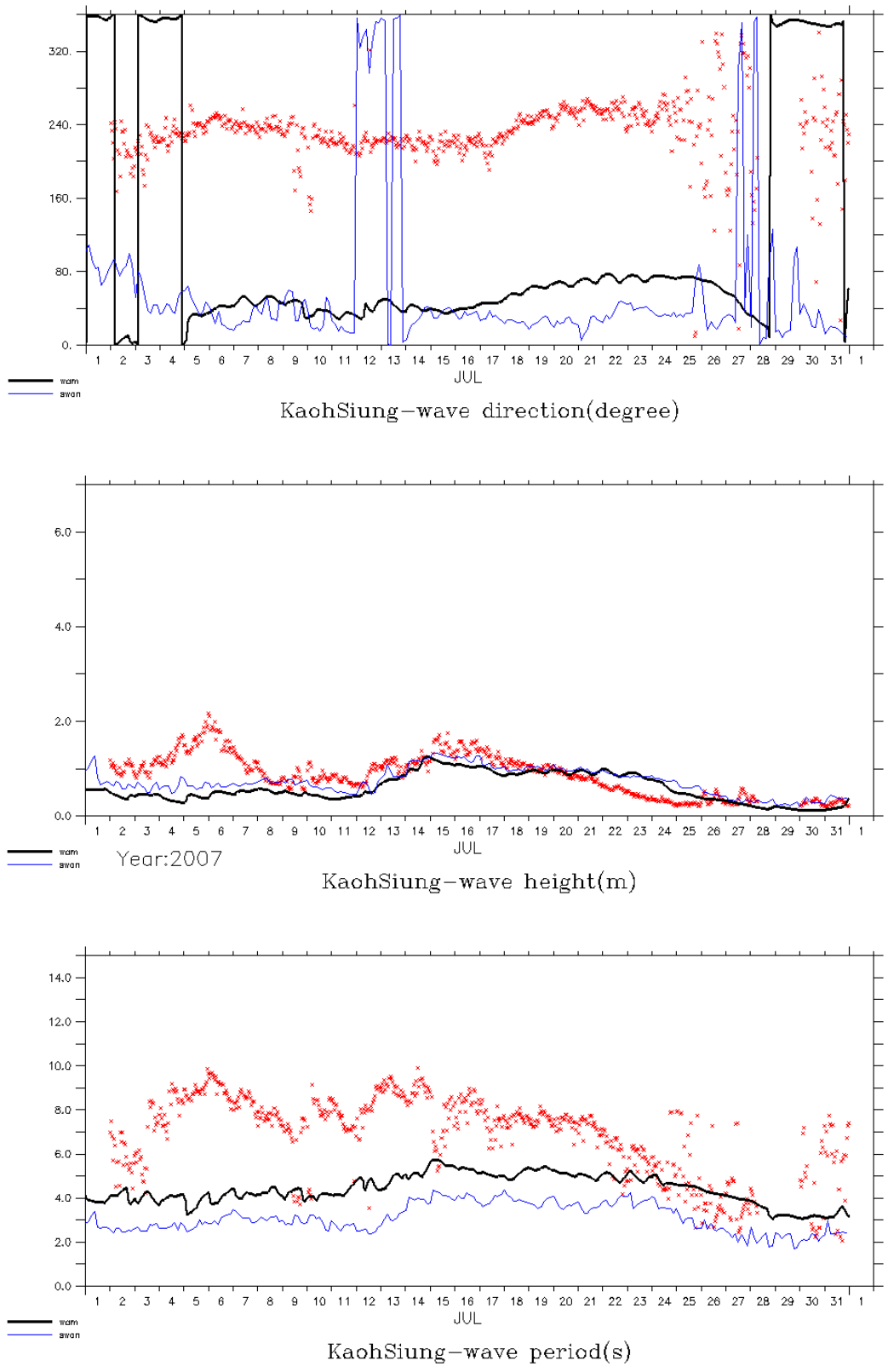


圖 2-3-46 高雄港 2007 年 7 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

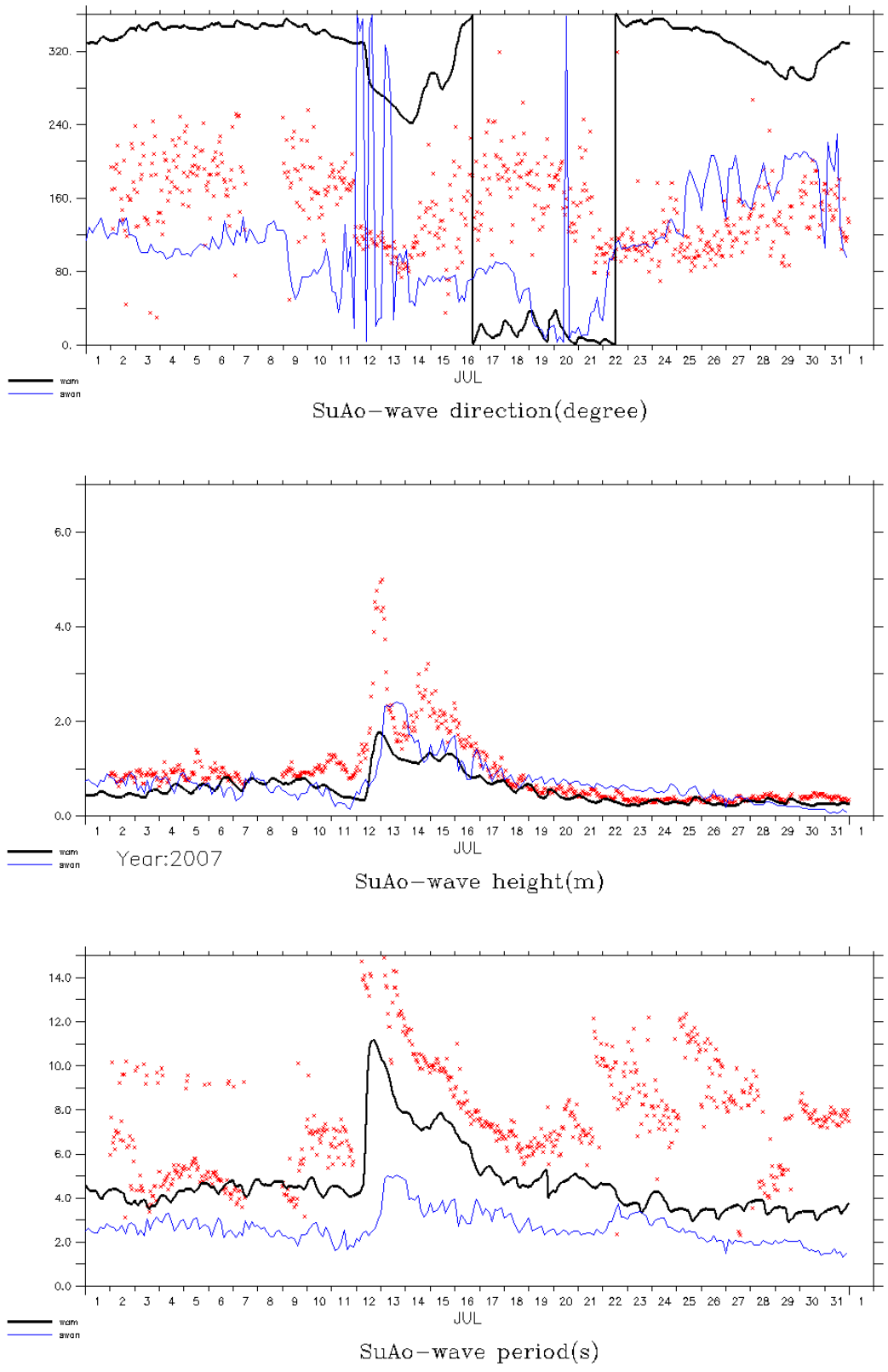


圖 2-3-47 蘇澳港 2007 年 7 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

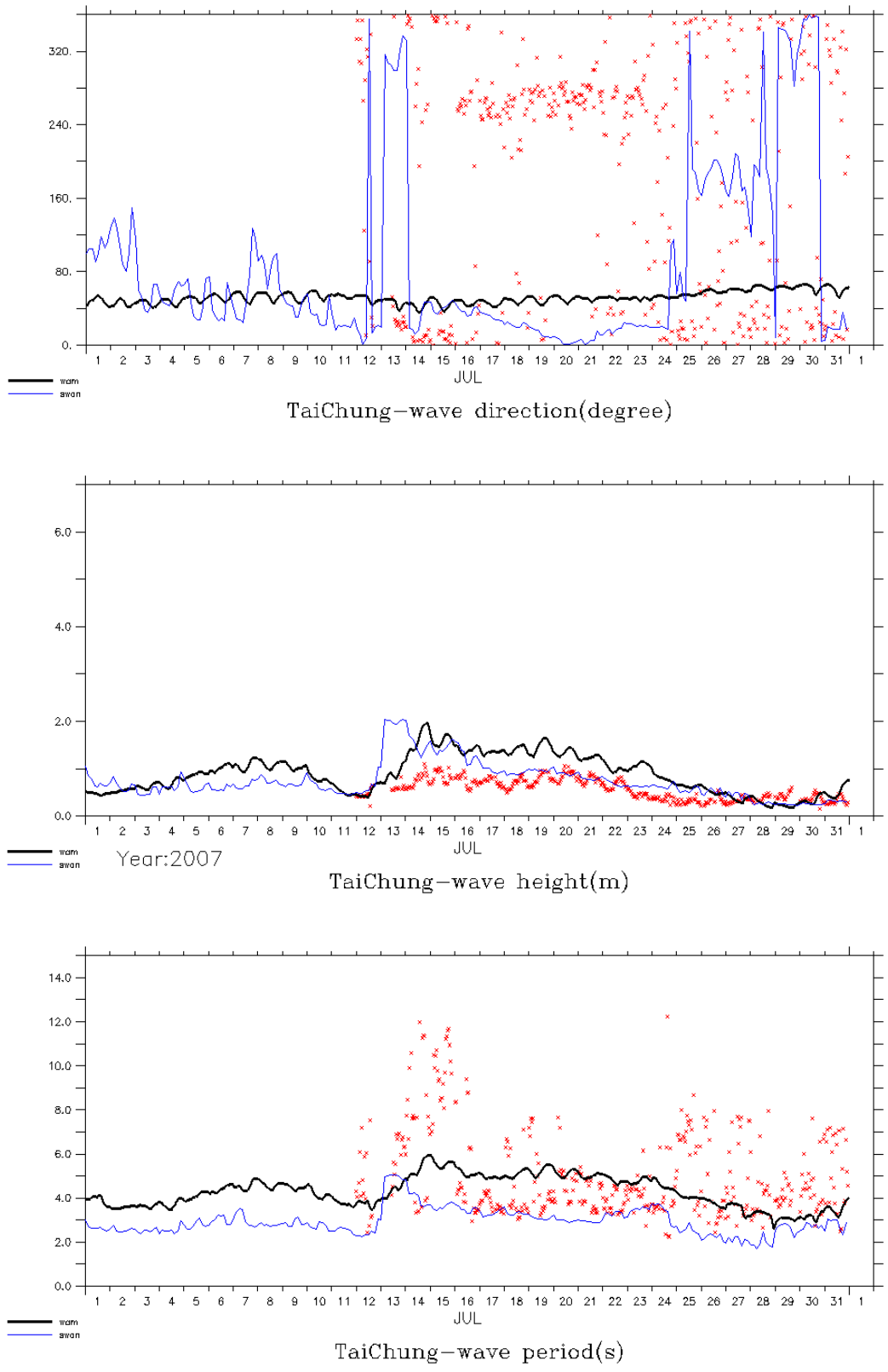


圖 2-3-48 台中港 2007 年 7 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

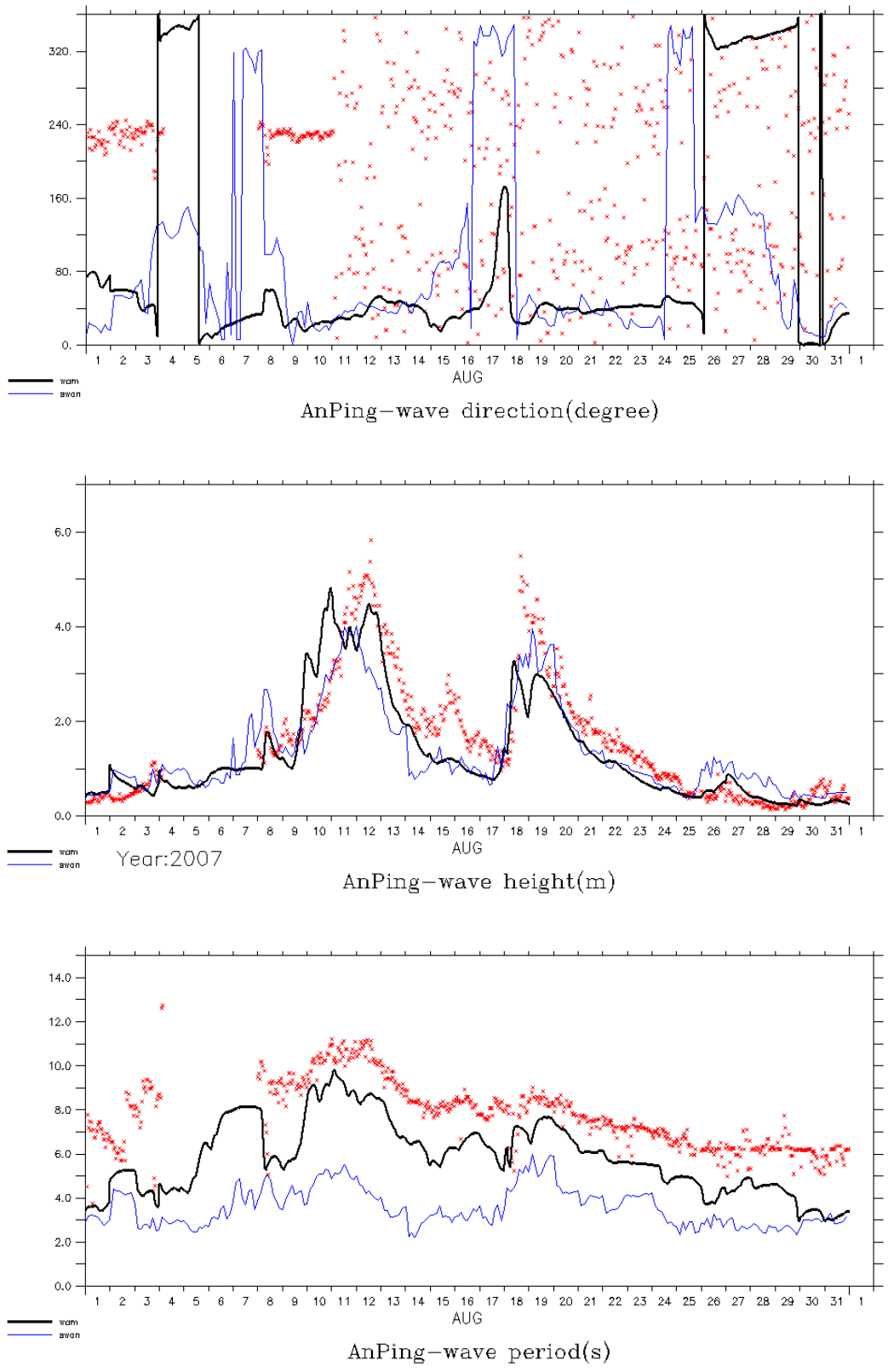


圖 2-3-49 安平港 2007 年 8 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

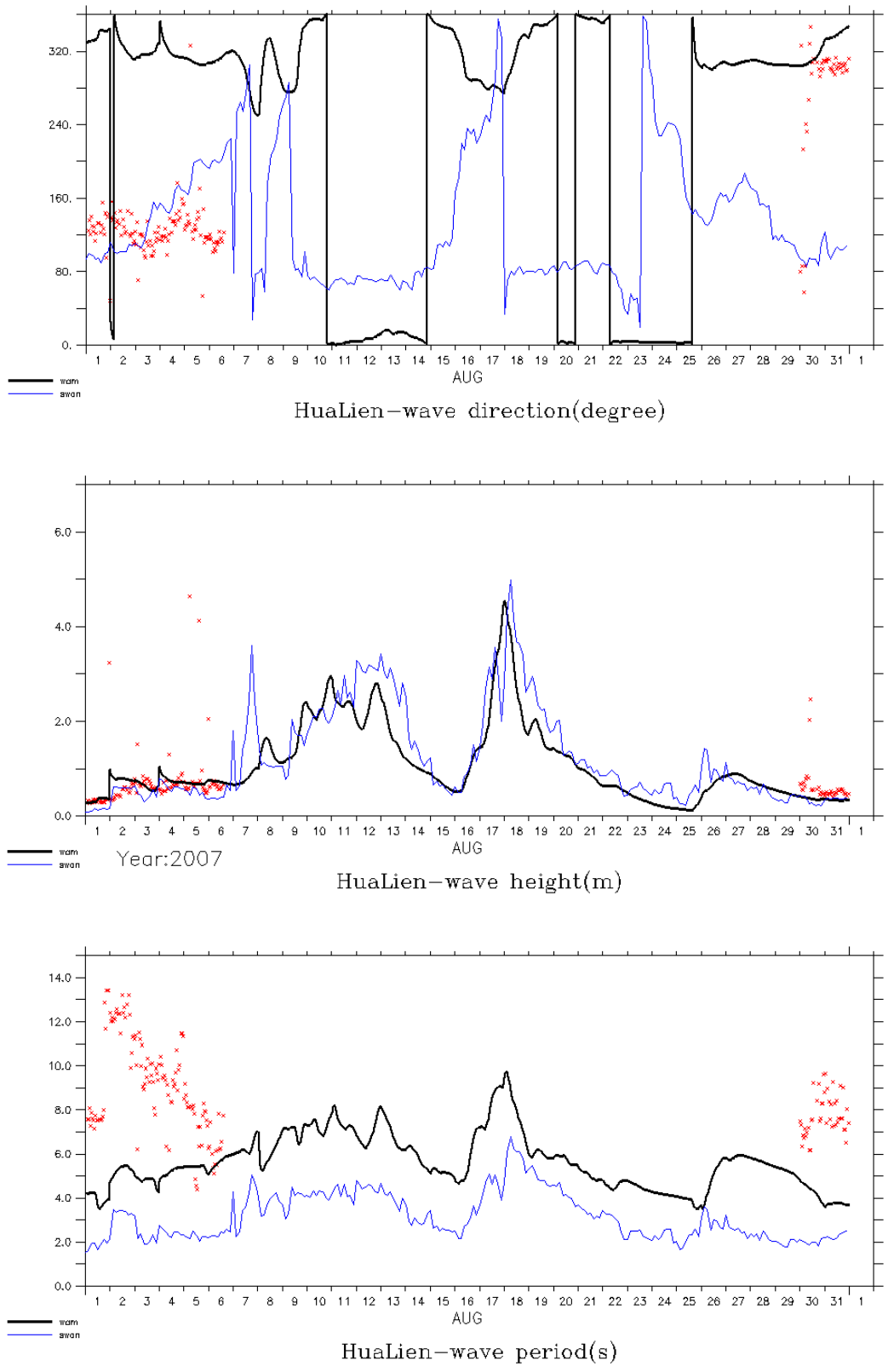


圖 2-3-50 花蓮港 2007 年 8 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

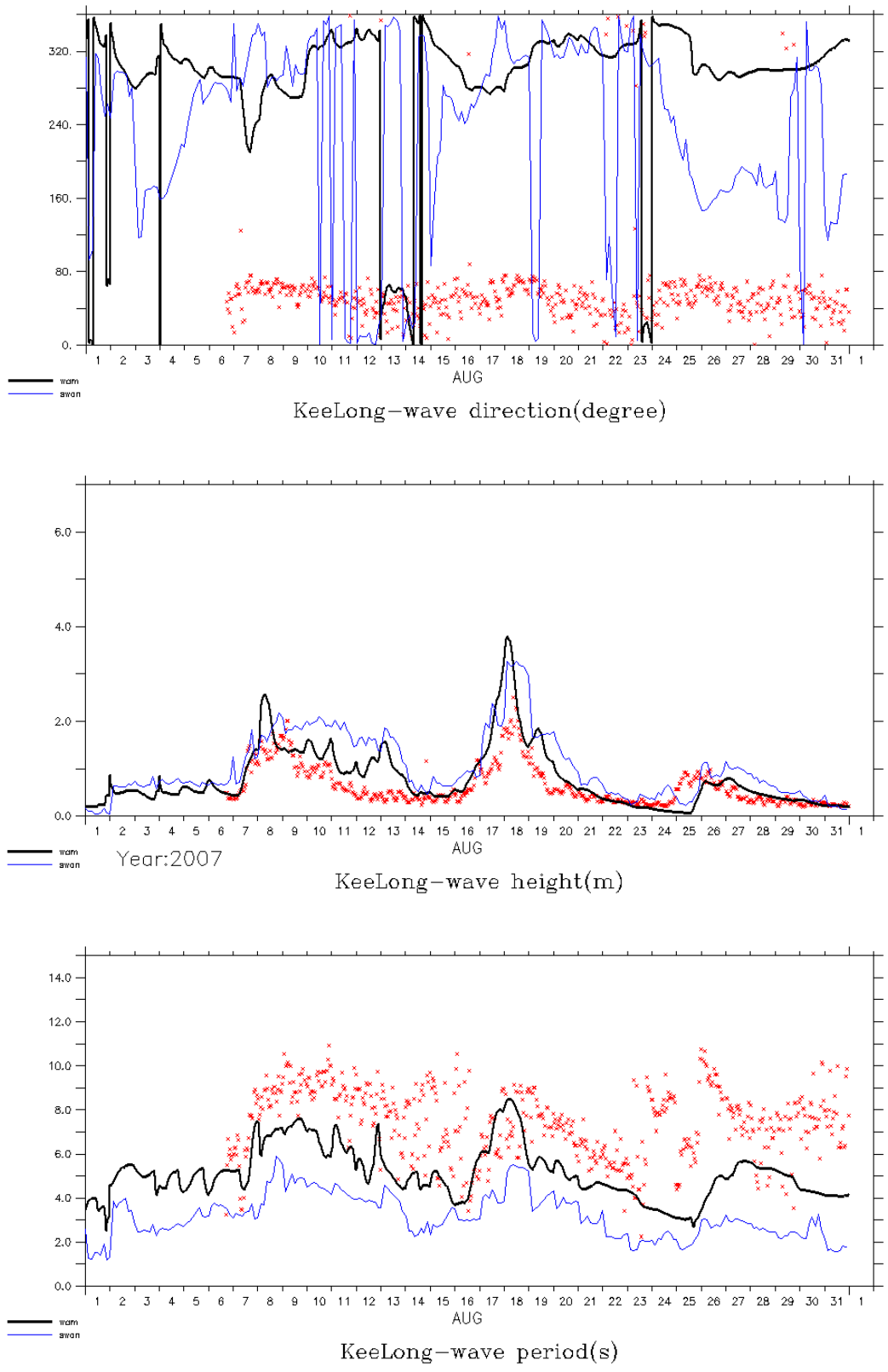


圖 2-3-51 基隆港 2007 年 8 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

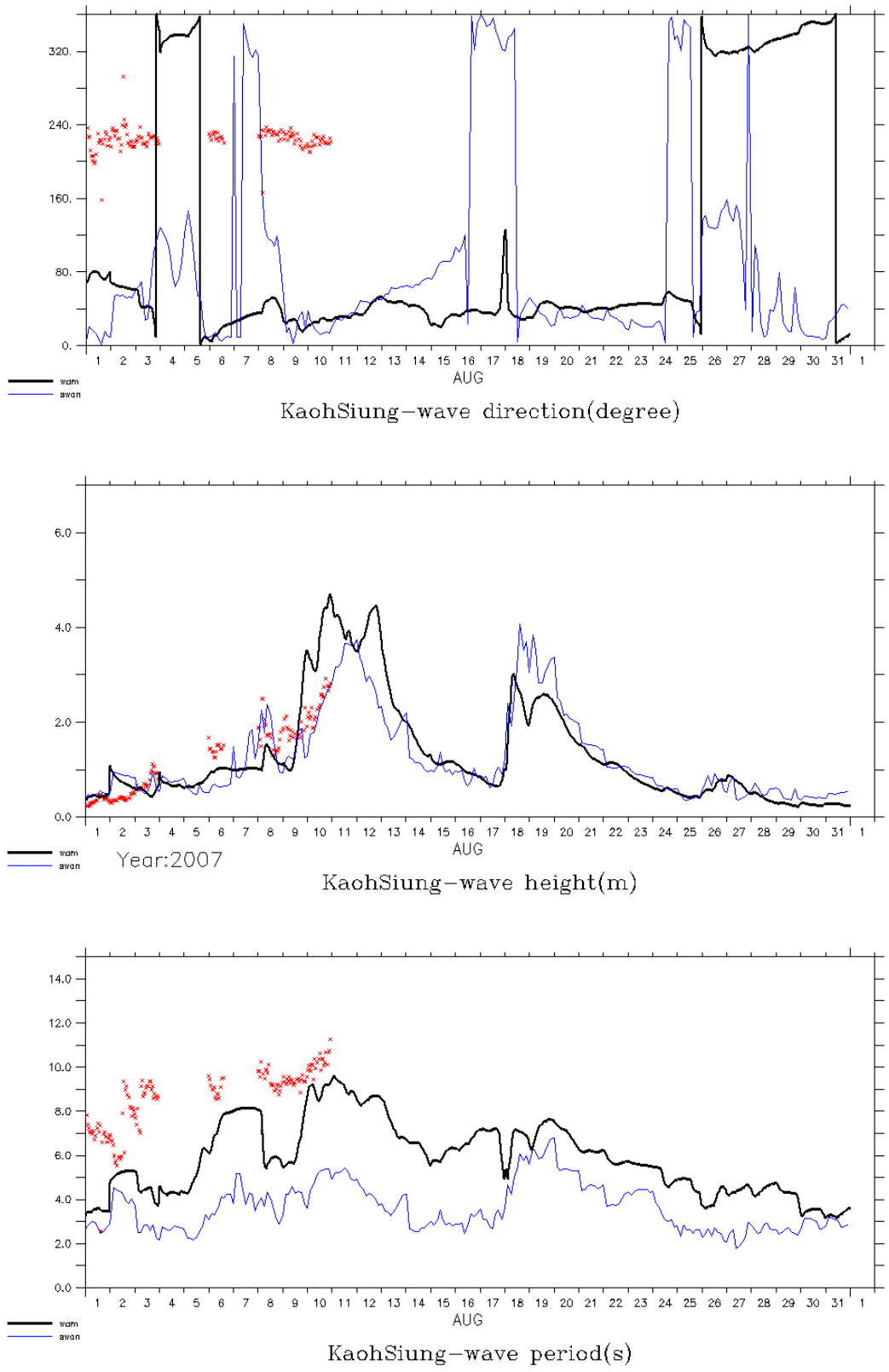


圖 2-3-52 高雄港 2007 年 6 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

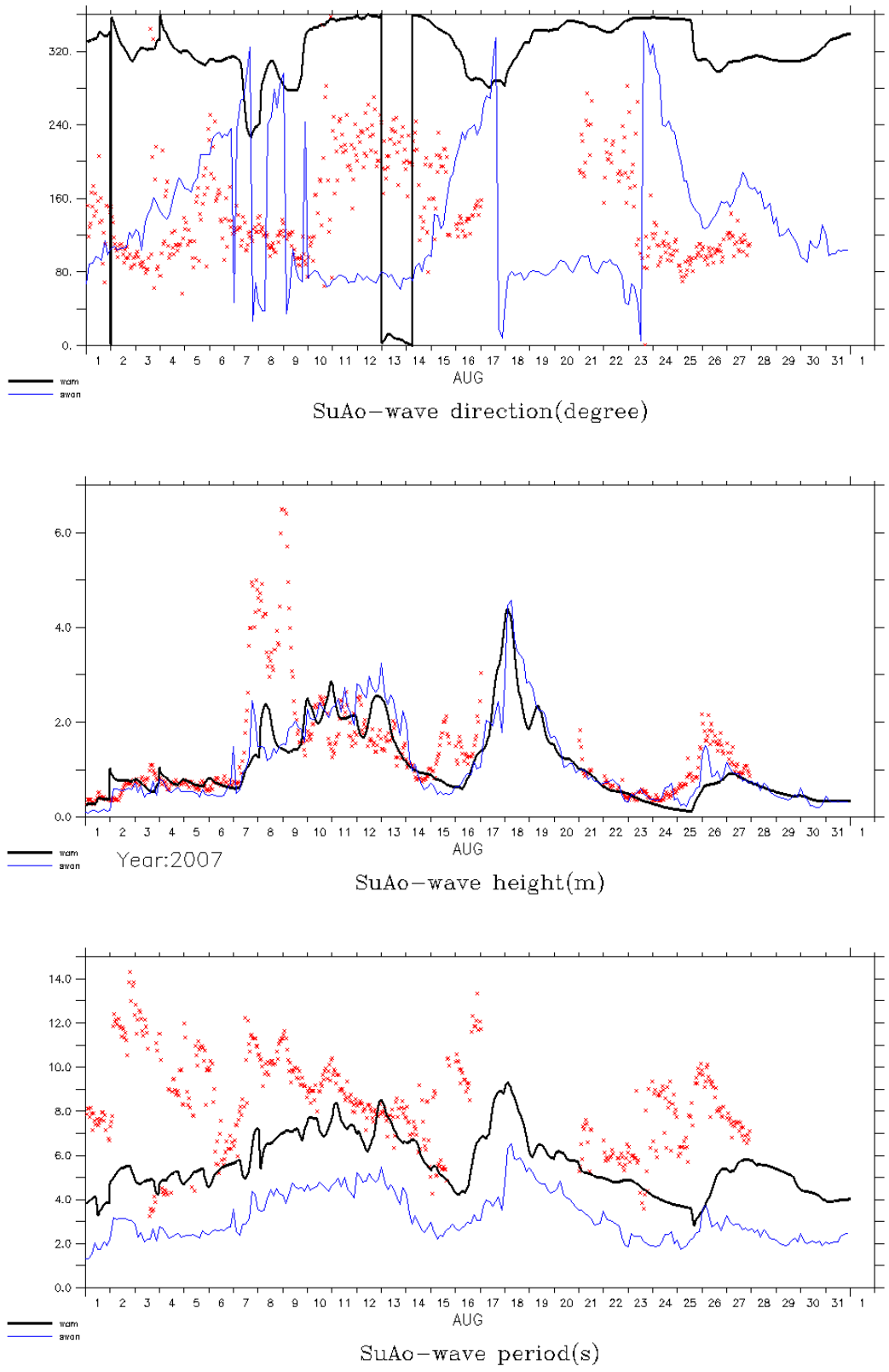


圖 2-3-53 蘇澳港 2007 年 8 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

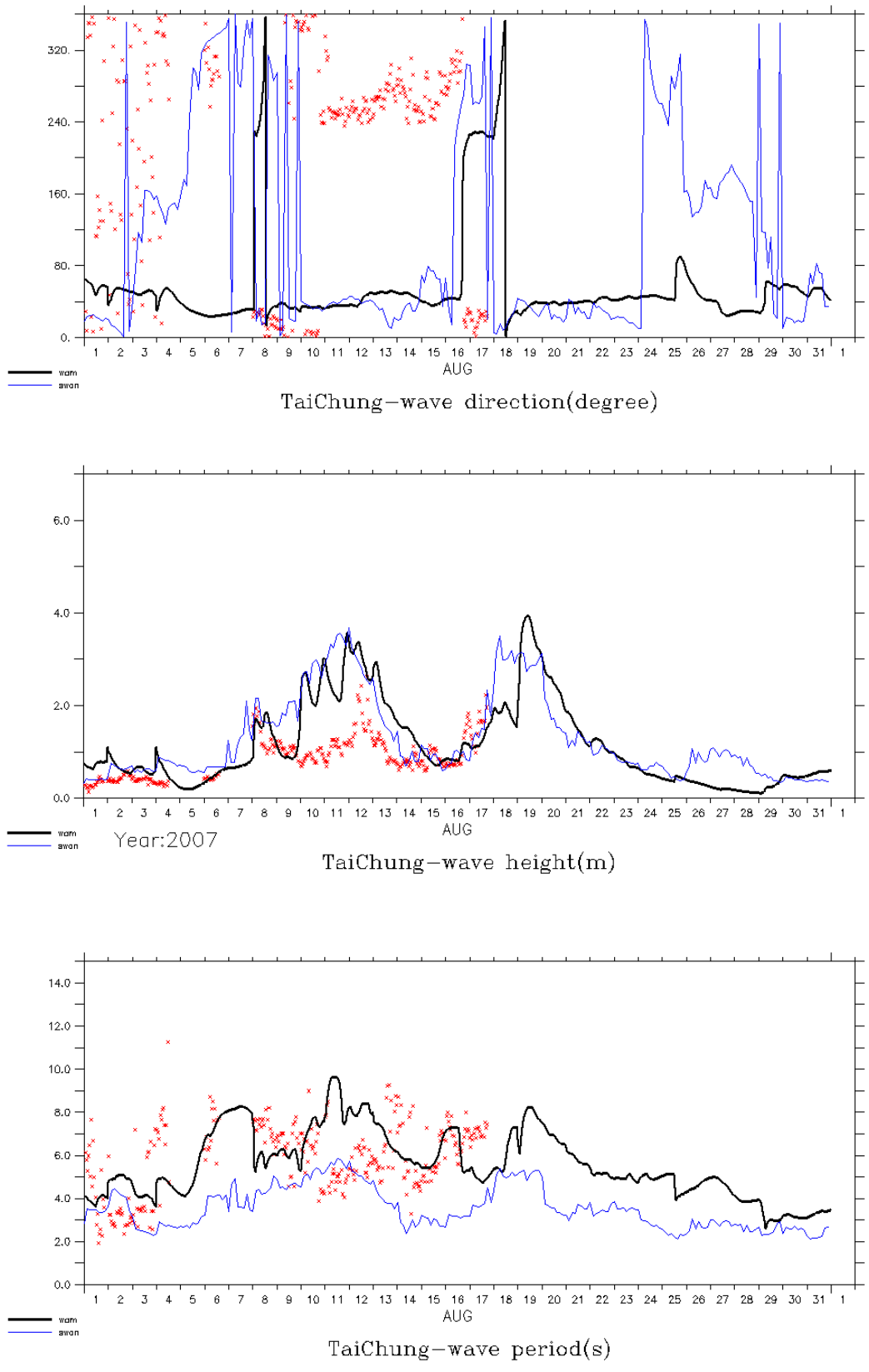
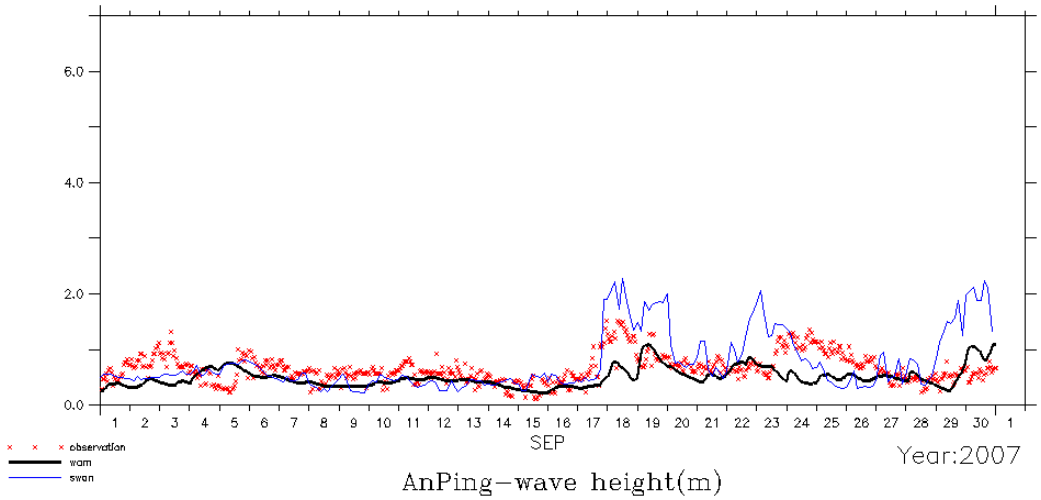
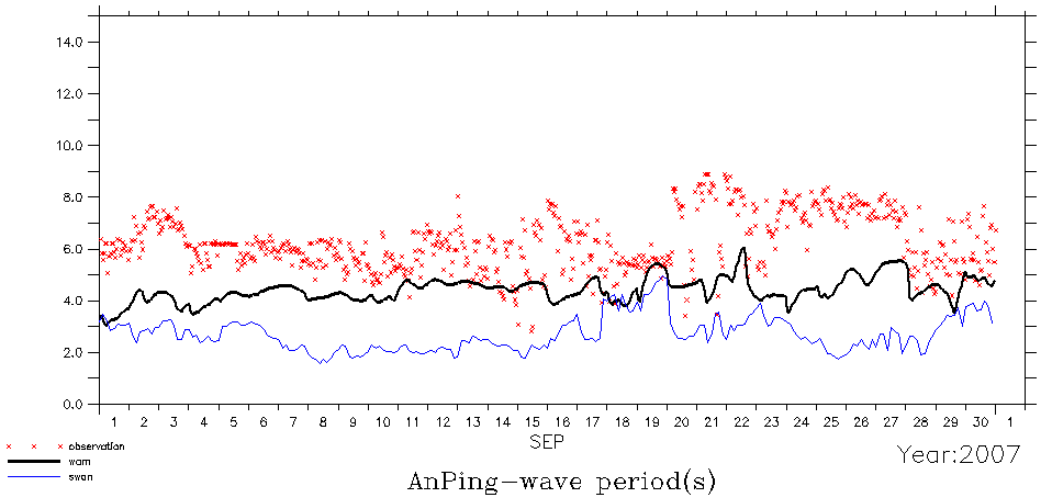


圖 2-3-54 台中港 2007 年 8 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖





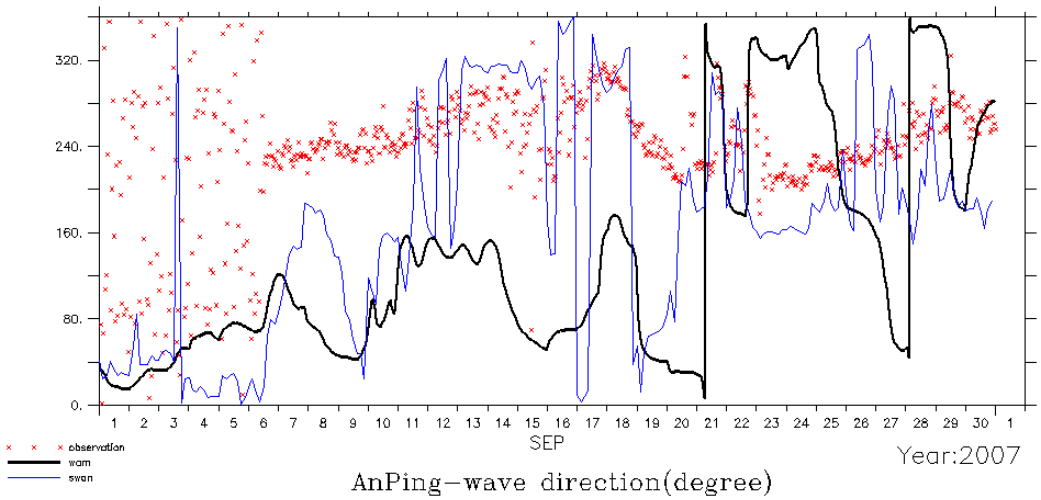
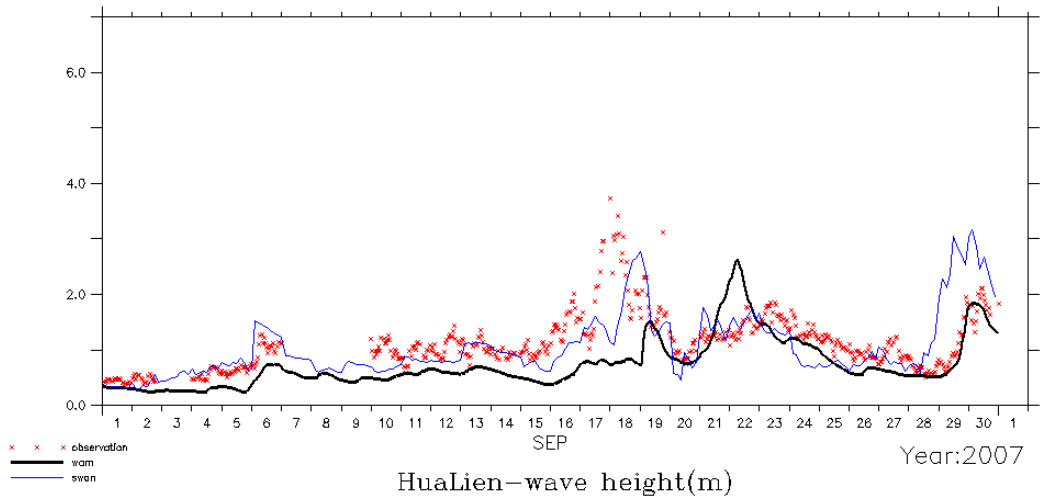
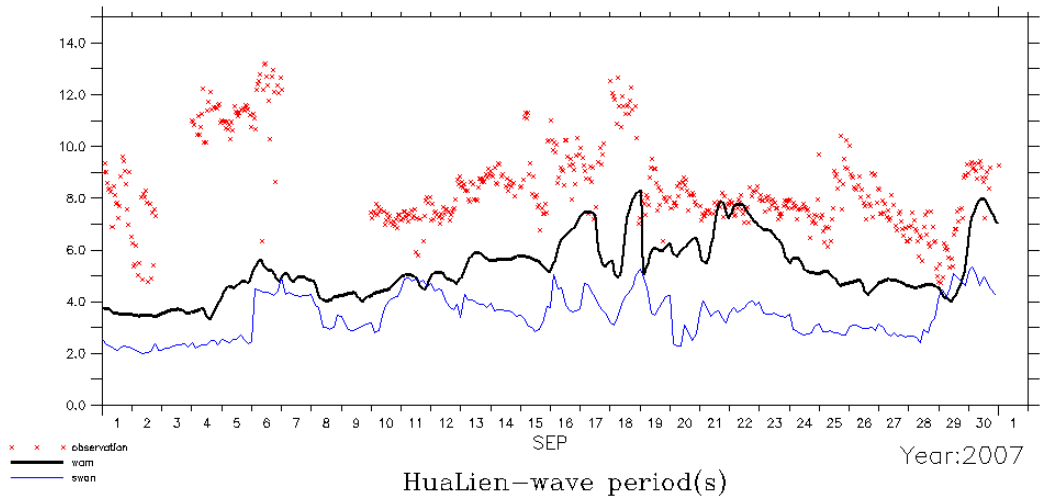


圖 2-3-55 安平港 2007 年 9 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖





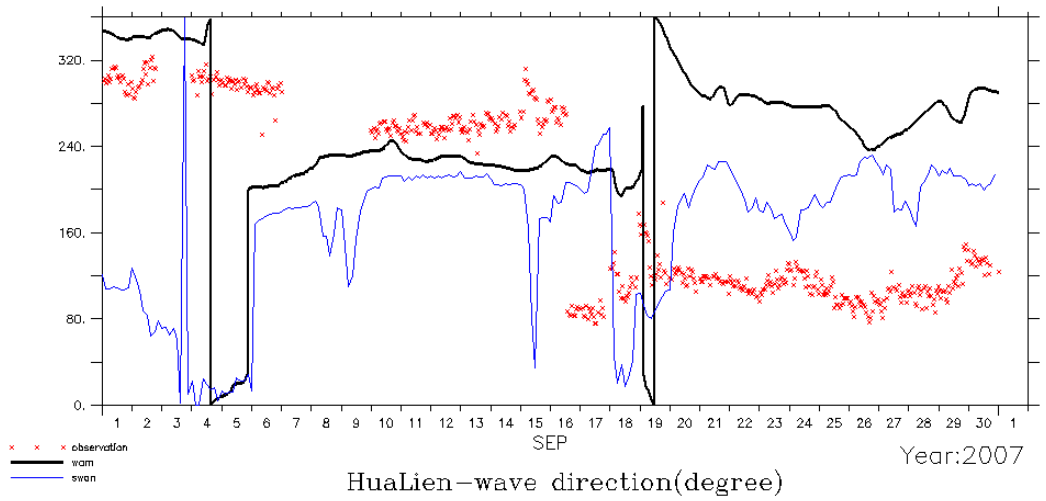
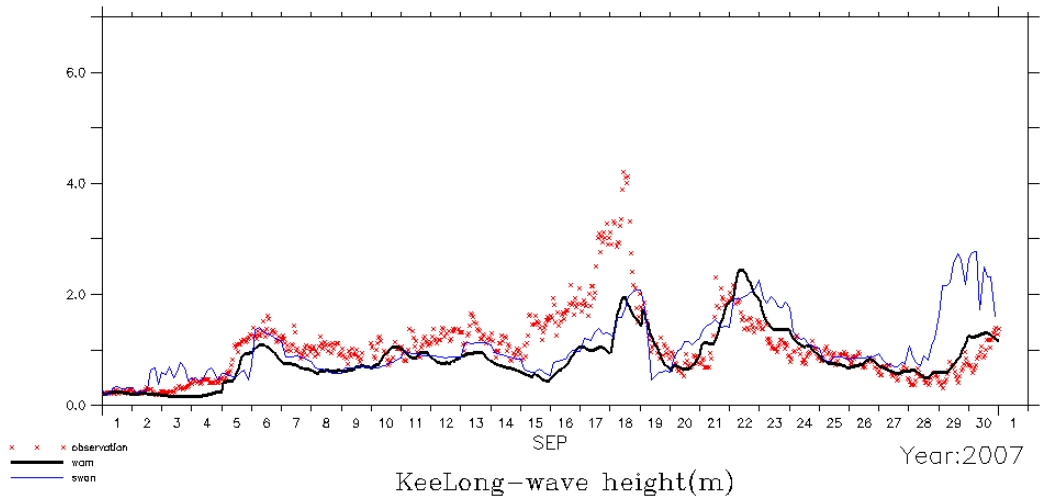
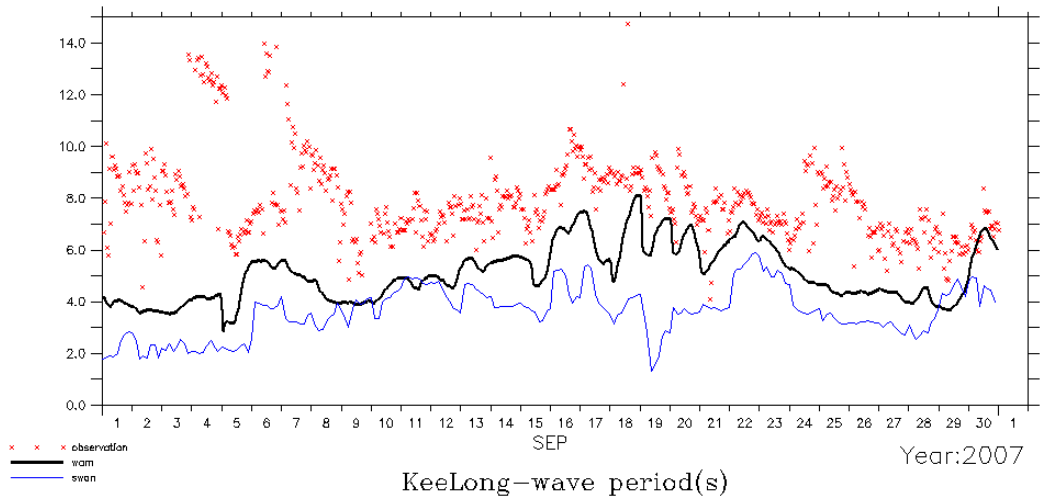


圖 2-3-56 花蓮港 2007 年 9 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖





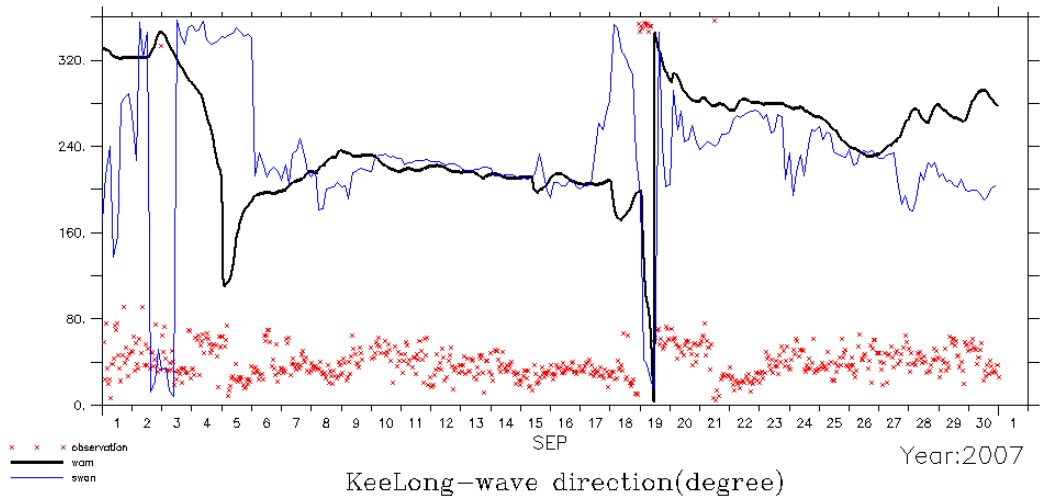


圖 2-3-57 基隆港 2007 年 9 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

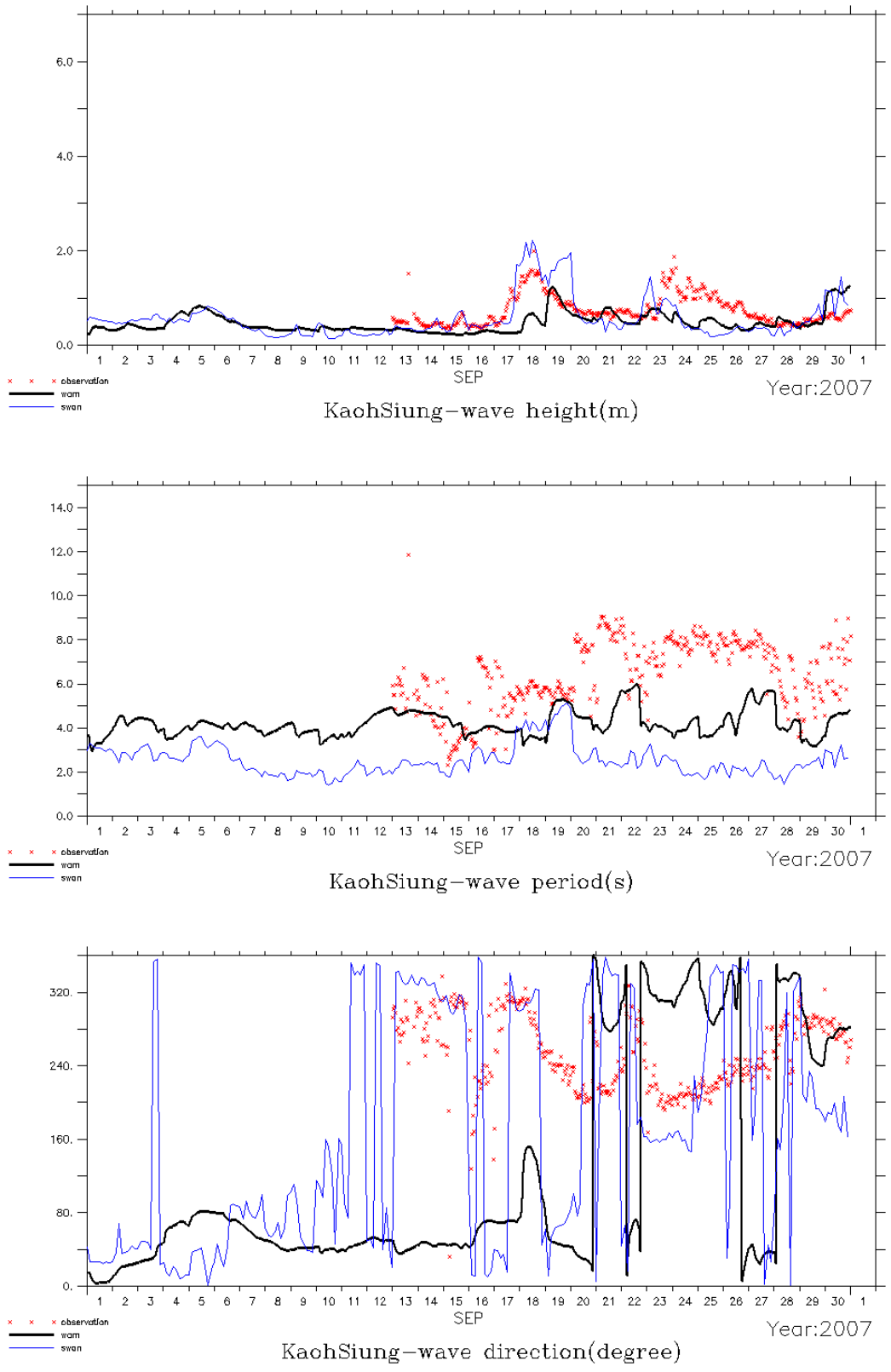
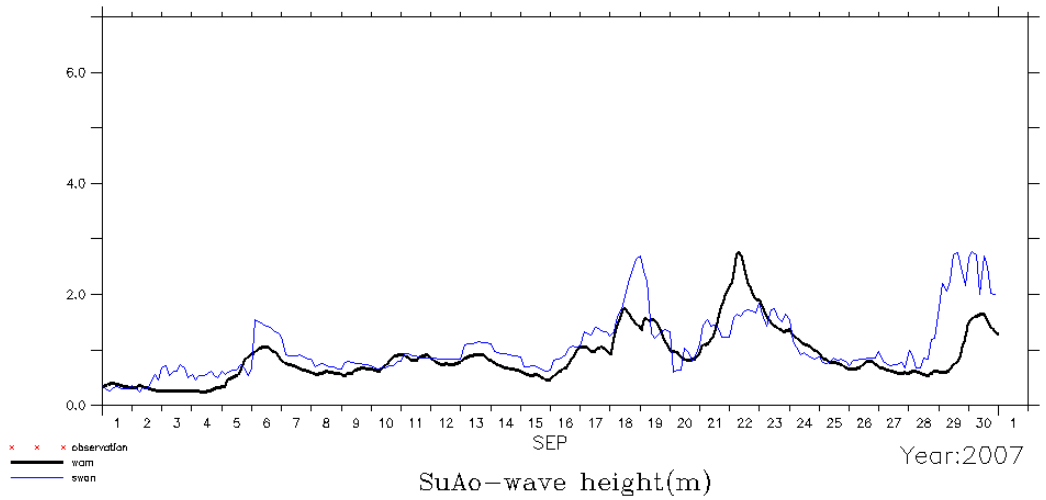
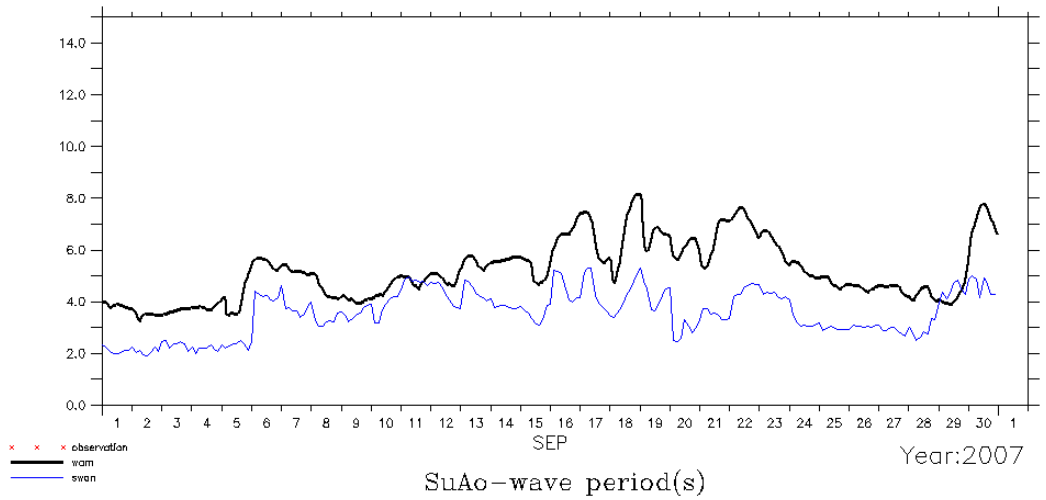


圖 2-3-58 高雄港 2007 年 9 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖





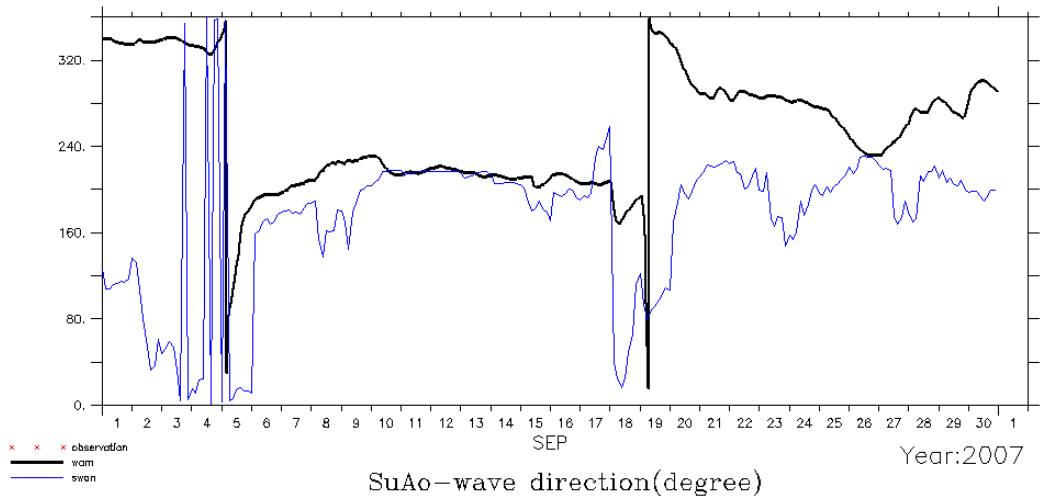
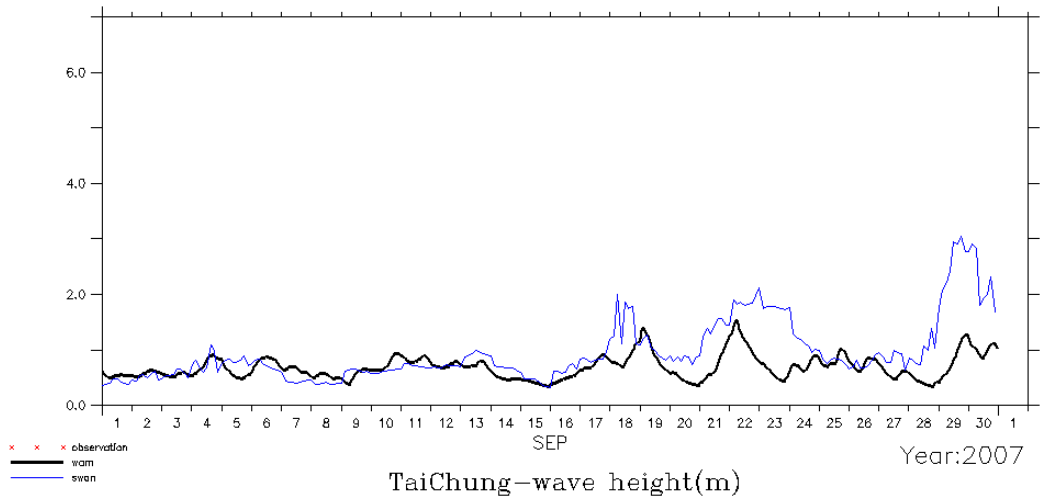
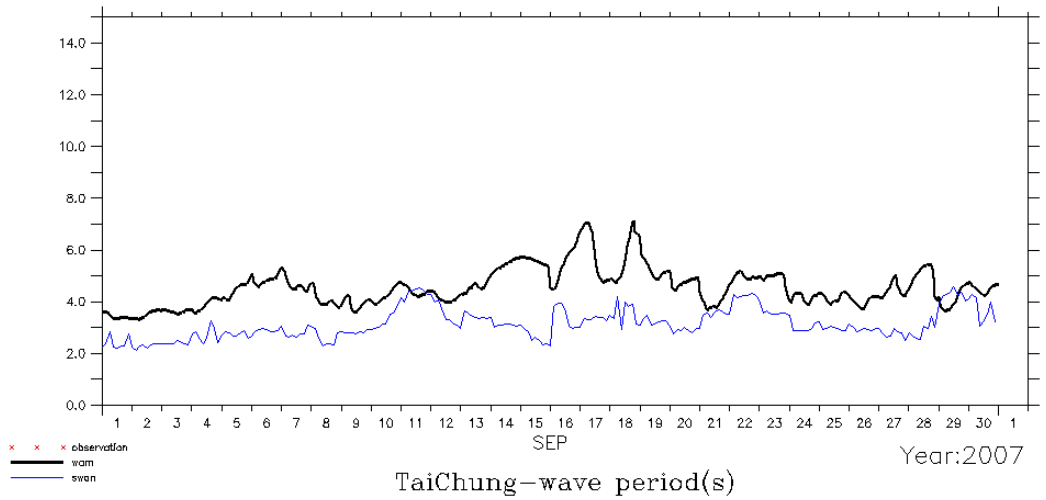


圖 2-3-59 蘇澳港 2007 年 9 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖





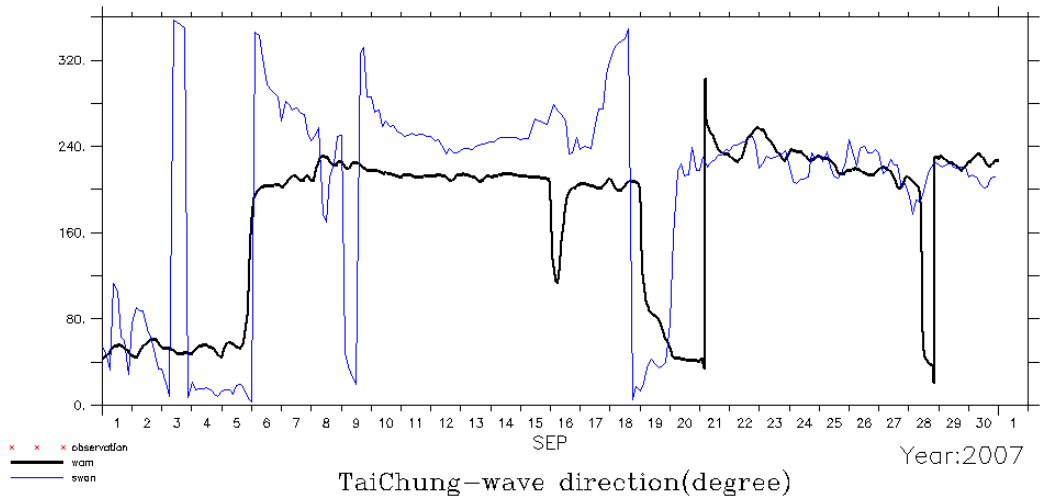


圖 2-3-60 台中港 2007 年 9 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

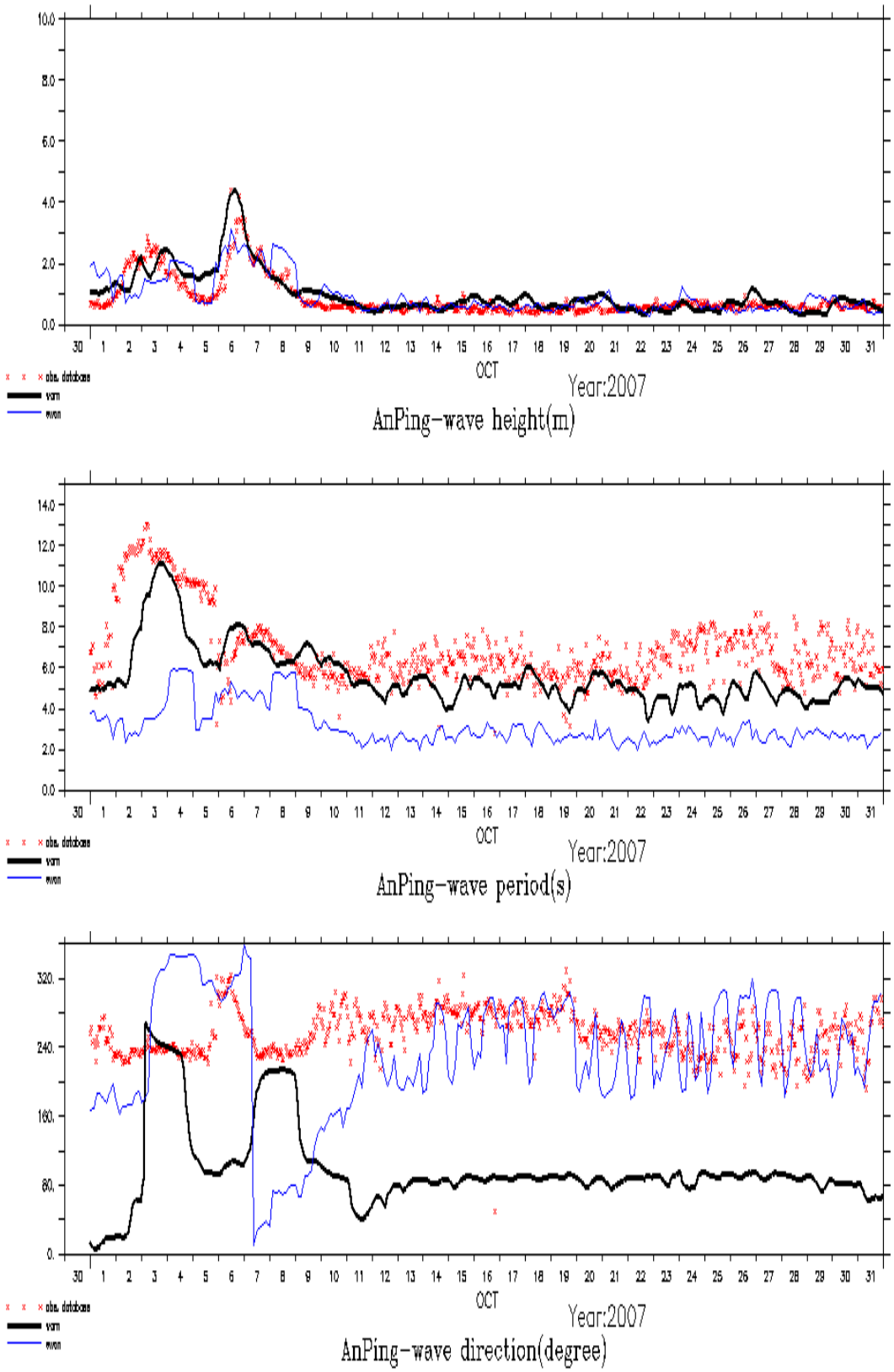
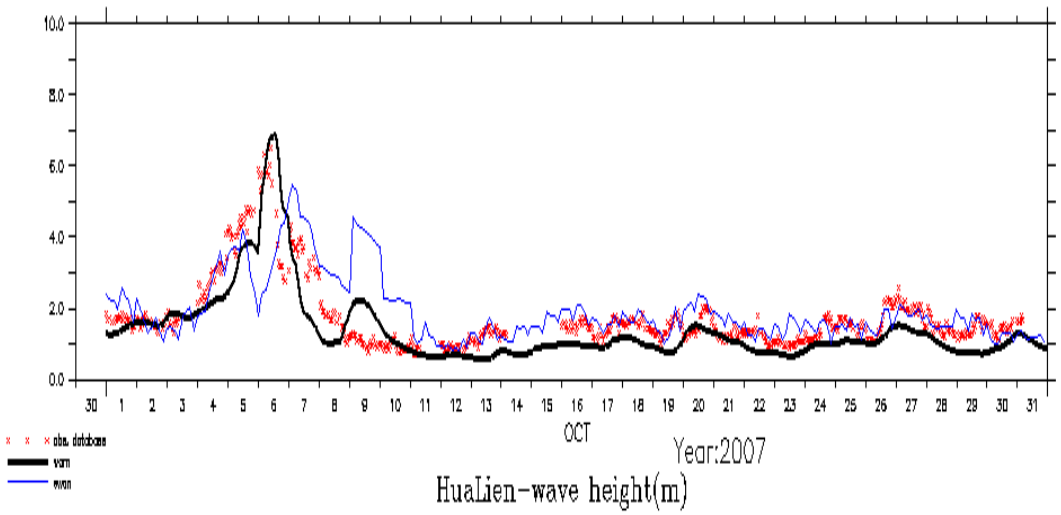
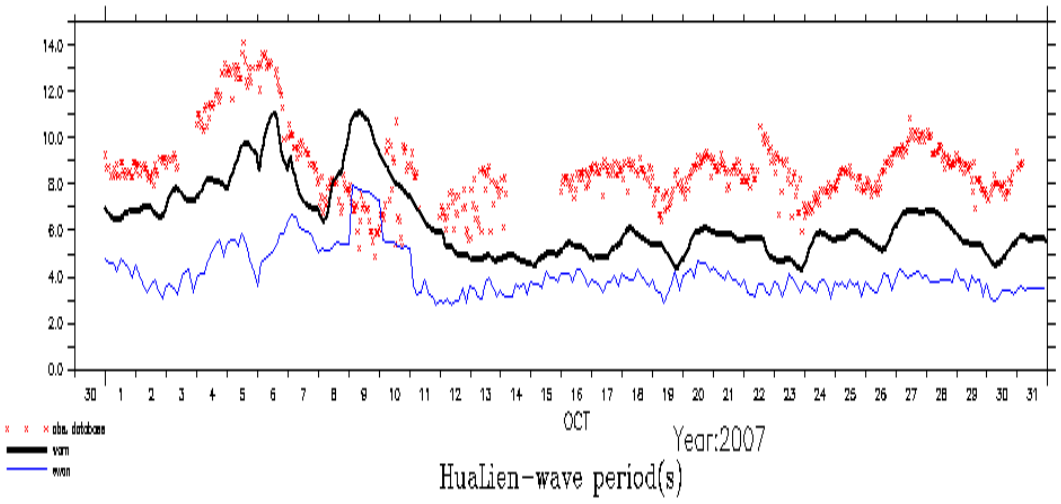


圖 2-3-61 安平港 2007 年 10 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖





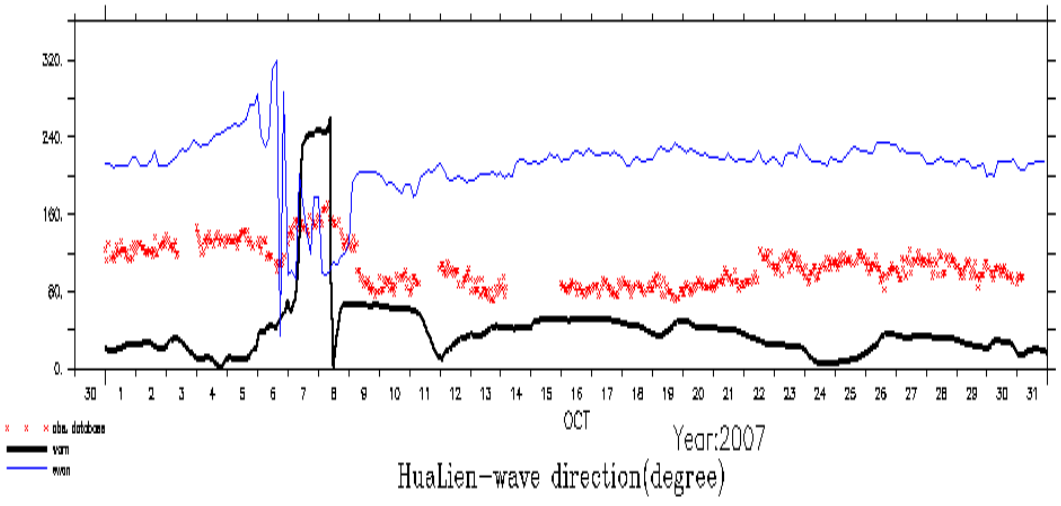


圖 2-3-62 花蓮港 2007 年 10 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

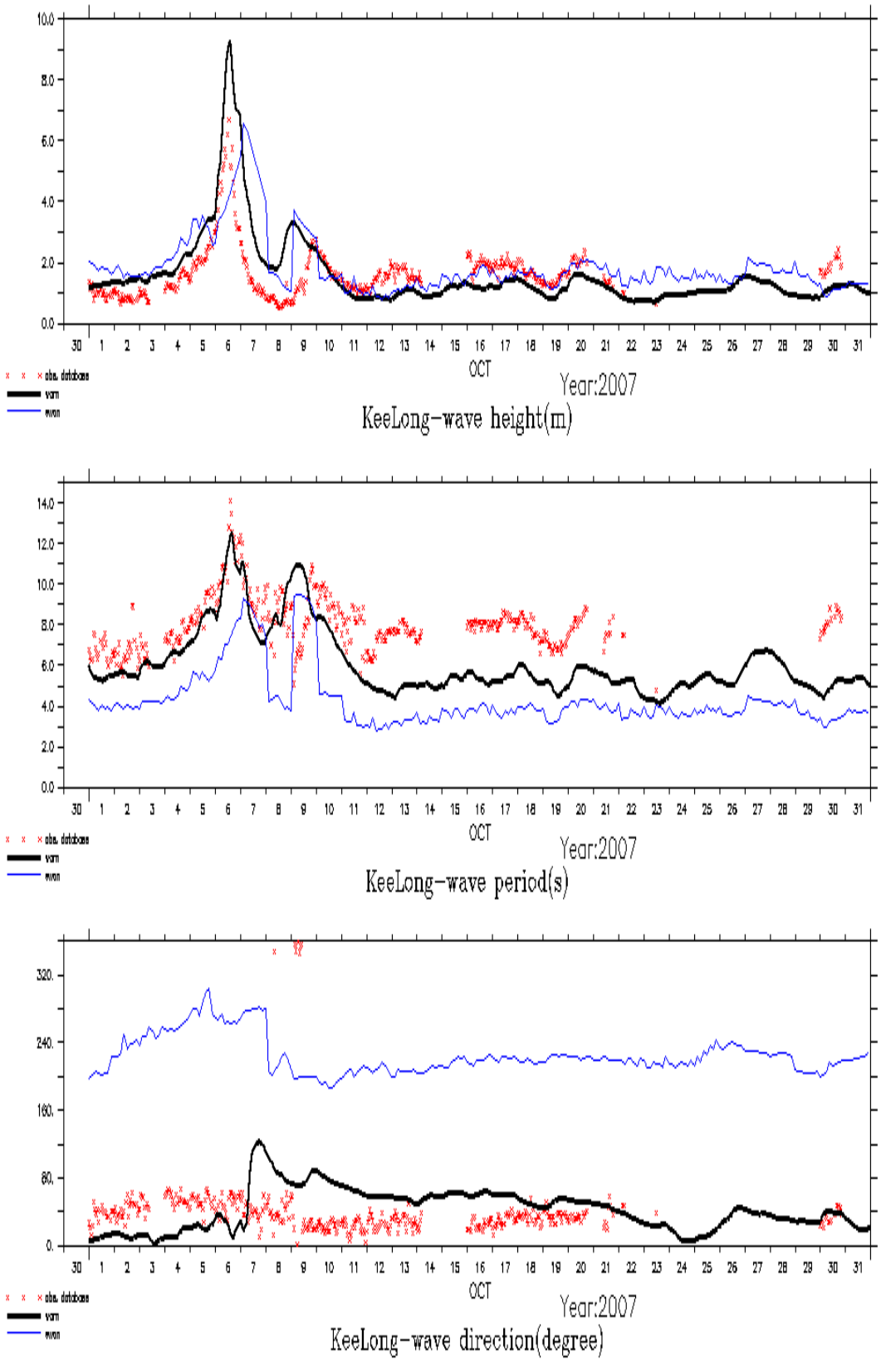


圖 2-3-63 基隆港 2007 年 10 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

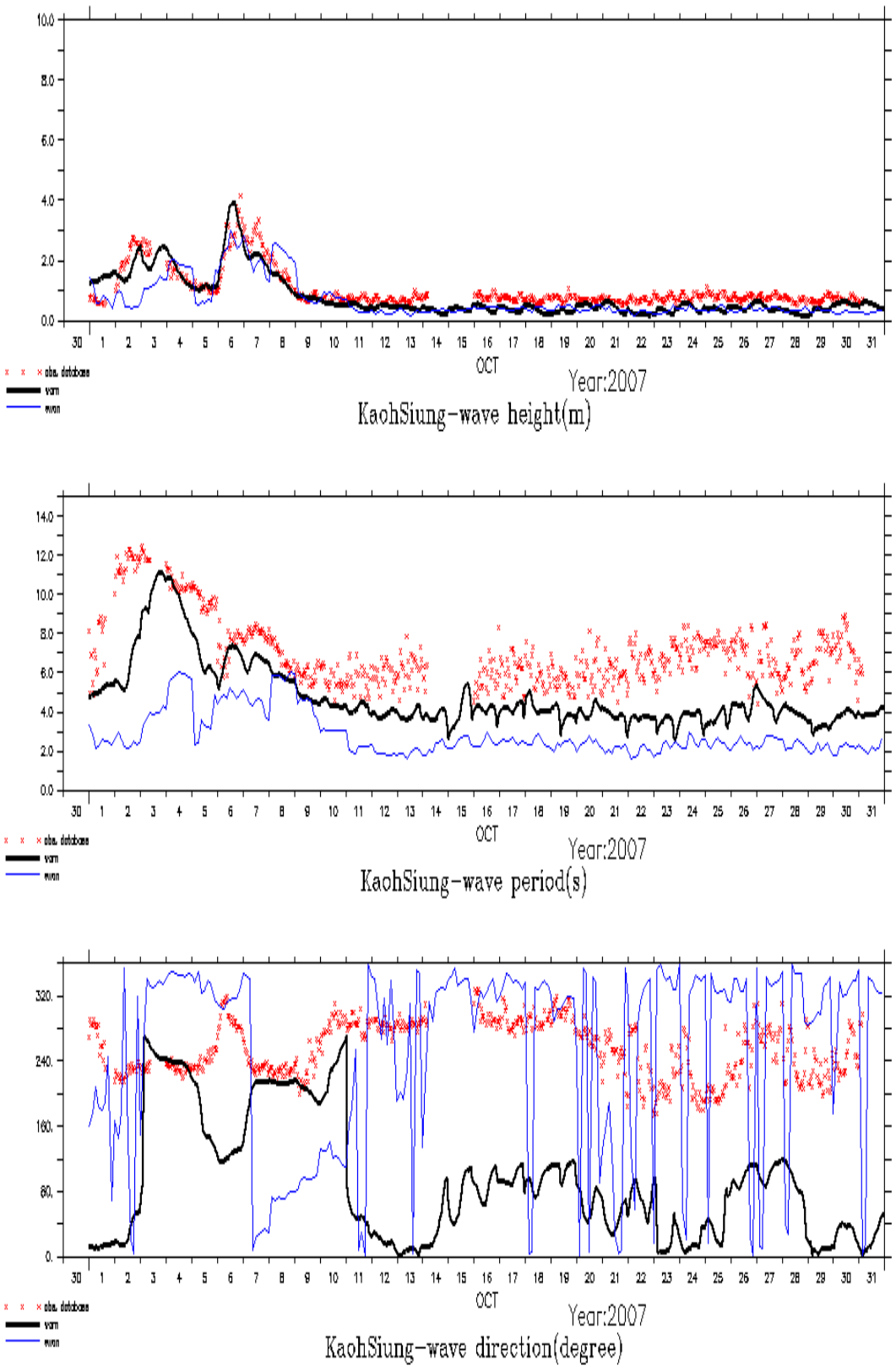


圖 2-3-64 高雄港 2007 年 10 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

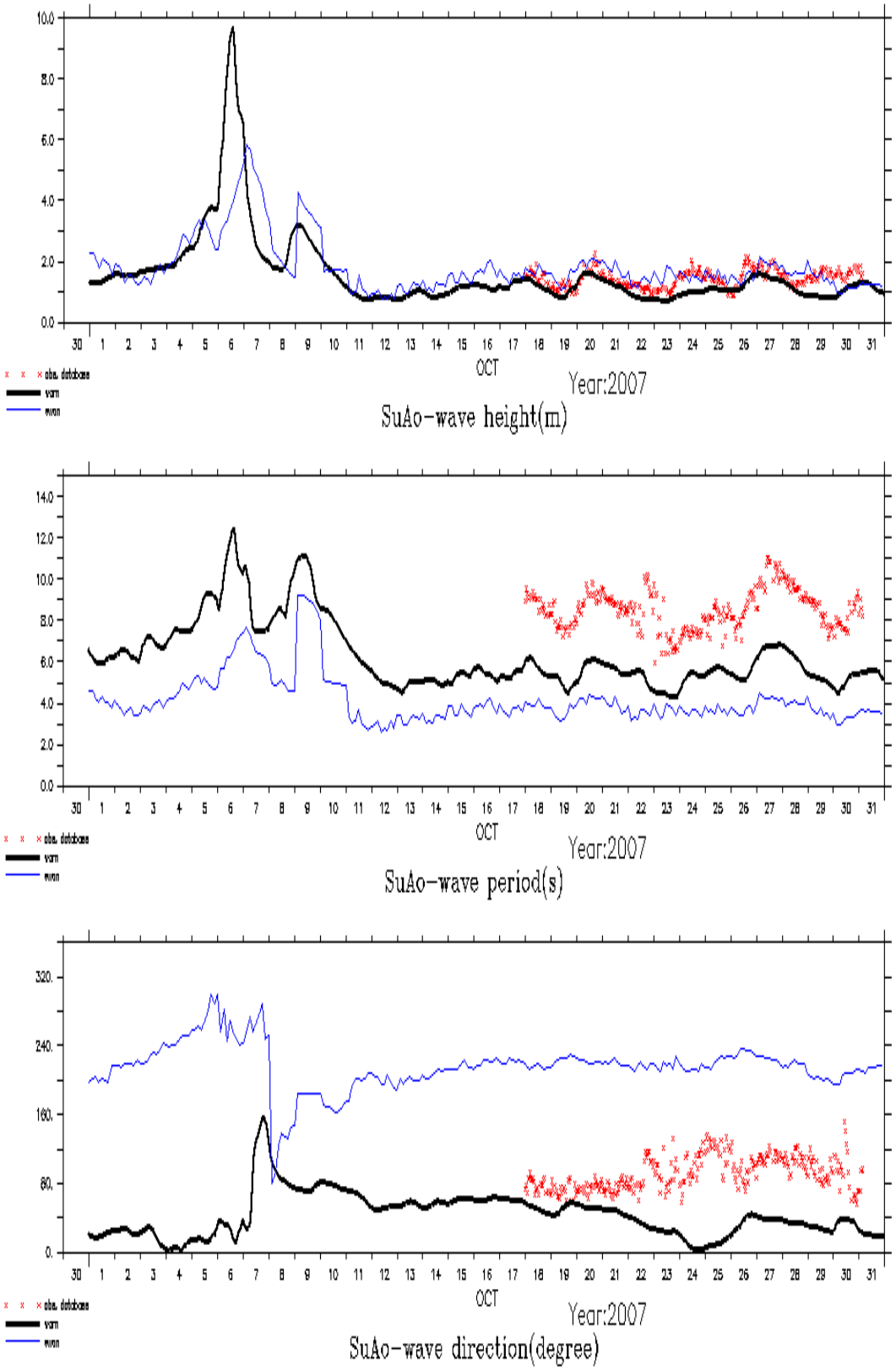


圖 2-3-65 蘇澳港 2007 年 10 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

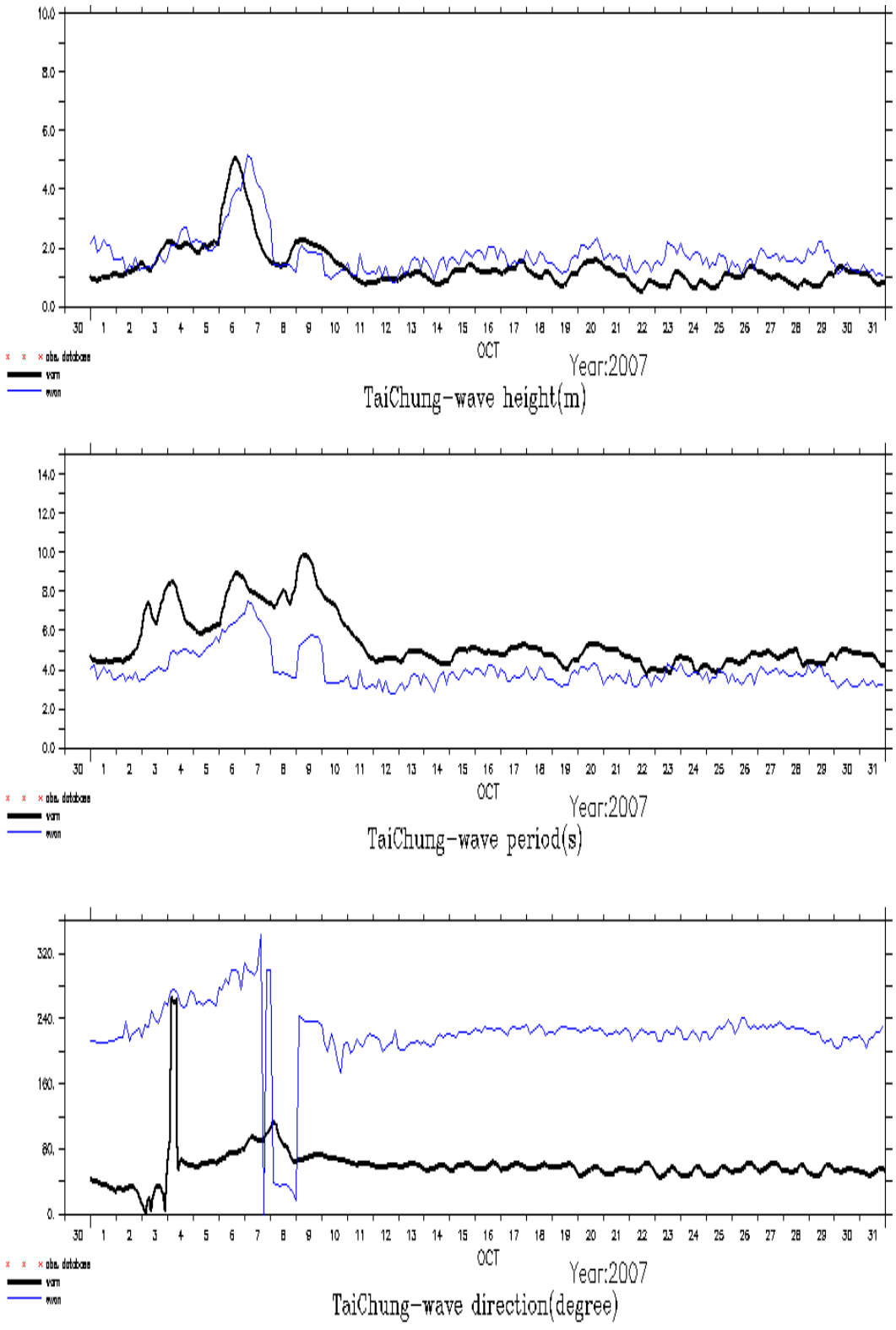


圖 2-3-66 台中港 2007 年 10 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

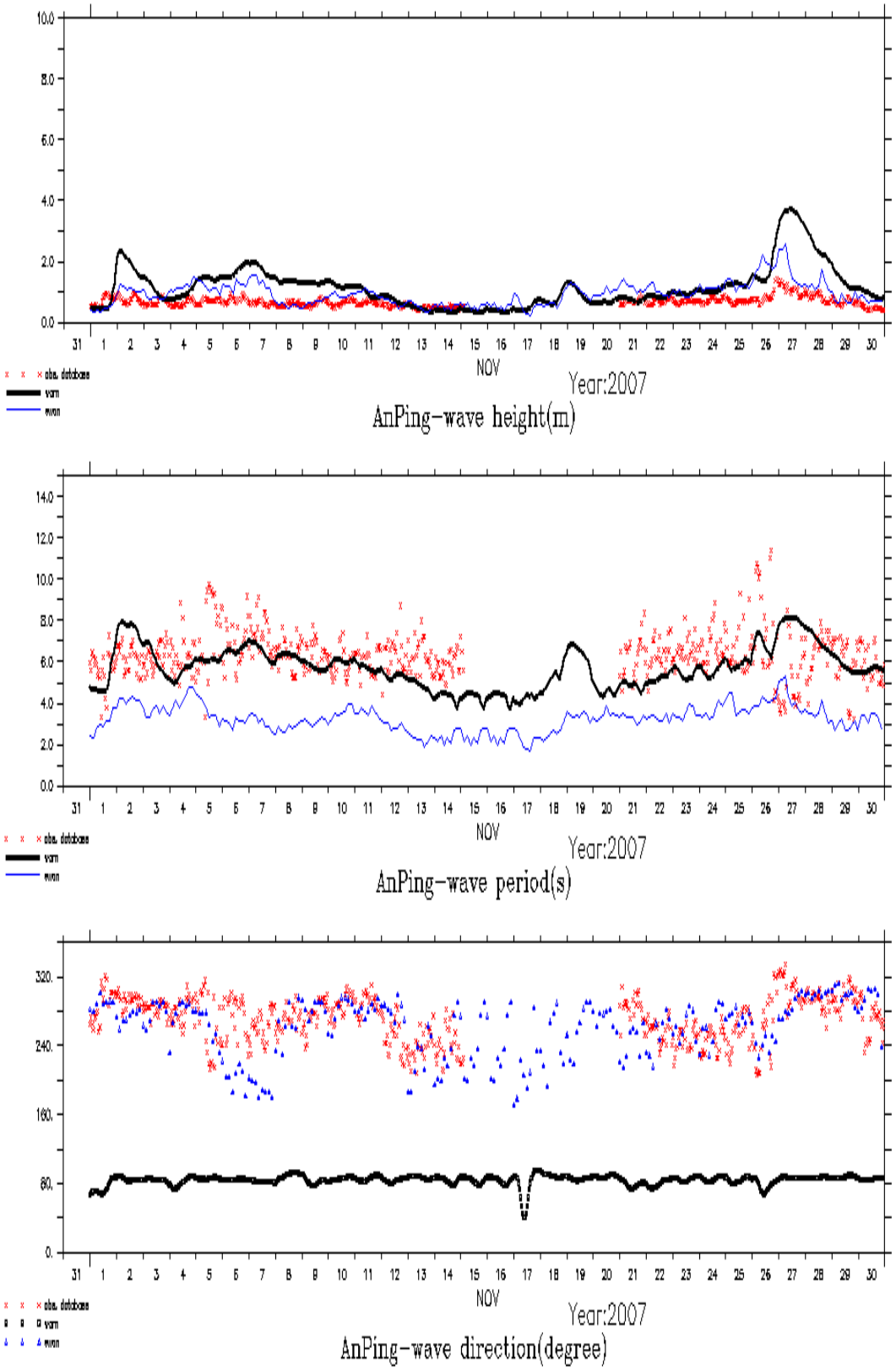


圖 2-3-67 安平港 2007 年 11 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

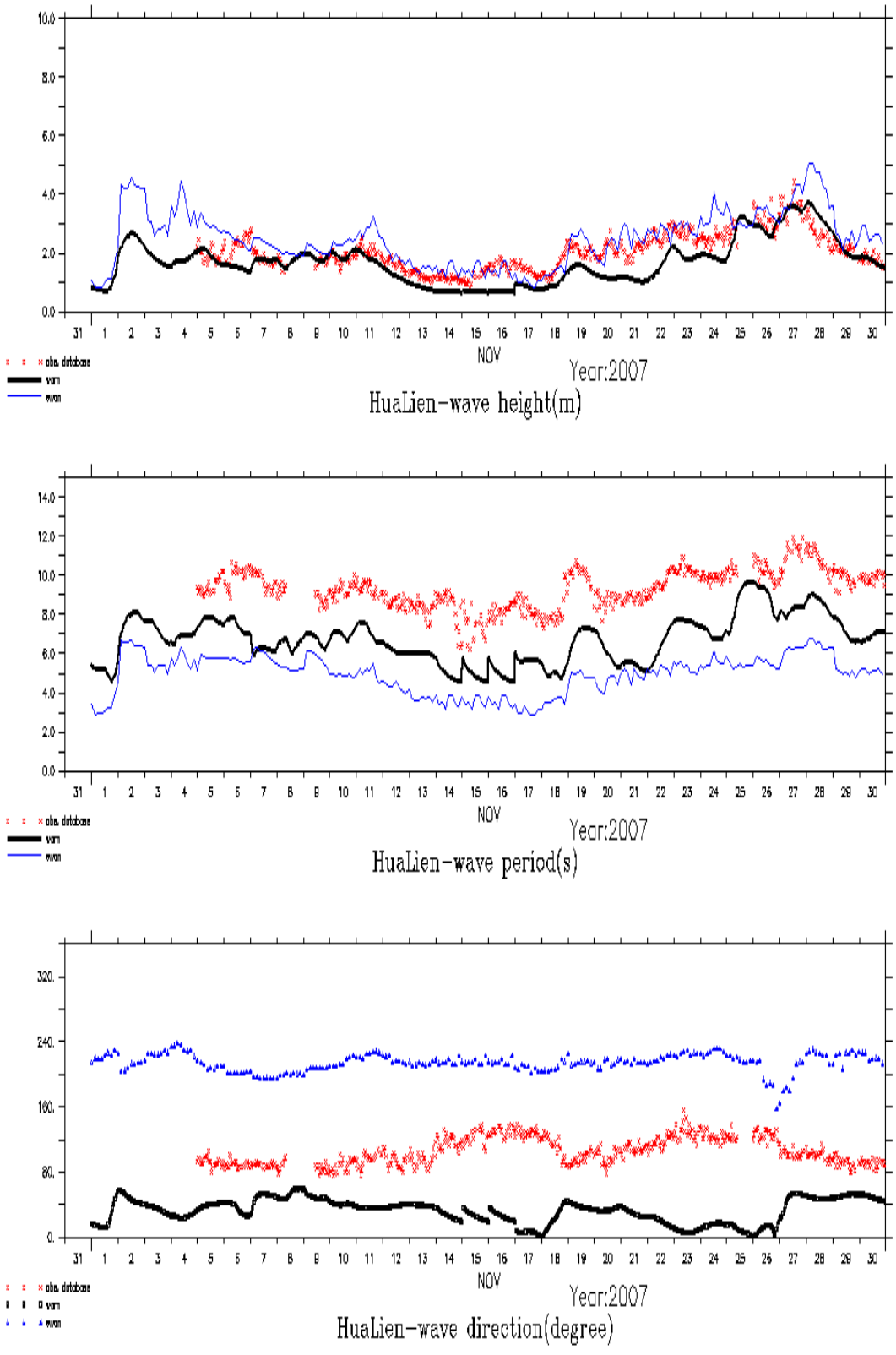


圖 2-3-68 花蓮港 2007 年 11 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

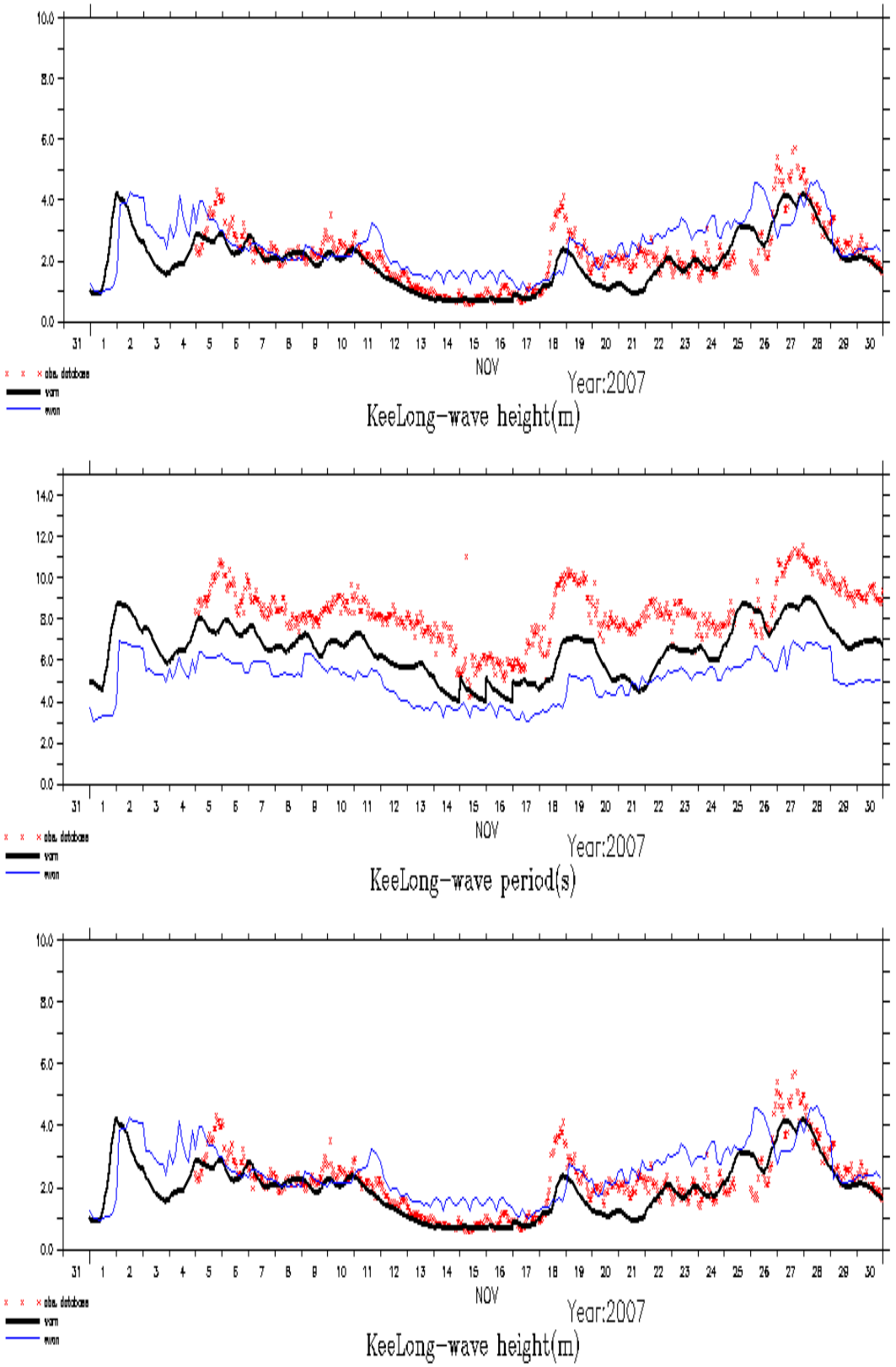


圖 2-3-69 基隆港 2007 年 11 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

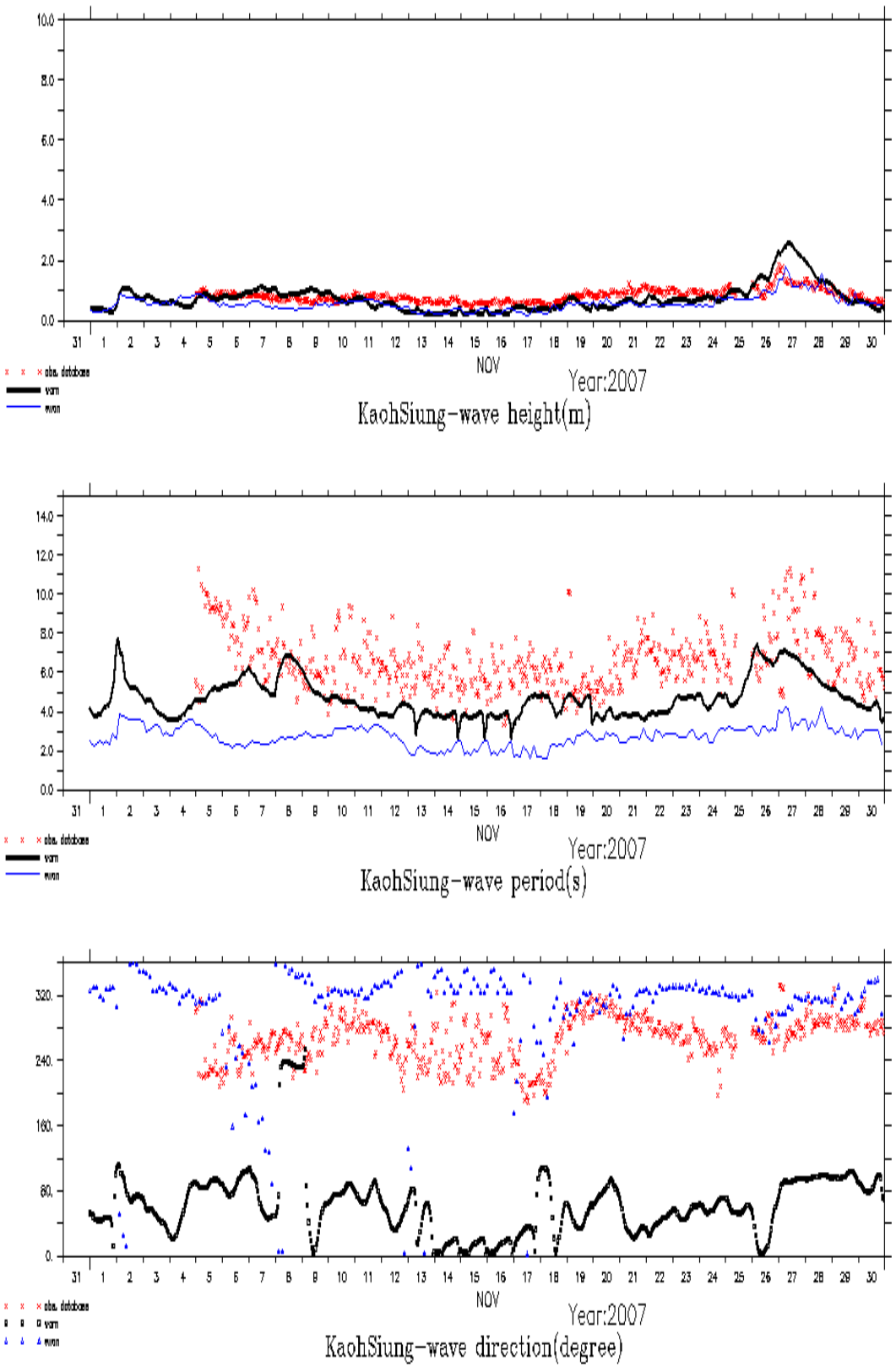


圖 2-3-70 高雄港 2007 年 11 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

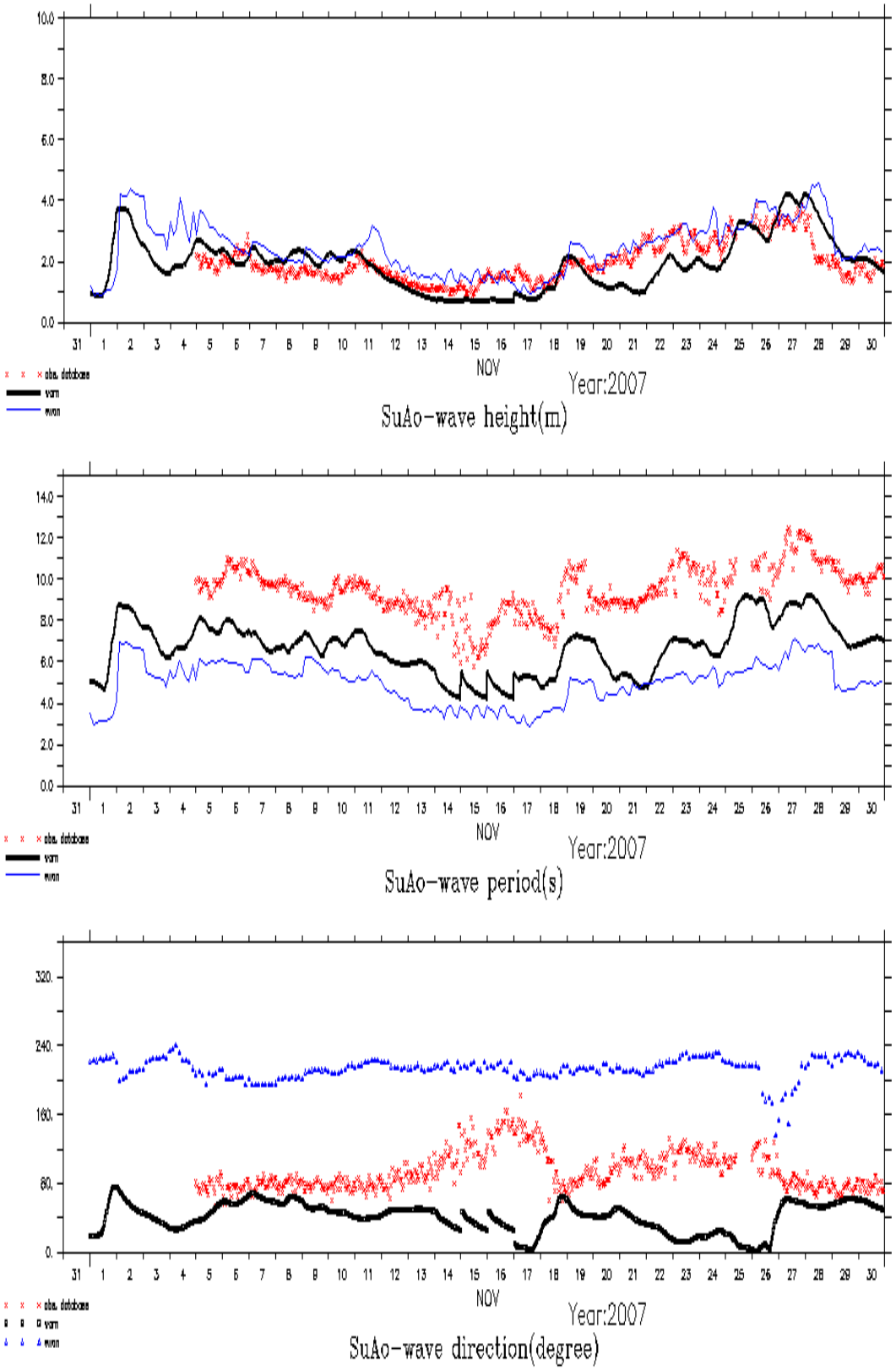


圖 2-3-71 蘇澳港 2007 年 11 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

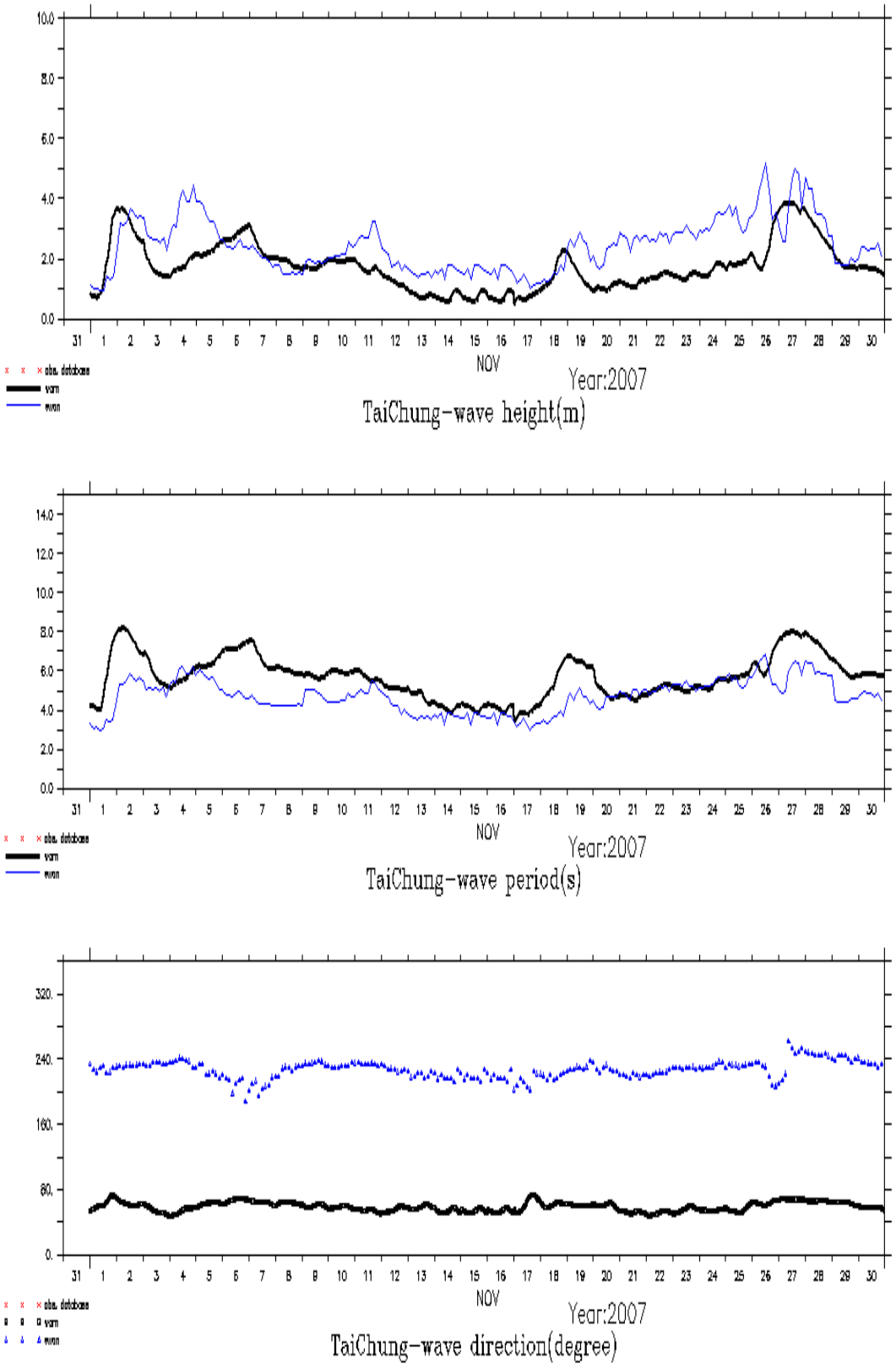


圖 2-3-72 台中港 2007 年 11 月 WAM 及 SWAN 模式與實測資料比對圖

2.4 海流模式成果評估

目前完成的海流模式為西太平洋海流模式(5 分網格)及台灣海域海流模式(1 分網格)，由於西太平洋海流模式網格點過大，因此本章節僅就此台灣海域海流模式進行評估。本年度能會積極進行近岸及港區海流模式建置，年度結束前會完成台中港及花蓮港附近及港區海流模式並納入線上預報系統中。

由於近岸及港區流場今年度才能設置完成，因此本季評估部分則使用解析度 1 分台灣範圍尺度的流場來進行評估，由於 1 分解析度對於近岸地形的解析力不足，再加上模式結果為水深平均流，因此比對結果會比較不理想。

圖 2-4-1 至圖 2-4-72 為本年度全年四季模式流速與實測流速比對結果。比對結果發現，安平及基隆測站，模式流速皆比實測流速大；花蓮及高雄模式流速則小於實測資料；台中及蘇澳模式流速則與實測流速大小接近。在流向的部份，模式由於是水深平均流，因此可以發現主要還是受到潮流的主導，每日有往復的現象產生，與實測流速因包含各種自然因素且比較靠近陸地，所以流速分佈較亂有所差距，此部份待未來近岸流場模式建置完成後會有更好的比對結果。

表 2-4-1~表 2-4-4 為本年度全年四季實測資料筆數統計表。除安平 06 年 12 月、高雄 07 年 01、02 月、基隆 07 年 2 月、蘇澳 07 年 9 月及台中 07 年第四季資料較少或無資料外，其於測站資料量皆有 9 成以上。而到了第三季，實測資料又有變少的現象，部份測站資料量不到 50%。

表 2-4-1　第一季各月份實測流速資料筆數統計

		安平	花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2006 年 12 月	應到筆數	744	744	744	744	744	744
	實到筆數	184	743	670	102	730	685
	百分率	24.73	99.86	90.05	13.71	98.12	92.07
2007 年 01 月	應到筆數	744	744	744	744	744	744
	實到筆數	726	743	691	0	457	684
	百分率	97.58	99.86	92.88	0	61.42	91.94
2007 年 02 月	應到筆數	672	672	672	672	672	672
	實到筆數	627	670	84	0	616	637
	百分率	93.3	99.7	12.5	0	91.67	94.79

表 2-4-2　第二季各月份實測流速資料筆數統計

		安平	花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2007 年 03 月	應到筆數	744	744	744	744	744	744
	實到筆數	709	729	59	369	701	703
	百分比	95.3	98	7.9	49.6	94.2	94.5
2007 年 04 月	應到筆數	720	720	720	720	720	720
	實到筆數	619	719	472	697	690	631
	百分比	86	99.9	65.6	96.8	95.8	87.6
2007 年 05 月	應到筆數	744	744	744	744	744	744
	實到筆數	586	566	56	506	683	543
	百分比	78.8	76.1	7.5	68	91.8	73

表 2-4-3　第三季各月份實測流速資料筆數統計

		安平	花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2007 年 06 月	應到筆數	720	720	720	720	720	720
	實到筆數	720	183	32	679	644	18
	百分比	**100**	**25**	**4**	**94**	**89**	**2**
2007 年 07 月	應到筆數	744	744	744	744	744	744
	實到筆數	734	700	476	677	677	436
	百分比	**98**	**94**	**63**	**90**	**90**	**58**
2007 年 08 月	應到筆數	744	744	744	744	744	744
	實到筆數	508	181	601	150	530	329
	百分比	**68**	**24**	**80**	**20**	**71**	**44**

表 2-4-4 第四季各月份實測流速資料筆數統計

		安平	花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2007 年 09 月	應到筆數	720	720	720	720	720	720
	實到筆數	715	599	709	428	0	0
	百分比	**99**	**83**	**98**	**59**	**0**	**0**
2007 年 10 月	應到筆數	744	744	744	744	744	744
	實到筆數	741	636	575	651	310	0
	百分比	**99**	**85**	**77**	**88**	**42**	**0**
2007 年 11 月	應到筆數	744	744	744	744	744	744
	實到筆數	578	575	608	611	610	0
	百分比	**78**	**77**	**82**	**82**	**82**	**0**

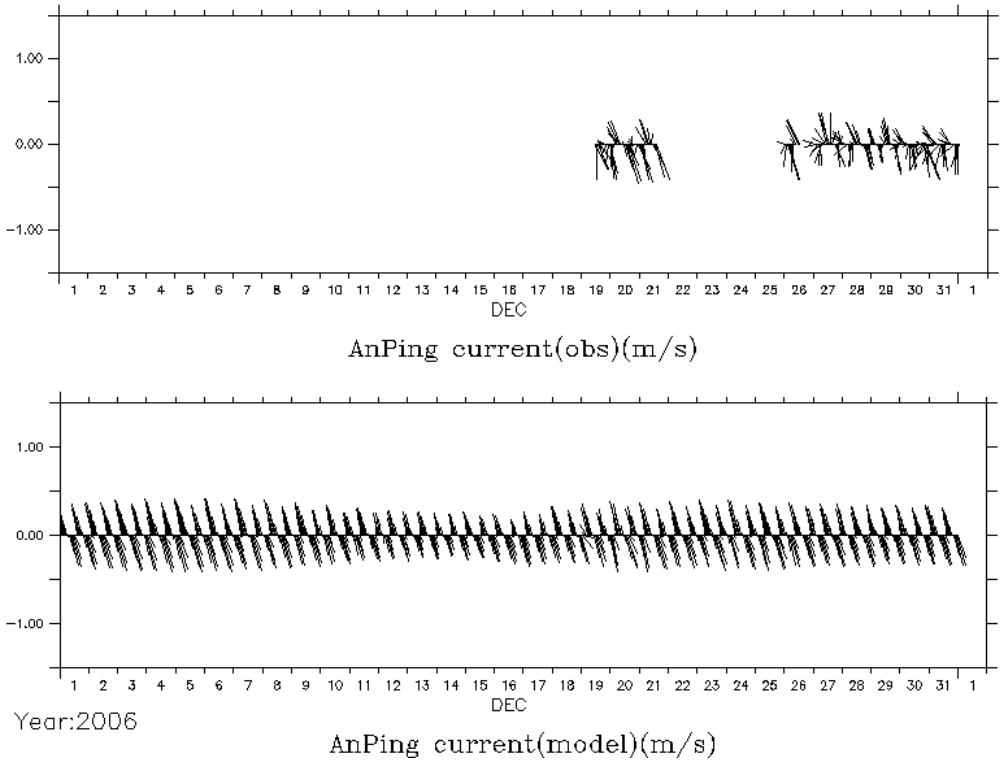


圖 2-4-1　安平港 2006 年 12 月模式與實測資料比對圖

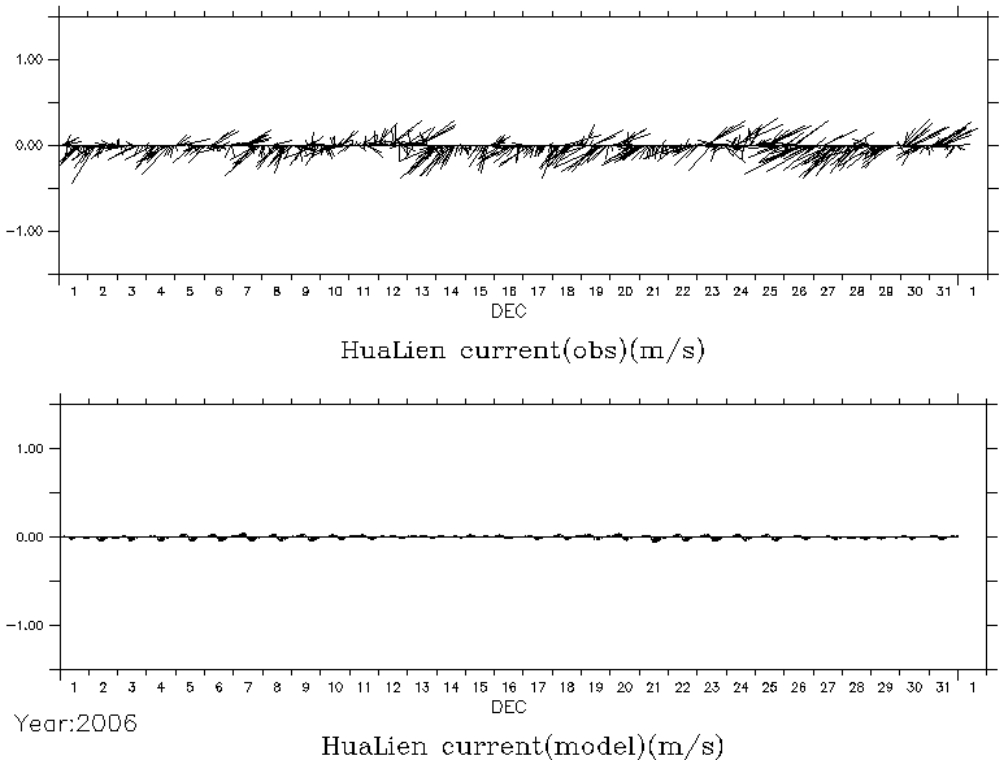


圖 2-4-2　花蓮港 2006 年 12 月模式與實測資料比對圖

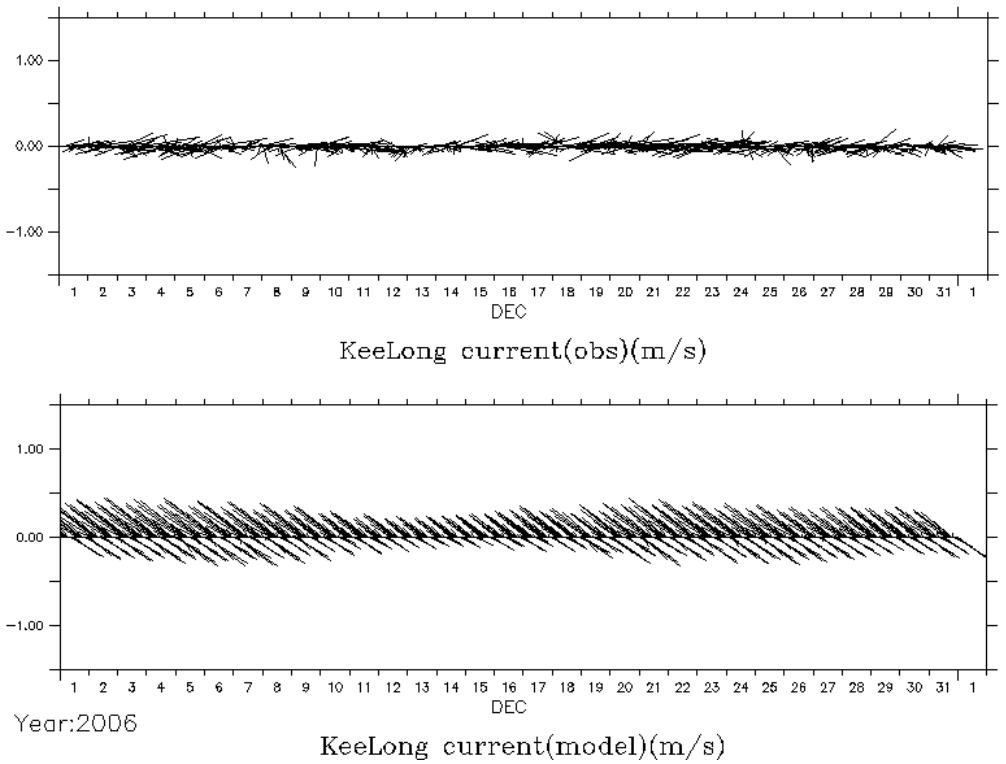


圖 2-4-3　基隆港 2006 年 12 月模式與實測資料比對圖

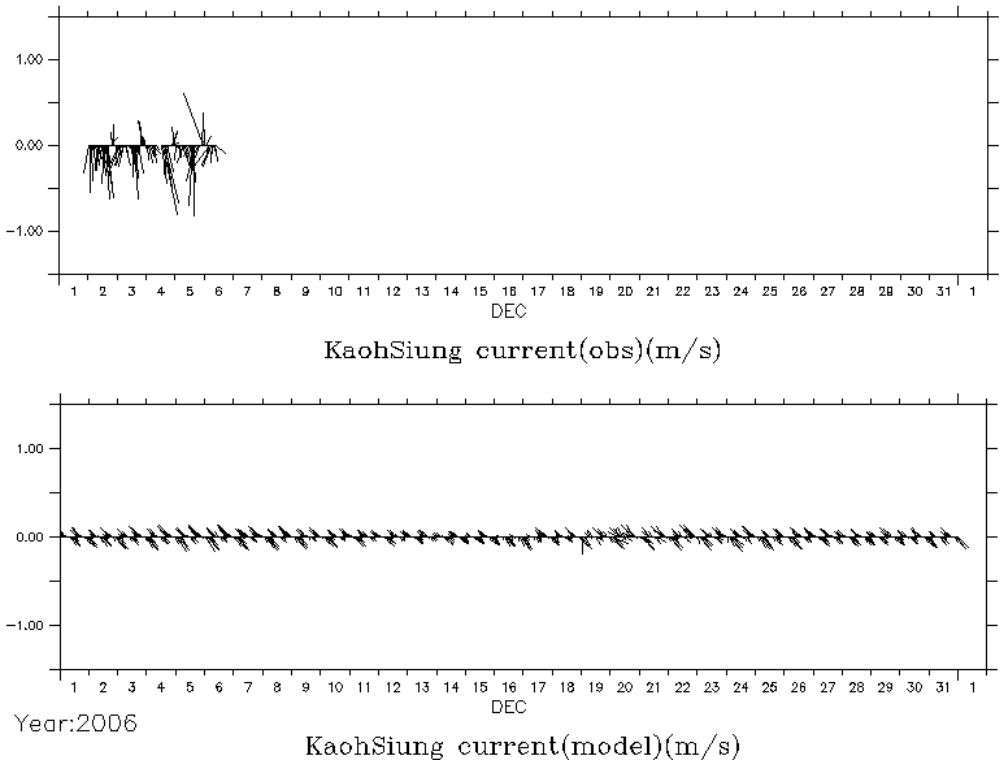


圖 2-4-4　高雄港 2006 年 12 月模式與實測資料比對圖

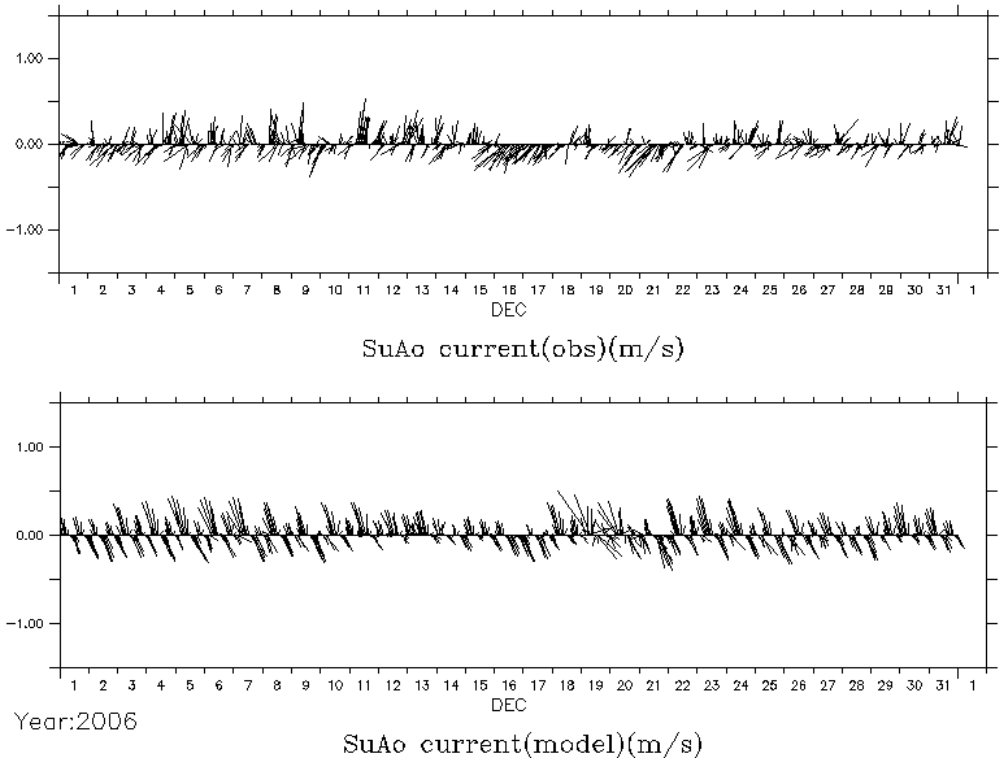


圖 2-4-5　蘇澳港 2006 年 12 月模式與實測資料比對圖

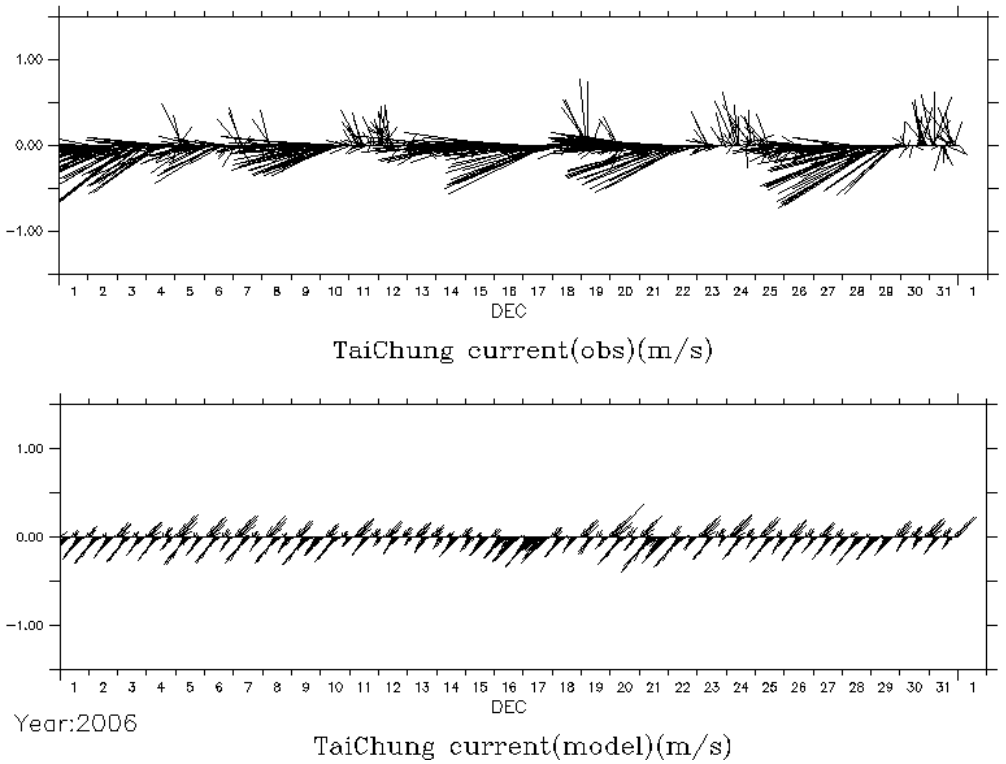


圖 2-4-6　台中港 2006 年 12 月模式與實測資料比對圖

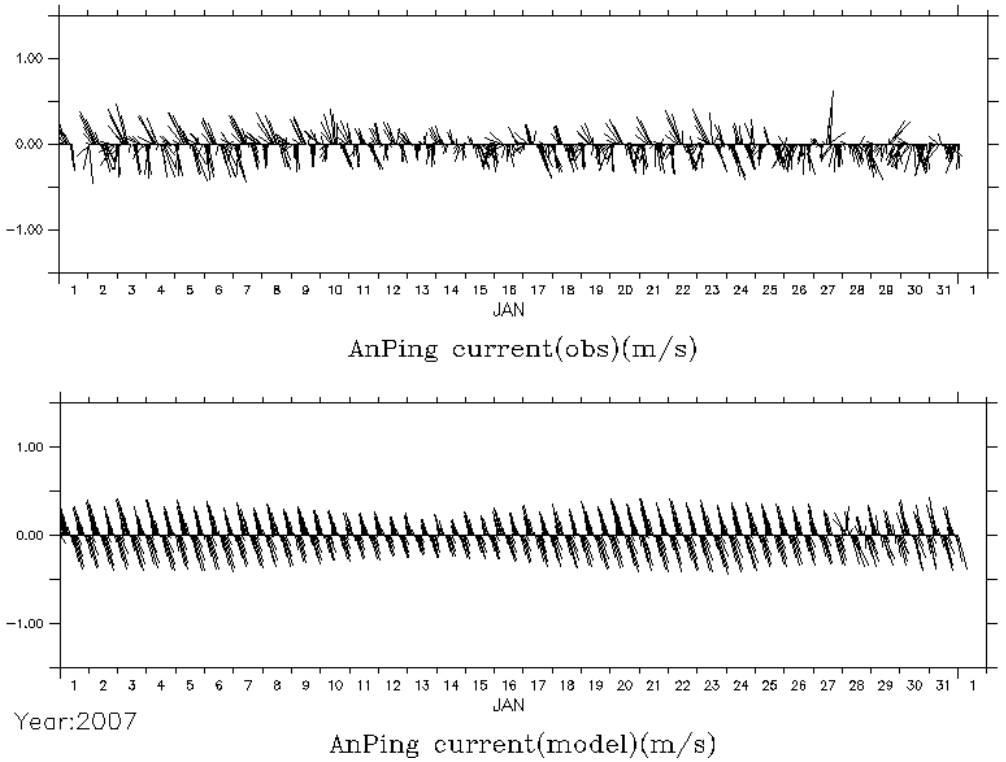


圖 2-4-7　安平港 2007 年 1 月模式與實測資料比對圖

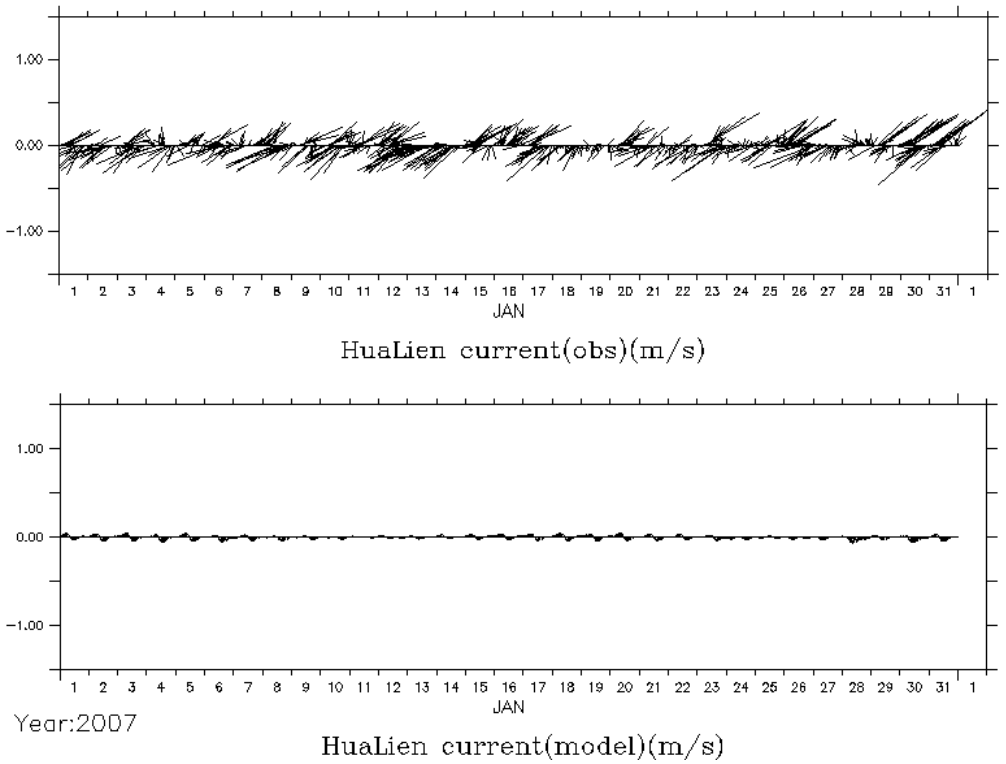


圖 2-4-8　花蓮港 2007 年 1 月模式與實測資料比對圖

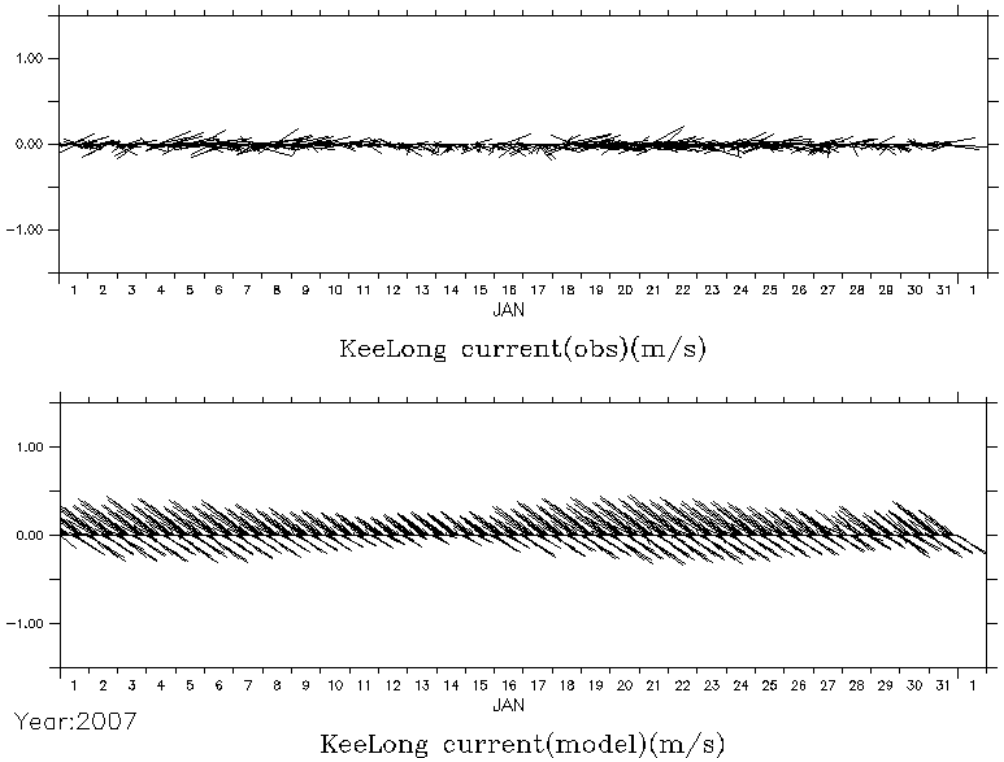


圖 2-4-9　基隆港 2007 年 1 月模式與實測資料比對圖

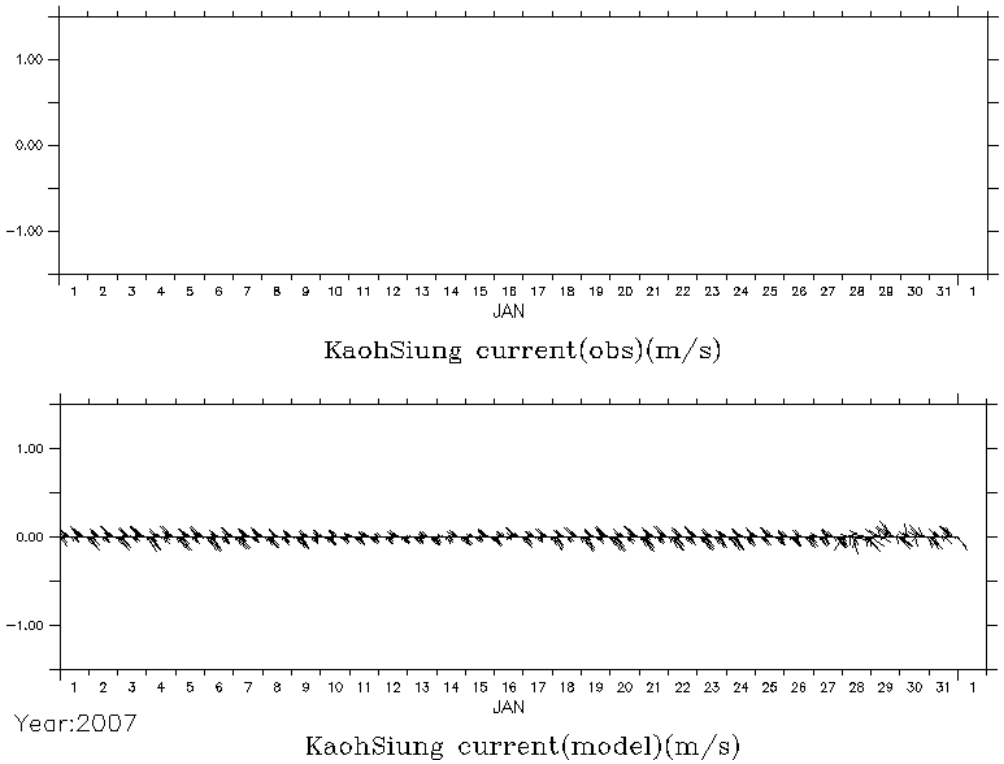


圖 2-4-10　高雄港 2007 年 1 月模式與實測資料比對圖

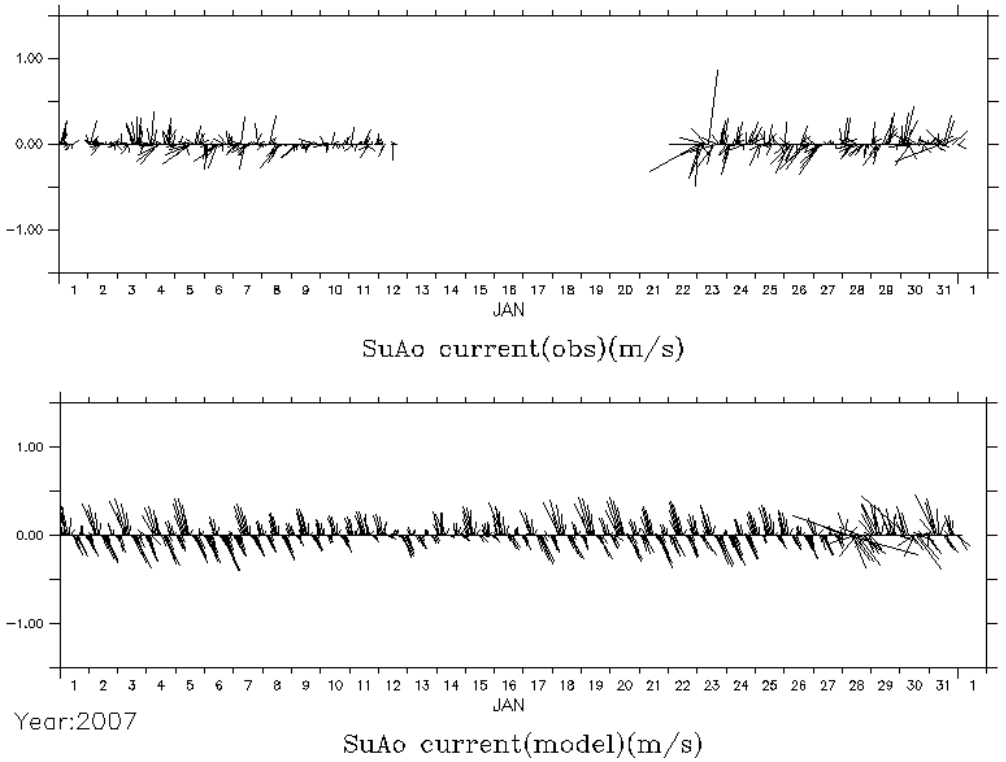


圖 2-4-11　蘇澳港 2007 年 1 月模式與實測資料比對圖

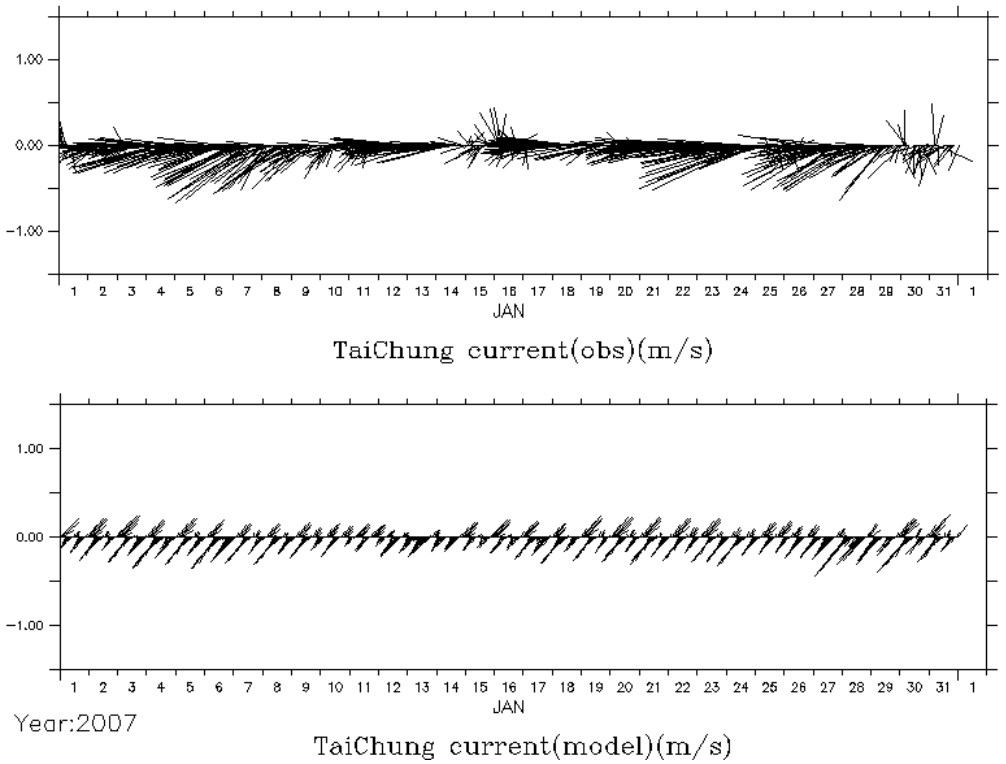


圖 2-4-12　台中港 2007 年 1 月模式與實測資料比對圖

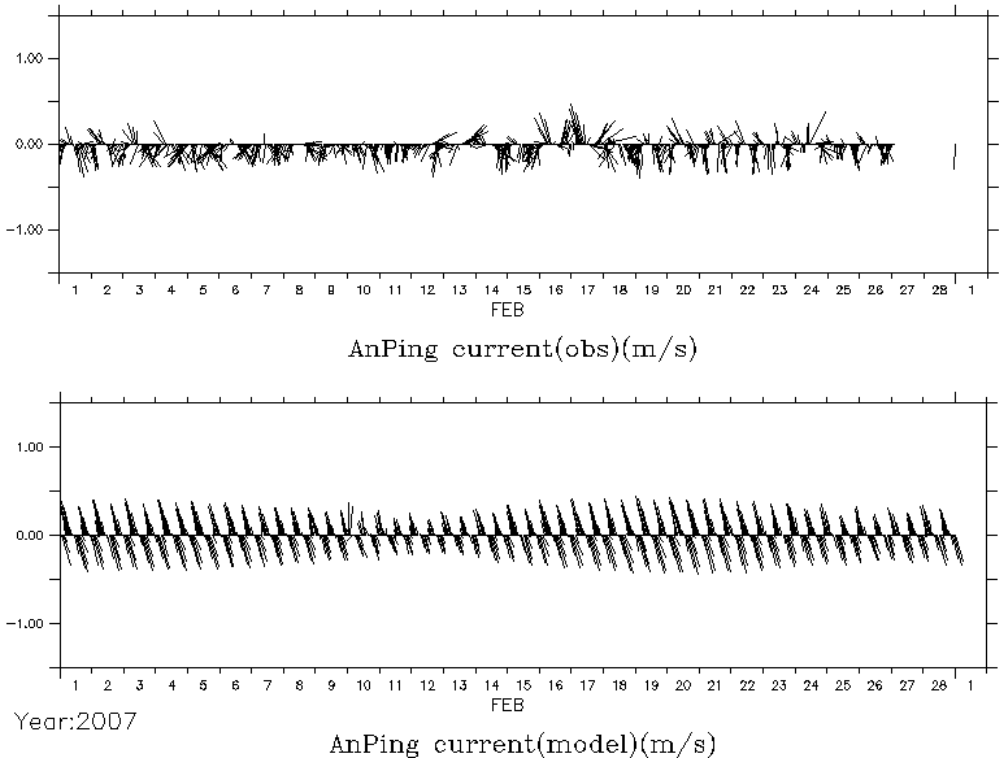


圖 2-4-13　安平港 2007 年 2 月模式與實測資料比對圖

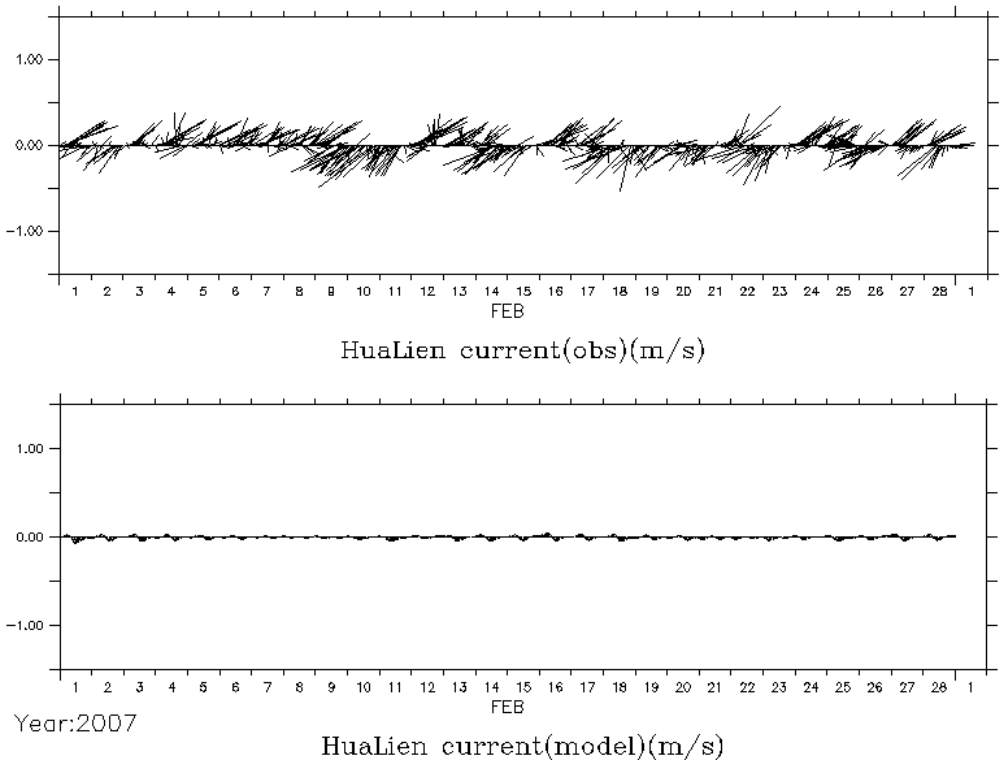


圖 2-4-14　花蓮港 2007 年 2 月模式與實測資料比對圖

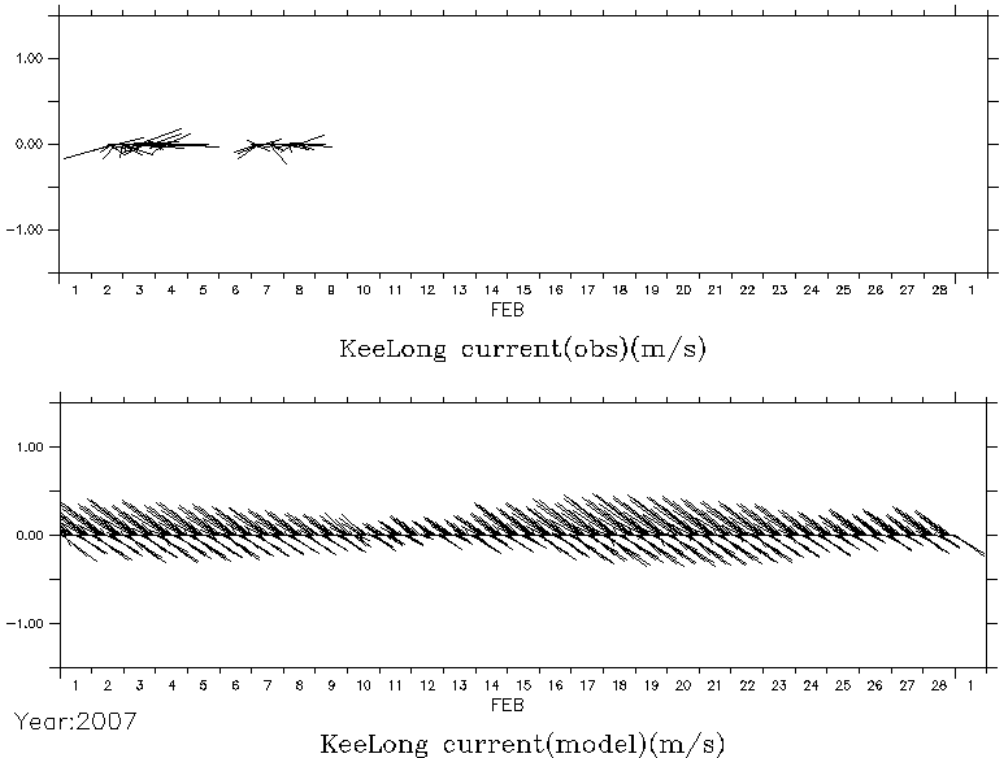


圖 2-4-15　基隆港 2007 年 2 月模式與實測資料比對圖

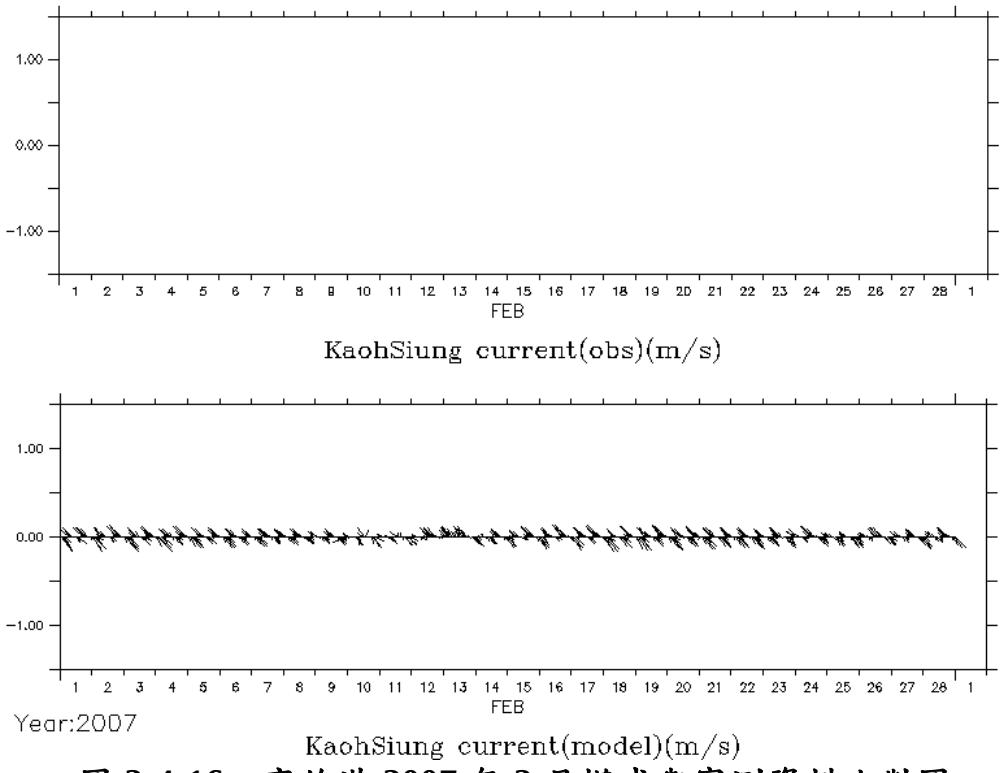
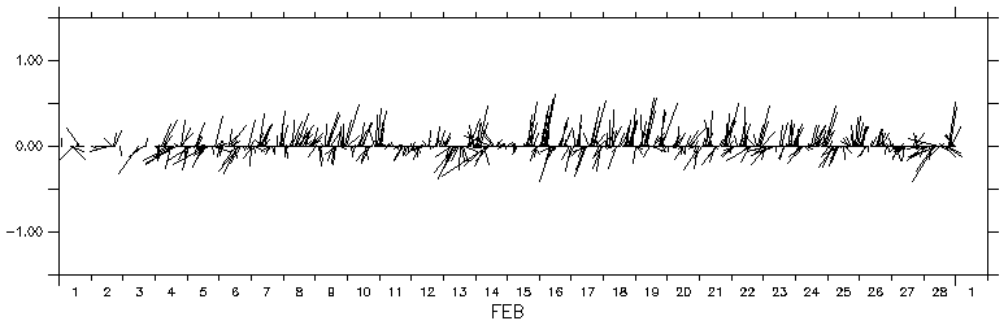
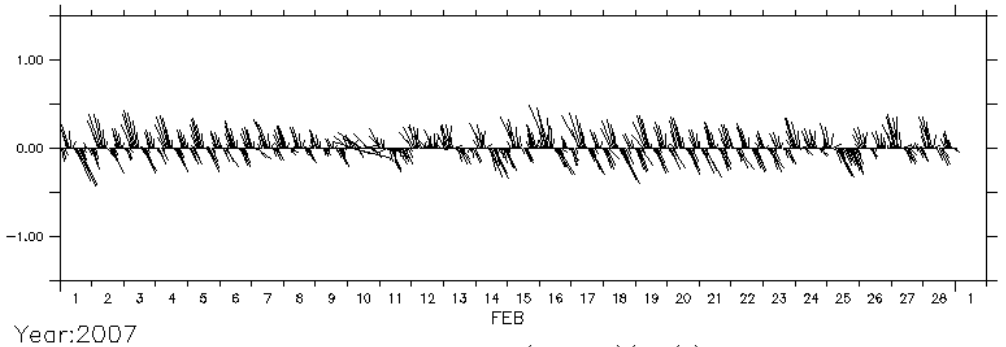


圖 2-4-16　高雄港 2007 年 2 月模式與實測資料比對圖

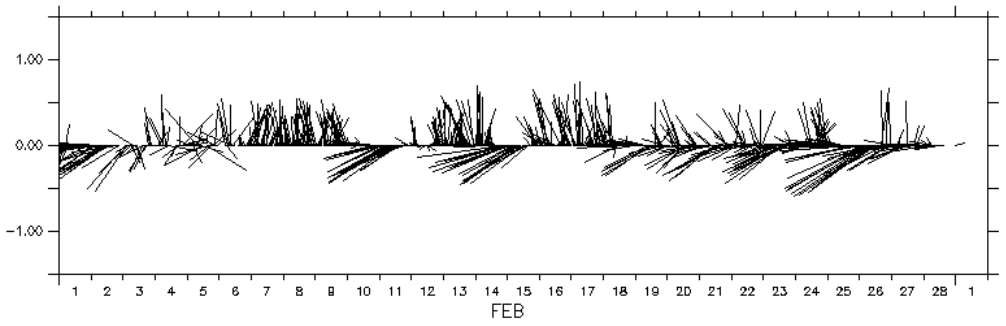


SuAo current(obs)(m/s)

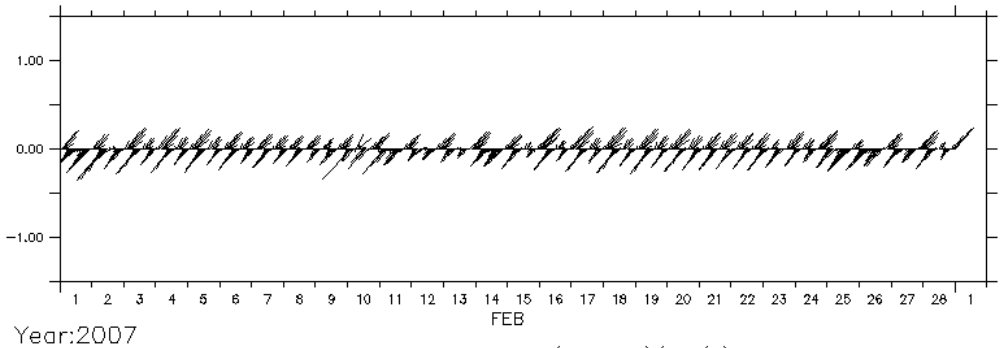


SuAo current(model)(m/s)

圖 2-4-17　蘇澳港 2007 年 2 月模式與實測資料比對圖



TaiChung current(obs)(m/s)



TaiChung current(model)(m/s)

