

96-44-7261  
MOTC-IOT-95-H3DB001

# 近岸數值模擬系統之建立 (3/4)



交通部運輸研究所  
中華民國 96 年 4 月

96-44-7261  
MOTC-IOT-95-H3DB001

# 近岸數值模擬系統之建立（3/4）

著者：李忠潘、邱永芳、陳陽益、于嘉順、蘇青和  
劉正琪、林炤圭、張憲國、王兆璋

交通部運輸研究所  
中華民國 96 年 4 月

96 近岸數值模擬系統之建立  
(3/4)

交通部運輸研究所

GPN : 1009600940  
定價 400 元

國家圖書館出版品預行編目資料

近岸數值模擬系統之建立(3/4) / 李忠潘等著  
. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運研所, 民  
96  
面 ; 公分  
參考書目:面  
ISBN 978-986-00-8660-7(平裝)

1. 海洋氣象 - 自動化

444. 94029

96007081

近岸數值模擬系統之建立 (3/4)

著 者：李忠潘、邱永芳、陳陽益、于嘉順、蘇青和、劉正琪、張憲國  
林炤圭、王兆璋  
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](http://www.ihmt.gov.tw) (中文版>中心出版品)  
電 話：(04) 26587176  
出版年月：中華民國 96 年 4 月  
印 刷 者：承亞興企業有限公司  
版(刷)次冊數：初版一刷 130 冊  
本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站  
定 價：400 元  
展 售 處：  
交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880  
國家書坊臺視總店：臺北市八德路 3 段 10 號 B1•電話：(02)25781515  
五南文化廣場：臺中市中山路 6 號 • 電話：(04)22260330

GPN : 1009600940

ISBN : 978-986-00-8660-7 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

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

# 交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：近岸數值模擬系統之建立（3/4）

國際標準書號(或叢刊號) 978-986-00-8660-7 (平裝)	政府出版品統一編號 1009600940	運輸研究所出版品編號 96-44-7261	計畫編號 95-H3DB001
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：邱永芳 研究人員：蘇青和 聯絡電話：04-26587175 傳真號碼：04-26571329	合作研究單位：國立中山大學 計畫主持人：李忠潘 研究人員：陳陽益、于嘉順、劉正琪、林炤圭、 張憲國、王兆璋、薛憲文、江朕榮、尤皓正、 許馨尹、錢維安、林立青 地址：高雄市鼓山區蓮海路 70 號 聯絡電話：07-5255067	研究期間 自 95 年 02 月 至 95 年 11 月	

關鍵詞：近岸；海象預報系統；波浪模式；水動力模式；擴散模式

## 摘要：

為保護和利用近岸海域，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 世紀配合台灣要邁向海洋國家最重要的施政項目之一。

研究計畫最終目的有以下幾項(1)建立本土化之風浪預報模式，以提供環島藍色公路全年航行之風浪資訊需求。並建立區域性之風浪模式，迅速的提供港口航運安全所需之風浪預警資訊。(2)建立本土化之水位預報模式，以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。(3)配合數值模式推算長期颱風波浪及暴潮水位，以檢討現有沿海防護設施的設計水位 設計波高標準，並做為海岸災害防護措施的依據。(4)建立臺灣大域及區域性之流場模式，迅速的提供緊急海難、港口航運安全所需之流場預警資訊。(5)建立臺灣近岸與港區包括油污及不同污染物擴散數值模式，以能訊速正確掌控海岸各種污染擴散現象，以提供救災必要之資訊。(6)配合本所海情中心業務，建立近岸防救災預報系統，並採用地理資訊系統之人性化操作界面，以利各界之使用。

本年度預期成果及效益有以下幾項(1)建立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。(2)年度侵臺颱風期及典型季風期之風壓、波浪、水位及海流模擬預報及檢驗成果評估。(3)完成臺灣環島或離島重要據點相關模式，增進預報速度及精確度。(4)長期推算臺灣環島或離島重要據點之風場、波浪、水位及海流特性。(5)更新防救災預報系統網站。(包括各種風力、波浪、水位、流場、數值大小網格及水深資料、現場觀測站等查詢)。(6)數值模式、網站資料及相關資料與技術之轉移。

出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
96 年 4 月	368	400	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、 公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機 關團體可按定價價購。

## 機密等級：

密 機密 極機密 絶對機密

(解密條件： 年 月 日解密， 公布後解密， 附件抽存後解密，  
工作完成或會議終了時解密， 另行檢討後辦理解密)

普通

備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。

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

<b>TITLE: Taiwan Coastal Ocean Modeling System ( 3/4 )</b>			
ISBN (OR ISSN) 978-986-00-8660-7 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009600940	IOT SERIAL NUMBER 96-44-7261	PROJECT NUMBER 95-H3DB001
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiu Yung-Fang PROJECT STAFF: Su Chin-Ho PHONE: 04-26587175 FAX: 04-26571329			PROJECT PERIOD FROM February 2006 TO November 2006
RESEARCH AGENCY: National Sun Yat-sen University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Lee Chung-Pan PROJECT STAFF: Chen Yang-Yih, Yu Jia-shun, Liu Cheng-Chi, Lin Jaw-Guei, Chang Shiahn-Kuo, Wang Chau-Chang, Shyue Shiahn-Wern, Chang Chen-Jung, Yo Hau-Cheng, Hsu Hsin-Yin, Chen Wei-An, Lin Li-Ching ADDRESS: National Sun Yat-Sen University, 70 Lien-hai Rd. Kaohsiung, Taiwan PHONE: 07-5255067			
<b>KEY WORDS:</b> <b>near-shore; ocean modeling system; wave models; hydrodynamic models; pollution transport modeling</b>			
<b>ABSTRACT:</b> <p>The major themes of the project are: (1) Continuing the development of the wind wave forecast models, which have been constructed last year. This is to append the forecast wind wave information for the navigation safety requirement around Taiwan. Wave model of local near shore area is also constructed to ensure navigation safety in the harbor areas. (2) Constructing water level prediction models. These models integrate the observed tide gauge data and numerical predictions for providing pre-warning information to prevent coastal flood damages caused by storm surges. (3) Evaluating the recent coastal defenses structures and re-set standards from the long-term simulations. (4) Constructing regional and local current models for quick supplemental information, which are required by accidents on the seas, oil spill dispersion and ship navigation and maneuvering in harbors. (5) Setting pollution transport and oil dispersion modeling system for providing information on response measures and actions. (6) Integrating into the Oceanographic Information Center to provide forecasts for the coastal disaster pre-warning system. With a user' friendly-operational interface of applying a Geographic Information System, this system can be accessed through Internet system for wide publics.</p> <p>The major objectives and the results from this year (2006) are shown as follows. (1) To construct a suitable pollution transport and oil dispersion model to simulate the concentration of pollution around Taiwan areas. (2) To predict and valuate the wind, hydrodynamic and wave model for typhoon and monsoon season. (3) To analyze results of wind, hydrodynamic and wave model for long term simulation period ( over one year. ) (4) To construct wave forecast correlation models for important locations in order to improve the prediction efficiency and the accuracy. (5) To set up database for the wave models. (6) To update the Web pages constructing for the disaster prevention system networks (including the query systems to winds, wave, level, currents, numerical grids, bathymetry data and in situ measurements).</p>			
DATE OF PUBLICATION April 2006	NUMBER OF PAGES 368	PRICE 400	CLASSIFICATION RESTRICTED SECRET UNCLASSIFIED
CONFIDENTIAL TOP SECRET			
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

# 近岸數值模擬系統之建立(3/4)

## 目 錄

中文摘要表 .....	
英文摘要表 .....	
目錄 .....	
<b>第一章 緒論 .....</b>	<b>1-1</b>
1.1 計畫背景 .....	1-1
1.2 預期完成工作項目 .....	1-3
1.3 預期成果、效益及其應用 .....	1-9
<b>第二章 模式成果評估 .....</b>	<b>2-1</b>
2.1 線上預報作業模式成果評估 .....	2-1
2.2 定點類神經網路模式成果評估 .....	2-27
2.3 風場一致性的探討 .....	2-49
2.4 波浪預報模式探討 .....	2-54
<b>第三章 擴散數值模式 .....</b>	<b>3-1</b>
3.1 河口溫鹽擴散模式 .....	3-1
3.2 臺灣海域洩油軌跡預測模式 .....	3-13
<b>第四章 近岸區域模式 .....</b>	<b>4-1</b>
4.1 近岸區域數值模擬系統 .....	4-2
4.2 近岸區域模式數值網格 .....	4-10
4.3 近岸區域模式數值模擬結果 .....	4-19
4.4 討論 .....	4-42
<b>第五章 長期模擬結果分析 .....</b>	<b>5-1</b>
5.1 波場模擬 .....	5-1

5.2 水位模擬 .....	5-12
<b>第六章 波浪資料同化 .....</b>	<b>6-1</b>
6.1 波浪推算與資料同化 .....	6-1
6.2 整合性的同化技巧 .....	6-4
6.3 波場資料同化技術的發展 .....	6-8
6.4 NOAA-NWW3 波浪預報的資料同化 .....	6-10
6.5 資料同化的評估與討論 .....	6-14
<b>第七章 結論與建議 .....</b>	<b>7-1</b>
7.1 更新狀況 .....	7-1
7.2 資料結構 .....	7-9
<b>第八章 結論與建議 .....</b>	<b>8-1</b>
8.1 線上預報成果評估 .....	8-1
8.2 波浪推算檢討 .....	8-1
8.3 類神經推算成果 .....	8-3
8.4 擴散模式 .....	8-3
8.5 近岸模式 .....	8-4
8.6 波浪資料同化 .....	8-4
<b>參考文獻 .....</b>	<b>9-1</b>
<b>附錄 A 95 年海象即時預報與現場觀測資料比較圖 .....</b>	<b>A-1</b>
<b>附錄 B 期末報告審查簡報 .....</b>	<b>B-1</b>
<b>附錄 C 期中審查意見處理情形表 .....</b>	<b>C-1</b>
<b>附錄 D 期末審查意見處理情形表 .....</b>	<b>D-1</b>

# 第一章 緒論

## 1.1 計畫背景

台灣四面環海，陸域面積約 3 萬 6 千平方公里，在這狹小的地區卻居住了 2 千 4 百萬的人口，海洋的發展方向是必然的趨勢，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。

交通部運輸研究所港灣技術研究中心長期為國內港灣建設、海岸開發及航運安全提供所需的資訊與服務，在「近岸防救災預報系統建立計畫」架構下規劃本研究計畫，期能結合國內學者藉由國外的發展經驗，以循序漸進的方式，研發一套適用於台灣海域的本土性「台灣近岸海象預報模式系統」TaiCOMS (Taiwan Coastal Operational Modeling System) 所以本計劃規劃分別建置水位與波浪的預報模式，在 92 年度完成波浪預報模式的初步建置，93 年度除了持續進行颱風波浪預報模式的校驗工作與近岸波浪模式的發展，更增加水位的模擬計算及預報系統的建置，94 年度完成了流場的計算，以供 95 度

作為推算油污擴散及污染物傳輸的路徑。波浪及水位模式則繼續利用現場觀測資料持續校正。94 年度同時將波浪及水位模式的預報結果同步更新於網站上。95 年度進行擴散模式建置，包含油污擴散及溫鹽擴散，以利近岸防災參考；同時今年度將進行線上預報模式之成果評估，包括風場、波場、水位及流場，以便得到更為可信之預報資料。

本年度研究屬交通部運輸研究所「近岸防救災預報系統之建立」計畫規劃四年合作研究計畫之第三年，本研究全程完成後可達到以下之目標：

1. 建立本土化之風浪預報模式，以提供環島藍色公路全年航行之風浪資訊需求。並建立區域性之風浪模式，迅速的提供港口航運安全所需之風浪預警資訊。
2. 建立本土化之水位預報模式，以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。
3. 配合數值模式推算長期颱風波浪及暴潮水位，以檢討現有沿海防護設施的設計水位、設計波高標準，並做為海岸災害防護措施的依據。
4. 建立臺灣大域及區域性之流場模式，迅速的提供緊急海難、港口航運安全所需之流場預警資訊。
5. 建立臺灣近岸與港區包括油污及不同污染物擴散數值模式，以能迅速正確掌控海岸各種污染擴散現象，以提供救災必要之資訊。
6. 配合本所海情中心業務，建立近岸防救災預報系統，並採用地理資訊系統之人性化操作界面，以利各界之使用。

## 1.2 預期完成工作項目

本研究全期計有四年，以下將分年列述預期完成的工作項目：

**93 年度(第一年度) 工作項目：(已完成)**

1. 建立二維全域水動力模式、二維全域天文潮波與颱風暴潮整合模式、定點類神經網路水位模式等水位計算數值模式。
2. 水位模式之二維大小網格最佳化、水深資料及邊界條件建立。
7. 至少引用歷史 8 個具代表性及 2 個今年之颱風，針對模式之暴潮水位計算結果驗證。
8. 各種水位模式相互間之計算結果優劣特性比較(包括計算精確度、計算速度、操作方便性及適用地域性等)。
9. 風場模式改進與整合。(需適用風浪模式及水位模式)
  - (1)海上風場模式：引用中央氣象局或 NOAA 等風場資料。
  - (2)颱風風場模式：引用至少 5 種以上颱風風場模式測試比較。
10. 風浪模式包括全域大小網域之風浪模式、定點類神經網路風浪模式、定點半經驗風浪模式等數值模式之精確度改進。利用後報(hindcast)方式進行數值計算之校驗、修正及各種模式之比較與擇優。
11. 風浪預報模式對年度侵臺颱風進行模擬現報(nowcast)，由中央氣象局或 NOAA 引進風場資料，並以現場觀測或 NOAA 預報波浪場資料比較驗證。
12. 建立適用近岸地區之波浪模式(包括波浪折射、繞射及反射等效應)，引用外海風浪數值模式計算之結果為邊界條件，以進行 7 個商港附近海域之波場推算，並以現場觀測波浪場資料比較驗證。
13. 臺灣環島近岸長期波浪推算及觀測資料分析，並以推算環島藍色公路海域及 7 個商港之全年風浪(包括颱風、季風)特性為重點。
14. 引用風浪數值模式進行長期波浪模擬與觀測資料之比較分析，並以 7 個商港為重點建立相關模式(correlation model)，以增進預報速度及精確度。

15. 波浪及水位模式與觀測資料之資料同化(assimilation) 解析方法建立。並配合資料同化需求，檢討臺灣環島海域海氣象觀測網設置規劃之內容。
16. 更新防救災預報系統網站。(包括各種風力、波浪、水位、流場、數值大小網格及水深資料、現場觀測站等查詢)。(新增水位，並累增風力、波浪、數值網格及水深等資料)。
17. 數值模式、網站資料及相關資料與技術之轉移。年度結束時，須將能對實測風力、波浪、潮位等物理量自動進行品管之電腦模式裝設於港研中心提供之個人電腦內，並提供其原始程式予港研中心。

#### **94 年度(上一年度) 工作項目：(已完成)**

1. 建立三維全域水動力模式，包括三維海域之網格分割、水深資料及邊界條件建立。
2. 建立二維全域海流(包括天文潮流、風區流等)模式、包括二維海域之網格分割、水深資料及邊界條件建立。
3. 至少引用歷史 8 個具代表性颱風、1 個點型東北季風及 1 個點型西南季風等條件，針對颱風或季風效應產生之海流(包括天文潮流、風驅流等)計算結果，取用現場觀測資料比較驗證。
4. 二維及三維流場模式之計算結果特性分析及比較(包括計算速度、操作方便性及適用地域性等)。
5. 風場模式改進與整合。(需適用風浪模式、水位模式及流場模式)
  - (1)海上風場模式：引用中央氣象局或 NOAA 等風場資料。
  - (2)颱風風場模式：引用不同之颱風風場模式測試比較及擇優。
6. 上一年建立之各種波浪模式精確度及計算速度改進，以自動化方式進行長期數值模擬計算，並取用現場觀測資料進行校驗、修正及各種模式之比較與擇優等。

7. 波浪預報模式對年度侵臺颱風及季風盛行時進行模擬現報(nowcast) , 由中央氣象局或 NOAA 引進風場資料 , 並以現場觀測及 NOAA 預報波浪場資料比較評估成果。
8. 上一年建立之各種水位數值模式精確度及計算速度改進 , 以自動作業化方式進行長期數值模擬計算 , 並取用現場觀測資料進行校驗、修正及各種模式之比較與擇優。
9. 水位預報模式對年度侵臺颱風進行模擬現報(nowcast) , 由中央氣象局或 NOAA 引進風場資料 , 並以現場觀測水位資料比較評估成果。
- 10.引用風浪數值模式進行長期波浪推算與觀測資料比較分析 , 以臺灣環島或離島 16 個以上重要據點建立相關模式(correlation model) , 以增進預報速度及精確度。
- 11.引用水位數值模式進行長期水位模擬與觀測資料之比較分析 , 並以 7 個商港為重點建立相關模式(correlation model) , 以增進預報速度及精確度。
- 12.波浪及水位模式與觀測資料之資料同化(assimilation) , 並引用現場觀測網量測波浪及水位資料進行測試。
- 13.臺灣環島近岸長期波浪模擬及觀測資料分析 , 並以臺灣 7 個商港重要據點推算設計波高。
- 14.臺灣環島近岸長期水位模擬及觀測資料分析 , 並以推算 7 個商港之全年極大水位(包括天文潮及暴潮)特性為重點。
- 15.更新防救災預報系統網站。(包括各種風力、波浪、水位、流場、數值大小網格及水深資料、現場觀測站等查詢)。(新增流場 , 並累增風力、波浪、水位、數值網格及水深等資料)。
- 16.數值模式、網站資料及相關資料與技術之轉移。年度結束時 , 須將風力、波浪、潮位、流場等數值模擬與現場觀測資料 , 及電腦模式之相關程式等 , 裝設於港研中心提供之個人電腦內 , 並提供其原始程式及相關使用手冊予港研中心。

## 95 年度(本年度) 工作項目：

1. 建立污染擴散數值模式:包括污染擴散模式建立、數值網格分割、水深資料、邊界條件建立及實例結果驗證。
2. 風壓預報模式成果評估:本計畫引進或建立之各種風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本中心。
3. 波浪預報模式成果評估:本計畫建立之各種波浪模式精確度、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本中心。
4. 水位預報模式成果評估:本計畫建立之各種水位模式精確度、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本中心。
5. 海流預報模式成果評估:本計畫建立之各種海流模式精確度、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本中心。
6. 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一年以上之結果(包括夏季、冬季及颱風等重點期間),並引用7個商港或氣象局之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)之風力特性。

7. 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一年以上之結果(包括夏季、冬季及颱風等重點期間)，並引用7個商港或氣象局之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)之波浪特性。
8. 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7個商港或氣象局之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)之水位特性。
9. 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7個商港或氣象局之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)。
10. 相關模式(correlation model)：在臺灣環島或離島之港口或河口重要據點(由港灣研究中心指定)，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。
11. 資料同化(assimilation)：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。
12. 更新預報系統網站：包括各種風壓、波浪、水位、流場、擴散等數值模式之模式說明、典型成果及歷年資料等查詢功能。並增補當年風壓、波浪、水位、流場等預報結果及觀測資料。另外網站需維持穩定提供每日即時預報與觀測等資訊之查詢功能。
13. 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、效益及其應用

計畫完成後，預計分年可以有下述之成果：

### 93 年度(第一年) 預期成果及效益：

1. 建立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。
2. 完成風場模式改進與整合。(適用風浪模式及水位模式)。
3. 風浪模式之精確度改進，並建立適用近岸地區之波浪模式。
4. 年度侵臺颱風波浪模擬預報。
5. 建立 7 個商港為重點之風波預報相關模式(correlation model)增進預報速度及精確度。
6. 求得環島藍色公路海域及 7 個商港之全年風浪(包括颱風、季風)特性。
7. 更新防救災預報系統網站。(包括各種風力、波浪、水位、流場、數值大小網格及水深資料、現場觀測站等查詢)。
8. 數值模式、網站資料及相關資料與技術之轉移。

### 94 年度(上一年度) 預期成果及效益：

1. 建立本土化流場數值模式，可提供環島海域及港區之流場計算。
2. 年度侵臺颱風期及典型季風期之波浪模擬預報及檢驗評估。
3. 年度侵臺颱風期之水位(包括暴潮位及天文潮位)模擬預報及評估。
4. 建立以臺灣環島或離島 16 個以上重要據點建立波浪預報相關模式(correlation model)增進預報速度及精確度。
5. 推算以臺灣 7 個商港為重要據點之設計波高。

6. 波浪及水位模式之資料同化(assimilation) , 引用觀測網量測波浪及水位資料進行測試。
7. 建立 7 個商港為重點建立水位預報相關模式(correlation model)增進預報速度及精確度。
8. 推算 7 個國內商港之全年極高水位(包括天文潮及暴潮)特性。
9. 更新防救災預報系統網站。 (包括各種風力、波浪、水位、流場、數值大小網格及水深資料、現場觀測站等查詢)。
10. 數值模式、網站資料及相關資料與技術之轉移。

#### **95 年度(本年度) 預期成果及效益:**

1. 建立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。
2. 年度侵臺颱風期及典型季風期之風壓模擬預報及檢驗成果評估
3. 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
4. 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
5. 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
6. 完成臺灣環島或離島重要據點相關模式 , 增進預報速度及精確度。
7. 長期推算臺灣環島或離島重要據點之風場特性。
8. 長期推算臺灣環島或離島重要據點之波場特性。
9. 長期推算臺灣環島或離島重要據點之水位特性。
10. 長期推算臺灣環島或離島重要據點之流場特性。
11. 更新防救災預報系統網站。 (包括各種風力、波浪、水位、流場、數值大小網格及水深資料、現場觀測站等查詢)。
12. 預報系統數值模式、網站資料及相關資料與技術之轉移。

## 第二章 模式成果評估

93 年取得中央氣象局每日預報風場，主要目標為建置每日可自動化產生預報結果的機制，於 94 年完成自動化上線預報系統，同時在 95 年初完成波浪模式移轉至中山團隊計算主機的程序，因此今年度會進行每日線上作業的成果評估，包括波浪、水位、風速及海流模式等。類神經網路建置並未加入每日上線預報，因此特將其獨立出來，單獨進行評估。

### 2.1 線上預報作業模式成果評估

今年度與去年度相同，每日進行線上預報作業，作業流程如圖 2.1，為了瞭解線上預報作業模式的精確度，今年度特別進行各種線上預報作業模式，包括水位、波浪、海流及風速的精度評估，評估方式以季為單位以及颱風案例進行報告提交，評估流程如圖 2.2。

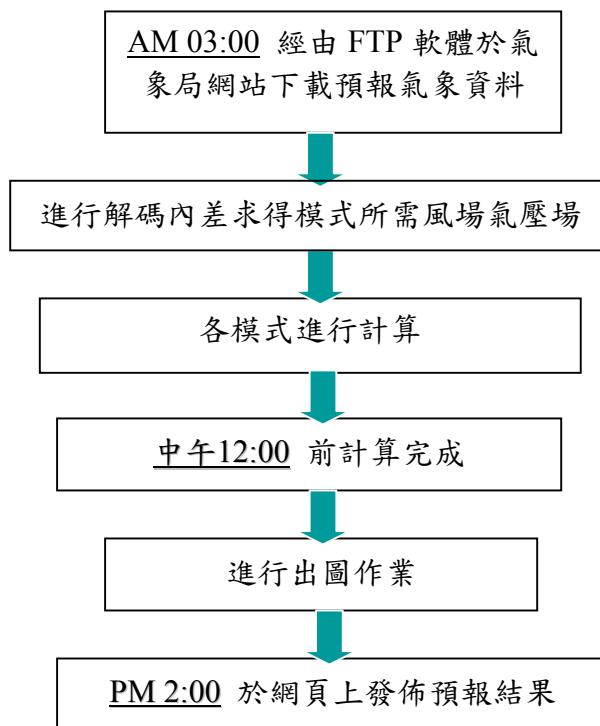


圖 2.1 TaiCOMS 系統線上預報流程

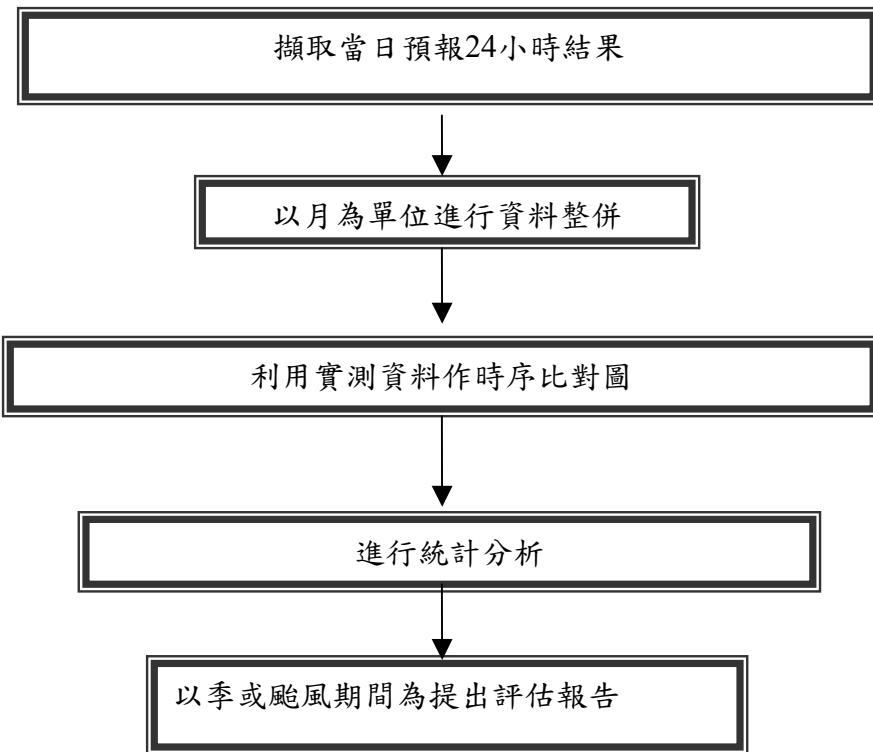


圖 2.2 預報作業評估流程圖

## 2.1.1 整季結果評估

### 2.1.1.1 第一季線成果評估

由於目前流場模式為大尺度模式，且為 2 維深度平均，解析度過大，並沒有辦法解析近岸的流場，因此不進行評估，待近岸區域流場模式建置完成後，會再進行評估比對。風場資料為氣象局提供，本團隊無法進行模式修正，且其解析度為 45 公里，對於近岸風場並無法解析，因此也暫不列入評估內。

表 2.1.1.1 為第一季期間，模式水位與實測水位的 r.m.s. 值。五個港口的中，以台中港差異最大，最大可達 4.78 公尺，基隆測站次之，r.m.s. 值落於 0.23~0.26 公尺，高雄、蘇澳及花蓮則在 0.1 公尺左右。附錄 A 圖 A.1.1 至 圖 A.1.5 為模式水位與實測水位時序圖，高雄、花蓮及蘇澳比對結果很好，雖然中間缺乏相當多實測資料，但是有值的時間點模式皆能符合資料，此部分也反應於較低 r.m.s. 值上。台中測站會產生如此大的 r.m.s. 值，配合時序圖可瞭解，實測資料相當缺乏，再加上測站水準點偏離，導致僅有 2005 年 12 月份期間 r.m.s. 值低於

1 公尺，而在 2006 年 2 月份的時序圖更可發現短時間內水準變化相當明顯，因此產生了 4.78 公尺的 r.m.s. 值。基隆測站的比對圖中，在潮時的部分模式與實測資料差距不大，但是在潮型的部分則以些許偏移，因此導致其 r.m.s. 值為次大的測站。

表 2.1.1.2 則為第一季水位實測資料的比數統計。由表上可得知第一季實測資料相當不足，比例最高的月份為基隆測站 2006 年 2 月份，但是僅有 30% 左右的資料量可供比對使用；資料量最少的月份為 2006 年 1 月，此期間較多的資料筆數為基隆的 93 筆及花蓮的 87 筆，其餘測站皆不足 20 筆。

表 2.1.1.1 第一季(2005 年 12 月~2006 年 2 月)水位 r.m.s. 值 (m)

	基隆	台中	高雄	蘇澳	花蓮
2005 年 12 月	0.26	0.72	0.12	0.08	0.09
2006 年 1 月	0.24	2.68	0.09	0.09	0.08
2006 年 2 月	0.23	4.78	0.13	0.07	0.10

表 2.1.1.2 第一季(2005 年 12 月~2006 年 2 月)實測水位資料比數

		基隆	台中	高雄	蘇澳	花蓮
2005 年 12 月	實到筆數	231	121	157	154	170
	應到筆數	744	744	744	744	744
	百分比	<b>31.048</b>	<b>16.263</b>	<b>21.102</b>	<b>20.699</b>	<b>22.849</b>
2006 年 1 月	實到筆數	93	3	17	16	87
	應到筆數	744	744	744	744	744
	百分比	<b>12.5</b>	<b>0.403</b>	<b>2.285</b>	<b>2.151</b>	<b>11.694</b>
2006 年 2 月	實到筆數	234	41	201	208	230
	應到筆數	672	672	672	672	672
	百分比	<b>31.821</b>	<b>6.101</b>	<b>29.911</b>	<b>30.952</b>	<b>34.226</b>

附錄 A 圖 A.1.6 至圖 A1.15 為波浪模式 WAM 及 SWAN 波高、週期及波向與實測資料比對圖。第一季 (2005 年 12 月至 2006 年 2 月) 波浪預報仍位於海洋大學計算，未移至中山團隊計算主機，此段期間中山大學及海洋大學網路不穩定，導致預報結果斷斷續續，產生實測

資料較模式結果多的現象。

表 2.1.1.3 及 2.1.1.4 為前兩季波浪模式波高及週期 rms 值。整體來看介於 0.2~1.6 之間，除基隆測站第一季及台中測站 3 月 rms 值有超過 1，其餘測站皆在 1 以下。週期部分，WAM 的結果就較 SWAN 來的好，整體來說，模式週期與實測資料約有 2~3 秒的差距。

就時序圖來看（粗線為 WAM 結果，細線為 SWAN 結果），波高部分，雖然第一季模式結果較缺乏，但有結果的部分與實測資料趨勢吻合，極大值的部分雖然 WAM 跟 SWAN 模式皆低估，但是趨勢上與實測資料相同。週期比對部分，模式推算的波浪週期，皆小於實測資料。波向比對部分，由於 WAM 與 SWAN 的格點解析度稍大，對於波向的解析較差，未來會進行近岸區域波浪模式建置，此時應可能到更好的比對結果。

表 2.1.1.5 為第一季各月份波浪實測資料的筆數。表中可發現，整體量測的資料品質仍不算穩定，台中測站整季無實測資料，蘇澳測站 2 月無實測資料。平均來看，波浪實測資料的筆數約為 70%左右，比起水位資料部分好很多，部分月份可高達 9 成。

表 2.1.1.3 第一季(2005 年 12 月~2006 年 2 月)波浪模式波高 rms 值(m)

		基隆	台中	高雄	蘇澳	花蓮
2005 年 12 月	WAM	1.01	x	0.35	0.39	0.61
	SWAN	0.87	x	0.29	0.91	0.71
2006 年 1 月	WAM	1.16	x	0.29	0.67	0.75
	SWAN	1.08	x	0.3	0.81	0.61
2006 年 2 月	WAM	1.54	x	0.26	x	0.48
	SWAN	1.57	x	0.39	x	0.53

表 2.1.1.4 第一季(2005 年 12 月~2006 年 2 月)波浪模式週期 rms 值(s)

		基隆	台中	高雄	蘇澳	花蓮
2005 年 12 月	WAM	2.24	x	3.35	3.55	3.4
	SWAN	2.69	x	3.69	3.88	3.94
2006 年 1 月	WAM	2.35	x	2.32	3.24	3.69
	SWAN	3.29	x	3.65	4.23	5.13
2006 年 2 月	WAM	1.72	x	2.49	x	2.84
	SWAN	2.84	x	3.11	x	4.21

表 2.1.1.5 第一季(2005 年 12 月~2006 年 2 月)實測波浪資料筆數

		基隆	台中	高雄	蘇澳	花蓮
2005 年 12 月	實到筆數	684	0	520	389	724
	應到筆數	744	744	744	744	744
	百分比	<b>91.935</b>	<b>0</b>	<b>69.892</b>	<b>52.285</b>	<b>97.312</b>
2006 年 1 月	實到筆數	721	0	659	257	735
	應到筆數	744	744	744	744	744
	百分比	<b>96.909</b>	<b>0</b>	<b>88.575</b>	<b>34.543</b>	<b>98.79</b>
2006 年 2 月	實到筆數	644	0	638	0	665
	應到筆數	672	672	672	672	672
	百分比	<b>95.833</b>	<b>0</b>	<b>94.94</b>	<b>0</b>	<b>98.958</b>

本季評估結果，模式結果與實測資料的趨勢吻合，水位模式除台中與基隆外，其他三個港區皆有相當良好的模擬；波浪模式則因為第一季計算移往中山計算主機及網路問題導致模式結果中斷，可能使得評估的結果不盡理想，未來穩定於中山主機計算後便可取得連續資料，進行評估。

本季評估遇到最大的問題就是實測資料缺乏，另外水位實測資料水準點偏移，更增加評估的困難度。

### 2.1.1.2 第二季線成果評估

表 2.1.2.1 為第二季期間，模式水位與實測水位 r.m.s. 值統計。本季結果台中測站 4 月及 5 月無資料可進行計算，在 3 月的計算也偏大達到 1.56 公尺。其餘測站除 5 月份計算的值介於 0.3~0.45 公尺偏大外，其餘月份各測站與第一季結果相差不大。

附錄 A 圖 A.2.1 至圖 A.2.5 為第二季模式水位與實測水位時序比對圖。在 3 月至 5 月初期，模式水位階與實測水位吻合，但是在 5 月的後半段，可發現模式資料與實測資料產生時間差，此部分結果使 5 月份 r.m.s. 值較 3 月及 4 月大許多，推測這段實測資料的時間點產生誤植的現象，導致這個現象產生。

表 2.1.2.2 則為第二季實測資料筆數統計。表上明顯看出資料筆數

較第一季多，除台中測站後兩個月完全沒有資料外，其餘測站資料密度皆有 20%以上，4 月及 5 月則有 50%左右及 60%左右。

表 2.1.2.1 第二季(2006 年 3 月~5 月)水位模式 rms 值 (m)

	基隆	台中	高雄	蘇澳	花蓮
2006 年 3 月	0.23	1.56	0.1	0.1	0.12
2006 年 4 月	0.22	x	0.09	0.08	0.09
2006 年 5 月	0.44	x	0.42	0.4	0.36

表 2.1.2.2 第二季(2006 年 3 月~5 月)實測水位資料比數

		基隆	台中	高雄	蘇澳	花蓮
2006 年 3 月	實到筆數	234	59	155	183	223
	應到筆數	744	744	744	744	744
	百分比	<b>31.452</b>	<b>7.93</b>	<b>20.833</b>	<b>24.597</b>	<b>29.973</b>
2006 年 4 月	實到筆數	358	0	325	330	345
	應到筆數	720	720	720	720	720
	百分比	<b>49.722</b>	<b>0</b>	<b>45.139</b>	<b>45.833</b>	<b>47.917</b>
2006 年 5 月	實到筆數	474	0	443	446	470
	應到筆數	744	744	744	744	744
	百分比	<b>63.71</b>	<b>0</b>	<b>59.543</b>	<b>59.946</b>	<b>63.172</b>

附錄 A 圖 A.2.6 至圖 A.2.15 為波浪模式 WAM 及 SWAN 波高、週期及波向與實測資料比對圖。第一季 (2005 年 12 月至 2006 年 2 月) 波浪預報仍位於海洋大學計算，未移至中山團隊計算主機，此段期間中山大學及海洋大學網路不穩定，導致預報結果斷斷續續，產生實測資料較模式結果多的現象，此部分在第二季 (2006 年 3 月至 5 月) 波浪模式順利移交中山團隊計算主機已解決。

表 2.1.2.3 及 2.1.2.4 為第二季波浪模式波高及週期 rms 值。整體來看介於 0.2~1.4 公尺之間，除台中測站 3 月 rms 值有超過 1，其餘測站皆在 1 以下。週期部分，WAM 的結果就較 SWAN 來的好，整體來說，模式週期與實測資料約有 2~3 秒的差距。

由時序圖(圖中資料粗線為 WAM 的結果，細線則為 SWAN 的結果)，波高部分，在第二季部分結果更能看出波高趨勢與實測資料吻合，在五月份珍珠颱風來臨時，波高極值的模擬也未漏失，結果較第

一季為佳，在 WAM 與 SWAN 比較的部分，大部分時間 SWAN 推算的波高較 WAM 來的高，與實測資料也比較吻合。週期比對部分，模式推算的波浪週期，皆小於實測資料，唯珍珠颱風期間的極大值，WAM 有模擬到，SWAN 則低估。波向比對部分與第一季相同，無法與實測資料吻合。

表 2.1.2.5 為第二季各月份波浪實測資料的筆數。表中可發現，整體量測的資料品質仍不夠穩定，如基隆測站在前 2 個月資料筆數皆可達到 50% 以上，到了 5 月份突然少於 10%，台中及蘇澳測站則在第二季開始有較多的資料可以使用。整體而言資料仍有取得不穩定的現象。

表 2.1.2.3 第二季(2006 年 3 月~5 月)波浪模式波高 rms 值 (m)

		基隆	台中	高雄	蘇澳	花蓮
2006 年 3 月	WAM	0.69	1.36	0.29	0.42	0.51
	SWAN	0.67	0.79	0.31	0.44	0.43
2006 年 4 月	WAM	0.61	0.64	0.27	0.52	0.43
	SWAN	0.63	0.63	0.24	0.45	0.48
2006 年 5 月	WAM	0.32	0.88	0.34	0.39	0.39
	SWAN	0.41	0.73	0.46	0.37	0.49

表 2.1.2.4 第二季(2006 年 3 月~5 月)波浪模式週期 rms 值 (sec)

		基隆	台中	高雄	蘇澳	花蓮
2006 年 3 月	WAM	2.28	1.15	1.74	2.59	2.66
	SWAN	3.27	3.4	2.44	3.85	4.19
2006 年 4 月	WAM	2.3	1.73	1.49	2.28	2.28
	SWAN	3.63	3.49	2.3	3.37	3.75
2006 年 5 月	WAM	2.13	2.09	1.86	2.91	3.16
	SWAN	2.28	2.75	3.56	4.52	4.68

表 2.1.2.5 第二季(2006 年 3 月~5 月)實測波浪資料筆數

		基隆	台中	高雄	蘇澳	花蓮
2006 年 3 月	實到筆數	430	11	429	483	744
	應到筆數	744	744	744	744	744
	百分比	<b>57.796</b>	<b>1.478</b>	<b>57.661</b>	<b>64.919</b>	<b>100</b>
2006 年 4 月	實到筆數	653	191	614	648	698
	應到筆數	720	720	720	720	720
	百分比	<b>90.694</b>	<b>26.528</b>	<b>85.278</b>	<b>90</b>	<b>96.944</b>
2006 年 5 月	實到筆數	73	714	390	709	727
	應到筆數	744	744	744	744	744
	百分比	<b>9.812</b>	<b>95.968</b>	<b>52.419</b>	<b>95.296</b>	<b>97.715</b>

本季評估結果，水位部分在有實測資料時，模式結果皆能與實測資料吻合，除了 5 月份後段，模式結果與實測水位產生偏差，導致結果較前兩個月差。波浪比對部分，較第一季來的好，颱風造成的極大值模擬也都沒有遺失。

本季在實測資料的筆數較第一季來的多，水位資料除台中後兩個月無資料外，其他時段皆超過 20%，部分月份也有接近一半的水準，但是仍嫌不足，且在五月後期發生偏移的現象。波浪資料的筆數則較第一季多，但是穩定度還是不理想。

### 2.1.1.3 第三季線成果評估

表 2.1.3.1 為第三季(2006 年 6 月~8 月)分月計算之 r.m.s. 值。台中由於整季無資料，高雄 7 月份無資料，因此無法計算。第三季的 r.m.s. 值較前兩季大許多，在 6 月的計算結果，基隆高達 2.55 公尺，花蓮、高雄及蘇澳也分別有 0.45、0.62 及 0.59 公尺，8 月期間四個測站分別為 0.23、0.52、0.29 及 0.3 公尺，僅有蘇澳在 7 月份為 0.09 公尺表現正常。

附錄 A 圖 A.3.1 至 A.3.4 為第三季花蓮、基隆、高雄及蘇澳 4 個港區模式預報水位與實測資料比對圖，台中測站由於整季資料實測相當少，因此並未放上。由圖上發現，各測站資料缺失相當多，在水位比對上相當困難。

圖形上也可發現，除 6 月 10 日至 18 日、8 月 16 日至 20 日及 8 月 28 日至 31 日三段時間模式結果與實測水位相位產生偏移外（導致 r.m.s. 值計算過大），其餘有資料的時段，模式結果與實測結果相當吻合，推測此三段偏移的資料可能為資料庫時間誤植，此部分仍待與港研中心配合討論。基隆港部分，則為此區地形複雜，模式網格點過大無法解析，加上測站量測點並非外海測點，導致比對結果不佳。

附錄 A 圖 A.3.5 至 A.3.9 為港研中心五個港區第三季每日實測資料比數統計圖。由統計的資料，除了六月份 10 日到 18 日及八月底數天有連續的資料外，其餘各月份皆無連續的觀測資料，台中港甚至在六月及八月整個月皆無實測資料可供比對使用。

表 2.1.3.2 則為各月份實測資料比數統計，第三季的實測資料又較前兩季來的少，除了 6 月份有約 35% 左右的資料，其餘月份皆不到 25%。

表 2.1.3.1 第三季(2006 年 6 月~8 月)水位 r.m.s. 統計表(m)

	花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2006 年 6 月	0.45	2.55	0.62	0.59	X
2006 年 7 月	0.14	0.23	X	0.09	X
2006 年 8 月	0.23	0.52	0.29	0.3	X

表 2.1.3.2 第三季(2006 年 6 月~8 月)實測水位資料筆數統計

		花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2006 年 6 月	實到筆數	283	272	219	219	0
	應到筆數	720	720	720	720	720
	百分比	<b>39.31</b>	<b>37.78</b>	<b>30.42</b>	<b>30.42</b>	<b>0</b>
2006 年 7 月	實到筆數	73	88	0	30	14
	應到筆數	744	744	744	744	744
	百分比	<b>9.81</b>	<b>11.83</b>	<b>0</b>	<b>4.03</b>	<b>1.88</b>
2006 年 8 月	實到筆數	167	172	150	154	0
	應到筆數	744	744	744	744	744
	百分比	<b>22.44</b>	<b>23.12</b>	<b>20.16</b>	<b>20.7</b>	<b>0</b>

由附錄 A 之圖 A.3.10 至 A.3.18 為第三季模式波高、週期及波向與實測資料比對圖，高雄港區由於整季皆無實測資料，因此並未放上比對圖，圖中資料粗線為 WAM 的結果，細線則為 SWAN 的結果。

由圖上，在平日期間，風速並沒有很大的變化，因此波高部分實測資料差異不大，但是當颱風產生時，可以發現 WAM 所模擬的波高結果落後實測資料約一天左右，而 SWAN 的結果則比較接近實測資料，如圖上 7 月 11 日至 15 日期間；在週期比對部分，不管平日時間或是颱風時段，WAM 或是 SWAN 的結果都比實測資料來的小，而 SWAN 的結果又比 WAM 更小。

波浪比對同樣遇到跟水位相同的問題，就是實測資料量變少，前兩季的波浪資料相當完整，但是本季卻出現了高雄港整季無實測資料，基隆港僅八月底有資料，而其餘港區則在 6、7 月缺乏資料，只有台中港整季有完整的資料，如圖 A.3.19 至 A.3.23 所示。

表 2.1.3.3 為第三季實測波浪資料統計。由統計表本季共有 5 個月份完全沒有資料可供比對，除了台中測站三個月的資料筆數皆超過九成，其餘測站皆相當不穩定，僅有 5 成的資料筆數。

表 2.1.3.3 第三季(2006 年 6 月~8 月)波高 r.m.s. 統計表(m)

		花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2006 年 6 月	WAM	0.34	X	X	0.34	0.66
	SWAN	0.6	X	X	0.47	0.39
2006 年 7 月	WAM	0.97	X	X	0.97	1.13
	SWAN	0.9	X	X	0.89	0.88
2006 年 8 月	WAM	0.4	0.36	X	0.34	0.45
	SWAN	0.44	0.35	X	0.47	0.52

表 2.1.3.4 第三季(2006 年 6 月~8 月)週期 r.m.s 統計表(秒)

		花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2006 年 6 月	WAM	2.85	X	X	2.5	1.83
	SWAN	4.12	X	X	3.58	2.4
2006 年 7 月	WAM	3.27	X	X	3.41	1.78
	SWAN	5.01	X	X	5.34	2.47
2006 年 8 月	WAM	3.51	3.14	X	4.09	1.85
	SWAN	5.61	4.65	X	6.45	3.03

表 2.1.3.5 第三季(2006 年 6 月~8 月)實測波浪資料筆數統計

		花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2006 年 6 月	實到筆數	689	0	0	696	694
	應到筆數	720	720	720	720	720
	百分比	<b>95.69</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>96.67</b>	<b>96.39</b>
2006 年 7 月	實到筆數	370	0	0	378	710
	應到筆數	744	744	744	744	744
	百分比	<b>49.73</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>50.81</b>	<b>95.43</b>
2006 年 8 月	實到筆數	560	304	0	145	682
	應到筆數	744	744	744	744	744
	百分比	<b>75.27</b>	<b>40.76</b>	<b>0</b>	<b>19.49</b>	<b>91.67</b>

第三季評估結果，水位因為實測資料在 6 月及 8 月有偏移的現象，導致 r.m.s. 的計算值偏大，此部分有待與港研中心仔細討論。波浪比對結果在平常日皆相當優良，但是遇到颱風期間則會產生較大的偏差，此部分是未來仍須進行改進的地方。本季與前兩季一樣有實測資料不足的問題，資料較第一季多但是卻少於第二季，此部分是未來預報仍需要克服的問題。

#### 2.1.1.4 第四季線成果評估

表 2.1.4.1 為第四季(2006 年 9 月~11 月)分月計算之 r.m.s. 值。台中測站 9 月份無資料，因此並無 rms 計算值。由原始資料計算的 rms 值可以發現，計算出的誤差值偏大，每個測站皆有 30~40 公分的偏差，基隆港在 9 月份則高達 2.82 公尺、台中港也產生 1 公尺以上的偏差。此部分由附錄 A 之圖 A.4.1 至圖 A.4.5 的水位時序比對圖可瞭解原因。圖形上可發現第四季的水位資料每一個測站皆產生時間上的偏移，導致計算的 rms 值偏大，而由基隆港的實測資料水位資料發現其基準水位完全不對，各月份皆產生忽高忽低的現象，使基隆港 rms 值計算出 2 公尺以上的數字。

從圖 A.4.1 至圖 A.4.5 的比對資料，明顯可以看出整組資料有系統性的位移，因此本團隊嘗試將實測資料時間作調整，圖 A.4.5 至圖 A.4.9 即為模式水位與實測資料時間往前調整 12 小時候後進行比對。

可發現模式與實測資料比對結果相當良好，相位部分完全符合，計算出來的 rms 也相當理想，表 1 中括號內的數字即為實測資料調整完後所計算的，除了基隆及台中港能有超過 50 公分外，其餘測站皆小餘 15 公分。

表 2.1.4.2 為第四季實測資料品質統計，本季的實測資料量比前三季來的多，但是品質卻比較差，特別是基隆港部分，基準水位高低起伏，無法進行很好的比對。實測水位資料除了台中港 9 月份無資料，花蓮港 9 及台中港 10 月份低於 50% 的量，其餘測站資料量皆超過 60%，唯資料時間記錄部分似乎產生問題，連續兩季皆產生時間便宜的現象，此部分仍待未來跟港研中心觀測小組進行合作及討論，以便得到更優良的水位實測資料進行比對，讓本預報系統的可信度增加。

表 2.1.4.1 第四季(2006 年 9 月~11 月)水位 r.m.s. 統計表(m)

	花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2006 年 9 月	0.29(0.08)	2.82(2.81)	0.38(0.11)	0.38(0.17)	無資料
2006 年 10 月	0.39(0.1)	0.79(0.69)	0.45(0.15)	0.42(0.08)	1.03(0.51)
2006 年 11 月	0.41(0.15)	0.6(0.45)	0.48(0.14)	0.46(0.13)	0.93(0.49)

表 2.1.4.2 第四季(2006 年 9 月~11 月)實測水位資料筆數統計

		花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2006 年 9 月	實到筆數	293	504	498	504	0
	應到筆數	720	720	720	720	720
	百分比	<b>40.69</b>	<b>70</b>	<b>69.17</b>	<b>70</b>	<b>0</b>
2006 年 10 月	實到筆數	529	529	519	448	178
	應到筆數	744	744	744	744	744
	百分比	<b>71.10</b>	<b>71.10</b>	<b>69.76</b>	<b>60.22</b>	<b>23.92</b>
2006 年 11 月	實到筆數	462	463	463	457	443
	應到筆數	720	720	720	720	720
	百分比	<b>64.17</b>	<b>64.31</b>	<b>64.31</b>	<b>63.47</b>	<b>61.53</b>

圖 A.4.10 至 A.4.14 為第四季模式波高、週期與實測資料比對圖，左半部圖形為波高比對，右半部圖形為週期比對；圖 A.4.15 至圖 A.4.18 為波向與實測資料比對圖，圖中資料粗線為 WAM 的結果，細線則為 SWAN 的結果。

第四季由於沒有登入侵台的颱風，台灣附近的風速並沒有產生劇烈的變化，因此波高部分實測資料差異不大，不像第三季會產生模式結果落後實測資料的現象。在本季的比對結果，模式的波高預報趨勢皆與實測資料吻合，除了部分時段的極值低估，9 月 14~16 日（珊瑚颱風，未登陸），其餘時間 WAM 及 SWAN 模式皆能有效的進行預報；在週期比對部分，雖然模式結果的趨勢與實測資料吻合，但是不管平日時間或是颱風時段，WAM 或是 SWAN 的結果都比實測資料來的小，而 SWAN 的結果又比 WAM 更小。表 2.1.4.3 及表 2.1.4.4 為第四季波高及週期分月 rms 值計算，波高 rms 值介於 50~130 公分，週期則介於 2~8 秒之間，此部分直仍然偏大，未來能需仔細進行修正。

第四季的實測資料量又比第三季來的完整，除了高雄港 9 月無資料，其餘測站皆有實測資料。表 2.1.4.5 為第四季實測波浪資料統計。由統計表本季高雄於 9 月份完全沒有資料可供比對，以及高雄和基隆的 10~11 月資料比數低於 50% 外，其餘測站三個月的資料筆數皆超過八成，資料穩定度與第一季和第二季一樣很穩定。

表 2.1.4.3 第四季(2006 年 9 月~11 月)波高 r.m.s. 統計表(m)

		花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2006 年 9 月	WAM	0.66	0.84	無資料	0.75	1.28
	SWAN	0.88	1.23	無資料	1.06	1.28
2006 年 10 月	WAM	0.62	0.46	0.16	0.53	1.05
	SWAN	0.61	0.34	0.39	0.56	0.99
2006 年 11 月	WAM	0.46	0.61	0.18	0.43	0.93
	SWAN	0.58	0.65	0.33	0.63	0.8

表 2.1.4.4 第四季(2006 年 9 月~11 月)週期 r.m.s 統計表(秒)

		花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2006 年 9 月	WAM	5.97	4.83	無資料	6.03	2.5
	SWAN	8.03	6.76	無資料	8.18	4.32
2006 年 10 月	WAM	3.15	1.9	2.71	3.72	2
	SWAN	4.74	3.12	4.45	5.07	3.06
2006 年 11 月	WAM	2.41	2.42	2.23	2.47	2.19
	SWAN	4.25	4.31	4.26	4.17	3.63

表 2.1.4.5 第四季(2006 年 9 月~11 月)實測波浪資料筆數統計

		花蓮	基隆	高雄	蘇澳	台中
2006 年 9 月	實到筆數	699	665	0	709	600
	應到筆數	720	720	720	720	720
	百分比	<b>97.08</b>	<b>92.36</b>	<b>0</b>	<b>98.47</b>	<b>83.33</b>
2006 年 10 月	實到筆數	708	55	190	607	711
	應到筆數	744	744	744	744	744
	百分比	<b>95.16</b>	<b>7.39</b>	<b>25.54</b>	<b>81.59</b>	<b>95.56</b>
2006 年 11 月	實到筆數	586	356	403	679	679
	應到筆數	720	720	720	720	720
	百分比	<b>81.39</b>	<b>49.44</b>	<b>55.97</b>	<b>94.31</b>	<b>94.31</b>

第四季評估結果，水位因為實測資料在 9 月及 11 月有時間偏移的現象，導致 r.m.s. 的計算值偏大，經過時間調整後，計算的值便回復到合理的範圍，此部分有待與港研中心仔細討論。波浪比對結果在平常日皆相當優良，但是遇到颱風期間，即便沒有登陸，波高還是會產生較大的偏差，在週期部分則是比實測資料低估不少，此部分是未來仍須進行改進的地方。本季資料與第三季資料量比相當充足，但是在水位實測資料的值部分則較地三季不好，每個月份每個測站皆發生系統性的時間便宜，此部分是未來預報仍需要克服的問題。

## 2.1.2 颱風案例評估

根據氣象局資料，在今年第三季有發佈陸上颱風警報的颱風共有四個，分別為碧利斯（2006年7月12至15日）、凱米（2006年7月23至26日）、桑美（2006年8月9至10日）及寶發（2006年8月7至9日），如圖2.1.5.1，其中凱米及桑美為中度颱風，其餘則為輕度颱風。碧利斯颱風7月10日由熱帶性低氣壓增強為輕度颱風，並持續向西北方向移動，朝台灣前進。13日22時20分左右由宜蘭頭城附近登陸。14日13時左右由馬祖附近進入福建，15日減弱為熱帶性低氣壓。凱米颱風於7月19日在關島西南方生成，並以西北西方向朝台灣前進。21日增強為中度颱風。24日23時45分左右中心於台東縣成左駒駒n陸，並繼續以西北西方向前進。25日19時由金門附近進入福建，26日減弱為熱帶性低氣壓。桑美颱風於8月5日在關島東南海面生成，通過關島後持續以西北方向快速前進。7日強度增強為中度颱風，並轉而以西北西方向，快速朝台灣東北部海面移動。10日其中心通過台灣北部海面，且由馬祖北方進入大陸福建浙江一帶，11日減弱為熱帶性低氣壓。寶發颱風於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成左駒駒n陸，並繼續以西南西方向前進。9日7時20分在臺南附近出海，且強度快速減弱為熱帶低氣壓。

圖2.1.5.2至圖2.1.5.10為四個颱風期間水位及波浪比對圖。在碧利斯颱風期間，僅有花蓮、基隆及蘇澳及港有實測資料可供比對，但是比數相當稀少。在花蓮港的比對圖中，可發現模式在7月13及14日低估了高水位，其他時間則與實測資料相同，推測為使用動態風場，解析度過大，在氣壓及風速解析不夠導致。蘇澳港區則僅有三點實測資料，模式都能完整模擬到。波浪實測資料部分，僅有花蓮、蘇澳及台中港有資料。在波高比對上，可發現WAM的結果落後SWAN，在花蓮及蘇澳港，WAM皆遺漏第一個高點，而SWAN雖然兩個高點皆有模擬到，但是第一個高點低估波高，第二個高點則高估波高；台中港的結果則發現SWAN高點有模擬到，但是颱風過後WAM及SWAN皆高估波高。波浪週期比對，花蓮及蘇澳在颱風前期週期皆有變大的現象，但是WAM跟SWAN的週期結果在增加的速度上並沒

辦法與實測資料相同，直到颱風進入陸地後，週期值才吻合。

凱米颱風期間，有資料的水位一樣只有三個港區花蓮、基隆及蘇澳，但是每個站位的資料比數皆為個位數，無法作進一步的評估。而在波浪比對部分，則只有台中港有實測資料。在台中港波浪及週期的比對，SWAN 波高比對結果不錯，但是 WAM 的結果仍然是落後實測波高；週期則發現 WAM 跟 SWAN 皆沒有模擬到 7 月 23 日的最大週期。

桑美及寶發颱風由於時間重疊，因此將結果放在一起比較。水位資料同樣只有三個港區花蓮、基隆及蘇澳及有，然比數依然不到 10 筆，就比對結果，模式皆能模擬到實測水位。波浪資料則只有花蓮及台中有實測資料。在花蓮港的比對結果，WAM 及 SWAN 皆未能模擬到 8 月 8 至 9 日的波高極大值；台中港比對結果與花蓮類似，颱風所產生的較大波高值皆未能模擬到。週期比對結果與前兩個颱風類似，皆低估週期秒數。8 月 9 日後，SWAN 計算改為 3 小時一次，因此與之前計算時間尺度不相同，為了作圖統一時間軸，導致 8 月初 SWAN 結果在圖形上無法呈現。

綜合以上四個颱風的比對結果，最大的問題能是在實測資料的不足，無法進行更仔細的比對，無法對於預報時的準確性做評估，這是未來仍須與港研中心討論的地方。

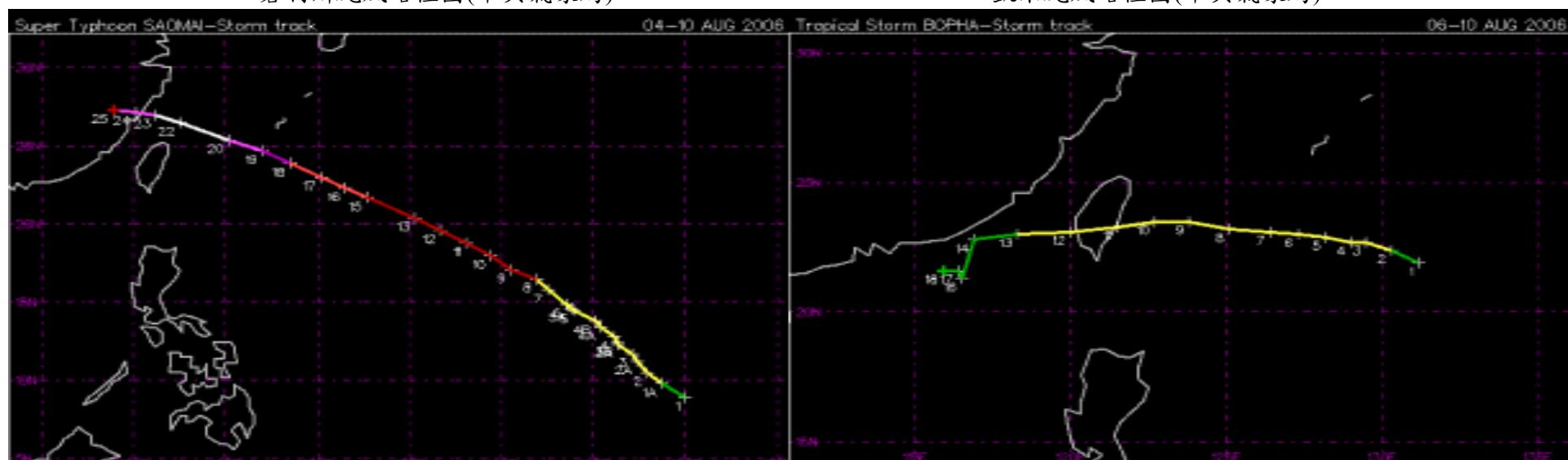
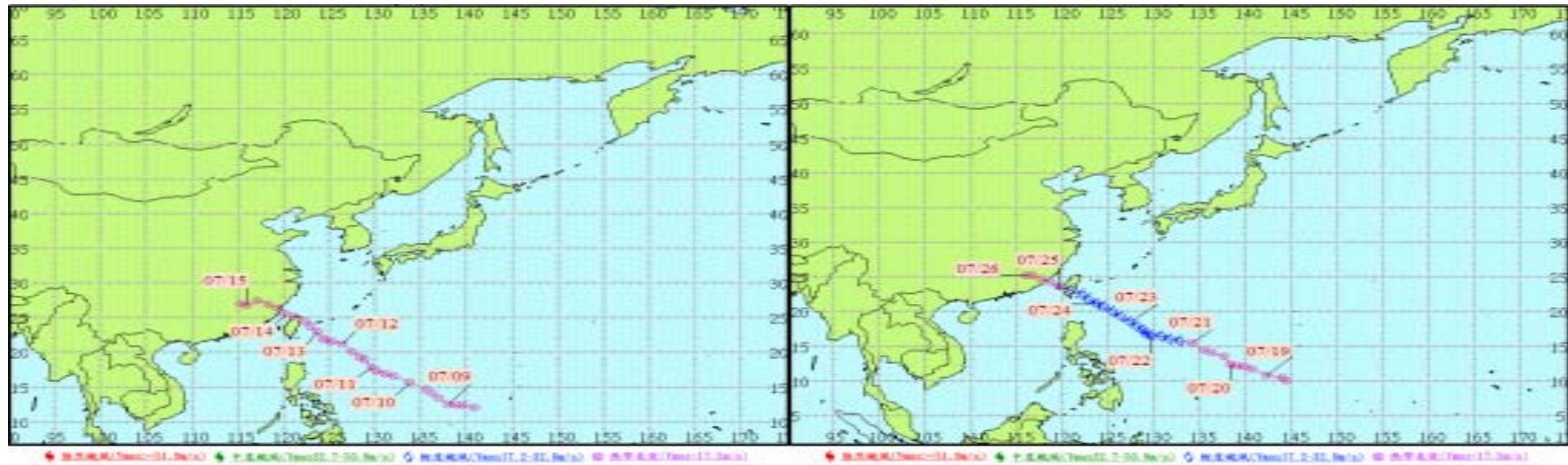


圖 2.1.5.1 本年度侵台颱風路徑圖

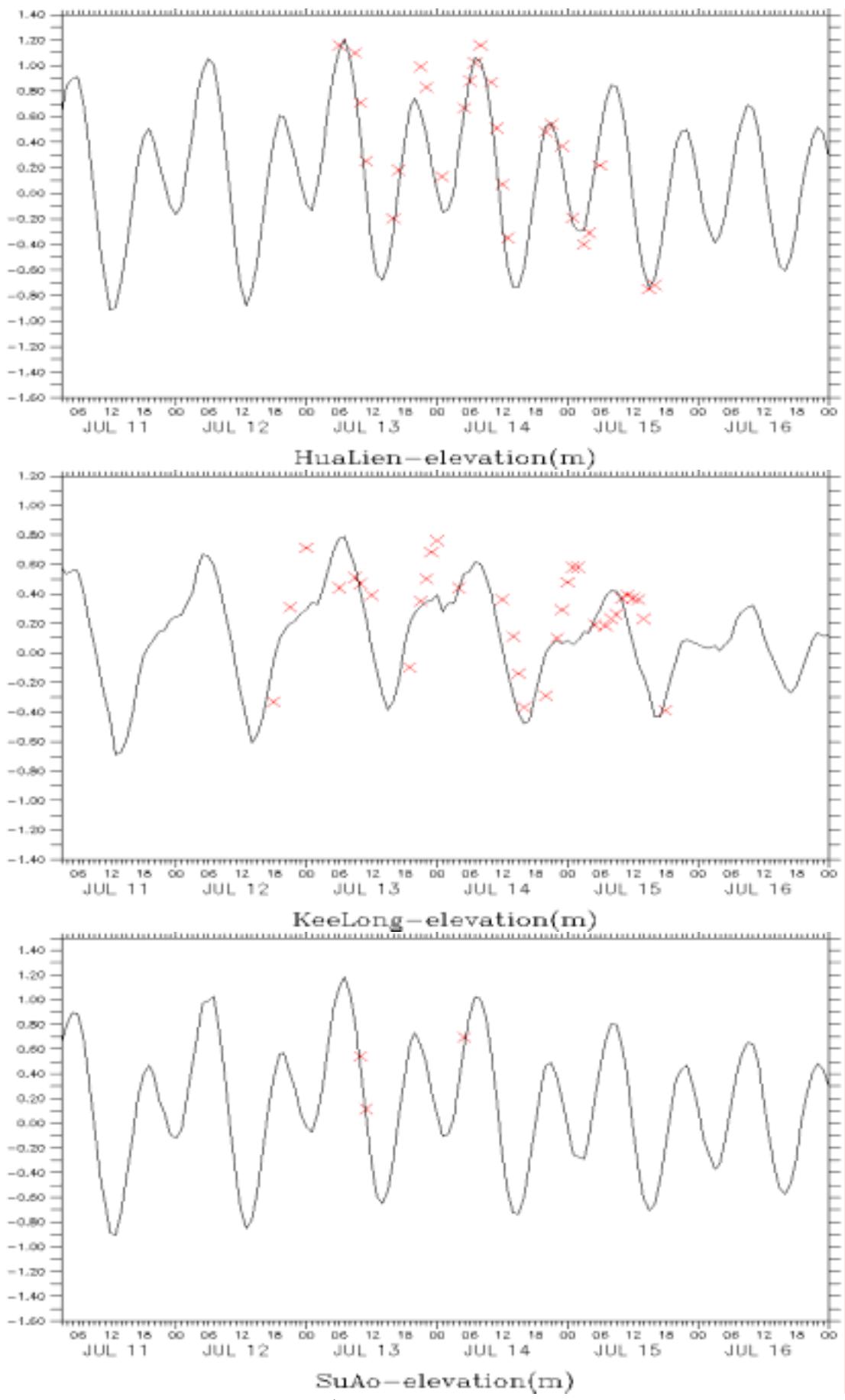


圖 2.1.5.2 碧利斯颱風期間水位比對圖

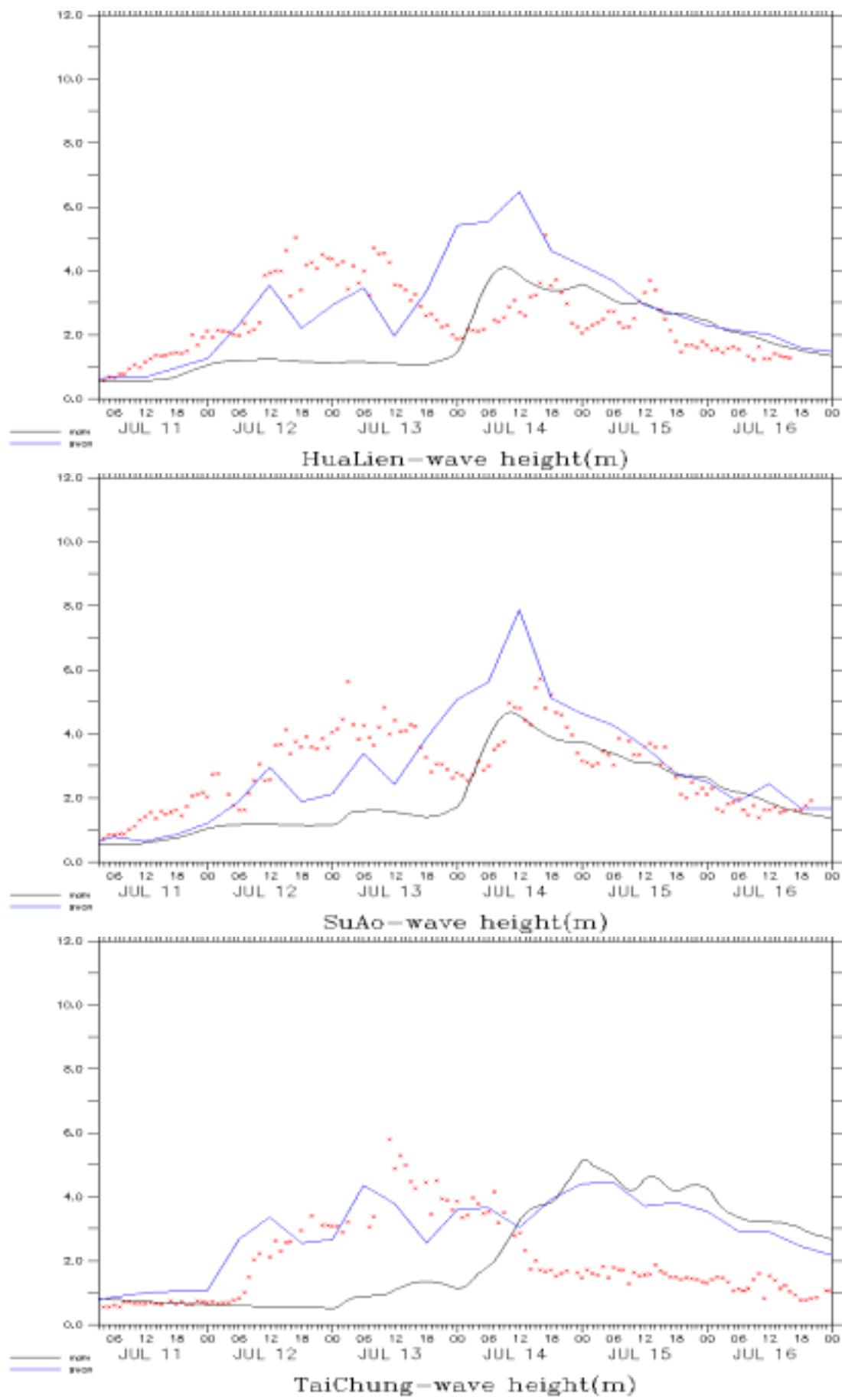


圖 2.1.5.3 碧利斯颱風期間波高比對圖

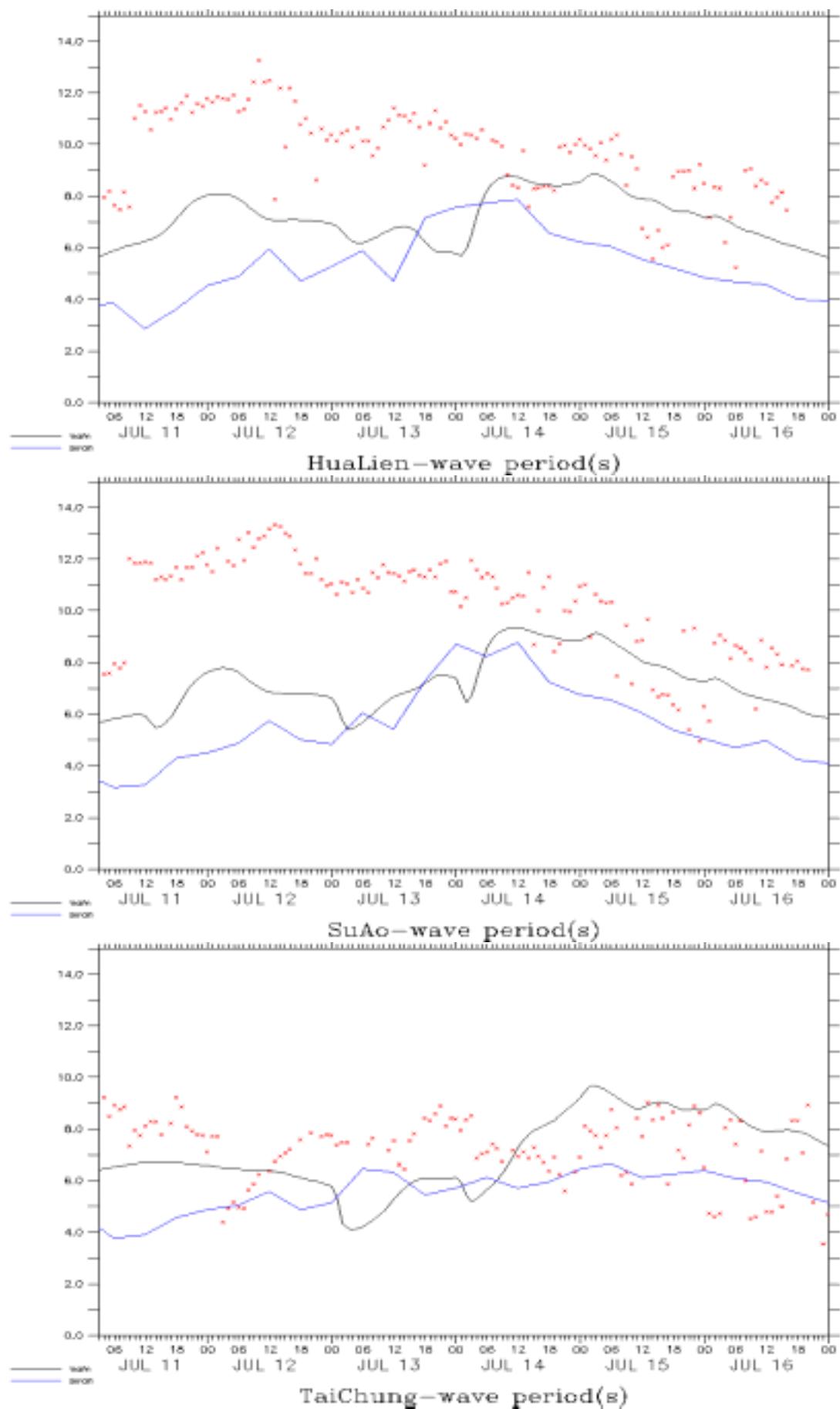


圖 2.1.5.4 碧利斯颱風期間週期比對圖

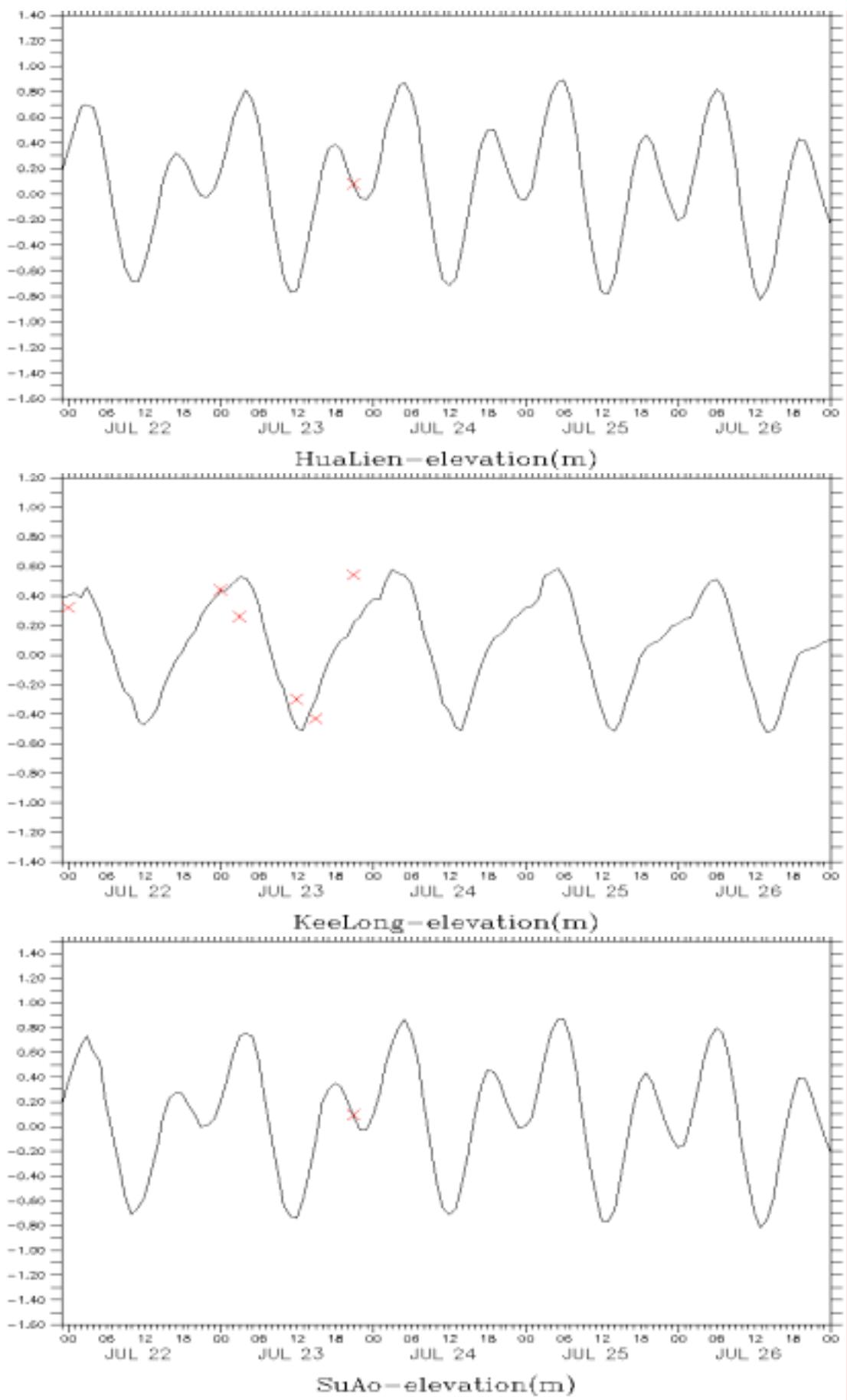


圖 2.1.5.5 凱米颱風期間水位比對圖

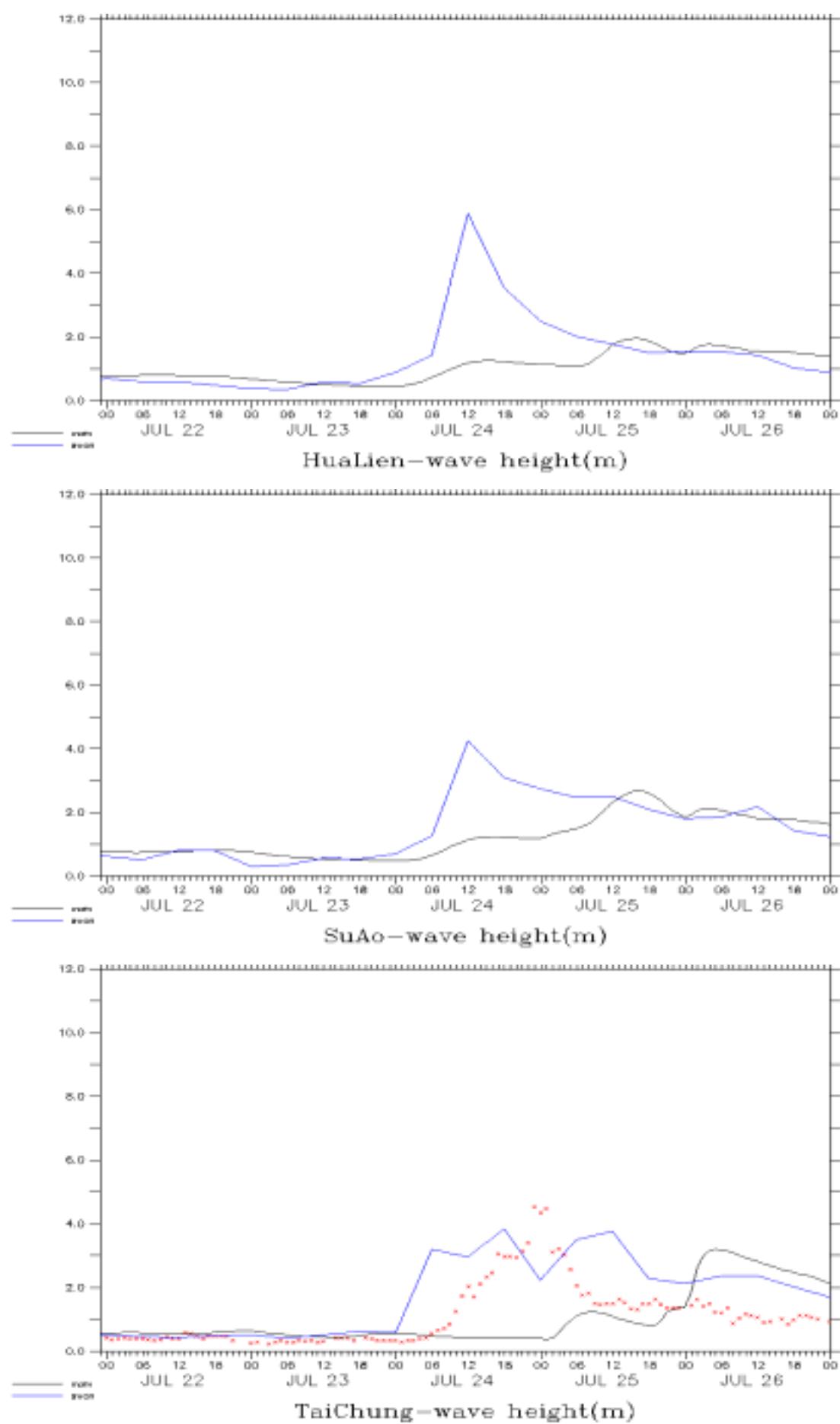


圖 2.1.5.6 凱米颱風期間波高比對圖

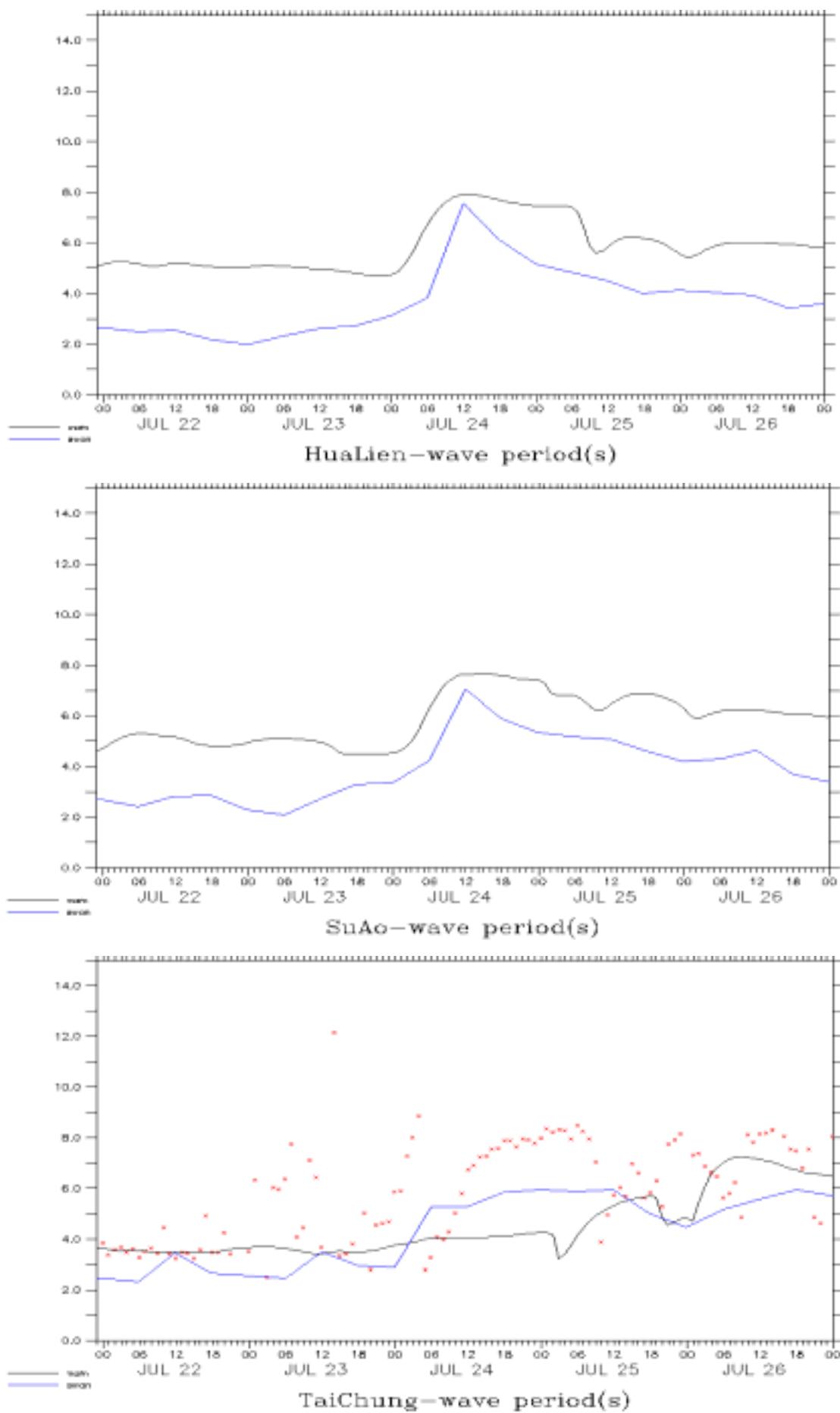


圖 2.1.5.7 凱米颱風期間週期比對圖

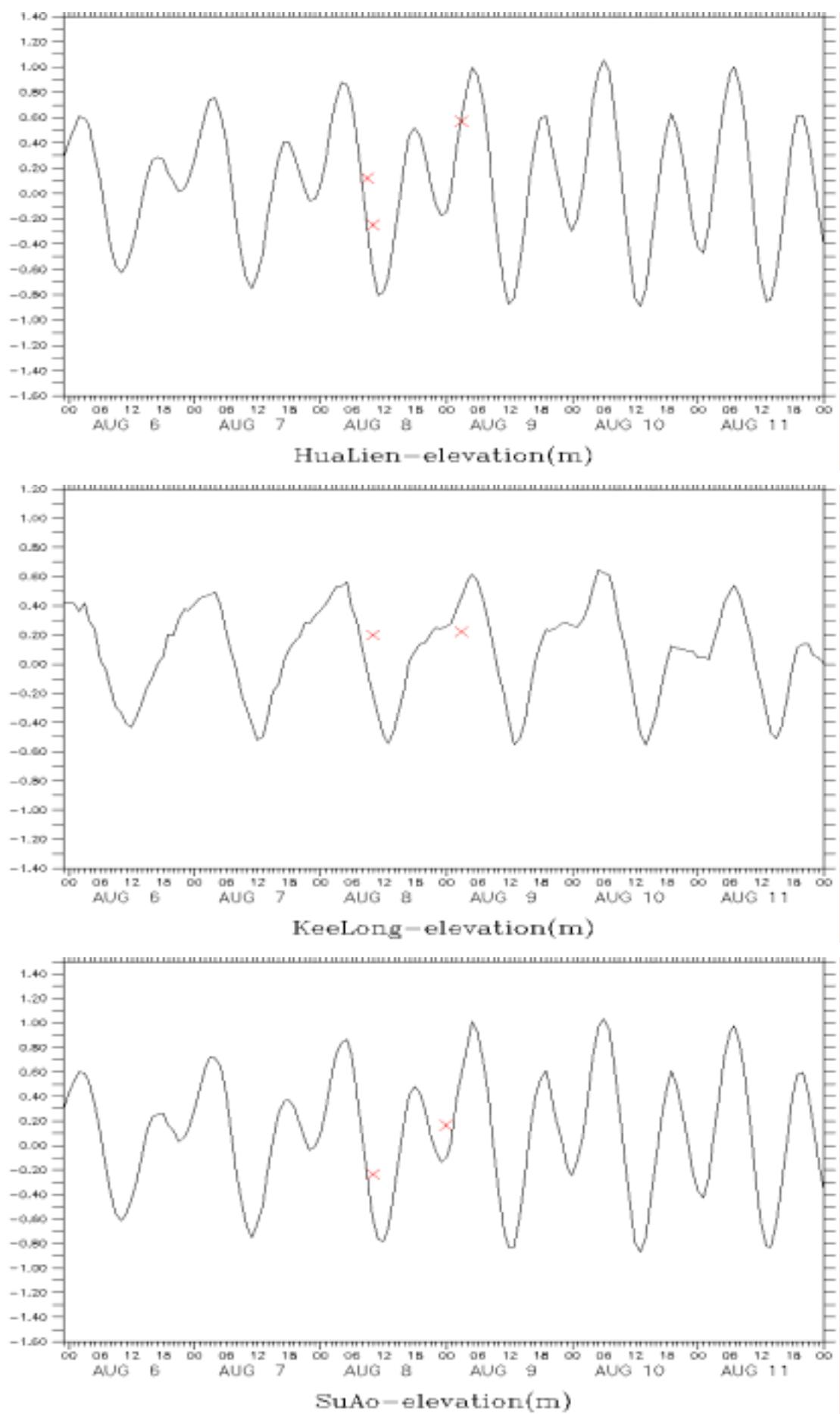


圖 2.1.5.8 桑美及寶發颱風期間水位比對圖

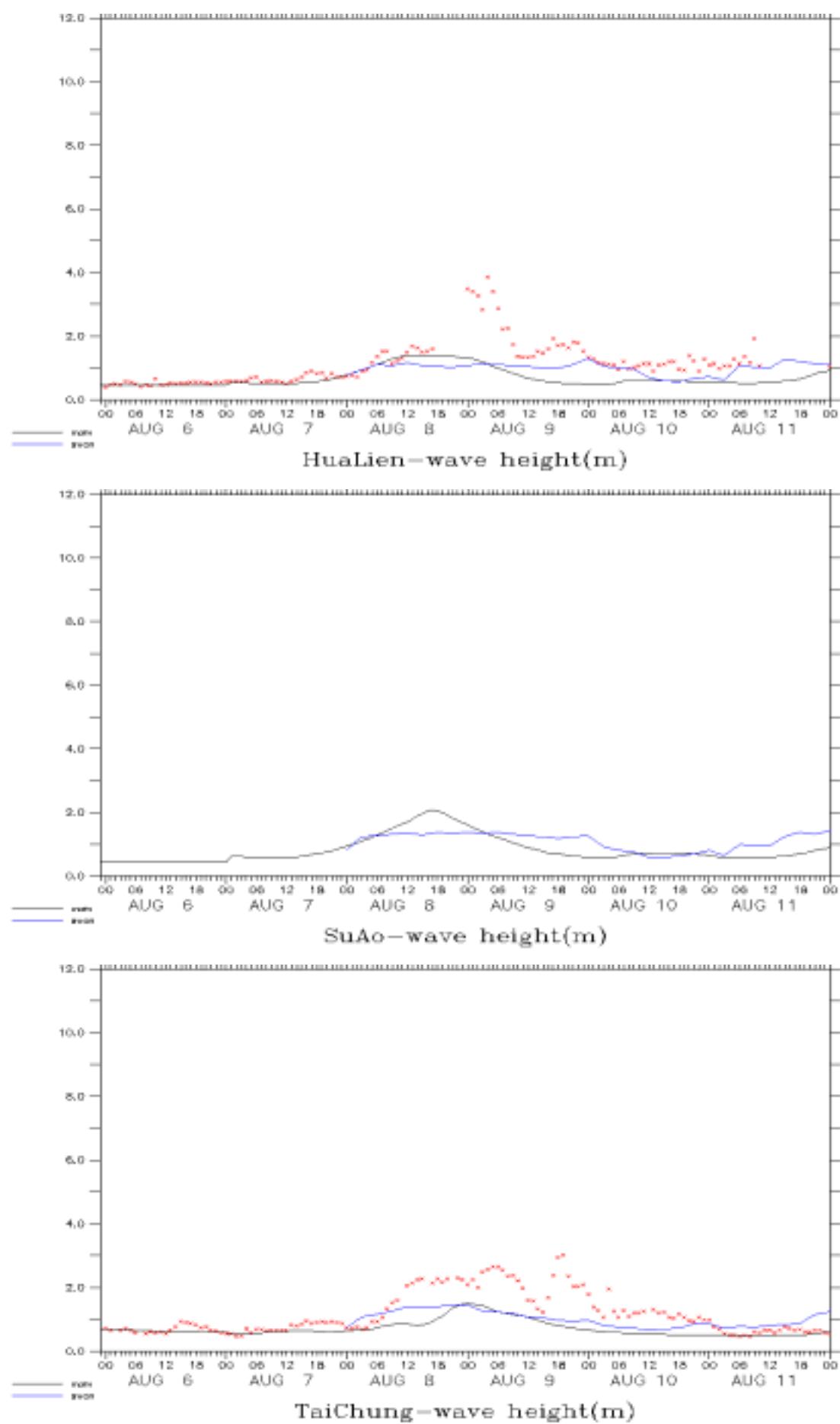


圖 2.1.5.9 桑美及寶發颱風期間波高比對圖

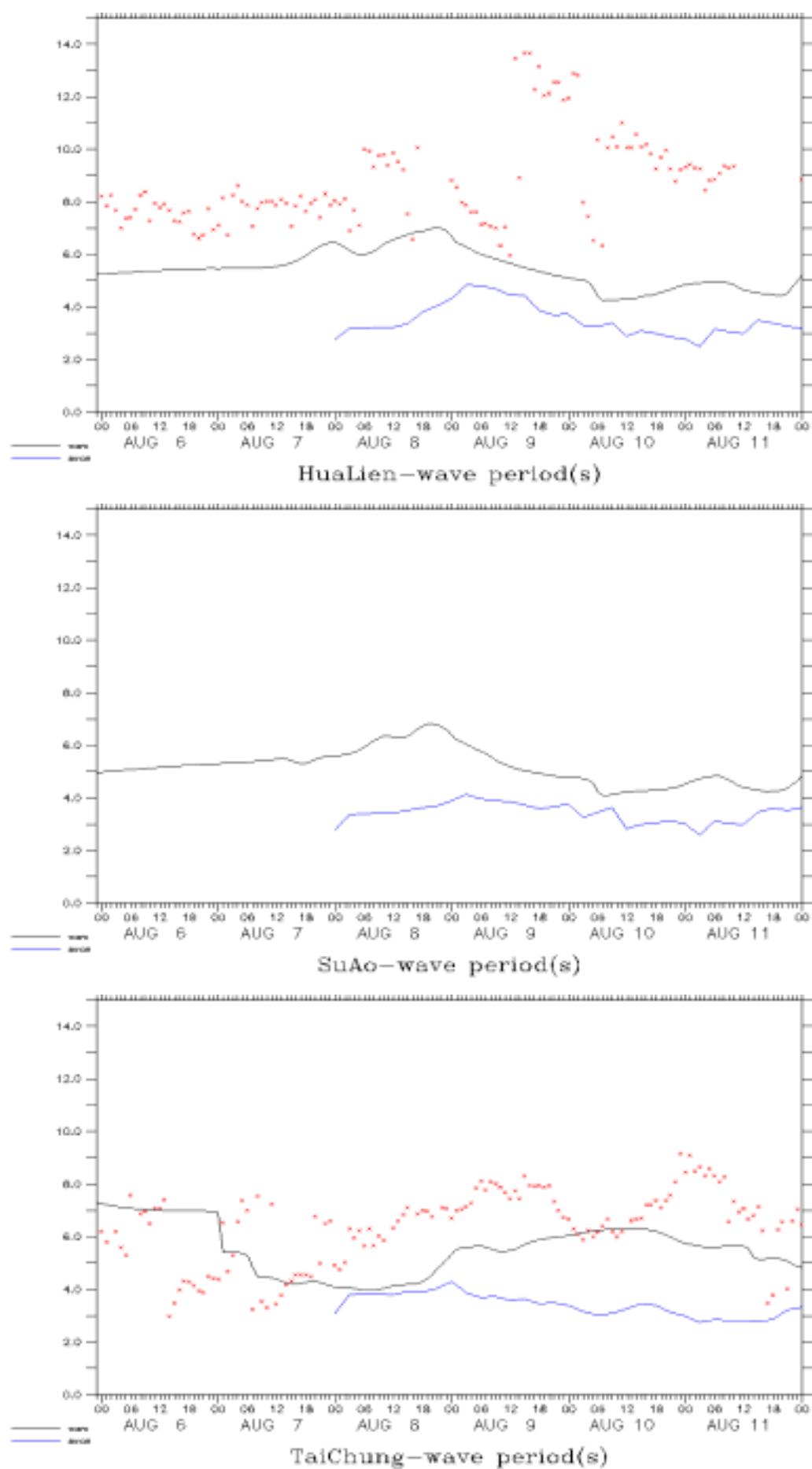


圖 2.1.5.10 桑美及寶發颱風期間週期比對圖

## 2.2 定點類神經網路模式成果評估

本計劃之類神經網路波浪預報系統包含颱風所產生的波浪，及季節風之風浪，皆以模糊理論輔以類神經網路，以建構其預報系統。本計劃於 94 年度已建構完成花蓮及蘇澳颱風波浪及季風風波浪推算模式，本年度擇進行颱風波浪模式之評估與季節風波浪之測試。

### 2.2.1 類神經網路颱風波浪預報系統

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。

本研究建構類神經網路預報模式系統的結構如圖 2.2.1.1 所示，波浪預報模式主要由三個部分主成，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，湧浪推算模式的建構，將以大氣氣象資料及波浪實測數據為主要參考資料，最後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，為了簡化能量方程式的架構，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

$$S(t_j) = \sum_{i=0}^j a_i f_1(V_{10}, r, \theta, \theta_1; t_i) \quad (2.2.1)$$

式(2.2.1)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

$$H_{1/3}(t_j) = \sum_{i=0}^j b_i f_2[S(t_i)] \quad (2.2.2)$$

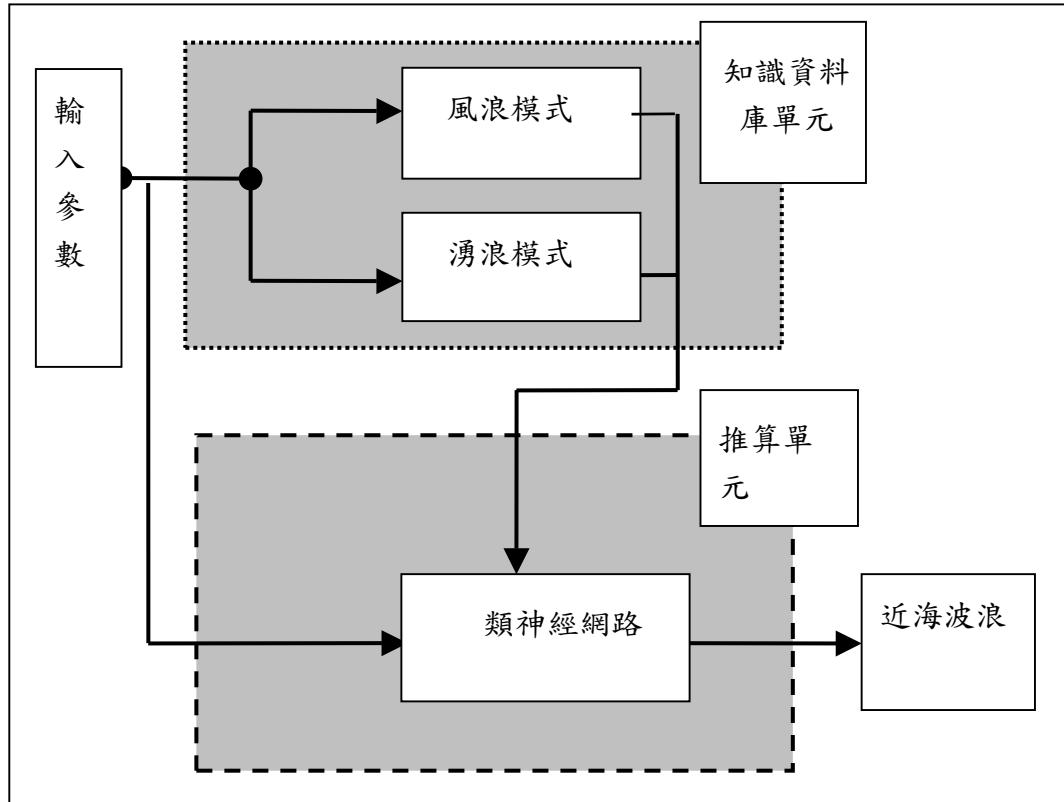


圖 2.2.1.1 類神經網路預報模式系統架構

結合式(2.2.1)及式(2.2.2)可表示颱風波浪之示性波高為不同時間  $V_{10}, r, \theta, \theta_1$  的函數

$$H_{1/3}(t_j) = \sum_{i=j-m}^j c_i f(V_{10}, r, \theta, \theta_1; t_i) \quad (2.2.3)$$

式(2.2.3)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。配合 12 個虛擬風速觀測站，式(2.2.3)可以寫成式(2.2.4)。本文將針對式(2.2.4)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(2.2.4)的架

構建立類神經網路模式。

$$H_{1/3}(t_j) = \sum_{i=j-m}^j c_i f(V_{10}, V_{(1)10}, \dots, V_{(12)10}, r, \theta, \theta_1; t_i) \quad (2.2.4)$$

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：

$$O_{P \times 1} = f(W_{S \times R} I_{R \times 1} + b_{S \times 1}) \quad (2.2.5)$$

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(2.2.5)簡單的表示方法為”S-P”，所以具有 1 個輸入項，2 個隱藏層神經元的個數分別為 10、20，一個輸出單元時，簡單的表示法為 1-10-20-1。

式(2.2.1)及式(2.2.3)中的  $V_{max}$ 、 $V_f$ 、 $V_{10}$ 、 $V_{(1)10}$ 、 $\dots$ 、 $V_{(12)10}$ 、 $r$  具有連續的特性， $\theta$  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

$$O_1 = f_1(W_{S2 \times S1} \cdot f_1(W_{S1 \times (R \times n)} [I_{1R \times 1}]_{n \times 1} + b_{S1 \times 1}) + b_{S2 \times 1}) \quad (2.2.6)$$

模式的輸出  $O_1 = [H_{1/3}, T_{1/3}]$ ，輸入函數， $I_1 = [V_{10}, V_{(1)10}, \dots, V_{(12)10}, r, \theta, \theta_1]^T$ ，輸入資料延時  $n$ 。

## 2.2.2 2006 颱風波浪之推算結果評估

本計劃於 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，推算地點仍以花蓮與蘇澳為主，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中國南海，示如圖 2.2.2.1。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，其路徑預測四次，分別為 5/16 08:00、5/16 14:00、5/17 14:00 及 5/17 20:0。本研究以四次預測時間之預測路徑進行颱風波浪之預測評估分析。



圖 2.2.2.1 颱風路徑圖

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 2.2.2.2 至 2.2.2.9。其中圖 2.2.2.2 至 2.2.2.5 為不同時間之預測路徑，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，實線表示實際路徑所推算的颱風波浪，虛線則為預測路徑所推算之波高結果並依四次路徑進行預測。圖 2.2.2.2 至 2.2.2.5 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 2.2.2.6 至 2.2.2.9 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，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，又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，並無法較完整的描述，導致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。

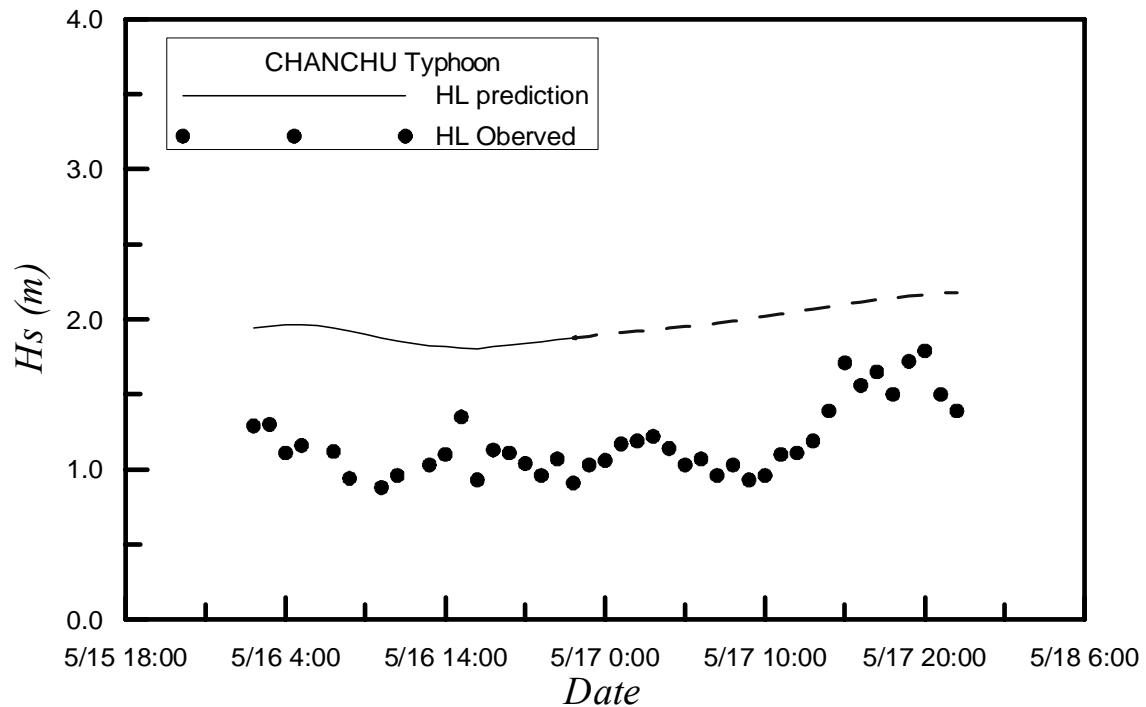


圖 2.2.2.2 珍珠颱風之花蓮港預測示性波高於預測時間(1)之路徑

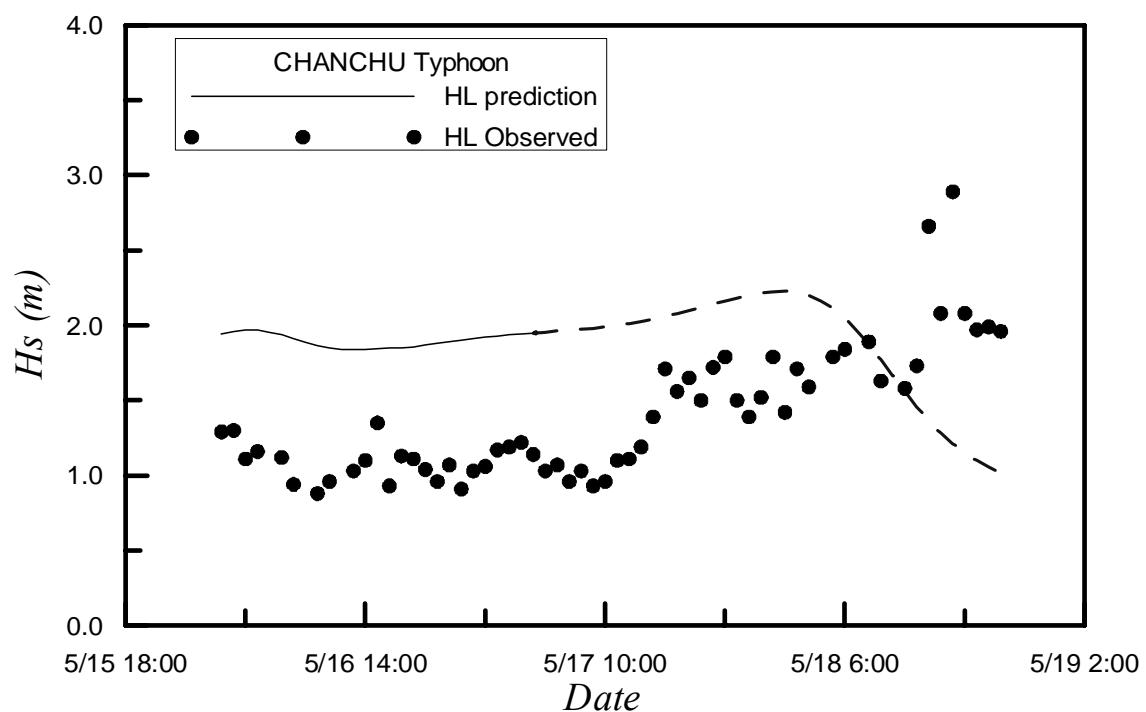


圖 2.2.2.3 珍珠颱風之花蓮港預測示性波高於預測時間(2)之路徑

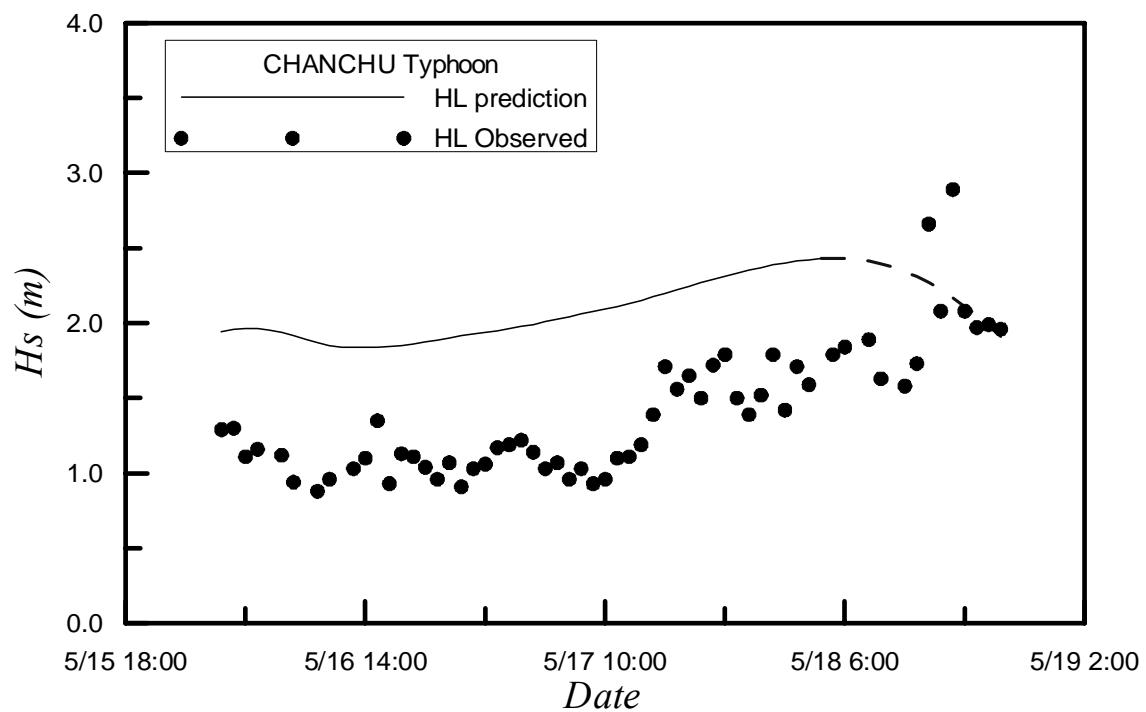


圖 2.2.2.4 珍珠颱風之花蓮港預測示性波高於預測時間(3)之路徑

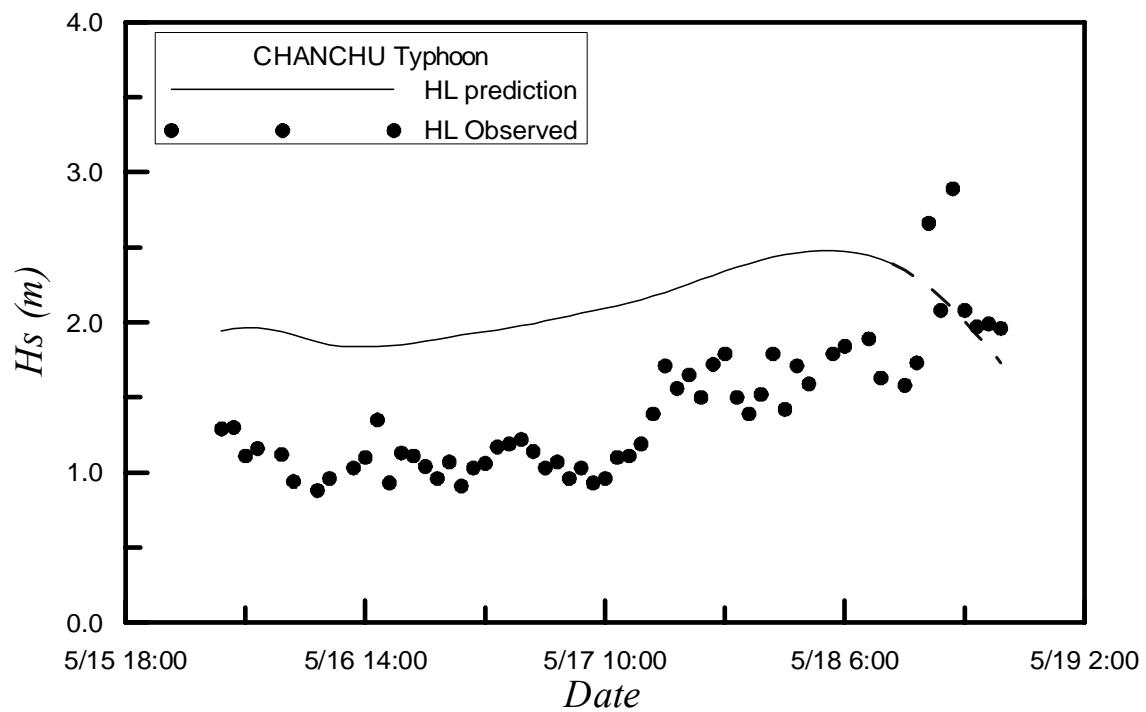


圖 2.2.2.5 珍珠颱風之花蓮港預測示性波高於預測時間(4)之路徑

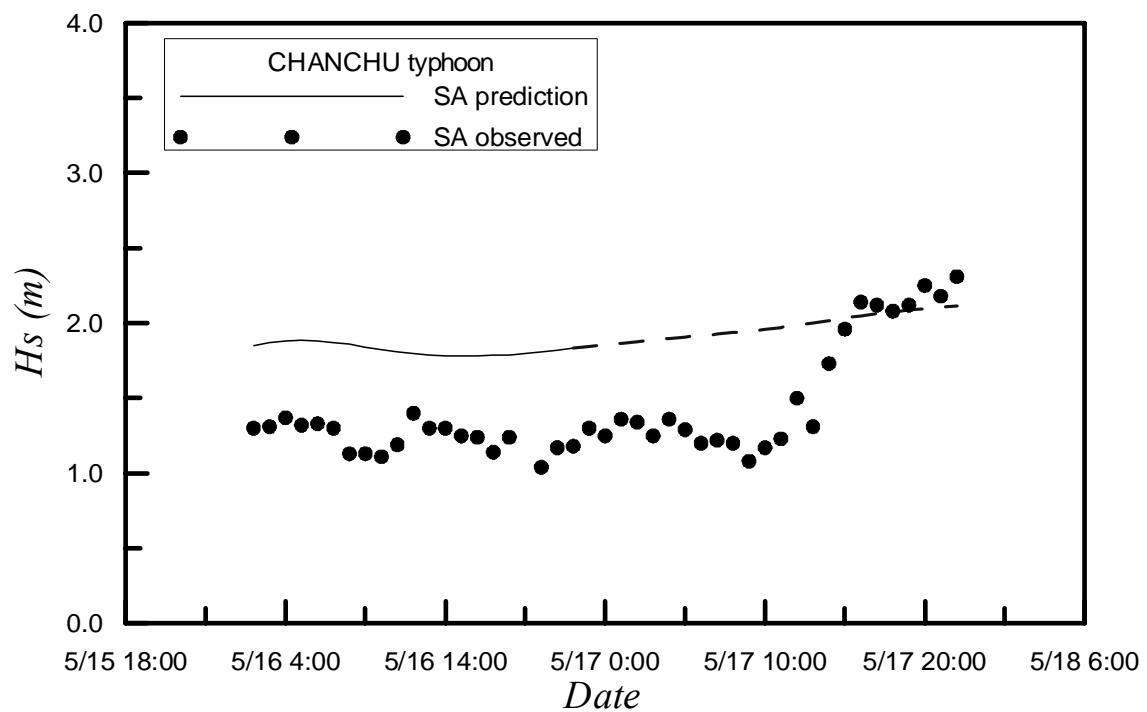


圖 2.2.2.6 珍珠颱風之蘇澳港預測示性波高於預測時間(1)之路徑

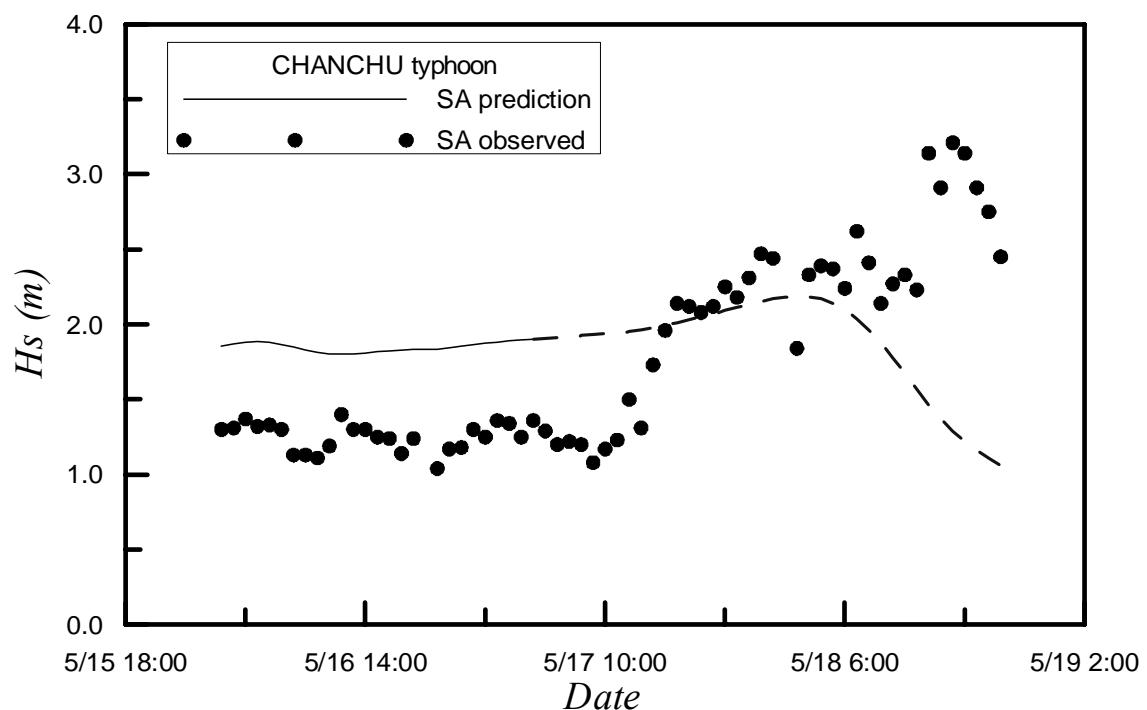


圖 2.2.2.7 珍珠颱風蘇澳港預測示性波高於預測時間(2)之路徑

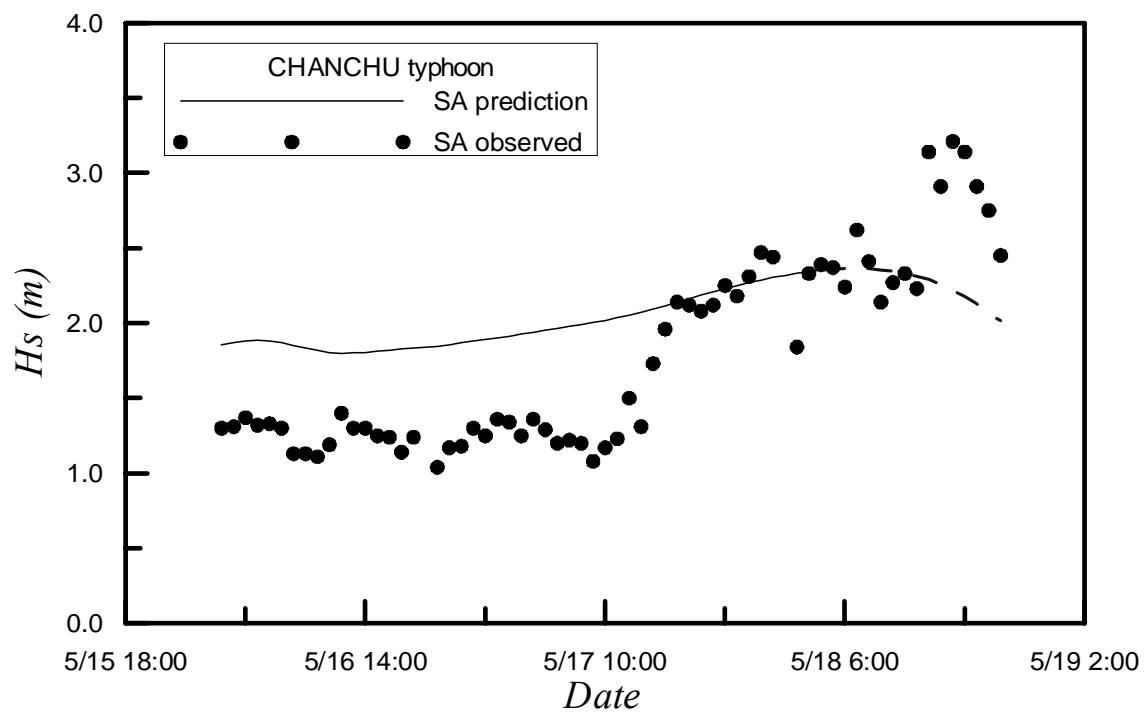


圖 2.2.2.8 珍珠颱風之蘇澳港預測示性波高於預測時間(3)之路徑

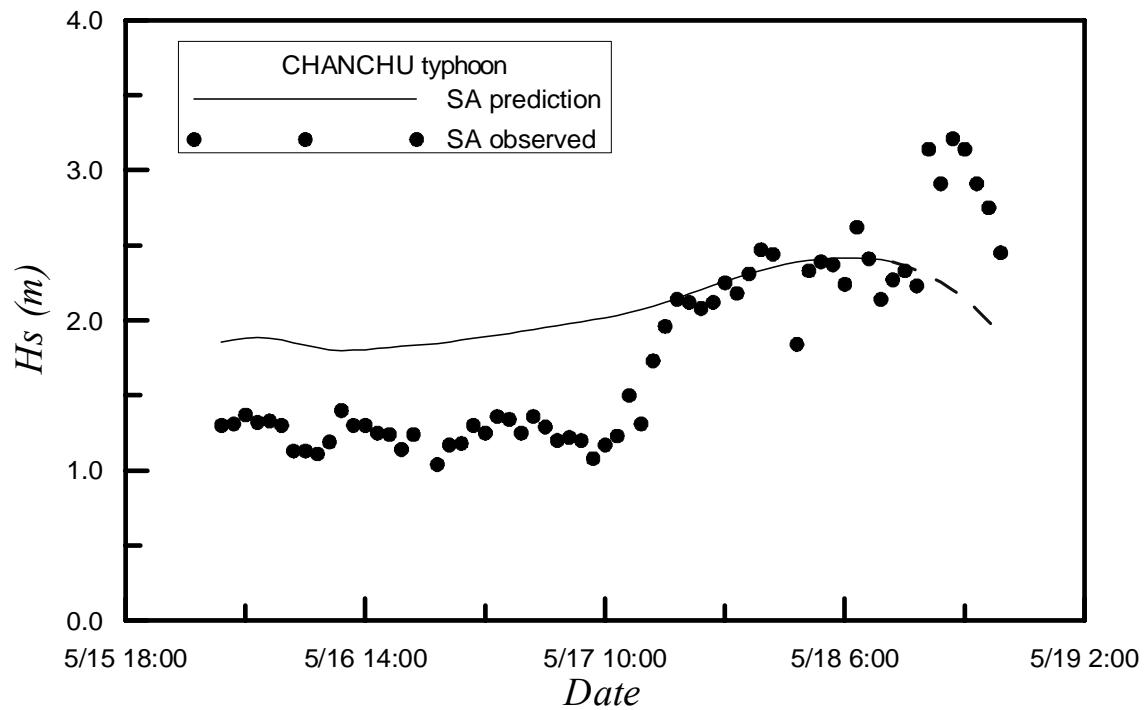


圖 2.2.2.9 珍珠颱風之蘇澳港預測示性波高於預測時間(4)之路徑

## 2.碧利斯 (Bilis, 2006) 颱風

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 2.2.2.10。其中圖 2.2.2.10 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 2.2.2.11 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 2.2.2.11 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 2.2.2.12 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。

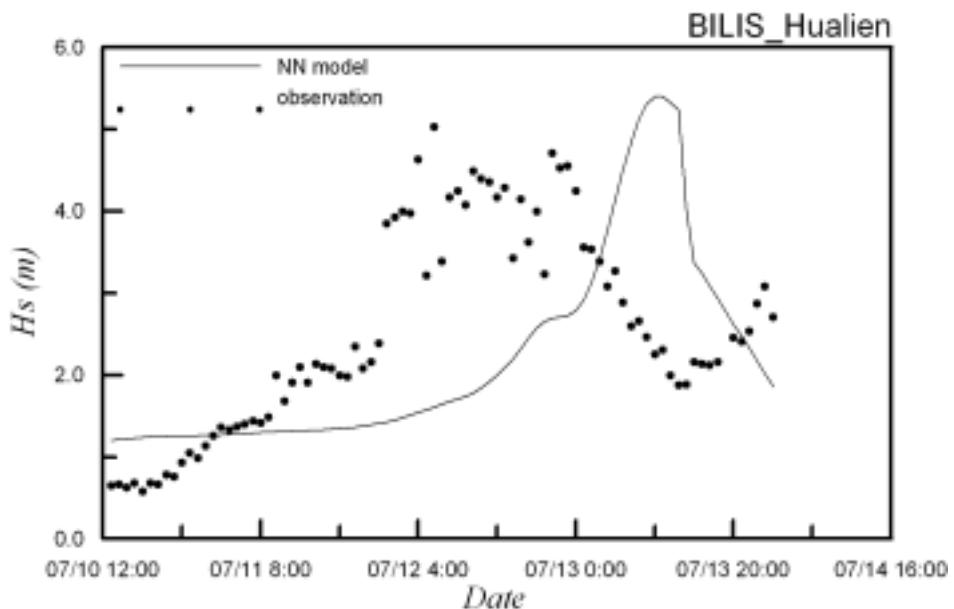


圖 2.2.2.10 碧利斯颱風之花蓮港預測示性波高

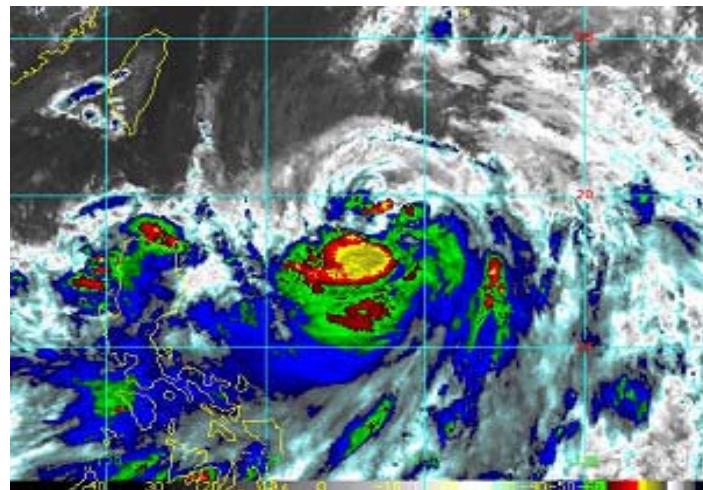


圖 2.2.2.11 碧利斯颱風 7 月 9 日之衛星雲圖



圖 2.2.2.12 碧利斯颱風 7 月 13 日之衛星雲圖

### 3. 寶發 (Bopha, 2006) 颱風

寶發颱風其推算結果示如圖 2.2.2.13。其中圖 2.2.2.13 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 2.2.2.15 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。

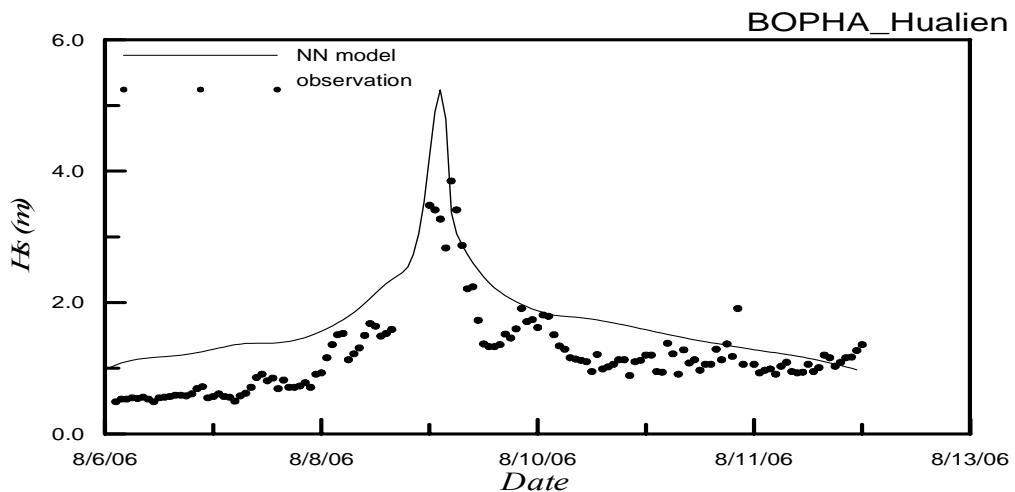


圖 2.2.2.13 寶發颱風之花蓮港預測示性波高

#### 4. 桑美(SAOMAI, 2006)颱風：

桑美颱風其推算結果示如圖 2.2.2.14。其中圖 2.2.2.14 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 2.2.2.17 之預測波浪最大約為 3.67 公尺，實測最大波高約為 3.85 公尺。花蓮之預測波浪略低估於實測波浪，但最大波浪到達時間則有較大的誤差約 30 小時。這樣的推算結果與碧利斯颱風的推算結果相近，造成最大波浪到達時間誤差的成因主要也是來自陸地遮蔽造成風場劇烈改變。

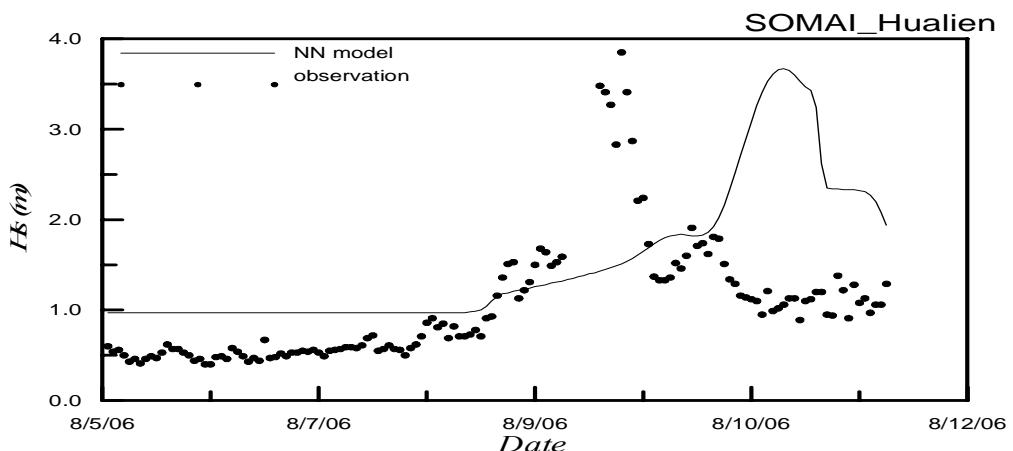


圖 2.2.2.14 桑美颱風之花蓮港預測示性波高

## 5. 珊珊(SHANSHAN, 2006)颱風

珊瑚颱風 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 2.2.2.15。



圖 2.2.2.15 珊珊颱風路徑圖

珊瑚颱風推算結果示如圖 2.2.2.16。其中圖 2.2.2.16 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 2.2.2.19 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。

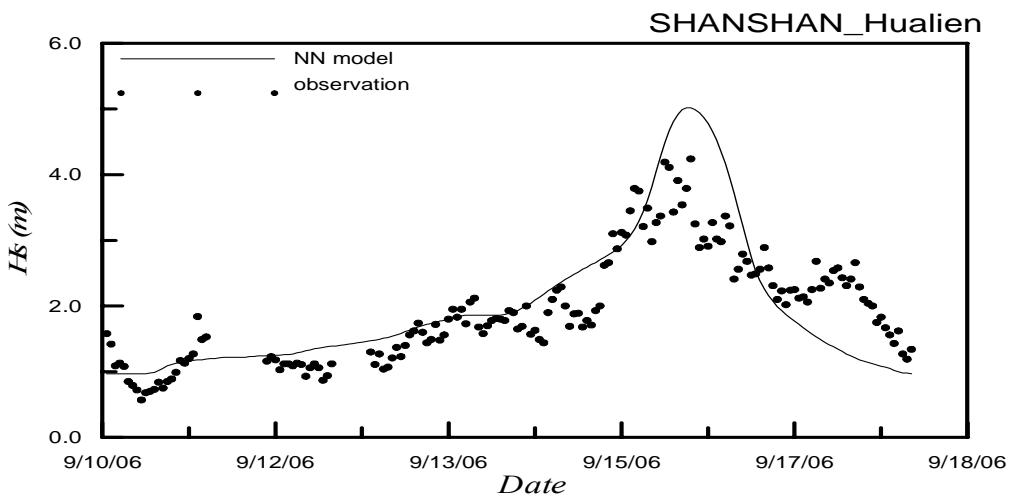


圖 2.2.2.16 珊珊颱風之花蓮港預測示性波高

### 2.2.3 2006 颱風波浪之推算模式評估

利用 2006 年 Chanchu、Bilis、Bopha、Saomai 及 Shanshan 等五個颱風進行模式與實測資料比較，其中 Bilis 與 Saomai 兩場颱風之風場結構在發展過程中並不完整，因此影響颱風模式之推算，相關比較結果如表 3.3-1 所示。Bilis 與 Saomai 兩場颱風在既有颱風波浪資料比其中 Bopha 颱風之最大波高誤差約為 1.39m，Shanshan 颱風則約為 0.78m。Bilis 颱風之模式與實測最大波高約為 0.37m，Saomai 則約為 0.18m，兩者最大波高發生時間則超過 24 小時，其原因為風場結構改變。

表 2.2.3.1 模式對 2006 年颱風測試結果  $R$ 、 $RMS$ 、 $\Delta H_{sp}$  及  $\Delta t_p$  比較

Typhoon	Chanchu	Bilis	Bopha	Saomai	Shanshan
$R$	0.658	0.212	0.886	0.246	0.833
$RMS$	0.547	1.565	0.572	1.019	0.607
$\frac{RMS}{H_{spm}}$	0.189	0.311	0.149	0.265	0.143
$\Delta H_{sp}$ (m)	-0.410	0.369	1.386	-0.18	0.780
$\frac{\Delta H_{sp}}{H_{spm}}$	-0.048	0.074	0.36	-0.047	0.184
$\Delta t$ (hr)	10	34	-1	31	0
$H_{spm}$ (m)	2.89	5.03	3.85	3.85	4.24

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，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，摘要模式以下修正內容：

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，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。如桑美颱風、碧利斯颱風最大波浪到達時間的誤差。
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，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。

#### 2.2.4 類神經網路季風波浪預報系統

本年度(95)將輔以模式風場之結果，以測點之風速及角度修正季風模式，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，並就花蓮及蘇澳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。Kalra 等人(2005)則以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。

本研究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 2.2.4.1，其相對應之 ANFIS 架構則示圖 2.2.4.2。由圖 2.2.4.1 的模糊推論中可知，規則 1：If  $x_1$  is  $A_1$  and  $y_1$  is  $B_1$  then  $f_1 = p_1 \cdot x_1 + q_1 \cdot y_1 + r_1$ ，規則 2：If  $x_2$  is  $A_2$  and  $y_2$  is  $B_2$  then  $f_2 = p_2 \cdot x_2 + q_2 \cdot y_2 + r_2$ ，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。

