96-36-7255
MOTC-IOT-95-H3DA001

近岸防救災預報系統之建立(4/5)

交 通 部 運 輸 研 究 所

中 華 民 國 96 年 4 月

96-36-7255
MOTC-IOT-95-H3DA001

近岸防救災預報系統之建立(4/5)

著 者: 邱永芳、蘇青和、簡仲璟

交 通 部 運 輸 研 究 所
中 華 民 國 96 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目資料

近岸防救災預報系統之建立. (4/5) / 邱永芳, 蘇青和, 簡仲璟著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運研所, 民96

978-986-00-9357-5

1. 海難救助 2. 海洋氣象 - 自動化 3. 地理資訊系統

557.49 96006877

近岸防救災預報系統之建立(4/5)

著　　者：邱永芳、蘇青和、簡仲璟
出版機關：交通部運輸研究所
地　　址：臺北市敦化北路 240 號
網　　址：www.ihmt.gov.tw (中文版＞中心出版品)
電　　話：(04) 26587176
出版年月：中華民國 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 120 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： 600 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：1009600918　　ISBN：978-986-00-9357-5 (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。

96

近岸防救災預報系統之建立 (4/5)

交通部運輸研究所

GPN：1009600918

定價　600 元

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：**近岸防救災預報系統之建立(4/5)**

國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號	計畫編號
978-986-00-9357-5（平裝）	1009600918	96-36-7255	95-H3DA001

主辦單位：港灣技術研究中心　主管：邱永芳
計畫主持人：邱永芳　共同主持人：蘇青和
研究人員：簡仲璟、陳明宗、單誠基、曾相茂、吳基、林柏青、廖慶堂、徐如娟
行政助理：錢爾潔
聯絡電話：04-26587175　傳真號碼：04-26571329

研究期間
自 95 年 01 月
至 95 年 12 月

關鍵詞：**近岸、防救災、預報系統、風浪預報、暴潮預報、流場預報、海嘯**

摘要：

本計畫是依據近年國家科技發展計畫，在交通部有關促進海洋及海岸科技研發、建立良好海岸環境、減低海洋污染及海岸天然災害等目標，以擬建立一套適用於臺灣海域之近岸海域防救災預報系統。前幾個年度工作重點，包括海象觀測網分區規劃、建立本土化之風浪預報數值模式及數值計算結果校驗與修正。另外臺灣環島現場觀測資料蒐集分析、近岸地形及水深資料蒐集，藉以建置完整的環島近岸數值網格及水深資料庫，完成防救災預報系統之基礎。並持續校驗建置完成風壓及波浪模式系統，以期有更準確、更有效率的預報臺灣沿岸海域的風浪；另建置本土化之潮汐及風暴潮水位預報模式，以臺灣環島海岸觀測水位資料，校驗數值模擬結果。建置作業化臺灣近岸海象預報系統-TaiCOMS (Taiwan Coastal Operational Modeling System)，包括數值預報系統自動化的建立及與現場觀測資料驗證。其中臺灣海域觀測網路部分可以得到的觀測資料為風場、波場、水位及流場等現場資料，經同步連線回傳，經整理後統一輸入資料庫中。臺灣海域模式預報系統的部分則規劃了波浪、水位及流場等相關模式來進行模擬預報。本年度重點工作為完成各項海象預報數值模式建置，主要項目包括風場(風速、風向)、氣壓場(氣壓)、波場(波高、週期及波向)、水位(天文潮位、暴潮位)、流場(流速、流向)、擴散(河口溫鹽及油污擴散)、海嘯等。並進行預報模式結果的整年成果評估，包括預報模式精確度及成果評估，並取用現場觀測資料進行檢驗及評估工作，颱風期間評估為重點。

在配合本所海情中心業務，以建立近岸防救災預報系統，未來並將採用地理資訊系統之人性化操作界面以利各界之使用。預報項目將包括風壓預報、波浪預報、水位預報、流場及污染擴散預報。並在配合模式推算長期颱風波浪及暴潮位,以檢討現有沿海防護設施的設計水位、設計波高標準, 並做為災害防護措施的依據。建立大域及區域性之流場及污染物擴散模式，迅速的提供緊急海難、油污擴散、港口航運安全所需之預警資訊。

出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
96 年 4 月	596	600	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。

機密等級：
□密□機密 □極機密 □絕對機密
（解密條件：□　年　月　日解密，□公布後解密，□附件抽存後解密，
□工作完成或會議終了時解密，□另行檢討後辦理解密）
■普通

備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。

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

TITLE: **Building a Forecast System for Near-shore Disaster Prevention and Rescue (IV)**

ISBN (OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
978-986-00-9357-5 (pbk)	1009600918	96-36-7255	95-H3DA001

DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER
DIVISION DIRECTOR: Yung-Fang Chiu
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Yung-Fang Chiu
PROJECT STAFF: Ching-Ho Su, Chung-Ching Chien, Ming-Chung Chen, Chen-Chi Shan, Hsiang-Mao Tseng, Chi Wu, Po-Ching Lin, Ching-Tarng Liaw, Ju-Chung Hsu, Er-Jier Chien
FAX: 886-4-26571329

PROJECT PERIOD
FROM January 2006
TO December 2006

KEY WORDS: **Near-shore area; Disaster Prevention and Rescue; Forecast system; Wind-wave forecast; Storm surge forecast; Flow forecast, Tsunami**

ABSTRACT:

The sea exploration activities and coastal development projects in Taiwan become extensive. In order to protect human lives and properties coastal engineering measures had to taken for preventing disastrous such as dangers of attack from high waves, surges and coastal erosion. Enough knowledge about marine meteorology is crucial. Therefore, to develop an integrated coastal ocean modeling system is urgently required. The first 3 year's research effort has been focused on the topics to plan and classify an island-wide observation network, and establishes a local wind-wave forecast model. This model can provide necessary information for the Blue-Highway. Particular research effort is to collect observation data for wave, island-wide water depth and numerical grids. These three are the preprocessing part of the forecast system. The objectives of project are to integrate and to calibrate the four wave models which constructed last year; adding fine grid local area wave model for simulating and analysis of the long-term wave characteristics around the seven commercial harbors; set up water level models to simulate the tide and storm surges due to typhoon.

The CENTER has planned the operation process of the project TaiCOMS (Taiwan Coastal Operational Modeling System). The major goal of this year is to port the models in on-line operational mode. The modeling objectives of this year are to integrate and to calibrate the WAM and SWAN wave models for daily simulations; adding fine grid local area wave model for simulating and analysis of the long-term wave characteristics around Taiwan; set up 2D and 3D hydrodynamic model for daily operation for the simulation of tides and currents. Models applying neuro-network technique are also calibrated to the typhoon waves and also to the NE monsoon during the wintertime. Extreme condition has been extracted through the analysis of the whole year simulation of the wave models and the hydrodynamic models as well.

In the future to establish storm surge forecast and flow forecast. Then to integrate these three process models in Geographic Information System for predicting the marine meteorology surround Taiwan will be the major objective for the project.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
April 2007	596	600	☐RESTRICTED ☐CONFIDENTIAL ☐SECRET ☐TOP SECRET ▒UNCLASSIFIED

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

目錄

中文摘要 ..... Ⅰ

英文摘要 ..... Ⅱ

目錄 ..... Ⅲ

第一章 前言 1-1

1.1 計畫背景 1-1

1.2 國內外海象預報系統 1-3

1.3 臺灣環島海象預報系統(TaiCOMS)規劃 1-7

第二章 風場及氣壓場模式 2-1

2.1 颱風風場模式 2-1

2.2 全域風場模式 2-19

2.3 全域氣壓場模式 2-23

第三章 波浪模式 3-1

3.1 全域風浪模式 3-1

3.2 近岸及港區波浪模式 3-22

3.3 定點類神經網路波浪模式 3-69

3.4 相關模式 3-114

3.5 國內主要商港最大波浪推算 3-123

3.6 資料同化 3-166

第四章 水動力模式 4-1

4.1 水位模式 4-2

4.2 海流模式 4-49

4.3 近域水動力模式 4-65

第五章 擴散模式 5-1

5.1 河口溫鹽擴散模式 5-1

5.2 台灣海域洩油軌跡預測模式 5-13

第六章 海嘯模式 6-1
6.1 海嘯數值計算 6-3
6.2 實例模擬 6-12
第七章 臺灣環島海象預報系統 7-1
7.1 網路資訊系統架構 7-1
7.2 網站架構 7-5
7.3 綜合查詢自動化機制 7-27
第八章 海象即時現報作業及年度評估成果 8-1
8.1 線上預報作業模式成果評估 8-1
8.2 定點類神經網路模式成果評估 8-27
8.3 風場一致性的探討 8-49
8.4 波浪預報模式探討 8-54
第九章 長期海象數值模擬分析 9-1
9.1 波場模擬分析 9-1
9.2 水位模擬分析 9-12
第十章 結論與建議 10-1
10.1 結論 10-1
10.2 建議 10-4
參考文獻 11-1
附錄 A 95 年海象即時預報與現場觀測資料比較圖 A-1
附錄 B 期末報告審查意見處理情形表 B-1
附錄 C 期末報告審查簡報資料 C-1

第一章 前　言

1.1 計畫背景

近岸海域地區依照2000年2月24日由內政部以台八十九字第〇五六七五號函函送立法院審議的「海岸法」（草案）中，即明訂我國的海岸地區主要劃分為「濱海陸地」及「近岸海域」兩部分，其中，定義「濱海陸地」以平均海水面至最近之山稜線，或至地形、植被有顯著變化處，或至濱海主要公路、行政區界、溝渠、宗地界線明確之處為界，並含擴界內劃定之土地及地下水域；「近岸海域」以平均海水面至等深線三十公尺，或者平均海水面向海六公里，取其距離較長者為界，並不超過領海範圍，且含擴界內劃定支水域與水域下之海床及底土。

臺灣四面環海，陸域面積約 3 萬 6 千平方公里，在這狹小的地區卻塞了2千4百萬的人口，因為如此，往海的那個方向發展就變得很自然了，所以很多人居住於海濱，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岸侵蝕、海水倒灌等等的災害，所以對於近海的海象狀況比需要有一定程度的了解；另一方面領海的面積約為 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，如臺灣海峽廣大的漁場、填海造陸、各縣市政府推行的藍色公路等等，皆將人民的生活空間由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。

近海海水水位產生變化的原動力為由太陽及月球引力產生潮汐，由風及大氣壓力變化產生的的風暴潮（可影響水位變化由數小時到數天），另外就是風產生的風浪（週期可達到 25 秒，波長範圍由 10 公尺到 1000 公尺）。波浪比起潮汐及風暴潮更有威力的地方就是波浪在碎波的同時會釋放出大量的能量，這個能量可以破壞岸邊的人工結構物，並且會造成海岸侵蝕；在各種浪中，以颱風產生的颱風浪最為值得注意，因為颱風的風力強大，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，若再經

由地形的淺化效應，使其波高加大，所造成的影響就更大了；另外一方面，波浪的產生不像潮汐一樣為週期性的，由於這種不確定因素，所以在本計畫中列為年度優先考量的因素。

目前臺灣並沒有一套很完善的系統來預測波浪的發生，在本所港灣技術研究中心的努力下已經在臺灣五大商港去建立觀測站來觀測及紀錄波浪的資料，並藉著解析的方法來重現波浪的產生情況，這種方式往往只適用於單點產生的波浪推算，對於整個臺灣海域全面的波浪情況便無法掌握了。

目前世界許多國家皆採用數值模式做為預報波浪的方式，國內也有一些學者開始進行這方面的研究，中央氣象局也引進美國海洋及大氣總署（NOAA）所發展的波浪預報模式 NWW3 做為海象波浪測報的工具。本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，為保護和利用近岸海域，邁向 21 世紀的海洋國家，除近岸海域的使用外，應著重百姓生命財產的保護，以補往昔之不足。由於全球環境變遷，藉由過去觀測的資料加以統計分析所得的結果已不足為憑，各項迴歸週期之設計基準也將不足以應付新的自然條件所加諸之嚴酷挑戰。因此，近岸防救災系統的建立是在 21 世紀配合臺灣要邁向海洋國家最重要的施政項目之一。本研究擬以五年期間，結合國內專家學者，藉由國外的發展經驗，擬建立一套適用於臺灣海域之近岸海域防救災預報系統。主要研究目的有以下幾項:

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. 建立大域及區域性之流場模式，迅速的提供緊急海難、油污擴散、港口航運安全所需之流場預警資訊。
5. 建立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。

1.2 國內外海象預報系統

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

近海預報模式包含了波浪、水位、流場等現象的預報。歐洲在這方面起步較早，所以近海預報系統也較為完備，美國現在亦以歐洲發展的基礎根據美國的地區特性加以改善成為美國本土性的近海預報模式系統，以下就國內外近海海象預報系統的發展情況概述如下：

1.2.1 挪威海象預報系統

挪威氣象中心（Norwegian Meteorological Institute, DNMI）發展的三維海洋模式 ECOM（Estuarine, Coastal and Ocean Model）預報風暴潮及海流情況（Engedahl, 1995；Martinsen et al., 1997），預報使用的平面網格解析度為 20 公里的卡氏座標系統，包含了大部分西北歐的大陸棚。在風暴潮的預報部分，ECOM 使用三維正壓項模擬（垂直分為 12 層），於海流預報則加入斜壓項分為 17 層，預報結果提供海流、海水水位變化及溫度、鹽度等資料。同時，挪威氣象中心並使用 WAM 波浪模式做為預報波浪的工具，網格解析度為 0.45 度，範圍包

含了北大西洋、北海，挪威海、格林蘭海及白令海。

預報的時程部分則是一天做兩次預報，分別在 00 及 12 UTC 預報未來 48 小時的海象狀況。其輸入的風場及氣壓場資料則是由挪威氣象中心執行的 HIRLAM 氣象預報模式所提供。

1.2.2 荷蘭海象預報系統

自 1990 年開始荷蘭皇家氣象研究所(KNMI)即使用一套由 Delft Hydraulics 及 Rijkswaterstaat（Gerritsen et al., 1995； Phillippart and Gebraad, 1997）發展的 Dutch Continental Shelf Model（DCSM）來預報潮汐及暴潮。模式模擬的範圍為西北歐洲大陸棚，網格解析度為緯度為 1/6 度，經度為 1/4 度。

自 1977 年起 KNMI 就已經開始預報北海的波浪，到了 1990 年，開始使用由第三代 WAM 修改的局部區域模式－NEDWAM 做為波浪預報的工具（Komen et al., 1994； Voorrips et al., 1997）。模式的模擬範圍包含了北海、挪威海、格林蘭海及英吉利海峽，網格解析度則為 32 公里。風場則由 KNMI－HIRLAM 大氣模式產生。

自 1993 年起，風場由 KNMI 的 HIRLAM 大氣模式產生。預報的時間為每天四次，進行 12 小時的現況模擬並預報未來 48 小時的海象狀況。從 1998 年起使用浮標監測的波浪紀錄與預報模式的現況模擬結果進行資料同化過程，以達到較佳的預報效果。

1.2.3 比利時海象預報系統

自 1970 年代開始，隸屬比利時國家研究院的數值模式管理中心，MUMM（Management Unit of the North Sea Mathematical Model）即使用垂直平均的 2D 水動力模式預報潮汐及風暴潮，預報範圍為北海（Adam, 1979），網格的解析度為北海北部使用 20 分網格大小，南部則使用 7 公里網格。1998 年新版本的 2D 水動力模式(Yu et al, 1994）在 MUMM 及 AWK（公共工程部海岸及航道工程處 Afdeling Waterwegen Kust； Ministry og the Flemish Government）正式啟用（Ozer et al., 1997； van den Eynde et al., 1998）。網格解析度為緯度

方面為 2.5 分，經度方面則是 5 分。在風場及氣壓場的部分，使用英國氣象局（UKMO）所提供的資料。每天預報兩次，每次預報未來 4 天。

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

1.2.4 英國海象預報系統

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

對於波浪的預報，英國氣象局使用由 Golding（1983）為基礎的第二代波浪模式，其後此模式由 Holt（1994）來維持更新。此模式不但可以模擬大尺度的範圍，同時也可以模擬水深 200 公尺以內的大陸棚區。在大尺度範圍方面，使用的網格點為 0.833 度 X 0.56 度，風場部分使用同樣尺度的全球數值氣候預報模式（NWP）預報風場，並且使用 ERS-2 波高計的資料來做同化。此模式每天預報兩次，分別為 00 UTC 及 12 UTC，預報未來五天的波浪。小尺度區域模式，包含西北歐洲大陸棚、地中海、波羅的海及黑海，網格解析度為 0.4 度 X 0.25 度，也是每天預報兩次，分別於 0230 UTC 及 1430 UTC 做預報，預報時間亦為未來 48 小時，風場使用全球數值氣候預報模式（NWP）預報風場，邊界部分則是使用大尺度模式的模擬結果。

1.2.5 美國海象預報系統

美國的近海海岸預報系統，目前是由 Ocean Modeling Branch of the National Weather Service's Environmental Modeling Center、the National Ocean Service's Coast Survey Development Lab、Princeton University、以及 Naval Oceanographic Office (NAVOCEANO) 所共同發展的 Regional Ocean Forecast System（ROFs），此套系統是由 1991 年開始發展，並於 1993 年開始作實驗性的預報。此系統為一三維水動力模式，模擬的範圍為北緯 30 度至 47 度，由美國東岸海岸線向外延伸至西經 50 度，網格解析度為 20 公里，在近岸的部分則變為 10 公里，海水表面的驅動力則是由 NCEP（National Centers for Environmental Prediction）的 Eta 中尺度大氣模式提供。此套系統一天預報一次，每次預報其後時間 48 小時。

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

1.2.6 中央氣象局海象預報系統

中央氣象局海象測報中心的波浪預報是根據數值天氣預報所預測之海面風場，代入二種模式：一種是依據風向、風速、吹風歷時、風域長度與波高、週期關係之面積風域法；另一種是以能量平衡方程式為基礎之波譜數值模式。自民國八十四年起，每日提供一次上午八時之波浪分析圖及未來二十四小時波浪預報圖，波浪圖涵蓋範圍自東經 105 度至 140 度，北緯 5 度至 35 度，包括了臺灣海峽、東海、黃海、南海及部分西北太平洋海域，對於我國海域航行安全有相當大之助益。自九十年起改進為三十六小時預報，提供次日上午八時及下午八時之波浪預報圖，含 1 公尺以上波高等值線及波向。民國九十一年引進美國氣象局 NWW3 (NOAA Wave Watch III)波浪模式並加以本土作業化，與原先使用之 WAM 模式並行測試(中央氣象局海象測報中心網站資料)。另於民國九十二年底引用 SWAN 模式，研究東北角海

岸模式範圍由東經 121.5 度到 122.5 度，北緯 24.5 度到 25.5 度，網格格點為 500 公尺，每天預報兩次，每次提供未來 24 小時及 36 小時的波浪預報場。

1.3 臺灣環島海象預報系統（TaiCOMS）規劃

參考各國近海海象預報系統的發展狀況，本計畫在前兩年已規劃完整的臺灣環島海象預報系統-TaiCOMS (Taiwan Coastal Operational Modeling System)，包括數值預報模式的建立及驗證、觀測網的架設及資料庫的整合，今年將持續完成未建置的部分，整體規劃的理想架構沿用去年所規劃的方向並做了更完整的補充並加強整體架構的功能性，如圖 1.1 所示。

觀測網路部分預計可以得到的觀測資料為地形、水深、氣壓、颱風、風場(風速、風向)、波場(波高、週期及波向)、水位(天文潮位、暴潮位)及流場(流速、流向)等現場資料，經同步連線回傳整理後統一輸入資料庫中以便未來提供查詢及模式的應用。

模式部分則包含了風場、波浪、水位、流場及擴散等模擬，其中風場的模擬包含了季風及颱風，同樣波浪的模擬包含了季風波浪及颱風波浪，水位的模擬則包含天文潮位及暴潮位潮位，海流的模擬則包含天文潮流、風驅流(暴潮流)、長週期恒流及波浪引起之沿岸流等。擴散模式主要重點為油污，其次為一般污染濃度。風場的部分由於氣象局可以提供資訊，所以本計畫不擬執行一般風場的預報模擬，但是由於氣象局在颱風風場的預報僅提供颱風路徑、中心最大風速與暴風半徑等資料，颱風場仍須以颱風風場解析模式根據氣象局的預報資料輸入進行海象預測，也引用中央氣象局與 NOAA 海上風場模式所產生的全域及時預報風場作為颱風解析模型未能涵蓋區域的風場資料，模式產生的資料同樣也進入資料庫中，如此便可以將模式預測的資料與觀測網路得到的現場資料做同化，以增加模式模擬的精確度。

模式系統的規劃時程則表示於圖 1.2，分預報系統模式建立及模式實際應用兩方面進行，各年所欲達成的目標如下所述，第一年(2003年)已完成建立 WAN 模式、SWAN 模式、類神經網路颱風波浪模式、

半經驗颱風波浪模式等 4 種風浪模式，波浪模式之大小網格最佳化及水深資料建立，並規劃觀測網，及建置防救災預報系統網站。第二年(2004 年) 工作重點為持續校驗第一年建置完成的風浪模式系統，並增設區域性近岸波浪模式與相關模式的工作，以期有更準確、更有效率的預報臺灣沿岸海域的風浪；另建置本土化之潮汐及風暴潮水位預報模式，以臺灣環島海岸觀測水位資料，校驗數值模擬結果。本年也引用中央氣象局與 NOAA 海上風場模式所產生的全域及時預報風場作為颱風解析模型未能涵蓋區域的風場資料。第三年(2005 年)為建立三維全域水動力模式，並完成流場模式之驗證。波浪方面配合數值模式推算長期颱風波浪，水位方面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結構物破壞及溢淹之預警資訊。其次在取得中央氣象局每日預報氣象資料，因此提前測試執行臺灣近海海域模式即時現報作業系統。本年度 (2006 年)建立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；並建立區域性之流場模式，迅速的提供港區油污擴散及港口航運安全所需之流場預警資訊。第五年(2007 年)將模式及觀測網的資料作圖形化展示，採用地理資訊系統之人性化操作界面，以利各界之使用，同時為求整個預報系統的最佳預報時效，進行高速計算的可行性研究，力求近海海象預報模擬系統的預報時間能夠在氣象局發佈氣象預報後三至六小時之內完成。波浪方面配合數值模式推算長期颱風波浪，以探討現有沿海最大波高, 並做為海岸災害防護措施的依據。水位方面配合數值模式推算長期暴潮水位,以檢討現有沿海防護設施的設計水位標準, 做為海岸災害防護措施的依據。

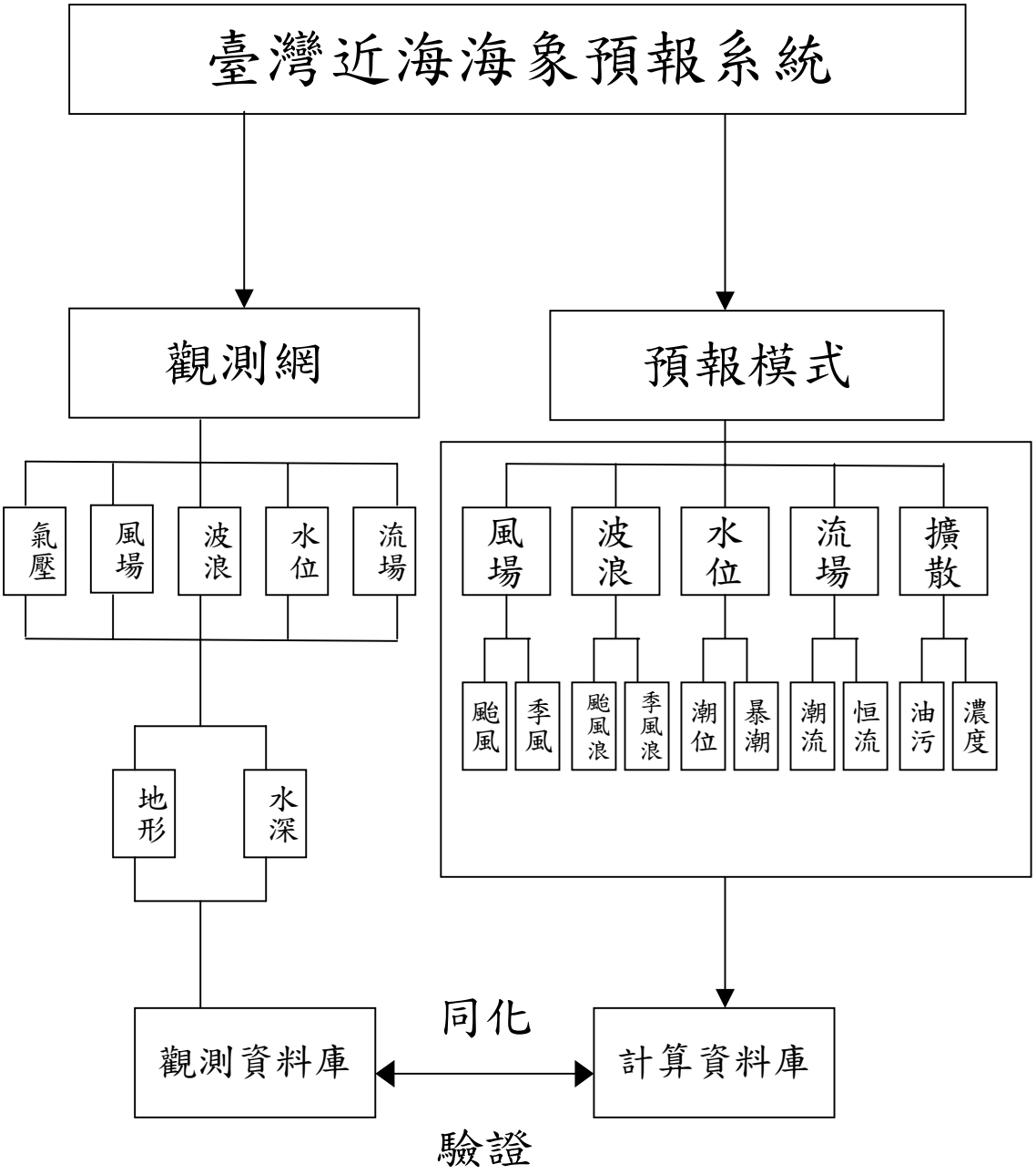


圖1.1　臺灣近海海象預報系統架構圖

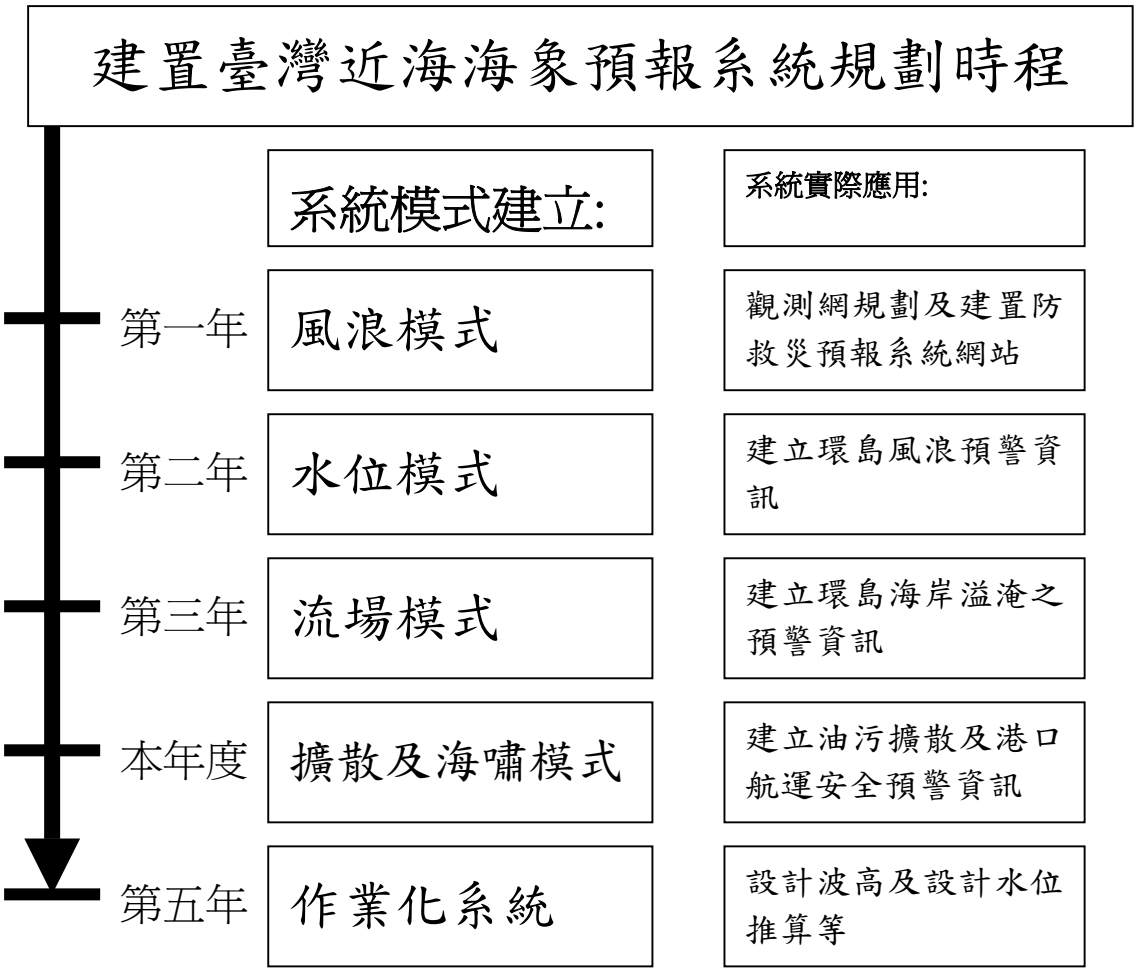


圖1.2 臺灣海域海象預報及觀測系統建置之規劃時程

第二章 風場及氣壓場模式

由於波浪及水位的預報皆會受到氣象條件的影響，特別是風速及氣壓的影響最大，因此本章節主要是探討這兩個因子的計算方法以及模擬的結果。後續章節會介紹各個颱風模式的理論，同時藉由實測風速的比對，選出較適合臺灣地區的颱風模式。另外全域風場方面，也取得 NOAA 預報風場，及中央氣象局 NFS 預報風場作為背景風場增加風速的準確性。氣壓場的部分也取得中央氣象局預報 NFS 氣壓場。以下僅就風場及氣壓場兩部分做說明:

2.1 颱風風場模式

2.1.1 颱風風場模式建立

因為中央氣象局所提供的颱風預報資料僅為颱風預測路徑及可能的暴風半徑，並不足以用於海象預測模擬的波浪模式計算，所以仍然需要使用傳統的颱風解析模型來模擬颱風內部的風場分布，本計畫收集了近年來國內外所使用的颱風解析模型，並與中央氣象局測站的實測資料作比對，以便找出一個較為符合臺灣海象預測模擬的颱風解析模式。僅就文獻所蒐集之幾個曾經應用在臺灣海域的五個颱風解析模式包括(1)李賢文颱風模式（Li , 1979）(2) 劉肖孔颱風模式（Liu , 1985）(3) 美國聯邦危機管理署颱風模式 （FEMA , 1988）(4) 陳孔沫颱風模式（Chen , 1994）(5) 賴宗慶颱風模式（Lai , 1995），各模式之理論說明詳參本計畫第一年報告(邱、蘇,2004)此處不再引述。 颱風模式使用之變數定義如表 2.1。

2.1.2 颱風風場模式比較

本計畫將以上述颱風風場模式理論模擬之風場與實測風場資料加以分析比對，並進行分析計算以取得最適用於模擬臺灣海域颱風之最佳模式，並利用以實測資料分析計算的結果做為颱風風場模式的本土化參數，使預報模式使用之風場更能符合實際情況。

颱風風場模式比較上年度選擇六個歷史颱風，包括賀伯（9608）、瑞伯（9810）、西馬隆（0101）、奇比（0102）、桃芝（0108）及利奇馬（0119）等，及 2003 年兩個侵臺颱風，其中之一為影響範圍涵蓋南臺灣的杜鵑颱風（0313）；另外基於路徑的考量選擇掠過臺灣東北部海面的梵高颱風（0311）。以上八個颱風之路徑圖如圖 2.6 所示。並選擇澎湖、高雄、花蓮、蘇澳、蘭嶼及彭佳嶼等六個測站，現場量測風速來比對，各個颱風解析模式的模擬結果。並以五個颱風風場模式，模擬六個歷史颱風的風速結果，並與中央氣象局測站的實測風速比對。由分析結果顯示當颱風路徑不一樣時，對於模式的模擬結果有蠻大的影響，六個颱風路徑當中以西馬隆的路徑最為準確；另外由島內測站的比對結果也可以發現，颱風模式並無法將地形所造成的影響表現出來，模擬的結果往往只有趨勢符合，模擬的風速則普遍大於實測的風速，除非如彭佳嶼及蘭嶼等較不受地形變化的外島才能得到趨勢符合風速也差不多的結果。

引用基隆、臺北、高雄、安平、花蓮及蘇澳港 2001 及 2002 年及臺中港 2002 年等七大商港的全年風場資料，由於安平與臺北為氣象樁所測得之風速資料，為了避免地形對風速所造成的影響，本計畫選擇臺北及安平的資料作為颱風模式比對的依據。為了配合風速資料，

本計畫以 2001 年的四個颱風西馬隆、奇比、桃芝、利奇馬及 2002 年的二個颱風娜克莉及辛樂克，作為比對校驗的序列。

西馬隆在呂宋島西方海面生成後緩慢北上，移動至呂宋島東北方近海時，中心呈現滯留打轉的現象，再以緩慢北上至巴士海峽後，轉向東北加速通過臺灣東南部海面，朝琉球方向移動，並轉變成溫帶氣旋。發布警報時間為 2001 年 5 月 11 日上午 11 時，至 13 日晚上 20 時解除警報，期間最大中心風速為 23 公尺/秒，最低氣壓為 990 毫巴，最大之暴風半徑為 150 公里。

奇比颱風於菲律賓東方海面形成後，向西北方向移動，其中心進入巴士海峽後，以偏西方向通過巴士海峽，再以偏北的路徑通過臺灣海峽，於馬祖附近進入大陸。發布警報時間為 2001 年 6 月 22 日凌晨 3 時至 24 日上午 8 時解除警報，期間中心最大風速為 35 公尺/秒，最低氣壓為 965 毫巴，最大之暴風半徑為 200 公里。

桃芝颱風在呂宋島東方海面生成之後，以西北轉北北西的方向移動，朝臺灣東部陸地接近，於 7 月 30 日 0 時 10 分左右登陸花蓮秀姑巒溪口，並於當日 10 時 20 分左右由新竹附近離開本島進入臺灣海峽北部，約在 31 日 4 時 20 分由馬祖附近進入大陸，隨後減弱為熱帶性低氣壓。發布警報時間為 2001 年 7 月 28 日上午 5 時，至 31 日下午 2 時解除颱風警報 ，期間最大風速為 38 公尺/秒，最低氣壓為 962 毫巴，最大之暴風半徑為 250 公里。

利奇馬颱風於 2001 年 9 月 22 日在菲律賓呂宋島東北方海面形成，緩慢偏西移動，24 日轉向偏北和北北西方向，直撲臺灣東南部地區。26 日 18 時 30 分左右在臺灣東南部登陸，經歷約 23 小時後，

由中部濁水溪口進入臺灣海峽，隨後於 28 日 8 時在海峽上減弱為熱帶性低氣壓。發布警報時間為 2001 年 9 月 23 日晚上 8 時，至 28 日上午 9 時解除警報，期間最大風速為 35 公尺/秒，最低氣壓為 965 毫巴，最大之暴風半徑為 180 公里。

娜克莉颱風於 2002 年 9 日 5 時生成於臺灣海峽南部後，向東北移動，10 日 5 時左右在臺中北方附近登陸，當日下午 2 時於宜蘭北方附近出海，以偏東方向移動，11 日、12 日到達琉球海面後移速減緩並轉向偏北方向移動，13 日進入日本西南方海面後減弱為溫帶氣旋。警報發布時間為 2002 年 7 月 9 日上午 5 時至 10 晚上 11 時，期間最大風速為 20 公尺/秒，最低氣壓為 987 毫巴，最大之暴風半徑為 80 公里。

辛樂克颱風於 2002 年 8 月 29 日形成於關島東方海面後，向北北西移動，31 日起向西快速移動，4 日此颱風通過琉那霸後，移動速度開始減慢，五日至六日其移向呈西南西再轉西北西擺動的現象，俟其中心到達臺灣東北方海面時，開始加速向西方向朝馬祖北方附近進入福建北部，並快速減弱為熱帶性低氣壓。警報發布時間為 2002 年 9 月 4 日上午 5 時至 8 日上午 5 十解除颱風警報，期間最大風速為 43 公尺/秒，最低氣壓為 955 毫巴，最大之暴風半徑為 300 公里。六個颱風路徑如圖 2.1.1 所示。

圖 2.1.2 至 2.1.6 為五個颱風模式在六個颱風期間模擬結果與測站實際風速比對圖，由於颱風模式模擬的結果為 7 級暴風半徑以內的風速變化，因此除了桃芝颱風有兩個測站的完整比對外，其餘颱風皆只有單一測站的比對值。西馬隆颱風因為其暴風半徑過小，無法於安平

及臺北氣象樁產生模擬結果。而資料長度方面由於警報發布的時間測站並不一定籠罩於暴風半徑內，因此颱風模式模擬結果並無法呈現到整個警報期間。

圖 2.1.2 為奇比颱風期間 5 個颱風模式模擬結果與安平氣象樁時序圖。五個颱風模式的趨勢都一樣，符合氣象樁的實測資料。在最大風速大產生之前，Liu 及 Chen 的預測跟時測資料完全符合，Li、Lai 及 FEMA 則高估風速，以 Lai 的高估量最大。在最大風速產生之後結果相反，Liu 及 Chen 明顯低估風速，Lai 及 FEAM 則最為接近實測資料，Lai 為高估，FEMA 則為低估。

圖 2.1.3 為桃芝颱風期間 5 個颱風模式模擬結果與臺北、安平氣象樁時序圖。由臺北測站圖上可以發現五個颱風在登陸前的風速模擬結果趨勢符合氣象樁風速，以 Li 及 FEMA 的結果最好，Lai 明顯高估，Chen 及 Liu 則低估風速。登陸後可發現五個颱風模式皆無法預測風速趨勢，Liu 及 Chen 的風速大小較接近實測風速，其餘三個模式皆高估風速許多。安平測站方面颱風模式皆可以將風速趨勢模擬出來，以 Li 及 FEMA 的結果最符合時測風速資料，Lai 為高估風速，Liu 及 Chen 則低估風速。

圖 2.1.4 為利奇馬颱風期間 5 個颱風模式模擬結果與安平氣象樁時序圖。圖上可發現在颱風登陸前，Li 的結果與資料吻合，FEMA 則稍微高估，Lai 明顯高估風速，Li 及 Chen 則是低估風速，5 個颱風模式皆沒有模擬到最低風速。颱風登入後，5 個颱風模式於風速模擬部分皆與實測風速趨勢不同，以 Liu 及 Chen 差距最大。

圖 2.1.5 為娜克莉颱風期間 5 個颱風模式模擬結果與臺北氣象樁

時序圖。由於娜克莉颱風的暴風半徑很小，只有 80 公里，因此於臺北測站的模式結果只有兩點，可發現 FEMA 的結果與時測資料相當吻合。

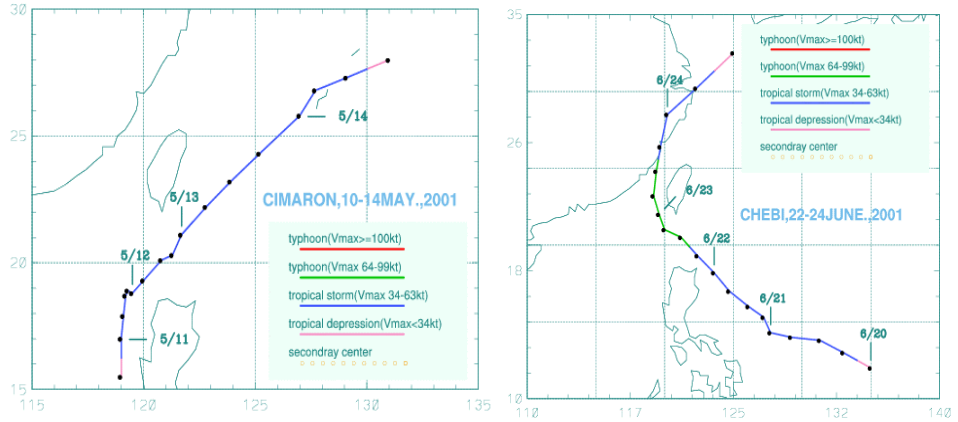
圖 2.1.6 為辛樂克颱風期間 5 個颱風模式模擬結果與臺北氣象樁時序圖。辛樂克颱風的暴風半徑相當大，但是其中心位置偏北，所以只有臺北測站有模擬結果，圖上可以發現 Li 及 FEMA 的結果與時測資料相當接近，Lai 同樣高估風速，Liu 及 Chen 則為低估風速。

綜合以上 5 個模擬結果，可以發現 FEMA 的結果與時測資料最為符合，然 FEMA 的公式無參數可以調整，無法修正颱風剖面，因此本計畫選擇利用可調整參數及趨勢表現不錯的賴宗慶颱風模式理論來模擬颱風風速，以便因應未來不同特性及路徑的颱風。由於某些測站的結果仍然不盡理想，特別是颱風有登陸的案例，所以未來會使用更多颱風資料作為颱風模式參數的校正。

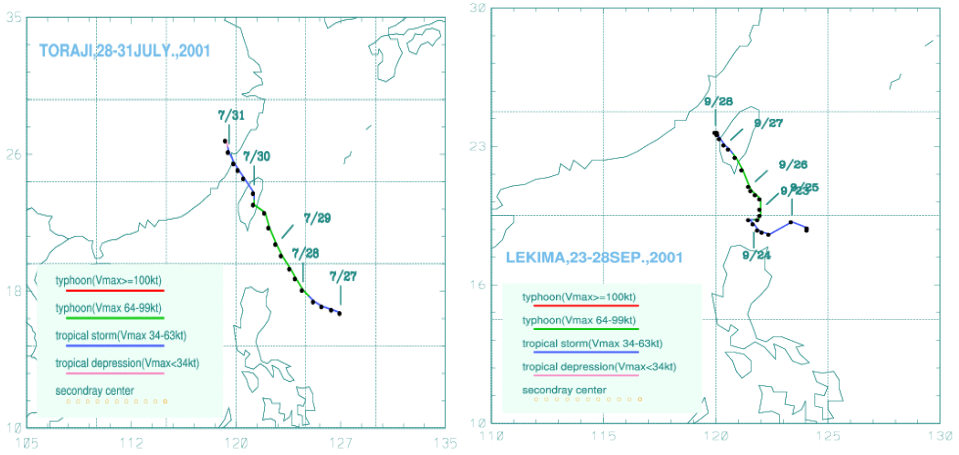
由於目前臺灣並沒有很足夠的海面風速資料，只有陸地測站的風速資料，因此海面風速的比對有其困難度，且本計畫主要的目的是颱風波浪的模擬，海面的風速是否準確，對於波浪的模擬結果影響相當的大，所以未來若能取得海面風速的風場預報及海預測站的實測資料，特別是颱風期間的資料，應能對颱風模式做較為精確的修正，模擬颱風波浪的結果也會比較精確。

表 2.1 颱風模式使用之變數定義

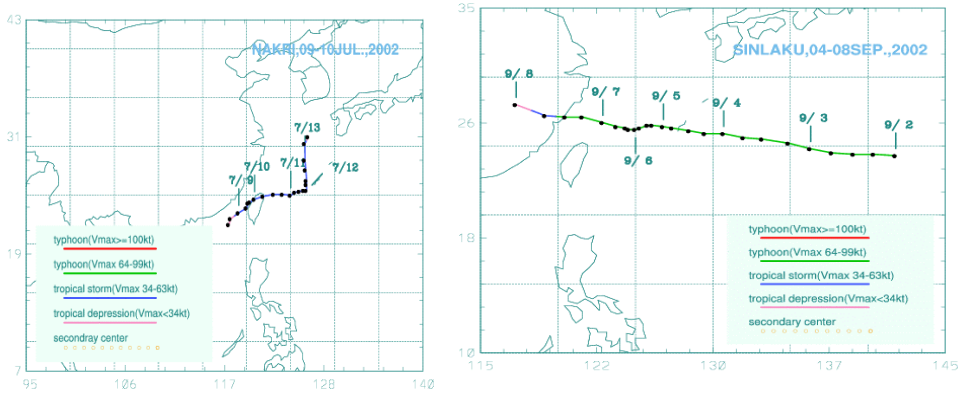
F	科氏力（rad/s）
ρ_a	空氣密度=1.015（kg/m^3）
P_c	颱風中心氣壓（mb）
P_n	颱風影響範圍外之氣壓=1015（mb）
R	距颱風中心的距離（km）
R	最大暴風半徑（km）
V_m	最大風速（m/s）
V_s	颱風移動速度（m/s）
U_0、V_0	颱風移動速度的分量（m/s）
α_0	垂直穩定條件下風穿過等壓線的向心偏角（度）
α	垂直不穩定條件下風穿過等壓線的向心偏角（度）
Θ	軸對稱風與 Y 軸的夾角（度）
ϕ	軸對稱風穿過等壓線的向心偏角=30（度）
B	V_o和 V_g的夾角（度）
C_τ	海面粗糙度
ΔT_{a-s}	長期月平均空氣海水垂直溫差（℃）
A、B	常數



(a) (b)



(c) (d)



(e) (f)

圖 2.1.1 六個颱風路徑圖(a)西馬隆(b)奇比(c)桃芝(d)利奇馬(e)娜克莉(f)辛樂克

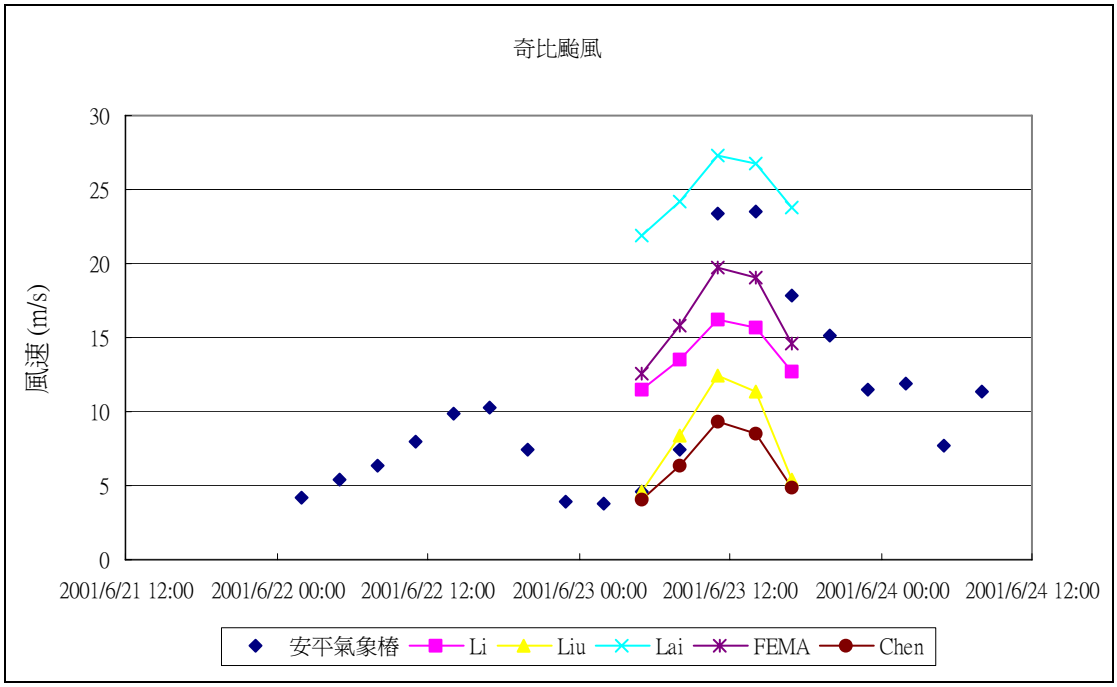
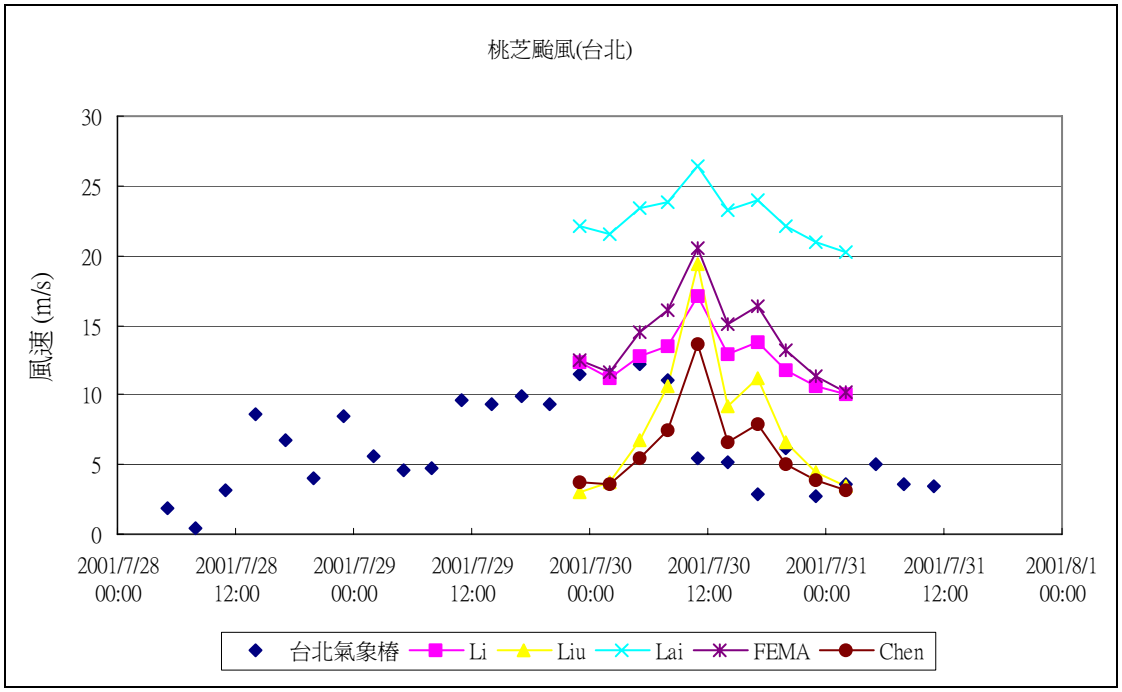
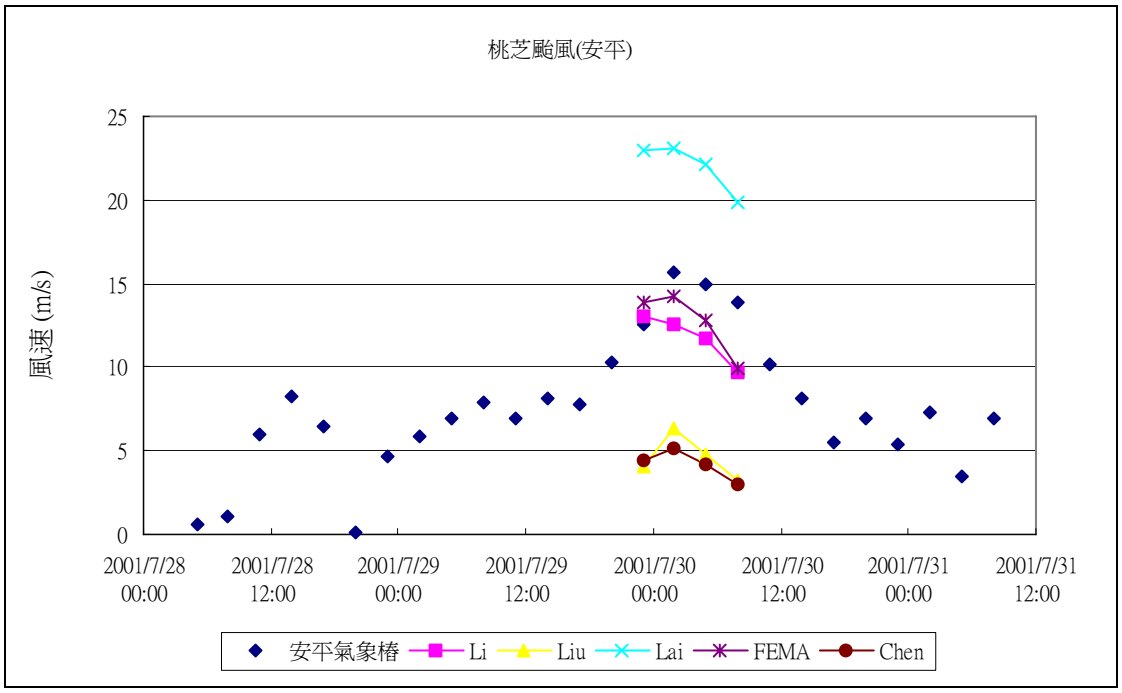


圖 2.1.2 奇比颱風期間颱風模式與實測資料比對圖



(a)



(b)

圖 2.1.3 桃芝颱風期間颱風模式與實測資料比對圖

(a)臺北氣象樁(b)安平氣象樁

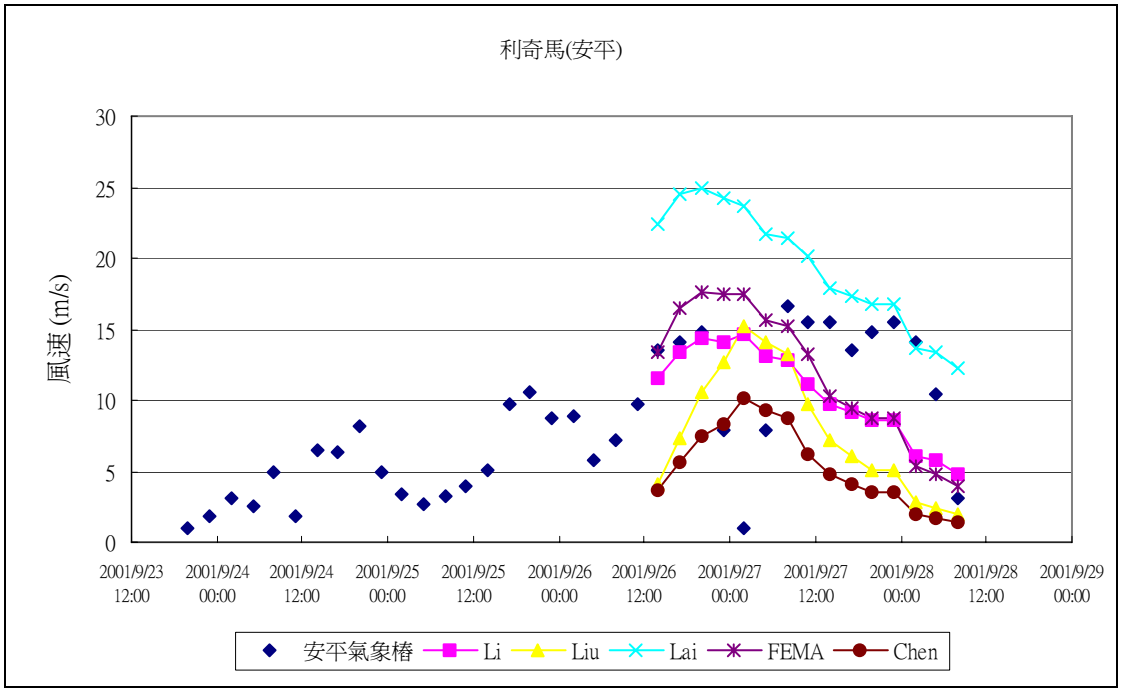


圖 2.1.4 利奇馬颱風期間颱風模式與實測資料比對圖

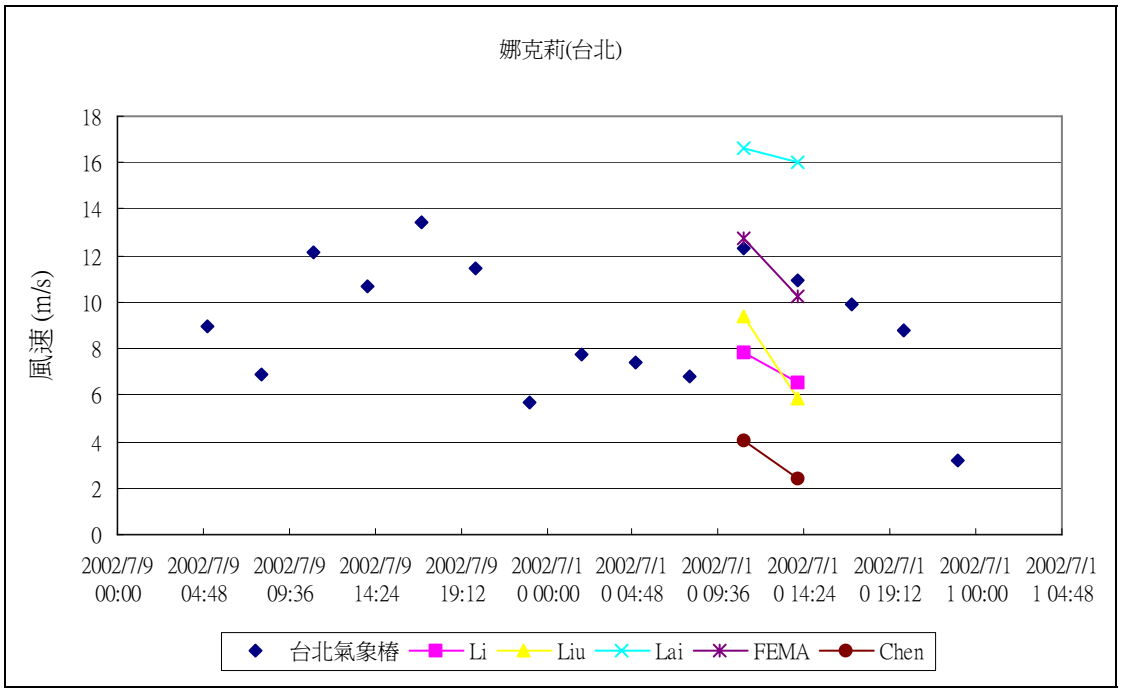


圖 2.1.5 娜克莉颱風期間颱風模式與實測資料比對圖

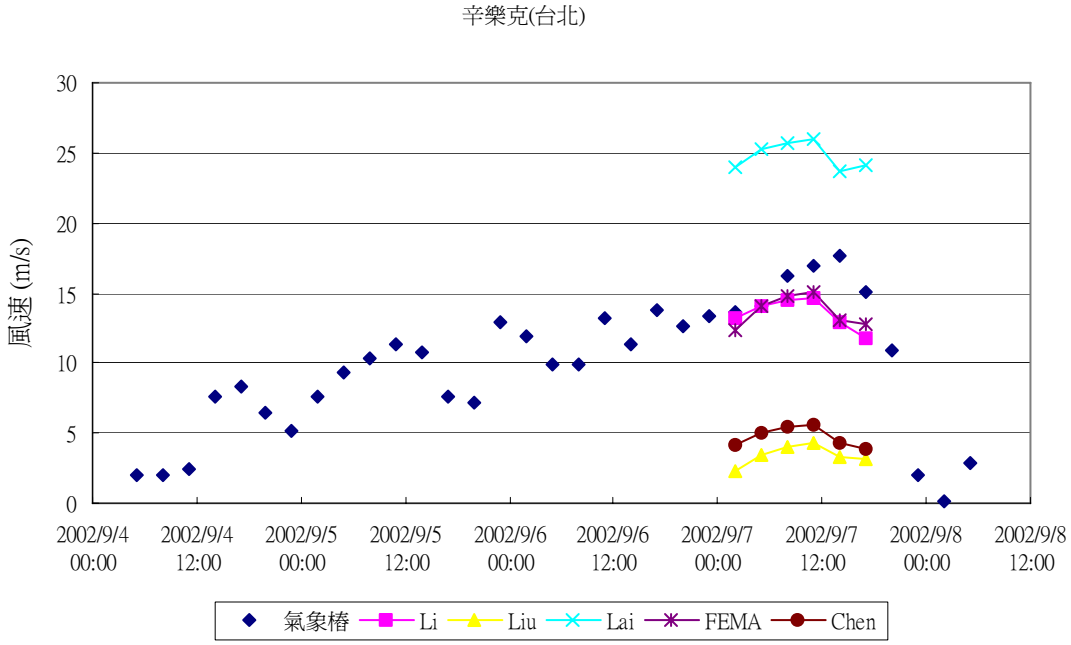


圖 2.1.6 辛克樂颱風期間颱風模式與實測資料比對圖

2.1.3 颱風風場模式校驗

圖 2.1.7~2.1.14 為使用賴宗慶理論颱風模式輸入之風場資料與臺北及安平氣象椿之比對結果，由於實測風場資料只有兩年的資料，因此選定 2001 年發生之四個颱風之西馬隆、奇比、桃芝及利奇馬作為模式比對及校正的颱風。由圖上可以發現四個颱風風速的比對結果，於安平氣象椿的模擬結果皆較臺北氣象椿的準確。由於要推估準確的颱風暴風半徑是相當困難，因此雖然氣象局有預報的颱風暴風半徑，但也只是估計值，無法很準確的界定出颱風的範圍，因此對於颱風模式的模擬結果會產生相當大的影響，特別是在暴風半徑邊緣的風速模擬。由路徑分析，除了桃芝颱風有直接經過臺北測站以外，其餘三個颱風皆只有颱風外圍經過臺北測站，西馬隆更是沒有經過臺北測站，所以可以發現臺北測站的風速模擬只有桃芝颱風勉強可以符合實測資料，其餘三個颱風在風速大小及趨勢皆差距很大。在安平測站的部

分則可以發現四個颱風都有不錯的模擬結果，除了某些時間點為的風速極大值沒辦法準確的模擬到以外，在風速大小及趨勢都滿接近實測資料。無法模擬到風速極值，推測的可能原因一為預報路徑因颱風接觸陸地結構遭到破壞產生偏移，另一原因則是因為大範圍模式的網格點過大，因此造成颱風模式無法模擬出風速極大值的部分。

因為臺北的風速比對結果差距太大以及四個颱風的路徑關係，因此選定了風速比對結果比較符合的安平測站作為模式校正的依據，選擇使用的颱風則是模擬結果最好的桃芝颱風。圖 2.1.15 及 2.1.16 為風速修正前跟修正後與實測資料比對之趨勢圖。利用線性趨勢線作為修正的依據，同時將風速以每秒 10 公尺為分界，分兩部分做迴歸曲線並做修正。小於 10 公尺風速部分，將模式風速乘以 0.5362 並加上 2.4327；大於 10 公尺風速則乘上-0.7284 並加上 22.516。由圖 2.1.16 可以發現修正後的風速趨勢更為符合實測資料，因此在後續的颱風模擬上，便使用這組係數作為風速修正的依據。而在颱風剖面形狀係數 B，則是使用 1.5 作為模擬時使用的值。

目前使用 NOAA 預報風場搭配颱風模式可以得到不錯的風速模擬結果，但在風速較為強烈的部分仍因西太平洋範圍模式解析度過大及颱風預報路徑之精確度而無法模擬出精確的大小，目前在取得中央氣象局的動態預報風場以及增加模式解析度後，已得到更準確的風速模擬值。

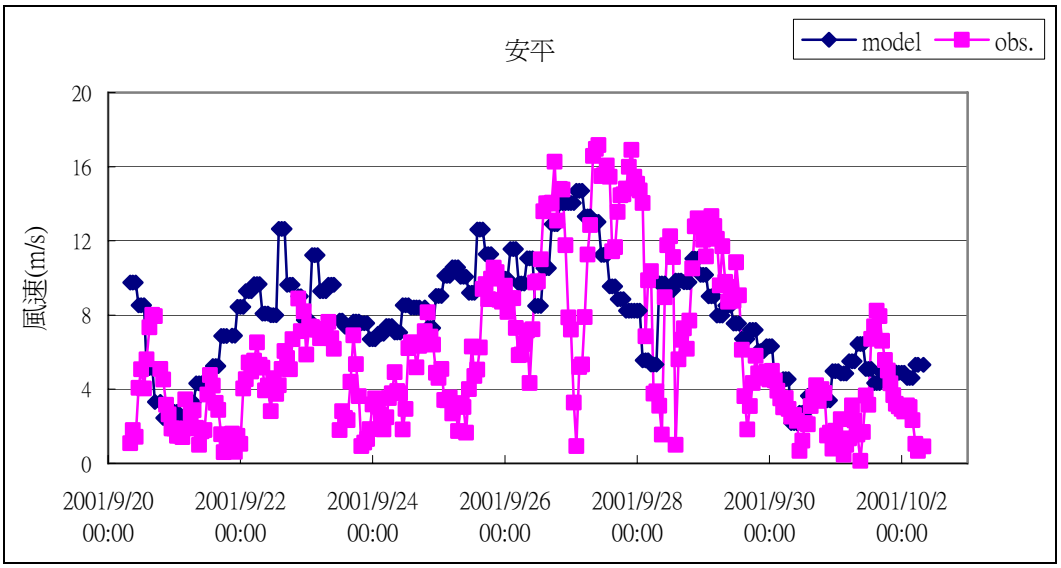


圖 2.1.7 利奇馬颱風期間模式風場與安平實測資料比對圖

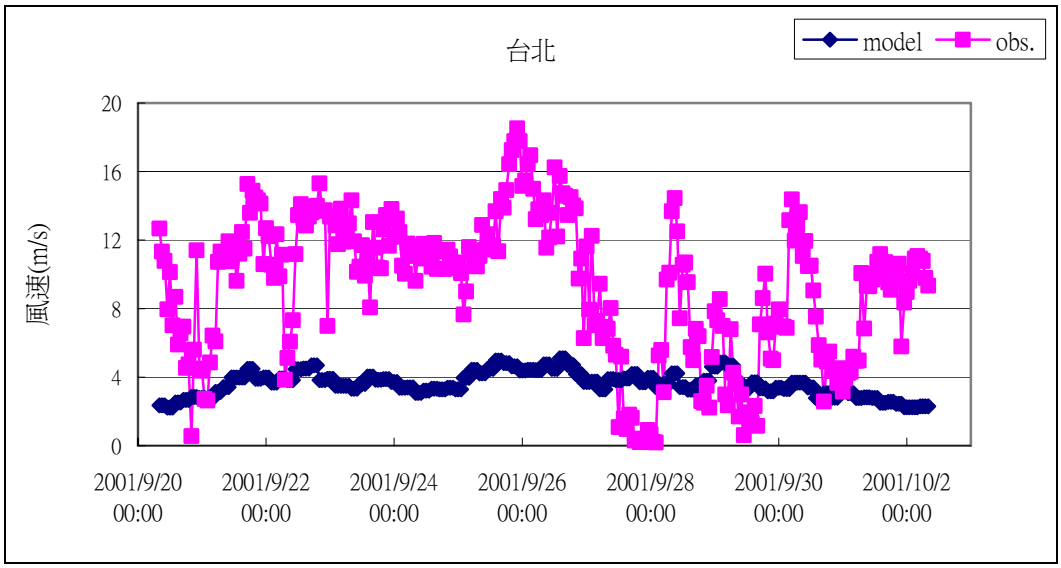


圖 2.1.8 利奇馬颱風期間模式風場與臺北實測資料比對圖

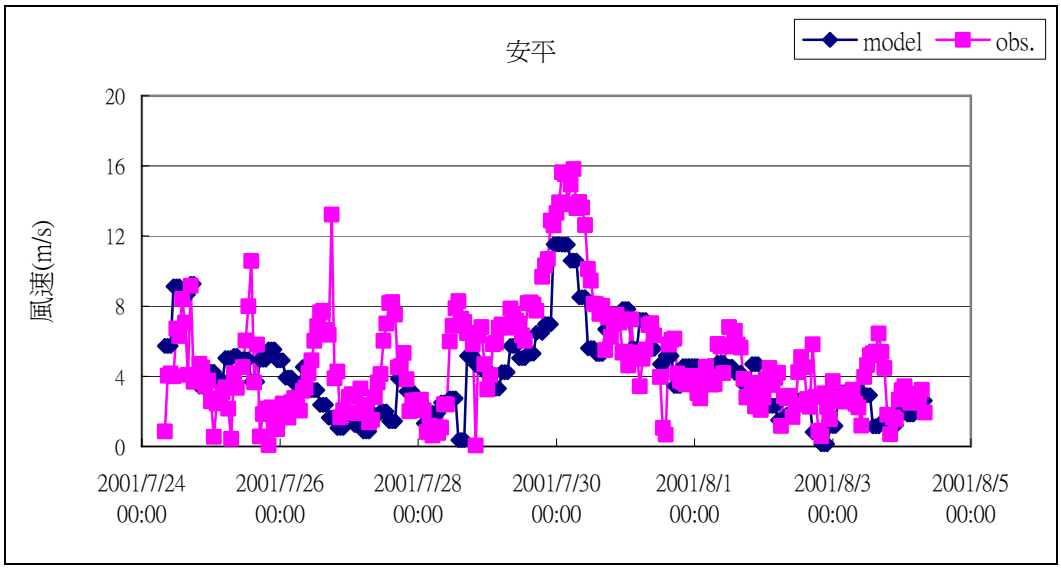


圖 2.1.9 桃芝颱風期間模式風場與安平實測資料比對圖

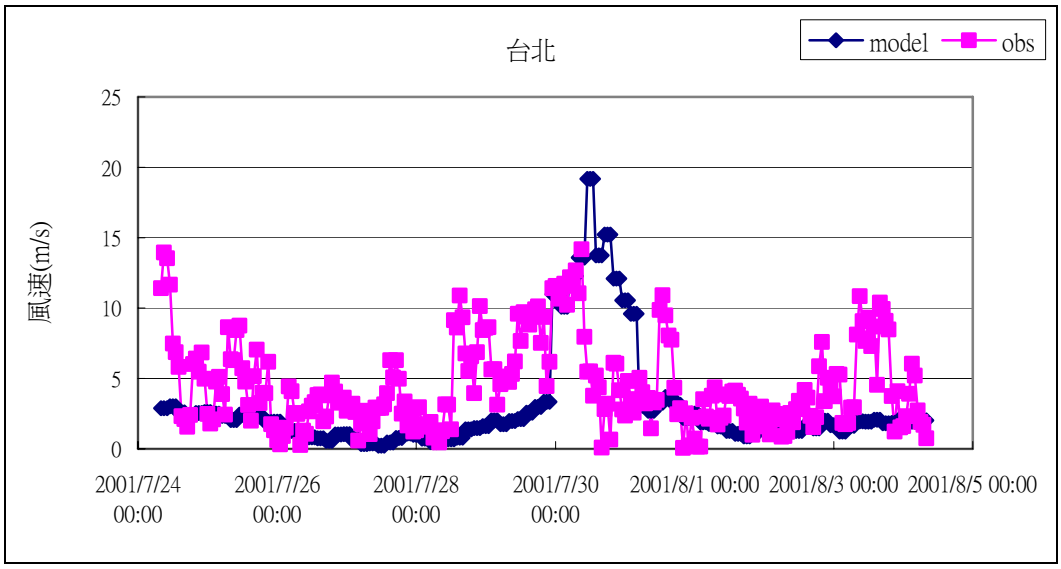


圖 2.1.10 桃芝颱風期間模式風場與臺北實測資料比對圖

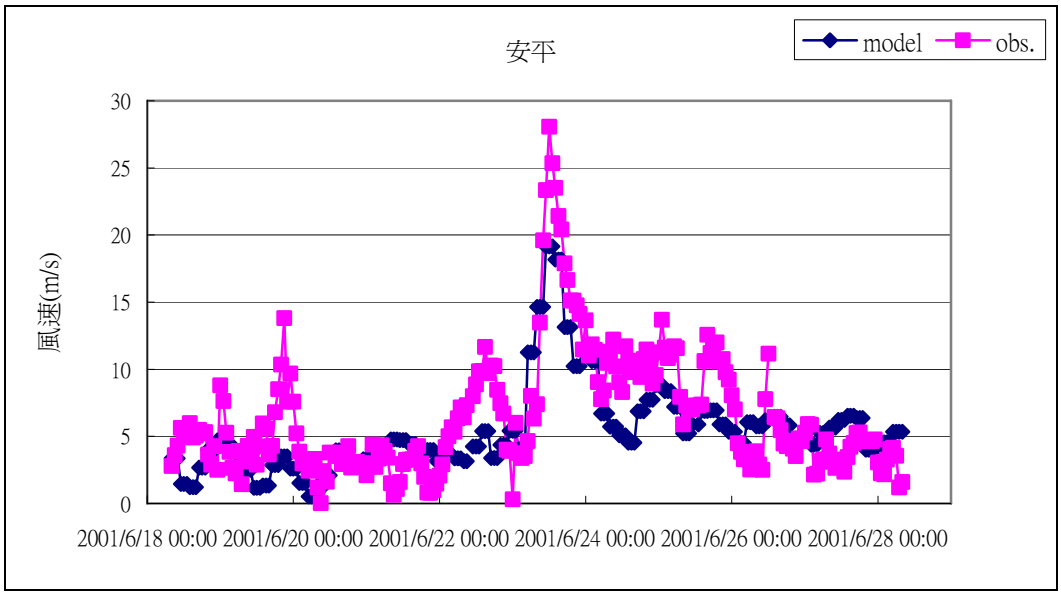


圖 2.1.11 奇比颱風期間模式風場與安平實測資料比對圖

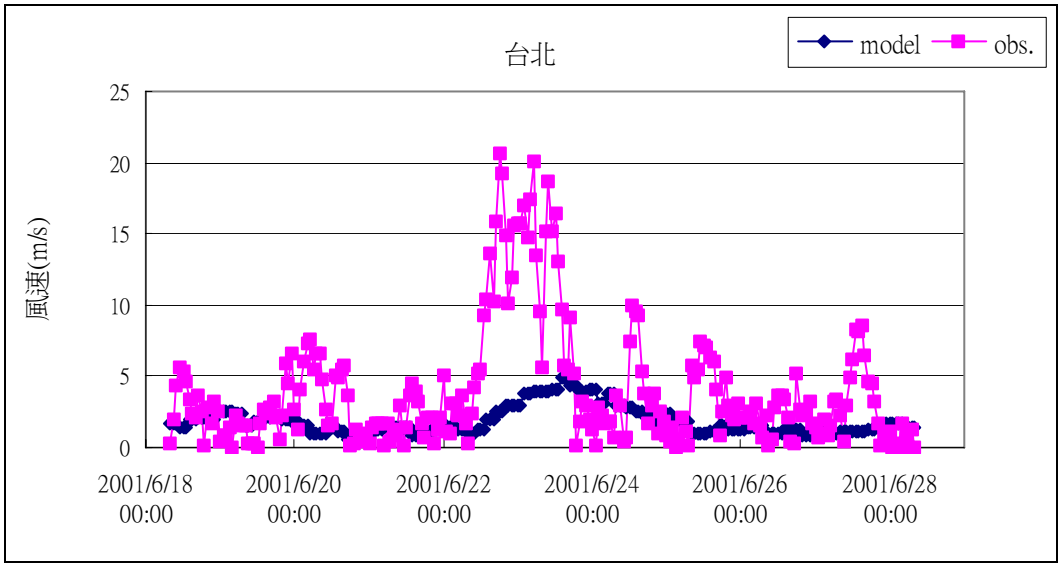


圖 2.1.12 奇比颱風期間模式風場與臺北實測資料比對圖

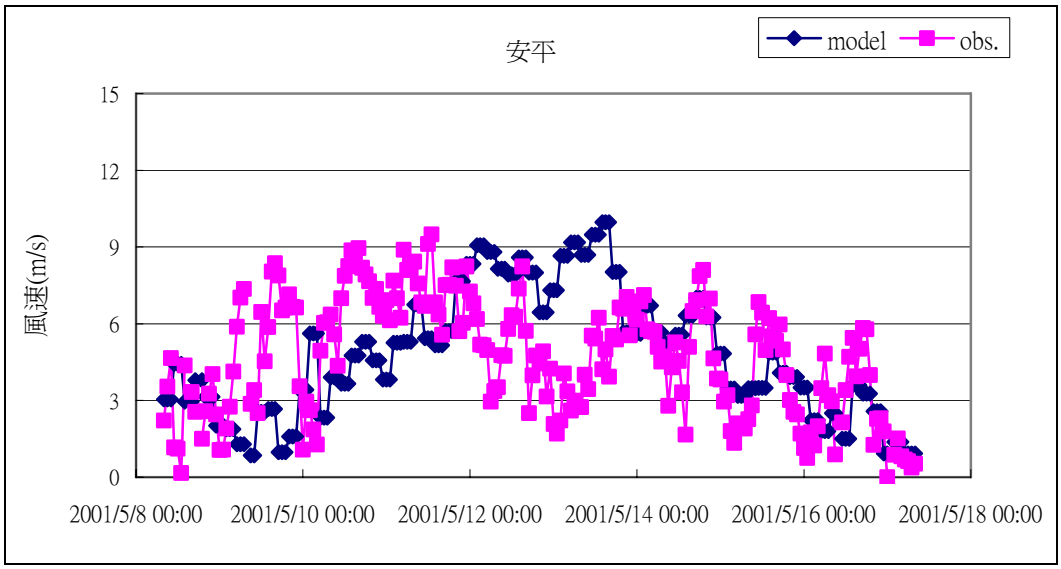


圖 2.1.13 西馬隆颱風期間模式風場與安平實測資料比對圖

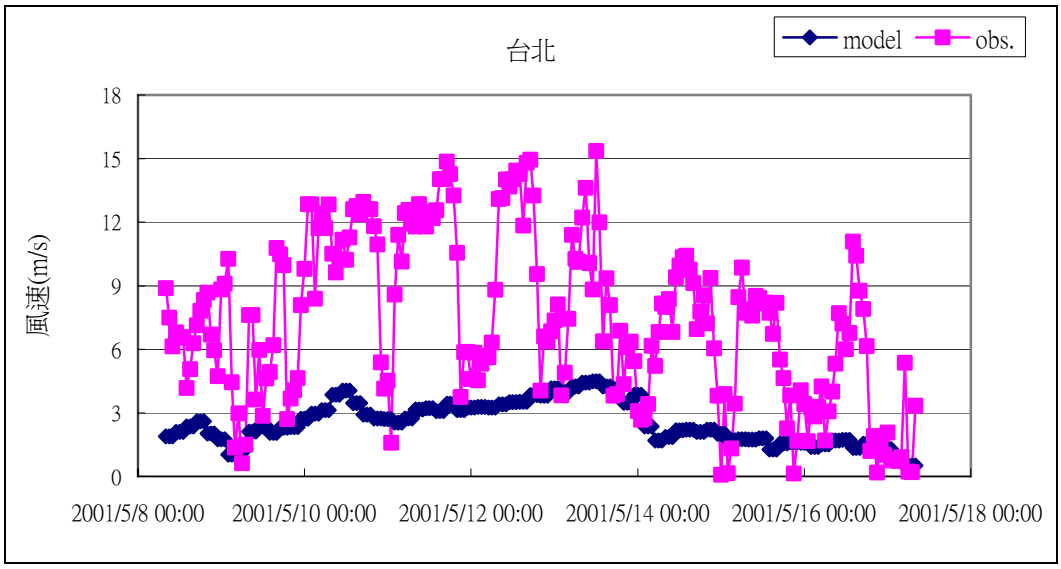


圖 2.1.14 西馬隆颱風期間模式風場與臺北實測資料比對圖

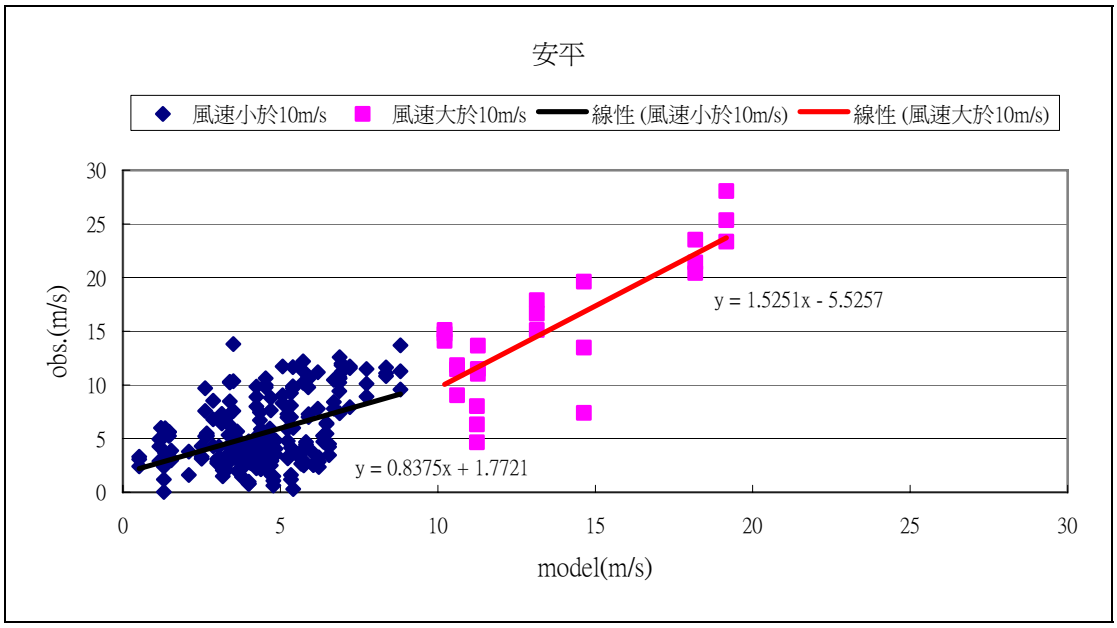


圖 2..1.15 桃芝颱風期間未修正之模式風場與安平實測資料趨勢圖

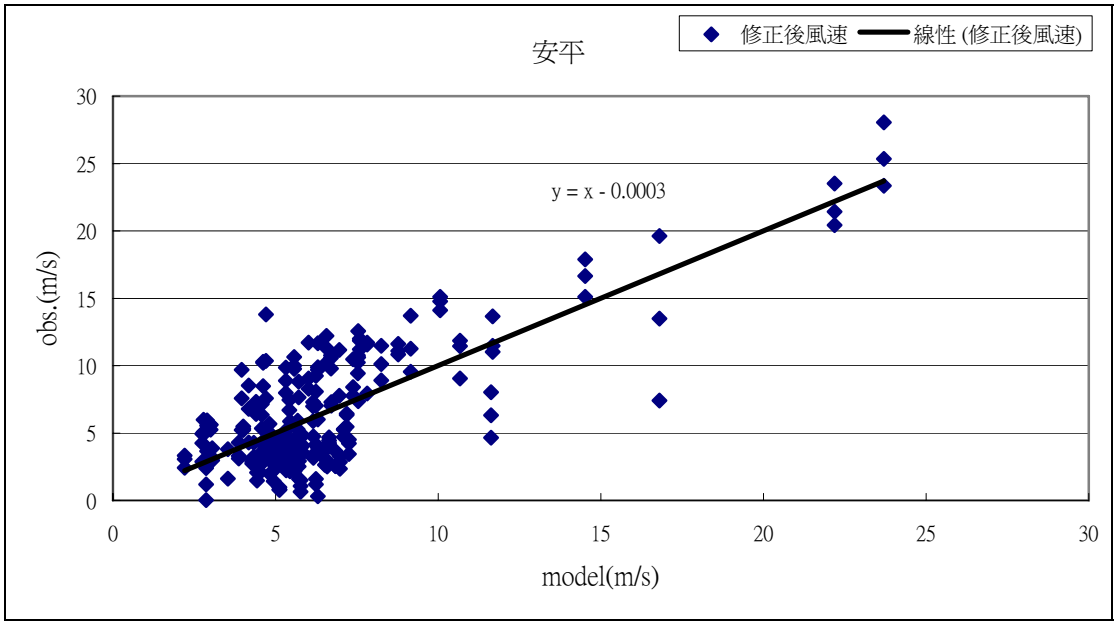


圖 2.1.16 桃芝颱風期間修正後之模式風場與安平實測資料趨勢圖

2.2 全域風場模式

現在歐洲（ECMWF）與美國（NOAA）皆有大型的氣象預報模式來預報全球的氣象資料，中央氣象局也在 2002 年完成臺灣海域動態氣象預報模式預報即時全域海上風場，目前本計畫已透過國際合作取得 2001 年至 2002 年全年 NOAA 預報風場，增加使用這些即時預報風場資料作為風場的輸入，以增進颱風解析模式範圍外的風場資料，同時也可以應用於計算季風波浪的影響。NOAA 全球預報風場範圍為南緯 78 度至北緯 78 度，西經 180 度至東經 180 度，經度部份網格解析度為 1.25 度一格，緯度部分為一度一格，因此使用上仍需利用內插法求得所需要地區的風場。圖 2.2.1 為 NOAA 全球預報風場向量圖，時間為 2002 年 7 月 1 日凌晨 3 點。

中央氣象局 NFS 預報風場模式提供三種不同尺度範圍之風場(如圖 2.2.2)，西太平洋預報風場範圍為南緯 5 度至北緯 43 度，東經 78 度至東經 180 度，網格解析度為 45KM；中國海域預報風場範圍為北緯 9 度至北緯 35 度，東經 110 度至東經 138 度，網格解析度為 15KM；臺灣海域預報風場範圍為北緯 20 度至北緯 26 度，東經 119 度至東經 123 度，網格解析度為 5KM，以便得到更符合臺灣海域的風場狀況。圖 2.2.2 至圖 2.2.4 為央氣象局 NFS 預報風場模式三種不同尺度範圍之預報風場向量圖，時間為 2004 年 12 月 1 日凌晨 0 點。

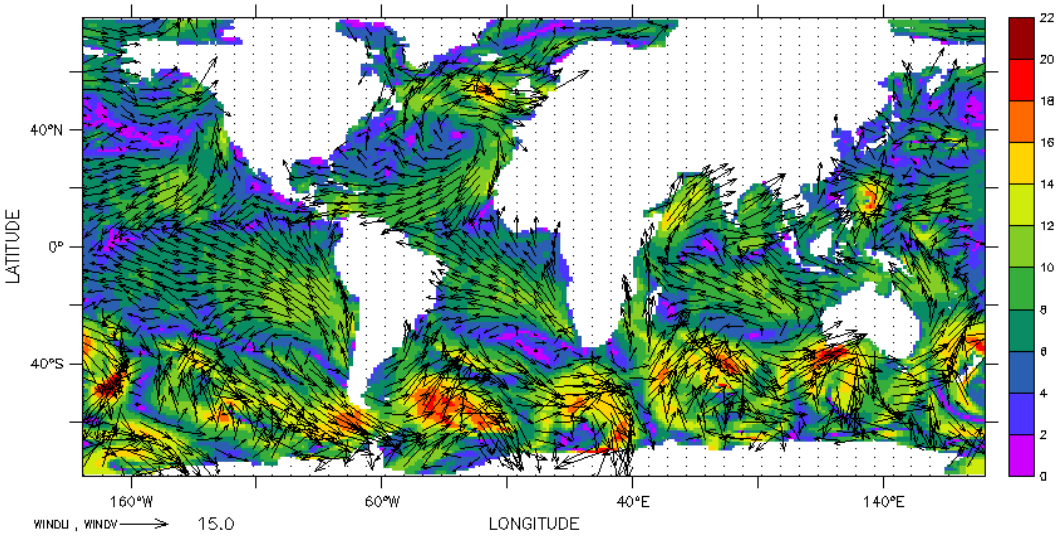


圖 2.1.1　NOAA 全球預報風場

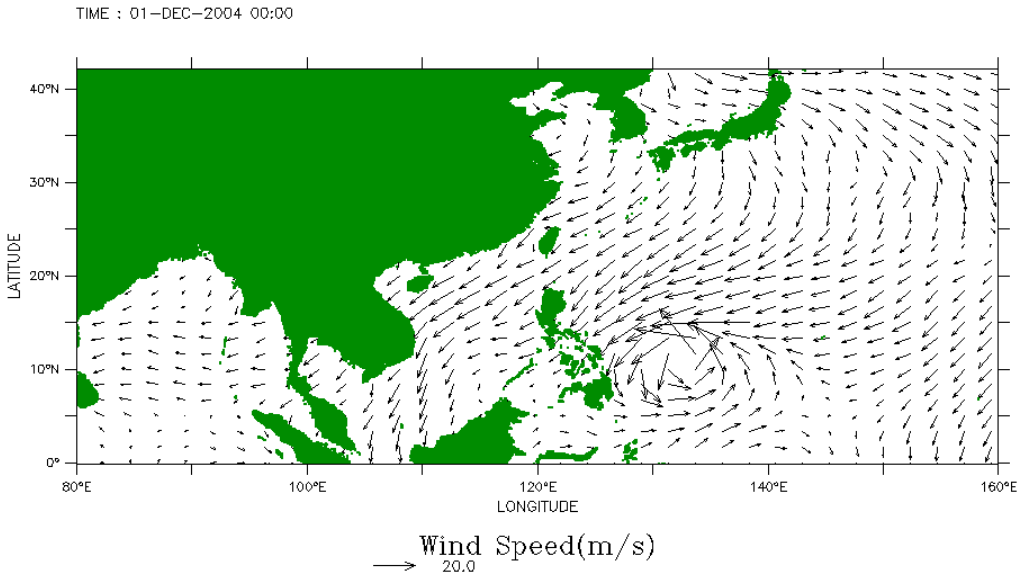


圖 2.2.2 中央氣象局 NFS 風場模式西太平洋(45KM)風場向量圖

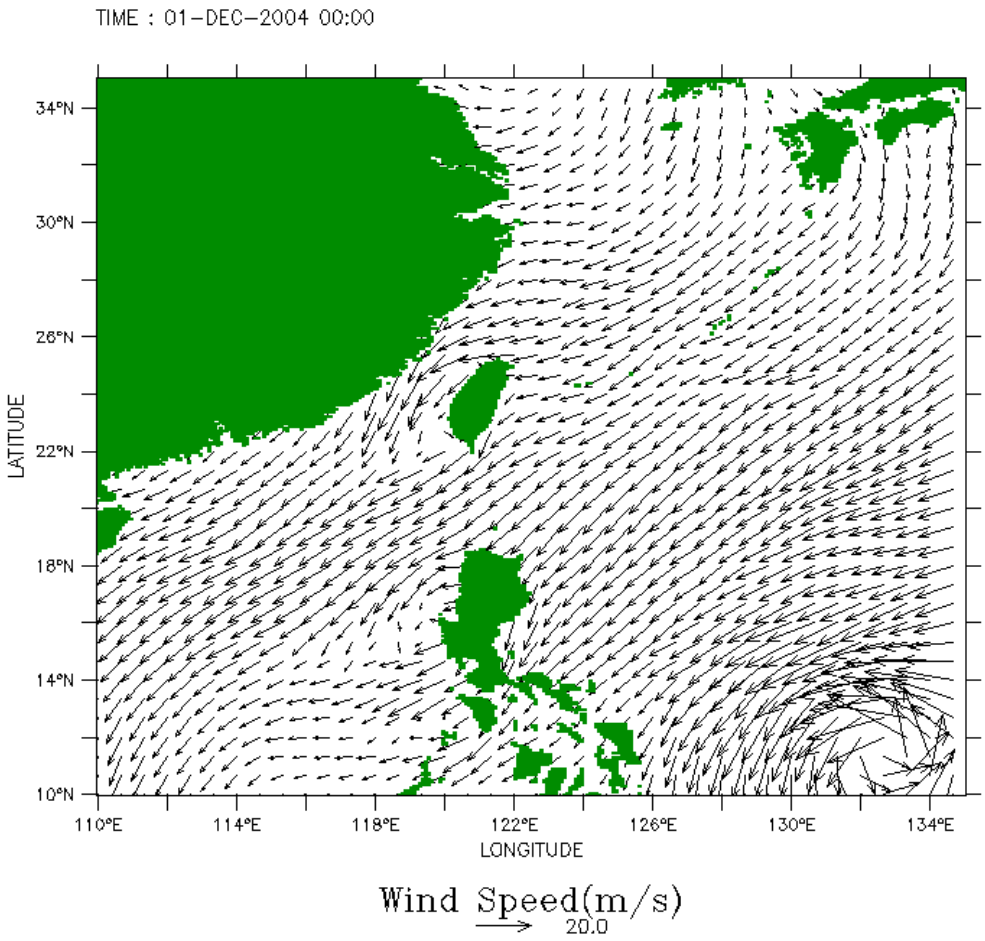


圖 2.2.3 中央氣象局 NFS 風場模式中國海域(15KM)風場向量圖

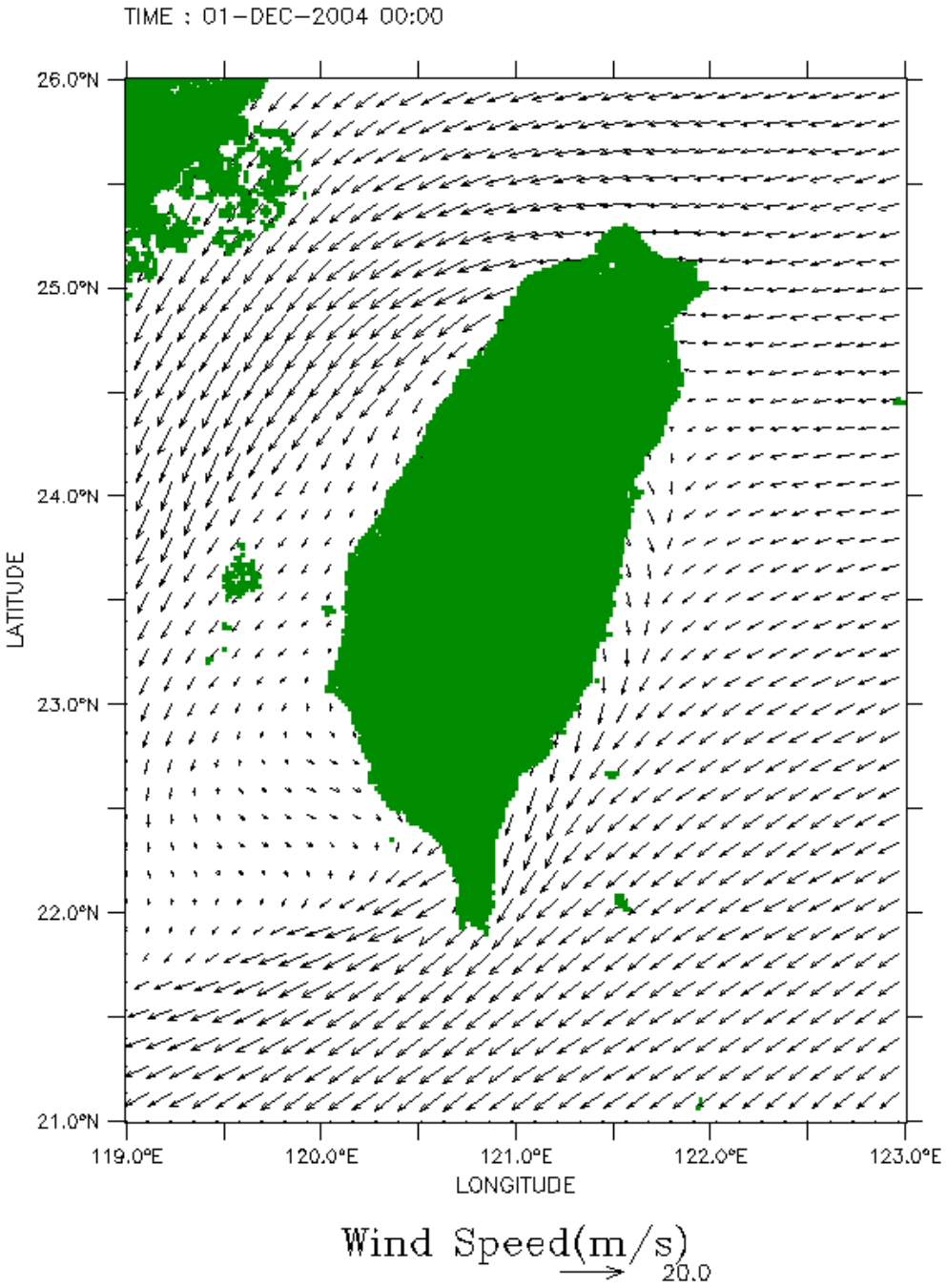


圖 2.2.4 中央氣象局 NFS 風場模式臺灣海域(5KM)風場向量圖

2.3 全域氣壓場模式

現在歐洲（ECMWF）與美國（NOAA）皆有大型的氣象預報模式來預報全球的氣象資料，中央氣象局也在 2002 年完成臺灣海域動態氣象預報模式預報即時全域海上風場，中央氣象局 NFS 預報氣壓模式提供三種不同尺度範圍與風場模式相同，西太平洋預報風場範圍為南緯 5 度至北緯 43 度，東經 78 度至東經 180 度，網格解析度為 45KM；中國海域預報風場範圍為北緯 9 度至北緯 35 度，東經 110 度至東經 138 度，網格解析度為 15KM；臺灣海域預報風場範圍為北緯 20 度至北緯 26 度，東經 119 度至東經 123 度，網格解析度為 5KM，以便得到更符合臺灣海域的風場狀況。圖 2.3.1 至圖 2.3.3 為央氣象局 NFS 預報氣壓場模式三種不同尺度範圍之預報等氣壓圖，時間為 2004 年 12 月 1 日凌晨 0 點。

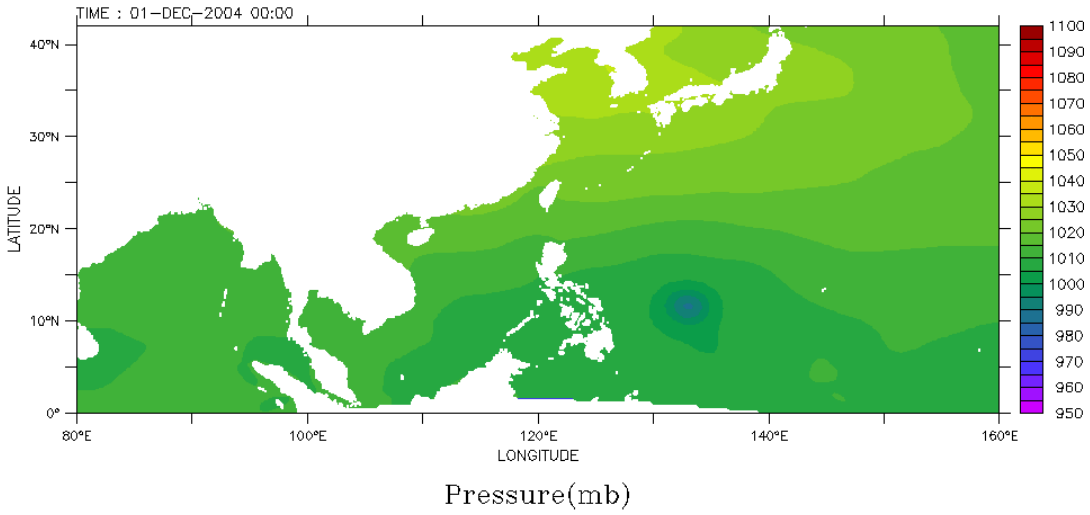


圖 2.3.1 中央氣象局 NFS 風壓模式西太平洋(45KM)等氣壓圖

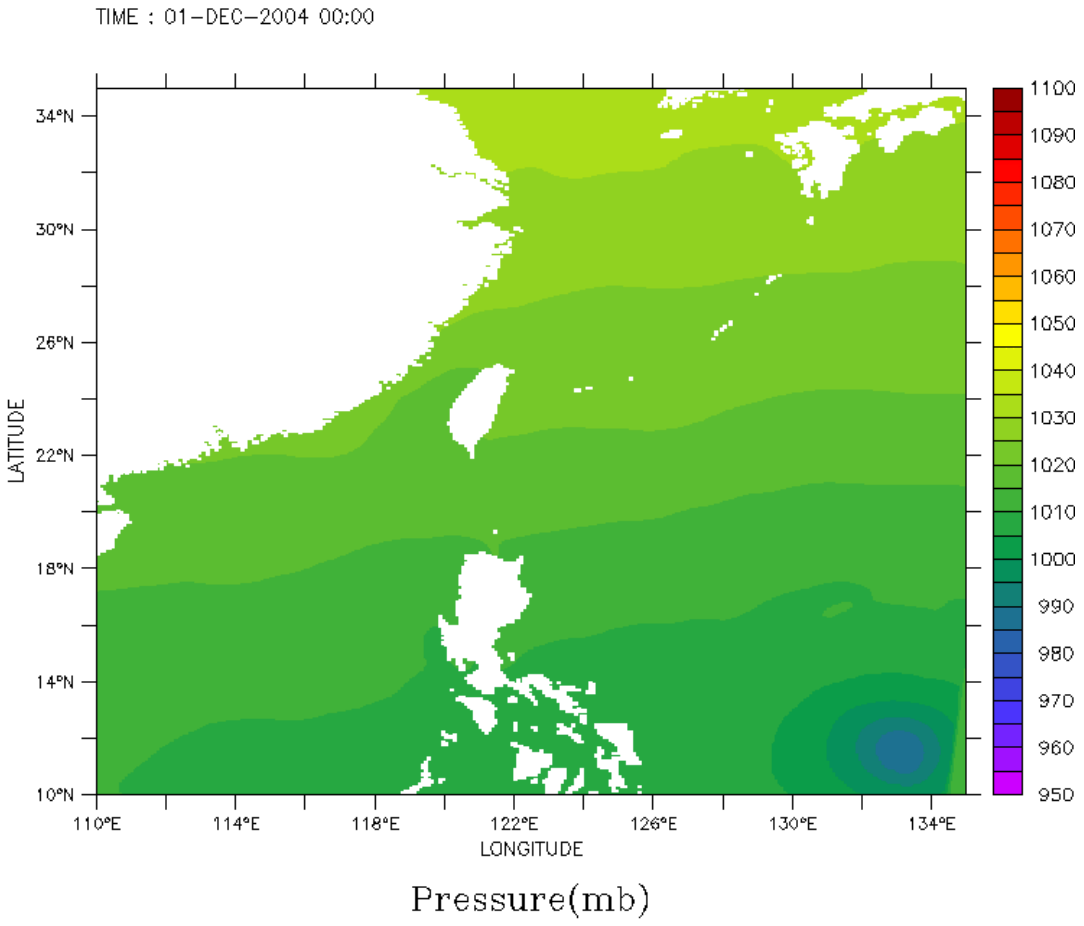


圖 2.3.2 中央氣象局 NFS 風壓模式中國海域(15KM)等氣壓圖

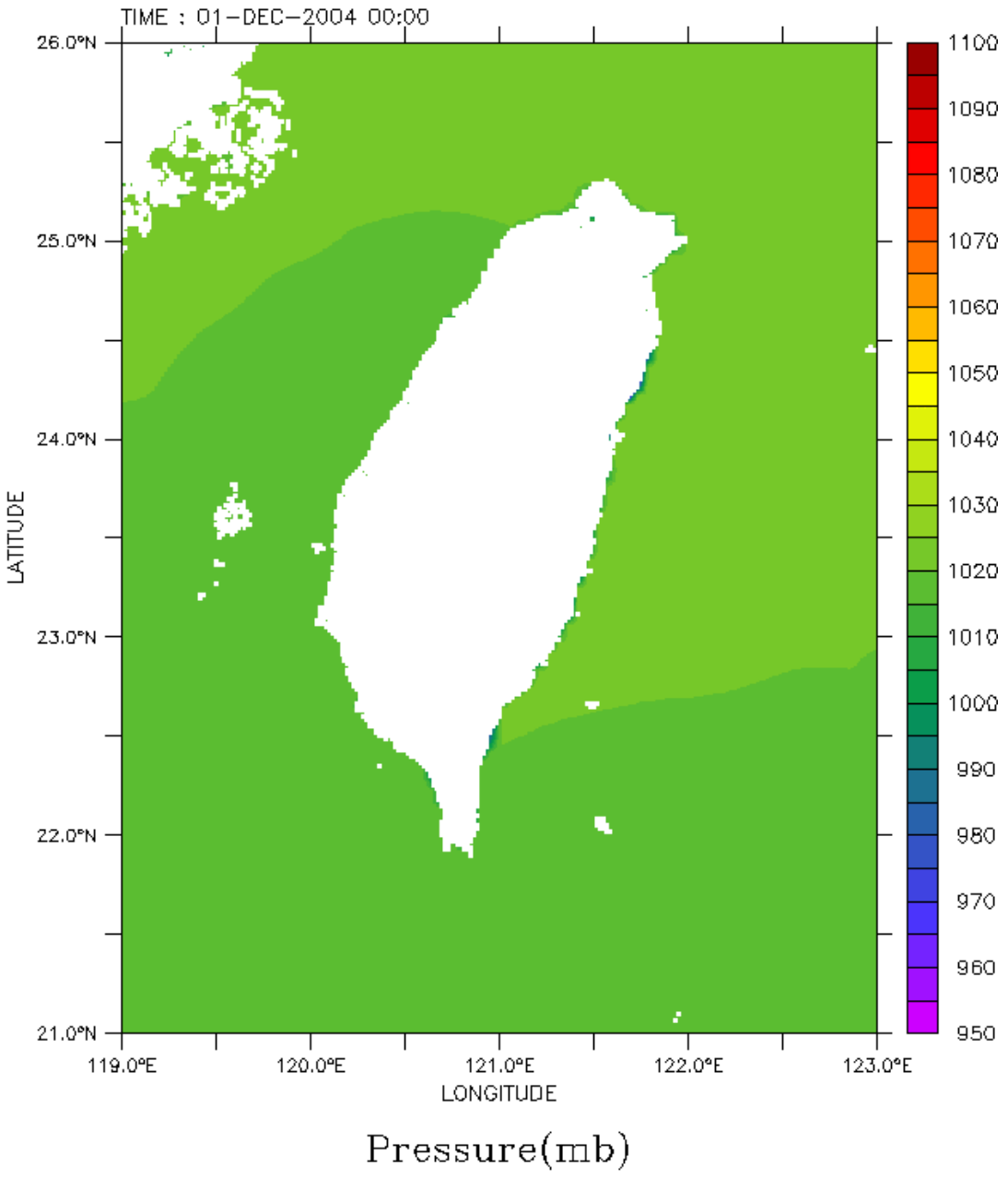


圖 2.3.3 中央氣象局 NFS 風壓模式臺灣海域(5KM)等氣壓圖

第三章 波浪模式

3.1 全域風浪模式

3.1.1 WAM 風浪模式

3.1.1.1 WAM 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：

$$\frac{\partial E}{\partial t}+\nabla_h\cdot\left[(\vec{U}+\vec{C}_g)E\right]=S_{tot} \tag{3.1.1}$$

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(3.1.1)從直角座標轉換為球面座標，其方程式表示如下 (WAMDI Group，1988)：

$$\frac{\partial E}{\partial t}+(\cos\phi)^{-1}\frac{\partial}{\partial\phi}(C_\phi E)+\frac{\partial}{\partial\lambda}(C_\lambda E)+\frac{\partial}{\partial\theta}(C_\theta E)=S_{tot} \tag{3.1.2}$$

式中，ϕ為緯度，λ為經度，C_ϕ、C_λ與 C_θ分別ϕ、λ與θ領域之傳遞速度，各領域的傳遞速度如下：

$$C_\phi=C_g\sin\theta/R\ ,\ C_\lambda=C_g\cos\theta/R\cos\phi \tag{3.1.3}$$

$$C_\theta=\frac{1}{k}\frac{\partial\sigma}{\partial d}\left(\frac{\sin\theta}{\cos\phi}\frac{\partial d}{\partial\lambda}-\cos\theta\frac{\partial d}{\partial\phi}\right)/R \tag{3.1.4}$$

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

$$S_{tot}=S_{in}+S_{nl}+S_{ds}+\ldots \tag{3.1.5}$$

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：

$$\frac{\partial N}{\partial t}+\nabla_h\cdot\left[(\vec{U}+\vec{C}_g)N\right]=0 \tag{3.1.6}$$

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 (3.1.6)，則上式可改寫成

$$\frac{\partial E}{\partial t}+\nabla_h\cdot\left[(\vec{U}+\vec{C}_g)E\right]=\frac{E}{\sigma}\left[\frac{\partial\sigma}{\partial t}+(\vec{U}+\vec{C}_g)\cdot\nabla_h\sigma\right] \tag{3.1.7}$$

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。

3.1.1.2 WAM 模式硬體及作業系統規格

本計劃在應用 WAN 模式模擬臺灣環島遠域之波浪時，採用桌上型高速電腦計算，相關規格為 INTEL Pentium 4 CPU 2.80 GHz 之中央處理器，512 MB 之記憶體，作業系統為 Microsoft Windows XP。由於 WAM 模式利用 Frotran 90 程式語言發展，故利用標準 Fortran 90 程式語言編譯成相關程式執行檔，本計劃選擇之編譯程式為 Compaq Visual Fortran Professional Edition 6.6。