圖 2-4-18　台中港 2007 年 2 月模式與實測資料比對圖

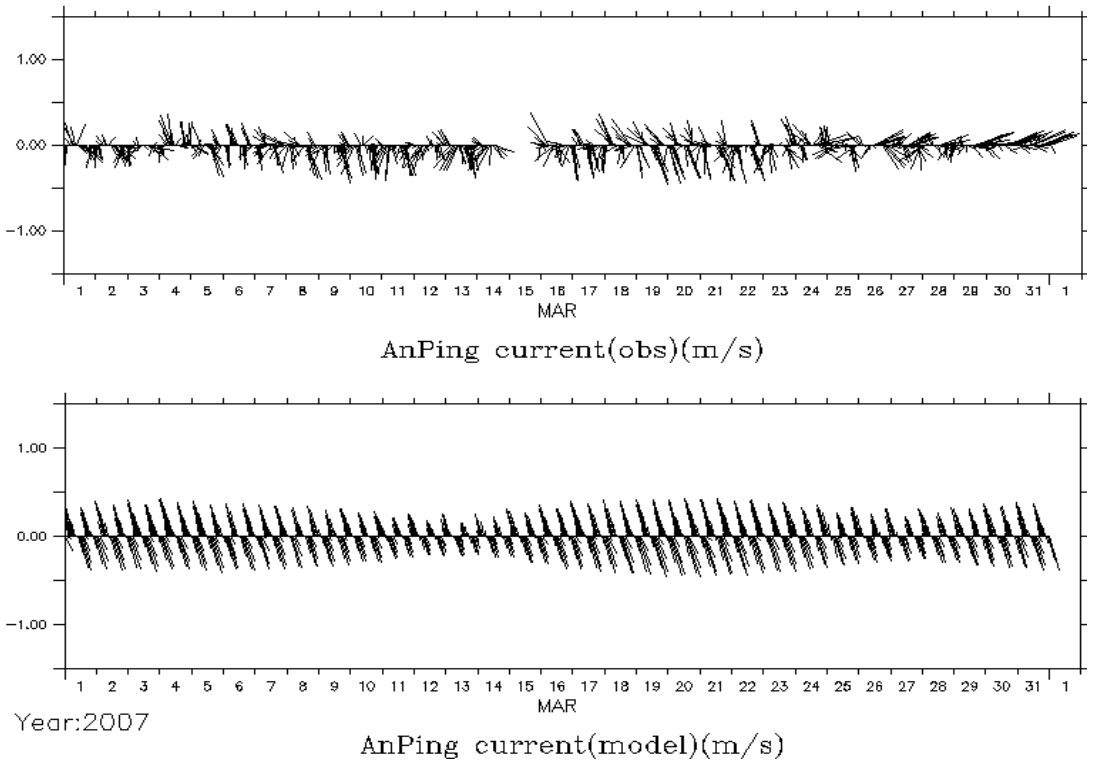


圖 2-4-19　安平港 2007 年 3 月模式與實測資料比對圖

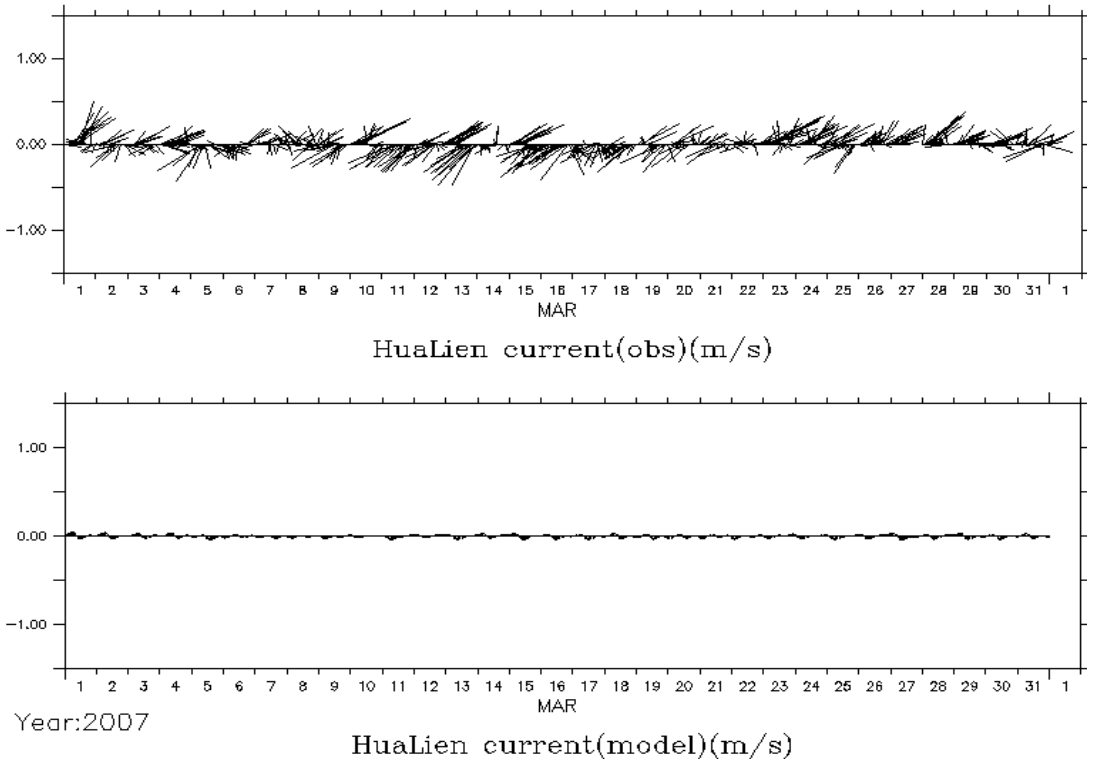


圖 2-4-20　花蓮港 2007 年 3 月模式與實測資料比對圖

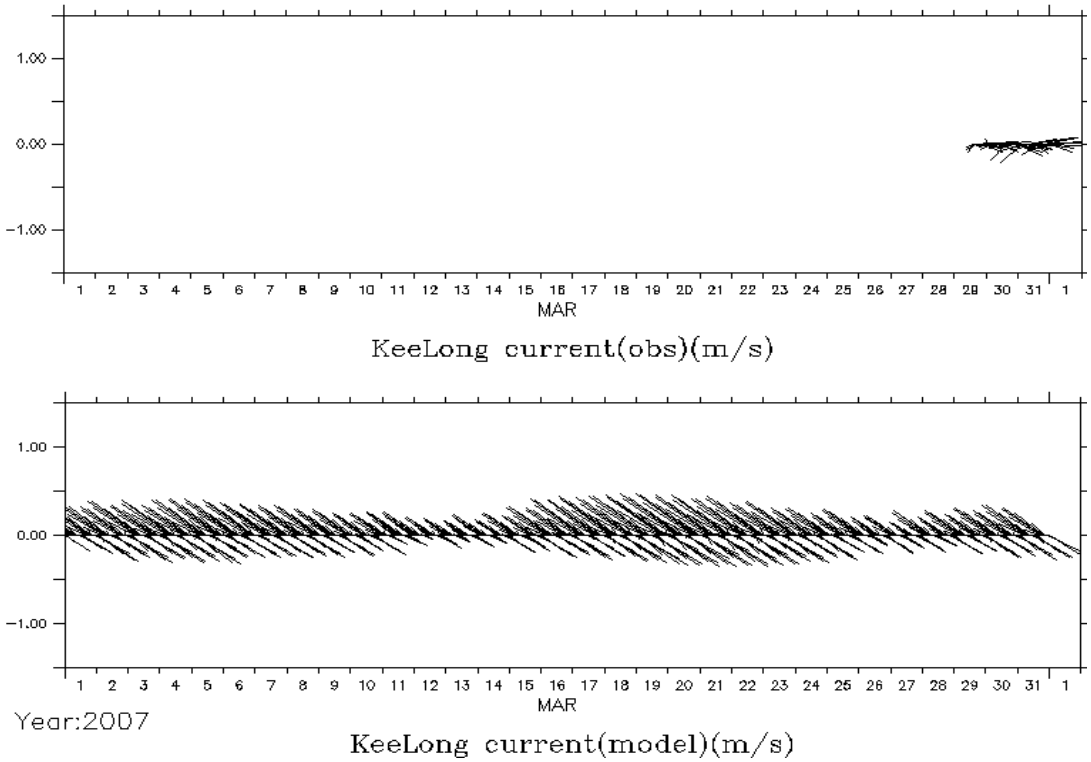


圖 2-4-21　基隆港 2007 年 3 月模式與實測資料比對圖

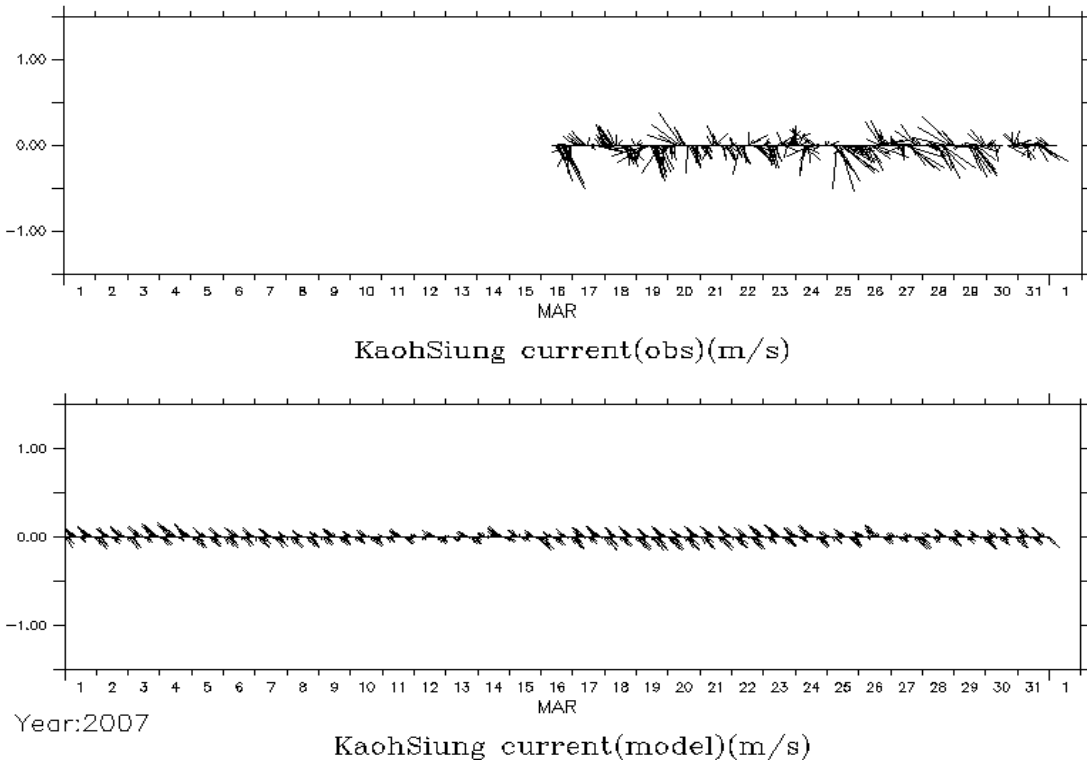


圖 2-4-22　高雄港 2007 年 3 月模式與實測資料比對圖

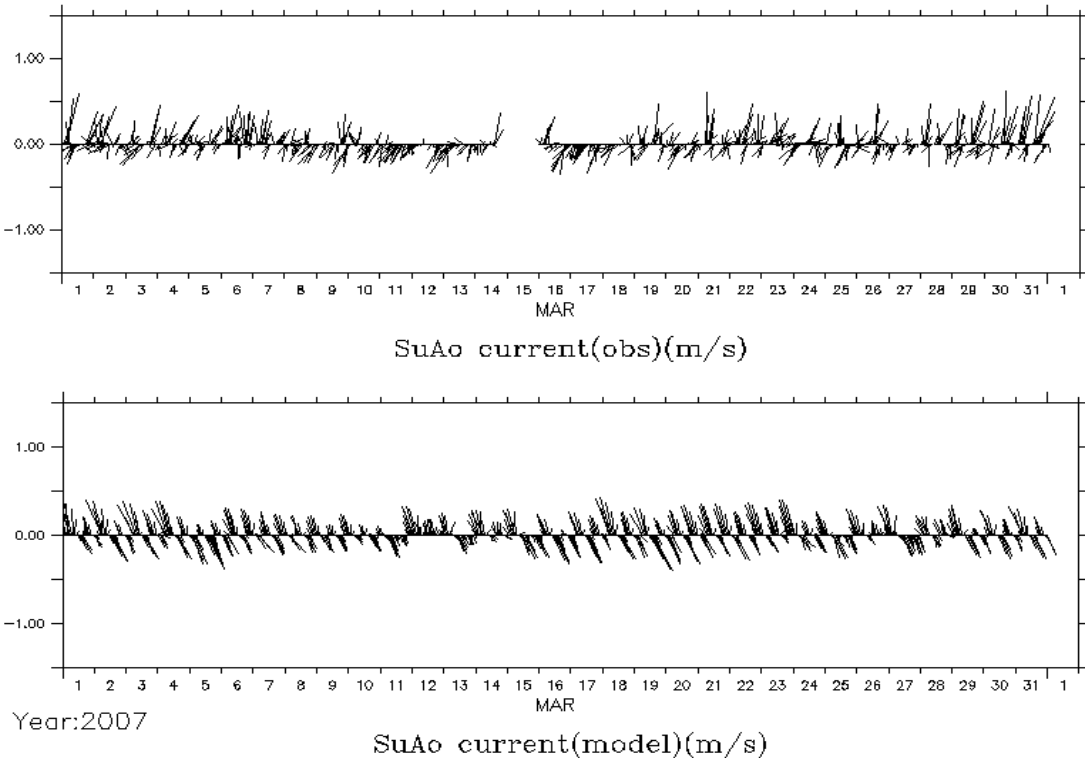


圖 2-4-23　蘇澳港 2007 年 3 月模式與實測資料比對圖

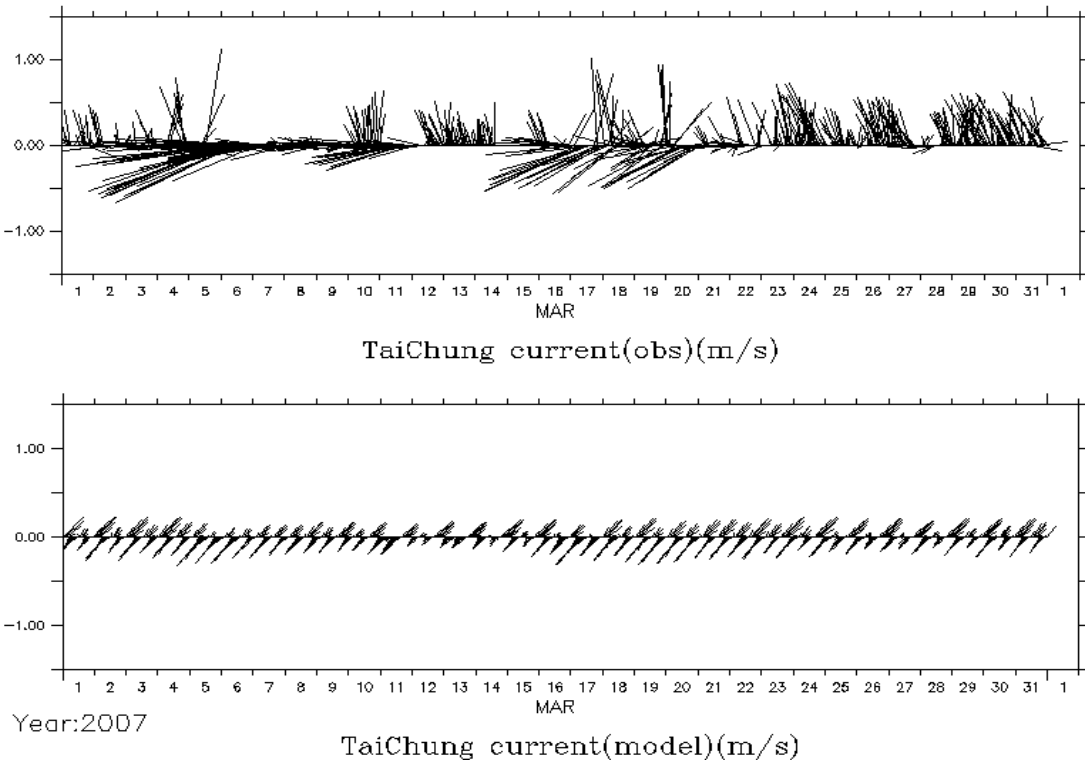


圖 2-4-24　台中港 2007 年 3 月模式與實測資料比對圖

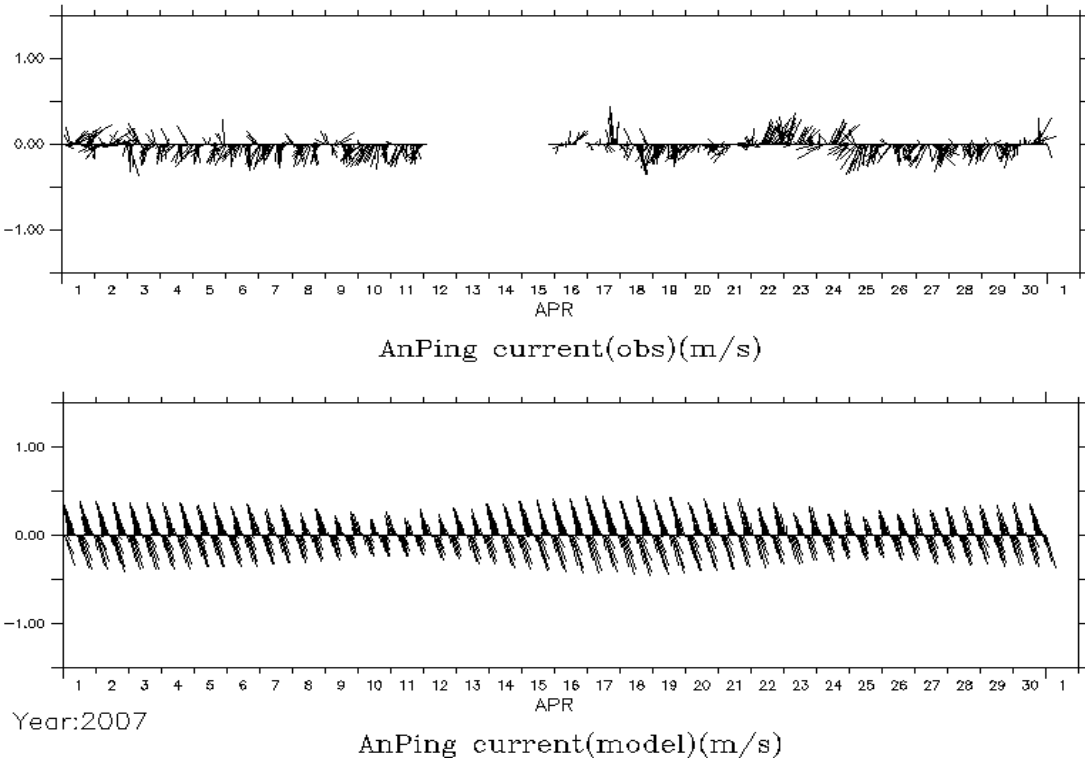


圖 2-4-25　安平港 2007 年 4 月模式與實測資料比對圖

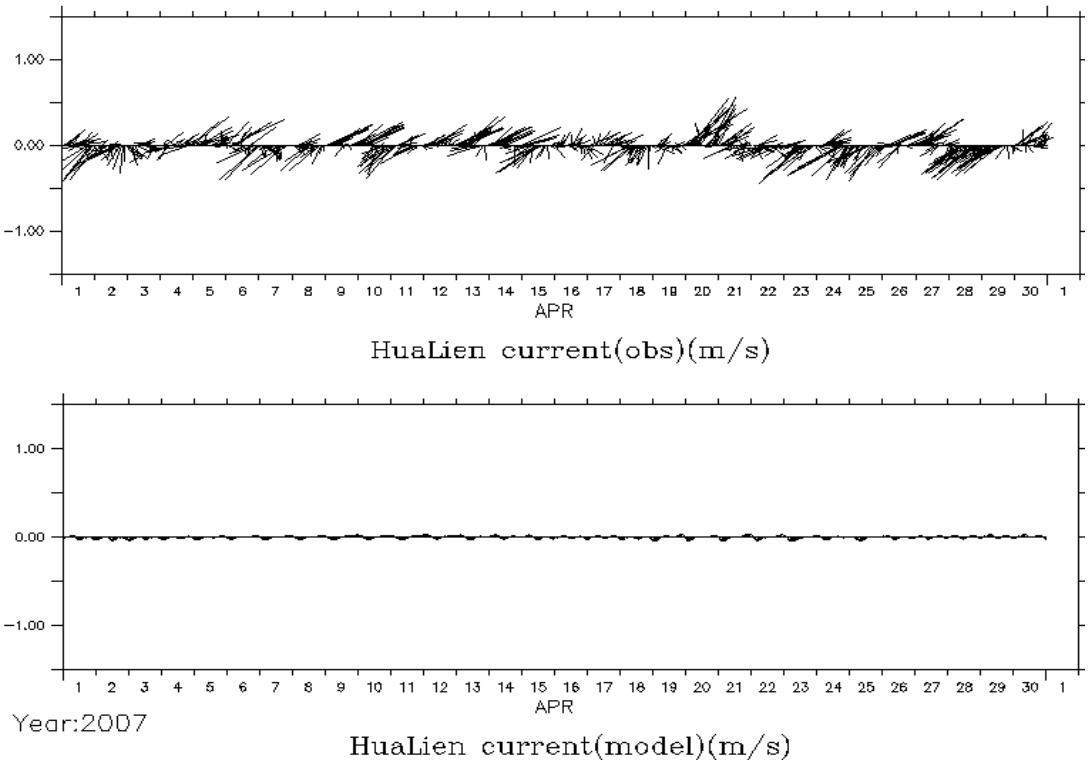


圖 2-4-26　花蓮港 2007 年 4 月模式與實測資料比對圖

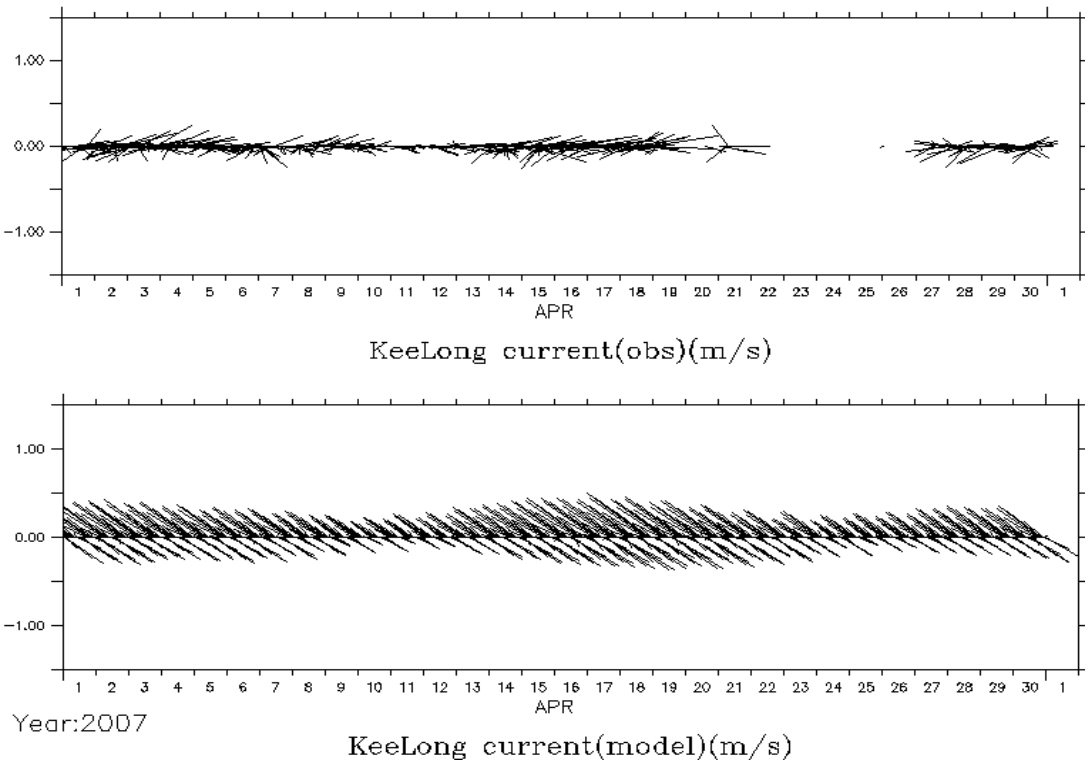


圖 2-4-27　基隆港 2007 年 4 月模式與實測資料比對圖

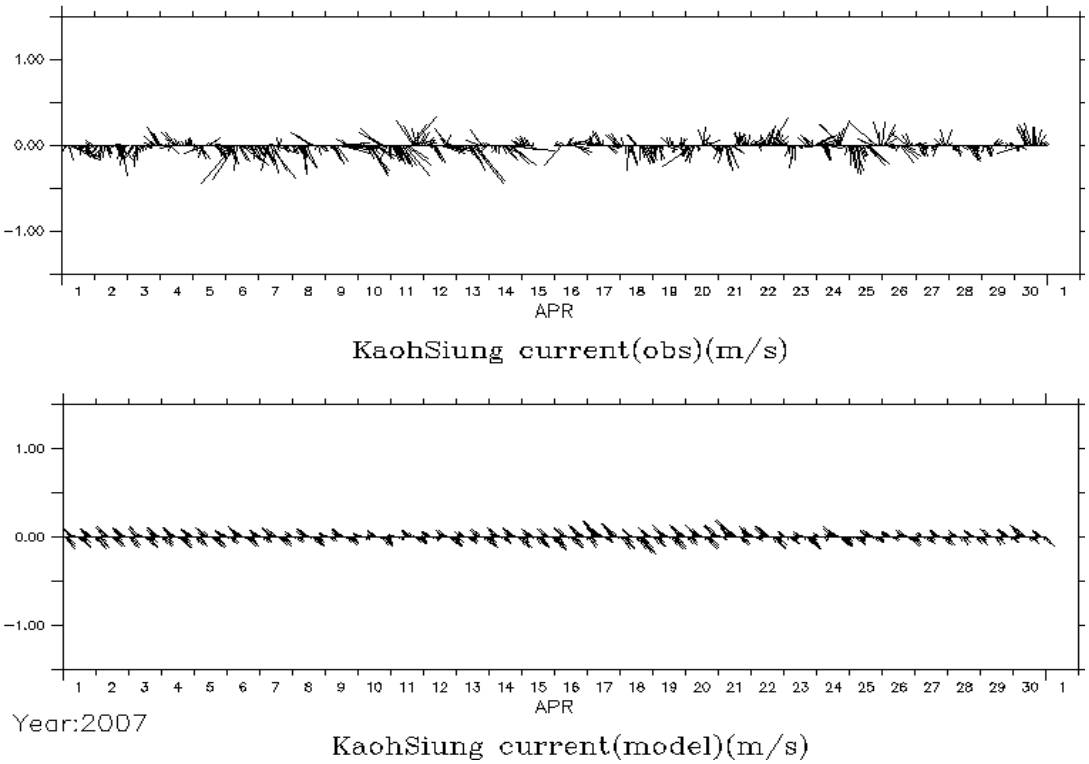


圖 2-4-28　高雄港 2007 年 4 月模式與實測資料比對圖

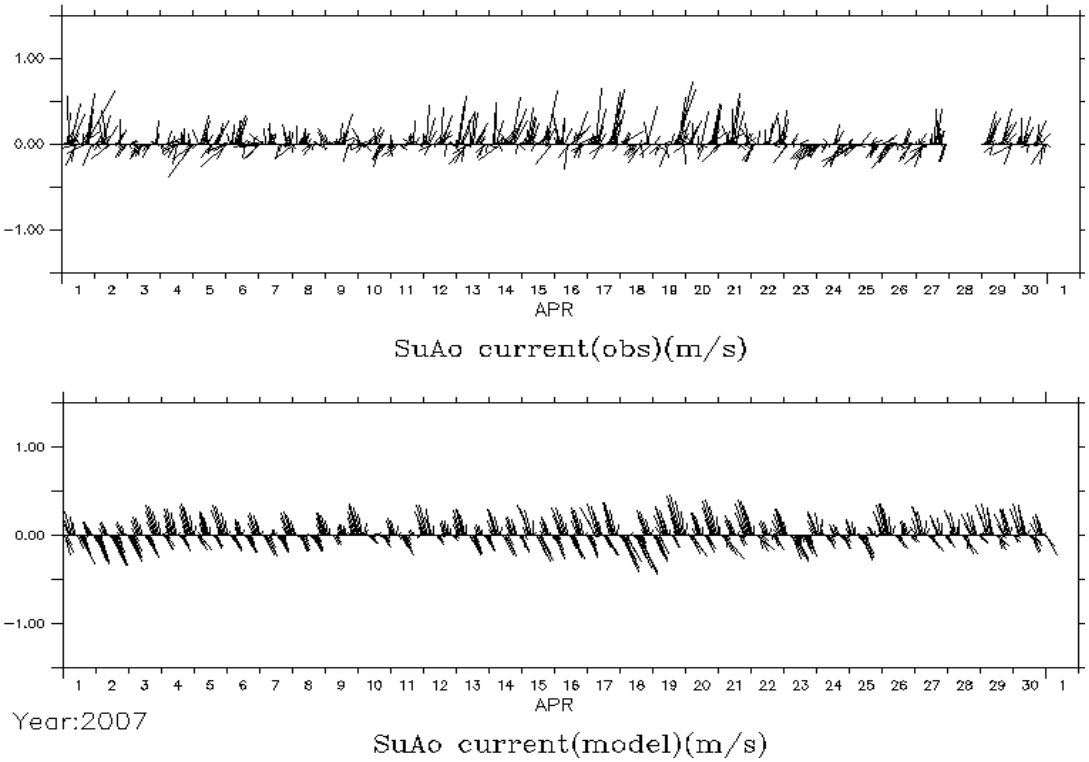


圖 2-4-29　蘇澳港 2007 年 4 月模式與實測資料比對圖

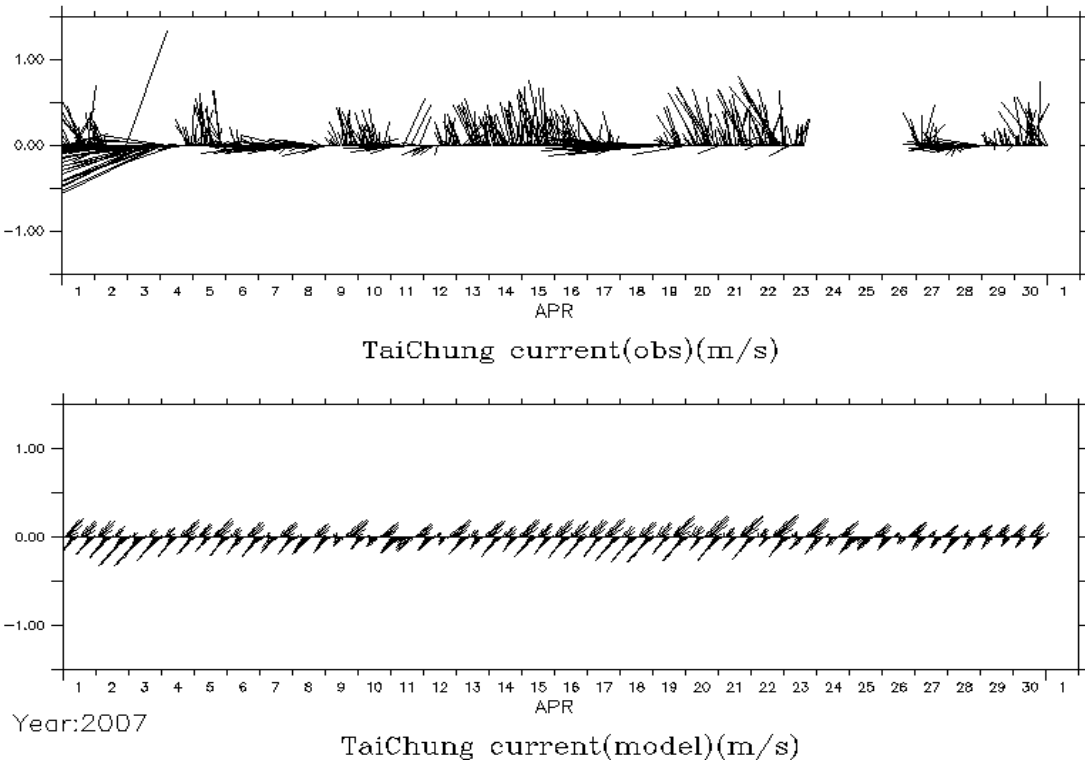


圖 2-4-30　台中港 2007 年 4 月模式與實測資料比對圖

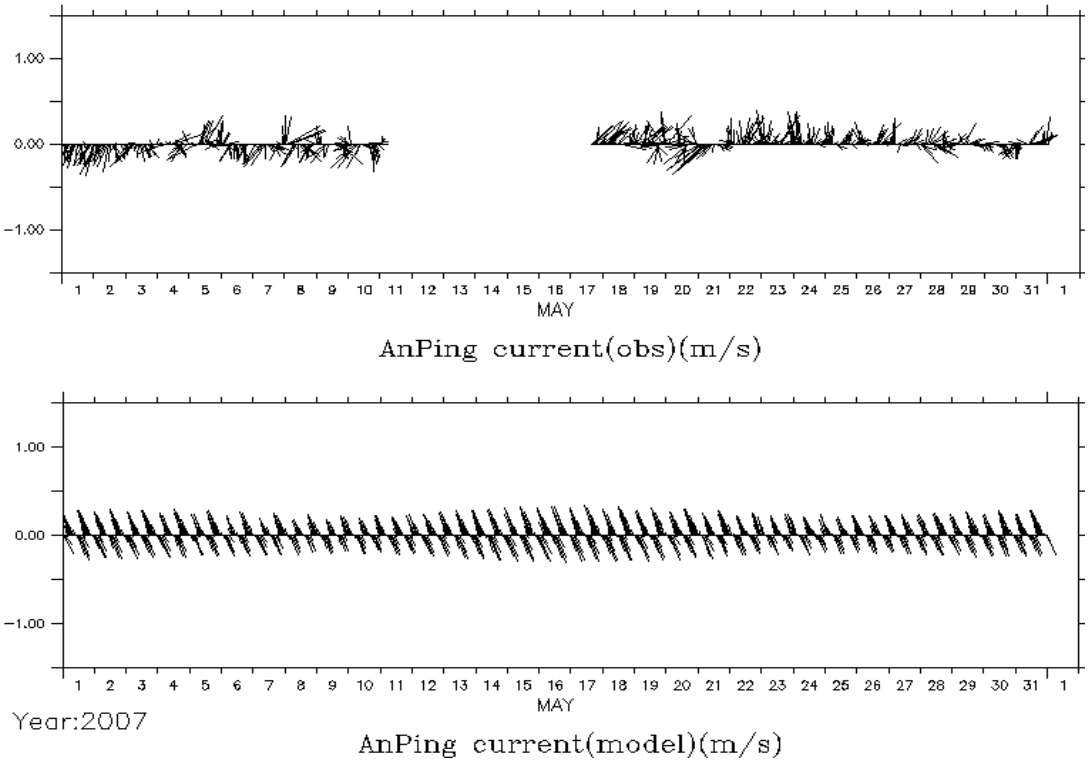


圖 2-4-31　安平港 2007 年 5 月模式與實測資料比對圖

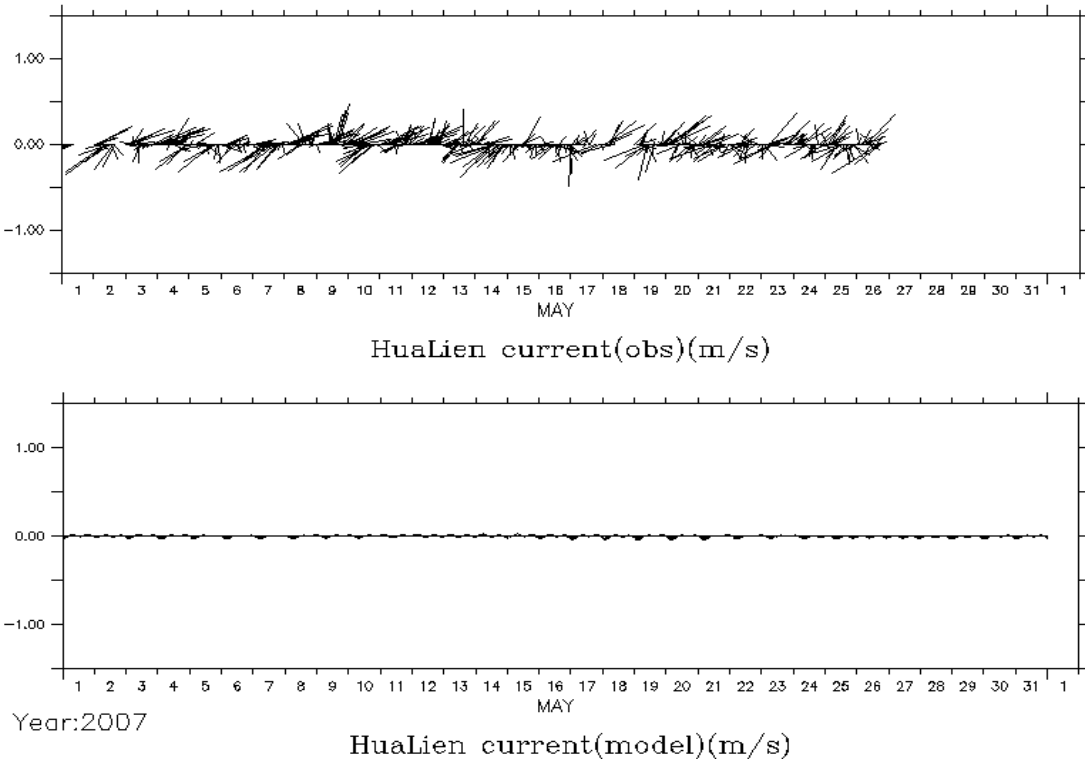


圖 2-4-32　花蓮港 2007 年 5 月模式與實測資料比對圖

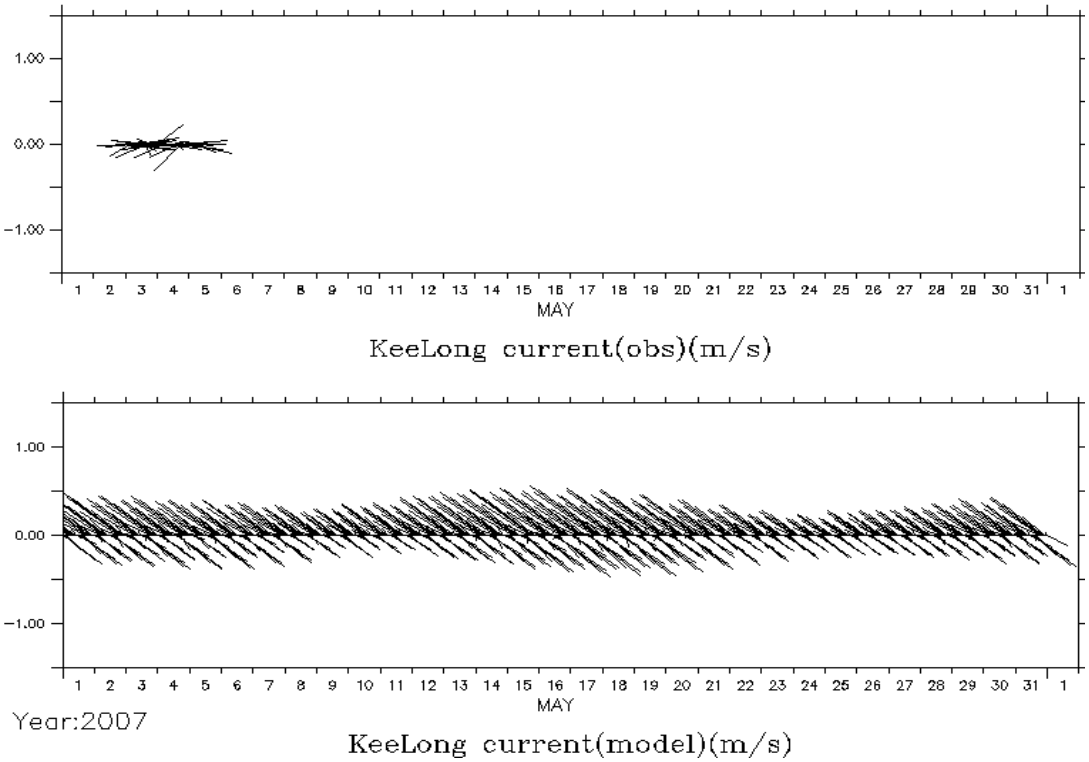


圖 2-4-33　基隆港 2007 年 5 月模式與實測資料比對圖

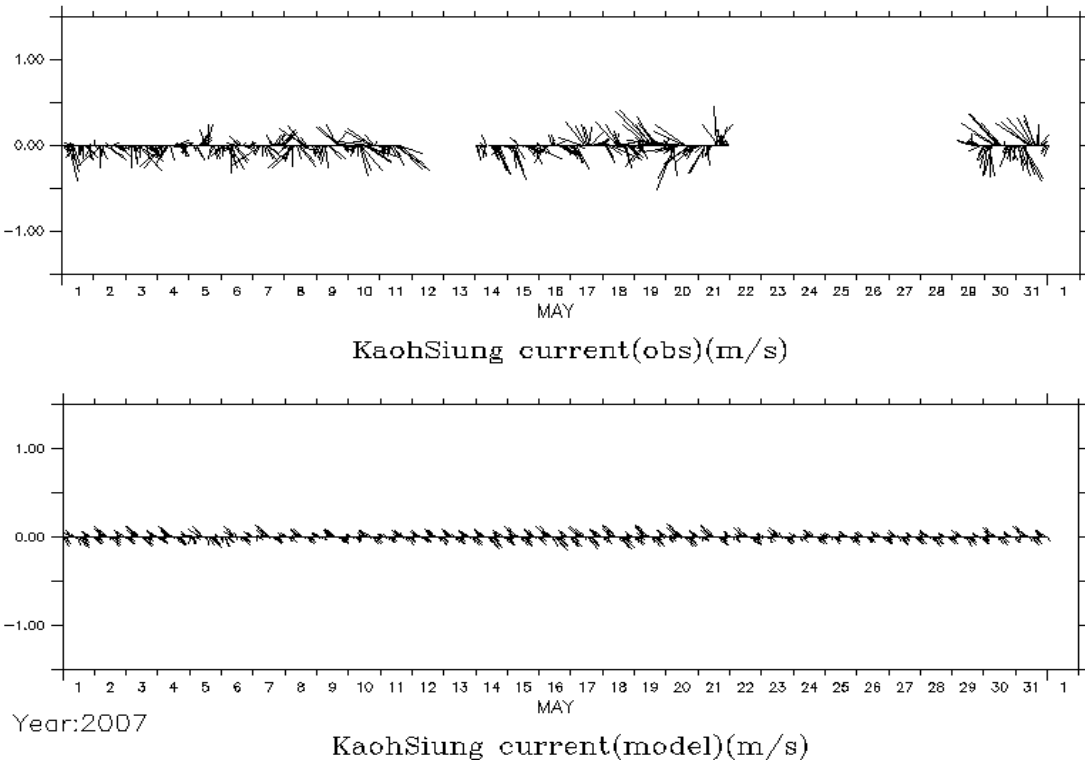


圖 2-4-34　高雄港 2007 年 5 月模式與實測資料比對圖

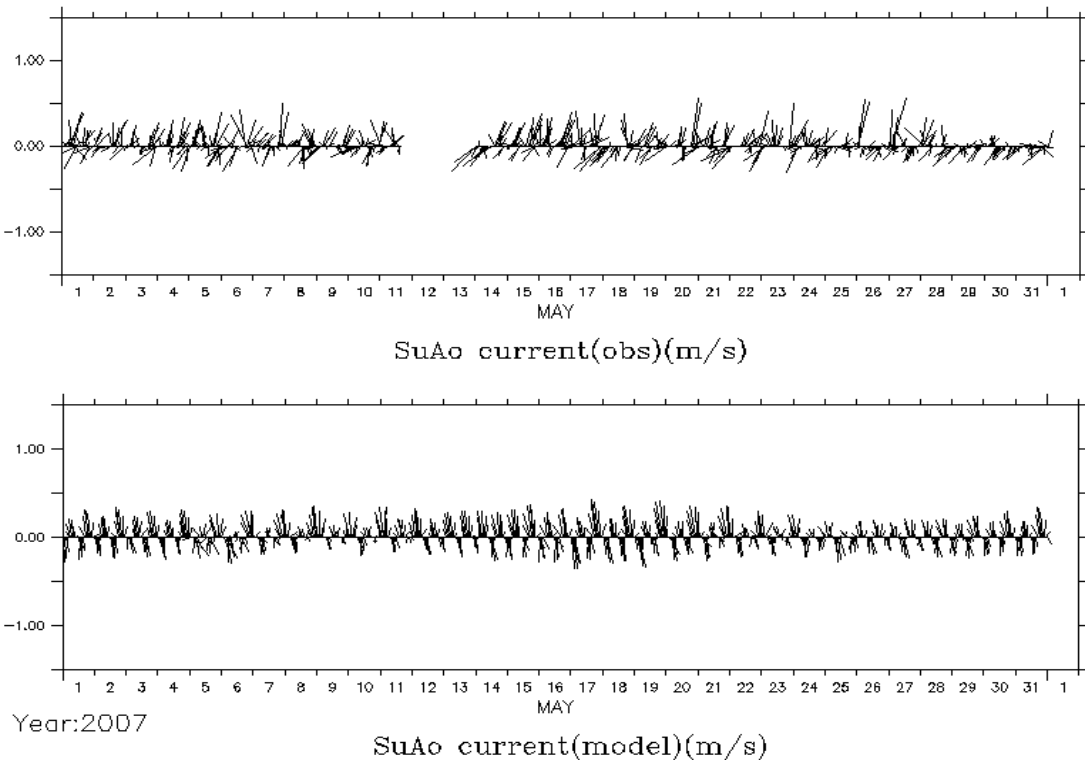


圖 2-4-35　蘇澳港 2007 年 5 月模式與實測資料比對圖

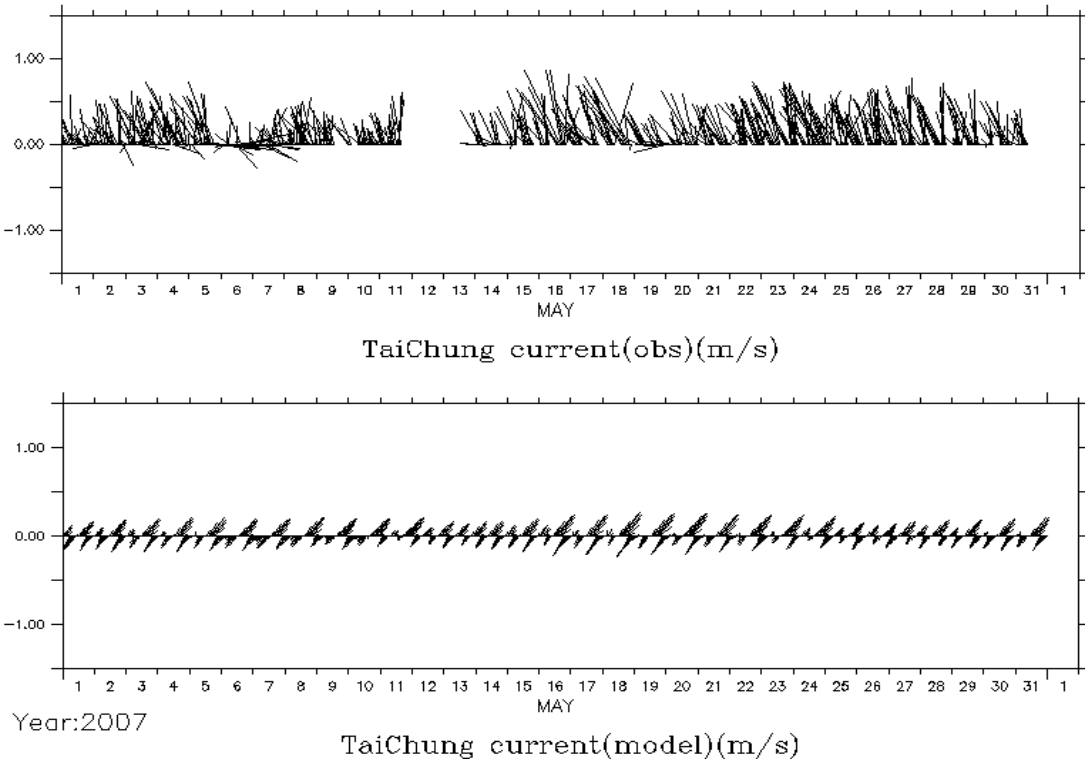


圖 2-4-36　台中港 2007 年 5 月模式與實測資料比對圖

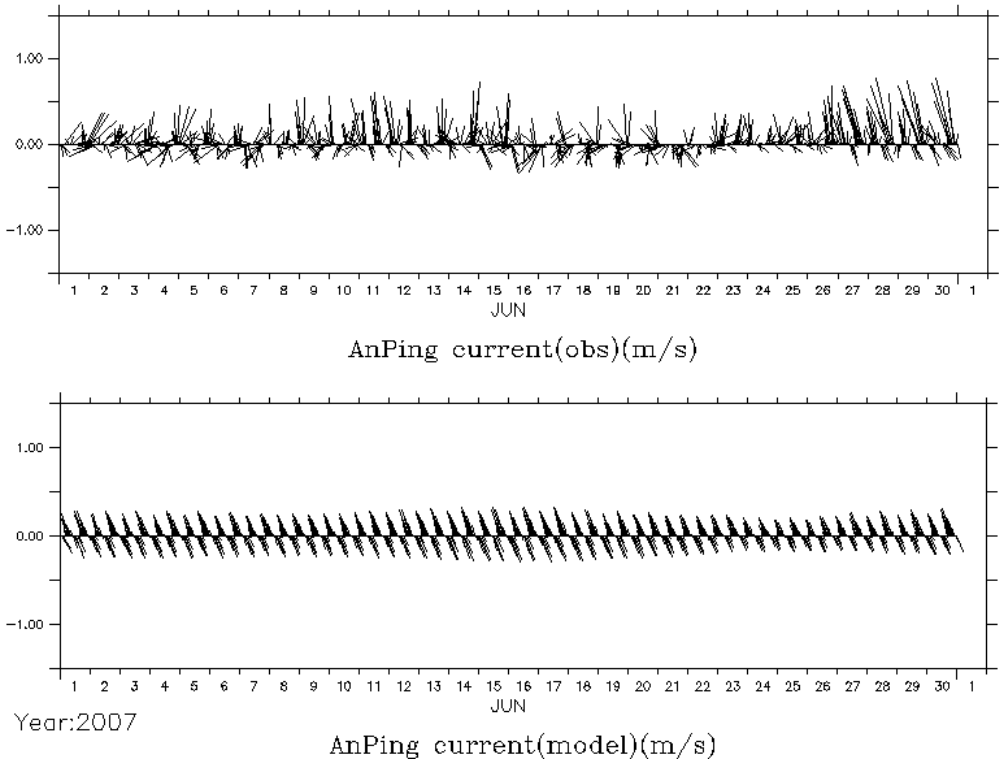


圖 2-4-37 安平港 2007 年 6 月模式與實測資料比對圖

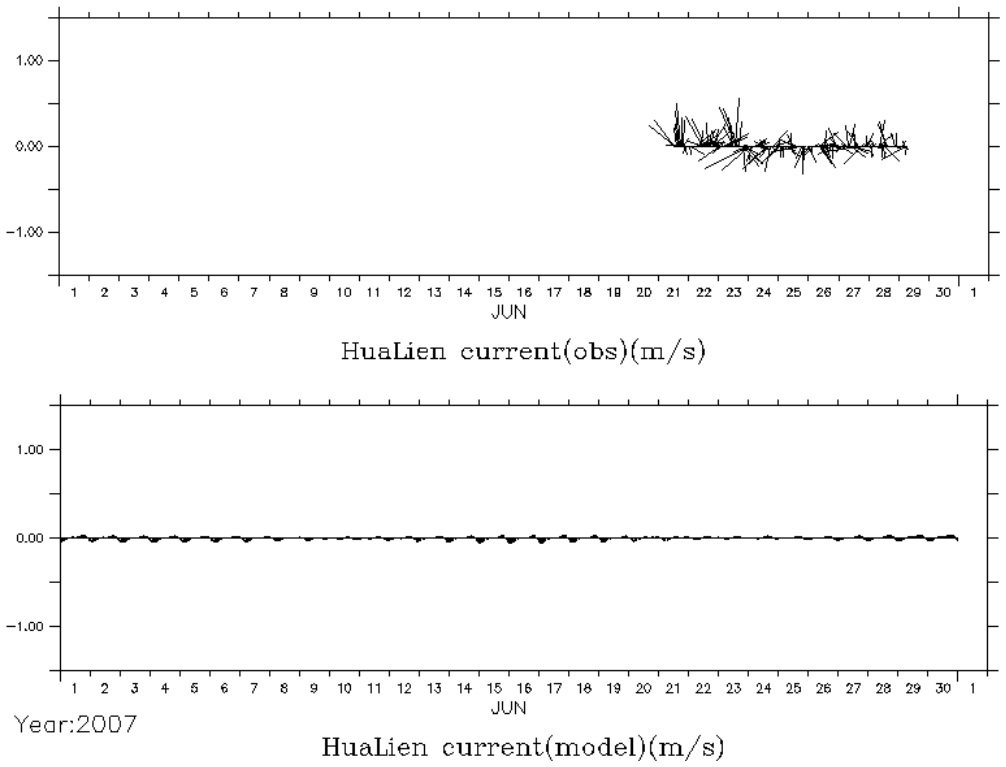


圖 2-4-38 花蓮港 2007 年 6 月模式與實測資料比對圖

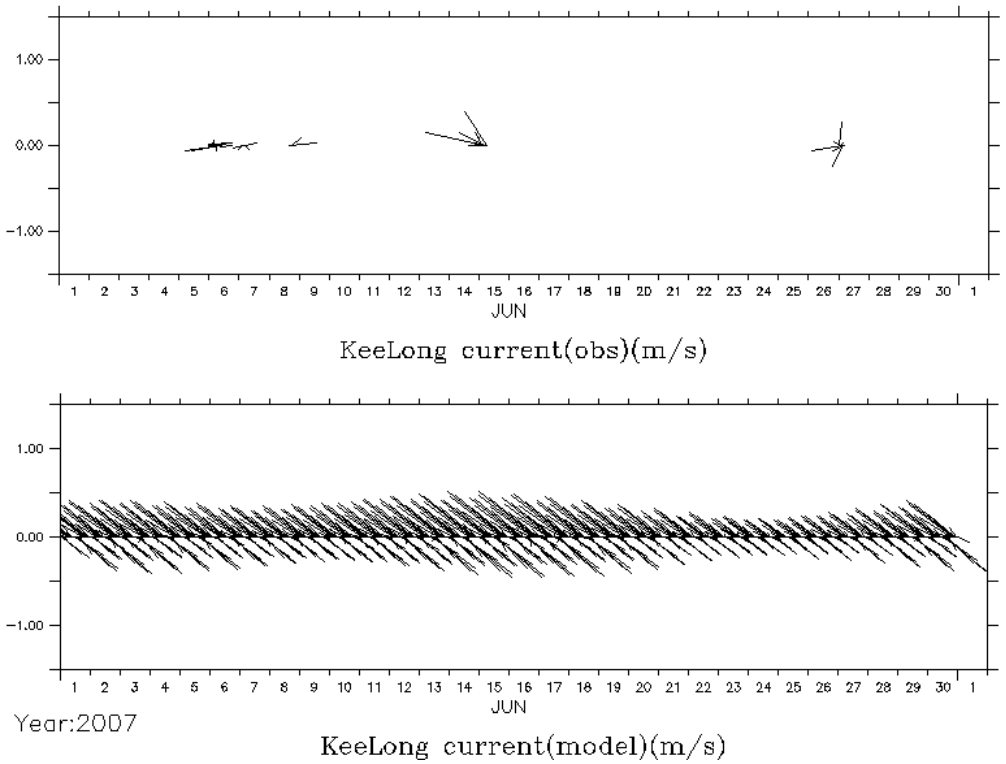


圖 2-4-39 基隆港 2007 年 6 月模式與實測資料比對圖

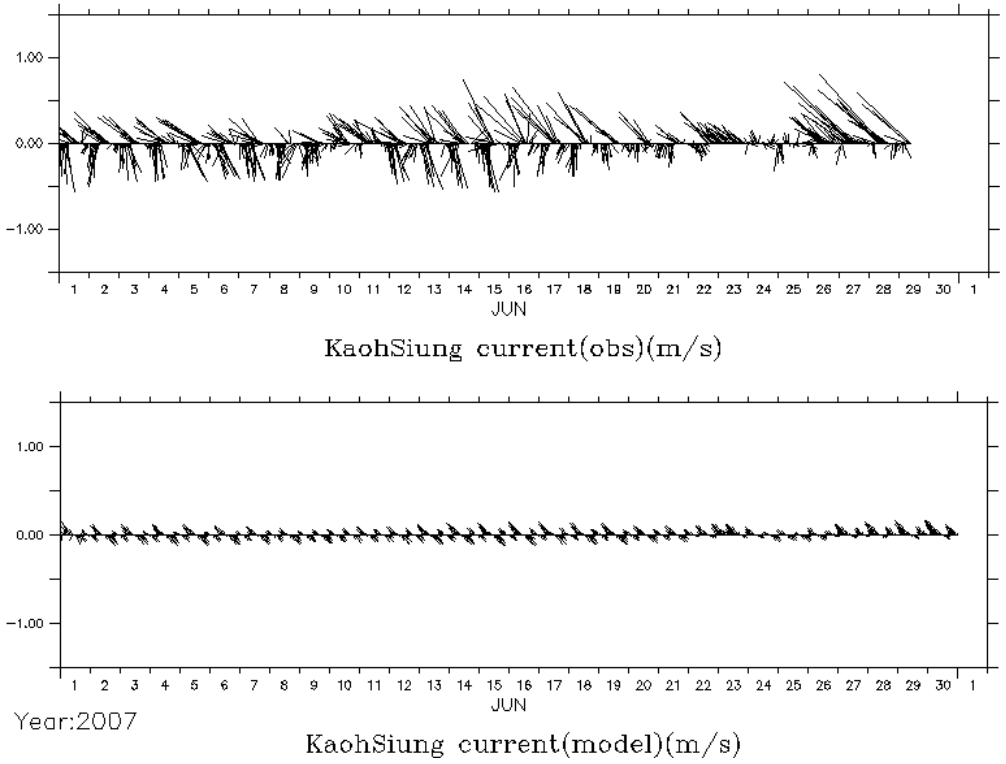


圖 2-4-40 高雄港 2007 年 6 月模式與實測資料比對圖

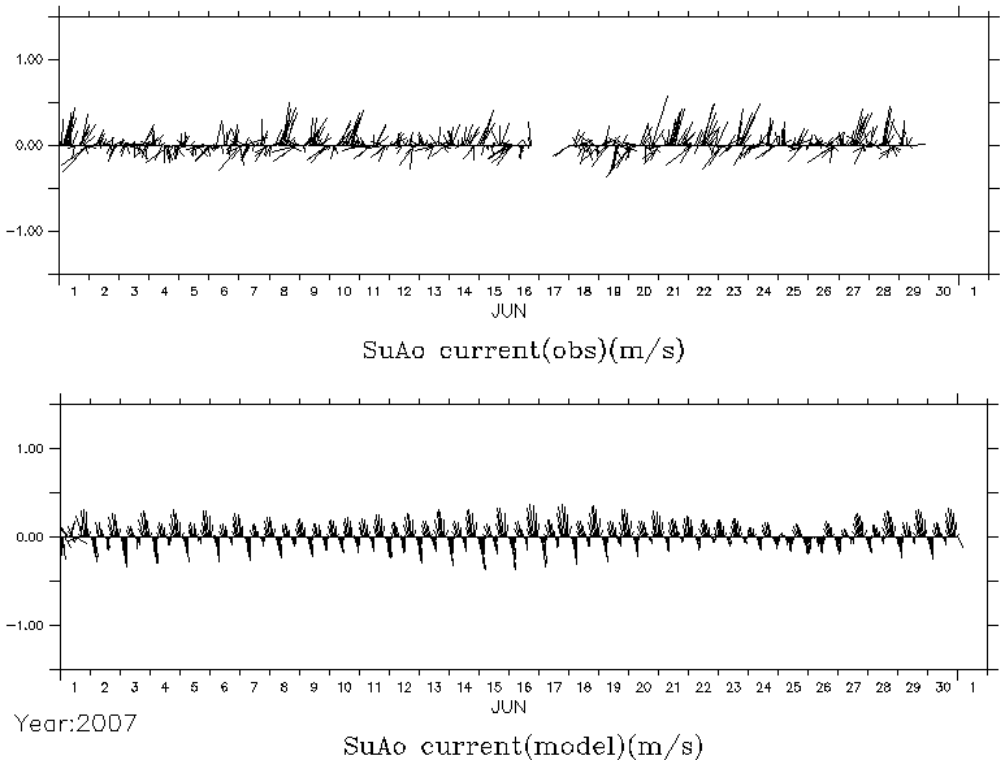


圖 2-4-41 蘇澳港 2007 年 6 月模式與實測資料比對圖

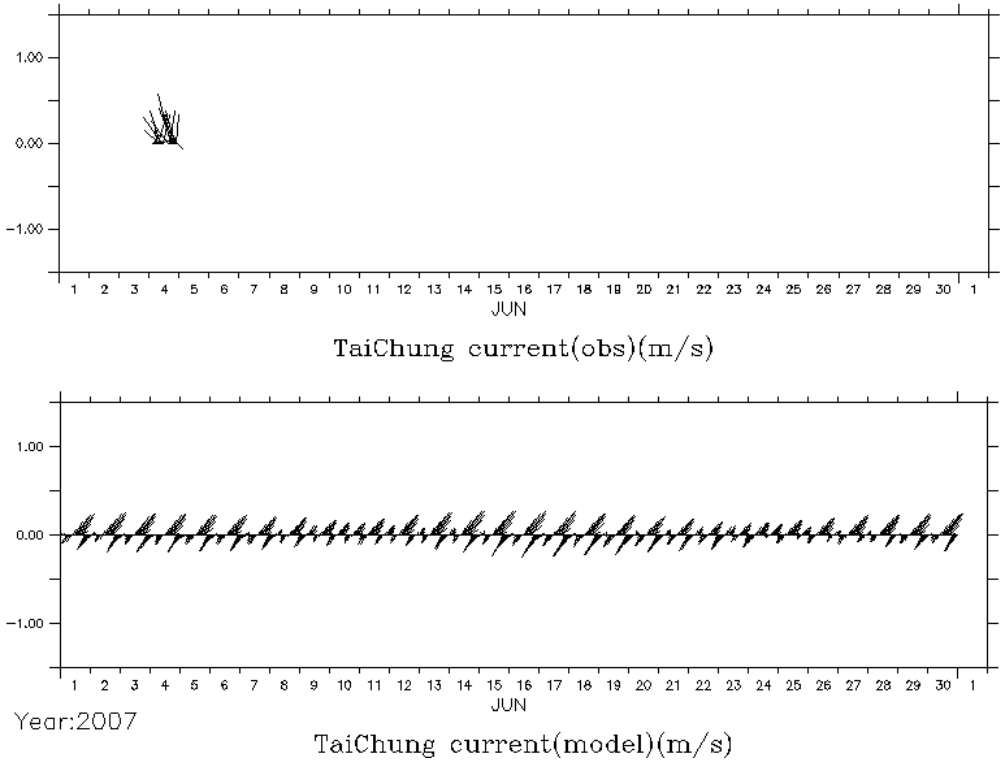


圖 2-4-42 台中港 2007 年 6 月模式與實測資料比對圖

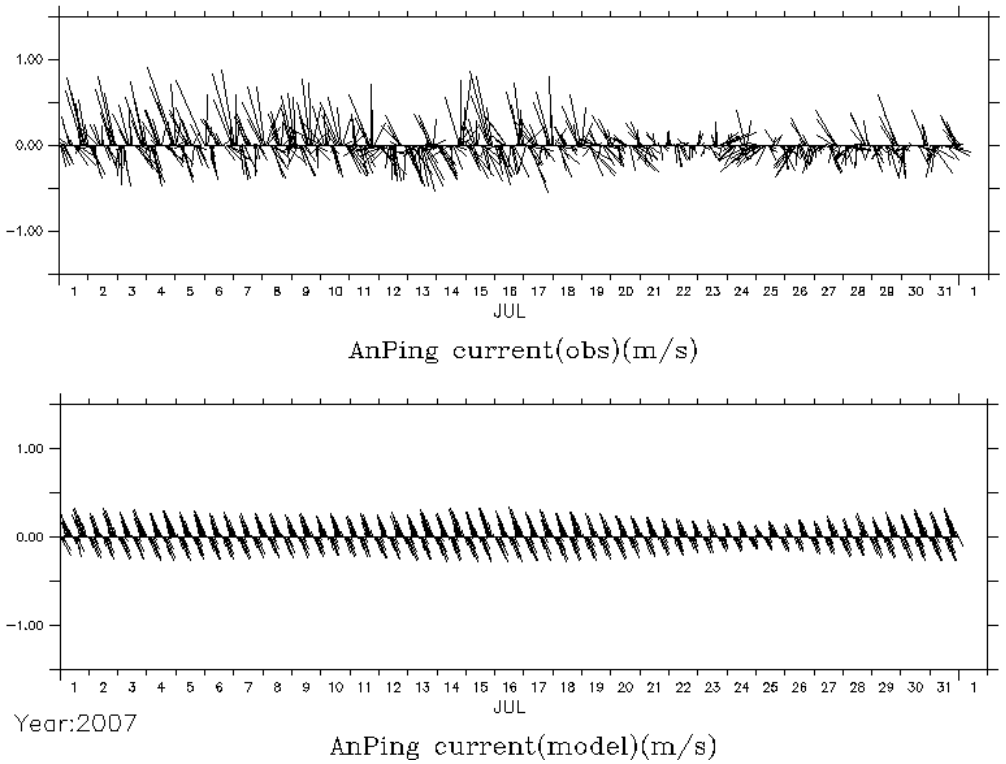


圖 2-4-43 安平港 2007 年 7 月模式與實測資料比對圖

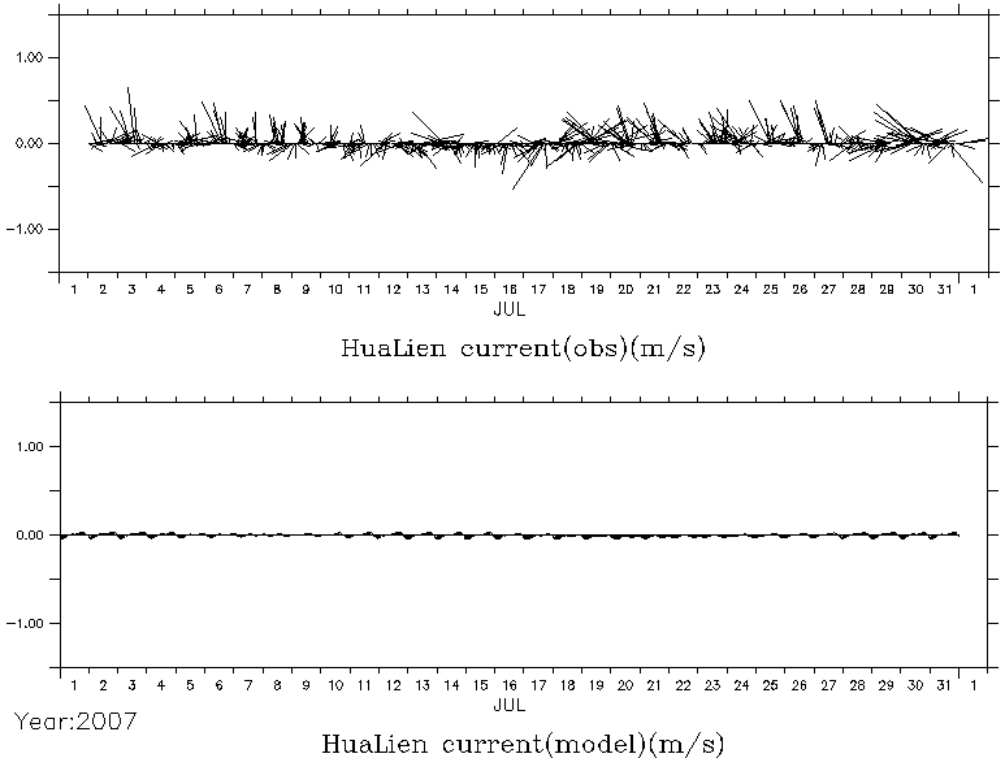


圖 2-4-44 花蓮港 2007 年 7 月模式與實測資料比對圖

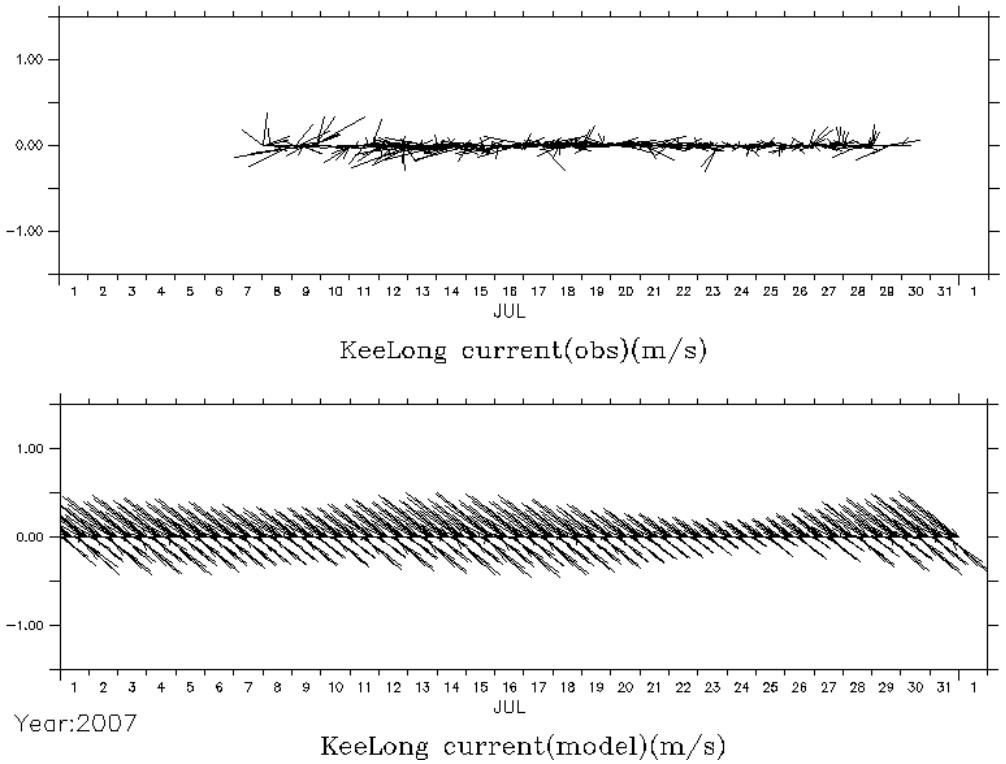


圖 2-4-45 基隆港 2007 年 7 月模式與實測資料比對圖

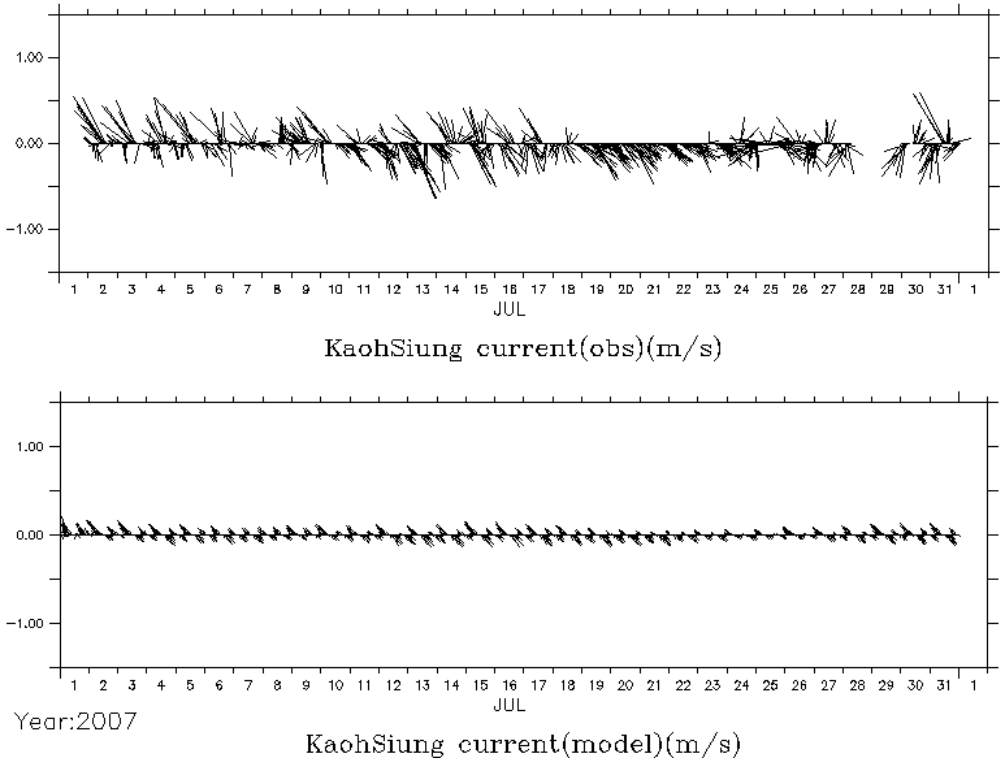


圖 2-4-46 高雄港 2007 年 7 月模式與實測資料比對圖

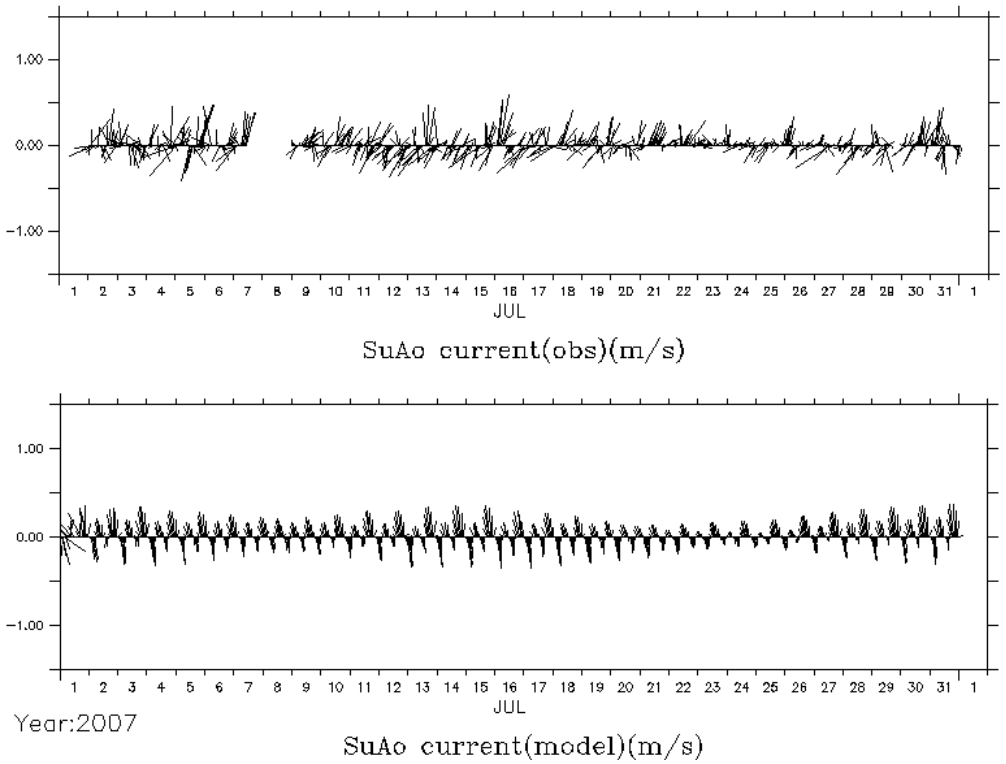


圖 2-4-47 蘇澳港 2007 年 7 月模式與實測資料比對圖

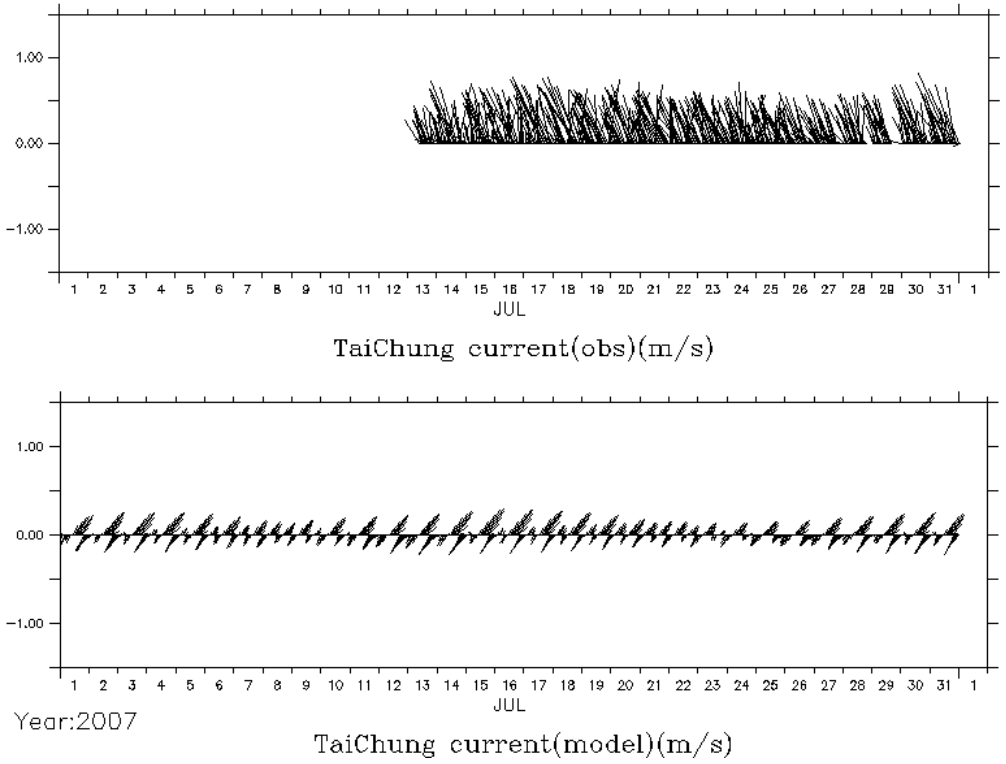


圖 2-4-48 台中港 2007 年 7 月模式與實測資料比對圖

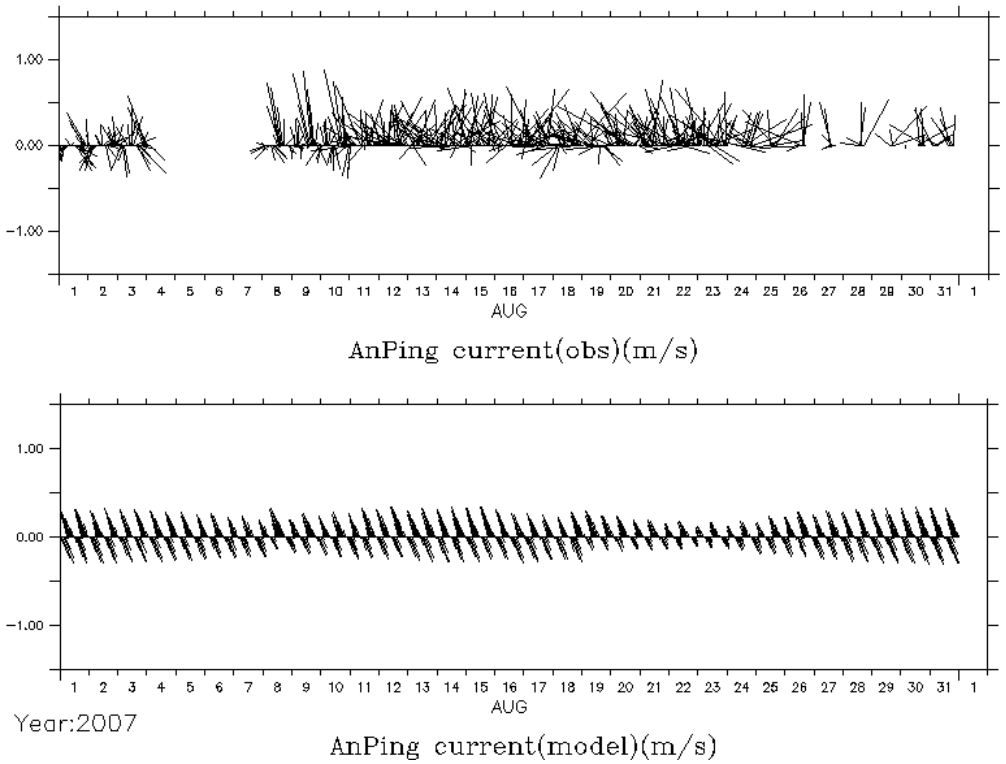


圖 2-4-49 安平港 2007 年 8 月模式與實測資料比對圖

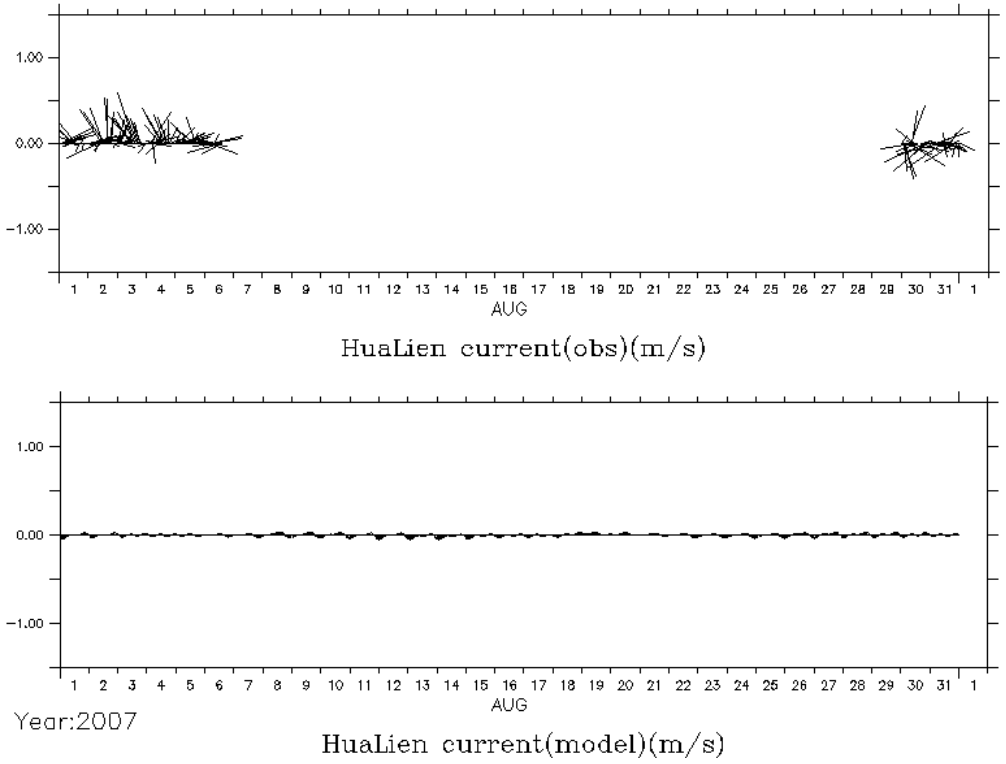


圖 2-4-50 花蓮港 2007 年 8 月模式與實測資料比對圖

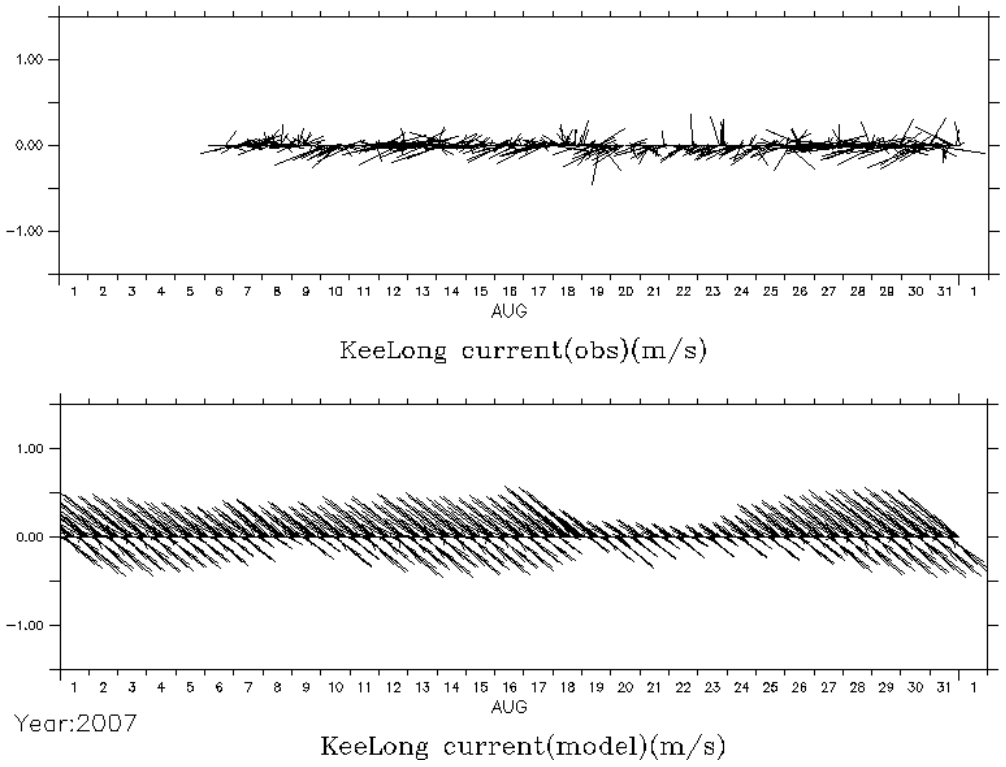


圖 2-4-51 基隆港 2007 年 8 月模式與實測資料比對圖

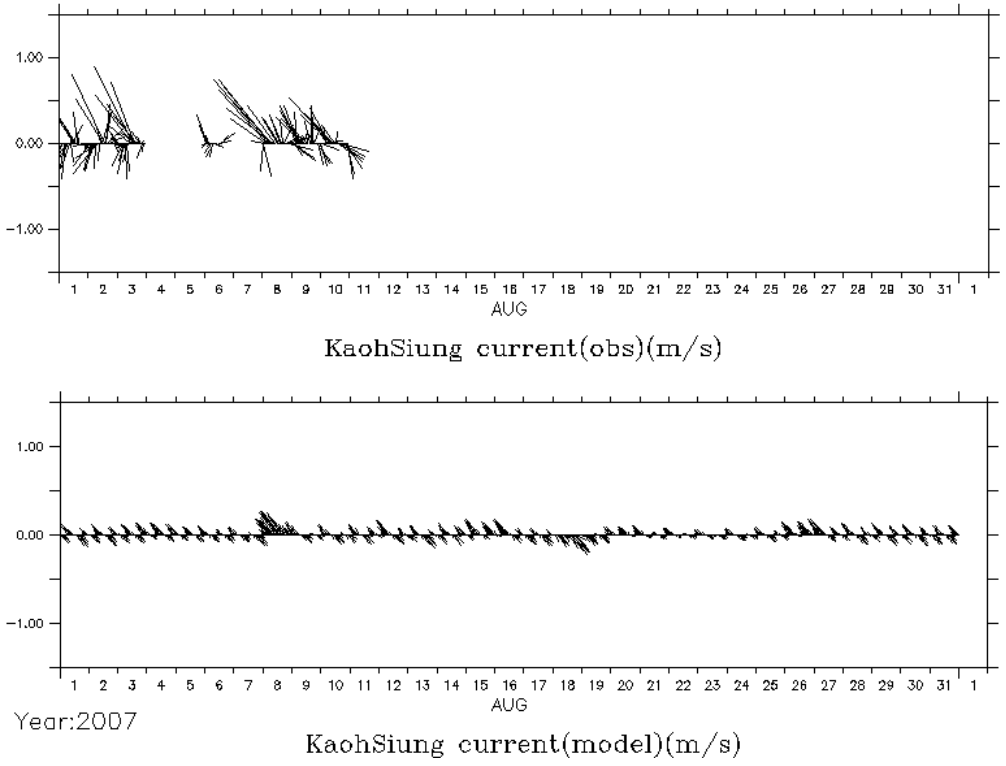


圖 2-4-52 高雄港 2007 年 8 月模式與實測資料比對圖

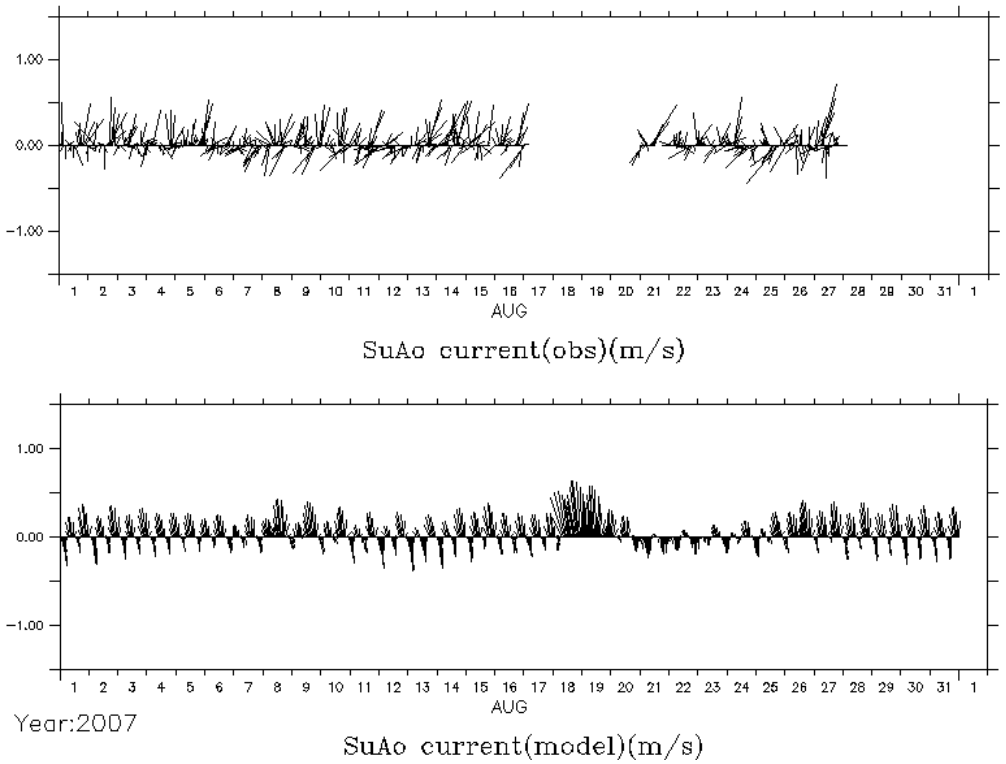


圖 2-4-53 蘇澳港 2007 年 8 月模式與實測資料比對圖

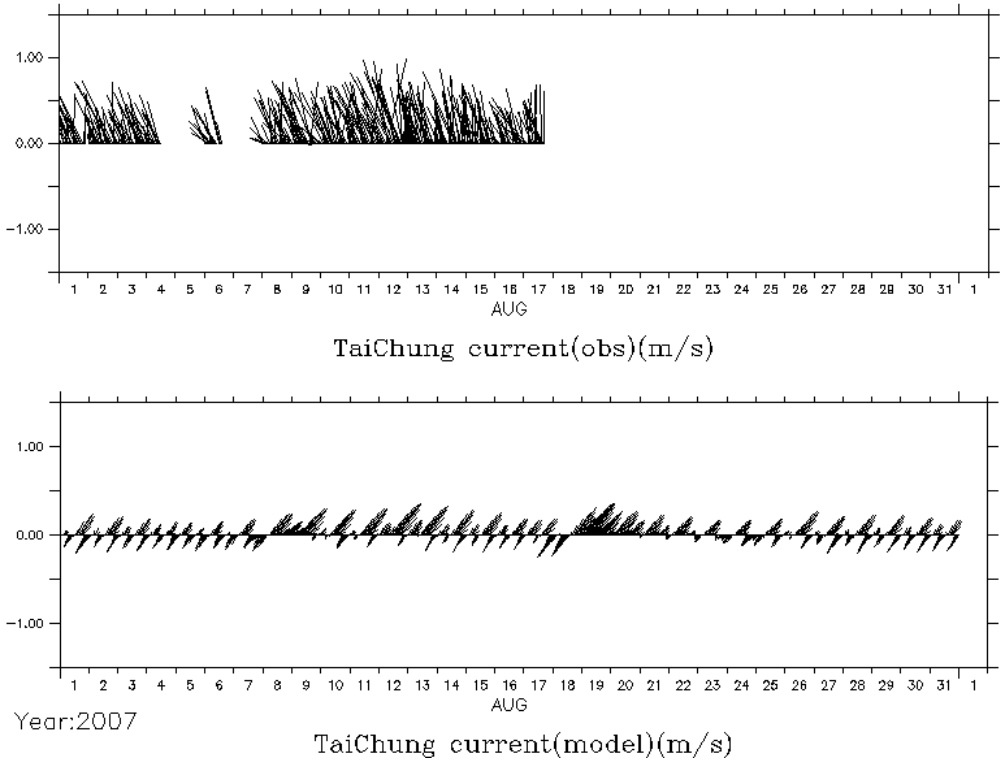


圖 2-4-54 台中港 2007 年 8 月模式與實測資料比對圖

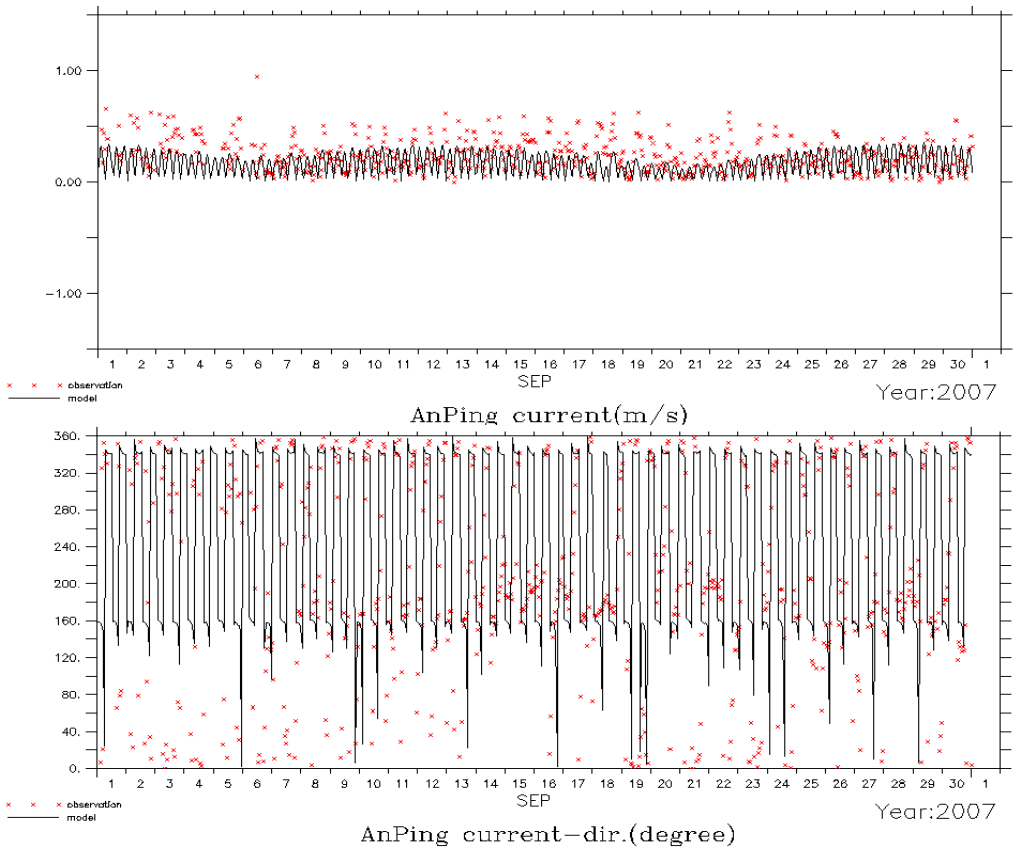


圖 2-4-55 安平港 2007 年 9 月模式與實測資料比對圖

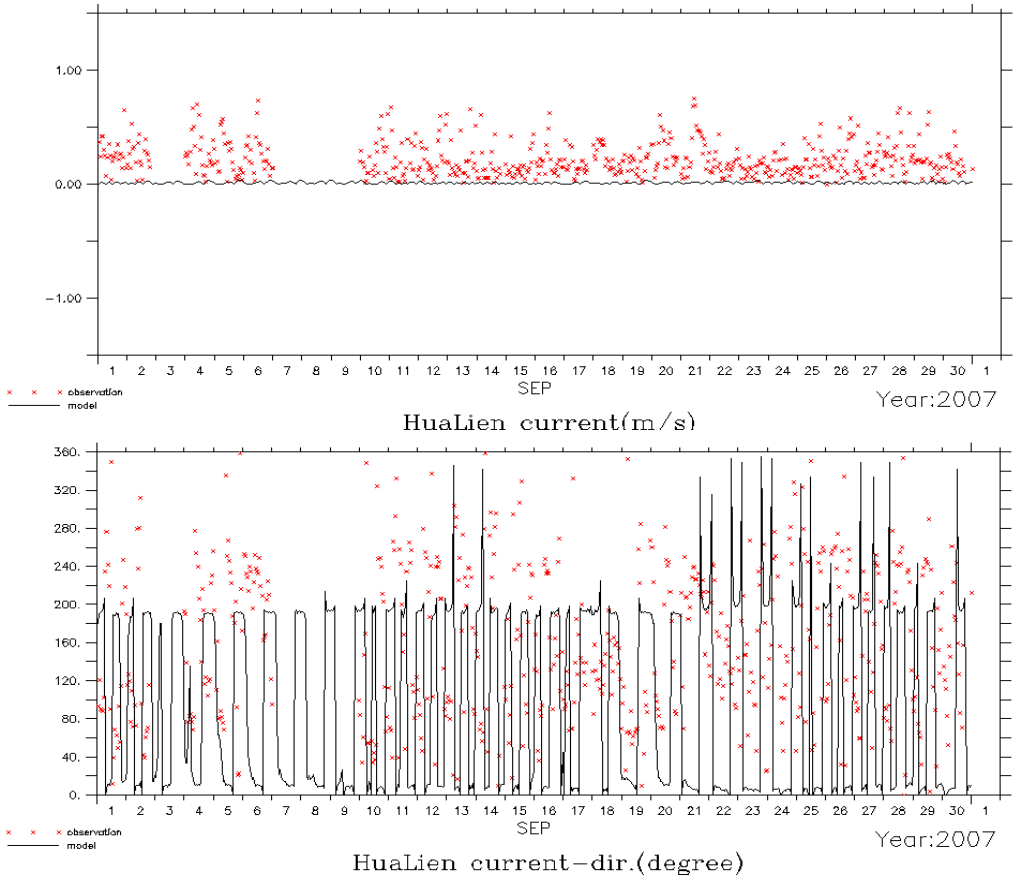


圖 2-4-56 花蓮港 2007 年 9 月模式與實測資料比對圖

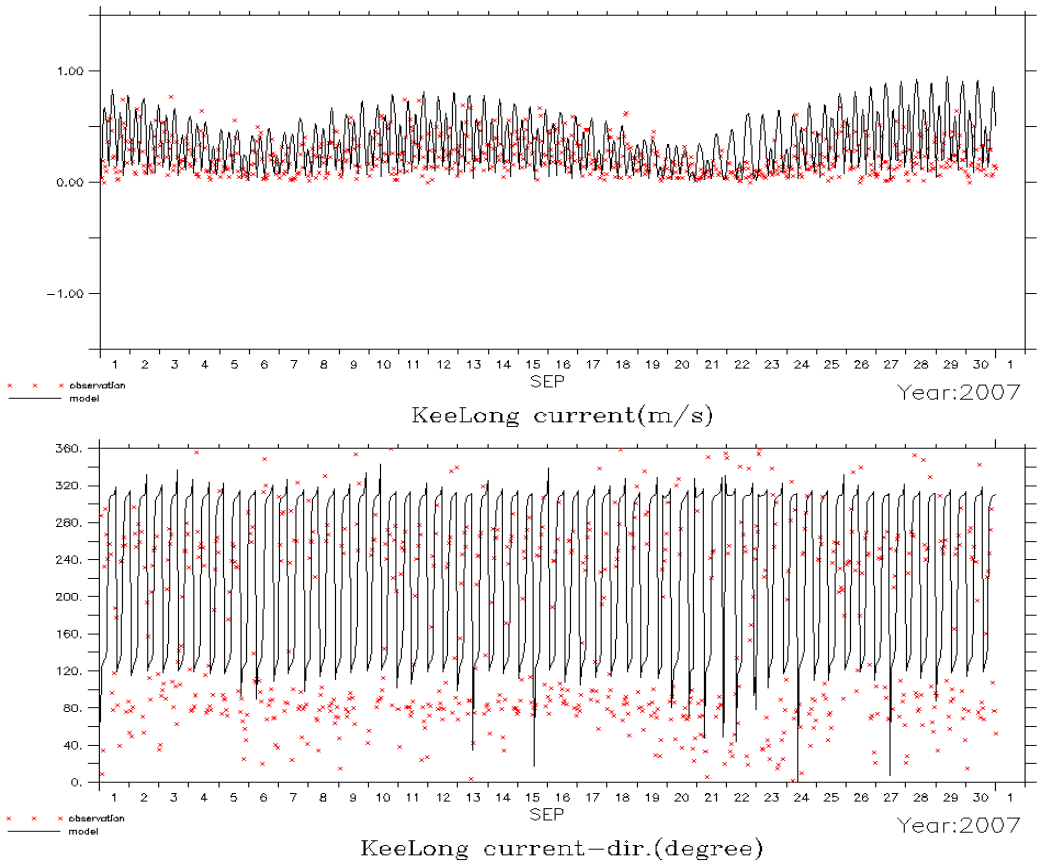


圖 2-4-57 基隆港 2007 年 9 月模式與實測資料比對圖

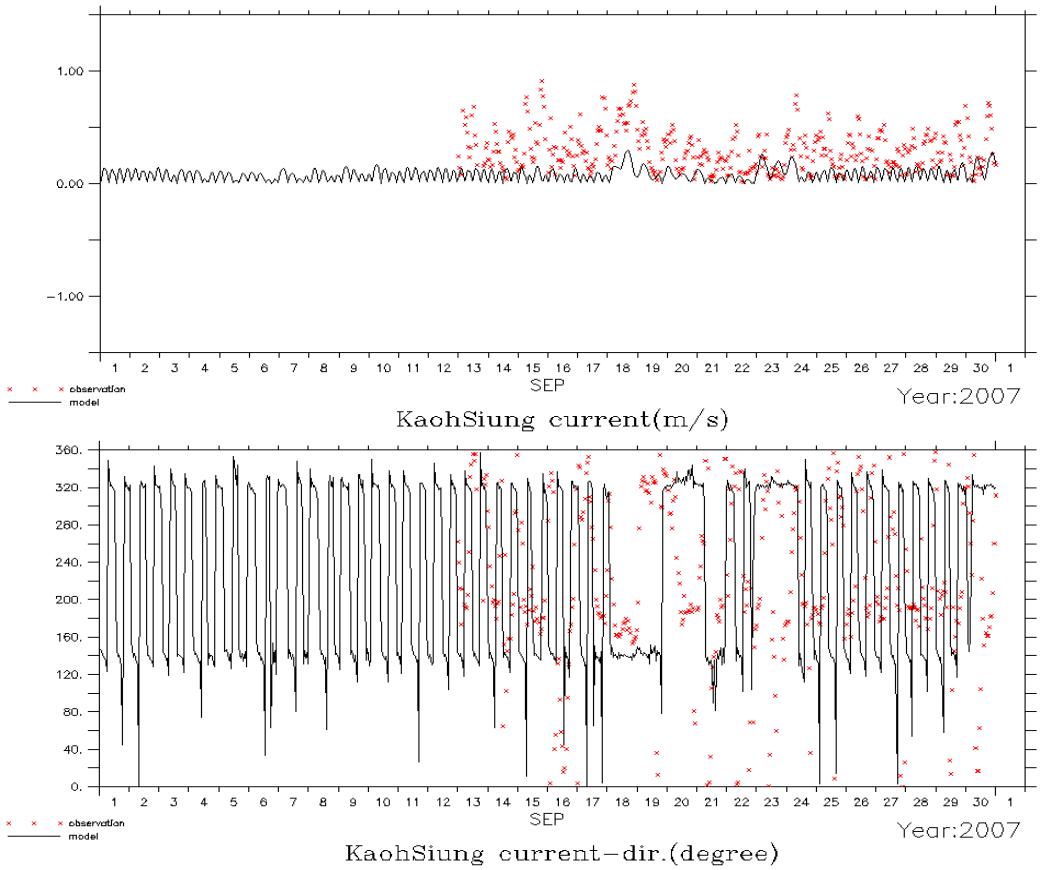


圖 2-4-58 高雄港 2007 年 9 月模式與實測資料比對圖

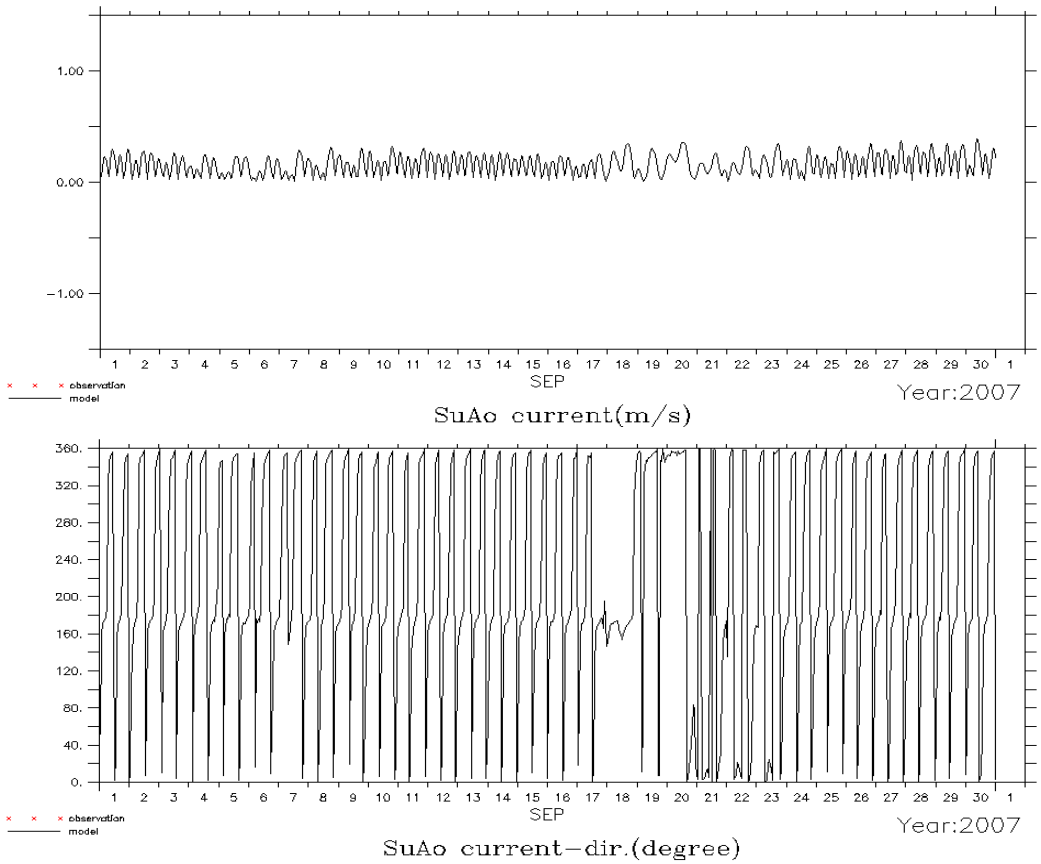


圖 2-4-59 蘇澳港 2007 年 9 月模式與實測資料比對圖

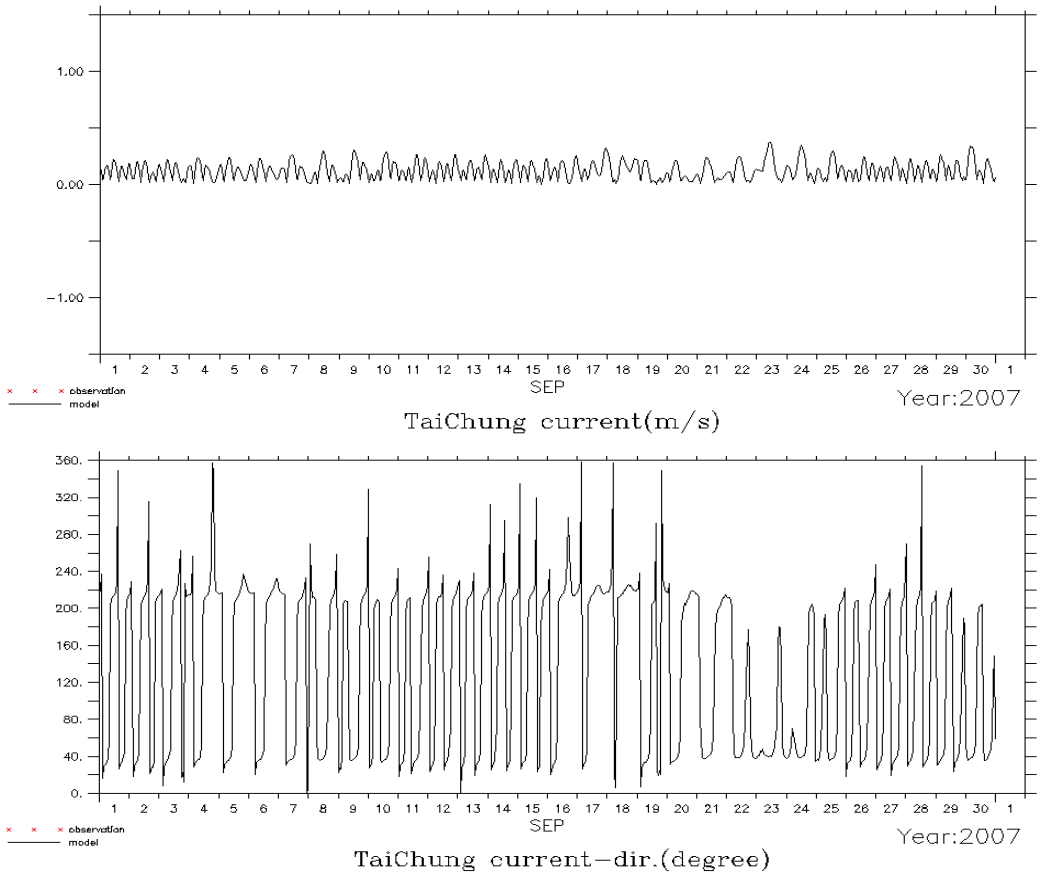


圖 2-4-60 台中港 2007 年 9 月模式與實測資料比對圖

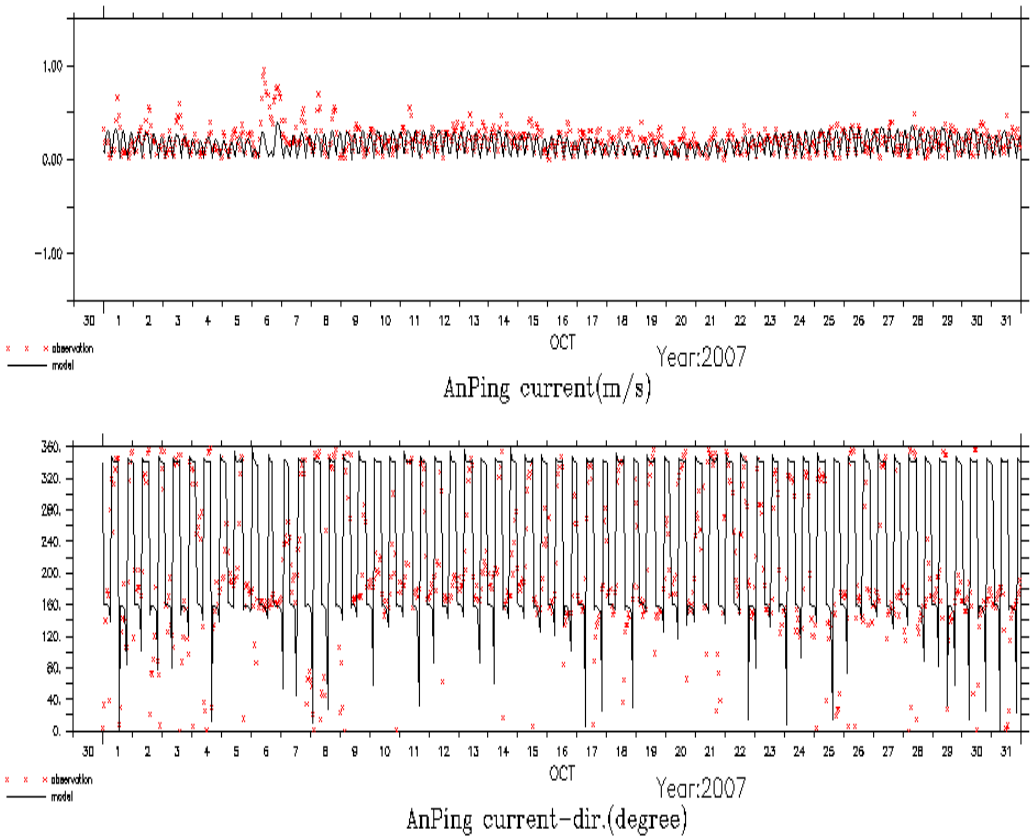


圖 2-4-61 安平港 2007 年 10 月模式與實測資料比對圖

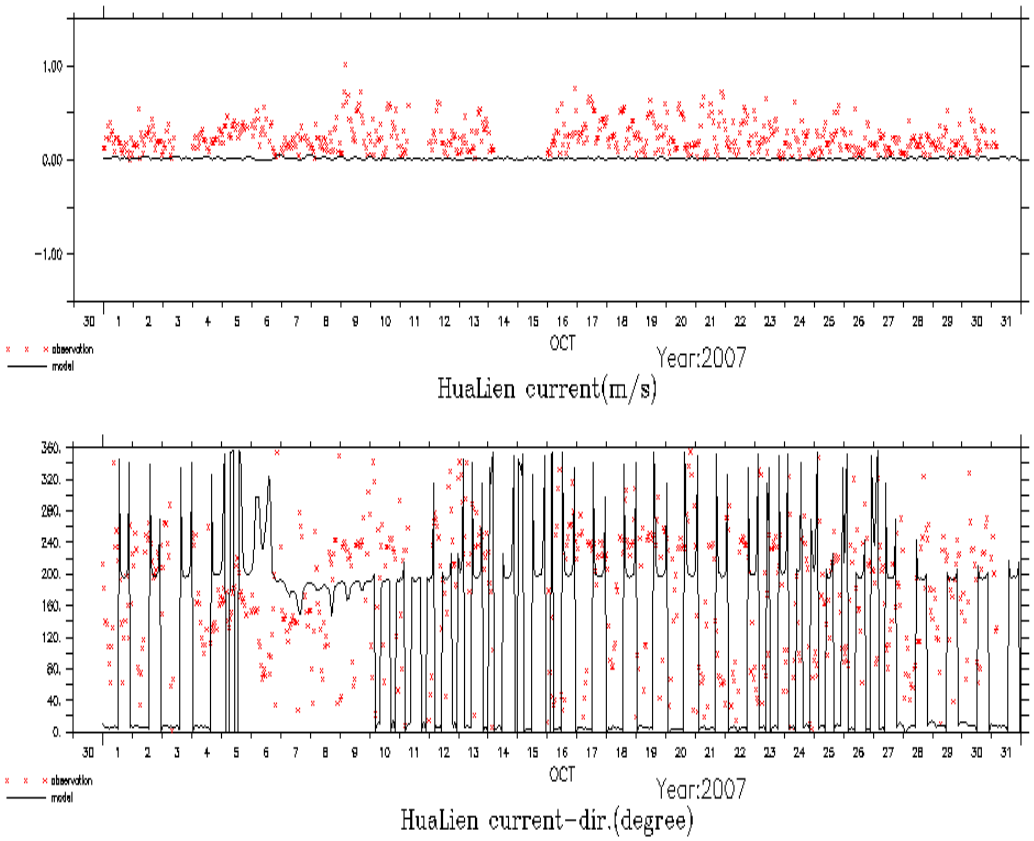


圖 2-4-62 花蓮港 2007 年 10 月模式與實測資料比對圖

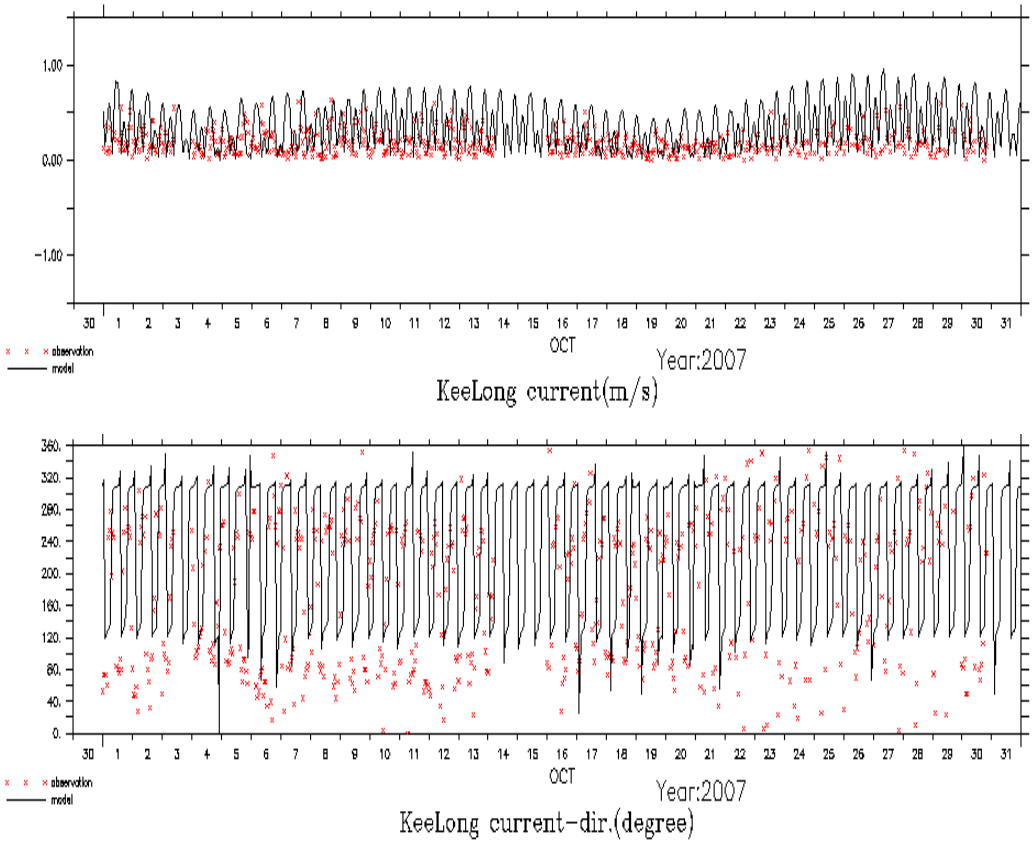


圖 2-4-63 基隆港 2007 年 10 月模式與實測資料比對圖

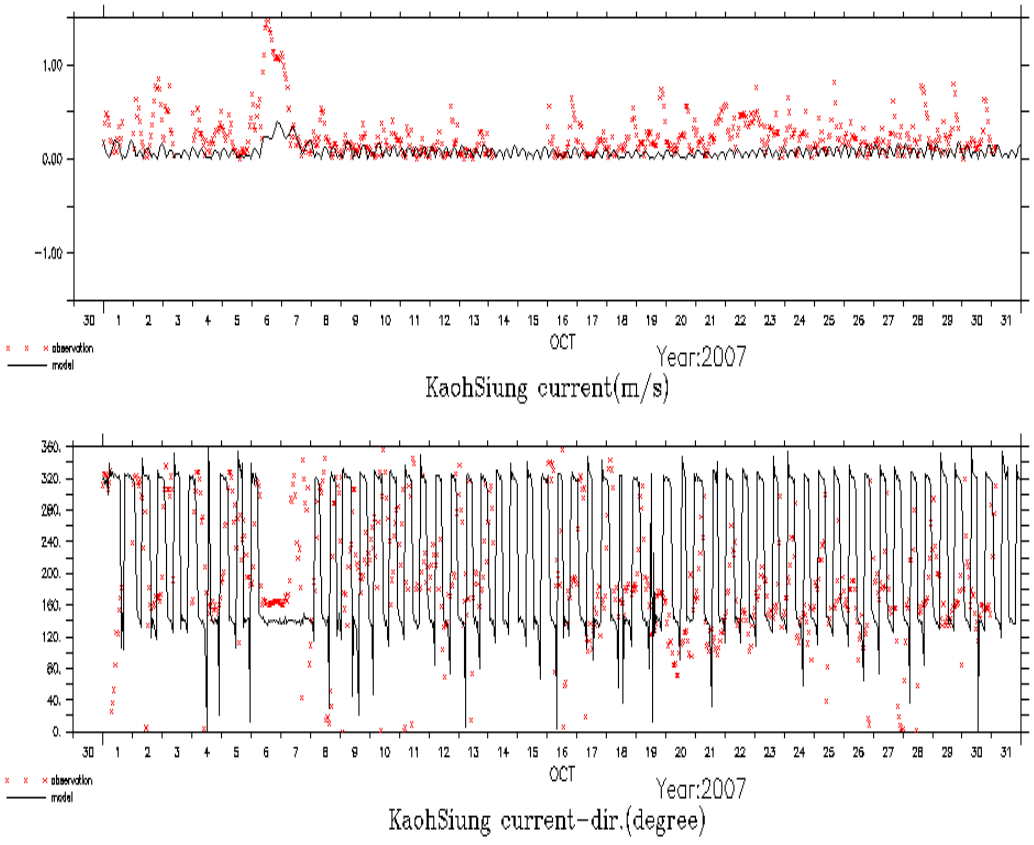


圖 2-4-64 高雄港 2007 年 10 月模式與實測資料比對圖

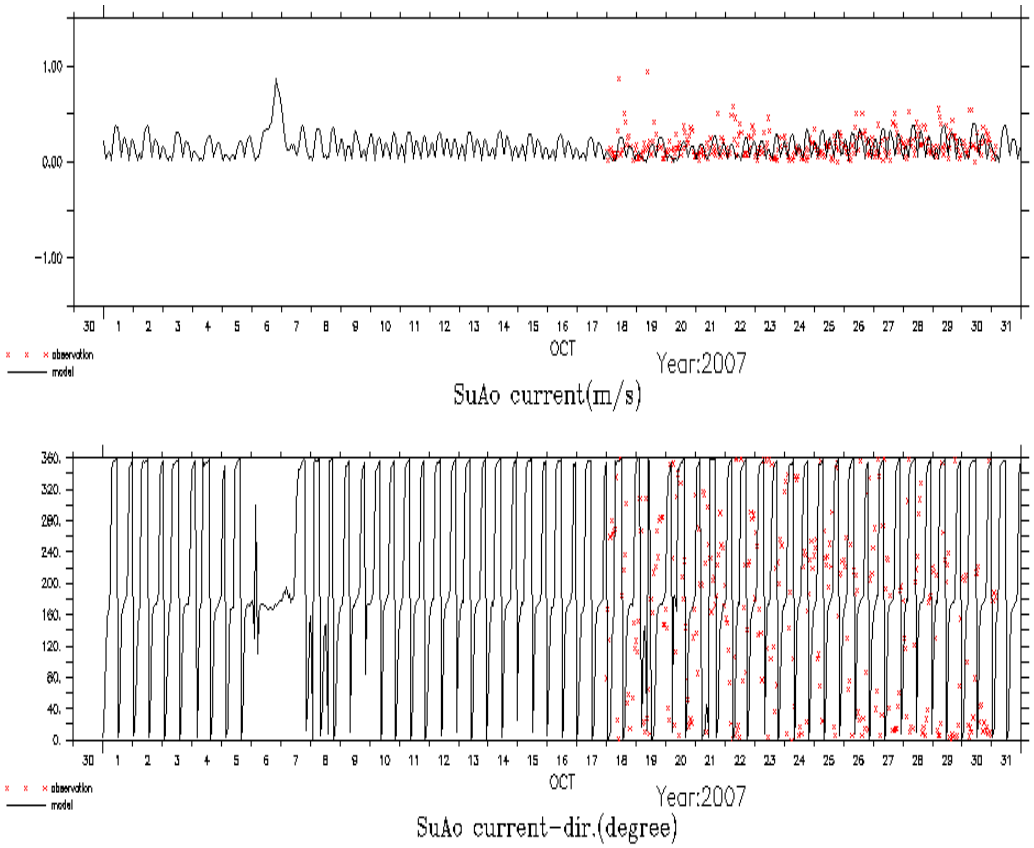


圖 2-4-65 蘇澳港 2007 年 10 月模式與實測資料比對圖

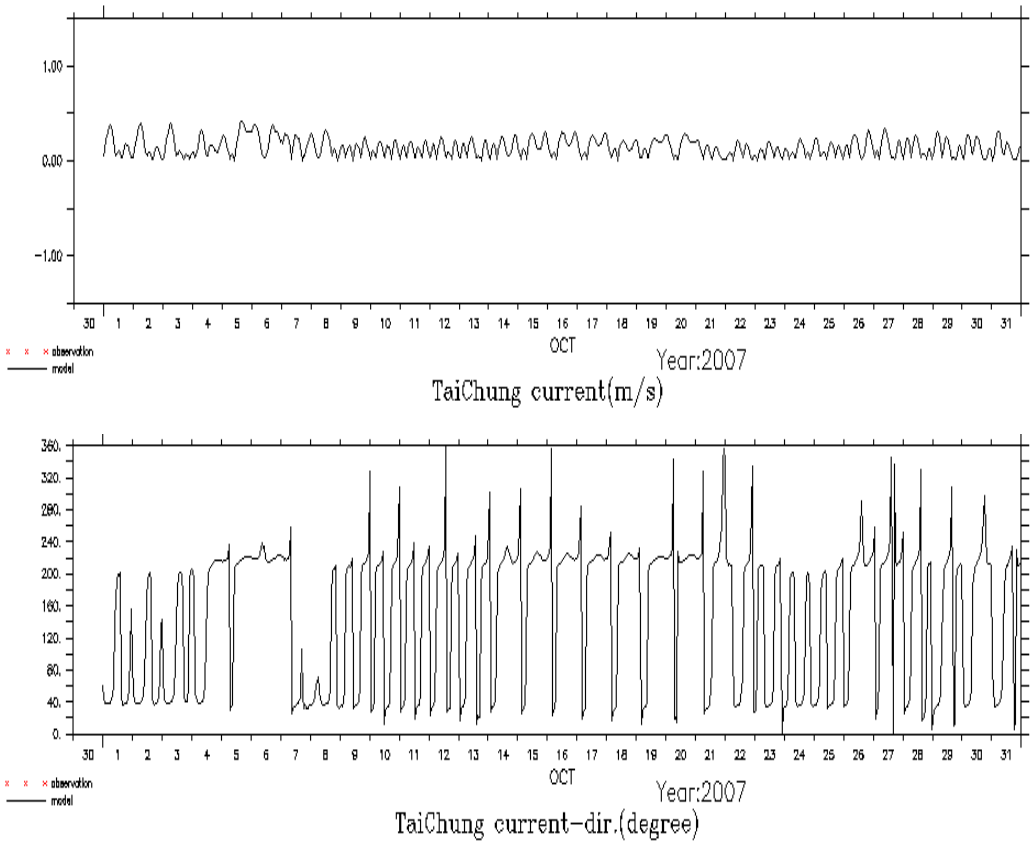


圖 2-4-66 台中港 2007 年 10 月模式與實測資料比對圖

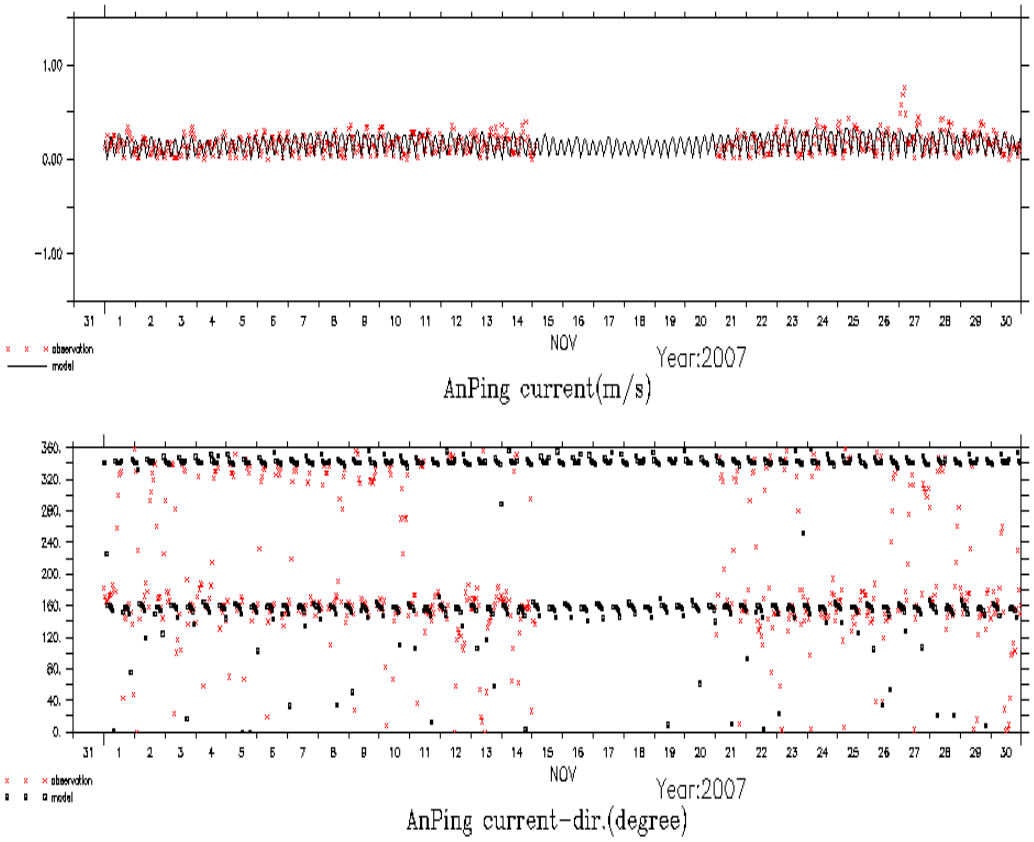


圖 2-4-67 安平港 2007 年 11 月模式與實測資料比對圖

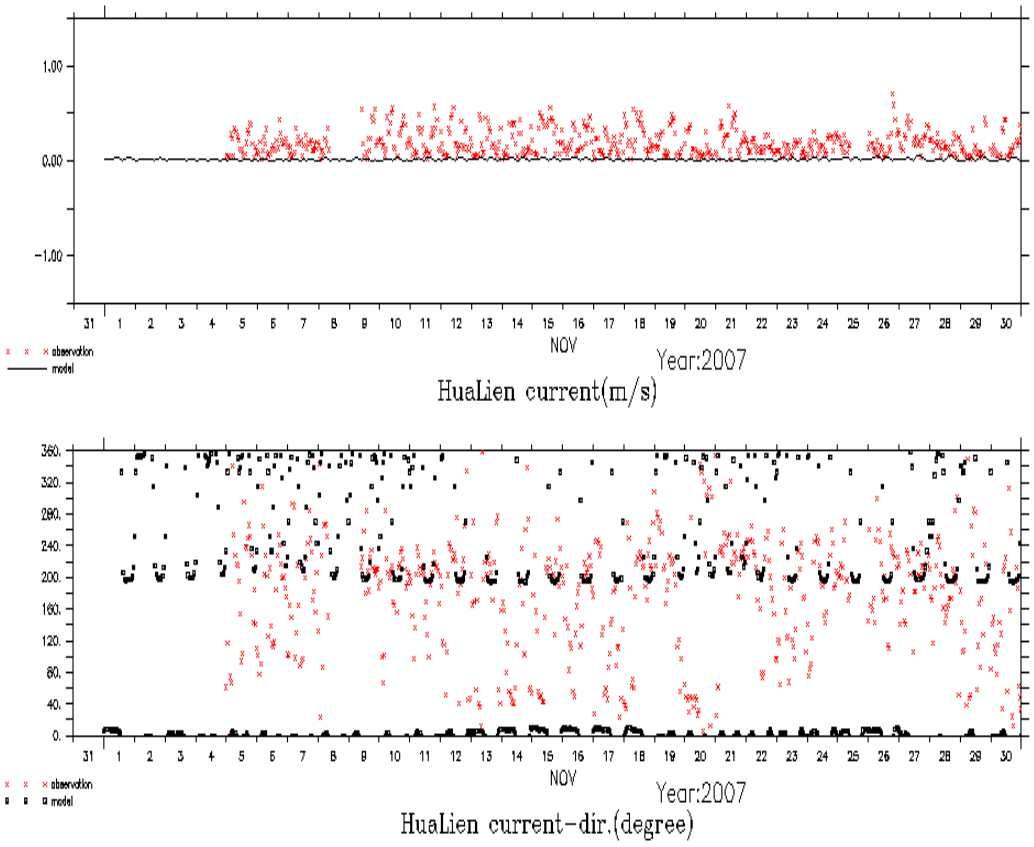


圖 2-4-68 花蓮港 2007 年 11 月模式與實測資料比對圖

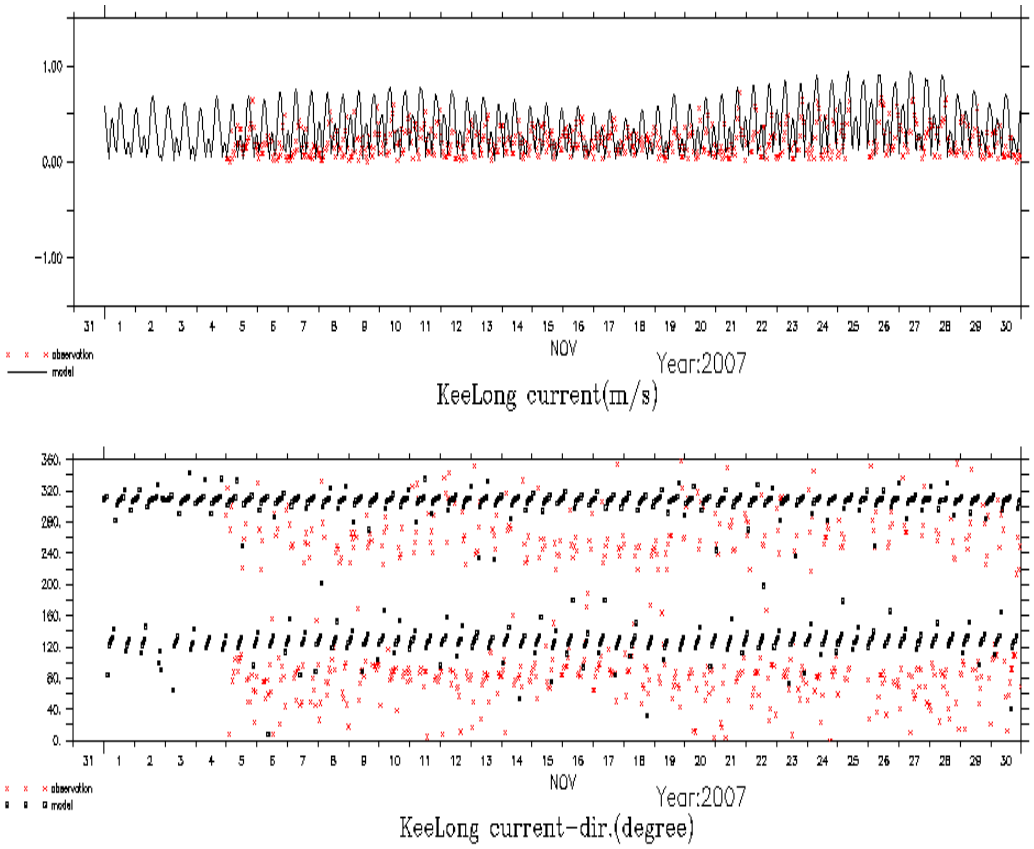


圖 2-4-69 基隆港 2007 年 11 月模式與實測資料比對圖

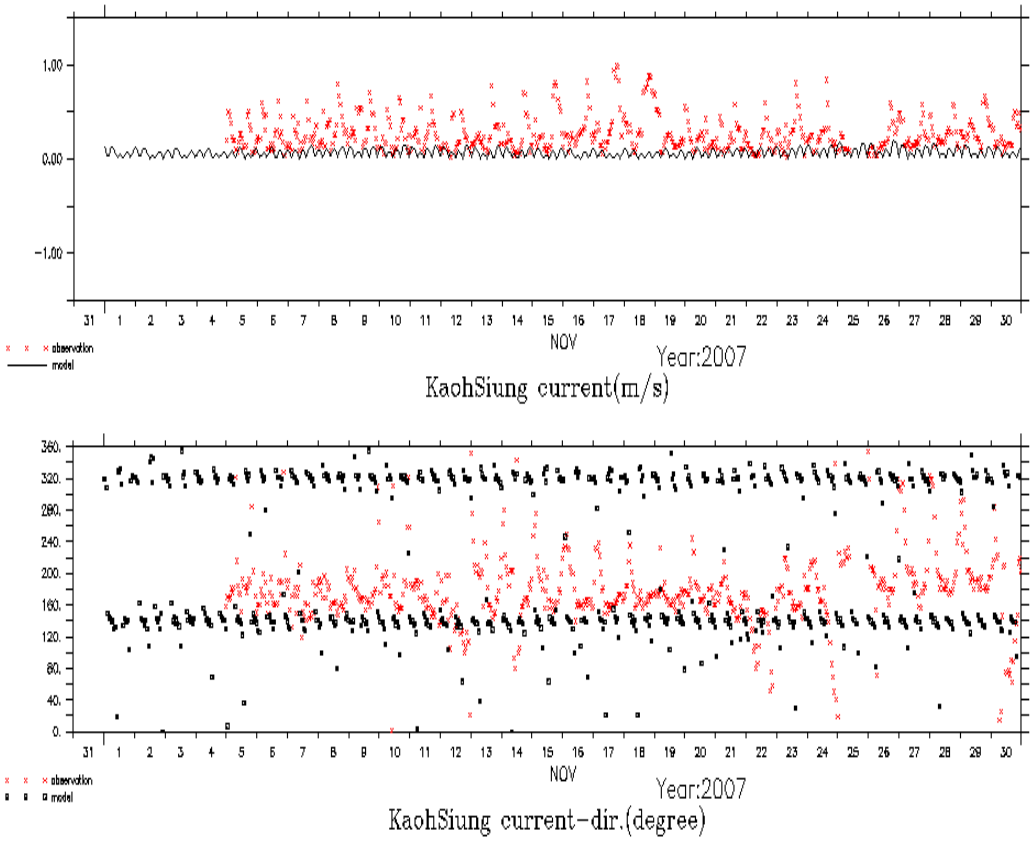


圖 2-4-70 高雄港 2007 年 11 月模式與實測資料比對圖

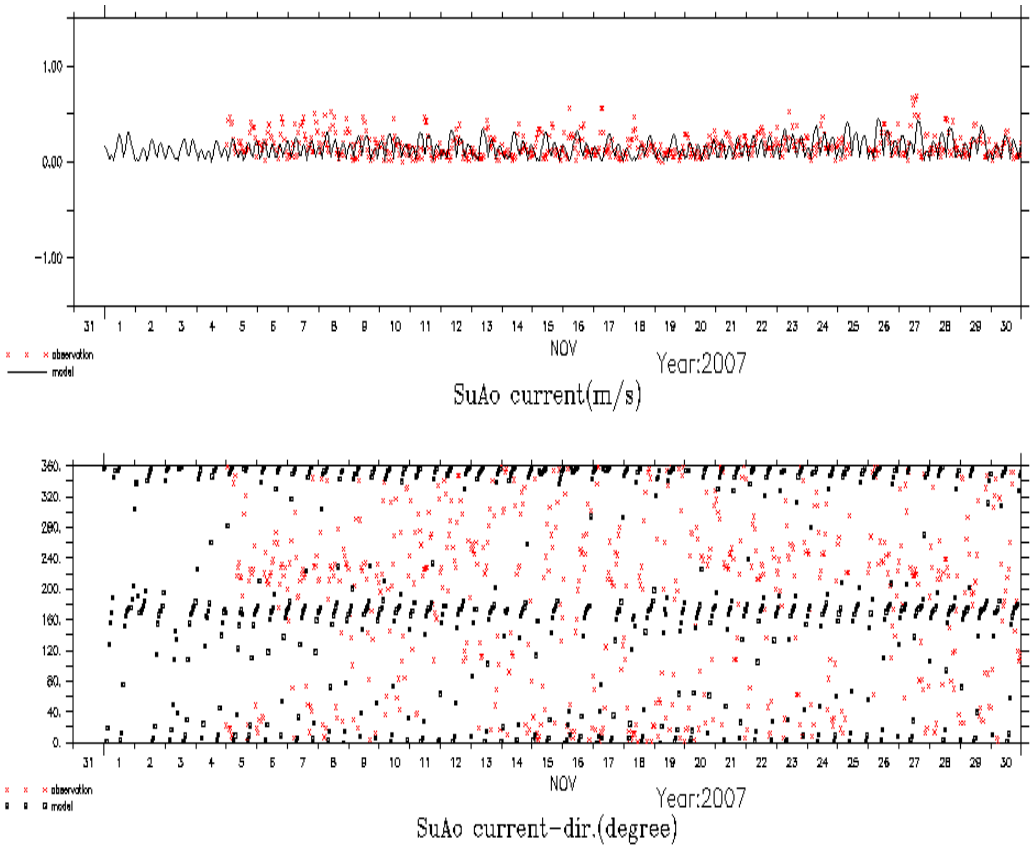


圖 2-4-71 蘇澳港 2007 年 11 月模式與實測資料比對圖

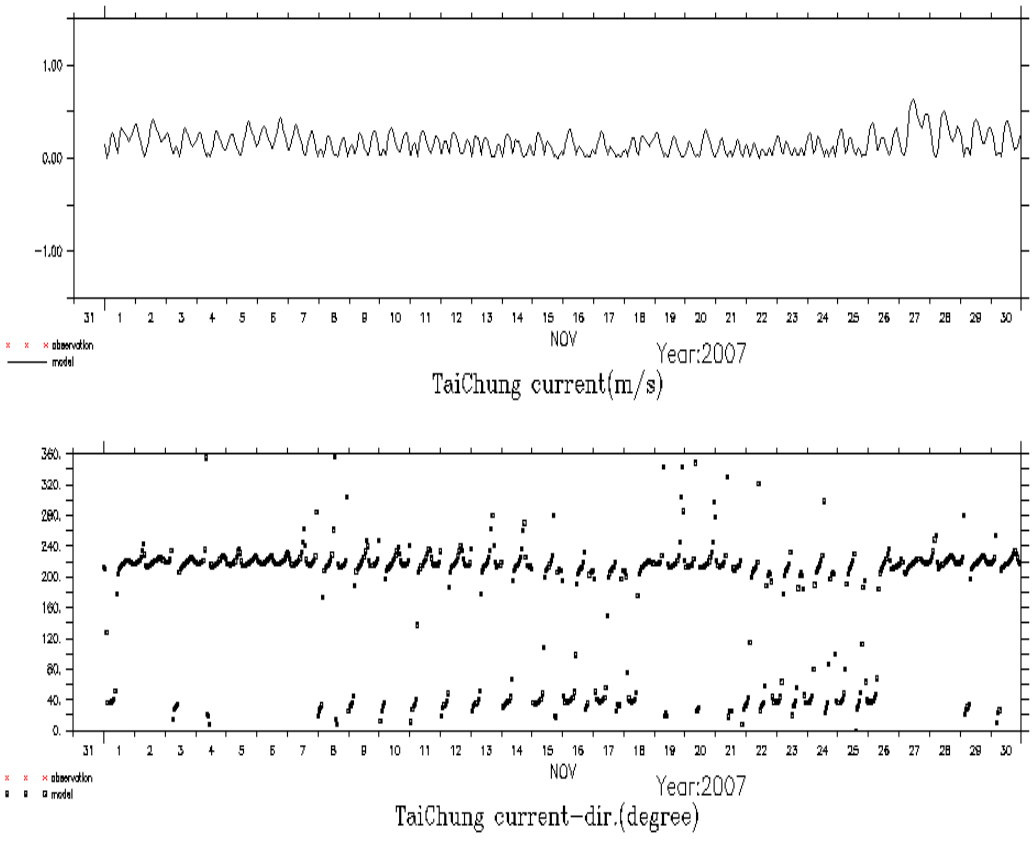


圖 2-4-72 台中港 2007 年 11 月模式與實測資料比對圖

2.5 風速模式成果評估

目前參與預報的模式為中央氣象局 NFS 模式提供的每日預報氣象場，包括 RC(45 公里網格)及 MC(15 公里網格)兩種模式範圍及解析度風場及氣壓場，提供西太平洋(RC)水位、海流、波浪及台灣海域(MC)水位、海流、波浪模式使用。

表 2-5-1~表 2-5-4 為全年四季實測風速與模式水位 r.m.s.的計算統計表，表 2-5-5~表 2-5-5 則為全年四季實測資料蒐集率比數統計，圖 2-5-1 至圖 2-5-81 為全年四季模式與實測水位比對結果圖。

表 2-4-1~表 2-4-4 為本年度全年四季表 2-5-1 為第一季風速實測資料筆數統計表。風速資料在過去的時間資料量皆相當齊全，此季則發生了基隆在 06 年 12 月及 07 年 1 月資料量偏低。第二季以後之實測風速資料統計筆數，表中資料筆數相當完整。

圖 2-5-1 至圖 2-5-72 為全年四季 RC、MC 模式風場與國內主要商港之實測風場比對結果，實測資料除安平為氣象樁資料，其餘測站皆為陸地測站。由比對結果，各測站的模式風速除台中測站實測資料較模式風速為大，安平測暫時測風速與模式風速大小接近外，其餘測站的實測風速接小於模式風速。風向的部份，除台中測站模式風向與實測風向吻合，安平測站有部份差異外，其餘測站模式風向與實測風向關聯性較低。在 RC 及 MC 風場的比較，MC 風場由於解析度比較高，因此在風速的極值上比 RC 高，在風向的部份兩者是類似的。由於目前海上風速的量測資料並不充足，因此只能使用陸測資料進行比對，此部份是模式與實測資料差距較大的原因。

目前參與預報的模式為中央氣象局 NFS 模式提供的每日預報氣象場，包括 RC(45 公里網格)及 MC(15 公里網格)兩種模式範圍及解析度風場及氣壓場，提供西太平洋(RC)水位、海流、波浪及台灣海域(MC)水位、海流、波浪模式使用。由於氣象局動態風場範圍較大，且並未考慮地形的影響，因此利用港區的風速資料進行比對，比對結果比較不好，因此評估另採用外島測站進行評估。本次取得三個氣象局外島測站的風速資料，包括東吉島、彭佳嶼以及蘭嶼，比對期間為 2007 年 5 月至 7 月，比對結果如圖 2-5-73 至圖 2-5-81。

外島觀測資料比對可發現，模式結果在風速上，皆有高估的現象，但整體的趨勢跟實測資料相吻合，而 RC 模式結果又比 RC 結果

大；在風向比對部份，模式與實測資料大致皆吻合，模式風向與實測風向差異不大，又以彭佳嶼測站比對結果最好。

表 2-5-1 第一季實測風速與模式風速 r.m.s.值計算(單位：公尺/秒)

		安平	花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2006 年 12 月	mc	3.5	4.03	3.15	2.75	4.82	5.86
	rc	3.51	2.9	3.17	3.77	5.2	7.76
2007 年 01 月	mc	2.63	4.57	3.73	3.40	4.79	5.43
	rc	3.1	2.67	3.71	3.39	4.89	7.7
2007 年 02 月	mc	3.7	3.58	3.15	2.57	3.99	5.15
	rc	3.95	2.45	3.02	2.74	3.87	6.36

表 2-5-2 第二季實測風速與模式風速 r.m.s.值計算(單位：公尺/秒)

		安平	花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2007 年 03 月	mc	2.91	2.70	2.44	2.35	2.68	5.60
	rc	3.04	2.14	2.57	3.11	3.49	6.91
2007 年 04 月	mc	2.89	2.51	2.49	2.32	2.5	5.35
	rc	3.17	2.19	2.52	2.98	3.19	6.53
2007 年 05 月	mc	1.98	1.98	2.59	2.16	2.18	3.12
	rc	2.37	1.87	2.46	2.68	2.62	3.66

表 2-5-3 第三季實測風速與模式風速 r.m.s.值計算(單位：公尺/秒)

		安平	花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2007 年 06 月	mc	2.8	2.33	1.8	2.11	2.23	3.13
	rc	2.69	2.21	2.25	3.22	2.24	4.04
2007 年 07 月	mc	2.41	2.34	2.16	2.30	2.30	2.70
	rc	2.75	1.83	2.64	2.86	2.56	3.33
2007 年 08 月	mc	3.79	3.24	3.06	3.66	2.93	3.21
	rc	3.72	3.38	3.54	4.15	4.03	3.56

表 2-5-4 第四季實測風速與模式風速 r.m.s.值計算(單位：公尺/秒)

		安平	花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2007 年 09 月	mc	3.19	2.35	3.06	3.80	2.84	5.27
	rc	3.47	2.37	3.08	4.03	3.65	6.03
2007 年 10 月	mc	2.94	3.37	3.73	3.63	3.10	6.73
	rc	2.79	2.91	4.40	5.63	4.62	8.67
2007 年 11 月	mc	3.68	3.82	3.06	1.61	3.49	7.75
	rc	2.78	2.95	3.70	4.92	5.57	10.26

表 2-5-5　第一季各月份實測風速資料筆數統計

		安平	花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2006 年 12 月	應到筆數	743	743	743	743	743	743
	實到筆數	742	743	350	743	743	743
	百分率	99.87	100	47.11	100	100	100
2007 年 01 月	應到筆數	743	743	743	743	743	743
	實到筆數	742	743	38	743	743	743
	百分率	99.87	100	5.11	100	100	100
2007 年 02 月	應到筆數	671	671	671	671	671	671
	實到筆數	671	671	671	671	671	671
	百分率	100	100	100	100	100	100

表 2-5-6　第二季各月份實測風速資料筆數統計

		安平	花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2007 年 3 月	應到筆數	743	743	743	743	743	743
	實到筆數	743	743	743	743	743	742
	百分比	100	100	100	100	100	99.9
2007 年 4 月	應到筆數	719	719	719	719	719	719
	實到筆數	719	719	719	719	719	715
	百分比	100	100	100	100	100	99.4
2007 年 5 月	應到筆數	743	743	743	743	743	743
	實到筆數	743	743	743	743	743	743
	百分比	100	100	100	100	100	100

表 2-5-7　第三季各月份實測風速資料筆數統計

		安平	花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2007 年 6 月	應到筆數	720	720	720	720	720	720
	實到筆數	719	719	719	719	719	718
	百分比	99	99	99	99	99	99
2007 年 7 月	應到筆數	744	744	744	744	744	744
	實到筆數	742	743	743	743	743	743
	百分比	99	99	99	99	99	99
2007 年 8 月	應到筆數	743	743	743	743	743	743
	實到筆數	743	743	743	742	735	743
	百分比	100	100	100	99	98	100

表 2-5-8　第四季各月份實測風速資料筆數統計

		安平	花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2007 年 09 月	應到筆數	720	720	720	720	720	720
	實到筆數	718	719	719	717	719	719
	百分率	99.72	99.87	99.87	99.5	99.87	99.87
2007 年 10 月	應到筆數	744	744	744	744	744	744
	實到筆數	743	743	499	742	731	737
	百分率	99.87	99.87	67.07	99.73	98.25	99.06
2007 年 11 月	應到筆數	720	720	720	720	720	720
	實到筆數	719	373	648	719	719	697
	百分率	99.87	51.81	90	99.87	99.87	96.8