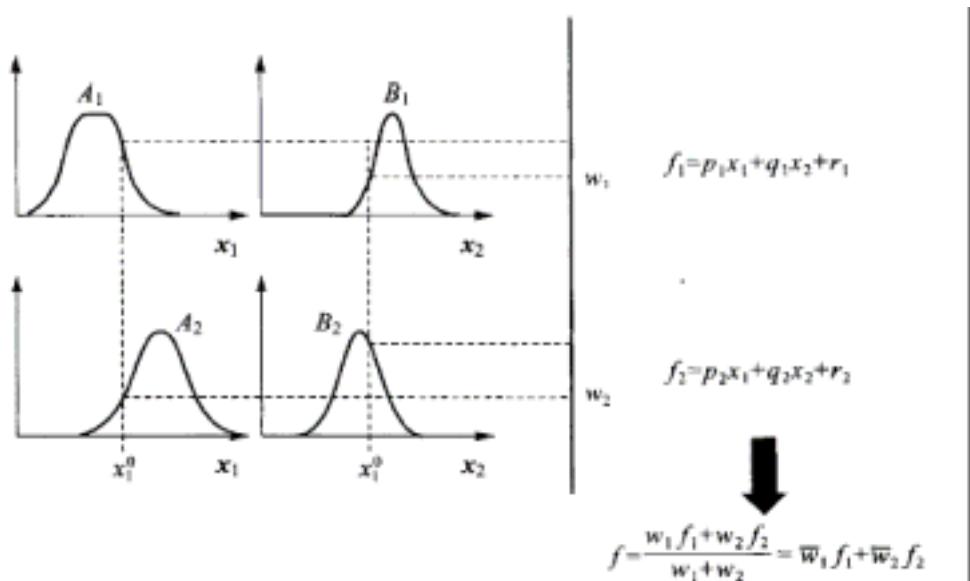


圖 2.2.4.1 模糊邏輯推論示意圖

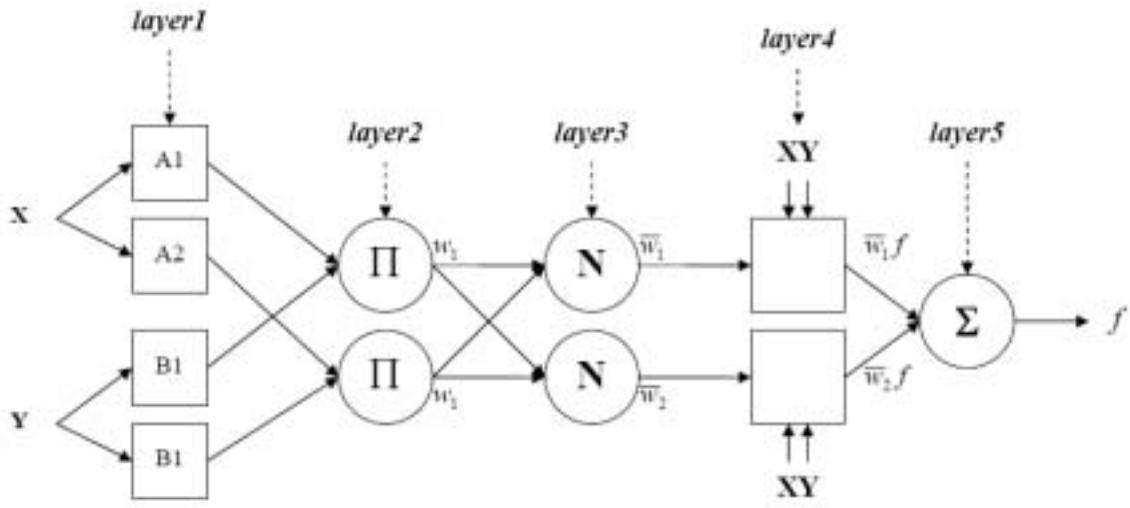


圖 2.2.4.2 適應性網路架構模糊推論系統架構示意圖

由圖2.2.4.2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 2.2.4.2 中的方塊神經元，依圖 2.2.4.2 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(2.2.7)，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， $\mu_{A_i}(x)$ 為鐘形函數示如式(2.2.8)，其最大值為 1，最小值為 0。

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) \quad (2.2.7)$$

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c_i}{a_i} \right|^{2b_i}} \quad (2.2.8)$$

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(2.2.9)及式(2.2.10)，處理單元則為圖 2.2.4.2 中圓形神經元，其中以符號  $\Pi$  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幕次方，因此本層之輸出值則為四個規

則，即(22=4)。

$$O_i^2 = w_i \quad (2.2.9)$$

$$w_i = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{b_i}(x) \quad i=1,2 \quad (2.2.10)$$

### 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(2.2.11)，其處理單元為圖 2.2.4.2 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。

$$O_i^3 = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \quad i=1,2 \quad (2.2.11)$$

### 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(2.2.12)其處理單元為圖 2.2.22 中方形神經元。

$$O_i^4 = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (2.2.12)$$

其中，pi、qi、ri 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  $\Sigma$  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(2.2.13)。

$$O_i^5 = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (2.2.13)$$

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。

## 2.2.5 類神經網路季風波浪之推算結果評估

本研究之季節風浪為扣除颱風期間之風浪為季節風浪之定義。本研究於 95 年度以模式風場作為風浪推算之輸入資料，使用 ECMWF (European Centre for Medium Range Weather Forecasts) 歐洲中期預報中心所提供之風場，預報時間為每六小時一次，其解析度  $1 \times 1$  度。ECMWF 為收集各種長期觀測資料，經由資料同化系統及動力演算後得到的再分析資料，資料長度為 1985 年至今，是長期且高解析度的全球資料。本研究以模式及實測風場進行分析，並繪製波高與模式與

實測之風向與風速分析，示如圖 2.2.5.3 至 2.2.5.4。由圖 2.2.5.3 可知波高與實測風速相關性約為 0.01，與模式之風速相關性則為 0.33，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 2.2.5.4 之波高與實測風向則呈現較散亂的關係，而與模式之風向則在 33 度及 210 度有較明顯的相關性。因此本研究選用 ECMWF 之預報風場資料做為季風模式 WANF(Wave Adaptive Network-based Fuzzy Inference System)之網路輸入值。

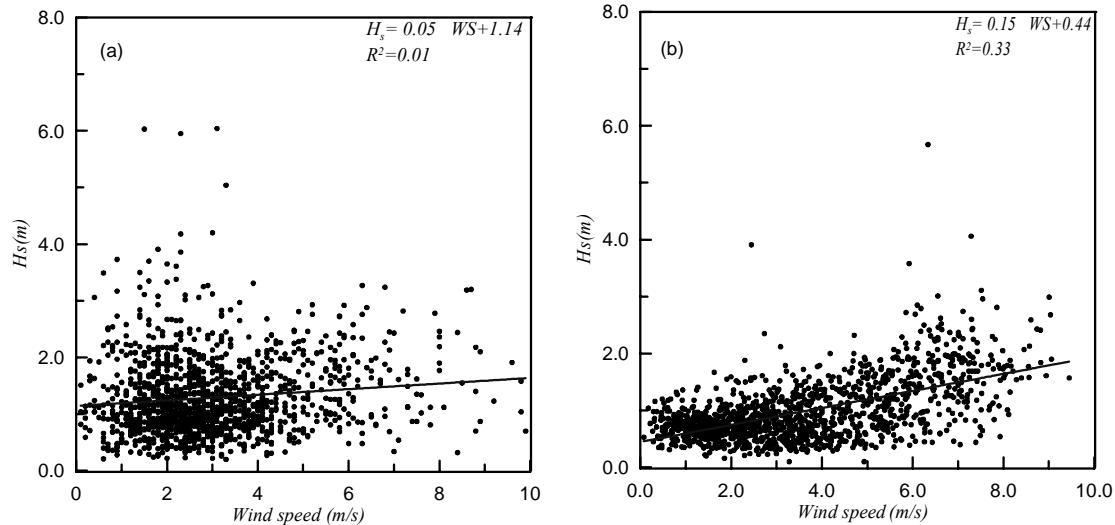


圖 2.2.5.3 花蓮港波高與實測(a)及模式(b)風向比較圖

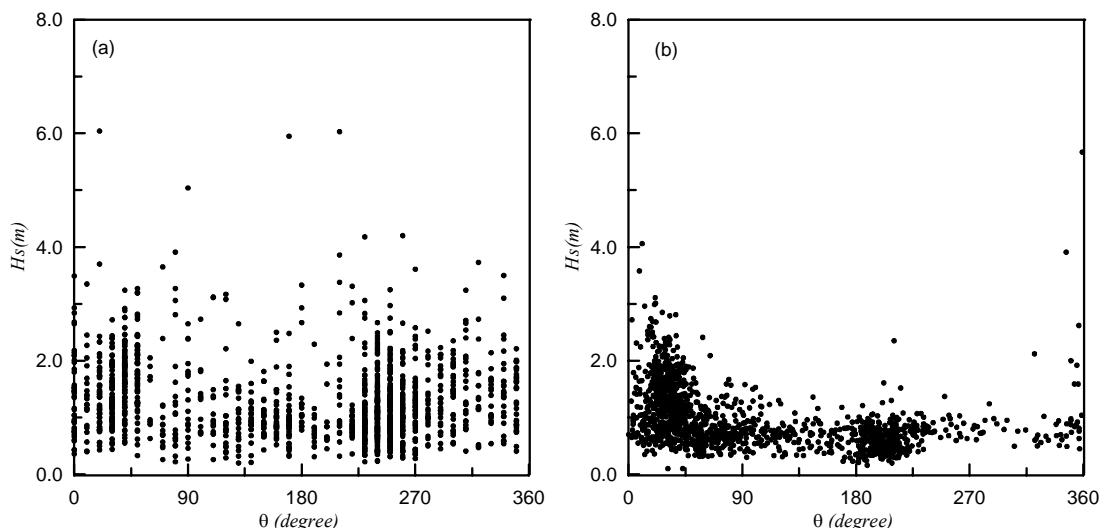


圖 2.2.5.4 花蓮港波高與實測(a)及模式(b)風向比較圖

以模式風速、延時及風向當作為季節風波浪影響因子，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。本計劃於今年度(95)的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 2.2.5.5，來代表風速影響波高的持續性。由圖 2.2.5.5 可知在延時差為 2 個資料點(每六小時為一個資料點)時，具有約 0.6 的相關性，因此本研究藉以提高模式的推算能力。

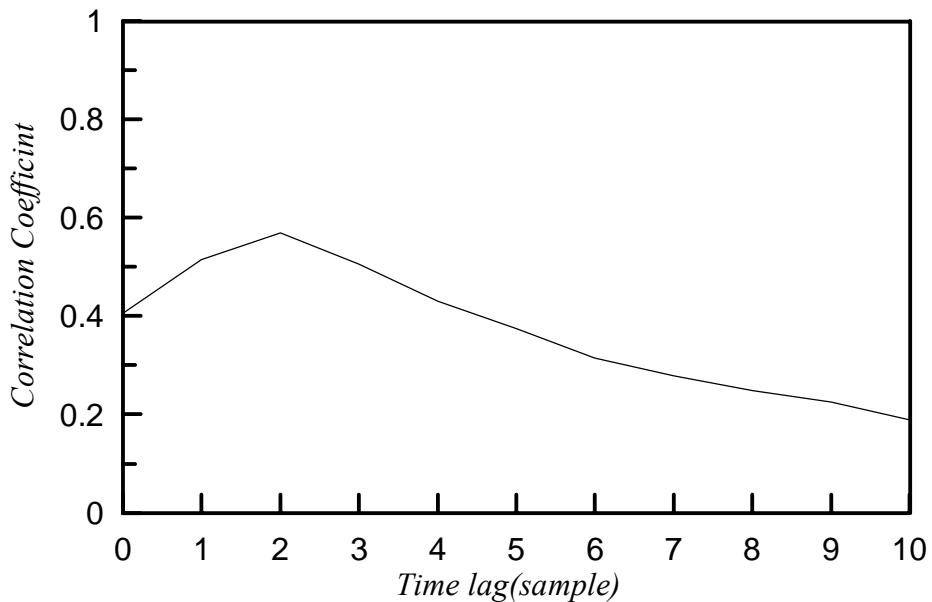


圖 2.2.5.5 花蓮港波高與模式風速之不同延時相關性比較圖

所以本研究以 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、延時及風向進行花蓮及蘇澳的季節風浪模式之建構，學習資料時間為 2002 年，預測時間則為 2003 年，資料之時間間隔為 6 小時。本研究經測試選定高斯(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 2.2.5.6 至 2.2.5.9。由圖 2.2.5.6 及 2.2.5.7 可知於花蓮港 2002 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 2003 年之預測結果亦與實測波高有相同的趨勢。圖 2.2.5.8 及 2.2.5.9 可知蘇澳港 2002 年之學習模式與 2003 年之預測結果與實測值之趨勢的變化情形相似。本研究進一步分析不同季節之推算結果，示如表 2.2.5.1。為了能客觀表示模式推算結果之優劣程度，本研究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(2.2.14)，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

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N [(P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})]}{\left[ \sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2 \right]^{1/2}} \quad (2.2.14)$$

其中  $P_i$  與  $O_i$  分別表示為預測值與實測值，則  $\bar{P}$  與  $\bar{O}$  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  $\varepsilon$  (mean absolute error)：示如式(2.2.15)， $\varepsilon$  值可表現出預測值與實測值之間之平均預測誤差， $\varepsilon$  越大則表示偏差量越多而誤差大。

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^N |(P_i - O_i)|}{N} \quad (2.2.15)$$

(3) 相對誤差 bias：示如式(2.2.16)，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。

$$bias = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)}{N} \quad (2.2.16)$$

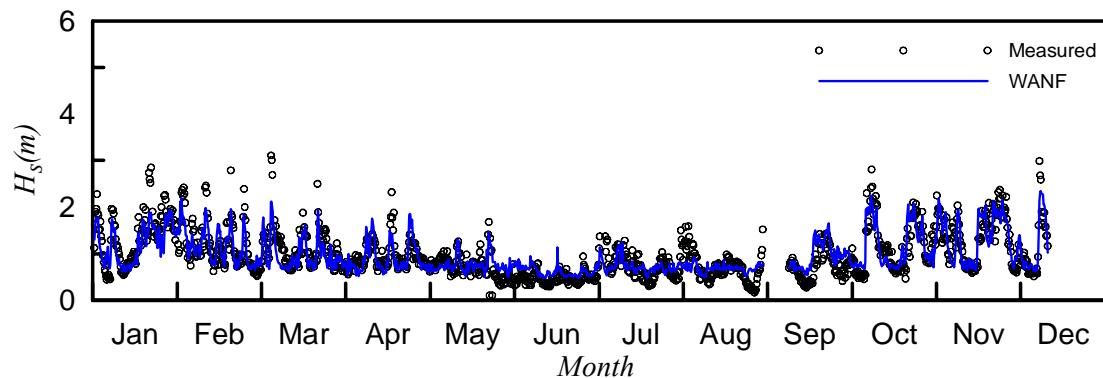


圖 2.2.5.6 2002 年花蓮港模式學習輸出值與實測值比較圖

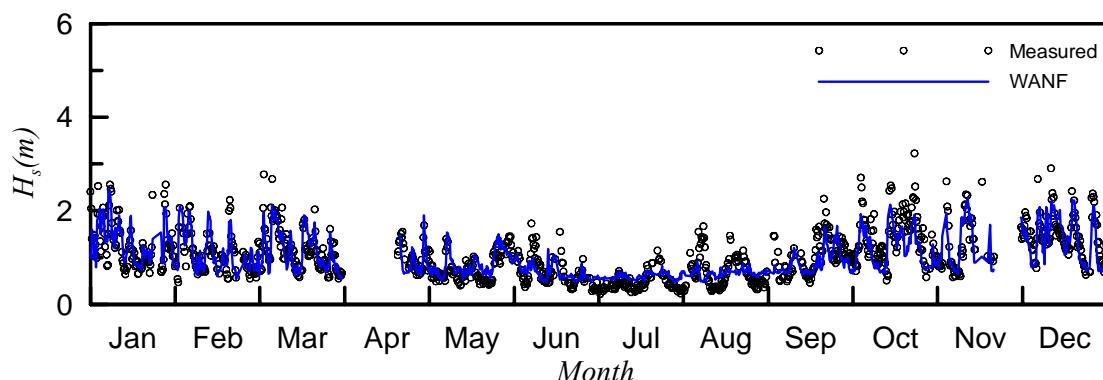


圖 2.2.5.7 2003 年花蓮港模式預測輸出值與實測值比較圖

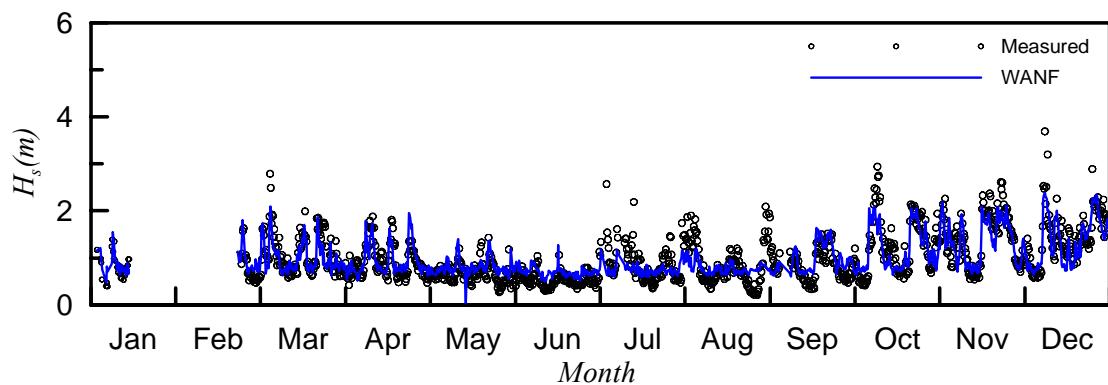


圖 2.2.5.8 2002 年蘇澳港模式學習輸出值與實測值比較圖

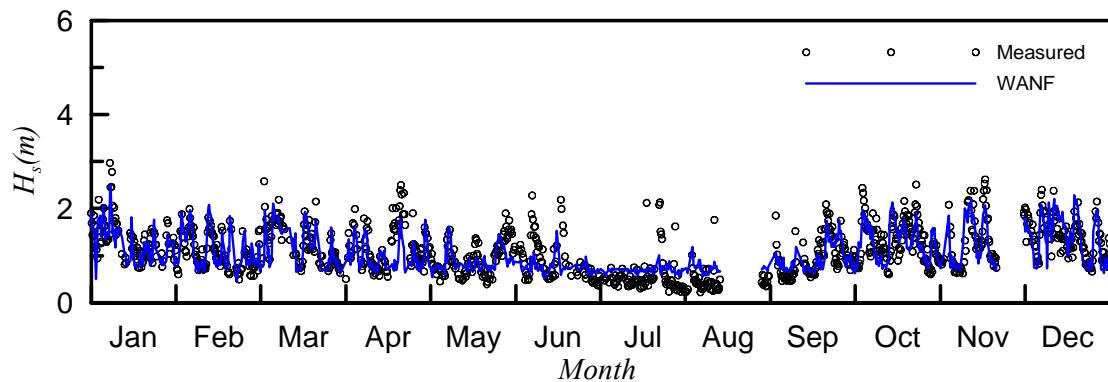


圖 2.2.5.9 2003 年蘇澳港模式預測輸出值與實測值比較圖

由表 2.2.5.1 之分析，本研究將分探討 WANF 模式於不同季節之推算結果，其中在學習部分，花蓮於春及冬季的相關性約為 0.8 以上，依次為夏及秋，其相關性約為 0.68 及 0.48。蘇澳之學習結果亦顯示春冬兩季之相關性高於夏秋。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 2002 年之相對誤差則約為 0.21 公尺，蘇澳則為 0.23 公尺。其相對誤差 bias 則都在 0.1 公尺以下，顯示實測值與 WANF 模式結果的偏差量相符合。另外，於 2003 年預測結果，花蓮與蘇澳之相關性仍以春冬兩季大於夏秋之結果，平均絕對誤差約為 0.22 公尺及 0.25 公尺，略大於學習時之結果，WANF 模式與實測值之偏差量則為 -0.02 公尺及 -0.03 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約在 0.8 以上，絕對誤差在 0.2 公尺左右，相對誤差 bias 皆在 0.1 公尺以下。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，未來將完成西部各港的模式建立，並可實際進行作業化之風浪推算。

表 2.2.5.1 WANF 模式於花蓮及蘇澳之學習及預測比較表

		花蓮			蘇澳		
		<i>r</i>	$\varepsilon$	<i>bias</i>	<i>r</i>	$\varepsilon$	<i>bias</i>
2002	春	0.83	0.23	-0.10	0.73	0.21	-0.02
	夏	0.68	0.17	0.05	0.68	0.19	0.10
	秋	0.48	0.21	0.05	0.43	0.27	-0.02
	冬	0.83	0.23	0.00	0.81	0.26	-0.07
	學習	0.83	0.21	0.00	0.79	0.23	0.00
2003	春	0.80	0.21	0.02	0.76	0.22	-0.03
	夏	0.60	0.20	0.02	0.49	0.29	-0.14
	秋	0.63	0.24	0.00	0.62	0.27	0.10
	冬	0.72	0.29	-0.11	0.70	0.28	-0.07
	預測	0.80	0.24	-0.02	0.72	0.26	-0.03
兩年		0.81	0.22	-0.01	0.76	0.25	-0.01

## 2.3 風場一致性的探討

基於以上的檢討，本計畫為使資料品質能確實與所提升，乃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。就目前的波浪推算而言，Taicoms 在全域波浪的推算係引用 RC 風場，而近域波浪推算則引用 MC 風場。由於推算風場是直接取自中央氣象局，因此對其整個推算的過程本計畫無法做任何參與，而且也超出本計畫的任務。目前對該風場資料僅能照單全收。然而由於在進行波浪推算中發生全域波場與近域波場間的不一致性，本計畫乃重新評估輸入的相關資料，本節將就風場的一致性進行探討。

圖 2.3.1 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)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 2.3.2 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 2.3.3 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，以逐步消滅波浪推算結果不佳的影響因子，本計畫乃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  $x_o$ )，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。本計畫所使用的技巧為 Cressman 分析技巧，其相關公式說明如下：

$$x_a(j) = x_b(j) + \frac{\sum_{i=1}^n w(i, j) \{y(i) - x_o(i)\}}{\sum_{i=1}^n w(i, j)}$$

$$w(i, j) = \max\left(0, \frac{R^2 - d_{i,j}^2}{R^2 + d_{i,j}^2}\right)$$

其中， $d_{i,j}$  為觀測點  $i$  至 MC 風場節點  $j$  的距離； $R$  為使用者自訂的影響

半徑； $x_b$  為背景風場，也就是原始 MC 風場； $x_a$  為分析風場，也就是調整後的 MC 風場； $w_{i,j}$  為各觀測點  $i$  對 MC 風場節點  $j$  的影響權重。

圖 2.3.4 係 2006/6/30 0h 及 2006/7/10 0h 兩個時間的 RC 與調整 MC 風場的套疊，如與圖 2.3.2 相比對可發現其邊界風速值的差異性已有改善。圖 2.3.5 乃以 MC 風場範圍內 RC 與調整 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)。我們可發現兩個風場的大部分區域透過邊界值的一致性調整，其風速差異性已小於 10%，而圖 2.3.3 中的深色區域亦有相當改善。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。圖 2.3.6 顯示兩個時間上所有共通節點相對風速差異比的統計分佈，上圖為原始 MC 風場與 RC 風場的相對差異比，下圖則為調整 MC 風場與 RC 風場的相對差異比。調整後的 MC 風場明顯地在開闊水域區與 RC 風場有相當一致的分佈。

雖然透過 Cressman 的分析技巧已經證明可以有效地改善 RC 風場與 MC 風場的不一致性。但仍有相當多的驗證需要持續進行，例如影響半徑  $R$  的決定，目前係假設為計算範圍長度的一半，但就台灣附近的地形變化甚大， $R$  的最佳值應為如何需再試驗。又，目前係將所有邊界上共通節點的 RC 風速值皆假設為觀測值，但如果考量 MC 風場的右邊界與大陸相接，陸地上的 RC 風速是否較 MC 風速值來得準確？是否只能用開闊水域部分的共通節點來進行同化的作業，也需要持續地進行檢討。

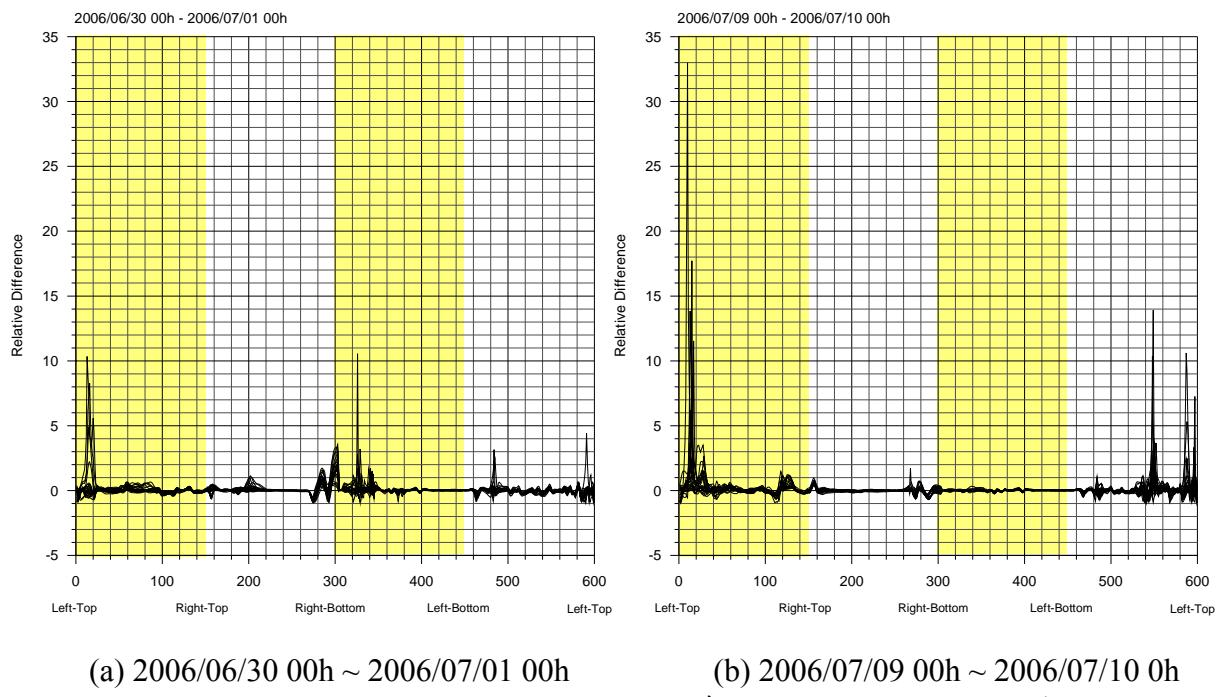
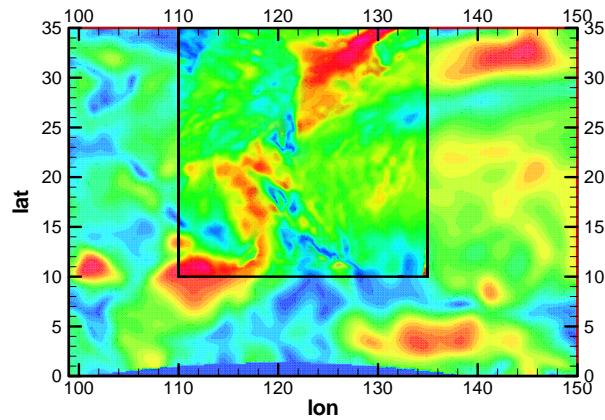
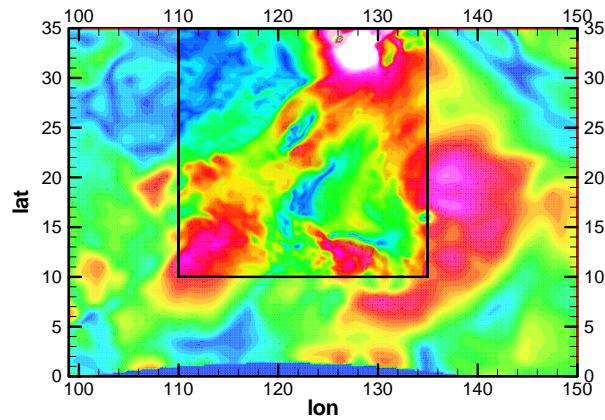


圖 2.3.1 RC 與 MC 風場相接邊界上之風速相對誤差值

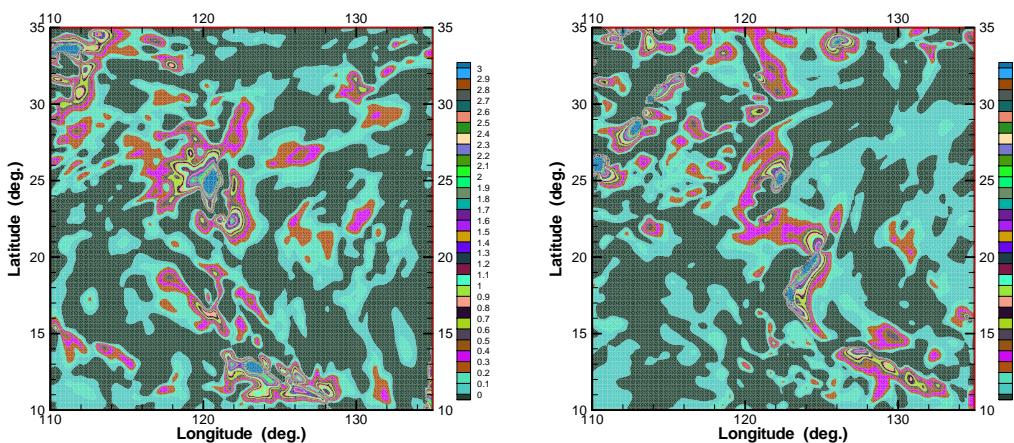


(a) 2006/06/30 00h



(b) 2006/07/10 00h

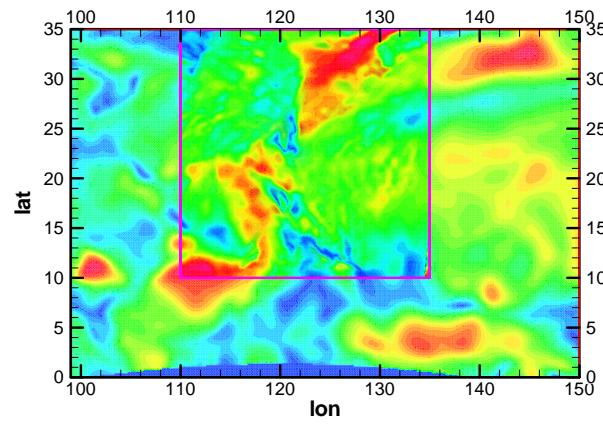
圖 2.3.2 RC 風場與 MC 風場套疊情形



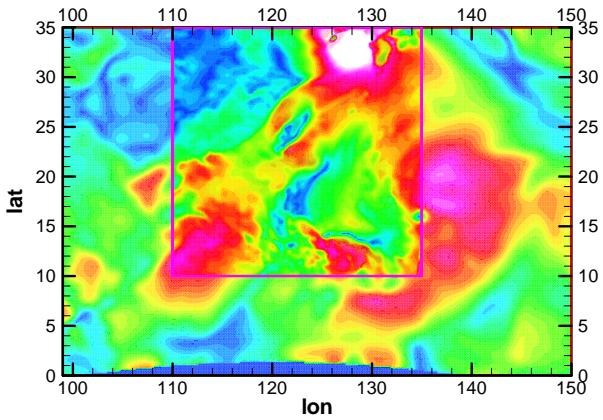
(a) 2006/06/30 00h

(b) 2006/07/10 0h

圖 2.3.3 RC 與 MC 風場之風速相對誤差分佈

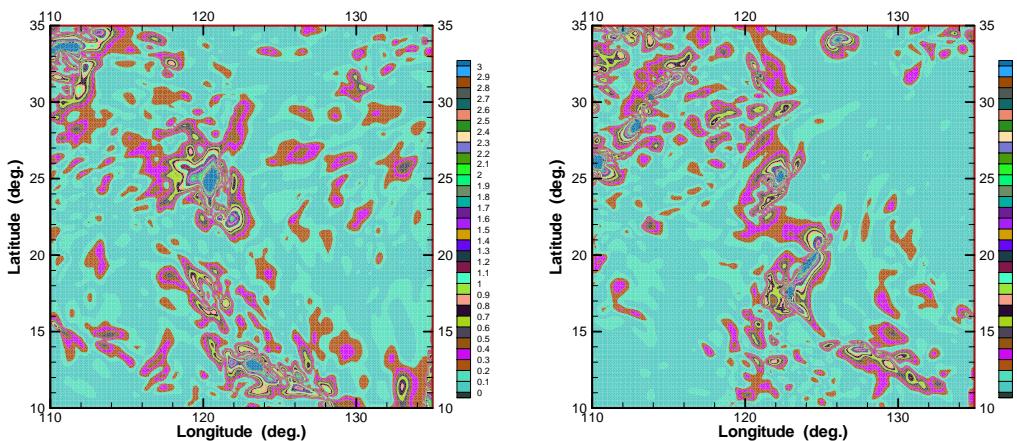


(a) 2006/06/30 00h



(b) 2006/07/10 00h

圖 2.3.4 RC 風場與修正 MC 風場套疊情形



(a) 2006/06/30 00h

(b) 2006/07/10 0h

圖 2.3.5 RC 與 MC 風場之風速相對誤差分佈

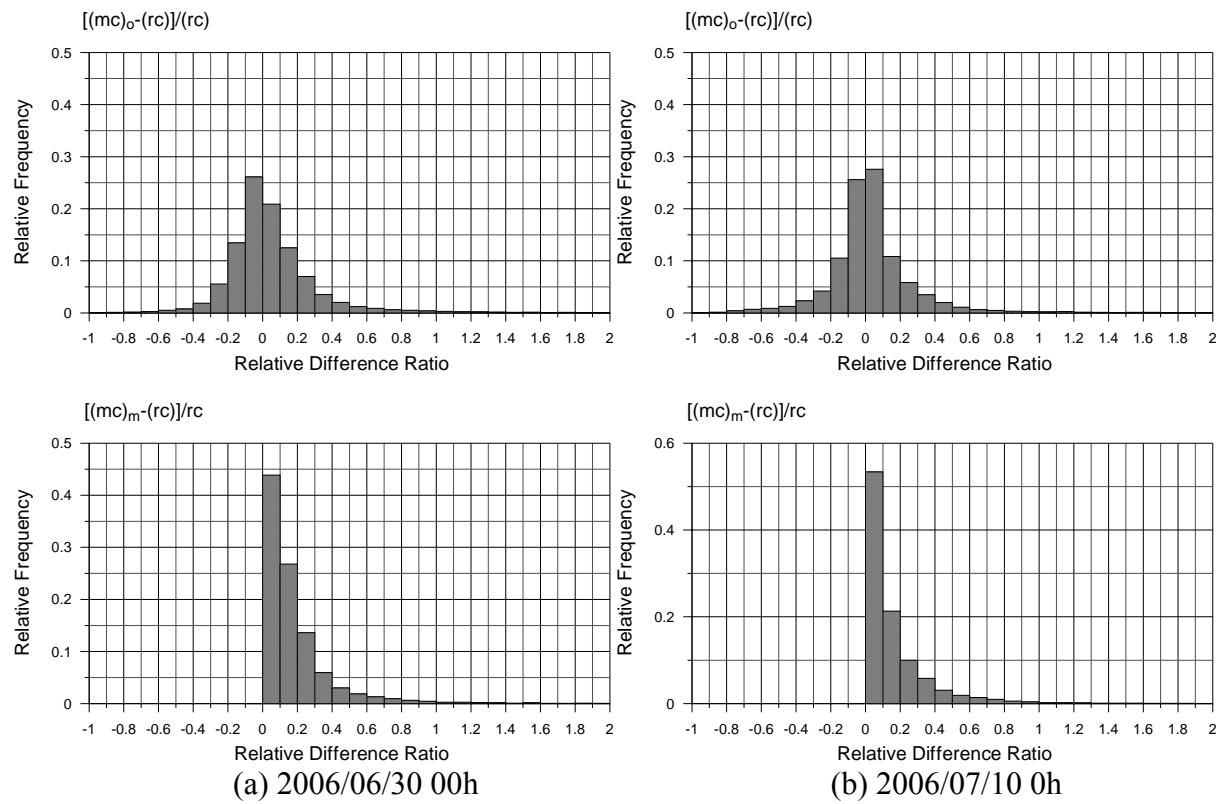


圖 2.3.6 RC 與 MC 風場之風速相對誤差分佈  
(上圖：原始 MC 風場；下圖：修正 MC 風場)

## 2.4 波浪預報模式探討

本項工作今年度之計畫工作目標包括下列幾項：

- (1)針對已經建立之波浪預報模式的精確度、計算速度依據實際的作業情形進行可能之改善及成果評估，並以自動作業化方式進行全年之逐日波浪預報。
- (2)依據港研中心所提供之現場觀測資料進行校驗及精度評估等工作
- (3)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。

本計畫團隊在相關的研究工作中發現，目前一般使用的波浪預報模式有水深地形檔採用節點水深而非網格內平均水深的情形，導致在島嶼附近的水深可能因為單點的較淺水深造成水深的誤判，以及風場與計算領域的大小及位置對波浪推算結果有相當明顯的影響。

此外，由於波浪預報作業時間的限制，目前的波浪推算執行主要是以非定常狀態方式進行大域的波場模擬(WAM)，而每間隔六個小時以定常狀態方式進行中域的波場模擬(SWAN)，但由於 SWAN 的近域波浪推算中均引用前一次的推算結果作為初始波場，因此推算的時間間隔可能會對波浪的推算結果產生影響。在本報告終將針對計算網格的水深的決定，與近域波場推算時間間隔進行討論。

### 2.4.1 台灣海域全域(WAM)風浪模式系統

#### 2.4.1.1 模式基本理論及功能概述

本系統所使用的全域風浪模式是經過 WAMDI Group (1988)在模式的物理過程和數值方法上加以改良後，適用於遠域風浪預報的 WAM 模式 (Wave Model)。WAM 模式所使用的基本控制方程式為波浪能量平衡方程式，此方程式能描述方向波譜在時間及空間上的變化過程。這些變化過程包括風傳遞到波浪的波能輸入條件、白沫效應、底床摩擦和波、波之非線性交互作用。其波浪能量平衡方程式可表示為：

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \nabla_h \cdot [(\bar{U} + \bar{C}_g)E] = S_{tot} \quad (2.4.1)$$

由於在計算大範圍波場時，地球曲率將會影響到波浪的傳遞，為使模式

適用於大範圍之計算，將式(2.4.1)從直角座標轉換為球面座標，其方程式表示如下 (WAMDI Group, 1988)：

$$\frac{\partial E}{\partial t} + (\cos \phi)^{-1} \frac{\partial}{\partial \phi} (C_\phi E) + \frac{\partial}{\partial \lambda} (C_\lambda E) + \frac{\partial}{\partial \theta} (C_\theta E) = S_{tot} \quad (2.4.2)$$

式中， $\phi$  為緯度， $\lambda$  為經度， $C_\phi$ 、 $C_\lambda$  與  $C_\theta$  分別  $\phi$ 、 $\lambda$  與  $\theta$  領域之傳遞速度，各領域的傳遞速度如下：

$$C_\phi = C_g \sin \theta / R, \quad C_\lambda = C_g \cos \theta / R \cos \phi \quad (2.4.3)$$

$$C_\theta = \frac{1}{k} \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left( \frac{\sin \theta}{\cos \phi} \frac{\partial d}{\partial \lambda} - \cos \theta \frac{\partial d}{\partial \phi} \right) / R \quad (2.4.4)$$

如同波譜的線性假設，源項可表示為不同波浪成長與消散的能量總和，即

$$S_{tot} = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + \dots \quad (2.4.5)$$

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

當波浪傳遞至近岸地區時，由於水深變淺、地形變化顯著以及海流之作用，波浪可能受到碎波與底床摩擦影響導致波浪能量的衰減，而海流與地形變化也會使波浪在傳遞過程中產生頻率位移與折射效應。然而當波浪在遠域傳播時，這些現象並不顯著，而且波浪作用力在波浪傳遞過程中仍須保持守恆 (Bretherthon 和 Garrett, 1968)，因此波浪作用力平衡方程式可退化成簡單的方程式。若不考慮波浪成長與消散情況時，波浪作用力平衡方程式可寫成：

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla_h \cdot [(\bar{U} + \bar{C}_g) N] = 0 \quad (2.4.6)$$

式中， $N(\sigma, \theta) = E(\sigma, \theta) / \sigma$  為波浪作用力密度波譜， $E(\sigma, \theta)$  為能量密度波譜。將  $E(\sigma, \theta)$  代入式 (2.4.6)，則上式可改寫成

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \nabla_h \cdot [(\bar{U} + \bar{C}_g) E] = \frac{E}{\sigma} \left[ \frac{\partial \sigma}{\partial t} + (\bar{U} + \bar{C}_g) \cdot \nabla_h \sigma \right] \quad (2.4.7)$$

上式當波浪角頻率不因時空而變化時，可進一步化簡為波浪能量平衡方程式。但如果波浪場中有流之作用時，則能量平衡方程式將不適用，不過波浪作用力平衡方程式仍然成立，故利用波浪作用平衡力方程式可較為適用於地形與海流變化劇烈之近岸地區。

#### 2.4.1.2 模式計算範圍

本計畫應用 WAM 模式能快速模擬風浪能力與 SWAN 模式能解析近岸較小校格網之功能，利用兩者相互配合模擬海面風浪，使用 WAM 模式模擬大範圍海域風浪演變，利用 SWAN 模式內插 WAM 模式所計算出來的二維頻譜，獲得小範圍 SWAN 模式所需之邊界入射條件，使用巢狀網格進行計算，可清楚模擬出颱風波浪於近岸處的分佈情形。圖 2.4.1.1 顯示遠域波浪計算範圍及水深分佈圖。詳細的操作程序可參考 93 年度期末報告的附件--全區波浪模式使用手冊(SWAN 模式)。

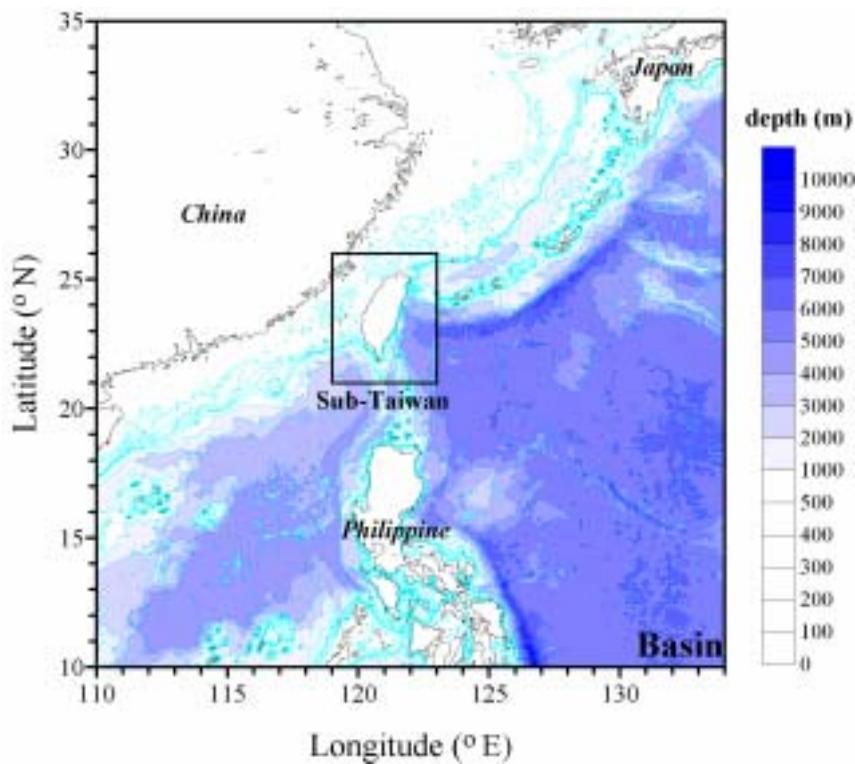


圖 2.4.1.1 遠域波浪計算範圍及水深分佈圖

#### 2.4.2 台灣海域近域(SWAN)風浪模式系統

SWAN 模式是一個利用風、海底底床及海流狀況以獲得在海岸地區、湖泊或河口附近水域的合理預估的波浪參數的波浪數值模式，這個數值模式基本上是依據波浪作用力平衡方程式 (wave action balance equation) 或是沒有流作用下的能量平衡方程式，以及源流與沉流(source and sink)，它是屬於第三代的風浪預報模式。此一模式係累積過去學者的研究成果為基礎加以整合及改良而成，它可以計算波浪在時間及空間領域中的傳遞、波與波的非線性交互作用、波浪受風的成長、碎波、因底床摩擦所造成的能力衰減、

及受到海流及地形變化而產生的頻率位移、淺化與折射。因此，SWAN 模式具有推算近岸波浪的功能。從 SWAN 的功能中可表現出下列的波浪傳播過程：

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

以及下列有關波浪的生成及消散過程：

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

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

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

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

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

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

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S}{\sigma} \quad (2.4.8)$$

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

### (2) 風的能量輸入

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

$$S_{in}(\sigma, \theta) = A + BE(\sigma, \theta) \quad (2.4.9)$$

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

### (3) 能量消散

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

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

$$S_{ds,w}(\sigma, \theta) = -\Gamma \tilde{\sigma} \frac{k}{\tilde{k}} E(\sigma, \theta) \quad (2.4.10)$$

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

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

$$S_{ds,b}(\sigma, \theta) = -C_{bottom} \frac{\sigma^2}{g^2 \sinh^2 kd} E(\sigma, \theta) \quad (2.4.11)$$

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

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

$$S_{ds,br}(\sigma, \theta) = \frac{D_{tot}}{E_{tot}} E(\sigma, \theta) \quad (2.4.12)$$

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

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

$$K_t = 0.5 \left[ 1 - \sin \left( \frac{\pi}{2\alpha} \left( \frac{F}{H_i} + \beta \right) \right) \right] \quad for \quad -\beta - \alpha < \frac{F}{H_i} < \alpha - \beta \quad (2.4.13)$$

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

表 2.4.2.1 不同堤體之透過係數參數表

堤體種類	$\alpha$	$\beta$
直立薄板	1.8	0.10
沉箱	2.2	0.40
2:3 坡度的壩體	2.6	0.15

#### (4) 非線性波浪交互作用

在深水區裡，四波交互作用(quadruplet wave-wave interaction)的現象主

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

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

圖 2.4.2.1 為台灣海域近域(SWAN)風浪模式的計算範圍。由於計算網格的大小會影響計算結果與精度，故其需要與解析問題互相配合。例如在模擬颱風波浪時，在颱風中心處所形成的波浪向外傳遞形成湧浪 (swell)，其可傳遞至相當遠的距離，因此計算領域亦需夠大才可模擬此一現象。較小計算網格距離固然可以提高波浪解析的精度，但計算時間較長。此外在海岸工程的應用上，複雜的地形與多變的海岸線也需要較小的網格距離才能加以描述，使近岸推算處的波浪能達到適當精度。巢狀網格 (nested grid) 與非結構性網格的應用可以有效解決網格大小問題。較粗的網格應用在起始計算領域，使得計算能快速模擬大範圍的波浪演變，較細的巢狀網格可以插入其中，以適當模擬海岸之波浪變化，如此可以更精確地預報波浪，也可以有效率地解決問題。

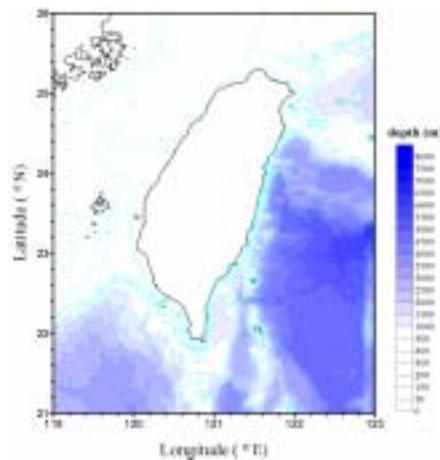


圖 2.4.2.1 台灣附近海域計算範圍及水深分佈圖

### 2.4.3 計算網格水深的檢討

在有限差分方法中，計算網格節點上的變數值一般都被定義為網格的平均代表值，由於 NWW3、WAM 及 SWAN 都是有限差分模式，因此其網格

節點值在模式中也是如此定義。然而在波浪推算過程的資料輸入上，是輸入與計算網格不同大小的地形網格節點水深值，而由波浪推算模式所提供的線性內插功能，計算得計算網格節點上的水深值。由於此種處理與有限差分方法的定義不同，而且可能無法正確地顯示台灣附近海域水深地形的複雜性(如圖 2.4.3.1 所示)，為瞭解波浪推算中網格所使用的水深對波浪推算結果的影響，除了參考 NWW3、WAM 及 SWAN 的習慣用法，即以節點的水深作為網格代表水深外，本研究還嘗試以網格平均水深做為代表水深，而當網格內包含有陸域及水域時，則以其所佔之比例多寡採用陸域平均高程或水域平均水深為代表值。圖 2.4.3.2 至圖 2.4.3.3 分別為 WAM 大域波浪推算及 SWAN 中域波浪推算之節點水深地形、網格幾何平均水深地形以及其間的水深差值分佈圖。從圖中可以發現節點水深地形與網格幾何平均水深地形有相當明顯的差異性，其差值最大的可以超過 1000 公尺，而最明顯的地方是在近岸地區，由於 WAM 及 SWAN 的計算網格大小分別為  $0.2^\circ \times 0.2^\circ$  及  $0.04^\circ \times 0.04^\circ$ ，約相當於  $20\text{km} \times 20\text{km}$  及  $4\text{km} \times 4\text{km}$ ，如果以節點水深做為代表水深值，則在近岸地區很可能整個網格水域被誤解為陸域而無法進行近岸波浪的推算。圖 2.4.3.4 顯示台灣附近水域的水深地形比較(網格為  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ )，從圖中所標示的位置(澎湖附近淺灘)可以明顯看出節點水深的不合理性，從有限差分方法的定義來看，整個  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  的網格均被視為 4 或 7 公尺水深，而若以平均水深代表的話則為 38 或 57 公尺。另外，在台灣東部海岸的地形部分也可以發現利用節點水深值作為計算網格的參考水深很容易造成水深值的特異性，而且也不符合有限差分數值方法的特性。

綜合以上相關的討論，建議在 TAICOMS 的波浪推算或其他相關利用有限差分方法的數值模式中，應該直接以計算網格節點上的網格平均水深做為代表水深較能符合數值方法的定義，且水深也較具有代表性，也可以避免因為各模式自動執行的線性內插所造成的誤差。至於參考水深資料檔部分，目前使用 ETOPO5(未來可改用 ETOPO2)作為遠域波浪推算的參考水深，而以 TaiDBMv5 作為近域波浪推算的參考水深，建議將此兩種參考水深檔案加以結合，也就是以 TaiDBMv5 的水深檔修正 ETOPO5 或 ETOPO2 在台灣附近海域的水深資料值。

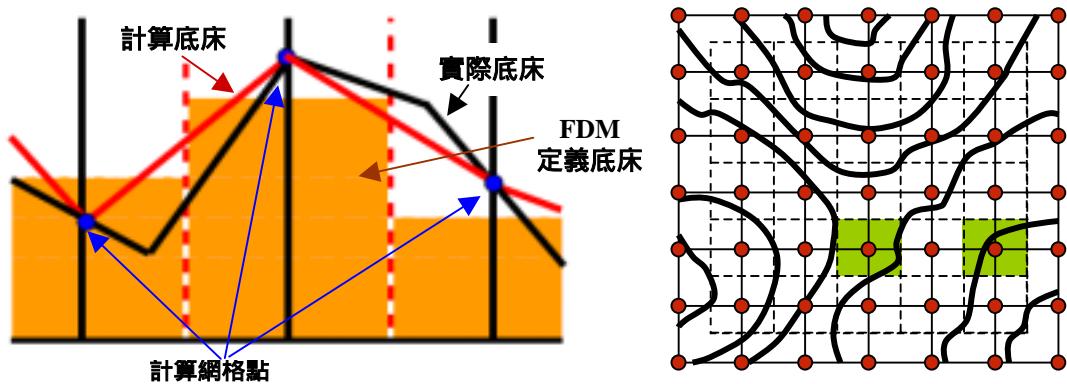
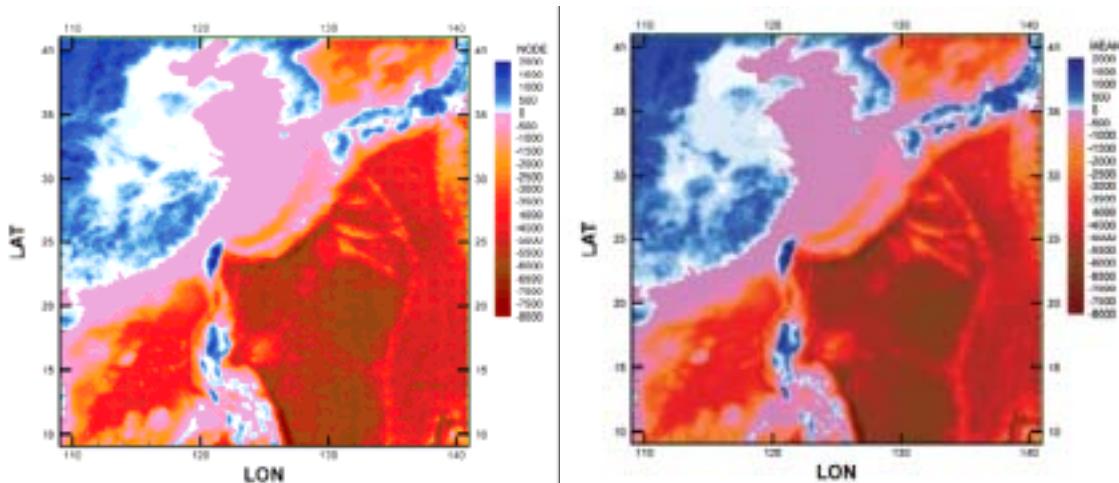


圖 2.4.3.1 有限差分法之網格水深值定義圖



(a) 節點水深地形

(b) 網格平均水深地形

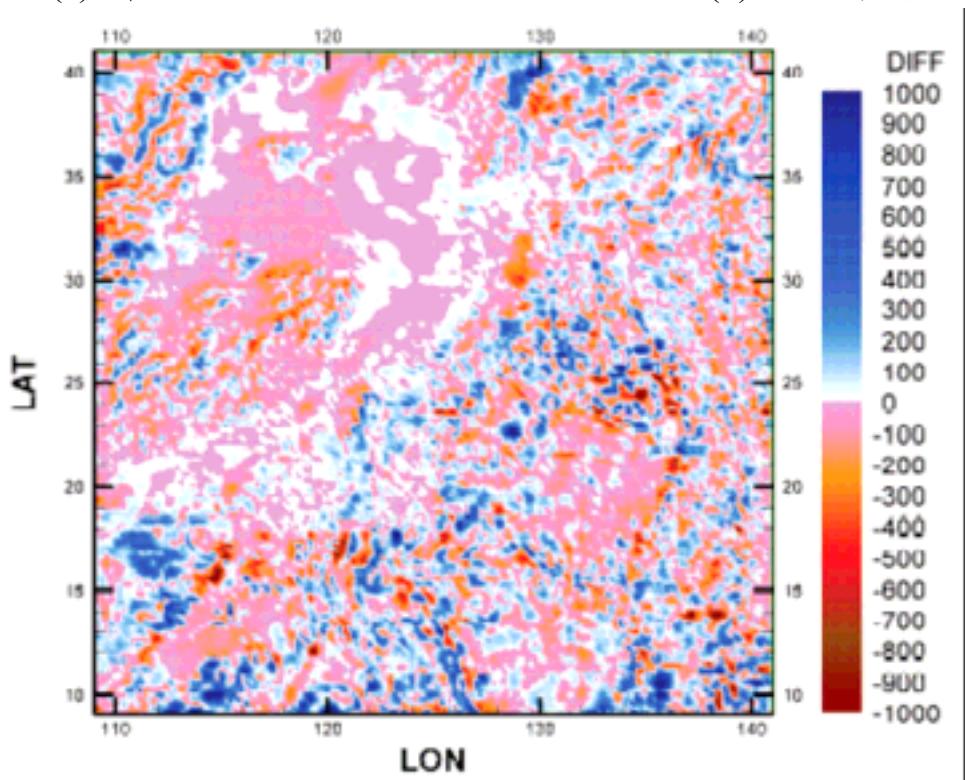


圖 2.4.3.2 WAM 波浪推算範圍的水深地形比較  
(c) 節點水深-幾何平均水深之高程差

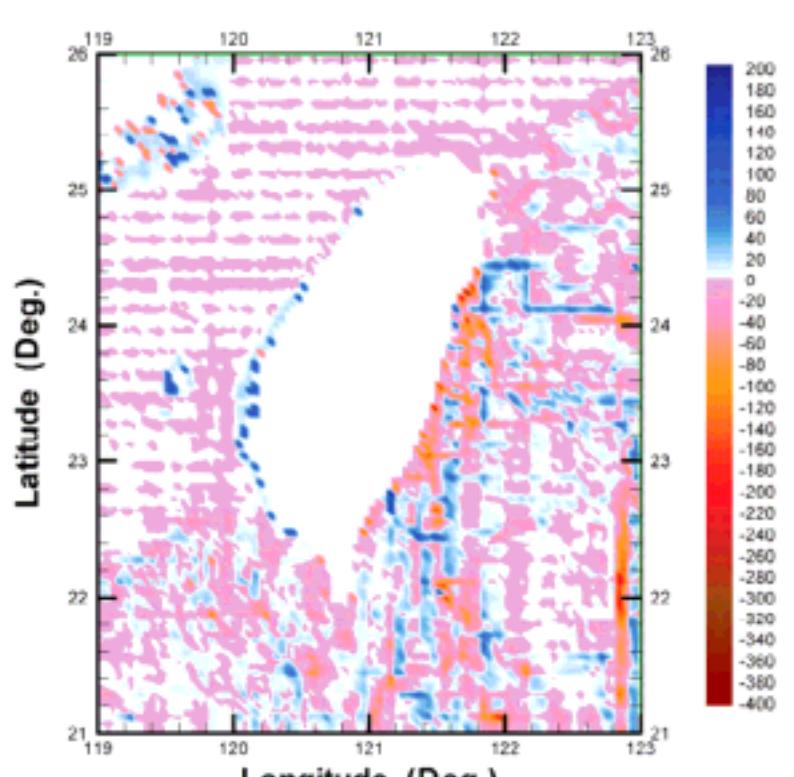
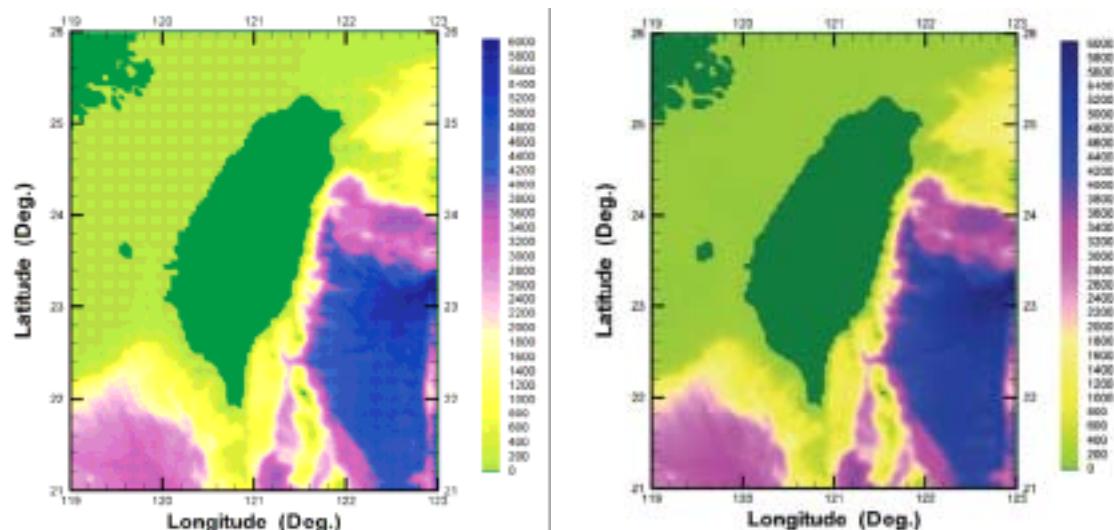
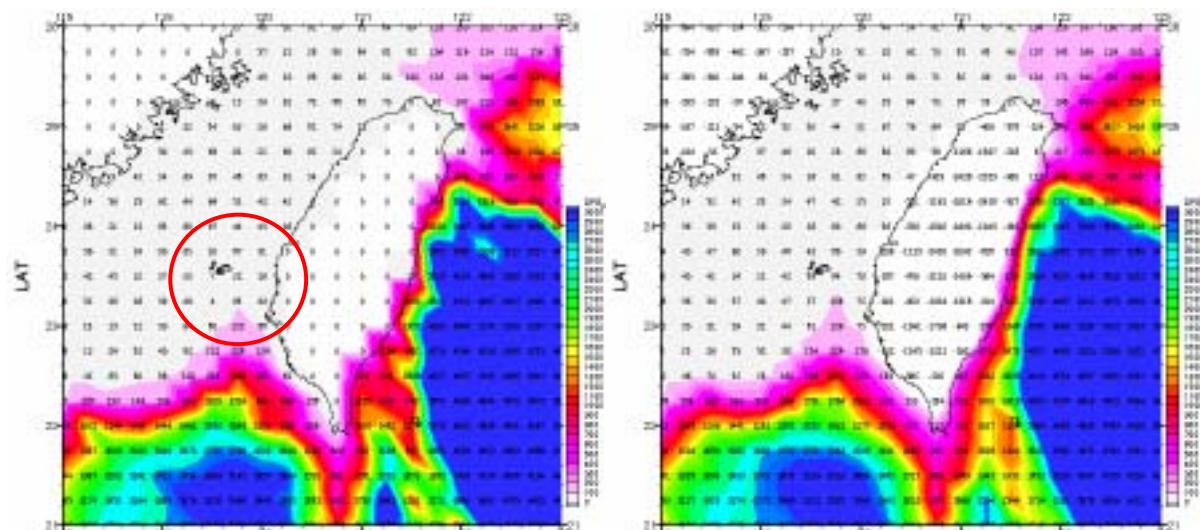
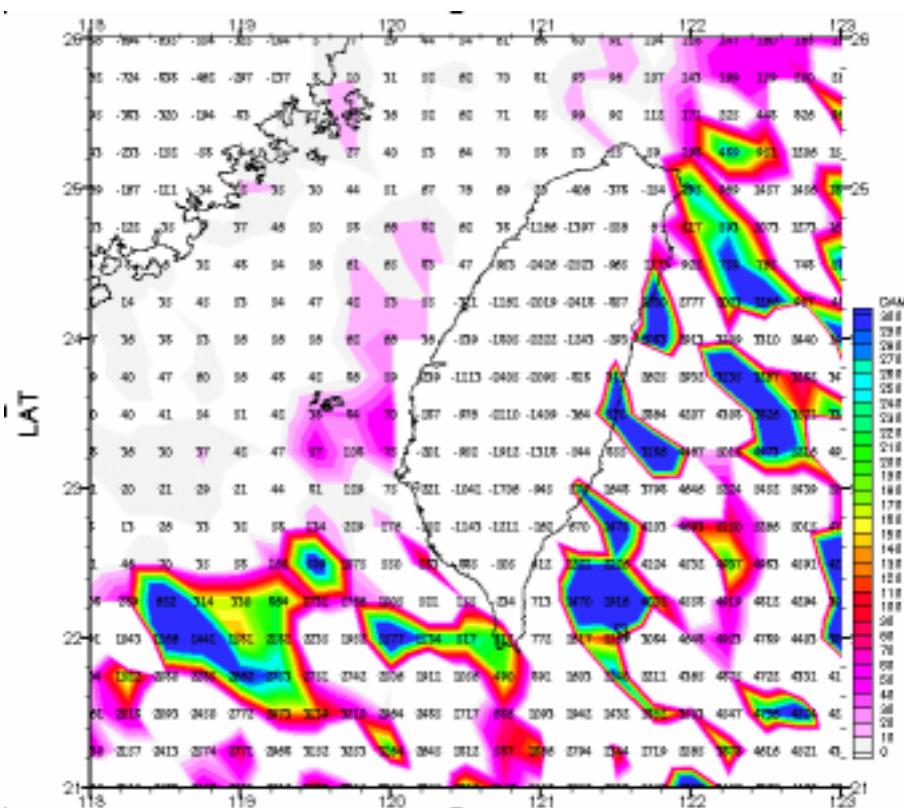


圖 2.4.3.3 SWAN 波浪推算範圍的水深地形比較



(a) 節點水深地形

(b) 網格平均水深地形



(c) 節點水深-幾何平均水深之高程差

圖2.4.3.4 台灣附近水域水深地形比較( $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ )

#### 2.4.4 SWAN 計算範圍的檢討

在 SWAN 中域波浪推算中，其初始波場可以承接上一個計算時刻的 SWAN 推算波場，但是與 WAM 大域波浪推算的連接則不論是以巢狀非定常聯結或是定常連結，WAM 的推算波浪都只是以 SWAN 的計算邊界節點之對應波譜或代表波，傳遞遠域波浪的推算成果(如圖 2.4.4.1 所示)。因此，對於 SWAN 的波浪推算其所依據的資料有：前一時刻的 SWAN 推算波場，該時刻的風場，以及該時刻的大域波浪邊界值。在此一情形下，即使是大域的颱風波浪也僅是藉由 SWAN 的計算邊界值來顯示其特性，此種處理方式使得再大的邊界波浪值，其影響性也會在幾個計算時間步驟之間完全消失，而仍由風場來主導整個波場的推算。為瞭解不同計算範圍大小對波浪推算的影響，本節以 2004/06/26 00HR 為例，圖 2.4.4.2 至圖 2.4.4.3 為用不同大小的計算範圍進行定常狀態下的波場推算模擬，其中可看到由於計算範圍的決定同時也影響到輸入的邊界條件波浪值，而導致不同的波場推算結果。

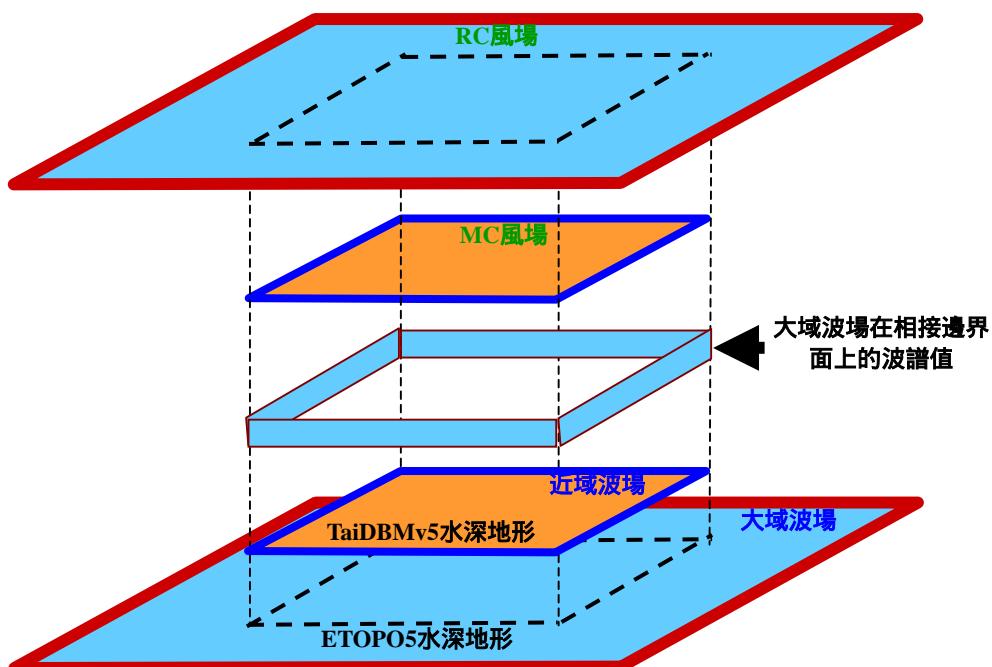
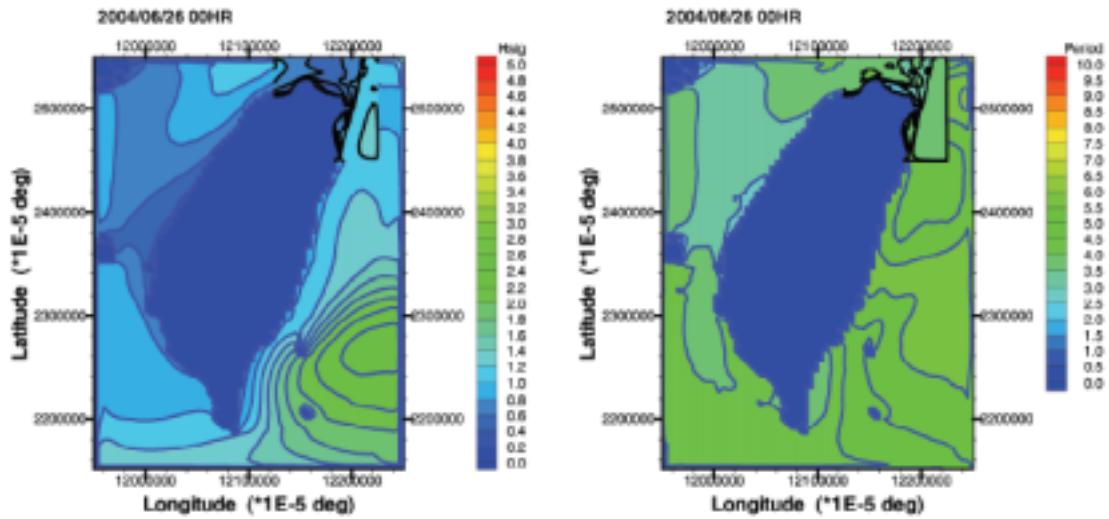


圖2.4.4.1 TaiCOMs風浪預報模式的架構

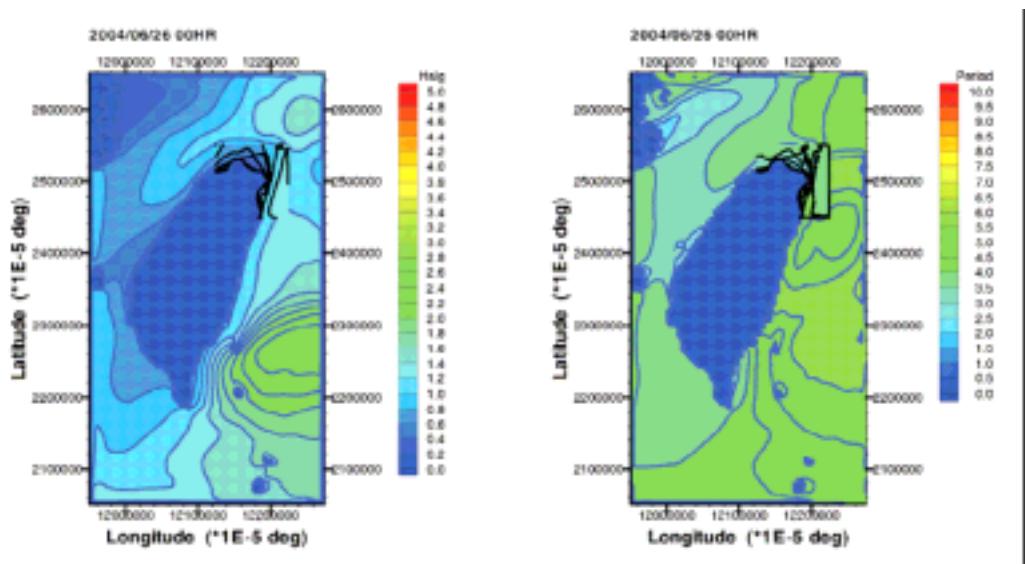
在不同時間的測試當中，此種差異情形在颱風侵襲期間更是明顯。為了能更完整地獲得完整的颱風波場能量，計算範圍可能需要擴大到可以容納會影響台灣附近水域波浪的颱風位置。未來將針對此一部份做進一步的探討。



(a) 波高分佈比較圖

(b) 週期分佈比較圖

圖 2.4.3.2 2004/06/26 00HR 定常模擬結果



(a) 波高分佈比較圖

(b) 週期分佈比較圖

圖 2.4.3.3 2004/06/26 00HR 擴大計算範圍之定常模擬結果

## 2.4.5 迭代次數與定常/非定常模擬的檢討

在 TAICOMS 系統中，WAM 大域波浪推算係採用非定常狀態的模擬，而 SWAN 中域波浪推算模式則以定常狀態模擬。為瞭解 SWAN 推算中，定常與非定常模擬所可能造成的影響，本節針對 SWAN 模式中可選用的定常、類定常(非定常但 1 次迭代，為 SWAN 的預設值)及非定常(不限迭代次數)等方式進行相關的模擬，以探討迭代次數對波浪推算結果影響。

圖 2.4.5.1 至 2.4.5.3 為以 2005/08/31 00HR 為例採用定常、類定常(非定常但 1 次迭代為 SWAN 的預設值)及非定常(不限迭代次數)的 WAM+SWAN 波浪推算結果，顯示非定常不限迭代次數的結果，有較為合理的分佈，但是 WAM 及 SWAN 的波浪推算之間仍有明顯的不連續情形。其原因應是前節所討論的邊界的選定所造成的影响。

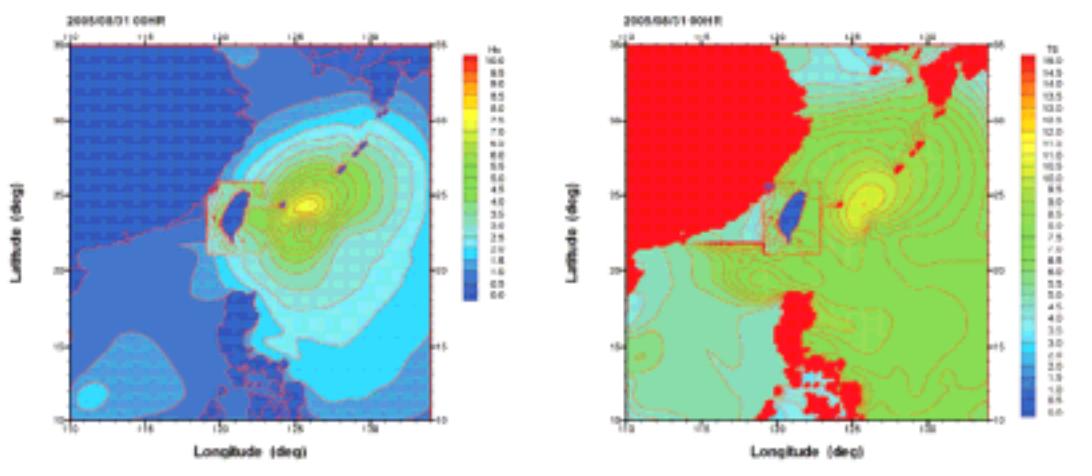


圖 2.4.5.1 2005/08/31 00HR WAM+SWAN 波浪分佈比較圖(定常模擬)

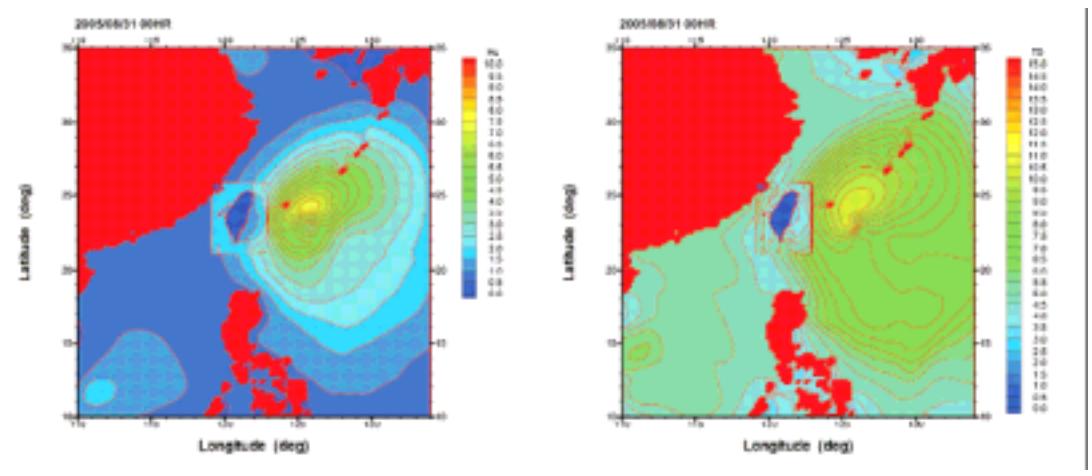
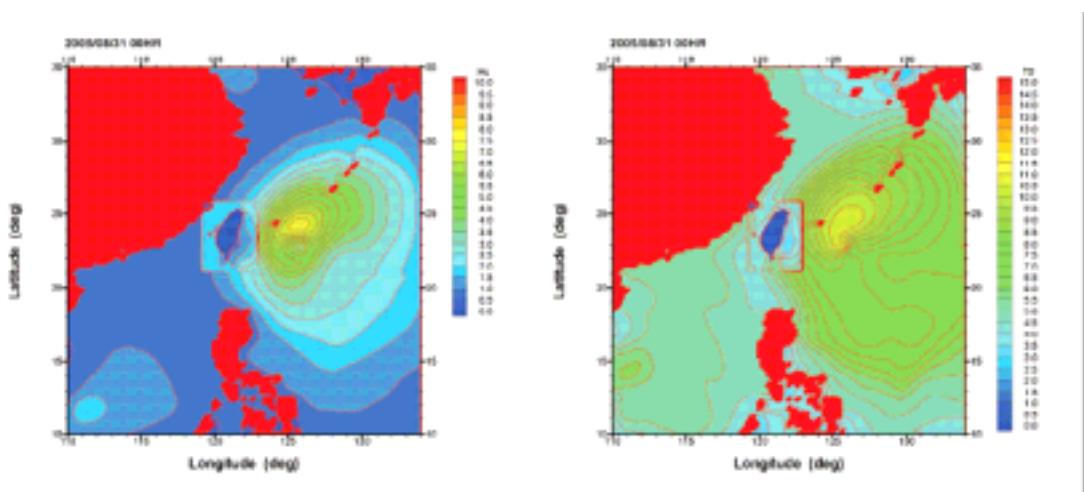


圖 2.4.5.2 2005/08/31 00HR WAM+SWAN 波浪分佈比較圖  
(非定常模擬、1 次迭代)



(a) 波高分佈圖

(b) 週期分佈

圖 2.4.5.3 2005/08/31 00HR WAM+SWAN 波浪分佈比較圖  
(非定常模擬、無限次迭代)

#### 2.4.6 SWAN 波浪推算時間間隔的檢討

如前所述，目前所使用的 TAICOMS 模式中，SWAN 係以每間隔 6 小時的方式進行與 WAM 的聯結及定常計算。雖然，受限於波浪預報作業時間要求，SWAN 的中域波浪推算無法以非定常狀態的方式進行模擬，但在未來對於作業系統以及硬體方面的改善，則有可能縮短定常模擬的時間間隔。為瞭解推算時間間隔所可能造成的影響，本節分別進行 3 小時及 6 小時推算時間間隔的模擬，在此同時，也分別進行節點水深及網格平均水深的測試。

圖 2.4.6.1 至 2.4.6.3 分別為 2005/09/23 00h、2005/09/24 00h 及 2005/09/25 00h 利用節點水深為代表值之 WAM 的波浪推算結果；圖 2.4.6.4 至 2.4.6.6 則分別為同樣三個時間利用網格平均水深為代表值之推算結果。二者皆為以 3 小時為推算間隔。為了便於比較，圖 2.4.6.7 至 2.4.6.9 則分別為三個時間之節點水深與網格平均水深之推算結果差值比較。以上各圖中均包含示性波高、平均週期及主波方向的結果。從圖 2.4.6.1 至 2.4.6.3 及圖 2.4.6.4 至 2.4.6.6 觀察可看到推算結果的分佈趨勢大致相同，但是從圖 2.4.6.7 至 2.4.6.9 中則發現示性波高、平均週期及主波方向均有相當的差異性。在開闊水域裡，示性波高最大約有 20 公分的差異、平均週期最大約有 0.5 秒的差異、而主波方向則最大有約 30° 的差異。但是，仔細觀察近岸地區的變化則相當地顯著，其主要的原因是在近岸節點水深可能誤導整個網格為陸地而不進行計算；而網格平均水深則可以修正此一誤差。

圖 2.4.6.10 至 2.4.6.12 分別為 2005/09/23 00h、2005/09/24 00h 及 2005/09/25 00h 利用節點水深為代表值及 3 小時推算間隔之 SWAN 波浪推算結果；圖 2.4.6.13 至 2.4.6.15 則分別為同樣三個時間利用網格平均水深為代表值及 3 小時推算間隔之推算結果；圖 2.4.6.16 至 2.4.6.18 則分別為同樣三個時間利用節點水深為代表值及 6 小時推算間隔之推算結果。為了便於比較，圖 2.4.6.19 至 2.4.6.21 則分別為三個時間以 3 小時推算間隔之節點水深與網格平均水深之推算結果差值比較；圖 2.4.6.22 至 2.4.6.24 則分別為三個時間以 3 小時或 6 小時推算間隔與節點水深之推算結果差值比較。以上各圖中均包含示性波高、示性週期及主波方向的結果。

從圖 2.4.6.10 至 2.4.6.12 及圖 2.4.6.13 至 2.4.6.15 觀察可看到利用節點水深或平均水深對開闊海域推算結果的分佈趨勢大致相同，但是從圖 2.4.6.19 至 2.4.6.21 中則發現在近岸地區及台灣海峽裡面不論示性波高及示性週期均有相當的差異性，主波方向分佈的影響則較小。由此可知，網格水深的修正主要的影響在近岸水域的推算結果，而此一部份又恰好是近岸防災或預警所集中的焦點。因此，波浪推算所使用的網格水深應加以修正為平均水深。

從圖 2.4.6.10 至 2.4.6.12 及圖 2.4.6.16 至 2.4.6.18 觀察可看到採用 3 小時或 6 小時推算間隔與節點水深的推算結果在分佈上即有可見的差異性，若再觀察圖 2.4.6.22 至 2.4.6.24 之差值比較，則更明顯地看出整個海域不論示性波高、示性週期或主波方向分佈均有相當的差異性。

圖 2.4.6.25 為七個商港在推算時期內 SWAN 推算的示性波高、示性週期或主波方向的時間序列變化圖，圖中分別顯示 3 小時間隔及節點水深(實線)、3 小時間隔及平均水深(●)、與 6 小時間隔及節點水深(×)。從圖中可以看到示性波高方面，東部海岸(花蓮港及蘇澳港)及南部海岸(高雄港及安平港)幾乎相同、在北部海岸(基隆港及台北港)及南部海岸(高雄港及安平港)則 6 小時間隔及節點水深有略微偏小、在西部海岸(台中港)則 6 小時間隔及節點水深有明顯偏小的情形。示性週期方面，除了在南部海岸外，其他海岸裡 6 小時間隔及節點水深有明顯偏小的情形。而三種方式推算的七個商港的主波方向均大致相同。

#### 2.4.7 綜合檢討

綜合以上比較可知，即使是 SWAN 中域波浪推算採用定常狀態的模擬，但由於初始波場的選定仍然會影響到波浪推算的結果，因此未來應儘可能縮短推算的時間間隔。但此一改善需要衡量波浪預報的作業時程要求，以及軟硬體與作業系統的選定與改善。必要時，可能需要從統計的觀點，觀察海氣象變化的速度，以決定最佳的推算時間間隔。

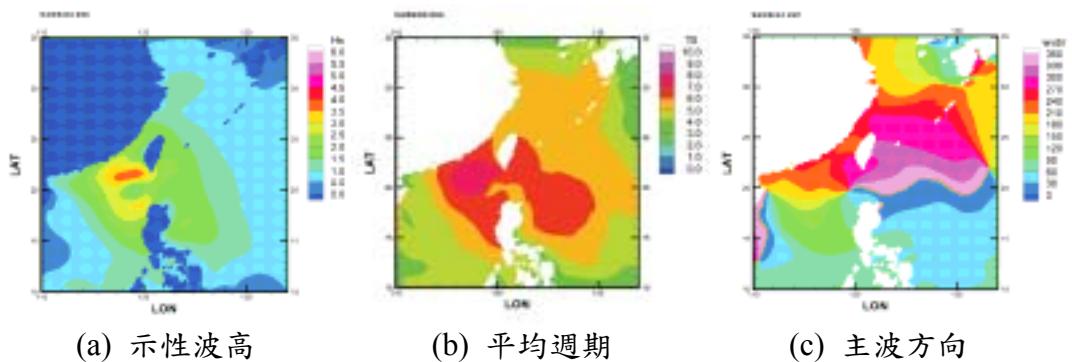


圖 2.4.6.1 2005/09/23 00h 的 WAM 波浪推算結果(節點水深)

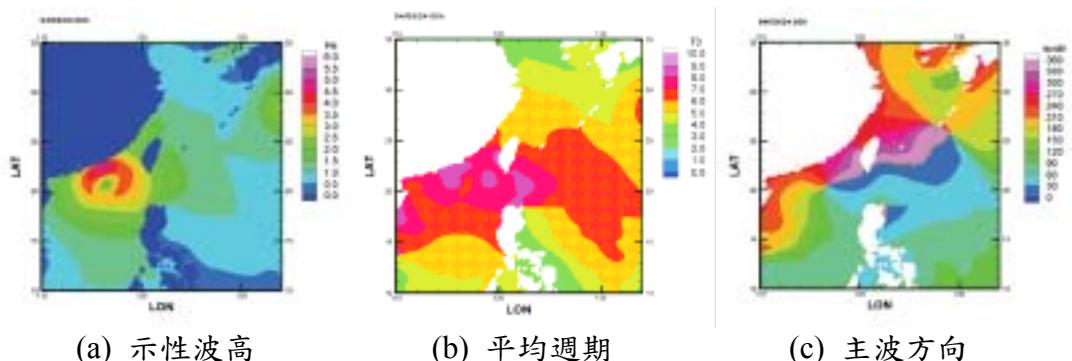


圖 2.4.6.2 2005/09/24 00h 的 WAM 波浪推算結果(節點水深)

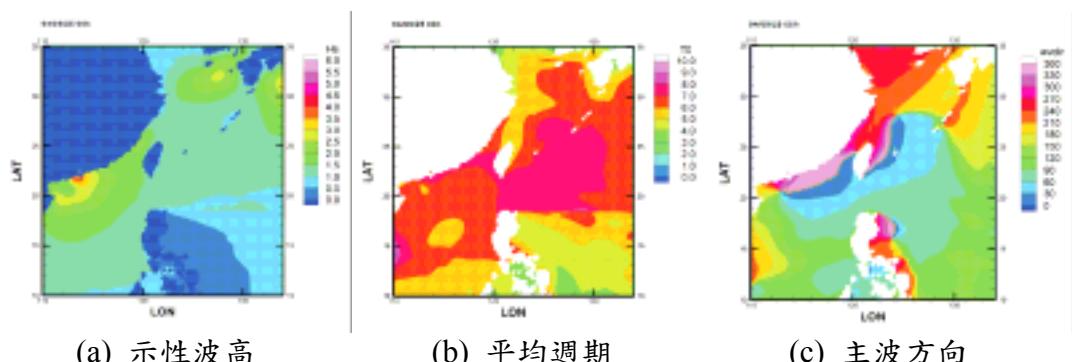


圖 2.4.6.3 2005/09/25 00h 的 WAM 波浪推算結果(節點水深)

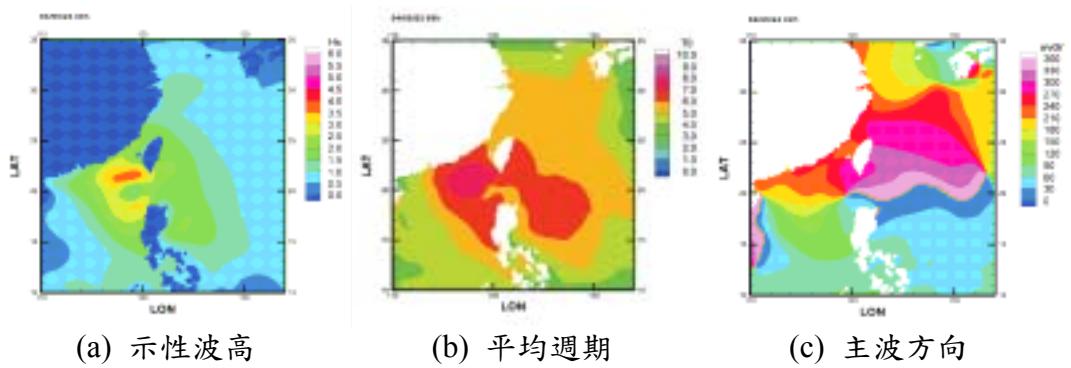


圖 2.4.6.4 2005/09/23 00h 的 WAM 波浪推算結果(平均水深)

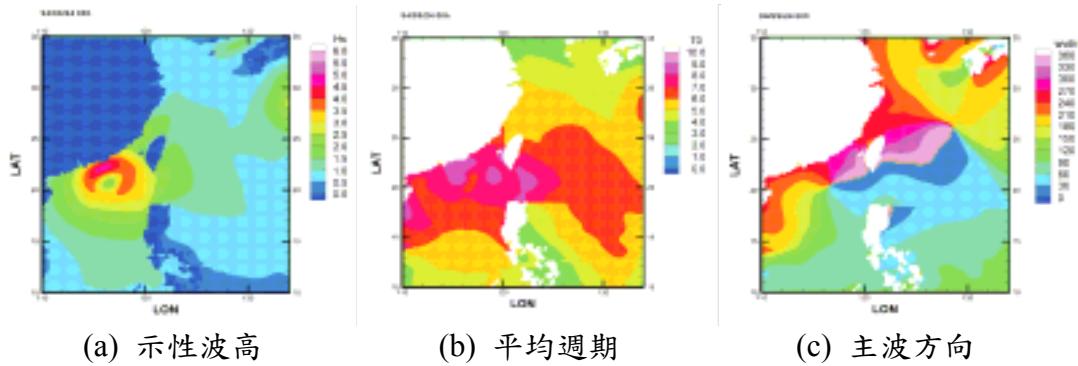


圖 2.4.6.5 2005/09/24 00h 的 WAM 波浪推算結果(平均水深)

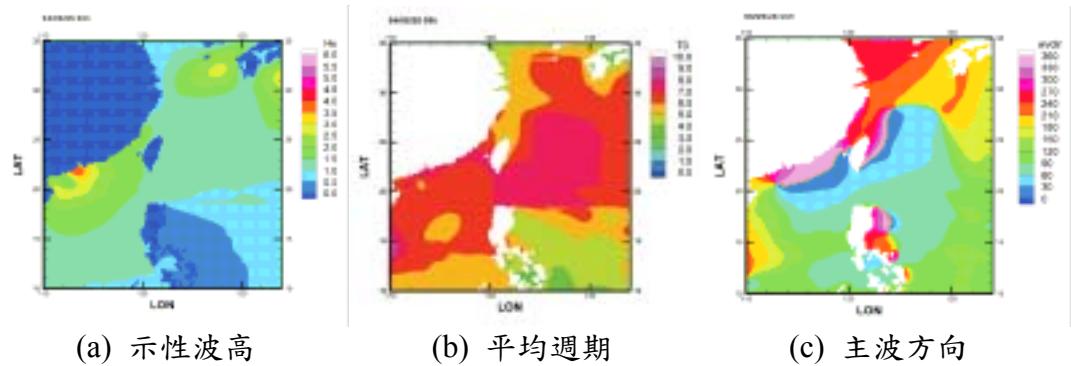


圖 2.4.6.6 2005/09/25 00h 的 WAM 波浪推算結果(平均水深)

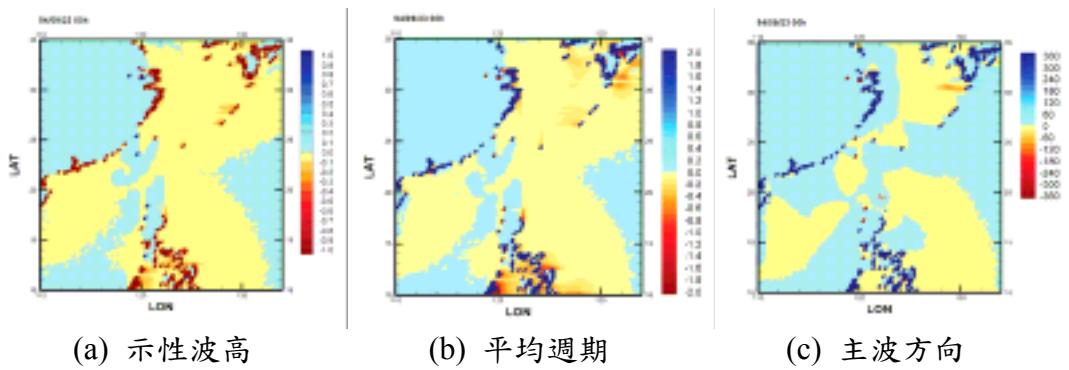


圖 2.4.6.7 2005/09/23 00h 的 WAM 波浪推算結果  
(節點水深與平均水深之差值)

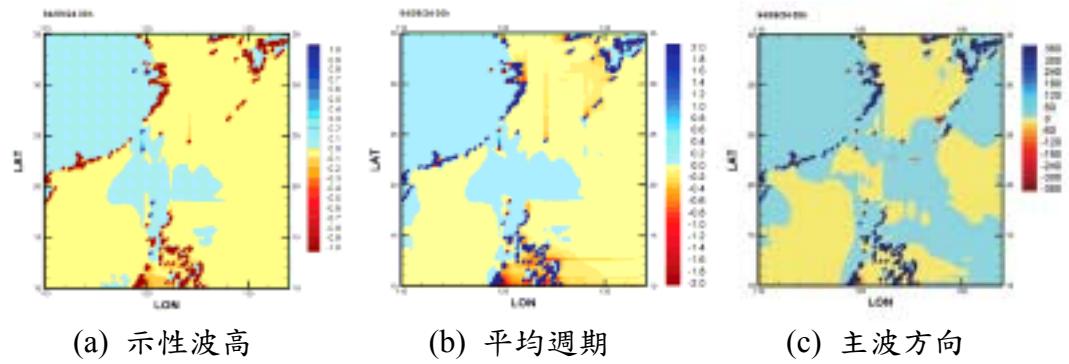


圖 2.4.6.8 2005/09/24 00h 的 WAM 波浪推算結果  
(節點水深與平均水深之差值)

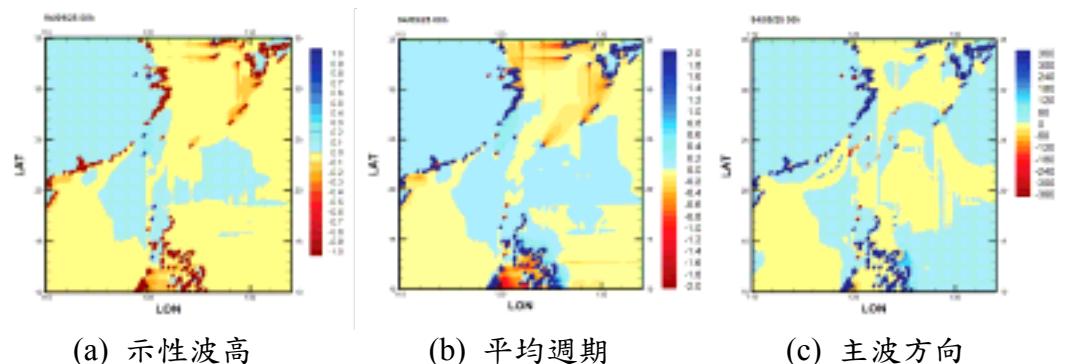


圖 2.4.6.9 2005/09/25 00h 的 WAM 波浪推算結果  
(節點水深與平均水深之差值)

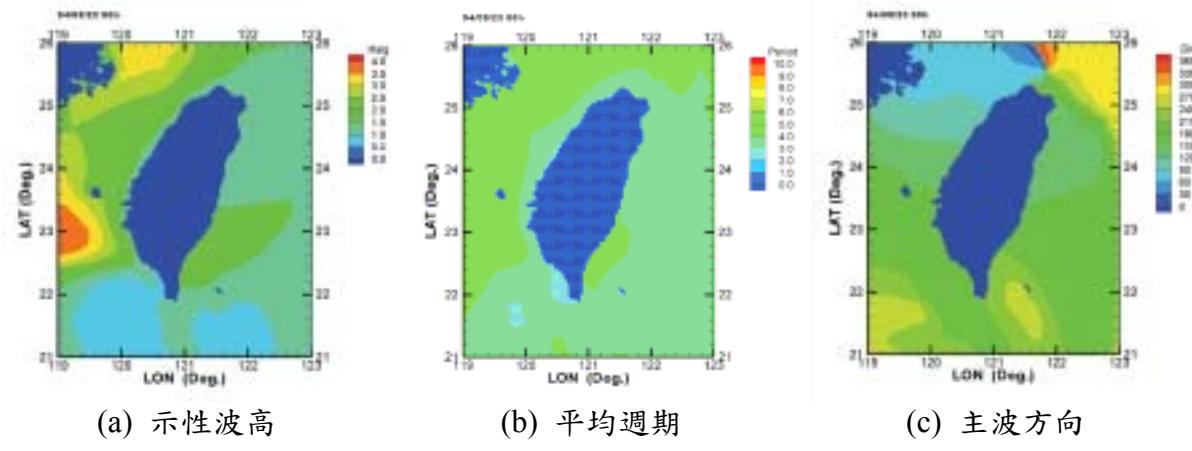


圖 2.4.6.10 2005/09/23 00h 的 SWAN 波浪推算結果  
(節點水深、3 小時間隔)

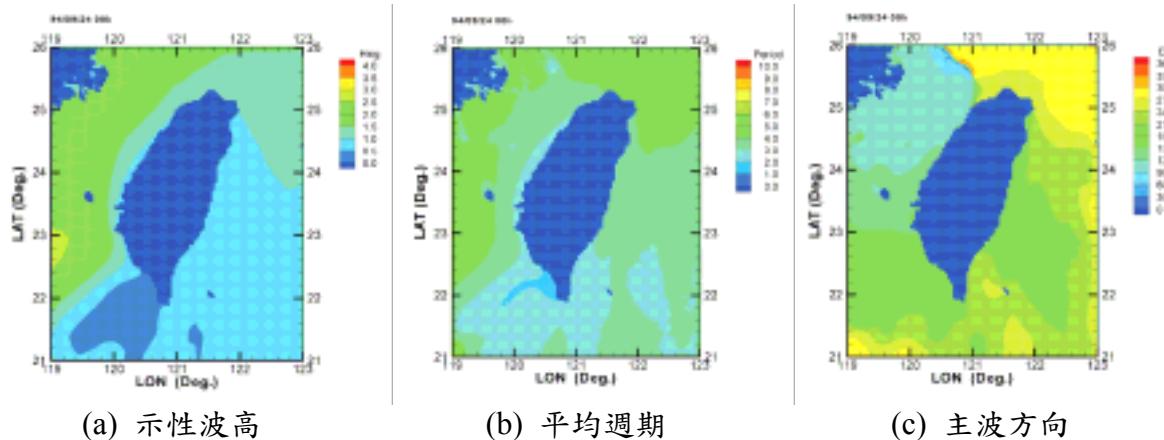


圖 2.4.6.11 2005/09/24 00h 的 SWAN 波浪推算結果  
(節點水深、3 小時間隔)

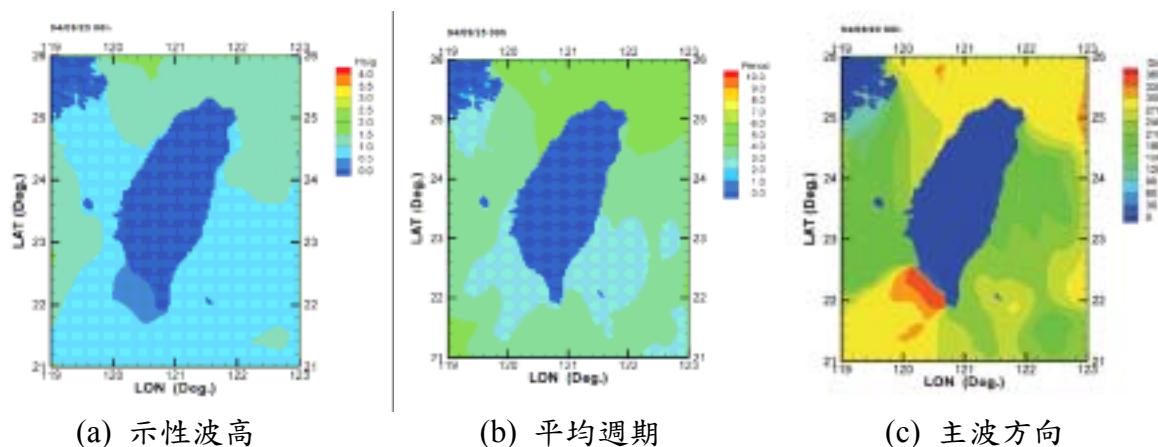
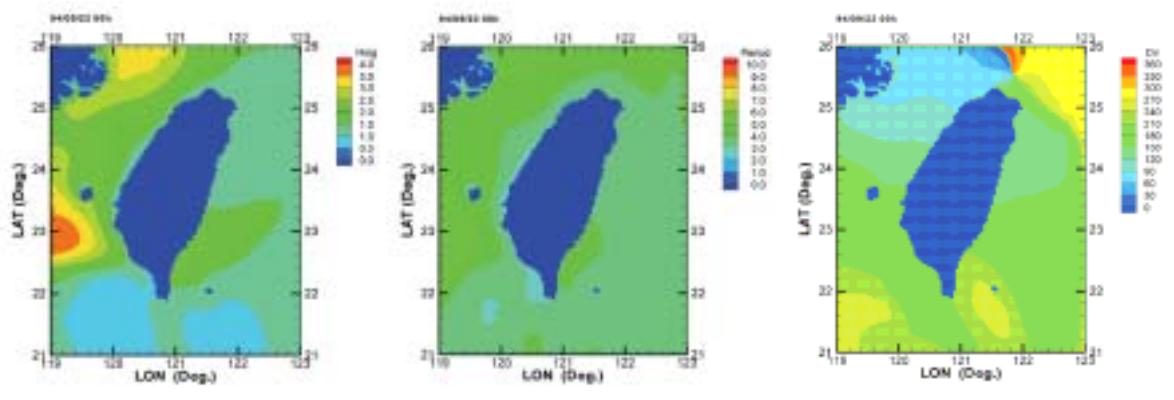


圖 2.4.6.12 2005/09/25 00h 的 SWAN 波浪推算結果  
(節點水深、3 小時間隔)

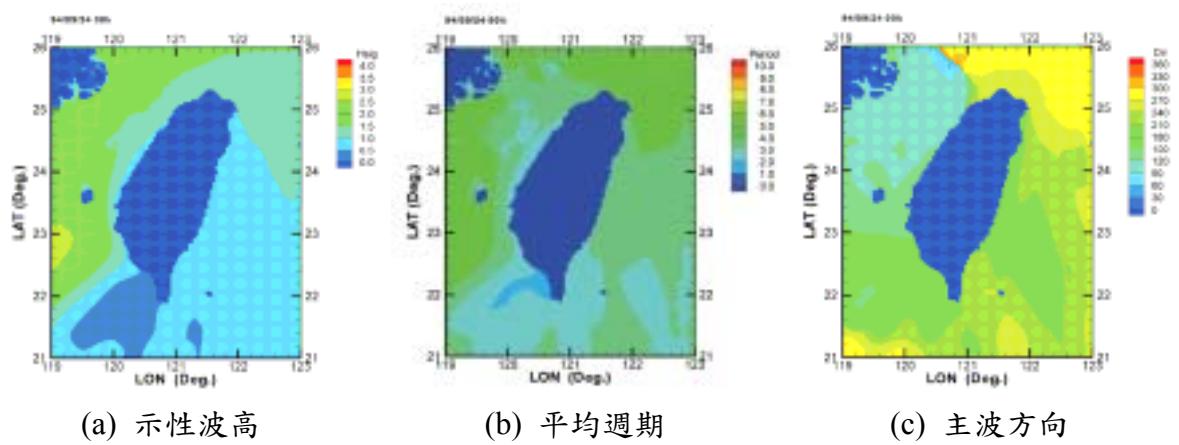


(a) 示性波高

(b) 平均週期

(c) 主波方向

圖 2.4.6.13 2005/09/23 00h 的 SWAN 波浪推算結果  
(平均水深、3 小時間隔)

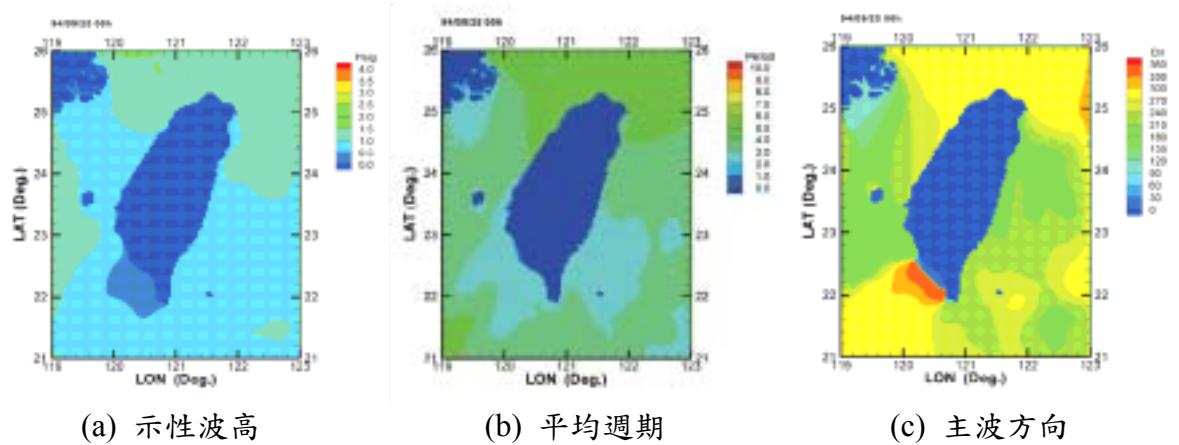


(a) 示性波高

(b) 平均週期

(c) 主波方向

圖 2.4.6.14 2005/09/24 00h 的 SWAN 波浪推算結果  
(平均水深、3 小時間隔)

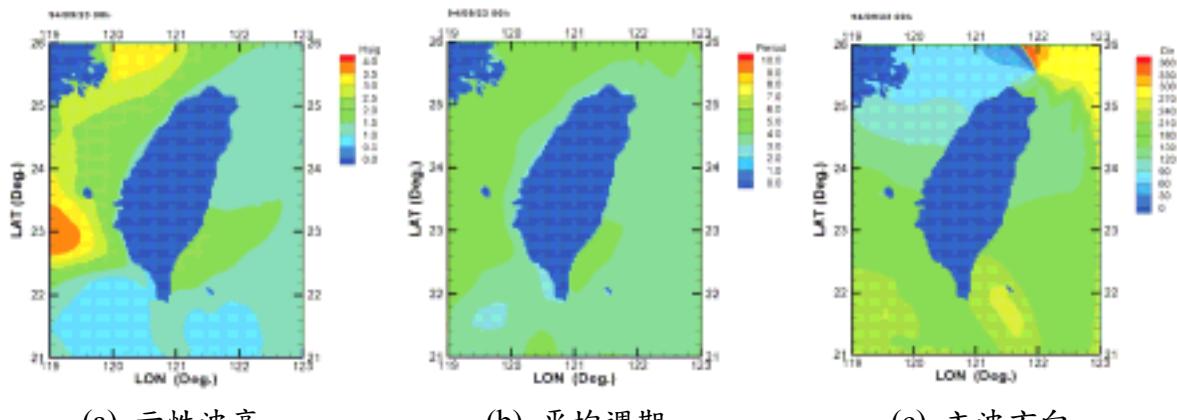


(a) 示性波高

(b) 平均週期

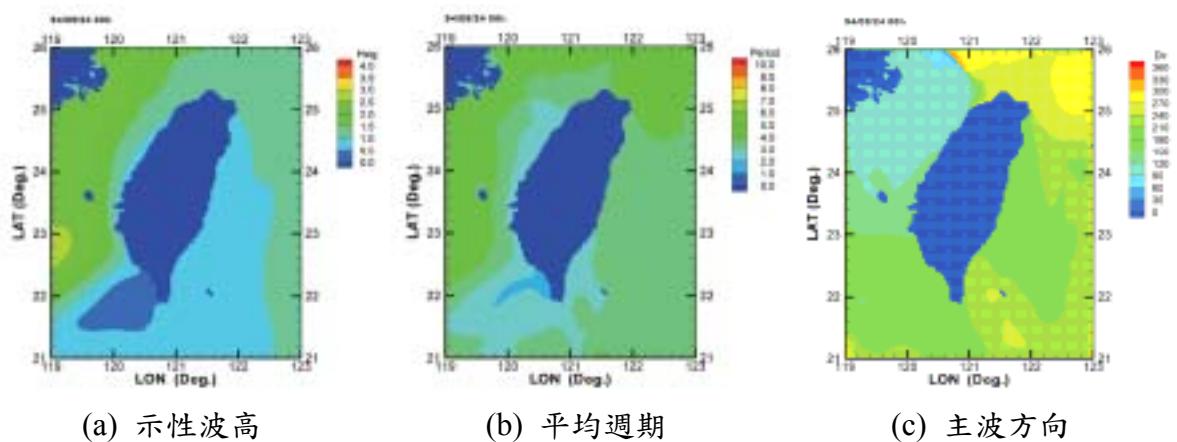
(c) 主波方向

圖 2.4.6.15 2005/09/25 00h 的 SWAN 波浪推算結果  
(平均水深、3 小時間隔)



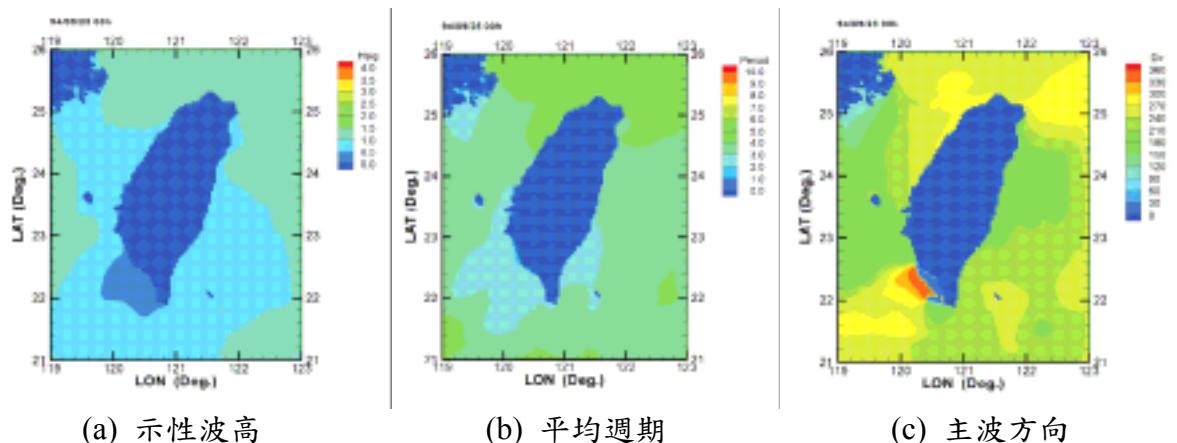
(a) 示性波高 (b) 平均週期 (c) 主波方向

圖 2.4.6.16 2005/09/23 00h 的 SWAN 波浪推算結果  
(節點水深、6 小時間隔)



(a) 示性波高 (b) 平均週期 (c) 主波方向

圖 2.4.6.17 2005/09/24 00h 的 SWAN 波浪推算結果  
(節點水深、6 小時間隔)



(a) 示性波高 (b) 平均週期 (c) 主波方向

圖 2.4.6.18 2005/09/25 00h 的 SWAN 波浪推算結果  
(節點水深、6 小時間隔)

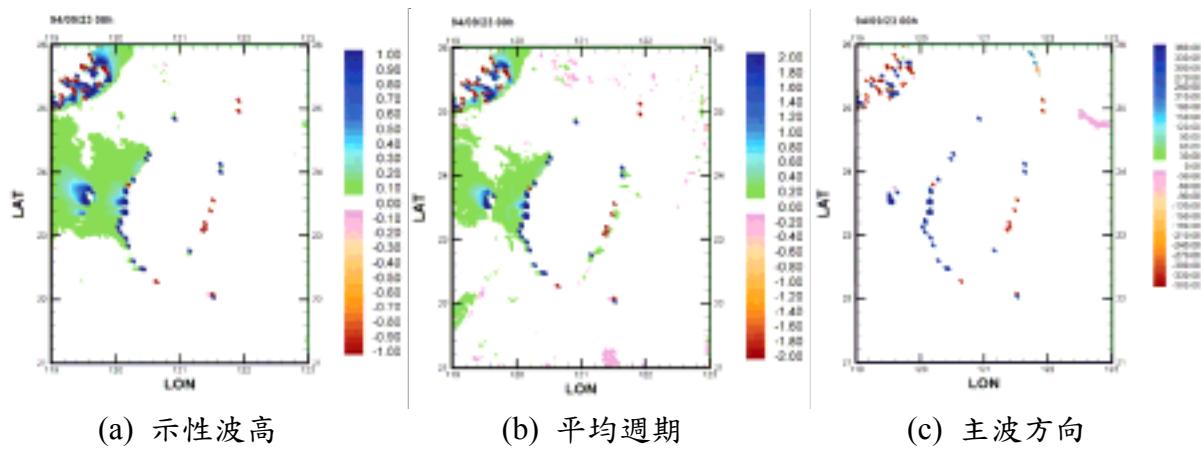


圖 2.4.6.19 2005/09/23 00h 的 SWAN 波浪推算結果  
(3 小時、節點水深與平均水深之差值)

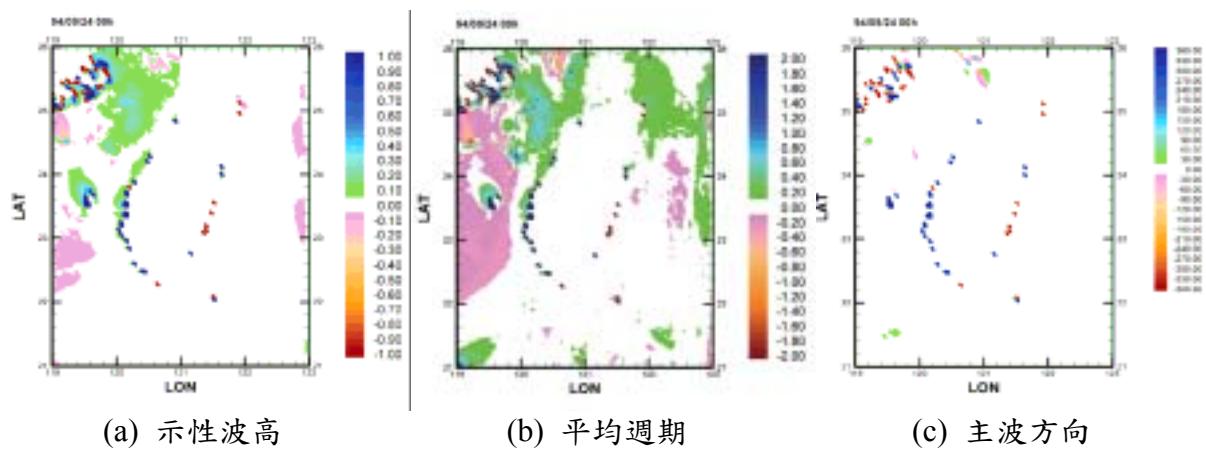


圖 2.4.6.20 2005/09/24 00h 的 SWAN 波浪推算結果(3 小時、節點水深與平均水深之差值)

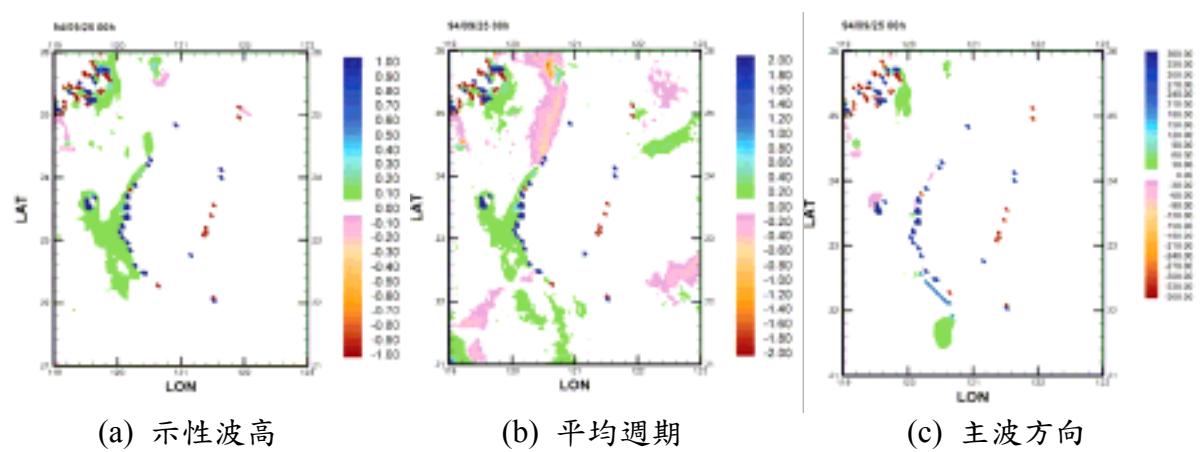


圖 2.4.6.21 2005/09/25 00h 的 SWAN 波浪推算結果  
(3 小時、節點水深與平均水深之差值)

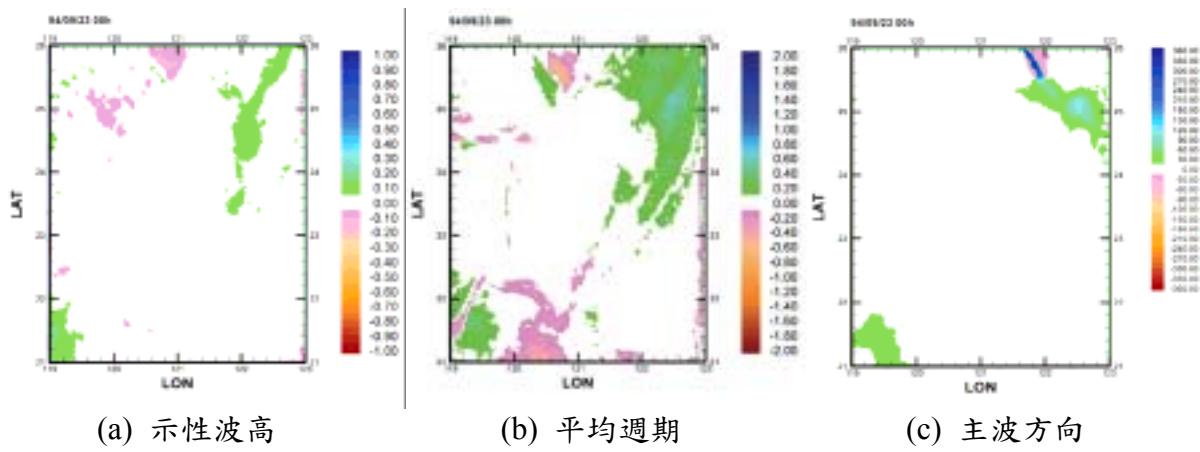


圖 2.4.6.22 2005/09/23 00h 的 SWAN 波浪推算結果  
(節點水深、3 小時與 6 小時間隔之差值)

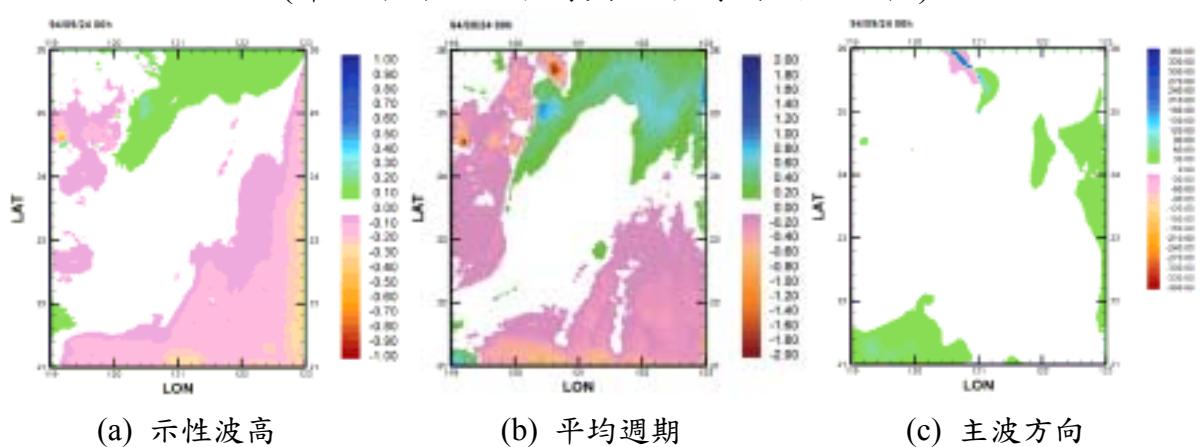


圖 2.4.6.23 2005/09/24 00h 的 SWAN 波浪推算結果  
(節點水深、3 小時與 6 小時間隔之差值)

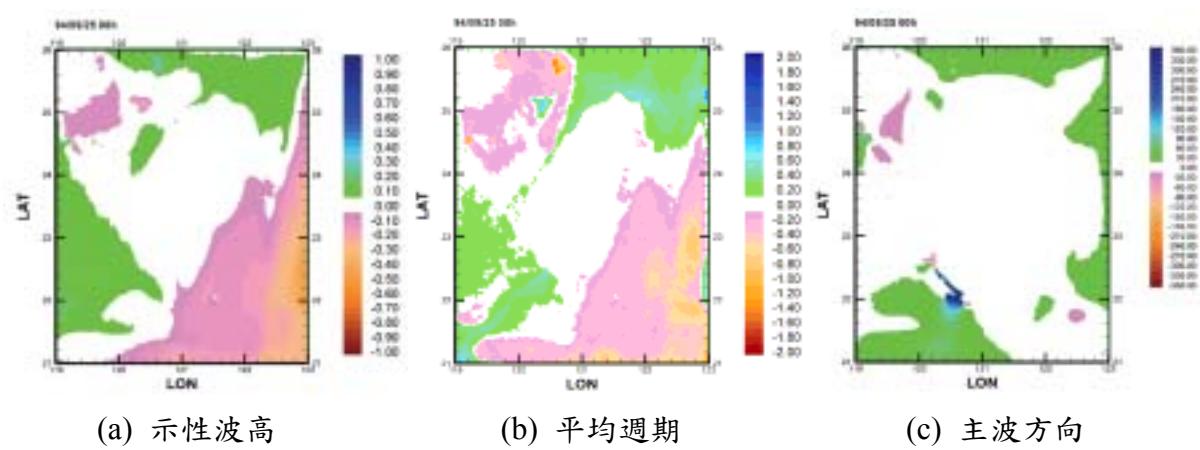
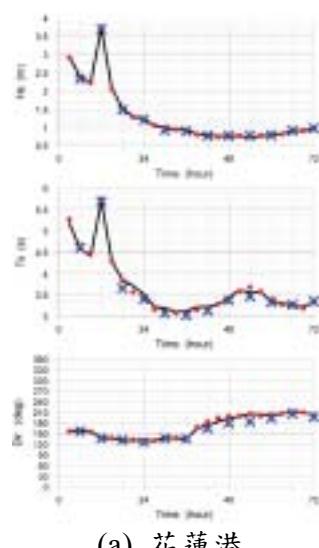
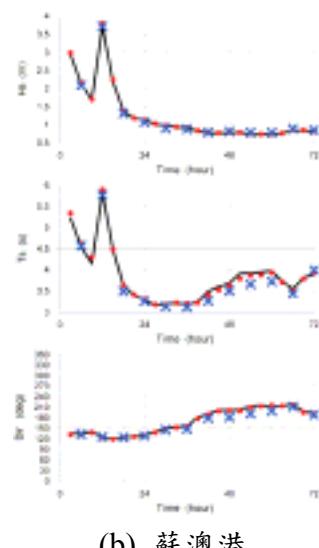


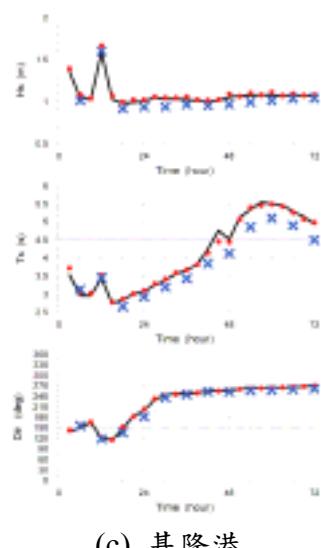
圖 2.4.6.24 2005/09/25 00h 的 SWAN 波浪推算結果  
(節點水深、3 小時與 6 小時間隔之差值)



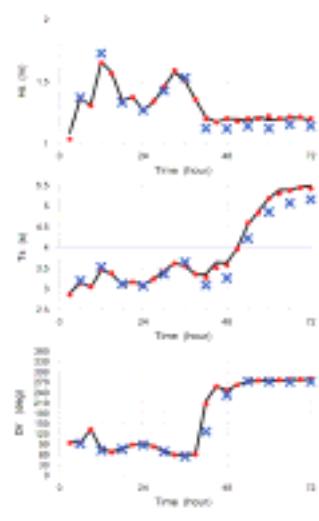
(a) 花蓮港



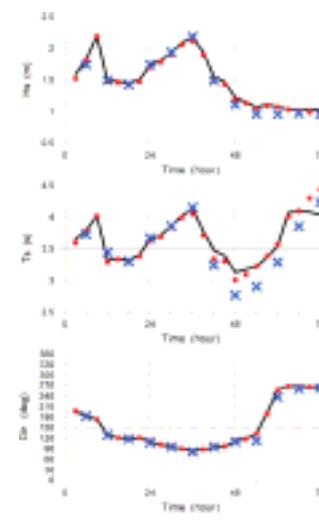
(b) 蘇澳港



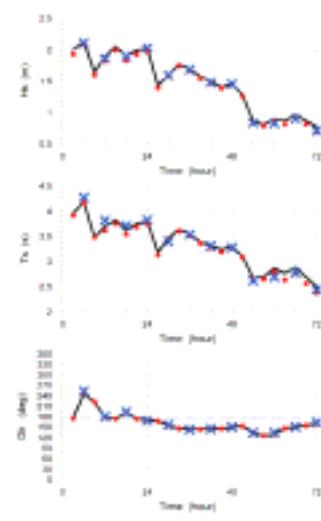
(c) 基隆港



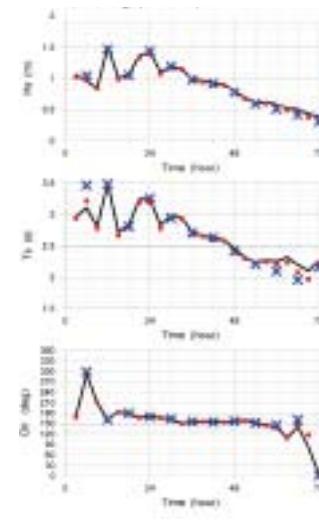
(d) 台北港



(e) 台中港



(f) 安平港



(f) 高雄港

圖 2.4.6.25 2005/09/22 之 72 小時波浪推算結果(實線：3 小時間隔及節點水深；●：3 小時間隔及平均水深；×：6 小時間隔及節點水深)

### 第三章 擴散數值模式

為因應污染擴散，本年度將進行擴散模式的建置，主要目標為河口溫鹽及油污擴散，分別論述如後兩節。

#### 3.1 河口溫鹽擴散模式

去年度本計畫使用歐盟發展的模式-COHERENS 作為水位及海流的計算工具，並配合發展適合台灣海域颱風作用的颱風模式及參數率定，更與中央氣象局每日預報之動態封場結合，成為本土化應用之潮汐及風暴潮複合動力模式及海流模式。

本年度進行溫鹽擴散模式建置。河口為淡水鹹水交會處，其中鹽度分佈會隨著潮汐漲退及河水流量的豐乾變化，鹽度的變化會影響沈積物的沈降，且污染物質普遍會與沈積物結合，因此本年度將著重於鹽度的於河口的分佈變化。由於 COHERENS 本身內含溫鹽模組，因此今年度嘗試利用 COHERENS 的溫鹽計算模組進行河口溫鹽擴散的推算。

本模式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。溫鹽擴散方程式配合水動力模組，計算溫鹽場的分佈。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 (Luyten, 1999)：

動量方程式：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x_1} + v \frac{\partial u}{\partial x_2} + w \frac{\partial u}{\partial x_3} - fv = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x_1} + \frac{\partial}{\partial x_3} \left( v_T \frac{\partial u}{\partial x_3} \right) + \frac{\partial}{\partial x_1} \tau_{11} + \frac{\partial}{\partial x_2} \tau_{21} \quad (3.1.1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x_1} + v \frac{\partial v}{\partial x_2} + w \frac{\partial v}{\partial x_3} + fu = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x_2} + \frac{\partial}{\partial x_3} \left( v_T \frac{\partial v}{\partial x_3} \right) + \frac{\partial}{\partial x_1} \tau_{12} + \frac{\partial}{\partial x_2} \tau_{22} \quad (3.1.2)$$

壓力平衡方程式：

$$\frac{\partial p}{\partial x_3} = -\rho g \quad (3.1.3)$$

連續方程式：

$$\frac{\partial u}{\partial x_1} + \frac{\partial v}{\partial x_2} + \frac{\partial w}{\partial x_3} = 0 \quad (3.1.4)$$

溫鹽擴散方程式

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x_1} + v \frac{\partial T}{\partial x_2} + w \frac{\partial T}{\partial x_3} = \frac{1}{\rho_0 c_p} \frac{\partial I}{\partial x_3} + \frac{\partial}{\partial x_3} \left( \lambda_T \frac{\partial T}{\partial x_3} \right) + \frac{\partial}{\partial x_1} \left( \lambda_H \frac{\partial T}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left( \lambda_H \frac{\partial T}{\partial x_2} \right) \quad (3.1.5)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x_1} + v \frac{\partial S}{\partial x_2} + w \frac{\partial S}{\partial x_3} = \frac{\partial}{\partial x_3} \left( \lambda_T \frac{\partial S}{\partial x_3} \right) + \frac{\partial}{\partial x_1} \left( \lambda_H \frac{\partial S}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left( \lambda_H \frac{\partial S}{\partial x_2} \right) \quad (3.1.6)$$

其中，水平剪力則定義如下：

$$\tau_{11} = 2\nu_H \frac{\partial u}{\partial x_1} \quad (3.1.7)$$

$$\tau_{21} = \tau_{12} = \nu_H \left( \frac{\partial u}{\partial x_2} + \frac{\partial v}{\partial x_1} \right) \quad (3.1.8)$$

$$\tau_{22} = 2\nu_H \frac{\partial v}{\partial x_2} \quad (3.1.9)$$

COHERENS 在水平格點分布採用 Arakawa-C Grid ( Arakawa , 1979 ) 交錯網格(如圖 3.1.1 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。

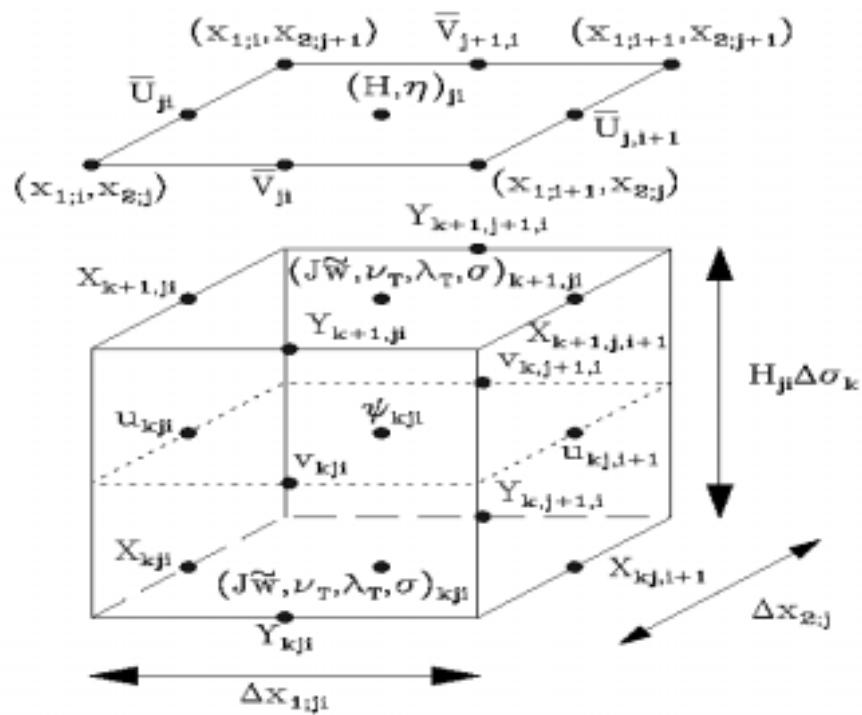


圖 3.1.1 二維及三維的格點分佈(from COHERENS User Documentation)

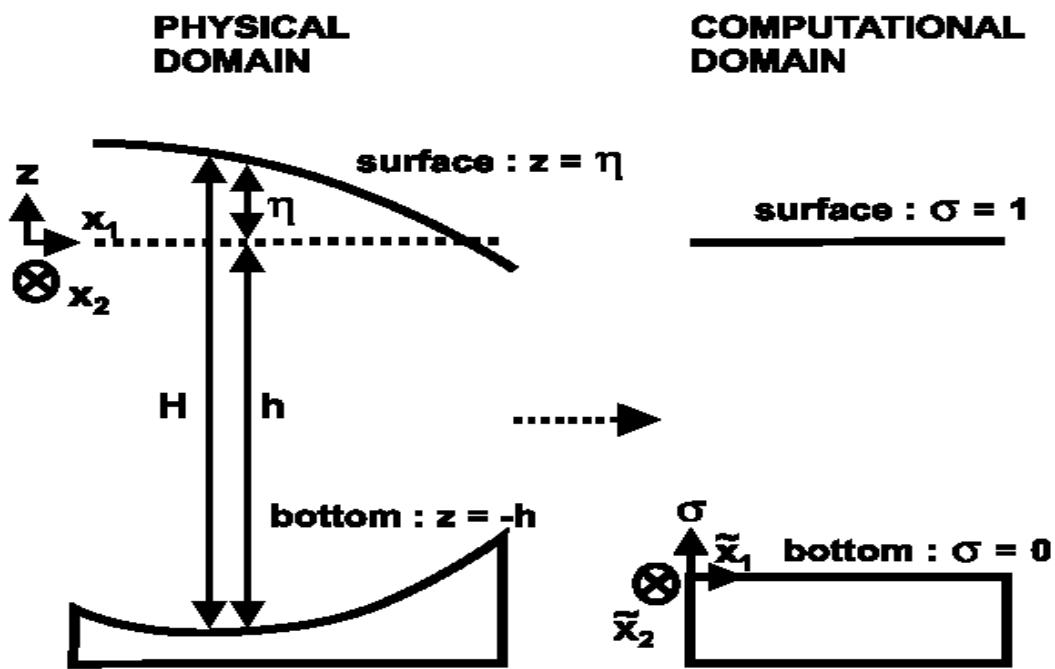


圖 3.1.2 垂直方向之  $\sigma$  座標系統  
(from COHERENS User Documentation)

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 COHERENS 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 3.1.2 所示）。經過座標轉換後，

$$\left( \tilde{t}, \tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \tilde{x}_3 \right) = \left( t, x_1, x_2, Lf(\sigma) \right), \text{ 其中 } \sigma = \frac{x_3 + h}{H}, \text{ 方程式可轉換如下：}$$

連續方程式：

$$\frac{1}{J} \frac{\partial J}{\partial t} + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \tilde{x}_1} (Ju) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \tilde{x}_2} (Jv) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \tilde{x}_3} (Jw) = 0 \quad (3.1.10)$$

動量方程式：

$$\begin{aligned} \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \tilde{t}} (Ju) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \tilde{x}_1} (Ju^2) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \tilde{x}_2} (Juv) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \tilde{x}_3} (Jwu) - fv = \\ -g \frac{\partial \zeta}{\partial \tilde{x}_1} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \rho_a}{\partial \tilde{x}_1} + Q_1 + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \tilde{x}_3} \left( \frac{\nu_T}{J} \frac{\partial u}{\partial \tilde{x}_3} \right) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \tilde{x}_1} (J\tau_{11}) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \tilde{x}_2} (J\tau_{21}) \end{aligned} \quad (3.1.11)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \tilde{t}} (Jv) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \tilde{x}_2} (Jv^2) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \tilde{x}_1} (Juv) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \tilde{x}_3} (Jwu) + fu = \\ -g \frac{\partial \zeta}{\partial \tilde{x}_2} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \rho_a}{\partial \tilde{x}_2} + Q_2 + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \tilde{x}_3} \left( \frac{\nu_T}{J} \frac{\partial v}{\partial \tilde{x}_3} \right) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \tilde{x}_2} (J\tau_{12}) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \tilde{x}_1} (J\tau_{22}) \end{aligned} \quad (3.1.12)$$