3.1.1.3 WAM 模式流程圖

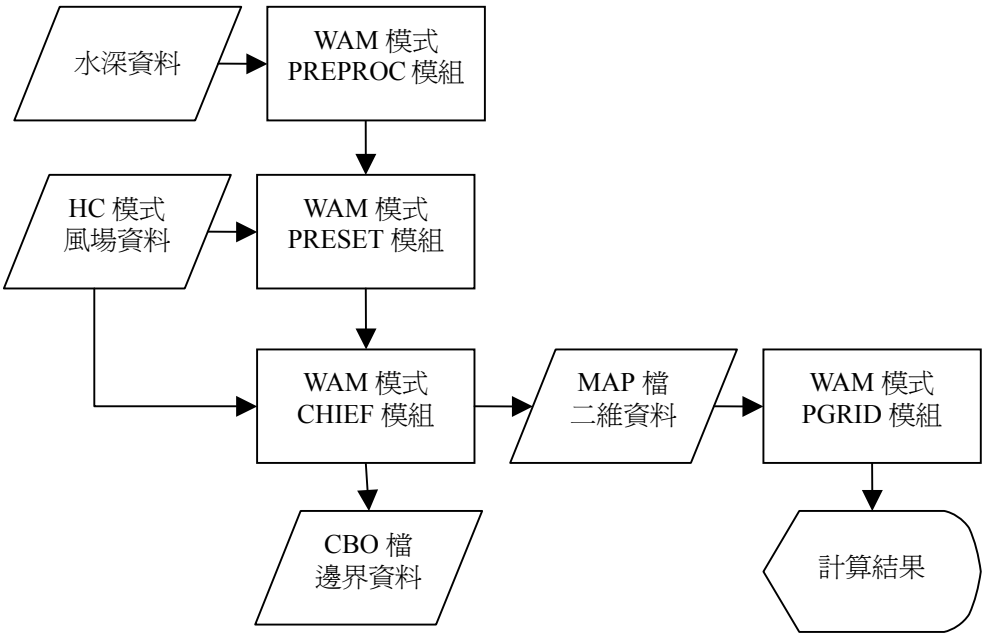


圖 3.1.1 WAM 風浪模式操作流程

3.1.1.4 WAM 模式相關程式檔說明

本計畫中所使用的版本是 WAM cycle 4 版本，其中包含數個模組 PREPROC、PRESET、CHIEF、BOUINT、PGRID、PSWGRID、PSPEC 及 PSWSPEC 等，根據本計劃執行需求，只使用到格網處理模組 PREPROC、初始值給定模組 PRESET、風浪計算模組 CHIEF 與後處理模組 PGRID。以下說明各模組之處理程序。

WAM 模式計算時，首先執行格網處理模組 PREPROC，程式檔檔名為 preproc.exe，此模組為模式計算前置作業之一，主要處理模式計算所需之格網水深資料、頻率帶及方位角、巢狀格網等相關資料，記錄於 ..\coarse 目錄下之 gridtai、ubuftai、bouctai。前置作業之二為初始值給定模組 PRESET，程式檔檔名為 preset.exe，此模組主要為 JONSWAP 波譜相關參數及風場輸入資料之設定，並將模式計算之初始條件記錄於 ..\coarse 目錄下之 blspanal、slatanal、lawianal。本計劃應用 WAM 模式進行長期波浪推算，因模式計算設定條件相同，故僅於首次計算時執行此二模組，初始條件則紀錄於相關檔案中，供後續模式計算使用。

風浪計算模組 CHIEF，程式檔檔名為 wamodel.exe，此模組為模式計算之主軸，包含決定模式計算時間、座標系、考慮折射與否以及計算結果相關輸出內容。後處理模組 PGRID，程式檔檔名為 pgrid.exe，此模組則是將風浪計算模組計算輸出之二維資料，分析為簡易作業之格式。

3.1. 1.5 WAM 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 3.1.2 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)。

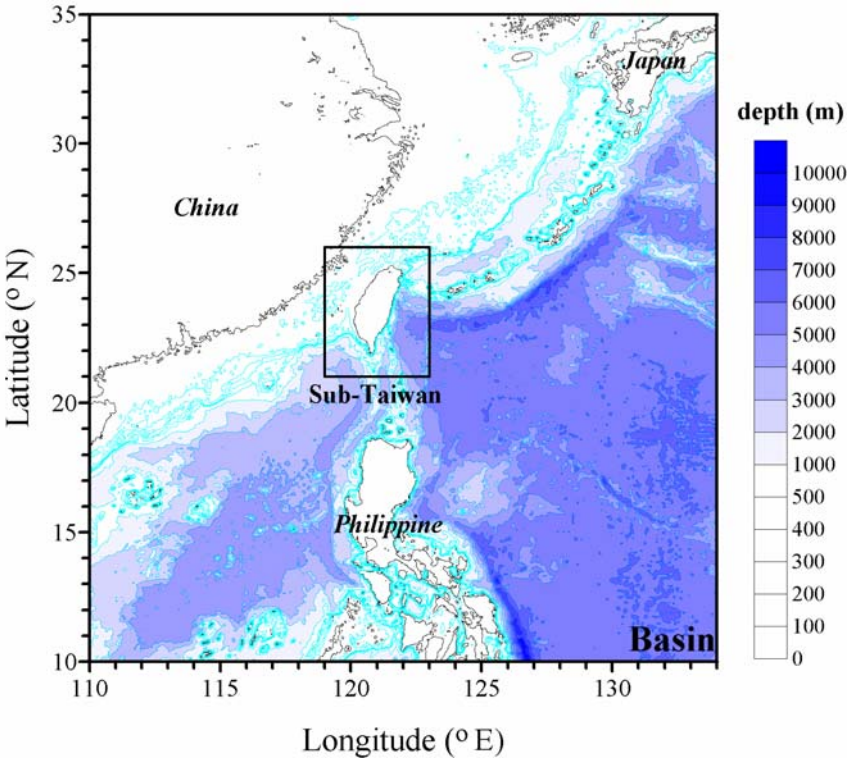


圖 3.1.2 遠域波浪計算範圍及水深分佈圖

3.1.2 SWAN 風浪模式

3.1.2.1 SWAN 的理論基礎

臺灣近岸海域的波浪模式係引用由荷蘭 Delft 技術大學所發展的波浪模式 SWAN 模式(Simulating WAve Nearshore, Booij et al., 1996)。在過去數十年中，有關波浪預報波浪的方法，從利用各種型式的經驗公式來推算波浪，發展至以波浪數值模式利用電子計算機的快速運算來更周延地預測波浪，目前已經發展到第三代的波浪模式，例如 SWAN、WAM 及 Wave Watch III 等模式即其中具有代表性的的模式。目前這些模式在全世界有相當多的國家在使用這些模式進行海洋及近海的波浪預報。然而，由於考慮的尺度不同，這些模式中對波浪的物理過程的描述並不完整，尤其是波浪的傳遞和消長過程。SWAN 的使用手冊便指出該模式沒有考慮波浪的繞射以及因為波浪引起的流。

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)，它是屬於第三代的波浪預報模式。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控間領域中的傳遞、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量衰減、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。

SWAN 的功能中可表現出下列的波浪傳播過程：

(a) 在地理空間中的正線性傳播

(b) 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

(c) 由於對向海流引起的阻滯與反射

(d) 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：

(a) 因為風所引致的波浪生成

(b) 因為白沫(whitecapping)所引致的波浪消散

(c) 因為水深引起碎波(depth-induced wave breaking)所引致的波浪消散

(d) 因為底床摩擦(bottom friction)所引致的波浪消散

(e) 波浪間的交互作用(quadruplets and triads wave-wave interaction)

(f) 障礙物

此外，SWAN 也可以計算因為波浪所引致的平均海水面的上升(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，σ 為相對頻率；θ 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)

$$\frac{\partial N}{\partial t}+\frac{\partial c_x N}{\partial x}+\frac{\partial c_y N}{\partial y}+\frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma}+\frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta}=\frac{S}{\sigma} \tag{3.1.8}$$

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 σ-軸上以c_σ的速度位移；第五項係表示因為水深或流所引起的折射(在 θ-軸上以c_θ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：

$$S_{in}(\sigma,\theta)=A+BE(\sigma,\theta) \tag{3.1.9}$$

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(whitecapping) $S_{ds,w}(\sigma,\theta)$、底床摩擦$S_{ds,b}(\sigma,\theta)$、及水深引起碎波$S_{ds,b}(\sigma,\theta)$。

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

$$S_{ds,w}(\sigma,\theta) = -\Gamma \tilde{\sigma} \frac{k}{\tilde{k}} E(\sigma,\theta) \tag{3.1.10}$$

其中，Γ 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

$$S_{ds,b}(\sigma,\theta) = -C_{bottom} \frac{\sigma^2}{g^2 \sinh^2 kd} E(\sigma,\theta) \tag{3.1.11}$$

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

$$S_{ds,br}(\sigma,\theta) = \frac{D_{tot}}{E_{tot}} E(\sigma,\theta) \tag{3.1.12}$$

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

$$K_t = 0.5\left[1-\sin\left(\frac{\pi}{2\alpha}\left(\frac{F}{H_i}+\beta\right)\right)\right] \quad for \quad -\beta-\alpha<\frac{F}{H_i}<\alpha-\beta \qquad (3.1.13)$$

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；α 及 β 係數則與堤體的形狀有關，參考值如表 3.1.1。

表 3.1.1　不同堤體之透過係數參數表

堤 體 種 類	α	β
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。

3.1.2.2 SWAN 模式硬體及作業系統規格

本計劃在應用 SWAN 模式模擬臺灣環島近域之波浪時，採用桌上型高速電腦計算，相關規格為 INTEL Pentium 4 CPU 2.80 GHz 之中央處理器，512 MB 之記憶體，作業系統為 Microsoft Windows XP。由於 SWAN 模式利用 Frotran 90 程式語言發展，故利用標準 Fortran 90 程式語言編譯成相關程式執行檔，本計劃選擇之編譯程式為 Compaq Visual Fortran Professional Edition 6.6。

3.1.2.3　SWAN 模式流程圖

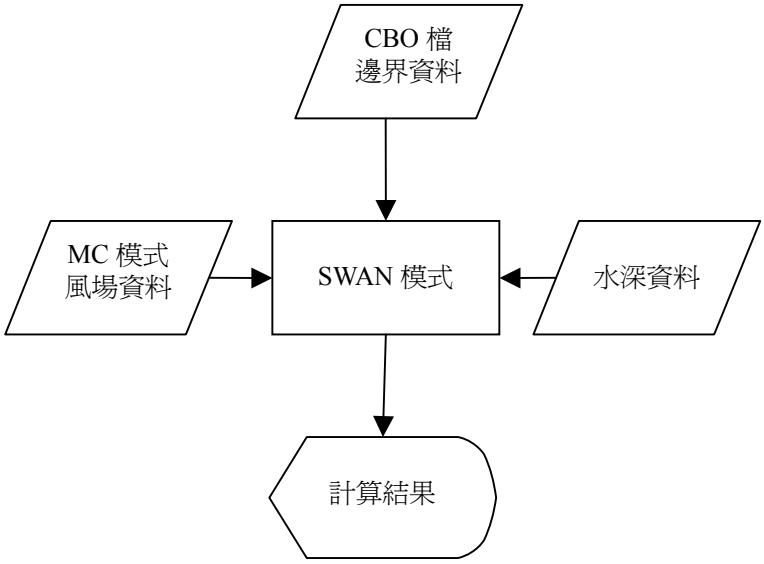


圖 3.1.3 SWAN 風浪模式操作流程

3.1.2.4 SWAN 模式相關程式檔說明

本計劃使用之 SWAN 模式為 SWAN cycle III Version 40.31 版本，模式執行程式包含模式處理批次檔 (swan.bat) 及風浪計算程式 (swannew.exe)。為便利計畫結束後相關人員之操作，本計劃建立模式處理之批次檔來進行模式計算，如此能簡易地完成模式計算過程。

模式程式檔之執行方式在 MS-DOS 環境下，路徑下須包括模式輸入檔、水深資料、風場資料及 CBO 檔邊界資料，執行批次檔 (D:\TaiCOMS\swan 01010100_swn) 即可完成模式計算。

3.1.2.5 SWAN 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。

以計算 2002 年 1 月份波浪為例，說明 SWAN 模式實例操作過程。SWAN 模式之計算範圍與數位化水深如圖 3.1.4 所示，南至北緯 21°，

北至北緯 26º，西至中國大陸約在東經 119º，東至東經 123º，模式所應用的格網大小 $\Delta x = \Delta y = 0.04°$，最小與最大頻率解析度為 0.05 Hz 和 1.0 Hz，並採指數遞增分佈共 25 個頻率帶，方向波譜之解析度採用 $\Delta\theta = 15°$，共計 24 個方位角，計算時間間隔為 $\Delta t = 10$ 分鐘。

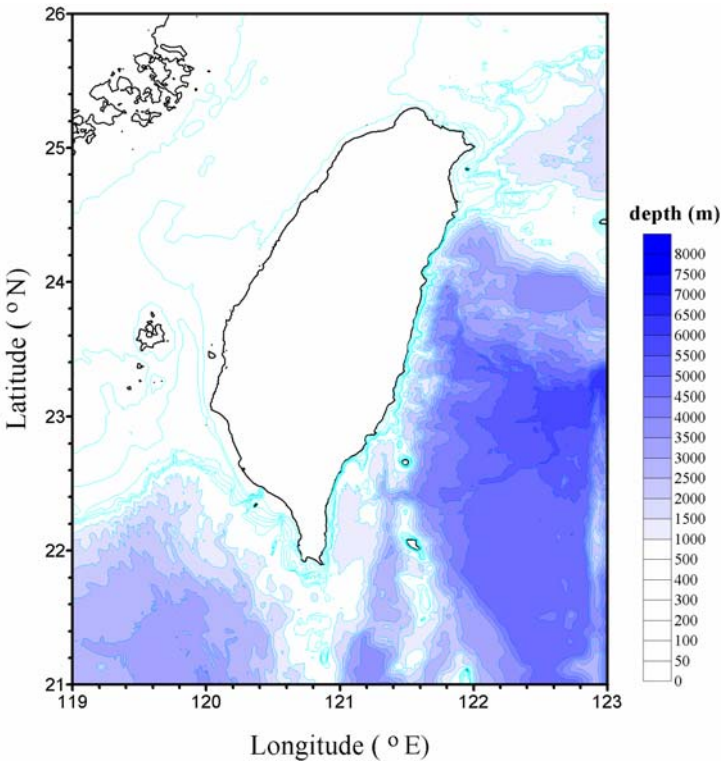


圖 3.1.4 臺灣附近海域計算範圍及水深分佈圖

地形水深檔檔名為 sub1_6hc.z，資料排列方式自左下往右排列，再由下往上排列。輸入風場範圍為南至北緯 10º，北至北緯 34º，西至中國大陸約在東經 110º，東至東經 135º，格網大小 $\Delta x = \Delta y = 0.2°$，起始時間為 2002 年 1 月 1 日 0 時，每 3 小時輸入一筆風場資料，風場序列檔檔名為 wind_serial0201.dat。利用 WAM 模式生成之巢狀格網邊界檔檔名為 wam_nest0201.dat。模式計算結果輸出於 02010100_swn.dat，輸出起始時間為 2002 年 1 月 1 日 0 時，每 1 小時輸入一筆風場資料。依據上述計算條件進行模式設定模式相關輸入檔，如圖 3.1.3 所示。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)。

3.1.3 年度颱風比對結果

目前雖然已經建構了臺灣海域全域風浪模式系統，而且也完成了網頁連線與展示的功能，但由於各個波浪模擬程式中仍有許多與區域性有關的參數需要有在空間與時間上涵蓋性高的資料進行檢核與比對，並透過統計及相關性分析，或者資料同化的技巧操作，始可能找到適合臺灣海域的相關參數。在此之前，本節先以本年度所發生的兩個颱風—海棠颱風及泰利颱風—在七大商港(臺北港、臺中港、安平港、高雄港、基隆港、蘇澳港與花蓮港)的觀測資料與推算資料進行比對。圖 3.1.5 及 3.1.6 分別顯示兩個颱風的紀錄與路徑圖，基本上兩個颱風的行徑路徑屬於同一類型，也都從花蓮附近登陸及通過。

由於同時期的觀測資料因儀器的回收問題，在海棠颱風目前僅收集到基隆港、蘇澳港及花蓮港的波浪資料，而在泰利颱風期間則收集到基隆港、花蓮港及臺中港的波浪資料。圖 3.1.7 至 3.1.9 為海棠颱風期間(基隆港、蘇澳港及花蓮港)現場觀測資料、WAM 及 SWAN 推算資料的波高與週期比較圖，3.1.10 至 3.1.13 為海棠颱風期間在其他四個商港的 WAM 及 SWAN 推算資料的波高與週期比較圖。圖 3.1.14 至 3.1.16 為泰利颱風期間(基隆港、花蓮港及臺中港)現場觀測資料、WAM 及 SWAN 推算資料的波高與週期比較圖，3.1.17 至 3.1.20 為泰利颱風期間在其他四個商港的 WAM 及 SWAN 推算資料的波高與週期比較圖。

圖 3.1.7 至 3.1.13 中可發現，蘇澳港與花蓮港的推算波浪與實測波浪間的成長歷程相當類似，但基隆港的推算資料則過早的情形。WAM 及 SWAN 的推算波浪變化趨勢也有類似的地方，但 SWAN 的波高及週期值較 WAM 為小。高雄港的推算波高相當吻合，但沿著西部海岸則有越向北差異性越大的情形。研判應是與颱風的路徑、推算風場的正確性以及地形效應無法完全模擬有關。而圖 3.1.14 至 3.1.20 的泰利颱風期間的波浪比較亦發現相類似的情形，而且高雄港與安平港的變化相當雷同。

表 3.1.2 海棠颱風警報發佈概況表

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	海棠(HAITANG)
編號	0505
生成地點	關島北北東方海面
侵(近)臺日期	2005 年 7 月 18 日
發佈時間	海上:2005 年 7 月 16 日 14 時 30 分 陸上:2005 年 7 月 16 日 23 時 30 分
解除時間	海上:2005 年 7 月 20 日 2 時 30 分 陸上:2005 年 7 月 20 日 2 時 30 分
發佈報數	29
最大強度	強烈
近中心最大風速	55.0 (公尺/秒)
侵臺路徑分類	1
登陸地段	宜蘭東澳附近
動態	7 月 12 日在關島北北西方生成後，快速向西南西轉西北方向移動。7 月 18 日清晨接近臺灣時，在花蓮外海逆鐘向打轉一圈後，於當日 14 時 50 分左右於宜蘭東澳附近登陸，22 時左右於苗栗後龍附近進入臺灣海峽，繼續向西北移動。19 日 18 時在馬祖附近進入大陸，隨後於 20 日 20 時減弱為熱帶性低氣壓。

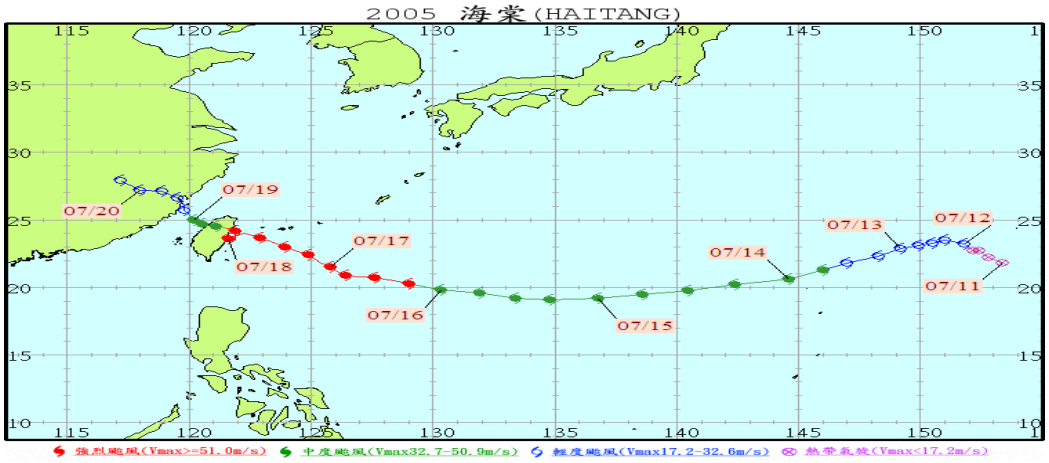


圖 3.1.5　2005 年 7 月海棠(Haitang)颱風記錄與路徑圖

表 3.1.3 泰利颱風警報發佈概況表

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	泰利(TALIM)
編號	0513
生成地點	關島西方海面
侵(近)臺日期	2005 年 9 月 1 日
發佈時間	海上:2005 年 8 月 30 日 8 時 30 分 陸上:2005 年 8 月 30 日 20 時 30 分
解除時間	海上:2005 年 9 月 1 日 23 時 30 分 陸上:2005 年 9 月 1 日 23 時 30 分
發佈報數	22
最大強度	強烈
近中心最大風速	53.0 (公尺/秒)
侵臺路徑分類	2
登陸地段	花蓮宜蘭之間
動態	8 月 27 日在關島西方生成後，向西北方向移動。28 日颱風轉向西北西方向朝臺灣移動。9 月 1 日清晨到達花蓮近海，其低層環流中心呈現滯留打轉並減弱消失，且隨即由臺中西方近海形成之副低壓中心取代，並持續向西北西移動。1 日 16 時進入大陸福建，隨後於 2 日 8 時後減弱為熱帶性低氣壓。

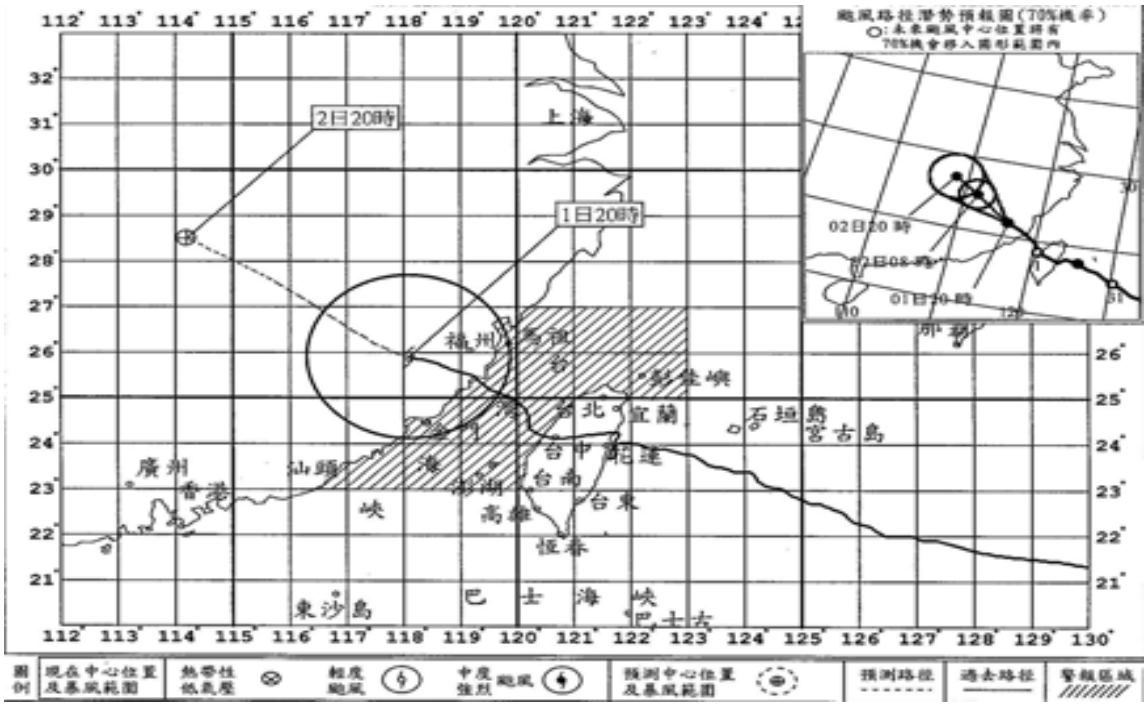


圖 3.1.6　2005 年 8 月泰利(Talim)颱風記錄與路徑圖

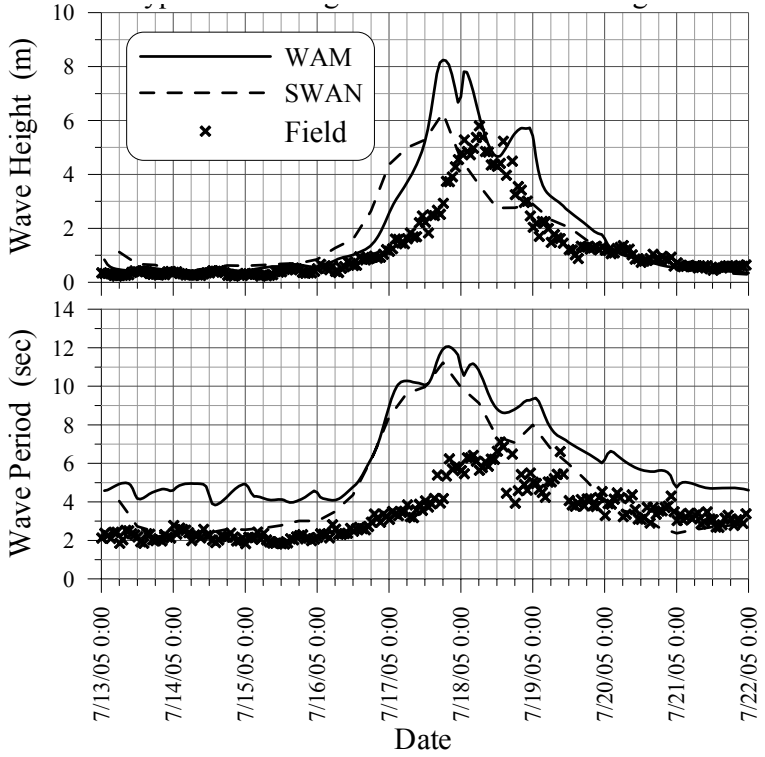


圖 3.1.7　海棠颱風侵襲時基隆港之推算波浪與觀測波浪比較圖

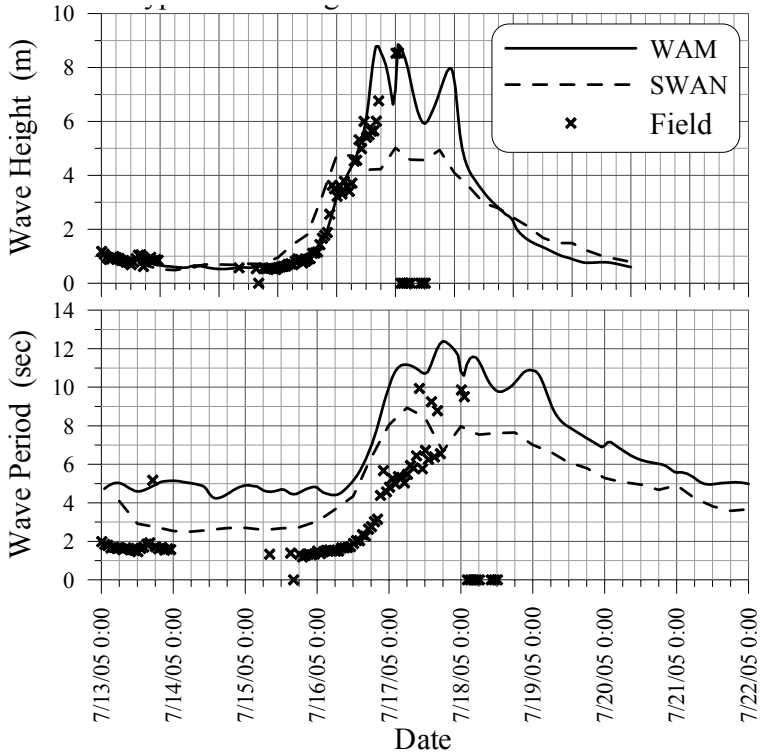


圖 3.1.8　海棠颱風侵襲時蘇澳港之推算波浪與觀測波浪比較圖

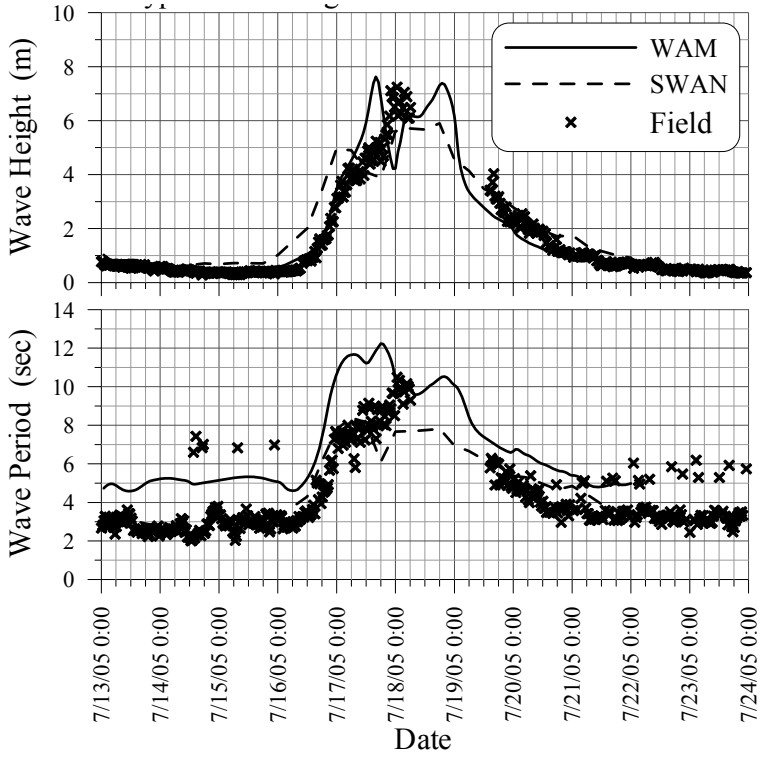


圖 3.1.9　海棠颱風侵襲時花蓮港之推算波浪與觀測波浪比較圖

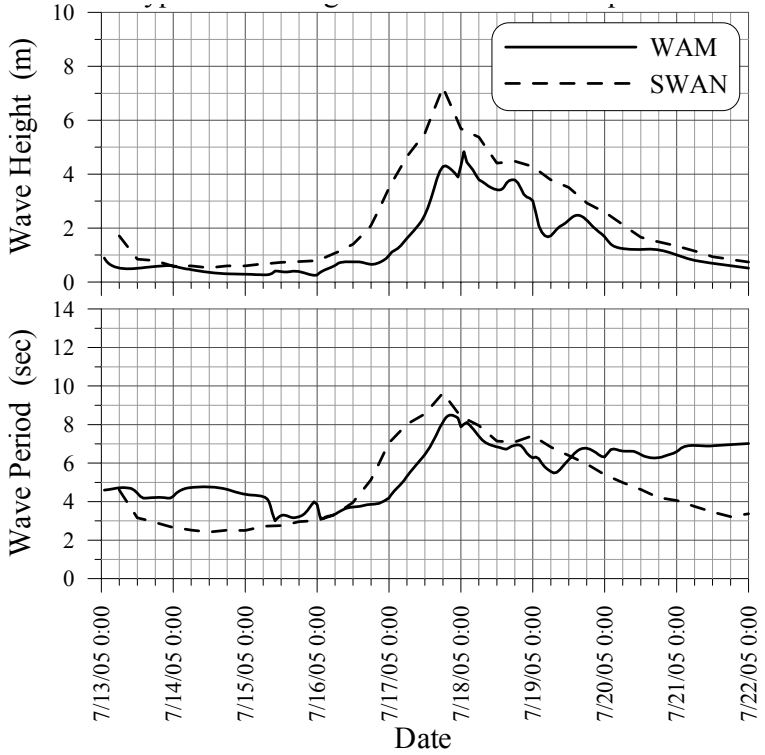


圖 3.1.10　海棠颱風侵襲時臺北港之推算波浪比較圖

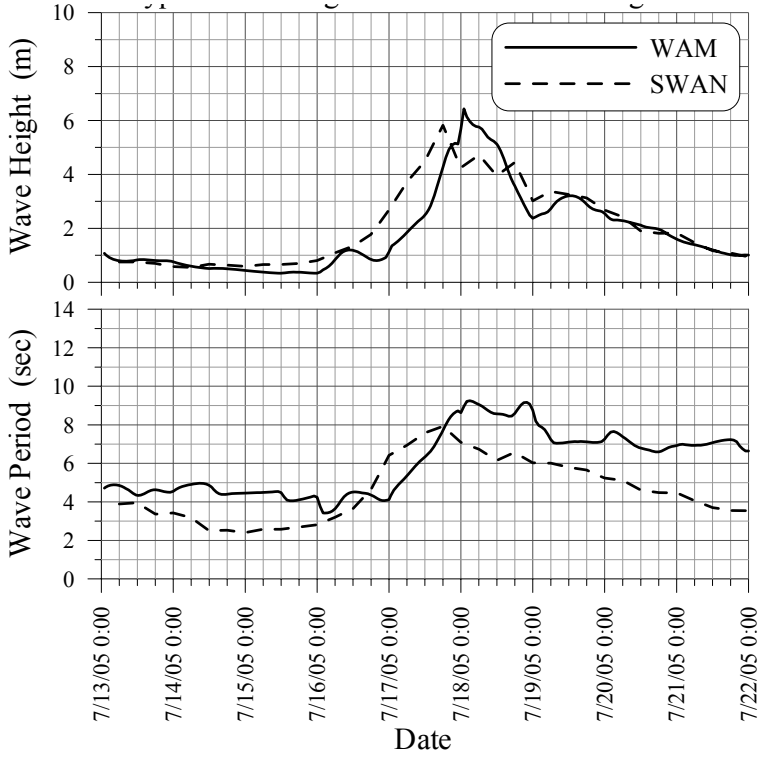


圖 3.1.11　海棠颱風侵襲時臺中港之推算波浪比較圖

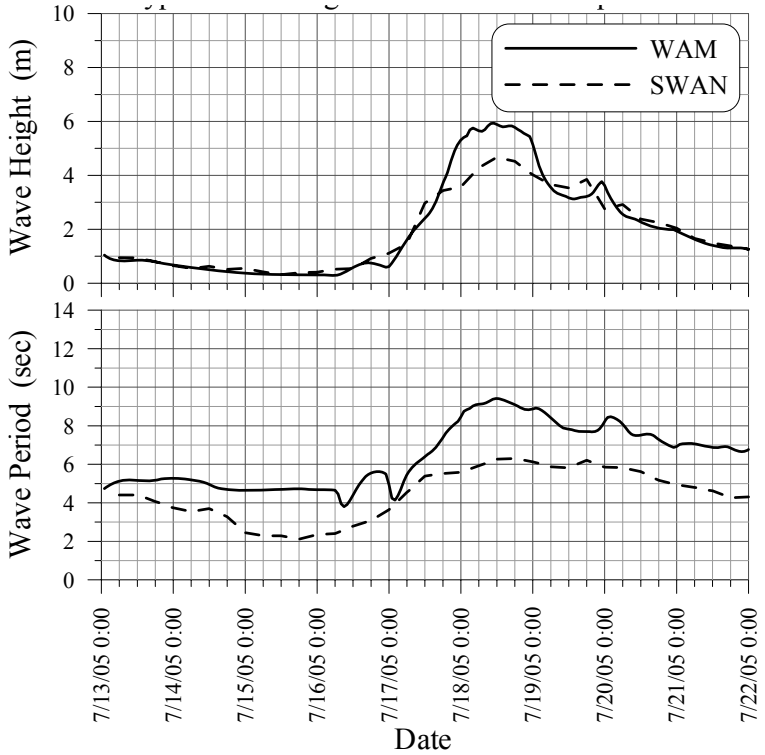


圖 3.1.12　海棠颱風侵襲時安平港之推算波浪比較圖

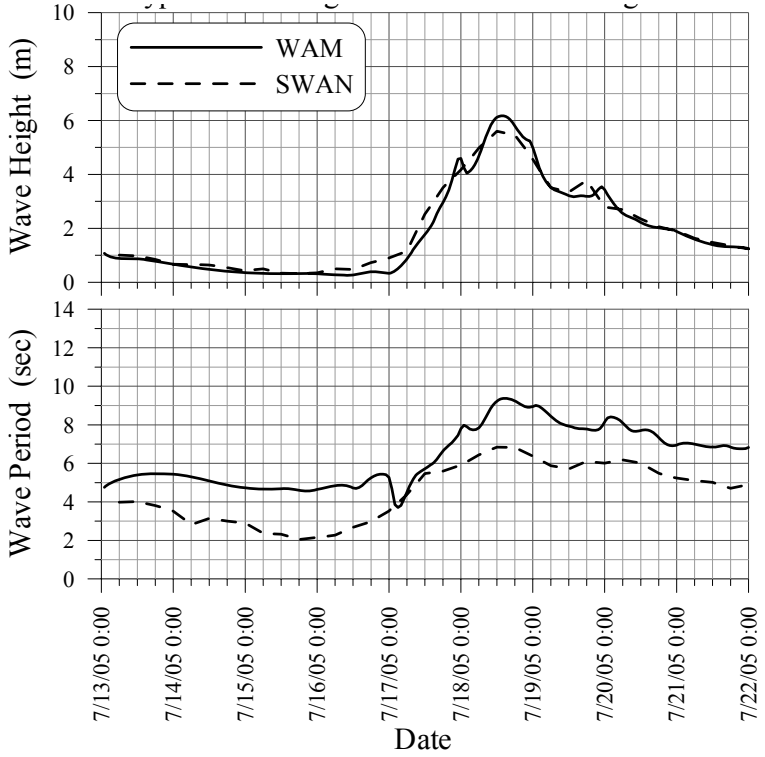


圖 3.1.13　海棠颱風侵襲時高雄港之推算波浪比較圖

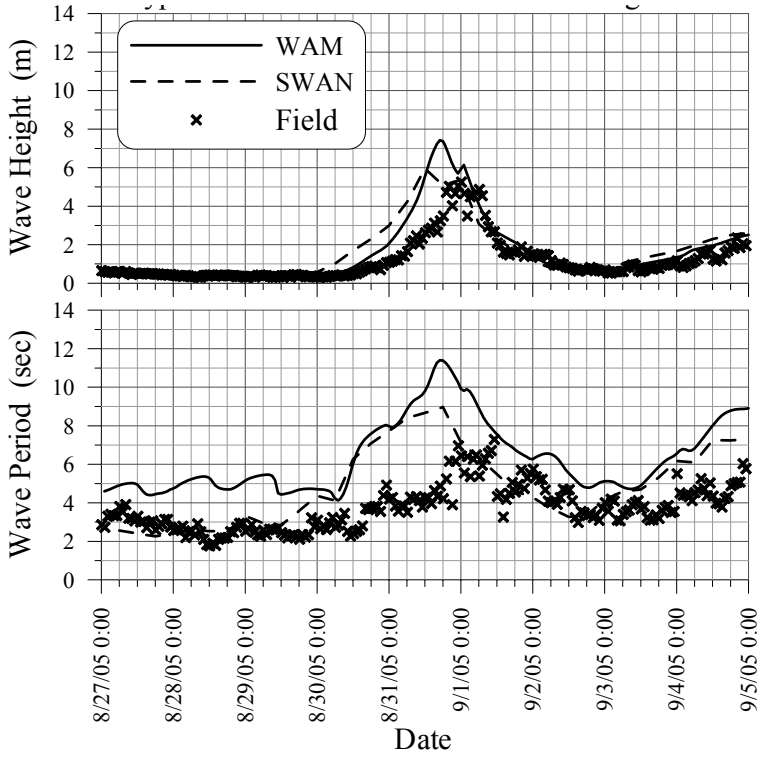


圖 3.1.14　泰利颱風侵襲時基隆港之推算波浪與觀測波浪比較圖

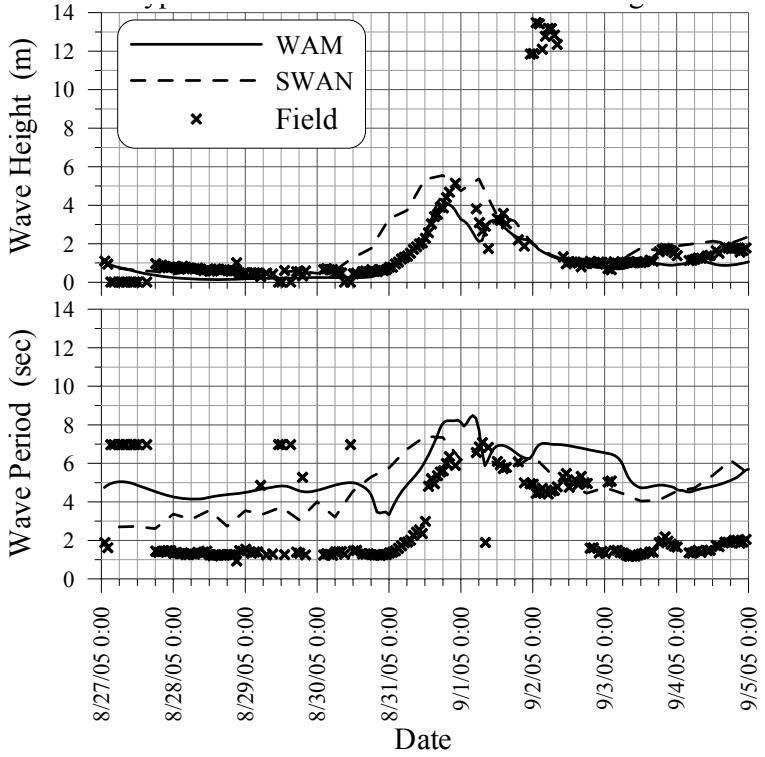


圖 3.1.15　泰利颱風侵襲時臺中港之推算波浪與觀測波浪比較圖

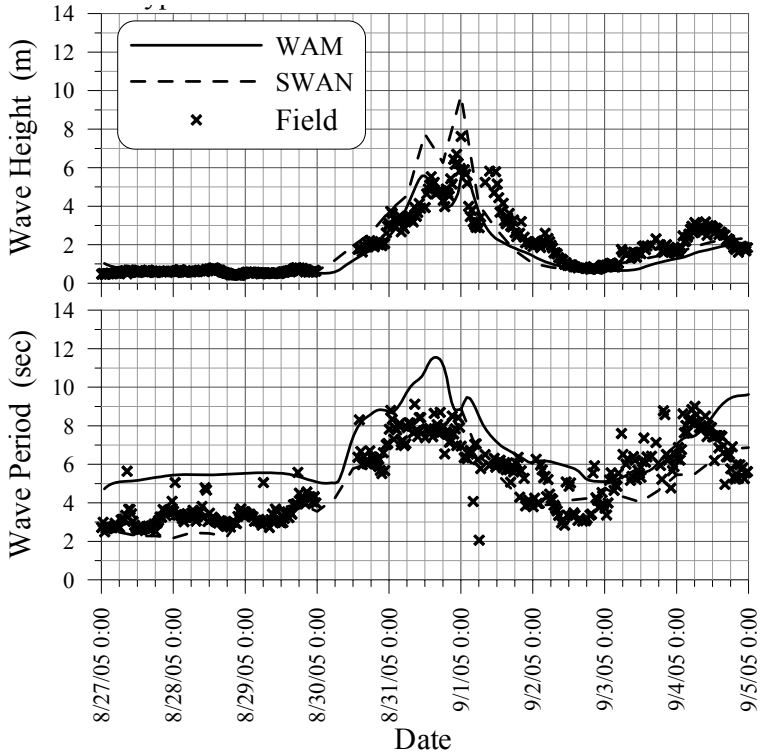


圖 3.1.16　泰利颱風侵襲時花蓮港之推算波浪與觀測波浪比較圖

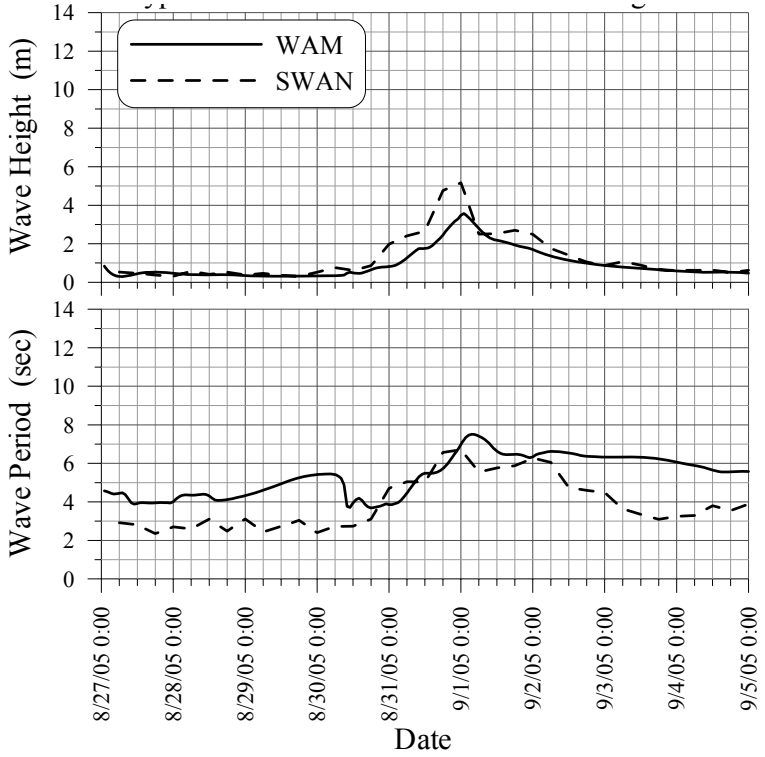


圖 3.1.17　泰利颱風侵襲時高雄港之推算波浪比較圖

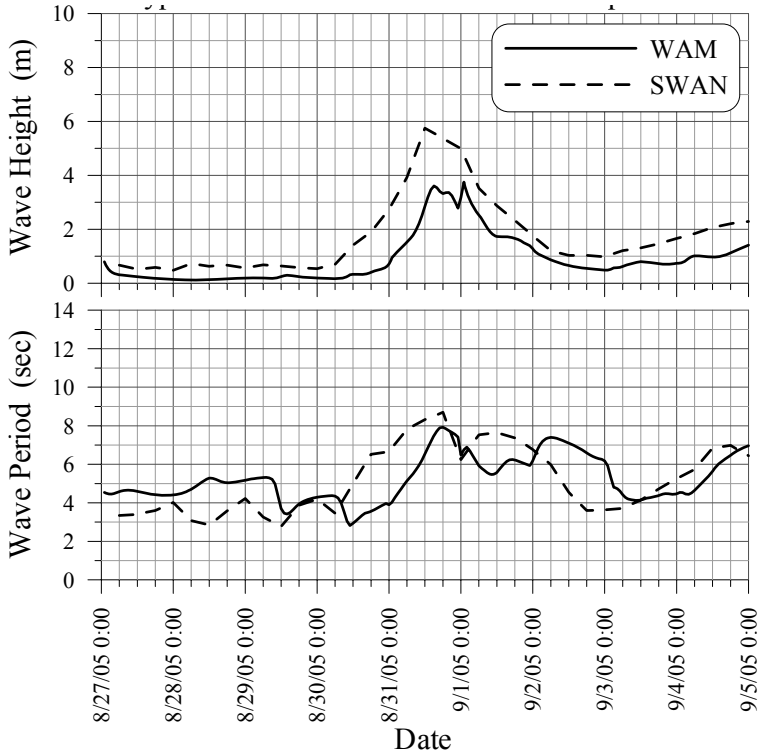


圖 3.1.18　泰利颱風侵襲時臺北港之推算波浪比較圖

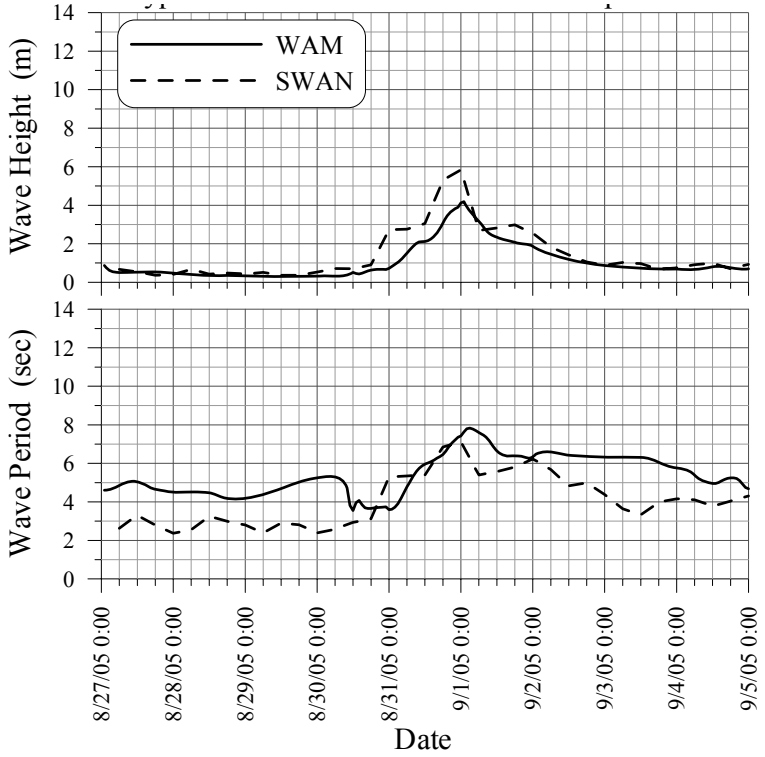


圖 3.1.19　泰利颱風侵襲時安平港之推算波浪比較圖

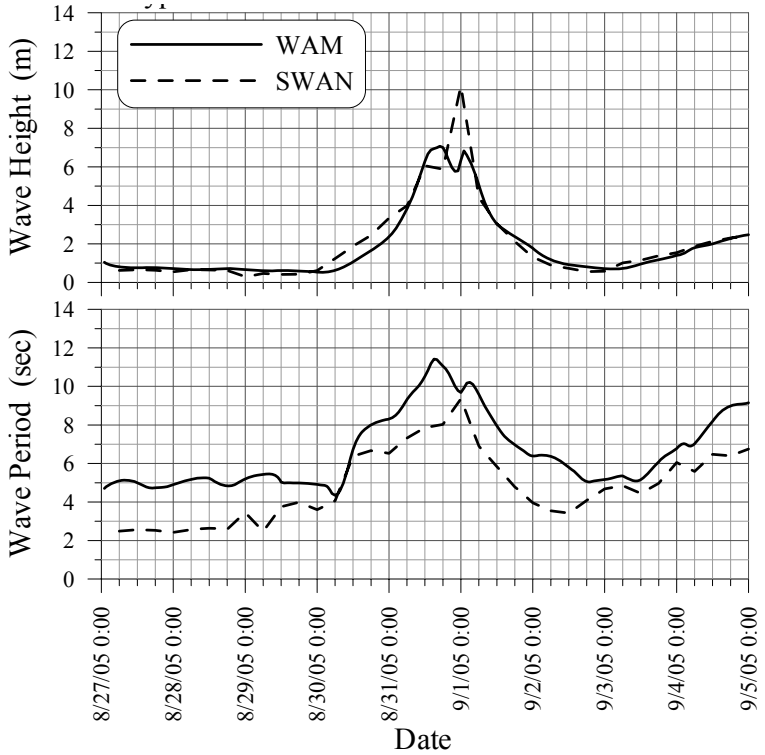


圖 3.1.20　泰利颱風侵襲時蘇澳港之推算波浪與觀測波浪比較圖

3.2 近岸及港區波浪模式

本計畫目的在於建立適合臺灣海域波浪模擬系統，藉以模擬臺灣沿海之波浪狀況。由於外海波浪向近岸區傳遞時，受到水深變淺之影響，波浪會產生折射、繞射及淺化效應；此外，海岸構造物的反射及底床摩擦效應等，亦會對近岸波浪狀況影響。基於本計畫中尺度全域風浪模式SWAN無法精確地描述近岸地形及海岸構造物對波場之影響，因此在SWAN模式之下構建一近岸海域波浪模擬系統，模擬臺灣近岸海域波浪狀況。此一近岸海域波浪模式係構建在緩坡方程式(MSE)之基礎上，模式可以模擬波浪向岸傳遞之淺化、折射、繞射與反射現象，並可考慮碎波及底床摩擦等波能損失效應。

於93年度本計畫團隊業已建置完成臺灣沿海七大商港(高雄港、安平港、臺中港、臺北港、基隆港、蘇澳港及花蓮港)之近岸海域波浪模擬系統，並模擬颱風侵臺期間之近岸波浪場(詳細內容參閱93年度報告)。鑑於93年度構建之近岸海域波浪模擬系統係以近域波浪模式(EEMSE)銜接中尺度全域風浪模式(SWAN)，受到中尺度全域波浪模式網格解析度(5km×5km)之限制，近域波浪模式之模擬範圍需大於5km×5km；同時為滿足EEMSE模式之計算精度要求，近岸波浪模擬系統所使用之網格解析度為10m×10m，因此相當耗費電腦計算時間，影響所及可能無法滿足未來線上作業需求。

為改善近岸波浪模擬系統之模擬效率，本計畫於目前中尺度全域波浪模式(SWAN)下構建一具運算快速且容許較大數值計算網格之區域波浪模式。一般而言，描述近岸波場之緩坡方程式依其偏微方程式之型態可區分為在空間領域之橢圓型緩坡方程式如RCPWAVE(Regional Coastal Processes WAVE model, Ebersole, et al., 1986)，或空間領域之拋物線型緩坡方程式如REF/DIF模式(combined Refraction/Diffraction model, Kirby and Dalrymple, 1991)，以及在時間領域的雙曲線型緩坡方程式如MIKE 21'S模式；而本計畫93年度所構建之近域波浪模式EEMS(Hsu and Wen, 2001)則屬於時間領域之演進型拋物線緩坡方程式。其中Kirby and Dalrymple所發展的REF/DIF模式因採用

隱式法求解非時變性拋物線型緩坡方程式，其計算速度不僅較求解橢圓型緩坡方程式之RCPWAVE模式快，且當波浪前進方向與數值計算網格邊界之夾角較大(70º)時亦能保持穩定之數值計算(Kirby，1986)。因此，本計畫選取REF/DIF模式為近岸波浪模擬系統之區域波浪模式。由於拋物線型緩坡方程式忽略反射波浪，因此REF/DIF模式在波浪場之計算，主要用於求解進前波場，較適用於波浪反射及繞射較弱的海域。對於港口或岸邊構造物等受反射波影響較大的近岸波場，本計畫仍沿用橢圓型緩坡方程式求解近域波浪場狀況。

3.2.1 近岸波浪模式

3.2.1.1 REF/DIF 模式理論介紹

Booij(1981)以Lagrangian方法並考慮波、流交互作用之影響發展出拋物線型緩坡方程式，Kirby and Dalrymple(1983)進一步考慮非線性之影響提出修正型拋物線型緩坡方程式

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

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

$$D=\frac{\cosh(4kh)+8-2\tanh^2(kh)}{8\sinh^4(kh)} \tag{3.2.2}$$

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

$$
\begin{aligned}
&\left(C_g+U\right)A_x-2\Delta_1 VA_y+i\left(\bar{k}-a_0k\right)\left(C_g+U\right)A+\left\{\frac{\sigma}{2}\left(\frac{C_g+U}{\sigma}\right)_x-\Delta_1\sigma\left(\frac{V}{\sigma}\right)_y\right\}A\\
&+i\Delta'\left[\left(p-V^2\right)\left(\frac{A}{\sigma}\right)_y\right]_y-i\Delta_1\left\{\left[UV\left(\frac{A}{\sigma}\right)_y\right]_x+\left[UV\left(\frac{A}{\sigma}\right)_x\right]_y\right\}\\
&+i\sigma\frac{k^2}{2}D|A|^2A+\frac{\omega}{2}A+\frac{-b_1}{k}\left\{\left[\left(p-V^2\right)\left(\frac{A}{\sigma}\right)_y\right]_{yx}+2i\left[\sigma V\left(\frac{A}{\sigma}\right)_y\right]_x\right\}\\
&+b_1\beta\left\{2i\omega U\left(\frac{A}{\sigma}\right)_x+2i\sigma V\left(\frac{A}{\sigma}\right)_y-2UV\left(\frac{A}{\sigma}\right)_{xy}+\left[\left(p-V^2\right)\left(\frac{A}{\sigma}\right)_y\right]_y\right\}\\
&-\frac{i}{k}b_1\left[\left(\omega V\right)_y+3\left(\omega U\right)_x\right]\left(\frac{A}{\sigma}\right)_x-\Delta_2\left[\omega U\left(\frac{A}{\sigma}\right)_x+\frac{1}{2}\omega U_x\left(\frac{A}{\sigma}\right)\right]\\
&+ik\omega U\left(a_0-1\right)\left(\frac{A}{\sigma}\right)=0
\end{aligned}
\tag{3.2.3}
$$

其中

$$\beta=\frac{k_x}{k^2}+\frac{\left[k\left(p-U^2\right)\right]_x}{2k^2\left(p-U^2\right)} \tag{3.2.4}$$

$$\Delta_1=a_1-b_1 \tag{3.2.5}$$

$$\Delta_2=1+2a_1-2b_1 \tag{3.2.6}$$

$$\Delta'=a_1-b_1\frac{\bar{k}}{k} \tag{3.2.7}$$

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

考慮波浪主要沿著x軸方向傳播時，上述內在頻率σ滿足波浪頻散關係，即

$$\sigma^2 = (\omega - kU)^2 = gk\tanh(kh) \tag{3.2.8}$$

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

$$\sigma^2 = (\omega - kU)^2 = gk\tanh(kh(1 + A/h)) \tag{3.2.9}$$

式中g為重力加速度。

對於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

$$\frac{\partial A}{\partial x} = \frac{i}{k}\frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + wA \tag{3.2.10}$$

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

(1)當考慮底床邊界層為紊流狀態時，波能消散因子具有下列型式(Dean and Dalrymple, 1984)

$$w = \frac{2\sigma kf|A|(1-i)}{3\pi\sinh(2kh)\sinh(kh)} \tag{3.2.11}$$

式中f為Darcy-Weisbach摩擦因子，其值等於0.01。

(2)當考慮具透水性之砂質底床時，砂質底床內Darcy流況所造成的波浪減衰可以表示成

$$w = \frac{gkC_p(1-i)}{\cosh^2(kh)} \tag{3.2.12}$$

式中C_p為底床透水性係數，單位為m^2，其值大小約為4.5×10^{-11}。

(3)對於波浪碎波所產生的波能損失，Kirby and Dalrymple (1986)提出下列公式

$$w = \frac{KC_g\left[1-(\gamma h/H)^2\right]}{h} \tag{3.2.13}$$

式中K及γ為經驗常數，其值分別為0.017及0.4(Dally et al.)，H為波高

等於$2|A|$，碎波指標採用H_b>0.78h計算之。

3.2.1.2 近岸區域波浪模式計算結果

為瞭解近岸區域波浪模式(REF/DIF)應用於臺灣沿海波浪狀況模擬之適用性，本計畫以國內七大港口為案例(如圖3.2.1所示)，根據93年度近岸波浪模式(EEMSE)之數值計算網格與計算條件(表3.2.1)，分別模擬七大港口附近海域波浪場，並與EEMSE模擬結果比較。

圖3.2.2至圖3.2.8所示分別為花蓮港、蘇澳港、基隆港、臺北港、臺中港、安平港及高雄港之數值網格計算範圍及地形水深分佈圖。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；蘇澳港計算範圍為北起北方澳北側，南迄南方澳南側，全長8公里，離岸6公里，約至水深80m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；臺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；臺中港計算範圍為沿岸南起大肚溪口北側，北迄番仔寮，全長14公里，離岸6.4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；高雄港計算範圍為沿岸南起高屏溪口北側，北迄一港口外海處，全長20公里，離岸9公里，約至水深35m處。

表 3.2.1 近岸波浪場模式計算條件

計算例		計算格網 (10m×10m)	波高 (m)	週期 (sec)	波向
花蓮港	奇比	321×801	2.78	8.76	S48°E
	艾莉		3.40	8.61	E20.9°N
蘇澳港	奇比	601×801	3.22	8.50	S39°W
	艾莉		3.34	8.53	E18.2°N
基隆港	奇比	1001×701	2.25	8.74	N30°W
	艾莉		3.45	8.32	N38.9°E
臺北港	奇比	501×1401	1.28	8.19	N29.7°W
	艾莉		3.07	7.18	N6.5°W
臺中港	奇比	631×1401	0.46	5.01	S55.6°W
	艾莉		2.57	6.50	N6.9°E
安平港	奇比	501×1001	2.26	6.39	S17.6°W
	艾莉		2.08	6.94	S46.6°W
高雄港	奇比	901×2001	2.24	6.71	S16.4°W
	艾莉		1.71	7.12	S41.7°W

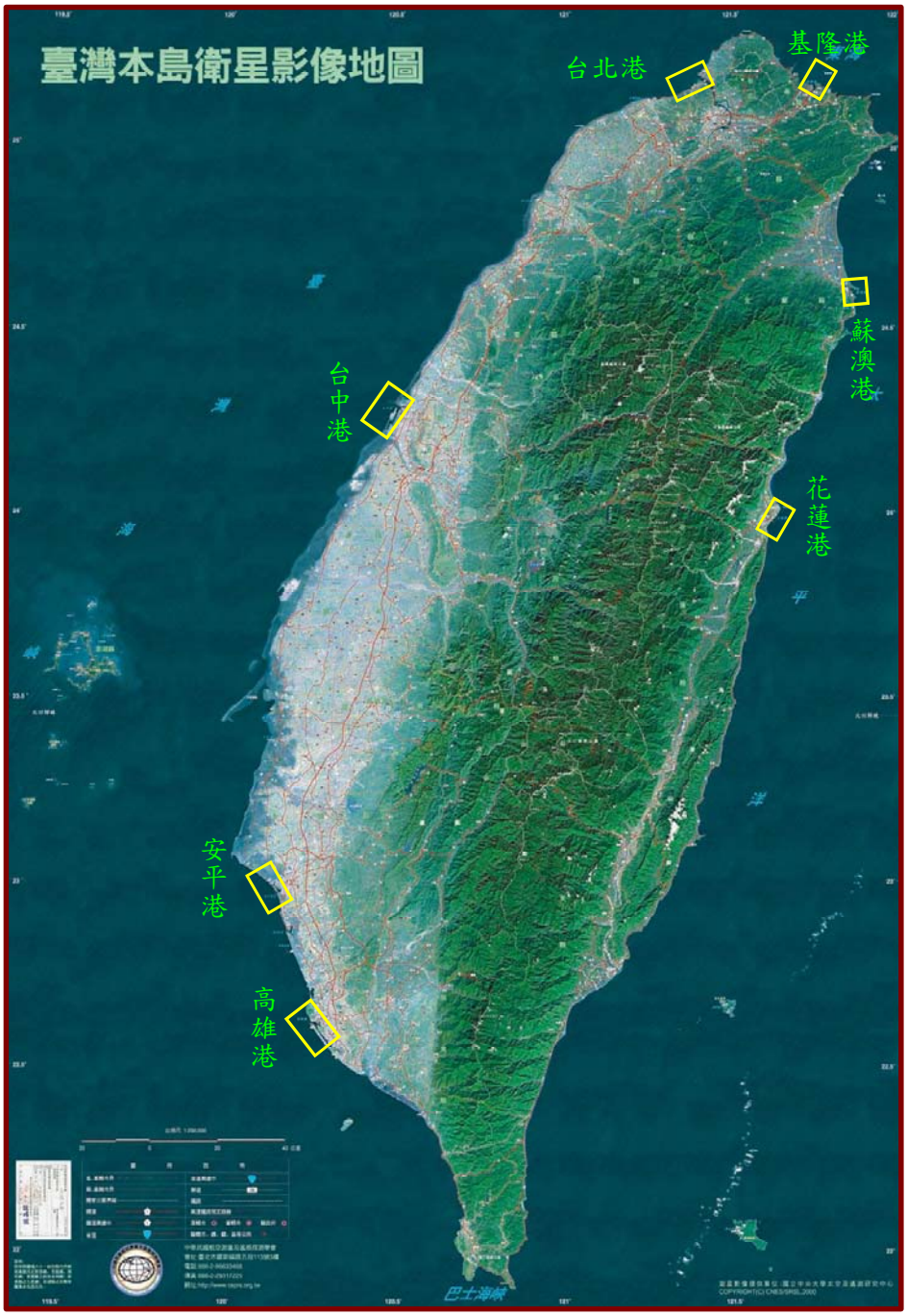


圖3.2.1 國內七大港口地理位置

(國立中央大學太空及遙測研究中心，2000)

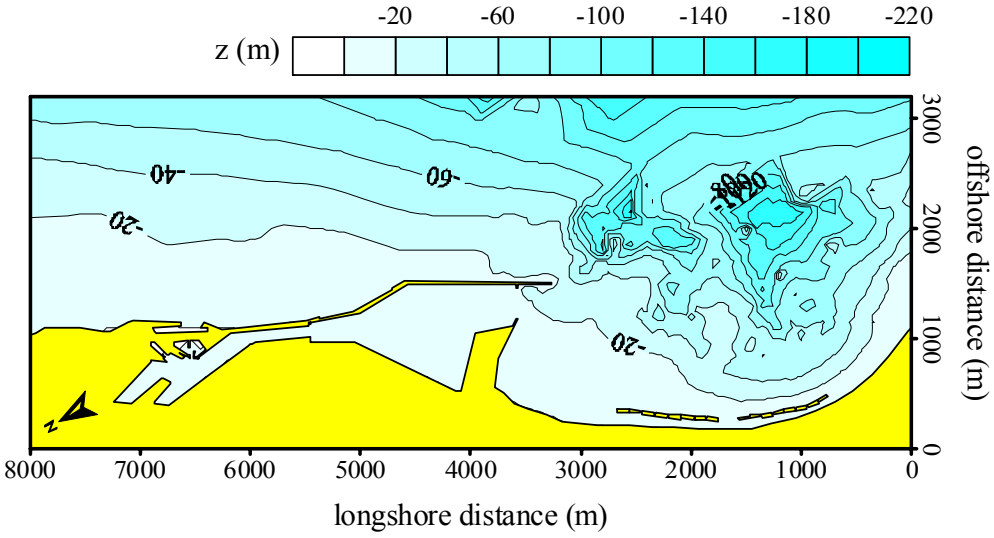


圖3.2.2 花蓮港近岸區域波浪模式計算範圍及水深地形分佈圖

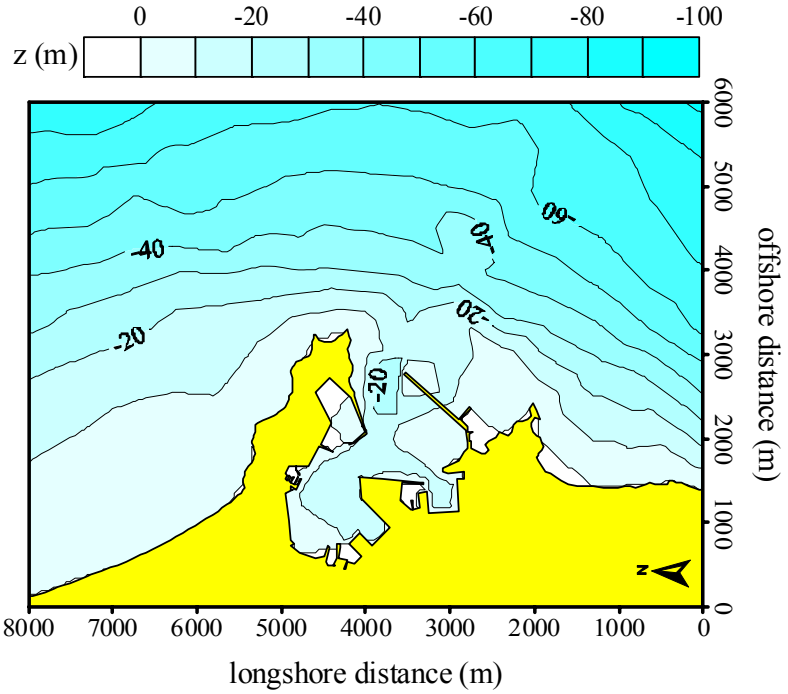


圖3.2.3 蘇澳港近岸區域波浪模式計算範圍及水深地形分佈圖

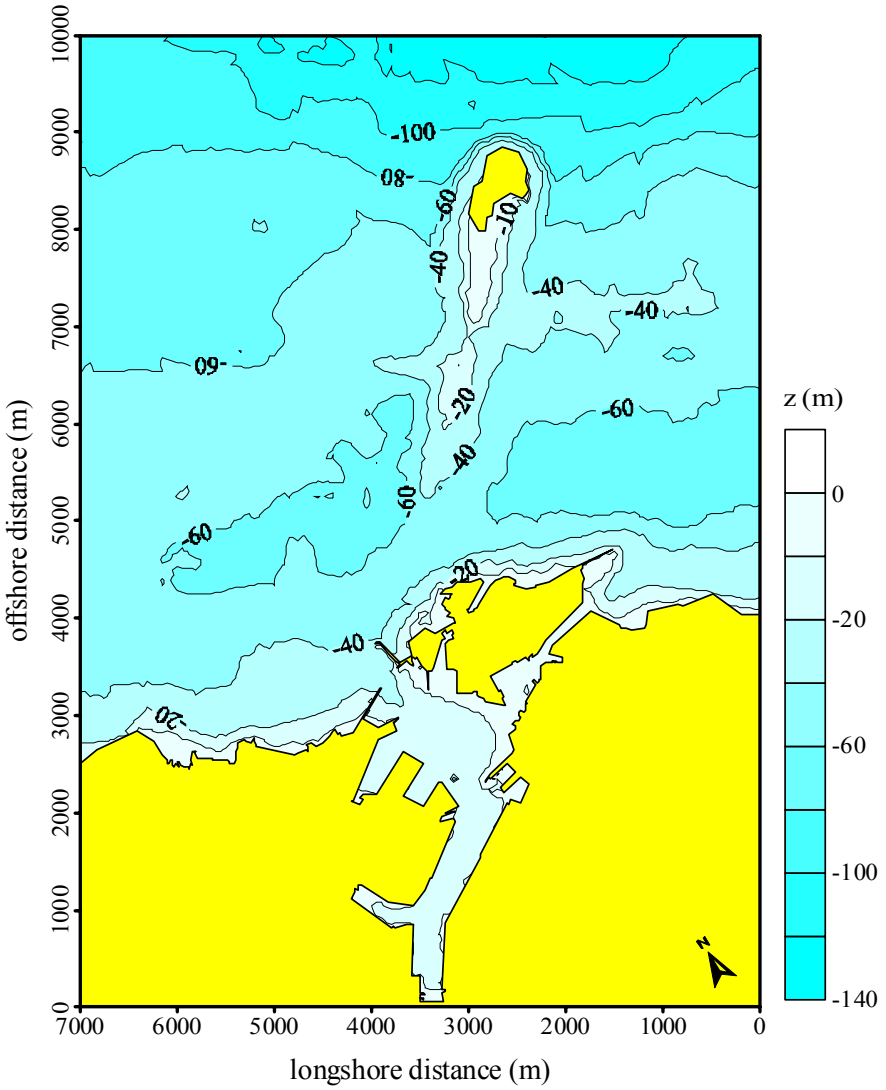


圖3.2.4 基隆港近岸區域波浪模式計算範圍及水深地形分佈圖

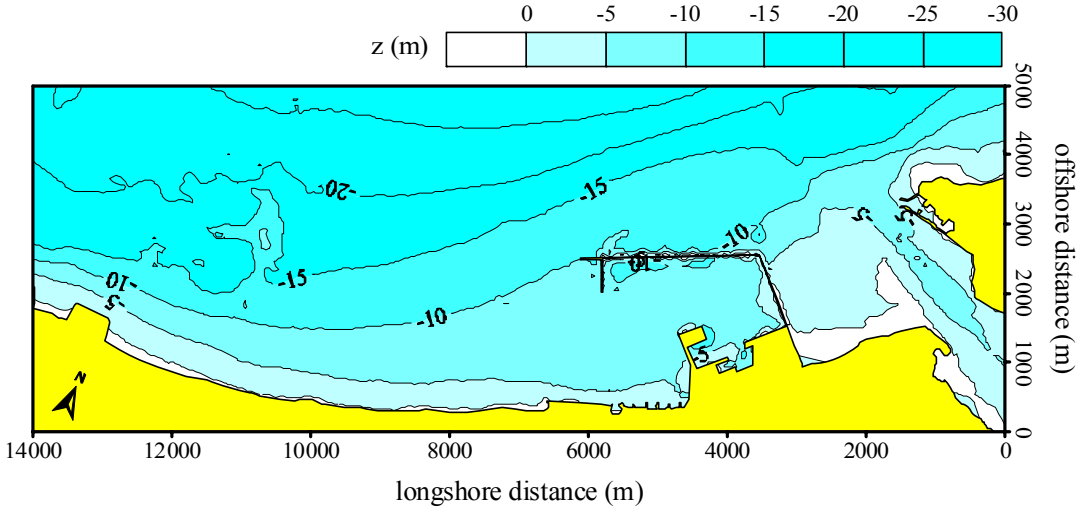


圖3.2.5 臺北港近岸區域波浪模式計算範圍及水深地形分佈圖

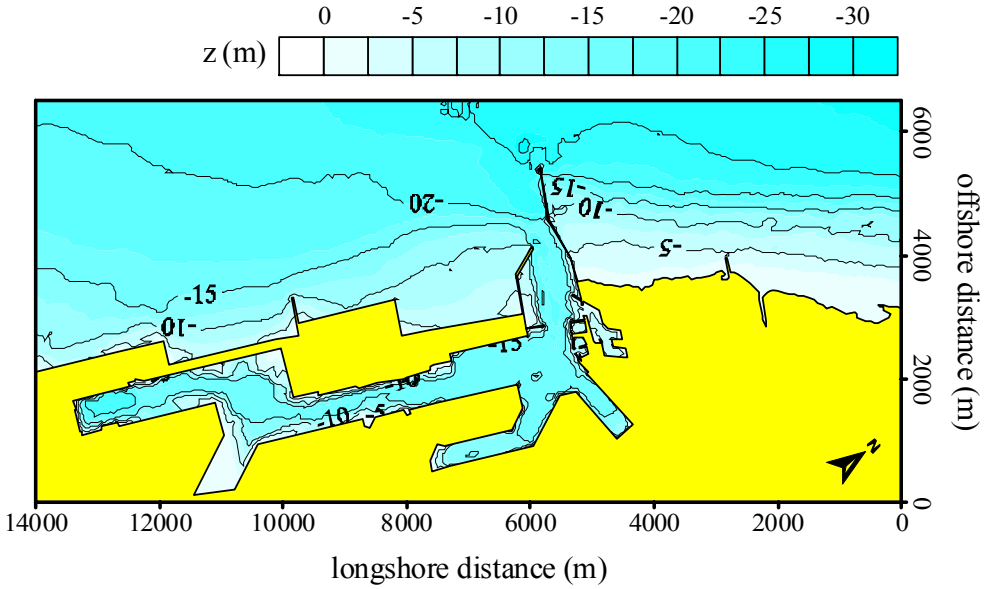


圖3.2.6 臺中港近岸區域波浪模式計算範圍及水深地形分佈圖

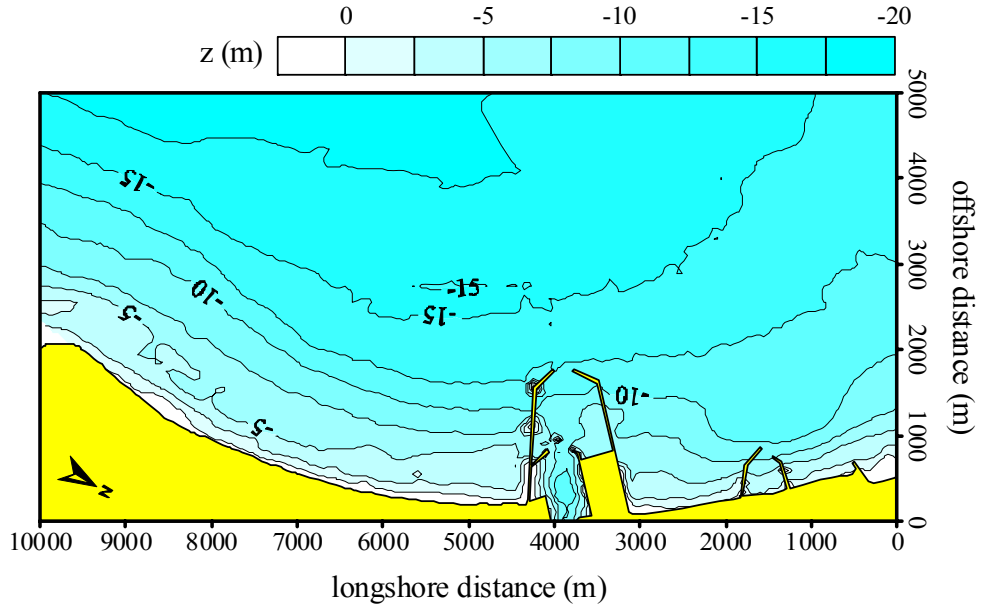


圖3.2.7 安平港近岸區域波浪模式計算範圍及水深地形分佈圖

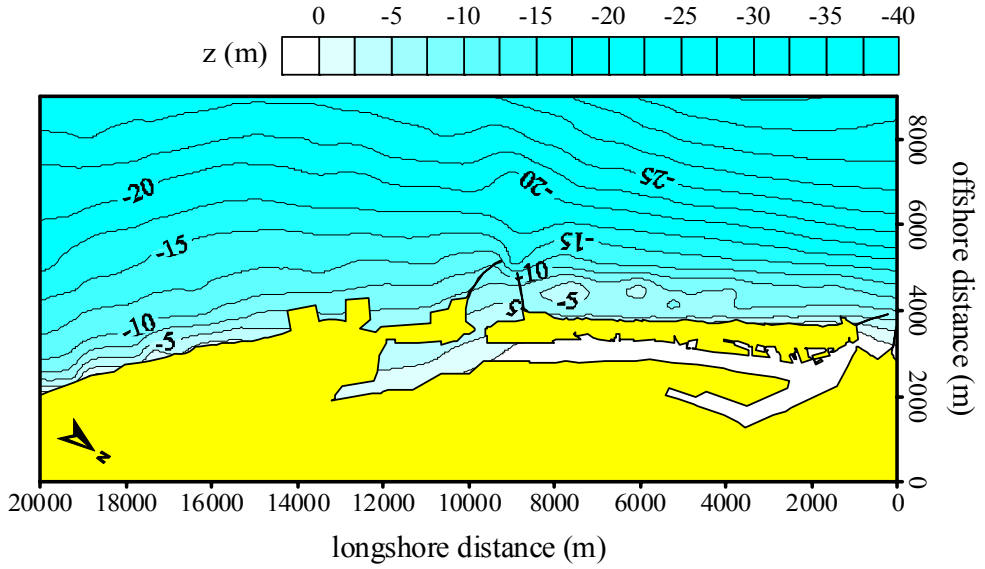


圖3.2.8 高雄港近岸區域波浪模式計算範圍及水深地形分佈圖

3.2.2 港區波浪模式

3.2.2.1 EMS 港域波浪模式

EMS 港域波浪模式係以有限元素法求解波浪緩坡方程式，模式不僅可模擬波浪前進過程中因水深變化或阻礙物所造成之波浪折、繞射效應，亦可處理結構物邊界所產生的反射現象，因此本計畫所採用的 EMS 港域波浪模式實為一綜合考慮波浪繞射、折射及反射之港域波浪計算數值模式。其基本理論簡述如下：

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，波浪因而產生繞射、折射及反射等效應。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。

所取之直角座標系統為 X 軸與海岸線重合，Y 軸向外海為正，Z 軸垂直紙面向上為正，Z＝0 為靜水面。外海半無線領域及有限領域別以領域(I)及(II)稱之，領域(I)及領域(II)之相連邊界為半徑 R_0 之半圓，

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

$$\eta_j(x,y,t) = f_j(x,y)e^{i\omega t} \quad , \text{j} = 1,2 \tag{3.2.14}$$

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

$$\nabla^2 f_1 + K_1^2 f_1 = 0 \quad ,\text{在領域(I)內} \tag{3.2.15}$$

$$\nabla\cdot\left(C_2C_{2g}\nabla\phi\right)+\left(C_2C_{2g}K_2^2 + i\omega\mu + iC_{2g}\omega\gamma\right)\phi = 0 \quad ,\text{在領域(II)內} \tag{3.2.16}$$

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

$$\kappa = 0.5\left[1 + 2K_2h_2 / \sinh(2K_2h_2)\right] \tag{3.2.17}$$

上述方程式(3.2.15)為荷姆茲方程式之型態，式(3.2.16)則為修正型態之緩坡方程式(mild slope equation)。

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

$$\mu = \frac{2\kappa\omega}{K_2}\left[\frac{2f_r}{3\pi}\frac{aK_2^2}{\left(2K_2h_2 + \sinh 2K_2h_2\right)\sinh K_2h_2}\right] \tag{3.2.18}$$

式中a為波浪之振幅，f_r 為摩擦係數。碎波參數γ可採用下列計算式

$$\gamma = \frac{\chi}{h_2}\left(1 - \frac{\Gamma^2h_2^2}{4a^2}\right) \tag{3.2.19}$$

式中 χ 及 Γ 分別為經驗常數(其值可分別採用 0.15 及 0.4)。

在領域(I)及(II)之交接假想邊界(B_1)上須滿足下列連續條件：

$$f_1 = f_2 \quad ,\text{在邊界} B_1 \text{上} \tag{3.2.20}$$

$$C_1 C_{1g} \frac{\partial f_1}{\partial n} = -C_2 C_{2g} \frac{\partial f_2}{\partial n} \quad \text{,在邊界} B_1 \text{上} \qquad (3.2.21)$$

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：

$$\frac{\partial f_2}{\partial n} = -i\alpha K_2 f_2 \quad \text{,在邊界} B_2 \text{上} \qquad (3.2.22)$$

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

$$\alpha = \frac{1 - K_r}{1 + K_r} \qquad (3.2.23)$$

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

$$f_1 = f_I + f_R + f_S \qquad (3.2.24)$$

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

$$\lim_{K_1 r \to \infty} \sqrt{r}\left(\frac{\partial}{\partial r} + iK_1\right) f_S = 0 \qquad (3.2.25)$$

假設入射波浪 $\eta^I(x, y, t)$之振幅為 A^I，波長為 L_1，週波數為 K_1，波向為與正 X 軸成 θ_0 角度，其複數表示為：

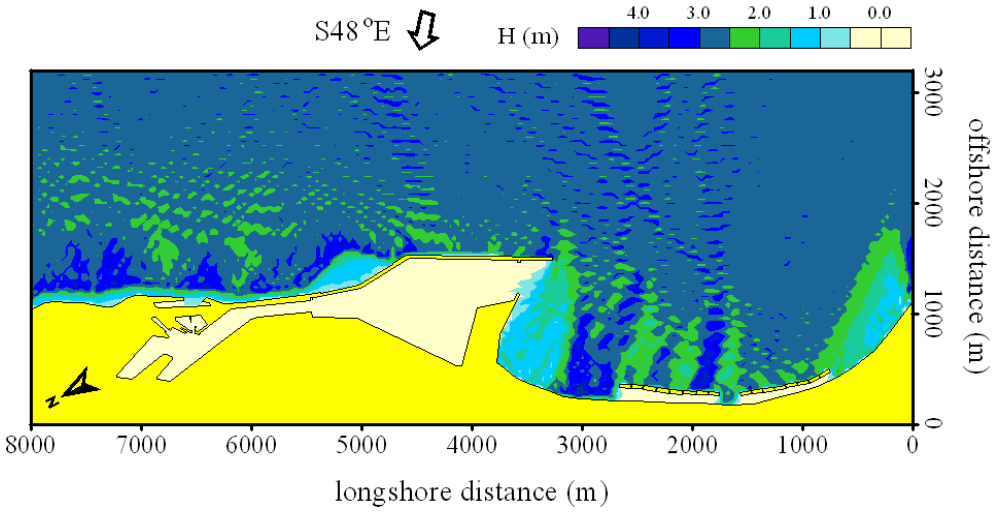
$$\eta^I(x, y, t) = A^I e^{-i[K_1(x\cos\theta_0 + y\sin\theta_0) - \omega t]} \qquad (3.2.26)$$

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)

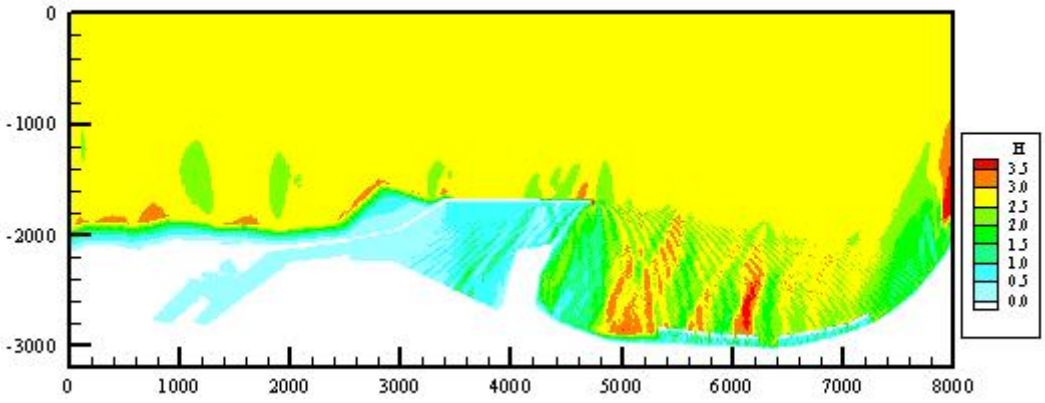
3.2.2.2 港區波浪模式計算結果

圖 3.2.9 及圖 3.2.10 所示為花蓮港近岸波浪場模擬結果，結果顯示 REF/DIF 區域模式僅考慮波浪前進所產生的折、繞射現象，故外海(深海)無向外傳遞的反射波，此與 EEMSE 模式模擬結果有顯著的差異。除此之外，受地形影響所產生的折、繞射現象 REF/DIF 區域模式模擬結果與 EEMSE 模式模擬結果相當一致，僅波高大小略有差異。港內波浪則以 REF/DIF 區域模式模擬結果有明顯的繞射現象，而 EEMSE 模式模擬結果繞射現象僅止於港口附近(註:可能因繪圖尺度不同所致)。圖 3.2.11 及圖 3.2.12 所示為蘇澳港近岸波浪場模擬結果，結果亦顯示除了反射波影響外，在折、繞射現象方面 REF/DIF 區域模式模擬結果與 EEMSE 近域模式模擬結果仍具有一致性。圖 3.2.13 所示為艾莉颱風波浪條件下基隆港近岸波浪場模擬結果，顯示 REF/DIF 區域模式模擬結果與 EEMSE 近域模式模擬結果略有出入。另外，針對奇比颱風波浪條件：H=2.25m，T=8.74sec，S48ºE(入射角度與離岸方向夾角為 60º，如圖 3.2.14 所示)，REF/DIF 區域模式模擬失敗(原因仍待進一步探討)，EEMSE 模式則可以成功地模擬波浪入射之波浪場。圖 3.2.15 至圖 3.2.22 所示分別為臺北港、臺中港、安平港、及高雄港之近岸波浪場模擬結果，顯示 REF/DIF 區域模式模擬波浪因地形產生的折、繞射現象與 EEMSE 近域模式模擬結果相當近似；惟對於港口內波浪狀況模擬結果，REF/DIF 區域模式模擬之波高值略高於 EEMSE 近域模式模擬結果。

綜合上述模擬結果，顯示以 REF/DIF 區域模式模擬七大港口之波浪狀況，瞭解 REF/DIF 區域模式所模擬的近岸波浪場，除了無法顯現岸邊構造物所產生強烈反射波浪外，對於地形所產生的折、繞射現象以及結構物所產生的繞射及遮蔽現象均可充份地模擬之。此外，上述計算結果以目前電腦 PC 之運算速度均可在短時間內(約一分鐘或數分鐘內)完成，運算效率顯著地較 EEMSE 近域模式高，因此採用 REF/DIF 模式為本計劃近岸區域波浪模式模擬臺灣沿海波浪狀況，不僅可以增大數值計算範圍，同時可以滿足未來沿海波浪模擬之線上作業需求。

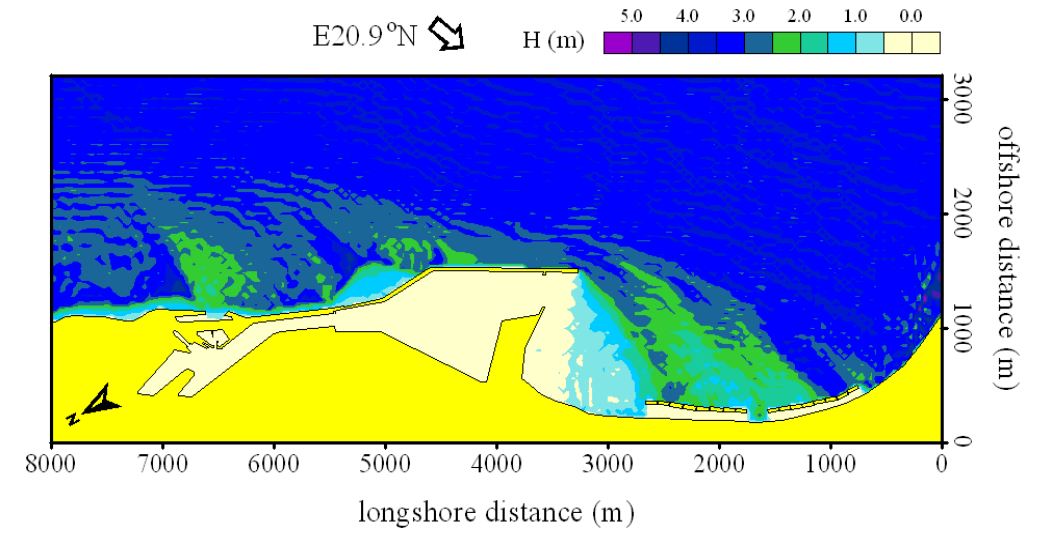


(a)

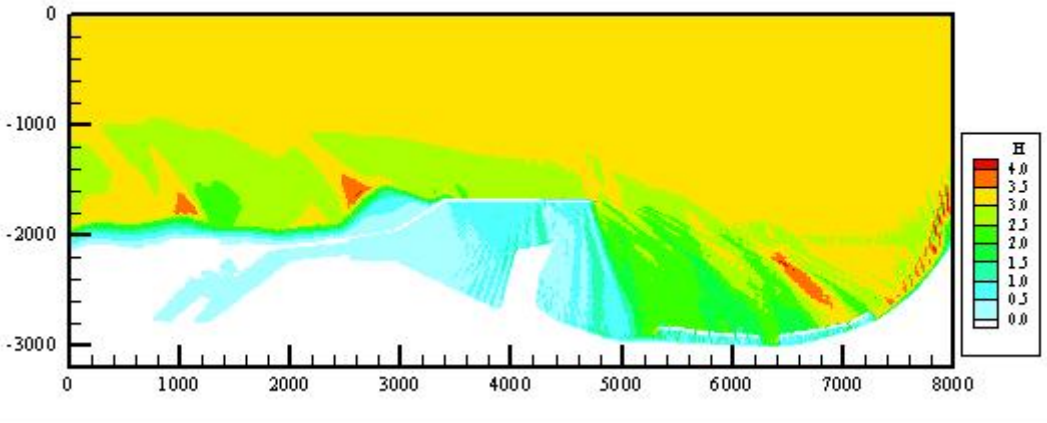


(b)

圖3.2.9 花蓮港近岸波浪場模擬結果(a)EEMSE近域模式(b)REF/DIF區域模式(奇比颱風，H=2.78m，T=8.76sec，S48ºE)

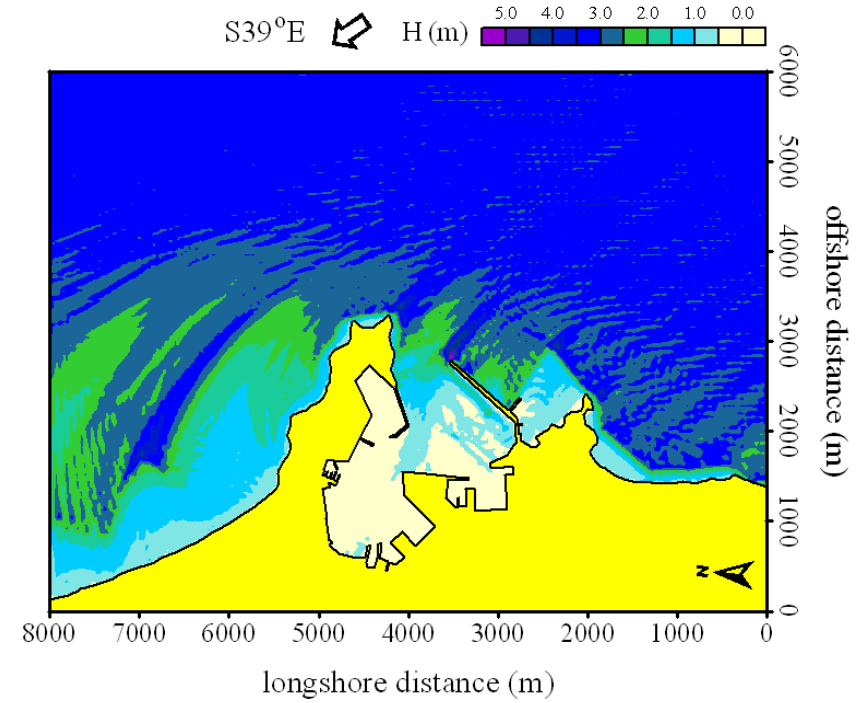


(a)

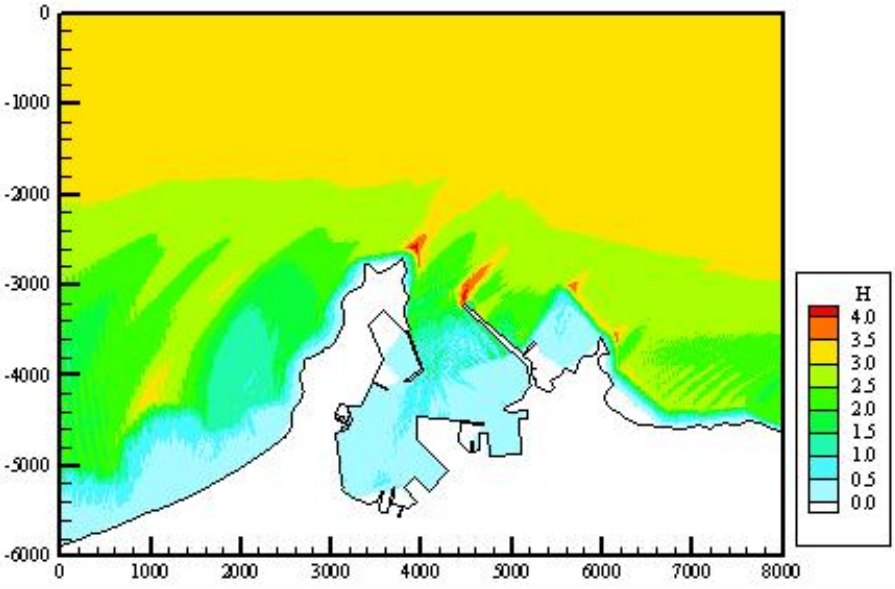


(b)

圖3.2.10 花蓮港近岸波浪場模擬結果(a)EEMSE近域模式(b) REF/DIF區域模式(艾莉颱風，H=3.40m，T=8.61sec，E20.9ºN)

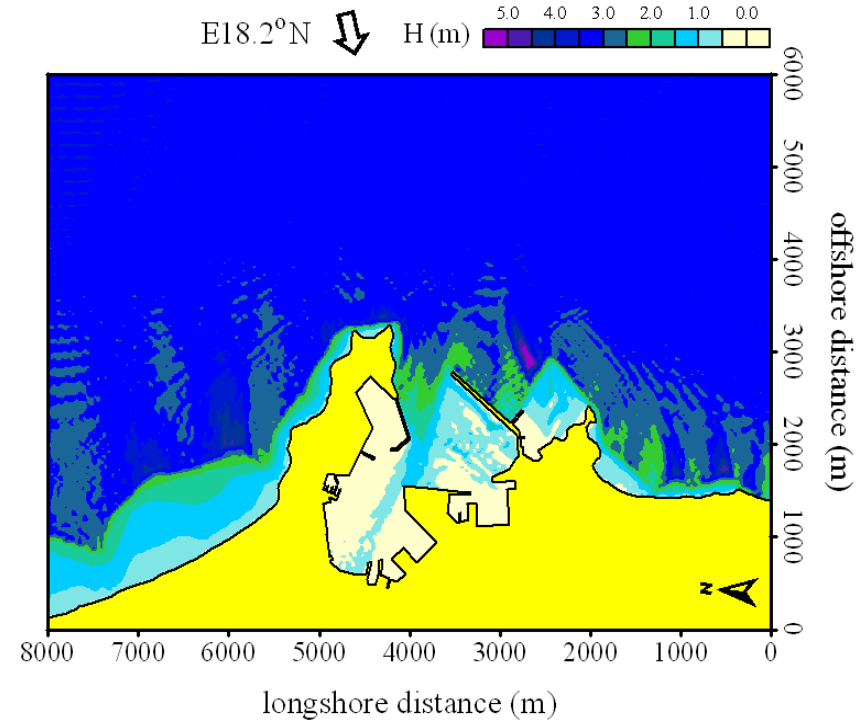


(a)

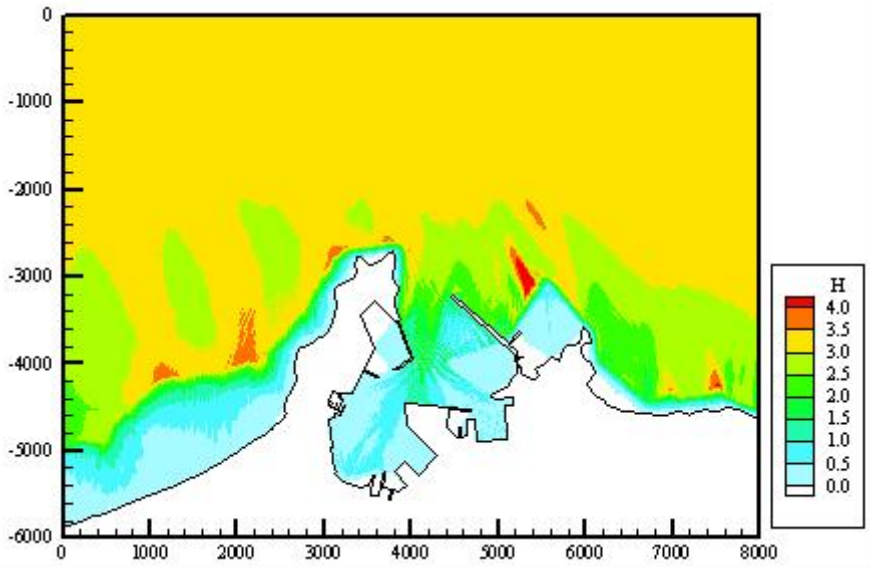


(b)

圖3.2.11 蘇澳港近岸波浪場模擬結果(a)EEMSE近域模式(b) REF/DIF區域模式(奇比颱風，H=3.22m，T=8.50sec，S39°E)

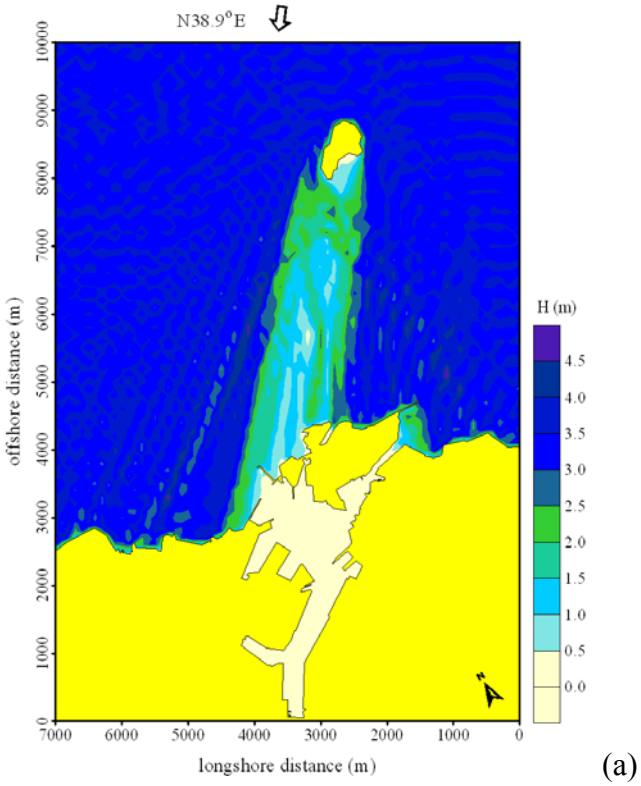


(a)



(b)

圖3.2.12 蘇澳港近岸波浪場模擬結果(a)EEMSE近域模式(b) REF/DIF 區域模式(艾莉颱風，H=3.40m，T=8.61sec，E20.9ºN)



(a)

(b)

圖3.2.13 基隆港近岸波浪場模擬結果(a)EEMSE近域模式(b) REF/DIF 區域模式(艾莉颱風，H=3.40m，T=8.61sec，E20.9ºN)

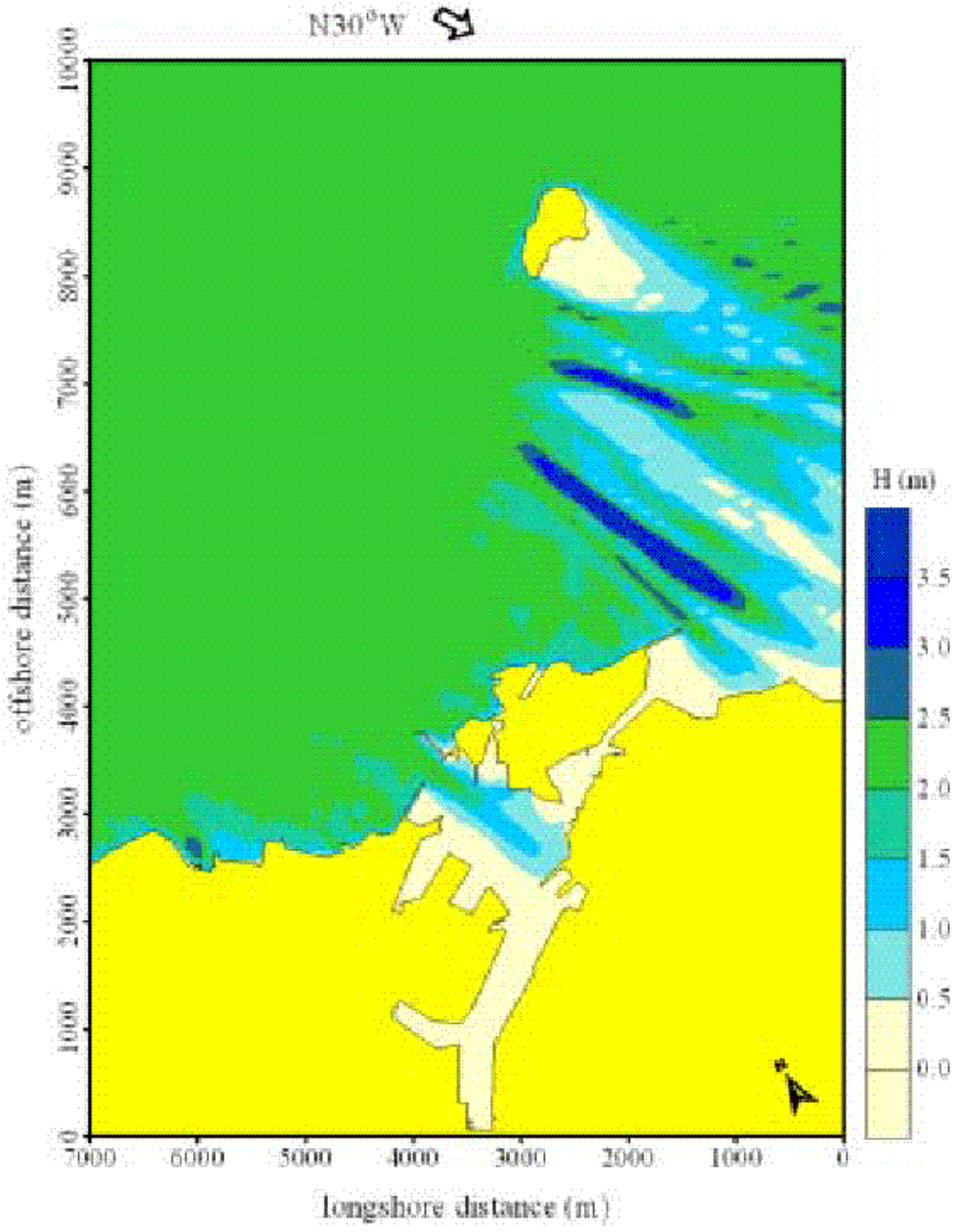
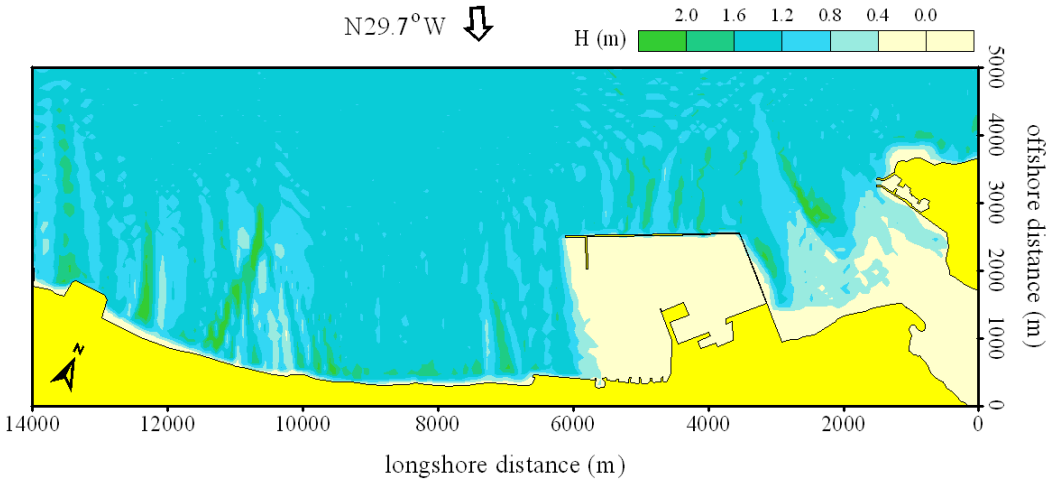
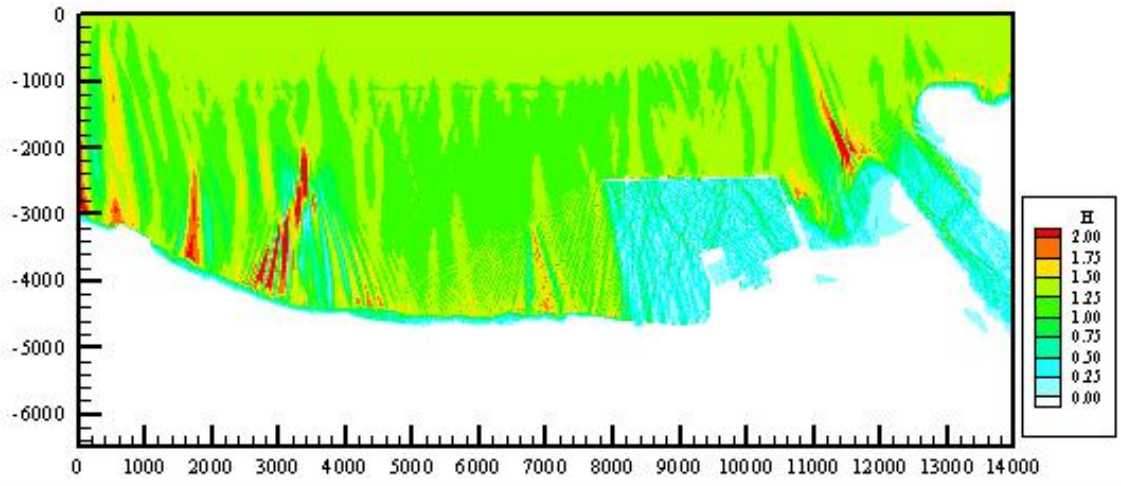


圖3.2.14 基隆港近岸波浪場EEMSE近域模式模擬結果

(奇比颱風，H=2.25m，T=8.74sec，S48ºE)

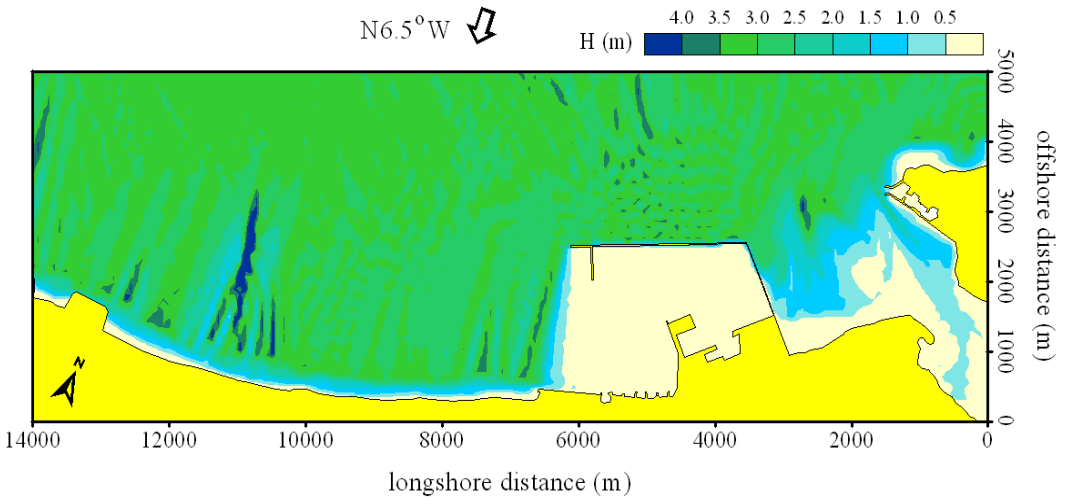


(a)