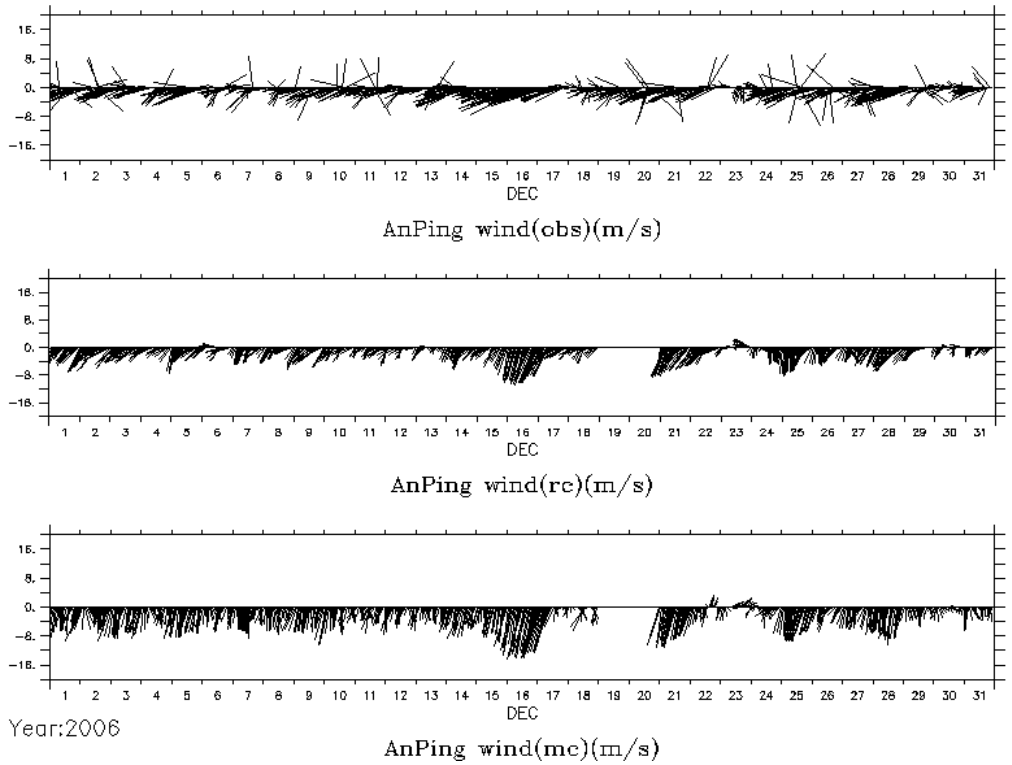


圖 2-5-1　安平港 2006 年 12 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

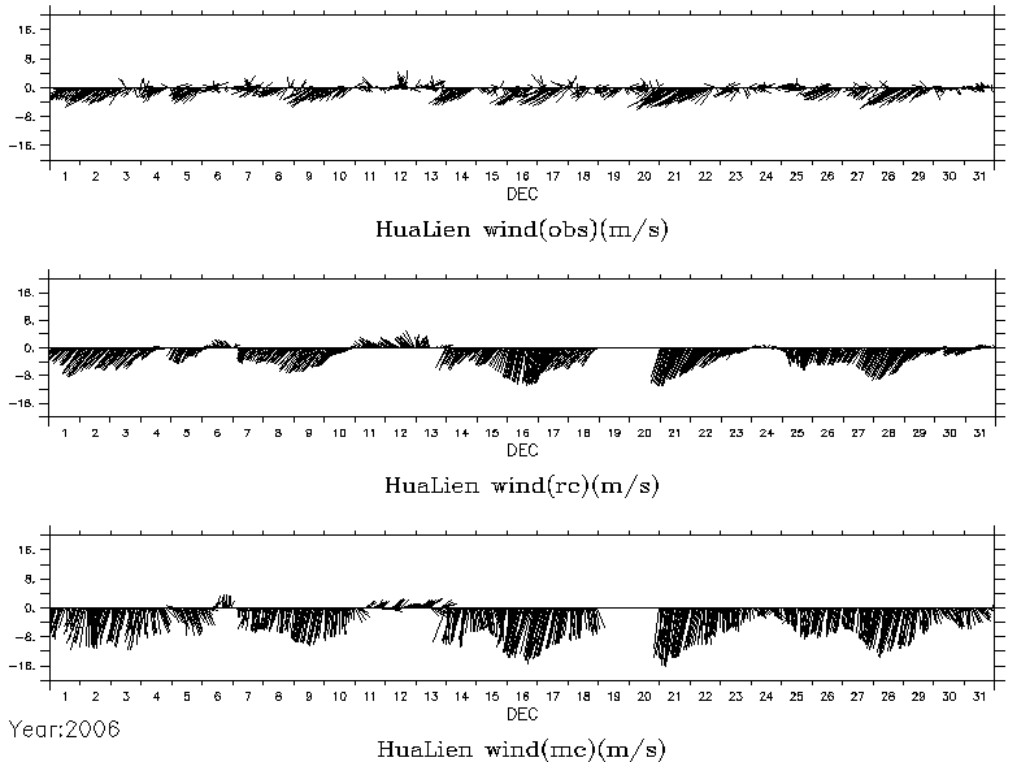


圖 2-5-2　花蓮港 2006 年 12 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

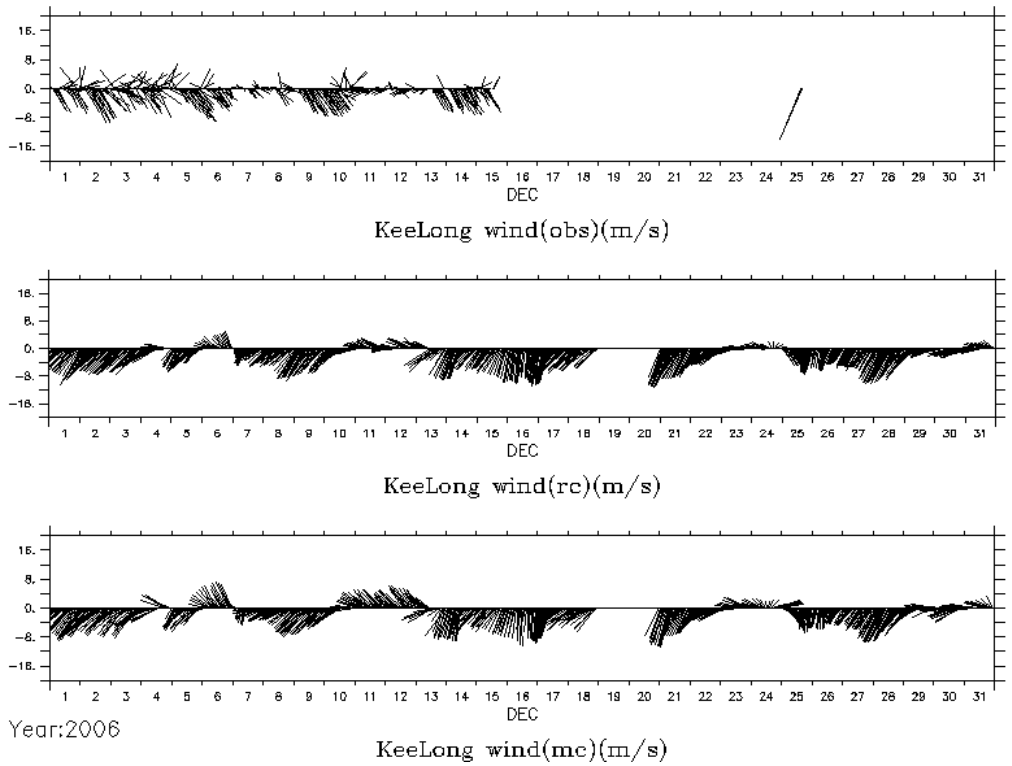


圖 2-5-3　基隆港 2006 年 12 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

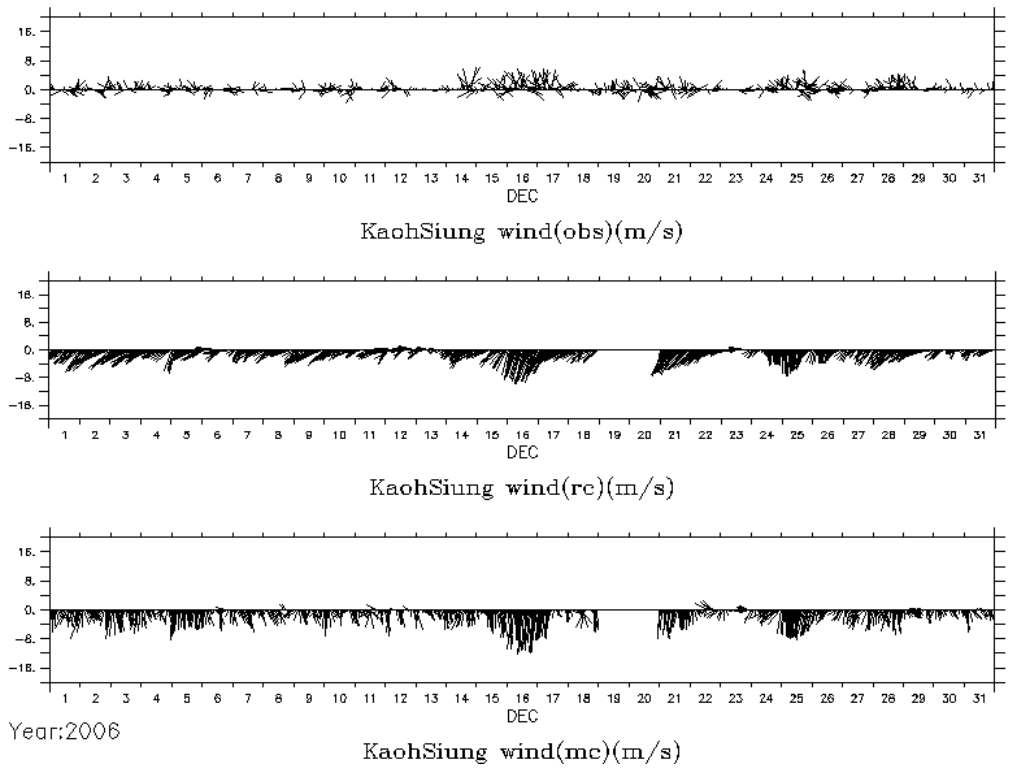


圖 2-5-4　高雄港 2006 年 12 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

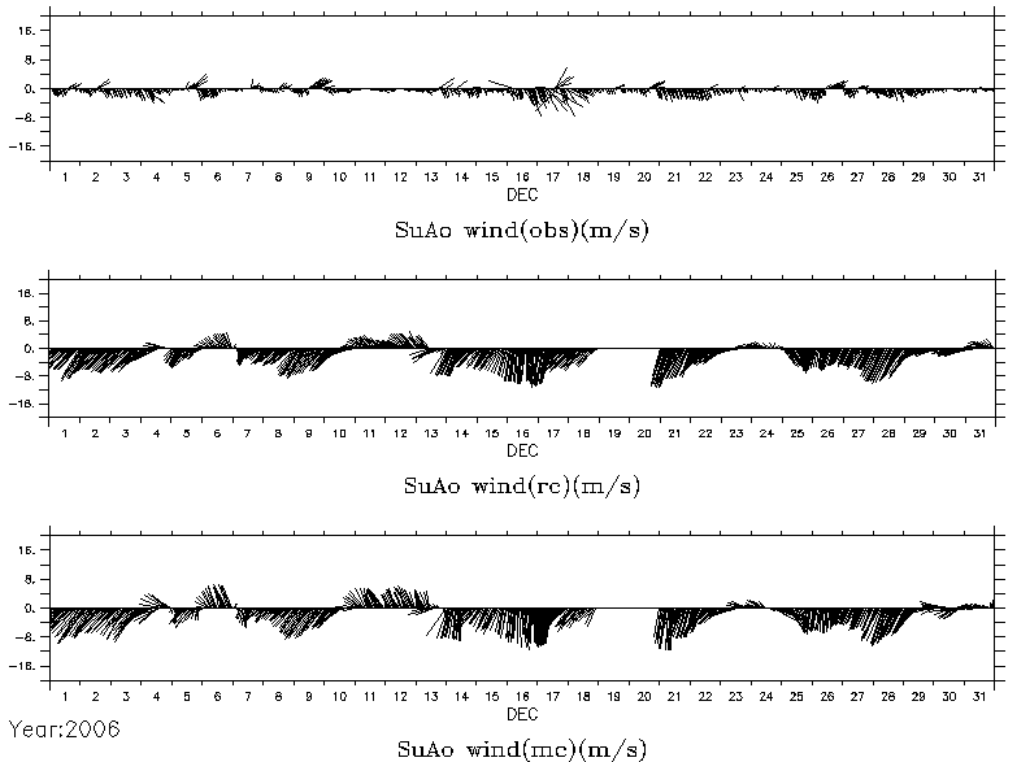


圖 2-5-5　蘇澳港 2006 年 12 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

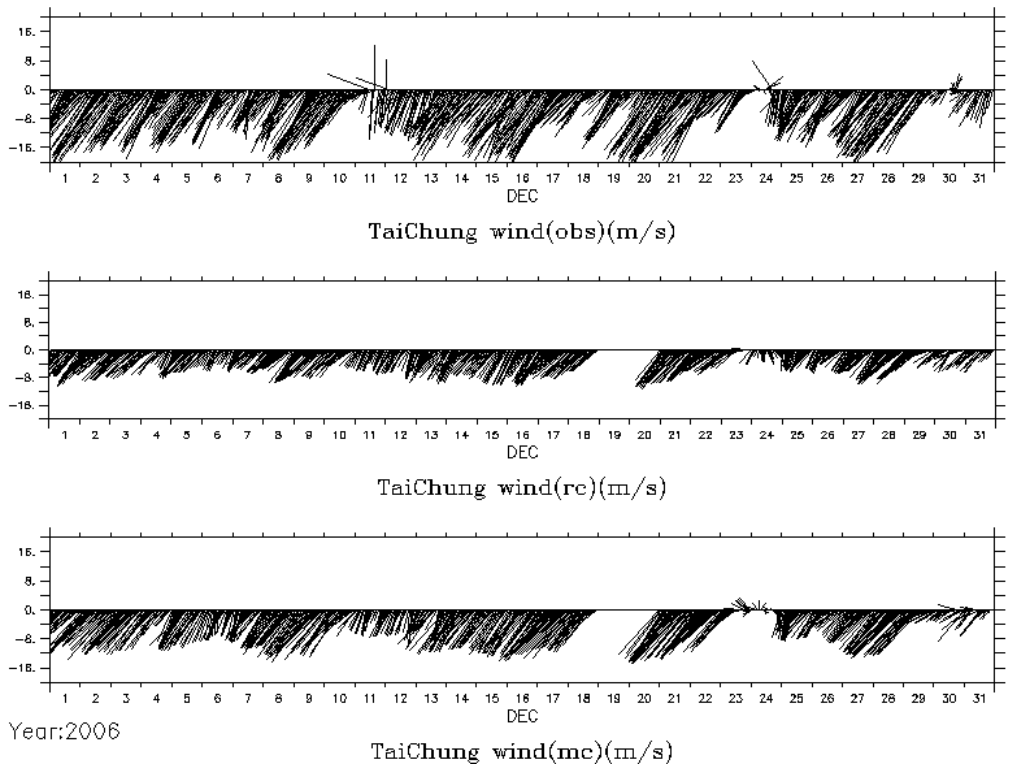


圖 2-5-6　台中港 2006 年 12 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

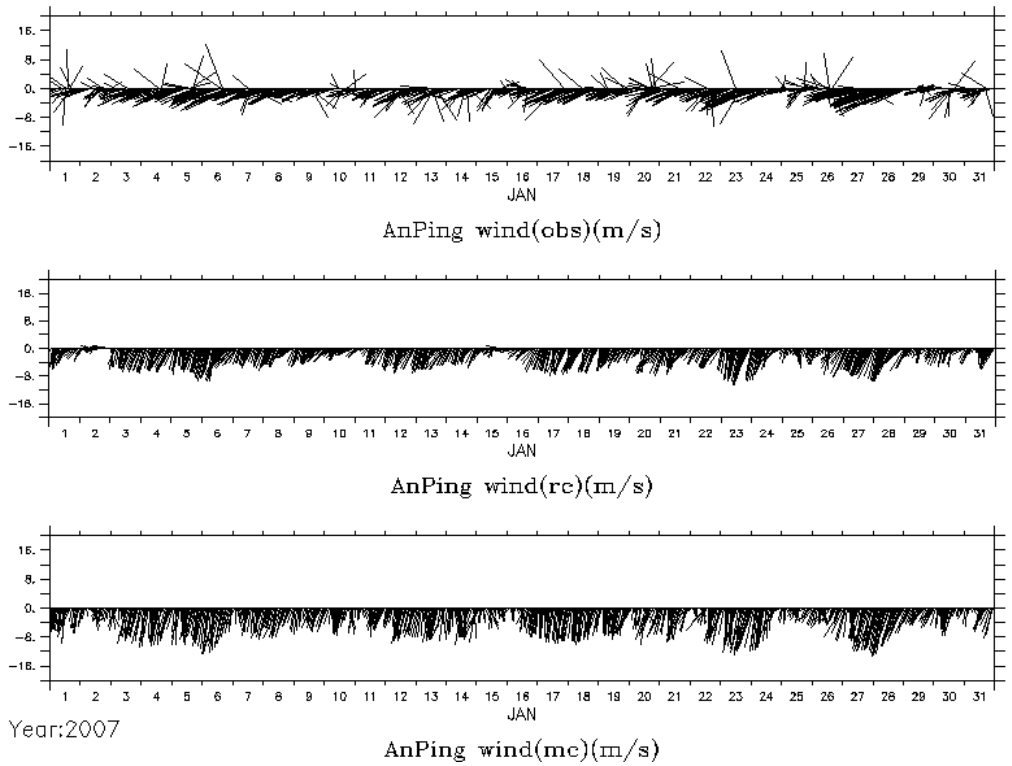


圖 2-5-7　安平港 2007 年 1 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

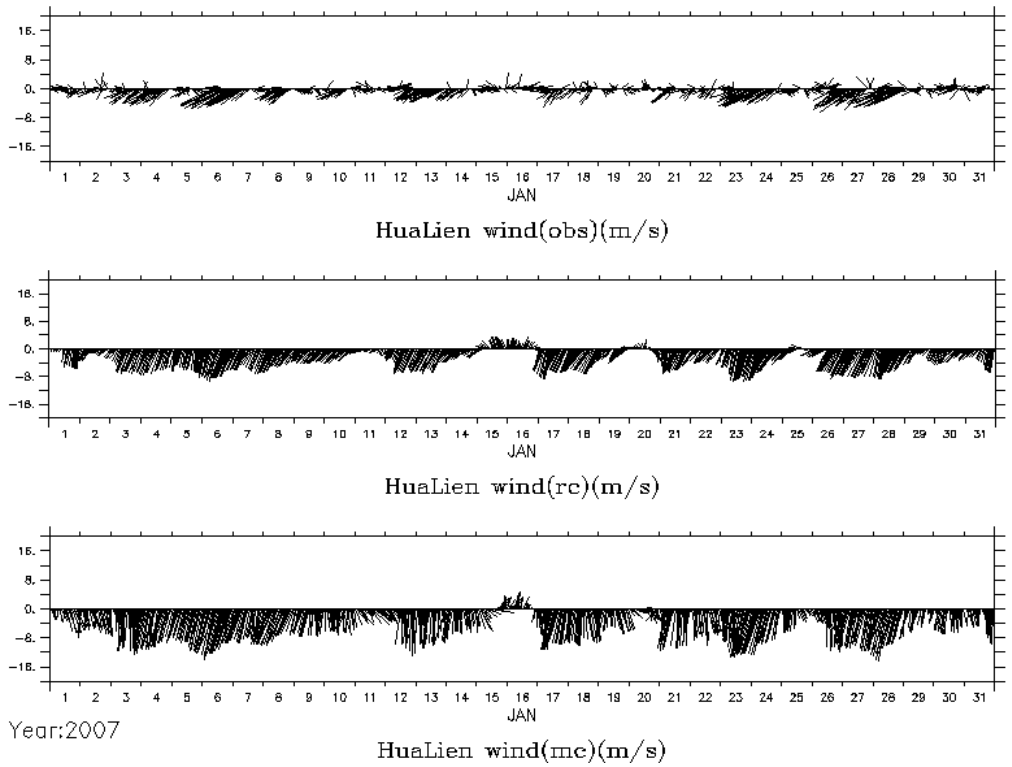


圖 2-5-8　花蓮港 2007 年 1 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

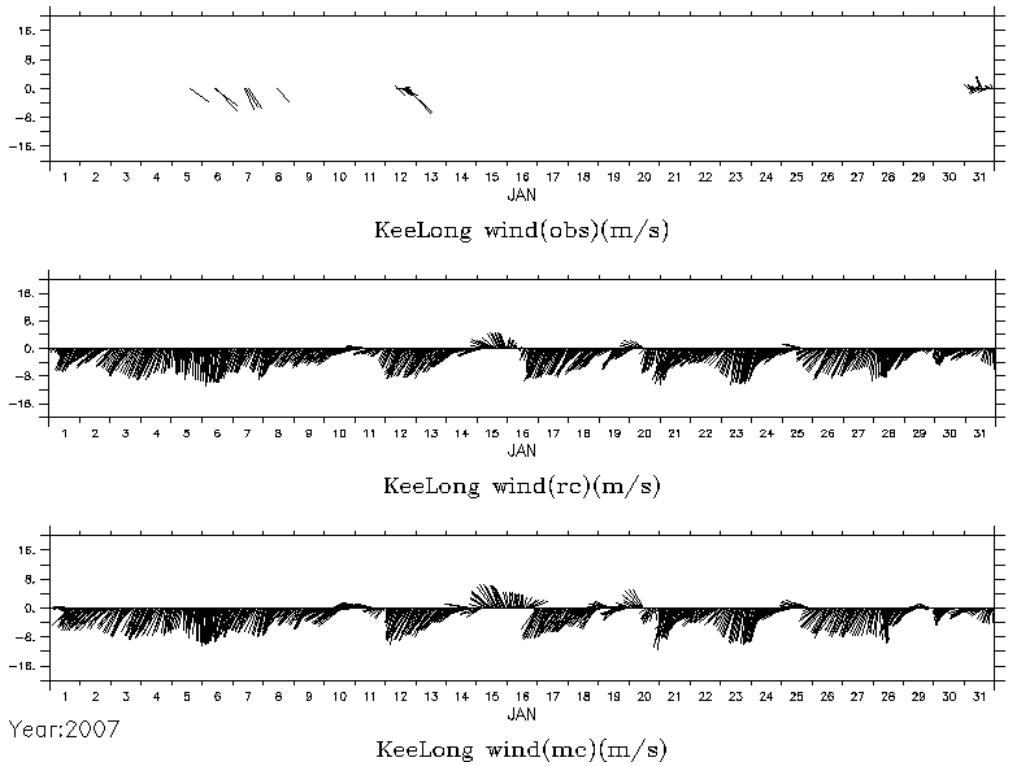


圖 2-5-9　基隆港 2007 年 1 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

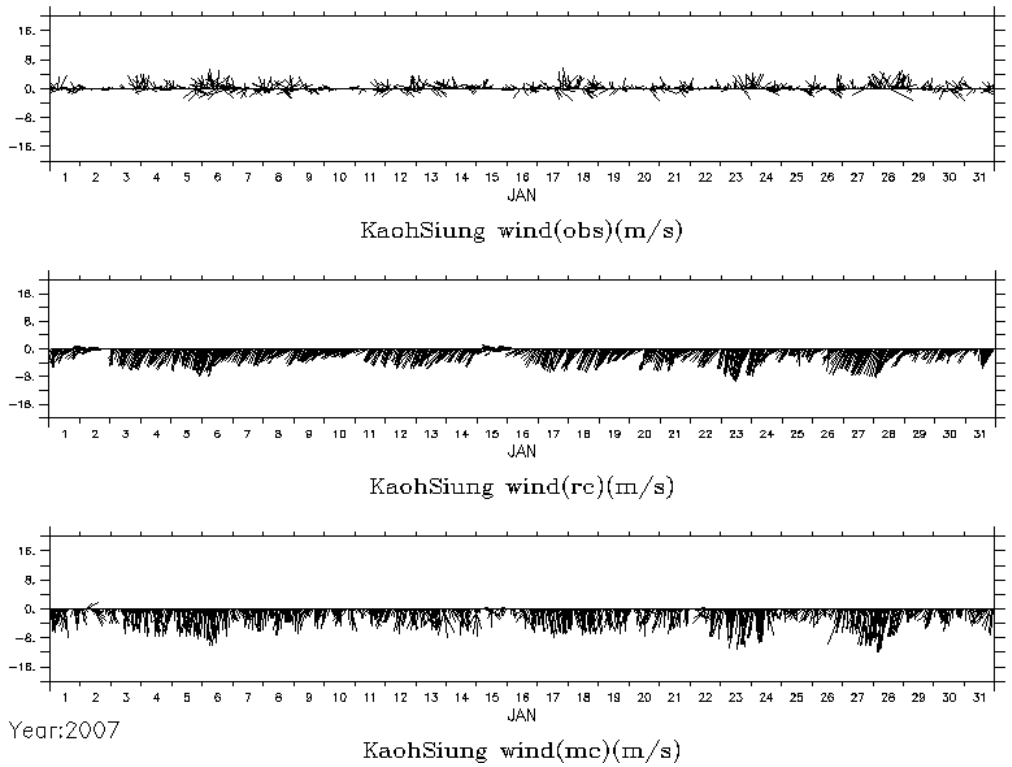


圖 2-5-10　高雄港 2007 年 1 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

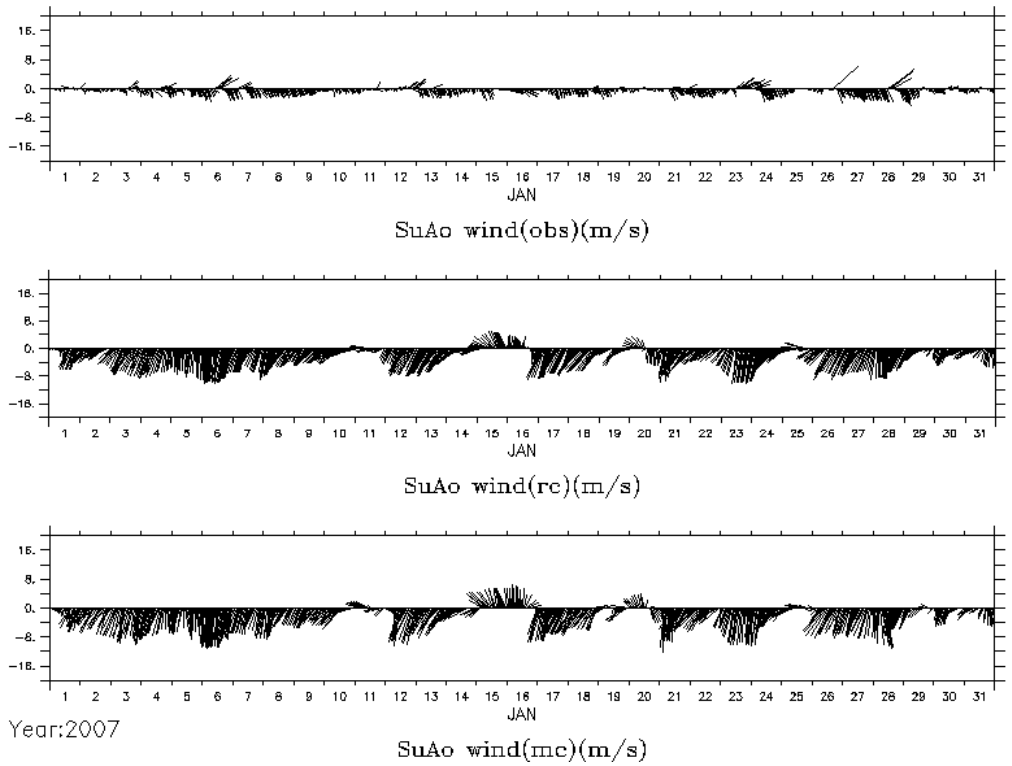


圖 2-5-11　蘇澳港 2007 年 1 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

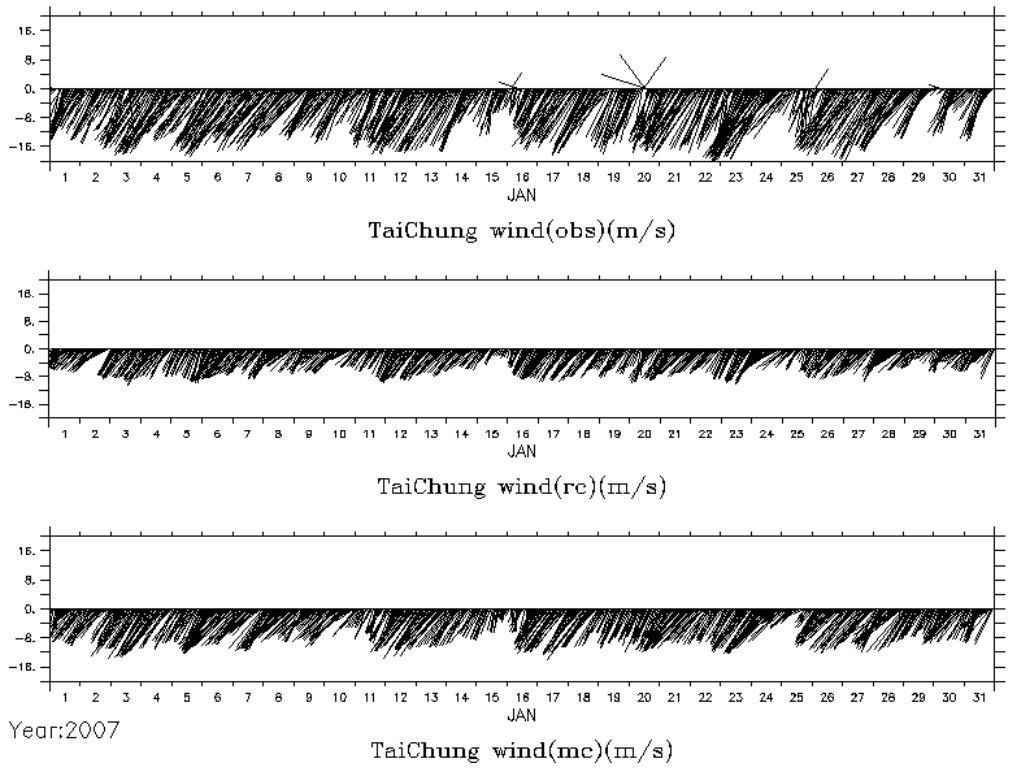


圖 2-5-12　台中港 2007 年 1 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

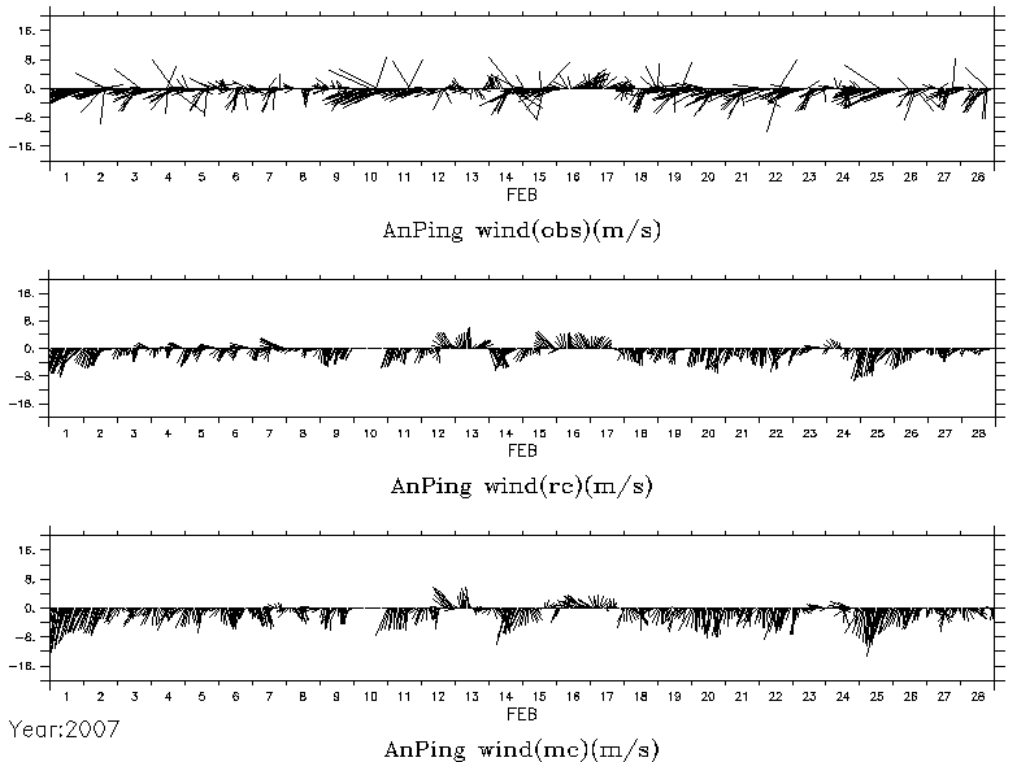


圖 2-5-13　安平港 2007 年 2 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

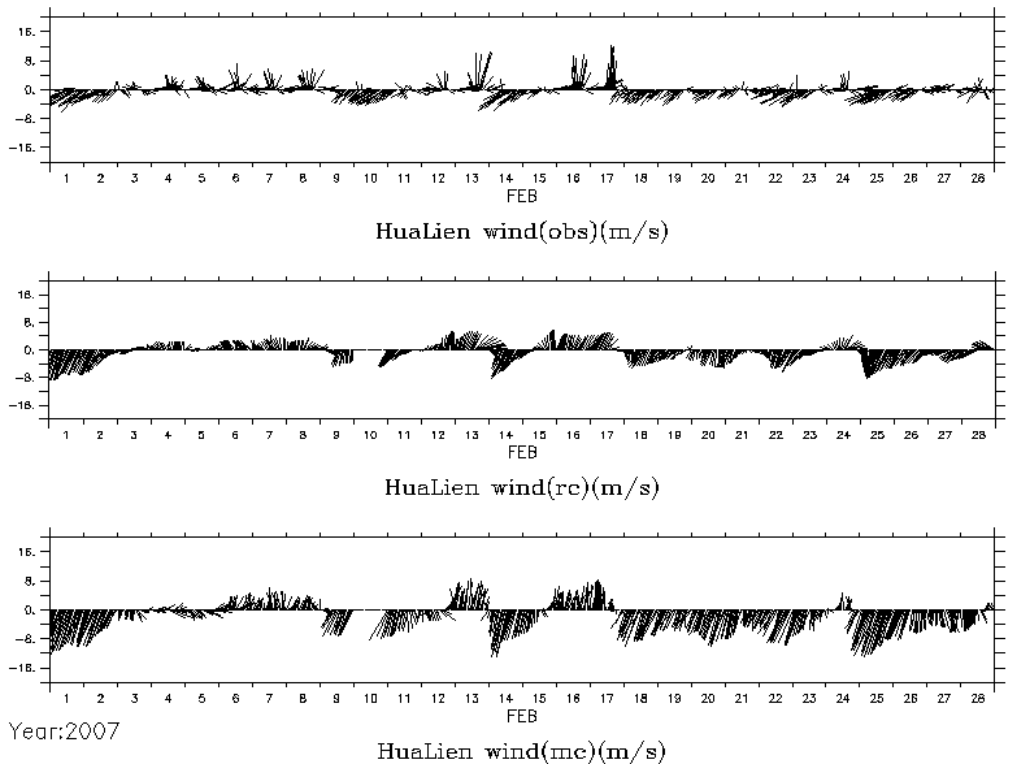


圖 2-5-14　花蓮港 2007 年 2 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

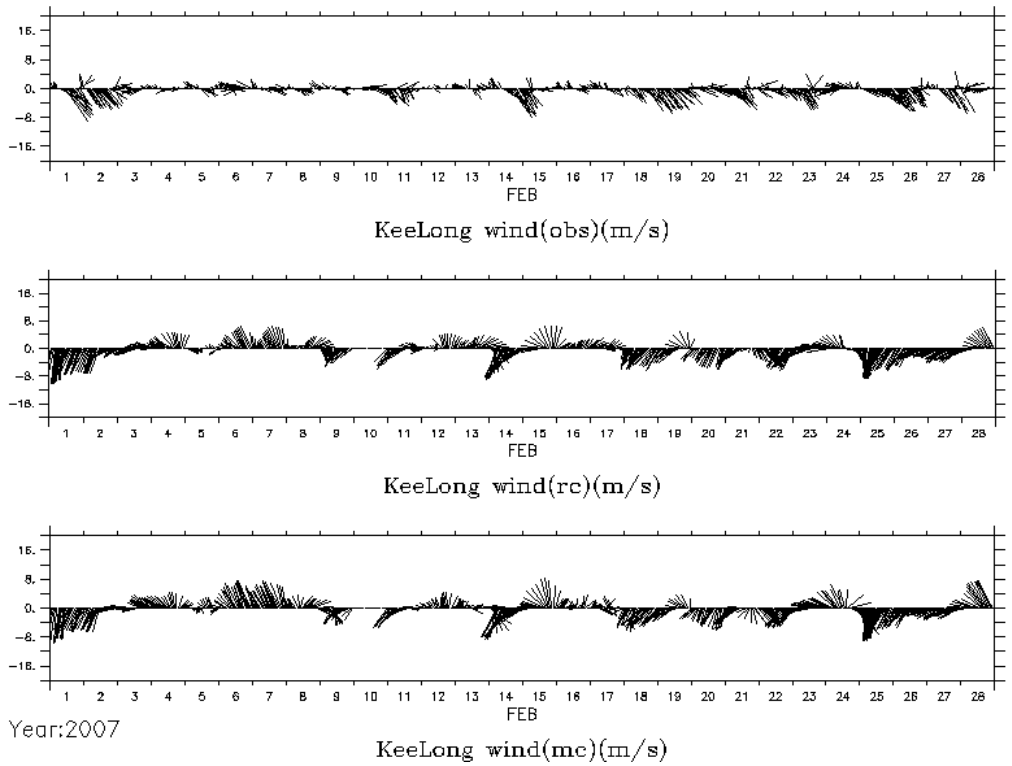


圖 2-5-15　基隆港 2007 年 2 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

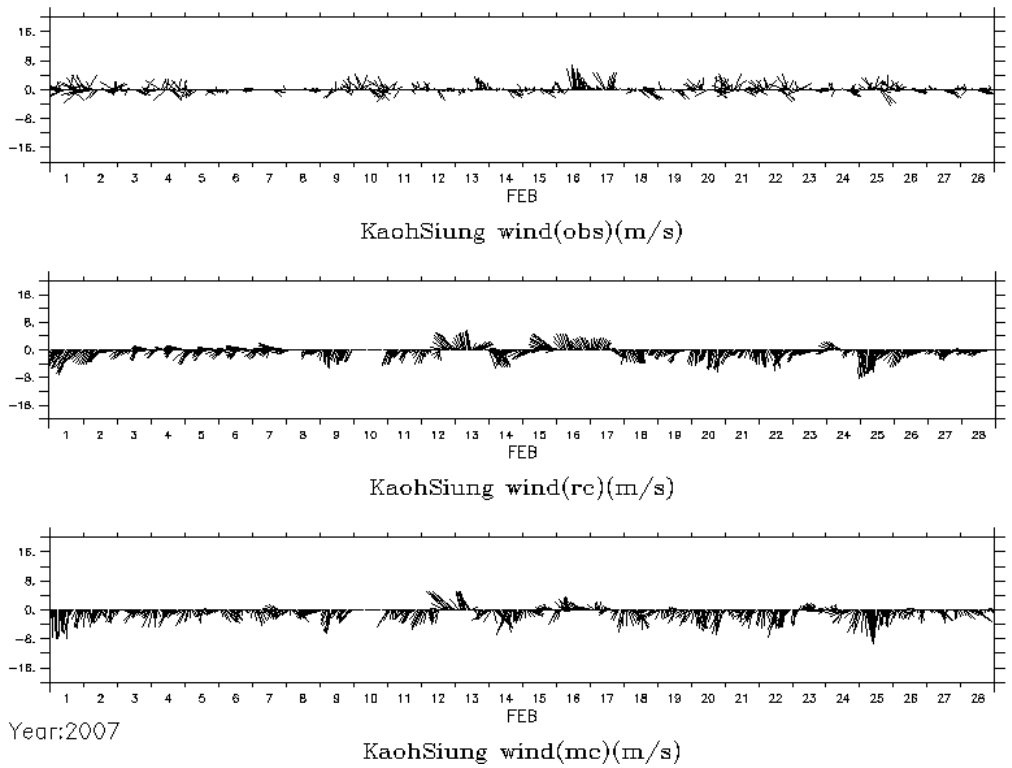


圖 2-5-16　高雄港 2007 年 2 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

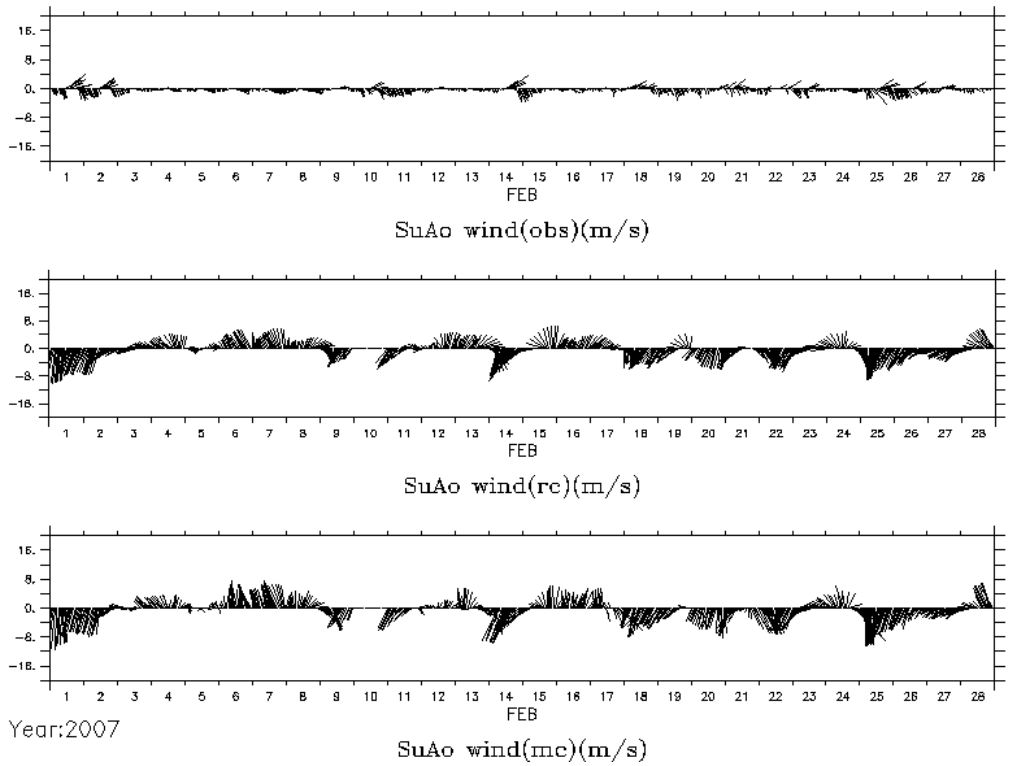


圖 2-5-17　蘇澳港 2007 年 2 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

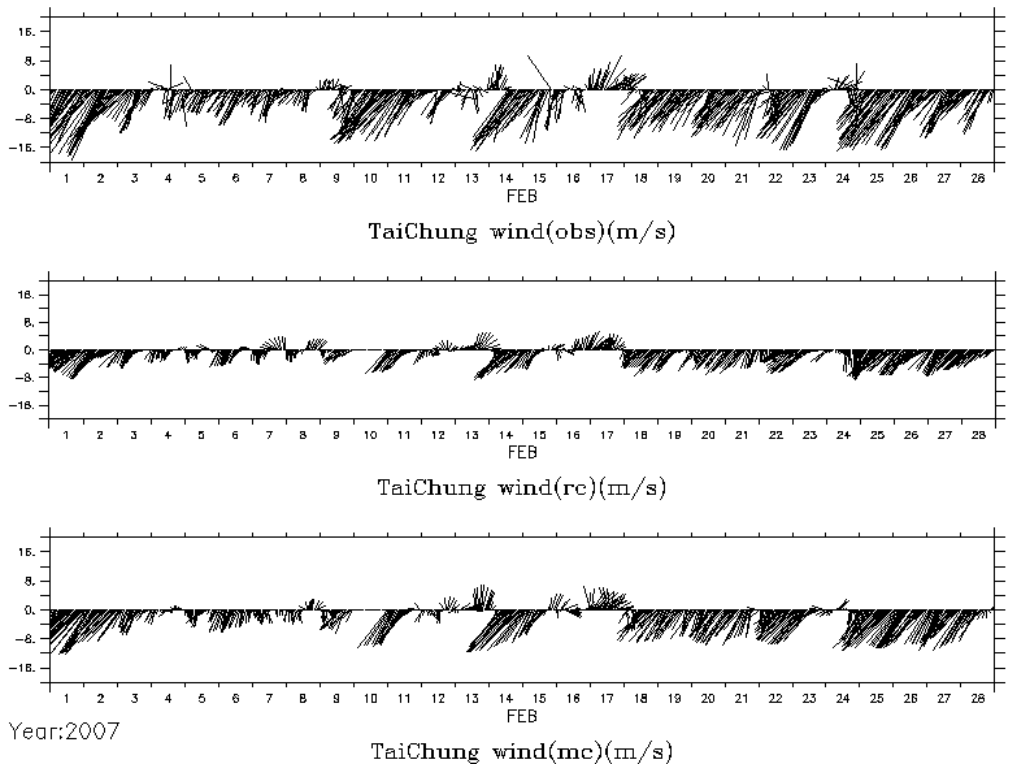


圖 2-5-18　台中港 2007 年 2 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

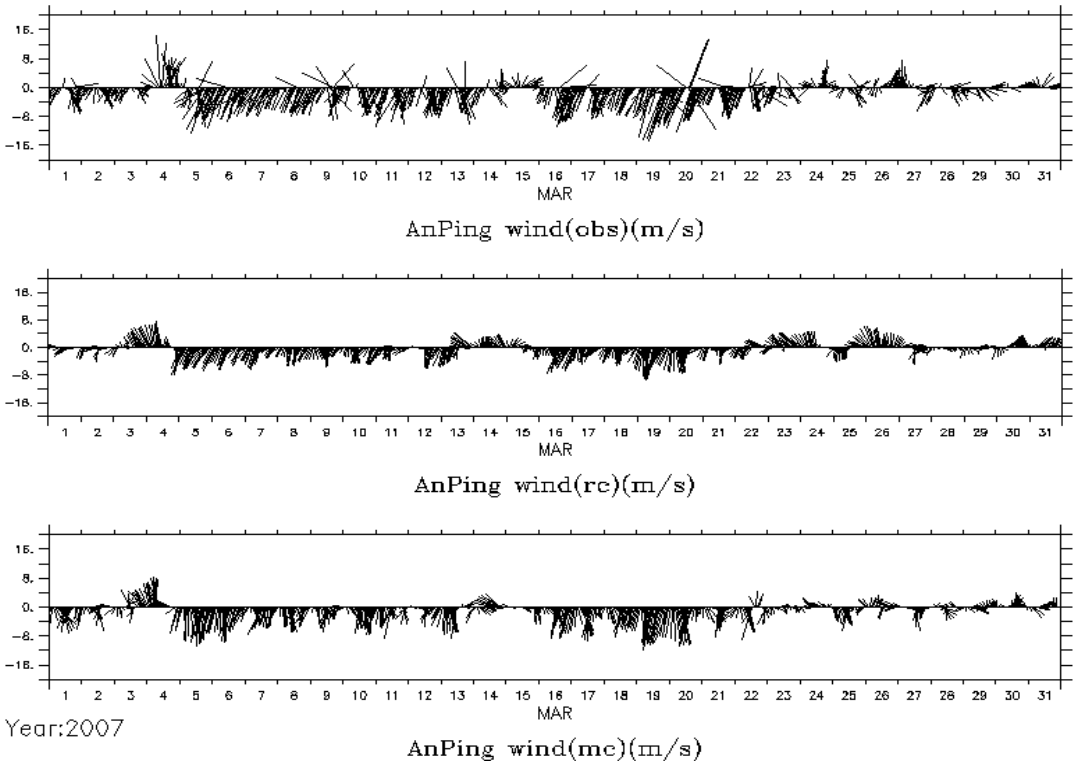


圖 2-5-19　安平港 2007 年 3 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

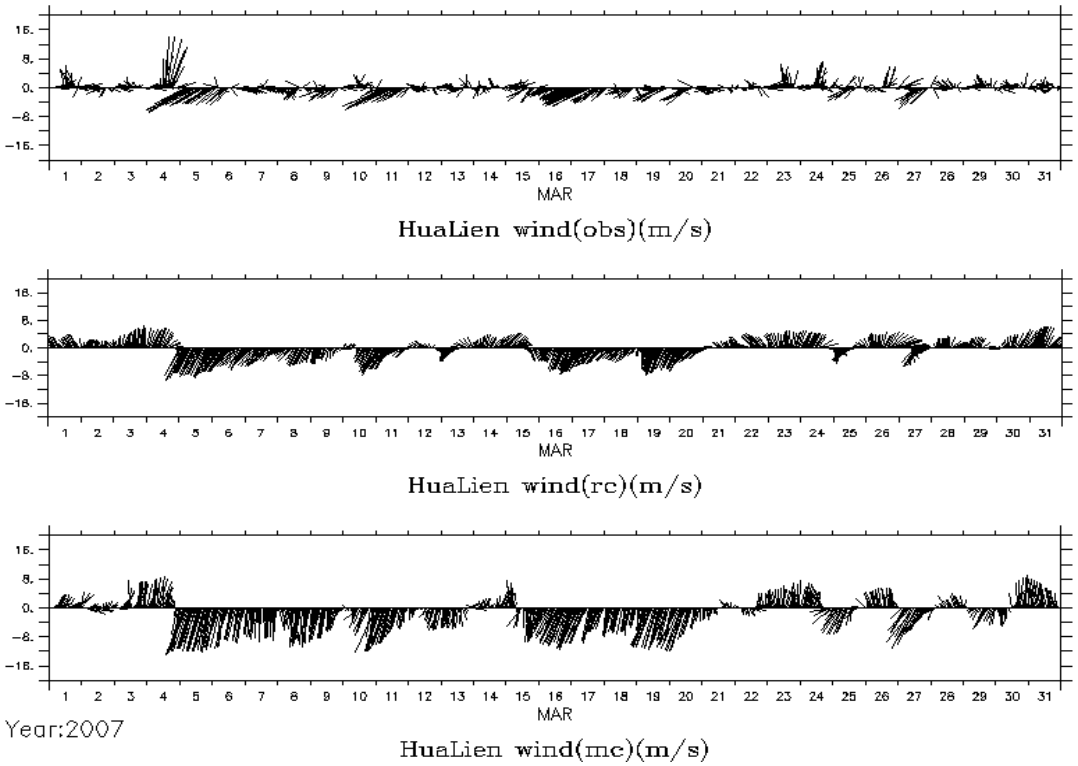


圖 2-5-20　花蓮港 2007 年 3 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

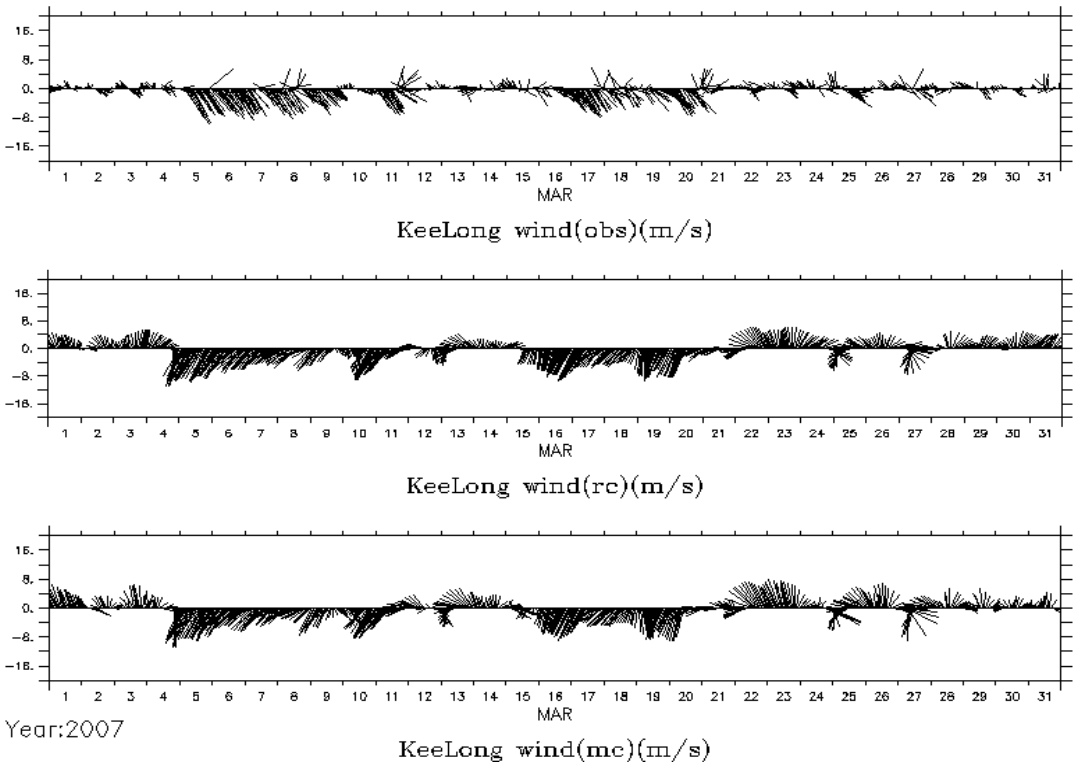


圖 2-5-21　基隆港 2007 年 3 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

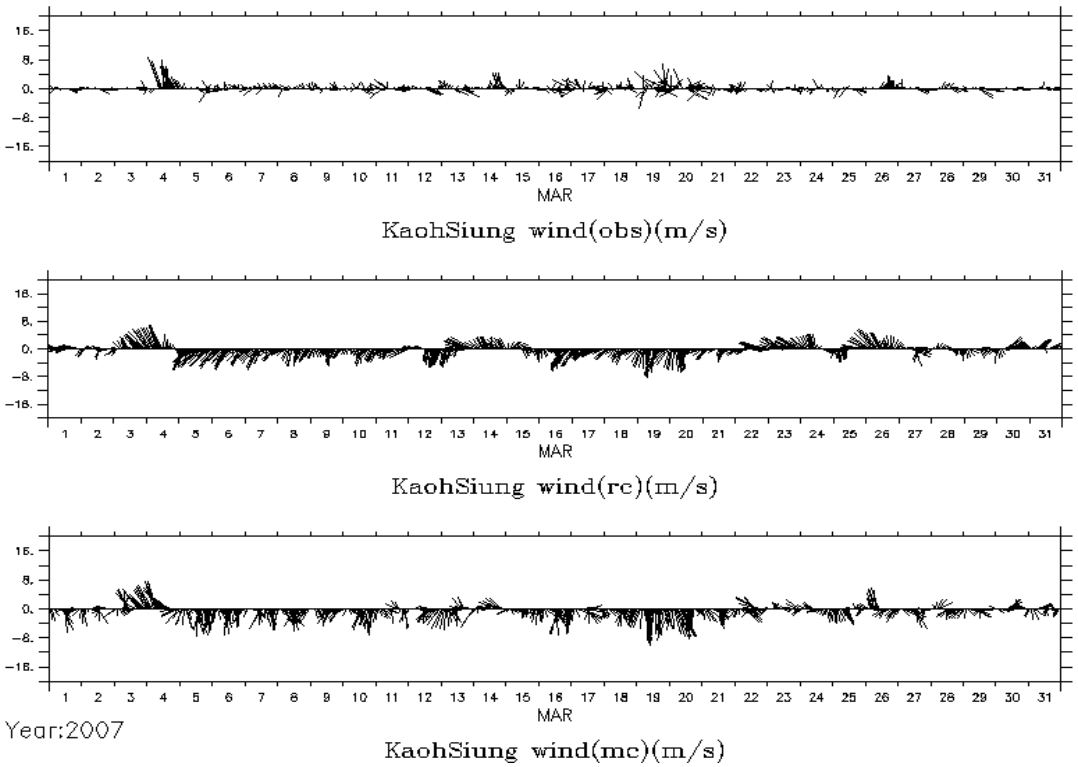


圖 2-5-22　高雄港 2007 年 3 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

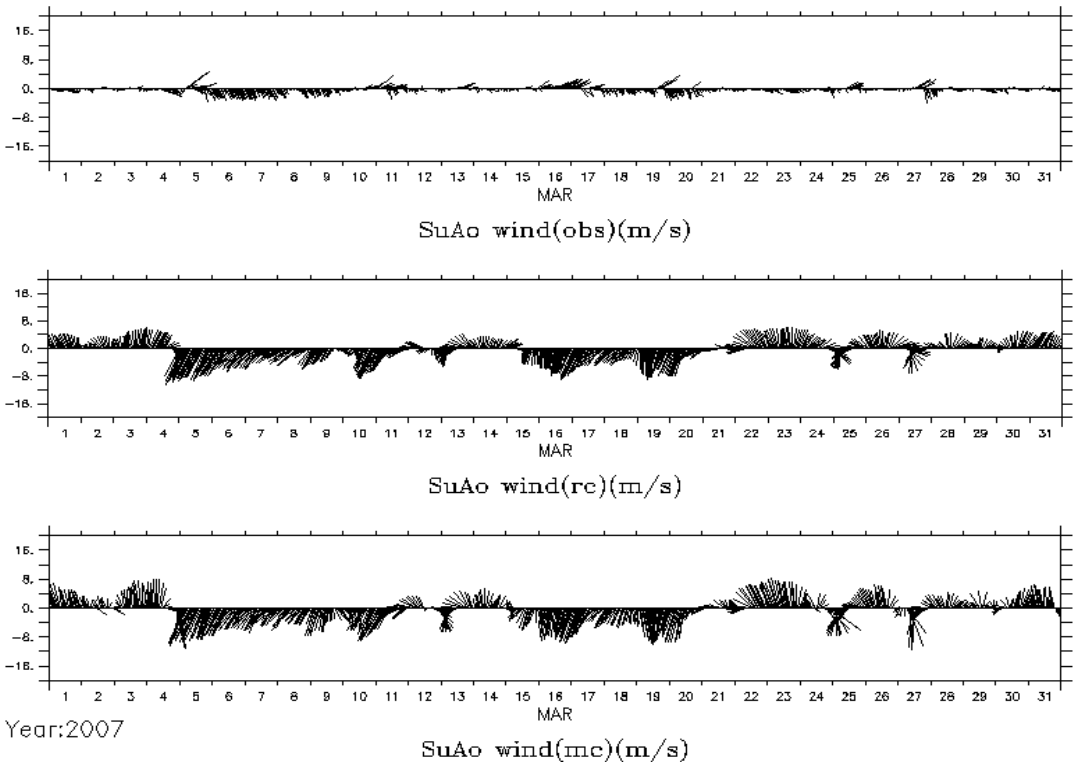


圖 2-5-23　蘇澳港 2007 年 3 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

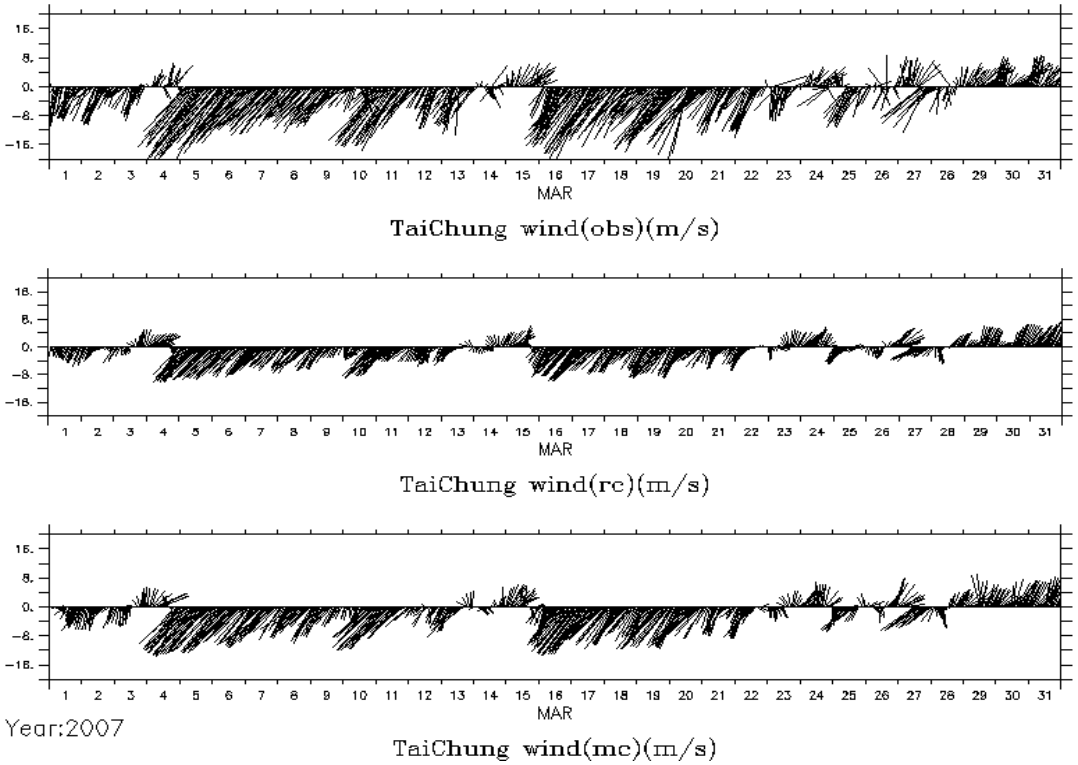


圖 2-5-24　台中港 2007 年 3 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

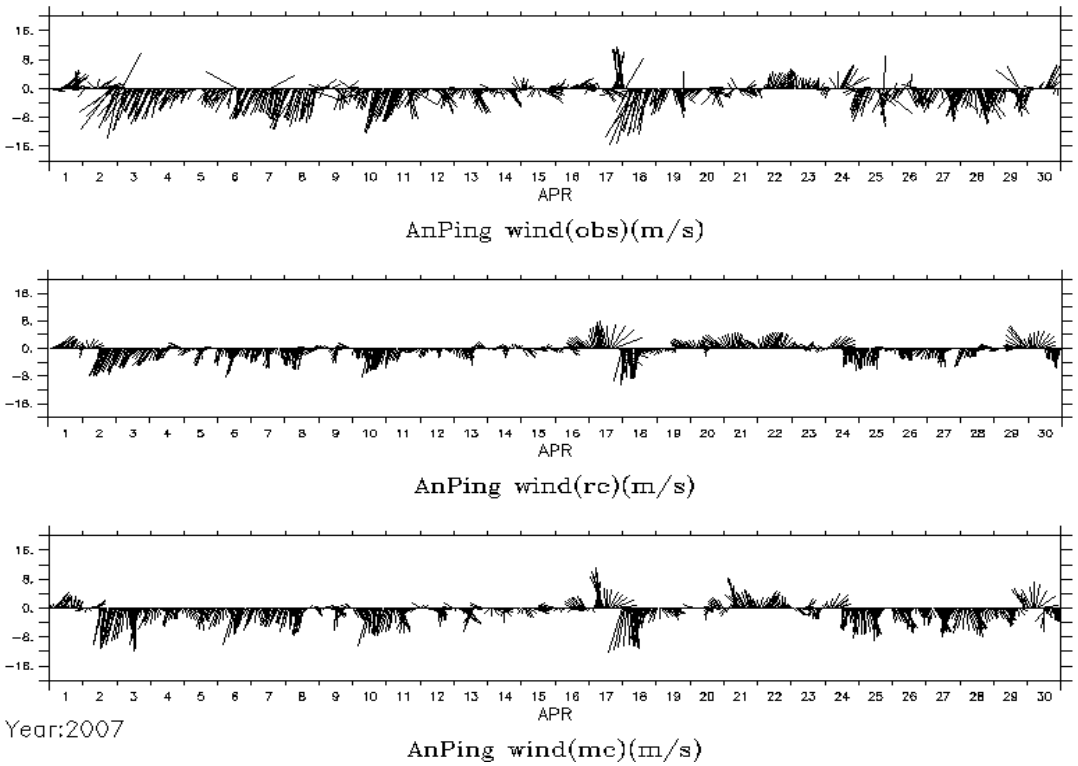


圖 2-5-25　安平港 2007 年 4 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

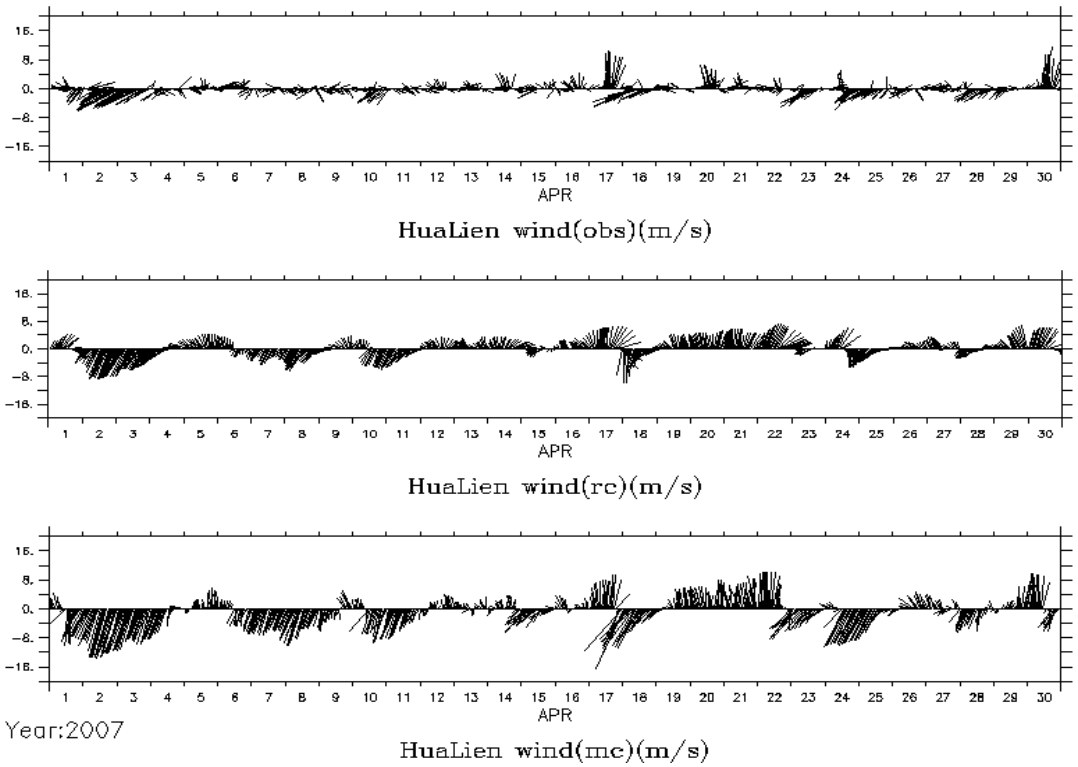


圖 2-5-26　花蓮港 2007 年 4 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

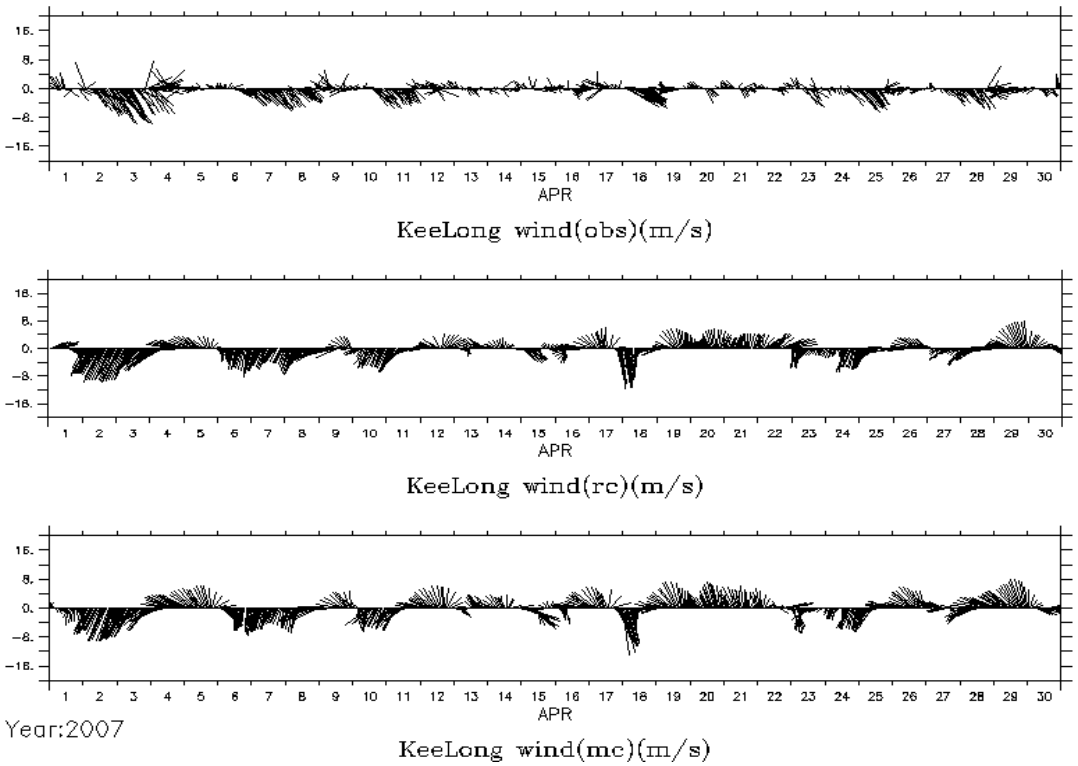


圖 2-5-27　基隆港 2007 年 4 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

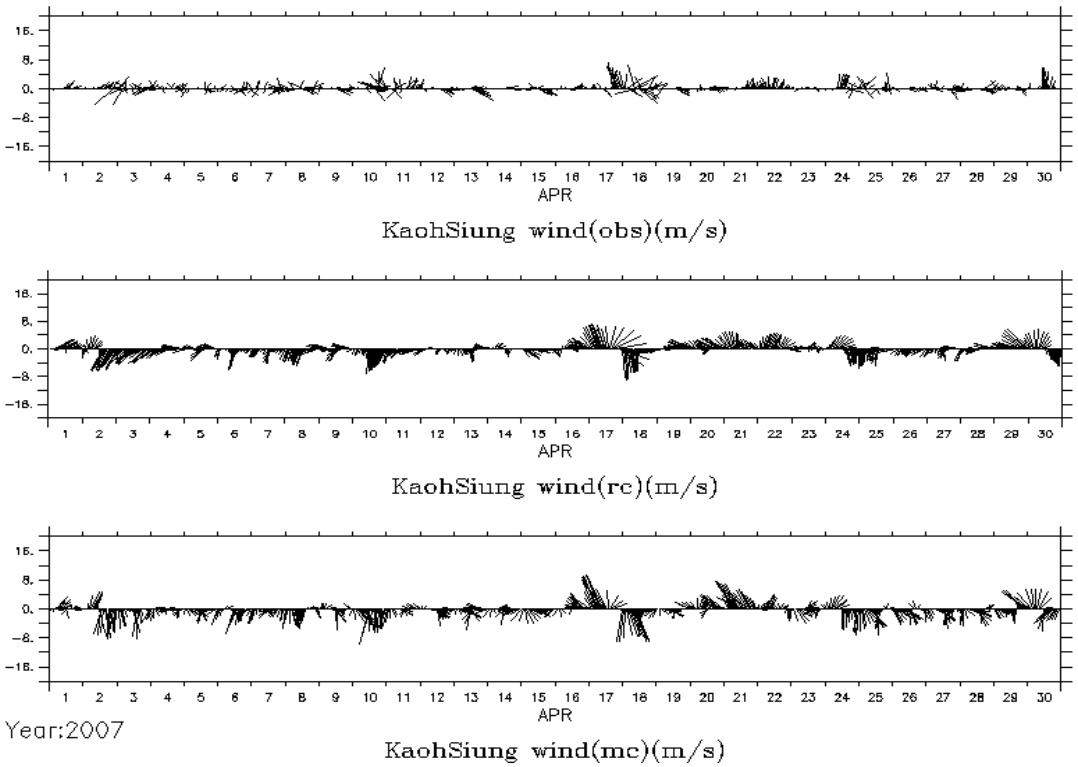


圖 2-5-28　高雄港 2007 年 4 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

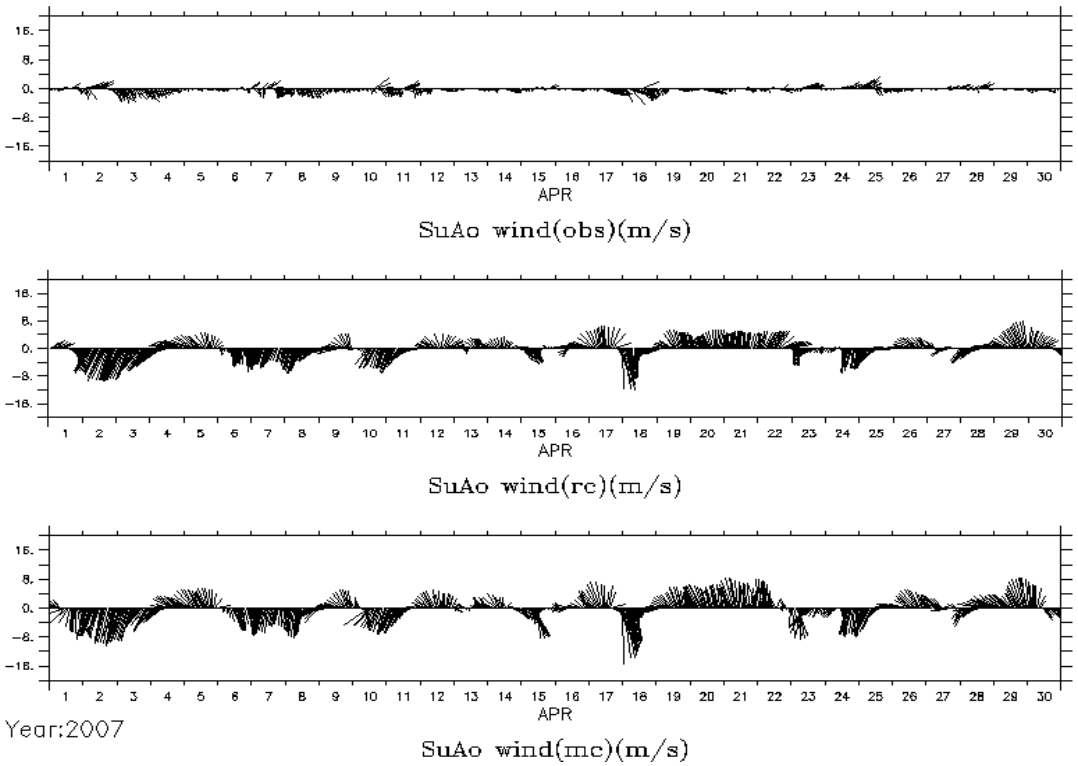


圖 2-5-29　蘇澳港 2007 年 4 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

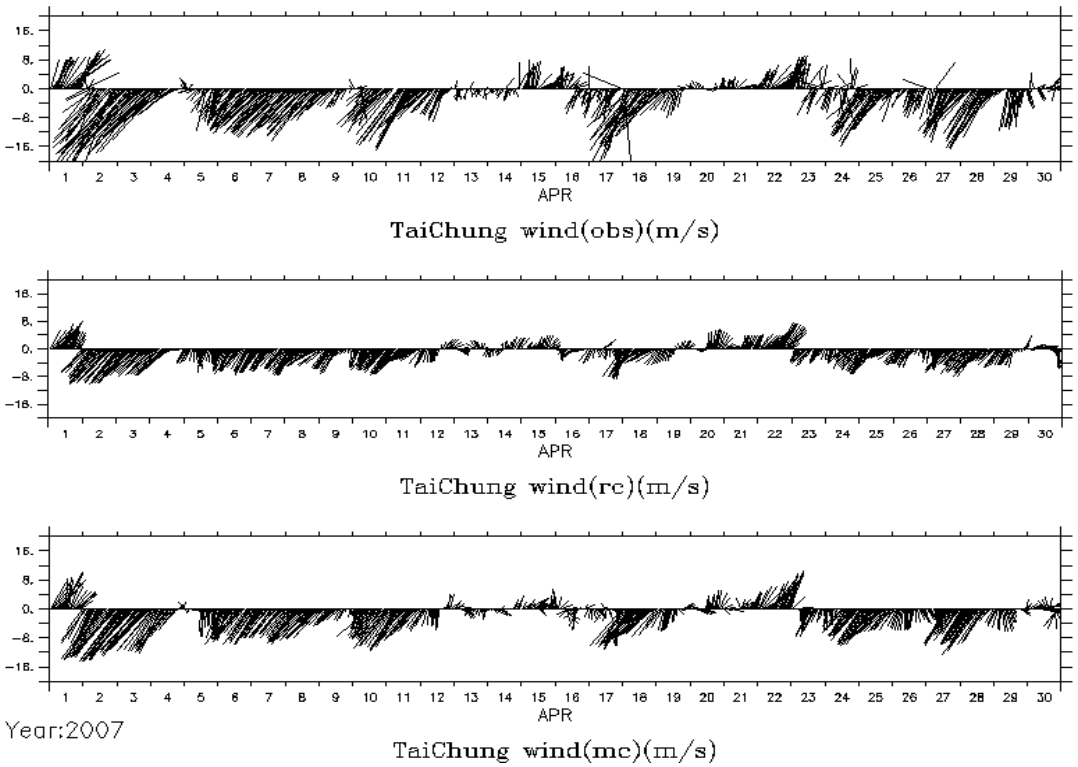


圖 2-5-30　台中港 2007 年 4 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

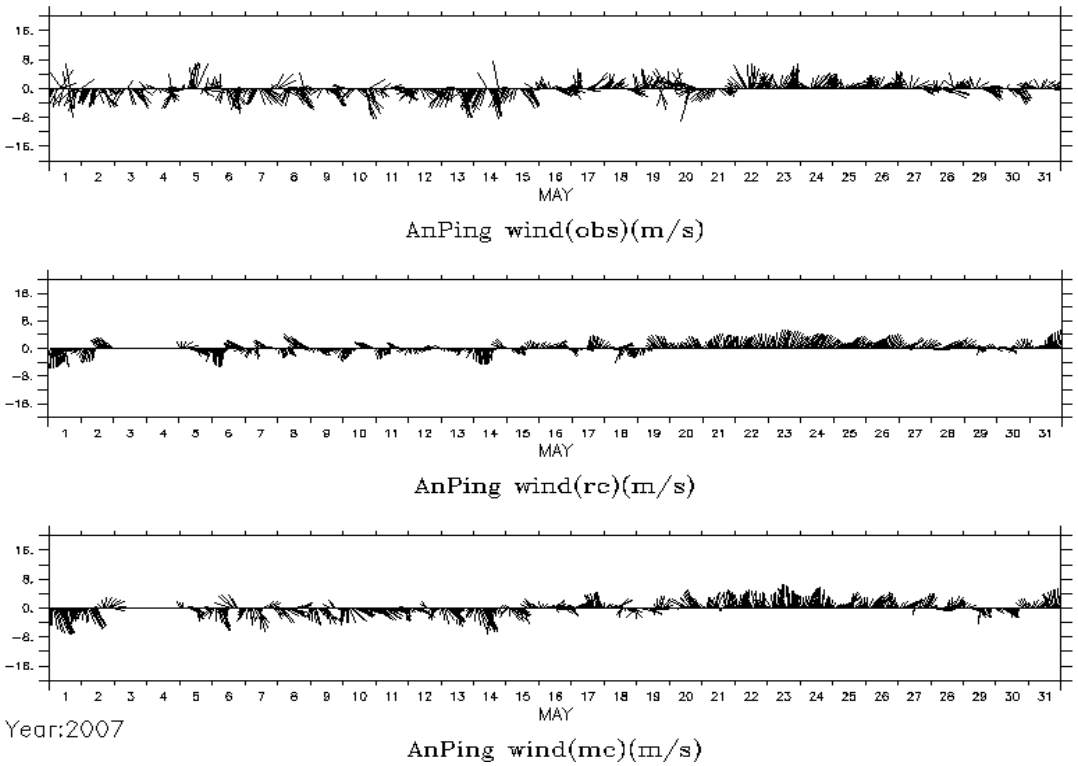


圖 2-5-31　安平港 2007 年 5 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

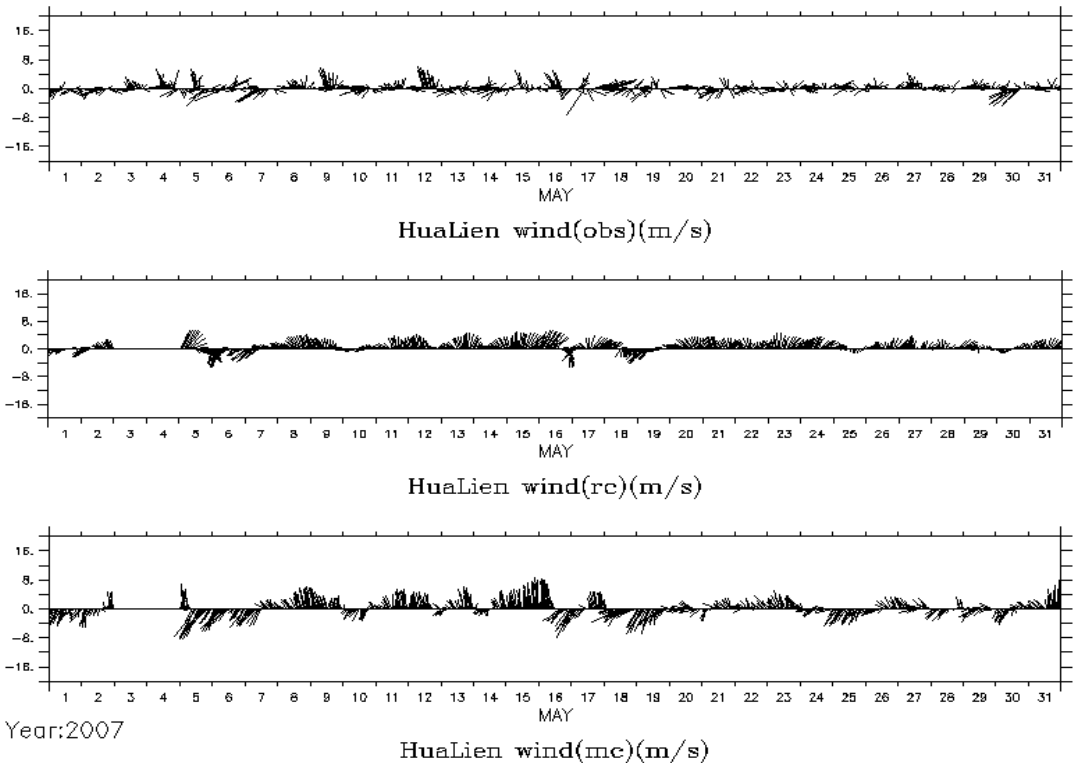


圖 2-5-32　花蓮港 2007 年 5 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

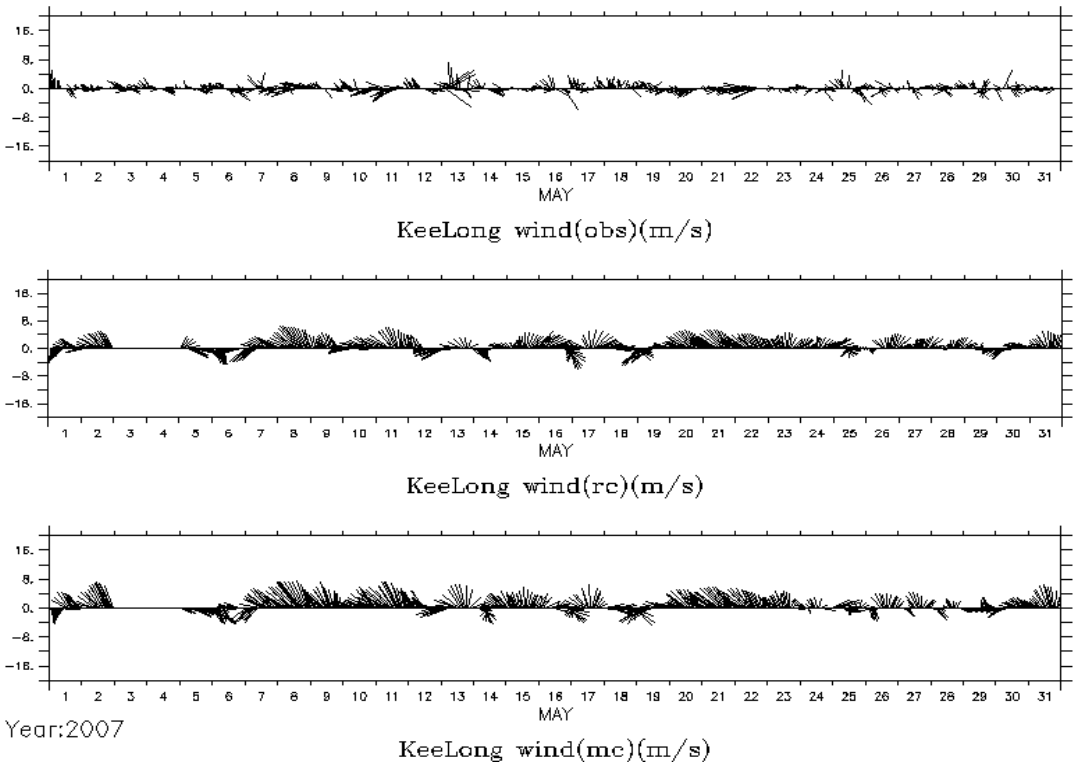


圖 2-5-33　基隆港 2007 年 5 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

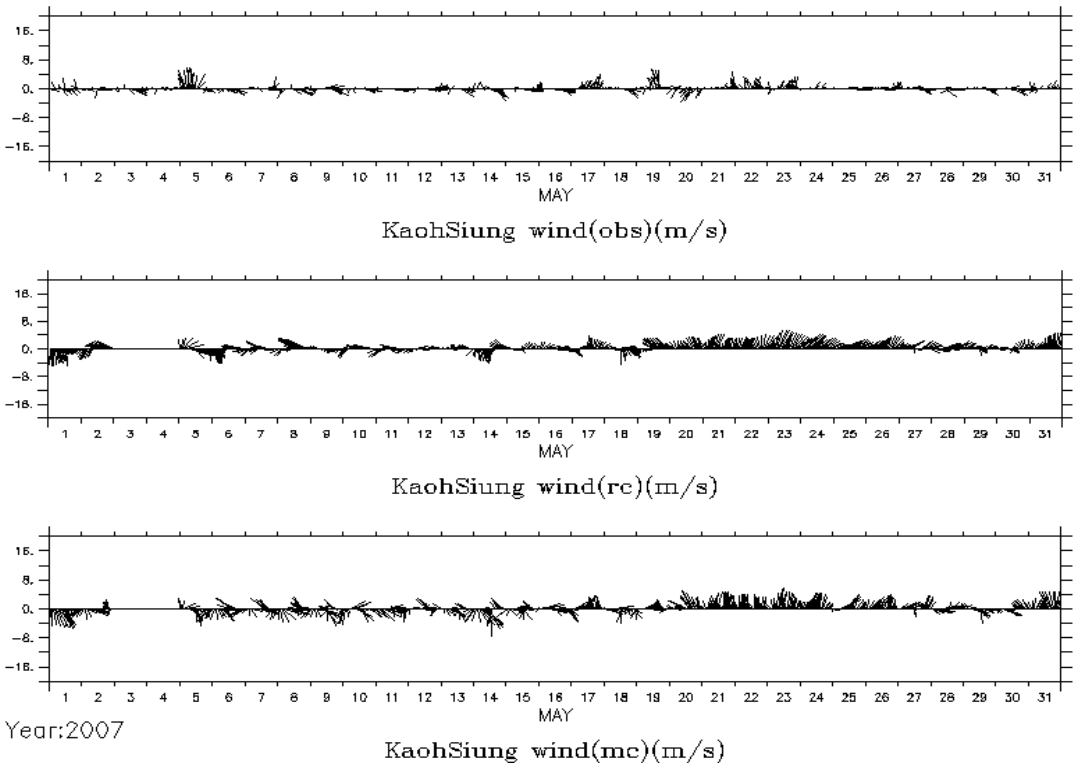


圖 2-5-34　高雄港 2007 年 5 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

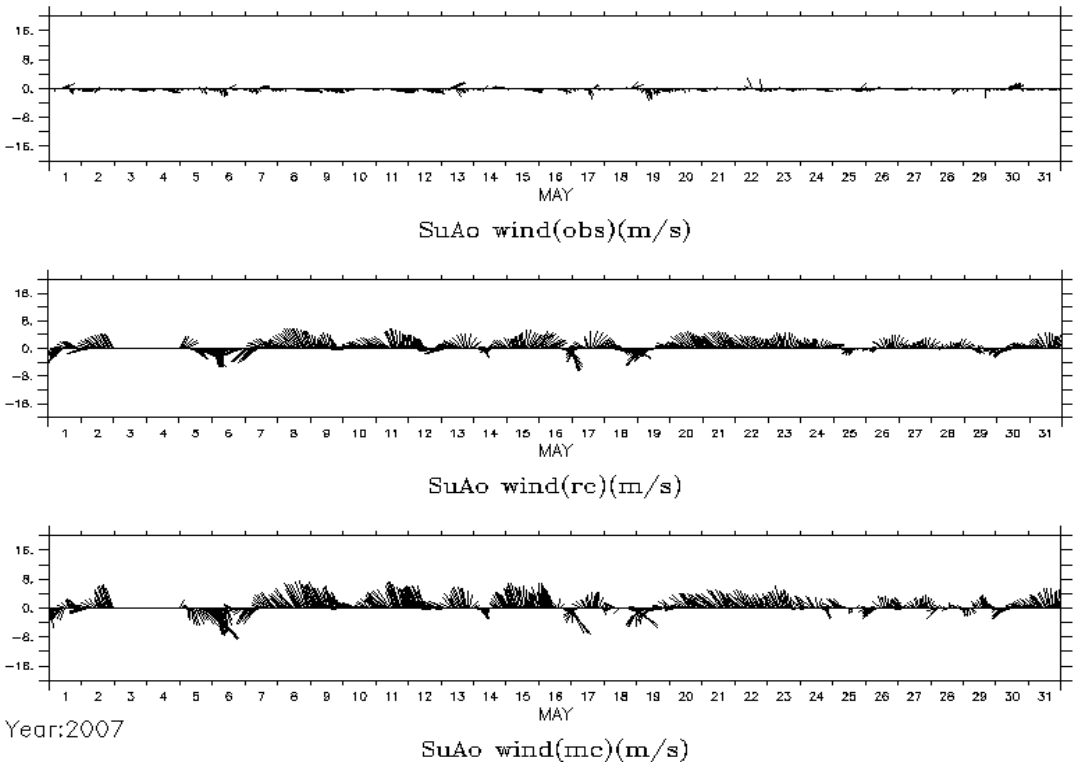


圖 2-5-35　蘇澳港 2007 年 5 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

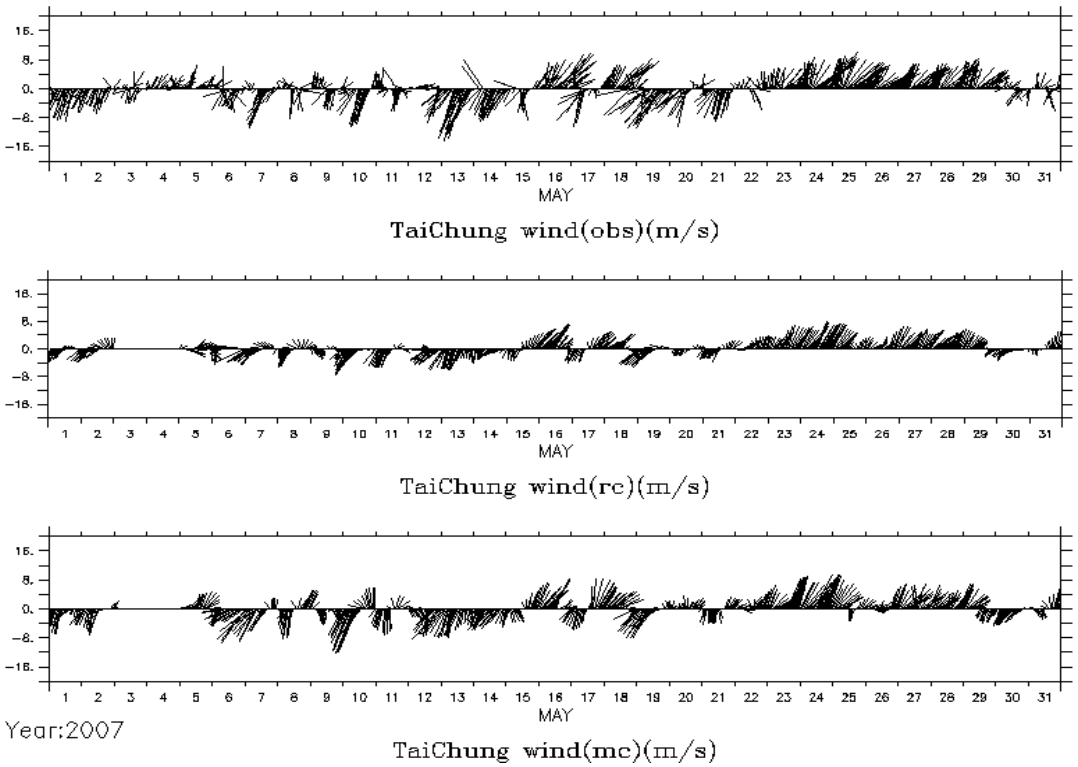


圖 2-5-36　台中港 2007 年 5 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

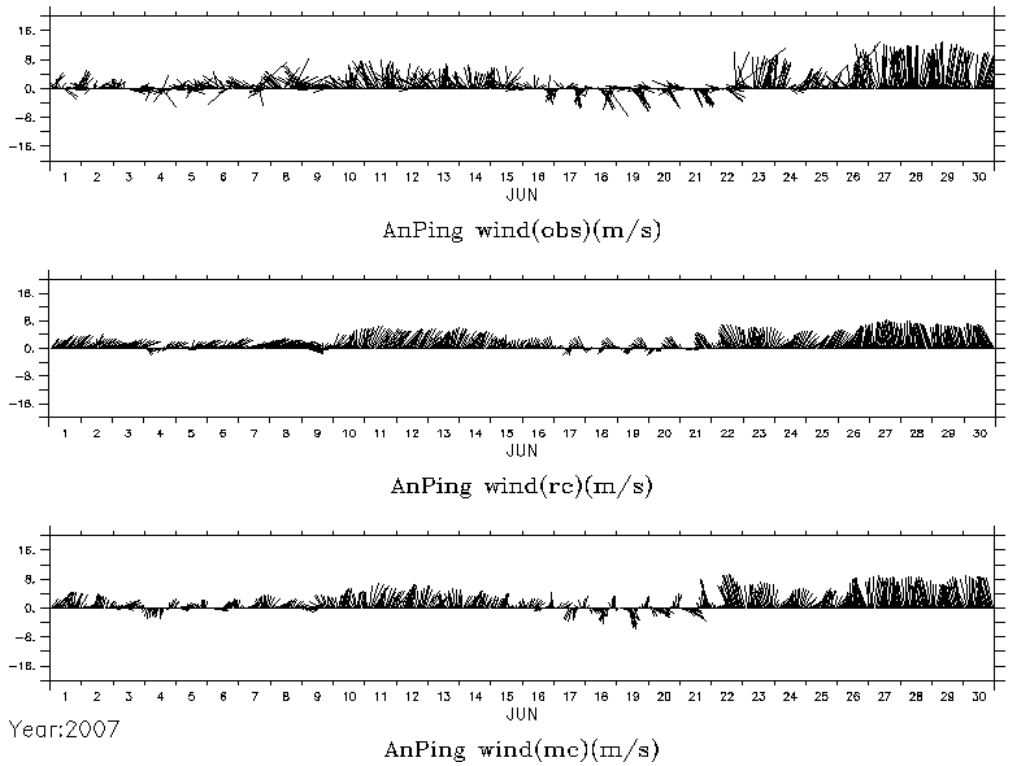


圖 2-5-37　安平港 2007 年 6 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

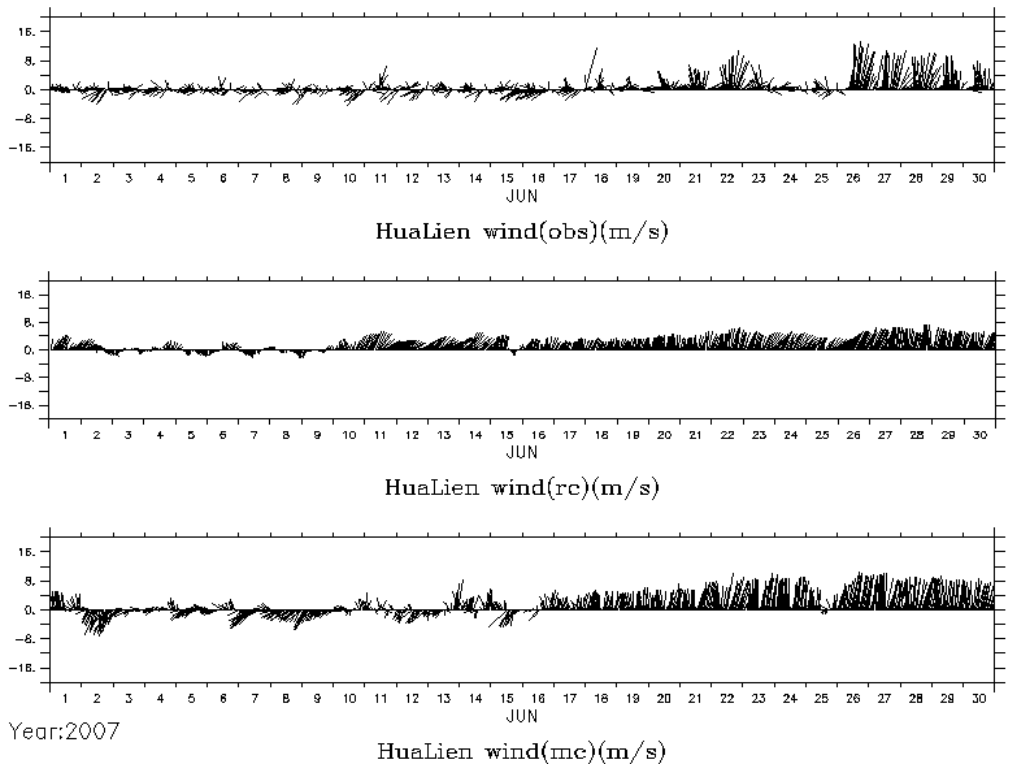


圖 2-5-38　花蓮港 2007 年 6 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

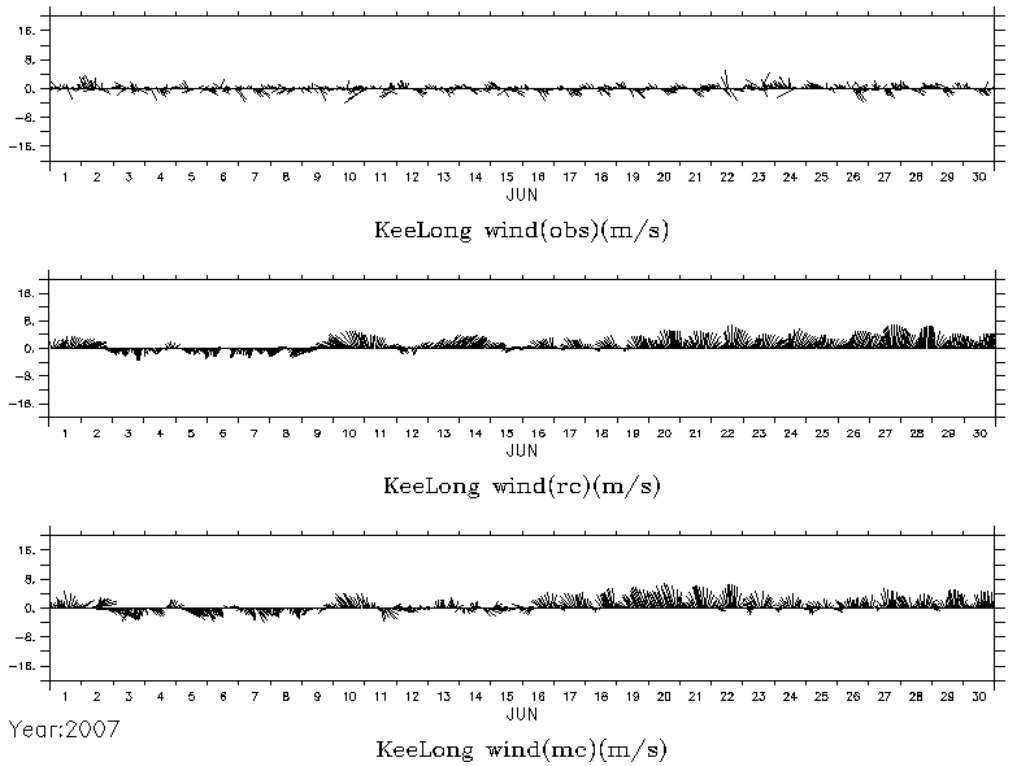


圖 2-5-39　基隆港 2007 年 6 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

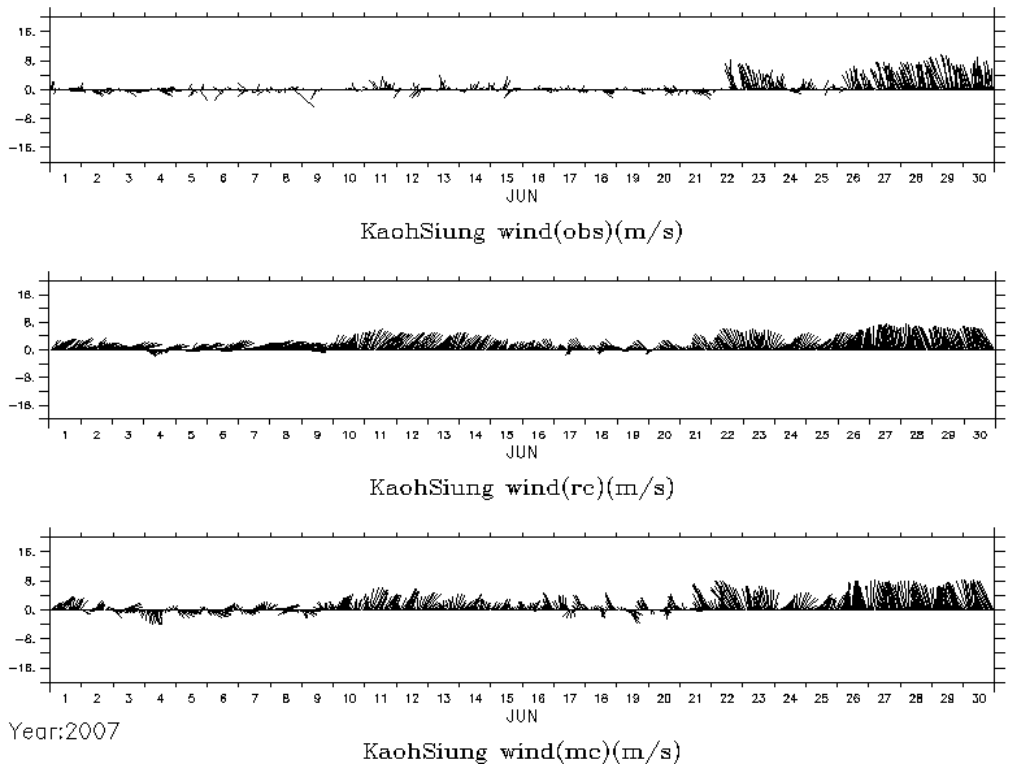


圖 2-5-40　高雄港 2007 年 6 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

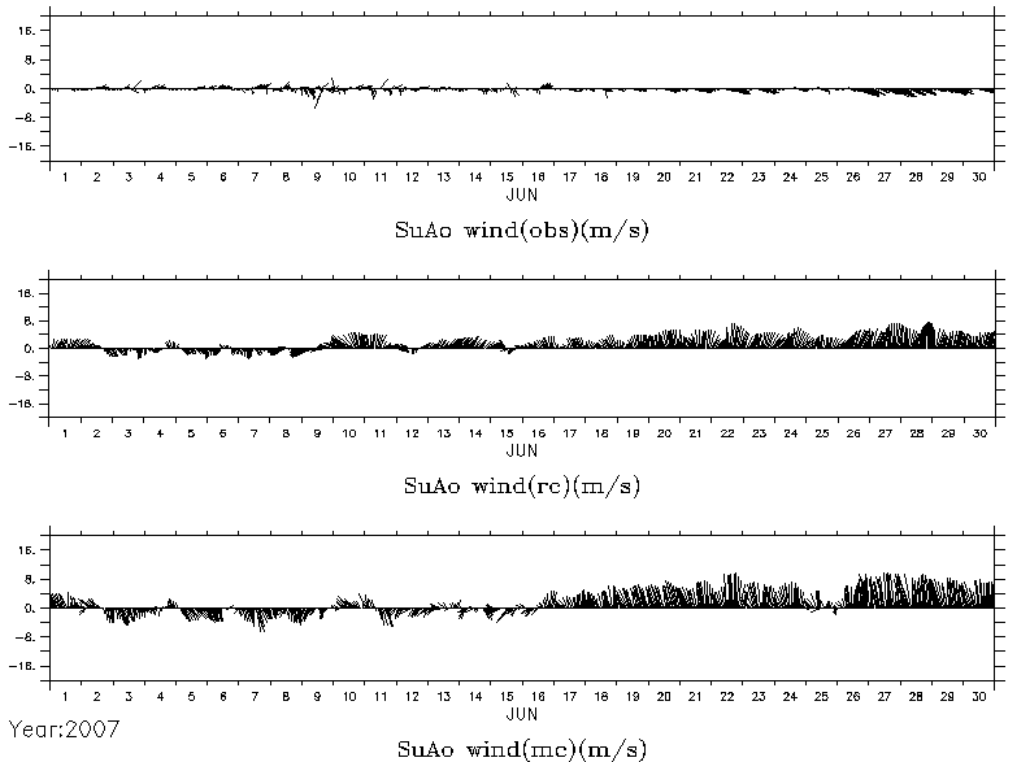


圖 2-5-41　蘇澳港 2007 年 6 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

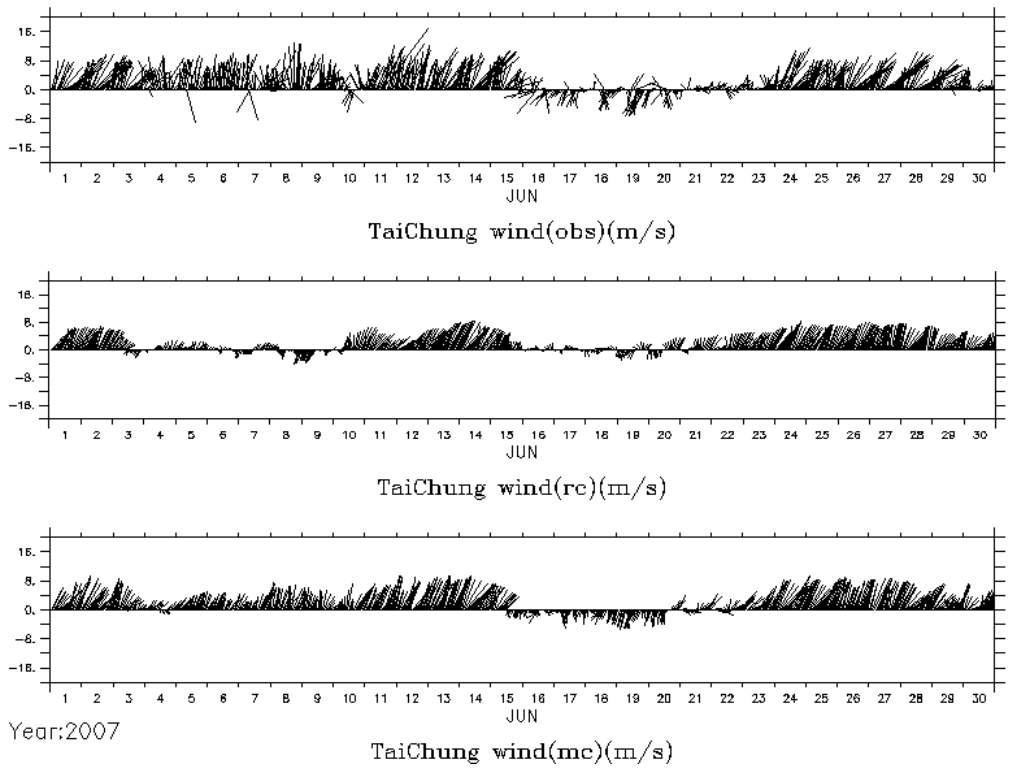


圖 2-5-42　台中港 2007 年 6 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

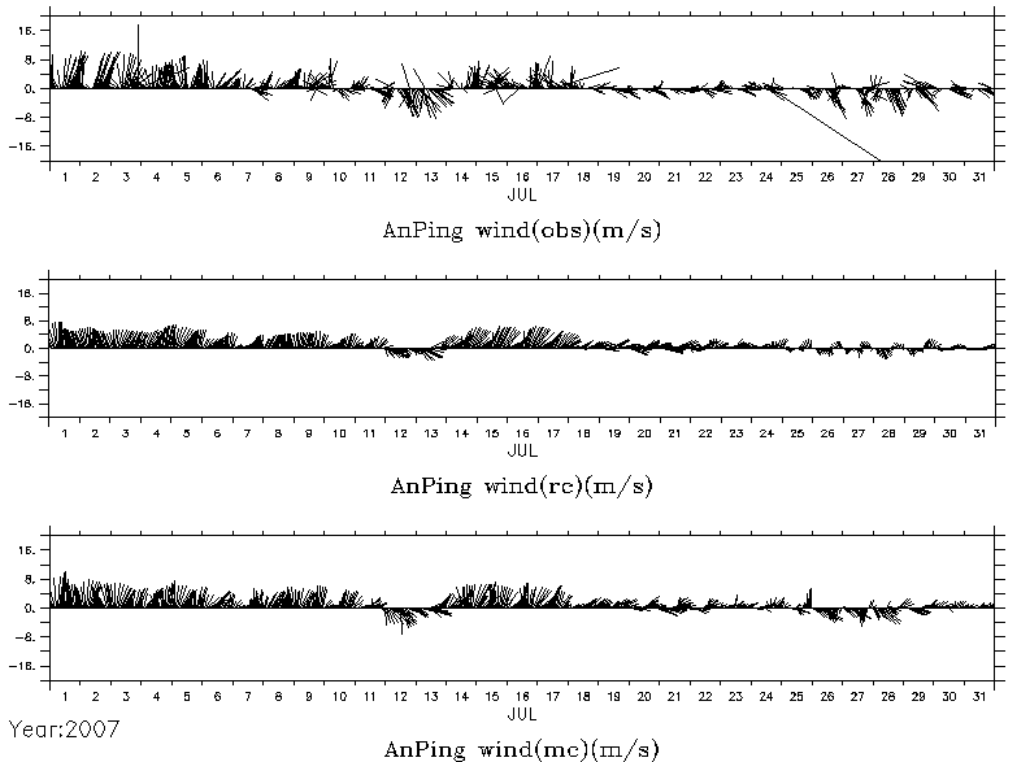


圖 2-5-43　安平港 2007 年 7 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

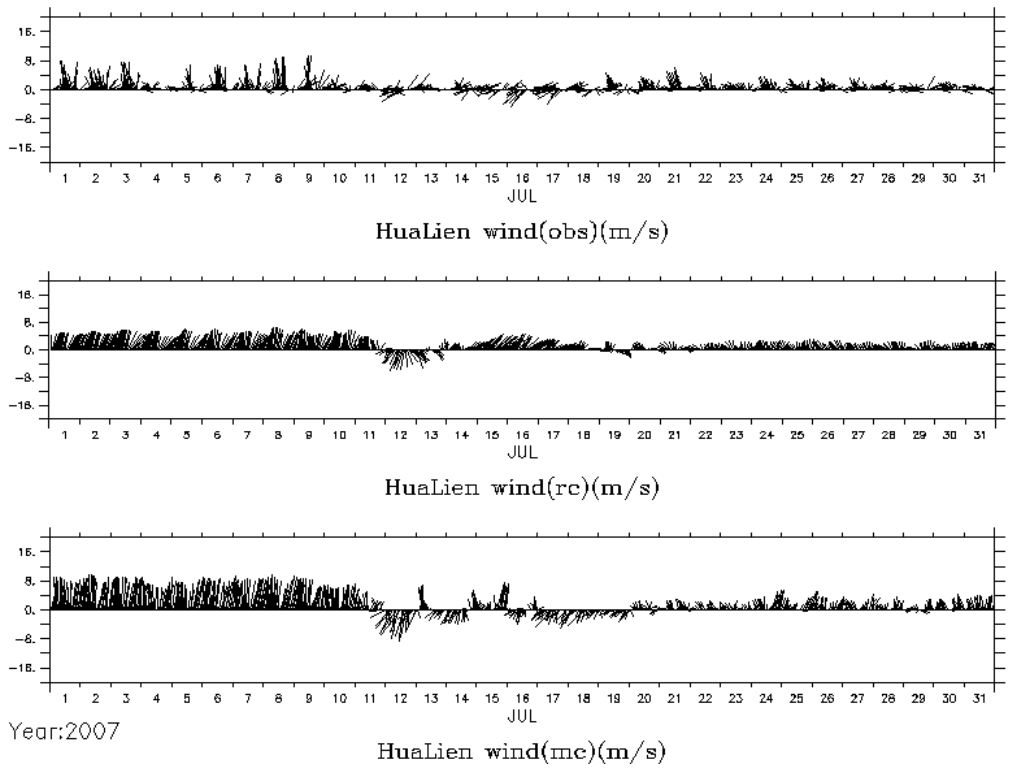


圖 2-5-44　花蓮港 2007 年 7 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

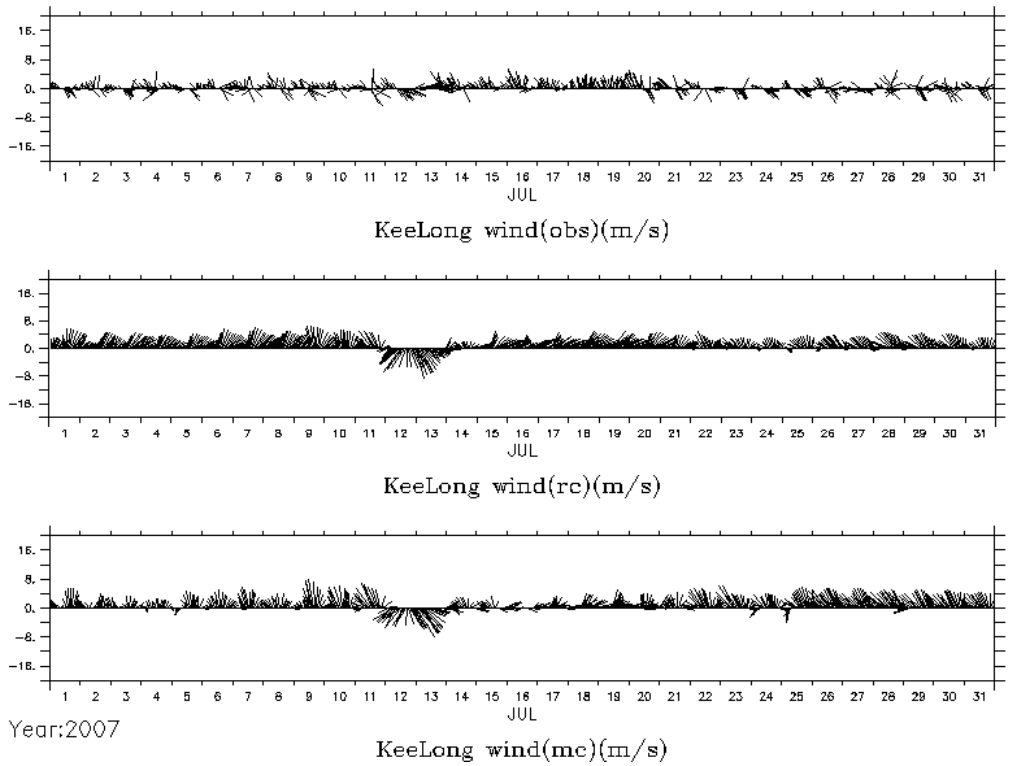


圖 2-5-45　基隆港 2007 年 7 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

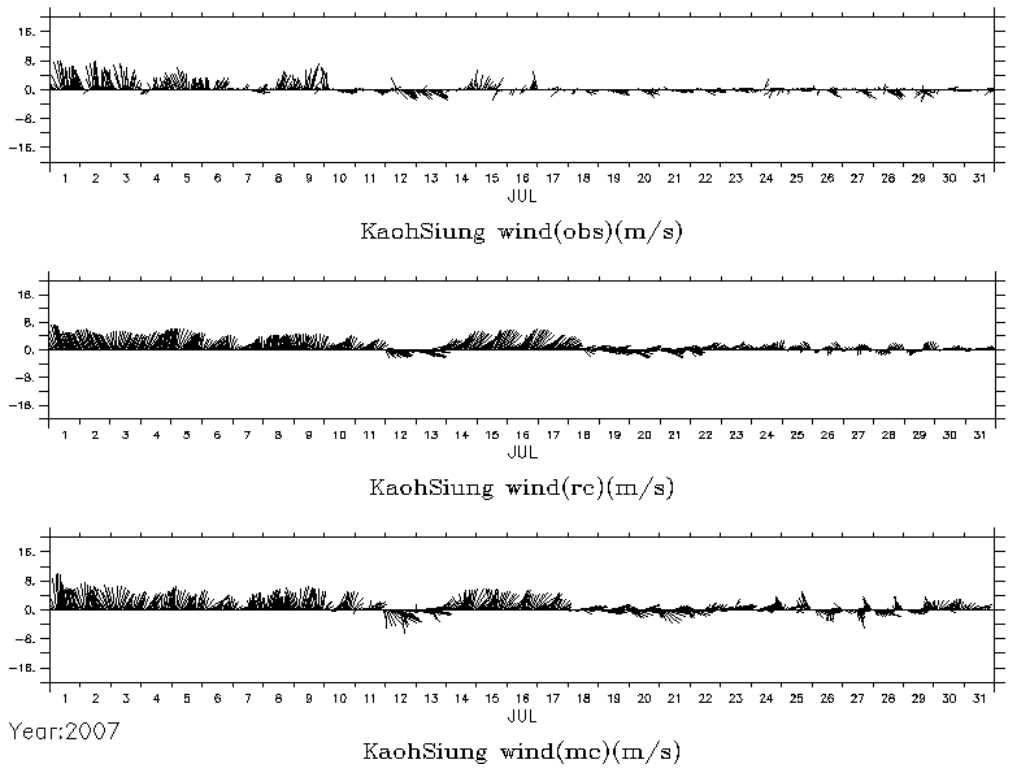


圖 2-5-46　高雄港 2007 年 7 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

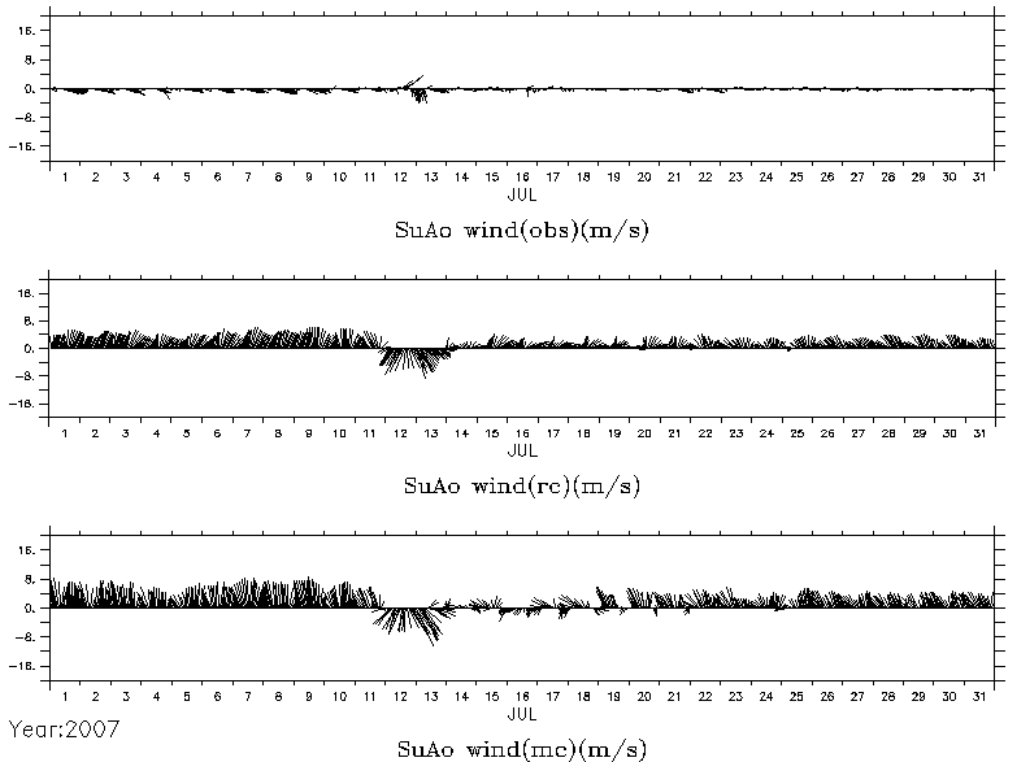


圖 2-5-47　蘇澳港 2007 年 7 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

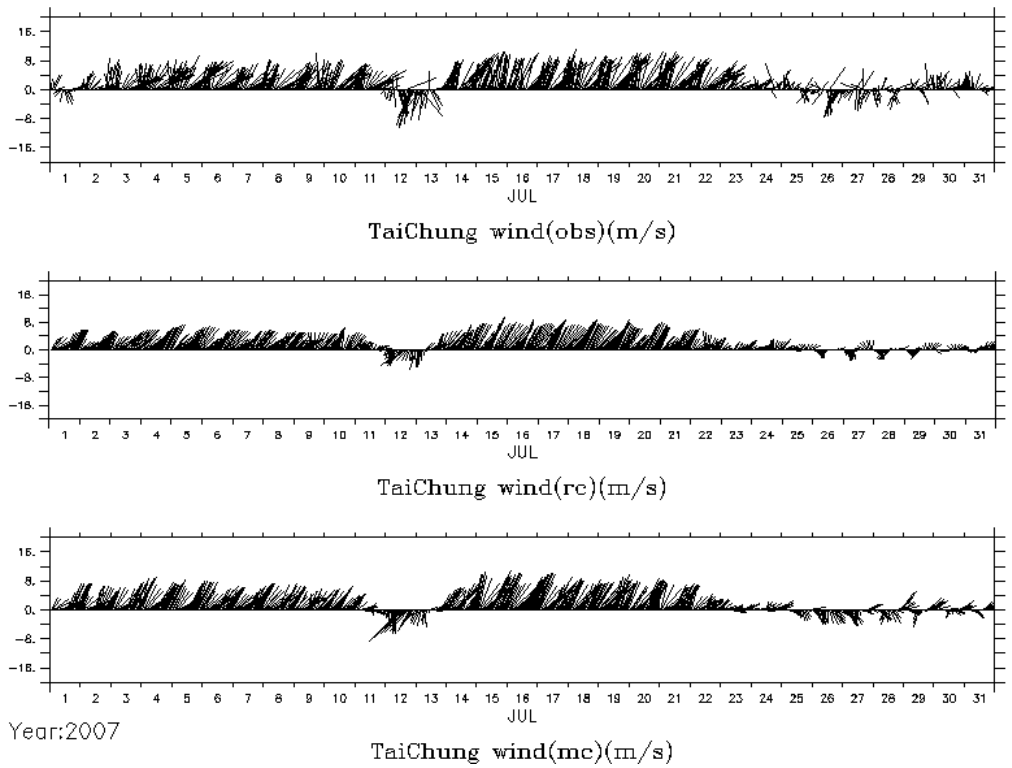


圖 2-5-48　台中港 2007 年 7 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

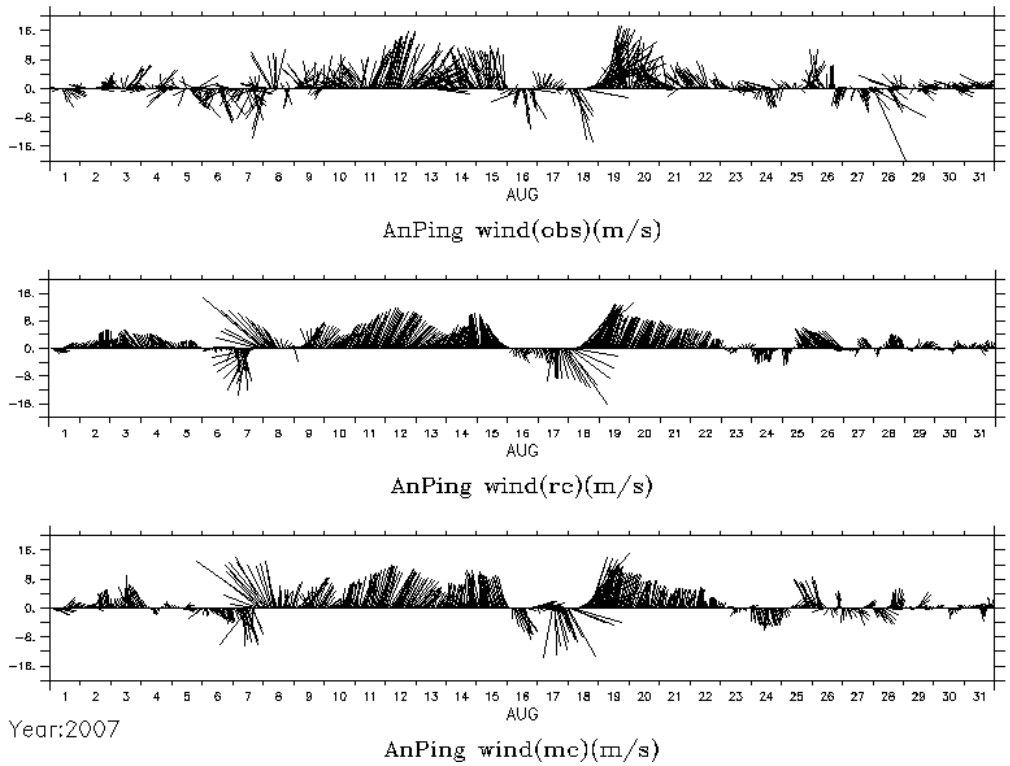


圖 2-5-49　安平港 2007 年 8 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

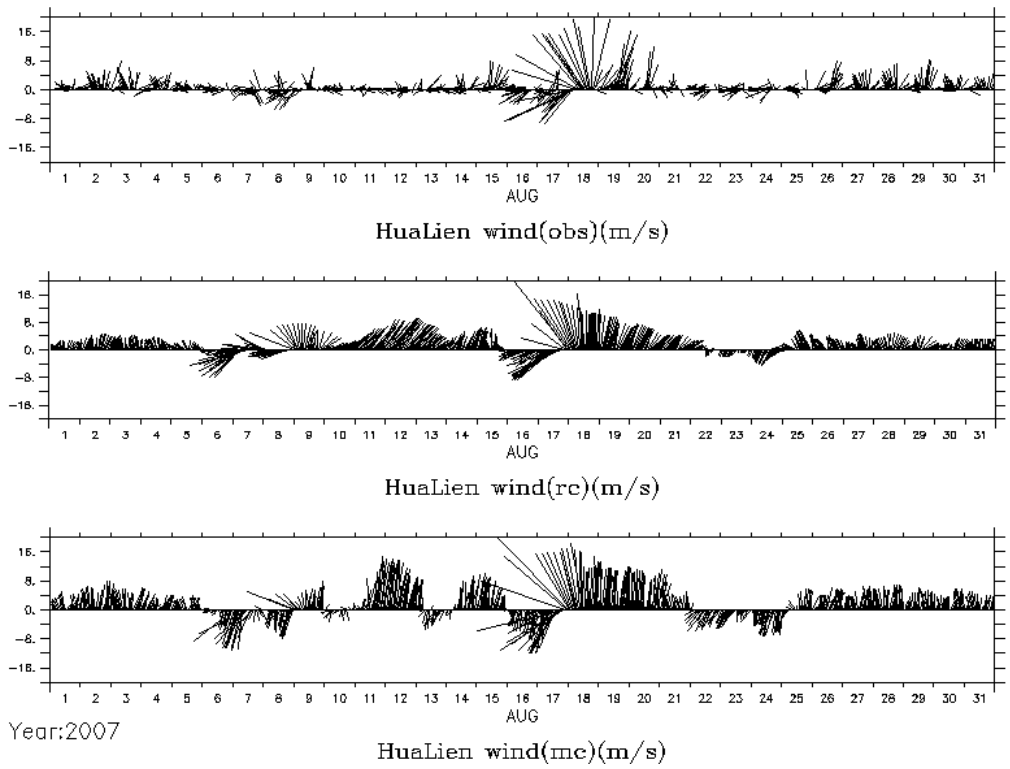


圖 2-5-50　花蓮港 2007 年 8 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

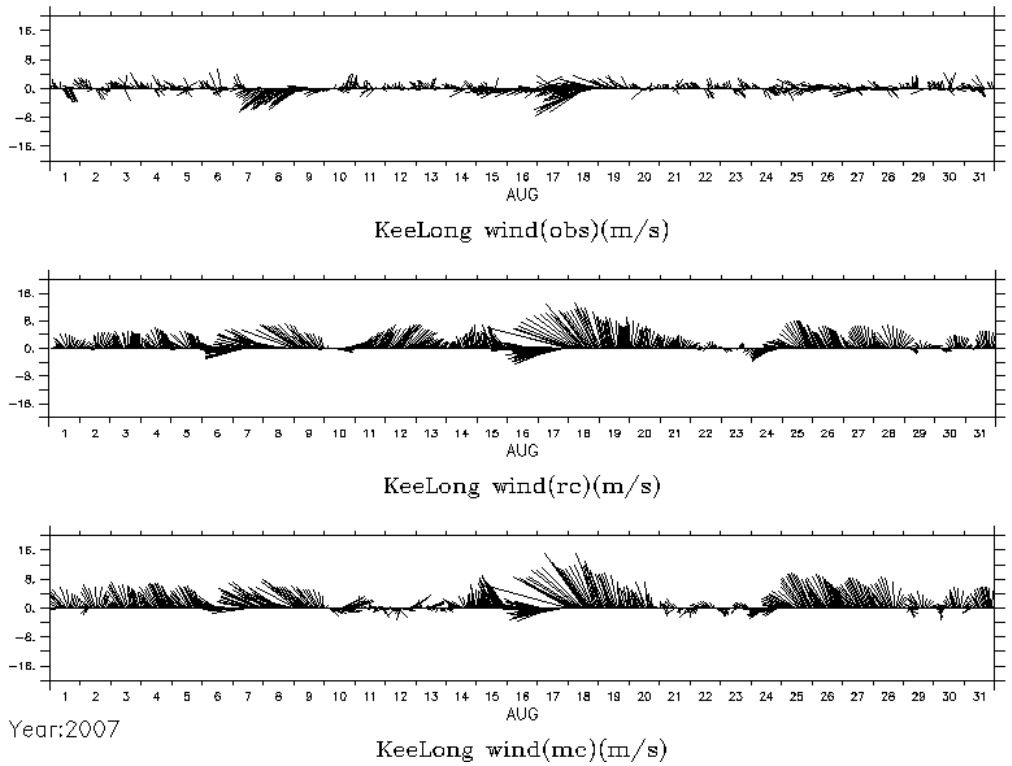


圖 2-5-51　基隆港 2007 年 8 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

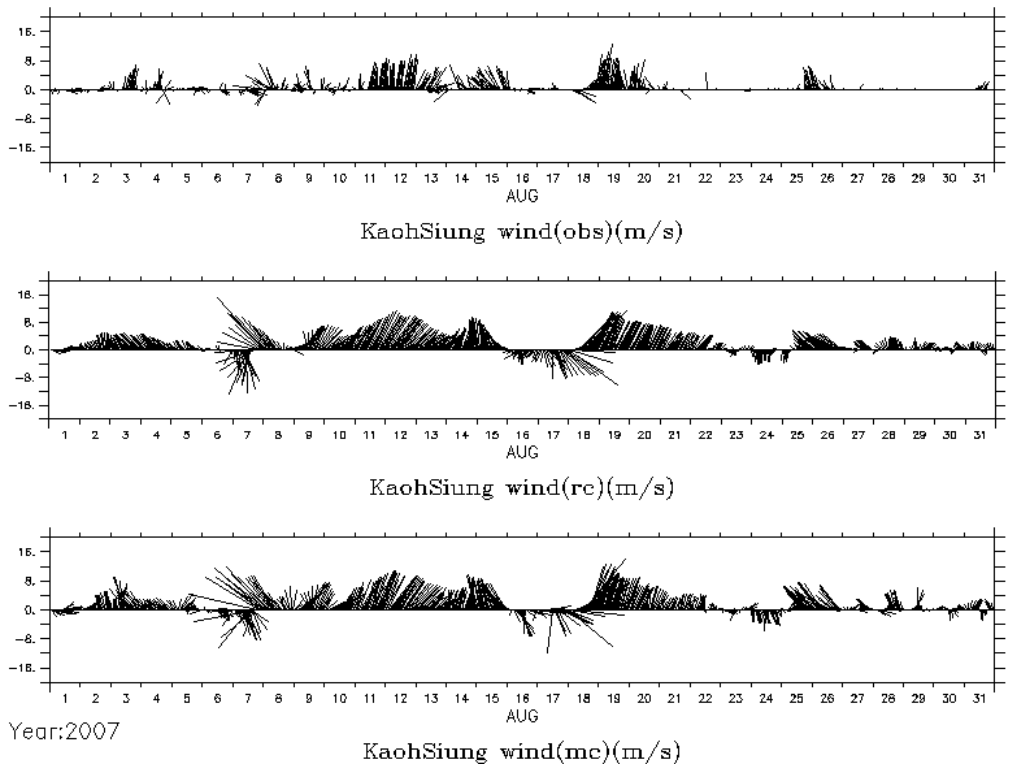


圖 2-5-52　高雄港 2007 年 8 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

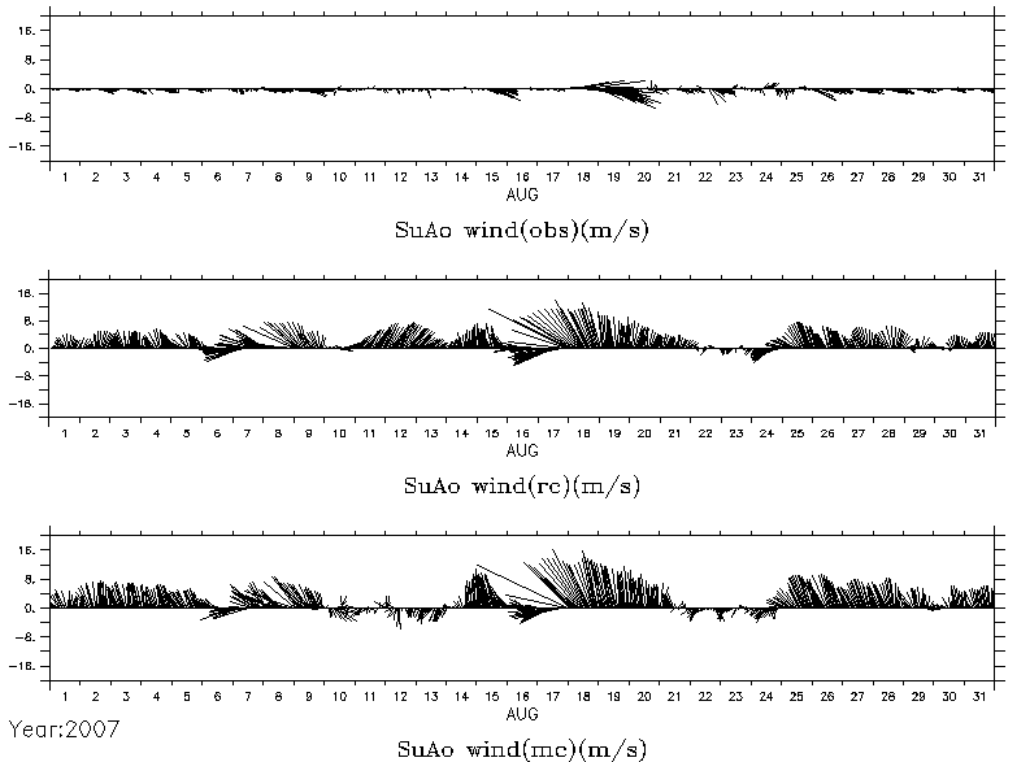


圖 2-5-53　蘇澳港 2007 年 8 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

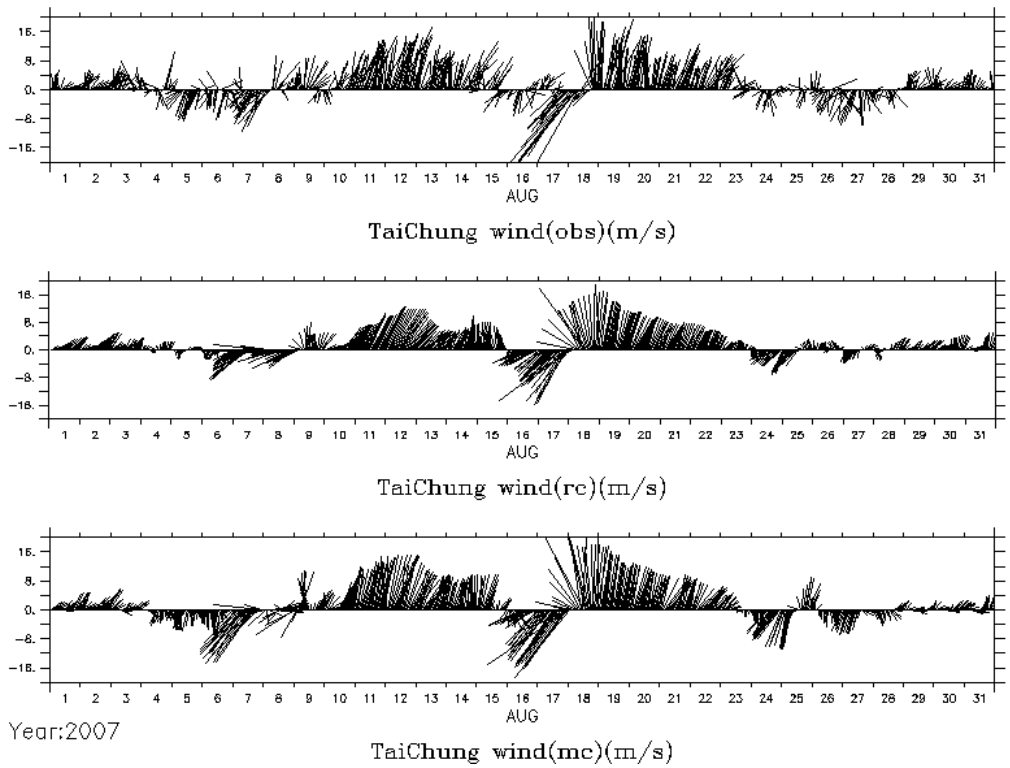


圖 2-5-54　台中港 2007 年 8 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

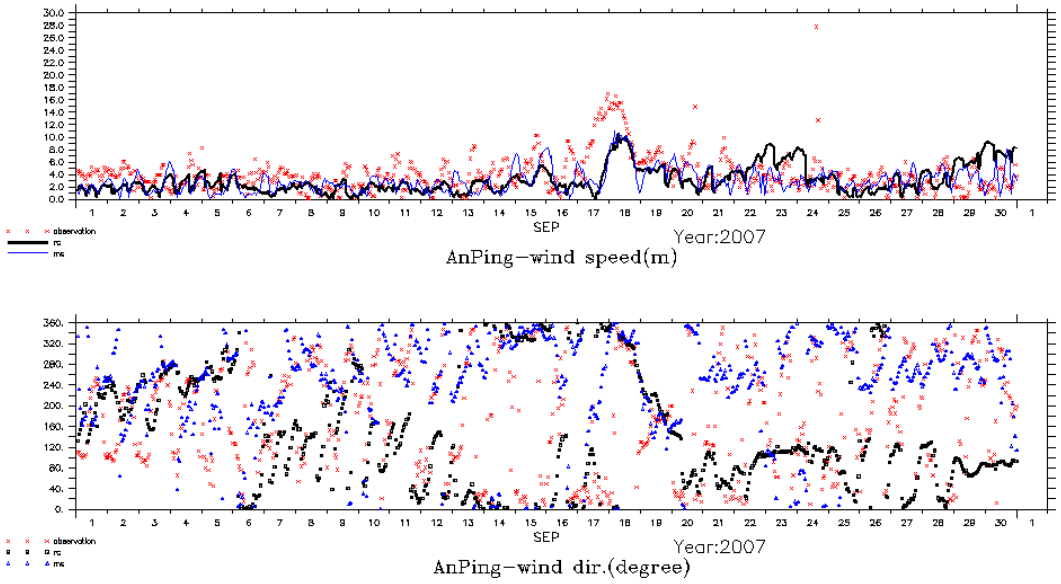


圖 2-5-55　安平港 2007 年 9 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

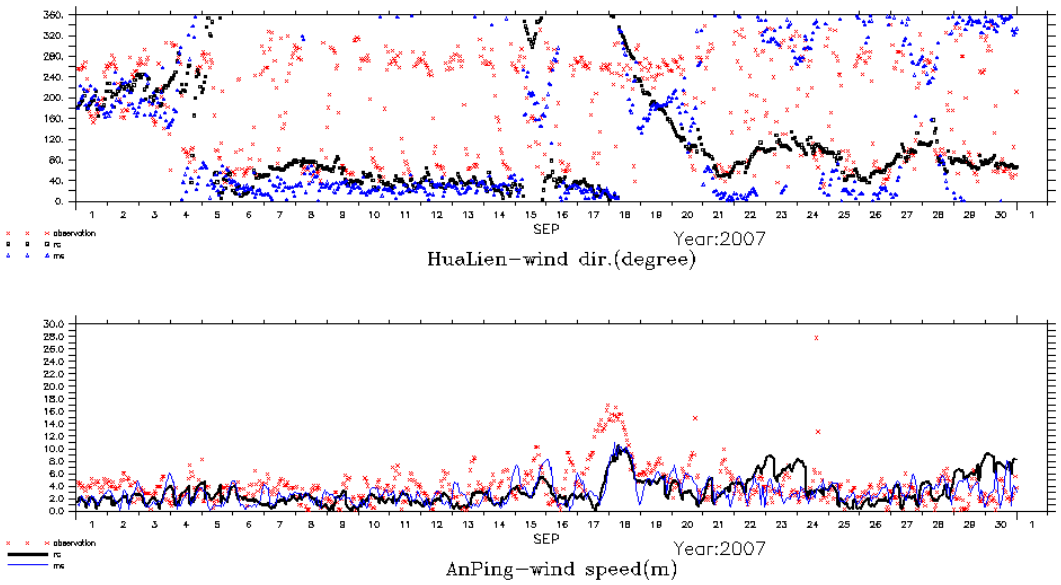


圖 2-5-56　花蓮港 2007 年 9 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

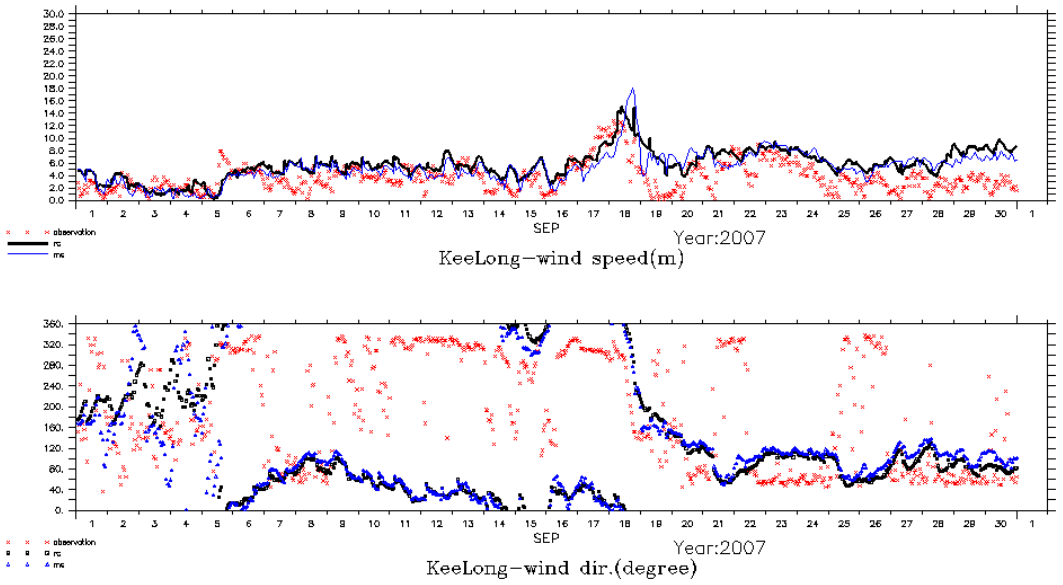


圖 2-5-57　基隆港 2007 年 9 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

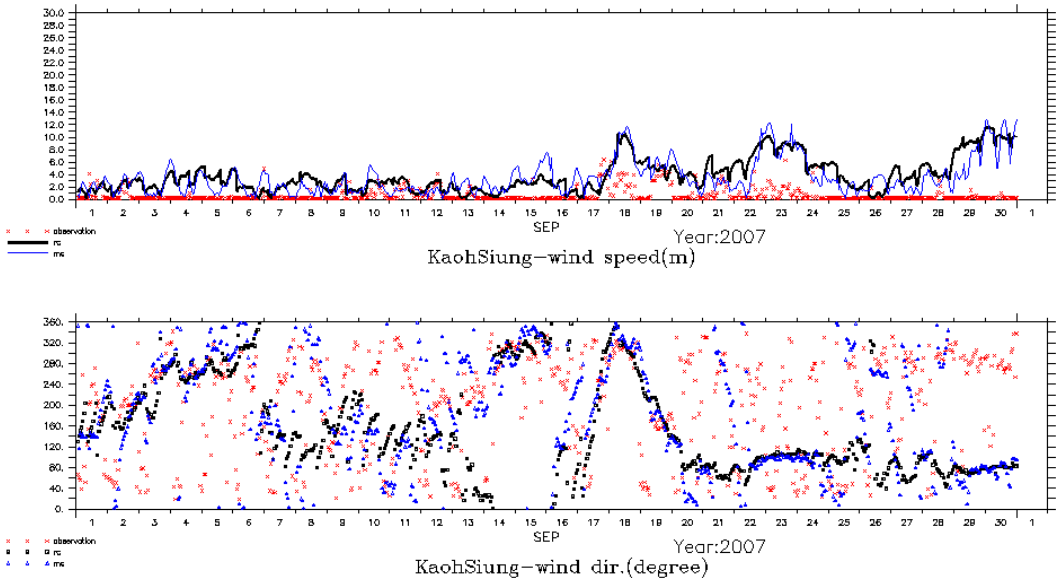


圖 2-5-58　高雄港 2007 年 9 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

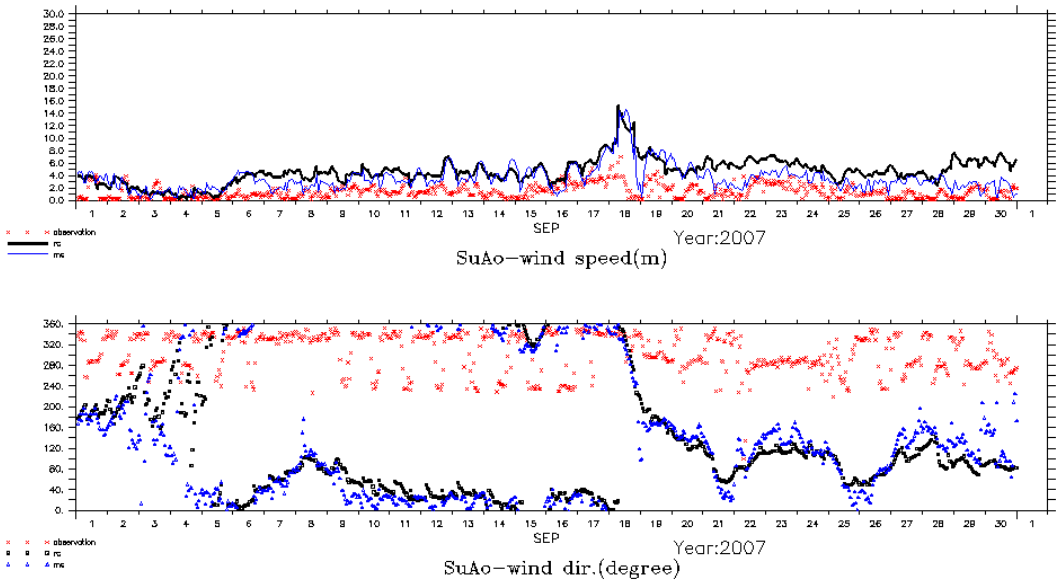


圖 2-5-59　蘇澳港 2007 年 9 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

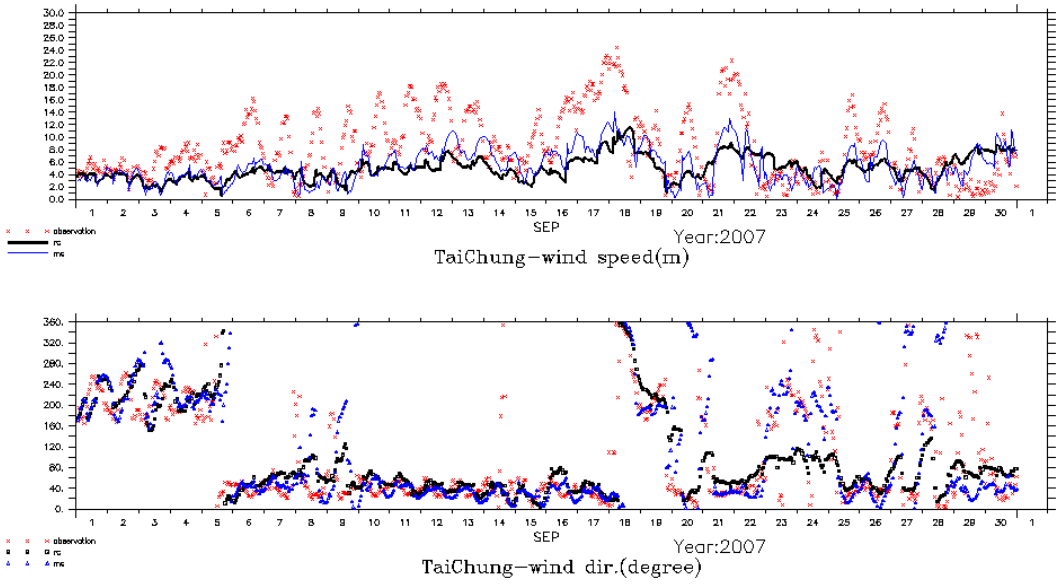


圖 2-5-60　台中港 2007 年 9 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

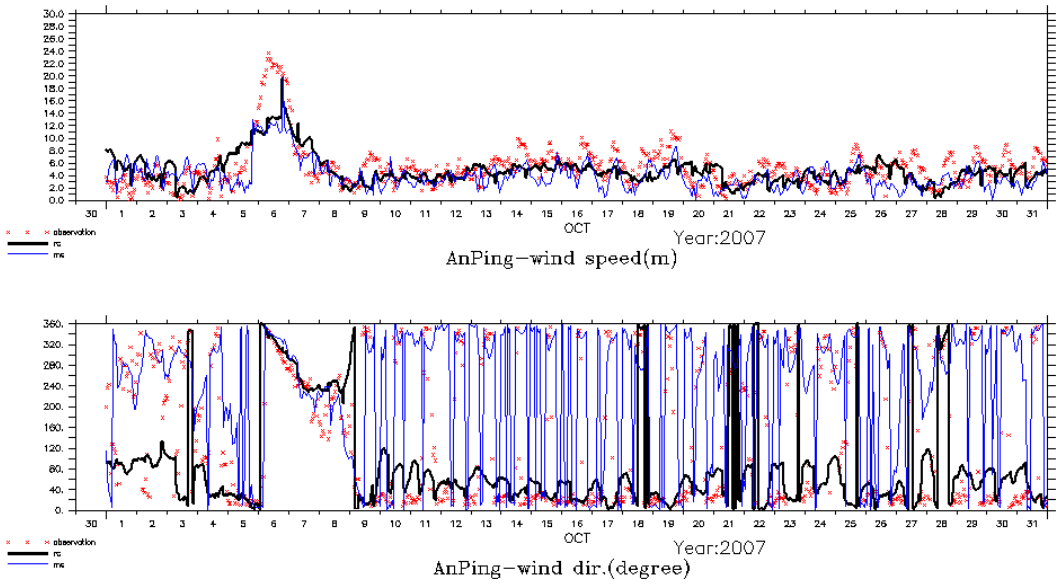


圖 2-5-61　安平港 2007 年 10 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

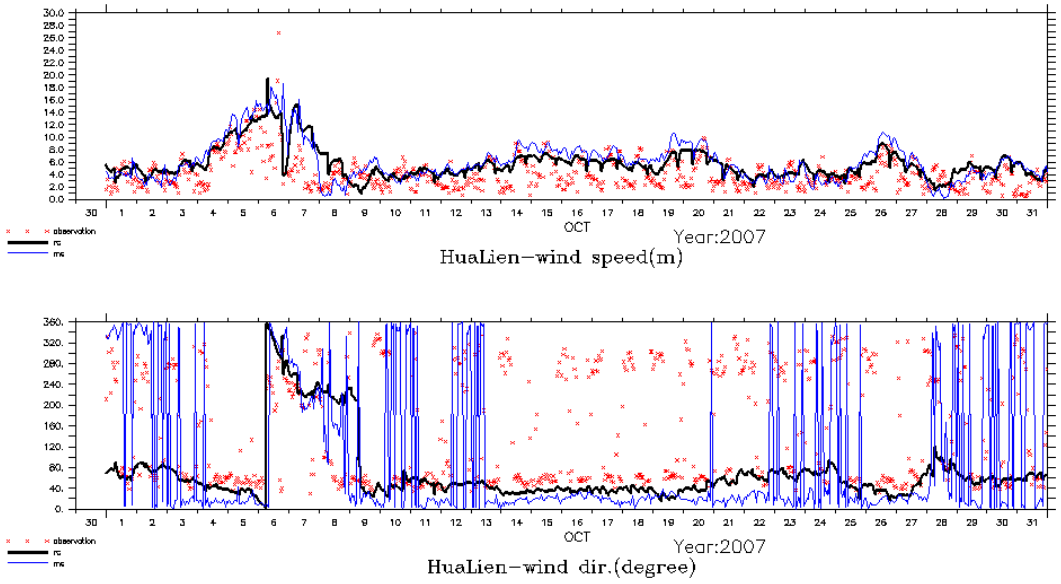


圖 2-5-62　台中港 2007 年 10 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

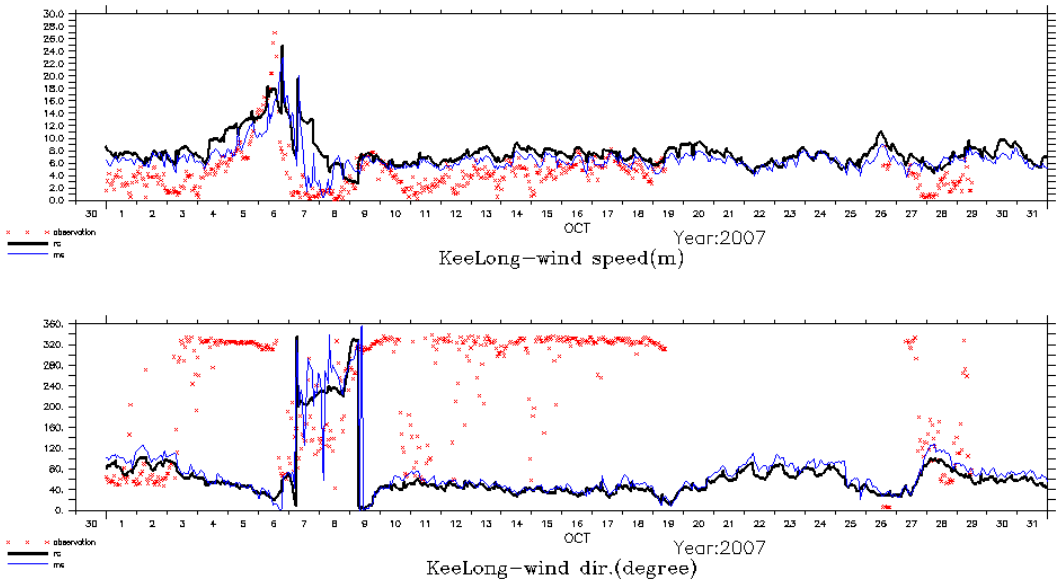


圖 2-5-63　基隆港 2007 年 10 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

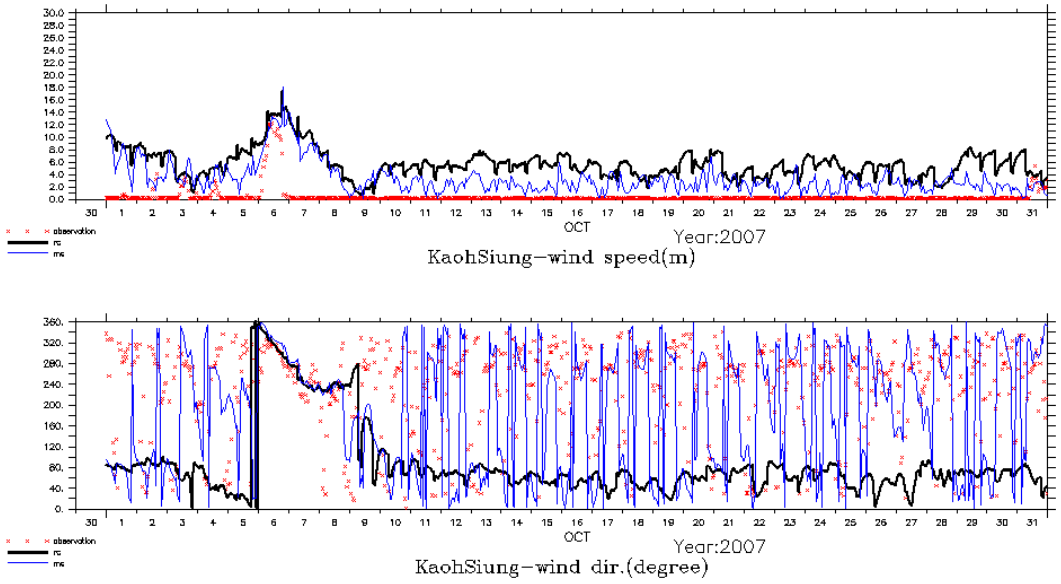


圖 2-5-64　高雄港 2007 年 10 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

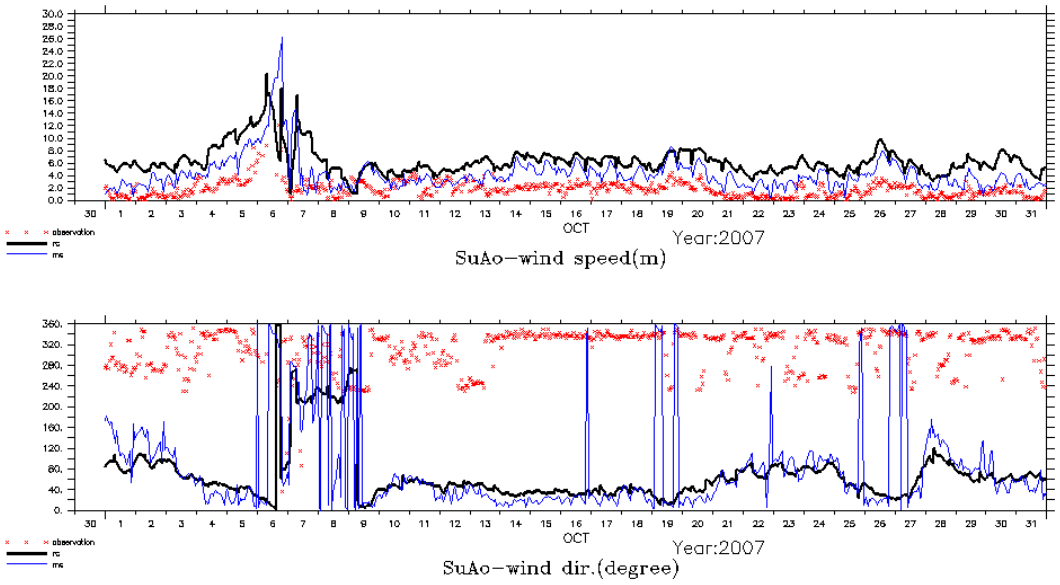


圖 2-5-65　蘇澳港 2007 年 10 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

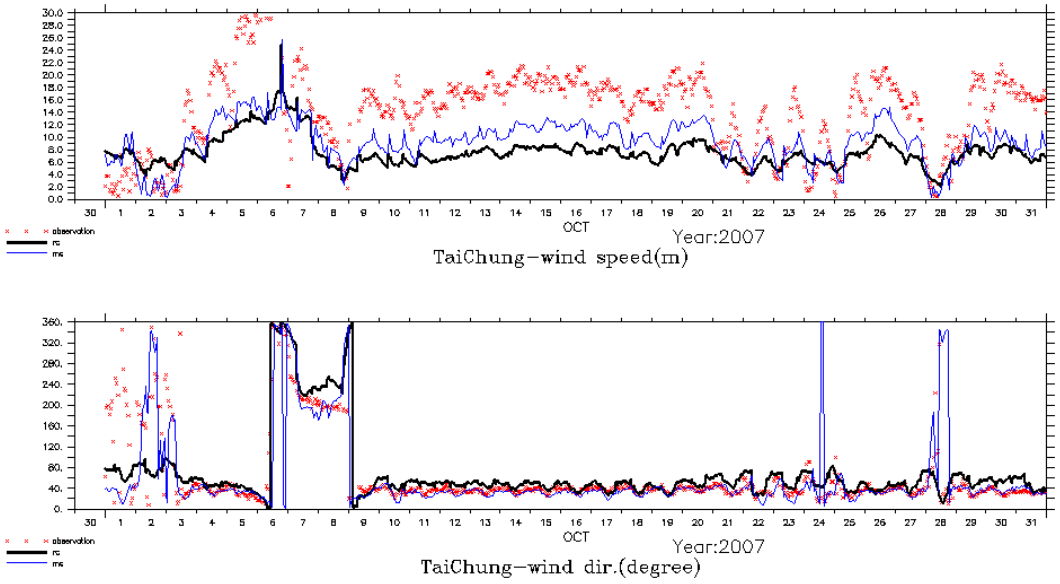


圖 2-5-66　台中港 2007 年 10 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

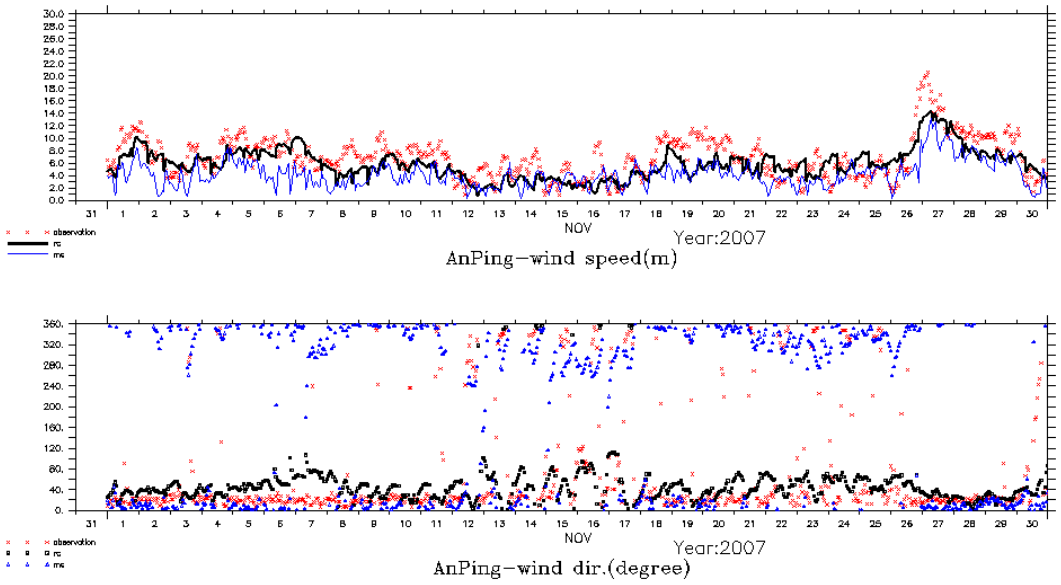


圖 2-5-67　安平港 2007 年 11 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

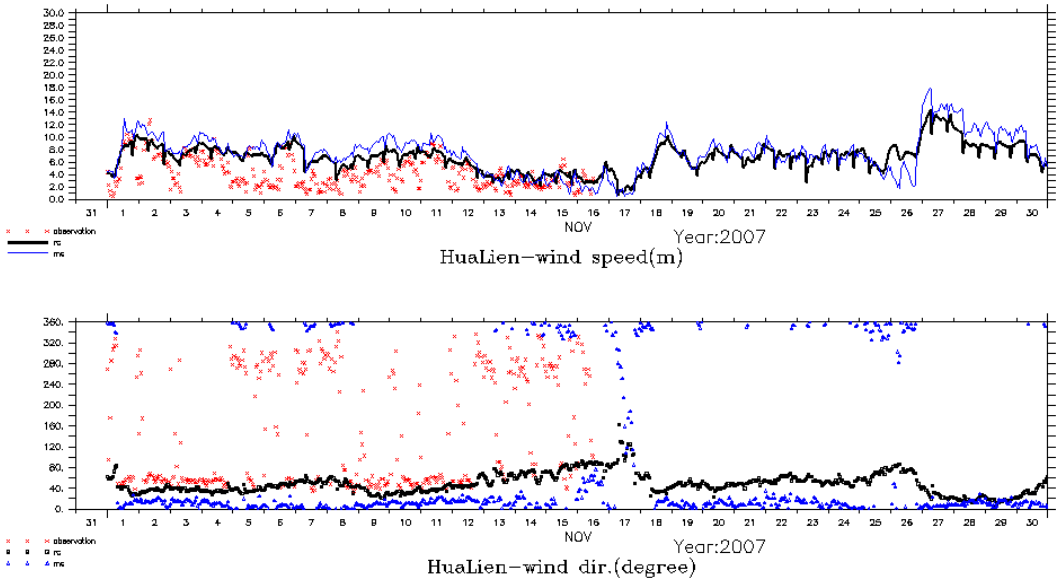


圖 2-5-68　花蓮港 2007 年 11 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

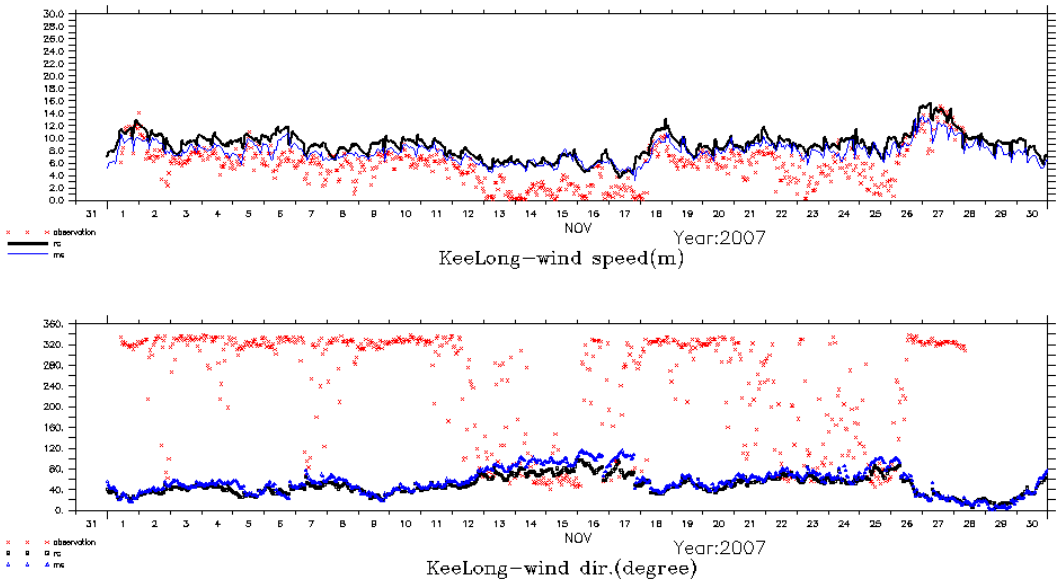


圖 2-5-69　基隆港 2007 年 11 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

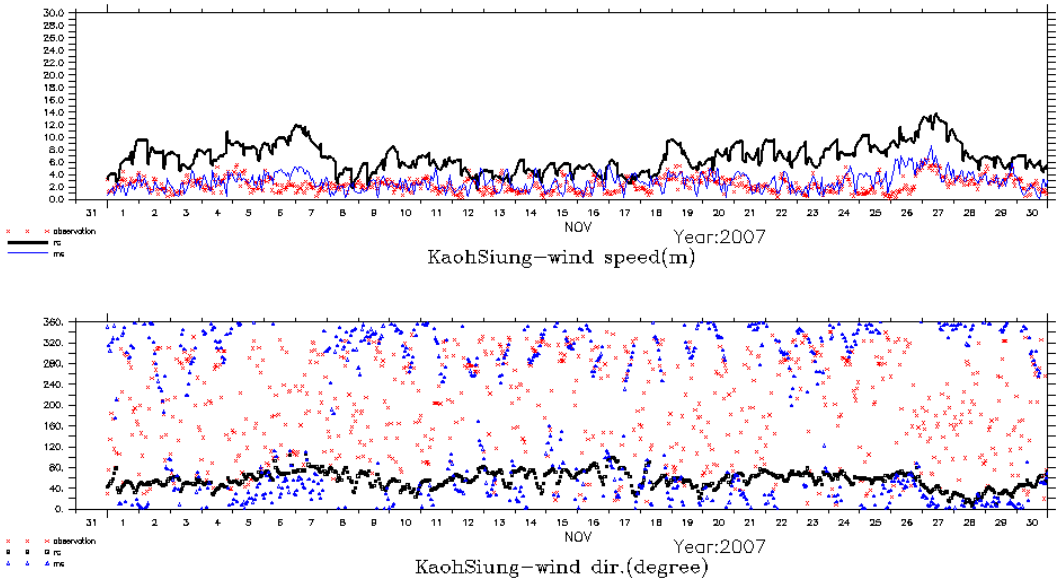


圖 2-5-70　高雄港 2007 年 11 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

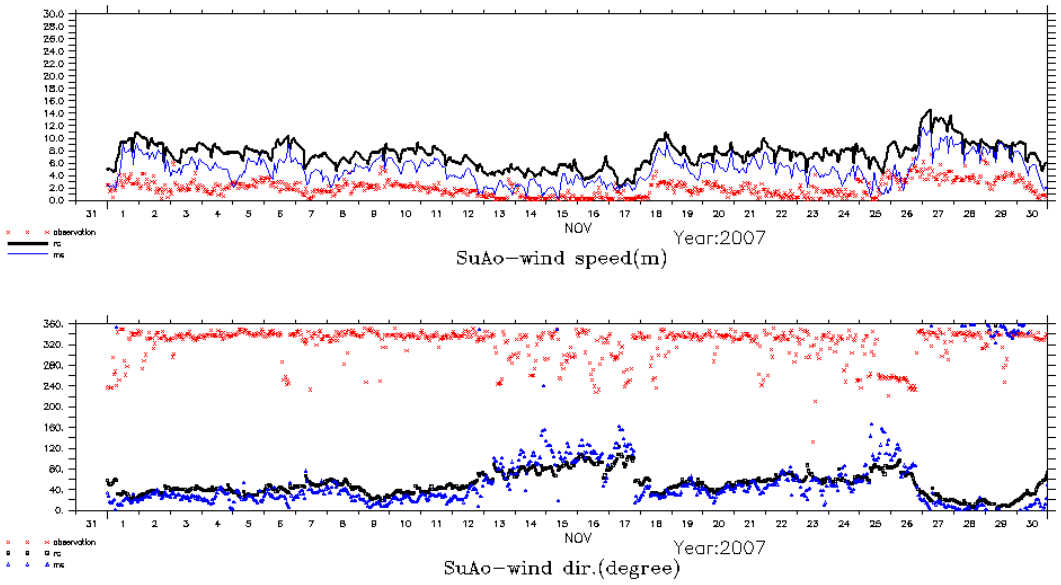


圖 2-5-71　蘇澳港 2007 年 11 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖

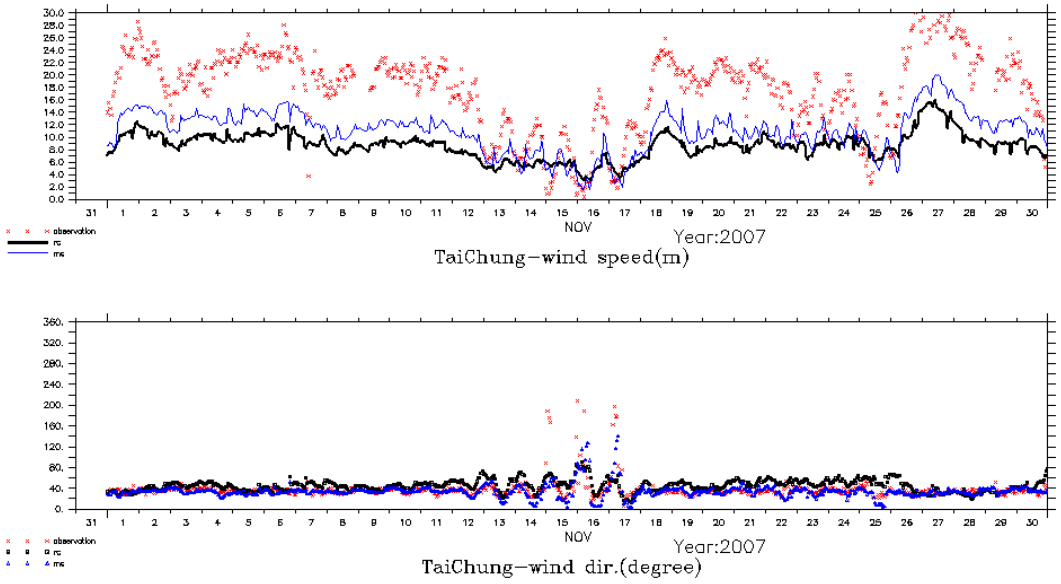
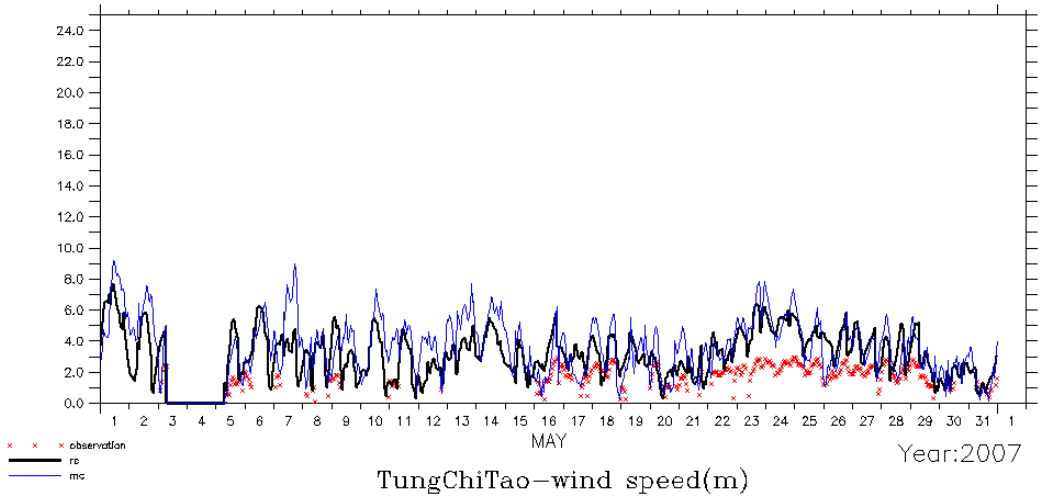


圖 2-5-72　台中港 2007 年 11 月 RC 及 MC 模式與實測資料比對圖



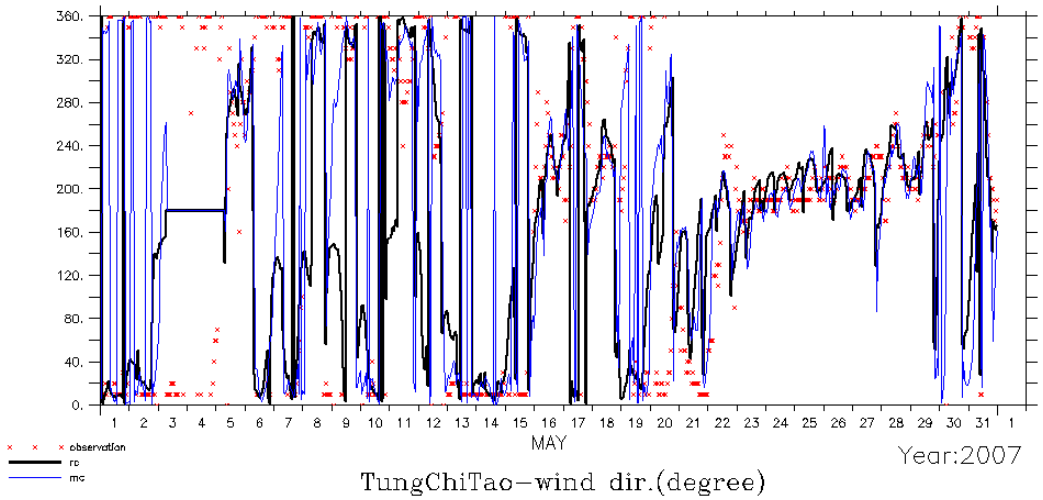
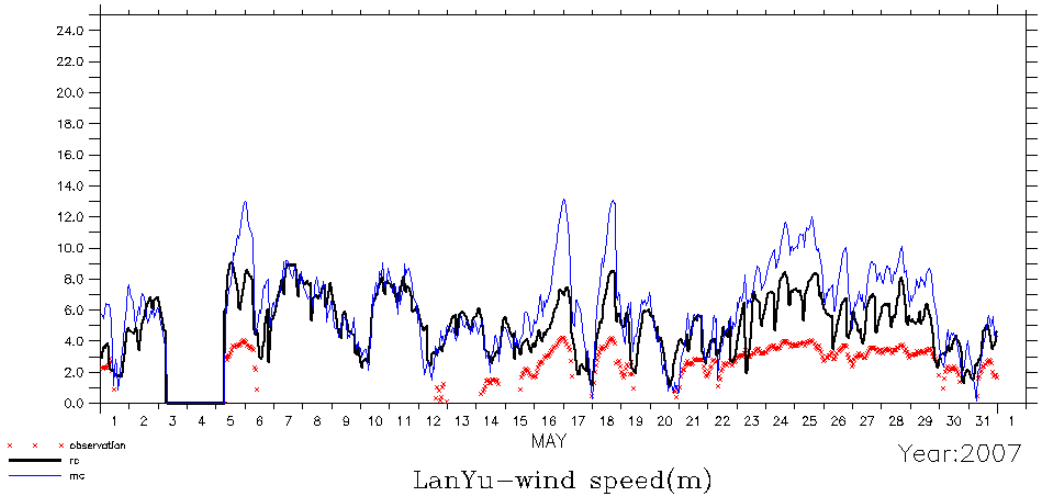


圖 2-5-73 東吉島 2007 年 5 月模式資料與實測資料比對圖



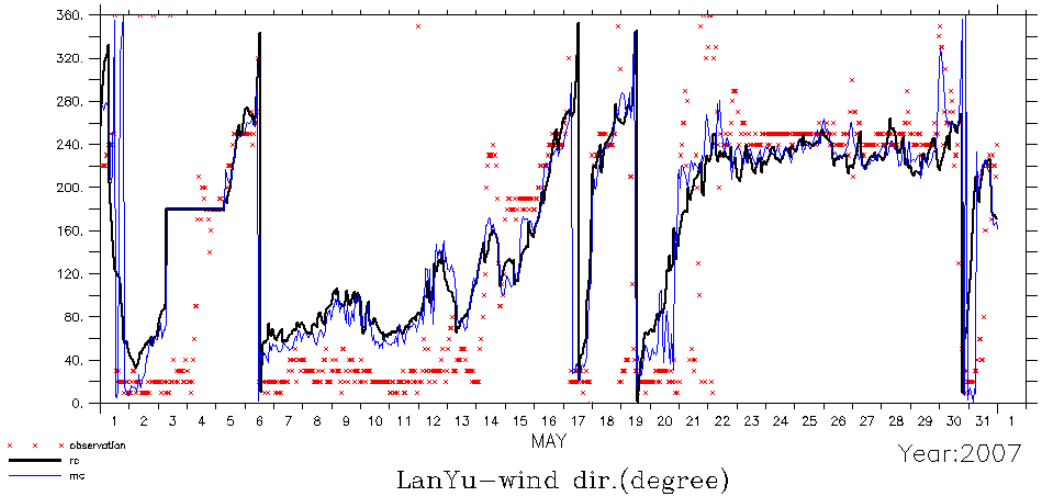
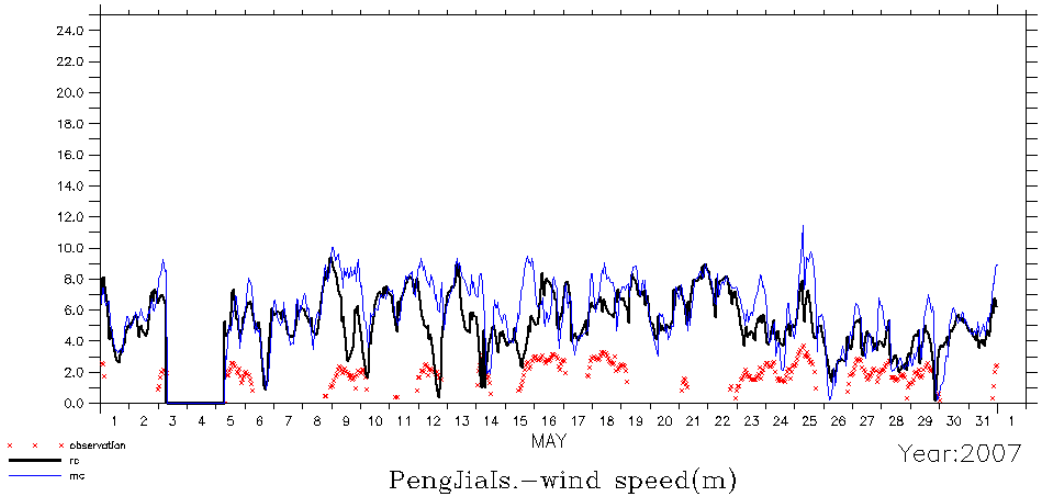


圖 2-5-74　蘭嶼 2007 年 5 月模式資料與實測資料比對圖



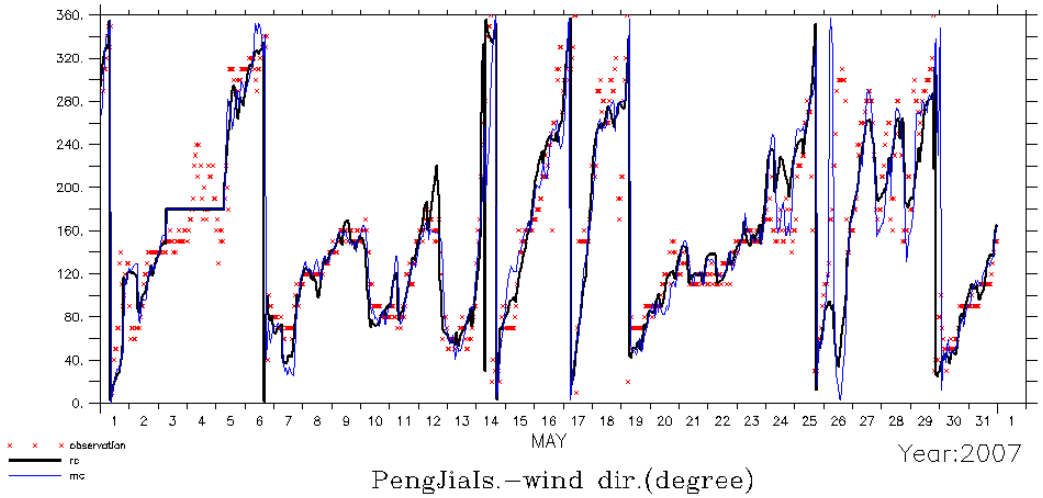


圖 2-5-75　彭佳嶼 2007 年 5 月模式資料與實測資料比對圖

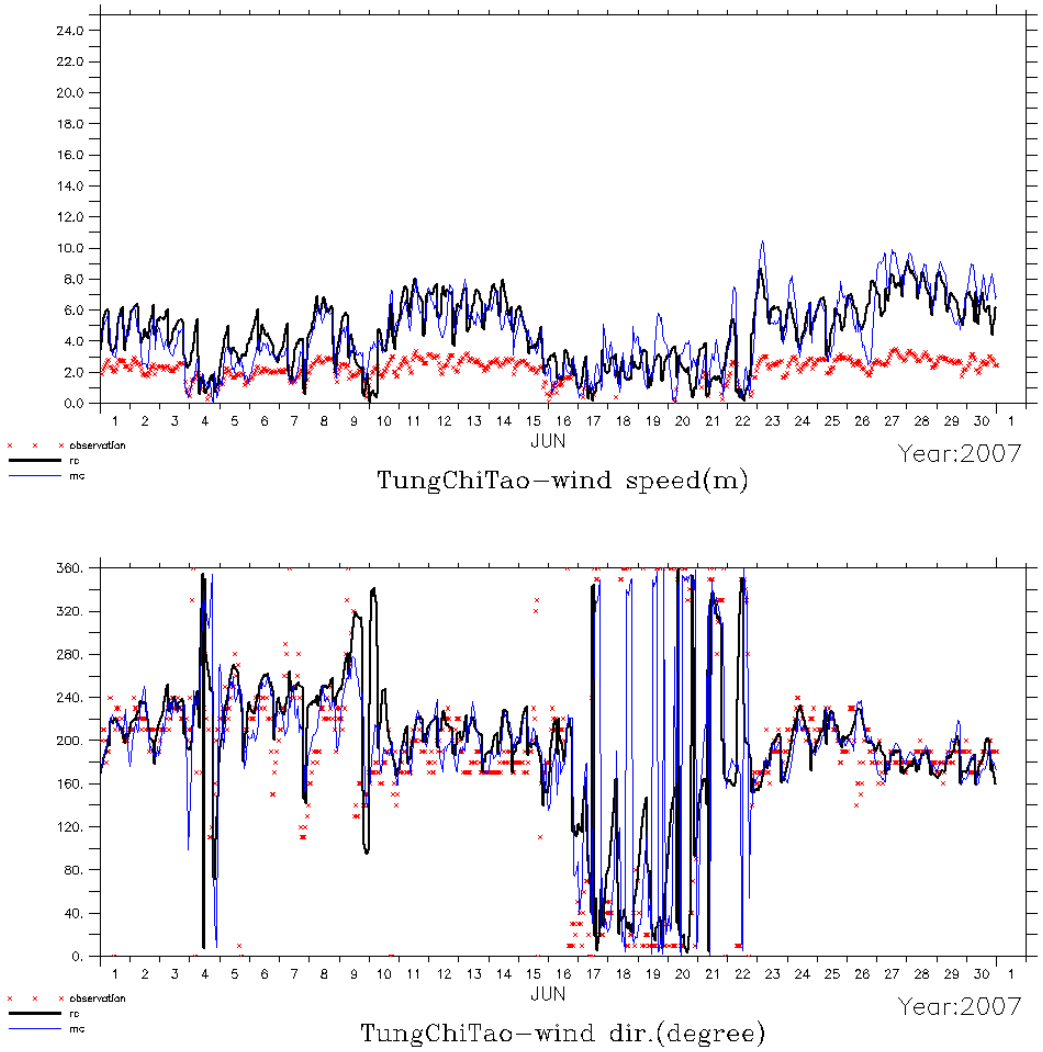


圖 2-5-76　東吉島 2007 年 6 月模式資料與實測資料比對圖

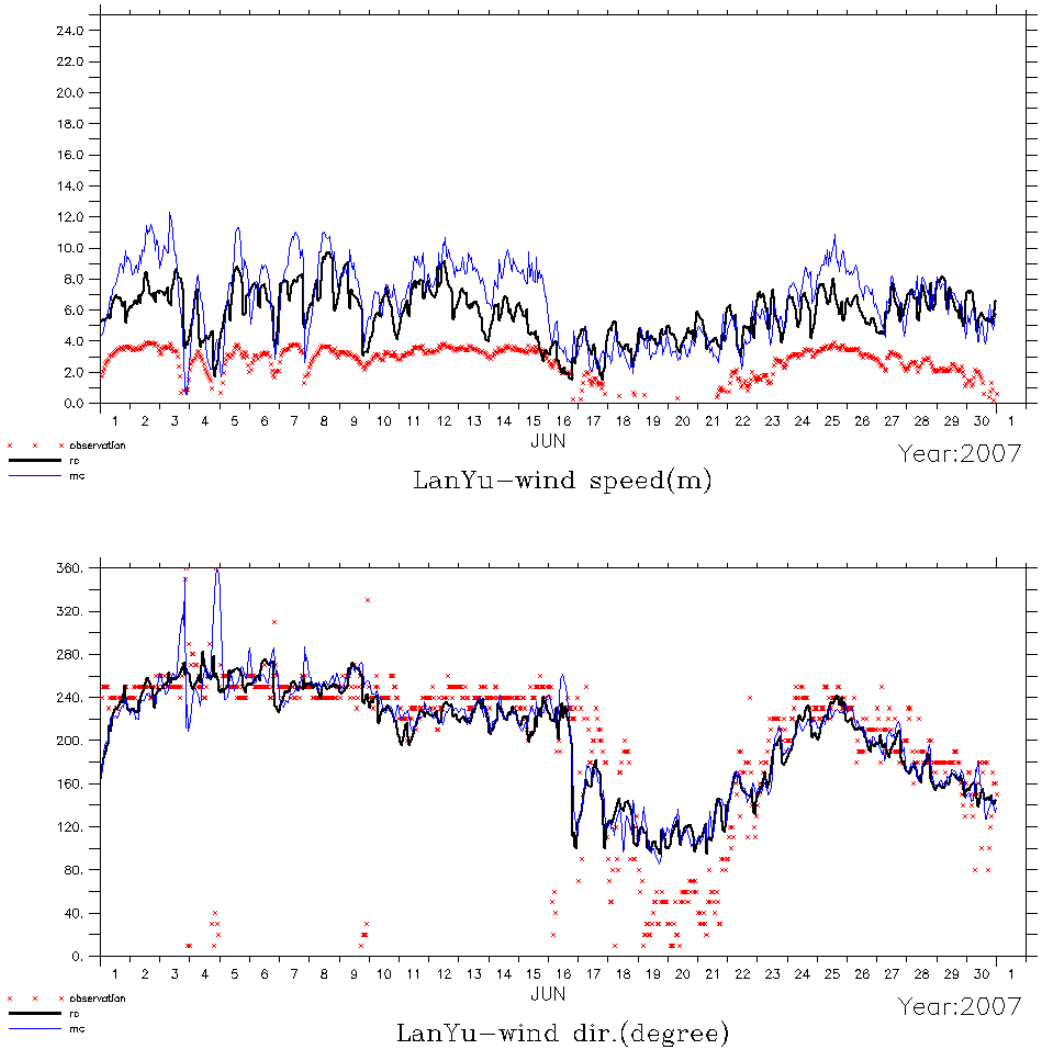
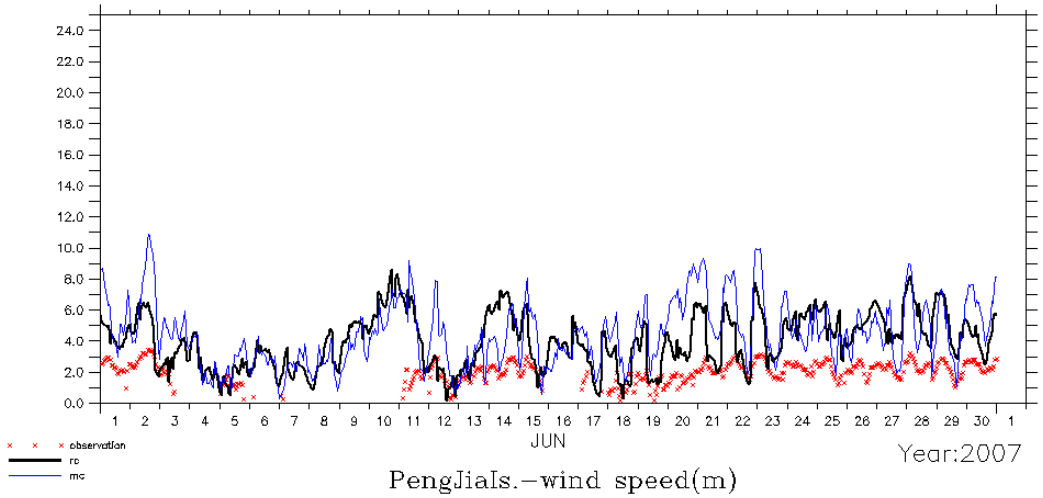


圖 2-5-77　蘭嶼 2007 年 6 月模式資料與實測資料比對圖



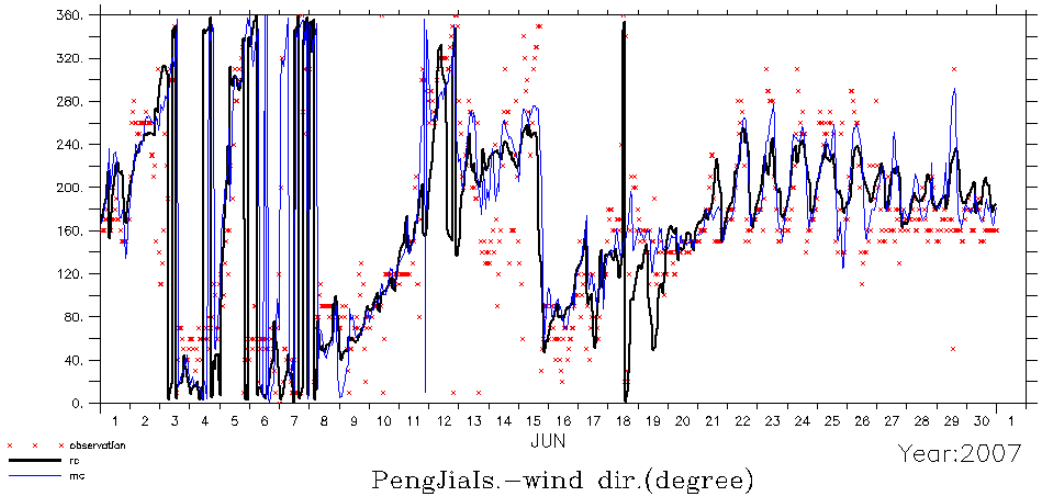


圖 2-5-78　彭佳嶼 2007 年 6 月模式資料與實測資料比對圖

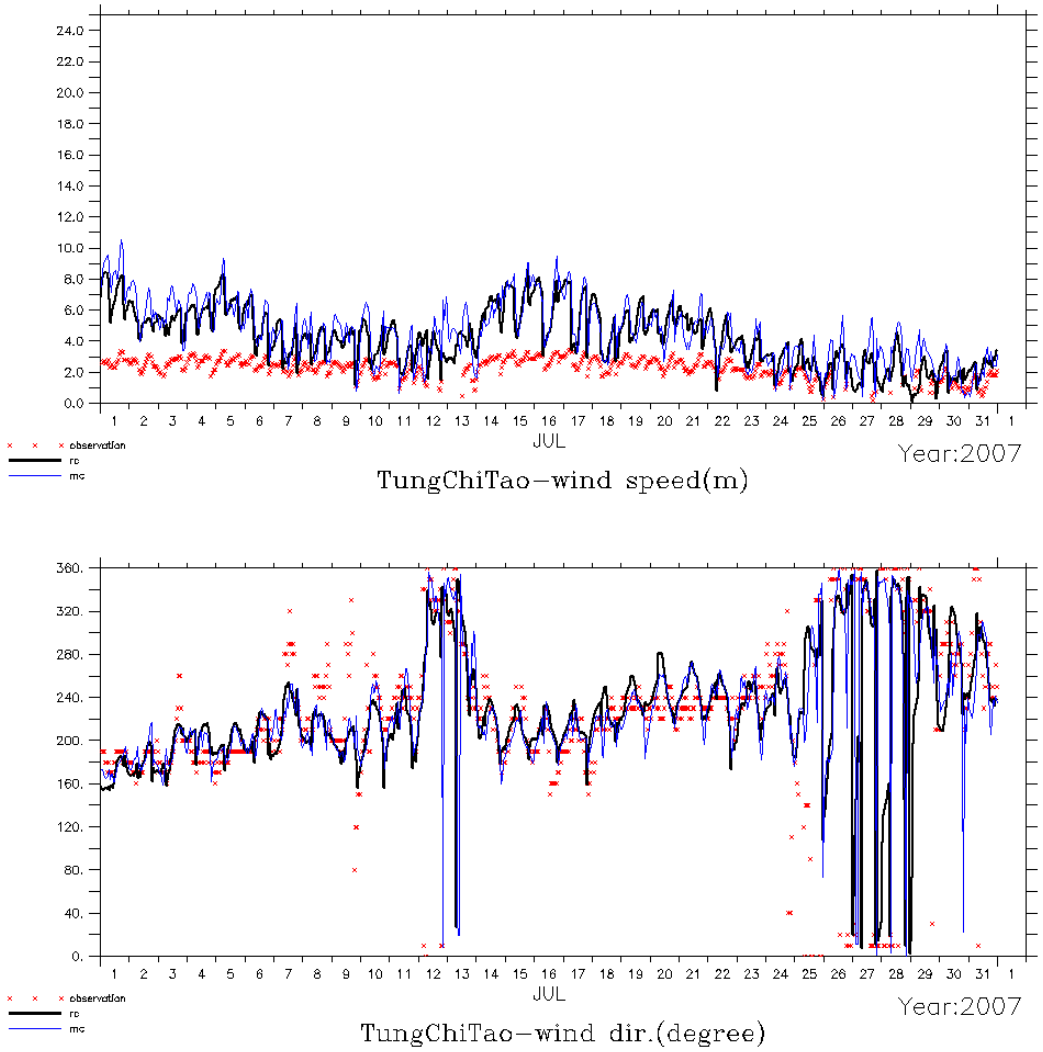


圖 2-5-79　東吉島 2007 年 7 月模式資料與實測資料比對圖

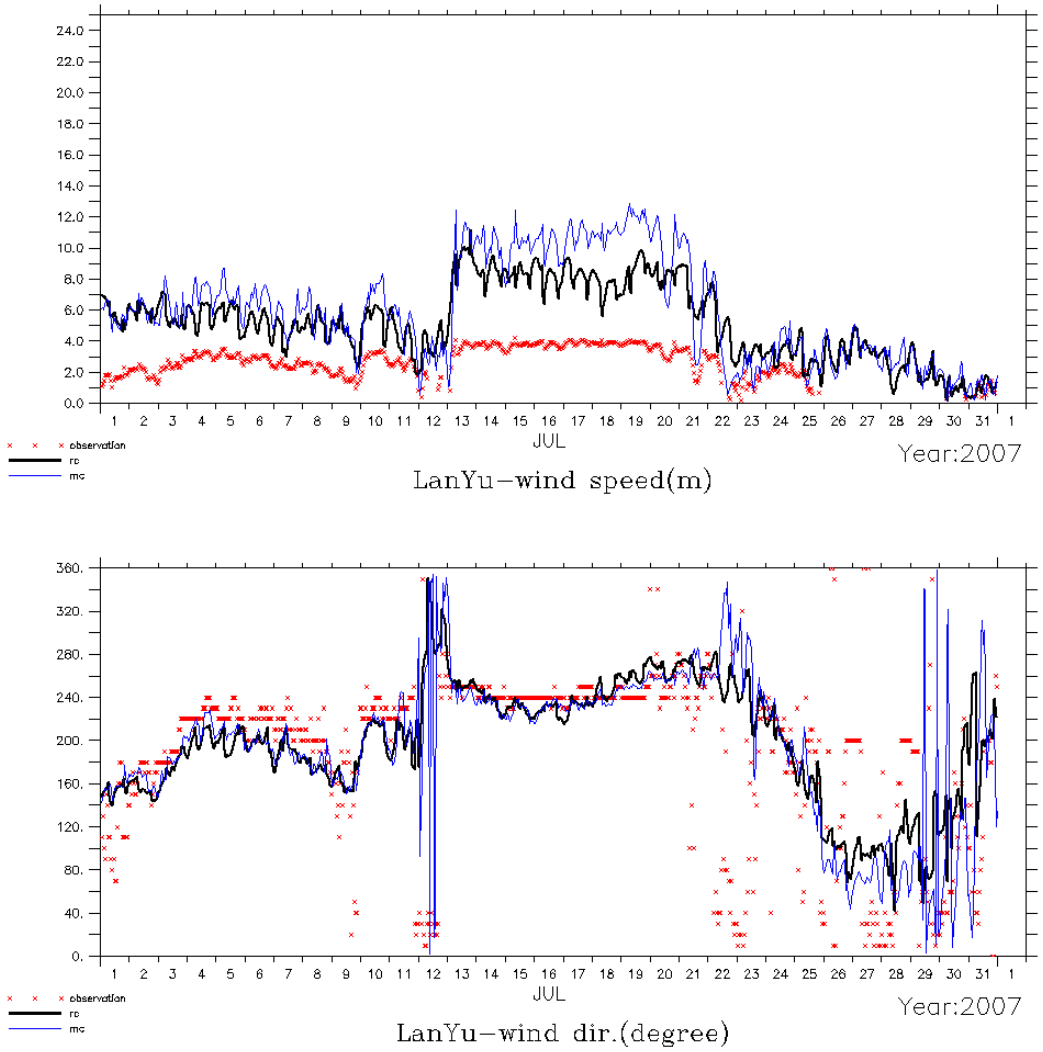
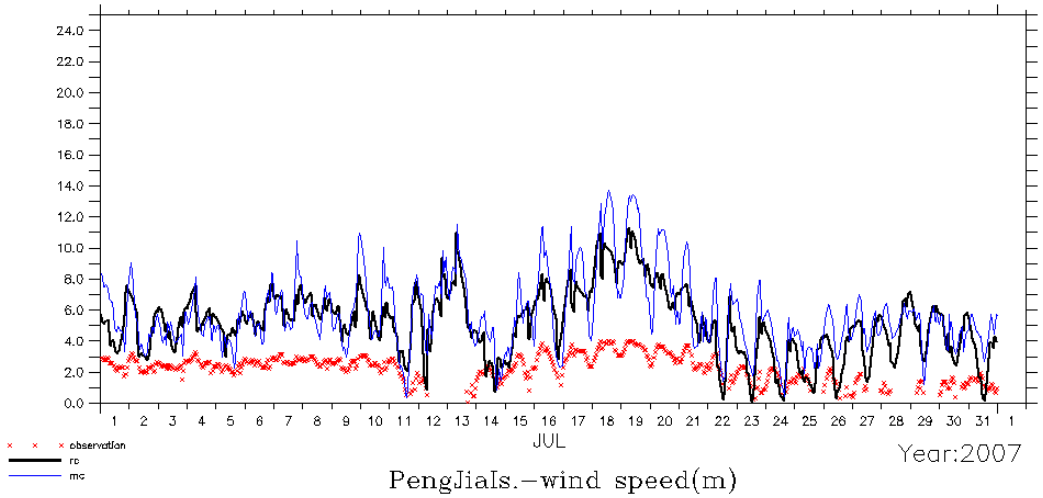


圖 2-5-80　蘭嶼 2007 年 7 月模式資料與實測資料比對圖



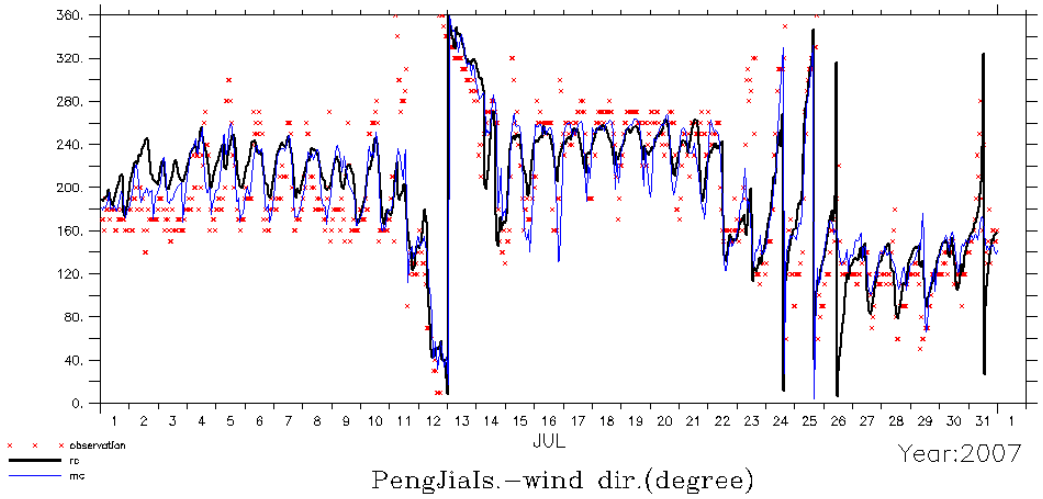


圖 2-5-81　彭佳嶼 2007 年 7 月模式資料與實測資料比對圖

第三章　近岸海域及港區海象模擬

目前的預警系統已經完成遠域預報系統的建置，但是受限於地形解析度的限制，因此預報的結果對於近岸地區的解析並不足夠，所以需要另外發展解析度更高但是範圍較小的近岸海域及港區範圍的預報模式。近岸地區通常為人口聚集且海上交通頻繁的區域，影響此區最重要的因子為海流（影響船隻航行、污染擴散等）及波浪（影響近岸人工建築物的強度標準），因此本計畫的主要工作目標便是依序完成臺灣七大商港的近岸海域及港區海流及波浪預報模式。

由於近岸海域及港區預報模式在計算上因為網格小且地形變化複雜，因此仍需要相當的計算時間，對於短時間的預測仍有困難，為了彌補這方面的缺點，本計畫同時建置計算速度快的類神經網路預警模式及波浪相關模式，填補近岸海域及港區域報模式的不足。以下各節描述本年度完成的工作項目及內容。

3.1 港區周圍及港內流場

3.1.1 台中港區周圍及港內流場

3.1.1.1 港區周圍及港內水動力模式

台中港近岸海域由於受到港區延伸的防波堤影響，以定格點模式無法完整解析地形及港區結構物配置；因此，本計畫採用有限元素法的網格配置，建構及充分解析台中港港區周圍及港的流場。水動力模式原理如下:

連續方程式

$$\frac{\partial d}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(u\bullet d)+\frac{\partial}{\partial y}(v\bullet d)=0 \quad \text{.....(3.1.1)}$$

動量方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}=-g\frac{\partial d}{\partial x}-g\frac{\partial Z_b}{\partial x}+\Omega v+\frac{1}{\rho d}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(d\tau_{xx}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(d\tau_{xy}\right)+\tau_x^s-\tau_x^b\right] \quad ...(3.1.2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}=-g\frac{\partial d}{\partial y}-g\frac{\partial Z_b}{\partial y}-\Omega u+\frac{1}{\rho d}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(d\tau_{yx}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(d\tau_{yy}\right)+\tau_y^s-\tau_y^b\right] \quad ...(3.1.3)$$

其中 d 為水深變化（depth of flow），u 及 v 為 x 及 y 方向深度平均流速分量，g 為重力加速度、Z_b 為水深、ρ 為水體密度，Ω 為柯氏力參數，τ_x^s、τ_y^s 為風在水體表面產生的風剪力，τ_x^b、τ_y^b 則為底床磨擦剪力，τ_{xx}、τ_{yx}、τ_{yy} 則為水深平均紊流剪力。

3.1.1.2 計算網格建構

為充分應用有限元素法對岸線及港區解析的功能性，建構模式之前，需先取得詳細的海岸線資料及港區結構物的配置；其次透過自行開發的前處理程式，產生模式所需的有限元素計算網格；最後配合水深資料產生計算所需各網目節點的水深地形資料。

本計畫所使用的海岸線資料由海圖經數化描繪後轉換為二度分帶座標，水深資料是依據 2005 年台中港務局測量的水深資料，同時結合台灣附近海域一分水深地形資料，可提供前處理程式進行產生計算網格及水深地形資料檔。圖 3-1-1 為經前處理程式根據地形配置以非規則性三角元素網格做最佳化計算後所產生的台中港海域及港區模式有限元素網格，總共有 1269 個網目節點及 1981 個計算元素，外圍開放邊界節點共 13 點，與台灣海域一分網格預報模式做單向嵌合。

定義計算網格的節點與元素後，利用內插方式，將原有水深資料內插至各個網目節點，以作為模式的地形計算根據。內插至節點後之網格水深地形如圖 3-1-2 所示，圖 3-1-3 為港區地形水深。由於局部區域流速的計算精度一方面受到水位與流速的邊界條件影響外，另一方

面岸線邊界的設定與水深及港區結構物配置分佈亦會影響區域內流體的內部動力平衡，故確認港區水深於節點的分佈是相當重要的。本計畫經內插及修正水深網格分佈後，港內平均水深分佈約為 15-18 公尺左右，主航道與北堤附近水深大約 20 公尺左右，大致符合原始資料分佈。

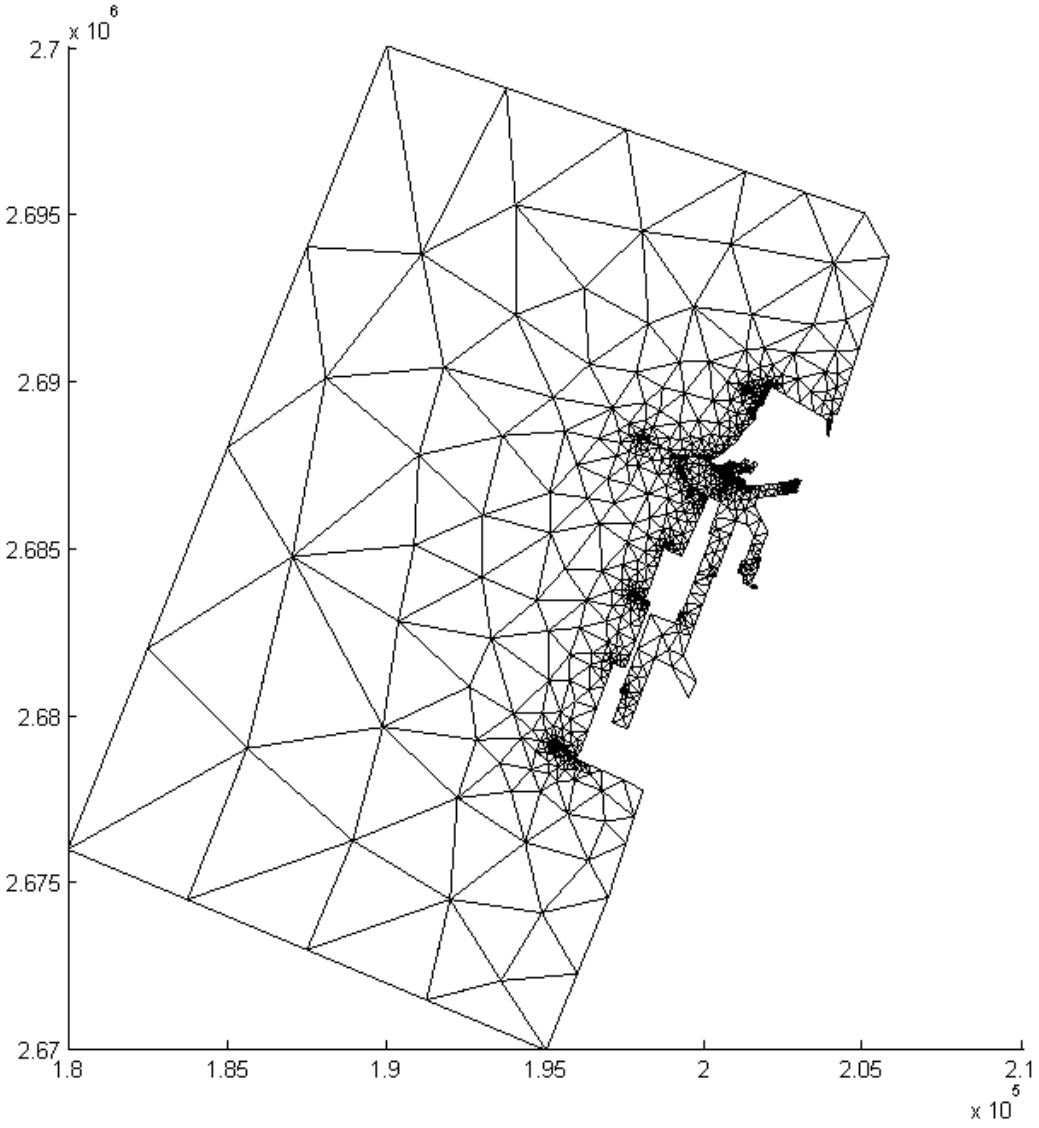


圖 3-1-1 台中港海域及港區模式之有限元素計算網格

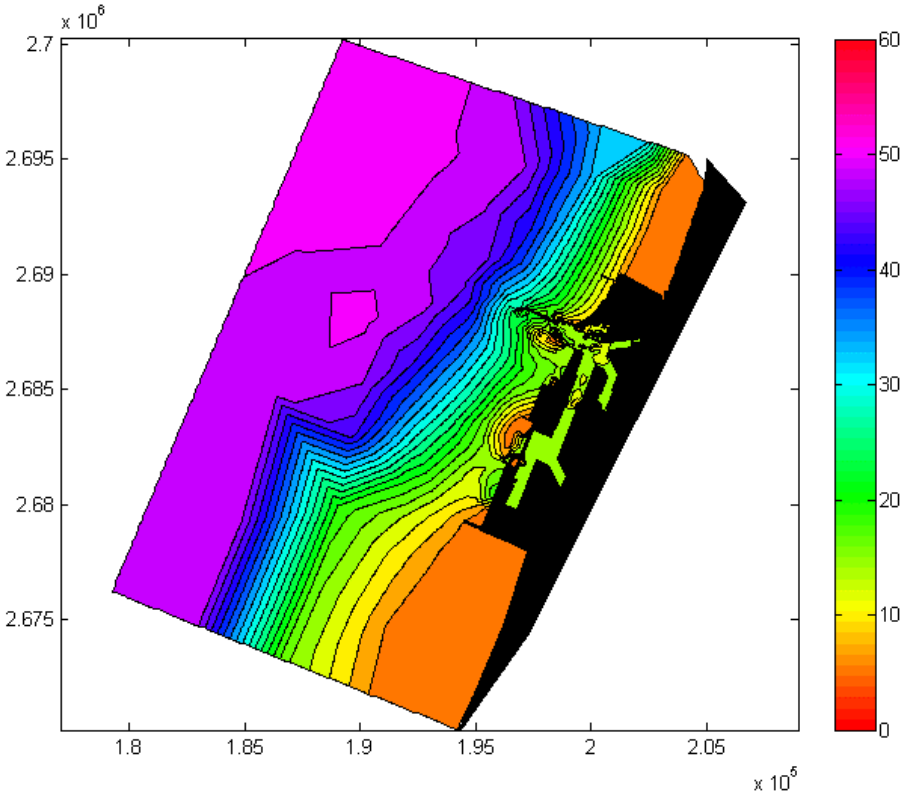


圖 3-1-2 全區有限元素網格水深分佈圖

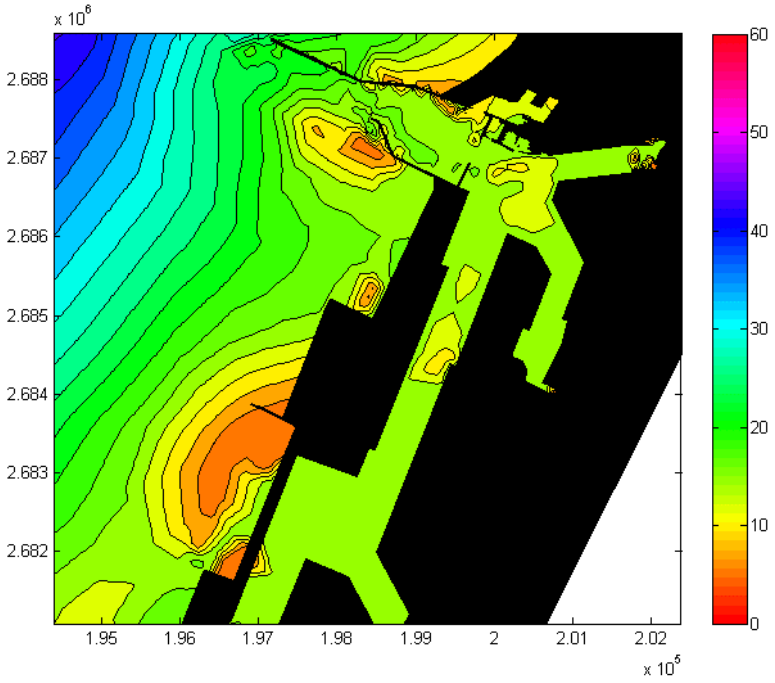


圖 3-1-3 港區內計算網格之水深分佈圖

3.1.1.3 開放邊界條件

現有台灣海域水動力模式（一分網格）可提供台中港附近海域即時水位與平均流速之預報，該模式的計算結果即可提供台中港模式開放邊界的水位與流速（如圖 3-1-4）。因台中港海域位於海峽中段，海峽南北兩側潮波推進於此處造成水流匯聚，退潮時則相反（如圖 3-1-4），水位於此範圍的同一時間差異不大，流速則有南北邊界反向的特性，故如僅引用水位作為驅動，在南北邊界水位相位並無明顯差異時，模式計算流場結果將與實際流況不符；故本計畫同時將外圍模式計算之流速引入開放邊界作為驅動，以獲得較為合理的流速分佈計算結果。