壓力平衡方程式

$$\frac{1}{J} \frac{\partial q_d}{\partial \tilde{x}_3} = -g \left( \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} \right) \quad (3.1.13)$$

溫鹽擴散方程式

$$\begin{aligned} \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \tilde{t}} (JT) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \tilde{x}_1} (JuT) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \tilde{x}_2} (JvT) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \tilde{x}_3} (JwT) = \\ \frac{1}{J\rho_0 c_p} \frac{\partial I}{\partial \tilde{x}_1} + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \tilde{x}_3} \left( \frac{\lambda_T}{J} \frac{\partial T}{\partial \tilde{x}_3} \right) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \tilde{x}_1} \left( J\lambda_H \frac{\partial T}{\partial \tilde{x}_1} \right) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \tilde{x}_2} \left( J\lambda_H \frac{\partial T}{\partial \tilde{x}_2} \right) \end{aligned} \quad (3.1.15)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial t} (JS) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_1} (JuS) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_2} (JvS) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_3} (JwS) = \\ \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_3} \left( \frac{\lambda_T}{J} \frac{\partial S}{\partial x_3} \right) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_1} \left( J\lambda_H \frac{\partial S}{\partial x_1} \right) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_2} \left( J\lambda_H \frac{\partial S}{\partial x_2} \right) \end{aligned} \quad (3.1.16)$$

其中

$$Q_i = -\frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_i} (Jq_d) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_3} \left[ q_d \left( \sigma \frac{\partial H}{\partial x_i} - \frac{\partial h}{\partial x_i} \right) \right]$$

$$J = H \left/ \left( L \frac{df}{d\sigma} \right) \right.$$

$$w = \frac{\partial x_3}{\partial t} + u \frac{\partial x_3}{\partial x_1} + v \frac{\partial x_3}{\partial x_2} + w \frac{\partial x_3}{\partial x_3}$$

### 3.1.1 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 COHERENS 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

### 3.1.2 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：

$$\nu_H = C_{m0} \Delta x_1 \Delta x_2 D_T, \quad \lambda_H = C_{s0} \Delta x_1 \Delta x_2 D_T$$

其中在模式中 Cm0 及 Cs0 之數值係數預設為相等的值，

$$D_T^2 = \left( \frac{\partial u}{\partial x_1} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial x_2} \right)^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u}{\partial x_2} + \frac{\partial v}{\partial x_1} \right)^2, \quad \Delta x_1 \text{ 及 } \Delta x_2 \text{ 為格點的間隔大小。}$$

### 3.1.3 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 COHERENS 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。

### 3.1.4 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：

$$\rho_0 \frac{v_T}{J} \left( \frac{\partial u}{\partial \tilde{x}_3}, \frac{\partial v}{\partial \tilde{x}_3} \right) = (\tau_{s1}, \tau_{s2}) = \rho_a C_D^s (U_{10}^2 + V_{10}^2)^{1/2} (U_{10}, V_{10}) \quad (3.1.17)$$

其中 U10 及 V10 為水表面上方 10 公尺的風速， $\rho_a$  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：

$$\frac{\rho_0 v_T}{J} \left( \frac{\partial u}{\partial \tilde{x}_3}, \frac{\partial v}{\partial \tilde{x}_3} \right) = (\tau_{b1}, \tau_{b2}) \quad (3.1.18)$$

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 )

$$C_D^s = 0.0012 \quad |U_{10}| < 11m/s$$

$$C_D^s = 10^{-3} (0.49 + 0.065|U_{10}|) \quad |U_{10}| \geq 11m/s$$

- Smith and Banke ( 1975 )

$$C_D^s = 10^{-3} (0.63 + 0.066|U_{10}|)$$

- Geernaert et al. ( 1986 )

$$C_D^s = 10^{-3} (0.43 + 0.097|U_{10}|)$$

- Charnock ( 1955 )

$$\ln\left(\frac{z_a g}{a|U_{10}|^2}\right) - \ln C_D^s = \frac{\kappa}{(C_D^s)^{1/2}}$$

其中  $z_a = 10 \text{ m}$ ， $a = 0.014$  ( 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、太陽輻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 ( $E_{vap}$ )、太陽輻射能 ( $Q_{sol}$ ) 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。

$$E_{vap} = Q_{la} / L_v \quad (3.1.19)$$

其中  $Q_{la}$  為潛熱（latent heat flux）散失，

$$L_v = 2.5008 \times 10^6 - 2300T_s \quad T_s \text{ 為水表面之水溫 ( ) } \quad (3.1.20)$$

$T_s$  為水表面之水溫 ( )

$$Q_{sol} = Q_{cs}(1 - 0.62f_c + 0.0019\gamma_{\theta,\max})(1 - A_s) \quad (3.1.21)$$

$$Q_{nsol} = Q_{la} + Q_{se} + Q_{lw}$$

$Q_{cs}$  為晴朗天氣下之總輻射能， $f_c$  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。

### 3.1.5 其他特色

為了加快計算的進行，COHERENS 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，COHERENS 中的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 3.1.1 即為 COHERENS 使用之參數，圖 3.1.3 為台灣地區河川流量資料庫網站，其河川流量資料，可作為河口地區溫鹽擴散模式的河川流量輸入參考值。

圖 3.1.4 即為淡水河區域，預計模式垂直層數使用 5 層，以便了解河口地區垂直方向溫鹽隨時間的變化狀況，模式地形則會使用港研中心提供解析度的 0.00458 度地形資料，進行河口溫鹽擴散模式的建置。

圖 3.1.4 及 3.1.5 即為淡水河區域漲退潮模擬結果，由於未能取得河口地區的鹽度分佈，因此本案例將鹽度設定為 33psu，河口排入鹽度為 15psu 進行模擬。由圖上結果可以看到當漲潮時，淡水的影響會往台灣海峽移動，退潮時則退出台灣海峽。



圖 3.1.3 台灣地區河川流量資料庫截圖  
(台灣地區河川流量資料庫網站)

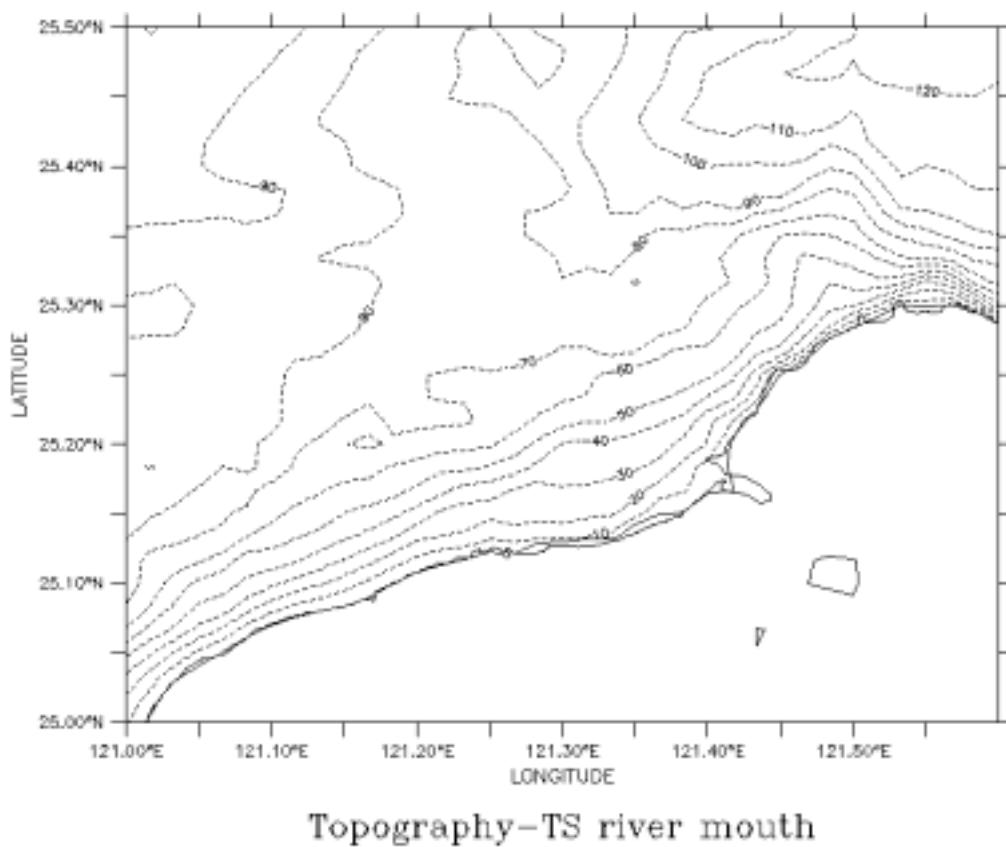


圖 3.1.4 淡水河口等深線圖

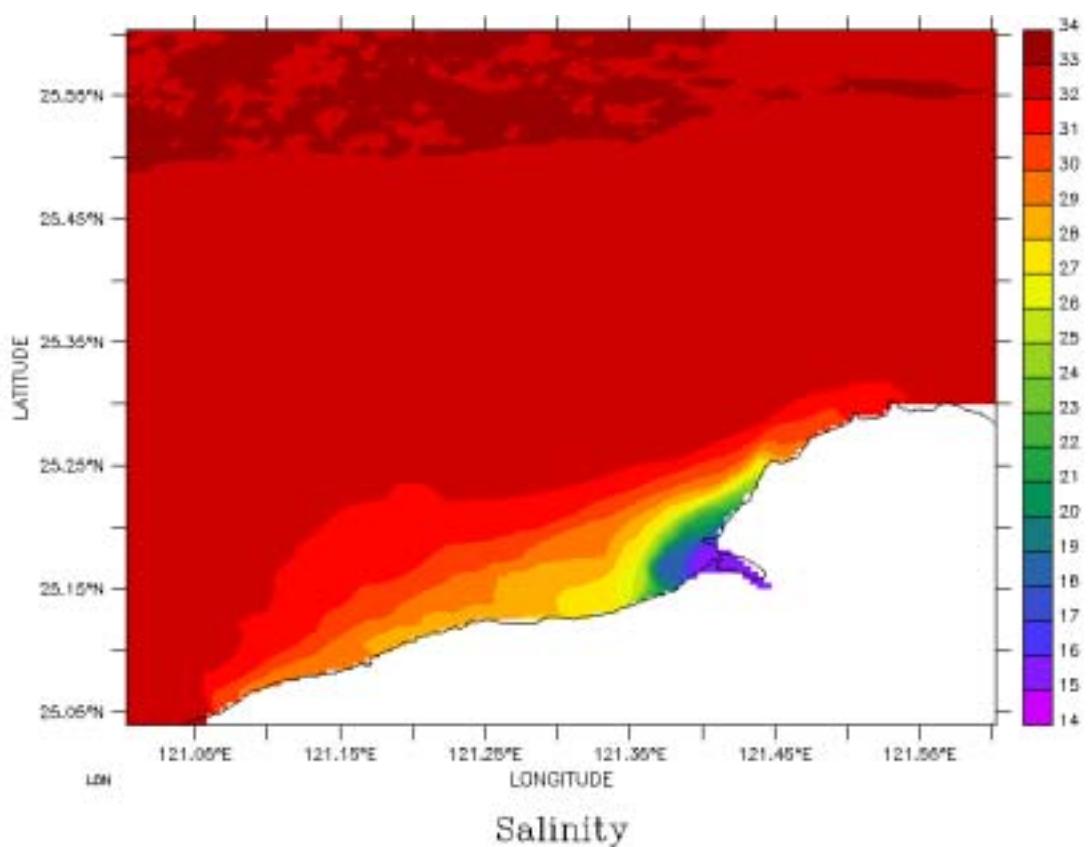


圖 3.1.5 淡水河口退潮時鹽度分佈

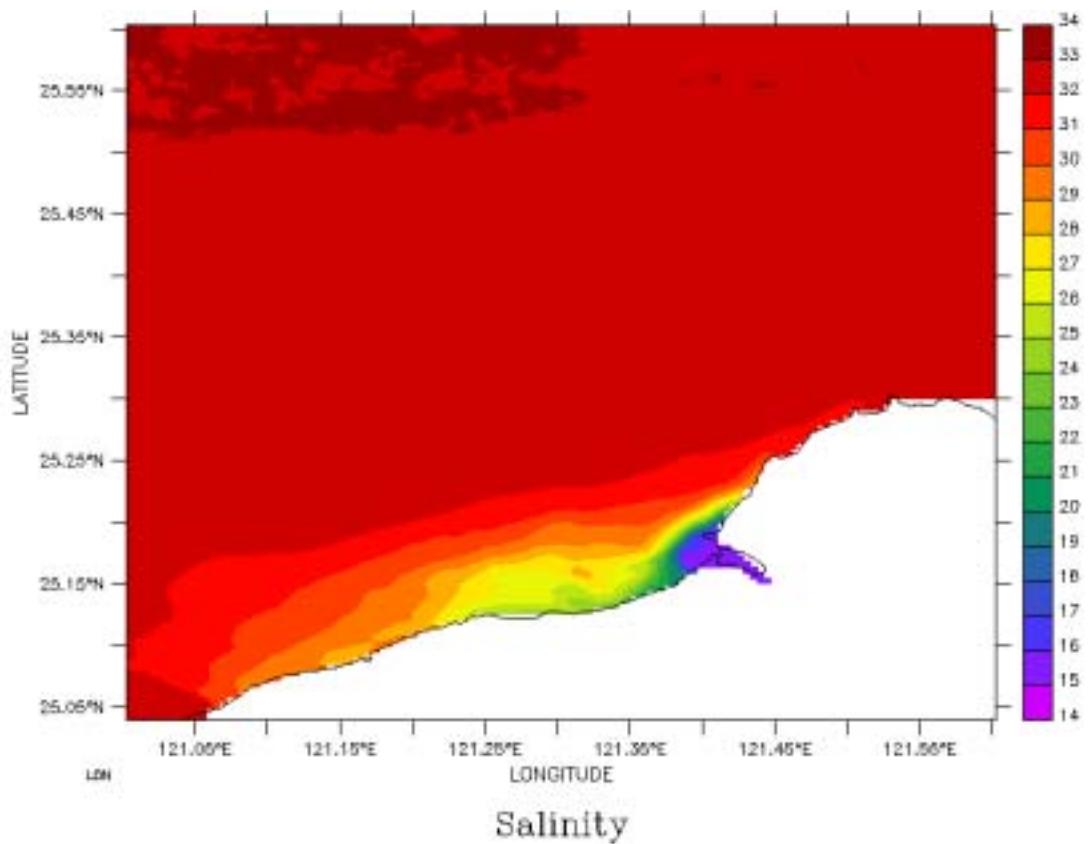


圖 3.1.6 淡水河口漲潮時鹽度分佈

表 3.1.1 COHERENS 中使用之參數

$\nu_T$ , $\lambda_T$	垂直渦流 (eddy) 黏滯係數及擴散係數
$\nu_H$	動量方程式之水平擴散係數
$\lambda_H$	溫鹽水平擴散係數
$\rho$	水體密度 (kg/m <sup>3</sup> )
$\rho_0$	reference density (kg m <sup>-3</sup> )
f	科氏力
g	重力加速度 (m/s <sup>2</sup> )
$u$ , $v$ , $w$	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)
$\zeta$	水位變化 (m)
H	$h + \zeta$
t	時間
$p_a$	大氣壓力 (N/m <sup>2</sup> )
$C_D^s$	拖曳係數
$\rho_a$	空氣密度 (kg/m <sup>3</sup> )
$U_{10}, V_{10}$	x 及 y 方向風速 (m/s)
$Q_{sol}$	太陽幅射能 (Wm <sup>-2</sup> )
$Q_{nsol}$	水體能量散失 (Wm <sup>-2</sup> )
$Q_{la}$	潛熱散失
$Q_{se}$	水表面之熱交換
$Q_{lw}$	長波幅射散失
I	日照強度

## 3.2 台灣海域洩油軌跡預測模式

台灣四面環海，東臨太平洋，北接東海，西邊及南邊分別又有台灣海峽及巴士海峽，海岸線長約一千四百多公里，海域面積遼闊，為世界三大大陸棚之一；台灣海峽及台灣東岸太平洋沿岸早就是貨物運往大陸沿岸及日、韓等國必經的海域，海運交通相當頻繁。因此對海洋污染防治的工作，尤以意外洩油的處理，更需及早研擬有效的因應對策。

民國九十年一月十四日在墾丁龍坑附近海域所發生的「阿瑪斯號洩油污染事件」，政府相關部門無法有效的啟動緊急應變與防災除污的機制，造成繼二十四年前基隆外海所發生的「布拉格號油輪洩油污染事件」之後，較為嚴重的海洋洩油污染事件。所以全盤了解洩油的傳輸過程與其宿命，及洩油事故發生後，即時預測油團漂移的路徑，提供緊急應變機制做出即時處置之決策，並可提供資訊作為油污清除與環境復育的參考資料。

為有效防治或防範油污對海洋環境所造成的衝擊，除了減少意外事故的發生以及事後除油技術的處理外，預測油污漂浮擴散的數值模式亦是一項很重要的工具。所以，利用數值模式預測洩油發生後可能的傳輸移動方式與擴散範圍，不僅能提供相關處理單位做有效的決策分析，亦可作為在海岸或海事工程開發及管理風險評估的工具。

本計畫擬發展應用於海洋環境的洩油模式，並將洩油軌跡受潮汐、風場的作用及洩油傳輸機制納入本模式中，並引用 TaiCOMS 預報潮流資料做為流場的基本資料。所以，在本計畫的內容可分成兩部份：第一是數值模式建立的部分，主要是討論水理模式與組群式流線追蹤理論、油團質量變化機制的數值計算步驟；第二是與作業化模式結合的部分。

### 3.2.1 洩油軌跡預測數值模式建立

洩油的移動主要是受到油團與空氣接觸部分的表面及與水面接觸部分的底層之平移外力（含風及海流）所影響；而其他如重力造成的擴散、黏滯力及表面張力等所形成的各種變化過程，亦可使油污本

身的質量、物理與化學性質產生複雜的變化。雖然文獻上有學者嘗試以非常精密的分析方法應用在油團的移動過程中 ( Foda and Cox , 1980 ) , 但是這類複雜的數學處理及計算是一種理想的模式 , 並不適用在處理實際發生的問題上。因此本計畫擬引用「組群式流線軌跡追蹤」理論 ( Lagrangian Discrete Parcel ) 來模擬意外洩油造成的油團移動過程。

這個理論是假設洩油發生後在海面產生的油污團可由一組大量的小油團所組成。但每一個小油團皆具備獨立移動的能力 , 所以他們都能單獨被所在的潮流、風場所帶動 , 他們的移動也會因鄰近油污濃度的不同而改變。所以 , 當這群小油團釋放在海面上以後 , 每一個小油團的移動路徑及質量變化都可利用模式加以追蹤並記錄他們在時間與空間的相對位置 ; 洩油的濃度分佈亦可根據這些小油團在空間固定網格上的分佈情形 , 重新計算每一單位時間的擴散情形。雖然每個小油團均可自由移動 , 但是每個小油團代表在當時油污濃度的空間分佈情形 , 所以他們的移動必須是同時追蹤。

由於洩油擴散過程中許多複雜的機制受到海象與地理環境的影響 , 海象模擬的精確度就直接影響洩油模式的準確度。為建立一適用於台灣海域的洩油模式 , 本計畫引用 TaiCOMS 所發展的數值預報作業化程式 , 作為整個水理模式的基礎。

### 3.2.2 油團擴散傳輸機制 - 「組群式流線軌跡追蹤」理論

「組群式流線軌跡追蹤」理論 ( Lagrangian Discrete Parcel Algorithm ) 應用在洩油模擬上是假設洩漏在海上的油團可由一組質量相同、平均分佈的小油團所組成 , 這群小油團在洩入海中的速率及流量與洩漏的流量成相關比例 , 每個洩入海上的小油團將受到海水表面流速的驅動而漂移 , 這個表面移動速度可以下式表示 :

其中  $v_t$  即是小油團的表面移動速度 ,  $v$  是海面的平均流速

$$v_t = v + v'$$

$v'$  是受紊流干擾而變化的流速分量 , 海面的平均流速是由風場及潮汐運動影響的組合。

在每個計算的單位時間 $\Delta t$  利用表面速度追蹤各小油團在這段時間內的位移，如果流速資料的時間步長過大，為求精確追蹤每一小時油團正確的軌跡，追蹤計算的時間間隔就必須縮小為 $\delta t$ ，因此每個油團在單位時間的位移則可以下式表達：

$v_{tk}$  代表各個小油團於  $\delta t_k$  時段內在海面上的漂移速度， $\Delta s$  是 $\Delta t$  時間內的位移， $\delta t_k$  必須滿足以下的條件 (Roache, 1972; Cheng et al., 1984)

$$\Delta s = \sum_{t,k}^k v_{t,k} \delta t_k$$

$$\Delta t = \sum_{t,k}^k \delta t_k$$

$u_k$  及  $v_k$  是小油團在海面漂移速度在東西向及南北向的分量，這種方法非常類似 Oman and Sydor (1981) 用於追蹤濁度的流線記錄法或是 Cheng et al (1984) 用於水質模式的 Eulerian-Lagrangian method。

### 3.2.3 油團變化機制 - 油團延散理論

在洩油發生後的第一時刻，最重要的過程就是油團的延散機制，因為延散的過程會影響油團在海面散佈的面積，也同時因為散佈面積的大小而影響到後來的一些油團風化作用的機制及結果，例如洩漏油團的揮發量。延散的過程除了由表面流場造程的水平對流與紊流擴散的水動力機制外，海面油團的延散亦受到油團本身的重力及黏滯性、海水表面及油團的表面間表面張力的平衡作用控制。風化作用也會相對的影響到油團的延散過程，因為大多數的過程都會改變油團的特性，不論是物理特性或是化學特性的變化都會影響到海面油團的總量。

延散理論是由一個固定體積的單一油團推導並引用理想化的海面條件，基本考慮是任一時刻的初期延散機制是受到油團重力與表面張力的作用，並與浮力及黏滯力相互平衡。因此可將油團延散的過程分為三個階段，這三個階段的延散過程對一個圓形輻射狀洩油過程的油團延散半徑可以下列三個方程式來描述：

- 沖油的瞬間是由內力及重力主導

$$R = 1.14 (g V t^2 \Delta)^{1/4}$$

- 接著是受到重力與黏滯力控制

$$R = 0.98 (g V^2 t^{3/2} \nu^{-1/2} \Delta)^{1/6}$$

- 最後才是黏滯力與表面張力的平衡。

$$R = 1.60 (\sigma^2 t^3 \rho_w^{-1/2} \nu^{-1})^{1/4}$$

這些公式中：

$$\Delta = (\rho_w - \rho_o) / \rho_o$$

$\nu$ ：水的黏滯係數

$\sigma$ ：表面張力

因此，延散速率亦可由上三式的時間導數來取得，是中油團體積的變化是受到風化作用與其他沖油過程可能造程的體積變化。延散作用下油團在海面上的最後覆蓋面積  $A$  可以下式表示：

$$A_f = 10^5 V^{3/4}$$

這只是一個通常使用經驗公式，基本假設是最後覆蓋的油團厚度

$$h = 10^{-5} V^{1/4} \text{ m}$$

或是當油團延散面積的半徑可由現場觀測回報，亦可以下列公式轉換為油團的厚度：

$$h = V / (\pi R^2)$$

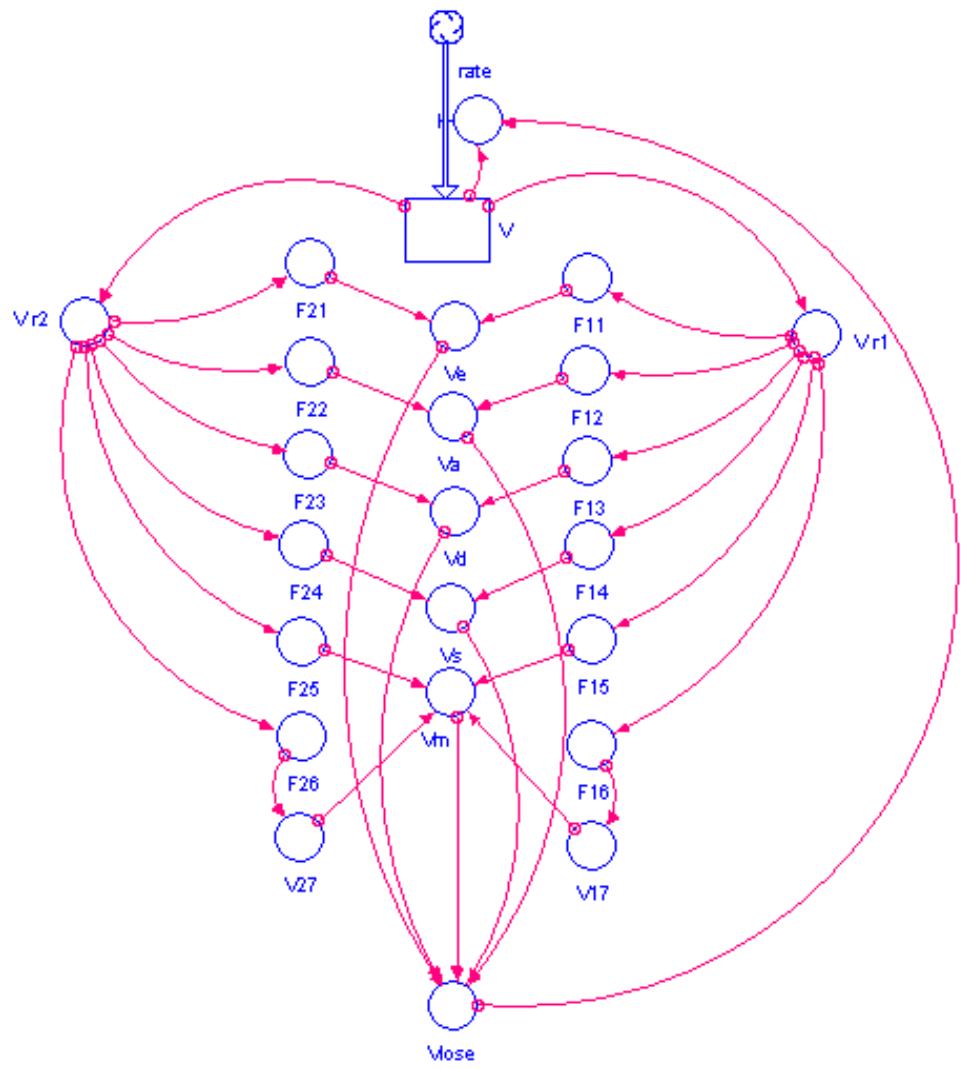
### 3.2.4 油團變化機制 - 油團風化作用

沖油模式的操作必須是在事故發生時，能夠在第一時間取得所需的即時資料，而油品特性的資料庫必須蒐集完備，可隨時提供模式所需之油品特性；另一方面在沖油模式的計算中，複雜又耗時的油品分析程序對計算的效率並無助益，因此，沖油模式通常會專注考量於某些在短時間內即可造成油品質量變化的過程，應是較為有效可行的方式。這些過程包含油品與自然環境接觸後的物理或化學變化機制，亦包含事故發生後的應變措施所造程的油品質量改變，通常必須考量的過程有：

- 挥發
- 海氣交互作用

- 乳化過程
- 垂直擴散
- 溶解作用
- 應變措施 - 又涵蓋了人工或機械回收，及表面除油。表面除油的方法通常是噴灑分散除油劑以改變油團的比重、表面張力與黏滯性。
- 自然環境 - 通常考慮風及波浪在除油過程中的助益，例如風可以加速揮發作用與海氣交換的過程，波浪產生的紊流可以加速分散除油的效果亦可增加乳化作用的進行，增進垂直擴散，本計畫亦對噴撒除油劑在波浪作用下的過程以實驗呈現。

油團的質量變化在模式的計算步驟與油團的漂移分成兩個部分，先計算漂移的位置再計算油團在這段時空中的變化，計算的過程可以流程圖表示。



圖中  $V$  : 油團體積

- $V_1$  : 油團體積中可揮發部分的量
- $V_2$  : 油團體積中不可揮發部分的量
- $V_e$  : 挥發之油團體積 ( $F_{11}, F_{12}$ )
- $V_a$  : 因海氣交換作用減少的量 ( $F_{12}, F_{22}$ )
- $V_d$  : 因垂直擴散減少的量 ( $F_{13}, F_{23}$ )
- $V_s$  : 溶解於水中的量 ( $F_{14}, F_{24}$ )
- $V_m$  : 總回收 (人工或機械) 的量
- $V_{em}$  : 油團發生乳化作用之體積 ( $F_{16}, F_{26}$ )
- $F_{15}, F_{25}$  : 回收之油團體積
- $F_{17}, F_{27}$  : 油團發生乳化作用後回收之體積
- $V_{lose}$  : 油團體積的總損失量
- rate : 油團體積變化率

風化作用之機制計算公式如下：

1. 挥發作用 ( evaporation )

$$F_{11} = \frac{p}{4} k_{ev} 2^{2-b} u_a C_{11} R^{2-b} k_v / 60$$

$$F_{21} = 0$$

其中： $k_{ev} = 1.2 \times 10^8$

$k_v = PM$  (  $P$  : 蒸氣壓,  $M$  : 分子量 )

$\beta = n / (2 + n)$  (  $n$  : 紊流係數,  $n = 0.25$  )

$C_{11} = 0.02$  ( dumping factor )

$$Ve = F_{11} + F_{21} = F_{11} [m^3 / s]$$

2. 海氣交換作用 ( Spray )

$$F_{12} = C_{12} V_{rl} H$$

$$F_{22} = C_{12} V_{r2} H$$

其中： $C_{12} = 10^{-8} [1 / m.s]$

$H$  : 波高

3. 垂直擴散 ( vertical dispersion )

$$F_{13} = C_{13} V_{rl} H + C_{x3} \frac{V_{rl}}{V_r}$$

$$F_{23} = C_{13} V_{r2} H + C_{x3} \frac{V_{r2}}{V_r}$$

$$V = V_{rl} + V_{r2}$$

$$V_d = F_{13} + F_{23} = C_{12} V H + C_{x3}$$

其中  $C_{13} = 3 \times 10^{-6} [m^{-1} s^{-1}]$

$C_{x3}$  = oil removed by dispersant

4. 溶解作用 ( dissolution )

$$F_{14} = C_{14} V_{rl}$$

$$F_{24} = C_{14} V_{r2}$$

$$V_s = F_{14} + F_{24} = C_{14} V_r$$

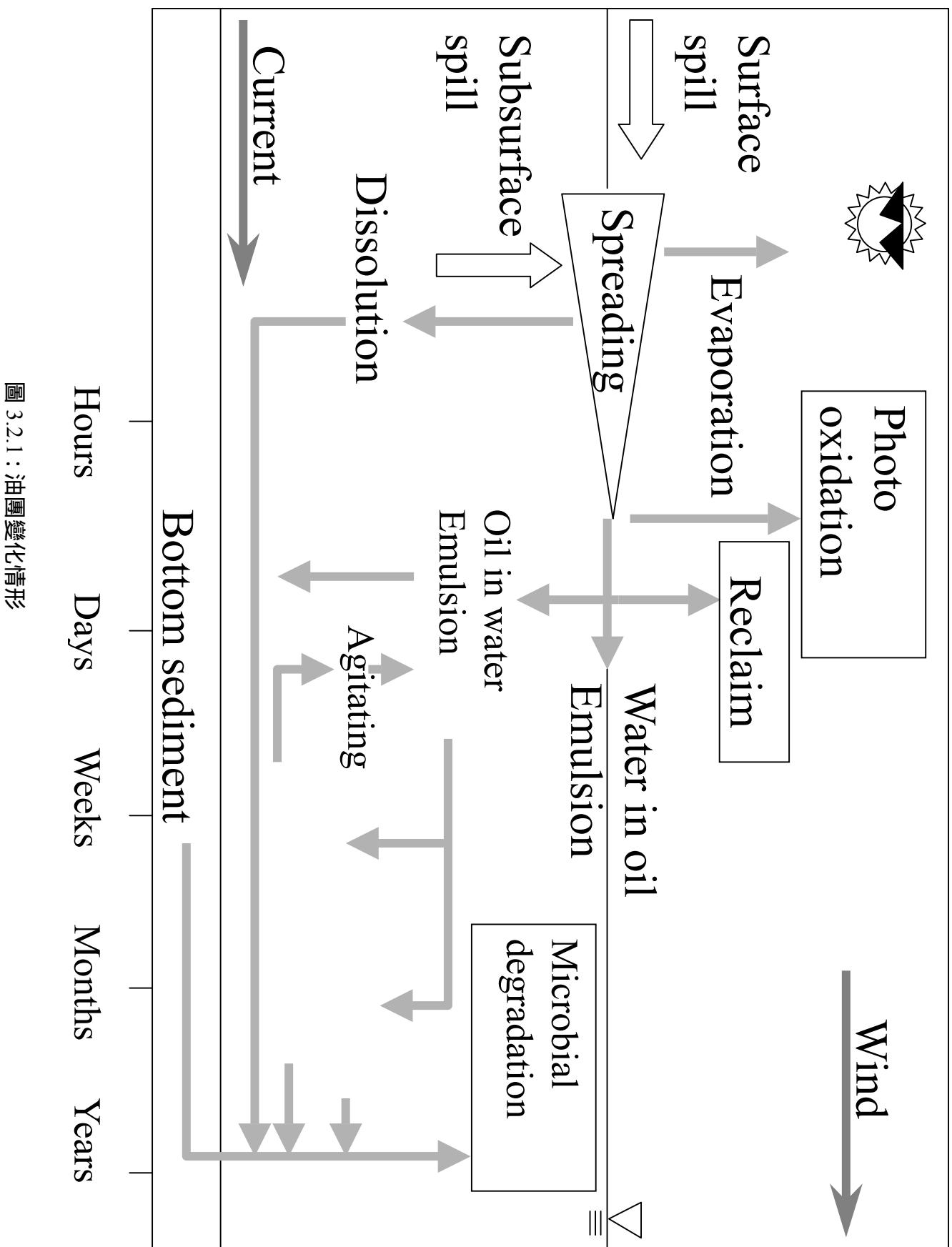
其中  $C_{14} = 4 \times 10^{-10} [s^{-1}]$

## 5. 回收

$$\begin{aligned} F_{15} &= C_{x5} \frac{V_{r1}}{V_t} \quad , \quad F_{25} = C_{x5} \frac{V_{r2}}{V_t} \\ F_{17} &= C_{x5} \frac{V_{em1}}{V_t} \quad , \quad F_{27} = C_{x5} \frac{V_{em2}}{V_t} \\ V_t &= V_{r1} + V_{r2} + V_{em1} + V_{em2} \\ Vm &= F_{15} + F_{25} + F_{17} + F_{27} \\ &= C_{x5} [m^3 s^{-1}] \end{aligned}$$

## 6. 乳化作用

$$\begin{aligned} F_{16} &= V_{r1} \frac{k_{em}}{C_{16}} H \\ F_{26} &= V_{r2} \frac{k_{em}}{C_{16}} H \\ \text{其中 } C_{16} &= 5 \times 10^7 [m \cdot s] \end{aligned}$$



### 3.2.5 MEDSLIK 的基本原理：

本團隊使用 MEDSLIK 作為今年度洩油軌跡模擬的模式。MEDSLIK 是在 1998 年由賽普勒斯大學海洋研究中心 ( Lardner et al. 1998 ) 接受歐盟計劃「Life Project」所研發出來的，目的在於處裡和報告地中海東岸大量的油污染事件。而近幾年來，MEDSLIK 已經成功的應用在阿拉伯海灣、紅海和亞得里亞海。它是一個公共事業可以免費從網路上下載提供各國家的研究機構和學術機構使用來模擬近岸沿海油污染事件。MEDSLIK 是以早期的 OILPOL model 作為基礎，它是個 3D 洩油模式，用來模擬油的傳輸、宿命和風化過程，且結合了許多的海洋預報系統( 例如: CYCOFS MFS-OPA ROSARIO ) 和 SKIRON 的天氣預報系統，也結合了在地中海常出現油品的資料庫 ( From REMPEC )，油品資料多達 220 種以上。它是一個視窗軟體，這軟體包含三個部份：關於溢出和環境狀況的數據填寫在圖表的輸入畫面，在執行程式時將以 DOS 介面顯示，最後再輸出圖表形式的模擬圖示，如此會讓一般人對於洩油過程一目了然。當然它也有簡易 GIS 的功能用來接收沿海和公海的訊息。

MEDSLIK 是集合洩油的各種機制。油剛開始溢出就會進行擴展 ( spreading ) 蒸發 ( evaporation ) 延散 ( Dispersion )，幾天後皆會有風化 ( weathering ) 乳化 ( emulsify ) 現象發生。在這期間油因為蒸發消失了一小部分，其餘的部分開始與海水結合或是乳化 ( emulsify )，這些過程反應在密度和黏度的變化。因為一直都會受到流和風的作用，有部分油將會開始飄移至海岸，而海岸的吸收率被海岸線的種類所影響，而這軟體也在海岸線的類型上有所表現。這軟體對油粒子的追蹤，是在 Monte Carlo 模型中採用 Lagrangian 軌跡追蹤法，這是指油團洩漏至海面完成初步分散的過程後以一組的小油團代表整片油團的位置及特性，若是連續洩油可以由多組的小油團作為追蹤，如此可以明白了解油粒子擴散漂移的路徑。

MEDSLIK 是一個可以在網路上直接下載的免費軟體，它也對於其他使用者不設權限的使用各自所希望的地圖上，並且也在地中海附近區域已經成功的模擬許多的洩油污染事件，因此本團隊試著將這套

軟體套用在台灣附近海域，輸入台灣附近海域的水流、風場和地形，來更能確實模擬出油的傳輸 命運(黏度和密度的改變)和風化過程，來更快讓洩油所造成的汙染減至最低，以保護我們海域、海岸資源。地圖將包含台灣本島、離島和大陸沿岸，範圍設定在經度 118~123 度、緯度 21~26 度，格點將採用 1 分，如圖 3.2.2。這套軟體可讓使用者自行建立的資料包含：海岸線 地形 四季不同水深的水流速度、風速、海岸線類型、海平面溫度等。

目前 MEDSLIK 已更新至 5.1 版，又多增加了許多重要且值的注意洩油現象，其中就是油污上岸之後隨風場和流場的轉變而再度重回海中和油團移動軌跡的模擬，並 5.1 版已經解決在經度只能讀兩位數的問題。

以下是介紹 MEDSLIK5.1 版的功能及應用設計台中港外海油污染事件：

- MEDSLIK 5.1 版功能介紹

1. MEDSLIK5.1 版的開始介面，其中較為不同的是在左下角會顯示出你所設計的地圖 ( 見圖 3.2.2 )

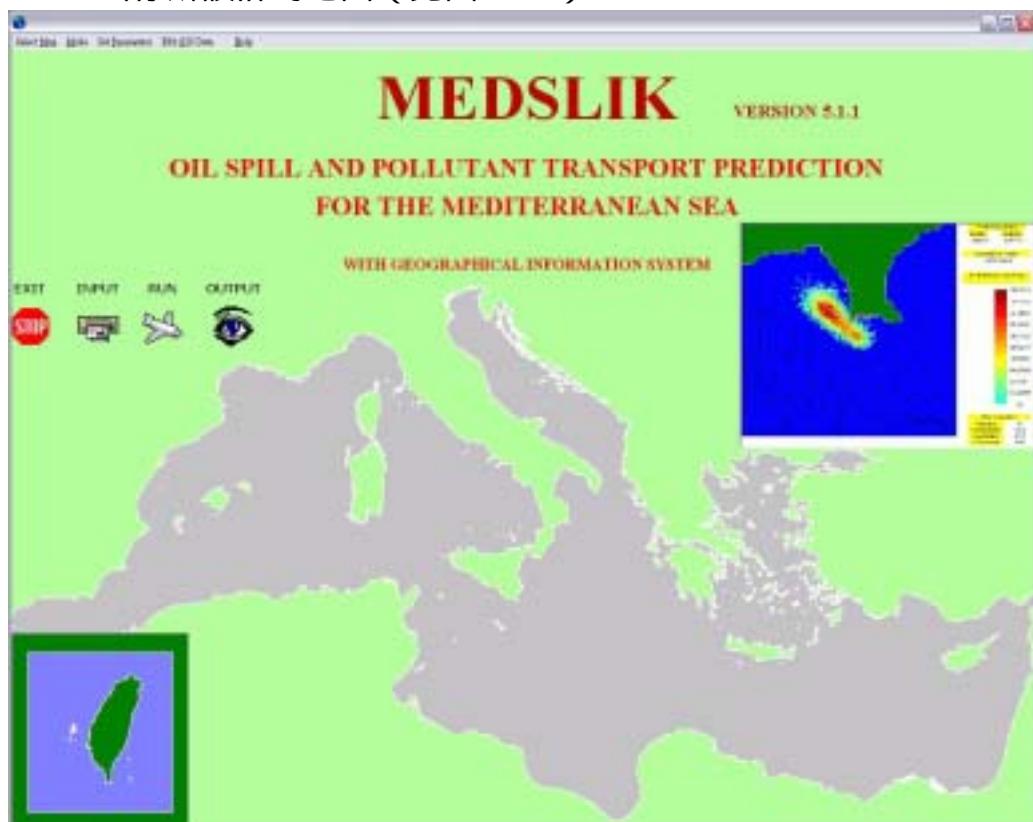


圖 3.2.2 MEDSLIK 5.1 版介面

2. 一些機制參數的修改(見圖 3.2.3), 其中包含有蒸發、乳化、延展、擴散、海岸衝擊等模式的參數(見圖 3.2.4、圖 3.2.5)

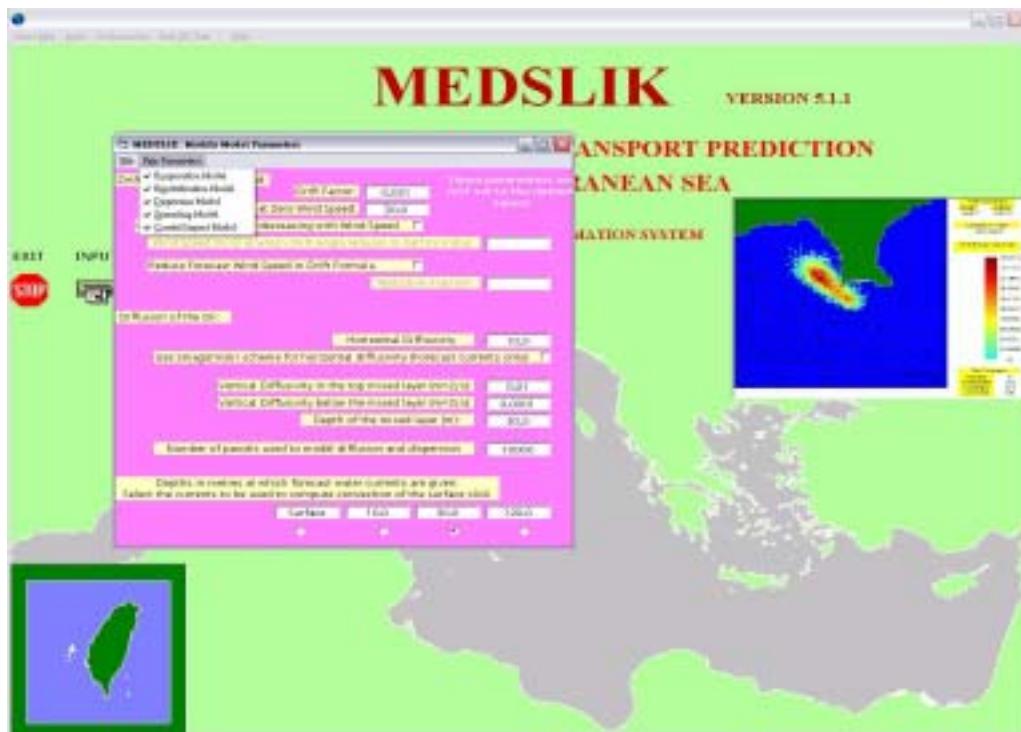


圖 3.2.3 洩油各種機制參數：包括蒸發、乳化、延展、擴散、海岸衝擊

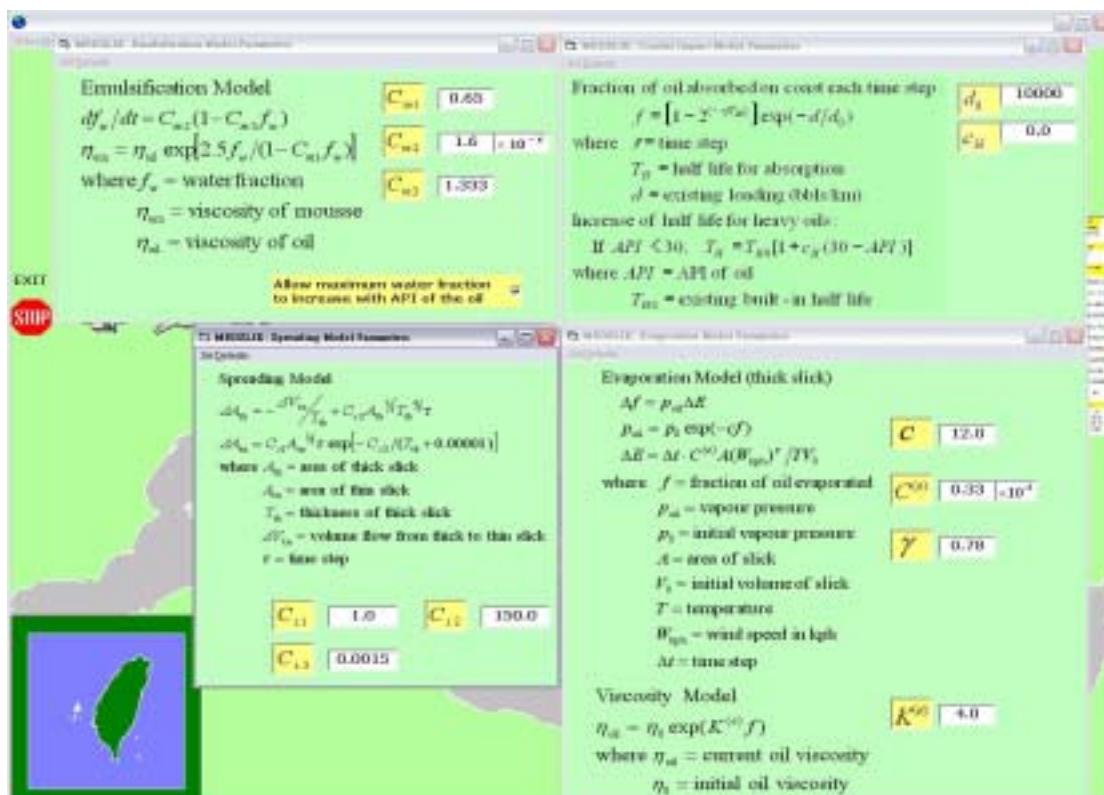


圖 3.2.4 洩油機制參數修改

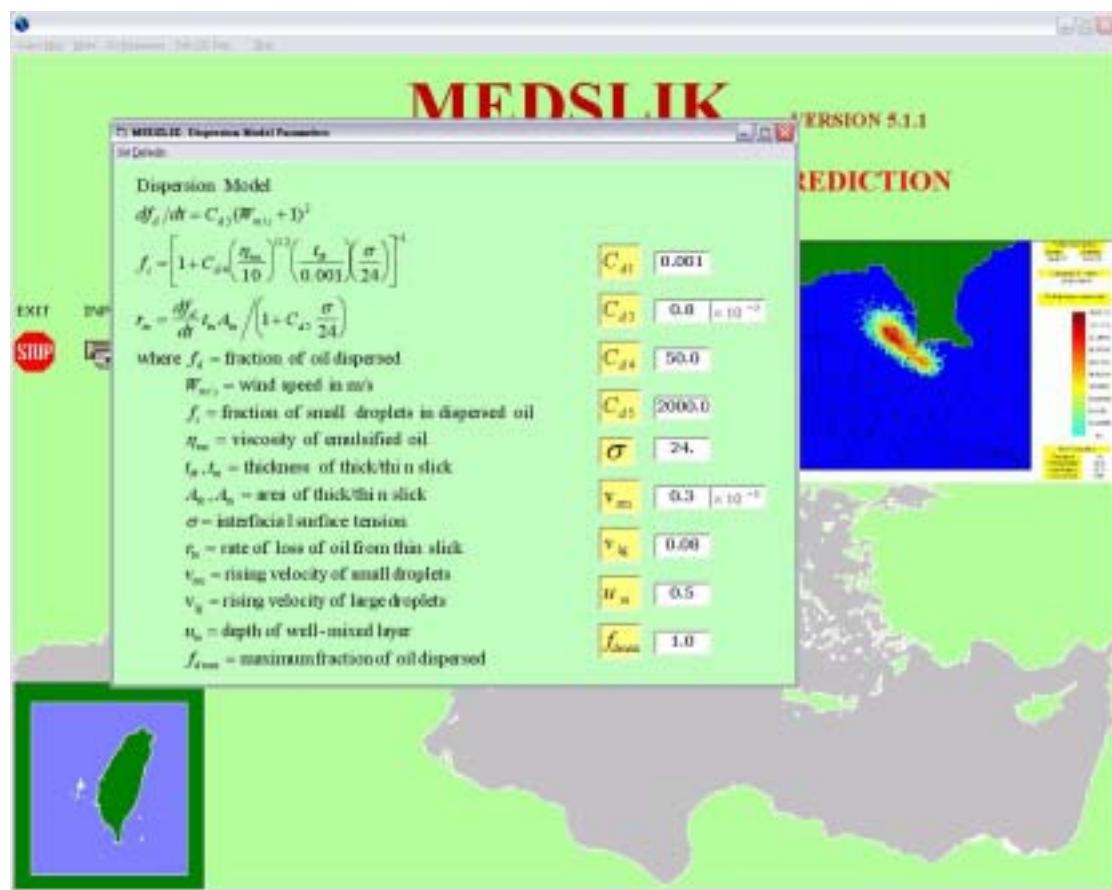


圖 3.2.5 洩油機制參數修改

3. 可以表現每個油團在所模擬時間油團所跑的軌跡（見圖 3.2.6）

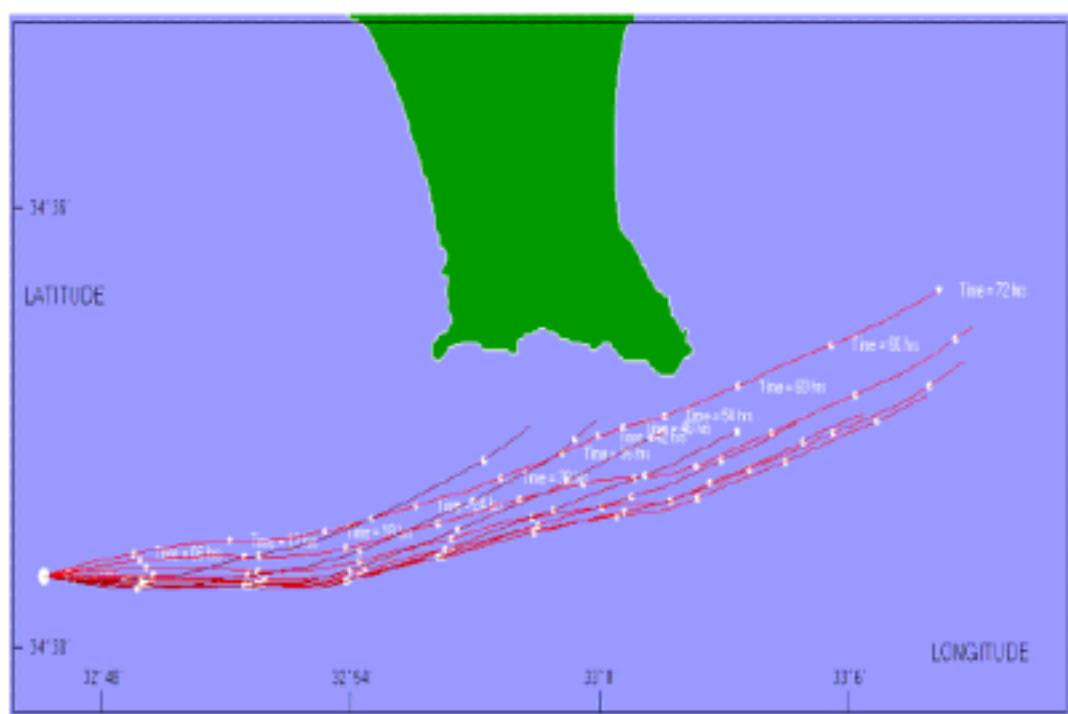
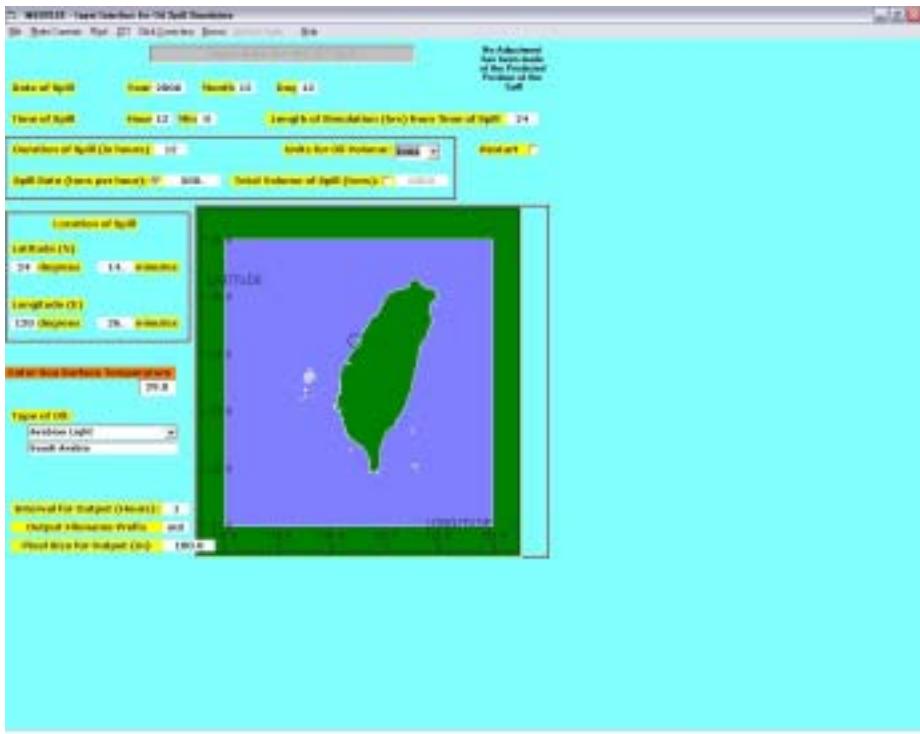


圖 3.2.6 油團隨時間變化的移動軌跡

- 以下是以 MEDSLIK5.1 版設計發生在台中港外海的油污染事件：
    1. 在 2006/12/12 中午 12 點，在台中港外海發生義大利籍油輪洩油事件，位置在經度：120 度 26 分、緯度：24 度 14 分。洩油以每天 500 tons，其中油品是阿拉伯重油，持續洩漏 12 小時，我們模擬 24 小時來瞭解洩油的傳輸過程及其宿命，以及洩油事故發生後，及時預測油團飄移路徑，提供緊急應變單位資訊以便做出處置措施之抉擇。（見圖 3.2.7）
- 

The screenshot shows the MEDSLIK software interface. At the top, there are tabs for 'Input', 'Output', 'Model', 'Run', and 'Help'. A sub-menu 'File-Advection' is open, showing 'Run Simulation' and 'Run Model'. Below the tabs, there are sections for 'Type of Spill' (Crude Oil), 'Time of Spill' (Year: 2006, Month: 12, Day: 12, Hour: 12), 'Duration of Spill (hours)' (24), 'Quantity of Spill (tonnes)' (500), and 'Spill Rate (tonnes per hour)' (500). A 'Spill Distance (metres per hour)' dropdown is set to '1000'. On the left, there's a 'Location of Spill' section with 'Latitude (N)' (24.14 degrees) and 'Longitude (E)' (120.43 degrees). A 'Current Wind Speed (m/s)' dropdown is set to '10'. In the center, there's a map of Taiwan with a green oil slick starting near the coast. On the right, there are sections for 'Type of Oil' (Arabian Light) and 'Removal for spill (t/h)' (1000), with dropdowns for 'Output dimensions (metres)' (1000) and 'Plot Area for Output (m)' (1000).
- 圖 3.2.7 MEDSLIK 的輸入介面
2. 流場和風場除了每天一筆 12 小時一筆的資料外，在 MEDSLIK5.1 版加入了每六小時輸出一筆的格式。在流場呈現方面有五種方式，依順序是：每天的預報、六小時的預報、氣象學、空間固定和空間改變（見圖 3.2.8）。在這例子裡面是流場以每 12 小時空間固定隨逆時鐘方向改變（見圖 3.2.9）。在風場方面也有五種形式呈現：1 小時 SKIRON 風場預報、3 小時 SKIRON 風場預報、由流場資料得來的風場 Cimatological Wind 自訂風場（見圖 3.2.10）。在這是以流場在 24 小時皆固定（見圖 3.2.11）。

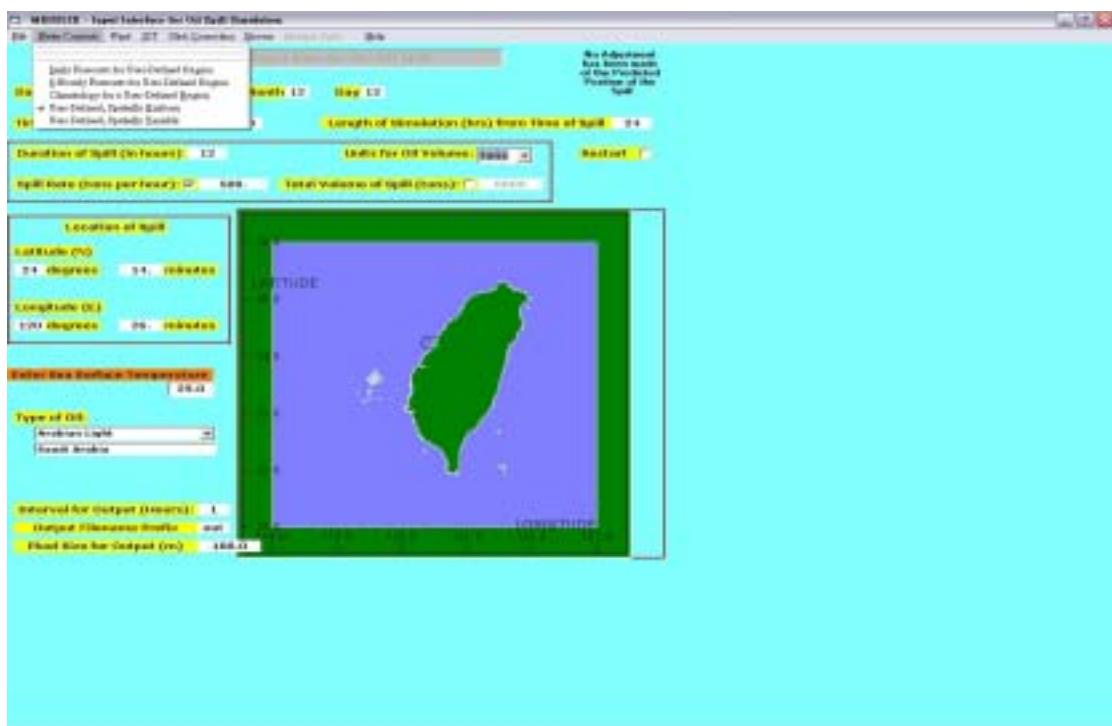


圖 3.2.8 在輸入介面的流場選項

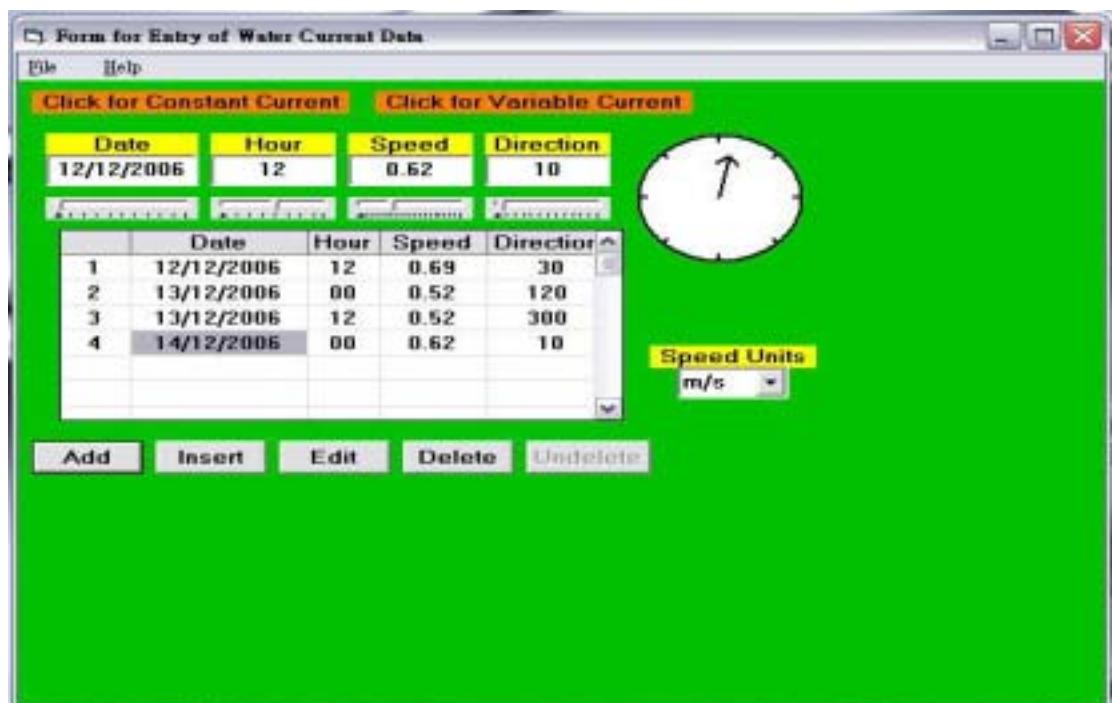


圖 3.2.9 例子所採用的空間固定流場每 12 小時逆時鐘改變

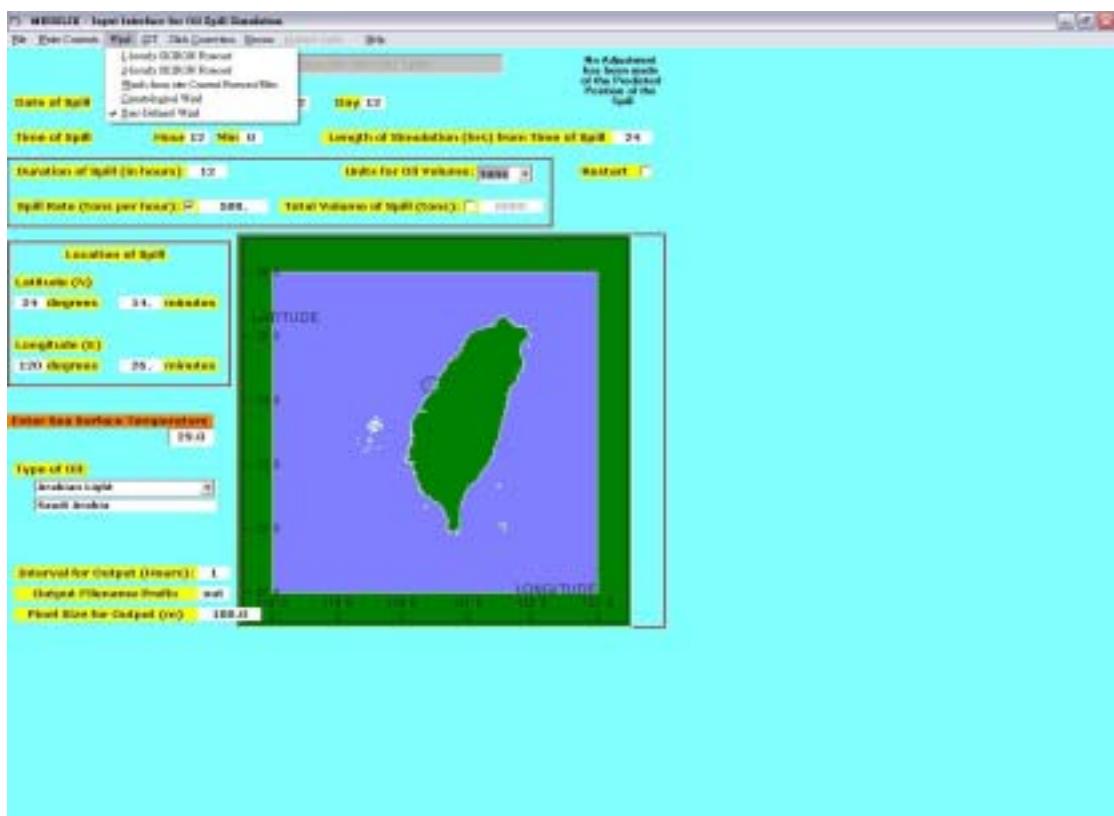


圖 3.2.10 在輸入介面的風場選項

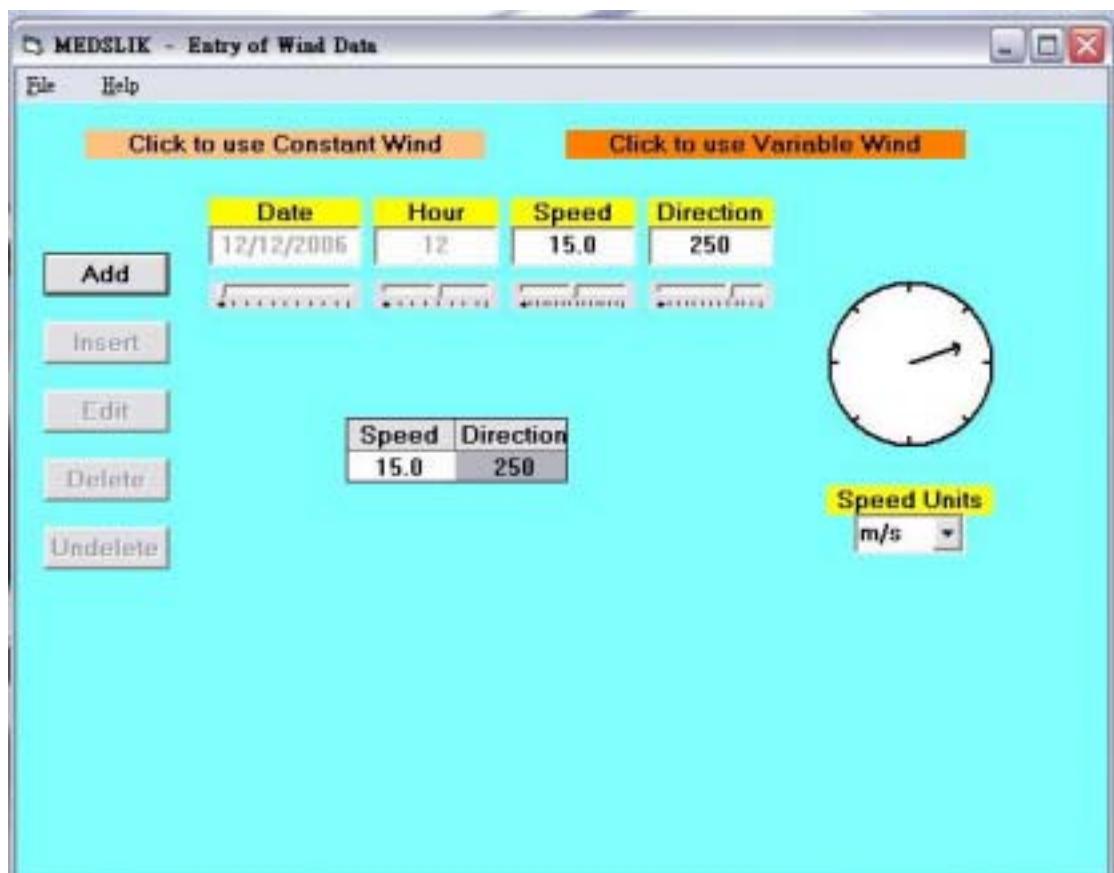


圖 3.2.11 例子所使用的自訂風場

3. 在輸出方面洩油行為有三種方式呈現：水表面、被驅散、上岸的油。下面將秀出在海面上的洩油從 2006/12/12 PM 12.00 開始釋放（見圖 3.2.12）油在 2006/12/12 PM 04:00 開始上岸（見圖 3.2.13）上岸浮油在 2006/12/13 PM 08:00 因為風場和流場方向改變（見圖 3.2.14）而重新回到海面上的機制也包含於其中（見圖 3.2.15）

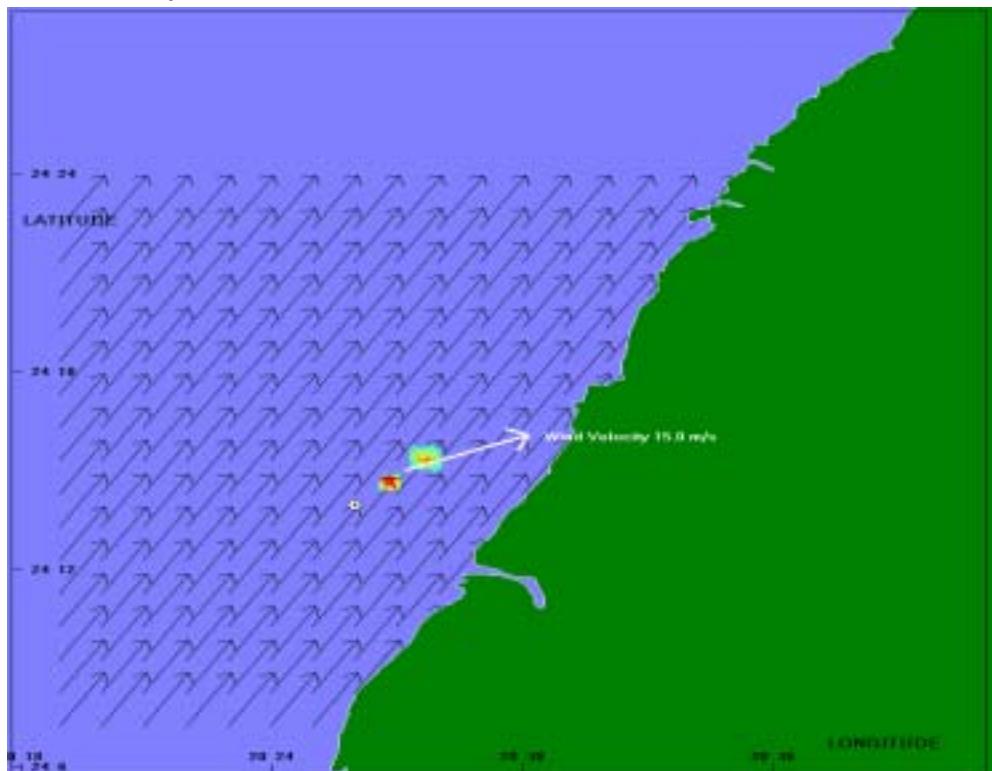


圖 3.2.12 模擬洩油在第一個小時的情況

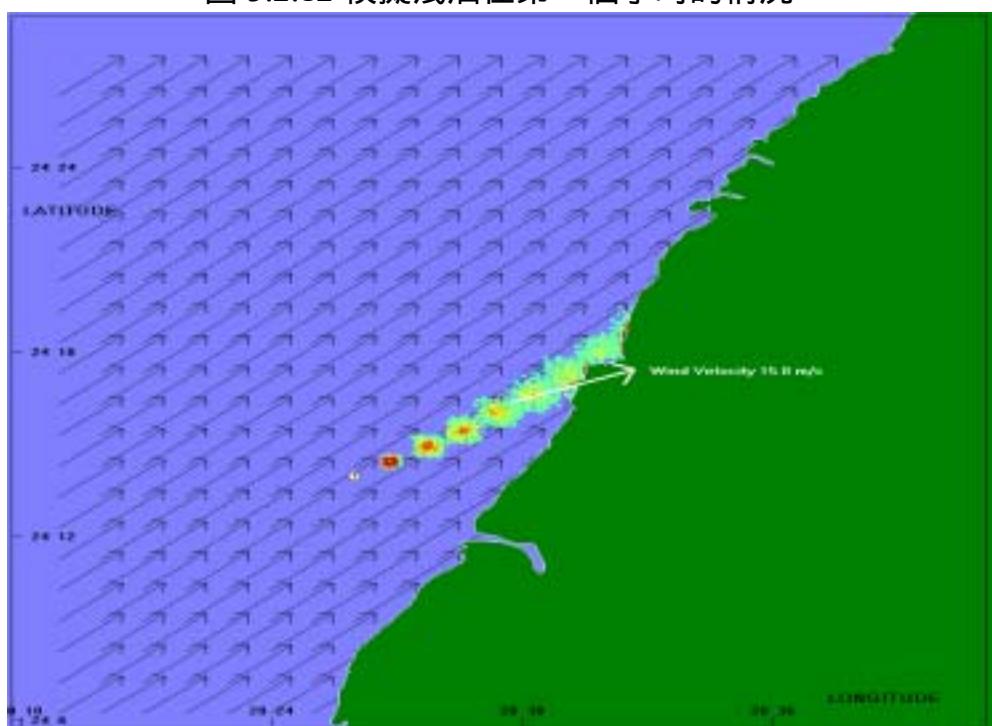


圖 3.2.13 模擬洩油在第四小時候開始上岸



圖 3.2.14 模擬洩油在第二十小時流場開始改變



圖 3.2.15 模擬洩油在第二十四時上岸油團重回海上

4. 在敘述洩油宿命方面，MEDSLIK 5.1 版是以圖表呈現，可以分為參數、密度、黏滯性、體積這幾方面。以下是洩油宿命參數的表現：紅線表示海表面的油、土綠色的線表示油團蒸發率、藍色線表示驅散油團、黑色線表示上岸的油團、綠色線表示上岸油團在被釋放至海中的機率（見圖 3.2.16）：

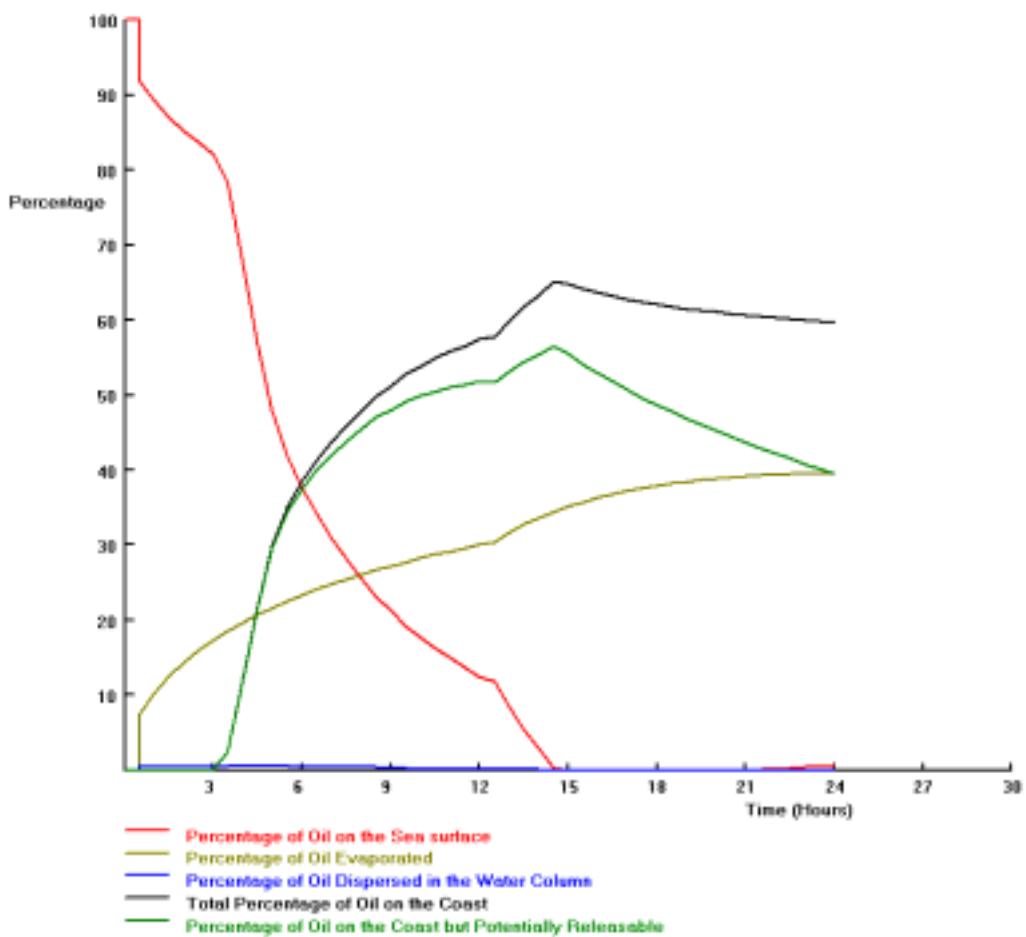


圖 3.2.16 油團的宿命展示圖

## 第四章 近岸區域模式

基於近岸數值模擬系統(TaiCOMS)中全域風浪及流場預報模式之數值網格解析度，無法反映出近岸地形變化以及海岸結構物對波浪場及流場之影響，因此本計畫近岸數值模擬系統於全域預報模式之下構建近岸區域數值模式(波浪模式及水動力模式)，以承接 TaiCOMS 全域預報模式之模擬結果(波浪、水位及流場等)，進而模擬臺灣近岸海域之波場及潮流流場。

本計畫所建構之近岸區域數值模式，主要考慮的因素簡述如下：  
一、數值模式描所述之物理特性是否滿足計畫目的之需求，二、模式數值網格解析度需足以反映近岸之地形變化，三、模式運算效率(或速度)需符合 TaiCOMS 線上作業以及災害防治與預警之要求。基於上述原則，本計畫已於上年度(94 年)經初步評估將近岸海域波浪模擬區分為近岸區域波浪場模擬及近岸港域波浪場模擬兩部份，其中前者波浪場模擬重點為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；後者波浪場模擬重點為港口及港內水域之波浪變化，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。針對近岸區域波浪場模擬本計畫選取 Kirby and Dalrymple (1983)依據拋物線型緩坡方程式所發展的波浪折、繞射模式(REF/DIF)為本計畫 TaiCOMS 之近岸區域波浪模式(nearshore regional wave model)，並將其發展為 TaiCOMS 之線上作業模式。在近岸港域波浪場模擬方面，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(FEHWM)為本計畫 TaiCOMS 之近岸港域波浪模式(nearshore harbor wave model)，並考量近岸港域波浪模式運算時不僅需要龐大的記憶容量且較為費時，不符 TaiCOMS 之線上作業需求，而依據近岸港域波浪模式模擬結果構建出波浪相關模式。於本年度計畫中，除了持續上述近岸波浪模擬工作項目外，並增列近岸潮流流場模擬工作，並選取以有限元素法建構之二維水理模式(FEHD2)為本計畫 TaiCOMS 之近岸潮流模式。

本年度計畫目標為針對國內七大商港(基隆港、台北港、台中港、安平港、高雄港、花蓮港及蘇澳港)建立近岸區域波浪及潮流數值模擬系統，並援引全域波浪、水位及流場模式預報結果為近岸區域模式之邊界條件或輸入條件，進行相關數值模擬工作。

## 4.1 岸區域數值模擬系統

本計畫岸區域數值模擬系統分別由近岸區域波浪模式、近岸港域波浪模式及二維水動力模式所組成的，分別模擬港口近岸區域之波浪場、港口及港口波浪場及港口鄰近海域之流場。其中區域波浪模式之控制方程式為非時變性拋物線型緩坡方程式 (Kirby and Dalrymple, 1983)，主要用於承接全域風浪預報結果，進而模擬風浪向岸傳播之波場；近岸港域波浪模式之控制方程式為橢圓型緩坡方程式，主要用於模擬港口附近及港內波高分佈狀況；有限元素水理模式之控制方程式為滿足質量及動量守恆之淺水方程式(shallow water equations)。各模式之基本理論簡述如下：

### 4.1.1 近岸區域波浪模式(REF/DIF)

波浪傳播過程受到海底地形之影響會產生淺化、折射等現象，或行經島嶼或海岸結構物周圍會產生反射、繞射等現象，均會導致波浪之波高及波長產生形變；此外，波浪波高與波長比(通稱為波浪尖銳度)因波浪形變而增大時，非線性效應將會變得相對地重要而無法忽略，更增加波浪形變之複雜性。因此，如何有效率地、準確地模擬近岸之波浪場將是本計畫追求之目標。

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，模式中假設流場之流速是微小的且忽略與流速相關之乘積項，屬於一種弱流型模式(weak current model)。Kirby and Dalrymple (1983)於模式中增加非線性修正項使其可以處理較強流速問題，如波浪與射流間之交互作用等。Kirby (1986)依據minimax原則將Booij之近似解延伸，使得模式可以處理較大角度波浪傳播問題。模式之基本方程式如下：

$$\begin{aligned}
& (C_g + U)A_x + VA_y + i(\bar{k} - k)(C_g + U)A + \frac{\sigma}{2} \left\{ \left( \frac{C_g + U}{\sigma} \right)_x + \left( \frac{V}{\sigma} \right)_y \right\} A \\
& - \frac{i}{2\sigma} \left[ (p - V^2)A_y \right]_y - \sigma \frac{k^2}{2} D|A|^2 A = 0
\end{aligned} \tag{4.1.1-1}$$

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)， $\omega$  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

$$D = \frac{\cosh(4kh) + 8 - 2 \tanh^2(kh)}{8 \sinh^4(kh)} \tag{4.1.1-2}$$

式中  $h$  為靜水深。Kirby (1986) 進一步推導上述方程式使其適用於波浪大角度入射的情形，得到下列控制制程式

$$\begin{aligned}
& (C_g + U)A_x - 2\Delta_1 VA_y + i(\bar{k} - a_0 k)(C_g + U)A + \left\{ \frac{\sigma}{2} \left( \frac{C_g + U}{\sigma} \right)_x - \Delta_1 \sigma \left( \frac{V}{\sigma} \right)_y \right\} A \\
& + i\Delta' \left[ \left( p - V^2 \left( \frac{A}{\sigma} \right)_y \right)_y - i\Delta_1 \left\{ \left[ UV \left( \frac{A}{\sigma} \right)_y \right]_x + \left[ UV \left( \frac{A}{\sigma} \right)_x \right]_y \right\} \right. \\
& \left. + i\sigma \frac{k^2}{2} D|A|^2 A + \frac{\nu}{2} A + \frac{-b_1}{k} \left\{ \left[ \left( p - V^2 \left( \frac{A}{\sigma} \right)_y \right]_{yx} + 2i \left[ \sigma V \left( \frac{A}{\sigma} \right)_y \right]_x \right\} \right. \right. \\
& \left. + b_1 \beta \left\{ 2i\omega U \left( \frac{A}{\sigma} \right)_x + 2i\sigma V \left( \frac{A}{\sigma} \right)_y - 2UV \left( \frac{A}{\sigma} \right)_{xy} + \left[ \left( p - V^2 \left( \frac{A}{\sigma} \right)_y \right]_y \right\} \right. \\
& \left. - \frac{i}{k} b_1 \left[ (\omega V)_y + 3(\omega U)_x \right] \left( \frac{A}{\sigma} \right)_x - \Delta_2 \left[ \omega U \left( \frac{A}{\sigma} \right)_x + \frac{1}{2} \omega U_x \left( \frac{A}{\sigma} \right) \right] \right. \\
& \left. + ik\omega U (a_0 - 1) \left( \frac{A}{\sigma} \right) = 0 \right. \tag{4.1.1-3}
\end{aligned}$$

其中

$$\beta = \frac{k_x}{k^2} + \frac{\left| k(p - U^2) \right|_x}{2k^2(p - U^2)}$$

$$\Delta_1 = a_1 - b_1$$

$$\Delta_2 = 1 + 2a_1 - 2b_1$$

$$\Delta' = a_1 - b_1 \frac{\bar{k}}{k}$$

上述各式之中 $v$ 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 $a_0= 0.994733$ ， $a_1=-0.890065$ ， $b_1=-0.451641$ 。

當考慮波浪主要沿著x軸方向傳播時，上述內在頻率 滿足下列波浪頻散關係

$$\sigma^2 = (\omega - kU)^2 = gk \tanh(kh) \quad (4.1.1-4)$$

式中 $g$ 為重力加速度。惟當波浪進入淺水區，或Ursell number ( $U_r=HL^2/h^3$ )超過40時，Stokes理論解將不再適用，因此模式中波浪之頻散關係採用Hedges(1976)修正公式，即

$$\sigma^2 = (\omega - kU)^2 = gk \tanh(kh(1 + A/h)) \quad (4.1.1-5)$$

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

$$\frac{\partial A}{\partial x} = \frac{i}{k} \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + vA \quad (4.1.1-6)$$

式中 $i = \sqrt{-1}$ ； $v$ 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** 採用有限差分數值方法求解此一拋物線型方程式，亦即將計算領域分割成具 $\Delta x$ 及 $\Delta y$ 大小之矩形網格，並求解格點上之複數振幅 $A(x, y)$ ，振幅 $A$ 所在之位置係以 $(i, j)$ 表示而非以座標 $(x, y)$ ，如圖4-1-1所示，惟模式計算所需之地形可以輸入具 $(x, y)$ 座標，其中 $x = (i - 1)\Delta x$ ， $y = (j - 1)\Delta y$ 。

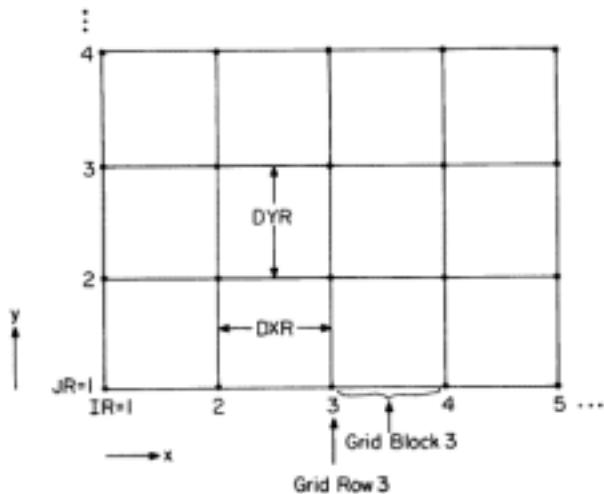


圖4.1-1有限差分數值計算網格座標系統

#### 4.1.2 近岸港域波浪模式(FEMWV)

Berkhoff (1972)首先在底床坡度變化平緩之假設下，以垂直積分平均之觀念推導出，描述線性波浪傳播過程之橢圓型緩坡方程式(mild slope equation)。之後，Booij (1983)証實此一近似模式對於一般非陡坡(底床坡度小於1/3)底床地形仍適用；且在深水或淺水條件下此一緩坡方程式均為正確解，故廣為學者引用以探討各種波浪傳播過程之物理現象。

本計畫近岸港域波浪模式為一綜合考慮波浪繞射、折射及反射之波浪計算數值模式。其基本理論簡述如下：

一般而言，當波浪自外海前進至港域時，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。一般求解此一問題的方法是將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，同時假設外海半無限領域為等水深，港池有限領域則為緩變之不等水深區域。另外，考慮入射波浪為單一週期之規則波，整個理論求解架構建立在穩定週期性運動之線性理論上。

如圖4.1-2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。外海半無限領域

及有限領域別以領域(I)及(II)稱之，領域(I)及領域(II)之相連邊界為半徑  $R_0$  之半圓，以  $B_1$  表示。領域(II)則包含了港池內及港外半徑  $R_0$  之半圓區內水域部分，其所包括的海岸邊界、防波堤邊界及港池岸壁邊界以  $B_2$  表示。假設領域(I)為等水深  $h_1$ ，領域(II)之水深變化為  $h_2(x, y)$ 。各領域內水位變化  $\eta_j(x, y, t)$  可表示成

$$\eta_j(x, y, t) = f_j(x, y) e^{i\omega t}, \quad j = 1, 2 \quad (4.1.2-1)$$

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， $\omega$  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：

$$\nabla^2 f_1 + K_1^2 f_1 = 0 \quad \text{, 在領域(I)內} \quad (4.1.2-2)$$

$$\nabla \cdot (C_2 C_{2g} \nabla \phi) + (C_2 C_{2g} K_2^2 + i\omega\mu + iC_{2g}\omega\gamma)\phi = 0 \quad \text{, 在領域(II)內} \quad (4.1.2-3)$$

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

$$\kappa = 0.5[1 + 2K_2 h_2 / \sinh(2K_2 h_2)] \quad (4.1.2-4)$$

上述方程式(4.1.2-2)為荷姆茲方程式之型態，式(4.1.2-3)則為修正型態之緩坡方程式(mild slope equation)。

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

$$\mu = \frac{2\kappa\omega}{K_2} \left[ \frac{2f_r}{3\pi} \frac{aK_2^2}{(2K_2 h_2 + \sinh 2K_2 h_2) \sinh K_2 h_2} \right] \quad (4.1.2-5)$$

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

$$\gamma = \frac{\chi}{h_2} \left( 1 - \frac{\Gamma^2 h_2^2}{4a^2} \right) \quad (4.1.2-6)$$

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

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

$$f_1 = f_2 \quad \text{, 在邊界 } B_1 \text{ 上} \quad (4.1.2-7)$$

$$C_1 C_{1g} \frac{\partial f_1}{\partial n} = -C_2 C_{2g} \frac{\partial f_2}{\partial n} \quad , \text{在邊界 } B_1 \text{ 上} \quad (4.1.2-8)$$

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

$$\frac{\partial f_2}{\partial n} = -i\alpha K_2 f_2 \quad , \text{在邊界 } B_2 \text{ 上} \quad (4.1.2-9)$$

式中 $\bar{n}$ 表示邊界面上離開領域向外之單位法線向量， $\alpha$ 為消能係數，其值與波浪入射角、相位及港池岸壁之反射係數有關， $\alpha=0$ 時表示港池岸壁為完全反射之情況(即 $\partial f_2 / \partial n = 0$ )，而 $\alpha=1$ 則表示港池岸壁具有完全消能之作用。一般常用之計算式如下：

$$\alpha = \frac{1 - K_r}{1 + K_r} \quad (4.1.2-10)$$

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

$$f_1 = f_I + f_R + f_S \quad (4.1.2-11)$$

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

$$\lim_{K_1 r \rightarrow \infty} \sqrt{r} \left( \frac{\partial}{\partial r} + iK_1 \right) f_S = 0 \quad (4.1.2-12)$$

假設入射波浪 $\eta^I(x, y, t)$ 之振幅為 $A^I$ ，波長為 $L_1$ ，週波數為 $K_1$ ，波向為與正 $X$ 軸成 $\theta_0$ 角度，其複數表示為：

$$\eta^I(x, y, t) = A^I e^{-i[K_1(x \cos \theta_0 + y \sin \theta_0) - \omega t]} \quad (4.1.2-13)$$

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

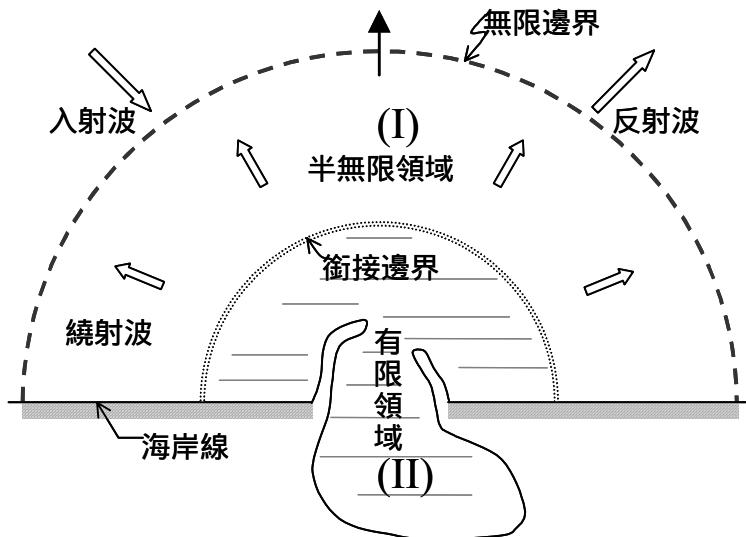


圖4.1-2 任意水深港域波浪場示意圖

#### 4.1.3 二維水動力模式(FEMHD2)

一般而言，影響近岸流場之外力主要有潮汐、波浪及風場等，其中潮汐可視為一種淺水長波，其所引致之流場稱之潮流。對於近岸流場而言，潮流垂直方向變化之尺度相較地遠小於水平方向變化之尺度，因此採用淺水方程式或水深積分平均之二維連續及運動方程式足以描述近岸流場之變化。

假設水體為具有黏滯性之不可壓縮流體，將描述流體運動之三維連續方程式及運動方程式，沿水深方向垂直積分，同時加入底部和表面的邊界條件，則可得到下列的平面二維流場連續方程式及運動方程式：

$$H_{,t} + q_{x,x} + q_{y,y} = q_i \quad (4.1.3-1)$$

$$\begin{aligned} q_{x,t} + (\bar{u}q_x)_{,x} + (\bar{u}q_y)_{,y} - fq_y + (F_P - F_{xx})_{,x} - F_{yx,y} - \frac{1}{\rho_0}(\tau_y^s - \tau_x^b) \\ - \bar{m}_x - \frac{1}{\rho_0}(P^s H_{,x} + \Delta \rho g H h_{,x}) - g \eta h_{,y} = 0 \end{aligned} \quad (4.1.3-2)$$

$$\begin{aligned}
& q_{y,t} + (\bar{u}q_x)_{,x} + (\bar{u}q_y)_{,y} - f q_x + (F_p - F_{yy})_{,y} - F_{xy,x} - \frac{1}{\rho_0}(\tau_y^s - \tau_y^b) \\
& - \bar{m}_y - \frac{1}{\rho_0}(P^s H_{,y} + \Delta \rho g H h_{,y}) - g \eta h_{,y} = 0
\end{aligned} \tag{4.1.3-3}$$

其中

$$F_p = gh\eta + \frac{1}{2}g\eta^2 + \frac{1}{2}\frac{\Delta\rho}{\rho_0}gH^2 + \frac{P^s}{\rho_0}H \tag{4.1.3-4}$$

$$F_{ij} = E_{ij}(q_{j,i} + q_{i,j}) \quad i, j = x, y \tag{4.1.3-5}$$

$$\tau_i^b = C_{f\rho}(q_x^2 + q_y^2)^{1/2} \frac{q_i}{H^2} \quad i = x, y \tag{4.1.3-6}$$

$$\tau^s = \rho_a C_d U_{10}^2 \tag{4.1.3-7}$$

$$H = \int_{-h}^{\eta} d_z = h + \eta \tag{4.1.3-8}$$

$$\bar{u} = \frac{1}{(h + \eta)} \int_{-h}^{\eta} u d_z \tag{4.1.3-9}$$

$$\bar{v} = \frac{1}{(h + \eta)} \int_{-h}^{\eta} v d_z \tag{4.1.3-10}$$

$$q_x = \int_{-h}^{\eta} u d_z = \bar{u} H \tag{4.1.3-11}$$

$$q_y = \int_{-h}^{\eta} v d_z = \bar{v} H \tag{4.1.3-12}$$

此處

$\eta$  = 水位變化,  $u$ 、 $v$  =  $x$  及  $y$  方向之水平流速,  $g$  = 重力常數,  $h$  = 水深;

$P^s$  = 水面壓力,  $\rho_0$  = 流體平均密度,  $\Delta\rho$  = 流體密度差,  $\rho_a$  = 空氣密度;

$\tau_x^b$ 、 $\tau_y^b$  =  $x$  及  $y$  方向之底床剪應力;

$\tau_x^s$ 、 $\tau_y^s$  =  $x$  及  $y$  方向之表面剪應力;

$\bar{m}_x$ 、 $\bar{m}_y$  =  $x$  及  $y$  方向之動量在水深方向積分值;

$q_i$  = 以 Source 或 Sink 形式進出領域之流量;

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

$n$  = 曼寧係數;

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

$E_{ij}$  = 涡動黏滯係數 (Eddy coefficient);

$f$  = 柯氏力參數 =  $2\omega \sin \phi$ ,

$\omega$  = 地球自轉之位相速度,  $\phi$  = 計算領域所在位置之緯度;

本計劃數值模式採用有限元素法求解上述方程式，即配合邊界條件利用加權殘差方法將上述方程式轉化成積分方程式，將所要計算之領域任意分割成許多副領域(稱之為元素)，利用線性三角形元素之形狀函數來描述計算領域中之函數變化，進而將積分方程式離散化，並簡化為聯立的數值方程組，藉以求解計算領域中所取元素節點上之函數值。在時間項的處理上，以半隱式法處理連續方程式及動量方程式。

## 4.2 近岸區域模式數值網格

本計畫主要工作項目為針對花蓮港、蘇澳港、基隆港、台北港、台中港、安平港及高雄港等七大港口，如圖4.2-1所示，構建近岸區域波浪及潮流流場模擬系統。本年度已分別建構花蓮港、基隆港、台北港及安平港等四港口之近岸區域模式數值網格，圖4.2-2至圖4.2-5所示分別為花蓮港、基隆港、台北港及安平港等四港口近岸區域模式數值模擬範圍示意圖。圖中各模式模擬範圍之選取主要以各港口為中心，配合海岸線及地形水深變化進行規劃，離岸之開放邊界則儘量與海岸線平行。其中潮流模式模擬範圍大小在沿岸方向約介於20km~30km之間，離岸距離在各港口約介於10km~15km之間；近岸區域波浪模式在沿岸距離約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較難以決定，除了與海岸地形有關外，亦與港口形狀與方向有關；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。

於本計畫近岸區域數值模擬系統中，除了區域波浪折繞模式採用有限差分數值方法求解外，近岸港域波浪模式及潮流水動力模式均採用有限元素數值方法求解，因此必須事先針對規劃之模擬範圍構建三角形元素數值計算網格。在潮流模式中三角形元素之大小關係著模式計算之時間間距大小，而網格疏密則須能夠反映近岸地形對流場之影

響。本年度計畫已初步針對花蓮港、基隆港、台北港及安平港等四港口，分別建構近岸潮流流場數值計算網格如圖4.2-6至圖4.2-9所示。

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。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，圖4.2-10所示為安平港港域波浪模式模擬範圍粗網格示意圖。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，圖4.2-11所示為花蓮港港域波浪模式模擬範圍粗網格示意圖。基隆港一般風浪及颱風波浪之數值計算網格分別由344,900個元素(174,657節點)及60,973個元素(31475節點)所組成的，圖4.2-12所示為構建基隆港港域波浪模式數值計算網格之粗網格圖。台北港一般風浪及颱風波浪之數值計算網格分別由641,494個元素(322,392節點)及276,118個元素(139,192節點)所組成的，圖4.2-13所示為構建台北港港域波浪模式數值計算網格之粗網格圖。以上三角形有限元素數值網格均依據Kashiyama and Okada (1992)之三角形網格自動生成方法，建立滿足計算精度需求之有限元素計算網格。

針對各港口附近海域之區域波浪模式，本計畫採用解析度10m之數值計算方格網(參考93年度計畫報告)，其中花蓮港計算範圍北起奇來鼻燈塔南側，南迄吉安溪口北側，全長8公里，離岸3.2公里，約至水深120m處；基隆港計算範圍為西起澳底漁港，東迄和平島東側，全長7公里，並考慮龜山島對於基隆港附近海域之近岸波場之影響，故離岸計算範圍延伸至外海10公里，水深約130m處；台北港計算範圍為南起林口灰

塘，北迄淡水河口北側，全長14公里，離岸5公里，約至水深25m處安平港計算範圍為沿岸南起二仁溪口北側，北迄鹽水溪口南側，全長10公里，離岸5公里，約至水深20m處。各港口區域波浪模式計算網格座標參考資料如表4.2-1所列。

表4.2-1 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

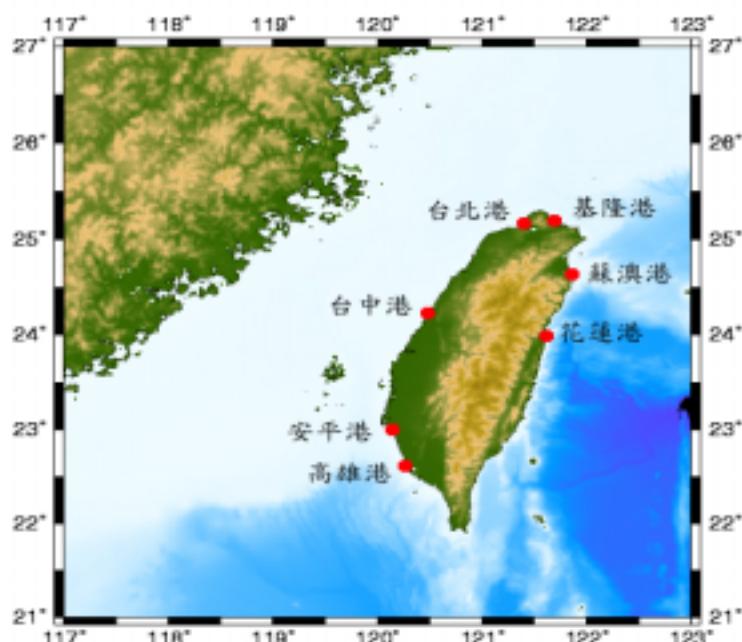


圖4.2-1 國內七大港口位置示意圖

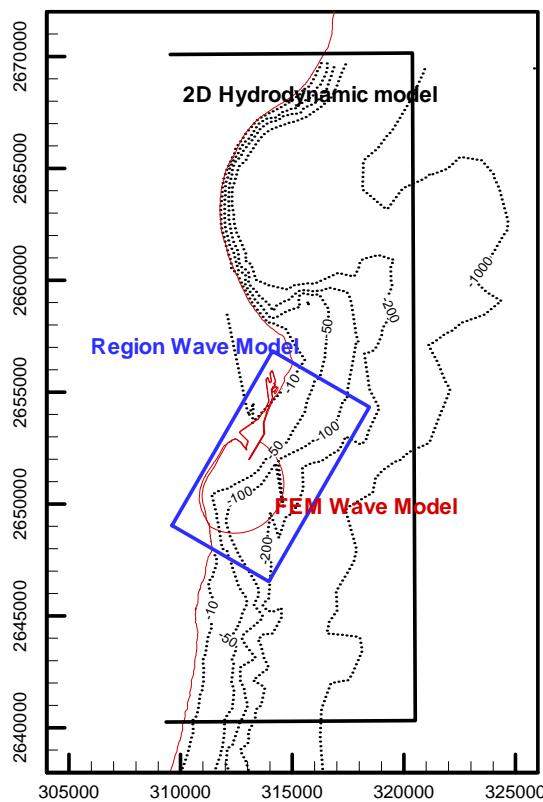


圖4.2-2 花蓮港近岸潮流、區域波浪及港域波浪模式之模擬範圍

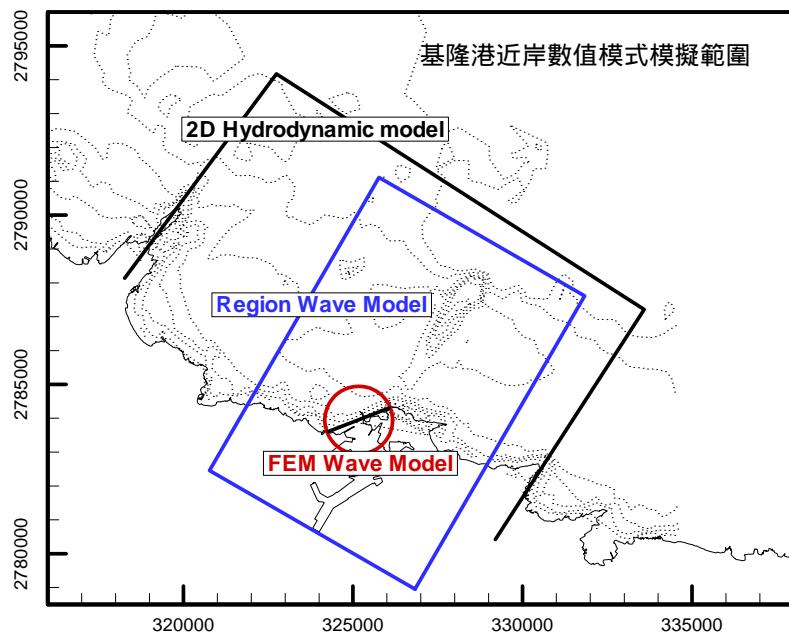


圖4.2-3 基隆港近岸潮流、區域波浪及港域波浪模式之模擬範圍

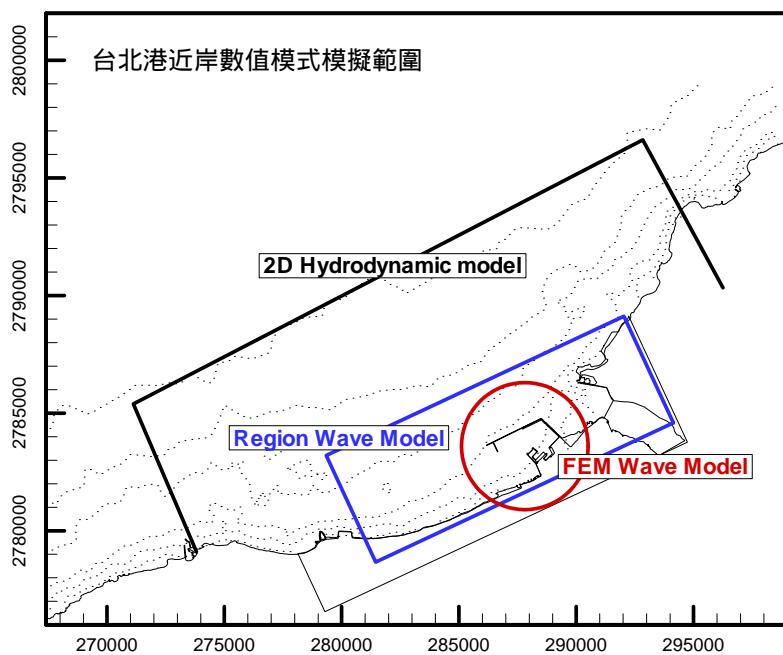


圖4.2-4 台北港近岸潮流、區域波浪及港域波浪模式之模擬範圍

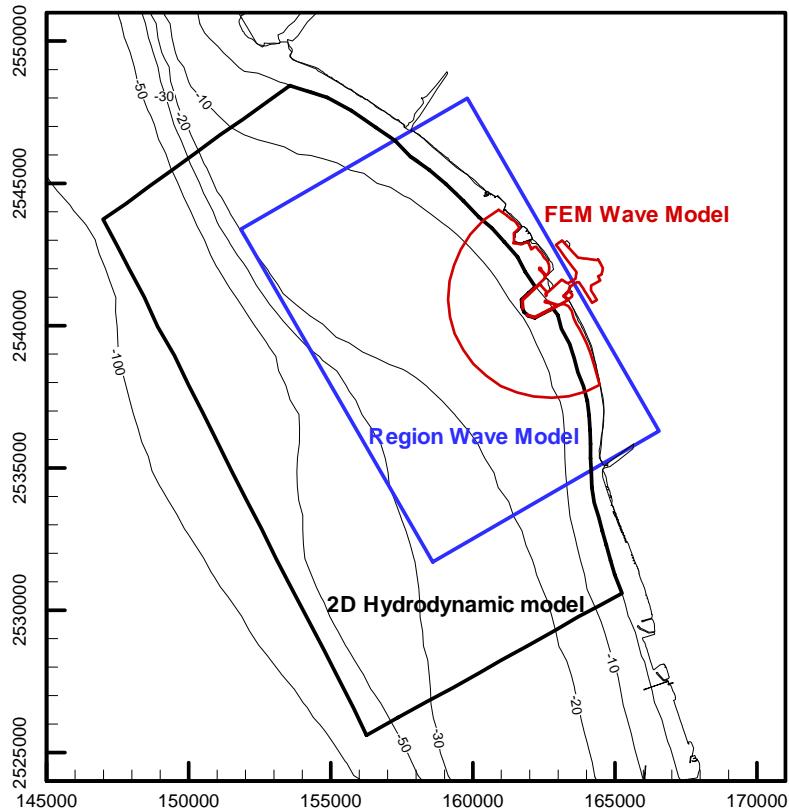


圖4.2-5 安平港近岸潮流、區域波浪及近域波浪模式之模擬範圍

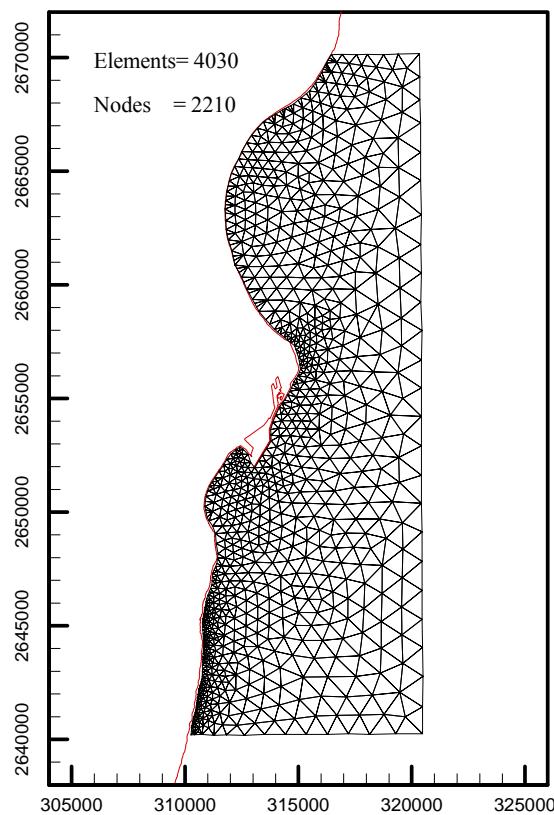


圖4.2-6 花蓮港近岸潮流流場模擬之數值計算網格

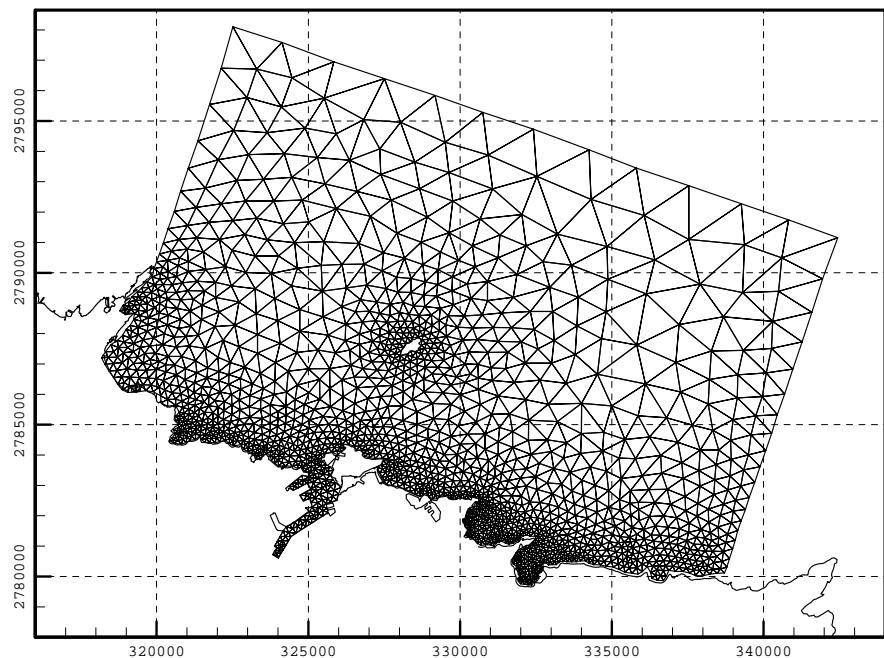


圖4.2-7 基隆港近岸潮流流場模擬之數值計算網格

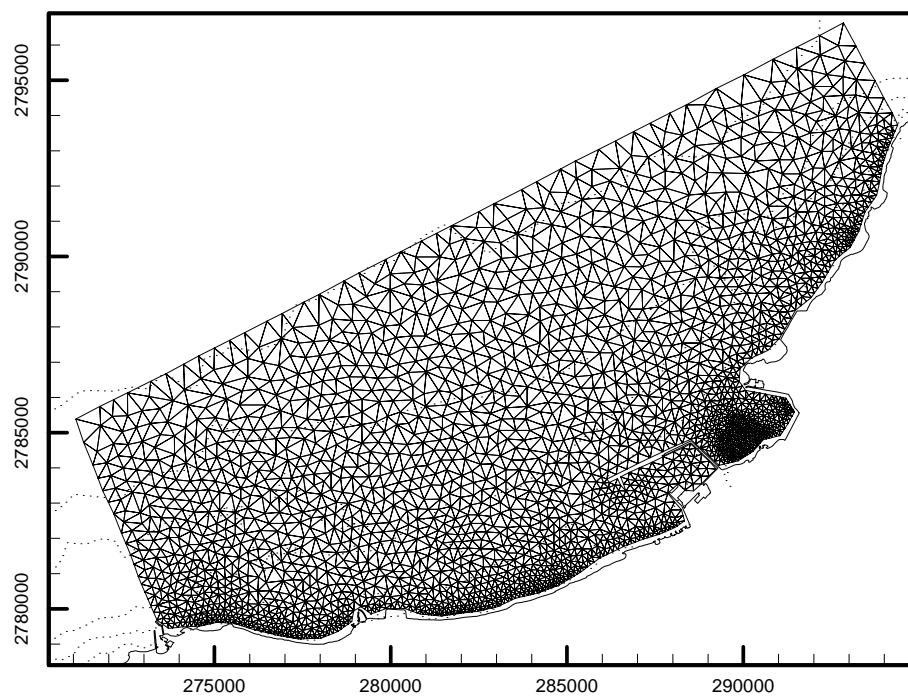


圖4.2-8 台北港近岸潮流流場模擬之數值計算網格

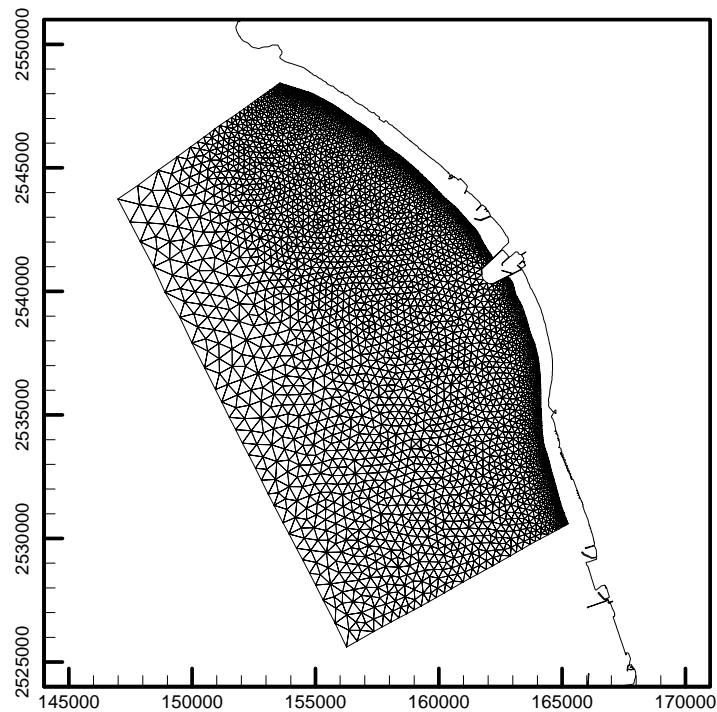


圖4.2-9 安平港近岸潮流流場模擬之數值計算網格

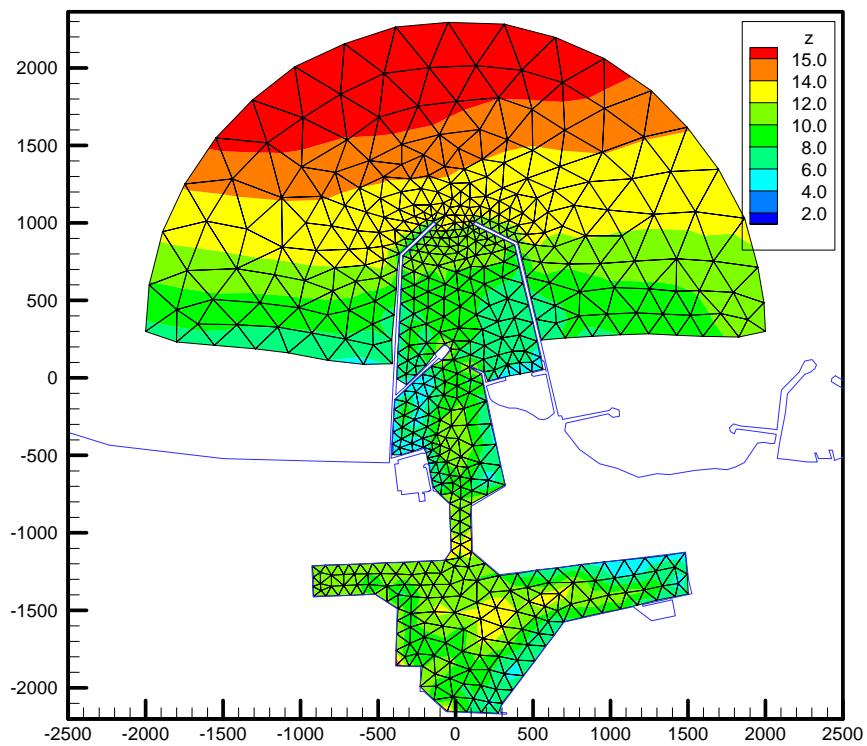


圖4.2-10 安平港近域波浪模式之座標系統及粗網格圖

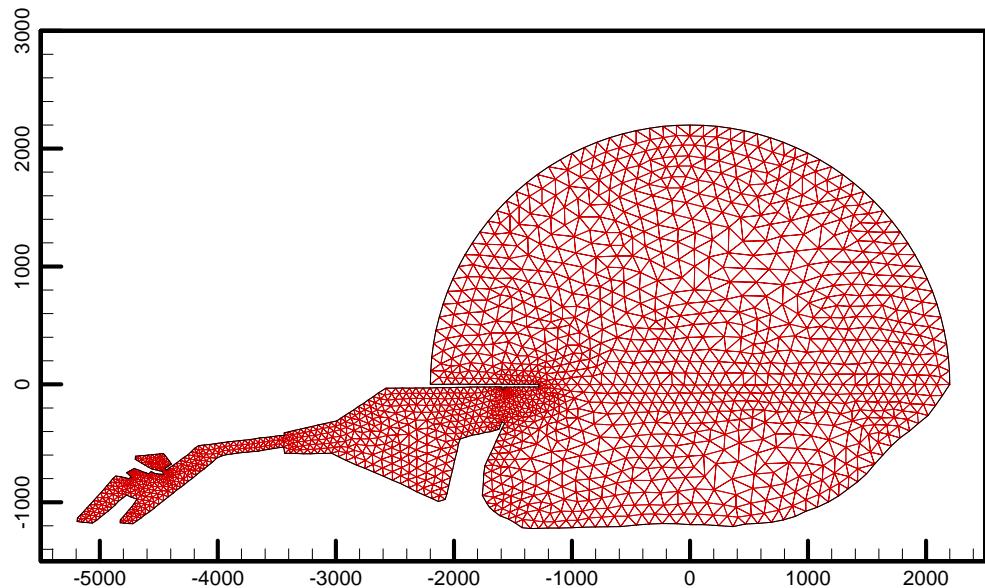


圖4.2-11 花蓮港港域波浪模式之座標系統及粗網格圖

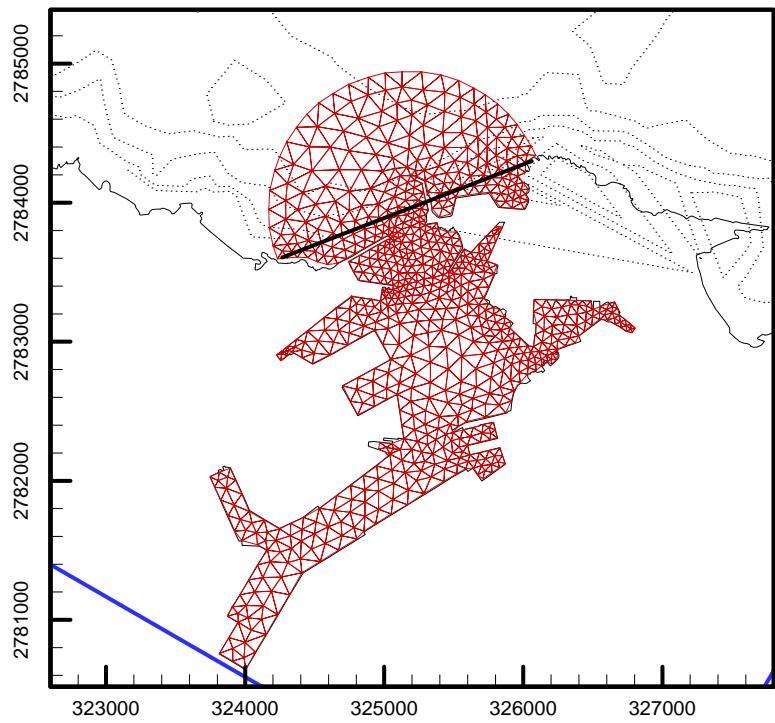


圖4.2-12 基隆港港域波浪模式之座標系統及粗網格圖

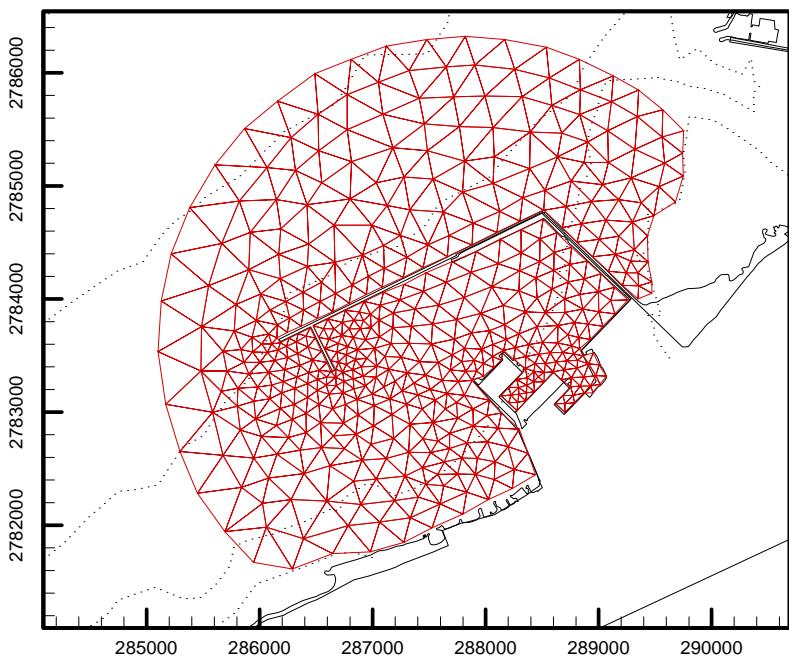


圖4.2-13 台北港港域波浪模式之座標系統及粗網格圖

## 4.3 近岸區域模式數值模擬結果

本年度近岸區域數值模擬工作為修正相關數值模式模擬流程，以符合TaiCOMS線上預報模擬作業需求，並針對七大港口選取一或二港口進行模擬作業，故本計畫將先以安平港為研究對象，進行相關數值模擬討論。

### 4.3.1 安平港近岸區域波浪場模擬

本計畫近岸區波浪模式線上作業模擬所需之輸入條件包括了入射波浪條件(含波高、週期及波向)以及潮流及潮位，其中潮位資料用於修正數值計算網格之水深資料，潮流資料用於修正波浪之相位速度。上述輸入資料之取得除了入射波浪條件需有賴於全域風浪(WAM及SWAN)之模擬結果外，潮位資料將由本計畫全域水動力模式模擬結果或依據潮位調和分析結果得到。無論如何，對本計畫TaiCOMS系統而言，近岸區域波浪模擬作業將於全域風浪及水動力模擬作業完成之後執行。

由於安平港位於台灣西南部海岸，受到陸地之屏障，本計畫乃針對本年度侵臺颱風選取珍珠(CHANCHU)颱風，其侵臺路侵如圖4.3.1-1所示，為本年度近岸區域波浪模式之模擬對象。本計畫根據全域風浪模式(WAM)之預報作業模擬結果，選取珍珠颱風侵台期間(2006/05/18)安平港預報之波浪資料，如圖4.3-2所示，進行安平港附近海域之波浪場模擬。圖4.3.1-2所示為全域風浪WAM模式模擬安平港外海波浪之波高、週期及波向時序列資料，其中最大波浪發生於2006/05/17 06:00:00波高為5.7m、週期為12.39sec、波向為15.32°N。依據圖4.3.1-2所示之波高、週期及波向資料，安平港近岸區域波浪模擬結果如圖4.3.1-3所示，圖中所示為安平港近岸區域波浪模式模擬珍珠颱風侵台期間，近岸海域之波高分佈及波數向量分佈圖。模擬結果顯示週期較大之波浪在進入模擬範圍時立即顯現淺化效應，其中安平港北側因地形水深較淺，波高因淺化效應而有增大之現象；波浪繞射現象主要發生於安平港外廓防波堤外南北兩側附近。其中南防波堤因位於波浪前進之迎波面，受反射波影響波高顯著增大且波高干擾條紋呈現較密集之分佈；北防

波堤外側海域則受到防波堤遮蔽波高顯著地變小，波浪因防波堤堤頭產生繞射現象而引起的波高干擾條紋則呈現較疏之分佈。當颱風遠離時外海波高明顯地變小且週期變短，波浪入射角度亦明顯地變小，因此近岸區域波浪模擬結果除了波高變小及波向入射角度變小外，波浪繞射現象亦產生變化如防波堤周圍波高分佈之干擾條紋變疏且不顯著。此外，模式對於波浪近岸碎波現象之模擬，可由近岸波高之分布情形瞭解不同波浪條件下碎波帶發生位置。如當入射波高較大時，碎波會發生位置距離海岸較遠(亦即水深較深處)；當入射波高較小時，碎波會發生位置距離海岸較近(亦即水深較淺處)。圖4.3.1-4所示為港口中央航道(參考圖圖4.3.1-3所示之數值網格座標  $y$  等於6100)離岸方向之波高變化，顯示波浪在進入港口時受到防波堤之影響導致波高突然變大，以及波浪碎波因能量消散而波高減衰之情形。圖4.3.1-5及圖4.3.1-6所示分別為安平港南北兩側離岸方向波高之變化情形，顯示波浪接近港口時受到防波堤繞射之影響產生波高突然增大之現象外，波高會呈現規律之振盪變化；之後，波高因碎波效應而呈現減衰趨勢。

為瞭解珍珠(CHANCHU)侵台期間安平港內波浪狀態，本計畫選取珍珠(CHANCHU)侵台期間全域WAM模式預報之安平港波浪資料(如圖4.3.1-2所示)，分別模擬安平港港口及港內之波高分佈狀態，如圖4.3.1-7至圖4.3.1-11所示，圖中所示為不同時段波浪條件下安平港波高放大係數之分佈情形。顯示波浪週期在10.5秒左右之波浪，似乎對港域靜穩影響較大。由於安平港內缺乏實測波浪資料，無法驗証數值模擬結果，因此建議未來在颱風侵台期間能夠在港內進行短期波浪觀測，以提供數值模擬驗証之用。

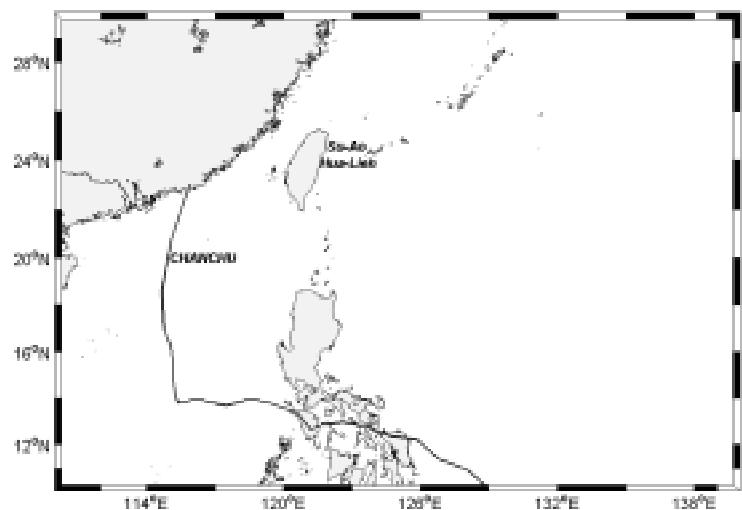


圖4.3.1-1 珍珠颱風路徑

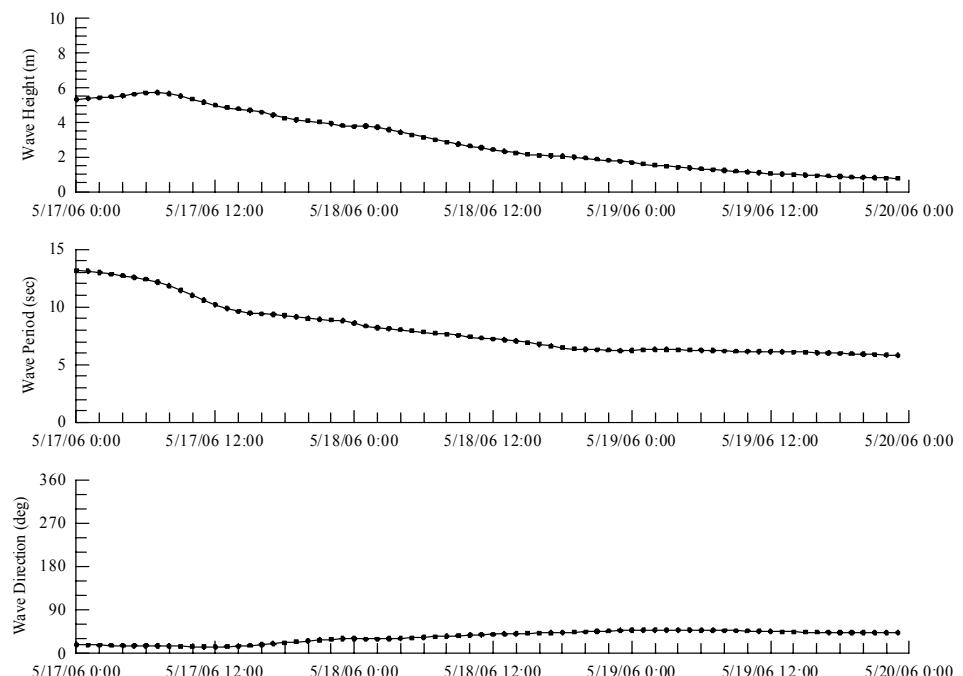
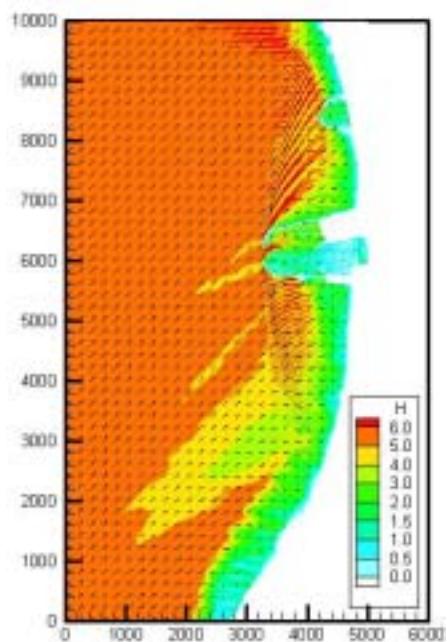
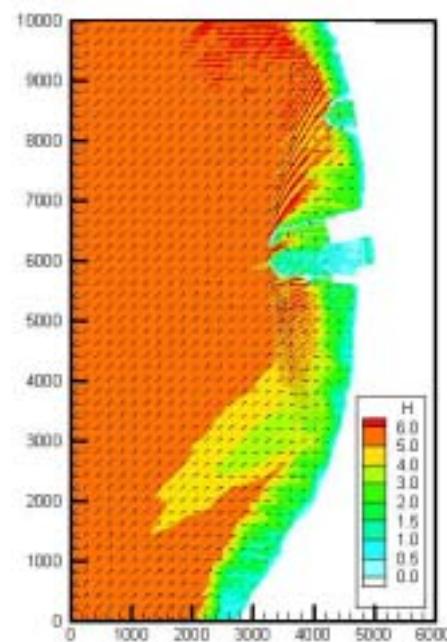


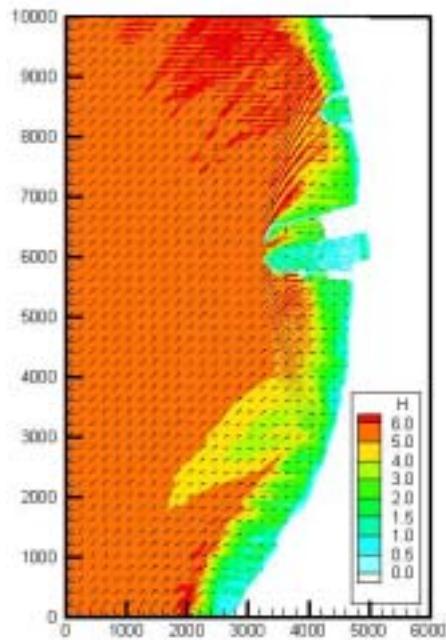
圖4.3.1-2 全域WAM模式預報之安平港波浪結果  
(上：波高；中：週期；下：波向)



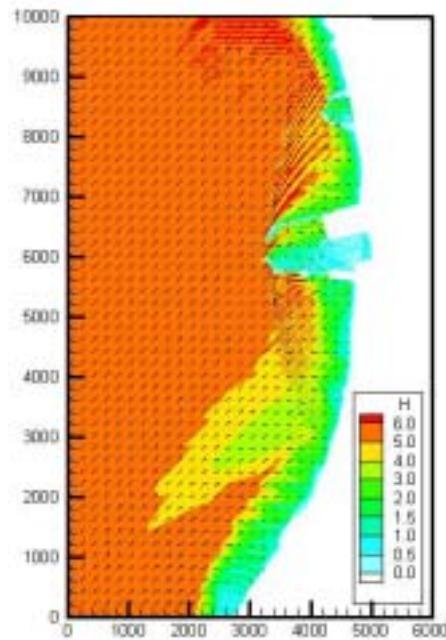
(a) 2006/05/17 00:00  
(H=5.3m, T=13.15s, D=17.2°N)



(b) 2006/05/17 03:00  
(H=5.5m, T=12.84s, D=15.8°N)

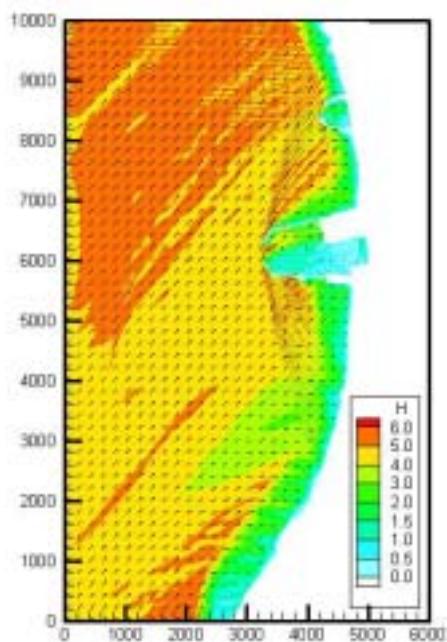


(c) 2006/05/17 06:00  
(H=5.7m, T=12.39s, D=15.32°N)

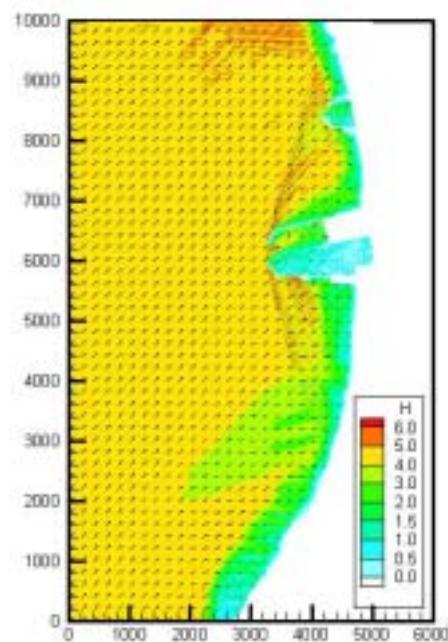


(d) 2006/05/17 09:00  
(H=5.5m, T=112.44s, D=13.7°N)