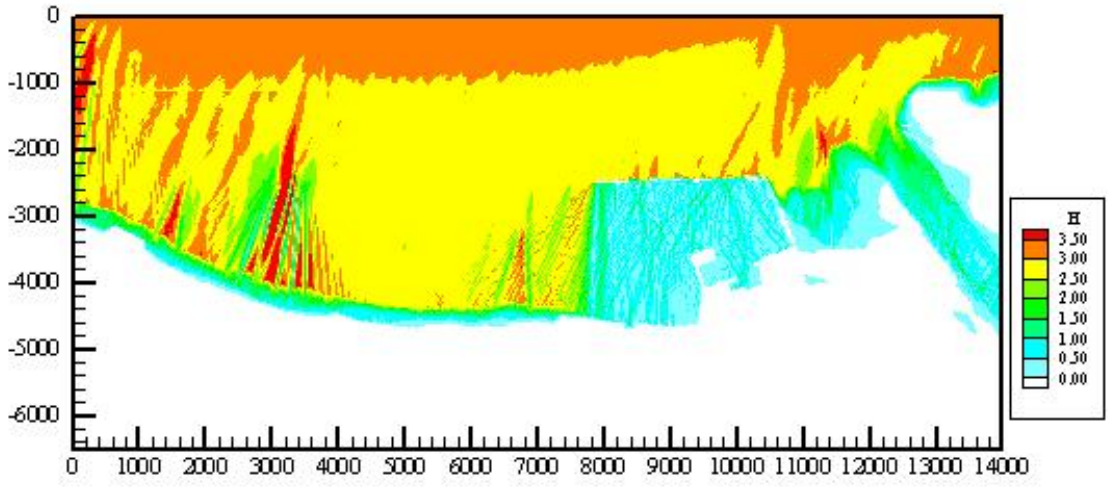


(b)

圖3.2.15 臺北港近岸波浪場模擬結果(a)EEMSE近域模式(b) REF/DIF區域模式(奇比颱風，H=1.28m，T=8.19sec，N29.7ºW)

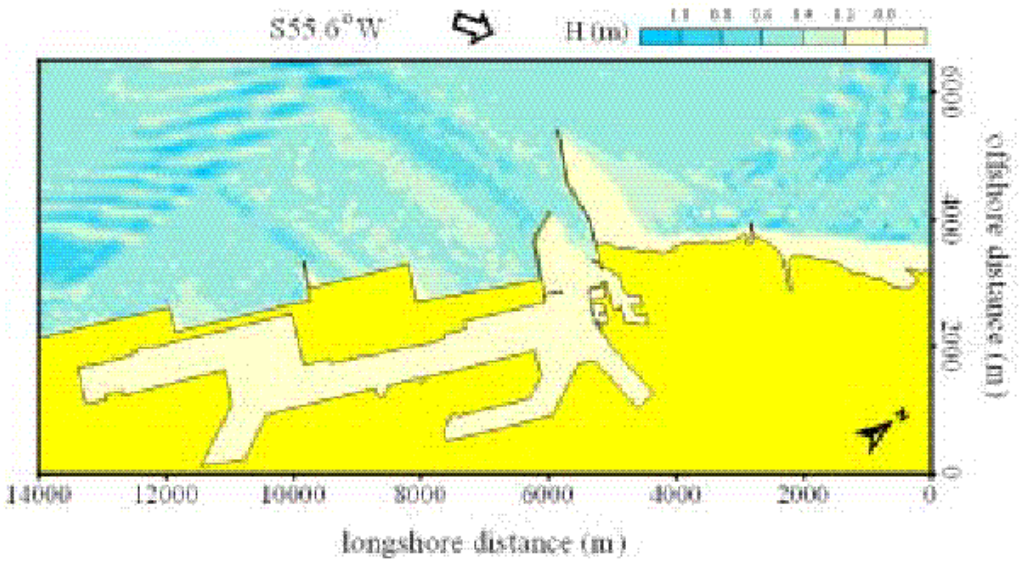


(a)

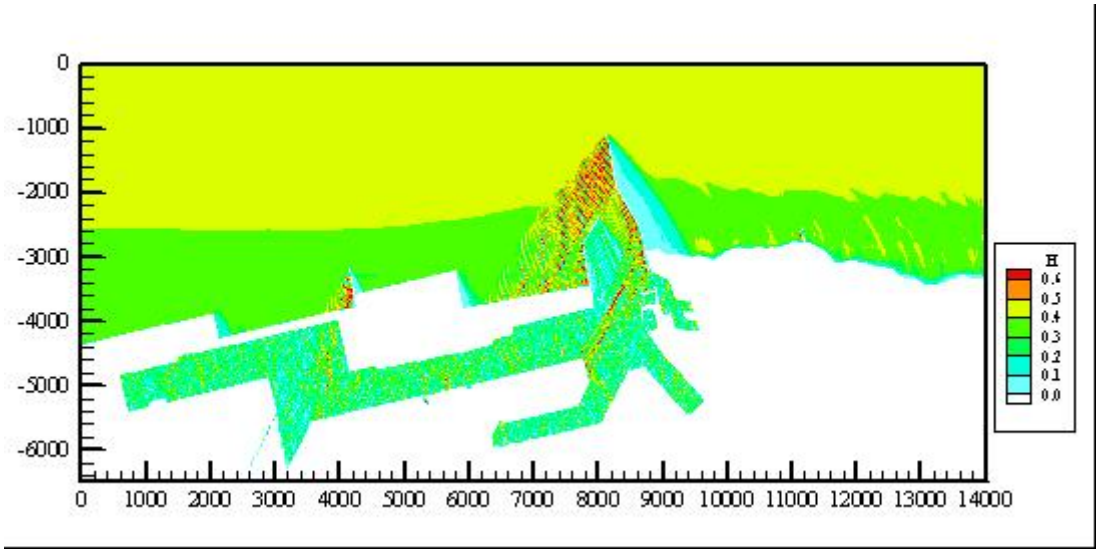


(b)

圖3.2.16 臺北港近岸波浪場模擬結果(a)EEMSE近域模式(b) REF/DIF區域模式(艾莉颱風，H=3.07m，T=7.18sec，N6.5ºW)

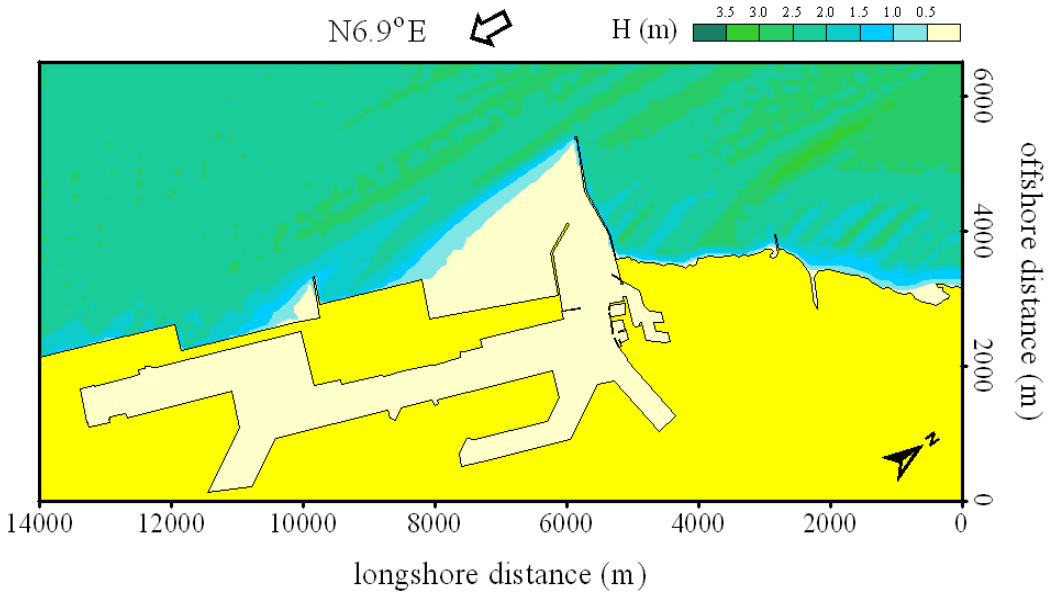


(a)

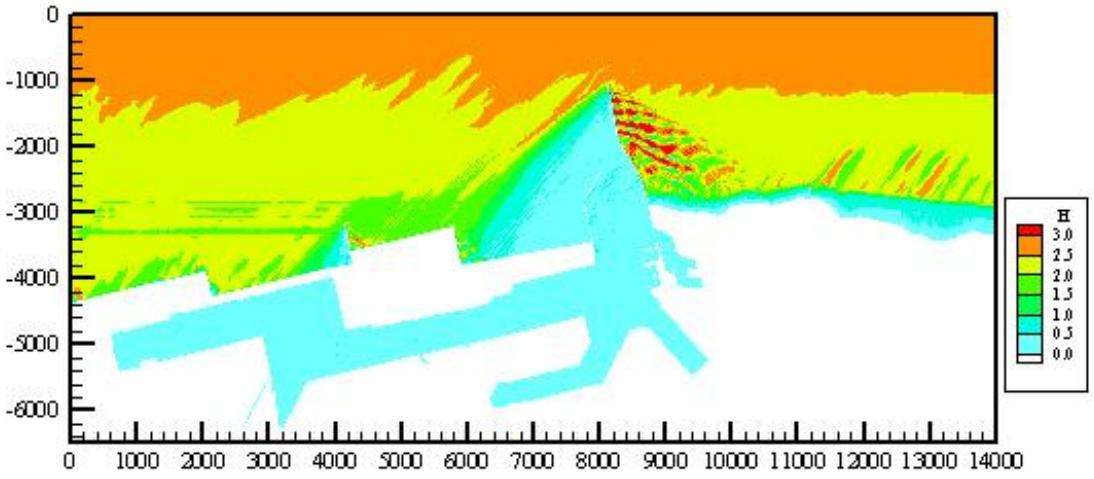


(b)

圖3.2.17 臺中港近岸波浪場模擬結果(a)EEMSE近域模式(b) REF/DIF區域模式(奇比颱風，H=0.46m，T=5.01sec，S55.6ºW)

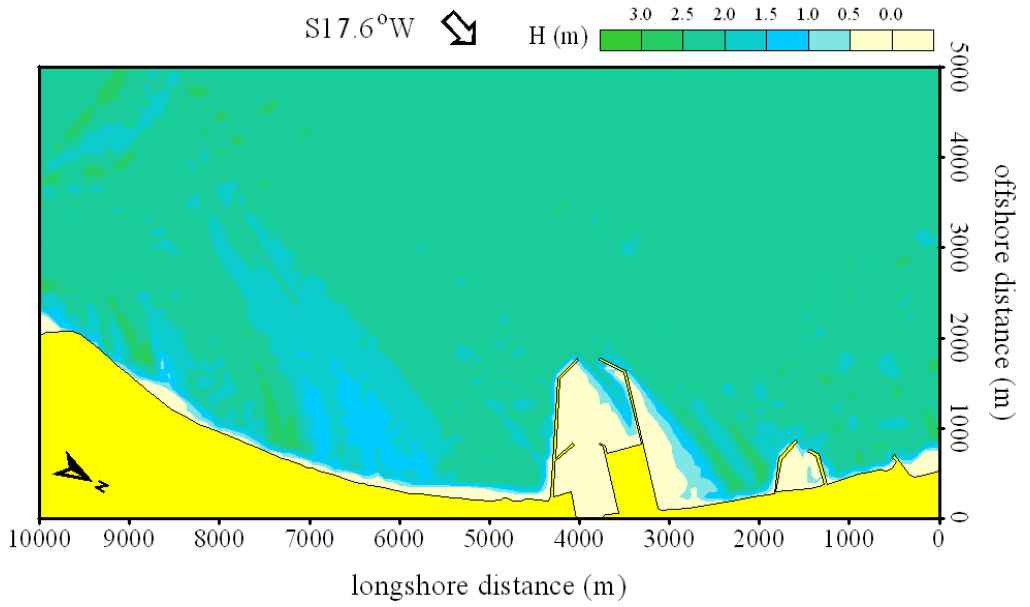


(a)

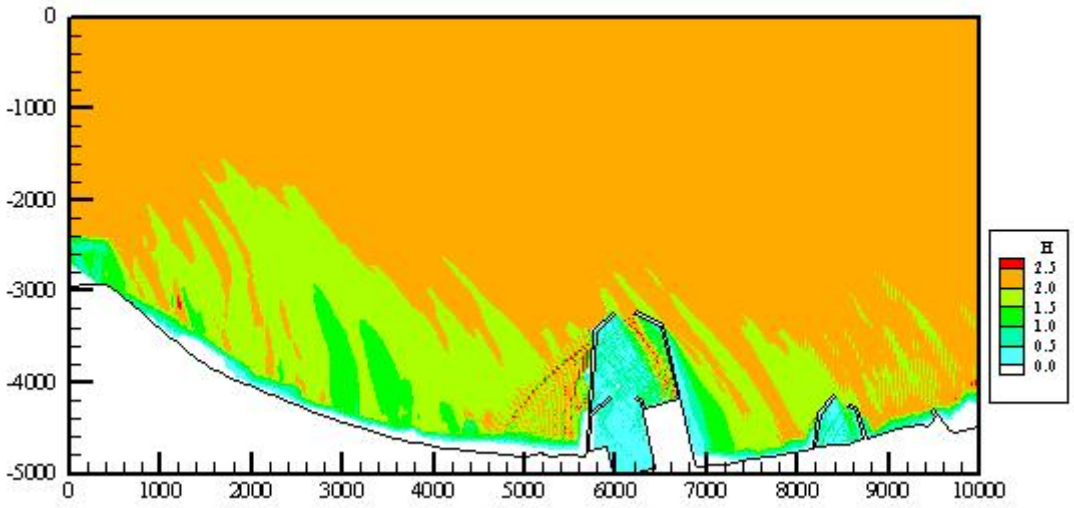


(b)

圖3.2.18 臺中港近岸波浪場模擬結果(a)EEMSE近域模式(b) REF/DIF區域模式(艾莉颱風，H=2.57m，T=6.50sec，N6.9ºE)

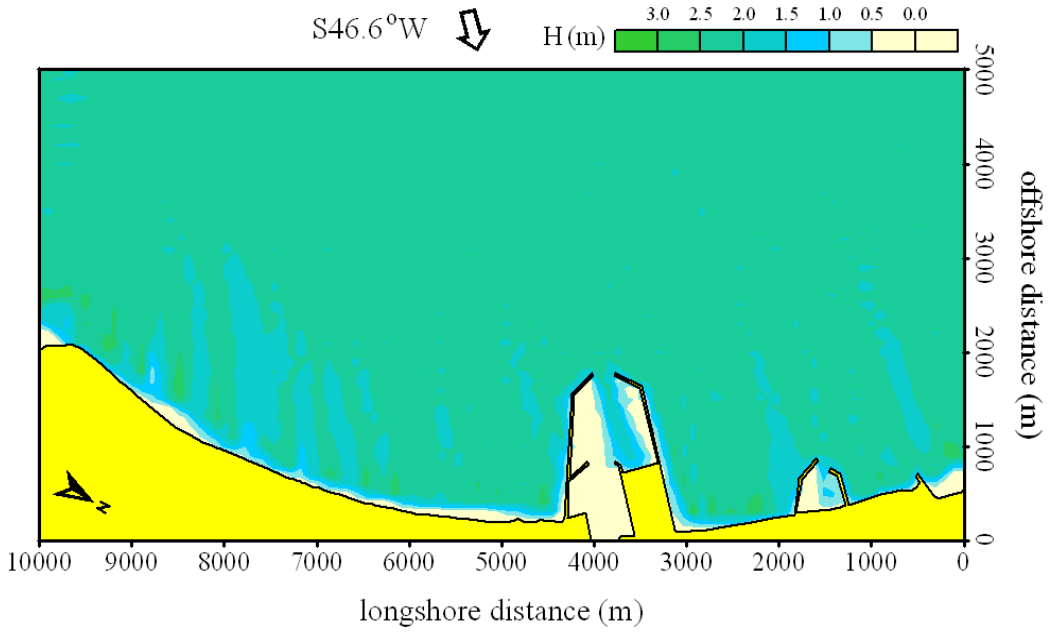


(a)

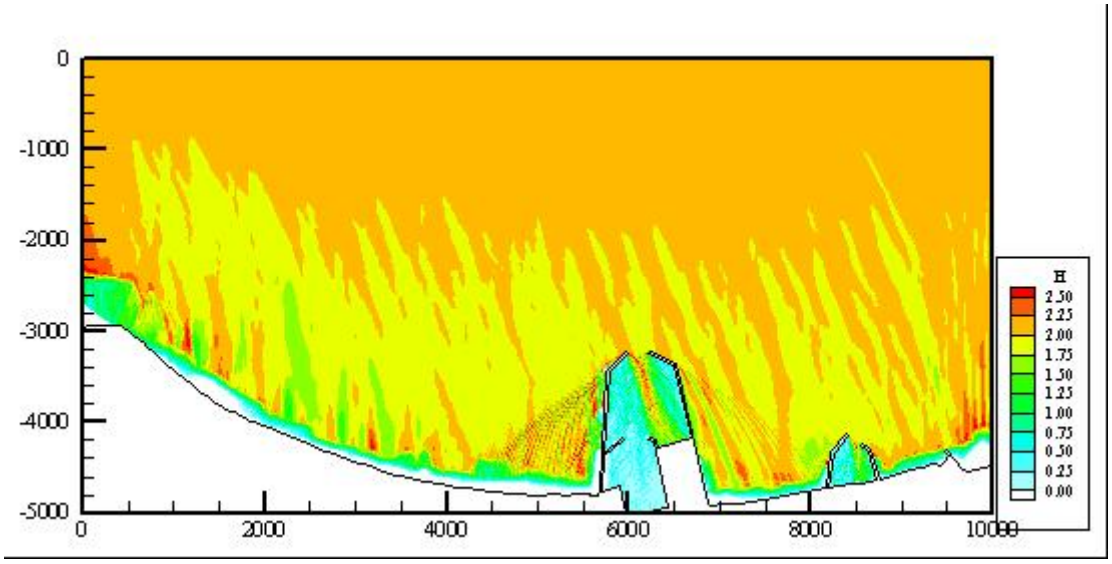


(b)

圖3.2.19 安平港近岸波浪場模擬結果(a)EEMSE近域模式(b) REF/DIF 區域模式(奇比颱風，H=2.26m，T=6.39sec，S17.6°W)

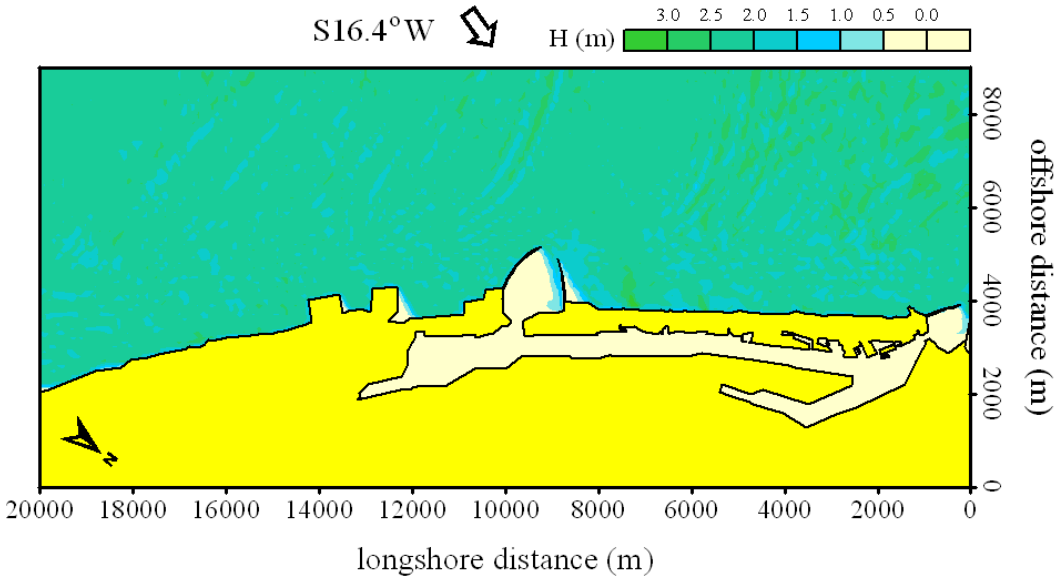


(a)

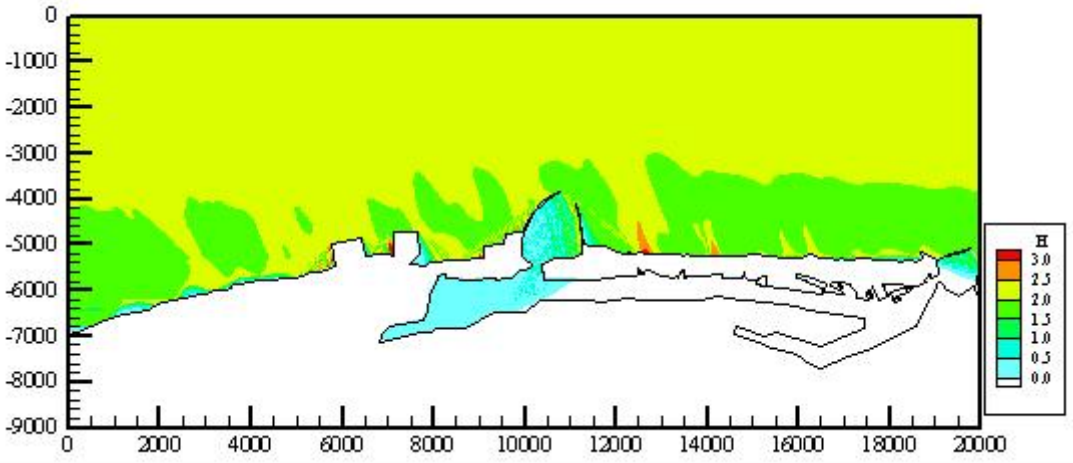


(b)

圖3.2.20 安平港近岸波浪場模擬結果(a)EEMSE近域模式(b) REF/DIF 區域模式(艾莉颱風，H=2.08m，T=6.94sec，S46.6ºW)

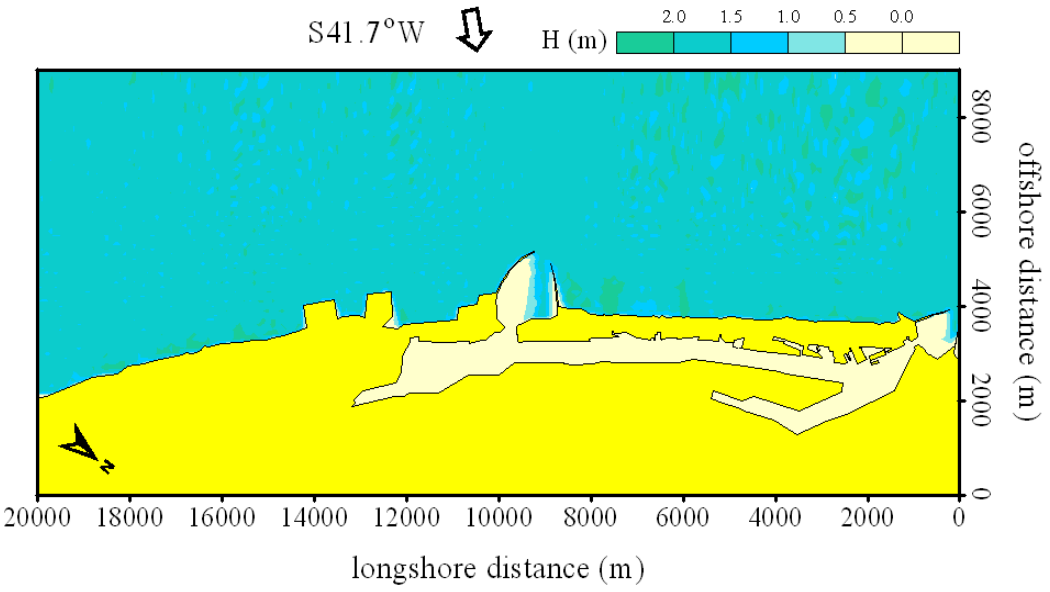


(a)

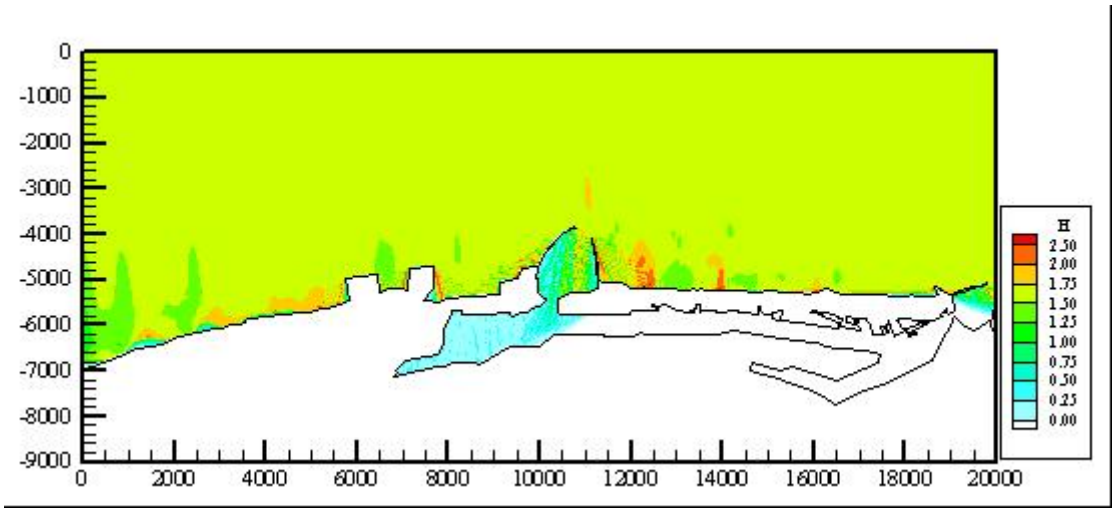


(b)

圖3.2.21 高雄港近岸波浪場模擬結果(a)EEMSE近域模式(b) REF/DIF 區域模式(奇比颱風，H=2.24m，T=6.71sec，S16.4ºW)



(a)



(b)

圖3.2.22 高雄港近岸波浪場模擬結果(a)EEMSE近域模式(b) REF/DIF區域模式(艾莉颱風，H=1.71m，T=7.12sec，S41.7ºW)

3.2.3 環島近岸區域波浪模擬系統

基於近岸區域波浪模式允許較大數值計算網格以及運算速度快等優點，本計畫利用上述近岸區域波浪模式(REF/DIF)構建臺灣環島近岸海域波浪模擬系統。本年度計畫將針對臺灣東部海岸構建16個近岸區域波浪模擬區塊，藉以承接全域風浪模式之計算結果，進而將外海波浪推算至岸線。

本計畫區域模式所使用之地形水深資料，係依據港灣技術研究中心所提供之網格水深資料，如圖3.2.23所示，圖中資料網格大小為500m×500m。本計畫針對東部海岸自北端三紹角起至最南端鵝鑾鼻，共規劃16個近岸區域波浪數值模擬區塊(A～P)，如圖3.2.24所示。各區域波浪數值模擬區塊之大小與座標，如表3.2.2所示；區域波浪模式數值計算網格之間距為0.001º (約109 m)，各區域波浪數值模擬區域與本計畫全域風浪模式SWAN及WAM之數值計算網格之相關位置，如圖3.2.25所示。

本計畫近岸區域波浪模擬系統(以下簡稱RGWS)之作業流程如圖3.2.26所示，目前已針對上述16個模擬區域(A～P)分別建立子模組，因此系統僅需輸入波浪資料(波高週期及波向)及潮位即可執行各子模組模擬近岸區域波浪場。如表3.2.3所示為系統測試所使用之計算條件，相關波浪條件為本計畫全域波浪模式SWAN模擬冬季季風之結果。各模擬區域之波高及波向模擬結果如圖3.2.27至圖3.2.39所示，由於東部海岸水深相當大，僅近岸狹長地帶屬淺水區，因此模擬區域內波浪之折繞射現象相當不顯著，僅極近岸淺水區波高及波向才有較顯著之改變。此外由於目前模式所使用的地形水深資料，其解析度為500m×500m，亦導致模式部份近岸水深與現況不相符，進而影響模式模擬之結果。

本計畫未來將進一步蒐集近岸水深資料修正目前模式之水深資料，藉以增進數值模式模擬結果。

表 3.2.2 近岸區域波浪模式模擬區域網格資料

模擬區域編號	左下角座標	右上角座標	計算網格	ND
A	(121.80, 24.60)	(122.08, 25.00)	281×401	10
B	(121.82,24.48)	(121.96,24.64)	141×161	15
C	(121.76,24.32)	(121.92,24.52)	161×201	15
D	(121.64,24.16)	(121.84,24.36)	201×201	15
E	(121.60,24.00)	(121.76,24.20)	161×201	15
F	(121.56,23.88)	(121.68,24.04)	121×161	15
G	(121.52,23.72)	(121.68,23.92)	161×201	15
H	(121.48,23.56)	(121.62,23.76)	141×201	15
I	(121.44,23.36)	(121.60,23.60)	161×241	15
J	(121.36,23.12)	(121.56,23.40)	201×281	15
K	(121.28,22.96)	(121.48,23.16)	201×201	15
L	(121.16,22.76)	(121.40,23.00)	241×241	15
M	(120.96,22.56)	(121.32,22.80)	361×241	15
N	(120.88,22.32)	(121.12,22.60)	241×281	15
O	(120.86,22.16)	(121.04,22.40)	181×241	15
P	(120.84,21.90)	(121.0,22.20)	161×301	15

註: ND 為 y 軸方向數值計算網格內之加密格點數

表 3.2.3 近岸區域波浪模式模擬條件

模擬區域編號	波高(m)	週期(sec)	波向(°)	潮位(m)
A	2.40	5.05	218.5	0
B	2.30	5.28	210.7	0
C	2.30	5.29	209.7	0
D	2.24	5.44	205.0	0
E	2.20	5.60	202.0	0
F	2.20	5.80	201.5	0
G	2.27	5.80	201.8	0
H	2.30	5.90	202.5	0
I	2.30	5.90	202.4	0
J	2.40	5.90	202.2	0
K	2.40	6.10	202.1	0
L	2.40	6.20	201.4	0
M	2.40	6.00	200.3	0
N	2.50	5.60	190.5	0
O	2.50	5.23	190.5	0
P	2.80	5.00	194.1	0

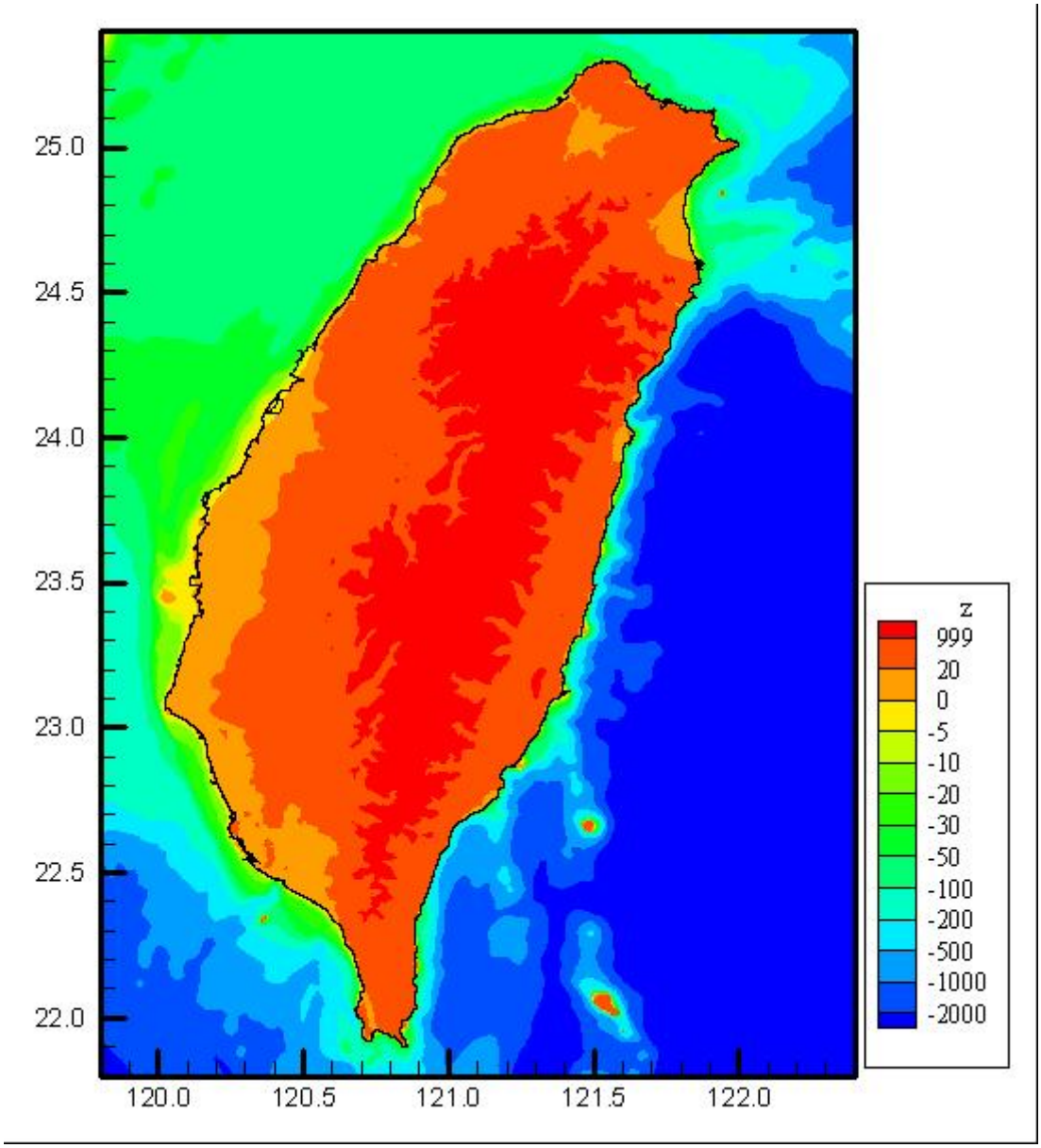


圖3.2.23 臺灣環島海域地形水深圖

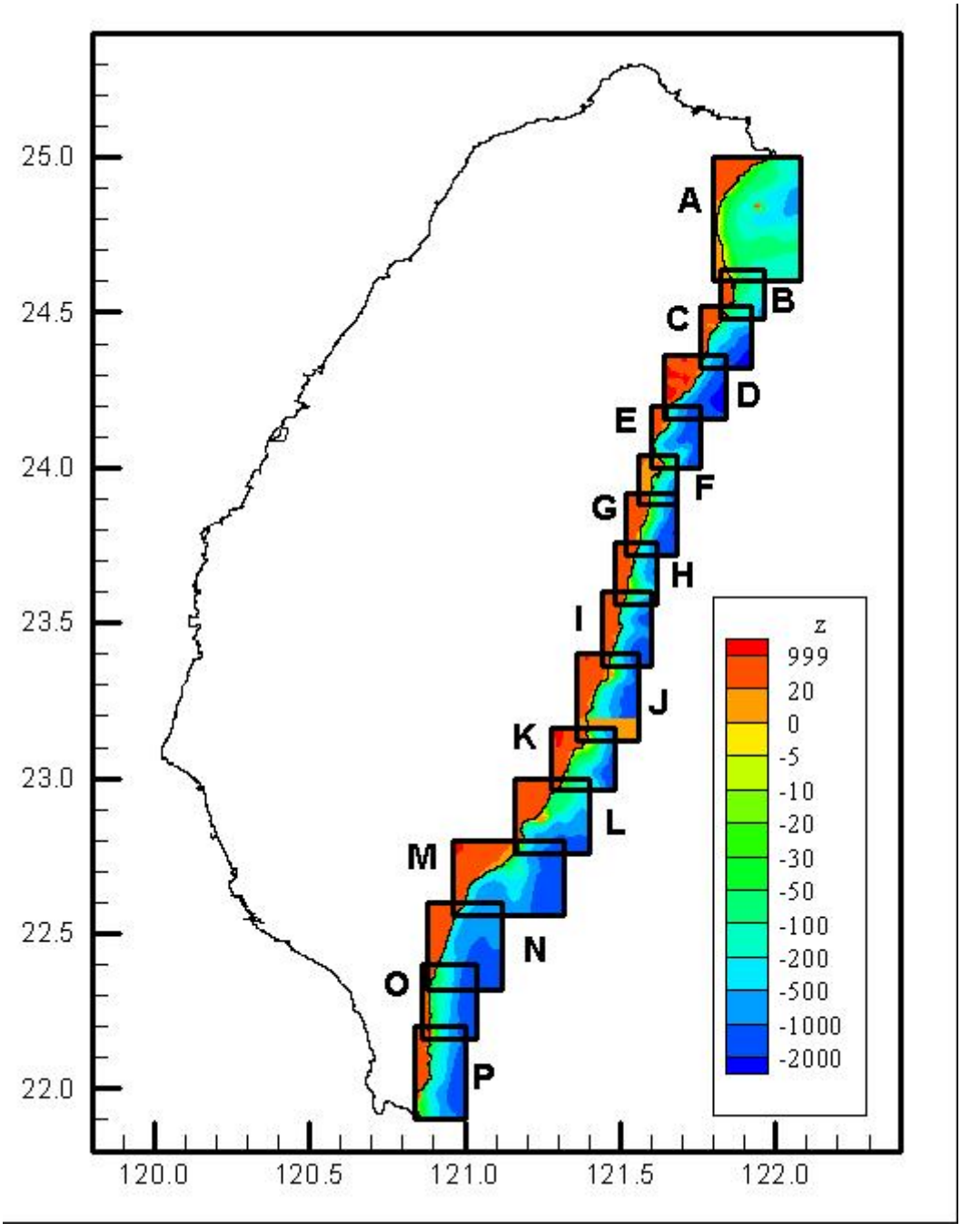


圖3.2.24 臺灣東部海岸近岸區域波浪模式模擬範圍示意圖

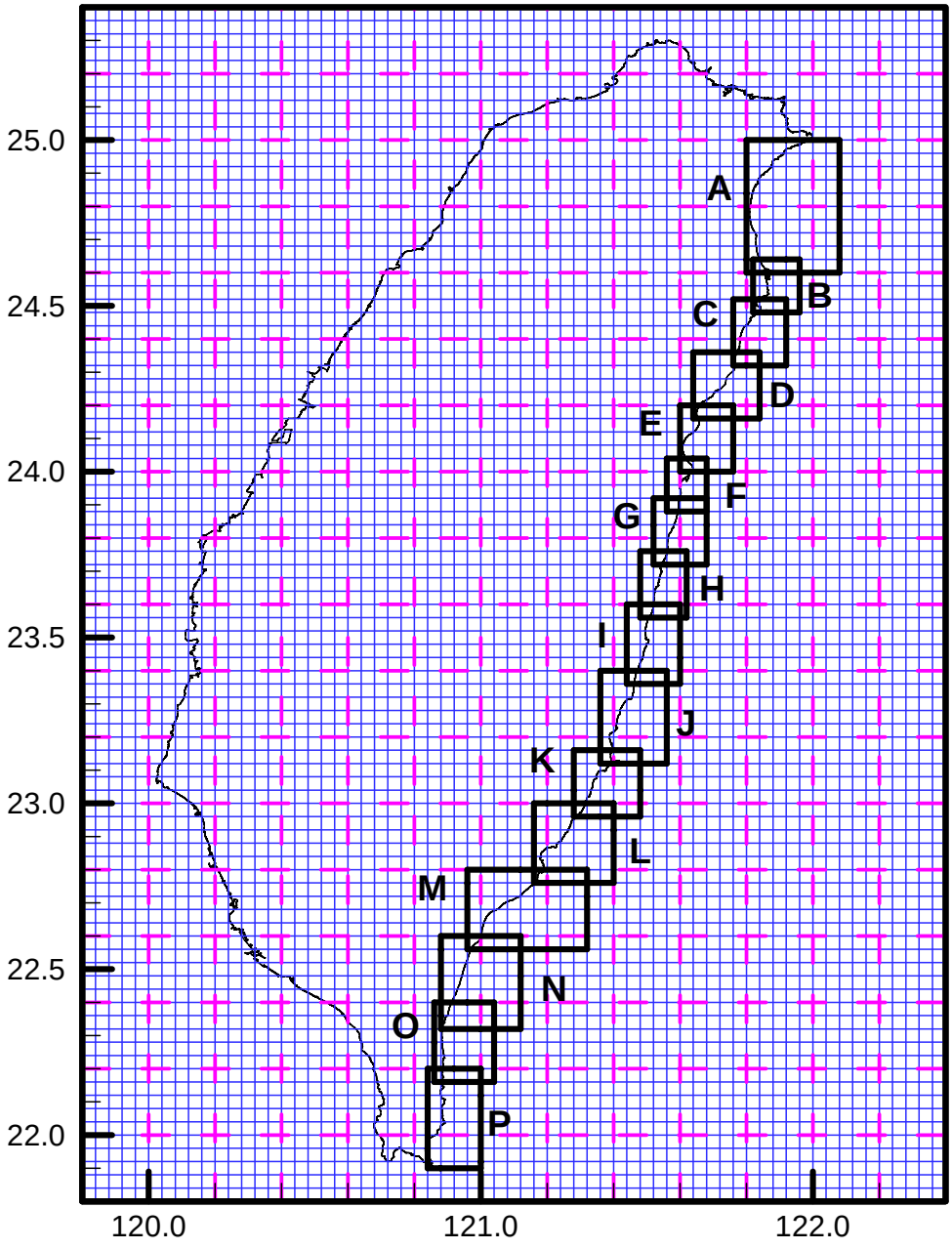


圖3.2.25 近岸區域波浪模式模擬區域與全域風浪模式SWAN(細實線)及WAM(粗虛線)數值網格相關位置圖

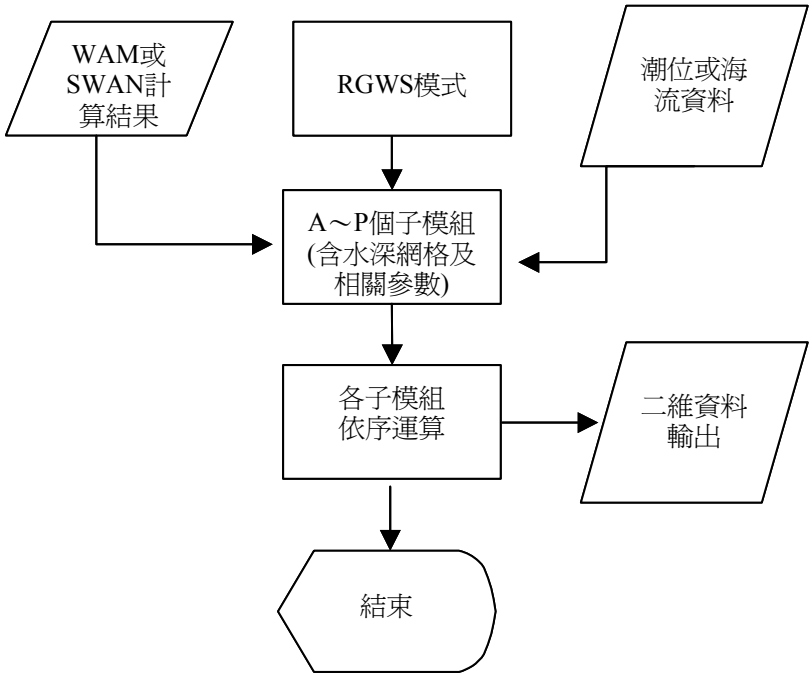


圖3.2.26 近岸區域波浪模擬系統(RGWS)計算流程

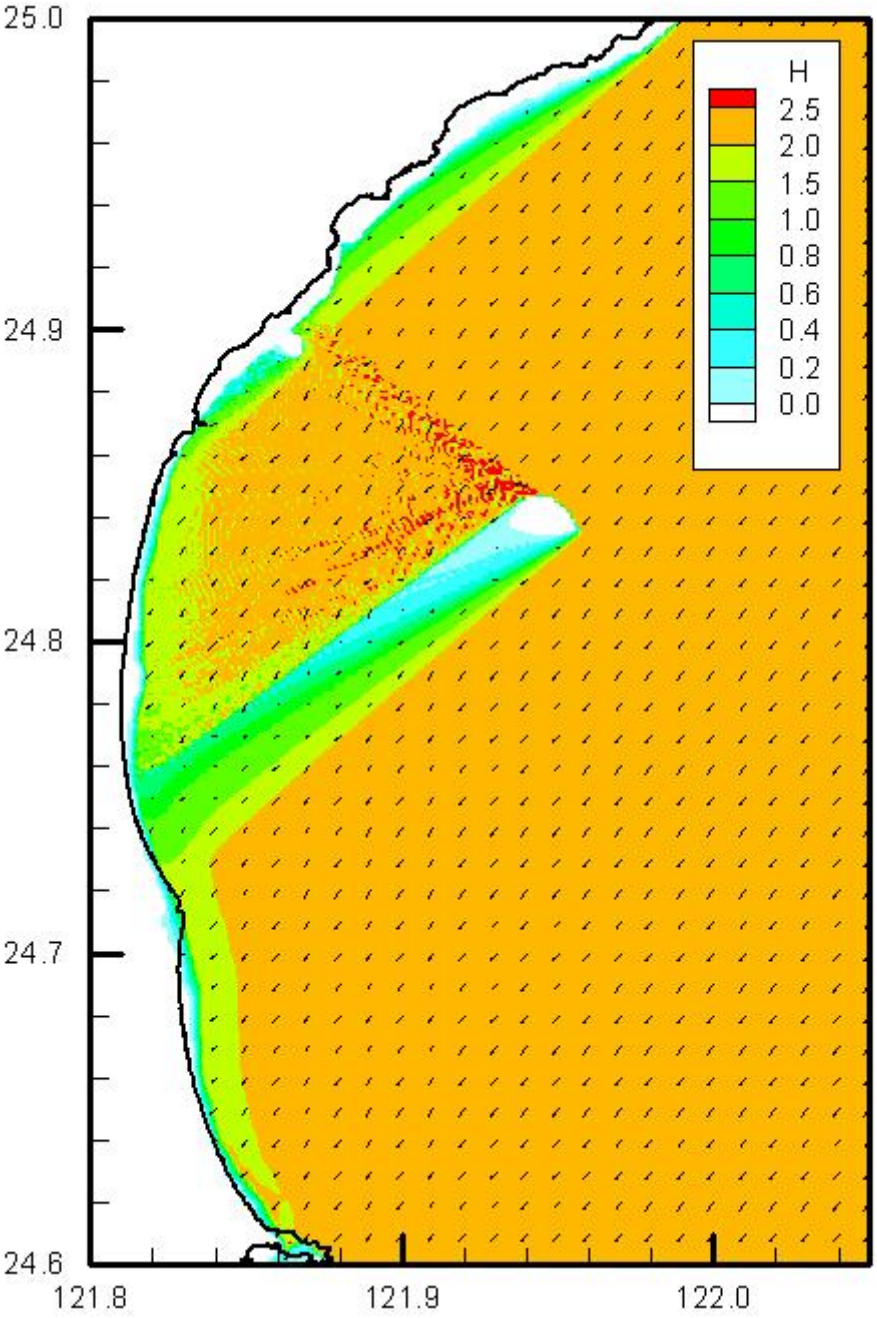


圖3.2.27 近岸區域波浪模式模擬區域A之波高及波向

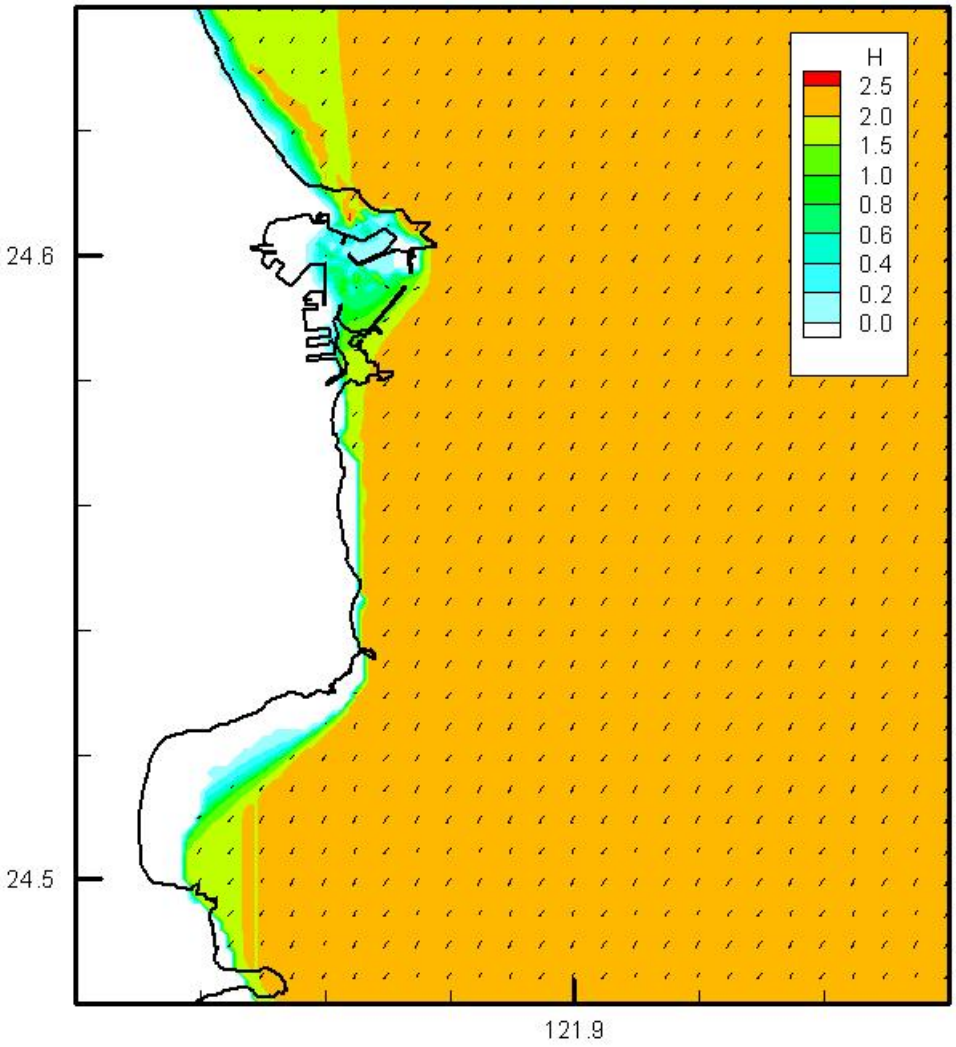


圖3.2.28 近岸區域波浪模式模擬區域B之波高及波向

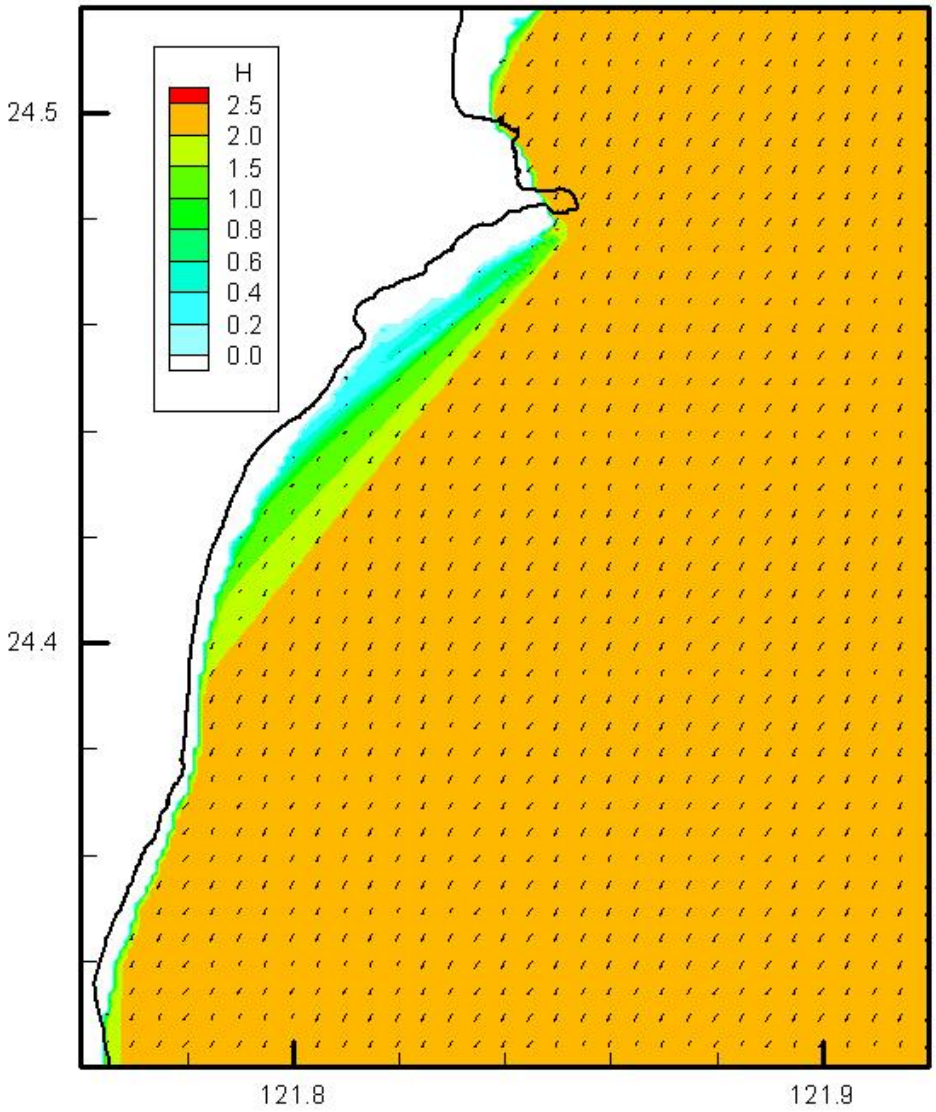


圖3.2.29 近岸區域波浪模式模擬區域C之波高及波向分佈

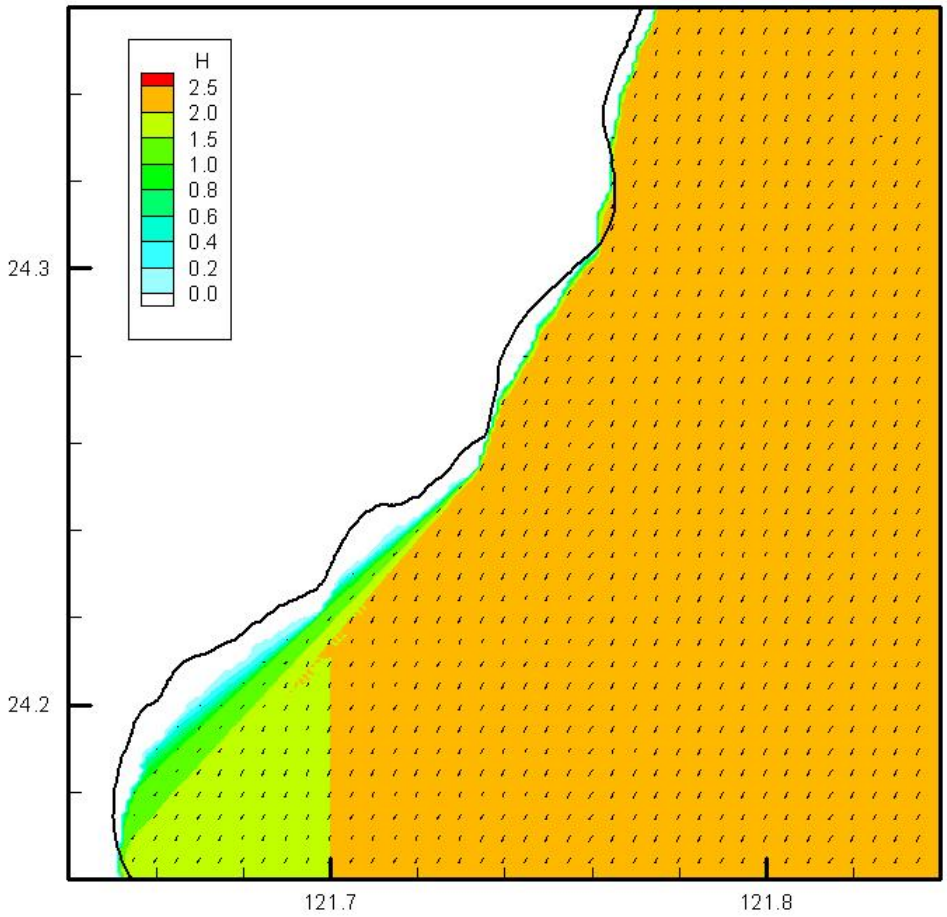


圖3.2.30 近岸區域波浪模式模擬區域D之波高及波向分佈

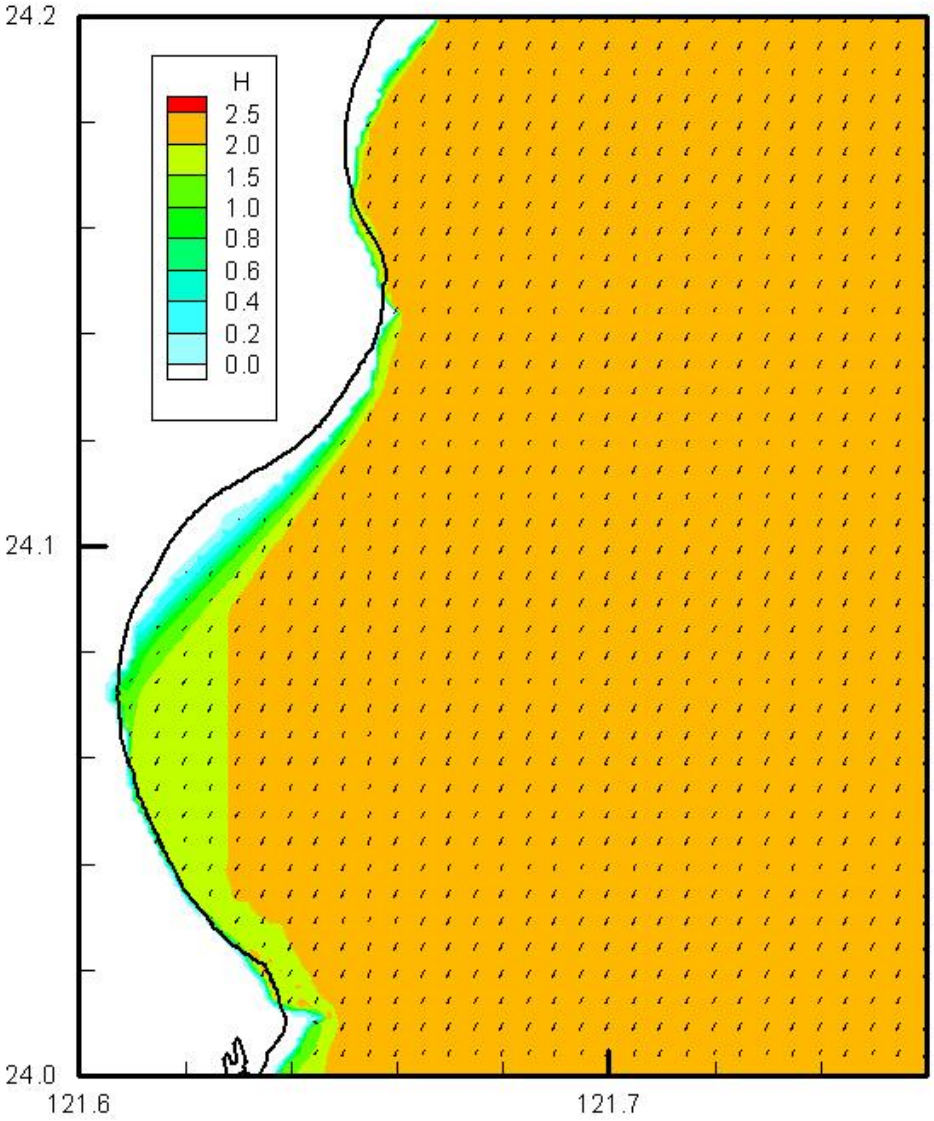


圖3.2.31 近岸區域波浪模式模擬區域E之波高及波向分佈

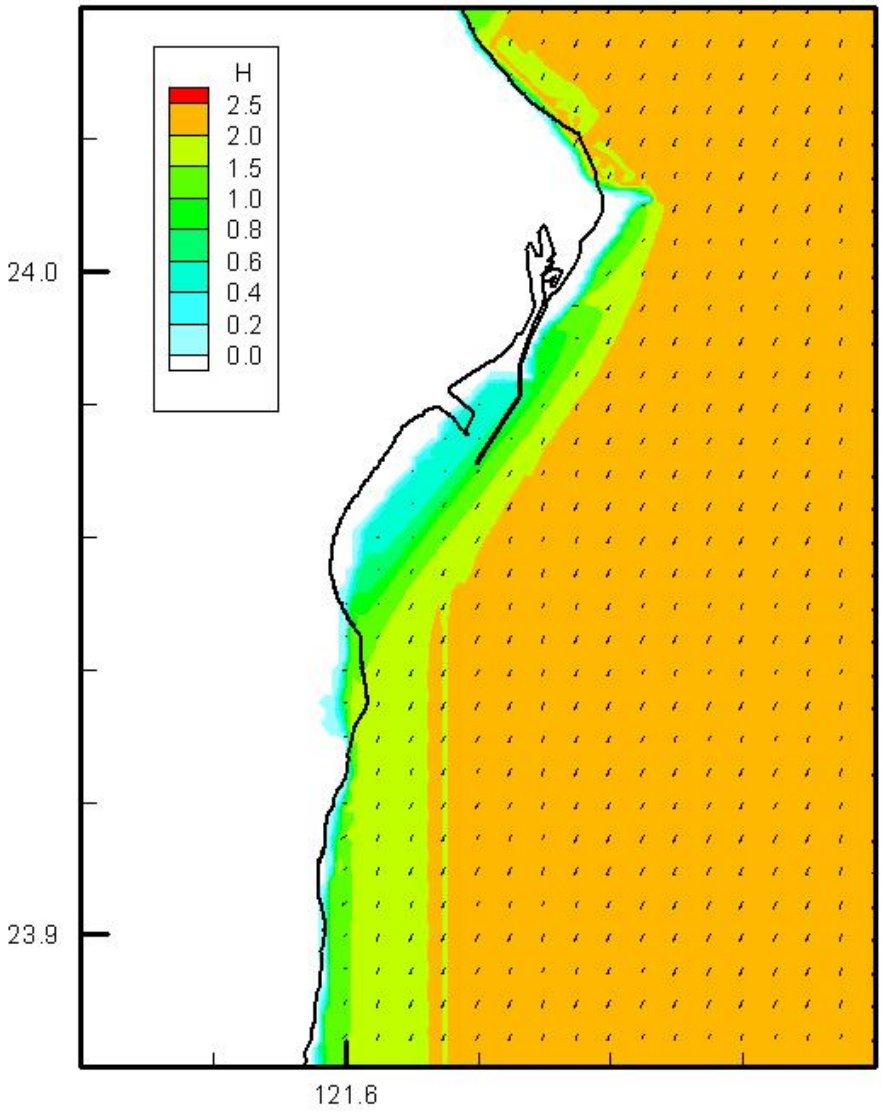


圖3.2.32 近岸區域波浪模式模擬區域F之波高及波向分佈

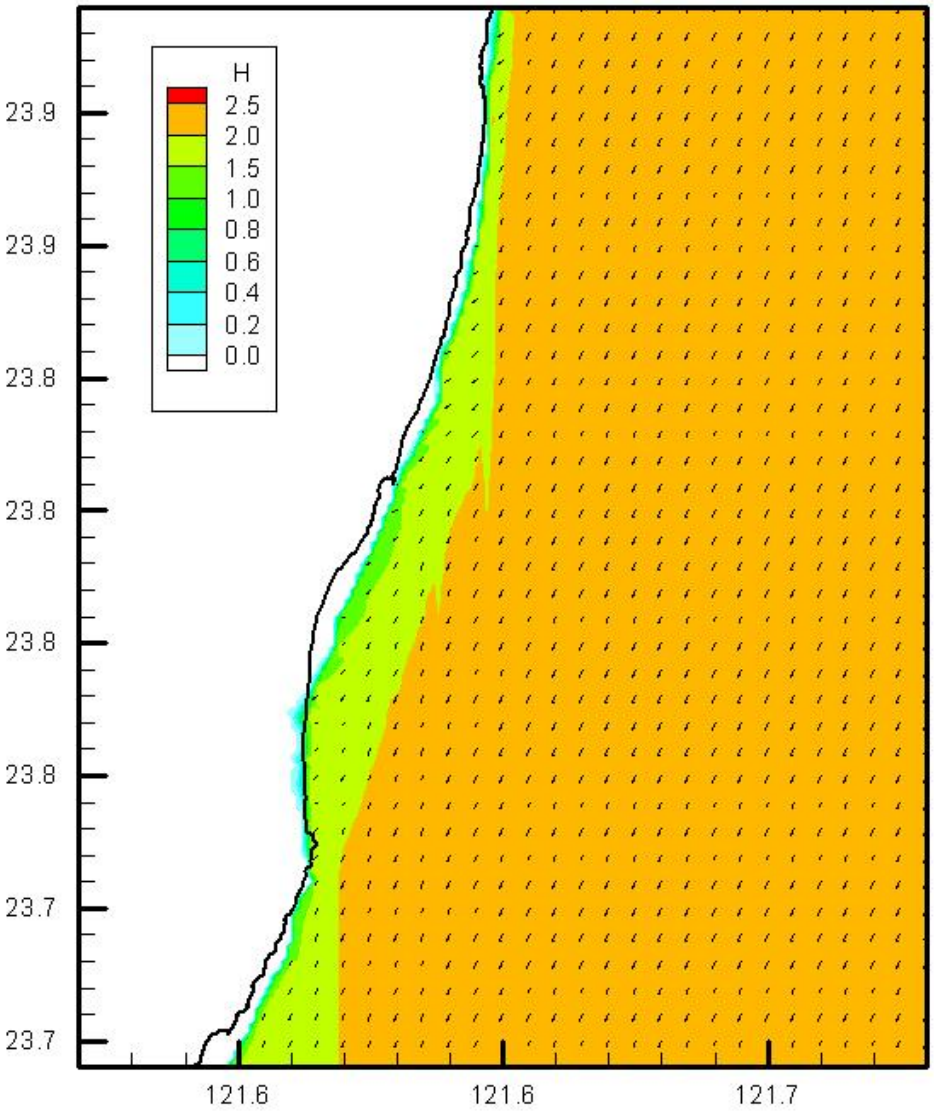


圖3.2.33 近岸區域波浪模式模擬區域G之波高及波向分佈

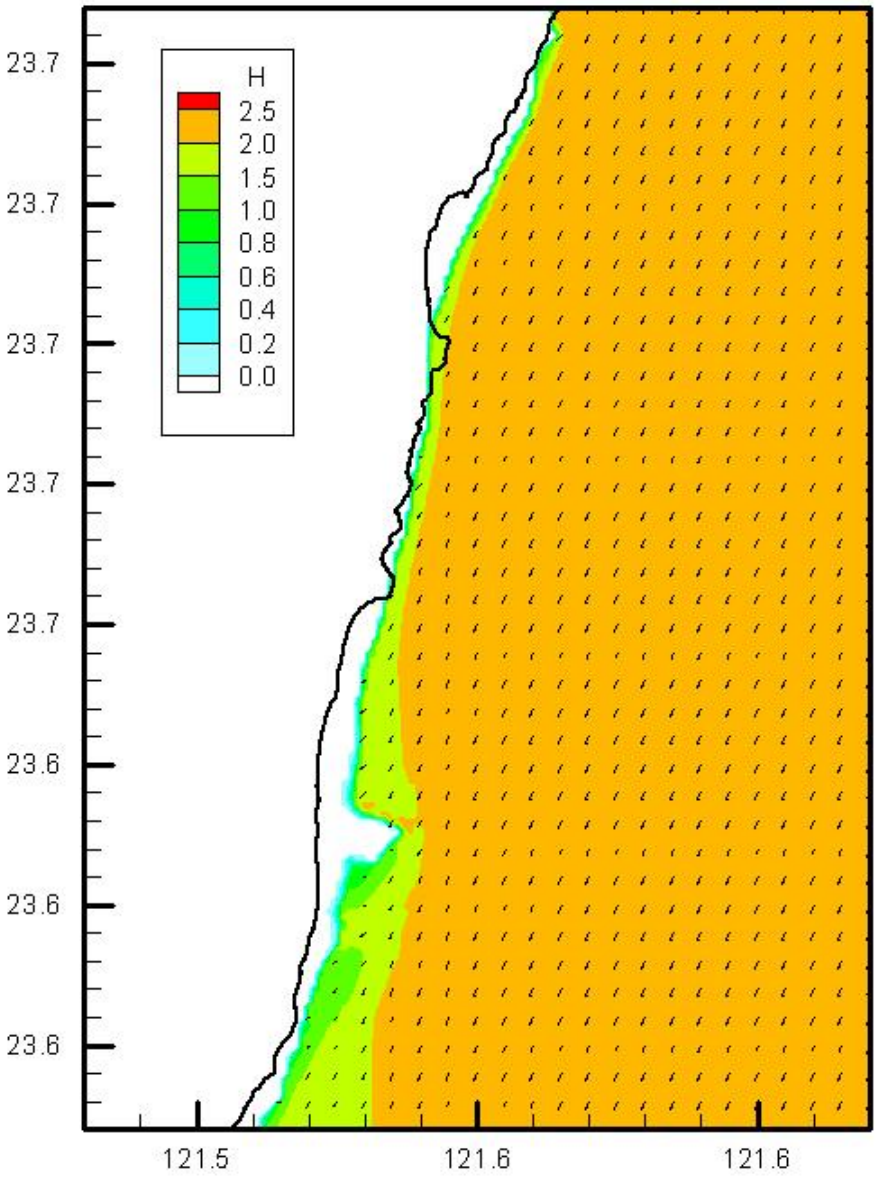


圖3.2.34 近岸區域波浪模式模擬區域H之波高及波向分佈

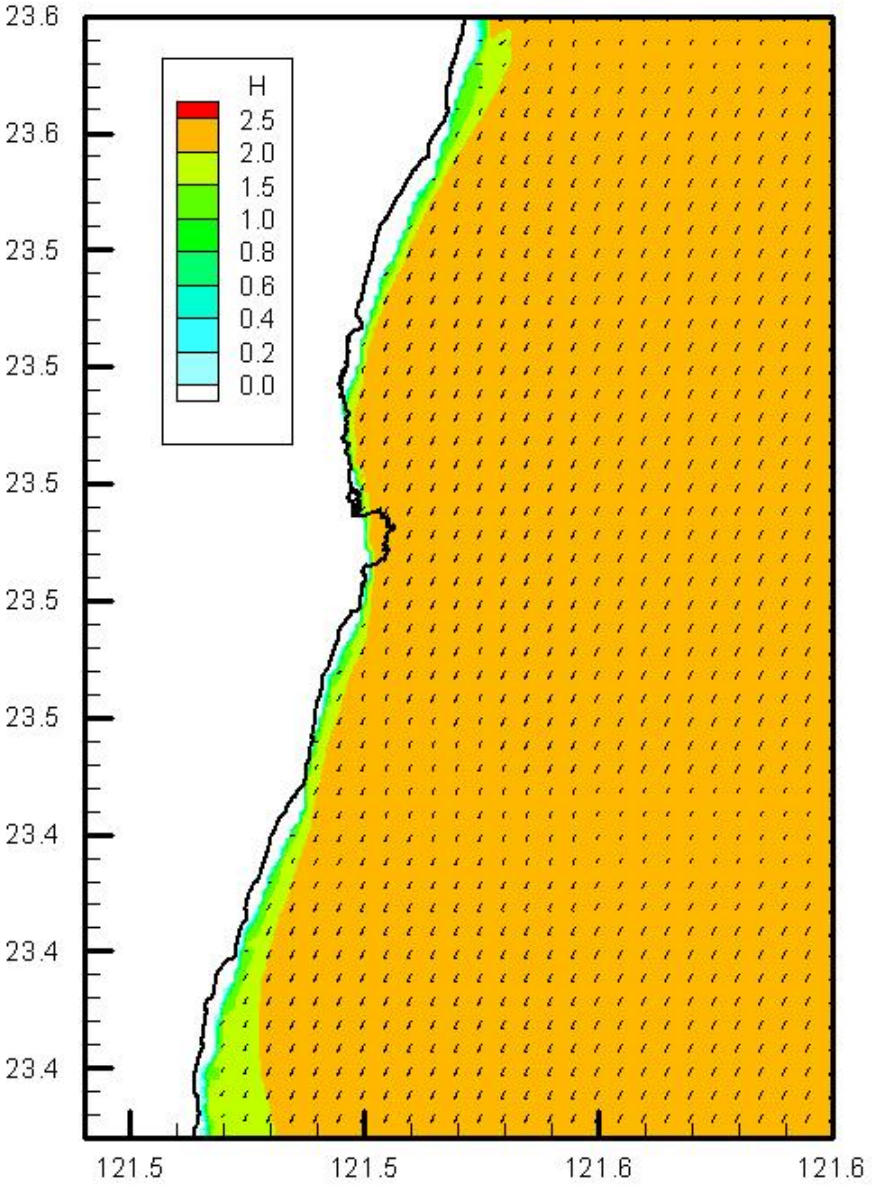


圖3.2.35 近岸區域波浪模式模擬區域I之波高及波向分佈

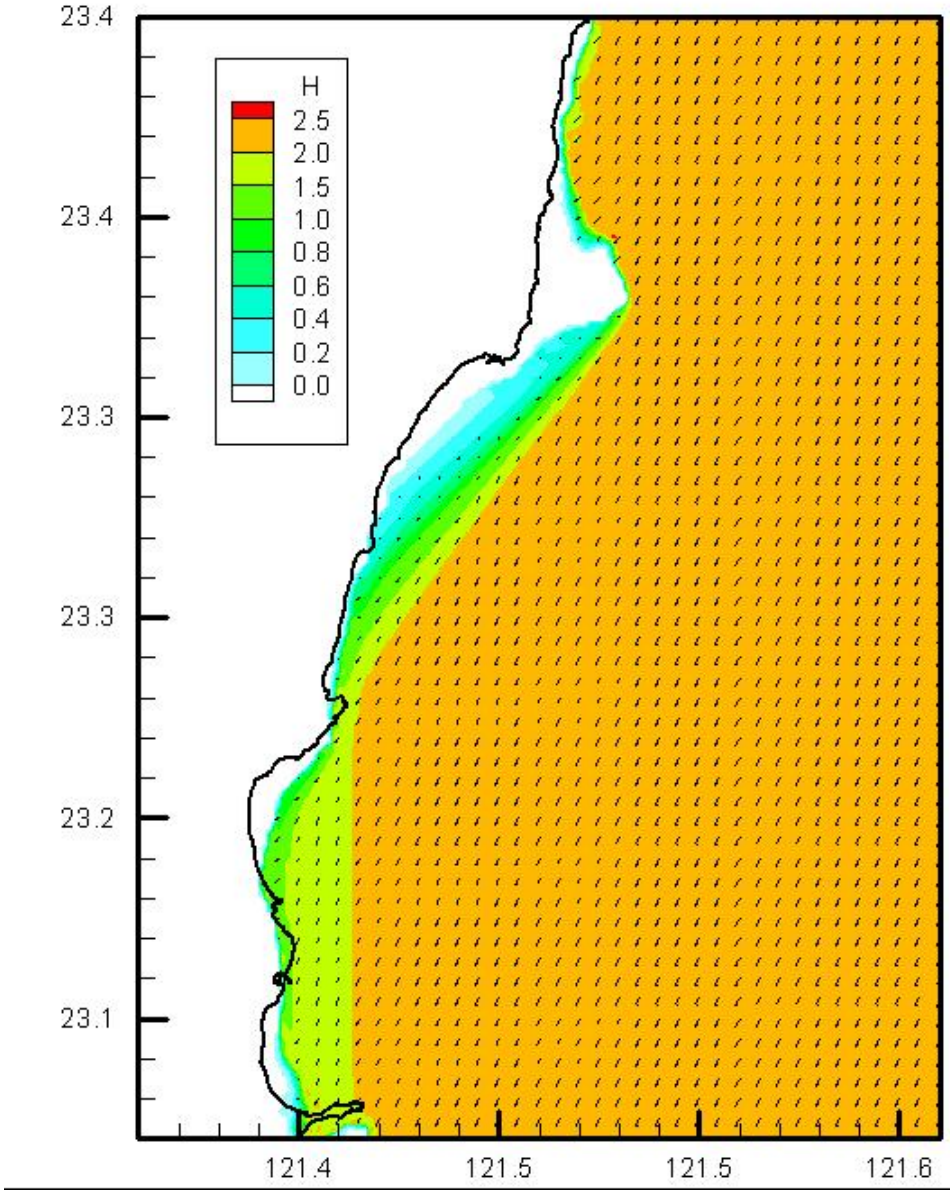


圖3.2.36 近岸區域波浪模式模擬區域J之波高及波向分佈

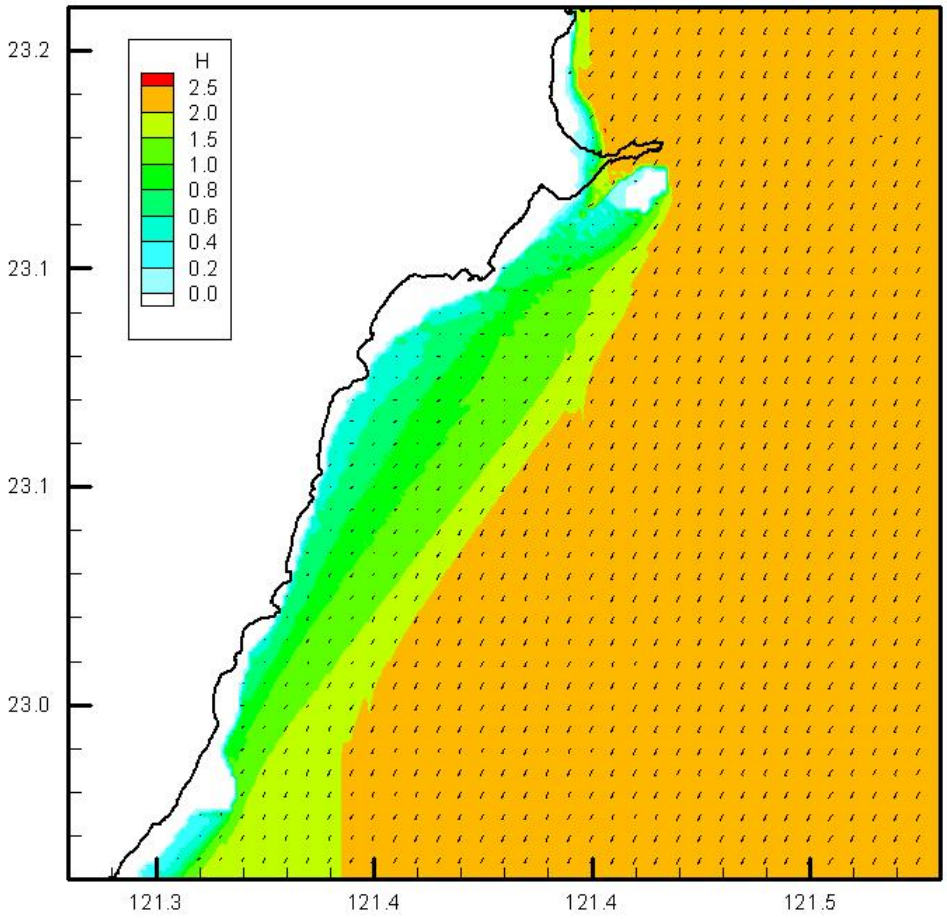


圖3.2.37 近岸區域波浪模式模擬區域K之波高及波向分佈

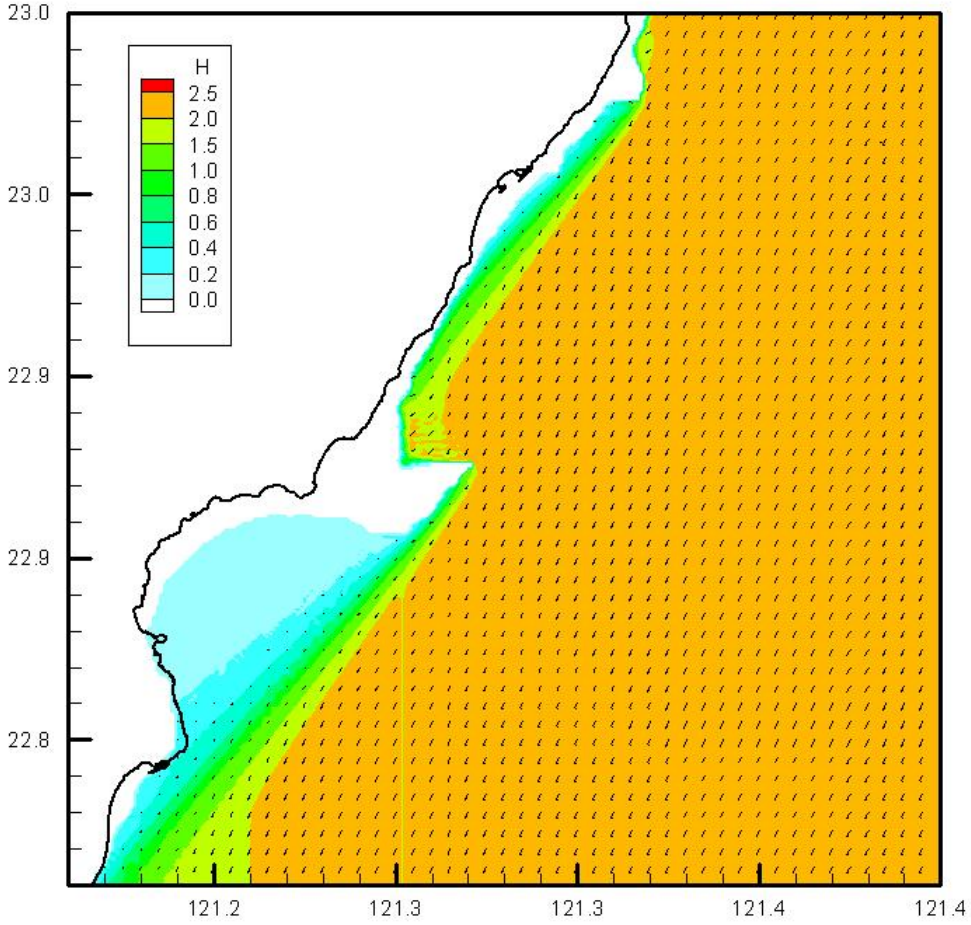


圖3.2.38 近岸區域波浪模式模擬區域L之波高及波向分佈

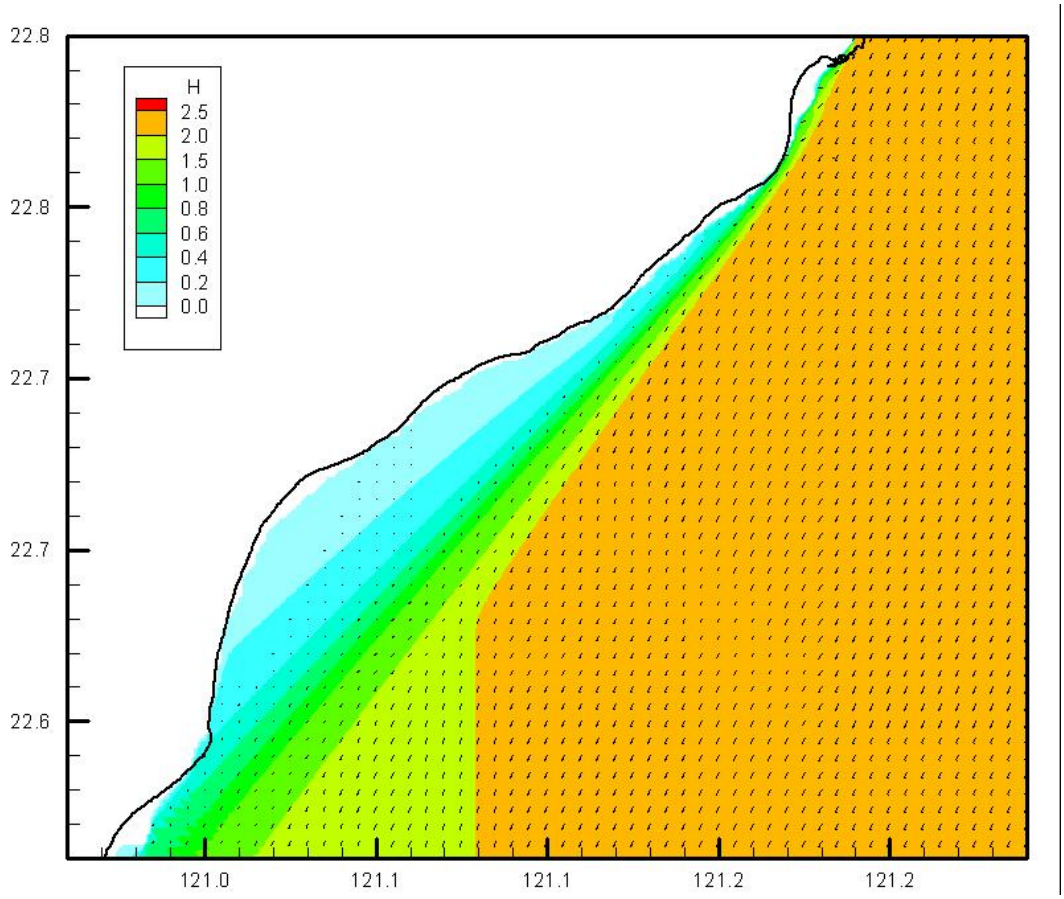


圖 3.2.39 近岸區域波浪模式模擬區域 M 之波高及波向分佈

3.3 定點類神經網路波浪模式

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 2004 年度已建構完成颱風波浪推算模式，今年度(2005)除加強模式推算的精確度外，進一步加入季節風浪之推算。

3.3.1 類神經網路颱風波浪預報系統

臺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。

對於描述非線性系統較常使用的方法包括類神經網路（NN）、模糊理論 Fuzzy system（FS）及遺傳演算法 genetic algorithms（GA），或依使用目的將三者相互的混和使用，其中又以類神經網路與 模糊理論在目前海洋工程與大氣科學的應用最為廣泛。Hajime（1995）利用類神經網路的辨識及分類的能力，以經驗公式提供訓練類神經網路的資料，判定危險與穩定安全，來檢定對海堤的穩定度。Deo(1999) 以多個區域的波浪資料，利用區域間相互的關係，以類神經網路建構出一個固定區域波浪預報模式。Lee 和 Liu (1999) 利用衛星影像數位化，藉由類神經網路的辨識能力辨識熱帶低壓、氣旋及颱風並進行分類以作為預報颱風的參考。Johnson 和 Lin (1996)利用倒傳遞類神經網路學習並且推測颱風運動路徑，並且與 ARIMA 作一比較，由比較的結果發現倒傳遞類神經網路有較好的推算結果。Hiraoka 等人(1999)模式中利用兩個模糊規則的運算，模糊規則中包括了颱風位置、颱風行進方向等交互作用規則，期望能對颱風的行進位置進行推測，達到預警的目的。

3.3.1.1 類神經網路颱風波浪預報模式

對特定臺灣區域目前發展的類神經網路預報模式系統，針對颱風波浪的推算歷年的研究包括

（1）臺灣東部波浪預警系統之應用研究—港外波浪動態特性（2000）

颱風波浪推算模式採用類神經網路，將學習颱風資料在類神經網路結構的輸入、隱藏、輸出分別建立了串聯及並聯類神經架構的兩個推算模式，並同時考慮 1 個小時波浪延時的效應。由結果發現此兩種模式除了可提高波浪推算的能力，對於相似路徑及規模相仿的颱風具有較高推算的能力，但對於未學習過的颱風，推算的颱風波浪還有較大的誤差。

（2）臺灣地區波浪預警系統之應用研究（2001）

颱風波浪推算模式利用模糊網路建立颱風波浪資料與颱風運動的模糊邏輯關係，將颱風運動型態進行分類，再配合 6 個小時的延時輸入的類神經網路組成一個完整模組化的學習模式，利用波浪及颱風資

料來增加模式的記憶及判斷能力。此計畫提出模組化的學習模式，可以隨時加入不同型態的颱風或波浪資料當作資料庫，而能提供推算模式運算的參考，增加推算不同型態颱風之颱風波浪的能力。

（3）臺灣港灣地區颱風波浪推算之應用研究（2002）

颱風波浪推算模式主要結構是混和（Hybrid）模糊理論及類神經網路，推算模式的重點為滿足各個港口的地理環境特性及相對臺灣地形的氣象關係，另一個重點是對颱風的機制或特性建立與各個測站間的關係，以提高模式應用的範圍及推算的準確性。

（4）臺灣港灣地區颱風波浪推算之應用研究（二）（2003）

颱風波浪推算模式結構混和模糊理論及類神經網路外，並對推算模式各個港口的地理環境特性及相對臺灣地形的氣象關係進行修正，此外對颱風風場作用的機制或特性，修正、建立與各個測站間的關係，以提高模式應用的範圍及推算的準確性。

由相關文獻的研究結果，建構類神經網路預報模式系統的結構如圖 3.3.1 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。

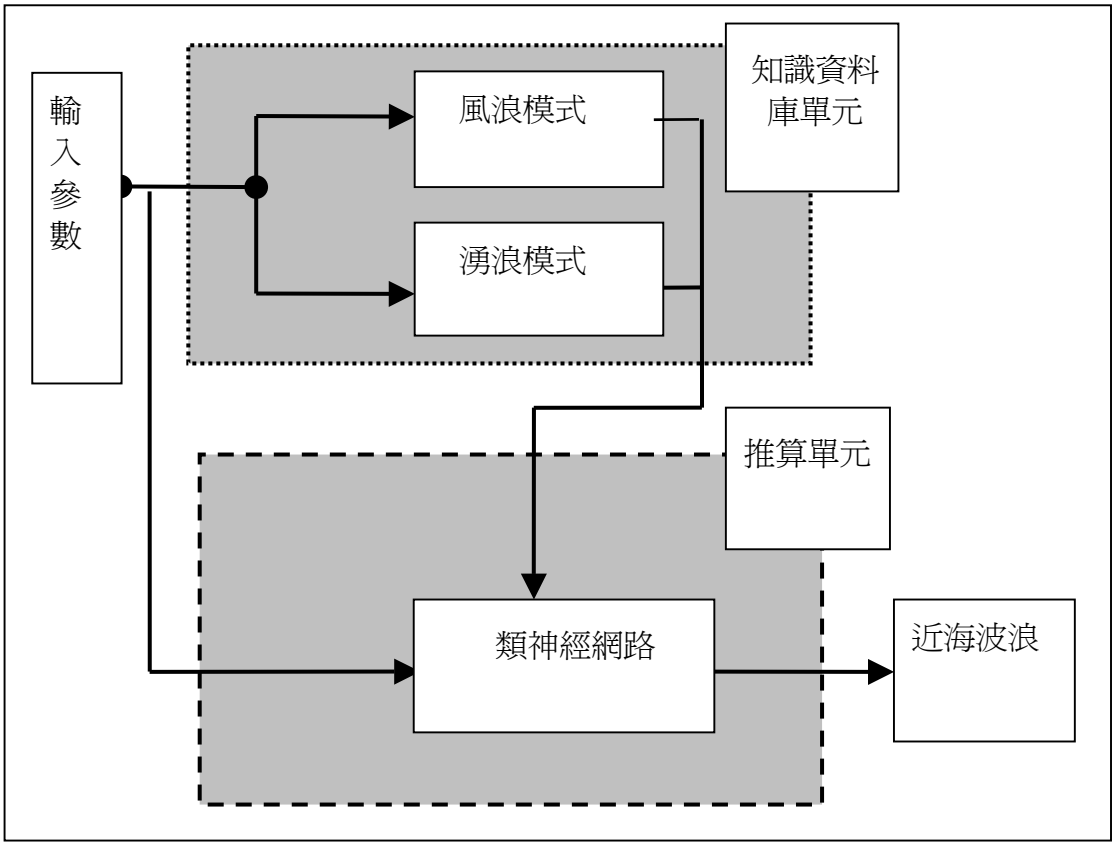


圖 3.3.1 類神經網路預報模式系統架構

為了提高波浪推算模式推算的穩定性，並且增加模式應用的範圍，模式建構的主要架構延續採用本計畫『規劃海象觀測網、暴潮數值最佳網格化系統』(2003) 第一年期的類神經模式架構外並將此波浪推算模式的架構作為修正模式建立的核心，由已知的研究成果對波浪推算模式的架構進行修正，另加入了 12 個虛擬的颱風海面上 10 公尺風速觀測點，藉以對觀測站海域風場分佈及變化有更周全的描述與反映，並將此模式的架構發展成為模組化，藉以應用在颱風波浪、水位的推測甚至模式的資料同化。12 個虛擬觀測站位置如圖 3.3.2 所示。

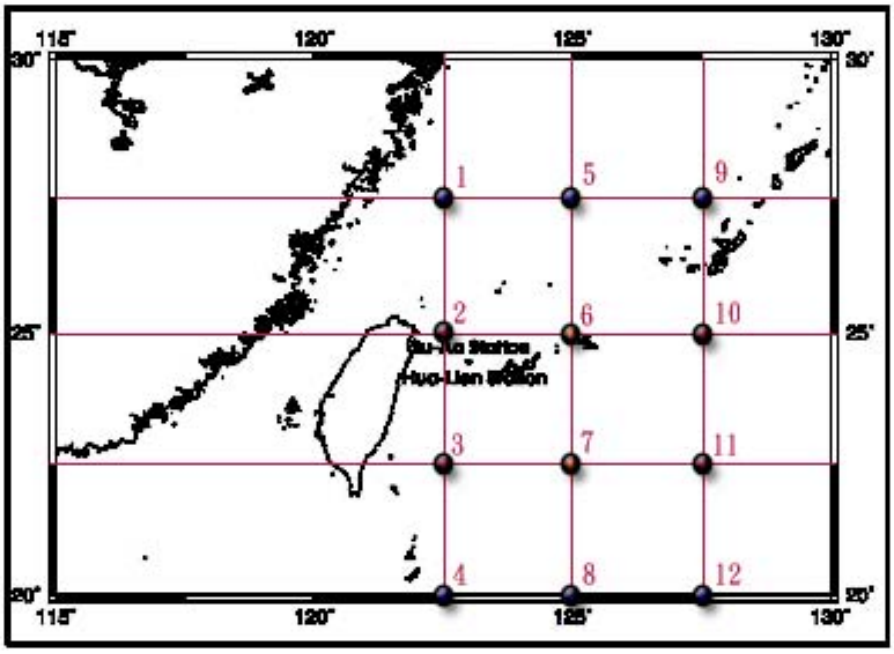


圖 3.3.2　12 個虛擬觀測站位置

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,θ,θ_1的函數線性組合

$$S(t_j)=\sum_{i=0}^{j}a_i f_1(V_{10},r,\theta\ ,\theta_1;t_i) \qquad (3.3.1)$$

式(3.3.1)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

$$H_{1/3}(t_j) = \sum_{i=0}^{j} b_i f_2 \left[S(t_i) \right] \tag{3.3.2}$$

結合式(3.3.1)及式(3.3.2)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

$$H_{1/3}(t_j) = \sum_{i=j-m}^{j} c_i f(V_{10}, r, \theta, \theta_1; t_i) \tag{3.3.3}$$

式(3.3.3)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(3.3.3)可以寫成式(3.3.4)。本文將針對式(3.3.4)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(3.3.4)的架構建立類神經網路模式。

$$H_{1/3}(t_j) = \sum_{i=j-m}^{j} c_i f(V_{10}, V_{(1)10}, \ldots\ldots\ V_{(12)10}, r, \theta, \theta_1; t_i) \tag{3.3.4}$$

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：

$$O_{P\times 1} = f(W_{S\times R} I_{R\times 1} + b_{S\times 1}) \tag{3.3.5}$$

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(3.3.5)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(3.3.1)及式(3.3.3)中的 V_{max} 、 V_f 、 V_{10} 、 $V_{(1)10}$ …. $V_{(12)10}$ 、 r 具有連續的特性， θ 為颱風中心與波浪推算位置的方位角，在颱風行進的路徑可能發生角度不連續的現象，因此類神經網路採用兩個隱藏層的架構解決不連續的問題，若將颱風示性波浪與週期合併考量於推算模

式時，因此類神經網路模式可以表示為

$$O_1 = f_1(W_{S2\times S1} \cdot f_1(W_{S1\times(R^*n)}\left[I_{1R\times 1}\right]_{n\times 1} + b_{S1\times 1}) + b_{S2\times 1}) \qquad (3.3.6)$$

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

3.3.1.2 2005 年颱風波浪之推算及檢核

本計劃於今年度選取海棠(HAITANG)、馬莎(MATSA)、珊瑚(SANVU)與泰利(TALIM)共四個颱風。其中海棠與泰利為強烈颱風，馬莎為中度颱風，珊瑚則為輕度颱風。並以此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)與氣象局(CWB)之實測資料進行模式比較分析。海棠颱風生成於東經 152.7 度，北緯 22.9 度，其七級暴風半徑約為 280 公里，接觸宜蘭東澳陸地時，臺北附近有 13 級強風發生。海棠颱風接近臺灣時，於花蓮外海打轉一圈後再進行登陸。受到地形影響，底層環流向南，高層環流向西，導致高低層環流風向不一致，相互拉扯，由於海棠本身的強度夠，高低層牽制，位於低層的颱風中心，出現了打轉的現象。繞完一圈之後，上下層環流的風向再度趨於一致，因此也就恢復為原有的路徑，登陸臺灣。馬莎颱風生成於東經 135.5 度，北緯 10.4 度，其路徑由北臺灣海域通過，而珊瑚颱風生成於東經 129.6 度，北緯 14.5 度，其路徑由巴士海峽海域通過。

而泰利颱風生成於東經 142.7 度，北緯 12.8 度，其七級暴風半徑約為 250 公里，接觸花蓮陸地時有 15 級強風發生，且其高低層結構開始出現分離狀況，因而減弱為中度颱風；低層環流中心從宜蘭與花蓮間進入陸地以後，已經減弱消失，由臺中西方外海逐漸醞釀出的副低壓中心取代，朝西北擺盪移動。兩者皆由臺灣東部登陸再穿過中央山脈，由中部地區出海並至福建沿海地區，颱風路徑圖示如圖 3.3.3。其颱風中心皆因中央山脈的影響，有颱風中心的分離及變化的現象，由此造成颱風風場的改變，進而陸地及沿海地區造成較大影響與災害，

特別是沿海地區的風浪的變化使堤防遭到破壞。

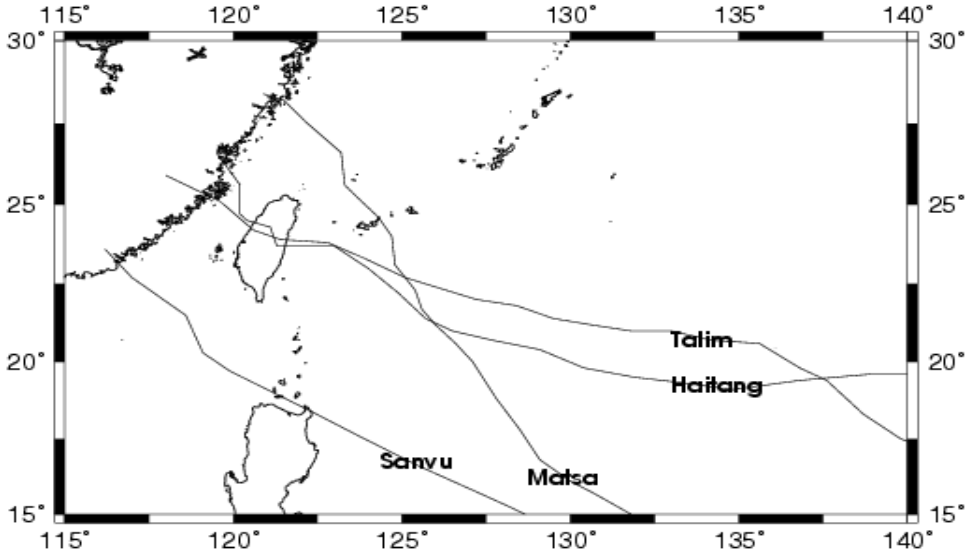


圖 3.3.3 颱風路徑圖

針對 2005 年生成的颱風進行模式推算分析，並以類神經網路波浪推算模式將針對花蓮及蘇澳觀測站附近海域進行模擬。其推算結果示如圖 3.3.4 至 3.3.11。其中圖 3.3.4 為花蓮測站的推算結果與實測值之比較，由圖中可看出港研中心實測資料之最大示性波高為 7.11 公尺，其中資料間斷 31 小時後再有波浪紀錄，氣象局實測資料之最大示性波高為 9.47 公尺。而模式推算最大示性波高則為 7.32 公尺，與港研中心資料最大值發生時間早 12 小時，與氣象局資料則早 4 個小時。而蘇澳測站之推算結果示如圖 3.3.5。由圖中可知港研中心實測資料最大示性波高約為 8.54 公尺，而氣象局資料則為 9.25 公尺。模式推算波浪最大值約為 6.63 公尺，兩個單位的實測資料只記錄到 7 月 18 日，往後即無資料紀錄。最大值發生時間間隔，模式晚於港研中心資料約 8 小時，晚於氣象局資料則約 9 小時。由於颱風於宜蘭地區登陸，因此由實測資料可知蘇澳之颱風波浪大於花蓮之觀測值，此後由於實測資料遺缺的影響，無法得知該段時間內的颱風波浪的變化情形，但是由於海棠颱風打轉及其停留的時間等現象，使得模式推算結果於蘇澳地區，風浪

出現有兩個峰值之結果，與颱風動態現象略有符合。

圖 3.3.6 至 3.3.7 為花蓮及蘇澳測站之馬莎颱風波浪推算，與實測波浪分析圖。其中圖 3.3.6 模式之最大波高為 4.40 公尺，氣象局實測最大波高則為 3.32 公尺，模式發生最大波高時間早於實測資料約 9 小時，整體推算結果與實測資料之相關係數約為 0.81。圖 3.3.7 由觀測值資料顯示有兩個峰值，模式之最大波高為 4.50 公尺，氣象局實測最大波高則為 4.58 公尺，模式發生最大波高時間晚於實測資料約 9 小時；另一峰值模式是性波高為 4.15 公尺，實測資料則為 4.23 公尺，兩者發生的時間為同時。推算時間序列與實測資料之相關係數約為 0.82。

圖 3.3.8 至 3.3.9 為花蓮及蘇澳測站之珊瑚颱風波浪推算，與實測波浪分析圖。其中圖 3.3.8 模式之最大波高為 3.79 公尺，氣象局實測最大波高則為 2.87 公尺，模式發生最大波高時間早於實測資料約 11 小時，整體推算結果與實測資料之相關係數約為 0.85。圖 3.3.9 模式之最大波高為 3.73 公尺，氣象局實測最大波高則為 3.94 公尺，模式發生最大波高時間早於實測資料約 3 小時，時間序列與實測資料之相關係數約為 0.85。

另外本模式亦推算泰利颱風於花蓮與蘇澳之結果，示如圖 3.3.10 至 3.3.11，由圖 3.3.10 中可知港研中心觀測波浪最大值為 7.62 公尺，氣象局資料則為 4.96。模式推算則為 4.47 公尺。由模式及實測結果可知，最大值發生時間，模式約晚港研中心資料 4 個小時，於氣象局資料約晚 6 個小時，氣象局資料於花蓮之波浪只紀錄至 8 月 31 日。由圖 3.3.11 可知，模式推算最大波高為 6.56 公尺，氣象局觀測最大波高則為 7.75，模式約晚氣象局資料 12 個小時。及蘇澳，由於泰利颱風亦產生兩個颱風中心，於分離過程中類神經模式之颱風波浪無法完整描述其過程，導致峰值之推算誤差較大之故。