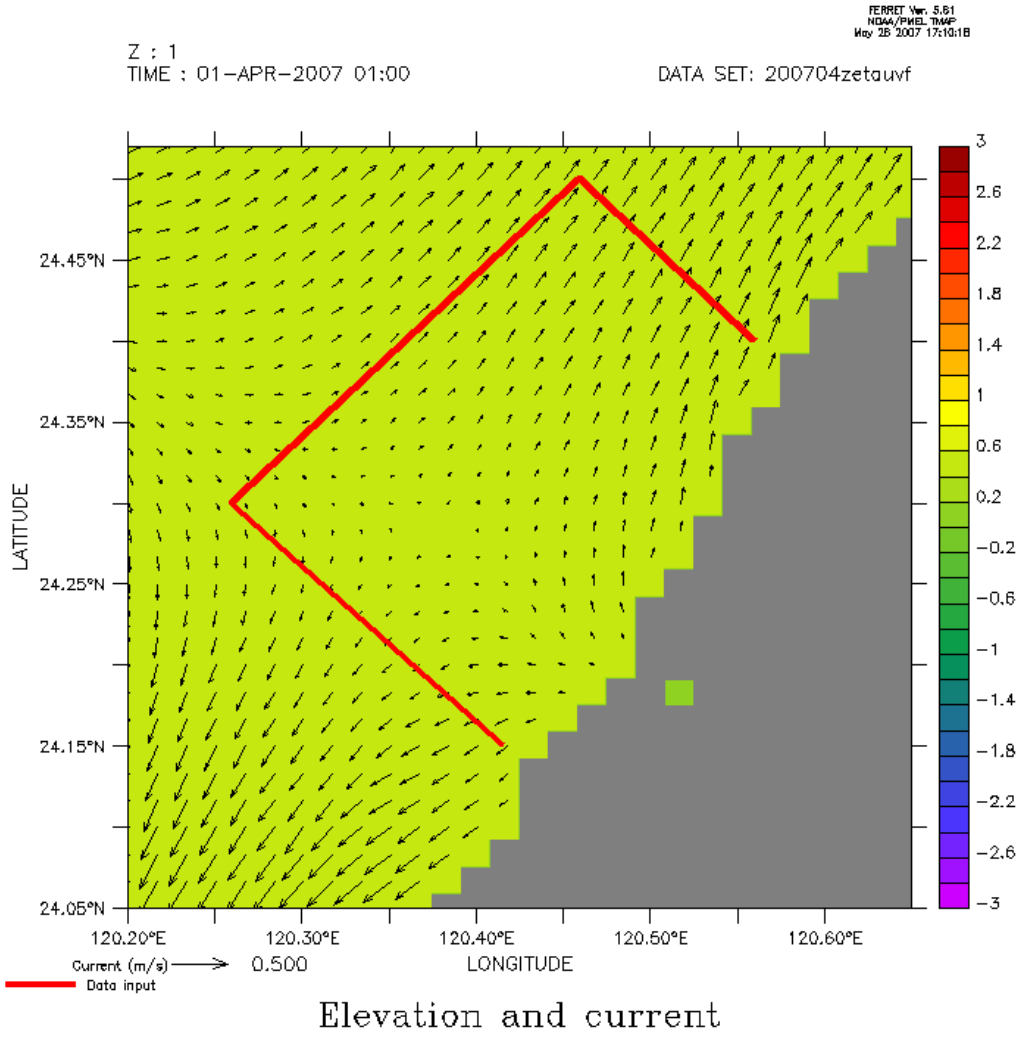


圖 3-1-4 台灣海域 1 分水動力模式所提供之邊界點（如紅線所示）

3.1.1.4 風場的輸入與現場資料流速特性

一般風場僅對表層流場影響較大，但在水深較淺沿岸區域，在風速較大時，風場亦會對流場計算結果造成相當的影響。經將港研中心實測資料與氣象局 MC 風場的預報結果比對，顯示 MC 預報風場無法適當解析現場實測風速，以二種風場作為模式的風場條件，顯示以實測風速及風向輸入所計算的結果較為符合實測流速記錄。本計畫將採用現場實測資料作為模式輸入風場，但因僅有單點的實測資料，且模擬範圍較小，台中港模式僅以單一均勻風場作為驅動。

以現場風速風向的紀錄與平均流速資料比對，分析 2007 年 1 月至 5 月的紀錄（如圖 3-1-5～圖 3-1-8 所示），於 1、2 月東北季風強盛時，港區風向以東北風為主，平均風速為 20 m/s，3 月過後，東北風逐漸減弱，風向大致仍以東北與西南為主，平均風速約為 10 m/s。

現場流速計位於北堤堤頭西側，資料顯示以北與南方（或西南）的流向為主。1 月東北季風強盛時，流向以西南方向為主，流速以 0.8 m/s 為主。3 月過後風速較為減緩，流向與風向較無明顯的關係。比對 4 月期間（圖 3-1-7～圖 3-1-8），4 月 1～4 日風速較大，流向與風向偏差不大，4 月 20～22 日期間風速較小，流向與風向仍為一致；流向雖與風向有一定角度偏差，其方向趨勢大致相同，且現場流速資料並無潮汐往復流動的現象，顯示流場受到風場的影響極大。

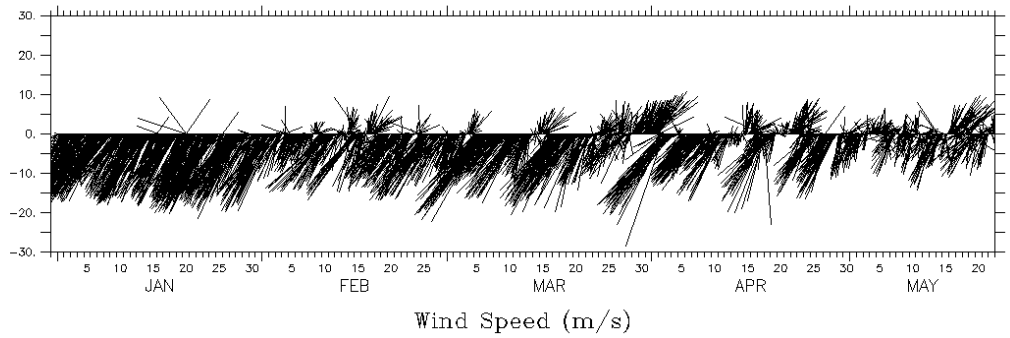


圖 3-1-5　2007 年 1-5 月台中港區實測風速分佈

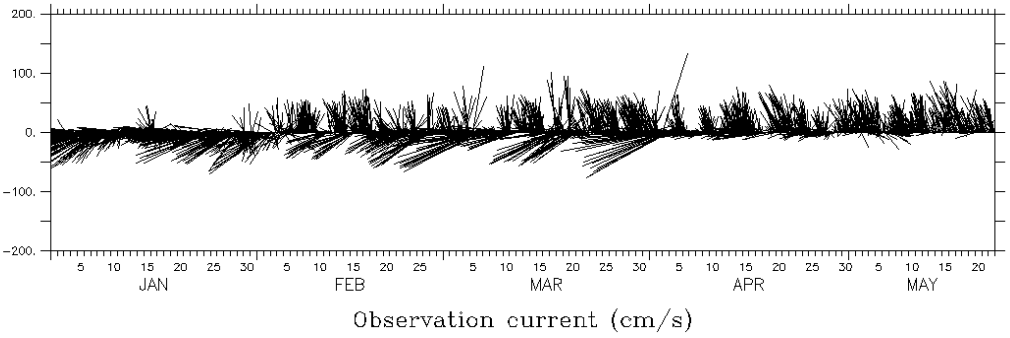


圖 3-1-6　2007 年 1-5 月台中港區實測流速分佈

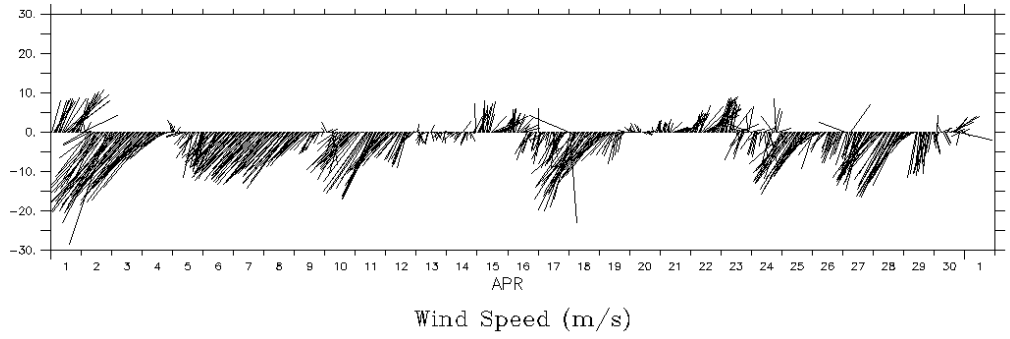


圖 3-1-7　2007 年 4 月台中港區實測風速分佈

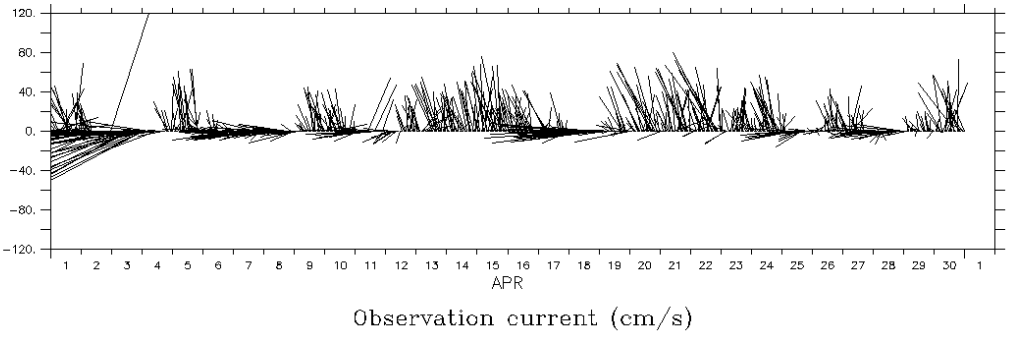


圖 3-1-8　2007 年 4 月台中港區實測流速分佈

3.1.1.5 模式初步結果分析比對

依據上節討論可知，風場對流速分佈有相當大的影響。為分析風場的影響，本計畫以有無風場驅動的兩個案例討論，模擬 2007 年 4 月台中港區周圍及港區水流情況，並與現場實測資料作為驗證資料。

將 4 月量測風場輸入計算的結果（圖 3-1-9）與無風場驅動狀況所計算的結果（圖 3-1-10）比對北堤堤頭的流場（流速記錄位置），顯示若僅單受潮汐影響下，流向以西北與西南方為主，流速約為 0.4 m/s。加入風場的模擬結果顯示，風速較大的期間(如 4 月 2-3 日及 5-8 日的東北風，如圖 3-1-9 所示），原西北流向將轉為西南流（圖 3-1-10），風場影響相當顯著。

再以加入實測風場驅動計算的流速時序結果（圖 3-1-9）與實測時序紀錄（圖 3-1-8）比較，兩者有相當類似的趨勢，轉換成流速大小與方向後，模擬值與實測值大致的趨勢亦相當符合（圖 3-1-11～12），最大值發生於 4 月 3 日附近，模擬結果與實測紀錄都有相同的趨勢。

比對單點時序計算結果後，港口附近海域與港內流速於一個潮周內的變化(如圖 3-1-13～圖 3-1-16 所示)，漲退潮期間港口海域的流速較快，水流主要透過主航道（較靠北堤）通過，南堤附近會形成一小渦旋，於退潮時逆時針流動，漲潮時相反。漲潮期間漁港開口外與開口內會形成兩個不同的渦漩，開口外逆時針流動，漁港內順時針流動。目前這些現象由於無真正現場實測資料可供比對，如未來欲將本模式作為未來台中港區內流速預報模式，提供予 LNG 船作為操船的建議，港研中心應提供港區內相關流速觀測資料作為模式的驗證。

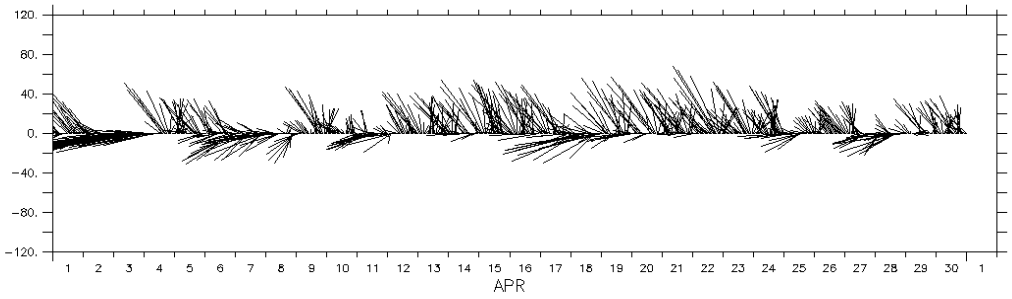


圖 3-1-9　2007 年 4 月台中港區模擬流速時序分佈（包含風場）

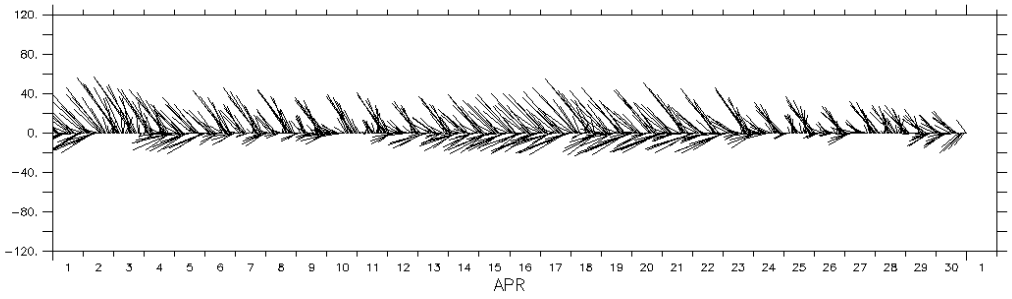


圖 3-1-10　2007 年 4 月台中港區模擬流速時序分佈（無風場）

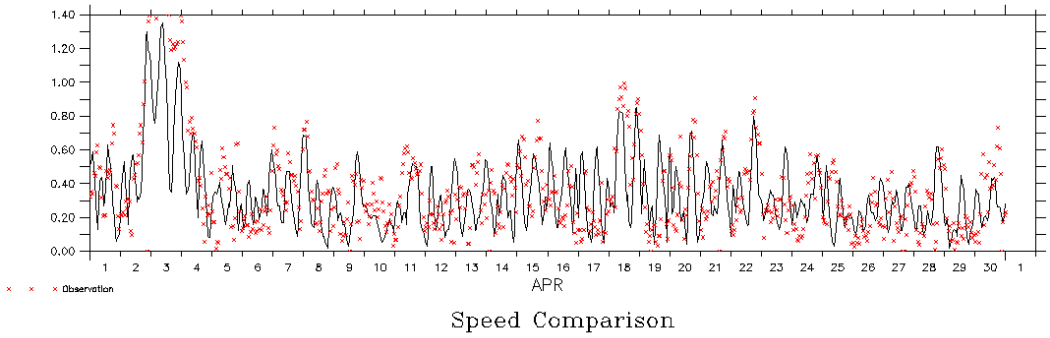


圖 3-1-11　2007 年 4 月台中港區模擬流速大小與實測比對

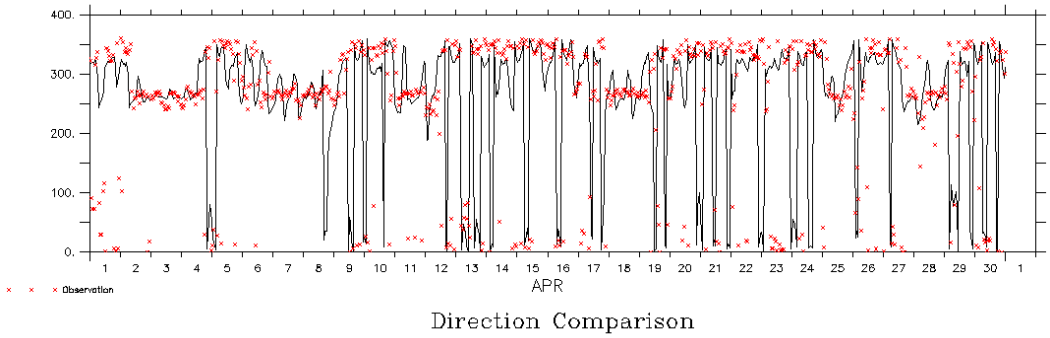


圖 3-1-12　2007 年 4 月台中港區模擬流速角度與實測比對

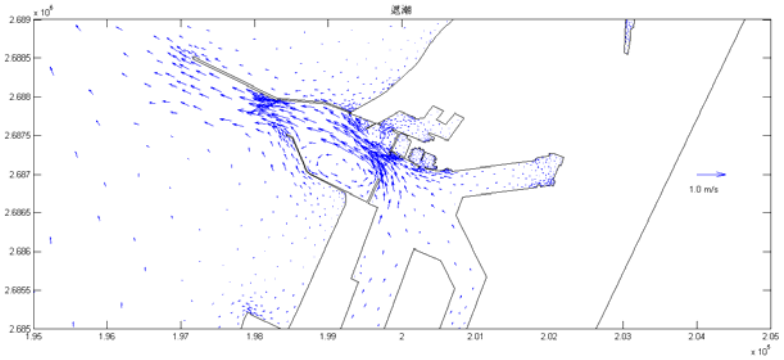


圖 3-1-13　2007 年 4 月台中港區於退潮期間受風場驅動之流速分佈

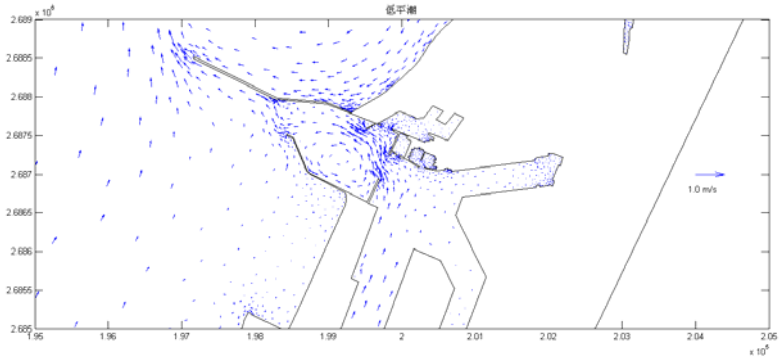


圖 3-1-14　2007 年 4 月台中港區於低平潮期間受風場驅動之流速分佈

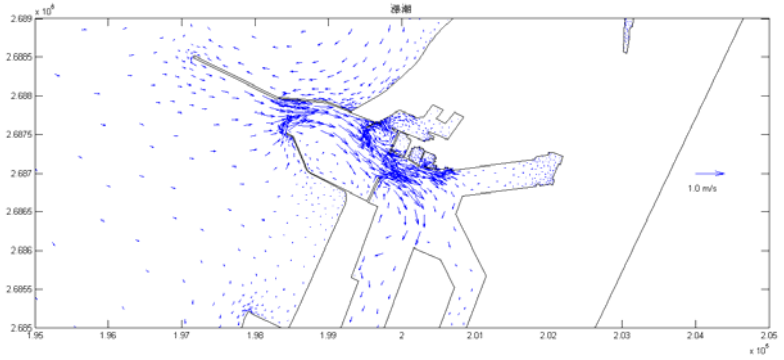


圖 3-1-15　2007 年 4 月台中港區於漲潮期間受風場驅動之流速分佈

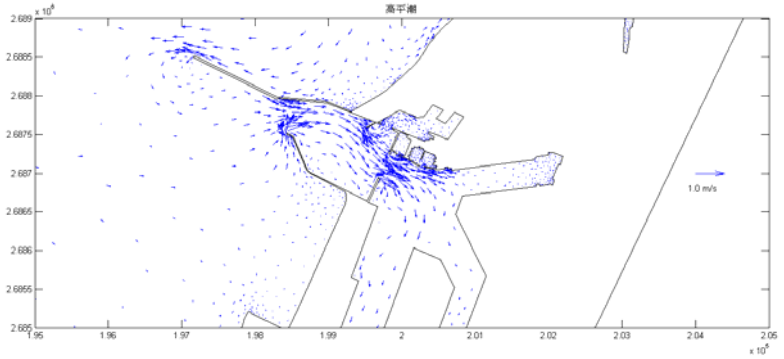


圖 3-1-16　2007 年 4 月台中港區於高平潮期間受風場驅動之流速分佈

3.1.2 花蓮港近岸海域及港區水動力模式

3.1.2.1 計算網格建構

為充分應用有限元素法對岸線及港區解析的功能性，在建構模式之前，需先取得詳細的海岸線資料及港區結構物的配置，透過自行開發之前處理程式產生模式所需的有限元素計算網格，並配合水深資料，產生計算所需各網目節點的水深地形資料。所使用的海岸線資料由海圖經數化描繪後再轉換成為二度分帶座標，水深資料則透過成大劉正琪博士提供港區內水深資料，再結合台灣附近海域一分水深地形資料，便可提供前處理程式進行產生計算網格及水深地形資料檔，圖 3-1-17 為經前處理程式根據地形配置以非規則性三角元素網格做最佳化計算後所產生的港區附近海域及港區內部有限元素網格，總共有 615 個網目節點及 961 個計算元素，外圍開放邊界節點共 27 點，與台灣海域一分網格預報模式做單向嵌合。

在計算網格的節點與元素定義後，利用內插的方式，將原有水深資料內插至各個網目節點，以作為模式的地形計算根據。內插至節點後之港區水深地形如圖 3-1-18，由於局部區域流速的計算精度除了受到水位與流速的邊界條件影響外，內部動力的平衡也是很重要的因素，主要是受到岸線邊界的設定與水深及港區結構物配置的分佈會影響其計算結果，因此確認港區水深於節點的分佈是相當重要的。檢視內插及修正後之網格水深分佈，港內平均水深分佈約為 15 公尺左右，主航道與堤頭附近水深大約 20 公尺左右，大致上符合原始資料分佈。

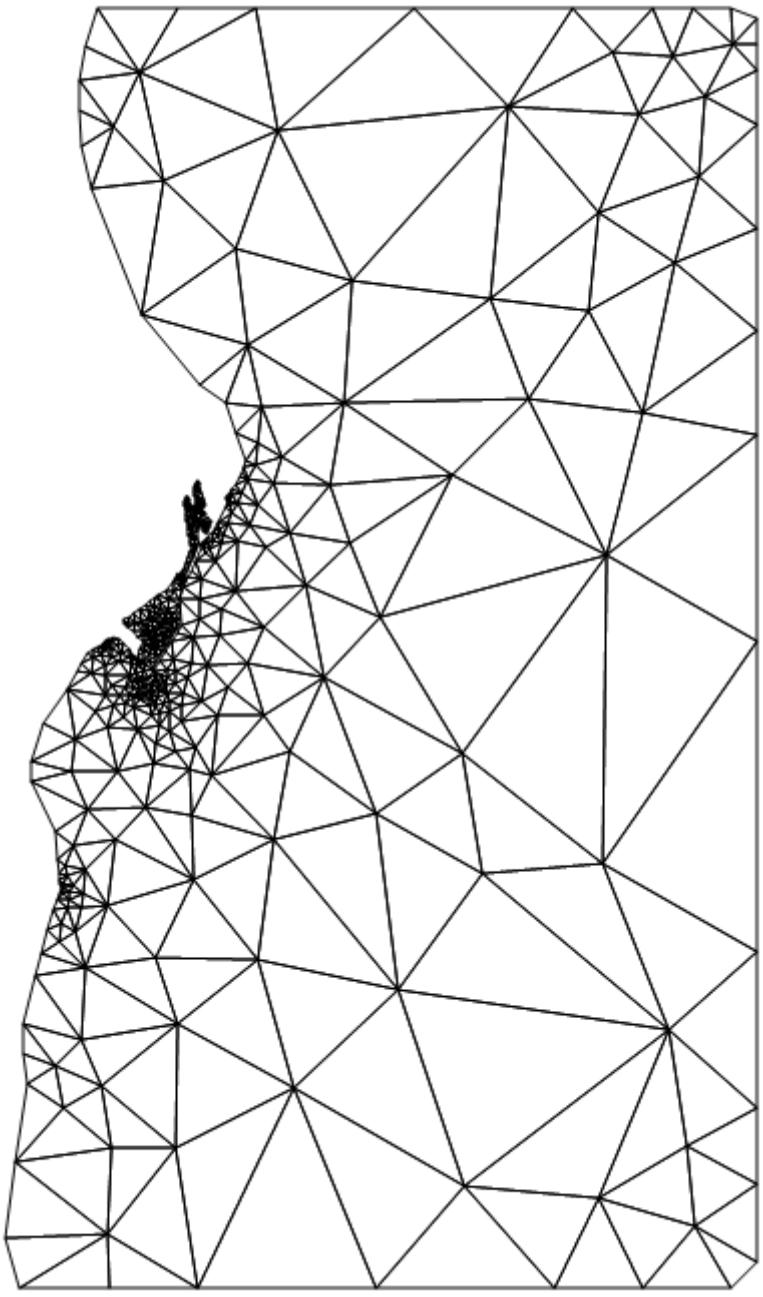


圖 3-1-17 花蓮港海域及港區模式之有限元素計算網格

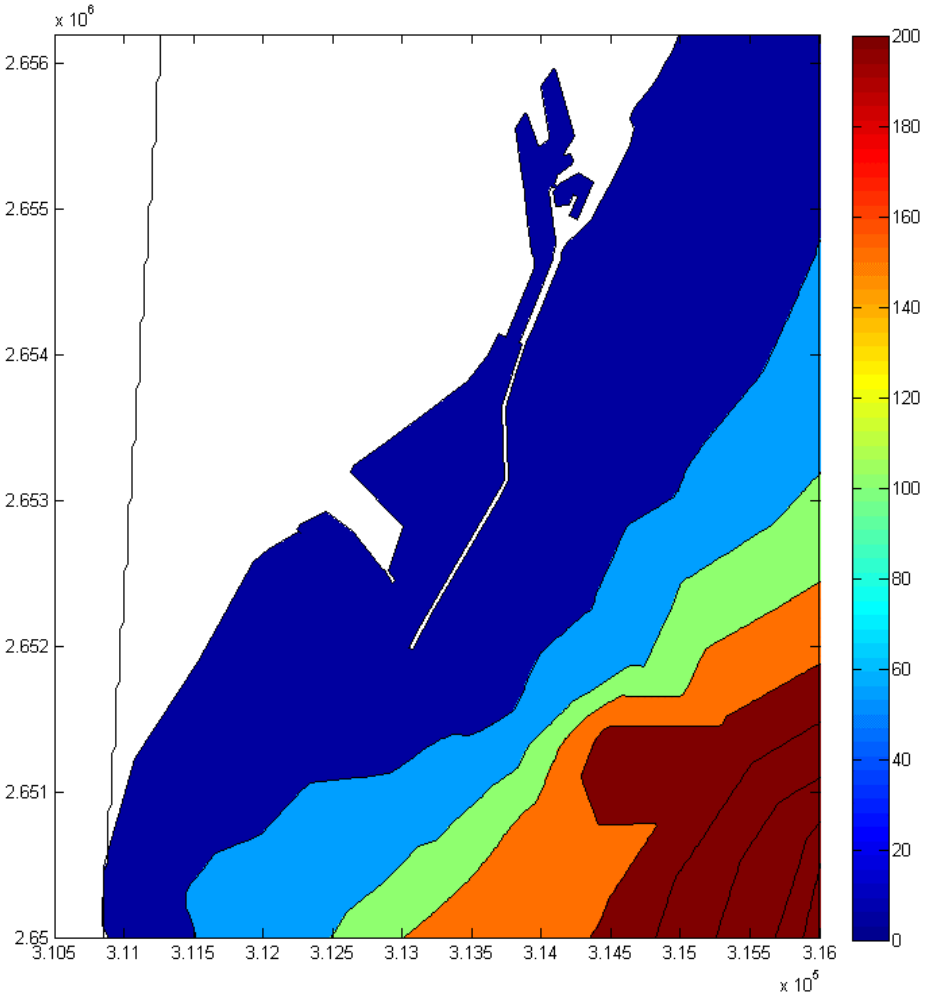


圖 3-1.18 港區計算網格之水深分佈圖

3.1.2.2 開放邊界條件

現有台灣海域水動力模式（一分網格）可提供花蓮港附近海域預報之即時水位與平均流速，藉由該模式的計算結果，即可用以提供開放邊界的水位與流速（圖 3-1-19）。由於潮波波長較模式範圍大，水位於此範圍在同一時間的差異不大，如僅引用水位作為驅動，在南北邊界水位相位並無明顯差異時，模式所計算之流場可能獲得不正確的結果，為了避免造成如此不合理的現象，本研究同時將外圍模式計算之流速引入開放邊界作為驅動，以獲得較為合理的流速分佈計算結果。

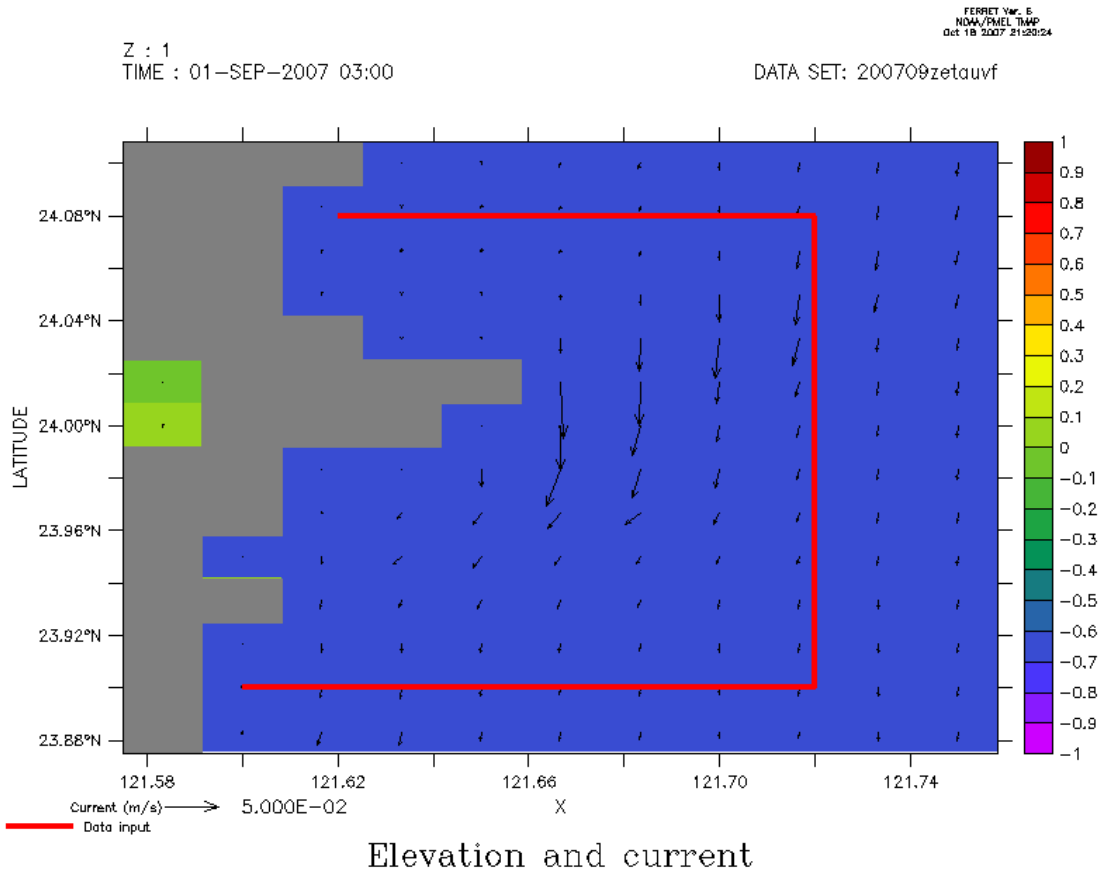


圖 3-1-19 台灣海域 1 分水動力模式所提供之邊界點（如紅線所示）

3.1.2.3 模式初步結果

透過台灣海域 1 分水動力模式引用之邊界，港區外圍海域於漲潮時往北流動，退潮時則往南，流速約為 0.2ms^{-1} 左右，與港研中心實測流速資料大致相符，港區內流速則呈現幾乎靜止狀態，僅在港區開口附近有較大之流速。

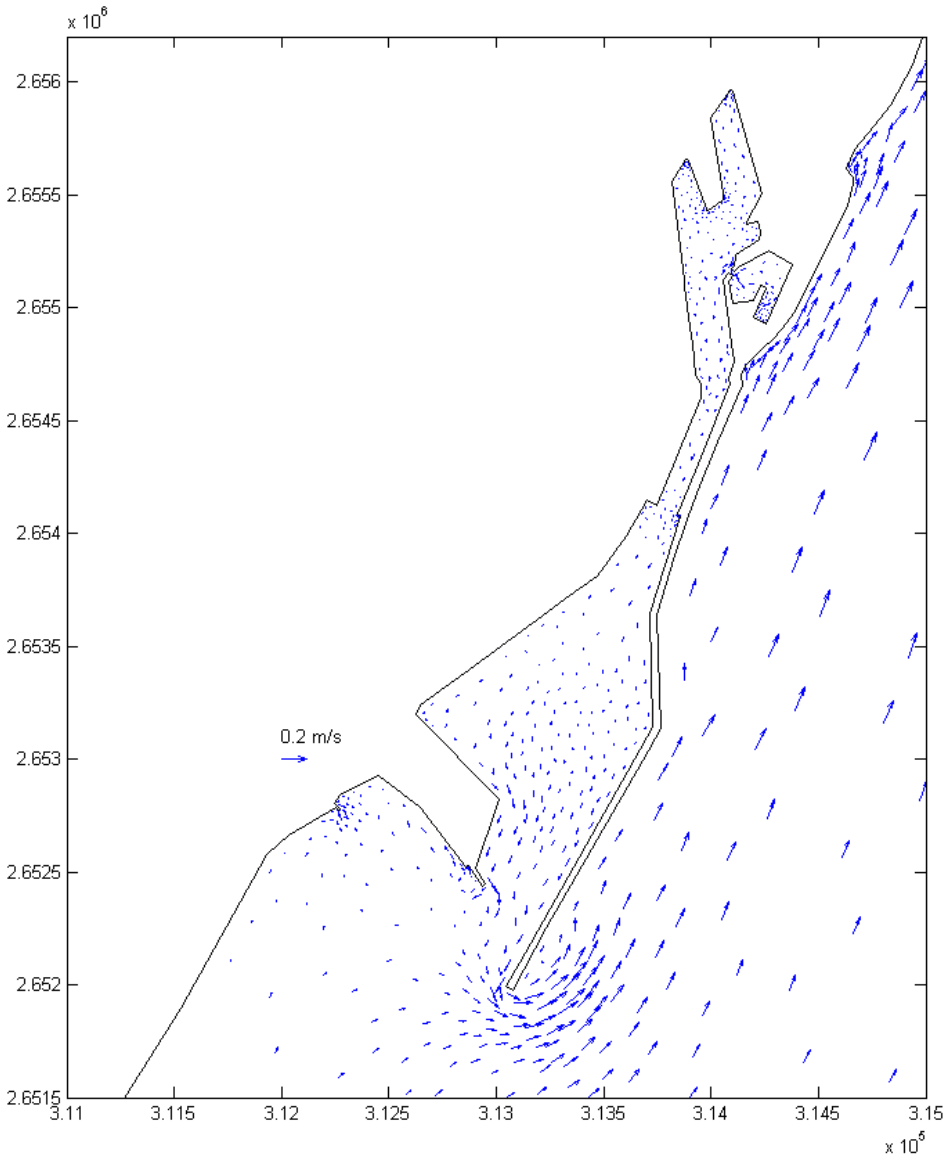


圖 3-1-20 花蓮港區於漲潮期間之流速分佈

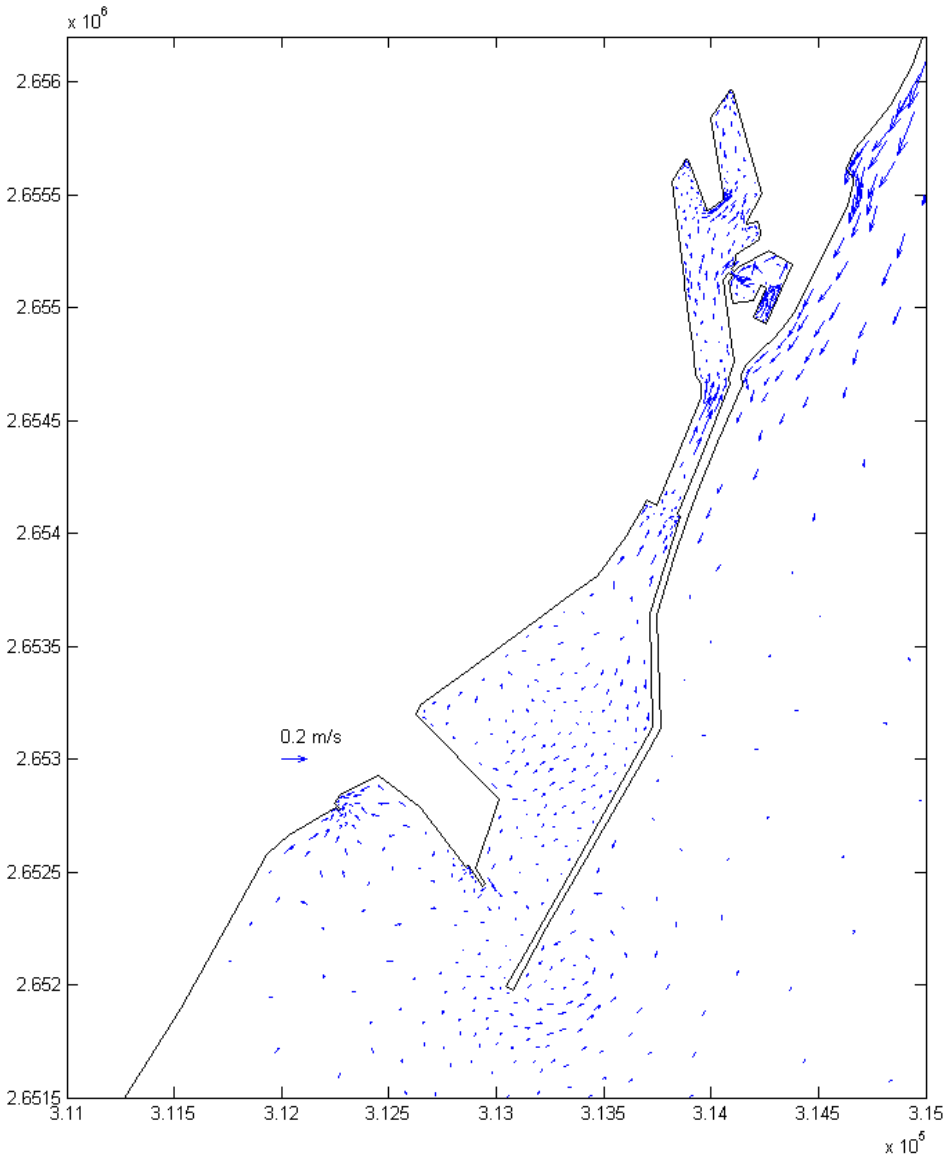


圖 3-1-21 花蓮港區於退潮期間之流速分佈

3.2 港區周圍及港內波浪

當外海波浪向近岸傳播時，受到海域水深變淺之影響，波浪本身會產生淺化效應（即波長變短，波高增大），導致波浪尖銳度變大，產生非線性效應。一旦波浪尖銳度增大至波形保存極限時，波浪即發生碎波現象，並釋出大量的波能。此外，在波浪傳播過程中，平面波浪受到底床地形變化或水中結構物之影響則會產生諸如折射，繞射及反射等現象，導致海面波浪形狀變得相當複雜。除上述物理現象外，底床之摩擦效應以及碎波所造成的波能損失均會改變波浪之形狀。因此，如何有效且精確地模擬波浪傳播過程所產生的波浪變形，一直為本計畫研究目標之一。

為了能夠預測外海風浪向岸傳播之波浪變化，本計畫在 TaiCOMS 架構下分別建置小尺度之近岸波浪模式(nearshore wave model)及近域港區波浪模式(nearfield harbor wave model)，以承接全域波浪模式(WAN & SWAN)預報模擬結果，將近海波浪推算至岸邊乃至港區內。其中小尺度近岸波浪模式主要目的為模擬外海波浪向近岸傳播過程中因地形及水深變化所產生的波浪變形，其物理機制主要有波浪之淺化效應、折繞射現象以及波浪碎波後波高減衰現象。近域港區波浪模式主要目的為模擬波浪傳播至港口及港內水域之波浪變化，著重於港口之遮蔽及靜穩效應，其物理機制包括地形水深引起的淺化效應、港口或海岸結構物或港域形狀所引起的折射、繞射及反射等現象。

在近岸波浪場模擬方面，本計畫 TaiCOMS 基於線上模擬作業之效率需求，經評估後選取 Kirby and Dalrymple (1983)所發展的波浪折繞射模式(REF/DIF)為本計畫之近岸區域波浪模式。由於 REF/DIF 模式係建立於拋物線型緩坡方程式之基礎上，模式本身具有較快的運算效率及穩定的數值計算，同時可適用於較大範圍之波浪場模擬，因此適用於本計畫 TaiCOMS 之線上模擬作業化。

由於 REF/DIF 模式無法有效地模擬波浪遇到結構物後之反射波

浪，因此針對港口及港內波浪模擬，本計畫 TaiCOMS 選取以橢圓型緩坡方程式為基礎的波浪模式為本計畫之港域波浪模式。由於此類型之波浪模式對於數值計算網格之需求相當龐大且數值計算相當費時，因此較不利於大範圍波浪場之模擬，亦無法滿足本計畫 TaiCOMS 之線上模擬作業需求，因此本計畫港域波浪模擬重點主要針對颱風侵台期間所引起的大波浪進行相關數值模擬。

3.2.1 近岸波浪模式之基本理論

3.2.1.1 波浪折繞射模式(REF/DIF)之基本理論

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

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

$$\left(C_g+U\right)A_x+VA_y+i\left(\bar{k}-k\right)\left(C_g+U\right)A+\frac{\sigma}{2}\left\{\left(\frac{C_g+U}{\sigma}\right)_x+\left(\frac{V}{\sigma}\right)_y\right\}A$$
$$-\frac{i}{2\sigma}\left[\left(p-V^2\right)A_y\right]_y-\sigma\frac{k^2}{2}D|A|^2A=0 \qquad (3.2.1\text{-}1)$$

式中 A(x,y)為複數型式之自由表面波形振幅，A_x 及 A_y 分別為 x 及 y

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

$$D=\frac{\cosh(4kh)+8-2\tanh^2(kh)}{8\sinh^4(kh)} \qquad \text{.....(3.2.1-2)}$$

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

$$\begin{aligned}
&(C_g+U)A_x-2\Delta_1 VA_y+i(\bar{k}-a_0k)(C_g+U)A+\left\{\frac{\sigma}{2}\left(\frac{C_g+U}{\sigma}\right)_x-\Delta_1\sigma\left(\frac{V}{\sigma}\right)_y\right\}A\\
&+i\Delta'\left[\left(p-V^2\right)\left(\frac{A}{\sigma}\right)_y\right]_y-i\Delta_1\left\{\left[UV\left(\frac{A}{\sigma}\right)_y\right]_x+\left[UV\left(\frac{A}{\sigma}\right)_x\right]_y\right\}\\
&+i\sigma\frac{k^2}{2}D|A|^2A+\frac{\upsilon}{2}A+\frac{-b_1}{k}\left\{\left[\left(p-V^2\right)\left(\frac{A}{\sigma}\right)_y\right]_{yx}+2i\left[\sigma V\left(\frac{A}{\sigma}\right)_y\right]_x\right\}\\
&+b_1\beta\left\{2i\omega U\left(\frac{A}{\sigma}\right)_x+2i\sigma V\left(\frac{A}{\sigma}\right)_y-2UV\left(\frac{A}{\sigma}\right)_{xy}+\left[\left(p-V^2\right)\left(\frac{A}{\sigma}\right)_y\right]_y\right\}\\
&-\frac{i}{k}b_1\left[(\omega V)_y+3(\omega U)_x\right]\left(\frac{A}{\sigma}\right)_x-\Delta_2\left[\omega U\left(\frac{A}{\sigma}\right)_x+\frac{1}{2}\omega U_x\left(\frac{A}{\sigma}\right)\right]\\
&+ik\omega U(a_0-1)\left(\frac{A}{\sigma}\right)=0
\end{aligned} \qquad \text{(3.2.1-3)}$$

式中

$$\beta=\frac{k_x}{k^2}+\frac{\left[k\left(p-U^2\right)\right]_x}{2k^2\left(p-U^2\right)} \qquad \text{.....(3.2.1-4)}$$

$$\Delta_1=a_1-b_1\ ,\quad \Delta_2=1+2a_1-2b_1\ ,\quad \Delta'=a_1-b_1\frac{\bar{k}}{k} \qquad \text{.....(3.2.1-5)}$$

上述各式之中 υ 為波浪消散因子，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

$$\frac{\partial A}{\partial x}=\frac{i}{k}\frac{\partial^2 A}{\partial x^2}+\upsilon A \quad \text{.....(3.2.1-6)}$$

式中 $i=\sqrt{-1}$；υ 為波能消散因子，可依據能量消散特性給定不同的型式。

REF/DIF 模式採用有限差分數值方法求解此一拋物線型方程式，亦即將計算領域分割成具Δx 及Δy 大小之矩形網格，並求解格點上之複數振幅 A(x, y)，振幅 A 所在之位置係以(i, j)表示而非以座標(x, y)，如圖 3-2-1 所示，惟模式計算所需之地形可以輸入具(x, y)座標，其中 x = (i – 1)Δx，y = (j – 1)Δy。

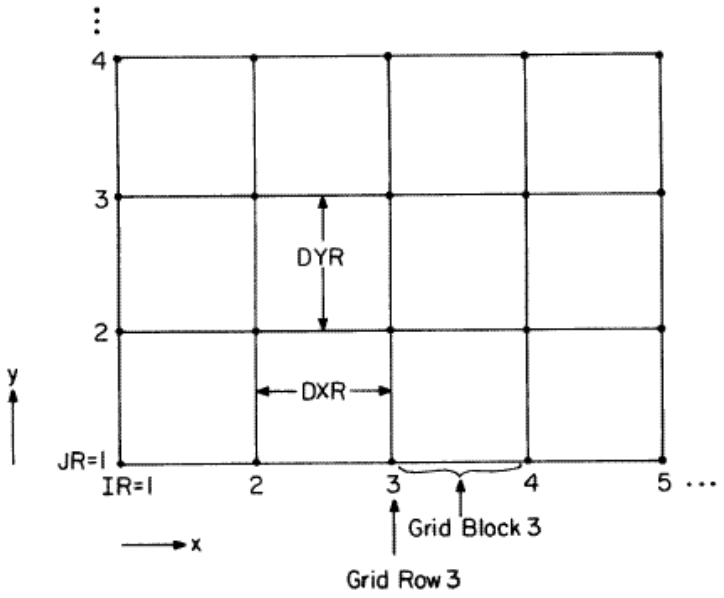


圖 3-2-1 REF/DIF 數值計算網格座標系統

3.2.1.2 港域波浪模式之基本理論

當波浪自外海傳播至港域時，由於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 3-2-1-2 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。

如圖 3-2-2 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。外海半無線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

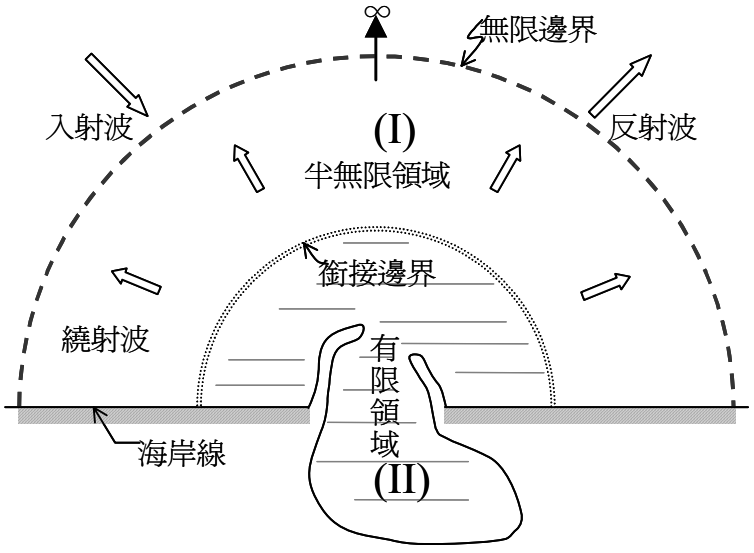


圖 3-2-2 港域波浪模式計算領域示意圖

$$\eta_j(x,y,t) = f_j(x,y)e^{i\omega t} \quad , \ \mathrm{j} = 1,2 \qquad \text{.....(3.2.1-7)}$$

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

$$\nabla^2 f_1 + K_1^2 f_1 = 0 \quad \text{，在領域(I)內} \qquad \text{.....(3.2.1-8)}$$

$$\nabla\cdot\left(C_2C_{2g}\nabla\phi\right)+\left(C_2C_{2g}K_2^2+i\omega\mu+iC_{2g}\omega\gamma\right)\phi=0 \quad \text{，在領域(II)內} \qquad \text{.....(3.2.1-9)}$$

式中▽=($\partial/\partial x, \partial/\partial y$)為二維梯度運算子，$\mu$ 為摩擦因子，γ 為考慮波浪碎波之碎波參數，K_1 及 K_2 分別為波浪在領域(I)及(II)內之波數，C_2 為波浪在領域(II)內之波速(=L_2/T，)，C_{2g} 為群速度(= κC_2)。其中 κ 定義為

$$\kappa = 0.5\left[1 + 2K_2h_2 / \sinh(2K_2h_2)\right] \qquad \text{.....(3.2.1-10)}$$

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

$$\mu = \frac{2\kappa\omega}{K_2}\left[\frac{2f_r}{3\pi}\frac{aK_2^2}{\left(2K_2h_2 + \sinh 2K_2h_2\right)\sinh K_2h_2}\right] \qquad \text{.....(3.2.1-11)}$$

式中 a 為波浪之振幅，f_r 為摩擦係數。碎波參數 γ 可採用下列計算式

$$\gamma = \frac{\chi}{h_2}\left(1 - \frac{\Gamma^2h_2^2}{4a^2}\right) \qquad \text{.....(3.2.1-12)}$$

式中 χ 及 Γ 分別為經驗常數(其值可分別採用 0.15 及 0.4)。

在領域(I)及(II)之交接假想邊界(B_1)上須滿足下列連續條件：

$$f_1 = f_2 \quad \text{，在假想邊界 } B_1 \text{ 上} \qquad \text{.....(3.2.1-13)}$$

$$C_1 C_{1g} \frac{\partial f_1}{\partial n} = -C_2 C_{2g} \frac{\partial f_2}{\partial n}$$ ， 在假想邊界 B_1 上 .....(3.2.1-14)

此外，在一般海岸線或結構物邊界(B_2)上須滿足下列部份反射邊界條件：

$$\frac{\partial f_2}{\partial n} = -i\alpha K_2 f_2$$ ， 在假想邊界 B_2 上 .....(3.2.1-15)

式中 $\bar{n}$ 表示邊界面上離開領域向外之單位法線向量，α 為消能係數，其值與波浪入射角、相位及港池岸壁之反射係數有關，α=0 時表示港池岸壁為完全反射之情況(即$\partial f_2/\partial n$=0)，而 α=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：

$$\alpha = \frac{1 - K_r}{1 + K_r}$$ .....(3.2.1-16)

式中 K_r 為邊界之反射係數。

在領域(I)內波浪水位函數 f_1 通常是由入射波 f_I 及受到直線海岸線影響產生的反射波 f_R 及受到防波堤配置和港池開口影響而向外傳播之散射波 f_S 等構成的，因此 f_1 可表示

$$f_1 = f_I + f_R + f_S$$ .....(3.2.1-17)

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

$$\lim_{K_1 r \to \infty} \sqrt{r}\left(\frac{\partial}{\partial r} + iK_1\right) f_S = 0$$ .....(3.2.1-18)

假設入射波浪 η^{I}(x, y, t)之振幅為 A^{I}，波長為 L_1，週波數為 K_1，波

向為與正 X 軸成 θ_0 角度，其複數表示為：

$$\eta^I(x,y,t) = A^I e^{-i[K_1(x\cos\theta_0 + y\sin\theta_0) - \omega t]} \quad \text{.....(3.2.1-19)}$$

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)。本計畫所使用的港域波浪模式係依據上述理論以有限元素法建構而成的港域有限元素波浪數值模式(FEWMH, Finite Element Wave Model in Harbor) 。

3.2.2 港區周圍及港內波浪模擬

本計畫 TaiCOMS 近岸波浪數值模擬對象主要為花蓮港、蘇澳港、基隆港、台北港、台中港、安平港及高雄港等國內七大港口，各港口地理位置如圖 3-2-3 所示。

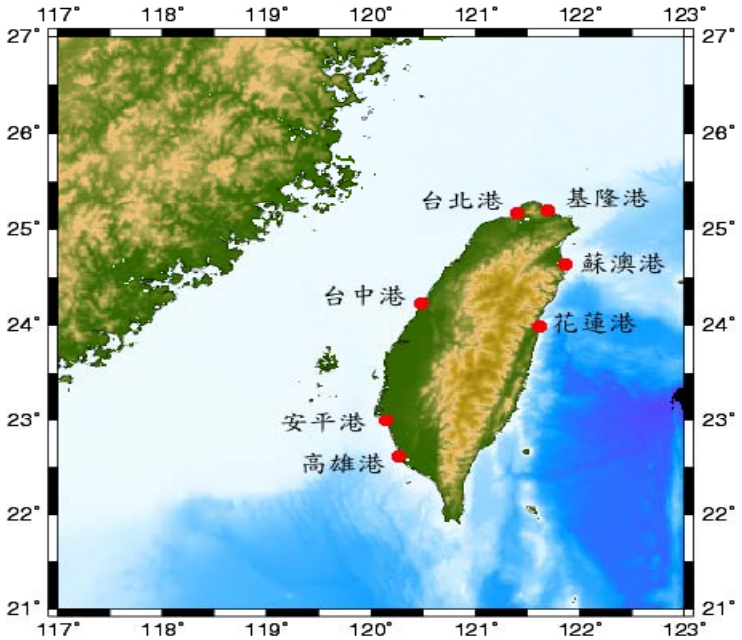


圖 3-2-3 國內七大港口位置示意圖

3.2.2.1 近岸區域及港域波浪數值計算網格

本計畫目前已分別完成花蓮港、基隆港、台北港、安平港及台中港等五港口之近岸波浪模式及港域波浪模式數值網格之建置，其中近岸波浪模式模擬範圍大小在沿岸距離約 10km～15km 之間，離岸距離與地形水深有關約在 5km～10km 以內。港域波浪模式模擬範圍則配合海岸地形及港口形狀與方向等因素建置，如對於部份突出海岸線之港口如台北港及安平港等，則考慮採用假想海岸線調整半圓假想邊界位置及大小。模式計算所需之地形水深資料除了各港區之地形水深資料外，本計畫另依據海軍出版之海圖編號 04504、04505、04506、04509、04512、04513 及 04518 等數化地形水深資料。圖 3-2-4 至圖 3-2-8 所示分別為花蓮港、基隆港、台北港、安平港及台中港等五港口之近岸波浪模式及港域波浪模式模擬範圍及海域地形水深分佈情形。表 3-2-1 所示為本計畫各港區近岸區域波浪模式數值網格相關資料，其中近岸區域波浪模式數值計算網格之間距為 10 m，如圖 3-2-9 所示為台中港近岸區域模式之數值計算網格及水深分佈圖。

在近岸港域波浪模式中，數值網格大小基本上須滿足一個波長內至少涵蓋 6 至 10 個節點才足以合理地描述波浪場變化之要求，因此模式計算所需之有限元素網格數量除了與外海半圓假想領域大小有關外，亦與所欲模擬之波浪條件及地形水深關係密切。有鑑於此，本計畫針對常見之風浪(週期約 5、6sec)及颱風波浪、湧浪(週期約 9~11sec)分別規劃兩種不同元素大小及密度的數值計算網格，分別模擬一般風浪以及颱風波浪、湧浪等不同週期大小之波浪，以節省港域波浪模式數值計算之時間。於計畫中港域波浪模式數值網格之建立係先依據所選取的計算領域以人工方式建立適當的邊界節點及內部節點資料檔(包含座標及水深等資料)，再利用三角形網格自動生成程式將邊界節點及內部節點連結產生三角形元素網格資料(稱之為粗網格)，如圖 3-2-10 至圖 3-2-11 所示分別為安平港及台中港港域波浪模擬範圍之三角形元素粗網格分佈圖；之後，再依據給定三角形元素細網格生成之波浪條件如入射波浪週期及每個波長之節點數產生新的邊界及內部節點資料

檔，進而以程式產生滿足港域波浪模式計算所需之細網格資料。

以安平港為例一般風浪數值計算之網格係由 129,270 個節點及 255,760 個三角形元素所組成，颱風波浪或湧浪數值計算則採用由 51,159 個節點及 100,728 個三角形元素所構成的網格。花蓮港一般風浪及颱風波浪之數值計算網格則分別由 263,621 個三角元素(含 132,931 個節點)以及 98,296 個三角元素(含 49,985 個節點)所組成；台中港港域一般風浪及颱風波浪之數值計算網格則分別由 327,611 個三角元素(含 166,214 個節點)以及 197,568 個三角元素(含 100,832 個節點)所組成。上述各網格之元素大小均滿足模式解析度之基本需求即所計算波浪條件之最小波長至少含有 6 個節點。

表 3-2-1 近岸區域波浪模式數值計算網格資料

港口 名稱	原點座標(二度分帶)		座標系統 旋轉角度	網格大小 (10m)
	X(m)	Y(m)		
花蓮港	316892.0	2655232.0	150.0	321×801
基隆港	325768.0	2791115.0	−120.0	1001×701
台北港	279341.0	2783203.0	−65.0	1401×501
安平港	162072.0	2533583.0	60.0	1001×501
台中港	198113.0	2696163.0	-36.0	1001×1901

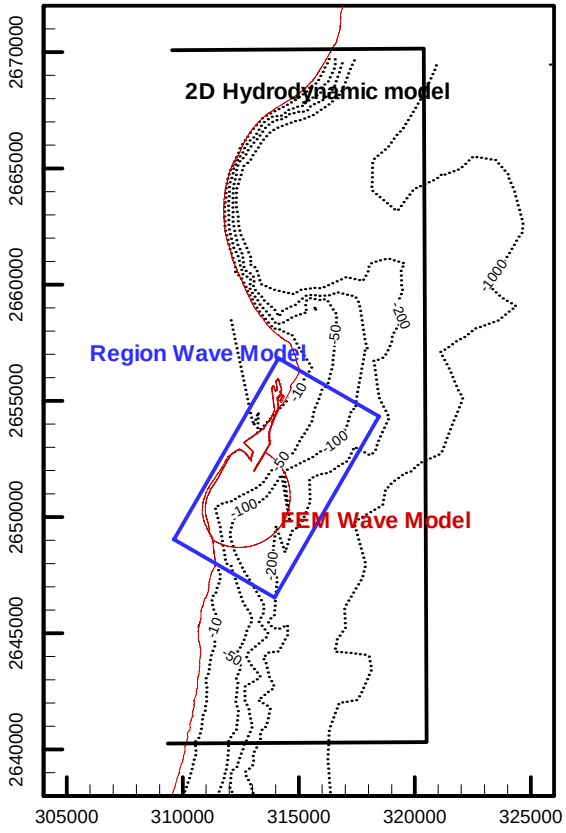


圖 3-2-4 花蓮港近岸區域波浪模式及港域波浪模式之模擬範圍示意圖

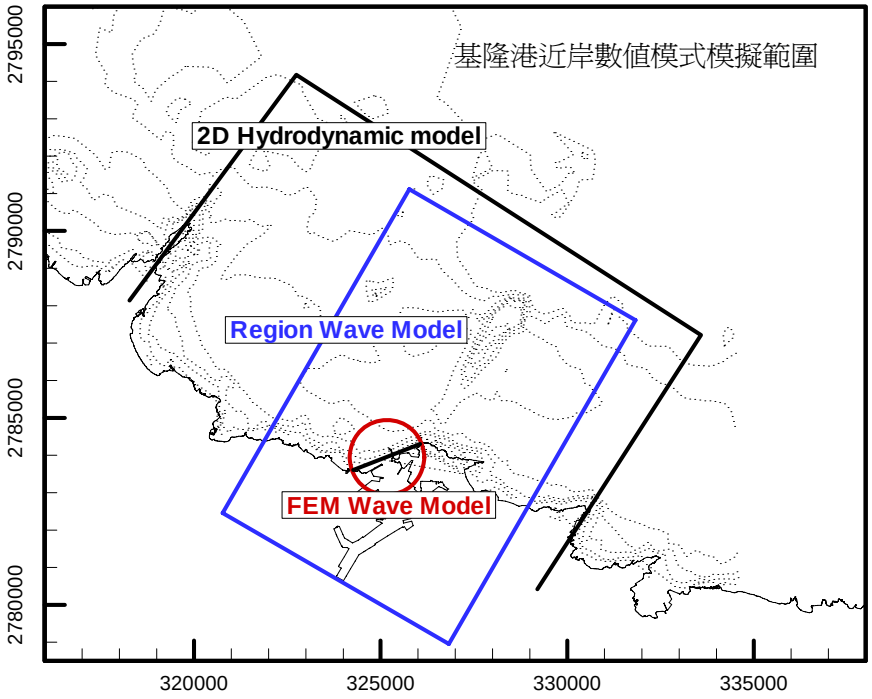


圖 3-2-5 基隆港近岸區域波浪模式及港域波浪模式之模擬範圍示意圖

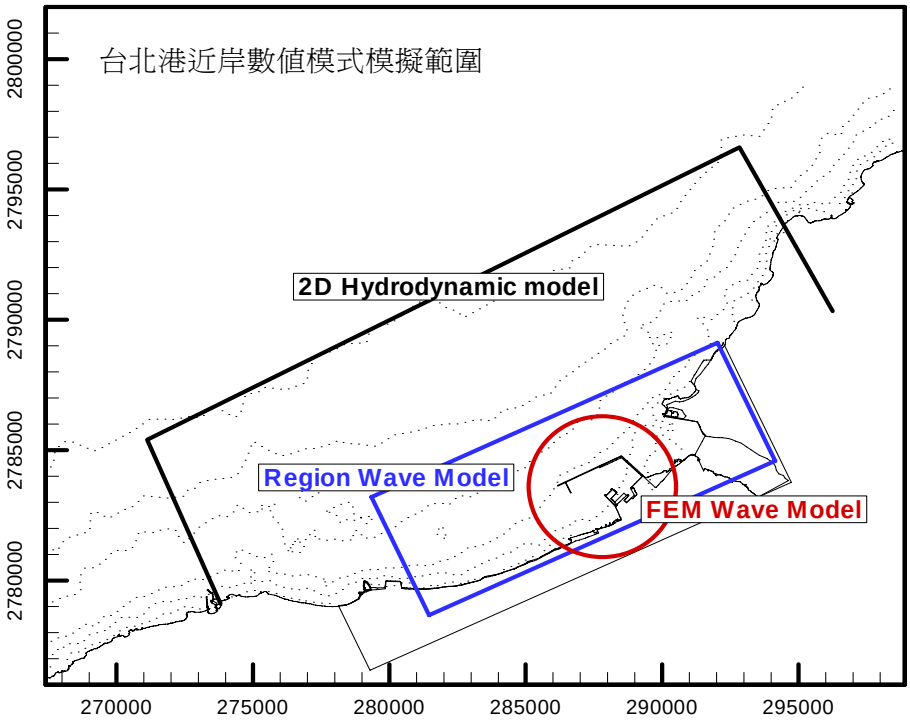


圖 3-2-6 台北港近岸區域波浪及港域波浪模式之模擬範圍示意圖

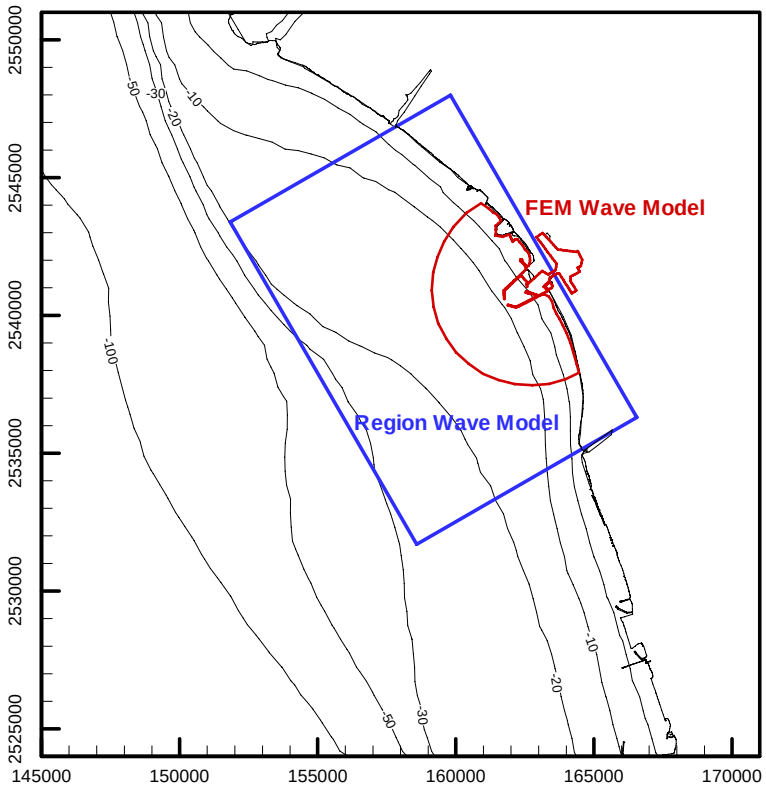


圖 3-2-7 安平港近岸區域波浪模式及港域波浪模式之模擬範圍

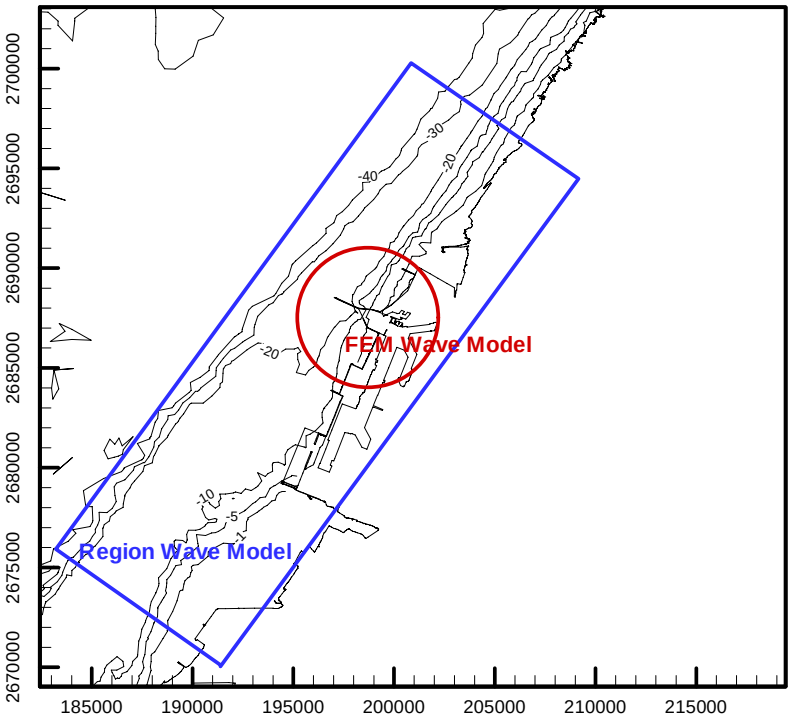


圖 3-2-8 台中港近岸區域波浪模式及港域波浪模式之模擬範圍

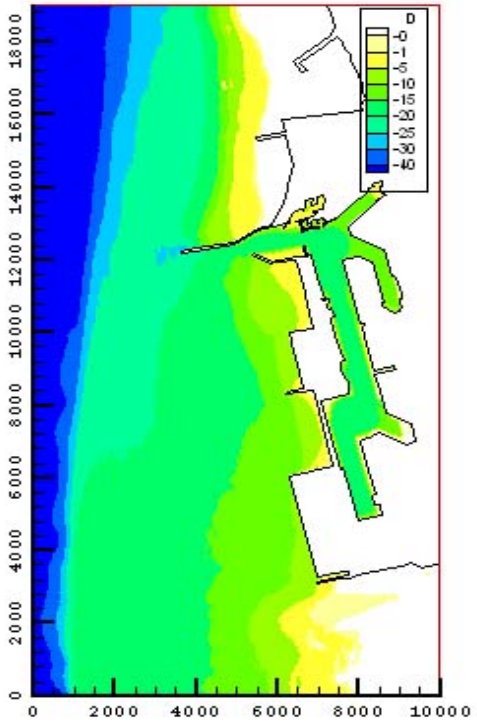


圖 3-2-9 台中港近岸區域波浪模式數值計算網格及水深分佈圖

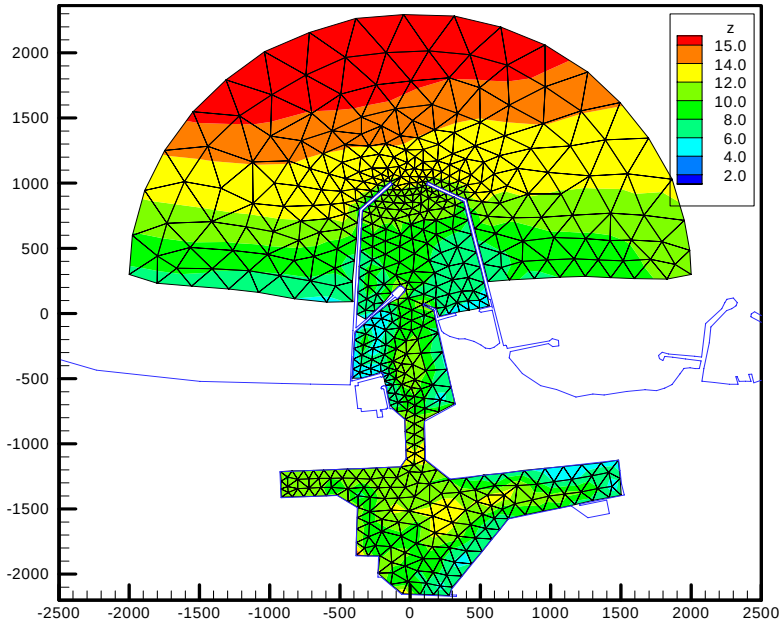


圖 3-2-10 安平港近域波浪模式之座標系統及三角形元素粗網格分佈圖 (內含 765 個節點及 1282 個三角形元素)

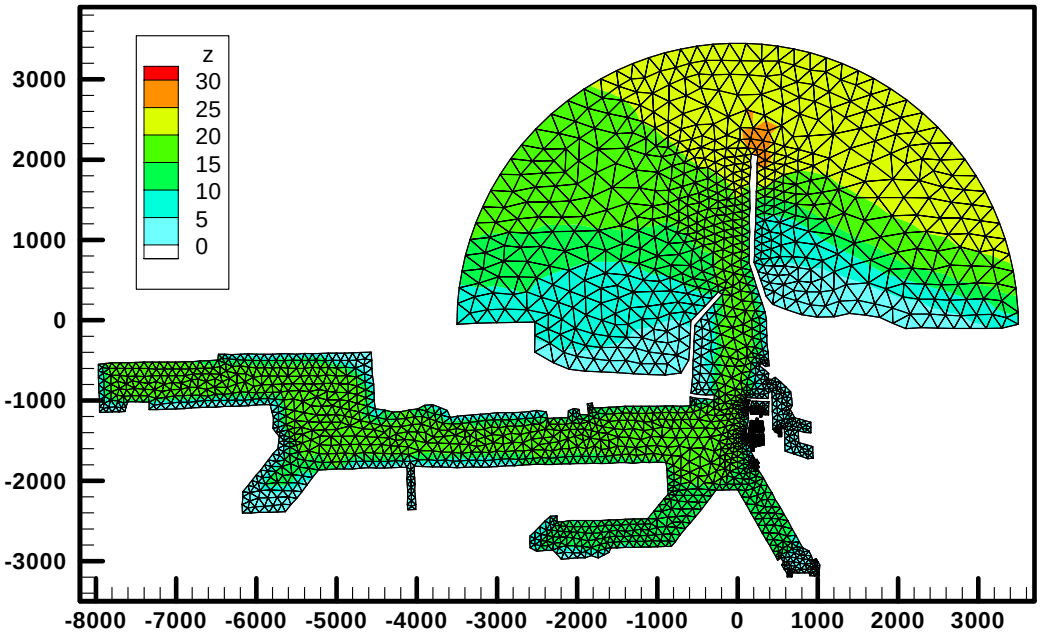


圖 3-2-11 台中港近域波浪模式之座標系統及三角形元素粗網格分佈圖 (內含 2344 個節點及 4041 個三角形元素)

3.2.2.2 近岸區域波浪數值模擬結果

本年度近岸區域波浪模擬將持續在現有的基礎上進行七大港口近岸區波波浪場之線上模擬作業建置工作，並選取台中港為首要對象。本年度數值模擬工作主要依據2006年各港區波浪觀測資料進行近岸區域波浪場模擬，並比較近岸區域波浪模式推算結果與觀測資料之差異，以作為未來改善波浪模式模擬結果之依據。

(1)台中港區域波浪模擬結果

圖 3-2-12 所示為 2006 年台中港北防波堤外海波浪觀測資料(示性波高 $H_{1/3}$、週期 $T_{1/3}$ 及波向)之逐時序列圖，顯示台中港波浪主要波向以 N 方向為主，其次為 NNE 及 NNW 方向。其中示性波高最大值為 4.93 m，發生於珍珠颱風侵臺期間；其次各月份示性波高最大值分別為 4.66 m(1 月)、4.88 m(2 月)、3.69 m(10 月)、3.42 m(11 月)及 4.08 m(12 月)。台中港示性波週期主要介於 5 ~ 10 sec 之間，示性波週期最大值為 12.2 sec。

為了達到即時觀測與即時模擬之目的，本年度近岸區域波浪場模擬工作針對台中港初步採用台中港波浪觀測資料(波高、週期及波向)為近岸區域波浪場之入射波浪條件，直接推算觀測點位之波浪狀況(波高及波向)，如圖 3-2-13 及圖 3-2-14 所示。圖中所示為 2006 年 1 月份台中港波浪觀測資料(共 717 筆)與模式模擬結果之比較，由於直接採用觀測點波浪資料為模式之邊界條件，因此受到地形淺化及底床摩擦效應之影響，觀測點模式推算之波高均小於波浪觀測值，且入射波高愈大時，二者波高誤差值亦愈大，圖中波高偏差最大值約為 0.63 m；此外，波向模擬結果亦顯示受到地形淺化之影響，觀測點波向入射角度亦小於邊界入射角度，圖中波向偏差最大值約為 15.5 度。因此，未來如欲依據目前觀測點波浪觀測資料即時模擬台中港近岸波場時，須對於邊界條件之給定做適度之修正。

圖 3-2-25 所示為觀測點波高觀測值與模式模擬波高值之比較，顯示二者間之關係呈現近似線性之變化，因此本計畫初步採用線性回歸

方式得到觀測值與推算值之線性關係如圖 3-2-16 所示。本計畫依據此一線性關係及台中港波高觀測值修正台中港近岸區域波浪模式之邊界條件，並檢核觀測點位之波高推算值及其與觀測值之偏差如圖 3-2-17。模擬結果顯示台中港觀測點位波高推算值與觀測值間之誤差有顯著地改善，模式波高推算值與觀測值之對應關係如圖 3-2-18 所示，其中波高大於 3.8 m 以上之結果顯示圖 3-2-16 之線性關係有高估之趨勢。圖 3-2-19 及圖 3-2-20 所示為台中港近岸區域波浪場模擬結果之波高及波向平面分佈圖，顯示台中港北防波堤對於由北往南傳播之波浪具有相當良好的遮蔽效應。

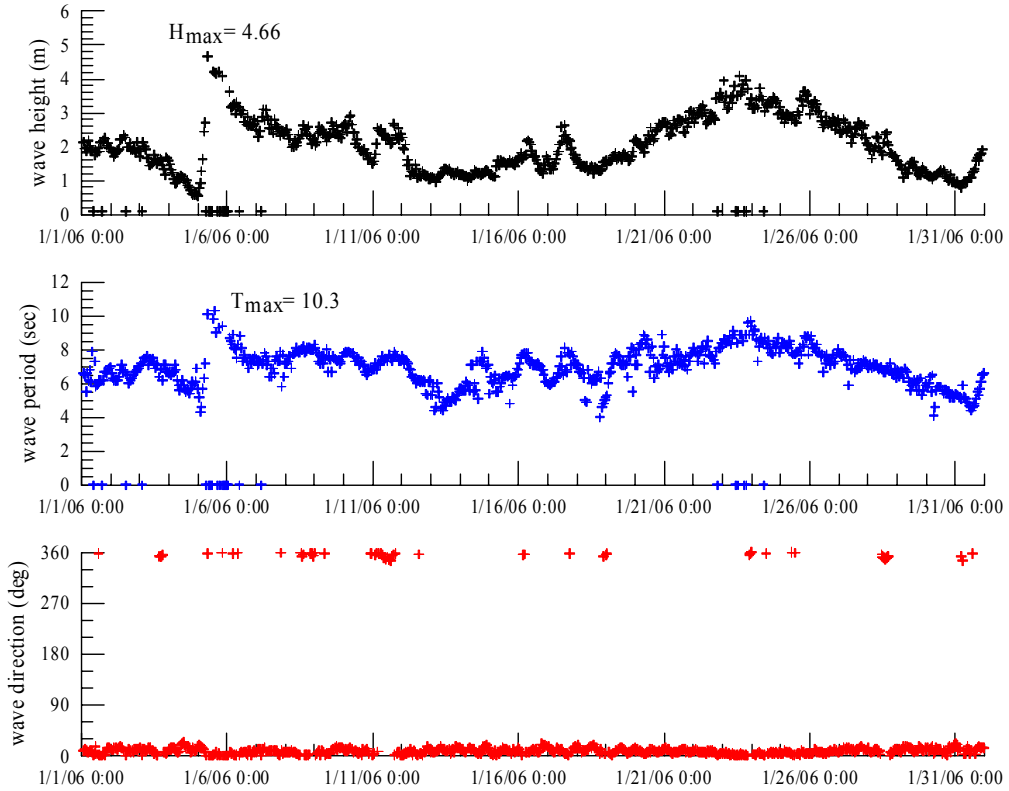


圖 3-2-12　2006 年台中港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

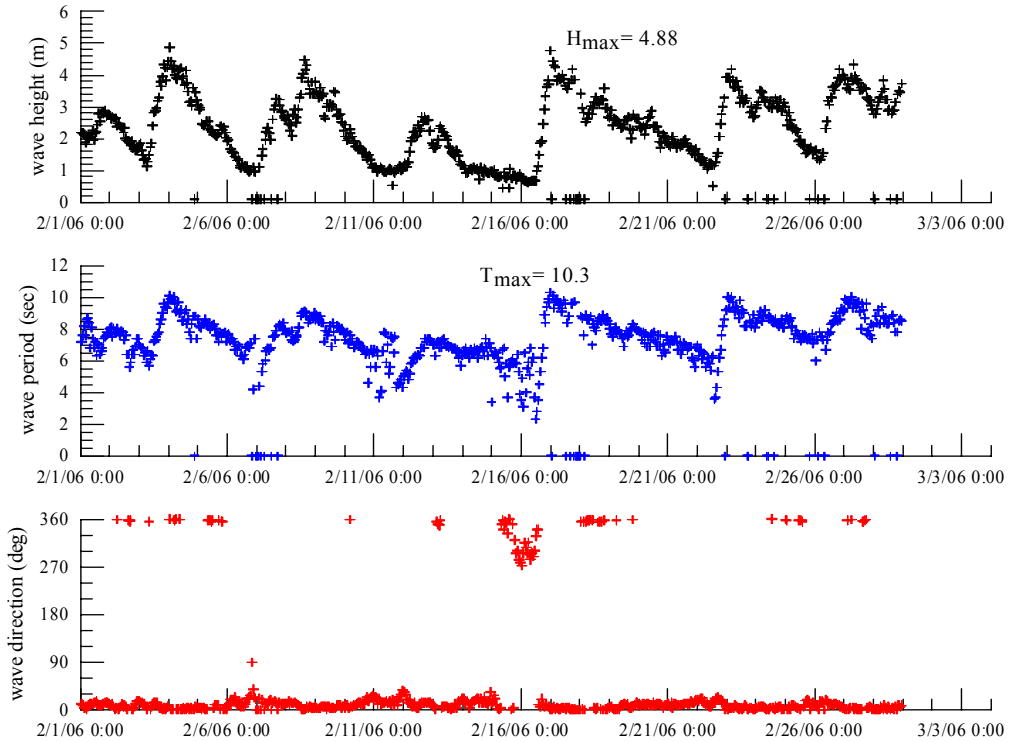


圖 3-2-12 (續 1)2006 年台中港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

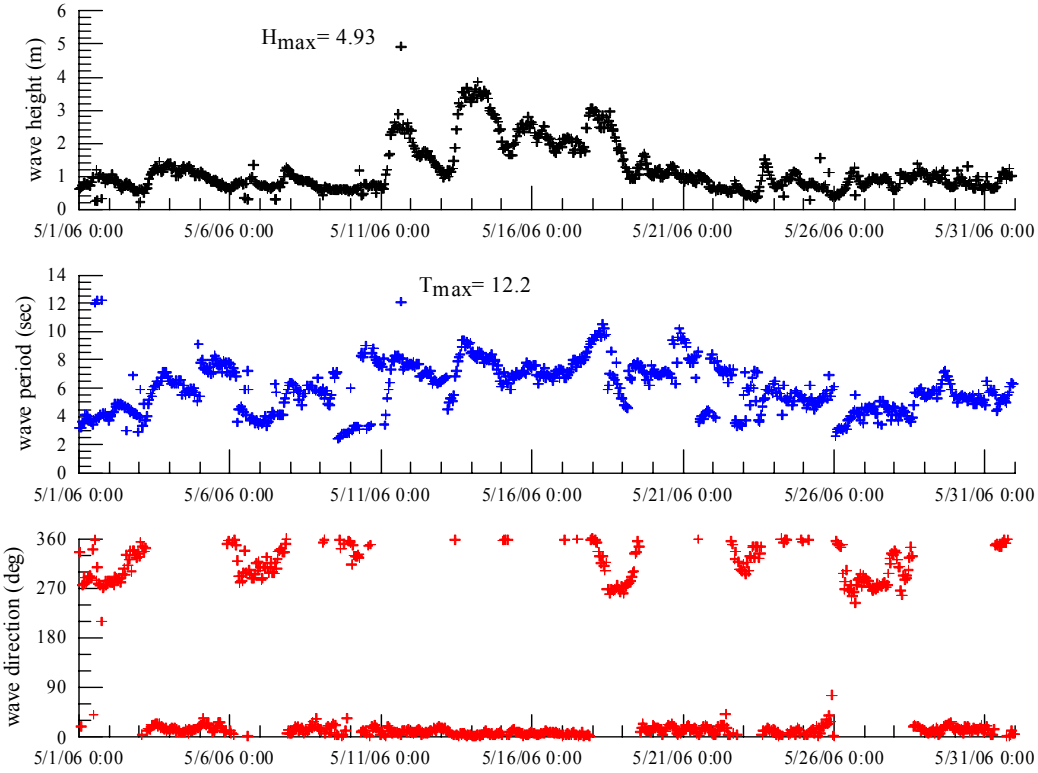


圖 3-2-12 (續 2)2006 年台中港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

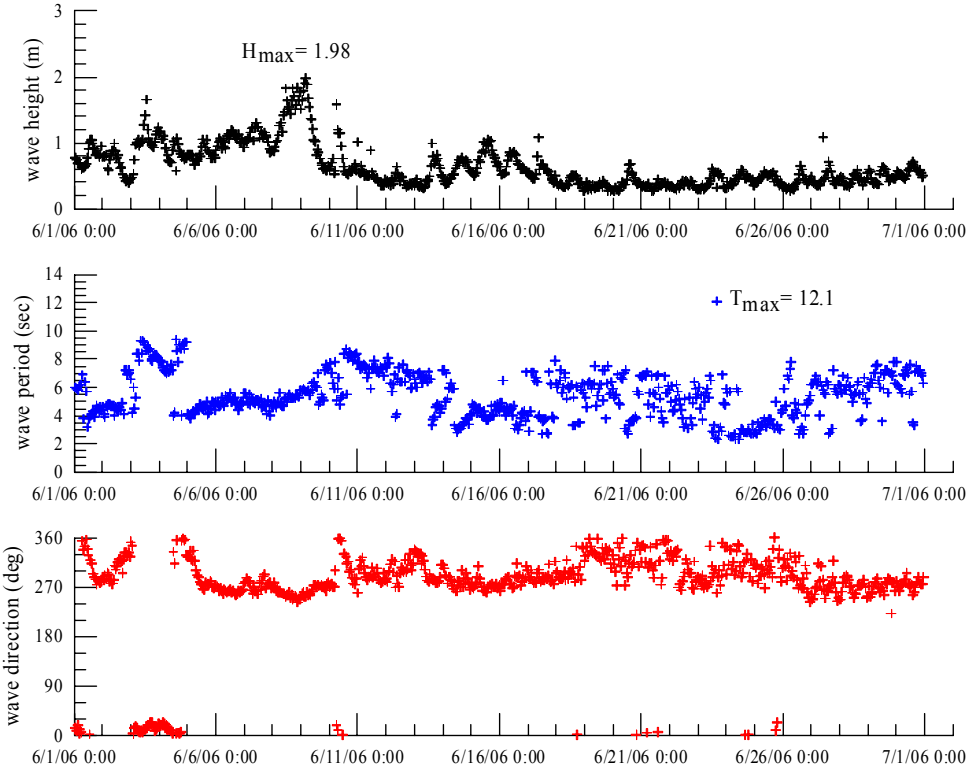


圖 3-2-12 (續 3)2006 年台中港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

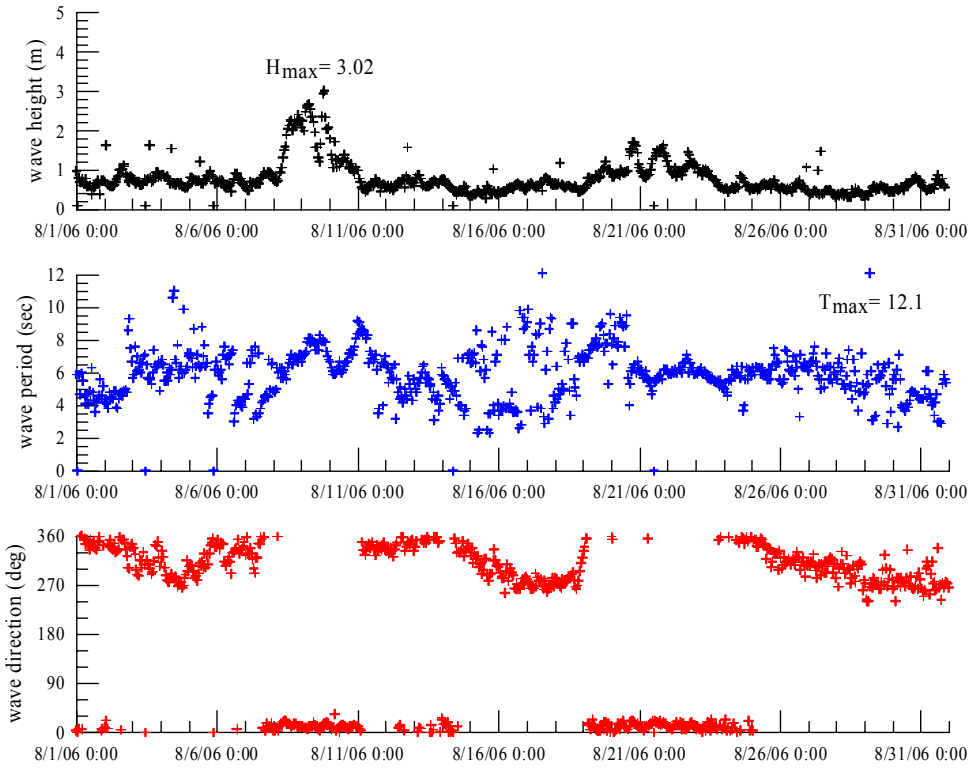


圖 3-2-12 (續 4)2006 年台中港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

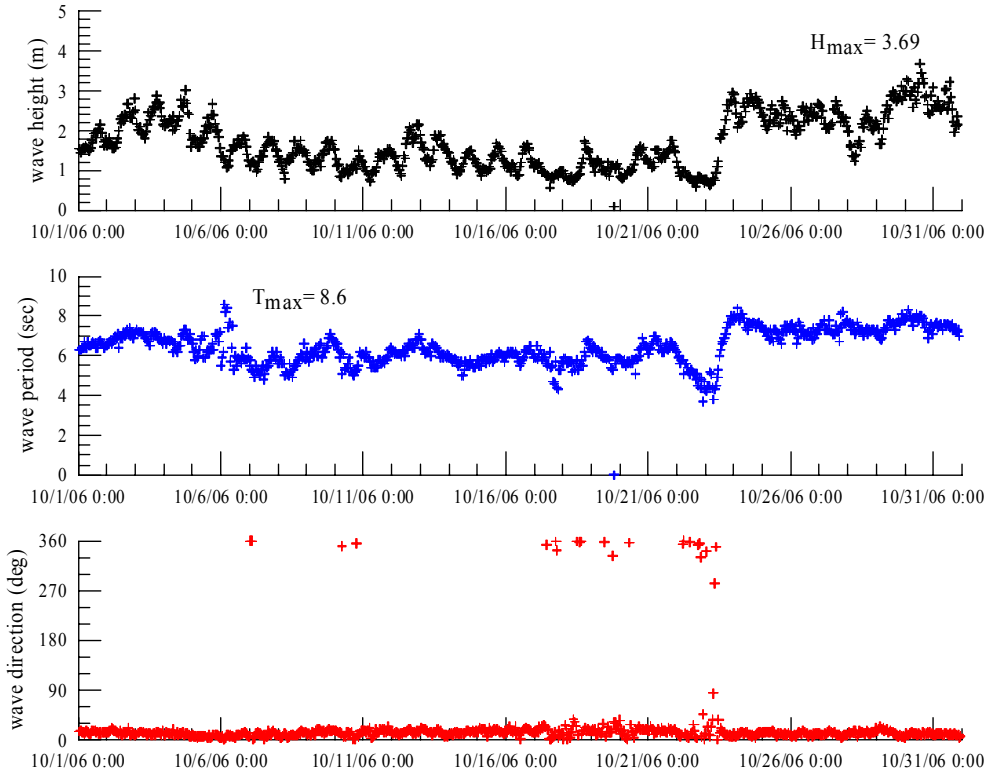


圖 3-2-12 (續 5)2006 年台中港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

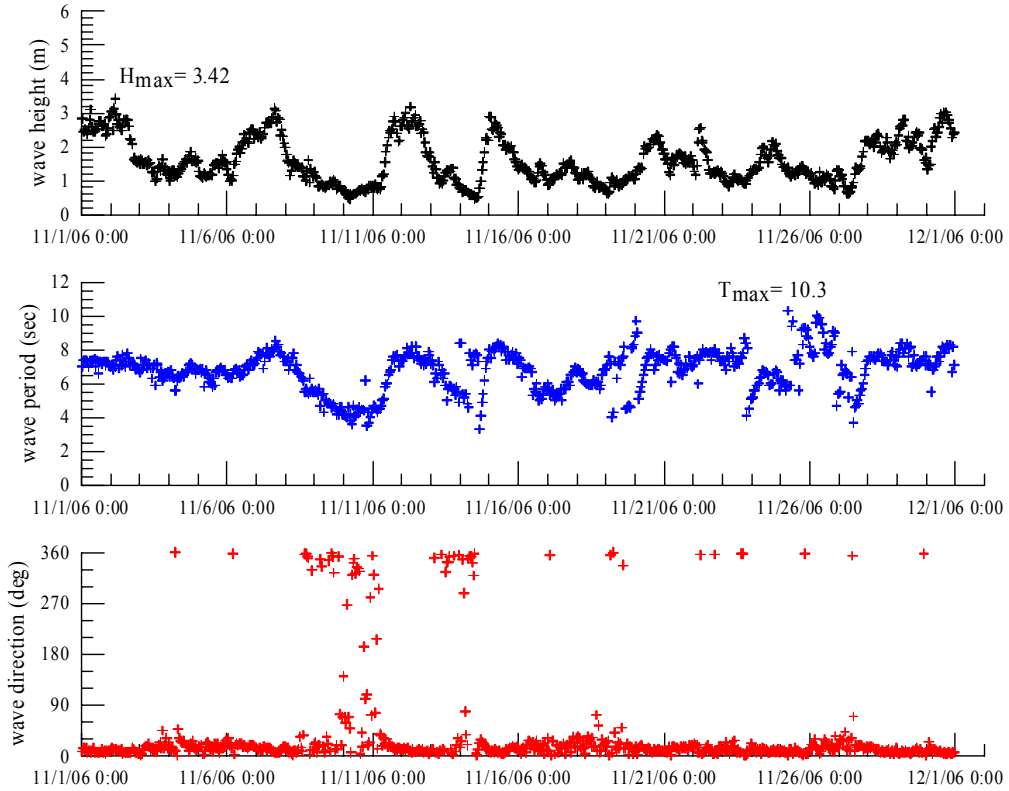


圖 3-2-12 (續 6)2006 年台中港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

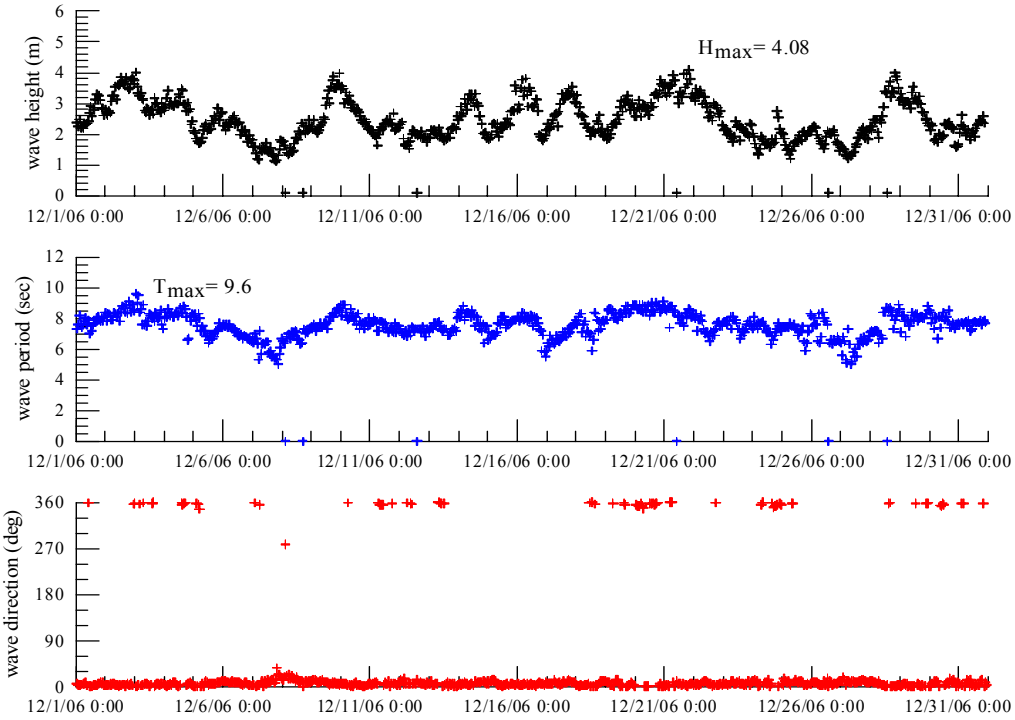


圖 3-2-12 (續 7)2006 年台中港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

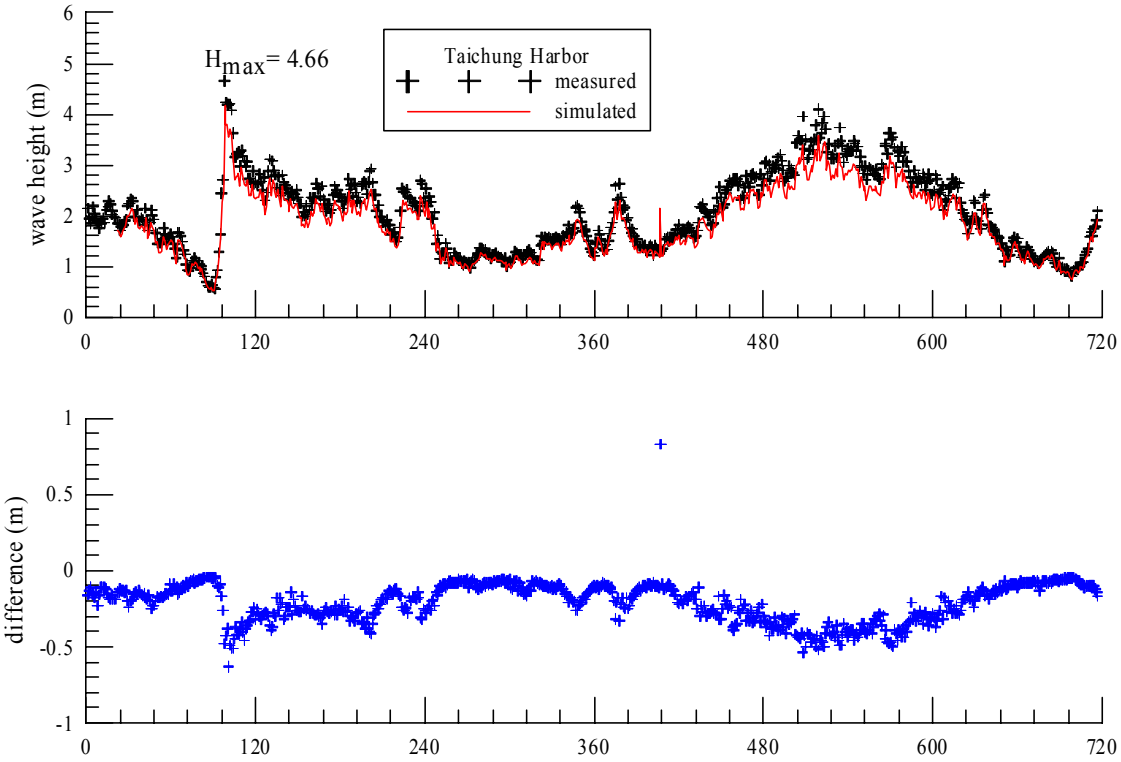


圖 3-2-13 台中港波高觀測值與模式推算值之比較及其偏差值

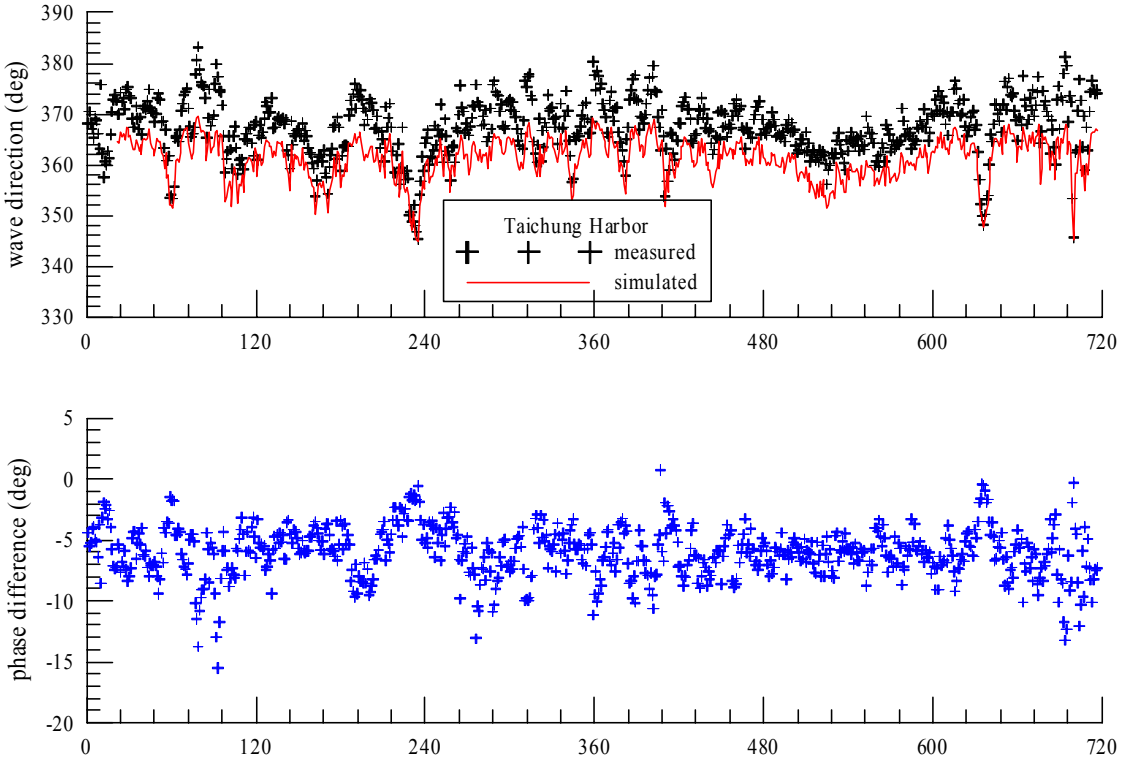


圖 3-2-14 台中港波向觀測值與模式推算值之比較及其偏差值

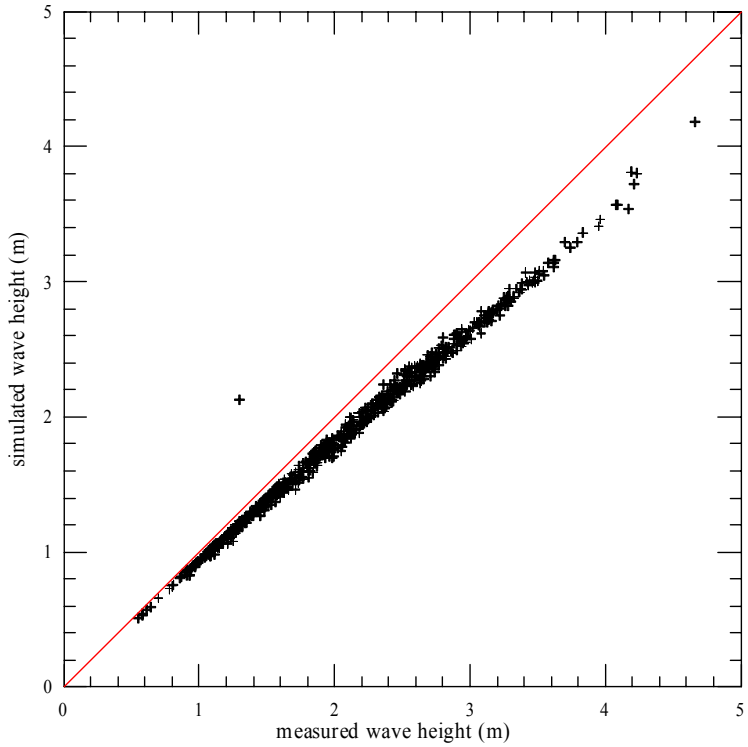


圖 3-2-15 台中港波高觀測值與模式推算值之對應關係

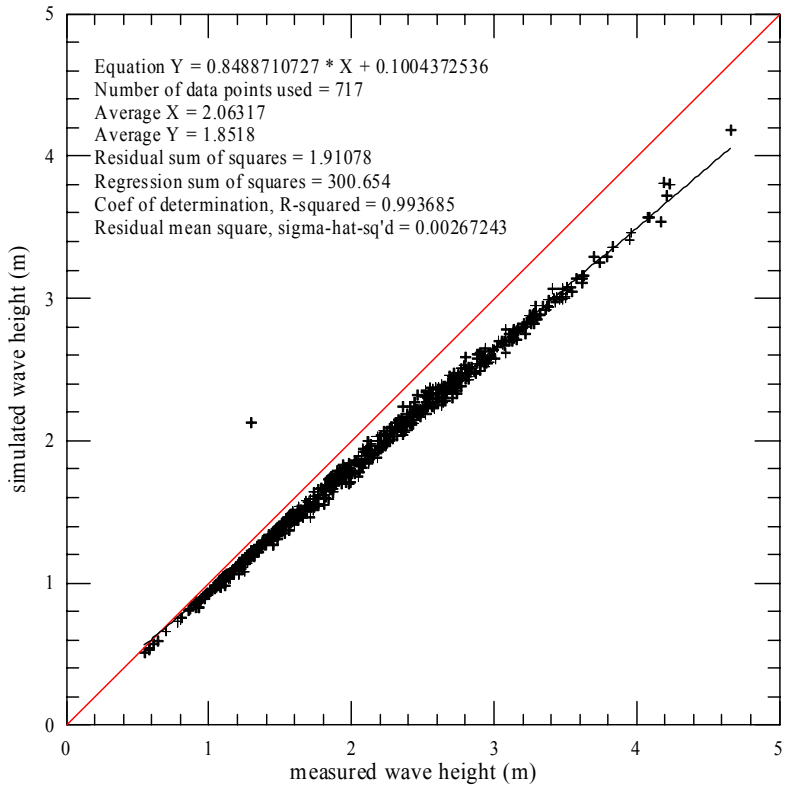


圖 3-2-16 台中港波高觀測值與模式推算值之關係線性回歸結果

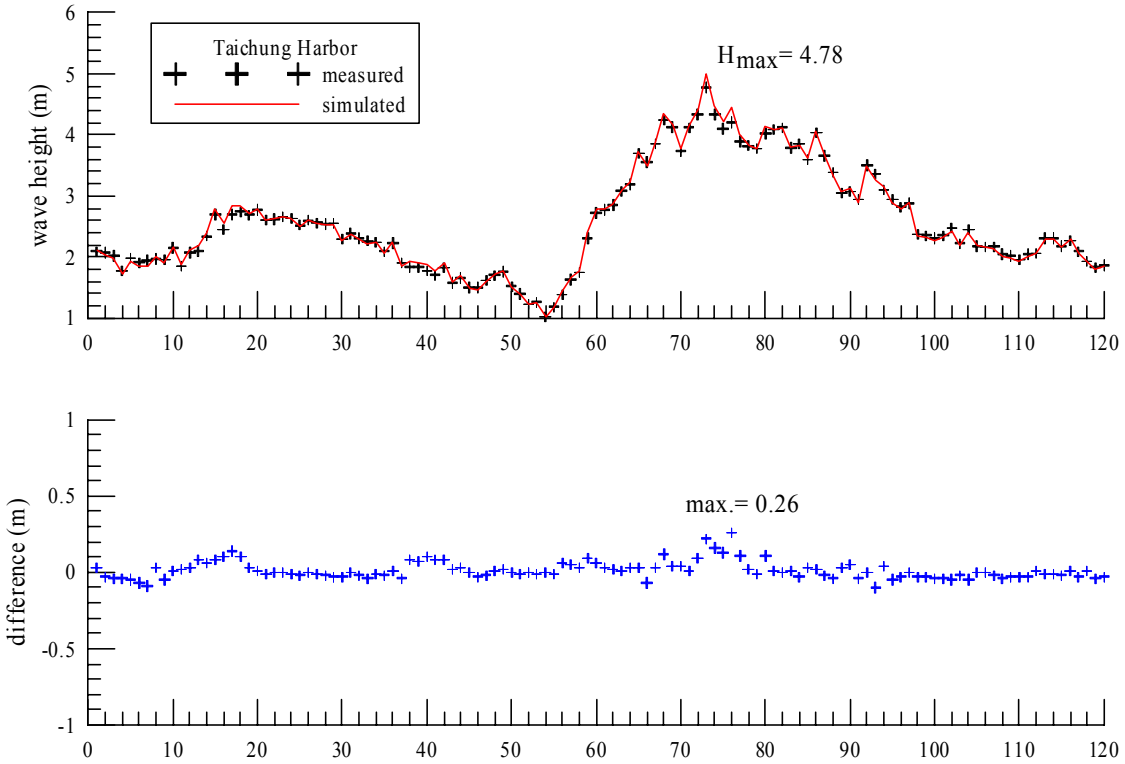


圖 3-2-17 台中港波高觀測值與模式推算值之比較及其偏差值

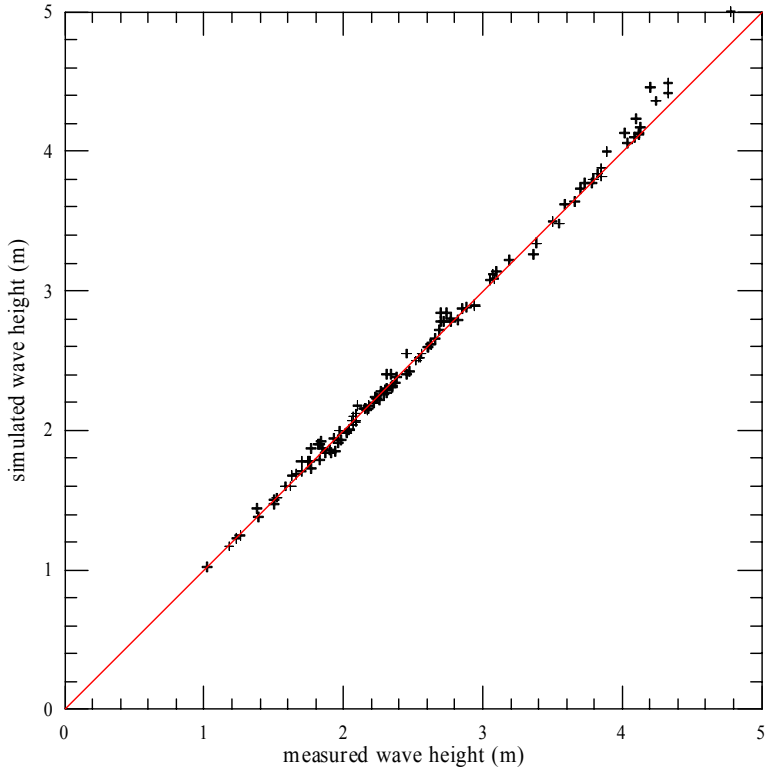


圖 3-2-18 台中港波高觀測值與模式推算值之對應關係

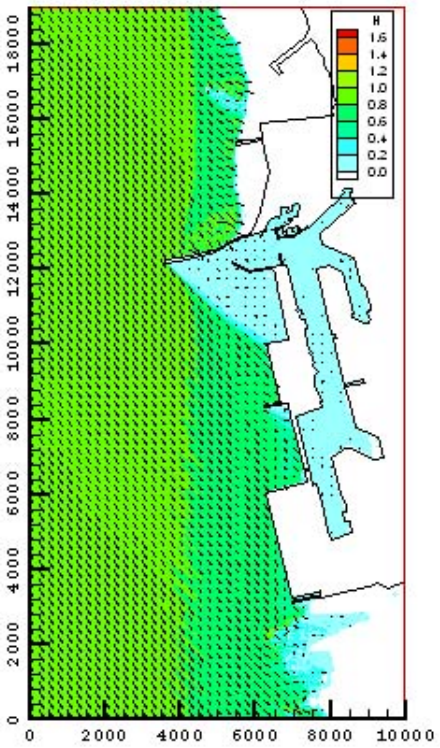


圖 3-2-19 台中港近岸區域波浪場模擬結果
(H=0.89 m，T=5.4 sec，D=8.4º)

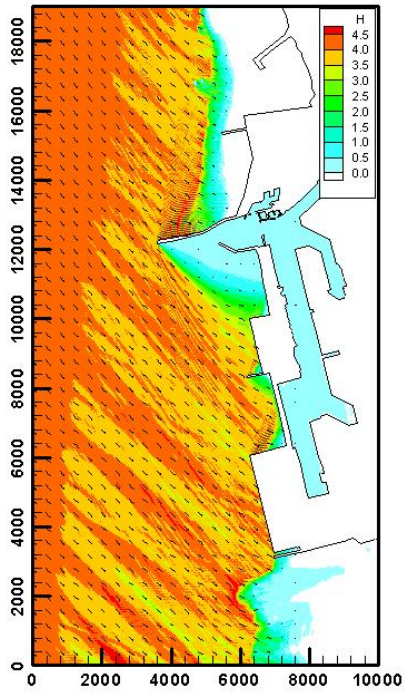


圖 3-2-20 台中港近岸區域波浪場模擬結果
(H=4.42 m，T=9.0 sec，D=360 º)

(2)花蓮港區域波浪模擬結果

圖 3-2-21 所示為 2006 年花蓮港東防波堤外海波浪觀測資料(示性波高 $H_{1/3}$、週期 $T_{1/3}$ 及波向)之逐時序列圖，顯示花蓮港波浪主要波向以 E 方向為主。觀測期間花蓮港示性波高最大值為 5.52 m(7 月)，發生於碧利斯颱風侵臺期間；其次各月份示性波高最大值分別為 3.32 m(1 月)、3.23 m(2 月)、3.62 m(3 月)、3.31 m(4 月)、2.89 m(5 月)、1.35 m(6 月)、3.23 m(9 月)、4.24 m(9 月)、2.89 m(10 月)、3.53 m(11 月)及 3.19 m(12 月)。花蓮港示性波週期主要介於 7 ~ 11 sec 之間，示性波週期最大值為 16.9 sec。

圖 3-2-22 所示為花蓮港近岸波浪模擬之數值計算網格水深分佈圖，顯示花蓮港外海水深變化相當大，而花蓮南濱海岸至花蓮溪口間有離岸堤群存在。本計畫初步選取花蓮港東防波堤外海波浪觀測資料為模式之計算條件，模擬花蓮港近岸波浪場，並比較觀測點位波浪模擬結果與觀測資料間之關係，作為外海邊界計算條件修正之依據。圖 3-2-23 所示為模式模擬結果與觀測點位資料之比較，顯示颱風期間波高模擬結果與觀測值間會出現較大之偏差結果。圖 3-2-24 所示為觀測值與模式推算值間對應關係及線性回歸結果，顯示波高較大時對二者應關係較為分散，此可能與波浪受到防波堤等海岸結構物影響，或受到當地海流對波浪影響有關。圖 3-2-25 及圖 3-2-26 所示為模式依據圖 3-2-24 之線性回歸結果修正模式邊界計算條件之模擬結果，顯示模式推算結果與觀測值間之偏差有顯著改善，惟二者之間對應關係仍呈現較分散現象。當進一步假設波浪觀測位自目前位置往南移動 600 m 以上，則可發現南移點位波高計算值與觀測波高值間不僅相關性會顯著地改善，且對應關係亦呈現較收斂狀態，因此推論目前花蓮港東防波堤外之波浪推算值可能因受到港口結構物影響而降低與波高觀測值間之相關性。圖 3-2-27 及圖 3-2-28 所示為花蓮港近岸區域波浪場模擬結果之波高平面分佈圖。

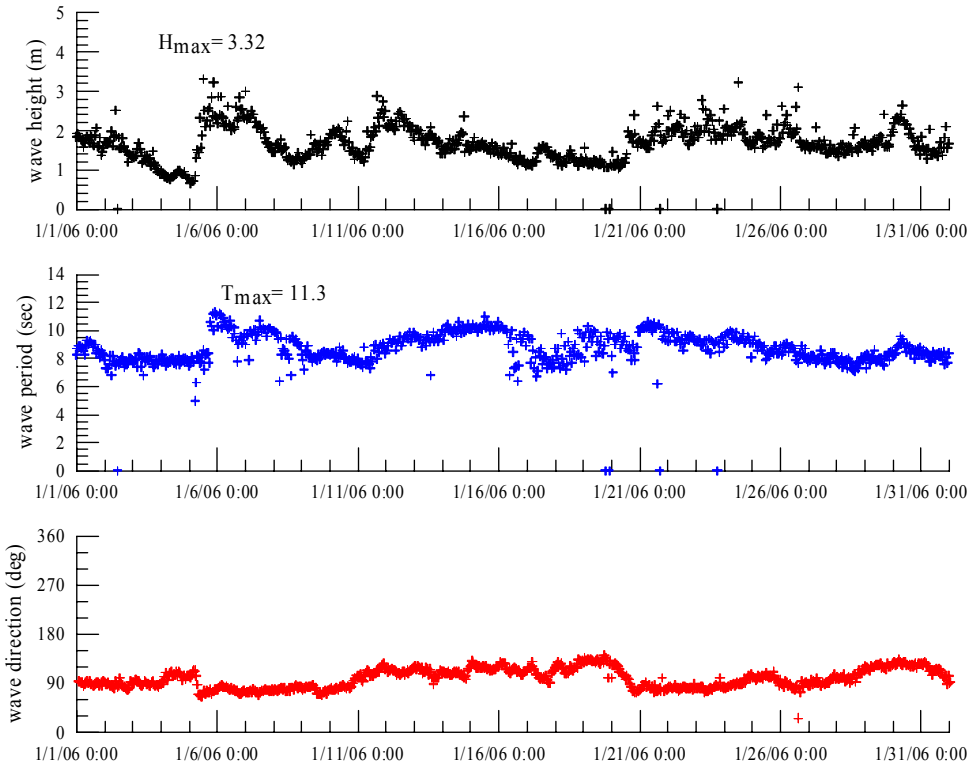


圖 3-2-21　2006 年花蓮港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

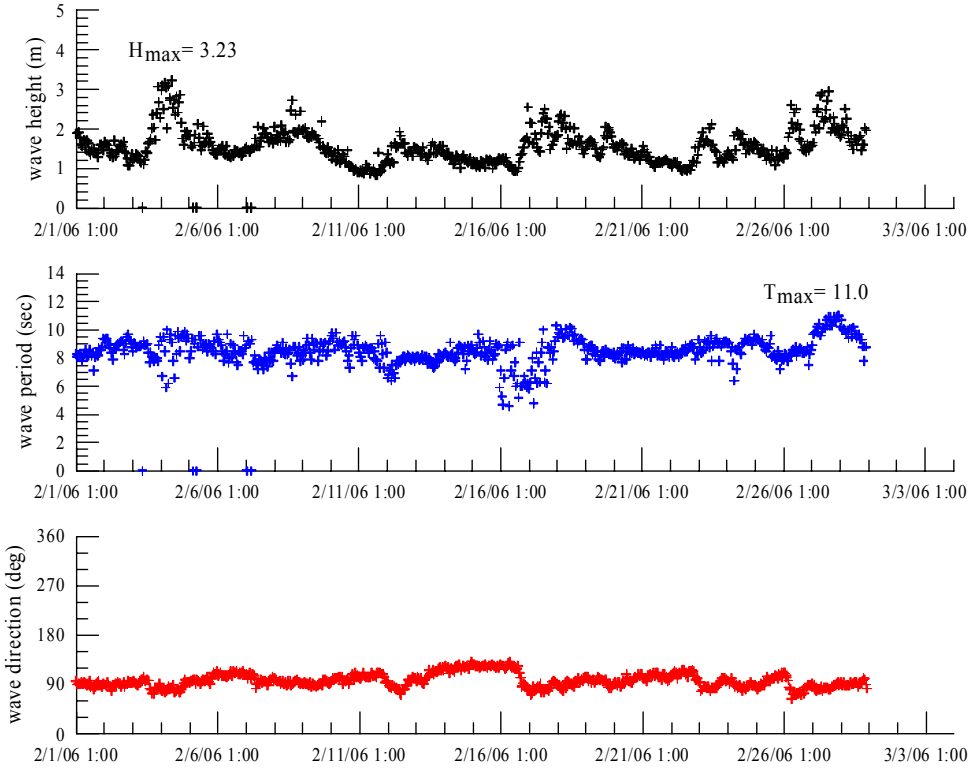


圖 3-2-21 (續 1)2006 年花蓮港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

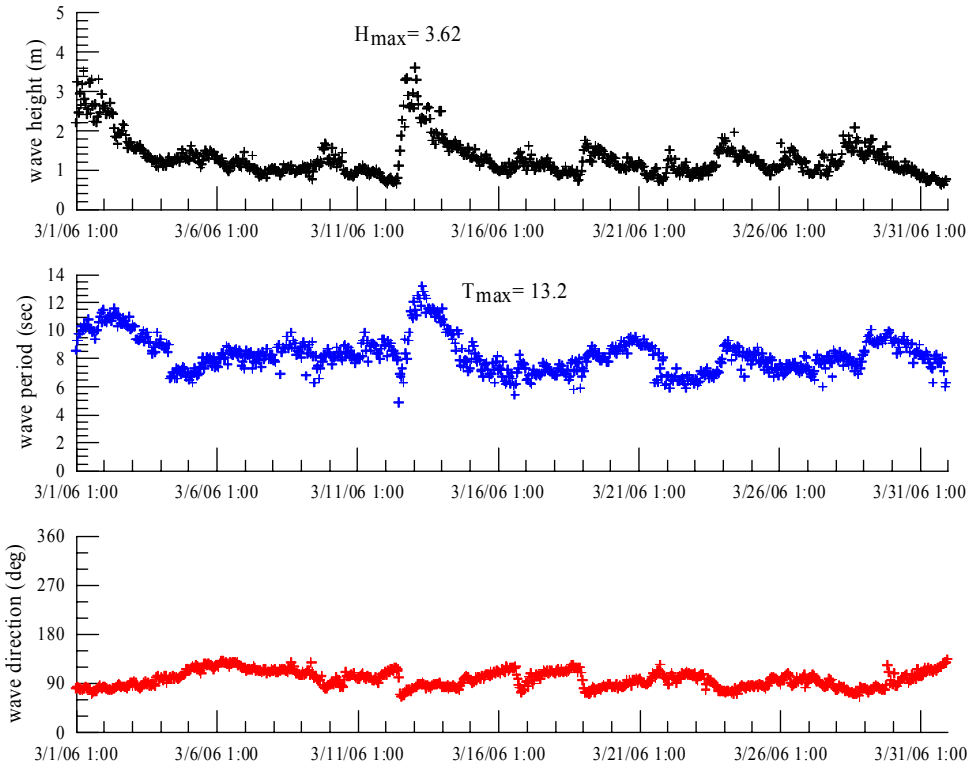


圖 3-2-21 (續 2)2006 年花蓮港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

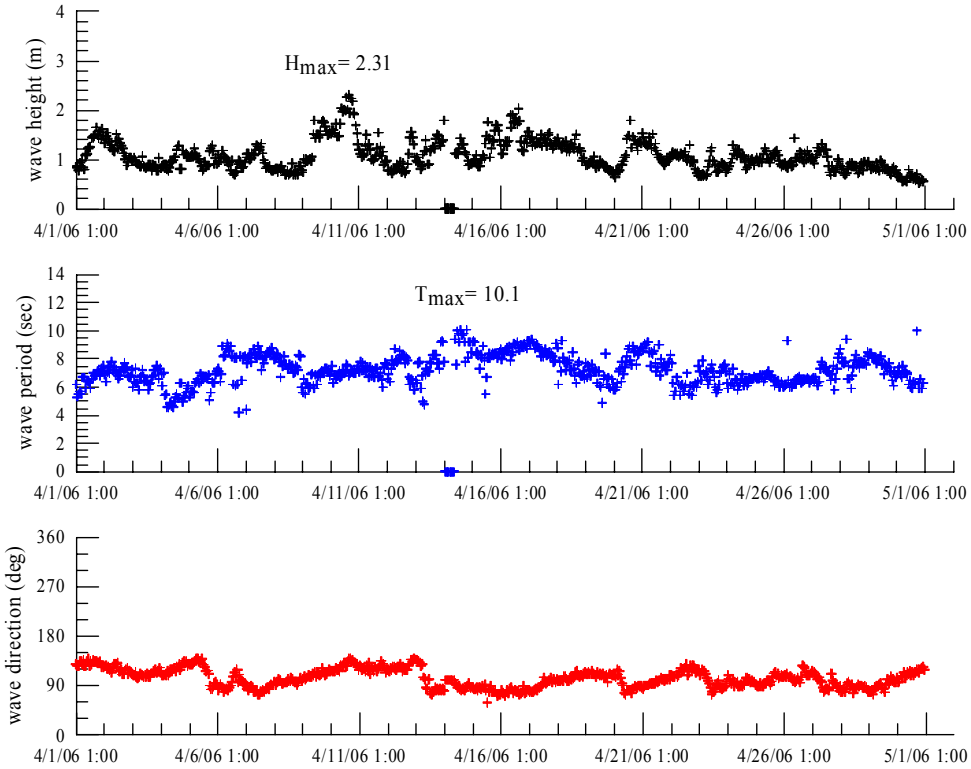


圖 3-2-21 (續 3)2006 年花蓮港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

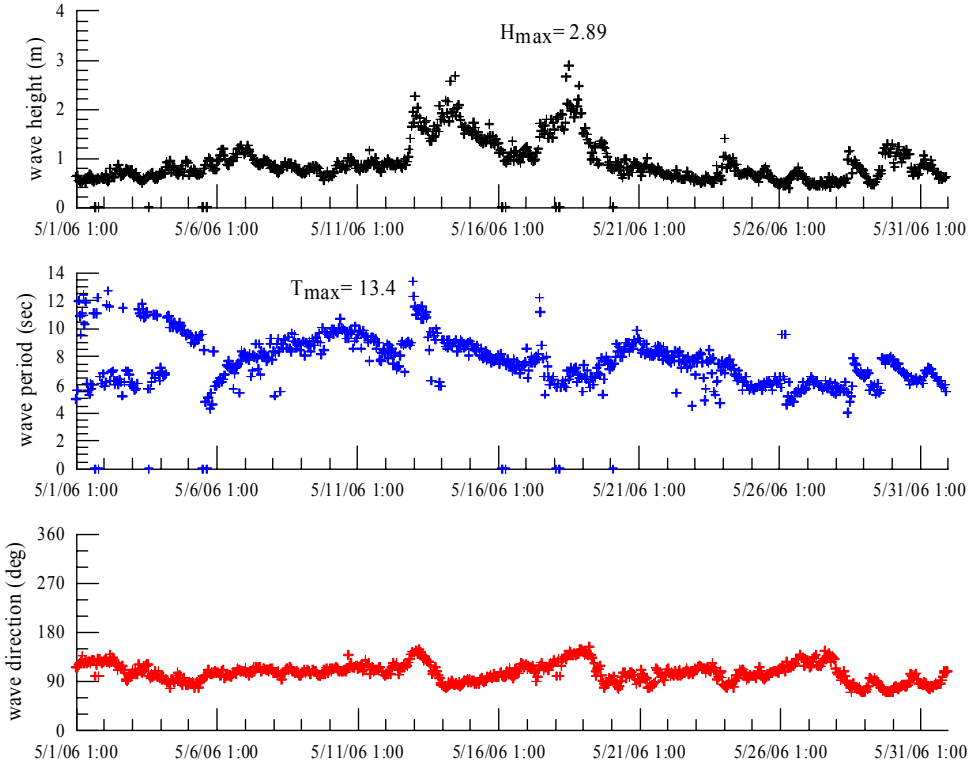


圖 3-2-21 (續 4)2006 年花蓮港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

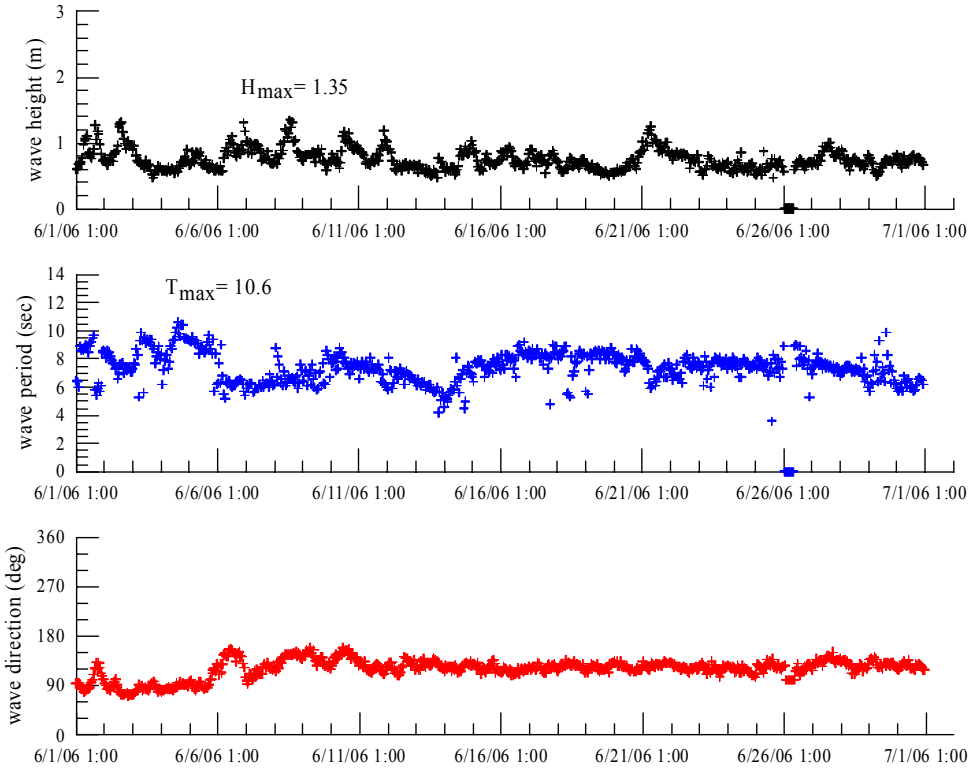


圖 3-2-21 (續 5)2006 年花蓮港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

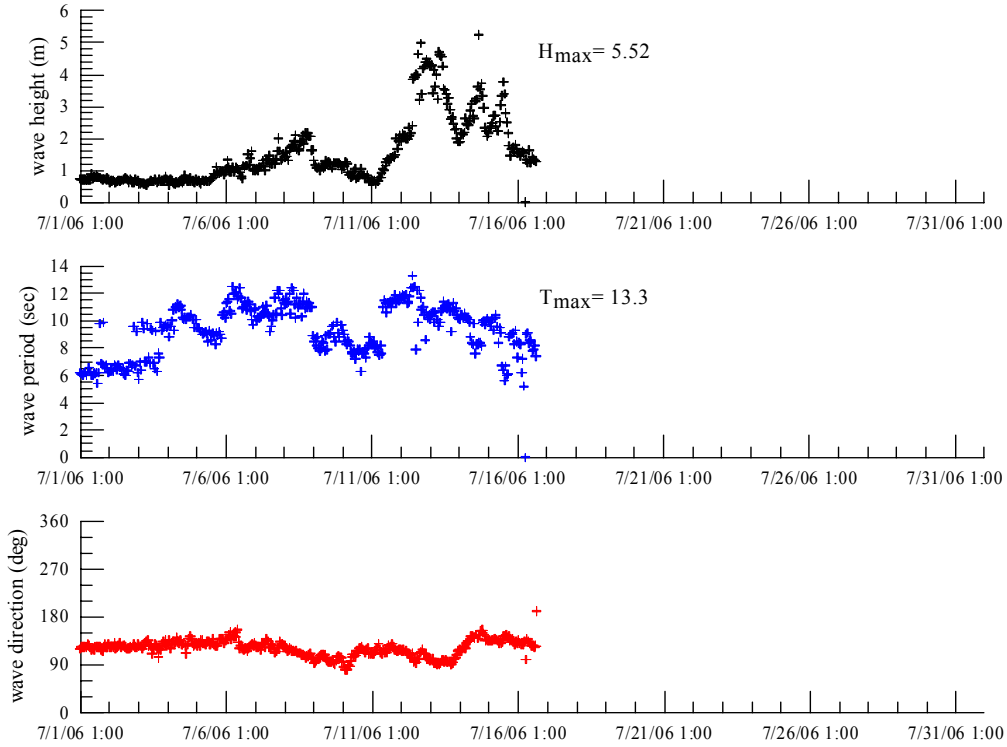


圖 3-2-21(續 6)2006 年花蓮港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

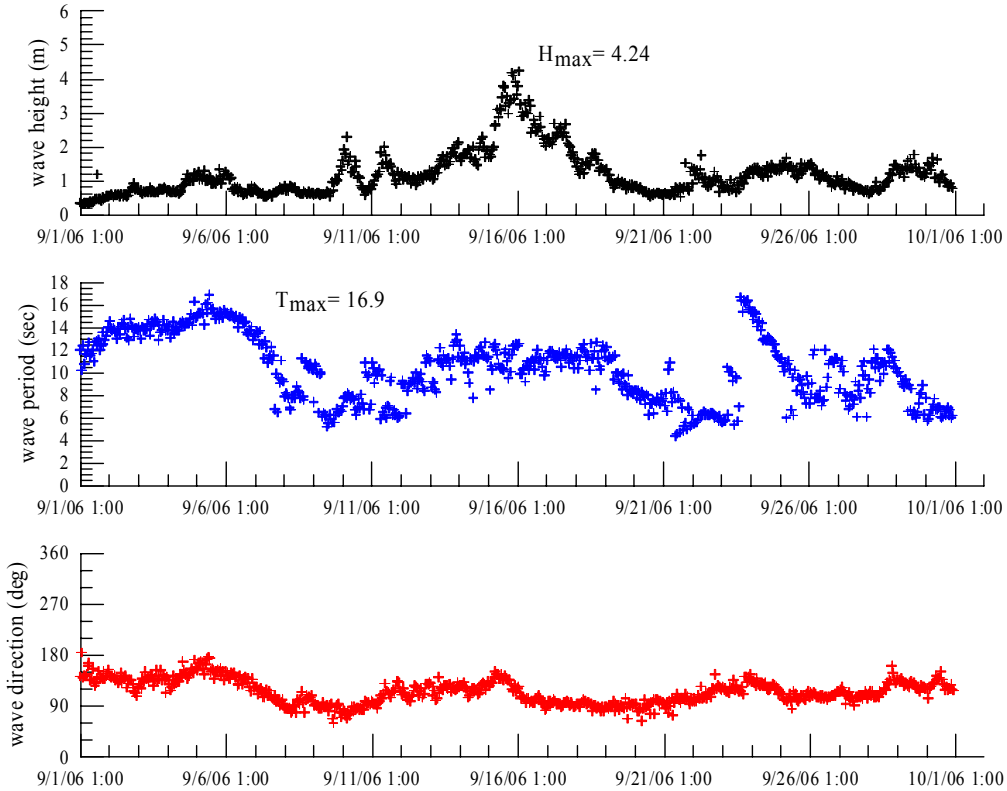


圖 3-2-21 (續 7)2006 年花蓮港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

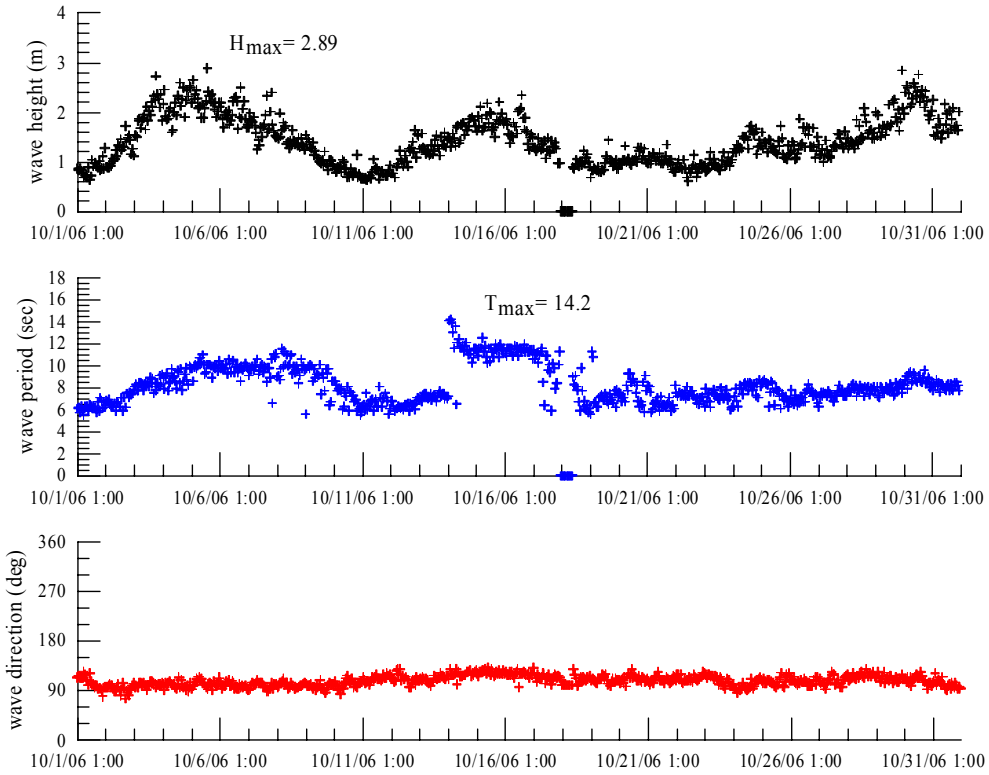


圖 3-2-21 (續 8)2006 年花蓮港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

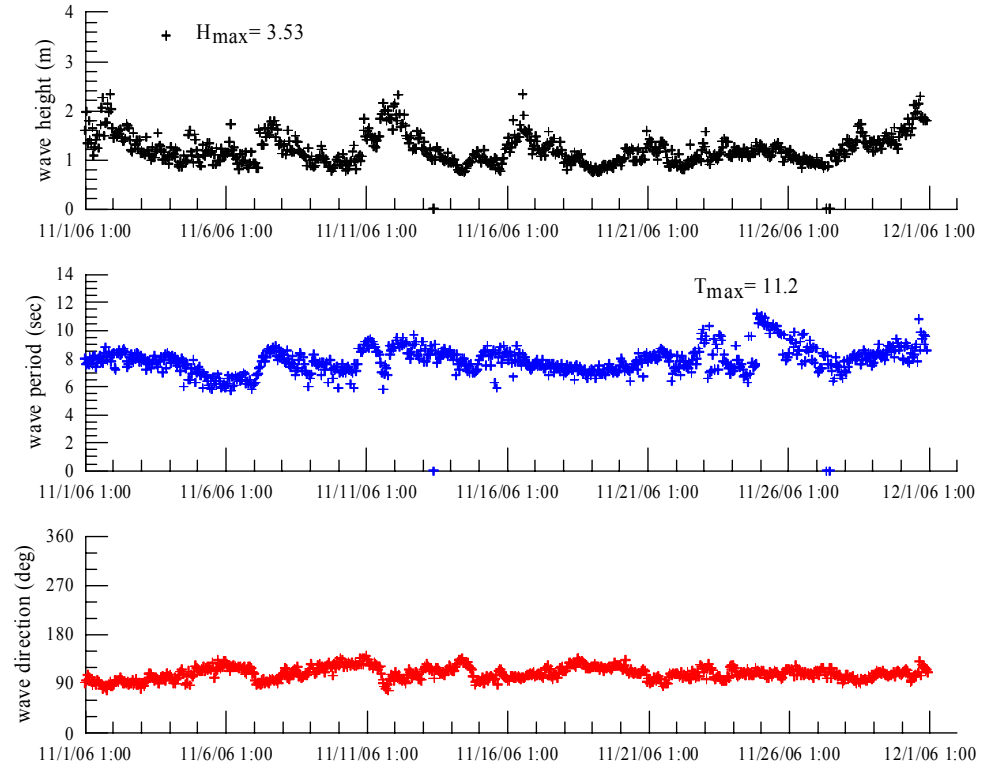


圖 3-2-21 (續 9)2006 年花蓮港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

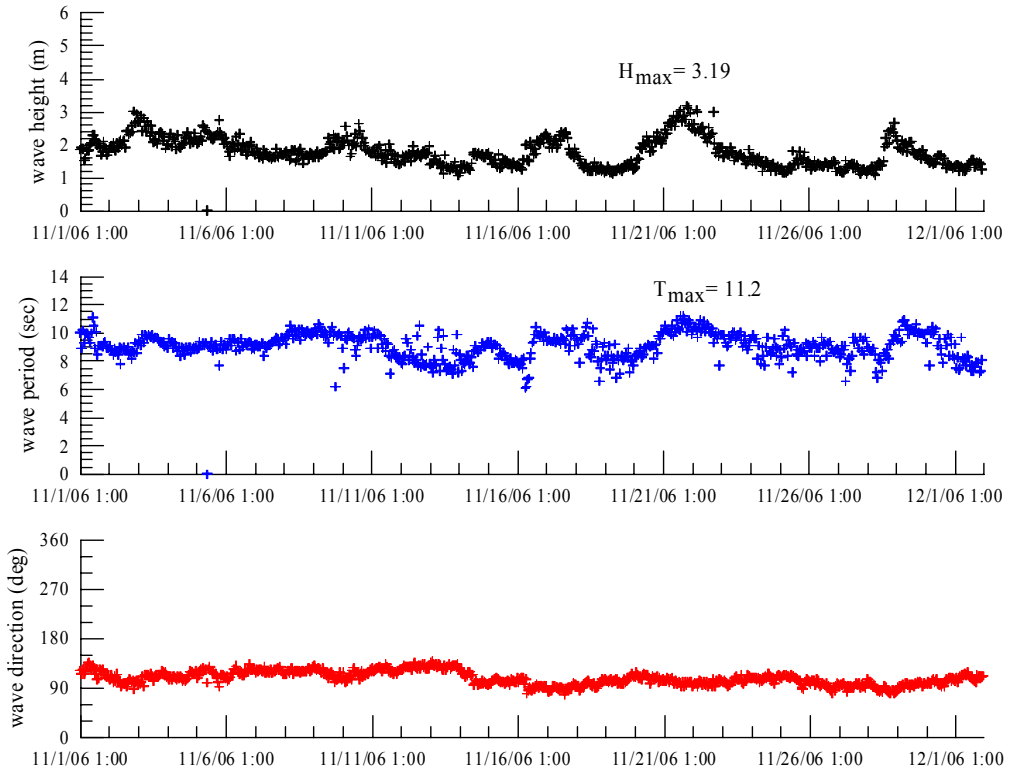


圖 3-2-21(續 10)2006 年花蓮港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

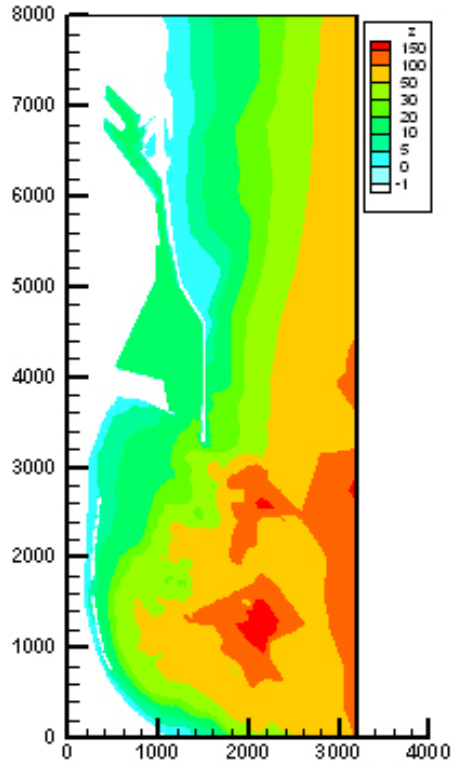


圖 3-2-22 花蓮港近岸區域波浪模擬數值計算網格及水深分佈圖

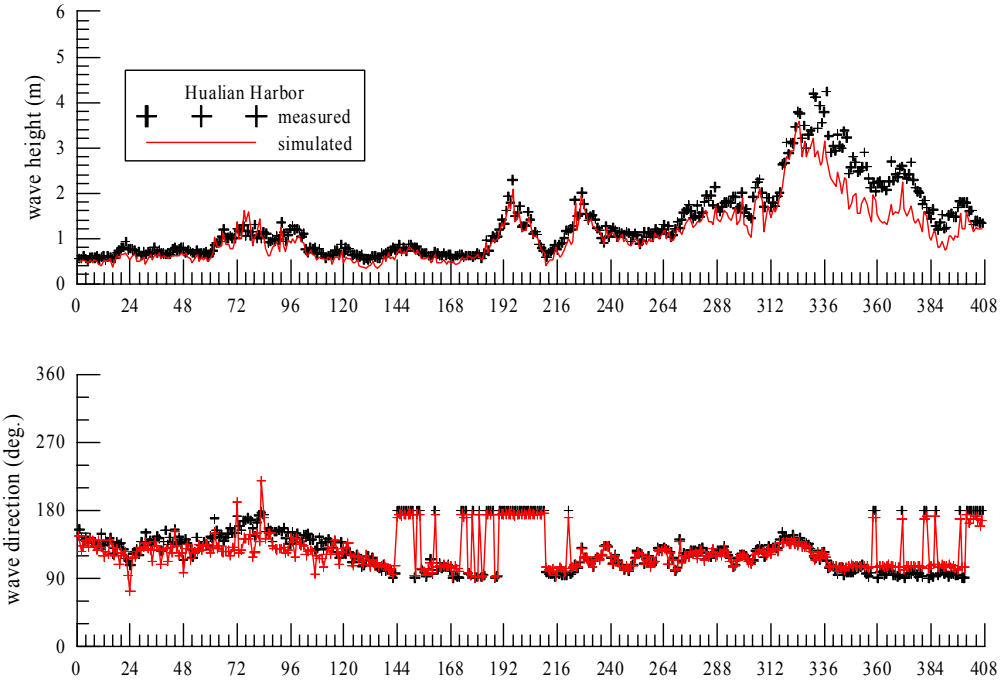


圖 3-2-23 花蓮港波高觀測值與模式推算結果之比較

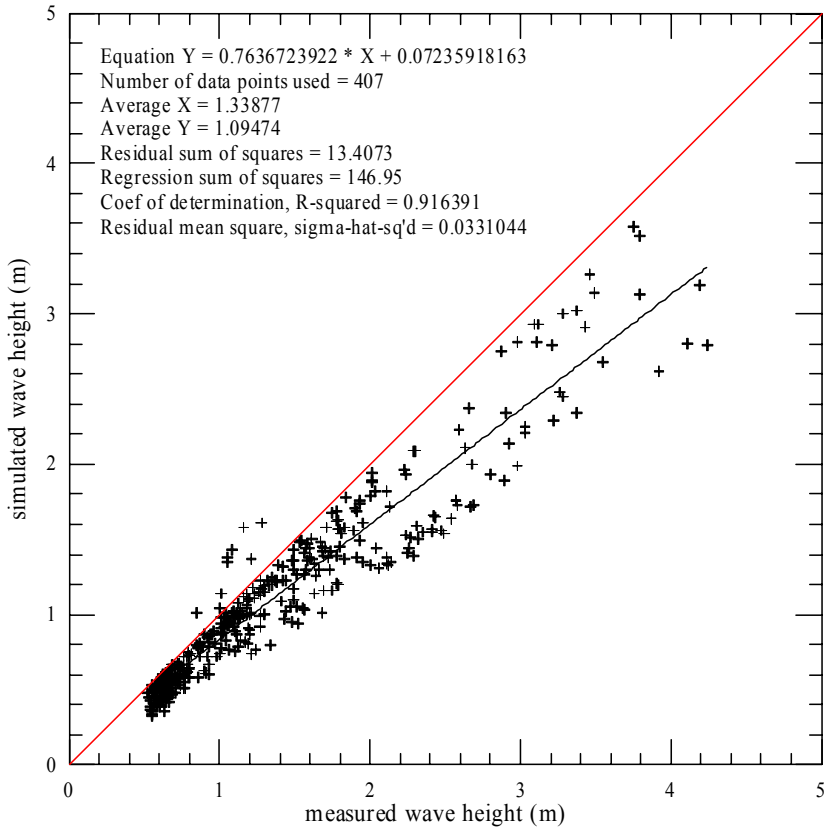


圖 3-2-24 花蓮港波高觀測值與模式推算值之對應關係與線性回歸結果

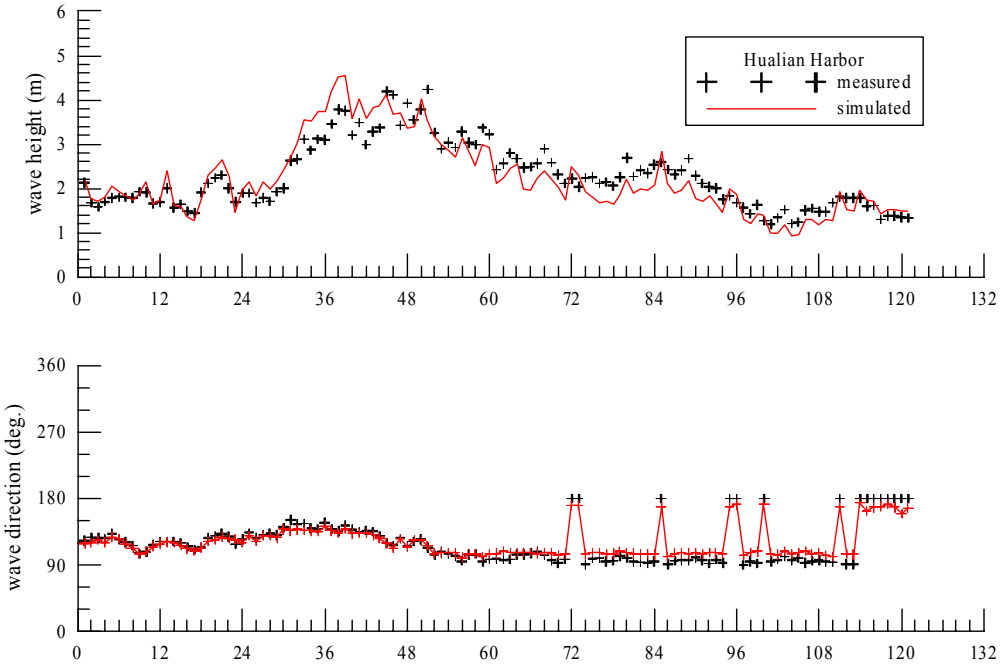


圖 3-2-25 花蓮港波高觀測值與模式推算結果之比較(修正後結果)

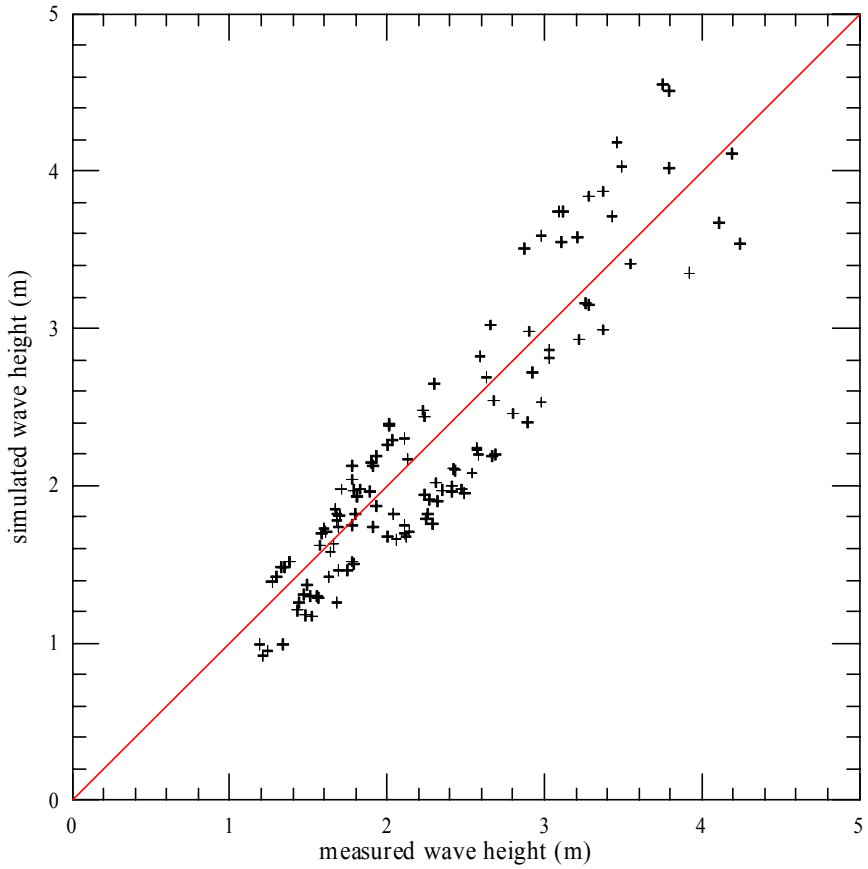


圖 3-2-26 花蓮港波高觀測值與模式推算值之對應關係(修正後之結果)

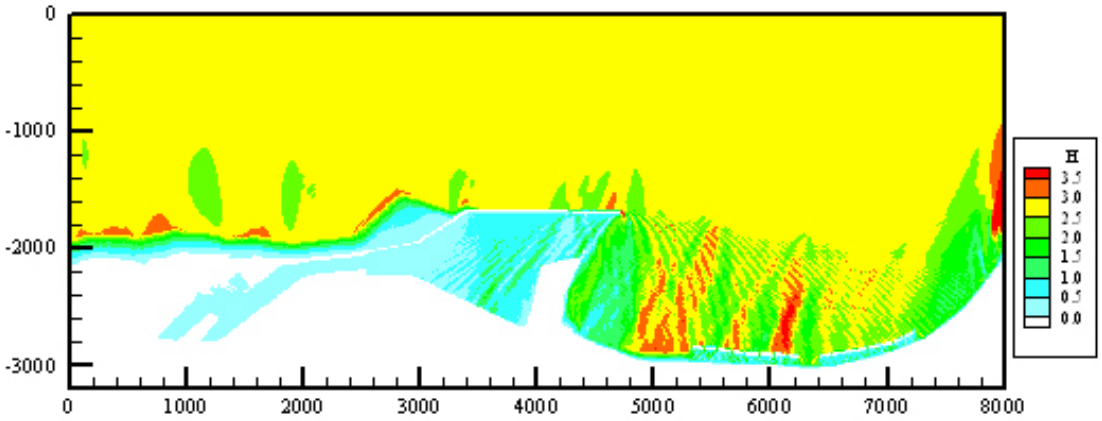


圖 3-2-27 花蓮港近岸區域波浪場模擬結果之波高平面分佈圖
(波浪模擬條件: H=2.78m，T=8.76sec，S48°E)

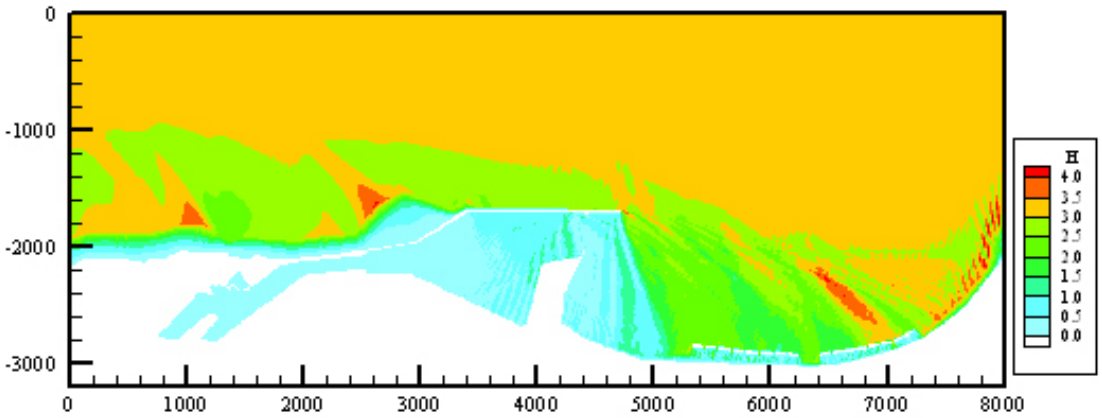


圖 3-2-28 花蓮港近岸區域波浪場模擬結果之波高平面分佈圖
(波浪模擬條件: H=3.40m，T=8.61sec，E20.9°N)

(3)安平港區域波浪模擬結果

圖 3-2-29 所示為 2006 年安平港外海波浪觀測資料(示性波高 $H_{1/3}$、週期 $T_{1/3}$ 及波向)之逐時序列圖，顯示安平港夏季波浪主要波向以 SW 方向為主。觀測期間安平港示性波高最大值為 5.80 m(5 月)，發生於珍珠颱風侵臺期間；其次為 5.35 m(7 月)，發生於碧利斯颱風侵臺期間。安平港示性波週期主要介於 5 ~ 7 sec 之間，示性波週期最大值為 12.5 sec，發生於珍珠颱風侵臺期間。

本計畫除了針對安平港近岸波場進行線上模擬作業測試外，另選取 5 月份波浪觀測資料為模式之計算條件，模擬安平港近岸波浪場。圖 3-2-30 所示為模式模擬結果與觀測點位資料之比較，顯示二者相當接近，此一結果應與觀測樁位置與模式邊界線之間距離僅 1.85km 且地形水深變化不大有關。圖 3-2-31 所示為觀測值與模式推算值之線性回歸關係，顯示以安平港觀測點波浪觀測資料可直接引用作為安平港近岸波場模擬輸入條件。

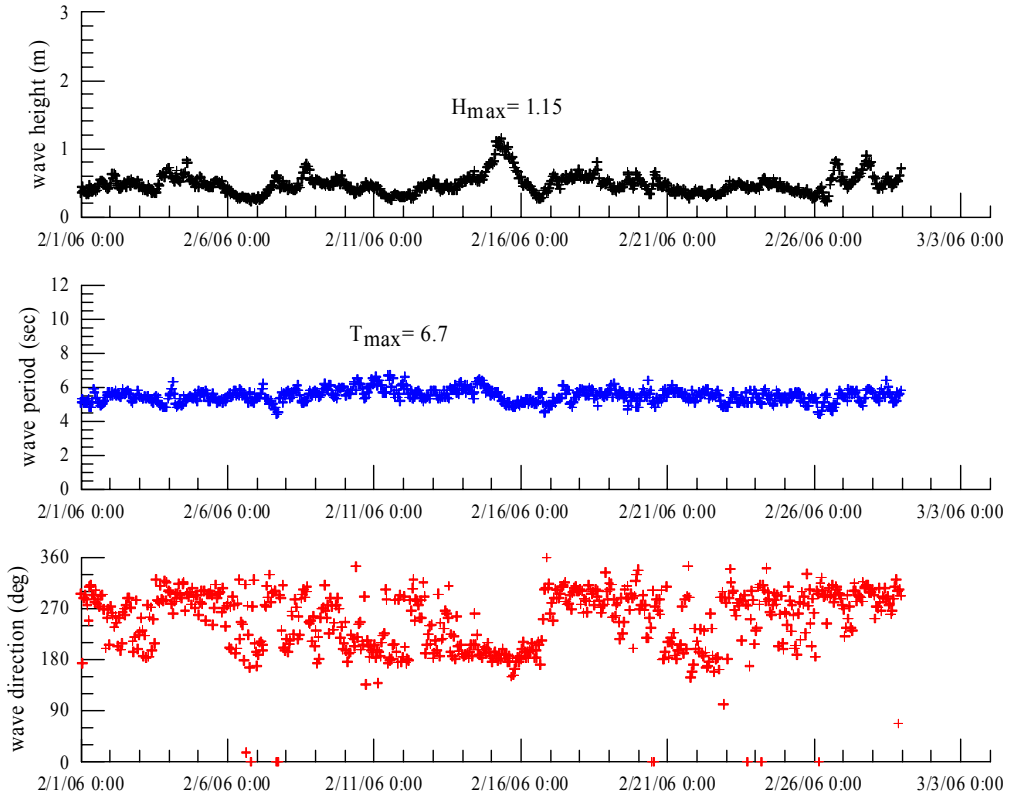


圖 3-2-29　2006 年安平港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

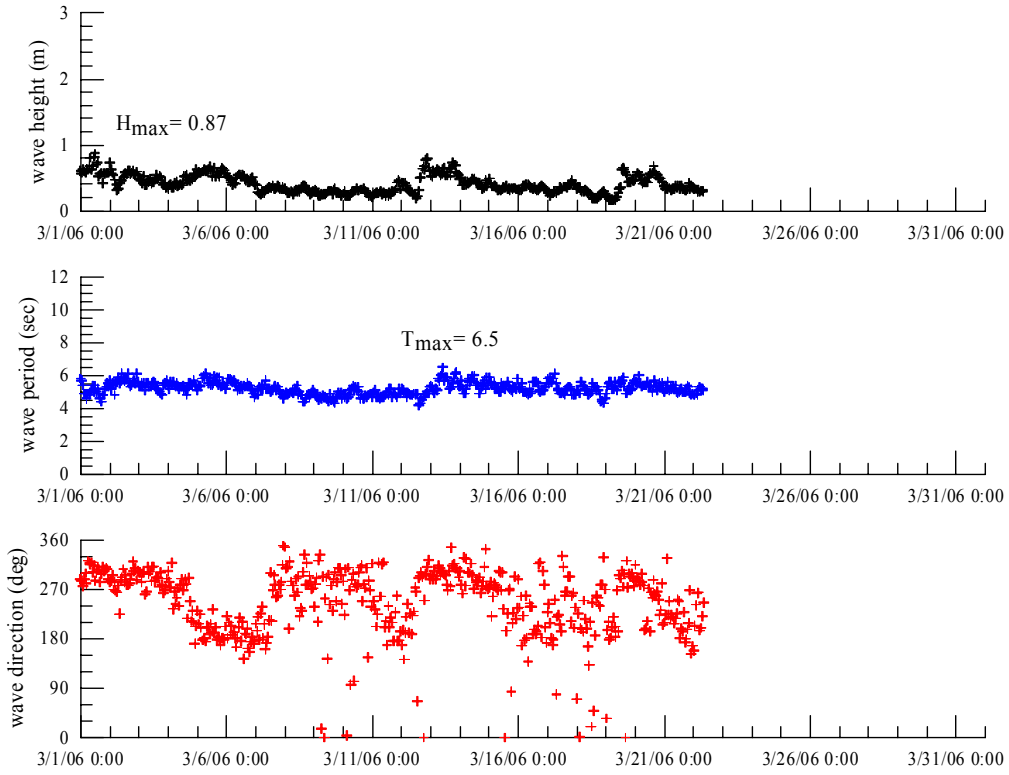


圖 3-2-29 (續 1)2006 年安平港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

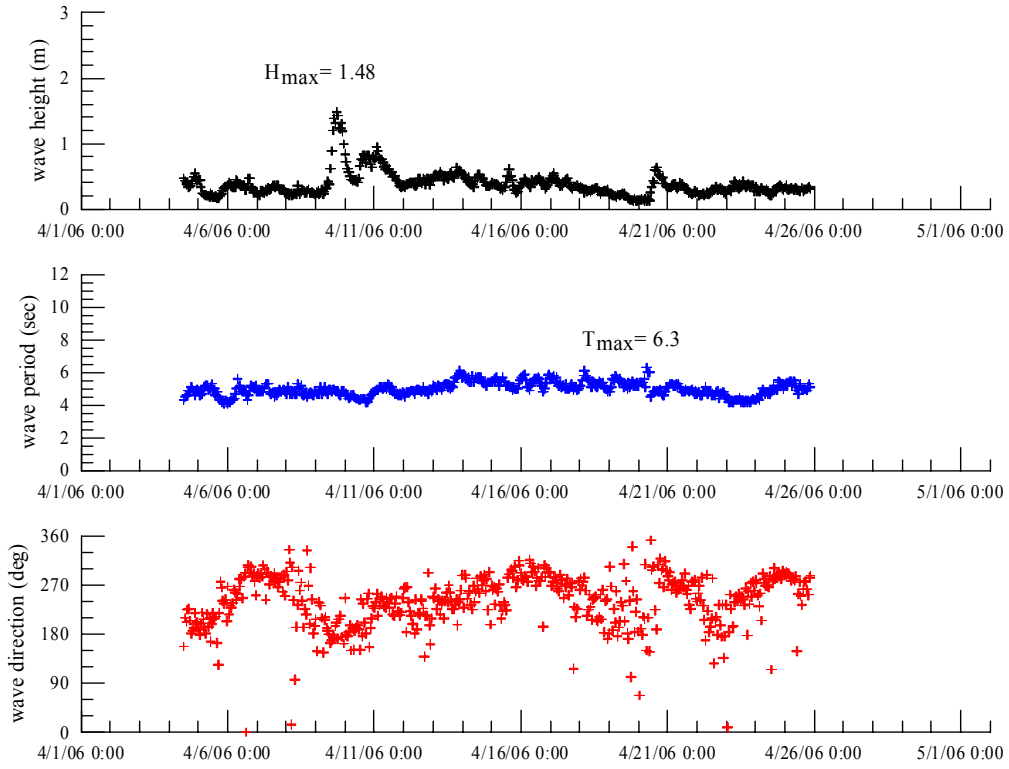


圖 3-2-29 (續 2)2006 年安平港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

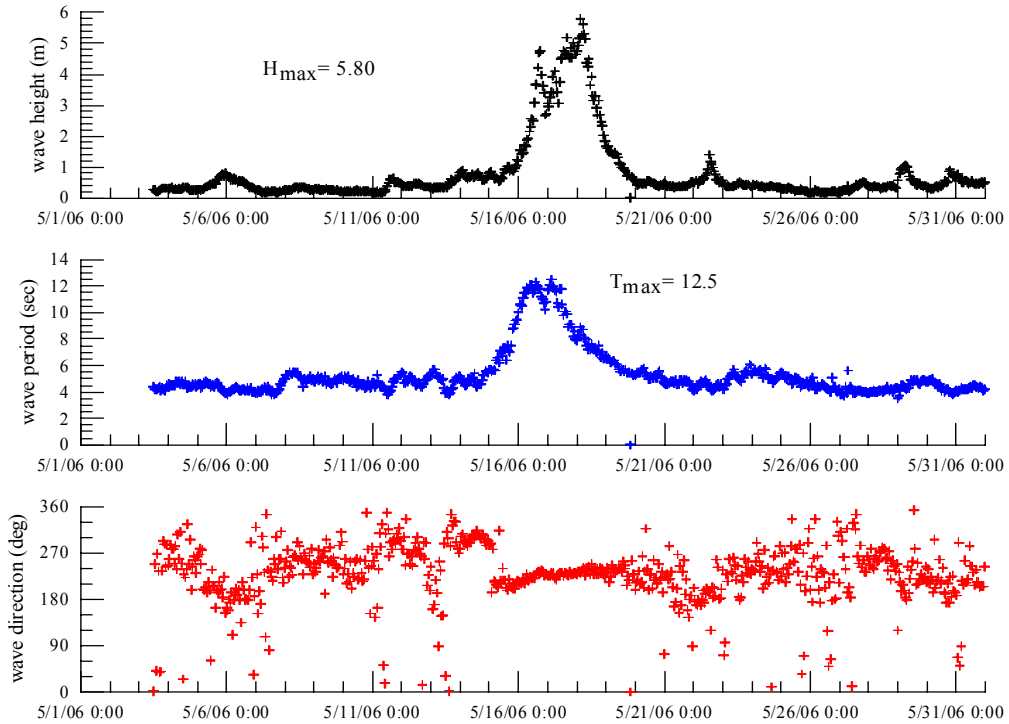


圖 3-2-29(續 3)2006 年安平港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

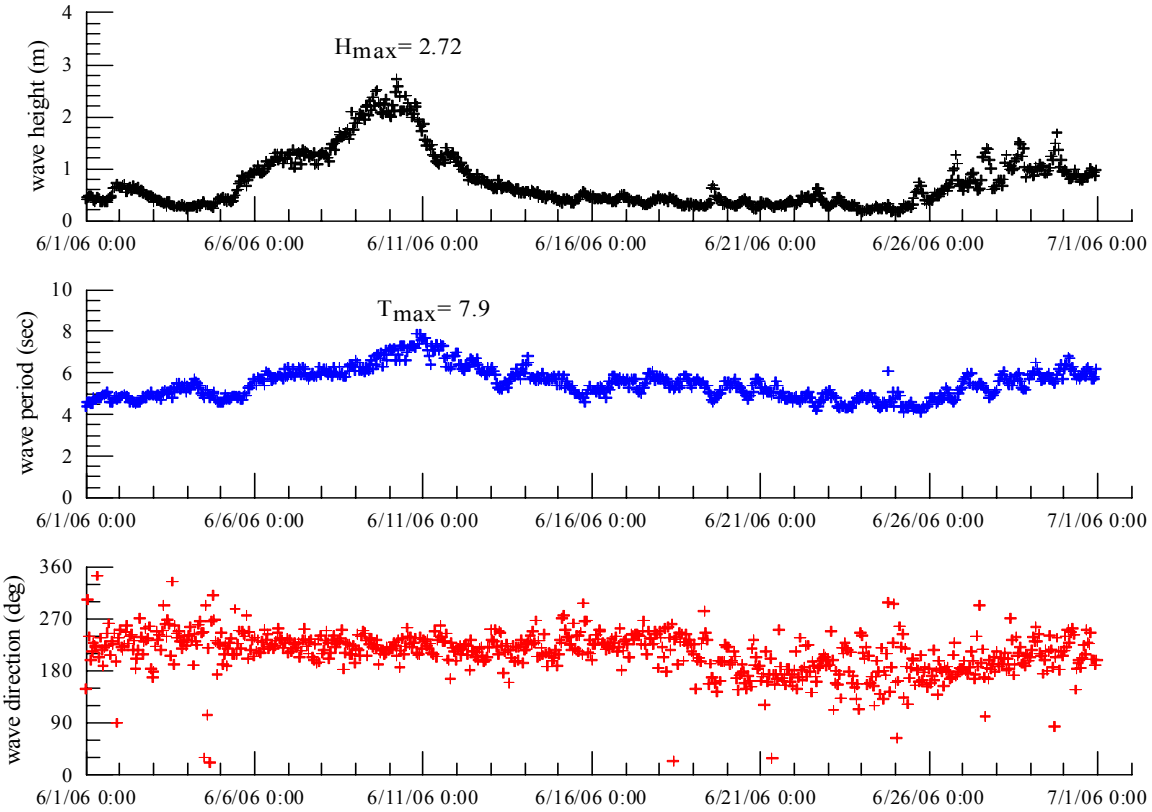


圖 3-2-29 (續 4)2006 年安平港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

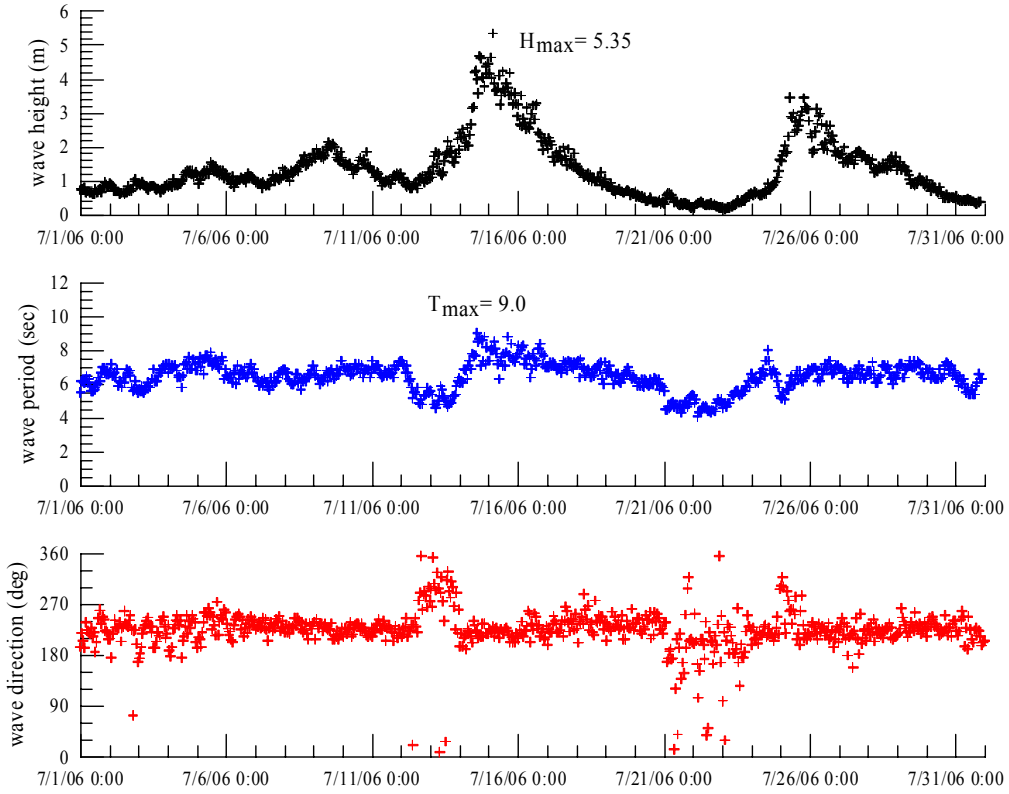


圖 3-2-29 (續 5)2006 年安平港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

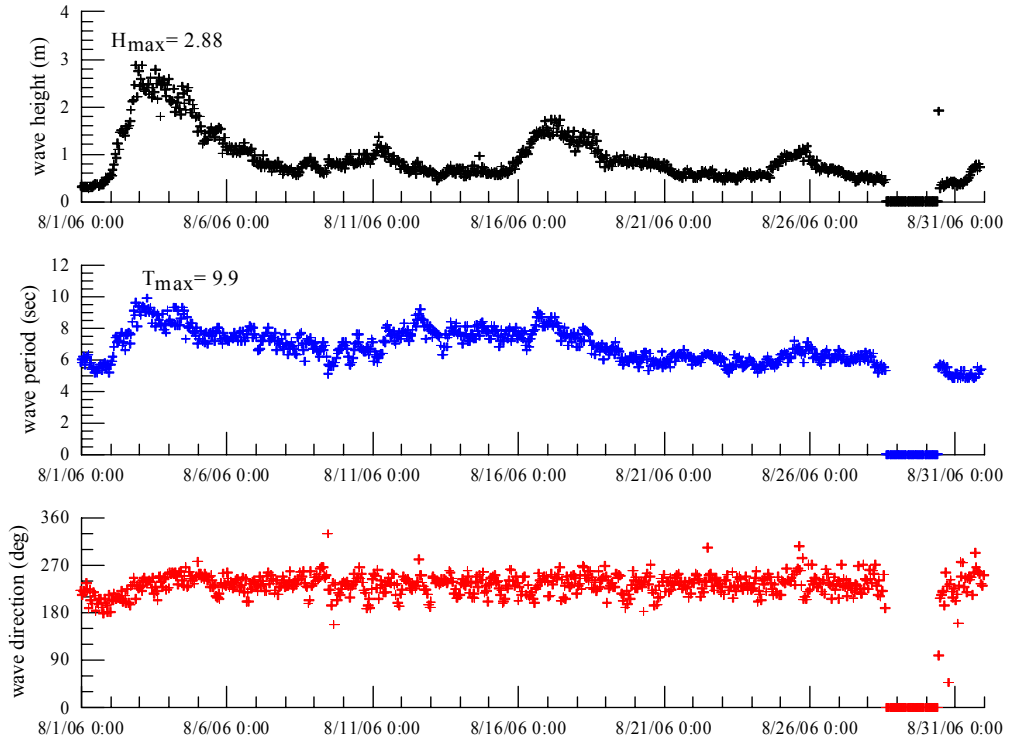


圖 3-2-29 (續 6)2006 年安平港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

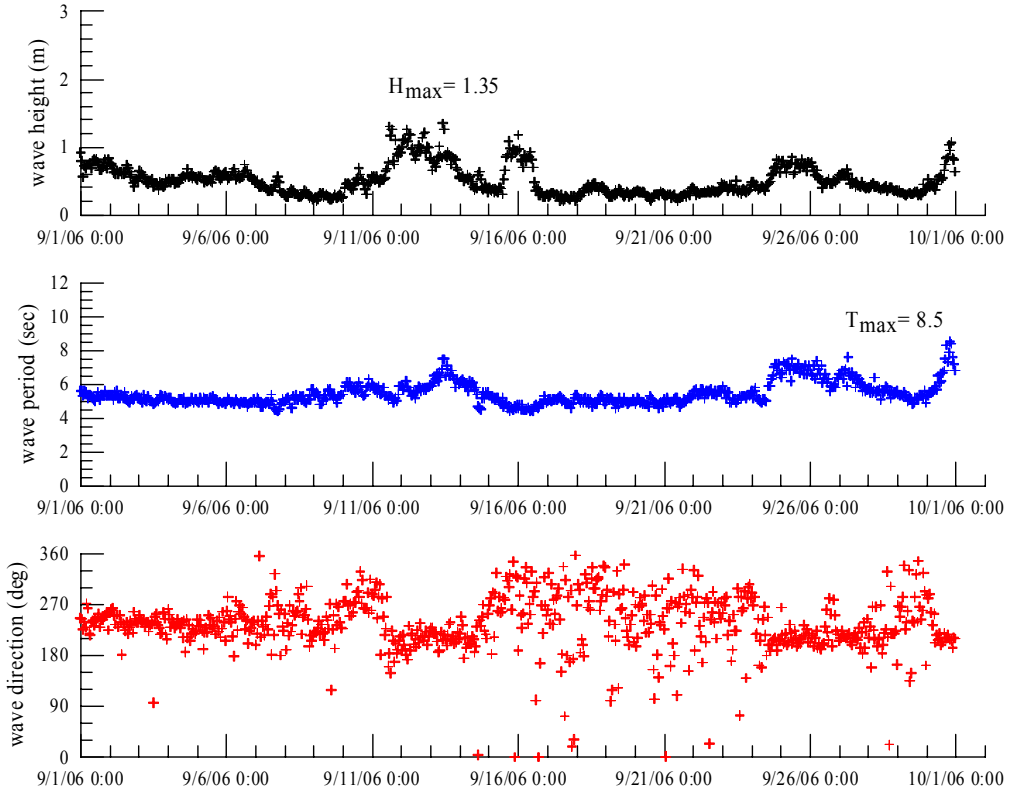


圖 3-2-29 (續 7)2006 年安平港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

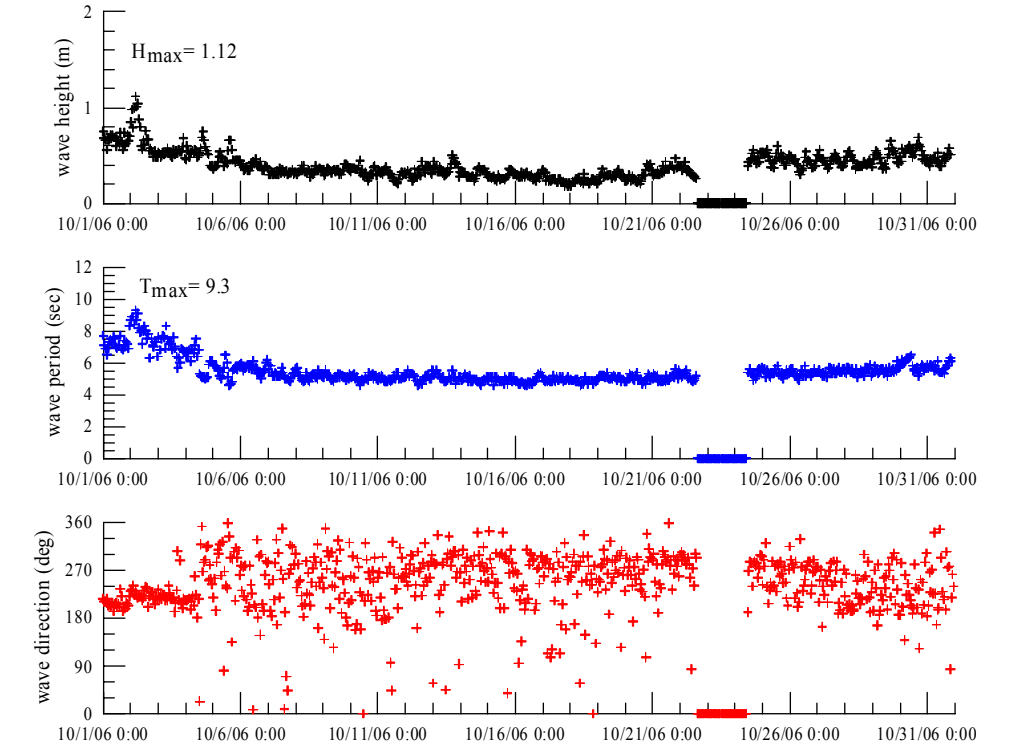


圖 3-2-29 (續 8)2006 年安平港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

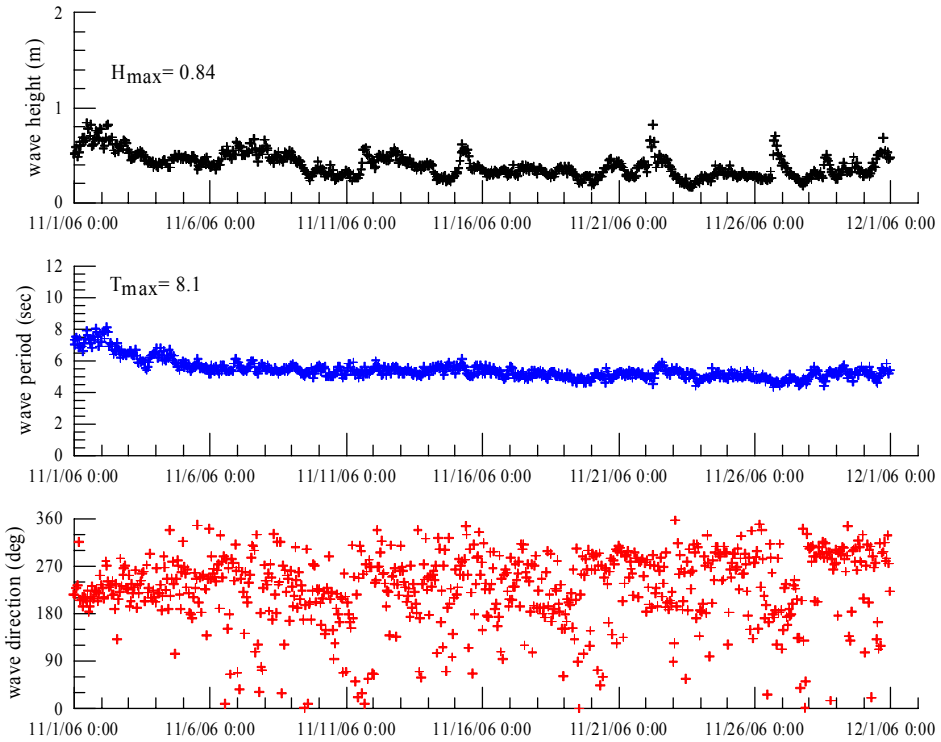


圖 3-2-29(續 9)2006 年安平港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

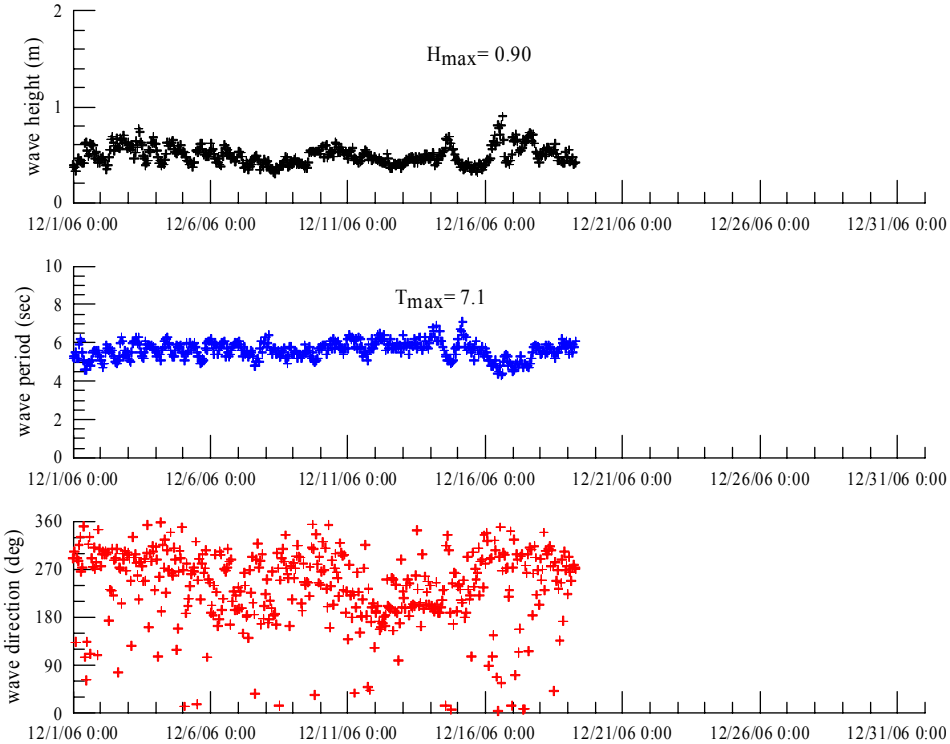


圖 3-2-29(續 10)2006 年安平港波浪觀測資料波高、週期及波向之時序列圖

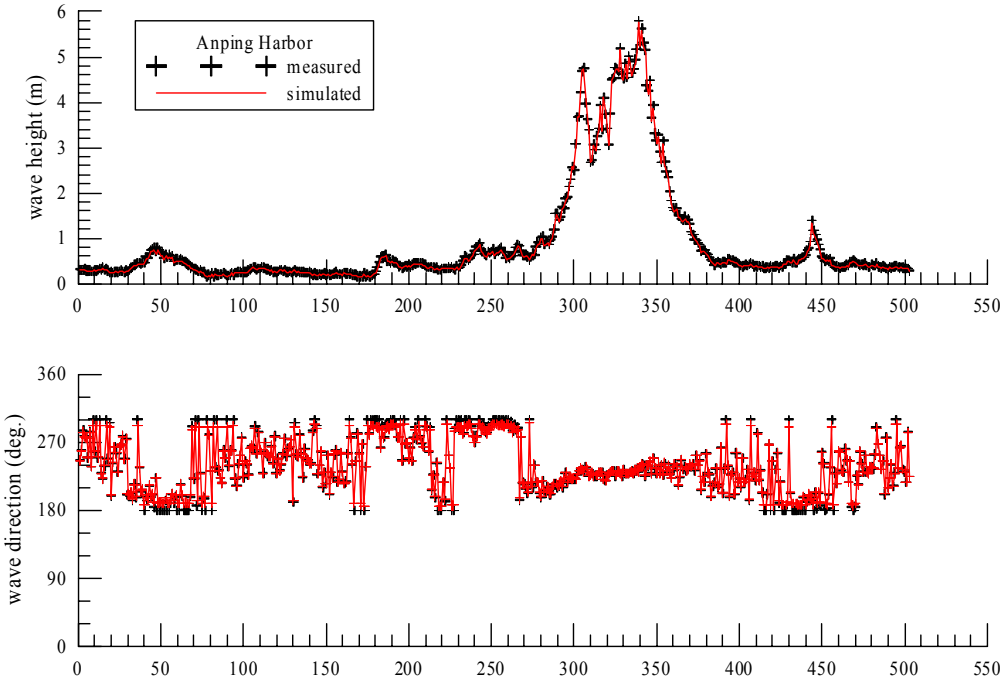


圖 3-2-30 安平港波高觀測值與模式推算值之比較

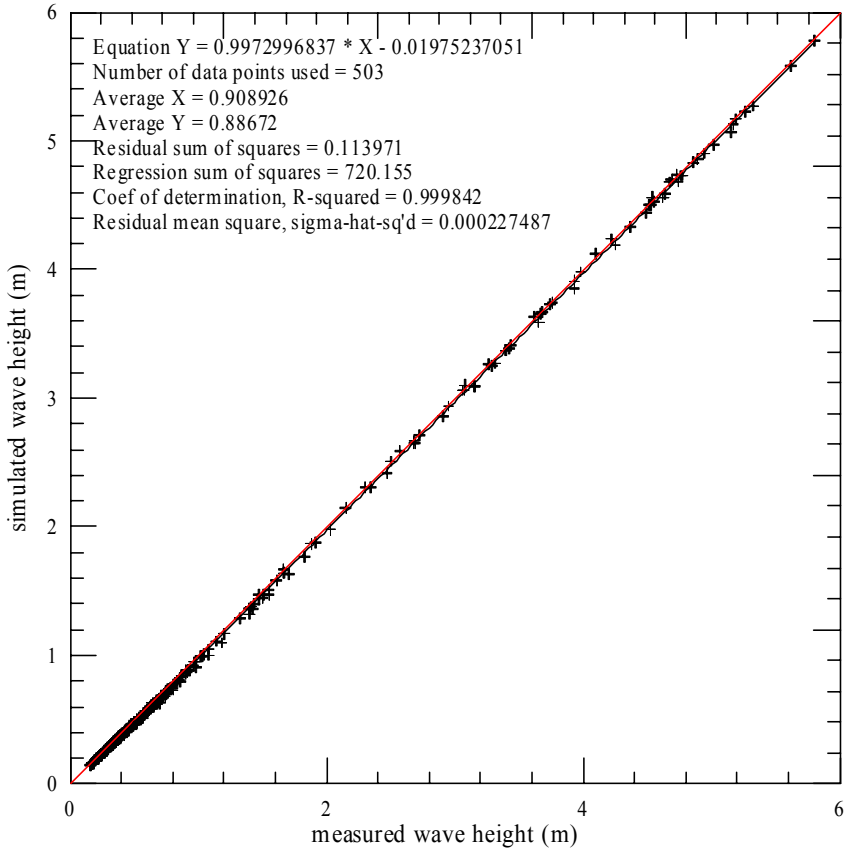


圖 3-2-31 安平港波高觀測值與模式推算值之關係及線性回歸結果

3.2.2.3 台中港港域波浪數值模擬結果

由於港域波浪模式係採用有限元素法求解橢圓型緩坡方程式，因此面對龐大的數值計算網格時模式本身運算即相當費時，因此本章節港域波浪模擬主要針對可能對港內靜穩造成影響之波浪進行模擬。