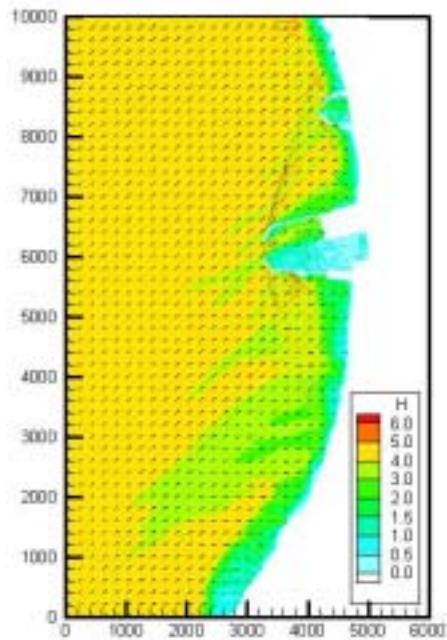
**圖4.3.1-3 安平港近岸區域波浪模式模擬結果**



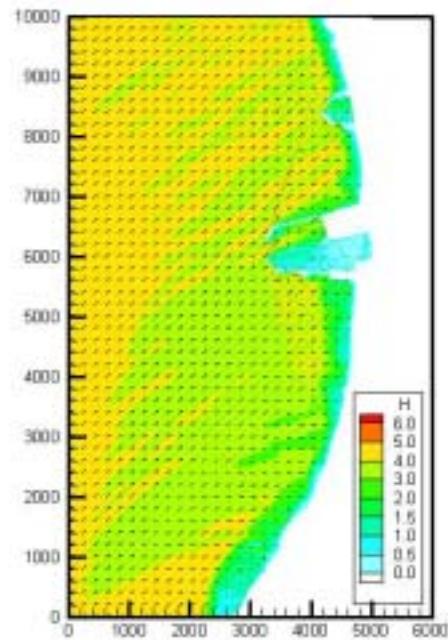
(e) 2006/05/17 12:00  
(H=5.2m, T=10.58s, D=12.9°N)



(f) 2006/05/17 15:00  
(H=4.7m, T=9.47s, D=15.8°N)

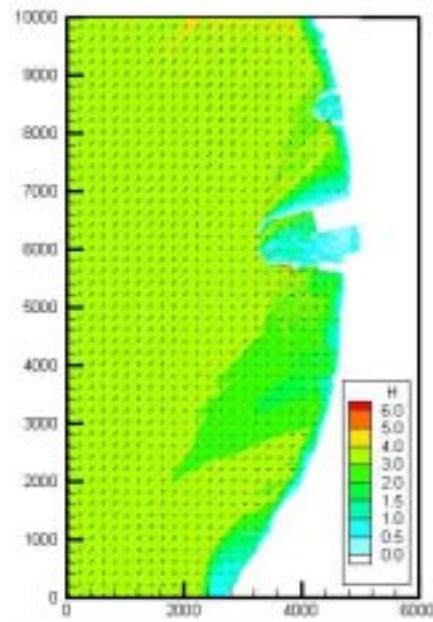


(g) 2006/05/17 18:00  
(H=4.3m, T=9.26s, D=21.4°N)

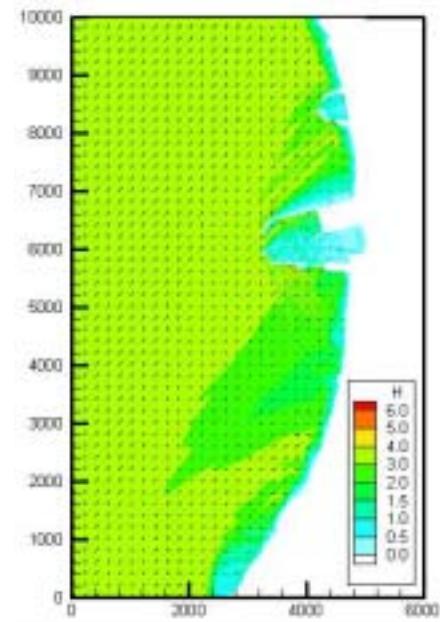


(h) 2006/05/17 21:00  
(H=4.0m, T=8.92s, D=26.9°N)

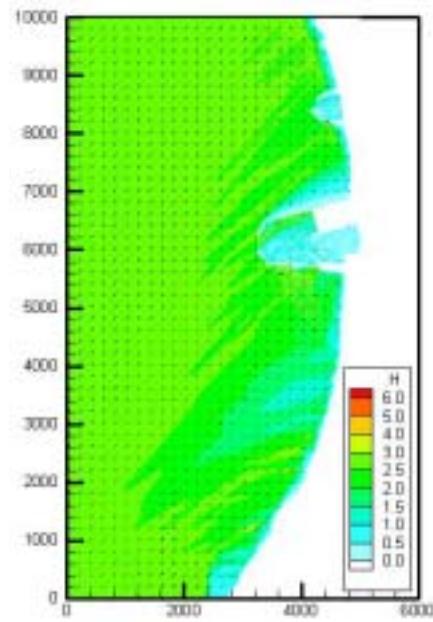
**圖4.3.1-3 (續1)安平港近岸區域波浪模式模擬結果**



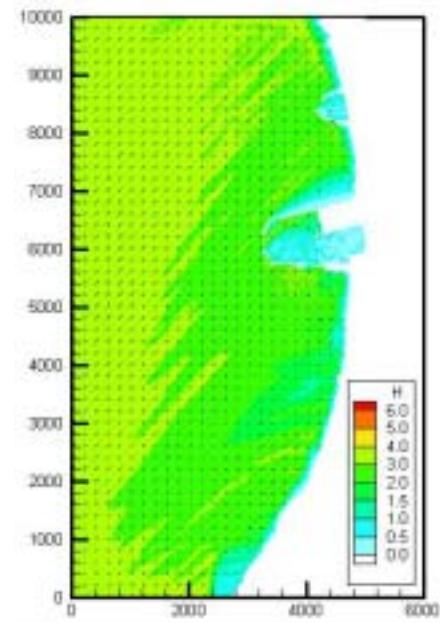
(i) 2006/05/18 00:00  
(H=3.8m, T=8.60s, D=29.9°N)



(j) 2006/05/18 03:00  
(H=3.6m, T=8.11s, D=29.6°N)



(k) 2006/05/18 06:00  
(H=3.1m, T=7.82s, D=32.4°N)



(l) 2006/05/18 09:00  
(H=2.7m, T=7.53s, D=35.7°N)

圖4.3.1-3 (續2)安平港近岸區域波浪模式模擬結果

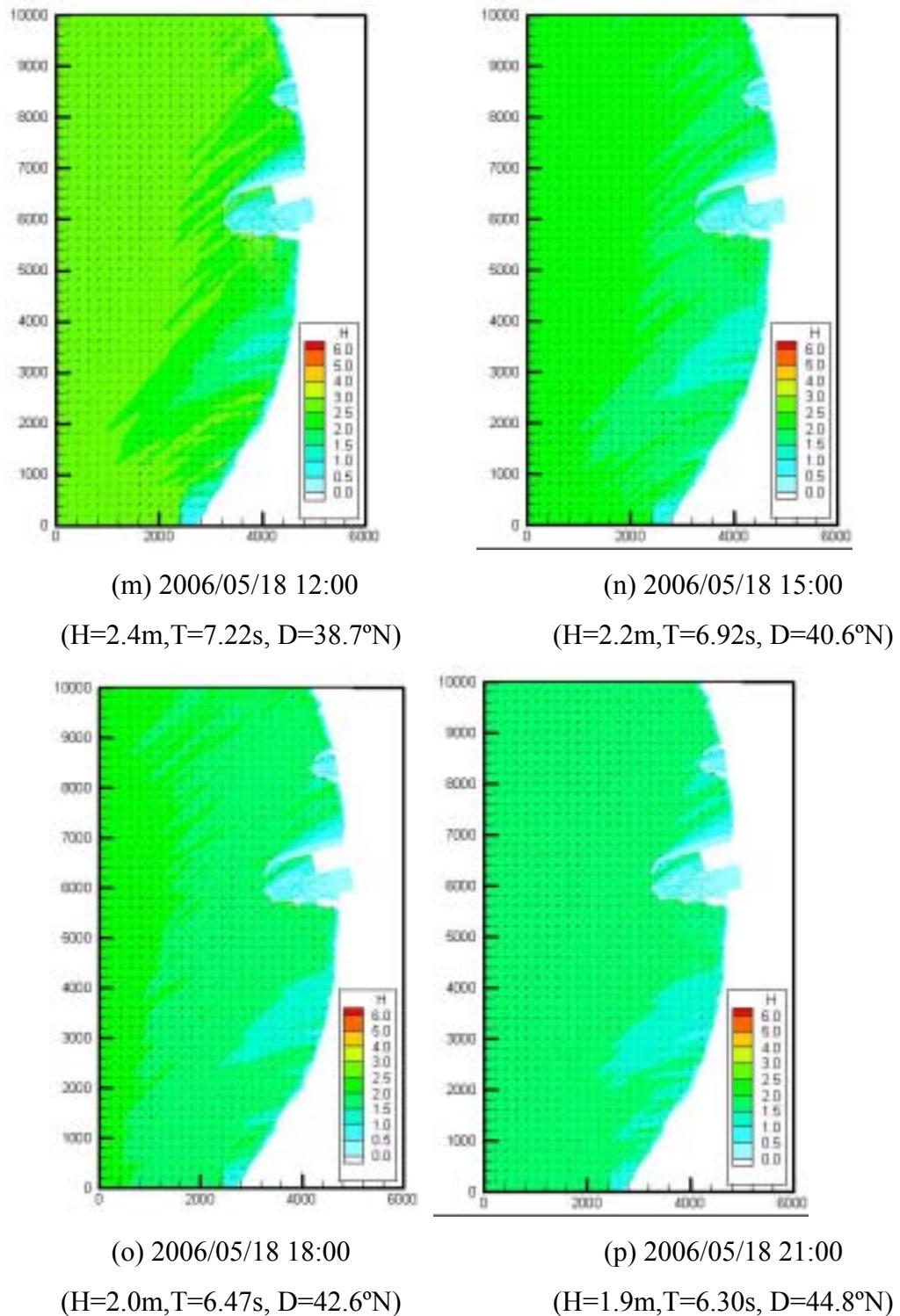


圖4.3.1-3 (續3)安平港近岸區域波浪模式模擬結果

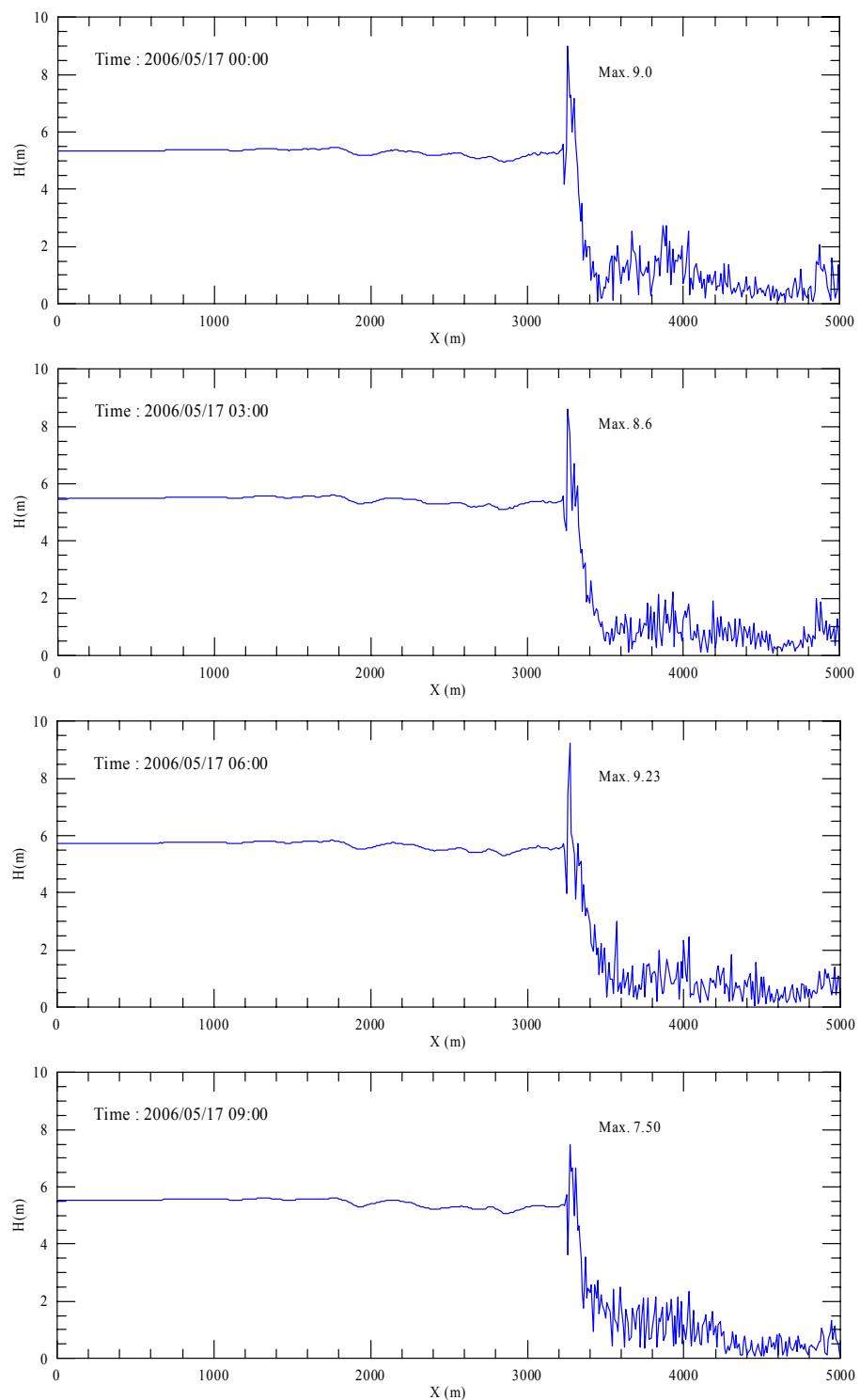


圖4.3.1-4 離岸方向波高之變化情形(港口中央,y=6100)

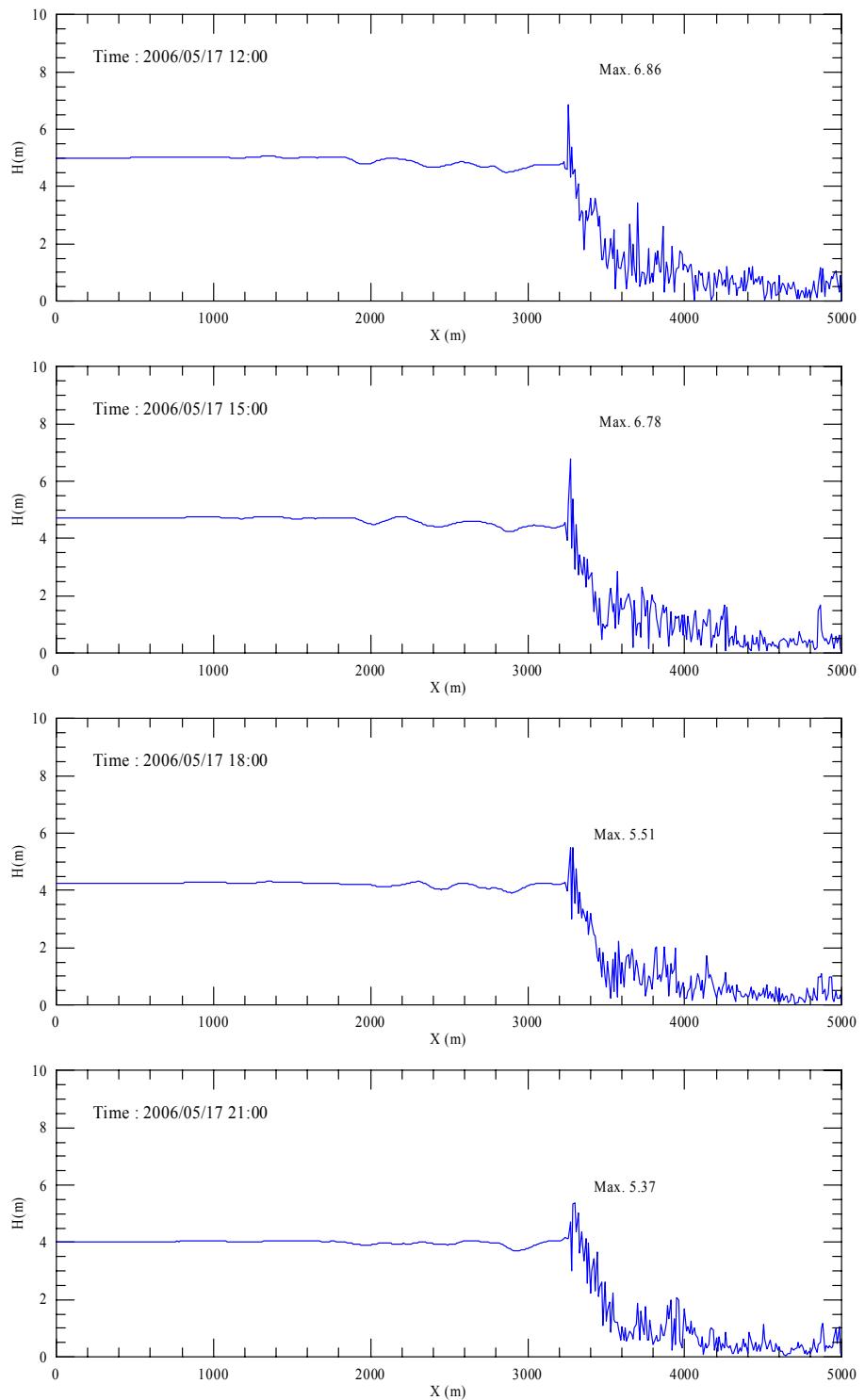


圖4.3.1-4 (續1)離岸方向波高之變化情形(港口中央,y=6100)

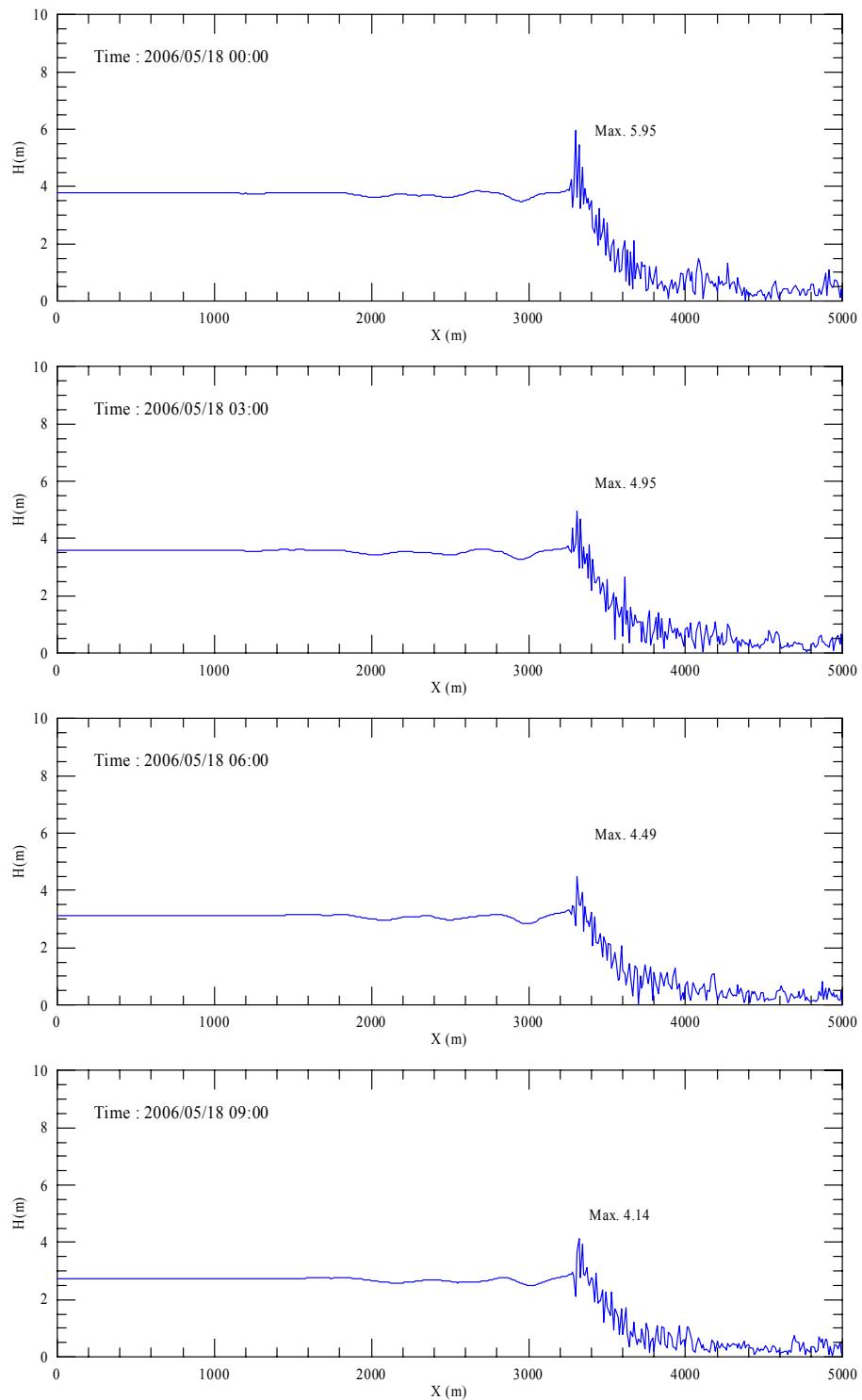


圖4.3.1-4 (續2)離岸方向波高之變化情形(港口中央,y=6100)

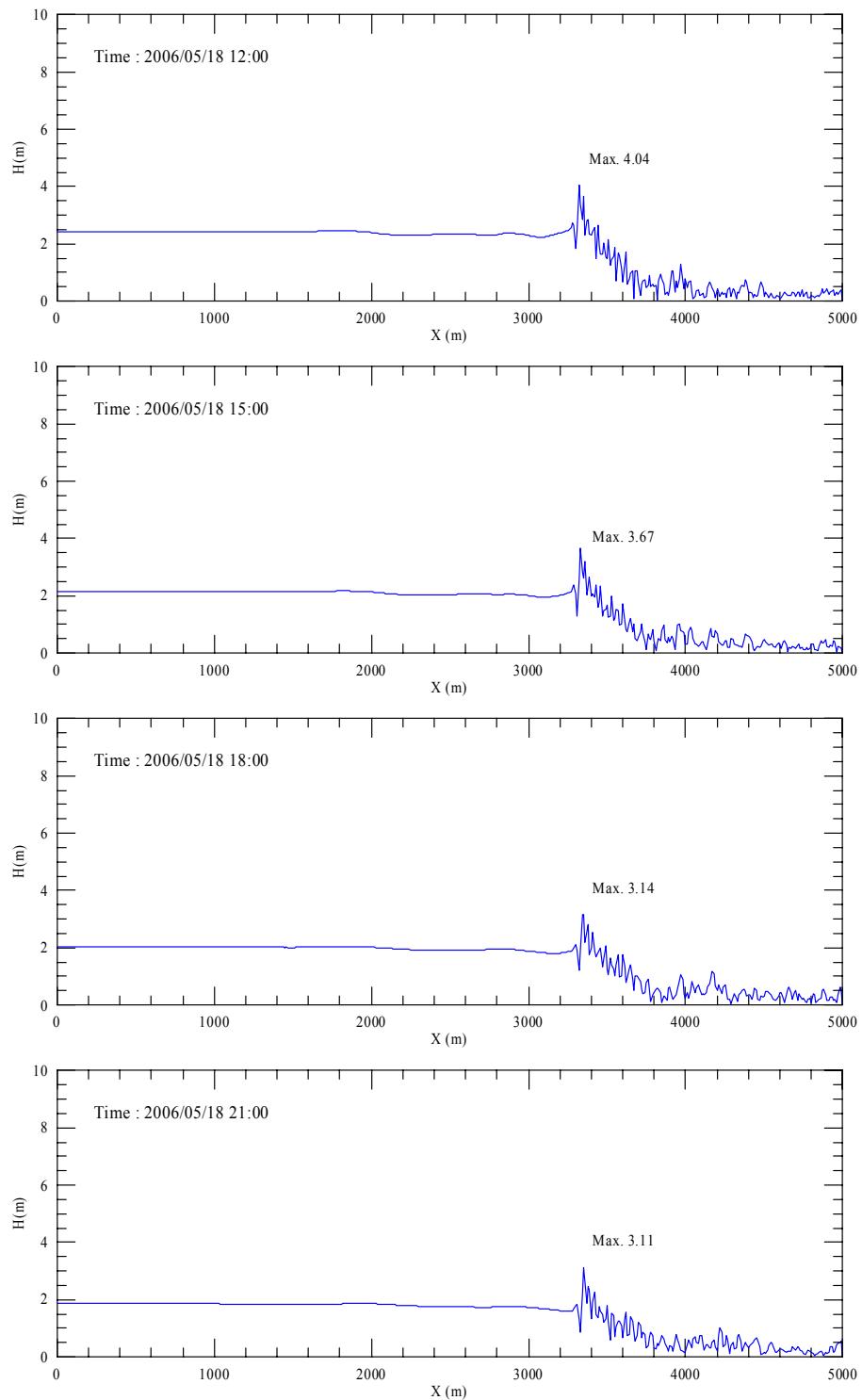


圖4.3.1-4 (續3)離岸方向波高之變化情形(港口中央,y=6100)

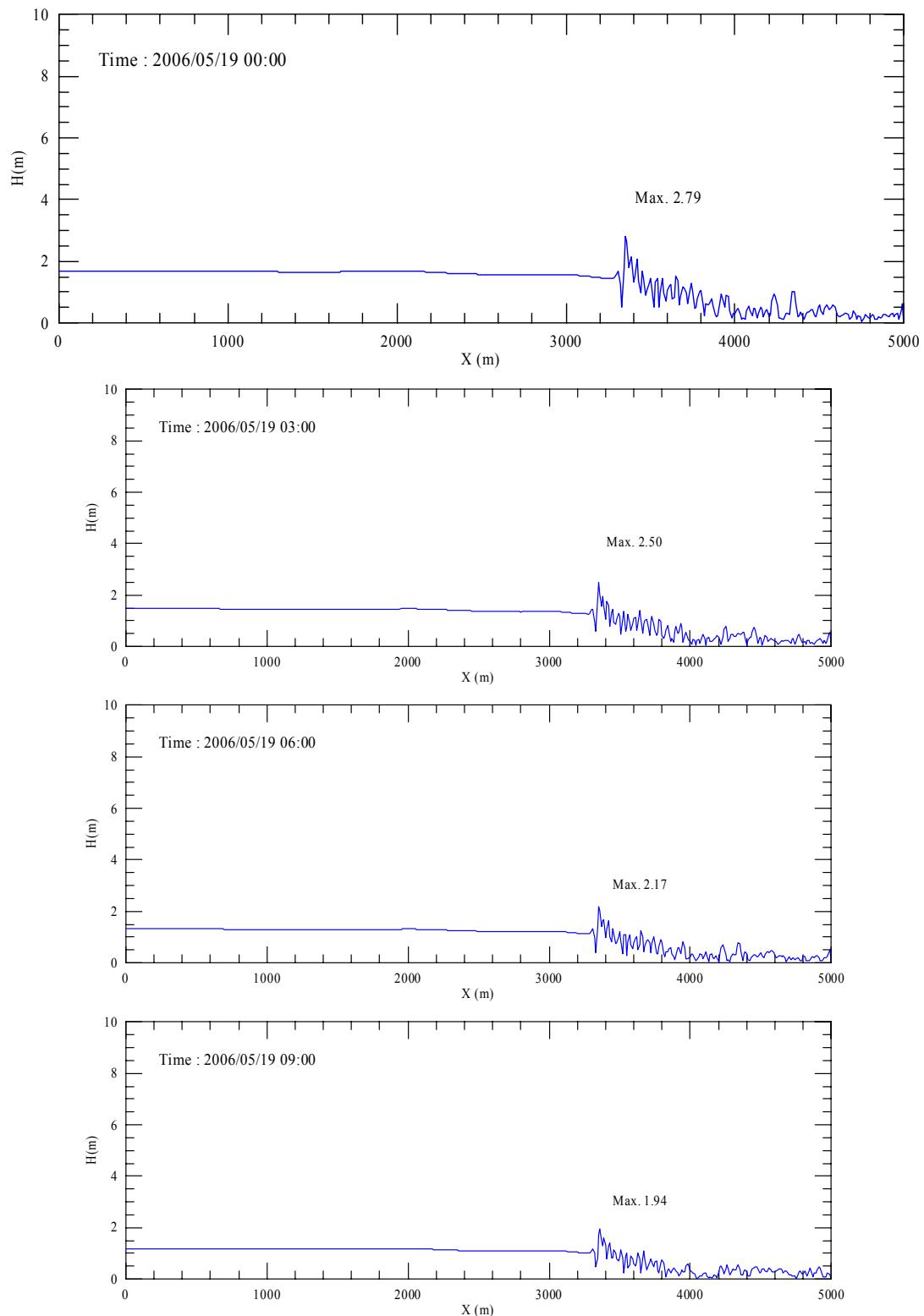


圖4.3.1-4 (續4)離岸方向波高之變化情形(港口中央,y=6100)

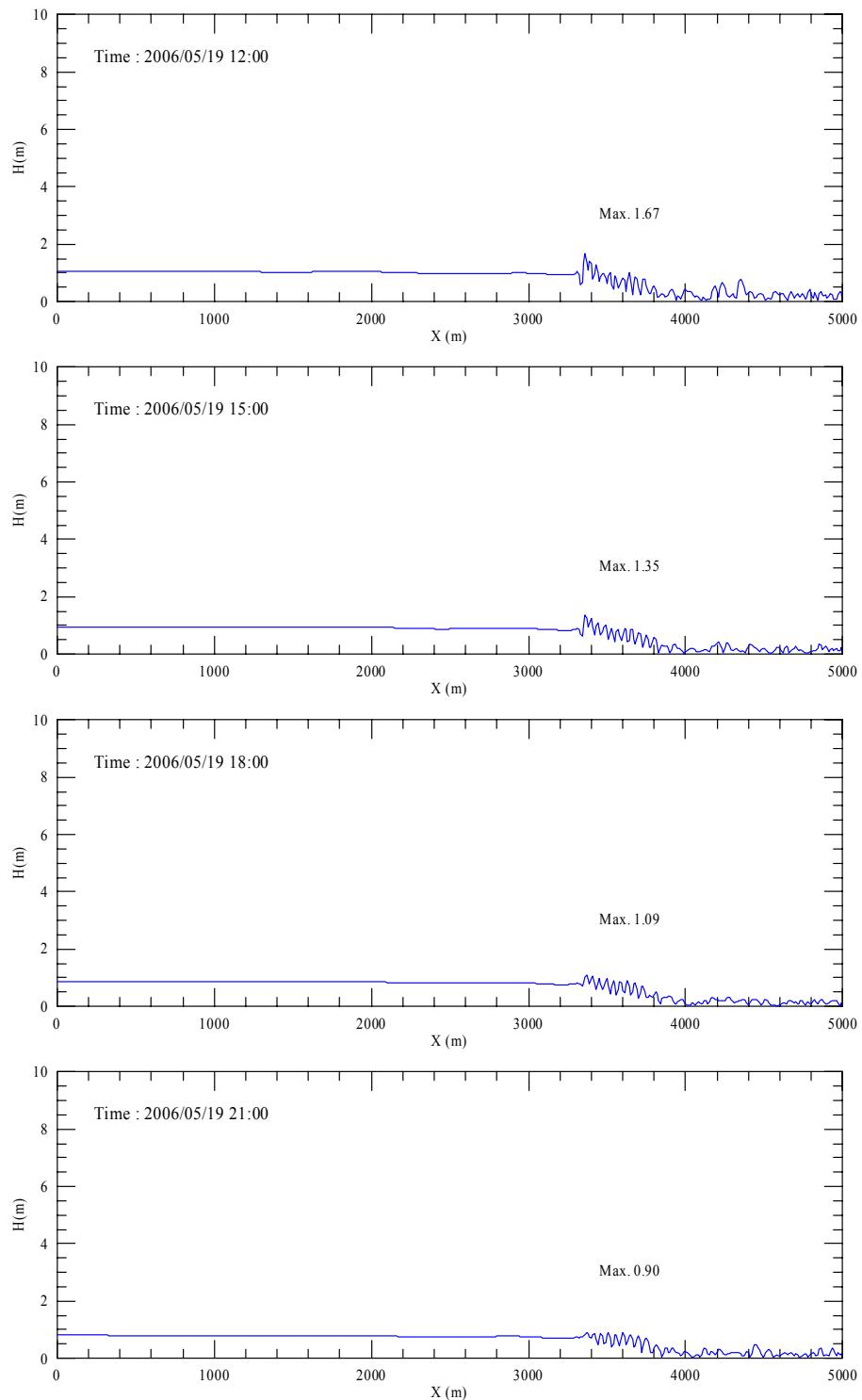


圖4.3.1-4 (續5)離岸方向波高之變化情形(港口中央,y=6100)

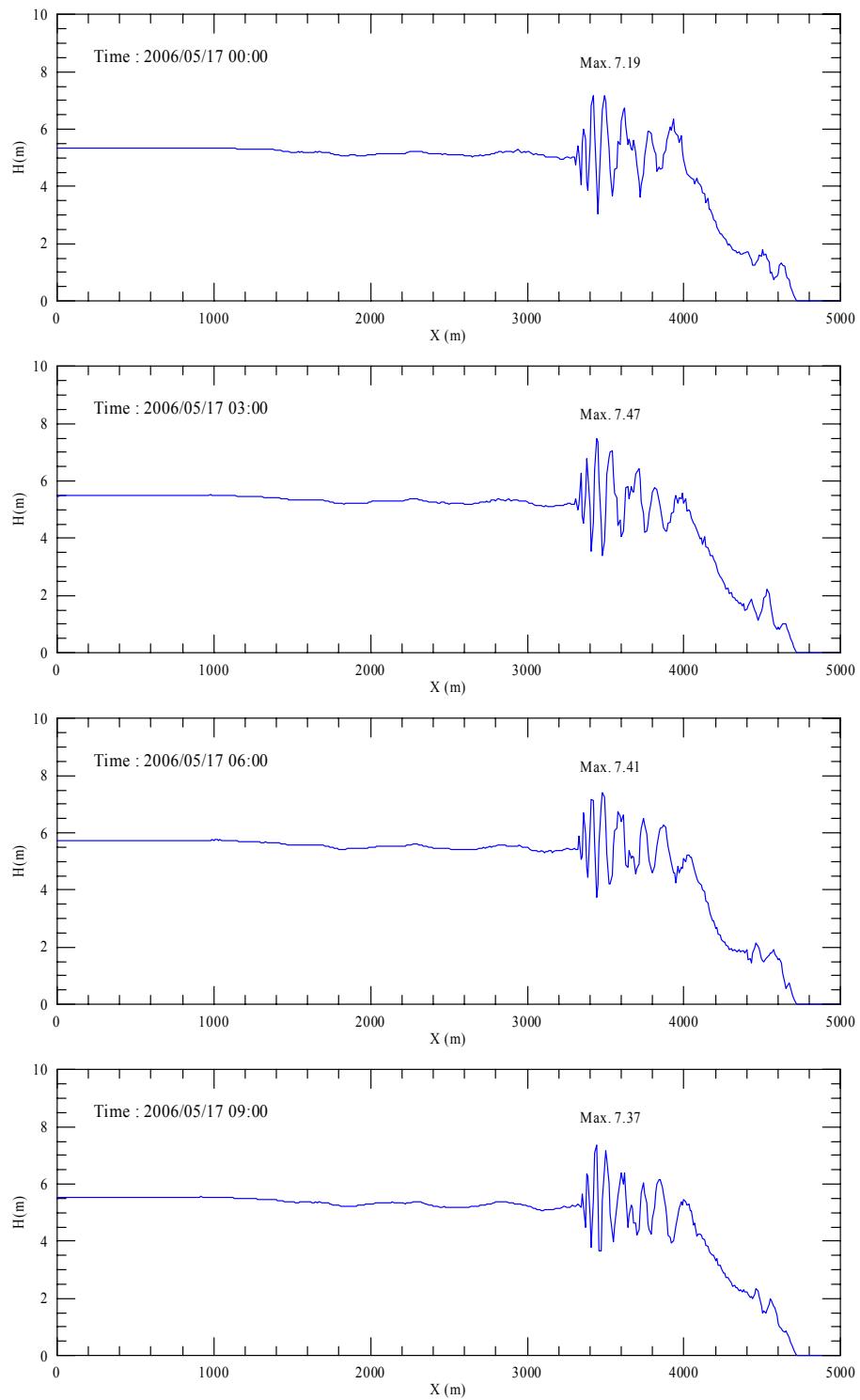


圖4.3.1-5 安平港防波堤南側離岸方向波高之變化情形(y=5100)

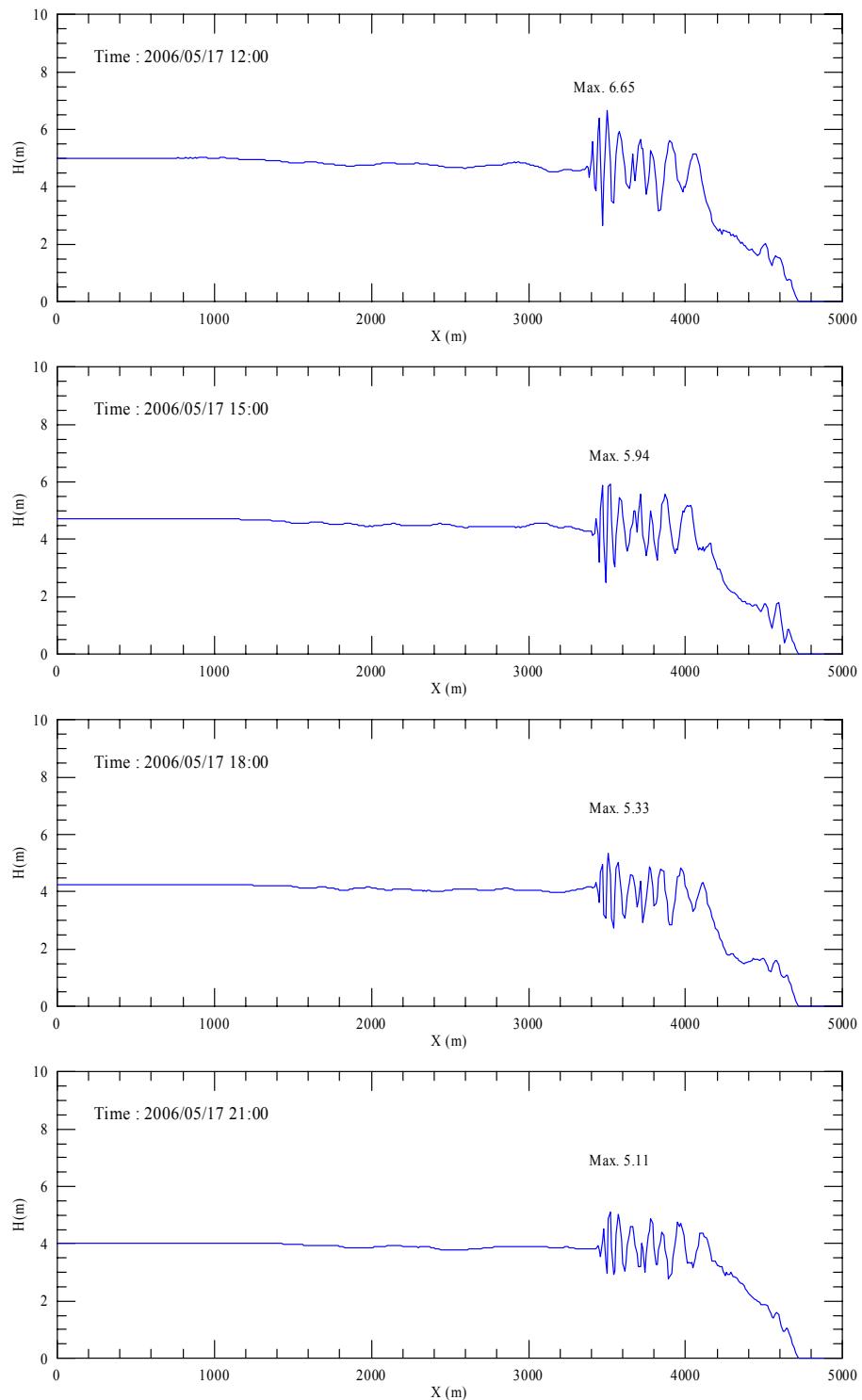


圖4.3.1-5 (續1)安平港防波堤南側離岸方向波高之變化情形( $y=5100$ )

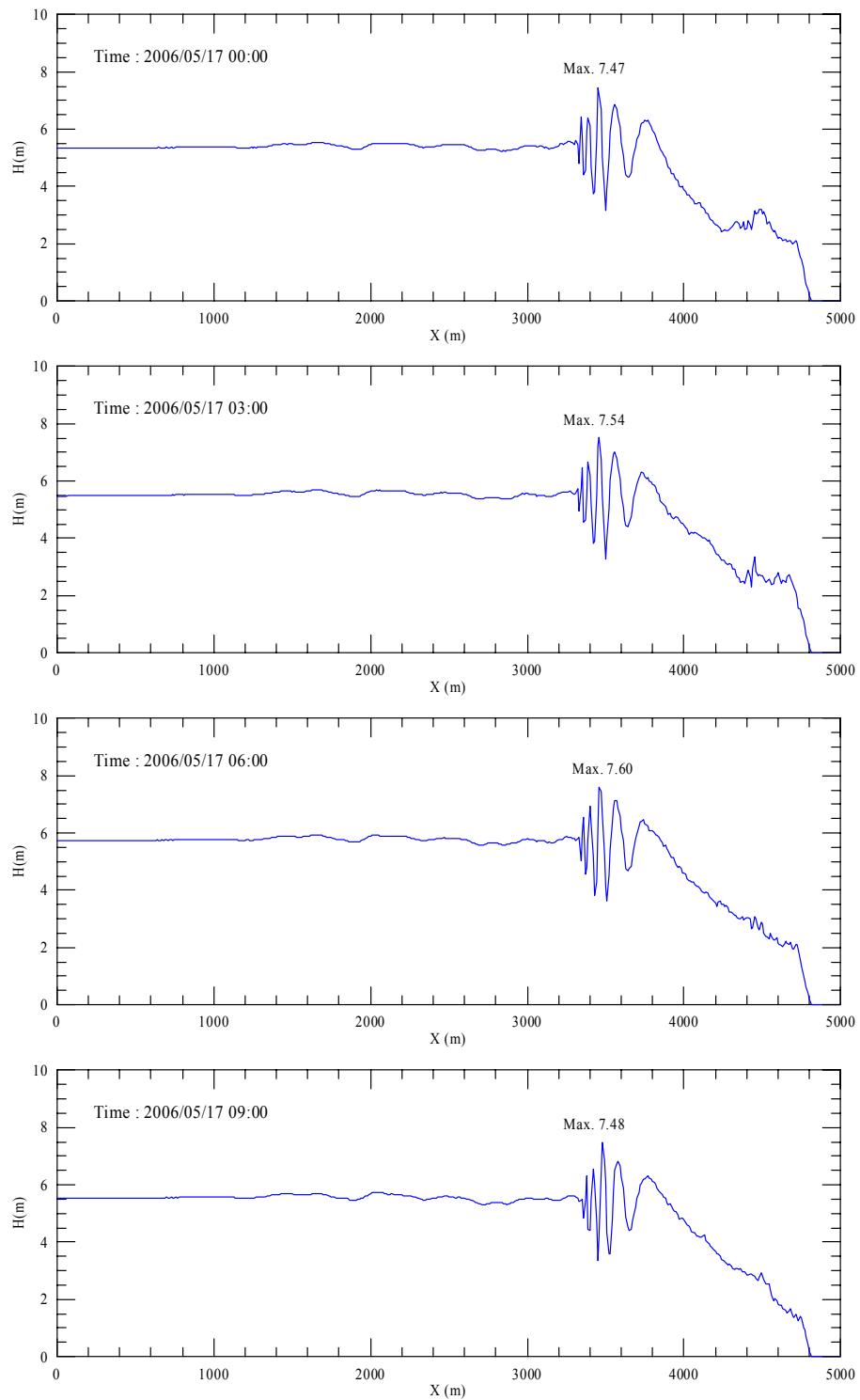


圖4.3.1-6 安平港防波堤北側離岸方向波高之變化情形(y=7100)

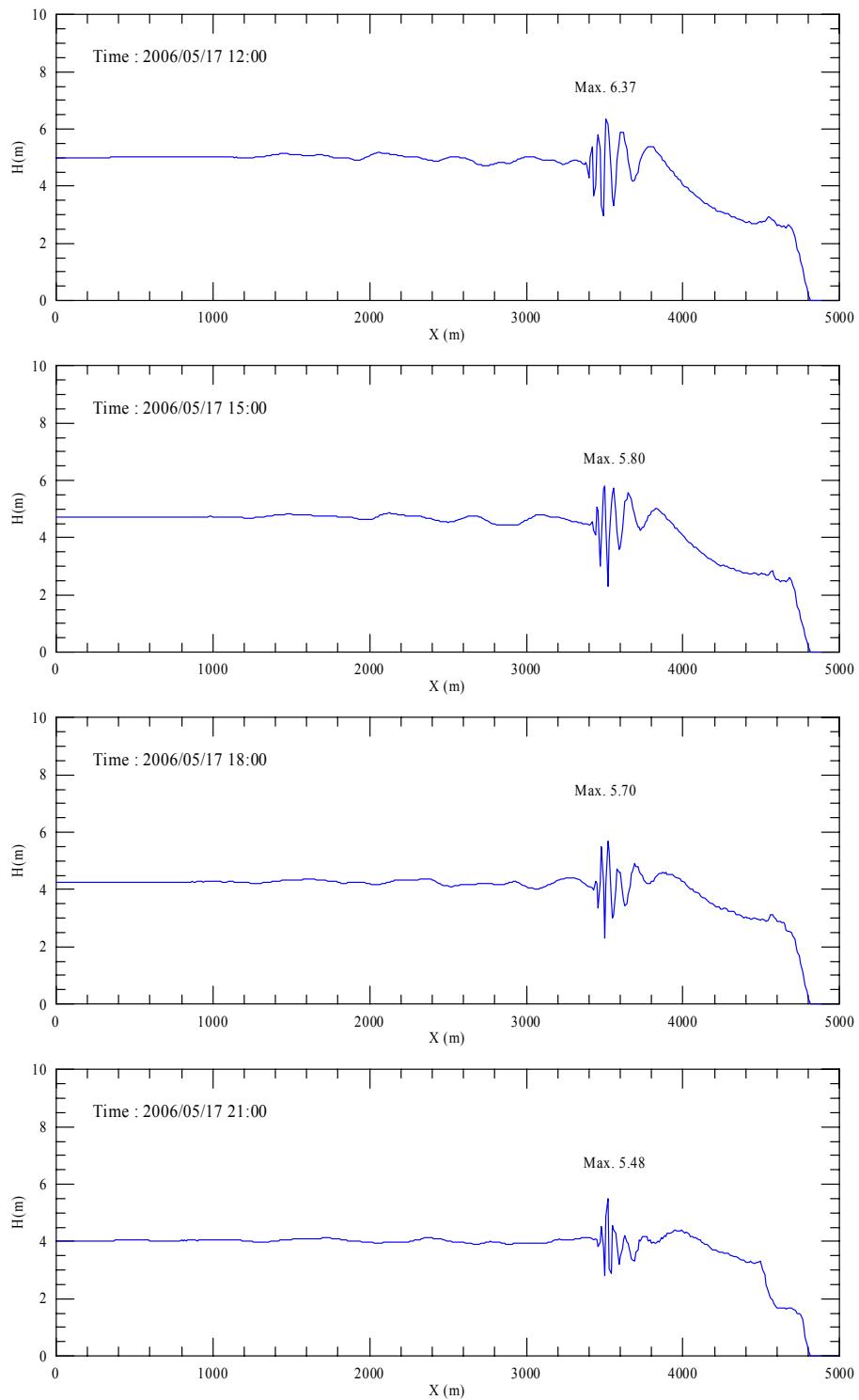


圖4.3.1-6 (續1)安平港防波堤南側離岸方向波高之變化情形( $y=7100$ )

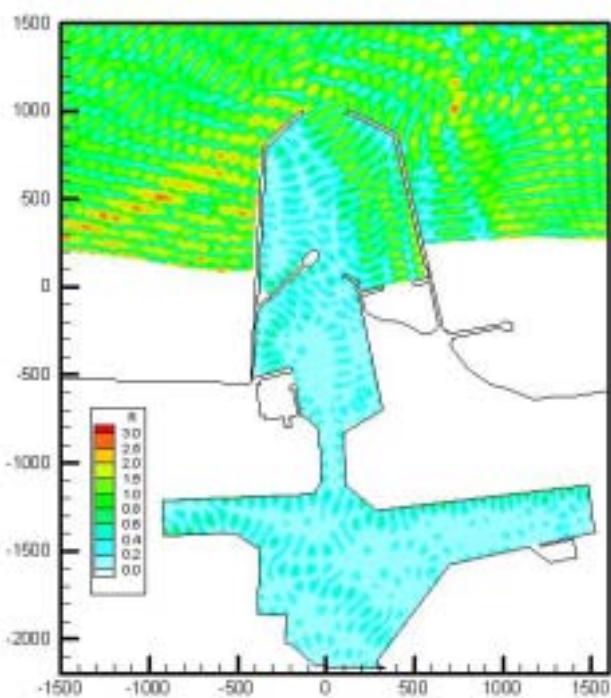


圖4.3.1-7 安平港近域波浪模式模擬結果  
(2006/05/17 00:00; T=13.15s, D=17.2°N)

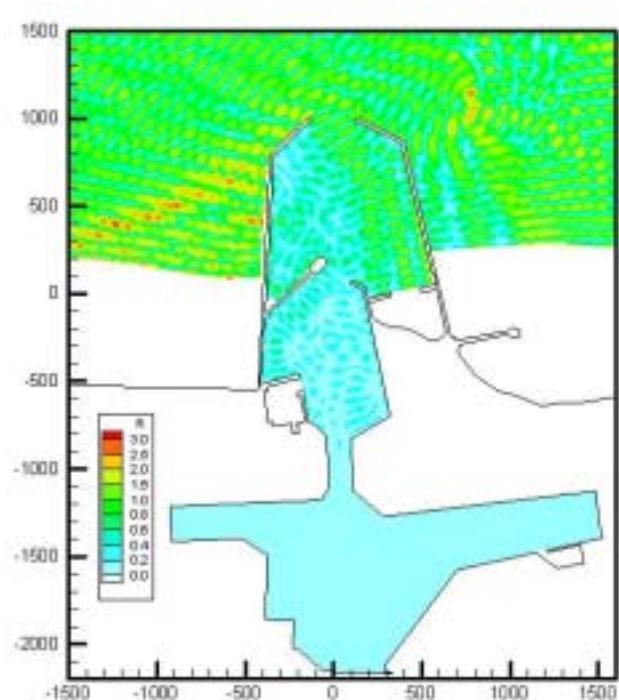


圖4.3.1-8 安平港近域波浪模式模擬結果  
(2006/05/17 03:00; T=12.84s, D=15.8°N)

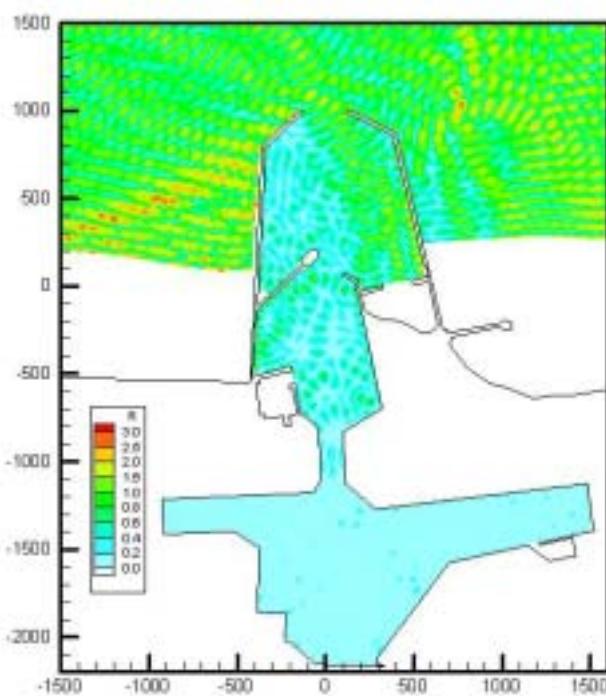


圖4.3.1-9 安平港近域波浪模式模擬結果  
(2006/05/17 06:00 T=12.39s, D=15.3°N)

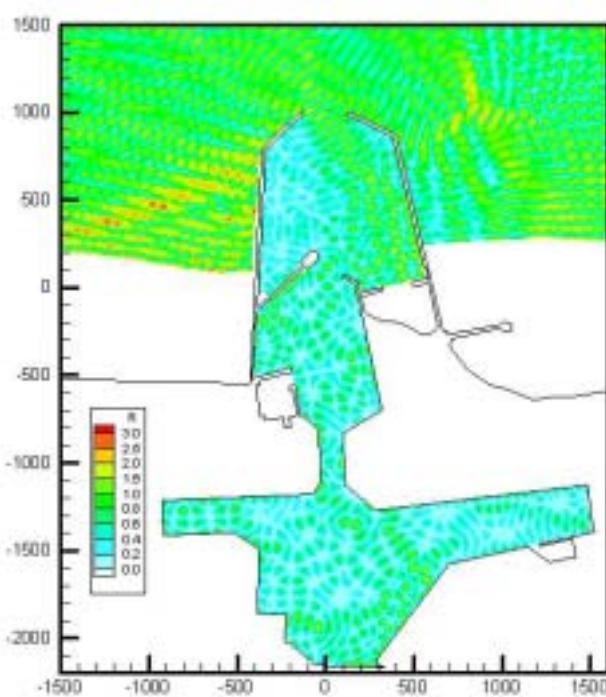


圖4.3.1-10 安平港近域波浪模式模擬結果  
(2006/05/17 09:00 T=11.43s, D=13.7°N)

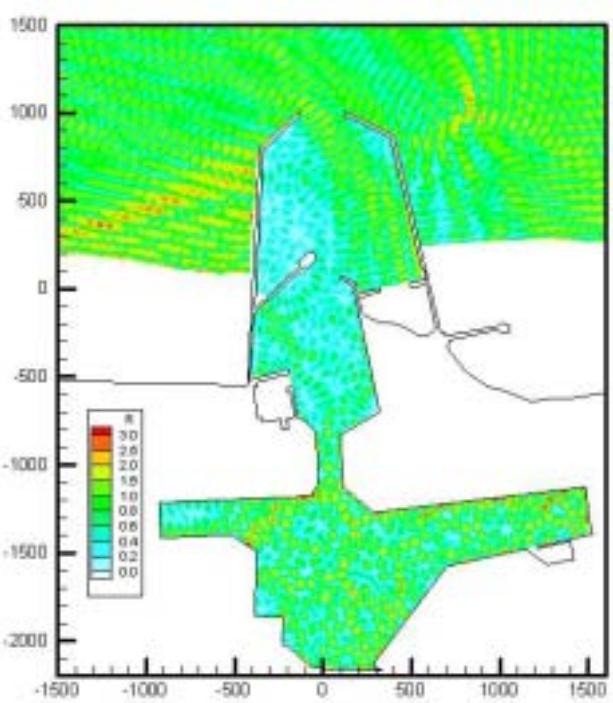


圖4.3.1-11 安平港近域波浪模式模擬結果  
(2006/05/17 12:00 T=10.58s, D=12.9°N)

### 4.3.2 安平港近岸流場模擬結果

#### (1)長期觀測資料分析

本計畫蒐集 2005 年安平港外海潮汐及潮流觀測資料，並整理連續記錄較長(約 10 天以上)之資料如圖 4.3.2-1 所示，顯示 2005 年安平港整年觀測資料中僅 4 組資料長度符合需求，其中最長之連續記錄為 2005 年 4 月 28 日至 5 月 26 日，惟該筆記錄顯示潮流記錄自第 4 日起出現異常之訊號，經研判可能無法代表實際觀測之潮流資料。總之，上述安平港外海觀測資料中，本計畫選取 2005 年 1 月 1 日及 2005 年 9 月 17 日兩組資料作為安平港近岸區域潮流流場模擬之率定與驗証依據。此外，基於安平港外海現有潮汐實測資料缺乏長期之連續性記錄，本計畫另蒐集位於安平港內成大水工試驗所(THL)自設之潮位站實測潮位記錄，如圖 4.3.2-2 所示，做為本計畫安平港近岸潮流數值模擬之參考依據。圖 4.3.2-3 所示為安平港內 THL 量測之潮位記錄與本計畫安平港外海海象觀測站潮位記錄(IHMT)之比較，結果顯示兩組資料潮汐變化相當一致。

由於近岸流場之變化實際上受到潮汐、洋流、風力及波浪等外力影響，為瞭解安平港外海海流觀測資料之特性，本計畫分別針對潮汐及海流資料進行相關分析。在潮汐分析上，本計畫採用 60 個天文分潮

以調和分析方法分析安平港內潮位記錄(THL)，得到各分潮之振幅及相位角如表 4.3.2-1 所示，其中全日潮  $O_1$  及  $K_1$  之振幅分別為 0.203m 及 0.214m，半日潮  $M_2$  及  $S_2$  之振幅分別為 0.249m 及 0.061m；依潮汐型態判別參數  $D = (O_1+K_1)/(M_2+S_2) = 1.345 \geq 1.25$ ，得知安平港潮汐型態屬於全日潮型。在潮流分析上，本計畫採用 Huang et al. (1998) 所發展的資料分析方法 empirical mode decomposition (EMD) 分析潮流資料，其優點在於 EMD 法可將實測海流資料分離成數個不同時間尺度之成分，如半日潮及全日潮等。圖 4.3.2-4 至圖 4.3.2-7 所示為採用 EMD 分析安平港外海資料之結果，由於本計畫海流觀測資料為每小時之資料，因此 EMD 法所得到最小時間尺度之資料( $IMF=1$ )相當於半日潮之成份，而  $IMF=2$  則代表全日潮之成份。分析結果顯示安平港潮汐型態雖屬於全日潮型，但潮流分析上半日潮之成份明顯地大於全日潮成份，此一現象與以往採用調和分析之結果一致。由於本計畫近岸區域潮流之模擬著重於半日潮及全日潮所引起的潮流大小，因此本計畫後續對於數值模式之率定與驗証，僅選取  $IMF=1$  及  $IMF=2$  兩種成份潮流之合成結果（統一稱為潮流觀測資料），作為數值模式之率定與驗証依據。

## (2) 模式之邊界條件

於潮流數值模式中模式之邊界型態分為有開放邊界及陸地邊界兩種，其中海域開放邊界通常採用水位作為模式之邊界條件，陸地邊界條件分為不滑動邊界條件(即水平速度為零)及滑動邊界條件(即邊界垂直方向流速為零)等兩種。針對模式開放邊界條件之處理，本計畫規畫兩種水位邊界條件輸入方式：一為依據實測潮位記錄調和分析結果，選取適當數量之主要分潮(如  $O_1$ 、 $P_1$ 、 $K_1$ 、 $N_2$ 、 $M_2$  及  $S_2$  等)，預測模式邊界上之潮汐變化作為近岸潮流模擬之水位邊界條件；二為依據本計畫 TaiCOMS 全域模式水位模擬結果，給定近岸潮流模擬之水位邊界條件。前者為常見之模式邊界水位給定方法，唯安平港近岸潮流模擬範圍邊界上無實測潮位記錄，因此必須採用外插方法，配合模式之率定與驗証以試誤方式(try and error)調整邊界水位之大小及相位，以得到合理的流場大小；此法之優點為模擬之水位變化與實測值較為接近，缺點為試誤法過程較為費時。後者透過全域模式模擬結果給定近岸模式之邊界條件，其優點為可避免第一種方式因試誤法所增加之困擾，缺點為近岸模式模擬結果易受全域模式水位模擬結果之正確性及解析度影響。關於上述兩種邊界水位給定方式，現階段之作法簡述如下：

針對第一種方法本計先選取高雄港潮位記錄進行調和分析，以判別  $O_1$ 、 $P_1$ 、 $K_1$ 、 $N_2$ 、 $M_2$  及  $S_2$  等分潮潮波前進方向，作為建立數值模

式邊界水位之參考依據。圖 4.3.2-8 及圖 4.3.2-9 所示分別為安平港及高雄港  $O_1$ 、 $P_1$ 、 $K_1$ 、 $N_2$ 、 $M_2$  及  $S_2$  等分潮之振幅及相位角，顯示全日潮潮波前進方向由北向南，半日潮潮波由南往北傳播。本計畫依據兩地分潮振幅及相位角差，利用線性關係計算模式邊界節點上各分潮之振幅與相位角；於試誤法之過程中分別對振幅及相位差調整其差值進行數值模擬與驗証，以得到合理的流場。圖 4.3.2-10 所示為數值模式採用的南北邊界水位變化歷線。

對於第二種邊界水位給定方式，本年度依據大尺度 10 分之數值網格選取鄰近安平港近岸潮流數值網格邊界之大尺度網格點位(E120.0, N23.0)及(E120.1, N22.8)，如圖 4.3.2-11 所示，輸出 2005 年全年模擬之水位資料作為安平港近岸潮流數值模擬之邊界條件給定之依據。圖 4.3.2-12 所示為全域數值模擬結果與安平港內潮位之比較，顯示潮汐漲退潮之相位變化相當一致，唯潮汐變化之振幅仍有顯著之誤差存在。基於與第一種方法之比較，本計畫同樣對於全域模擬之水位資料進行調和分析，圖 4.3.2-13 及圖 4.3.2-14 所示分別為點位(E120.0, N23.0)及(E120.1, N22.8)水位模擬資料調和分析所得主要分潮之振幅及相位角比較，顯示模式模擬之分潮潮波前進方向與上述實測資料分析結果一致。本計畫同樣針對點位(E120.0, N23.0)及(E120.1, N22.8)水位調和分析結果選取主要分潮  $O_1$ 、 $P_1$ 、 $K_1$ 、 $N_2$ 、 $M_2$  及  $S_2$  等構建近岸潮流模擬之邊界水位條件，離岸(南北向)邊界之水位條件則採用線性內插方法計算之，圖 4.3.2-15 所示為安平近岸潮流流場模擬之南北邊界水位變化。

### (3) 模式之驗証

本計畫先針對上述第一種邊界水位給定方法進行數值模擬，並依據安平港外海潮流觀測資料進行近岸流場之模擬與驗証；再依據驗証結果調整南北邊界之相位差及水位差，直到獲得合理的模擬結果。本計畫模式之陸地邊界條件則設定為滑動邊界條件，亦即假設邊界垂直方向之流速為零。其他相關參數率定之結果分別為：模式之紊流係數值採用  $100\text{m}^2/\text{sec}$ ，底床摩擦係數值則介於 0.001 ~ 0.025 之間，計算之時間間距為 3 秒。圖 3-16 所示為模式模擬結果與水位及潮流觀測結果(分為東西向及南北向流速)之比較，顯示安平港口之模擬水位與觀測資料相當接近，外海觀測樁附近模擬之流速略小於潮流觀測資料。

其次，本計畫採用第二種模式邊界水位設定依據(即採用全域水位模擬結果)，建立數值模式之邊界水位條件進行數值模擬。模式之陸地邊界條件則設定為滑動邊界條件。其他相關參數率定之結果分別為：模式之紊流係數值為  $110\text{m}^2/\text{sec}$ ，底床摩擦係數值則介於 0.001 ~ 0.025

之間，模式計算之時間間距為 3 秒。圖 3-17 所示為模式模擬結果與水位及潮流觀測結果(分為東西向及南北向流速)之比較，結果顯示安平港口之模擬水位與觀測資料有較大的誤差存在，此係緣自於全域模式水位模擬結果與實測值間之差異；外海觀測椿附近模擬之流速與潮流觀測資料相當接近。

#### (4) 安平港長期流場模擬結果

由於上述採用全域水位模式模擬結果作為安平港近岸區域潮流模擬之邊界條件，所得潮流流速大小與觀測資料相當吻合，因此本計畫依據此一結果模擬安平港近岸長期流場。圖 3-18 所示為模式模擬結果與前述第二組潮流觀測資料之比較，結果顯示安平港口水位模擬結果大致與觀測資料相符，但潮流模擬結果則呈現東西南流速與觀測資料相符，南北向流速則明顯地大於觀測資料。圖 3-19 所示為安平港近岸海域之平面流場模擬結果。

由於近岸區域潮流流場模擬之主控因子為模式之邊界水位條件，因此如何針對各港區建立適當的邊界水位條件以模擬實際的近岸流場變化，為 TaiCOMS 未來持續之工作重點。目前模式採用的全域水位長期模擬結果為大尺度 20 分數值網格之模擬結果，未來將採用高解析度之 1 分數值網格模擬結果進行模式之率定與驗証。

表4.3.2-1 安平港潮汐資料調和分析成果表

安平港潮位站							
分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)	分潮 名稱	角頻率 (度/小時)	振幅 (m)	位相角 (度)
SA	0.04106860	0.1494	148.0714	L2	29.52848000	0.0122	202.1607
SAA	0.08213730	0.0178	57.4029	S2	30.00000000	0.0610	300.7653
MM	0.54437470	0.0022	295.8931	K2	30.08214000	0.0199	359.8658
MSF	1.01589600	0.0016	325.1990	MSN2	30.54437000	0.0030	27.1610
MF	1.09803300	0.0046	279.4167	KJ2	30.62651000	0.0019	131.7629
2Q1	12.85429000	0.0047	20.9430	MO2	42.92714000	0.0008	144.7833
SGM1	12.92714000	0.0052	221.1888	M3	43.47616000	0.0035	287.5483
Q1	13.39866000	0.0384	196.6944	SO3	43.94304000	0.0018	340.8394
RO1	13.47151000	0.0073	19.1499	MK3	44.02517000	0.0019	248.9416
O1	13.94304000	0.2029	12.1021	SK3	45.04107000	0.0014	63.2697
M1	14.49203000	0.0106	266.0983	MN4	57.42383000	0.0033	264.7137
P1	14.95893000	0.0626	178.3524	M4	57.96821000	0.0082	85.9462
K1	15.04107000	0.2138	47.8729	MS4	58.98410000	0.0060	259.4976
J1	15.58544000	0.0087	223.0314	MK4	59.06624000	0.0027	322.8014
SO1	16.05696000	0.0028	174.5301	S4	60.00000000	0.0014	75.7452
OO1	16.13910000	0.0069	272.1583	2MN6	86.40794000	0.0016	257.7190
MNS2	27.42383000	0.0030	88.1774	M6	86.95232000	0.0022	90.0650
MU2	27.96820000	0.0117	257.7324	2MS6	87.96821000	0.0009	266.1360
N2	28.43973000	0.0552	352.4114	2SM6	88.98411000	0.0004	331.1534
M2	28.98410000	0.2489	169.6829	MSK6	89.06624000	0.0003	299.4021
平均潮位：0.4507m							
資料分析時間原點：2004/03/01 11:00:00							

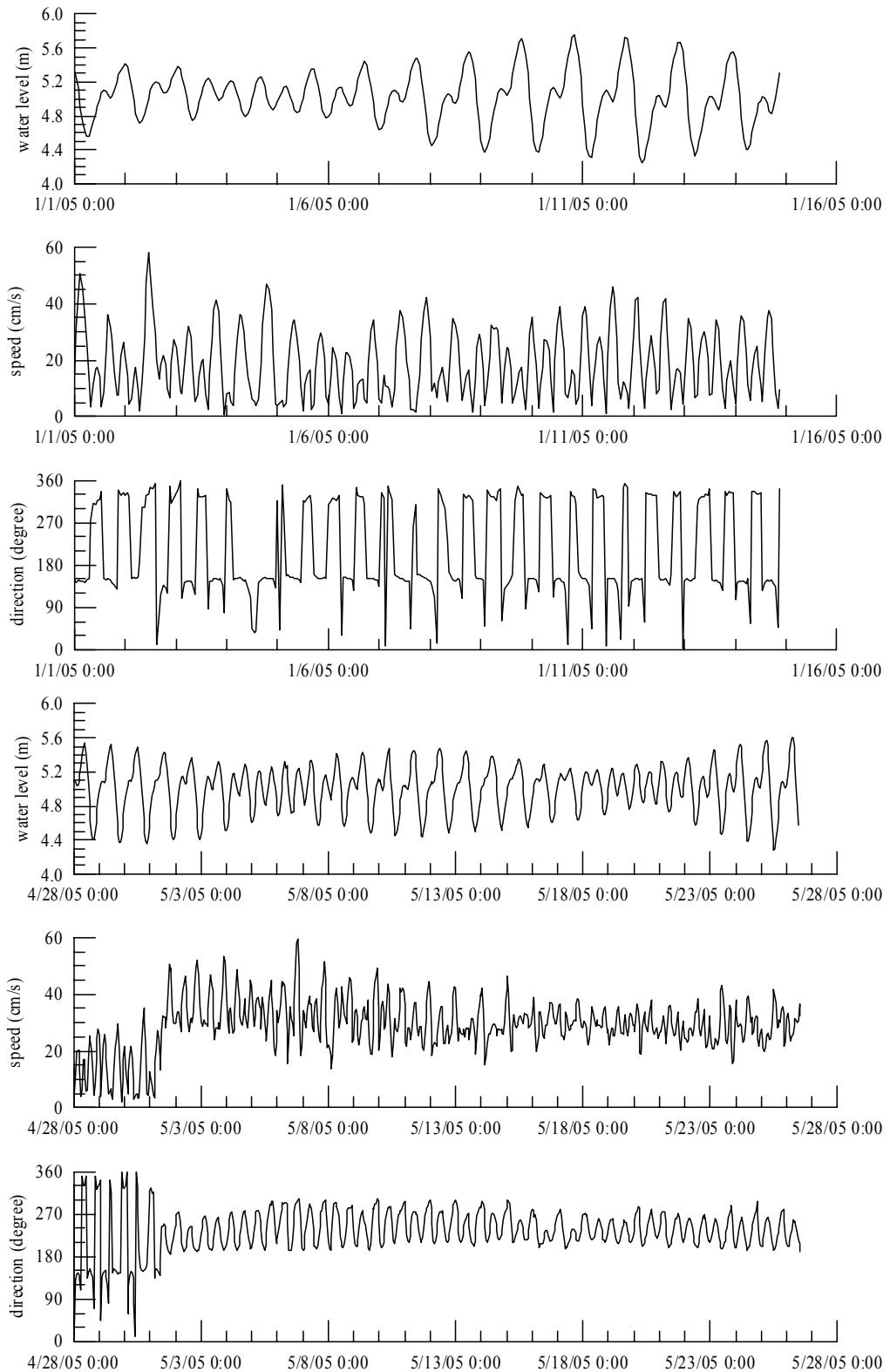


圖4.3.2-1 安平港外海潮汐及潮流觀測記錄時序圖

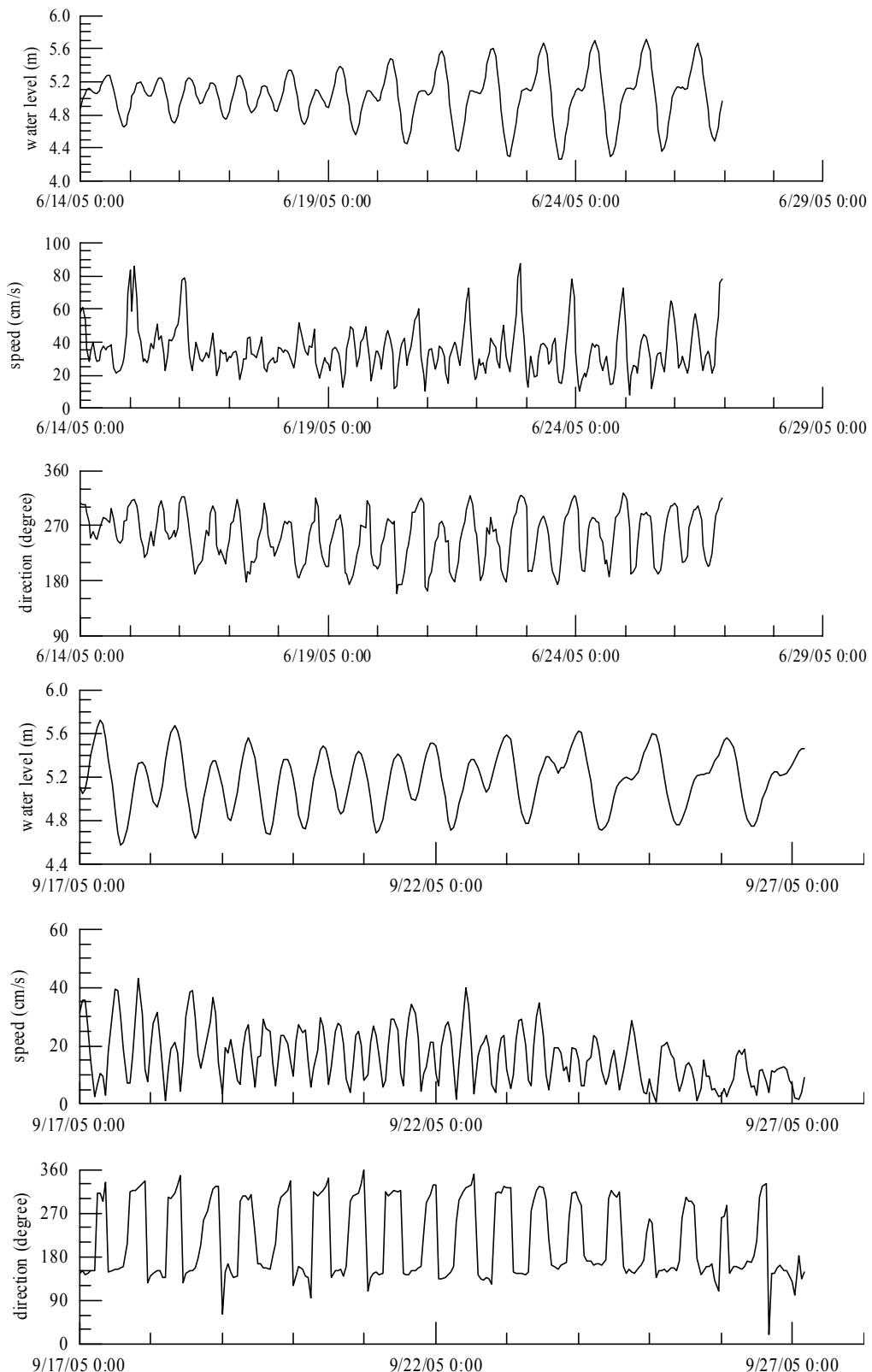
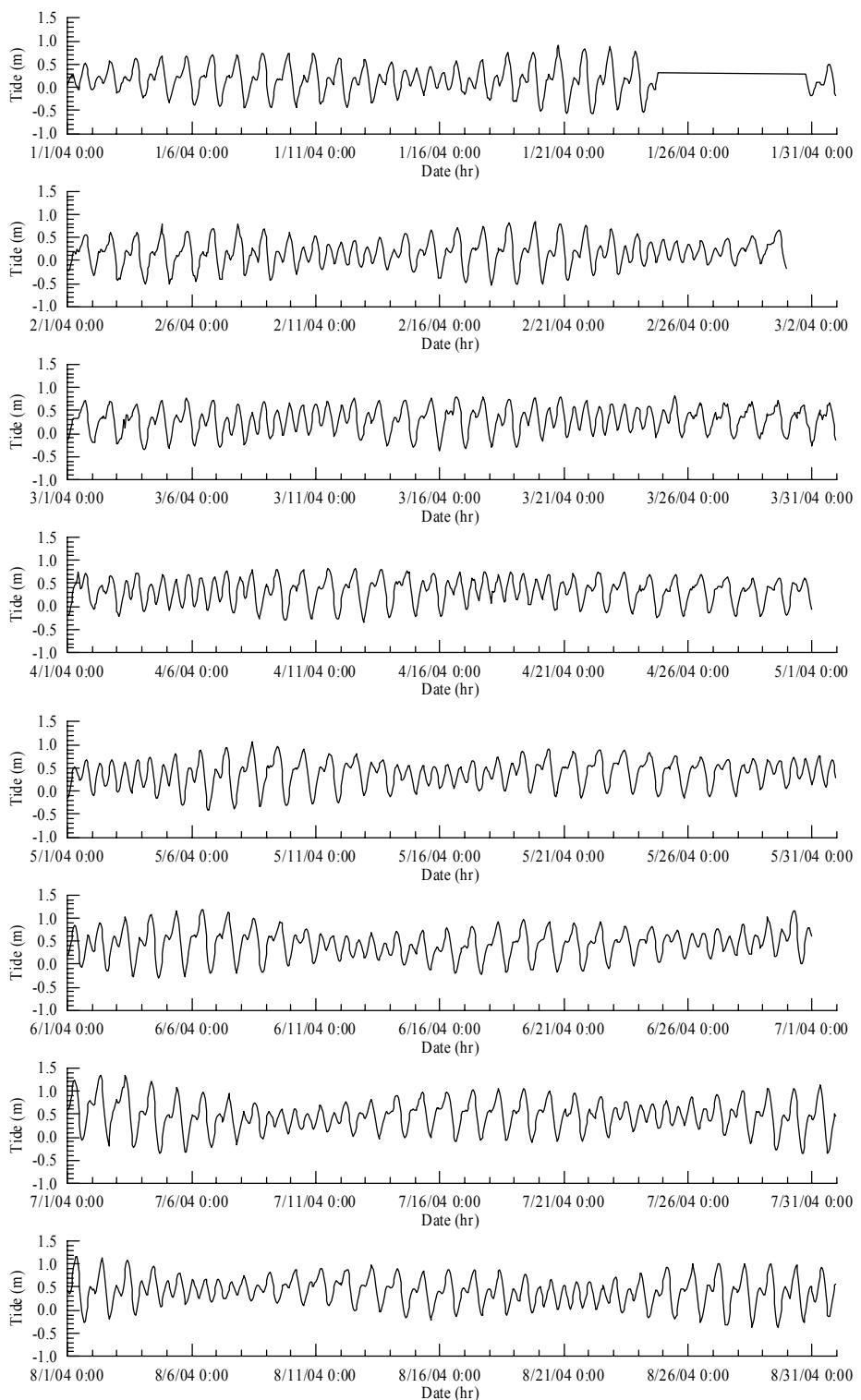


圖4.3.2-1 (續1)安平港外海潮汐及潮流觀測記錄時序圖



**圖4.3.2-2 安平港潮汐觀測記錄時序列圖**

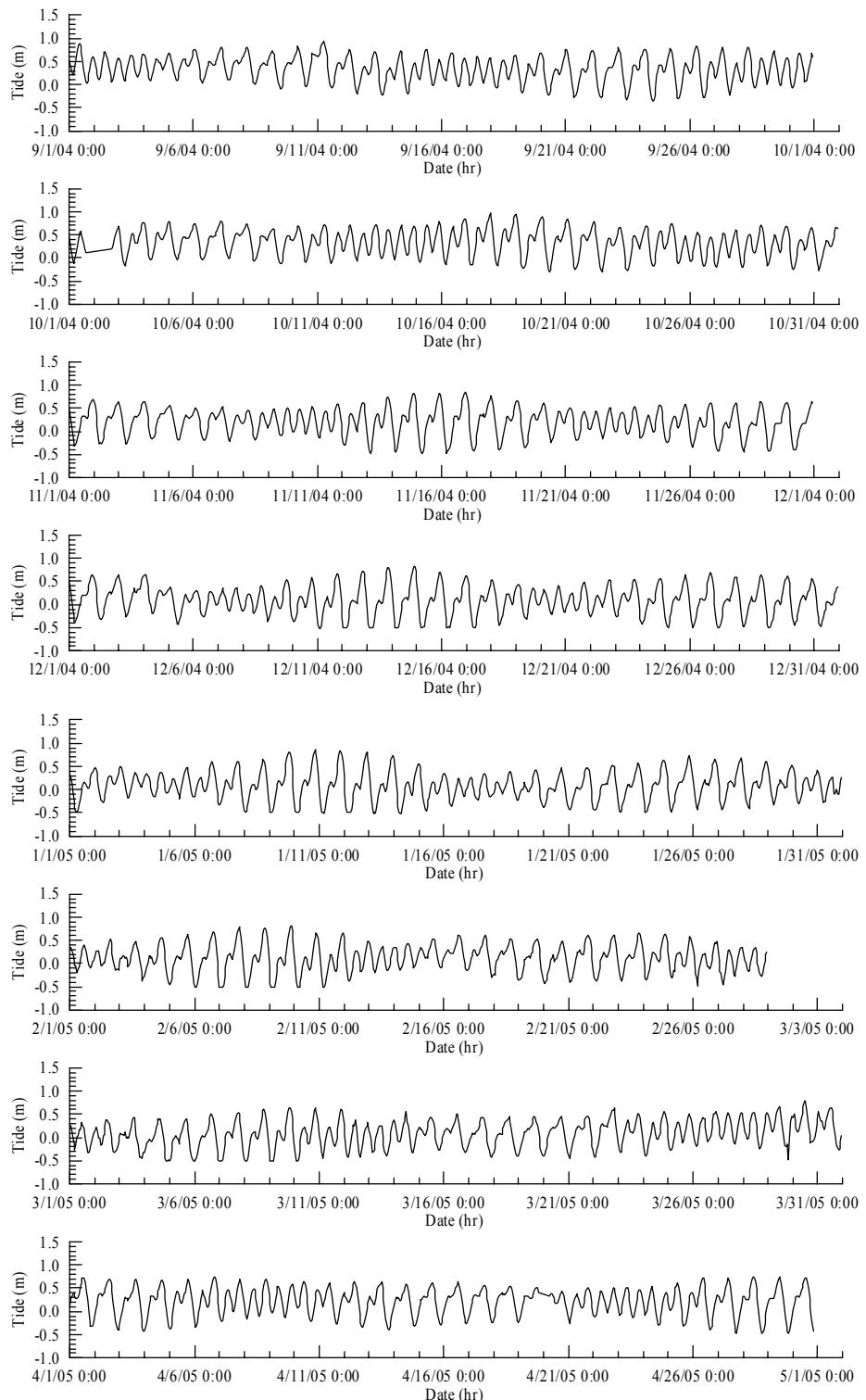
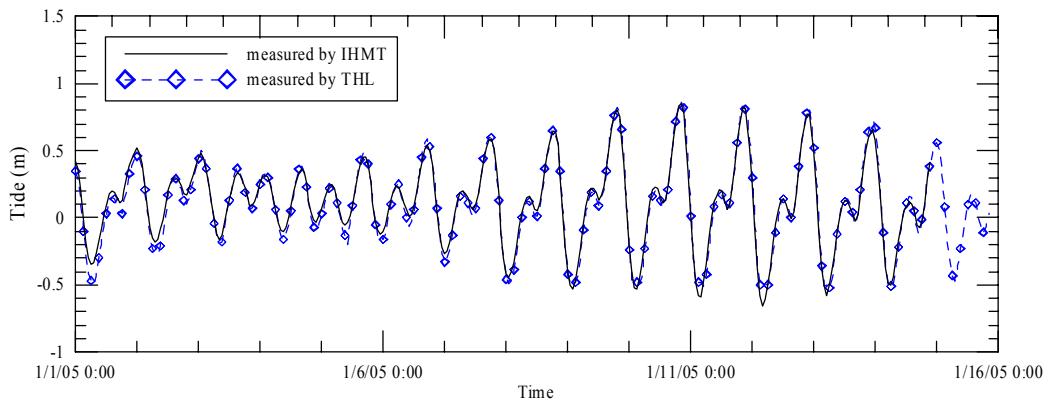
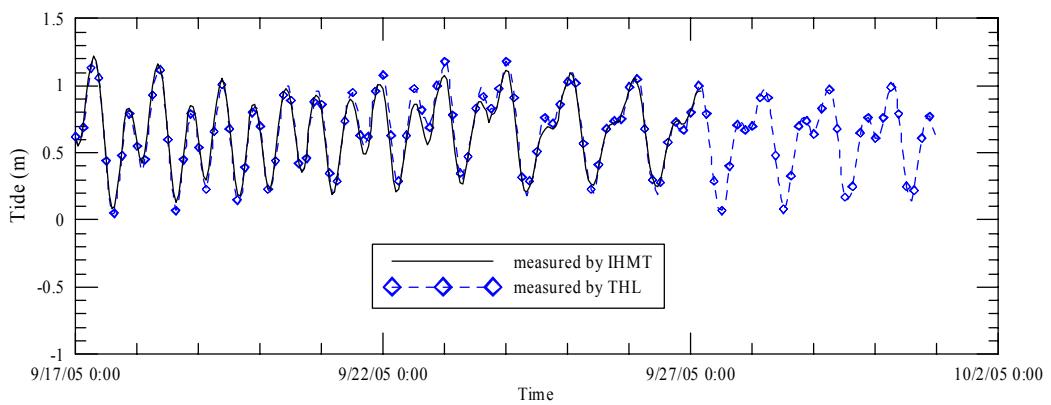


圖4.3.2-2 (續1) 安平港潮汐觀測記錄時序圖



(a)



(b)

圖4.3.2-3 安平港港內及港外潮汐觀測記錄之比較

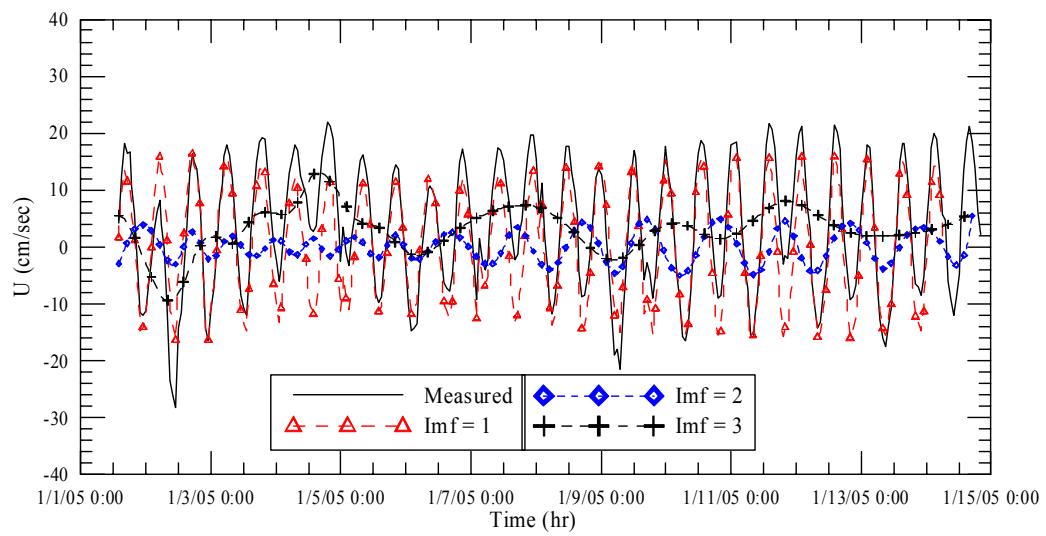


圖4.3.2-4 安平港外海東西向流速之EMD分析結果

(Imf = 1屬於半日潮 , Imf = 2屬於全日潮)

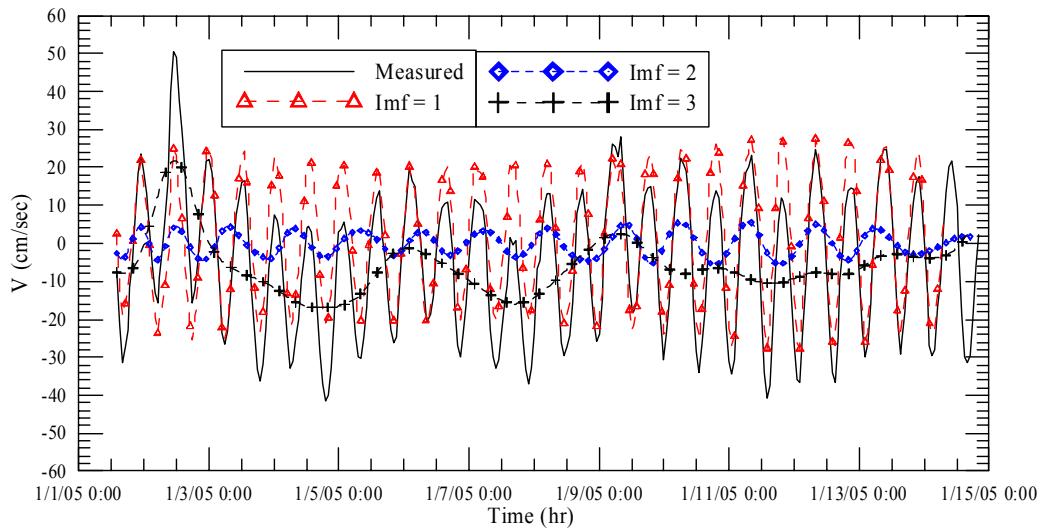


圖4.3.2-5 安平港外海南北向流速之EMD分析結果

(Imf = 1屬於半日潮 , Imf = 2屬於全日潮)

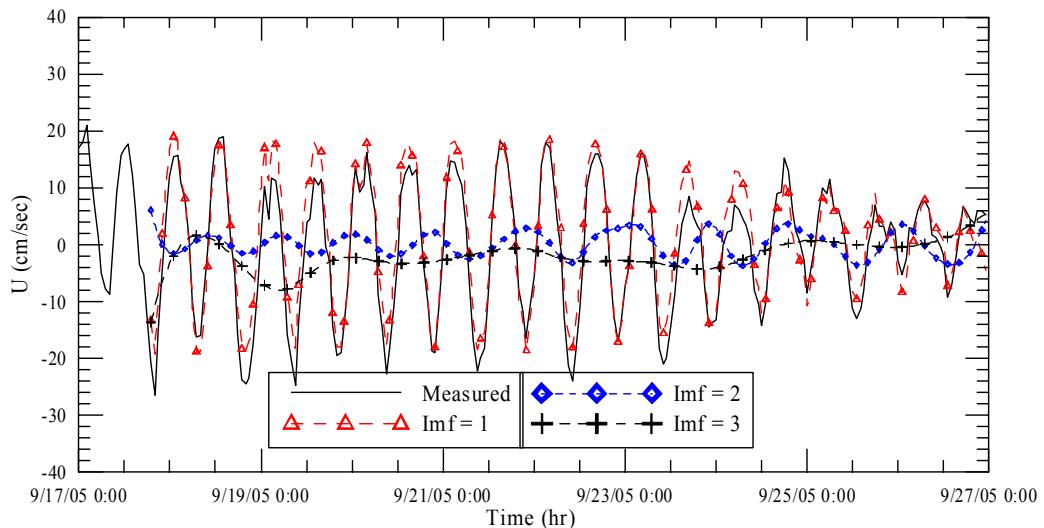


圖4.3.2-6 安平港外海東西向流速之EMD分析結果

(Imf = 1屬於半日潮 , Imf = 2屬於全日潮)

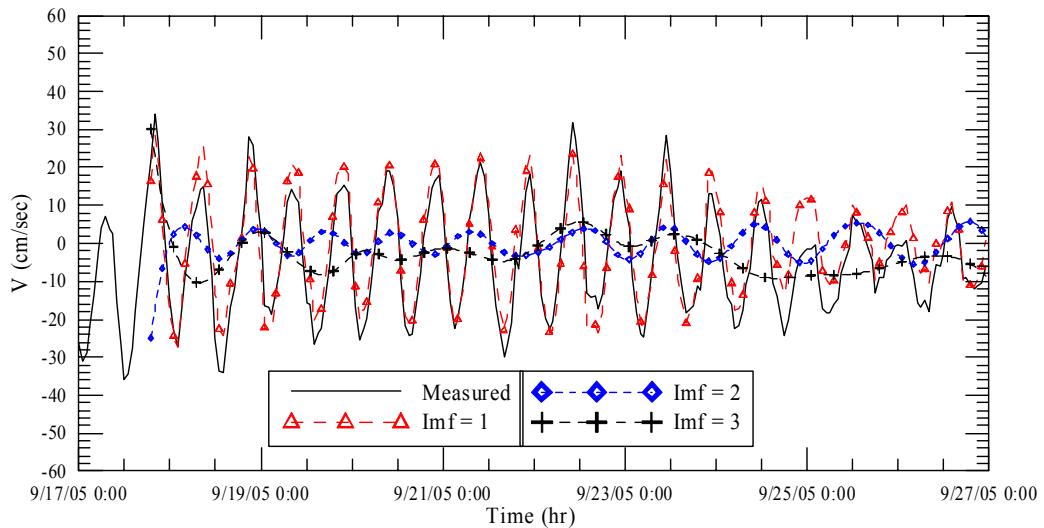


圖4.3.2-7 安平港外海南北向流速之EMD分析結果

(Imf = 1屬於半日潮，Imf = 2屬於全日潮)

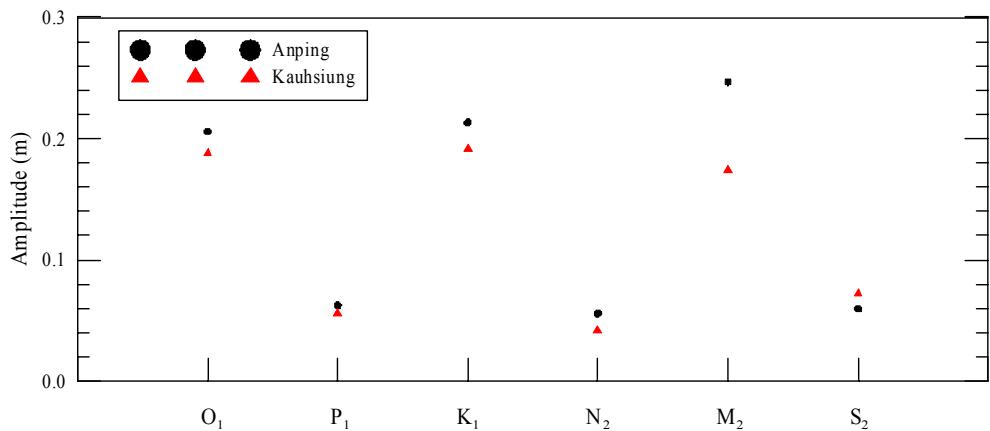


圖4.3.2-8 安平港及高雄港主要分潮振幅之比較

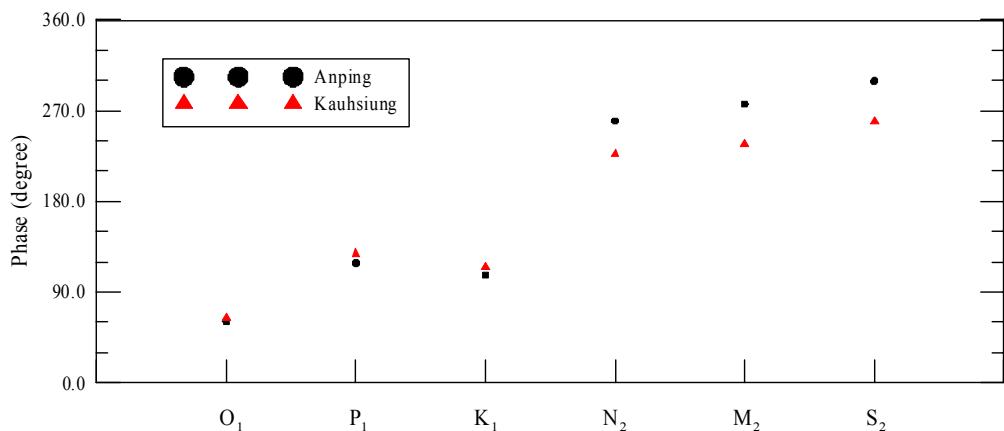


圖4.3.2-9 安平港及高雄港主要分潮相位角之比較

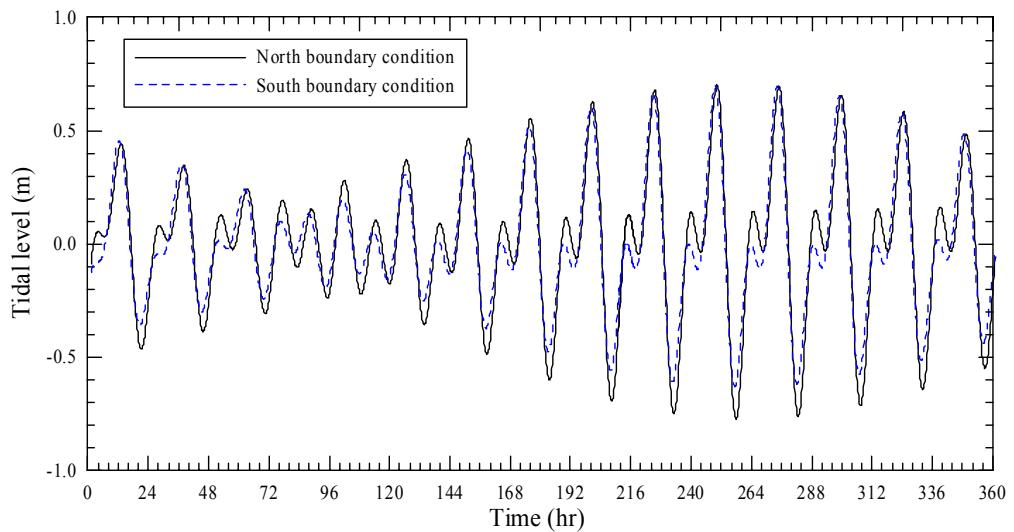


圖4.3.2-10 安平港近岸海域潮流流場模擬之水位邊界條件(方法一)

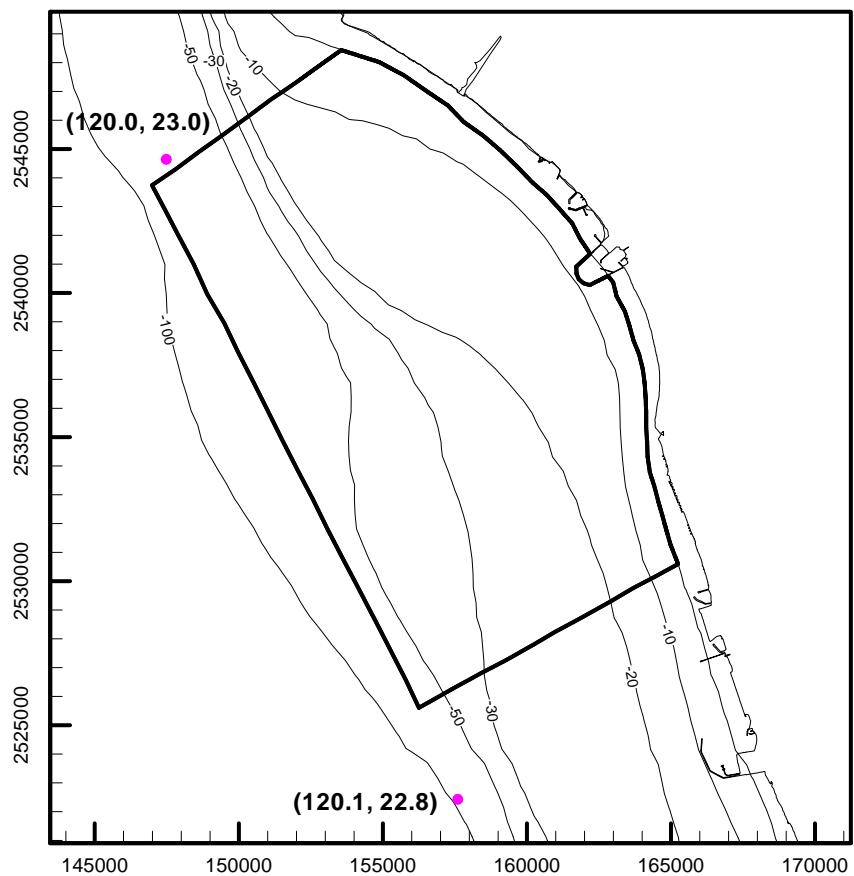


圖4.3.2-11 全域水位模擬結果輸出之點位(圓點)位置圖

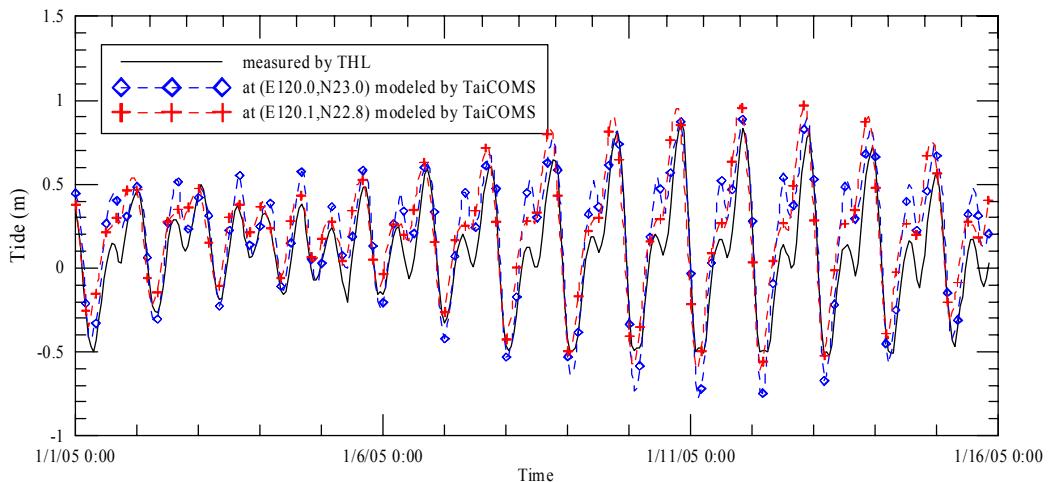


圖4.3.2-12 安平港潮汐觀測記錄與TaiCOMS全域水位模式安平港附近水位輸出結果之比較

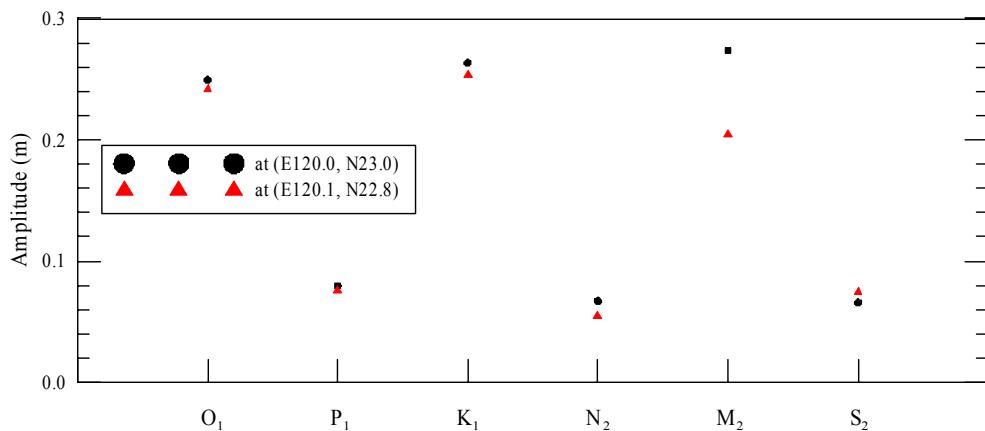


圖4.3.2-13 全域模式水位資料調和分析之主要分潮振幅之比較

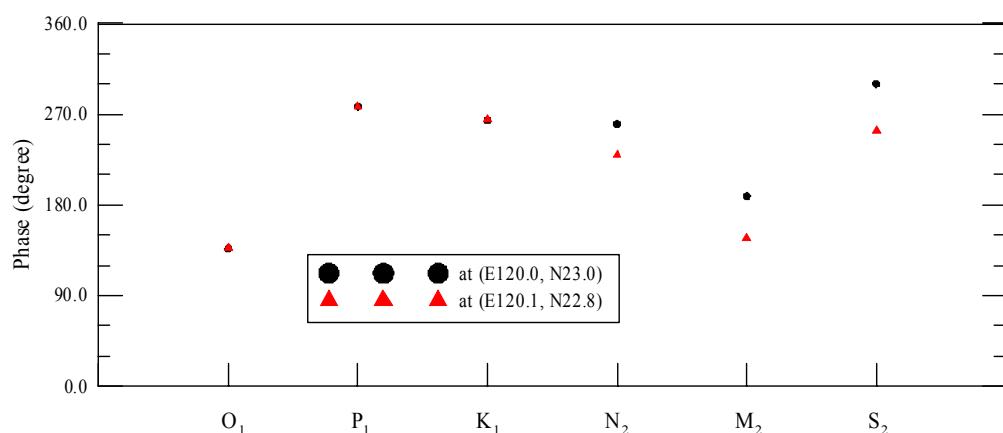


圖4.3.2-14 全域模式水位資料調和分析之主要分潮相位角之比較

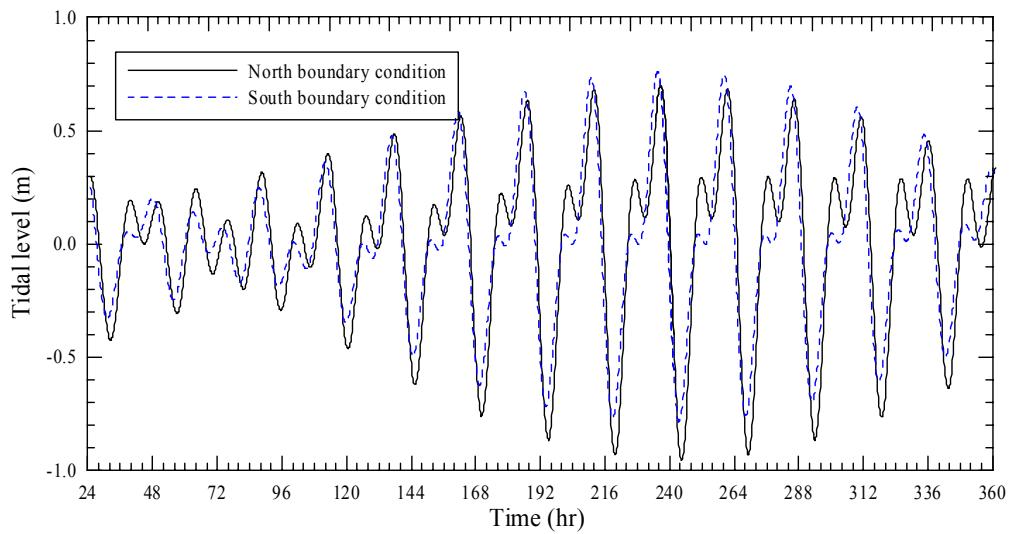


圖4.3.2-15 安平港近岸海域潮流流場模擬之水位邊界條件(方法二)

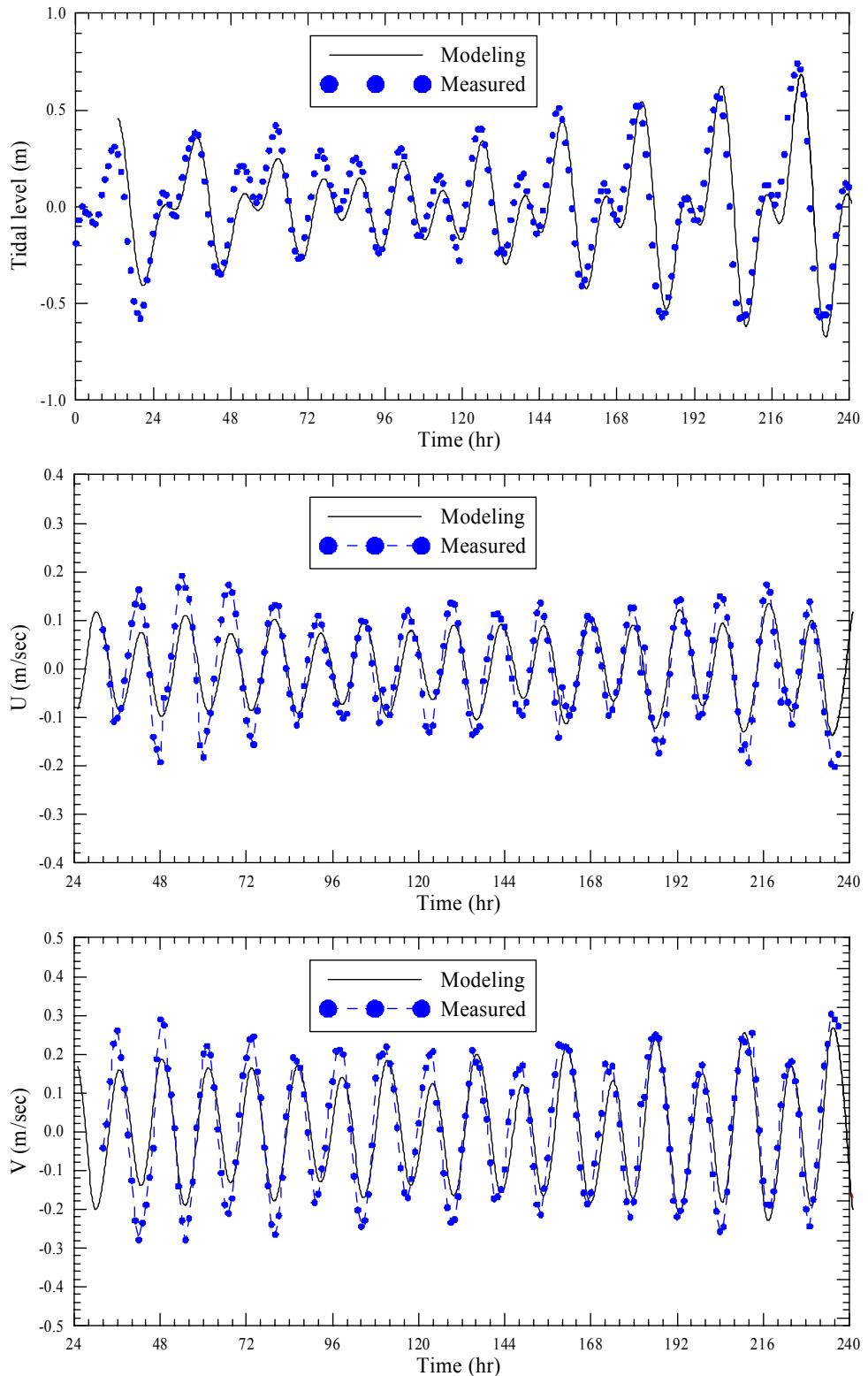


圖4.3.2-16 安平港近岸潮流模擬結果與實測水位、潮流之比較  
(2005/01/02~ , 邊界水位給定方法一)

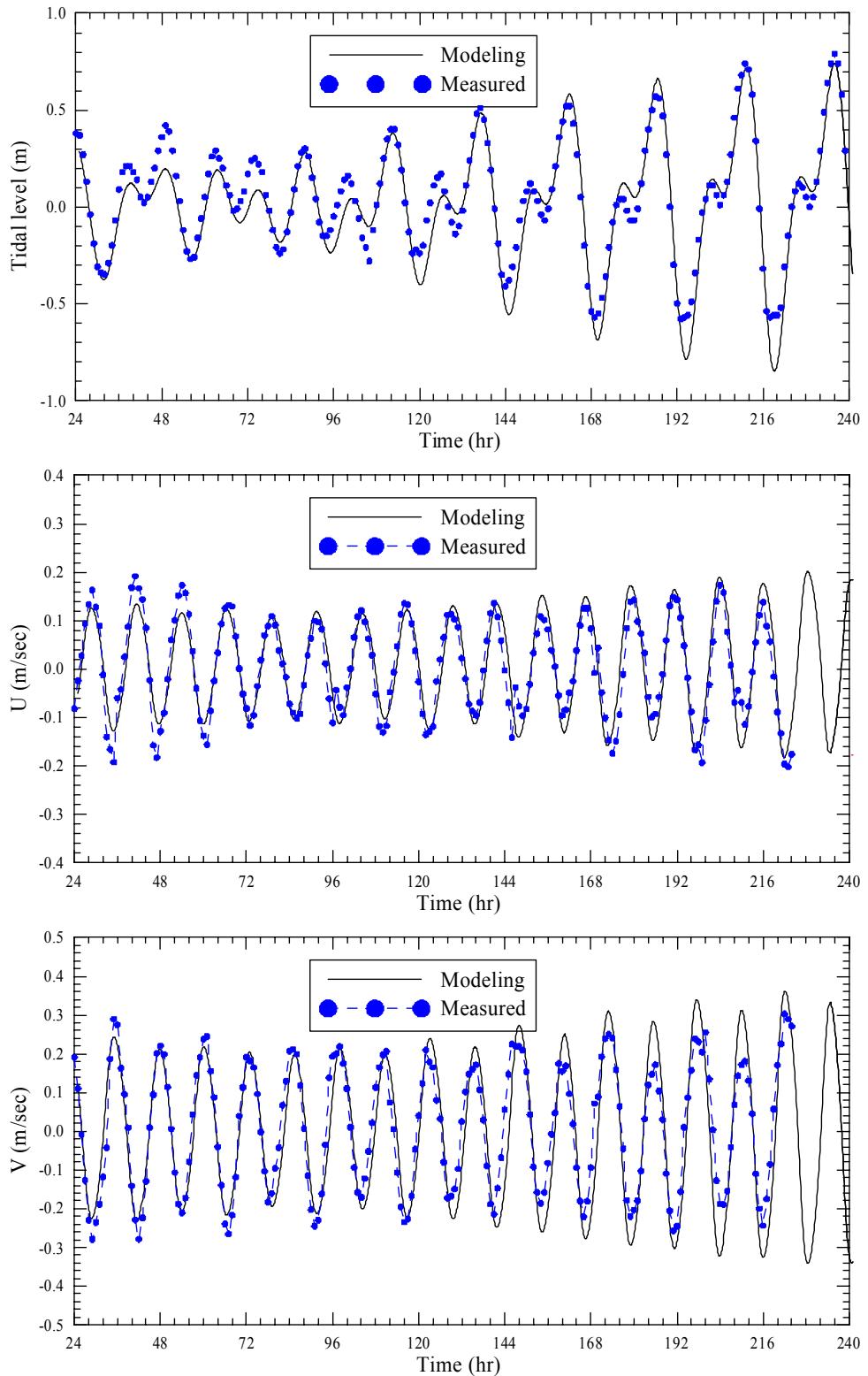


圖4.3.2-17 安平港近岸潮流模擬結果與實測水位、潮流之比較  
(2005/01/02~ , 邊界水位給定方法二)

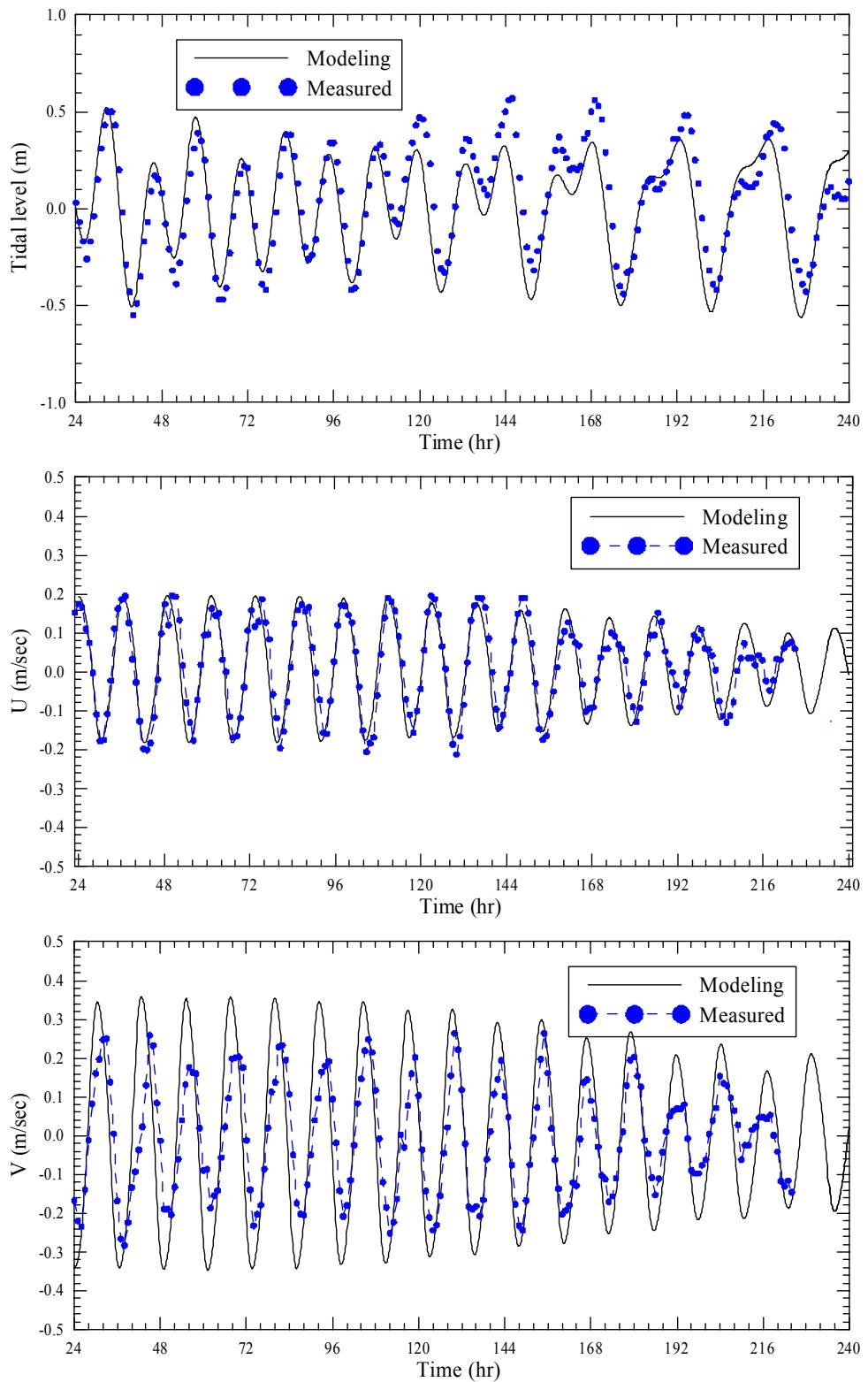


圖4.3.2-18 安平港近岸潮流模擬結果與實測水位、潮流之比較  
(2005/09/18~ , 邊界水位給定方法二)

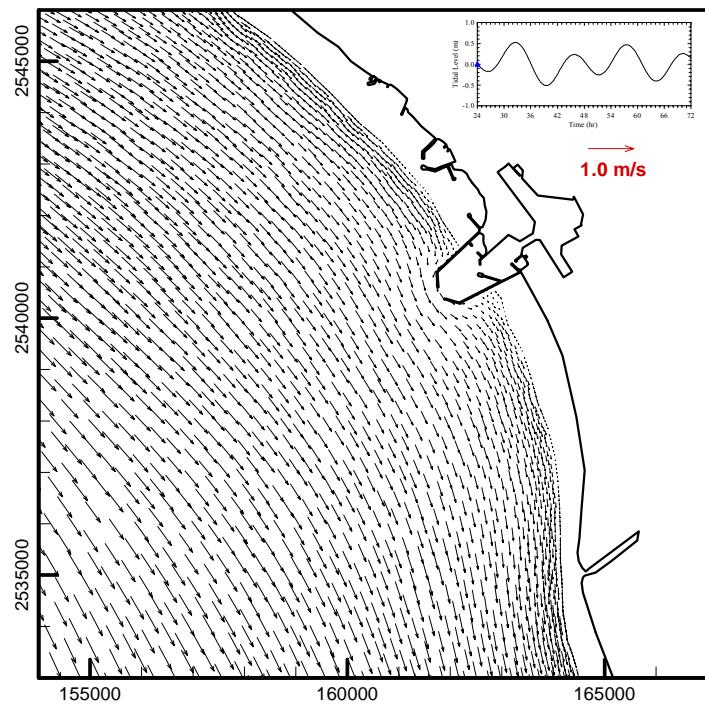


圖4.3.2-19 安平港近岸流場模擬結果

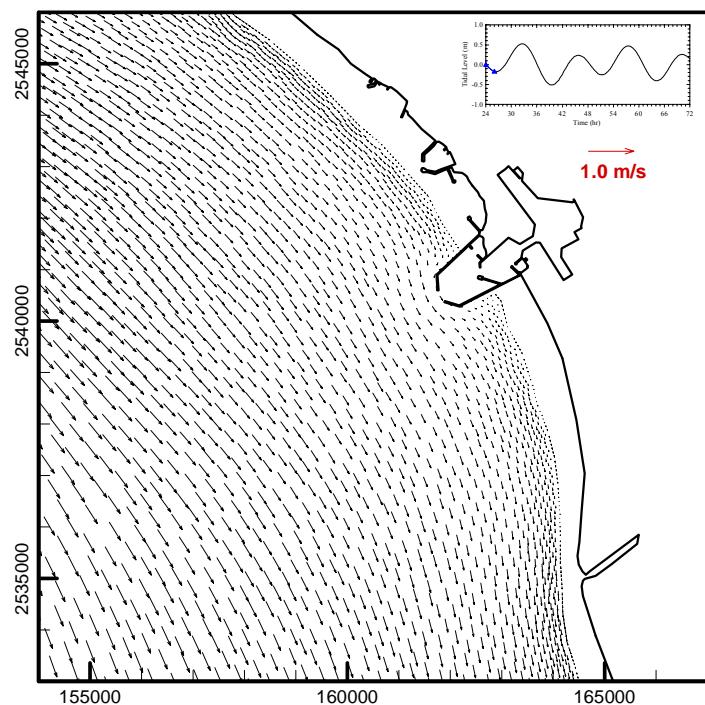


圖4.3.2-19 (續1)安平港近岸流場模擬結果

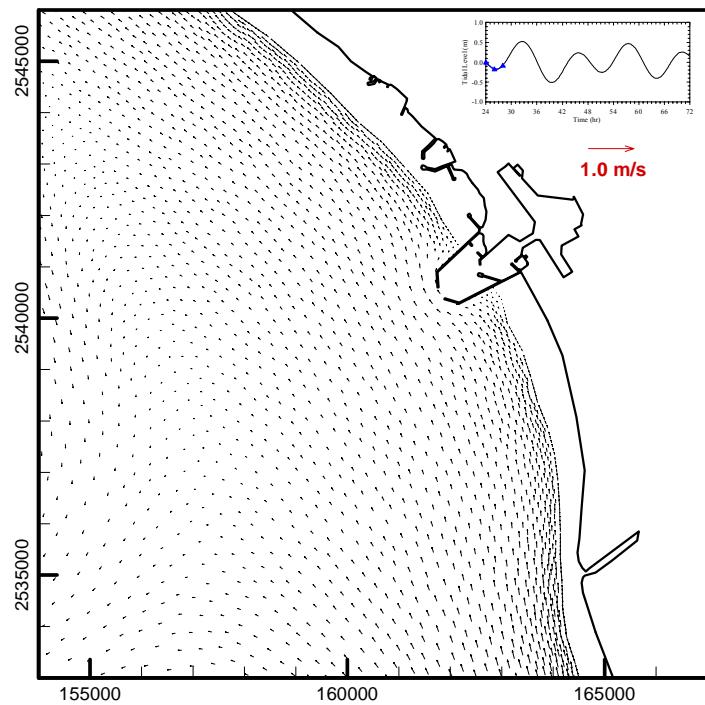


圖4.3.2-19 (續2)安平港近岸流場模擬結果

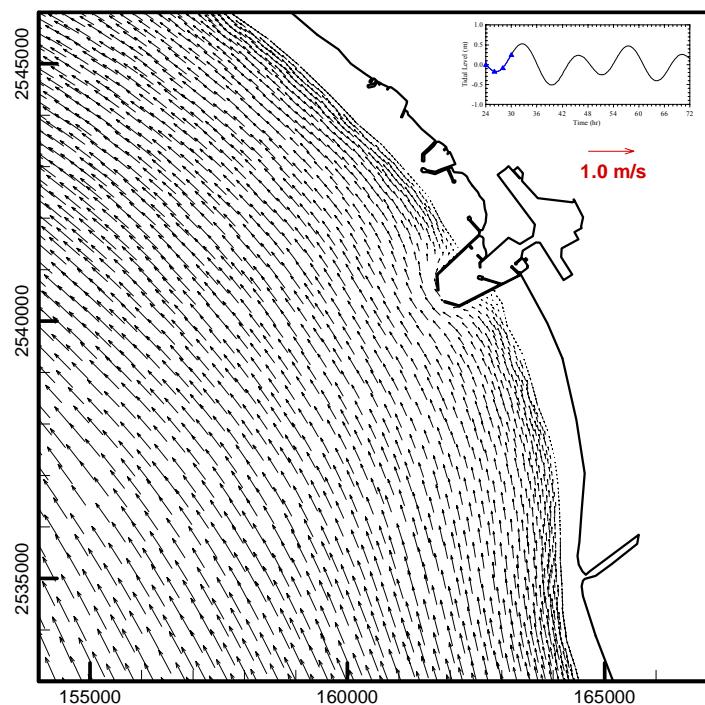


圖4.3.2-19 (續3)安平港近岸流場模擬結果

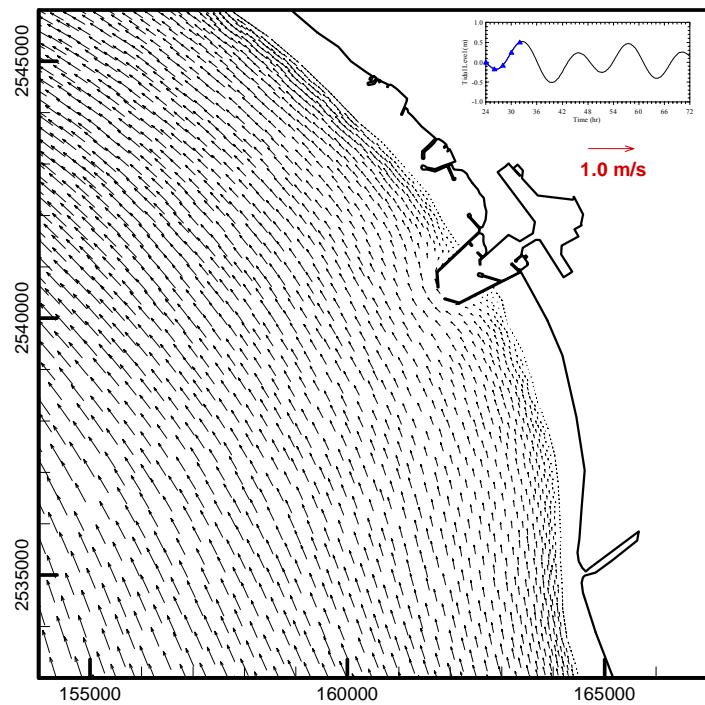


圖4.3.2-19 (續4)安平港近岸流場模擬結果

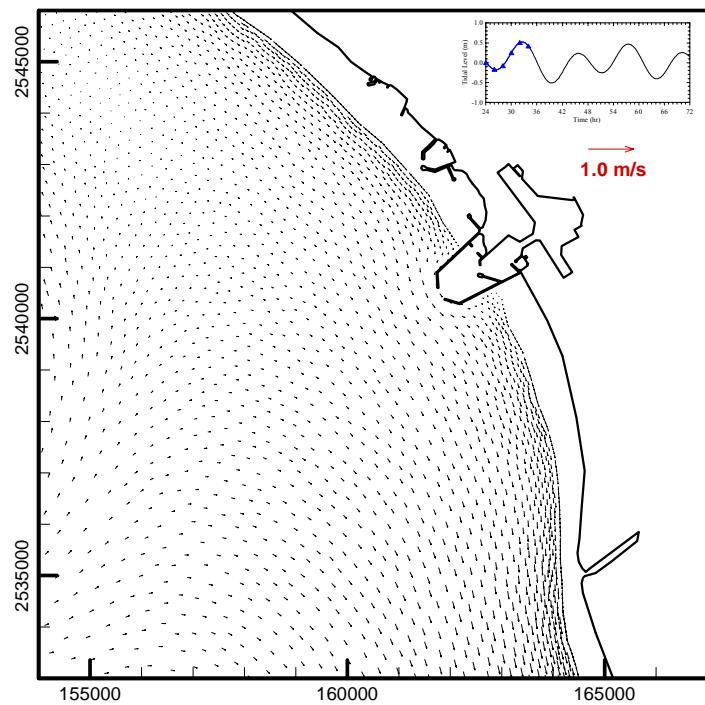


圖4.3.2-19 (續5)安平港近岸流場模擬結果

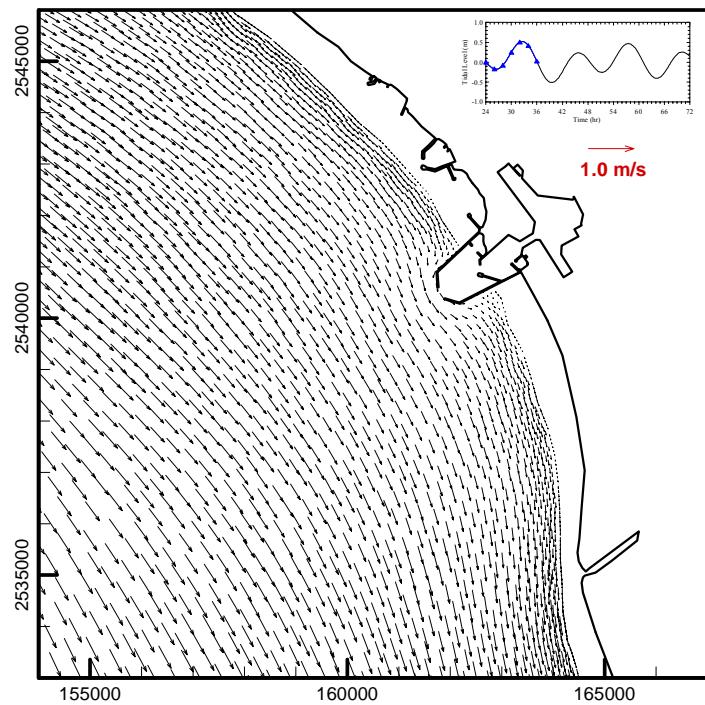


圖4.3.2-19 (續6)安平港近岸流場模擬結果

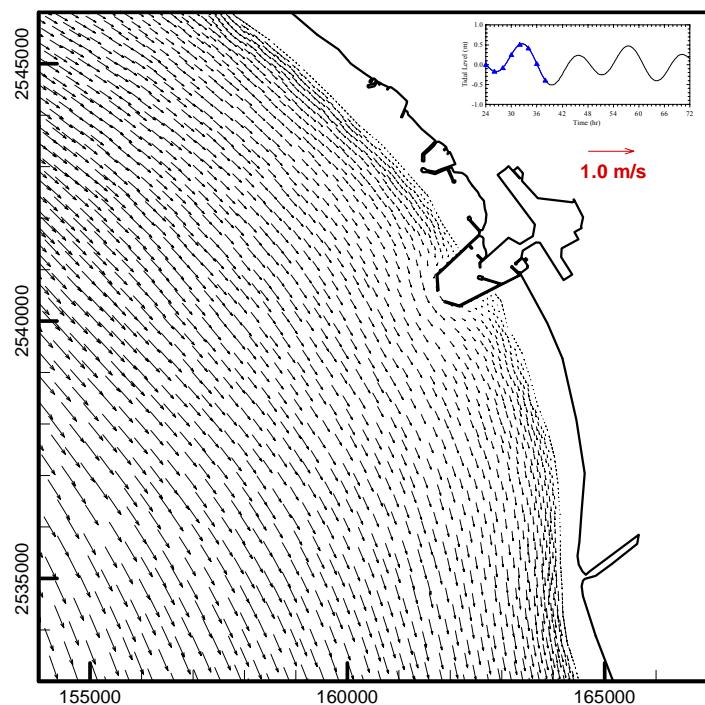


圖4.3.2-19 (續7)安平港近岸流場模擬結果

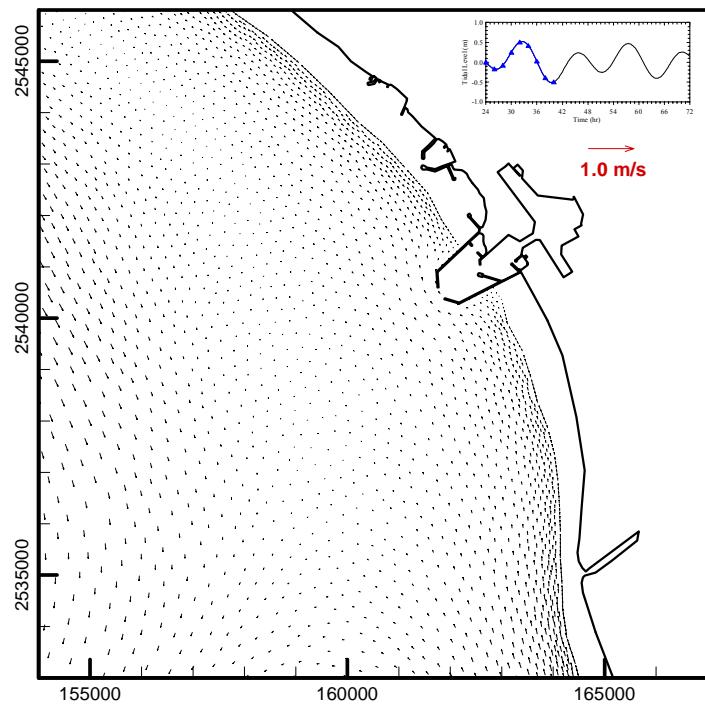


圖4.3.2-19 (續8)安平港近岸流場模擬結果

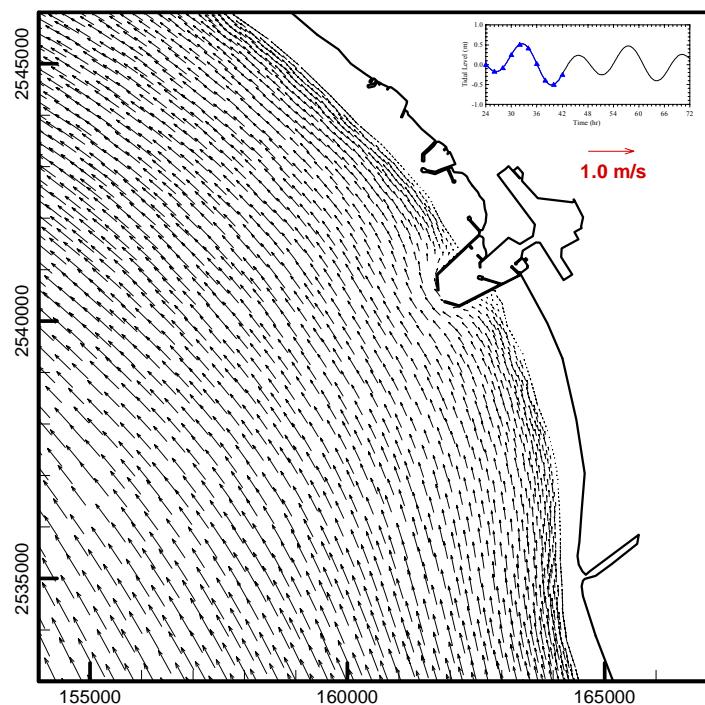


圖4.3.2-19 (續9)安平港近岸流場模擬結果

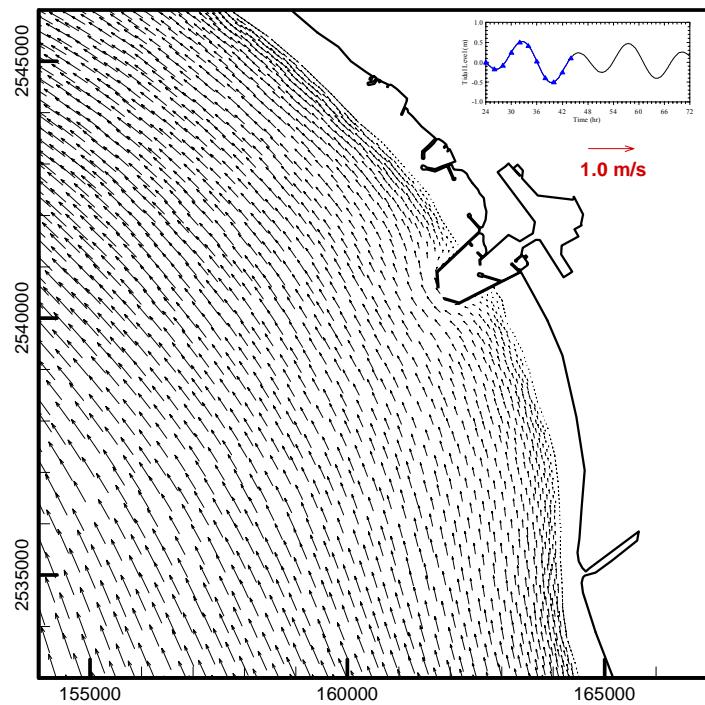


圖4.3.2-19 (續10)安平港近岸流場模擬結果

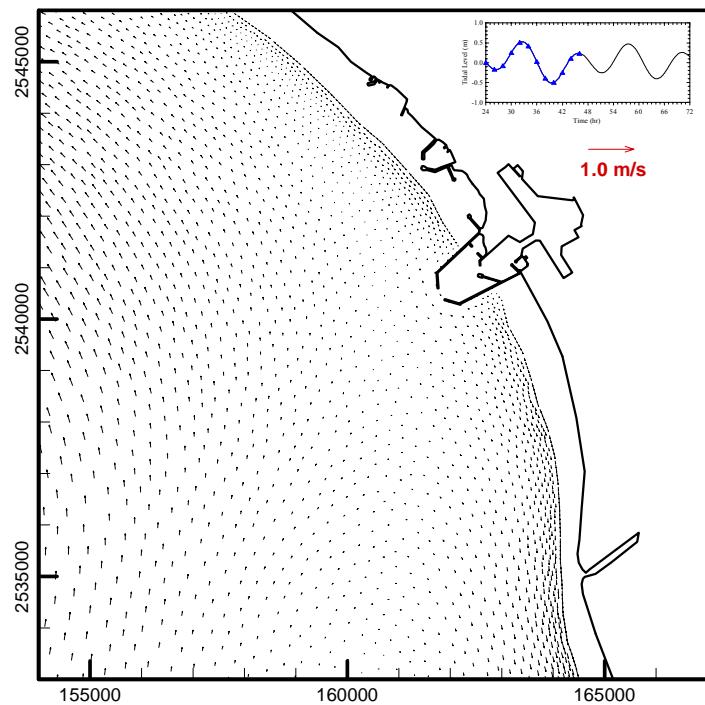


圖4.3.2-19 (續11)安平港近岸流場模擬結果

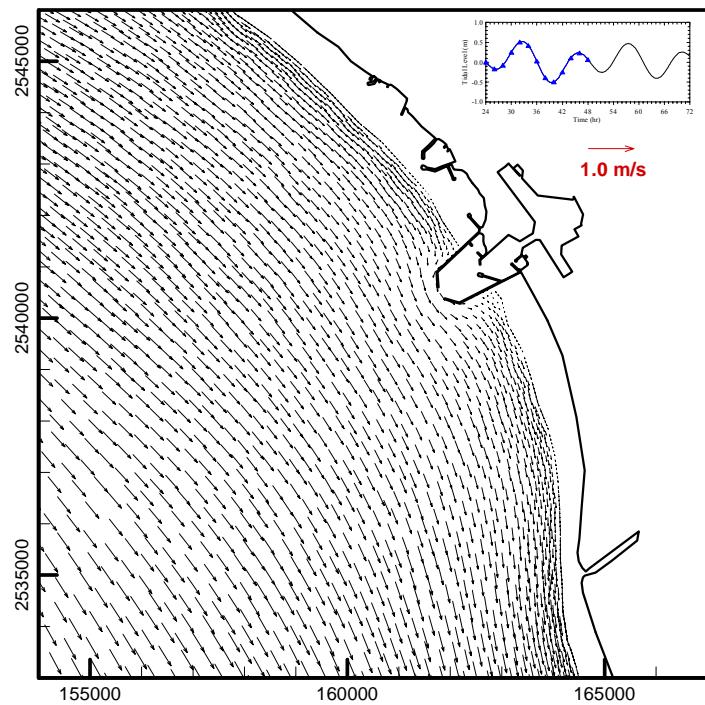


圖4.3.2-19 (續12)安平港近岸流場模擬結果

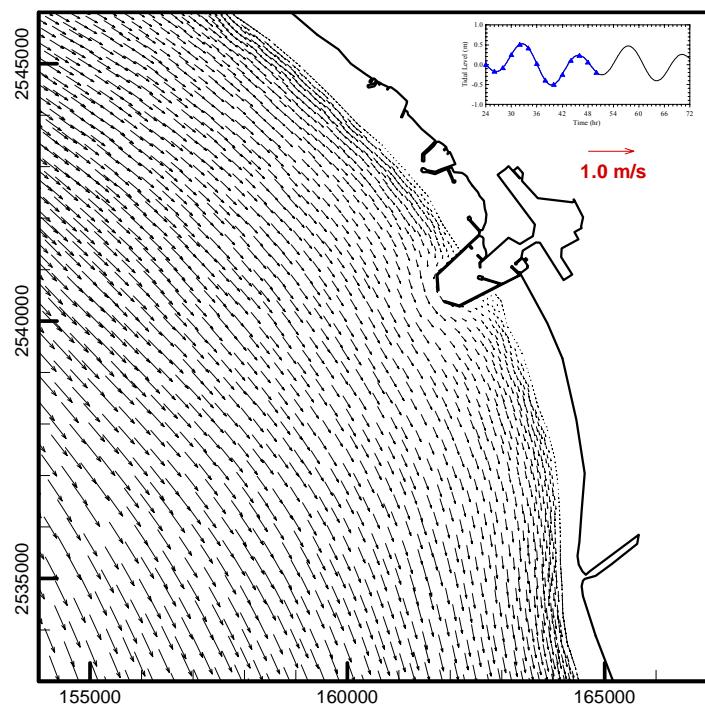


圖4.3.2-19 (續13)安平港近岸流場模擬結果

## 4.4 討論

- (1) 本年度近岸數值模擬工作主要針對國內七大港口建置近岸波浪及潮流數值模擬系統，目前已初步完成花蓮港、基隆港、台北港及安平港等港口之模式建置。未來將進一步針對台中港、高雄港及蘇澳港等港口建置近岸數值模擬系統。
- (2) 本計畫近岸波浪及潮流數值模擬係銜接近海全域風浪及水位等模式模擬結果，模擬外海波浪向岸傳播之波浪場及港內波高分布狀況，以及港口近岸海域之潮流流場。本年度以安平港為例進行近岸波浪及潮流數值模擬與驗証，由於觀測資料僅港口外海觀測樁一站之波浪及海流資料，對波浪數值模擬之驗証似有不足，未來希望能針對港口及港域碼頭等進行短期海象觀測，以利數值模式模擬結果之率定及驗証。
- (3) 本年度針對安平港近岸海域進行長期潮流流場模擬，並依據2005年本計畫TaiCOMS近海全域水位模擬結果，建立安平港近岸潮流模擬之邊界條件，以安平港外海觀測資料驗証數值模式模擬結果，初步獲得不錯之成果，並據以進行安平港長期潮流流場之模擬。由於2005年安平港外海海流觀測資料可供模式驗証資料過少，未來將持續整理2006年度觀測資料進行模式之驗証。