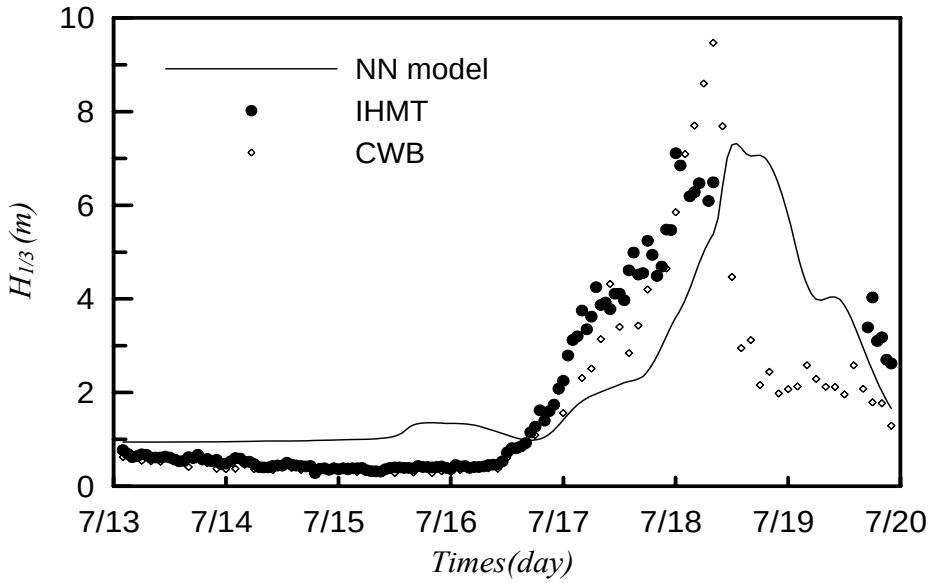


圖 3.3.4 花蓮測站海棠颱風神經網路模式推算與實測值比較

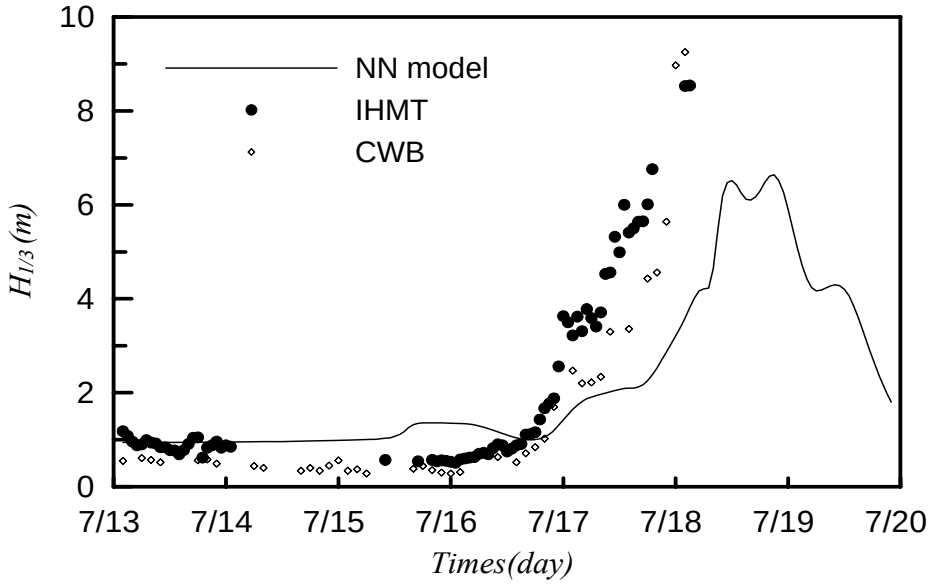


圖 3.3.5 蘇澳測站海棠颱風神經網路模式推算與實測值比較

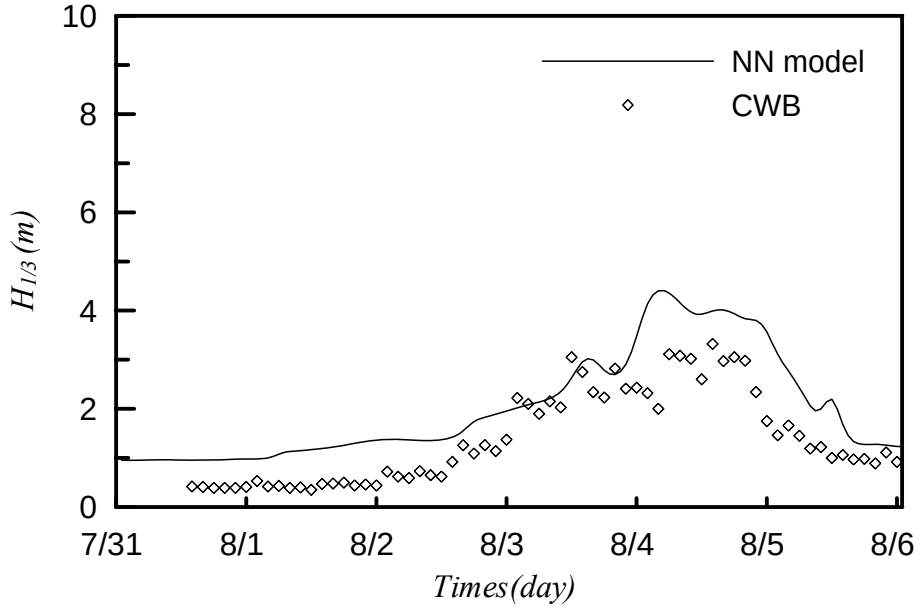


圖 3.3.6 花蓮測站馬莎颱風神經網路模式推算與實測值比較

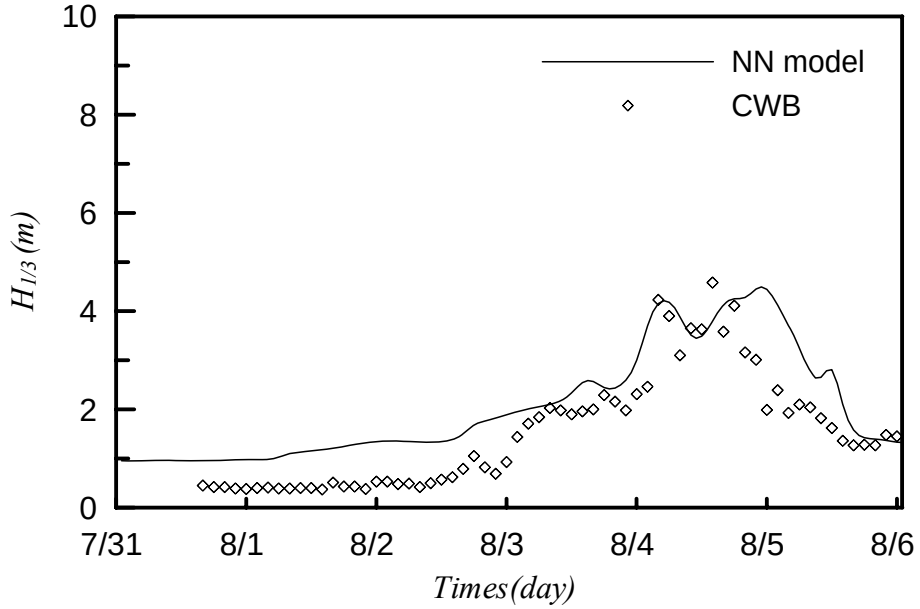


圖 3.3.7 蘇澳測站馬莎颱風神經網路模式推算與實測值比較

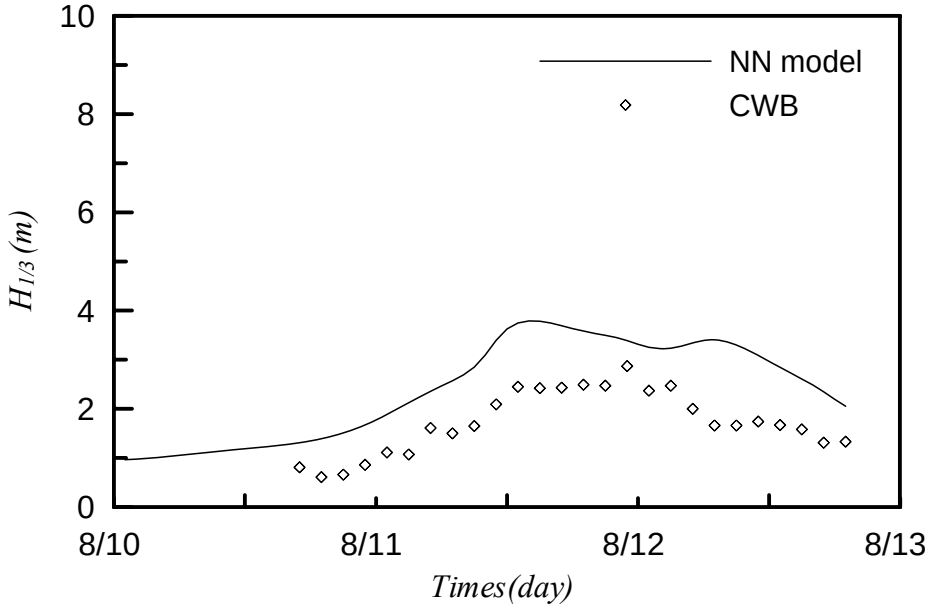


圖 3.3.8 花蓮測站珊瑚颱風神經網路模式推算與實測值比較

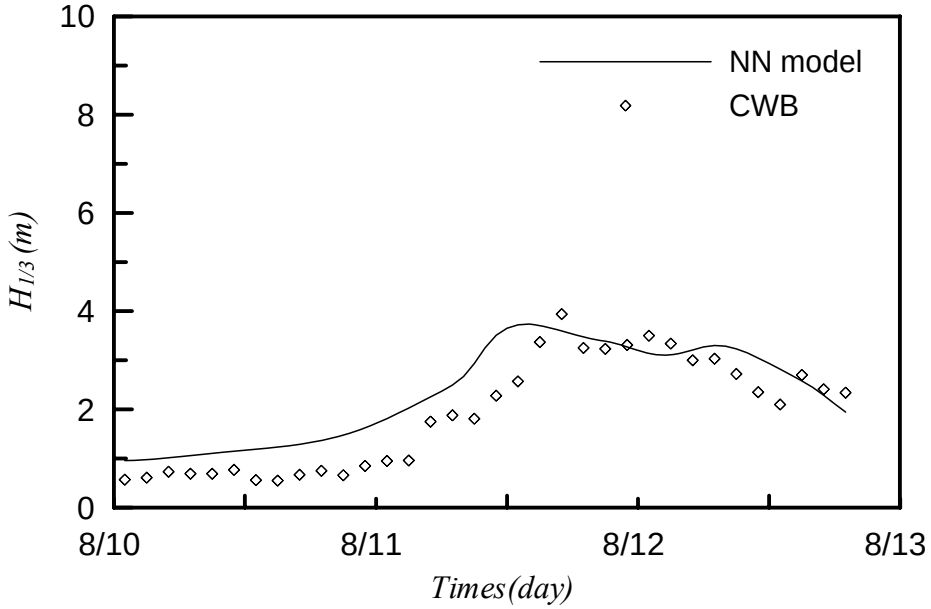


圖 3.3.9 蘇澳測站珊瑚颱風神經網路模式推算與實測值比較

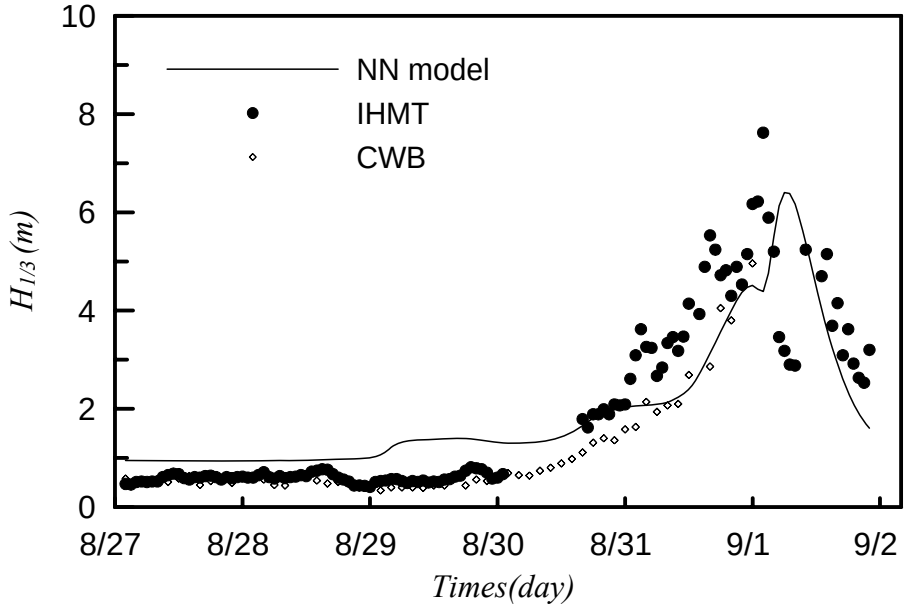


圖 3.3.10 花蓮測站泰利颱風神經網路模式推算與實測值比較

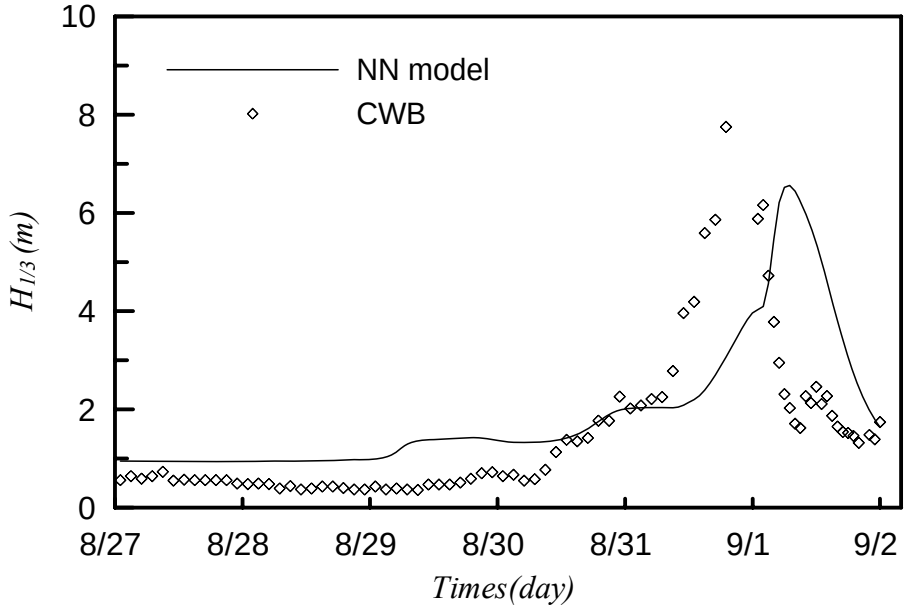


圖 3.3.11 蘇澳測站泰利颱風神經網路模式推算與實測值比較

3.3.2 類神經網路季風波浪預報系統

海島的臺灣，其位置正處於歐亞大陸與太平洋之交會地帶，因為陸地對熱的反應遠比海洋大，在冬季時，北半球吸收太陽熱量較少，陸地散熱較快，因此其氣溫下降較海洋多，尤其是高緯度且廣大的西

伯利亞地區，終年為冰雪覆蓋，降溫更劇烈，降溫後的空氣密度增大，形成龐大的高氣壓，產生順時針旋轉向外的氣流，形成東北季風，其範圍伸展至亞洲南方。於夏季時，因為亞洲內陸接受太陽熱量後，陸地因此較海洋熱，其溫度迅速增高，形成一廣大的低壓區，使得印度洋之空氣吹向陸地，形成西南季風。因此臺灣常會有季節風之變化進而影響海面波浪，特別是冬季時東北季風的強風，每當有強大的極地大陸氣團南下時，常使海上風力快速增強，強烈陣風可達 10 級以上，其風力並不亞於颱風，這些頻繁的災害性天氣現象，對於在海上作業的漁民造成極大的危險，而造成生命財產之重大損失，因此須研究季節風與其所造成波浪之特性以減少災害。此外在研究海岸工程、海洋環保及海洋資源開發等課題時，首先必須對當地之波浪有相當程度地了解。

往昔對於風浪的預測，已有相當多的研究，鑑於風與波高的不確定性，預測的成果也相當有限。國內多位學者(侯和劉，1982)也曾以統計分析之方法，收集往昔之風速及相對應時間波浪，建立兩者之線性關係，利用迴歸公式，便可簡單的推算波浪，但是這些統計模式皆具有地域性，且風速較小時，波高可能會產生負值等不合理的現象。

然而既有的物理方法及統計模式雖然廣為使用，但其仍有模式難以架構、需要較多的資料、及參數不易求取等缺點。而類神經模糊系統卻具有學習演算及非線性最佳化之優點，且容易適應新的資料，即使輸出與輸入參數之間的關係是相當複雜的，仍然比一般傳統之統計迴歸方法較佳。故本文利用類神經模糊系統，來建立季節風與波浪的關係以進行波高的推算，達到長期預報的能力。

有關風浪成長起源自十九世紀初，Jeffreys(1924，1925) 提出遮蔽學說(Jeffreys sheltering hypothesis)，假設海面之氣流通過波浪表面，在波峰處形成向風與背風面之壓力差，因而促成波浪成長。Phillips (1957)則提出共鳴機制(resonance mechanism)的學說，說明風吹海面時，由於風的紊流(turbulent flow)特性，所以海面受不均勻之壓力，致使水面形成波動，而壓力與波動都可以藉由不同頻率的成份來描述，當兩者中

同一頻率的成份開始發生共振時，該頻率的波動成份隨時間呈線性成長，但因其假設壓力結構不受所生水面波動影響，而實際上波浪產生後必定改變波浪表面之壓力場，所以無法進一步描述波浪產生後的成長現象。Miles (1957) 提出剪力流理論(shear flow hypothesis)，假設海面上之平均風速依對數形式分佈，當水面引入小振幅波動時，原平行氣流受擾動，隨之產生波動速度及相對的雷諾應力，透過雷諾應力的向下傳遞，風會損失能量與動量，最後由與波面斜度同位相的壓力分量將能量傳輸至波動，使波浪隨時間成指數成長。隨後 Miles (1960) 將剪力流理論與 Phillips 共鳴機制結合，以描述波浪初期線性成長及後來主要的指數成長,此聯合模型則為現今成長的主要理論。

波浪推算模式始於二次大戰後期，模式一般可分為示性波法(significant wave method)及波譜法(wave spectrum method)，前者是將變動之海洋波浪以示性波來描述，將波浪大小與風速、吹風歷時、吹送距離等參數關係。至於波譜法(wave spectrum method)則是應用波浪能量平衡方程式為其控制方程式，並配合波浪傳遞後各種物理過程來加以推算。示性波法有較早的 SMB(Sverdrup and Munk，1947；Bretschneider，1952)方法，是將波浪大小與風速、吹送距離，坐定量關係分析，此方法導入統計代表量的示性波概念來描述隨機海面波浪，理論架構包括風浪發生、發達、傳遞及減衰等連串現象的系統推導，最後建立示性波波高及週期與風速吹風速離、延時等公式。若主風向及主波向不是一致時，假設其夾角為 ，風速則修正為 ，此種推算方法稱為 Donelan-JONSWAP 推算法。

模糊理論與類神經網路的應用在海洋工程方面，國內外近年來也有許多。Deo et al. (2002) 應用類神經網路建立易取得之波浪參數與分佈參數(spreading parameter)間的關係，來分析波浪傳遞之波向。Deo et al. (2003) 利用類神經網路以深水波高、深水週期及底床斜率等參數，預測深水波淺化後碎波波高及碎波水深。期間，類神經網路運用在風浪推測模式上的研究有，Deo et al. (2001) 以類神經網路建構一簡單風浪預報模式，直接採用風速資料去推求波高與週期，由其預測結果的

相關係數 (Correlation Coefficient) 發現似未能獲得令人滿意的結果。在波浪推算方面，Deo et al. (1999) 曾以類神經網路作波浪的即時預報，結果顯示類神經網路在波浪的預報上比 AR 統計模式有較良好的表現。上述關於類神經網路在波浪推算應用方面，都是基於波浪具有時序列的特性，因此利用類神經網路預測時序列可得不錯之結果。Johnson 和 Lin (1996)利用倒傳遞類神經網路學習並且推測颱風運動路徑，並且與 ARIMA 做一比較，由比較的結果發現倒傳遞類神經網路有較好的推算結果。Hiraoka 等人(1999)利用兩個模糊規則對颱風的行進位置進行推測，而模糊規則中包括了颱風位置、颱風行進方向等交互作用規則。錢等 (2000，2001，2002) 近年來利用類神經網路及模糊理論推算颱風波浪，以三種不同影響參數之模式來模擬颱風波浪。

因此，本研究將採用模糊理論及類神經網路為主要架構，利用模糊理論及類神經網路能處理有時變、非線性關係與不確定事件的優點，藉由分析季節風風場特性，來建立季節風與波浪的關係，達到長期預報的機制。

3.3.2.1 資料收集

本研究所收集之 2001-2002 年季風與示性波高資料是中央氣象局所屬的花蓮資料浮標測站的數據。花蓮的資料浮標位於花蓮七星潭外海 0.5km，水深 30m 處。風速、風向和波高資料均為每兩小時一筆的格式，但其中有部份資料缺失。為了將短時間之不完整資料作部分補遺，本文利用多項式三次內差方式（Lagrangian formula），進行資料補遺，風向資料的缺漏是利用前後兩筆所測得的風向平均，使其缺漏之風向資料與其前、後筆的風向，經過補遺風向之後變動不會超過 180°，而維持在一致的風向。

3.3.2.2 影響季節風示性波浪之風的參數

本研究主要是利用季節風的資料來推估示性波高，因此在進行季節風波浪預報模式之資料分析前，須選定季節風的資料中可能會影響波浪之風的參數。根據 SPM(Shore protection manual，1978)風浪成長之

經驗公式，顯示示性波高與風速、風域(Fetch)及延時(Duration)有關，Donelan(1980)提出風向與主波向修正的公式。由此結果說明影響示性波浪風的參數為：

1. 風速(U)

英國海軍上將蒲福(Admiral Sir Francis Beaufort)於 1806 年所訂定的蒲福風級(Beaufort Scale)，在 1838 年採用時蒲福風級僅有十三級，目前已延伸至十八級。每級蒲福風級之對應的風浪之名稱及風速跟可能波高跟最大波高的值。當風速越大，波高則越大，風速與波高有著明顯的關係。

2. 風域(F)

根據 SMB 波浪預報法應用於開放水域中，基於有效有限風域(Effective finite fetch)之概念，SMB 曲線可以由以下公式表示(Saville et al.1962)：

$$\hat{H}_{1/3} = 0.283 \tanh(0.0125 \tilde{F}^{0.42}) \tag{3.3.8}$$

其中無因次化參數$\hat{H}_{1/3}$及$\tilde{F}$定義如下

$$\hat{H}_{1/3} = \frac{gH_{1/3}}{U_w^2} \tag{3.3.9}$$

$$\tilde{F} = \frac{gF}{U_w^2} \tag{3.3.10}$$

式（3.3.9）、（3.3.10）中 U_w 為海上 10m 之風速，F 為吹送距離，$H_{1/3}$ 為示性波高。由式(3.3.8)可知示性波高與風域成 *tanh* 函數正比之關係。

3. 延時

根據 SPM 之深水波示性波高與延時關係圖，如圖 3.3.12 所示。圖 3.3.7 顯示出當在固定風速下，延時愈久，波高愈大，但不同風速最終均會達到成熟波不再成長之結果。

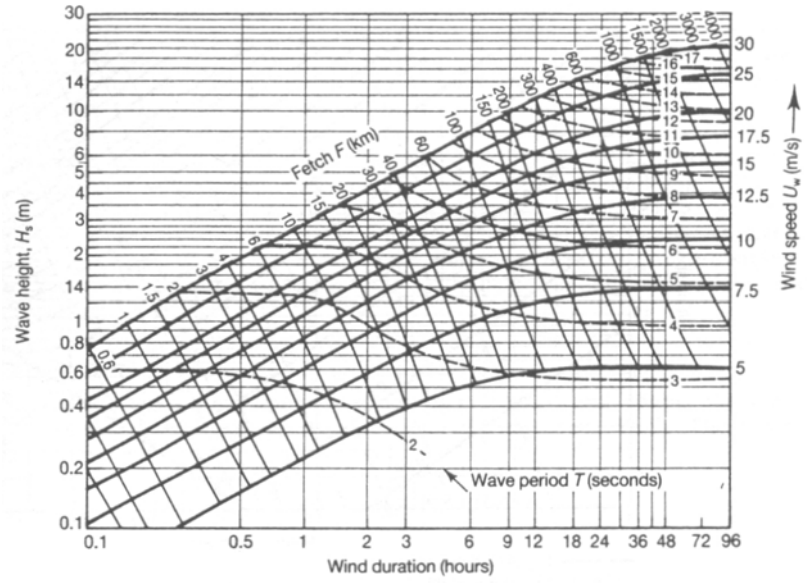


圖 3.3.12 深水波之示性波高與延時關係圖(引自 SPM,1978)

4. 風向(θ)

風向的定義以測站中心指向正北方為起點，順時針指向風吹來方向之夾角，亦指離地約 10 公尺高度水平方向的風向。由於風場分佈是多變且複雜，只要受地形或建築物的阻檔，就會改變方向，因此在寬廣的洋面上和沿海地區的風向亦會不同。此外季節的改變也會使風向出現 180°的轉變，使得風向變化變的極為複雜，然而所產生的波浪變化情形將會隨風向之角度不同亦有所不同。

對於風域之影響，因花蓮港並無設置許多點的測站，來提供空間上之風速分佈，以評估風域之影響，故本文僅就風速、風向及延時進行後續之分析。

3.3.2.3 氣象及波浪資料特性分析

臺灣東部的港口主要受到冬季東北季風影響，其影響的時期從每年的 10 月開始，一直到隔年的 4 月才會結束，時間長達 7 個月之久。根據港研中心分析花蓮港年平均風力之特性示如圖 3.3.13，由圖 3.3.13 可知其主要風速分布在東北及西南方向。為了瞭解冬季東北季風與夏

季西南季風時期之風浪特性，因此本文將冬季季風定義為每年的 1 月至 4 月以及 10、11 及 12 月等 7 個月份，而夏季季風時期定義為每年的 5 月至 9 月等 5 個月份，將依夏季與冬季時期分別作探討分析。

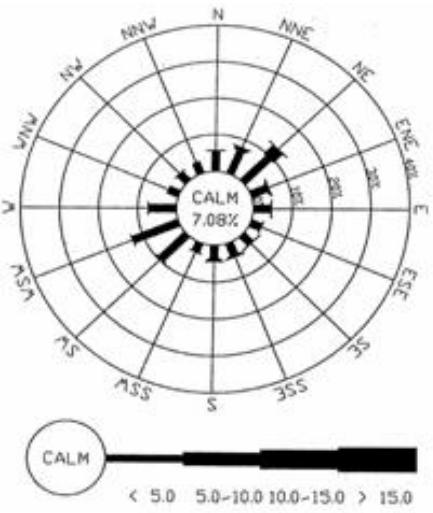


圖 3.3.13 花蓮港年平均風力統計分布(資料來源：港研所，1996)

由前節影響季節風波浪中風速和風向，分別繪製與冬季和夏季季風時期之示性波高的關係圖，如圖 3.3.14 至圖 3.3.21 所示。圖 3.3.14 和圖 3.3.15 為 2001 和 2002 年冬季季風時期風速與示性波高關係，可以看出在冬季時當風速增強的情況下，示性波高也會明顯地較大，圖 3.3.9 中有風速低但卻產生 4~6m 之波高，是由於花蓮浮標受到較弱的離岸風時但卻有較大入射波之緣故。圖 3.3.16 和圖 3.3.17 為 2001 和 2002 年夏季季風時期風速與示性波高關係。比較圖 3.3.14 及圖 3.3.16 或圖 3.3.15 及圖 3.3.17 可見夏季季風風速較冬季季風之風速小，但當風速增大時，示性波高並無明顯增大之趨勢。

圖 3.3.18 和圖 3.3.19 為 2001 年和 2002 年冬季季風時期風向與示性波高之關係，而圖 3.3.20 和圖 3.3.21 為 2001 年和 2002 年夏季季風時期風向與示性波高之關係，由此可以得知風向在冬季與夏季均與示性波高並無明顯關係。

本研究利用相關係數(correlation coefficient)評估其關係性，此數值

介於-1 與 1 之間，當相關係數的絕對值愈大即代表相關程度愈高，而正負號代表兩者是呈現正相關或負相關。表 3.3.1 為 2001-2002 年風速、風向與示性波高之相關係數，表中，θ 表示為風向，H1/3 表示為示性波高，U 為風速，由表 3.3.1 得知季節風影響波浪，風速與示性波高呈現較高的正相關值，顯示風速愈大，示性波高也愈大，而風向與示性波高呈現負相關，且相關係數之絕對值相當低，表示兩者間並沒有很明顯強烈的關係。

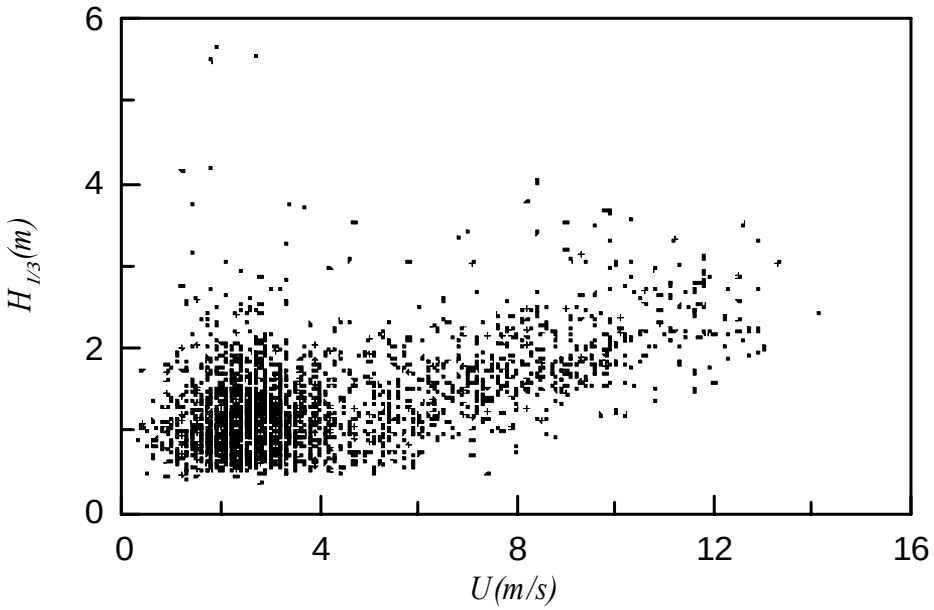


圖 3.3.14 2001 年冬季季風時期風速與示性波高關係

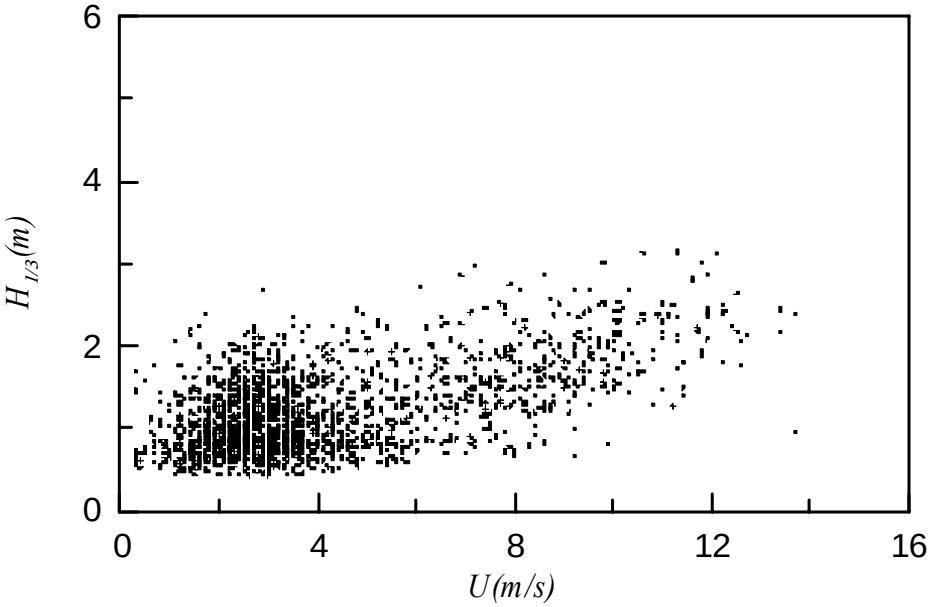


圖 3.3.15 2002 年冬季季風時期風速與示性波高關係

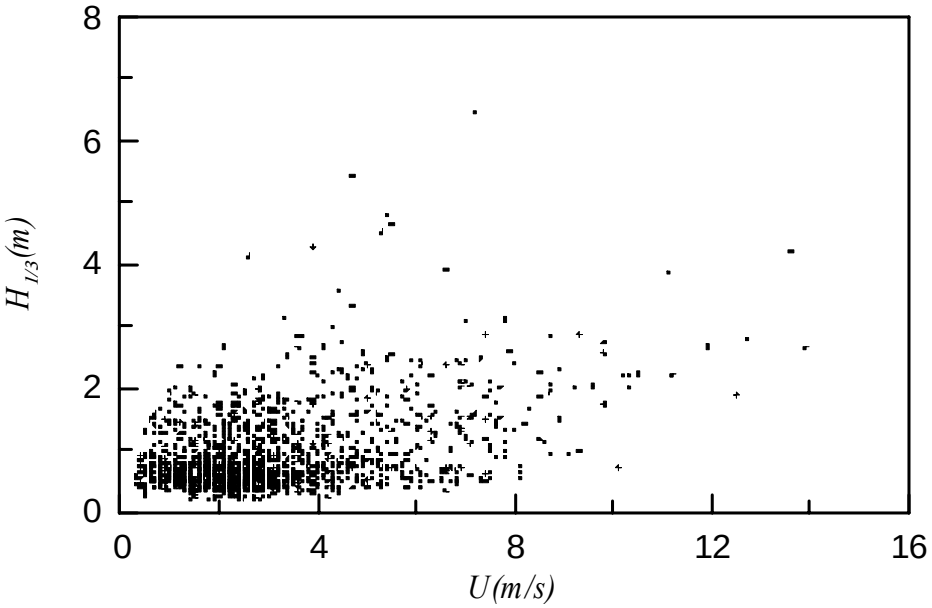


圖 3.3.16 2001 年夏季季風時期風速與示性波高關係

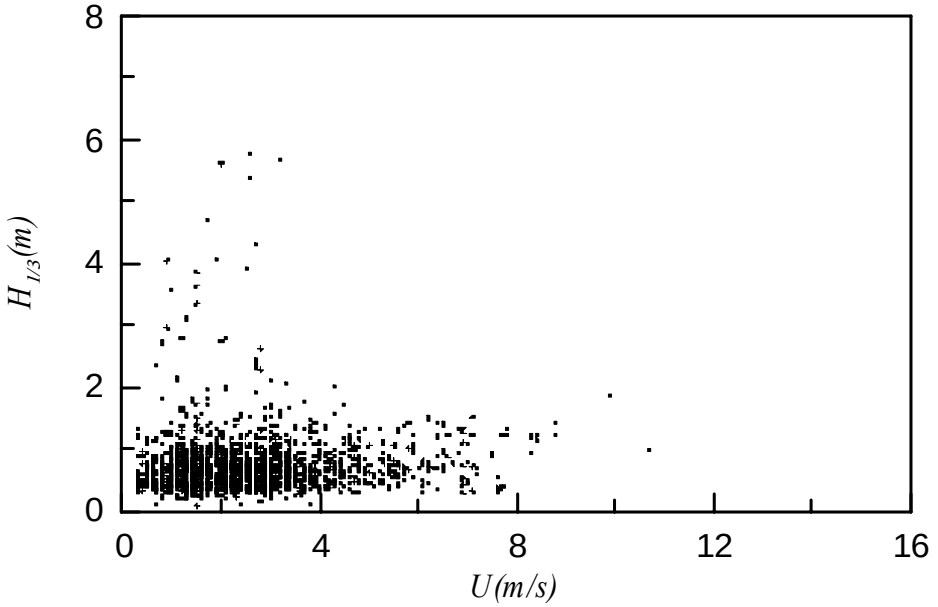


圖 3.3.17 2002 年夏季季風時期風速與示性波高關係

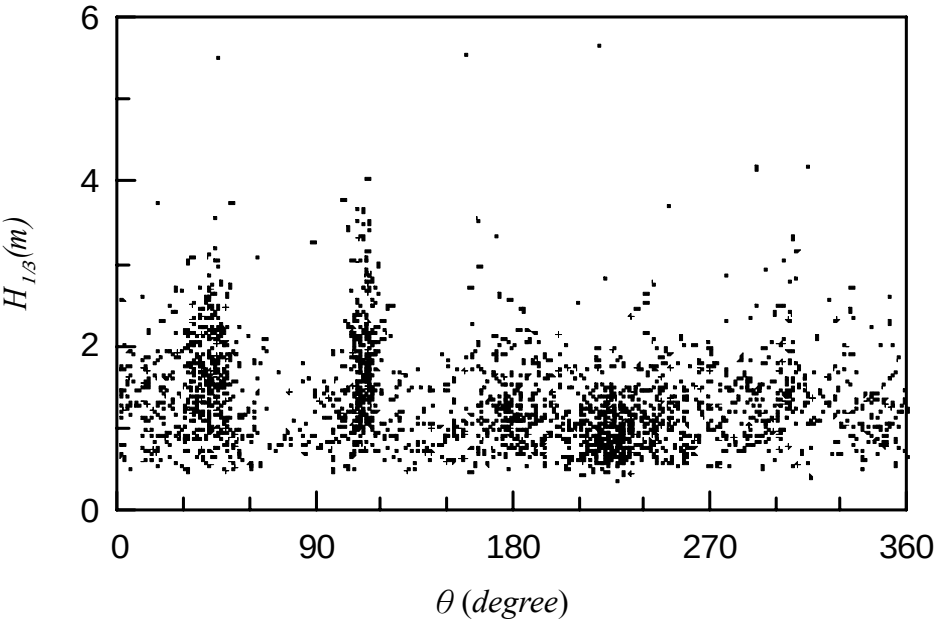


圖 3.3.18 2001 年冬季季風時期風向與示性波高關係

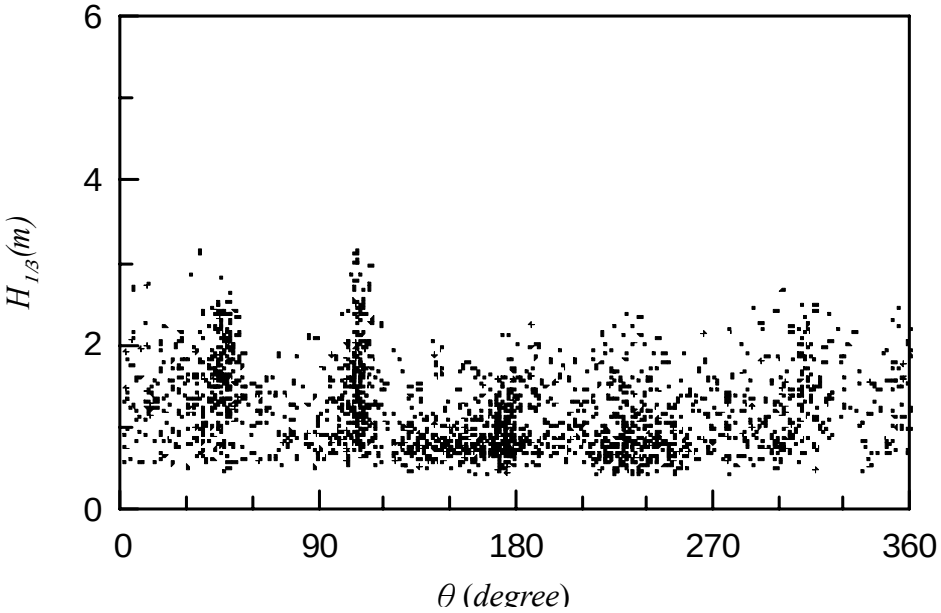


圖 3.3.19 2002 年冬季季風時期風向與示性波高關係

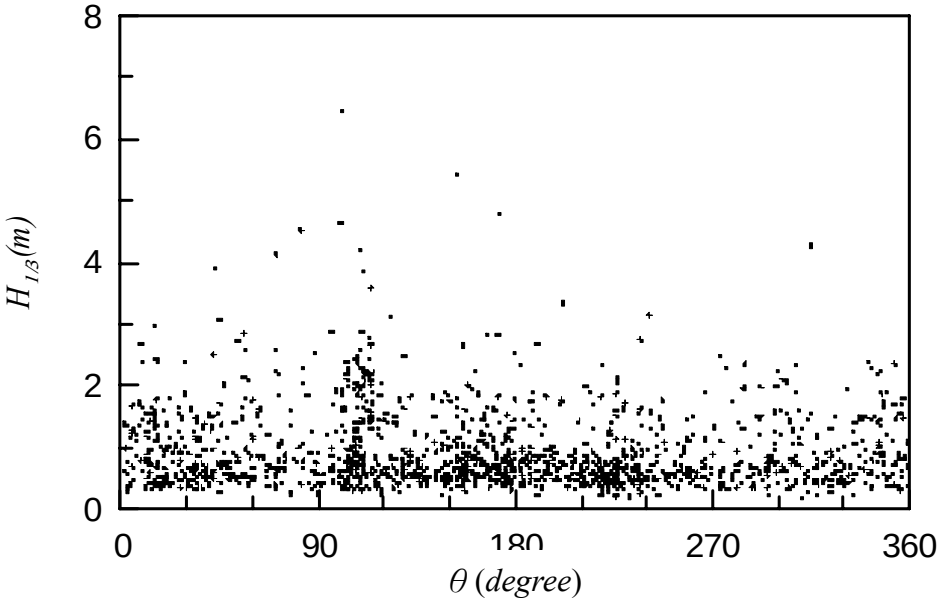


圖 3.3.20 2001 年夏季季風時期風向與示性波高關係

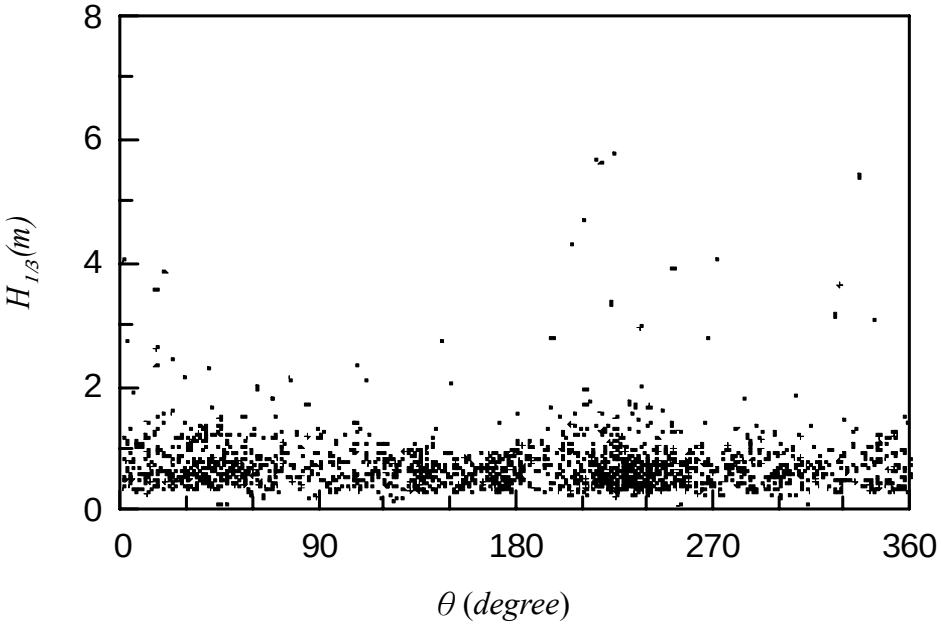


圖 3.3.21 2002 年夏季季風時期風向與示性波高關係

表 3.3.1 2001-2002 年風向、風速與示性波高之相關係數

季風時期		θ	U
2001 年	冬季	-0.21	0.51
	夏季	-0.09	0.42
2002 年	冬季	-0.18	0.57
	夏季	-0.032	0.04

然而利用上述基本的迴歸方式，並沒有得到預測值與實測值良好的關係。在此本研究希望藉由模糊理論與類神經網路能處理有時變、非線性關係與不確定事件的優點，來建立適合的季節風波浪預報模式。

3.3.2.4 模糊類神經網路簡介

在此，本研究介紹種適應性網路架構模糊推論系統，簡稱為 ANFIS 的基本理論。ANFIS 在 IF-THEN 規則與模糊推論中採用的是 Sugeno 模糊模式，如圖 3.3.22 所示，且同一層節點的歸屬函數或轉換函數採

用相似的函數，來建置 ANFIS 模式主體架構。

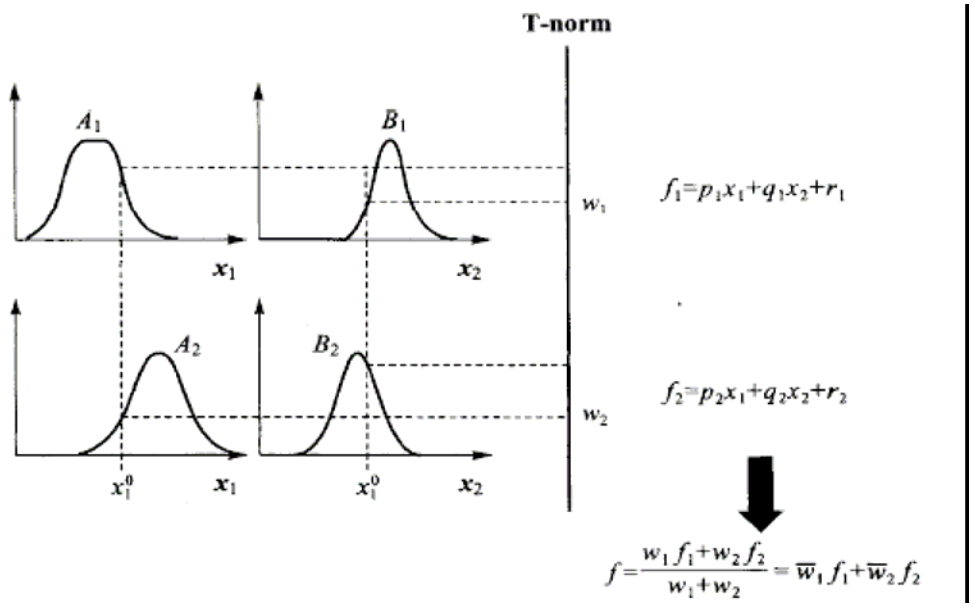


圖 3.3.22 Sugeno 模式示意圖

本研究選擇高斯(Gauss)歸屬函數為歸屬函數示如圖 3.3.23，因為高斯歸屬函數無非連續的轉折點，能以最陡坡降法微分，而可求出各調變參數的調變量。

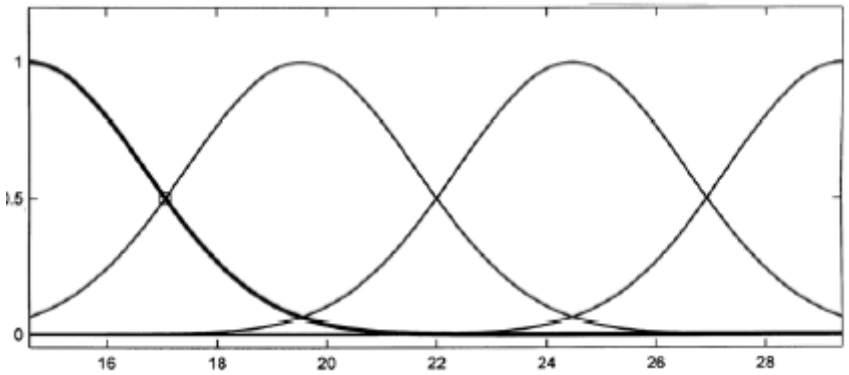


圖 3.3.23 高斯歸屬函數圖

在學習與調整參數方面，則是結合前饋式類神經網路與監督式學習方法，使得模糊推論系統的所有參數可獲得適當的調整，讓模式具有

自我學習與組織能力。若輸入變數有 N 個、輸出變數有 1 個，以及架構有 5 層的模糊推論系統的主要架構如圖 3.3.24 所示。

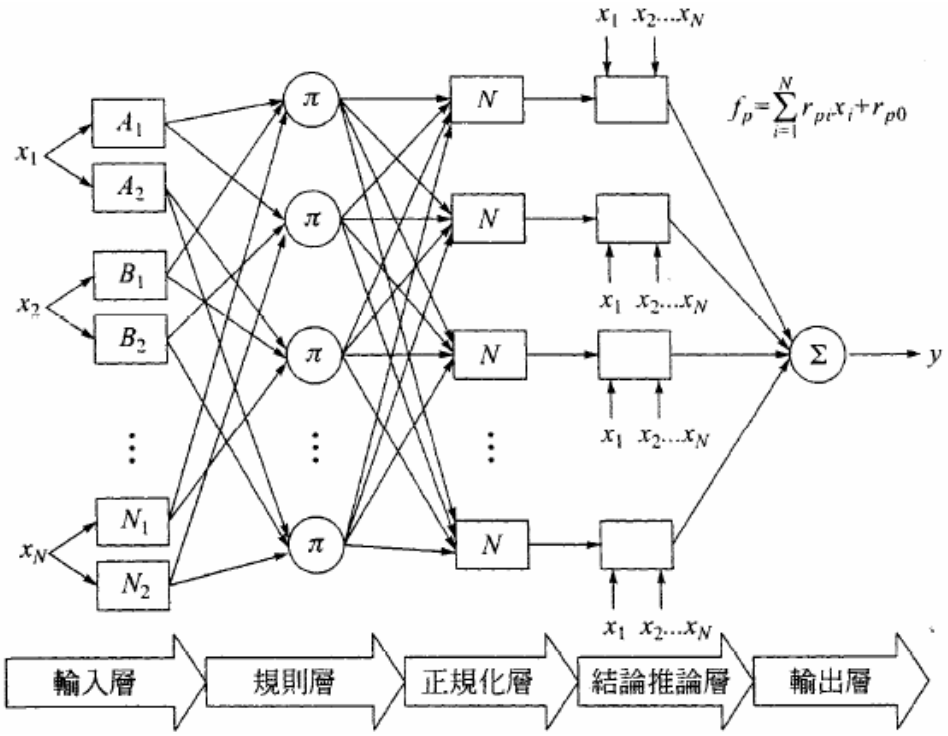


圖 3.3.24 適應性網路架構模糊推論系統架構示意圖

圖 3.3.24 中函數式模糊規則的推論過程，共分五層，其相對應的 ANFIS 的架構分別說明如下。其中相同層的類神經元執行相同的運算，以下本文就每一層的類神經元的功能及運算說明如下：

1. Layer 1（輸入層）

第一層輸入層是將輸入變數映射到模糊集合中，如圖所示，屬於的模糊集分為和兩個子集合，屬於的模糊集合也分為和、兩個子集合，其映射之歸屬函數若選用鐘型函數，則以式3.3.11表示輸入層的轉換公式：

$$\mu_A(x)=\frac{1}{1+\left|\frac{x-c_i}{a_i}\right|^{2b_i}} \tag{3.4.11}$$

其中，{ a_i,b_i,c_i}是歸屬函數$\mu_A(x)$的相關參數，不同的參數會有不同形狀的隸屬函數，而這些參數稱為「前件部參數」。

2. Layer 2（規則層）

各輸入變數的模糊集合與歸屬函數在第一層內決定後，即進行先決條件配對，將各輸入變數問的模糊集合進行排列組合之配對（如圖，組合出 P 條規則）後，進行模糊邏輯運算，本層選用 T-norm 進行模糊 AND 運算，第二層的類神經元以代號Π 來標示，執行的運算如下：

$$O_{2,p} = w_p = \prod_{i=1}^{N} \mu_{j_i}(x_i), j_i = 1,2,3,...,M \ : \ p = 1,2,3,...P \tag{3.3.12}$$

3. Layer 3（正規化層）

本層節點以 N 符號表示，將上一層各節點所得的結果正規化，也就是將第上條規則的輸出結果除以所有規則之輸出結果，使其輸出值介於 0 到 1之間，執行的運算過程如下：

$$O_{3,p} = \overline{w}_p = \frac{w_p}{\sum_{p=1}^{P} w_p} \tag{3.3.13}$$

4. Layer 4（結論推論層）

將上層獲得之正規化結果與Sugeno 模糊模式相乘，計算過程如下：

$$O_{4,p} = \overline{w}_p f_p = \overline{w}_p \left(\sum_{i=0}^{N} r_{pi} x_i \right), x_0 = 1 \tag{3.3.14}$$

{p_i,q_i,r_i}在此稱為「後見部參數」。

5. Layer 5（輸出層）

第五層中只有一個類神經元，以代號Σ 標示，計算前一層中類神經元輸出的總和，以作為最後網路的輸出值，其計算過程如下：

$$O_{5,i} = \sum_i \overline{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f}{\sum_i w_i} \tag{3.3.15}$$

ANFIS 模式結合前饋式類神經網路的監督式學習方法，將訓練範例代入後，比較真實輸出值和模式推估值之間的誤差，試圖求得誤差的最小平方和，使得模糊推論系統的所有參數可獲得適當的調整。ANFIS 模式所調整的參數，分為前提部分和結論部分，最常使用的方法為誤差倒傳遞學習演算法(backpropagation)，利用最陡坡降法(the steepest descent method)來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，以達到我們所需的精度。

本研究將利用 MATLAB 其中之 FUZZY Toolbox 所提供之 ANFIS 功能來建立模式、推估結果，作模糊系統以及類神經網路的輸入輸出以及學習訓練，所建立之模糊規則資料庫，作為模式建構之核心，其風浪相關波高之模糊類神經網路模式的建立流程如圖 3.3.25 所示。

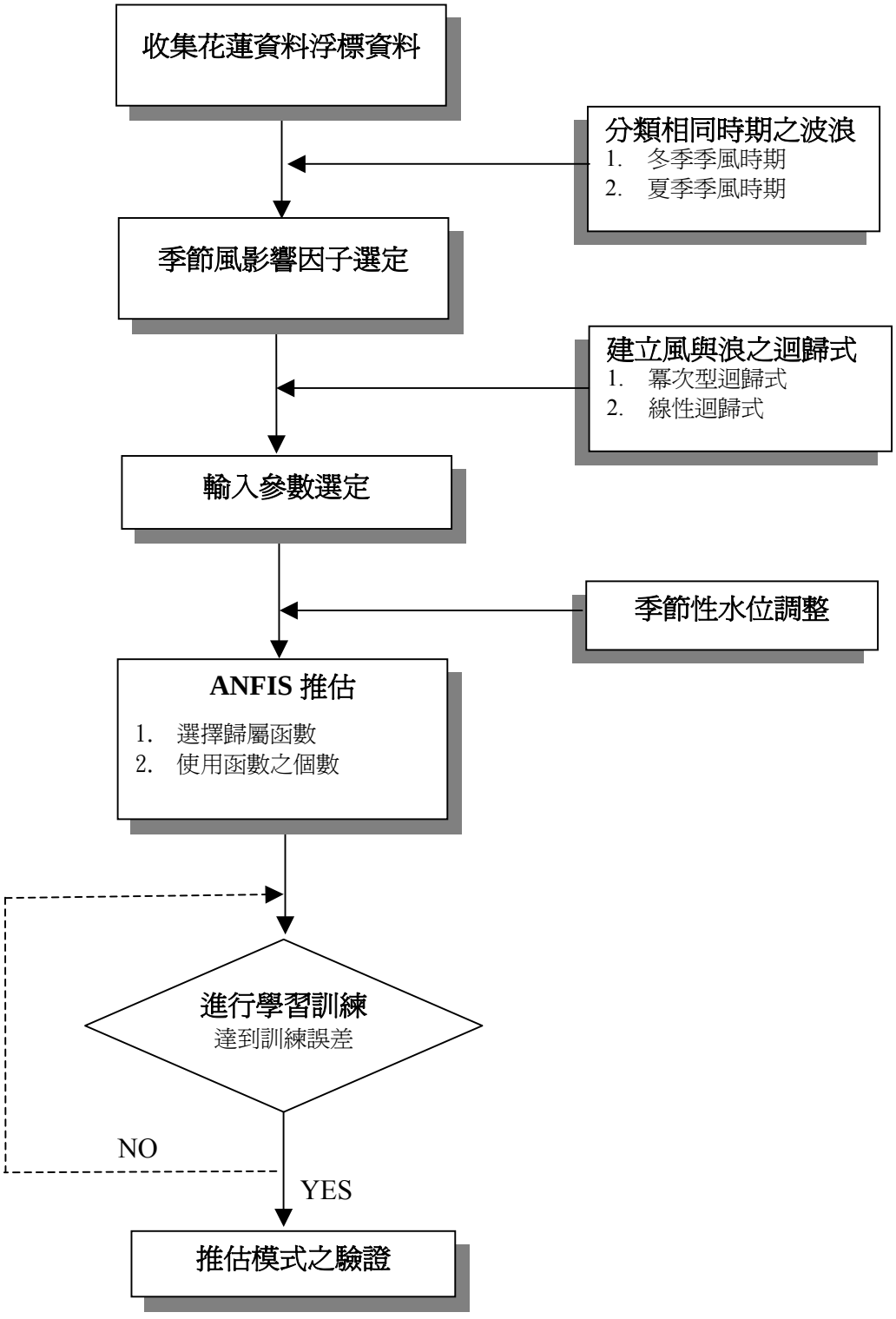


圖 3.3.25 模式建構流程圖

3.3.2.5 模糊類神經網路模式之建立與驗證

1.風速與示性波浪之季節性趨勢

臺灣冬季時為強烈之東北季風氣候，而夏季則為西南季風氣候，風速明顯有所差異。因此風速資料應會呈現季節性之趨勢。為瞭解風速及示性波浪之季節性趨勢以及兩者之間是否有關係，本研究利用平均移動法(moving average method)以分析出長時間之趨勢。移動平均法是利用統計處理的方式，主要是將時間數列中不規則變化或季節性因素予以剔除，進行平滑化(smoothing)。其原理是利用時間點相近的觀察值，其值相差不大，因此計算時間序列中一定間隔長度之移動平均數，再由這些移動平均數形成的新的時間數列便可將原數列不規則變化部分去除，減低原數列中短期偶然因素的影響，得到較平滑之趨勢變化部分。

將花蓮測站2001-2002年之風速以及示性波高進行720小時移動平均結果分別示如圖 3.3.26 和圖 3.3.27。比較兩圖之移動平均風速及移動平均示性波高之時序特性，可以發現同時二者均有在冬季較高於在夏季之趨勢，若將移動平均風速與移動平均示性波高進行相關分析(cross correlation)，其結果如圖 3.3.28 所示，其相關係數為 0.88，其結果顯示平均移動風速與平均示性波高有相似之趨勢。

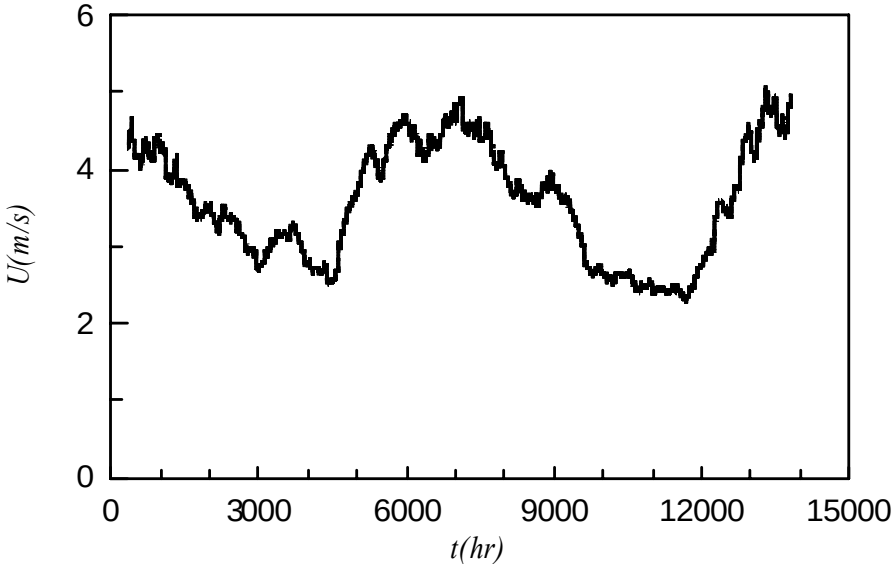


圖 3.3.26 2001-2002 花蓮站 720 小時之移動平均風速

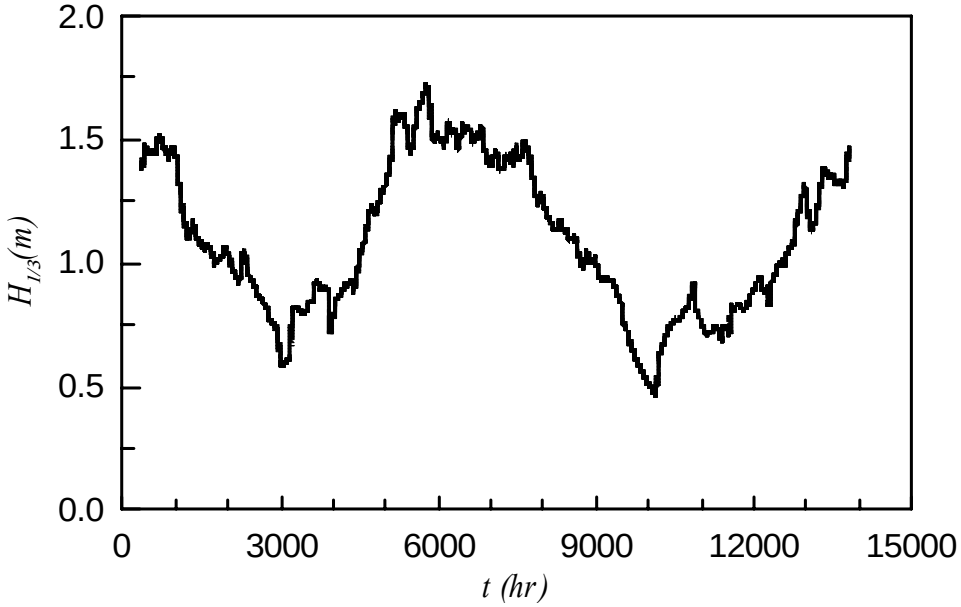


圖 3.3.27 2001-2002 花蓮站 720 小時之移動平均示性波高

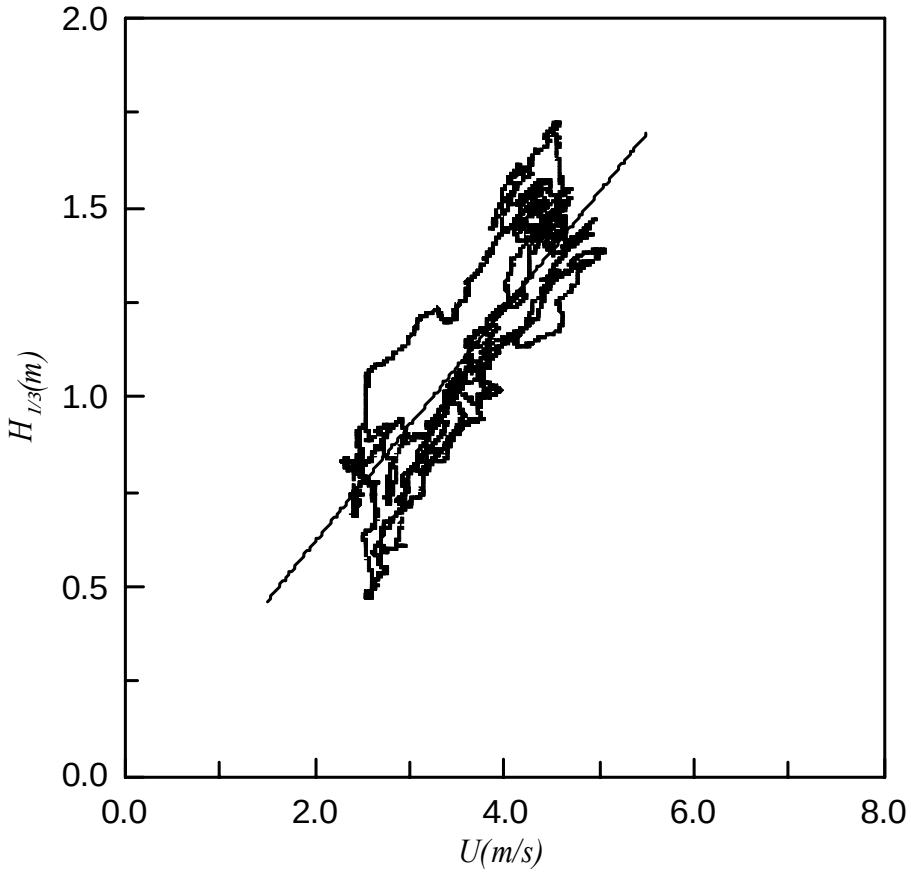


圖 3.3.28 2001-2002 花蓮站 720 小時之移動平均風速與 720 小時之移動平均示性波高 Q-Q 圖

2.季節性水位調整之方法

根據 Nelson 等(1999)指出，在進行含有季節性變化趨勢之時間序列預測時，若先扣除季節性的影響量，則預測精度便可以提升。為此本文嘗試以 ANFIS 來學習季節性的波浪變化，並先模擬季節性變化的波高。

本文利用 2001 年 720 小時移動平均之風速和示性波高，作為網路訓練資料，再利用 2002 年 720 小時移動平均之風速和 720 小時移動平均之示性波高，作為網路測試資料。網路訓練所輸出之示性波高結果與實測值之比較示如圖 3.3.29，而其 RMS 值為 11.23cm，兩者相關係數平方值 r^2=0.932，二者之關係程度如圖 3.3.25 所示。由網路測試所輸出 2002 年之移動平均示性波高結果與實測值之比較示如圖 3.3.30 所示，而其 RMS 值為 11.57cm，兩者相關係數平方值 r^2=0.936，二者之關係程度如圖 3.3.31 所示。

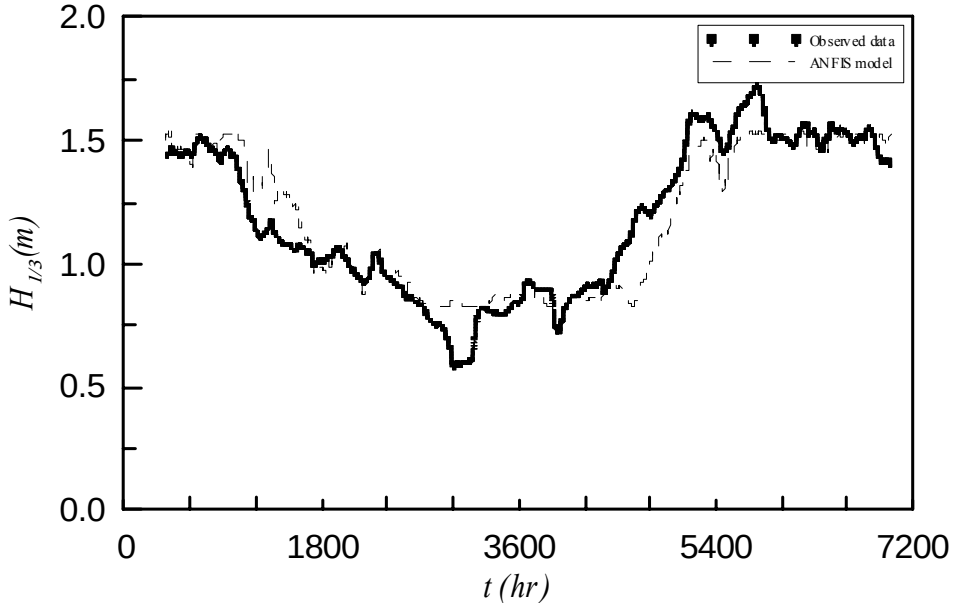


圖 3.3.29 以 2001 年之訓練輸出值與實際值的 720 小時之移動平均示性波高之比較圖

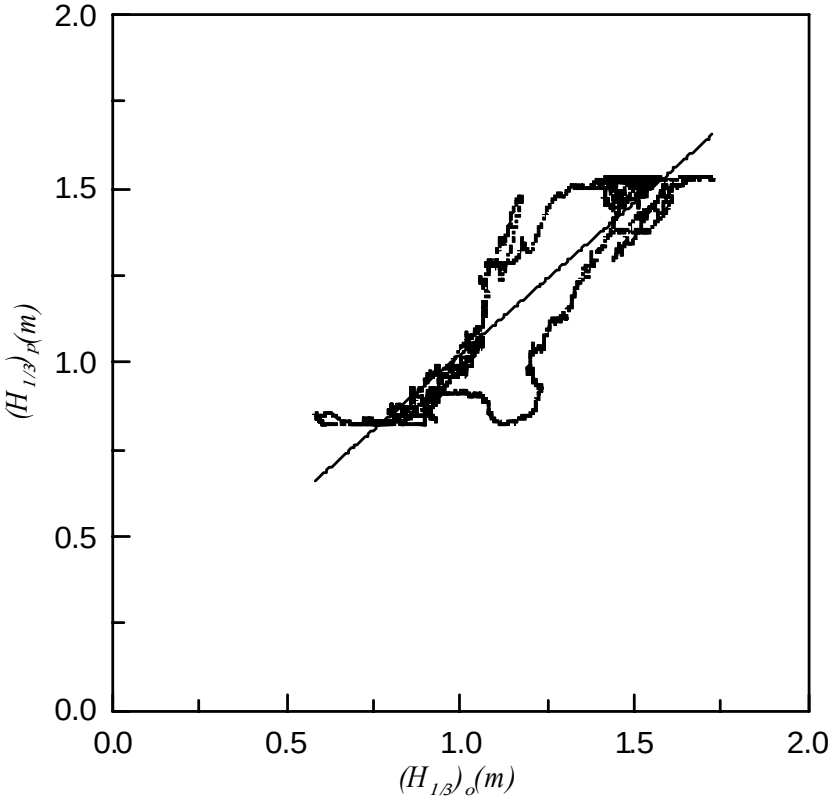


圖 3.3.30 以 2001 年之訓練輸出值與實際值的 720 小時移動平均波高之 Q-Q 圖

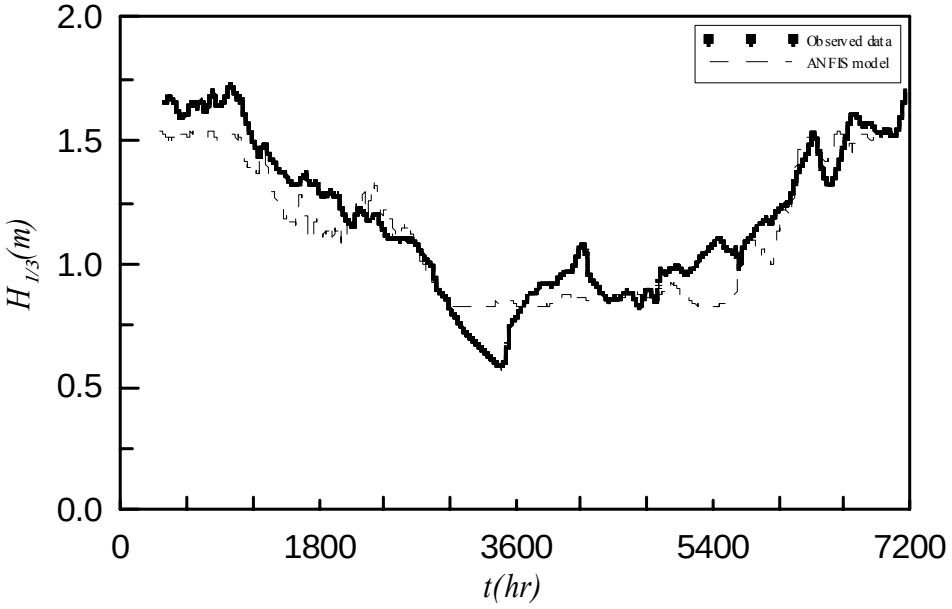


圖 3.3.31 以 2002 年之訓練輸出值與實際值的 720 小時之移動平均示性波高之比較圖

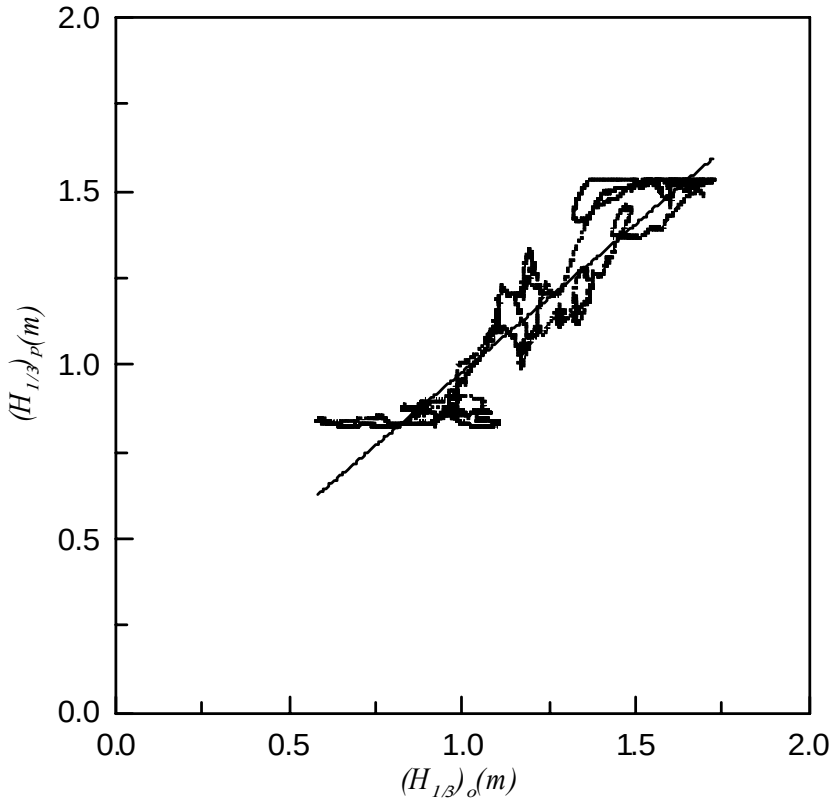


圖 3.3.27 以 2002 年之訓練輸出值與實際值的 720 小時移動平均波高之 Q-Q 圖

求得長時間的水位變化後，便要考慮到資料處理的方法，利用整年的波浪資料扣除長期季節水位的變化，如此此時的波浪資料便無季節性的水位影響，之後對此波浪資料進行季節風波浪預報推算，可以認定此資料所包含的訊息絕大部分是由風速所造成的。最後將季節風波浪預報模式所預測之波高再加上求得之季節性水位變化。

3.模式架構之建立

A.輸入參數之選擇

由上述之結果，顯示示性波高與風速、風向及延時有關，在本節將討論 6 種可能組合的輸入參數對輸出參數即示性波高之影響，輸入參數分別編排成 Case1~Case6，如表 3.3.2 所示，表中 *U(t)*表示為瞬時風速，$\overline{U}(t)$表示為平均風速，平均風速定義示如示 3.3.16。

$$\overline{U(t)} = \frac{1}{n}\left[u(t) + u(t-\Delta t) + u(t-2\Delta t) + ... + u(t-(n+1)\Delta t)\right] \quad (3.3.16)$$

其中 n 為資料筆數，Δt 為資料時間，本研季為 2 小時

Case1~Case3 是利用瞬時風速與風向所編排而成，其中 Case1 僅以瞬時風速來推估示性波高，Case2~Case3 則是加入角度的因素 cos(θ-105°)。根據花蓮測站之當地海岸地形走向為 15°順時向 195°，若風向在 15°~195°間為吹向岸風，反之，風向則吹離岸風，垂直海岸風向為 105 度，因此本研究將風向減去 105 度取其餘弦函數，是將季節風對岸之影響正規化至 1 到-1 之間。Case2 是分別使用瞬時風速 與 cos(θ-105°)兩個輸入參數來推估示性波高。Case3 是利用瞬時風速與 cos(θ-105°)之乘積來推估示性波高。

Case4~Case6 是考慮平均風速與風向，主要是因為實際上風浪大小與吹風延時有時間的連續關係，換言之，當時示性波高的大小並不只是受當時的瞬時風速影響，有可能是前幾個小時的風速綜合影響所造成之示性波高。Case4 僅利用平均風速來推估示性波高。Case5 是利用平均風速與 cos(θ-105°)兩個輸入參數來推估示性波高。Case6 是利用瞬時風速(U) 與 cos(θ-105°)之乘積再取其移動平均值推估示性波高。

表 3.3.2 不同輸入參數的測試編號

Case	輸入參數
1	$U(t)$
2	$U(t)$ 、$cos(\theta\text{-}105°)$
3	$U(t)\times cos(\theta\text{-}105°)$
4	$\overline{U(t)}$
5	$\overline{U(t)}$ 、$cos(\theta\text{-}105°)$
6	$\overline{U(t)\times\cos(\theta-105°)}$

B.訓練資料長度之測試

為了探討輸入及輸出參數的資料長度，是否會對模式之波高推估值產生影響。本文將以 Case1 為例，選擇 15、20、25、30 及 35 天之不同資料長度，進行風浪網路模式訓練。於冬季訓練時期為 2001 年 1 月，測試資料為 2001 年 2-4 月，而於夏季訓練資料為 2001 年 6 月，測試資料為 2001 年 5-9 月，冬、夏兩季之模式推估值與實測值的 *RMS* 比較圖，分別如圖 3.3.32 和圖 3.3.33 所示。由圖 3.3.32 可以得知在冬季時期所推估之示性波高 *RMS* 值約在 0.4*m* 以下，而訓練天數在 15 天時，其 *RMS*= 0.32*m* 為最低，因此顯示網路模式以 15 天之訓練資料長度，在冬季即可適當地模擬風浪特性。由圖 3.3.33 得知，在夏季所推估之示性波高的 *RMS* 值皆在 0.5*m* 以下，但訓練長度 15 天與 20 天之 *RMS* 值相近，而其 r^2 值分別為 0.68 與 0.61，訓練長度 15 天的模式推估波高之 r^2 值較高。因此，冬季季風與夏季季風皆選用 15 天之風浪資料長度以作為網路訓練長度。

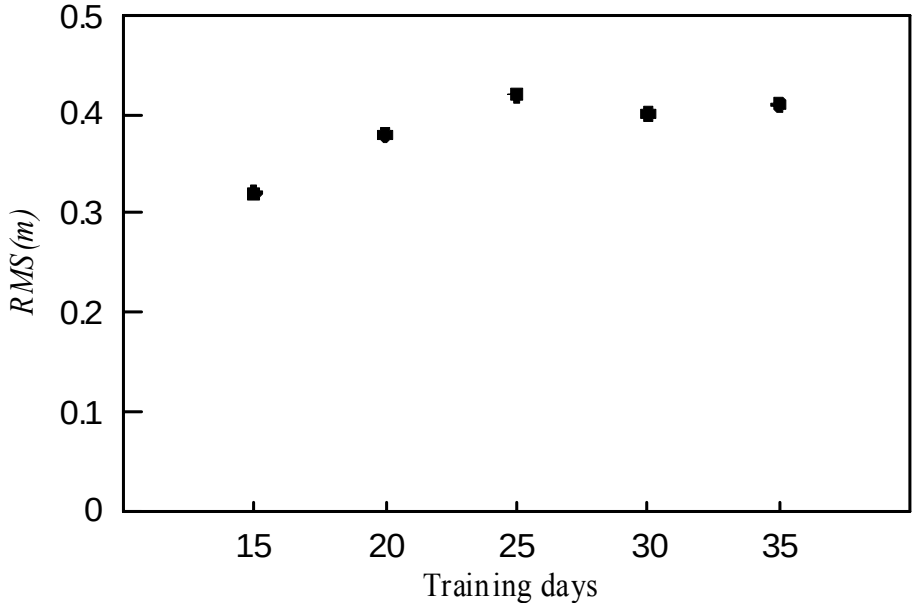


圖 3.3.32 冬季時期不同訓練時間長度所推估之示性波高 *RMS* 比較圖

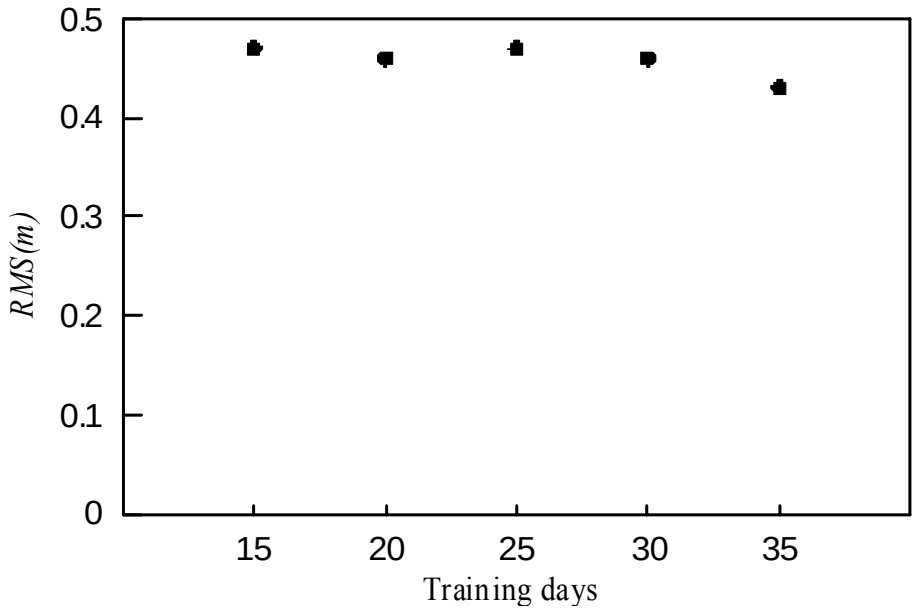


圖 3.3.33 夏季時期不同訓練時間長度所推估之示性波高 *RMS* 比較圖

C.移動平均風速之選擇

Case4-Case6 之輸入參數是利用平均風速，其主要原因為考慮到實際上風浪大小與風吹延時有時間連續關係，本研究以 Case4 為例，探討不同時間長度之移動平均風速對推估波高值之影響，本文選擇 6、12、24、36 及 48 小時不同時間的移動平均風速，冬季及夏季的訓練及測試資料如同前節。以不同移動平均時段當輸入的模式，所推估示性波高的 *RMS* 值分別示如圖 3.3.34 和 3.3.35。由圖 3.3.34 可知以 24 小時移動平均風速當輸入的模式，推估示性波高的 *RMS* 值最低，約為 0.29m。而由圖 3.3.35 顯示其 *RMS* 值都約為 0.4m，又以 24 小時移動平均風速模式之推估值，其 *RMS* 值較其他時間之移動平均風速為低，*RMS* 值約為 0.38m 左右。因此，本文 Case4-Case6 輸入參數中的平均風速採用 24 小時移動平均。

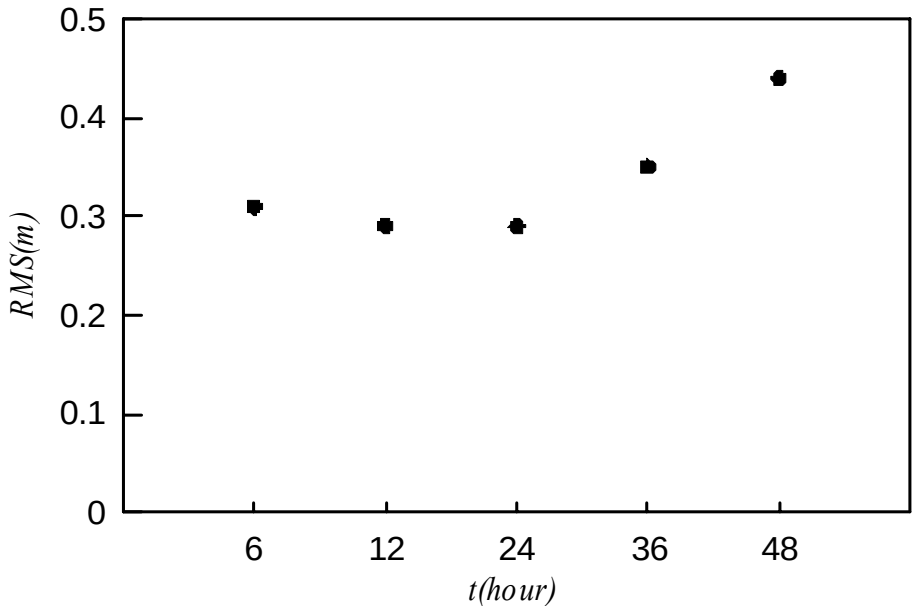


圖 3.3.34 冬季時期不同時間以移動平均風速推估之示性波高 *RMS* 比較圖

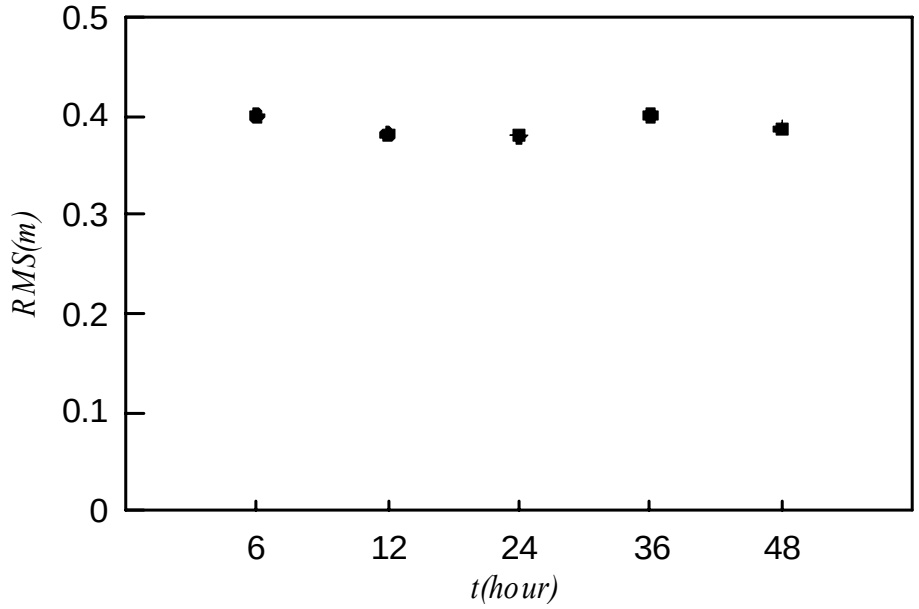


圖 3.3.35 夏季時期不同時間以移動平均風速推估之示性波高 *RMS* 比較圖

D.最佳輸入參數之選擇

由前節的測試，本研究在 Case1-Case6 輸入參數中選取最佳輸入參數，以建構示性波高推估模式。冬季與夏季的模式訓練及測試資料如

前所述，並比較 Case1-Case6 為輸入參數建立模式所推估示性波高的 *RMS* 值，分別如圖 3.3.36 與圖 3.3.37 所示。由圖 3.3.36 比較知，Case1-Case6 模式所推估冬季示性波高之 *RMS* 值都在 0.4m 以下，其中又以 Case4 模式所推估之示性波高 *RMS* 值最低，其 *RMS* 值為 0.29m。由圖 3.3.36 與圖 3.3.37 比較可知，Case1-Case6 模式所推估結果均較推估夏季者準確，其中以 Case4 模式所推估之夏季示性波高 *RMS* 的值最低，其 *RMS* 值約為 0.38m。因此本文將以 Case4 為最佳輸入參數。

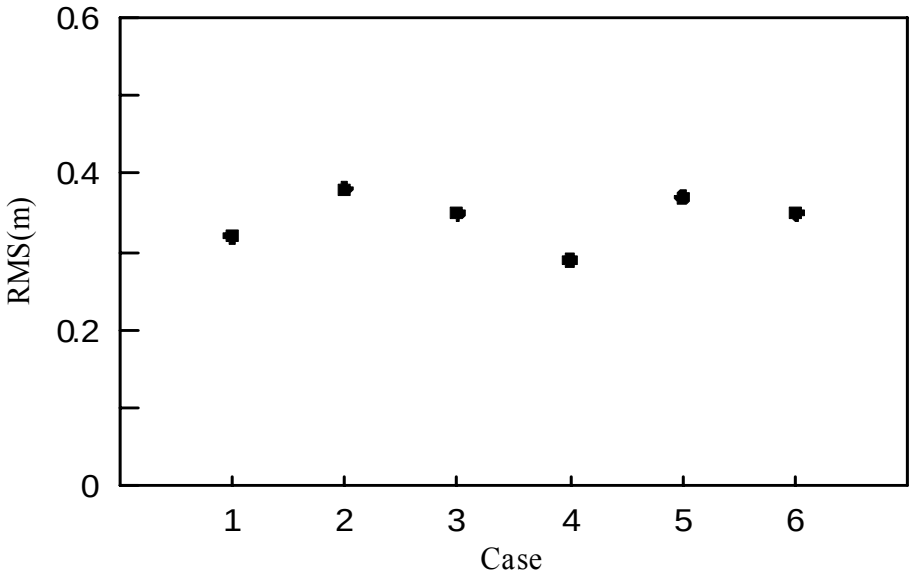


圖 3.3.36 冬季季風時期 Case1- Case6 推估波高之 *RMS* 比較圖

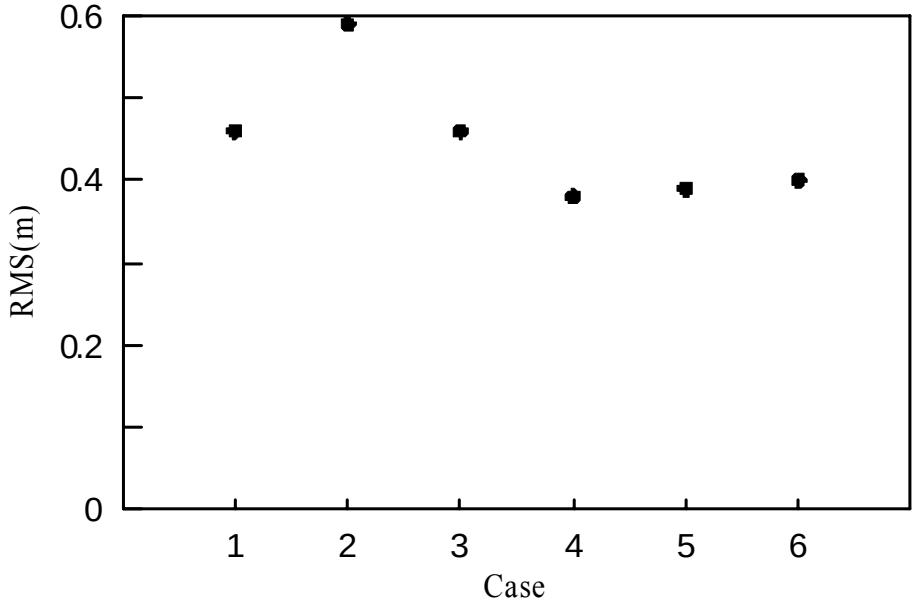


圖 3.3.37 夏季季風時期 Case1- Case6 推估波高之 *RMS* 比較圖

E.模式驗證

根據網路參數選擇之結果，得知季節風波浪預報模式最佳輸入參數為 Case4，為了更進一步驗證本模式之可行性，本研究將花蓮 2001-2002 的風速及波高數據，分成冬季與夏季時期討論。

a.冬季示性波高之推估

本文利用 2001 年 1 月前 15 天作為訓練資料，經由模式推估至 2002 年冬季時期之其他月份，作為模式建構之驗證，推估結果分別如圖 3.3.38 至圖 3.3.41 所示。圖 3.3.38 與圖 3.3.39 分別為 2001 年 2-4 月與 2002 年 1-4 月示性波高之推估與實測值比較圖。由圖 3.3.40 與圖 3.3.41 可知，所推估之波高與實測波高趨勢吻合，但在實測波高小於 1.2m 時，有高估之情況發生，其 *RMS* 值分別為 0.29m 和 0.33m，r^2 值分別為 0.73 與 0.72。圖 3.3.38 與圖 3.3.39 是以模式 2001 年 10-12 月與 2002 年 10-11 月冬季示性波高與實測值之推算時序圖。由圖 3.3.40 與圖 3.3.41 可知，當實測波高值低於約 1.4m 處，所推估之波高也有高估之現象，其 *RMS* 值分別為 0.29m 和 0.4m ，r^2 值分別為 0.64 與 0.71。

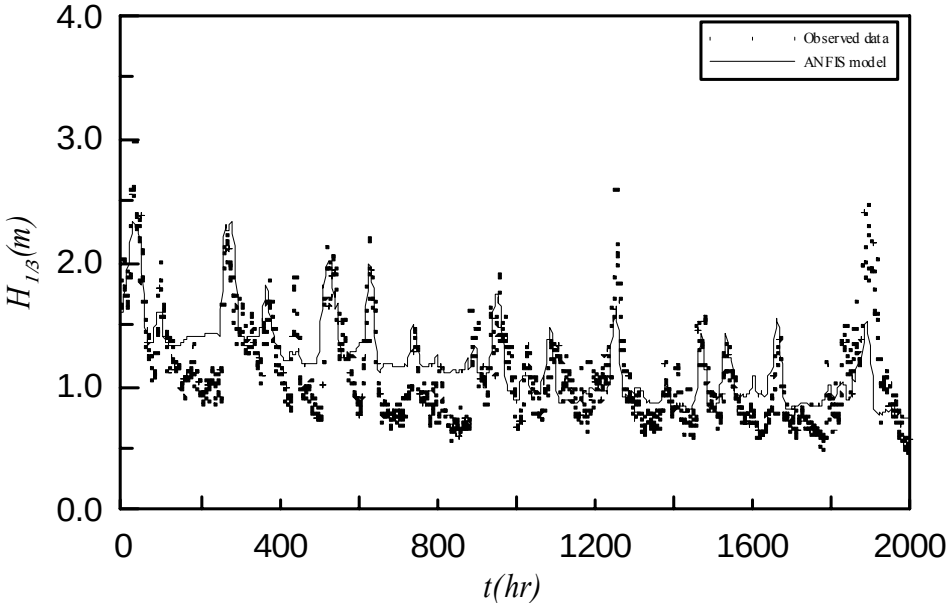


圖 3.3.38 2001 年 2-4 月實測與推算波高時序圖

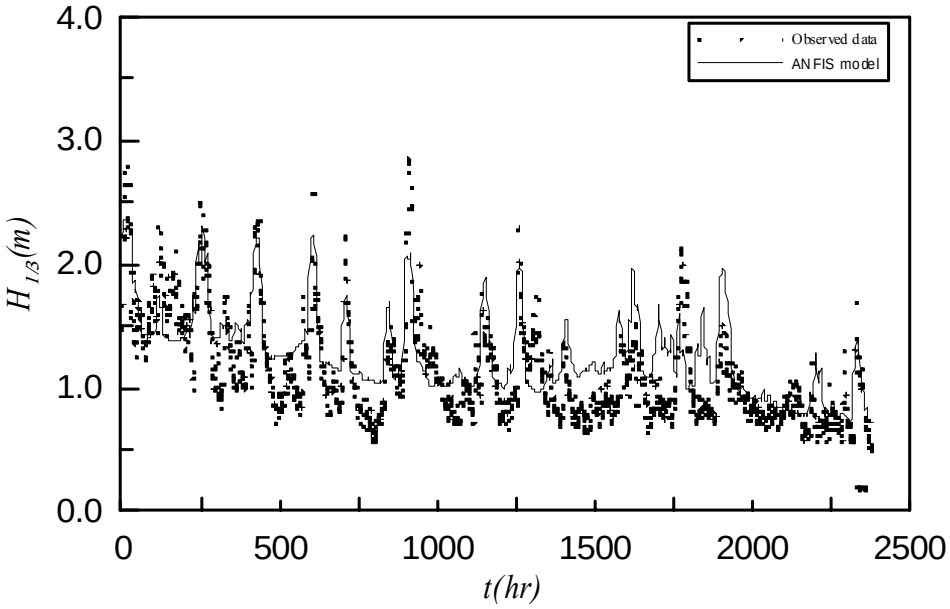


圖 3.3.39 2002 年 1-4 月實測與推算波高時序圖

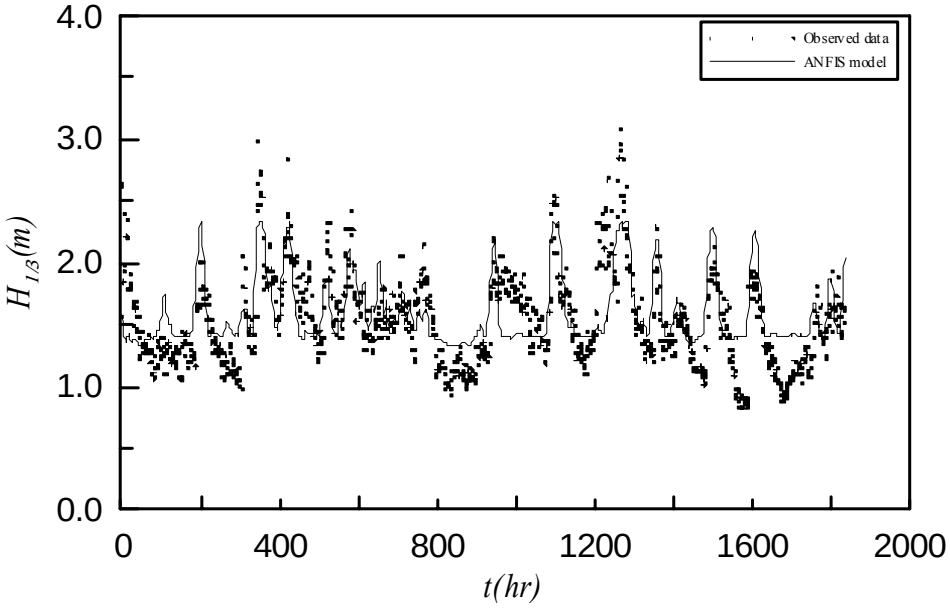


圖 3.3.40 2001 年 10-12 月實測與推算波高時序圖

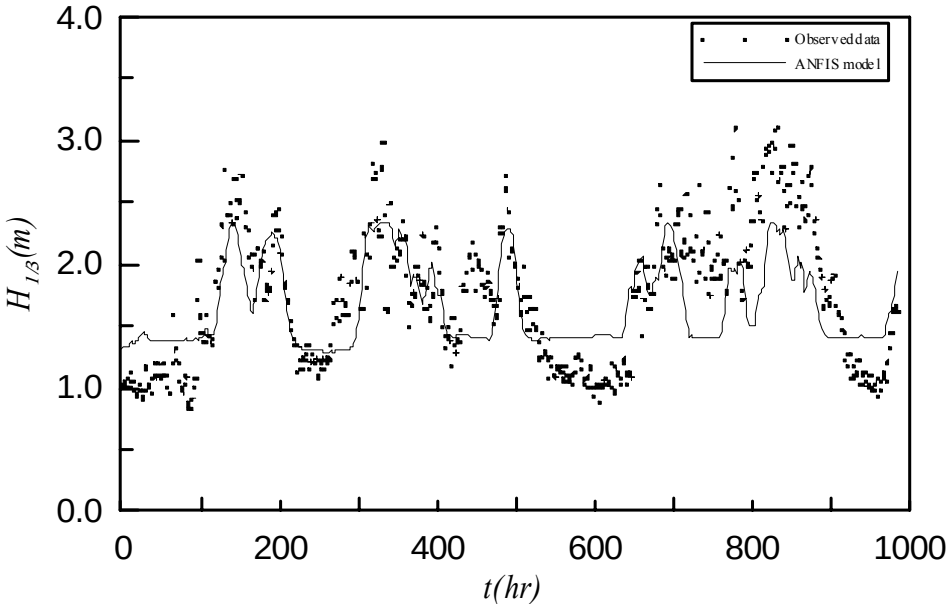


圖 3.3.41 2002 年 10-11 月實測與推算波高時序圖

b.夏季示性波高之推估

本研究利用 2001 年 6 月之前 15 天作為訓練資料，由最佳模式推估 2001 及 2002 年夏季示性波高分別示如圖 3.3.42 與圖 3.3.43。圖 3.3.42

為推算 2001 年 5-9 月示性波高，其 *RMS* 為 0.38m，而 r^2=0.61。圖 3.3.43 為推算 2002 年 5-9 月示性波高，其 *RMS* 為 0.4m，r^2=0.39。由圖 3.3.42 及圖 3.3.43 可知，實測夏季波高均較小，大部份觀測值約在 0.7 m 以下，所推估之波高有高估之現象。此外由於臺灣每年夏季期間經常有颱風侵襲，導致風速與波高均有不穩定之現象，因此利用本模式所推估出來的結果會較冬季季風時期不理想。

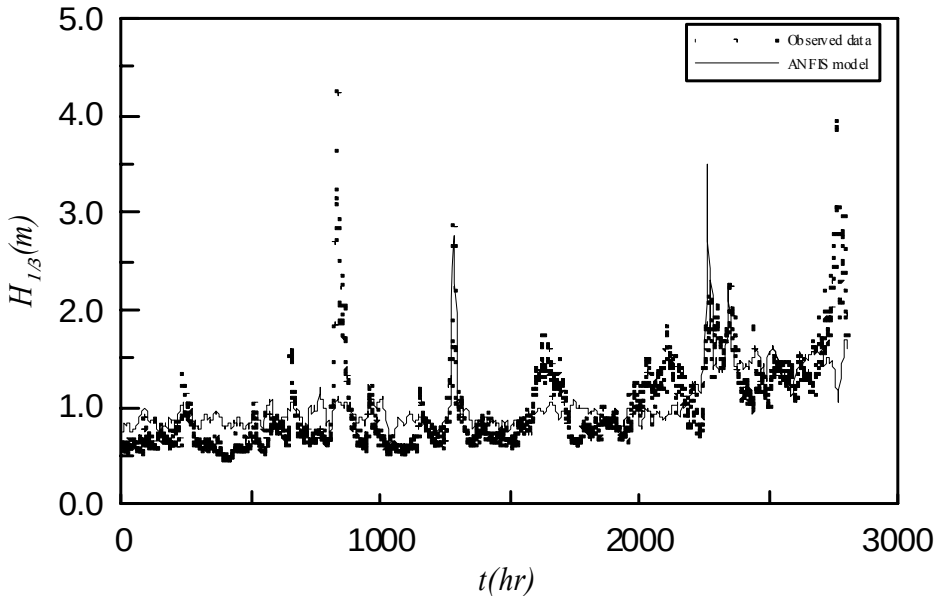


圖 3.3.42 2001 年 5-9 月實測與推算波高時序圖

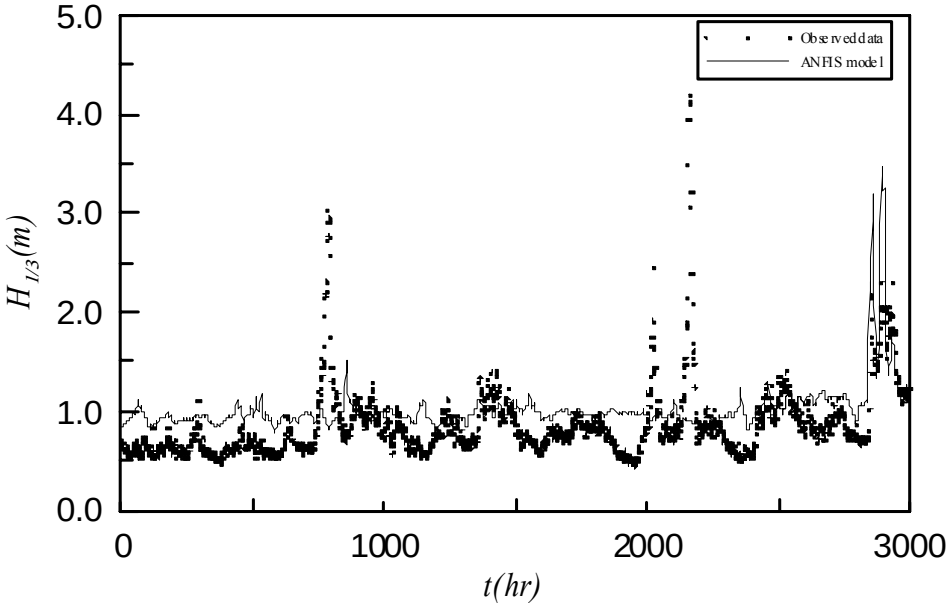


圖 3.3.43 2002 年 5~9 月實測與推算波高時序圖

c.全年推估結果

本模式僅利用 2001 年 1 月前 15 天資料以及 2001 年 6 月前 15 天資料，推估 2001-2002 年冬季與夏季時期之示性波浪，並將所推估 2001-2002 年示性波高之 *RMS* 值，依 2001-2002 年各月份整理示如圖 3.3.44 和圖 3.3.45。由圖中可知 2001 年所推估之結果 *RMS* 值都在 0.4m 以下，而 2002 年所推估之結果之 *RMS* 值，除了 3 個月份之外，其餘月份之 *RMS* 值也都在 0.4m 以下，其中 2001 年冬季的推估值之 *RMS* 值約在 0.27m~0.31m 之間，其 r^2=0.771，夏季的推估值之 *RMS* 值約在 0.23m~0.44m 之間，其 r^2=0.614。而 2002 年冬季推估值之 *RMS* 值約在 0.31m~0.41m 之間，其 r^2=0.772，夏季推估值之 *RMS* 值約在 0.22m~0.42m 之間，其 r^2=0.388。本模式相較於第二章兩種統計迴歸方式之結果，示如表 3.3.3，不論冬季或夏季時期，本模式推估之示性波高 *RMS* 值較迴歸模式推估者降低且 r^2 值也提升許多，由此顯示本模式比統計迴歸公式所推估之結果，具有較高的精度。

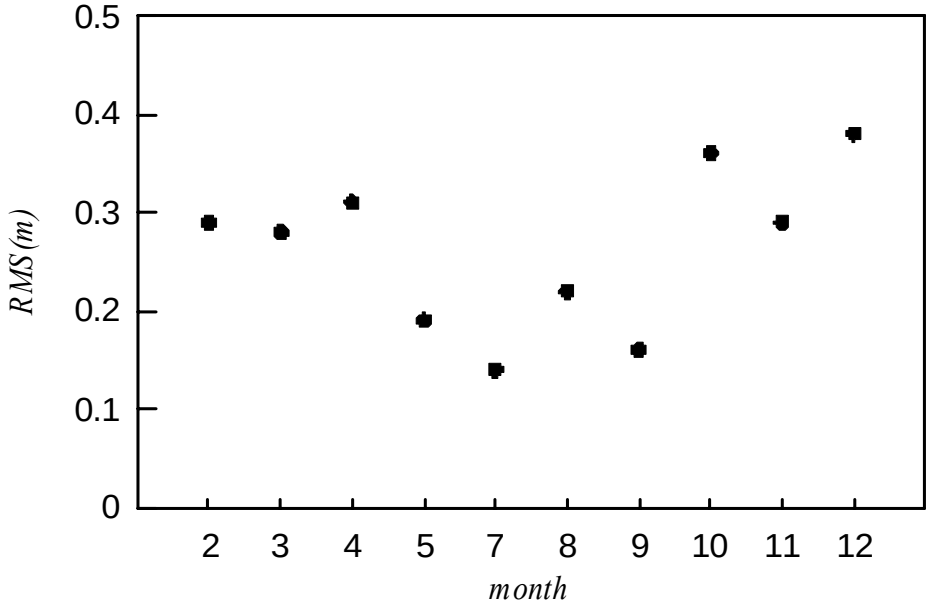


圖 3.3.44 2001 年各月份之推估波高 *RMS* 值

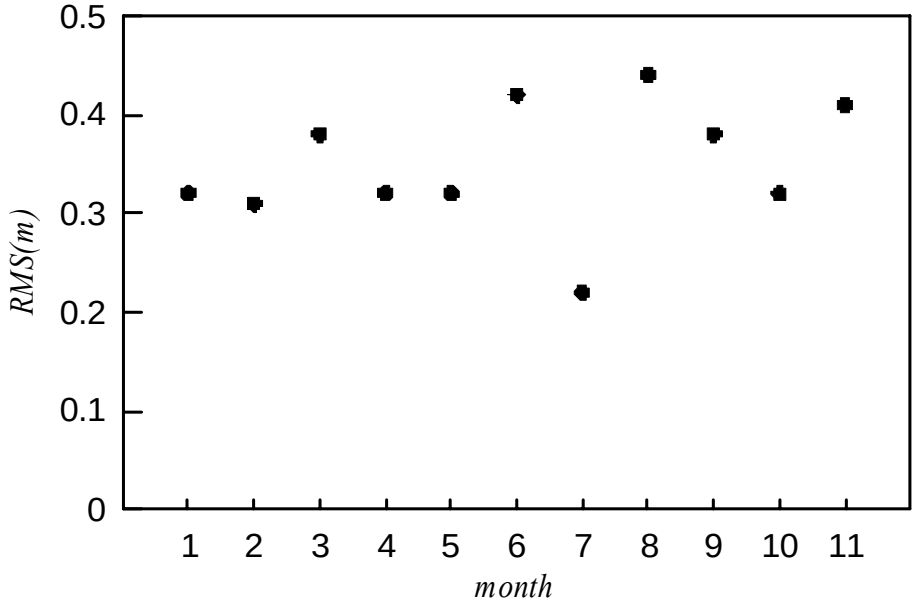


圖 3.3.45 2002 年各月份之推估波高 *RMS* 值

表 3.3.3 示性波高之冪次及線性迴歸與模式推估值的 *RMS* 與 r^2 值比較

	季風時期	冪次迴歸		線性迴歸		模式推算	
		RMS(m)	r^2	*RMS(m)*	r^2	*RMS(m)*	r^2
2001 年	冬季	0.53	0.21	0.51	0.26	0.27	0.77
	夏季	0.64	0.11	0.57	0.18	0.30	0.61
2002 年	冬季	0.43	0.23	0.41	0.33	0.34	0.77
	夏季	0.50	0.01	0.49	0.001	0.35	0.38

3.3.3 討論

類神經網路波浪推算模式以能量平衡方程式為基礎，在颱風波浪的計算上配合參數形式的颱風模式 Holland Model 藉由輸入參數與輸出函數間的關係，修正類神經網路轉換函數組成颱風波浪推算模式，並以臺灣東部海域花蓮港為例。颱風波浪推算模式可以有效且穩定的計算出推算區域內颱風波浪的行為。以類神經網路為核心並修正轉換函數所建構的颱風波浪推算模式，達到模式建構過程容易、計算快速、計算結果準確及模式具自我修正調校功能的目標，同時避免於一般數

值模式需較長計算時間，又能夠有相當精度之預測能力，於馬莎颱風與珊瑚颱風有較精確的推算，但是對於海棠與泰利之颱風中心因颱風與地形發生交互作用時，產生之變化。海棠與泰利颱風中心都曾產生上下層分離之情形，因此 Holland Model 與實測風場有較大的差異，導致類神經網路推算產生誤差。對於馬莎與珊瑚颱風，其颱風中心無變異情形則推算結果則較精確。因此，未來針對對於這樣的限制可以藉由結合及時風場資料或是更精準的颱風風場計算模式得到改善。

本計畫以冪次與線性之迴歸公式，來推估冬季與夏季季風之示性波高，但並沒有得到與實測值一致的預測值。因此藉由模糊類神經網路來建立適合的季節風波浪預報模式。本模式首先利用 ANFIS 來調整季節性變化之波浪，經過訓練資料長度的測試與 6 種不同網路輸入參數之比較，最後由推算之 RMS 值優劣選出，以 24 小時移動平均之風速作為模式之輸入參數，且只需 2001 年 1 月份之前 15 天和 6 月份之前 15 天的網路學習訓練，即可分別推估 2002 年冬季與夏季之示性波浪。

推估 2001 年冬季之示性波高 *RMS* 值約在 0.27m~0.3m，而 2002 年冬季所推估之示性波高的 *RMS* 值約在 0.31m~0.41m，所推估 2001 年夏季之示性波高 *RMS* 值約在 0.23m~0.44m，推估 2002 年夏季之示性波高 *RMS* 值約在 0.22m~0.42m，應用本模示可利用冬、夏兩季各 15 天之資料來訓練，即可精確地推算全年示性波高，在工程上具有較大的應用性，並可供海岸工程施工以及港灣船隻作業之參考。

3.4 相關模式

鑑於以橢圓型緩坡方程式(EMS)或具時變性演進型緩坡方程式(EEMSE)為基礎之近域波浪場模式均相當耗費電腦運算時間，勢必無法滿足未來線上作業之需求。為達成未來線上作業之目的，本計畫先於 3.2 節提出以具運算快速特性之 REF/DIF 區域波浪模式取代 EEMSE 近域波浪模式，為本計畫臺灣沿海波浪模擬系統之線上操作模式。惟以 REF/DIF 模式所構建之區域模式，無法有效地處理岸邊構造物反射

波問題，因此較適用於近岸自然岸灘波浪場模擬，或岸邊構造物具弱反射特性(即具良好消波特性)之波浪場模擬。對於反射現象顯著之港口或岸邊構造物之波浪場模擬，仍須以可以處理反射波之近域波浪模式如 EEMSE 模式或 EMS 模式模擬之。為克服近域波浪模式運算費時問題，港研中心提出以長期波浪模擬結果建立波場相關模式，以期達到未來線上作業之目標。

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

由於近域波浪場模擬相當費時，以及長期波浪觀測資料分析模擬亦相當費時，本計畫初期目標選取花蓮港為案例進行相關研究。同時考量模式運算速度及時間問題，本計畫將採用李等(2001)以有限元素法所構建的 EMS 模式取代目前 EEMSE 模式，模擬花蓮港近域波浪場。本計畫花蓮港波浪場相關數值模式計算範圍如圖 3.4.1 所示，圖中圓形點位代表全域 SWAN 模式輸出位置，菱形點位為港研中心波浪資料觀測位置，藍色實線所選取的範圍為有限元素法波浪模式 EMS 之計算範圍，粗黑點虛線為近岸區域模式模擬範圍。

3.4.1 EMS 港域波浪模式

EMS 港域波浪模式係以有限元素法求解波浪緩坡方程式，模式不僅可模擬波浪前進過程中因水深變化或阻礙物所造成之波浪折、繞射效應，亦可處理結構物邊界所產生的反射現象，因此本計畫所採用的 EMS 港域波浪模式實為一綜合考慮波浪繞射、折射及反射之港域波浪計算數值模式。其基本理論簡述如下：

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，波浪因而產生繞射、折射及

反射等效應。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 3.4.2 所示，所取之直角座標系統為 X 軸與海岸線重合，Y 軸向外海為正，Z 軸垂直紙面向上為正，Z＝0 為靜水面。外海半無線領域及有限領域別以領域(I)及(II)稱之，領域(I)及領域(II)之相連邊界為半徑 R_0 之半圓，以 B_1 表示。領域(II)則包含了港池內及港外半徑 R_0 之半圓區內水域部分，其所包括的海岸邊界、防波堤邊界及港池岸壁邊界以 B_2 表示。假設領域(I)為等水深 h_1，領域(II)之水深變化為 $h_2(x, y)$。各領域內水位變化 $\eta_j(x, y, t)$可表示成

$$\eta_j(x,y,t) = f_j(x,y)e^{i\omega t} \qquad , \ \mathrm{j} = 1,2 \tag{3.4.1}$$

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

$$\nabla^2 f_1 + K_1^2 f_1 = 0 \qquad \text{,在領域(I)內} \tag{3.4.2}$$

$$\nabla\cdot\left(C_2C_{2g}\nabla\phi\right)+\left(C_2C_{2g}K_2^2 + i\omega\mu + iC_{2g}\omega\gamma\right)\phi = 0 \qquad \text{,在領域(II)內} \tag{3.4.3}$$

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

$$\kappa = 0.5\left[1 + 2K_2h_2 / \sinh(2K_2h_2)\right] \tag{3.4.4}$$

上述方程式(3.4.2)為荷姆茲方程式之型態，式(3.4.3)則為修正型態之緩坡方程式(mild slope equation)。

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

$$\mu = \frac{2\kappa\omega}{K_2}\left[\frac{2f_r}{3\pi}\frac{aK_2^2}{\left(2K_2h_2 + \sinh 2K_2h_2\right)\sinh K_2h_2}\right] \tag{3.4.5}$$