在TaiCOMS之下台中港港域波浪模擬所需之三角形有限元素網格區分為一般風浪模擬及颱風波浪模擬兩種數值計算網格，其中颱風波浪模擬之數值計算網格係由100,832個節點及197,568個三角元素所構成的，適用於模擬週期10 sec以上之波浪；一般風浪模擬之數值計算網格係由166,214個節點及327,611個三角元素所構成的，適用於模擬週期7 sec以上之波浪。由於2006年台中港波浪觀測資料顯示，示性波週期最大值為12.2 sec，因此本章節台中港港內波浪模擬主要考慮波浪週期為7～13 sec，入射波向以垂直入射港口為主，入射波高則採用單位化方式(即假設外海入射波高為 1m)模擬港內波高分佈情形，如圖3-2-32 至圖 3-2-38 所示。模擬結果顯示當波浪正向入射台中港時，台中港內波浪靜穩情況相當良好。圖3-2-39所示為波浪週期為12秒時不同波浪波向之模擬結果。

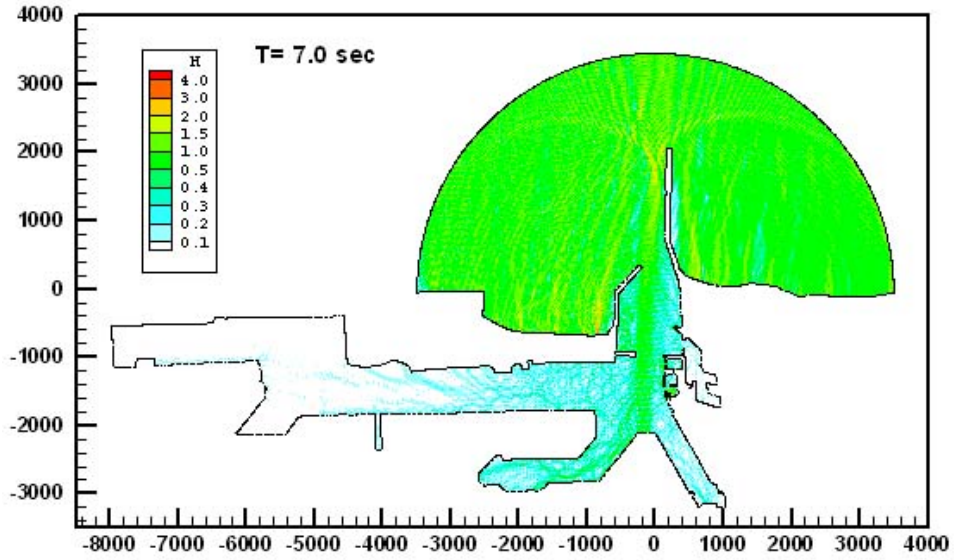


圖 3-2-32 台中港港域波高分佈之模擬結果(週期7秒，正向入射)

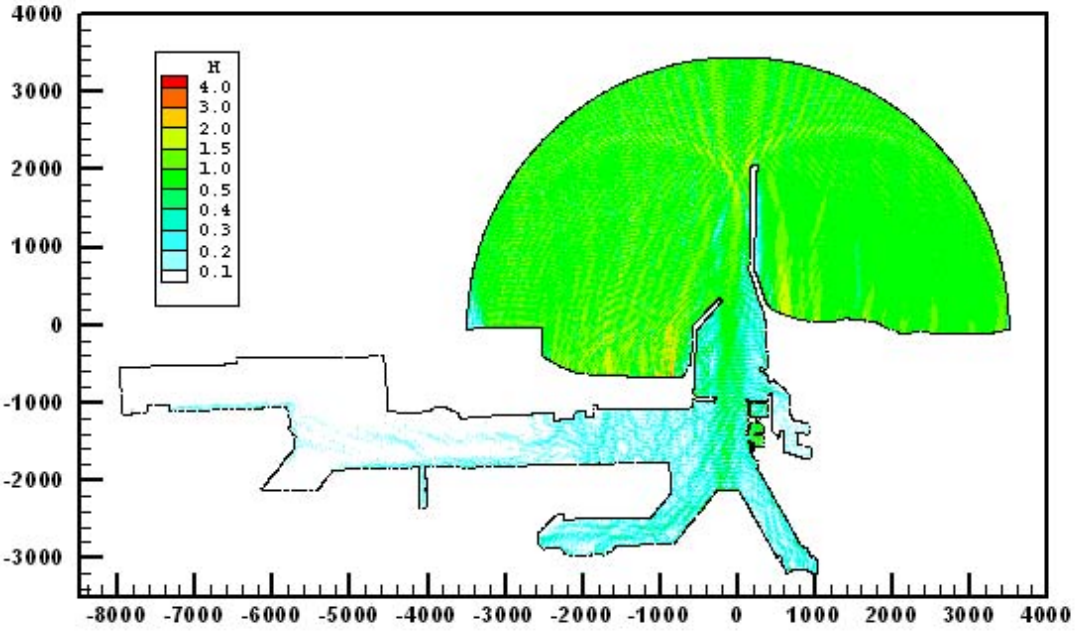


圖 3-2-33 台中港港域波高分佈之模擬結果(週期 8 秒，正向入射)

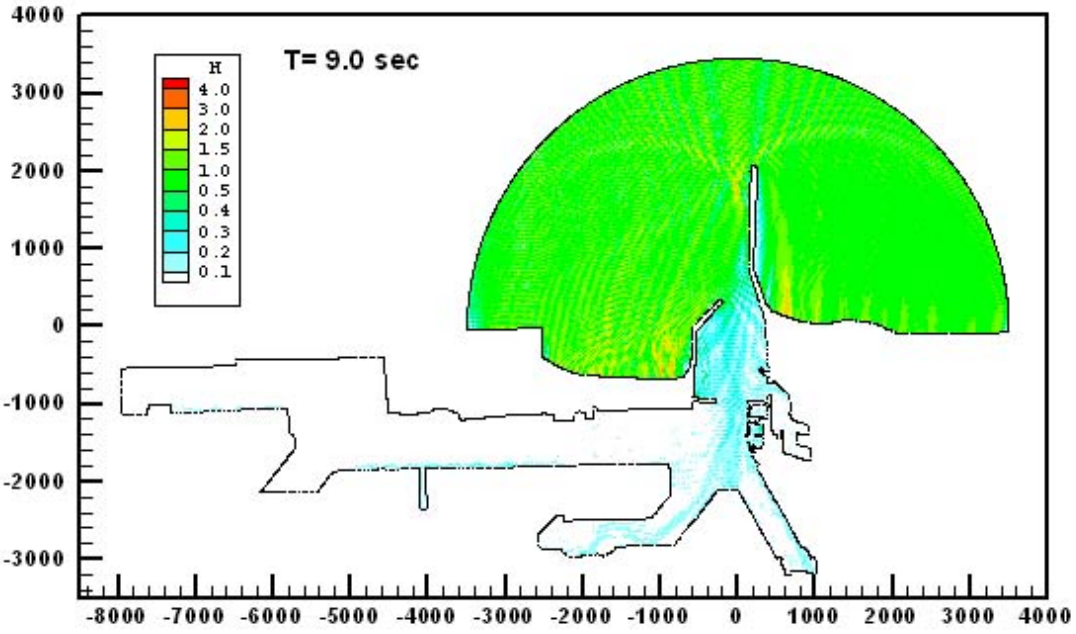


圖 3-2-34 台中港港域波高分佈之模擬結果(週期 9 秒，正向入射)

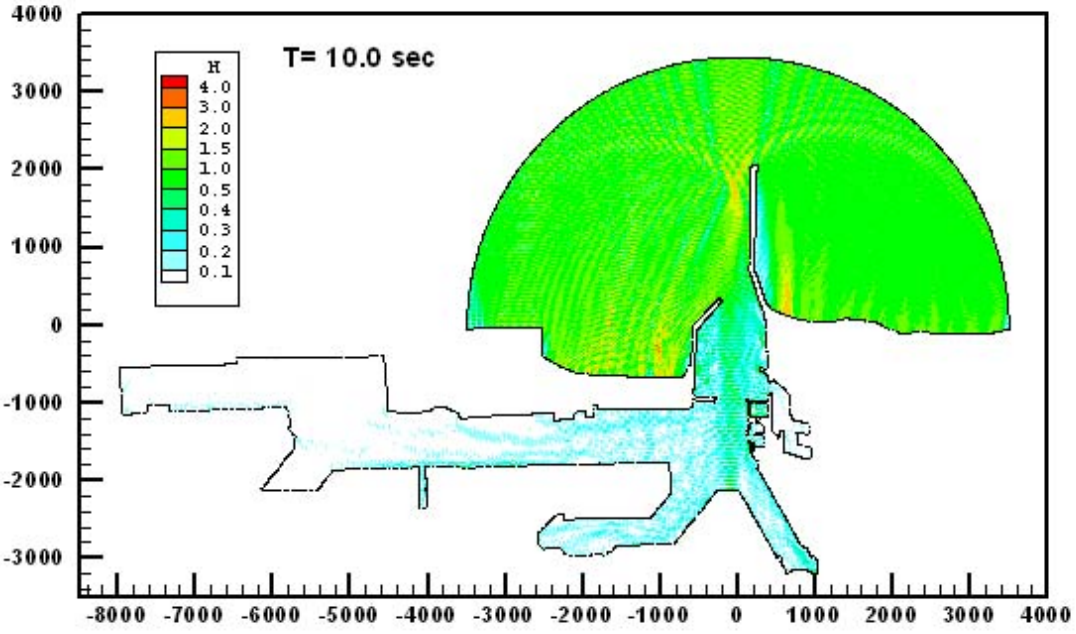


圖 3-2-35 台中港港域波高分佈之模擬結果(週期 10 秒，正向入射)

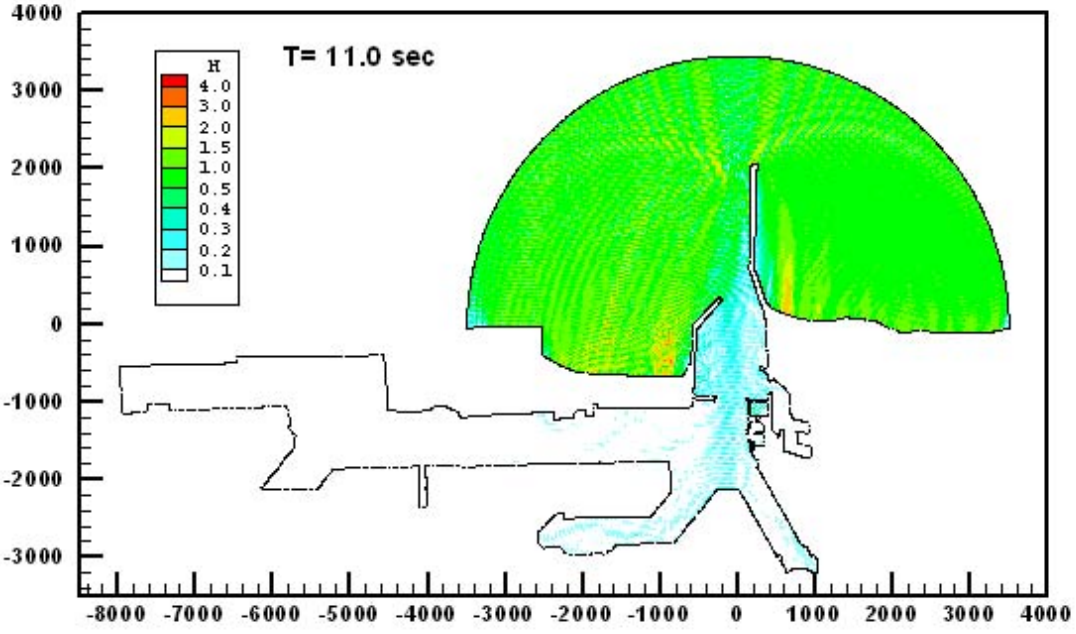


圖 3-2-36 台中港港域波高分佈之模擬結果(週期 11 秒，正向入射)

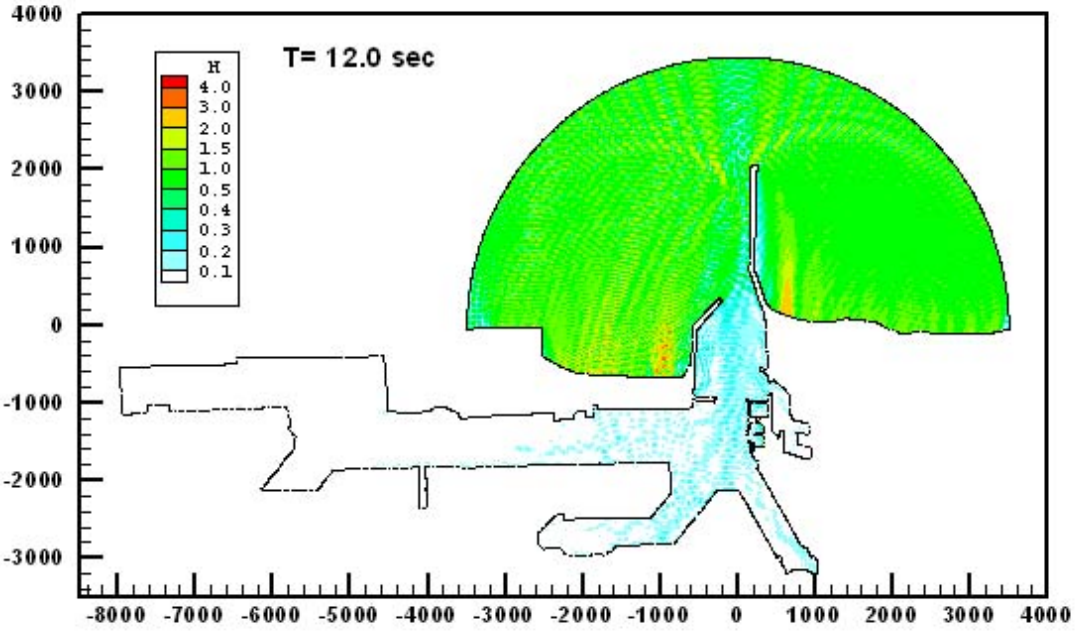


圖 3-2-37 台中港港域波高分佈之模擬結果(週期 12 秒，正向入射)

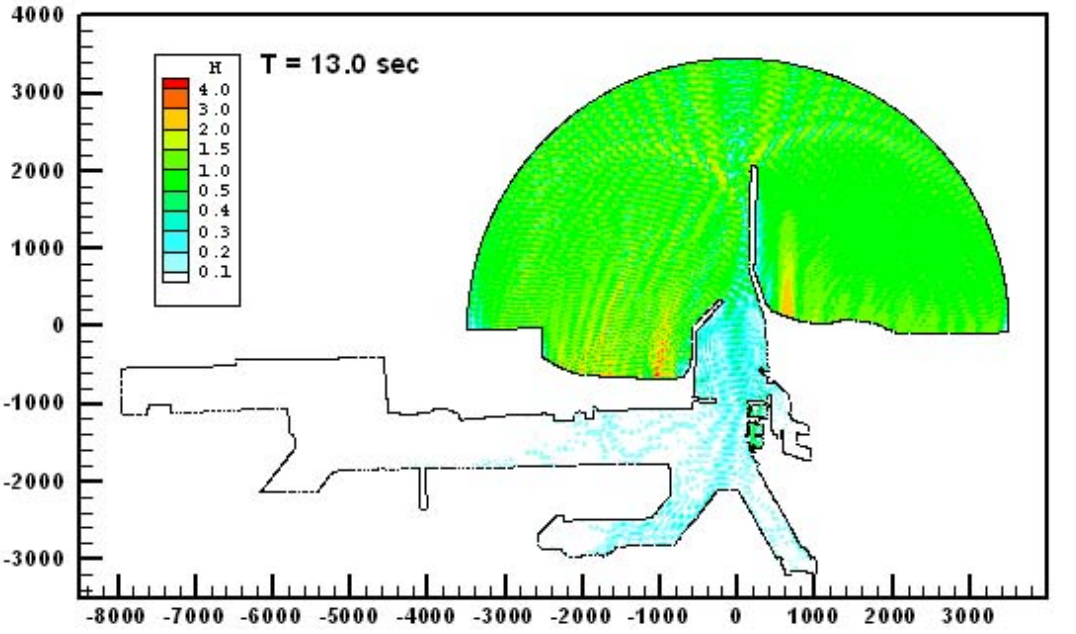


圖 3-2-38 台中港港域波高分佈之模擬結果(週期 13 秒，正向入射)

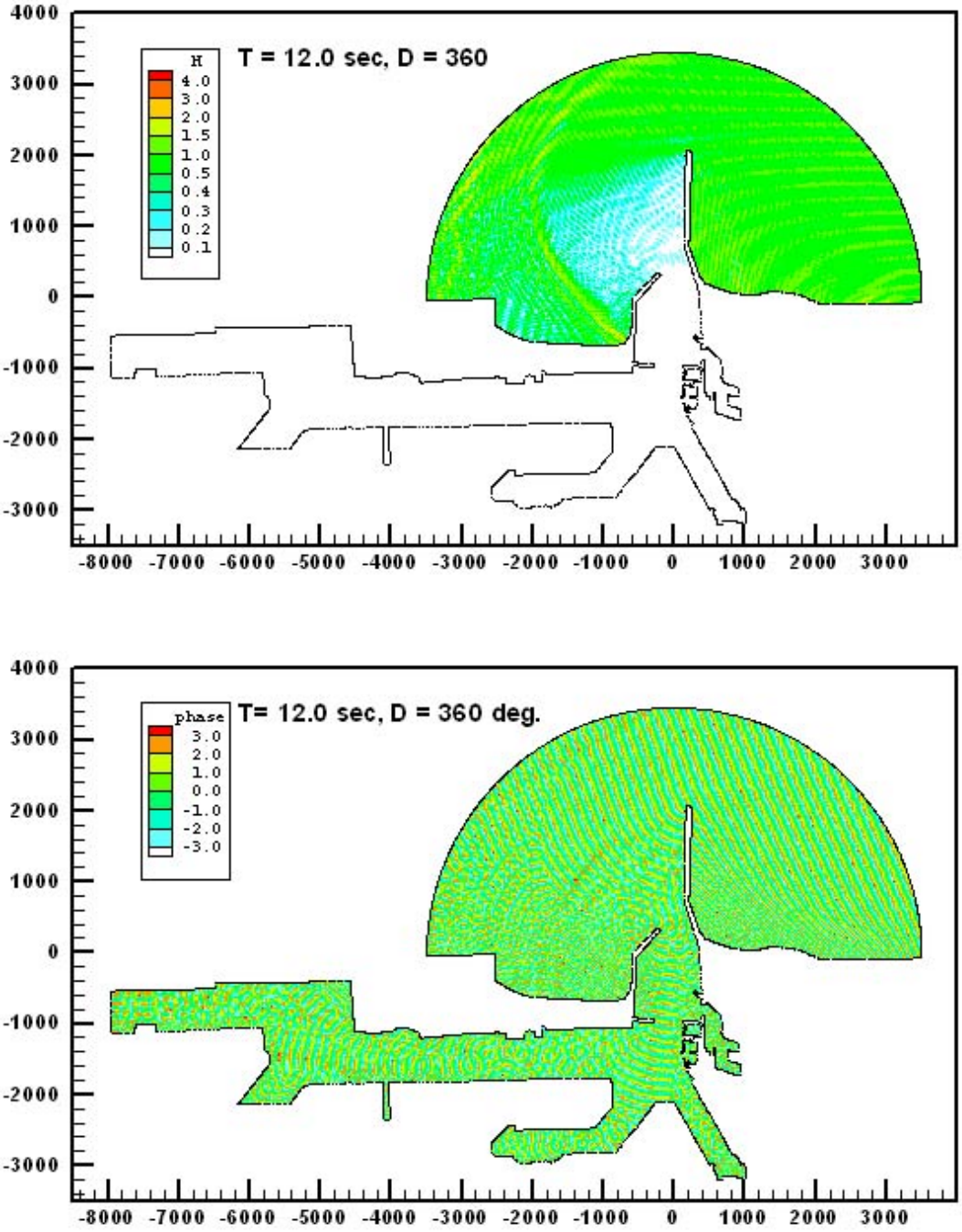
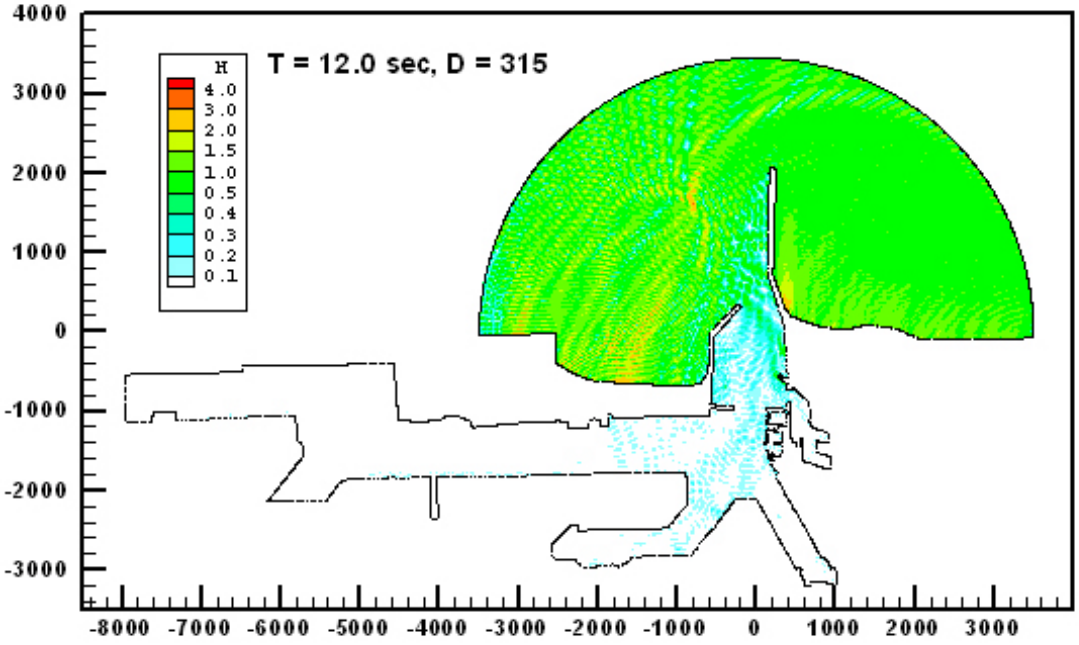


圖 3-2-39 台中港港域 N 方向波浪場模擬結果(上：波高；下：相位)



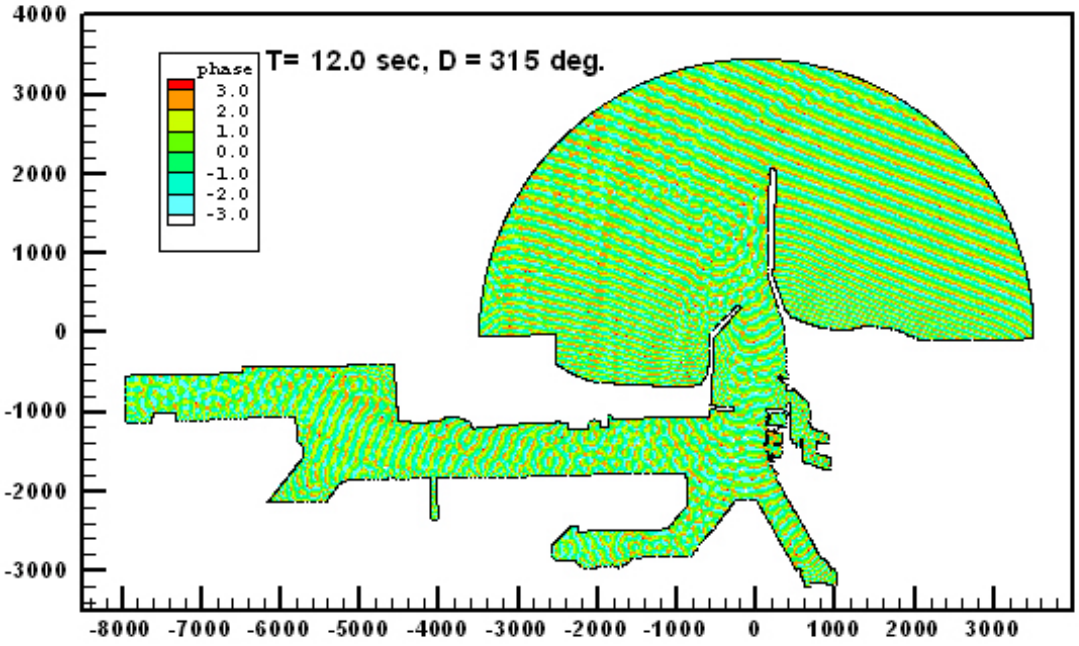
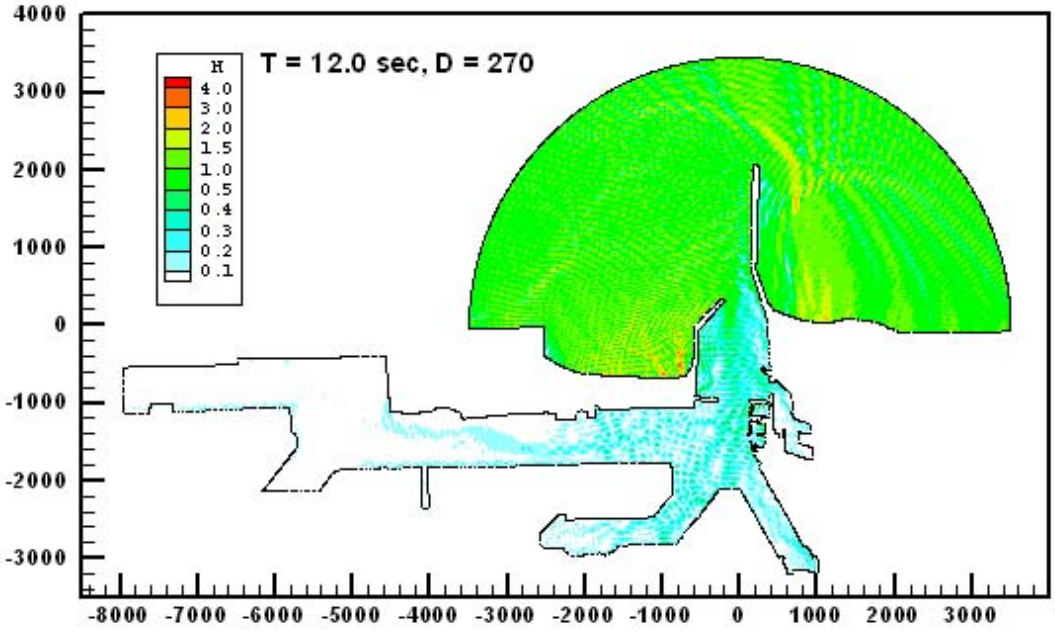


圖 3-2-39 (續 1)台中港港域 NW 方向波浪場模擬結果
(上：波高；下：相位)



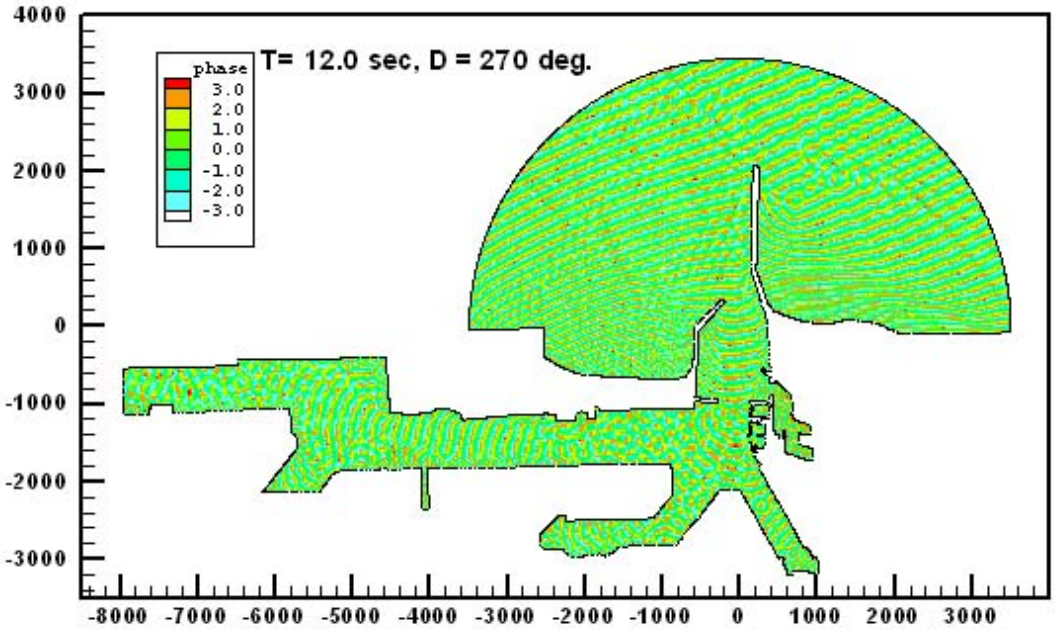


圖 3-2-39 (續 2)台中港港域 W 方向波浪場模擬結果
(上：波高；下：相位)

3.3 波浪相關模式

鑑於本計畫港域波浪模式係以橢圓型緩坡方程式為基礎之波浪場模式，模式本身不僅數值計算網格需求量相當龐大，且相當耗費電腦運算時間，因此無法滿足 TaiCOMS 線上作業之需求。為克服港域波浪模式運算費時問題，達成未來線上作業之目標，則有賴事先依長期波浪觀測結果模擬港域波浪場建立資料庫，俾依據波浪模擬條件與模擬結果建立波場相關模式，以期達到未來線上作業之目標。

為落實此一構想本計畫擬以資料庫方式構建七大港口近域波浪場資料庫，即根據長期波浪觀測資料構建波浪模擬條件資料庫，再根據波浪模擬條件以近域模式模擬各港口近域波浪場，並將相關模擬結果(網格座標、波高及相位角等)儲存成波場資料庫，再將波浪模擬條件及波場資料庫內波浪資料建立關聯模式。未來即可根據外海入射波浪條件透過此一關聯模式於波場資料庫內蒐取適當波浪場進行各港口近域波場模擬之線上作業。

本年度港域波浪相關模式之建立主要以台中港及花蓮港為研究對象，由於本計畫港域波浪模式基本上屬於線性模式，因此外海入射波浪之波高可以採用單位化方式表示，以減少波浪模擬條件，亦即本計畫波浪相關模式主要考慮之波浪條件為波浪週期及入射波向。

3.3.1 台中港港域波浪場模擬資料庫之建置

根據台中港波浪觀測資料得知，觀測點波浪之波向以 NNW ~ NNE 為主，其次為W ~ NW；週期分佈介於 4.0 ~ 12.0 sec 之間。鑑於台中港港域波浪模式建置之數值計算網格對於週期太短之波浪，如週期等 4 秒或 6 秒，模式模擬結果之正確性可能失真；因此目前台中港相關模式之波浪場資料庫模擬條件為週期 7 sec 至 12 sec，週期間隔為 0.1 sec；波向為 225˚(SW)至 360˚(N)，波向間距為 15˚。本計畫港域波浪場資料庫係假設外海波高為 1m 情況下所模擬之結果，儲存資料包括網格節點

座標(x,y)、水深、三角網格資料、波高、相位角及水面變化等數位資料及圖檔資料。其中圖檔資料如圖 3-3-1 所示，包含了波高分佈、相位分佈及水面波形分佈等三種圖形。

波浪場資料庫目錄及檔案名稱建置原則:

(1)港域：如台中港以英文字母 “TC”代表，台北港以 “TP”表示，基隆港以 “KL”表示，蘇澳港以 “SA”表示，花蓮港以 “HL”表示，高雄港以 “KH”表示，安平港以 “AP”表示。

(2)波向：以英文字母 “D”為開頭，後接 3 碼阿拉伯數代表波向，以波向以正北為 “000”，順時針方向依序為“015”、“030”、“045”、“060”….. 。

(3)週期：以英文字母 “T”為開頭，後接 3 碼阿拉伯數代表週期；如 “T100”代表週期為 10.0sec 之波浪。

(4)檔案格式：以附屬檔名為辨別碼，如 “PLT”表示數位資料檔，“PDF”表示圖檔等。

上述第(1)及(2)項原則除了用於檔案名稱外，亦被用於資料庫目錄管理上。以台中港為例，所有波浪場模擬資料均存放於硬碟目錄 TC:\，在目錄 TC:\下依波向分別建立 “D225”、“D240”、“D270”…..等子目錄。

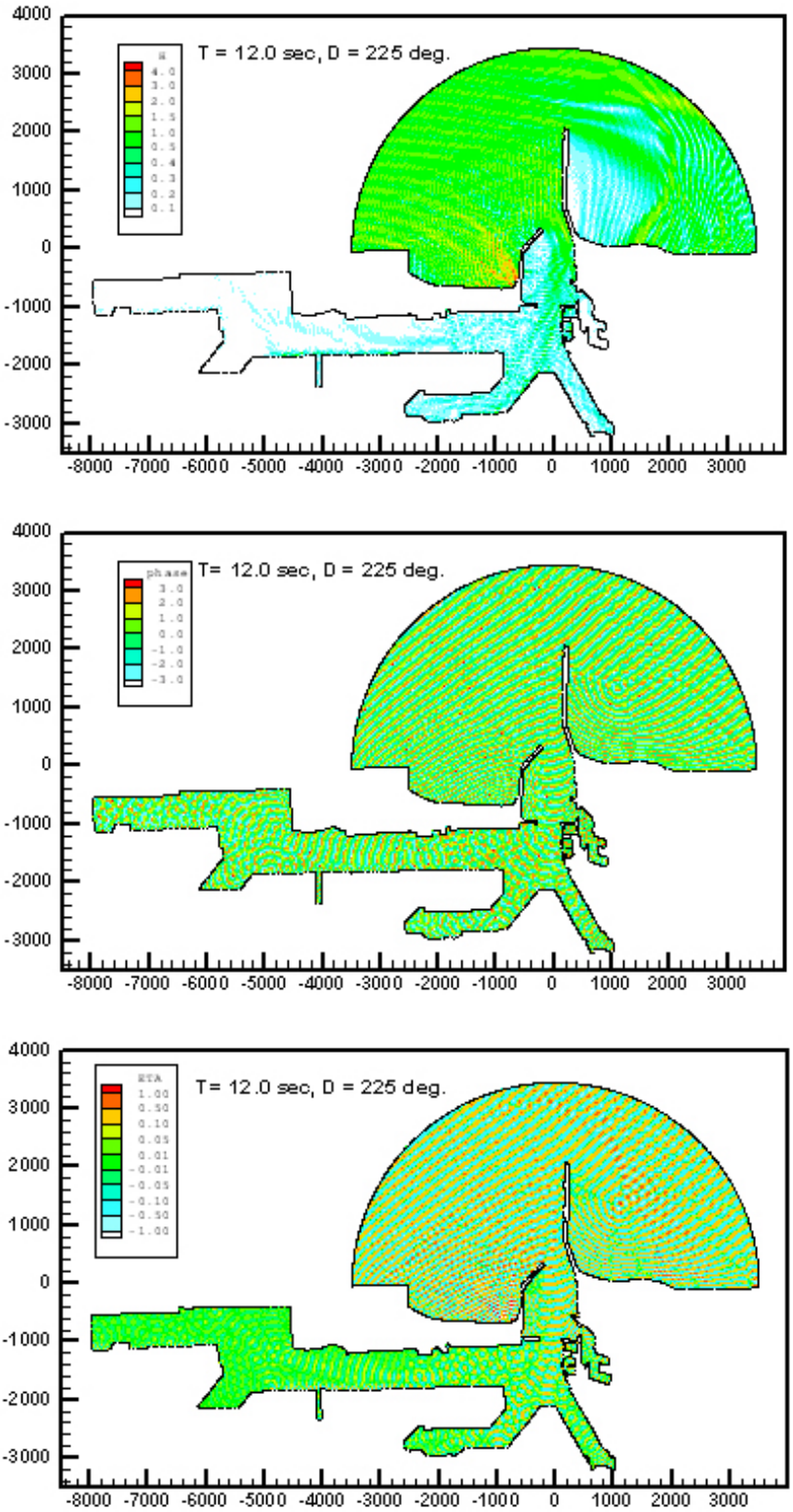


圖 3-3-1 波浪場資料庫儲存之圖形資料
(上：波高；中：相位；下：波形)

3.3.2 台中港港域波浪相關模式之建置

目前本計畫關聯模式主要用於連結現場觀測資料或數值模式輸出之波浪條件：波向、週期及波高值，利用簡單之判別式決定波向及週期檔案名稱，從資料庫中開啟所需要的波浪場資料，如開啟數位化資料檔時，程式會進行相關之處現如波高值之轉換、水面波形之時序列資料計算與輸出、特定區位波高之計算與輸出等。其中特定區位波高之計算與輸出可以給定二度分帶座標或網格座標。圖 3-3-2 所示為本計畫波浪相關模式之流程架構示意圖。

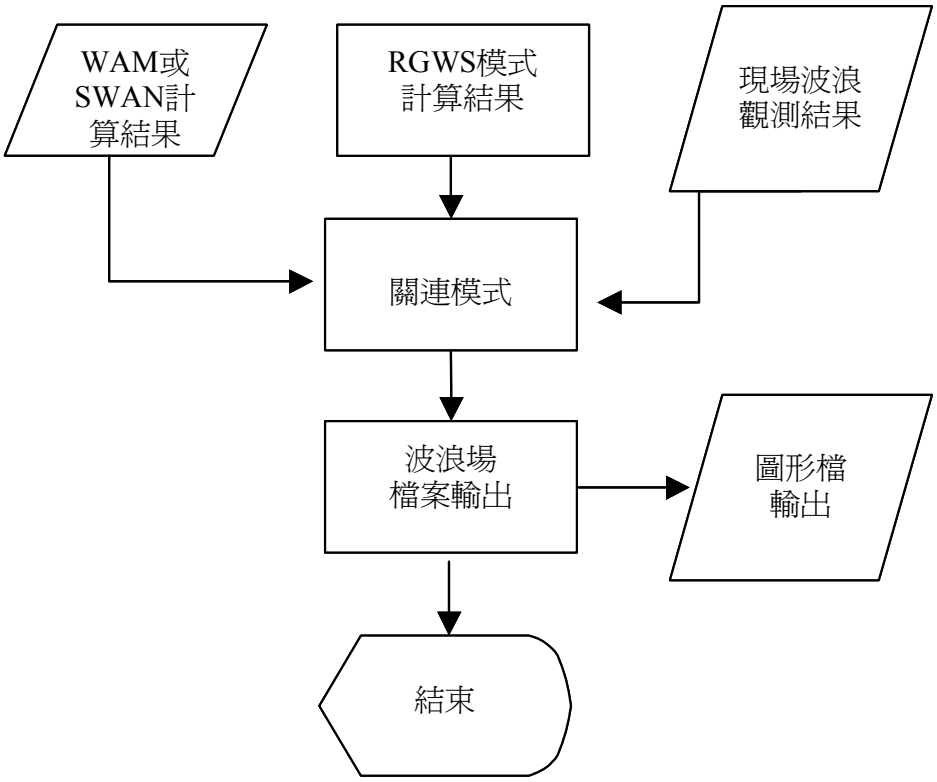


圖 3-3-2 波浪相關模式之流程架構示意圖

3.4 類神經季風及颱風波浪模式

3.4.1 類神經網路季風波浪預報系統

3.4.1.1 類神經網路季風波浪預報之建立

本年度(96)之類神經網路以模式風場之風速及向，建構 ANFIS 之季節性風浪推算模式，並進行作業化及模式預報之成果評估，以推算全年示性波高，並就花蓮及台中港 2005-2006 年進行季風波浪的推算，提供海岸工程施工以及港灣船隻作業之參考。在海岸工程的應用上，過去有許多學者利用類神經網路於預測波浪方面，有 Deo 和 Naidu(1999)以測站之即時波浪資料作為類神經網路之輸入值，以倒傳遞類神經路推算下一個時間之波浪資料，並以此建立短期波浪推算模式。Deo 等人(2000、2001、2002 及 2003)則建構以風速與示性波高與週期之類神經網路，以預測風浪。Makarynskyy(2004)為修正短期波浪之預測，分析不同延時之測試對預測風浪正確性之關係，並建立輸入值為 48 小時與輸出值為 24 小時之波高及周期類神經學習網路，以此進行較長時間且可獲得較正確之波浪預測。Tolman 等人(2004) 則以 NOAA Wave Watch III 風場頻率、風向及能量應用類神經網路來學習求得深海之風浪。Kalra 等人(2005)則以 TOPEX 衛星量測之外海波浪特性及風場資料，進行近岸類神經網路風浪之推算。蔡(2005)以適應性類神經網路(ANFIS)建立實測風速大小與對應波浪之架構，進行季節風浪之推算。Chang 和 Chien(2006a、b)針對不同風場參數分析其對波浪特性之關係，建立多個轉換函數之類神經網路模式，以進行颱風波浪之推算。蔡(2006)以 ECMWF（European Centre for Medium Range Weather Forecasts）歐洲中期預報中心所提供之風場之風速及風向，建立 ANFIS 波高推算模式，並進行季節風浪之推算。Kazeminezhad(2005) 以實測之風速及吹風延時以 ANFIS 模式進行波高及周期的推算，並與 CEM(Coastal Engineering Manual)的方法比較，其誤差結果較 CEM 小。Őzger and Sen(2007) 應用模糊系統，以實測風速及前一個延時的波高

及周期推算下一個時間的波高與周期值。Browne 等人(2007)應用 9 個 NOAA Wave Watch III 模式之輸出參數，以類神經網路進行實測波高學之習與預測，其平均誤差結果較 SWAN 模式小。Kalra 和 Deo (2007) 以 TOPEX 衛星量測之波高及風速，應用徑向基底類神經網路(RBF)進行近岸測站之波高及周期的推算。

本計畫將以適應性網路架構模糊推論系統(ANFIS)進行模式之修正與建構，因此假設 ANFIS 之架構包含兩個輸入值及一個輸出值，並設定有兩種模糊(IF-THEN)規則，而該規則使用 Takagi 和 Sugeno's 形式，示如圖 3-4-1，其相對應之 ANFIS 架構則示圖 3-4-1。由圖 3-4-1 的模糊推論中可知，規則 1： If x1 is A1 and y1 is B1 then f1 = p1 · x1 + q1 · y1 + r1，規則 2：If x2 is A2 and y2 is B2 then f2 = p2 · x2 + q2 · y2 + r2，上述之模糊推論於 ANFIS 架構中，在同一層中所有節點之歸屬或轉換函數，使用相同的函數，以下說明其內部構造，其分為五層分別為輸入層、規則層、正規化層、結論推論層及輸出層，其推算之流程為先將輸入數據進行模糊化，並架構輸入因子之歸屬函數，而歸屬函數則藉由類神經網路最佳化的學習功能求得，經由模糊推理得到輸出的模糊評價結果。因此，該模糊類神經網路模式具有一般類神經網路的性質與優點外，又由於使用模糊推算的運行機制，使得處理單元的計算變成較簡便，且亦加快計算的速度，並使系統容錯的能力大為增加。

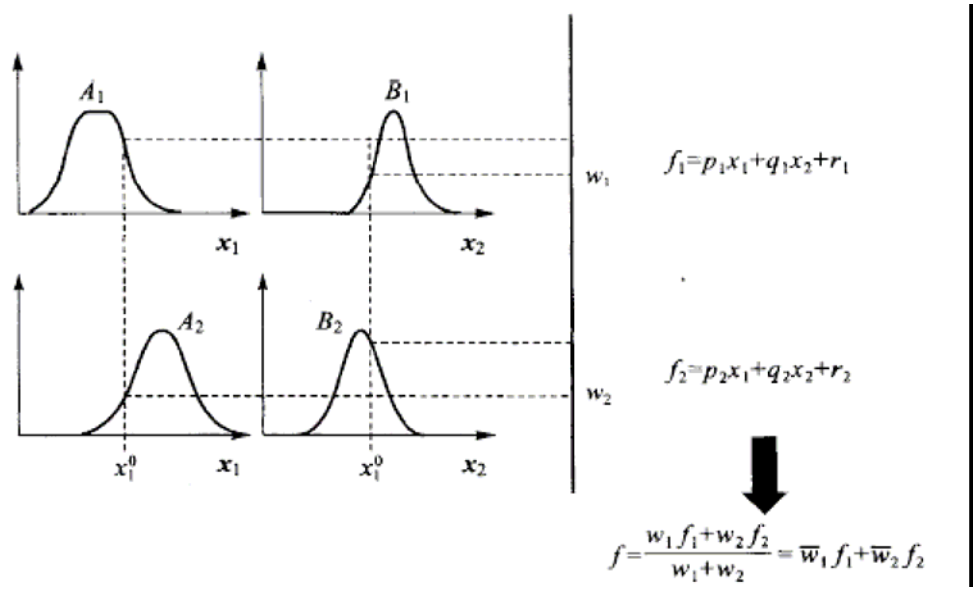


圖 3-4-1　模糊邏輯推論示意圖

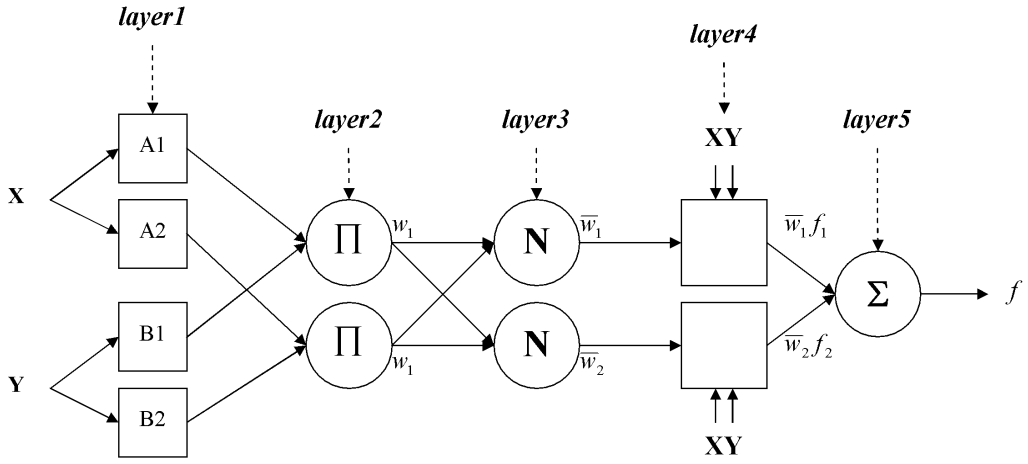


圖 3-4-2　適應性網路架構模糊推論系統架構示意圖

由圖 3-4-2 之模糊規則的推論過程，其相對應的的架構分別說明如下。

1.輸入層(layer 1)

第一層是將輸入變數映射到模糊集合中，進行模糊化處理，處理單元為圖 3-4-2 中的方塊神經元，依圖 3-4-2 之設定每個輸入值具有兩個歸屬函數。該層節點之輸出函數為經模糊化之歸屬函數，示如式

(3.4.1)，其中歸屬函數可選用鐘形(generalized bell)、S 形(sigmoidal)及三角形(triangular)等歸屬函數，$\mu_{Ai}(x)$為鐘形函數示如式(3.4.2)，其最大值為 1，最小值為 0。

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) \quad \text{.....} \quad (3.4.1)$$

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1+\left|\frac{x-c_i}{a_i}\right|^{2b_i}} \quad \text{.....} \quad (3.4.2)$$

其中，i 為歸屬函數的數量，x 為輸入值， a_i、b_i、c_i 是鐘形歸屬函數的參數，而這些參數稱為前項參數(premise parameters)。

2.規則層(layer 2)

第二層為則是由第一層之輸出歸屬函數，進行相互的矩陣乘積，並經由模糊交集(T-norm)，進行模糊邏輯之聯集(AND)運算求得其結果，其輸出值示如式(3.4.3)及式(3.4.4)，處理單元則為圖 3-4-2 中圓形神經元，其中以符號 Π 表示，而規則數量可由第一層之歸屬函數數量的輸入變數數量之冪次方，因此本層之輸出值則為四個規則，即(2^2=4)。

$$O_i^2 = w_i \quad \text{.....} \quad (3.4.3)$$

$$w_i = \mu_{Ai}(x) \times \mu_{bi}(x) \qquad i = 1,2 \quad \text{.....} \quad (3.4.4)$$

3.正規化層(layer 3)

第三層為規則層之輸出值，進行每一個規則之正規化處理，示如式(3.4.5)，其處理單元為圖 3-4-2 中圓形神經元，並以符號 N 表示，使其輸出值介於 0 到 1 之間。

$$O_i^3 = \overline{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \quad i = 1,2 \qquad \text{.....(3.4.5)}$$

4.結論推論層(layer 4)

第四層則為將正規化層之結果與 Takagi 和 Sugeno's 模糊規則相乘，示如式(3.4.6)其處理單元為圖 3-4-2 中方形神經元。

$$O_i^4 = \overline{w}_i f_i = \overline{w}_i \left(p_i x + q_i y + r_i \right) \qquad \text{.....(3.4.6)}$$

其中，p_i、q_i、r_i 為後置參數(consequent parameters)。

5.輸出層(layer 5)

第五層中只有一個處理單元，該單元以圓形神經元比紹，並以 Σ 符號標示，其可計算第四層之輸出總和，作為網路之輸出值，示如式(3.4.7)。

$$O_i^5 = \sum_i \overline{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \qquad \text{..... (3.4.7)}$$

由上述模式各層之計算，其中各參數則經由類神經網路的監督式學習，使得模糊推論系統可獲得最佳化的調整，以修正模糊系統的隸屬函數之各項參數值，提高演算效率及效能以達輸出精度的要求。

3.4.1.2 類神經網路季風波浪之推算結果評估

本計畫於以模式風場作為風浪推算之輸入資料，本計畫採用之風場資料為中央氣象局巢狀網格數值天氣預測系統(NFS)，所提供之區域性大氣模式輸出的海面風場，依解析度大小分別為 RC(45km×45km)、MC(15km×15km)及 HC(5km ×5km)，本文應用解析度為 MC 之風場資料，預報時間為每小時一次。本計畫以 NFS 模式及實測波浪進行分析，

並繪製波高與模式之風向與風速分析，示如圖 3-4-3 至圖 3-4-4。由圖 3-4-3 可知花蓮港及台中港之波高與模式風速相關性約為 0.30 與 0.34，顯示模式風速大小與波高具有較高的相關性，且波高趨勢隨風速增大而增加。圖 3-4-4 之波高與模式風向則在 200 度及 220 度有較明顯的相關性，風向則以吹向正北為零，角度則呈逆時鐘方向分佈，由圖 3-4-4 可知模式風向於花蓮港及台中港由東北吹向西南的風向為最多。因此本計畫選用 NFS 之 MC 預報風場資料做為風浪模式 WANF(Wave Adaptive Network-based Fuzzy Inference System)之網路輸入值。

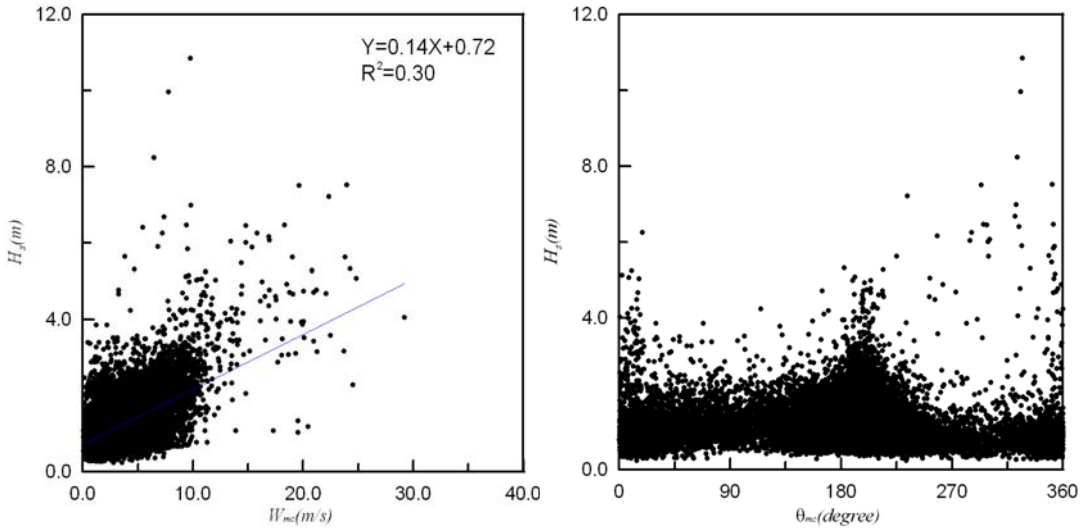


圖 3-4-3　花蓮港波高與模式風速及風向比較圖

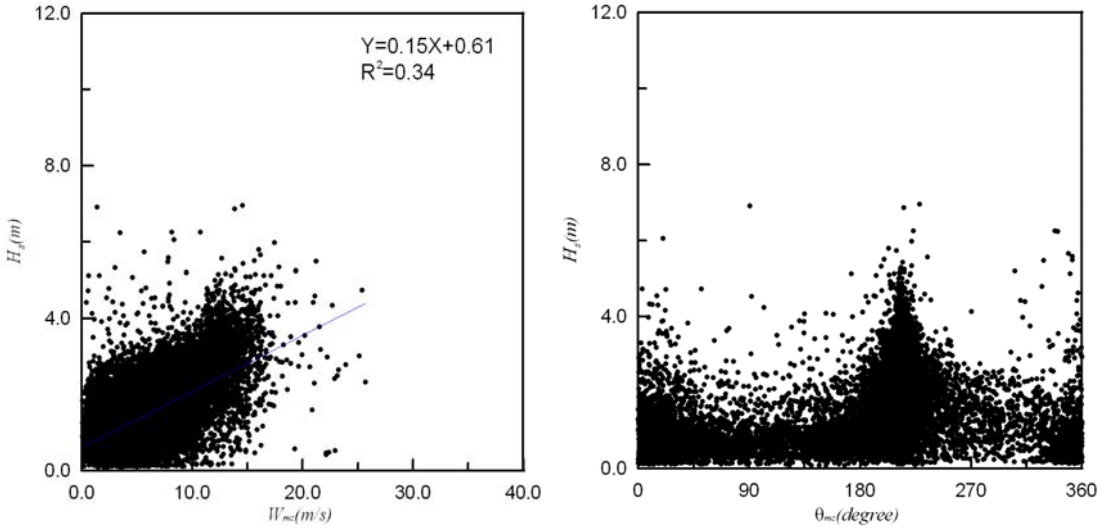


圖 3-4-4　台中港波高與模式風速及風向比較圖

以模式風速、延時及風向當作為風浪影響因子，以建立季節風推算波浪之模式，並以實測波浪資料作為推估模式之驗證。本計畫模式推算除了以模式風場作為輸入值，另外以風速及波高的延時相關性分析，示如圖 3-4-5，來代表風速影響波高的持續性。由圖 3-4-5 可知在延時差為 2 個資料點時，具有約 0.6 的相關性，因此本計畫藉以提高模式的推算能力。

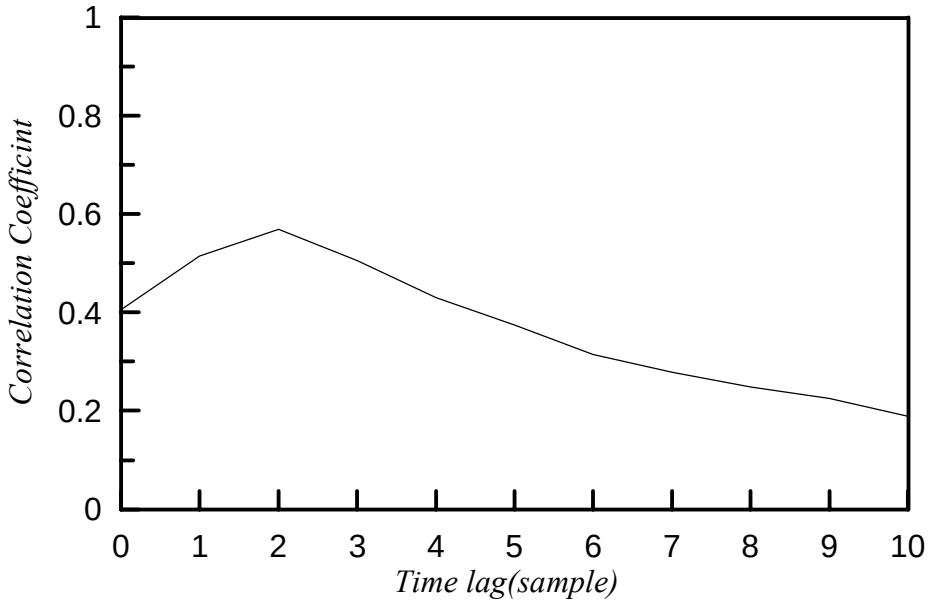


圖 3-4-5　花蓮港波高與模式風速之不同延時相關性比較圖

因此，本計畫以 MATLAB 其中之 Fuzzy Toolbox 所提供之適應性網路模糊推論系統(adaptive network-based fuzzy inference system, ANFIS)之功能，以模式風場的風速及風速前兩個小時之延時$W(t-2)$、$W(t)$及風向$WD(t)$進行花蓮及台中的季節風浪模式之建構，學習資料時間為 2005 年，預測時間則為 2006 年，資料之時間間隔為 1 小時。本計畫經測試選定高斯(Gauss)模糊歸屬函數作為本模式之最佳歸屬函數，學習及推算結果示如圖 3-4-6 至圖 3-4-9，及學習過程之模糊規則輸出表，示如表 3-4-1 至表 3-4-2。由圖 3-4-6 及圖 3-4-7 可知於花蓮港 2005 年之學習模式輸出結果與實測值之趨勢的變化情形相似，而 2006 年之預測結果亦與實測波高有相同的趨勢。圖 3-4-8 及圖 3-4-9 可知台

中港 2005 年之學習模式與 2006 年之預測結果與實測值之趨勢的變化情形相似。本計畫進一部分析不同季節之推算結果，示如表 3-4-3。為了能客觀表示模式推算結果之優劣程度，本計畫利用了三個統計參數作為模擬結果之評斷。

（1）相關係數 r（correlation coefficient）：示如式(3.4.8)，可表現出預測值與實測值之間之趨勢，其之間之相關程度介於-1 與 1 之間，假若預測值與實測值之間之相關性較高，則 r 會趨近為 1。其定義為

$$r=\frac{\sum_{i=1}^{N}\left[\left(P_i-\overline{P}\right)\left(O_i-\overline{O}\right)\right]}{\left[\sum_{i=1}^{N}\left(P_i-\overline{P}\right)^2\sum_{i=1}^{N}\left(O_i-\overline{O}\right)^2\right]^{1/2}} \quad \text{..... (3.4.8)}$$

其中 P_i 與 O_i 分別表示為預測值與實測值，則 $\overline{P}$ 與 $\overline{O}$ 分別表示在預測時間內之預測平均值與實測資料平均值，N 為資料總數。

（2）絕對誤差 ε（mean absolute error）：示如式(3.4.9)，ε 值可表現出預測值與實測值之間之平均預測誤差，ε 越大則表示偏差量越多而誤差大。

$$\varepsilon=\frac{\sum_{i=1}^{N}\left|\left(P_i-O_i\right)\right|}{N} \quad \text{.....(3.4.9)}$$

（3）相對誤差 bias：示如式(3.4.10)，bias 可表現出預測值與實測值偏差量之大小，若實測值與預測值均相同，則 bias 為 0，如果 bias 大於 0 則表示預測值高估於實際值。反之則 bias 小於 0 則表示實際值高估於預測值。

$$bias=\frac{\sum_{i=1}^{N}\left(P_i-O_i\right)}{N} \quad \text{..... (3.4.10)}$$

表 3-4-1　花蓮 WNAF 學習過程之模糊規則輸出表

Rule Description	a	b	c	d
1. If (W(t-2) is Low) and (W(t) is Low) and (WD(t) is Low) then Output1	-0.319	-0.153	0.004	-3.242
2. If (W(t-2) is Low) and (W(t) is Low) and (WD(t) is High) then Output2	0.260	-0.651	0.003	-2.356
3. If (W(t-2) is Low) and (W(t) is High) and (WD(t) is Low) then Output3	-5.161	1.832	-0.024	-2.558
4. If (W(t-2) is Low) and (W(t) is High) and (WD(t) is High) then Output4	-0.827	-1.787	-0.051	56.947
5. If (W(t-2) is High) and (W(t) is Low) and (WD(t) is Low) then Output5	-3.616	0.160	0.071	59.490
6. If (W(t-2) is High) and (W(t) is Low) and (WD(t) is High) then Output6	0.820	1.393	0.044	-23.984
7. If (W(t-2) is High) and (W(t) is High) and (WD(t) is Low) then Output7	-0.565	-3.818	-0.226	138.405
8. If (W(t-2) is High) and (W(t) is High) and (WD(t) is High) then Output9	-2.195	3.249	-0.086	17.920

$$Output = aW(t-2) + bW(t) + cWD(t) + d$$

表 3-4-2　台中 WNAF 學習過程之模糊規則輸出表

Rule Description	a	b	c	d
1. If (W(t-2) is Low) and (W(t) is Low) and (WD(t) is Low) then Output1	-0.522	-0.172	-0.002	-1.669
2. If (W(t-2) is Low) and (W(t) is Low) and (WD(t) is High) then Output2	0.228	0.238	-0.004	3.375
3. If (W(t-2) is Low) and (W(t) is High) and (WD(t) is Low) then Output3	-1.889	0.197	-0.057	12.415
4. If (W(t-2) is Low) and (W(t) is High) and (WD(t) is High) then Output4	-1.119	1.919	-0.051	-6.598
5. If (W(t-2) is High) and (W(t) is Low) and (WD(t) is Low) then Output5	-1.140	-1.042	0.012	31.371
6. If (W(t-2) is High) and (W(t) is Low) and (WD(t) is High) then Output6	-0.551	1.217	-0.019	7.853
7. If (W(t-2) is High) and (W(t) is High) and (WD(t) is Low) then Output7	-0.575	-0.864	-0.113	39.733
8. If (W(t-2) is High) and (W(t) is High) and (WD(t) is High) then Output9	-0.216	-0.365	-0.085	48.341

$$Output = aW(t-2) + bW(t) + cWD(t) + d$$

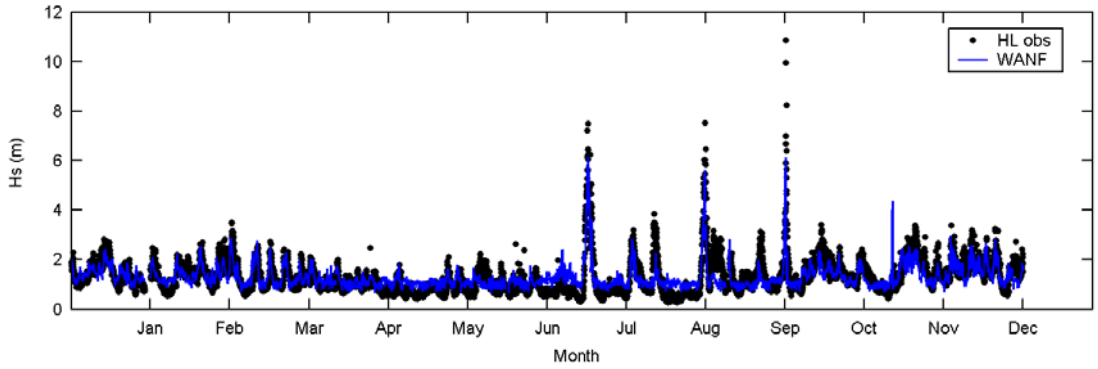


圖 3-4-6　2005 年花蓮港模式學習輸出值與實測值比較圖

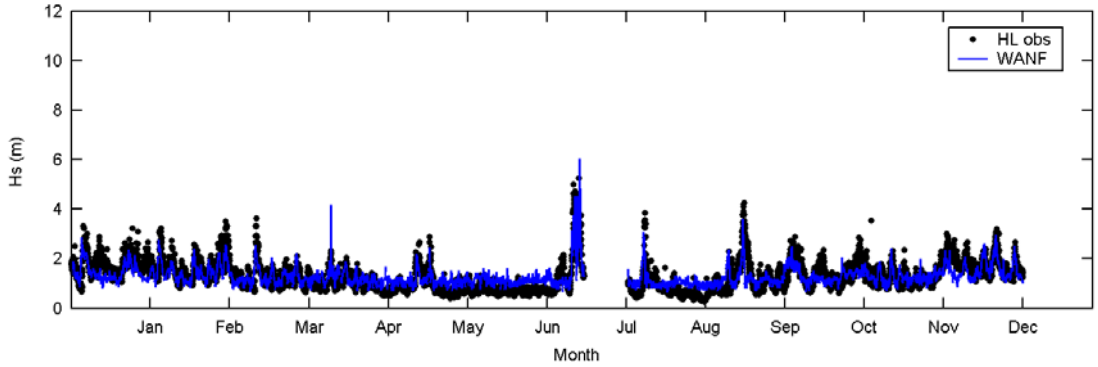


圖 3-4-7　2006 年花蓮港模式預測輸出值與實測值比較圖

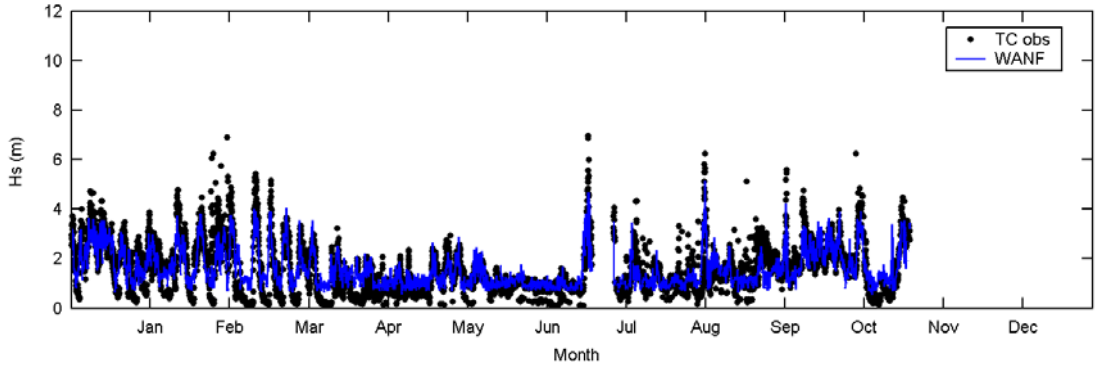


圖 3-4-8　2005 年台中港模式學習輸出值與實測值比較圖

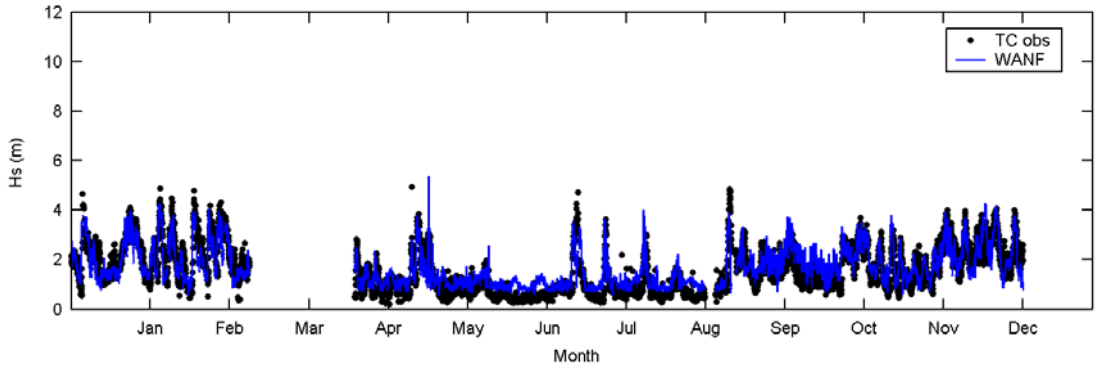


圖 3-4-9　2006 年台中港模式預測輸出值與實測值比較圖

由表 3-4-3 之分析，本計畫將分探討 WANF 模式於不同季節之推算結果，其中在學習部分，花蓮於秋季相關性為最高約為 0.72，依次為春及冬，其相關性約為 0.60 及 0.58，其中最低為夏季。台中之學習結果則顯示冬季最高約為 0.73、其餘三季之相關性則在 0.5 以上。由於春、冬季為東北季風時期，波高受風的影響較顯著，夏秋兩季的風速較春冬為小，且波浪受風的影響較不顯著，因此模式學習時較不能完整描述夏秋兩季的風浪。花蓮 2005 年之相對誤差 *bias* 則約為-0.002 公尺，台中則亦為 0.003 公尺，顯示實測值與 WANF 模式結果的偏差量相符合，2005 年花蓮及台中之平均絕對誤差約為 0.37 公尺及 0.50 公尺。另外，於 2006 年預測結果，花蓮除夏季已外，其餘三季皆在 0.5 以上，台中四季之相關性皆在 0.6 以上，2006 年花蓮及台中之平均絕對誤差約為 0.34 公尺及 0.45 公尺，略小於學習時之結果，WANF 模式與實測值之偏差量則為 0.004 公尺及-0.083 公尺，略高於學習之結果。

因此，由 WANF 模式所推算之波浪相關性花蓮約在 0.6 以上，台中約在 0.7 以上。其絕對誤差花蓮約為 0.36 公尺，台中約為 0.48，相對誤差 *bias* 約為 0.002 及-0.043 公尺。由此顯示本模式之推算結果，可實際應用於季節風浪之推算及統計分析，未來將完成各港的模式建立，並可實際進行作業化之風浪推算。

表 3-4-3　WANF 模式於花蓮及台中之學習及預測比較表

		花蓮			台中		
		r	*ε*	*Bias*	*r*	*ε*	*bias*
2005	春	0.604	0.311	0.013	0.669	0.689	0.107
	夏	0.253	0.286	-0.126	0.589	0.379	-0.167
	秋	0.719	0.510	-0.015	0.611	0.451	0.067
	冬	0.580	0.370	0.121	0.726	0.505	0.006
	學習	0.670	0.370	-0.002	0.716	0.509	0.003
2006	春	0.533	0.336	0.157	0.701	0.514	0.177
	夏	0.405	0.314	-0.204	0.669	0.409	-0.190
	秋	0.682	0.400	-0.070	0.679	0.424	-0.207
	冬	0.561	0.319	0.111	0.674	0.471	-0.075
	預測	0.629	0.339	0.004	0.763	0.454	-0.083
兩年		0.654	0.355	0.002	0.736	0.481	-0.043

3.4.2 類神經網路颱風波浪、暴潮預警模式

3.4.2.1 颱風波浪、暴潮預警模式類神經網路架構

台灣處於颱風發生及主要行進的區域，颱風的豪雨、強風及其引起的巨浪對漁撈、航運交通造成損害，甚至傷及人員，颱風所引起的巨浪亦為破壞港灣的重要因素。颱風發生過程及其運動，一般的數值模式難以精確地描述颱風波浪，但隨著模糊理論以及類神經網路理論的新科技發展，在分析非線性關係的方法上有相當大的改善後，模糊理論及類神經網路的技術也被普遍的應用至各種工程領域。

本研究建構的台中港、花蓮港海域類神經網路波浪預報模式主要由二個部分主成，首先是風浪的推算模式，將以風場分佈為主要參考實測資料而建構，將以大氣氣象資料及波浪實測數據為主要參考資料，並藉由類神經網路將風浪及湧浪模式計算的結果整合，推算出觀測站的波浪資料。對於推算結果準確度提升方式將分為兩個方向，一是將颱風風場模式與陸地間互動關係進行分析，修正影響風場變化的方式，另一個方向為多方收集颱風波浪資料，藉由學習的過程改善類神經網路的推算精確度。

由 Holland (1980)等文獻的討論分析了解風速V_{10}是提供及影響颱風波浪能量主要的因素，而颱風的路徑及行為是影響颱風波浪變化的另一個因素，在固定位置上同樣的颱風規模及運動方向不同的路徑也將有不同發展的颱風波浪。隨著波浪接近海岸時在複雜地形及海流的交互作用下，更增加了計算在近岸颱風波浪的困難度。

模式採用颱風連續性的變化參數包括：測站颱風風場內 10 公尺風速V_{10}的變化、颱風相對移動位置r、θ的變化以及颱風風場分佈旋轉，即颱風行進方向與觀測夾角θ_1的變化，颱風運動參數符號說明示如圖 3-4-10。

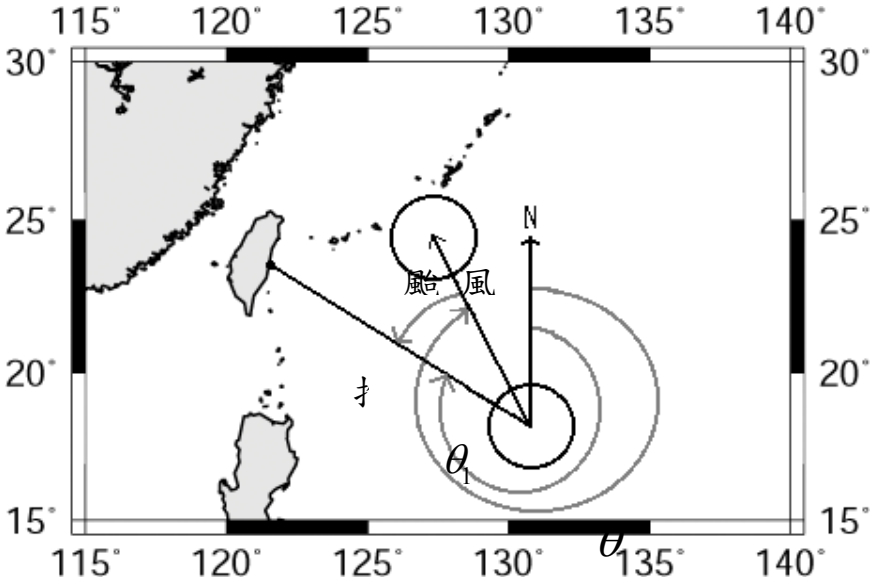


圖 3-4-10 颱風運動參數符號說明

以能量方程式為基礎的架構，對於固定區域t_j時刻颱風波浪推算總和能量S的能量交換在行為、規模相似的颱風條件下，可以表示為過去颱風資料$V_{10}, r, \theta, \theta_1$的函數線性組合

$$S(t_j) = \sum_{i=0}^{j} a_i f_1(V_{10}, r, \theta, \theta_1; t_i) \quad \text{..... (3.4.2-1)}$$

式(3.4.2-1)中a_i為係數，f_1為函數，t_j為時間。根據以上的能量平衡觀念，t_j小時的颱風波浪為內能量S的函數

$$H_{1/3}(t_j) = \sum_{i=0}^{j} b_i f_2[S(t_i)] \quad \text{.....(3.4.2-2)}$$

結合式(3.4.2-1)及式(3.4.2-2)可表示颱風波浪之示性波高為不同時間

$$H_{1/3}(t_j) = \sum_{i=j-m}^{j} c_i f(V_{10}, r, \theta, \theta_1; t_i) \quad \text{..... (3.4.2-3)}$$

式(3.4.2-3)中 m 表示颱風開始影響颱風波浪的時間，即 t_j 時刻的颱風波浪只受過去 m 小時內的颱風行為影響，m 即為計算颱風波浪資料的延時時間。

為了提高波浪推算模式推算的穩定性，並且增加模式應用的範圍，颱風波浪與暴潮水位預警將分別建構台灣東岸與西岸的應用模式，其中暴潮模式主要架構採用類神經模式架構外並將波浪推算模式的架構作為修正模式建立的核心，並由已知的研究成果對波浪推算模式的架構進行修正。

對於台灣東岸的應用以 12 個虛擬的颱風海面上 10 公尺風速觀測點，藉以對觀測站海域風場分佈及變化有更周全的描述與反映，並將此模式的架構發展成為模組化，藉以應用在颱風波浪、水位的推測甚至模式的資料同化。12 個虛擬觀測站位置如圖 3-4-11 所示。

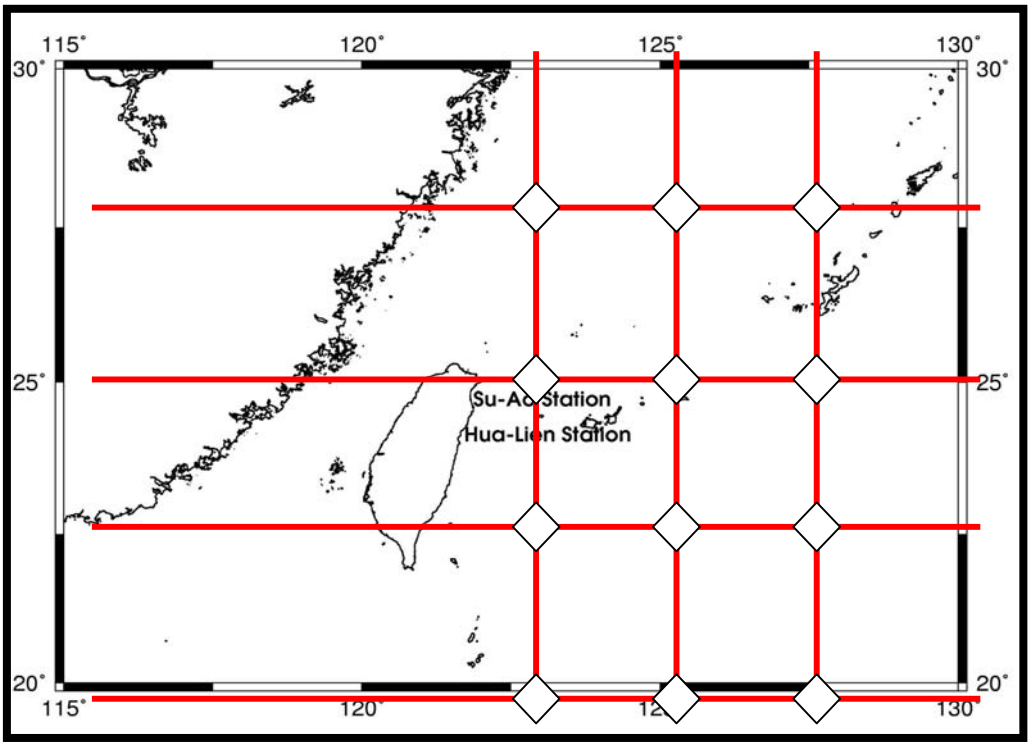


圖 3-4-11　台灣東岸 12 個虛擬觀測站位置

對於台灣西岸的應用則以 9 個虛擬的颱風海面上 10 公尺風速觀測點作為輸入資料，藉以對觀測站海域風場分佈及變化有更周全的描述與反映。9 個虛擬觀測站位置如圖 3-4-12 所示

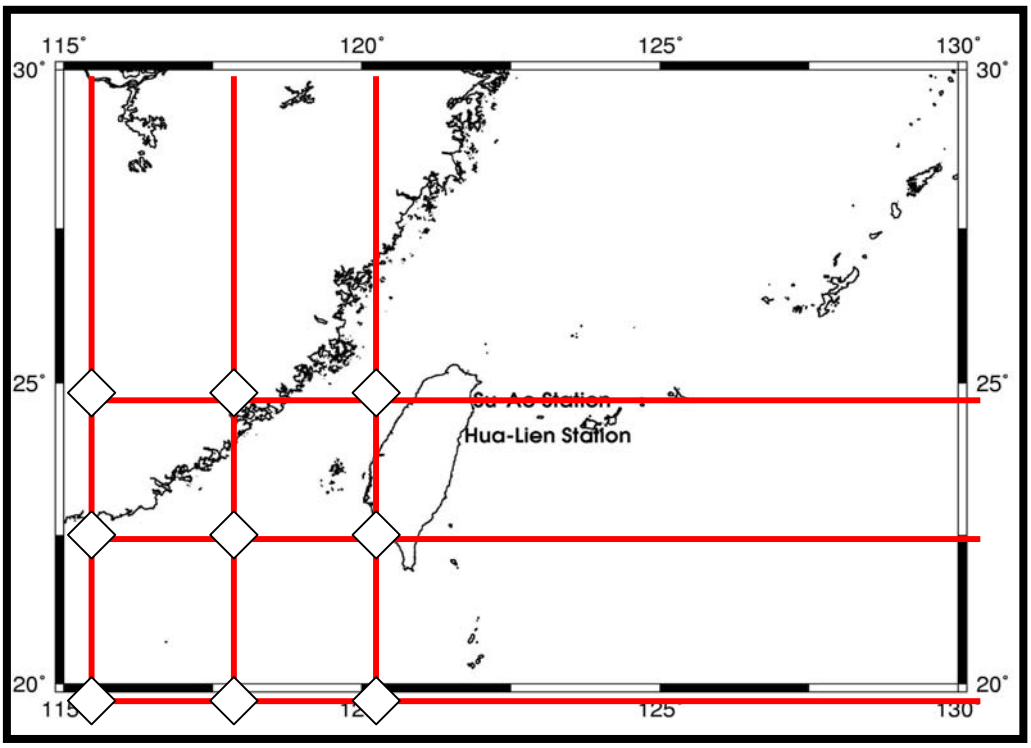


圖 3-4-12　台灣西岸 9 個虛擬觀測站位置

配合台灣東岸 12 個、台灣西岸 9 個虛擬風速觀測站，式(3.4.2-3)可以寫成式(3.4.2-4)、(3.4.2-5)。

本文將針對式(3.4.2-4) 、(3.4.2-5)的架構建立類神經網路模式，利用收集的颱風氣象與波浪資料進行類神經網路模式的測試與驗證，並以式(3.3-4) 、(3.3-5)的架構建立台灣東西岸花蓮與台中港類神經網路模式。

$$H_{E1/3}(t_j) = \sum_{i=j-m}^{j} c_i f(V_{10}, V_{(1)10}, \ldots\ldots V_{(12)10}, r, \theta, \theta_1; t_i) \quad \ldots\ldots\ldots(3.4.2\text{-}4)$$

$$H_{W1/3}(t_j) = \sum_{i=j-m}^{j} c_i f(V_{10}, V_{(1)10}, \ldots\ldots V_{(9)10}, r, \theta, \theta_1; t_i) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3.4.2\text{-}5)$$

類神經網路模式採用到傳遞量神經網路架構，關於到傳遞神經網路的理論與演算在文獻中有詳細的說明與推導，具有一個隱藏層的倒傳遞類神經網路通常表示為：

$$O_{P\times 1} = f(W_{S\times R} I_{R\times 1} + b_{S\times 1}) \quad \text{.....(3.4.2-6)}$$

其中 $O_{P\times 1}$ 為神經網路具有 P 個向量的輸出矩陣，f 為轉移函數，$I_{R\times 1}$ 為具有 R 個向量的輸入矩陣，$W_{S\times R}$ 為具有 S 個神經元的神經網路權重矩陣，$b_{S\times 1}$ 為網路偏權值矩陣，而式(3.4.2-6)簡單的表示方法為 ”S-P”，所以具有 7 個輸入項，2 個隱藏層神經元的個數分別為 80、40，一個輸出單元時，簡單的表示法為 7-80-40-1。

式(3.4.2-1)及式(3.4.2-3)中的 V_{10} 、$V_{(1)10}$ …. $V_{(12)10}$ 、r 具有連續的特性，θ 為颱風中心與波浪推算位置的方位角，在颱風行進的路徑可能發生角度不連續的現象，因此類神經網路採用兩個隱藏層的架構解決不連續的問題，若將颱風示性波浪與週期合併考量於推算模式時，因此類神經網路模式可以表示為

$$H_{E1/3} = f_1(W_{S2\times S1} \cdot f_1(W_{S1\times(R*n)}\left[I_{1R\times 1}\right]_{n\times 1} + b_{S1\times 1}) + b_{S2\times 1}) \quad \text{.....(3.4.2-7)}$$

$$Tide_{E1/3} = f_1(W_{S2\times S1} \cdot f_1(W_{S1\times(R*n)}\left[I_{1R\times 1}\right]_{n\times 1} + b_{S1\times 1}) + b_{S2\times 1}) \quad \text{.....(3.4.2-8)}$$

$$H_{E1/3} = f_1(W_{S2\times S1} \cdot f_1(W_{S1\times(R*n)}\left[I_{1R\times 1}\right]_{n\times 1} + b_{S1\times 1}) + b_{S2\times 1}) \quad \text{.....(3.4.2-9)}$$

$$Tide_{E1/3} = f_1(W_{S2\times S1} \cdot f_1(W_{S1\times(R*n)}\left[I_{1R\times 1}\right]_{n\times 1} + b_{S1\times 1}) + b_{S2\times 1}) \quad \text{.....(3.4.2-10)}$$

其中，台灣東岸颱風波浪與暴潮模式的輸出表示為 $H_{E1/3}$ 、$Tide_{E1/3}$，輸入函數，$I_1 = [V_{10}, V_{(1)10}, \ldots V_{(12)10}, r, \theta, \theta_1]^T$ 。

台灣西岸颱風波浪與暴潮模式的輸出表示為 $H_{W1/3}$ 、$Tide_{W1/3}$ ，輸入函數，$I_1 = [V_{10}, V_{(1)10}, ...V_{(9)10}, r, \theta, \theta_1]^T$ ，輸入資料延時 n。

3.4.2.2 颱風波浪、暴潮預警模式陸地效應的修正

目前颱風風場與陸地交互影響的關係目前仍然無法完全解析，參數形式的颱風風場模式更難以即時反應陸地對風場的影響，因此，藉由修正颱風風場模式達到修正颱風波浪與暴潮是相當困難的。陸地地形除了影響颱風風場外，陸地的遮蔽效應也影響颱風波浪與暴潮的行為。所以，可以在空間上進行初步的區分，在特定颱風路徑與位置時，區分出陸地效應影響颱風暴潮的範圍，逐步找出颱風位置與影響颱風暴潮的關係，藉此，可以修正颱風波浪與暴潮行為。對於特地區域颱風暴潮推算模式的建立可以藉由分析該區域陸地地形特性對風、波浪、暴潮的影響，在平面空間上劃分出影響的區域，逐步修正該推算區域的颱風暴潮。在陸地效應影響區域的分析，包括：颱風波浪與暴潮推算區域的地形分析、陸地遮蔽範圍分析與分區、颱風風場與地形關係分析與分區以及被區分區域間的關係。

襲臺灣的颱風大都來自北太平洋西部，發生的地點以加羅林群島、馬利安納群島和帛琉群島附近一帶由台灣東部向西行的最多，另外也有部分來自南中國海海面由台灣的西南部向東北行進，但次數較少。針對台灣東部花蓮港海域模式建構而在颱風路徑條件上做出限制的考量，包括：台灣東部的海域沒有大型的島嶼，且颱風生成後颱風波浪的發展相當穩定，颱風在東岸發展的颱風波浪作用型為與生成機制相似，因此可以將台灣東岸生成且西行的颱風歸為一類。

由台灣西岸南中國海海面生成颱風的颱風波浪與暴潮，對台灣東岸的影響並非單獨且直接作用，且受到陸地強烈的影響，在颱風波浪、颱風暴潮生成機制與波浪行為明顯不同於東岸生成的颱風波浪與颱風暴潮，以及西部颱風對東岸海域影響有限的考量下，選取北太平洋西部生成且直接威脅台灣東岸花蓮港海域的颱風做為建立推算颱風波浪

模式應用的目標。圖 3-4-13 提供了颱風暴潮推算區域花蓮港海域與台灣本島的相對位置、陸地範圍等，以及依地形環境建立的 4 個區域 Area1、Area2 、Area3、Area4，其中 Area1、Area4 位於台灣東部，當颱風西行且中心位於這兩個區域時，波浪、暴潮發展機制相近而 Area1、Area4 的差別在於颱風在 Area1 時是以颱風左半圓接近花蓮港海域，而在 Area4 時颱風是以右半圓接近花蓮港海域，這兩個區域的差別在輸入參數中V_{10}, r, θ_1可以充分反映出來，而 Area2 、Area3 則是受到陸地效應影響的區域，兩個區域的差別也是考慮颱風接近花蓮港海域時是受到颱風左半圓或右半圓影響而區分。當颱風由 Area1、Area4 逐漸接近觀測站時，風場直接作用直接反映於觀測站海域示性波高與颱風暴潮上，但是當颱風接近觀測站海域進入 Area2 、Area3 時，颱風波浪、颱風暴潮發展就有明顯的不同。當颱風中心位於 Area2 時，颱風左半圓接近觀測站而因為颱風風向為逆時鐘旋轉，受到陸地的影響使的颱風左半圓風場無法持續作用海面，因而颱風提供波浪的能量大減造成示性波高快速降低。而當颱風中心位於 Area3 時颱風右半圓接近觀測站，颱風風場持續作用海面，所以當颱風中心進入陸地後最大示性波高與暴潮才到達。陸地效應的影響隨著颱風距離推算區域愈遠影響也愈小。對台中港海域而言，同樣考量颱風與西岸陸地環境相對的影響，亦將影響區域區分為 4 個區域 Area1、Area2 、Area3、Area4，如圖 3-4-14 所示，

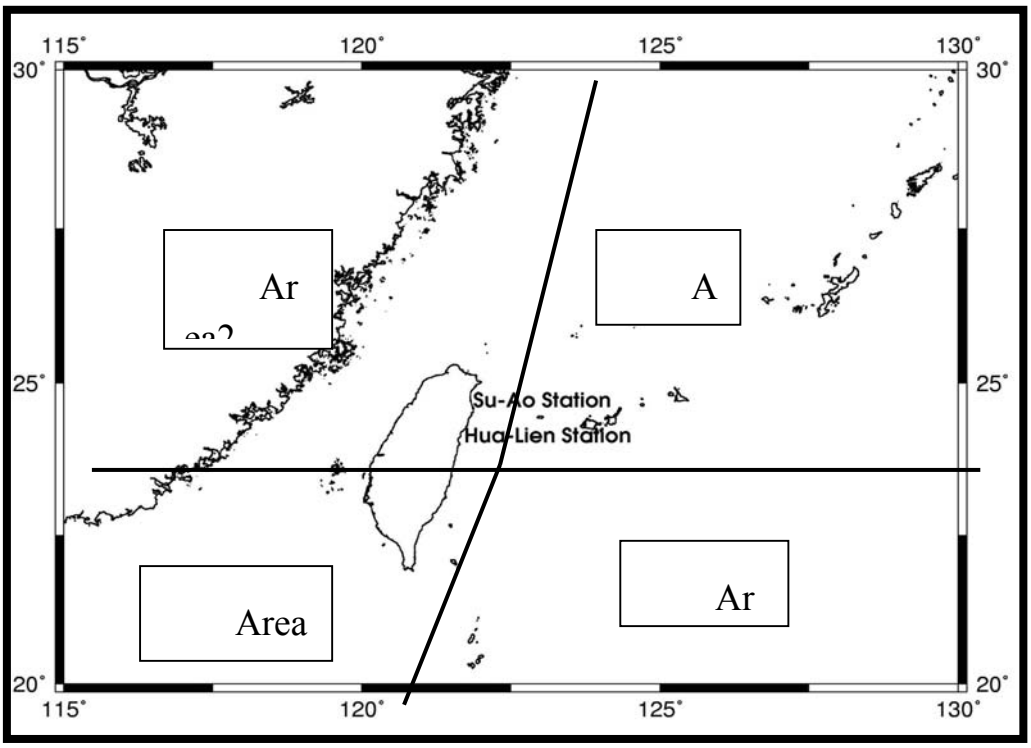


圖 3-4-13　台灣東岸花蓮港位置與陸地影響區域區分

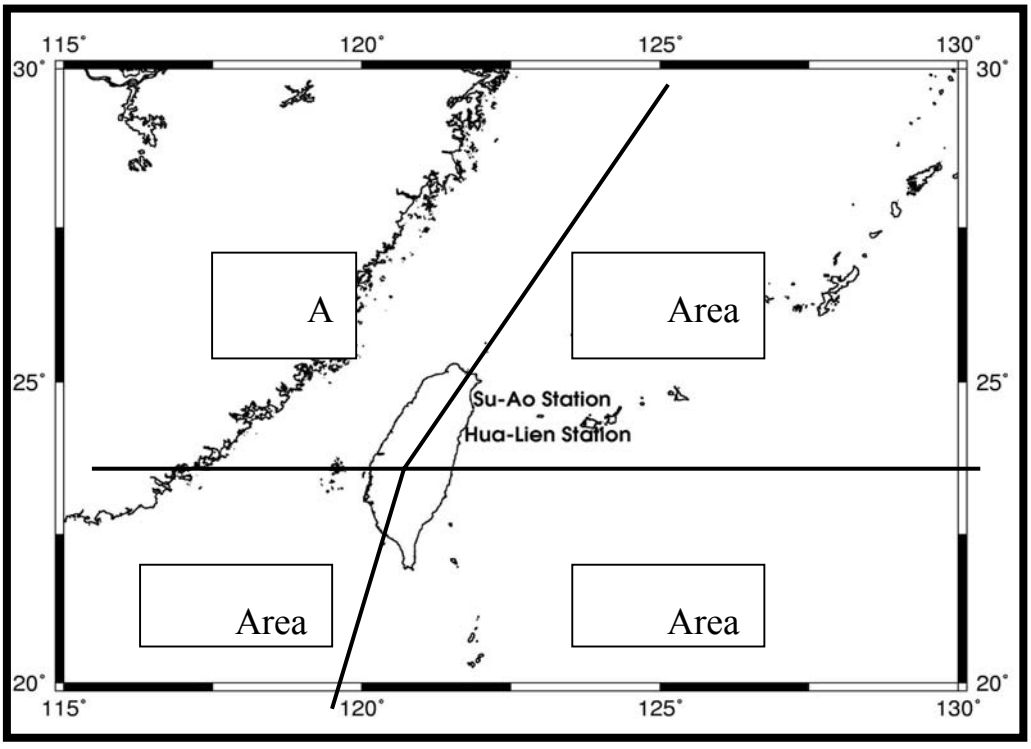


圖 3-4-14　台灣西岸台中港位置與陸地影響區域區分

利用以上的現象以及陸地效應與颱風波浪、暴潮行為，藉由模糊理論以颱風位置建立示性波浪、暴潮與陸地間的模糊關係，藉以修正颱風暴潮推算模式。以颱風中心位置r,θ_1建立影響颱風暴潮關係的二維關係函數，可以表示為$MF(r,\theta_1)$。利用$MF(r,\theta_1)$修正陸地效應對颱風暴潮的影響方法。圖 3-4-15 顯示東岸陸地效應二維模糊關係函數$MF(r,\theta_1)$，圖 3-4-16 顯示西岸陸地效應二維模糊關係函數$MF(r,\theta_1)$。

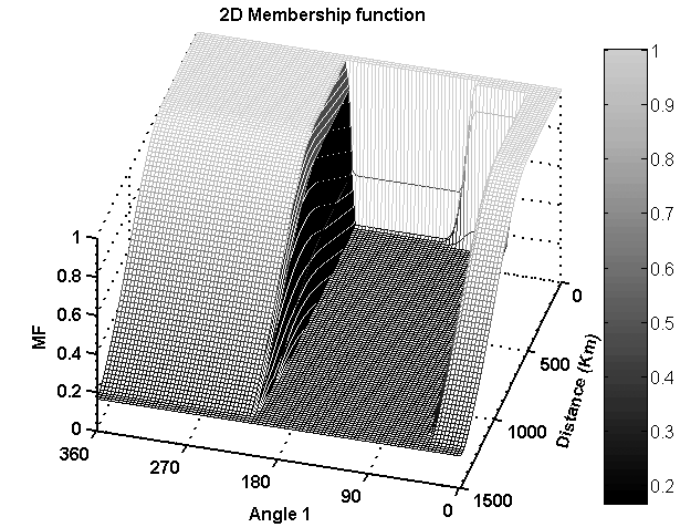


圖 3-4-15　東岸陸地效應二維模糊關係函數$MF(r,\theta_1)$

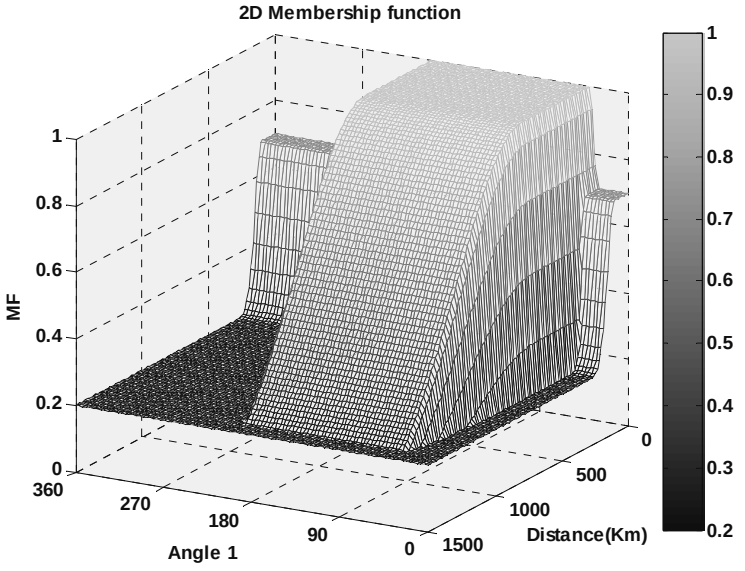


圖 3-4-16　西岸陸地效應二維模糊關係函數$MF(r,\theta_1)$

模式架構是將颱風波浪、暴潮的計算分成兩個階段，第一個階段以颱風推算模式架構與參數設定，第二個階段是將原模式輸出的示性波高串連另一個以 $MF(r,\theta_1)$ 函數為主體的類神經模糊網路模式進行修正，反應陸地效應對颱風波浪的影響。第二個階段的類神經模糊架構可表示為：

$$\overline{H_{E1/3}} = f_2(W_{S2\times S1}\cdot f_1(W_{S1\times(R*n)}\left[\overline{I}_{R\times 1}\right]_{n\times 1} + b_{S1\times 1}) + b_{S2\times 1}) \quad \text{.....(3.4.2-11)}$$

where $\overline{I} = [H_{E1/3}]^T \times MF\ (r,\theta_1)$, n is the time lag.

$$\overline{H_{W1/3}} = f_2(W_{S2\times S1}\cdot f_1(W_{S1\times(R*n)}\left[\overline{I}_{R\times 1}\right]_{n\times 1} + b_{S1\times 1}) + b_{S2\times 1}) \quad \text{.....(3.4.2-12)}$$

where $\overline{I} = [H_{W1/3}]^T \times MF\ (r,\theta_1)$, n is the time lag.

$$\overline{Tide_{E}} = f_2(W_{S2\times S1}\cdot f_1(W_{S1\times(R*n)}\left[\overline{I}_{R\times 1}\right]_{n\times 1} + b_{S1\times 1}) + b_{S2\times 1}) \quad \text{.....(3.4.2-13)}$$

where $\overline{I} = [Tide_{E}]^T \times MF\ (r,\theta_1)$, n is the time lag.

$$\overline{Tide_{W}} = f_2(W_{S2\times S1}\cdot f_1(W_{S1\times(R*n)}\left[\overline{I}_{R\times 1}\right]_{n\times 1} + b_{S1\times 1}) + b_{S2\times 1}) \quad \text{.....(3.4.2-14)}$$

where $\overline{I} = [Tide_{W}]^T \times MF\ (r,\theta_1)$, n is the time lag.

3.4.2.3 台灣東岸 2006 颱風波浪之推算結果

本計劃對 2006 年颱風影響台灣的颱風事件作為類神經模式之推算對象，台灣東岸推算地點以花蓮與蘇澳為主，收集 JTWC(Joint Typhoon Warning Center)與港研中心(IHMT)之實測資料進行模式比較分析。本研究以五場颱風路徑進行颱風波浪之預測評估分析。

1. 珍珠(CHANCHU，2006)颱風

本計劃於 95 年度之珍珠(CHANCHU)作為類神經模式之推算對象，推算地點仍以花蓮與蘇澳為主，收集港研中心(IHMT)之實測資料進行模式比較分析。珍珠颱風於東經 134.9 度，北緯 8.6 度，即菲律賓東方生成，並以西北西方向通過菲律賓群島進入南中國海，示如圖 3-4-17 進行颱風波浪之預測評估分析。

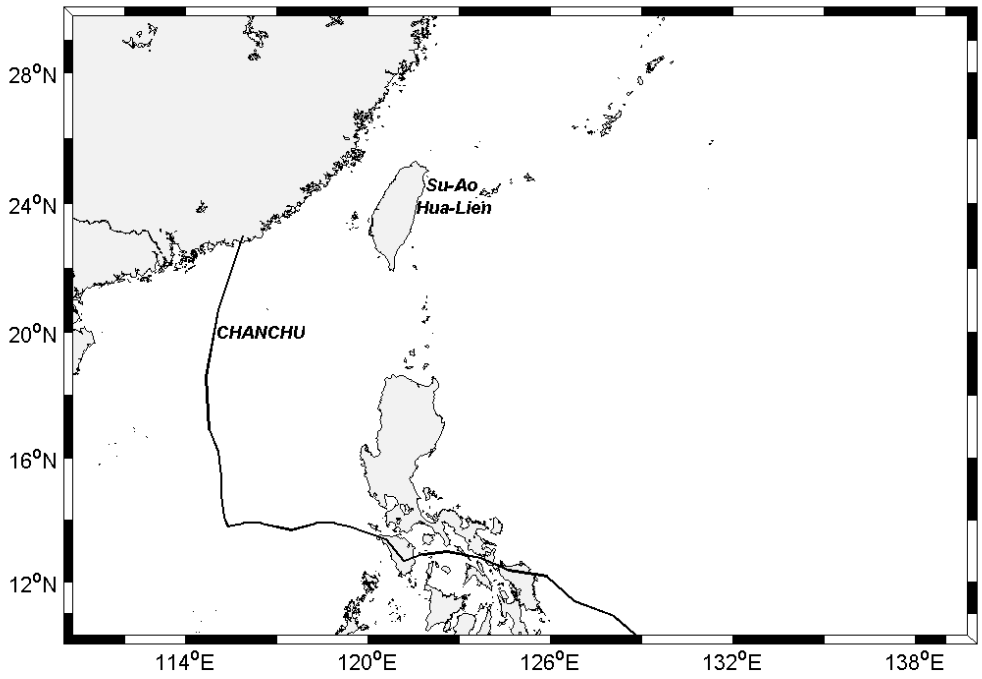


圖 3-4-17　颱風珍珠(CHANCHU)路徑圖

針對 2006 年生成的颱風進行模式推算分析，並以類神經網路波浪推算模式將針對花蓮及蘇澳觀測站附近海域進行模擬。其推算結果示如圖 3-4-18。其中圖 3-4-17 為颱風路徑，花蓮測站的推算結果與實測值之比較，由圖中圓點表示實測資料，實現線表示實際路徑所推算的颱風波浪。圖 3-4-18 之預測波浪最大約為 2.4 公尺，實測最大波高約為 2.9 公尺。圖 3-4-19 之預測波浪最大約為 2.3 公尺，實測最大波高約為 3.1 公尺。花蓮及蘇澳之預測波浪皆高估於實測波浪，原因為此次颱風路經由西南海域接近台灣，對西南海域的影響較大；而東部所受的影響則較小，本模式為建立於東部之波浪推算之模式，因此模式對於西南路徑的颱風經過菲律賓呂宋島的影響及模式的陸地修正，以致於所推算之波浪值皆高於實測值，實測及預測波浪之趨勢則大約相似，皆因受颱風而有增大的趨勢，其絕對誤差值花蓮約為 0.7 公尺，蘇澳則約為 0.9 公尺。

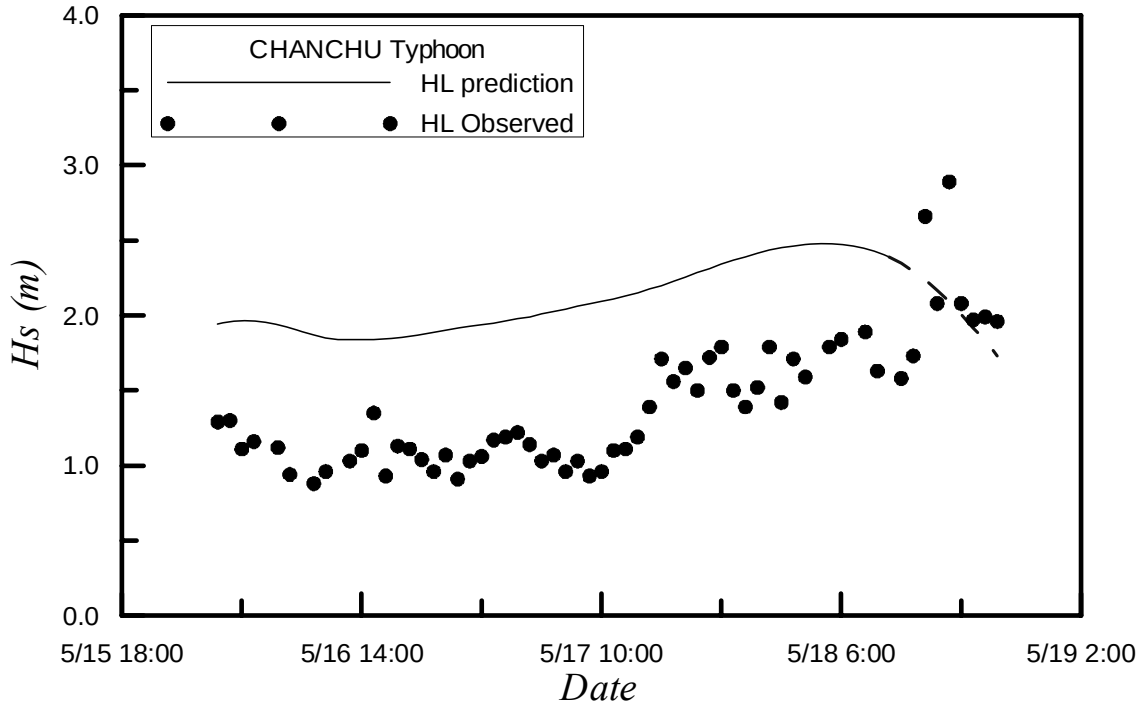


圖 3-4-18　珍珠颱風之花蓮港預測示性波高

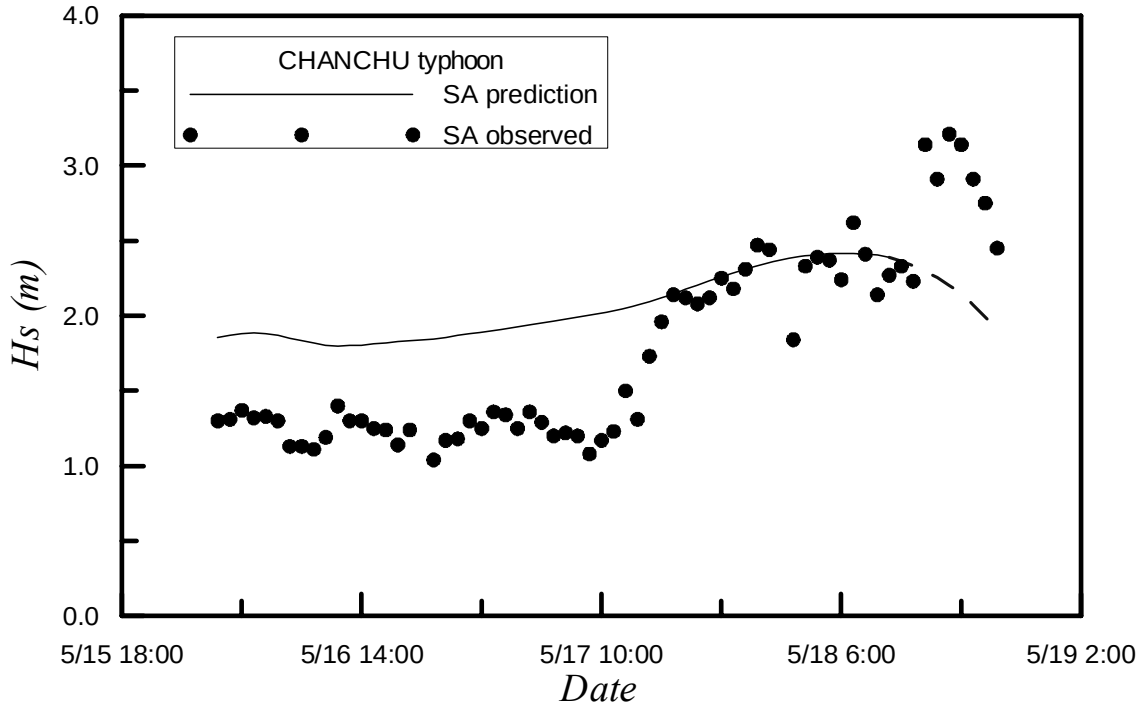


圖 3-4-19　珍珠颱風之蘇澳港預測示性波高

2.碧利斯（Bilis，2006）颱風

碧利斯颱風於宜蘭東南方大約 470 公里的西北太平洋海面上，位於北緯 21.6 度，東經 124.9 度，中心附近最大風力有 30m/s。路徑表示如圖 3-4-20。碧利斯颱風為一股大型氣旋，風場半徑達 600-800km，整體風速平穩，只有在颱風中心 100-200km 的南半圈有較強風速區，經由 JTWC(Joint Typhoon Warning Center)預測之路徑及颱風資料，作為本模式之颱風波浪之推算。

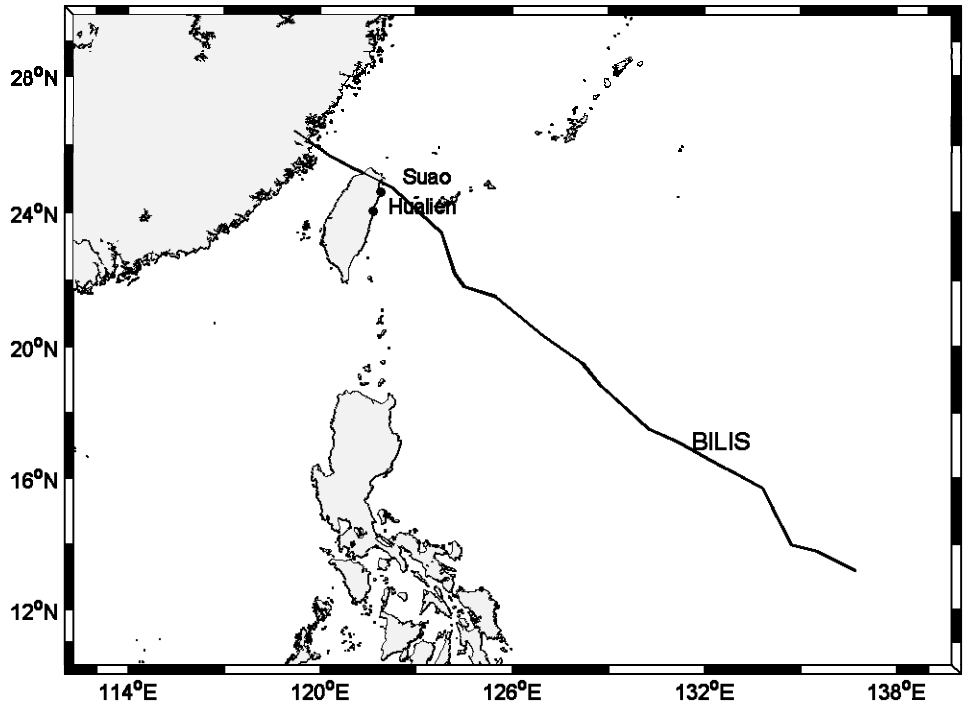


圖 3-4-20　碧利斯颱風路徑圖

針對碧利斯颱風進行模式推算分析，並以類神經網路波浪推算模式將針對花蓮及蘇澳觀測站附近海域進行模擬。其推算結果示如圖 3-4-21。其中圖 3-4-21 為花蓮測站的推算結果與實測值之比較，由圖中圓點表示實測資料，實現表示實際路徑所推算的颱風波浪。圖 3-4-22 之預測波浪最大約為 5.39 公尺，實測最大波高約為 5.03 公尺。花蓮及蘇澳之預測波浪略高估於實測波浪，但最大波浪到達時間則有較大的誤差約 24 小時。此次颱風 7/9 日傍晚日本正式宣佈形成第 4 號颱風 BILIS，衛星雲圖如圖 3-4-22 所示，圖中顯示颱風形成時的結構完整。路徑經由台灣東南海域接近台灣北部，7/13 日衛星雲圖如圖 3-4-23 所示，7/13 日上午碧利斯原中心左、右邊環流差異甚大，此時 BILIS 的結構鬆散，逆時鐘旋轉的風場使的台灣陸地對於颱風風場結構影響相當大，參數型颱風風場模式無法確切表達風場劇烈的變動；而東部的花蓮、蘇澳因中央山脈遮蔽所受的影響並不持續。本模式在颱風風場結構完整的條件下建立於東部之波浪推算之模式，因此模式對於此類

路徑的颱風與颱風結構的變動並無法較完整的描述，導致所推算之最大波浪到達時間產生誤差，延後約 24 小時。

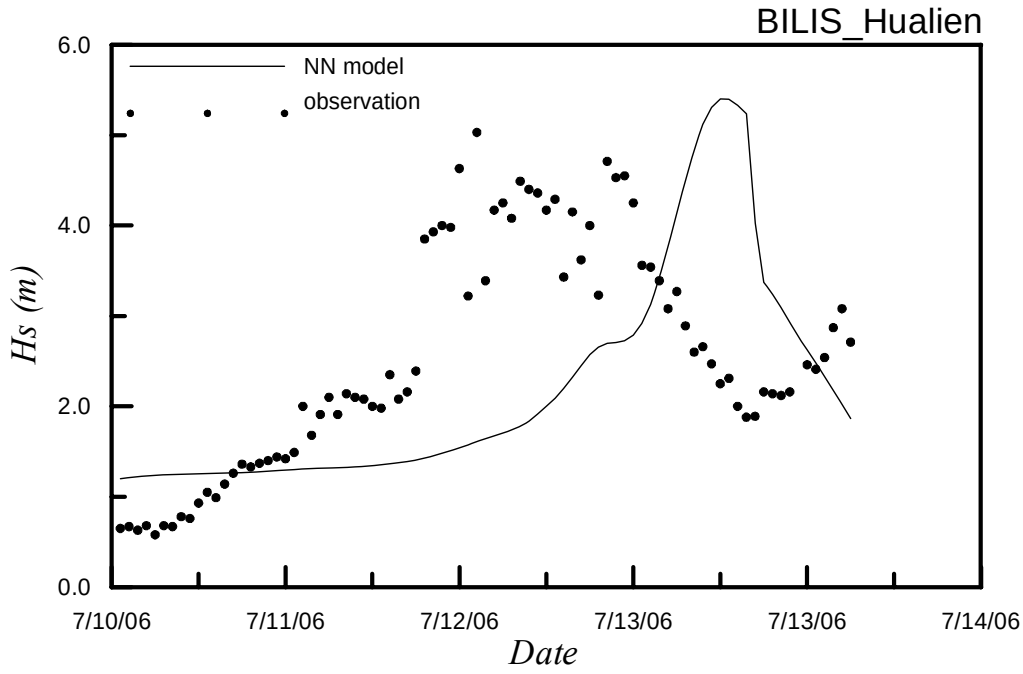


圖 3-4-21　碧利斯颱風之花蓮港預測示性波高

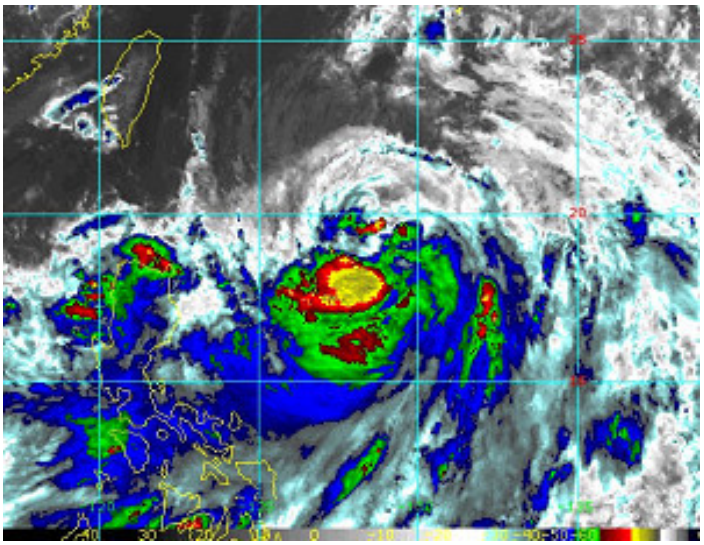


圖 3-4-22　碧利斯颱風 7 月 9 日之衛星雲圖

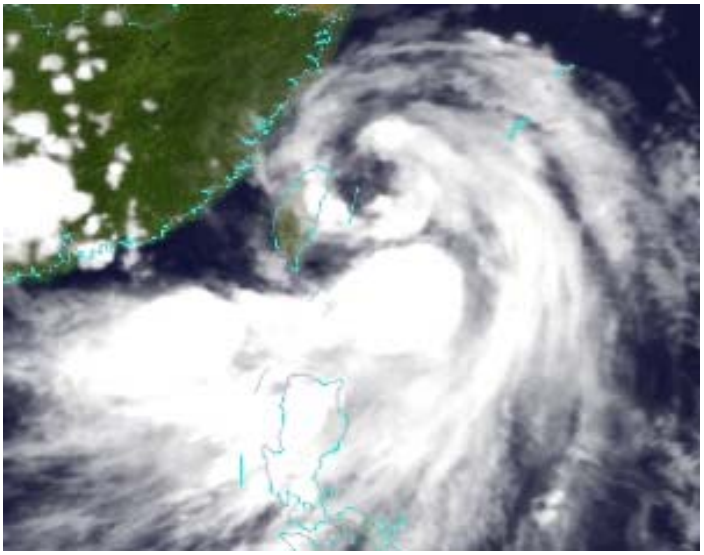


圖 3-4-23　碧利斯颱風 7 月 13 日之衛星雲圖

3.寶發（Bopha，2006）颱風

寶發颱風 8 月 6 日在台灣東方海面生成，並以偏西方向朝台灣前進，8 日轉為向西南西方向移動。9 日於 3 時 20 分左右中心由台東縣登陸，並繼續以西南西方向前進。9 日 7 時 20 分在台南附近出海，且強度快速減弱為熱帶低氣壓。路徑表示如圖 3-4-24。氣象局指出，在寶發颱風接近台灣的過程中，因為垂直風切的關係，不利寶發颱風發展，因此強度會減弱，暴風圈也會縮小。

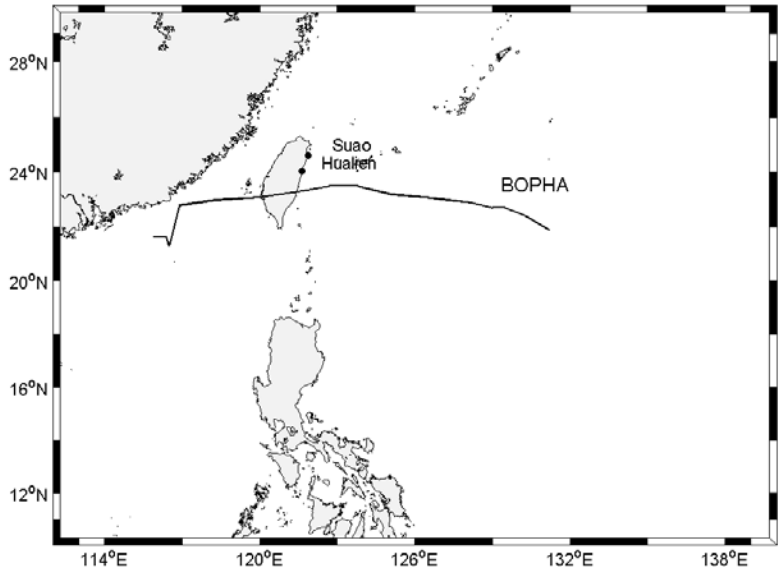


圖 3-4-24　寶發颱風路徑圖

寶發颱風其推算結果示如圖 3-4-25。其中圖 3-4-25 為花蓮測站的推算結果與實測值之比較，由圖中圓點表示實測資料，實線表示實際路徑所推算的颱風波浪。圖 3-4-25 之預測波浪最大約為 5.3 公尺，實測最大波高約為 3.8 公尺。花蓮及蘇澳之預測波浪高估實測波浪 1.5 公尺，最大波浪到達時間則有誤差約 1 小時。

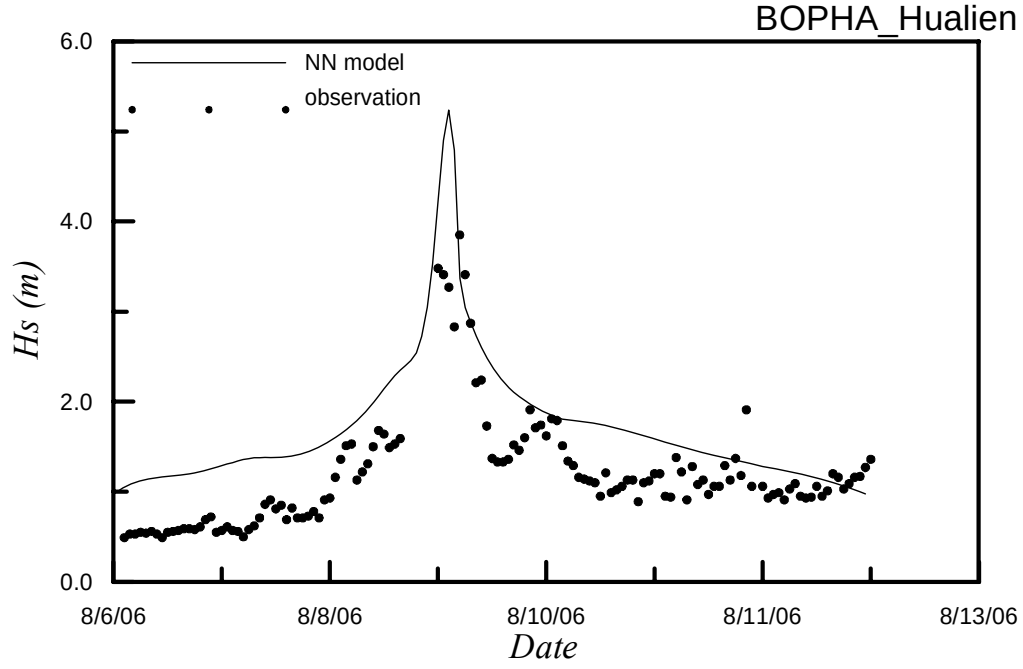


圖 3-4-25　寶發颱風之花蓮港預測示性波高

4. 珊珊(SHANSHAN，2006)颱風

珊珊颱風 95 年 9 月 11 日凌晨在琉球海面生成，，中心氣壓 985 百帕，11 日 14 時的中心位置在北緯 18.6 度，東經 133.7 度，即在琉球那霸東南方約 1050 公里之海面上，向西北移動，時速 12 公里，中心附近最大風速每秒 25 公尺（即每小時 90 公里），相當於 10 級風，瞬間最大陣風每秒 33 公尺（即每小時 120 公里），相當於 12 級風，7 級風暴風半徑 100 公里，以西北西行進，9/15 進入台灣東部海面後，因北方太平洋高壓東退往北行進，9/16 並往北北東行進，遠離台灣向日本西南方行進並開始減弱，9/18 變性為溫帶氣旋。路徑表示如圖 3-4-26。

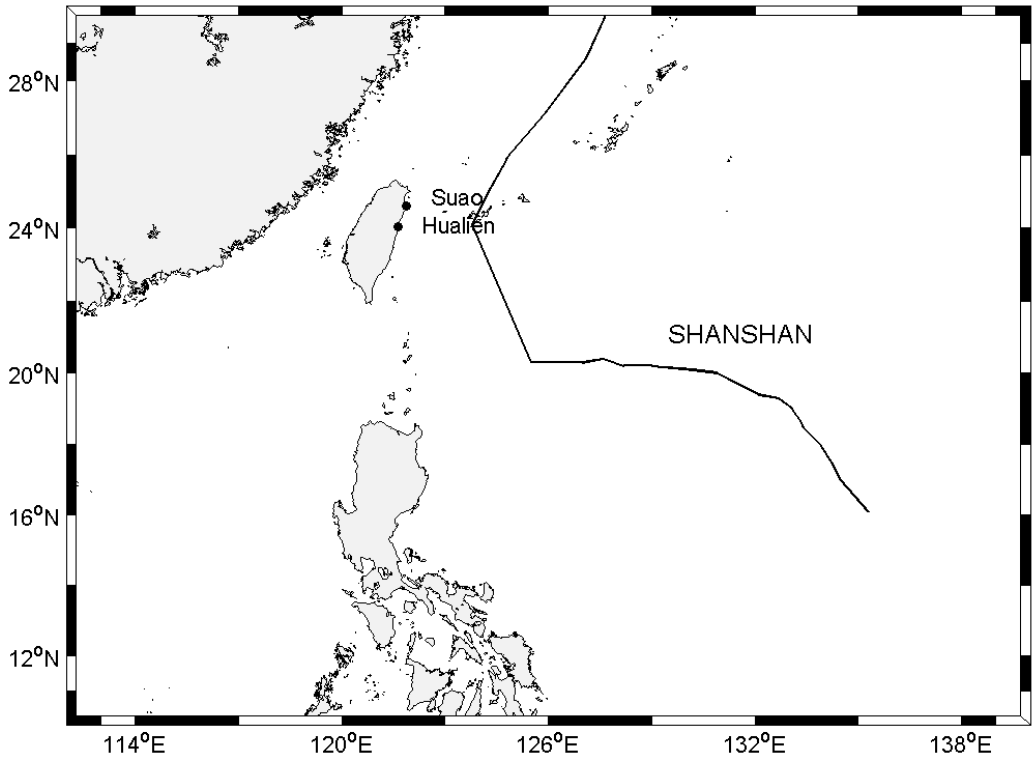


圖 3-4-26　珊珊颱風路徑圖

珊珊颱風推算結果示如圖 3-4-27。其中圖 3-4-27 為花蓮測站的推算結果與實測值之比較，由圖中圓點表示實測資料，實線表示實際路徑所推算的颱風波浪。圖 3-4-27 之預測波浪最大約為 5.02 公尺，實測最大波高約為 4.24 公尺。花蓮之預測波浪高估實測波浪 0.78 公尺，預測與實測最大波浪到達時間則相同。

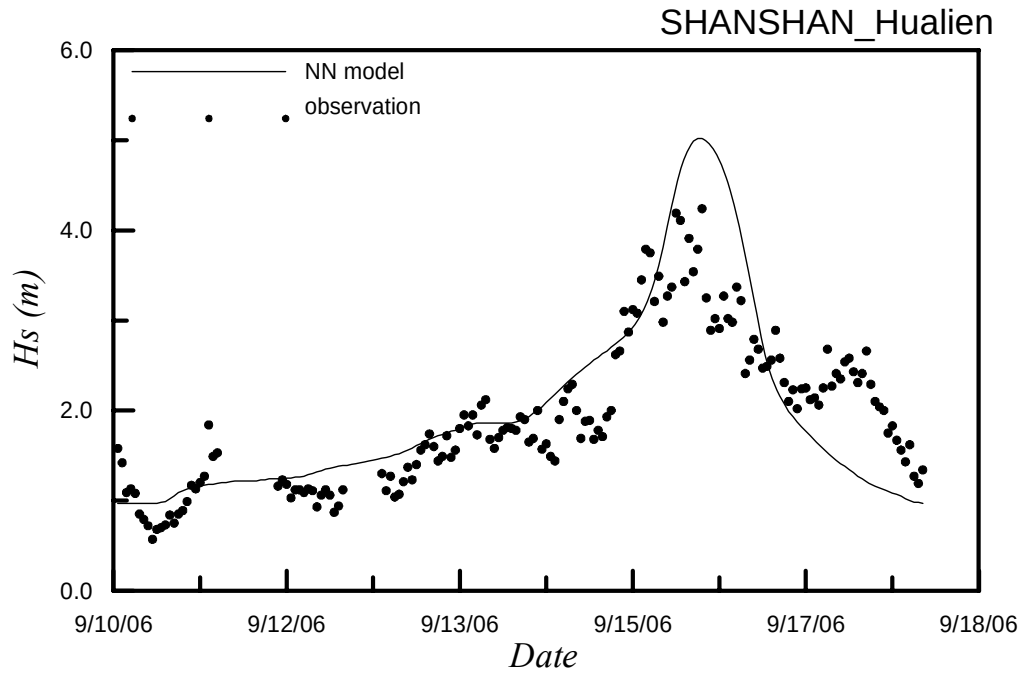


圖 3-4-27　珊珊颱風之花蓮港預測示性波高

3.4.2.4 台灣西岸 2006 颱風波浪之推算結果

計劃對 2006 年颱風影響台灣的颱風事件作為類神經模式之推算對象，台灣西岸推算地點以台中港主，以 JTWC(Joint Typhoon Warning Center)與港研中心(IHMT)之實測資料進行模式比較分析。本研究採以下颱風路徑進行颱風波浪之預測評估分析。

1.珍珠(CHANCHU，2006)颱風

以珍珠(CHANCHU)作為類神經模式之推算對象，推算地點為台中港海域，收集港研中心(IHMT)之實測資料進行模式比較分析。珍珠颱風於菲律賓東方生成，並以西北西方向通過菲律賓群島進入南中國海，示如圖 3-4-17 進行颱風波浪之預測評估分析。圖 3-4-28 為台中測站的推算結果與實測值之比較，當颱風通過菲律賓群島時約在 5/14 日，此時颱風中心位置風場受陸地遮蔽條件下模式判斷風浪影響較小，而此時颱風外圍環流與鋒面到達造成約 3 公尺的誤差，隨著颱風接近台中港使的風浪成分增加，推算誤差相對降低且接近實測值。

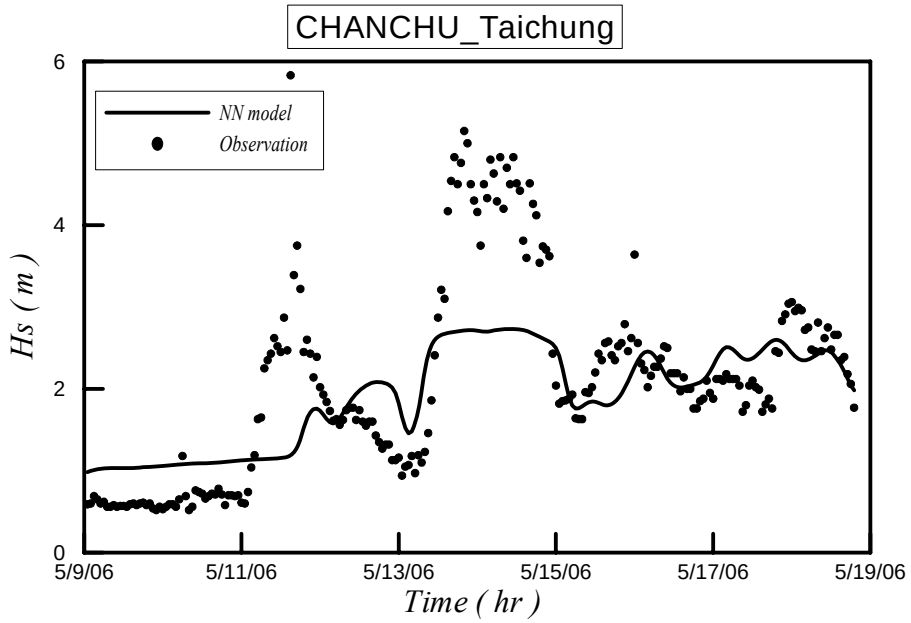


圖 3-4-28　珍珠颱風模式推算台中港之示性波高

2.碧利斯（Bilis，2006）颱風

碧利斯颱風於宜蘭東南方大約 470 公里的西北太平洋海面上，位於北緯 21.6 度，東經 124.9 度，中心附近最大風力有 30m/s。碧利斯颱風為一股大型氣旋，風場半徑達 600-800km，整體風速平穩，只有在颱風中心 100-200km 的南半圈有較強風速區，本模式之颱風波浪之推算如圖 3-4-29 所示，圖為台中測站的推算結果與實測值之比較，颱風由台灣北側穿越，在模式假設風場受陸地遮蔽效應影響以致於颱風波浪未能及時反應颱風行為。

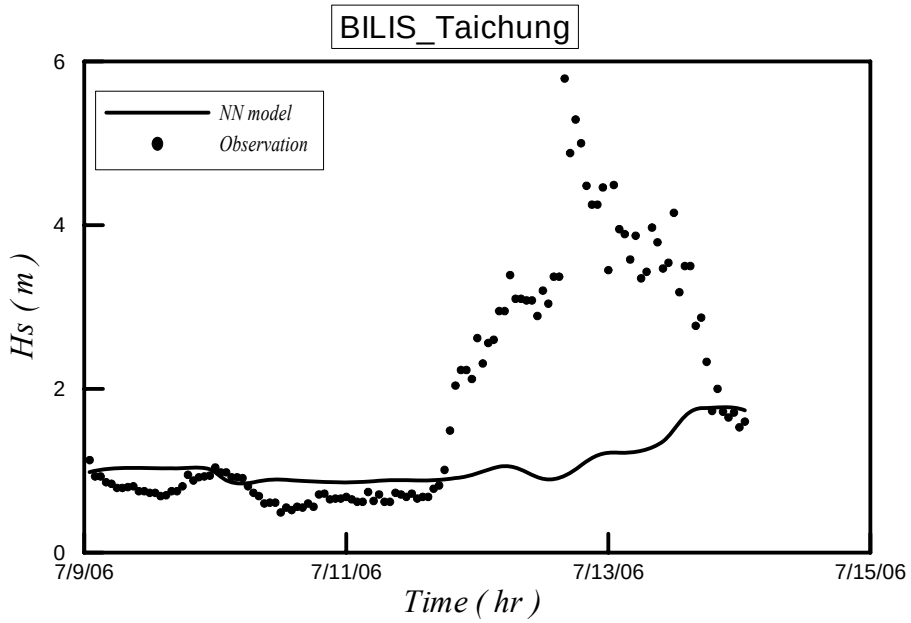


圖 3-4-29　碧利斯颱風模式推算台中港之示性波高

3.寶發（Bopha，2006）颱風

寶發颱風 8 月 6 日在台灣東方海面生成，並以偏西方向朝台灣前進，8 日轉為向西南西方向移動。9 日於 3 時 20 分左右中心由台東縣登陸，並繼續以西南西方向前進。9 日 7 時 20 分在台南附近出海，且強度快速減弱為熱帶低氣壓。氣象局指出，在寶發颱風接近台灣的過程中，因為垂直風切的關係，不利寶發颱風發展，因此強度會減弱，暴風圈也會縮小。圖 3-4-30 為台中測站的推算結果與實測值之比較，颱風在穿過中央山脈時對台中港影響較大，隨著颱風遠離波浪逐漸降低。

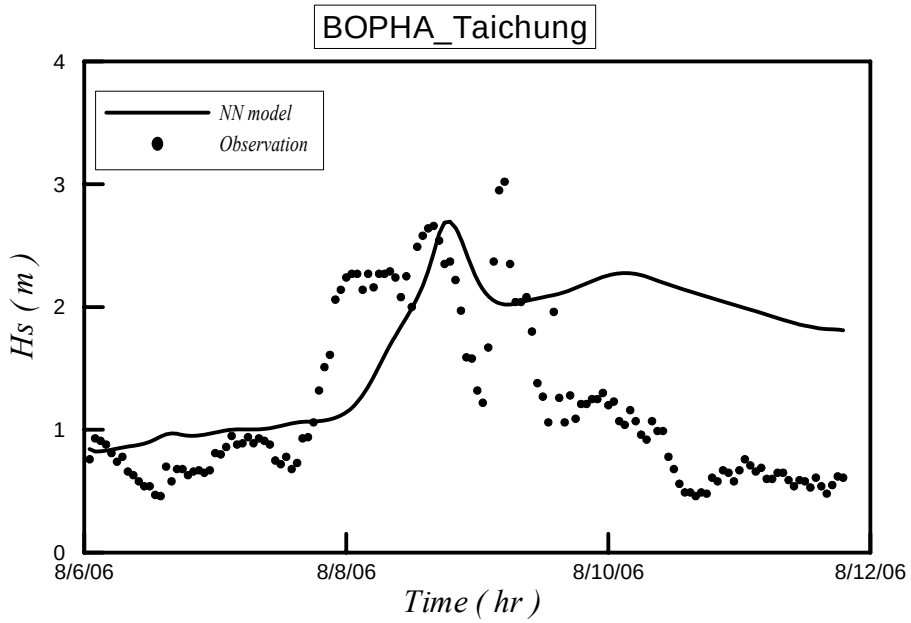


圖 3-4-30　寶發颱風模式推算台中港之示性波高

4. 珊珊(SHANSHAN，2006)颱風

珊珊颱風 95 年 9 月 11 日凌晨在琉球海面生成，，中心氣壓 985 百帕，11 日 14 時的中心位置在北緯 18.6 度，東經 133.7 度，即在琉球那霸東南方約 1050 公里之海面上，向西北移動，時速 12 公里，中心附近最大風速每秒 25 公尺（即每小時 90 公里），相當於 10 級風，瞬間最大陣風每秒 33 公尺（即每小時 120 公里），相當於 12 級風，7 級風暴風半徑 100 公里，以西北西行進，9/15 進入台灣東部海面後，因北方太平洋高壓東退往北行進，9/16 並往北北東行進，遠離台灣向日本西南方行進並開始減弱，9/18 變性為溫帶氣旋。圖 3-4-31 為台中測站的推算結果與實測值之比較，在 9/14 日以前台中港受附近氣旋影響風浪顯著增加，而珊珊颱風接近台灣後改變行進方向遠離台灣，此時模式仍然假設颱風因為陸地遮蔽效應而為對台中有影響，因而造成較大誤差。

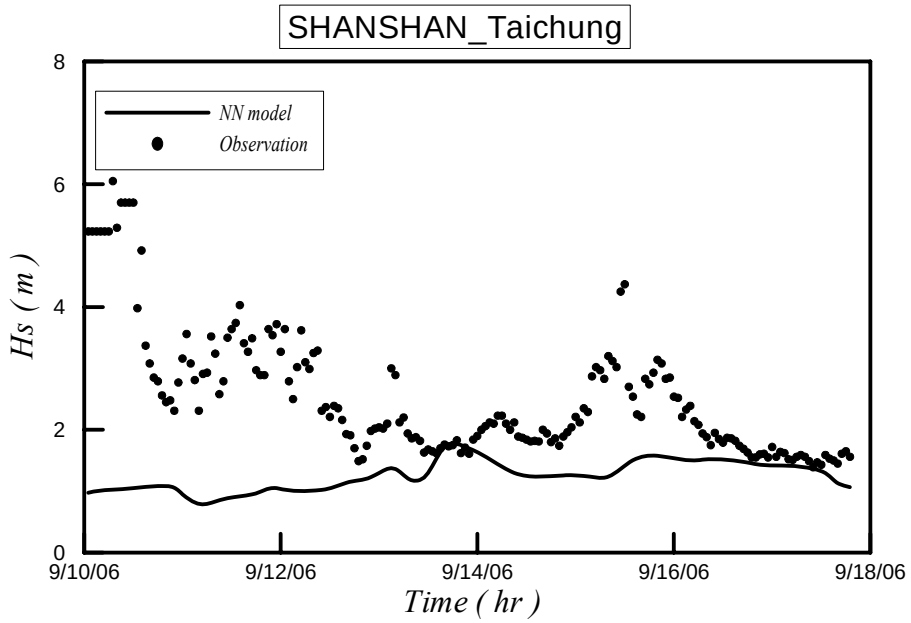


圖 3-4-31　珊珊颱風模式推算台中港之示性波高

3.4.2.5 台灣 2007 颱風波浪之推算結果

計劃對 2007 年颱風影響台灣的颱風事件作為類神經模式之推算對象，台灣東岸推算地點以花蓮與蘇澳為主，收集 JTWC(Joint Typhoon Warning Center)實測資料進行模式分析。本研究以兩場颱風路徑進行即時颱風波浪之推算、預測評估分析。

1.韋帕(WIPHA，2007)颱風

韋帕(WIPHA，2007)颱風形成地點於菲律賓東方海面，北緯 20 度東經 133 度，陸上警報發布時間 96 年 9 月 17 日 5 時 30 分。陸上警報時間解除時間 96 年 9 月 19 日 8 時 30 分。侵襲臺灣時的中心最大風速瞬間最大陣風為每秒 58m/s。影響臺灣的時間為 96 年 09/17～09/19。韋帕(WIPHA，2007)颱風路徑如圖 3-4-32 所示。圖 3-4-33 顯示中央氣象局發佈之韋帕颱風 09/17 路徑潛勢預報圖，針對發佈資料進行進行颱風波浪推測與預報，模式推算韋帕颱風 9/17 14：00 位置時花蓮及蘇澳港波高推算及預測結果如圖 3-4-34 所示，隨著氣象資料更新，模式推算韋帕颱風 9/18 08：00 花蓮及蘇澳港波高推算及預測結果如圖 3-4-35

所示。圖 3-4-35 的波高歷線發展結果反應颱風規模及強度逐漸增加。圖 3-4-36 為韋帕颱風 09/18 路徑潛勢預報圖，對路徑及颱風規模作進一步更新，模式推算韋帕颱風 9/18 14：00 花蓮及蘇澳港波高推算及預測結果如圖 3-4-37 所示，由模式推算結果可以確定模式推算的颱風波浪能即時反應颱風路徑及氣象條件的改變並更新颱風波浪資料。

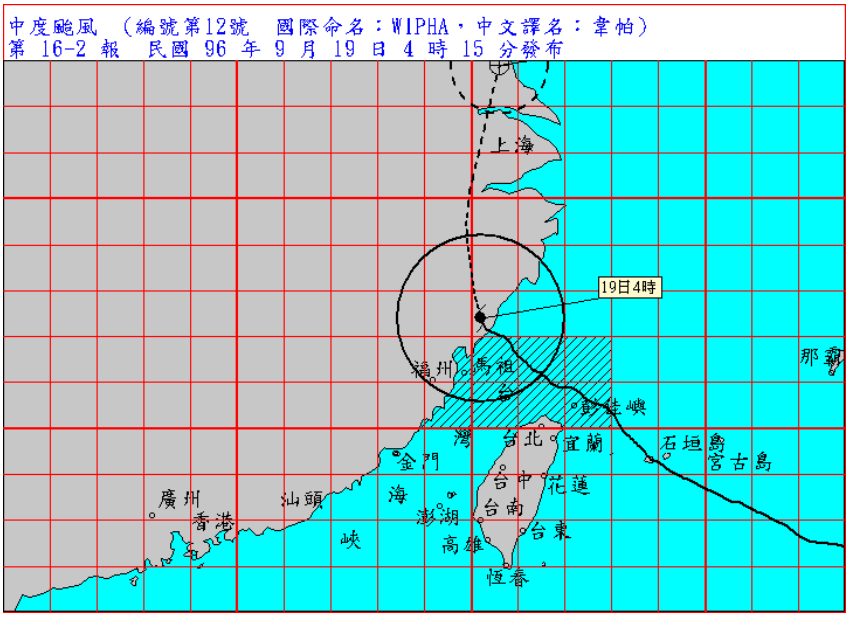


圖 3-4-32　韋帕(WIPHA，2007)颱風路徑圖

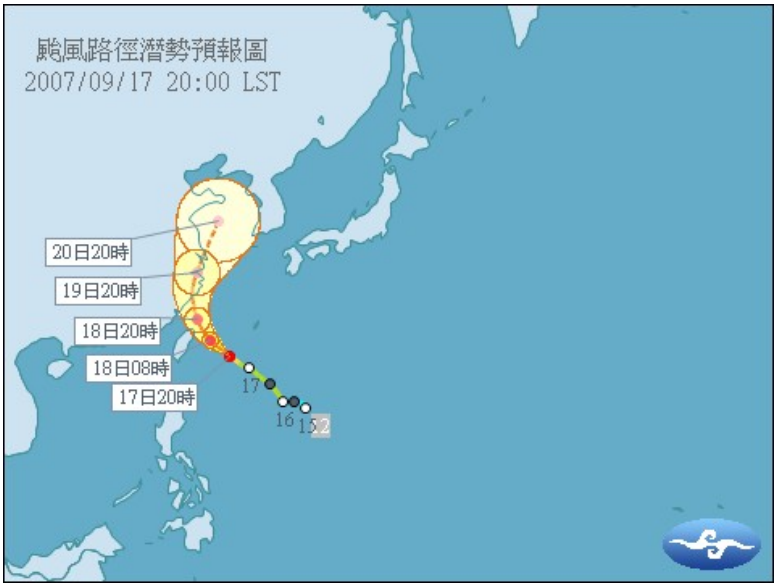


圖 3-4-33　韋帕颱風 09/17 路徑潛勢預報圖

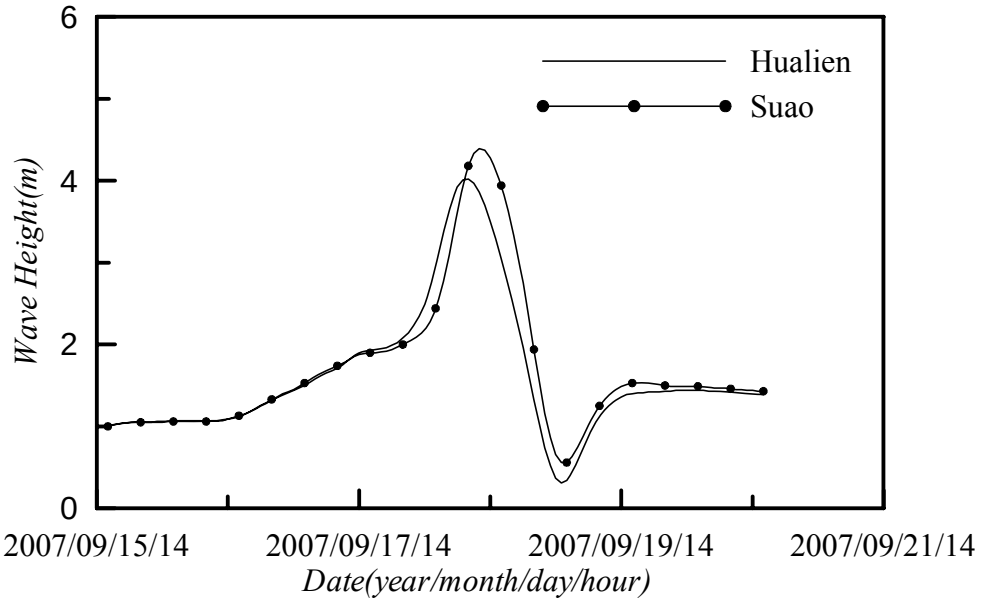


圖 3-4-34　韋帕颱風 9/17 14：00 花蓮及蘇澳港波高推算及預測

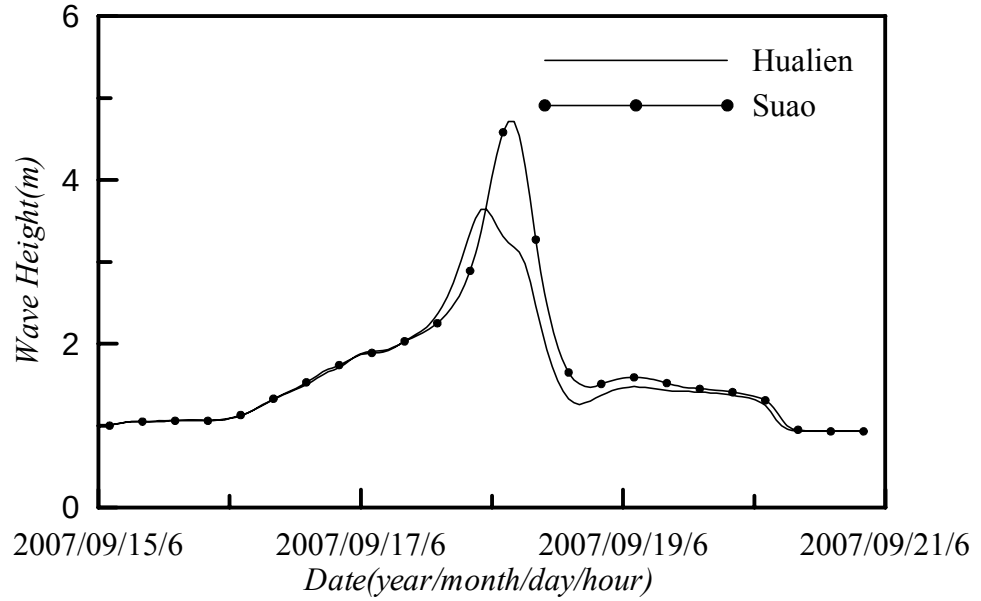


圖 3-4-35　韋帕颱風 9/18 08：00 花蓮及蘇澳港波高推算及預測

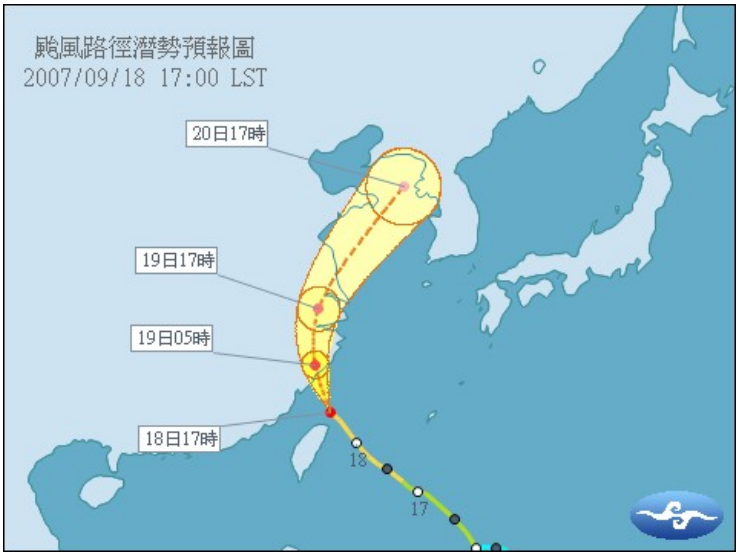


圖 3-4-36　韋帕颱風 09/18 路徑潛勢預報圖

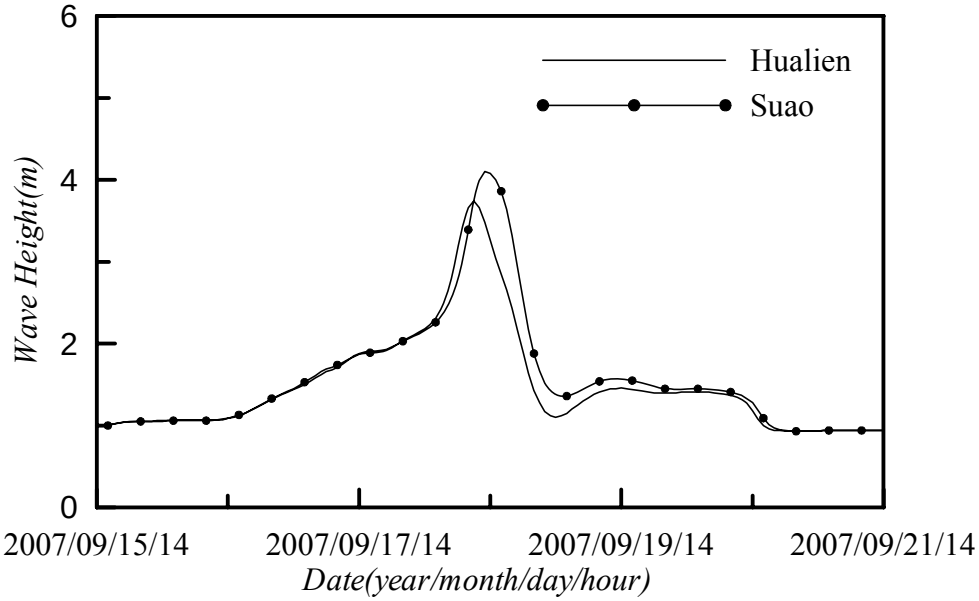


圖 3-4-37　韋帕颱風 9/18/14：00 花蓮及蘇澳港波高推算及預測

2. 柯羅莎(KROSA，2007)颱風

柯羅莎行進路徑搖擺不定，中央氣象局和日本氣象廳預報認為它會在台灣東北部登陸或往北邊偏，最後柯羅莎最後在花蓮外海滯留並原地打轉 360 度長達 8 小時後，才在 10 月 6 日晚 10 點 30 分登陸。登陸時間還不到 1 小時，成為今年登陸時間最短的颱風。中央災害應變中心統計死亡人數柯羅莎襲台，造成全台 5 人死亡、2 人失蹤，受傷人數達 52 人，緊急撤離 2394 人，風災也造成全台 224 萬戶停電、停水 1 萬 2000 多戶，56 條道路中斷受損。圖 3-4-29 顯示柯羅莎(KROSA，2007)

颱風路徑，圖 3-4-39 為中央氣象局發佈柯羅莎颱風 10/03 路徑潛勢預報圖，依相關氣象及預測資料進行推算，模式推算柯羅莎颱風 10/03/08:00 位置時花蓮及蘇澳港波高推算及預測如圖 3-4-40 所示，隨著中相氣象局更新柯羅莎颱風 10/04 路徑潛勢預報圖，如圖 3-4-41 以及 JTWC 颱風氣象資料的更新，模式推算柯羅莎颱風 10/04/14:00 的花蓮及蘇澳港波高推算及預測結果如圖 3-4-42 所示，此次預報結果顯示颱風眼將通過蘇澳港海域，隨氣象資料逐步更新，模式推算即時更新分別為柯羅莎颱風 10/05/14:00、10/06/14:00、10/07/14:00 所在位置花蓮及蘇澳港波高推算及預測結果如圖 3-4-43、3-4-44、3-4-45，由模式推算結果顯示模式可以充分反應颱風行為的改變即時更新颱風波浪推算及預測結果。

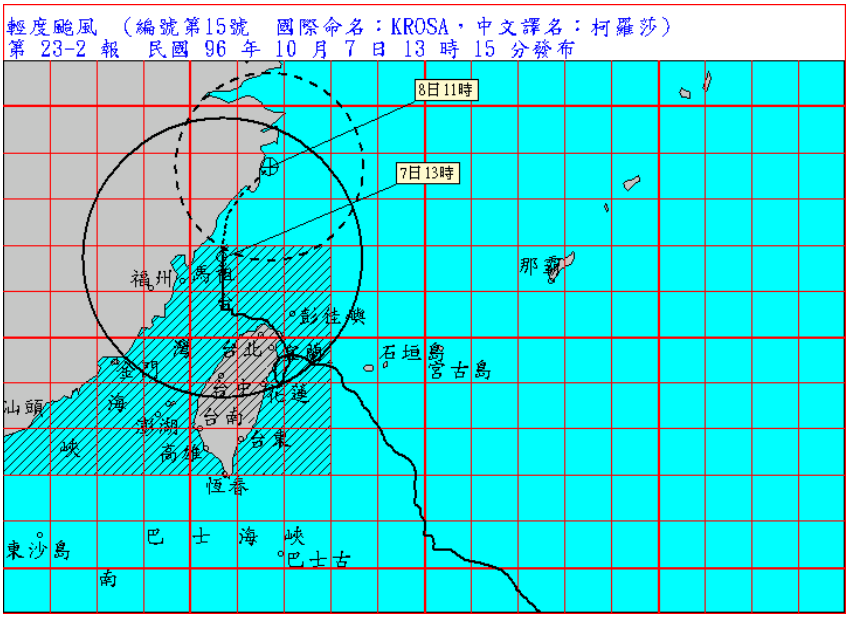


圖 3-4-38　柯羅莎(KROSA，2007)颱風路徑圖



圖 3-4-39　柯羅莎颱風 10/03 路徑潛勢預報圖

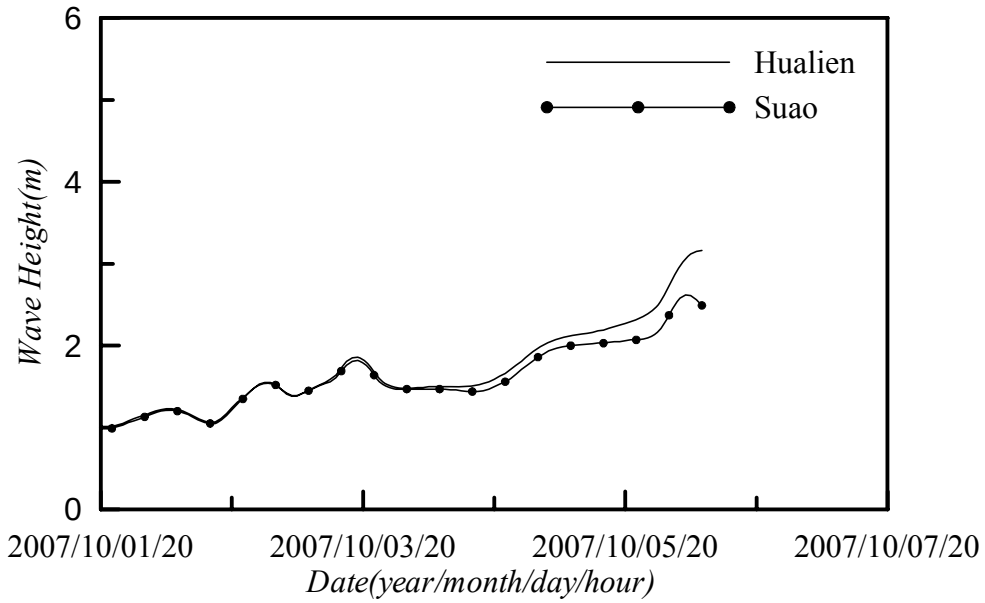


圖 3-4-40　柯羅莎颱風 10/03/08:00 花蓮及蘇澳港波高推算及預測

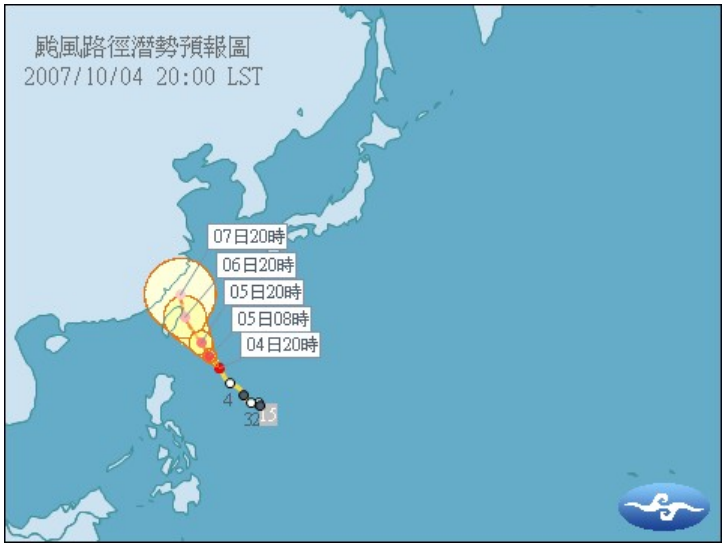


圖 3-4-41　柯羅莎颱風 10/04 路徑潛勢預報圖

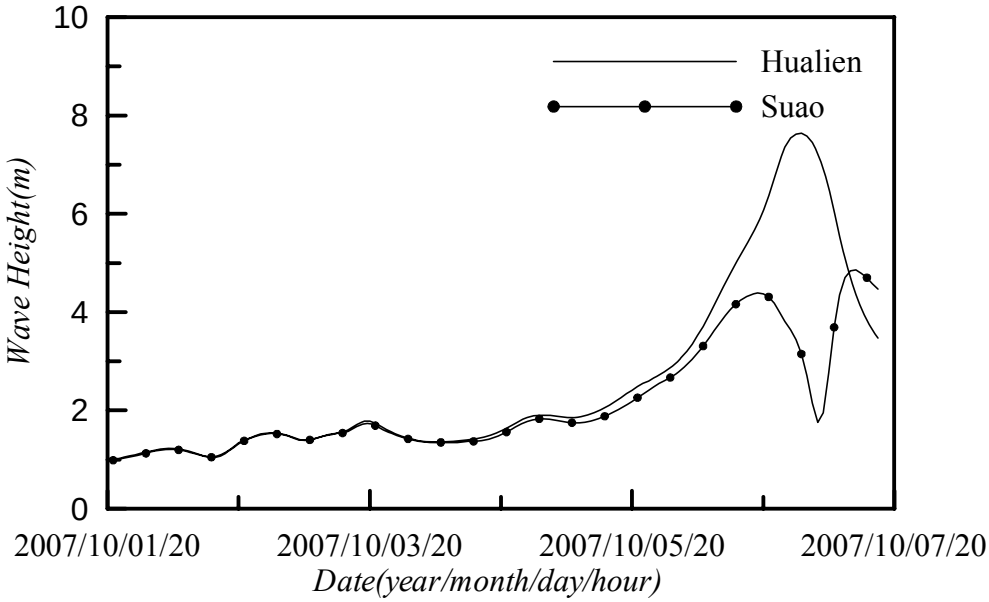


圖 3-4-42　柯羅莎颱風 10/04/14:00 花蓮及蘇澳港波高推算及預測

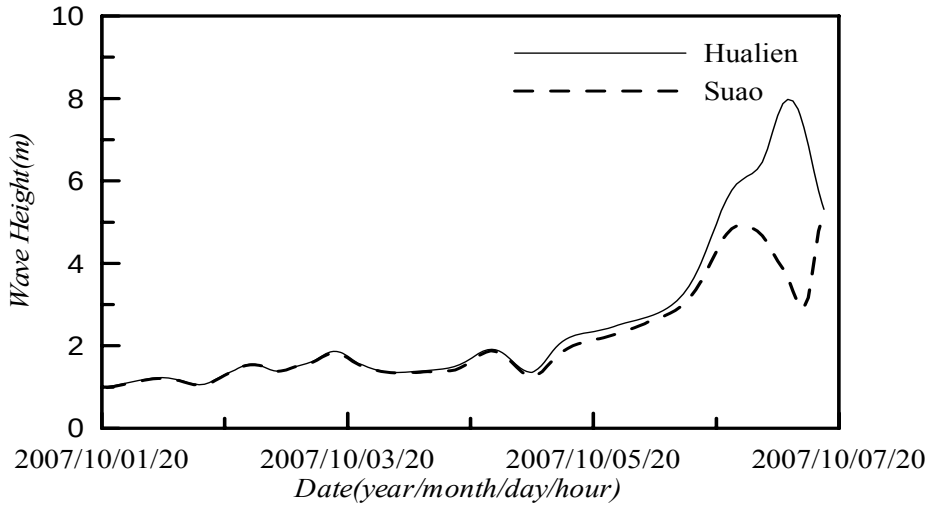


圖 3-4-43　柯羅莎颱風 10/05/14:00 花蓮及蘇澳港波高推算及預測

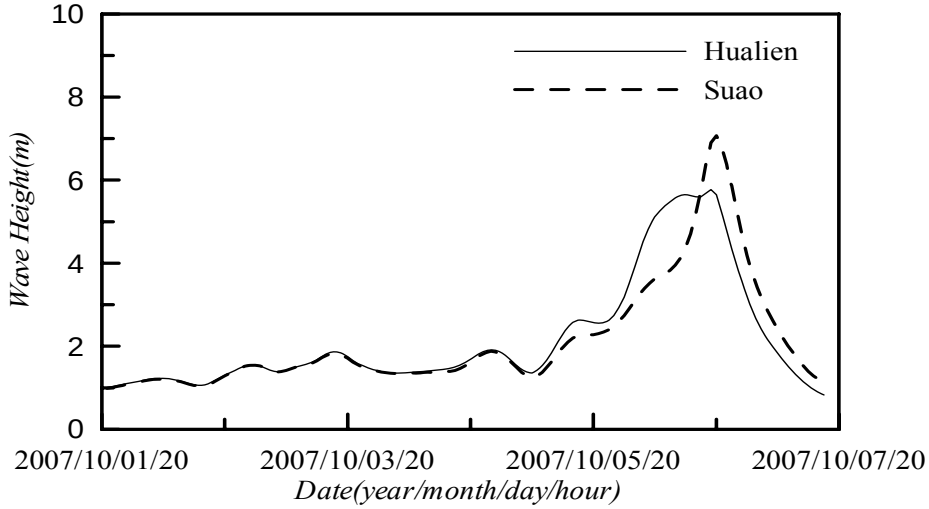


圖 3-4-44　柯羅莎颱風 10/06/14:00 花蓮及蘇澳港波高推算及預測

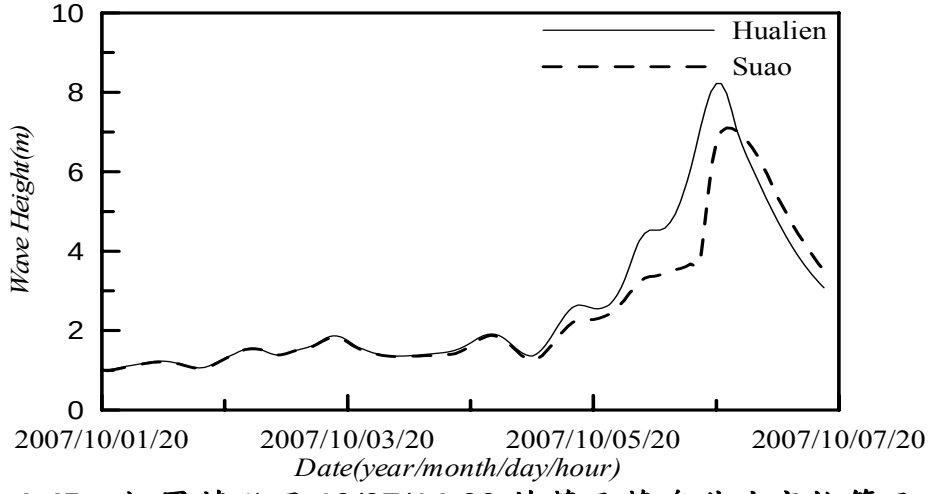


圖 3-4-45　柯羅莎颱風 10/07/14:00 花蓮及蘇澳港波高推算及預測

3.4.2.6 2007 颱風波浪之推算模式評估

針對台灣颱風預測，以目前的颱風波浪推算模式可以提供令人滿意的結果，對台灣颱風預測，颱風波浪推算模式仍然有改進空間，目前急待克服的包括增加颱風學習的事件次數與種類解決模式推算誤差。