## 第五章 長期模擬結果分析

本年度為了瞭解各商港的水位及波浪特性，進行至少一年的連續長期模擬，並且利用港研中心提供的實測資料進行比對驗證。

### 5.1 波場模擬

本工作項目在針對臺灣環島近岸的波場模擬結果進行長期性的分析，除了引用至少一年以上之波浪預報模式推算結果（包括夏季、冬季及颱風等重點期間）外，並引用港研中心所提供之七個商港或氣象局之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）之波浪特性。比較上將依招標規範的要求分成夏季、冬季及各個颱風等時期分別進行波高與週期比較，可能的話也依區域特性（例如概分為北部、東部、西部及南部等四個水域）探討波浪推算結果的特性。

表 5.1.1 至 5.1.4 所列出的是依序為 2006 年六月至九月間七大商港單月波浪推算結果之波浪統計參數表，所使用參數包括示性波高、平均週期及波浪方向。首先，在示性波高值的比較上，SWAN 模式計算所得結果高於 WAM 模式的計算結果居多；而波浪週期方面，SWAN 模式計算結果低於 WAM 模式的計算結果居多；波浪方向的部分，僅僅看平均值的話，可能會認為兩個模式計算差異頗大，但若比對後面的波向時序列圖，則可發現有些結果其實差異不大。

圖 5.1.1 至 5.1.12 則分別為 2006 年六月至九月間七大商港波浪推算結果，包括：示性波高、波浪週期、波浪方向的時序列圖，其中左側為 WAM 模式計算結果，右側為 SWAN 模式計算結果。

觀察 WAM 模式的計算結果，可以發現在每日的結果（示性波高、週期與波向）上常出現劇烈的起伏，其原因乃是由於目前所使用的 WAM 版本，基本設定上並沒有支援 hot start 的功能，即每日的計算並不會引用到前一日的計算結果，這便容易造成不同時間區段計算結果銜接上發生差異。而 SWAN 模式由於設定上提供使用 hot start 的功能，因此在計算結果的銜接上較 WAM 模式來得好。

表 5.1.1 七大商港 2006 年六月份波浪參數統計表

		示性波高	週期	波向	示性波高	週期	波向	示性波高	週期	波向
		安平			基隆			花蓮		
WAM	最小值	0.44	3.77	26.40	0.32	3.69	1.94	0.45	3.74	9.50
	平均數	0.64	4.67	51.52	0.61	4.64	186.91	0.63	4.72	259.17
	最大值	1.26	5.50	66.86	1.10	5.65	358.75	0.97	5.39	359.68
SWAN	最小值	0.28	2.30	0.53	0.15	1.84	93.53	0.30	1.94	85.45
	平均數	1.03	4.10	64.82	0.41	2.80	244.91	1.03	3.58	116.30
	最大值	3.02	8.13	358.95	1.02	5.07	354.00	2.77	7.04	224.68
		高雄			蘇澳			台中		
WAM	最小值	0.36	3.64	21.81	0.49	3.90	4.59	0.54	3.89	35.09
	平均數	0.58	4.77	44.10	0.68	4.87	240.99	1.06	4.73	81.19
	最大值	1.19	5.46	66.61	1.05	5.51	343.64	1.86	5.57	202.19
SWAN	最小值	0.28	2.22	0.80	0.30	1.97	98.54	0.36	2.25	1.02
	平均數	1.02	4.03	71.27	0.95	3.78	121.36	0.86	3.54	64.75
	最大值	3.28	8.12	357.50	2.42	7.23	237.04	2.18	7.62	357.40
		台北								
WAM	最小值	0.44	3.95	47.94						
	平均數	0.97	4.83	100.63						
	最大值	1.94	5.80	202.97						
SWAN	最小值	0.32	2.13	1.64						
	平均數	0.87	3.68	153.73						
	最大值	2.45	7.25	356.50						

表 5.1.2 七大商港 2006 年七月份波浪參數統計表

		示性波高	週期	波向	示性波高	週期	波向	示性波高	週期	波向
		安平			基隆			花蓮		
WAM	最小值	0.46	3.77	0.75	0.32	3.38	2.16	0.41	3.82	0.49
	平均數	0.57	4.26	101.27	0.44	4.02	226.03	0.56	4.30	329.52
	最大值	0.89	4.83	359.79	0.79	4.88	356.35	0.68	5.32	359.63
SWAN	最小值	0.51	2.43	2.27	0.21	1.97	142.89	0.30	1.98	74.67
	平均數	1.53	4.47	85.02	0.85	3.56	232.57	1.34	3.87	127.26
	最大值	5.00	7.96	353.29	3.68	8.61	323.25	6.45	7.83	244.06
		高雄			蘇澳			台中		
WAM	最小值	0.41	3.73	0.00	0.43	3.80	2.12	0.25	3.21	33.83
	平均數	0.55	4.35	157.07	0.56	4.30	315.21	0.89	4.15	47.11
	最大值	0.89	5.08	359.95	0.70	4.68	358.20	1.70	5.33	55.44
SWAN	最小值	0.47	2.39	1.62	0.26	2.08	103.06	0.43	2.32	1.53
	平均數	1.47	4.42	85.90	1.29	3.90	132.36	1.41	4.15	102.05
	最大值	4.87	7.91	358.31	7.05	8.67	240.06	4.25	6.65	359.69
		台北								
WAM	最小值	0.19	2.73	50.73						
	平均數	0.77	4.13	66.41						
	最大值	1.67	5.57	83.61						
SWAN	最小值	0.40	2.40	2.28						
	平均數	1.23	4.39	216.10						
	最大值	4.01	8.12	355.69						

表 5.1.3 七大商港 2006 年八月份波浪參數統計表

		示性波高	週期	波向	示性波高	週期	波向	示性波高	週期	波向
		安平			基隆			花蓮		
WAM	最小值	0.37	3.90	3.17	0.35	3.73	261.73	0.47	4.99	301.65
	平均數	0.95	5.86	220.90	0.62	4.23	297.88	0.73	5.50	320.25
	最大值	1.68	8.61	356.15	0.95	4.74	315.99	0.91	5.94	341.68
SWAN	最小值	0.37	2.11	1.27	0.10	1.22	1.02	0.28	1.87	9.42
	平均數	0.89	3.57	111.19	0.66	2.87	235.21	0.77	3.04	125.98
	最大值	2.24	6.70	356.18	1.46	4.97	359.15	1.81	5.26	359.84
		高雄			蘇澳			台中		
WAM	最小值	0.56	3.97	1.50	0.43	4.46	290.59	0.11	2.73	5.79
	平均數	1.05	5.78	212.44	0.76	4.79	317.58	0.51	5.63	149.59
	最大值	1.69	8.51	355.32	1.09	5.19	330.94	1.28	9.89	349.81
SWAN	最小值	0.30	1.90	1.00	0.25	1.77	9.36	0.34	2.24	0.61
	平均數	0.85	3.60	111.50	0.71	2.88	130.93	0.89	3.30	193.12
	最大值	1.78	6.63	358.64	1.53	5.64	349.88	1.79	5.60	359.55
		台北								
WAM	最小值	0.09	2.17	0.74						
	平均數	0.34	4.87	193.81						
	最大值	0.63	9.55	355.82						
SWAN	最小值	0.24	1.92	5.93						
	平均數	0.89	3.36	229.80						
	最大值	1.90	5.99	354.91						

表 5.1.4 七大商港 2006 年九月份波浪參數統計表

		示性波高	週期	波向	示性波高	週期	波向	示性波高	週期	波向
		安平			基隆			花蓮		
WAM	最小值	0.59	3.86	57.15	0.09	2.69	4.54	0.12	3.67	0.36
	平均數	0.86	4.63	65.74	0.18	4.37	196.59	0.29	4.12	145.73
	最大值	1.48	5.53	75.57	0.41	5.09	358.30	0.65	4.60	359.79
SWAN	最小值	0.17	1.55	2.50	0.13	1.28	2.20	0.28	2.09	3.19
	平均數	0.67	2.68	168.68	0.83	3.29	218.64	0.97	3.10	149.51
	最大值	1.91	4.15	351.61	2.32	6.61	358.84	2.29	4.52	359.77
		高雄			蘇澳			台中		
WAM	最小值	0.61	3.84	59.63	0.14	3.50	0.11	0.59	3.73	43.06
	平均數	0.86	4.59	70.10	0.26	4.37	277.33	0.72	4.32	46.97
	最大值	1.40	5.53	80.72	0.55	4.92	359.66	1.28	5.38	54.76
SWAN	最小值	0.08	1.31	1.32	0.28	1.91	4.76	0.29	2.13	0.48
	平均數	0.51	2.61	160.07	0.88	3.08	161.09	0.89	3.10	195.95
	最大值	1.97	4.43	355.53	1.82	5.73	354.97	2.46	5.41	357.89
		台北								
WAM	最小值	0.35	3.54	53.74						
	平均數	0.50	4.07	60.08						
	最大值	0.88	4.93	68.60						
SWAN	最小值	0.33	1.98	2.25						
	平均數	0.92	3.26	199.59						
	最大值	2.80	5.66	357.60						

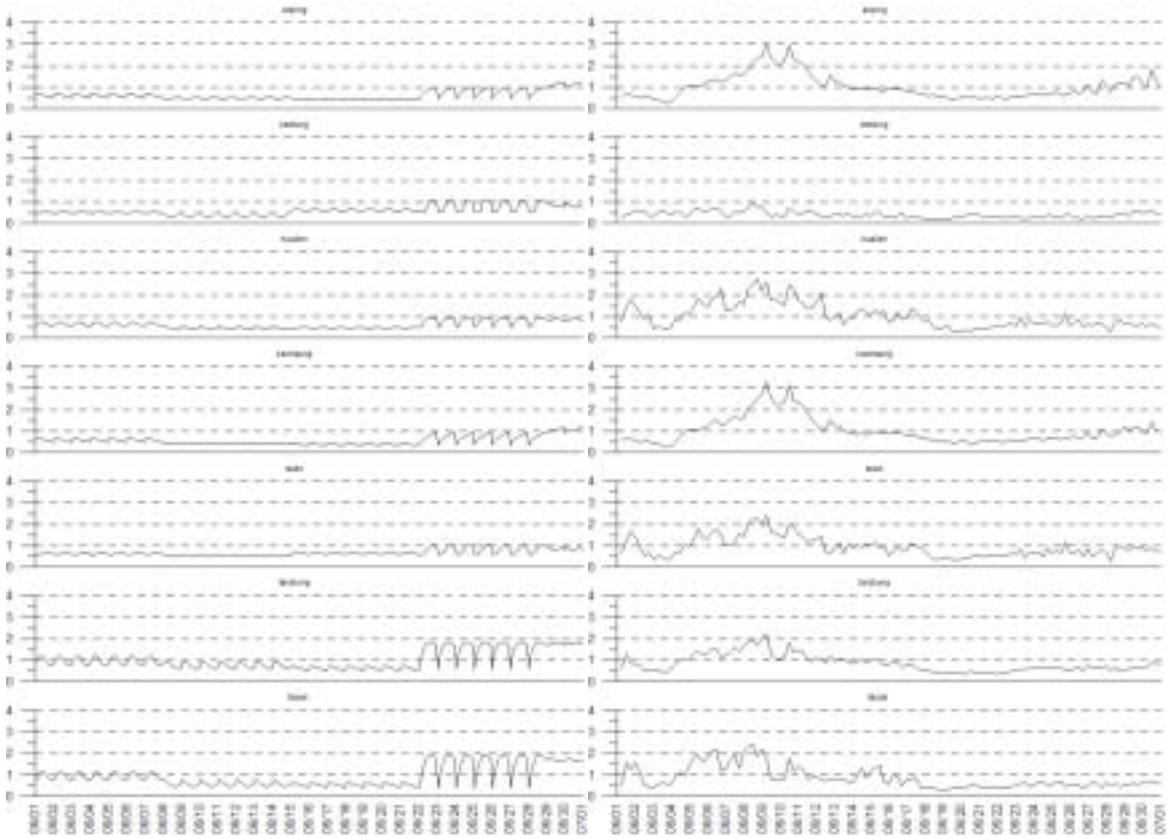


圖 5.1.1 七大商港 2006 年六月份示性波高時序列圖(WAM+SWAN)

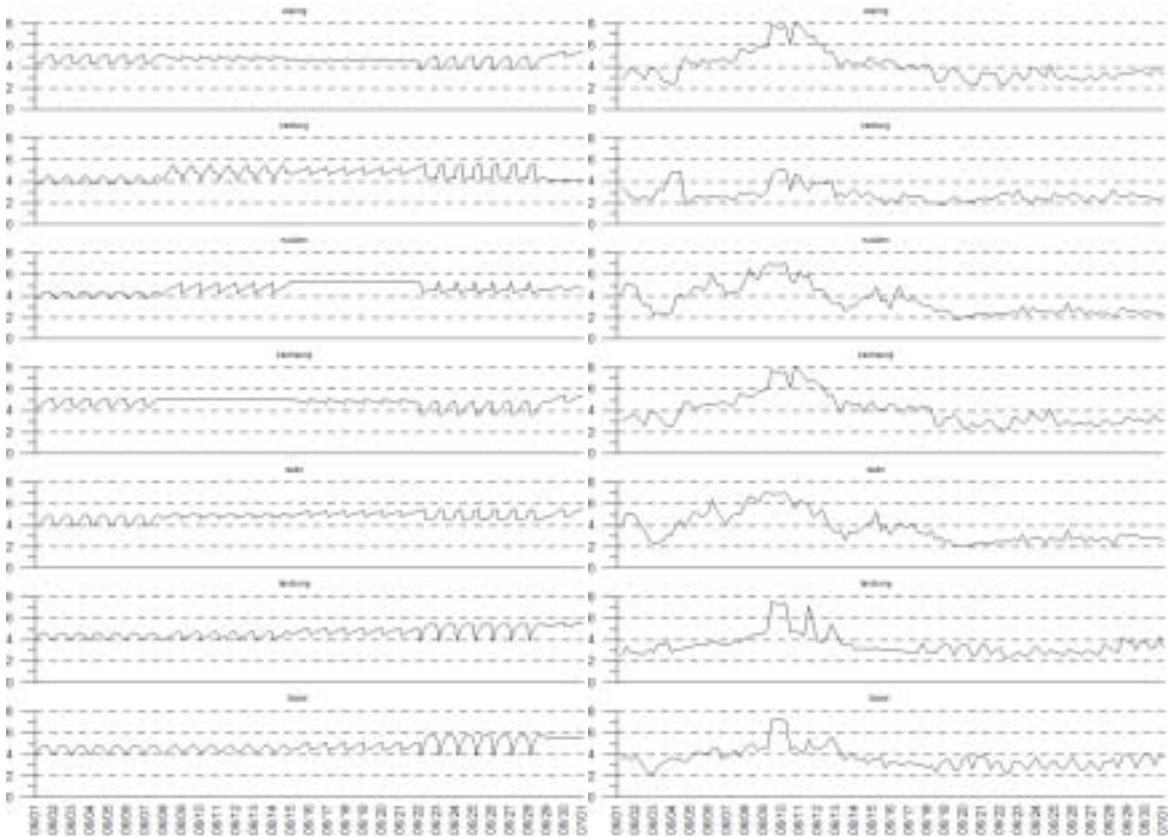


圖 5.1.2 七大商港 2006 年六月份波浪週期時序列圖(WAM+SWAN)

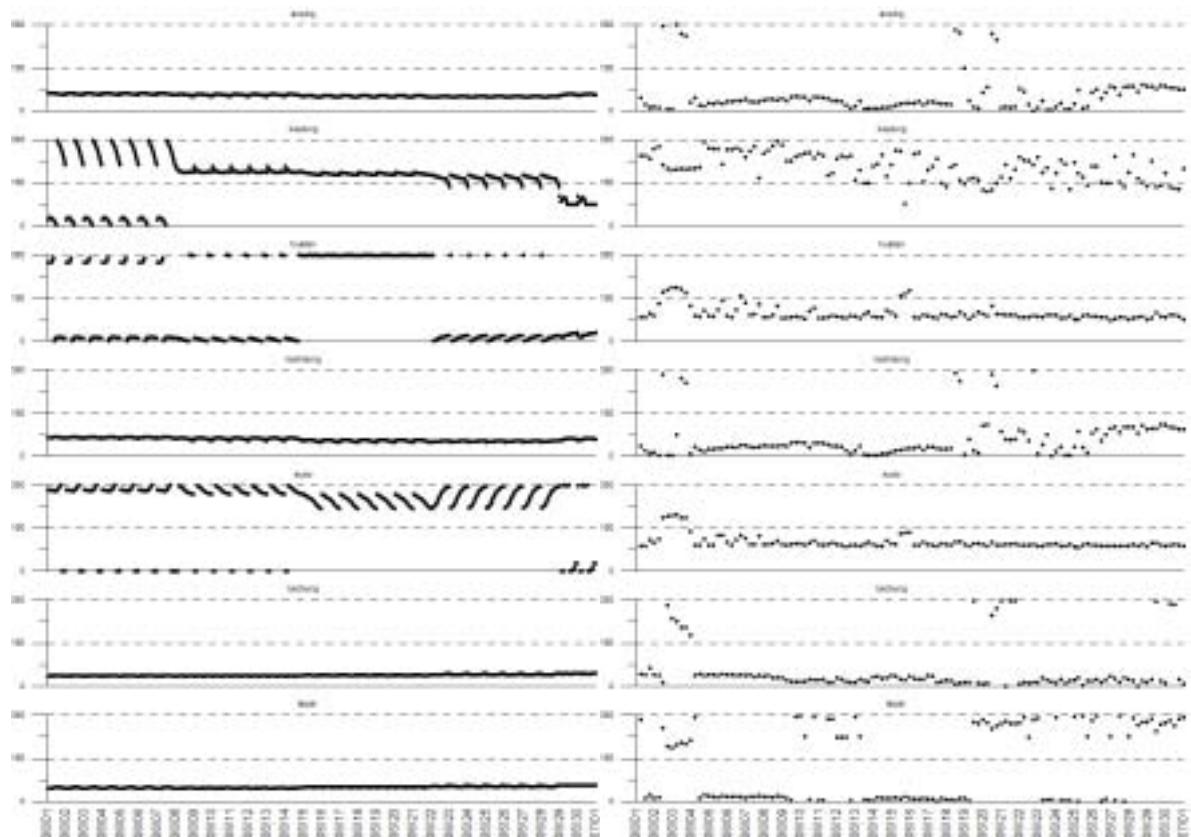


圖 5.1.3 七大商港 2006 年六月份波浪方向時序列圖(WAM+SWAN)

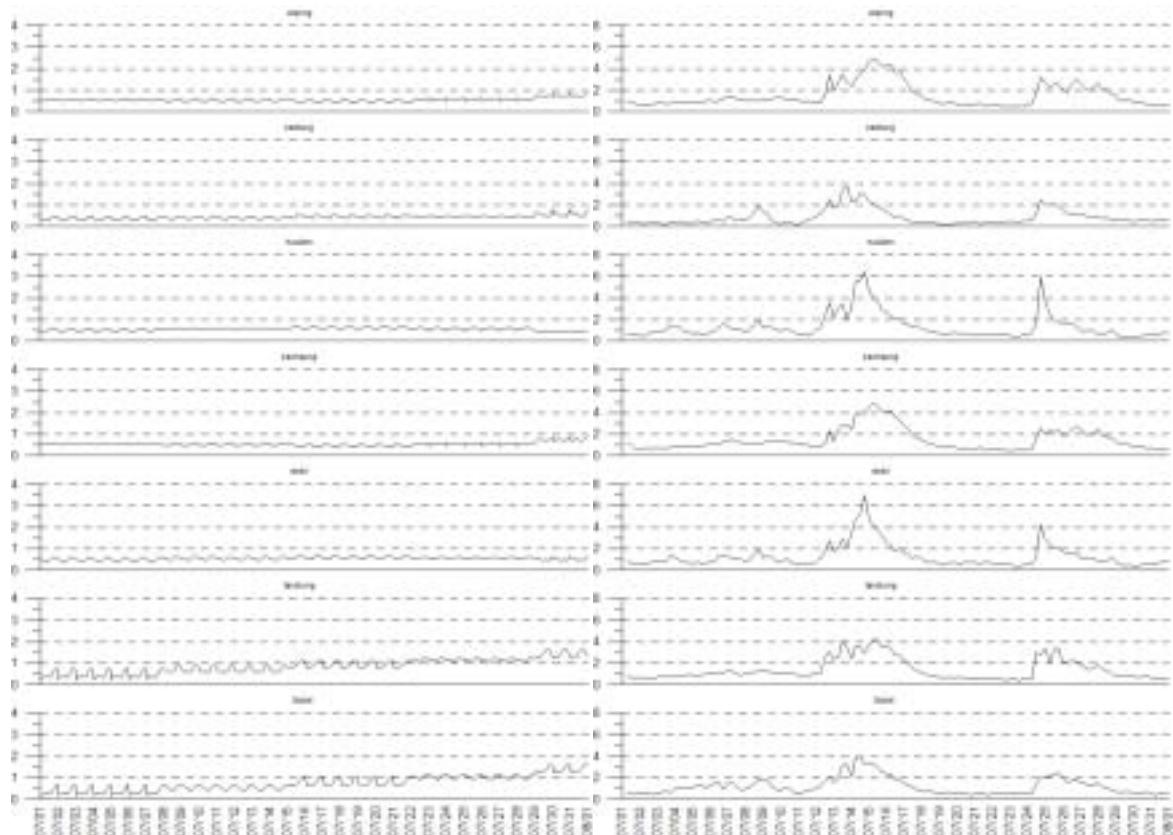


圖 5.1.4 七大商港 2006 年七月份示性波高時序列圖(WAM+SWAN)

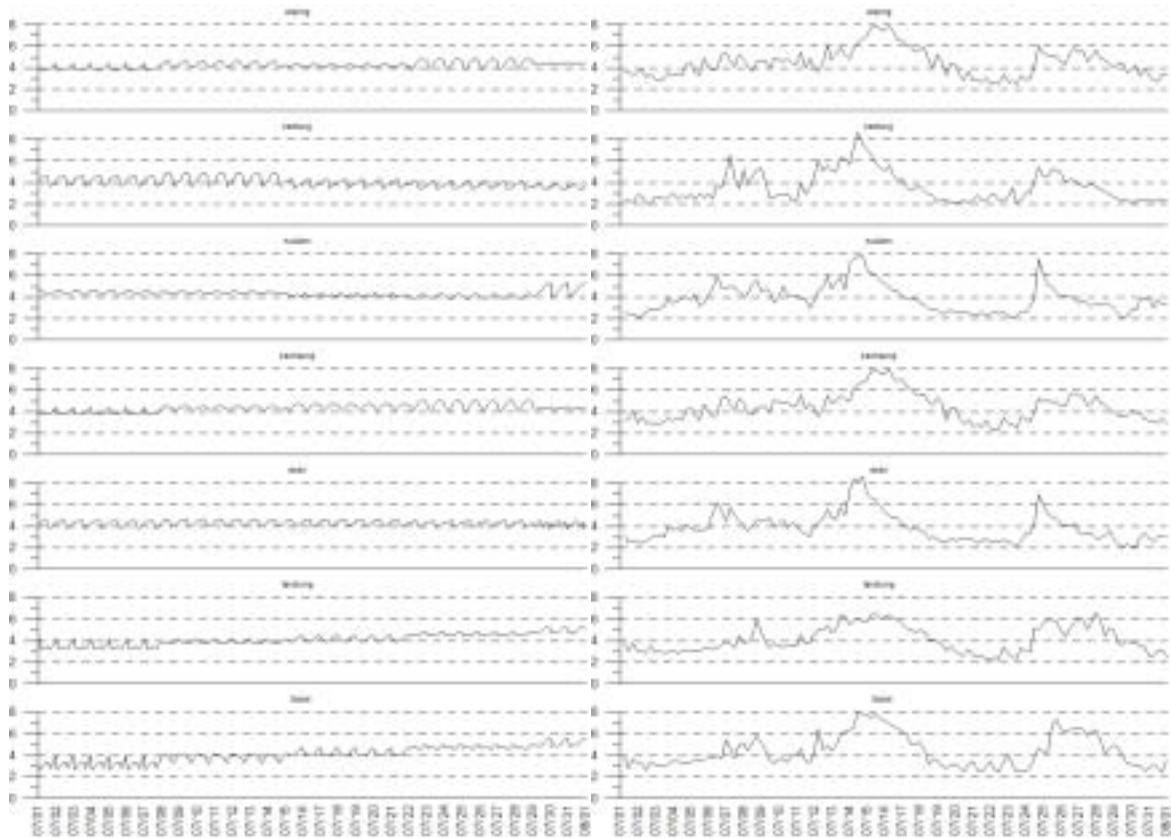


圖 5.1.5 七大商港 2006 年七月份波浪週期時序列圖(WAM+SWAN)

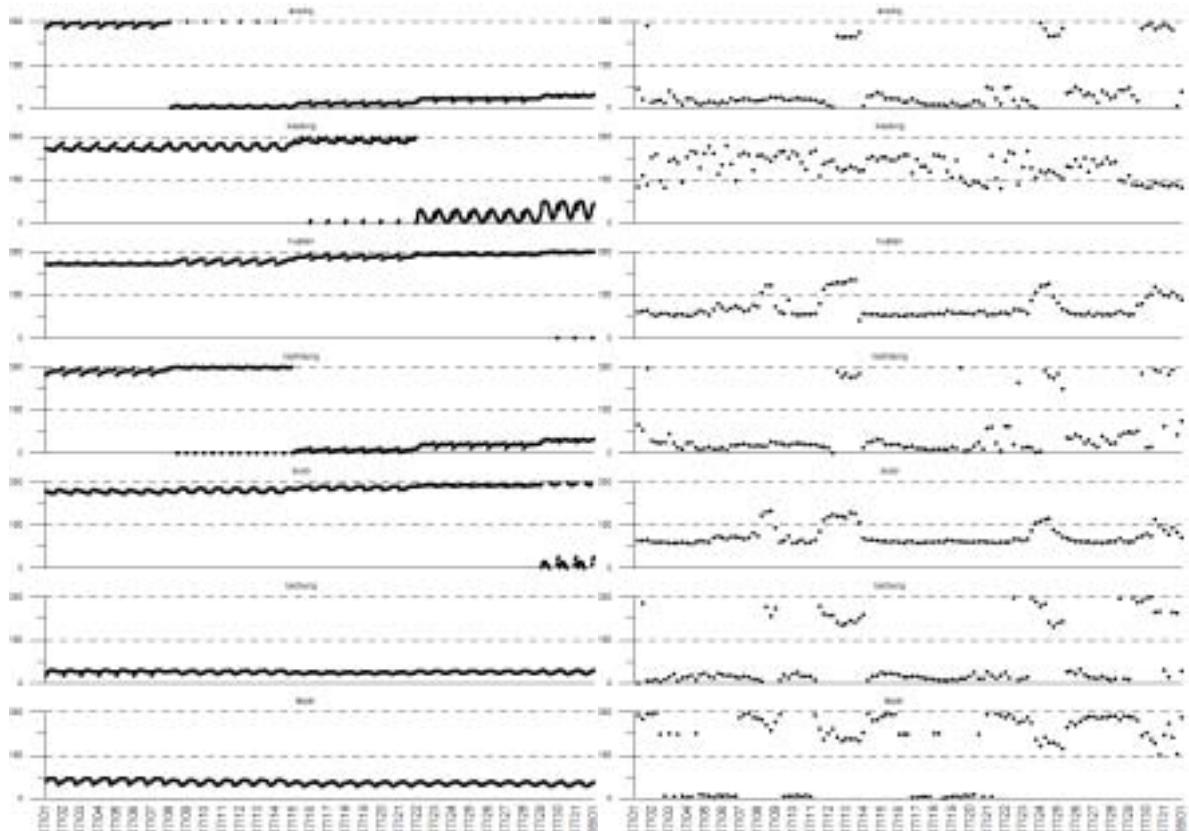


圖 5.1.6 七大商港 2006 年七月份波浪方向時序列圖(WAM+SWAN)

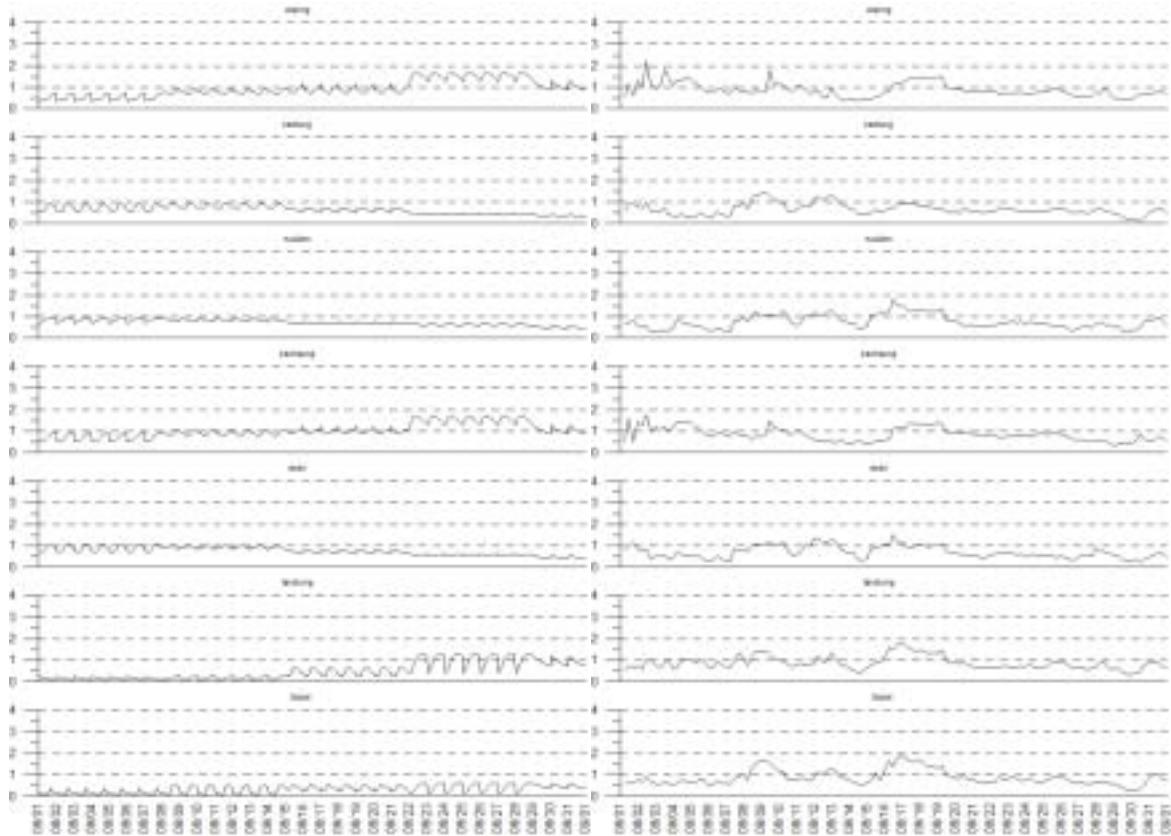


圖 5.1.7 七大商港 2006 年八月份示性波高時序列圖(WAM+SWAN)

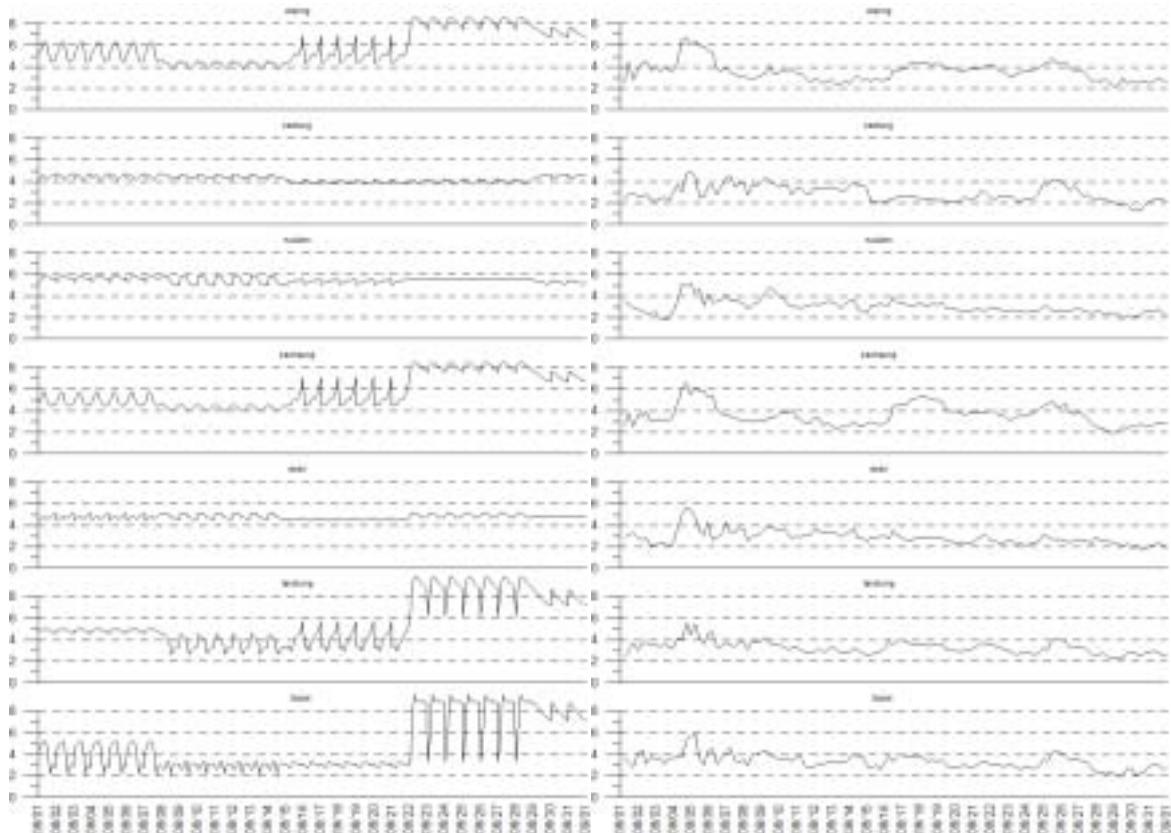


圖 5.1.8 七大商港 2006 年八月份波浪週期時序列圖(WAM+SWAN)

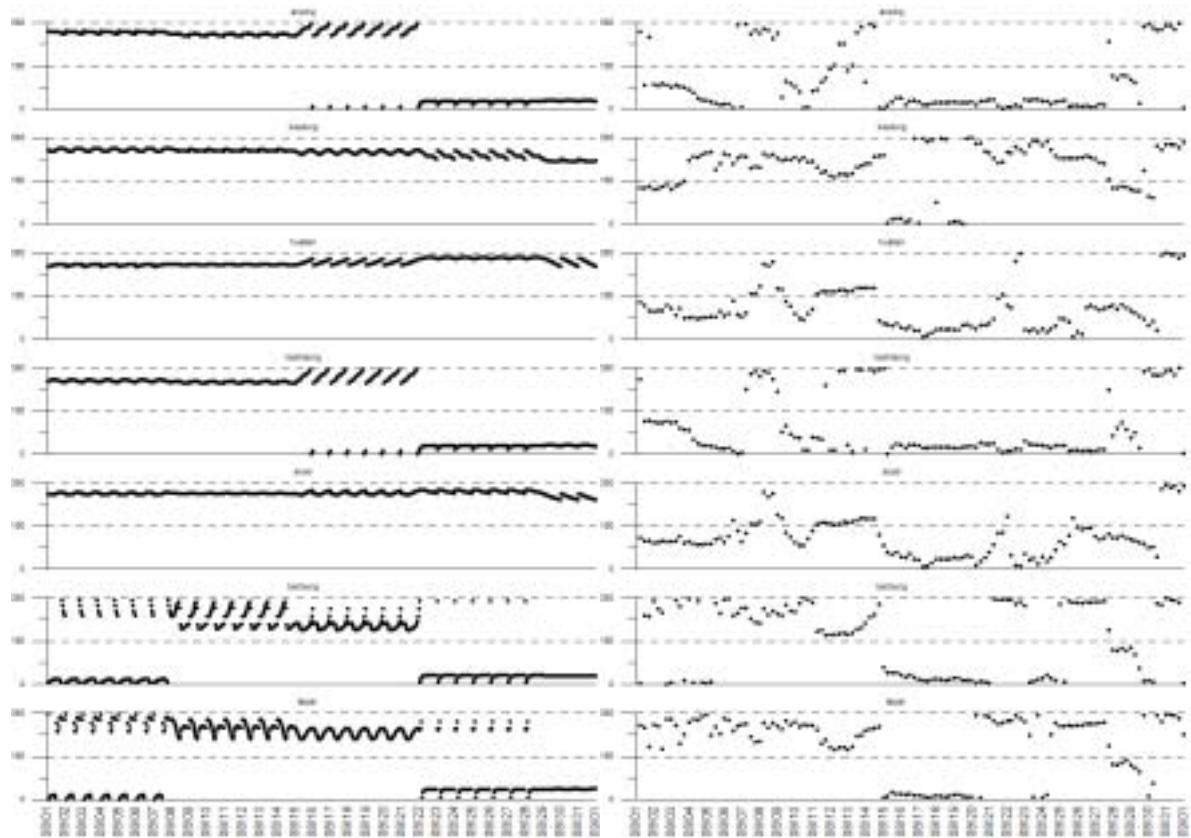


圖 5.1.9 七大商港 2006 年八月份波浪方向時序列圖(WAM+SWAN)

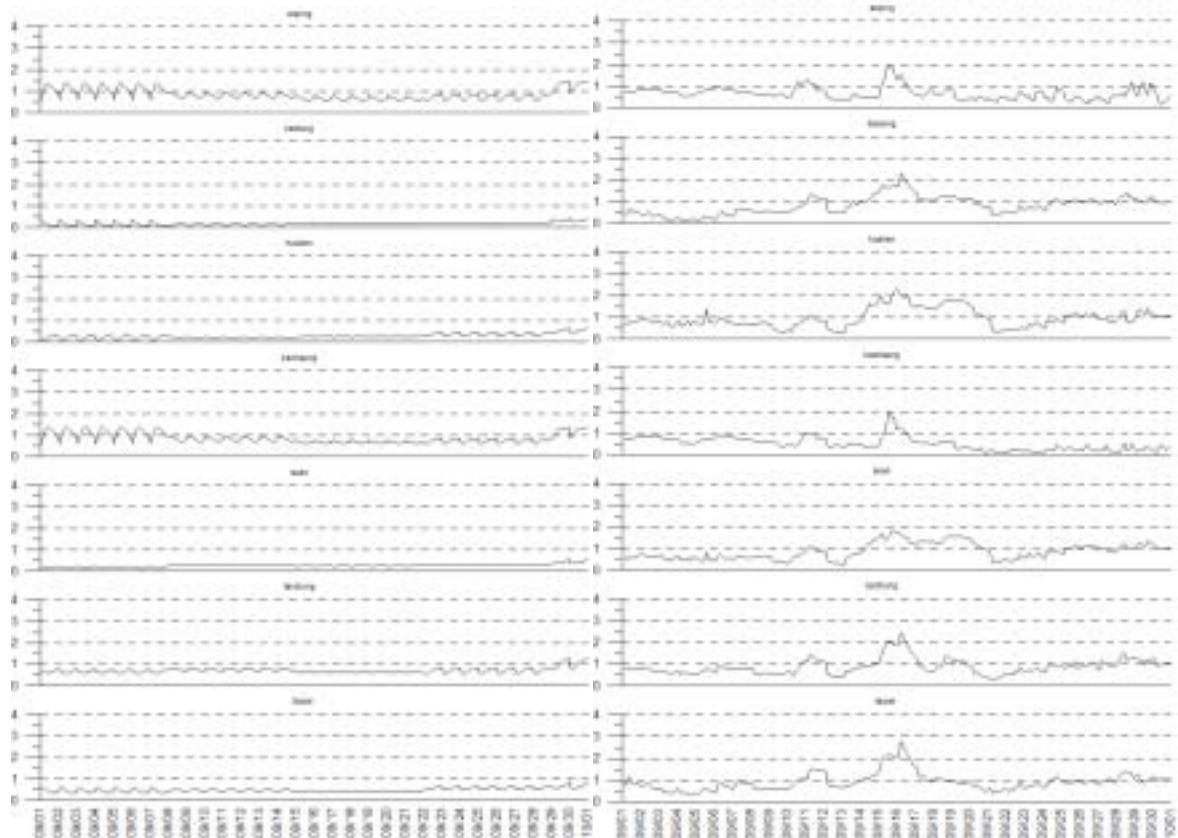


圖 5.1.10 七大商港 2006 年九月份示性波高時序列圖(WAM+SWAN)

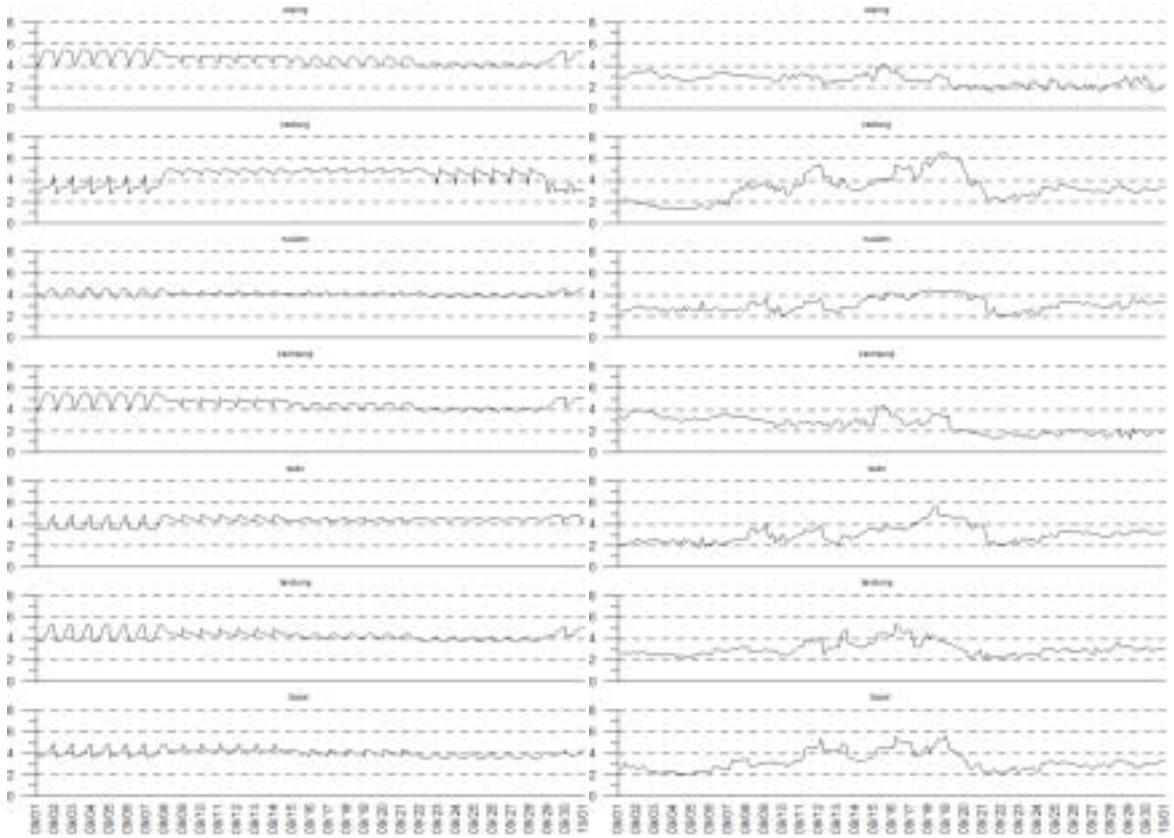


圖 5.1.11 七大商港 2006 年九月份波浪週期時序列圖(WAM+SWAN)

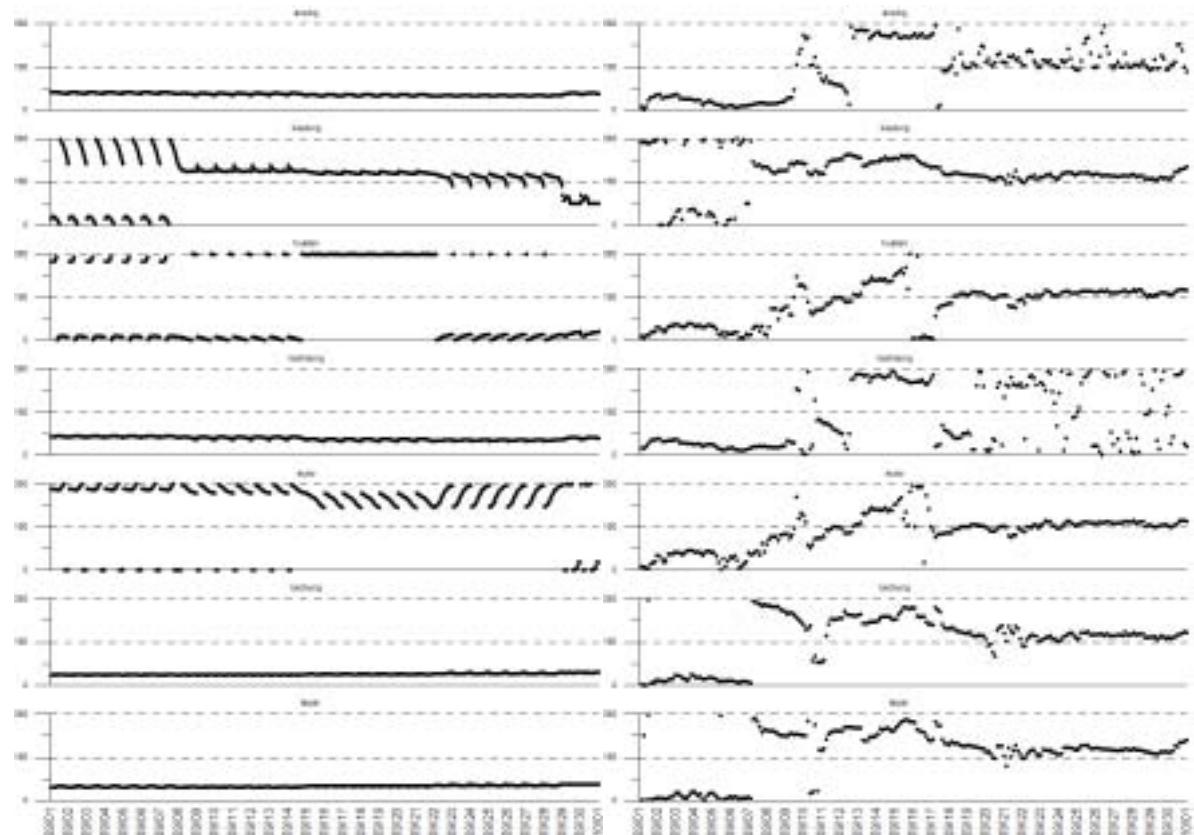


圖 5.1.12 七大商港 2006 年九月份波浪方向時序列圖(WAM+SWAN)

## 5.2 水位模擬

為了瞭解港研中心港區長期變化，加上去年度已取得氣象局每日氣象場資料，因此本年度進行長期水位模擬分析，時間為 2005 年 1 月至 11 月，而 2005 年 12 月至 2006 年 8 月的結果可參考期中報告及前面的章節。為求得更準確的比對結果，同時減少人為因素誤差，在處理取得的實測資料部分，是將 2005 年整年度的資料進行調和分析，求得平均水位，再將實測資料扣除平均水位後，和模式結果進行全年度的比對。

圖 5.2.1 至 5.2.4 為四個港口全年分月比對結果，台中港由於水準點差異過大，因此未放上比對圖。由全年的比對結果，除了基隆港區因地形關係導致整年比對資料不好，以及花蓮港區一月份水準點偏移外，其餘港區在水位的比對結果皆相當優良，可以利用模式繼續進行更長時間的模擬，以瞭解長期變化。實測資料密度部分，可發現在上半年度資料量相當足夠，資料的質也相當不錯，但進入下半年後，實測資料量大幅降低，特別是 7~9 月颱風季節最為嚴重，幾乎完全沒有實測資料可以使用，而颱風期間往往為水位產生較大變化的時刻，對於防災預報模式的預報能力是相當大的考驗，因此更需要此時的實測資料進行比對，進而校正模式。

本次長期模擬結果比對，遇到問題除了資料缺乏外，另外一個困難點即是長期觀測資料水準點差異過大的問題，如圖 5.2.5 為台中港全年的實測資料時序圖，圖上可觀察到，在 5 月以前的水準點與 10 月以後的水準點差異相當大，達到數公尺以上，而在水位振幅部分，兩段時間也有極大的差異，這些狀況皆讓水位比對變的相當的困難。因此此部分有賴港研中心協助提供質與量皆足夠的實測資料。

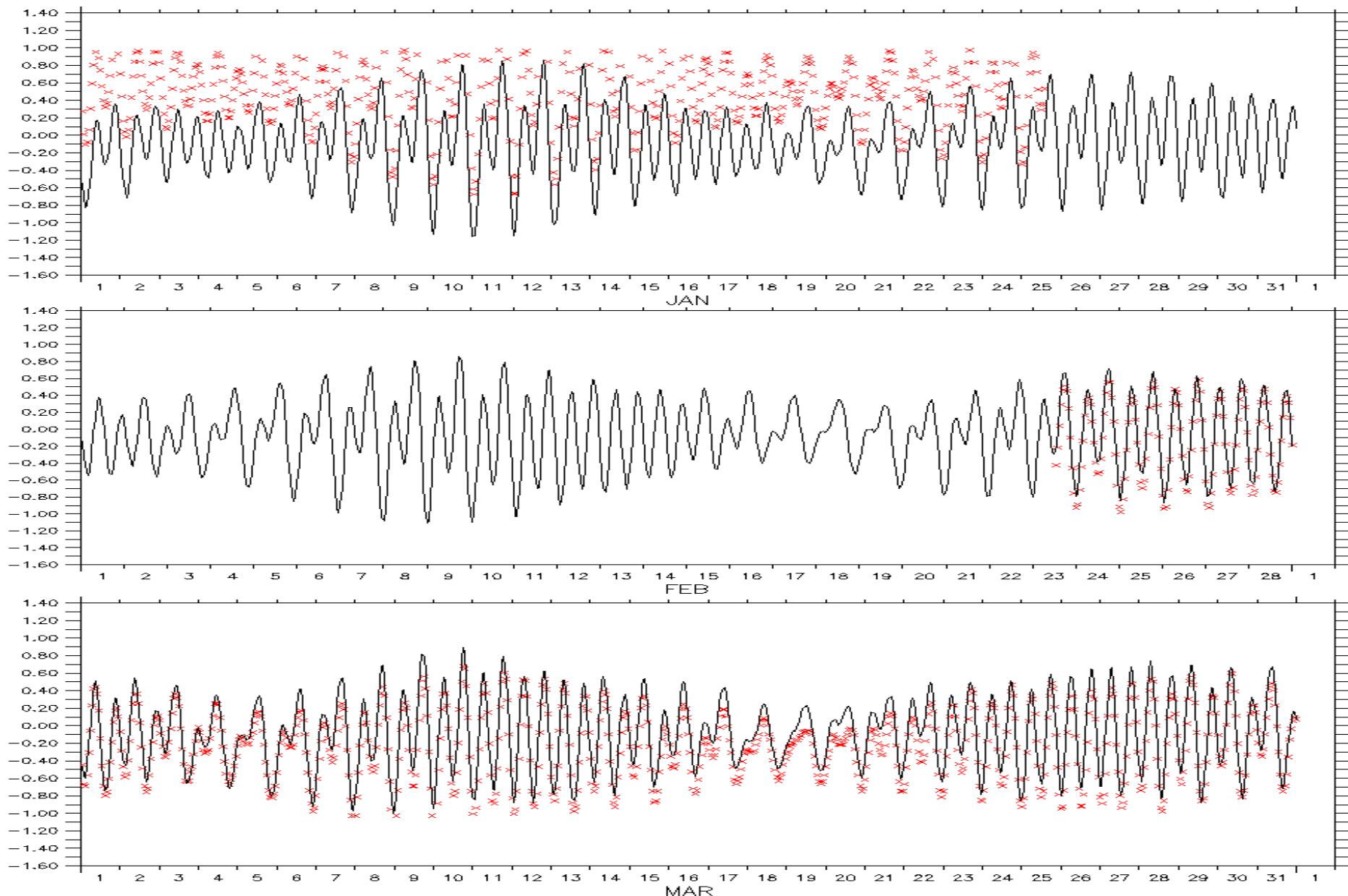


圖 5.2.1 花蓮港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

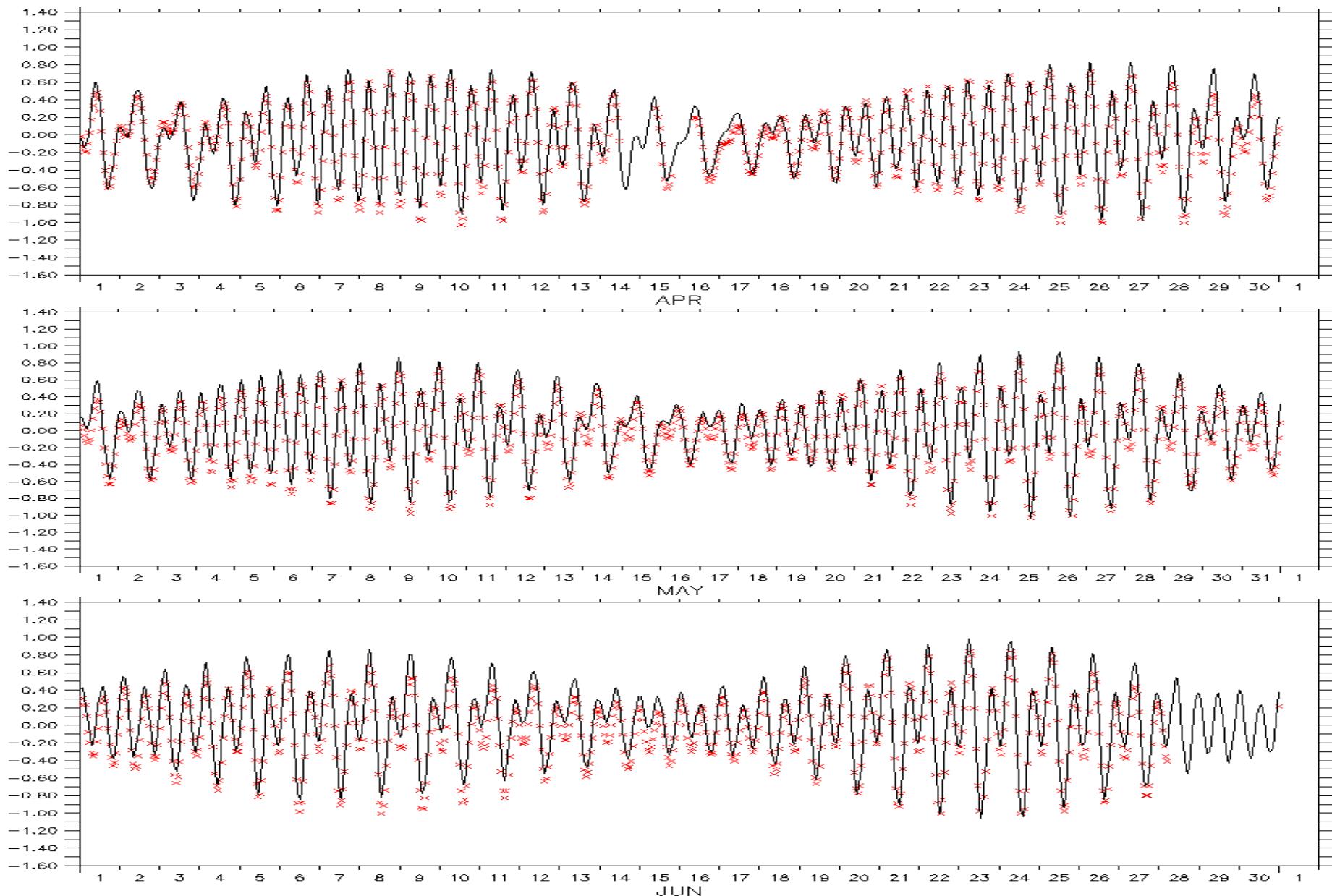


圖 5.2.1(續)花蓮港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

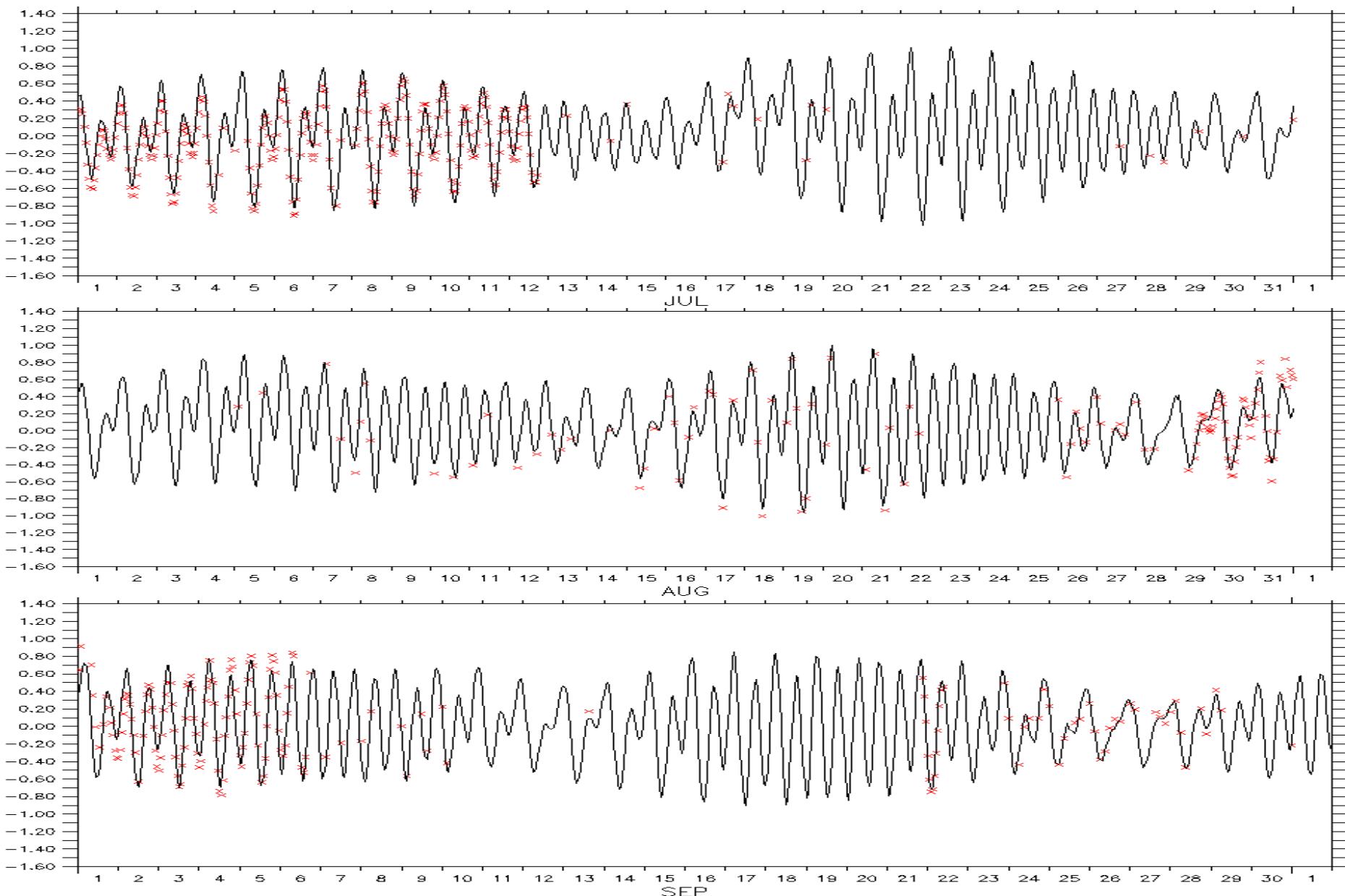


圖 5.2.1(續)花蓮港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

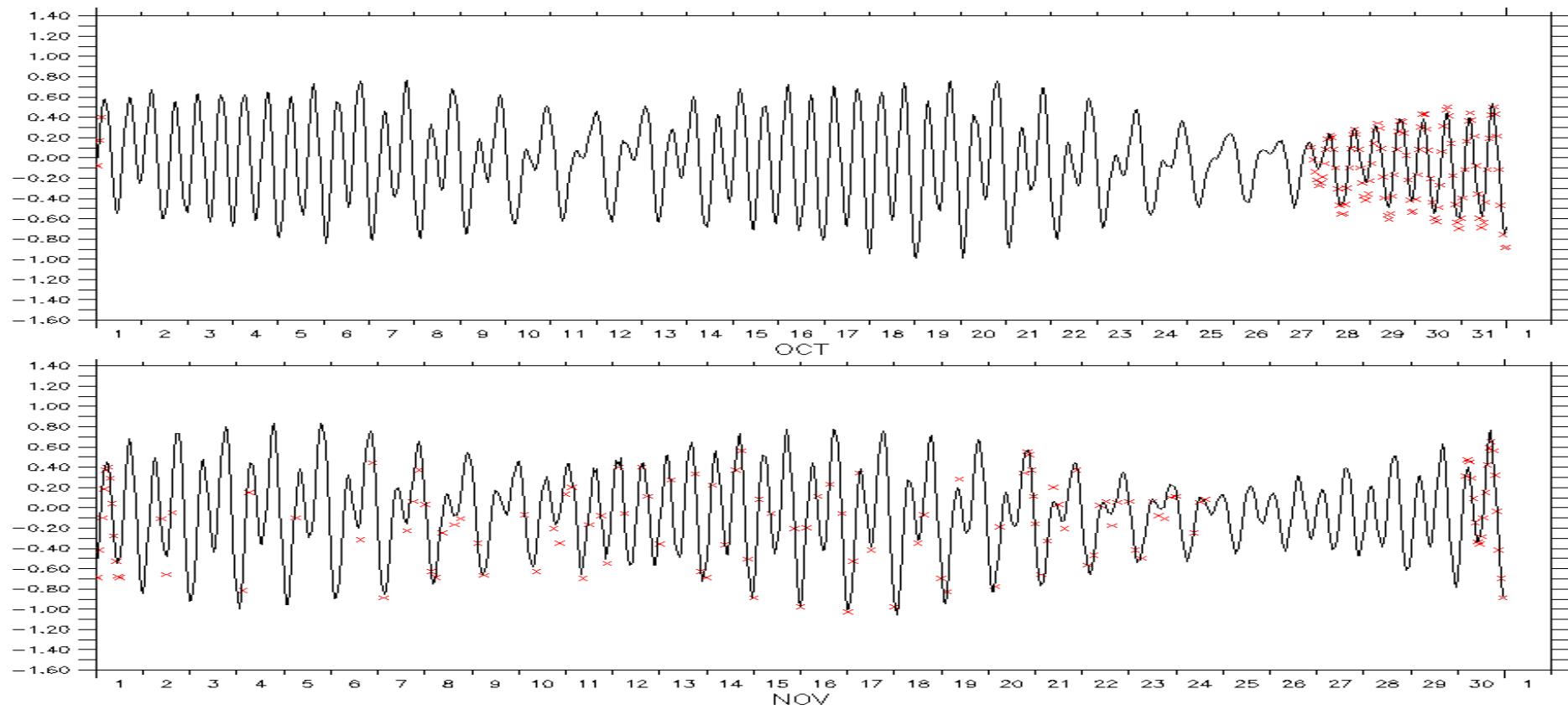


圖 5.2.1(續)花蓮港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

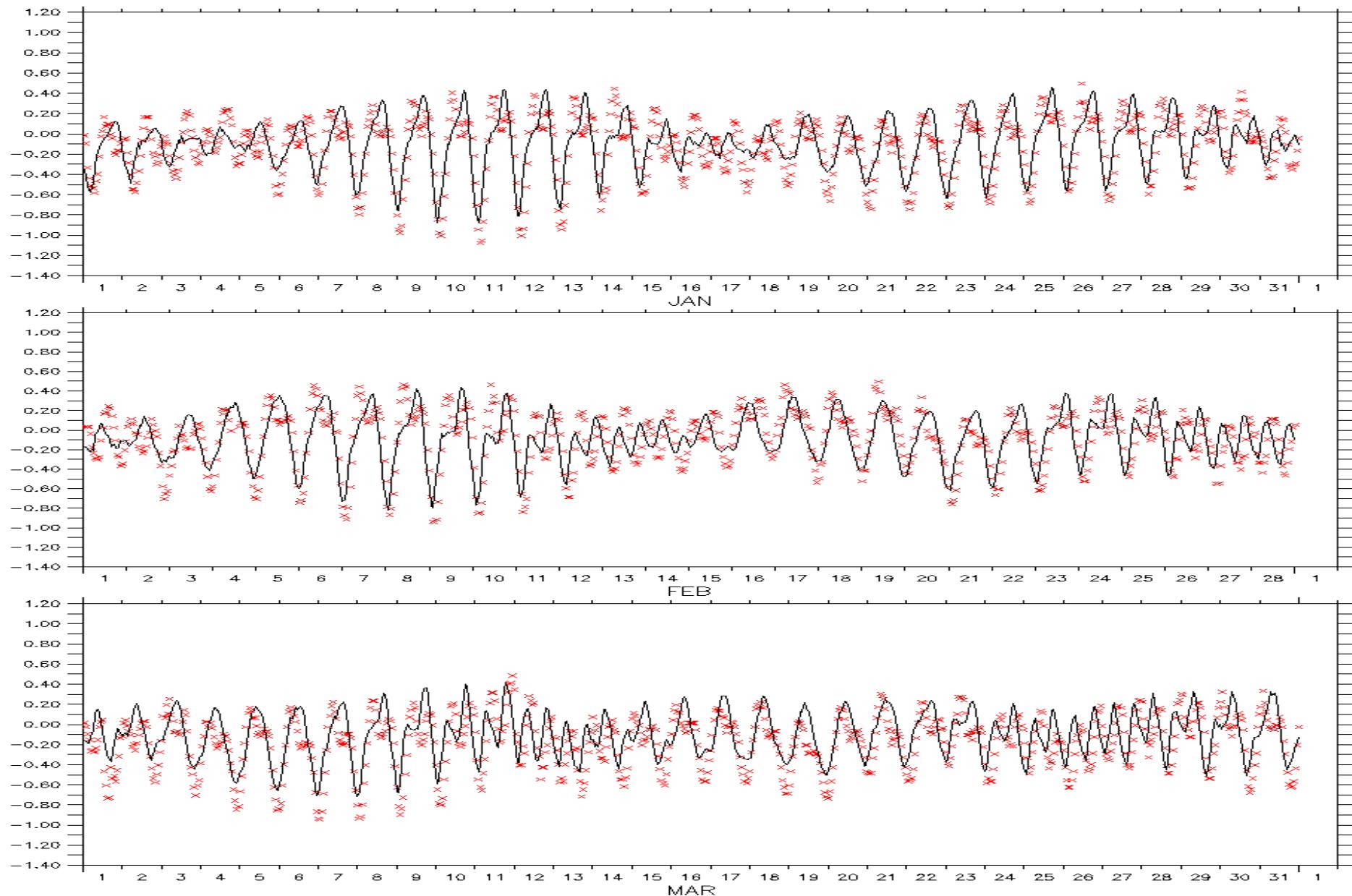


圖 5.2.2 基隆港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

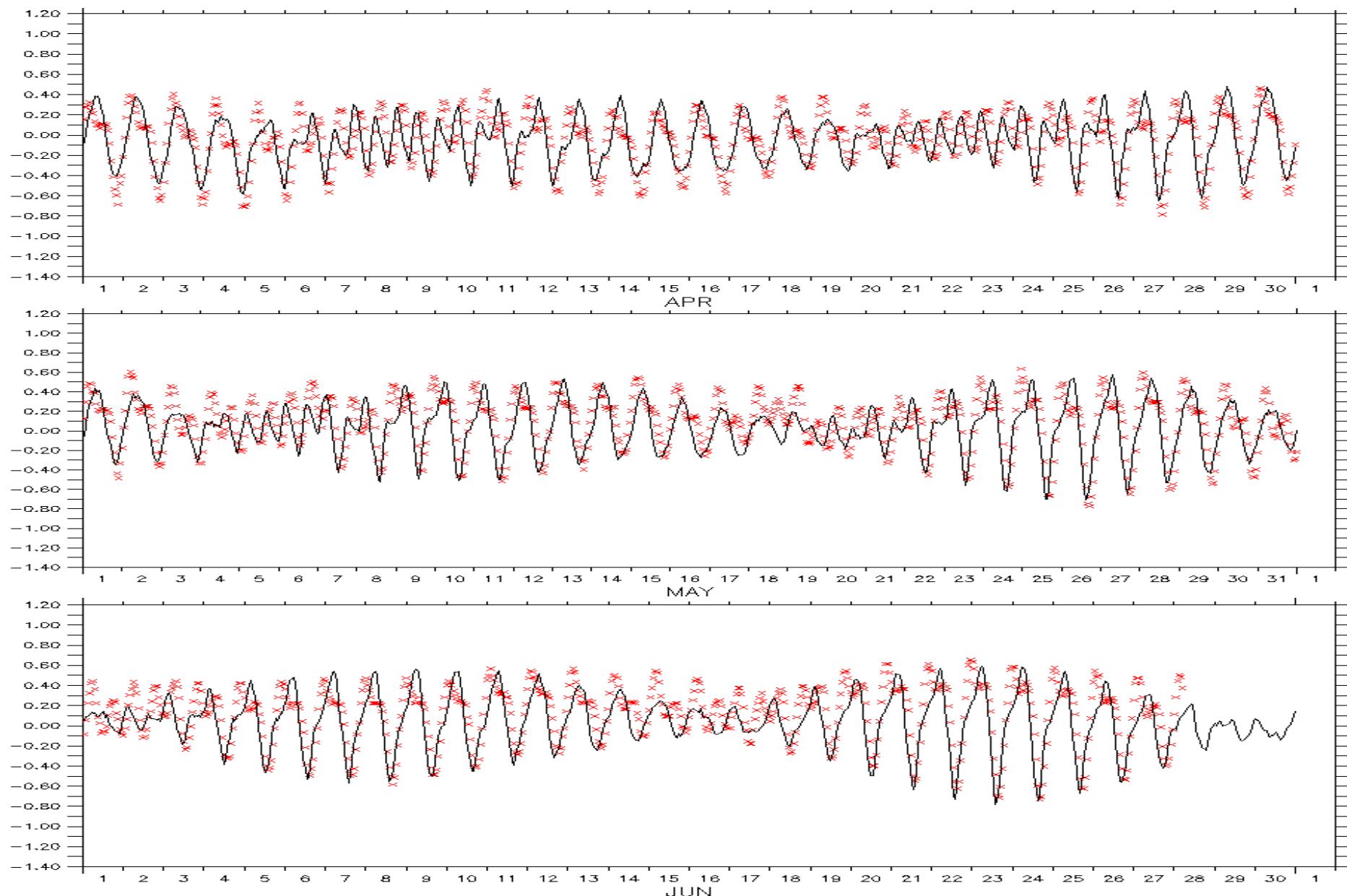


圖 5.2.2(續)基隆港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

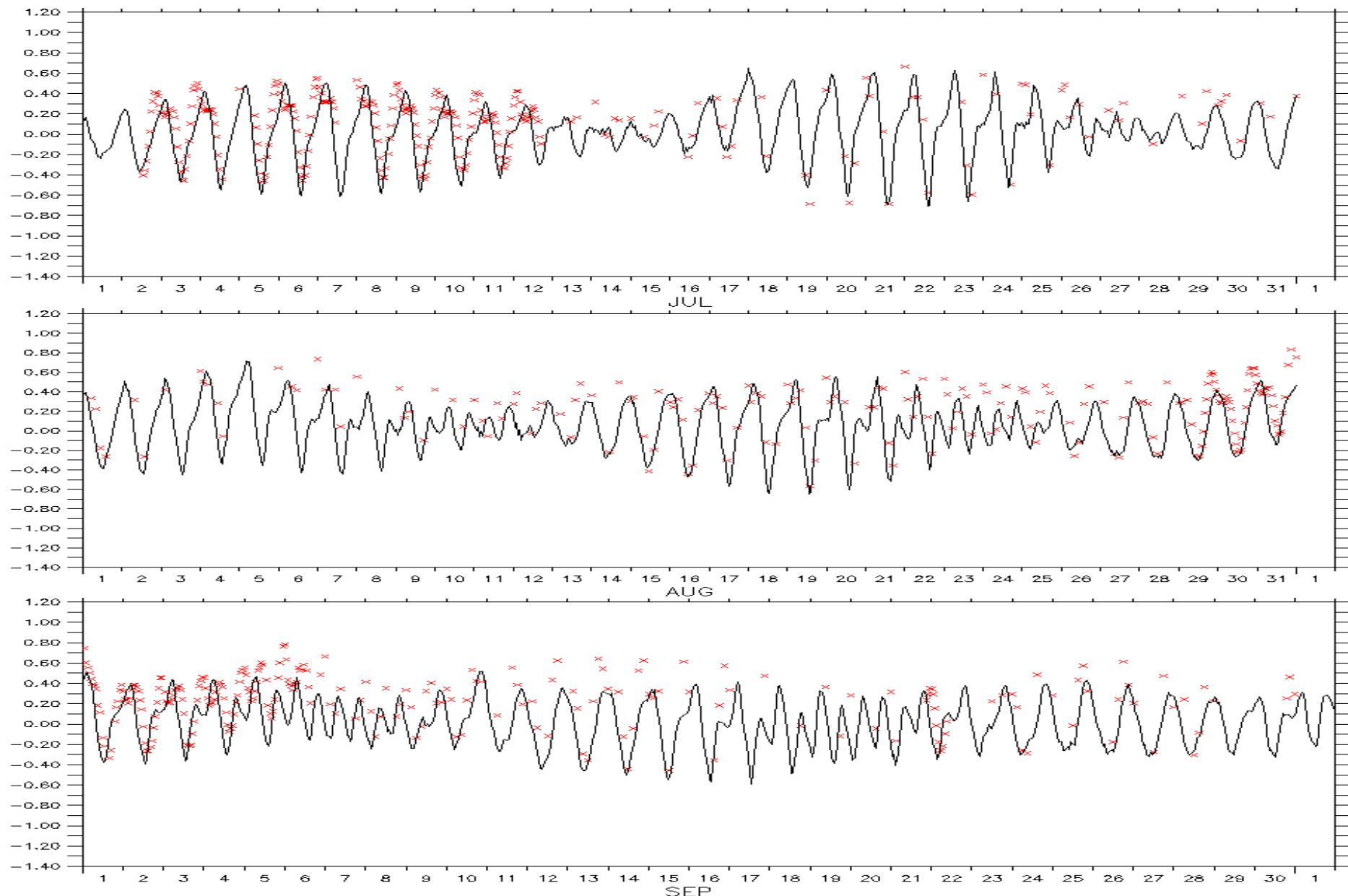


圖 5.2.2(續)基隆港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

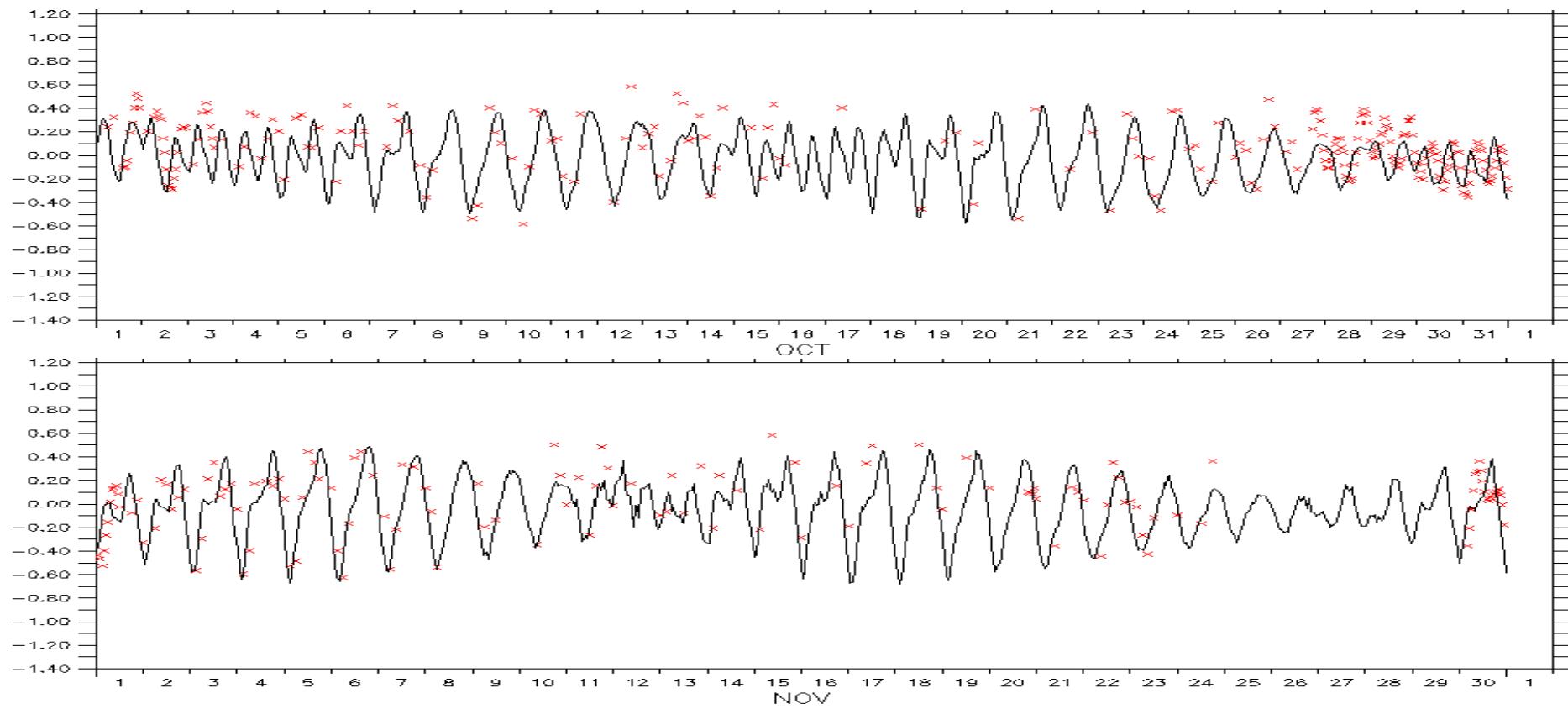


圖 5.2.2(續)基隆港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

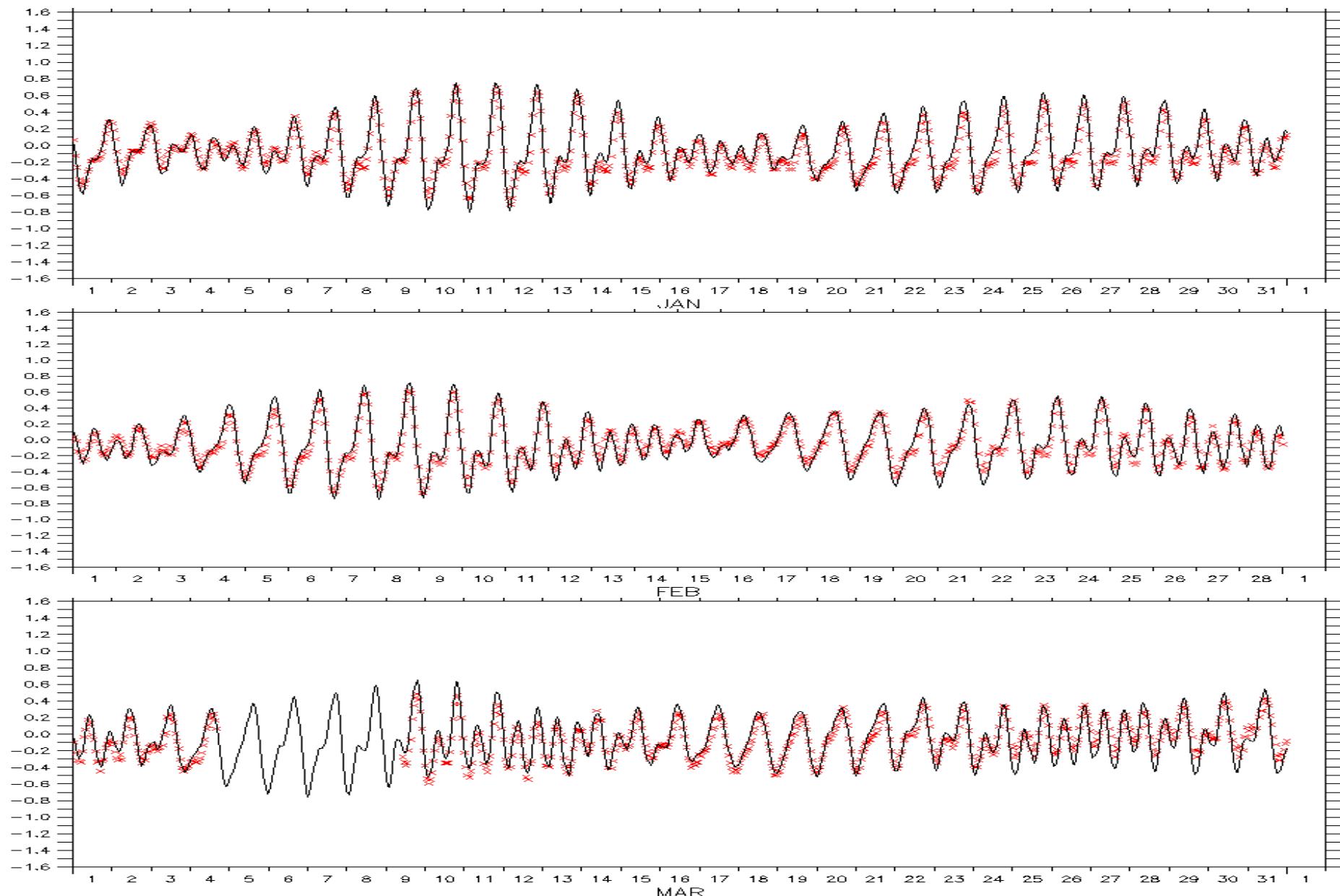


圖 5.2.3 高雄港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

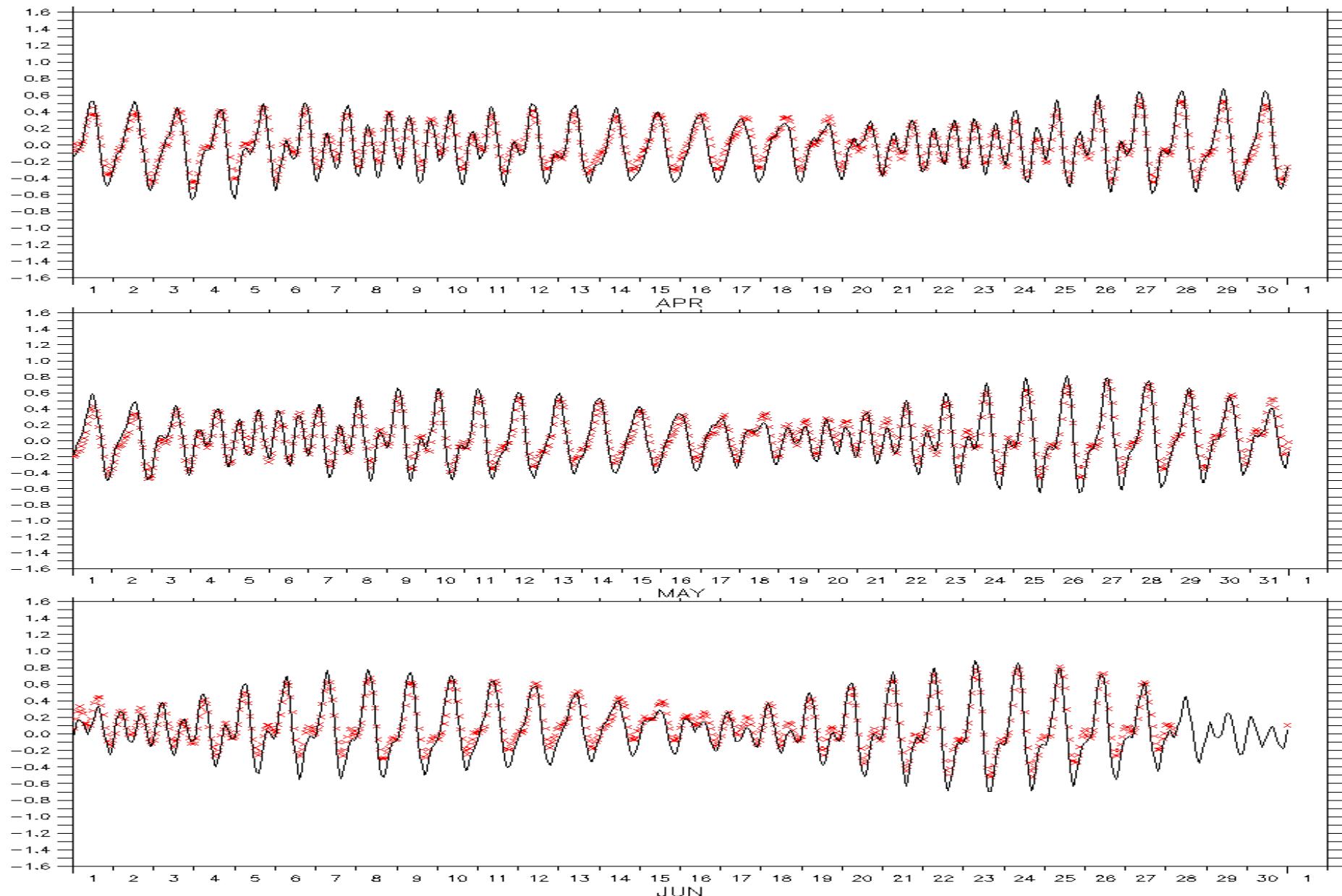


圖 5.2.3(續)高雄港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

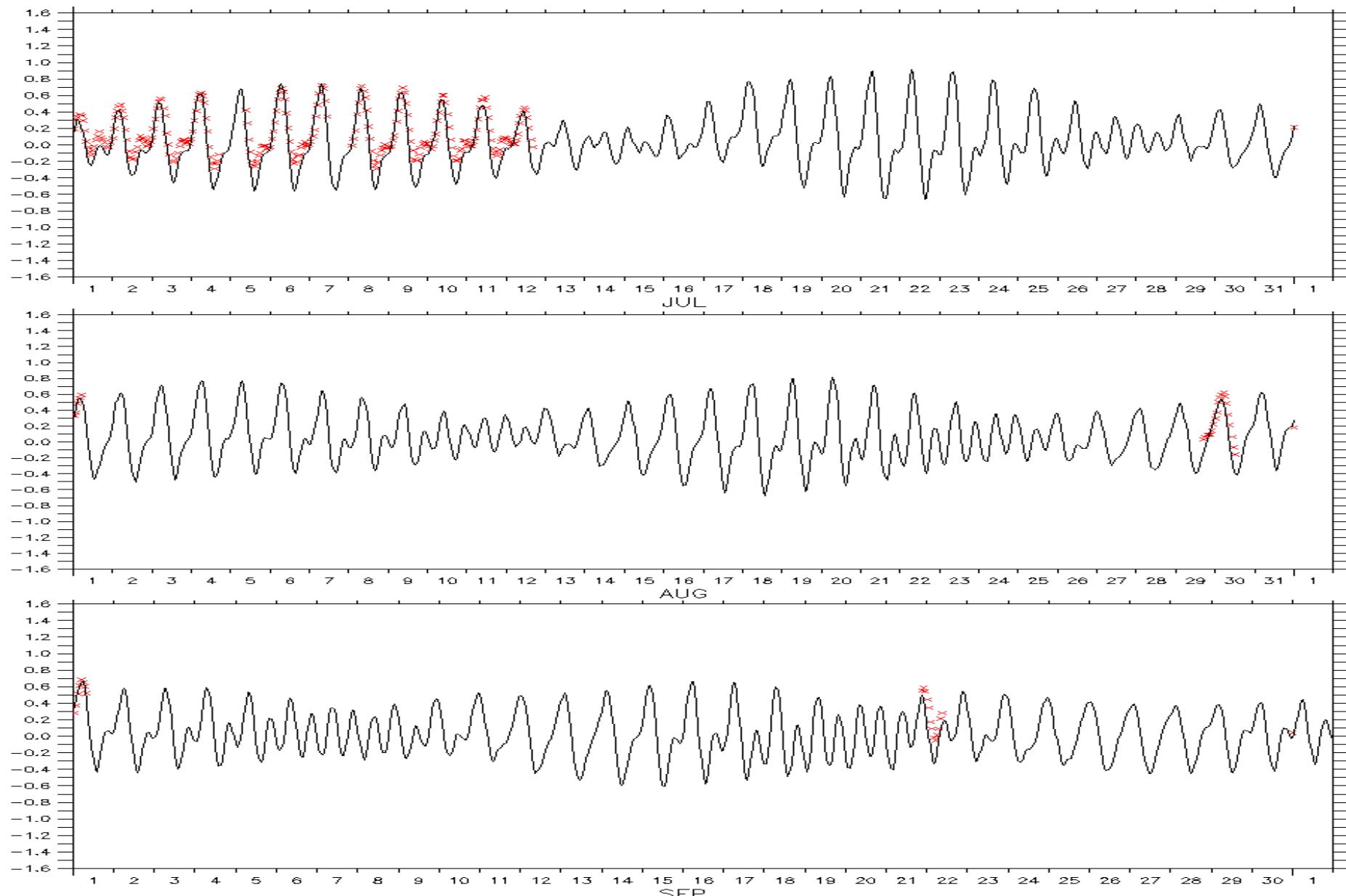


圖 5.2.3(續)高雄港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

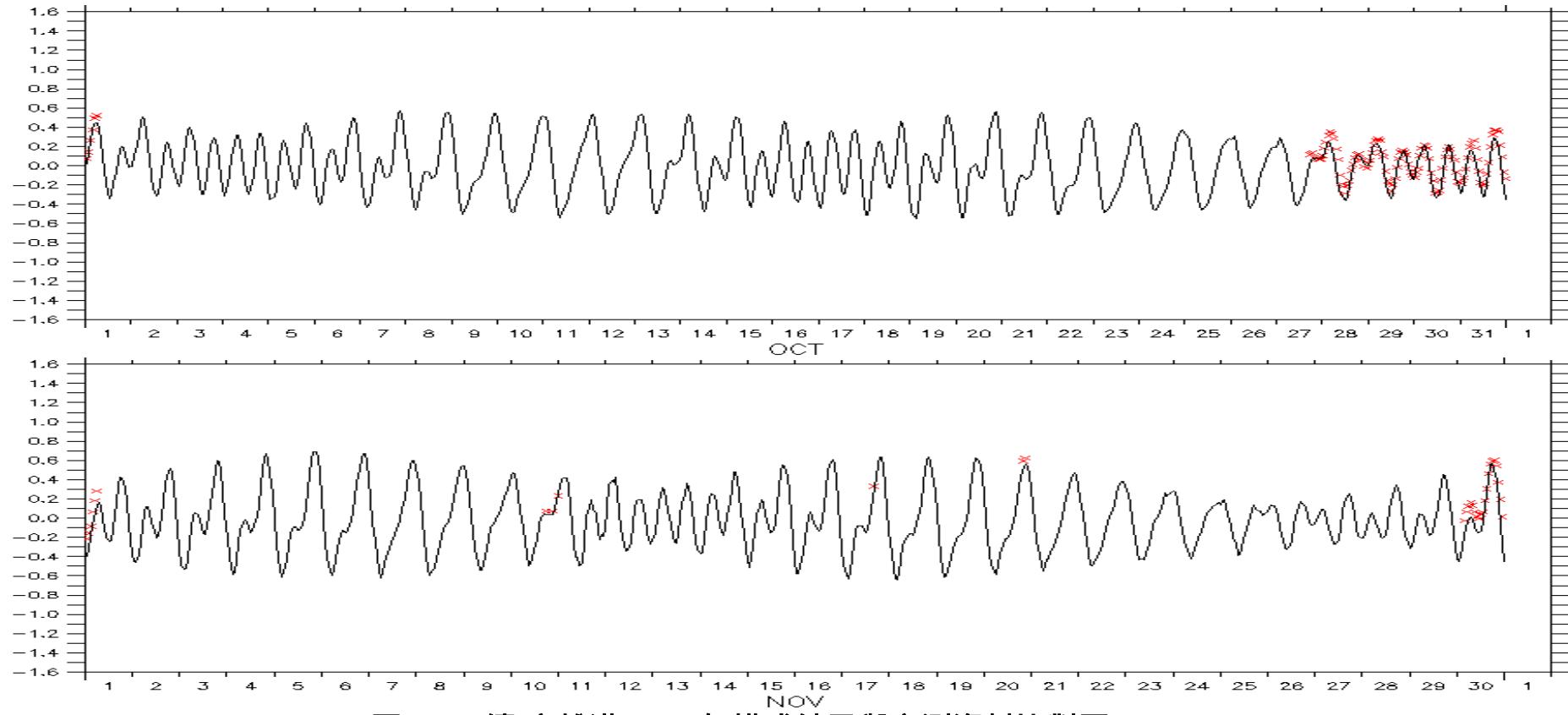


圖 5.2.3(續)高雄港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

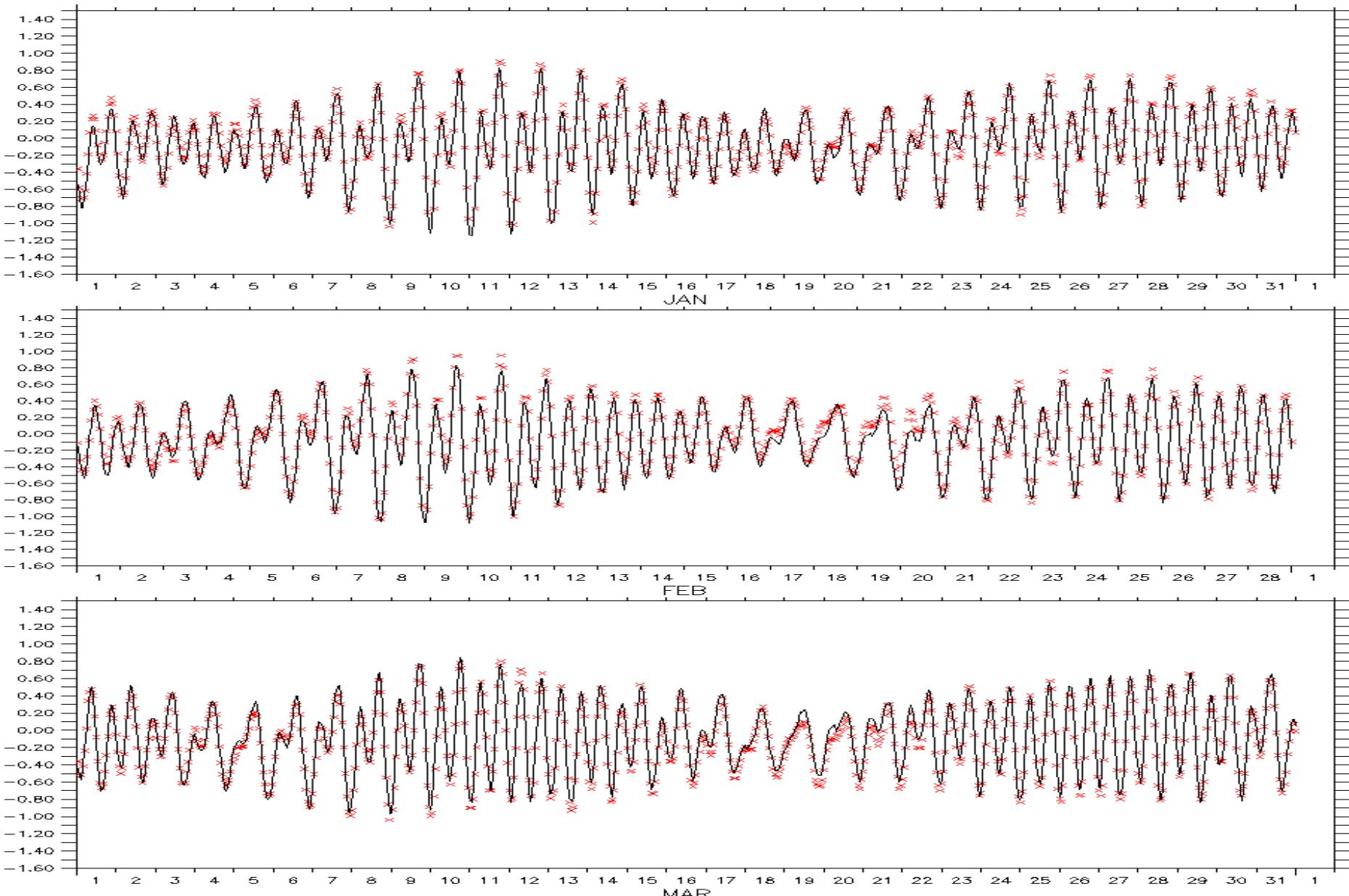


圖 5.2.4 蘇澳港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

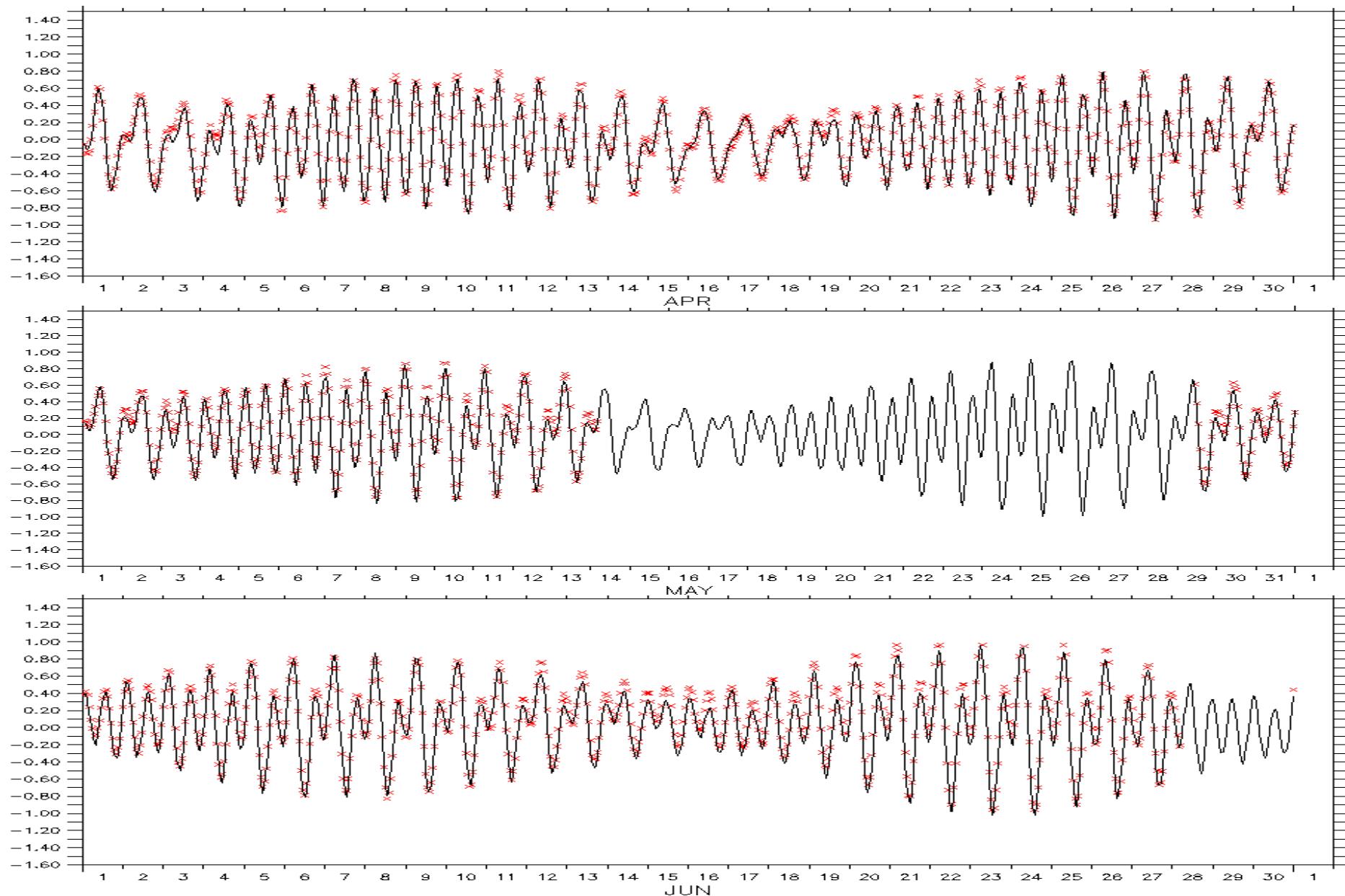


圖 5.2.4(續)蘇澳港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

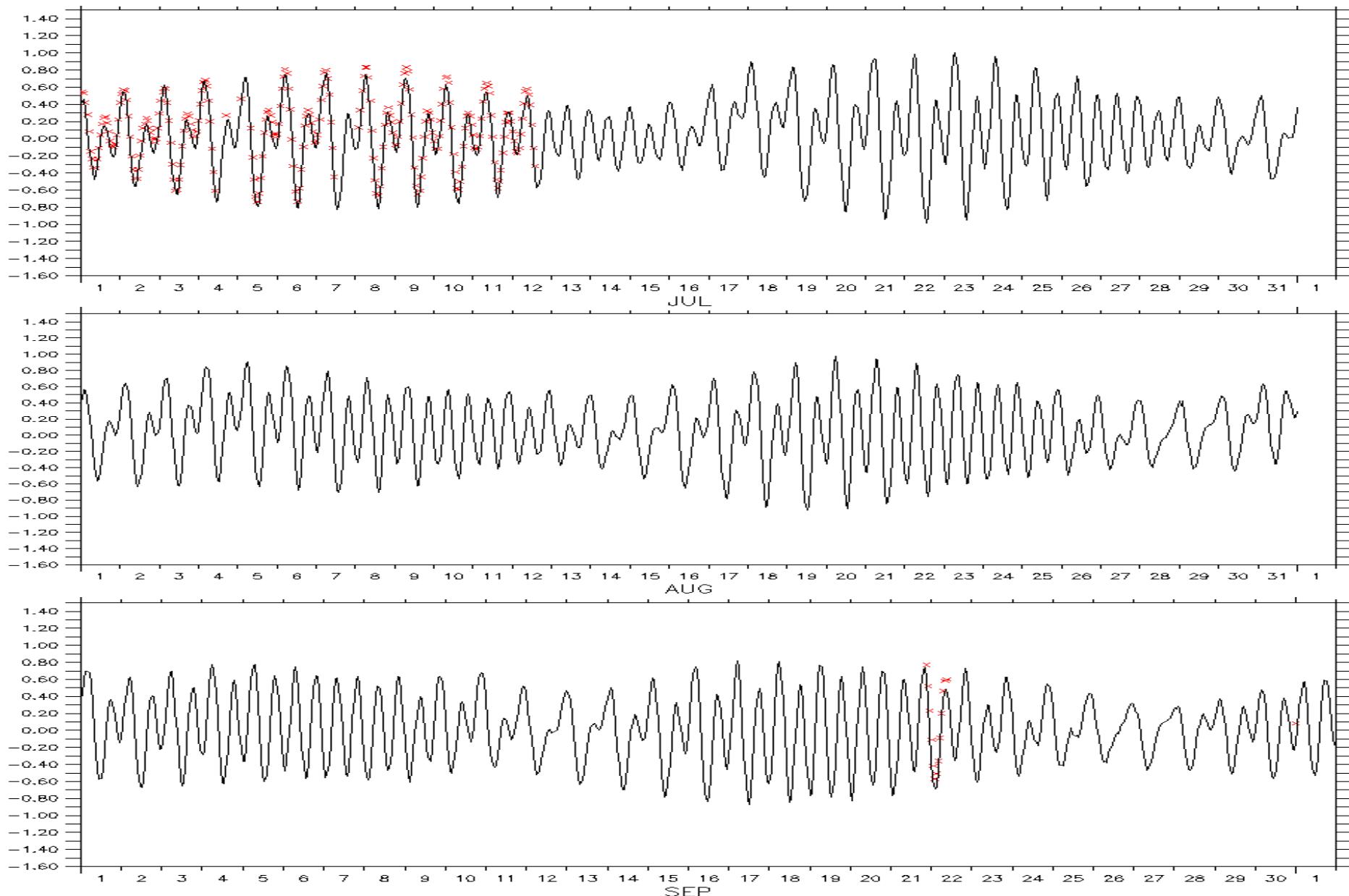


圖 5.2.4(續)蘇澳港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

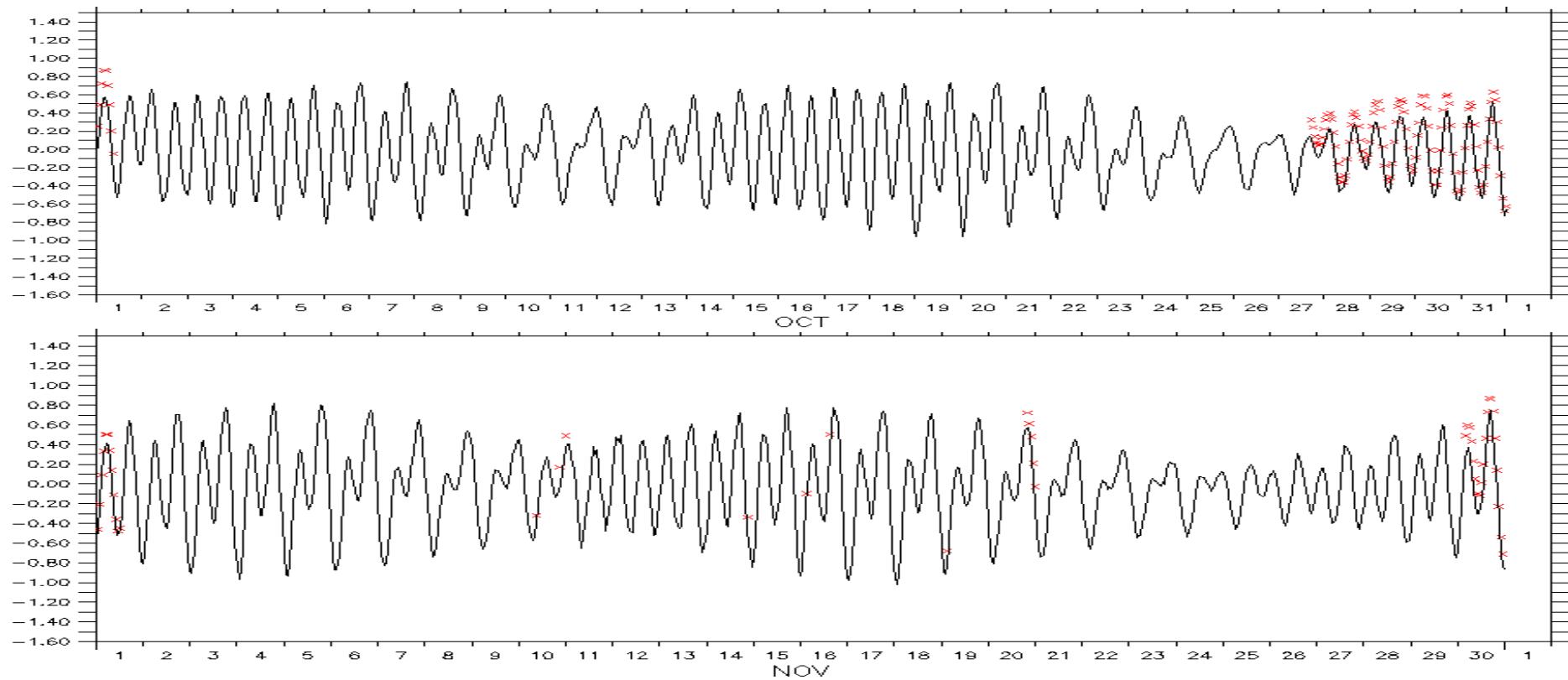


圖 5.2.4(續)蘇澳港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

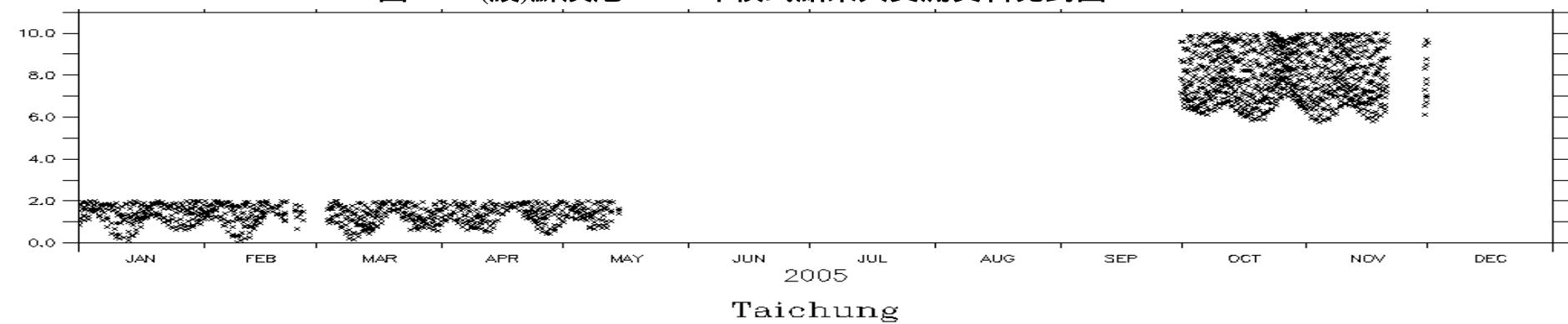


圖 5.2.5 台中港 2005 年全年實測資料時序圖

## 第六章 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。

### 6.1 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上的雷達、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。

## 6.2 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

- 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 scatterometer 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。
- 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。
- SAR(Synthetic 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 摷取到有用的波譜。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 A.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：

- 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。
- 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象。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。

- 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。
- 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。

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  $[t_0-t_1, t_0+t_1]$  ( $t_1$  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。

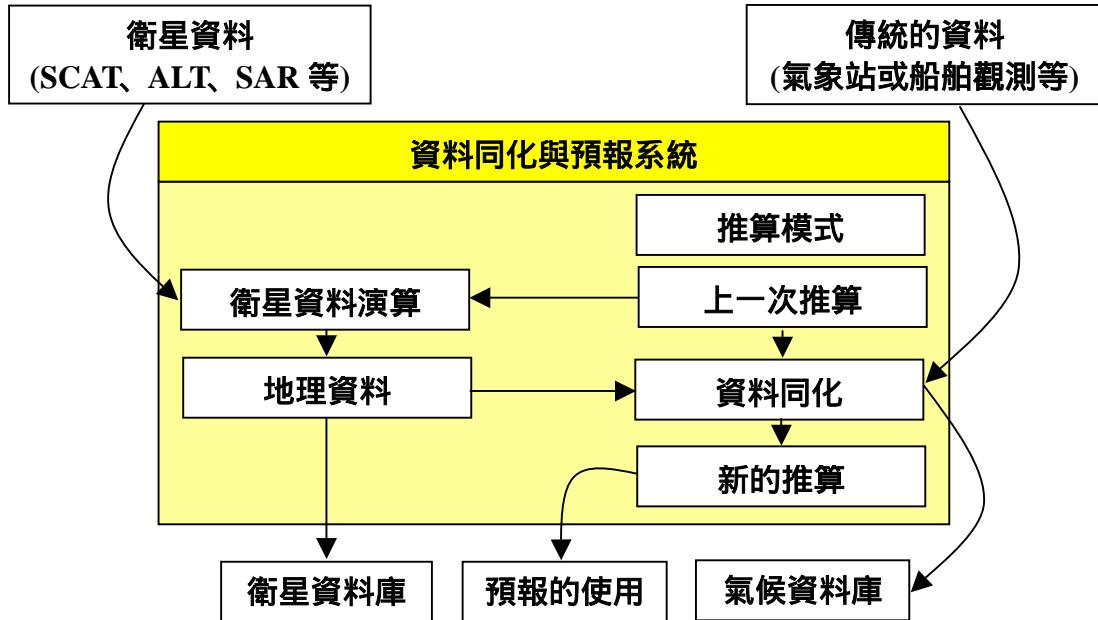


圖 6.2-1 風場及波場整合同化及預報系統

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  $\eta(x, t)$  應該被視為一個機率過程(stochastic process)，而其能量的分佈則用波譜  $F(k; x, t)$  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  $P[F(k; x, t)]$  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，

### 6.3 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，湧浪波譜的修正為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) 曾利用兩種商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。

## 6.4 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  $1.00^\circ \times 1.25^\circ$ , 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  $15^\circ$  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：

### *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 $\eta$ ), 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 $\eta_m$  (在同化中視為初始猜測值)、觀測波浪 $\eta_o$ 、及分析波場 $\eta_a$  (在同化中視為需要找出的真實波浪場)。其中,  $\eta_m$  及 $\eta_a$ 涵蓋整個波浪推算的範圍, 而 $\eta_o$  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

$$x_o = \eta_o - \eta_m \quad (6.4.1)$$

以及分析增量陣列  $x$  (也稱為修正場)為

$$x = \eta_a - \eta_m \quad (6.4.2)$$

參考 Lorenc (1986), 泛函數  $J$  可寫為

$$J = \frac{1}{2} x^T E^{-1} x + \frac{1}{2} [K(x) - x_o]^T F^{-1} [K(x) - x_o] \quad (6.4.3)$$

式中上標 T 表示轉置矩陣, 而 $-1$  表示反矩陣。E 為  $N \times N$  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  $M \times M$  的觀測誤差共變數矩陣(observational 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(4.5.3)中, 右式的第一項是 $\eta_m$  經由  $E^{-1}$  的加權後對 $\eta_a$  的吻合測度(measure of the fit); 第二項為 $\eta_o$  經由  $F^{-1}$  的加權後對 $\eta_a$  的吻合測度(measure of the fit)。當 E 值大的時候,  $\eta_m$

對  $\eta_a$  的影響將會消失；同樣地，當  $F$  值大的時候， $\eta_o$  對  $\eta_a$  的影響也會消失。

### 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  $1.00 \text{ m}^2$  與  $B = 2.99^\circ, 3.99^\circ$  及  $4.99^\circ$  後，NWW3 選用  $A = 0.5 \text{ m}^2$  及  $B = 2.99^\circ$  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。

### 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  $F$  更是幾乎於無知，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。 $F^1$  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  $F = 0.04, 0.09, 0.12$  或

0.16 m<sup>2</sup> 及對 ERS-2 氣象衛星的資料採用  $F = 0.09, 0.122$  或  $0.20\text{ m}^2$ 。最後採用  $0.09\text{ m}^2$  (觀測浮標) 及  $0.122\text{ m}^2$  (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。

### DRB 技術的演算法

泛函數  $J$  是用來解分析增量  $x$ ，並進而解得真實波高  $\eta_a$  的，一般的作法是透過  $J$  對  $x$  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  $E$ ，以容許不需透過  $E$  的反矩陣計算即可求解。

定義  $g$  為泛函數對修正場的導函數

$$g \equiv \partial J / \partial x = E^{-1} x + K^T F^{-1} [K(x) - x_0] \quad (6.4.4)$$

及

$$h = E g \quad (6.4.5)$$

第一個步驟裡將  $x$  設定為 0，因此

$$x^1 = 0$$

$$g^1 = -K^T F^{-1} x_0$$

$$h^1 = E g^1$$

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

$$d^0 = 0$$

及

$$e^0 = 0$$

為了求解  $x$ ，將對下列的求解步驟進行反覆迭代

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

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

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

$$\begin{aligned}
 g^{n+1} &= g^n + \alpha^n f^n \\
 x^{n+1} &= x^n + \alpha^n d^n \\
 h^{n+1} &= E g^{n+1} \\
 \beta^{n+1} &= [(g^{n+1})^T h^{n+1}] / [(g^n)^T h^n]
 \end{aligned}$$

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 實際只計算出方向波譜  $\xi(f, \theta)$ ，其中 f 為頻率而  $\theta$  為波向。為了考慮波浪能量的變化，設定下列的關係

$$\xi_a(f, \theta) = (\eta_a / \eta_m)^2 \xi_m(f, \theta) \quad (6.4.6)$$

## 6.5 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 6.5-1 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 6.5-2(a)為所有觀測資料的資料同化前後的波高差異比較；圖 6.5-2(b)至 6.5-2(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。

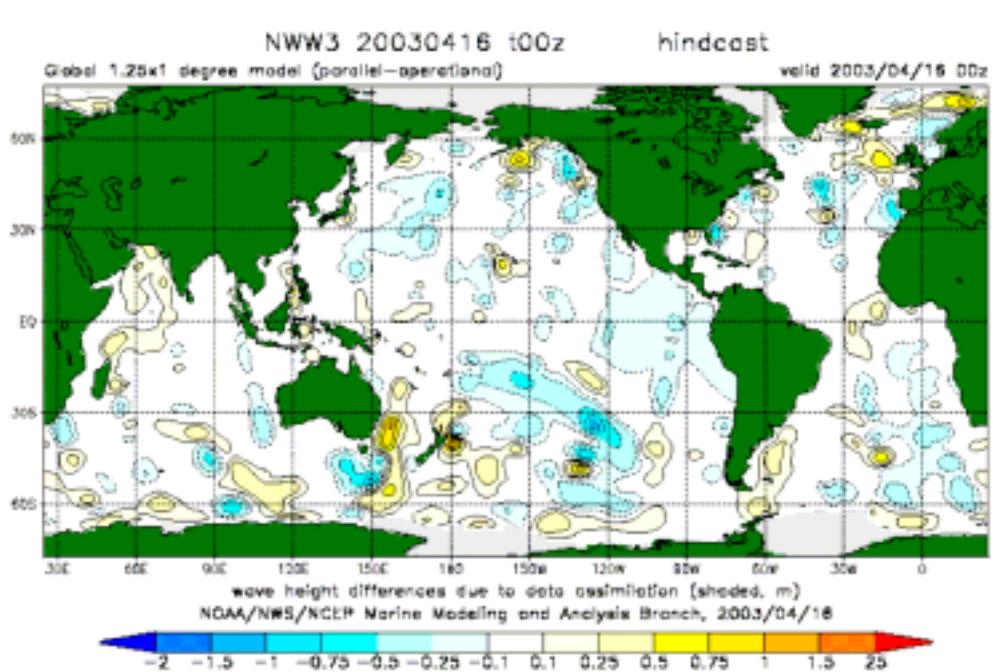
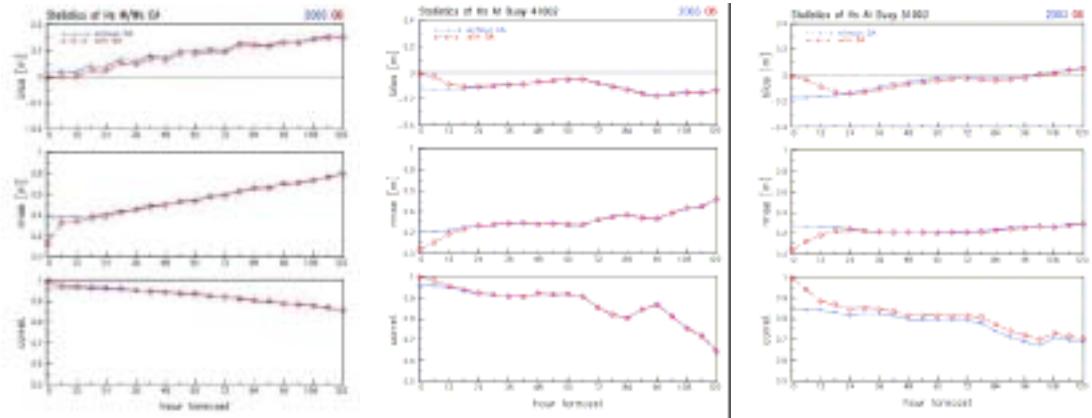
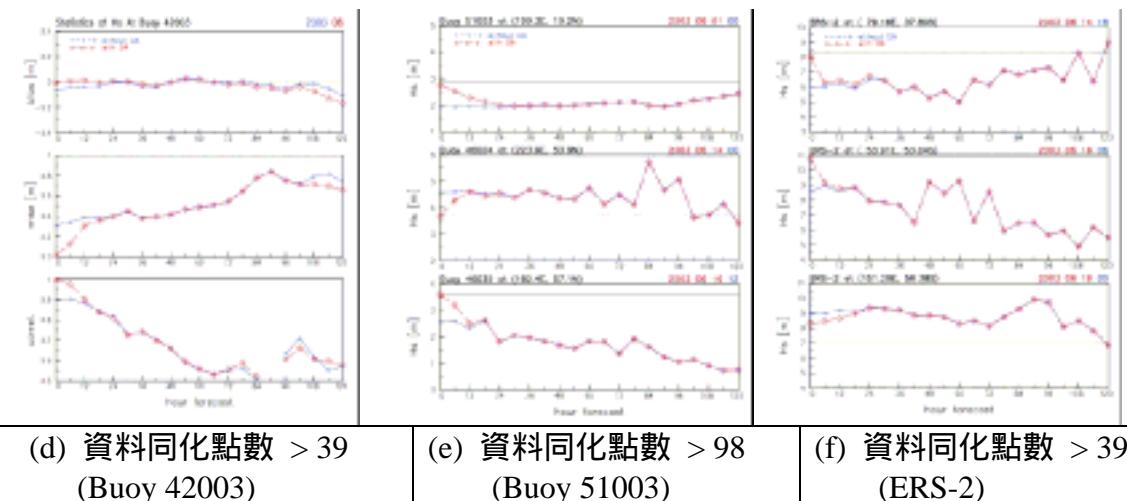


圖 6.5-1 資料同化前後波浪現報的波高差值範例(Chen 等人, 2004)



(a) 資料同化點數 > 17k  
(所有觀測資料)      (b) 資料同化點數 > 100  
(Buoy 41002)      (c) 資料同化點數 > 98  
(Buoy 51003)



(d) 資料同化點數 > 39  
(Buoy 42003)      (e) 資料同化點數 > 98  
(Buoy 51003)      (f) 資料同化點數 > 39  
(ERS-2)

圖 6.5-2 不同測站的資料同化前後波高統計比較(Chen 等人, 2004)

## 第七章 更新防救災預報系統網站

### 7.1 更新狀況

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，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、瞭解所需的資料。

本計畫產生的資料量相當豐富，包括各個模式的模擬結果、觀測網觀測等資料，為讓網頁內容時時保持最新的資訊內容，讓使用者能查詢到最新的資訊，修改內容約如下：

1. 依計畫最新資料，更新網頁之內容，如圖 7.1-1、7.1-2。

委託單位：港灣技術研究中心				
主持人：鄭宗善 博士				
研究人員：蘇青和 博士				
合作單位：中山大學海岸科技中心				
類別	姓名	最高學位	該計畫研究職務	本計劃參與研究職務
主持人	李志遠	博士	中山大學土木系所 海岸海洋科學研究所 碩士	計劃之督導與協調、研究海 浪與颱風降雨統計模擬及颱風 波浪及水動力模式計算理論規 劃。
共同主持人	陳照益	博士	中山大學土木系所 海岸海洋科學研究所 碩士	計劃之督導與協調、研究海 浪與颱風降雨統計模擬及大立 潮水位及颱風風暴潮計算理論 規劃。
				<ul style="list-style-type: none"><li>• 上一年度立之各種波浪模 擬模型及計算達度改 進，取用現場觀測資料進 行驗證及修正。</li><li>• 波浪預報模式效果評估。</li><li>• 各增強為近岸表面波浪模 擬及颱風實行分析。</li><li>• 更新防救災預報系統網 站。配合王光輝老師問 題。</li></ul>

圖 7.1-1 更新「參與人力」內容



圖 7.1-2 更新「工作項目」內容

2. 修改連結有誤的網頁，使之網頁內容能更加的正確性，如圖 7.1-3、7.1-4。



圖 7.1-3 修改水位相關連結

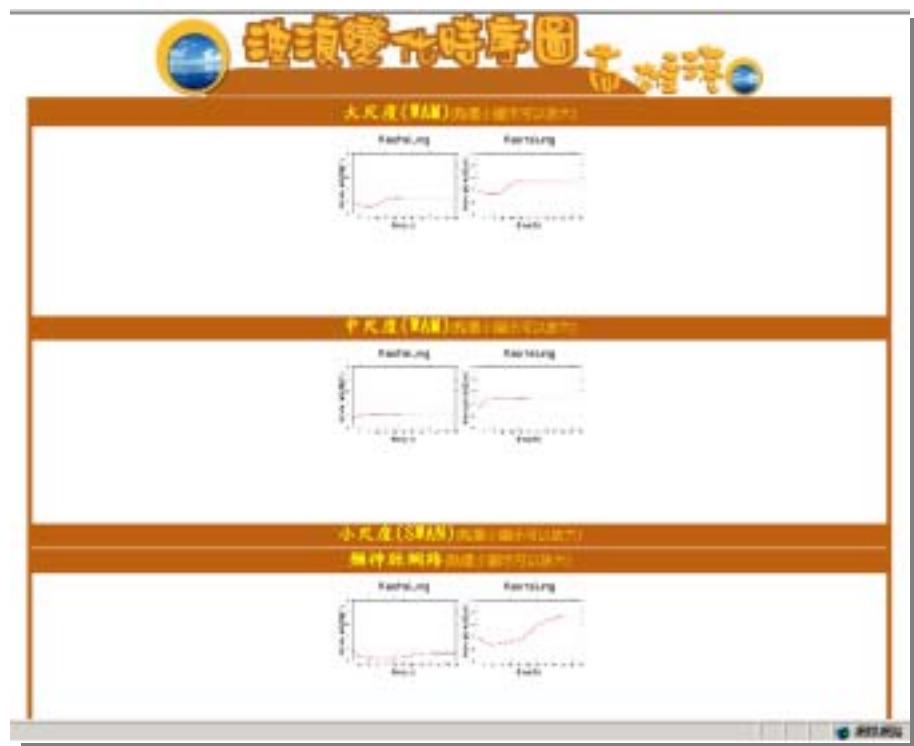


圖 7.1-4 修改典型波場內容連結設定

3. 以 CSS<sup>1</sup>做為網頁連結方法，不但可以立即呈現動態，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 7.1-5~7.1-9。

<sup>1</sup> 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 做出修改。增加了更多的樣式定義方式來輔助 HTML。



圖 7.1-5 以 CSS 做為網頁連結方法 - 觀測網站



圖 7.1-6 以 CSS 做為網頁連結方法 - 典型風場



圖 7.1-7 以 CSS 做為網頁連結方法 - 水位變化



圖 7.1-8 以 CSS 做為網頁連結方法 - 典型波場之波浪資料

西元1996年			
HERB (07-29 ~ 08-01)	風場資料	波浪資料	水位及波場
西元1998年			
ZEB (01-15 ~ 01-17)	風場資料	波浪資料	水位及波場
西元2001年			
CIMARON (05-10 ~ 05-14)	風場資料	波浪資料	水位及波場
CHEBI (06-20 ~ 06-24)	風場資料	波浪資料	水位及波場
TORAJI (07-27 ~ 07-31)	風場資料	波浪資料	水位及波場
LEKIMA (09-23 ~ 09-28)	風場資料	波浪資料	水位及波場
西元2003年			
VAMCO (08-19 ~ 08-20)	風場資料	波浪資料	水位及波場

圖 7.9 以 CSS 做為網頁連結方法 - 歷史颱風

4. 新增水位、波場之高雄港即時資料測站點，如圖 7.1-10。



圖 7.1-10 增加水位模式、波場模式之高雄港測點

5. 去除“限制右鍵”的功能，讓使用者可以下載圖示，如圖 7.1-11。

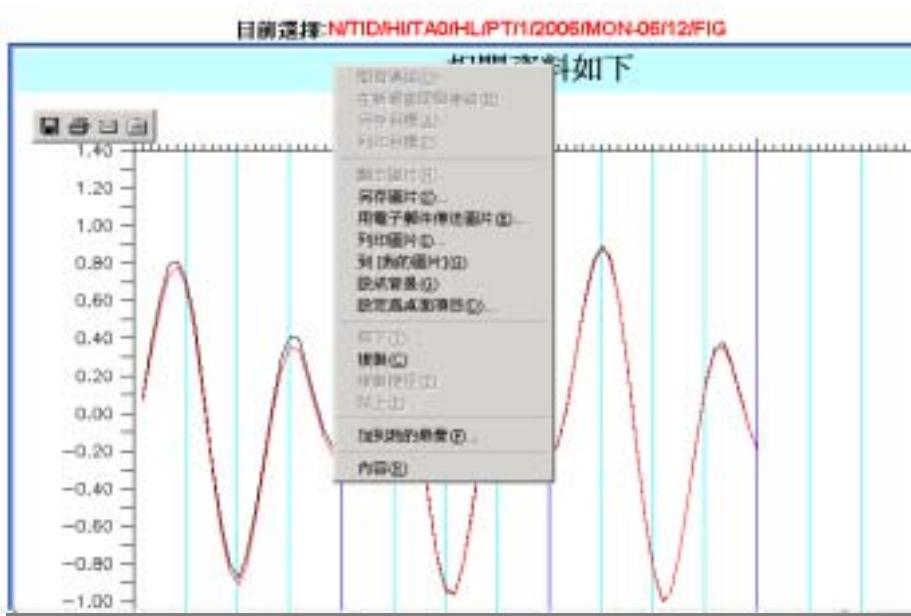


圖 7.1-11 去除“限制右鍵”的功能

6. 將歷史查詢內容中文化：由於先前檔案命名格式為英文，直接顯現在網頁上，使用者不易瞭解所選擇的項目所代表的意思。因而在不修改檔案命名前提下，而在 C 語言跟 PHP 轉換程式，直接將適當的中文選項呈現在網頁，如此一來增加網頁之可讀性，如圖 7.1-12~7.1-13。