式中a為波浪之振幅，f_r 為摩擦係數。碎波參數γ可採用下列計算式

$$\gamma = \frac{\chi}{h_2}\left(1 - \frac{\Gamma^2 h_2^2}{4a^2}\right) \tag{3.4.6}$$

式中 χ 及 Γ 分別為經驗常數(其值可分別採用 0.15 及 0.4)。

在領域(I)及(II)之交接假想邊界(B_1)上須滿足下列連續條件：

$$f_1 = f_2 \quad \text{,在邊界} B_1 \text{上} \tag{3.4.7}$$

$$C_1 C_{1g} \frac{\partial f_1}{\partial n} = -C_2 C_{2g} \frac{\partial f_2}{\partial n} \quad \text{,在邊界} B_1 \text{上} \tag{3.4.8}$$

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：

$$\frac{\partial f_2}{\partial n} = -i\alpha K_2 f_2 \quad \text{,在邊界} B_2 \text{上} \tag{3.4.9}$$

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

$$\alpha = \frac{1 - K_r}{1 + K_r} \tag{3.4.10}$$

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

$$f_1 = f_I + f_R + f_S \tag{3.4.11}$$

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：

$$\lim_{K_1 r \to \infty} \sqrt{r}\left(\frac{\partial}{\partial r} + iK_1\right) f_S = 0 \tag{3.4.12}$$

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 θ_0 角度，其複數表示為：

$$\eta^{I}(x,y,t) = A^{I} e^{-i[K_1(x\cos\theta_0 + y\sin\theta_0) - \omega t]} \tag{3.4.13}$$

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)

3.4.2 相關模式預報系統之建立

以有限元素法求解橢圓型緩坡方程式(FEM_EMS)時，數值網格大小必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基本要求。由於本計畫所考慮的波浪條件均屬短週期波浪，如風浪(wind wave)或湧浪(swells)等，因此模式所需之數值網格數量相當龐大，勢必無法採用傳統的人為方式構建，而必須藉助電腦輔助軟體或程式才能達成。本計畫採用 Kashiyama and Okada (1992)所發表的三角形網格自動生成方法建立滿足計算精度需求之三角形有限元素計算網格，首先對計畫模擬區域建立粗網格，如圖 3.4.3 所示，再依波浪條件產生滿足數值計算精度之細網格。當波浪條件為 5sec 時，本計畫模式計算所需之節點及三角形元素之數目分別為 250,943 個節點及 498,834 個元素；當波浪條件為 6sec 時，模式計算所需之節點及三角形元素之數目分別為 132,933 個節點及 263,621 個元素；當波浪條件大於 8sec 時，本計畫模式計算所採用的網格節點及三角形元素之數目分別為 49985 個節點及 98296 個元素。顯示當波浪週期愈短，模式計算所需之數值網格節點數及其所產生的三角形元素愈龐大，相對的模式計算所花費的電腦運算 CPU 亦非常可觀。

本計畫 FEM_EMS 波場模式之邊界條件主要有兩種，一為輻射邊界條件，係假設在波浪進行方向上無任何反射波產生，主要用於外海開放領域之假想邊界或港域內之開放邊界上；一為消能邊界條件，主要用於自然海岸或港工或海岸結構物等邊界上。此類海岸構造物邊界大都具有某種程度之消波功能，或設置拋石、護岸等消波設施以保護

結構物安全。雖然結構物反射係數之大小是影響港池振盪計算結果之重要因素之一，然反射係數大小除了與結構物之材質、透水性及形狀有關外，波浪週期、水深條件等均會影響反射係數大小。一般而言，所考慮之波浪條件屬於短週期波浪時，反射係數之決定往往允許較大的彈性範圍；反之，對長週期波浪而言，結構物反射係數通常很大(近乎等於 1)，此時邊界條件可視為全反射之情況。在實際應用上往往受反射係數大小不易決定之影響，因此計算過程中往往先給定固定之反射係數進行模擬，再依據模擬結果針對不同的岸邊構造物結構給予不同的反射係數進行校正。

波高、週期及波向為決定波浪場之三要素，因此模式之波浪模擬條件資料庫亦應包含此三要素。依據 2003 年港灣海地氣象觀測資料年報得知花蓮港波高、週期及波向歷年統計值分別為

(1)波高：0.5m 以下佔 7.8%、0.5～1.0m 佔 26.5%、1.0～1.5m 佔 31.4%、1.5～2.0m 佔 20.6%、2.0～3.0m 佔 12.3%、3.0～4.0m 佔 1.2%、4.0～5.0m 佔 1.2%。

(2)週期：4.0～5.0sec 佔 0.4%、5.0～6.0sec 佔 19.4%、6.0～7.0sec 佔 47.6%、7.0～8.0sec 佔 25.2%、8.0～9.0sec 佔 5.4%、9.0～10.0sec 佔 1.2%、10.0～12.0sec 佔 0.6%、12.0～15.0sec 佔 0.1%。

(3)波向：主要 NNE 佔 5.8%、NE 佔 16.3%、ENE 佔 9.5%、E 佔 18.3%、ESE 佔 24.5%、SE 佔 18.2%、SSE 佔 3.8%為主。

本計畫依據上述波浪長期觀測資料統計結果規畫出相關波浪模擬條件，其中週期模擬條件為 5.0～15sec 間以 0.5sec 為增量，共 21 組條件；波向選取 NE～SSE 間以 11.25º為增量共計 11 個波向。在波高模擬條件方面本計畫在不考慮波浪碎波效應之前題下，入射波高計算條件將可簡化為一單量。根據以上波浪條件共可模擬出 231 組花蓮港近域波浪場，並將模擬結果儲存建立花蓮港近域波浪場資料庫。其中每組波浪場資料包含了節點之座標(x, y)及、高放大係數及位相角，以及元素之節點編號資料。

本計畫進一步依據上述波浪模擬條件(波向及週期)建立關聯模式，亦即由外界讀取波浪條件波高週期及波向即可透過關聯模式進行條件比對，並自資料庫中讀取近域波浪場，同時將波浪場資料中振幅放大係數乘以波高值，再將相關資料轉成圖形，如圖 3.4.4～圖 3.4.5 所示。

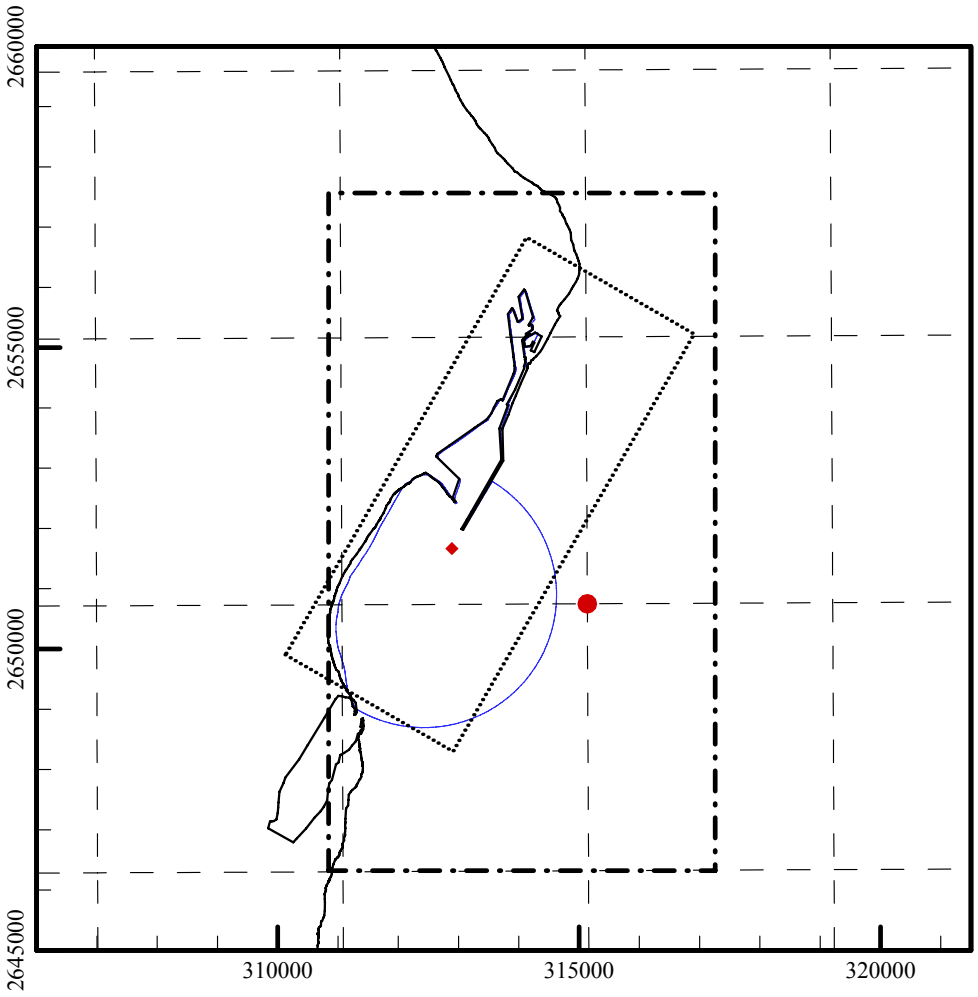


圖3.4.1 花蓮港波浪場相關數值模式模擬範圍示意圖(圖中虛線格網為全域SWAN模式計算網格，粗黑點虛線、點線及籃實線分別為區域模式、EEMSE模式及FEM_EMS模式之計算範圍，圓形代表SWAN模式輸出點位，菱形代表波浪資料觀測位置)

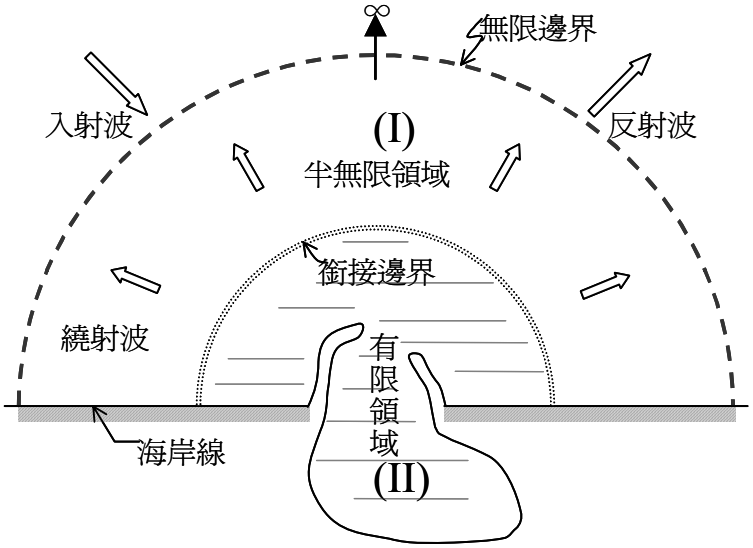


圖3.4.2 任意水深港域波浪場示意圖

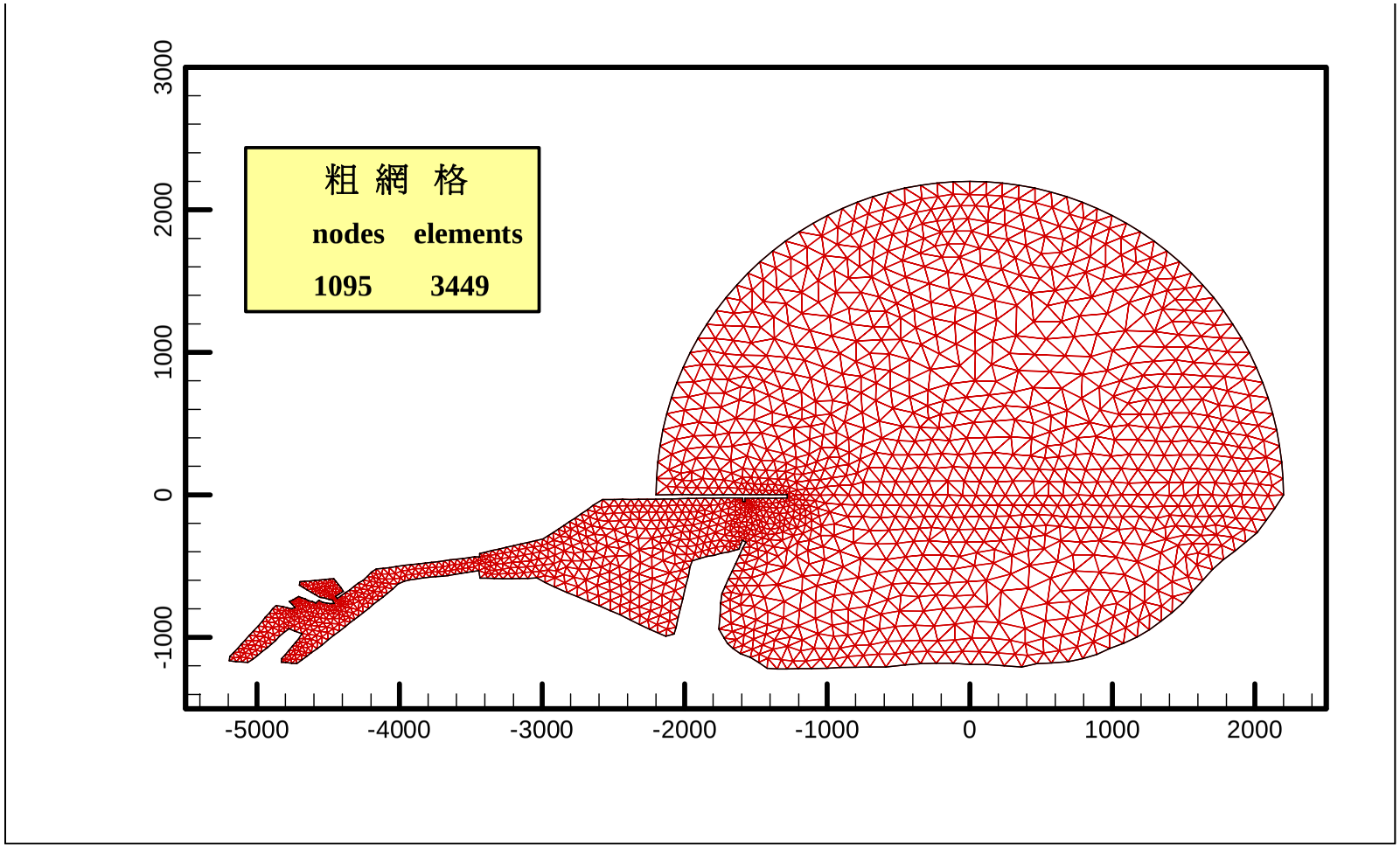


圖3.4.3 花蓮港波浪場三角形有限元素數值計算網格圖

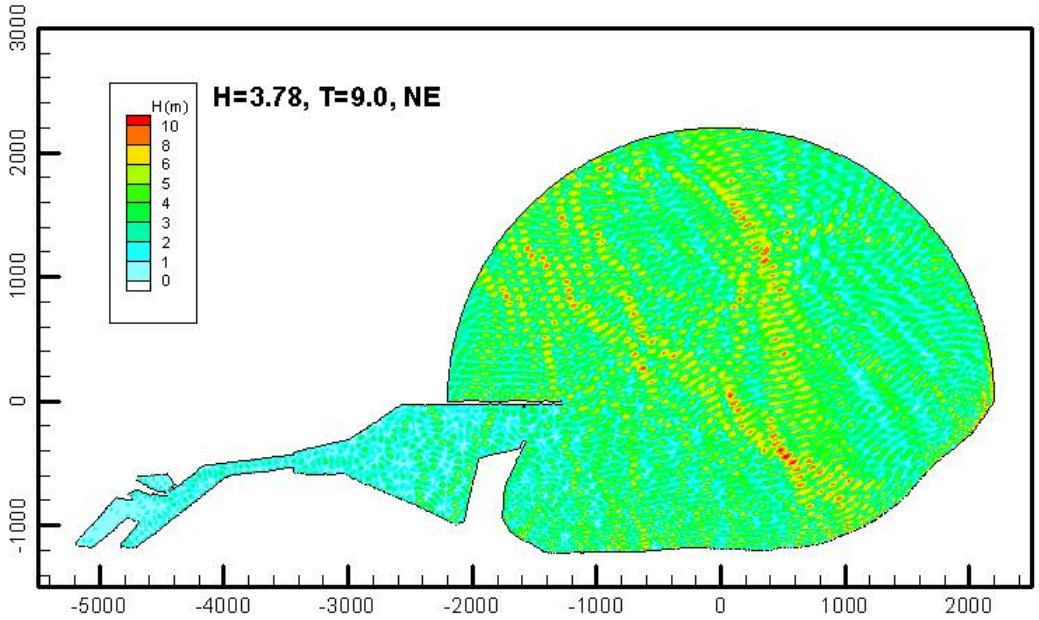


圖3.4.4 花蓮港近域波浪場之波高分布圖

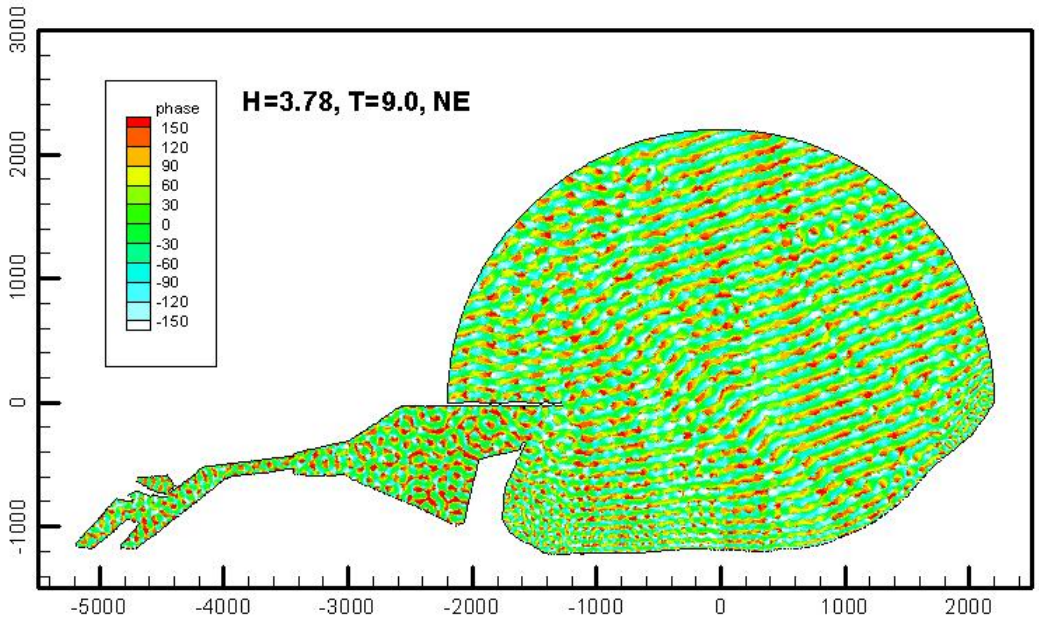


圖3.4.5 花蓮港近域波浪場之相位分布圖

3.5 國內主要商港最大波浪推算

由於波浪為近岸海域最複雜且影響最大之自然界外力之一，因此任何港灣工程或海洋結構物之規劃設計均有賴長期波浪資料作為規劃

設計或分析之依據。近年來，國內七大港口(基隆港、臺北港、臺中港、安平港、高雄港、花蓮港及蘇澳港等)已陸續建立海上長期海象觀測站，進行波浪、海潮流等海象資料現場即時觀測。惟對於港灣或海岸工程設計而言，上述波浪觀測資料仍屬有限，因此欲瞭解最大可能發生之波浪，仍有賴數值模式推算過去極端波浪如颱風波浪等，作為海岸工程相關設計之依據。

臺灣四周環海，夏秋之際時有颱風侵襲，因此臺灣四周海域之極端波浪實由颱風波浪決定之。梁等(1985)曾針對臺灣四周海岸選取野柳、觀音、臺中、高雄、臺東、花蓮及蘇澳等海岸，以實用法推算歷年(1949～1982 年)侵臺颱風所引起的颱風波浪；並選取波高極端值利用 Gumbel 分佈求取上述海岸 50 年復現期距之最大颱風波高，分別得到野柳 15.23m(本站採用湯麟武法)、觀音 8.44m、臺中 9.37m、高雄 8.72m、臺東 10.42m、花蓮 10.74m 及蘇澳 11.34m(註：極端值樣本數 34)。張及邱(1997)亦曾以統計回歸方法推導出颱風波浪推算公式，並據以推算蘇澳港颱風波浪，配合極值統計分析方法得到蘇澳港 50 年復現期距之颱風波高約為 10.3～11.7m(極端值樣本數 10)。劉等(2000)年曾選取 1971～1998 年間侵臺颱風資料，利用移動風域數值推算法(或稱之湯麟武法)推算臺灣西南海域布袋港等 9 個海岸地區之颱風波浪。

為瞭解國內七大港口可能發生之最大波浪，乃利用本計畫所構建之定點風域推算半經驗颱風波浪模式，推算歷年颱風侵襲時七大港口可能發生最大波浪之波高、週期及波向。各港口推算點位置及推算之吹風距離線如圖 3.5.1 所示，各推算點之經緯度座標及水深如表 3.5.1 所示。

3.5.1 定點風域推算半經驗颱風波浪模式

模式之基本理論及計算原理說明如下：

3.5.1.1 深海波浪

在深海時根據 Wilson(1955)之方法推算深海風浪，即以下列近似公式推算波浪之波高與週期，即

$$\frac{gH}{U^2} = \alpha \tanh\left[k_1 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{1/2} \right] \tag{3.5.1}$$

$$\frac{gT}{2\pi U} = \beta \tanh\left[k_2 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{1/3} \right] \tag{3.5.2}$$

式中 H 為示性波波高，T 為示性波週期，F 為吹風距離；U 為風速，g 為重力加速度；α, β, k_1 及 k_2 為常數值，分別等於 0.26、1.40、0.01 及 0.0436。

3.5.1.2 淺海波浪

當波浪進入淺水區後，依風、浪、水深間之關係為(湯,1968)

$$\frac{gH}{U^2} = \alpha \tanh\left[k_3 \left(\frac{gD}{U^2} \right)^{3/4} \right] \tanh\left\{ \frac{k_1 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{1/2}}{\tanh\left[k_3 \left(\frac{gD}{U^2} \right)^{3/4} \right]} \right\} \tag{3.5.3}$$

$$\frac{gT}{2\pi U} = \beta \tanh\left[k_4 \left(\frac{gD}{U^2} \right)^{3/8} \right] \tanh\left\{ \frac{k_2 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{1/3}}{\tanh\left[k_4 \left(\frac{gD}{U^2} \right)^{3/8} \right]} \right\} \tag{3.5.4}$$

式中 D 表示水深，常數 k_3=0.578，k_4=0.520。當 $D \to \infty$ 時此二式可簡化為(3.5.1)及(3.5.2)式。

3.5.1.3 數值計算法

在深海中若已知某一時間在海面第 n 點($x = x_n$，$t = t_n$)之波高 H_n、週期 T_n、群速度 G_n 及風速 U_n，則順風方向 Δx 距離處(即 $x_{n+1} = x_n + \Delta x$，如 Δx 甚小時風速及水深可視為常數)之波高 H_{n+1} 及群速度 G_{n+1} 分別為

$$H_{n+1} = H_n + \left(\frac{dH}{dx} \right)_n \Delta x \tag{3.5.5}$$

$$G_{n+1} = G_n + \left(\frac{dG}{dx} \right)_n \Delta x \tag{3.5.6}$$

式中 $(dH/dx)_n$ 及 $(dG/dx)_n$ 可由(3.5.1)及(3.5.2)式得到，即

$$\left(\frac{dH}{dx}\right)_n = \frac{k_1^2}{\alpha}\frac{\left(\alpha + gH_n/U_n^2\right)\left(\alpha - gH_n/U_n^2\right)}{\ln\left(\alpha + gH_n/U_n^2\right) - \ln\left(\alpha - gH_n/U_n^2\right)} \tag{3.5.7}$$

$$\left(\frac{dG}{dx}\right)_n = \frac{8k_2^3 g}{3\beta U_n}\frac{\left(\beta/2 + G_n/U_n\right)\left(\beta/2 - G_n/U_n\right)}{\left[\ln\left(\beta/2 + G_n/U_n\right) - \ln\left(\beta/2 - G_n/U_n\right)\right]} \tag{3.5.8}$$

當風浪進入淺海區後，波高仍可依(3.5.5)式計算之，其中 $(dH/dx)_n$ 可由(3.5.3)式求得如下：

$$\left(\frac{dH}{dx}\right)_n = \frac{k_1^2}{\alpha}\frac{\left(\alpha\mu_n + gH_n/U_n^2\right)\left(\alpha\mu_n - gH_n/U_n^2\right)}{(\alpha\mu_n)^3\left[\ln\left(\alpha\mu_n + gH_n/U_n^2\right) - \ln\left(\alpha\mu_n - gH_n/U_n^2\right)\right]} \tag{3.5.9}$$

式中 $\mu_n = \tanh\left[k_3\left(gD_n/U_n^2\right)^{3/4}\right]$。

唯在淺海中之群速度與在深海中不同，無法直接計算 G 或 T，故需藉由下列關係式求得。

$$\frac{G}{U} = \frac{1}{2}\left[1 + \frac{2kD}{\sinh(2kD)}\right]\frac{gT}{2\pi U}\tanh(kD) \tag{3.5.10}$$

式中 k 為週波數($k = 2\pi/L$，L 為水深 D 處之波長)。由於(3.5.10)式為非線性方程式，無法直接求得 G 值，必須將 G 改為 $f(x,U,d)$之形式，始可進行計算。令

$$S = \frac{2\pi D}{L_0} \quad ; \quad y = \frac{2\pi D}{L}$$

其中 L_0 為深海處之波長$\left(= gT^2/2\pi\right)$，則 S 可改寫

$$S = \frac{4\pi^2 D}{gT^2} = \frac{gD/U^2}{\left(gT/2\pi U\right)^2} \tag{3.5.11}$$

由(3.5.11)式可得到下列關係式

$$\frac{gT}{2\pi U} = \left(\frac{gD/U^2}{S}\right)^{1/2} \tag{3.5.12}$$

同樣地由波浪之延散關係式知

$$S=\frac{2\pi D}{L}\tanh\left(\frac{2\pi D}{L}\right)=y\tanh(y) \tag{3.5.13}$$

將(3.5.12)及(3.5.13)式代入(3.5.10)式得到

$$\frac{G}{U}\frac{1}{\left(gD/U^2\right)^{1/2}}=\frac{1}{2yS^{1/2}}\left(S-S^2+y^2\right) \tag{3.5.14}$$

上式等號右手邊可以表示為S之函數，等號左手邊可改寫為

$$Z=\frac{G/U}{\left(gD/U^2\right)^{1/2}}=\frac{G}{\sqrt{gD}}=f(S) \tag{3.5.15}$$

其中$G/\sqrt{gD}$為群速度與長波波速之比，因此 Z 又稱為無因次群速度。當波浪為深水波時，$S\geq\pi$，$S=y$，則$Z=\sqrt{S}/2$；水深甚淺時，$\tanh(y)\approx y$，$S=y^2$，則$Z=1-S/2\approx 1$。當波浪為長波時$G=\sqrt{gD}$，$Z=1$，故Z可用於表示波浪特性。當水深$D=L_0/2$時，則$S=\pi$為深水波與淺水波之限界，此時$Z=1/\left(2\sqrt{\pi}\right)=0.2821$。即

$Z<0.2821$	波浪為深水波
$0.2821\leq Z<1$	波浪為淺水波
$Z=1$	波浪為淺灘波

在$0<S<\pi$之區間內(即淺海波浪狀況下)，由於(3.5.15)式無法用理論求解，因此Z與S間之關係可以多項式型式表示其近似式為：

$$Z=1-a_1S-a_2S^2-\cdots\cdots-a_6S^6 \tag{3.5.16}$$

式中常數$a_1=0.4536$、$a_2=0.0931$、$a_3=-0.2745$、$a_4=0.17033$、$a_5=-0.0476$及$a_6=0.005067$。

同理，S 亦可表示為 Z 之函數，其近似式為：

$$S=b_1(1-Z)+b_2(1-Z)^2+\cdots\cdots+b_7(1-Z)^7 \tag{3.5.17}$$

其中$b_1=2.464857$、$b_2=-7.35305\dot{}$、$b_3=52.74583\dot{}$、$b_4=-162.2\dot{}$、$b_5=275.83\dot{}$、$b_6=-247.2\dot{}$及$b_7=101.190476$。

如已知 S 即可求出 Z，則波浪之群速度 $G = Z\sqrt{gD}$，故欲求淺水波之週期及群速度時須先求出 S。因此在淺水波之計算中，已知第 n 點之波高 H_n 及群速度 G_n，可先求出第 n 點在風域圖上之位置 x_n、t_n 處之風速 U_n 及水深 D_n，再進一步計算第 $n+1$ 點之波浪特性如下：

波高之計算如前述，以(3.5.5)及(3.5.9)式計算之，即

$$H_{n+1} = H_n + \left(\frac{dH}{dx}\right)_n \Delta x$$

$$\left(\frac{dH}{dx}\right)_n = \frac{k_1^2}{\alpha} \frac{\left(\alpha\mu_n + gH_n/U_n^2\right)\left(\alpha\mu_n - gH_n/U_n^2\right)}{\left(\alpha\mu_n\right)^3\left[\ln\left(\alpha\mu_n + gH_n/U_n^2\right) - \ln\left(\alpha\mu_n - gH_n/U_n^2\right)\right]}$$

式中 $\mu_n = \tanh\left[k_3\left(gD_n/U_n^2\right)^{3/4}\right]$。

已知 G_n、D_n 可計算 $Z_n = G_n/\sqrt{gD_n}$，由(3.3.16)式計算出 S_n 後利用積分觀念求 S_{n+1}：

$$S_{n+1} = S_n + \left(\frac{dS}{dx}\right)_n \Delta x \tag{3.5.18}$$

將(3.5.4)式代入(3.5.11)式得到

$$S = \left(\frac{gD}{U^2}\right)\left\{\beta\tanh\left[k_4\left(gD/U^2\right)^{3/8}\right]\tanh\left\{\frac{k_2\left(gF/U^2\right)^{1/3}}{\tanh\left[k_4\left(gD/U^2\right)^{3/8}\right]}\right\}\right\}^{-2} \tag{3.5.19}$$

則

$$\left(\frac{dS}{dx}\right)_n = -\frac{8k_2^3}{3\beta}\frac{g}{U_n^2}\frac{S_n}{\left(\nu_n\right)^4\left[\left(1/S_n\right)\left(gD_n/U_n^2\right)\right]^{1/2}} \times \frac{\left|\beta\nu_n + \left(1/S\right)^{1/2}\left(gD_n/U_n^2\right)^{1/2}\right|\left|\beta\nu_n - \left(1/S_n\right)^{1/2}\left(gD_n/U_n^2\right)^{1/2}\right|}{\left\{\ln\left[\beta\nu + \left(1/S_n\right)^{1/2}\left(gD_n/U_n^2\right)^{1/2}\right] - \ln\left[\beta\nu - \left(1/S_n\right)^{1/2}\left(gD_n/U_n^2\right)^{1/2}\right]\right\}^2} \tag{3.5.20}$$

式中 $\nu_n = \tanh\left[k_4\left(gD_n/U_n^2\right)^{3/8}\right]$。

當S_{n+1}求出後，再由(3.5.16)式計算Z_{n+1}。因在Δx區域內水深均假設為D_n，故當波浪接近$n+1$點時，波浪之群速度及週期分別為

$$G_{n+1}=Z_{n+1}\sqrt{gD_n} \tag{3.5.21}$$

$$T_{n+1}=2\pi\sqrt{(D_n/gS_{n+1})} \tag{3.5.22}$$

於上述計算中要決定Δx及Δt之前，需先決定Δx及Δt之最大值，即在$(\Delta x)_{\max}$之區間內，海面風速可作為常數，在$(\Delta t)_{\max}$之時間內可視為沒有變化。如以颱風為例超過 20 分鐘以上風速風向必有變化，故$(\Delta t)_{\max}$決不能超過 20min(即 1200sec)；而海面在 5km 之範圍內，如不考慮水深之影響，風速可視為常數，因此$(\Delta x)_{\max}$應為 5km 以下。已知G_n時，Δx及Δt可由以下決定：

$$G_n \geq \frac{(\Delta x)_{\max}}{(\Delta t)_{\max}} \text{時，} \quad \Delta x=(\Delta x)_{\max} \text{，} \quad \Delta t=\frac{(\Delta x)_{\max}}{G_n} \tag{3.5.23a}$$

$$G_n < \frac{(\Delta x)_{\max}}{(\Delta t)_{\max}} \text{時，} \quad \Delta x=G_n(\Delta t)_{\max} \text{，} \quad \Delta t=(\Delta t)_{\max} \tag{3.5.23b}$$

由於Δx之區間內水深須視作常數而計算，故如海底比降較陡時，$(\Delta x)_{\max}$須甚小，例如海底比降為$s=1/100$時，$(\Delta x)_{\max}$如定為 1000m 則D_n與D_{n+1}即須相差 10m 之多，故必要時$(\Delta x)_{\max}$須小至 100m 左右，此時$(\Delta t)_{\max}$亦應相對減少。

當$n+1$點之波浪求出後，可用同樣方法求出$n+2$點之波浪，因自該點起之Δx區間內，均以水深D_{n+1}計算，故之前所求之S_{n+1}及Z_{n+1}均不適用，須重新以$G_{n+1}/\sqrt{gD_{n+1}}$作為Z_{n+1}，再計算S_{n+1}。

3.5.1.4 湧浪及風浪之發達與減衰之辨別

波浪變成湧浪狀態時之辨別條件，在深海中為

$$\alpha \leq \frac{gH_n}{U_n^2} \tag{3.5.24}$$

或

$$\frac{\beta}{2} \le \frac{G_n}{U_n} \tag{3.5.25}$$

在淺海中

$$\alpha \tanh\left[k_3\left(gD_n/U_n^2\right)^{3/4}\right] \le \frac{gH_n}{U_n^2} \tag{3.5.26}$$

或

$$\beta \tanh\left[k_4\left(gD_n/U_n^2\right)^{3/8}\right] \le \sqrt{\frac{1}{S_n}\frac{gD_n}{U_n^2}} \tag{3.5.27}$$

如在計算過程中遇到上述兩種情況時(即波浪已變為湧浪)，須改由下列公式計算其波高及週期：

$$\frac{H_{n+1}}{H_F} = \cosh^{-1}\left\{0.66\left(\frac{F}{H_F}\right)^{0.05}\left(\frac{A_n+\Delta x}{F}\right)^{0.25}\tanh\left[3.0\left(\frac{A_n+\Delta x}{F}\right)^{0.30}\right]\right\} \tag{3.5.28}$$

$$\frac{T_{n+1}}{T_F} = \cosh^{1/2}\left\{1.74\left(\frac{2\pi F}{gT_F^2}\right)^{-0.05}\left(\frac{A_n+\Delta x}{F}\right)^{0.20}\tanh\left[1.02\left(\frac{2\pi F}{gT_F^2}\right)^{-0.04}\left(\frac{A_n+\Delta x}{F}\right)^{0.32}\right]\right\} \tag{3.5.29}$$

式中H_F與T_F分別為甫脫出風域時之波高及週期，F為風域長度，$A_n+\Delta x$表示第$n+1$點在脫離風域後之距離。

如在淺水區內則須考慮因底床摩擦引起之能量消散，可採用Bretschneider及Reid(1954)之方法計算損失之波高$(\Delta H)_f$如下：

$$H_{n+1} = \cosh^{-1}\left\{0.66\left(\frac{F}{H_F}\right)^{0.05}\left(\frac{A_n+\Delta x}{F}\right)^{0.25}\tanh\left[3.0\left(\frac{A_n+\Delta x}{F}\right)^{0.30}\right]\right\}H_F - \left[1-\frac{1}{fH_n\Delta x\Phi+1}\right]H_n \tag{3.5.30}$$

其中

$$\Phi = \frac{16\pi^2}{3g}\frac{1}{G_n T_n}\left\{\sinh\left[Z_n\sqrt{S_n}+\sqrt{\left(Z_n^2-1\right)S_n+S_n^2}\right]\right\}^{-3} \tag{3.5.31}$$

(3.5.30)式之常數 f 為底床摩擦係數，通常可採用 Bretschneider 所假設之值 $f=0.01$。

此外，如果波浪狀況屬於下列條件：

$$\alpha\tanh\left[k_3\left(gD_n/U_n^2\right)^{3/4}\right]\le\frac{gH_n}{U_n^2}<\alpha \tag{3.5.32}$$

時，表示波浪屬於衰減風浪，此時波高之計算須修正為

$$H_{n+1}=\cosh^{-1}\left\{0.66\left(\frac{F}{H_F}\right)^{0.05}\left(\frac{A_n+\Delta x}{F}\right)^{0.25}\tanh\left[3.0\left(\frac{A_n+\Delta x}{F}\right)^{0.30}\right]\right\}H_n+$$

$$\frac{k_1^2\Delta x\left(\alpha+gH_n/U_n^2\right)\left(\alpha-gH_n/U_n^2\right)}{\alpha\left[\ln\left(\alpha+gH_n/U_n^2\right)-\ln\left(\alpha-gH_n/U_n^2\right)\right]}-\left[1-\frac{1}{fH_n\Delta x\Phi+1}\right]H_n \tag{3.5.33}$$

3.5.1.5 吹風距離線上之風速決定

已知計算颱風之中心氣壓 P_c (單位為 mb)、進行路徑(方向)及移動速度 V_F 時，求各吹風距離線上之風速之具體步驟如下：

1.模型颱風之壓力分佈公式：

$$P=P_c+\Delta P\exp\left(-R_0/R\right) \tag{3.5.34}$$

- 其中P_c為颱風中心氣壓(單位為mb)，ΔP等於1013-P_c，R_0為最大風速處距離中心之距離(km)，R為距離颱風中心之距離，R_0根據公式(3-7-4)計算之。

2.傾度風計算公式如下：

$$V_g=\left[\frac{\Delta P}{\rho_a}\frac{R_0}{R}\exp\left(-R_0/R\right)+R^2\Omega^2\sin^2\phi\right]^{1/2}-R\Omega\sin\phi \tag{3.5.35}$$

- 式中V_g為傾度風之風速(m/sec)，Ω為地球自轉角速率(sec^{-1})，ϕ為颱風所經過之緯度平均值，ρ_a為空氣密度(kg/m^3)，R為與颱風中心之距離(km)。

3.以計算點為原點，吹風距離線為x軸，與之垂直之線為y軸，決定$t=0$時刻之颱風中心位置為(x_c, y_c)，則任何時間、地點之吹風距離線上風速均可由下列公式求出為：

$$U(x,t)=C_{W1}\left\{-\frac{1}{R}\left[\sin(\alpha)(x-V_x t-x_c)+\cos(\alpha)(-V_y t-y_c)\right]+\frac{C_{W2}V_x}{(V_g)_{\max}}\right\}V_g \quad (3.5.36)$$

- 其中

$$R=\left[(x-V_x t-x_c)^2+(-V_y t-y_c)^2\right]^{1/2} \quad (3.5.37)$$

- 式中V_x及V_y各為颱風移動速度在x與y軸之分量，$(V_g)_{\max}$為$R=R_0$時最大傾度風速；α在北緯25°以南為35°，在北緯25°以北為30°；C_{W1}及C_{W2}為颱風風場參數。

3.5.1.6 計算起點之決定

由於此計算方法不用風域圖，故必須以計算方法求出波浪前進線之起始點。如假設以吹風距離線上$U=U_0$處為波浪計算之起始點，則此點對應之位置x_0及時間t_0可由下列方程式求出：

$$U_0=C_{W1}\left\{-\frac{1}{R}\left[\sin(\alpha)(x_0-V_x t_0-x_c)+\cos(\alpha)(-V_y t_0-y_c)\right]+\frac{C_{W2}V_x}{(V_g)_{\max}}\right\}V_g \quad (3.5.38)$$

$$R=\left[(x_0-V_x t_0-x_c)^2+(-V_y t_0-y_c)^2\right]^{1/2} \quad (3.5.39)$$

由於上列方程式無法經由解析的方求解，故須採用近似解法。令

$$\Theta=\sin(\alpha)(x_0-V_x t_0-x_c)+\cos(\alpha)(-V_y t_0-y_c)，$$

則(3.5.38)式可簡化為

$$U_0=-C_{W1}\left\{\frac{\Theta}{R}-\frac{C_{W2}V_x}{(V_g)_{\max}}\right\}V_g \quad (3.5.40)$$

式中V_g僅為距離R之函數，因此上式可以表示成$F(R, \Theta)=0$之函數型式。代入數值後計算Θ。由計算結果得知在$R=100km$～$500km$之範圍內，Θ與R^2之關係可用二次曲線表示之，即

$$\Theta^2 + c_1\Theta + c_2R^2 + c_3 = 0 \tag{3.5.41}$$

其中Θ^2、R^2為 x_0 與 t_0 之二次函數，Θ為x_0 與 t_0之一次函數，則(3.5.41)式為x_0 與 t_0之二次方程式，其解為

$$x_0 = c_6t_0 + c_7 \pm \sqrt{c_8t_0^2 + c_9t_0 + c_{10}} \tag{3.5.42}$$

因此已知 t_0即可求出 x_0，每一吹風距離線必須求一次，若路徑有變動時亦須另求一次。

基本上，移動風域數值推算法屬於一種定點線風域(line fetch)波浪推算模式，模式所考慮的颱風移動路徑亦為直線；因此採用此模式推算颱風波浪時，模式所需輸入的颱風資料包括颱風位置(經、緯度)、颱風中心氣壓(P_c)、颱風移動速度(V_F)與行徑方向(θ_F)等(如表 3-3.1 所列)。此外，模式必須給定推算點位置(經、緯度)與自推算點延伸出去之吹風距離線及其相關水深資料、最大吹風距離長度等。

3.5.2 歷年颱風波浪推算結果

由於颱風所引起之波浪常因颱風強度與路徑之不同而有明顯的差異，故本計畫整理歷年(1971～2000)侵臺颱風路徑，並選取通過(117º, 20º)－(123º, 26º)範圍內之侵臺颱風共 101 個颱風，如圖 3.5.2 所示，藉以推算七大港口可能發生之最大颱風波浪。

基本上，本計畫定點風域推算半經驗颱風波浪模式所考慮的颱風移動路徑為一直線移動之風域，因此模式在推算颱風波浪時需事先決定颱風位置(經、緯度)、颱風中心氣壓(P_c)、颱風移動速度(V_F)與行徑方向(θ_F)等資料，颱風相關資料之決定說明如下：

(1)颱風位置之決定：根據中央氣象局所發布之颱風警報資料，參考颱風之行進路徑選取接近本計畫計算範圍(117º, 20º)－(123º, 26º)之颱風中心位置及時間為模式之輸入條件；

(2)颱風移動方向之決定：根據中央氣象局所發布之颱風警報資料，分別選取颱風登陸前後或接近臺灣之颱風中心位置，計算颱風移動方向及移動速度；

(3)颱風中心氣壓之決定：由颱風警報資料中選取最低中心低氣壓及颱風登陸前或接近臺灣時之中心氣壓計算其平均值，為模式之颱風中心氣壓；

(4)颱風波浪推算起始點之風速 U_0 設定為 8.0m/sec。

此外，對於特殊或複雜之颱風行進路徑者如 1977 年 AMY、THELMA、1986 年 WAYNE、1996 年 GIORIA 等另行計算之。

各港口(花蓮港、蘇澳港、基隆港、臺北港、臺中港、安平港及高雄港歷年(1971～2000)颱風波浪推算結果整理如表 3.5.2 至表 3.5.8 所列，計算結果顯示各港口最大可能颱風波浪分別為:花蓮港 11.9 公尺(NINA, 1975)、蘇澳港 10.9 公尺(HERB, 1996)、基隆港 10.4 公尺(HERB, 1996)、臺北港 6.6 公尺(TED, 1991)、臺中港 5.5 公尺(NINA, 1975 及 HERB, 1996)、安平港 5.4 公尺(THELMA, 1977)及高雄港 7.3 公尺(WILDA, 1973)。

為進一步瞭解各港口颱風波浪推算結果之特性，本計畫選取梁等(1985)推算花蓮港、蘇澳港、、臺中港及高雄港四港口颱風波浪之結果進行比較，如表 3-7.9 所示。顯示本計畫部份颱風波浪推算結果與梁等推算結果差異頗大，探就其原因可能為本計畫推算結果受到颱風行進路徑與推算點間相對位置關係影響較大，故非所有強烈颱風均會對各港口產生較大的颱風波浪。此外，對於西部港口而言，由於受到臺灣海峽之影響各波向線上之吹風距離明顯受到限制，故本計畫模式所推算之颱風波浪大都呈現週期較短之風浪，故波高值明顯地較梁等(1985)計算結果為低。

表 3.5.1 七大港口颱風波浪推算點位置及水深表

港口名稱	波浪推算點位置 (經度, 緯度)		波浪推算點水深 (m)
花蓮港	121.614	24.056	37
蘇澳港	121.872	24.579	37
基隆港	121.756	25.187	40
臺北港	121.354	25.181	20
臺中港	120.416	24.245	20
安平港	120.108	22.956	20
高雄港	120.283	22.548	20

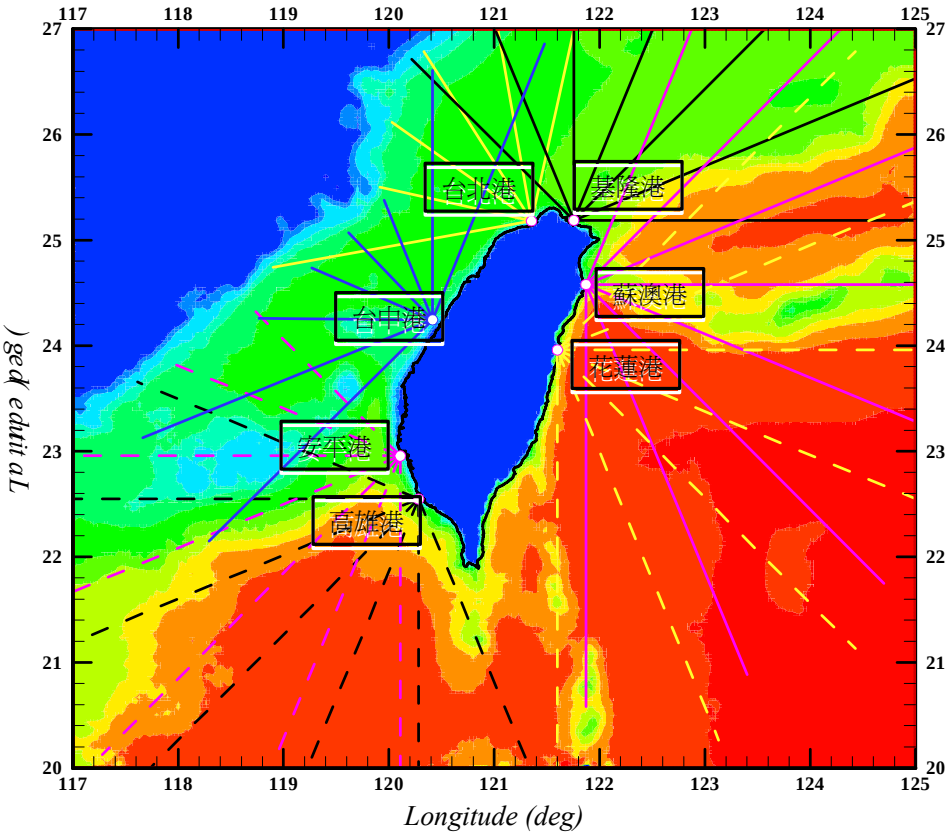


圖3.5.1 各港口推算點位置及吹風距離線示意圖

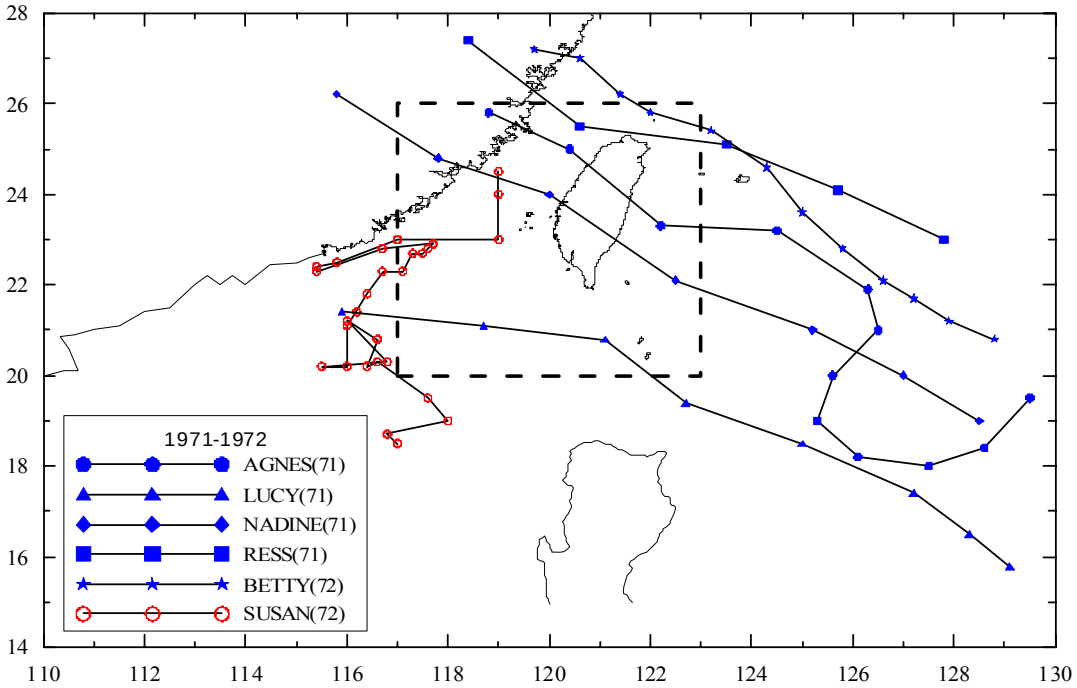


圖 3.5.2　歷年侵臺颱風路徑圖 (1971-1972 年)

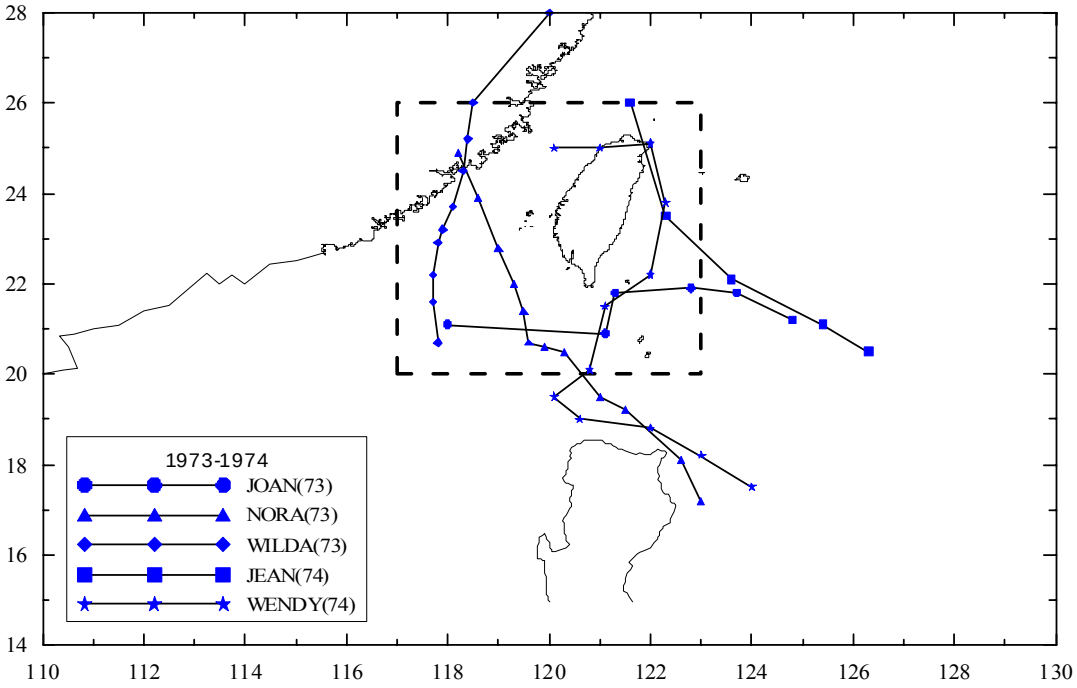


圖 3.5.2　(續 1)歷年侵臺颱風路徑圖 (1973-1974 年)

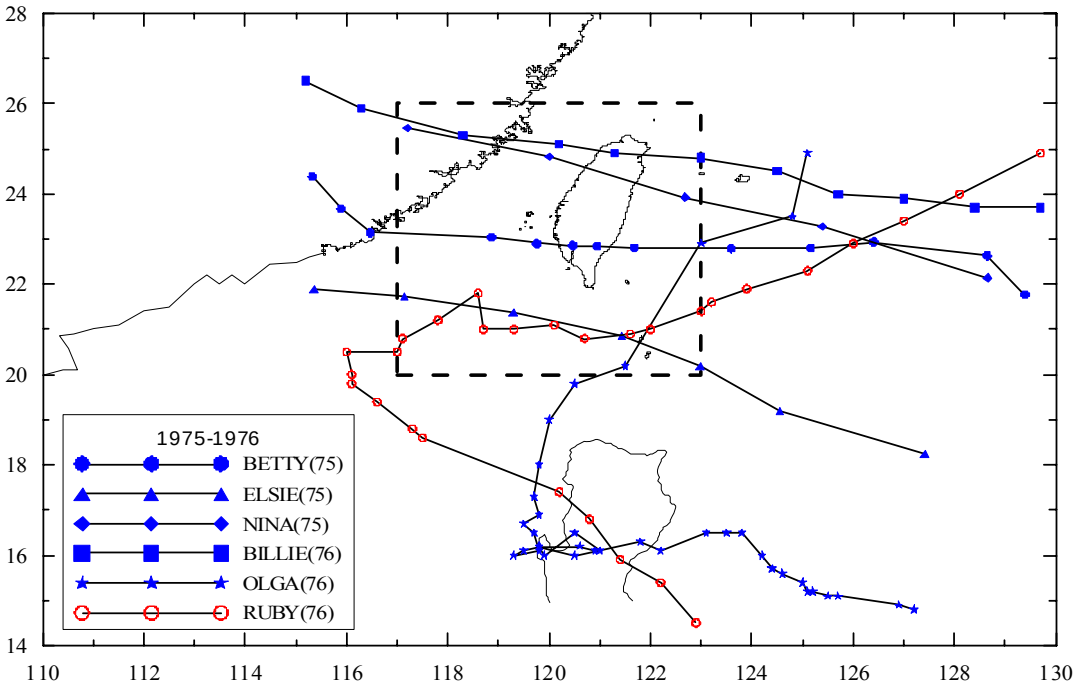


圖 3.5.2　(續 2)歷年侵臺颱風路徑圖 (1975-1976 年)

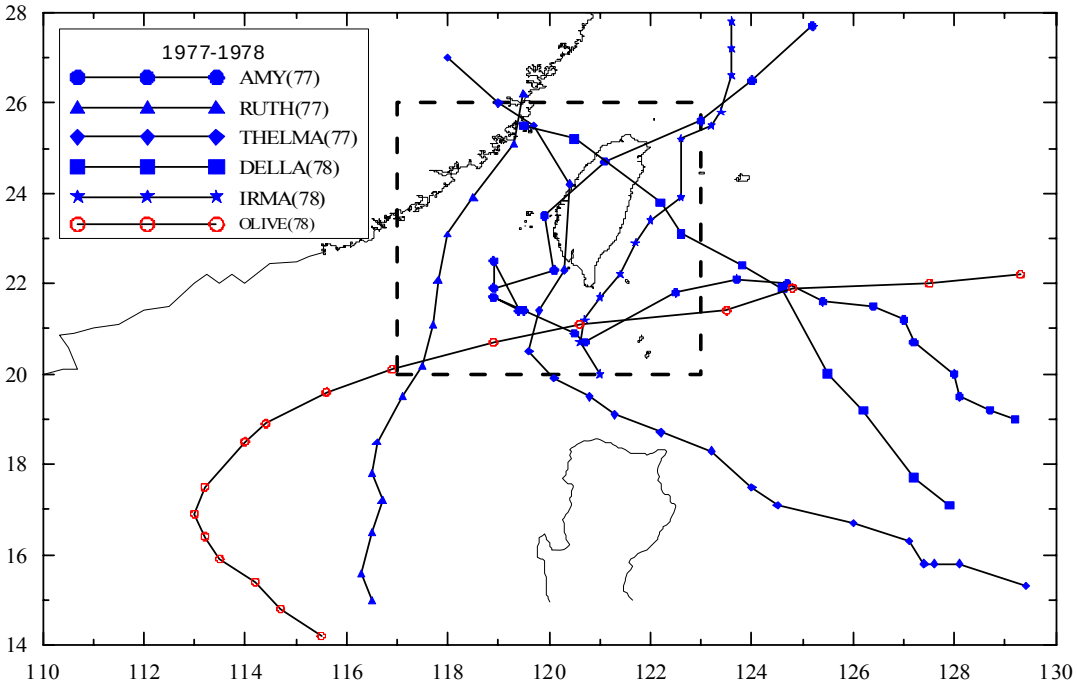


圖 3.5.2　(續 3)歷年侵臺颱風路徑圖 (1977-1978 年)

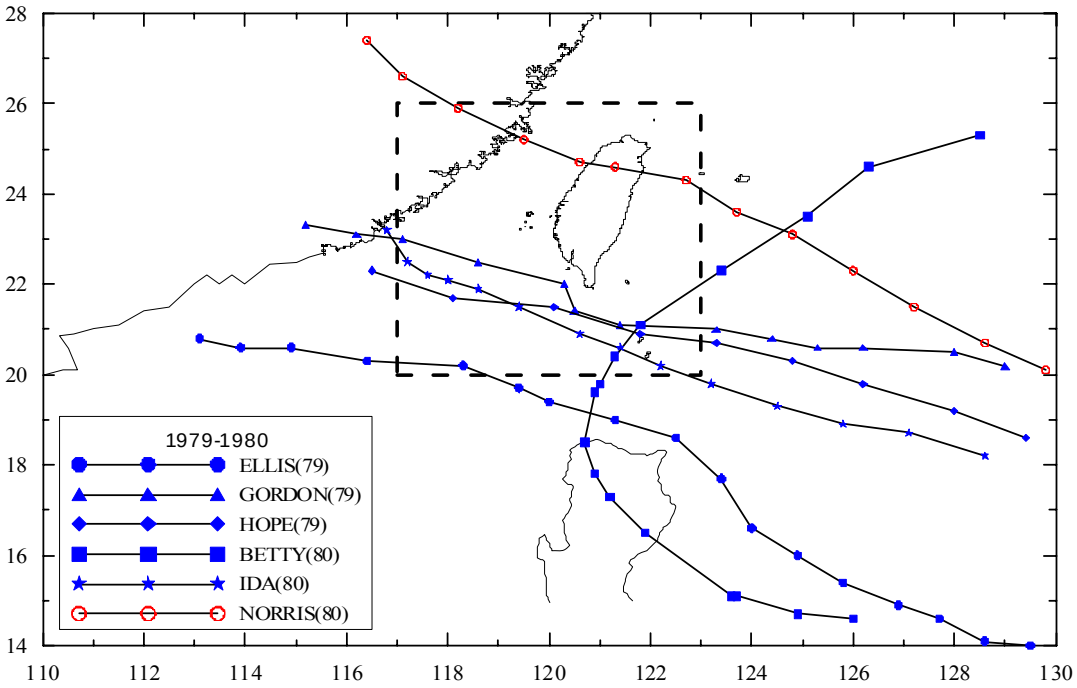


圖 3.5.2　(續 4)歷年侵臺颱風路徑圖 (1979-1980 年)

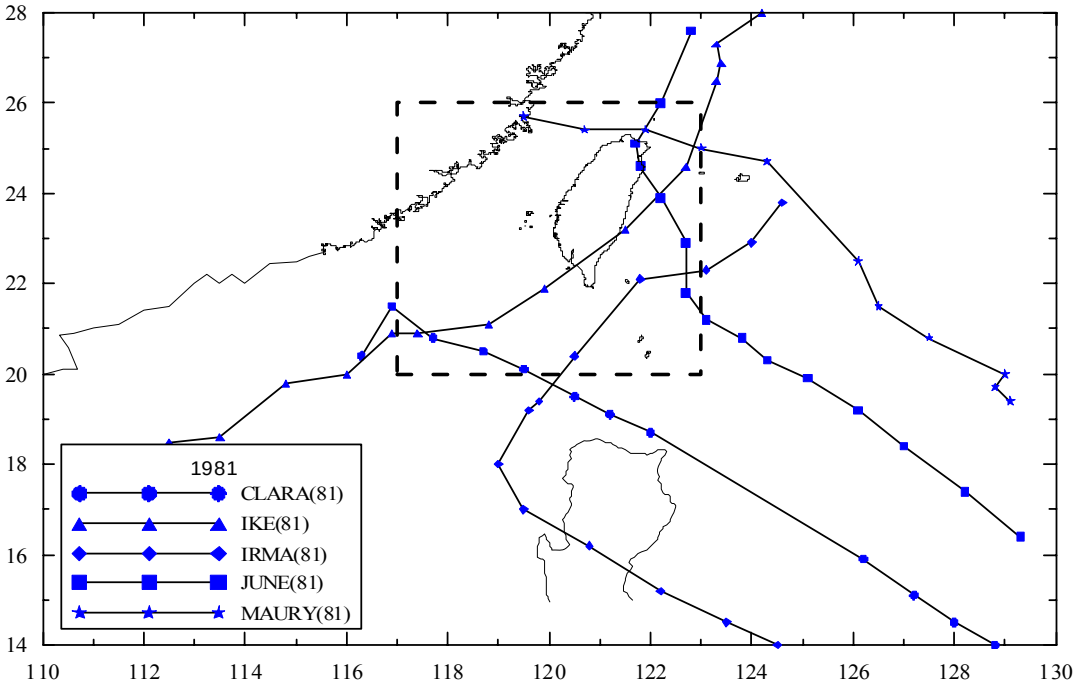


圖 3.5.2　(續 5)歷年侵臺颱風路徑圖 (1981 年)

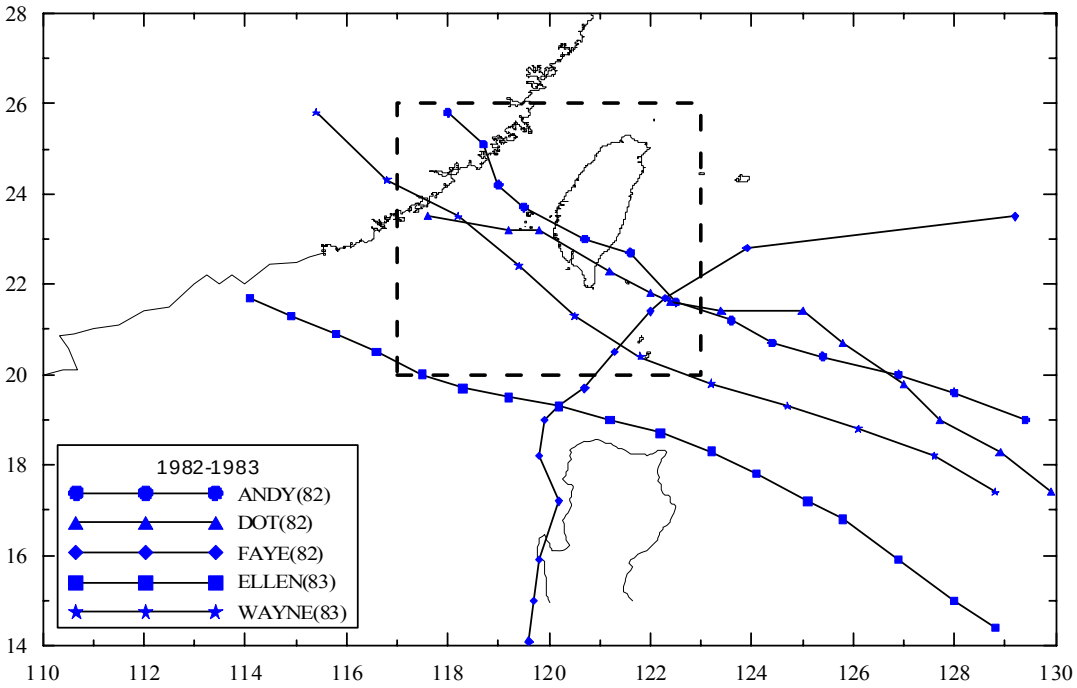


圖 3.5.2　(續 6)歷年侵臺颱風路徑圖 (1982-1983 年)

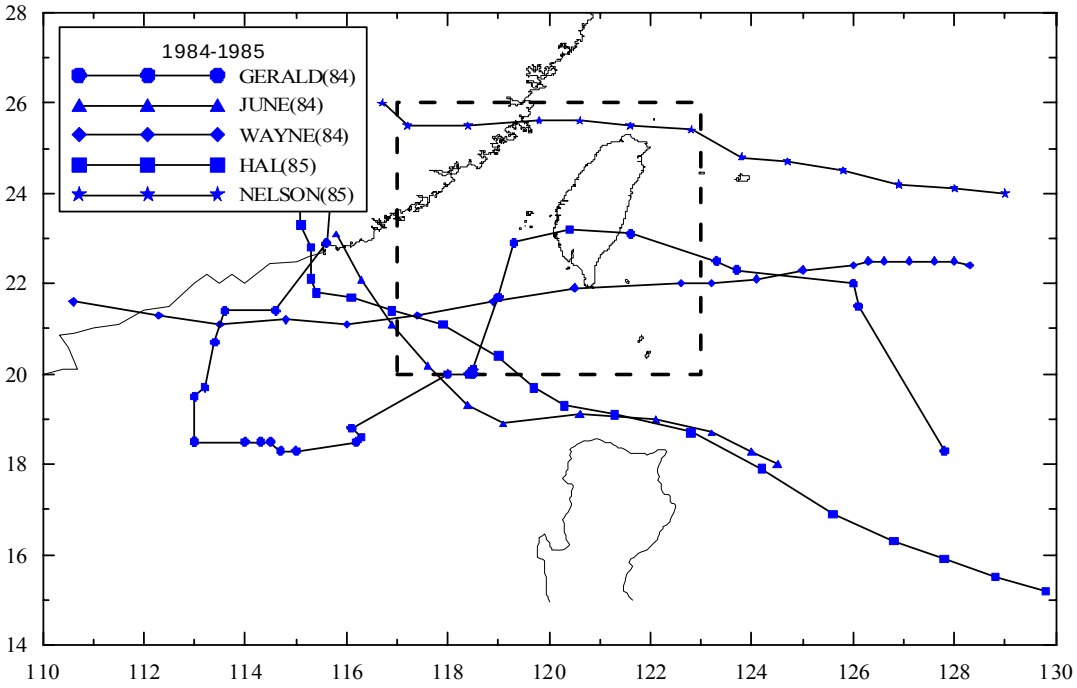


圖 3.5.2　(續 7)歷年侵臺颱風路徑圖 (1984-1985 年)

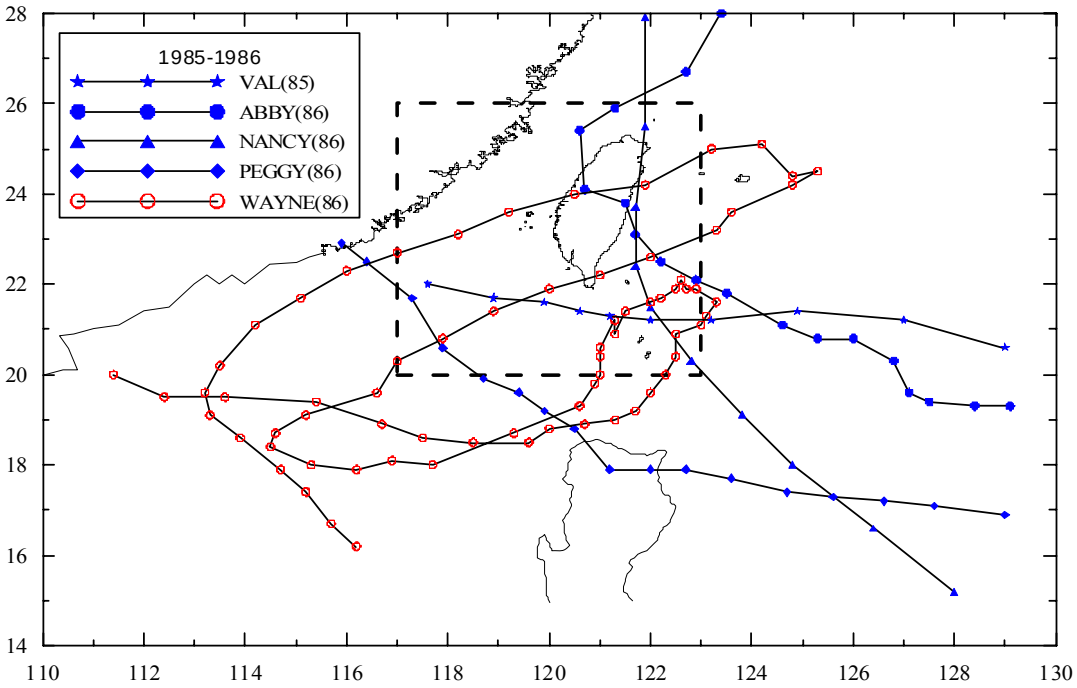


圖 3.5.2　(續 8)歷年侵臺颱風路徑圖 (1985-1986 年)

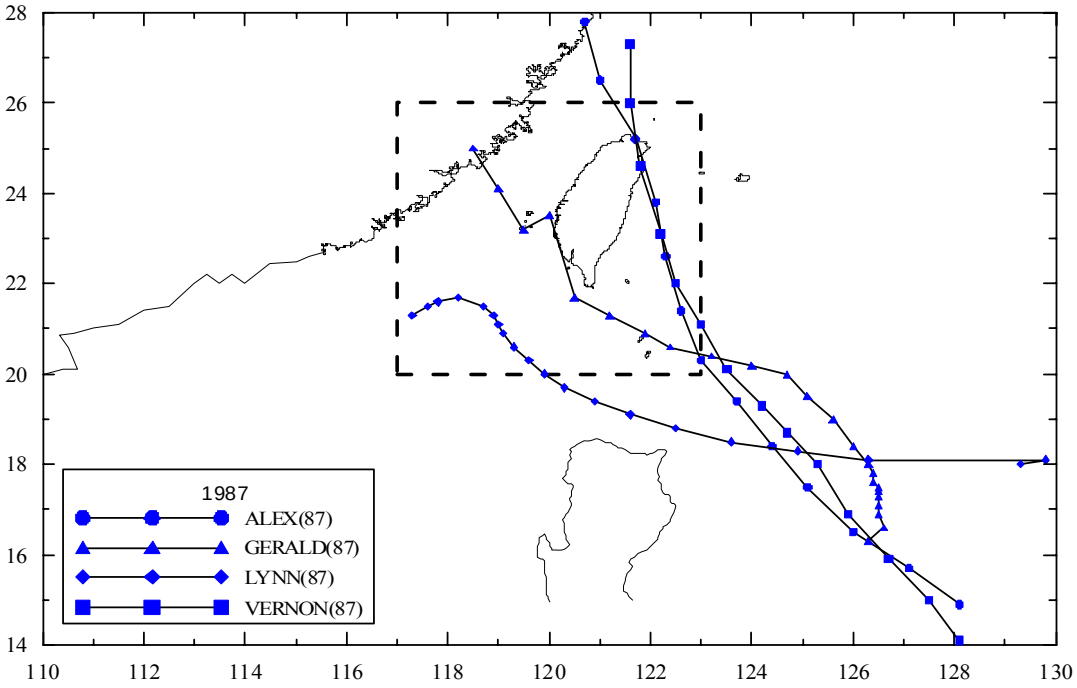


圖 3.5.2　(續 9)歷年侵臺颱風路徑圖 (1987 年)

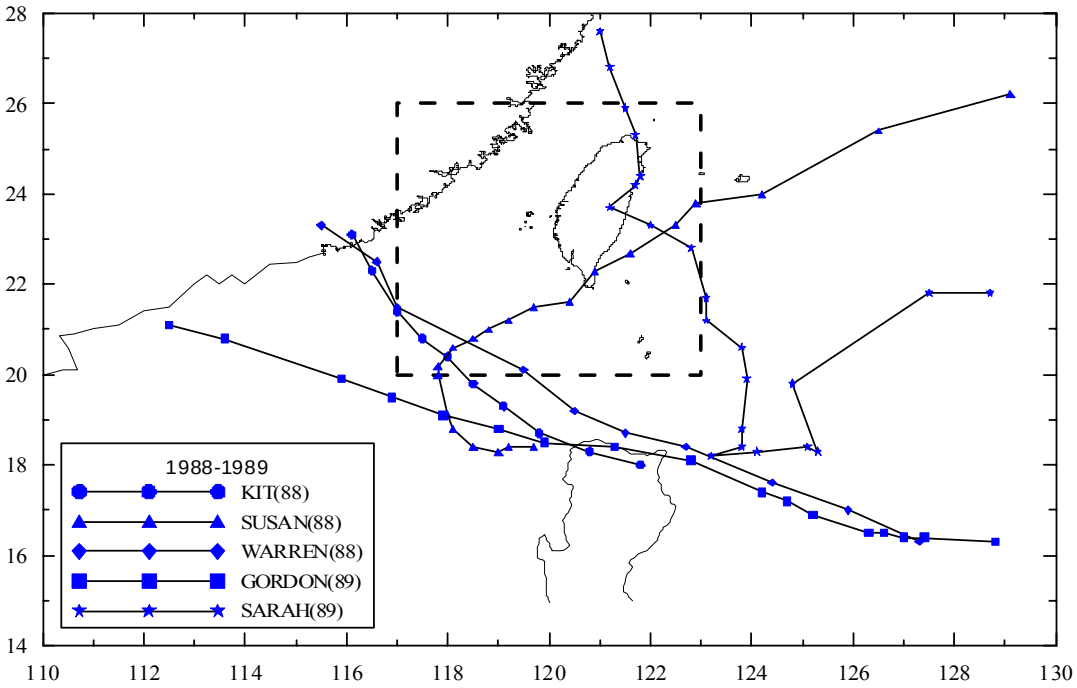


圖 3.5.2　(續 10)歷年侵臺颱風路徑圖 (1988-1989 年)

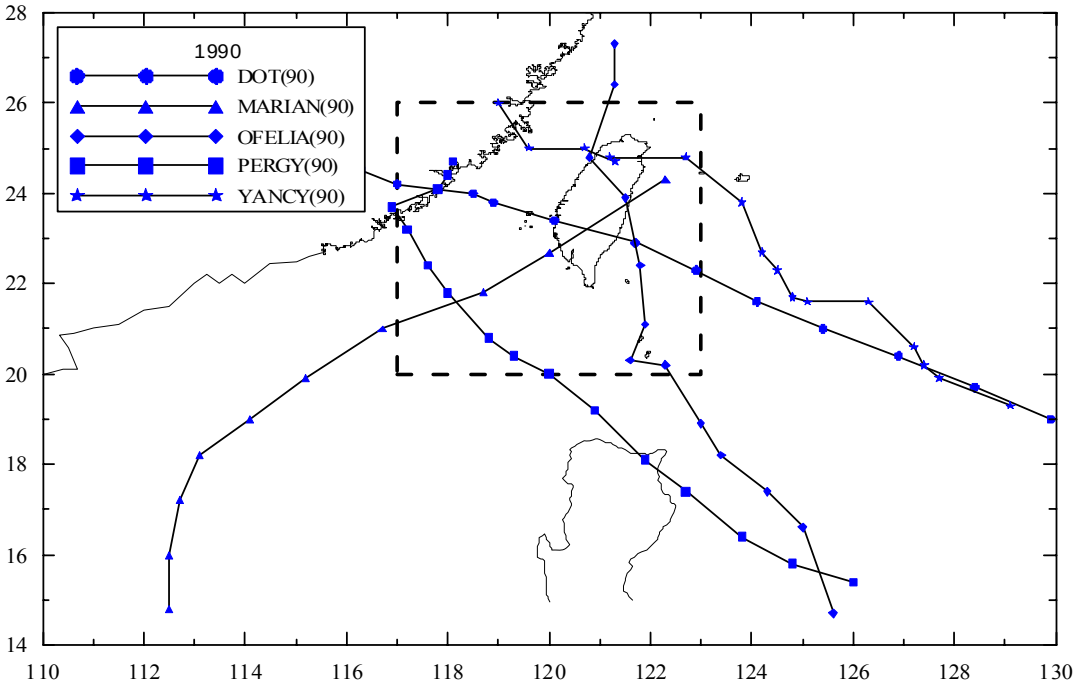


圖 3.5.2　(續 11)歷年侵臺颱風路徑圖 (1990 年)

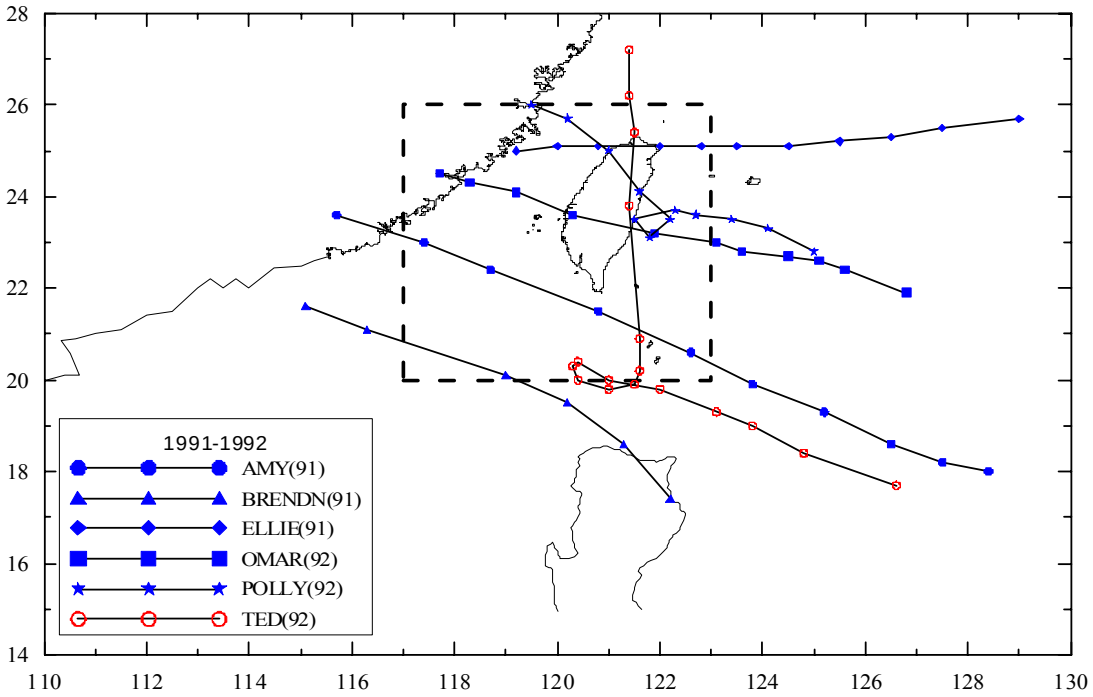


圖 3.5.2　(續 12)歷年侵臺颱風路徑圖 (1991-1992 年)

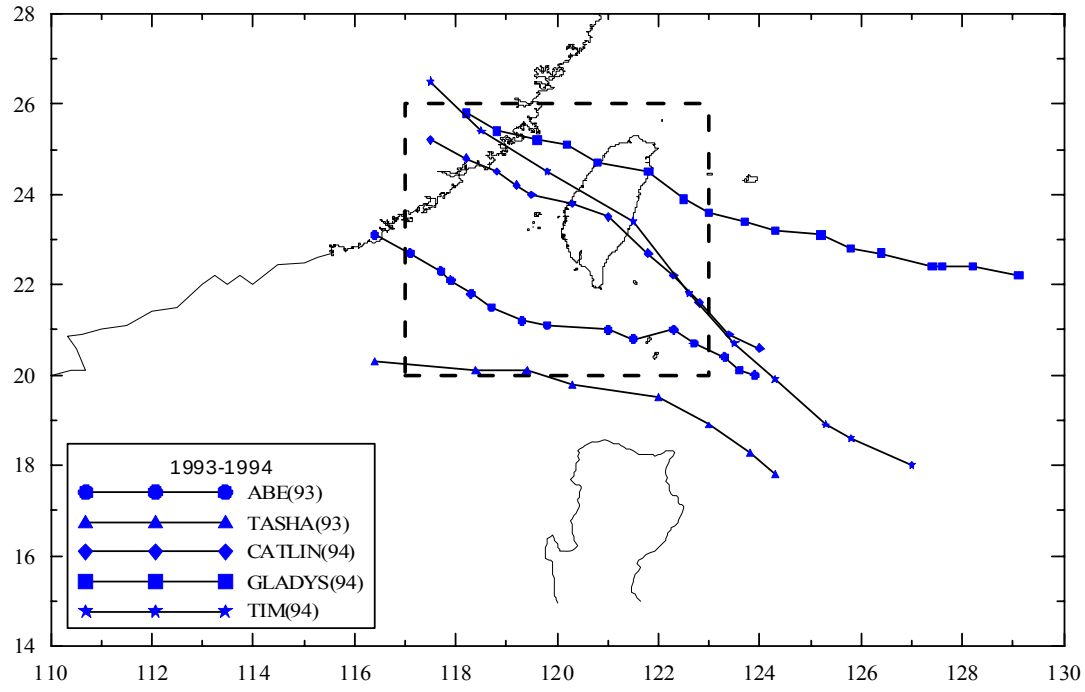


圖 3.5.2　(續 13)歷年侵臺颱風路徑圖 (1993-1994 年)

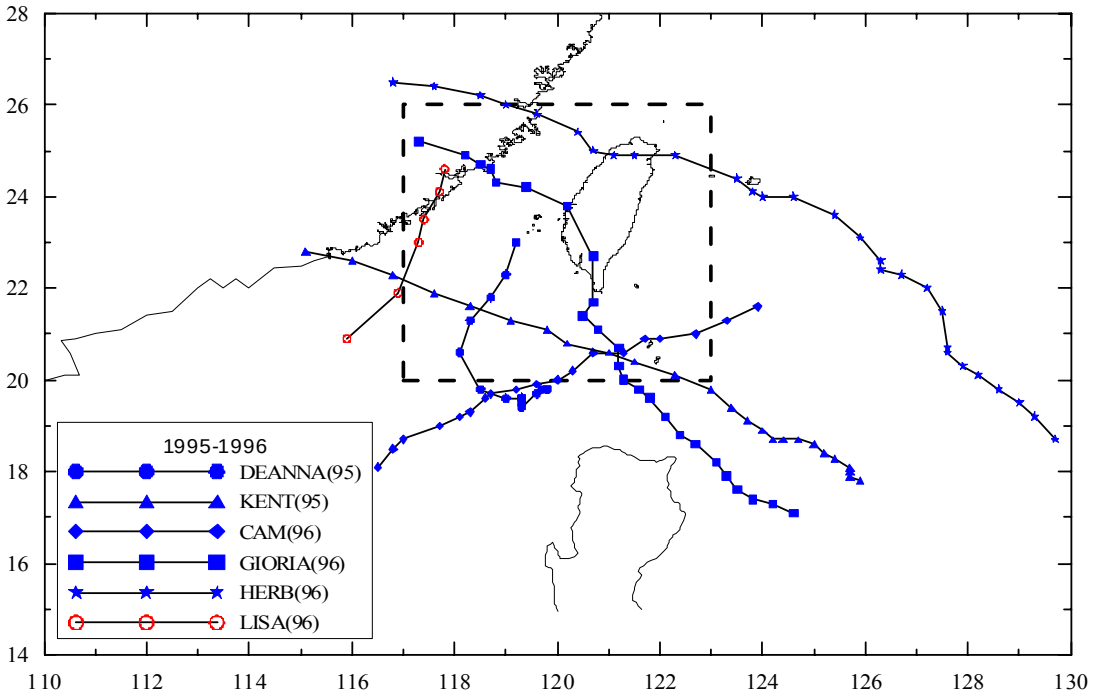


圖 3.5.2　(續 14)歷年侵臺颱風路徑圖 (1995-1996 年)

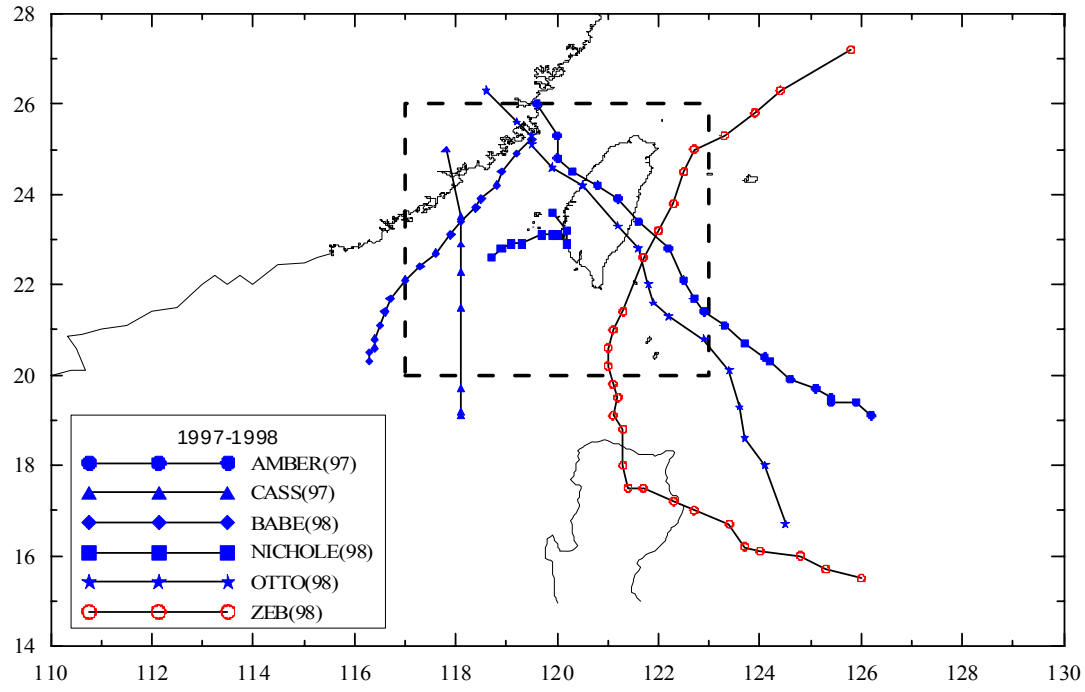


圖 3.5.2　(續 15)歷年侵臺颱風路徑圖 (1997-1998 年)

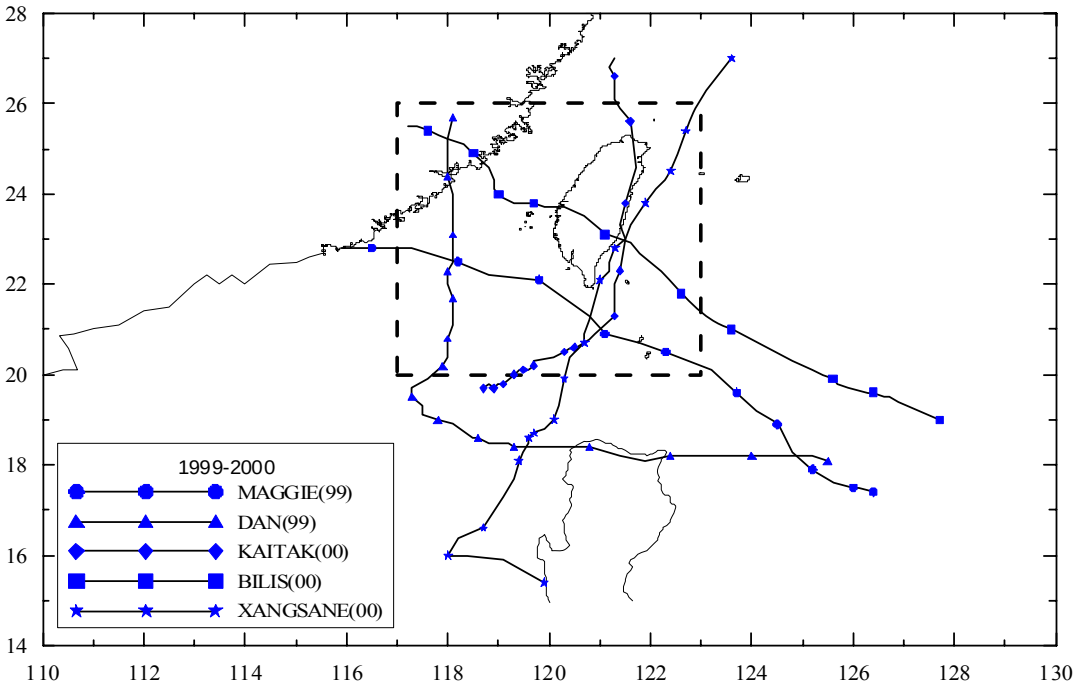


圖 3.5.2　(續 16)歷年侵臺颱風路徑圖 (1999-2000 年)

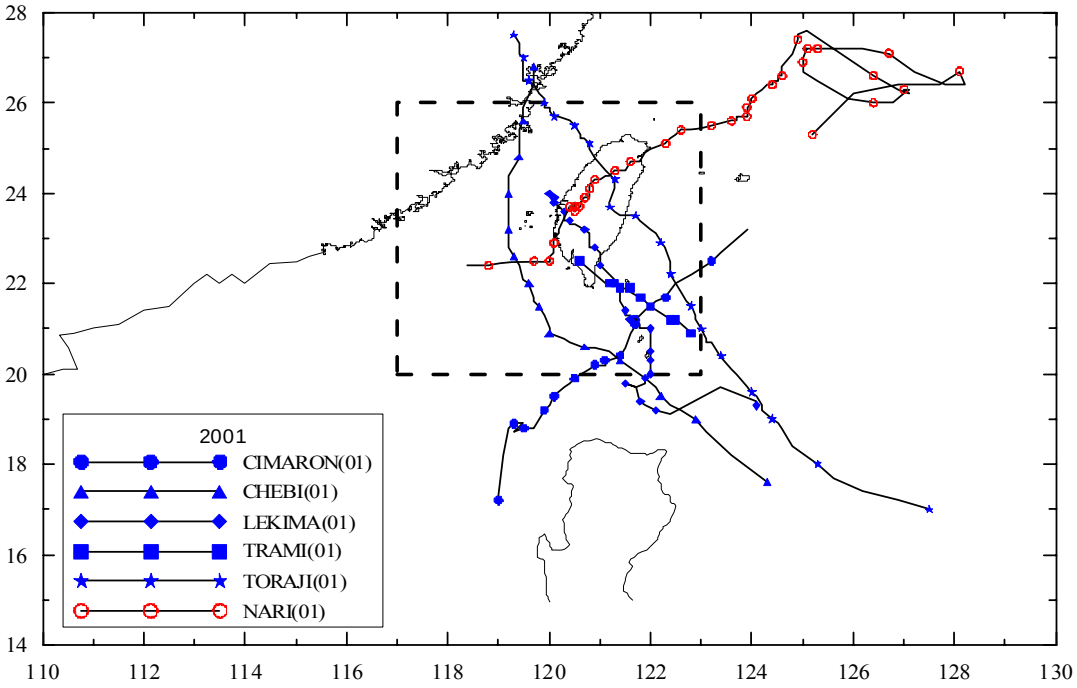


圖 3.5.2　(續 17)歷年侵臺颱風路徑圖 (2001 年)

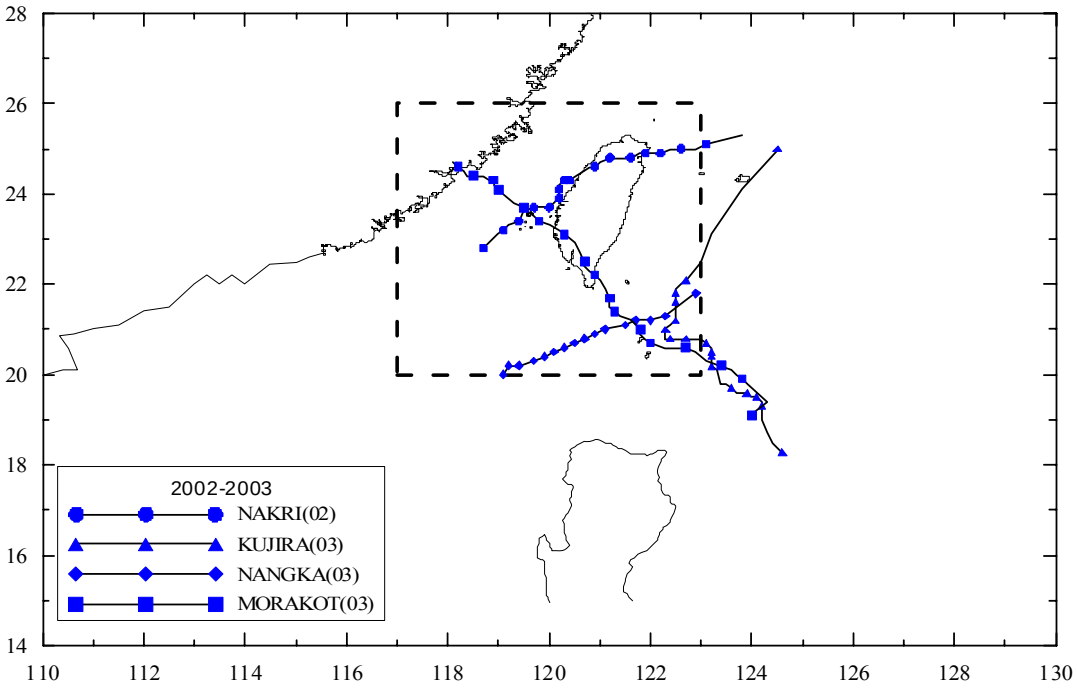


圖 3.5.2　(續 18)歷年侵臺颱風路徑圖 (2002-2003 年)

表3.5.2　花蓮港歷年颱風波浪推算結果

年	颱風名稱	S		SSE		ES		ESE		E		ENE		EN	
		波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期
1971	AGNES	4.1	9.5	4.9	9.7	4.3	9.5	5.1	10.3	5.3	10.2	5.9	11.2	4.8	8.4
	LUCY	1.0	11.8	1.0	10.8	—	—	*	*	2.0	6.9	1.6	5.9	*	*
	NADINE	3.4	10.8	4.2	10.3	1.3	8.2	*	*	3.5	15.2	5.9	11.2	4.6	8.1
	RESS	1.1	4.8	*	*	*	*	*	*	2.3	10.6	5.8	14.4	5.0	13.4
1972	BETTY	2.0	6.4	*	*	*	*	3.9	14.1	9.2	16.8	7.9	15.5	6.6	14.2
1973	JOAN	1.0	9.0	1.4	8.5					*	*	*	*	*	*
	NORA	3.4	13.8	2.1	11.3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1974	JEAN	—	—	—	—	2.9	17.7	1.8	9.0	2.2	9.1	1.9	8.3	1.6	7.6
	WENDY	2.8	11.6	3.0	10.7	4.2	11.0	3.8	10.2	3.3	9.3	3.2	8.1	3.1	7.8
1975	BETTY	3.0	10.4	3.2	10.2	4.3	10.1	3.4	13.0	*	*	5.5	11	4.3	9.3
	ELSIE	4.5	15.3	4.5	14.5	2.5	11.1	2.1	7.4	2.0	6.9	1.6	5.9	*	*
	NINA	5.9	8.5	5.2	10.3	3.9	9.2	1.5	10.2	*	*	6.7	13.5	11.9	15.6
1976	BILLIE	3.6	7.6	2.8	6.5	2.0	5.3	*	*	4.6	15.0	1.9	10.0	5.2	13.0
	RUBY	2.5	11.7	2.1	11.4	1.7	11.3	1.3	12.4	—	—	*	*	*	*
1977	AMY	1.4	8.7	—	—	—	—	1.2	14.6	*	*	*	*	*	*
	THELMA	6.3	12.3	5.1	10.6	4.0	9.1	3.0	7.9	2.0	6.4	1.4	4.0	*	*
1978	DELLA	1.6	6.7	—	—	*	*	—	—	1.9	9.1	3.2	9.3	3.7	7.9
	IRMA	4.4	12.5	3.7	11.4	3.1	10.4	2.5	9.6	2.0	8.9	1.9	6.2	2.1	6.2
	OLIVE	—	—	2.3	7.0	1.5	5.5	*	*	*	*	*	*	*	*
1979	GORDON	1.6	10.6	1.0	9.6	—	—	1.4	10.9	*	*	*	*	*	*
	HOPE	1.4	11.5	2.0	10.7	—	—	*	*	2.4	14.5	3.8	9.2	2.9	7.9
1980	BETTY	1.7	4.2	0.6	3.1	*	*	—	—	—	—	2.9	12.5	1.1	11.8
	NORRIS	5	10.5	4.3	9.5	3.3	8.4	2.3	6.9	1.3	5.1	*	*	*	*

註：“＊”表示推算波向線與颱風路徑夾角小於 5°或風速未超過 8m/sec 或風向與波向逆向等。

“—”表示推算波向線上波高小於 1.0m，

表3.5.2 (續1) 花蓮港歷年颱風波浪推算結果

年	颱風名稱	S		SSE		ES		ESE		E		ENE		EN	
		波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期
1981	CLARA	2.7	13.7	3.1	14.2	1.7	12.3	*	*	*	*	*	*	*	*
	IKE	1.7	9.9	3.1	10.7	3.3	10.3	2.7	7.3	2.6	7.1	2.4	6.7	*	*
	IRMA	1.4	9.9	2.0	10.6	1.9	10.2	1.4	9.5	—	—	—	—	—	—
	JUNE	—	—	*	*	6.6	13.6	6.1	12.6	5.2	11.5	4.5	10.3	4.3	9.0
	MAURY	1.9	4.9	—	—	*	*	*	*	2.8	12.1	2.5	10.9	3.0	11.0
1982	ANDY	4.7	12.3	6.3	12.6	8.2	14.1	7.5	13.3	6.0	11.6	4.7	10.1	3.5	8.4
	DOT	1.2	9.1	1.0	7.5	2.1	12.9	*	*	2.1	6.7	1.5	5.6	—	—
1983	ELLEN	2.3	13.7	2.6	13.4	2.9	13.9	*	*	*	*	*	*	*	*
	WYNNE	1.2	11.7	1.6	10.9	3.7	20.3	3.9	19.3	2.6	8.0	2.6	7.5	1.7	6.0
1984	WYNNE	1.3	10.1	1.0	9.3	—	—	—	—	*	*	1.8	6.3	1.2	5.0
1985	HAL	1.8	11.8	1.0	11.4	—	—	*	*	*	*	*	*	*	*
	NELSON	2.1	5.7	1.7	4.8	*	*	*	*	2.8	12.0	6.5	14.7	5.6	13.6
1986	NACCY	*	*	1.8	7.8	3.0	8.0	2.1	6.7	1.2	4.9	*	*	*	*
	ABBY	5.4	10.4	4.8	9.7	4.3	10.5	10.3	14.7	8.9	12.7	7.2	10.2	5.6	8.6
	PEGGY	1.7	12.3	—	—	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	WAYNE+	2.7	9.5	2	8.9	2.5	7.5	2.9	8.4	4	10.2	—	—	4.2	9.9
1987	ALEX	—	—	7.0	15.0	4.7	11.7	6.1	12.2	5.5	10.8	4.6	9.5	3.9	8.7
	GERALD	3.5	11.6	3.6	11.6	*	*	2.6	7.6	1.9	6.4	1.1	4.8	—	—
	VERNON	—	—	5.5	13.6	1.3	9.0	2.2	9.3	2.9	9.2	2.4	7.9	2.4	6.4
1988	SUSAN	2.5	11.0	3.5	11.6	2.7	10.6	2.0	9.9	1.8	6.0	1.9	6.2	2.0	6.2
	WARREN	1.2	11.8	1.0	10.7	2.2	16.7	*	*	*	*	*	*	*	*
1989	SARAH	3.5	7.8	2.9	7.8	6.2	12.8	6.9	12.4	7.0	11.8	6.2	10.4	5.2	8.5
1990	DOT	2.5	10.0	2.5	9.3	2.1	12.7	*	*	1.7	8.4	4.1	9.5	3.3	8.0
	MARIAN*	0.5	7.2	1.2	7.8	1.2	7.5	0.6	8.5	—	—	—	—	0.9	8.2
	OFELIA	2.2	8.8	8.0	13.3	7.0	11.8	5.7	9.9	4.4	8.5	3.2	7.6	2.1	6.5
	YANCY	*	*	*	*	—	—	5.7	14.0	5.3	13.1	4.7	13.2	4.0	11.4

註：“*”表示推算波向線與颱風路徑夾角小於 5°或風速未超過 8m/sec 或風向與波向逆向等。

“—”表示推算波向線上波高小於 1.0m，

表3.5.2　(續2) 花蓮港歷年颱風波浪推算結果

年	颱風名稱	S		SSE		ES		ESE		E		ENE		EN	
		波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期
1991	AMY	2.5	10.0	2.5	9.3	2.1	12.7	*	*	1.7	8.4	4.1	9.5	3.3	8.0
	ELLIE	2.0	5.9	2.0	4.9	—	—	*	*	*	*	4.6	13.4	4.3	12.4
1992	OMAR	2.6	10.0	9.6	9.6	2.8	9.0	2.1	12.3	*	*	3.5	9.4	4.4	9.7
	POLLY	4.4	9.0	4.2	8.9	3.6	8.1	5.3	10.2	6.0	11.3	5.0	10.6	5.0	9.2
	TED	*	*	—	—	1.3	8.7	2.3	8.8	3.6	8.4	2.6	7.0	1.8	5.2
1993	ABE	2.0	11.31	2.2	11.1	2.4	12.3	*	*	*	*	*	*	*	*
1994	CAITLIN	—	—	—	—	—	—	—	—	2.2	7.5	2.3	6.9	1.4	5.4
	GLADYS	2.1	5.2	—	—	*	*	—	—	2.1	10.5	3.7	11.7	3.6	11.1
	TIM	1.6	8.5	—	—	13.8	17.8	—	—	2.0	9.4	5.2	9.2	3.6	7.9
1995	KENT	1.9	12.0	1.1	12.2	—	—	*	*	*	*	*	*	*	*
1996	CAM	1.5	11.2	1.2	10.7	1.0	10.5	—	—	—	—	*	*	*	*
	GIORIA	3.8	9.6	*	*	3.3	8.6	2.5	7.3	1.7	6.0	—	—	*	*
	HERB	3.7	7.5	2.5	7.0	1.6	4.9	*	*	8.7	16.6	8.8	15.9	7.5	14.5
1997	AMBER	3.6	11.2	4.6	11.0	4.2	9.8	*	*	5.5	11.2	4.6	9.4	3.4	8.2
1998	OTTO	—	—	—	—	—	—	1.7	7.6	2.7	7.6	1.9	6.2	1.1	4.4
	ZEB	2.6	11.1	6.5	14.1	6.1	13.3	4.9	12.1	3.9	11.0	3.7	8.6	3.6	8.1
1999	DAN	2.3	7.2	1.8	6.1	1.8	4.5	*	*	*	*	*	*	*	*
	MAGGIE	2.6	11.1	6.5	14.1	6.1	13.3	4.9	12.1	3.9	11.0	3.7	8.6	3.6	8.1
2000	BILIS	2.2	10.5	2.2	9.5	2.7	15.3	9.1	14.3	1.4	14.1	4.8	10.2	3.7	8.5
	KAITAK	*	*	—	—	1.4	9.1	2.4	9.3	4.1	8.9	2.9	7.4	1.8	5.6
	XANGSANE	—	—	1.7	10.0	3.2	11.1	3.4	10.7	2.6	9.5	2.5	6.9	2.5	6.8

註：“ * ”表示推算波向線與颱風路徑夾角小於 5°或風速未超過 8m/sec 或風向與波向逆向等。

“－”表示推算波向線上波高小於 1.0m，

表3.5.3　蘇澳港歷年颱風波浪推算結果

年	颱風名稱	S		SSE		ES		ESE		E		ENE		EN		NNE	
		波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期
1971	AGNES	3.2	10.2	3.7	10.3	4.8	10.4	5.4	10.6	5.0	10.6	4.2	9.6	3.3	7.2	2.5	6.9
	LUCY	1.0	11.1	—	—	—	—	*	*	1.4	5.5	*	*	*	*	*	*
	NADINE	2.4	11.3	3.2	10.6	1.0	8.6	*	*	2.1	8.7	4.5	9.4	3.3	7.3	2.1	6.7
	RESS	2.3	6.4	1.9	3.8	*	*	*	*	3.9	12.1	6.2	14.0	5.4	13.0	4.6	12.0
1972	BETTY	1.6	4.3	*	*	*	*	—	—	5.2	13.3	5.6	13.6	4.7	12.6	3.9	11.8
1973	JOAN	1.1	9.8	1.4	8.4	—	—	—	—	*	*	*	*	*	*	*	*
	NORA	3.2	11.4	1.4	10.6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1974	JEAN	—	—	—	—	4.6	11.6	3.2	9.7	3.1	9.0	2.9	7.8	2.5	6.9	2.3	5.6
	WENDY	2.8	11.6	4.8	11.5	4.7	10.5	4.3	10.0	4.0	9.1	3.5	8.3	3.1	7.2	2.2	6.6
1975	BETTY	2.7	11.0	2.7	10.7	3.0	10.3	4.3	14.6	*	*	3.9	9.4	3.1	7.1	2.2	6.7
	ELSIE	4.3	15.9	4.0	14.1	1.7	10.2	1.0	7.4	*	*	*	*	*	*	*	*
	NINA	6.0	11.5	6.0	11.3	4.9	10.5	3.6	14.9	*	*	7.9	12.4	9.5	9.0	7.2	8.8
1976	BILLIE	4.2	9.0	4.0	8.1	3.1	7.9	—	—	*	*	2.1	10.3	5.8	12.7	6.4	12.2
	RUBY	2.4	12.2	2.0	11.6	1.6	11.7	1.2	12.9	*	*	*	*	*	*	*	*
1977	AMY	1.4	8.9	2.8	7.7	2.1	6.4	1.2	4.7	—	—	*	*	*	*	—	—
	THELMA	5.6	11.6	4.5	10.0	3.5	8.6	2.6	7.1	1.6	5.8	—	—	*	*	*	*
1978	DELLA	1.1	7.2	—	—	*	*	—	—	2.4	8.6	3.4	7.7	2.3	6.8	1.4	5.1
	IRMA	4.3	12.5	3.7	11.5	3.0	10.5	2.4	9.6	2.0	8.9	1.8	6.1	2.0	6.1	2.1	4.0
	OLIVE	—	—	2.3	6.8	1.6	5.6	*	*	*	*	*	*	*	*	—	—
1979	GORDON	1.5	10.9	1.0	9.8	—	—	—	—	*	*	*	*	*	*	*	*
	HOPE	1.2	11.9	1.4	11.0	—	—	*	*	1.8	12.7	3.0	8.1	2.1	6.8	1.0	4.4
1980	BETTY**	1.7	4.2	0.6	3.1	*	*	1.1	11.8	—	—	—	—	2.9	12.5	1.1	11.8
	NORRIS	5.2	10.3	5.1	10.1	4.0	9.4	*	*	*	*	8.7	10.2	6.8	8.4	5.2	7.7

註：“＊”表示推算波向線與颱風路徑夾角小於 5°或風速未超過 8m/sec 或風向與波向逆向等。

“—”表示推算波向線上波高小於 1.0m，

表3.5.3　(續1) 蘇澳港歷年颱風波浪推算結果

年	颱風名稱	S		SSE		ES		ESE		E		ENE		EN		NNE	
		波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期
1981	CLARA	2.6	13.7	3.0	14.5	—	—	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	IKE	1.7	10.1	3.0	10.9	3.1	10.6	2.3	9.5	2.2	6.6	2.2	6.4	—	—	2.2	6.5
	IRMA	1.4	10.0	2.0	10.7	1.8	10.3	1.4	9.7	1.0	9.8	—	—	—	—	*	*
	JUNE	1.7	6.6	*	*	8.1	13.2	7.3	11.6	6.0	9.9	4.8	8.5	3.6	7.5	2.6	6.9
	MAURY	2.4	6.4	2.5	6.0	—	—	—	—	5.3	14.4	3.6	11.2	3.8	11.1	3.1	9.8
1982	ANDY	4.2	12.7	5.1	13.3	6.3	14.6	5.5	11.6	4.5	11.1	3.5	8.8	2.5	7.4	1.4	5.4
	DOT	1.7	8.6	—	—	1.2	14.4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1983	ELLEN	2.0	14.4	2.5	14.0	2.3	13.3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	WYNNE	1.1	12.1	1.3	11.2	2.4	22.2	2.8	17.4	2.3	7.3	1.8	6.3	—	—	*	*
1985	HAL	1.7	12.6	1.0	11.7	1.8	14.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	NELSON	3.6	6.7	2.7	6.7	2.0	5.8	*	*	6.5	15.0	7.1	14.4	6.2	13.2	5.2	12.0
1986	NACCY	*	*	2.2	7.6	2.5	7.3	1.7	5.9	—	—	*	*	*	*	*	*
	ABBY	5.7	11.2	6.3	11.7	8.7	13.9	7.9	12.8	6.4	11.5	5.0	9.0	3.7	7.2	2.5	7.0
	PEGGY	1.8	12.6	—	—	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	WAYNE	2.7	9.5	2	8.9	2.5	7.5	4.2	9.9	2.9	8.4	4	10.2	—	—	4.2	9.9
1987	ALEX	—	—	*	*	5.7	11.5	6.5	10.1	5.1	8.7	3.8	8.1	2.5	7.0	1.7	5.1
	GERALD	3.1	12.1	3.2	11.9	*	*	1.4	5.4	—	—	*	*	*	*	*	*
	VERNON	—	—	5.1	18.5	1.4	8.7	2.5	9.0	3.8	8.7	2.8	7.2	2.1	6.1	1.0	4.3
1988	SUSAN	2.4	11.2	3.3	11.9	2.5	10.9	1.9	10.3	1.3	10.2	1.5	5.6	1.7	5.8	1.8	5.8
1989	SARAH	6.4	10.9	7.4	12.3	7.3	12.4	6.5	11.2	5.5	9.5	4.4	8.2	3.2	7.3	2.1	6.4
1990	DOT	2.1	10.5	1.6	9.8	2.2	14.0	*	*	2.5	8.1	3.1	8.2	2.2	6.8	1.2	4.9
	MARIAN*	—	—	1.2	8.9	1.3	8.2	1.0	7.8	1.1	7.8	1.5	4.2	1.6	4.6	2.2	3.8
	OFELIA	3.5	9.8	6.7	12.3	5.5	10.7	4.4	8.8	3.3	7.8	2.2	6.8	1.6	4.9	*	*
	YANCY	4.9	9.8	6.7	12.3	5.5	10.7	4.4	8.8	8.5	13.4	7.9	12.2	6.5	8.5	5.2	7.8