颱風波浪模式的預測經過多次操作與測試初步可以歸納模式修正方向：

1.颱風事件分類學習：颱風波浪推算模式建立初期，受限實測資料有限，學習資料的數量較少，尤其台中港 2005 年直接影響台中港的颱風事件中僅紀錄一場完整颱風波浪資料，使的部分非學習的颱風事件在颱風風場、路徑等有極大變動的情形下產生較大的誤差。如碧利斯颱風、珊珊颱風等產生最大波浪與到達時間的誤差。

2.颱風陸地效應的修正：針對颱風以不同方向或路徑接近台灣時，台灣陸地對各類路徑颱風風場的影響應有顯著的差異，尤其台灣西部海域更加複雜，需要修正颱風與陸地影響關係提高推算的準確性。

3.修正輸入資料格式：操作者將直接由 JTWC 或 UNISYS WEATHER 發佈的颱風資料初步過濾後直接輸入，減少操作者因進行資料內差步驟時可能產生的誤差。

4.JTWC 或 UNISYS WEATHER 發佈最新颱風資料的時間不一定準時，因此使的颱風波浪預報時間相對不確定，但目前仍然可達成至少颱風未來 24 小時颱風波浪預報。

第四章 長期模擬結果分析

4.1 水位及海流模擬結果分析

4.1.1 水位分析

本年度水位長期模擬期間為 2005~2006 年，使用台灣海域水位模式配合中央氣象局 MC 風場進行長期模擬，表 4-1 為兩年度各測站 r.m.s.值統計表。圖 4-1-1 至圖 4-1-6 為兩年實測資料與模式結果作圖。測站結果於模式結果大致吻合，除基隆港差距比較大。推算出來的相關係數介於 0.7~0.8 之間，推測此部份為實測資料水準點偏移所導致，使得長期模擬的結果較作業評估來的差。此處 r.m.s.值推算方式與線上模式評估方式相同。

表 4-1 各測站 2005 及 2006 年 r.m.s.值統計(公尺)

	安平	花蓮	高雄	基隆	蘇澳	台中
2005	0.17	0.30	0.21	0.27	0.28	0.68
2006	0.17	0.21	0.18	0.24	0.19	0.72

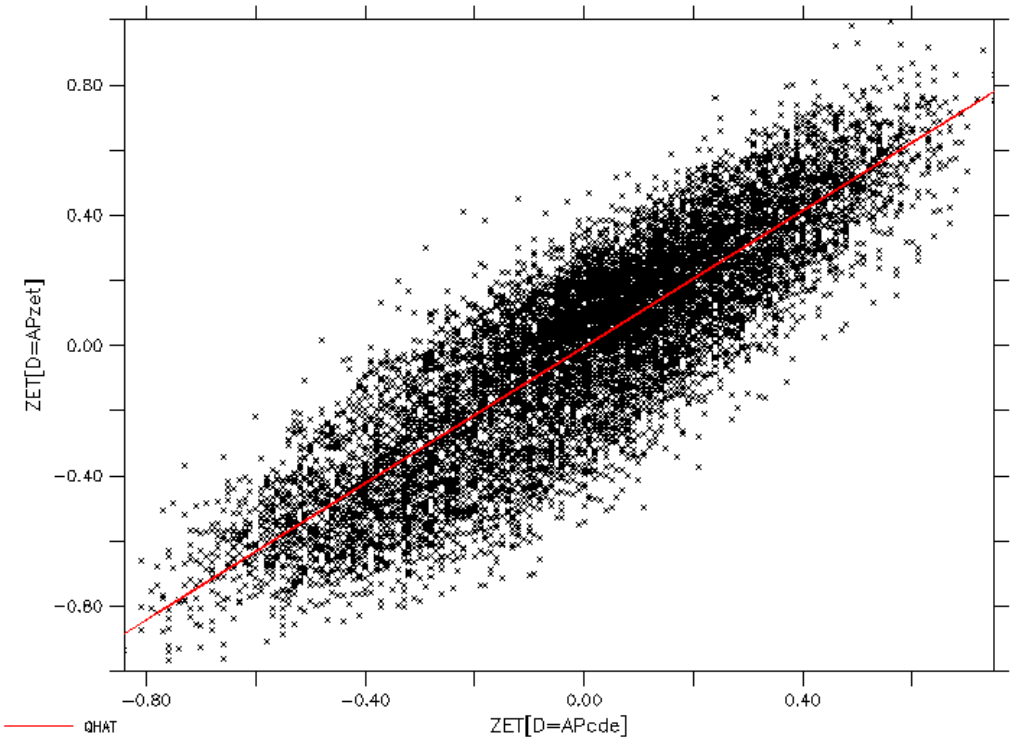


圖 4-1-1　安平模式與實測資料比對圖(x 軸為實測，y 軸為模式)

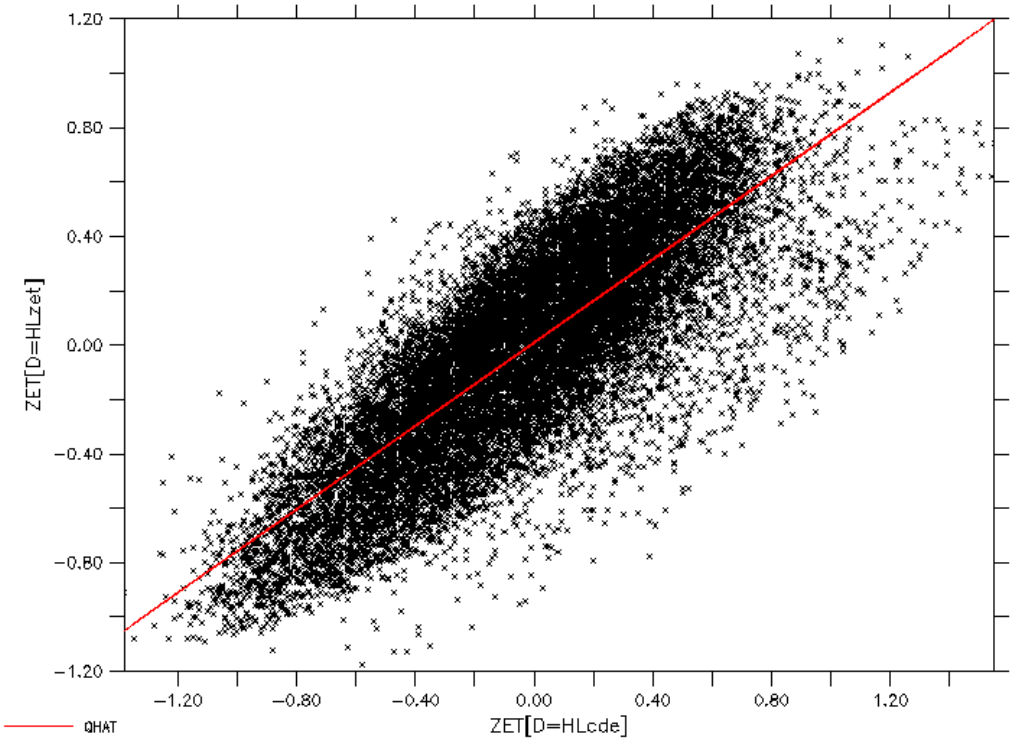


圖 4-1-2　花蓮模式與實測資料比對圖(x 軸為實測，y 軸為模式)

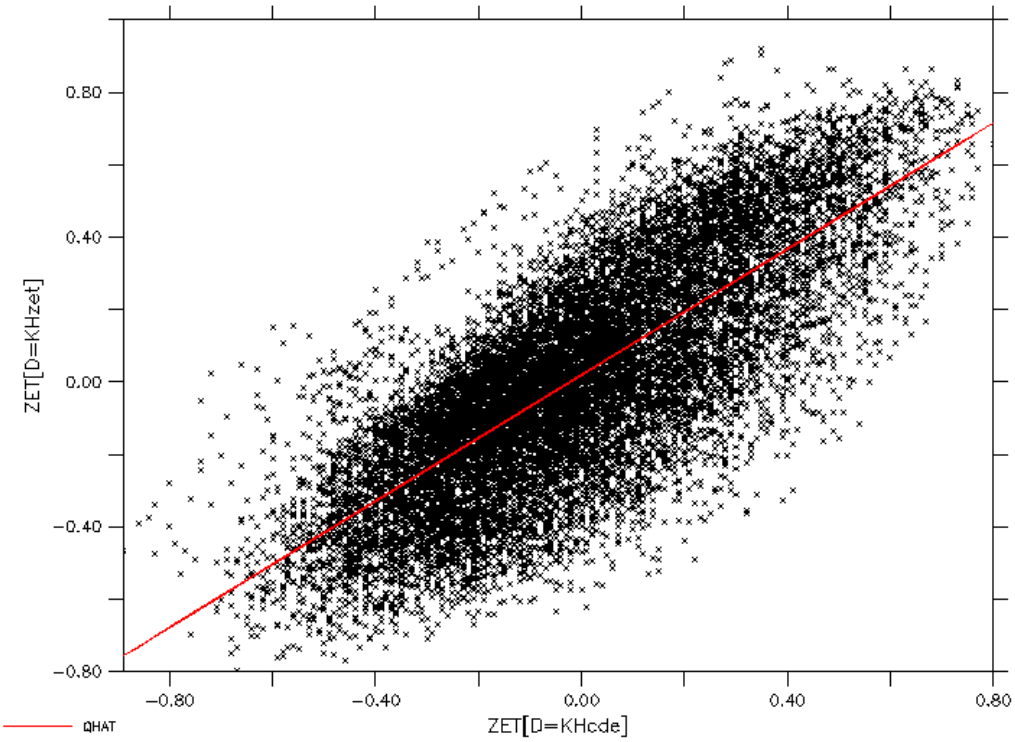


圖 4-1-3　高雄模式與實測資料比對圖(x 軸為實測，y 軸為模式)

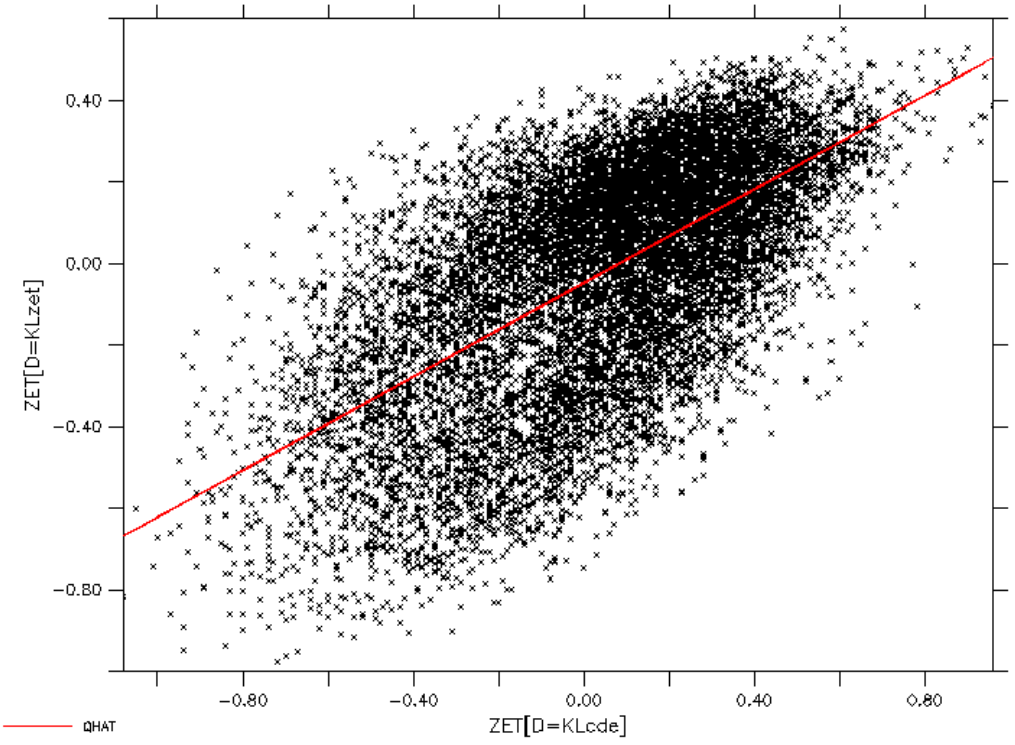


圖 4-1-4　基隆模式與實測資料比對圖(x 軸為實測，y 軸為模式)

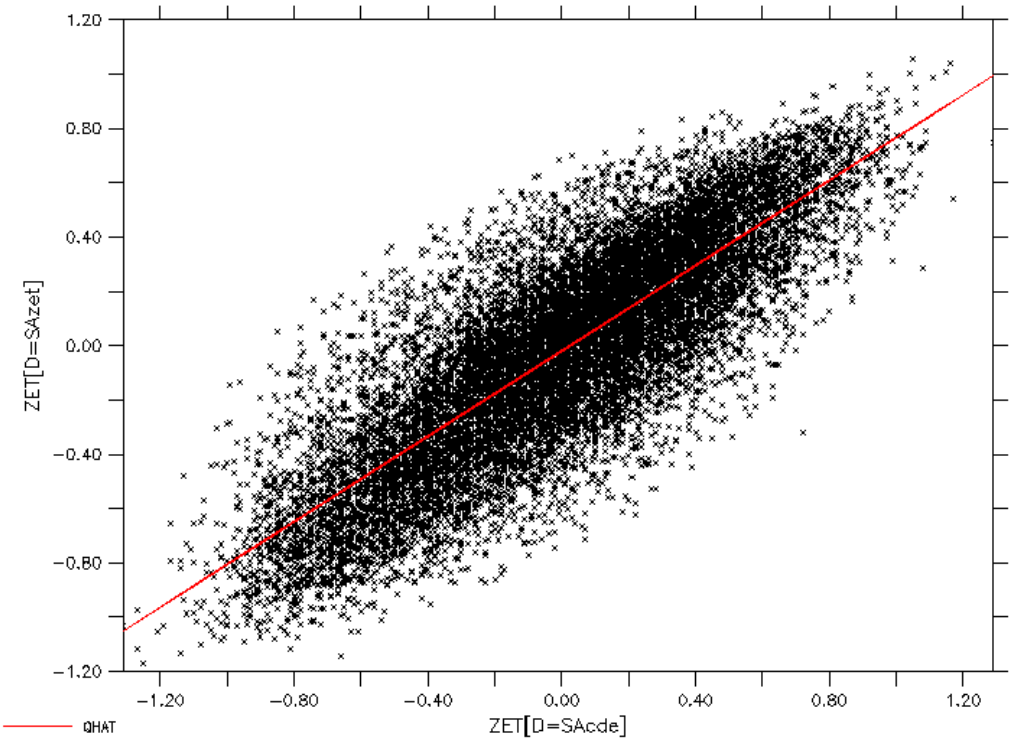


圖 4-1-5　蘇澳模式與實測資料比對圖(x 軸為實測，y 軸為模式)

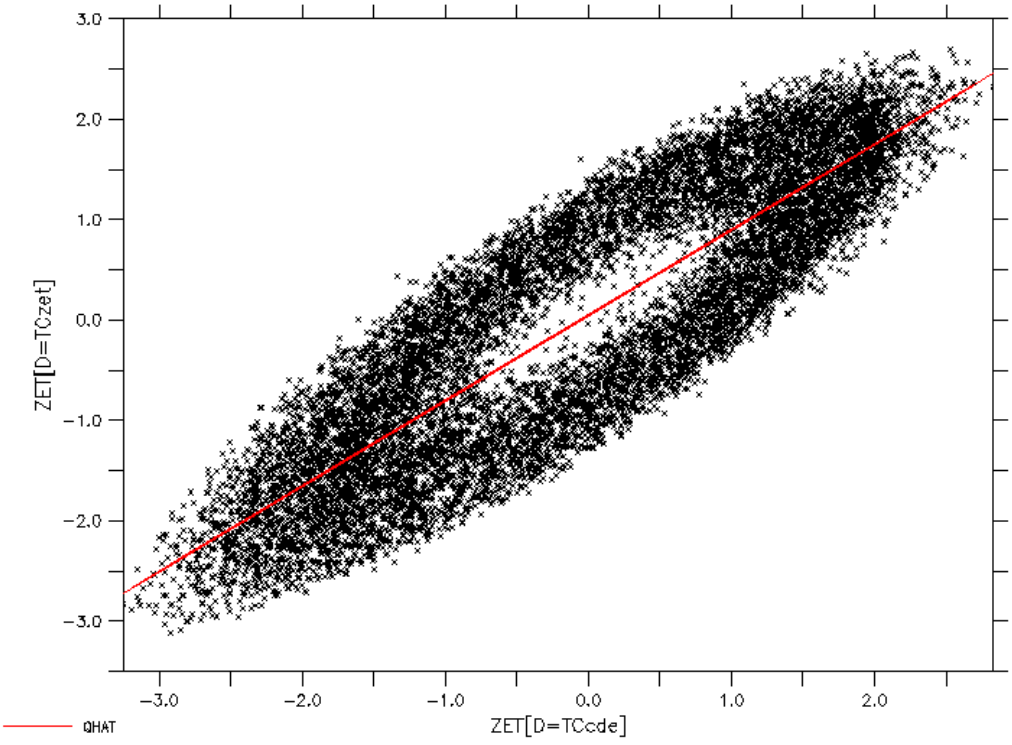


圖 4-1-6　台中模式與實測資料比對圖(x 軸為實測，y 軸為模式)

4.1.2 海流分析

本年度海流長期模擬結果為 2005~2006 年，利用台灣海域海流模式配合氣象局動態風場(MC)進行模擬，再將結果模式結果與實測資料利用調和分析，進行比對。比對分潮為四個主要全日潮 Q1、O1、P1、K1 及四個主要半日潮 N2、M2、S2、K2 等，比對結果如表 4-2 至表 4-7。分析出來的結果全日潮產生的潮流皆不大，不到 10 公分，主要的潮流成分還是以半日潮 M2 為主，流速可達 50 公分以上。

表 4-2　安平港海流調和分析結果

	觀測資料			模式結果		
安平	major	minor	phase	major	minor	Phase
Q1	0.004	-0.001	132.7	0.006	-0.001	60.25
O1	0.003	-0.007	95.03	0.035	-0.002	93.3
P1	0.02	-0.004	114.57	0.015	-0.001	145.58
K1	0.061	-0.013	144.07	0.045	-0.002	138.51
N2	0.04	0.002	186.09	0.084	0.001	191.94
M2	0.248	-0.005	211.41	0.486	0.003	222.14
S2	0.066	0.003	253.73	0.135	0.001	263.86
K2	0.023	0.003	226.71	0.053	0.001	260.7

表 4-3　花蓮港海流調和分析結果

	觀測資料			模式結果		
花蓮	major	minor	phase	major	minor	Phase
Q1	0.009	-0.001	113.47	0.001	0	2.18
O1	0.016	0.011	126.9	0.004	0.002	20.36
P1	0.021	-0.010	134.19	0.002	0.001	69.56
K1	0.014	0.004	184.58	0.005	0.002	71.31
N2	0.015	0.005	12.79	0.001	0	139.32
M2	0.083	0.028	25.74	0.006	-0.001	173.16
S2	0.020	0.005	111.92	0.002	-0.001	190.1
K2	0.013	-0.002	100.11	0.001	0	172.0

表 4-4　高雄港海流調和分析結果

	觀測資料			模式結果		
高雄	major	minor	phase	major	minor	Phase
Q1	0.013	0.003	302.83	0.001	0	120.01
O1	0.107	-0.003	345.88	0.005	0.002	303.05
P1	0.055	0.005	90.51	0.002	0.001	342.81
K1	0.139	-0.017	34.74	0.006	0.003	335.74
N2	0.023	0	274.28	0.013	0.001	153.47
M2	0.146	0.006	304.99	0.08	0.006	185.34
S2	0.043	-0.020	356.27	0.022	0.003	226.12
K2	0.014	-0.001	343.5	0.008	0.001	222.73

表 4-5　基隆港海流調和分析結果

	觀測資料			模式結果		
基隆	major	minor	Phase	major	minor	Phase
Q1	0.003	0.001	279.86	0.001	0	328.28
O1	0.017	0.001	196.53	0.041	0.001	156.33
P1	0.007	0.003	342.54	0.019	0	203.79
K1	0.018	0.003	235.01	0.056	0.001	196.72
N2	0.056	-0.012	275.20	0.092	0.002	193.86
M2	0.308	-0.046	303.61	0.527	0.008	221.07
S2	0.105	-0.012	311.56	0.172	0.003	253.67
K2	0.038	-0.007	334.03	0.068	0.001	255.31

表 4-6　蘇澳港海流調和分析結果

	觀測資料			模式結果		
蘇澳	major	minor	phase	major	minor	Phase
Q1	0.006	0.003	103.25	0.016	-0.002	9.32
O1	0.028	-0.021	247.23	0.052	-0.005	37.67
P1	0.017	-0.004	3.86	0.021	-0.002	76.27
K1	0.05	-0.012	356.79	0.062	-0.006	91.93
N2	0.018	0.001	104.91	0.032	-0.004	188.57
M2	0.105	-0.013	139.42	0.197	-0.021	220.54
S2	0.037	-0.006	176.97	0.063	-0.007	251.6
K2	0.026	-0.002	227.4	0.019	-0.002	251.96

表 4-7　台中港海流調和分析結果

	觀測資料			模式結果		
台中	major	minor	phase	major	minor	Phase
Q1	0.012	0.004	281.54	0.016	0	329.54
O1	0.054	0.009	341.37	0.075	-0.001	357.27
P1	0.028	0.006	39.89	0.030	0	57.56
K1	0.086	0.019	32.82	0.09	-0.001	50.49
N2	0.018	-0.008	143.1	0.018	-0.002	44.89
M2	0.073	-0.01	181.95	0.121	-0.012	76.57
S2	0.047	0.001	194.04	0.042	-0.002	148.49
K2	0.014	0.003	197.87	0.012	-0.001	118.6

表 4-8　台北港海流調和分析結果

	觀測資料			模式結果		
台北	major	minor	phase	major	minor	Phase
Q1	0.007	0.002	216.55	0.002	-0.001	300.8
O1	0.036	0.004	289.54	0.077	-0.009	327.02
P1	0.017	0.001	339.66	0.031	-0.003	18.85
K1	0.052	0.004	332.59	0.094	-0.009	11.78
N2	0.059	0.004	323.29	0.117	-0.002	8.67
M2	0.447	0.019	4.54	0.671	-0.017	38.07
S2	0.124	0.008	47.66	0.197	-0.002	73.48
K2	0.078	-0.001	46.6	0.078	-0.002	77.69

4.2 波浪模擬結果分析

關於波浪長期模擬這一部分，目的在進行 2005 年及 2006 年的臺灣周圍海域波浪之推算，相關之海氣象資料（風場資料、現場觀測資料）為中山團隊與港研中心所整理及提供。

波浪長期模擬所用設定參數（如地形網格、風場資料等等）皆與目前作業化之 72 小時模擬推算相同，詳細參數請參照附錄。唯一有差異之處在於，長期模擬所需之風場輸入資料長度由三日拉長至一個月。此外 SWAN 模式所用版本也由原本的 40.31G，變更成為 40.51A（設定仍維持 40.31G 之設定）。本部分推算模擬所使用的電腦基本硬體設備如表 4-2-1：

表 4-2-1 計算用硬體設備

中央處理器	記憶體	作業系統
Intel Pentium 4 3GHz	DDR 1GBytes	Linux（Fedora Core 6）

在計算時間的耗用比較上，平日 72 小時之波浪推算，其單機計算時間：WAM 模式約花費 70 分鐘左右；SWAN 模式則需要 90 分鐘左右的時間（由於 SWAN 模式疊代次數的關係，每個案例所花費之時間差異也較大）；本次長期波浪推算模擬所耗用時間參考如下圖 4-2-1，就平均計算時間而言，WAM 模式計算一整個月的波浪需要花費 395 分鐘（6.58 小時），而 SWAN 模式計算一整個月則需要花費 931 分鐘（15.52 小時）。

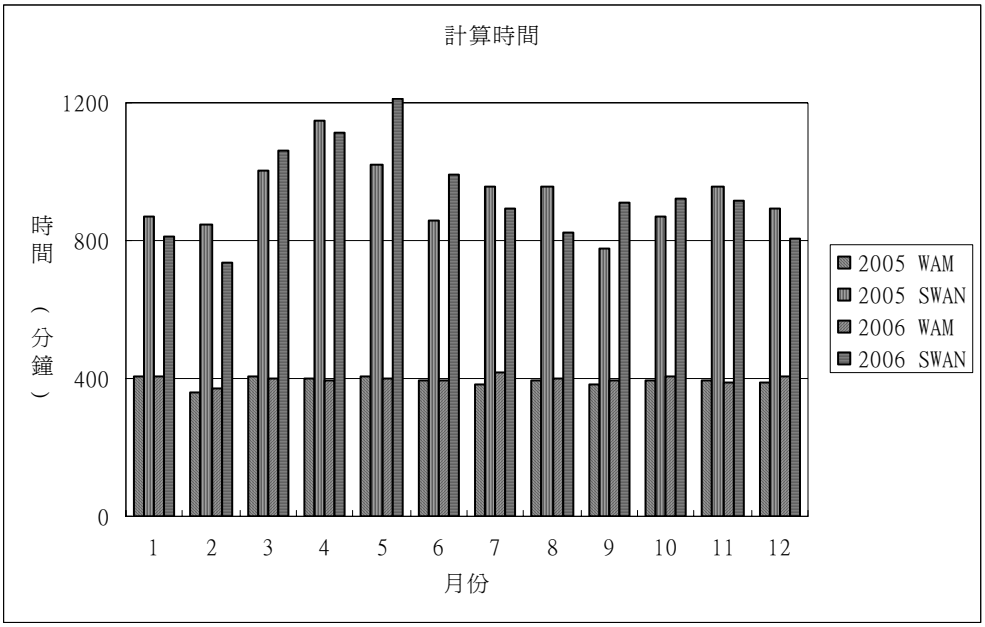


圖 4-2-1　模式 WAM 和 SWAN 計算所耗費時間

關於波浪長期模擬結果，圖 4-2-2～13 與圖 4-2-26～37 分別為 2005 年與 2006 年一至十二月 WAM 模式、SWAN 模式推算結果與實測值之示性波高 $H_{1/3}$，接著圖 4-2-14～25 與圖 4-2-38～49 分別為 2005 年與 2006 年一至十二月 WAM 模式、SWAN 模式推算結果之波浪週期（兩模式所用週期為平均週期 T_{mean}，而實測資料由於 T_{mean} 多有缺漏，改用 $T_{1/3}$ 代替）。

此外，從圖 4-2-2～49 的所有圖形中，WAM 模式資料使用藍色實線表示，SWAN 模式資料則使用紅色實線表示，實測資料則是以黑色單點表示。另外請注意到由於長期模擬推算所使用的 RC 與 MC 風場資料，其時區使用為 GMT+0 制；為了計算方便起見，不額外將風場前 8 小時資料切除，另外長期模擬為各月單獨計算結果，在計算開始沒有使用前次計算結果作為起始條件，因此可將此時段的風場資料視為起始條件。以下所有圖形的時間軸皆使用了 GMT+0 時制，另外由於實測資料則為 GMT+8 時間，因此在以下的圖形表示上，實測資料並不會由每月月初就開始繪製，會向右偏移八個時間點。

另外表 4-2-2～表 4-2-8 為 WAM 模式與 SWAN 模式推算 2005 年～2006 年兩年期間七大商港示性波高與平均週期的統計資料。關於波浪方向的推算結果，可能是推算輸出座標點位與實測座標有些許差異，因此造成兩模式推算結果與實測值之間差異甚大，因此不將波浪方向列入討論之中。

在波浪示性波高上的比較，觀察兩模式與實測資料之結果，在波高趨勢上大致相似，其中在 SWAN 模式部分，由於 SWAN 模式有預設的疊代次數上限（15 次），如果超過疊代次數上限時，計算尚未達到要求精度時，SWAN 將會直接開始下一個時間點的模擬計算，以避免浪費多餘的計算時間在前一個時間點上。因此可以在下面許多圖形中看到 SWAN 模式模擬結果常會有高低變動不平滑的情形發生；相較於 SWAN 模式，WAM 模式就沒有此種問題。要避免此現象的發生，可能得需要調整疊代次數上限或是縮短計算時間間格等方式。

就相同一個月份的資料來比較時，可以發現台中港港區之模式推算結果與實測資料差異量較其他六個港區來得多，推估原因可能為台中港區的水位變動程度與其他六港相差較大，未來考慮在推算模式中加入水位變化值，或許可以減少其間差異。

此外，在颱風季節時的示性波高結果方面，雖然部分的模擬結果可達到實測值附近，但是在模擬結果最高值發生之時間點，往往會較與實測值最高值發生時間點來得提早；若是颱風發生在計算初期（月初）時，由於沒有使用中繼檔作為起始條件，其波高推算值往往都低於實測值。

另外在 2005 年十一月份的模擬結果中，約從十二日開始，WAM 與 SWAN 兩模式所推算的結果，可以看到突然發生大幅度地增加，經比對中央氣象局颱風歷史資料庫，該時段內並無颱風侵襲臺灣周圍，造成此異常抬升現象的原因不明。

整體而言，在七個港區中，由於安平港與高雄港位處於臺灣西南部，在不考慮颱風侵襲的情況下，其常時吹風風力均不大，因此在 WAM 與 SWAN 兩模式所模擬推算之結果中，WAM 模式雖然會略高

於 SWAM 模式結果，但兩模式間差異不大；除了前述的安平港與高雄港以外，其他港區的 WAM 模式的示性波高結果平均值都略小於 SWAN 模式結果。另外，兩模式的示性波高之年平均值範圍落在 0.647m～1.366m 之間，但在季風或颱風作用期間，部分港區的最大示性波高會出現 6m 以上甚至到達 10m 程度的示性波高。

關於波浪平均週期上的比較，參考表 4-2-2～表 4-2-8 資料可知，WAM 模式所推算出的 T_{mean} 都比 SWAN 模式所得的 T_{mean} 高出約 2 秒以上。

未來在提升長期波浪模擬推算的精確度（不考慮計算時間），建議變更目前運作的設定參數以提升精度，相關參數如：波浪頻率與方向個數、更細密的地形網格與模擬時間間隔縮短等。另外，目前實測值資料的位置多在港區以外，而兩模式輸出的七港資料位置，大多位在港區內。是否該改取與實測位置座標相同的推算值，可能會有較佳的精度。

表 4-2-2　基隆港 WAM 模式與 SWAN 模式模擬結果統計

WAM	示性波高	(m)		平均週期	(s)		SWAN	示性波高	(m)		平均週期	(s)	
基隆	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	基隆	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值
200501	0.397	1.349	2.499	3.685	5.882	7.280	200501	0.241	1.471	3.166	1.998	3.962	5.904
200502	0.439	1.405	3.551	3.623	6.025	8.672	200502	0.394	1.425	3.311	1.790	3.799	5.999
200503	0.346	1.241	3.459	3.549	5.796	8.658	200503	0.417	1.642	3.775	2.049	3.959	6.596
200504	0.363	0.800	1.512	3.544	5.113	7.514	200504	0.218	0.916	2.704	1.616	3.403	7.140
200505	0.248	0.692	1.653	3.257	4.875	6.493	200505	0.126	0.648	1.429	1.327	3.139	5.846
200506	0.219	0.604	1.354	2.850	5.336	8.166	200506	0.217	0.695	1.778	1.507	2.596	4.336
200507	0.186	0.991	6.008	3.792	5.644	9.559	200507	0.253	0.957	6.097	1.678	2.926	5.823
200508	0.139	0.956	8.130	2.637	5.128	11.791	200508	0.171	0.894	4.173	1.131	2.664	5.093
200509	0.484	1.182	3.960	3.804	5.890	10.356	200509	0.649	1.504	4.457	2.407	3.844	10.285
200510	0.588	1.483	6.719	4.006	5.975	10.549	200510	0.668	1.563	4.253	2.578	3.904	9.539
200511	0.304	1.424	6.950	3.248	5.953	11.927	200511	0.305	1.809	4.530	1.768	4.094	7.708
200512	0.391	1.741	3.679	3.692	6.497	8.885	200512	0.739	2.252	4.705	2.565	4.450	6.335
200601	0.592	1.533	3.955	4.124	6.218	9.083	200601	0.746	1.642	3.789	2.372	4.119	7.871
200602	0.490	1.653	3.980	3.933	6.358	9.003	200602	0.594	1.792	3.977	2.340	4.122	6.233
200603	0.411	1.136	4.233	3.878	5.597	9.277	200603	0.268	1.343	3.685	1.568	3.669	8.300
200604	0.299	0.895	2.189	3.360	5.208	7.224	200604	0.088	0.856	2.550	1.188	3.249	5.100
200605	0.302	0.763	2.287	3.215	4.868	6.972	200605	0.121	0.713	1.616	1.264	2.789	4.994
200606	0.262	0.516	1.285	3.097	4.681	7.102	200606	0.164	0.584	1.120	1.333	2.359	4.430
200607	0.319	1.124	5.226	3.440	6.113	11.102	200607	0.184	1.001	3.721	1.426	2.715	4.839
200608	0.128	0.663	3.515	2.926	4.948	10.191	200608	0.059	0.772	3.629	1.092	2.936	10.446
200609	0.228	0.997	3.355	2.889	5.637	8.922	200609	0.158	0.995	2.562	1.328	3.306	6.238
200610	0.504	1.102	1.858	3.882	5.315	7.256	200610	0.671	1.381	3.374	2.669	3.589	5.026
200611	0.511	1.064	2.083	3.825	5.630	8.533	200611	0.543	1.243	2.831	2.461	3.536	5.535
200612	0.777	1.712	3.273	4.682	6.287	8.327	200612	0.992	2.093	4.314	3.017	4.202	5.534
平均	0.372	1.126	3.613	3.539	5.624	8.868	平均	0.374	1.258	3.398	1.853	3.472	6.465

表 4-2-3　台北港 WAM 模式與 SWAN 模式模擬結果統計

WAM	示性波高	(m)		平均週期	(s)		SWAN	示性波高	(m)		平均週期	(s)	
台北	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	台北	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值
200501	0.305	1.126	2.123	3.501	5.558	6.575	200501	0.146	1.317	2.958	1.460	3.571	6.002
200502	0.207	1.118	2.839	2.744	5.577	8.002	200502	0.398	1.367	3.261	2.009	3.620	5.696
200503	0.039	0.920	3.053	2.090	5.461	8.182	200503	0.492	1.489	3.611	2.034	3.639	6.155
200504	0.076	0.546	1.589	2.116	4.345	6.199	200504	0.329	0.961	2.561	2.250	3.369	5.754
200505	0.198	0.615	1.442	3.070	4.800	6.585	200505	0.280	0.782	1.506	1.807	3.292	5.475
200506	0.249	0.674	1.598	3.475	4.834	7.180	200506	0.431	1.009	2.062	2.270	3.250	5.008
200507	0.204	0.705	4.742	2.719	4.945	8.009	200507	0.335	1.088	5.284	1.867	3.246	6.877
200508	0.108	0.713	3.896	2.286	4.962	7.956	200508	0.308	1.159	4.263	0.974	3.077	5.003
200509	0.119	0.753	2.849	2.222	5.334	10.119	200509	0.675	1.478	4.303	2.426	3.795	9.747
200510	0.422	1.151	3.696	3.472	5.379	7.516	200510	0.668	1.493	4.474	2.433	3.687	8.564
200511	0.087	1.110	6.883	2.440	5.504	11.687	200511	0.264	1.663	4.556	1.569	3.756	6.366
200512	0.316	1.419	2.976	3.535	5.935	8.210	200512	0.660	2.153	4.724	2.316	4.142	5.810
200601	0.259	1.179	3.415	3.091	5.596	8.604	200601	0.648	1.582	3.384	2.373	3.804	7.536
200602	0.061	1.342	3.480	2.855	5.936	8.513	200602	0.634	1.662	3.844	2.264	3.763	5.675
200603	0.078	0.820	3.747	2.331	5.164	8.826	200603	0.206	1.271	3.320	1.555	3.441	8.152
200604	0.104	0.729	1.962	2.450	4.832	6.797	200604	0.239	0.913	2.513	1.774	3.237	5.186
200605	0.085	0.722	3.731	2.760	5.019	9.823	200605	0.213	0.821	1.871	1.669	2.951	4.706
200606	0.113	0.652	2.279	2.426	4.599	6.781	200606	0.323	0.863	2.642	1.785	2.889	4.858
200607	0.177	0.841	3.078	2.758	5.277	8.212	200607	0.401	1.333	3.874	1.026	3.167	5.074
200608	0.165	0.534	2.489	2.327	5.121	9.952	200608	0.259	1.003	3.575	1.996	3.282	9.430
200609	0.314	0.842	2.941	3.499	5.052	8.334	200609	0.337	1.044	3.592	1.905	3.258	5.563
200610	0.302	0.848	1.589	3.264	4.634	6.744	200610	0.618	1.281	3.247	2.482	3.351	4.645
200611	0.176	0.813	1.668	2.647	5.221	8.495	200611	0.598	1.219	2.866	2.323	3.326	4.794
200612	0.464	1.391	2.552	4.040	5.688	7.415	200612	0.946	1.928	3.777	2.202	3.833	5.016
平均	0.193	0.898	2.942	2.838	5.199	8.113	平均	0.434	1.287	3.419	1.949	3.448	6.129

表 4-2-4　蘇澳港 WAM 模式與 SWAN 模式模擬結果統計

WAM	示性波高	(m)		平均週期	(s)		SWAN	示性波高	(m)		平均週期	(s)	
蘇澳	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	蘇澳	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值
200501	0.453	1.315	2.368	3.785	5.986	7.551	200501	0.388	1.540	3.126	2.290	3.903	5.449
200502	0.473	1.382	3.397	3.765	6.149	8.796	200502	0.465	1.419	2.951	2.077	3.635	4.839
200503	0.427	1.260	3.274	3.873	5.895	8.730	200503	0.383	1.686	3.799	2.080	3.854	5.784
200504	0.462	0.866	1.515	3.795	5.252	8.233	200504	0.369	0.912	2.788	2.093	3.167	4.766
200505	0.358	0.721	1.518	3.869	5.019	6.486	200505	0.160	0.674	1.769	1.371	2.906	4.667
200506	0.440	0.832	1.454	3.824	5.739	8.332	200506	0.403	1.030	2.010	1.869	3.217	4.725
200507	0.365	1.209	10.135	3.462	5.404	12.662	200507	0.234	0.881	4.505	1.662	2.831	5.017
200508	0.220	1.159	8.273	3.114	5.514	11.954	200508	0.276	1.085	4.348	1.845	3.082	6.368
200509	0.553	1.254	4.215	4.047	6.308	10.394	200509	0.571	1.463	4.330	2.320	3.692	8.403
200510	0.612	1.467	7.295	4.223	6.134	10.928	200510	0.651	1.529	3.765	2.555	3.654	6.755
200511	0.371	1.406	5.762	3.531	6.101	11.991	200511	0.422	1.885	4.528	2.222	3.837	6.315
200512	0.395	1.729	3.582	4.051	6.651	9.015	200512	0.826	2.271	5.467	2.739	4.437	6.941
200601	0.632	1.513	3.694	4.347	6.372	9.152	200601	0.636	1.626	3.879	2.645	3.904	6.013
200602	0.585	1.608	3.715	4.131	6.471	9.060	200602	0.466	1.845	4.061	2.154	4.097	5.938
200603	0.592	1.162	3.920	3.858	5.716	9.379	200603	0.235	1.364	3.905	1.790	3.457	5.697
200604	0.372	0.968	1.996	3.804	5.339	7.325	200604	0.126	0.928	2.624	1.229	3.131	5.125
200605	0.403	0.863	2.354	3.377	5.179	8.282	200605	0.217	0.777	2.068	1.475	2.772	4.182
200606	0.432	0.721	1.381	3.835	5.069	8.057	200606	0.268	0.826	2.386	1.584	2.760	4.353
200607	0.483	1.409	4.961	3.995	6.412	11.353	200607	0.214	1.064	3.078	1.526	3.002	5.934
200608	0.200	0.730	3.104	3.718	5.298	10.258	200608	0.160	0.814	2.259	1.567	2.916	7.578
200609	0.256	1.014	3.872	3.685	5.826	9.553	200609	0.363	1.028	2.664	1.783	3.104	4.650
200610	0.531	1.092	2.149	4.004	5.488	7.790	200610	0.714	1.389	3.152	2.723	3.542	5.000
200611	0.568	1.073	2.332	3.982	5.753	8.825	200611	0.525	1.246	2.992	2.456	3.428	4.816
200612	0.788	1.683	3.230	4.682	6.473	8.462	200612	0.804	2.146	4.663	2.970	4.415	6.520
平均	0.457	1.185	3.729	3.865	5.815	9.274	平均	0.412	1.309	3.380	2.043	3.448	5.660

表 4-2-5　台中港 WAM 模式與 SWAN 模式模擬結果統計

WAM	示性波高	(m)		平均週期	(s)		SWAN	示性波高	(m)		平均週期	(s)	
台中	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	台中	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值
200501	0.218	1.178	2.062	3.352	5.429	6.606	200501	0.084	1.350	3.148	1.269	3.452	5.368
200502	0.183	1.156	2.842	2.609	5.409	7.543	200502	0.228	1.286	2.951	1.589	3.391	5.227
200503	0.041	0.995	3.199	2.081	5.202	7.880	200503	0.252	1.402	3.404	1.541	3.435	5.451
200504	0.067	0.581	1.328	2.087	4.242	6.191	200504	0.404	0.901	2.585	2.137	3.194	4.988
200505	0.240	0.686	1.589	3.116	4.903	6.389	200505	0.309	0.756	1.587	1.809	3.061	5.672
200506	0.470	0.863	1.723	4.091	5.047	6.383	200506	0.532	1.061	2.217	2.448	3.178	4.346
200507	0.254	0.950	6.186	3.271	5.342	9.092	200507	0.384	1.086	4.447	2.061	3.281	6.555
200508	0.131	0.908	4.720	2.652	5.274	8.431	200508	0.370	1.205	4.358	1.569	3.161	5.548
200509	0.132	0.859	3.119	3.772	6.011	10.858	200509	0.448	1.371	3.420	1.564	3.508	9.158
200510	0.483	1.304	4.618	3.654	5.282	8.228	200510	0.606	1.451	3.660	2.294	3.576	7.236
200511	0.062	1.181	6.499	2.350	5.347	11.641	200511	0.202	1.605	5.298	1.535	3.591	6.460
200512	0.354	1.504	3.000	3.558	5.697	7.930	200512	0.641	1.928	4.946	2.343	3.968	6.410
200601	0.302	1.252	3.399	3.285	5.391	8.225	200601	0.449	1.564	3.412	1.976	3.766	5.796
200602	0.170	1.465	3.569	3.007	5.748	8.174	200602	0.506	1.709	3.916	2.164	3.750	5.973
200603	0.109	0.864	3.909	2.141	4.971	8.541	200603	0.198	1.215	3.472	1.452	3.294	6.715
200604	0.107	0.754	2.036	2.754	4.795	6.571	200604	0.273	0.865	2.889	1.639	3.032	4.988
200605	0.200	0.890	5.557	3.010	5.245	11.726	200605	0.202	0.816	2.789	1.499	2.808	4.325
200606	0.177	0.781	2.283	2.532	4.828	7.978	200606	0.301	0.917	3.037	1.793	2.925	4.614
200607	0.214	1.193	4.252	3.014	5.681	8.655	200607	0.372	1.398	4.074	1.358	3.409	6.011
200608	0.181	0.741	1.789	3.569	5.882	10.093	200608	0.362	0.988	2.934	2.077	3.192	8.974
200609	0.400	0.959	3.293	3.631	5.191	8.379	200609	0.287	0.963	3.071	1.758	3.144	5.698
200610	0.349	1.032	1.812	3.362	4.648	6.261	200610	0.565	1.261	3.225	2.284	3.277	4.995
200611	0.230	0.912	1.860	2.774	5.153	8.175	200611	0.520	1.197	3.387	2.206	3.185	4.784
200612	0.560	1.545	2.781	3.900	5.631	7.256	200612	0.840	1.955	3.834	2.217	3.938	5.778
平均	0.235	1.023	3.226	3.065	5.265	8.217	平均	0.389	1.260	3.419	1.858	3.355	5.878

表 4-2-6　花蓮港 WAM 模式與 SWAN 模式模擬結果統計

WAM	示性波高	(m)		平均週期	(s)		SWAN	示性波高	(m)		平均週期	(s)	
花蓮	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	花蓮	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值
200501	0.452	1.079	1.795	3.861	5.944	7.790	200501	0.509	1.608	3.116	2.242	3.872	5.500
200502	0.473	1.132	2.594	3.811	6.138	8.555	200502	0.376	1.450	3.076	1.988	3.634	5.230
200503	0.441	1.083	2.501	3.886	5.957	8.486	200503	0.429	1.690	3.927	2.060	3.879	6.091
200504	0.447	0.800	1.497	3.868	5.357	8.628	200504	0.362	0.925	2.797	2.175	3.089	4.577
200505	0.330	0.617	1.209	3.720	4.962	6.270	200505	0.228	0.770	2.304	1.641	2.902	4.777
200506	0.399	0.815	1.372	3.912	5.479	8.460	200506	0.488	1.196	2.406	2.149	3.333	4.767
200507	0.353	1.121	8.344	3.734	5.412	12.896	200507	0.229	0.935	4.635	1.746	2.934	5.216
200508	0.152	1.068	5.992	3.163	5.616	11.791	200508	0.308	1.234	4.513	2.012	3.249	6.534
200509	0.546	1.118	3.806	4.076	6.617	10.755	200509	0.519	1.440	4.208	1.655	3.619	8.046
200510	0.560	1.247	5.739	4.314	6.126	11.250	200510	0.635	1.558	4.139	2.538	3.705	6.753
200511	0.386	1.219	3.379	4.052	6.240	11.878	200511	0.412	1.900	4.969	2.103	4.021	6.778
200512	0.382	1.467	2.819	4.316	6.605	8.915	200512	0.739	2.321	5.909	2.651	4.487	7.213
200601	0.584	1.266	2.638	4.182	6.405	8.562	200601	0.556	1.638	4.008	2.393	3.848	6.289
200602	0.537	1.325	2.830	4.219	6.432	8.477	200602	0.438	1.880	4.372	2.190	4.095	6.165
200603	0.531	1.002	2.708	3.998	5.817	8.875	200603	0.240	1.371	4.009	1.619	3.438	6.448
200604	0.380	0.828	1.370	3.638	5.267	6.937	200604	0.332	0.985	2.809	1.968	3.105	5.278
200605	0.269	0.764	2.216	3.629	5.257	8.778	200605	0.234	0.851	2.248	1.648	2.802	4.574
200606	0.376	0.721	1.773	3.796	4.923	7.414	200606	0.276	0.921	3.091	1.812	2.831	4.806
200607	0.460	1.327	4.458	4.002	6.454	11.459	200607	0.246	1.207	3.755	1.808	3.155	6.224
200608	0.171	0.674	2.554	3.886	5.577	10.125	200608	0.274	0.899	2.147	1.687	3.045	8.700
200609	0.170	0.837	3.524	3.635	5.760	9.607	200609	0.347	1.099	2.687	2.049	3.188	5.049
200610	0.525	0.987	2.226	4.246	5.595	8.295	200610	0.738	1.427	3.061	2.697	3.566	4.865
200611	0.597	0.948	2.126	4.059	5.834	9.447	200611	0.509	1.256	3.230	2.374	3.380	4.775
200612	0.750	1.473	2.794	4.668	6.597	8.303	200612	0.682	2.213	5.130	2.829	4.552	6.730
平均	0.428	1.038	3.011	3.944	5.849	9.248	平均	0.421	1.366	3.606	2.085	3.489	5.891

表 4-2-7　安平港 WAM 模式與 SWAN 模式模擬結果統計

WAM	示性波高	(m)		平均週期	(s)		SWAN	示性波高	(m)		平均週期	(s)	
安平	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	安平	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值
200501	0.205	0.793	1.710	3.314	5.052	6.690	200501	0.105	0.702	1.952	1.523	2.573	4.035
200502	0.118	0.741	1.613	2.955	5.184	7.570	200502	0.185	0.637	1.654	1.425	2.530	3.750
200503	0.158	0.750	2.061	2.995	5.054	7.631	200503	0.220	0.735	2.773	1.497	2.567	4.447
200504	0.099	0.468	1.156	2.789	4.277	5.810	200504	0.179	0.542	1.394	1.524	2.405	3.677
200505	0.236	0.592	1.499	3.057	4.949	6.491	200505	0.160	0.636	2.144	1.390	2.771	4.412
200506	0.414	0.933	1.752	4.240	5.306	6.614	200506	0.386	0.979	1.971	1.917	3.161	4.149
200507	0.227	1.042	5.907	3.436	5.623	9.669	200507	0.220	1.090	4.495	1.590	3.286	5.314
200508	0.197	1.037	4.778	2.672	5.393	9.619	200508	0.265	1.277	5.010	1.663	3.368	6.219
200509	0.328	0.807	2.688	3.572	6.018	10.095	200509	0.194	0.978	2.624	1.667	2.994	5.536
200510	0.326	0.826	3.357	3.680	5.229	8.567	200510	0.142	0.747	3.480	1.435	2.643	4.454
200511	0.127	0.746	4.249	2.941	5.135	10.619	200511	0.125	0.654	2.712	1.404	2.407	4.708
200512	0.272	1.048	2.574	3.327	5.442	7.483	200512	0.193	0.810	2.418	1.529	2.624	4.463
200601	0.228	0.846	1.935	3.282	5.128	7.471	200601	0.202	0.743	1.971	1.529	2.660	4.122
200602	0.299	0.953	2.131	3.289	5.535	7.908	200602	0.258	0.809	2.112	1.567	2.686	4.174
200603	0.208	0.649	2.047	3.219	4.827	8.406	200603	0.146	0.641	2.088	1.395	2.438	4.216
200604	0.250	0.586	1.260	2.848	4.682	6.777	200604	0.141	0.598	1.229	1.408	2.553	3.843
200605	0.229	0.861	5.603	3.033	5.324	11.688	200605	0.169	0.738	3.829	1.513	2.565	4.357
200606	0.215	0.858	3.017	2.887	5.054	8.000	200606	0.337	0.940	2.861	1.923	3.121	4.884
200607	0.302	1.286	4.241	3.345	6.038	9.142	200607	0.322	1.522	5.184	1.947	3.914	7.382
200608	0.400	0.868	1.931	3.735	6.161	9.370	200608	0.438	1.026	2.150	1.871	3.336	4.953
200609	0.341	0.711	1.781	3.997	5.310	8.500	200609	0.237	0.660	2.023	1.585	2.548	4.161
200610	0.200	0.691	1.651	3.264	4.934	9.024	200610	0.160	0.578	1.870	1.456	2.427	3.842
200611	0.261	0.662	1.576	3.131	5.016	8.008	200611	0.198	0.610	1.568	1.470	2.338	3.415
200612	0.423	0.979	2.046	3.335	5.696	7.279	200612	0.313	0.877	2.429	1.775	2.813	4.420
平均	0.253	0.822	2.607	3.264	5.265	8.268	平均	0.221	0.814	2.581	1.583	2.780	4.539

表 4-2-8　高雄港 WAM 模式與 SWAN 模式模擬結果統計

WAM	示性波高	(m)		平均週期	(s)		SWAN	示性波高	(m)		平均週期	(s)	
高雄	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	高雄	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值
200501	0.189	0.484	1.087	2.886	4.222	6.023	200501	0.184	0.523	1.710	1.470	2.356	4.029
200502	0.097	0.489	0.976	2.571	4.556	6.082	200502	0.132	0.491	1.361	1.292	2.347	3.685
200503	0.186	0.521	1.449	3.096	4.492	6.316	200503	0.101	0.494	2.252	1.355	2.341	4.313
200504	0.082	0.374	0.917	2.650	4.329	7.475	200504	0.117	0.411	1.228	1.381	2.214	3.740
200505	0.232	0.547	1.532	3.047	4.824	6.450	200505	0.119	0.608	1.655	1.333	2.887	4.284
200506	0.339	0.923	1.843	4.344	5.380	6.631	200506	0.262	0.898	1.753	1.823	3.366	4.329
200507	0.186	0.991	6.008	3.792	5.644	9.559	200507	0.195	1.054	5.176	1.632	3.352	6.567
200508	0.195	1.033	4.829	2.959	5.379	9.765	200508	0.096	1.126	4.040	1.250	3.389	6.564
200509	0.208	0.762	2.395	3.051	5.904	9.857	200509	0.199	0.759	2.772	1.650	2.908	5.598
200510	0.189	0.500	2.321	2.807	4.437	6.809	200510	0.103	0.490	3.931	1.327	2.343	5.162
200511	0.152	0.496	2.485	2.632	4.349	9.953	200511	0.121	0.412	2.277	1.278	2.065	4.490
200512	0.234	0.675	1.860	2.880	4.640	6.689	200512	0.108	0.565	2.153	1.286	2.298	4.204
200601	0.186	0.551	1.156	3.149	4.503	5.808	200601	0.158	0.523	1.555	1.424	2.371	4.001
200602	0.280	0.617	1.371	3.054	4.599	5.941	200602	0.139	0.514	1.763	1.311	2.385	4.098
200603	0.228	0.477	1.288	4.486	3.085	5.886	200603	0.107	0.435	1.863	1.375	2.190	4.098
200604	0.239	0.486	0.986	2.818	4.452	6.379	200604	0.120	0.503	1.129	1.391	2.492	4.017
200605	0.235	0.811	5.284	2.734	5.255	11.623	200605	0.149	0.683	4.214	1.335	2.607	5.919
200606	0.231	0.874	3.029	3.049	5.048	7.937	200606	0.265	0.863	2.668	1.802	3.175	5.011
200607	0.323	1.253	4.230	3.328	6.047	9.187	200607	0.283	1.424	5.210	1.806	3.986	7.037
200608	0.391	0.865	1.902	3.661	6.142	9.269	200608	0.200	0.973	2.221	1.350	3.343	4.779
200609	0.271	0.562	1.330	3.466	4.966	8.001	200609	0.084	0.511	2.004	1.218	2.480	4.670
200610	0.121	0.423	1.599	3.099	4.483	9.799	200610	0.119	0.385	0.973	1.419	2.159	3.660
200611	0.247	0.526	1.528	3.112	4.726	9.708	200611	0.124	0.350	0.796	1.365	2.031	3.248
200612	0.223	0.632	1.512	2.741	4.708	7.099	200612	0.183	0.526	1.952	1.375	2.432	4.276
平均	0.219	0.661	2.205	3.142	4.840	7.844	平均	0.153	0.647	2.361	1.427	2.647	4.657

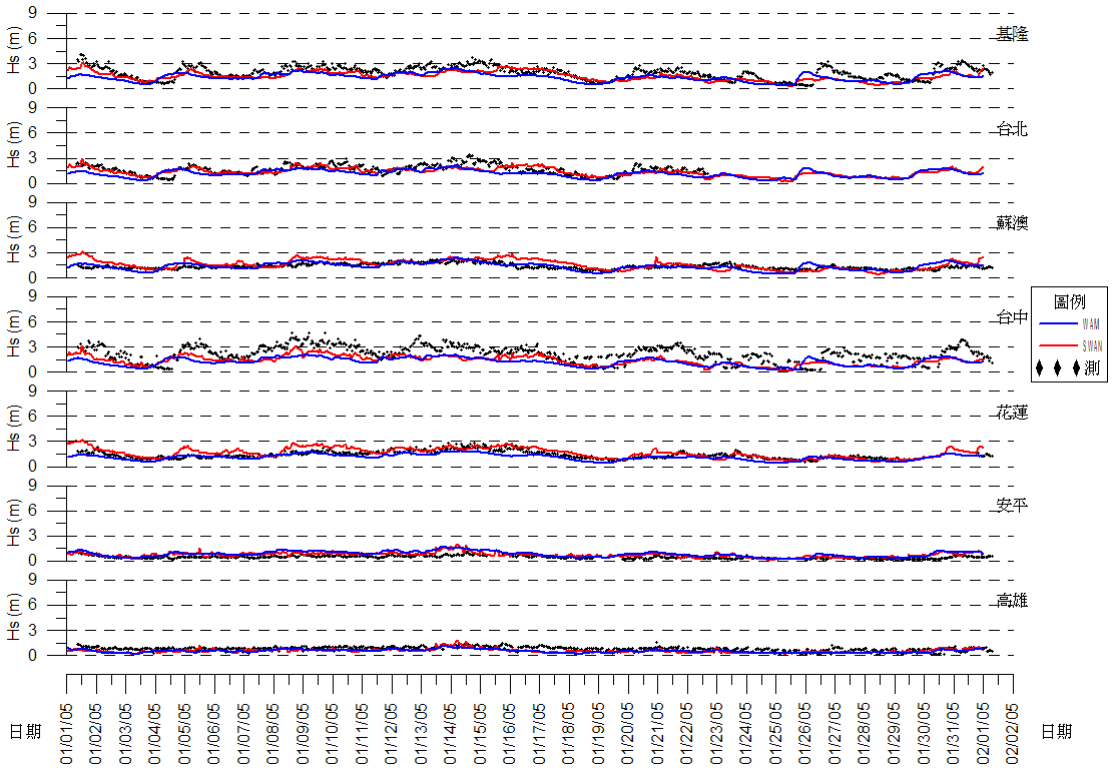


圖 4-2-2　2005 年 1 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(示性波高)

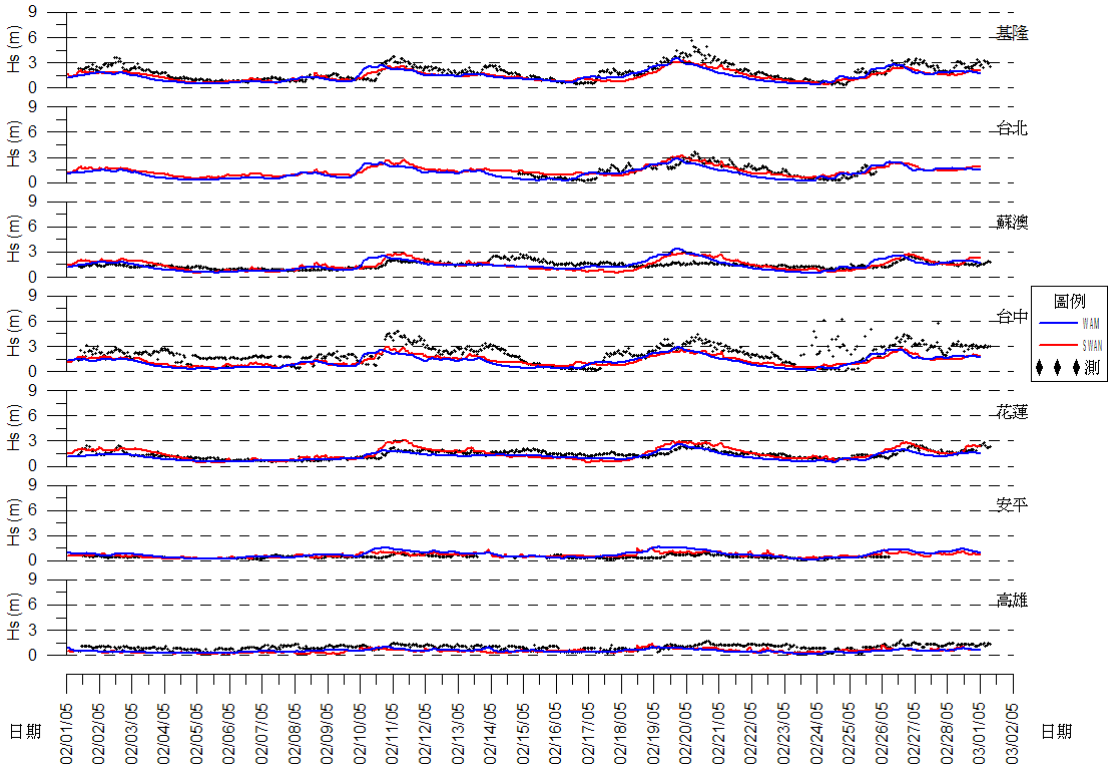


圖 4-2-3　2005 年 2 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(示性波高)

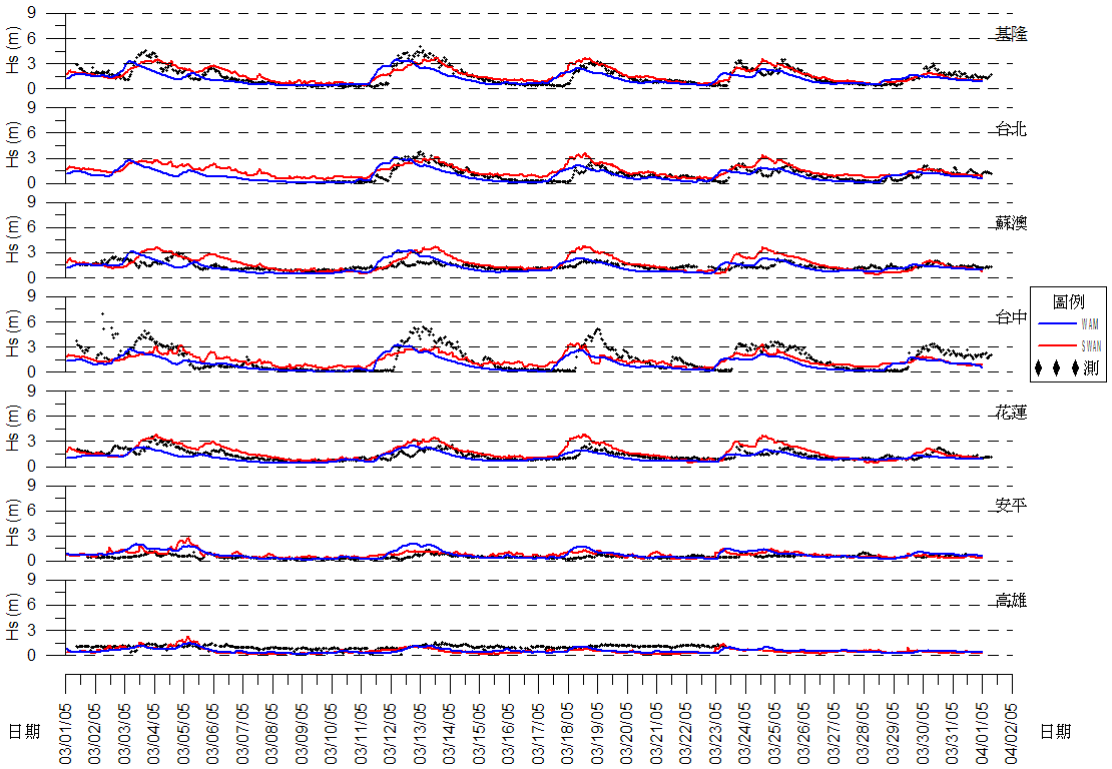


圖 4-2-4　2005 年 3 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(示性波高)

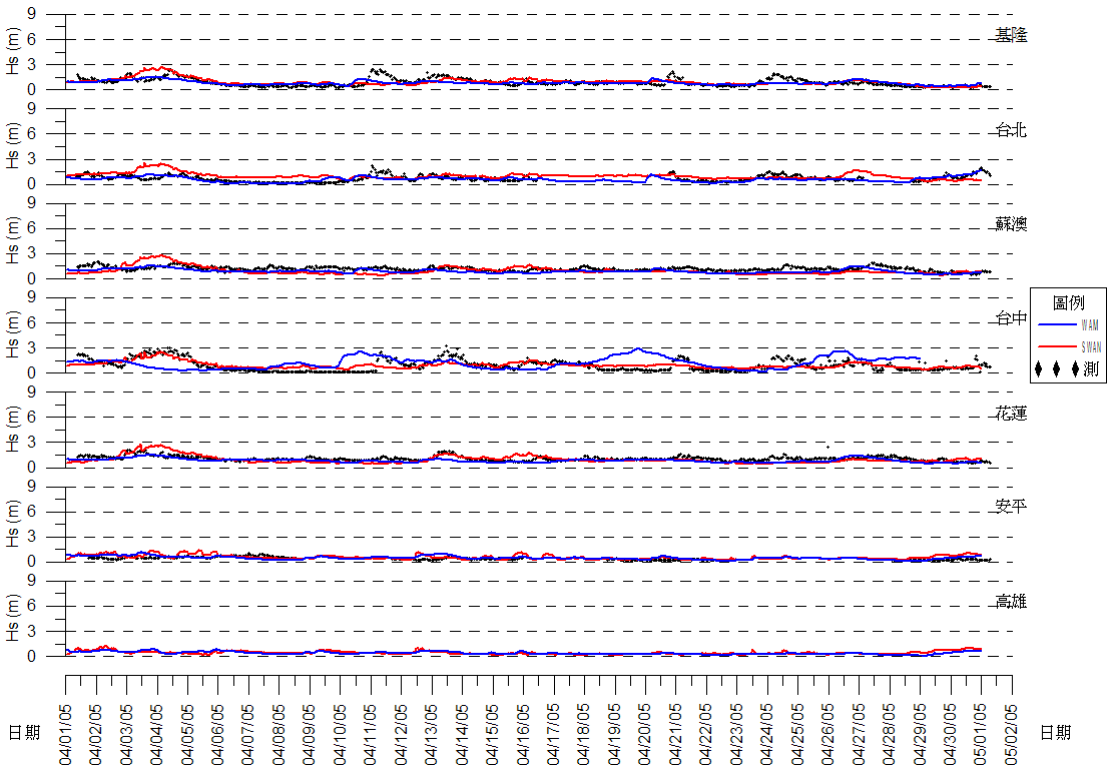


圖 4-2-5　2005 年 4 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(示性波高)

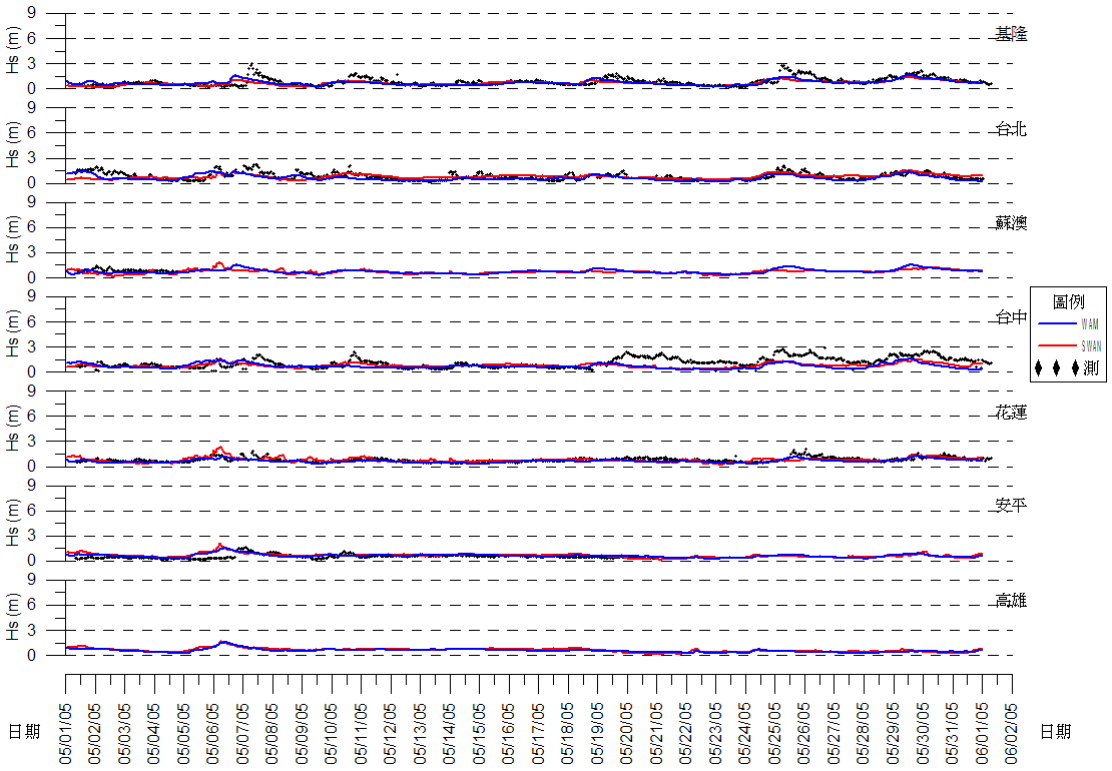


圖 4-2-6　2005 年 5 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(示性波高)

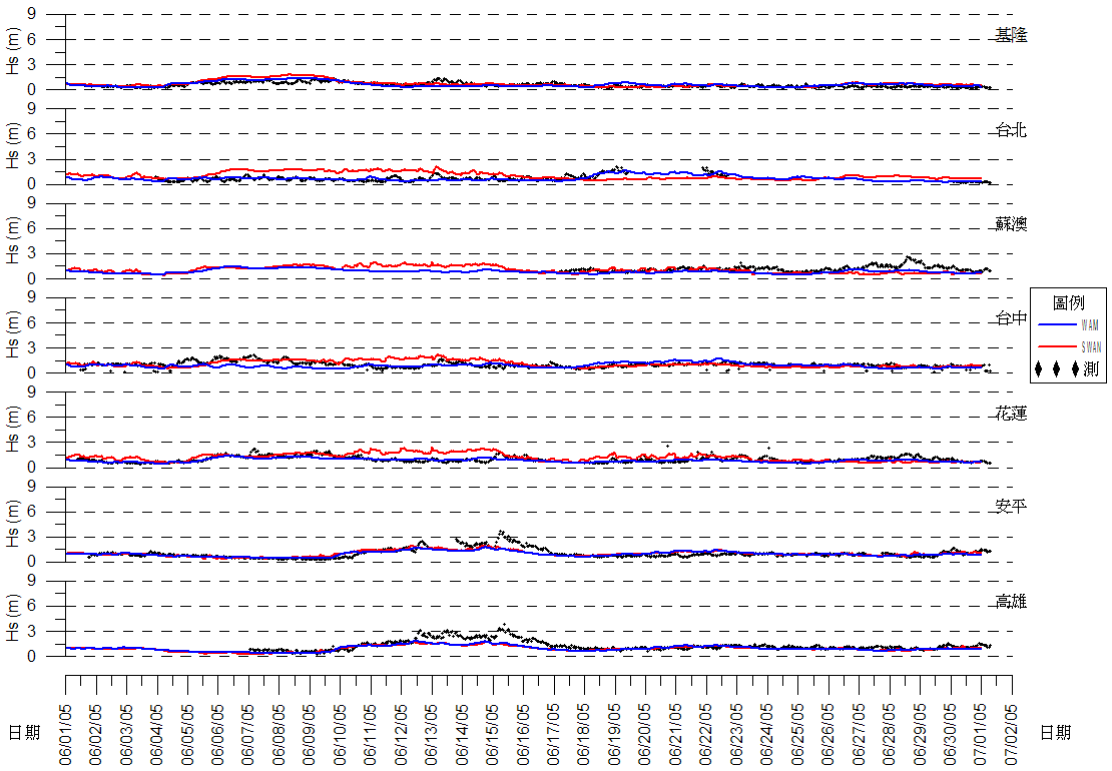


圖 4-2-7　2005 年 6 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(示性波高)

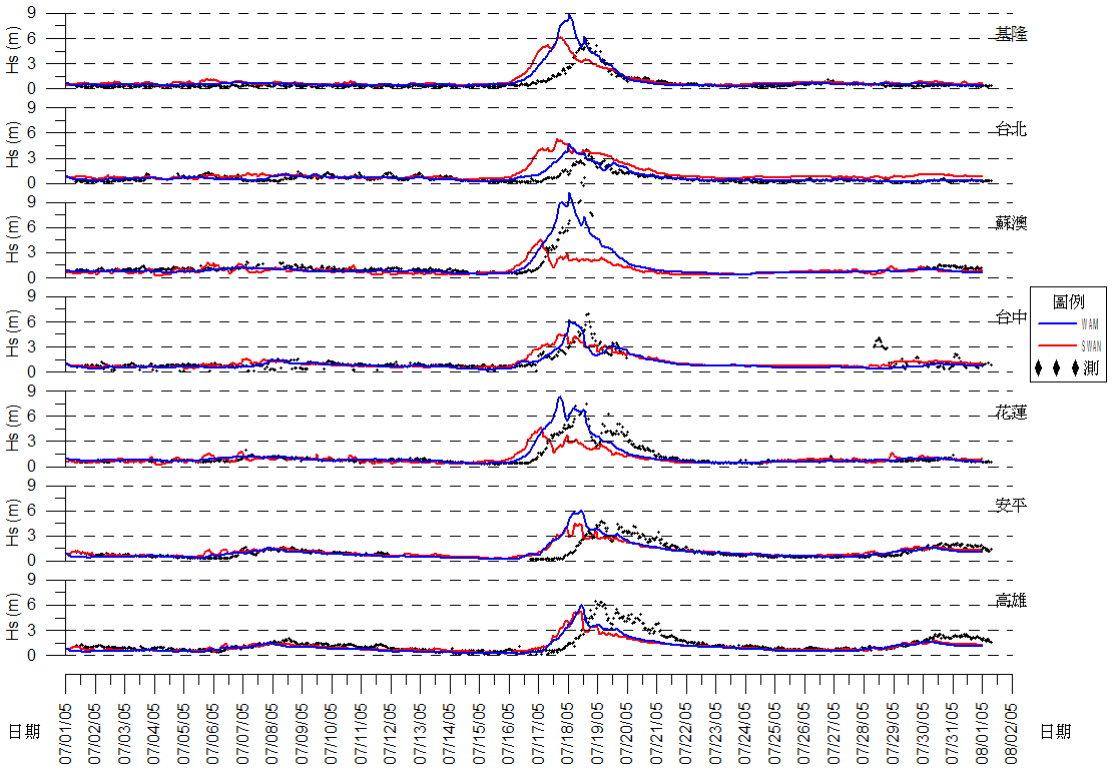


圖 4-2-8　2005 年 7 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(示性波高)

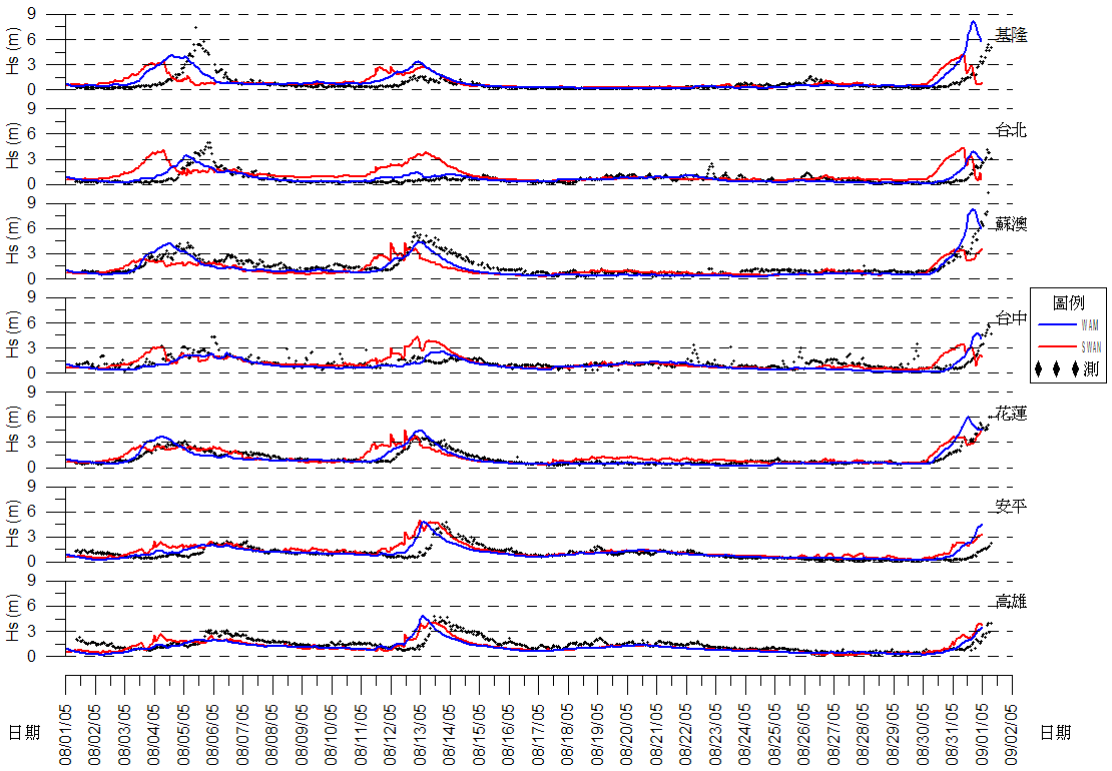


圖 4-2-9　2005 年 8 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(示性波高)

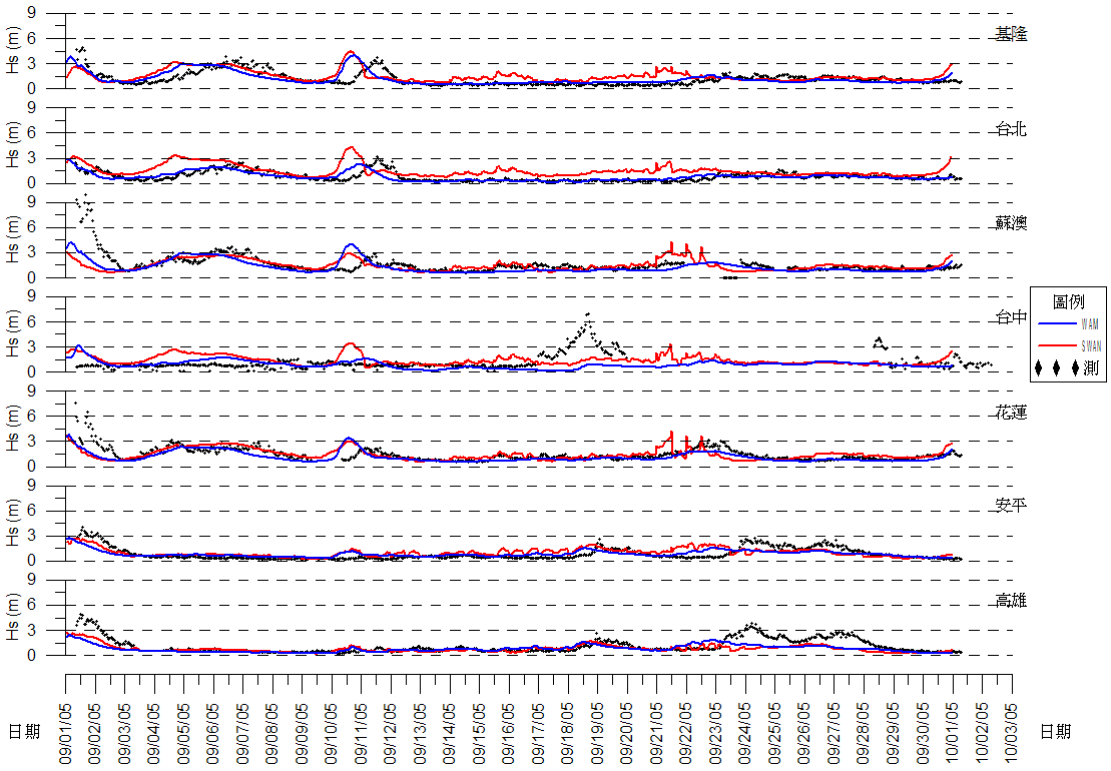


圖 4-2-10　2005 年 9 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(示性波高)

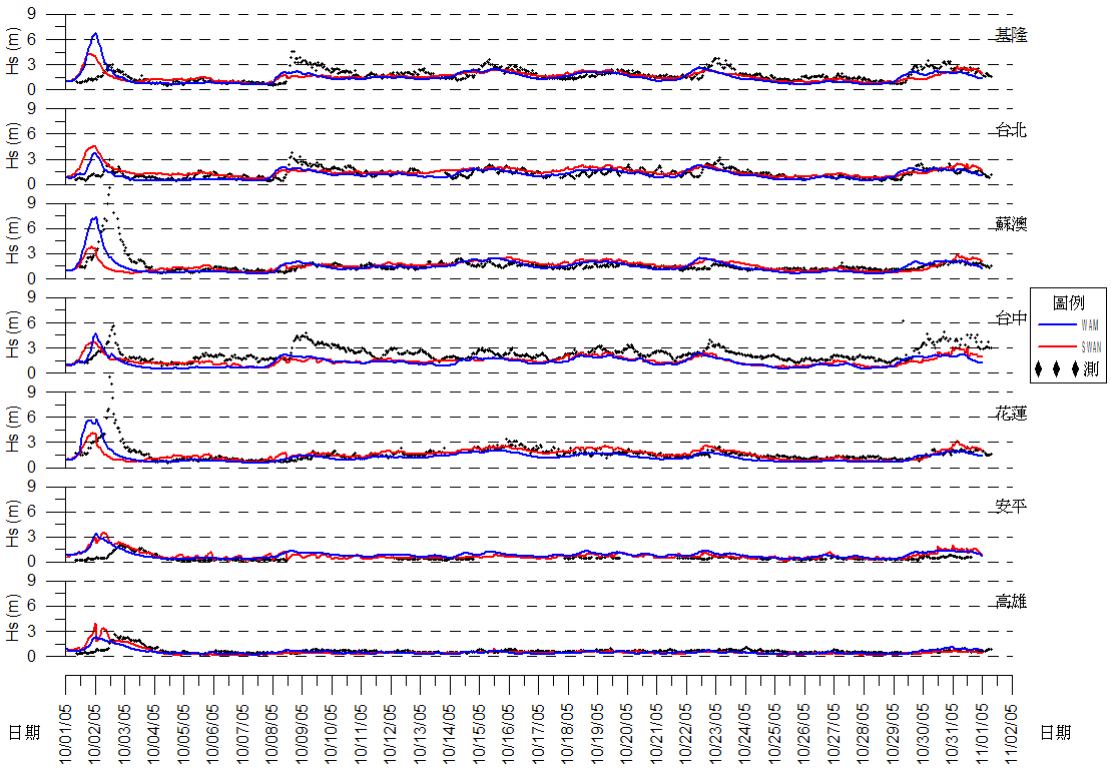


圖 4-2-11　2005 年 10 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(示性波高)

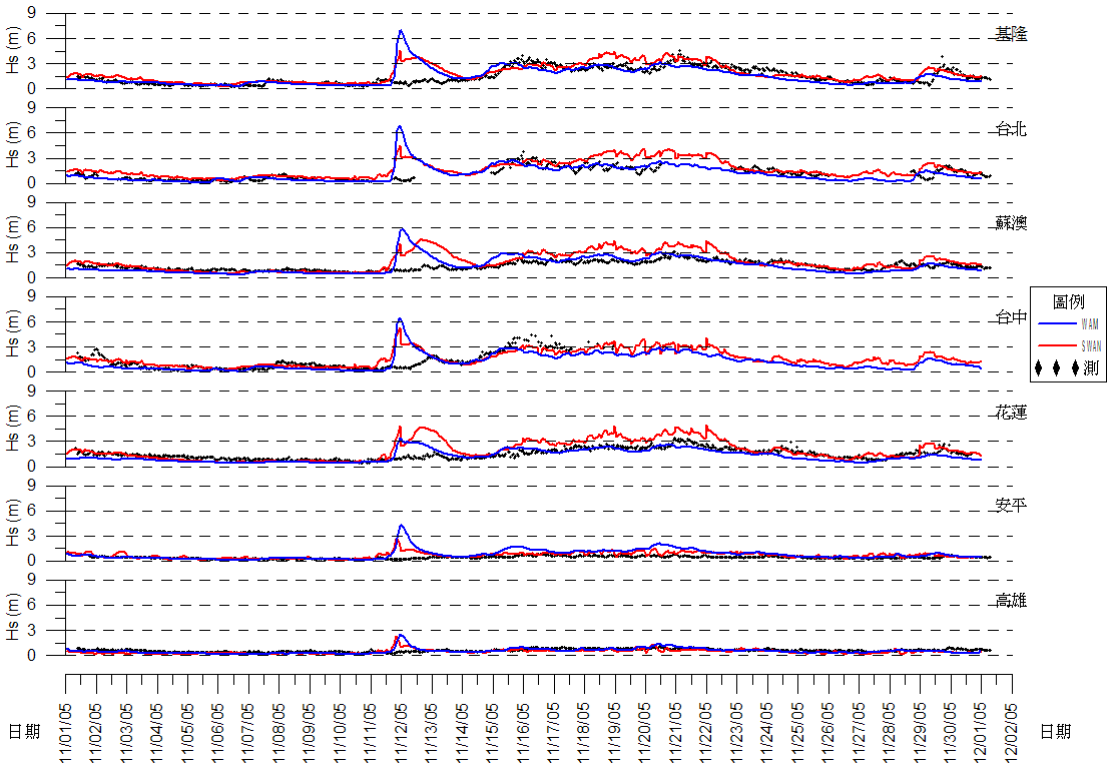


圖 4-2-12　2005 年 11 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(示性波高)

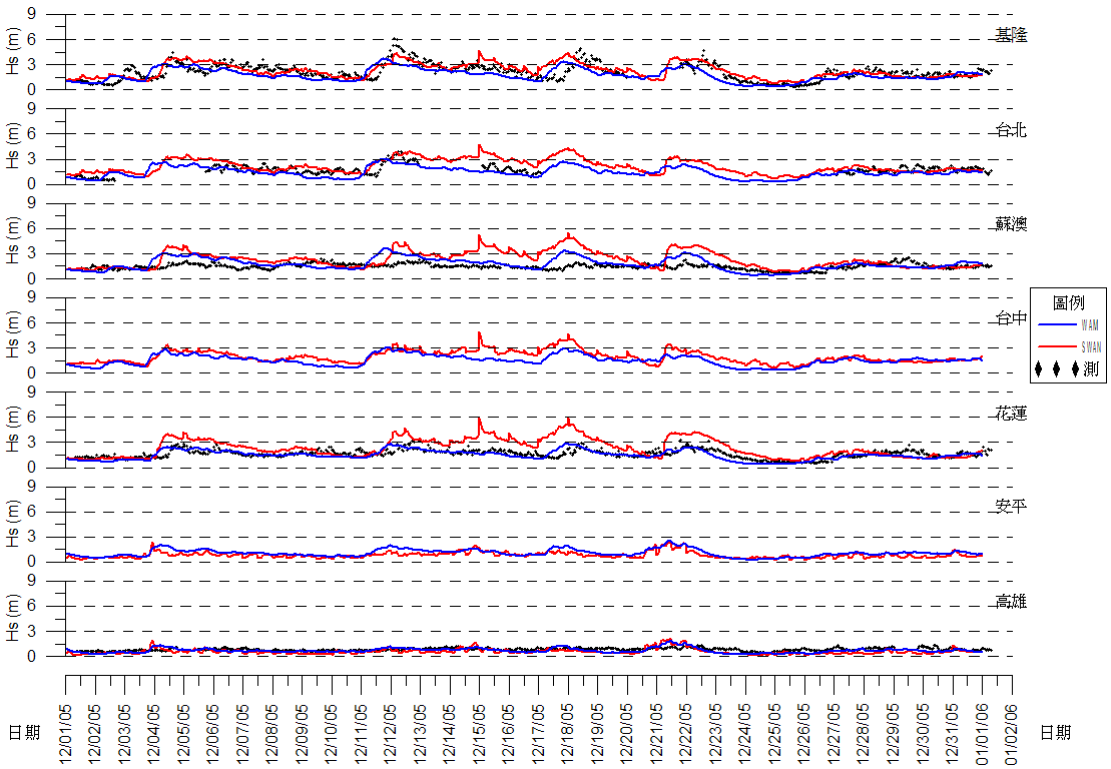


圖 4-2-13　2005 年 12 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(示性波高)

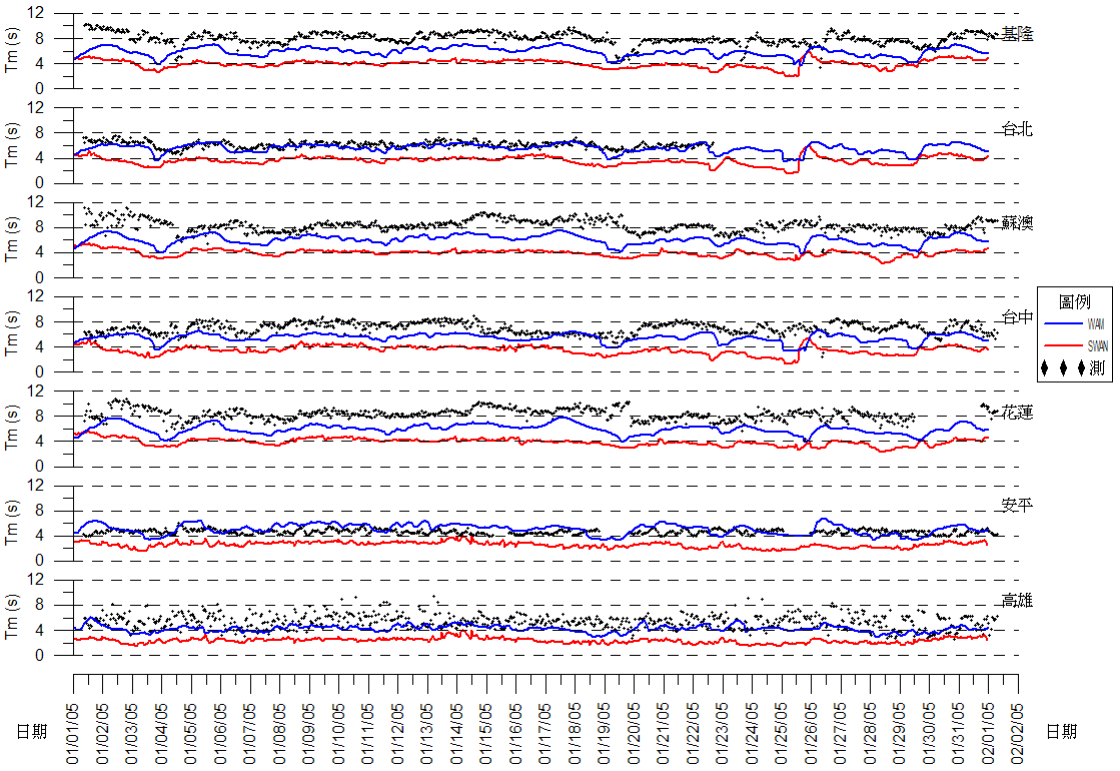


圖 4-2-14　2005 年 1 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(平均週期)

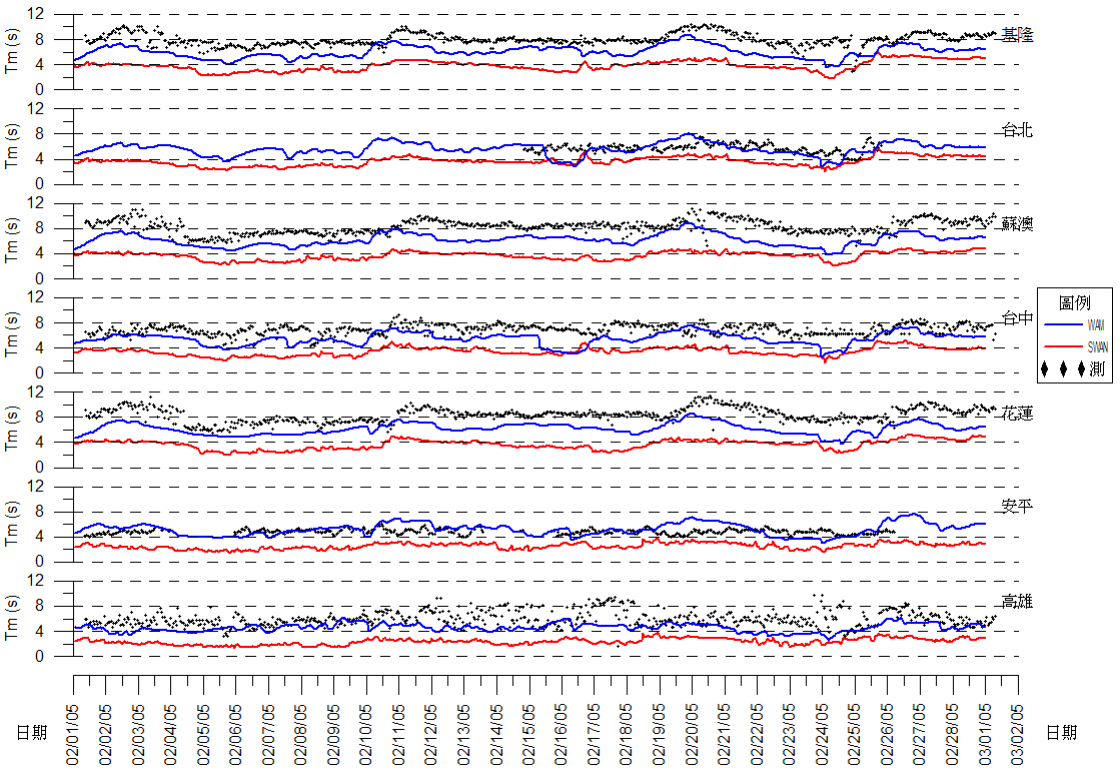


圖 4-2-15　2005 年 2 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(平均週期)

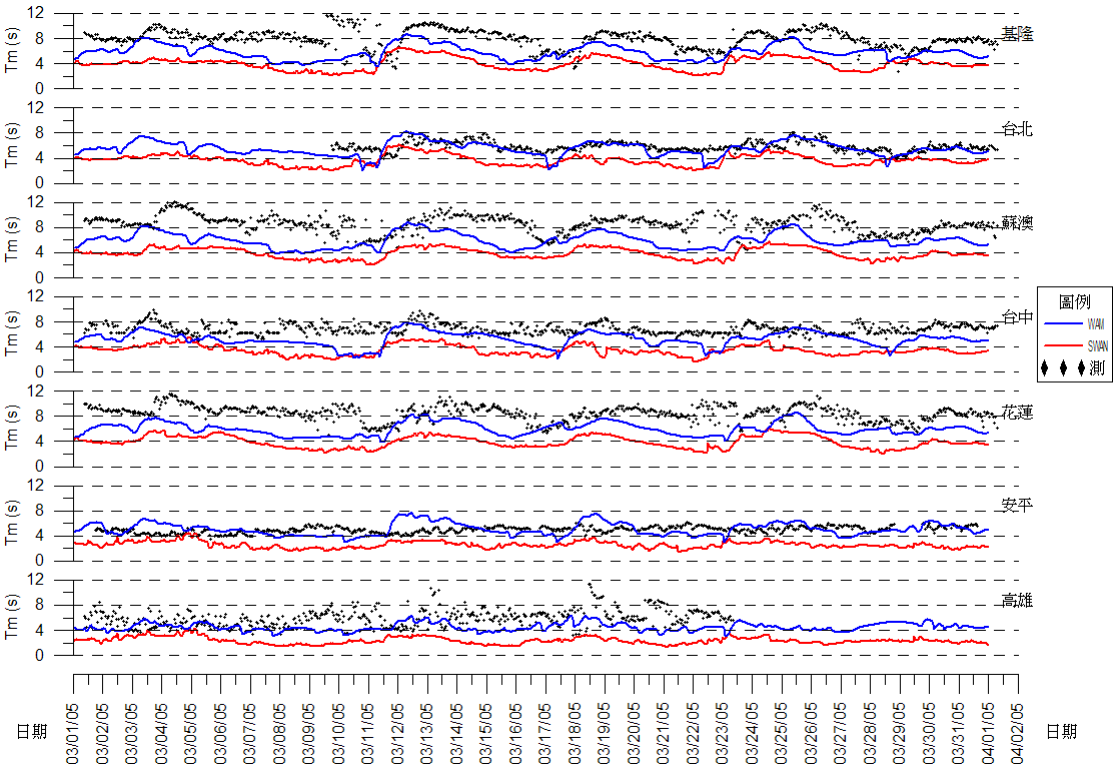


圖 4-2-16　2005 年 3 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(平均週期)

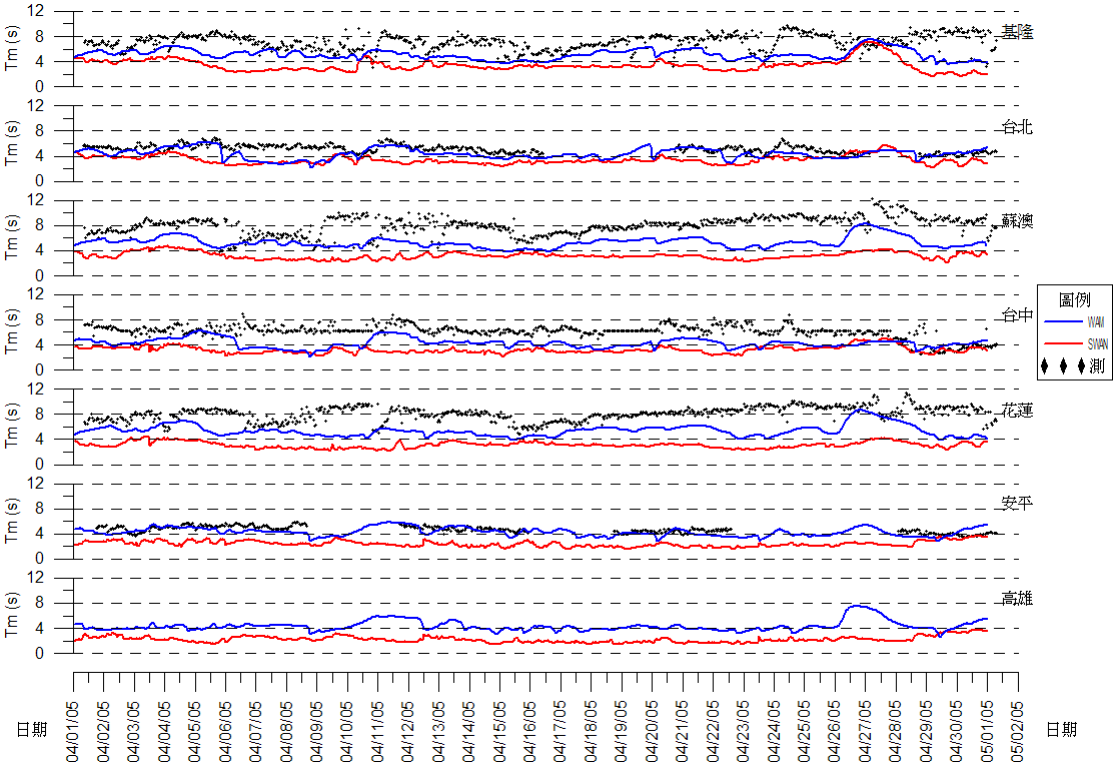


圖 4-2-17　2005 年 4 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(平均週期)

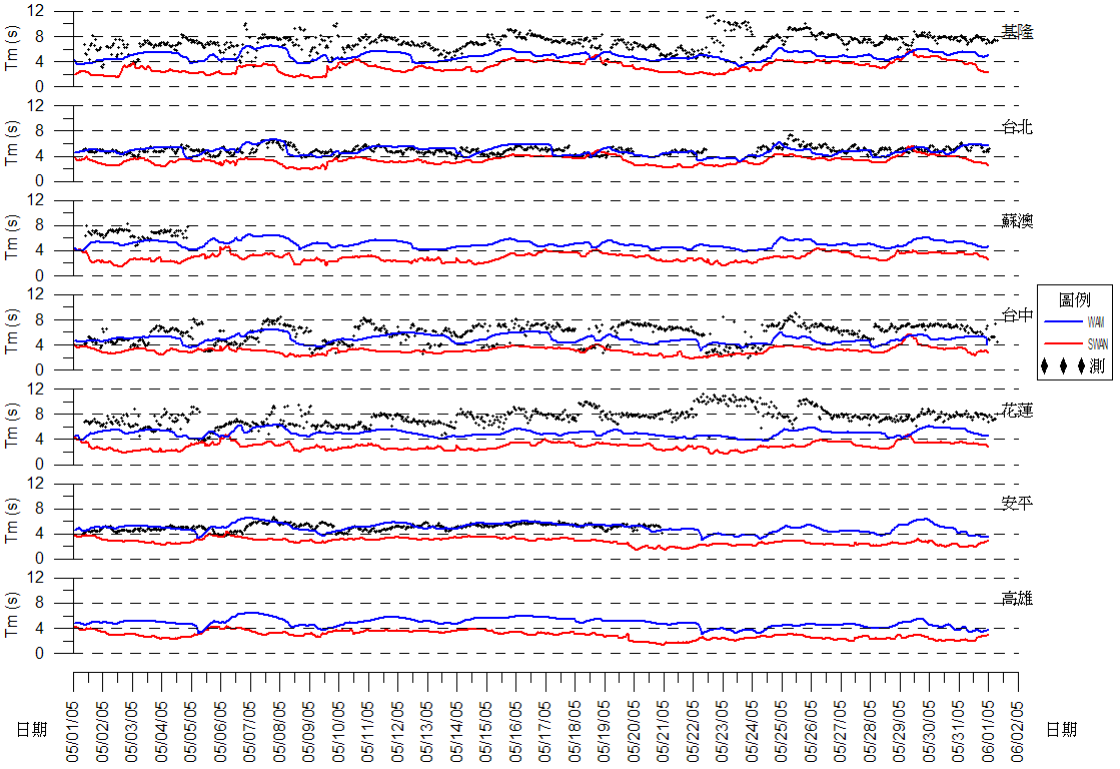


圖 4-2-18　2005 年 5 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(平均週期)

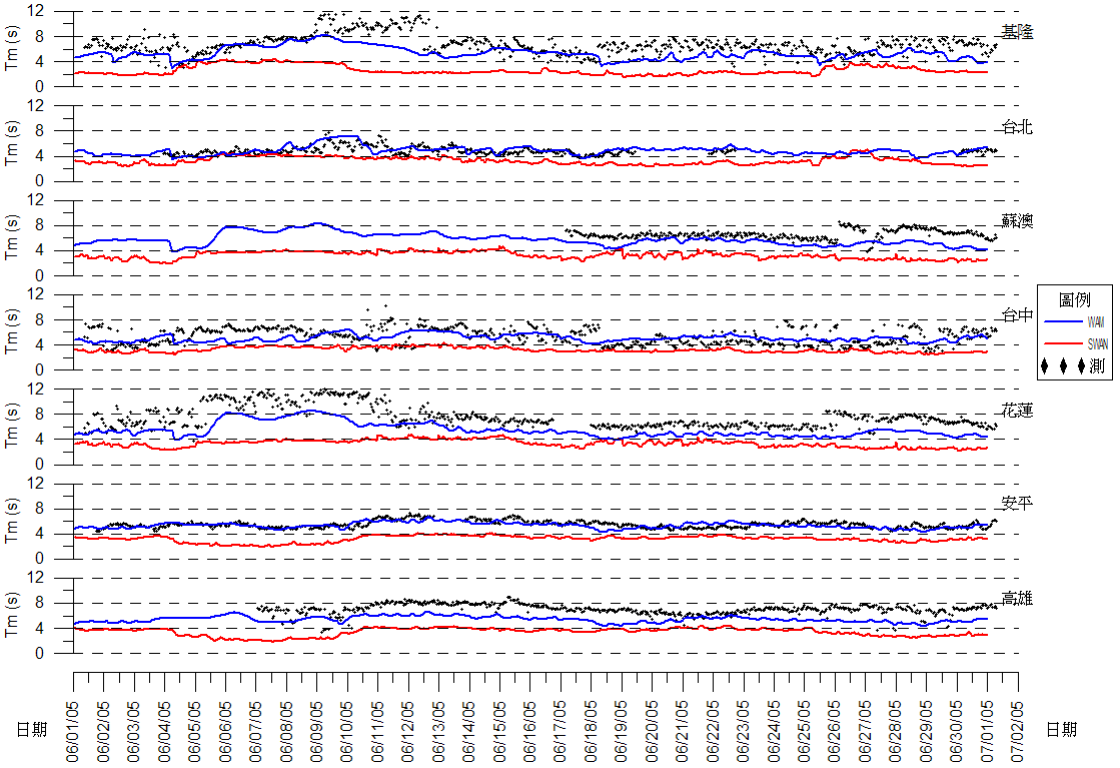


圖 4-2-19　2005 年 6 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(平均週期)

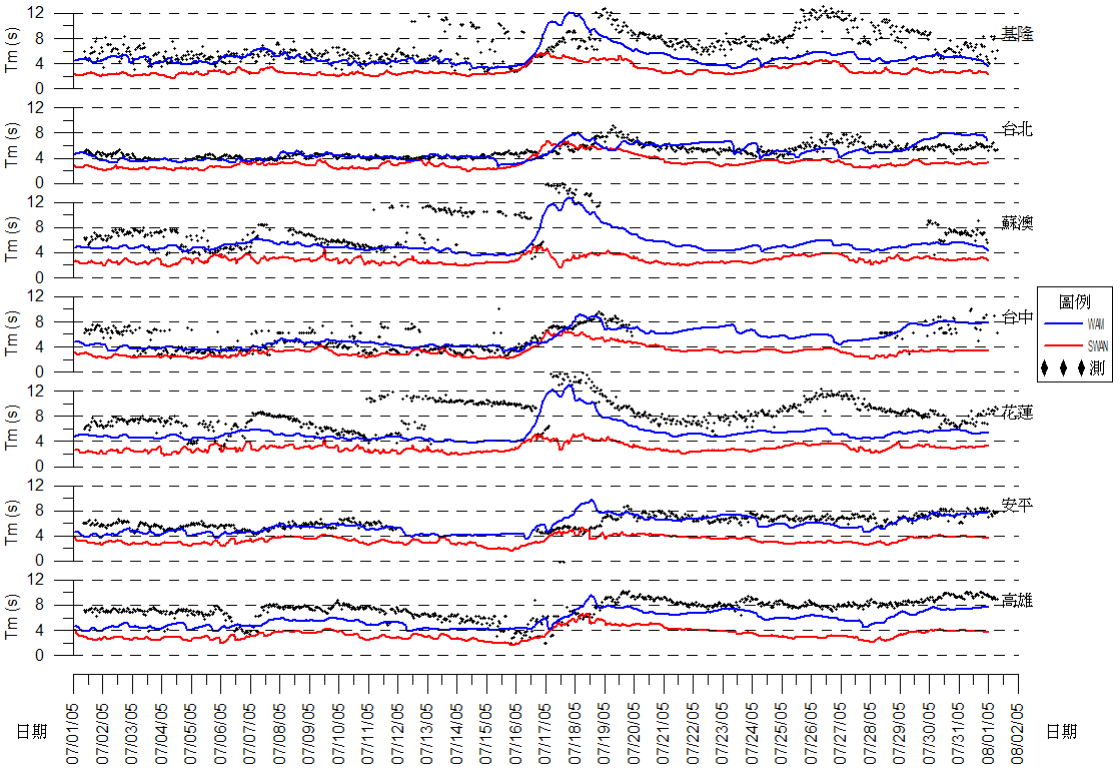


圖 4-2-20　2005 年 7 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(平均週期)

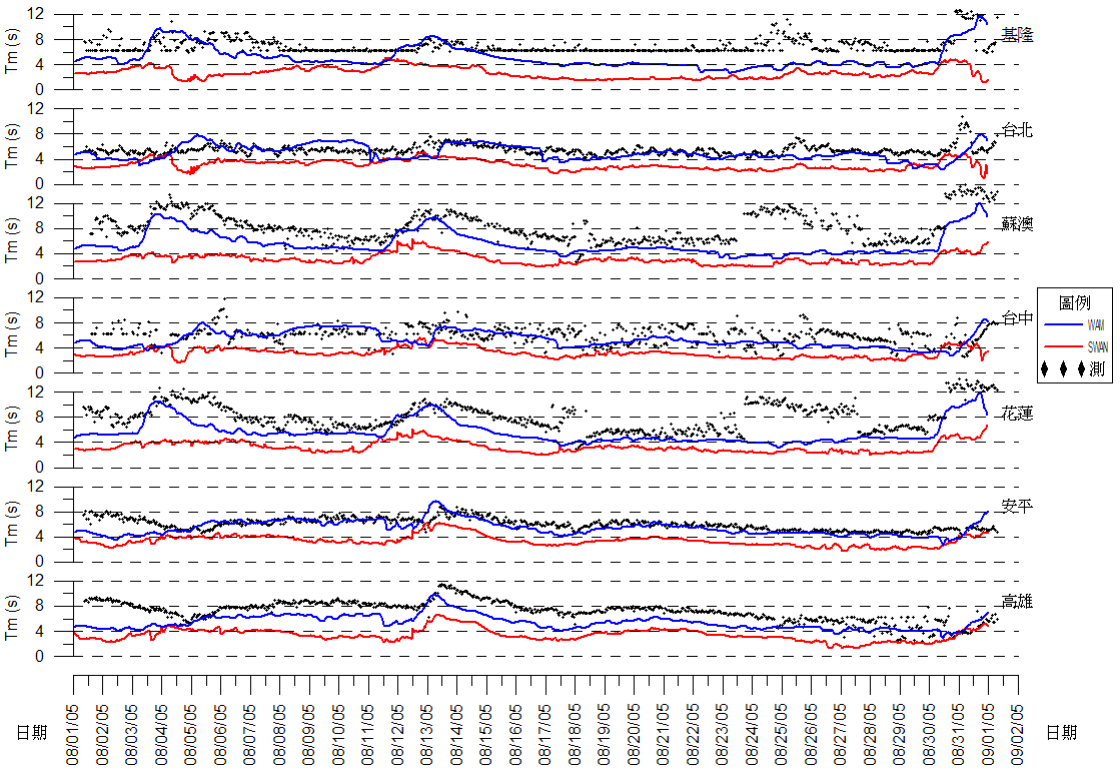


圖 4-2-21　2005 年 8 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(平均週期)

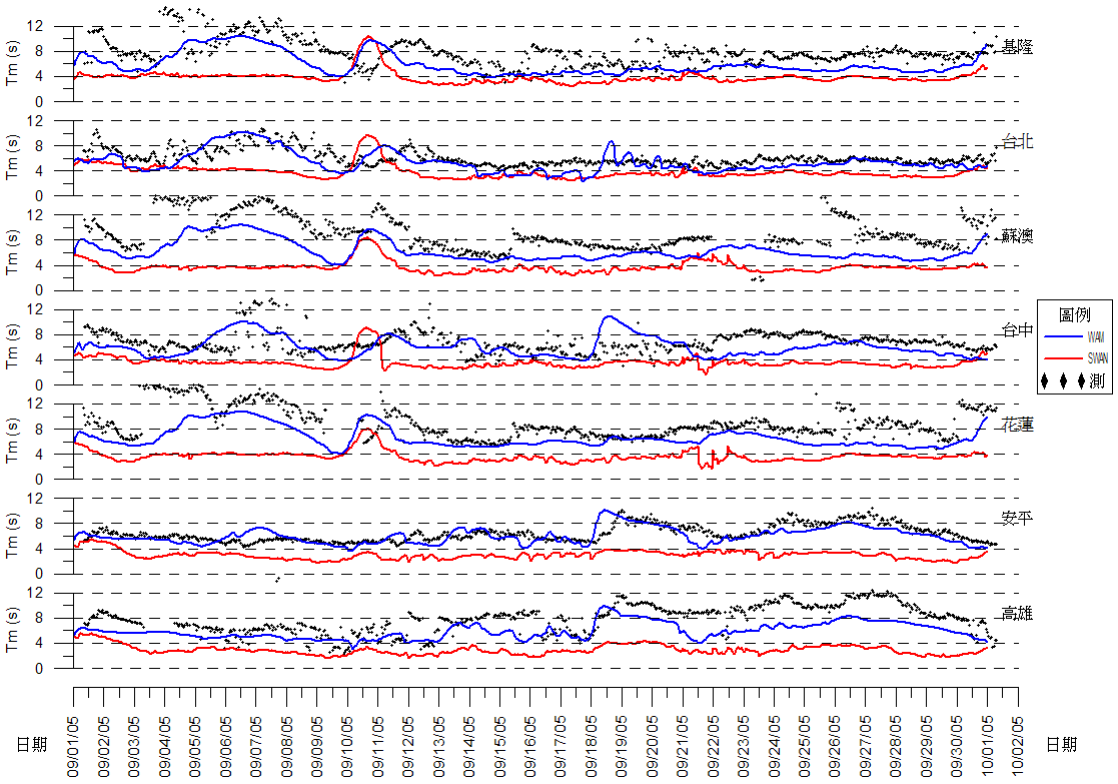


圖 4-2-22　2005 年 9 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(平均週期)

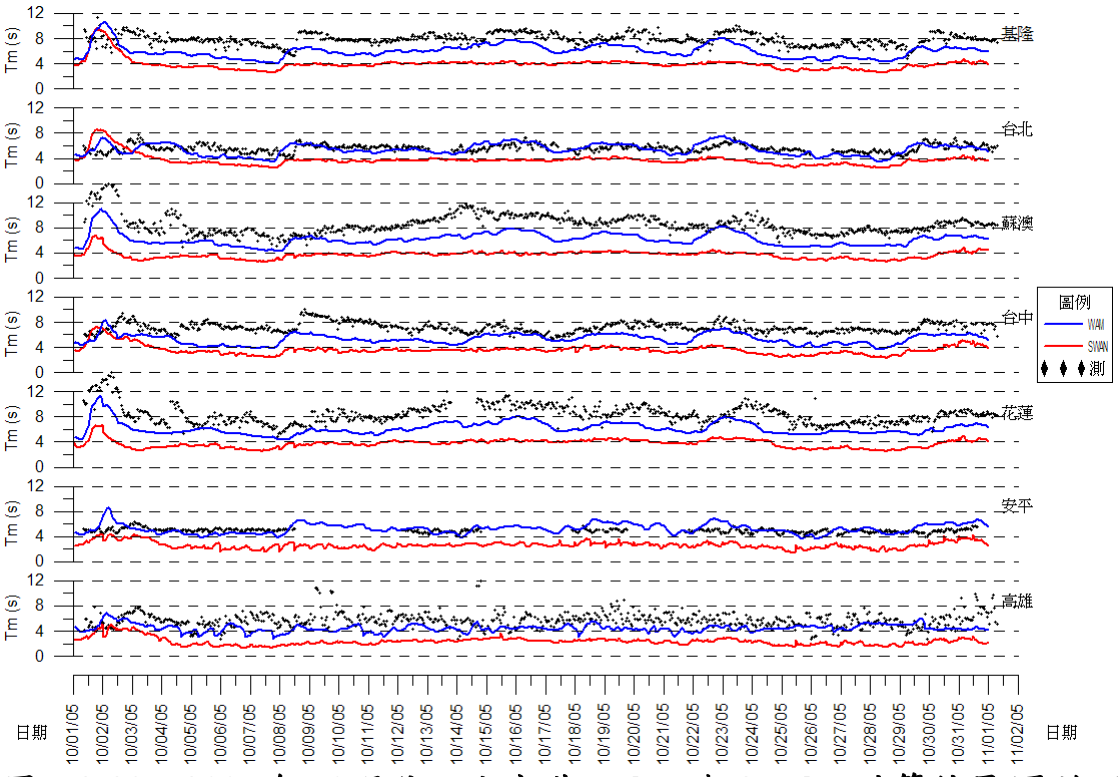


圖 4-2-23　2005 年 10 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(平均週期)

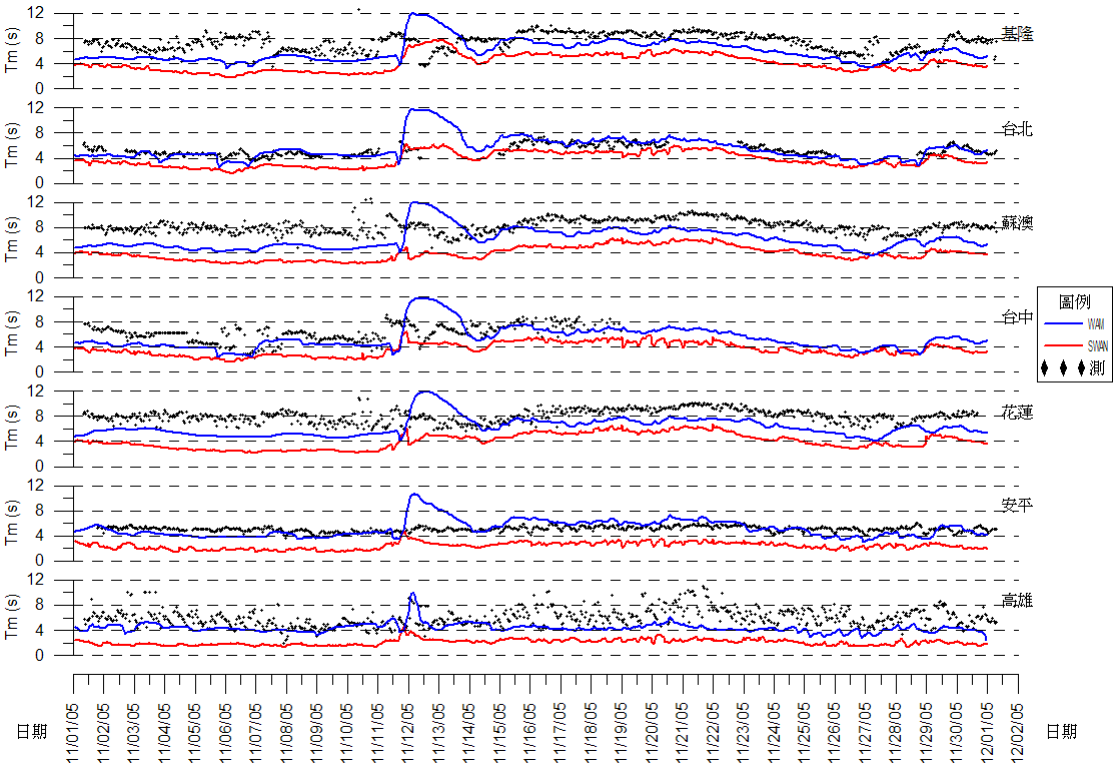


圖 4-2-24　2005 年 11 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(平均週期)

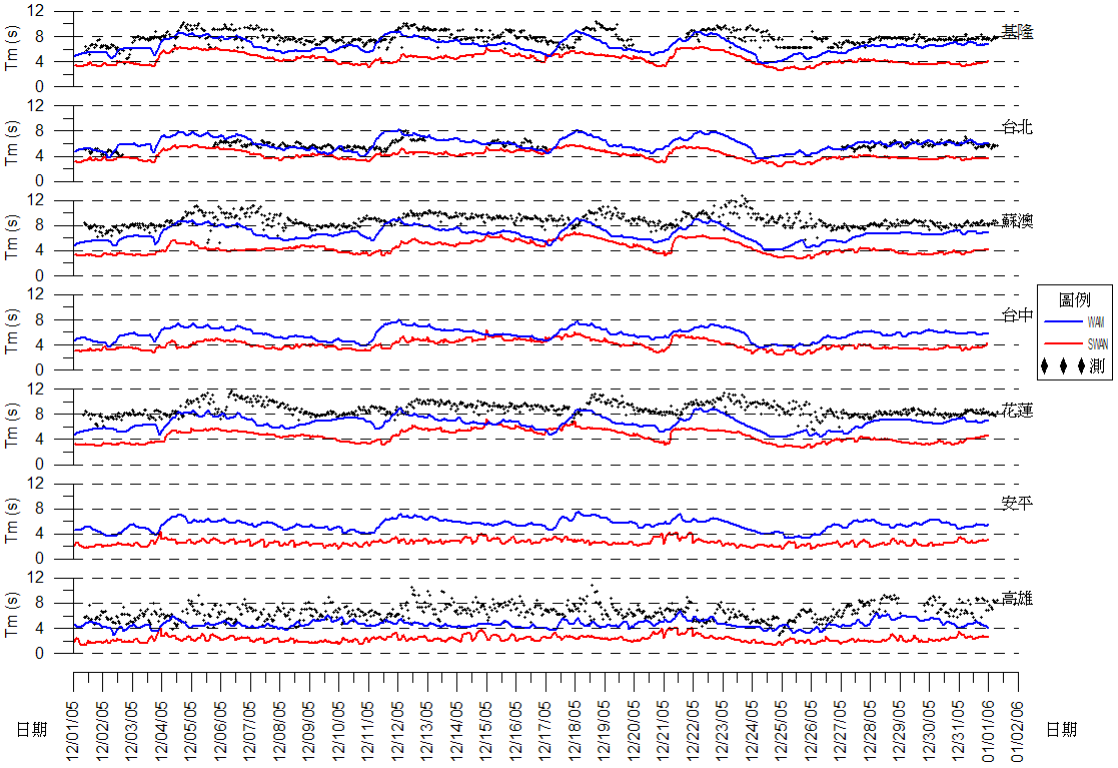


圖 4-2-25　2005 年 12 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(平均週期)

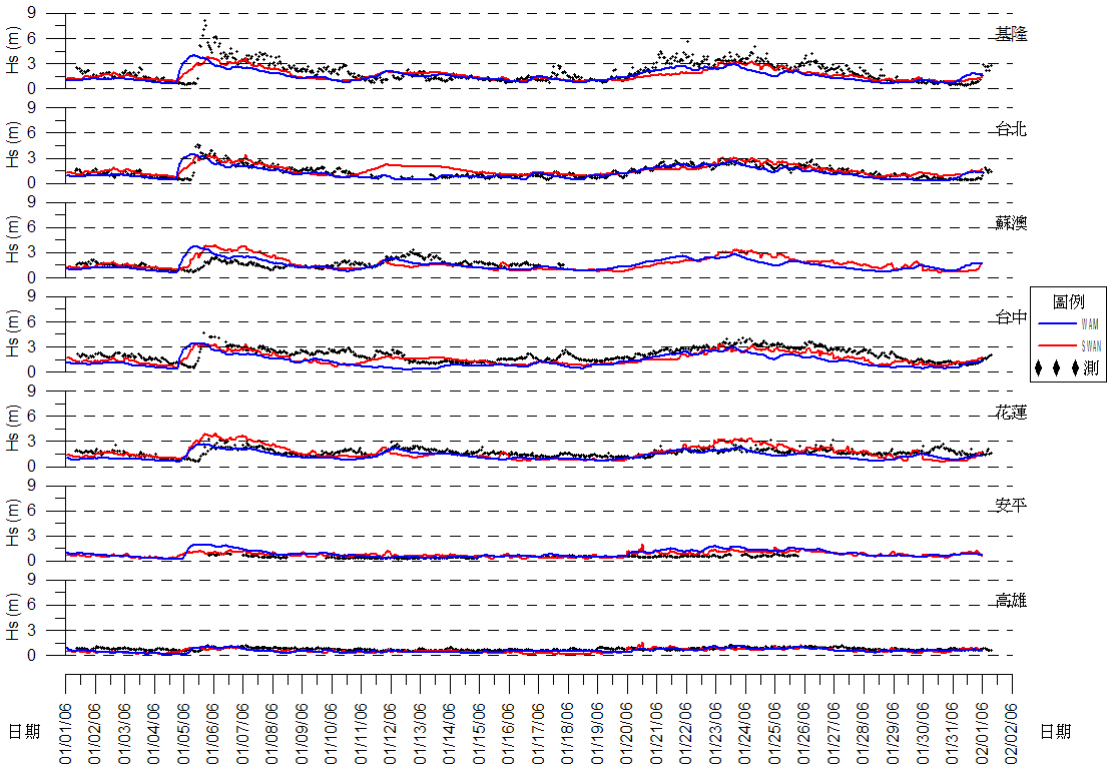


圖 4-2-26　2006 年 1 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(示性波高)

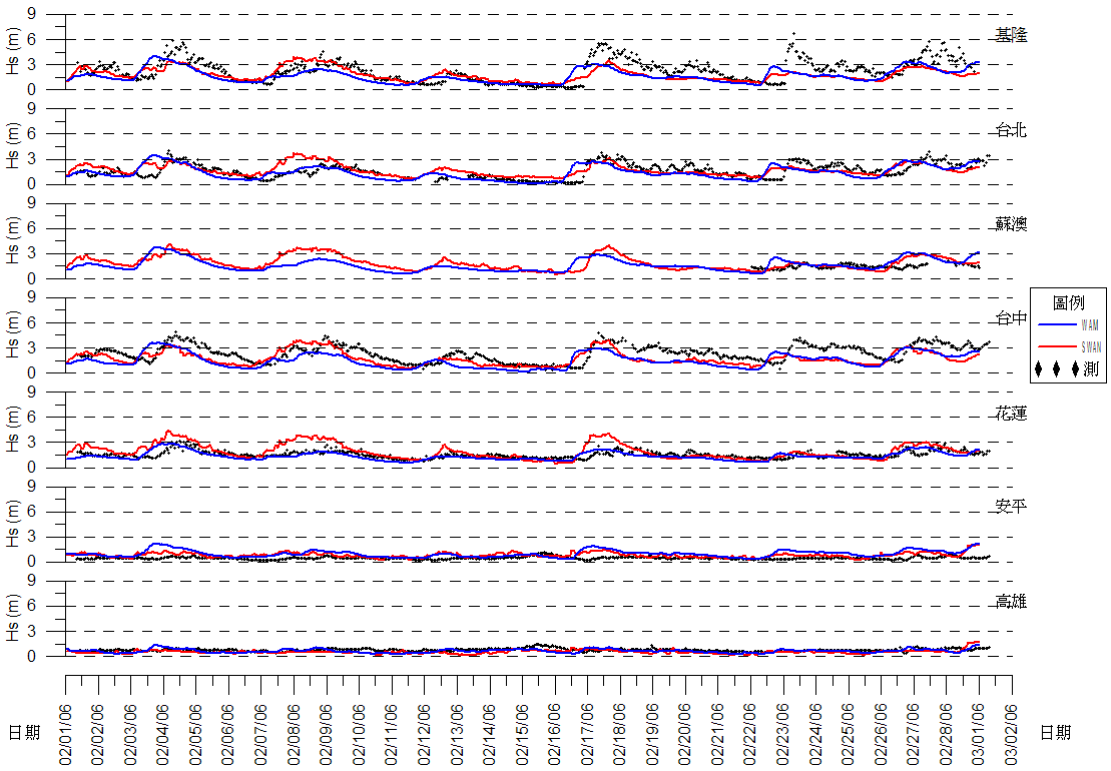


圖 4-2-27　2006 年 2 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(示性波高)

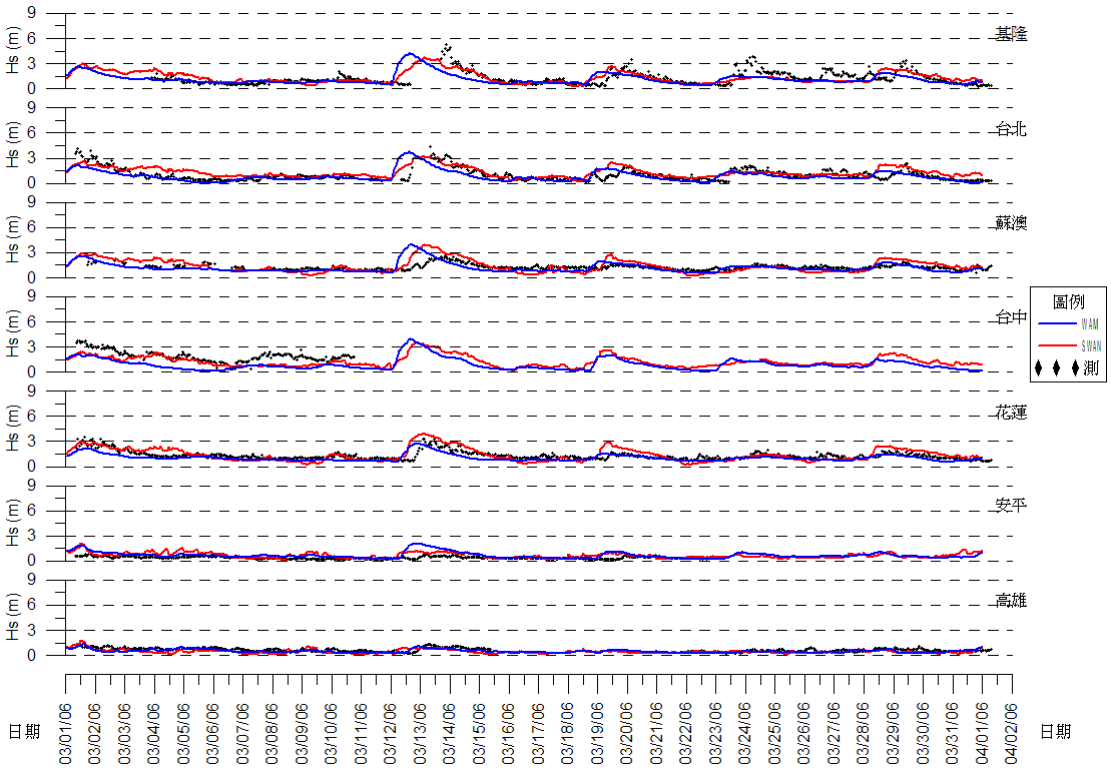


圖 4-2-28　2006 年 3 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(示性波高)

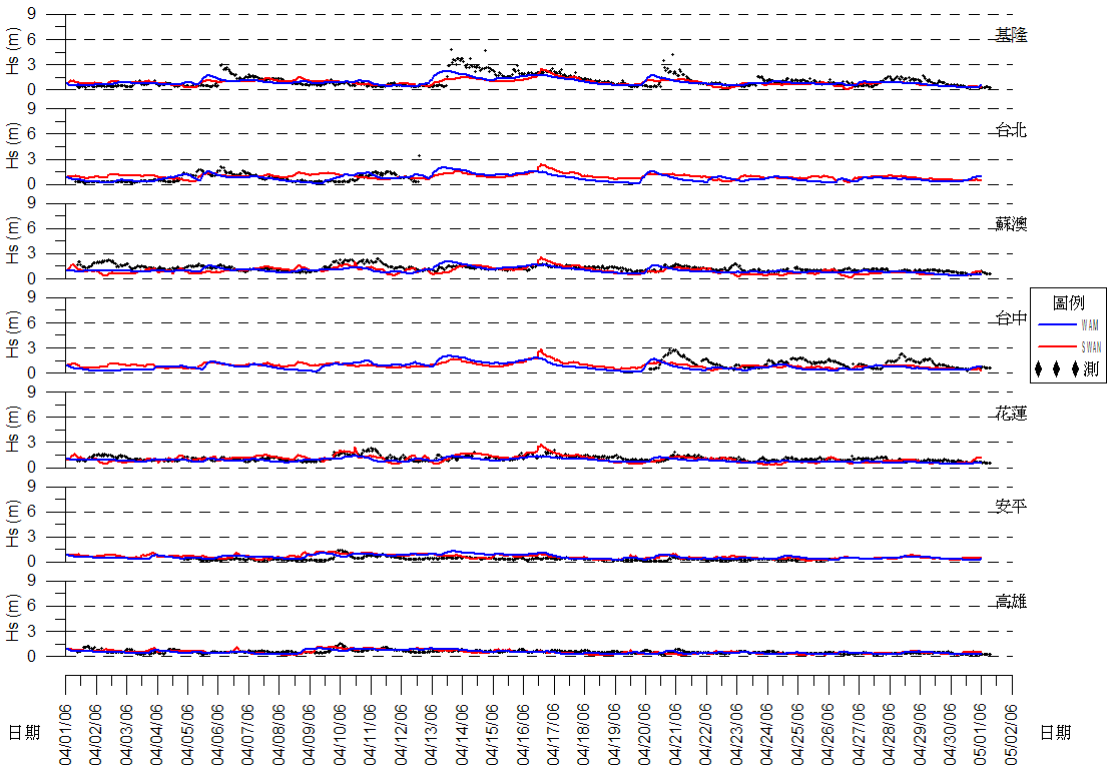


圖 4-2-29　2006 年 4 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(示性波高)

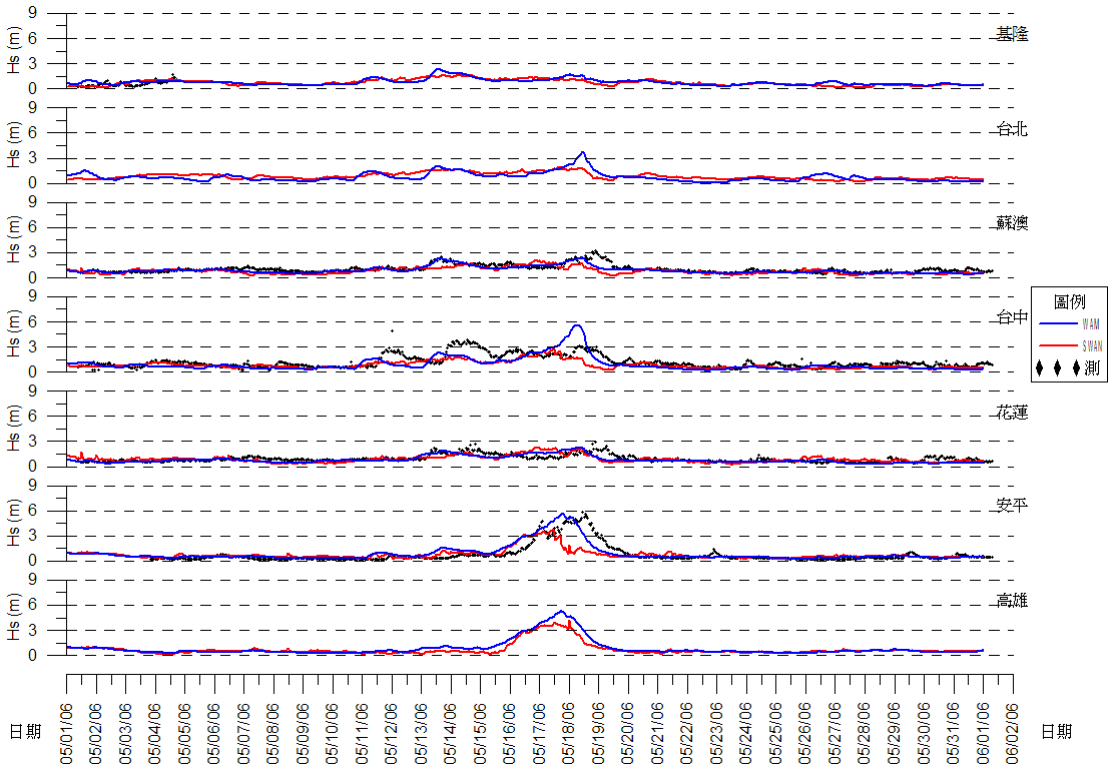


圖 4-2-30　2006 年 5 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(示性波高)

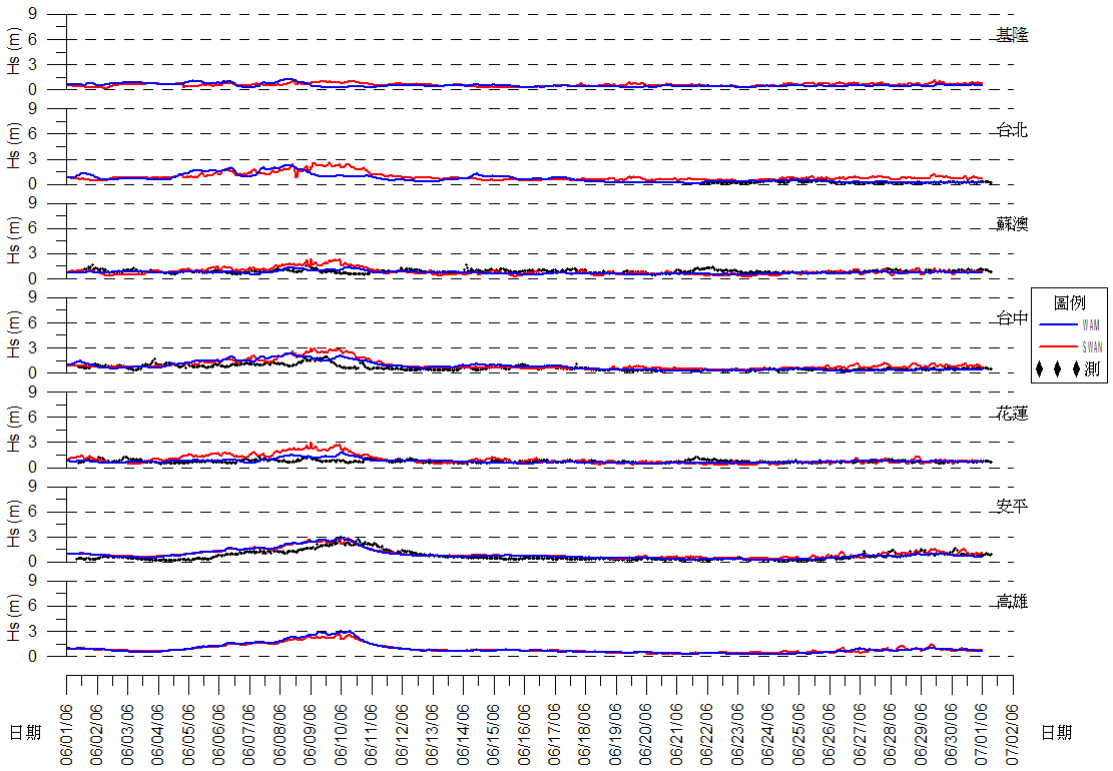


圖 4-2-31　2006 年 6 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(示性波高)

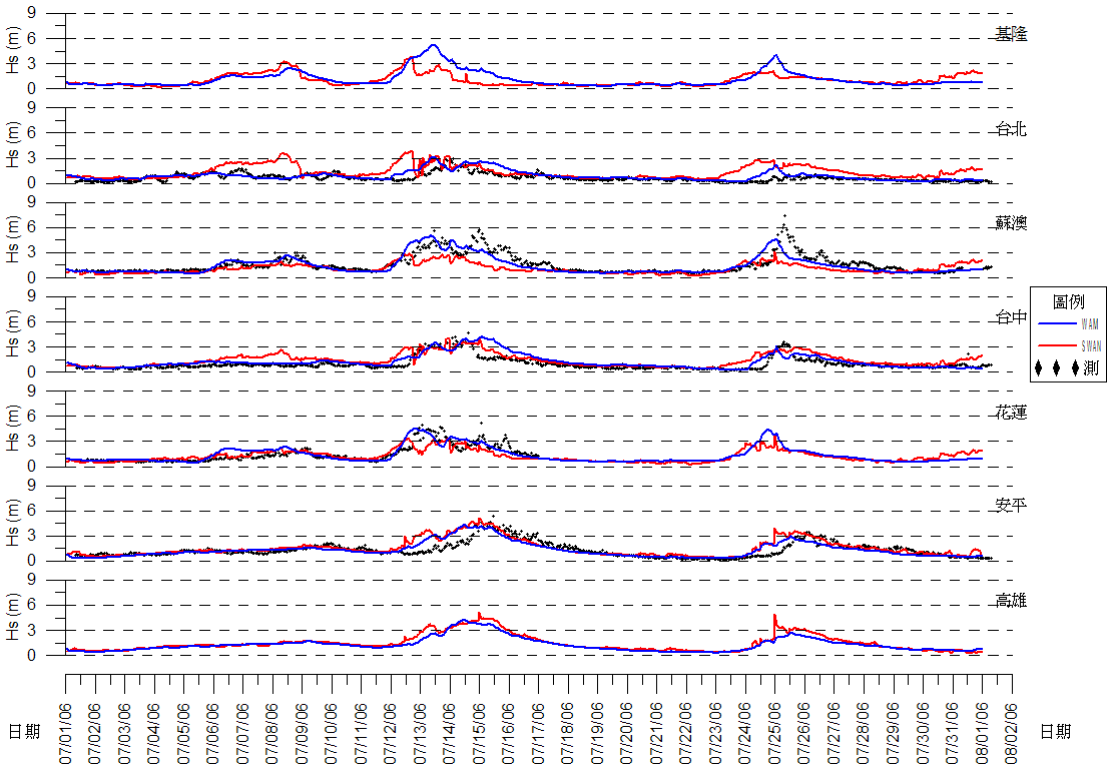


圖 4-2-32　2006 年 7 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(示性波高)

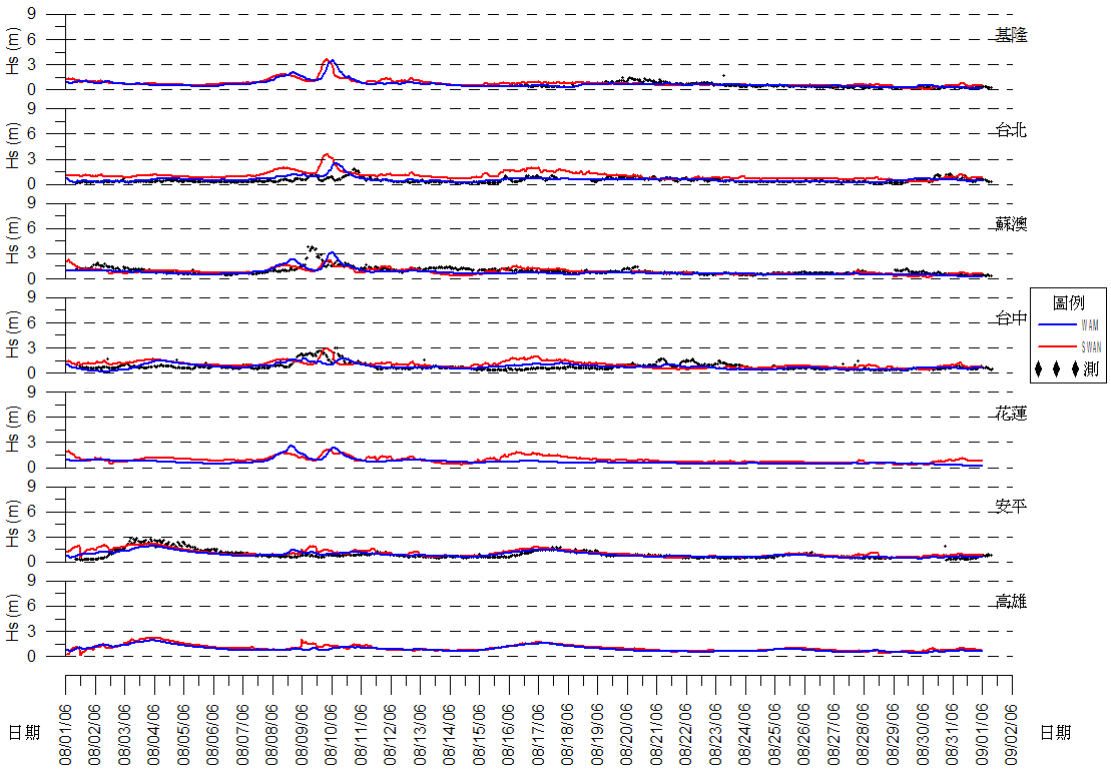


圖 4-2-33　2006 年 8 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(示性波高)

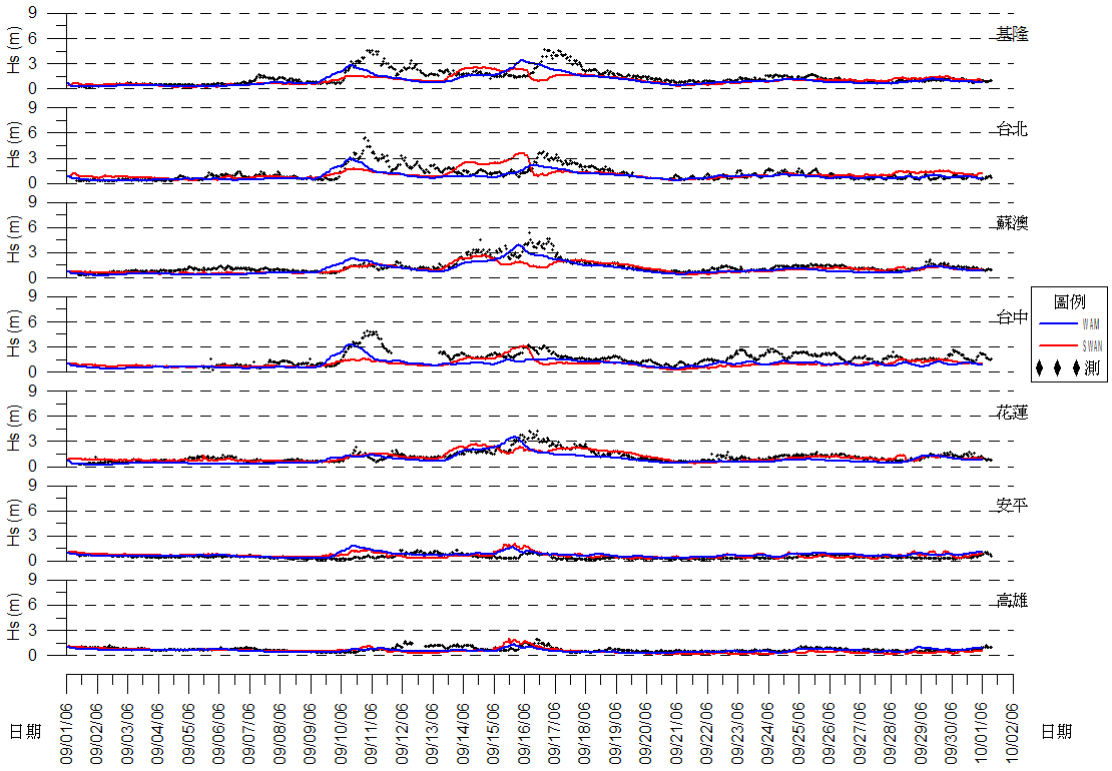


圖 4-2-34　2006 年 9 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(示性波高)

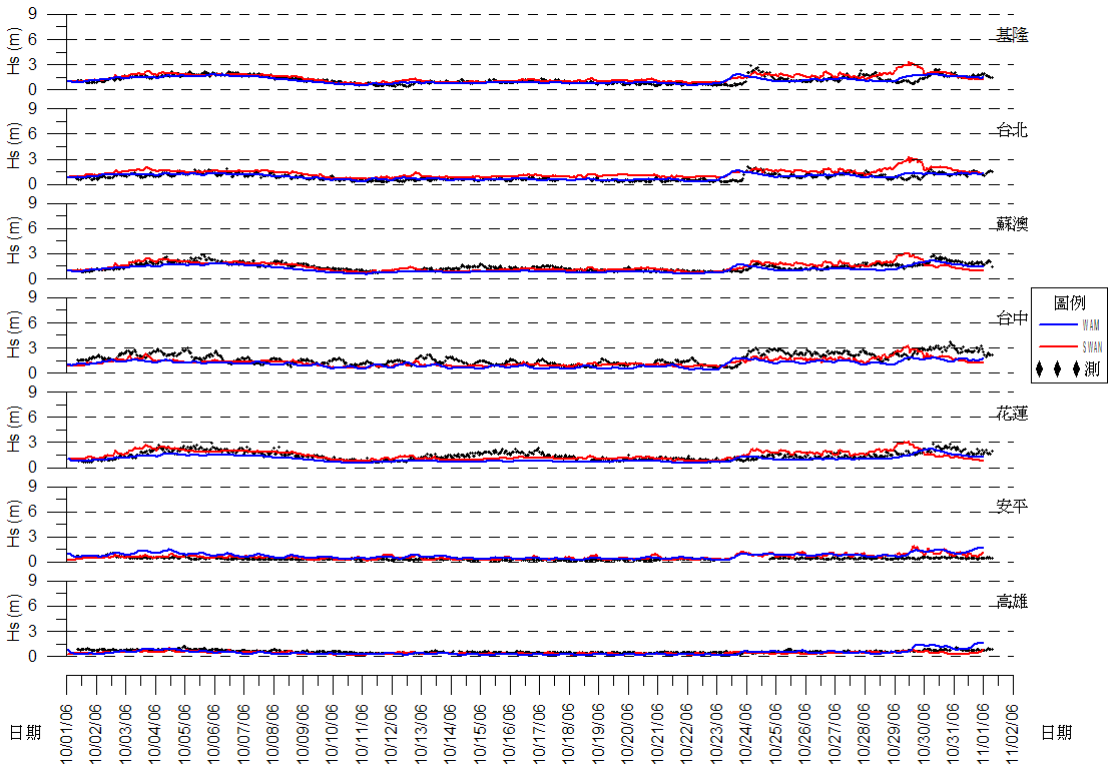


圖 4-2-35　2006 年 10 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(示性波高)

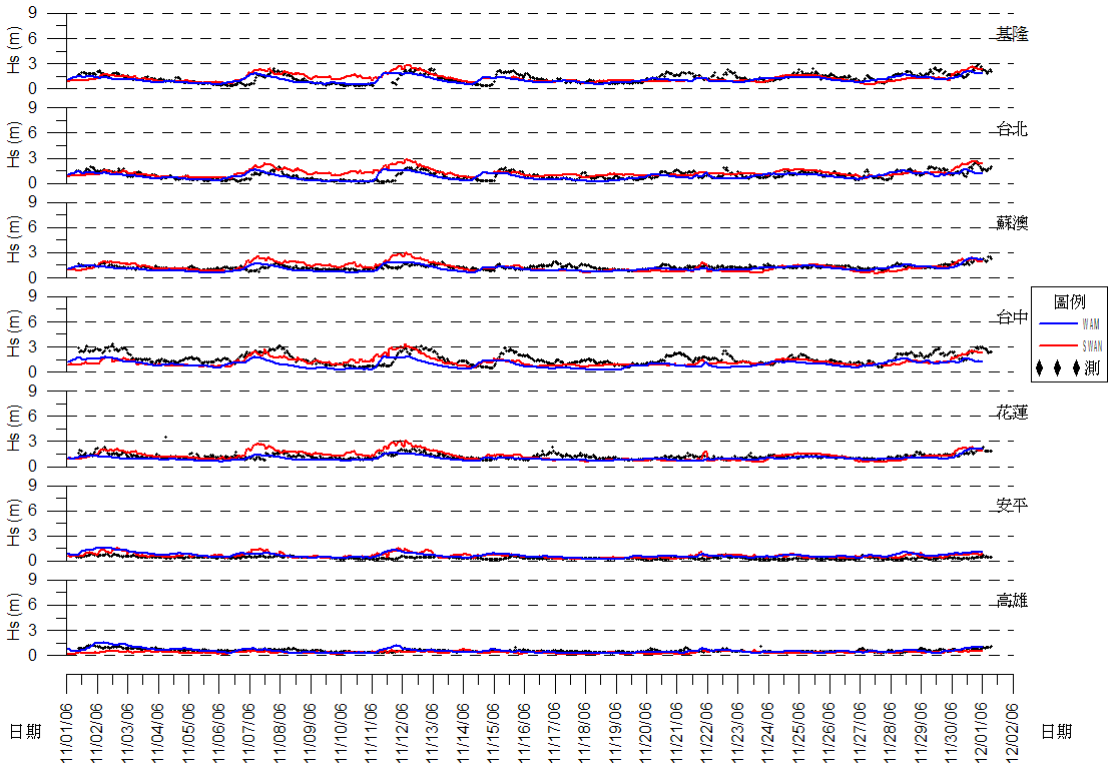


圖 4-2-36　2006 年 11 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(示性波高)

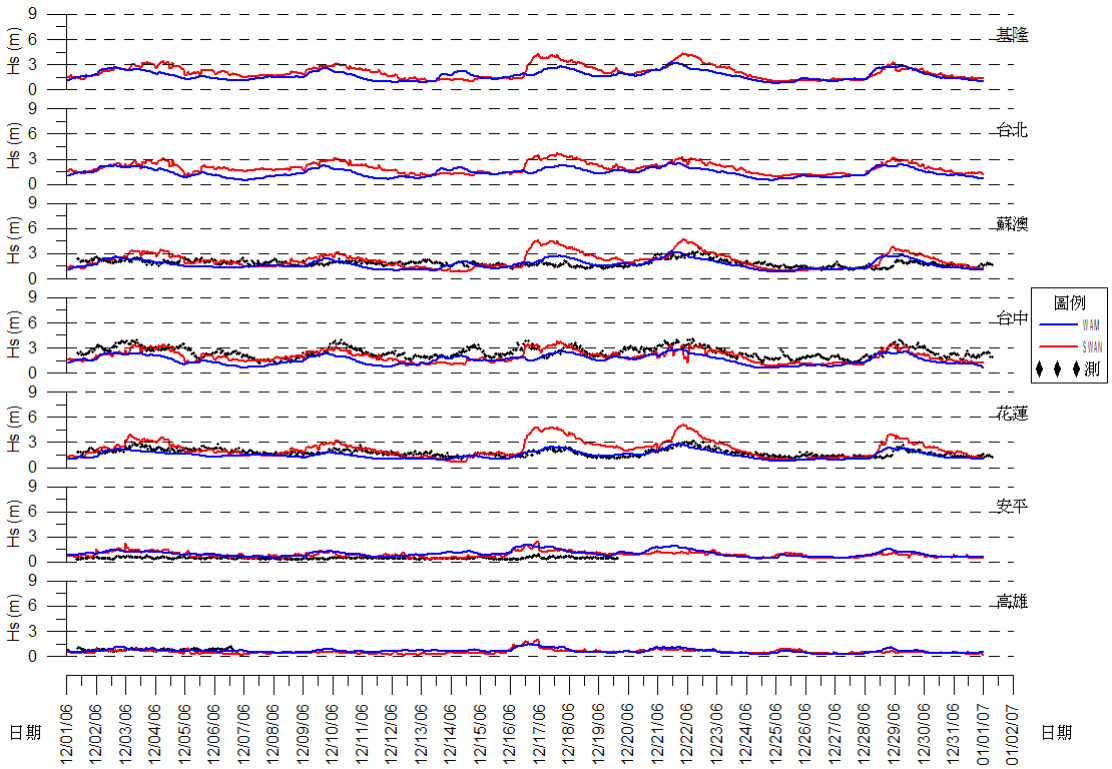


圖 4-2-37　2006 年 12 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(示性波高)

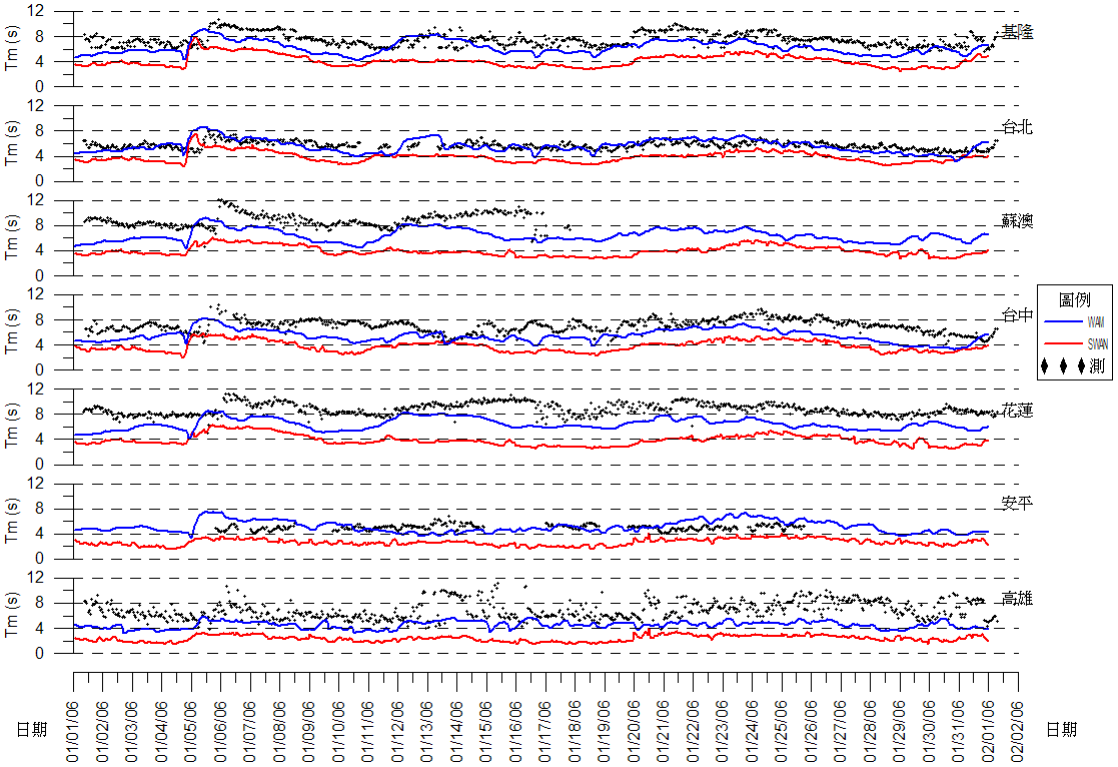


圖 4-2-38　2006 年 1 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(平均週期)

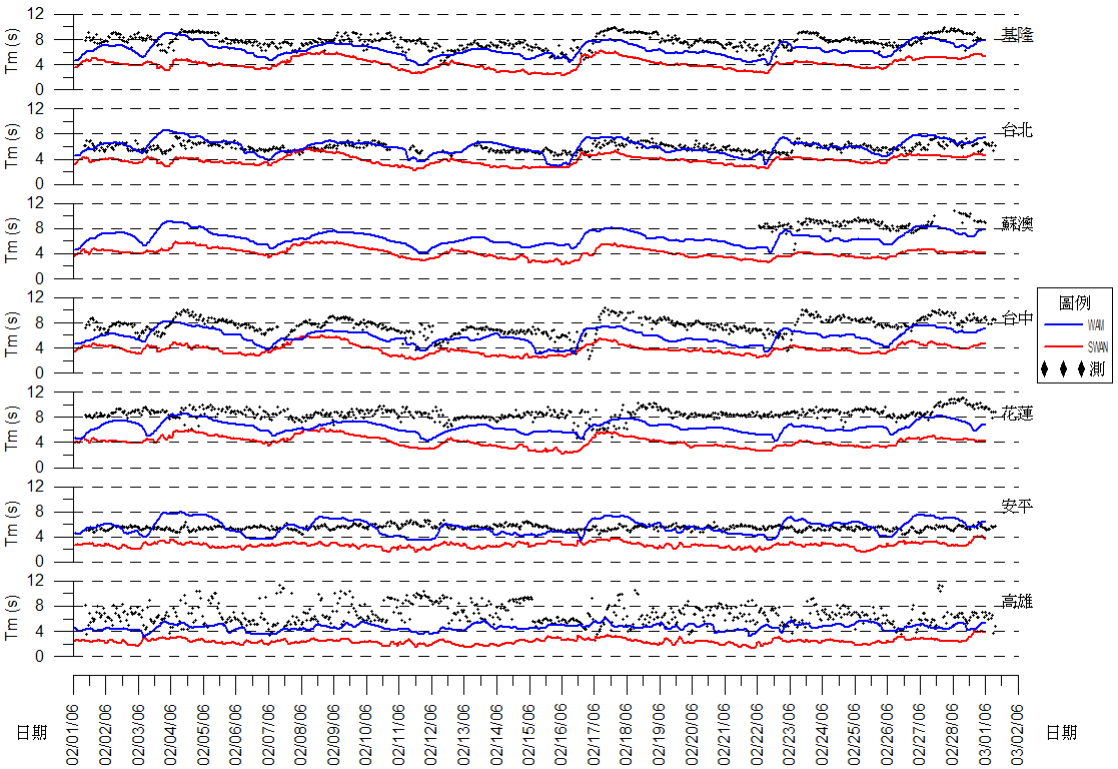


圖 4-2-39　2006 年 2 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(平均週期)

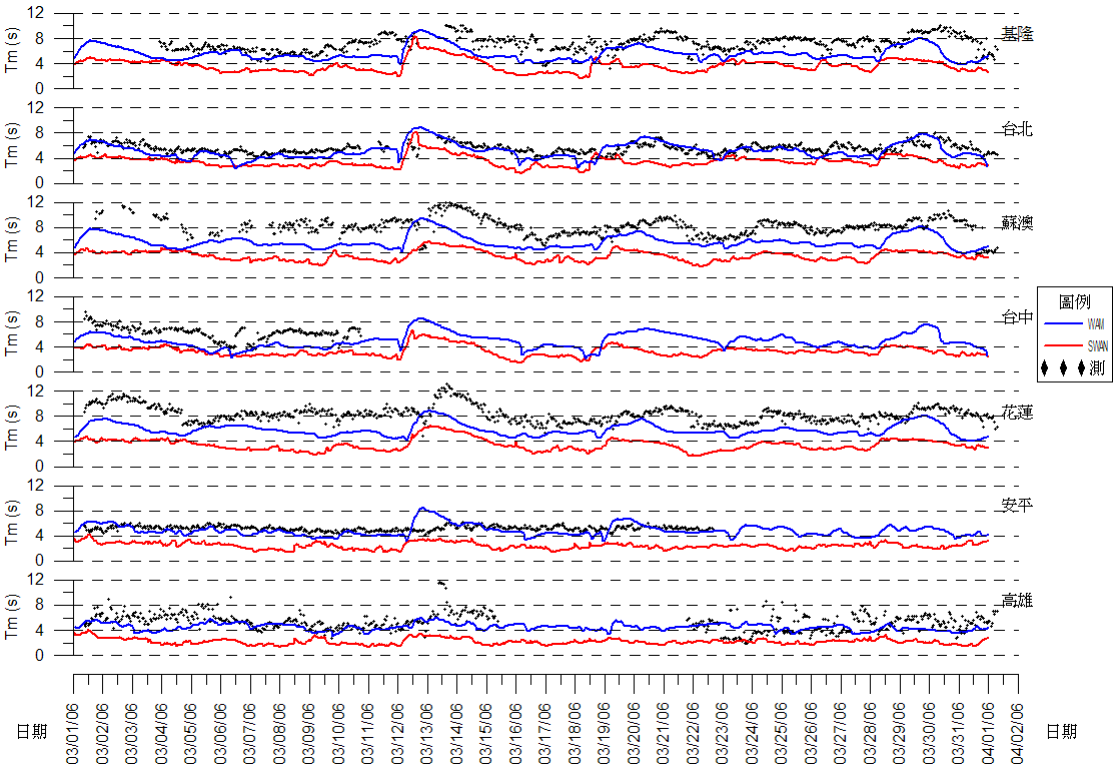


圖 4-2-40　2006 年 3 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(平均週期)

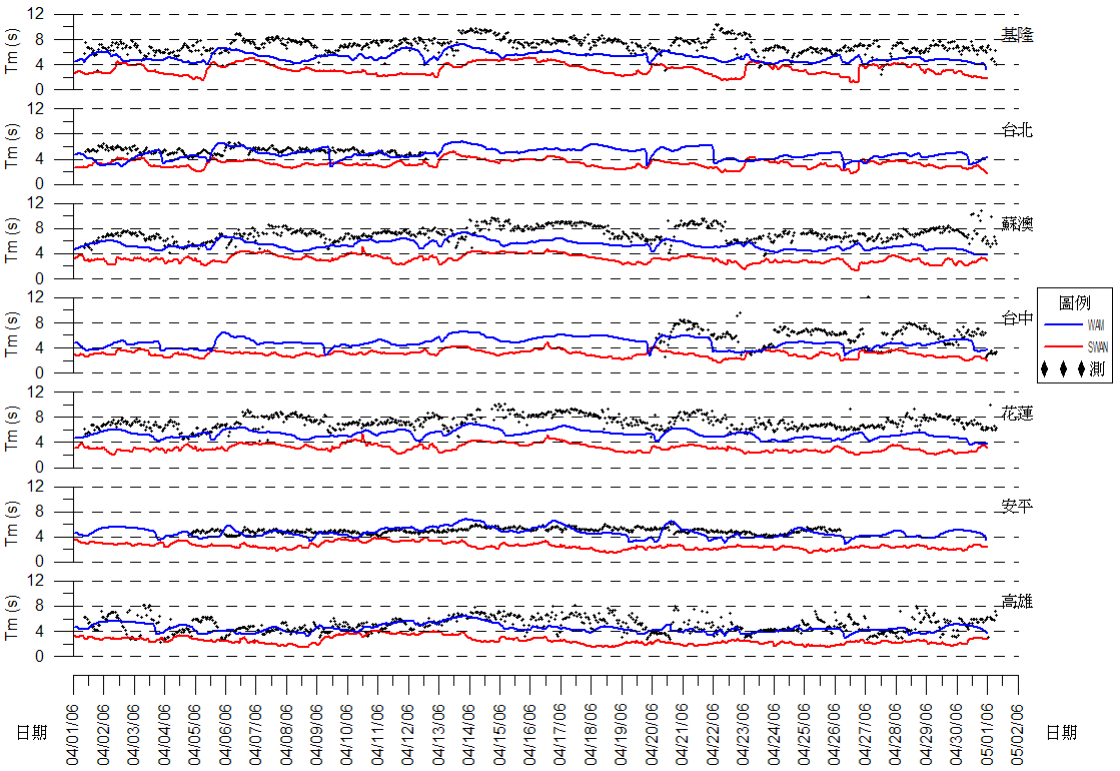


圖 4-2-41　2006 年 4 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(平均週期)

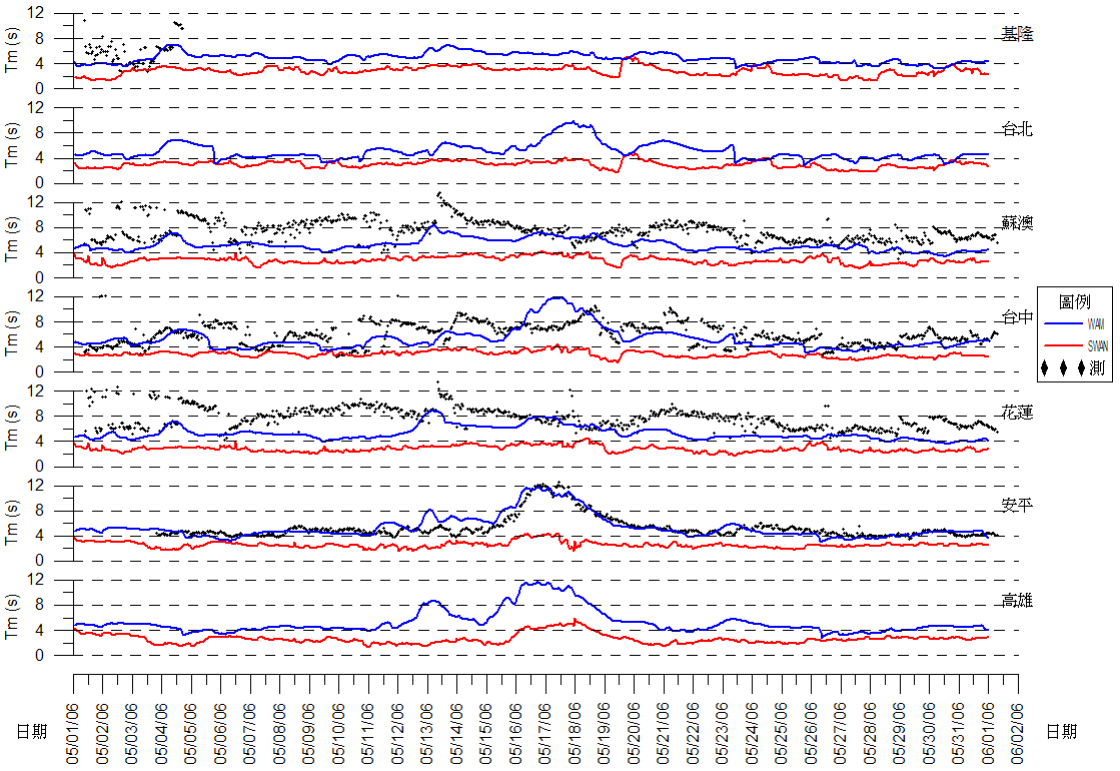


圖 4-2-42　2006 年 5 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(平均週期)

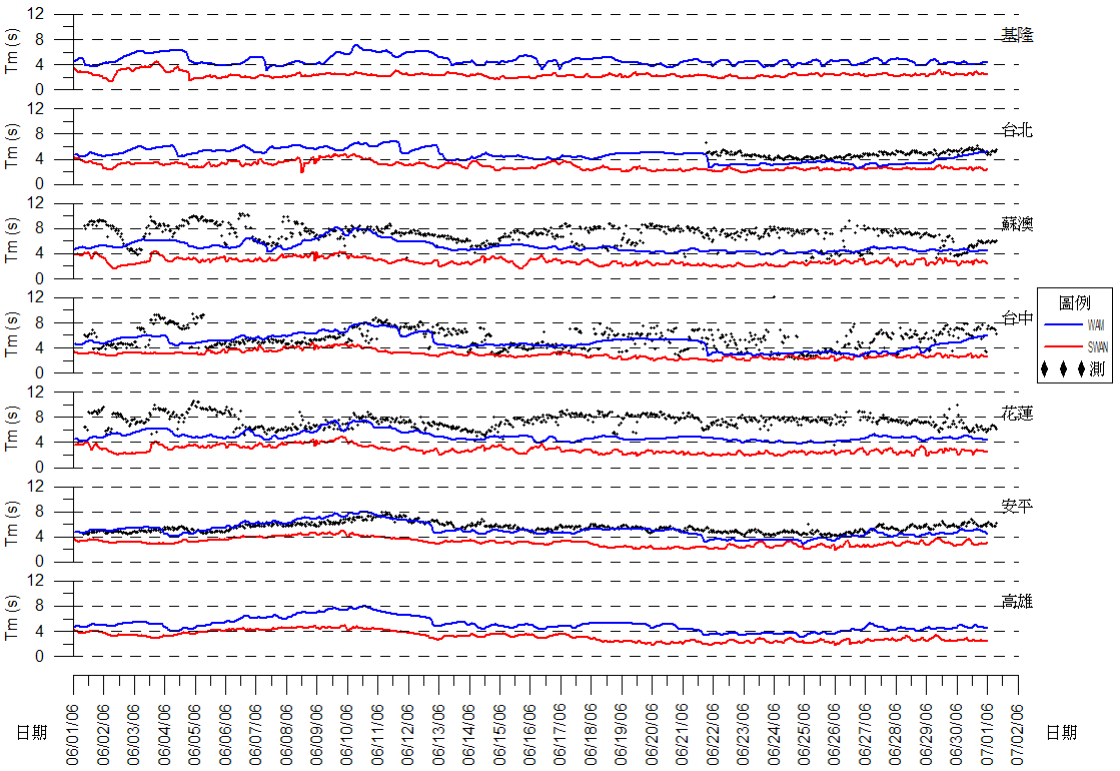


圖 4-2-43　2006 年 6 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(平均週期)

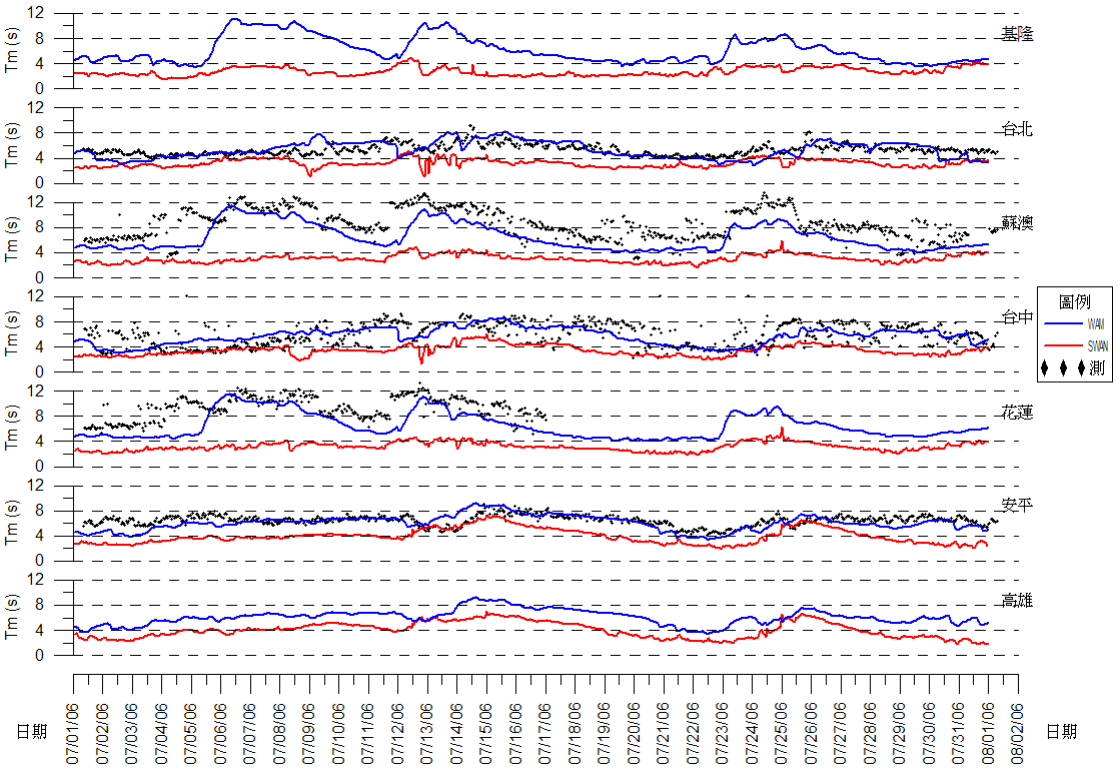


圖 4-2-44　2006 年 7 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(平均週期)

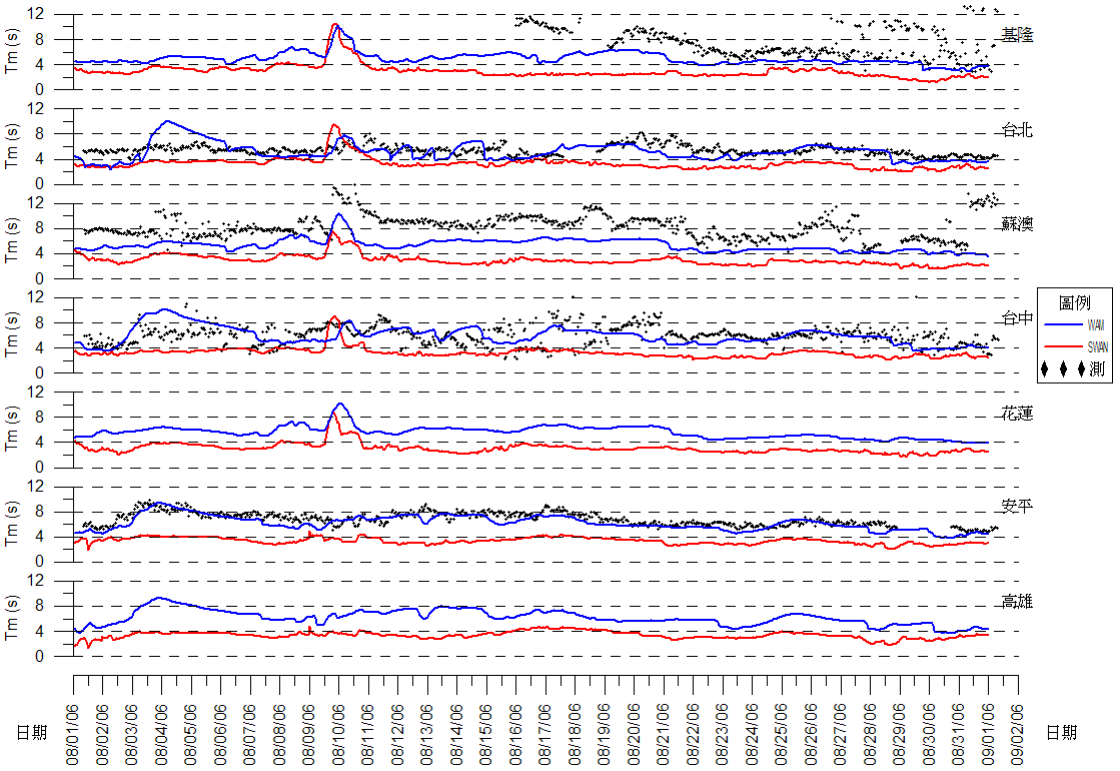


圖 4-2-45　2006 年 8 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(平均週期)