圖 7.1-12 中文化波場歷史查詢介面



圖 7.1-13 中文化流場歷史查詢介面

7. 新增「類神經網路」颱風波高預報之項目，如圖 7.1-14~7.1-15。



圖 7.1-14 新增「類神經網路」颱風波高預報之項目

## KAEMI-蘇澳港-波高預報結果

- 圖中實線為實測路徑之預測值 虛線則為預測路徑之預測波高
- 圖中箭頭為實測路徑之發生時間結束點 也是強測路徑的開始點
- 圖的時間為台灣時間(UT+8:00)

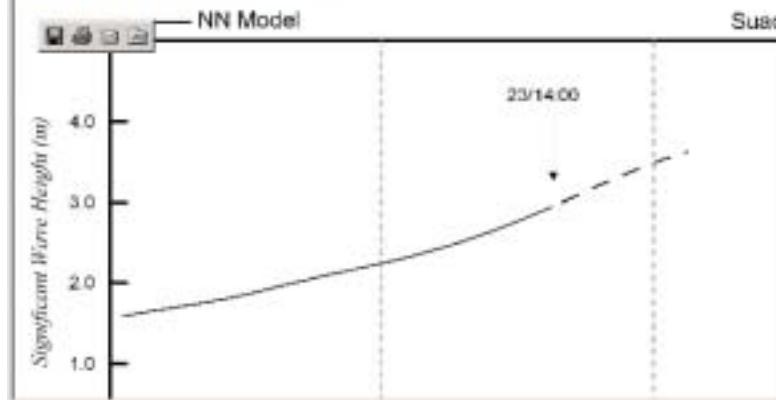


圖 7.1-15 「類神經網路」颱風波高預報之內容

8. 「即時波場」每一港口增加「港區波場」及「近岸波場」選項內容，如圖 7.1-16~7.1-17。



圖 7.1-16 即時波場 - 台中港增加了「港區波場」及「近岸波場」項目



圖 7.1-17 即時波場 - 基隆港增加了「港區波場」及「近岸波場」項目

9. 「即時流場」新加入「港區流場」及「近岸流場」選項內容，如圖 7.1-18。



圖 7.1-18 「即時流場」新加入「港區流場」及「近岸流場」選項

## 7.2 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 7.2-1 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。

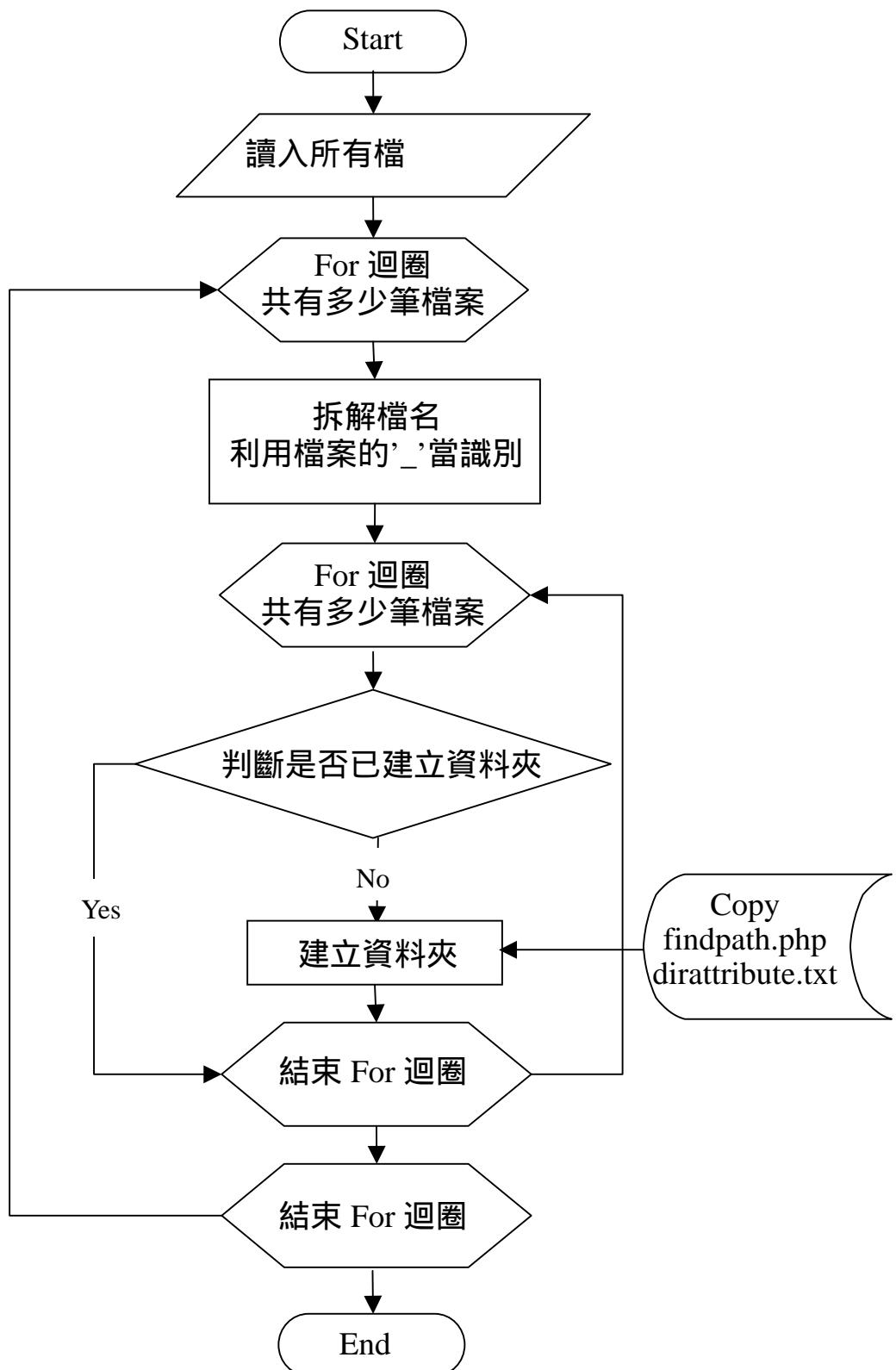


圖 7.2-1 C 語言程式處理流程

## 第八章 結論與建議

### 8.1 線上預報成果評估

第三季預報模式成果評估結果，各模式皆有一定程度的準確性，但是同樣遇到前兩季遇到的問題，就是實測資料的取得比數及取得的資料品質相當不穩定，特別是水位實測資料部分，而更糟糕的是第三季連波浪比對同樣遇到跟水位相同的問題，就是實測資料量變少，前兩季的波浪資料相當完整，但是本季卻出現了高雄港整季無實測資料，基隆港僅八月底有資料，而其餘港區則在 6、7 月缺乏資料，只有台中港整季有完整的資料，此情形發生對模式比對會產生相當的困難。在四個颱風的比對結果，最大的問題一樣是實測資料的不足，導致無法進行更仔細的比對，無法對於預報時的準確性做評估，這是未來仍須與港研中心討論的地方，有賴港研中心協助解決。

### 8.2 波浪推算檢討

為瞭解波浪推算中網格所使用的水深對波浪推算結果的影響，除了參考 NWW3、WAM 及 SWAN 的習慣用法，即以節點的水深作為網格代表水深外，本研究還嘗試以網格平均水深做為代表水深，而當網格內包含有陸域及水域時，則以其所佔之比例多寡採用陸域平均高程或水域平均水深為代表值。由結果顯示，波浪推算或其他相關利用有限差分方法的數值模式中，均以網格平均水深做為代表水深較能符合數值方法的定義，且水深也較具有代表性。

在 SWAN 中域波浪推算中，其初始波場可以承接上一個計算時刻的 SWAN 推算波場，但是與 WAM 大域波浪推算的連接則不論是以巢狀非定常聯結或是定常連結，WAM 的推算波浪都只是以 SWAN 的計算邊界節點之對應波譜或代表波，傳遞波浪推算。因此，對於 SWAN 的波浪推算其所依據的資料有：前一時刻的 SWAN 推算波場，該時刻

的風場，以及該時刻的大域波浪邊界值。在此一情形下，即使是大域的颱風波浪也僅是藉由 SWAN 的計算邊界值來顯示其特性，此種處理方式使得再大的邊界波浪值，其影響性也會在幾個計算時間步驟之間完全消失，而仍由風場來主導整個波場的推算。為瞭解不同計算範圍大小對波浪推算的影響，本年度使用不同大小的計算範圍進行定常狀態下的波場推算模擬，其中可看到由於計算範圍的決定同時也影響到輸入的邊界條件波浪值，而導致不同的波場推算結果。在不同時間的測試當中，此種差異情形在颱風侵襲期間更是明顯。為了能更完整地獲得完整的颱風波場能量，計算範圍可能需要擴大到可以容納會影響台灣附近水域波浪的颱風位置。

在 TAICOMS 系統中，WAM 大域波浪推算係採用非定常狀態的模擬，而 SWAN 中域波浪推算模式則以定常狀態模擬。為瞭解 SWAN 推算中，定常與非定常模擬所可能造成的影響，本年度針對 SWAN 模式中可選用的定常、類定常(非定常但 1 次迭代，為 SWAN 的預設值)及非定常(不限迭代次數)等方式進行相關的模擬，以探討迭代次數對波浪推算結果影響。由 WAM+SWAN 波浪推算結果，顯示非定常不限迭代次數的結果，有較為合理的分佈

目前所使用的 TAICOMS 模式中，SWAN 係以每間隔 6 小時的方式進行與 WAM 的聯結及定常計算。雖然，受限於波浪預報作業時間要求，SWAN 的中域波浪推算無法以非定常狀態的方式進行模擬，但在未來對於作業系統以及硬體方面的改善，則有可能縮短定常模擬的時間間隔。為瞭解推算時間間隔所可能造成的影響，本年度也分別進行 3 小時及 6 小時推算時間間隔的模擬。結果顯示 SWAN 中域波浪推算採用定常狀態的模擬，但由於初始波場的選定仍然會影響到波浪推算的結果，因此未來應儘可能縮短推算的時間間隔。但此一改善需要衡量波浪預報的作業時程要求，以及軟硬體與作業系統的選定與改善。必要時，可能需要從統計的觀點，觀察海氣象變化的速度，以決定最佳的推算時間間隔。

### 8.3 類神經推算成果

本年度類神經網路應用在季節風浪所推算之波浪相關性約在 0.8 以上，絕對誤差在 0.2 公尺左右，相對誤差 *bias* 皆在 0.1 公尺以下。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，未來將完成西部各港的模式建立，並可實際進行作業化之風浪推算。除了季節推算外，本年度也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，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，摘要模式以下修正內容：

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，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。如桑美颱風、碧利斯颱風最大波浪到達時間的誤差。
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，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。

### 8.4 擴散模式

擴散模式目前已建置完成，然河口溫鹽由於實測資料缺乏，河川流量資料密度也不夠多，因此僅能以理想性狀況的模擬，而淡水河口區域進行三維溫鹽模擬案例，結果合理。洩油軌跡模擬部分，已經台灣附近海岸線建置完畢，待中尺度（1 分解析度）台灣海域海流模式校驗完成後，便可利用其模擬結果輸入洩油軌跡模式進行洩油案例模擬。

## 8.5 近岸模式

本年度近岸區域數值模擬工作為修正相關數值模式模擬流程，以符合TaiCOMS線上預報模擬作業需求，並針對七大港口選取一或二港口進行模擬作業，故本計畫將先以安平港為研究對象，進行相關數值模擬討論，包含波浪及流場。在安平港區波浪模擬，本計畫選取珍珠(CHANCHU)侵台期間，以全域WAM模式預報之安平港波浪資料，分別模擬安平港港口及港內之波高分佈狀態，結果合理。

而在近岸潮流流場模擬工作則著重於建立各港口數值計算網格，以及模式之率定與驗証。本計畫目前規畫兩種水位邊界條件輸入方式：一為以安平港實測潮位記錄進行調和分析，並依據調和分析結果選取適當數量之主要分潮(如 $O_1$ 、 $P_1$ 、 $K_1$ 、 $N_2$ 、 $M_2$ 及 $S_2$ 等)，模擬潮汐變化作為模式之水位邊界條件；二為引用本計畫TaiCOMS全域模式水位模擬結果作為模式之水位邊界條件。針對前者本計畫選取成大水工試驗所(THL)於安平港內潮位站之實測潮位記錄，進行調和分析，並依調和分析結果選取 $O_1$ 、 $P_1$ 、 $K_1$ 、 $N_2$ 、 $M_2$ 及 $S_2$ 等主要分潮進行數值模擬。比較安平港內潮位記錄(THL)及安平港外海海象觀測站潮位記錄(IHMT)，顯示兩組資料相當一致，因此本計畫以安平港內潮位記錄(THL)作為安平港近岸海域潮流模擬之依據。第二種方法由於受到全域模式數值網格解析度之限制，本計畫僅能針對全域模式選取鄰近安平港近岸潮流模式數值網格邊界之點位(E120.0, N23.0)及(E120.1, N22.8)，輸出模式模擬之水位資料作為安平港近岸潮流數值模擬之邊界條件。比較安平港潮汐觀測記錄與本計畫TaiCOMS全域水位模式模擬結果，顯示模式模擬之水位變化除了潮汐振幅略大於實測值外，相位變化大致上與實測相符。因此現階段本計畫採用第一種方法進行安平港近岸流場之模擬與驗証，得到結果合理。

## 8.6 波浪資料同化

本年度為使波浪預報結果更好，因此進行波浪資料同化的工作。

資料同化的目標雖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。由資料同化前後波浪現報的波高差值範例圖中可知，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。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(名)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。

本年度之工作成果如上所呈述，最後會更新預報網站並於年度結束將本年度成果移交港研中心。

## 參考文獻

1. Arakawa A. and Suarez M. J., 1983, Vertical differencing of the primitive equations in sigma coordinates. *Monthly Weather Review*, 111, 34-45.
2. Backhaus J. O., 1985, A three-dimensional model for the simulation of shelf sea dynamics. *Deutsche hyhrographische Zeitschrift*, 38, 165-187.
3. Bauer, E., S. Hasselmann and K. Hasselmann, 1992, Validation and Assimilation of Seaset Altimeter Wave Heights Using the WAM Wave Model, *J. Geophys. Res.*, 97, pp. 12671-12682.
4. Booij, N., 1981, Gravity waves on water with non-uniform depth and current, Department of Civil Engineering, Delft University of Technique, Delft, The Netherlands, Report No. 81-1.
5. Booij, N., IJ.G. Haagsma, L.H. Holthuijsen, A.T.M.M. Kieftenburg, R.C. Ris, A.J. van der Westhuyzen, M. Zijlema, 2004, *SWAN Cycle III version 40.41 USER MANUAL*, Delft University of Technology.
6. Booij, N., L.H. Holthuijsen and R.C. Ris , 1996, The SWAN Wave Model for Shallow Water, *Proceedings of 24th International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, Orlando, Vol. 1, pp. 668-676.
7. Bretschneider, C.L., 1952, The generation and decay of wind waves in deep water. *Transaction American Geophysical Unio*, Vol. 33, No. 3, 381-389.
8. Chen, Guan-Yu、Chiu, Yung-Fang, 2002, Building a Forecast System for Near-shore Disaster Prevention, Recovery, and Rescue in Taiwan—Plan of the Center of Harbor and Marine Technology, *Proceeding of Ocean Engineering Conference in Taiwan*, 24,pp105-110.
9. Cheng, R.T., V. Casulli and S.N. Milford, 1984, Eulerian-Lagrangian solution of the convection-dispersion equation in natural coordinates., *WRR*, 20(7), 944-952.
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. Cressman, G., 1959, An operational objective analysis system, *Monthly Weather Review*, 87, 367-374.
12. Darwin, G. H., 1907, The harmonic analysis of tidal observations in Scientific Papers, 1, Oceanic tides and lunar disturbances of gravity., Cambrige Univ. Press, London.
13. Deleersnijder E., Norro A. and Wolanski E., 1992, A three-dimensional model of the water circulation around an island in

- shallow water. *Continental Shelf Research*, 12, 891-906.
14. 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, No. 1, pp. 30-37.
  15. Deo, M.C., Jagdale, S.S., 2003, Prediction of breaking waves with neural networks. *Ocean Engineering*, Vol. 30, No. 9, pp. 1163-1178.
  16. Deo, M.C., Jha, A., Chaphekar, A.S., Ravikant, K., 2001, Neural networks for wave forecasting. *Ocean Engineering*, Vol. 28, No. 7, pp. 889-898.
  17. Deo, M.C., Kiran Kumar, N., 2000, Interpolation of wave heights. *Ocean Engineering*, Vol. 27, No. 9, pp. 907-919.
  18. Deo, M.C., Sridhar Naidu, C., 1999, Real time wave forecasting using neural networks. *Ocean Engineering*, Vol. 26, No. 3, 191-203.
  19. Desai, S. D., 1996, Ocean tides from TOPEX/POSEIDON altimetry with some geophysical applications. Ph. D. dissertation submitted to the department of Aerospace Engineering Sciences, University of Colorado, Boulder, CO.
  20. Desai, S. D., and Wahr, J., 1995, "Empirical ocean tide models estimated from TOPEX/POSEIDON altimetry." *J. Geophys. Res.*, 100(c12), 25205-25228.
  21. Doodson, A.T., 1921, The harmonic development of the tid-generating potential. *Proc. R. Soc. Lond. A.*, 100, 305-329.
  22. Evensen, G., 1992, Using the extended Kalman filter with a multi-layer quasi-geostrophic ocean model, *J. Geophys. Res.*, 97, 17905-17921.
  23. Flather, Roger A., 2000, Existing operational oceanography, *Coastal Engineering* 41, pp 13-40
  24. Foda, M. and R.G. Cox, 1980, The spreading of thin liquid films on a water-oil interface., *J. of Fluid Mech.*, 101, 33-55.
  25. Gandin, L.S., 1963, Objective Analysis of Meteorological Fields, Gidrometeoizdat, Leningrd, 242.
  26. Gerling, T.W., 1992, Partitioning sequences and arrays of directional ocean wave spectra into component wave systems, *J. Atm. Oc. Techn.*, 9, 444-458.
  27. Groves, G. W., and Reynolds, R. W., 1975, An orthogonalized convolution method of tide prediction. *J. Geophys. Res.*, 80, 4131-4138.
  28. Hajime, M., Sakamoto, M., and Sakai, T., 1995, Neural network for stability analysis of rubble-mound breakwaters. *J. of Waterway Port, Coastal and Ocean Eng.*, ASCE, 97, 139-154.
  29. Han, G. R. Hendry and Ikeda, M., 2000, Assimilating TOPEX/POSEIDON derived tides in a primitive equation model over

- the Newfoundland Shelf. *Cont. Shelf Res.*, 20, 83-108.
30. Hasselmann, K., S. Hasselmann, E. Bauer, C. Brüning, S. Lehner, H.C. Gruber and P. Lionello, 1988, Development of a Satellite SAR Image Spectra and Altimeter Wave Height Data Assimilation System for ERS-1, Final Report ESA Study Contract No. 6875/87/HGE-I(SC), Max-Planck-Institut für Meteorologie, Report No. 19, 155.
31. Hasselmann, S., C. Brüning and P. Lionello, 1994, Towards a generalized optimal interpolation method for the assimilation of ERS-1 SAR retrieved wave spectra in a wave model, *Proc. 2<sup>nd</sup> ERS-1 Symp.*, ESA SP-361, 21-25.
32. Hasselmann, S., P. Lionello and K. Hasselmann, 1997, An Optimal Interpolation Scheme for the Assimilation of Spectral Wave Data, *J. Geophys. Res.*, 102, 15823-15836.
33. Hedges, T. S., 1976, An empirical modification to linear wave theory, *Proc. Inst. Civ. Eng.*, 61, pp. 575-579.
34. Hiraoka, T., H. Maeda and N. Ikoma, 1999, Two-stage prediction method of typhoon position by fuzzy modeling-fusion of outline prediction and detailed prediction systems, Proceedings of IEEE SMC '99 Conference on Man, and Cybernetics, Vol. 6, pp. 581 -585.
35. Holland, G.J., 1980, An Analytical Model of the Wind and Pressure Profiles in Hurricanes, *Monthly Weather Review*, No. 108, pp. 1212-1218.
36. Holthuijsen, L.H., N. Booij, R.C. Ris, J.H. Andorka Gal and J.C.M. de Jong, 1997, A Verification of the Third-Generation Wave Model SWAN along the Southern North Sea Coast, *Proceedings 3rd International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis*, WAVES'97, ASCE, pp. 49-63.
37. Hopfield, J.J., and Tank, D., 1985, Neural computation of decision in optimization problems. *Biological Cybernetics*, Vol. 51, pp. 141-152.
38. Hsu, T. W. and Wen C. C., 2001, A parabolic equation extended to account for rapidly varying topography, *Ocean Engineering*, Vol. 28, pp. 1479-1498.
39. 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.
40. Janssen, Peter, 1995, The wave model, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
41. Janssen, P.A.E.M., P. Lionello, M. Reistad and A. Hollingsworth, 1989, Hindcasts and data assimilation studies with the WAM model during the Seasat period, *J. Geophys. Res.*, 94, 973-993.
42. Jeffreys, H., 1924, On the formation of water waves by wind. *Proceedings of Royal Society of London Series A*, Vol. 107, pp.

- 189-206.
- 43.Jeffreys, H., 1925, On the formation of water waves by wind . Proceedings of Royal Society of London Series A, Vol. 110, pp. 341-347.
- 44.Johnson, G.P. and F.C. Lin, 1996, Hurricane tracking via backpropagation neural network, Proceedings of 1996 IEEE International Conference on Neural Networks, Vol. 2, pp. 1103-1106.
- 45.Kalman, R.E, 1960, A new approach to linear filtering and prediction problems, *Trans. ASME J. Basic Eng.*, 82, 35-45.
- 46.Kashiyama, K. and Okada T., 1992, Automatic mesh generation method for shallow water flow analysis, *International Journal Numerical Methods Fluid*, Vol. 15, pp. 1037-1057.
- 47.Kirby, J. T., 1986, Higher-order approximations in the parabolic equation method for water waves, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 91, No. C1, pp. 933-952.
- 48.Kirby, J. T. and Dalrymple R. A., 1983, The propagation of weakly nonlinear waves in the presence of varying depth and currents, *Proc. 20<sup>th</sup> Congress I.A.H.R.*, Moscow.
- 49.Kirby, J. T. and Dalrymple R. A., 1991, *User's manual, combined refraction/diffraction model*, Center for Applied Coastal Research, Department of Civil Engineering, University of Delaware, Newark, De 19716, REF/DIF 1, version 2.3.
- 50.Komen, G.J., 1985, Introduction to Wave Models and Assimilation of Satellite Data in Wave Models, In: The Use of Satellite Data in Climate Models, *Proc. Alpbach Conference, ESA Pub., ESA SP*, 244, 21-26.
- 51.Komen, G. J., L. Cavaleri, M. Donelan, K. Hasselmann, S. Hasselmann and P.A.E.M. Janssen, 1996, Dynamics and modeling of ocean waves, Cambridge University Press.
- 52.Kumar, A., and Minocha, V. K., 2001, A Discussion on Back-propagation Neural Network in Tidal-level Forecasting, by Tsai, C.P., and Lee, T.L., *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, vol. 127, pp. 54-55.
- 53.Le Provost, C., Lyard, F., Molines, J., M. Genco, M. L., and Rabilloud, F., 1998, A hydrodynamic ocean tide model improved by assimilating a satellite altimeter-derived data set. *J. Geophys. Res.*, 103(C3), 5513-5529.
- 54.Lee, R. S. T., and Liu, J. N. K., 1999, An elastic graph dynamic link model for tropical cyclone pattern recognition, Proc. of the 6th Int. Conf. on Neural Information, ICONIP'99, 1, 177-182.
- 55.Lee, T.L., and D.S. Jeng, 2002. Application of artificial neural networks in tide forecasting, *Ocean Engineering*, Vol. 29, pp. 1003-1022.

56. Lionello, P., H. Günther and P.A.E.M. Janssen, 1992, Assimilation of Altimeter Data in a Global Third Generation Wave Model, *J. Geophys. Res.*, 97, 14253-14474.
57. Lionello, P., H. Günther and B. Hansen, 1995, A Sequential Assimilation Scheme Applied to Global Wave Analysis and Prediction, *J. Mar. Syst.*, 6, 87-107.
58. Luyten P. J., 1996. An analytical and numerical study of surface and bottom boundary layer with variable forcing and application to the North Sea, *Journal of Marine Systems*, 8, 171-189.
59. Matsumoto, K., Takanezawa, T., and Ooe, M., 2000, Ocean tide model developed by assimilating TOPEX/POSEIDON altimetry Data into hydrodynamical model: A global and a regional model around Japan. *Journal of Oceanography*, 56, 567-581.
60. Mandal S., 2001, A Discussion on Back-propagation Neural Network in Tidal-level Forecasting, by Tsai, C.P., and Lee, T.L., *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, vol. 127, pp. 54-55.
61. Medina, J.R., 2001, A Discussion on Back-propagation Neural Network in Tidal-level Forecasting, by Tsai, C.P., and Lee, T.L., *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, vol. 127, pp. 55-57.
62. Miles, J.W., 1957, On the generation of surface waves by shear flows. *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 3, pp. 185-204.
63. Miles, J.W., 1960, On the generation of surface waves by turbulent shear flows. *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 7, pp. 469-478.
64. Munk, W. H., and Cartwright, D. E., 1996, Tidal spectroscopy and prediction. *Philos. Trans. R. Soc. Landon, Ser. A.*, 259, 533-581.
65. Nelson, M., Hill, T., Remus, W., and O'Connor, M., 1999, Time series forecasting using neural networks: should the data be deseasonalized first?, *Journal of Forecasting*, Vol. 18, pp. 359-367.
66. Oman, G.J. and M. Sydor, 1981, Plume Development Using a Lagrangian Marker Method, *Journal of the Waterway Port Coastal and Ocean Division*, Vol. 107, No. 3, August 1981, pp. 131-148.
67. Ou., S.H., J.M. Liau, T.W. Hsu and S.Y. Tzang, 2002, Simulating Typhoon Waves by SWAN wave model in Coastal Waters of Taiwan, *Ocean Engineering*, Vol. 29, pp. 947-971.
68. Panofsky, R.A., 1949, Objective weather-map analysis, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 6, 386-392.
69. Phillips, O.M., 1957, On the generation of waves by turbulent wind. *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 2, pp. 417-445.
70. Prandle, David, 2000, Introduction Operational oceanography in coastal waters, *Coastal Engineering*, 41, pp 3-12.
71. Prandle, David, 2000, Operational oceanography---a view ahead, *Coastal Engineering*, 41, pp 353-359.

72. Ray, R. D., 1998, Spectral analysis of highly aliased sea-level signals, *J. Geophys. Res.*, 103(C11), 24991-25003.
73. Roache, R.J., 1972, Computational Fluid Dynamics. Hermosa Publishers, Albuquerque, N.M
74. Smith S. D. and Banke E. G., 1975. Variation of the sea surface drag coefficient with windspeed, *Quarterly Journal Meteorological Society*, 101, 665-673.
75. Sverdrup, H.U., W.H. Munk, 1947, Wind, sea and swell : theory of relation for forecasting. U.S. Navy Hydrographic Office Publication No. 601, pp. 44
76. Thomas, J.P., 1988, Retrieval of Energy Spectra from Measured Data for Assimilation into a Wave Model, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 114, 781-800.
77. Tsai, C.P., and Lee, T.L., 1999, Back-Propagation Neural Network in Tidal-Level Forecasting, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, vol. 125, pp. 195-202.
78. Voorrips, A.C., A.W. Heemink and G.J. Koman, 1999, Wave data assimilation with the Kalman filter, *Journal of Marine System*, 19, 267-291.
79. Voorrips, A.C., C. de Valk, 1997, A comparison of two operational wave assimilation method, KNMI Preprint 97-06, Subm. to The Global Atmosphere Ocean System, 1-46.
80. WAMDI Group, 1988, The WAM Model – A Third Generation Ocean Wave Prediction Model, *Journal of Physical Oceanography*, Vol. 18, pp. 1775-1810.
81. 井島武士, 1972, 台中港設計波浪計算報告書, 日本港灣顧問公司。
82. 交通部運輸研究所港研中心, 1996, 花蓮港整體規劃及未來發展計畫, 花蓮港務局委託, 港灣技術研究所委託研究計畫期末報告。
83. 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。
84. 李汴軍, 1997, 中央氣象局第二代波譜模式特性探討, 中華民國第十九屆海洋工程研討會論文集, 80-84 頁。
85. 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。
86. 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。
87. 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。

88. 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。
89. 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。
90. 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。
91. 林炤圭，2005，花蓮港港池共振機制研究(1/4)，交通部運輸研究所 94 年度研究計畫報告。
92. 侯和雄、劉正宗，1982，台灣海峽風浪特性之研究，第六屆海洋工程研討會論文集，第 8-1~8-17 頁。
93. 陳亞嵐，2004，近岸風浪推算資料同化之研究，成功大學水利及海洋工程系。
94. 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。
95. 張憲國、曾彥吉吉，2001，輸入天文潮汐改善類神經網路的潮汐預報能力之研究，第二十三屆海洋工程研討會論文集，97 頁-104 頁。
96. 張憲國、黃金維，2001，以 NAO99b 潮汐模式預測台灣西岸潮汐之評估"，第二十三屆海洋工程研討會論文集，105 頁-111 頁。
97. 蔡丁貴、莊文傑、蘇清和，2002，近海災害防救系統構想。第 24 屆海洋工程研討會專題講座論文集，43-54 頁。
98. 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。
99. 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。
100. 劉文俊，1996，台灣的潮汐"，文英出版社。
101. 鄭明典，"數值天氣預報近期的發展趨勢"，物理雙月刊，第 23 卷第 3 期，2001 年 6 月，pp.422~427。
102. 廖建明，2001，近岸風浪模式之研究，國立成功大學水利及海洋工程研究所博士論文。
103. 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。
104. 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，台中，第二十四屆海洋工程研討會論文集，第 469-476 頁。

105. 錢維安、張憲國、何良勝，2000，類神經網路在推算颱風波浪之研究，第二十二屆海洋工程研討會論文集，高雄，第 132-138 頁。
106. 錢維安、張憲國、何良勝，2001，神經-模糊網路在推算颱風波浪之應用，第二十三屆海洋工程研討會論文集，台南，第 429-436 頁。
107. 錢維安、張憲國、何良勝，2002，神經-模糊網路在推算颱風波浪之應用( )，第二十二屆海洋工程研討會論文集，台中，第 461-468 頁。
108. 謝榮哲，2000，類神經網路在長時期潮汐預報之應用，國立中興大學土木工程研究所碩士論文。

## 附錄 A 95 年海象即時預報與現場觀測資料比較圖

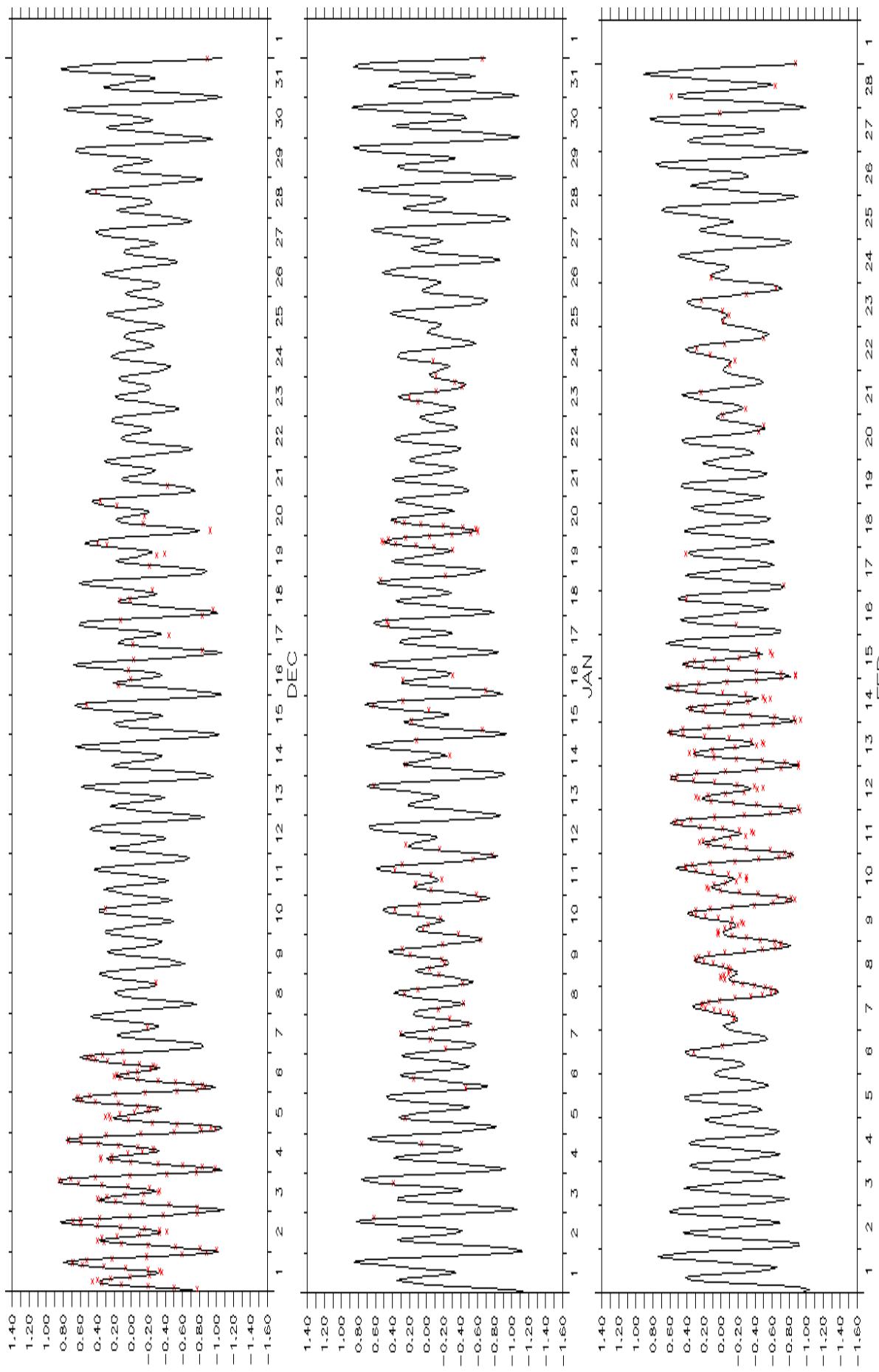
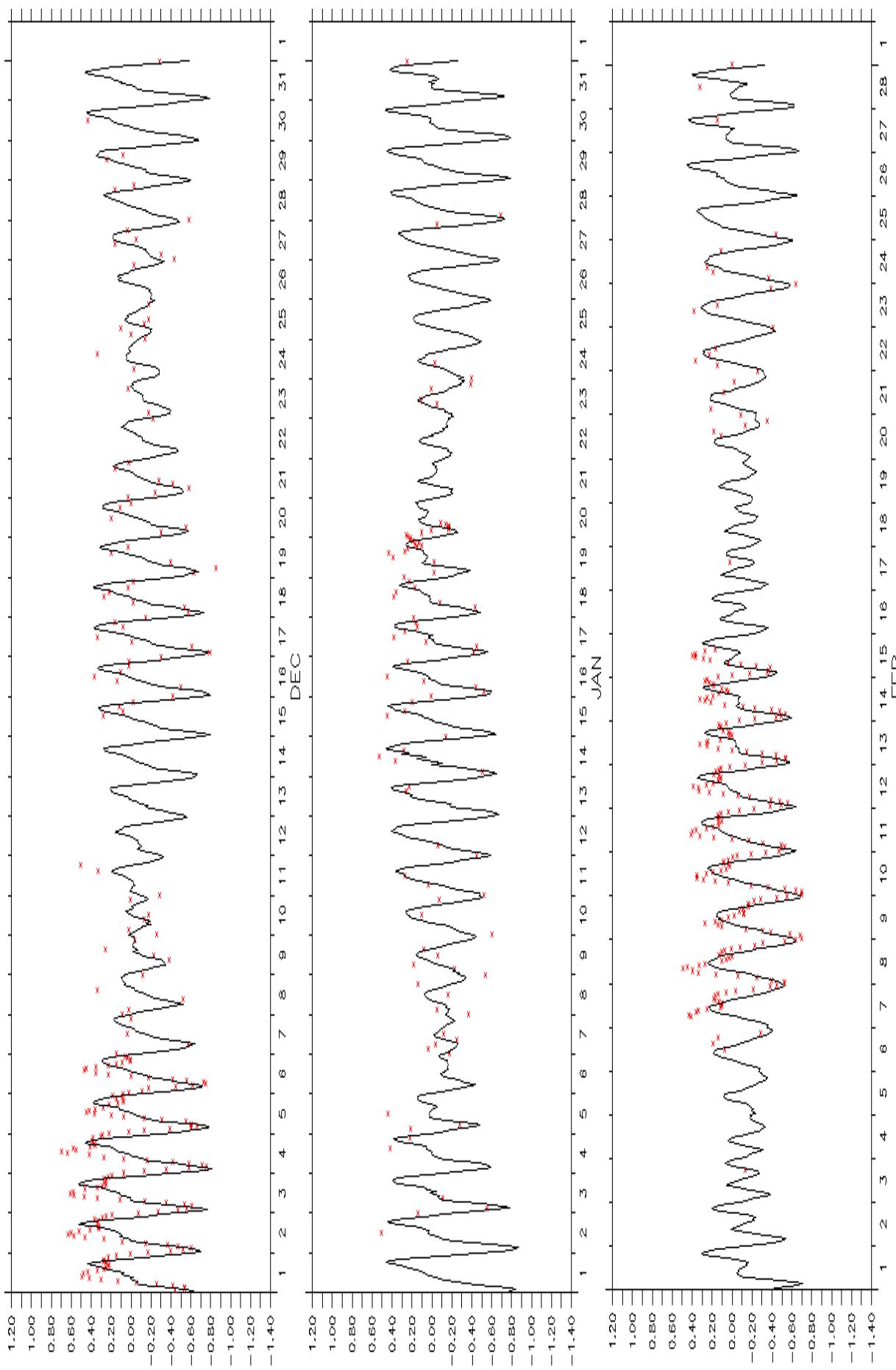
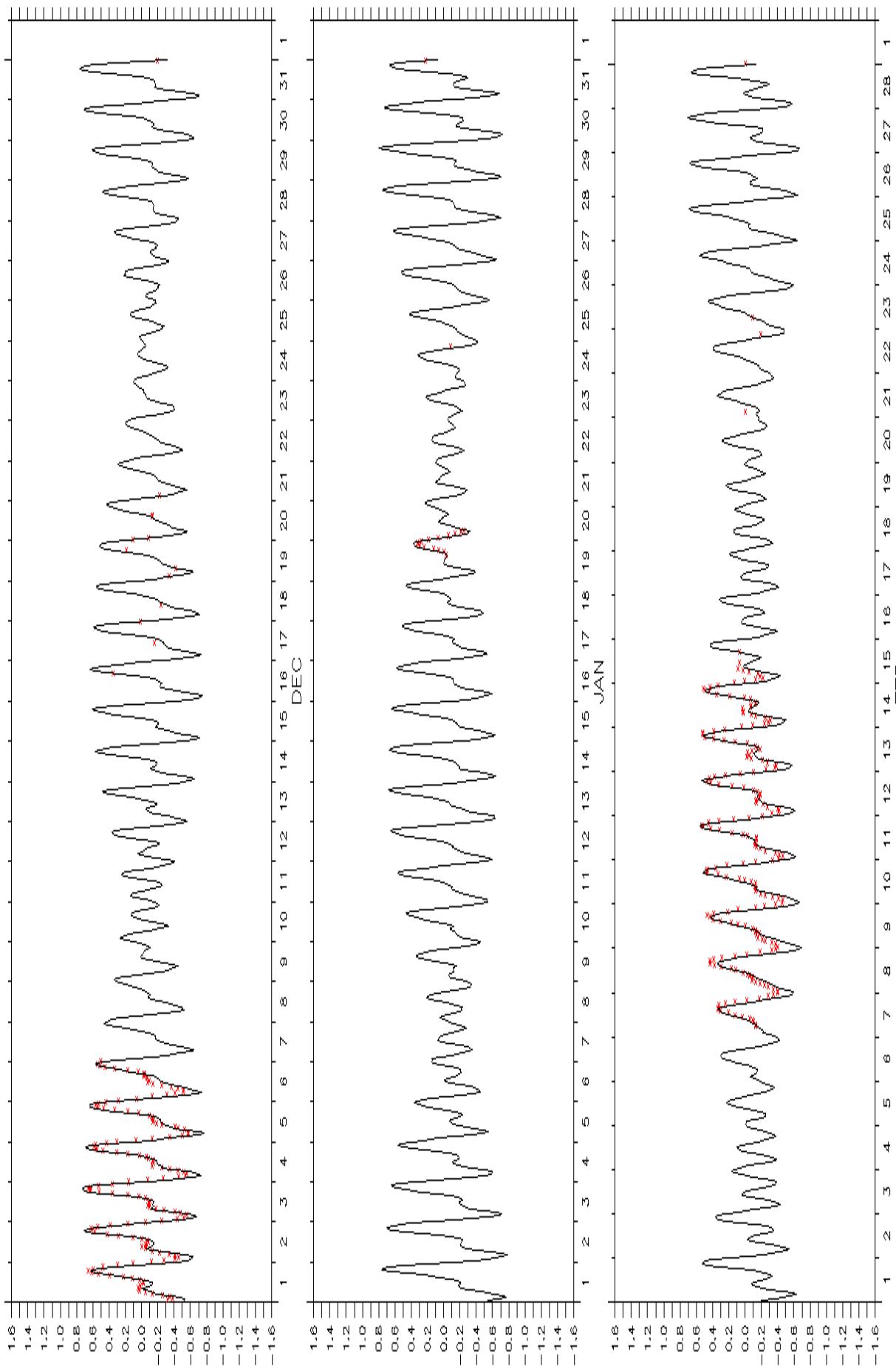


圖 A.1.1 花蓮港 2005 年 12 月至 2006 年 2 月水位比對結果



△ 2

圖 A.1.2 基隆港 2005 年 12 月至 2006 年 2 月水位比對結果



A-3

圖 A.1.3 高雄港 2005 年 12 月至 2006 年 2 月水位比對結果

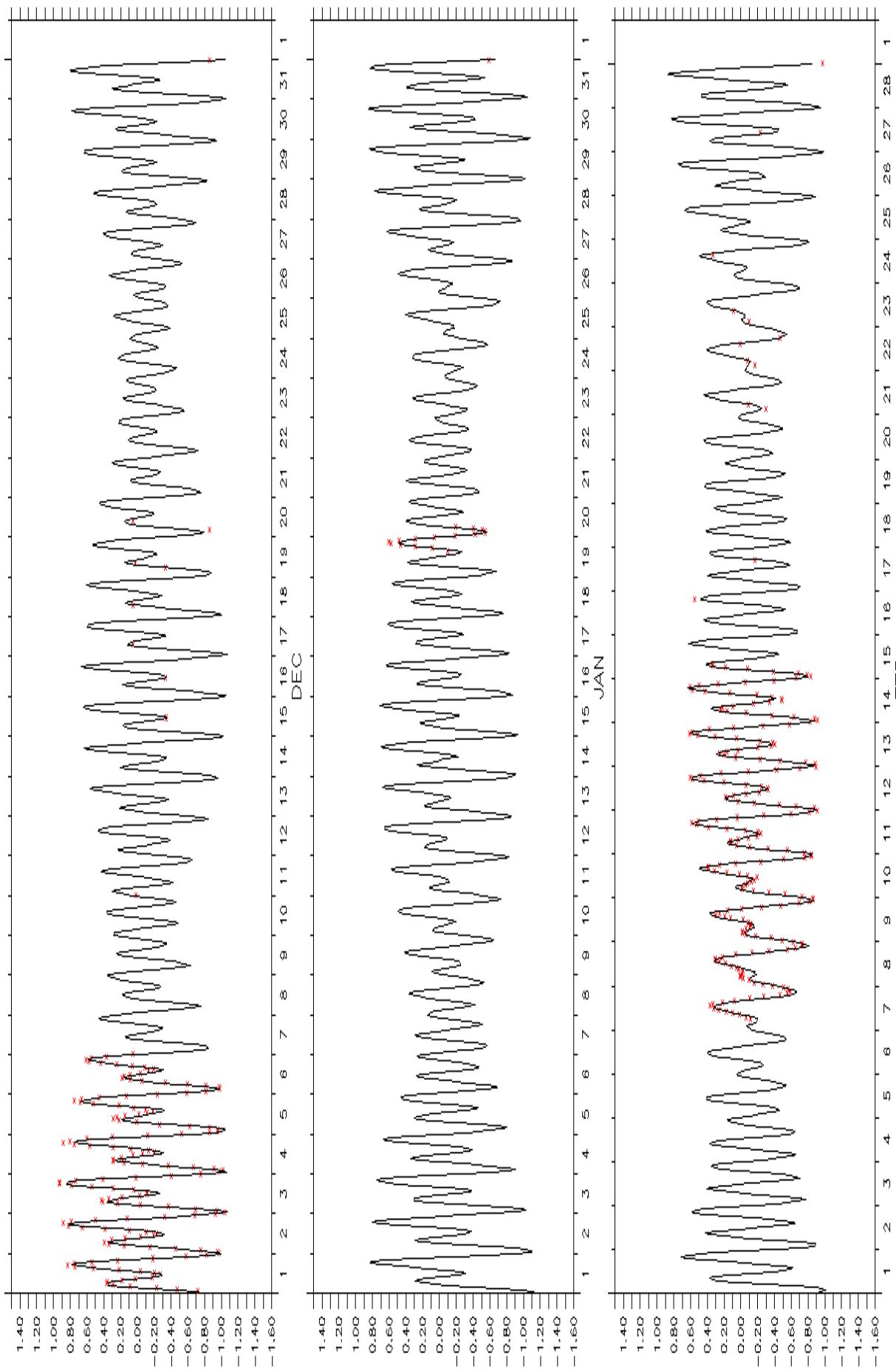


圖 A.1.4 蘇澳港 2005 年 12 月至 2006 年 2 月水位比對結果

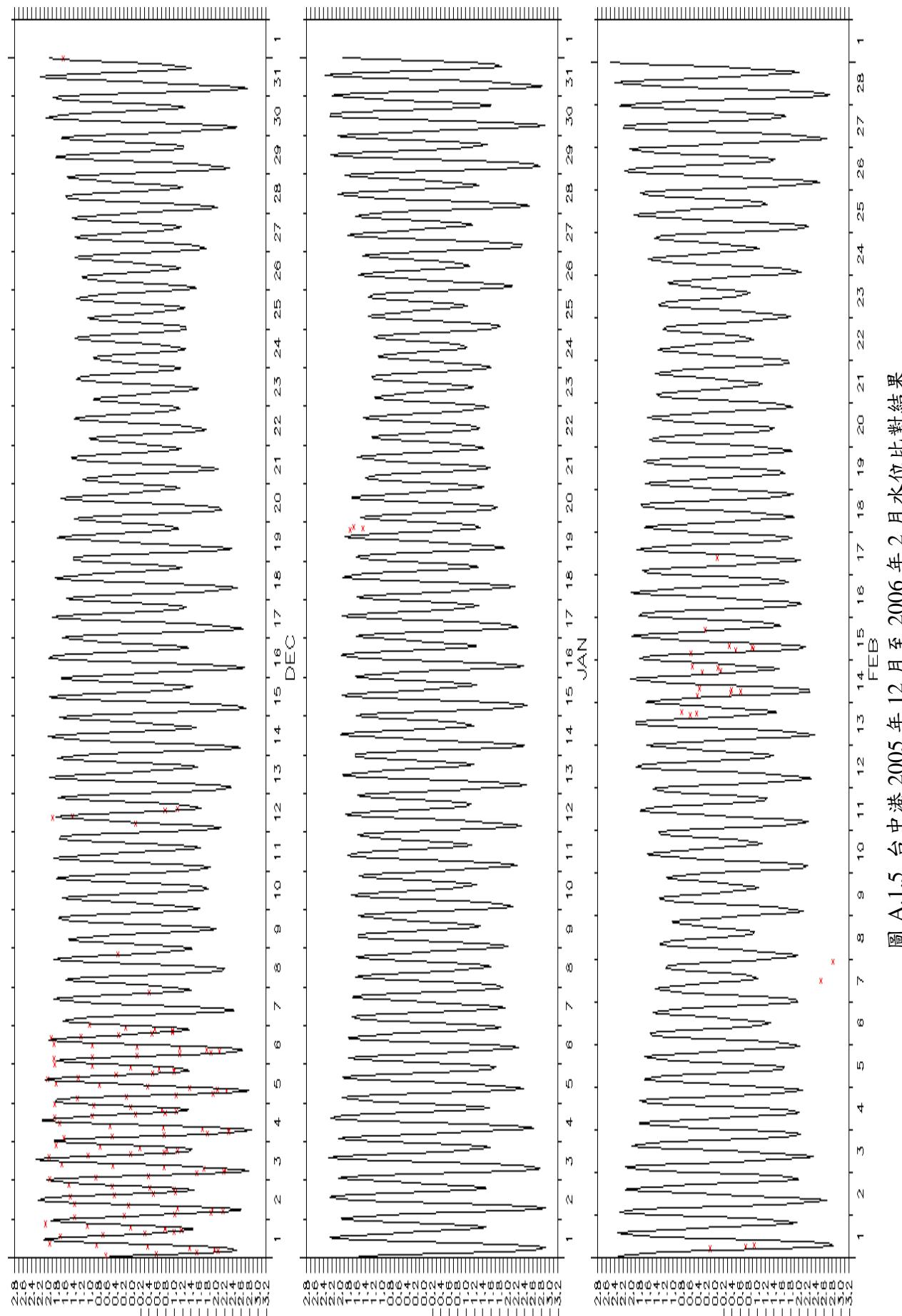


圖 A.1.5 台中港 2005 年 12 月至 2006 年 2 月水位比對結果

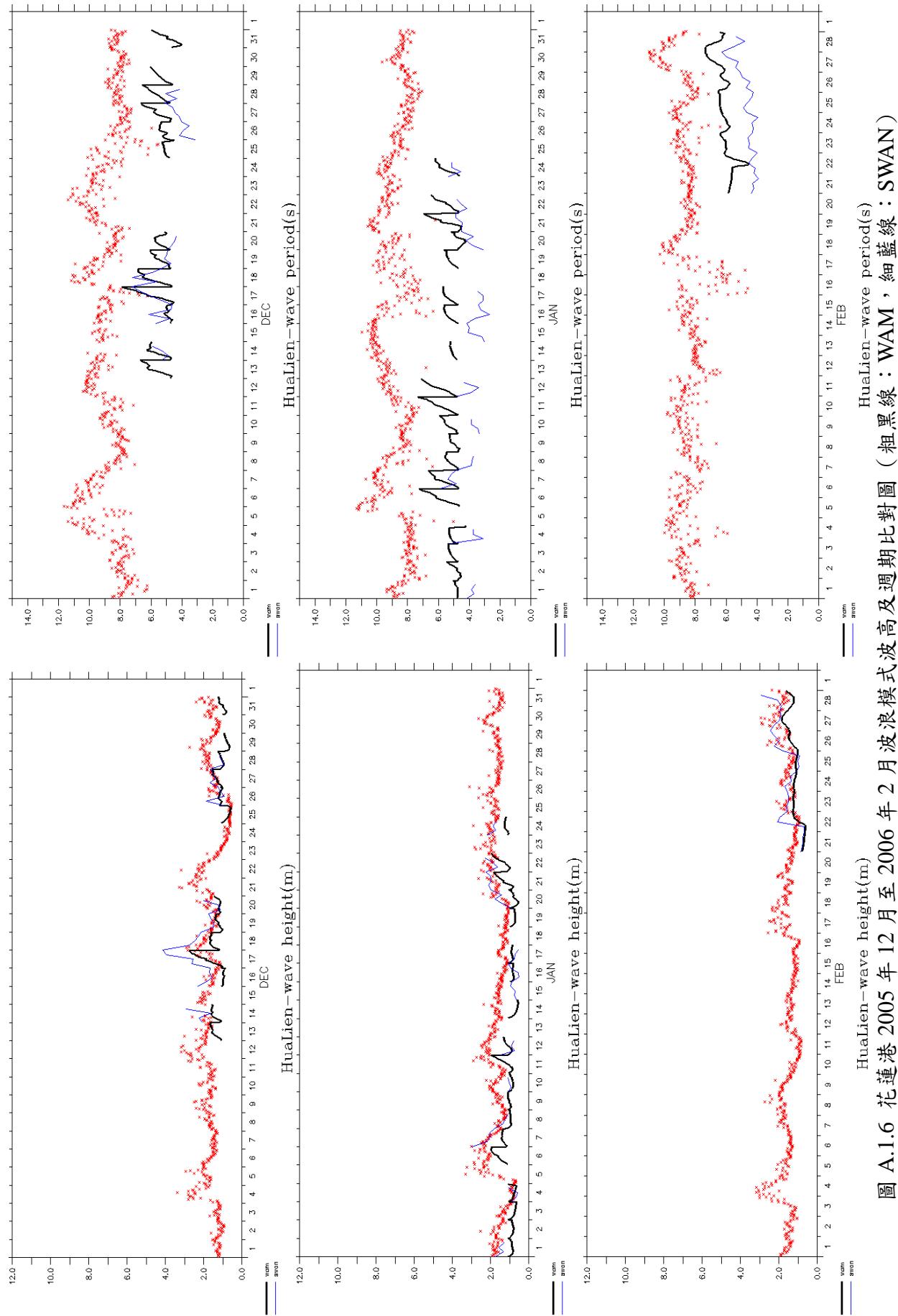


圖 A.1.6 花蓮港 2005 年 12 月至 2006 年 2 月波浪模式波高及週期比對圖 (粗黑線 : WAM, 細藍線 : SWAN)

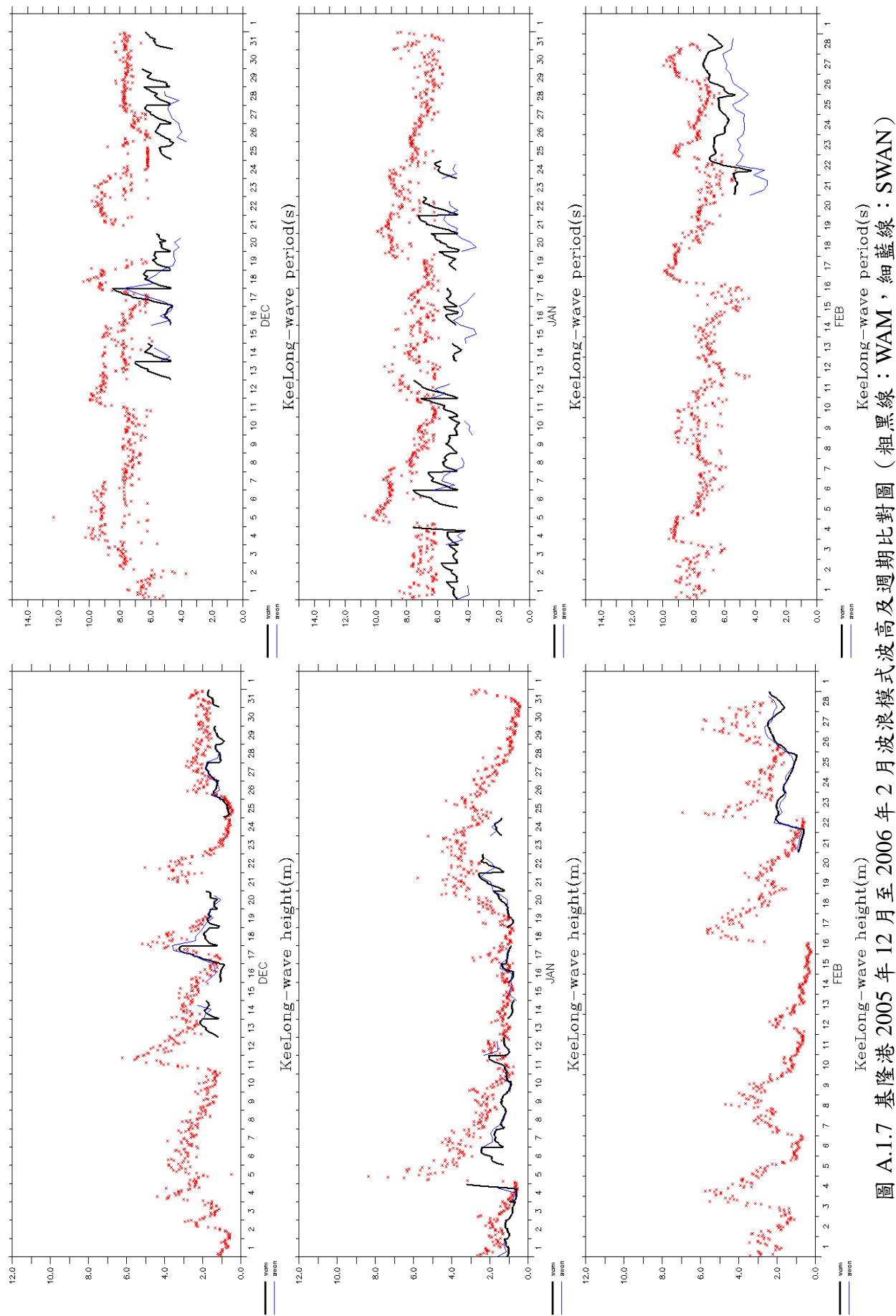


圖 A.1.7 基隆港 2005 年 12 月至 2006 年 2 月波浪模式波高及週期比對圖 (粗黑線 : WAM, 細藍線 : SWAN)

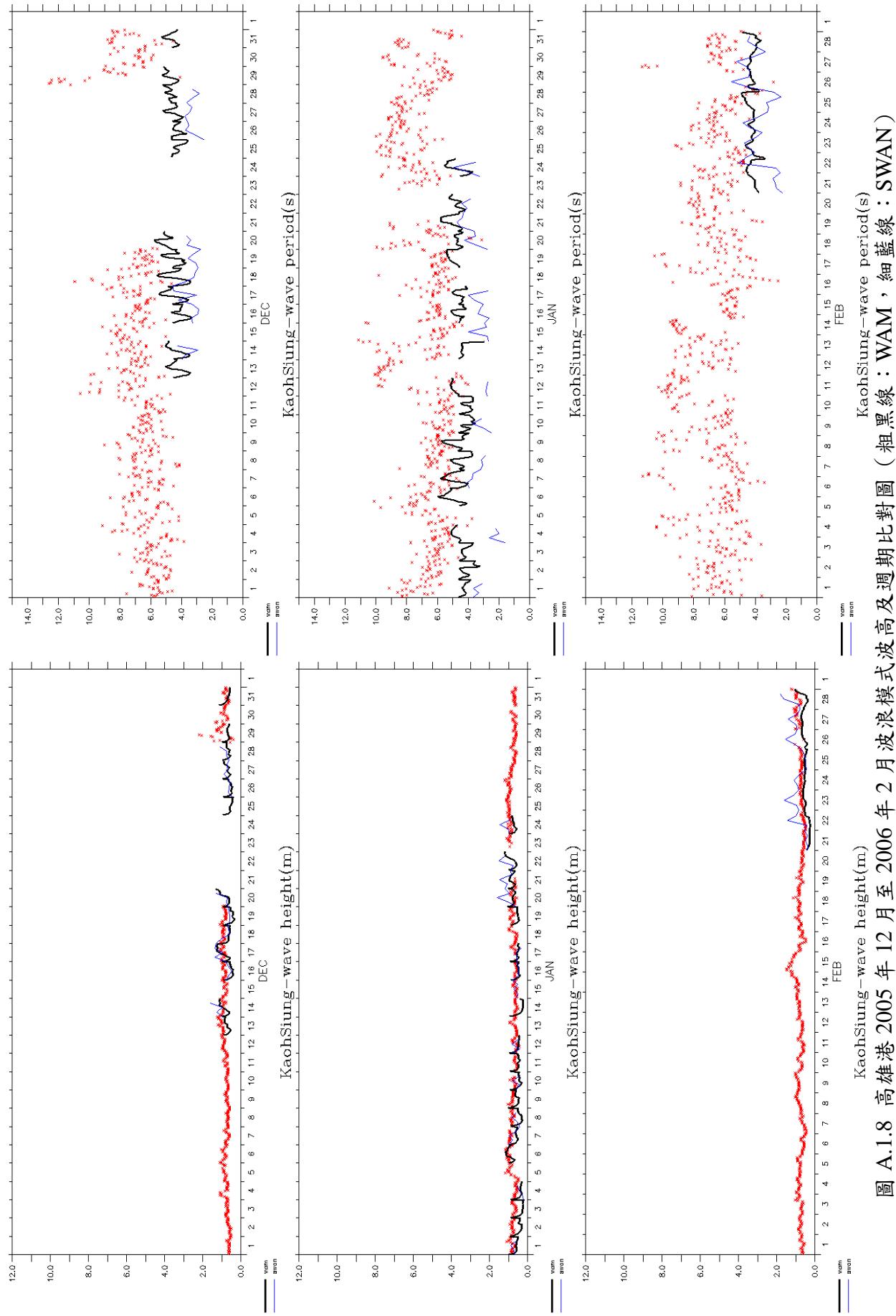


圖 A.1.8 高雄港 2005 年 12 月至 2006 年 2 月波浪模式波高及週期比對圖 (粗黑線 : WAM, 細藍線 : SWAN)

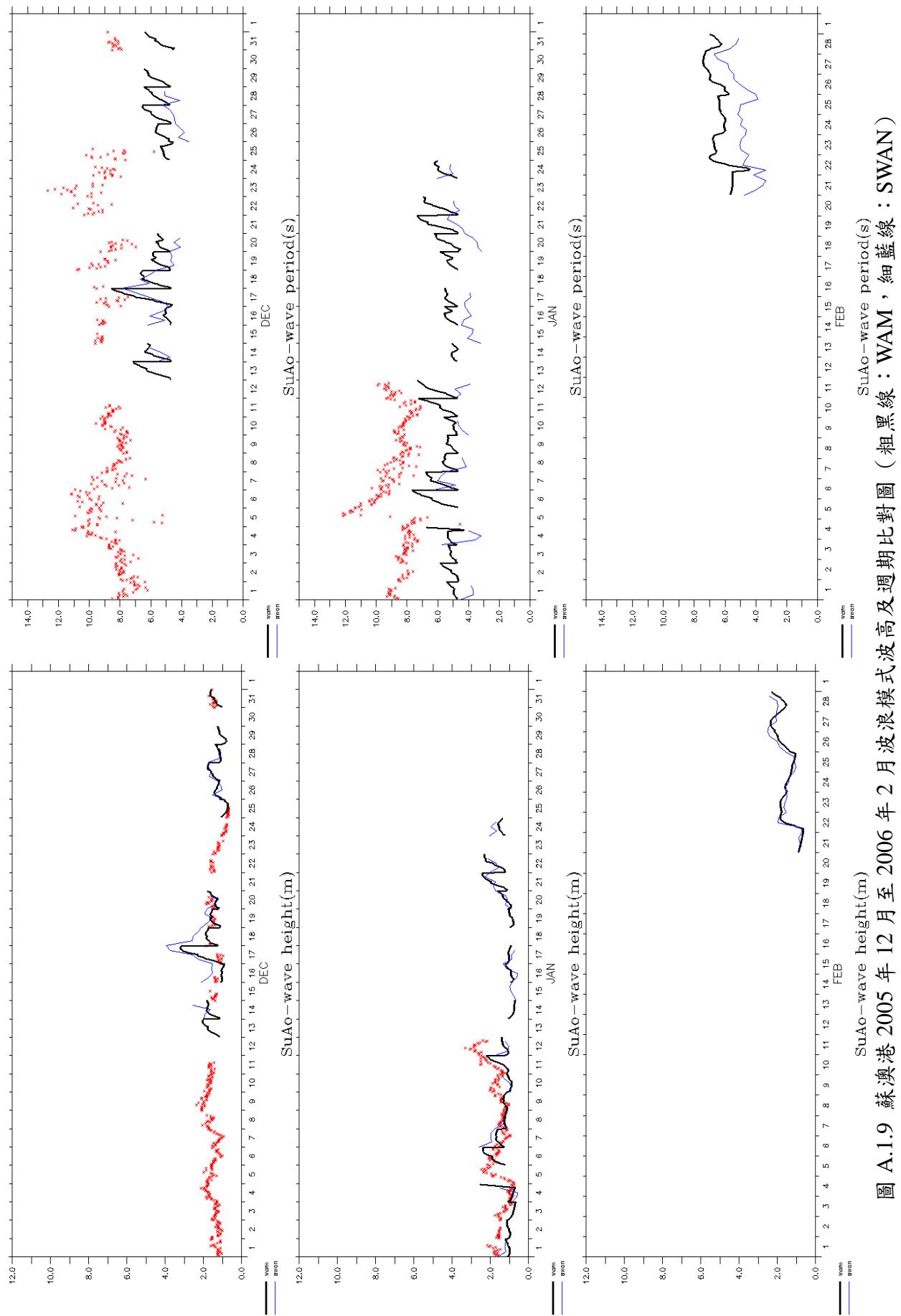


圖 A.1.9 蘇澳港 2005 年 12 月至 2006 年 2 月波浪模式波高及週期比對圖 (粗黑線 : WAM, 細藍線 : SWAN)

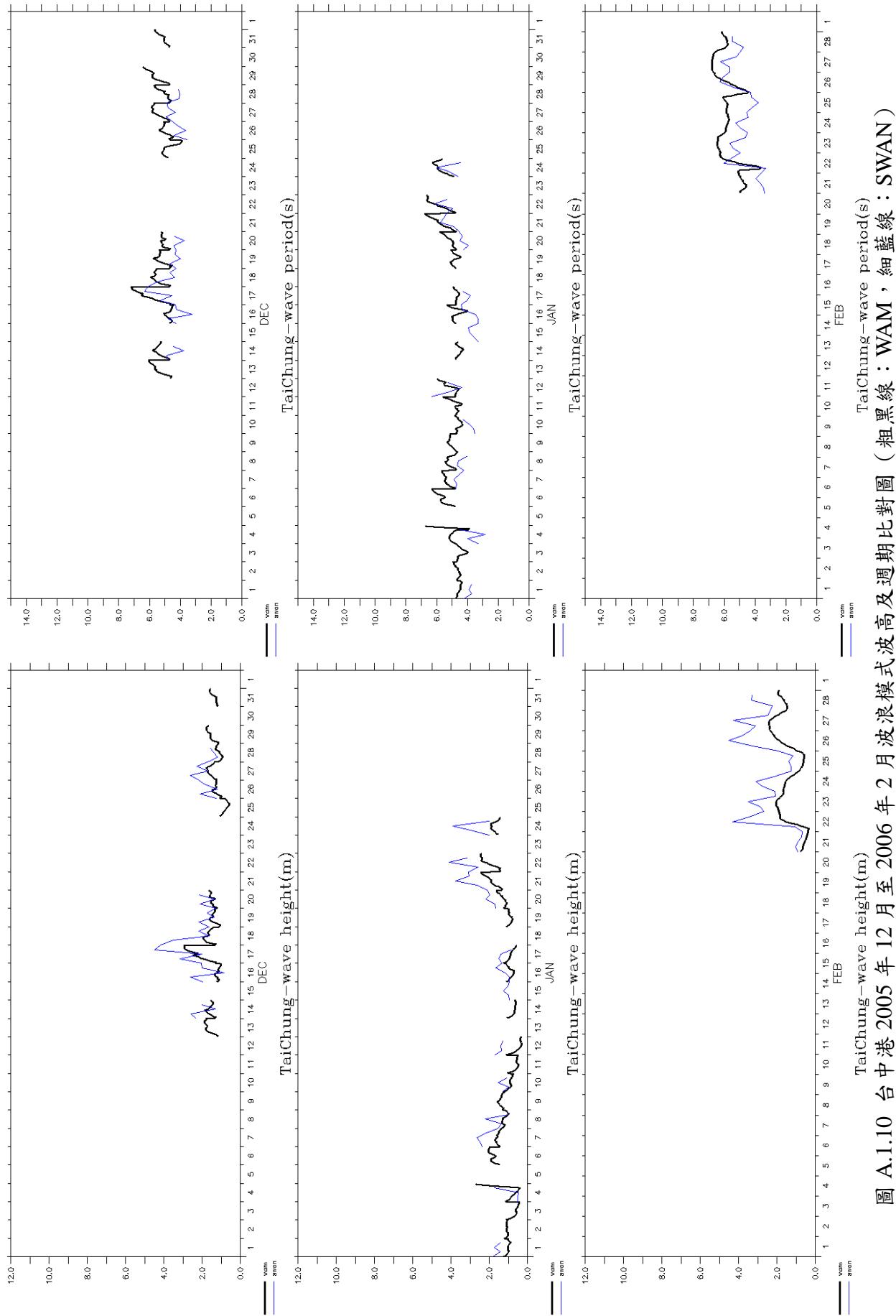


圖 A.1.10 台中港 2005 年 12 月至 2006 年 2 月波浪模式波高及週期比對圖 (粗黑線: WAM, 細藍線: SWAN)

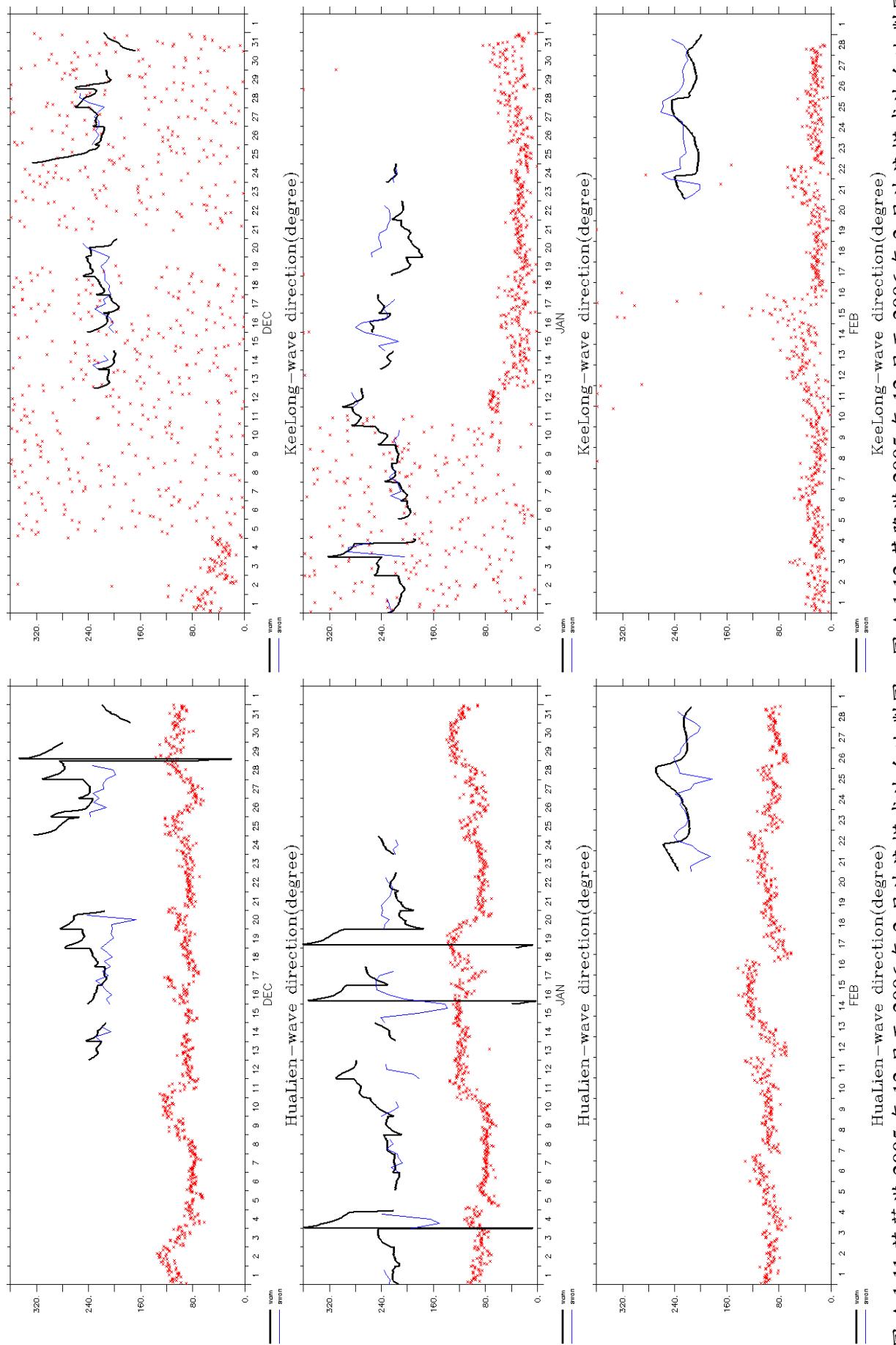


圖 A.1.11 花蓮港 2005 年 12 月至 2006 年 2 月波浪模式波向比對圖  
 圖 A.1.12 基隆港 2005 年 12 月至 2006 年 2 月波浪模式波向比對圖

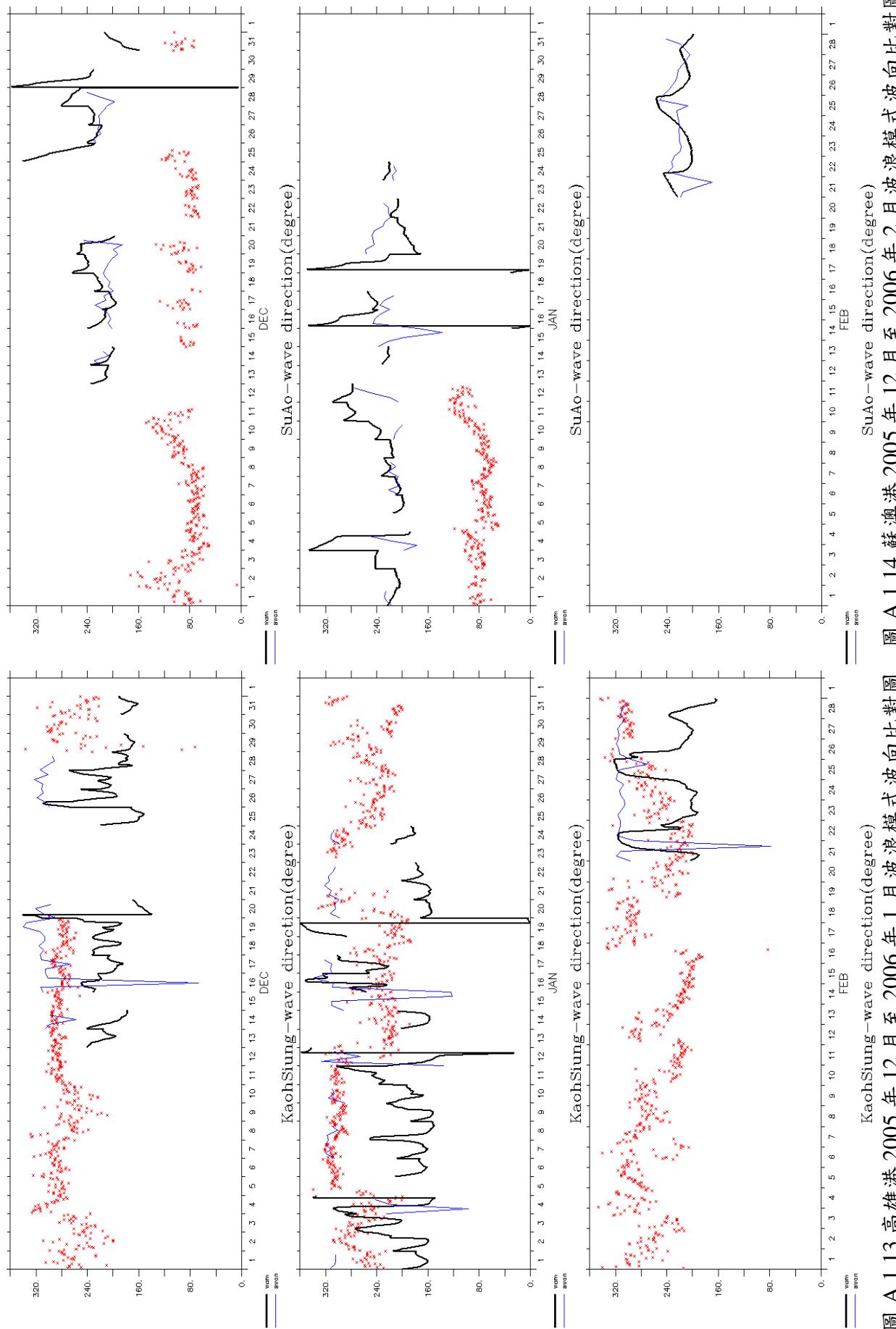


圖 A.1.13 高雄港 2005 年 12 月至 2006 年 1 月波浪模式波向比對圖 圖 A.1.14 蘇澳港 2005 年 12 月至 2006 年 2 月波浪模式波向比對圖

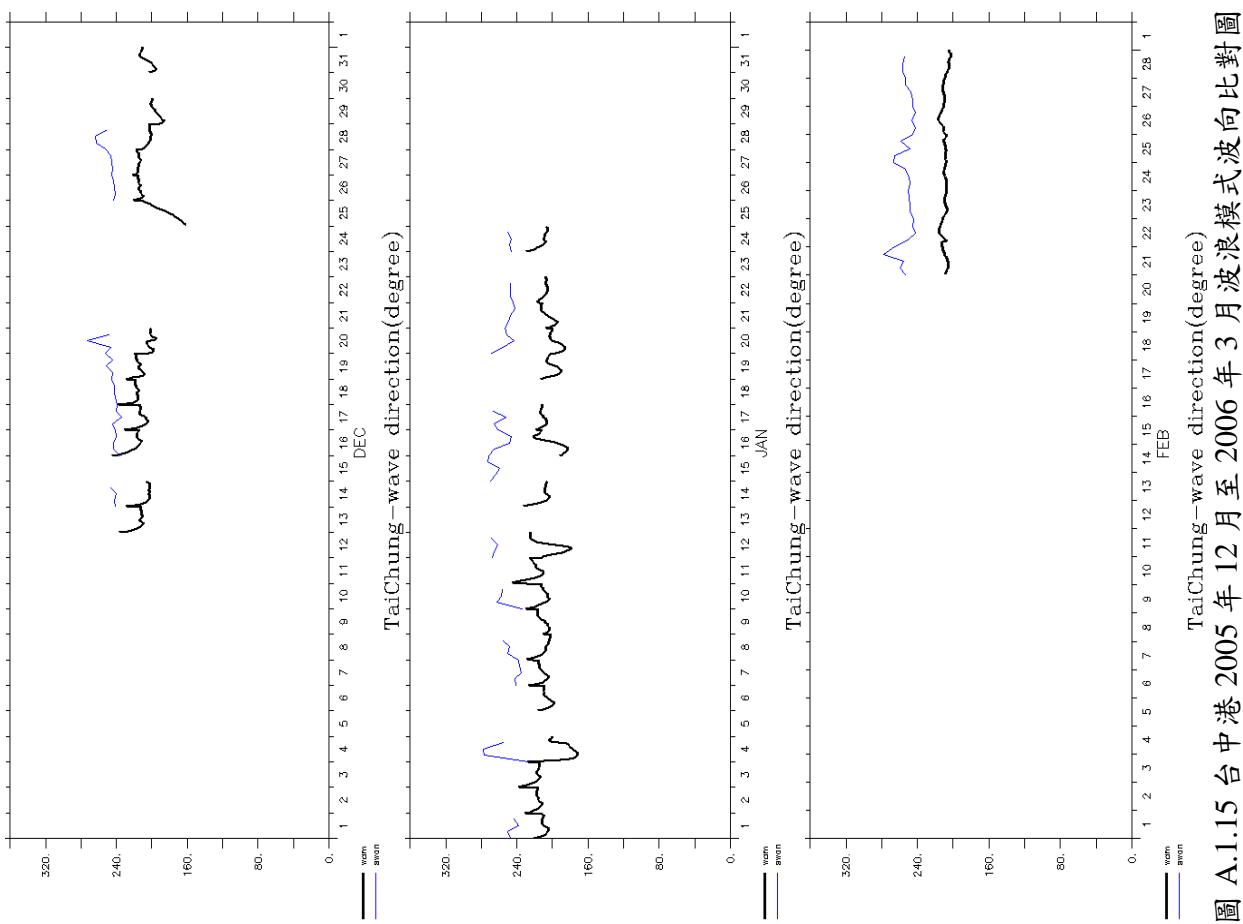


圖 A.1.15 台中港 2005 年 12 月至 2006 年 3 月波浪模式波向比對圖

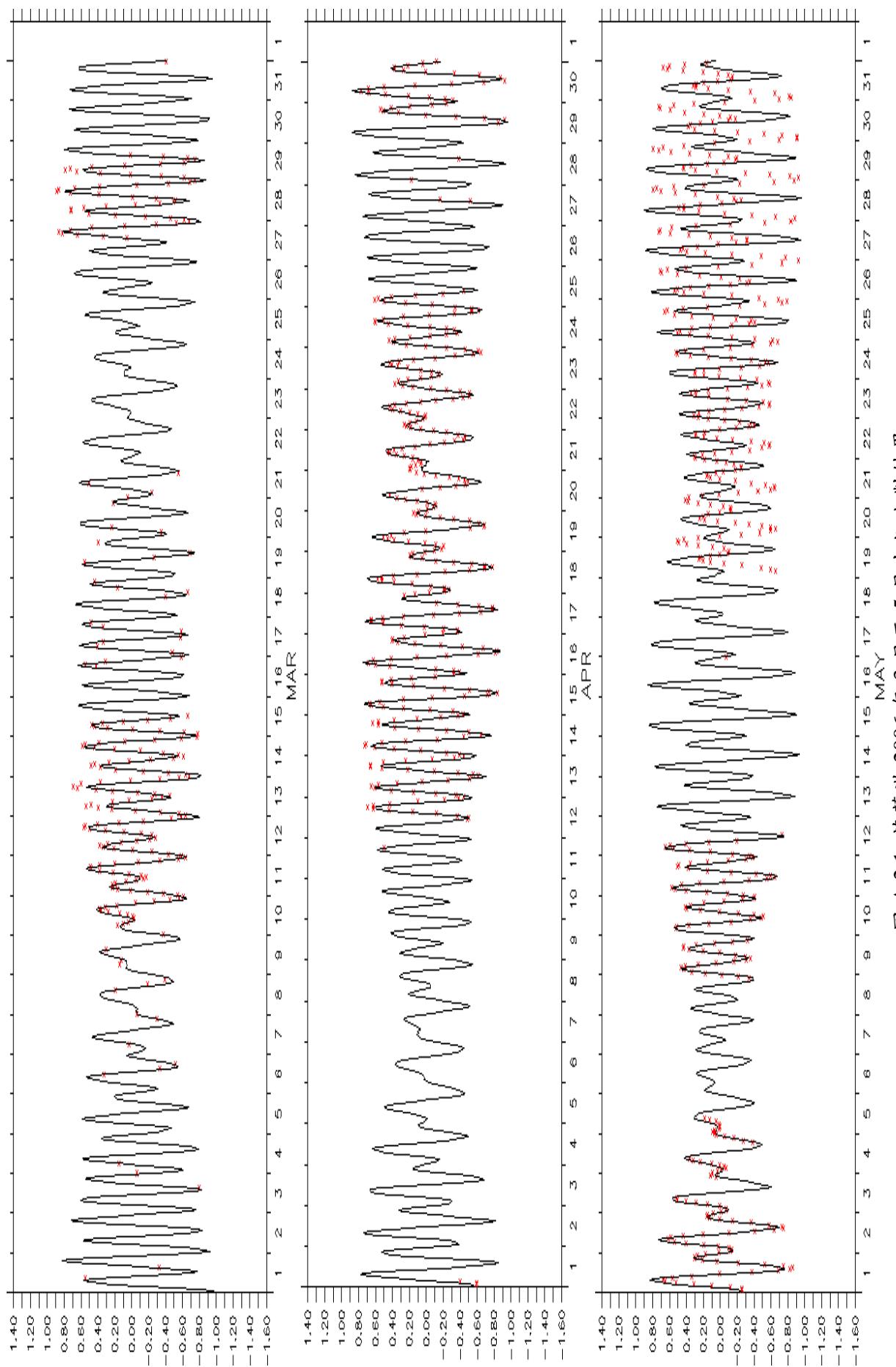


圖 A.2.1 花蓮港 2006 年 3 月至 5 月水位比對結果

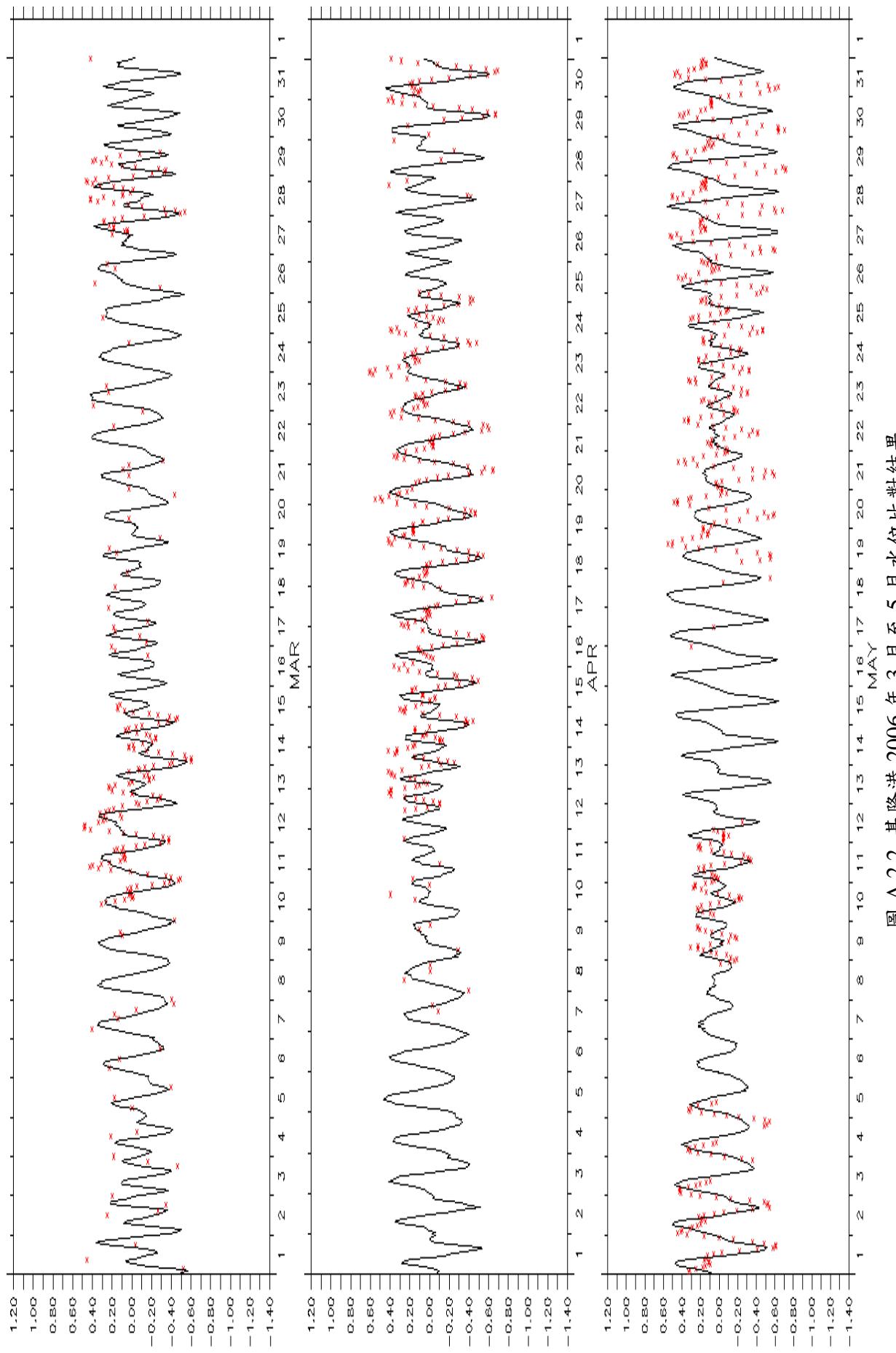


圖 A.2.2 基隆港 2006 年 3 月至 5 月水位比對結果

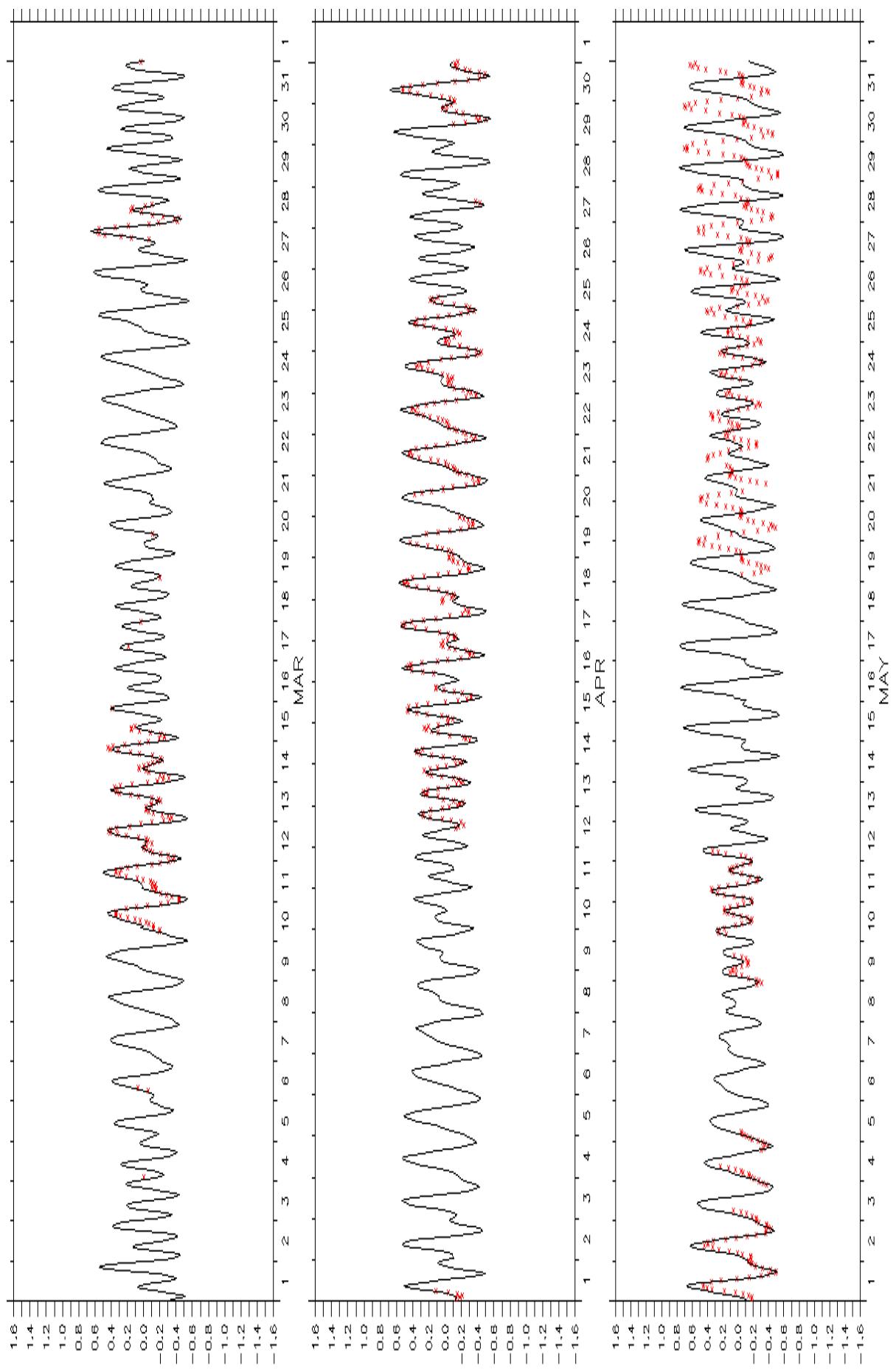


圖 A.2.3 高雄港 2006 年 3 月至 5 月水位比對結果

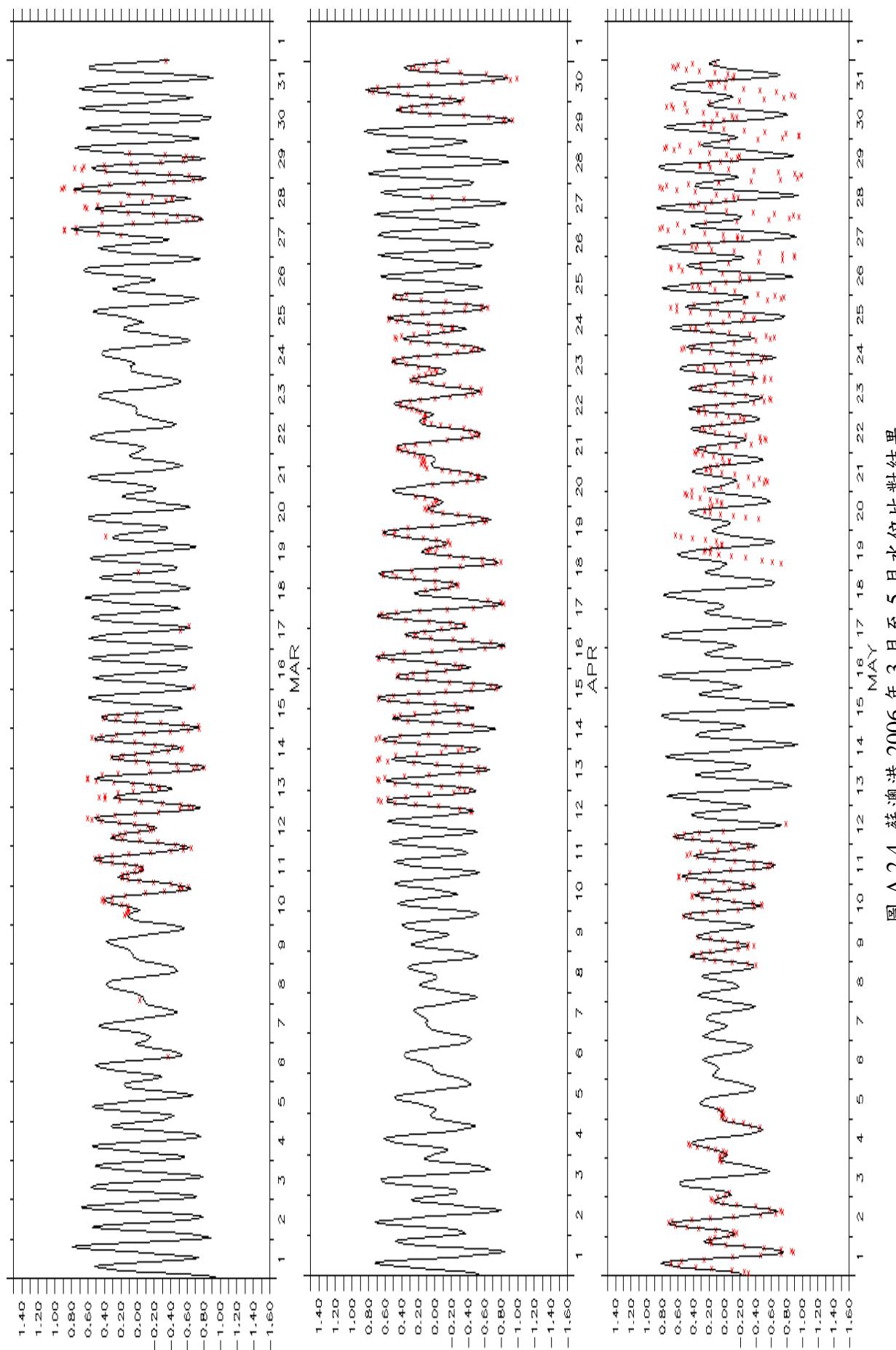


圖 A.2.4 蘇澳港 2006 年 3 月至 5 月水位比對結果

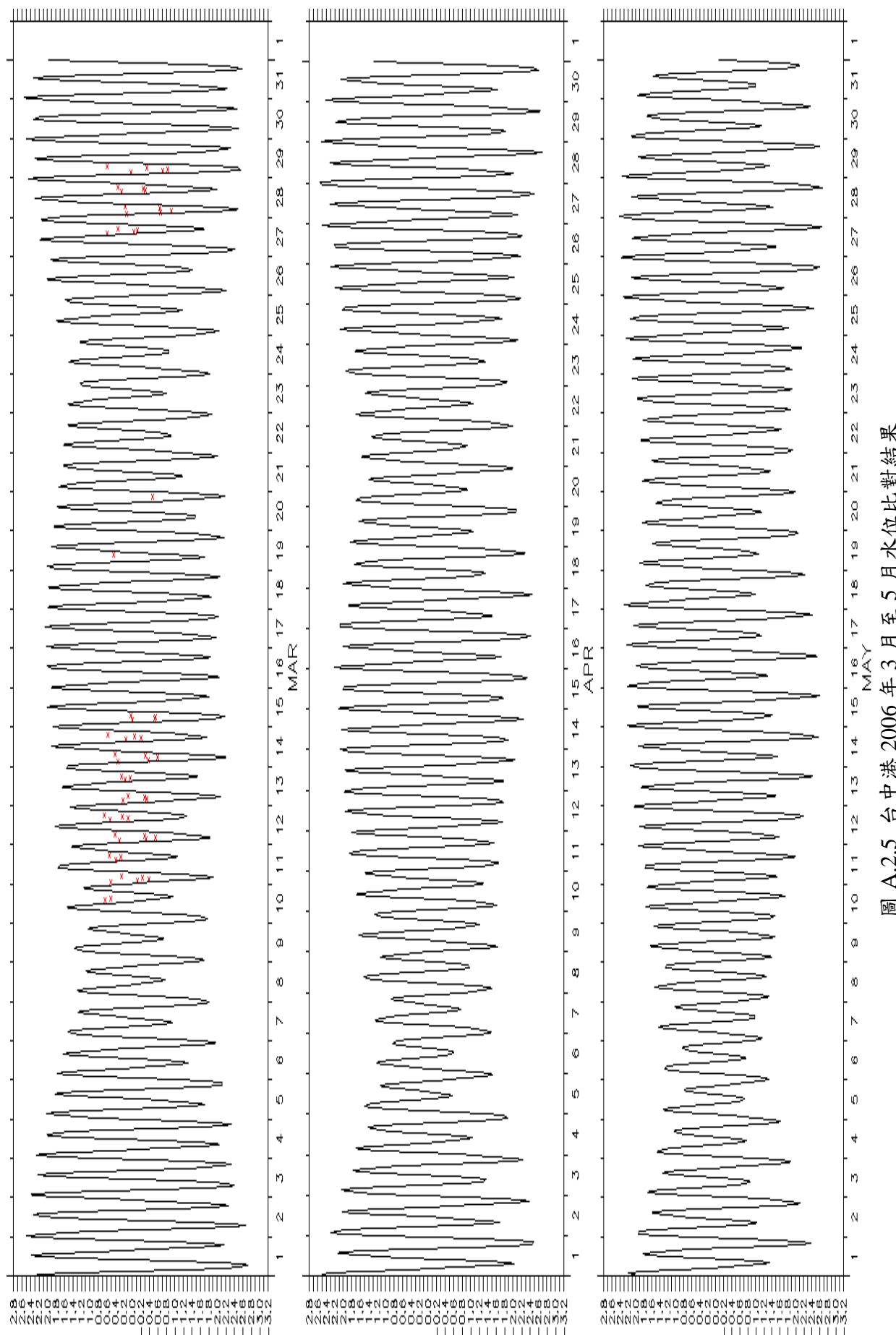


圖 A.2.5 台中港 2006 年 3 月至 5 月水位比對結果

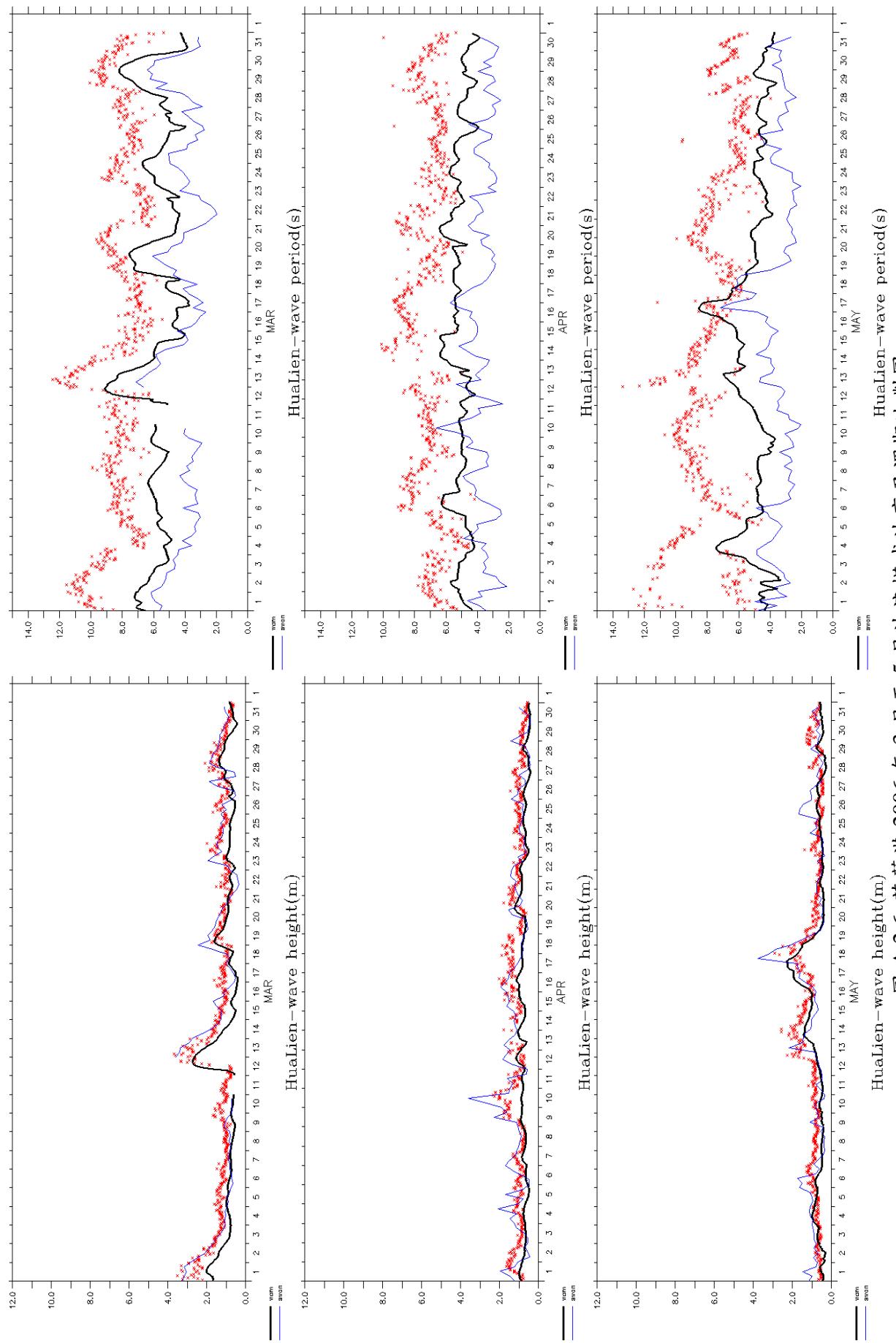


圖 A.2.6 花蓮港 2006 年 3 月至 5 月波浪模式波高及週期比對圖

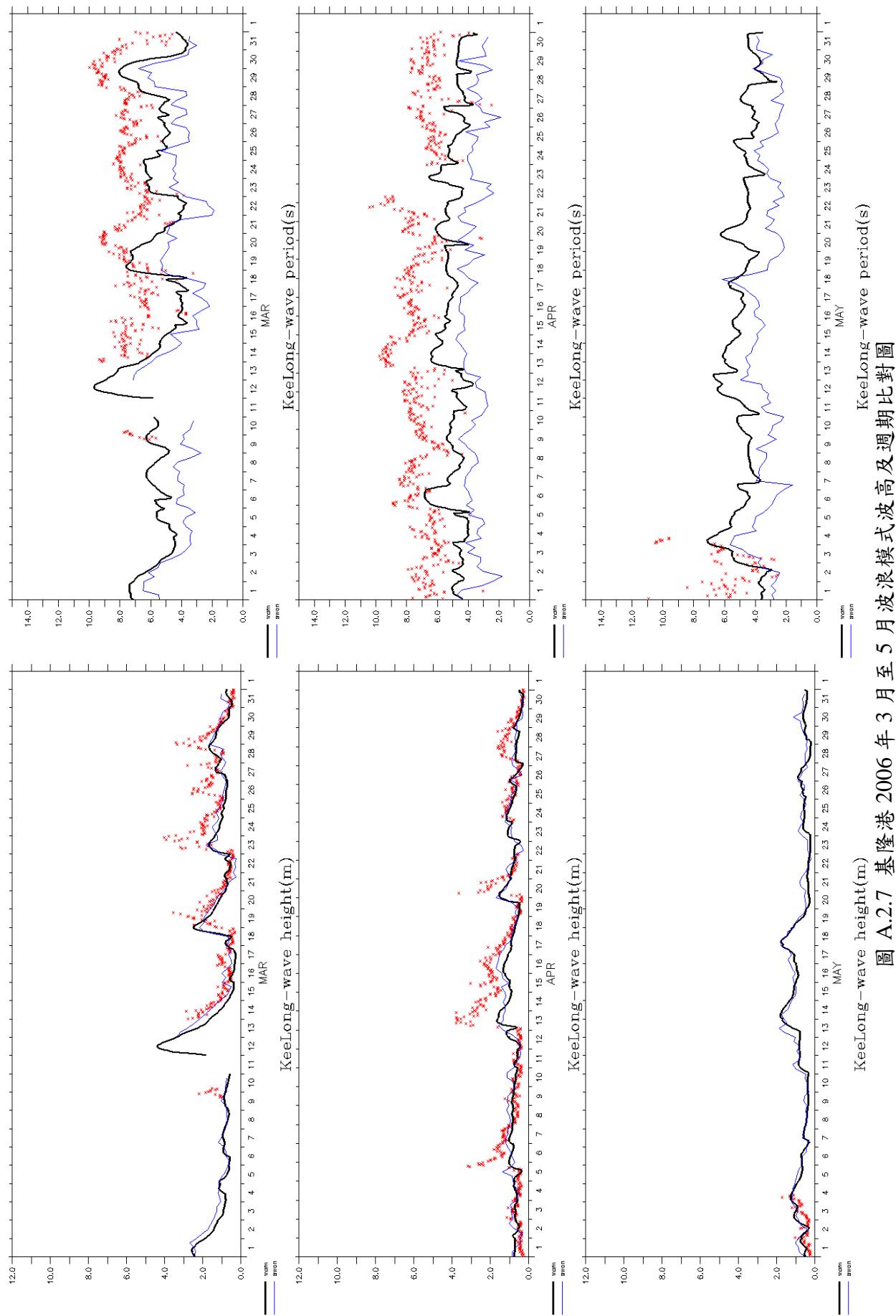


圖 A.2.7 基隆港 2006 年 3 月至 5 月波浪模式波高及週期比對圖

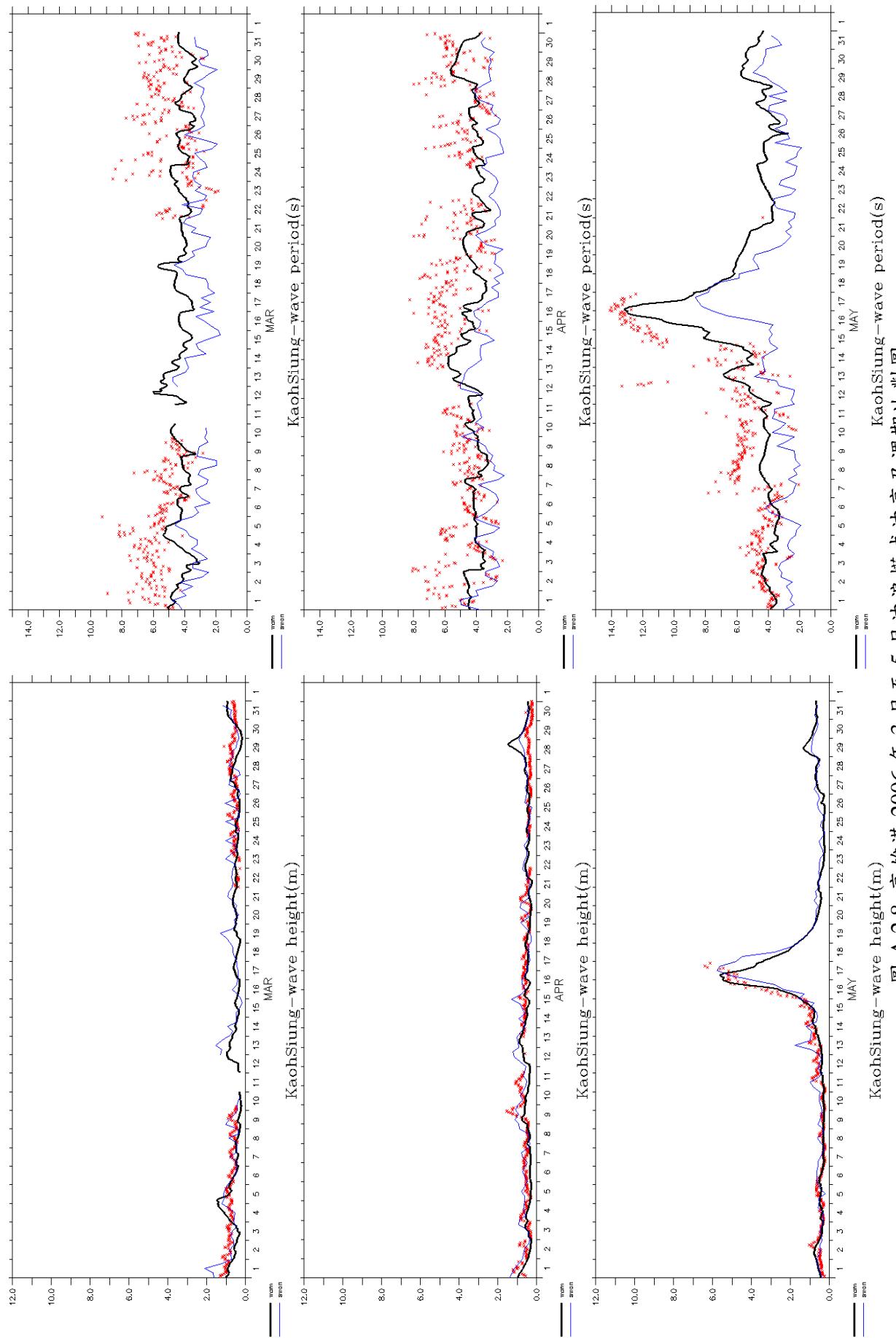


圖 A.2.8 高雄港 2006 年 3 月至 5 月波浪模式波高及週期比對圖  
 KaohSiung-wave height(m)   
 KaohSiung-wave period(s)   
 KachSiung-wave height(m)   
 KachSiung-wave period(s)

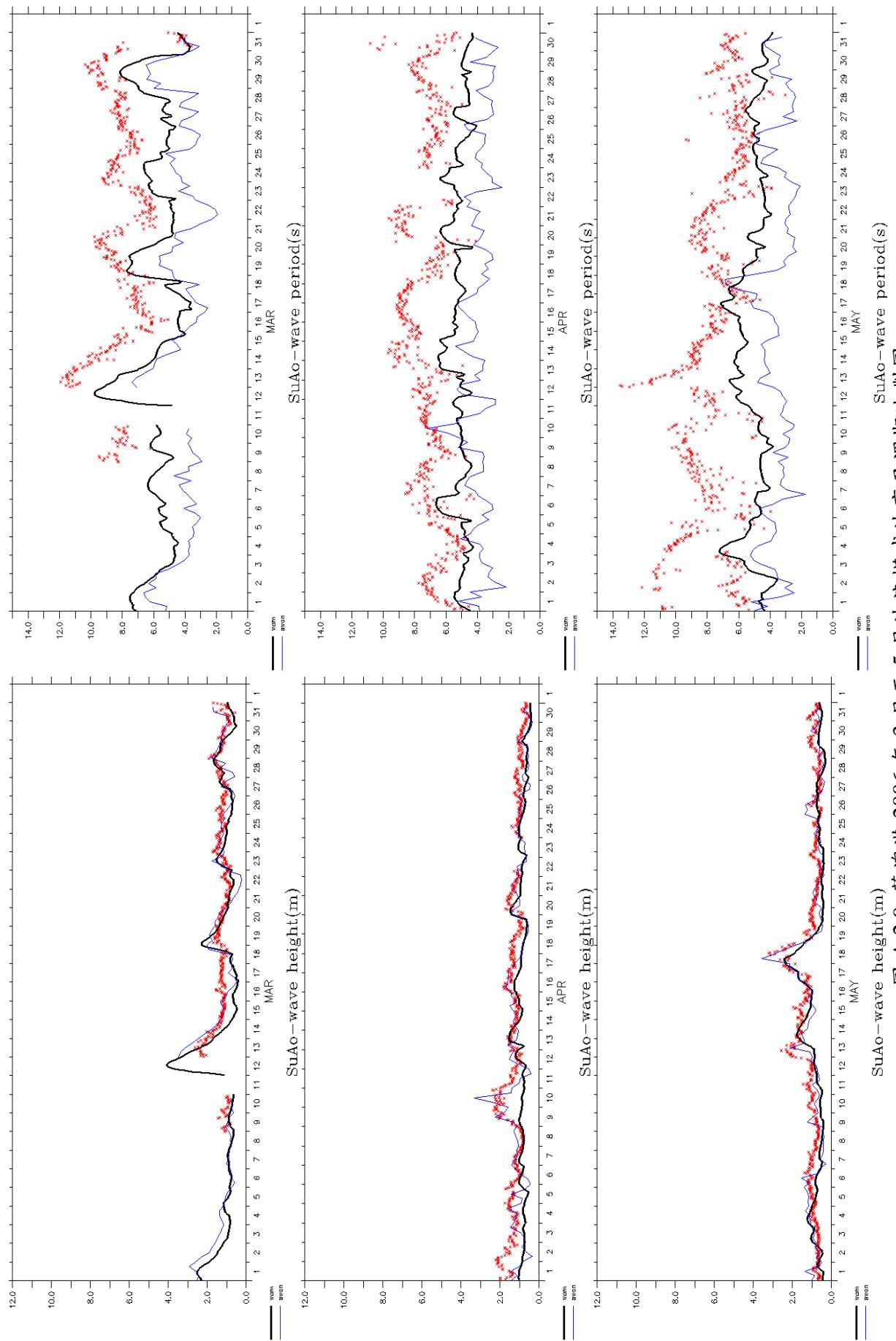


圖 A.2.9 蘇澳港 2006 年 3 月至 5 月波浪模式波高及週期比對圖  
 SuAo-wave height(m)      SuAo-wave period(s)