註：“ * ”表示推算波向線與颱風路徑夾角小於 5°或風速未超過 8m/sec 或風向與波向逆向等。

“—”表示推算波向線上波高小於 1.0m，

表3.5.3　(續2) 蘇澳港歷年颱風波浪推算結果

年	颱風名稱	S		SSE		ES		ESE		E		ENE		EN		NNE	
		波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期
	YANCY	4.9	9.8	6.7	12.3	5.5	10.7	4.4	8.8	8.5	13.4	7.9	12.2	6.5	8.5	5.2	7.8
1991	AMY	2.1	10.5	1.6	9.8	2.2	14.0	*	*	2.5	8.1	3.1	8.2	2.2	6.8	1.2	4.9
	ELLIE	2.7	6.8	2.5	6.1	2.1	5.6	—	—	*	*	5.1	12.9	4.8	12.0	4.1	10.9
1992	OMAR	2.4	10.6	2.2	10.1	2.0	9.4	2.4	13.6	*	*	3.2	8.8	3.2	7.1	2.3	6.9
	POLLY	4.8	9.9	5.4	10.2	5.9	11.1	5.7	11.0	5.1	10.1	4.3	8.6	3.4	7.3	2.6	6.9
	TED	*	*	—	—	1.4	8.5	2.6	8.5	2.9	7.6	1.8	6.1	—	—	*	*
1993	ABE	1.9	11.6	2.0	10.5	2.0	12.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1994	CAITLIN	—	—	—	—	—	—	1.0	7.3	1.9	6.4	1.3	5.1	*	*	*	*
	GLADYS	2.7	6.8	—	—	*	*	—	—	2.2	10.1	4.2	11.2	4.3	10.4	3.8	6.8
	TIM	1.2	8.9	—	—	*	*	—	—	2.2	9.0	3.8	8.5	2.4	7.0	1.1	4.7
1995	DEANNA															2.5	7.0
	KENT	2.0	12.3	1.0	11.9	—	—	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1996	CAM	1.5	11.4	1.1	11.1	1.0	10.8	—	—	—	—	*	*	*	*	*	*
	GIORIA	1.6	14.6	*	*	1.5	5.6	—	—	*	*	*	*	*	*	*	*
	HERB	4.7	9.5	4.0	8.1	3.0	7.8	—	—	10.9	16.9	10.0	15.6	8.6	14.1	7.3	12.4
1997	AMBER	3.3	11.6	3.0	11.4	4.0	10.5	*	*	3.9	9.6	3.3	8.4	2.4	7.1	1.3	5.2
1998	OTTO	—	—	—	—	—	—	1.9	6.5	1.4	5.5	2.7	7.6	1.9	6.2	1.1	4.4
	ZEB	2.6	11.1	6.5	14.1	6.0	13.3	4.9	12.1	3.9	11.1	3.7	8.6	3.6	8.1	*	*
1999	DAN	2.6	6.9	1.7	6.1	1.7	4.4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	MAGGIE	2.6	11.1	6.5	14.1	6.0	13.3	4.9	12.1	3.9	11.1	3.7	8.6	3.6	8.1	*	*
2000	BILIS	1.5	10.9	1.5	9.9	3.0	19.3	6.9	19.3	1.3	8.2	3.8	9.0	2.6	7.3	1.5	5.5
	KAITAK	*	*	—	—	1.5	8.9	2.6	9.0	3.5	8.3	2.2	6.5	1.6	4.0	*	*
	XANGSANE	—	—	1.7	10.0	3.1	11.0	3.4	10.7	2.6	9.5	2.5	7.0	2.5	6.8	*	*

註：“＊”表示推算波向線與颱風路徑夾角小於 5°或風速未超過 8m/sec 或風向與波向逆向等。

“—”表示推算波向線上波高小於 1.0m，

表3.5.4　基隆港歷年颱風波浪推算結果

年	颱風名稱	ENE		EN		NNE		N		NNW		NW	
		波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期
1971	AGNES	2.5	7.1	1.9	6.4	1.2	5.0	*	*	*	*	*	*
	NADINE	3.2	7.1	2.3	7.0	1.2	4.9	*	*	*	*	*	*
	RESS	6.4	13.3	5.7	12.2	4.8	11.2	4.4	9.9	4.2	9.2	3.9	8.4
1972	BETTY	5.2	12.9	4.7	11.9	4.0	11.0	3.5	8.8	3.6	8.6	3.5	8.4
1974	JEAN	2.9	7.1	2.4	6.3	1.1	4.8	—	—	—	—	—	—
	WENDY	3.7	9.5	3.9	7.9	3.7	8.7	3.2	7.2	2.4	6.6	3.2	6.3
1975	BETTY	2.7	7.4	2.0	6.5	1.1	4.7	*	*	*	*	*	*
	NINA	6.7	12.4	7.1	8.5	5.3	8.1	3.7	7.1	2.1	6.5	*	*
1976	BILLIE	2.4	10.1	6.9	12.0	5.8	8.1	4.3	8.0	2.8	7.1	1.5	5.2
1977	AMY	—	—	*	*	—	—	1.0	8.9	1.2	8.3	1.7	8.1
	THELMA*	—	—	*	*	*	*	*	*	*	*	1.5	10.0
1978	DELLA	2.3	6.9	1.5	5.4	—	—	*	*	*	*	*	*
	IRMA	1.3	9.1	1.5	4.7	1.7	5.4	2.0	3.8	1.6	5.2	2.2	4.0
	OLIVE	*	*	*	*	*	*	—	—	—	—	1.5	10.1
	HOPE	2.3	7.1	1.5	5.7	*	*	*	*	*	*	*	*
1980	BETTY*	1.7	4.2	0.6	3.1	*	*	—	—	—	—	2.9	12.5
	NORRIS	5.6	8.1	4.3	7.2	3.1	7.2	1.9	6.3	—	—	*	*
1981	IKE	1.5	5.5	*	*	1.8	5.8	1.8	5.9	1.8	5.9	1.6	5.4
	JUNE	4.3	7.2	3.1	7.3	2.1	6.1	—	—	*	*	1.7	10.0
	MAURY	4.3	10.8	4.9	10.5	4.2	7.2	3.2	7.2	2.4	6.6	2.3	4.2
1982	ANDY	1.8	6.3	—	—	*	*	*	*	*	*	*	*
1985	NELSON	8.7	14.1	7.6	12.8	6.5	10.8	5.4	8.4	4.3	8.0	3.1	7.0
1986	ABBY	3.8	7.2	2.8	7.1	1.7	5.9	2.3	9.9	2.9	9.8	3.5	9.7
	WAYNE+	2.7	9.5	2	8.9	2.5	7.5	2.9	8.4	4	10.2	—	—

註：“ * ”表示推算波向線與颱風路徑夾角小於 5°或風速未超過 8m/sec 或風向與波向逆向等。

“—”表示推算波向線上波高小於 1.0m，

表3.5.4　(續1) 基隆港歷年颱風波浪推算結果

年	颱風名稱	ENE		EN		NNE		N		NNW		NW	
		波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期
1987	ALEX	3.5	7.3	2.3	6.8	1.7	4.7	—	—	*	*	1.4	10.0
	GERALD	3.5	11.6	3.6	11.6	*	*	2.6	7.6	1.9	6.4	1.1	4.8
	VERNON	2.7	7.3	2.1	5.9	—	—	—	—	—	—	1.3	7.8
1989	SARAH	3.9	7.2	2.8	7.1	2.1	5.9	—	—	*	*	2.2	10.8
1990	DOT	2.1	6.7	1.3	5.1	*	*	*	*	*	*	*	*
	OFELIA	2.1	6.6	1.6	4.7	*	*	*	*	*	*	1.0	10.4
	YANCY	5.9	11.5	5.4	10.6	4.9	9.0	4.3	8.7	3.8	7.3	3.4	7.1
1991	AMY	2.1	6.7	1.3	5.1	*	*	*	*	*	*	*	*
	ELLIE	6.6	12.3	6.1	11.4	5.1	10.0	4.1	8.0	3.2	7.1	2.3	6.5
1992	OMAR	2.4	7.1	1.8	6.1	—	—	*	*	*	*	*	*
	POLLY	3.2	7.2	2.4	7.1	1.9	5.6	—	—	*	*	*	*
	TED	1.6	6.1	1.9	3.8	—	—	*	*	1.0	9.5	1.2	8.5
1993	ABE	2.0	11.31	2.2	11.1	2.4	12.3	*	*	*	*	*	*
1994	GLADYS	4.5	10.5	4.7	8.1	3.5	7.3	2.3	6.6	2.2	4.1	*	*
	TIM	2.6	7.1	1.5	5.6	*	*	*	*	*	*	*	*
1996	HERB	10.4	13.0	8.3	8.8	6.5	8.5	4.9	8.1	3.2	7.2	1.6	5.5
1997	AMBER	2.4	7.2	1.6	5.7	*	*	*	*	*	*	*	*
1998	ZEB	2.4	7.0	2.5	7.2	*	*	2.6	7.2	2.6	7.1	2.4	7.5
1999	DAN	*	*	*	*	*	*	1.2	12.1	—	—	1.9	10.3
	MAGGIE	2.6	7.4	2.8	7.4	*	*	2.8	7.1	2.8	6.9	2.6	7.0
2000	BILIS	3.0	7.6	2.0	6.5	*	*	*	*	*	*	*	*
	KAITAK	2.8	7.2	1.7	5.4	—	—	*	*	1.2	9.3	1.8	8.2
	XANGSANE	1.6	6.0	2.0	6.3	*	*	2.1	6.3	2.2	6.5	2.2	6.4

註：“ * ”表示推算波向線與颱風路徑夾角小於 5°或風速未超過 8m/sec 或風向與波向逆向等。

“—”表示推算波向線上波高小於 1.0m，

表3.5.5　臺北港歷年颱風波浪推算結果

年	颱風名稱	NNE		N		NNW		NW		WNW		W		WSW	
		波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期
1971	AGNES	1.2	5.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	NADINE	1.2	4.9	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	RESS	4.8	11.1	4.0	10.0	3.6	8.1	3.4	5.8	*	*	3.3	5.9	3.1	5.5
1972	BETTY	4.0	11.0	3.4	10.2	3.1	7.8	3.1	5.8	3.1	5.7	3.2	5.8	2.9	5.5
1974	JEAN	1.1	4.8	—	—	—	—	—	—	1.2	7.2	1.5	7.0	1.1	6.8
	WENDY	3.4	7.5	3.2	5.8	2.4	5.6	1.6	5.6	—	—	*	*	1.4	8.6
1975	BETTY	1.1	4.7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	NINA	3.3	7.6	2.3	6.7	1.0	4.6	*	*	*	*	*	*	1.7	12.0
1976	BILLIE	4.6	7.6	3.5	5.9	2.5	5.6	1.6	4.9	*	*	*	*	1.6	10.2
1977	AMY	—	—	—	—	1.3	8.2	1.6	7.9	1.1	7.4	—	—	—	—
	RUTH	*	*	*	*	—	—	—	—	1.0	9.0	1.4	9.0	1.7	9.9
	THELMA*	*	*	*	*	*	*	1.2	10.4	2.2	10.0	*	*	3.6	9.4
1978	DELLA	—	—	*	*	*	*	*	*	*	*	—	—	1.2	9.2
	IRMA	1.8	3.8	1.9	5.0	2.1	4.1	1.9	4.8	—	—	*	*	*	*
	OLIVE	*	*	*	*	—	—	1.3	10.4	1.9	9.9	2.1	10.2	*	*
1979	HOPE	2.3	7.1	1.5	5.7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1980	NORRIS	2.7	7.1	1.6	5.0	—	—	*	*	*	*	*	*	1.6	10.5
1981	IKE	1.7	5.1	1.7	5.1	1.6	4.9	1.4	5.1	—	—	*	*	*	*
	JUNE	1.9	5.1	—	—	*	*	1.9	9.9	2.4	8.6	3.3	8.6	2.9	7.2
	MAURY	3.6	7.8	3.0	5.7	2.3	5.6	2.3	4.2	—	—	—	—	1.4	7.9
1985	NELSON	5.3	9.0	4.6	7.0	3.8	5.8	2.9	5.6	2.4	5.1	2.0	10.2	2.5	9.4
1986	NACCY	*	*	1.8	7.8	3.0	8.0	2.1	6.7	1.2	4.9	*	*	*	*
	ABBY	1.7	5.1	2.3	9.9	2.9	9.8	3.1	9.5	*	*	*	*	5.3	7.7
	WAYNE+	2.7	9.5	2	8.9	2.5	7.5	2.9	8.4	4	10.2	—	—	4.2	9.9

註：“ * ”表示推算波向線與颱風路徑夾角小於 5°或風速未超過 8m/sec 或風向與波向逆向等。

“—”表示推算波向線上波高小於 1.0m，

表3.5.5 (續1) 臺北港歷年颱風波浪推算結果

年	颱風名稱	NNE		N		NNW		NW		WNW		W		WSW	
		波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期
1987	ALEX	1.7	4.7	—	—	*	*	1.4	9.8	1.9	9.1	2.3	8.9	2.2	8.2
	VERNON	—	—	—	—	—	—	1.3	7.8	1.5	7.3	1.6	7.3	1.3	7.2
1988	SUSAN	1.1	4.6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1989	SARAH	2.0	5.0	*	*	*	*	2.0	10.7	3.3	10.5	3.8	9.4	3.5	9.8
1990	OFELIA	*	*	—	—	1.0	9.2	1.4	8.8	1.9	8.3	2.6	9.7	4.0	9.9
	YANCY	3.2	7.4	2.2	5.6	1.6	5.5	*	*	*	*	*	*	2.2	11.0
1991	ELLIE	4.4	8.3	3.7	6.8	2.9	5.6	2.2	5.6	—	—	*	*	1.4	9.6
	POLLY	1.9	5.1	—	—	*	*	*	*	*	*	1.1	10.1	2.3	10.1
	TED	—	—	*	*	1.0	9.5	1.2	8.5	1.5	8.1	6.6	8.4	3.4	7.8
1994	GLADYS	3.2	5.7	2.2	5.6	2.2	4.1	*	*	1.2	9.7	1.9	8.7	2.4	8.5
	TIM	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.4	11.9
1996	GIORIA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	—	—	4.5	11.2
	HERB	5.1	8.0	4.0	6.9	2.7	5.6	1.7	5.0	*	*	1.3	10.4	2.4	10.6
1998	BABE	*	*	1.1	10.9	1.2	10.2	2.4	10.0	2.1	10.1	2.4	10.2	3.6	10.0
	ZEB	*	*	2.5	6.8	2.5	6.8	2.4	6..9	2.2	4.1	1.9	4.9	—	—
1999	DAN	*	*	*	*	—	—	1.7	10.8	4.7	11.1	4.6	11.0	*	*
	MAGGIE	*	*	2.5	6.8	2.5	6.8	2.4	6.9	2.2	4.1	1.9	4.9	—	—
2000	KAITAK	—	—	*	*	1.2	9.3	1.8	8.2	2.0	8.0	2.3	8.0	1.8	7.9
	XANGSANE	*	*	1.9	5.2	2.0	5.0	2.0	5.0	2.3	4.3	1.9	3.8	*	*

註：“ * ”表示推算波向線與颱風路徑夾角小於 5°或風速未超過 8m/sec 或風向與波向逆向等。

“—”表示推算波向線上波高小於 1.0m，

表3.5.6　臺中港歷年颱風波浪推算結果

年	颱風名稱	NNE		N		NNW		NW		WNW		W		WSW		WS	
		波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期
1971	AGNES	3.2	7.2	2.4	5.6	1.9	5.1	—	—	*	*	*	*	1.5	10.0	—	—
	LUCY	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	—	—	1.7	12.9
	NADINE	3.3	5.8	2.1	5.6	—	—	*	*	*	*	*	*	2.2	11.5	2.6	10.7
	RESS	3.6	11.5	2.2	9.7	1.5	7.1	1.9	6.4	*	*	2.2	5.4	2.1	6.7	1.8	6.2
1972	BETTY	3.0	12.1	1.5	9.2	1.0	6.7	1.5	5.2	1.6	5.0	1.6	5.7	1.4	5.1	—	—
1973	WILDA	*	*	*	*	*	*	—	—	—	—	—	—	*	*	1.4	8.7
1974	WENDY	2.6	9.7	2.3	9.1	1.7	8.1	1.8	5.2	2.1	5.2	*	*	1.9	6.4	1.8	6.3
1975	BETTY	2.5	7.3	1.7	5.1	—	—	*	*	*	*	*	*	—	—	1.6	10.9
	ELSIE	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.5	14.2
	NINA	5.5	9.1	4.8	8.1	4.2	7.1	3.5	5.8	3.0	5.8	2.9	5.4	2.5	9.5	2.4	7.7
1976	BILLIE	4.7	10.3	3.9	10.6	3.1	9.1	3.0	7.2	2.9	5.8	2.9	6.2	2.8	5.6	2.9	5.8
1977	AMY	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3.0	8.0	2.7	7.2
	RUTH	*	*	*	*	—	—	1.0	9.0	2.1	9.2	5.9	9.6	—	—	*	*
	THELMA	2.6	5.7	*	*	2.4	6.3	3.3	8.8	3.3	8.1	3.6	6.2	3.3	5.8	2.7	6.4
1978	DELLA	2.3	8.2	2.1	6.1	2.2	5.1	*	*	1.7	5.2	2.2	5.2	2.6	5.3	2.6	5.6
	OLIVE	*	*	—	—	—	—	1.7	9.5	4.5	10.4	5.1	9.9	—	—	—	—
1979	HOPE	2.3	7.0	1.0	4.4	*	*	*	*	*	*	*	*	—	—	2.5	11.6
1980	BETTY**	1.7	4.2	0.6	3.1	*	*	1.1	11.8	—	—	—	—	2.9	12.5	1.1	11.8
	NORRIS	4.0	9.4	3.5	8.3	3.2	7.7	3.0	5.7	*	*	3.5	6.1	3.1	5.7	3.1	5.6
1981	CLARA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	—	—	1.9	13.8
	IKE	1.6	5.0	1.6	5.0	1.6	5.0	1.4	5.0	—	—	*	*	*	*	*	*
	JUNE	1.8	9.8	1.8	5.1	*	*	2.0	6.3	2.1	5.0	2.2	4.1	2.0	3.9	—	—
	MAURY	2.5	10.1	1.9	9.3	1.3	7.5	1.5	4.5	1.7	5.1	2.1	4.0	2.3	4.1	2.2	4.0
1982	ANDY	2.2	6.5	—	—	*	*	*	*	*	*	*	*	2.2	11.9	2.6	11.2
1983	ELLEN	2.0	14.4	2.5	14.0	2.3	13.3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	WYNNE	—	—	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	—	—	2.2	12.0

註：“ * ”表示推算波向線與颱風路徑夾角小於 5°或風速未超過 8m/sec 或風向與波向逆向等。

“ — ”表示推算波向線上波高小於 1.0m，

表3.5.6 (續1) 臺中港歷年颱風波浪推算結果

年	颱風名稱	NNE		N		NNW		NW		WNW		W		WSW		WS	
		波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期
1985	HAL	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.5	13.4
	NELSON	4.4	10.8	3.2	9.9	2.3	8.0	2.5	7.3	2.7	7.2	2.8	7.4	2.7	5.8	2.6	6.6
1986	NACCY	*	*	*	*	*	*	1.4	9.3	2.1	9.0	1.8	8.2	2.3	8.8	2.0	8.2
	ABBY	4.9	8.1	4.4	7.3	3.8	6.3	3.2	5.7	3.0	8.8	3.4	8.0	3.6	7.5	3.5	5.6
	WAYNE+	2.7	9.5	2	8.9	2.5	7.5	4.2	9.9	2.9	8.4	4	10.2	—	—	4.2	9.9
1987	ALEX	1.8	9.3	2.0	6.4	2.1	6.4	2.1	6.5	2.3	5.1	2.2	5.2	2.0	5.1	2.0	4.0
	GERALD	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	—	—	2.2	11.1	2.8	10.7
	VERNON	1.0	8.0	—	—	—	—	1.9	4.1	2.1	4.1	2.1	3.9	—	—	*	*
1988	SUSAN	1.2	5.0	1.2	4.9	—	—	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1989	SARAH	3.7	10.7	3.4	9.8	3.4	8.0	3.3	7.7	3.3	5.8	3.2	6.1	2.8	5.7	2.4	5.5
1990	DOT	2.4	6.7	1.4	5.0	*	*	*	*	*	*	*	*	1.6	11.1	2.0	11.3
	MARIAN	—	—	1.8	3.9	1.7	4.0	1.6	4.1	—	—	*	*	*	*	—	—
	OFELIA	2.8	5.7	2.8	5.8	2.9	5.6	3.0	5.8	3.0	5.7	3.0	5.3	2.6	5.6	2.8	5.1
1991	AMY	2.4	6.7	1.4	5.0	*	*	*	*	*	*	*	*	1.6	11.1	2.0	10.3
	ELLIE	3.7	10.4	3.1	10.1	2.1	8.7	2.2	6.8	2.3	6.9	*	*	2.5	6.8	2.4	5.5
1992	OMAR	2.5	7.2	1.6	5.0	—	—	*	*	*	*	*	*	*	*	1.3	10.7
	POLLY	3.3	9.7	3.1	9.5	3.1	8.2	3.1	8.1	3.1	5.8	3.2	6.1	3.0	5.8	2.6	5.5
	TED	1.7	4.7	*	*	1.9	4.9	2.1	5.1	2.2	3.8	2.0	5.2	2.0	4.8	—	—
1993	ABE	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	—	—	1.7	12.0
1994	CAITLIN	1.4	5.0	—	—	*	*	*	*	*	*	—	—	1.3	8.5	1.1	8.3
	GLADYS	2.3	10.6	1.6	10.1	1.5	5.0	*	*	1.8	5.1	1.8	6.0	1.8	5.1	1.6	5.0
	TIM	2.7	5.6	1.4	5.1	*	*	*	*	*	*	1.1	10.4	2.0	10.0	2.2	9.8
1996	GIORIA	*	*	*	*	*	*	*	*	—	—	—	—	2.3	10.0	1.6	10.1
	HERB	5.5	10.6	4.1	10.1	3.3	9.5	3.4	8.1	3.3	5.9	3.4	6.1	3.2	5.8	3.1	5.6

註：“ * ”表示推算波向線與颱風路徑夾角小於 5°或風速未超過 8m/sec 或風向與波向逆向等。

“—”表示推算波向線上波高小於 1.0m，

表3.5.6　(續2) 臺中港歷年颱風波浪推算結果

年	颱風名稱	NNE		N		NNW		NW		WNW		W		WSW		WS	
		波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期
1997	AMBER	2.3	6.8	1.3	4.9	*	*	*	*	*	*	*	*	1.9	11.6	2.6	11.0
1998	BABE	—	—	*	*	1.0	9.0	1.6	9.2	2.4	9.6	*	*	*	*	*	*
	NICHOLE	1.0	4.8	—	—	—	—	—	—	*	*	*	*	*	*	1.9	10.6
	OTTO	1.6	4.4	—	—	*	*	*	*	—	—	1.3	8.4	1.7	7.8	1.2	7.8
	ZEB	*	*	1.9	6.4	1.9	6.3	1.7	5.1	1.2	5.0	*	*	*	*	*	*
1999	DAN	*	*	1.5	10.7	1.9	9.4	2.8	9.5	*	*	*	*	4.1	9.1	4.3	6.1
	MAGGIE	*	*	1.7	6.1	1.7	5.0	1.5	4.9	1.0	4.4	*	*	*	*	*	*
2000	BILIS	2.4	6.9	1.2	5.0	*	*	*	*	*	*	*	*	1.8	11.2	2.3	10.6
	XANGSANE	*	*	1.4	5.0	1.3	4.8	1.2	4.8	—	—	*	*	*	*	*	*

註：“ * ”表示推算波向線與颱風路徑夾角小於 5°或風速未超過 8m/sec 或風向與波向逆向等。

“—”表示推算波向線上波高小於 1.0m，

表3.5.7　安平港颱風波浪推算結果

年	颱風名稱	NW		WNW		W		WSW		SW		SSW		S	
		波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期
1971	AGNES	2.7	7.8	2.8	7.5	2.9	7.4	2.8	7.3	2.7	7.2	2.5	5.5	2.4	5.7
	LUCY	*	*	*	*	*	*	1.6	12.8	2.0	11.8	2.3	11.2	1.3	10.5
	NADINE	4.2	9.1	*	*	4.0	7.2	4.1	6.6	4.3	9.1	4.2	7.1	3.7	8.6
1973	JOAN	*	*	*	*	*	*	*	*	—	—	1.0	9.0	1.2	8.3
	NORA	*	*	—	—	3.5	10.5	2.6	11.0	3.2	10.6	3.8	11.1	4.3	11.6
	WILDA	—	—	*	*	*	*	2.1	9.7	1.7	9.1	3.0	12.0	2.3	6.5
1975	BETTY	3.2	6.0	2.4	5.9	*	*	2.1	8.7	3.1	8.2	3.8	8.4	4.0	8.9
	ELSIE	*	*	*	*	*	*	3.1	15.6	3.9	14.5	4.5	14.2	5.1	14.6
	NINA	2.8	8.2	3.0	7.7	3.1	8.0	3.0	7.7	2.9	7.7	2.6	7.3	2.1	5.5
1976	BILLIE	1.6	5.8	2.0	6.3	2.1	6.7	2.1	6.7	2.1	6.6	1.8	6.2	1.3	5.1
	RUBY	*	*	*	*	*	*	*	*	3.4	12.6	3.2	11.8	2.8	11.2
1977	AMY	1.4	8.1	*	*	2.4	7.7	2.8	6.8	2.5	7.4	—	—	—	—
	RUTH	*	*	2.3	9.0	3.7	9.0	1.3	7.4	*	*	*	*	3.4	8.5
	THELMA	3.5	6.2	4.1	6.9	3.9	7.2	3.4	6.5	2.5	5.8	—	—	5.4	16.1
1978	DELLA	*	*	1.3	3.9	1.5	3.9	1.4	3.8	—	—	*	*	*	*
	OLIVE	1.4	9.6	1.3	9.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1979	GORDON	*	*	*	*	*	*	1.0	11.4	1.5	10.8	1.8	10.1	2.1	9.8
	HOPE	*	*	*	*	1.5	11.3	2.6	12.1	3.2	11.4	3.8	11.0	4.2	10.7
1980	IDA	*	*	*	*	*	*	1.0	10.7	1.3	10.0	1.6	9.1	1.1	8.8
	NORRIS	1.6	5.5	*	*	1.8	6.2	1.7	6.1	1.6	5.7	1.2	4.8	*	*
1981	CLARA	*	*	*	*	*	*	1.8	13.8	2.3	13.2	2.8	12.8	3.3	12.8
	IKE	2.6	5.5	2.9	6.2	2.1	5.9	—	—	1.4	15.9	—	—	1.7	10.0
1982	ANDY	2.1	5.5	1.8	11.0	2.3	9.1	3.5	9.6	4.5	9.8	4.8	9.9	4.5	9.4
	DOT	—	—	*	*	1.2	8.2	1.7	8.3	2.2	8.1	*	*	2.8	7.8
1983	ELLEN	*	*	*	*	*	*	—	—	1.8	13.8	2.3	13.1	2.7	12.9
	WYNNE	*	*	*	*	1.3	12.3	2.2	12.2	2.8	11.5	3.3	11.1	3.0	10.6

註：“＊”表示推算波向線與颱風路徑夾角小於 5°或風速未超過 8m/sec 或風向與波向逆向等。

“－”表示推算波向線上波高小於 1.0m，

表3.5.7　(續1) 安平港颱風波浪推算結果

年	颱風名稱	NW		WNW		W		WSW		SW		SSW		S	
		波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期
1984	WYNNE	*	*	*	*	*	*	—	—	1.0	10.3	1.2	9.6	1.4	9.1
1985	HAL	*	*	*	*	*	*	1.2	12.4	1.6	12.4	2.0	11.7	2.2	11.3
	NELSON	1.0	7.6	—	—	1.3	5.3	1.3	5.1	—	—	*	*	*	*
	VAL	*	*	*	*	*	*	—	—	1.1	9.7	1.4	8.6	1.5	8.1
1986	NACCY	2.0	8.6	2.2	7.9	2.9	8.3	3.2	8.4	2.7	7.4	—	—	*	*
	ABBY	3.0	8.0	3.1	7.7	3.1	7.7	2.8	7.7	2.5	6.4	1.9	6.3	1.0	3.8
	PEGGY	*	*	*	*	—	—	1.5	12.6	1.9	12.0	2.2	11.7	2.0	11.4
	WAYNE**	2.7	9.5	2	8.9	2.5	7.5	2.9	8.4	4	10.2	—	—	4.2	9.9
1987	ALEX	1.5	5.4	1.4	5.4	1.1	4.8	*	*	*	*	*	*	*	*
	GERALD	*	*	1.8	10.7	2.1	8.5	3.1	9.4	4.1	9.6	4.6	9.8	4.3	9.4
1988	SUSAN	2.4	4.9	1.9	4.1	*	*	*	*	3.5	15.1	1.2	10.0	2.8	11.2
	WARREN	*	*	*	*	*	*	1.2	13.1	1.6	11.9	2.0	11.6	1.3	10.9
1989	SARAH	2.4	7.2	2.2	6.9	1.9	6.4	1.4	5.4	*	*	*	*	*	*
1990	DOT	3.0	5.9	*	*	3.0	6.1	3.2	7.6	3.7	8.1	4.0	8.0	3.6	6.5
	MARIAN	2.2	6.8	1.7	6.4	—	—	—	—	1.0	12.9	—	—	1.1	8.8
	OFELIA	2.2	6.7	2.2	5.7	2.1	5.8	2.1	3.8	—	—	*	*	*	*
	YANCY	1.8	5.6	*	*	2.1	6.7	1.9	6.0	1.7	5.9	1.1	4.8	*	*
1991	AMY	3.1	5.9	*	*	3.0	6.1	3.2	7.6	3.7	8.1	4.0	8.0	3.6	6.5
	BRENDAN	*	*	*	*	*	*	—	—	—	—	1.0	11.0	—	—
1992	OMAR	2.7	5.6	2.0	5.4	*	*	1.6	5.7	2.3	7.8	3	7.9	3.3	8.2
	POLLY	1.6	5.6	1.6	6.0	1.5	5.6	1.1	4.7	*	*	*	*	*	*
	TED	1.8	4.9	1.8	3.8	1.8	3.9	1.5	3.8	*	*	*	*	*	*
1993	ABE	*	*	*	*	*	*	1.7	11.5	2.1	10.9	2.7	11	3.2	11.1
1994	CAITLIN	2.5	4.1	2.2	4.9	1.7	5.4	2.5	5.5	2.4	5.8	2.6	5.9	1.8	5.7
	GLADYS														
	TIM	2.9	5.7	2.7	7.2	3.2	7.1	3.4	6.5	3.5	7.8	3.3	7.4	2.7	5.6

註：“＊”表示推算波向線與颱風路徑夾角小於 5°或風速未超過 8m/sec 或風向與波向逆向等。

“－”表示推算波向線上波高小於 1.0m，

表3.5.7　(續2) 安平港颱風波浪推算結果

年	颱風名稱	NW		WNW		W		WSW		SW		SSW		S	
		波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期
1995	KENT	*	*	*	*	*	*	1.3	12.5	1.8	11.8	2.2	11.3	2.2	10.9
1996	CAM	*	*	*	*	*	*	*	*	2.1	12.5	2.1	11.6	1.6	10.8
	GIORIA	1.6	10.3	3.2	8.6	3.1	8.7	3.6	9.0	4.0	9.1	3.7	8.8	1.8	6.2
	HERB	1.8	6.0	2.1	6.7	2.2	6.8	2.1	6.5	1.9	6.3	1.5	5.5	*	*
1997	AMBER	3.2	6.5	*	*	2.6	7.1	3.4	8.6	4.3	8.9	4.4	9.1	4.1	8.7
1998	BABS	1.7	10.3	3.2	10.3	1.6	9.3	2.5	9.0	*	*	2.6	7.2	2.1	6.4
1998	NICHOLE	2.1	5.9	1.7	4.5	1.7	6.7	*	*	3.3	8.8	3.2	8.5	2.9	6.0
1998	OTTO	*	*	1.5	5.0	1.9	5.1	2.3	5.5	2.6	5.7	2.0	5.7	—	—
	ZEB	2.0	6.7	1.6	5.7	—	—	*	*	*	*	*	*	*	*
1999	DAN	*	*	*	*	3.5	8.2	*	*	5.3	11.2	*	*	4.6	10.2
	MAGGIE	2.6	6.1	1.6	5.7	—	—	*	*	*	*	*	*	*	*
2000	BILIS	2.9	5.8	2.7	4.6	2.1	8.2	2.6	8.6	3.3	8.7	3.6	8.7	3.3	8.4
	KAITAK	*	*	*	*	*	*	*	*	—	—	4.4	13.9	4.1	13.1
	XANGSANE	1.5*	5.1	1.2	4.7	*	*	*	*	*	*	*	*	1.6	11.4

註：“ * ”表示推算波向線與颱風路徑夾角小於 5°或風速未超過 8m/sec 或風向與波向逆向等。

“－”表示推算波向線上波高小於 1.0m，

表3.5.8　高雄港颱風波浪推算結果

年	颱風名稱	NW		WNW		W		WSW		SW		SSW		S	
		波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期
1971	AGNES	2.0	9.8	2.2	6.7	2.3	6.9	2.3	6.7	2.2	6.5	2.0	6.0	2.1	4.1
	LUCY	*	*	*	*	*	*	1.6	12.4	2.1	11.5	2.4	11.0	1.5	10.3
	NADINE	4.0	6.7	*	*	4.1	8.6	4.1	8.8	4.0	8.7	3.7	7.8	3.1	7.7
1973	JOAN	*	*	*	*	*	*	—	—	—	—	1.1	8.7	1.3	8.1
	NORA	*	*	1.3	11.3	1.6	9.2	2.7	10.6	3.3	10.8	3.9	11	4.5	11.4
	WILDA	—	—	5.7	10.6	7.3	10.2	2.1	9.8	1.7	9.2	2.8	12.1	1.8	6.3
1975	BETTY	3.6	6.7	3.4	7.6	*	*	3.5	7.7	3.7	8.0	3.8	7.6	3.6	6.9
	ELSIE	*	*	*	*	*	*	3.5	15.0	4.1	14.2	4.7	13.6	5.4	14.2
	NINA	2.3	6.7	2.6	7.4	2.7	7.5	2.7	7.4	2.5	7.2	2.1	6.7	1.6	5.7
1976	BILLIE	1.3	8.9	1.3	5.1	1.6	5.8	1.6	5.8	1.5	5.6	1.2	4.8	*	*
	RUBY	*	*	*	*	*	*	—	—	3.6	12.3	3.4	11.5	3.0	10.9
1977	AMY	1.4	8.2	1.8	8.0	2.2	7.9	2.7	7.9	2.6	7.5	—	—	—	—
	RUTH	1.6	10.2	4.1	9.9	2.8	9.3	1.2	7.6	2.0	11.9	*	*	2.8	8.0
	THELMA	3.3	8.3	4.1	8.4	4.5	8.7	3.8	8.2	3.1	8.0	1.1	7.3	*	*
1978	IRMA	2.1	4.4	—	—	*	*	*	*	*	*	—	—	*	*
	OLIVE	1.2	9.7	1.0	8.9	1.0	9.5	—	—	—	—	—	—	—	—
1979	GORDON	*	*	*	*	*	*	1.2	11.5	1.6	10.3	1.9	9.8	2.5	9.8
	HOPE	—	—	*	*	1.6	10.0	2.8	11.5	3.4	11.0	4.1	10.7	5.0	10.5
1980	IDA	*	*	*	*	*	*	1.1	10.3	1.3	9.5	1.6	8.9	1.2	8.6
	NORRIS	1.0	8.6	*	*	1.4	5.5	1.4	5.3	1.1	4.6	*	*	*	*
1981	CLARA	*	*	*	*	*	*	2.0	13.9	2.6	13.3	3.1	12.8	3.7	12.6
	IKE	3.7	7.8	3.3	7.3	2.3	7.0	—	—	*	*	—	—	1.9	9.7
1982	ANDY	4.2	6.6	4.0	7.4	4.3	8.1	4.6	9.2	4.7	8.5	4.6	8.2	4.2	7.9
	DOT	2.3	4.1	*	*	2.0	5.8	2.6	6.8	2.7	7.4	3.5	7.6	2.9	7.3
1983	ELLEN	*	*	*	*	*	*	—	—	1.9	13.3	2.4	12.9	2.8	12.6
	WYNNE	*	*	*	*	1.3	10.6	2.4	11.8	3.0	11.2	3.5	10.8	3.8	10.4

註：“ * ”表示推算波向線與颱風路徑夾角小於 5°或風速未超過 8m/sec 或風向與波向逆向等。

“—”表示推算波向線上波高小於 1.0m，

表3.5.8　(續1) 高雄港颱風波浪推算結果

年	颱風名稱	NW		WNW		W		WSW		SW		SSW		S	
		波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期
1984	WYNNE	—	—	*	*	*	*	—	—	1.1	9.6	1.4	9.4	1.7	8.6
1985	HAL	*	*	*	*	*	*	1.2	12.2	1.6	12.1	2.0	11.4	2.3	11.1
	VAL	*	*	*	*	*	*	—	—	1.1	9.2	1.5	8.3	1.7	7.9
1986	NACCY	1.8	9.0	2.2	8.8	2.5	8.4	3.3	8.5	2.8	8.6	—	—	*	*
	ABBY	2.7	7.0	2.8	7.7	2.8	7.6	2.5	7.3	2.1	6.7	1.6	5.7	*	*
	PEGGY	*	*	*	*	—	—	1.6	11.9	2.0	11.8	2.2	11.6	2.2	11.3
	WAYNE**														
1987	ALEX	1.5	5.6	1.4	5.5	1.2	4.9	—	—	*	*	*	*	*	*
	GERALD	*	*	1.8	9.4	2.4	9.1	3.4	9.1	4.6	9.4	4.6	9.0	4.1	8.7
1988	KIT														
	SUSAN	3.4	6.2	2.8	6.1	1.9	5.8	—	—	*	*	1.2	9.8	3.0	10.9
	WARREN	*	*	*	*	*	*	1.3	12.8	1.7	11.7	2.1	11.4	1.1	10.7
1989	SARAH	2.3	7.1	2.2	6.8	1.9	6.2	1.3	5.2	*	*	*	*	*	*
1990	DOT	3.0	6.2	*	*	3.2	7.3	3.4	7.4	3.6	6.7	3.6	6.4	3.1	6.2
	MARIAN	1.4	7.4	1.1	7.1	—	—	—	—	—	—	—	—	1.2	8.4
	OFELIA	2.3	6.3	2.3	6.0	2.4	4.0	2.2	4.0	1.4	3.7	*	*	*	*
	YANCY	1.3	8.6	*	*	1.7	6.0	1.5	5.7	1.2	4.8	*	*	*	*
1991	AMY	3.6	6.2	*	*	3.2	7.3	3.4	7.4	3.6	6.7	3.6	6.4	3.1	6.2
1992	OMAR	2.9	6.1	2.7	7.2	*	*	2.8	6.8	3.2	7.1	3.5	6.6	3.3	6.9
	POLLY	—	—	1.3	5.1	1.0	4.5	*	*	*	*	*	*	*	*
	TED	2.0	5.2	2.0	4.8	1.9	4.2	2.2	3.9	—	—	*	*	*	*
1993	ABE	*	*	*	*	*	*	1.8	11.2	2.2	10.6	2.8	10.6	3.4	10.7
1994	CAITLIN	2.4	4.0	2.5	3.9	1.6	5.4	1.8	5.7	2.2	5.7	2.1	4.8	2.1	4.7
	TIM	2.9	6.1	2.8	6.2	3.1	7.5	3.2	7.8	3.2	7.7	2.9	7.5	2.4	6.5
1995	KENT	*	*	*	*	*	*	1.4	12.1	1.9	11.6	2.4	11	2.4	10.7

註：“*”表示推算波向線與颱風路徑夾角小於 5°或風速未超過 8m/sec 或風向與波向逆向等。

“—”表示推算波向線上波高小於 1.0m，

表3.5.8　(續2) 高雄港颱風波浪推算結果

年	颱風名稱	NW		WNW		W		WSW		SW		SSW		S	
		波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期
1996	CAM	*	*	*	*	*	*	*	*	2.7	12.3	2.2	11.3	1.7	10.3
	GIORIA	1.4	10.5	2.1	8.9	2.5	8.9	3.7	8.9	4.2	9.0	3.8	8.7	1.8	6.7
	HERB	1.3	8.6	1.7	6.1	1.8	6.2	1.7	6.1	1.5	5.6	—	—	*	*
1997	AMBER	3.8	6.5	*	*	3.8	7.9	4.2	8.3	4.3	7.2	4.1	7.4	3.6	7.2
1998	BABS	1.7	10.9	1.7	8.0	1.7	6.9	3.2	12.3	*	*	1.8	6.3	1.3	5.1
	NICHOLE	1.7	7.1	2.3	7.3	3.4	8.4	*	*	3.0	8.3	2.5	7.4	1.9	6.5
	OTTO	*	*	1.3	5.0	1.6	5.5	2.0	4.5	2.4	5.0	*	*	—	—
	ZEB	2.5	6.3	2.2	6.7	1.6	5.8	*	*	*	*	*	*	*	*
1999	DAN	2.3	10.4	2.6	8.9	2.9	8.1	4.1	10.9	4.7	10.3	*	*	4.0	9.4
	MAGGIE	2.5	6.3	2.2	6.7	1.6	5.8	*	*	*	*	*	*	*	*
2000a	BILIS	3.2	5.9	2.9	7.4	3.1	7.2	3.6	7.9	3.7	8.3	3.6	8.2	3.1	7.8
	KAITAK	*	*	*	*	*	*	*	*	—	—	4.7	13.6	4.3	12.9
	XANGSANE	1.8	5.8	2.0	4.2	1.7	3.9	*	*	*	*	*	*	—	—

註：“ * ”表示推算波向線與颱風路徑夾角小於 5°或風速未超過 8m/sec 或風向與波向逆向等。

“—”表示推算波向線上波高小於 1.0m，

表3.5.9　花蓮等港口歷年颱風波浪推算結果之比較

		花蓮港				蘇澳港				臺中港				高雄港			
		本計畫		梁等(1985)		本計畫		梁等(1985)		本計畫		梁等(1985)		本計畫		梁等(1985)	
年	颱風名稱	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期	波高	周期
1971	**AGNES**	5.9	11.2	5.8	11.9	5.4	10.6	6.54	12.29								
	NADINE													4.1	8.8	4.92	11.53
	RESS	5.8	14.4	6.38	12.07	6.2	14.0	7.41	12.57	3.6	11.5	4.54	11.12				
1972	**BETTY**	9.2	16.8	6.06	11.84	5.6	13.6	6.59	12.04	3.0	12.1	4.55	11.14				
1973	**NORA**													4.5	11.4	5.64	12.11
1974	**WENDY**	4.2	11.0	3.98	10.86	4.8	11.5	4.09	10.94								
1975	**BETTY**	5.5	11.0	8.61	13.11	4.3	14.6	8.09	12.95	2.5	7.3	5.27	11.96	3.8	7.6	6.02	12.15
	ELSIE	4.5	14.5	5.6	11.67	4.8	11.5	4.09	10.94	2.5	14.2	5.95	12.00	5.4	14.2	7.96	12.78
	NINA	11.9	15.6	8.87	13.04	9.5	9.0	8.96	12.96	5.5	9.1	6.12	12.7	2.7	7.8	4.26	11.02
1976	**BILLIE**	5.2	13.0	6.20	11.87	6.2	12.2	6.82	12.14								
1977	**THELMA**									3.6	6.2	4.86	11.54	4.5	8.7	3.81	10.75
1978	**DELLA**	3.7	7.9	5.06	11.93	3.4	7.7	6.18	12.71								
1980	**NORRIS**					8.7	10.2	6.05	11.8								
1981	**IKE**	3.3	10.2	4.12	10.75	3.1	10.6	3.88	10.64	3.7	7.8	4.09	10.84	3.7	7.8	4.09	10.84
	JUNE	6.6	13.6	5.43	11.76	8.1	13.2	5.58	11.8	2.2	4.1	3.02	10.17				
1982	**ANDY**	8.2	14.4	7.86	12.65	6.3*	14.6	7.25	12.45	2.6	11.2	7.13	12.57	4.7	8.5	5.08	11.71

3.6 資料同化

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

目前波浪的數值推算可以依照其計算的時間點來區分為追報(hindcast)、現報(nowcast)、以及預報(forecast)三類，其中預報部分的正確性由於無法取得未來的海氣象變化資料，因此只能依靠數值模式本身所使用的數學理論是否周延，以及參數的選擇是否正確；而追報與現報則可以利用現場的實測資料來加以檢核與改善。在過去的波浪分

析與應用中，實測資料多只用來進行數值模式推算結果的檢核而已。而結合數值模式推算結果與現場實測資料來建立一較佳的海象預報模式的工作稱之為資料同化或資料分析(data assimilation or analysis)。資料分析首先被應用於氣象學的領域裡，氣象學家會先在氣壓實測的資料上繪製等壓線並比較及歸納氣壓分佈的標準型式，然後將分析成果帶入數值模式中。

由於實測的資料可以同時應用在數值模式的檢核與改善上，當一個模式是用數值自動模式擬合技術來進行改善(例如調整公式裡的參數)，也就是所謂的逆算建模(inverse modeling)，而不是直接利用一個固定的模式來計算資料然後再和實測資料相比較，實測資料便可在這種逆算建模中協助建立一較佳的模式。而所謂的資料同化一般是根據一動力模式逆向模擬處理任何數學模式與修正相關變動參數以便使計算資料與實測資料更加吻合。對中短期數值海氣象預報而言，預報品質的好壞受到初始場的影響很大。將各種實測資料以特定變數型式彙整至特定的網格系統的步驟稱為資料同化，其結果稱為分析場，而此分析場通常也是數值海氣象預報系統之初始場。如果在資料同化過程中不只考慮資料在空間上的互動關係及其間的差異性，同時也考慮資料在時間上之關連性時(例如利用數值動力預報模式進行不同實測時間資料的串聯)，便是所謂的資料四維同化。初始場的最佳估算是資料化工作中的主要目標之一。

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

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

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

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

參考鄭明典(2001)的回顧，氣象實測大致可以分為傳統(定時定點)的氣象探空實測，以及非傳統(在時間軸上近似與連續)氣象實測，如衛星遙測、飛機氣象報告及地面的雷達、剖風儀等。雖然目前最準確而可靠的氣象資料來源仍屬傳統的氣象探空實測，但是由於經費與分析技術的限制，並非所有國家都有能力也有興趣支持此項實測業務，而使得此項實測有逐漸式微的情形。就全球性氣象實測資料來源的穩定性而言，傳統氣象探空實測亦非任何單一國家或組織所能掌控，因此先進國家轉向開拓不受國界限制之實測平臺。

就過去十數年的氣象資料量的變化情形來看，全球性的氣象實測資料成長數量最多的是衛星遙測資料，而且預期此一趨勢將會持續成長。基本上，衛星實測所提供的是幅射強度的資料，雖然一般而言是

將幅射資料利用衛星反演計算後才使用於數值天氣預報，而此一步驟常會產生相當程度的誤差。此一過高的誤差及不充足的垂直解析度是現今衛星遙測資料最為被詬病的地方。然而隨著遙測及資料同化技術的進步，衛星遙測資料的可用度正逐年提昇中，就全球氣象資料同化的發展而言，未來很可能衛星遙測資料會成為唯一的資料來源。

3.6.2 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 scattermeter 演算法中除了需要有初期猜測風場，而對於改進的資料修補可能還需要有初期猜測波浪場。

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

有關波浪推算的同化作業，Hasselmann(1985)建議提出了一完整的風場與波場的資料同化系統，圖 3.6.1 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像。因此，在大氣模式中需要配合重力波的動態平衡初期化問題在波浪的資料同化中不會發生。

- 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。

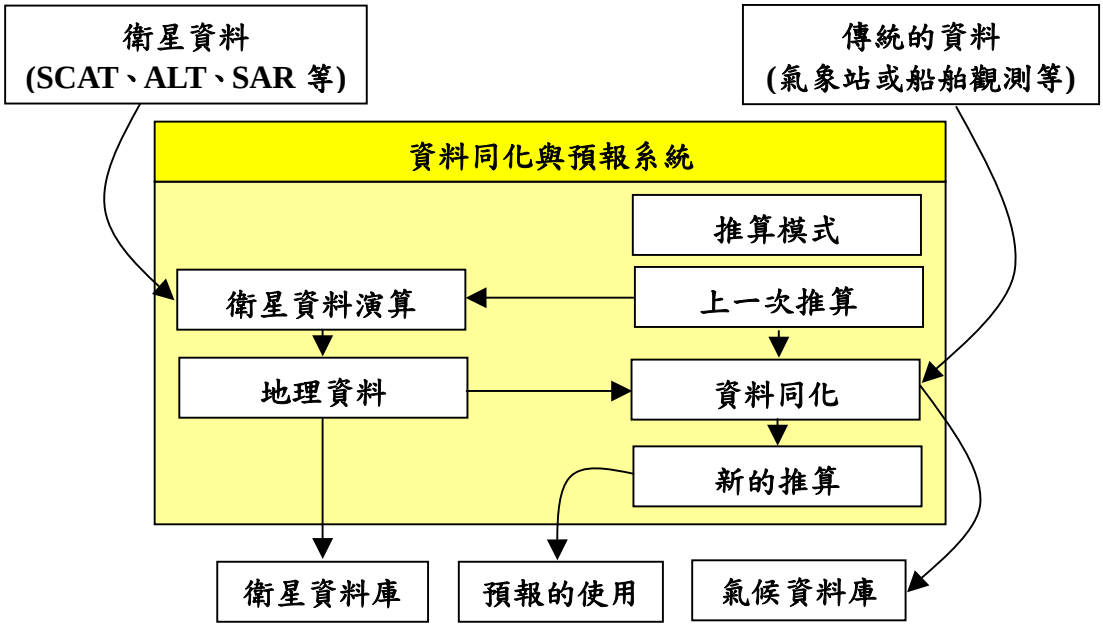


圖 3.6.1 風場及波場整合同化及預報系統

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

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

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

3.6.3 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，湧浪波譜的修正是保持原有的波譜形狀及尖峰頻率而修正其能量，而風浪波譜的修正則是根據 Thomas (1988)的研究以 JONSWAP 波譜重新分配波譜能量與尖峰頻率。Lionello 等人 (1992)、Lionello 等人 (1995) 及 Hasselmann 等人 (1997) 則利用最佳內插法之概念改善模式初始場，並以尺度因子修正模式預報波譜。Hasselmann 等人 (1994) 及 Gerling 等人 (1992) 利用波譜分割 (spectral partitioning) 的概念，直接以衛星實測的二維波譜進行同化，降低 OI 中求解變量的計算時間，又可稱為 Optimal Interpolation of Partitions (OIP)。

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

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

第四章 水動力模式

水動力模式計算的項目包含即時水位計算及流場計算，水位變化的主要動力包含週期性的天文潮（潮汐部分）及突發性的氣象潮（風暴潮部分）。天文潮模式在國內外均有許多年的發展經驗，例如國內許多單位使用多年前由美國學者劉肖孔博士所建置的模式；風暴潮主要是由氣象參數中大氣壓力的變化與風場的驅動等因素所引發的海水水位異常變化的現象，與天文潮最大的差異點是其不具週期性，完全受到當時的氣象狀況影響，所以國內以往大多運用颱風數值模式模擬可能的暴潮偏差，且多為海事工程設計所需參數所做之計算，並沒有風暴潮即時預報的相關研究，歐洲由於受到 1953 年風暴潮所造成的溢淹，北海沿岸國家均有非常嚴重的生命及財產的損失，即積極部署建置風暴潮預報的系統。剛開始是在北海沿岸設置一系列的氣象及海象即時觀測站網，並以統計的方法建立報潮水位的預警系統，稱之為關聯模式，數值模式的研究也快速發展，自 1960 年代以解析的方式，或以顯式法計算理想化的情況來探討風場的作用(Zundermann, 1960)，到複雜的數值模式(Dronkers, 1969; Abbott, 1973)，Lindertse and Liu (1978)為荷蘭建置風暴潮即時預報模式，歐洲各國也積極發展各自的線上作業預警數值模式，如英國(Heaps, 1976; Greenberg, 1977; Davies and Flather, 1978; and Flather, 1981)。拜現今電腦科技進步神速，電腦所能提供的運算量比起以前有大幅度的進步，計算的方法也隨之大幅改進，因此許多國家所發展的水位預報數值模式皆已朝向將氣象條件（風速、風向及大氣壓力）的影響直接與天文潮波整合進以全域水動力方程式直接計算，在模式中達成動態平衡，使風暴潮與天文潮的相互影響可以被完整的考慮，如 Yu et al (1994) 為比利時發展的風暴潮線上即時作業預報模式。

本計畫已於第二年度計畫完成建置耦合水位模式，本年度的工作將著重於改進上一年建立之水位數值模式的精確度並合理的改善計

算速度，以自動作業化方式進行數值模擬計算的長期線上自動操作，並利用現場觀測資料進行校驗及修正模式。同時，亦將使用水位預報模式對本年度侵臺颱風進行模擬現報作業（nowcast），每日由中央氣象局下載域暴風場資料，執行自動預報，並以現場觀測水位資料提供使用者做為比較評估的根據。另外本計劃並應用神經網路的快速學習及可模擬複雜問題的優點，依循 93 年計畫以潮汐預測模式進行平時水位之預測，本年度再以颱風暴潮模式進行颱風期間水位的預測。

流場計算是未來計畫執行重點，本計畫預計先行完成計算二維全域流場的資料，並上線即時操作；三維水動力模式由於計算複雜，所需要的運算能力並非是單一主機可以負擔，對於預報並無實質效益，因此本年度將初步建置，待符合本計畫計算能力之平行計算主機建置完成後，再積極進行三維流場之計算與校驗。

4.1 水位模式

4.1.1 全域水動力模式

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，並配合發展適合臺灣海域颱風作用的颱風模式及參數率定，今年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。

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。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：

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x_1}+v\frac{\partial u}{\partial x_2}+w\frac{\partial u}{\partial x_3}-fv=-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial p}{\partial x_1}+\frac{\partial}{\partial x_3}\left(v_T\frac{\partial u}{\partial x_3}\right)+\frac{\partial}{\partial x_1}\tau_{11}+\frac{\partial}{\partial x_2}\tau_{21} \quad (4.1.1.1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x_1}+v\frac{\partial v}{\partial x_2}+w\frac{\partial v}{\partial x_3}+fu=-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial p}{\partial x_2}+\frac{\partial}{\partial x_3}\left(v_T\frac{\partial v}{\partial x_3}\right)+\frac{\partial}{\partial x_1}\tau_{12}+\frac{\partial}{\partial x_2}\tau_{22} \quad (4.1.1.2)$$

壓力平衡方程式：

$$\frac{\partial p}{\partial x_3}=-\rho g \quad (4.1.1.3)$$

連續方程式：

$$\frac{\partial u}{\partial x_1}+\frac{\partial v}{\partial x_2}+\frac{\partial w}{\partial x_3}=0 \quad (4.1.1.4)$$

其中，水平剪力則定義如下：

$$\tau_{11}=2\nu_H\frac{\partial u}{\partial x_1} \quad (4.1.1.7)$$

$$\tau_{21}=\tau_{12}=\nu_H\left(\frac{\partial u}{\partial x_2}+\frac{\partial v}{\partial x_1}\right) \quad (4.1.1.8)$$

$$\tau_{22}=2\nu_H\frac{\partial v}{\partial x_2} \quad (4.1.1.9)$$

COHERENS 在水平格點分布採用 Arakawa-C Grid（Arakawa，1979）交錯網格(如圖 4.1.1.1 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。

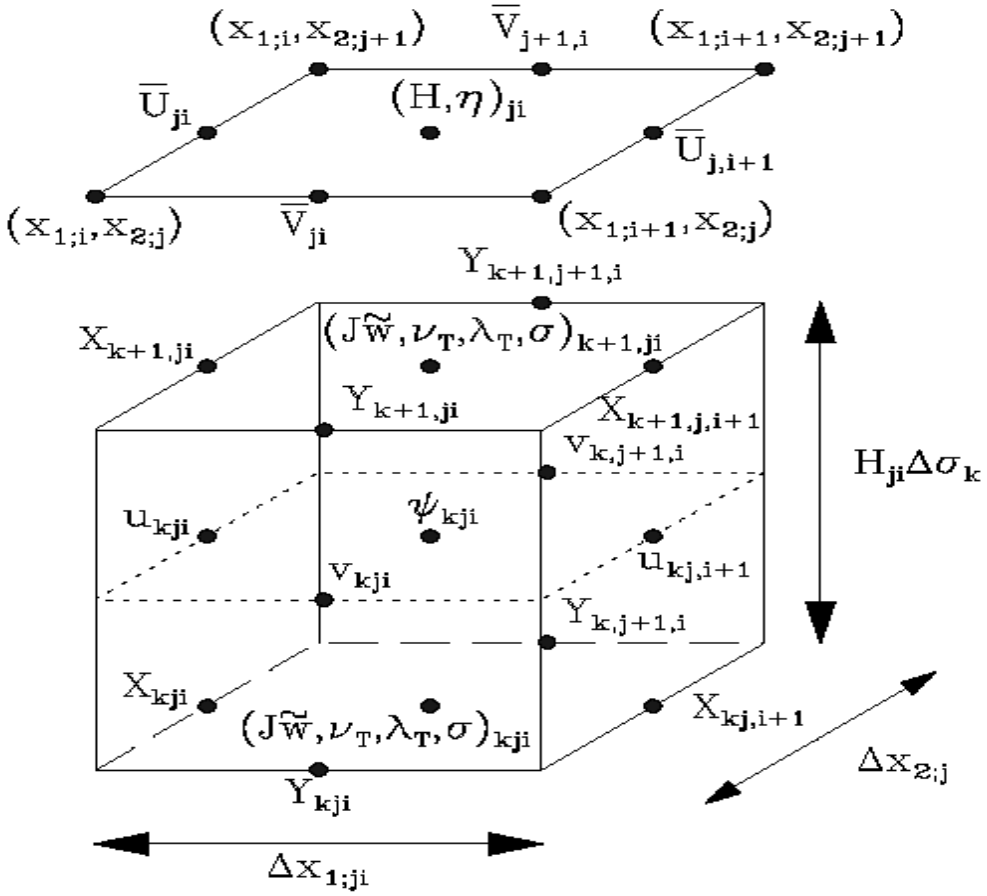


圖 4.1.1.1 二維及三維的格點分佈

(from COHERENS User Documentation)

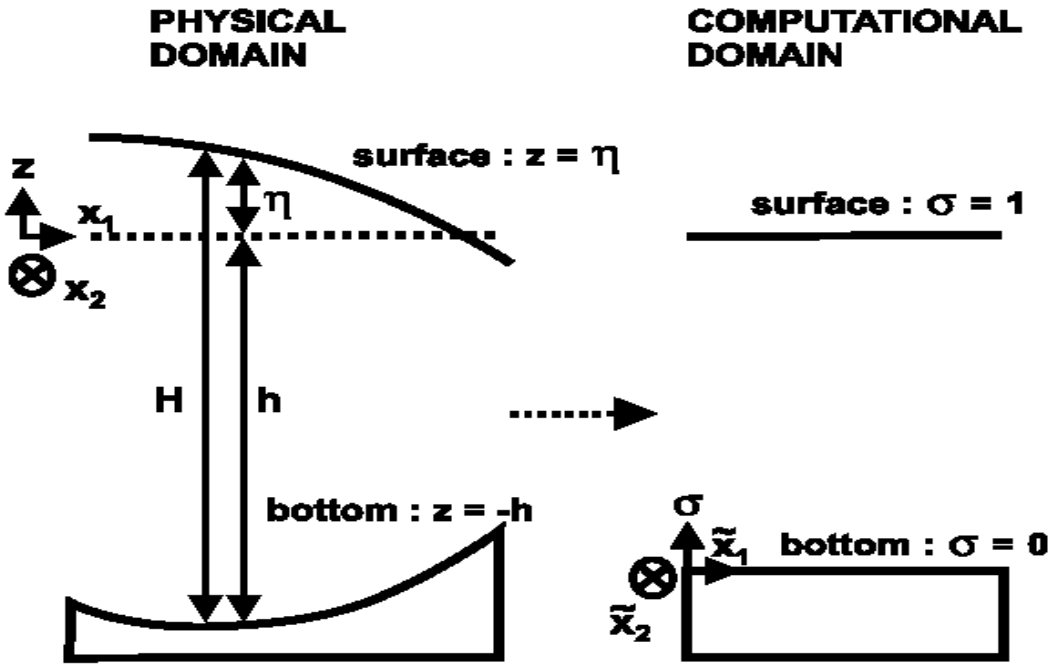


圖 4.1.1.2 垂直方向之σ座標系統

(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 4.1.1.2 所示)。經過座標轉換後，

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

連續方程式：

$$\frac{1}{J}\frac{\partial J}{\partial t}+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x_1}}\left(Ju\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x_2}}\left(Jv\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x_3}}\left(J\tilde{w}\right)=0 \qquad (4.1.1.10)$$

動量方程式：

$$\begin{aligned}&\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{t}}\left(Ju\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x_1}}\left(Ju^2\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x_2}}\left(Juv\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x_3}}\left(J\tilde{w}u\right)-fv=\\&-g\frac{\partial\varsigma}{\partial\tilde{x_1}}-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial\rho_a}{\partial\tilde{x_1}}+Q_1+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x_3}}\left(\frac{\nu_T}{J}\frac{\partial u}{\partial\tilde{x_3}}\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x_1}}\left(J\tau_{11}\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x_2}}\left(J\tau_{21}\right)\end{aligned} \qquad (4.1.1.11)$$

$$\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial \tilde{t}}(Jv)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial \tilde{x}_2}\left(Jv^2\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial \tilde{x}_1}(Juv)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial \tilde{x}_3}\left(J\tilde{w}u\right)+fu=$$
$$-g\frac{\partial \varsigma}{\partial \tilde{x}_2}-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial \rho_a}{\partial \tilde{x}_2}+Q_2+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial \tilde{x}_3}\left(\frac{\nu_T}{J}\frac{\partial v}{\partial \tilde{x}_3}\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial \tilde{x}_1}(J\tau_{12})+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial \tilde{x}_2}(J\tau_{22}) \quad (4.1.1.12)$$

壓力平衡方程式

$$\frac{1}{J}\frac{\partial q_d}{\partial \tilde{x}_3}=-g\left(\frac{\rho-\rho_0}{\rho_0}\right) \quad (4.1.1.13)$$

其中

$$Q_i=-\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial \tilde{x}_i}(Jq_d)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial \tilde{x}_3}\left[q_d\left(\sigma\frac{\partial H}{\partial \tilde{x}_i}-\frac{\partial h}{\partial \tilde{x}_i}\right)\right]$$

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

$$\tilde{w}=\frac{\partial \tilde{x}_3}{\partial t}+u\frac{\partial \tilde{x}_3}{\partial x_1}+v\frac{\partial \tilde{x}_3}{\partial_2}+w\frac{\partial \tilde{x}_3}{\partial x_3}$$

4.1.1.1 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

4.1.1.2 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：

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

其中在模式中 C_{m0} 及 C_{s0} 之數值係數預設為相等的值，

$D_T^2 = \left(\frac{\partial u}{\partial x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x_2}\right)^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial x_2} + \frac{\partial v}{\partial x_1}\right)^2$ ，Δx_1 及 Δx_2 為格點的間隔大小。

4.1.1.3 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。

4.1.1.4 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：

$$\rho_0 \frac{\nu_T}{J}\left(\frac{\partial u}{\partial \tilde{x}_3}, \frac{\partial v}{\partial \tilde{x}_3}\right) = (\tau_{s1}, \tau_{s2}) = \rho_a C_D^s \left(U_{10}^2 + V_{10}^2\right)^{1/2} (U_{10}, V_{10}) \qquad (4.1.1.14)$$

邊界其中 U_{10} 及 V_{10} 為水表面上方 10 公尺的風速，ρ_a 為空氣密度。

2.底層

底層邊界剪力同樣也是由水平流速所造成，表示如下：

$$\frac{\rho_0 \nu_T}{J}\left(\frac{\partial u}{\partial \tilde{x}_3}, \frac{\partial v}{\partial \tilde{x}_3}\right) = (\tau_{b1}, \tau_{b2}) \qquad (4.1.1.15)$$

在模式中有三種計算方式可以選擇：

- 底層無剪力
- 二次方摩擦方程式
- 線性摩擦方程式

3.開放邊界條件與陸地邊界條件

模式使用矩形格點，分成東西南北四個邊界，邊界條件可以設定為開放的海洋、河川以及陸地邊界。邊界的輸入型式分則有以下數種：

- 無水流進入
- 使用調和分析之形式輸入水位
- 使用調和分析之形式輸入流速
- 同時使用調和分析之形式輸入流速及水位

4.表層曳引係數(Surface Drag coefficient)

由前面的表層邊界敘述可以知道表面剪力主要是受到風場的吹拂而產生，其中將風速轉換成剪力最重要的就是曳引係數（drag coefficient）C_D^s的選擇以及風速的大小。一般來說風速皆是取海表面上方 10m 之風速，而 drag coefficient 則可由前人所推算出的經驗式得到。模式提供了五種 drag coefficient 讓使用者選擇：

- 固定常數　$C_D^s = 0.0013$ (可自行設定)
- Large and Pond（1981）

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

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

- Smith and Banke（1975）

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

- Geernaert et al.（1986）

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

- Charnock（1955）

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

其中 z_a = 10 m，a = 0.014（Charnock's constant）

5.氣象參數

氣象參數包含表面風速、大氣溫度、大氣壓力、雲量遮蓋率、相對濕度、水氣蒸發量、太陽幅射能及水體能量消失等因子，表 2-1。模式中，氣象所造成之變化影響著水溫、生化反應（例如光合作用）、空氣與水表面間交換（例如氧氣交換）等變化。其中水氣蒸發量(E_{vap})、太陽幅射能（Q_{SOL}）及水體能量散失（Q_{nsol}），由模擬時間、地點及氣候因素輸入方程式計算得知，其餘參數可由模擬地點當地資料提供。

$$E_{vap} = Q_{la} / L_V \qquad (4.1.1.16)$$

其中Q_{la}為潛熱（latent heat flux）散失，

$L_V = 2.5008 \times 10^6 - 2300.T_S$為水氣蒸發所散失之能量（J kg^{-1}），

T_S 為水表面之水溫（℃）。

$$Q_{SOL} = Q_{CS}(1 - 0.62 f_C + 0.0019\gamma_{\theta,\max})(1 - A_S) \qquad (4.1.1.17)$$

$$Q_{nsol} = Q_{la} + Q_{se} + Q_{lw} \qquad (4.1.1.18)$$

Q_{CS} 為晴朗天氣下之總幅射能，f_C 為雲量遮蓋率（0~1），$\gamma_{\theta,\max}$ 為太陽在中午時之高角度，A_S 為水表面之反射率，一般海表面為 0.06。

4.1.1.5 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 4.1.1.1 即為 COHERENS 使用之參數

表 4.1.1.1 COHERENS 中使用之參數

ν_T ， λ_T	垂直渦流（eddy）黏滯係數
ν_H ， λ_H	水平擴散係數
ρ	水體密度（kg/m^3）
ρ_0	reference density（$kg\ m^{-3}$）
f	科氏力
g	重力加速度（m/s^2）
u，v，w	x、y 及 z 方向流速（m/s）
x_1 ， x_2 ， x_3	代表 X、Y、Z 方向
h	水深（m）
ζ	水位變化（m）
H	$h+\zeta$
t	時間
p_a	大氣壓力（N/m^2）
C_D^s	拖曳係數
ρ_a	空氣密度（kg/m^3）
U_{10}, V_{10}	x 及 y 方向風速（m/s）
Q_{SOL}	太陽幅射能（Wm^{-2}）
Q_{nsol}	水體能量散失（Wm^{-2}）
Q_{la}	潛熱散失
Q_{se}	水表面之熱交換
Q_{lw}	長波幅射散失

4.1.1.6 COHERENS 運算流程

COHERENS 計算流程分為兩部分，一為產生初始值之前處理流程，如圖 4.1.1.3，一為計算流程，如圖 4.1.1.4。

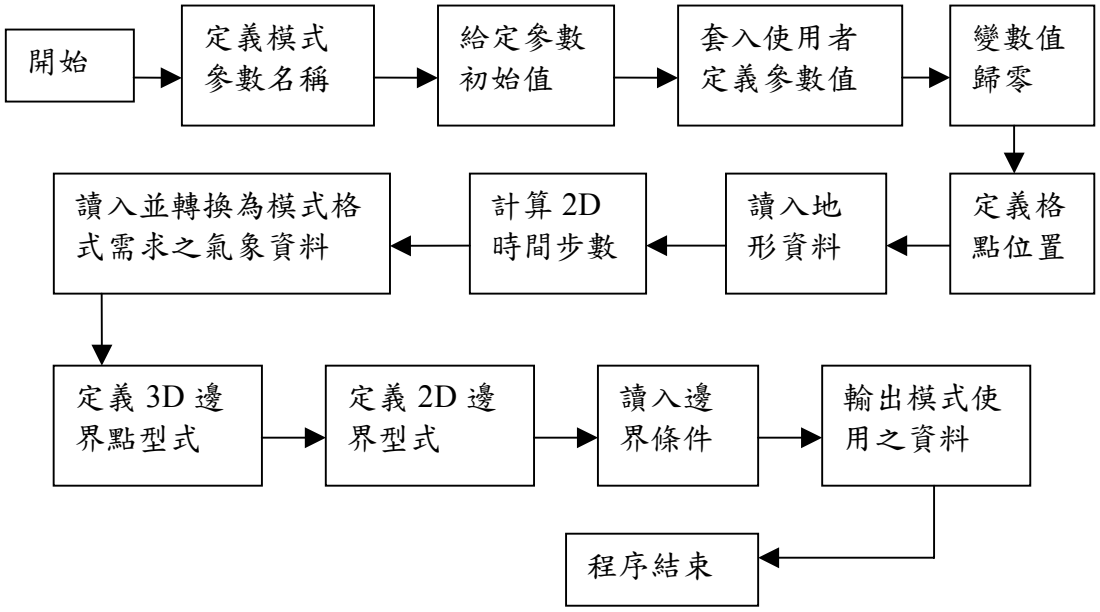


圖 4.1.1.3 COHERENS 前處裡流程

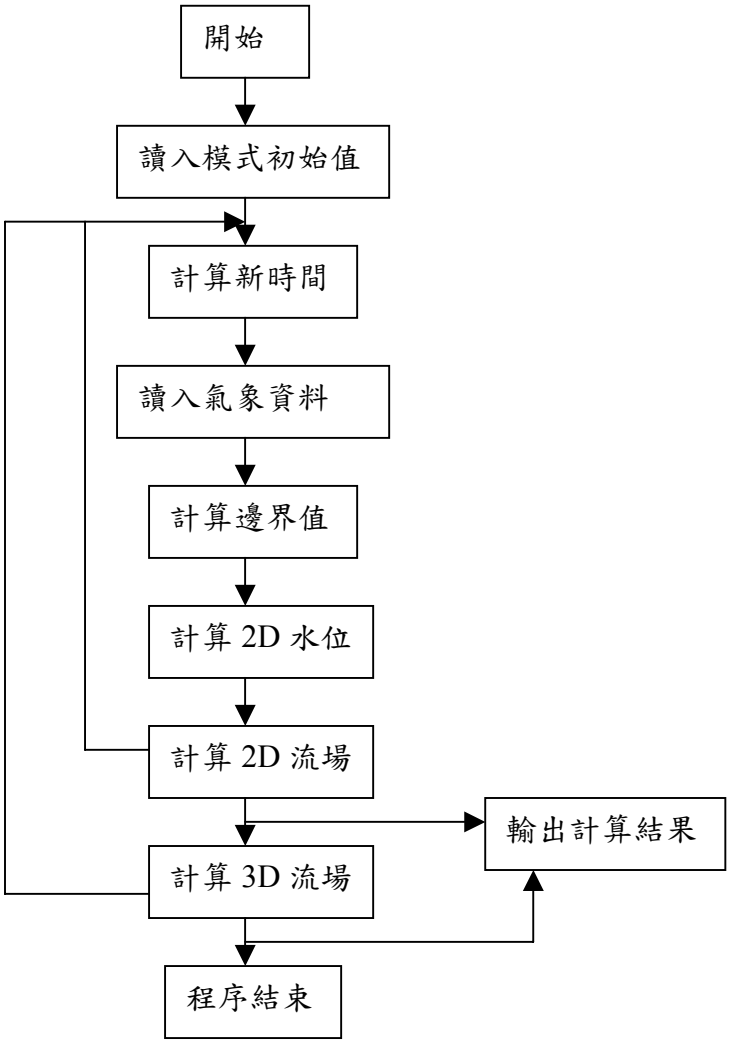


圖 4.1.1.4 COHERENS 計算流程

4.1.1.7 二維水位計算

由於二維水平動力模式計算較為迅速，且潮波運動是以重力波的形式傳遞，所以水位模擬可以二維水深平均的動力行為計算。由於二維模式的基本假設為垂直流速較水平流速小很多，因此垂直方向的變化可以忽略，將水深平均流速定義如下：

$$\left(\overline{U},\overline{V}\right)=\int_0^L (u,v)d\widetilde{x_3} \qquad (4.1.1.19)$$

所以二維水平動力控制方程式可以簡化為：

動量方程式

$$\frac{\partial \overline{U}}{\partial \tilde{t}}+\frac{\partial}{\partial \widetilde{x_1}}\left(\frac{\overline{U}^2}{H}\right)+\frac{\partial}{\partial \widetilde{x_2}}\left(\frac{\overline{V}\,\overline{U}}{H}\right)+f\overline{V}=$$

$$-gH\frac{\partial \zeta}{\partial \widetilde{x_1}}-\frac{H}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial \widetilde{x_1}}+\overline{Q_1}+\frac{1}{\rho_0}\left(\tau_{s1}-\tau_{b1}\right)+\frac{\partial \overline{\tau_{11}}}{\partial \widetilde{x_1}}+\frac{\partial \overline{\tau_{21}}}{\partial \widetilde{x_2}}-\overline{A_1}^h+\overline{D_1}^h \qquad (4.1.1.20)$$

$$\frac{\partial \overline{V}}{\partial \tilde{t}}+\frac{\partial}{\partial \widetilde{x_1}}\left(\frac{\overline{U}\,\overline{V}}{H}\right)+\frac{\partial}{\partial \widetilde{x_2}}\left(\frac{\overline{V}^2}{H}\right)-f\overline{U}=$$

$$-gH\frac{\partial \zeta}{\partial \widetilde{x_2}}-\frac{H}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial \widetilde{x_2}}+\overline{Q_2}+\frac{1}{\rho_0}\left(\tau_{s2}-\tau_{b2}\right)+\frac{\partial \overline{\tau_{12}}}{\partial \widetilde{x_1}}+\frac{\partial \overline{\tau_{22}}}{\partial \widetilde{x_2}}-\overline{A_2}^h+\overline{D_2}^h \qquad (4.1.1.21)$$

連續方程式

$$\frac{\partial \zeta}{\partial \tilde{t}}+\frac{\partial \overline{U}}{\partial \widetilde{x_1}}+\frac{\partial \overline{V}}{\partial \widetilde{x_2}}=0 \qquad (4.1.1.22)$$

其中

$$\left(\overline{Q_1},\overline{Q_2}\right)=\int_0^L J\left(Q_1,Q_2\right)dz$$

$$\tau_{11}=2\overline{\nu_H}\frac{\partial}{\partial \widetilde{x_1}}\left(\frac{\overline{U}}{H}\right)$$

$$\tau_{21}=\tau_{12}=\overline{\nu_H}\left[\frac{\partial}{\partial \widetilde{x_2}}\left(\frac{\overline{U}}{H}\right)+\frac{\partial}{\partial \widetilde{x_1}}\left(\frac{\overline{V}}{H}\right)\right]$$

$$\tau_{22}=2\overline{\nu_H}\frac{\partial}{\partial \widetilde{x_2}}\left(\frac{\overline{V}}{H}\right)$$

$$\overline{\nu_H}=\int_0^L \nu_H J d\overline{x_3}$$

$$\overline{A_1}^h=\int_0^L\left[\frac{\partial}{\partial \widetilde{x_1}}\left(Ju'^2\right)+\frac{\partial}{\partial \widetilde{x_2}}\left(Ju'v'\right)\right]d\widetilde{x_3}$$

$$\overline{A_2}^h=\int_0^L\left[\frac{\partial}{\partial \widetilde{x_1}}\left(Ju'v'\right)+\frac{\partial}{\partial \widetilde{x_2}}\left(Jv'^2\right)\right]d\widetilde{x_3}$$

$$\overline{D_1}^h = \int_0^L \left\{ \frac{\partial}{\partial \widetilde{x}_1}\left(2\nu_H J \frac{\partial u'}{\partial \widetilde{x}_1} \right) + \frac{\partial}{\partial \widetilde{x}_2}\left[\nu_H J \left(\frac{\partial u'}{\partial \widetilde{x}_2} + \frac{\partial v'}{\partial \widetilde{x}_1} \right) \right] \right\} d\widetilde{x}_3$$

$$\overline{D_2}^h = \int_0^L \left\{ \frac{\partial}{\partial \widetilde{x}_2}\left(2\nu_H J \frac{\partial v'}{\partial \widetilde{x}_1} \right) + \frac{\partial}{\partial \widetilde{x}_1}\left[\nu_H J \left(\frac{\partial u'}{\partial \widetilde{x}_2} + \frac{\partial v'}{\partial \widetilde{x}_1} \right) \right] \right\} d\widetilde{x}_3$$

$$(u', v') = \left(u - \overline{U}/H, v - \overline{V}/H \right)$$

實際計算由於模式範圍相當大，為避免圓曲率的誤差，所以需將卡氏座標轉換成球面座標，網格格點皆是以經緯度來表示，二維水動力控制方程式改寫如下：

動量方程式

$$\frac{\partial \overline{U}}{\partial \tilde{t}} + \frac{1}{R\cos\phi}\frac{\partial}{\partial \lambda}\left(\frac{\overline{U}^2}{H} \right) + \frac{1}{R\cos\phi}\frac{\partial}{\partial \phi}\left(\cos\phi \frac{\overline{VU}}{H} \right) - \frac{\tan\phi}{R}\frac{\overline{UV}}{H} =$$

$$2\Omega \sin\phi \overline{V} - \frac{H}{R\cos\phi}\left(g\frac{\partial \zeta}{\partial \lambda} + \frac{1}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial \lambda} \right) + \overline{Q_\lambda} + \frac{1}{\rho_0}\left(\tau_{s\lambda} - \tau_{b\lambda} \right) + \qquad (4.1.1.23)$$

$$\frac{1}{R\cos\phi}\frac{\partial \overline{\tau_{\lambda\lambda}}}{\partial \lambda} + \frac{1}{R\cos\phi}\frac{\partial}{\partial \phi}\left(\cos\phi \overline{\tau_{\phi\lambda}} \right) - \frac{\tan\phi}{R}\overline{\tau_{\phi\lambda}} - \overline{A_\lambda}^h + \overline{D_\lambda}^h$$

$$\frac{\partial \overline{V}}{\partial \tilde{t}} + \frac{1}{R\cos\phi}\frac{\partial}{\partial \lambda}\left(\frac{\overline{VU}}{H} \right) + \frac{1}{R\cos\phi}\frac{\partial}{\partial \phi}\left(\cos\phi \frac{\overline{V}^2}{H} \right) + \frac{\tan\phi}{R}\frac{\overline{U}^2}{H} =$$

$$-2\Omega \sin\phi \overline{U} - \frac{H}{R}\left(g\frac{\partial \zeta}{\partial \phi} + \frac{1}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial \phi} \right) + \overline{Q_\phi} + \frac{1}{\rho_0}\left(\tau_{s\phi} - \tau_{b\phi} \right) + \qquad (4.1.1.24)$$

$$\frac{1}{R\cos\phi}\frac{\partial \overline{\tau_{\lambda\phi}}}{\partial \lambda} + \frac{1}{R\cos\phi}\frac{\partial}{\partial \phi}\left(\cos\phi \overline{\tau_{\phi\phi}} \right) + \frac{\tan\phi}{R}\overline{\tau_{\lambda\lambda}} - \overline{A_\lambda}^h + \overline{D_\lambda}^h$$

連續方程式

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{R\cos\phi}\frac{\partial \overline{U}}{\partial \lambda} + \frac{1}{R\cos\phi}\frac{\partial}{\partial \phi}\left(\cos\phi \overline{V} \right) = 0 \qquad (4.1.1.25)$$

本計畫西太平洋大範圍模式之潮汐邊界條件是利用全球潮汐模式 (Schwiderski, 1982) 資料產生邊界上各點之分潮振幅及相位，使用分潮為 O1、P1、Q1 及 K1 四個主要全日潮以及 N2、M2、S2 及 K2 四個主要半日潮，共 8 個分潮重組後輸入邊界。

風場及氣壓場輸入部分，去年度由於推算的颱風期間還未取得中央氣象局提供之動態預報風場，因此仍舊使用傳統之颱風風場模式模擬颱風時的風場及氣壓場，今年度已取得中央氣象局動態風場，為配合上線作業，均以此作為模式風場及氣壓的輸入值，圖 4.1.1.5 為中央氣象局之動態風場資料氣壓場分佈圖範例。

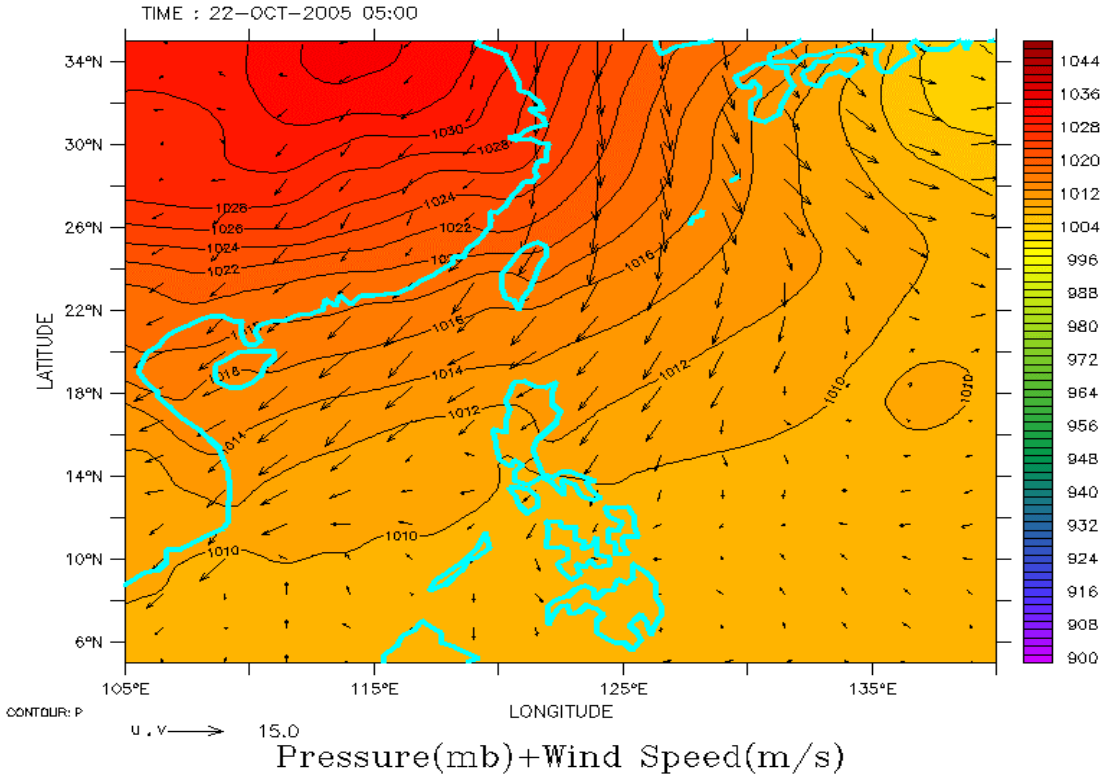


圖 4.1.1.5 氣象局之動態風場氣壓場

(根據中央氣象局預報資料繪製)

圖 4.1.1.6 至圖 4.1.1.11 為今年度海棠颱風（2005 年 7 月 16 日至 20 日）及泰利颱風期間（2005 年 8 月 30 日至 9 月 2 日）模式水位與實測水位比對圖，目前尚船隻時測資料僅有四個測站資料（花蓮、基隆、臺中及蘇澳）。海棠颱風期間，由於臺中測站資料量不足，因此未加入比對；泰利颱風期間，蘇澳測站資料量不足，也未加入比對。由於港研中心提供實測資料時並未提供基準水位，因此僅得以人工依據資料推算。花蓮測站比對結果，在颱風還未來之前（07/16 以前），

水位維持在 0.4~-0.6 公尺之間變化模式結果也與實測資料吻合，至海棠颱風接近臺灣之後，水位則在 1.0~-1.2 公尺間變化，實測資料於 07/18 後中斷，至 19 日後又回復，然可發現其最大水位與颱風前接近，最低水位則接近-1.6 公尺，模式結果在此段時間高估最大水位，低估最低水位，推測有可能觀測資料於 07/19 後移位，導致基準水面與之前不同，因此造成整段資料偏移。基隆測站則與前一年度相同，比對結果相當不好，此部分推測為模式解析度無法準確描繪基隆附近的地形，導致計算結果不良。蘇澳測站部分，至海棠颱風接近臺灣後即中斷資料，然仍可看到颱風的影響，颱風來之前（07/16 以前）水位於 0.4~-0.6 公尺間變化，此部分模式結果與實測資料吻合；颱風接近後水位增至 1.0 左右，最低水位則維持在-0.6 公尺左右，此部分模式結果也與實測資料相當吻合；颱風後期沒有實測資料，因此無法進行比對，此時模式推算出最高水位為 1 公尺，最低水位為-1 公尺。

泰利颱風期間，花蓮測站模式結果與實測資料大致吻合，惟最大水位沒有模擬到，出現最大水位為 1.2 公尺，推測為氣象局預報風場與實際颱風行進路線有差距。基隆測站同海棠颱風，比對結果相當不好。臺中測站於颱風期間，模式結果與實測資料相當吻合，因颱風產生最大水位接近 2 公尺，最低水位為-2 公尺。

颱風期間由於風速較大，造成水流速度較快波浪較大，儀器容易遭破壞，因此收集資料較為不易，資料中斷為可預期狀況，然模式比對需使用大量的實測資料，此部分仍須港研中心支援。

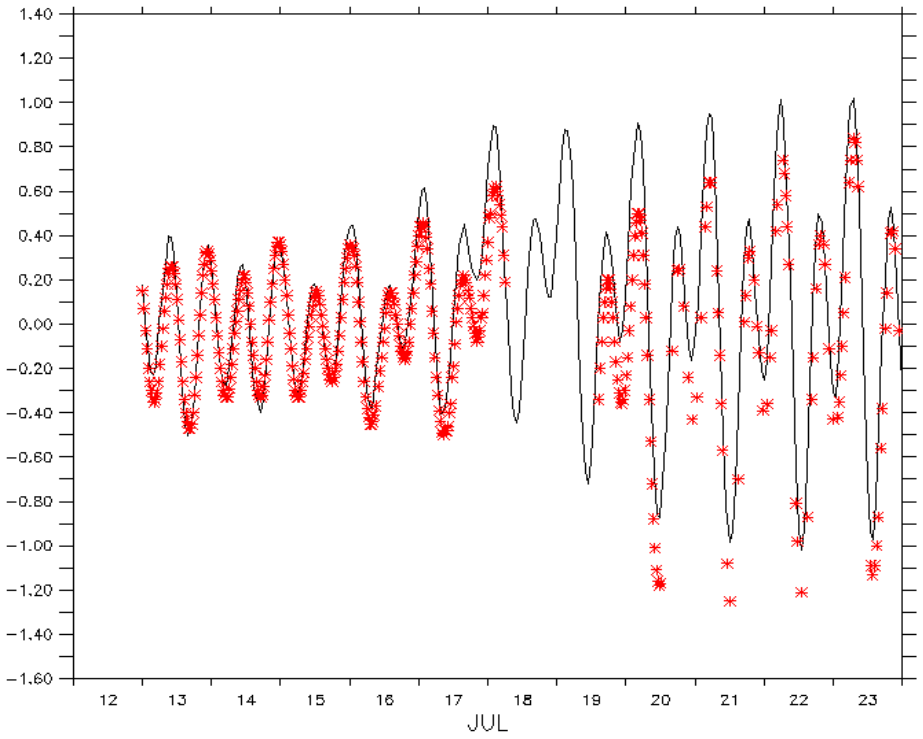


圖 4.1.1.6 海棠颱風期間花蓮測站水位比對圖

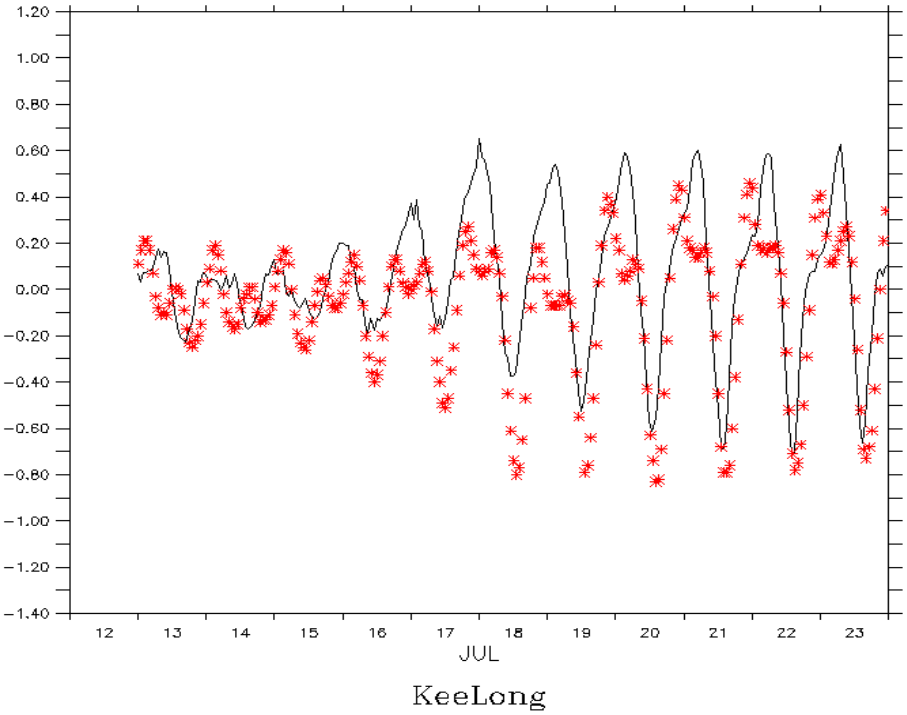


圖 4.1.1.7 海棠颱風期間基隆測站水位比對圖

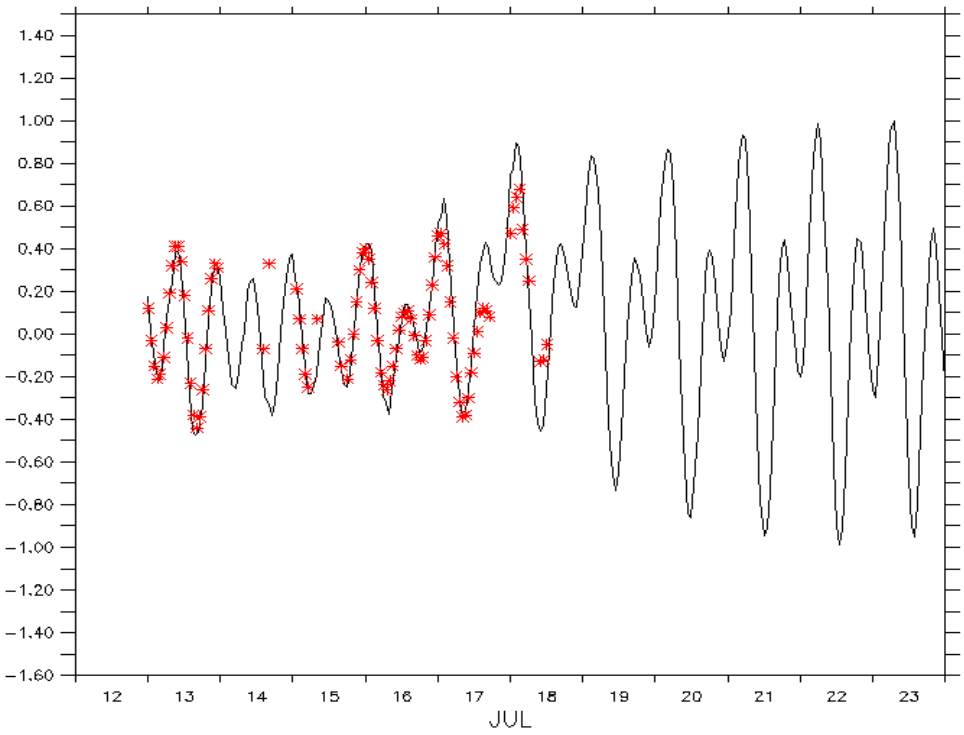


圖 4.1.1.8 海棠颱風期間蘇澳測站水位比對圖

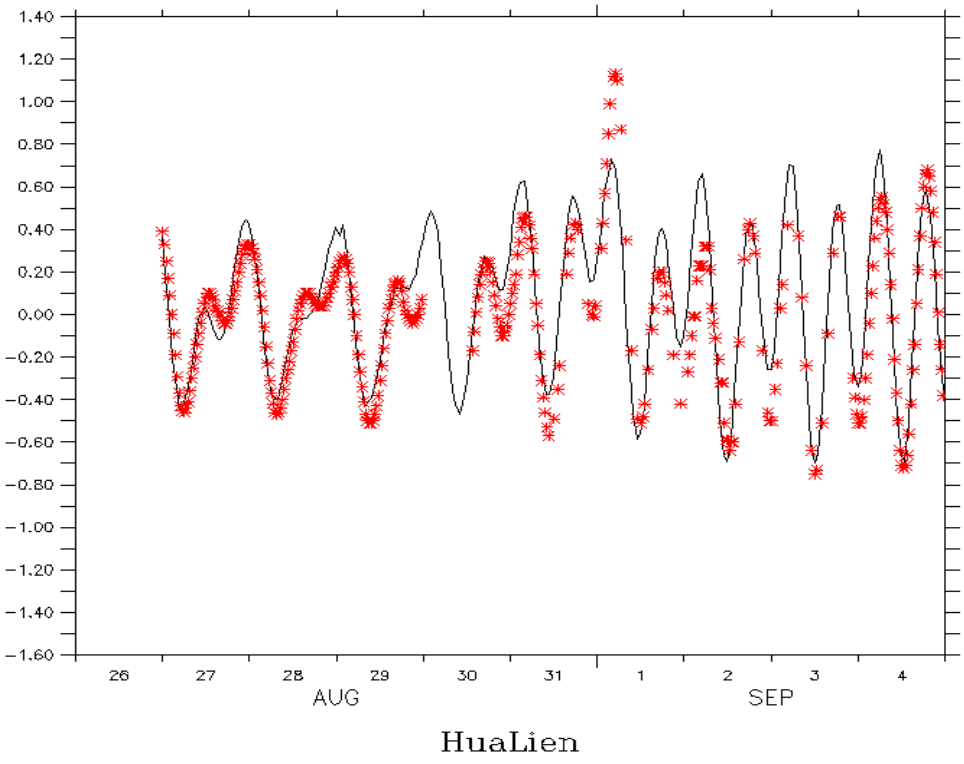


圖 4.1.1.9 泰利颱風期間花蓮測站水位比對圖

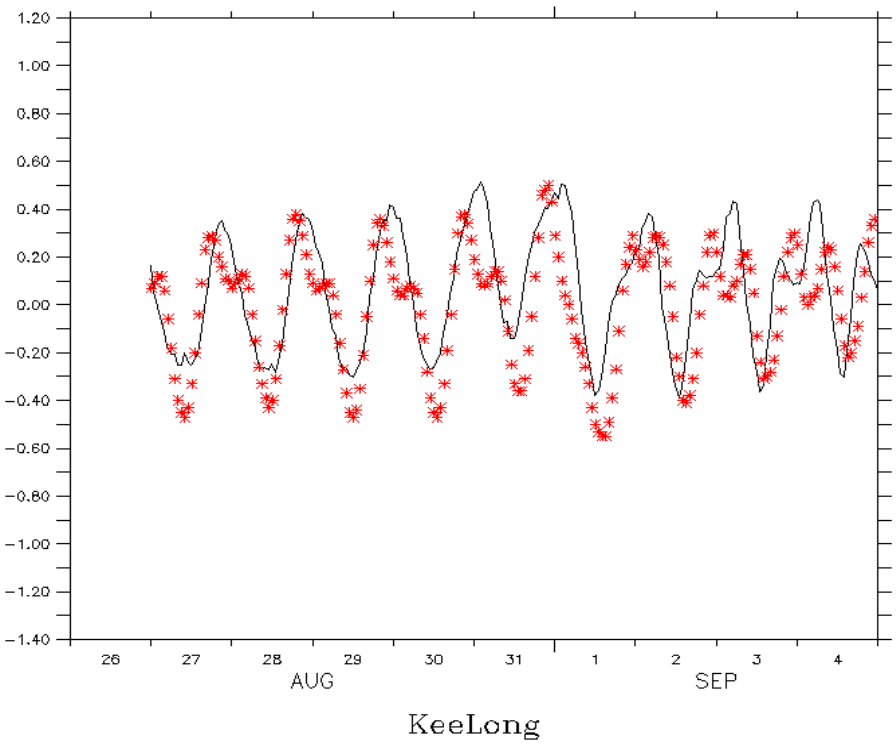


圖 4.1.1.10 泰利颱風期間基隆測站水位比對圖

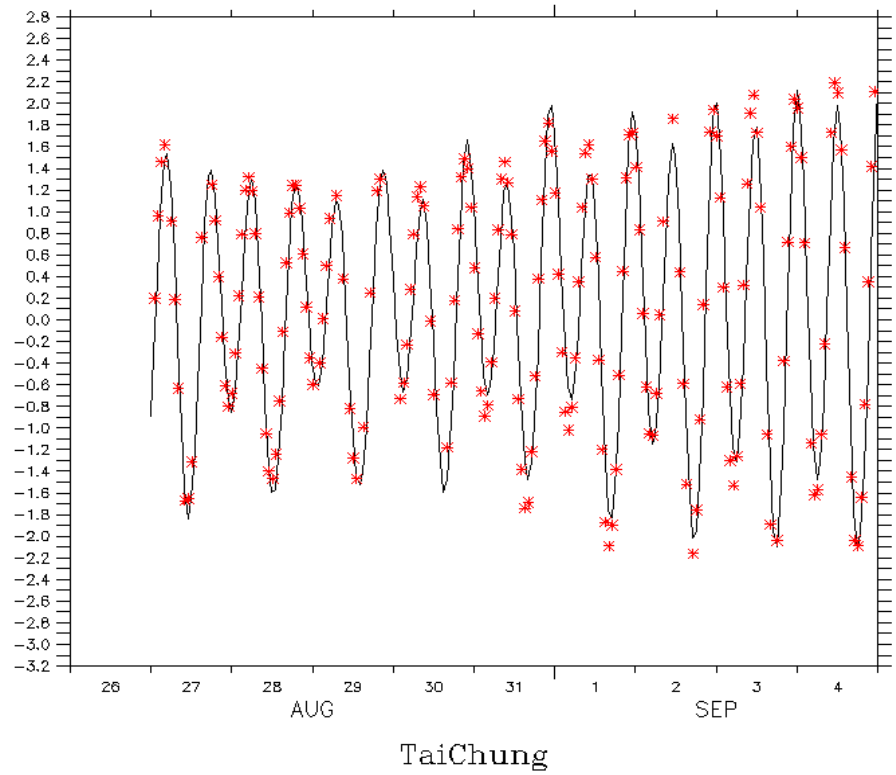


圖 4.1.1.11 泰利颱風期間臺中測站水位比對圖

4.1.2 定點類神經網路水位模式

本計劃將應用神經網路的快速學習及可模擬複雜問題的優點。依循 93 年計畫將以潮汐預測模式進行平時水位之預測，本年度再以颱風暴潮模式進行颱風期間水位的預測。

4.1.2.1 神經網路天文潮位預測模式

潮汐之水位升降運動對於海岸活動、海岸結構的設計高程及海港船隻進出安全有相當影響。因此，如何正確預測潮汐是相當重要的。往昔利用潮位測站實際量測資料，以瞭解潮汐的水位高低變化，並利用調和分析法(harmonic analysis)分析潮位之各分潮的特性 Darwin (1907)。而各分潮之分潮頻率則由天文球體運動理論求得，(Doodson 1921; Desai 1996)。最後以最小二乘法(least-square error method)來求取各分潮之振幅及相位角。分潮個數的選擇則依資料之長度而有所不同，一般 365 天之每時水位紀錄需 20 至 30 個分潮，才能滿足相近分潮頻率的分離。Le Provost et al. (1998)則使用 26 個分潮於數值模式中進行潮位預測分析。

而以衛星資料進行調和分析法時，則受限於資料的取樣時間間隔及數據長短，導致於調和分析時無法有效的求解相近的分潮振幅及相位角，因此利用正交潮法之優點進行少量參數來定義平滑的潮位導納(tidal admittance)，並由潮位導納求解給定之各分潮參數，(Munk and Cartwright 1966; Groves and Reynolds 1975)。而反應正交潮模式(response-orthotide method)由 Ray (1988) 和 Desai (1996)首先提出。該模式亦被利用於全球潮位模式之計算，(Desai and Wahr (1995), Han et al. (2000), Matsumoto et al. (2000))。調合分析法及反應正交潮模式都是以潮位數據進行各分潮參數的求解以預測潮汐。

往昔應用類神經網路於潮汐預測方面有，Tsai 和 Lee(1999)應用類神經網路來預測潮位，此方法僅輸入前幾個時序列的潮汐資料，利用類神經網路非線性的預測功能，預測下一時刻的潮位，但若要再預測

下一時刻潮位，則需輸入前兩個小時之實測潮位才可繼續預測潮汐水位。Kumar 和 Minocha(2001)、Mandal(2001)、Medina(2001)等學者指出此模式對於工程應用方面稍嫌不足，且學習次數過少，網路架構不夠穩定等技術上的因素也影響預報之品質。Tsai 和 Lee(2001)之最終結論則說明，該類神經網路模式類似於 ARMA 模式之架構，亦可建立前 48 小時之水位輸入訊號，學習 24 小時之水位模式，以此模式來說明可進行較長時間之水位預測。並以 Swingler(1996)之文章說明該類神經網路之隱藏層與神經元數目已達穩定及最佳化之類神經網路結構。謝(2000)利用類神經網路預報長時的潮汐，其輸入層為各分潮所對應之餘弦和正弦函數，其輸出層為潮汐水位，並藉由網路之權重獲得輸出層與輸入層的關係。並提出該權重即類似調和分析法之調和參數，並以此神經網路進行潮汐預測。Kumar 和 Minocha(2001)、Mandal(2001)、Medina(2001)等學者指出此模式對於工程應用方面稍嫌不足，且學習次數過少，網路架構不夠穩定等技術上的因素也影響預報之品質。張和曾(2001)對網路架構的測試及模式預報能力的分析，提出類神經網路的輸入變數若不包含理論潮位，則預測能力不佳；相對地，給予理論天文潮汐當輸入參數後，經由神經網路演算可得到較佳的權重和閥值，並使網路學習到整體潮位變動的趨勢，如大潮與小潮的變化，以此增加預測的精確度。張和黃(2001)以 TOPEX/POSEIDON(T/P)衛星測高資料，並配合正交潮法及潮汐動力模式來計算潮汐。與實測資料比較發現，T/P 潮汐模式之預測對進暗潮汐具有較均勻的誤差，潮差的大小不會影響模式之誤差。另外，應用調和分析法來探討預報某一時程潮汐所需最適的實測資料幅度等。Lee (2002)以 ARMA 模式，計算前幾個小時之潮汐水位，與前幾個小時之潮汐水位的殘差值當成輸入值，輸出值則為下一時刻之潮汐水位，以神經網路來求取 ARMA 模式中潮位時序及其殘差與潮汐水位的關係，並利用該關係求解長期之潮汐水位。

本計劃將利用以太陽及月亮為主要作用的天體，並計算出地球上對應測點之相對位置與距離，藉此輸入神經網路以推算潮汐水位，並

以此預測資料來求得颱風暴潮。並與正交潮法與 Matsumoto et al. (2000)之 NAO.99b 模式進行水位預測之比較。

4.1.2.1.1 天文位勢之網路模式建立

本文將以 93 年所建立之天文位勢之神經網路模式論為基礎，進行神經網路之分析。並利用日、月及地球天體運行之三維空間資料，如表 4.1.2.1 所述之日、月參數，並增加日、月與地球之相對角度φ，示如圖 4.1.2.1，而本文之神經網路之輸入值共有七種參數，並計算每一種參數之延時，輸出值則對應之實測潮汐水位η。本神經網路稱為 ANN-AST，使用一層隱藏層，5 個神經元，學習長度為花蓮港 2001 年 8760 筆資料，疊代次數 1500 代。預測時間為花蓮港 2002-2004 年資料，並與正交潮模式與 NAO.99 模式比較。

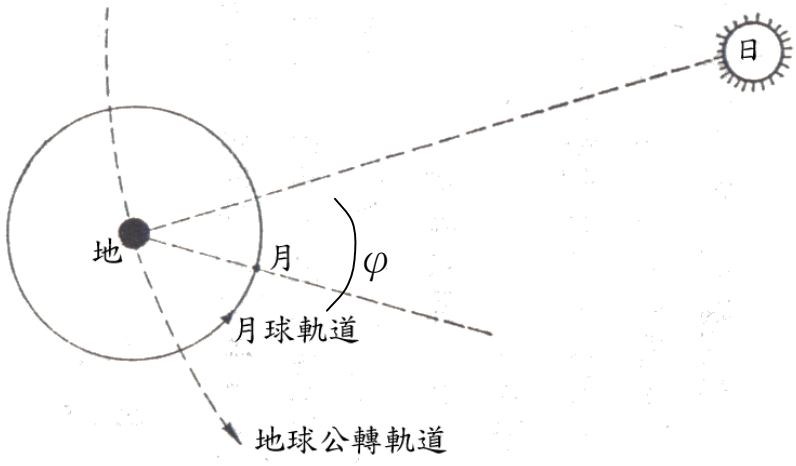


圖 4.1.2.1 太陽、月球相對地球角度

表 4.1.2.1 天文潮神經網路輸入參數

	Pattern		Pattern
Moon	$\left(\frac{R}{D_m}\right)_t$	Sun	$\left(\frac{R}{D_s}\right)_t$
Moon	$\left(\frac{R}{\rho_m}\right)_t$	Sun	$\left(\frac{R}{\rho_s}\right)_t$
Moon	$\left[\left(\frac{R}{D_m}\right)^2 \cos\theta_m\right]_t$	Sun	$\left[\left(\frac{R}{D_s}\right)^2 \cos\theta_s\right]_t$
M-S	$(\cos\varphi)_t$		

由上述之天文潮神經網路模式架構，經學習花蓮港潮位站一年(2001)資料後，預測下一年(2002)資料。網路學習之部分(前 12 個月)之誤差均方根值為 6.37 略低於調和分析法之結果，網路以不同延時之輸入值進行分析計算，本研究以誤差均方根(*RMS*)與相關係數(R^2)兩項參數來判斷網路延時最佳化之結果，並以延時為兩小時之網路結果為最好，計算誤差均方根值為 10.57，略高於調和分析法之結果，示如表 4.1.2.2。由上述結果顯示，本研究之 ANN-AST 模式之精度與調和分析法之結果相似，因此，本文將利用該模式於花蓮港四年潮位之推算與比較。

表 4.1.2.3 為 ANN-AST 模式與調和分析法選用 60 及 26 個分潮、正交潮法及 NAO.99b 模式之比較，由表 4.1.2.3 可看出調和分析法(60)學習一年後，預測 3 年的誤差均方根大約 10.28-12.21cm，而以調和分析法(26)之預測 3 年的誤差均方根大約 10.35-13.76cm。而正交潮模式其誤差均方值約為 10.34-15.24cm，NAO.99b 模式則為 10.69-14.05cm，本模式則為 10.57-11.96cm。由表 4.1.2.3 結果可知本模式之能力與調和分法相似，略優於 NAO.99b 模式之結果。而