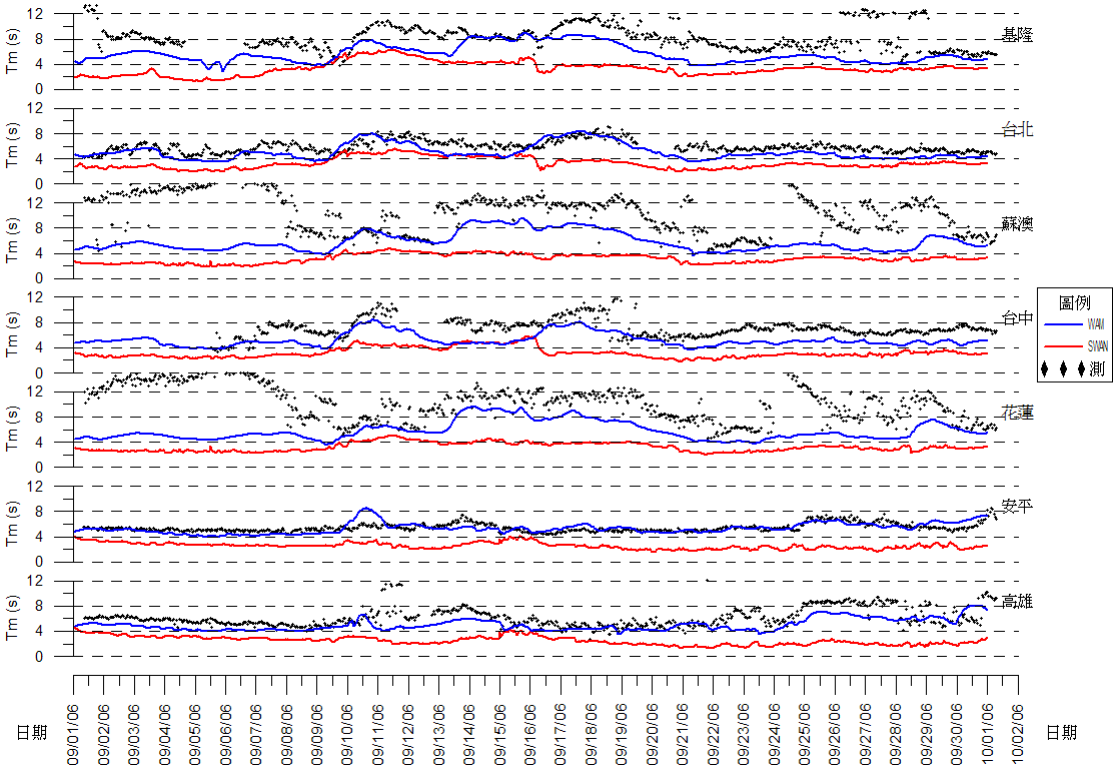


圖 4-2-46　2006 年 9 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(平均週期)

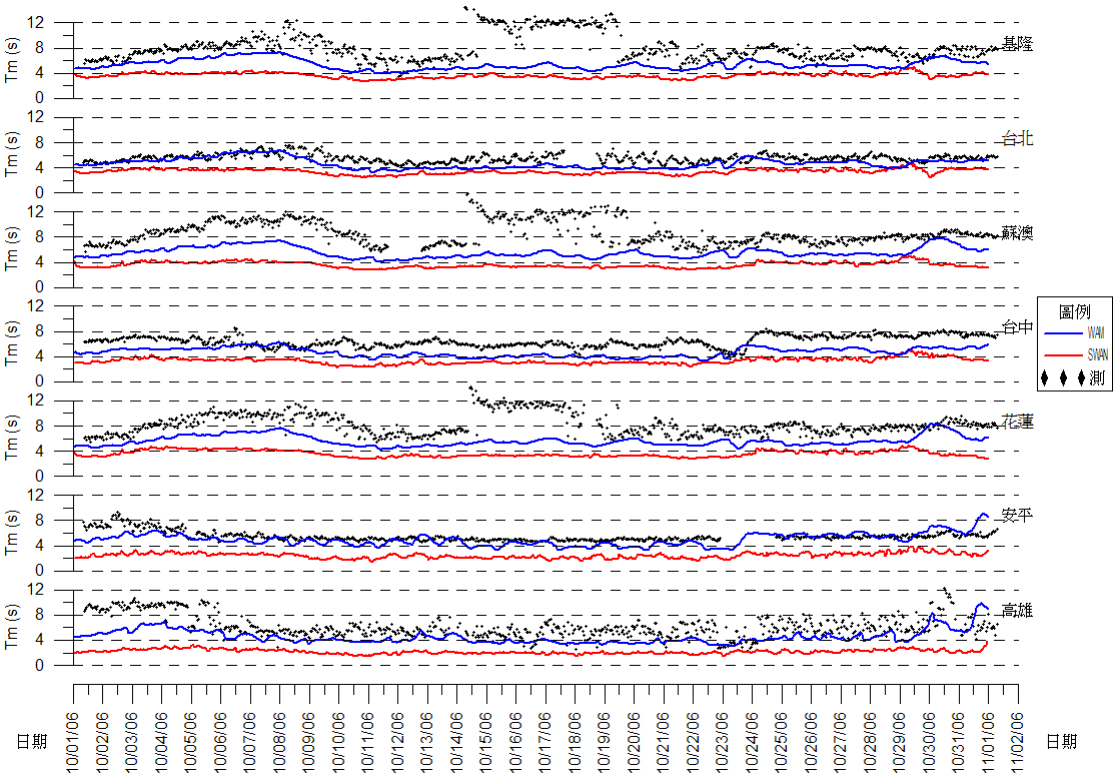


圖 4-2-47　2006 年 10 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(平均週期)

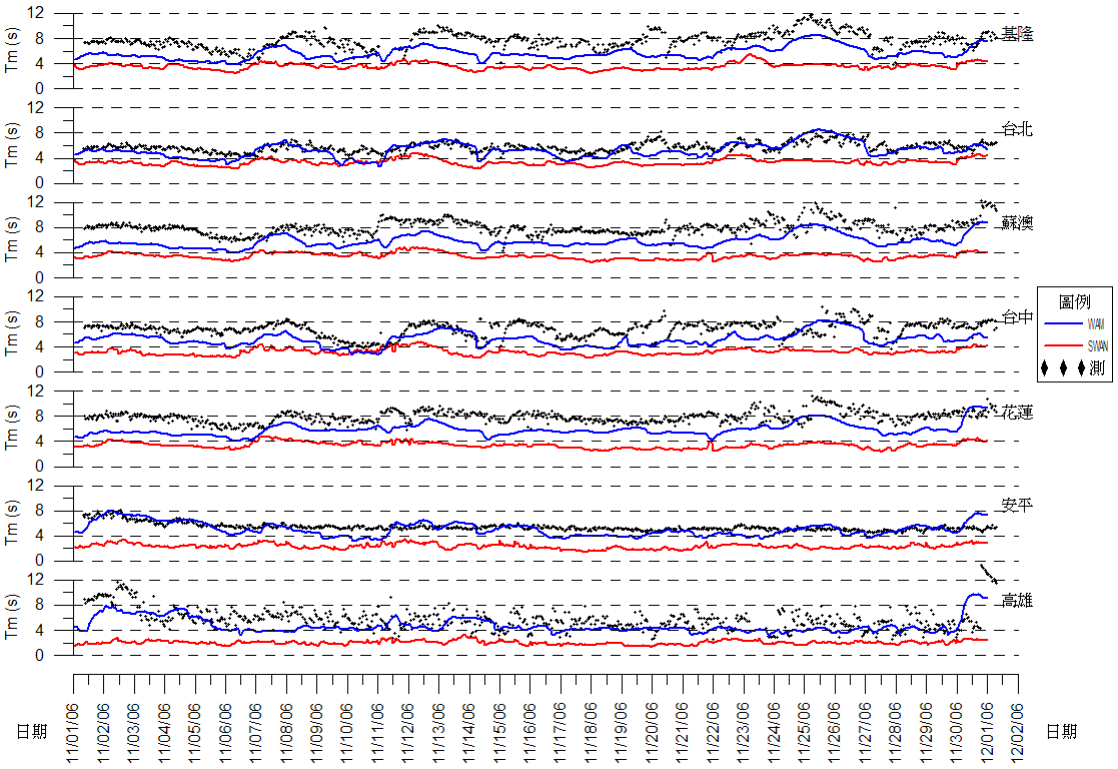


圖 4-2-48　2006 年 11 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(平均週期)

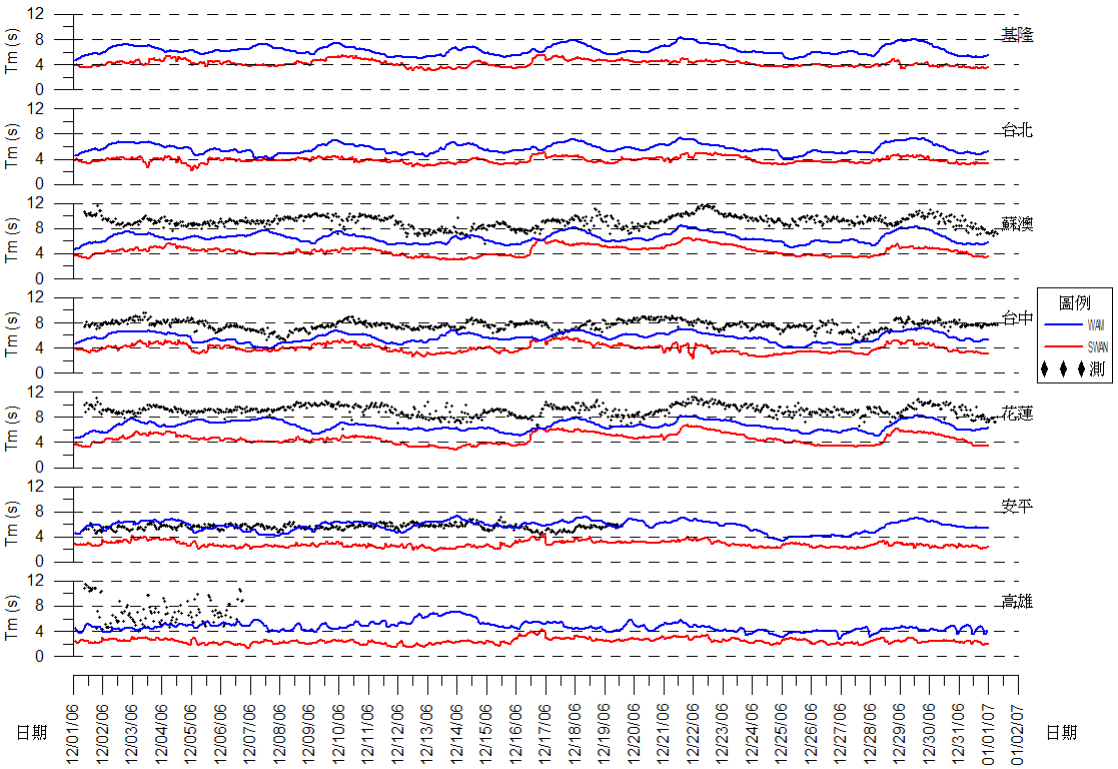


圖 4-2-49　2006 年 12 月份七大商港 WAM 與 SWAN 計算結果(平均週期)

第五章　港區設計參數推估

本計畫擬利用四年期間，進行臺灣七大港口台北、台中、安平、高雄、基隆、蘇澳及花蓮進行港區設計參數的推估，本年度為第一年，首要目標為將 2003 至 2006 年的資測資料及模式模擬結果進行分析，由於使用資料年數較短，僅能進行初步的推估，往後數年則會利用更長期的資料繼續針對七大港口進行詳細的推估。

5.1 設計水位

由於金年度為第一年推算港區設計水位，因此先規劃以 2003 年至 2006 年期間的模擬結果進行統計分析，找出每年各港區的最大水位。由於氣象局之動態風場僅從 2005 年開始提供，因此 2003~2004 年的風壓資料，利用中央氣象局提供之颱風警報單配合颱風模型，模擬出模式所需要的風場及壓力場，而未有颱風的期間，則無風場及壓力場的輸入，純粹為天文潮的計算。

表 5-1-1 為七港區 2003 年至 2006 年最大水位統計表。安平在模擬期間極值水位為介於 0.679~0.862 公尺之間，最大值發生於 2006 年凱米颱風期間。花蓮在模擬期間極值水位介於 0.947~1.207 公尺，最大值發生在 2006 年凱米颱風期間。高雄在模擬期間極值水位介於 0.83~1.006 公尺，最大值同樣發生在 2006 年凱米颱風期間。基隆在模擬時間極值水位介於 0.605~0.928 公尺，最大值發生於 2004 年艾利颱風期間。蘇澳在模擬期間極值水位介於 0.921~1.187 公尺間，最大的水位發生在 2006 年凱米颱風期間。台中在模擬期間極值水位介於 2.543~2.702 公尺間，最大值發生在 2006 年珊珊颱風期間。台北在模擬期間極值水位介於 1.495~1.835 公尺間，最大值發生於 2004 年艾利颱風期間。

目前由於資料僅 4 年模擬結果，進行回歸年限極值水位分析會有資料不足的現象，因此未來會針對各港區進行更長期的水位模擬，進行更仔細的分析。

表 5-1-1 各港區模擬期間極值水位統計

	安平	花蓮	高雄	基隆	蘇澳	台中	台北
2003	0.679	0.947	0.830	0.605	0.921	2.679	1.523
2004	0.733	1.058	0.883	0.928	1.136	2.543	1.835
2005	0.753	1.021	0.916	0.718	1.0	2.572	1.495
2006	0.862	1.207	1.006	0.790	1.187	2.702	1.593

5.2 設計波高

根據 4.2 節長期波浪模擬推算結果，得到下列的統計資訊：表 5-2.1 與表 5-2.2 為 2005 年與 2006 年七個港區的 WAM 模式與 SWAN 模式示性波高推算結果之年平均值；圖 5-2.4～圖 5-2.10 為七個港區 2005 年至 2006 年單月之平均統計值。另外，圖 5-2.1 為 2005 年至 2006 年間有發佈颱風警報的颱風時間表；圖 5-2.2 與圖 5-2.3 為七港全年示性波高推算結果之時間序列。

首先在 WAM 模式對七個港區的推算示性波高結果方面，其 2005 年之平均值在 0.651m～1.217m 之間，2006 年之平均值在 0.674m～1.152m 之間；而 SWAN 模式對七個港區的推算示性波高結果，其 2005 年之平均值在 0.654m～1.419m 之間，2006 年之平均值在 0.643m～1.311m 之間。另外關於示性波高的最大值方面，2005 年 WAM 模式之推算結果在 5.907m～10.135m，SWAN 模式則是在 5.010m～6.097m，此最大值發生原因為 2005 年七月中旬侵襲臺灣的海棠颱風所造成，該年繼海棠後陸續有泰利與龍王等強烈颱風，但在推算結果上仍以海棠颱風造成較大示性波高；而在 2006 年 WAM 模式之推算結果在 3.747m～5.603m，SWAN 模式則是在 3.874m～5.210m，參考颱風時間表，此最大值發生原因為 2006 年五月中旬的珍珠颱風與七月中旬的碧利斯颱風所造成，本年度颱風威力不若前年來得大，因此推算結果最高並無超過 6m。

參考圖 5-2.4～圖 5-2.10 的七港示性波高統計圖，就兩年間的模擬結果來說，WAM 模式的模擬結果，示性波高最大值之平均值：基隆為 3.613m、台北為 2.942m、蘇澳為 3.729m、台中為 3.226m、花蓮為 3.011m、安平為 2.607m、高雄為 2.205m。而在 SWAN 模式的模擬結果方面，示性波高最大值之平均值：基隆為 3.398m、台北為 3.419m、蘇澳為 3.380m、台中為 3.419m、花蓮為 3.606m、安平為 2.581m、高雄為 2.361m。另外兩模式所模擬出的示性波高最大值結果兩者間仍有一定差距，由圖中可看出，七個港區的 WAM 模式與 SWAN 模式推算結果上，在最大值的大小並無一定規律可循，建議

應採其 WAM 與 SWAN 模式之平均值，做為參考依據。

表 5-2.1　2005 年全年 WAM 與 SWAN 模式示性波高推算結果統計值

WAM 模式	基隆	台北	蘇澳	台中	花蓮	安平	高雄
平均數	1.149	0.904	1.217	1.014	1.064	0.817	0.651
最小值	0.139	0.039	0.220	0.041	0.152	0.099	0.082
最大值	8.920	6.883	10.135	6.499	8.344	5.907	6.008
SWAN 模式	基隆	台北	蘇澳	台中	花蓮	安平	高雄
平均數	1.315	1.330	1.365	1.284	1.419	0.817	0.654
最小值	0.126	0.146	0.160	0.084	0.228	0.105	0.096
最大值	6.097	5.284	5.467	5.298	5.909	5.010	5.176

表 5-2.2　2006 年全年 WAM 與 SWAN 模式示性波高推算結果統計值

WAM 模式	基隆	台北	蘇澳	台中	花蓮	安平	高雄
平均數	1.094	0.890	1.152	1.031	1.012	0.829	0.674
最小值	0.128	0.061	0.200	0.107	0.170	0.200	0.121
最大值	5.226	3.747	4.961	5.557	4.458	5.603	5.284
SWAN 模式	基隆	台北	蘇澳	台中	花蓮	安平	高雄
平均數	1.200	1.243	1.252	1.236	1.311	0.813	0.643
最小值	0.059	0.206	0.126	0.198	0.234	0.141	0.084
最大值	4.314	3.874	4.663	4.074	5.130	5.184	5.210

有發警報颱風列表

編號	中文名稱 紅：有發警報 藍：未發警報	英文名稱	警報期間	強度	侵台颱風路徑(九類)	近中心最低氣壓(hPa)	近中心最大風速(m/s)	七級風暴風半徑(km)	十級風暴風半徑(km)	警報發布次數
200613	珊珊	SHANSHAN	09/14~09/16	中度	--	--	48.0	--	--	17
200609	寶發	BOPHA	08/07~08/09	輕度	4	--	25.0	--	--	15
200608	桑美	SAOMAI	08/09~08/10	中度	--	--	48.0	--	--	16
200605	凱米	KAEMI	07/23~07/26	中度	3	--	38.0	--	--	21
200604	碧利斯	BILIS	07/12~07/15	輕度	2	--	25.0	--	--	25
200603	艾維尼	EWINIAR	07/07~07/09	強烈	--	--	51.0	--	--	11
200601	珍珠	CHANCHU	05/16~05/18	中度	9	--	45.0	--	--	17
200519	龍王	LONGWANG	09/30~10/03	強烈	3	--	51.0	--	--	21
200518	丹瑞	DAMREY	09/21~09/23	中度	--	--	25.0	--	--	17
200515	卡努	KHANUN	09/09~09/11	中度	--	--	43.0	--	--	16
200513	泰利	TALIM	08/30~09/01	強烈	3	--	53.0	--	--	22
200510	珊瑚	SANVU	08/11~08/13	輕度	--	--	25.0	--	--	19
200509	馬莎	MATSA	08/03~08/06	中度	1	--	40.0	--	--	25
200505	海棠	HAITANG	07/16~07/20	強烈	3	--	55.0	--	--	29

圖 5-2.1　05～06 年有發警報颱風資料（資料來源：中央氣象局）

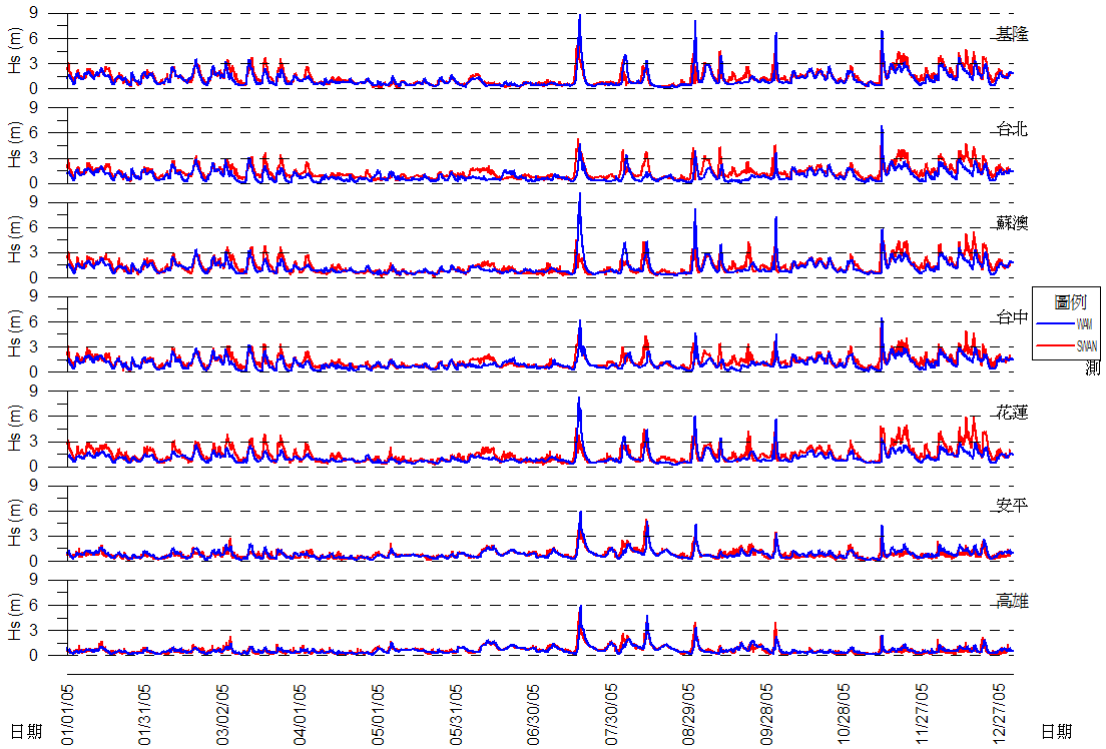


圖 5-2.2　2005 年全年 WAM 與 SWAN 模式推算示性波高結果

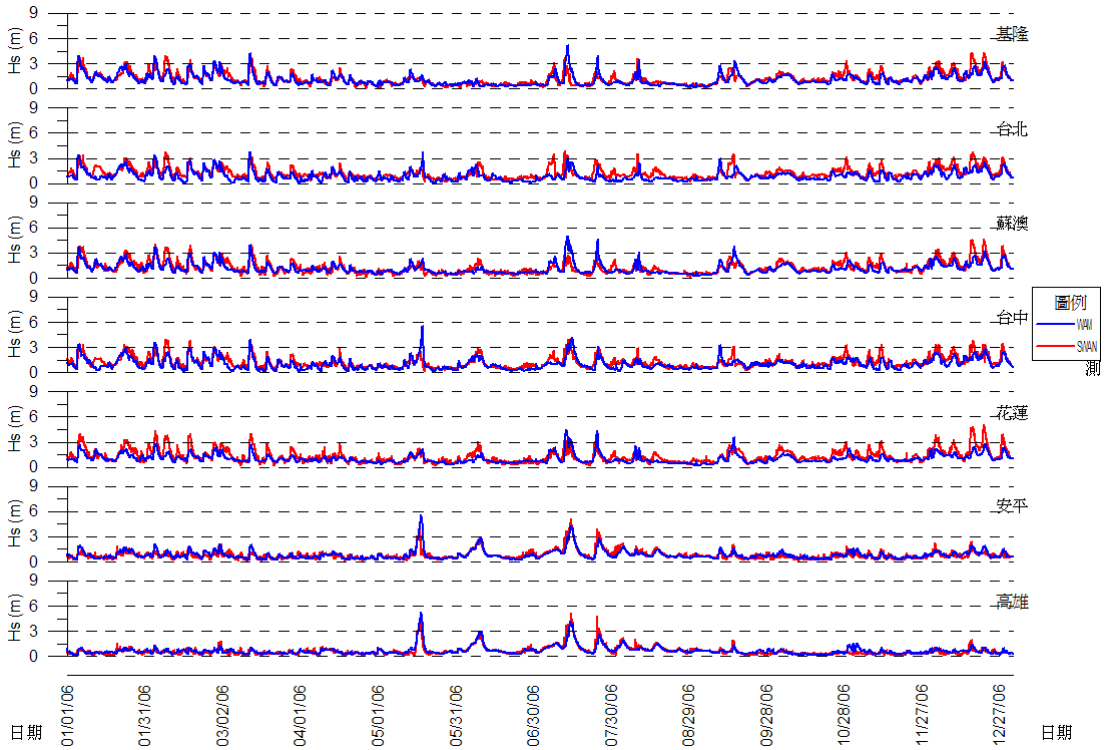


圖 5-2.3　2006 年全年 WAM 與 SWAN 模式推算示性波高結果

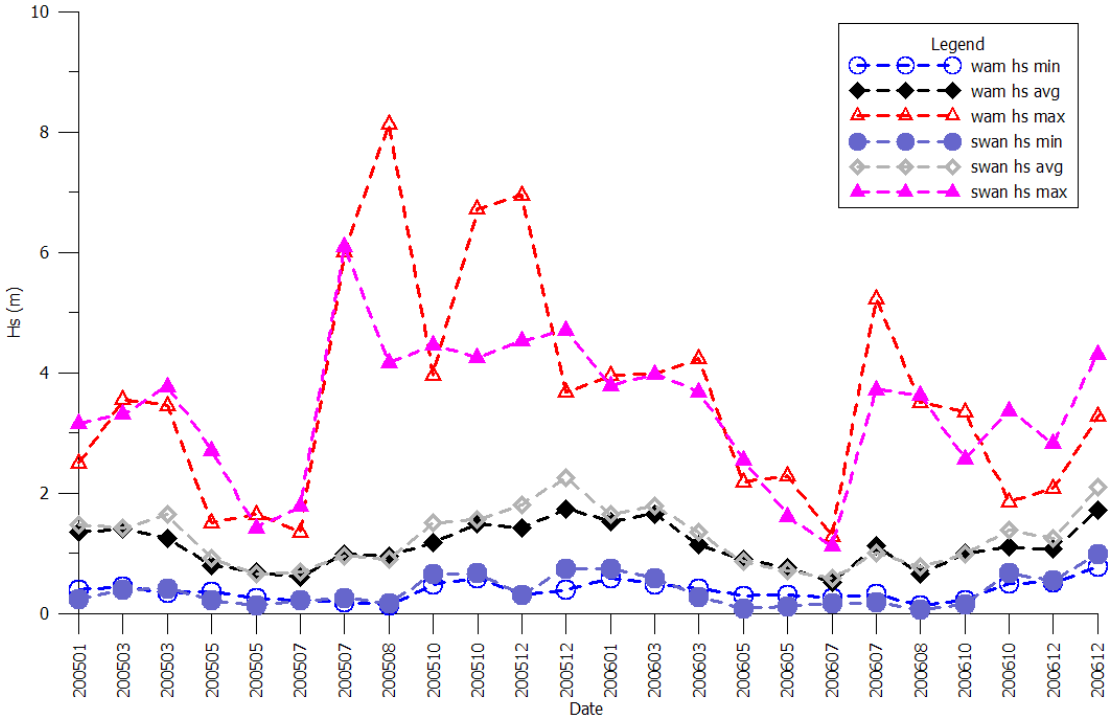


圖 5-2.4　基隆港 05～06 年 WAM 與 SWAN 模式推算示性波高之單月統計值

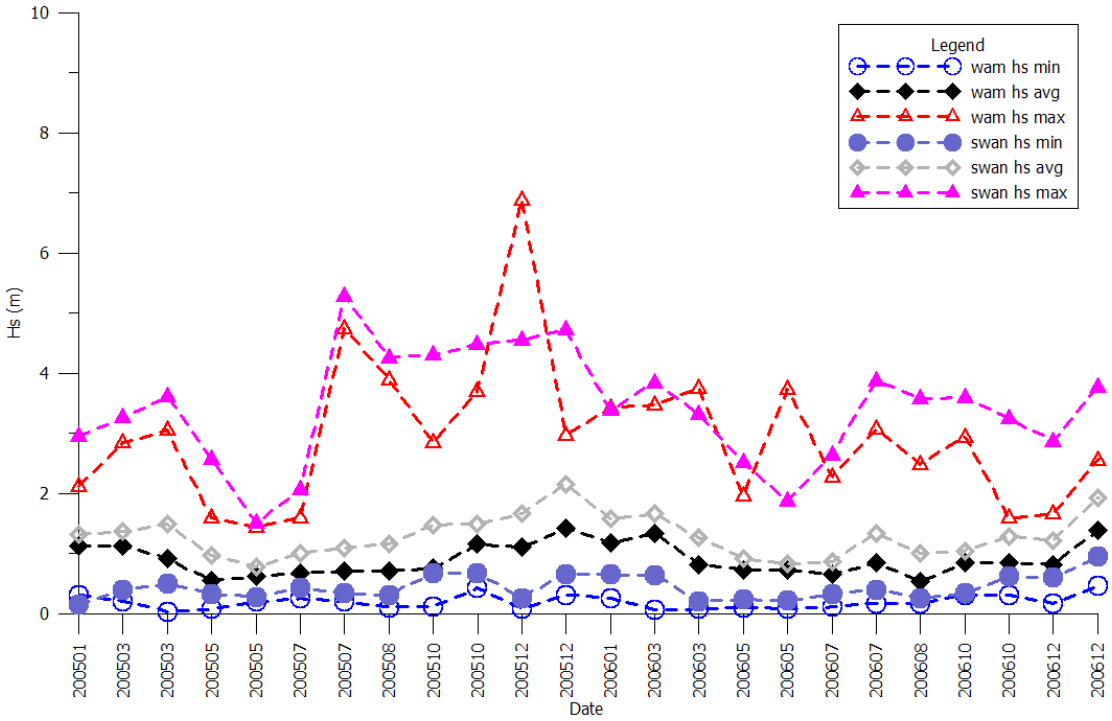


圖 5-2.5　台北港 05～06 年 WAM 與 SWAN 模式推算示性波高之單月統計值

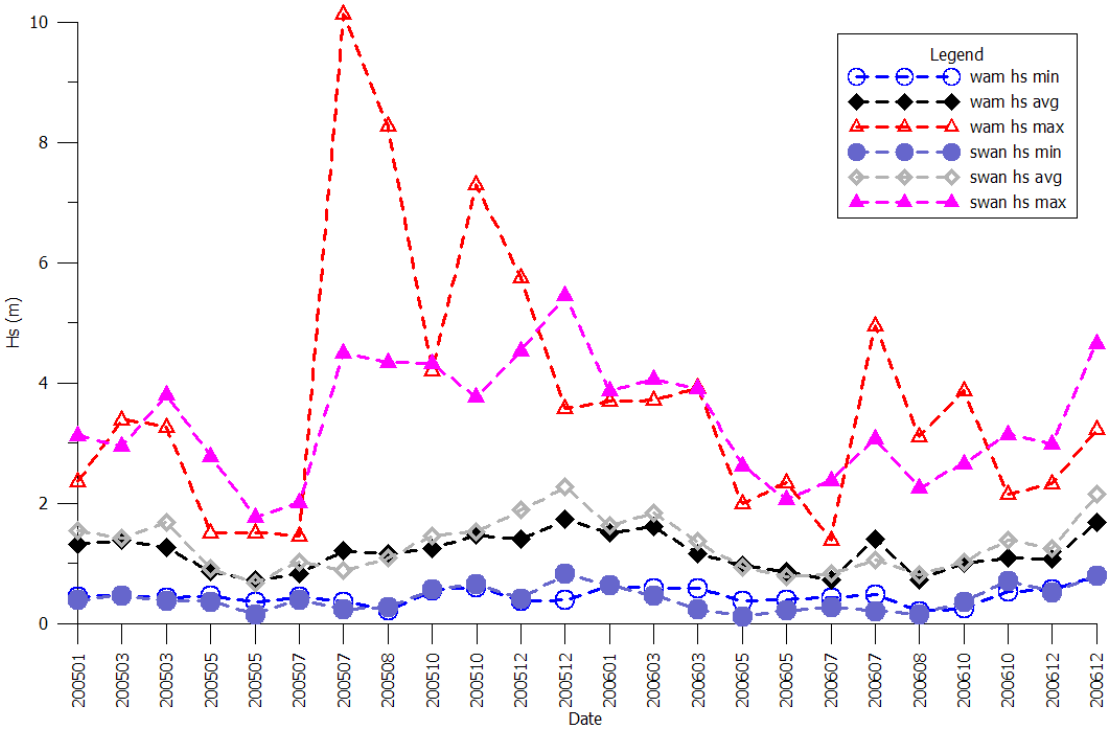


圖 5-2.6　蘇澳港 05～06 年 WAM 與 SWAN 模式推算示性波高之單月統計值

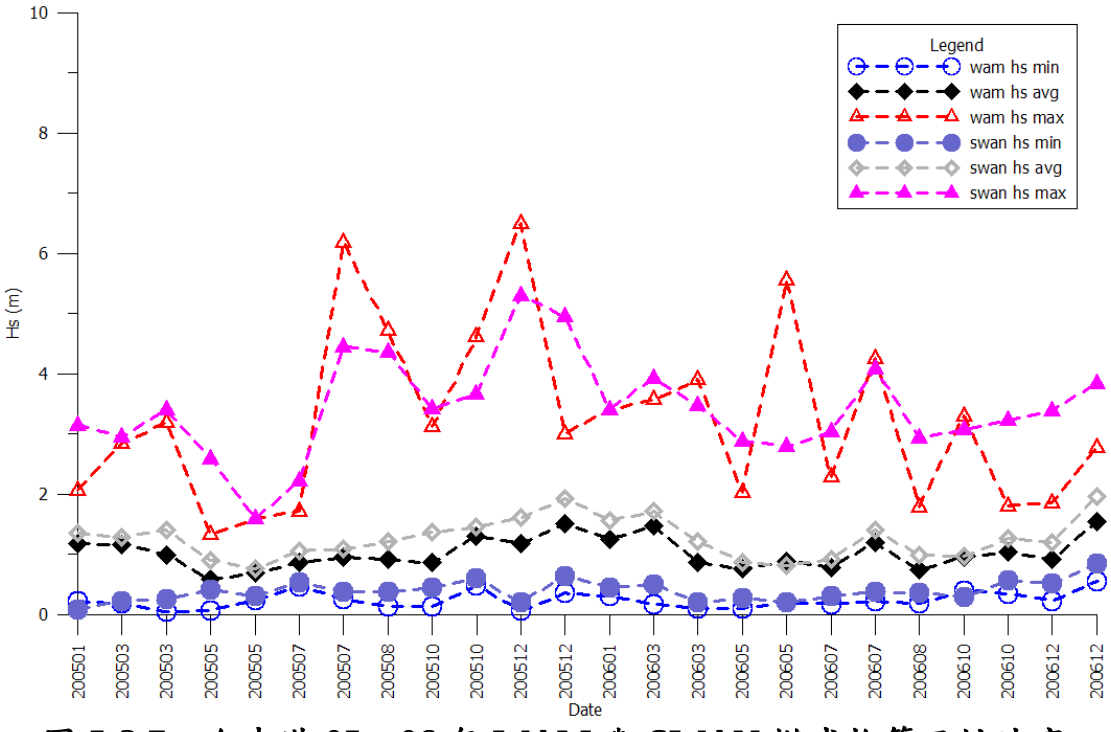


圖 5-2.7　台中港 05～06 年 WAM 與 SWAN 模式推算示性波高之單月統計值

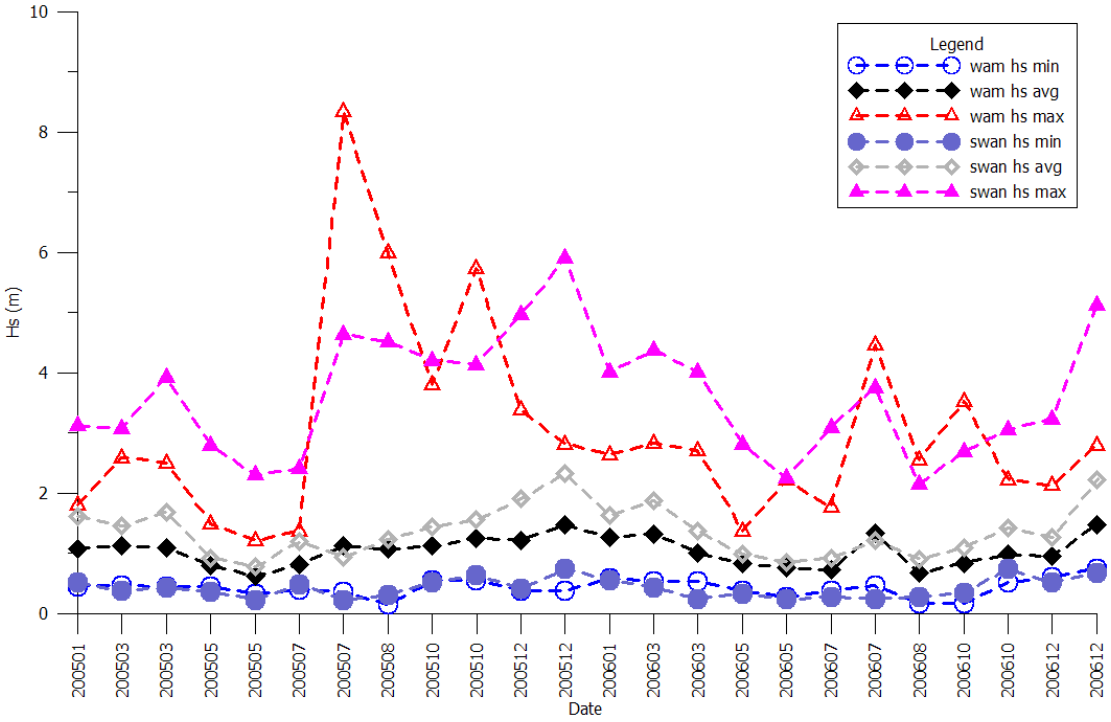


圖 5-2.8　花蓮港 05～06 年 WAM 與 SWAN 模式推算示性波高之單月統計值

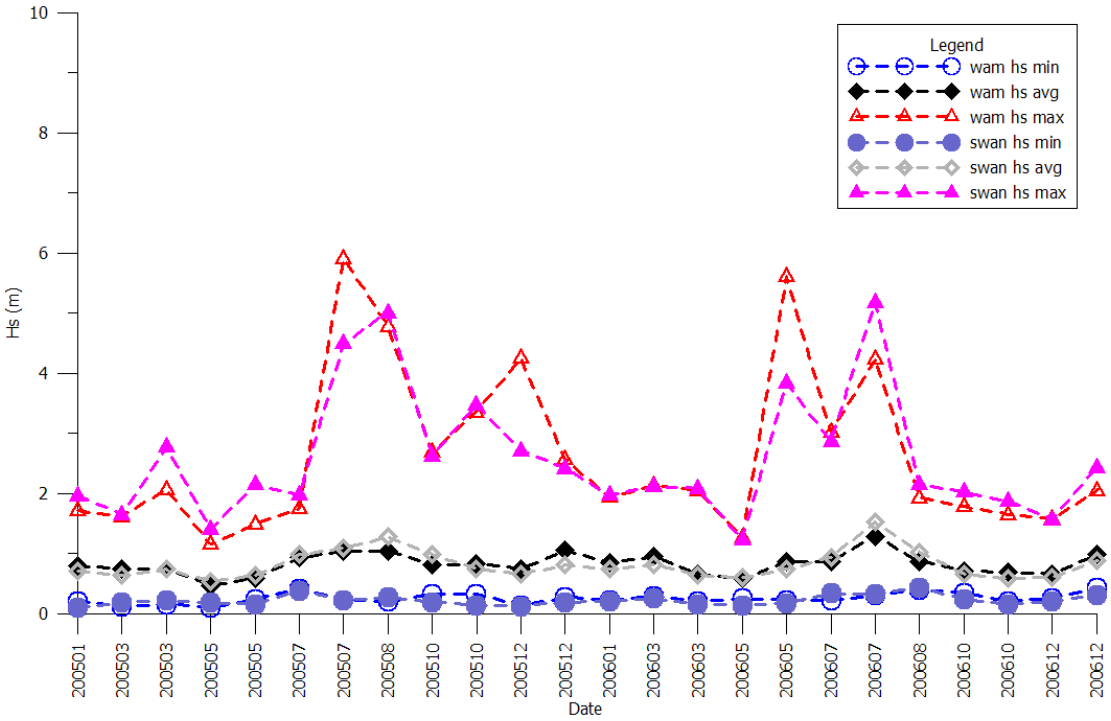


圖 5-2.9　安平港 05～06 年 WAM 與 SWAN 模式推算示性波高之單月統計值

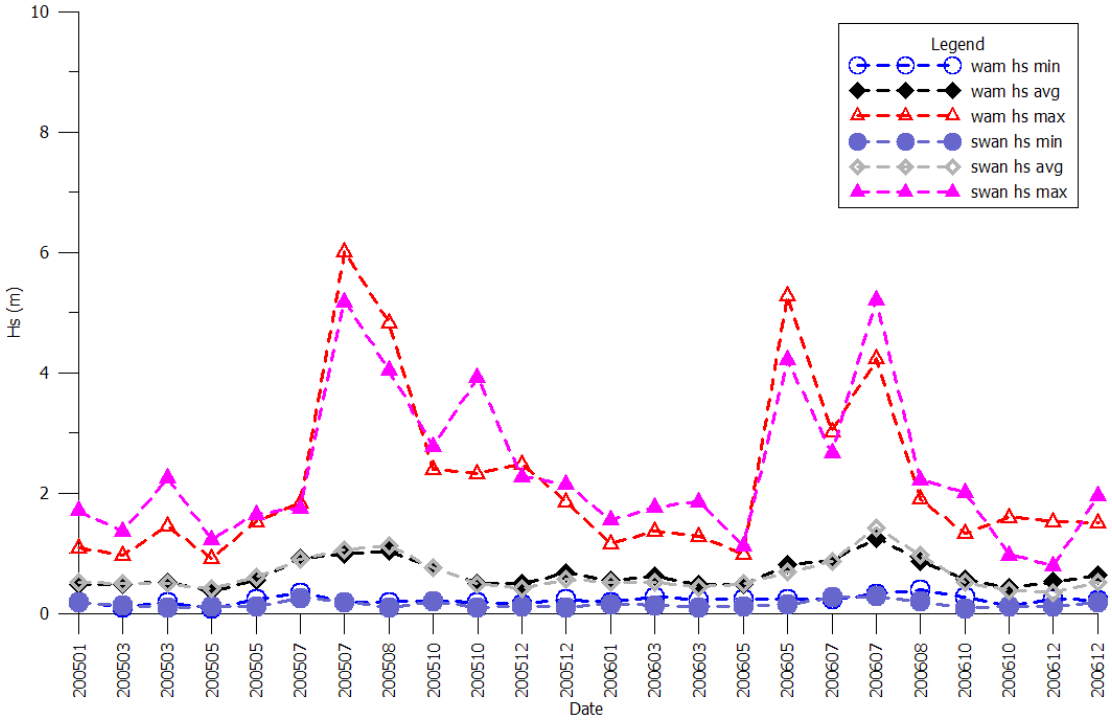


圖 5-2.10　高雄港 05～06 年 WAM 與 SWAN 模式推算示性波高之單月統計值

第六章 油污染擴散模式

2006 年 12 月 23 日馬爾他籍貨輪吉尼號（TZINI）自日本清水出港，準備進花蓮和平港載運水泥，在 24 日清晨三時，在蘇澳港外三海浬處下錨。清晨五時，船長向蘇澳港塔台求救，告知該船流錨，主機又故障失去動力，吉尼號被海浪拍打到蘇花公路一百零九公里下方，距岸不到一百公尺處擱淺（圖 6-1）。船艙破裂導致嚴重漏油，在海風助長下，浮油持續向花蓮海域蔓延擴散，污染海域長度超過 10 公里。並且洩油地點緊鄰豆腐峽珊瑚礁復育區，十分危急。

此部份以 CYCOFOS(Cyprus Coastal Ocean Forecasting and Observation System)中的 MEDSLIK 洩油模式來模擬吉尼號洩油油團的移動軌跡，並以國家太空中心（NSPO）所拍攝的衛星相片及 Google Earth 的衛星影像來做比對。輸入條件包括：(1)時間：2006.12.24 AM 05：00；(2)洩油地點：蘇澳港南方 3 海浬處（24˚34 N，121˚52 E）；(3)油品：Arabian Heavy；(4)漏油量：油污外洩約 100 噸；(5)海水溫度：18 度；(6)模擬時間：43 小時（06/12/24 AM 05：00 至 06/12/26 AM 00：00)；(7)風場：採用氣象局每小時實測資料；(8)流場：採用港研中心每小時實測資料。

吉尼號在岸邊擱淺且油艙破裂，導致污染海域（圖 6-2、圖 6-3）。藉由 MEDSLIK 的數值模擬，所得到的油團移動軌跡（圖 6-4）大致和 Google Earth（圖 6-5）、NSPO（圖 6-6）衛星照片符合。宜蘭環保局預測因為受到當時的風向和海流的影響，油團會向南部移動，並且豆腐峽珊瑚礁復育區離事故地點相隔不遠，生態環境將受到極大的威脅（圖 6-7）。但是由於宜蘭縣環境保護局密切監測，蘇澳海巡隊佈置攔油索，且漏油面積沒有持續的擴大和海流的改變，使得珊瑚礁區沒有受到污染，生態良好，珊瑚生態持續生長。



圖 6-1　吉尼號（TZINI）洩油事件

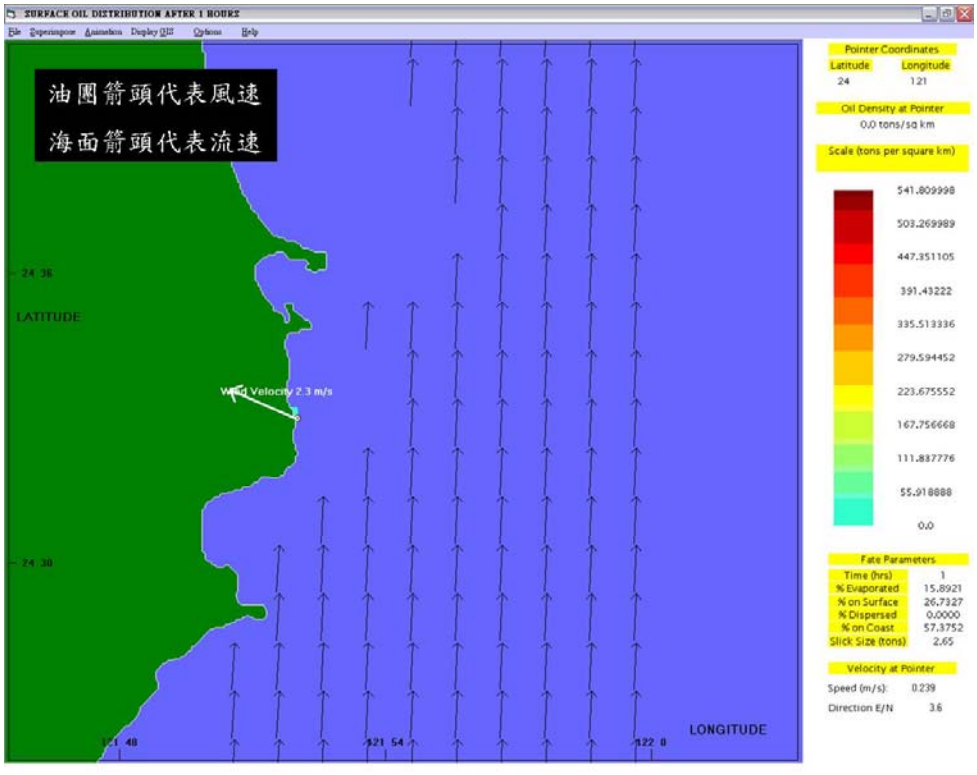


圖 6-2　模擬吉尼號開始發生洩油



圖 6-3　吉尼號洩油的衛星照片

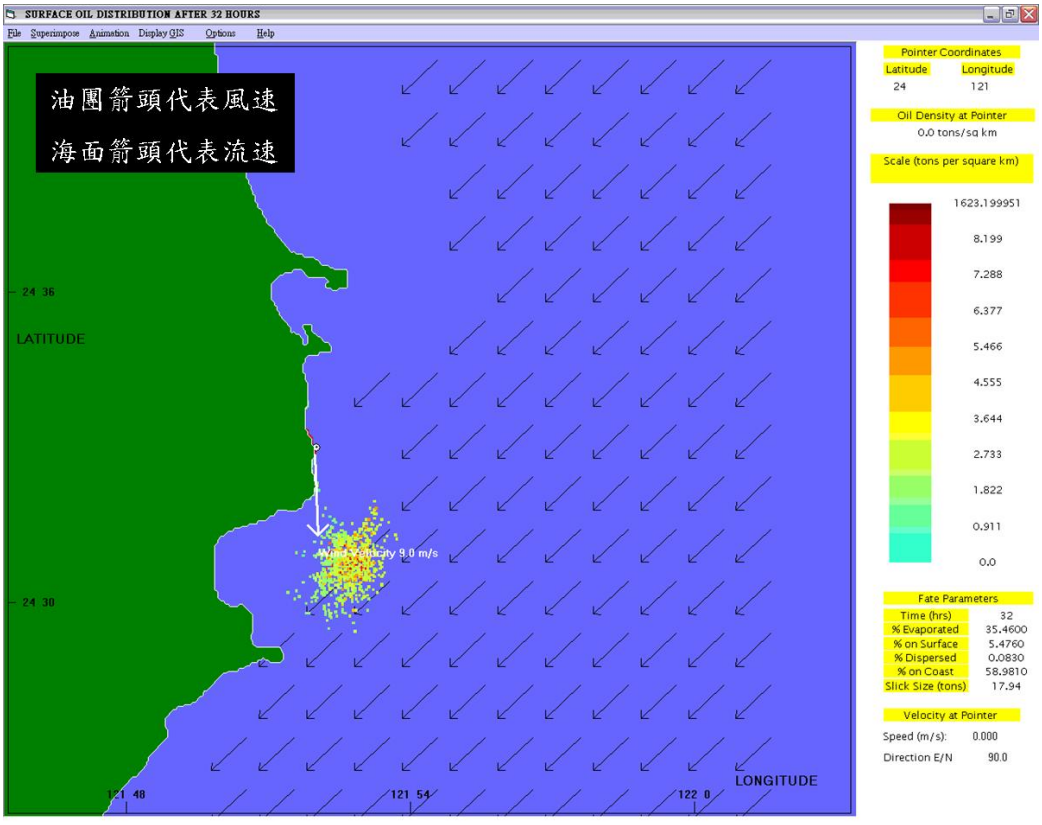


圖 6-4　模擬 32 小時後油團所移動的位置



圖 6-5　Google Earth 的衛星照片

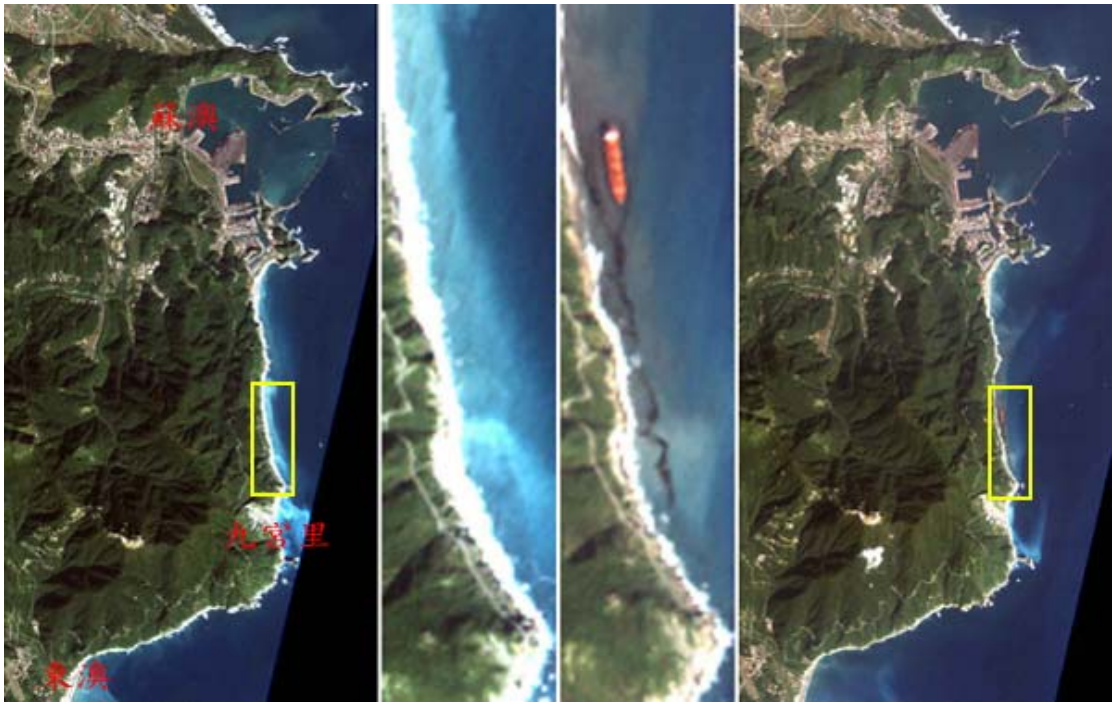


圖 6-6　NSPO 的衛星照片

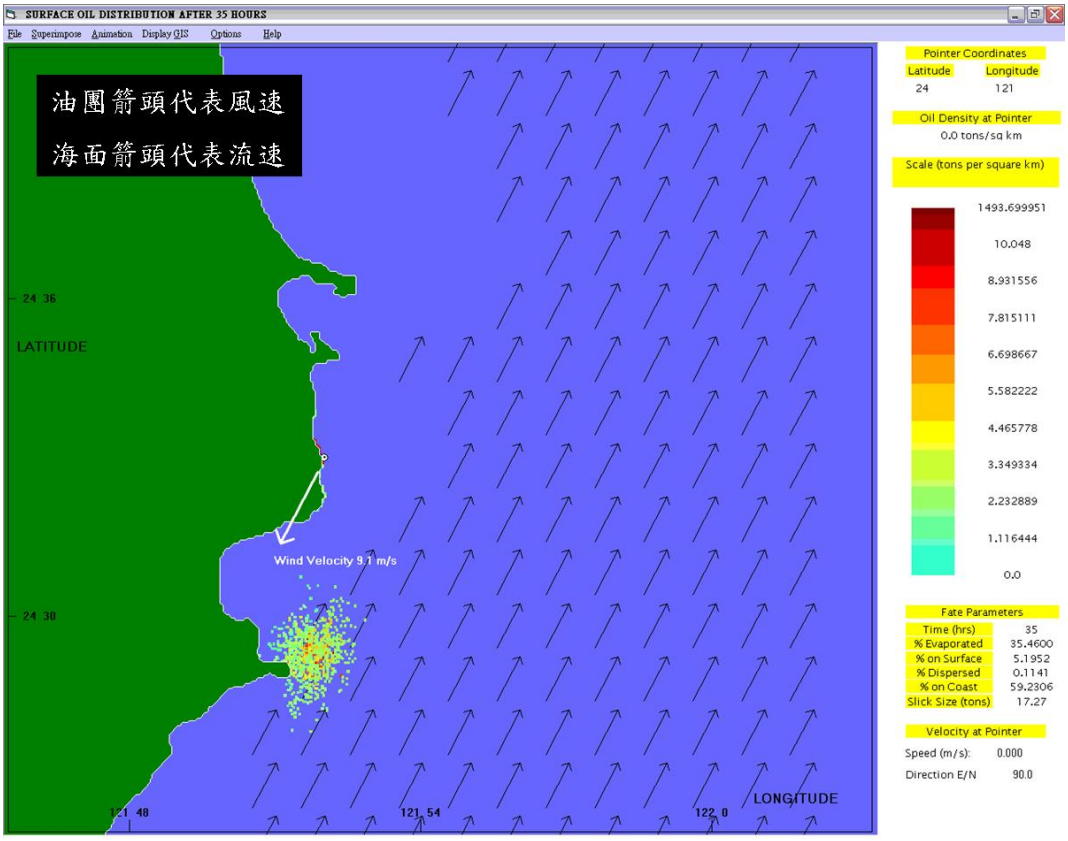


圖 6-7　模擬 35 小時後油團在豆腐峽上岸

第七章　波浪資料同化

本工作項目旨在建立波浪模式與觀測資料之資料同化模式建立，並引用觀測網量測資料進行測試與比較，評估同化之成效。工作項目除了持續前一年的文獻資料收集外，也著手進行資料同化程式模組的編寫與測試，以及依實際比較結果進行修正。目前已經進行資料同化的文獻收集與回顧整理，以及相關的評估與討論如下所述。經由文獻回顧與資料收集的過程中，發現若以目前國內現有的觀測網資料要直接進行資料的同化，由於台灣海域的地形複雜，各觀測站的性質差異頗大，可能造成同化結果的無法收斂。因此，本年度的先期研究乃先針對預報模式所使用的風場進行不同的測試。以下先對資料同化的理論與發展進行回顧，其次討論過去的研究成果，而後報告上半年度計畫的執行情形與後續的工作方向。

7.1　波浪推算與資料同化

波浪的生成與風場的變化有很大的關連性，因此波浪的推算除了湧浪的傳播外，主要仍以風波為主。波浪的推算也必須以風場作為主要的外力輸入，並需要考慮風場的變化歷程。在數值模式的建立上，大氣與波浪的行為常以一組用數學方程式表示的物理定理來代表，透過由這些物理定理可以計算大氣的量或場(如溫度、風向和風速及濕度等)將如何改變，因此如果我們可以解出這組代表物理定理的數學式，我們就可以由目前的天氣狀態推衍出對未來天氣現象的描述，這就是我們所謂的數值天氣預報。而如果能曉得的風力與波浪成長衰減間的關係，則由風場的變化也可以進一步推算海面上的波浪變化情形。

然而，由於表示物理定理的數學式均相當複雜，尤其是實際相關的邊界條件過於複雜無法用簡單數學式來加以表示，導致從數學上並無法找到完整而正確的解析解來描述未來大氣或波浪的行為，因此我們只能透過數值模擬的方式來獲得近似解。然而為了利用有限的計算資源來完

成數值推算的工作,也往往對整個物理的問題進行了某一程度的假設與簡化。電腦是目前進行數值解析的主要工具,如果代表大氣場或波場的空間解析度太低,則所推算得的未來變化場就越不詳細,對海氣象預報的助益就越小;而大幅度提高數值計算的空間解析度,當然越能詳細描述海氣象場的變化,對海氣象預報的助益就越大,但也意謂著得利用計算能量較大(也較昂貴)的電腦資源才能得到模擬結果。

目前波浪的數值推算可以依照其計算的時間點來區分為追報(hindcast)、現報(nowcast)、以及預報(forecast)三類,其中預報部分的正確性由於無法取得未來的海氣象變化資料,因此只能依靠數值模式本身所使用的數學理論是否周延,以及參數的選擇是否正確;而追報與現報則可以利用現場的實測資料來加以檢核與改善。在過去的波浪分析與應用中,實測資料多只用來進行數值模式推算結果的檢核而已。而結合數值模式推算結果與現場實測資料來建立一較佳的海象預報模式的工作稱之為資料同化或資料分析(data assimilation or analysis)。資料分析首先被應用於氣象學的領域裡,氣象學家會先在氣壓實測的資料上繪製等壓線並比較及歸納氣壓分佈的標準型式,然後將分析成果帶入數值模式中。

由於實測的資料可以同時應用在數值模式的檢核與改善上,當一個模式是用數值自動模式擬合技術來進行改善(例如調整公式裡的參數),也就是所謂的逆算建模(inverse modeling),而不是直接利用一個固定的模式來計算資料然後再和實測資料相比較,實測資料便可在這種逆算建模中協助建立一較佳的模式。而所謂的資料同化一般是根據一動力模式逆向模擬處理任何數學模式與修正相關變動參數以便使計算資料與實測資料更加吻合。對中短期數值海氣象預報而言,預報品質的好壞受到初始場的影響很大。將各種實測資料以特定變數型式彙整至特定的網格系統的步驟稱為資料同化,其結果稱為分析場,而此分析場通常也是數值海氣象預報系統之初始場。如果在資料同化過程中不只考慮資料在空間上的互動關係及其間的差異性,同時也考慮資料在時間上之關連性時(例如利用數值動力預報模式進行不同實測時間資料的串聯),便是

所謂的資料四維同化。初始場的最佳估算是資料化工作中的主要目標之一。

大氣的資料同化觀念早從西元 1960 年代便已經引入到數值天氣預報中，而波浪預報方面則很晚才開始注意到此一問題。氣象預報的品質需要從預報模擬計算開始的初期狀態便進行大量的修正，也就是說在氣象預報上初期化是個非常重要的關鍵。然而在波浪建模上這並不是問題。事實上，當模式有效地啟動了以後，所有的初期條件都已經被取代而消失了。而且在早期的波浪模式中，風力場的品質成了最後波浪推算資料品質的限制因素。隨著風場預測及分析的改善，對波浪推算品質的改善，以及希望結合波浪推算與現場實測資料的要求也隨之增加。

雖然，波浪推算模式的改善已經有相當的進展，但由於缺乏高品質的實測資料，資料同化的企圖仍然被延宕了相當久的時間。目前只有在北海的聯合實測(JONSWAP)由於有相當密的實測網而成為早期資料同化研究的目標，因此較為成功外，全球性的實測資料由於僅能從船舶進行目視實測所得到的資料而有較大的誤差，而且其整體性分佈也不均勻(以國際海運航線為主)，因此仍是不正確。類似的情形其實也存在於氣象學裡，因為在陸地上可以充分地設置實測站，然而海面上則僅有少數幾個實測站，尤其是南半球的部分。

由於氣象實測衛星的發射，明顯地突破了此一困境，也提供了很多資訊給大氣及海洋模式的建立以及氣候的研究。例如，海洋氣象衛星可以提供固定時間間隔(例如，0、6、12 及 18 小時等)並以陸地部分為主的海氣象資料，而地表實測衛星也可以提供連續的海洋實測的資料。這種連續性實測資料的提供導致了資料同化從單一固定時刻的資料同化延伸為四維的系統，包含對時間軸的資料同化。

由以上所述可以知道，發展數值海氣象預報的要件包括了要有足夠且分佈均勻與準確的海氣象實測資料，並配合有效的資料四維同化技術、合理精確的數值天氣預報模式、及具高速運算能力的電腦資源。

參考鄭明典(2001)的回顧，氣象實測大致可以分為傳統(定時定點)

的氣象探空實測，以及非傳統(在時間軸上近似與連續)氣象實測，如衛星遙測、飛機氣象報告及地面的雷達、剖風儀等。雖然目前最準確而可靠的氣象資料來源仍屬傳統的氣象探空實測,但是由於經費與分析技術的限制，並非所有國家都有能力也有興趣支持此項實測業務，而使得此項實測有逐漸式微的情形。就全球性氣象實測資料來源的穩定性而言，傳統氣象探空實測亦非任何單一國家或組織所能掌控,因此先進國家轉向開拓不受國界限制之實測平台。

就過去十數年的氣象資料量的變化情形來看,全球性的氣象實測資料成長數量最多的是衛星遙測資料，而且預期此一趨勢將會持續成長。基本上,衛星實測所提供的是幅射強度的資料，雖然一般而言是將幅射資料利用衛星反演計算後才使用於數值天氣預報,而此一步驟常會產生相當程度的誤差。此一過高的誤差及不充足的垂直解析度是現今衛星遙測資料最為被詬病的地方。然而隨著遙測及資料同化技術的進步，衛星遙測資料的可用度正逐年提昇中，就全球氣象資料同化的發展而言，未來很可能衛星遙測資料會成為唯一的資料來源。

7.2 整合性的資料同化技巧

在波浪模式建置中，資料同化的主要應用是在一個結合風場與波浪場的資料同化中對 scatterometer、altimeter 及 SAR 等資料的同化。其原因是這些儀器所取得的資料通常都是不完整的或者是不明確的，而且必須用其他的儀器或傳統的實測系統的資料來進行補遺。例如：

(1) Scatterometer(散射量度器)可以量測小範圍的表面粗糙度，它和地表風場及表面應力有關。這些資料與從大氣模式所獲得的邊界層穩定性資料可以轉換成地表風場，而可以作為氣壓資料同化技術的輸入資料。對於最佳逆算 scattermeter 演算法中除了需要有初期猜測風場，而對於改進的資料修補可能還需要有初期猜測波浪場。

(2) Altimeter(高度計)可以提供示性波高與風速，而實測的波高與初期猜測模型波高可以應用在二維波譜的能量修正上。然而為了更新整個二維波譜，將會需要更多的資訊或假設。

(3) SAR(Symthetic Aperture Radars，孔徑合成雷達)可以獲得完整二維頻譜上經過率定的資料，不過由於凍結的海洋波浪影像上有 180°方向的不明確性 ambiguity inherent 以及由於影像機制的高非線性所引起的高頻部分截斷，使得這些資料的有效性受到限制。雖然如此，利用模型波譜作為初期猜測值，我們仍可以從 SAR 擷取到有用的波譜。這些更詳細的資訊可以明顯地更新原來僅僅使用示性波高所進行的簡單資料同化。

有關波浪推算的同化作業，Hasselmann(1985)建議提出了一完整的風場與波場的資料同化系統，圖 7-2-1 顯示其建構的系統。由於衛星資料演算與初期猜測資料有交互相關，因此該系統內包含了衛星資料演算，例如 SAR 的反算技術。利用初期猜測預報資料作為輸入資料，從衛星資料演算所得到的資料便可以帶入大氣與波浪推算模式及資料同化的整合模式中。所有的衛星資料與傳統的實測資料將與初期猜測場結合以提供有關風、波及一般氣象預報的修正初期分析場。修正分析場可

以被用在各種不同的應用中，例如提供海象統計，或是從地表風場及應力場計算全球性風驅洋流等。由於整個系統關連非常廣，目前的相關研究工作都僅能集中在局部性的處理，要完成整個系統可能還需要努力很多年。

在波浪推算模式中的資料同化主要的仍是引用在大氣模式使用多年的技術，但仍有部分不同點：

(1) 由於波場的反應對風場相當地敏感，波場的資料同化中需要有風場與波場的聯合分析。如果修正的波場中含有湧浪的成分，則修正的湧浪將會在剩下的波浪推算過程中持續傳播。但是如果修正波場中只含有風波部分，而且不正確的風場並未隨著波場修正，則修正波場將會很快地衰退回原來的不正確波場。在大氣資料同化中有一類似的處理，就是將實測的風速資料緩換成氣壓場的變化，如果沒有進行此一工作的話，實測的資料將會很快的被清除掉。而事實上波浪的實測提供了一個評估風場品質的高度敏感指標，一般也認為波浪資料同化的主要動機對波浪分析的改善不如對風場的改善來得重要。

(2) 在個別節點上進行的連續波浪資料同化並不會像大氣模式中一樣引起嚴重的動態性衝擊，因為單一節點的修正傳播進入整個預報中，由於所有的物理過程都是局部性的，不會有相鄰節點的動態耦合現像。因此，在大氣模式中需要配合重力波的動態平衡初期化問題在波浪的資料同化中不會發生。

(3) 在波浪資料同化中的可用資料是明顯地比氣象實測系統中還更為不完整，例如只有具不明顯的整體性或方向性的波譜。一個風場與波場的資料同化必須正視此一將不完整資訊引入最佳頻譜更新過程的問題。

(4) 波浪實測的影響範圍無法事先預估，而只能完全依賴海象的變化。例如，因為遠距暴風引發湧浪的空間修正尺度就比局部風場引發的湧浪修正來得大。一個風場與波場的資料同化

技術就必須在資料同化過程中計算這些機制，並隨時追蹤各頻譜成分的成長情形，同時可能也需要過去的以及距離實測站某一距離的風場資料。

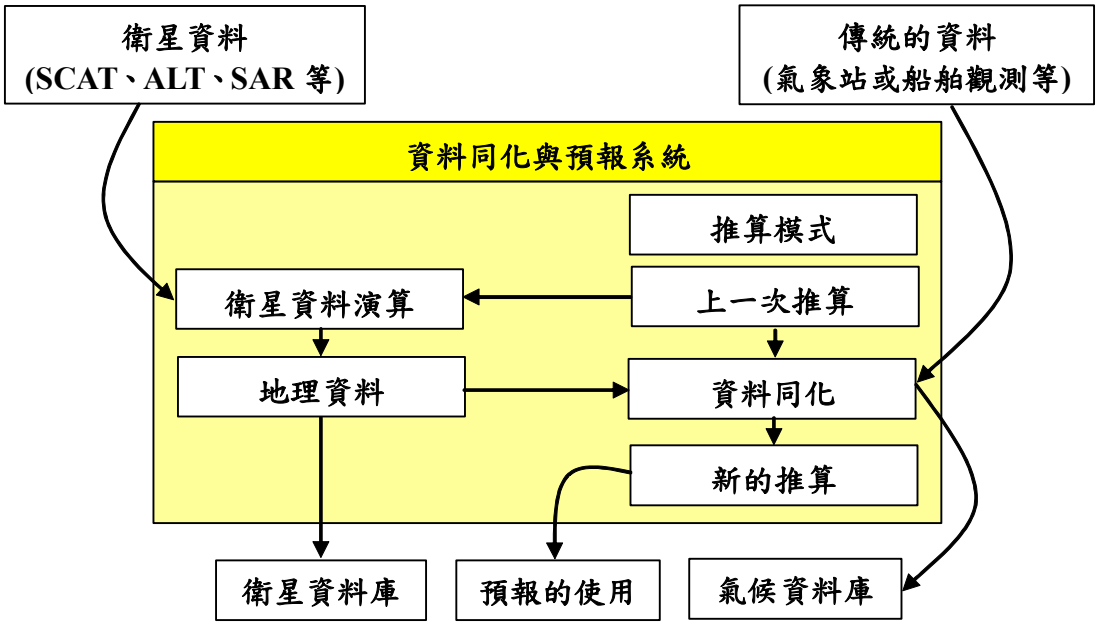


圖 7-2-1　風場及波場整合同化及預報系統

在所有的資料同化技術中有一個非常重要的特色，就是實測的資料無論如何一定少於模式的節點數，因此在模式的發展中輸入到一個節點的資訊必須也分佈到鄰近的節點以免產生不合理的不連續性。有關空間與時間的資料內插通常可以有兩種技術：

運動學技術(Kinematic schemes，屬於三維同化技術)忽略模式的限制，並且在某一特定時刻 t_0 利用線性結合在時刻 t_0 的初期猜測以及在 $[t_0\text{-}t_1,t_0+t_1]$(t_1 為三個小時)時段間所收集的資料的線性組合建立一分析場。所用的權重是推算誤差的經驗函數，或者由推算模式或是實測誤差的共變異數(covariance)計算而得。最早的波浪資料同化就是利用此一技術，例如 Janssen et al. (1987 及 1989)，Hasselmann et al. (1988)。他們僅修正波場，但風場則僅是修正同一時間的風場，而非所有風場。

動力學技術(dynamical schemes，屬於四維同化技術)在模式方程式的限制下輸入實測資料。例如伴隨技術(adjoint technique)、Kalman-Bucy

濾波或是 Green(impulse)近似。此一技術相當複雜，而且需要較大的計算資源，目前正在發展中。

在波浪推算過程中，波浪成長是由動力過程(dynamical processes)所控制，因此海洋的水面變動歷程 $\eta(\mathbf{x},t)$ 應該被視為一個機率過程(stochastic process)，而其能量的分佈則用波譜 $F(\mathbf{k};\mathbf{x},t)$ 來表示。由於波譜也被視為一個隨機過程，因此資料同化及逆算建模也都包含了一個二階隨機化的過程(second stochastization)。由於數值模式中沒有/無法考慮到某些效應，因此無法得到正確的計算結果；也由於量測誤差的問題，實測資料中一定有誤差。

有鑑於此，所有計算的頻譜 F 應該始終被看成是一個具有機率分佈 $P[F(\mathbf{k};\mathbf{x},t)]$ 的可能頻譜隨機函數中的一個特定取樣。在某些應用上，具統計本質的 F 會明確地定義，例如將一個 white noise 外力項加入能量平衡方程式中，或是假設初始值為隨機的。而在其他應用裡則可能只是讓它隨著其他因素自由發展。

同樣地，由於量測系統的誤差或是將原始資料轉換成地球物理學上的參數時的不完整演算過程，現場的量測也必須將其視為一個隨機變數。

7.3 波場資料同化技術的發展

參考陳(2004)的研究，目前有關波浪推算的資料同化發展大多以最小二乘法原理(least square method)，設法將模式預測與實測值之偏差最小化。在資料同化的初期係將實測值直接內插至模式格點上，以作為模式的初始場，此種方式稱為主觀分析 (subjective analysis)。後來，考量到實測值的空間分佈不均勻性，Panofsky (1949) 將實測值以曲線擬合方式 (curve fitting) 內插至格點上，此種方式又稱為客觀分析(objective analysis)。然而由於在缺乏實測值的地區，利用曲線擬合很容易產生不連續的問題，故 Bergthorsson et al. (1955) 將模式背景場的觀念納入客觀分析中，而 Cressman (1959) 利用實測值誤差作為迭代收斂條件，稱為逐步校正法 (successive correction)。Gandin (1963) 進一步利用最小二乘法的概念，將實測值與模式推算值間均方差之最小化，並透過權重方式進行線性疊加，其權重包含了實測值、模式推算的誤差與相關函數，這種處理方法後來稱為最佳內插法 (optimal interpolation，OI)，在 80 年代開始被廣泛應用，並逐漸成為作業化的同化方法。而變分資料同化 (variation data assimilation，VAR.) 則是利用變分原理，重複調整最小化分析場、背景場及實測值的均方誤差，使其能獲得最佳的分析場，這種處理方法自 90 年代開始逐漸成為客觀分析方法的發展主流。

卡門濾波法則是連續性資料同化的一種，最早由 Kalman (1960) 提出，其利用前一時刻及同一時刻的實測值，與模式初始場作線性組合。惟其在求解均方誤差矩陣時，受到模式變數維度影響，較最佳內插法耗費記憶體及分析時間。另外，由於模式推算誤差與模式的動力發展有關，而 Kalman 原係針對線性系統所發展出來的 Kalman filter(KF)，一旦遇到模式為非線性系統時，KF 便無法作出最佳的評估 (Evensen，1992)。因此後來發展出各種簡化的 KF 方法，例如 Voorrips 等人 (1999) 利用 Extended Kalman Filter (EKF) 的方法，改善空間領域的預報誤差，其與 OI 同為時間獨立 (time-independent) 的同化方法。

Komen (1985) 首先嘗試以實測波高應用於波浪數值模式資料同化的研究，但受到湧浪的影響，使得港口附近的推算值有高估的現象。Thomas (1988) 結合浮標實測的波高值與風速進行資料同化，藉由實測風速重新分配 JONSWAP 波譜的能量與尖峰頻率。Hasselmann 等人 (1988) 及 Bauer 等人 (1992) 則以實測波高與模式推算值之比值作為修正二維波譜的參數，但在距離實測資料較遠的格點會產生極端的修正參數。Janssen 等人 (1989) 利用衛星實測波高資料來探討波高與風場的修正，他將波譜分為風浪波譜與湧浪波譜，湧浪波譜的修正是保持原有的波譜形狀及尖峰頻率而修正其能量，而風浪波譜的修正則是根據 Thomas (1988)的研究以 JONSWAP 波譜重新分配波譜能量與尖峰頻率。Lionello 等人 (1992)、Lionello 等人 (1995) 及 Hasselmann 等人 (1997) 則利用最佳內插法之概念改善模式初始場，並以尺度因子修正模式預報波譜。Hasselmann 等人 (1994) 及 Gerling 等人 (1992) 利用波譜分割 (spectral partitioning) 的概念，直接以衛星實測的二維波譜進行同化，降低OI 中求解變量的計算時間，又可稱為 Optimal Interpolation of Partitions (OIP)。

Voorrips et al. (1997) 曾利用兩種作業化波浪模式資料同化系統進行模擬比較，分別為 WAM/OIP 及 PHIDIAS/DASWAM，後者為 Delft Hydraulics 發展的第三代風浪模式，採 Adjoint method 作為資料同化方法。由於 WAM/OIP 乃利用浮標實測點作為同化變量，故同化修正範圍侷限在實測點附近；兩種資料同化後的風場沒有明顯改變；但透過偏差與變異數的分析，OIP 計算結果與實測值較為相近。

有關波浪推算的資料同化技術研究，雖然可以大量參考在大氣科學裡的發展成果，但由於氣象與海象資料的屬性與其變化機制不同，目前波浪方面仍在測試及發展當中，而就目前國內發展的經驗所知，波浪資料同化的瓶頸可能仍在於眾所皆知的實測資料的分佈不均勻且不同步、品質不一致、數量也有所不足。後續的工作中可能需要從現有的資料裡先研究相關參數間的統計特性，例如實測的風與波浪資料間的關係。

7.4 NOAA-NWW3 波浪預報的資料同化

依照美國國家海洋及大氣局(NOAA)的內部報告(Chen 等人，2004)，NOAA Wavewatch-III (NWW3)係於西元 2000 年五月正式納入全球波浪預報作業。該模式屬於全球性波浪推算模式，其空間網格採用 1.00°×1.25°，頻譜的解析度為在 0.04177 Hz (23.94 s)至 0.41145 Hz (2.43 s)之間，以 1.1 倍前一頻率的增加方式分割為 25 個成分波，以及後，目前而方向方面則以 15°分割為 24 個方向，最大的計算時間間隔為 1 小時。它具備有下列特色：使用三階的有限差分技巧以及基本限制條件來解析波浪的傳播；包含有擴散項；用 Chalikov 方程式計算波浪的生成；以及 Tolman 及 Chalikov 方程式來計算波浪的消散。風力則是來自 NCEP(National Center of Environmental Prediction)的全球預報系統(Global Forecast System, GFS)。NOAA 的 NWW3 全球波浪預報目前是在大型平行處理 (Massively Parallel Processing, MPP) IBM-RS/6000-SP 電腦上執行，每天執行 4 次預報(分別為 00, 06, 12, 及 18 UTC), 並產生 6 小時的追報(hindcast)及 180 小時的預報(forecast)。

資料同化的作業係於西元 2004 年夏天加入，以提升波浪預報的準確性。但目前的同化作業僅限於以每小時為單位的 6 小時追報及幾個小時的預報而已。

NWW3 為一方向波譜模式，它主要提供各個計算網格點的方向波譜，並進而推算如示性波高、譜峰週期及方向等相關波浪參數。波浪預報的準確性首要條件是必須要有正確的分析風場，以減少波浪推算所發生的本質誤差。其次，才是利用資料同化技術來修正推算的結果，而其間需要有足夠的現場觀測資料來進行資料同化中的參數修正。在 Chen 等人(2004)的報告中指出 NWW3 的資料同化作業，除了近岸的龐大數量浮標觀測資料外，最主要的是引用了氣象衛星的波高資料。其同化作業主要是採用變分資料同化技術。

變分資料同化技術主要是將實測波浪(observed wave data)代入模擬波浪場(model wave field)中進行調整以得到最佳的真實波浪場(true

wave field)。此一技術是由 Derber 及 Rosati (1989)及 Behringer (1994, 1998)所發展的(簡稱為 DRB 技術)。該技術引用 Lorenc (1986)所提出的泛函數公式,是一個目標型分析程序。DRB 技術曾經被 Derber 及 Rosati, behringer 等人(1998)及 Kelly 等人(1999)應用在海洋表面溫度場(sea surface temperature, SST)的推算中，以及被 Behringer (1994)應用在海面高度場的推算。相關理論分述如下：

(a)Lorenc 的泛函數

假設要研究的參數為示性波高(為免與其他推導參數混淆，原文引用η)，而且其觀測資料將被同化至模擬波場中。在波浪的追報與現報中，共使用的三種波場：模擬波場η_m (在同化中視為初始猜測值)、觀測波浪η_o、及分析波場η_a (在同化中視為需要找出的真實波浪場)。其中，η_m 及η_a 涵蓋整個波浪推算的範圍，而η_o 則僅為可能收集的有限點數的波浪觀測站。

定義在波浪觀測站的觀測增量陣列 x_o 為

$$x_o = \eta_o - \eta_m \quad (7.4.1)$$

以及分析增量陣列 x (也稱為修正場)為

$$x = \eta_a - \eta_m \quad (7.4.2)$$

參考 Lorenc (1986)，泛函數 J 可寫為

$$J = \tfrac{1}{2} x^T E^{-1} x + \tfrac{1}{2} [K(x)-x_o]^T F^{-1} [K(x)-x_o \quad (7.4.3)$$

式中上標 T 表示轉置矩陣，而-1 表示反矩陣。E 為 N×N 的模擬誤差共變數陣(model error covariance matrix)；K 為從各個網格點至觀測站的內插運算陣列子,在波高場中 K 假設為線性運算子；F 為 M×M 的觀測誤差共變數矩陣(obervational error covariance matrix)。M 為觀測站的數目，而 N 為波浪推算的網格

點數。在式(7.6.3)中，右式的第一項是η_m 經由 E^{-1} 的加權後對η_a的吻合測度(measure of the fit)；第二項為η_o 經由 F^{-1} 的加權後對η_a的吻合測度(measure of the fit)。當 E 值大的時候，η_m 對η_a 的影響將會消失；同樣地，當 F 值大的時候，η_o 對η_a 的影響也會消失。

(b)模擬誤差共變數矩陣 E

資料同化分析步驟的目標是將觀測增量 x_o 空間性地分佈到模擬波場內，而矩陣 E 的空間結構可以達到這個目的，Daley (1991)也指出這是一個在資料同化中最重要的元素之一。不幸的是，直到現在對波場而言，矩陣 E 仍是未知。目前止能引用 Derber (1989)及 Behringer 等人(1994, 1998)在 SST 場研究中的作法。假設相距 r 的任意兩個點的共變數值具有高斯的空間分佈(Gaussian spatial distribution)特性 $A \exp[-(r/B)^2]$。

其中，A 為模擬誤差變異數(model error variance)；B 為模擬誤差的空間相關性尺度的估計值。A 值控制了模擬波場及觀測波浪的相對高度，它可由推算波浪與觀測波浪比較而得。在設定容許誤差後，波高間的差值可提供 A 的估計值。B 則可由波高變化性的相關尺度來決定。一般而言，A 及 B 隨著地形而變。在經過多種測試組合 A = 0.01、0.10、0.25、0.50 及 1.00 m^2 與 B = 2.99°、3.99°及 4.99°後，NWW3 選用 A = 0.5 m^2 及 B = 2.99°作為波場資料同化的參數。然而，為了節省計算時間，E 是透過 Laplacian 平滑運算法計算而得，並非直接逐一用 $A \exp[-(r/B)^2]$來計算。

(c)觀測誤差共變數矩陣 F

即使是在 SST 場的推算中(Behringer, 1994)，**F** 仍是無法確切得知，而只能用簡單的 ad hoc 形式來設定。同樣地，在波浪場的推算中，對 **F** 更是幾近於無知，而只能引用 SST 中的相同策略。也就是說，**F** 必須由量測誤差中估算。量測誤差被視為具有空間的獨立性，因此 **F** 為一對角矩陣。$\mathbf{F}^{-1}$ 的初期估算值被設定為觀測誤差變異數估算值的倒數，不同的資料型態會有不同的觀測誤差變異數估算值。在波場推算中，經過多種測試，例如，對

觀測浮標的資料採用 $\mathbf{F} = 0.04$、0.09、0.12 或 0.16 m^2 及對 ERS-2 氣象衛星的資料採用 $\mathbf{F} = 0.09$、0.122 或 0.20 m^2。最後採用 0.09 m^2 (觀測浮標)及 0.122 m^2 (ERS-2 氣象衛星)。相當重要的一點是，所有觀測資料在引入資料同化作業之前，必須先經過品管的程序，以確保資料的品質。

(d)DRB 技術的演算法

泛函數 J 是用來解分析增量 $\mathbf{x}$，並進而解得真實波高 η_a 的，一般的作法是透過 J 對 $\mathbf{x}$ 的極小化來求解，然而這樣的作法由於電腦計算的效率而顯得相當不實用。DRB 技術不直接對 J 進行極小化，而採用一種 preconditioned conjugate gradient 演算法 (Gill 等人, 1981；Navon 及 Legler, 1987)透過反覆迭代的方式進行求解。在決定先決條件時它使用到矩陣 $\mathbf{E}$，以容許不需透過 $\mathbf{E}$ 的反矩陣計算即可求解。

定義 $\mathbf{g}$ 為泛函數對修正場的導函數

$$\mathbf{g} \equiv \partial J/\partial \mathbf{x} = \mathbf{E}^{-1}\,\mathbf{x} + \mathbf{K}^{T}\,\mathbf{F}^{-1}\,[\mathbf{K}(\mathbf{x})-\mathbf{x_o}] \quad (7.4.4)$$

及

$$\mathbf{h} = \mathbf{E}\,\mathbf{g} \quad (7.4.5)$$

第一個步驟裡將 $\mathbf{x}$ 設定為 0，因此

$$\mathbf{x}^1 = 0$$

$$\mathbf{g}^1 = -\,\mathbf{K}^{T}\,\mathbf{F}^{-1}\,\mathbf{x_o}$$

$$\mathbf{h}^1 = \mathbf{E}\,\mathbf{g}^1$$

其中，上標 1 表示第一次迭代。搜尋的方向($\mathbf{d}$ 及 $\mathbf{e}$)也初期設定為 0

$\mathbf{d}^0 = 0$ 及 $\mathbf{e}^0 = 0$

為了求解 **x**，將對下列的求解步驟進行反覆迭代

$$\mathbf{d}^n = -\mathbf{h}^n + \beta^{n-1}\mathbf{d}^{n-1}$$

$$\mathbf{e}^n = -\mathbf{g}^n + \beta^{n-1}\mathbf{e}^{n-1}$$

$$\alpha^n = [(\mathbf{g}^n)^T\mathbf{h}^n]/[(\mathbf{d}^n)^T\mathbf{f}^n]$$

$$\mathbf{g}^{n+1} = \mathbf{g}^n + \alpha^n\mathbf{f}^n$$

$$\mathbf{x}^{n+1} = \mathbf{x}^n + \alpha^n\mathbf{d}^n$$

$$\mathbf{h}^{n+1} = \mathbf{E}\,\mathbf{g}^{n+1}$$

$$\beta^{n+1} = [(\mathbf{g}^{n+1})^T\mathbf{h}^{n+1}]/[(\mathbf{g}^n)^T\mathbf{h}^n]$$

其中，上標 n 表示迭代次數，初期設定為 1。根據 Derber 等人(1989)的研究，此一演算法大多數會在前三次的迭代中收斂，因此即使是需要三次的迭代，它也不致降低資料同化的品質。

然而我們必須要注意到，在資料同化中僅使用到波高資料，而 NWW3 其實只計算出方向波譜$\xi(f,\theta)$，其中 f 為頻率而θ為波向。為了考慮波浪能量的變化，設定下列的關係

$$\xi_a(f,\theta) = (\eta_a/\eta_m)^2\,\xi_m(f,\theta) \qquad (7.4.6)$$

7.5 資料同化的評估與討論

雖然資料同化的目標是要產生真實波場的最佳代表值,然而由於所有的波場，包含觀測波浪及模擬波場，都包含有誤差，以致真實波場無法確切獲得。這使得資料同化結果的評估很難確實進行。但無論如何，目前 NWW3 所能做的是：即使知道觀測資料有相當程度的誤差而且會隨著地形任意分佈，也只能將其視為真實波浪來進行評估。資料觀測浮標及氣象衛星 ERS-2 的觀測結果目前都引入每小時的資料同化中。圖 7-5-1 為資料同化前後波浪現報的波高差值範例，波高差值幾乎分佈在所有的水域裡，但會隨著推算時間的加長，這些差異值會逐漸地退去，並在大約 24 小時後便顯得相當不明顯。圖 7-5-2(a)為所有觀測資料的資料同化前後的波高差異比較;圖 7-5-2(b)至 7-5-2(f)為幾個波浪預報較差的測站的資料同化前後的波高差異比較。由於不同的測站的有效資料點數不同，因此可以透過其結果觀察不同資料點數對資料同化的影響。

然而依據 Chen 等人(2004)測試的結果，所有的測站在推算的前 12 小時中有明顯的改善，而在 12 至 24 小時之間則僅有局部性的改善效果，但對於 24 小時後則幾乎沒有影響。因此，Chen 等人推論初始波場僅對預報波場的前 12 小時有明顯的影響，而風場則主導整個預報期間的波場變化。

探究其原因,應是在於目前的資料同化技巧主要是針對推算的波高利用觀測值進行同化修正,而對於模式本身的相關參數並未進行任何修正，因此資料同化的效果會很快地消失在時間軸上的反覆迭代之中，而仍由風場變化來主導整個波場的推算。有鑑於此，在進行資料同化之前，對於波浪推算模式中的相關參數仍需要設法加以率定及修正，如此方能提升資料同化的品質。

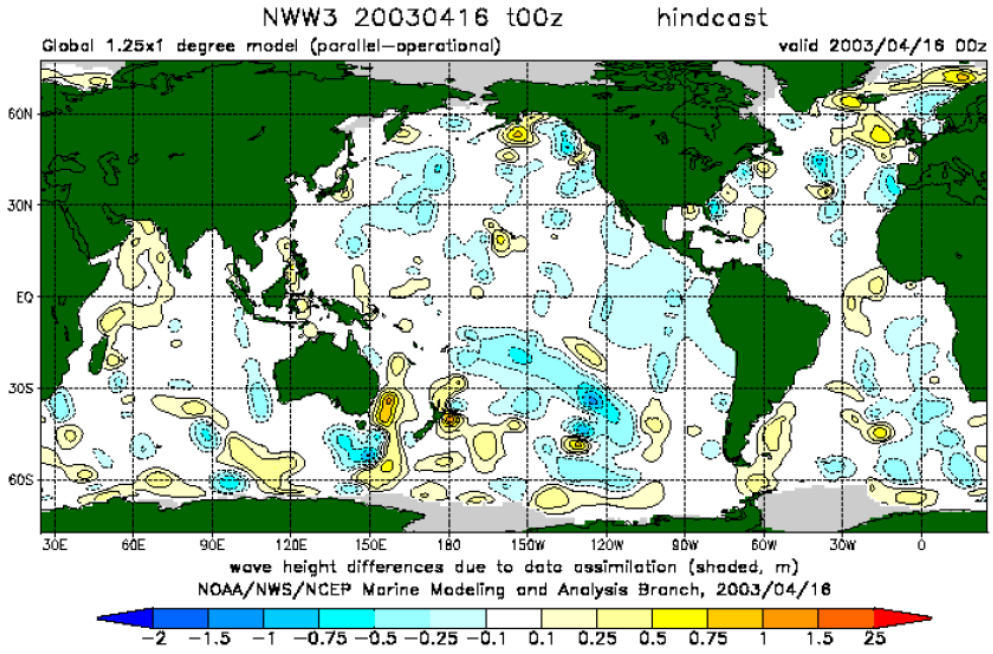
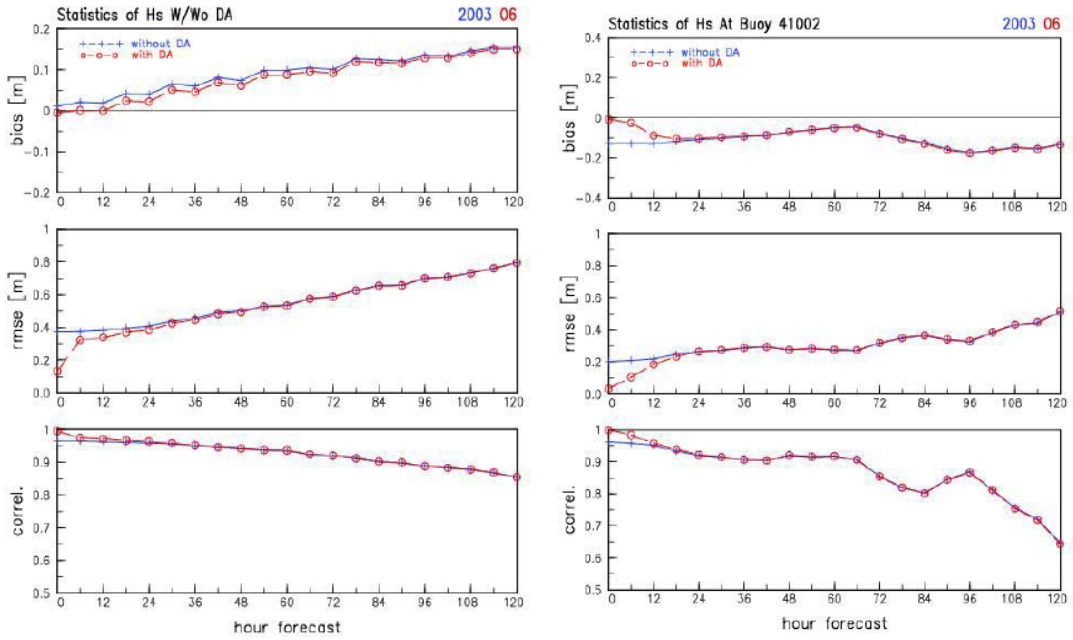
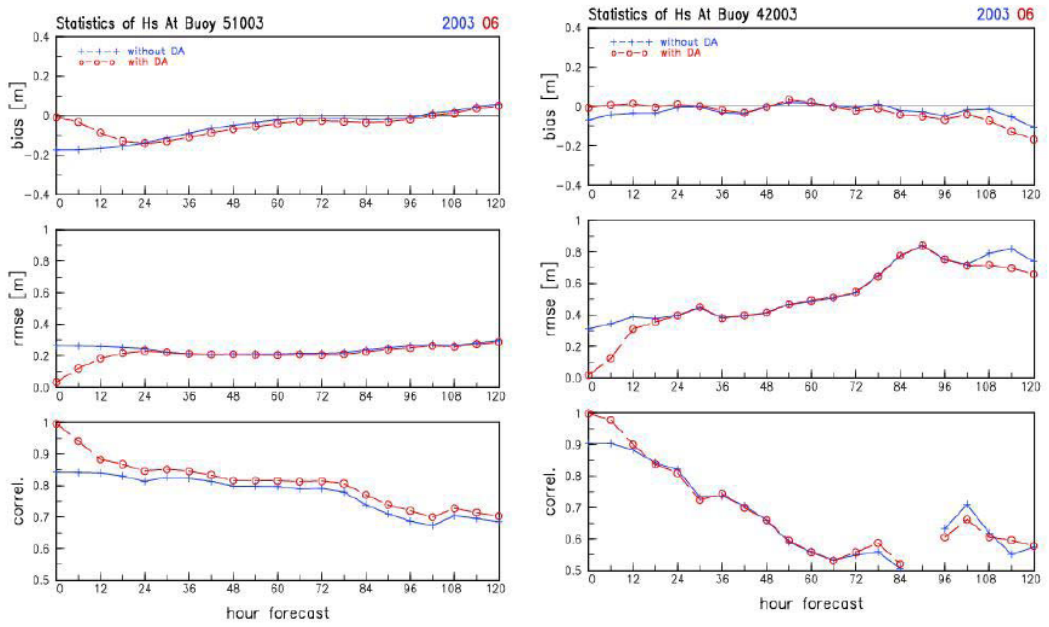


圖 7-5-1　資料同化前後波浪現報的波高差值範例(Chen 等人，2004)



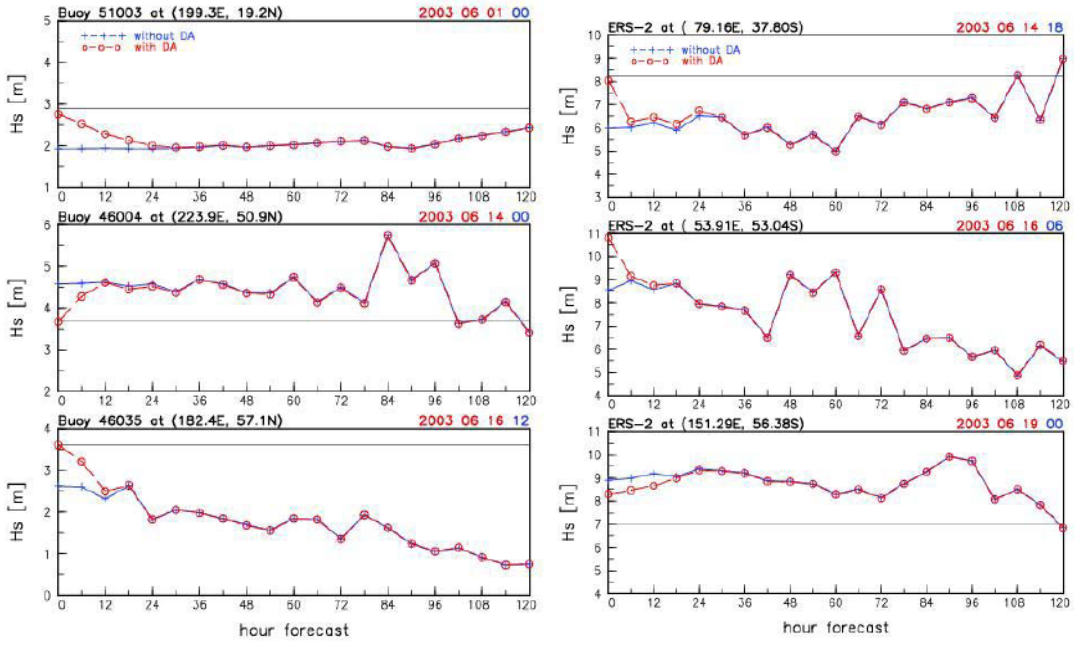
(a) 資料同化點數>17k (所有觀測資料)　(b) 資料同化點數>100 (Buoy 41002)

圖 7-5-2　不同測站的每小時資料同化前後波高統計比較 (Chen 等人，2004)



(c) 資料同化點數>98 (Buoy 51003)　(d) 資料同化點數>39 (Buoy 42003)

圖 7-5-2(續 1)　不同測站的資料同化前後波高統計比較 (Chen 等人，2004)



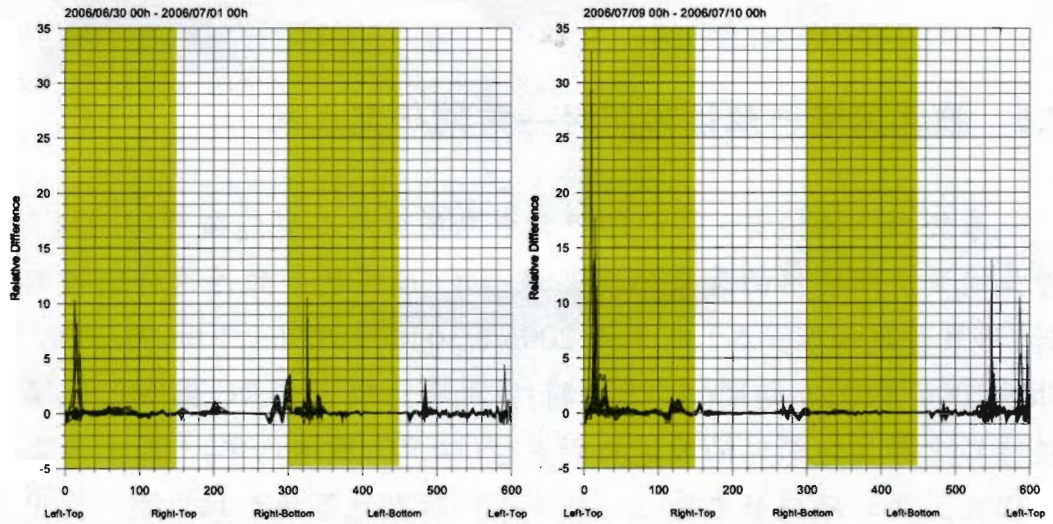
(e) 資料同化點數>98 (Buoy 51003)　(f) 資料同化點數>39 (ERS-2)

圖 7-5-2(續 2)　不同測站的資料同化前後波高統計比較 (Chen 等人，2004)

7.6 推算風場一致性的探討—前期研究成果

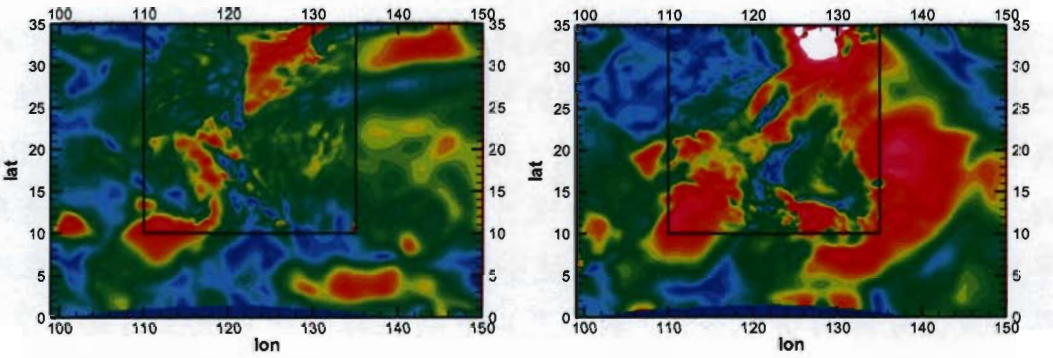
基於以上的檢討，在前期研究中為使資料品質能確實與所提升，曾先從目前所使用的氣象局 RC 及 MC 風場的一致性進行比較與檢討。結果發現如圖 7-6-1 所示為 2006/6/30 0h ~ 2006/7/1 0h 與 2006/7/9 0h ~ 2006/7/10 0h 期間(各 25 小時)的風場比較，在 RC 與 MC 風場相接邊界上各共通節點的風速相對差值(以 RC 風速為準)。圖上各點位係由左上角以順時針方向依序排列，並以顏色區塊加以區別。圖中可發現在左上角的相對差值最大，其原因應是該區域為大陸的陸域，因此模式推算的差異性較大。但是右下角(即點位 280 至 340 之間)也可能發生較大的差異性。其餘個點的差異性約在一倍以內。圖 7-6-2 係 2006/6/30 0h 及 2006/7/10 0h 兩個時間的 RC 與 MC 風場的套疊，雖然該時期屬於常時風場，但約略仍可以看出在邊界附近的不一致性。為更清楚檢視兩個風場的差異性，圖 7-6-3 乃以 MC 風場範圍內 RC 與 MC 的共通節點上的風速值進行相對差值的比較(以 RC 風速為準)。圖中深色區域顯示 MC 風速小於 RC 風速的分佈情形。而在邊界上差值分佈的參差不齊，我們可以看到並非屬於系統性的差異量。

為了讓 RC 風場與 MC 風場能取得一致性，以逐步消減波浪推算結果不佳的影響因子，前期研究中在假設外海開闊水域的風場以 RC 推算值較佳的基礎下(即以共通節點上的 RC 風速值當作觀測值 x_o)，以 Cressman 分析技巧用邊界上的 RC 風速值對 MC 風場進行調整。雖然，此種處理方式並不涉及時間軸上的變化，但基本上仍屬於一種廣義的資料同化的。調整結果相當良好。



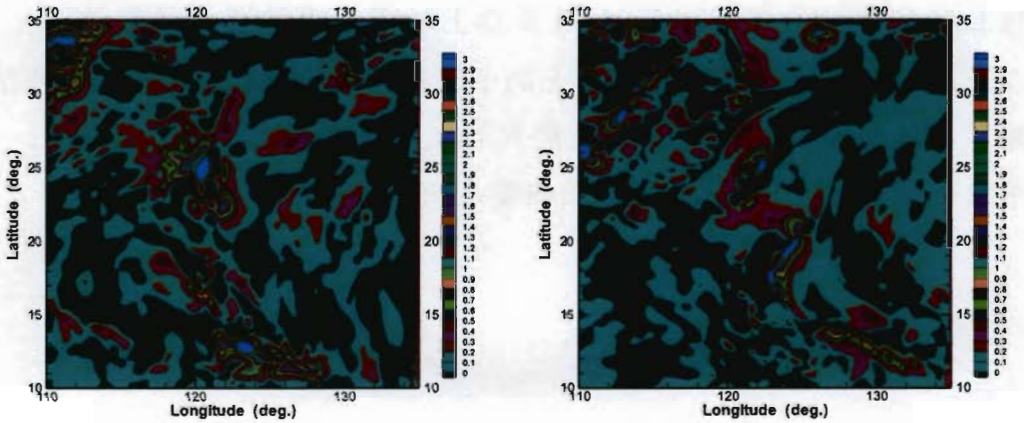
(a) 2006/06/30 00h ~ 2006/07/01 00h (b) 2006/07/09 00h ~ 2006/07/10 0h

圖 7-6-1 RC 與 MC 風場相接邊界上之風速相對誤差值



(a) 2006/06/30 00h (b) 2006/07/10 00h

圖 7-6-2 RC 風場與 MC 風場套疊情形



(a) 2006/06/30 00h (b) 2006/07/10 0h

圖 7-6-3 RC 與 MC 風場之風速相對誤差分佈

7.7 綜合評估結果

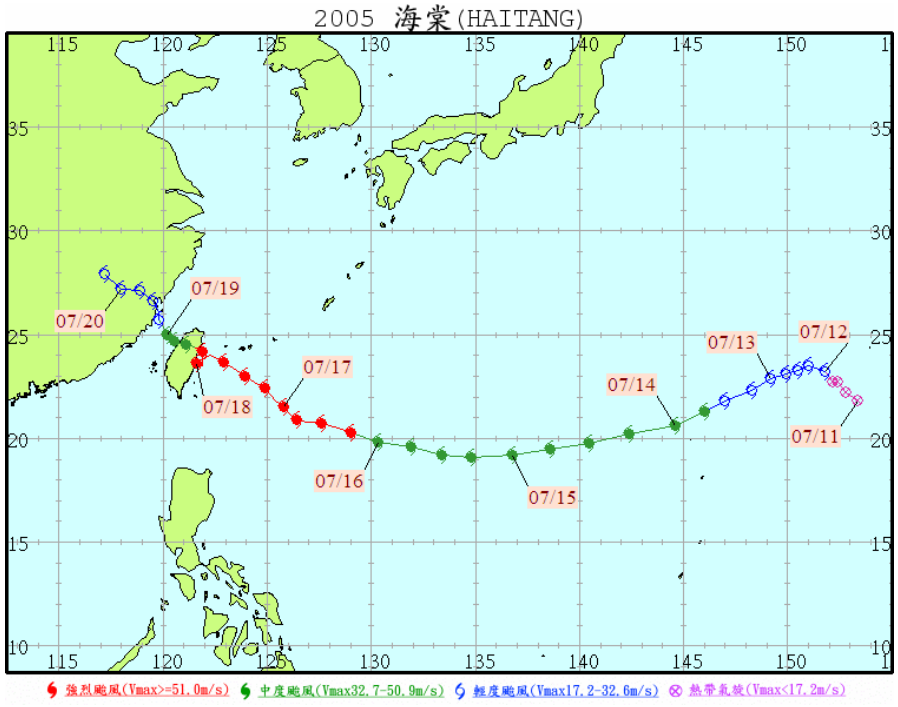
為了能有效改善風浪預報的品質，在考量推算風場(RC 與 MC)的不一致性，本計畫乃先針對預報模式中所使用的風場進行測試，此一階段係以單一RC風場進行WAM與SWAN的風浪推算，並與原有的WAM模式使用 RC 風場而 SWAN 模式使用 MC 風場的結果進行比較。在比較中，以 2005 年海棠颱風的風場進行相關的推算與比較。圖 7-7-1 所示為海棠颱風的路徑圖與預報單，海棠颱風係一強烈颱風，主要的影響期間為 2005/7/16 14h 30m 至 2005/7/20 2h 30m。在風浪推算中推算的期間涵蓋 2005/7/16 0h 起至 2005/7/21 0h，一共 121 個小時。由於本部分的測試僅係改變 SWAN 模式推算所使用的風場，從原先的 MC 風場改為較粗網格及較大範圍的 RC 風場，主要係為了後續要測試擴大 SWAN 計算範圍的結果，圖 7-7-2 顯示部分的 RC 風場分佈圖，分別為 2005/7/17 0h、2005/7/17 12h、2005/7/18 0h、2005/7/18 12h 及 2005/7/19 0h。圖 7-7-3 的 5 個圖顯示上述 5 個時間的 WAM 模式推算示性波高分佈圖。圖 7-7-4 至圖 7-7-10 為整個推算期間在 7 個商港附近的波浪推算結果時序圖，各圖中由上而下分別顯示推算的示性波高、平均週期及主波方向，而各小圖中均包含 WAM、SWAN 用 MC 風場及 SWAN 用 RC 風場的結果。圖 7-7-11 至圖 7-7-15 分別顯示上述 5 個時間的波浪推算分佈圖，同樣地由上而下分別顯示推算的示性波高、平均週期及主波方向。

從圖 7-7-11 至圖 7-7-15 中的各項參數分佈情形可發現，由於 RC 風場與 MC 風場雖然大趨勢相符，但由於區域性的差異性仍然存在，以致利用不同風場進行 SWAN 的風浪推算會得到不同的結果，且差異性相當地大。使用 RC 風場進行的推算結果相較於使用 MC 風場的推算結果有週期較長但波高較小的情形。而如果觀察圖 7-7-4 至圖 7-7-10 各商港的波高與週期變化時序圖，則發現利用 MC 風場的推算波高與 WAM 的推算波高較為吻合；而週期部分 RC 風場與 MC 風場的推算結

果則大致相符但都有長週期波提早發生的情形。而與每日定常性的波浪推算結果相比較也發現本節所做的測試結果較好(波高與週期都有改善)，其差異性主要是在 SWAN 的波浪推算中係採用 1 小時的計算間距，而不是例行性作業中的 3 小時或 6 小時。

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	海棠(HAITANG)
編號	0505
生成地點	關島北北東方海面
侵(近)台日期	2005 年 7 月 18 日
發布時間	海上:2005 年 7 月 16 日 14 時 30 分　陸上:2005 年 7 月 16 日 23 時 30 分
解除時間	海上:2005 年 7 月 20 日 2 時 30 分　陸上:2005 年 7 月 20 日 2 時 30 分
發布報數	29
最大強度	強烈
近中心最大風速	55.0 (公尺/秒)
侵台路徑分類	1
登陸地段	宜蘭東澳附近

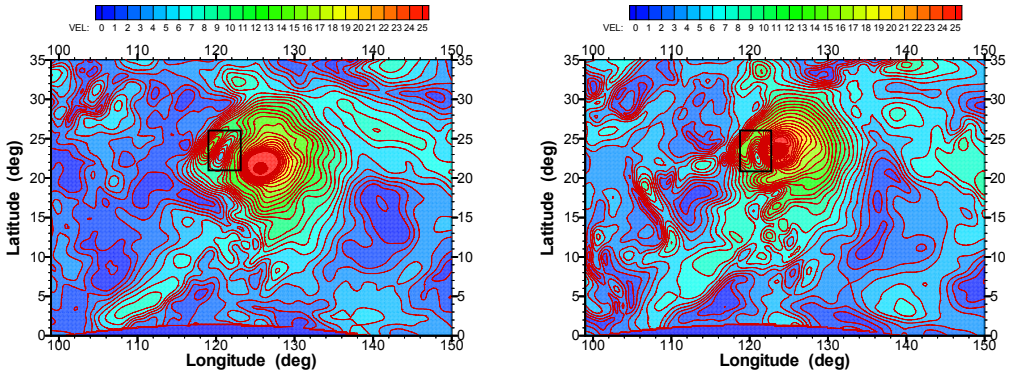
動態	7 月 12 日在關島北北西方生成後，快速向西南西轉西北方向移動。7 月 18 日清晨接近台灣時，在花蓮外海逆鐘向打轉一圈後，於當日 14 時 50 分左右於宜蘭東澳附近登陸，22 時左右於苗栗後龍附近進入台灣海峽，繼續向西北移動。19 日 18 時在馬祖附近進入大陸，隨後於 20 日 20 時減弱為熱帶性低氣壓。
災情	--



註：路徑圖上所標示的時間為該日台灣標準時間 TST(GMT +08:00)，每個標示點間隔為 6 小時

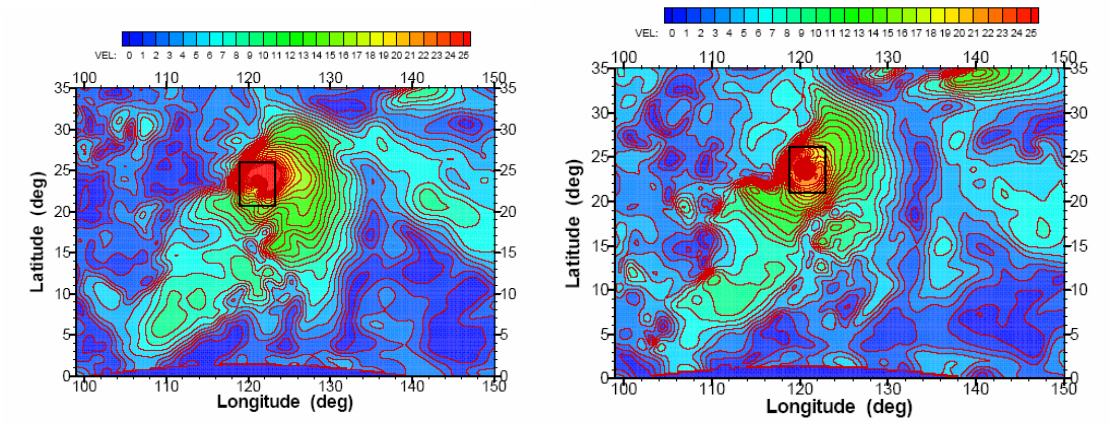
(資料來源：中央氣象局歷史颱風網站)

圖 7-7-1　2005 年海棠颱風侵襲路徑圖



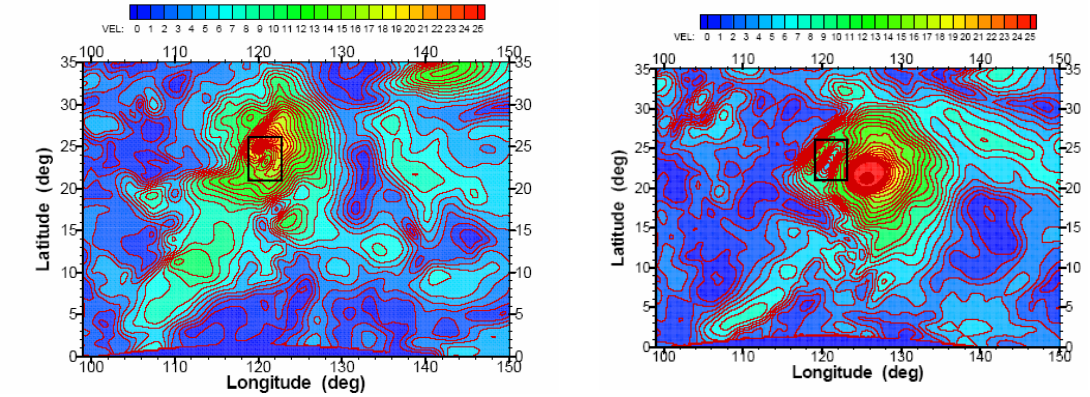
(a) 2005/07/17 00h　　(b) 2005/07/17 12h

圖 7-7-2　2005 年海棠颱風侵襲期間 RC 風場風速分佈圖



(c) 2005/07/18 00h　　(d) 2005/07/18 12h

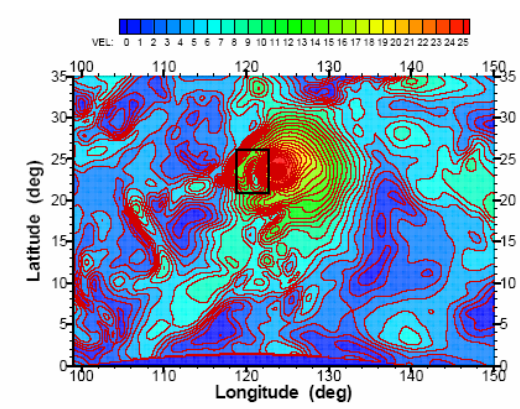
圖 7-7-2(續 1)　2005 年海棠颱風侵襲期間 RC 風場風速分佈圖



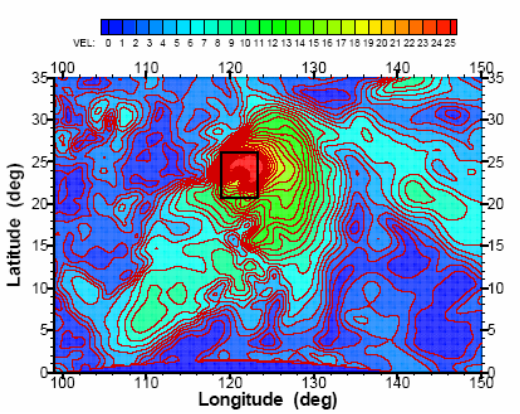
(e) 2005/07/19 00h　　(a) 2005/07/17 00h

圖 7-7-2(續 2)　2005 年海棠颱風侵襲期間 RC 風場風速分佈圖

圖 7-7-3　2005 年海棠颱風侵襲期間 WAN 推算示性波浪分佈圖

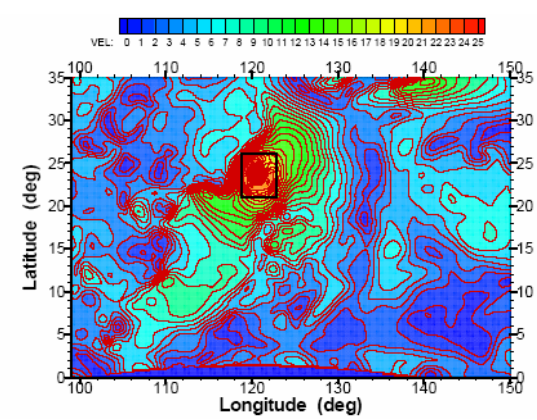


(b) 2005/07/17 12h

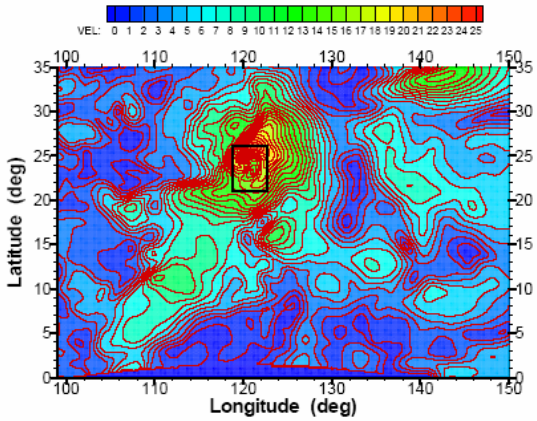


(c) 2005/07/18 00h

圖 7-7-3(續 1)　2005 年海棠颱風侵襲期間 WAN 推算示性波浪分佈圖



(d) 2005/07/18 12h



(e) 2005/07/19 00h

圖 7-7-3(續 2)　2005 年海棠颱風侵襲期間 WAN 推算示性波浪分佈圖

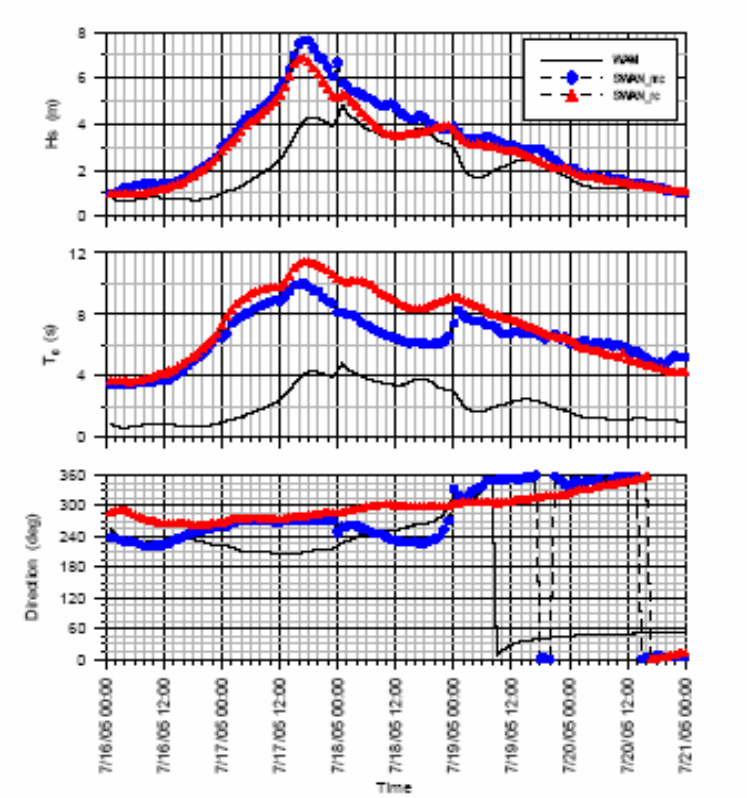


圖 7-7-4　2005 年海棠颱風侵襲期間台北港推算波浪比較圖

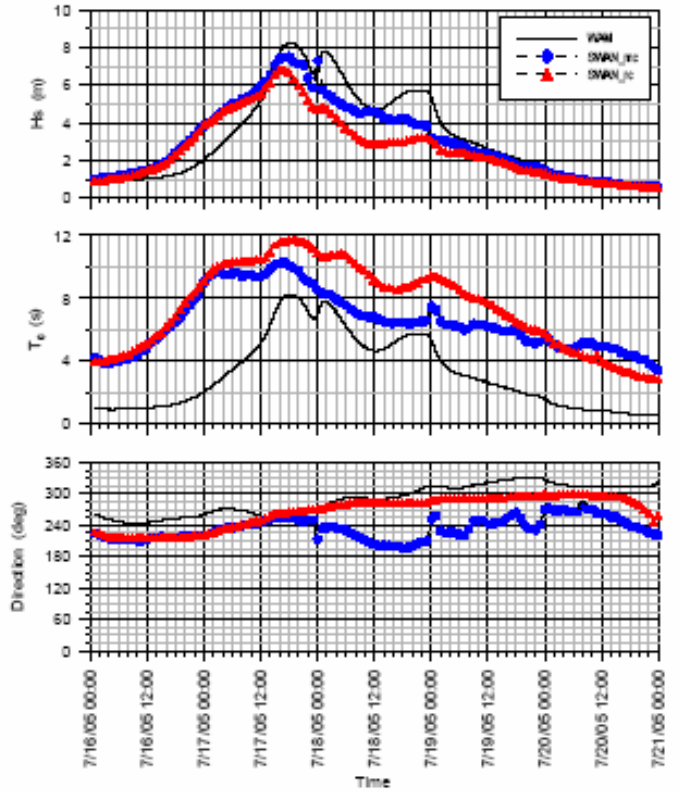


圖 7-7-5　2005 年海棠颱風侵襲期間基隆港推算波浪比較圖

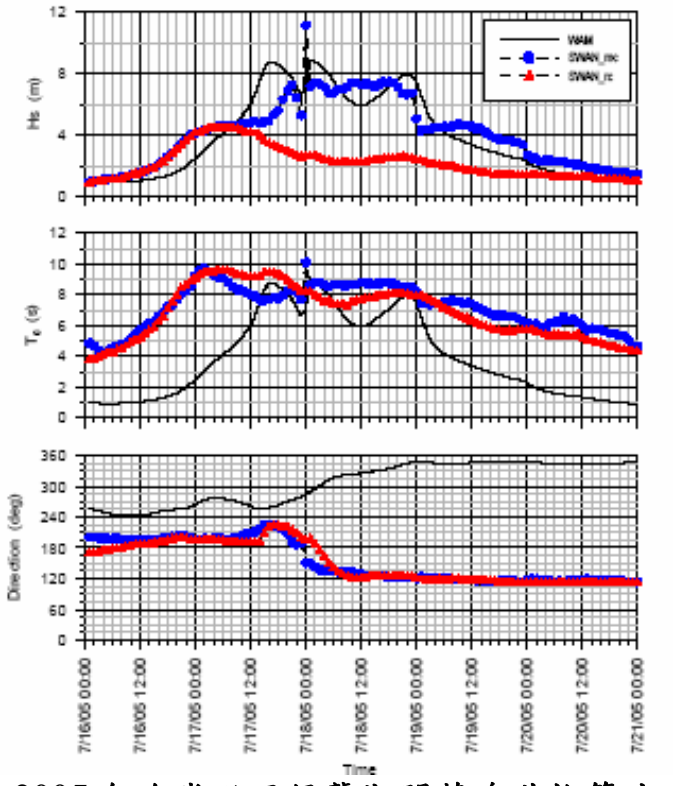


圖 7-7-6　2005 年海棠颱風侵襲期間蘇澳港推算波浪比較圖

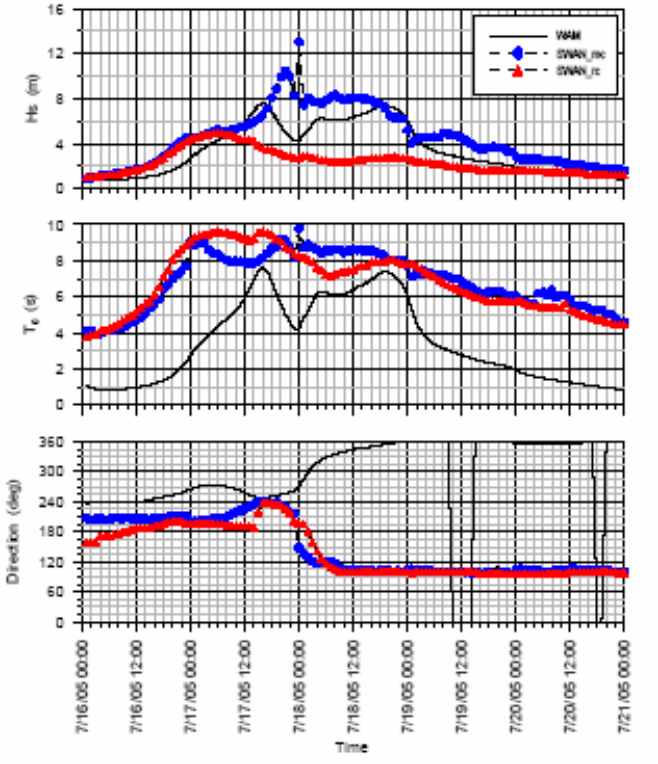


圖 7-7-7　2005 年海棠颱風侵襲期間花蓮港推算波浪比較圖

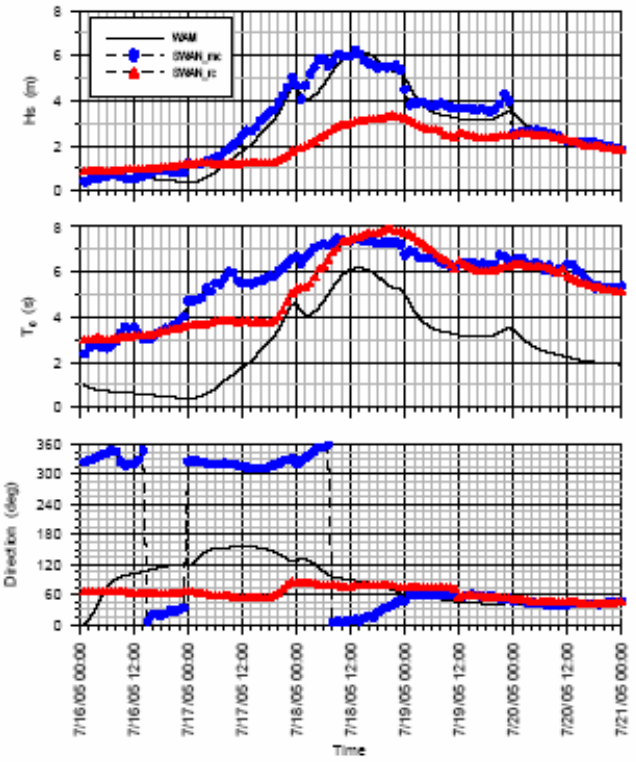


圖 7-7-8　2005 年海棠颱風侵襲期間高雄港推算波浪比較圖

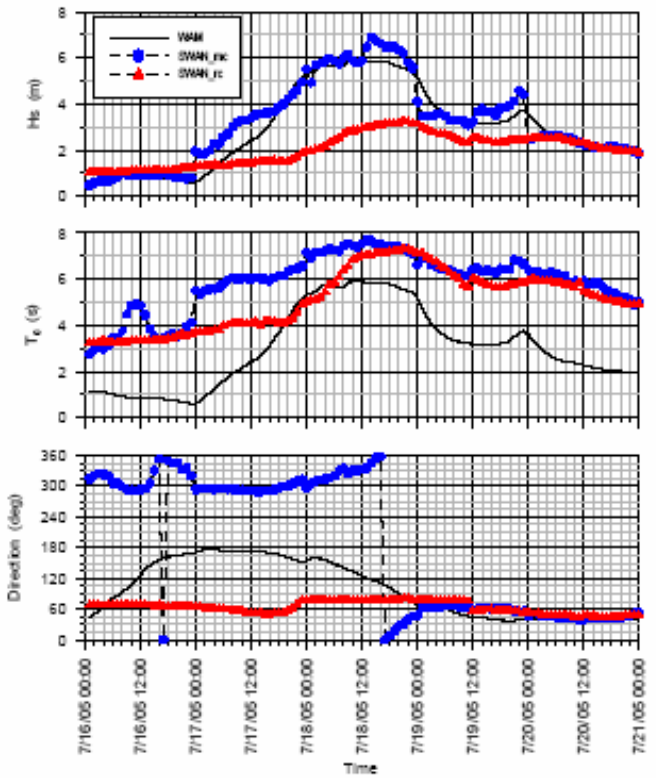


圖 7-7-9　2005 年海棠颱風侵襲期間安平港推算波浪比較圖

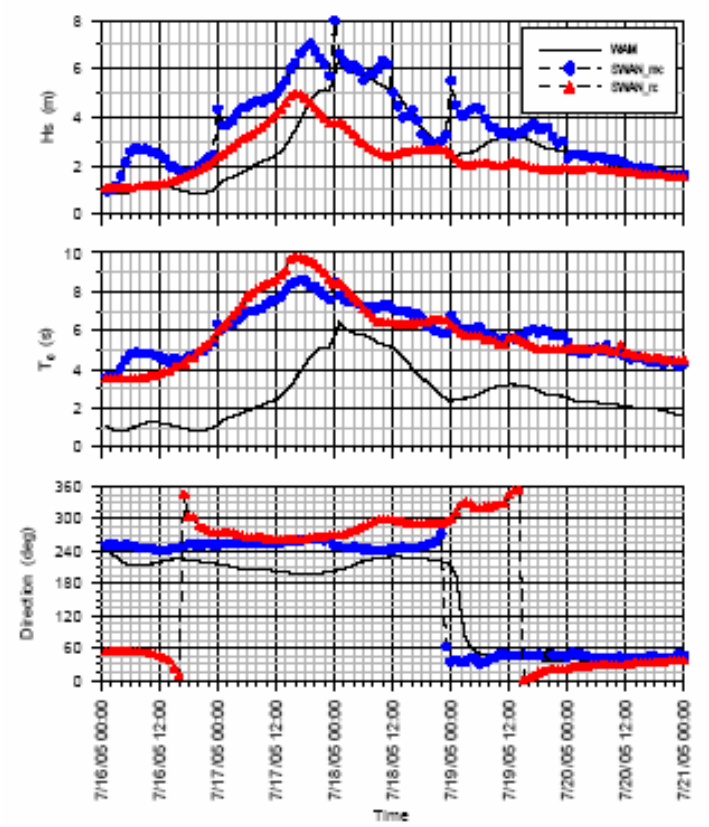
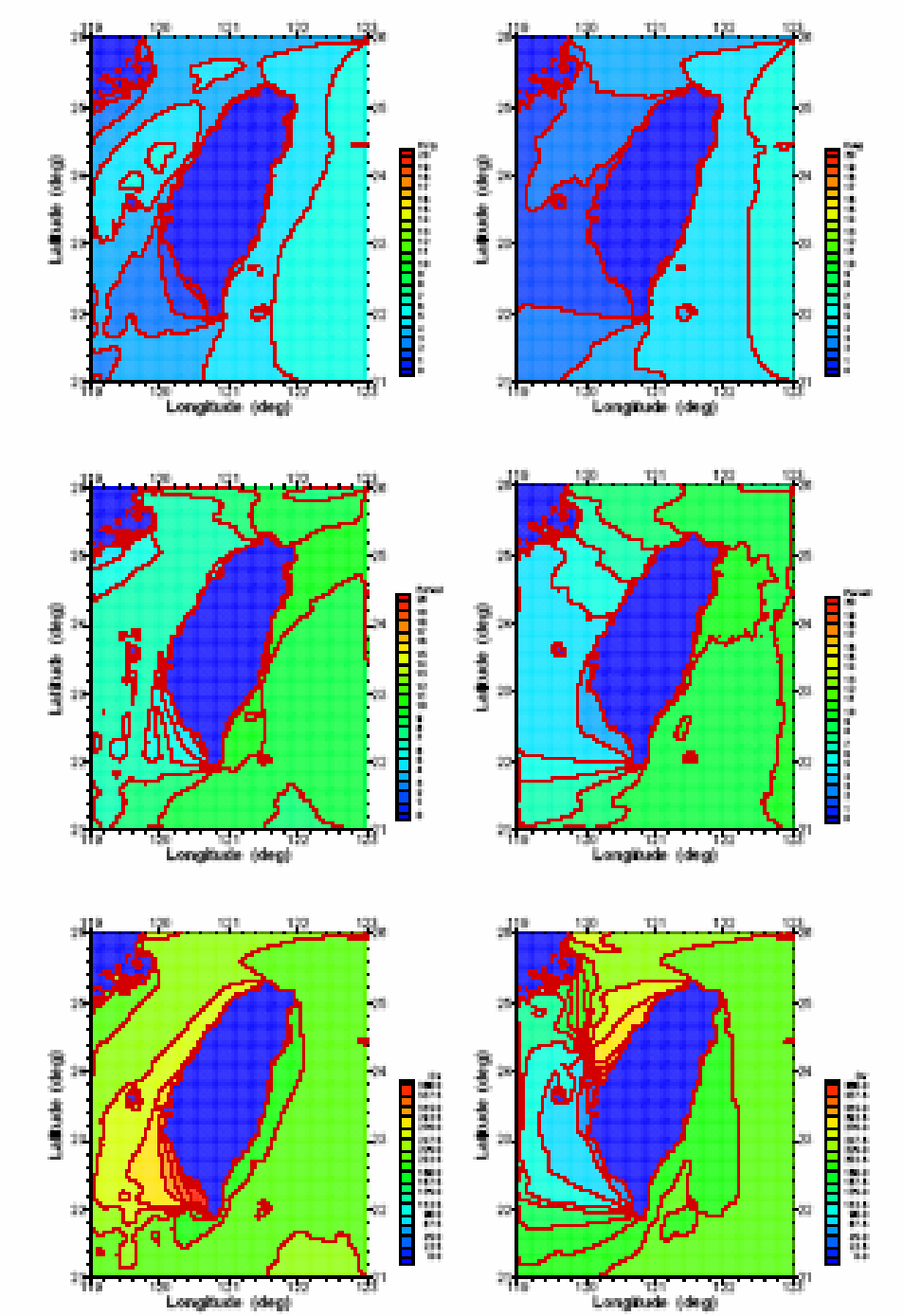


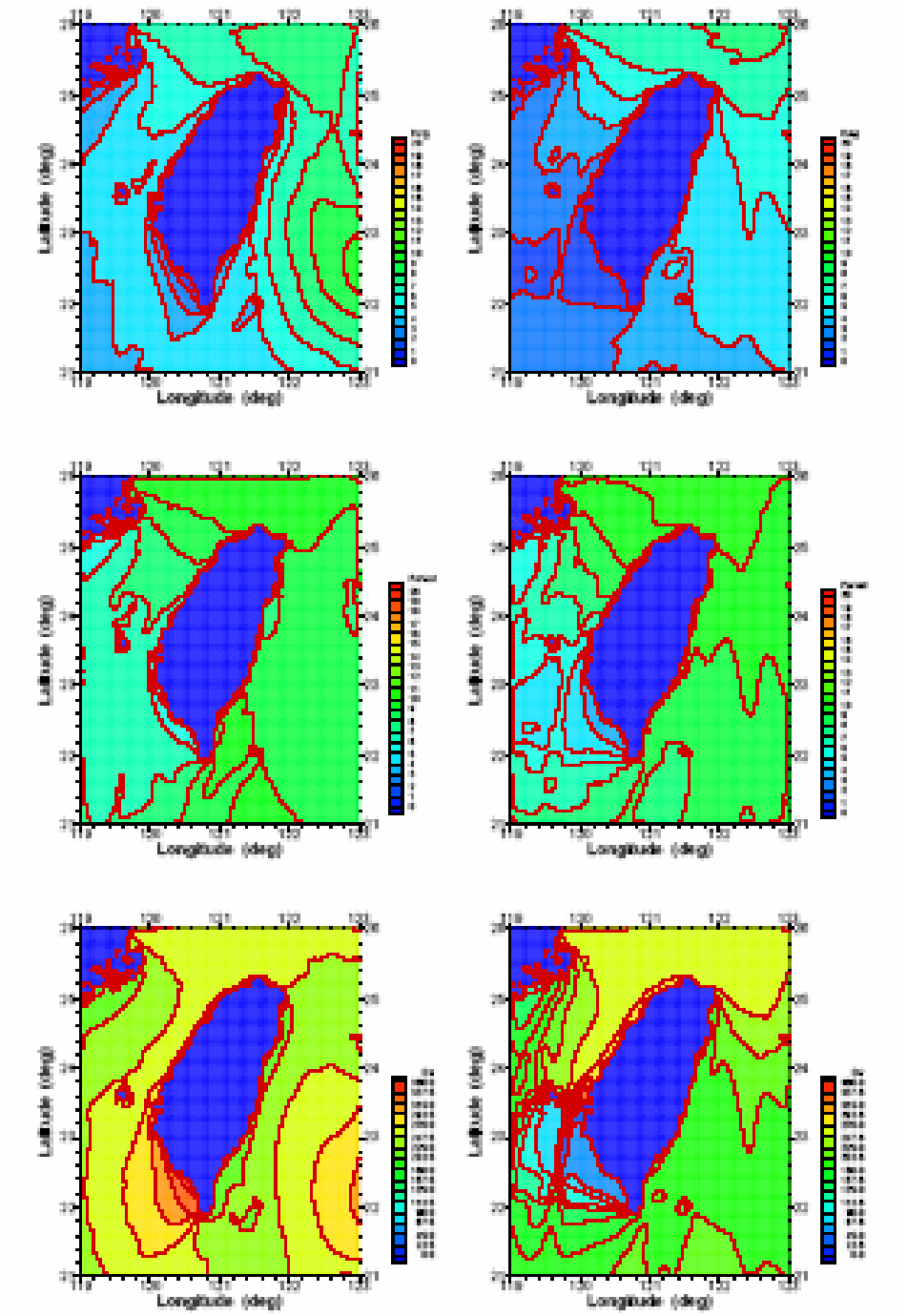
圖 7-7-10　2005 年海棠颱風侵襲期間台中港推算波浪比較圖



(a)SWAN 模式用 MC 風場　(b)SWAN 模式用 RC 風場

圖 7-7-11　2005 年海棠颱風侵襲期波浪推算分佈圖(2005/07/17 00h)

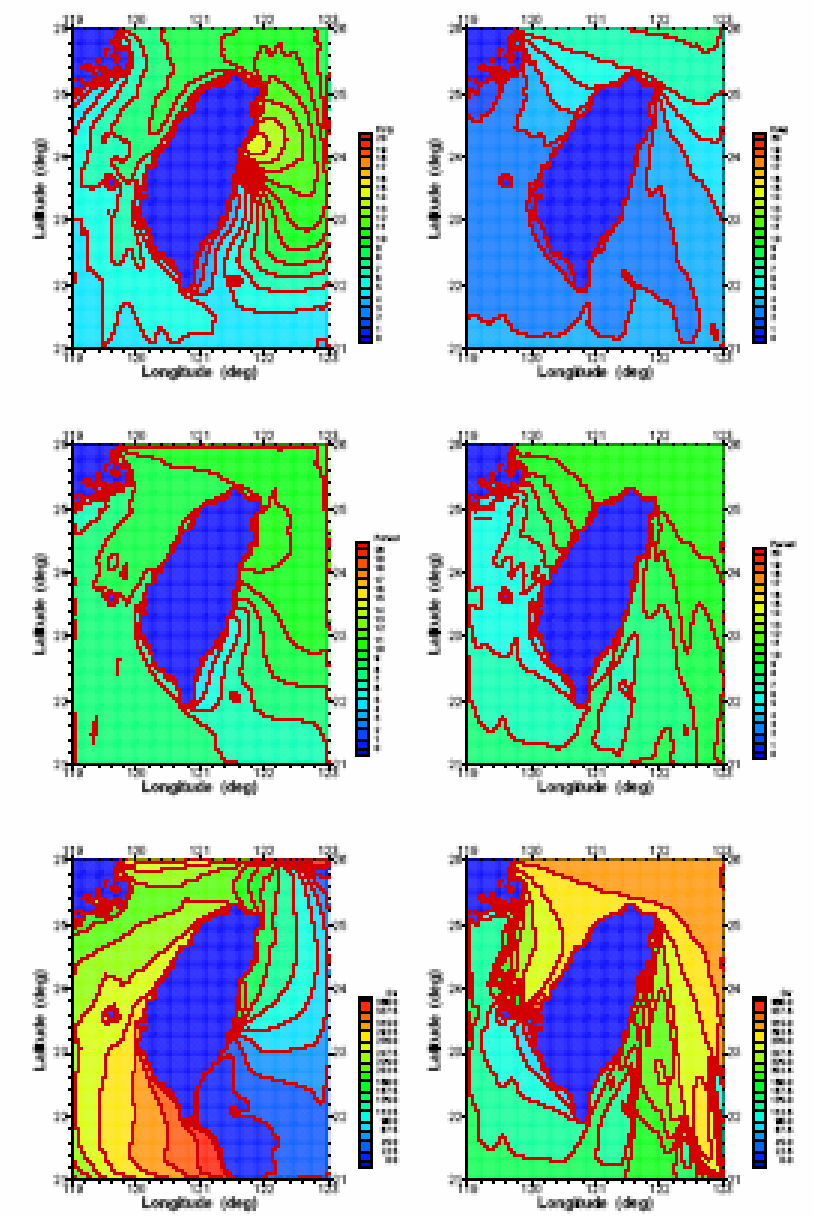
(各圖由上而下分別為示性波高、平均週期與主波方向)



(a)SWAN 模式用 MC 風場　(b)SWAN 模式用 RC 風場

圖 7-7-12　2005 年海棠颱風侵襲期波浪推算分佈圖(2005/07/17 12h)

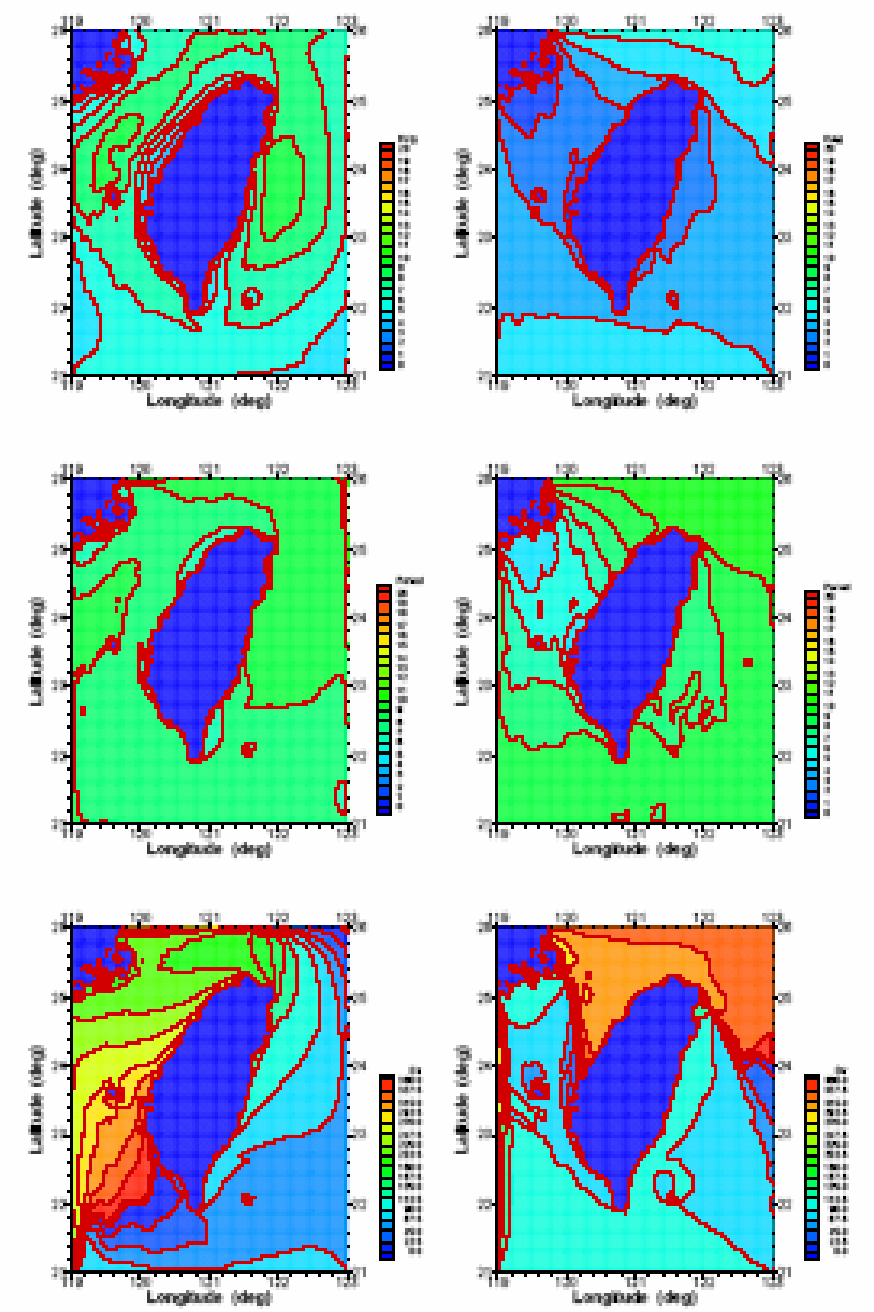
(各圖由上而下分別為示性波高、平均週期與主波方向)



(a)SWAN 模式用 MC 風場　(b)SWAN 模式用 RC 風場

圖 7-7-13　2005 年海棠颱風侵襲期波浪推算分佈圖(2005/07/18 00h)

(各圖由上而下分別為示性波高、平均週期與主波方向)



(a)SWAN 模式用 MC 風場　(b)SWAN 模式用 RC 風場

圖 7-7-14　2005 年海棠颱風侵襲期波浪推算分佈圖(2005/07/18 12h)

(各圖由上而下分別為示性波高、平均週期與主波方向)

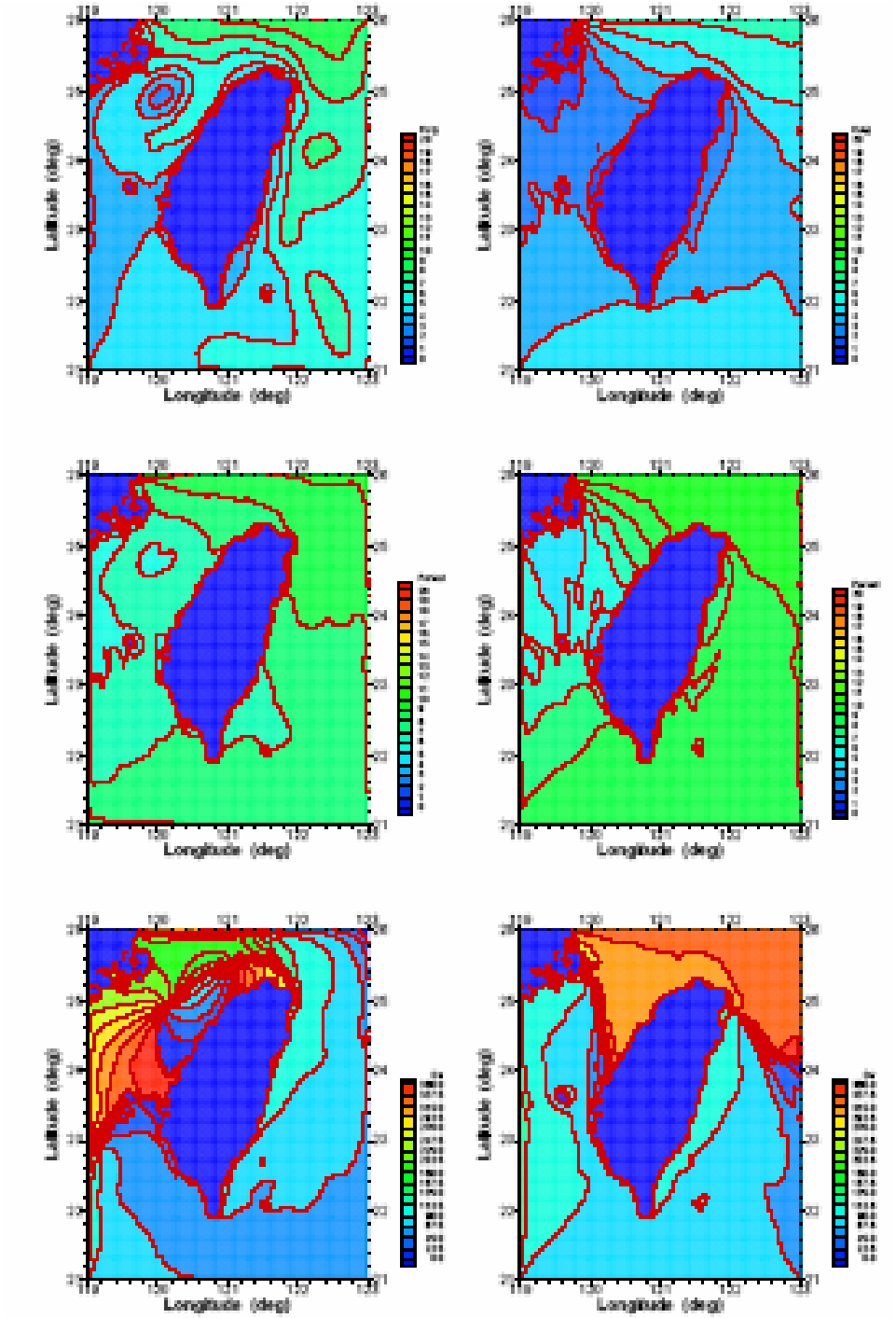


圖 7-7-15　2005 年海棠颱風侵襲期波浪推算分佈圖(2005/07/19 00h)
(各圖由上而下分別為示性波高、平均週期與主波方向)

第八章　更新防救災預報網站

8.1 更新預報網站架構與內容

8.1.1 前言

台灣四周海岸由不同單位依其個別需求而佈置許多海象觀測站。由於缺乏整體性的整合，往往形成觀測站分布不均、觀測項目、經度與資料格式不同，造成觀測結果無法相互支援提供防災使用，而顯現資源重複投資卻沒有發揮應有的功能現象。本計畫的另一目標是建置本土化預報系統，透過模式的預測模擬可提供台灣沿海波浪在時間及空間上完整的資料，模式預報資料與現場觀測資料的比對與展示可以提供使用者參考，亦可作為模式修正的資訊。因此，本計劃嘗試規劃出一個以網路為溝通媒介的環境，讓專家學者及各單位使用者能透過此系統輕鬆地掌握、瞭解所需之資訊，因而此系統為簡單、一目了瞭及動態的方式來展示相關之資訊。

本模式介面的目標希望能藉由相關人員所建議且討論的資料架構圖，漸而發展建構一套符合需求的網站介面。資料呈現的架構是利用分門別類的方式將每個主題突顯出來，然後在針對每個主體內容做細部資料的呈現或查詢。

8.1.2 網站架構概念

重新建構網站之設計是以使用者一目了然的架框結構來當作開發基礎。將網頁切割成三個 FRAME(頁框)；左頁框放計劃執行相關單元選單，右頁框則當作顯示頁面，上頁框則是作為本網站 BANNER 顯示處。另外，版面以水藍來做設計底圖及動畫為原則，一為此網站與“海”相關，二來整體以舒服為訴求，如圖 8-1-1、圖 8-1-2 所示。

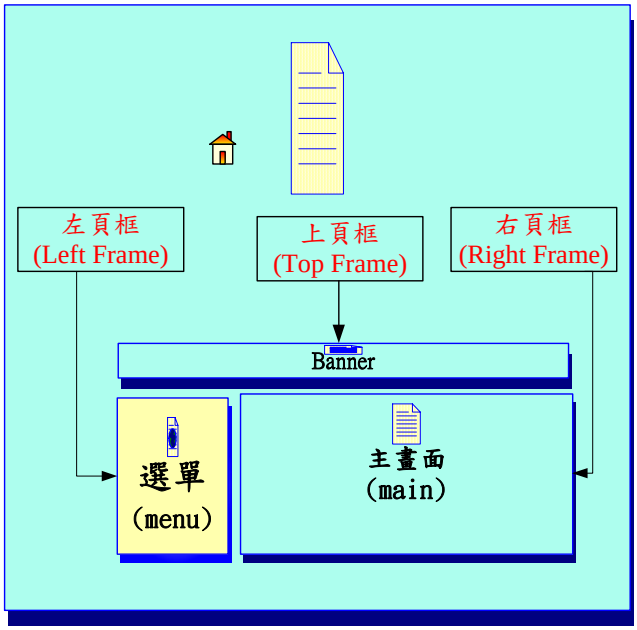


圖 8-1-1　TaiCOMS 網站架構概念



圖 8-1-2　TaiCOMS 網站架構圖

8.1.3 階層概念選單

重新建構的網站架構是利用分門別類的方式將每個主題突顯出來，再針對每個主體內容做細部資料的呈現或查詢。如圖 8-1-3、圖 8-1-4 所示。

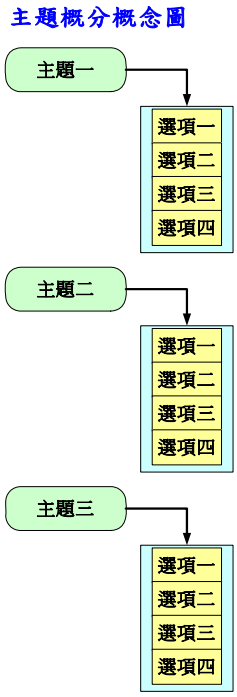


圖 8-1-3 以主題為概分概念圖

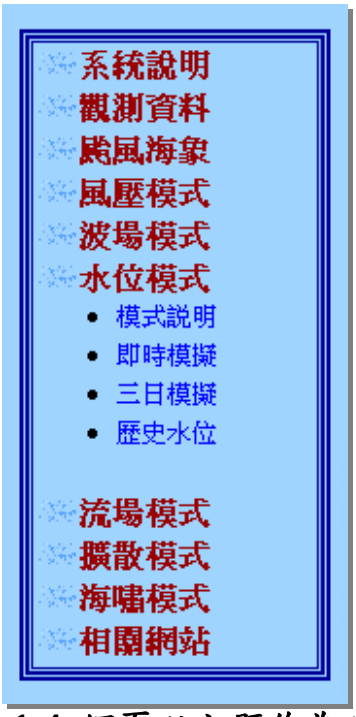


圖 8-1-4 網頁以主題作為分類

階層架構圖說明如下：

(1) 第一層下拉式表單

系統說明	水位模式
觀測資料	流場模式
颱風海象	擴散模式
風壓模式	海嘯模式
波場模式	相關網站

(2) 第二層下拉式表單

🗁系統說明	🗁水位模式
系統概述	模式說明
計畫背景	即時模擬

工作項目

參與人力

🗁觀測資料

觀測網站

典型水深

查詢說明

資料查詢

🗁颱風海象

模式說明

颱風資料

🗁風壓模式

模式說明

即時模擬

三日模擬

歷史風壓

🗁波場模式

模式說明

即時模擬

三日模擬

歷史波場

三日模擬

歷史水位

🗁流場模式

模式說明

即時模擬

三日模擬

歷史流場

🗁擴散模式

模式說明

🗁海嘯模式

模式說明

歷史海嘯

🗁相關網站

港灣研究中心

中央氣象局

8.1.4 資料呈現方式

重新建構網站在資料的呈現方面，仍然以使用者的直覺化反應來作設計。當使用者在選單上點選所要觀看的主題後，在網頁上即可看到選單選項的內容資料。所以網站設計上才會將視窗以架框的格式來實現，當使用者點選左邊架框的選單後，右手邊的頁框會馬上呈現資料。如圖 8-1-5、圖 8-1-6 所示。

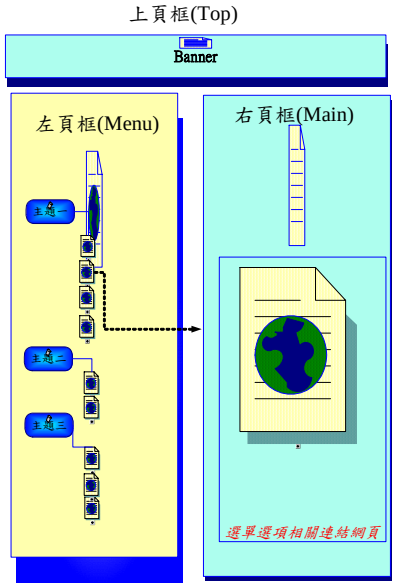


圖 8-1-5　資料呈現方式概念圖



圖 8-1-6　TaiCOMS 資料呈現方式圖

8.1.5 網頁內容介紹

除了重建網站架構之外，網站的內容資料與排版也一併更新與修改，為讓網頁內容時時保持最新的資訊內容，也讓使用者能查詢到最新的資訊，更新網頁細節說明如下。

1.網站整體版面以藍色系做為底圖及動畫設計為原則，一為此網站與“海”相關，二來整體以舒服為訴求。如圖 8-1-7 所示。

2.上頁框之 BANNER 動畫，以本計畫名稱為標題，並放入了港灣技術研究中心之 MARK 動畫。而左頁框版面上文字，是以本計畫英文名稱為標題如圖 8-1-7 所示。



圖 8-1-7 版面設計、BANNER 動畫及內容

3.CSS[1]做為網頁連結方法，不但可以立即呈現動態連結樣式，且不用等待連結圖示下載完畢或另安裝 Plug-in 程式，即可使用，如圖 8-1-8~8-1-9。另外，可以做為網頁物件定位功能，不會因螢幕所調解的像素不同，而所承現的排版而有所不同，如圖 8-1-10。

[1] CSS 是 Cascading Style Sheets 的縮寫，是 W3C 組織所擬定出的一套標準格式。主要是管理網頁中「style(樣式) 」部分，也就是網頁中與「板面」(如:文字、背景、連結、按鈕、表格...等)相關的部份都可以用 CSS 去做修改。增加了更多的樣式定義方式來輔助 HTML。



圖 8-1-8　以 CSS 做為網頁連結方法－圖形連結



圖 8-1-9　以 CSS 做為網頁連結方法－文字連結

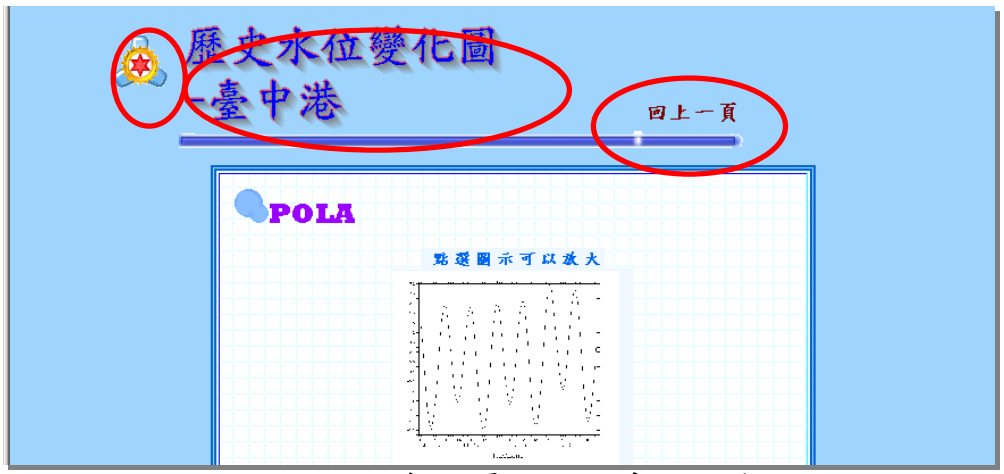


圖 8-1-10　以 CSS 做為網頁定位方式－文字、圖形定位

4.依據各個模式的本質，設計出符合各自模式的動畫小圖示，如圖 8-1-11~圖 8-1-13。



圖 8-1-11 「風壓模式」之模式說明內容及動畫小圖示



圖 8-1-12 「波場模式」之模式說明內容及動畫小圖示

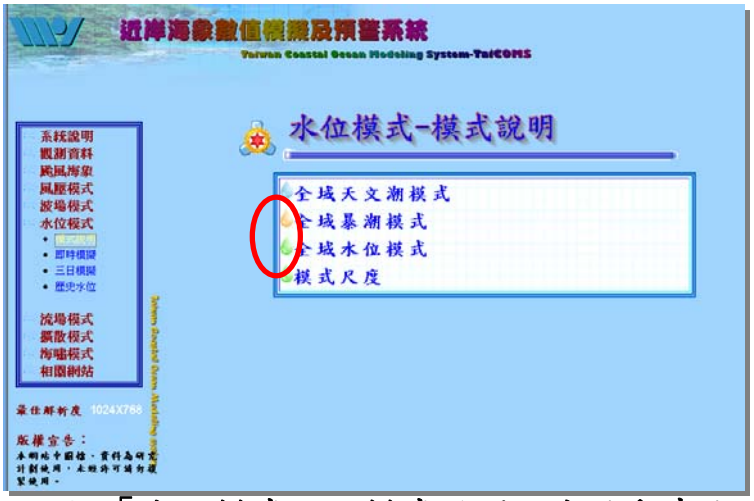


圖 8-1-13 「水位模式」之模式說明內容及動畫小圖示

5.依照最新資料及需求，重新設計及建構出符合主選單項目的架構及內容，如圖 8-1-14~圖 8-1-24。

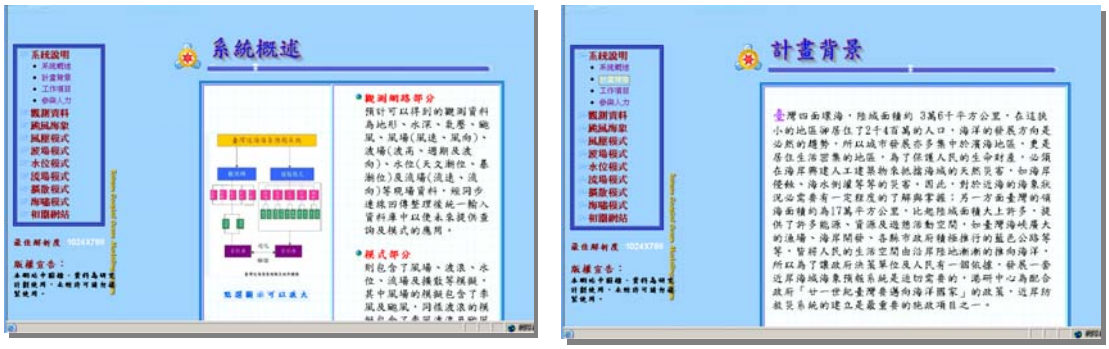


圖 8-1-14 「系統說明」之下的相關網頁內容

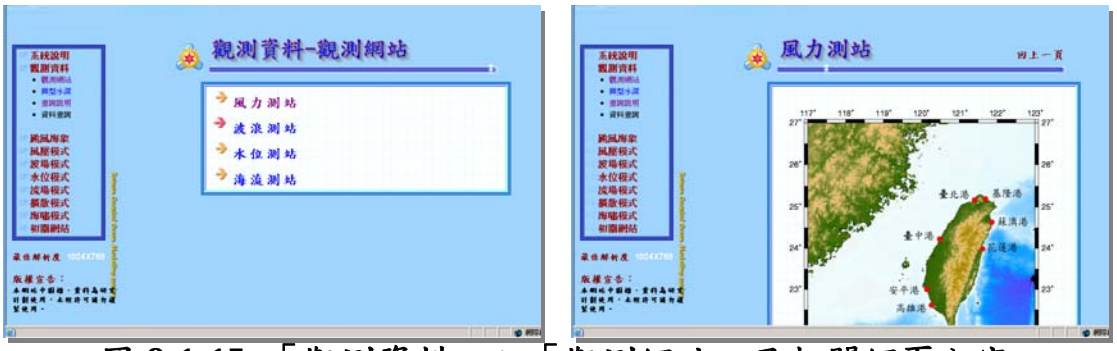


圖 8-1-15 「觀測資料」之「觀測網站」及相關網頁內容

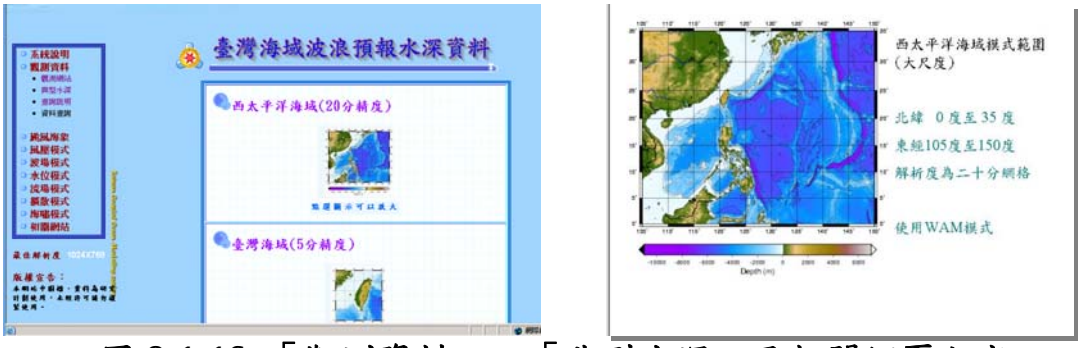


圖 8-1-16 「觀測資料」之「典型水深」及相關網頁內容

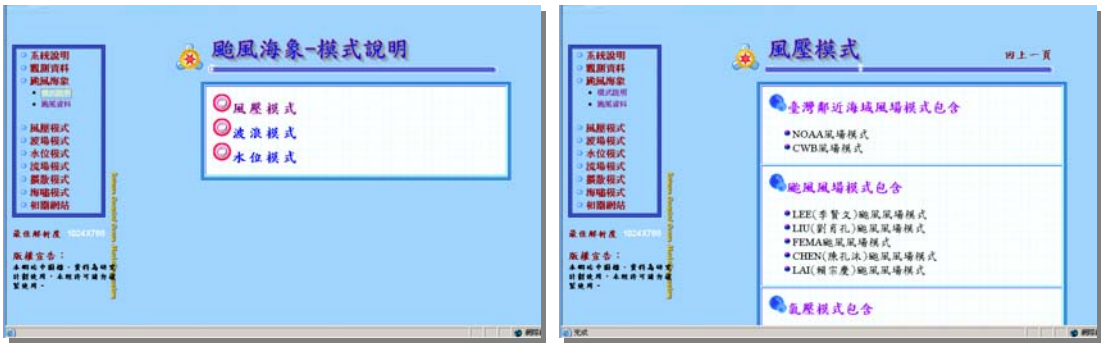




圖 8-1-18 「颱風海象」之「颱風資料」網頁內容



圖 8-1-19 「颱風資料」之「颱風波浪資料」及相關網頁內容

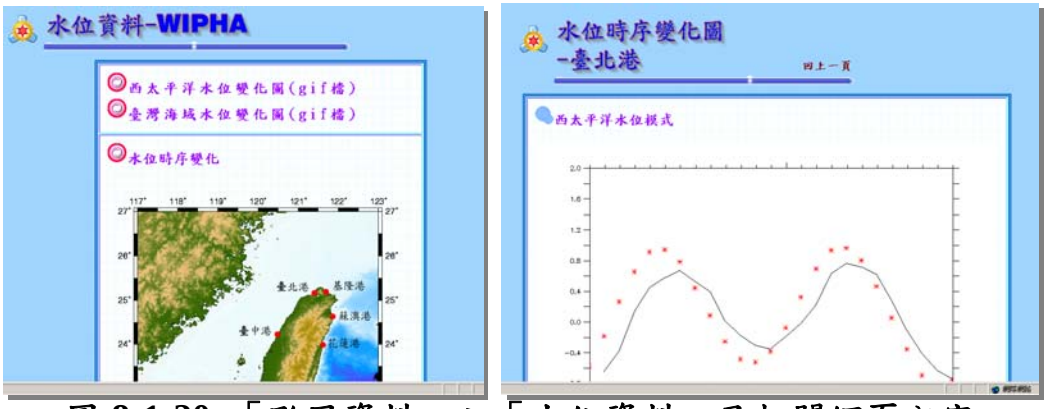


圖 8-1-20 「颱風資料」之「水位資料」及相關網頁內容

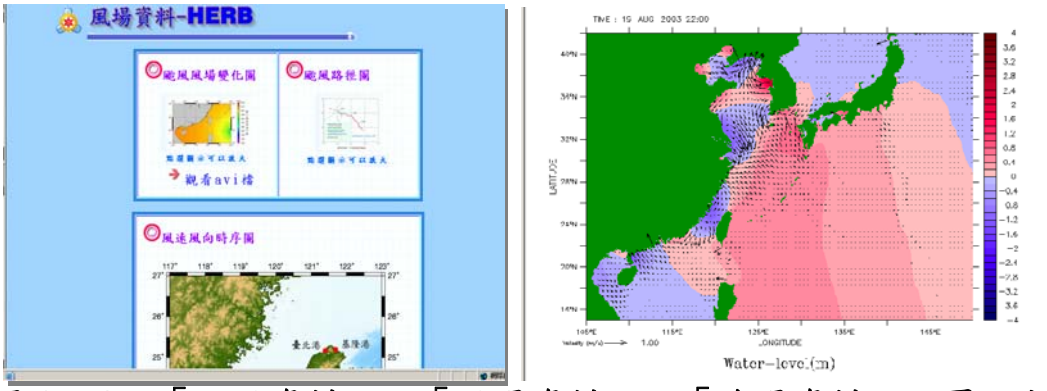


圖 8-1-21 「颱風資料」之「風場資料」及「流場資料」網頁內容

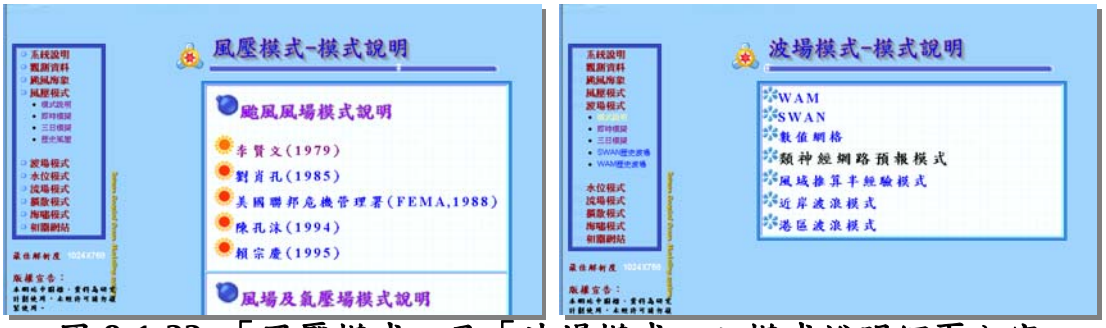


圖 8-1-22 「風壓模式」及「波場模式」之模式說明網頁內容

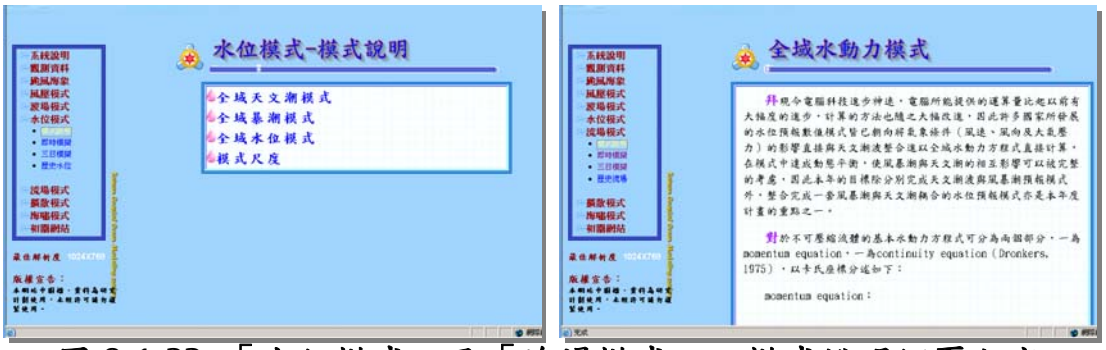


圖 8-1-23 「水位模式」及「流場模式」之模式說明網頁內容

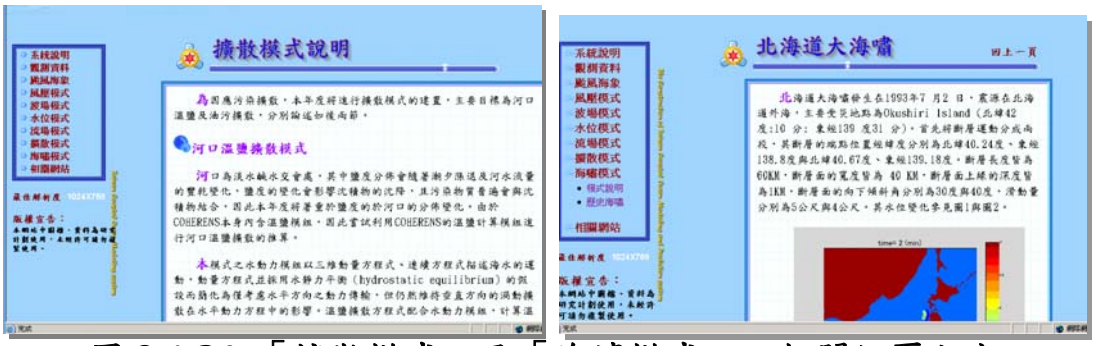


圖 8-1-24 「擴散模式」及「海嘯模式」之相關網頁內容

6.增加隨網頁出現「重要訊息」小視窗，提醒使用者重要的訊息，如圖 8-1-25。



圖 8-1-25 「重要訊息」小視窗

7.新增臺中港「七十二小時即時模擬」網頁，此網頁可以下拉選擇欲觀看七十二小時內單張模擬狀況，並可觀看七十二小時即時模擬動畫，如圖 8-1-26~圖 8-1-27。