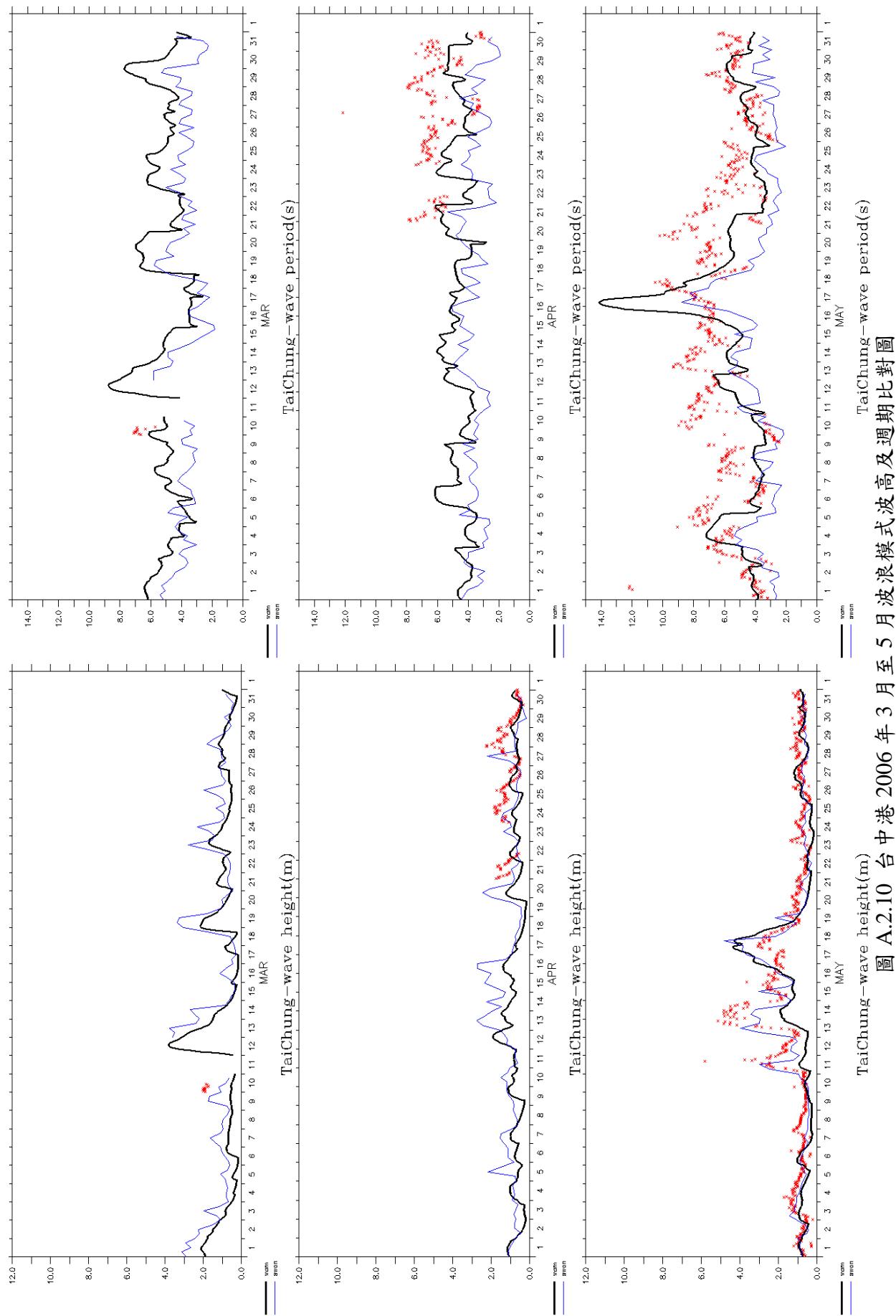


圖 A.2.10 台中港 2006 年 3 月至 5 月波浪模式波高及週期比對圖

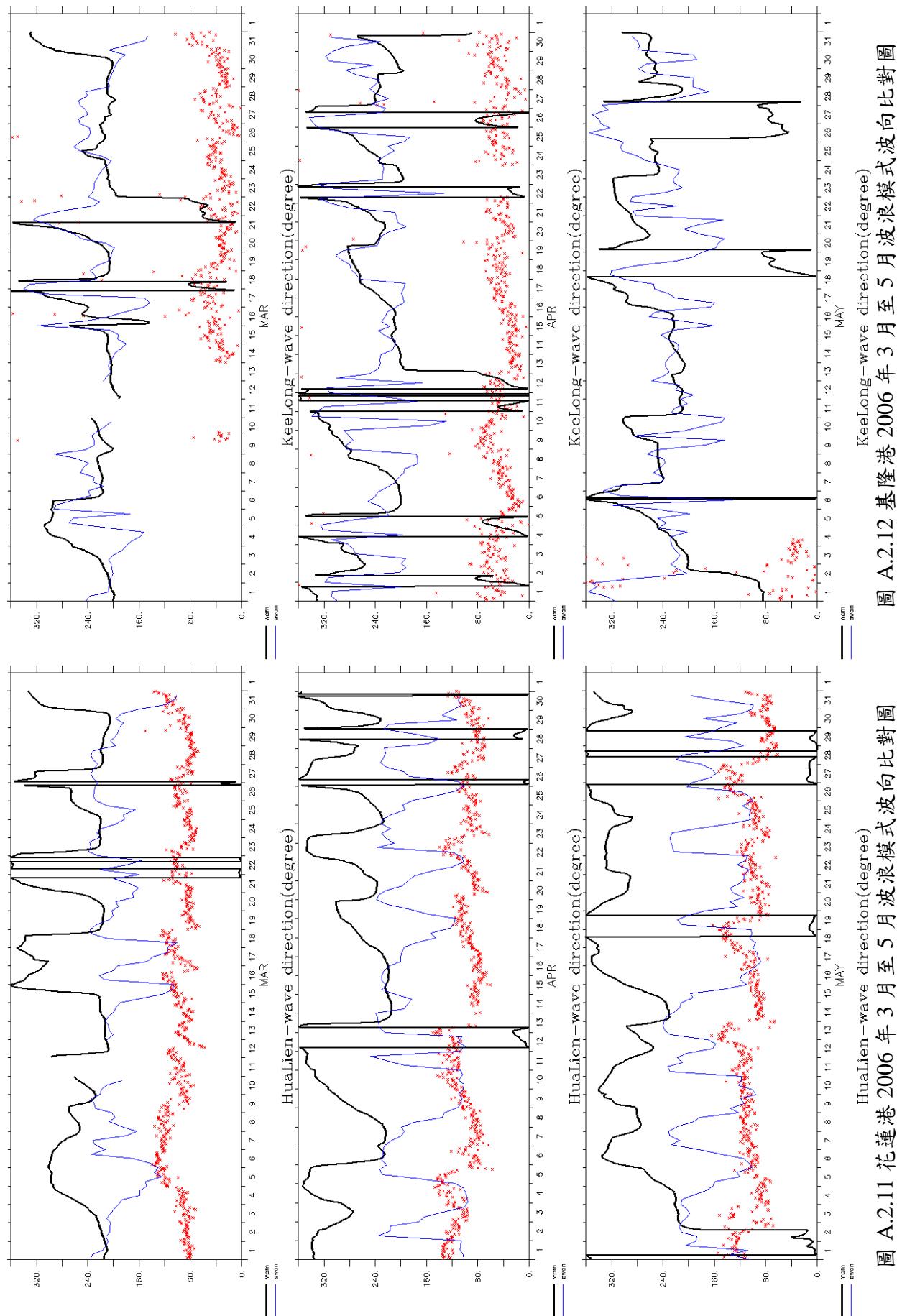


圖 A.2.11 花蓮港 2006 年 3 月至 5 月 波浪模式波向比對圖

圖 A.2.12 基隆港 2006 年 3 月至 5 月 波浪模式波向比對圖

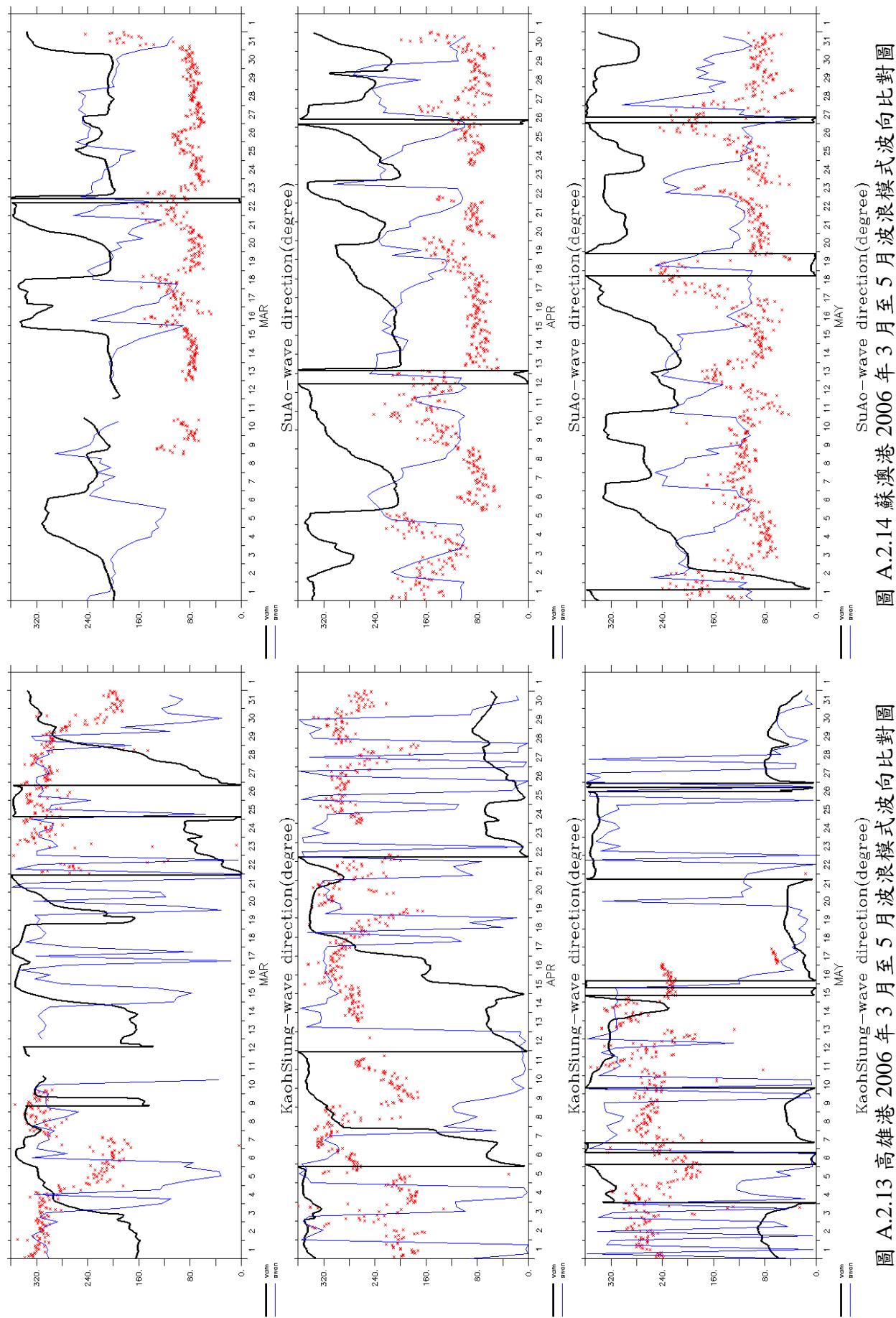


圖 A.2.13 高雄港 2006 年 3 月至 5 月波浪模式波向比對圖

圖 A.2.14 蘇澳港 2006 年 3 月至 5 月波浪模式波向比對圖

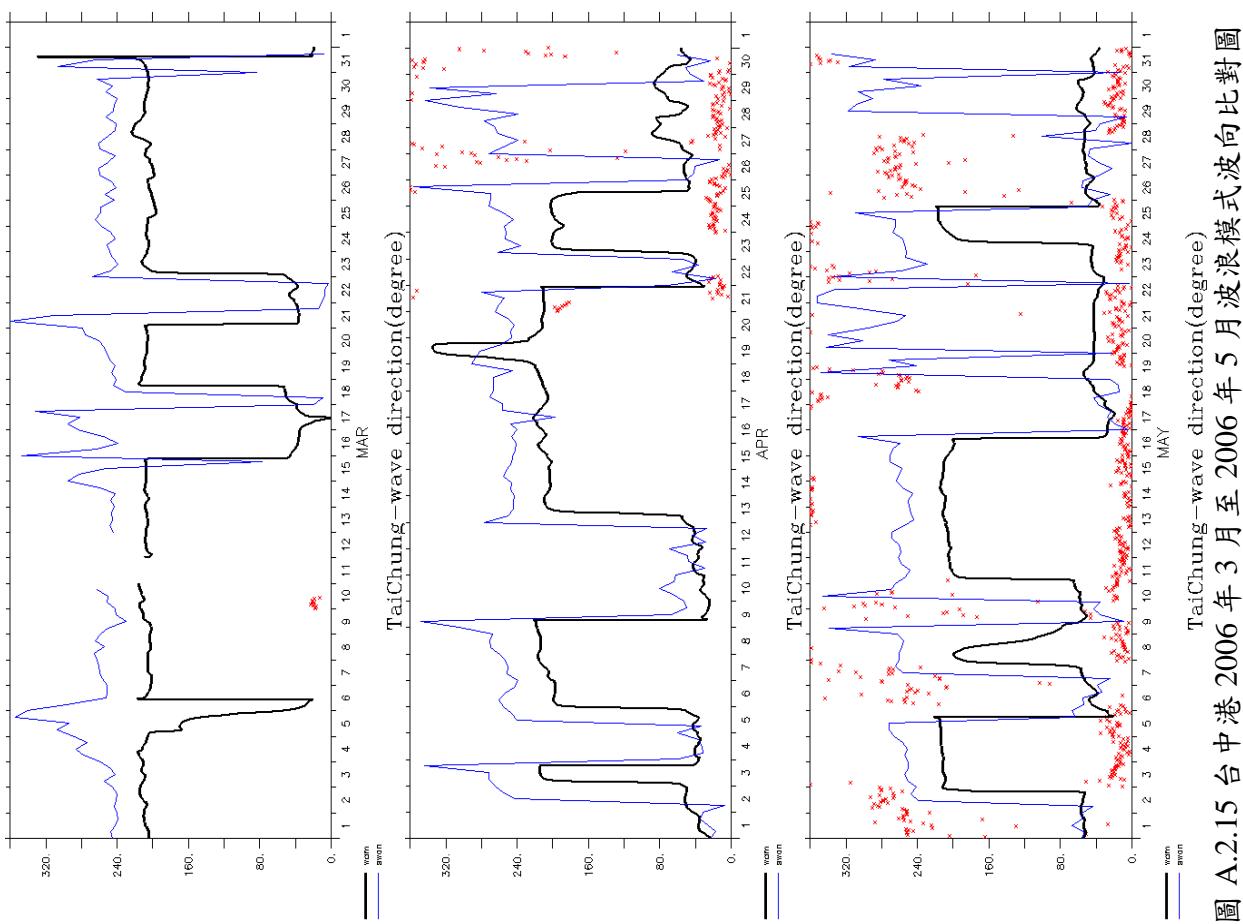


圖 A.2.15 台中港 2006 年 3 月至 2006 年 5 月 波浪模式波向比對圖

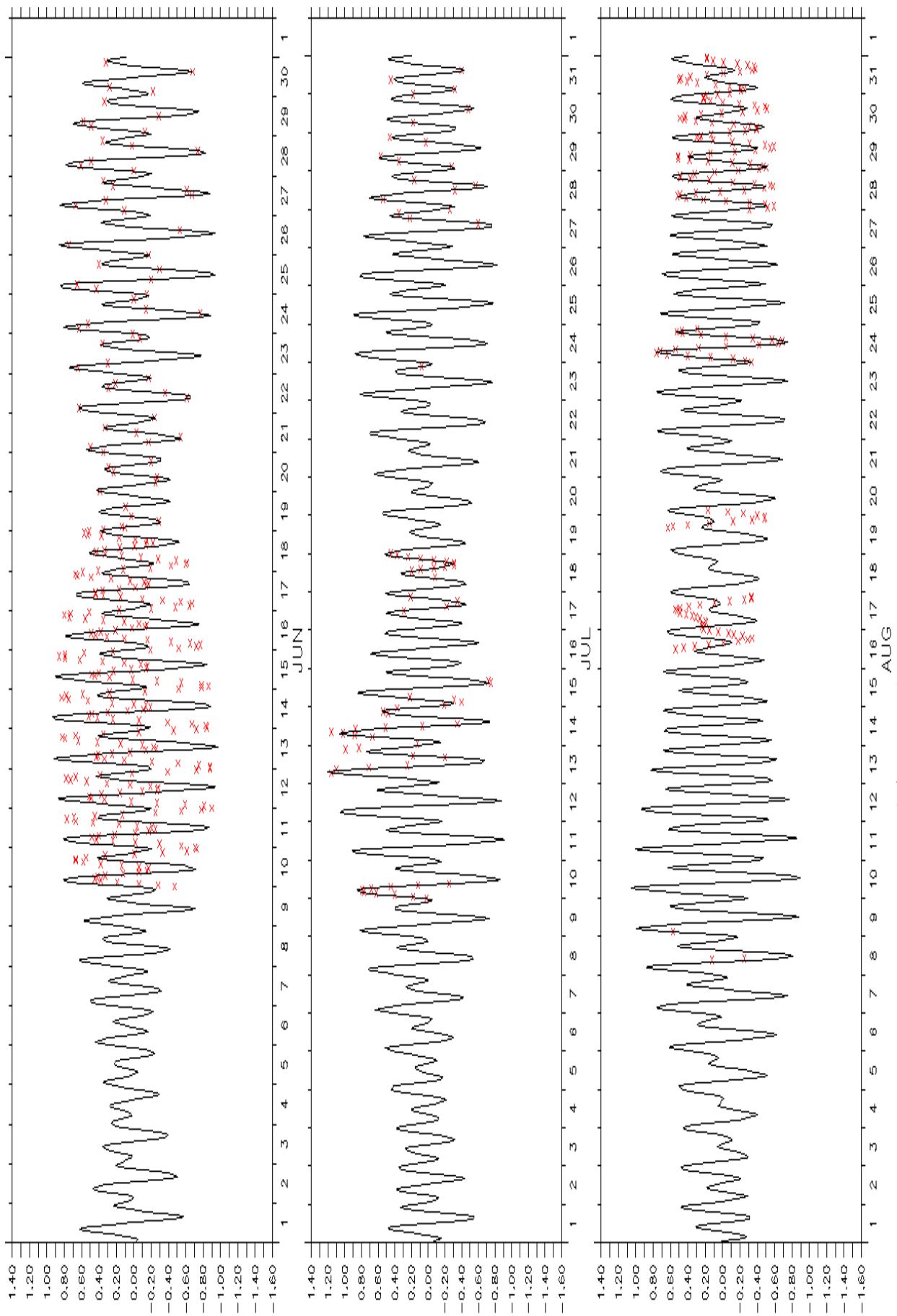


圖 A.3.1 花蓮港 2006 年 6 月至 8 月水位比對圖

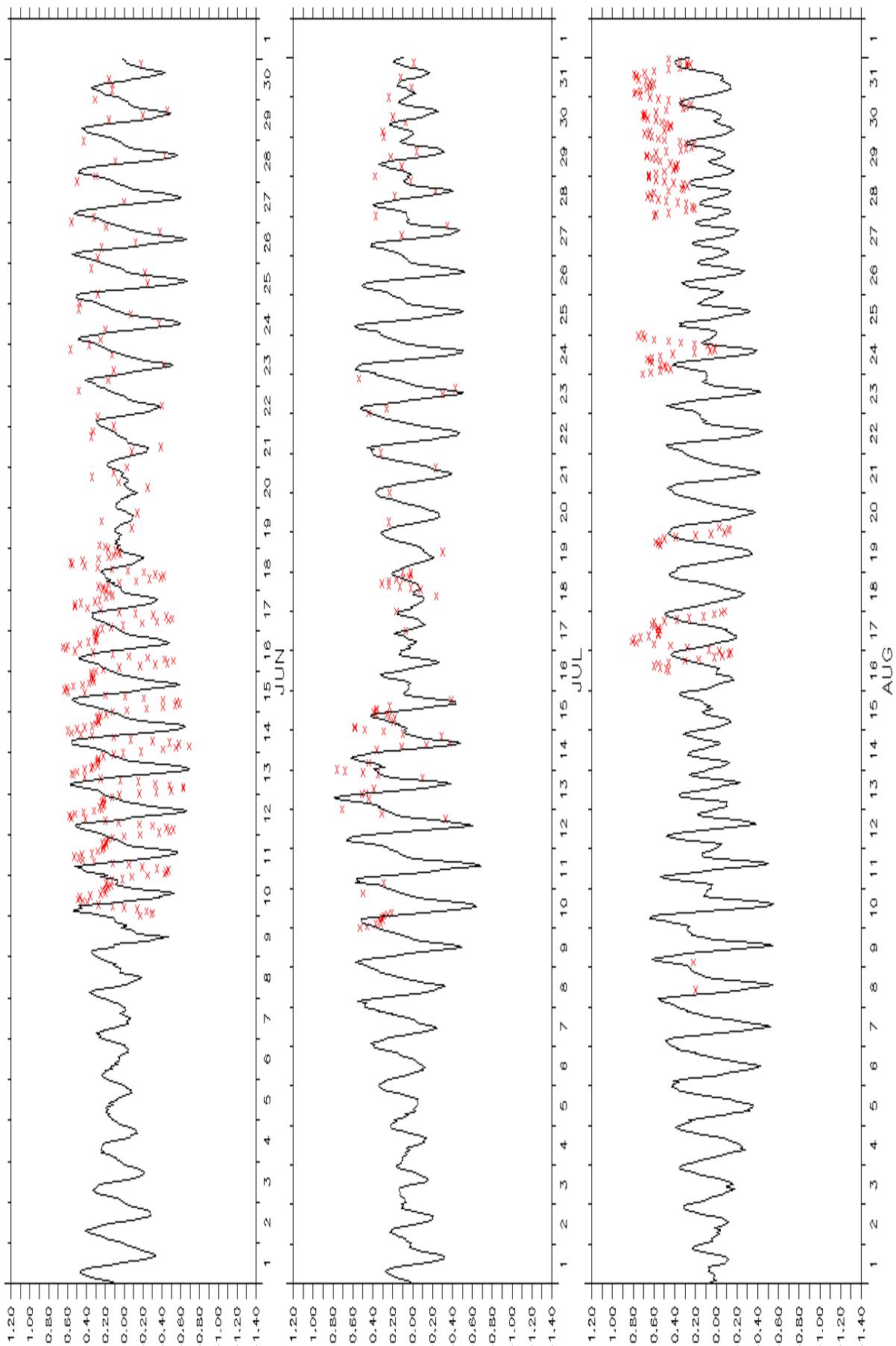


圖 A.3.2 基隆港 2006 年 6 月至 8 月水位比對圖

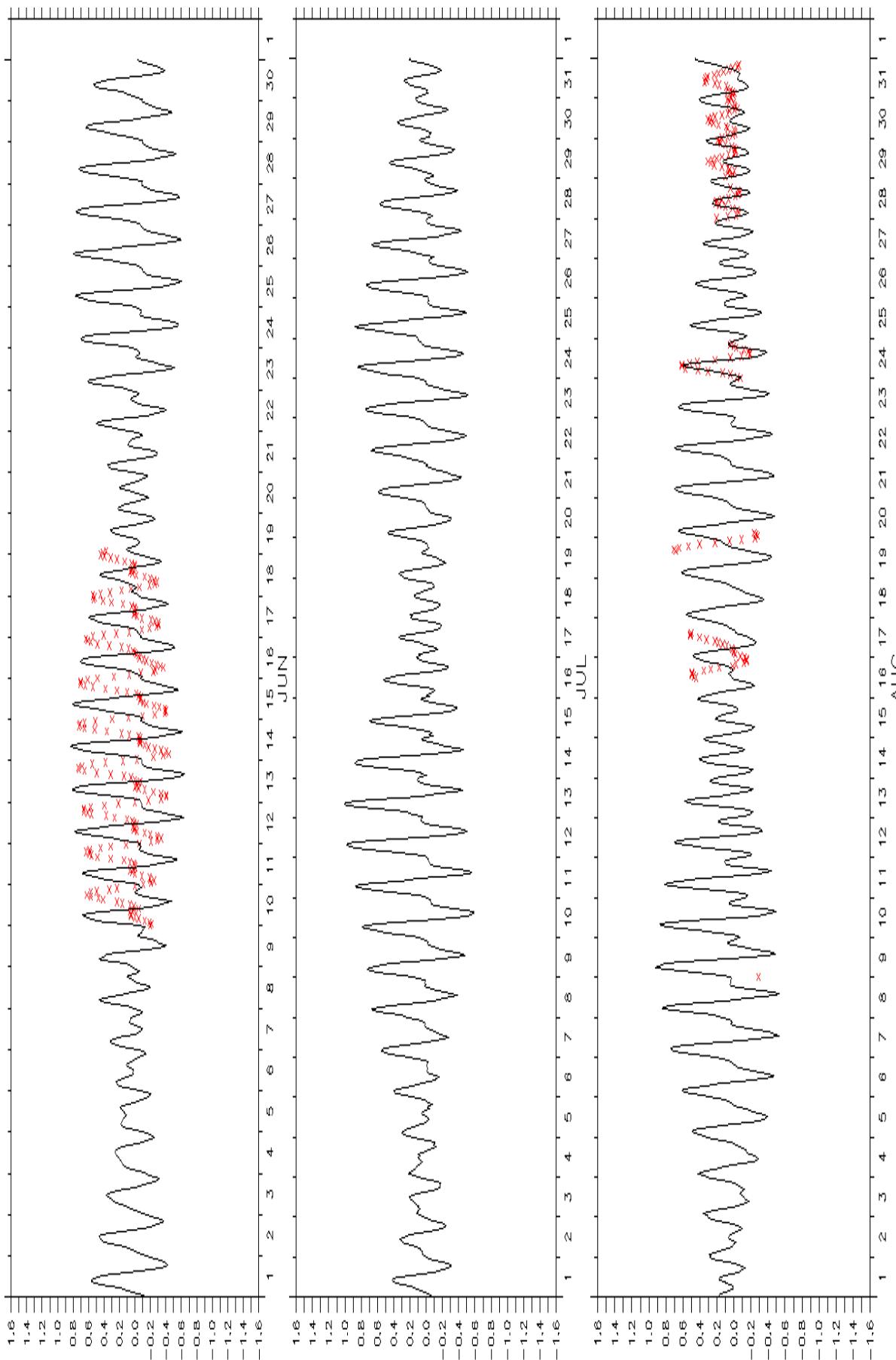


圖 A.3.3 高雄港 2006 年 6 月至 8 月水位比對圖

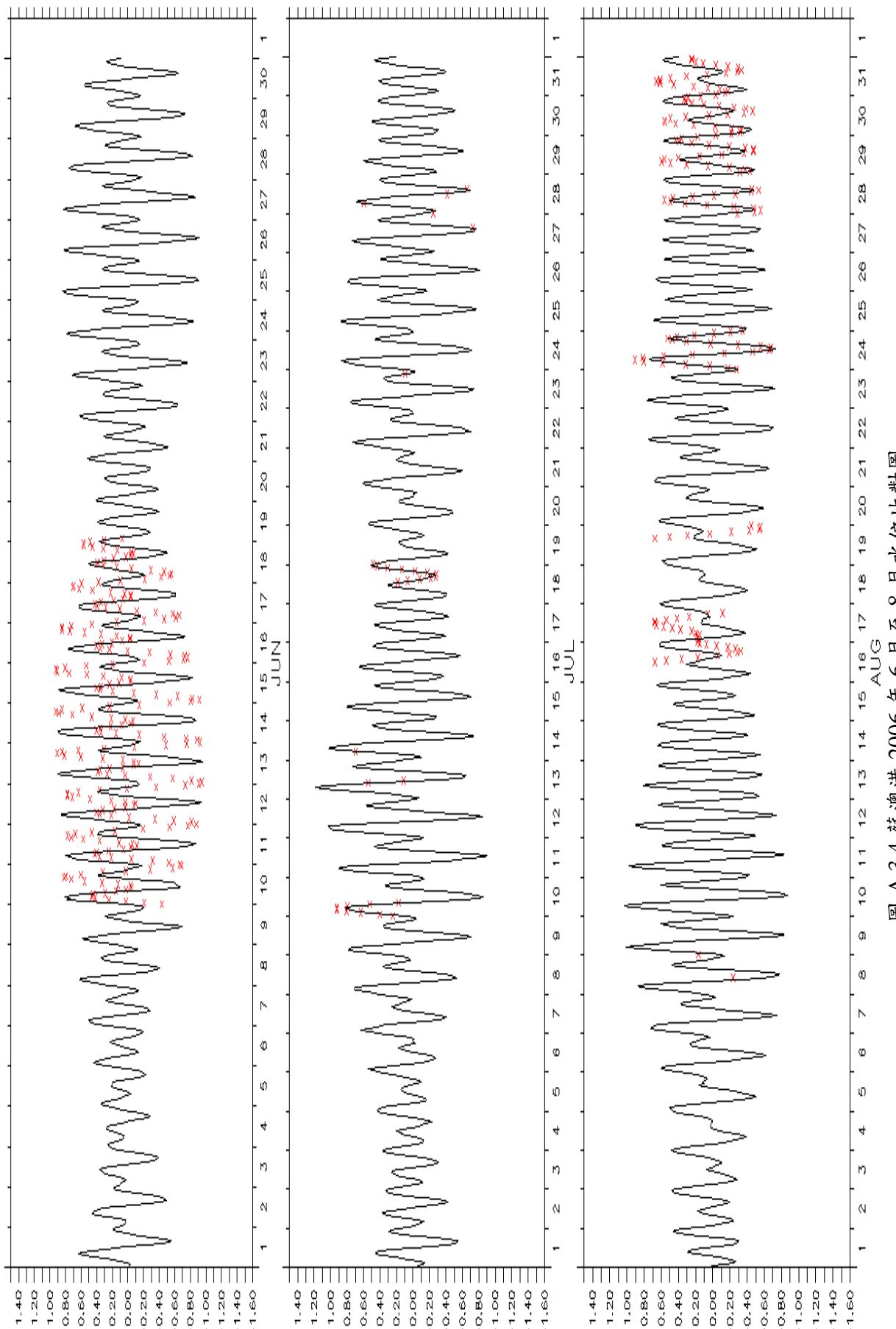


圖 A.3.4 蘇澳港 2006 年 6 月至 8 月水位比對圖

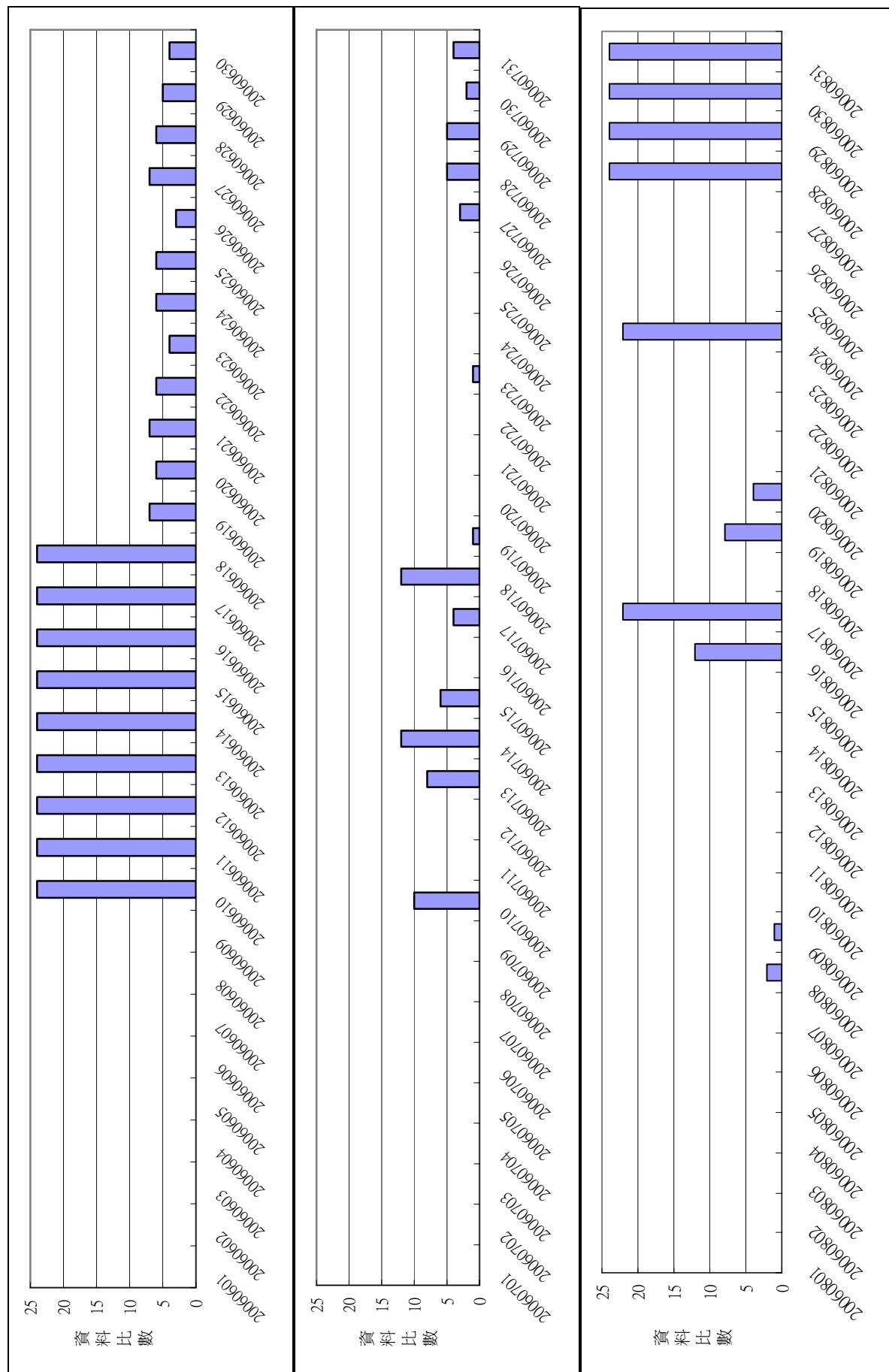


圖 A.3.5 花蓮 2006 年 6 月至 8 月實測水位資料比數統計

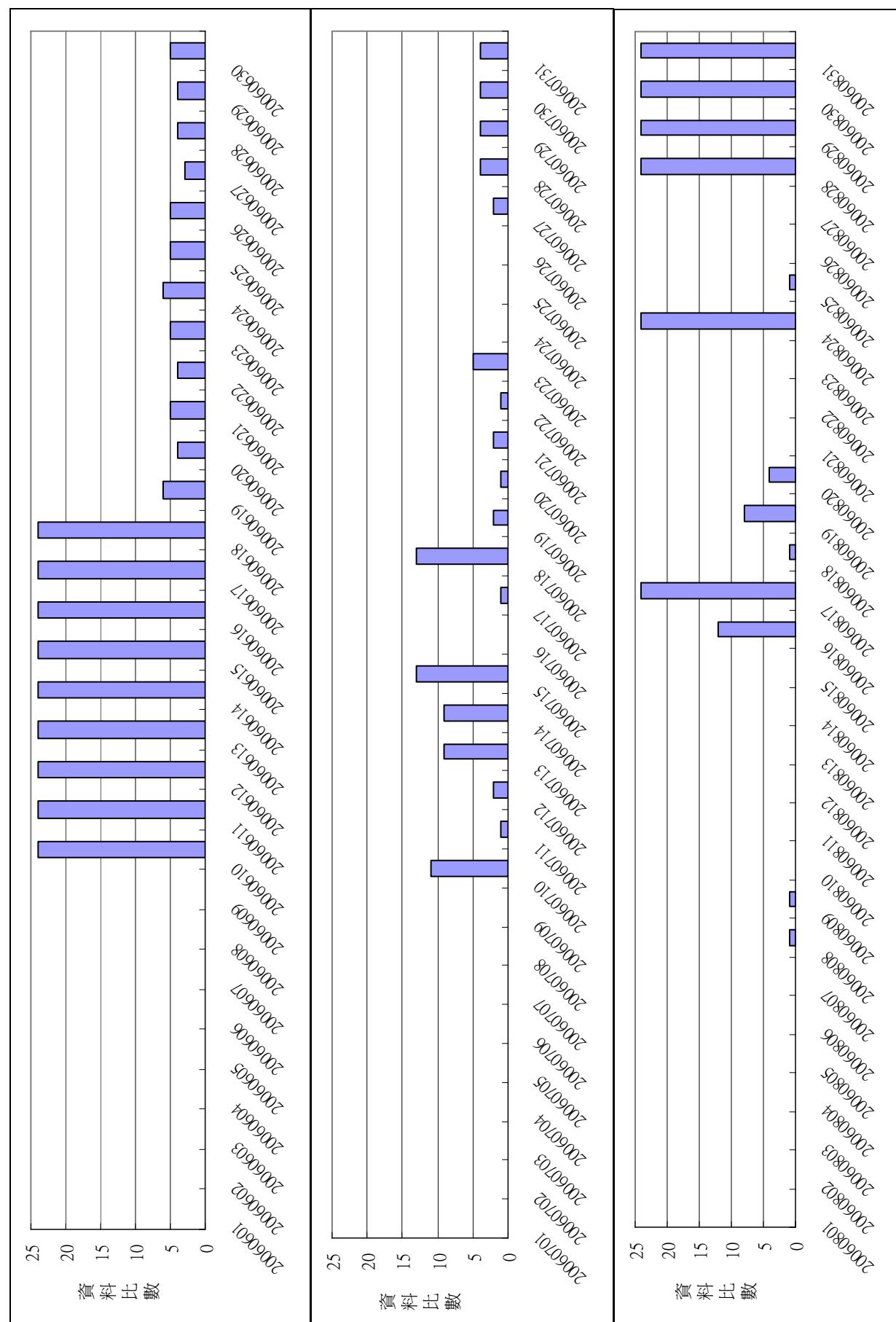


圖 A.3.6 基隆 2006 年 6 月至 8 月實測水位資料比數統計

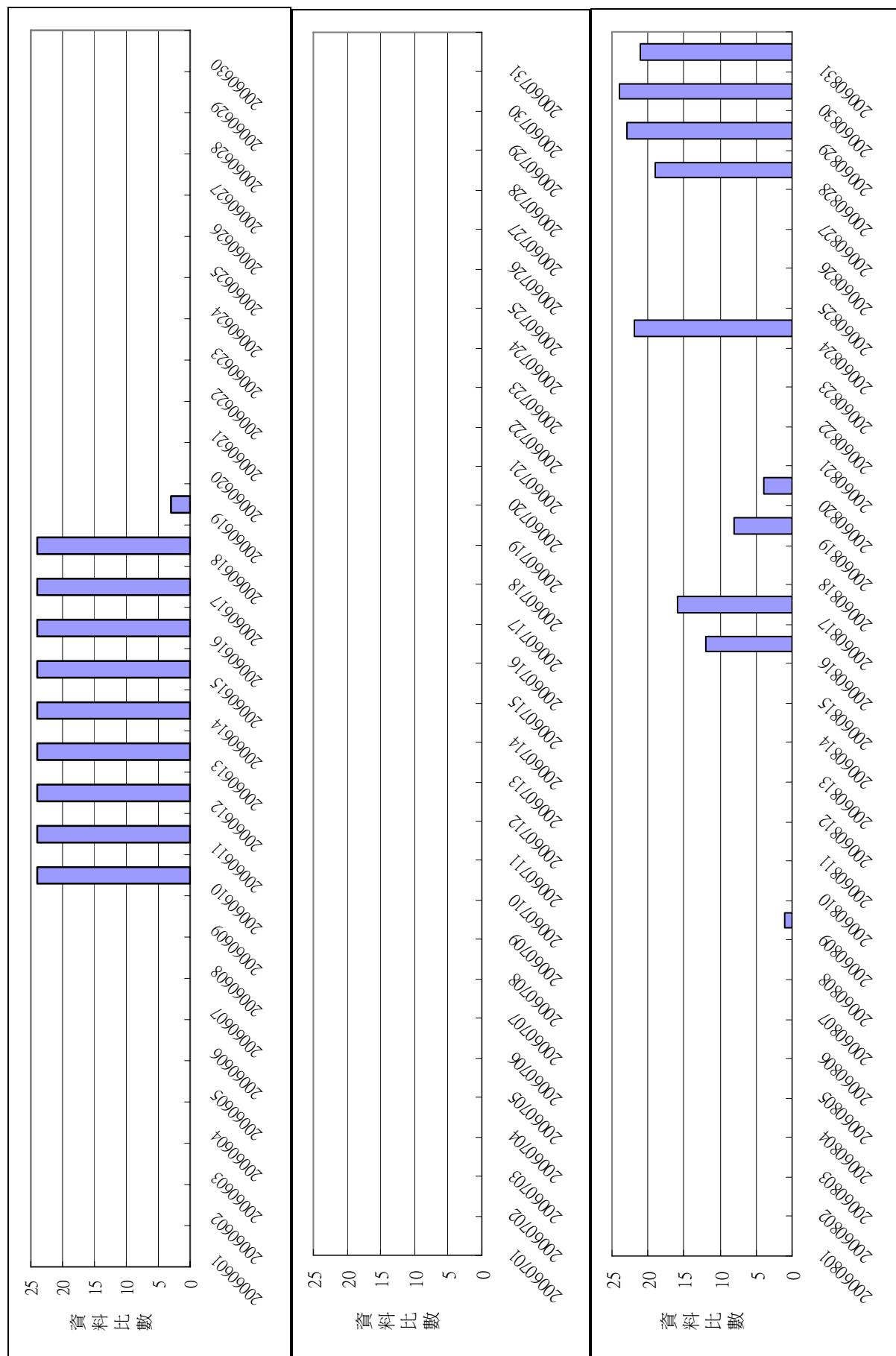


圖 A.3.7 高雄 2006 年 6 月至 8 月實測水位資料比數統計

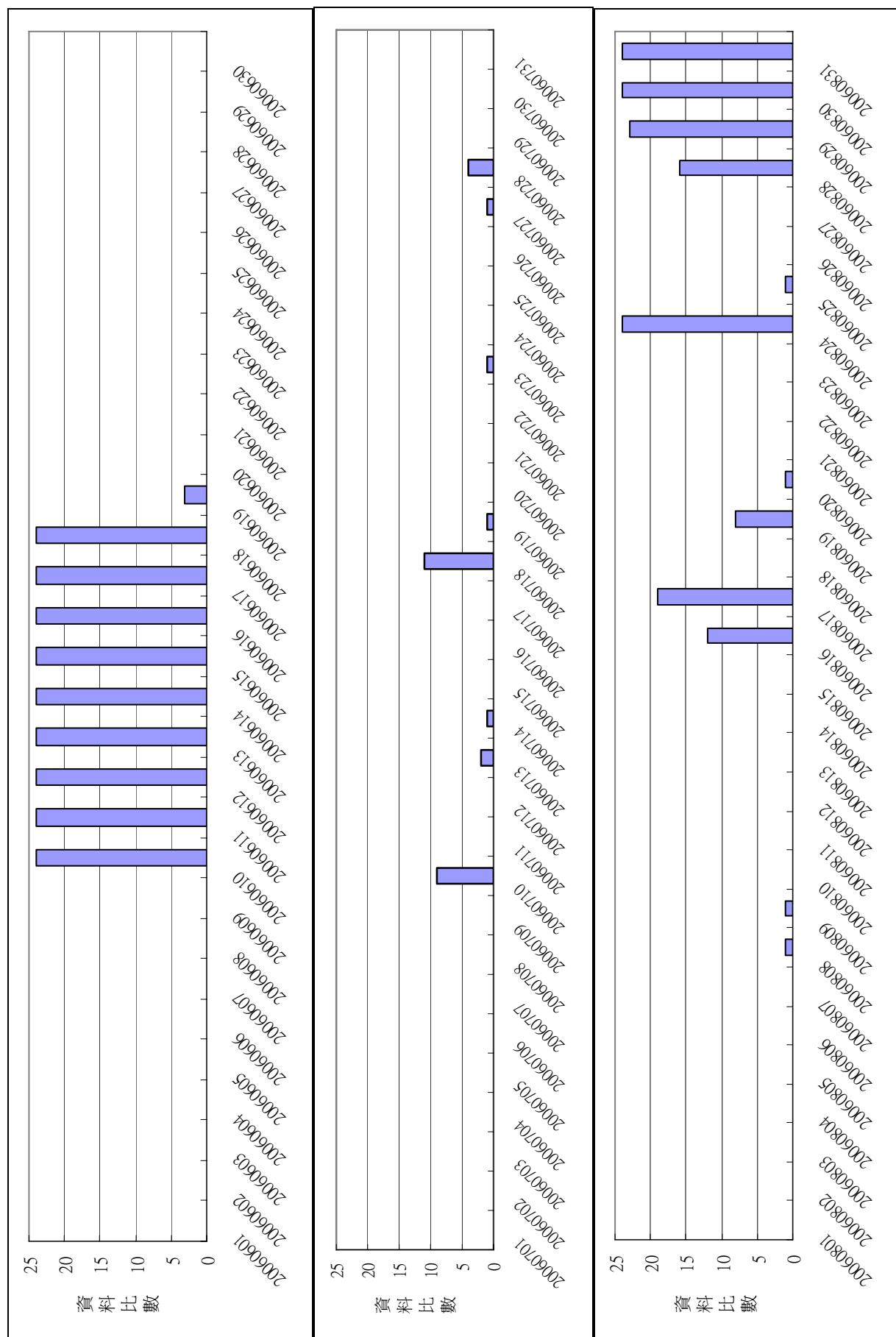


圖 A.3.8 蘇澳 2006 年 6 月至 8 月實測水位資料比數統計

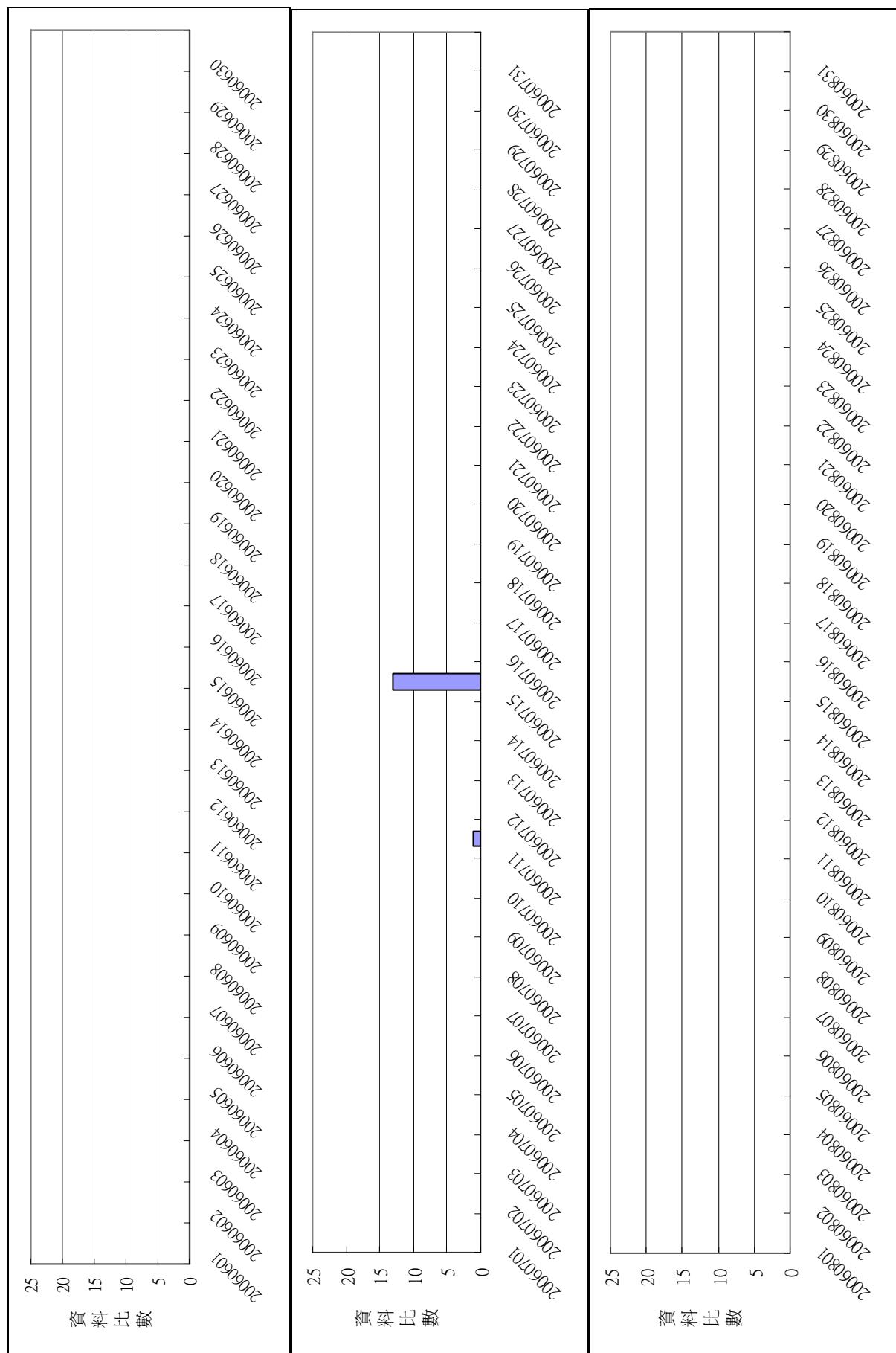
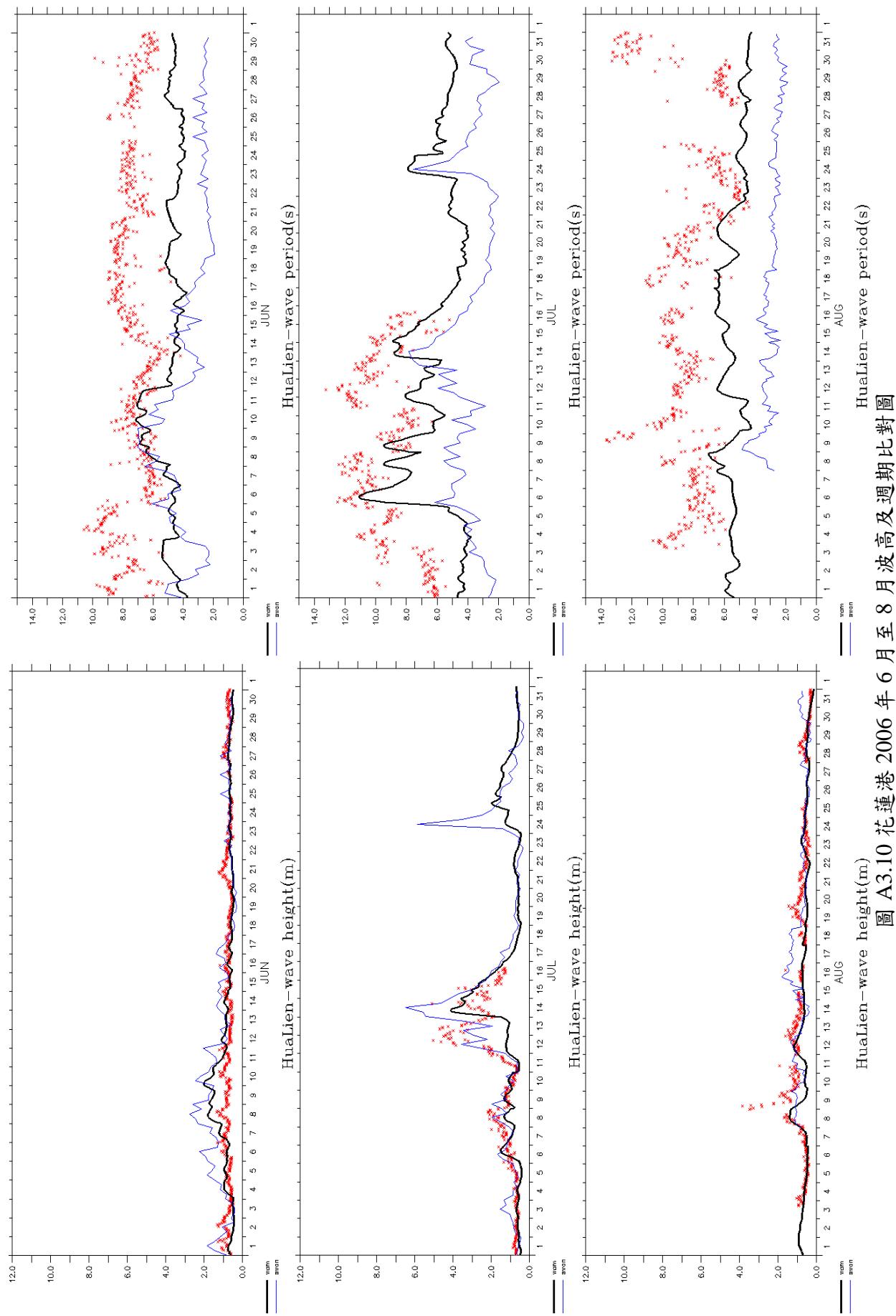


圖 A.3.9 台中 2006 年 6 月至 8 月實測水位資料比數統計



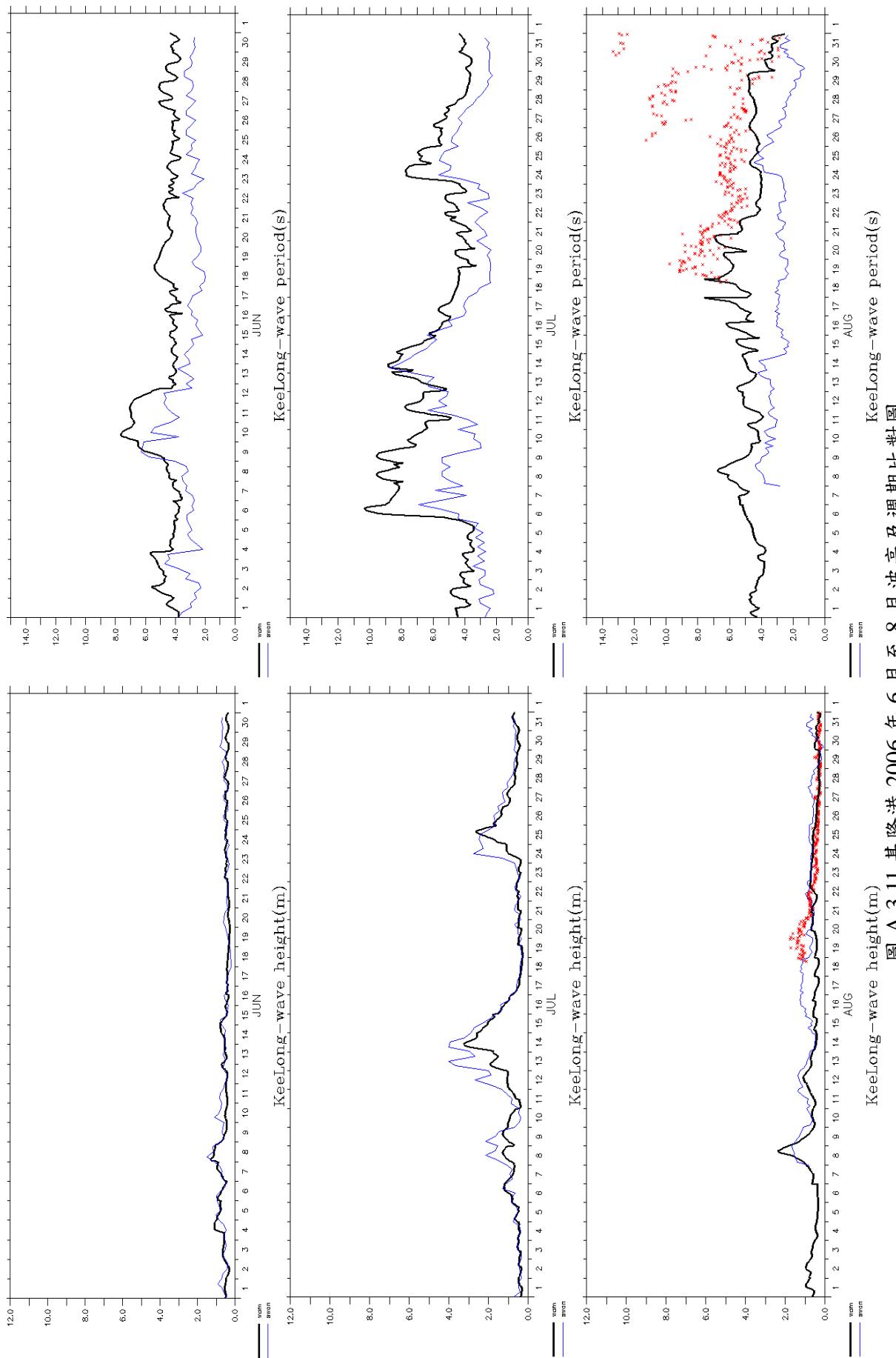


圖 A.3.11 基隆港 2006 年 6 月至 8 月波高及週期比對圖

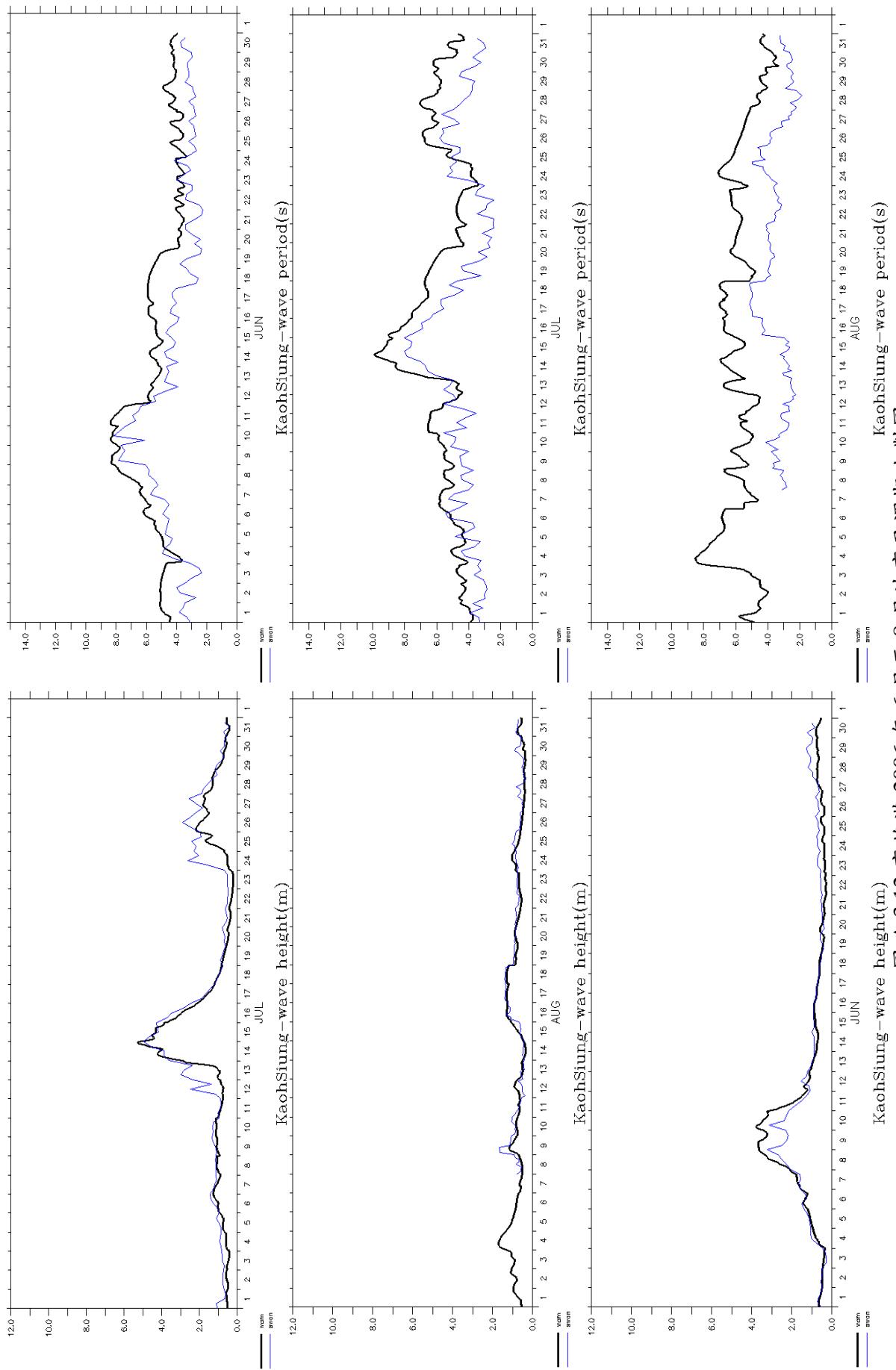


圖 A.3.12 高雄港 2006 年 6 月至 8 月波高及週期比對圖  
 KaohSiung—wave height(m)      KaohSiung—wave period(s)

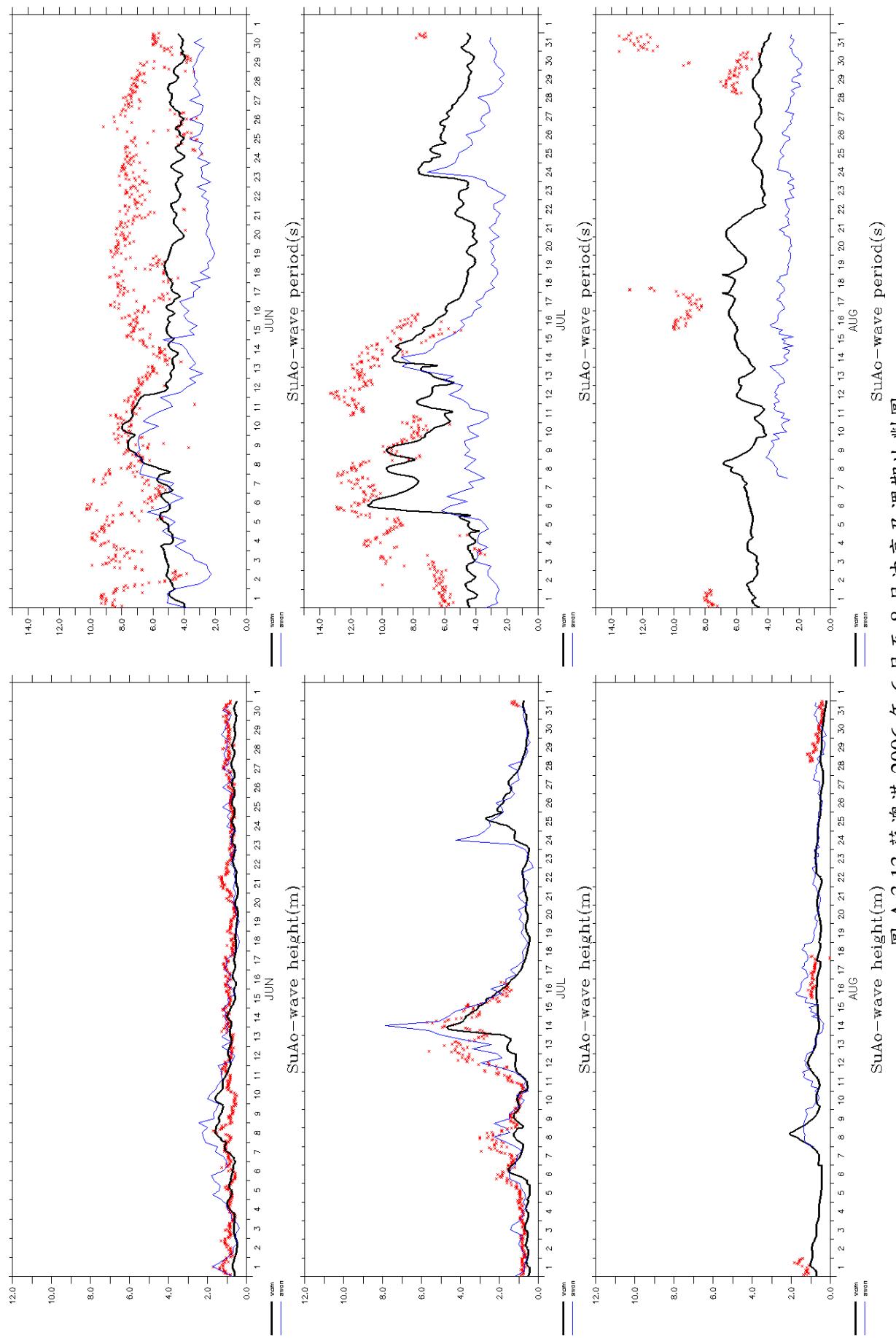


圖 A.3.13 蘇澳港 2006 年 6 月至 8 月波高及週期比對圖

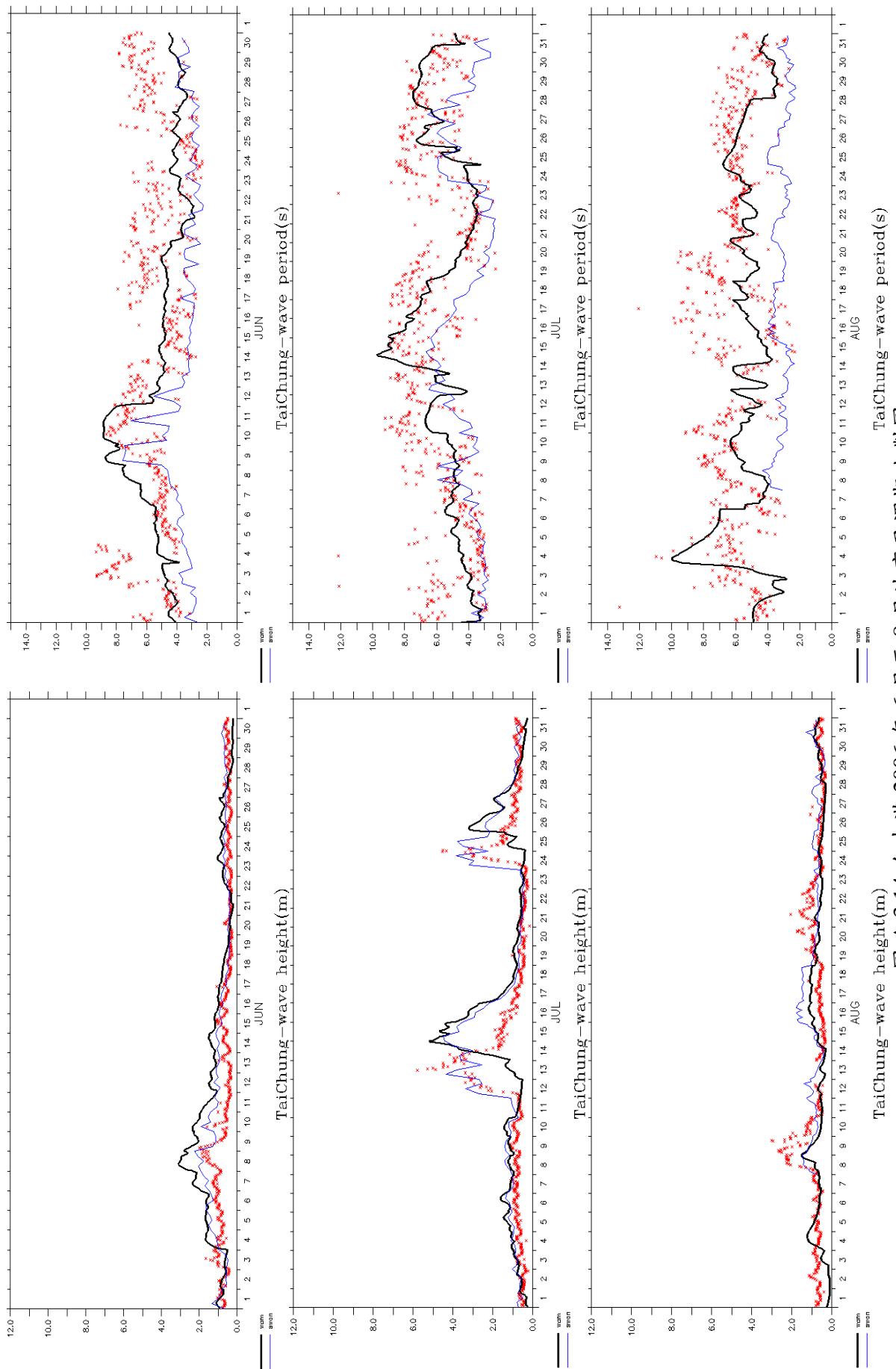


圖 A.3.14 台中港 2006 年 6 月至 8 月波高及週期比對圖

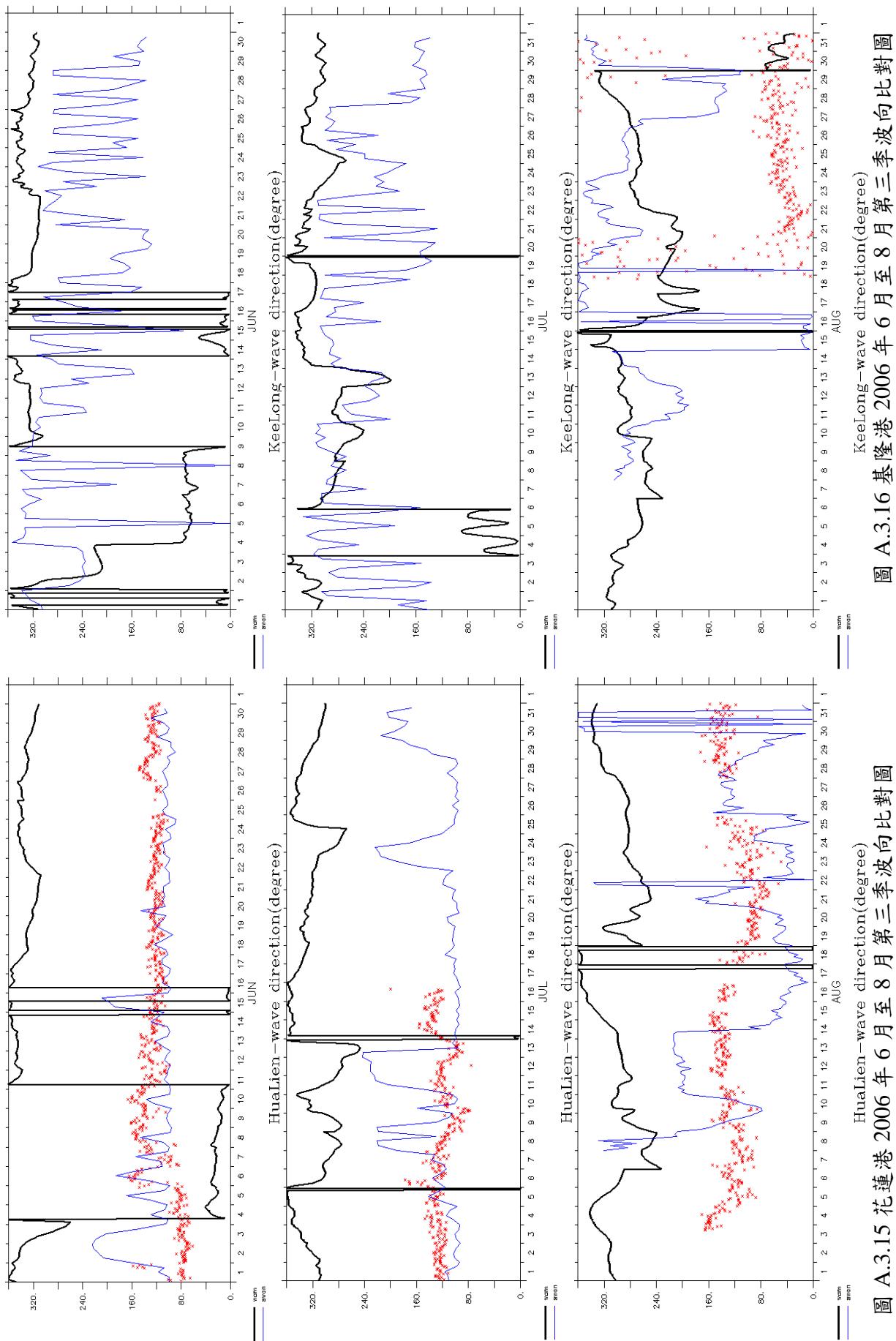


圖 A.3.15 花蓮港 2006 年 6 月至 8 月第三季波向比對圖

圖 A.3.16 基隆港 2006 年 6 月至 8 月第三季波向比對圖

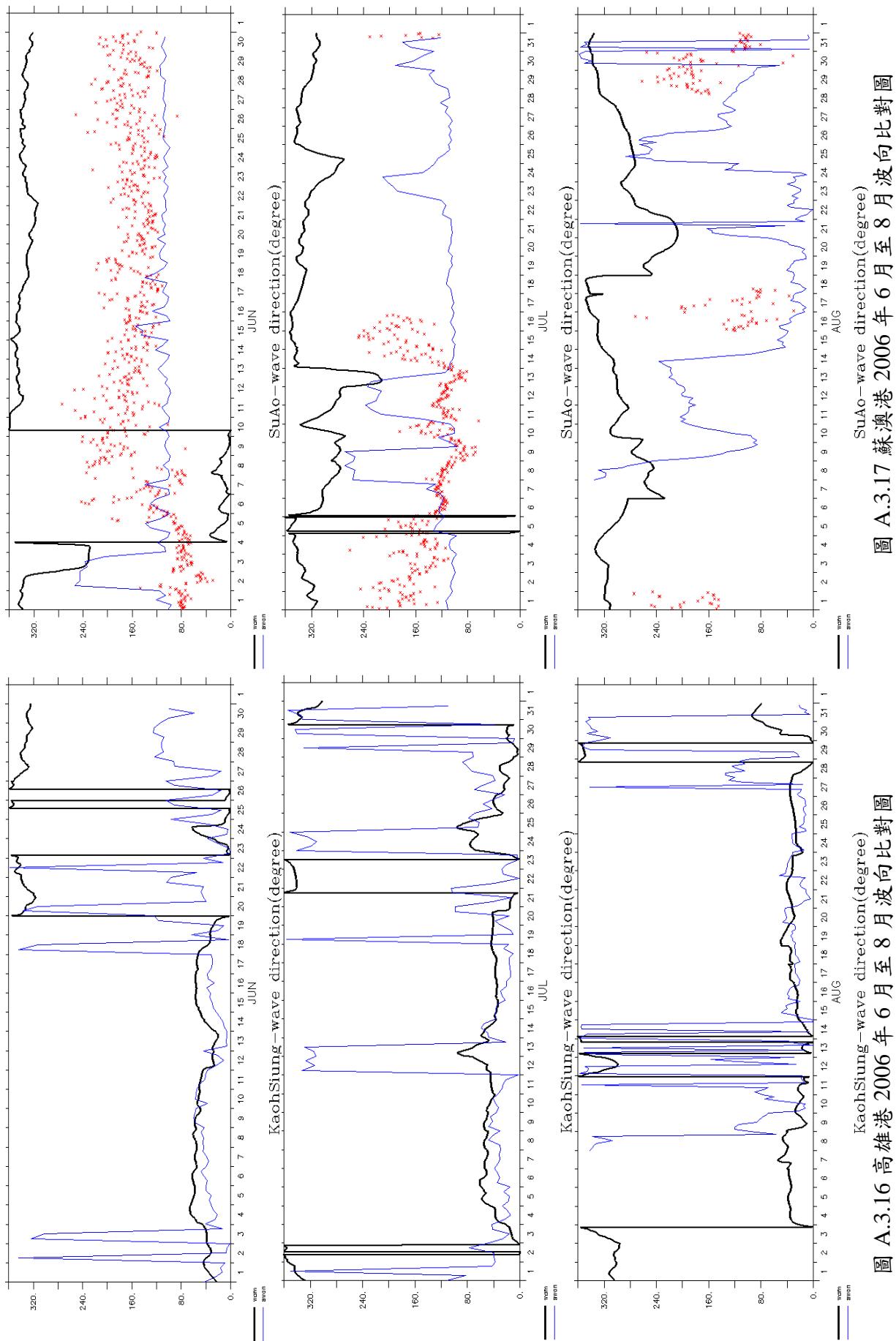


圖 A.3.16 高雄港 2006 年 6 月至 8 月波向對比圖

圖 A.3.17 蘇澳港 2006 年 6 月至 8 月波向對比圖

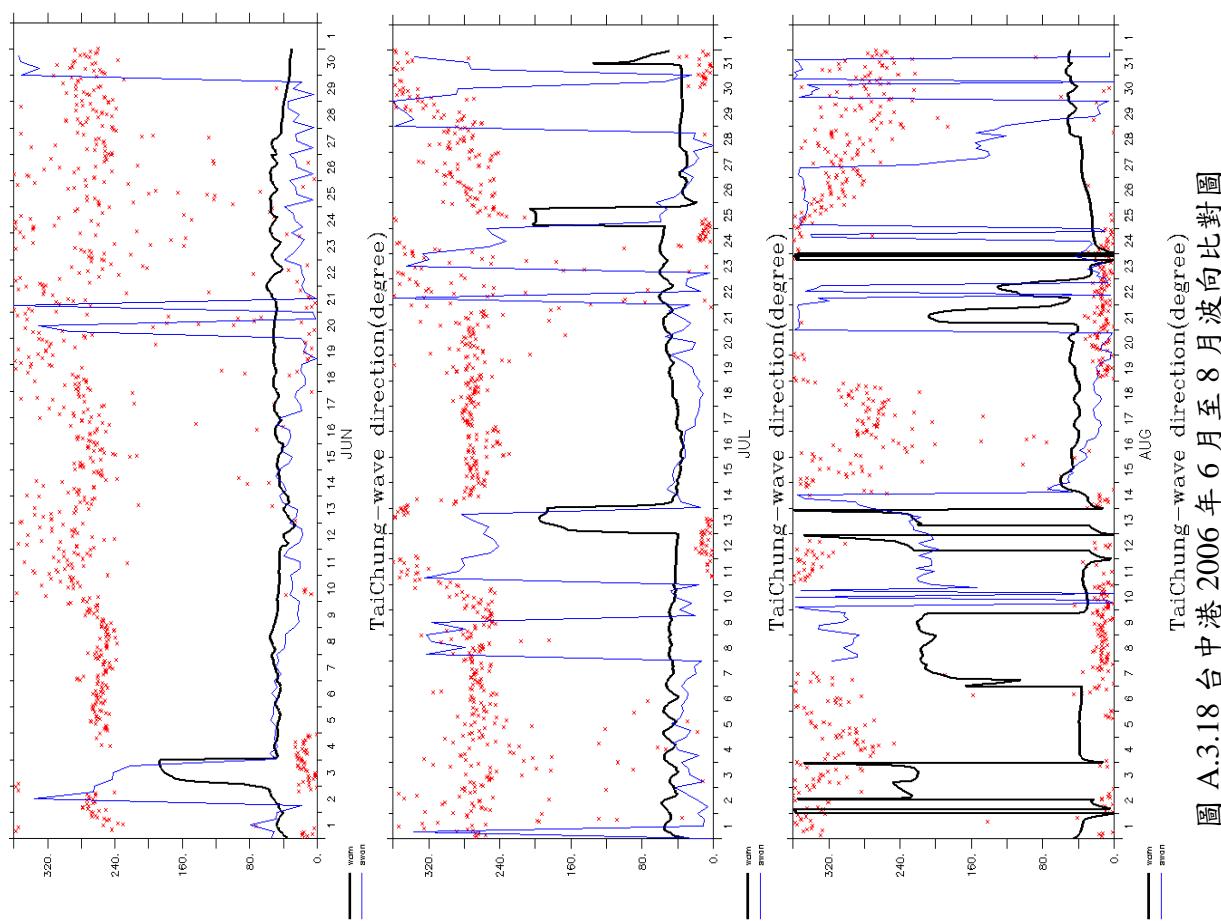


圖 A.3.18 台中港 2006 年 6 月至 8 月波向對比圖

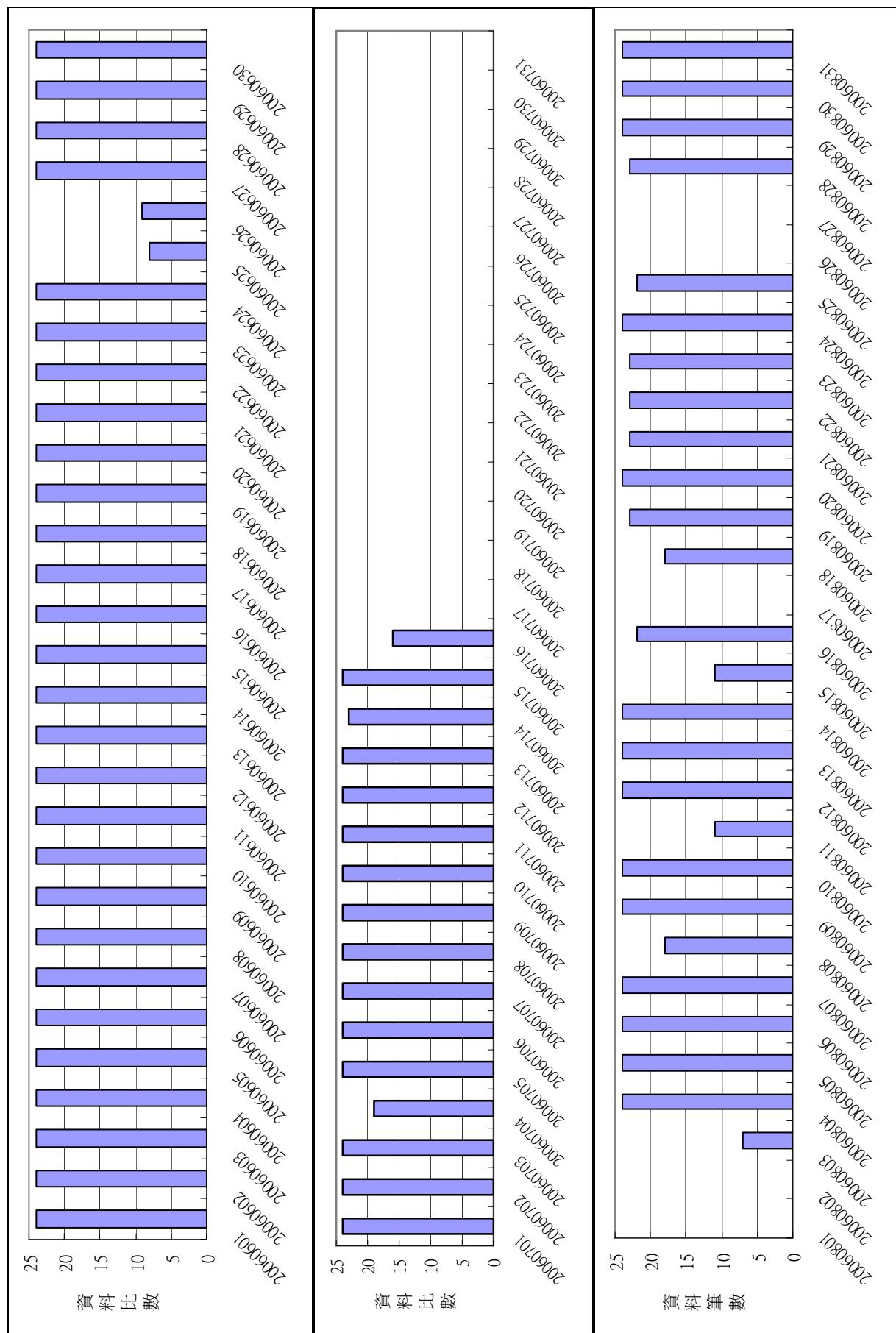


圖 A.3.19 花蓮 2006 年 6 月至 8 月第三季實測波浪資料比數統計

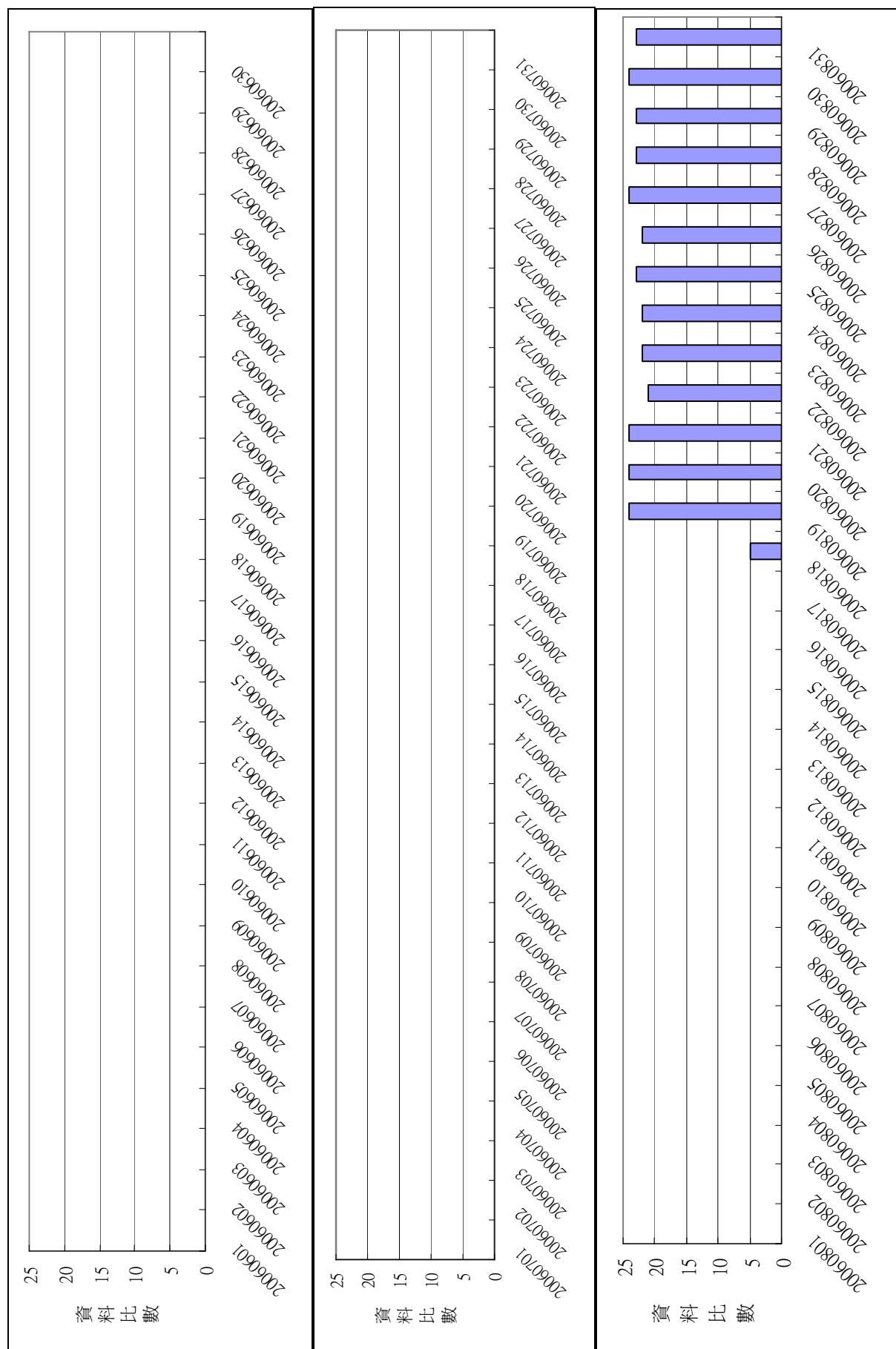


圖 A.3.20 基隆 2006 年 6 月至 8 月第三季實測波浪資料比數統計

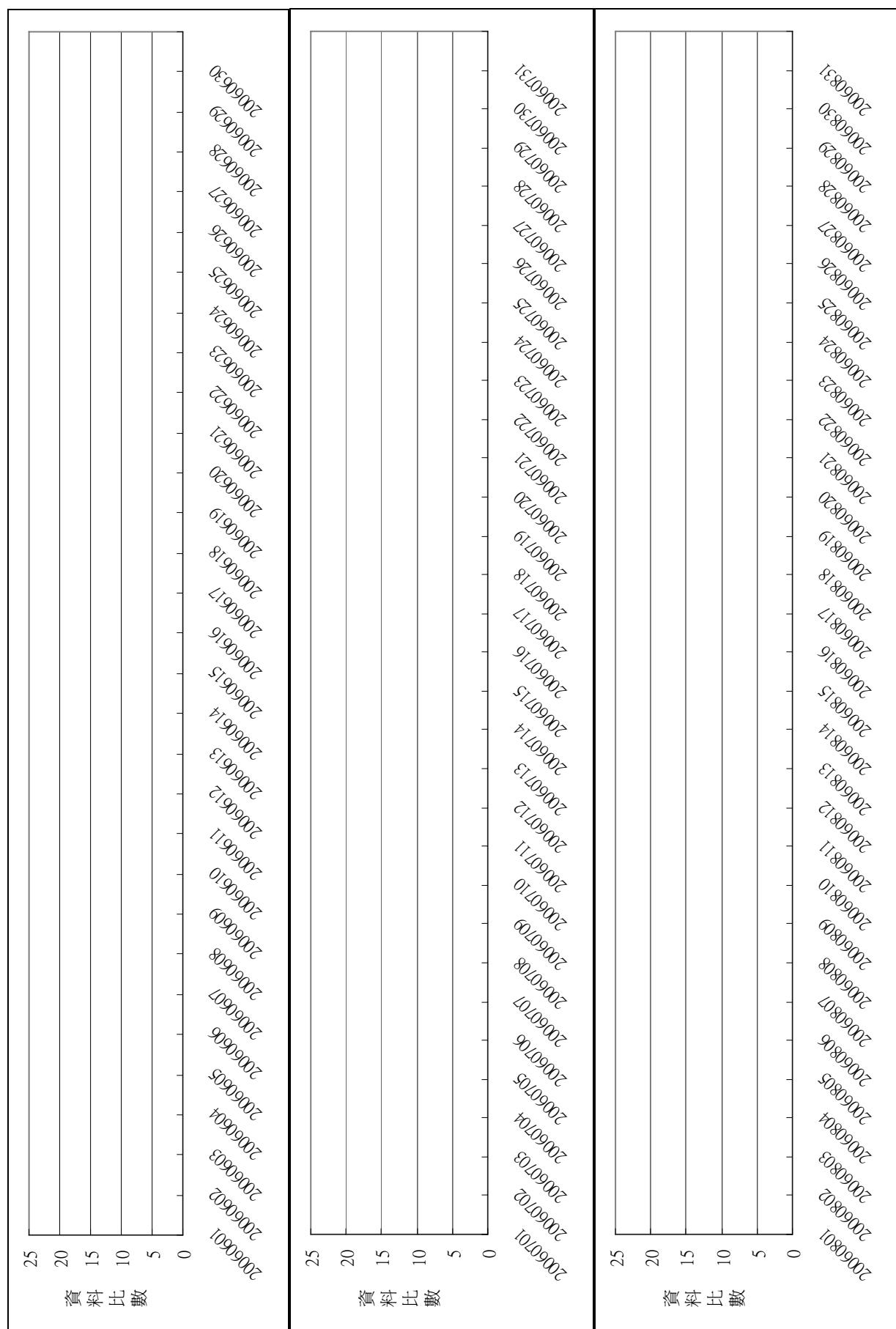


圖 A.3.21 高雄 2006 年 6 月至 8 月第三季實測波浪資料比數統計

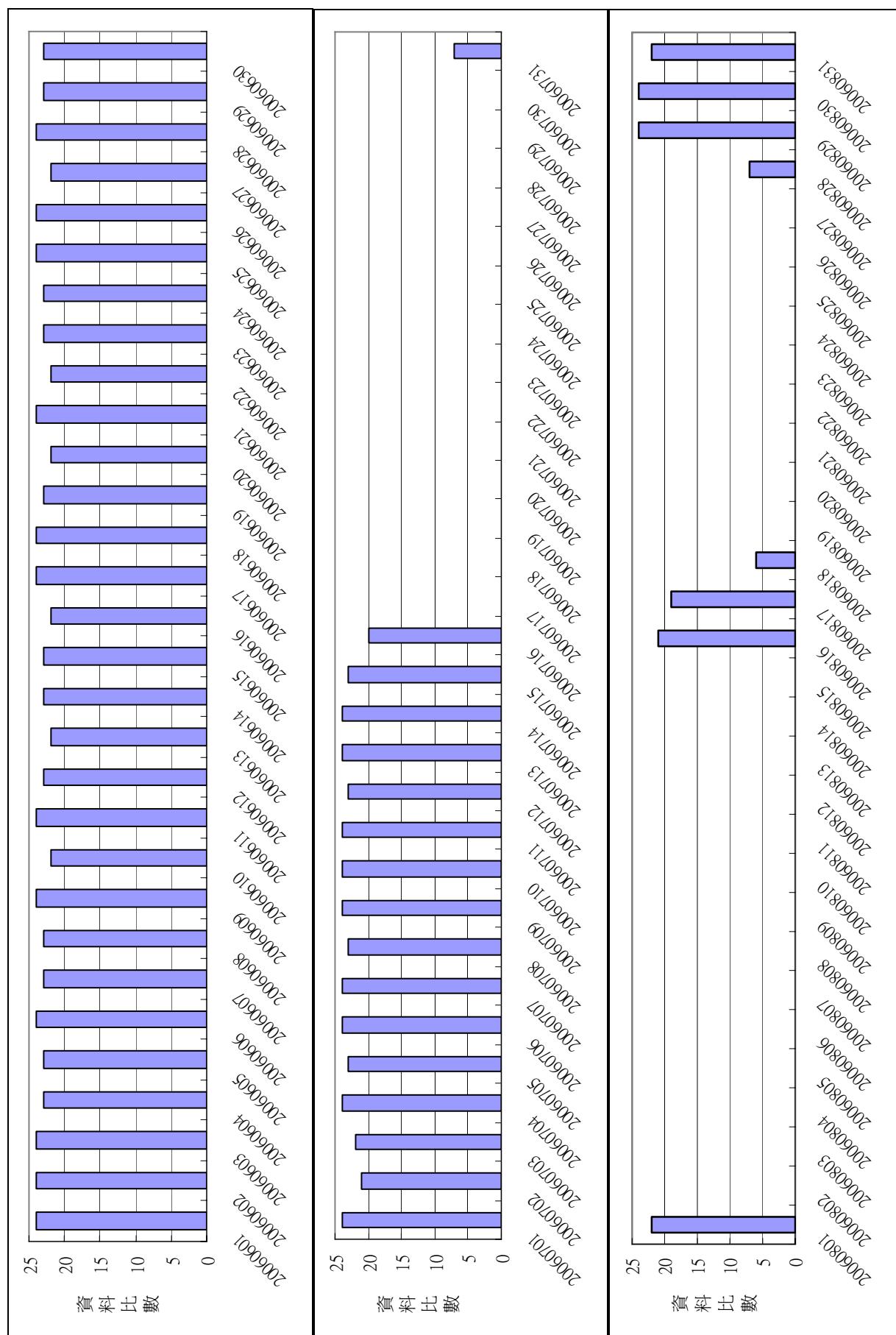


圖 A.3.22 蘇澳 2006 年 6 月至 8 月第三季測波浪資料比數統計

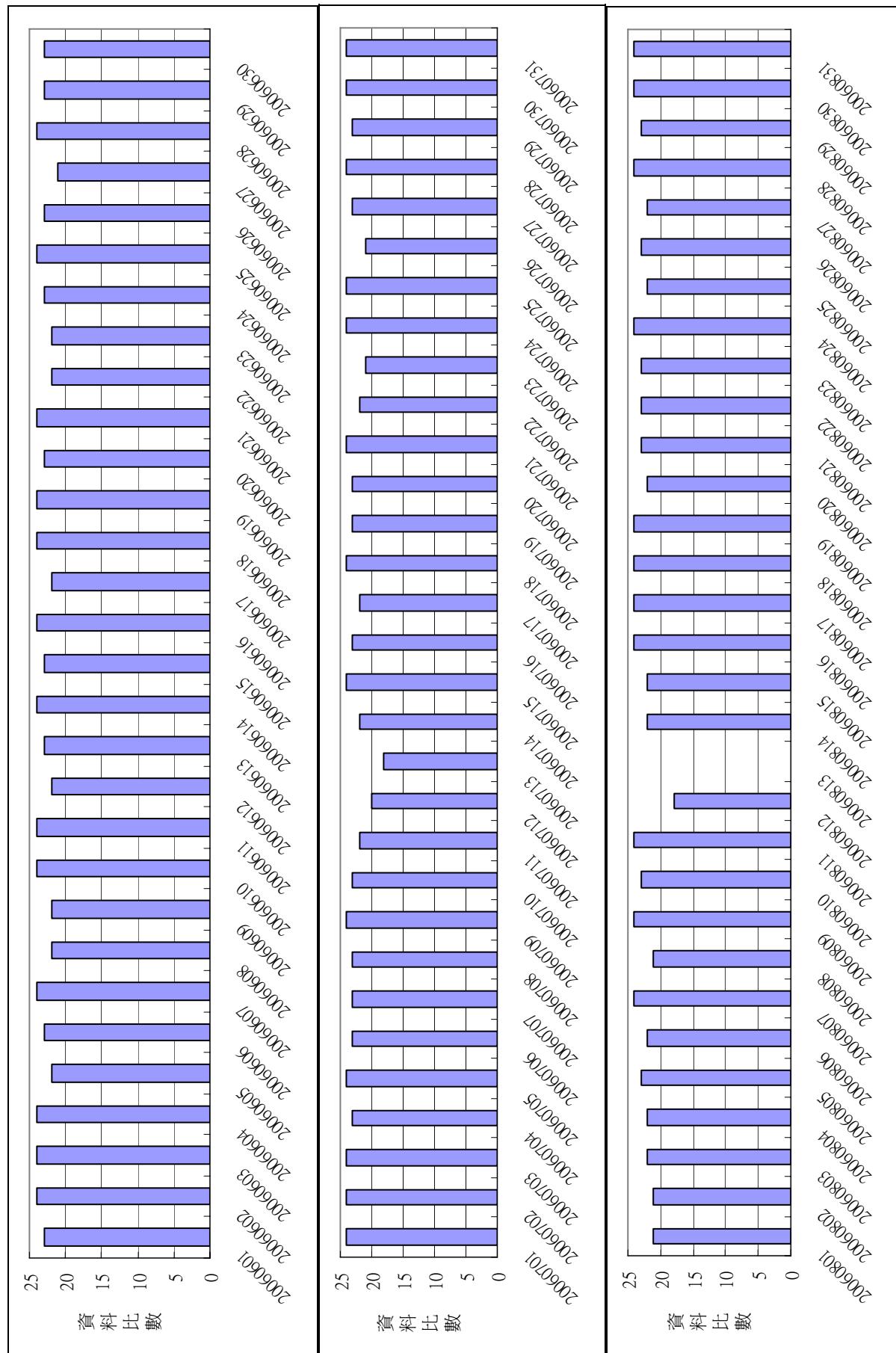


圖 A.3.23 蘇澳 2006 年 6 月至 8 月第三季實測波浪資料比數統計

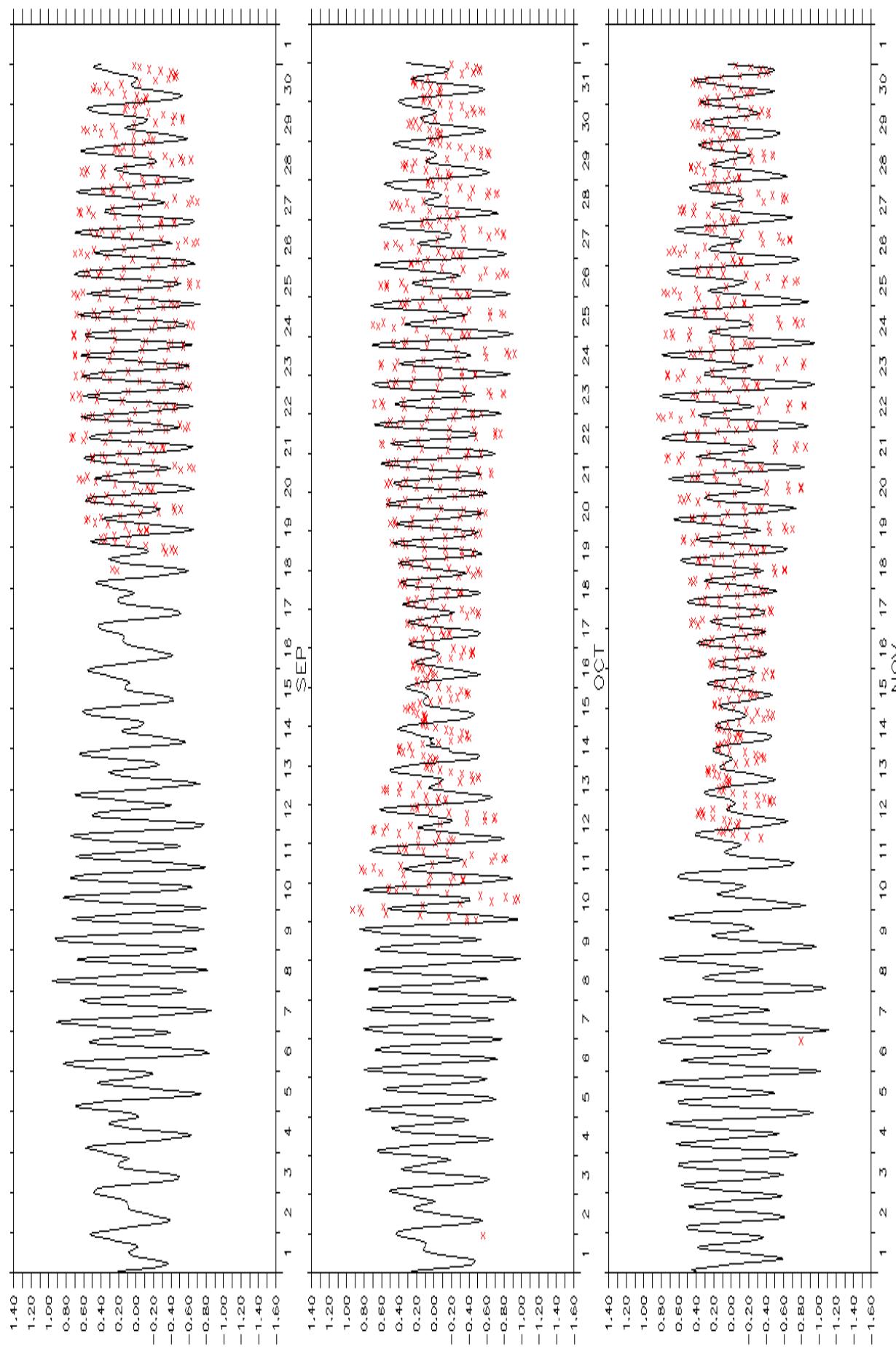


圖 A.4.1 花蓮港 2006 年 9 月至 11 月水位比對圖

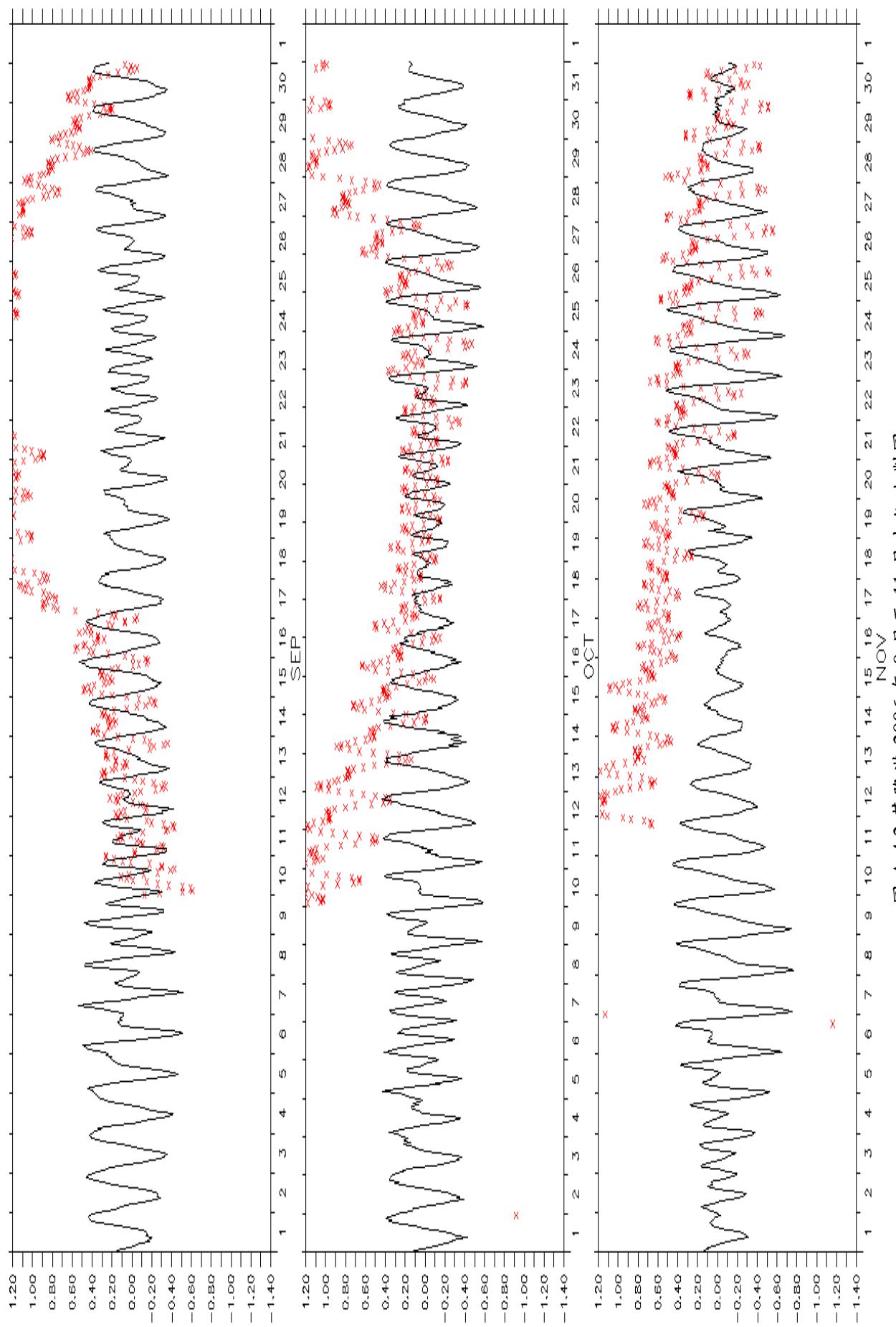


圖 A.4.2 基隆港 2006 年 9 月至 11 月水位比對圖

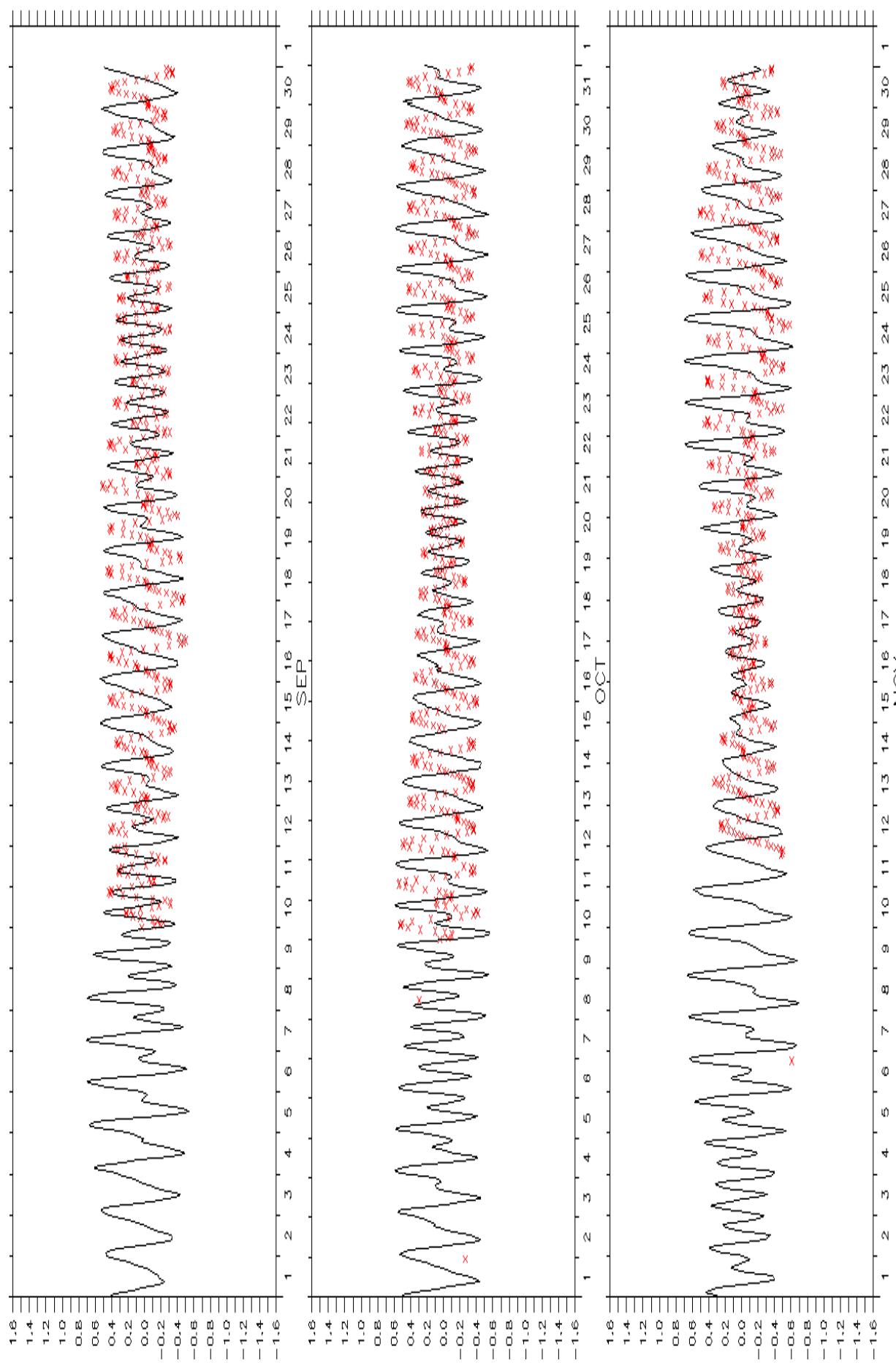


圖 A.4.3 高雄港 2006 年 9 月至 11 月水位比對圖

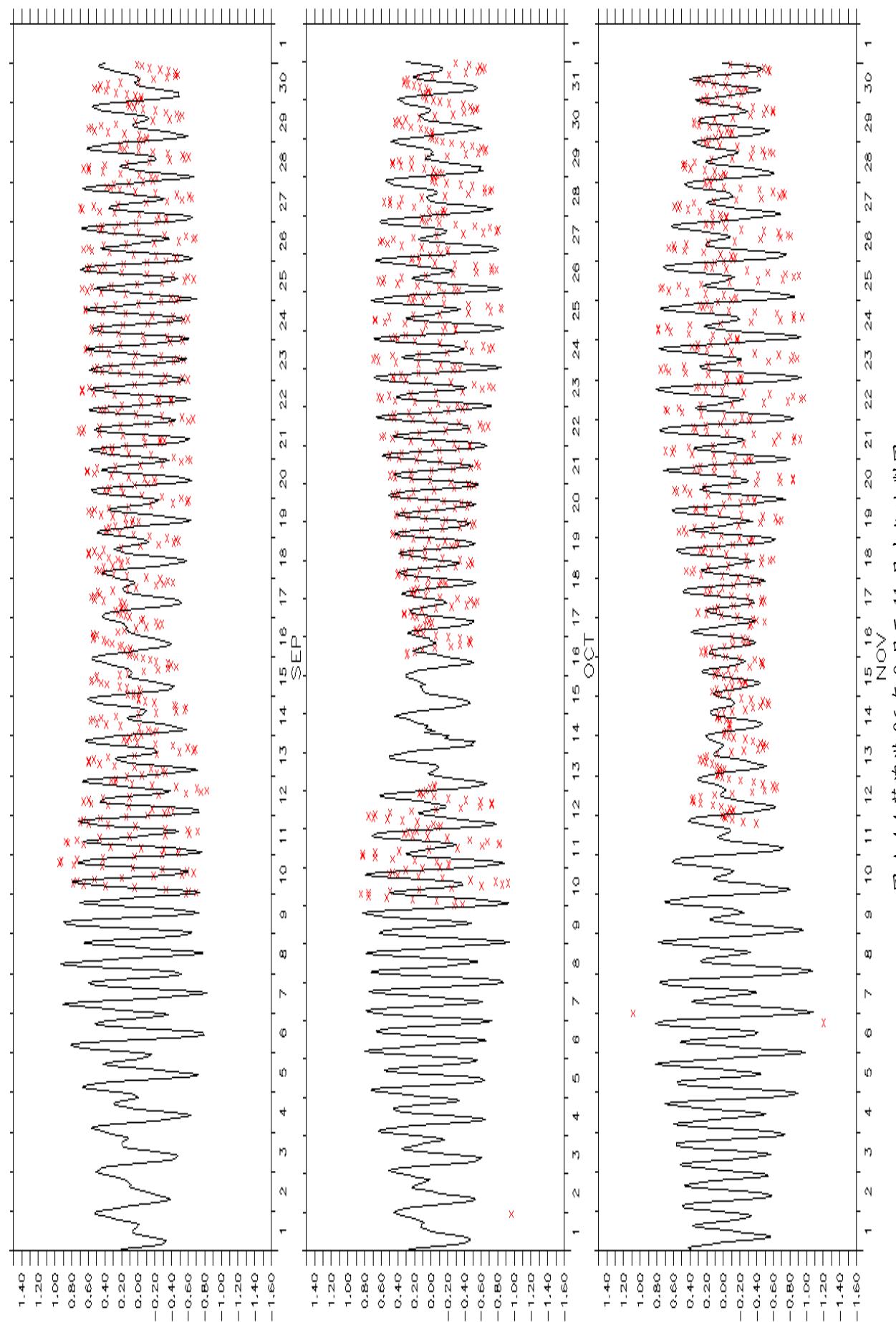


圖 A.4.4 蘇澳港 06 年 9 月至 11 月水位比對圖

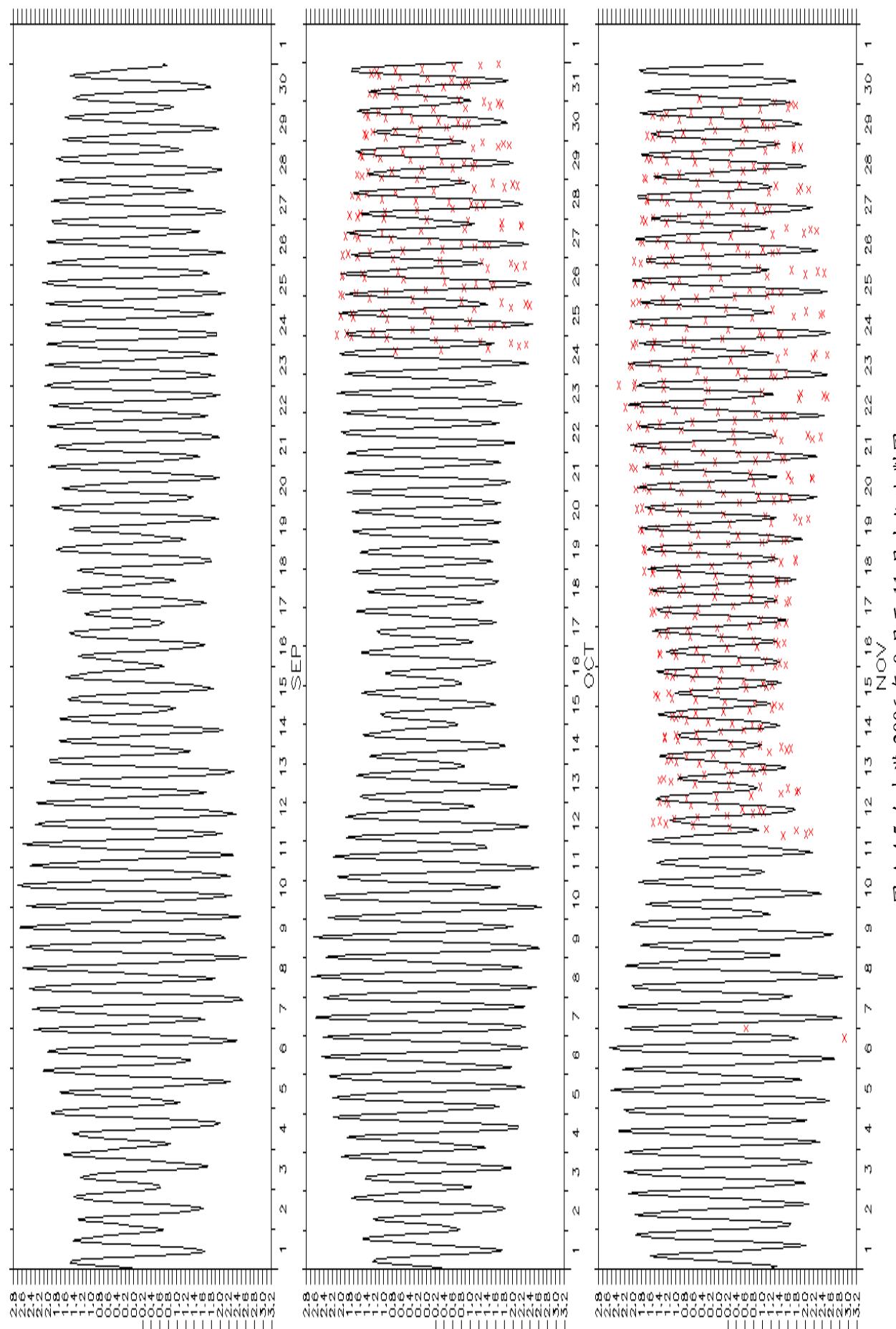


圖 A.4.5 台中港 2006 年 9 月至 11 月水位比對圖

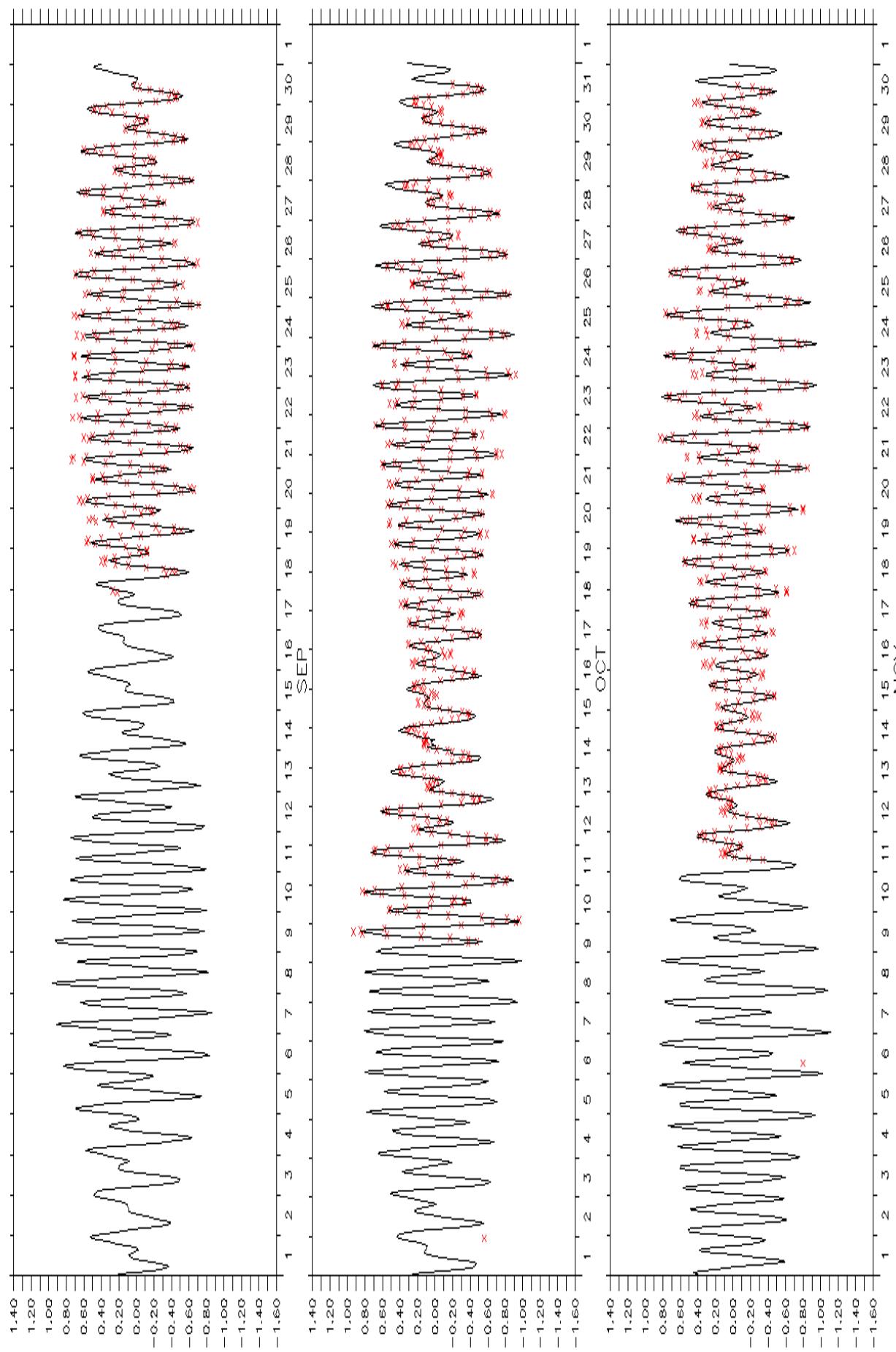
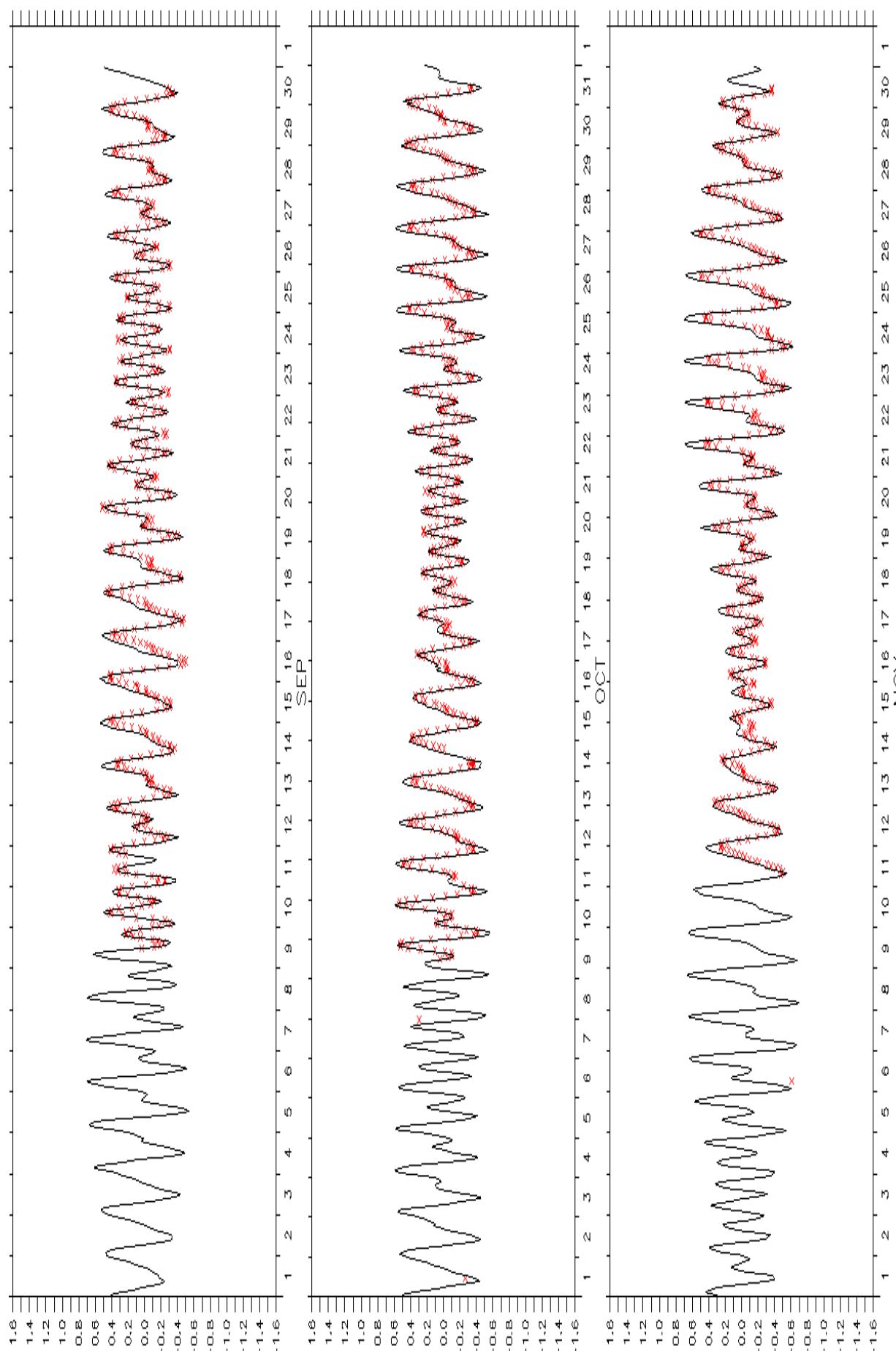


圖 A.4.6 花蓮港實測資料時間修正後 2006 年 9 月至 11 月水位比對圖



A-55

圖 A.4.7 高雄港實測資料時間修正後 2006 年 9 月至 11 月水位比對圖

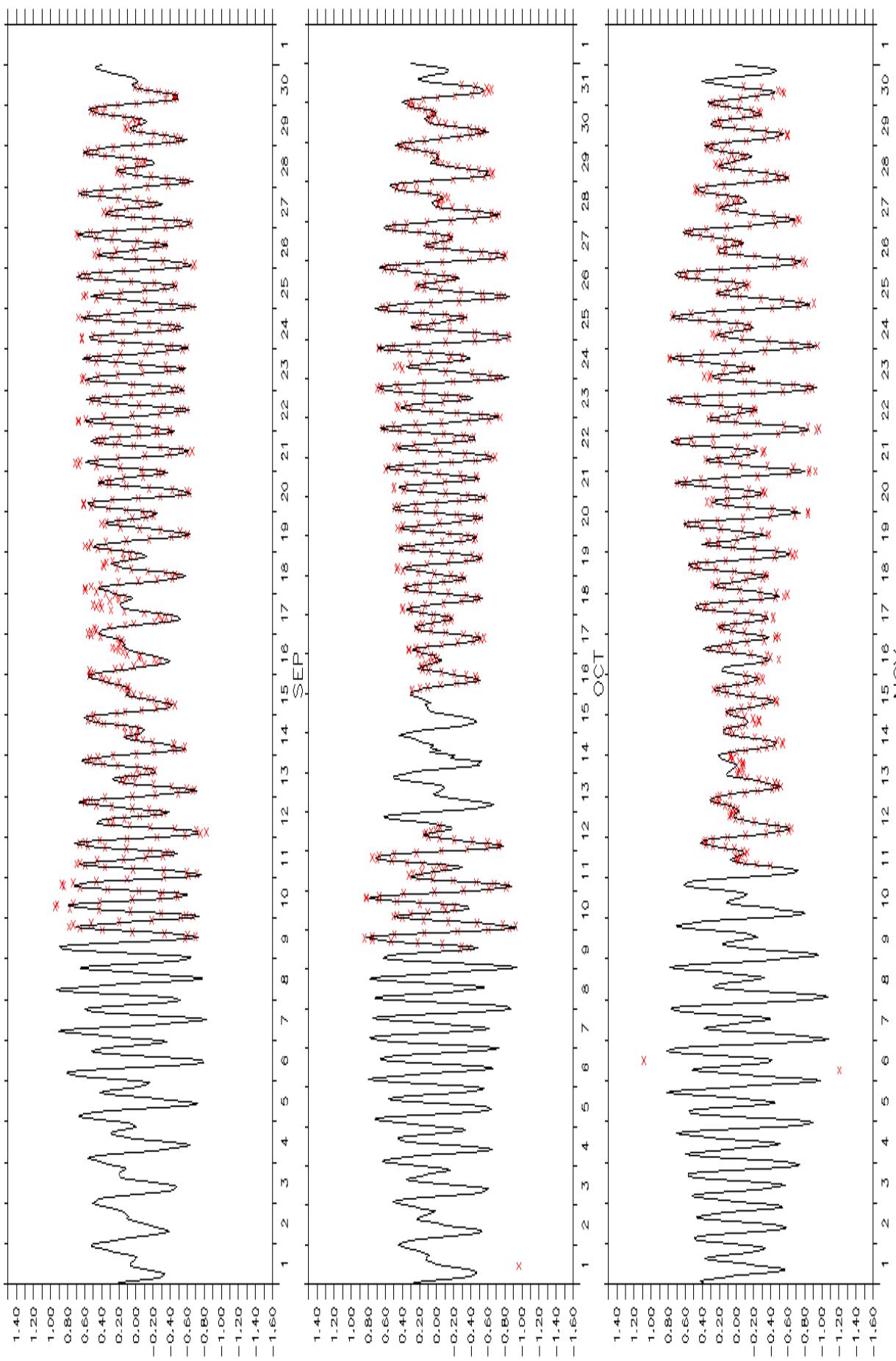


圖 A.4.8 蘇澳港實測資料時間修正後 2006 年 9 月至 11 月水位比對圖

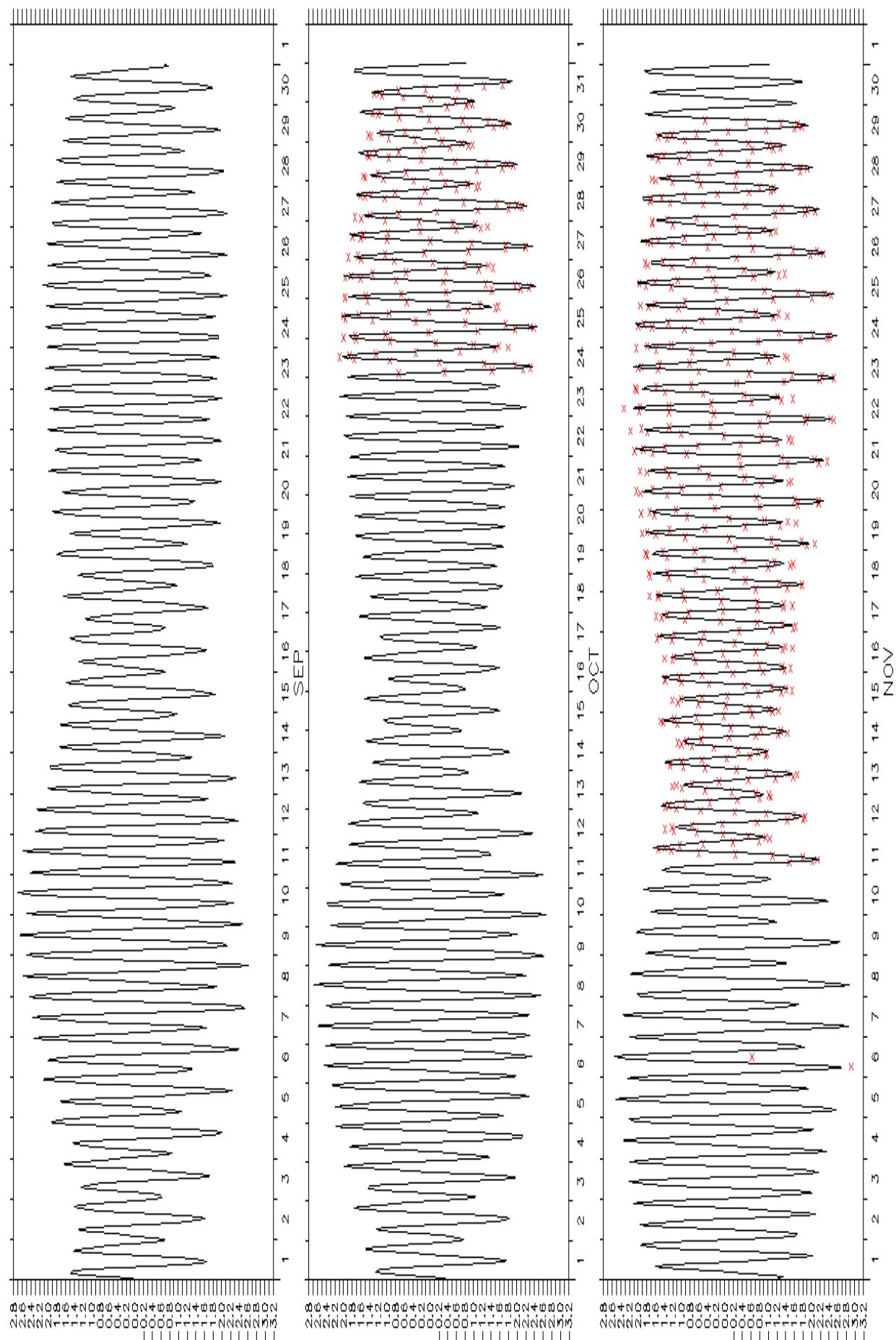
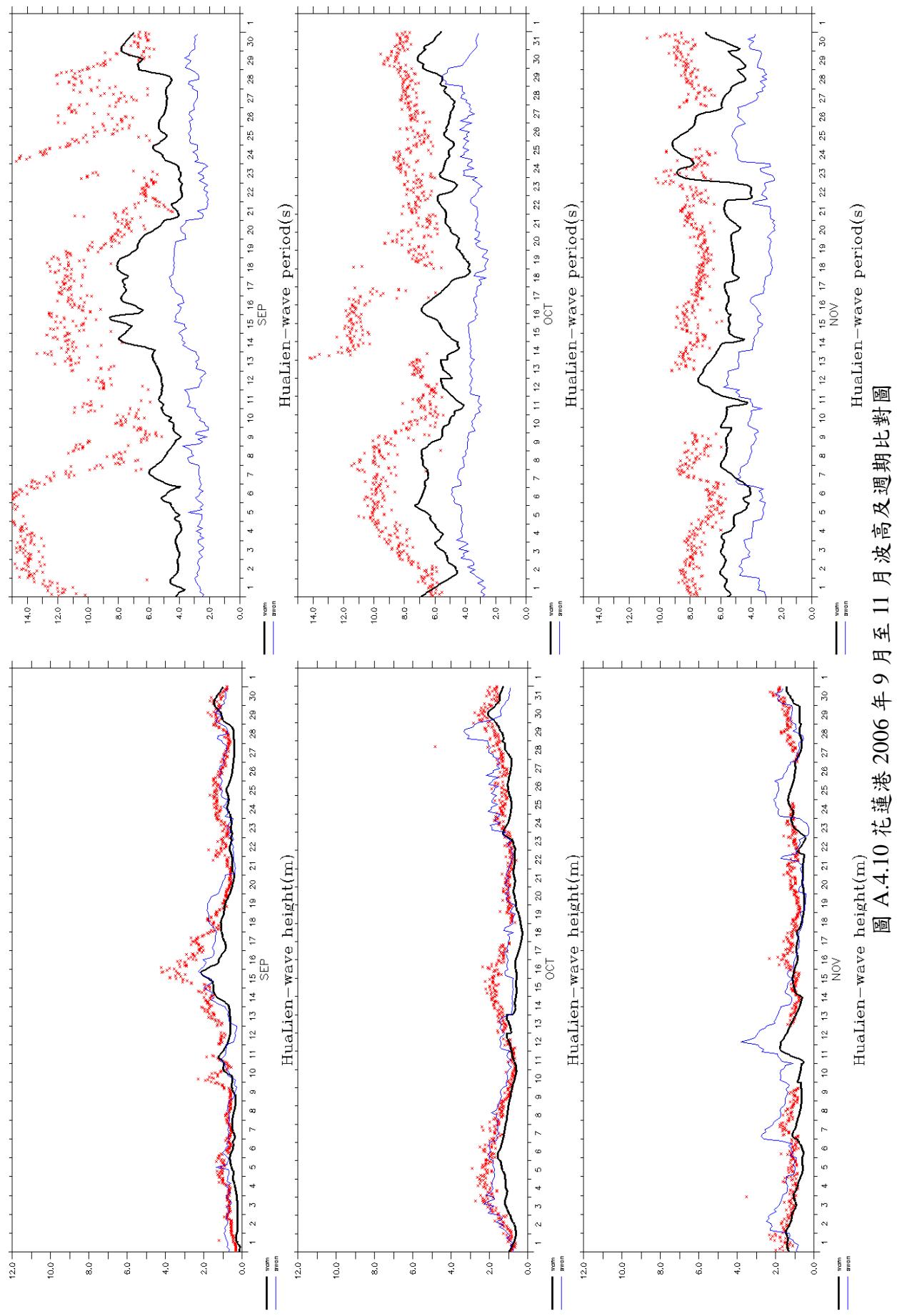
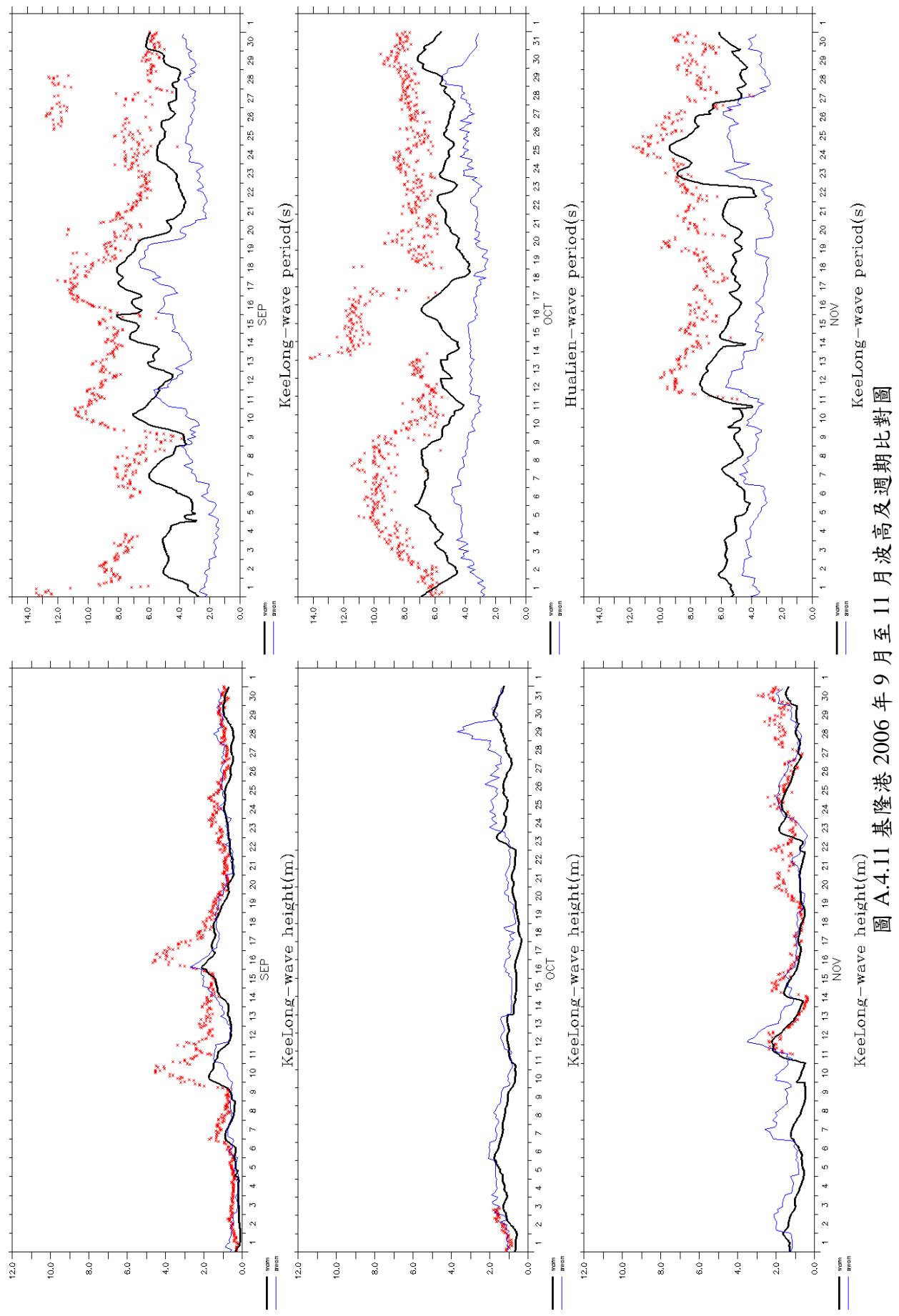


圖 A.4.9 台中港實測資料時間修正後 2006 年 9 月至 11 月水位比對圖





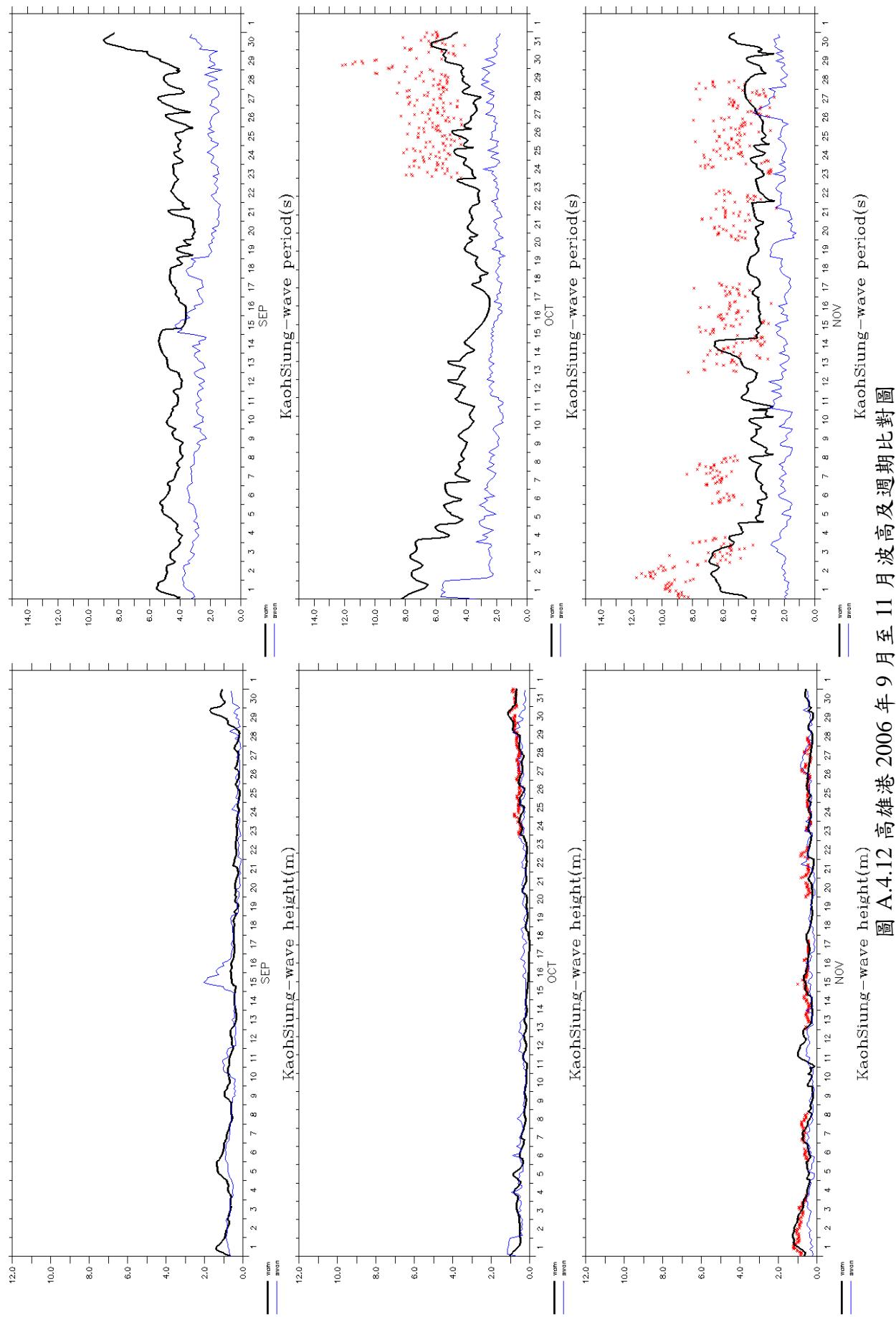


圖 A.12 高雄港 2006 年 9 月至 11 月波高及週期比對圖

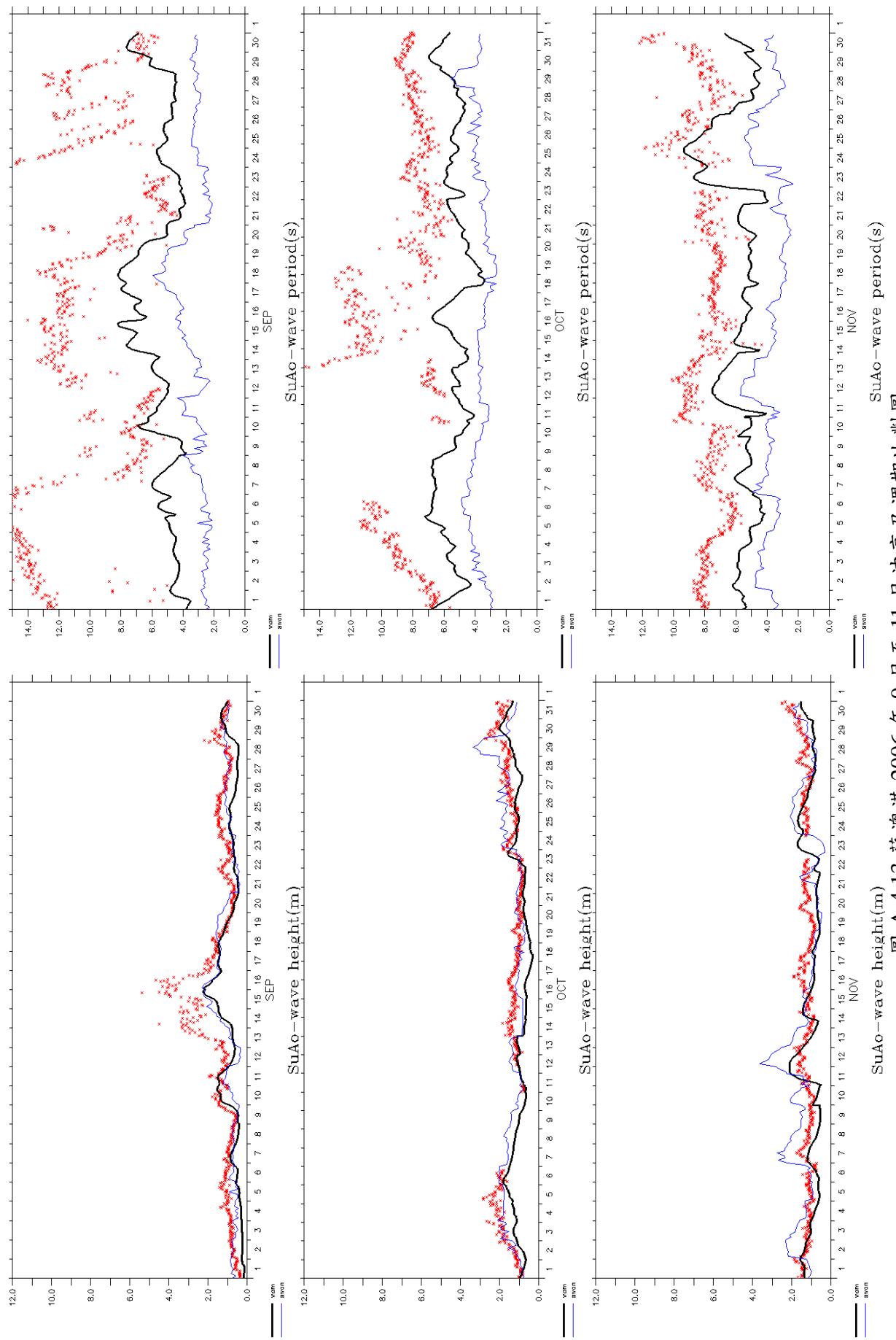
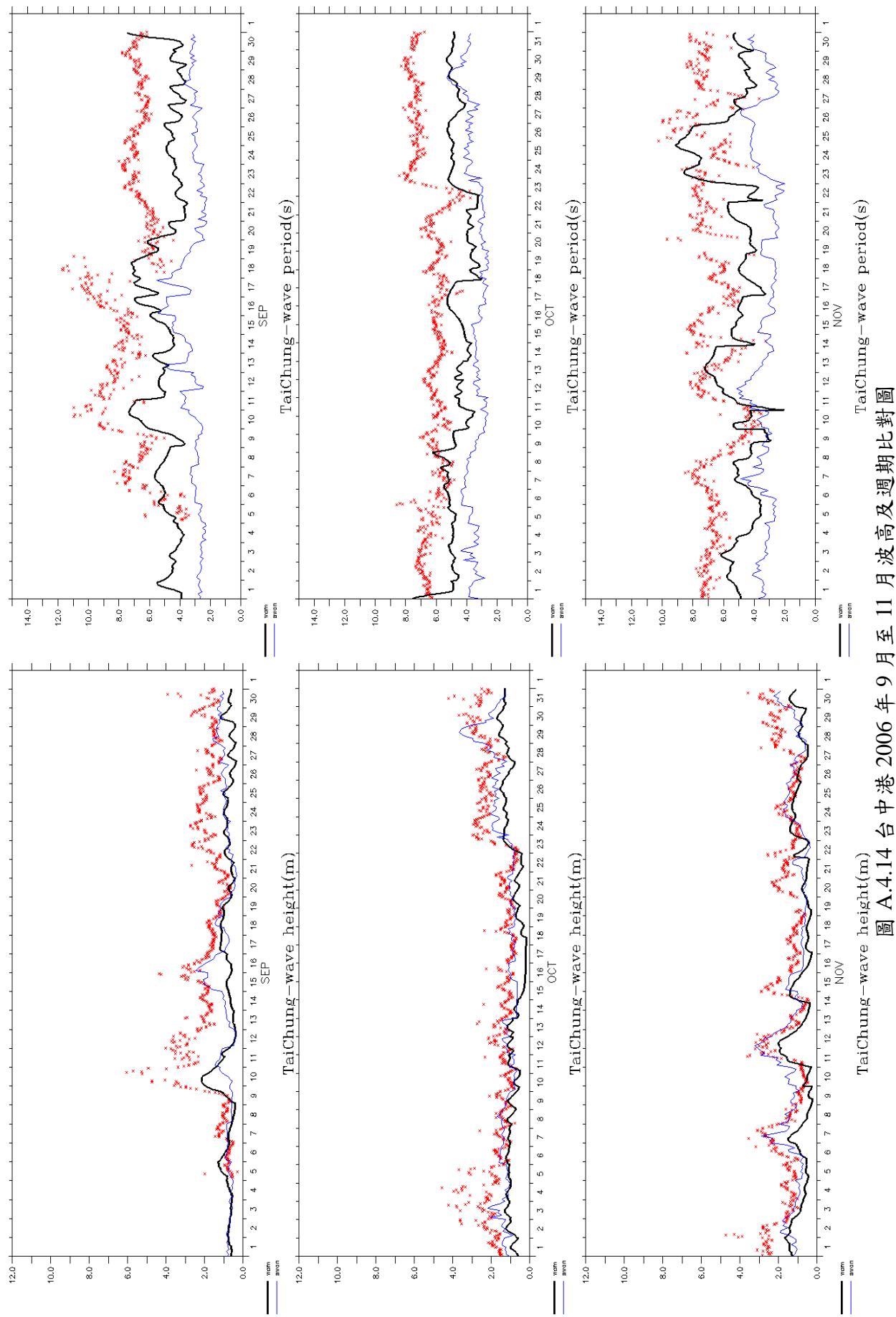