NAO.99b 模式則與調和分析法(26)及正交潮模式之預測能力相似。因此，對於單點的潮位預測，則由神經網路模式獲得較好的結果，因此，本文以花蓮測站學習過之神經網路模式，將應用於東海岸的數個潮位站之潮汐推算，輸入值只提供不同位置對天體的各個參數值，代入花蓮之 ANN-AST 模式，即進行東海岸各測站的潮位推算。

表 4.1.2.2 網路模式與調和分析法之誤差均方根比較

Year	*RMS*	HM	ANN-AST (延時)			
	R^2	-	3	2	1	0
2001	*RMS*	6.57	8.43	6.37	8.64	17.58
	R^2	0.975	0.955	0.976	0.933	0.843
2002	*RMS*	10.28	14.45	10.57	13.02	15.75
	R^2	0.939	0.867	0.935	0.874	0.832

表 4.1.2.3 網路模式與各模式之比較

Method	*RMS*				R^2				
	2001	2002	2003	2004	2001	2002	2003	2004	2001
HM (60*)	6.57	10.28	12.21	10.38	0.975	0.939	0.964	0.937	6.57
HM (26*)	15.21	11.34	10.35	13.76	0.866	0.917	0.909	0.888	15.21
R-O	15.24	11.28	10.34	13.52	0.865	0.918	0.938	0.891	15.23
NAO.99b	15.61	11.69	10.69	14.05	0.861	0.911	0.930	0.884	15.61
ANN-AST	6.37	10.57	11.70	11.96	0.977	0.935	0.954	0.919	6.37

本計劃以龍洞(LD)、頭城(梗枋, TC)、蘇澳港(SA)、成功(CG)、蘭嶼(LY)及恆春(後壁湖,HC)等六個地點進行 2001-2002 年的潮位推算。目的在於建立神經網路模式後，可推算其他地點潮汐水位的架構。預期建立數個模式以推算臺灣全島之潮汐水位。表 4.1.2.4 為 ANN-AST 模式及 NAO.99b 模式推算東部不同測站的水位預測值比

較,其中龍洞資料於 2001 年資料只有 10-12 月資料,因此不計算 2001 年龍洞的潮位推算值。從東部六個潮位測站分析其法國制 F 值,由北往南依序 1.14、0.71、0.64、0.49、0.42 及 1.18。顯示所選取的六個站皆屬混合潮並包含花蓮,其法國制 F 值為 0.48。龍洞、頭城、蘇澳距花蓮約 131、106、72 公里,而成功、蘭嶼及恆春距花蓮約 102、214、243 公里。

由表 4.1.2.4 可知本模式東部測站的推算結果,可知龍洞與恆春之誤差方均根值大於 NAO.99b 模式之結果,其他四測站之結果與 NAO.99b 模式相似,而 NAO.99b 模式則需五年的資料進行 16 個短週期分潮的同化,才可進行全球潮位的推算。而 ANN-AST 模式可經由花蓮測站學習一年,再向外算至其他測站,其推算的範圍約從頭城至蘭嶼。未來將利用 ANN-AST 模式應用於臺灣西岸潮汐水位的推算。對於颱風暴潮模式,則以本模式所推算之潮汐水位扣除所觀測之潮汐水位,作為颱風暴潮的目標學習值。

表 4.1.2.4 東部地區潮汐水位不同模式之推算結果(單位：cm)

Year	Index	Method	Location					
			LD	TC	SA	CG	LY	HC
2001	RMS	ANN-AST	--	18.57	14.37	13.47	15.71	24.77
		NAO.99b	--	17.96	13.03	9.80	16.45	13.17
	R^2	ANN-AST	--	0.845	0.878	0.950	0.860	0.648
		NAO.99b	--	0.611	0.895	0.955	0.847	0.837
2002	RMS	ANN-AST	27.46	17.61	14.19	11.73	16.79	25.18
		NAO.99b	17.05	18.71	14.26	13.76	13.55	11.46
	R^2	ANN-AST	0.537	0.856	0.861	0.923	0.836	0.629
		NAO.99b	0.703	0.596	0.883	0.907	0.890	0.874

對於地形變化複雜的區域(如西部地區)將以其周邊區域之測站進行學習與預測，藉以網路最佳化的過程，建立適應地形變化的神經網路模式，以期完成臺灣全島的神經網路之潮汐推算模式。因此，本研究於西部地區分成 3 個區域進行神經網路的學習分區，分別為東北部、西北部及西南部。分區之準則以相似之海底地形分成一區，東北部之海底地形為基隆海棚起至龍洞終至麟山鼻；西北部之海底地形由淡水至臺中港附近則較為平緩，並以雲彰隆起為界；西南部自此到後壁湖地形坡度則逐漸增加。

4.1.2.1.2 網路模式之推算結果比較

本研究於三區類神經網路之學習測站由北至南分別為，龍洞(LD)、新竹(HC)及高雄(KH)。以 2001 年為學習長度，龍洞測站則以 2002 年為學習對象。以完成類神經網路之建構，對於周邊測站則以該模式輸入相對測站之相關天文參數，遂進行潮汐水位之推算。而推算結果示如表 4.1.2.5 及 4.1.2.7，由表 4.1.2.5 可知本研究以臺北港(TP)、竹圍(JHU) 、新竹(HC)、臺中港(TaiC)等四個地點進行 2001-2002 年的潮位推算，其法國制 F 值由北至南為 0.30、0.25、0.20 及 0.18，臺北港、竹圍、臺中港距新竹約 61、44 及 73 公里。新竹測站經由第一年之學習後其誤差均方根及相關係數約為 10.64cm 與 0.993，第二年之推算結果則為 15. 08cm 與 0.986，其結果優於 NAO.99b 模式之推算。另外，對於臺北港、竹圍及臺中港等測站之海潮推算結果本與 NAO.99b 模式相似。由實測水位之觀察顯示海潮受到地形變化，於西北部由北至南其平均潮差漸增，潮時約略相似。由於本研究之類神經網路為學習天文位勢引致海潮之變化，因此對於海潮受地形變化之動力機制之影響，則無進行考慮。

因此，本研究需藉平均潮差來進行潮汐水位之修正，本研究設定新竹平均潮差為 1，臺中港之比值與新竹相似，竹圍則約為 0.77，臺北港則為 0.66。上述比值皆以一年之統計值所求得。另外，為求工程應用簡便，本研究以一個月之平均潮差作為其比值，竹圍為 0.7；臺

北港為 0.6。因此，若以一年之統計值所求知竹圍與臺北港之預測值，於 2001-2002 年之水位推算值修正，比較一個月之平均潮差統計值之結果，示如表 4.1.2.6。由表 4.1.2.6 可知於竹圍與臺北港兩測站，不同統計時間之平均潮差比值，於模式潮位的修正之結果約略相似。因此，於實際應用上則需一個月之統計平均潮差比值，即可修正該種地形變化之海潮推算值。再由表 4.1.2.5 可知，臺北港、竹圍與臺中港之兩年推算結果，其誤差方均根之 ANN-AST 模式與 NAO.99b 模式差值為 1.41cm-18.03cm，其相關係數數亦優於 NAO.99b 模式之推算結果。由此結果顯示，可說明本模式所計算之水位受天文引力之影響外，再經由地形的修正即可達到較佳的精度，且優於 NAO.99b 模式。

另外，本文將東北部與西南部之 ANN-AST 模式計算合併於表 4.1.2.7，並推算安平(AP)、高雄(KH)、恆春(後壁湖，HO)及龍洞(LD)、基隆(KL)潮位，西南部其法國制 F 值由北至南為 1.24、1.31 及 1.12，安平港、恆春(後壁湖)距高雄港約 46 及 87 公里。東北部其法國制 F 值由東至西為 1.14、及 1.34，基隆港距龍洞約 21 公里。由表 4.1.2.7 可知以高雄為學習測站之模式，第一年之學習後其誤差均方根及相關係數約為 7.39cm 與 0.912，第二年之推算結果則為 9.36cm 與 0.866。另外由於龍洞資料於 2001 年資料只有 10-12 月資料，因此，以 2002 年座為學習時間，第一年之學習後其誤差均方根及相關係數約為 8.75cm 與 0.922，第二年之推算結果則為 11.08cm 與 0.822，兩測站其結果皆優於 NAO.99b 模式之推算值。因此，對於周邊測站則引入天文參數於 ANN-AST 模式，以推算海潮水位的變化。

本研究模式之推算結果與實測水位進行比較時，其潮時與實測值存在相位差。根據氣象局之潮時統計資料，東海岸比西海岸約早 5 個小時，後壁湖比高雄早 1.3 小時，高雄比東石約早 2.5 小時，頭城(梗枋)比淡水約早 4.2 小時，顯示海底地形之複雜變化引致潮時之不均勻的分布。因此，於工程應用上，本文設定恆春(後壁湖)測站早於高雄 1 小時，於安平約 2 小時；龍洞早於基隆 1 小時以進行潮時之 ANN-AST

模式修正，並示如表 4.1.2.7。

表 4.1.2.5 西北部地區潮汐水位不同模式之推算結果(單位：cm)

Year	Index	Method	Location			
			TP	JHU	HC	TaiC
2001	RMS	ANN-AST	18.57	13.46	10.64	17.89
		NAO.99b	26.64	31.49	18.40	21.63
	R^2	ANN-AST	0.954	0.986	0.993	0.986
		NAO.99b	0.940	0.907	0.980	0.975
2002	RMS	ANN-AST	16.45	15.53	15.08	20.72
		NAO.99b	28.98	30.88	19.45	22.13
	R^2	ANN-AST	0.961	0.977	0.986	0.981
		NAO.99b	0.912	0.908	0.976	0.975

表 4.1.2.6 不同統計時間之平均水位修正模式潮位結果(單位：cm)

Location	YEAR	Ratio(0.6,0.7)	Ratio (0.66,0.77)
TP	2001	17.45	17.68
	2002	16.62	16.83
JHU	2001	14.51	13.67
	2002	16.71	16.57

安平 2001 年則因為該年資料品質不佳，因此不採用於潮位分析，基隆 2002 年則無潮位紀錄。由表 4.1.2.7 可知，安平 2002 年之推算誤差均方根大於 NAO.99b 模式 1.26cm，恆春(後壁湖)2001 年則與 NAO.99b 模式相似，2002 年則大於 2.67cm，於基隆推算 2003 年之誤差均方根則小於 NAO.99b 模式 1.24cm。顯示海底地形的變化複

雜，無法以潮時之修正給予 ANN-AST 模式較佳知精度，海潮於該種地形的動力變化相對於神經網路模式，仍屬無法完整描述的機制。因此，模式之水位推算結果稍大於 NAO.99b 模式。

表 4.1.2.7 東北及西南部地區潮汐水位不同模式之推算結果(單位：cm)

Year	Index	Method	Location					
			AP	KH	HC		LD	KL
2001	RMS	ANN-AST	--	7.39	13.74	2002	8.75	--
		NAO.99b	--	13.82	13.17		17.06	--
	R^2	ANN-AST	--	0.912	0.860		0.922	--
		NAO.99b	--	0.726	0.838		0.703	--
2002	RMS	ANN-AST	14.88	9.69	14.07	2003	11.08	14.55
		NAO.99b	13.62	13.61	11.40		17.32	15.79
	R^2	ANN-AST	0.732	0.866	0.857		0.882	0.769
		NAO.99b	0.806	0.747	0.874		0.720	0.741

4.1.2.2 神經網路颱風暴潮預測模式

4.1.2.2.1 暴潮與颱風動態之統計分析

本研究之潮汐資料為 2001-2004 年花蓮港資料測站之數據，而潮汐資料初步整理過後如下表 4.1.2.8 所示，其中資料不滿 20 天的用「◎」來作代表。由表 4.1.2.8 可知 2003 年資料的缺失較多。當原始數據不足一年時，則必須進行補遺的動作。補遺過後的數據，再利用調和分析法做潮位分析及預測的步驟。可從中得到分潮特性(振幅及相位角)，其補遺及分析流程示如圖 4.1.2.2。

表 4.1.2.8 2000-2004 花蓮港潮汐資料之初步整理

月份 / 年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2001	◎	◎	◎	O	O	O	O	O	O	◎	O	O
2002	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
2003	O	O	O	O	O	◎	◎	O	◎	◎	◎	O
2004	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O

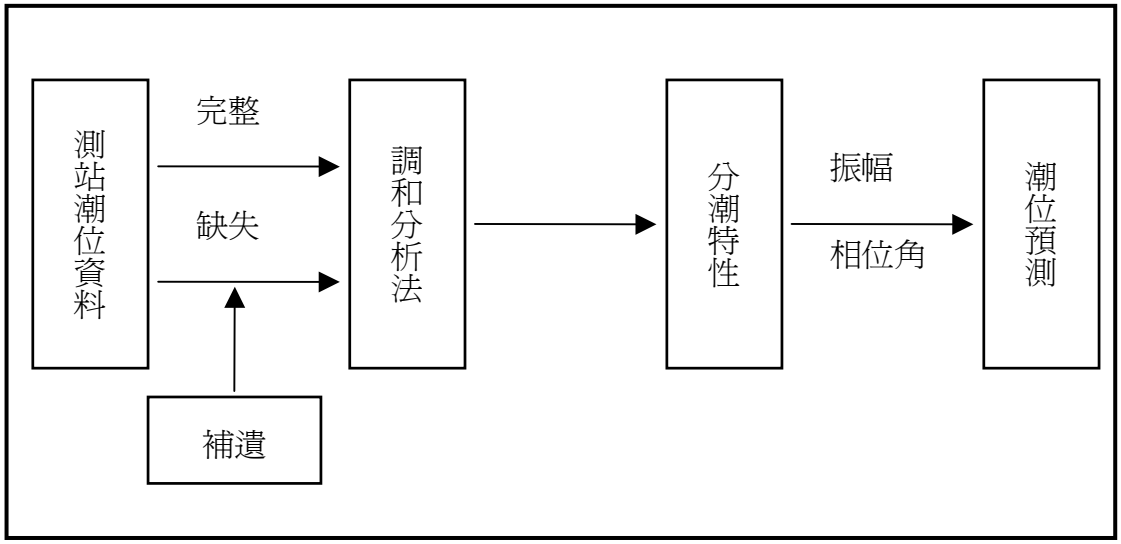


圖4.1.2.2 潮位資料補遺與分析流程圖

於補遺的過程中，將遺失之數據補零，並代入調合分析法。設定遺失數據補遺前後之誤差均方根小於 1cm 時，則完成潮位資料之補遺程序。本研究將潮位數據補遺後，即以 2001 年作為調合分析之學習時間，並預測 2002-2004 年之調合分析水位。並將潮位數據於颱風發生期間扣除調和分析之潮位記錄，則為暴潮。本文為探討暴潮與颱風動態的相關性，於 unisys 網站（http://weather.unisys.com）收集颱風於 2002-2004 之颱風路徑與其中心風速之相關資料示如表 4.1.2.9。其中表 4.1.2.9 有＊號的標記，是代表暴潮現象較為明顯之資料數據。

而颱風資料共有 26 個颱風，其中選定暴潮較為顯著的有 13 個颱風進一步討論，本研究以蘭寧（RANANIM）和艾利（AERE）暴潮為例，示如圖 4.1.2.3，其中蘭寧（RANANIM）颱風暴潮偏差最大值為 40cm，艾利（AERE）暴潮偏差最大值則為 35cm。

表4.1.2.9 2001-2004颱風資料列表

2002	2003	2004
＊雷馬遜（RAMMASUN）	＊柯吉拉（KUJIRA）	＊妮坦（NIDA）
＊娜克莉（NAKRI）	＊蓮花（LINFA）	＊康森（CONSON）
辛樂克（SINLAKU）	＊南卡（NANGKA）	＊敏督利（MINDULLE）
＊諾古力（NOGUR）	＊蘇迪勒（SOUDELOR）	康柏斯（KOMPASU）
	＊莫拉克（MORAKOT）	＊蘭寧（RANANIM）
	艾陶（ETAU）	梅姬（MEGI）
	梵高（VAMCO）	＊艾利（AERE）
	杜鵑（DUJUAN）	桑達（SONGDA）
	梅米（MAEMI）	米雷（MEARI）
	米勒（MELOR）	馬鞍（MA_ON）
		納坦（NOCK_TEN）
		南瑪都（NANMADOL）

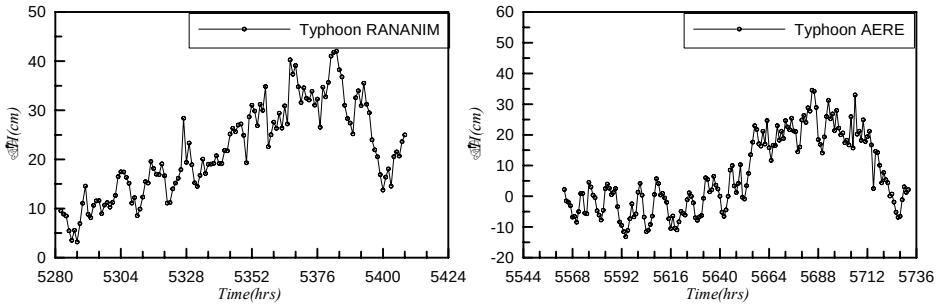


圖4.1.2.3 蘭寧（RANANIM）與艾利（AERE）之暴潮偏差

圖 4.1.2.4 至圖 4.1.2.6 為各年颱風之行進路徑圖，於圖中之颱風路徑分類除了按照氣象局分類為 10 類之外，殊颱風路徑則歸類為第 11 類。圖 4 中的颱風路徑分別為雷馬遜為第 6 類、娜克莉為第 9 類及諾古力為第 11 類。而圖 5 柯吉拉為第 6 類、蓮花及蘇迪勒為第 11 大類、南卡為第 9 類、莫拉克為第 7 類。圖 6 妮坦為第 9 類、康森為第 8 類、敏督利為第 6 類、蘭寧及艾利則為第 1 類颱風路徑。

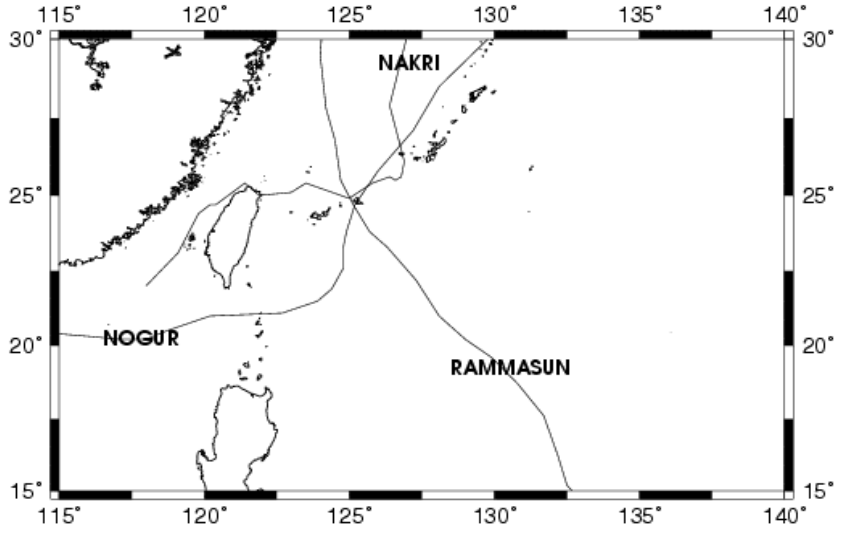


圖4.1.2.4 2002颱風路徑圖

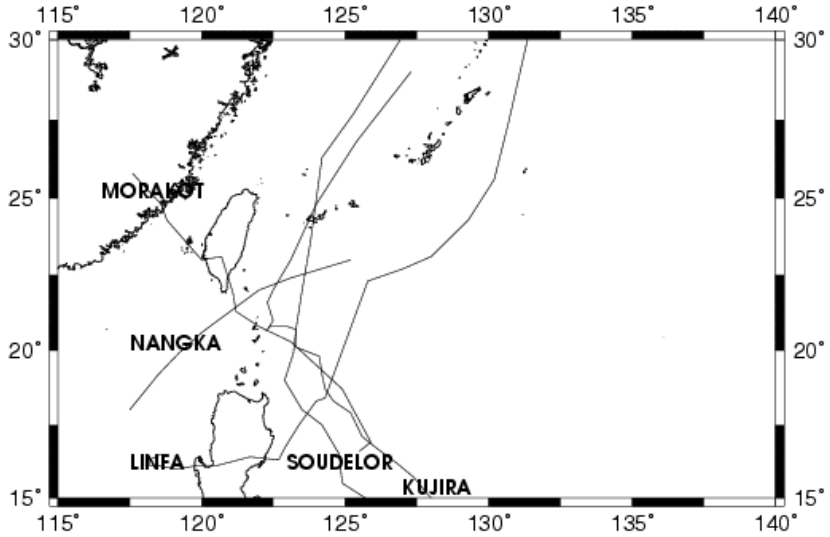


圖4.1.2.5 2003颱風路徑圖

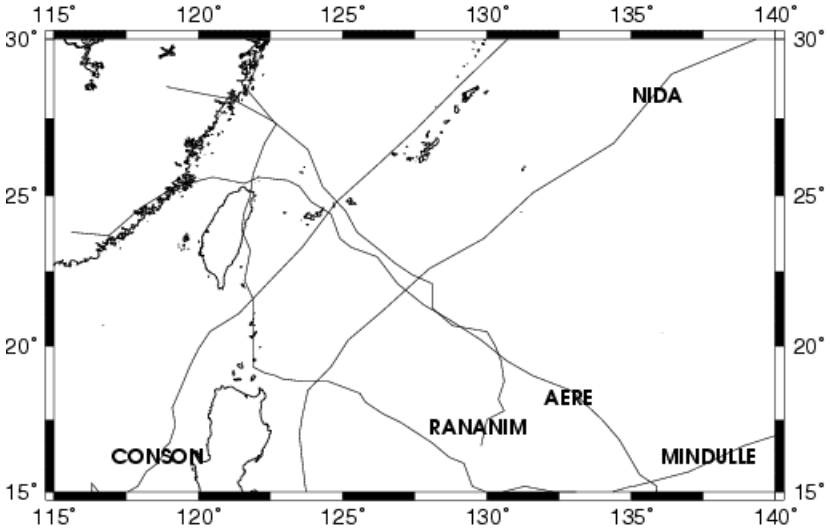


圖4.1.2.6 2004颱風路徑圖

為了探討暴潮與颱風動態之相關性，本研究將分析暴潮與颱風測站間之距離及中心風速之間的關係。並利用相關係數 R^2 做為評估相關與否之參數，其數值介於 1 與 0 之間，當相關性越接近 1 時即代表兩者相關性較顯著。本研究分析 2002-2004 年之颱風暴潮與測站距離及中心風速之 R^2 值，示如表 4.1.2.10。由表 4.1.2.10 之分析計算並取結果較佳之五個颱風資料，並依顯著性之優劣排序。其中以蘭寧颱風

之分析結果與測站距離之 R^2 為 0.73 及中心風速之 R^2 為 0.67 為最高。圖 4.1.2.7 至 4.1.2.11 為其相關性分析圖。由上述的分析結果得知，測站距離對暴潮的影響較中心風速大，然而就花蓮港來說，由經度 130°~137°E，緯度 15°~18°N 左右的颱風往西北方向前進時，對花蓮港所產生之暴潮最為顯著。

表 4.1.2.10 暴潮與測站距離及中心風速之相關性

年代	颱風名稱	距離(km)	中心風速(knts)
2004	蘭寧（RANANIM）	0.73	0.67
2004	艾利（AERE）	0.54	0.42
2002	雷馬遜（RAMMASUN）	0.49	0.37
2002	娜克莉（NAKRI）	0.34	0.05
2003	莫拉克（MORAKOT）	0.34	0.01

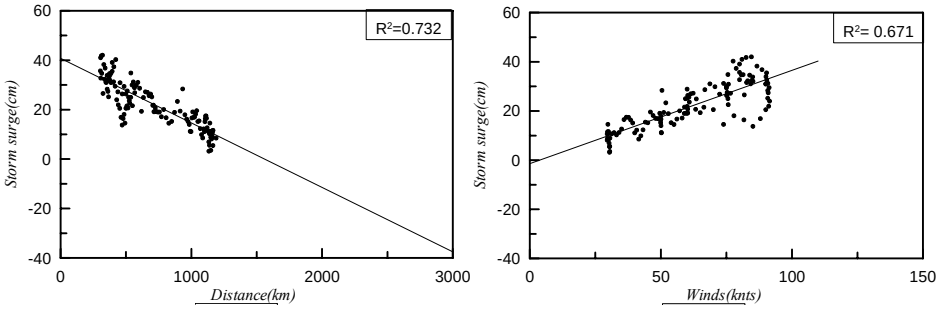


圖4.1.2.7 蘭寧颱風暴潮偏差與測站距離及中心風速相關性分析

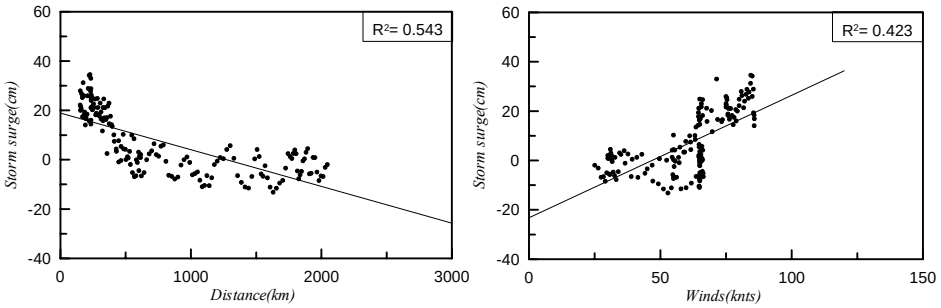


圖4.1.2.8 艾利颱風暴潮偏差與測站距離及中心風速相關性分析

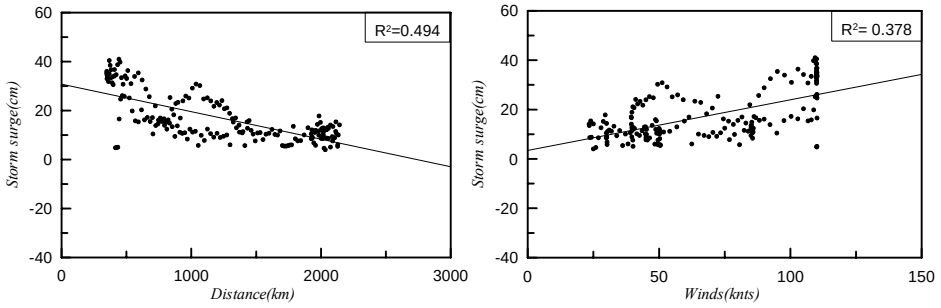


圖4.1.2.9 雷馬遜颱風暴潮偏差與測站距離及中心風速相關性分析

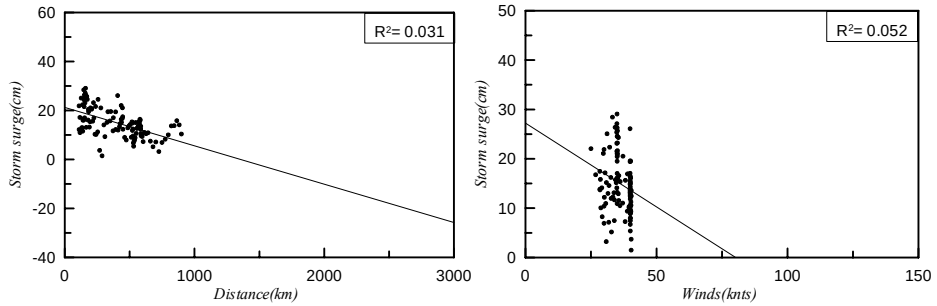


圖4.1.2.10 娜克莉颱風暴潮偏差與測站距離及中心風速相關性分析

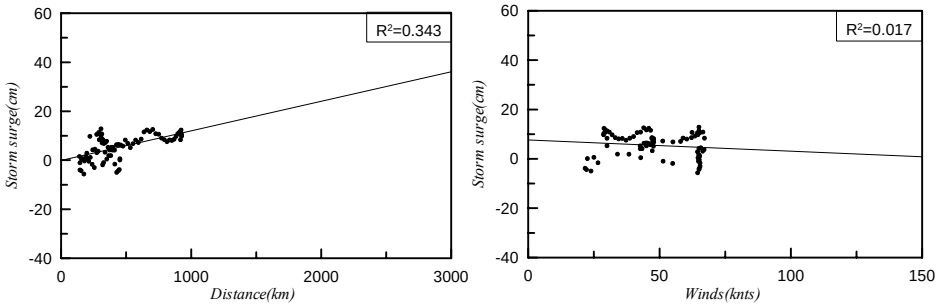


圖4.1.2.11 莫拉克颱風暴潮偏差與測站距離及中心風速相關性分析

4.1.2.2.2 神經網路颱風暴潮模式之建構

颱風暴潮成因是低氣壓、風剪力、波浪及地形環境因素等的綜合非線性動力交互作用結果，而颱風暴潮的發展行為取決於颱風的路徑與影響時間。當颱風接近臺灣地區時，受到中央山脈的阻擋，颱風結構遭到破壞變形，暴潮發展的情況更加複雜。此外，颱風路徑預報、海面風場及氣壓場的正確程度與誤差，對颱風暴潮預測結果的準確性佔了相當重要的角色。這樣複雜的機制使的一般的數值模式難以精確

地描述颱風、暴潮的關係，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，因此以類神經網路結合颱風模式來計算颱風暴潮位將可以提高暴潮位推算結果的準確性。

為了提高暴潮模式推算的穩定性，並且增加模式應用的範圍，模式建構的主要架構延續採用本計畫『規劃海象觀測網、暴潮數值最佳網格化系統』（2004）第二年期的類神經模式架構外並將此波浪推算模式的架構作為暴潮模式的核心，並加入了 12 個虛擬的颱風海面上 10 公尺風速觀測點，藉以對觀測站海域風場分佈及變化有更周全的描述與反映，並將此模式的架構發展成為模組化，藉以應用在颱風波浪、水位的推測甚至模式的資料同化。12 個虛擬觀測站位置如圖 4.1.2.12 所示。

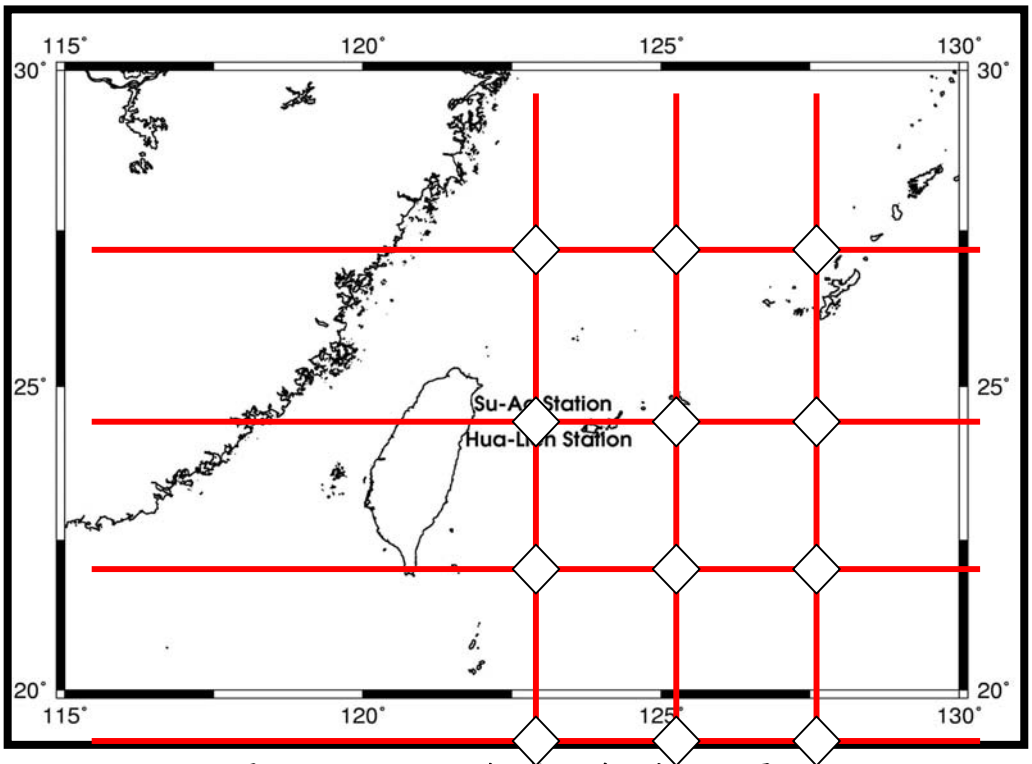


圖 4.1.2.13　12 個虛擬觀測站位置

本文選擇 Holland (1980)的經驗參數模式來描述颱風風場，其為

$$\frac{p-p_c}{p_n-p_c}=\exp\left[-\left(\frac{R}{r}\right)^B\right] \tag{4.1.2.1}$$

其中 p_n 為颱風影響範外的氣壓，本文設定為 1 大氣壓（1013.3 mb），p_c 為颱風中心氣壓（mb），p（mb）為距離颱風中心 r（km）的氣壓。風場內距離颱風中心 r 的風速 V（m/s）可以下是表示：

$$V=\left[\frac{B(p_n-p_c)}{\rho}\left(\frac{R}{r}\right)^B\exp\left[-\left(\frac{R}{r}\right)^B\right]+\frac{r^2f^2}{4}\right]^{0.5}-\frac{rf}{2} \tag{4.1.2.2}$$

其中 f 為柯氏參數(Coriolis parameter)。若忽略柯氏力的影響，颱風最大風速可表示為：

$$V_{\max}=\left[\frac{B(p_n-p_c)}{\rho\cdot e}\right]^{0.5} \tag{4.1.2.3}$$

係數 B 採用 Harper and Holland (1999)建議的關係式：

$$B=2-\frac{p_c-900}{160},\quad 1.0<B<2.5 \tag{4.1.2.4}$$

風場在海面上 10 公尺的風速為：

$$V_{10}=K_mV \tag{4.1.2.5}$$

Harper and Holland (1999)建議 K_m＝0.7，而颱風風場的風傾角假設為25°。颱風移動速度 V_f 對颱風風場內的影響，採用 Jelesnianski (1966)建議的關係式：

$$V(r)=\frac{R\cdot r}{R^2+r^2}V_f \tag{4.1.2.6}$$

由風場的規模變動及推算點的距離、角度藉由式(4.1.2.1)至式(4.1.2.6)可推算出區域的 V_{10}，此 V_{10} 可充分表現出該區域颱風風場特性與颱風波浪的相對關係，所以，考慮颱風運動及颱風規模連續的變動則影響波浪、暴潮隨時間的改變即可由 V_{10}、r、θ_1 及時間 t 的函數表示

之。

由 Holland (1980)等文獻的討論分析了解，風速V_{10}分佈與氣壓成正比，也是提供及影響颱風波浪、暴潮能量主要的因素，因此在暴潮的推算上假設風速V_{10}分佈可以充分表達大氣壓力的分佈情形。而颱風的路徑及行為是影響颱風波浪、暴潮變化的另一個因素，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、暴潮。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,θ,θ_1的函數線性組合：

$$S(t_j)=\sum_{i=0}^{j}a_i f_1(V_{10},r,\theta,\theta_1;t_i) \tag{4.1.2.7}$$

式(4.1.2.7)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小時的颱風暴潮為內能量S的函數：

$$\Delta\eta(t_j)=\sum_{i=0}^{j}b_i f_2\left[S(t_i)\right] \tag{4.1.2.8}$$

結合式(4.1.2.7)及式(4.1.2.8)可表示颱風暴潮為不同時間V_{10},r,θ,θ_1的函數

$$\Delta\eta(t_j)=\sum_{i=j-m}^{j}c_i f(V_{10},r,\theta,\theta_1;t_i) \tag{4.1.2.9}$$

式(4.1.2.9)中m表示颱風開始產生颱風暴潮的時間，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(4.1.2.9)可以寫成式(4.1.2.10)。本文將針對式(4.1.2.10)的架構建立類神經網路模式，利用收集的颱風氣象與颱風暴潮資料進行類神經網路模式的測試與驗證，並以式(4.1.2.10)的架構建立類神經網路模式。

$$\Delta\eta(t_j) = \sum_{i=j-m}^{j} c_i f(V_{10}, V_{(1)10}, \cdots\cdots V_{(12)10}, r, \theta, \theta_1; t_i) \qquad (4.1.2.10)$$

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：

$$O_{P\times1} = f(W_{S\times R} I_{R\times1} + b_{S\times1}) \qquad (4.1.2.11)$$

其中$O_{P\times1}$為神經網路具有 P 個向量的輸出矩陣，f為轉移函數，$I_{R\times1}$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，$b_{S\times1}$為網路偏權值矩陣，而式(4.1.2.11)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(4.1.2.8)及式(4.1.2.9)中的$V_{\max}$、V_f、V_{10}、$V_{(1)10}$ …. $V_{(12)10}$、r具有連續的特性，θ為颱風中心與颱風暴潮推算位置的方位角，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

$$O_1 = f_1(W_{S2\times S1} \cdot f_1(W_{S1\times(R*n)}[I_{1R\times1}]_{n\times1} + b_{S1\times1}) + b_{S2\times1}) \qquad (4.1.2.12)$$

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

A.陸地效應的修正

目前颱風風場與陸地交互影響的關係目前仍然無法完全解析，參數形式的颱風風場模式更難以即時反應陸地對風場的影響，因此，藉由修正颱風風場模式達到修正颱風暴潮是相當困難的。陸地地形除了影響颱風風場外，陸地的遮蔽效應也影響颱風暴潮的行為。所以可以在空間上進行初步的區分，在特定颱風路徑與位置時，區分出陸地效應影響颱風暴潮的範圍，逐步找出颱風位置與影響颱風暴潮的關係，

藉此，可以修正颱風暴潮行為。對於特地區域颱風暴潮推算模式的建立可以藉由分析該區域陸地地形特性對風、暴潮的影響，在平面空間上劃分出影響的區域，逐步修正該推算區域的颱風暴潮。在陸地效應影響區域的分析，包括：颱風暴潮推算區域的地形分析、陸地遮蔽範圍分析與分區、颱風風場與地形關係分析與分區以及被區分區域間的關係。

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

由臺灣西岸中國南海海面生成颱風的颱風暴潮，對臺灣東岸的影響並非單獨且直接作用，且受到陸地強烈的影響，在颱風波浪、颱風暴潮生成機制與波浪行為明顯不同於東岸生成的颱風波浪與颱風暴潮，以及西部颱風對東岸海域影響有限的考量下，選取北太平洋西部生成且直接威脅臺灣東岸花蓮港海域的颱風做為建立推算颱風波浪模式應用的目標，示如圖 4.1.2.14。圖 4.1.2.14 提供了颱風暴潮推算區域花蓮港海域與臺灣本島的相對位置、陸地範圍等，以及依地形環境建立的 4 個區域 Area1、Area2 、Area3、Area4，其中 Area1、Area4 位於臺灣東部，當颱風西行且中心位於這兩個區域時，波浪、暴潮發展機制相近而 Area1、Area4 的差別在於颱風在 Area1 時是以颱風左半圓接近花蓮港海域，而在 Area4 時颱風是以右半圓接近花蓮港海域，這兩個區域的差別在輸入參數中,可以充分反映出來，而 Area2、Area3 則是受到陸地效應影響的區域，兩個區域的差別也是考慮颱風接近花蓮港海域時是受到颱風左半圓或右半圓影響而區分。

當颱風由 Area1、Area4 逐漸接近觀測站時，風場直接作用直接

反映於觀測站海域示性波高與颱風暴潮上，但是當颱風接近觀測站海域進入 Area2、Area3 時，颱風波浪、颱風暴潮發展就有明顯的不同。當颱風中心位於 Area2 時，颱風左半圓接近觀測站而因為颱風風向為逆時鐘旋轉，受到陸地的影響使的颱風左半圓風場無法持續作用海面，因而颱風提供波浪的能量大減造成示性波高快速降低。而當颱風中心位於 Area3 時颱風右半圓接近觀測站，颱風風場持續作用海面，所以當颱風中心進入陸地後最大示性波高與暴潮才到達。陸地效應的影響隨著颱風距離推算區域愈遠影響也愈小。

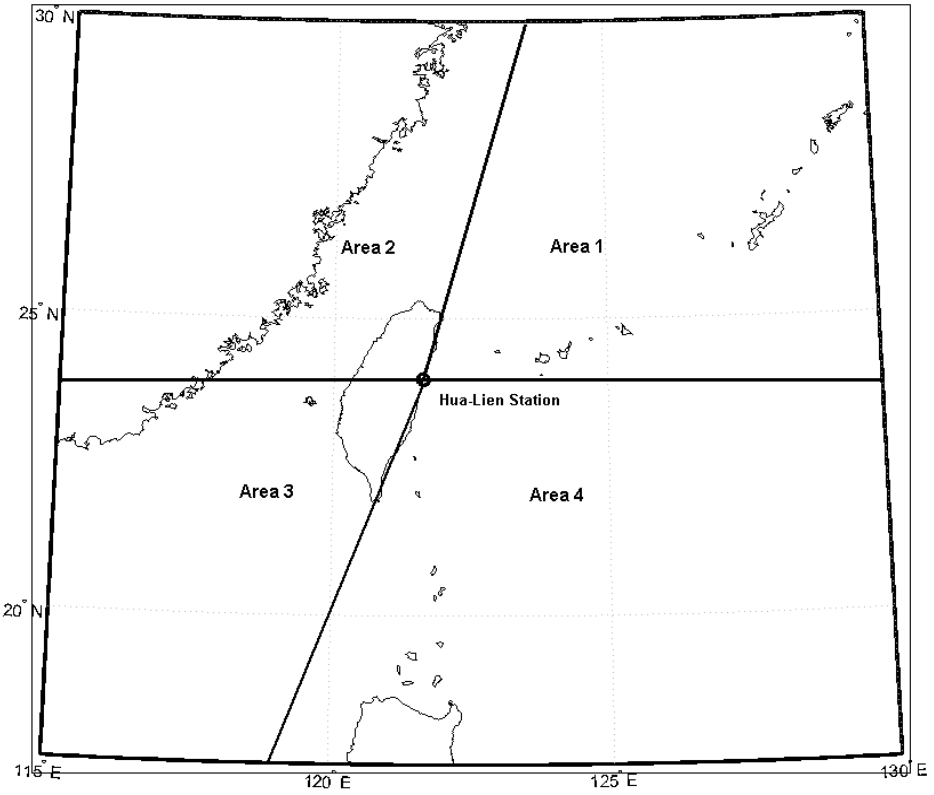


圖 4.1.2.14 臺灣東岸花蓮港位置與陸地影響區域區分

利用以上的現象以及陸地效應與颱風暴潮行為，藉由模糊理論以颱風位置建立示性波浪、暴潮與陸地間的模糊關係，藉以修正颱風暴潮推算模式。以颱風中心位置r,θ_1建立影響颱風暴潮關係的二維關係

函數，可以表示為 $MF(r,\theta_1)$。利用 $MF(r,\theta_1)$ 修正陸地效應對颱風暴潮的影響方法，示如圖 4.1.2.15。模式架構是將颱風暴潮的計算分成兩個階段，第一個階段維持 2004 模式，原有颱風推算模式架構與參數設定，第二個階段是將原模式輸出的示性波高串連另一個以 $MF(r,\theta_1)$ 函數為主體的類神經模糊網路模式進行修正，反應陸地效應對颱風波浪的影響。第二個階段的類神經模糊架構可表示為

$$\overline{\Delta\eta} = f_2(W_{S2\times S1} \cdot f_1(W_{S1\times(R*n)}\left[\bar{I}_{R\times 1}\right]_{n\times 1} + b_{S1\times 1}) + b_{S2\times 1}) \qquad (4.1.2.13)$$

其中 $\bar{I} = [\Delta\eta]^T \times MF(r,\theta_1)$,輸入資料延時 n。

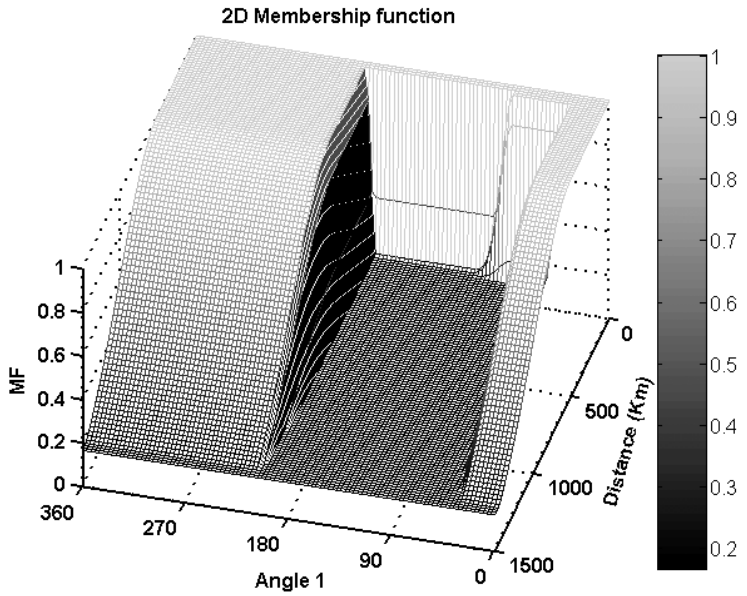


圖 4.1.2.15 陸地效應二維模糊關係函數

B.模式操作

對於類神經網路學習資料的收集，目前以花蓮港的颱風暴潮資料收集較為完整，模式操作的部分將以花蓮港為模式推算的測試港口，藉以瞭解模式推算的能力。颱風暴潮學習資料：花蓮港颱風資料驗證學習內容為 AERE（2004）颱風、MINDULLE（2004）颱風、NIDA（2004）颱風、RANANIM（2004）颱風，學習結果相關係數為 0.863，示如圖 4.1.2.16。

本計劃所研究之暴潮模式以花蓮港颱風資料驗證，RAMMASUN（2002）颱風，之測試相關係數為 0.723，示如圖 4.1.2.17，其結果有略偏低的現象，經過時間序列的比較發現如圖 4.1.2.18 所示，發現颱風接近臺灣的期間颱風暴潮的估算相當接近實測值，當颱風遠離時颱風暴潮推算值與實測值出現較大誤差，誤差的原因可能來自於風場模擬時的誤差或是觀測資料受到其他因素影響而產生較大誤差所致。

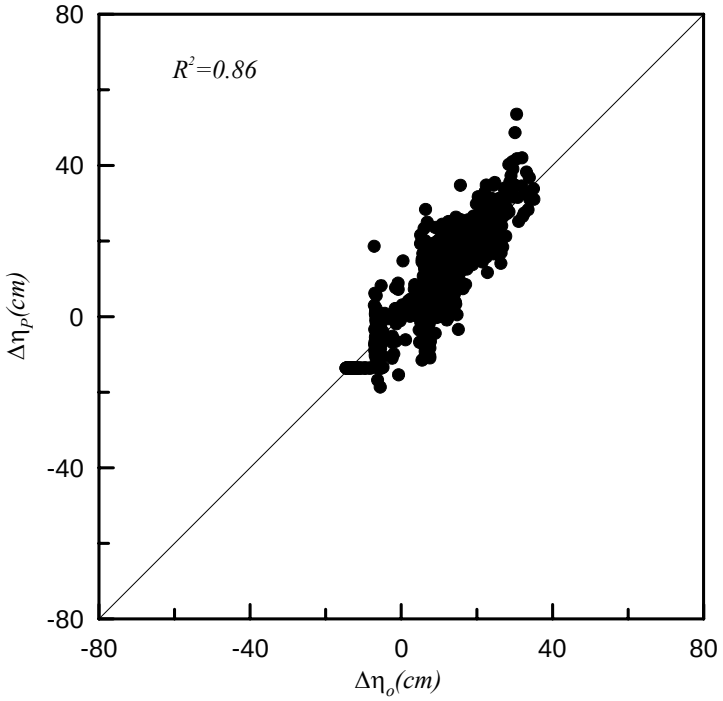


圖 4.1.2.16 類神經網路颱風暴潮模式學習結果關係圖

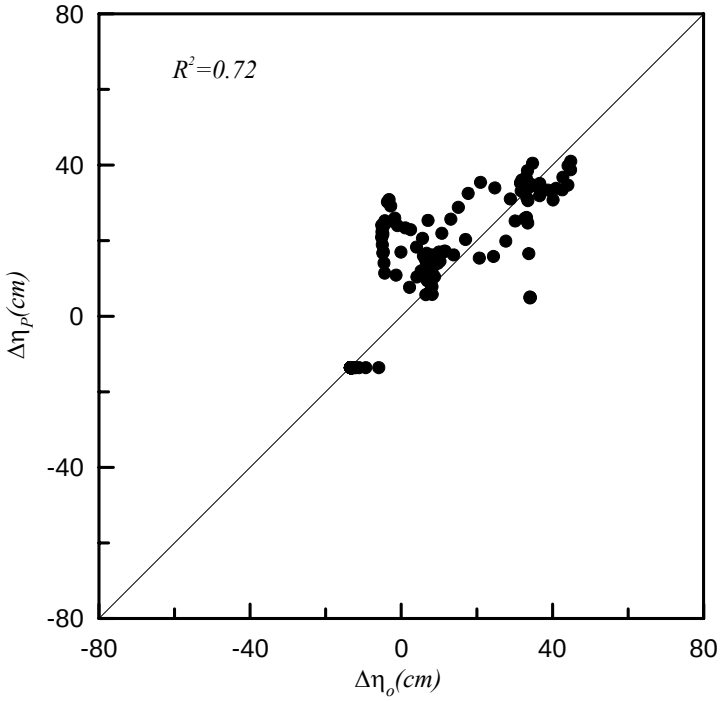


圖 4.1.2.17　蘭寧颱風類神經網路模式測試結果關係圖

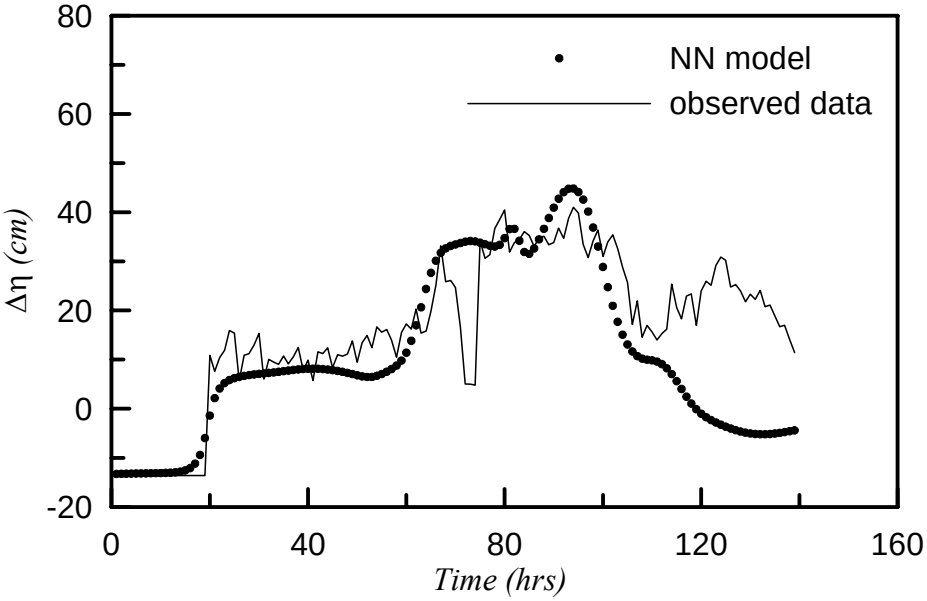


圖 4.1.2.18　蘭寧颱風暴潮偏差與觀測值比較

4.1.2.2.3 颱風暴潮模式之預測

經由上述類神經網路的建構與暴潮之驗證，本計劃即應用該模式

進行 2005 年颱風暴潮之推算，本計劃共收集兩場颱風潮汐數據依次為，海棠(HAITANG)及泰利(TALIM)。其中海棠及泰利為強度颱風，其行進路徑皆有穿越中央山脈，兩場颱風路徑則示如圖 4.1.2.19。

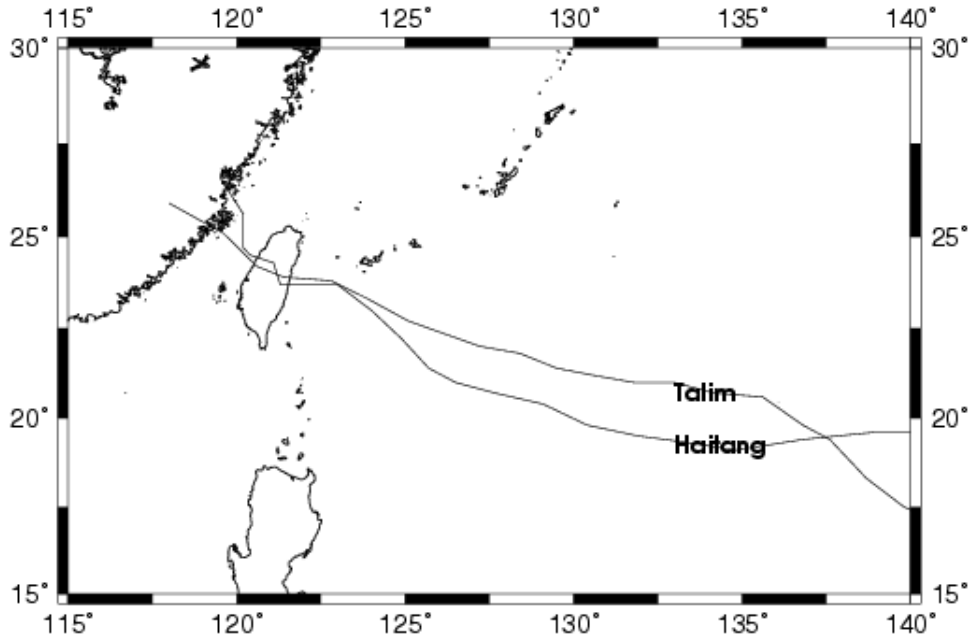


圖 4.1.2.19　海棠及泰利颱風行進路徑圖

本計劃以所收集之颱風潮位數據有港灣技術中心(IHMT)及氣象局(CWB)資料，其扣除上節模式之推算潮位，即為颱風暴潮數據。並以神經網路輸入颱風動態數據，進行颱風暴潮之預測與比較。並以花蓮港與蘇澳港為推算之測站，圖 4.1.2.20 為花蓮測站於海棠颱風之推算結果，由圖 4.1.2.20 可知於暴潮發生的時間，兩單位之潮位資料皆無紀錄，且氣象局則只有 7 月 19 日以後之資料。而模式的推算暴潮最大值則為 0.5 公尺。圖 4.1.2.21 為蘇澳港於颱風之推算結果，由圖中可知兩單位之資料於 7 月 13 至 18 日皆有較完整的潮位紀錄，模式之推算暴潮最大值約為 0.51 公尺，而港研中心之實測最大值約為 0.45 公尺，氣象局之實測最大值約為 0.81 公尺。其中模式推算最大值距港研中心數據時間約早 2 個小時，與氣象局數據時間約晚為 2 個小時。圖 4.1.2.22 為花蓮港測站於泰利颱風之暴潮推算結果，由圖中可

知港研中心較為完整，氣象局則只有 8 月 27 日至 9 月 1 日之資料，於暴潮發生時間則無紀錄。模式推算最大暴潮為 0.47 公尺，而港研中心數據則為 0.67 公尺，大暴潮發生時間之模式推算值與港研中心觀測值，則為同時。

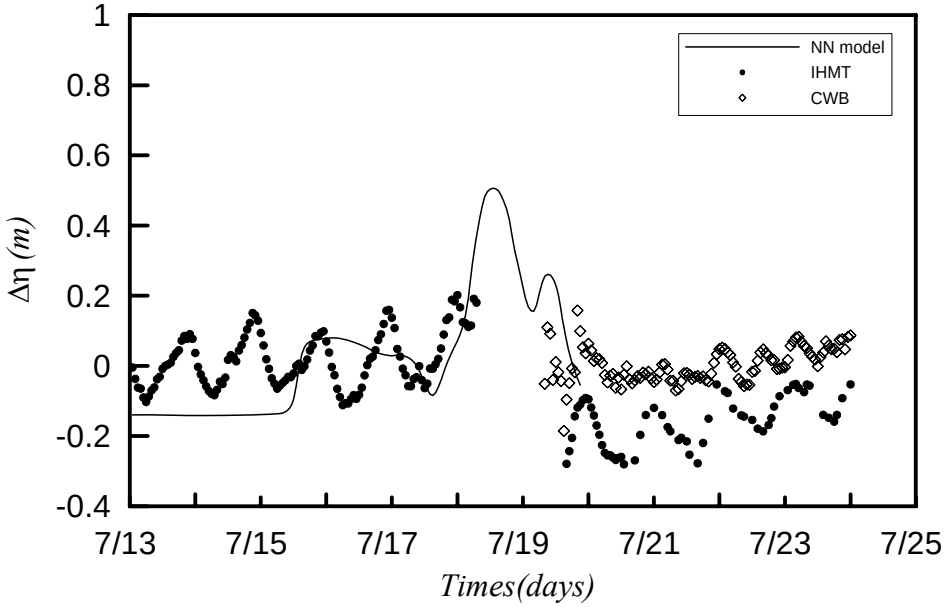


圖 4.1.2.20　海棠颱風暴潮偏差與花蓮港觀測值之比較

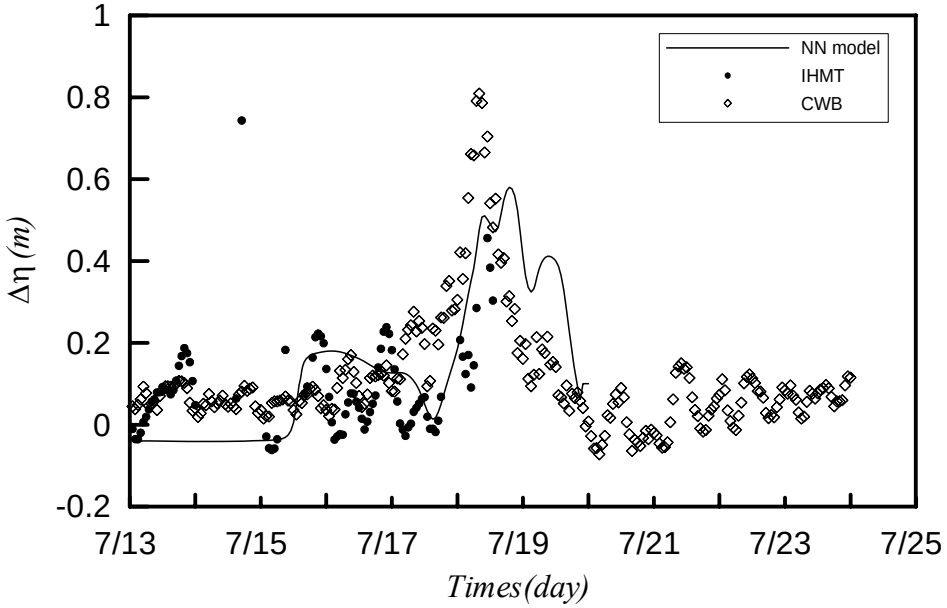


圖 4.1.2.21　海棠颱風暴潮偏差與蘇澳港觀測值之比較

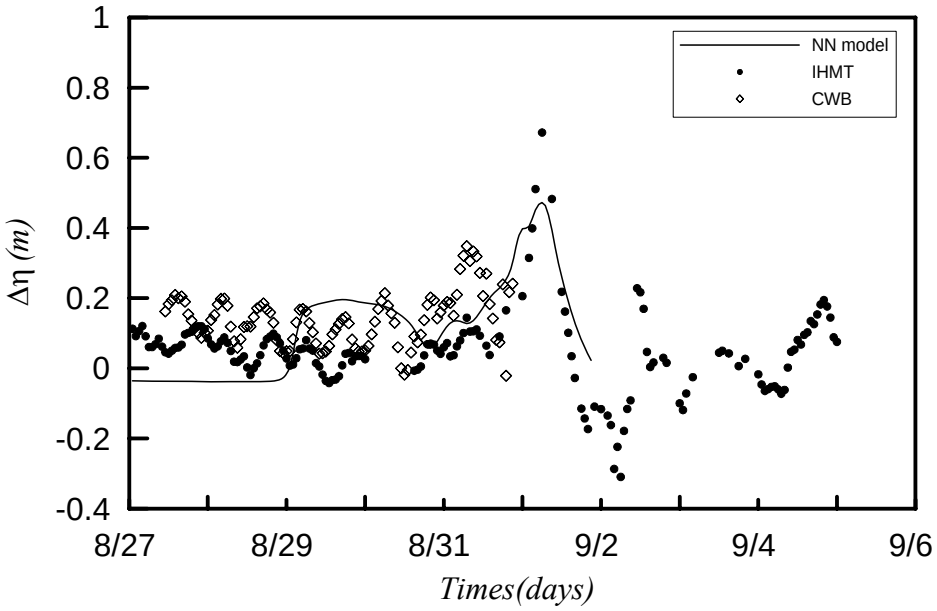


圖 4.1.2.22　泰利颱風暴潮偏差與花蓮港觀測值之比較

4.1.3 全年最大水位推估

本計畫從 2004 年 11 月開始接收氣象局動態氣象場資料，累積至今年 2005 年 10 月共 11 個月，已橫跨四季及颱風季節，因此進行整年度的水位計算，推估全年最大水位，可作為工程運用之參考依據，結果如表 4.1.3-1。

表 4.1.3.1 全年最大水位推估值

港名	發生時間	水位（公尺）
基隆	2005/08/05 04:00	0.718
臺北	2005/07/23 01:00	1.495
臺中	2005/09/20 13:00	2.572
安平	2005/07/21 07:00	0.802
高雄	2005/07/23 07:00	1.044
蘇澳	2005/07/23 07:00	1.0
花蓮	2005/07/23 07:00	1.021

4.2 海流模式

4.2.1 二維海流模式

二維海流模式原理請參照水位模式部分，此部分為水深平均流速，主要驅動力為潮汐及風驅流，並無洋流的輸入。由於本年度未取得實際的流速資料，再加上模式得出的結果並非近岸流場，與近岸流速計測出之流場比對有其困難度，因此僅列出過去 10 各颱風及今年度兩個颱風之流場模擬結果，待未來取得實測資料會積極進行模式比對，以供未來擴散模式利用。目前模式計算網格大小為 10 分解析度，時間步長為 20 秒。

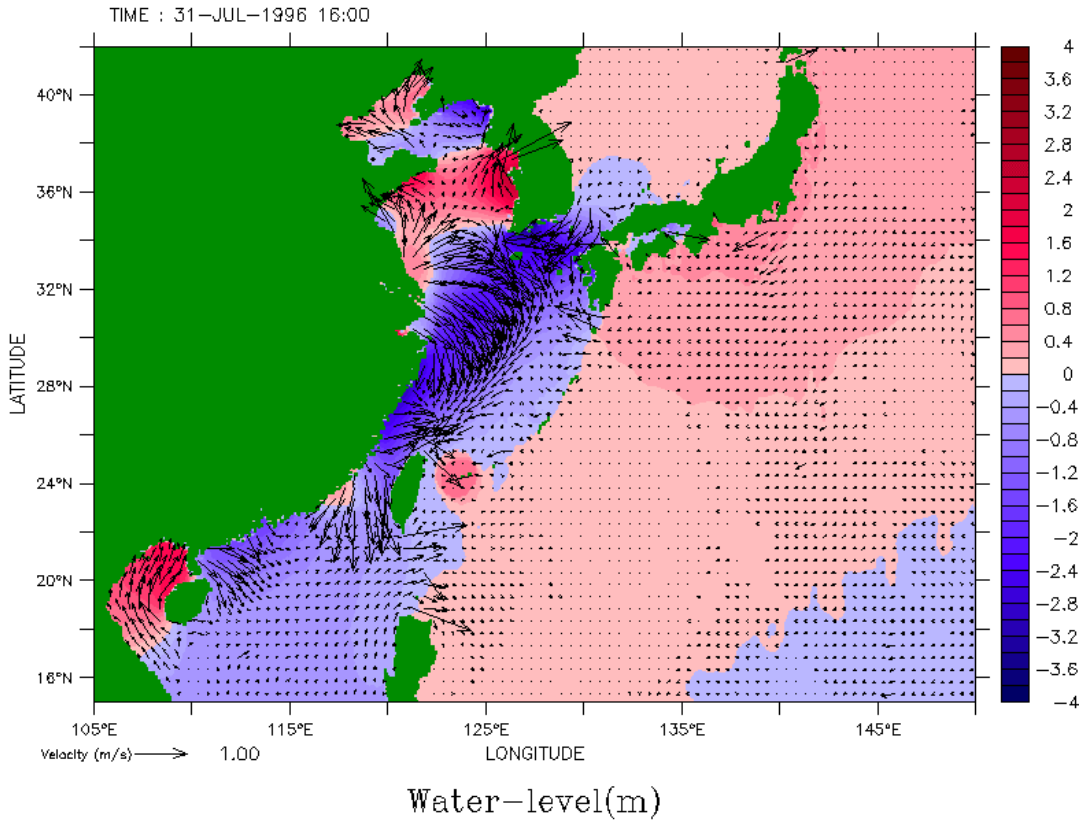
4.2.2 三維海流模式

本計畫後續幾年將建置污染物傳輸模式，以完成完整的防救災預報系統，因此會需要三維的流場資訊作為傳輸動力，所以本年度計畫規劃了三維水動力模式。由於三維水動力模式需要的計算時間相當的長，以目前單一 PC 的運算速度來說，要當作預報模式是不可行的，所以在三維水動力模式部分僅為初步建置，主要目標仍是將二維水動力模式上線，待未來平行計算主機建置完成後，再將其正式上線。

控制方程式使用球面座標系統展示如下：

動量方程式

$$\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial t}(Ju)+\frac{1}{JR\cos\phi}\frac{\partial}{\partial\lambda}\left(Ju^2\right)+\frac{1}{JR\cos\phi}\frac{\partial}{\partial\phi}\left(J\cos\phi uv\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\widetilde{x_3}}\left(J\widetilde{w}u\right)=$$
$$\frac{\tan\phi}{R}uv+2\Omega\sin\phi v-\frac{1}{R\cos\phi}\left(g\frac{\partial\varsigma}{\partial\lambda}-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial\rho_a}{\partial\lambda}\right)+Q_\lambda+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\widetilde{x_3}}\left(\frac{\nu_T}{J}\frac{\partial u}{\partial\widetilde{x_3}}\right)+ \qquad (4.2.2.1)$$
$$\frac{1}{JR\cos\phi}\frac{\partial}{\partial\lambda}\left(J\tau_{\lambda\lambda}\right)+\frac{1}{JR\cos\phi}\frac{\partial}{\partial\phi}\left(J\cos\phi\tau_{\phi\lambda}\right)-\frac{\tan\phi}{R}\tau_{\phi\lambda}$$



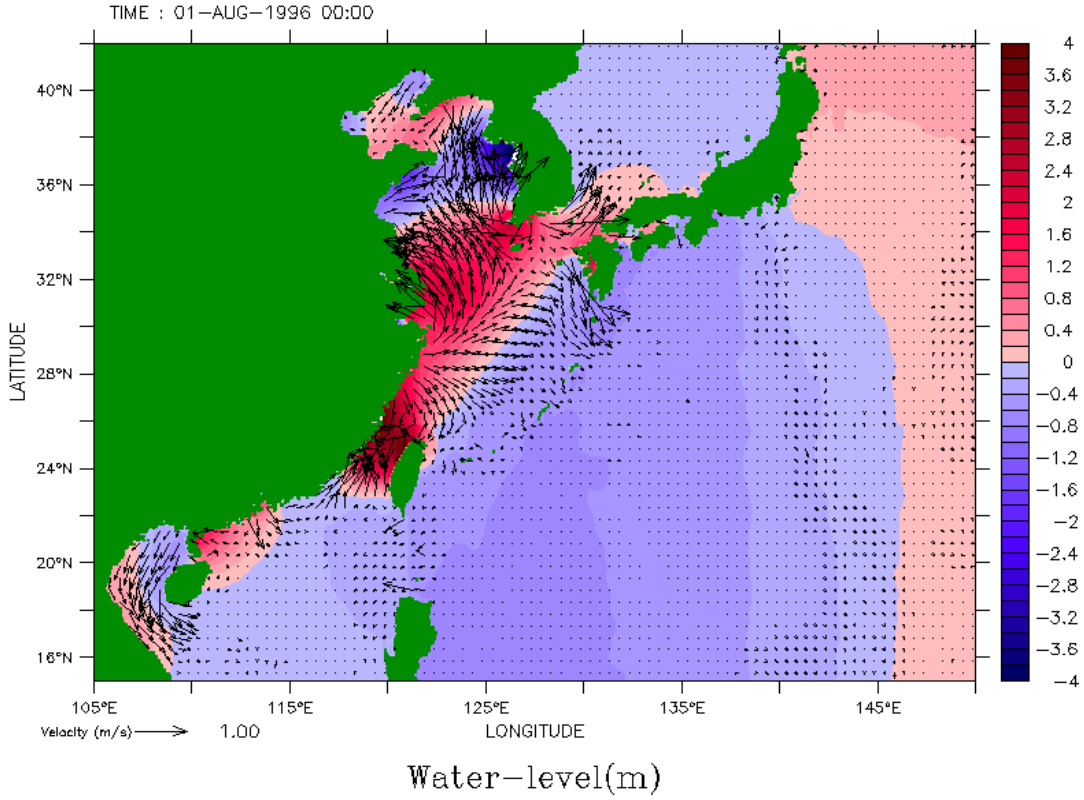
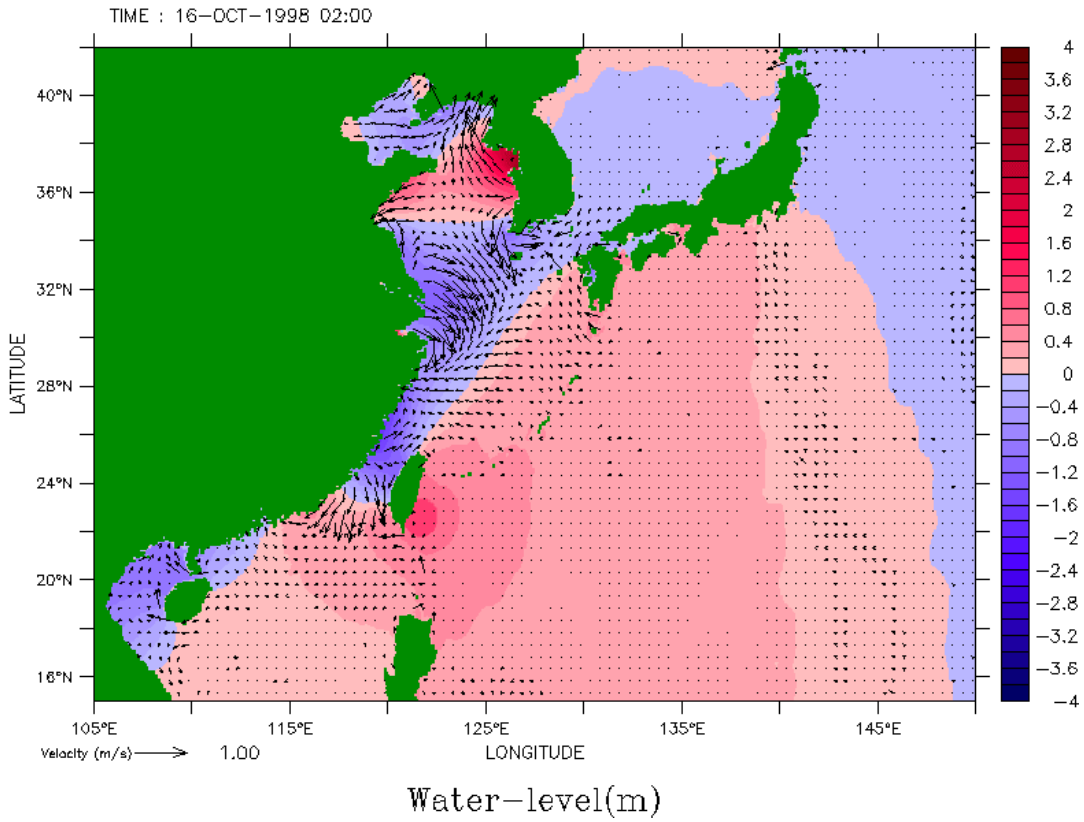


圖 4.2.1.1 賀伯颱風期間平面流場截圖



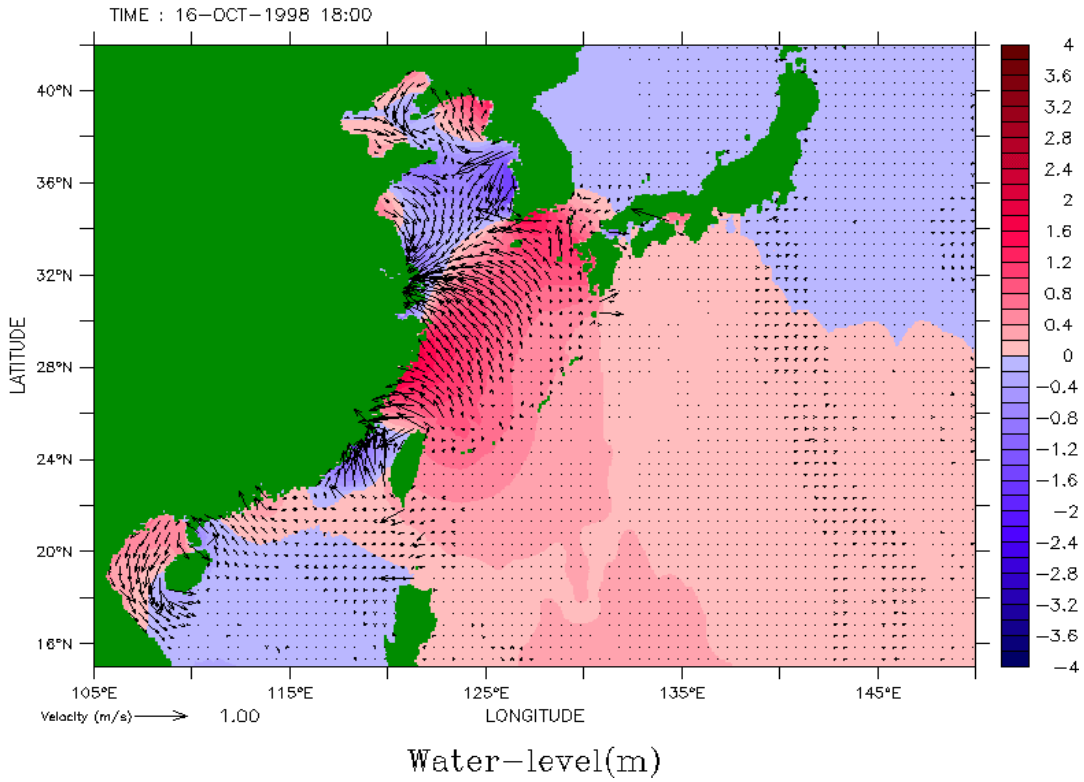


圖 4.2.1.2 瑞伯颱風期間平面流場截圖

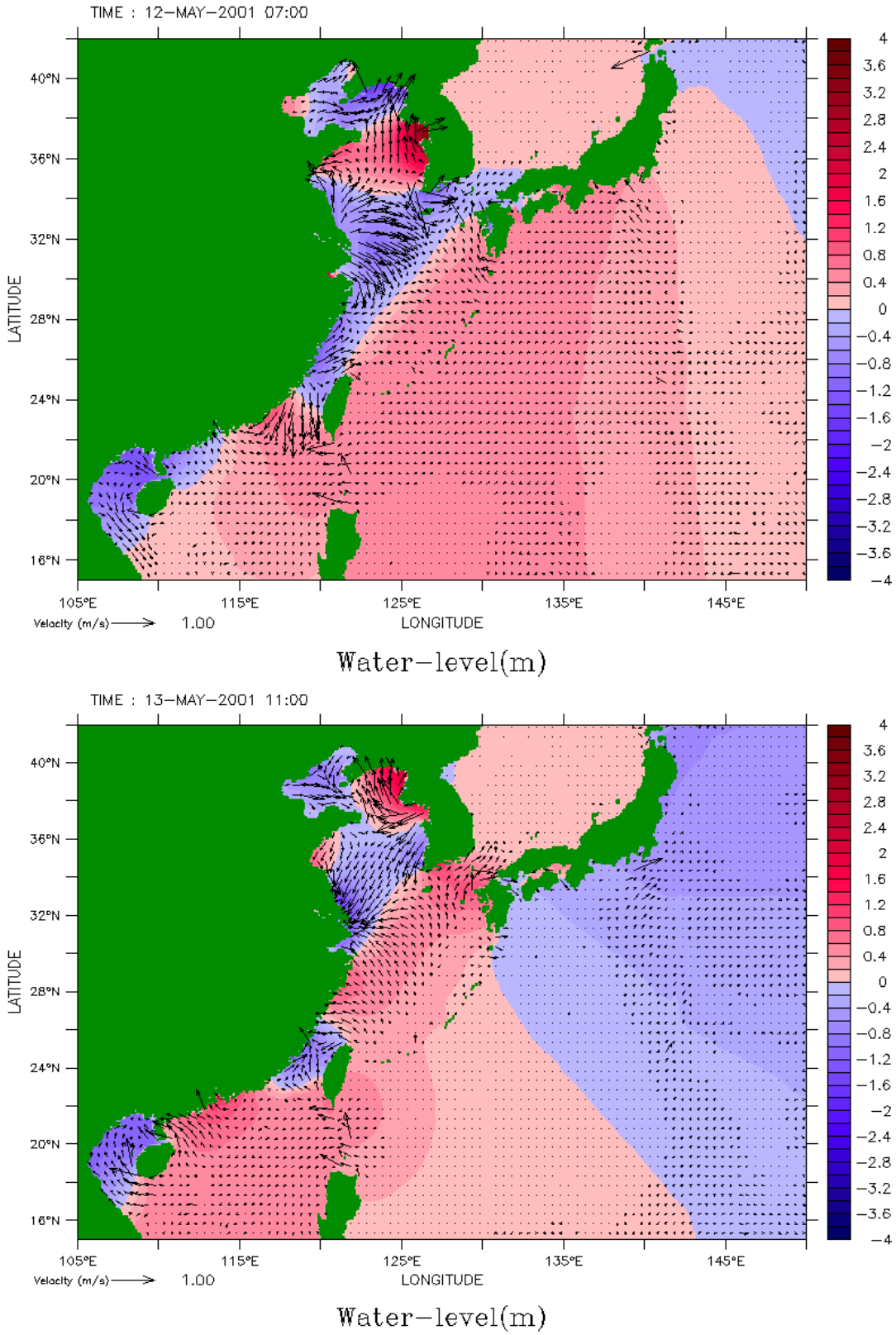
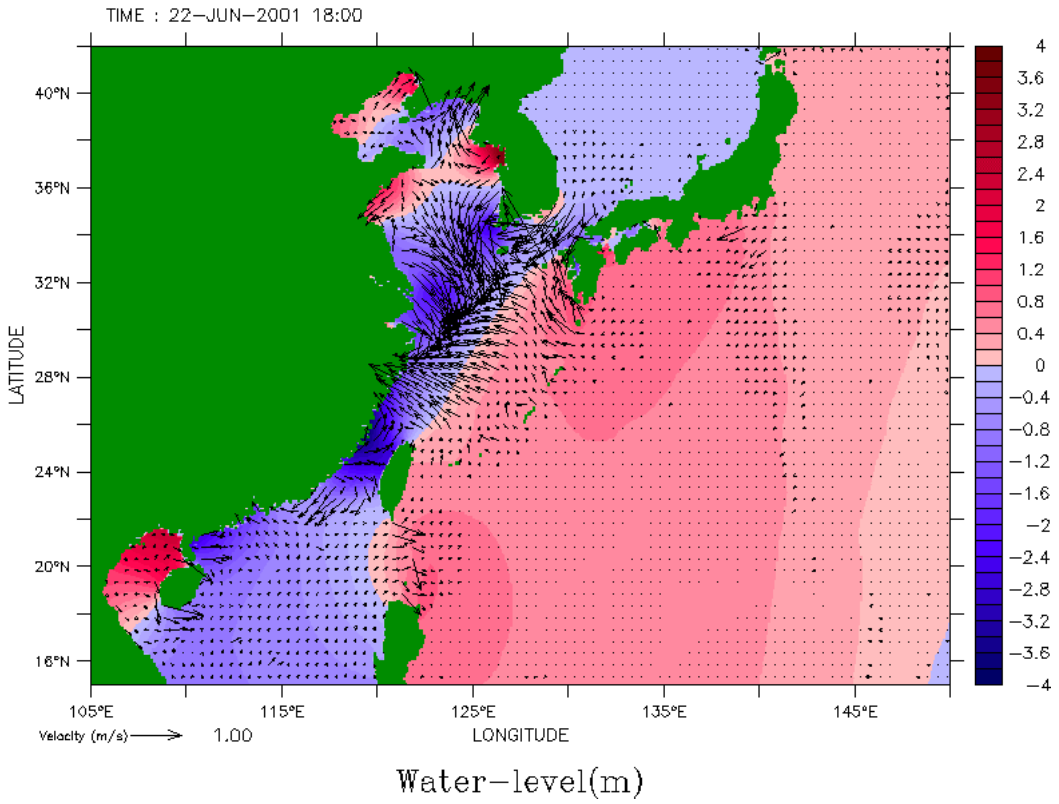


圖 4.2.1.3 西馬隆颱風期間平面流場截圖



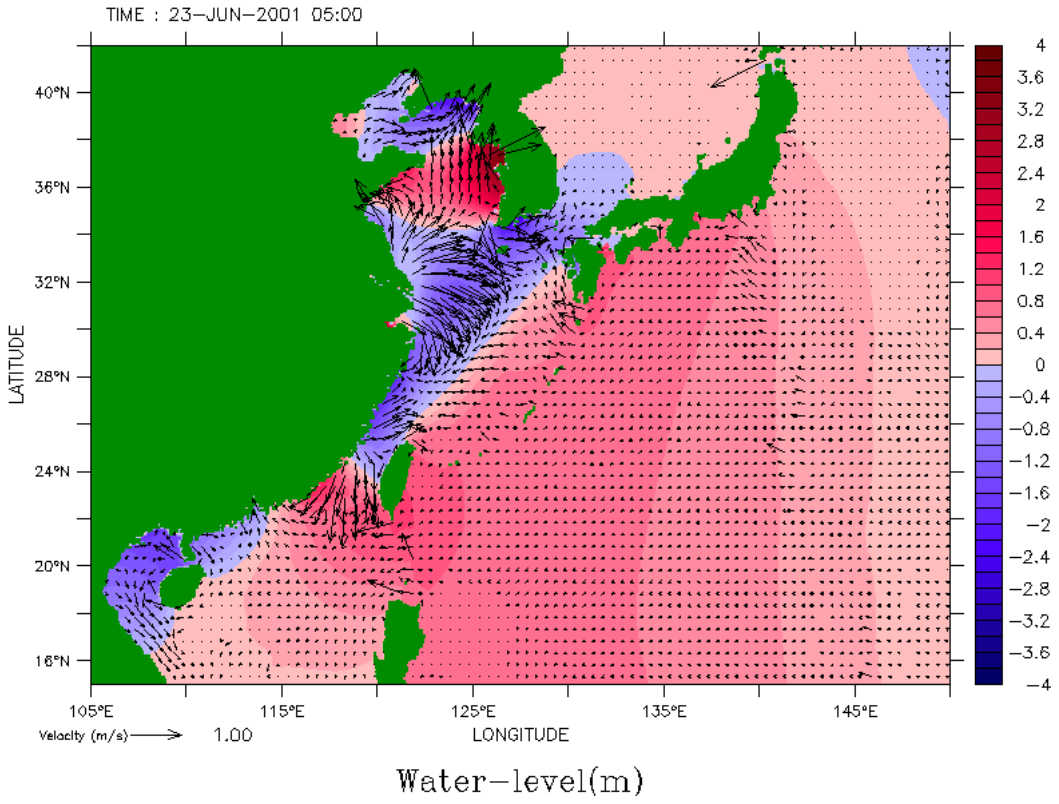
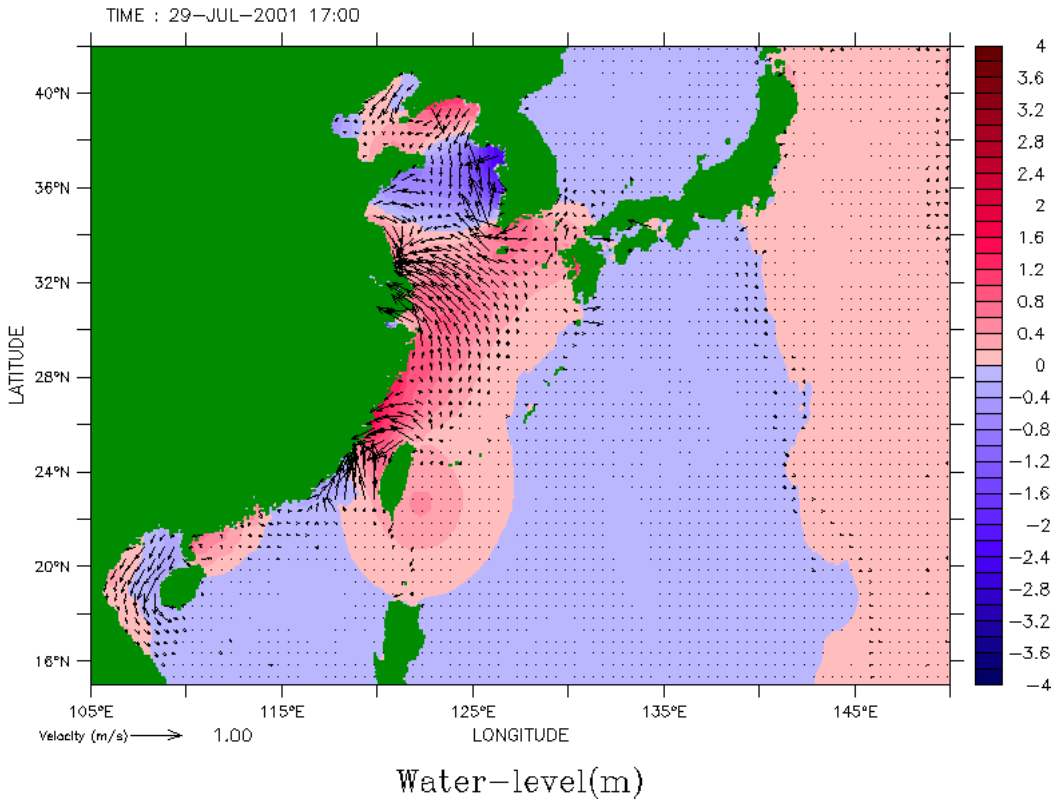


圖 4.2.1.4 奇比颱風期間平面流場截圖



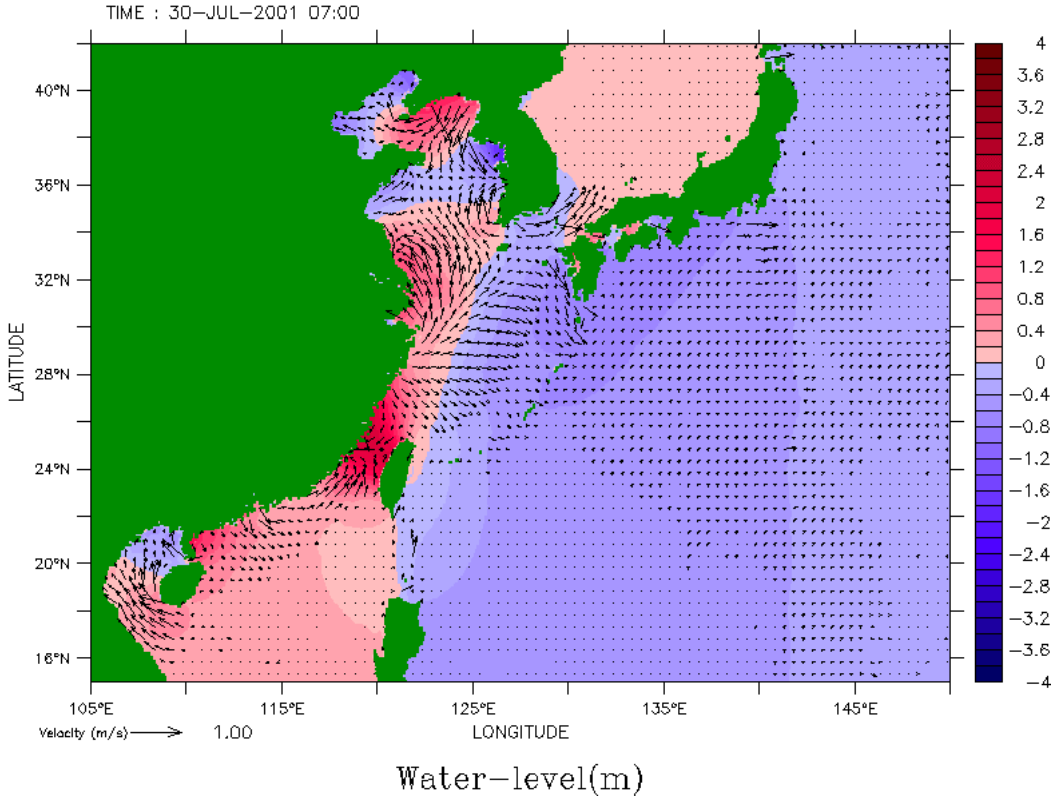
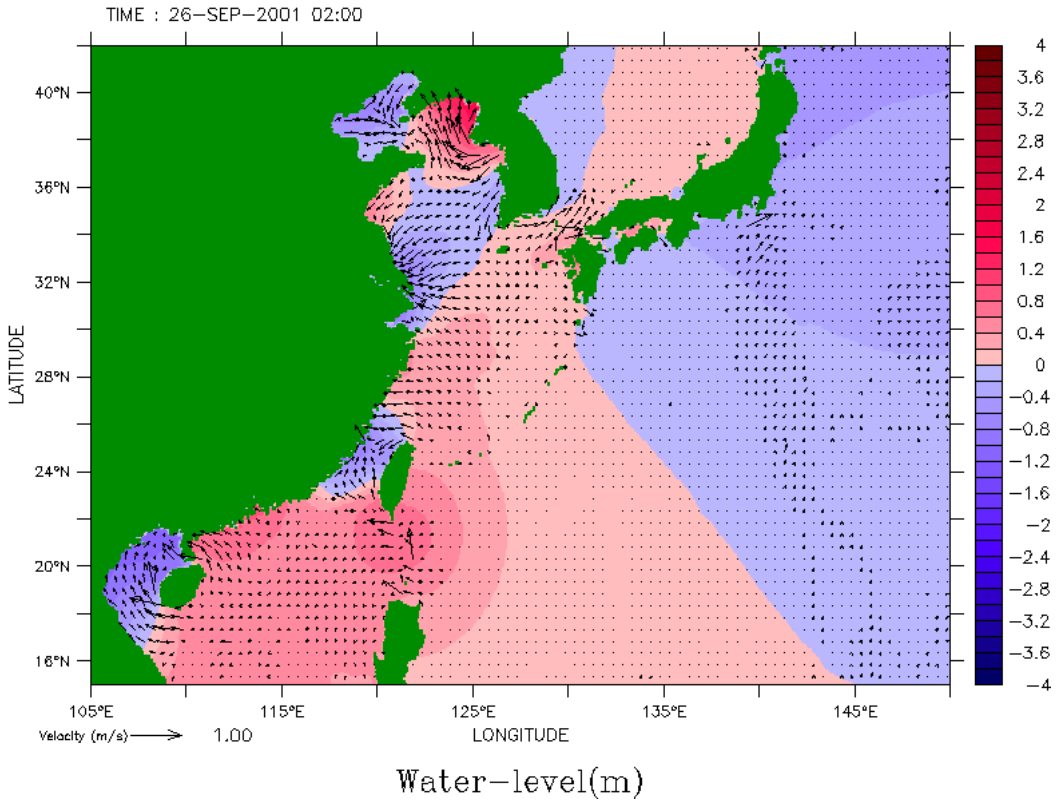


圖 4.2.1.5 桃芝颱風期間平面流場截圖



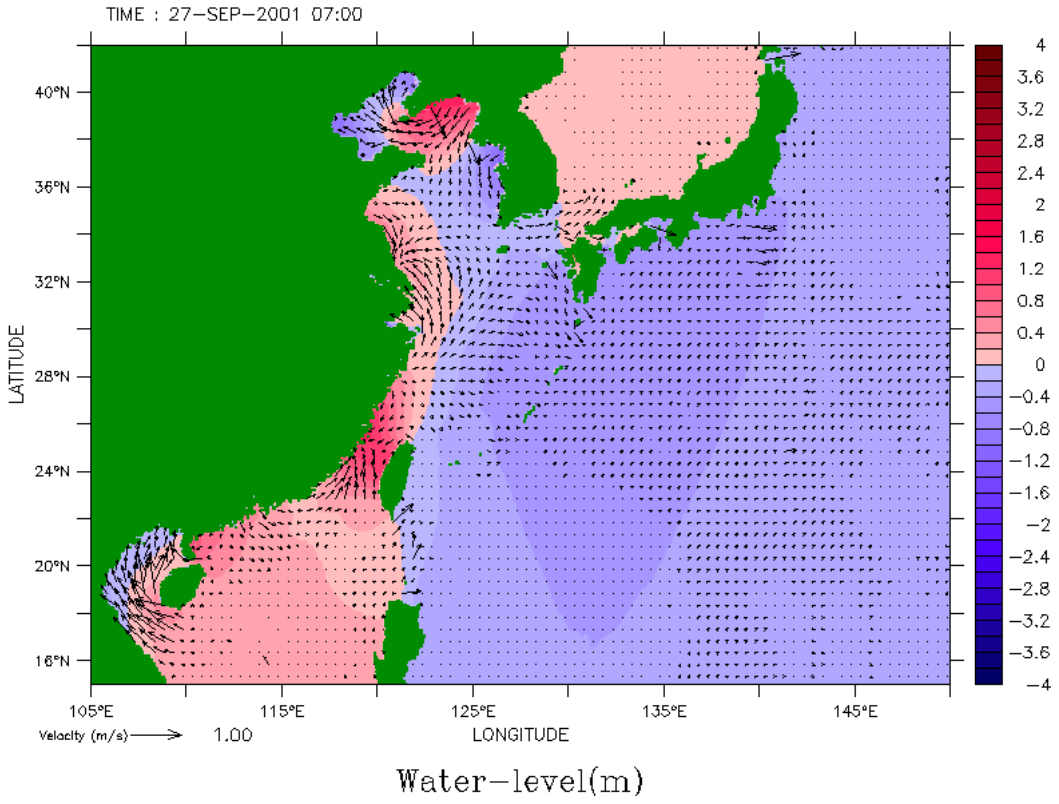
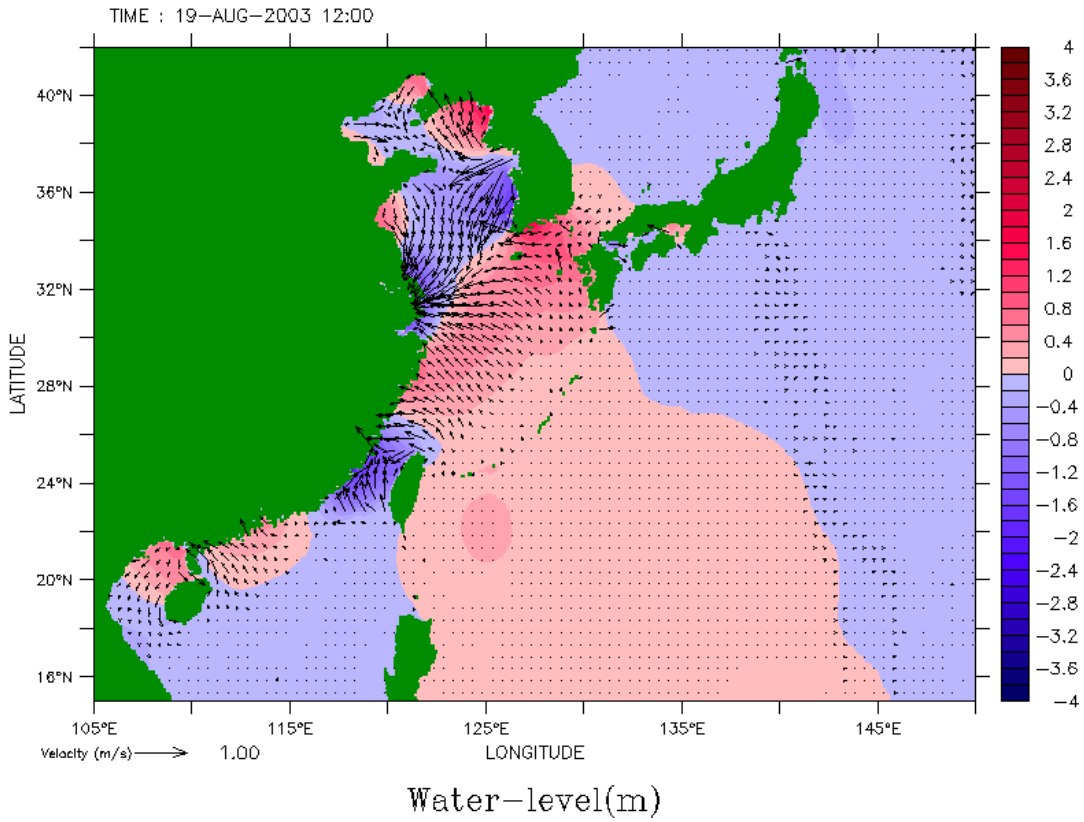


圖 4.2.1.6 利奇馬颱風期間平面流場截圖



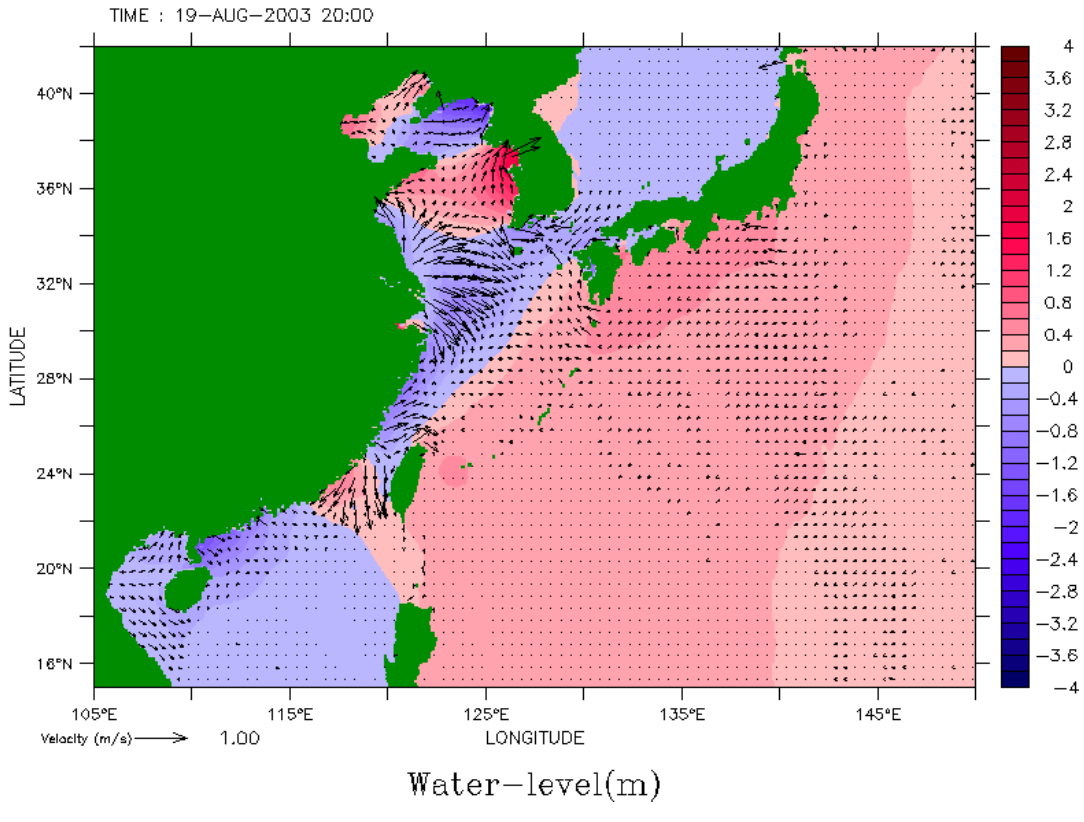
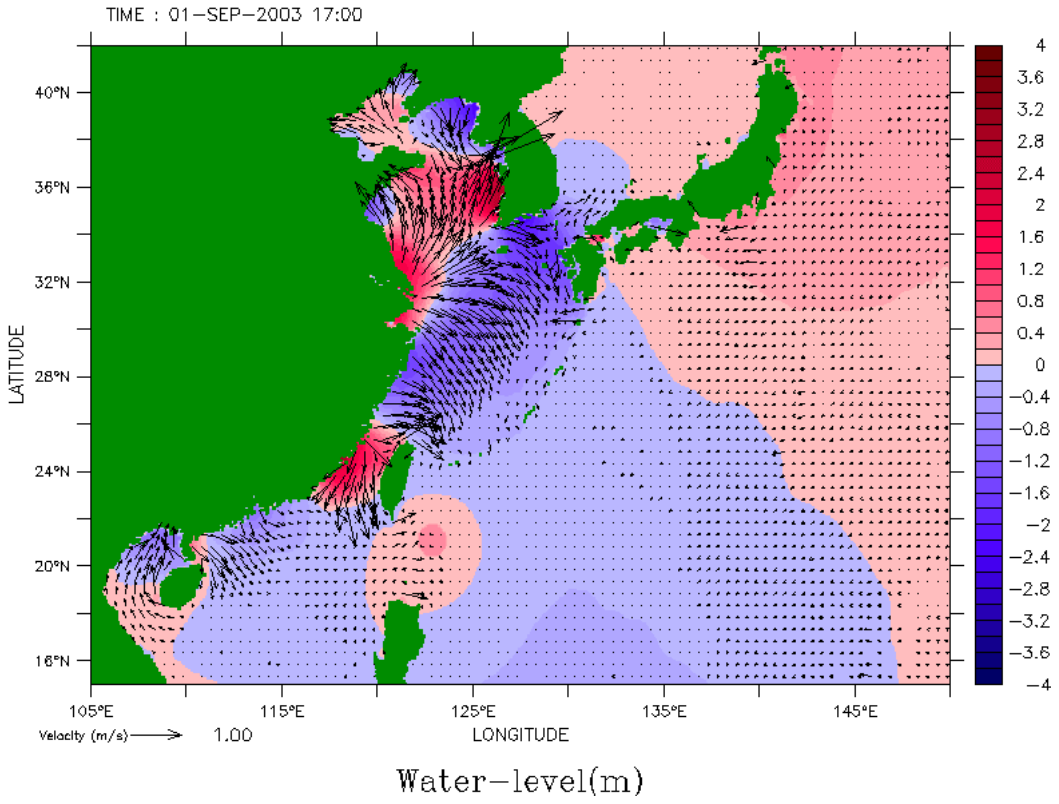


圖 4.2.1.7 梵高颱風期間平面流場截圖



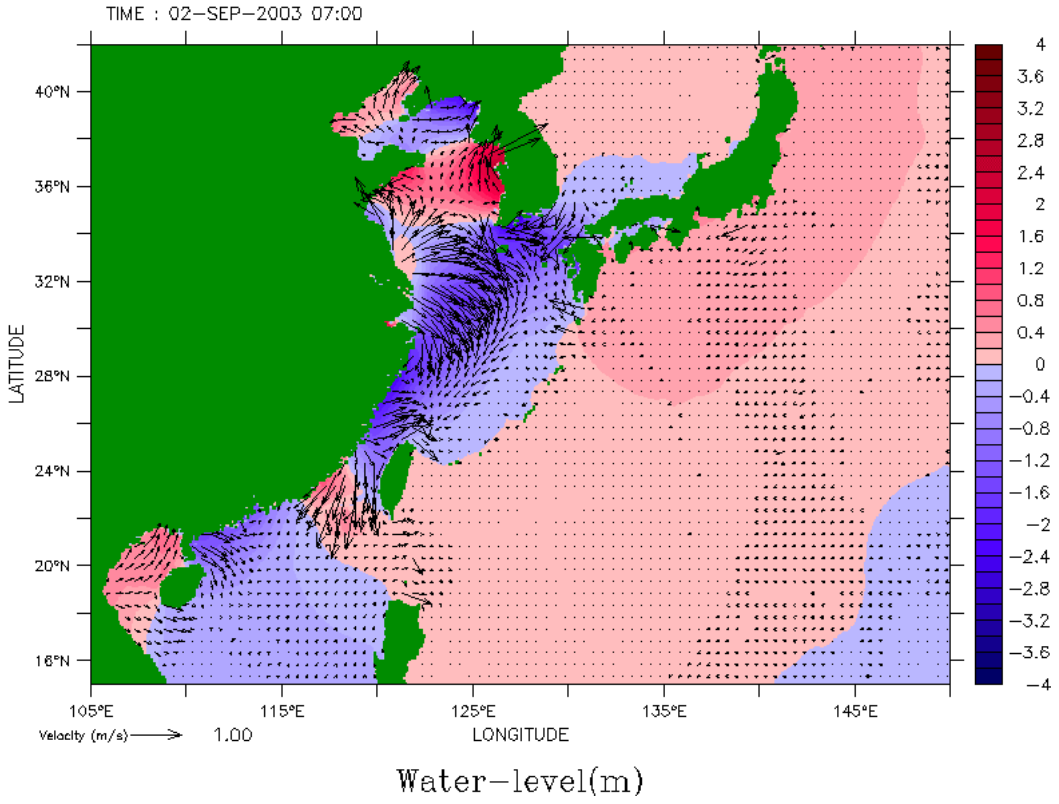


圖 4.2.1.8 杜鵑颱風期間平面流場截圖

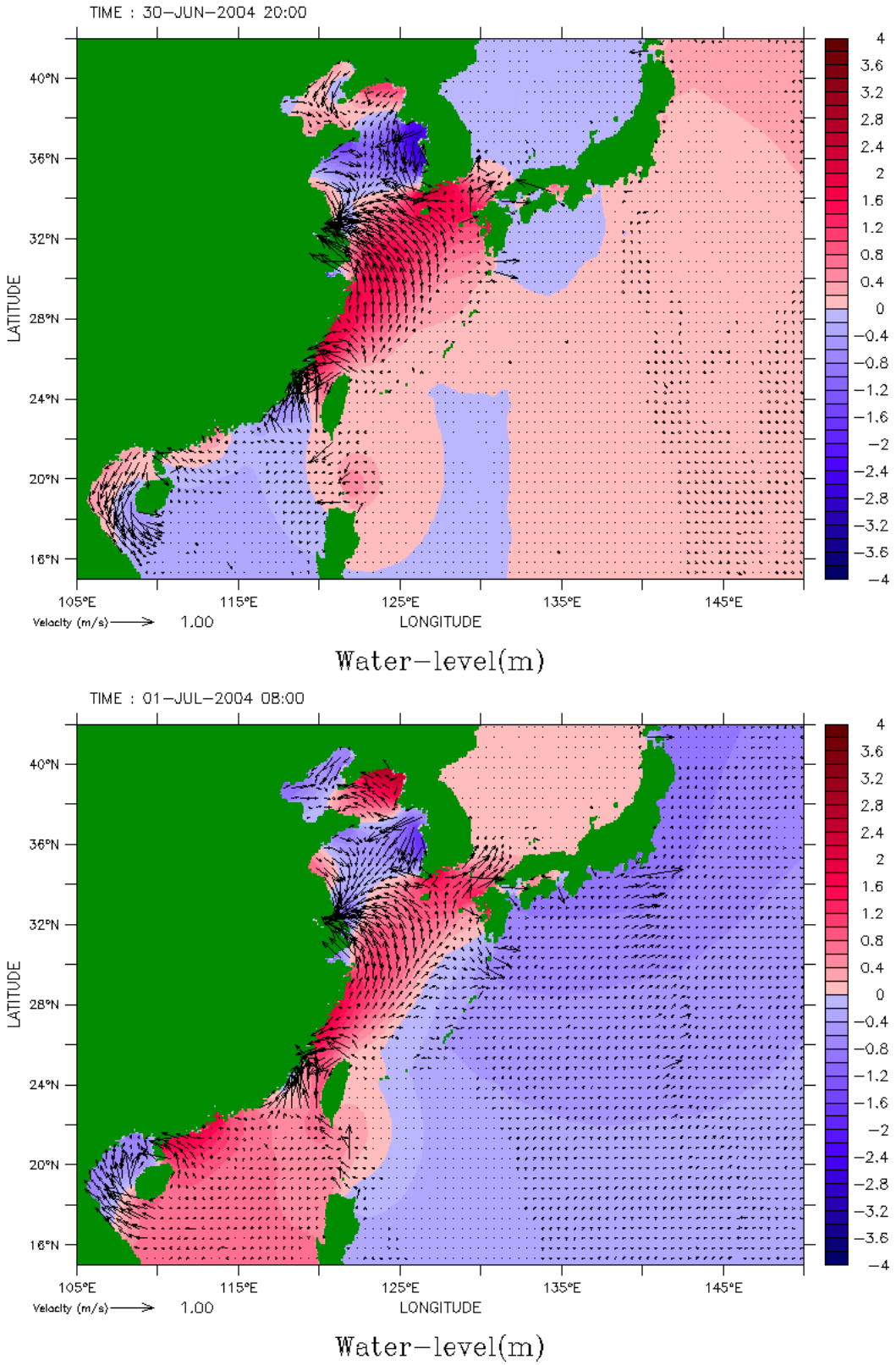
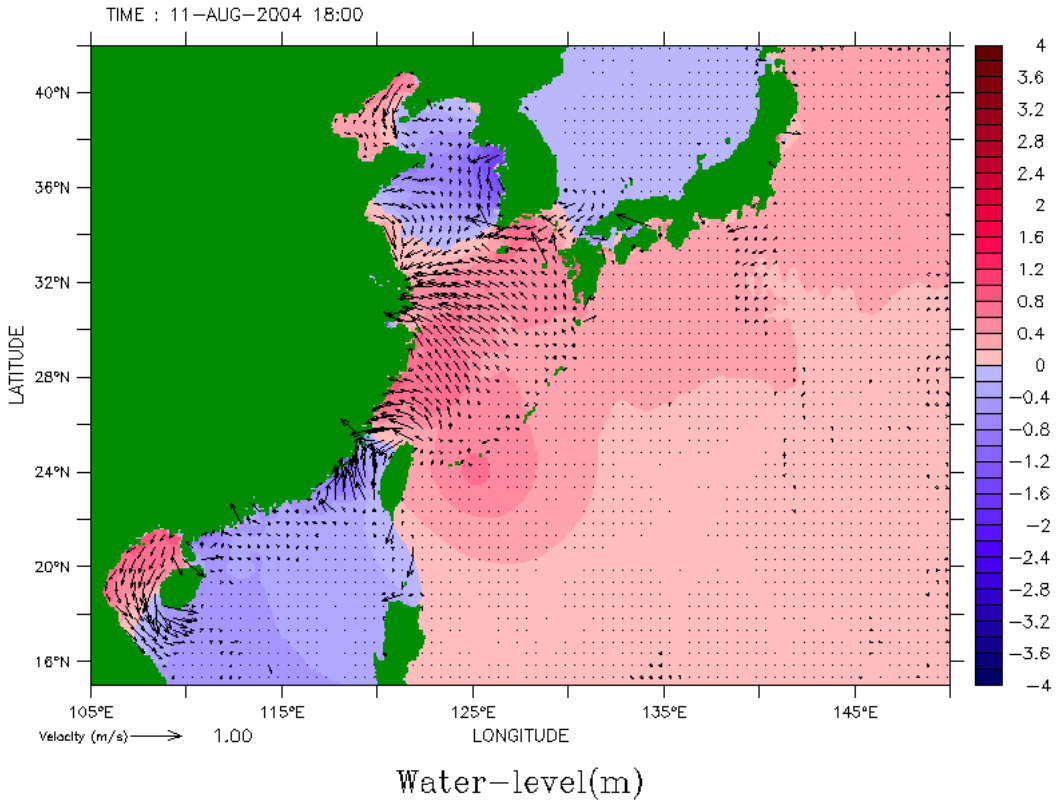