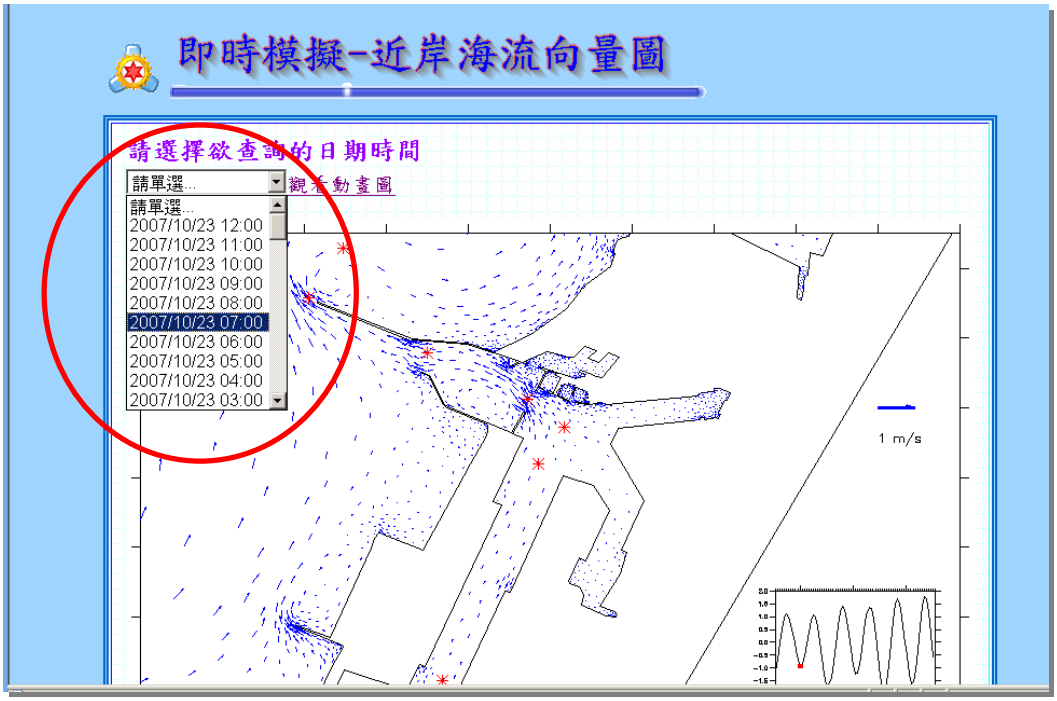


圖 8-1-26　七十二小時即時模擬網頁-下拉式選單及動畫

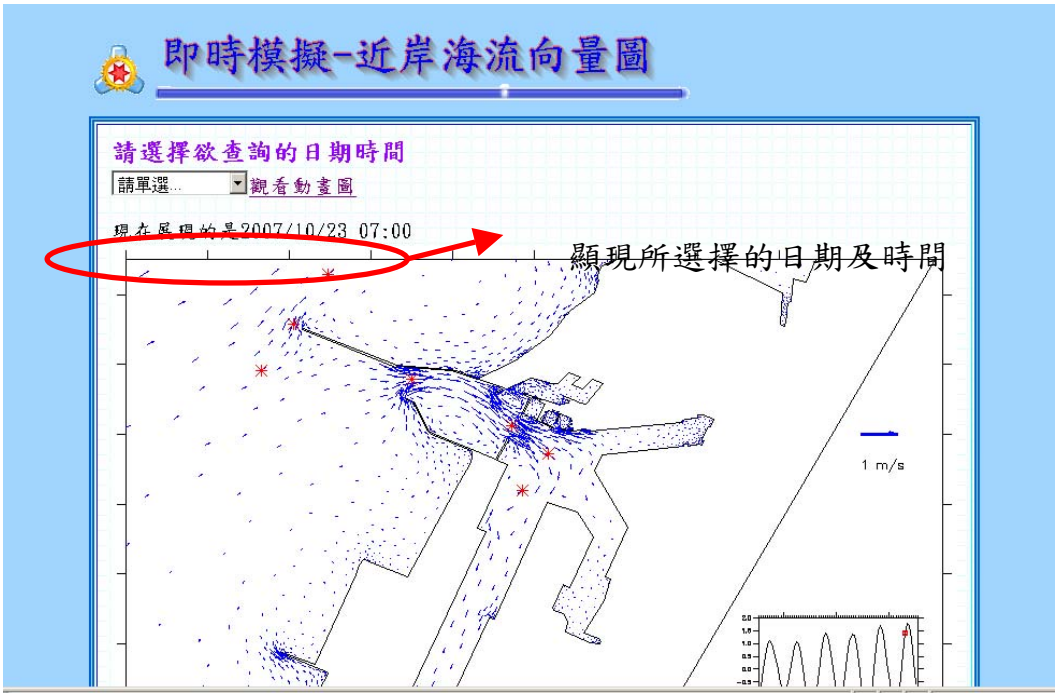


圖 8-1-27　七十二小時即時模擬網頁-選擇欲觀看之單張模擬狀況

8.增加臺中港港區八點模式點，可展現其模式之歷線圖，如圖 8-1-28~圖 8-1-29。

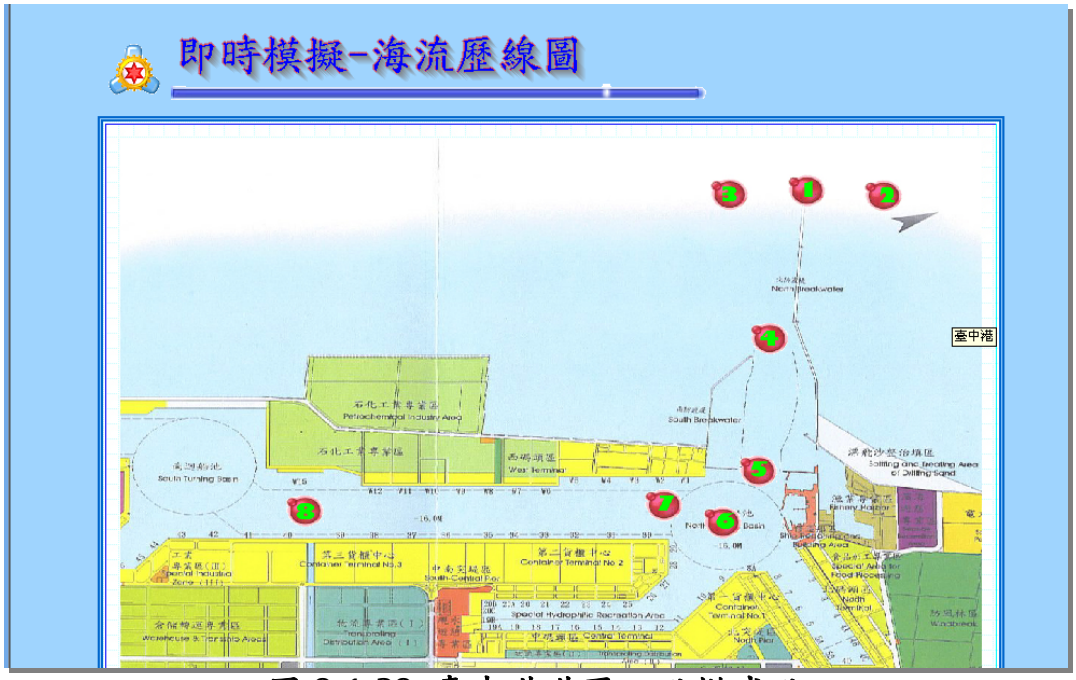


圖 8-1-28 臺中港港區八點模式點

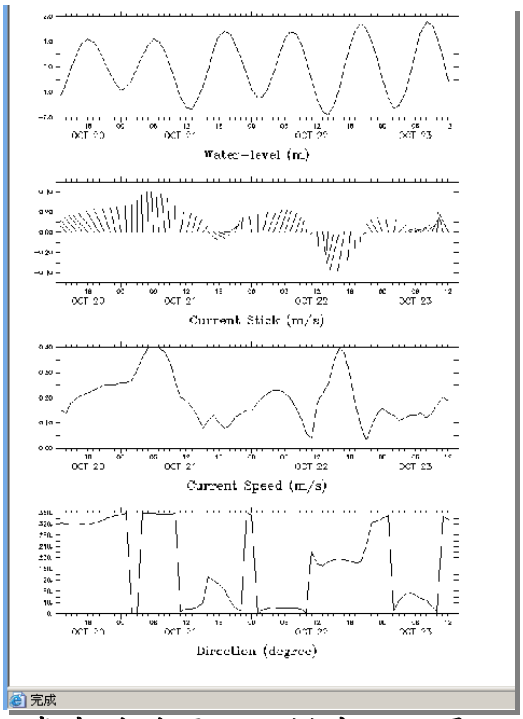


圖 8-1-29 臺中港港區八點模式點之展現的歷線圖

8.1.6 綜合查詢自動化機制

為了提供使用者更多的資訊，本系統研發一機制來呈現歷年來利用觀測或數值模擬等方式所統計的資訊給使用者參考。同時為了考量使用者的習慣，我們透過下拉式選單來讓使用者點選所需要的資訊，達到所見即所得的友善介面，如圖 8-1-30。

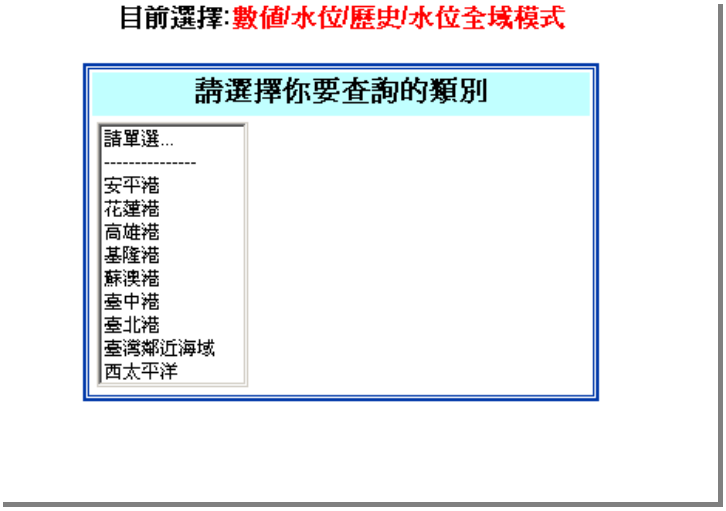


圖 8-1-30 透過下拉式選單，點選所需要的歷史資訊

(1) 資料格式

本機制的歷年資料由蘇博士整理提供，提供的格式以'*.pdf'檔為主，各團隊所產生的圖檔為'*.gif'或'*.jpg'。為了讓資訊可以互相流通，團隊透過與蘇博士的溝通協調，制定一個命名的規範，所有參與相關單位依照此規範來產生相關檔案資訊。協定後按照規範命名的檔案如下：

N_ WAV_HI_ VW0_TC_PT-A_1998_MON-12_01_F&R_1.PDF

或

數值_波浪_歷史_ WAN 模式_臺中港_測點 A_1998 年_12 月_1 日_圖與表_1.PDF

由於檔案格式統一，利用此特性來建構一個有結構性的選單。

(2) 資料結構

由於先前檔案的命名已經統一格式，我們則依此格式模式，利用 C 語言來撰寫程式，並在 Linux 的作業平台中執行。此程式會將每天所產生的風壓、波浪、水位等資料，變成結構化格式。透過巢狀結構的方式來拆解每個檔案並產生適當的資料夾階層，程式流程大概如圖 8-1-31 所示。經過 C 語言程式處理後，所有的檔案皆以巢狀結構資料夾型式呈現。使用者可透過網頁所撰寫的 php 下拉式視窗程式來選取所要查詢的資料內容。

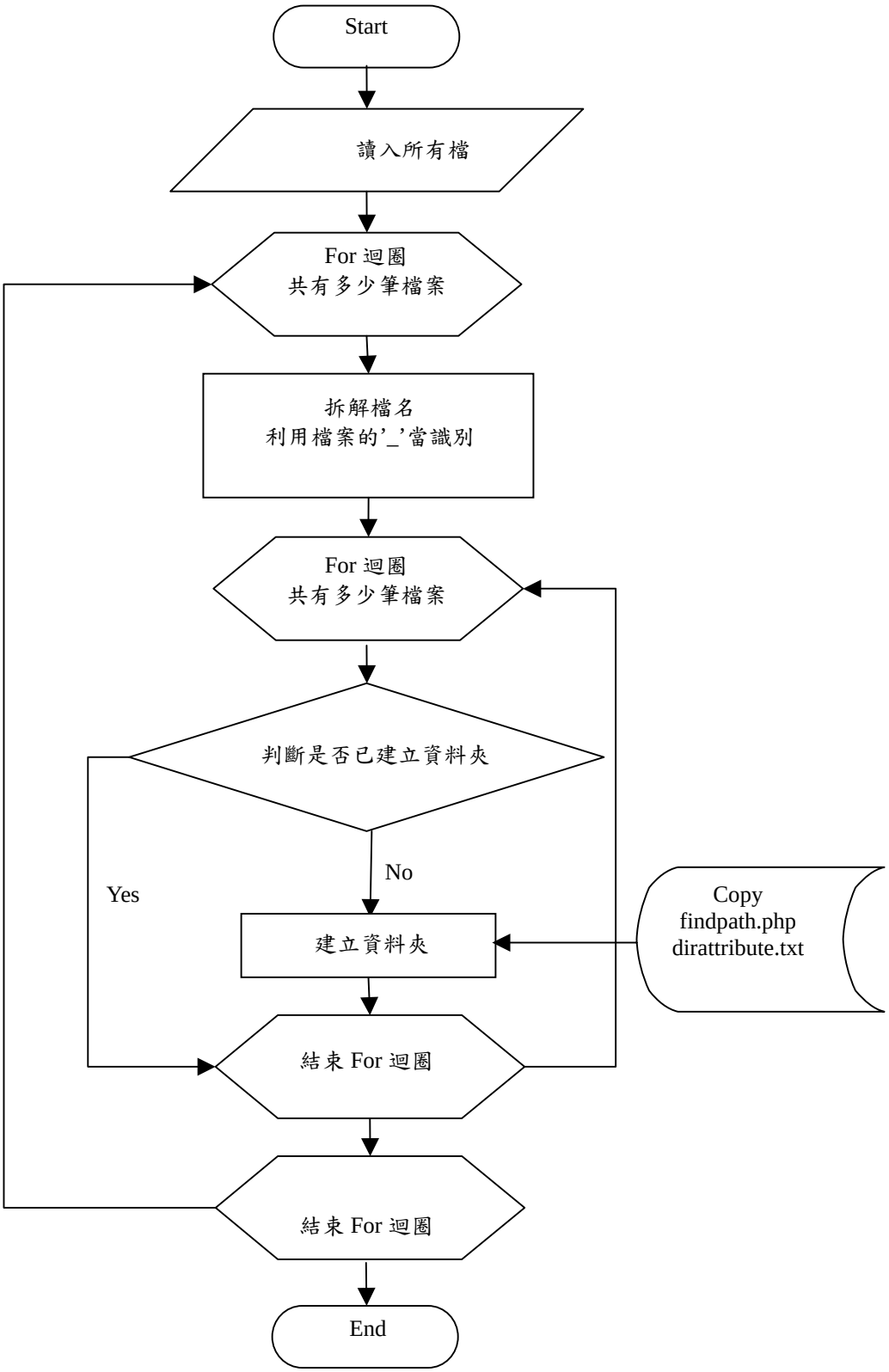


圖 8-1-31　C 語言程式處理流程

8.2 港區海象資訊展示系統

8.2.1 前言

由於政府積極推動國土資訊系統（National Geographic Information System），至今已有許多政府單位實際應用地理資訊系統(Geographic Information System：GIS)[2]協助處理日常業務，且成效卓越。然而，目前所見之地理資訊系統大多著眼在陸域上，而臺灣地區之海岸地理資訊系統，發展頗為緩慢，究其原因，實因海洋及海岸資料搜集費時且費錢，大多是不同的機關因著特殊的目的才會進行局部區域的觀測，故海洋及海岸資料整合不易。

本計畫初步研擬應用地理資訊系統(Geographic Information System)之相關架構展示模式，結合 TaiCOMS 網頁、文字與圖形顯示技術，來展示港區海象資訊。以整體需求為考量，以達成互動性操作介面。

8.2.2 地理資訊展示系統評估

針對 UrMap、Google map、MapGuide、ArcGIS IMS 等四套地理資訊展示系統作為評估，以下說明各地理資訊展示系統的特色。

◎UrMap[3]:

1.UrMap JavaScript API 可以在自己的網頁上嵌入 UrMap 電子地圖。

2.有全臺灣各地相同解析度的衛星照片。

3.是臺灣第一個衛星電子地圖，由友邁科技研發製作，福衛二號影像由國家太空中心及臺灣師範大學授權提供。

---

[2]地理資訊系統最常見的便是數位地圖系統、衛星導航系統等，可方便導航、車輛監控與地籍的畫分等。資料來源：內政部地政司衛星測量中心網站 http://www.moidlassc.gov.tw/

[3] 資料來源 http://flickr.tw/2007/04/google_maps_api.html 及 http://www.urmap.com.tw/

4.完全免費提供了豐富的地理資訊。

5.開放性的平臺。

6.提供了繪製 GPS 軌跡圖。



圖 8-2-1 UrMap 地理資訊展示系統

◎Google map[4]:

1.有比較清晰的衛星照片。

2.zoom in 最大比例尺可以約至 1:2000。

3.只有人口密集的都會區才有高解析度照片。

4.開放性的平臺，提供了 API，可以自行開發各種應用。

5. Google 這家國際公司除了英美加幾個地區外，其他國家都慢慢提供地圖服務，部份國家只提供衛星影像。

6.完全免費提供了豐富的地理資訊。

7.提供了繪製 GPS 軌跡圖。

[4] 資料來源 http://flickr.tw/2007/04/google_maps_api.html 及 http://maps.google.com/

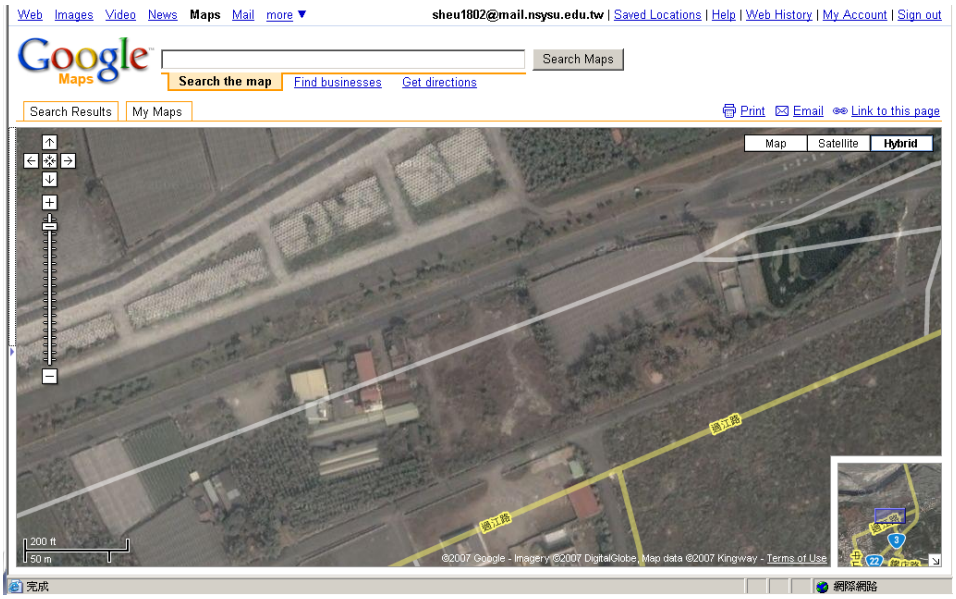


圖 8-2-2　Google map 在臺灣衛星照與實際有偏移

◎AutoDesk MapGuide [5]:

Autodesk MapGuide 是一個以 Web 為應用平台的軟體，不僅容易上手，且可對地圖及報表作快速的存取，更可以即時地將向量及影像資料直接傳達至瀏覽器中。

Autodesk MapGuide 提供了一個包含豐富程式設計介面及具親和力地圖編輯工具的強大發展環境，可以輕易地將你所喜愛的發展工具：諸如 Java、Visual Basic、Allaire 的 ColdFusion 或任何標準化的 Web 資料庫及報表產生工具，與 AutoDesk MapGuide 作整合。

它支援所有大部份的 GIS 資料格式與 AutoCAD 的 DWG 及 DXF 檔案，同時可連結多個關聯式資料庫及地理資料庫伺服器，輕易地整合在不同部門所維護的資訊。其組成包括：

[5] 資料來源 http: //www.autodesk.com.hk

1.MapGuide Viewer

透過瀏覽器觀看 MapGuide 地圖時，需另外安裝 MapGuide 的 Plug-in 模組才能讀取圖檔。讓使用者可對儲存於一個或多個 Autodesk MapGuide Server 中之資訊作交談式的查詢及分析。

2.MapGuide Server

MapGuide Server 可透過網路來發送地圖資料，以供 Autodesk MapGuide Viewer 或 Autodesk MapGuide Author 等前端工具連結使用。

3.MapGuide Author

使用 MapGuide Author 配合現有的 GIS 資料製作地圖，並透過網際網路來傳送。連結地圖物件至影片、報表、文件和各種全球資訊網路應用程式。

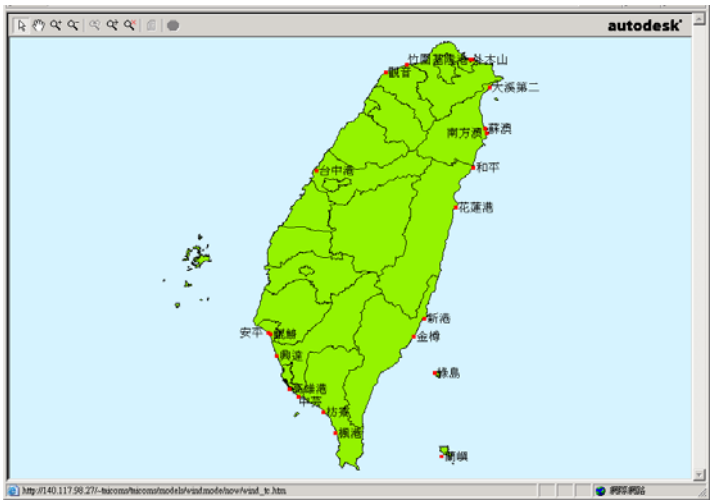


圖 8-2-3　Autodesk MapGuide 地理資訊展示系統

◎ArcGIS IMS [6]:

ESRI ArcGIS 是一套整合的軟體產品,讓您於可在您的組織內建立起您合用的完整地理資訊系統(GIS)。ArcGIS 的軟體架構讓您可以輕鬆的將 GIS 的功能與邏輯部署在所需的地方：桌上型電腦、伺服器、行動式設備、客製化應用程式、網際網路服務...等。配合著地理資料庫的使用，這樣的架構讓您有工具可以組合出聰明的 GIS 應用程式。

通透性(Interoperable) :ArcGIS 家族的產品皆是建立在產業標準的基礎上，包括：使用.NET、Java、COM 等方式進行客製化；商業級資料庫管理系統(DBMS)可用於儲存資料；網路環境中利用 XML、SOAP、TCP/IP、HTTP 等語言或協定。

卓越的功能(Exceptional Functionality):ArcGIS 有強大的編輯、分析、繪製地圖等功能，除此之外還有領先的資料模型與管理能力，讓 ArcGIS 軟體家族繼續成為傑出的 GIS 軟體領導品牌。

擴充性(Scalable) :ArcGIS 軟體模組化的本質讓 ArcGIS 可以同樣適用於單一的桌上型電腦使用者或是組織內需要有多使用者同時編輯與更新資料的協同工作環境中。

網際網路應用(Web Enabled) :ArcGIS 讓您可以將 GIS 應用程式透過網際網路部署在您的組織中,供您存取地理空間資料來進行更佳的決策。

善待開發者(Developer Friendly) :一個名為 ArcObject 的軟體元件通用程式庫、再加上龐大的文件說明與程式範例，於桌上型電腦、行動式裝置、服務主機、伺服器等環境中，提供開發者一致且完整的感受。

ArcGIS 是一套通透性的資訊系統，並且緊密的整合了資料管理與一個非平行的協同工作環境。

---

[6] 資料來源 http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/using-gis-linux.pdf 及 http://www.hitrontech.com/product/product_detail.asp

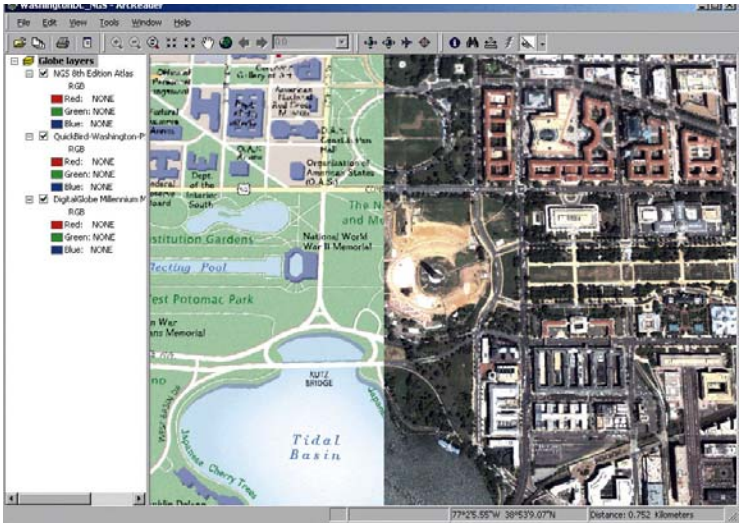


圖 8-2-4　ArcGIS IMS 地理資訊展示系統

總結以上的特色，利用表格比較其優劣如表 8-2-1。

表 8-2-1　地理資訊展示系統優劣表

	UrMap	Google map	Map Guide	Arc GIS
平臺	跨平臺	跨平臺	Windows	部份產品跨平臺
圖資來源	UrMap 本身提供	Google map 本身提供	建置者自行建置	建置者自行建置
費用	免費	免費	需要購買軟體	需要購買軟體
內嵌網頁	可以	可以	可以	可以
開放 API	可以	可以	可以	可以
圖層概念	有	有	有	有
介面語言	中文	英文	中.英文	中.英文
臺灣圖資	全臺灣各地相同解析度的衛星照片	臺灣的衛星照與實際有偏移	自行購買並自行匯入	自行購買並自行匯入

由於港區海象資訊展示系統需結合 TaiCOMS 網頁、文字與圖形顯示技術，且考量其費用、即時性及平臺上等問題，因此本計畫以 UrMap 優先進行測試。

8.2.3 臺中港預報地理資訊展示系統介面

利用 URMAP 之地理系統來展示臺中港預報地理資訊之展示系統，因而其介面及操作方式與使用 URMAP 無異。在此系統下方顯現其目前所展示之地籍中心的經緯度，如圖 8-2-5。

由於其所要展示的點位尚未確定，因而先以臺中港港區八個模式點為展示的點位，如圖 8-2-5。



圖 8-2-5　使用 URMAP 來展示臺中港預報地理資訊展示系統

第九章　結論與建議

9.1 港區作業化預報操作及成果評估

本年度港區作業化預報比對的結果，水位模式結果與實測水位相當吻合，西太平洋水位模式無法解析的基隆測站，在使用地形解析度較細的台灣海域水位模式進行模擬後，得到了相當好的結果，除了基隆測站，其餘測站在精度上也都有改善的效果。

波浪模式在波高的模擬結果與實測資料趨勢吻合，僅有台中測站與實測資料差距較大，週期的模擬則都是低估的結果，波向受限於模式解析度，比對結果皆不是很理想，此部份未來能會繼續進行效驗，另外近岸波浪模式建置完成以後，可以得到相當的改善。

目前上線預報的流場模式為西太平洋流場模式及台灣海域流場模式，這兩套模式的驅動力皆為潮汐，加以流場為水深平均流，因此對於近岸流場並無法完整的解析，所以雖然可以正常進行線上預報，但是與實測資料比對結果並不理想，此部份待本年度完成台中及花蓮近岸流場及港區流場後，會有更接近實測資料的結果。

風速比對結果仍是使用中央氣象局提供的 NFS 風場，由於網格點比較大，今年取得外島地區的風速資料進行比對，比對結果優良。

9.2　近岸海域及港區海象模擬

9.2.1　港區周圍及港內流場

透過有限元素模式的構建，配合現場量測資料的比對，模式模擬結果與實測資料大致相符，顯示台中港區流速受到風場的影響甚大，風驅流的影響相當明顯。另比對港口附近海域與港內流速於一個潮周內的計算結果，漲退潮期間港口海域的流速較快，水流主要透過主航道通過，南堤附近會形成一小渦旋，於退潮時逆時針流動，漲潮時相反。漲潮期間漁港開口外與開口內會形成兩個不同的渦漩，開口外逆

時針流動，漁港內順時針流動。

從模式模擬結果可知，若僅透過北堤堤頭之單點觀測資料作為模式的驗證仍嫌不足，如未來欲將本模式作為未來台中港區內流速預報模式，提供 LNG 船作為操船的建議，港研中心應提供港區內相關流速觀測資料作為模式的驗證。另現階段由於氣象局 MC 風場的預報資料無法解析台中港海域的地形效應，若現場風速觀測資料能夠即時連線傳輸，可以現報的方式（以現場風速資料作為驅動）、或以過去 HC 風場與現場實測資料做相關性分析後，如 HC 風場能與現場資料有符合趨勢，未來亦可作為預報計算的驅動風場。

本年度新增加花蓮近岸及港區海流模式，目前僅有初步結果，未來能會繼續努力進行模式的改進。

9.2.2 港區周圍及港內波浪

1. 本年度近岸區域波浪模擬工作除了持續進行線上作業模擬測試外，主要針對台中港進行每小時現報可行性評估，結果顯示直接以台中港即時觀測波浪結果做為模式之外海邊界條件模擬近岸波浪場時，外海波高邊界條件與依據回歸關係校正觀測資料波高大小做為模式之邊界條件，區域波浪模式將可以模擬近似之平面波場。

2. 本計畫亦針對花蓮港及安平港進行每小時現報之評估，結果顯示安平港波浪觀測點位因距離模式之邊界較近、地形變化相當緩且不易受到港口結構物之影響，故模式模擬結果與觀測資料相關性相當高，適合直接引用觀測資料進行波浪現報。花蓮港因波浪觀測點位與東防波堤間距離僅約 400 公尺，模式模擬結果顯示觀測點位附近波浪明顯受到防波堤及海岸結構物影響，加以當地海域地形變化相當大，因此模式模擬結果與觀測資料間之相關性較為分散，因此較不適宜引用做為模式現報邊界條件之參考依據。

3. 年度針對台中港初步完成港域波浪相關模式之建置，未來將可提供波浪預報線上作業模擬結果之港域波浪場，且所建置之模擬波浪場資料庫資料亦可提供 GIS 資料庫系統所需資訊。

9.2.3 波浪相關模式

目前本計畫關聯模式主要用於連結現場觀測資料或數值模式輸出之波浪條件：波向、週期及波高值，利用簡單之判別式決定波向及週期檔案名稱，從資料庫中開啟所需要的波浪場資料，如開啟數位化資料檔時，程式會進行相關之處現如波高值之轉換、水面波形之時序列資料計算與輸出、特定區位波高之計算與輸出等。其中特定區位波高之計算與輸出可以給定二度分帶座標或網格座標。

9.2.4 類神經季風及颱風波浪

(1) 類神經季風波浪模擬

本年度(96)之類神經網路以模式風場之風速及向，建構 ANFIS 之季節性風浪推算模式，並進行作業化及模式預報之成果評估，以推算全年示性波高，並就花蓮及台中港 2005-2006 年進行季風波浪的推算，提供海岸工程施工以及港灣船隻作業之參考。

學習部分，花蓮於秋季相關性為最高約為 0.72，依次為春及冬，其相關性約為 0.60 及 0.58，其中最低為夏季。台中之學習結果則顯示冬季最高約為 0.73、其餘三季之相關性則在 0.5 以上。由 WANF 模式所推算之波浪相關性花蓮約在 0.6 以上，台中約在 0.7 以上。其絕對誤差花蓮約為 0.36 公尺，台中約為 0.48，相對誤差 *bias* 約為 0.002 及-0.043 公尺。由此顯示本模式之推算結果，可實際應用於季節風浪之推算及統計分析。

(2) 類神經颱風波浪模擬

針對台灣東部外海多數的颱風預測，以目前的颱風波浪推算模式可以提供令人滿意的結果，對台灣西部外海多數的颱風預測，颱風波浪推算模式有較大改進空間，目前急待克服的包括增加颱風學習的事件次數與種類解決模式推算誤差。颱風波浪模式的預測經過多次操作與測試初步可以歸納模式修正方向：

1. 颱風事件分類學習：颱風波浪推算模式建立初期，受限實測資料有限，學習資料的數量較少，尤其台中港 2005 年直接影

響台中港的颱風事件中僅紀錄一場完整颱風波浪資料,使的部分非學習的颱風事件在颱風風場、路徑等有極大變動的情形下產生較大的誤差。如碧利斯颱風、珊珊颱風等產生最大波浪與到達時間的誤差。

2. 颱風陸地效應的修正：針對颱風以不同方向或路徑接近台灣時，台灣陸地對各類路徑颱風風場的影響應有顯著的差異，尤其台灣西部海域更加複雜,需要修正颱風與陸地影響關係提高推算的準確性。

3. 修正輸入資料格式：操作者將直接由 JTWC 或 UNISYS WEATHER 發佈的颱風資料初步過濾後直接輸入，減少操作者因進行資料內差步驟時可能產生的誤差。

9.3 波浪資料同化

因 RC 風場的解析度較 MC 風場為低，可能無法反應台灣附近海域的複雜地形的影響。但是 MC 風場的涵蓋範圍太小，限制了風浪推算的涵蓋範圍。在推算波高與週期會因為計算時間間距而改變，主要應是與風場的變化，以及風波推算模式對於風力輸入項的處理有關。利用 3 小時或 6 小時計算間距可能使得風能無法正確傳入模式中，此可由改為 1 小時間距後，波高與週期便明顯改善看出端倪。從各個推算的主波方向分佈圖來看，可發現波向的變化差異極大，是否會影響到風波推算的結果，需要再評估。

9.4 更新防救災預報網站

本計畫初步應用地理資訊系統(GIS)之相關架構展示模式，並結合 TaiCOMS 網頁、文字與圖形顯示技術，來展示港區海象資訊。以整體需求為考量，以達成互動性操作介面。在地理資訊系統部份，本計畫針對 UrMap、Google map、MapGuide、ArcGIS IMS 等四套地理資訊展示系統進行評估，由於港區海象資訊展示系統需結合

TaiCOMS 網頁、文字與圖形顯示技術，且考量其費用、即時性及平臺上等問題，因此本研究以 UrMap 優先進行測試。

第十章　參考文獻

1. CYCOFOS 網站，http://www.oceanography.ucy.ac.cy/cycofos/index.html。
2. Backhaus J. O., 1985, A three-dimensional model for the simulation of shelf sea dynamics. *Deutsche hyhrographische Zeitschrift*, 38, 165-187.
3. Booij, N., 1981, 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.
4. Booij, N., J.G. Haagsma, L.H. Holthuijsen, A.T.M.M. Kieftenburg, R.C. Ris, A.J. van der Westhuysen, M. Zijlema, 2004, *SWAN Cycle III version 40.41 USER MANUAL*, Delft University of Technology
5. Bouttier, F., P. Courtier, 1999, Data Assimilation Concepts and Methods, Meteorological Training Course Lecture Series, ECMWF
6. Browne, M., Castelle, B. Strauss, D., Tomlinson, R., Blumenstein, M., and Lane, C., (2007) "Near-shore swell estimation from a global wind-wave model: Spectral process, linear, and artificial neural network models," Coastal Engineering, Vol. 54, pp. 445-460.
7. Chang, H.K., Chien, W.A., 2006a, Neural network typhoon wave models using multi trend simulating transfer functions, *Advances in Engineering Software*, 37, 184–194.
8. Chang, H.K. and Chien, W.A., 2006b, A fuzzy-neural hybrid system of simulating typhoon waves, *Coastal Engineering*, Vol 53(9), pp. 737-748..
9. Chen, H.S., D. Behringer, L.D. Burroughs, and H.L. Tolman, 2004, A Variational Wave Height Data Assimilation System for NECP Operational Wave Models, Technical Procedures bulletin, NWS, NCEP, NOAA, USA.
10. Chiu, Y.F., J.G. Lin and H.S. Hou, 2004, WAVE CONDITIONS INSIDE THE HUALIEN PORT, TAIWAN, Presented in PACON, 2004.(in print)
11. COHERENS usermanual.
12. Dalrymple, R.A., J.T. Kirby and P.A. Hwang, 1984, Wave diffraction due to areas of energy dissipation, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Vol. 114, pp. 423-435.

13. Deo, M.C., Sridhar Naidu, C., 1999, Real time wave forecasting using neural networks, *Ocean Engineering*, Vol. 26, pp. 191-203.
14. Deo, M.C., Kiran Kumar, N., 2000, Interpolation of wave heights. *Ocean Engineering*, Vol. 27, pp. 907-919.
15. Deo, M.C., Jha, A., Chaphekar, A.S., Ravikant, K., 2001, Neural networks for wave forecasting. *Ocean Engineering*, Vol. 28, pp. 889-898.
16. Deo, M.C., Gondane, D. S., and Sanil Kumar, V., 2002, Analysis of wave directional spreading using neural networks, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Vol. 128, pp. 30-37.
17. Deo, M.C., Jagdale, S.S., 2003, Prediction of breaking waves with neural networks, *Ocean Engineering*, Vol. 30, pp. 1163-1178.
18. Holland, G. J., 1980, An analytic model of the wind and pressure profiles in hurricanes, *Monthly Weather Review*, Vol. 108, No. 8, pp. 1212–1218.
19. HSCTM-2D usermanual
20. Hsu,Y.J. G., T.W. Hsu, J.G. Lin, J.M. Liau, T.W. Yang and F.J. Lin, 2004, "Nearshore Wave Predictions Around the Northeastern Coast of Taiwan," The Fourteenth OMISAR Workshop on Ocean Models, PACON.
21. Kalra, R., Deo, M.C., Kumar, R., Agarwal , V. K., 2005, Artificial neural network to translate offshore satellite wave data to coastal locations, *Ocean Engineering*, Vol. 32, pp. 1917–1932.
22. Kalra, R., and Deo, M.C., (2007) "Derivation of coastal wind and wave parameters from offshore measurements of Topex satellite using ANN," Coastal Engineering, Vol. 54, pp. 187-196.
23. Kazeminezhad, M. H., Etemad-Shahidi, A., and Mousavi, S. J., (2005) "Application of fuzzy inference system in the prediction of wave parameters," Ocean Engineering, Vol. 32, pp. 1709–1725.
24. Kirby, J.T., 1986, Rational approximations in the parabolic equation method for water waves, *Coastal Eng.*, Vol. 10, pp. 355-378.
25. Kirby, J.T. and Dalrymple, R.A., 1983, A parabolic equation for combined refraction- diffraction of Stokes waves by midly varying topography, *J. Fluid Mech.*, Vol. 136, pp. 219-232.
26. Makarynsky, O., 2004, Improving wave predictions with artificial neural networks, *Ocean Engineering*, Vol. 31, pp. 70.
27. MEDSLIK usermanual.

28. Mei, C.C., 1989, The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves, John Wiley, New York.
29. Őzger, M., and Sen, Z., (2007) “Prediction of wave parameters by using fuzzy logic approach,” Ocean Engineering., Vol. 34, pp. 460-469.
30. Radder, A.C., 1979, On the parablic equation method for water-wave propagation, *J. Fluid. Mech.*, Vol. 95, pp. 159-176.
31. Tolman, H.L., Krasnopolsky, V.M., and Chalikov, D.V., (2005) “Neural network approximations for non-linear interactions in wind wave spectra: direct mapping for wind seas in deep water,” Ocean Modelling, Vol. 8, pp. 253-278.
32. 李兆芳、劉正琪、張憲國，2001，港池振盪之數值模擬計算，海洋工程學刊，第一卷，第一期，1-22 頁。
33. 李忠潘、陳陽益、林炤圭、劉景毅、王兆璋、張憲國、許泰文、薛憲文、于嘉順，2004，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。
34. 李忠潘、陳陽益、林炤圭、劉景毅、王兆璋、張憲國、許泰文、薛憲文、于嘉順，2005，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。
35. 李忠潘、陳陽益、薛憲文、林炤圭、劉正琪、張憲國、于嘉順、王兆璋，2006，近岸數值模擬系統之建立(III)，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，MOTC-IOT-95-H3DB001。
36. 林炤圭，2003，沿海遊憩安全資訊與監測系統之建立(1/2)－沿海遊憩安全資訊系統之建立，交通部科技顧問室 92 年度專題研究計畫報告
37. 林炤圭，2003，東北角海域海象預報系統的建立，中央氣象局 92 年度研究計畫報告。
38. 林炤圭，2004，沿海遊憩安全資訊與監測系統之建立(2/2)－沿海遊憩安全資訊系統之建立，交通部科技顧問室 93 年度專題研究計畫報告。
39. 林炤圭，2004，東北角海域波浪預報模式之建立與檢核，中央氣象局 93 年度研究計畫報告。
40. 林炤圭、岳景雲、林玉峰、涂宗男，2005，花蓮港港池共振機制研究(1/4)，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，MOTC-IOT-94-H3DB003，226 頁(95 年 4 月出版)。
41. 林炤圭、岳景雲、林玉峰、涂宗男，2006，花蓮港港池共振機制研究(2/4)，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，MOTC-IOT-95-H3DB002。

42. 林炤圭、徐月娟、莊士賢、羅司宜、劉玉祥、林昭暉，2003，東北角海域區域波浪模式之建置研究，第二十五屆海洋工程研討會東北角海岸專題(東北角海域海氣象特性與海岸防護)，基隆，17頁-23 頁。
43. 林炤圭、許泰文，2005，近岸風浪預報模式之研究與建立(1/3)，中央氣象局 94 年度研究計畫報告。
44. 林炤圭、許泰文、廖建明，2006，海岸區域溢淹災害潛勢分析研究－近岸波浪計算預測模式之建置(I)，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，NSC94-2625-Z-019-007。
45. 許泰文、歐善惠、廖建明、陳亞嵐，2003，修正型近岸風浪模式之研究，第二十五屆海洋工程研討會論文集，基隆，179 頁-185頁。
46. 蔡昀達，2005，“應用類神經模糊系統於季節風波浪之推算“，交通大學土木工程研究所碩士論文。
47. 蔡獲光，2006，應用 ANFIS 模式於台灣東部海域之季節風波浪推算，交通大學土木工程研究所碩士論文。
48. 廖建明、歐善惠、許泰文、方介群、臧效義，2002，應用 SWAN 模式模擬台灣附近颱風波浪之特性，第二十四屆海洋工程研討會論文集，台中，469-476 頁。
49. 歐善惠、許泰文、臧效義、方介群、廖建明，1999，應用 SWAN 波浪模式推算台灣附近海域颱風波浪之研究，第二十一屆海洋工程研討會論文集，87 頁-95 頁。
50. 歐善惠、許泰文、臧效義、廖建明、方介群，2000，應用 SWAN 模式於台灣西部海岸之波浪預測，第二屆國際海洋大氣會議論文集，台北，183 頁-188 頁。

附錄 1　WAM 模式之流程圖與設定參數

下圖為 WAM 模式之操作流程圖。其中，PREPROC 模組負責讀入水深地形資料，並且產生相對應網格資料供後續模組使用；PRESET 模組為轉換風場資料格式供主要計算使用，另外，PRESET 模組也可讀入 CHIEF 模組所產生的 blspanal 資料檔作為下次計算的起始條件資料；CHIEF 模組為主要計算核心，其會產生 MAP 檔（結果）、CBO 檔（供 SWAN 模式使用之輸入邊界）與前述的 blspanal 資料檔等；最後的 PGRID 模組則是負責將前者產生的 MAP 檔資料轉換成可供辨識的資料格式。

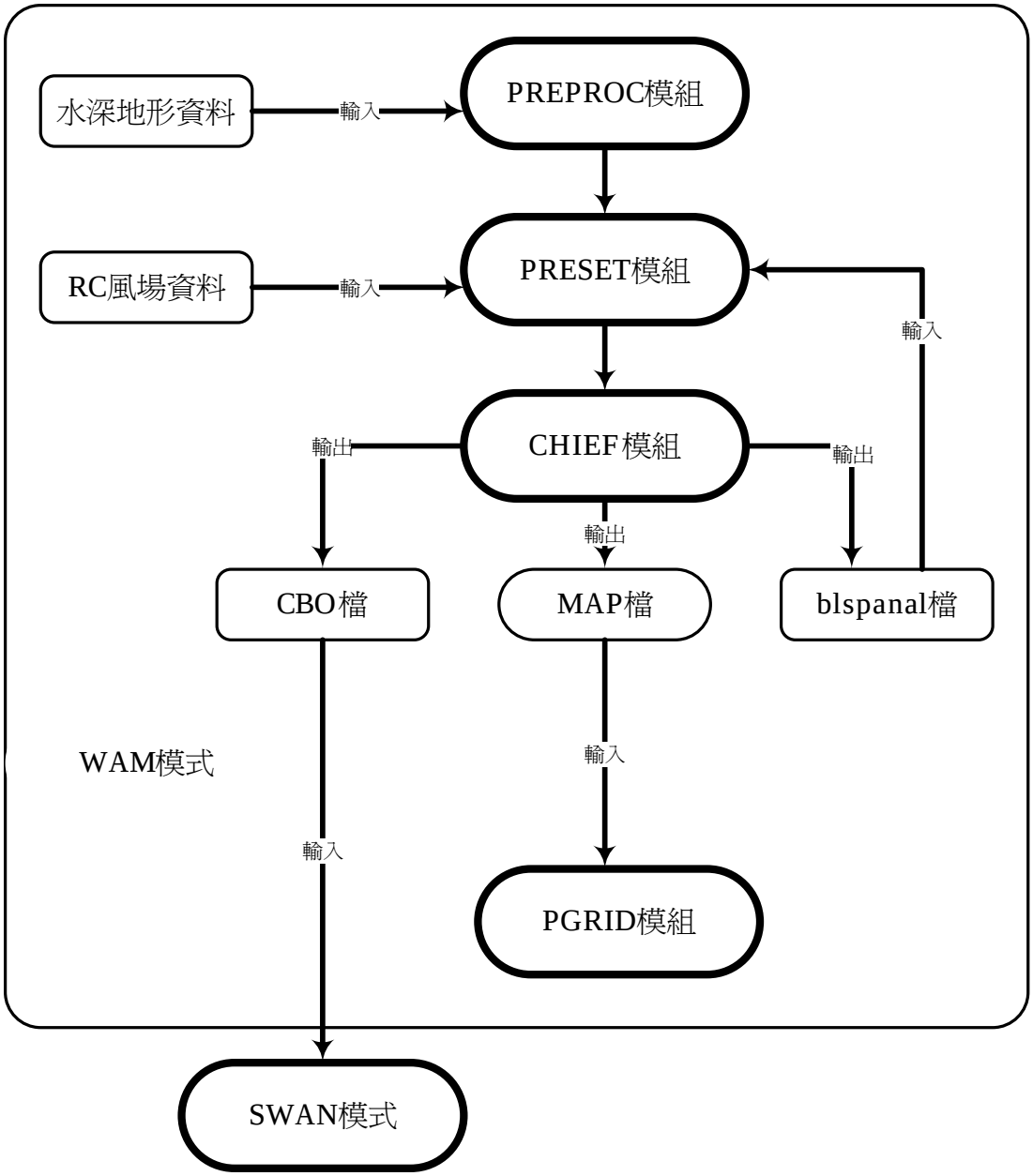


圖 1-1　WAM 模式流程圖

下面為分別前述四個模組的輸入設定檔範例，說明資料直接附加在行末。

```
! preproc 設定檔
&runhead
  header = 'taicoms 逐日波場推算',
&end
&freqdir
  ml = 25, 頻率個數
  kl = 24, 方向個數
  fr1 = 0.05, 最小頻率
&end
&outgrid
  xdella = 0.2, 緯度格點增量
  xdello = 0.2, 經度格點增量
  amosop = 10.0, 格點矩陣中最南緯度
  amonop = 35.0, 格點矩陣中最北緯度
  amowep = 110.0, 格點矩陣中最西經度
  amoeap = 134.0, 格點矩陣中最東經度
&end
&fudge
  nout = 0, 格點中要變更的區域的總數
  xouts = 0.0, 最南緯度
  xoutn = 0.0, 最北緯度
  xoutw = 0.0, 最西經度
  xoute = 0.0, 最東經度
  noutd = -999, 新水深
&end
&outspec
  ngout = 3, 輸出特定位置頻譜的總數
  outlat = 24.00, 24.85, 24.85, 緯度
  outlong = 121.70, 121.90, 120.80, 經度
&end
&options
  iform  = 3, =1:只有非格式化寫入; =2:只有格式化寫入; 否則都輸出
  irefra = 0, =0:無折射; =2:水深折射; =3:流折射
  itest  = 0, 測試輸出等級
  itestb = 4, 測試輸出等級區塊
&end
&nest
  ibounc = 1, 粗格點旗標
  ibounf = 0, 細格點旗標
  amosoc = 21.0, 巢的最南緯度
  amonoc = 26.0, 巢的最北緯度
  amowec = 119.0, 巢的最西經度
  amoeac = 123.0, 巢的最東經度
&end
&interface
  pth_iu01 = '/home/knicks/taicoms/wam/topo_taiwan.dat', 輸入地形
  pth_iu02 = '????', 輸入流資料
  pth_iu03 = '????', 輸入粗格點邊界
  pth_iu07 = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse/gridtai', 輸出格點
  pth_iu08 = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse/ubuftai', 輸出 ubuf
  pth_iu09 = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse/bouctai', 輸出粗邊界
  pth_iu10 = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse/bfintai', 輸出細邊界
  pth_iu17 = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse/fgridtai', 輸出格點
  pth_iu18 = '????', 輸出 ubuf
  pth_iu19 = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse/fbouctai', 輸出粗邊界
  pth_iu20 = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse/fbfintai', 輸出細邊界
  gradspath = '/home/knicks/taicoms/wam/grads', 輸出 grads 路徑
  netcdfpath = '/home/knicks/taicoms/wam/output', 輸出 netcdf 路徑
&end
```

```
! preset 設定檔
&runhead
  header = 'taicoms 逐日波場計算',
&end
&options
  iopti = 1, =0:風獨立起始值; =1:風獨立起始值與能量等於零 如果風速為零; =2:風獨立起始值與
能量由給定參數計算而得 如果風速為零
  itest = 0, =0:無測試輸出; >0:副程式等級
  itestb = 0, 區塊等級測試輸出
&end
&sparams
  alfa = 0.018, 飛利浦參數
  fm = 0.2, 尖峰頻率
  gamma = 3.0, 超越目標因子
  sa = 0.07, 左尖峰寬度
  sb = 0.09, 右尖峰寬度
  theta = 0.0, 波浪方向
  fetch = 0.0, 吹風距離
&end
&wparams
  idatea = '0501010000', 執行的開始日期
  idelwi = 1, 輸入風檔案的時間間隔
  tunit = 'h', 時間單位
&end
&interface
  userid = 'jgl', 使用者帳號
  runid = 'adr', 執行辨識
  ingrid = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse/gridtai', 從 preproc 輸入格點
  inwind = '/home/knicks/taicoms/wam/wind_wam_0101.dat', 輸入外部風場
  outpath = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse', 輸出檔案的路徑名稱
&end
```

```
! chief 設定檔
&runhead
 header = 'taicoms 逐日波場計算',
&end
&period
 idatea = '0501010000', 執行的開始日期
 idatee = '0501312300', 執行的結束日期
&end
&timings
 idelpro = 360, 傳遞時間間隔
 prounit = 's', 時間單位
 idelt = 360, 源時間間隔
 sunit = 's', 時間單位
 idelwo = 1, 輸出風時間間隔
 wounit = 'h', 時間單位
 idelwi = 1, 輸入風檔案的時間間隔
 wiunit = 'h', 時間單位
&end
&outime
 idelint = 1, 所有海面整合參數
 intunit = 'h', 時間單位
 idelins = 1, 湧浪整合參數
 swunit = 'h', 時間單位
 idelspt = 1, 所有海面頻譜
 sptunit = 'h', 時間單位
 idelsps = 1, 湧浪頻譜
 spsunit = 'h', 時間單位
 idelres =    24, 輸出檔案與再啟檔案儲存
 resunit = 'h', 時間單位
&end
&specout
 noutt = 0,
 ioutt = '0501010600',
&end
&outdata
 pflag = .f., .f., .f., .f., .f., .f., .f., .f., .f., .f., .f., .f., .f., .f., 列印
 fflag = .t., .t., .t., .t., .t., .t., .t., .t., .t., .t., .t., .t., .t., .t., 檔案
! 示性波高 平均波向 波浪平均頻率 摩擦速度 風向 波浪尖峰頻率 拖曳係數 標準化波浪應力
湧浪波高 湧浪方向 風波方向 湧浪平均頻率 所有海面頻譜 湧浪頻譜
&end
&options
 icase = 1, 傳遞選項
 ishallo = 1, 淺水旗標
 irefra = 1, 折射選項
 itest = 0, 測試輸出等級
 itestb = 4, 測試輸出等級區塊
 irest = 1, 再啟選項
&end
&boundary
 ibounc = 1, 粗格點選項
 ibounf = 0, 細格點選項
&end
&interface
 userid = 'jgl', 使用者帳號
 runid = 'adr', 執行辨識
 inwind = '/home/knicks/taicoms/wam/wind_wam_0101.dat', 輸入風場
 ingrid   = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse/gridtai', 輸入格網
 inubuf   = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse/ubuftai', 輸入 ubuf
 incbou   = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse/bouctai', 輸入粗格網
 resblsp = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse/blspanal', 再啟頻譜
 resslat = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse/slatanal', 細格網資料
 reslawi = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse/lawianal', 區塊化風場
 outpath = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse', 輸出路徑
&end
```

```
! pgrid 設定檔
&runhead
 header = 'taicoms 逐日波場計算',
&end
&outime
 idatea = '0501010000', 輸出的起始日期
 idatee = '0501312300', 輸出的結束日期
 ideldo = 1, 資料輸出時間間隔
 dunit = 'h', 時間單位
&end
&outspec
 noutt = 0,
 doutt = '0501010600',
&end
&interface
 idatef = '0501020000', 第一個檔案名稱的日期
 idelfi =    24, 檔案時間間隔
 tunit = 'h', 時間單位
 userid = 'jgl', 使用者帳號
 runid = 'adr', 執行辨識
 fileid = 'map', 檔案辨識
 inpath = '/home/knicks/taicoms/wam/coarse', 輸出路徑
 gradspath = '/home/knicks/taicoms/wam/grads', 輸出 grads 路徑
 netcdfpath = '/home/knicks/taicoms/wam/output', 輸出 netcdf 路徑
 filecont = 'wam050101',
&end
&pflags
 pflag = .t., .t., .t., .t., .t., .t., .t., .t., .t., 列印 波高 波向 10 公尺風速 摩擦速度 風向 平均週期 尖
峰週期 拖曳係數 標準化波浪應力
&end
&nest
 filenest = 'swan050101',
 ibounc = 1, 粗格點旗標
 ibounf = 0, 細格點旗標
 amosoc = 21.0, 巢的最南緯度
 amonoc = 26.0, 巢的最北緯度
 amowec = 119.0, 巢的最西經度
 amoeac = 123.0, 巢的最東經度
&end
&site
 siten = 'tp', 'tc', 'ap', 'ks', 'kl', 'sa', 'hl', 站名
 siteno = 7, 總站數
 sitex = 121.20, 120.48, 120.00, 120.25, 121.76, 121.90, 121.80, 各站經度
 sitey = 25.17, 24.60, 22.94, 22.51, 25.17, 24.60, 23.96, 各站緯度
&end
```

附錄 2　SWAN 模式之流程圖與設定參數

下圖為 SWAN 模式之操作流程圖。SWAN 模式與 WAM 模式不同，其計算執行檔只有單一個檔案。而所需要用到的資料檔案包括了 WAM 產生的 CBO 檔、水深地形檔案與 RC 風場資料，前述資料除了水深地形資料外，其餘需要事先另外處理轉換成 SWAN 可用的格式，相關的輸入設定資料將全部紀錄在同一個檔案中。在 SWAN 計算完畢之後，可以輸出兩種檔案包括計算結果與中繼檔，計算結果其輸出格式為純文字資料，不需另行轉換；中繼檔的功用則是提供給下一個時段的模擬推算所用的起始資料。

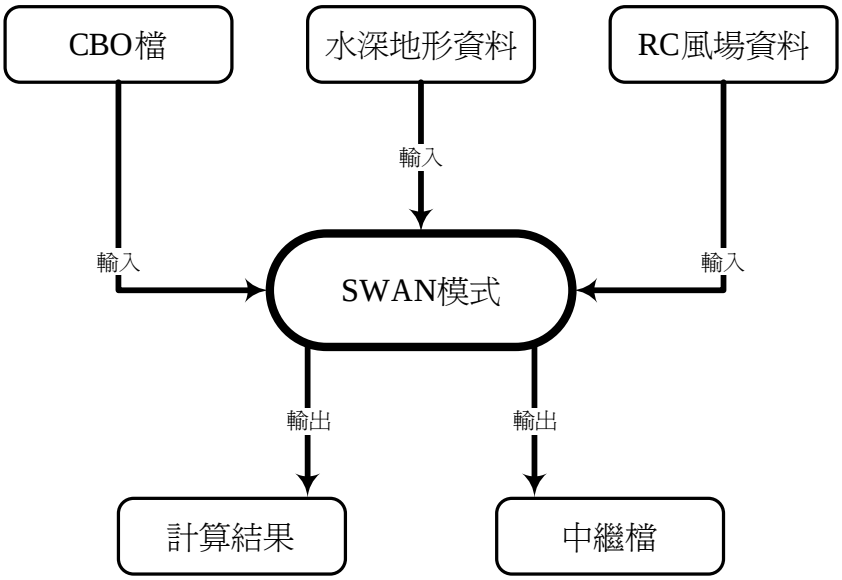


圖 2-1　SWAN 模式流程圖

下面為 SWAN 輸入設定檔 taicoms0001.swn 範例，說明資料直接附加在其中。

```
$ SWAN 輸入設定檔案
$ 輸入列最大長度 = 120 字元
$ 檔案名稱最大長度 = 36 字元
$ 繪圖標題最大長度 = 36 字元
$ 檔案名稱最大個數 = 99 個
PROJ '港灣技術研究中心' '0101'
$ 基本常數設定包括：水位、正北方角度、門檻水深、錯誤訊息容許量、重力加速度、海水密度等等
SET level 0
SET nor 90
SET depmin 0.05
SET maxmes 200
SET maxerr 1
SET grav 9.81
SET rho 1025
SET inrhog 0
SET hsrerr 0.10
SET CART
SET pwtail 4
SET froudmax 0.8
SET printf 4
SET prtest 4
$ 定常模式 二維
MODE STAT   TWOD
$ 球面座標系統 投影方式
COORD SPHE CCM
$ 計算格點設定
CGRID REG 119.000 21.000 0.0   4.000   5.000 100 125 CIR 24 0.05 1 25
$ 輸入地形格點設定
INP BOT   REG 119.000   21.000 0.0      100      125     0.040 0.040
$ 讀取地形
READ BOT   1.   '/home/knicks/taicoms/swan/sub1_6hc.z' 3      0 FRE
$ 輸入風場格點設定
INP WI    REG 110.0 10.0   0.0      300     300     0.08333 0.0833
$ 讀取風場
READ WI    1.   '/home/knicks/taicoms/swan/0501010100wnd' 3      0 FOR '(10x, 10f9.4)'
$ 邊界條件設定
BOUN SHAP JON 3.3     MEAN DSPR POW
$由 CBO 檔案取出邊界條件
BOUN SIDE N   CLOCKW VAR PAR     0.02     1.06     4.62 203.29 2. &
                0.04     1.16     4.65 201.02 2.      0.04     1.22     4.66 199.97 2.   &
    0.04     1.28     4.67 198.98 2.      0.04     1.32     4.68 197.32 2.   &
    0.04     1.35     4.69 195.10 2.      0.04     1.38     4.69 192.38 2.   &
    0.04     1.39     4.70 188.98 2.      0.04     1.41     4.71 185.53 2.   &
    0.04     1.43     4.72 182.00 2.      0.04     1.47     4.74 178.66 2.   &
    0.04     1.51     4.76 175.80 2.      0.04     1.55     4.79 173.31 2.   &
    0.04     1.60     4.81 171.23 2.      0.04     1.64     4.83 169.63 2.   &
                0.04     1.68     4.85 168.22 2.      0.02     1.70     4.86 167.00 2.
BOUN SIDE E   CLOCKW VAR PAR     0.02     1.70     4.86 167.00 2. &
                0.04     1.70     4.86 168.40 2.      0.04     1.70     4.86 169.87 2.   &
    0.04     1.70     4.86 171.41 2.      0.04     1.70     4.86 173.10 2.   &
    0.04     1.70     4.85 174.91 2.      0.04     1.69     4.85 176.97 2.   &
    0.04     1.69     4.85 179.20 2.      0.04     1.68     4.84 181.61 2.   &
    0.04     1.68     4.84 184.19 2.      0.04     1.68     4.84 186.81 2.   &
    0.04     1.69     4.84 189.42 2.      0.04     1.70     4.84 191.88 2.   &
    0.04     1.71     4.85 194.10 2.      0.04     1.73     4.86 196.05 2.   &
    0.04     1.75     4.87 197.68 2.      0.04     1.77     4.89 199.11 2.   &
    0.04     1.78     4.90 200.29 2.      0.04     1.79     4.90 201.37 2.   &
    0.04     1.80     4.91 202.37 2.      0.04     1.80     4.92 203.35 2.   &
    0.04     1.80     4.92 204.31 2.      0.04     1.80     4.92 205.25 2.   &
    0.04     1.79     4.92 206.15 2.      0.04     1.78     4.92 207.03 2.   &
                0.02     1.77     4.92 207.82 2.
BOUN SIDE S   CLOCKW VAR PAR     0.02     1.77     4.92 207.82 2. &
                0.04     1.77     4.92 209.23 2.      0.04     1.77     4.92 210.70 2.   &
    0.04     1.77     4.91 212.23 2.      0.04     1.77     4.91 213.78 2.   &
    0.04     1.76     4.91 215.30 2.      0.04     1.74     4.90 216.77 2.   &
    0.04     1.71     4.88 218.04 2.      0.04     1.67     4.86 219.15 2.   &
    0.04     1.61     4.84 219.83 2.      0.04     1.55     4.81 220.14 2.   &
    0.04     1.49     4.78 219.86 2.      0.04     1.44     4.76 218.85 2.   &
    0.04     1.39     4.74 217.28 2.      0.04     1.36     4.73 215.15 2.   &
    0.04     1.33     4.72 212.82 2.      0.04     1.34     4.72 210.62 2.   &
    0.04     1.36     4.72 208.86 2.      0.04     1.39     4.74 207.72 2.   &
                0.04     1.43     4.75 207.11 2.      0.02     1.47     4.78 207.07 2.
BOUN SIDE W   CLOCKW VAR PAR     0.02     1.47     4.78 207.07 2. &
```

```
                0.04     1.47     4.77 207.49 2.       0.04     1.48     4.77 207.87 2.   &
    0.04     1.50     4.78 208.15 2.       0.04     1.53     4.79 208.28 2.   &
    0.04     1.57     4.81 208.30 2.       0.04     1.61     4.83 208.28 2.   &
    0.04     1.67     4.85 208.28 2.       0.04     1.72     4.88 208.31 2.   &
    0.04     1.78     4.90 208.39 2.       0.04     1.83     4.93 208.55 2.   &
    0.04     1.87     4.94 208.74 2.       0.04     1.89     4.95 208.92 2.   &
    0.04     1.89     4.95 209.09 2.       0.04     1.86     4.94 209.18 2.   &
    0.04     1.80     4.91 209.18 2.       0.04     1.72     4.87 209.10 2.   &
    0.04     1.61     4.82 208.85 2.       0.04     1.48     4.76 208.68 2.   &
                0.04     1.33     4.68 209.13 2.       0.02     1.07     4.51 212.59 2.
$ 物理現象模擬
$ 第三代波浪模式
GEN3 KOM 2.36e-5 3.02e-3
$ 碎波參數
BRE CONSTANT 1.0     0.73
$ 摩擦係數
FRICTION JON 0.067
$ 三波交互作用
TRI 0.1     2.2     0.2      0.01
$ 輸出單點或全區域的資料，包括示性波高、波向、主波向、平均週期等等
POIN 'tp'       121.20 25.17
TAB 'tp'       HEAD     'swan05010101tp' HS DIR PDIR TM01 RTP PER TM02 DEP WIND XP YP
POIN 'tc'       120.48 24.60
TAB 'tc'       HEAD     'swan05010101tc' HS DIR PDIR TM01 RTP PER TM02 DEP WIND XP YP
POIN 'ap'       120.00 22.94
TAB 'ap'       HEAD     'swan05010101ap' HS DIR PDIR TM01 RTP PER TM02 DEP WIND XP YP
POIN 'ks'       120.25 22.51
TAB 'ks'       HEAD     'swan05010101ks' HS DIR PDIR TM01 RTP PER TM02 DEP WIND XP YP
POIN 'kl'       121.76 25.17
TAB 'kl'       HEAD     'swan05010101kl' HS DIR PDIR TM01 RTP PER TM02 DEP WIND XP YP
POIN 'sa'       121.90 24.60
TAB 'sa'       HEAD     'swan05010101sa' HS DIR PDIR TM01 RTP PER TM02 DEP WIND XP YP
POIN 'hl'       121.80 23.96
TAB 'hl'       HEAD     'swan05010101hl' HS DIR PDIR TM01 RTP PER TM02 DEP WIND XP YP
TAB 'COMPGRID' HEAD     'swan05010101.tbl' HS DIR PDIR TM01 RTP PER TM02 DEP WIND XP YP
$ 測試用指標
TEST 1       0
$ 開始計算
COMP
$ 產生中繼檔
HOTF 'swanhot0001'
$ 計算結束
STOP
```

附錄 3　西太平洋及台灣海域水位及海流模式

3.1 模式原理

本計畫利用 COHERENS 模式建置西太平洋及台灣海域水位及海流模式，其中之水動力模組以三維動量方程式、連續方程式描述海水的運動，動量方程式並採用水靜力平衡（hydrostatic equilibrium）的假設而簡化為僅考慮水平方向之動力傳輸，但仍然維持垂直方向的渦動擴散在水平動力方程中的影響。以顯式有限差分的數值方法將控制方程式在有限差分的格點表示，進而根據各動力項之精度與穩定度之需求，以各種不同的數值方法進行演算。基本的控制方程式如下

動量方程式：

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x_1}+v\frac{\partial u}{\partial x_2}+w\frac{\partial u}{\partial x_3}-fv=-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial p}{\partial x_1}+\frac{\partial}{\partial x_3}\left(v_T\frac{\partial u}{\partial x_3}\right)+\frac{\partial}{\partial x_1}\tau_{11}+\frac{\partial}{\partial x_2}\tau_{21} \qquad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x_1}+v\frac{\partial v}{\partial x_2}+w\frac{\partial v}{\partial x_3}+fu=-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial p}{\partial x_2}+\frac{\partial}{\partial x_3}\left(v_T\frac{\partial v}{\partial x_3}\right)+\frac{\partial}{\partial x_1}\tau_{12}+\frac{\partial}{\partial x_2}\tau_{22} \qquad (2)$$

壓力平衡方程式：

$$\frac{\partial p}{\partial x_3}=-\rho g \qquad (3)$$

連續方程式：

$$\frac{\partial u}{\partial x_1}+\frac{\partial v}{\partial x_2}+\frac{\partial w}{\partial x_3}=0 \qquad (4)$$

其中，水平剪力則定義如下：

$$\tau_{11}=2\nu_H\frac{\partial u}{\partial x_1} \qquad (7)$$

$$\tau_{21} = \tau_{12} = \nu_H \left(\frac{\partial u}{\partial x_2} + \frac{\partial v}{\partial x_1} \right) \qquad (8)$$

$$\tau_{22} = 2\nu_H \frac{\partial v}{\partial x_2} \qquad (9)$$

水平格點分布採用 Arakawa-C Grid（Arakawa，1979）交錯網格(如圖 1 所示)，此方式使得流速及壓力、水位的計算點得以交錯開來，可以容易瞭解各計算點所得到的值，同時對於開放或海岸邊界條件的設定也變得較為容易。

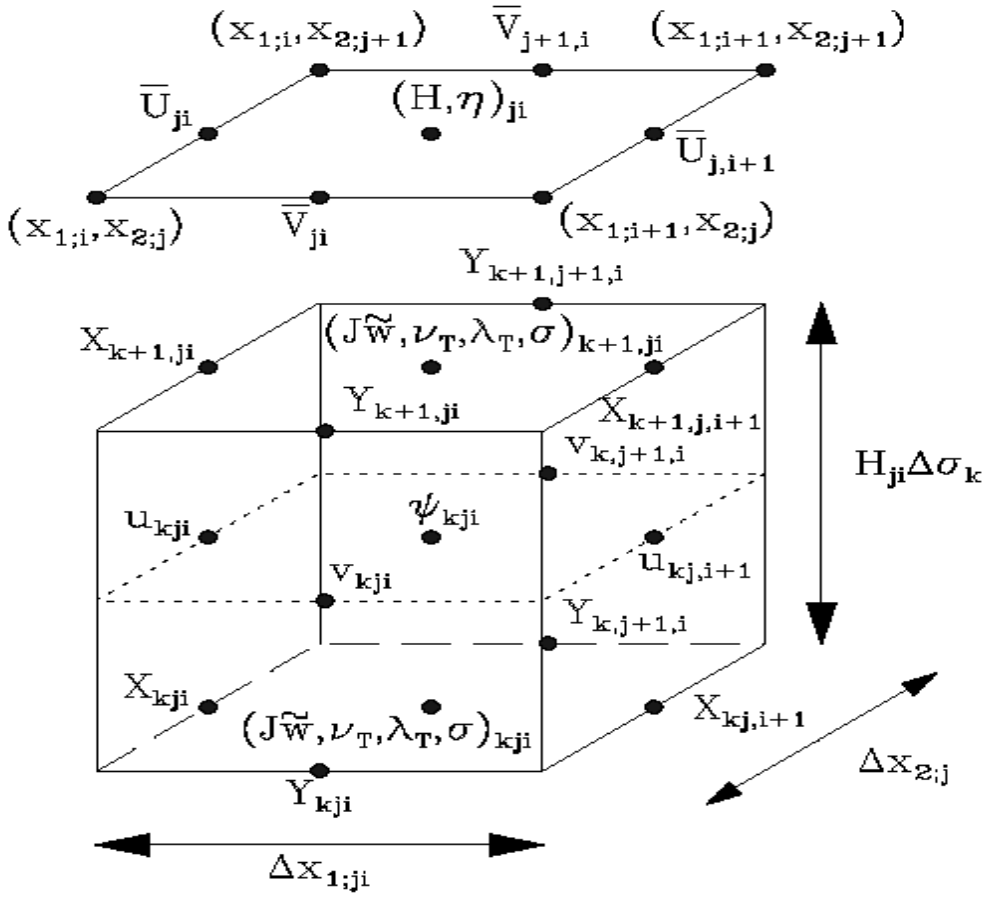


圖 1　二維及三維的格點分佈

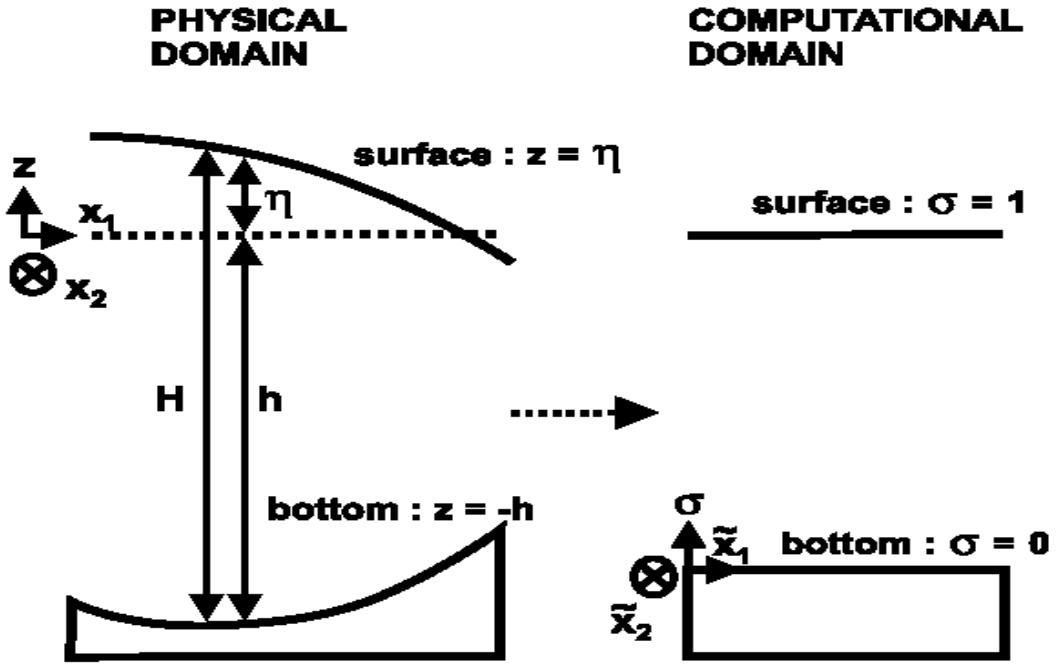


圖 2　垂直方向之σ座標系統

若以卡式座標系統處理底層邊界的差分計算相當繁複且不易，所以使用 Sigma 座標系統避免產生這樣的問題，將計算領域中垂直方向的座標，統一劃分成固定數目的層數，這樣的處理方式使得差分計算變得容易且易於了解 (如圖 2 所示)。經過座標轉換後，

$\left(\tilde{t},\tilde{x_1},\tilde{x_2},\tilde{x_3}\right)=\left(t,x_1,x_2,Lf\left(\sigma\right)\right)$，其中 $\sigma=\dfrac{x_3+h}{H}$，方程式可轉換如下：

連續方程式：

$$\frac{1}{J}\frac{\partial J}{\partial t}+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x_1}}\left(Ju\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x_2}}\left(Jv\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x_3}}\left(J\tilde{w}\right)=0 \qquad (10)$$

動量方程式：

$$\begin{aligned}&\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{t}}\left(Ju\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x_1}}\left(Ju^2\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x_2}}\left(Juv\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x_3}}\left(J\tilde{w}u\right)-fv=\\&-g\frac{\partial\varsigma}{\partial\tilde{x_1}}-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial\rho_a}{\partial\tilde{x_1}}+Q_1+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x_3}}\left(\frac{\nu_T}{J}\frac{\partial u}{\partial\tilde{x_3}}\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x_1}}\left(J\tau_{11}\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x_2}}\left(J\tau_{21}\right)\end{aligned} \qquad (11)$$

$$\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial \tilde{t}}(Jv)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial \tilde{x}_2}\left(Jv^2\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial \tilde{x}_1}(Juv)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial \tilde{x}_3}\left(J\tilde{w}u\right)+fu=$$
$$-g\frac{\partial \varsigma}{\partial \tilde{x}_2}-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial \rho_a}{\partial \tilde{x}_2}+Q_2+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial \tilde{x}_3}\left(\frac{\nu_T}{J}\frac{\partial v}{\partial \tilde{x}_3}\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial \tilde{x}_1}(J\tau_{12})+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial \tilde{x}_2}(J\tau_{22}) \quad (12)$$

壓力平衡方程式

$$\frac{1}{J}\frac{\partial q_d}{\partial \tilde{x}_3}=-g\left(\frac{\rho-\rho_0}{\rho_0}\right) \quad (13)$$

其中

$$Q_i=-\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial \tilde{x}_i}(Jq_d)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial \tilde{x}_3}\left[q_d\left(\sigma\frac{\partial H}{\partial \tilde{x}_i}-\frac{\partial h}{\partial \tilde{x}_i}\right)\right]$$

$$J=H\Big/\left(L\frac{df}{d\sigma}\right)$$

$$\tilde{w}=\frac{\partial \tilde{x}_3}{\partial t}+u\frac{\partial \tilde{x}_3}{\partial x_1}+v\frac{\partial \tilde{x}_3}{\partial_2}+w\frac{\partial \tilde{x}_3}{\partial x_3}$$

1 紊流的計算

海洋流場模擬計算時，最常碰到的問題是如何在垂直交換過程中輸入一個合理的邊界層係數，通常也就是紊流系數的處理，這些系數不只影響了流場及溫鹽場計算的結果，相對地也影響了生物、沉積物及營養鹽計算的合理性，所以這些係數的給定是相當重要的。為了得到在模擬中得到合理的垂直擴散係數，有許多研究提供不同的數值方法進行演算，於其中也包含了數種常用的方法，最通用於海洋計算的是 2.5D Turbulence closure scheme（Mellor 和 Yamada，1982），這些數值方法涵蓋以下數個物理過程的影響：

- 底層摩擦力而造成的紊流
- 表層風場所造成的紊流

- 由於波和流在底層的交互作用加強底部摩擦而造成的紊流
- 季節循環造成溫度的不同產生的變化，包括斜溫層的升降
- 因河口淡水注入海水，在水層交界處引發剪應力造成的混合

2 水平擴散之計算

水平擴散係數則以通用的 Smagorinsky 參數化條件（1963），使用格點間隔大小設定，計算的方程式如下：

$\nu_H = C_{m0}\Delta x_1 \Delta x_2 D_T$ ， $\lambda_H = C_{s0}\Delta x_1 \Delta x_2 D_T$

其中在模式中 C_{m0} 及 C_{s0} 之數值係數預設為相等的值，

$D_T^2 = \left(\frac{\partial u}{\partial x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x_2}\right)^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial x_2} + \frac{\partial v}{\partial x_1}\right)^2$ ，Δx_1 及 Δx_2 為格點的間隔大小。

3 對流項的計算

對流項的計算會由於因為數值方法產生的誤差造成數值擴散，震盪，甚至有負值的產生，但是高階的數值方法又極為繁複耗時，所以提供幾種常用的數值方法，提供使用者可以根據其應用的案例流場情況的需求，自行決定使用簡易的 Upwind scheme、Lax-Wendroff scheme，或複雜的 TVD superbee scheme 及 TVD monotonic scheme。 模式預設的數值方法為第三種，即 TVD superbee scheme，此法雖然仍有些微程度的數值擴散現象，但計算結果仍然比其他三種的數值方法準確。由於計算中變數可大可小，當變數極小時，數值方法而造成的擴散過大會使得計算的結果不能呈現出合理結果，尤其是鋒面的計算，所以對流項的計算正確與否，顯得特別重要。

4 邊界條件

1、表面邊界

水平流速的表面邊界為由風產生的剪力函數，表示如下：

$$\rho_0 \frac{\nu_T}{J}\left(\frac{\partial u}{\partial \tilde{x}_3}, \frac{\partial v}{\partial \tilde{x}_3}\right) = (\tau_{s1}, \tau_{s2}) = \rho_a C_D^s \left(U_{10}^2 + V_{10}^2\right)^{1/2} (U_{10}, V_{10}) \qquad (14)$$

其中 U_{10} 及 V_{10} 為水表面上方 10 公尺的風速，ρ_a 為空氣密度。

2、底層邊界

底層邊界剪力同樣也是由水平流速所造成，表示如下：

$$\frac{\rho_0 \nu_T}{J}\left(\frac{\partial u}{\partial \tilde{x}_3}, \frac{\partial v}{\partial \tilde{x}_3}\right) = \left(\tau_{b1}, \tau_{b2}\right) \qquad (15)$$

在模式中有三種計算方式可以選擇：

- 底層無剪力
- 二次方摩擦方程式
- 線性摩擦方程式

3、開放邊界條件與陸地邊界條件

模式使用矩形格點，分成東西南北四個邊界，邊界條件可以設定為開放的海洋、河川以及陸地邊界。邊界的輸入型式分則有以下數種：

- 無水流進入
- 使用調和分析之形式輸入水位
- 使用調和分析之形式輸入流速
- 同時使用調和分析之形式輸入流速及水位

4、表層曳引係數(Surface Drag coefficient)

由前面的表層邊界敘述可以知道表面剪力主要是受到風場的吹拂而產生，其中將風速轉換成剪力最重要的就是曳引係數（drag coefficient）C_D^s 的選擇以及風速的大小。一般來說風速皆是取海表面上方 10m 之風速，而 drag coefficient 則可由前人所推算出的經驗式得到。模式提供了五種 drag coefficient 讓使用者選擇：

- 固定常數　C_D^s = 0.0013 (可自行設定)
- Large and Pond（1981）

$$C_D^s = 0.0012 \quad \left|U_{10}\right| < 11 m/s$$

$$C_D^s = 10^{-3}\left(0.49 + 0.065|U_{10}|\right) \quad |U_{10}| \geq 11 m/s$$

- Smith and Banke（1975）

$$C_D^s = 10^{-3}\left(0.63 + 0.066|U_{10}|\right)$$

- Geernaert et al.（1986）

$$C_D^s = 10^{-3}\left(0.43 + 0.097|U_{10}|\right)$$

- Charnock（1955）

$$\ln\left(\frac{z_a g}{a|U_{10}|^2}\right) - \ln C_D^s = \frac{\kappa}{\left(C_D^s\right)^{1/2}}$$

其中 z_a = 10 m，a = 0.014（Charnock's constant）

5、氣象參數

氣象參數包含表面風速、大氣溫度、大氣壓力、雲量遮蓋率、相對濕度、水氣蒸發量、太陽幅射能及水體能量消失等因子，表 2-1。模式中，氣象所造成之變化影響著水溫、生化反應（例如光合作用）、空氣與水表面間交換（例如氧氣交換）等變化。其中水氣蒸發量(E_{vap})、太陽幅射能（Q_{SOL}）及水體能量散失（Q_{nsol}），由模擬時間、地點及氣候因素輸入方程式計算得知，其餘參數可由模擬地點當地資料提供。

$$E_{vap} = Q_{la} / L_V \qquad (16)$$

其中 Q_{la} 為潛熱（latent heat flux）散失，

$L_V = 2.5008 \times 10^6 - 2300.T_S$ 為水氣蒸發所散失之能量（J kg^{-1}），

T_S 為水表面之水溫（℃）。

$$Q_{SOL} = Q_{CS}(1 - 0.62 f_C + 0.0019\gamma_{\theta,\max})(1 - A_S) \quad (17)$$

$$Q_{nsol} = Q_{la} + Q_{se} + Q_{lw} \quad (18)$$

Q_{CS} 為晴朗天氣下之總幅射能，f_C 為雲量遮蓋率（0~1），$\gamma_{\theta,\max}$ 為太陽在中午時之高角度，A_S 為水表面之反射率，一般海表面為 0.06。

5 其他特色

為了加快計算的進行，使用 Mode Splitting 方法。由於密度所造成內部重力波的傳遞並不像表面重力波那麼明顯，將受重力波速度限制的水深平均正壓模組（主要為水位變化）與受斜壓主導（主要為溫度、鹽度等之變化）的垂直循環分開計算。如此，雖然正壓模式因時間步長必須滿足數值穩定條件的限制，但是僅需計算一層，所以可使計算速度加快；每隔一段時間後，再以正壓模組計算之水位代入斜壓模組計算其垂直流場的變化。溫度及鹽度的傳輸模式亦同時以更新的垂直流場重新計算其溫、鹽場的分佈狀況。

整體說來，水動力模組包含了以下數個特色：

1. 採用 Mode-splitting 的方法計算動量及連續方程式，加快計算的時間。
2. 溫度場及鹽度場的模擬。
3. 包含了光照的影響，表層水體因光照而產生的溫度變化可加入模式中。
4. 在動量及紊流方程式中密度的影響藉由 equation of state 來計算。
5. 紊流的影響藉由數種不同的演算方法而獲得。
6. 包括了表面風場的影響。
7. 包含波流交互作用所造成底部剪應力的加強所造成的影響。
8. 利用不同的演算法來避免計算對流項時所造成的數值擴散。

表 1 即為使用之參數

表 1　使用之參數

ν_T ， λ_T	垂直渦流（eddy）黏滯係數
ν_H ， λ_H	水平擴散係數
ρ	水體密度（kg/m^3）
ρ_0	reference density（$kg\ m^{-3}$）
f	科氏力
g	重力加速度（m/s^2）
u，v，w	x、y 及 z 方向流速（m/s）
x_1 ， x_2 ， x_3	代表 X、Y、Z 方向
h	水深（m）
ζ	水位變化（m）
H	$h+\zeta$
t	時間
p_a	大氣壓力（N/m^2）
C_D^s	拖曳係數
ρ_a	空氣密度（kg/m^3）
U_{10},V_{10}	x 及 y 方向風速（m/s）
Q_{SOL}	太陽幅射能（Wm^{-2}）
Q_{nsol}	水體能量散失（Wm^{-2}）
Q_{la}	潛熱散失
Q_{se}	水表面之熱交換
Q_{lw}	長波幅射散失

6 運算流程

COHERENS 計算流程分為兩部分，一為產生初始值之前處理流程，如圖 3，一為計算流程，如圖 4。

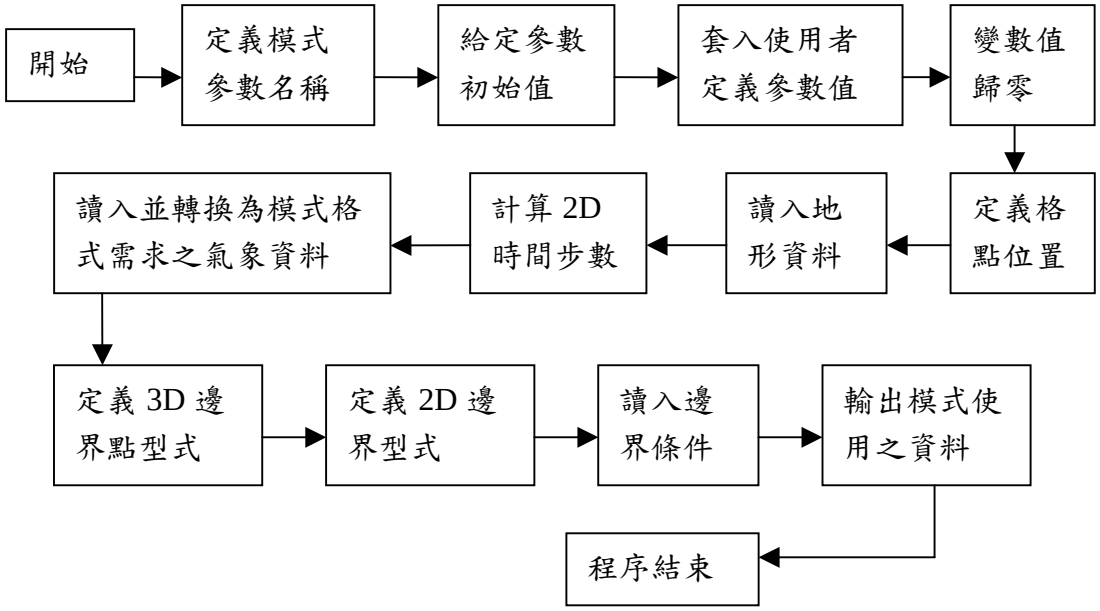


圖 3　前處裡流程

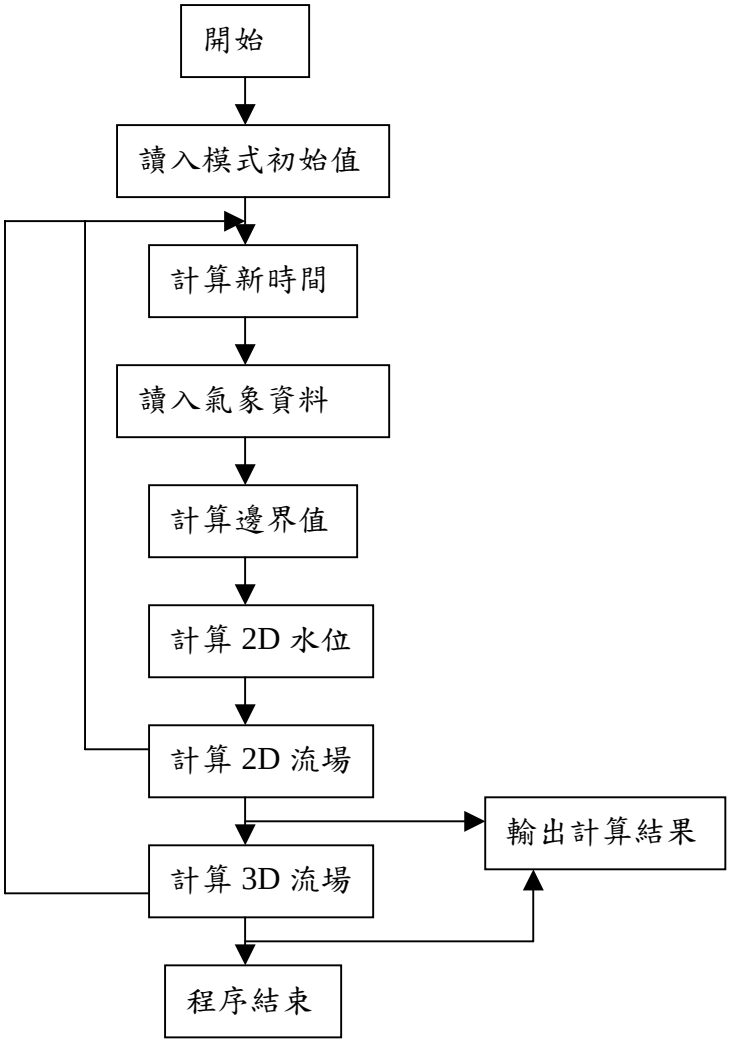


圖 4　計算流程

3.2 模式設定

由於目前並無法取得洋流的資訊，因此模式僅做潮流的模擬及輸入氣象條件，將氣象潮加入。模式邊界點為輸入八個分潮，包含四個主要全日潮 Q1、O1、P1、K1 及四個主要半日潮 N2、M2、S2、K2。資料來源為 TOPEX 衛星資料產生大洋中各分潮的振幅及相位。由於三維計算需要大量的時間，目前團隊所擁有的計算主機並無法負荷如此龐大的計算量，因此在垂直的部份僅使用單層，進行二維的運算。

模式地形的設定，西太平洋模式解析度為 1/12 度，範圍為東經 105~140 度，北緯 0~42 度，計算時間間隔為 10 秒；台灣海域模式解析度為 1/60 度，範圍為東經 117~123 度，北緯 18~26 度，計算時間間隔為 5 秒。

附錄 4

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：近岸海象數值模擬及預警系統之建立(1/4)

執行單位：中山大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
一、楊德良委員：		
1. 報告仍需加強，如口頭上所言，Eb 為重力加速度，油污模式建議放在第三章而非放在結論與建議的第六章。	1.謝謝委員提供意見，本團隊會盡力改善，在期末報告規劃更合理的章節編排。	同意合作研究單位之說明與處理情形
2. 結合大、中、小尺度及港區（細）尺度模式之各種不同模式，結合 FDM,FEM,BEM,Analytic Solution。還有是否在各 local 之地點，需要使用 3D？還有 2D 與 3D 之接合。	2.3D 水動力模式部份本團隊已進行評估，但是因為計算時效及氣象預報資料之完整性等因素，目前並無法達成每日預報的目標,因此目前仍以 2D 模式系統為主進行預報，未來若條件改善，也會進行使用 3D 計算的評估。	同意合作研究單位之說明與處理情形
3. 應加強國內外有關研究範圍之各種文獻之蒐集、比較，加強公信力之建議，並公開給產官學研各有興趣之單位。	3.謝謝委員的建議，本團隊會盡力收集國內相關研究文獻。此套系統會移交與港研中心，是否公開由港研中心決定。	同意合作研究單位之說明與處理情形
4. 計畫十分龐大，團隊陣容堅強，應有能力完成原定目標。	4.謝謝委員肯定。	
二、王胄委員：		
1. 計畫內容過於龐大，宜針對業主需求定出各項	1.謝謝委員建議，本團隊會繼續努力，完成委託單位	

目開發之優先次序，逐步發展則成功率較高。	的要求。	
2. 各項模式未完整說明來源。	2. 會於期末報告增加各模式的說明。	同意合作研究單位之說明與處理情形
3. 風場預測較差，是否可併入衛星測風資料。	3. 謝謝委員建議。由於衛星風場資料並無法提供作為預報使用，且由於衛星測風可能仍屬於大尺度風場變化，對於目前所發生屬於地域性的問題是否有助益仍須審慎評估。但可用於風場資料之比對，本團隊會持續進行風場的探討。	同意合作研究單位之說明與處理情形
4. 區域近岸模式是否可優先執行，先把潮流作對，平均流以及風效應可用經驗公式修正。	4. 謝謝委員建議。近岸模式目前已積極建置中，台中港及花蓮港近岸海域也是本年度的執行工作重點。	同意合作研究單位之說明與處理情形
5. 近岸波浪型態計算結果可與過去工研院在臺中港之雷達測波相比對驗證。	5. 如能取得相關資料，可加入比對校驗。	同意合作研究單位之說明與處理情形
三、翁國和委員：		
1. 本計畫範圍相當廣泛，耗時耗力，預測資料分析比對結果有誤差。現在看到的是第一年結果，這是四年計畫，應該還有進步的空間。	1. 謝謝委員的鼓勵，本團對將持續進行研究改進。	
2. 計畫最後的目標應該是預報系統，整個預報的速度是否考慮到未來電腦設備速度的提昇。	2. 謝謝委員建議。波場的預報目前測試的結果發現如果推算時間間距改為1小時，則示性波高與平均	同意合作研究單位之說明與處理情形

	週期均較以往由提升的情形，但就技術層面而言，似有偏大且耗時的情形。後續工作將在測試2小時間距的推算。以目現系統的規劃可以在現階段的電腦系統進行預報，港研中心目前也已規劃購入新的計算主機，因此未來預報的時效會持續改進。	
3. 報告最後提到使用UrMap 來做地理資訊系統展示，應該要多比較其他相關之系統。	3. 目前WEB-GIS以Google Map應用較廣，功能性也較佳，但背景系統仍以英文為介面，因此暫訂以UrMap作為網頁GIS的工具。	同意合作研究單位之說明與處理情形
4. 未來相關模式有否考慮採用3D模式？	4. 謝謝委員建議。3D水動力模式計算已列入評估，目前除受限於計算時效性有其困難度，且缺乏相關之完整同步邊界資訊，若自行開發洋流預報模式目前仍受限於氣象資料之完整性，未來相關條件改善，且有3D計算的必要，未來將可規劃執行。	同意合作研究單位之說明與處理情形

四、蘇青和委員：		
1. 風場為海象預報之主要外力，波浪預報是否成功之關鍵，風場評估顯示預報值與觀測值相差甚大，台中港預報值較觀測值偏小，安平港兩者較一致，但其他花蓮等 5 港之預報值又遠較觀測值偏大。風場預報應引用觀測資料作一修正改善。	1. 謝謝委員建議。目前比對之實測風場多為單點岸站，實已受地形影響。另外，由於目前使用之預報風場格點較大，在近岸地區無法展現地形效應，未來有賴氣象局提昇風場預報解析度。至於風場的修正相當複雜，需考量的因素較多，如實測資料已有缺陷，則無法具之作為修正之參考，本團隊仍會積極進行風場的檢討。	同意合作研究單位之說明與處理情形
2. 波場預報成果評估顯示與觀測值之誤差甚大，建議引用觀測之風場及波場資料作模式修正，24 小時預報之誤差甚大，建議先考慮以 1~2 小時之預報為重點。	2. 謝謝委員的建議。	
3. 大中尺度海域及中尺度海域之流場預報成果評估顯示與觀測值之誤差甚大，應以近岸及港區模式計算結果與觀測值比對驗證。	3. 謝謝委員建議。目前港研中心提供之海流資料均為港口近岸測站資料，大中尺度模式之地形解析度無法完整解析地形，待近岸流場模式上線後，便會進行比對驗證，但仍須港研中心提供更詳盡之流速量測資料，否則僅以一站作為比對仍缺乏可信度。	同意合作研究單位之說明與處理情形

4. 建議加速近岸(港區)波場及流場部份之作業化預報作業。	4.謝謝委員建議。本團隊會努力加速執行，請港研中心提供每小時即時風場實測資料，本團對即可嘗試建置每小時預報之作業化模式。	同意合作研究單位之說明與處理情形
五、簡仲璟委員：		
1. 本計畫目前對於海象數值模擬之模式大致已建置完成，後續應加強數值計算結果的準確度，對於計算結果不理想部份，應有具體之改善對策。例如波浪模式計算結果以台中港而言大多較實測波高值為小，經對照風場模式（RC 及 MC）結果發現皆較風場實測風速值為小。因此後續如何改善風場模式？或其他替代方案應有所考量。	1.謝謝委員建議。目前國內並沒有其他的預報風場可以使用，因此近岸風場會使用實測資料進行推算，並繼續進行預報風速精度的探討。	同意合作研究單位之說明與處理情形
2. 模式計算結果與實測資料的比對工作，應有事先之規劃，例如比對程序設計、比對基準研擬、比對資料選擇等。如此才能有效進行模式的修正。	2.謝謝委員的建議。本團隊目前均以港研中心提供之實測資料作為比對之參考，將會與觀測單位同仁積極進行討論改進。	同意合作研究單位之說明與處理情形
3. 預警系統的建立，建議考量 NECP 在 2005 年的	3.謝謝委員的建議。目前之預報計算在時間及空間	同意合作研究單位之說明與處理情形

策略規劃中所提出之無接縫預報觀念，以提昇預警功能。	均為部分重疊，故應無接縫問題，本團隊會繼續修正預警系統之發展，以期達到最大的功用。	
六、黃榮鑑委員： **（書面審查）** 1. 本計畫「近岸海象數值模擬及預警系統之建立」主要為針對港區每日之風場、氣壓、水位、波浪及海流資訊經數值模擬計算（建立預報模式），並整合各項預報系統以建立近岸防救災預報地理資訊系統為計畫之目的。 2. 期中報告顯示目前已完成可進行每日預報系統的線上預報建置。 3. 預報系統之正確度，取決於對各項資訊之數值模式，除水位之預測與實測較吻合外，其他各項資訊之數值模式預測與實測之差異，應進行探討與修正。波浪模式WAM及SWAN模式在不同港區有很顯然的差異，應深入探討，逐季作修正及調整，期建立最佳的預報系統。 **4.** 參與研究工作的主持人及協同主持人跨國內各	1.謝謝委員的肯定。 2.謝謝委員的肯定。 3.謝謝委員的建議。本團隊會繼續努力進行修正。 4.謝謝委員肯定。	同意合作研究單位之說明與處理情形

校海工領域之菁英，應有能力執行。		
七、唐存勇委員：（書面審查） 1. 台灣已有不少學者投入各種不同的模式，且有不錯的結果，主持人可考量邀請他們參加，結合他們已有的成果，而後建立可信任度的預警數值模式。	1.謝謝委員的建議。	
2. 目前在計畫中展示的模式結果，其實是非常不好的，主持人在討論中，對其有所推測並承諾將改進，唯我個人認為以現在計畫人力實難達到預期成果。	2.謝謝委員的建議。本團隊仍會繼續進行改進，以期達到預期的目標。	同意合作研究單位之說明與處理情形
3. 水位模式的 output 與實測資料相比的結果，在所有模式/資料比較中是最好的。然據個人瞭解，現台灣已有數個水位模式比報告中的模式結果更好。顯然，現報告中的模式不足以反應我國現有的科技成果。	3.謝謝委員建議。本團隊會繼續努力修正。	同意合作研究單位之說明與處理情形
4. 報告中的波浪、海流及風速模式的結果皆非常不好，但我個人瞭解我國現有許多此類模式，且結果不錯，有不少文	4.謝謝委員的建議。本團隊會盡力進行系統的改進，並參考各方文獻，以得到更好的模式結果。	同意合作研究單位之說明與處理情形

章發表於 SCI 的論文上,主持人應可邀請這些專家共同合作。		
5. 報告中，所有觀測點位及如何觀測，採樣率等皆未詳細陳述，應增加此部份。	5.謝謝委員建議。觀測資料由港研中心提供,本計畫僅具之分析比對,此部份會於期末報告增加參考資料說明。	同意合作研究單位之說明與處理情形
6. 未有正確的大區間模式結果，其小區間的模式顯然無意義。以台中港為例，其開放邊界條件的流速，若無洋流存在，是不正確的，即使僅以潮流為 input 條件而言，那些分潮加入，且海洋成層強弱，皆會影響港內模擬結果。	6.謝謝委員的建議。本團隊仍會繼續修正,以得到最好的預報結果,由於本計畫並未包含實際觀測項目,目前仍望國內先進提供相關資訊。	同意合作研究單位之說明與處理情形

附錄 5

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：近岸海象數值模擬及預警系統之建立(1/4)

執行單位：中山大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
一、楊德良委員：		
1. 團隊陣容堅強，期末報告內容龐大豐富，續期中報告，內容成果均有改善，給予高度肯定。不過仍有下列幾點意見，提供參考改進。	1. 謝謝評審的肯定。本團隊會繼續努力。	
2. 報告仍有一些打字錯誤或不適之處，請改善之。請再校正改正，僅列下處，作為例子。 2.1 P2-4，其中 應為－＞期中報告，負上－＞附上 2.2 3-16: 有些圖有顏色如圖 3-1-19 有紅線，但給委員均黑白，宜改進之。 2.3 P3-33 圖 3-2-25－＞3-2-15，P3-1 Zb 為重力加速度－＞Zb 為水深，g 為重力加速度 2.4 有些圖之 scale 如波高太不顯著應調整之，如圖 3-2-12（續 3），如 P4-20 圖 4-2-2, 4-2-3, 4-2-4, 4-	2. 在期末報告定稿修正。	已修正

2-5 etc。		
3. FEM grid 與結果之 sensitivity 及 error analysis 是否可以加強，如為上線作業，必須減少 grid size，亦請注意其可能之錯差。	3.目前缺乏模式範圍內分布之可供比對量測資料，台中港近岸海域台中港務局已另案發包監測計畫，待取得量測結果將可進一步進行比對分析。 目前網格已經盡量優化，力求在合理計算時間內達成計算的效率。	同意合作研究單位之說明與處理情形
4. 模式很多，有用 Commercial 的，亦有自己團隊研發的，同樣的物理機構，應不會因程式而有所不同。是否能相互驗證各程式之精確性，如颱風波浪，本研究以類神經模式為主，有否可能用物理模式亦做一次比較其結果。	4.由於各模式發展的目的性不同，因此要列在同一基準點進行比對，困難度會比較高，因此目前仍以實測資料為主要比對標的。	同意合作研究單位之說明與處理情形
5. 請再詳細列舉各參考文獻，以供日後研究人員參考。	5.謝謝評審意見，本團隊會在期末報告定稿補正。	已在期末報告補列
6. 文章及計畫之整合性，宜再加強之。建議所有計畫主持人使用同樣之報告格式，使期末報告更完整完美。	6.會於期末報告定稿補強。	已在期末報告補強
二、王胄委員：		
1. 報告之內容撰寫不一致，例如波浪部分撰述較清楚，但海流部分則內容不足，應予加強。	1. 謝謝評審建議，本團隊會在期末報告定稿將不足的部份補齊。	已在期末報告補強
2. rms 定義不明。	2. 於定稿中補述。	已在期末報告補述

3. 風場資料宜與衛星風進行比對。	3. 本團隊會嘗試在未來計畫中列入衛星風場比對項目。	同意合作研究單位之說明與處理情形
4. 對波浪推算結果之分析解釋有許多過於牽強，應予修正。	4. 依委員意見修正，並於期末報告中修正。	已在期末報告修正
5. 海流部分特別是大洋模式宜對邊界條件、引潮力用何種參數、多少層、網格大小、時間步長、初始場如何、多久 spin up 均欠說明。	5. 於期末報告定稿中補述所使用參數資訊。	已在期末報告補述
三、蘇青和委員：		
1. 成果評估及長期模擬結果分析之誤差分析宜改用相對誤差，誤差以每月為單位外，颱風期間及季風較顯著時間應加強個別分析其誤差特性，誤差比對及展示宜做適當修正。	1. 謝謝委員建議。未來評估可嘗試加入。	同意合作研究單位之說明與處理情形
2. NFS 數值風場預測偏差部分，宜引用觀測資料（包括衛星測風、近岸或外島等）做相關分析或同化修正。	2. 目前風場的問題在於近岸風場，衛星資料在近岸地區較不可信，雖然離島測站資料較好，但是仍然離所需港域之近岸風場有一段距離，如何進行風場的調整，以期得到較為符合近岸校驗結果的風場，仍然是未來可持續進形的工作項目。	同意合作研究單位之說明與處理情形
3. 即時現報作業部分建議加速上網。	3. 本團隊會努力進行上網的動作。	同意合作研究單位之說明與處理情形

4. 近岸（港區）波浪場72小時預報作業部分應儘速上網。	4. 本團隊會繼續協調負責團隊加速上網速度。	同意合作研究單位之說明與處理情形
5. 缺中英文摘要，報告宜以本所規定之格式撰寫。	5. 於期末報告定稿修正及補齊。	同意合作研究單位之說明與處理情形
四、簡仲璟委員：		
1. 風場模式之良好與否，密切影響波浪模擬之結果。因此，如何確認風場之準確性及如何改善，請積極辦理。例如衛星測風資料的應用。	1. 謝謝委員建議，本團隊會繼續努力進行風場的修正。	同意合作研究單位之說明與處理情形
2. 為因應台中港LNG船舶進出港操航需求，請加強台中港現報之研究成果，以提供港埠相關單位參考，並提昇本計畫之應用價值。	2. 目前本團隊會已完成現報結果即時上網，但是仍然目前缺乏港內外實測資料可供比對，未來仍期待港研中心取得實測資料進行模式的進一步分析比對工作。	同意合作研究單位之說明與處理情形
3. 資料圖之繪製請改善（部份難以辨認閱讀），以 力求清晰為原則。此外由於計畫工作項目眾多，因此，報告之章節與內容應有連貫性及整體性。	3. 於期末報告定稿一併修正。	同意
五、黃榮鑑委員：（書面審查）		
1. 本計畫「近岸海象數值模擬及預警系統之建立」,已完成其預期建立每日進行近岸海象模擬計算作業之功能預警系統。	1. 謝謝評審的肯定。	

2. 有關模式之成果評估，模式計算結果與實測資料比對圖，應在圖中針對模式計算結果與實測資料值作明確符號標示。	2. 本團隊會於期末報告定稿補強。	同意合作研究單位之說明與處理情形
3．表 2-1-1，2-1-2 及 2-2-1 中，實測水位及模式水位 r.m.s 、實測波高及模式 r.m.s 等之比較宜以無因次單位值作比較為適當。	3. 未來可嘗試利用無因次的數值進行評估。	同意合作研究單位之說明與處理情形
4．圖 3-2-23 花蓮港波高觀測值與模式值比較，差異度相當大，為何？雖經修正，但還是不理想，修正之根據為何？	4.謝謝委員指正,由於即時現報主要利用現場觀測值回傳給模值模式作為邊界條件參考之依據,相關作法與步驟可參考台中港近岸波浪模擬之說明;根據模式推算結果顯示目前觀測點位之波浪推算結果明顯受到花蓮港防波堤及港口之影響,以至與觀測值(可能受港口及其他因素影響)間相關性較不佳,因此波高修正採線性回歸效果不佳。	同意合作研究單位之說明與處理情形
5．研究結果除對各種計算模式作評估外，應具體提出台灣近岸海象數值模擬，最佳可供採用之計算模式，作詳細之評論。如此，對建立準確之預警系統，會有幫助。	5.目前台中及花蓮近岸模式今年度建置完成,然缺乏可供校驗比對的實測資料可進行比對分析,未來在取得實測資料後,會持續繼續進行近岸模式的評估及修正。	同意合作研究單位之說明與處理情形
六、唐存勇委員：（書面審查）		

此處審查意見僅提供個人認為此報告有待改善的部份: 1.報告首頁未見作者們。 2.共計有五種模式預報建置，但對各模式陳述的方式及詳盡度頗不一致。 3.模式預報值與觀測值的比較，皆是在非常淺水的近岸處且資料來源陳述不良。 4.報告似乎完全忽視他人已有的結果,尤其缺乏與已發表的論文間的相比較，如 (a) 風場 (風壓)模式，其結果與歐洲的ECMWF 或美國的 NCEP 風場結果相比較的良與劣。 (b) 風場預報與 QSCAT 衛星風場比較的良與劣。 (c)海流模式與已發表論文中，實測流場的比較如何？ (d)波浪模式與氣象局外海浮標量測比較之良與劣，有計畫如何修正嗎 ？ (e)水位模式是否僅為潮位模式?黑潮的擺動亦可	1. 謝謝評審建議，於期末報告定稿增加。 2. 由於每年評審不同，模式敘述之詳盡度各有意見，未來統一以附件方式處理，以免佔用過多篇幅。 3. 由於目前本計畫僅能取得港研中心提供的近岸實測資料，並無遠域的資料可資比對，若未來港研中心取得相關資料，定會加入比對分析。 4. 謝謝評審建議 a. 由於目前未能取得這兩組風速資料，因此沒有進行評估，未來港研中心提供即可加入評估的比對項目 b. 未來可增列衛星風場比對工作項目。 c. 目前未能取得相對應的實測資料進行比對，未來若有取得相關資訊會加入進行比對。 d. 未來將會收集資料測試比較。	同意 同意合作研究單位之說明與處理情形 同意合作研究單位之說明與處理情形 同意合作研究單位之說明與處理情形

引起水位的變動，是否已考慮此在內，結果如何?	e.目前水位模式驅動力僅為潮汐、風場及大氣壓力，並無洋流的影響。	
5.水位模式及海流模式與海洋分層有關,請問模式的起始條件為何? 西太平洋海流模式需spin-up 多長時間始能開始做預報？	5.目前並無分層,目前已進入線上預報作業,每日均以前一天記錄之動力場做為啟始條件(warm-start)。最初之啟使經半年之計算啟始期,並各以單一分潮驅動檢驗模式內部各點收斂結果,再經全部邊界組合引潮驅動,再經與五港測站資料分析比對。	同意合作研究單位之說明與處理情形
6.海流模式預報可能頗不正確，如圖 3-1-4 之流場頗令我耳目一新，請問此模式結果做過驗證 ?如沒有，結果應被質疑，如有，請明白陳述於報告中。	6.由於目前海流模式的網格解析度較大，而目前取得的資料僅有港研中心的近岸流場，因此未來若能取得較為遠域的浮標海流資料，本團隊會繼續進行模式比對及修正。	同意合作研究單位之說明與處理情形
7.承諾的工作非常多，相信 PI 們很努力，但若未經良好驗證的模式，其在預報時不但無益且有害，不可不慎。	7.本團隊會繼續努力，以達成設定的目標。	同意

附錄 6　期末簡報

交通部運輸研究所港灣技術研究中心

近岸海象數值模擬及預警系統之建立（1/4）

期末簡報

合作研究單位：國立中山大學
計畫主持人：李忠潘 陳陽益
協同主持人：林炤圭 張憲國 于嘉順
王兆璋 薛憲文 劉正琪

簡報日期：2007/11/16

簡報人：劉正琪博士

本年度預計完成的工作項目

- 預報模式作業化成果評估
  - 風速、水位、波浪、海流及油污
- 近岸及港區模式(台中及花蓮)
  - 海流、波浪
- 臺灣環島近岸長期模擬結果分析
  - 風速、水位、波高及海流
- 港區設計參數
  - 水位、波高
- 波浪相關模式(correlation model)

- 建立近岸防救災預報地理資訊系統
- 資料與技術之轉移

預報模式成果評估

已上線預報的模式

- 水位模式：
  - 西太平洋天文潮模式
  - 西太平洋複合潮模式
  - 台灣海域複合潮模式
  - 類神經網路預警模式（颱風時期啟動）
- 波浪模式：
  - WAM – 西太平洋大範圍模式
  - SWAN – 台灣周圍海域波浪模式
  - 安平近岸波浪模式—11月上線
  - 類神經網路預警模式（颱風時期啟動）
- 海流模式
  - 西太平洋海流模式
  - 台灣海域海流模式
  - 台中近岸及港區海流模式—11月上線
- 風壓模式：
  - 中央氣象局NFS模式，包含RC（西太平洋範圍）及MC（台灣周圍海域）兩種尺度的風場。

TaiCOMS線上作業流程

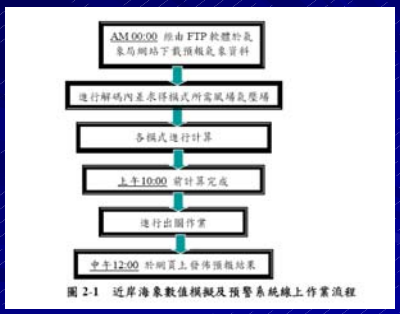


圖 2-1 近岸海象數值模擬及預警系統線上作業流程

線上作業成果之評估流程

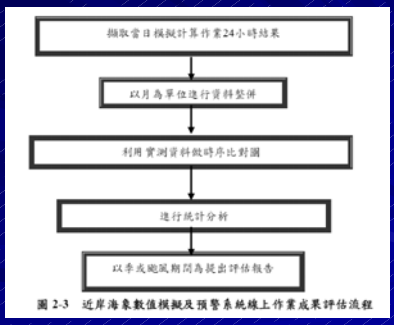
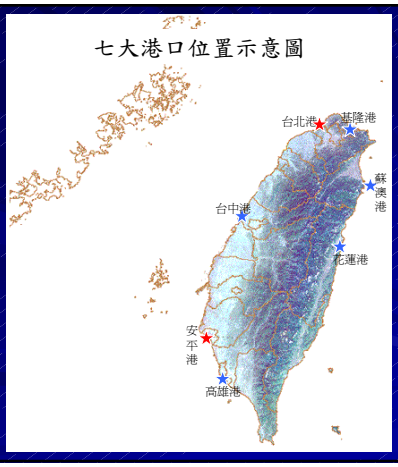


圖 2-3 近岸海象數值模擬及預警系統線上作業成果評估流程

七大港口位置示意圖



水位模式R.M.S值推算(公尺)

			花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
第一季	2006年12月	西太平洋	0.09	4.23	0.11	0.08	0.52
	2007年1月	西太平洋	0.14	無資料	0.12	0.06	0.51
	2007年2月	西太平洋	0.11	0.23	0.1	0.06	0.5

水位模式R.M.S值推算(公尺)

		花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2007年3月	西太平洋	0.1	0.19	0.1	0.1	0.47
	台灣海域	0.08	0.12	0.09	0.1	0.20
2007年4月	西太平洋	0.08	0.19	0.11	0.07	0.47
	台灣海域	0.07	0.11	0.11	0.07	0.18
2007年5月	西太平洋	0.08	0.18	0.12	0.07	0.46
	台灣海域	0.06	0.07	0.13	0.08	0.13
2007年6月	西太平洋	0.12	0.19	0.14	0.12	0.51
	台灣海域	0.11	0.10	0.13	0.12	0.31
2007年7月	西太平洋	0.12	0.18	0.12	0.07	0.44
	台灣海域	0.10	0.09	0.12	0.07	0.22
2007年8月	西太平洋	2.63	0.21	0.10	0.15	1.88
	台灣海域	2.63	0.12	0.10	0.15	1.76

水位模式相關係數推算

		花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
第一季	2006年12月	西太平洋	0.9457	0.0689	0.9082	0.9534	0.8384
	2007年1月	西太平洋	0.934	無資料	0.9183	0.9723	0.8516
	2007年2月	西太平洋	0.9314	0.4531	0.9187	0.9757	0.8642

水位模式相關係數推算

		花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2007年3月	西太平洋	0.9517	0.589	0.9312	0.9604	0.9084
	台灣海域	0.964	0.891	0.9563	0.9753	0.9316
2007年4月	西太平洋	0.9354	0.5531	0.9237	0.9677	0.9072
	台灣海域	0.9557	0.9089	0.9342	0.9814	0.9384
2007年5月	西太平洋	0.944	0.6312	0.9203	0.9763	0.9016
	台灣海域	0.95	0.9031	0.9367	0.9797	0.9642
2007年6月	西太平洋	0.9507	0.6089	0.9132	0.9604	0.9084
	台灣海域	0.964	0.9170	0.9333	0.9753	0.9516
2007年7月	西太平洋	0.9384	0.7031	0.927	0.9807	0.9042
	台灣海域	0.9567	0.9389	0.9312	0.9684	0.9384
2007年8月	西太平洋	0.734	0.7102	0.943	0.9743	0.7516
	台灣海域	0.7314	0.9431	0.947	0.9797	0.7642

波高R.M.S值推算(公尺)

		安平	花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2006年12月	SWAN	0.30	0.87	0.75	0.31	0.99	0.93
	WAM	0.31	0.63	0.73	0.21	0.69	1.52
2007年01月	SWAN	0.28	0.62	0.82	無資料	1.01	0.92
	WAM	0.33	0.58	0.71	無資料	0.45	1.37
2007年02月	SWAN	0.27	0.51	0.66	無資料	0.41	0.79
	WAM	0.26	0.52	0.31	無資料	0.46	1.01
2007年03月	SWAN	0.28	0.58	0.30	0.32	0.58	0.9
	WAM	0.24	0.46	0.14	0.21	0.48	1.2
2007年04月	SWAN	0.26	0.51	0.64	0.31	0.53	0.85
	WAM	0.28	0.41	0.42	0.24	0.39	1.0
2007年05月	SWAN	0.25	0.41	0.15	0.21	0.41	0.34
	WAM	0.24	0.33	0.16	0.19	0.35	0.57
2007年06月	SWAN	0.37	0.21	0.31	0.32	0.27	0.20
	WAM	0.41	0.33	0.16	0.34	0.35	0.24
2007年07月	SWAN	0.4	0.44	0.32	0.41	0.59	0.43
	WAM	0.49	0.43	0.27	0.49	0.56	0.50
2007年08月	SWAN	0.67	0.81	0.70	0.50	1.05	0.92
	WAM	0.67	0.54	0.48	0.71	1.02	0.84

波高相關係數推算

		安平	花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2006年12月	SWAN	0.112	0.4995	0.3196	0.0112	0.1203	0.3341
	WAM	0.4102	0.2667	0.4382	0.0372	0.0565	0.2780
2007年01月	SWAN	0.1778	0.2674	0.0209	無資料	0.006	0.1357
	WAM	0.1543	0.4468	0.4855	無資料	0.1832	0.3424
2007年02月	SWAN	0.0334	0.1728	0.8793	無資料	0.0421	0.3087
	WAM	0.1384	0.2445	0.9116	無資料	0.1859	0.4425
2007年03月	SWAN	0.0735	0.2162	0.014	0.0012	0.2502	0.6241
	WAM	0.2656	0.3376	0.0170	0.1463	0.4143	0.5460
2007年04月	SWAN	0.0814	0.3404	0.4018	0.0077	0.2729	0.4119
	WAM	0.1687	0.3962	0.7928	0.0823	0.4072	0.4276
2007年05月	SWAN	0.2935	0.0139	0.0061	0.0788	0.0032	0.0986
	WAM	0.3968	0.0177	0.0016	0.0231	0.2178	0.0316
2007年06月	SWAN	0.0835	0.2562	0.024	0.0412	0.2702	0.6541
	WAM	0.2956	0.3676	0.0270	0.1663	0.4543	0.6060
2007年07月	SWAN	0.0914	0.3704	0.4318	0.0577	0.3029	0.4019
	WAM	0.2087	0.4062	0.8028	0.1023	0.3972	0.4576
2007年08月	SWAN	0.3835	0.0239	0.0161	0.1188	0.0132	0.1986
	WAM	0.568	0.0277	0.0116	0.0531	0.2578	0.1316

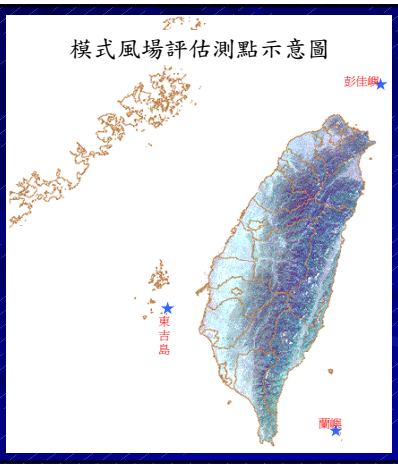
波浪週期R.M.S值推算(秒)

		安平	花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2006年12月	SWAN	3.32	4.44	3.59	4.39	4.58	3.43
	WAM	1.33	2.9	2.27	2.42	3	2.34
2007年01月	SWAN	3.16	4.37	3.95	無資料	4.56	3.47
	WAM	1.75	2.81	2.54	無資料	3.2	2.52
2007年02月	SWAN	3.01	4.13	3.94	無資料	4.42	3.17
	WAM	1.46	2.46	2.72	無資料	2.68	1.9
2007年03月	SWAN	3.05	4.55	5.79	2.88	4.54	3.24
	WAM	1.61	2.54	2.86	1.83	2.51	1.83
2007年04月	SWAN	3.01	4.86	4.05	3.09	4.66	3.26
	WAM	1.54	2.87	2.09	1.6	2.76	1.84
2007年05月	SWAN	2.87	5.48	4.22	3.18	5.33	2.47
	WAM	1.55	3.79	3.65	1.84	3.77	1.78
2007年06月	SWAN	2.82	3.66	4.8	2.57	4.0	3.71
	WAM	1.53	2.22	2.71	1.33	2.02	2.04
2007年07月	SWAN	4.01	5.82	5.95	4.09	5.86	2.84
	WAM	2.94	4.12	3.95	2.99	3.96	2.08
2007年08月	SWAN	4.36	6.99	4.42	5.16	5.56	2.67
	WAM	2.22	4.67	2.85	3.08	3.63	1.96

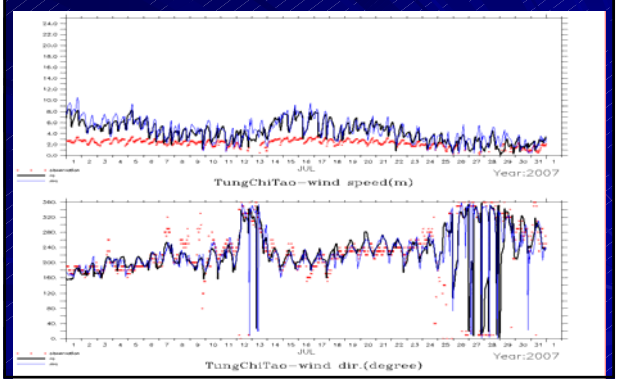
波浪週期相關係數推算

		安平	花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2006年12月	SWAN	0.0904	0.1926	0.2674	0.0488	0.1612	0.1353
	WAM	0.1009	0.1022	0.3541	0.0079	0.2003	0.1626
2007年01月	SWAN	0.0389	0.0607	0.1353	無資料	0.0266	0
	WAM	0.004	0.0486	0.2625	無資料	0.0658	0.0687
2007年02月	SWAN	0.0271	0.231	0.4595	無資料	0.156	0.0959
	WAM	0.0255	0.1473	0.1036	無資料	0.1212	0.4501
2007年03月	SWAN	0.0001	0.3016	0.0305	0.0026	0.2615	0.1813
	WAM	0.0242	0.1652	0.0149	0.1349	0.1833	0.2469
2007年04月	SWAN	0.0011	0.2302	0.3432	0.008	0.1339	0.106
	WAM	0.0381	0.2291	0.5024	0.0208	0.1132	0.1528
2007年05月	SWAN	0.2453	0.0005	0.1048	0.0107	0.0116	0.0591
	WAM	0.3180	0.0557	0.0231	0.0238	0.0284	0.0106
2007年06月	SWAN	0.0101	0.3216	0.1305	0.0226	0.2715	0.1913
	WAM	0.0342	0.2052	0.0849	0.1549	0.2033	0.3069
2007年07月	SWAN	0.0111	0.2502	0.3932	0.018	0.1539	0.156
	WAM	0.0581	0.2891	0.5224	0.0508	0.1332	0.1928
2007年08月	SWAN	0.2753	0.0105	0.1248	0.0307	0.0516	0.0891
	WAM	0.3580	0.1057	0.1231	0.0638	0.0784	0.0206

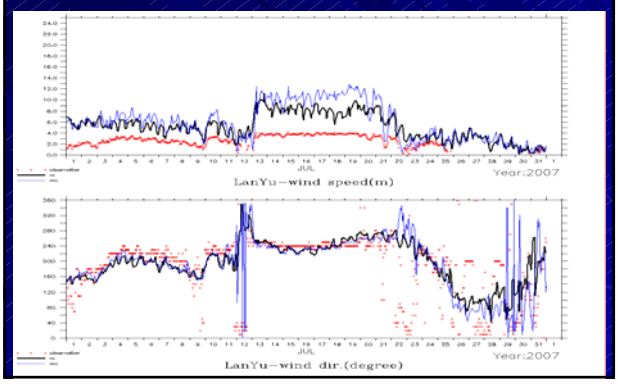
模式風場評估測點示意圖



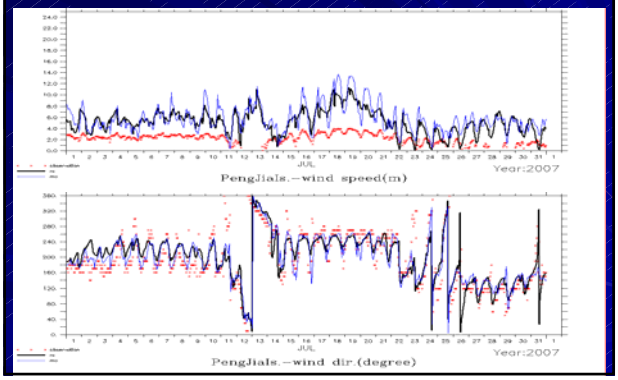
東吉島風場比對圖



蘭嶼風場比對圖



彭佳嶼風場比對圖



結論

- 風場未進行相關係數及R.M.S的計算
  - 模式風速高估
  - 模式風向與實測資料吻合
- 流場未進行相關係數及R.M.S的計算
  - 目前完成台中近岸及港區流場上線，未來會加入評估
- 水位模式預報結果與實測資料吻合
  - 台灣海域較西太平洋模式有更好的結果
  - 八月台中及花蓮因為實測資料偏移，導致rms偏高及相關係數偏低
- 波浪比對結果不理想
  - 目前完成安平近岸波浪上線，未來會加入評估

近岸及港區流場模式及波浪模式

模式原理

連續方程式

$$\frac{\partial d}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(u\bullet d)+\frac{\partial}{\partial y}(v\bullet d)=0$$

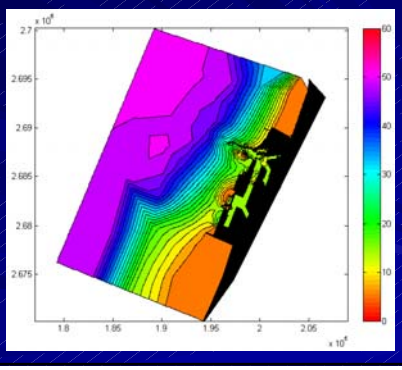
動量方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}=-g\frac{\partial d}{\partial x}-g\frac{\partial Z_b}{\partial x}+\Omega v+\frac{1}{\rho d}\left[\frac{\partial}{\partial x}(d\tau_{xx})+\frac{\partial}{\partial y}(d\tau_{xy})+\tau_x^s-\tau_x^b\right]$$

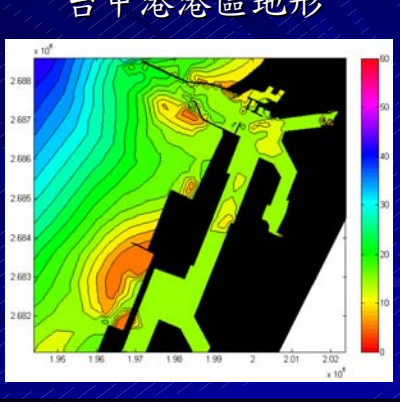
$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}=-g\frac{\partial d}{\partial y}-g\frac{\partial Z_b}{\partial y}-\Omega u+\frac{1}{\rho d}\left[\frac{\partial}{\partial x}(d\tau_{yx})+\frac{\partial}{\partial y}(d\tau_{yy})+\tau_y^s-\tau_y^b\right]$$

其中d 為水位變化，u 及v 為x 及y 方向深度平均流速分量，Zb 為重力加速度、ρ 為水體密度，Ω 為柯氏力，τ^s_x、τ^s_y 為風在水體表面產生的風剪力，τ^b_x、τ^b_y 則為底床磨擦剪力，τ_{xx}、τ_{yx}、τ_{yy} 則為水深平均紊流剪力。

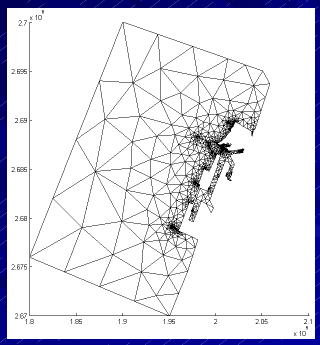
台中港周圍地形



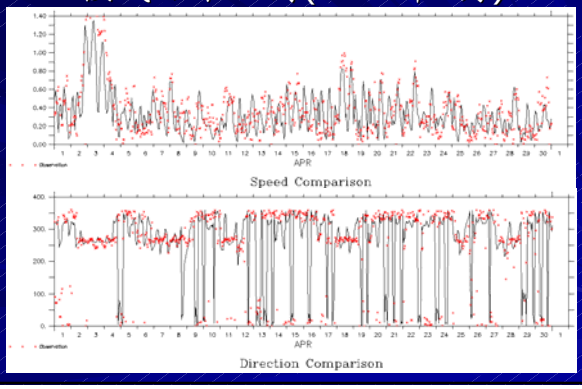
台中港港區地形



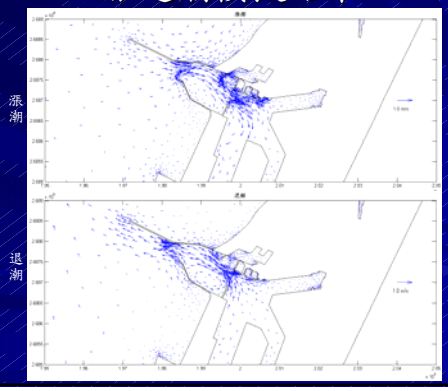
使用之有限元素網格點



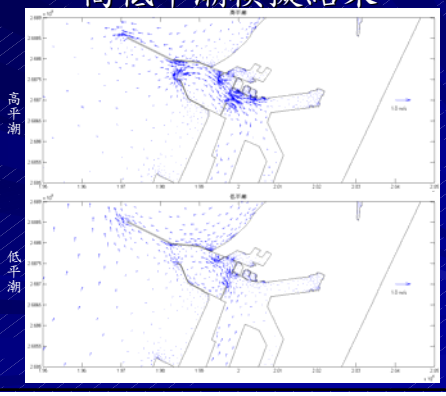
模式結果比對(2007年4月)



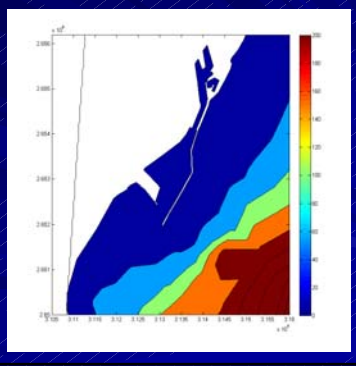
漲退潮模擬結果



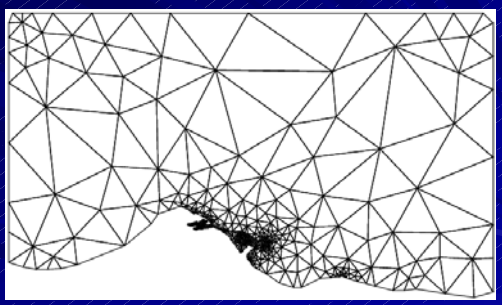
高低平潮模擬結果



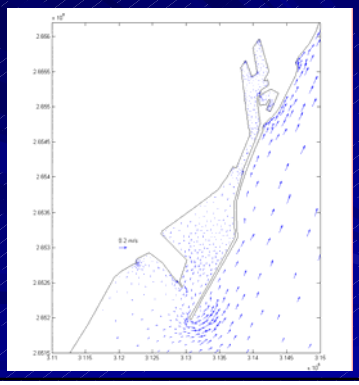
花蓮港港區地形



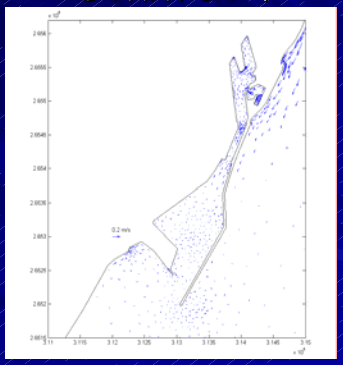
使用之有限元素網格點



漲潮模擬結果



退潮模擬結果



結論

- 台中港堤頭區模式結果大致與實測資料吻合
- 漲潮結果
  - 南堤有順時針渦旋
  - 漁港外有逆時針渦旋
- 退潮結果
  - 南堤有逆時針渦旋
- 目前仍缺乏港內資料進行比對
- 花蓮港目前建置完成，目前仍需實測資料比對修正

近岸及港區波浪模擬

- TaiCOMS近岸海域波浪模擬主要目的為承接全域波浪模式(WAN & SWAN)預報模擬之結果，將近海波浪推算至岸邊乃至港區內，以提供防救災所需之資訊。
- 波浪向岸傳播過程中因海域地形、海岸地貌及構造物等影響而產生的物理現象主要有淺化效應、折繞射、反射以及碎波等現象；為能夠充分模擬上述物理機制，本計畫在TaiCOMS架構下構建小尺度近岸波浪模式及近域港區波浪模式。

近岸及港區波浪模式

(1)近岸區域波浪模式：主要模擬外海波浪向近岸傳播過程中因地形及水深變化所產生的波浪變形，經評估選擇Kirby and Dalrymple發展之波浪折繞射模式(REF/DIF)為計畫之近岸區域波浪模式，模式本身具有模擬波浪淺化效應、折繞射以及碎波後波高減衰等現象。

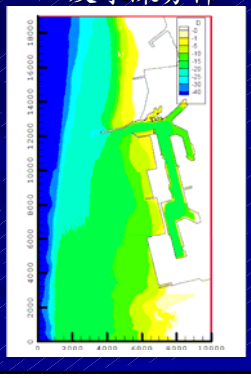
(2)近域港區波浪模式：主要模擬波浪傳播至港口及港內水域之波浪變化，著重於港口之遮蔽及靜穩之模擬；本計畫選取以橢圓型緩坡方程式為基礎的有限元素法數值模式為TaiCOMS之港域波浪模式，模式本身可充分反應結構物附近之波浪折、繞射及反射等現象，極適合模擬港口及港域內波浪狀況。

近岸及港區波浪模擬工作內容

本年度重點港口為台中港及花蓮港：

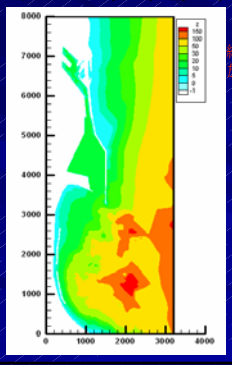
- 近岸區域波浪模式
  - 針對台中港及花蓮港近岸海域建置適當的數值計算網格
  - 區域波浪模式之率定與驗証
  - 線上作業模擬
- 近域港區波浪模式
  - 針對台中港及花蓮港建置適當的數值計算網格
  - 近域港區波浪模式之率定與驗証
  - 台中港及花蓮港港域波浪場模擬

台中港近岸區域波浪模式數值計算網格及水深分佈



網格大小=1001＊1901
旋轉角度=-36.

花蓮港近岸區域波浪模式數值計算網格及水深分佈



網格大小＝321＊801
旋轉角度=150.

近岸區域波浪數值模擬（一）

近岸區域波浪模擬條件之決定

- 依據全域風浪模式推算結果給定入射波之週期，波高及波向（線上作業採用方式）。
- 依據台中港波浪觀測資料之示性波高，週期及波向給定模式之計算條件（提供未來與及時觀測資料連線進行時時波場模擬）。

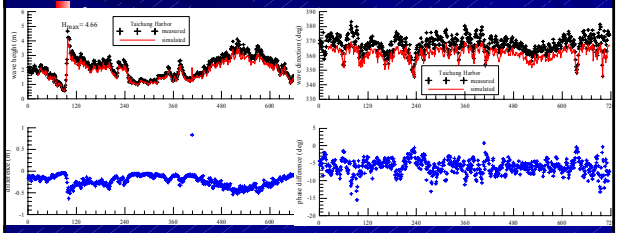
近岸區域波浪模式之率定與驗証

- 當依據各港口波浪觀測資料給定模式之計算條件，由於受到波浪淺化及折射之影響，須針對模式模擬結果之進行率定以修正計算條件之波高及波向。
- 本計畫採用回歸分析方法。

近岸區域波浪數值模擬（二）

入射波浪決定之步驟1

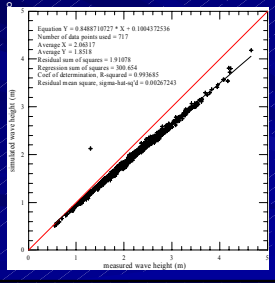
- 直接採用台中港波浪觀測資料(波高、週期及波向)為近岸區域波浪場之入射波浪條件，推算觀測點位之波浪狀況。



近岸區域波浪數值模擬（三）

入射波浪決定之步驟2

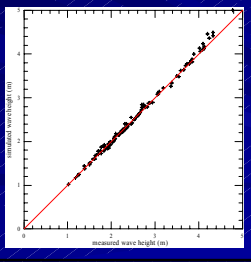
- 觀測點波高觀測值大小與模式模擬波高值大小之比較，利用回歸方式得到觀測值與推算值之線性關係。



近岸區域波浪數值模擬（四）

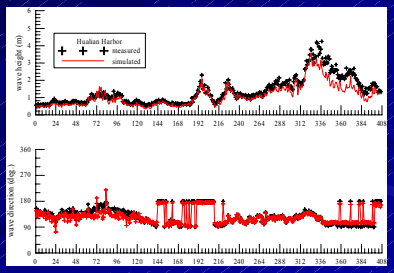
入射波浪決定之步驟3

- 將此一線性關係代入模式中修正台中港近岸區域波浪模式之邊界條件，重新模擬波浪場；結果顯示觀測點波高推算值與觀測值相當一致。



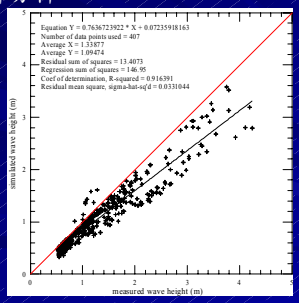
近岸區域波浪數值模擬（五）

- 花蓮港波高觀測值與模式推算結果之比較。



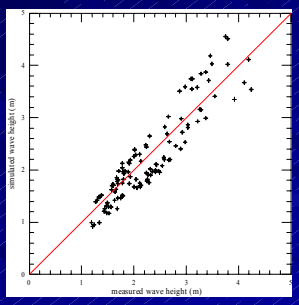
近岸區域波浪數值模擬（六）

- 花蓮港波高觀測值與模式推算值之對應關係與線性回歸分析。



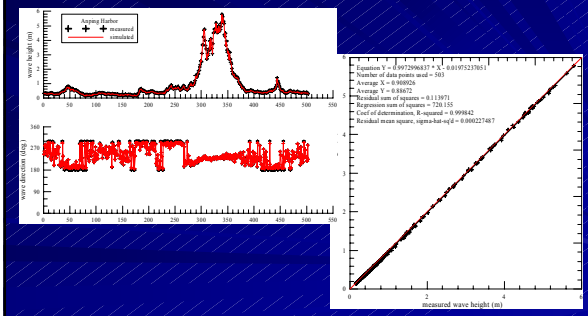
近岸區域波浪數值模擬（七）

- 花蓮港波高觀測值與模式推算值之對應關係(修正後)。



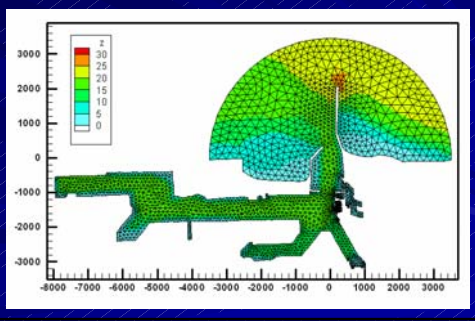
近岸區域波浪數值模擬（八）

- 安平港波高觀測值與模式推算結果之比較。

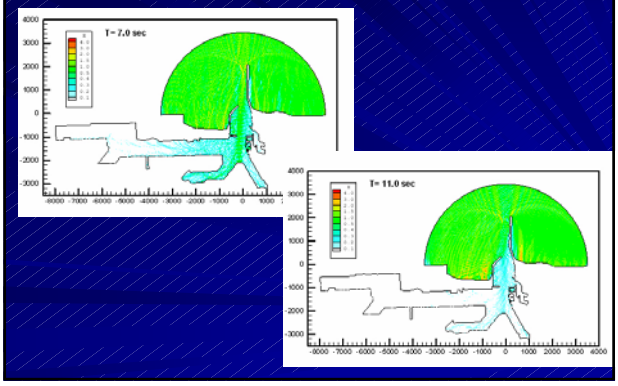


港域波浪數值模擬（一）

- 台中港港域波浪模式數值計算網格區分為一般風浪及颱風波浪模擬兩種數值計算網格

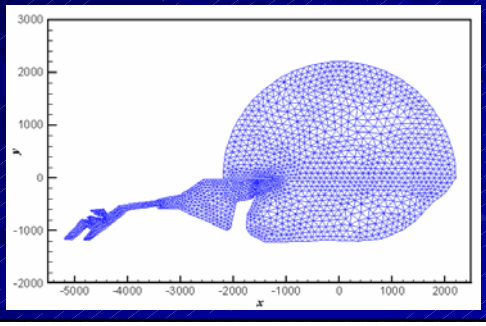


港域波浪數值模擬(二)



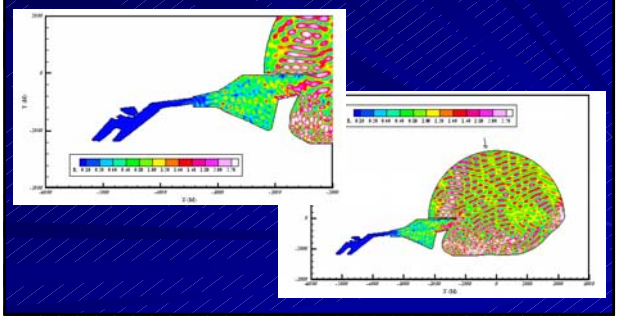
港域波浪數值模擬(三)

- 花蓮港港域波浪模式數值計算網格：一般風浪及颱風波浪模擬兩種數值計算網格



港域波浪數值模擬(四)

- 花蓮港港域波浪模式數值計算網格：一般風浪及颱風波浪模擬兩種數值計算網格



結論

- 近岸區域波浪模擬工作除了持續進行線上作業模擬測試外，主要針對台中港進行每小時現報可行性評估，結果顯示直接以台中港即時觀測波浪結果做為模式之外海邊界條件模擬近岸波浪場時，外海波高邊界條件與依據回歸關係校正觀測資料波高大小做為模式之邊界條件，區域波浪模式將可以模擬近似之平面波場。

長期模擬結果分析

長期模擬結果分析

- 利用氣象局2005~2006年風場輸入
- 水位及流場
  - MC風場輸入
  - 台灣海域模式進行推算
- 波浪場
  - WAM進行推算(採用RC風場)
  - SWAN進行推算(採用MC風場)

長期水位模擬分析

水位r.m.s值計算(公尺)

	安平	花蓮	高雄	基隆	蘇澳	台中
2005	0.17	0.30	0.21	0.27	0.28	0.68
2006	0.17	0.21	0.18	0.24	0.19	0.72

水位相關係數

	安平	花蓮	高雄	基隆	蘇澳	台中
2005~2006	0.756	0.884	0.8945	0.856	0.8645	0.7467

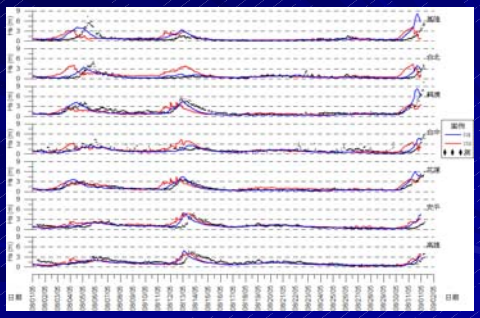
長期流場模擬分析—安平

	觀測資料			模式結果		
安平	major	minor	phase	major	minor	Phase
Q1	0.004	-0.001	132.7	0.006	-0.001	60.25
O1	0.003	-0.007	95.03	0.035	-0.002	93.3
P1	0.02	-0.004	114.57	0.015	-0.001	145.58
K1	0.061	-0.013	144.07	0.045	-0.002	138.51
N2	0.04	0.002	186.09	0.084	0.001	191.94
M2	0.248	-0.005	211.41	0.486	0.003	222.14
S2	0.066	0.003	253.73	0.135	0.001	263.86
K2	0.023	0.003	226.71	0.053	0.001	260.7

長期流場模擬分析—花蓮

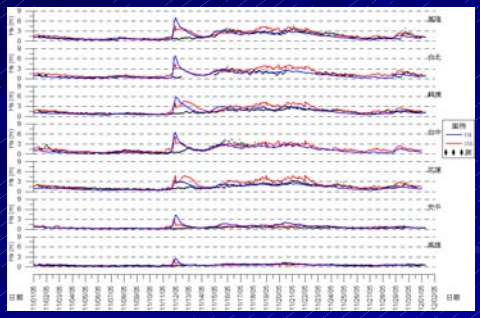
	觀測資料			模式結果		
花蓮	major	minor	phase	major	minor	Phase
Q1	0.009	-0.001	113.47	0.001	0	2.18
O1	0.016	0.011	126.9	0.004	0.002	20.36
P1	0.021	-0.010	134.19	0.002	0.001	69.56
K1	0.014	0.004	184.58	0.005	0.002	71.31
N2	0.015	0.005	12.79	0.001	0	139.32
M2	0.083	0.028	25.74	0.006	-0.001	173.16
S2	0.020	0.005	111.92	0.002	-0.001	190.1
K2	0.013	-0.002	100.11	0.001	0	172.0

長期波浪模擬結果分析



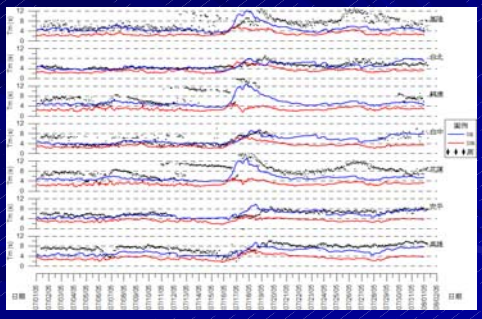
2005年08月份七大商港WAM與SWAN計算結果(示性波高)

長期波浪模擬結果分析



2005年11月份七大商港WAM與SWAN計算結果(示性波高)

長期波浪模擬結果分析



2005年07月份七大商港WAM與SWAN計算結果(平均週期)

結論

- 長期水位r.m.s值介於0.17至0.72公尺間
  - 部份實測資料產生較大的偏移
- 長期流場模擬分析
  - 西岸測站分析後模式結果較實測資料為大
  - 東部測站分析後實測結果較模式大
    - 東部水深較深
    - 模式流場為水深平均

港區設計參數推估

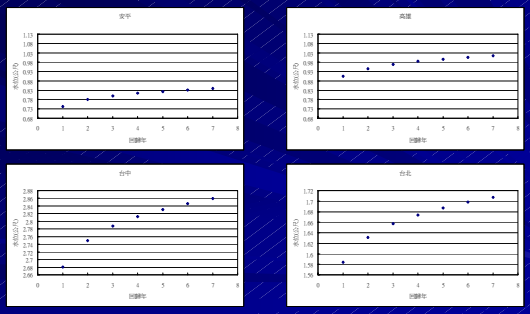
設計水位

- 本年度主要先利用2003~2006年的模擬結果進行分析
  - 找出每年的最大水位
  - 推算水位的回歸期

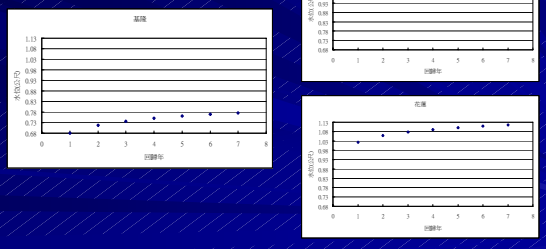
各港區每年極值水位統計(公尺)

	安平	花蓮	高雄	基隆	蘇澳	台中	台北
2003	0.679	0.947	0.830	0.605	0.921	2.679	1.523
2004	0.733	1.058	0.883	0.928	1.136	2.543	1.835
2005	0.753	1.021	0.916	0.718	1.0	2.572	1.495
2006	0.862	1.207	1.006	0.790	1.187	2.702	1.593

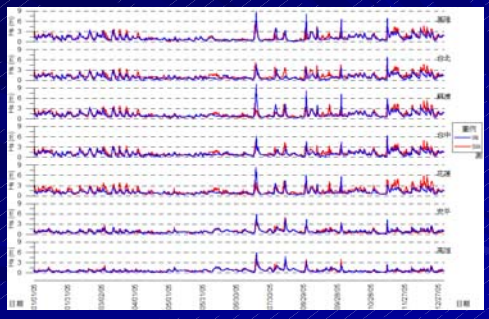
水位回歸期推算—西部



水位回歸期推算—東部

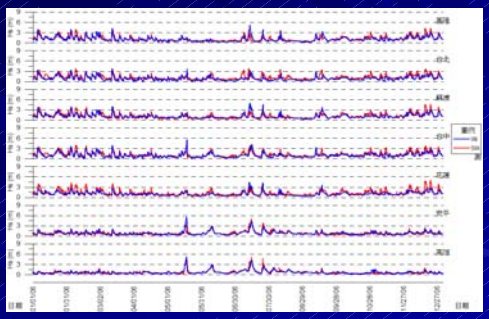


設計波高



2005年全年WAM與SWAN模式推算示性波高結果

設計波高



2005年全年WAM與SWAN模式推算示性波高結果

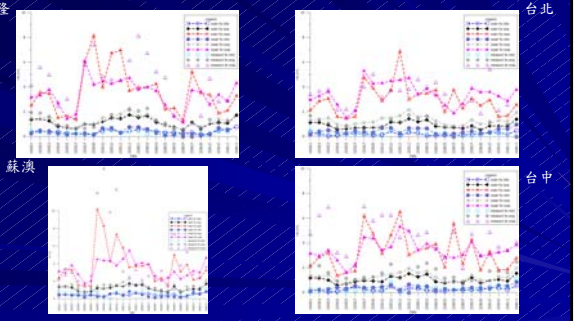
設計波高

基隆

台北

蘇澳

台中



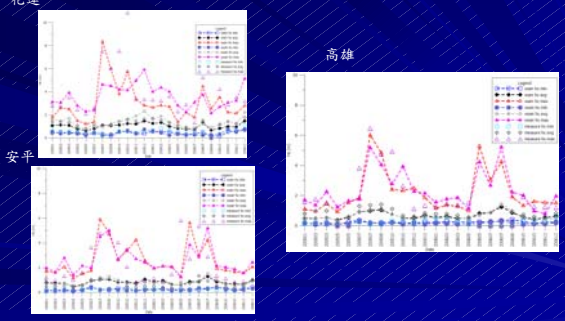
05～06年WAM與SWAN模式推算示性波高之單月統計值

設計波高

花蓮

高雄

安平



05～06年WAM與SWAN模式推算示性波高之單月統計值

結論

- 最大水位發生時期
  - 2006凱米颱風—安平、花蓮、高雄及蘇澳
  - 2006珊珊颱風—台中
  - 2004艾利颱風—台北及基隆
- 由於僅有四年資料，因此回歸期僅推算至7年
- 各測站產生的最大水位的回歸年除台中外，其他測站的回歸年皆大於7年
- 本年度僅大致進行各港區水位初步推算，未來仍會針對各港口進行更長期的模擬及分析

波浪相關模式

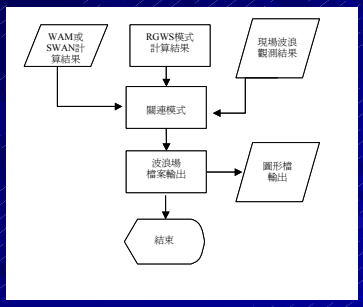
港域波浪相關模式

- 緣於港域波浪模式本身不僅數值計算網格需求量相當龐大，且相當耗費電腦運算時間，無法滿足本計畫TaiCOMS線上作業之需求。
- 為克服上述問題以達成線上作業化之目標，本計畫以建立各港域波浪相關模式之方法，節省(避開)港域波浪模式線上作業模擬之時間，以達到線上作業之目標。
- 本計畫採取依長期波浪觀測結果事先模擬港域波浪場，並建立各港域波浪資料庫，由波浪模擬條件與模擬結果建立相關聯模式，未來線上作業時僅須給定波浪條件(波高、 週期及波向)即可提供所需之波場資料。

港域波浪場模擬資料庫之建置

- 港域：如台中港以英文字母“TC”代表，花蓮港以“HL”表示，高雄港以“KH”表示，安平港以“AP”表示等。
- 波向：以英文字母“D”為開頭，後接3碼阿拉伯數代表波向，以波向以正北為“000”，順時針方向依序為“015”、“030”、“045”、“060”…..。
- 週期：以英文字母“T”為開頭，後接3碼阿拉伯數代表週期；如“T100”代表週期為10.0sec之波浪。
- 檔案格式：以附屬檔名為辨別碼，如“PLT”表示數位資料檔，“PDF”表示圖檔等。

波浪相關模式之流程架構示意圖



結論

- 針對台中港初步完成港域波浪相關模式之建置，未來將可提供波浪預報線上作業模擬結果之港域波浪場，且所建置之模擬波浪場資料庫資料亦可提供GIS資料庫系統所需資訊。

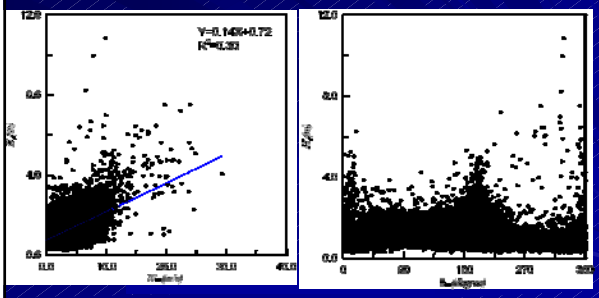
類神經網路風浪預報模式評估

完成之工作項目

- 資料收集
- 類神經颱風及季風波浪預報模式建構(台中及花蓮港)
- 即時颱風波浪預報操作

季節風波浪模式

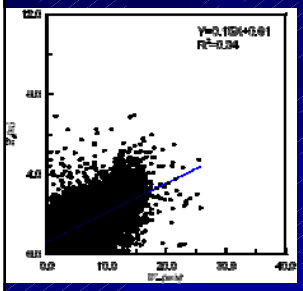
花蓮港實測波高與模式風速風向比較(2005-2006)



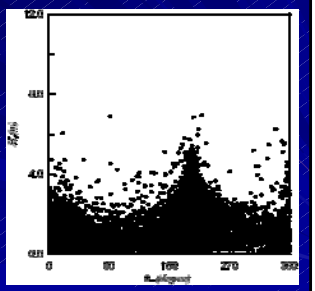
實測波高與模式風速　　實測波高與模式風向

季節風波浪模式

台中港實測波高與模式風速風向比較(2005-2006)



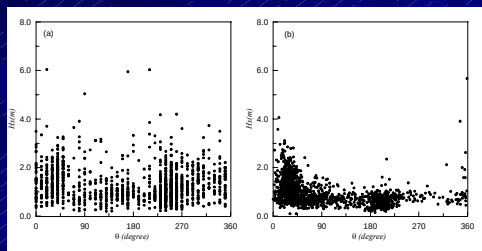
實測波高與模式風速



實測波高與模式風向

季節風波浪模式

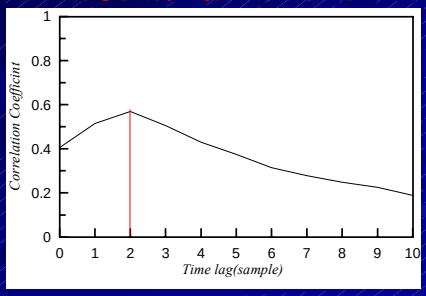
花蓮港波高與實測及模式風向比較



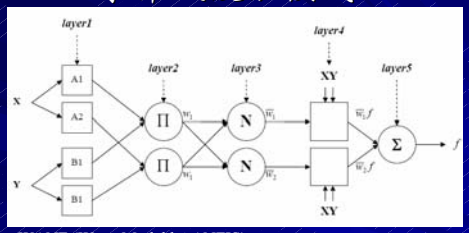
實測波高與實測風向　　實測波高與模式風向

季節風波浪模式

花蓮港模式風速與波高延時分析



季節風波浪模式



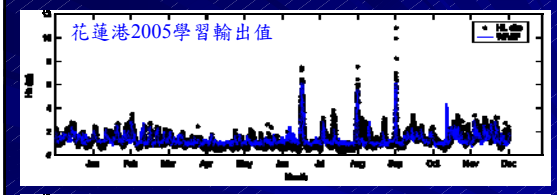
WANF (Wave Model by ANFIS)

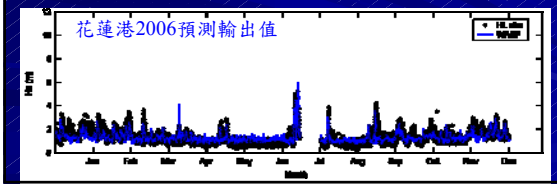
輸入參數：模式風場的風速、延時及風向

輸出參數：對應之波高資料

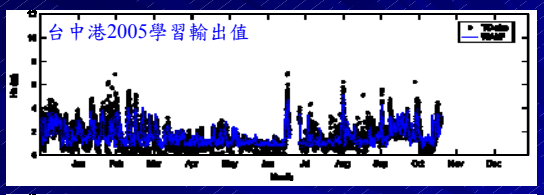
$$r=\frac{\sum_{i=1}^{N}[(P_i-\bar{P})(O_i-\bar{O})]}{\left[\sum_{i=1}^{N}(P_i-\bar{P})^2\sum_{i=1}^{N}(O_i-\bar{O})^2\right]^{1/2}} \qquad \varepsilon=\frac{\sum_{i=1}^{N}|P_i-O_i|}{N} \qquad \beta=\frac{\sum_{i=1}^{N}(P_i-O_i)}{N}$$

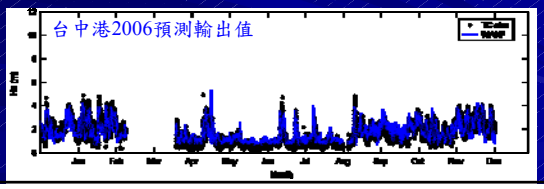
季節風波浪模式評估分析





季節風波浪模式評估





季節風波浪模式評估

花蓮WNAF學習過程之模糊規則輸出表

Rule Description	a	b	c	d
1. If (W(t-2) is Low) and (W(t) is Low) and (WD(t) is Low) then Output1	-0.319	-0.153	0.004	-3.242
2. If (W(t-2) is Low) and (W(t) is Low) and (WD(t) is High) then Output2	0.260	-0.651	0.003	-2.356
3. If (W(t-2) is Low) and (W(t) is High) and (WD(t) is Low) then Output3	-5.161	1.832	-0.024	-2.558
4. If (W(t-2) is Low) and (W(t) is High) and (WD(t) is High) then Output4	-0.827	-1.787	-0.051	56.947
5. If (W(t-2) is High) and (W(t) is Low) and (WD(t) is Low) then Output5	-3.616	0.160	0.071	59.490
6. If (W(t-2) is High) and (W(t) is Low) and (WD(t) is High) then Output6	0.820	1.393	0.044	-23.984
7. If (W(t-2) is High) and (W(t) is High) and (WD(t) is Low) then Output7	-0.565	-3.818	-0.226	138.405
8. If (W(t-2) is High) and (W(t) is High) and (WD(t) is High) then Output9	-2.195	3.249	-0.086	17.920

季節風波浪模式評估

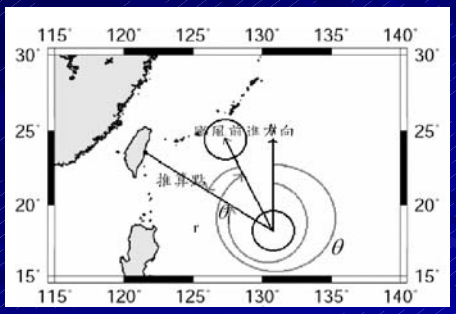
台中WNAF學習過程之模糊規則輸出表

Rule Description	a	b	c	d
1. If (W(t-2) is Low) and (W(t) is Low) and (WD(t) is Low) then Output1	-0.522	-0.172	-0.002	-1.669
2. If (W(t-2) is Low) and (W(t) is Low) and (WD(t) is High) then Output2	0.228	0.238	-0.004	3.375
3. If (W(t-2) is Low) and (W(t) is High) and (WD(t) is Low) then Output3	-1.889	0.197	-0.057	12.415
4. If (W(t-2) is Low) and (W(t) is High) and (WD(t) is High) then Output4	-1.119	1.919	-0.051	-6.598
5. If (W(t-2) is High) and (W(t) is Low) and (WD(t) is Low) then Output5	-1.140	-1.042	0.012	31.371
6. If (W(t-2) is High) and (W(t) is Low) and (WD(t) is High) then Output6	-0.551	1.217	-0.019	7.853
7. If (W(t-2) is High) and (W(t) is High) and (WD(t) is Low) then Output7	-0.575	-0.864	-0.113	39.733
8. If (W(t-2) is High) and (W(t) is High) and (WD(t) is High) then Output9	-0.216	-0.365	-0.085	48.341

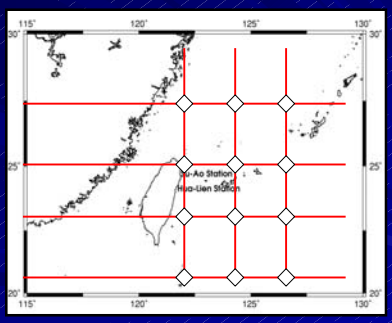
季節風波浪模式評估

		花蓮			台中		
		r	ε	β	r	ε	β
2005	春	0.604	0.311	0.013	0.669	0.689	0.107
	夏	0.253	0.286	-0.126	0.589	0.379	-0.167
	秋	0.719	0.510	-0.015	0.611	0.451	0.067
	冬	0.580	0.370	0.121	0.726	0.505	0.006
	學習	0.670	0.370	-0.002	0.716	0.509	0.003
2006	春	0.533	0.336	0.157	0.701	0.514	0.177
	夏	0.405	0.314	-0.204	0.669	0.409	-0.190
	秋	0.682	0.400	-0.070	0.679	0.424	-0.207
	冬	0.561	0.319	0.111	0.674	0.471	-0.075
	預測	0.629	0.339	0.004	0.763	0.454	-0.083
兩年		0.654	0.355	0.002	0.736	0.481	-0.043

颱風波浪及暴潮模式

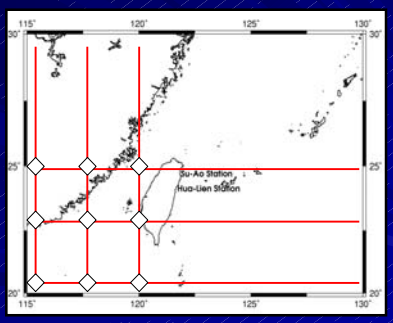


颱風波浪及暴潮模式



台灣東岸 12個虛擬觀測站位置

颱風波浪及暴潮模式



台灣西岸9個虛擬觀測站位置

颱風波浪及暴潮模式

花蓮港類神經網路模式

$$H_{E1/3}(t_j) = \sum_{i=j-m}^{j} c_i f(V_{10}, V_{(1)10}, \ldots\ldots V_{(12)10}, r, \theta, \theta_1; t_i)$$

台中港類神經網路模式

$$H_{W1/3}(t_j) = \sum_{i=j-m}^{j} c_i f(V_{10}, V_{(1)10}, \ldots\ldots V_{(9)10}, r, \theta, \theta_1; t_i)$$

颱風波浪及暴潮模式

東岸花蓮港颱風波浪與暴潮類神經網路模式

$$H_{E1/3} = f_1(W_{S2\times S1} \cdot f_1(W_{S1\times(R^*n)}[I_{1R\times1}]_{n\times1} + b_{S1\times1}) + b_{S2\times1})$$

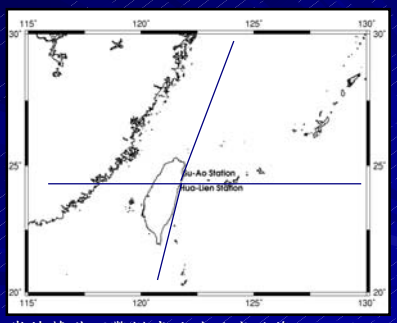
$$Tide_{E1/3} = f_1(W_{S2\times S1} \cdot f_1(W_{S1\times(R^*n)}[I_{1R\times1}]_{n\times1} + b_{S1\times1}) + b_{S2\times1})$$

西岸台中港颱風波浪與暴潮類神經網路模式

$$H_{E1/3} = f_1(W_{S2\times S1} \cdot f_1(W_{S1\times(R^*n)}[I_{1R\times1}]_{n\times1} + b_{S1\times1}) + b_{S2\times1})$$

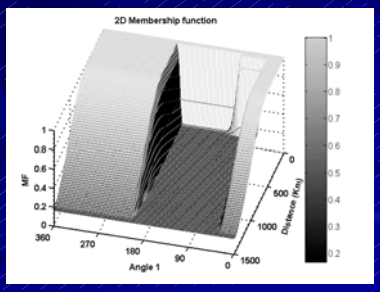
$$Tide_{E1/3} = f_1(W_{S2\times S1} \cdot f_1(W_{S1\times(R^*n)}[I_{1R\times1}]_{n\times1} + b_{S1\times1}) + b_{S2\times1})$$

陸地效應之修正



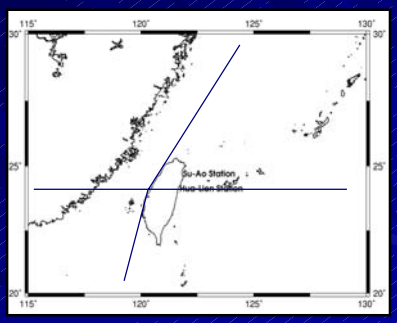
東岸花蓮港預警模式陸地效應的修正

陸地效應之修正



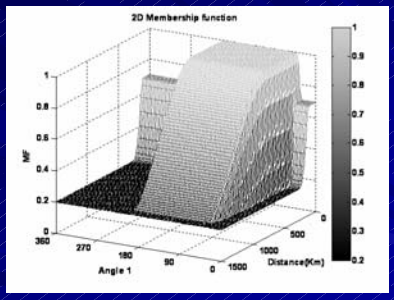
東岸花蓮港預警模式陸地效應修正的二維模糊關係函數

陸地效應之修正



西岸台中港預警模式陸地效應的修正

陸地效應之修正



西岸台中港預警模式陸地效應修正的二維模糊關係函數

陸地修正之類神經網路模式

$$\overline{H_{E1/3}} = f_2(W_{S2\times S1} \cdot f_1(W_{S1\times(R^*n)}[\overline{I}_{R\times 1}]_{n\times 1} + b_{S1\times 1}) + b_{S2\times 1})$$

where $\overline{I} = [H_{E1/3}]^T \times MF\ (r, \theta_1)$, n is the time lag.

$$\overline{H_{W1/3}} = f_2(W_{S2\times S1} \cdot f_1(W_{S1\times(R^*n)}[\overline{I}_{R\times 1}]_{n\times 1} + b_{S1\times 1}) + b_{S2\times 1})$$

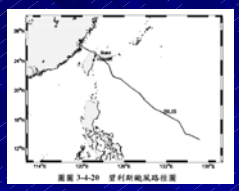
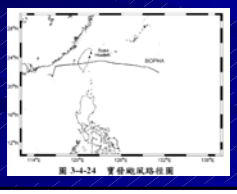
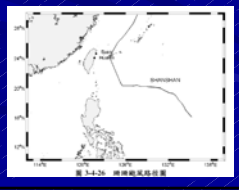
where $\overline{I} = [H_{W1/3}]^T \times MF\ (r, \theta_1)$, n is the time lag.

$$\overline{Tide}_{E} = f_2(W_{S2\times S1} \cdot f_1(W_{S1\times(R^*n)}[\overline{I}_{R\times 1}]_{n\times 1} + b_{S1\times 1}) + b_{S2\times 1})$$

where $\overline{I} = [Tide_{E}]^T \times MF\ (r, \theta_1)$, n is the time lag.

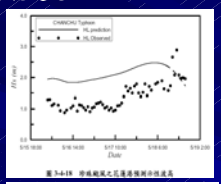
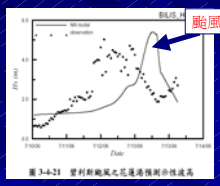
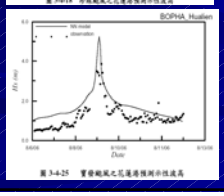
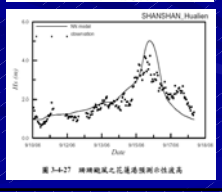
$$\overline{Tide}_{W} = f_2(W_{S2\times S1} \cdot f_1(W_{S1\times(R^*n)}[\overline{I}_{R\times 1}]_{n\times 1} + b_{S1\times 1}) + b_{S2\times 1})$$

颱風波浪之推算結果評估

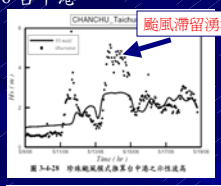
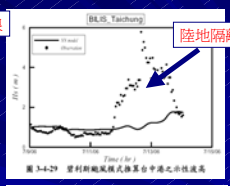
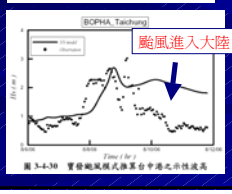
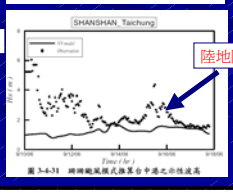
颱風波浪之推算結果評估

2006 花蓮港



颱風結構變動



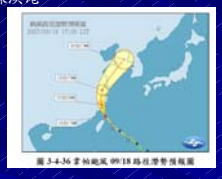
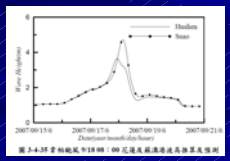
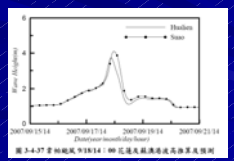
颱風波浪之推算結果評估

2006 台中港


颱風滯留湧浪

陸地隔離區間

颱風進入大陸

陸地隔離區間

颱風波浪之推算結果評估

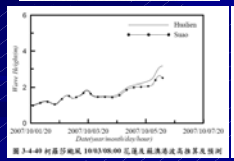
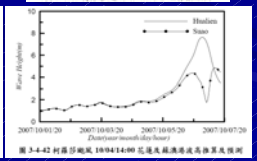
韋帕(WIPHA，2007)颱風--花蓮港、蘇澳港

颱風波浪之推算結果評估

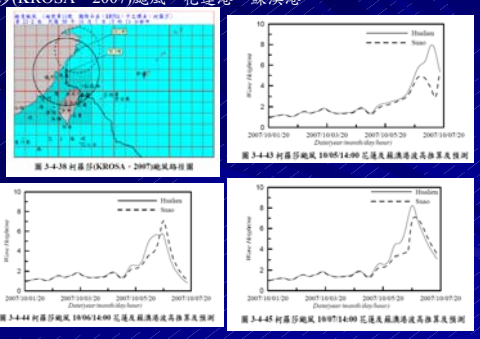
柯羅莎(KROSA，2007)颱風 --花蓮港、蘇澳港



颱風波浪之推算結果評估

柯羅莎(KROSA，2007)颱風 --花蓮港、蘇澳港



結論(1)

- 由WANF模式所推算之波浪相關性花蓮約在0.6以上，台中約在0.7以上。其絕對誤差花蓮約為0.36公尺，台中約為0.48，相對誤差bias約為0.002及-0.043公尺。由此顯示本模式之推算結果，可實際應用於季節風浪之推算及統計分析，未來將完成各港的模式建立，並可實際進行作業化之風浪推算。
- 颱風波浪推算模式建立初期，受限實測資料有限，學習資料的數量較少，尤其台中港2005年直接影響台中港的颱風事件中僅紀錄一場完整颱風波浪資料，使的部分非學習的颱風事件在颱風風場、路徑等有極大變動的情形下產生較大的誤差。如碧利斯颱風、珊珊颱風等產生最大波浪與到達時間的誤差。

結論(2)

- 颱風陸地效應的修正：針對颱風以不同方向或路徑接近台灣時，台灣陸地對各類路徑颱風風場的影響應有顯著的差異，尤其台灣西部海域更加複雜，需要修正颱風與陸地影響關係提高推算的準確性。
- 修正輸入資料格式：操作者將直接由JTWC或UNISYS WEATHER發佈的颱風資料初步過濾後直接輸入，減少操作者因進行資料內差步驟時可能產生的誤差。
- JTWC或UNISYS WEATHER發佈最新颱風資料的時間不一定準時，因此使的颱風波浪預報時間相對不確定，但目前仍然可達成至少颱風未來24小時颱風波浪預報。

更新防救災預報網站

更新網站架構及內容 (1)

網站架構概念

重新建構網站之設計是以使用者一目了然的架框結構來當作開發基礎。將網頁切割成三個FRAME(頁框)；左頁框放計劃執行相關單元選單，右頁框則當作顯示頁面，上頁框則是作為本網站BANNER顯示處。另外，版面以水藍來做設計底圖及動畫為原則，一為此網站與"海"相關，二來整體以舒服為訴求。



TaiCOMS網站架構概念

更新網站架構及內容 (2)

階層概念選單

重新建構的網站架構是利用分門別類的方式將每個主題突顯出來，再針對每個主體內容做細部資料的呈現或查詢。

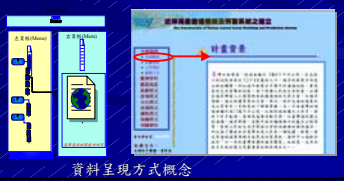


以主題為概分概念

更新網站架構及內容(3)

- **資料呈現方式**

  重構網站在資料的呈現方面，仍然以使用者的直覺化反應來作設計。當使用者在選單上點選所要觀看的主題後，在網頁上即可看到選單選項的內容資料。所以網站設計上才會將視窗以架框的格式來實現，當使用者點選左邊架框的選單後，右手邊的頁框會馬上呈現資料。



資料呈現方式概念

更新網站架構及內容 (4)

- **更新網頁內容-1**

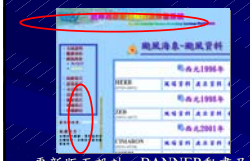
1. 更新網站用色，版面以藍色系做為底圖及動畫設計為原則，一為此網站與"海"相關，二來整體以舒服為訴求。
2. 上頁框之BANNER動畫，修改以為目前的計畫名稱為標題，並放入了港灣技術研究中心之MARK動畫。
3. 使用CSS（是W3C組織所擬定出的一套標準格式。主要是管理網頁中樣式部分，也就是網頁中與板面相關的部份都可以用CSS去做修改。）做為網頁連結方法，不但可以立即呈現動態連結樣式，且不用等待連結圖示下載完畢或另安裝Plug-in程式，即可使用。此外，亦可做為網頁物件定位功能，不會因螢幕所調解的像素不同，而所承現的排版而有所不同。

更新網站架構及內容 (5)

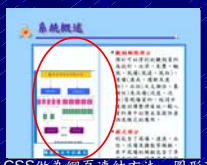
- **更新網頁內容-2**

4. 依據各個模式的本質，設計出符合各自模式的動畫小圖示。
5. 依照最新資料及需求，重新設計及建構出符合主選單項目的架構及內容。
6. 增加隨網頁出現「重要訊息」小視窗，提醒使用者重要的訊息。
7. 新增臺中港「七十二小時即時模擬」網頁，此網頁可以下拉選擇欲觀看七十二小時內單張模擬狀況，並可觀看七十二小時即時模擬動畫。
8. 增加臺中港港區八點模式點，可展現其模式之歷線圖。

更新網站架構及內容(6)



更新版面設計、BANNER動畫及內容



以CSS做為網頁連結方法－圖形連結



以CSS做為網頁定位方式－文字、圖形定位



「風壓模式」之模式說明內容及動畫小圖示

更新網站架構及內容(7)



七十二小時即時模擬網頁-下拉式選單及動畫



臺中港港區八點模式點

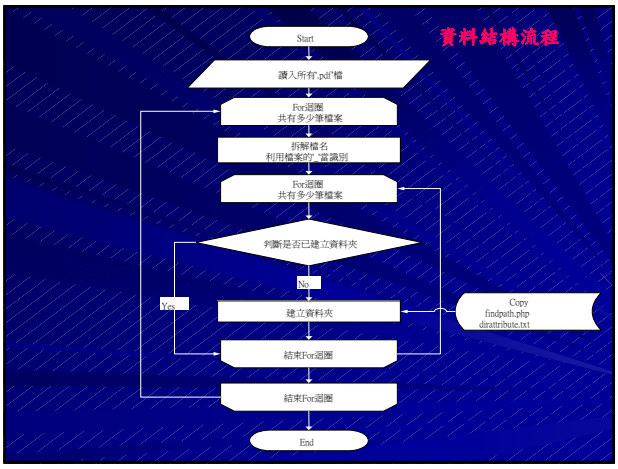
綜合查詢自動化機制

- **資料格式**

－本機制的歷年資料由蘇博士整理提供，提供的格式以'*.pdf'檔為主，各團隊所產生的圖檔為'*.gif'或'*.jpg'。為了讓資訊可以互相流通，團隊透過與蘇博士的溝通協調，制定一個命名的規範，所有參與相關單位依照此規範來產生相關檔案資訊。

－協定後按照規範命名的檔案如下：

N_WAV_HI_VW0_TC_PTA_1998_MON12_01_F&R_1.???



近岸數值模擬系統之網站連結

- 近岸數值模擬系統之網站

港區海象資訊展示系統(1)

	UrMap	Google map	Map Guide	Arc GIS
平臺	跨平臺	跨平臺	Windows	部份產品跨平臺
圖資來源	UrMap本身提供	Google map本身提供	建置者自行建置	建置者自行建置
費用	免費	免費	需要購買軟體	需要購買軟體
內嵌網頁	可以	可以	可以	可以
開放API	可以	可以	可以	可以
圖層概念	有	有	有	有
介面語言	中文	英文	中.英文	中.英文
臺灣圖資	全臺灣各地相同解析度的衛星照片	臺灣的衛星照與實際有偏移	自行購買並自行匯入	自行購買並自行匯入

由於港區海象資訊展示系統需結合TaiCOMS網頁、文字與圖形顯示技術，且考量其費用、即時性及平臺上等問題，因此本計畫以UrMap優先進行測試。

港區海象資訊展示系統(2)

➢**臺中港預報地理資訊展示系統介面**

利用URMAP之地理系統來展示臺中港預報地理資訊之展示系統，因而其介面及操作方式與使用URMAP無異。在此系統下方顯現其目前所展示之地籍中心的經緯度。

由於其所要展示的點位尚未確定，因而先以臺中港港區八個模式點為展示的點位。



使用URMAP來展示臺中港預報地理資訊展示系統

Thank You