圖 A.4.13 蘇澳港 2006 年 9 月至 11 月波高及週期比對圖



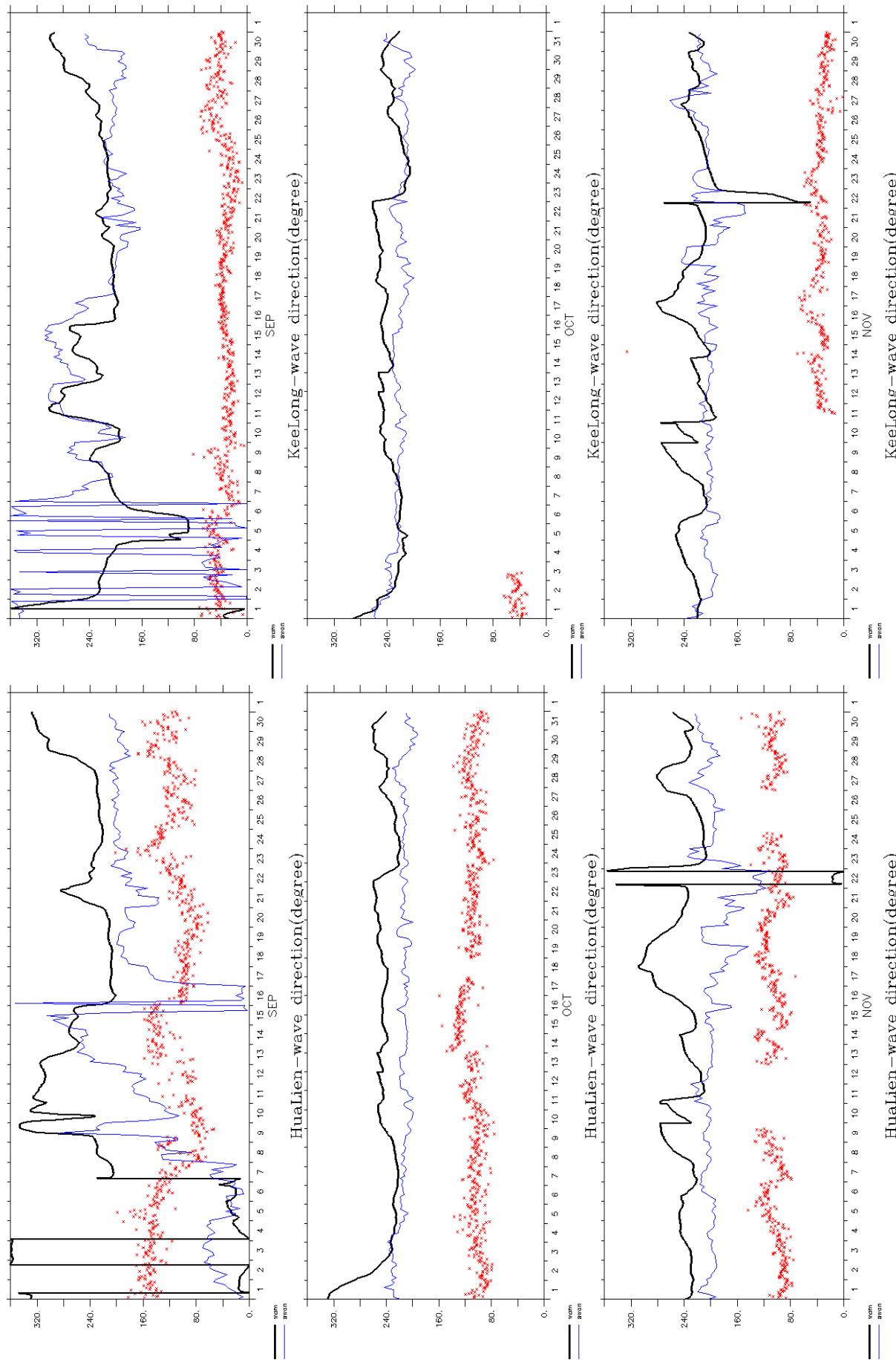


圖 A.4.15 花蓮港 2006 年 9 月至 11 月第三季波向比對圖

圖 A.4.16 基隆港 2006 年 9 月至 11 月第三季波向比對圖

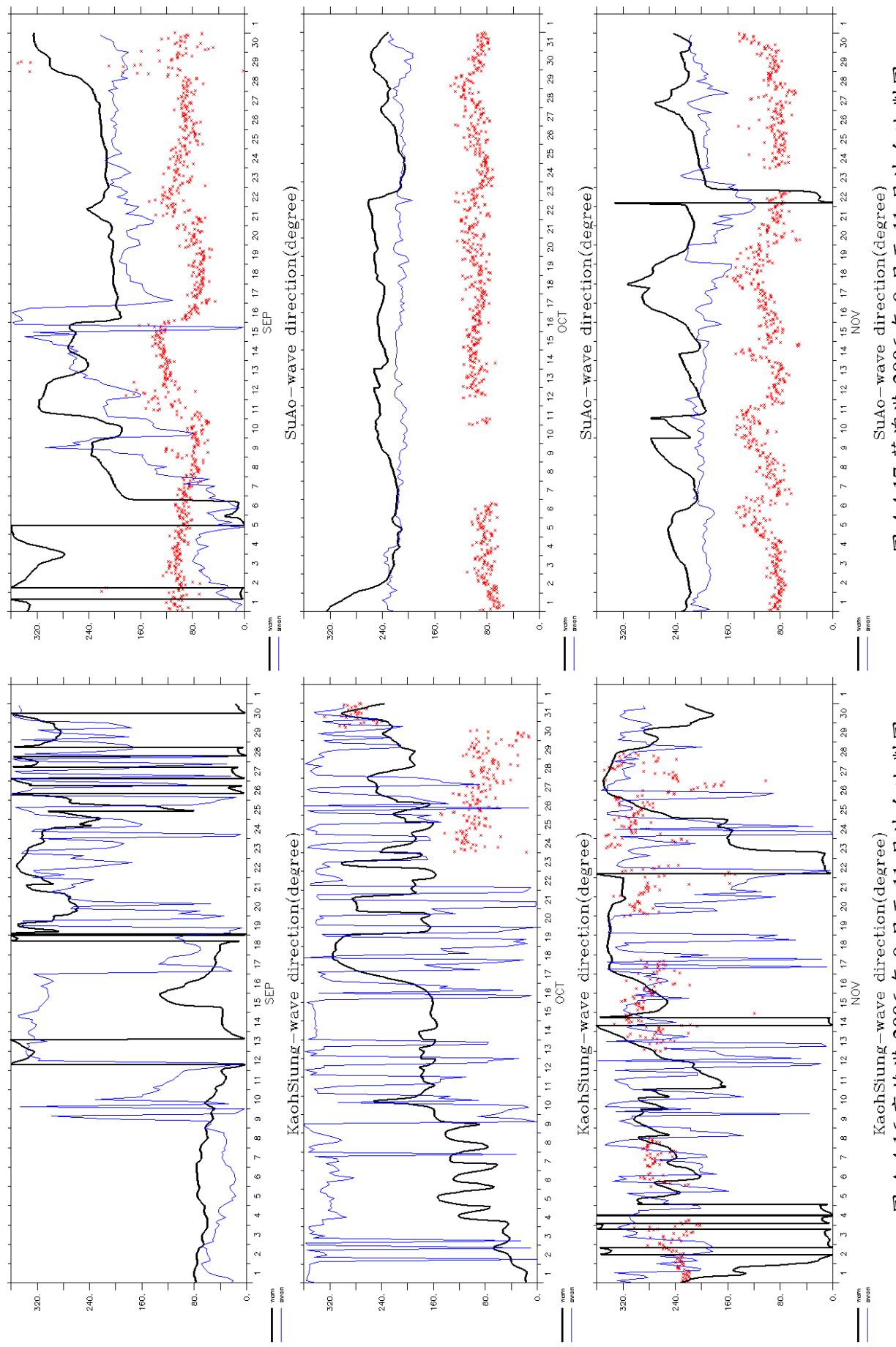


圖 A.4.16 高雄港 2006 年 9 月至 11 月波向比對圖

圖 4.4.17 蘇澳港 2006 年 9 月至 11 月波向比對圖

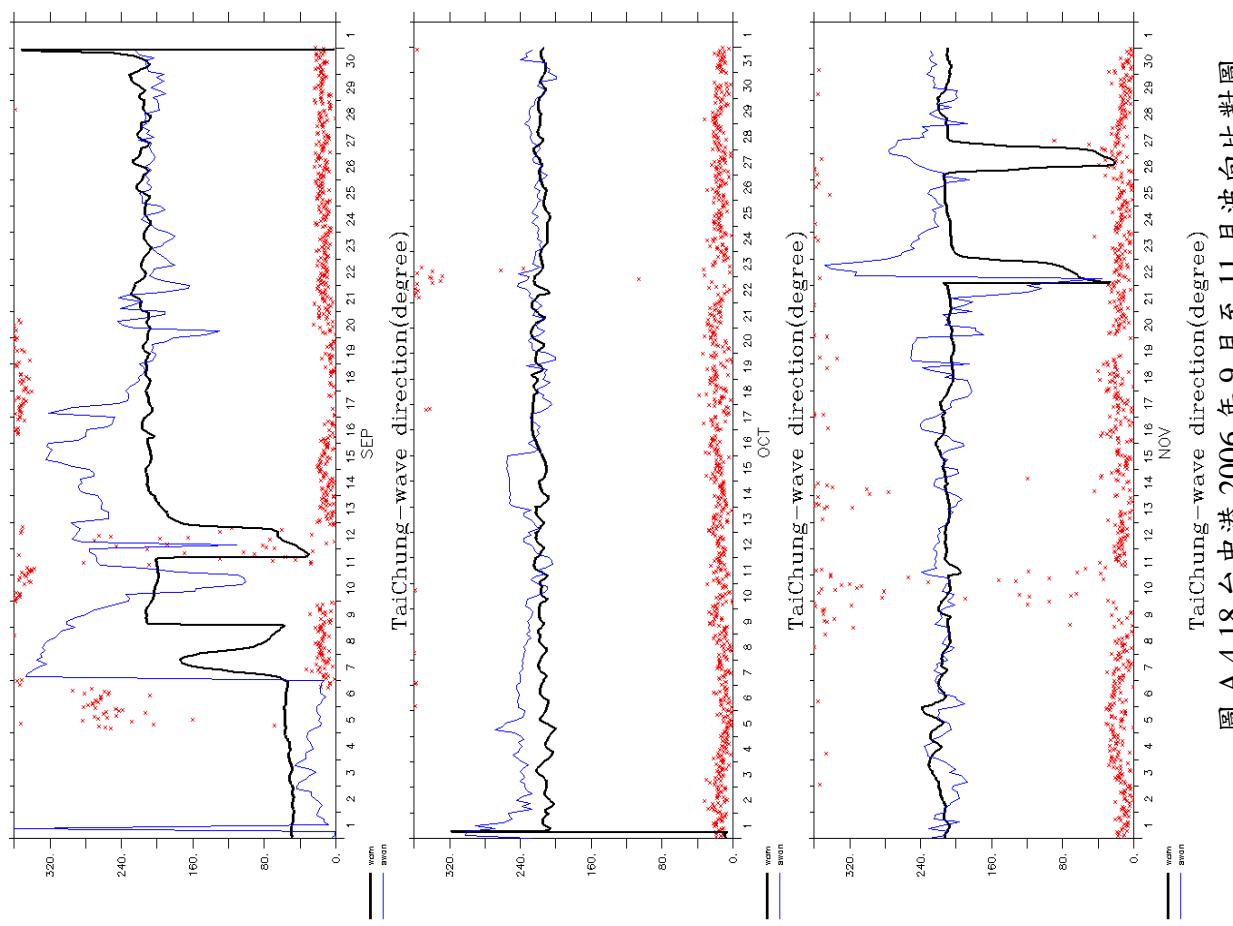
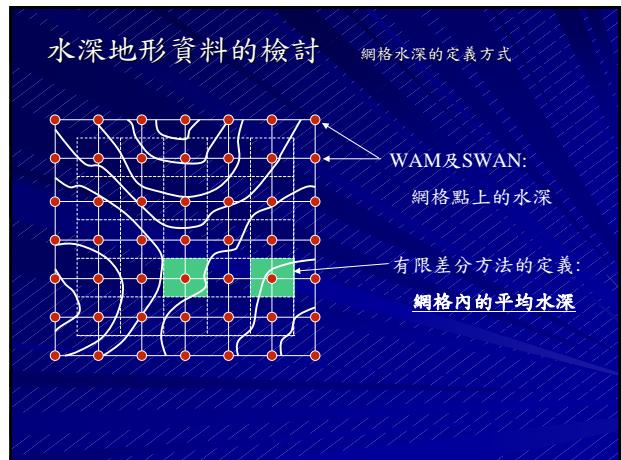
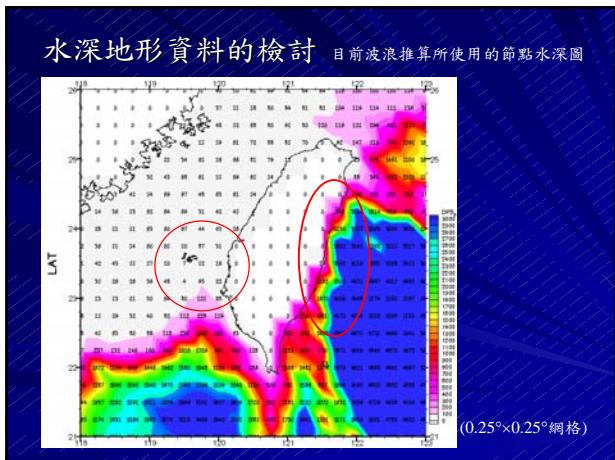
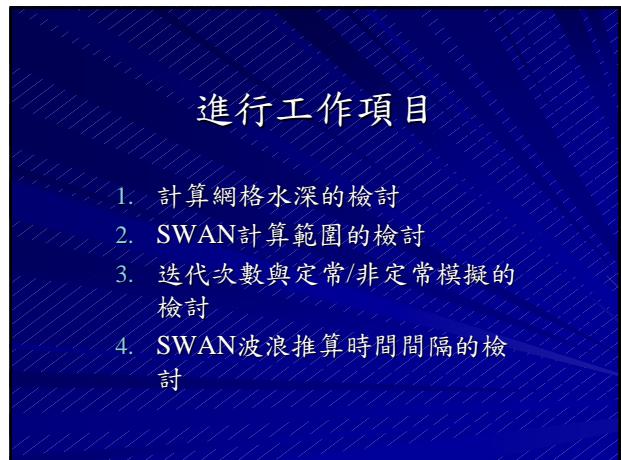
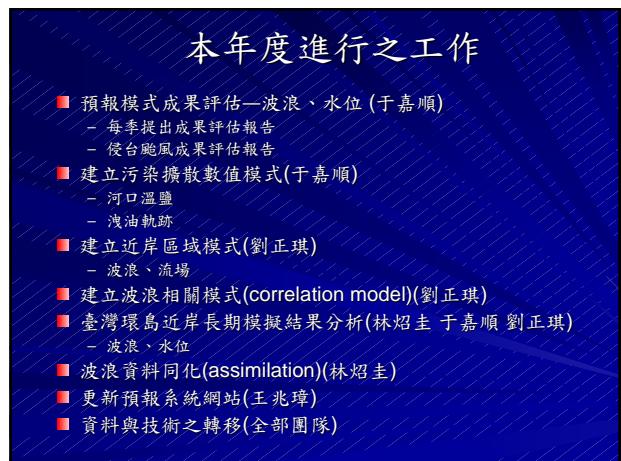
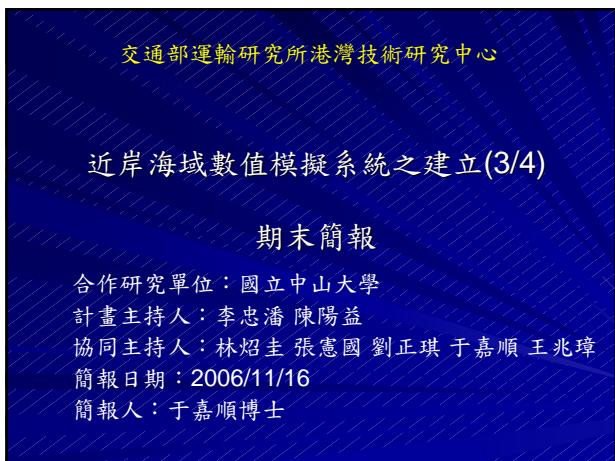
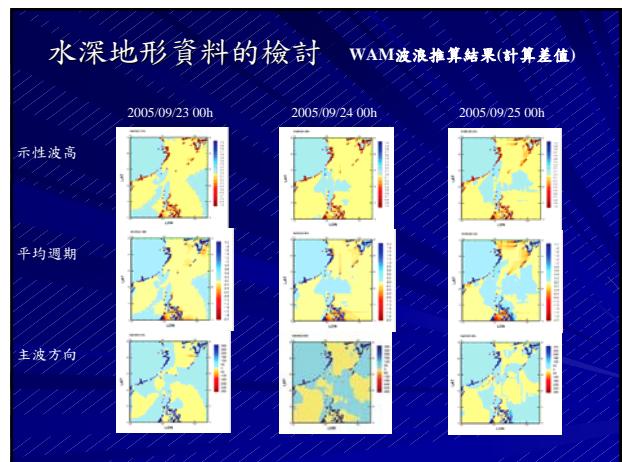
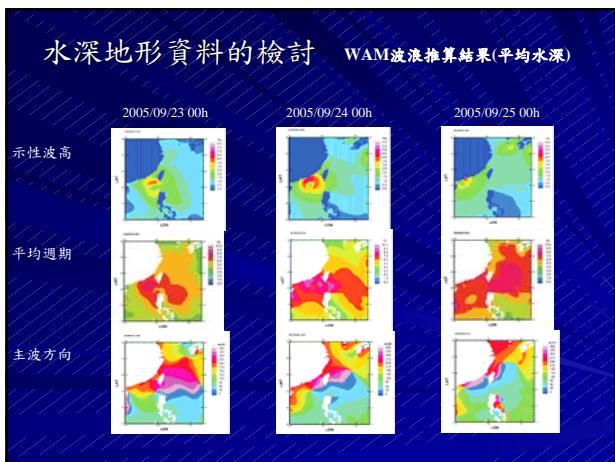
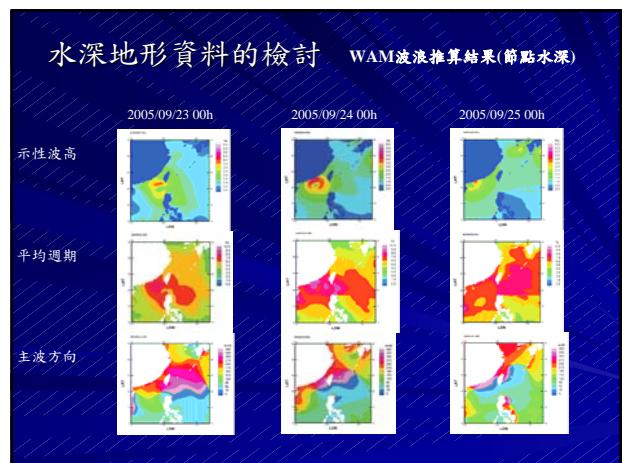
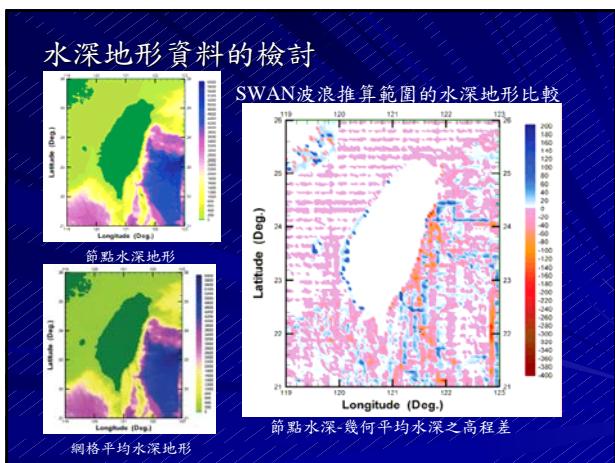
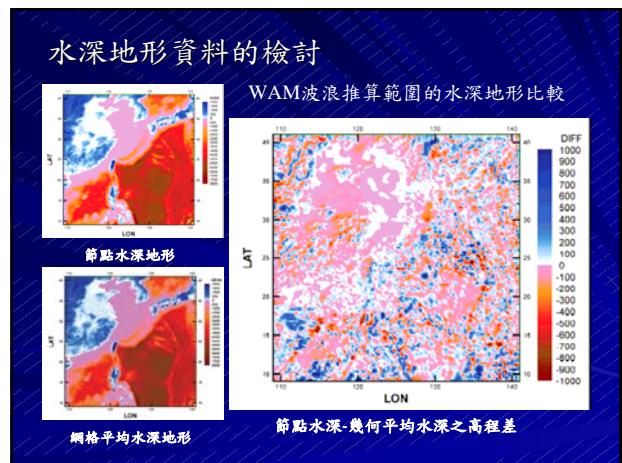
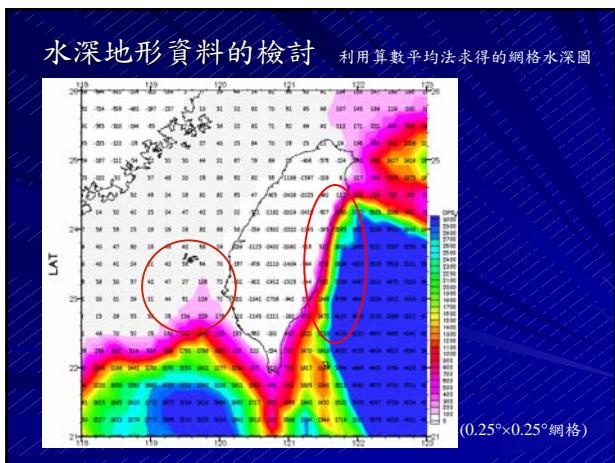
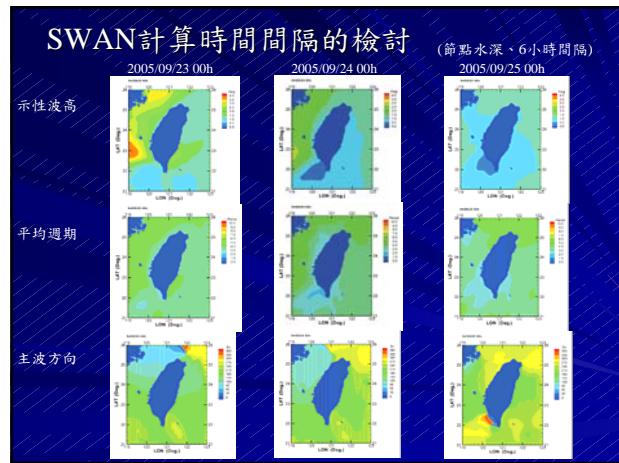
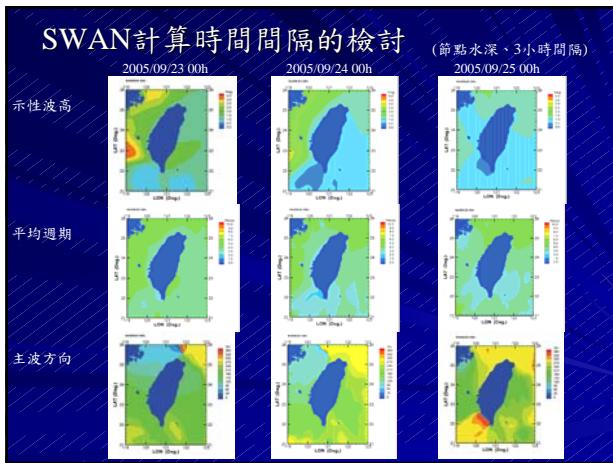
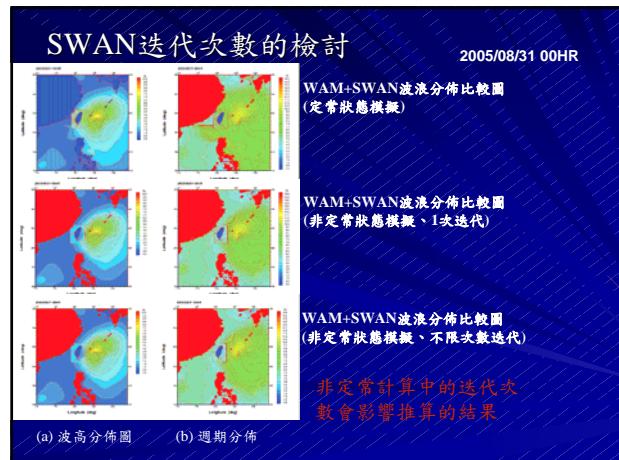
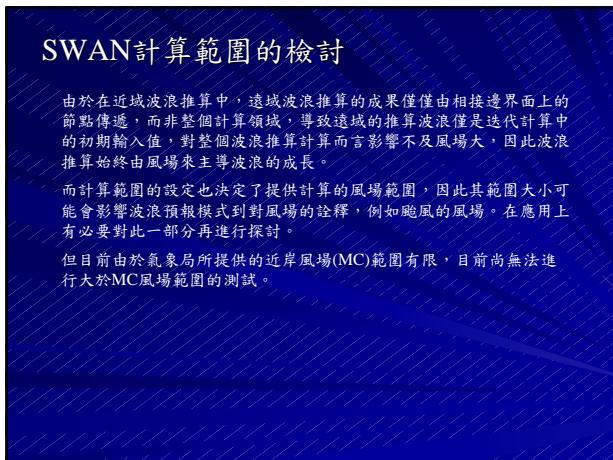
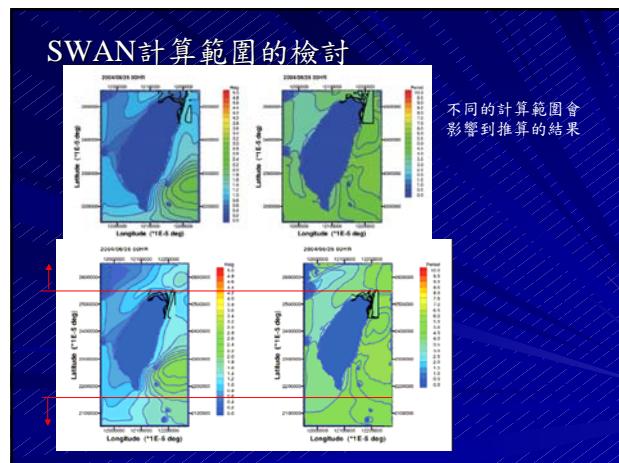
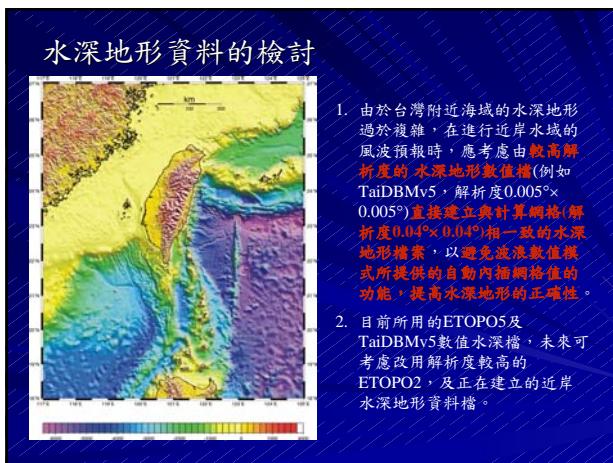


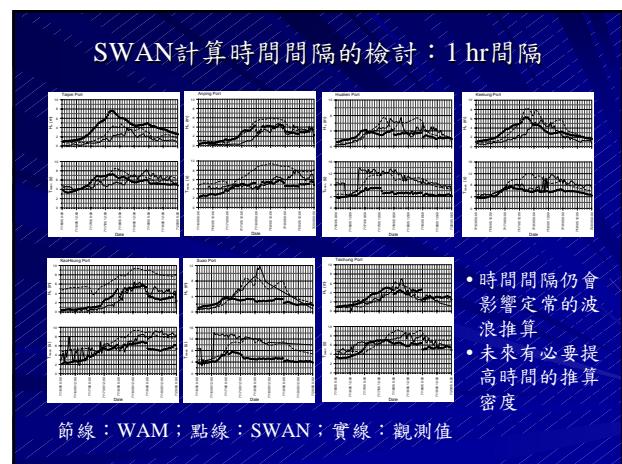
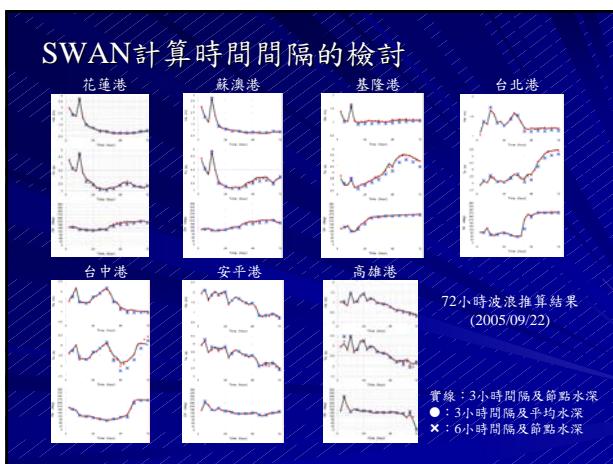
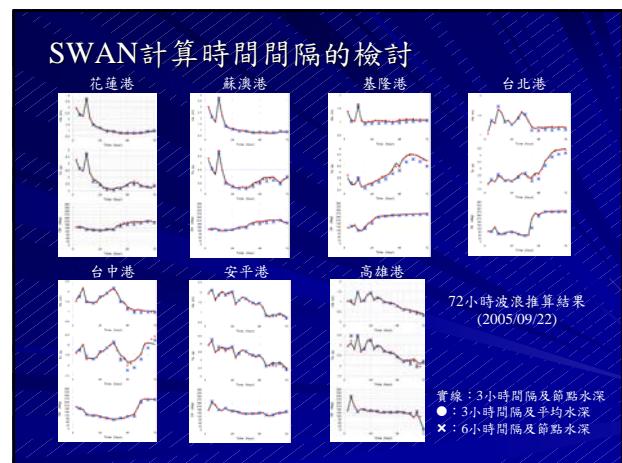
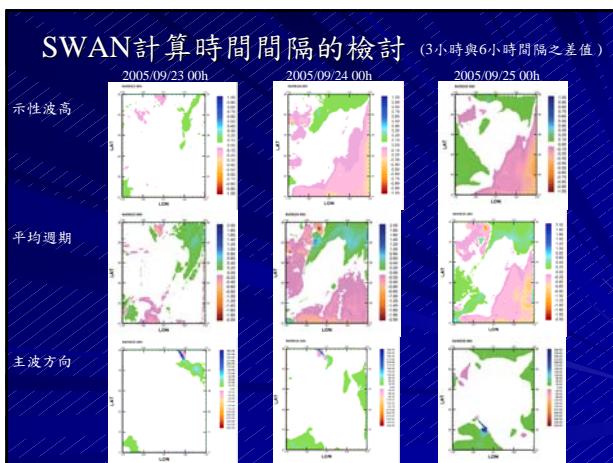
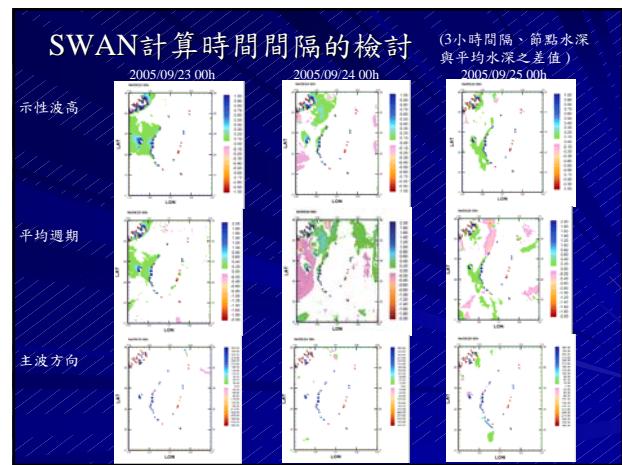
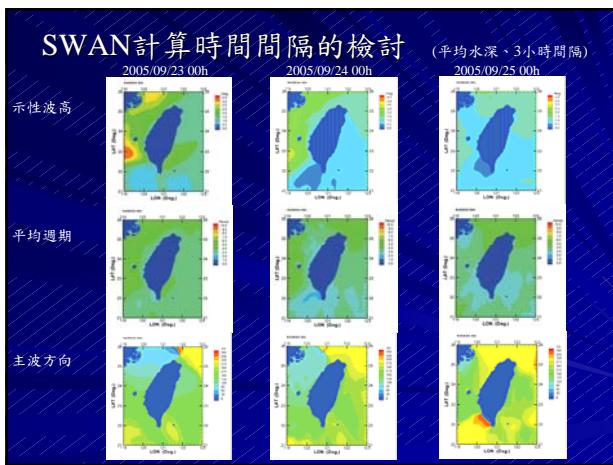
圖 A.4.18 台中港 2006 年 9 月至 11 月 波向比對圖

## 附錄 B 期末報告審查簡報









## 小結

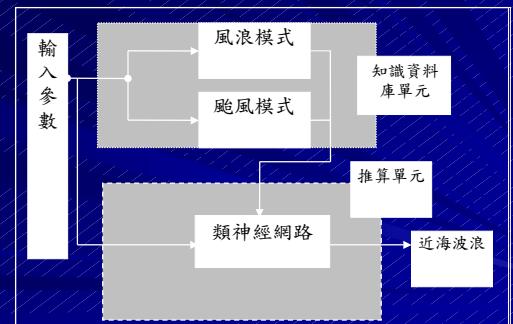
- 由於台灣附近的水深地形變化劇烈，WAM 及 SWAN 所使用的網格水深應配合計算網格的大小，使用網格內平均水深做為代表水深。
- 計算範圍的擴大，會影響到推算的結果。未來考慮合理地擴大。
- 計算間隔時間在電腦硬體許可狀態下，設法縮短。

## 類神經網路風浪預報模式評估

## 計畫目的與工作綱要

- ◆ 分析、蒐集颱風氣象與波浪觀測資料依颱風位置分析風與浪之關係。
- ◆ 以模糊-類神經網路分析方法建立陸地影響颱風波浪的關係。
- ◆ 修正改進類神經網路颱風波浪推算模式並進行驗證與比較。
- ◆ 2006年颱風波浪推算模式測試結果驗證與分析。

## 類神經網路颱風波浪模式



## 颱風波浪模式架構

### ◆ 類神經波浪模式示意波高表示式：

$$H_s(t_f) = \sum_{i=j-m}^j c_i f(V_{10}, V_{(1)10}, \dots, V_{(12)10}, r, \theta, \theta_1, t_i)$$

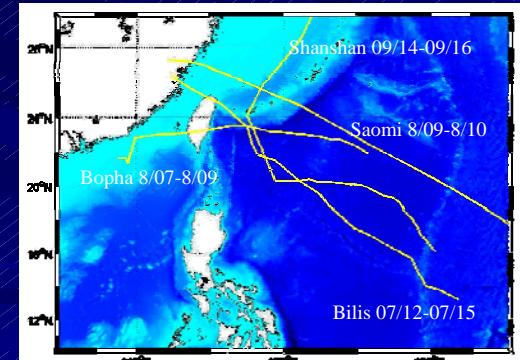
### ◆ Model 2004

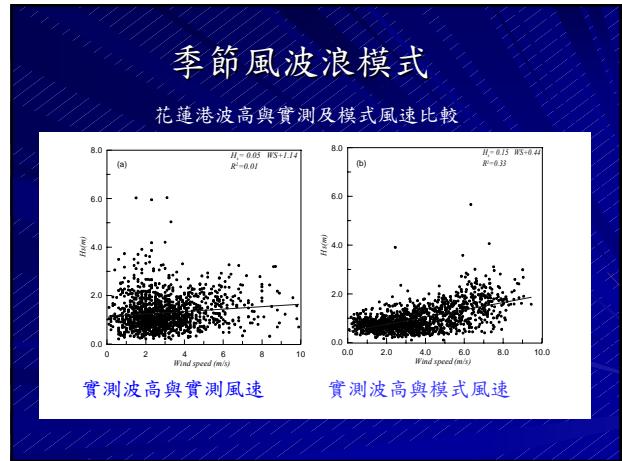
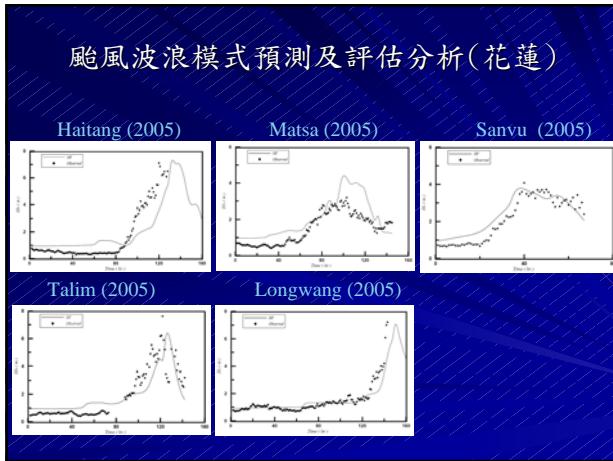
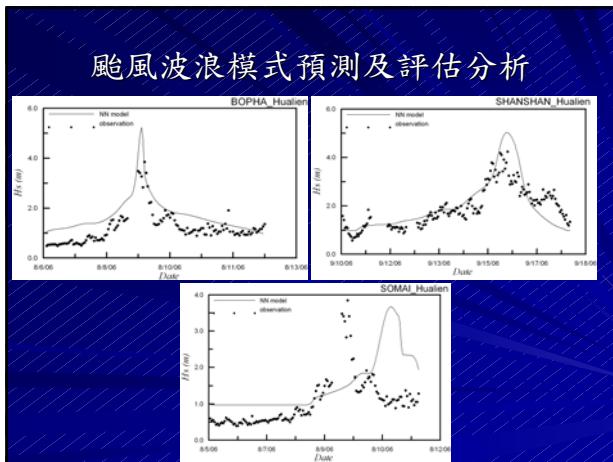
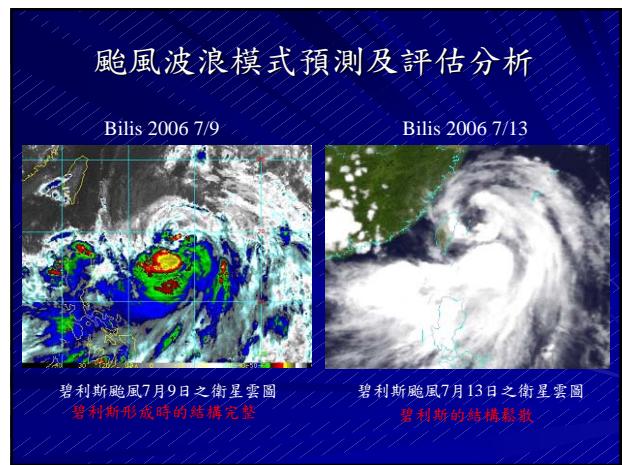
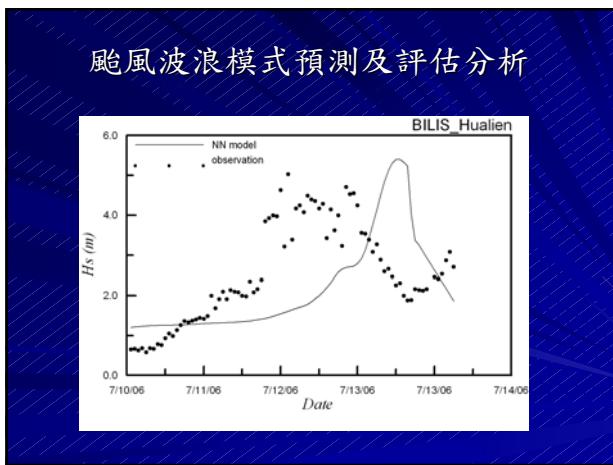
$$O_1 = f_1(W_{S2 \times S1}) + f_1(W_{S1 \times (R \times n)} [I_{1R \times 1}]_{n \times 1} + b_{S1 \times 1}) + b_{S2 \times 1}$$

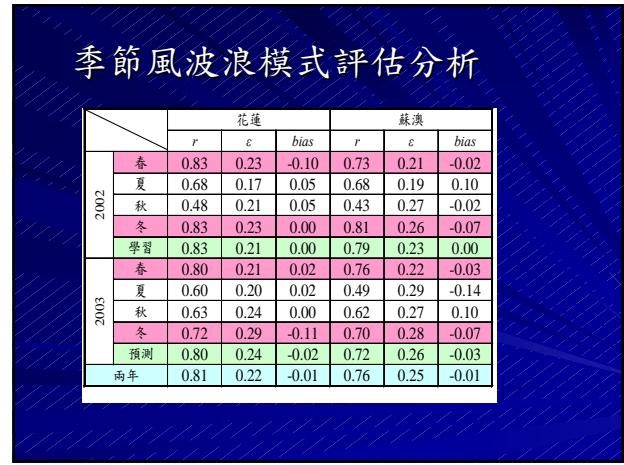
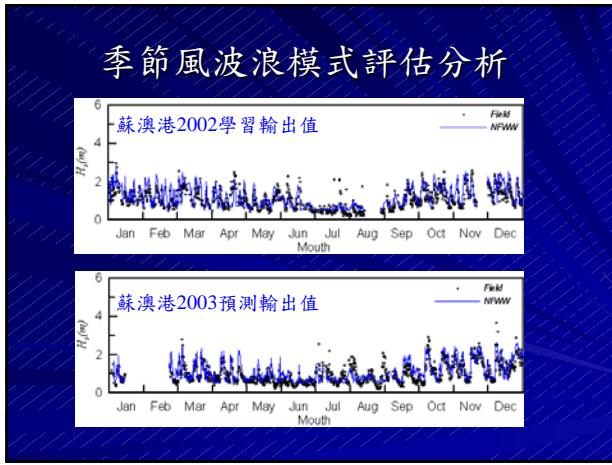
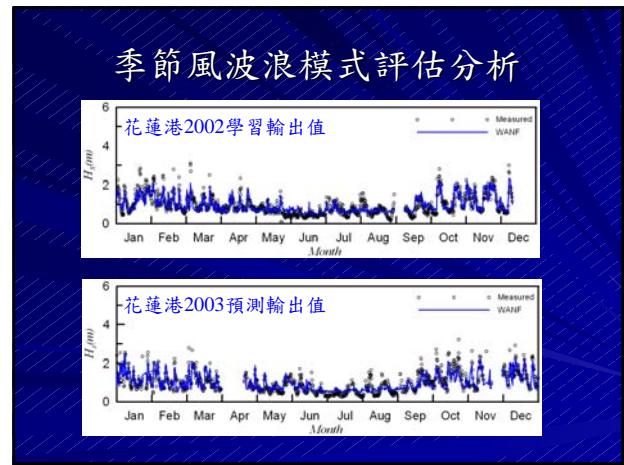
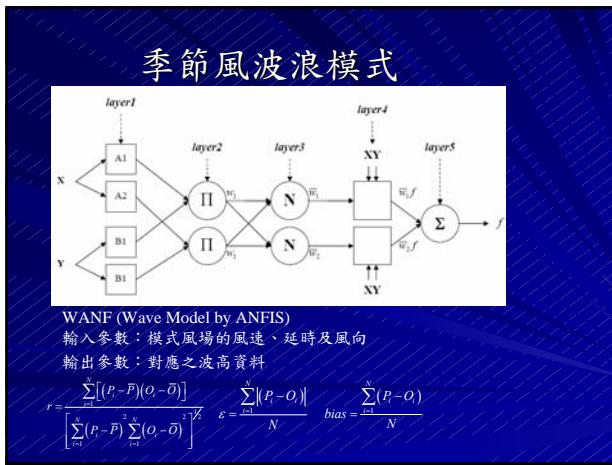
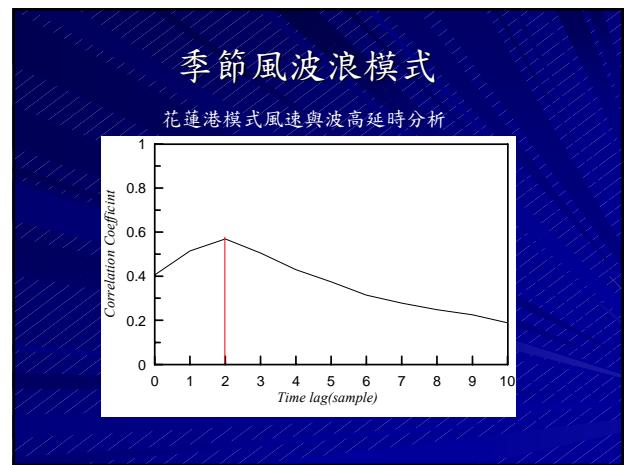
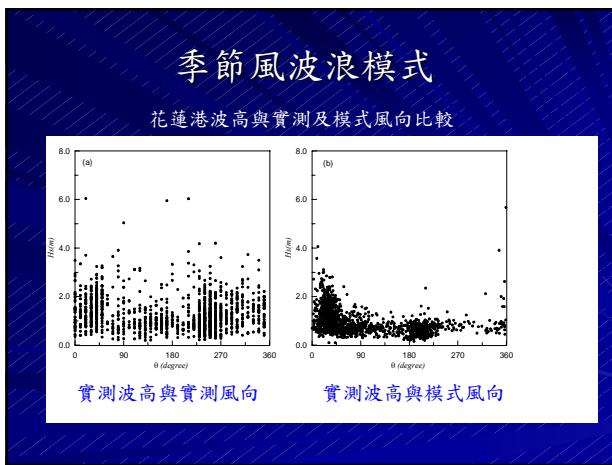
模式的輸出  $O_1 = \begin{bmatrix} H_{s1} \\ T_{s1} \end{bmatrix}$ ，輸入函數  $I_1 = [V_{10}, V_{(1)10}, \dots, V_{(12)10}, r, \theta, \theta_1]^T$

，輸入資料延時  $n$ 。

## 颱風波浪模式預測及評估分析





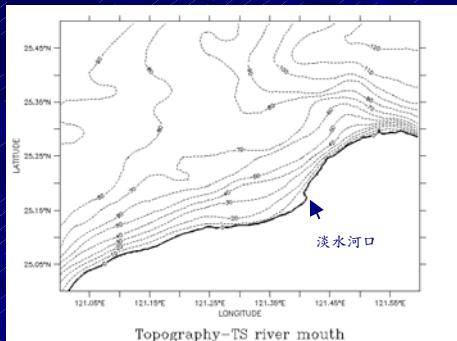


## 小結

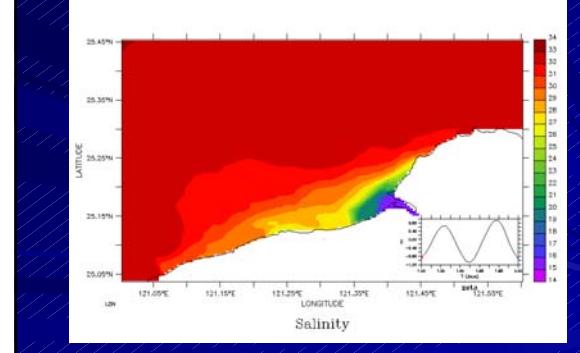
- 本研究之颱風模式對於2006年颱風進行預測分析，其中寶發颱風之最大波高誤差約為1.5公尺，珊瑚颱風則約為0.78公尺。碧利斯颱風之模式與實測最大波高約為5公尺，桑美則約為3.6-3.8公尺，最大波高發生時間則超過24小時，其原因為陸地遮蔽造成風場劇烈改變，而2005年颱風波浪評估，其最大波高之誤差約1公尺，最大波高發生時間則在4小時以內。
- 應用模式風場所建立之WANF模式，其推算之波浪相關性約在0.8以上，絕對誤差在0.2公尺左右，相對誤差bias皆在0.1公尺以下。由此顯示本模式之推算結果，可實際應用於季節風浪之推算及統計分析，未來將完成西部各港的模式建立，並可實際進行產業化之風浪推算。

## 擴散模式

### 淡水河口地形分佈

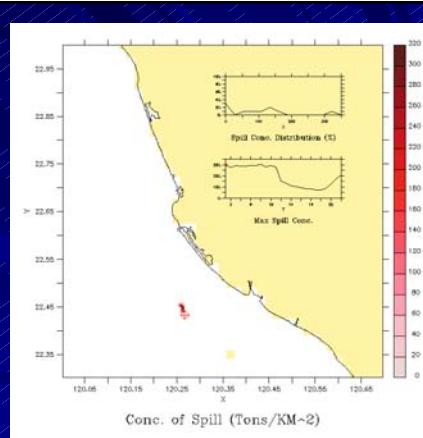


### 河口鹽度變化

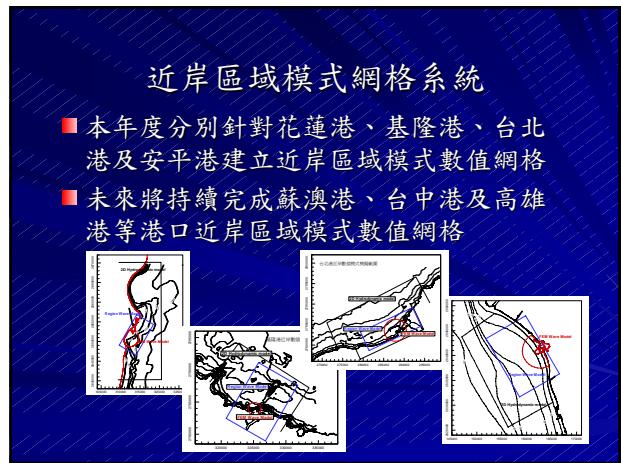
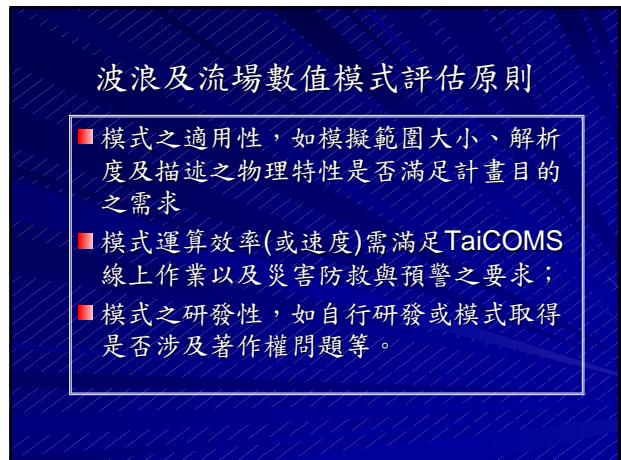
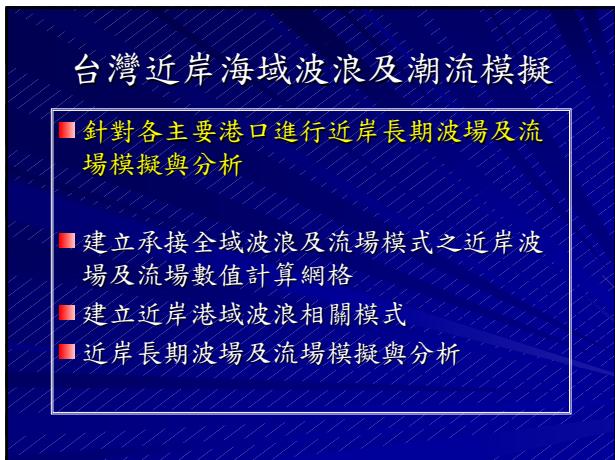
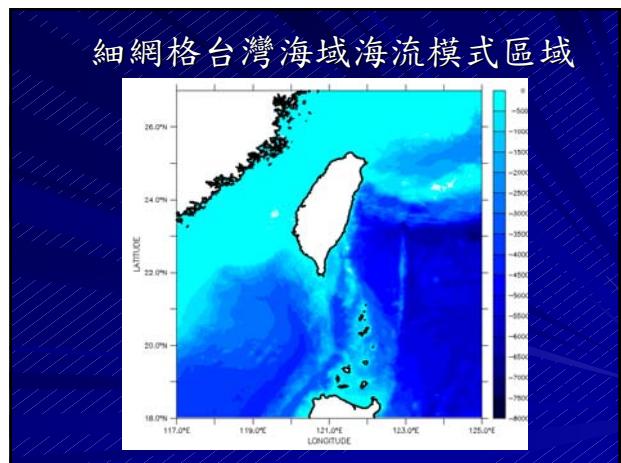
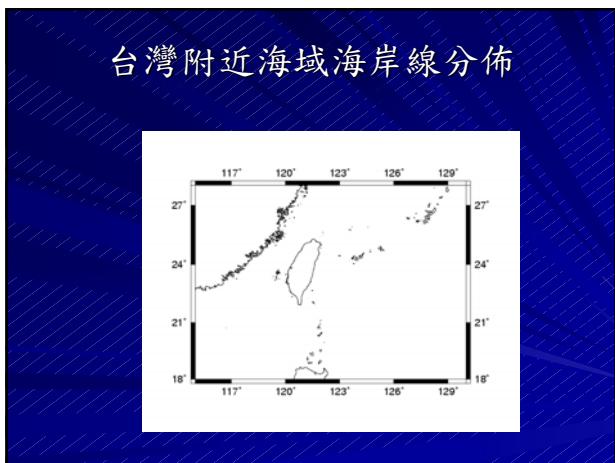


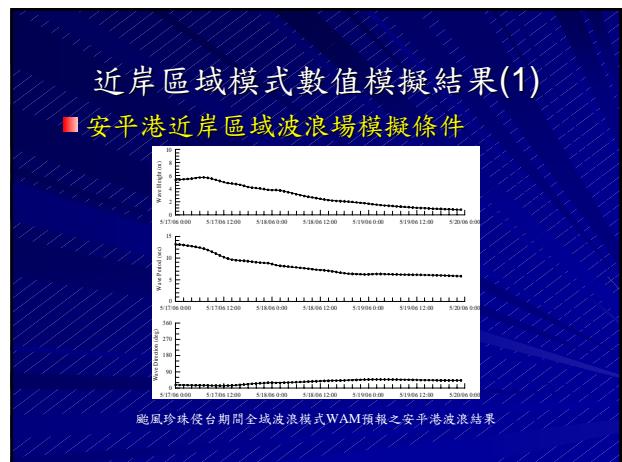
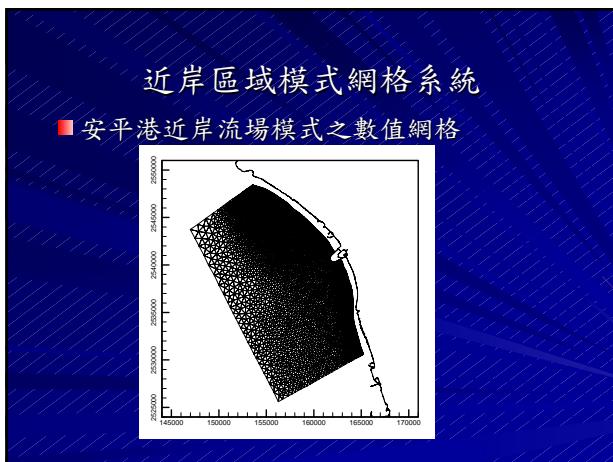
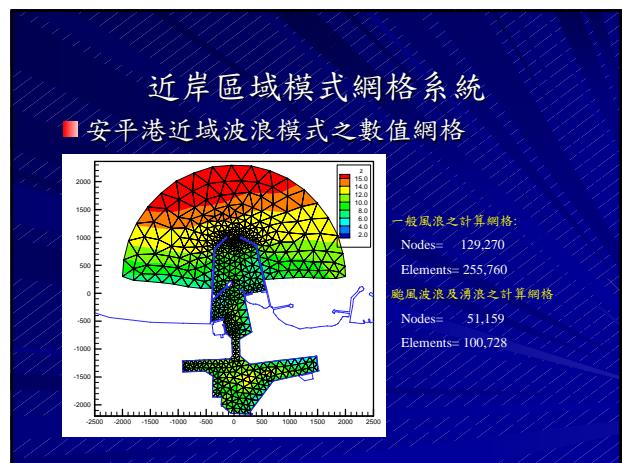
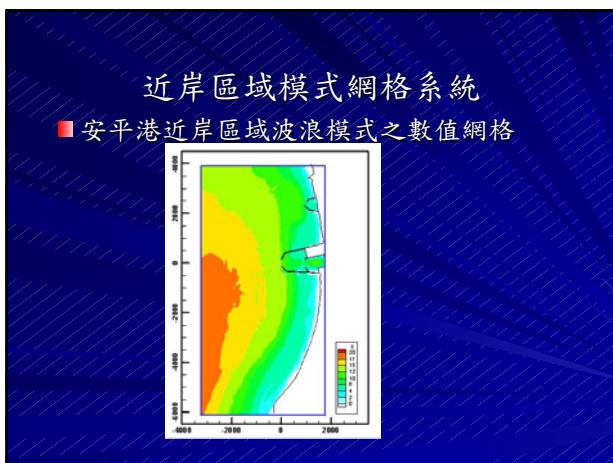
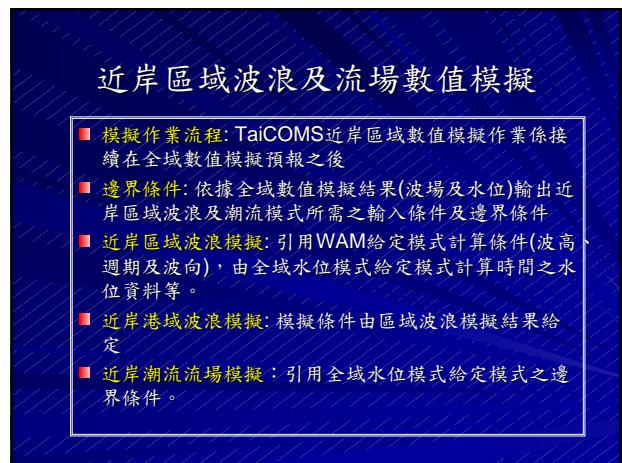
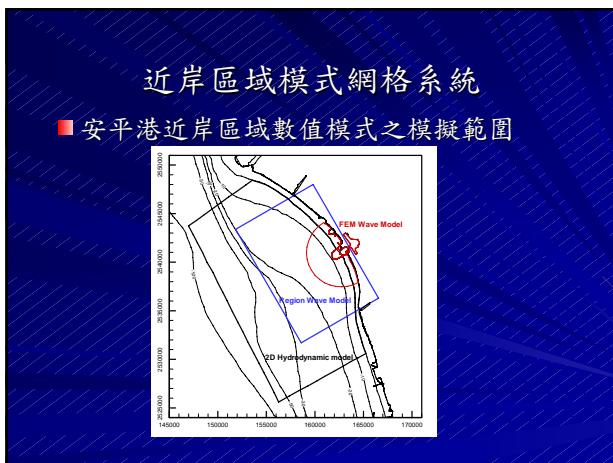
## 洩油模式案例

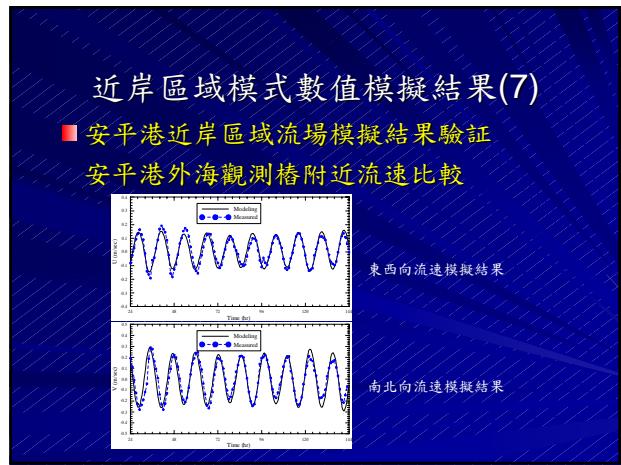
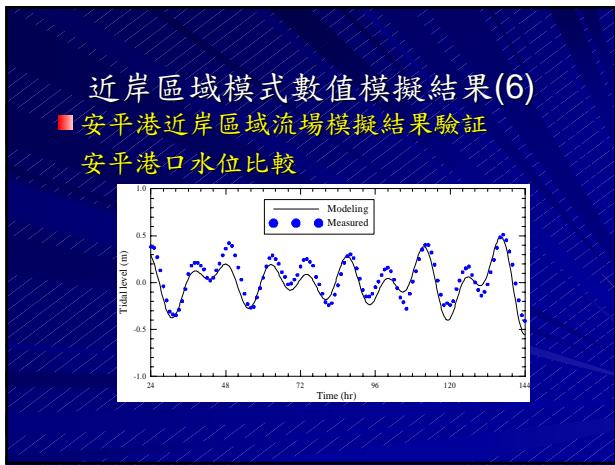
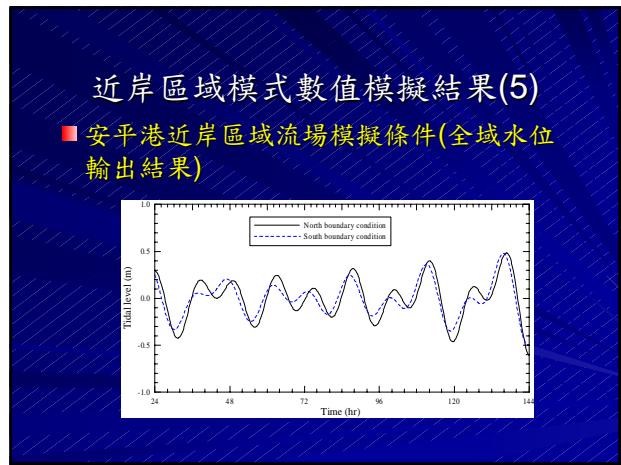
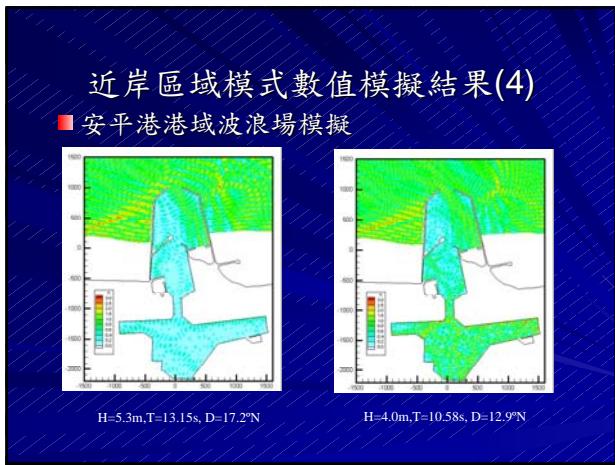
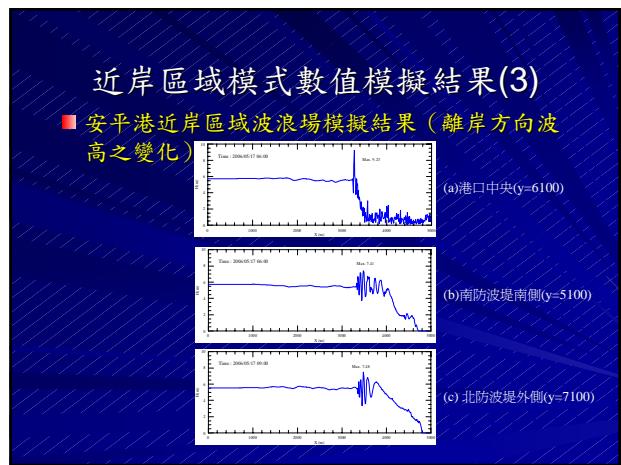
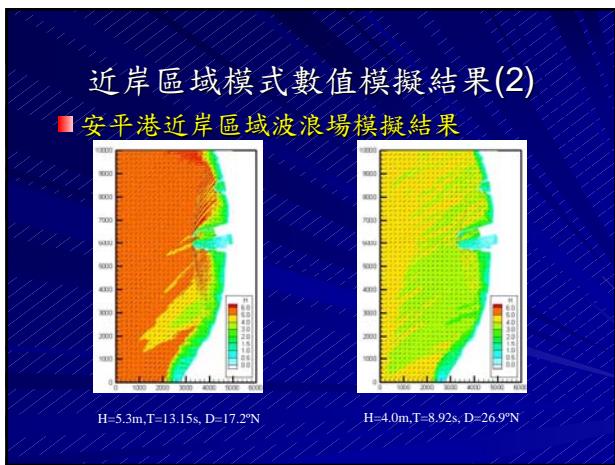
- 流向為西北
- 流度為0.52 m/s
- 風向為西南風
- 風速為15 m/s

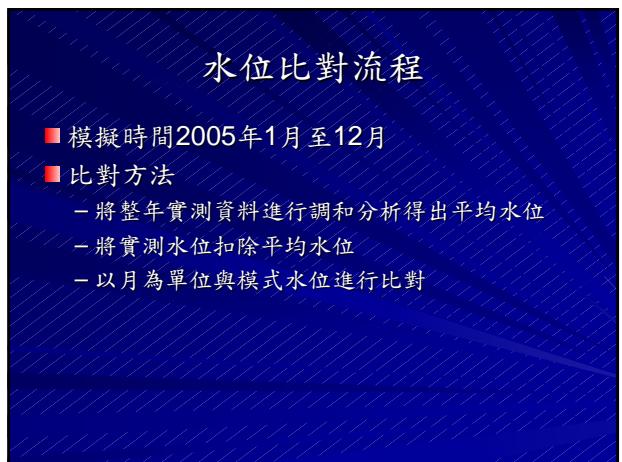
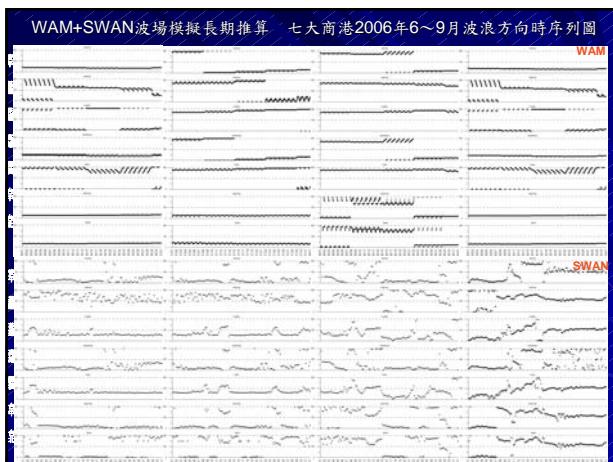
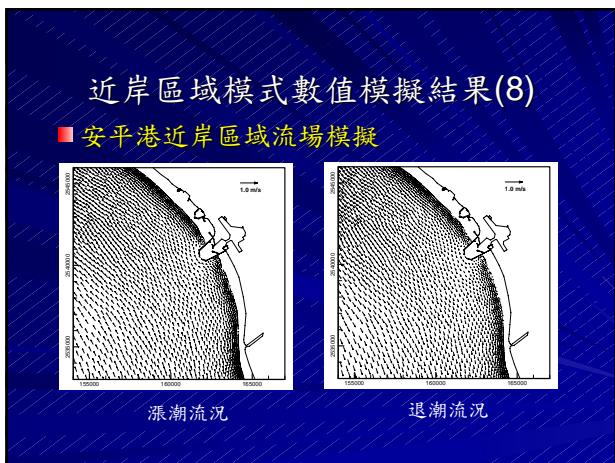


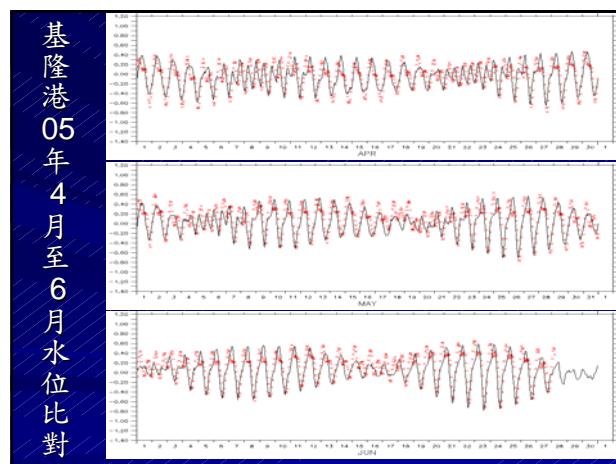
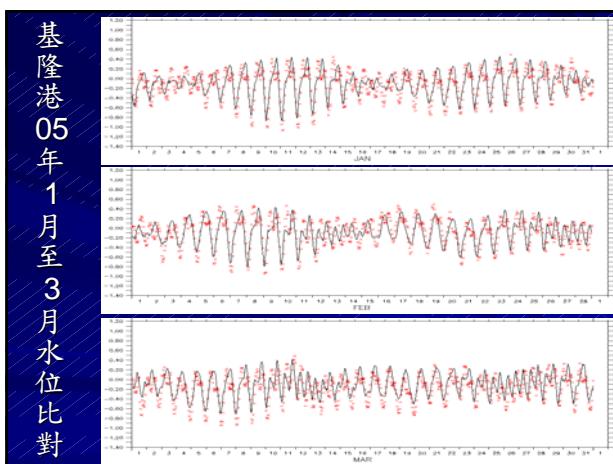
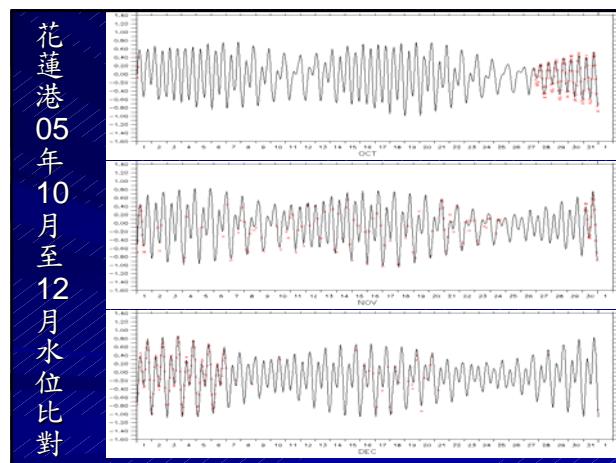
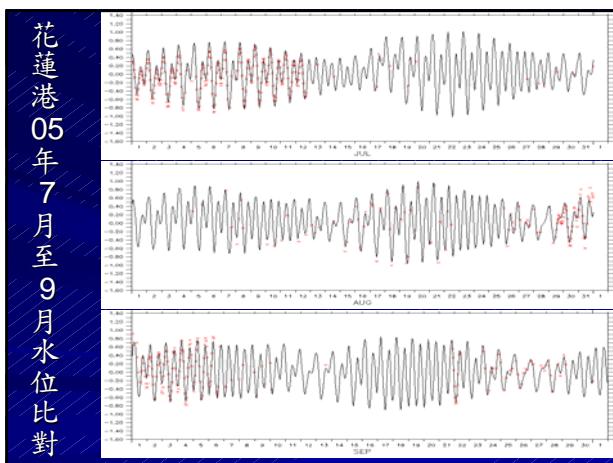
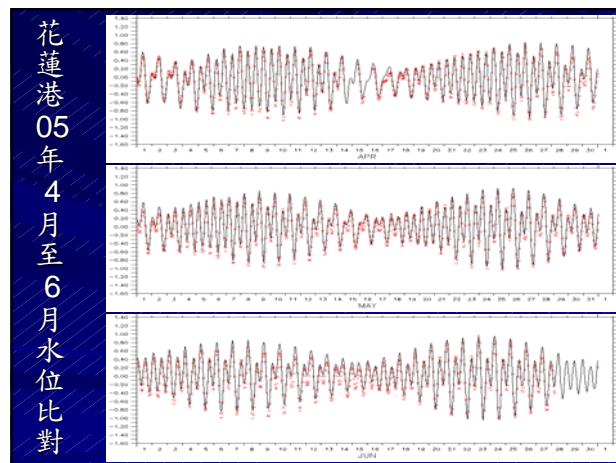
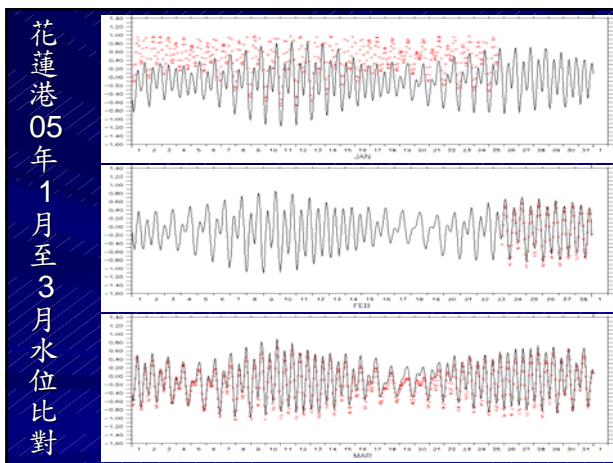
## 近岸區域模式

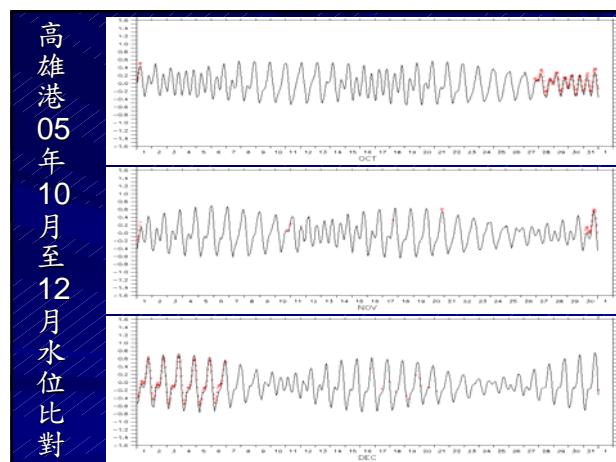
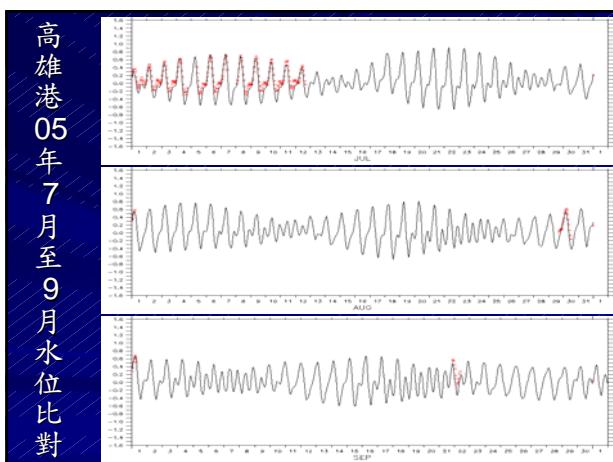
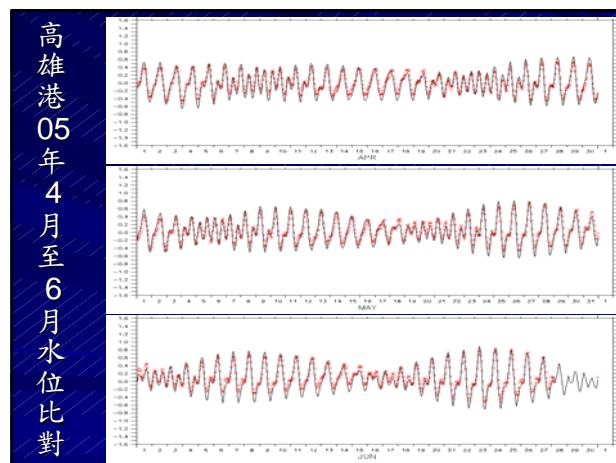
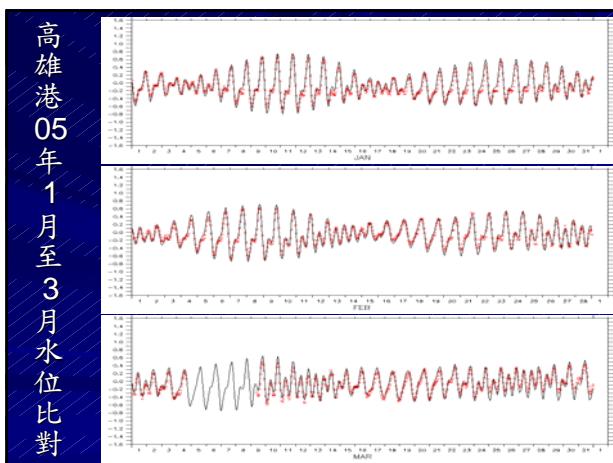
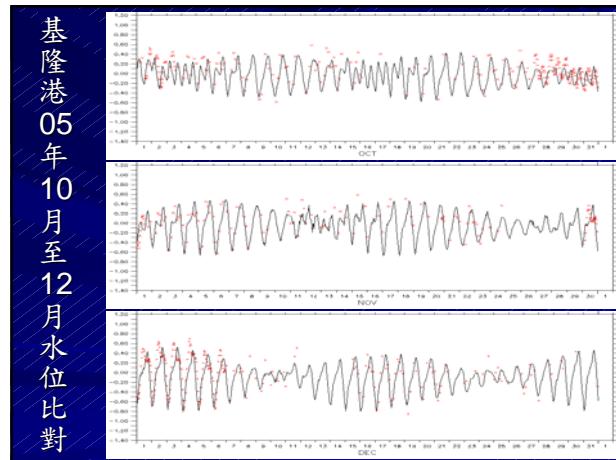
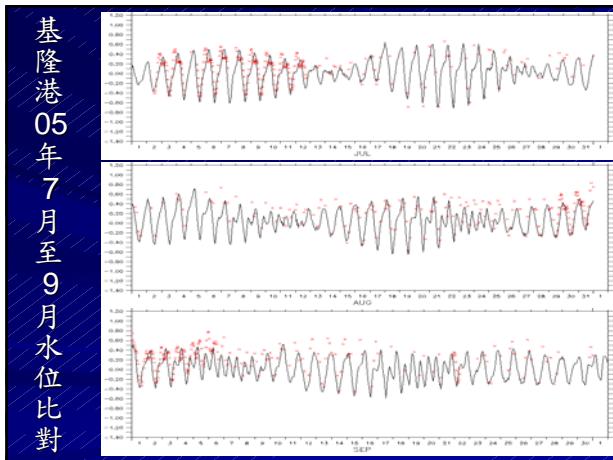


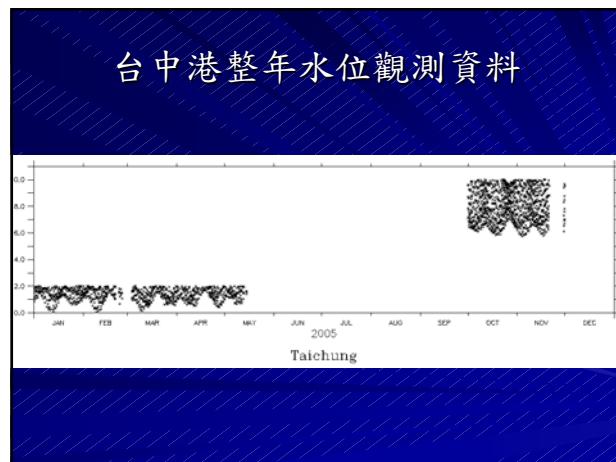
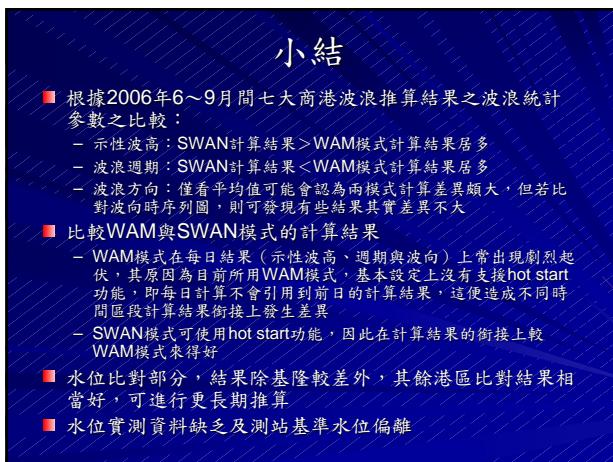
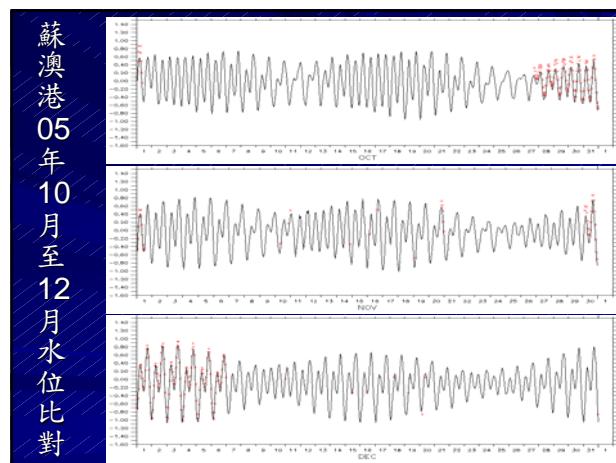
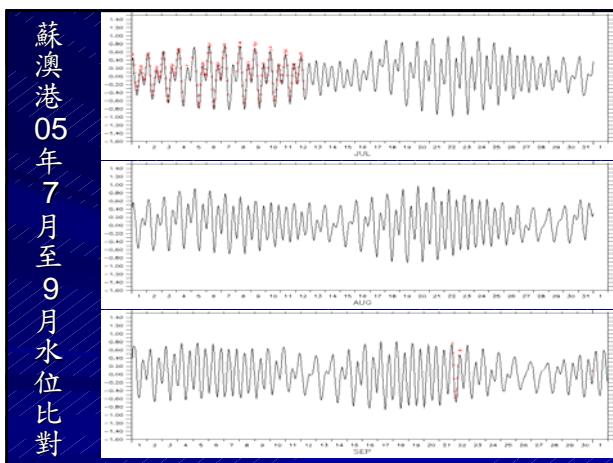
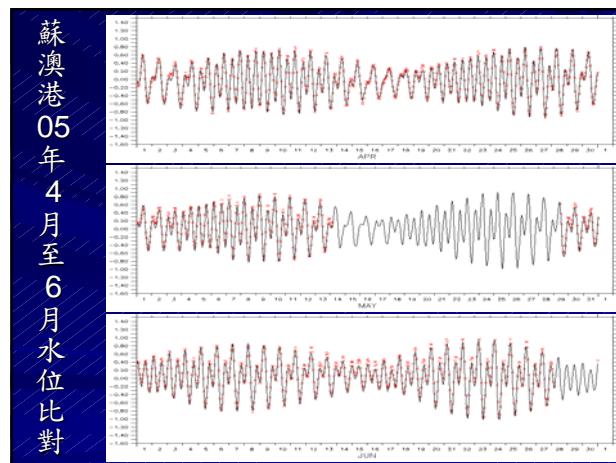
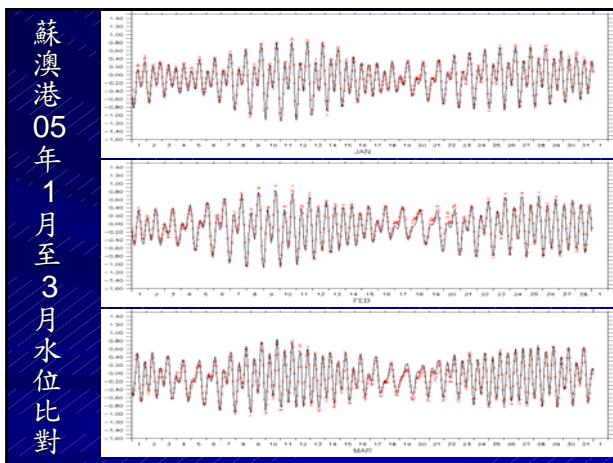


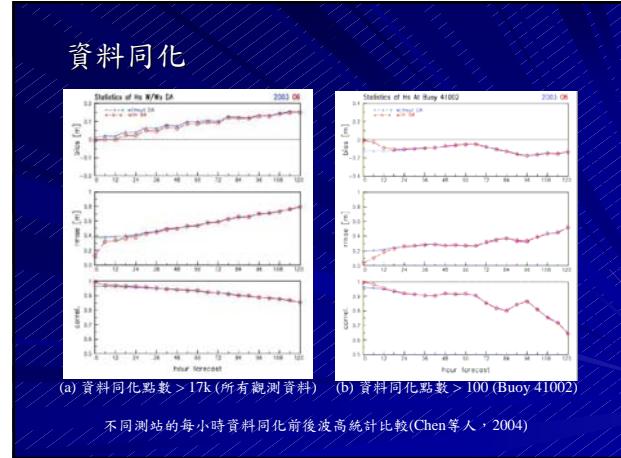
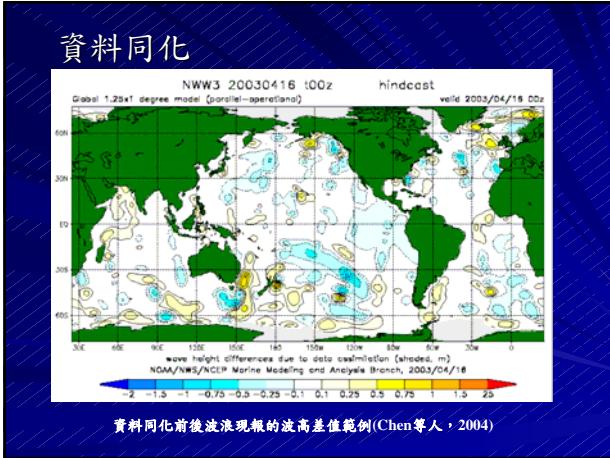
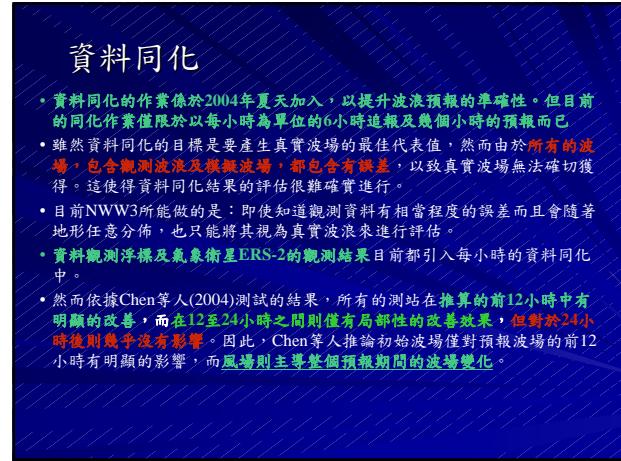
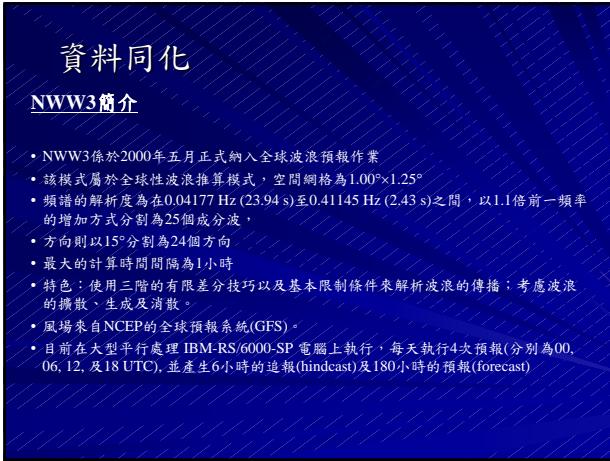
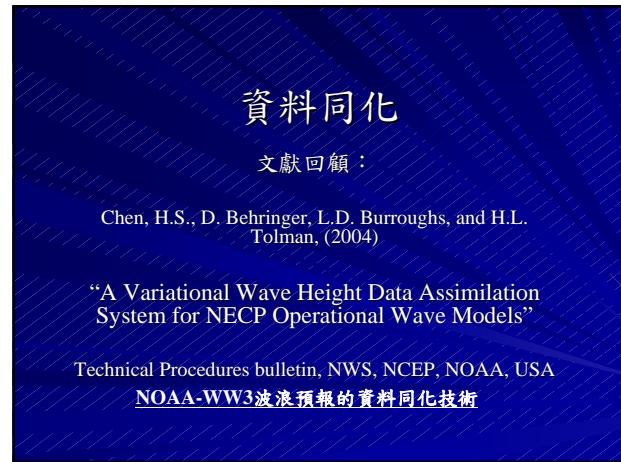


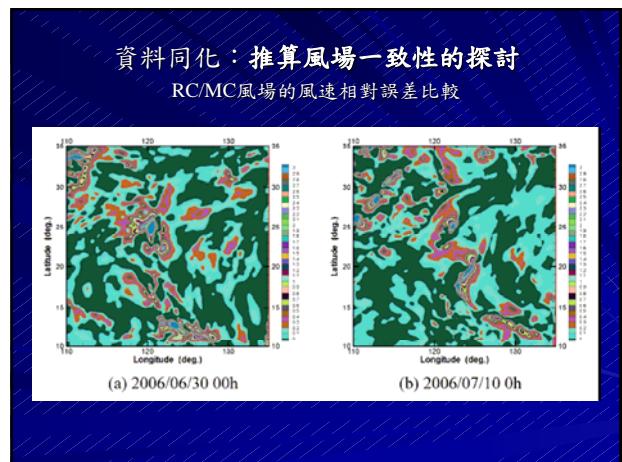
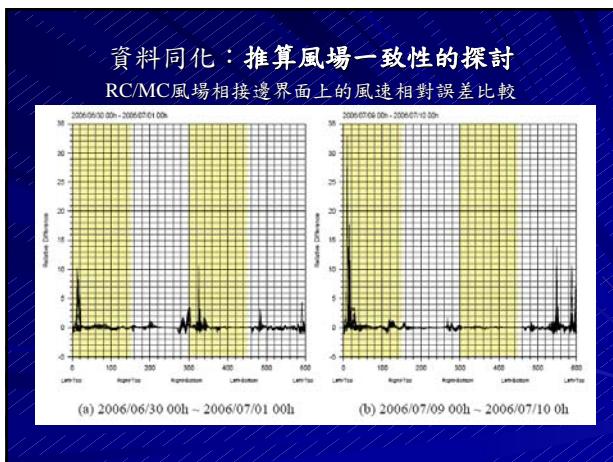
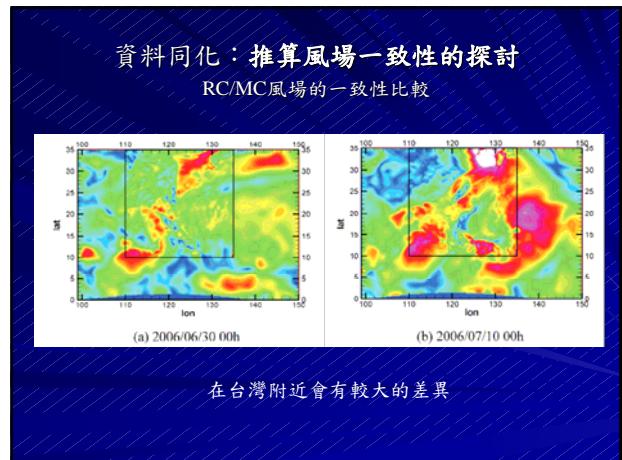
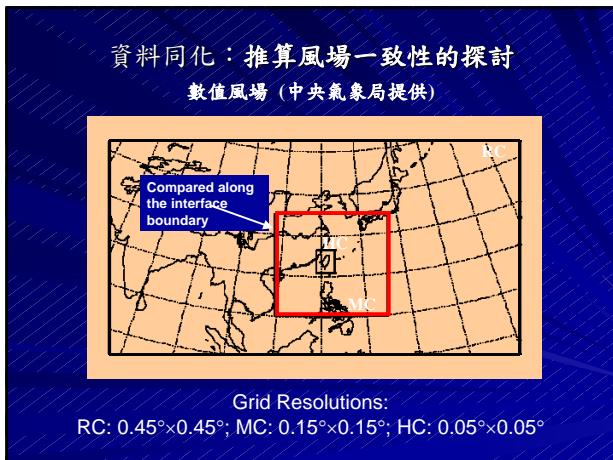
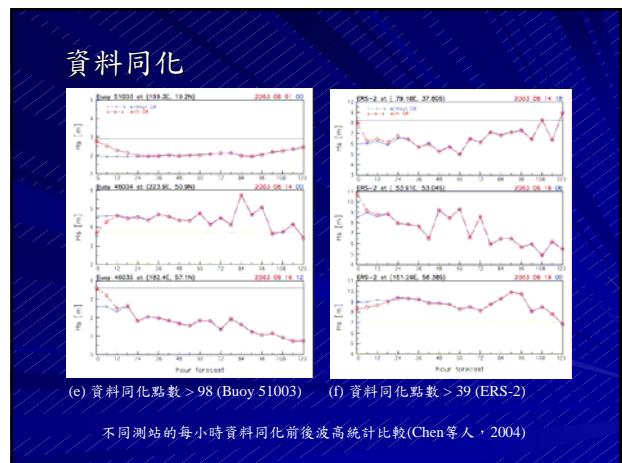
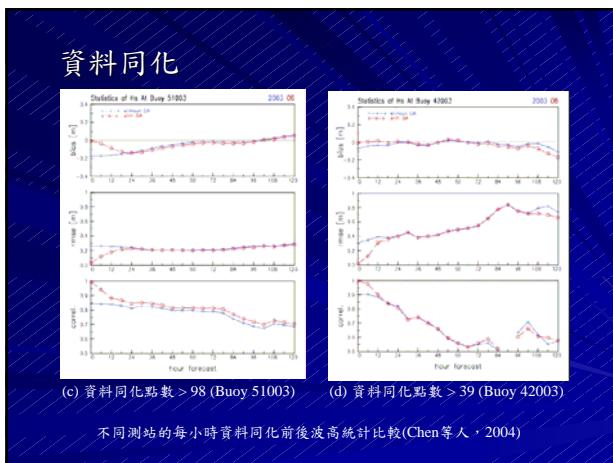


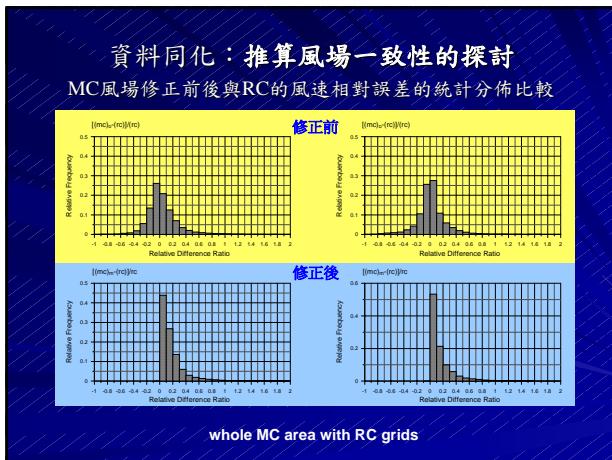
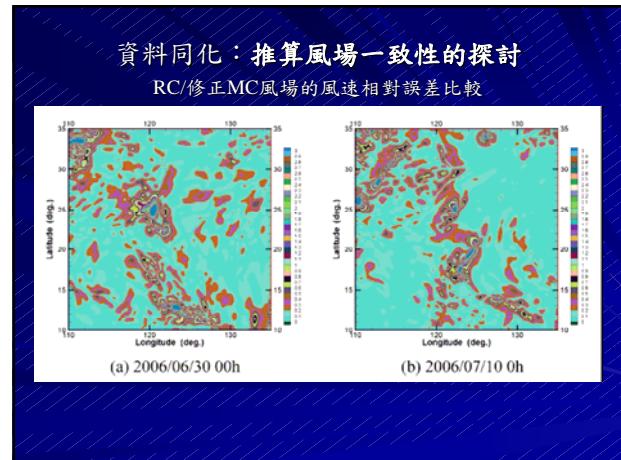
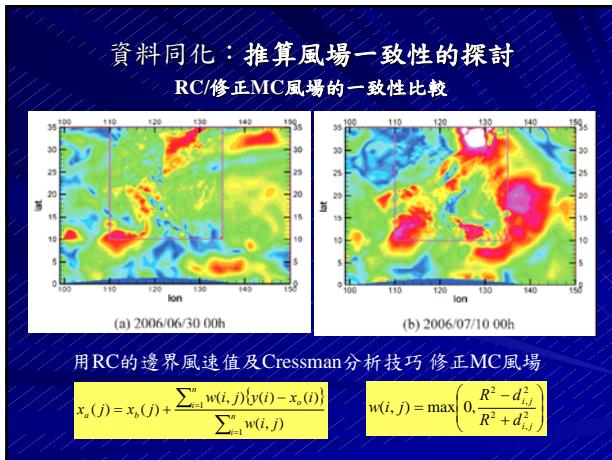












## 小結

■ 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，但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。

## ■ 風場的一致性應該先檢討

# 更新防救災預報系統網站



## 更新防救災預報系統網站二

- 修改連結有誤的網頁，使之網頁內容能更加的正確性
- 去除“限制右鍵”的功能，讓使用者可以下載圖示



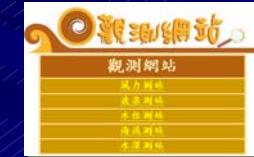
修改水位相關連結



去除“限制右鍵”的功能

## 更新防救災預報系統網站三

以CSS 做為網頁連結方法，不但可以立即呈現動態，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



觀測網站

- 風力網站
- 風速網站
- 水位網站
- 海流網站
- 水深網站

以CSS做為網頁連結方法  
— 觀測網站



水位歷史圖表

水位變化資料	西元	風力	波浪
REBB (19-23 - 08-01)	1998年	POLA	POLT
ZER (10-13 - 10-17)	2001年	POLA	POLT
IMARON (09-10 - 09-14)	2001年	POLA	POLT
CHERI (09-10 - 09-26)	2001年	POLA	POLT
TOKAJI (09-27 - 09-31)	2001年	POLA	POLT
ELCTIMA (09-27 - 09-28)	2001年	POLA	POLT

以CSS做為網頁連結方法—水位變化

CSS即Cascading Style Sheets的縮寫，是W3C組織所擬定出的一套標準語彙，主要是管理網頁中「style(樣式)」部分，也就是網頁中「版面」(如：文字、背景、邊框、按鈕、表格...)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。

## 更新防救災預報系統網站四

歷史查詢內容中文化：

由於先前檔案命名格式為英文，直接顯現在網頁上，使用者不易瞭解所選擇的項目所代表的意思。因而在不修改檔案命名前提下，而在C語言跟PHP轉換程式，直接將適當的中文選項呈現在網頁，如此一來增加網頁之可讀性



中文化波場歷史查詢介面

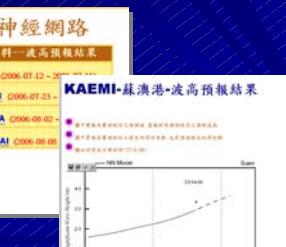
## 更新防救災預報系統網站五

新增「類神經網路」颱風波高預報、颱風暴漲預報之項目



新增「類神經網路」之項目

- 風速資料
- 風速預測
- 風壓資料
- 風壓預測
- 風向資料
- 風向預測
- 風速波浪
- 風壓波浪
- 風向波浪
- 風速海象
- 風壓海象
- 風向海象



「類神經網路」颱風波高預報之內容

## 更新防救災預報系統網站六

- 新增「擴散模式」模式說明內容
- 增加「颱風海象」典型資料之「水位及流場」資料



新增「擴散模式」模式說明內容



增加「颱風海象」典型資料之「水位及流場」資料

## 更新防救災預報系統網站

即時資料之各港口新增內容：

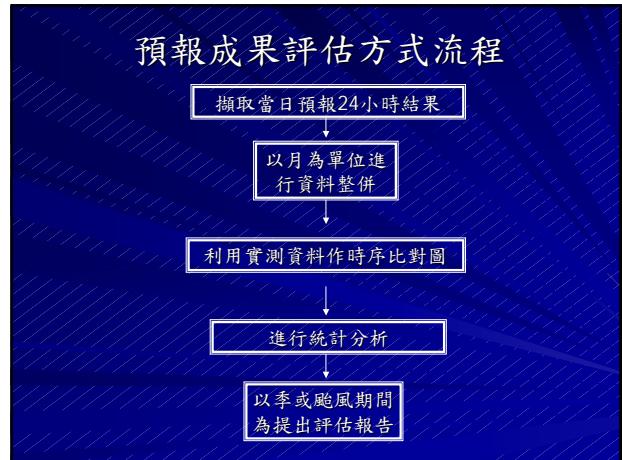
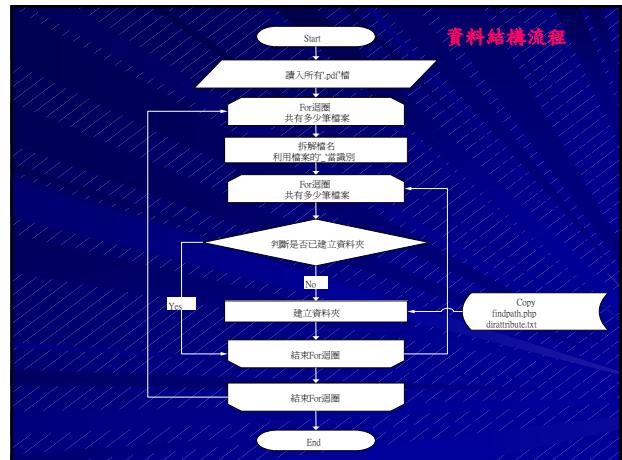
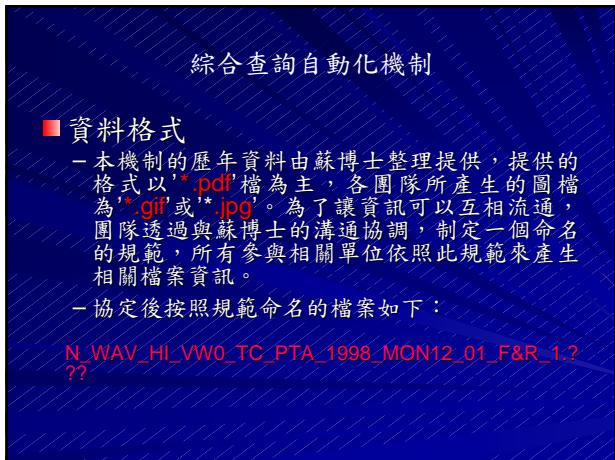
- 「即時波場」每一港口增加「港區波場」及「近岸波場」選項內容
- 「即時水位」每一港口增加「水位歷線圖」及「港區等水位圖」選項
- 「即時流場」增加每一港口及「近岸海流向量圖」和「海流歷線圖」選項



即時波場—基隆港增加了「港區波場」及「近岸波場」項目



「即時流場」新增台北港及「近岸海流向量圖」和「海流歷線圖」選項



**預報模式成果評估—水位**

前兩季水位模式rms值(m)

	基隆	台中	高雄	蘇澳	花蓮
2005年12月	0.26	0.72	0.12	0.08	0.09
2006年1月	0.24	2.68	0.09	0.09	0.08
2006年2月	0.23	4.78	0.13	0.07	0.10
2006年3月	0.23	1.56	0.1	0.1	0.12
2006年4月	0.22	無資料	0.09	0.08	0.09
2006年5月	0.44	無資料	0.42	0.4	0.36

**預報模式成果評估—水位**

第三季水位模式rms值(m)

單位(公尺)	六月	七月	八月
花蓮	0.45	0.14	0.29
基隆	0.55	0.23	0.52
高雄	0.62	X	0.29
蘇澳	0.59	0.09	0.3
台中	X	X	X

### 預報模式成果評估—波浪(波高)

前兩季波浪模式波高rms值(m)

		基隆	台中	高雄	蘇澳	花蓮
2005年12月	WAM	1.01	無資料	0.35	0.39	0.61
	SWAN	0.87	無資料	0.29	0.91	0.71
2006年1月	WAM	1.16	無資料	0.29	0.67	0.75
	SWAN	1.08	無資料	0.3	0.81	0.61
2006年2月	WAM	1.54	無資料	0.26	無資料	0.48
	SWAN	1.57	無資料	0.39	無資料	0.53
2006年3月	WAM	0.69	1.36	0.29	0.42	0.51
	SWAN	0.67	0.79	0.31	0.44	0.43
2006年4月	WAM	0.61	0.64	0.27	0.52	0.43
	SWAN	0.63	0.63	0.24	0.45	0.48
2006年5月	WAM	0.32	0.88	0.34	0.39	0.39
	SWAN	0.41	0.73	0.46	0.37	0.49

### 預報模式成果評估—波浪(波高)

第三季波浪模式波高rms值(m)

單位(公尺)		六月	七月	八月
花蓮	swan	0.60	0.9	0.44
	wam	0.34	0.97	0.4
基隆	swan	無資料	無資料	0.35
	wam	無資料	無資料	0.36
高雄	swan	無資料	無資料	無資料
	wam	無資料	無資料	無資料
蘇澳	swan	0.47	0.89	0.47
	wam	0.34	0.97	0.34
台中	swan	0.39	0.88	0.52
	Wam	0.66	1.13	0.45

### 預報模式成果評估—波浪(週期)

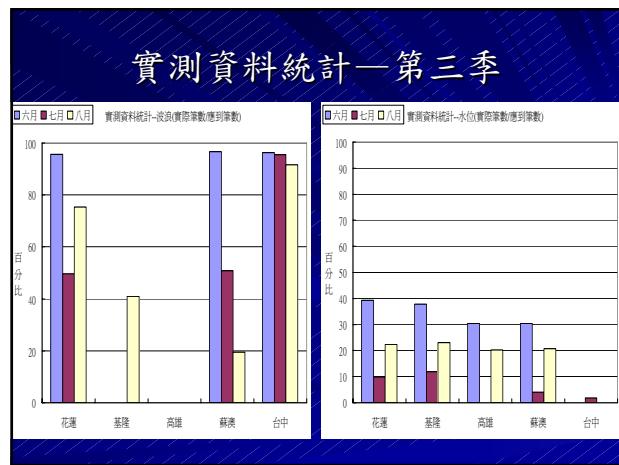
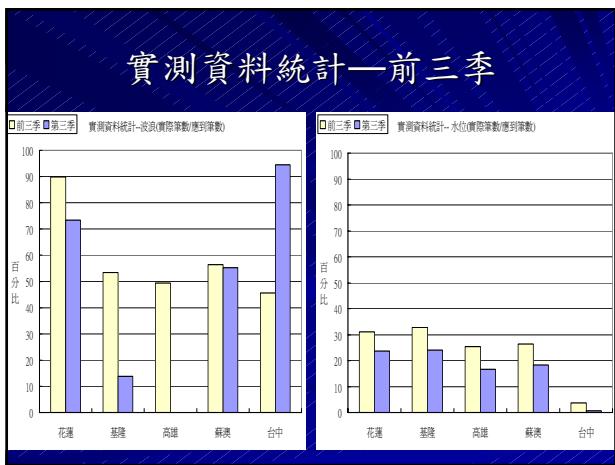
前兩季波浪模式週期rms值(秒)

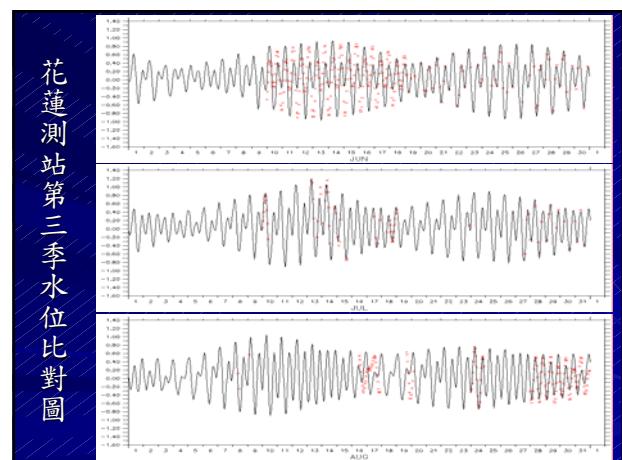
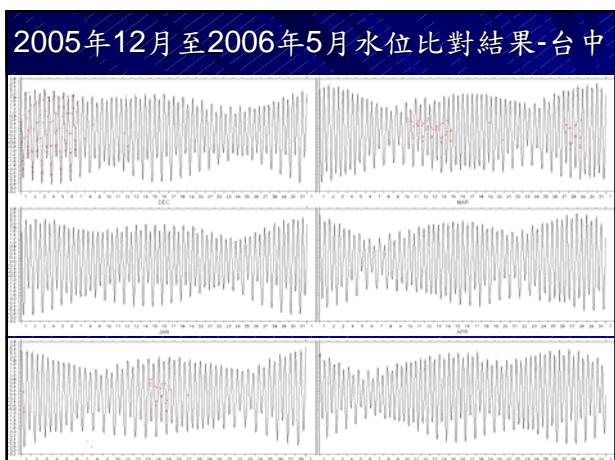
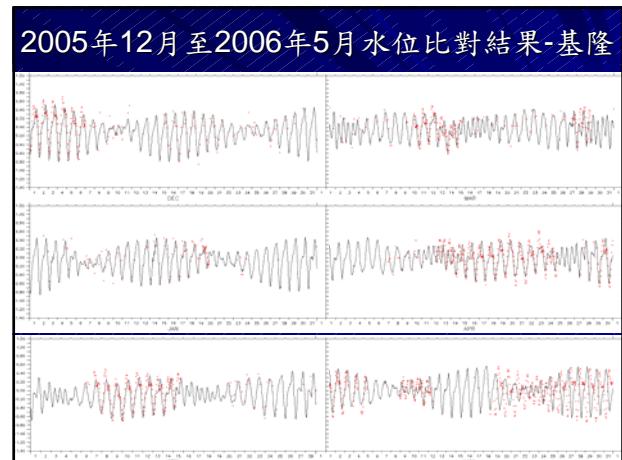
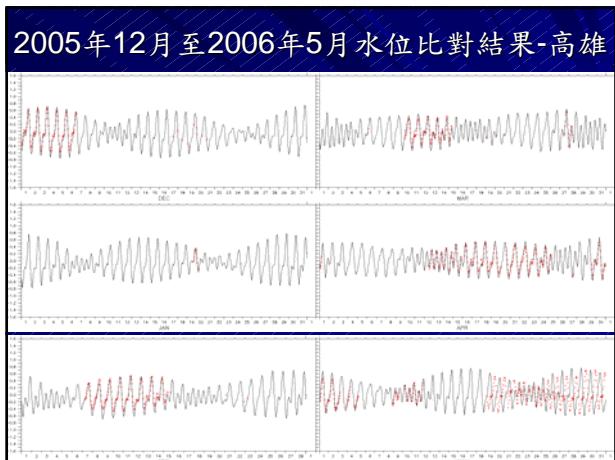
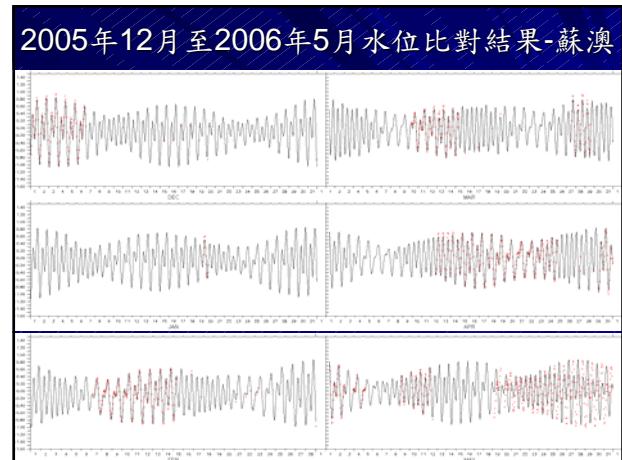
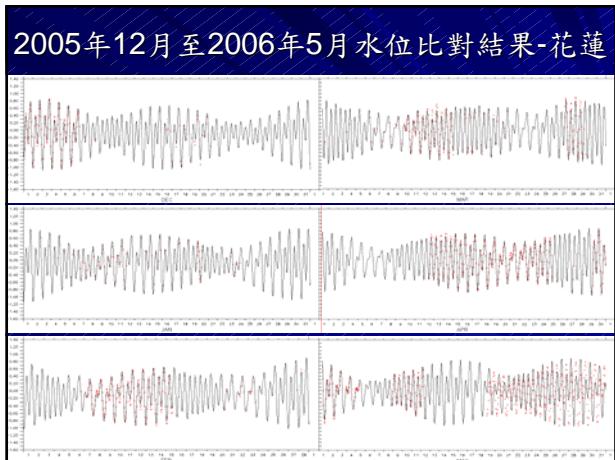
		基隆	台中	高雄	蘇澳	花蓮
2005年12月	WAM	2.24	無資料	3.35	3.55	3.4
	SWAN	2.69	無資料	3.69	3.88	3.94
2006年1月	WAM	2.35	無資料	2.32	3.24	3.69
	SWAN	3.29	無資料	3.65	4.23	5.13
2006年2月	WAM	1.72	無資料	2.49	無資料	2.84
	SWAN	2.84	無資料	3.11	無資料	4.21
2006年3月	WAM	2.28	1.15	1.74	2.59	2.66
	SWAN	3.27	3.4	2.44	3.85	4.19
2006年4月	WAM	2.3	1.73	1.49	2.28	2.28
	SWAN	3.63	3.49	2.3	3.37	3.75
2006年5月	WAM	2.13	2.09	1.86	2.91	3.16
	SWAN	2.28	2.75	3.56	4.52	4.68

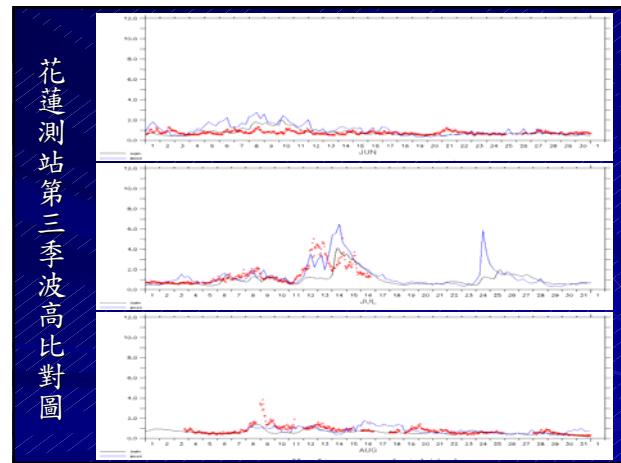
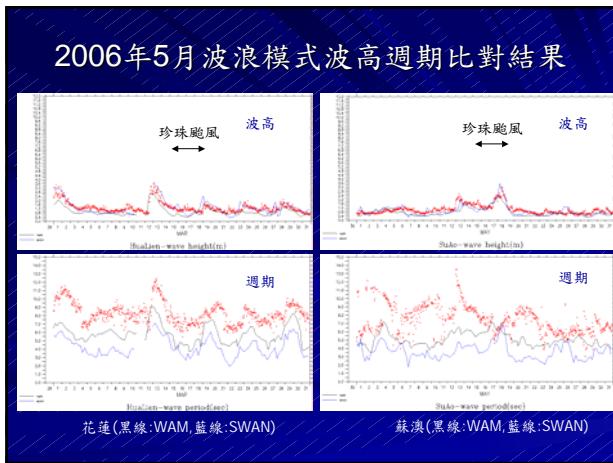
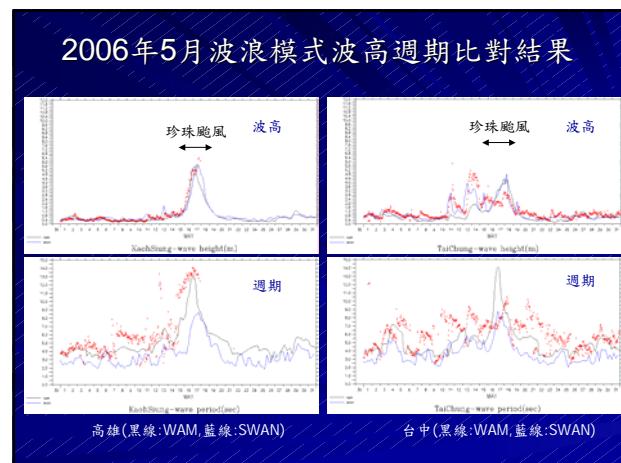
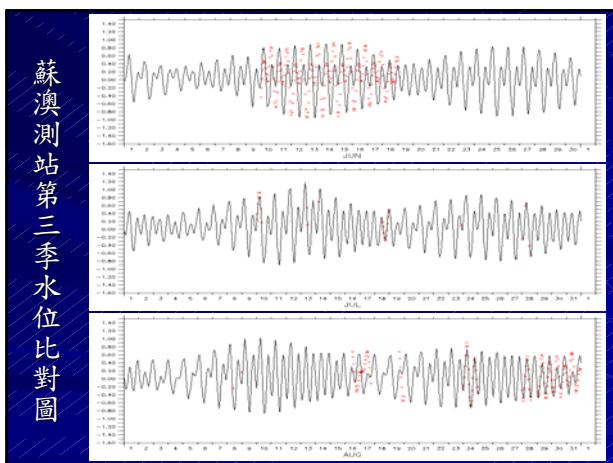
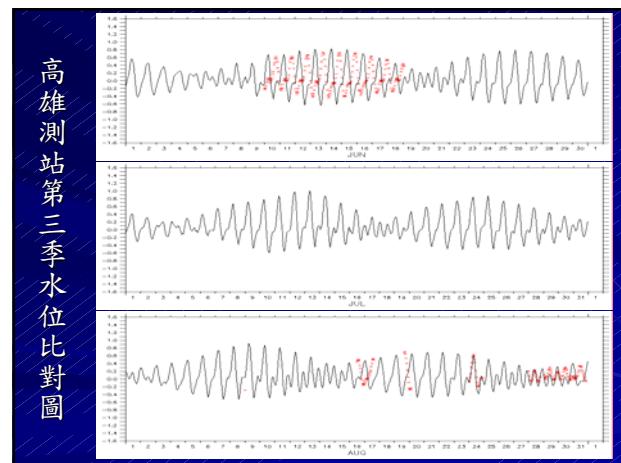
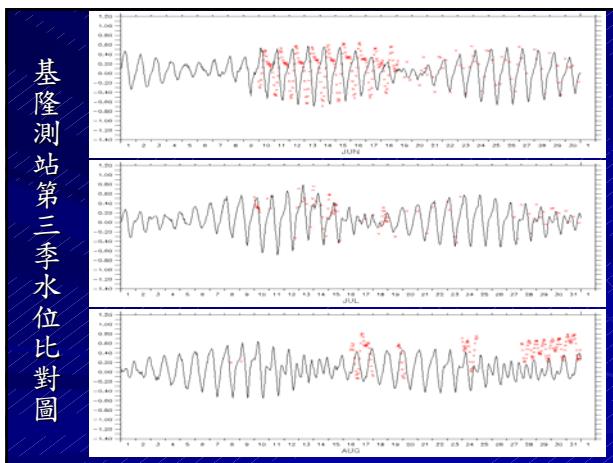
### 預報模式成果評估—波浪(週期)

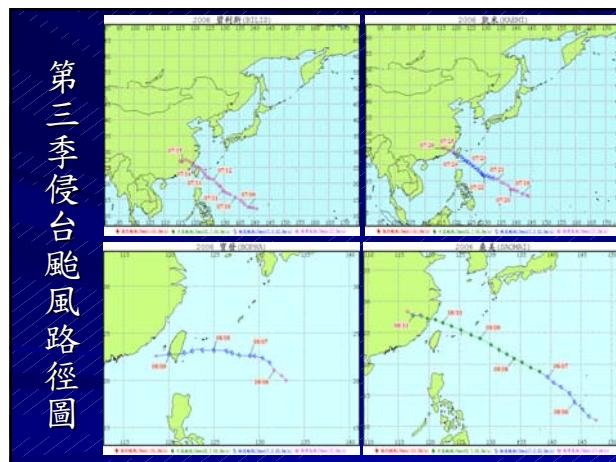
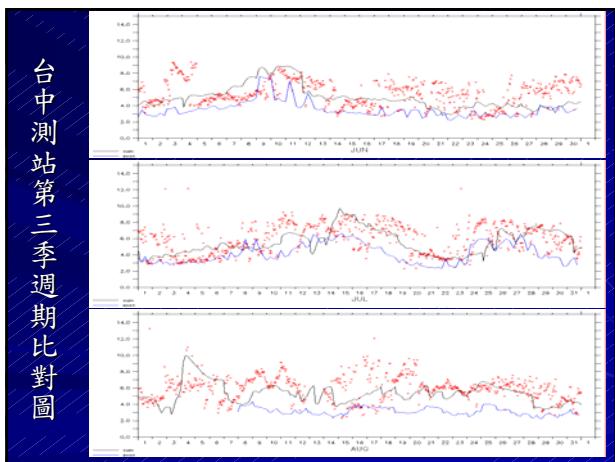
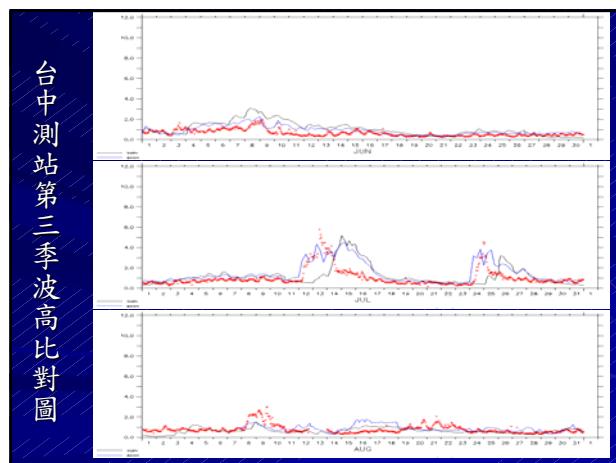
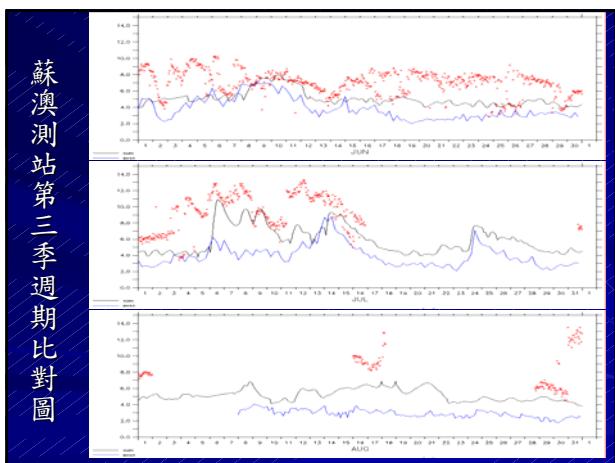
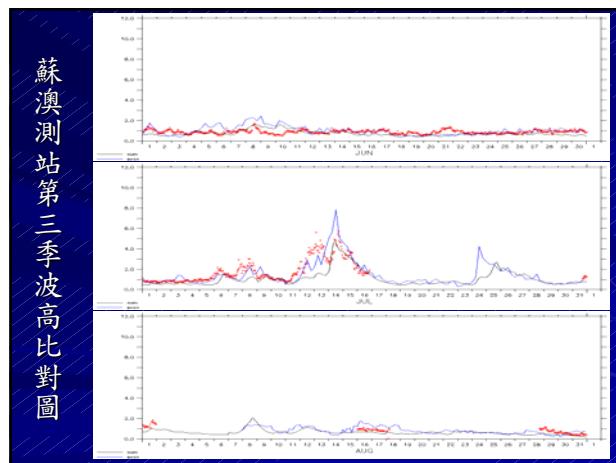
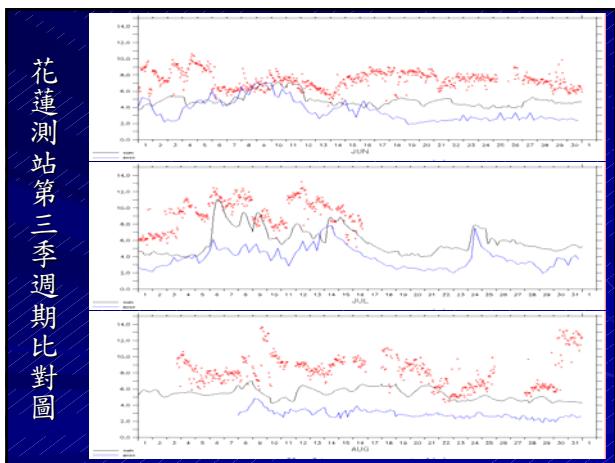
第三季波浪模式週期rms值(秒)

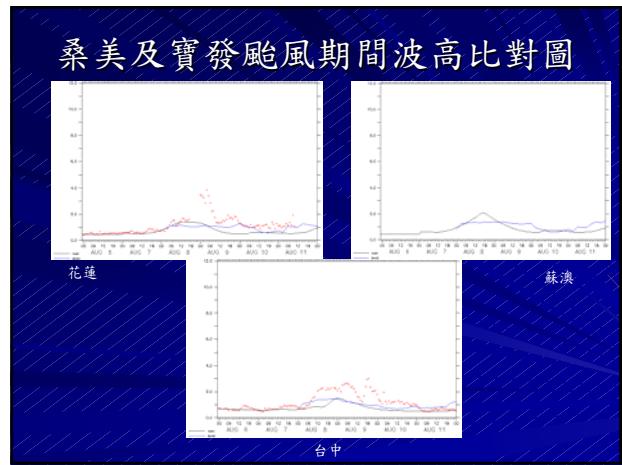
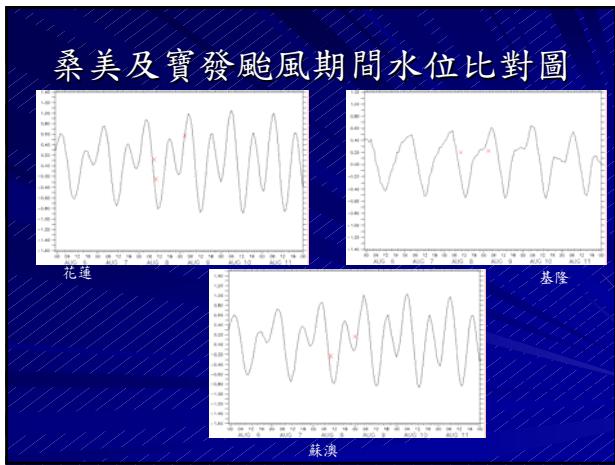
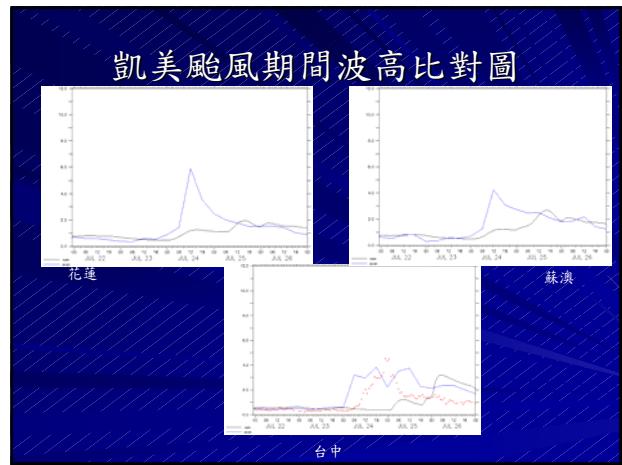
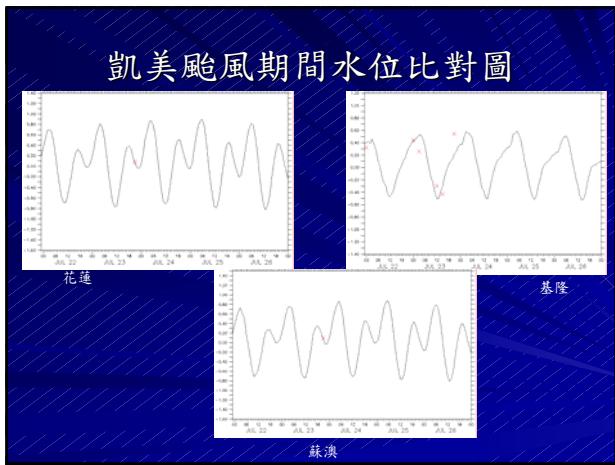
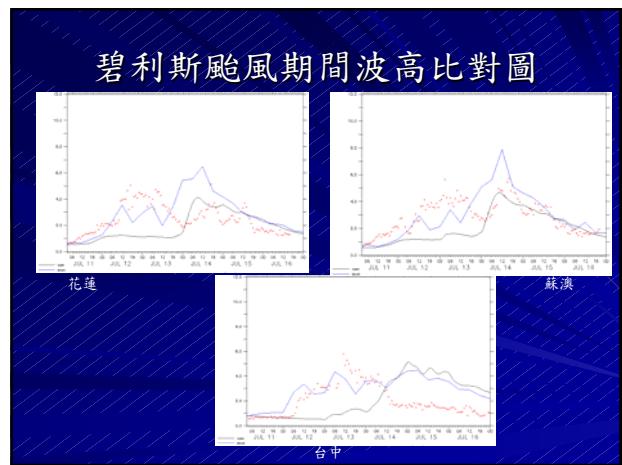
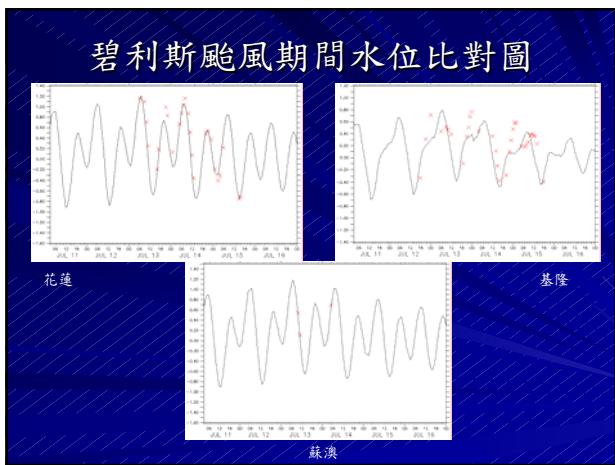
單位(秒)		六月	七月	八月
花蓮	swan	4.12	5.01	5.61
	wam	2.85	3.27	3.51
基隆	swan	無資料	無資料	4.65
	wam	無資料	無資料	3.14
高雄	swan	無資料	無資料	無資料
	wam	無資料	無資料	無資料
蘇澳	swan	3.58	5.34	6.45
	wam	2.5	3.41	4.09
台中	swan	2.4	2.47	3.03
	Wam	1.83	1.78	1.85











## 小結

- 預報系統已可穩定自動運作
- 第三季實測資料較前兩季缺乏
- 部分時間水位實測資料與模式結果產生時間偏移
- 颱風期間缺乏實測資料
- 第四季評估報告會於期末完稿附上

## 總結

- TaiCOMS 目前成為一套完整的系統，資訊包含水位、波浪、風速及流場
- 系統穩定度相當可靠
- 待改進及未來工作
  - 穩定的實測資料上傳
  - 模式繼續改進

Thank You

## 附錄 C 期中報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

■期中□期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：近岸數值模擬系統之建立(3/4)

執行單位：國立中山大學海洋環境及工程學系

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
郭一羽委員：		
一、希望整合全部模擬技術，提供下游單位方便使用。	謝謝委員建議，本計畫之目標皆依委員意見進行。	符合
二、實測值的位置是否適於做驗證，需小心判定。	謝謝委員建議，此部分本團隊會仔細考量。	符合
三、類神經網路的使用需要學習，故必需小心使用。	感謝郭教授的指教，目前本計畫所使用之類神經模式皆已經過學習後所得之最佳化結果，因此，可以直接用來預測颱風波浪及季節風浪與潮汐水位。	符合
黃煌輝委員：		
一、各模式係數是否已按台灣各地的特性做過修正？若有修正，其方法步驟為何？	目前正在積極進行模式係數修正，已於期末報告提出說明。	符合
二、水位資料之預報，理論上不應有太大的誤差，除非有高低壓通過才會產生較大的偏差，此部分在說明上應可增加。	謝謝委員建議，由於此次實測資料的不充足，倒是評估部分難度較高，本團隊取得更多實測資料後，已於期末報告作更詳細的說明比對。	符合
三、誤差用 r.m.s 是否適當？可檢討。	謝謝委員建議，此部分本團隊會進行詳細的考量。	符合
四、數據前置處理應有科學化的整理，才能提高預報精度。	謝謝委員建議。	符合
李兆芳委員：		
一、P.S.中，工作項目都有“長期”字眼，可斟酌其需要性。	謝謝委員建議，本團隊會仔細考量。	符合
二、P.16, 2.1.2 “水位”波浪，是否去除“水位”。	此部分為誤植，期末報告已修正。	符合
三、P.76，波浪預報計算中，局部水深資料可能影響計算結果。但在計算中是否	波浪預報中的水深資料係參考台大海研所的水深資料，並配合網格的分割進行	符合

本來需要就特別異常，不具 代表性地形作修正。	修正。	
四、P.93，三維模式採用水 深方向為靜壓，即忽略了水 深方向的速度斜率變化以 及加速度。因此，仍用三維 計算是否有效率？可以檢 討。	謝謝委員建議，並已於期末 報告提出說明。	符合
五、P.116，使用圖 4.1-1 配 置作計算，雖然計算速度較 快，但是如碎波現象可能無 法包括，則此效應如何修 正？	本計畫港域波浪模式已考 慮碎波能量損失效應，惟計 算上較費時，在實際應用上 需配合實際港池配置及地 形水深對模式領域進行適 當佈置，再決定是否將波浪 碎波效應納入計算，如邊界 遠離岸線且水深夠大時可 忽略碎波效應之計算如本 計畫安平港之計算。	符合
<b>梁乃匡委員：</b>		
進行海象數值模擬，固 然須要參考國外已有的文 獻，但亦不必照單全收。本 計畫目標在近岸數值模 擬，必然受陸地及海底等空 間邊界之影響，各地不同； 且我們能掌握的有用資料 與先進美歐日等國亦不相 同。因此宜以已有的條件， 找出適合本地的最好方 法。簡言之，「本土化」是 也。	謝謝委員建議，本計畫之目 標皆依委員意見進行。	符合
<b>蔡立宏委員：</b>		
一、報告中海象實測資料均 用表格說明，建議增加圖形 說明測量資料的時段。可更 容易明瞭資料的齊全性。	謝謝委員建議，此部分已在 期末報告進行修正。	符合
二、P.16 之 2.1.2 標題請修 改，本節中 SWAN 推算波 高較 WAN 為高，請說明原 因。	標題為誤值，已修正。因受 到預報風場資料之影響，部 分數值之表現可能有特例 現象之發生，整體之趨勢則 仍待進一步之檢討。	符合
三、P.79~P.92 以及 P.144 ~P.145 圖形清晰度應再加 強。	謝謝委員建議，已於期末報 告中改進。	符合

四、風速及水位預報模式計算結果，以台中港海岸地區誤差最大，請述明原因。	此部分使於台中港區實測資料過少，再加上水準點位變化過大，因此比對的難度相當大，導致台中地區誤差最大。	符合	
五、WAN 及 SWAN 預報模式請增加控制方程式、邊界條件及數值方法等。	相關理論由於在前幾年的研究報告裡已經詳述，期末報告已有補充說明。	符合	
六、近岸波場模式沒有考慮淺水區碎波能量消散及反射效應，對模擬結果是否影響。	本計畫近岸波場模擬中區域波浪模式(refdif)均已考慮碎波能量消散，而港口及結構物反射波之影響則以近域波浪模式(em)模擬結果為依據。	符合	
陳明宗委員：			
一、預報系統網站：	1. 移動選單項次時，Cursor 變成 I 狀，宜改為手指狀較合乎網頁習慣。 2. 2005 年相關歷史資料查詢項目請排序。 3. 即時水位花蓮港之觀測點(7 月 2、3 日)和預測值相差太多，是否基準水位誤差，請更正。 4. 即時資料各線圖未全部標示說明。 5. 即時波長之 Y 軸儘可能要能隨大小調整 Scale。 6. 即時流場若能顯示大小各尺度之結果更佳。	1. 此部分已評估改進。 2. 此部分已改進。 3. 此部分會於未來預報更加注意。 4. 此部分已改進。 5. 此部分已進行評估改進。 6. 此部分已進行評估改進。	符合
二、報告內無長期推算結果分析。	此部分為全年度推算成果，已於期末報告增加。	符合	
三、預報模式成果評估，在颱風部份只有定點類神經網路模式評估，WAM 及 SWAN 皆未評估。另水位及暴潮亦未加入評估。	目前僅進行前兩季評估，此期間颱風較少，因而沒有將颱風獨立說明，本團隊已於期末報告進行修正，將颱風期間獨立說明。	符合	
四、即時資料與預報結果差異太大時如何處置？是否有警訊？	目前階段成果評估僅進行兩季，因此還有很多地方尚待加強，此部分會積極進行討論，提出解決方式。	符合	

## 附錄 D 期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

期中 期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：近岸數值模擬系統之建立(3/4)

執行單位：國立中山大學海洋環境及工程學系

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
<b>蔡清標委員：</b>		
一、第二章模式成果評估，除比對圖外，建議增加誤差指標，如相關係數 $R^2$ ，均方根誤差 RMS 等，以評估模式之精度。	謝謝委員建議，會於期末完稿補上其餘的評估標準。	符合
二、二章中，颱風期間比對圖結果，除水位較佳外，波高及週期之誤差似偏大，可有改善之空間？	目前已針對計算之時間間距進行檢討，以取得可能改善之空間。	符合
三、各颱風之特性及路徑等之說明，建議應置於第二章§2.1 前說明，而非§2.2.2 中。	謝謝評審建議，會於期末完稿修正。	符合
四、圖 2.2.2-2~2.2.2-9，最大波高之預測值可予接受，但整體時序列之結果欠佳，可有改善之空間？	對於時序列之誤差，本計畫已在內文中敘述由於颱風結構不完整所致，未來將針對此種現象再行改正。	符合
五、第五章基隆港水位結果，誤差較大，花蓮港一月份亦是，應探討原因。另，各圖是否包括颱風期間之暴潮水位？	謝謝評審建議，會在期末完稿仔細說明。研究所有的水位圖皆包含暴潮水位。	符合
六、建議補充一流程圖說明 TAICOMS 模式，由輸入至輸出之 flow chart。	謝謝評審建議，會於期末完稿補上。	符合
七、參考文獻，建議於內文加編號，以利閱讀。	謝謝評審建議，會於期末完稿修正。	符合
<b>李兆芳委員：</b>		
一、第一章本年度預期成果及效益，建議明確說明，如“重要據點”可以直接表出。	謝謝評審建議，會於期末報告完稿修正。	符合
二、第二章圖 2.1.1-1~2.1.1-4 中，水位變化位相是否有系統誤差？請檢核。另，圖中顏色加以	此部分會於期末完稿補上更詳盡的說明。	符合

說明。		
三、P.108 中，淡水河口水深圖可以加上淡水河出口圖，以利和圖 3.1~6 比對。另外，鹽度分佈圖是否也把各層結果畫出，說明其合理性。	謝謝評審建議，會於期末完稿修正。	符合
四、3.2 節為臺灣海域洩油軌跡預測，但結果只有展示範例。	此部分會於期末完稿補上台灣地區實際案例。	符合
五、P.186~187，結果和圖 2.1.1-1 有何差異，標上年、月會更清楚，實測結果比較趨勢不同。	此部分年份不同，會於期末完稿標上。	符合
六、結論部份，建議以章節大分類整理。	謝謝評審建議，會於期末完稿修正。	符合
七、報告內容相當豐富，計畫執行有力。	謝謝委員肯定。	符合
<b>梁乃匡委員：</b>		
一、參與計畫人員陣容堅強，近岸數值模擬系統包括內容豐富。	謝謝委員肯定。	符合
二、WAN 和 SWAN 波浪推算在臺灣東岸比較不準，應深入研討。	目前正在進行相關基本資料的檢視，已經完成的有節點水深代表值的檢討、RC/MC 風場一致化的處理、計算時間間距的測試。	符合
<b>郭一羽委員：</b>		
一、本計畫對海洋工程與港灣作業關係相當重大，需積極推動。	謝謝委員。	符合
二、執行單位對各細節問題考慮周詳。	謝謝委員肯定。	符合
三、在驗證方面，可多利用以往資料加強驗證。	謝謝委員建議。	符合
四、成果希望能公開而且方便使用，以推廣成效。	本計畫成果經精確評估將公開提供外界使用。	符合
<b>吳基委員：</b>		
一、本研究計畫已執行三年，年度報告內容各章節論述詳實豐富，所發展之各類型模式運作均有不錯之成果展示，研究團隊之努力與績效值得肯定。	謝謝委員肯定。	符合

二、隨著實測資料之累積，有關定點類神經網路模式之應用，其實用性與正確性將逐漸改善，希望未來能擴展到國內七個商港均可使用。	未來計畫將按審查意見辦理。	符合
三、淡水河口擴散模式海岸線未繪入臺北港外廓防波堤，似與現況不符。	此部分由於本團隊所取得的地形檔並未包含提防，若能取得包含防波堤的地形，則可納入計算。	符合
蔡立宏委員：		
一、SWAN 波浪推算中，因計算範圍不同，導致波場結果不同，請問範圍多少的模擬結果較正確。	由於受限於氣象局所提供之風場範圍有限，目前僅從波浪推算模式上的物理定義進行檢討，並發現異常氣象時近域波浪推算僅能從邊界獲得少數的大域波場資料，導致颱風波場的發展產生不連續的情形。初步構想是探討颱風波浪可能影響台灣海岸的距離，以及克服風場不連續的問題才能進一步測試最佳範圍。	符合
二、P.109 淡水河口漲、退潮鹽度分佈模擬結果，請問準確度如何？是否曾做實測資料驗證。	若能取得實測溫鹽資料，則可進行比對。	符合
三、P.146~P.155 圖形之 x、y 相關座標示意圖，請增列。	此部分會於完稿修正。	符合
四、圖 4.3.1-7~圖 4.3.1-11 不同時間波場模擬結果，建議增加說明變化情形及原因。	此部分會於完稿修正。	符合
五、研究成果豐碩，值得肯定。	謝謝委員肯定。	符合