圖 4.2.1.9 敏督利颱風期間平面流場截圖



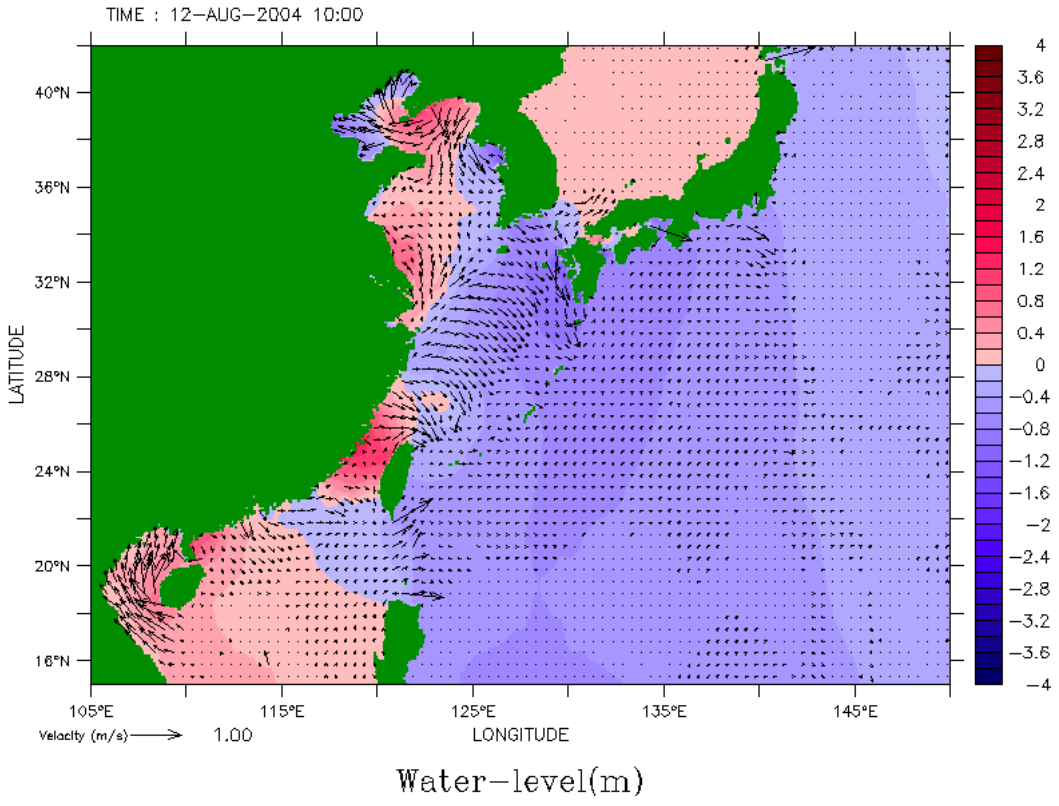
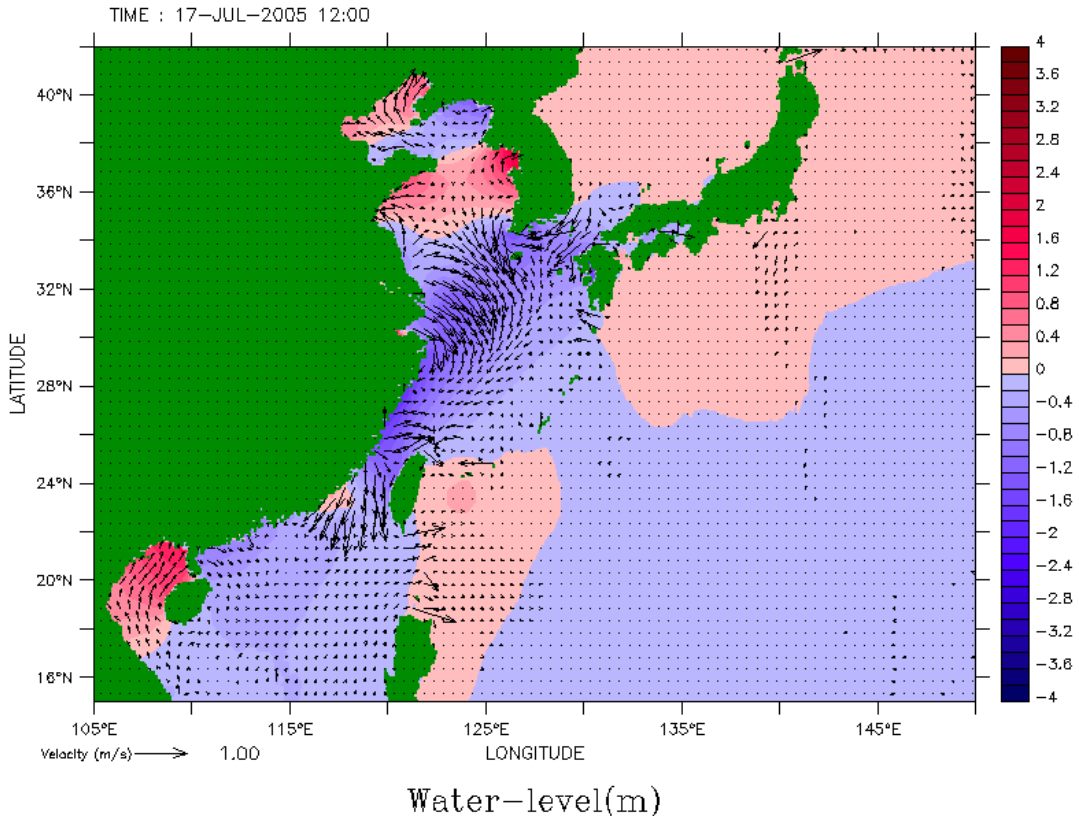


圖 4.2.1.10 蘭寧颱風期間平面流場截圖



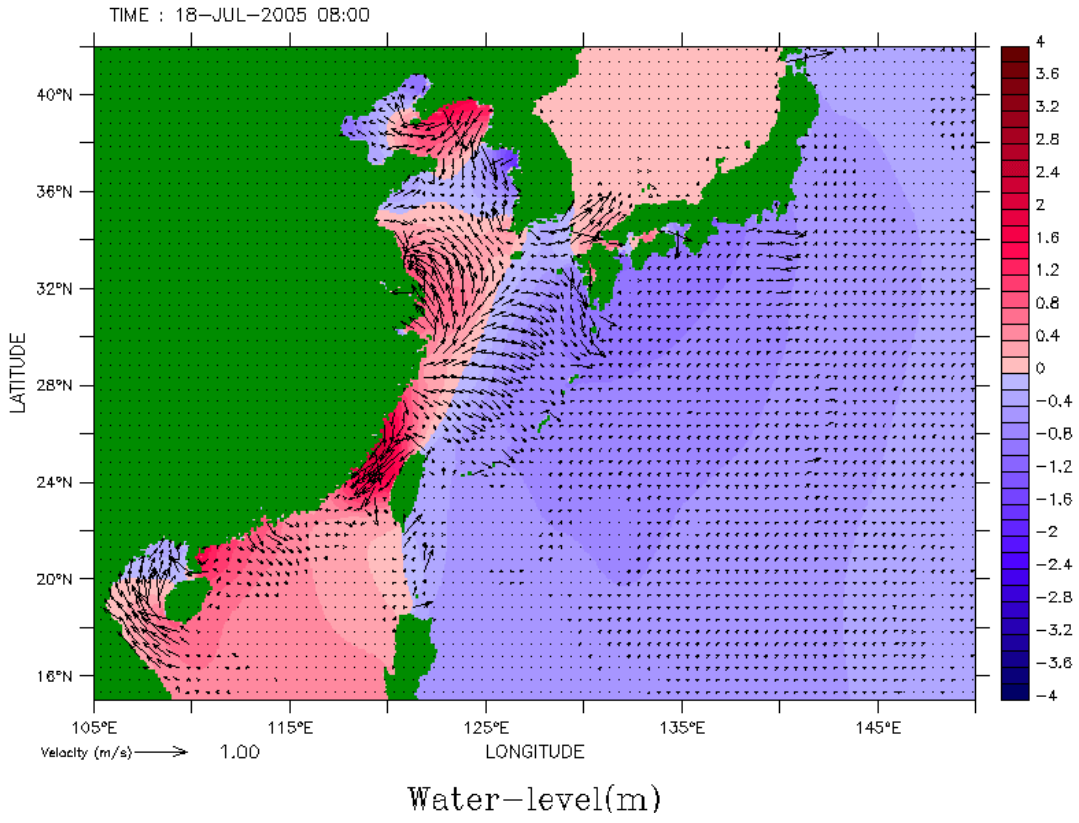
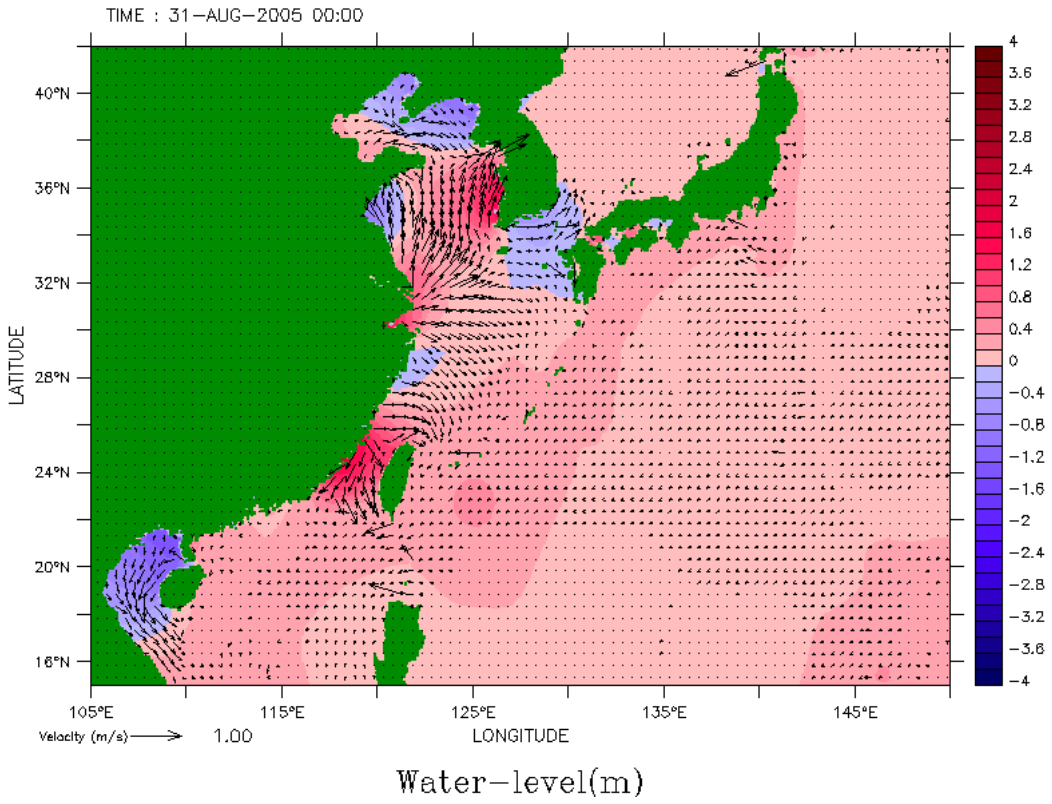


圖 4.2.1.11 海棠颱風期間平面流場截圖



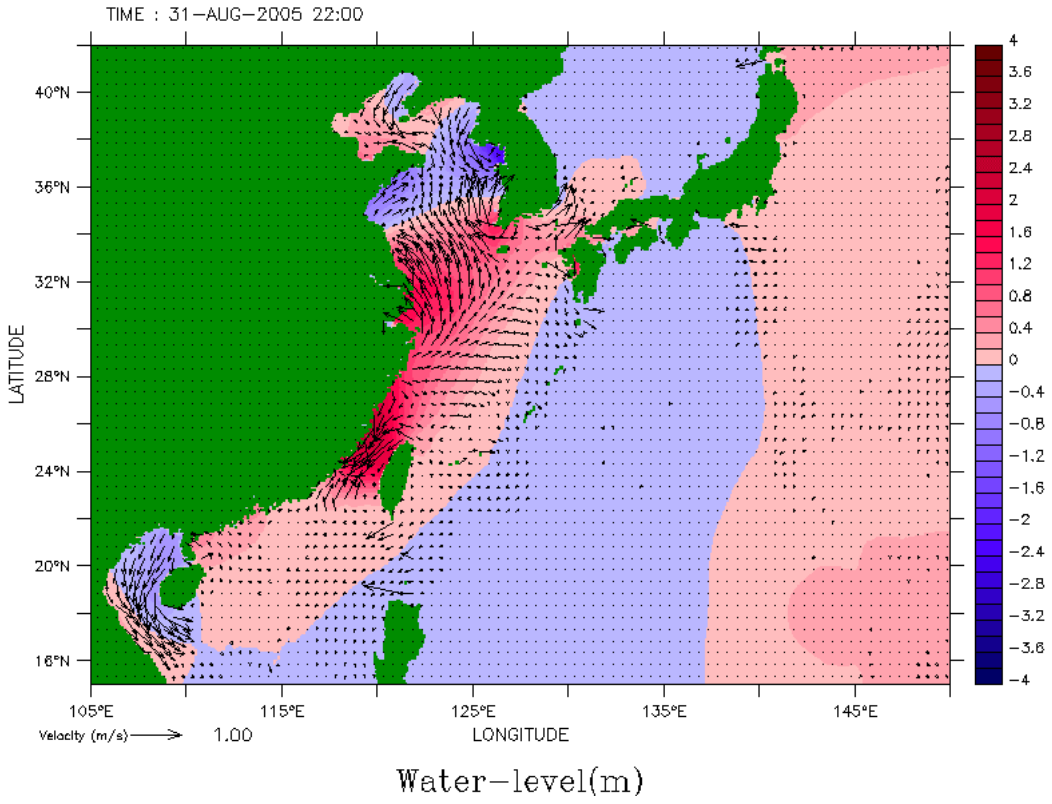


圖 4.2.1.12 泰利颱風期間平面流場截圖

$$\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial t}(Jv)+\frac{1}{JR\cos\phi}\frac{\partial}{\partial\lambda}(Juv)+\frac{1}{JR\cos\phi}\frac{\partial}{\partial\phi}\left(J\cos\phi u^2\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\widetilde{x_3}}\left(J\widetilde{w}u\right)=$$

$$-\frac{\tan\phi}{R}u^2-2\Omega\sin\phi u-\frac{1}{R}\left(g\frac{\partial\varsigma}{\partial\phi}-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial\rho_a}{\partial\phi}\right)+Q_\phi+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\widetilde{x_3}}\left(\frac{\nu_T}{J}\frac{\partial v}{\partial\widetilde{x_3}}\right)+ \qquad (4.2.2.2)$$

$$\frac{1}{JR\cos\phi}\frac{\partial}{\partial\lambda}\left(J\tau_{\lambda\phi}\right)+\frac{1}{JR\cos\phi}\frac{\partial}{\partial\phi}\left(J\cos\phi\tau_{\phi\phi}\right)+\frac{\tan\phi}{R}\tau_{\lambda\lambda}$$

連續方程式

$$\frac{1}{J}\frac{\partial J}{\partial t}+\frac{1}{JR\cos\phi}\frac{\partial}{\partial\lambda}(Ju)+\frac{1}{JR\cos\phi}\frac{\partial}{\partial\phi}\left(J\cos\phi v\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\widetilde{x_3}}\left(J\widetilde{w}\right)=0 \qquad (4.2.2.3)$$

壓力平衡方程式

$$\frac{1}{J}\frac{\partial q_d}{\partial\widetilde{x_3}}=-g\left(\frac{\rho-\rho_0}{\rho_0}\right) \qquad (4.2.2.4)$$

其中

$$Q_\lambda=-\frac{1}{JR\cos\phi}\left\{\frac{\partial}{\partial\lambda}(Jq_d)-\frac{\partial}{\partial\widetilde{x_3}}\left[q_d\left(\sigma\frac{\partial H}{\partial\lambda}-\frac{\partial h}{\partial\lambda}\right)\right]\right\}$$

$$Q_\phi=-\frac{1}{JR}\left\{\frac{\partial}{\partial\phi}(Jq_d)-\frac{\partial}{\partial\widetilde{x_3}}\left[q_d\left(\sigma\frac{\partial H}{\partial\phi}-\frac{\partial h}{\partial\phi}\right)\right]\right\}$$

$$\tau_{\lambda\lambda}=2\nu_H\left(\frac{1}{R\cos\phi}\frac{\partial u}{\partial\lambda}-\frac{\tan\phi}{R}v\right)$$

$$\tau_{\phi\lambda}=\tau_{\lambda\phi}=\nu_H\left(\frac{1}{R}\frac{\partial u}{\partial\phi}+\frac{\tan\phi}{R}u+\frac{1}{R\cos\phi}\frac{\partial v}{\partial\lambda}\right)$$

$$\tau_{\phi\phi}=2\nu_H\frac{1}{R}\frac{\partial v}{\partial\phi}$$

三維海流模式計算，僅由潮汐及風場驅動，並未加入洋流等其它的外部流場之邊界條件輸入。

圖 4.2.2.1 至圖 4.2.2.3 為泰利颱風期間三維流場各層分佈截圖，模式垂直分層為 10 層，採用深度平均分層。由於計算時間相當長，因此採用 10 分的地形作為模式計算格點縮短計算時間。圖上可明顯看出表層流速由於受到颱風的影響，因此流速較中層及底層來的大；而在海峽內部由於深度較淺，因此流速大小幾乎相同，惟表面受到颱風風場影響，流向與底層有所差異。

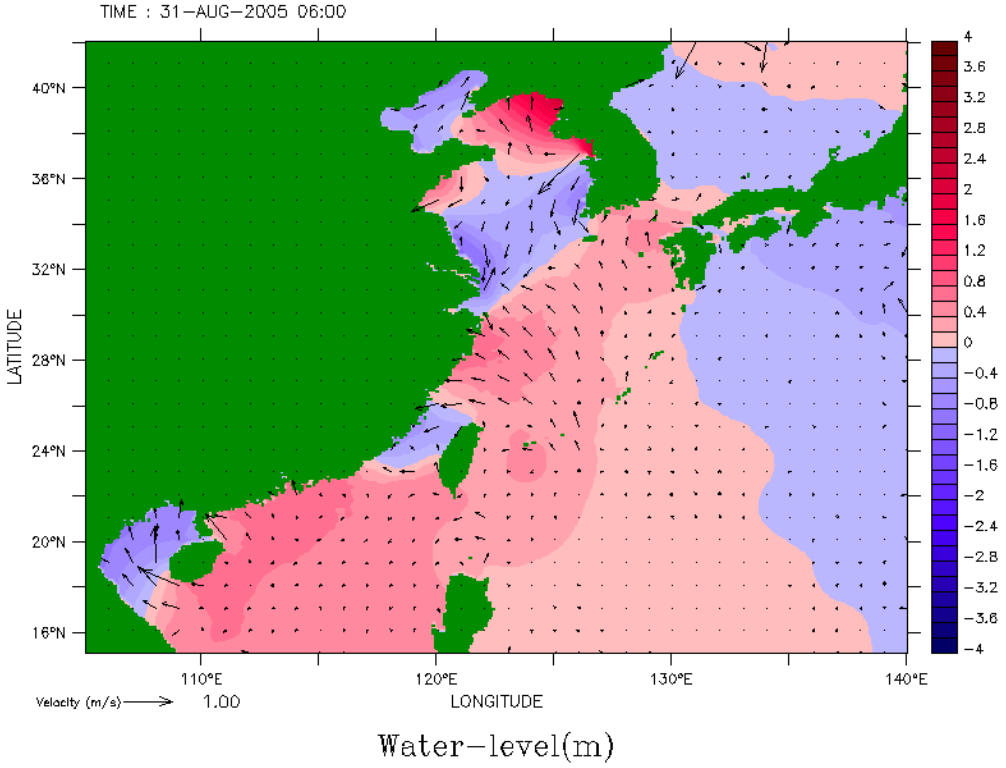


圖 4.2.2.1 泰利颱風期間表層流場分佈

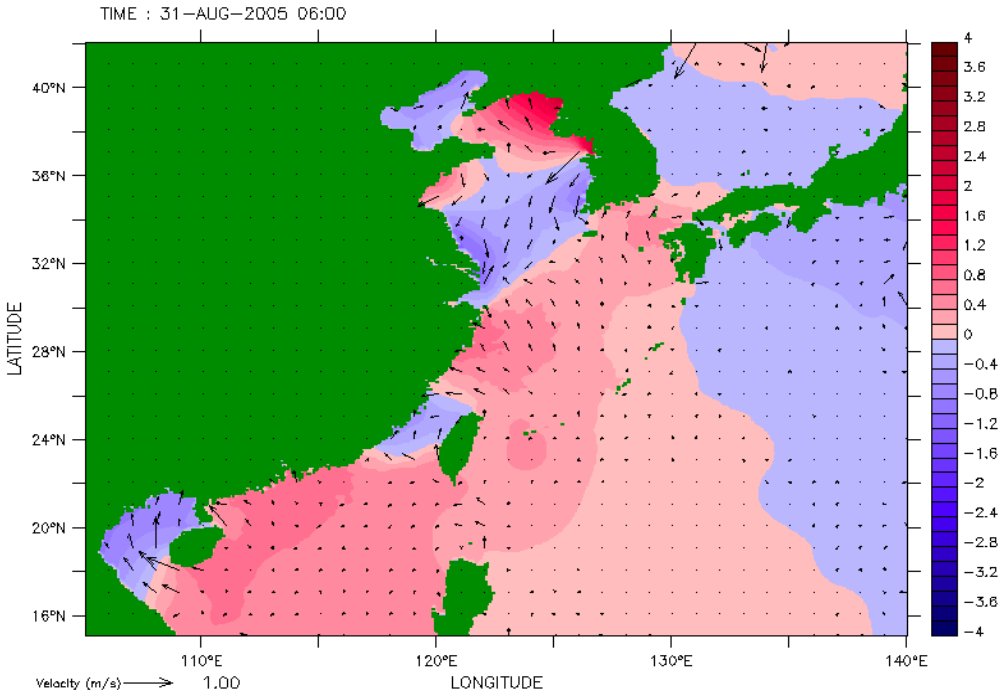


圖 4.2.2.2 泰利颱風期間中層流速分佈

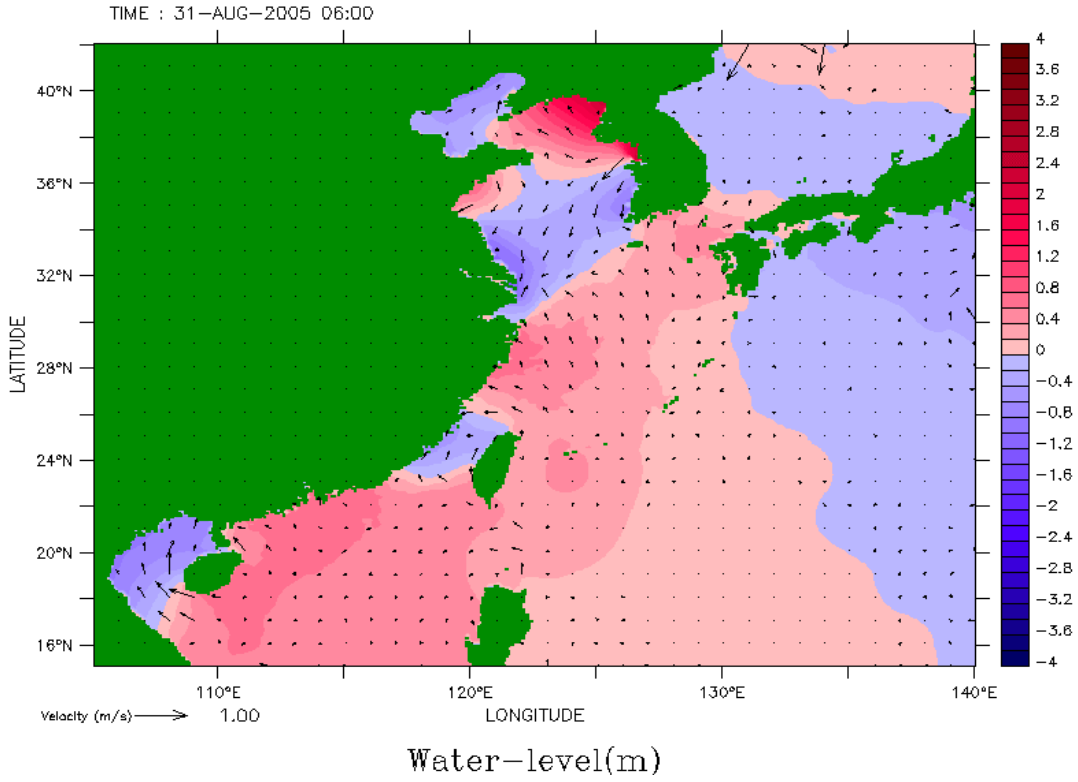


圖 4.2.2.3 泰利颱風期間底層流速分佈

4.3 近域水動力模式

基於數值模擬系統中全域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(水動力模式)，以承接全域預報模式之模擬結果(水位及流場等)，進而模擬臺灣近岸海域之潮流流場。

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)需符合線上作業以及災害防治與預警之要求。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)建立近岸區域潮流數值模擬系統，並援引全域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。

4.3.1 全域水動力模式

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：

$$H_{,t} + q_{x,x} + q_{y,y} = q_i \tag{4.3.}$$

$$q_{x,t} + (\bar{u}q_x)_{,x} + (\bar{u}q_y)_{,y} - fq_y + (F_P - F_{xx})_{,x} - F_{yx,y} - \frac{1}{\rho_0}(\tau_y^s - \tau_x^b)$$

$$- \bar{m}_x - \frac{1}{\rho_0}(P^s H_{,x} + \Delta\rho g H h_{,x}) - g\eta h_{,y} = 0 \tag{4.3.2}$$

$$q_{y,t} + (\bar{u}q_x)_{,x} + (\bar{u}q_y)_{,y} - fq_x + (F_P - F_{yy})_{,y} - F_{xy,x} - \frac{1}{\rho_0}(\tau_y^s - \tau_y^b)$$

$$- \bar{m}_y - \frac{1}{\rho_0}(P^s H_{,y} + \Delta\rho g H h_{,y}) - g\eta h_{,y} = 0 \tag{4..3.3}$$

其中

$$F_p = gh\eta + \frac{1}{2}g\eta^2 + \frac{1}{2}\frac{\Delta\rho}{\rho_0}gH^2 + \frac{P^s}{\rho_0}H \tag{4.3.4}$$

$$F_{ij} = E_{ij}(q_{j,i} + q_{i,j}) \qquad i,j = x,y \tag{4.3.5}$$

$$\tau_i^b = C_{f\rho}(q_x^2 + q_y^2)^{1/2}\frac{q_i}{H^2} \qquad i = x,y \tag{4.3.6}$$

$$\tau^s = \rho_a C_d U_{10}^2 \tag{4.3.7}$$

$$H = \int_{-h}^{\eta} d_z = h + \eta \tag{4.3.8}$$

$$\bar{u} = \frac{1}{(h+\eta)}\int_{-h}^{\eta} u d_z \tag{4.3.9}$$

$$\bar{v} = \frac{1}{(h+\eta)}\int_{-h}^{\eta} v d_z \tag{4.3.10}$$

$$q_x = \int_{-h}^{\eta} u d_z = \bar{u}H \tag{4.3.11}$$

$$q_y = \int_{-h}^{\eta} v d_z = \bar{v}H \tag{4.3.12}$$

此處

η＝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，ρ_0＝流體平均密度，$\Delta\rho$＝流體密度差，ρ_a＝空氣密度；τ_x^b、τ_y^b＝x及y方向之底床剪應力；

τ_x^s、τ_y^s＝x及y方向之表面剪應力；

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

n＝曼寧係數；

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

E_{ij}＝渦動黏滯係數(Eddy coefficient)；

f ＝柯氏力參數$= 2\omega \sin\phi$，

ω＝地球自轉之位相速度，ϕ＝計算領域所在位置之緯度；

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。

4.3.2 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4.3.2.1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4.3.2.2至圖4.3.2.5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，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4.3.2.6至圖4.3.2.9所示。

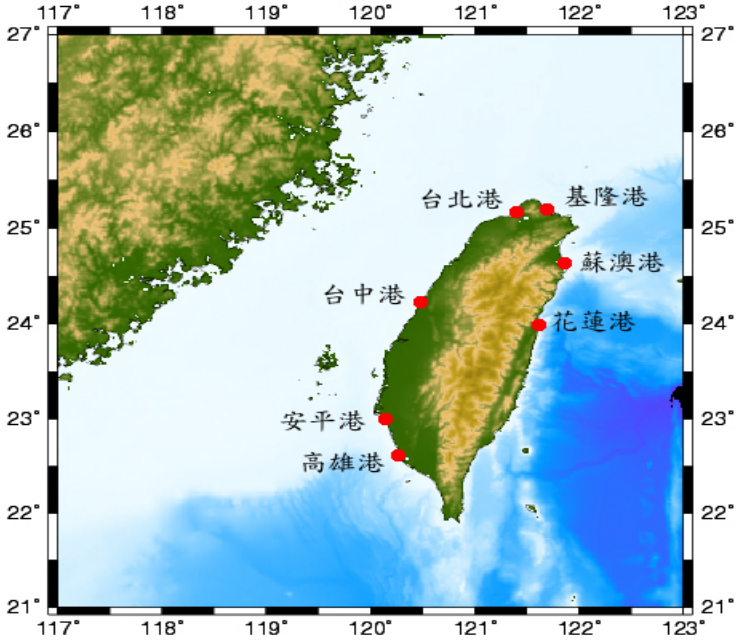


圖4.3.2.1　國內七大港口位置示意圖

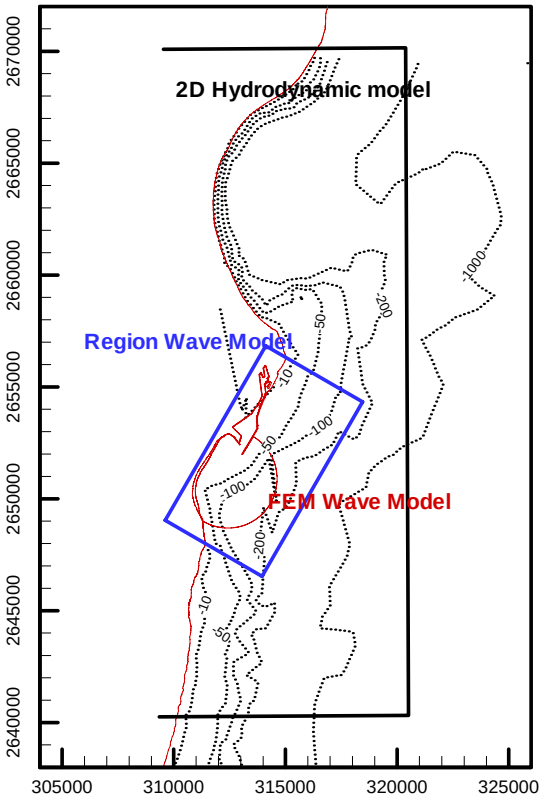


圖4.3.2.2　花蓮港近岸潮流、區域波浪及港域波浪模式之模擬範圍

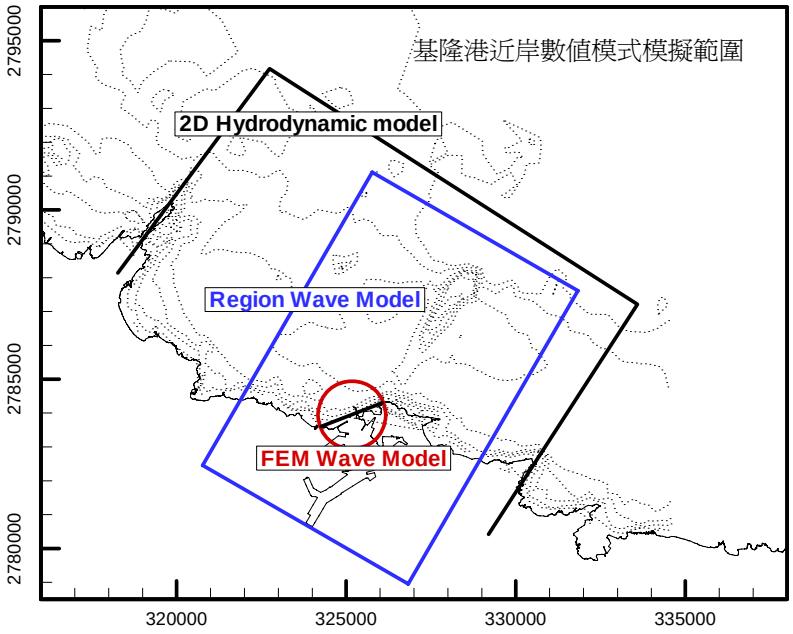


圖4.3.2.3　基隆港近岸潮流、區域波浪及港域波浪模式之模擬範圍

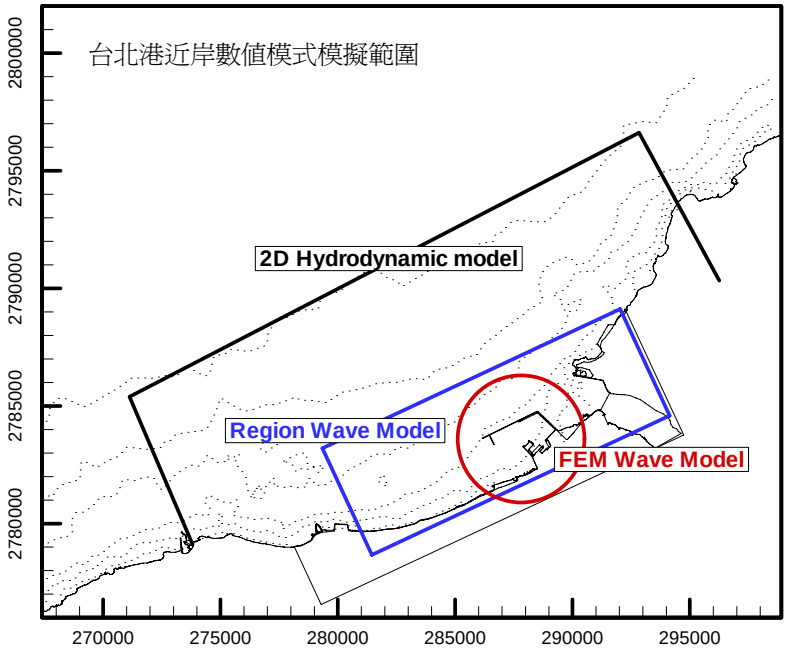


圖4.3.2.4　台北港近岸潮流、區域波浪及港域波浪模式之模擬範圍

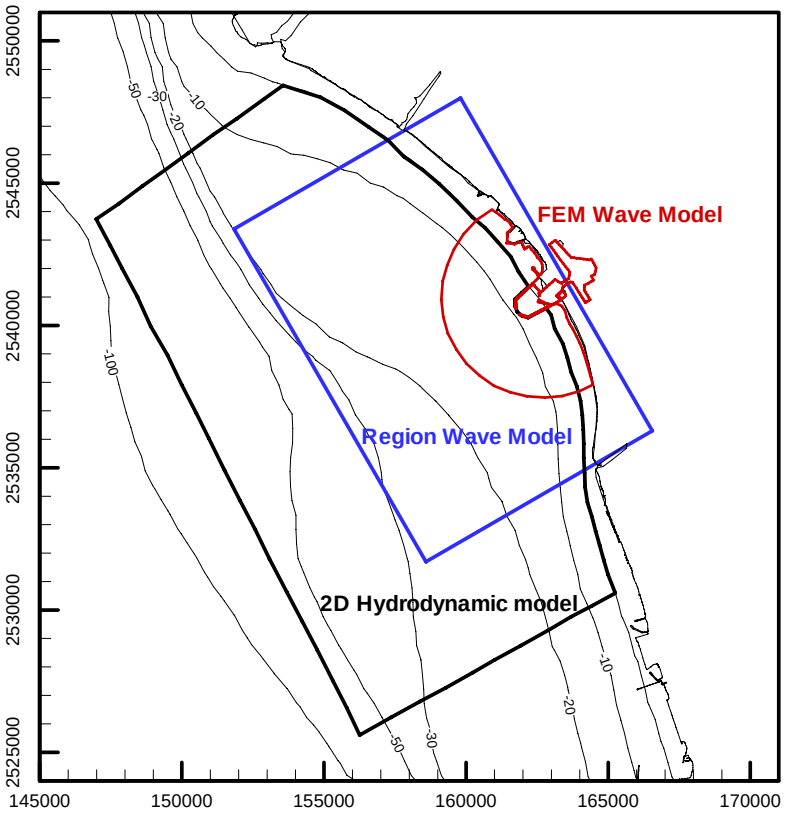


圖4.3.2.5　安平港近岸潮流、區域波浪及近域波浪模式之模擬範圍

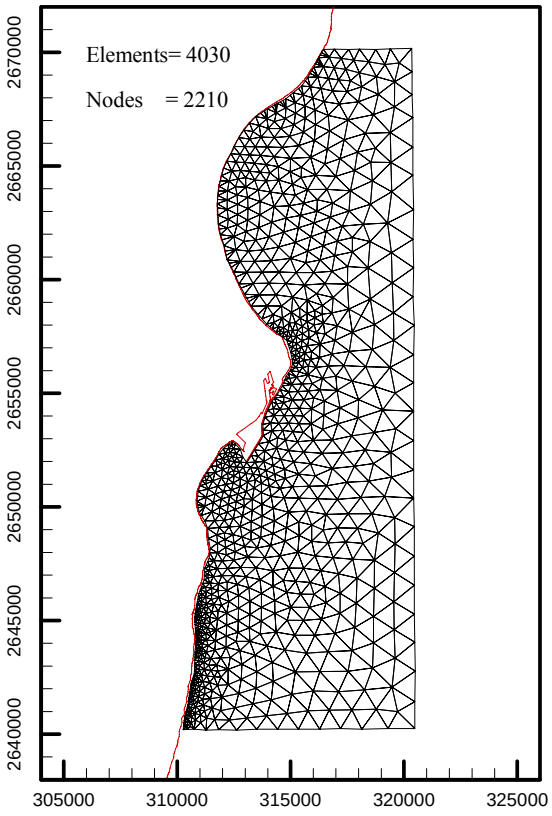


圖4.3.2.6 花蓮港近岸潮流流場模擬之數值計算網格

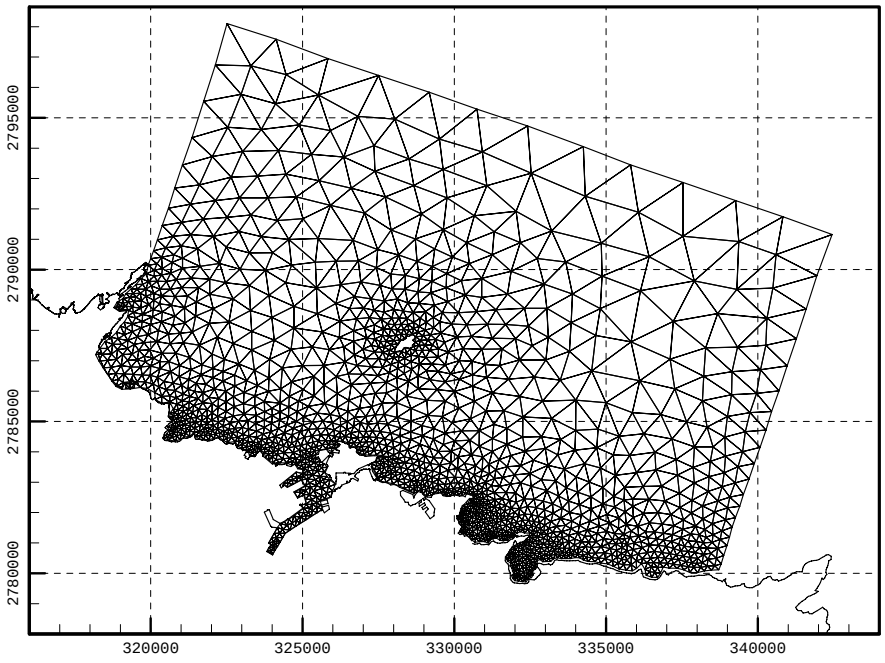


圖4.3.2.7 基隆港近岸潮流流場模擬之數值計算網格

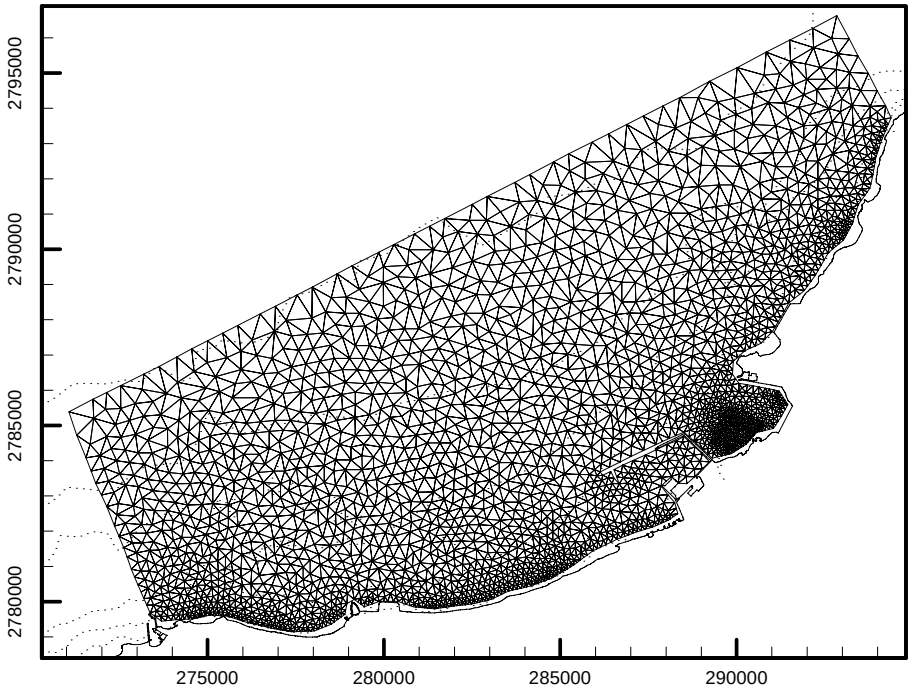


圖4.3.2.8 台北港近岸潮流流場模擬之數值計算網格

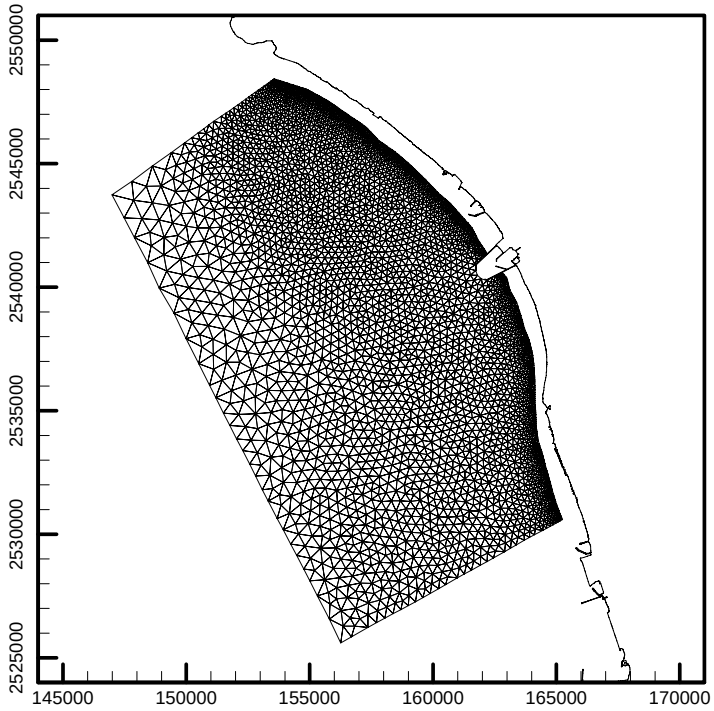


圖4.3.2.9 安平港近岸潮流流場模擬之數值計算網格

4.3.3 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。

(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4.3.3.1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4.3.3.2所示，做為本計畫安平港近岸潮流數值模擬之參考依據。圖4.3.3.3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4.3.3.1所示，其中全日潮O1及K1之振幅分別為0.203m及0.214m，半日潮M2及S2之振幅分別為0.249m及0.061m；依潮汐型態判別參數D = (O1+K1)/(M2+S2) = 1.345 ≥ 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4.3.3.4至圖4.3.3.7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O1、P1、K1、N2、M2及S2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O1、P1、K1、N2、M2及S2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4.3.3.8及圖4.3.3.9所示分別為安平港及高雄港O1、P1、K1、N2、M2及S2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4.3.3.10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4.3.3.11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4.3.3.12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4.3.3.13及圖4.3.3.14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O1、P1、K1、N2、M2及S2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4.3.3.15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100m2/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4.3.3.16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110m2/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4.3.3.17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；外海觀測樁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4.3.3.18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4.3.3.19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 4.3.3.1　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							

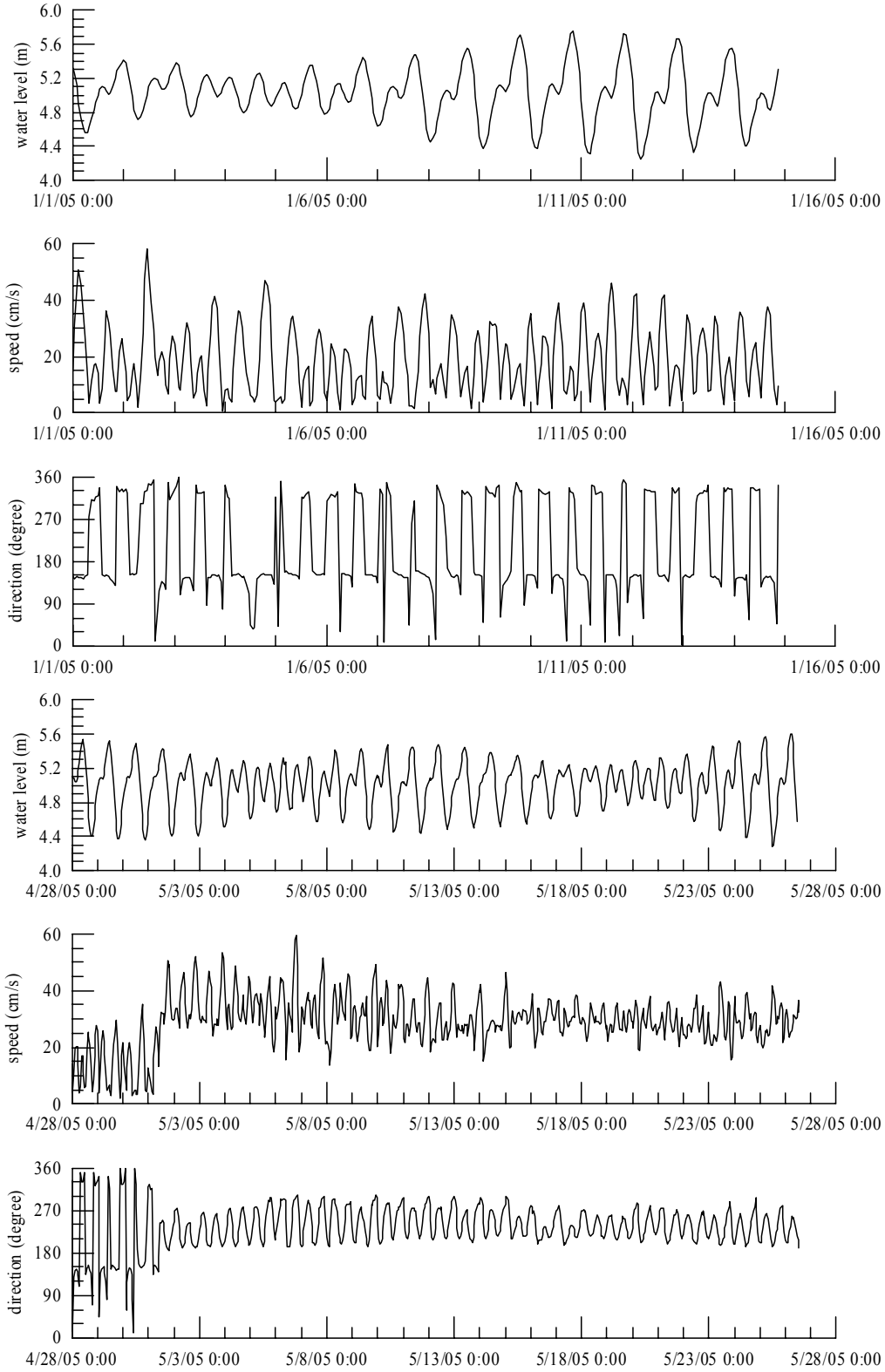


圖4.3.3.1　安平港外海潮汐及潮流觀測記錄時序列圖

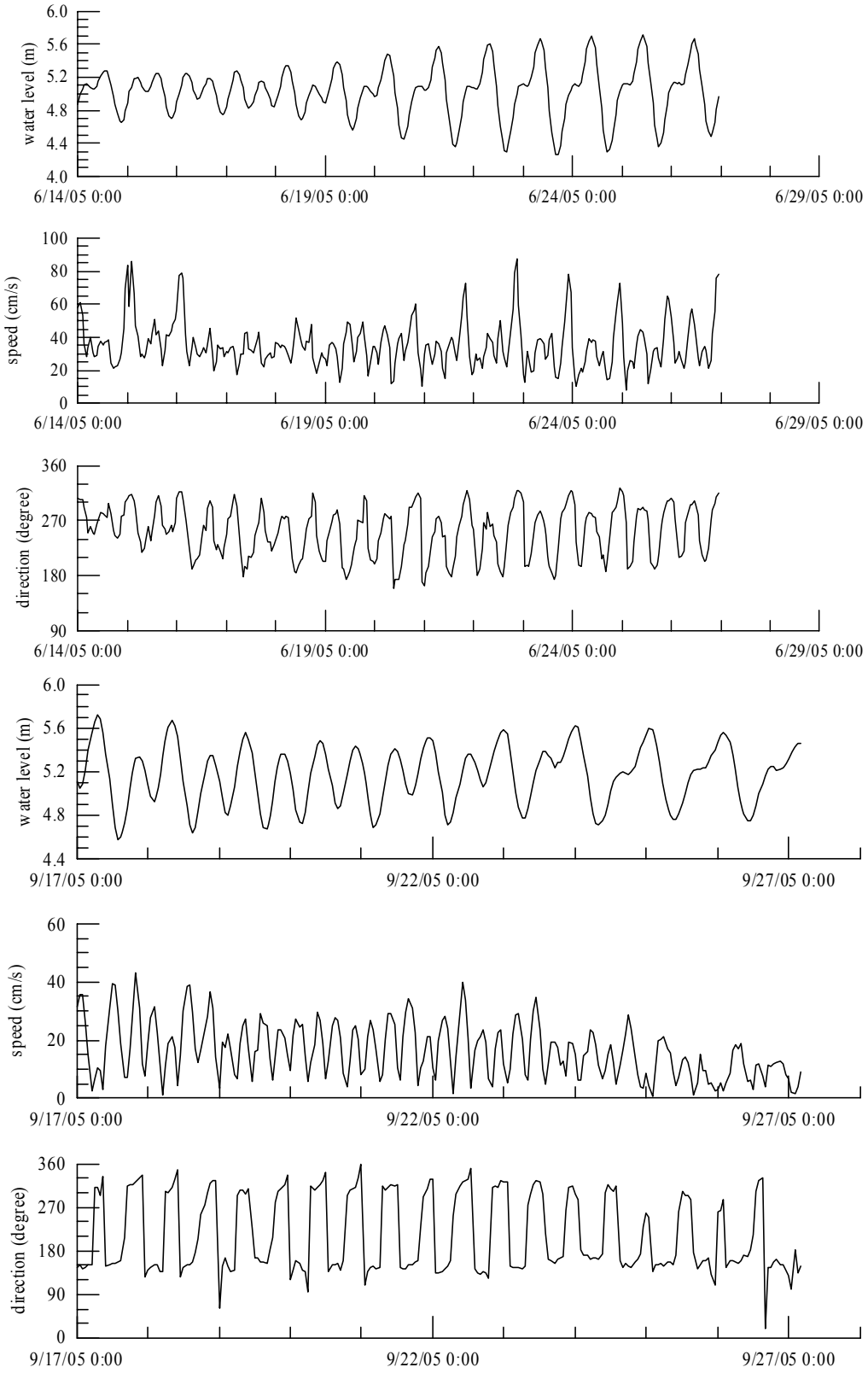


圖4.3.3.1　(續1)安平港外海潮汐及潮流觀測記錄時序列圖

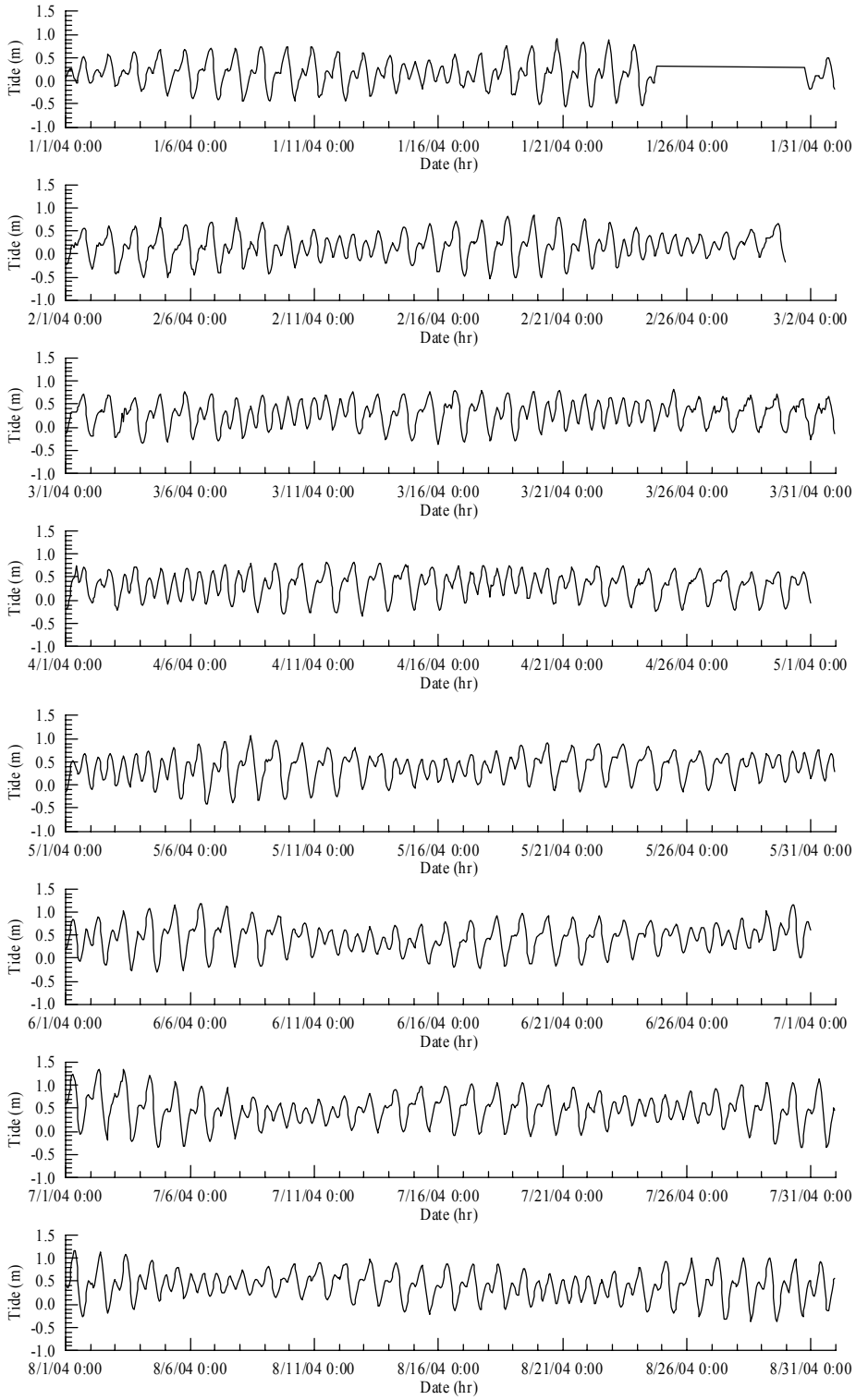


圖4.3.3.2　安平港潮汐觀測記錄時序列圖

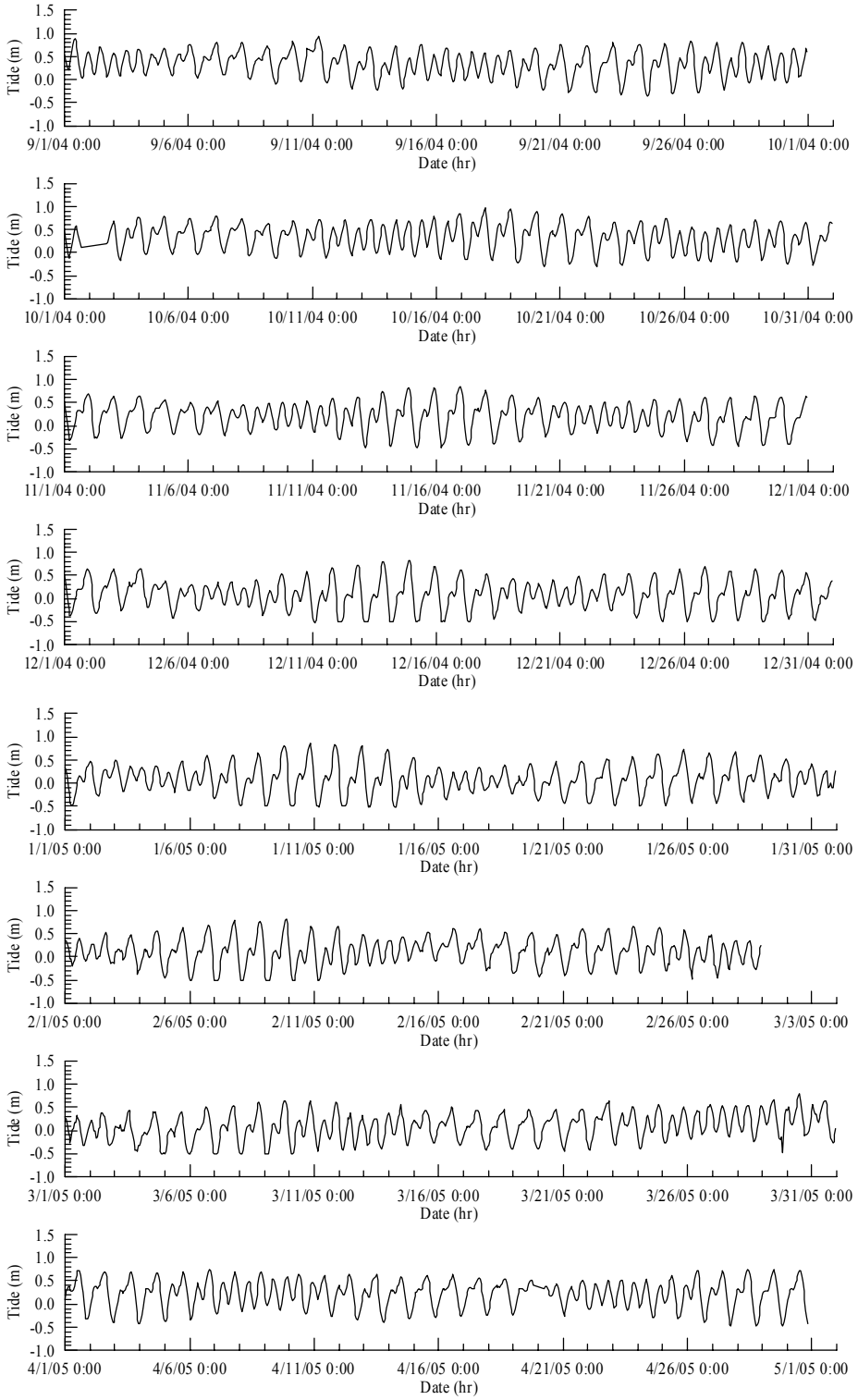
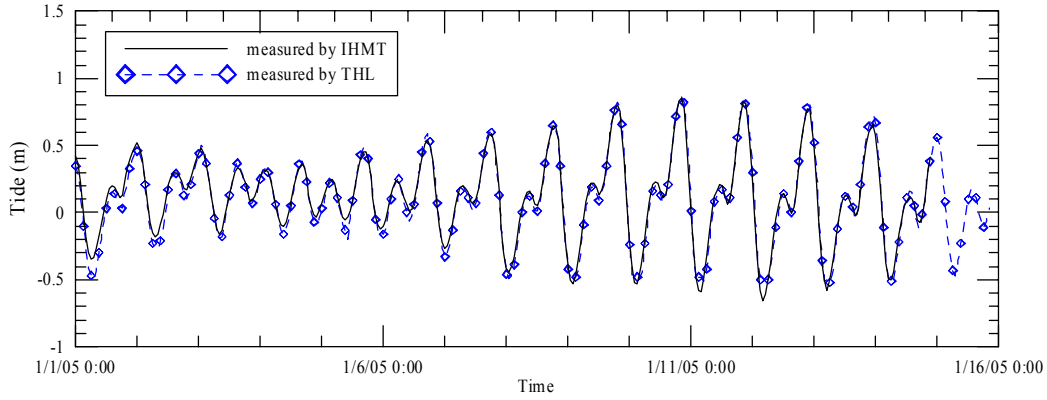
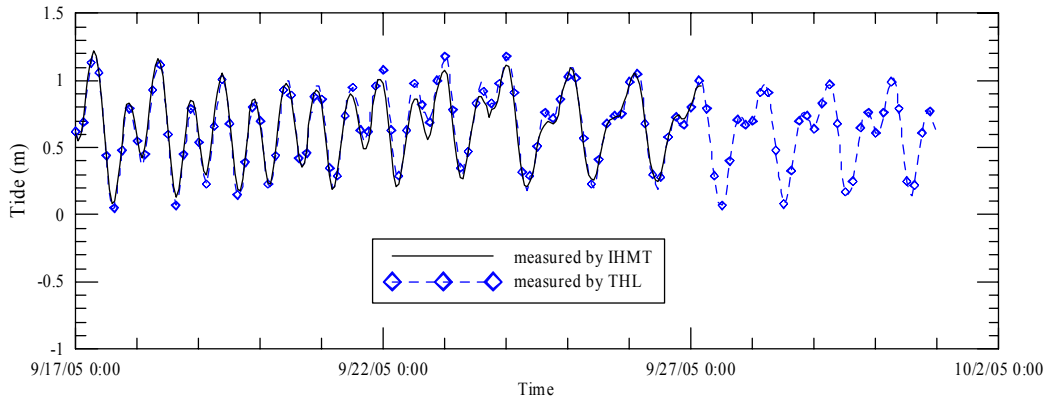


圖4.3.3.2 (續1) 安平港潮汐觀測記錄時序列圖



(a)



(b)

圖4.3.3.3 安平港港內及港外潮汐觀測記錄之比較

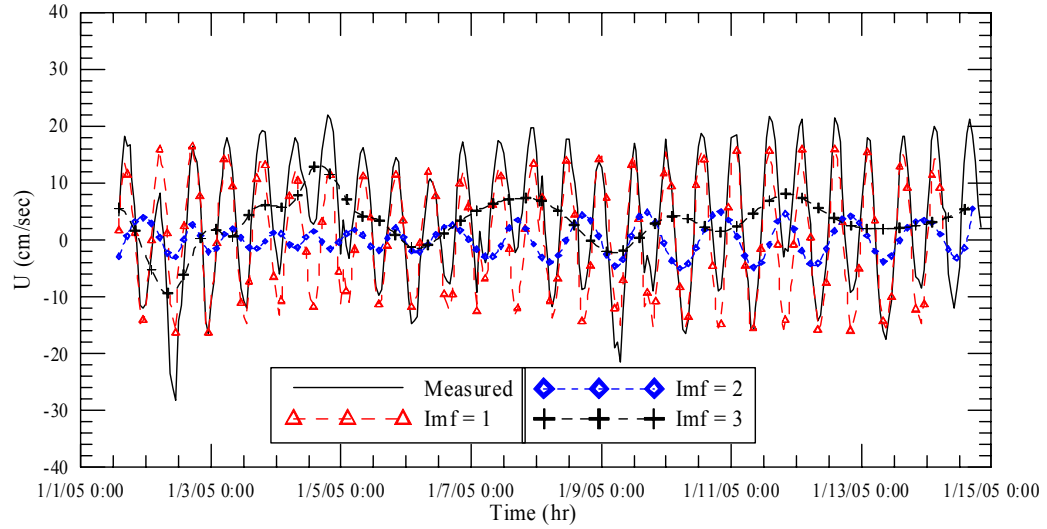


圖4.3.3.4 安平港外海東西向流速之EMD分析結果

(Imf = 1屬於半日潮，Imf = 2屬於全日潮)

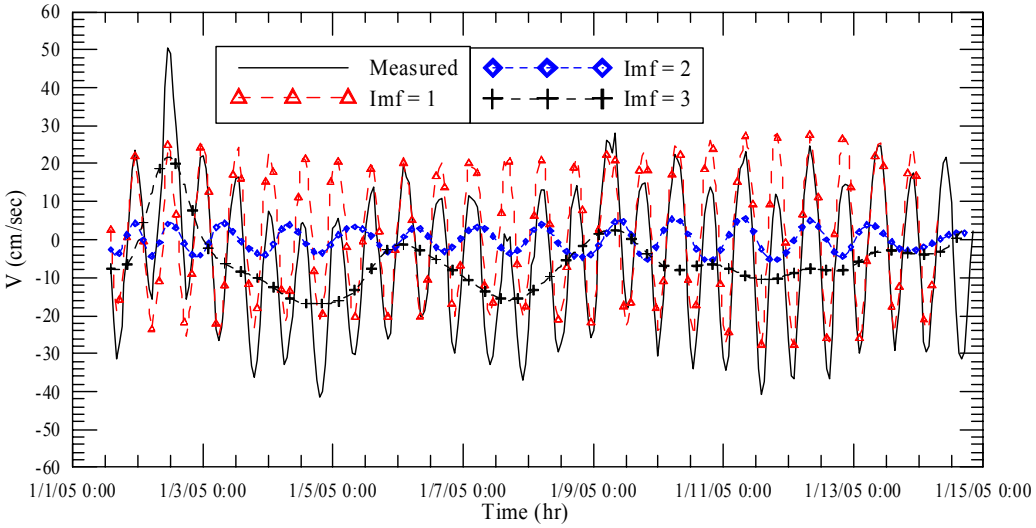


圖4.3.3.5 安平港外海南北向流速之EMD分析結果

(Imf = 1屬於半日潮，Imf = 2屬於全日潮)

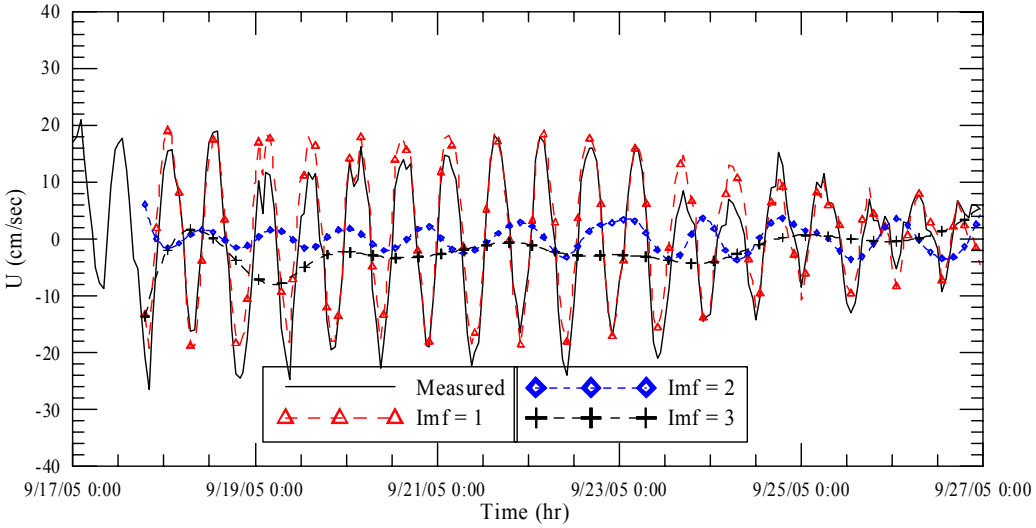


圖4.3.3.6 安平港外海東西向流速之EMD分析結果

(Imf = 1屬於半日潮，Imf = 2屬於全日潮)

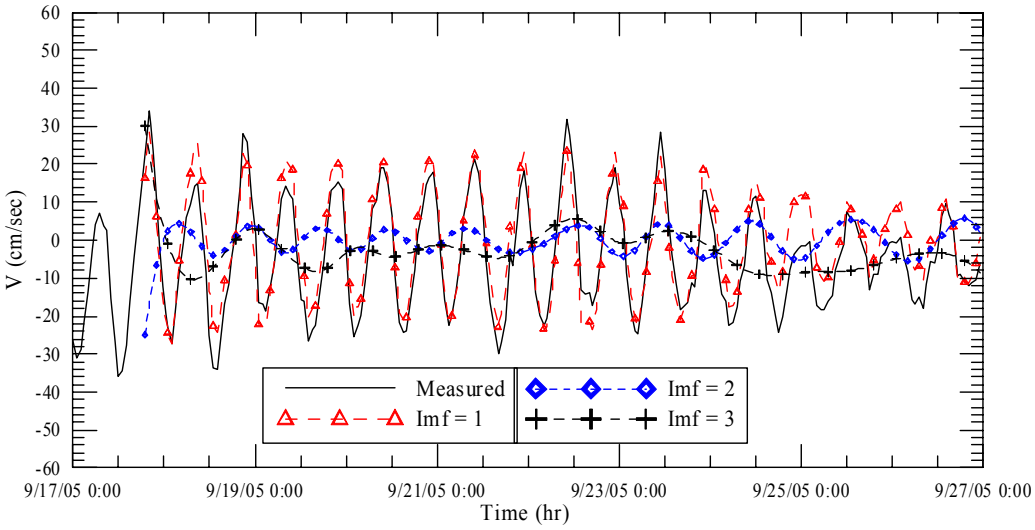


圖4.3.3.7 安平港外海南北向流速之EMD分析結果

(Imf = 1屬於半日潮，Imf = 2屬於全日潮)

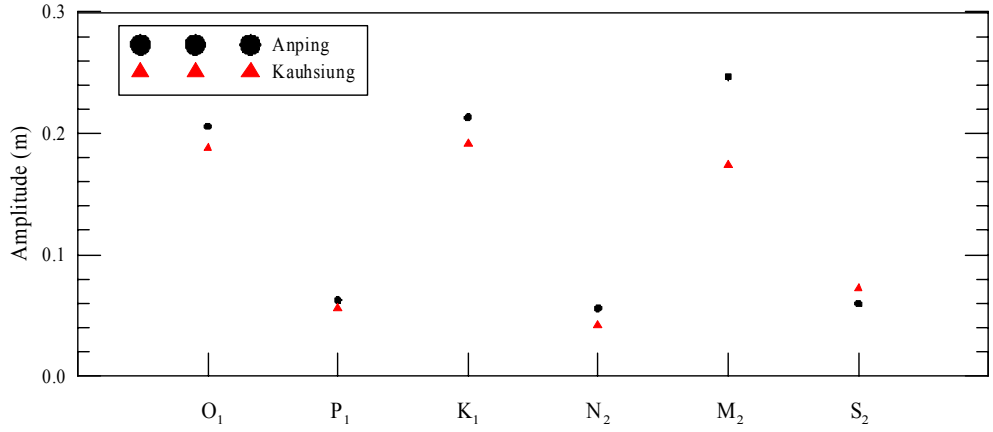


圖4.3.3.8 安平港及高雄港主要分潮振幅之比較

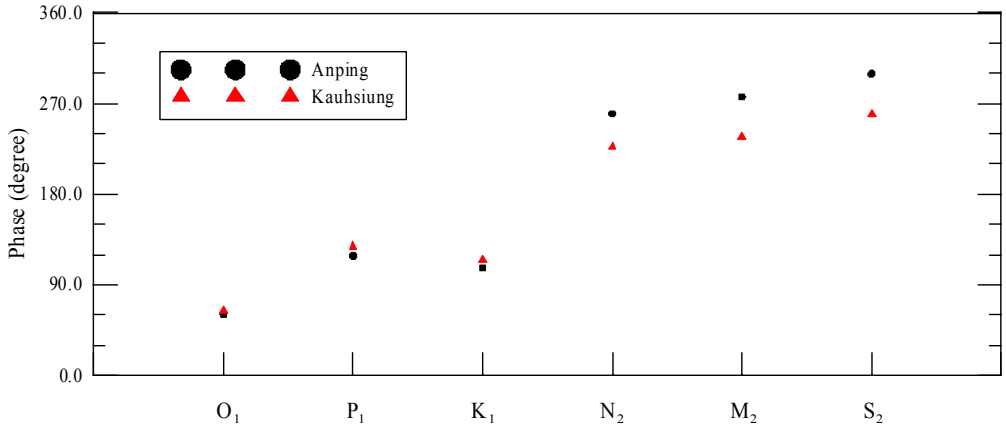


圖4.3.3.9 安平港及高雄港主要分潮相位角之比較

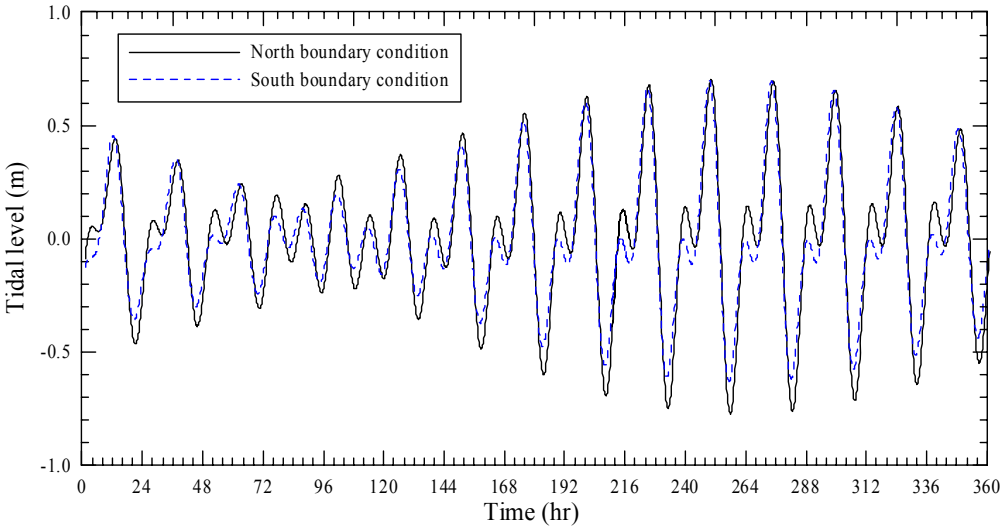


圖4.3.3.10 安平港近岸海域潮流流場模擬之水位邊界條件(方法一)

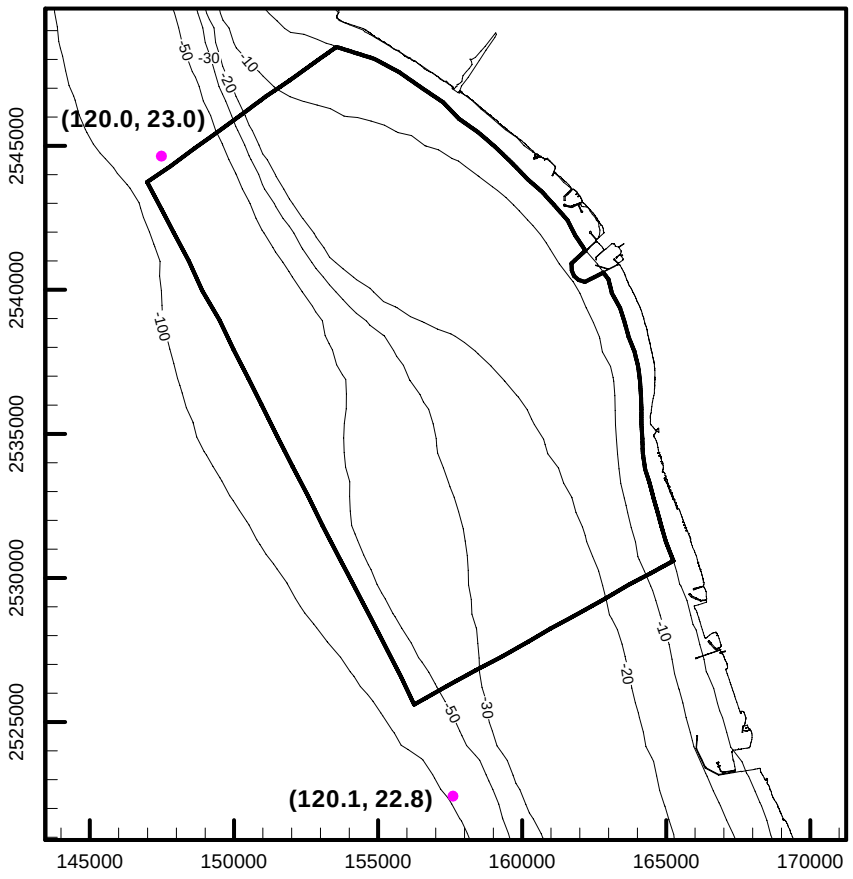


圖4.3.3.11 全域水位模擬結果輸出之點位(圓點)位置圖

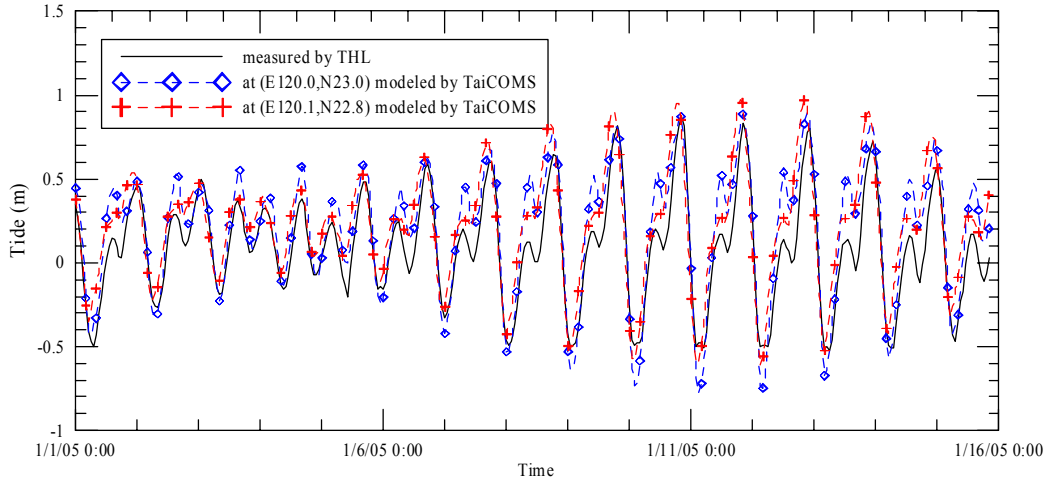


圖4.3.3.12 安平港潮汐觀測記錄與TaiCOMS全域水位模式安平港附近水位輸出結果之比較

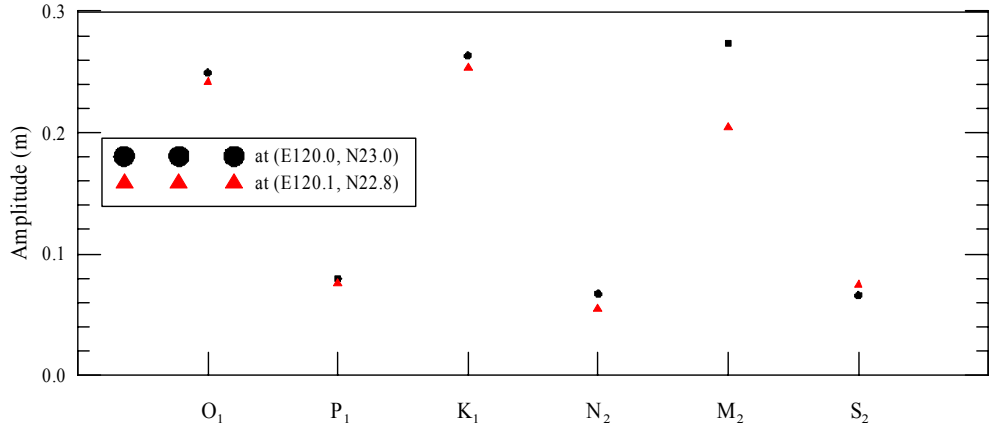


圖4.3.3.13 全域模式水位資料調和分析之主要分潮振幅之比較

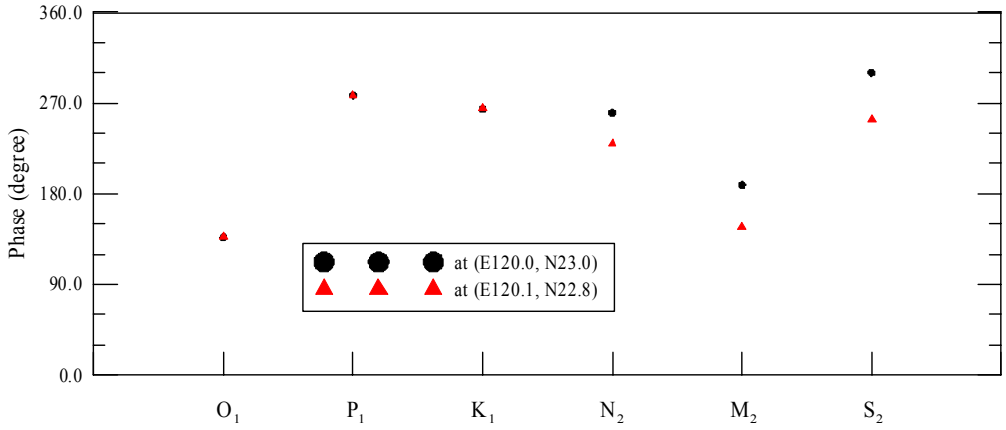


圖4.3.3.14 全域模式水位資料調和分析之主要分潮相位角之比較

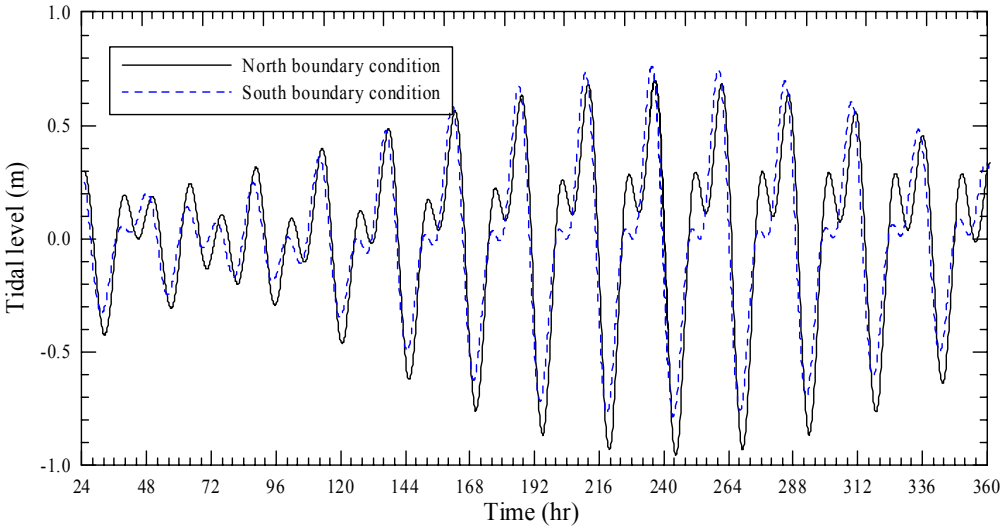


圖4.3.3.15 安平港近岸海域潮流流場模擬之水位邊界條件(方法二)

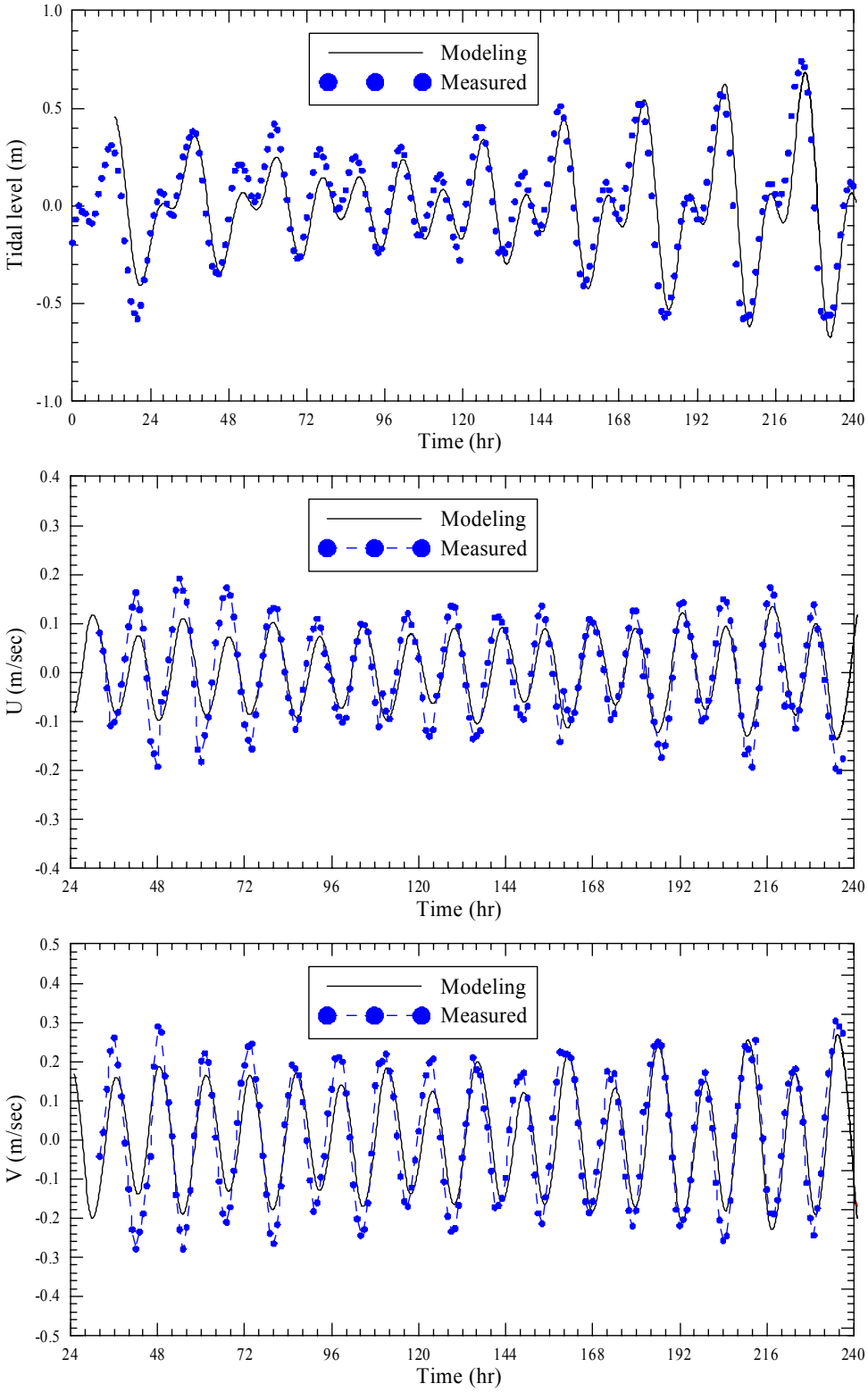


圖4.3.3.16 安平港近岸潮流模擬結果與實測水位、潮流之比較 (2005/01/02~，邊界水位給定方法一)

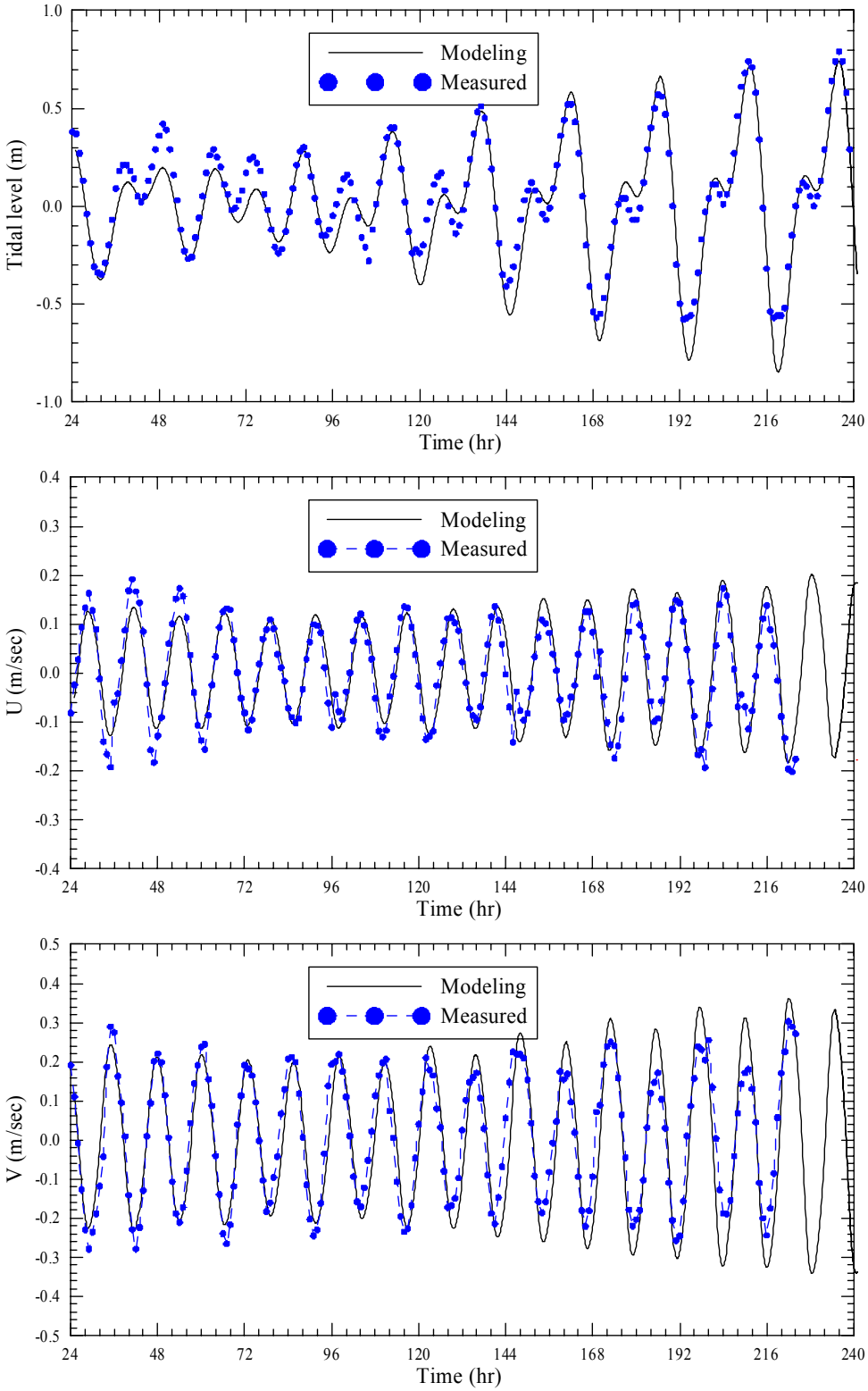


圖4.3.3.17 安平港近岸潮流模擬結果與實測水位、潮流之比較 (2005/01/02~，邊界水位給定方法二)

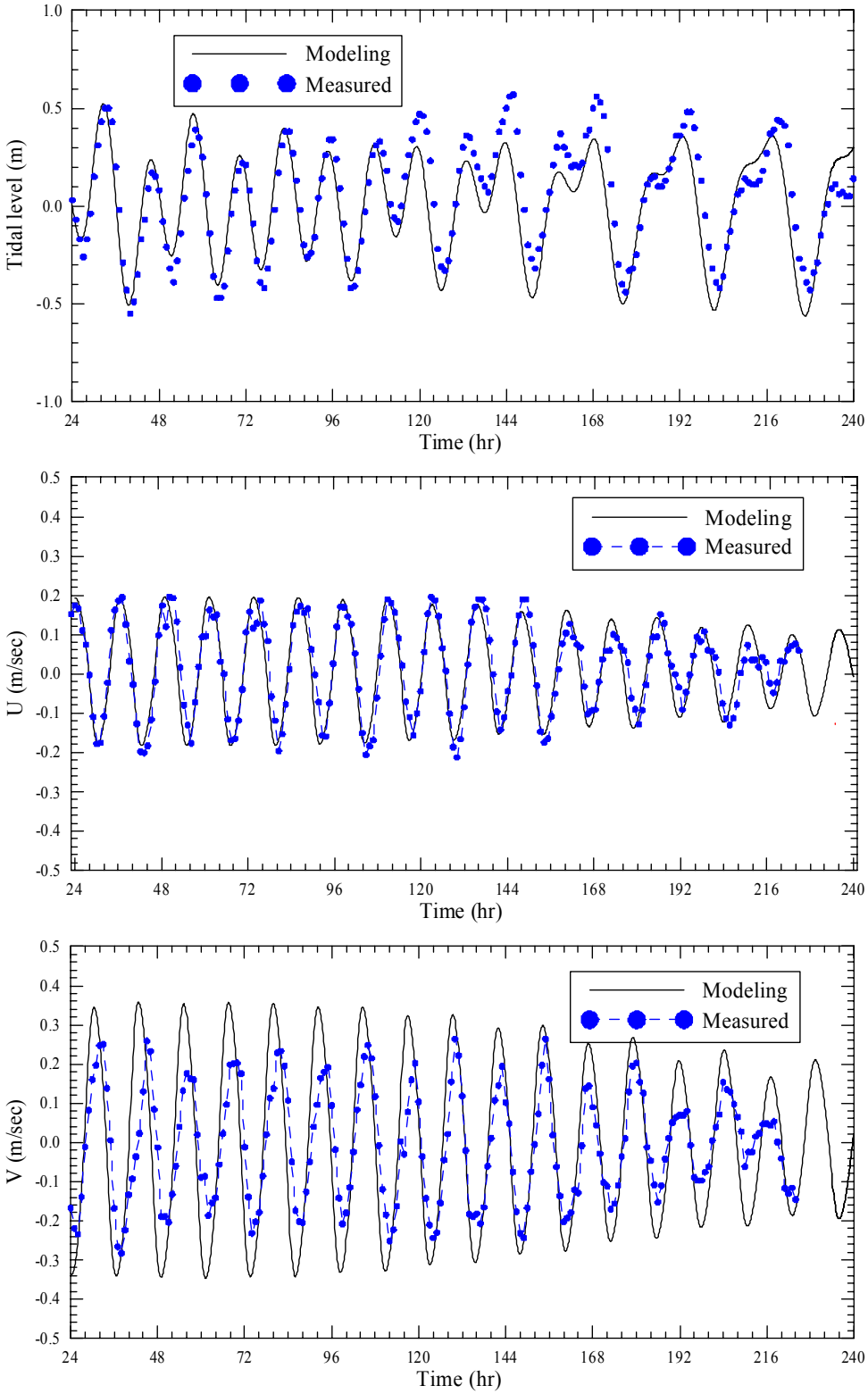


圖4.3.3.18 安平港近岸潮流模擬結果與實測水位、潮流之比較 (2005/09/18~，邊界水位給定方法二)

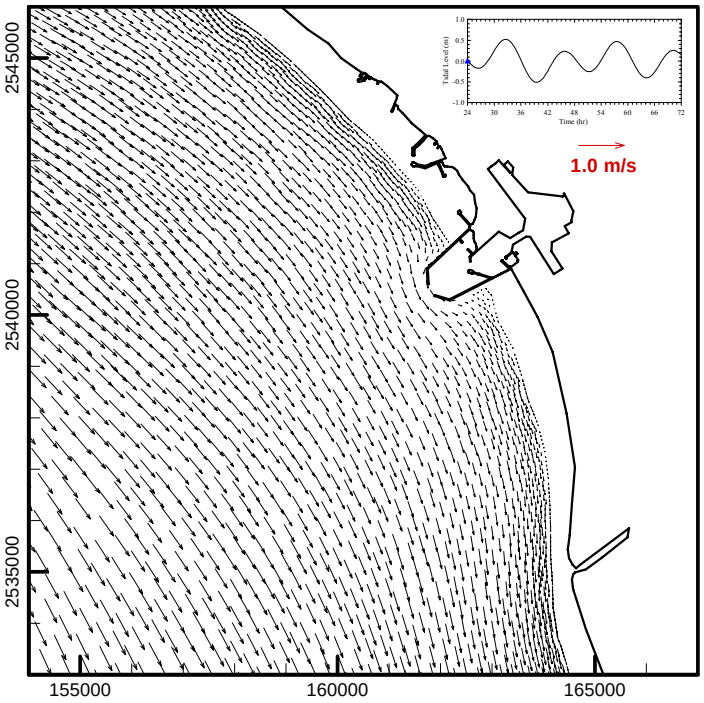


圖4.3.3.19　安平港近岸流場模擬結果

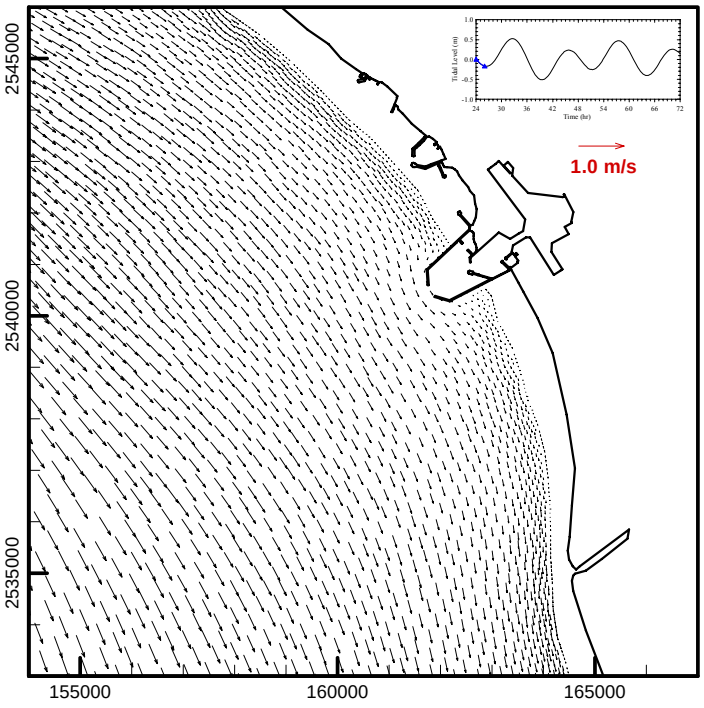


圖4.3.3.19　(續1)安平港近岸流場模擬結果

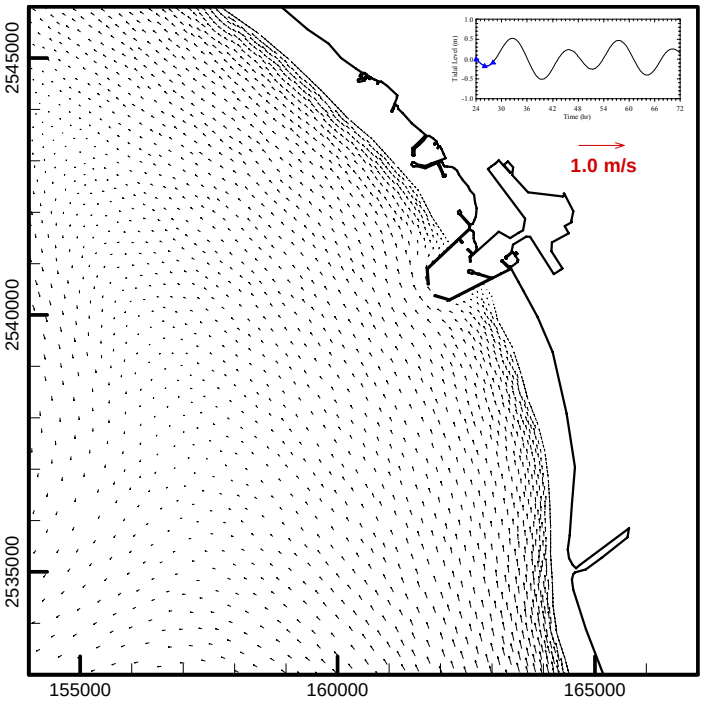


圖4.3.3.19　(續2)安平港近岸流場模擬結果

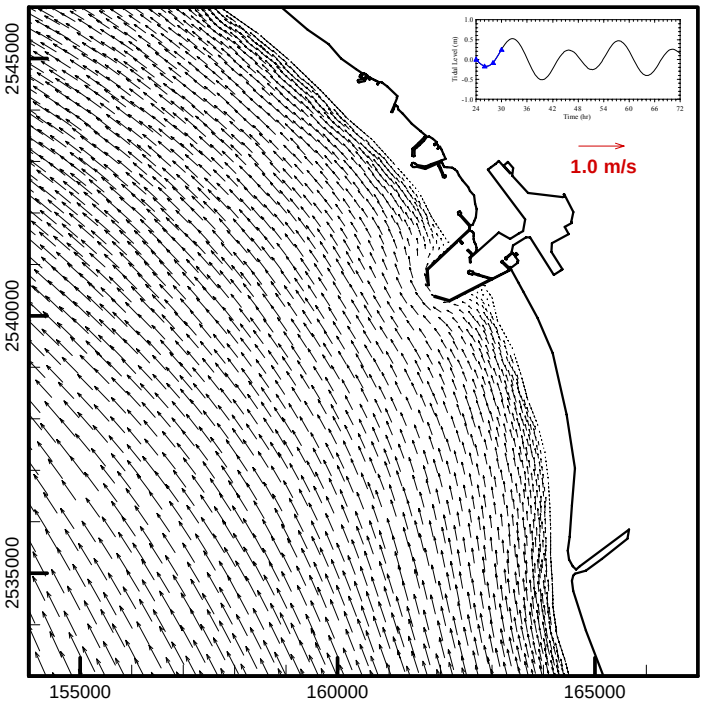


圖4.3.3.19　(續3)安平港近岸流場模擬結果

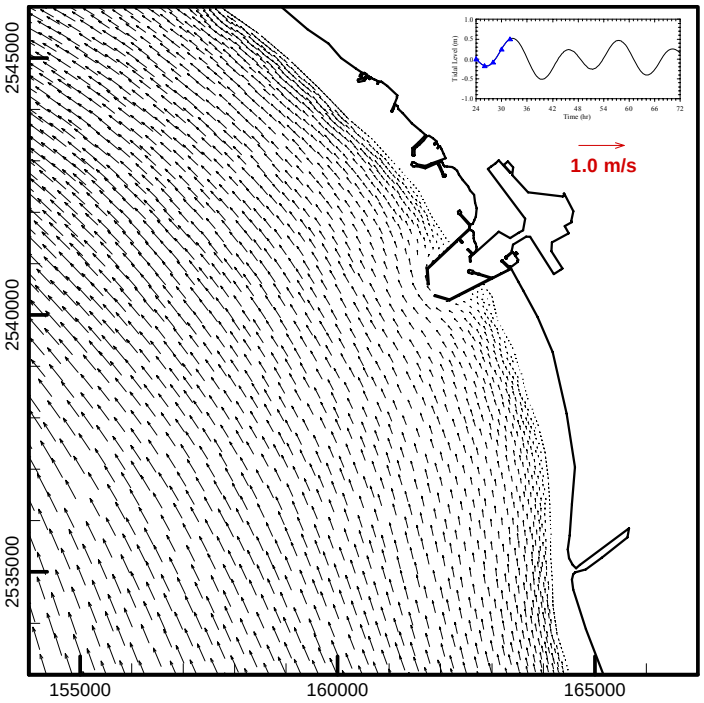


圖4.3.3.19　(續4)安平港近岸流場模擬結果

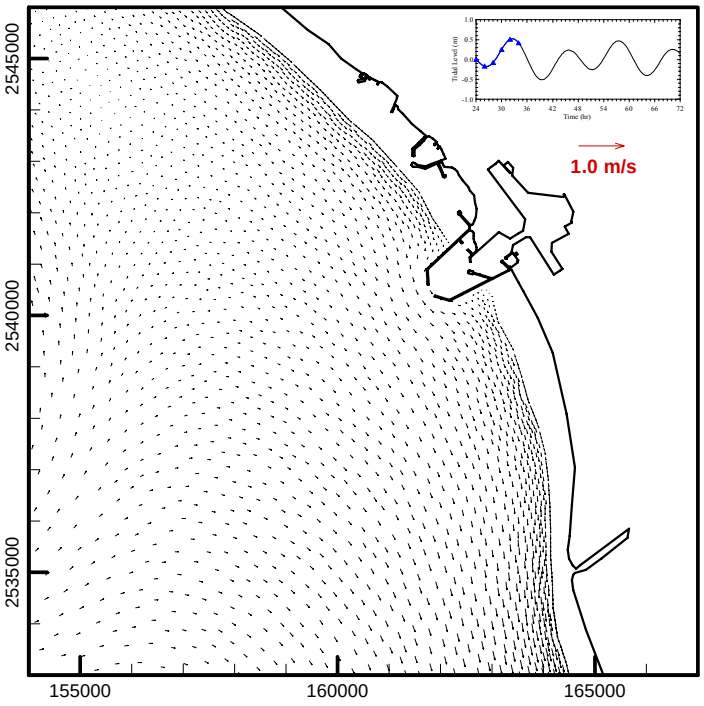


圖4.3.3.19　(續5)安平港近岸流場模擬結果

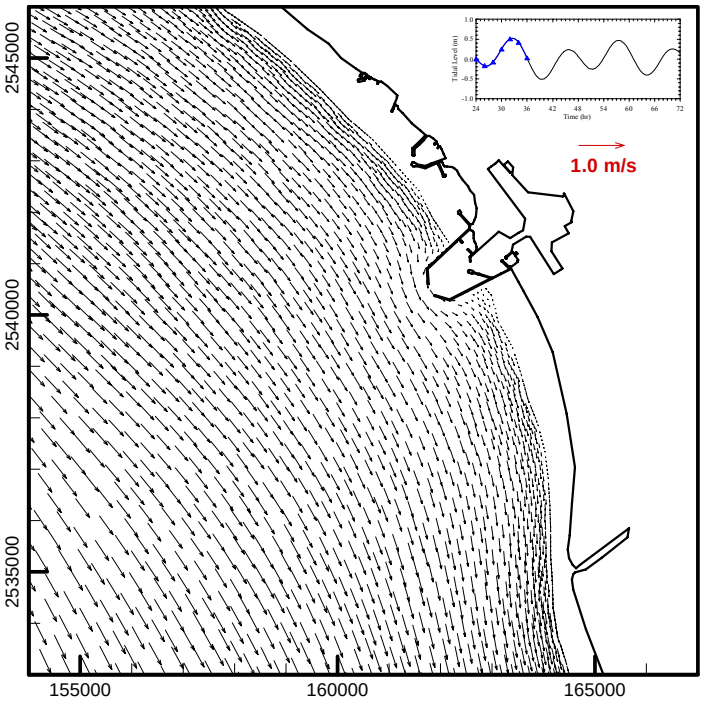


圖4.3.3.19　(續6)安平港近岸流場模擬結果

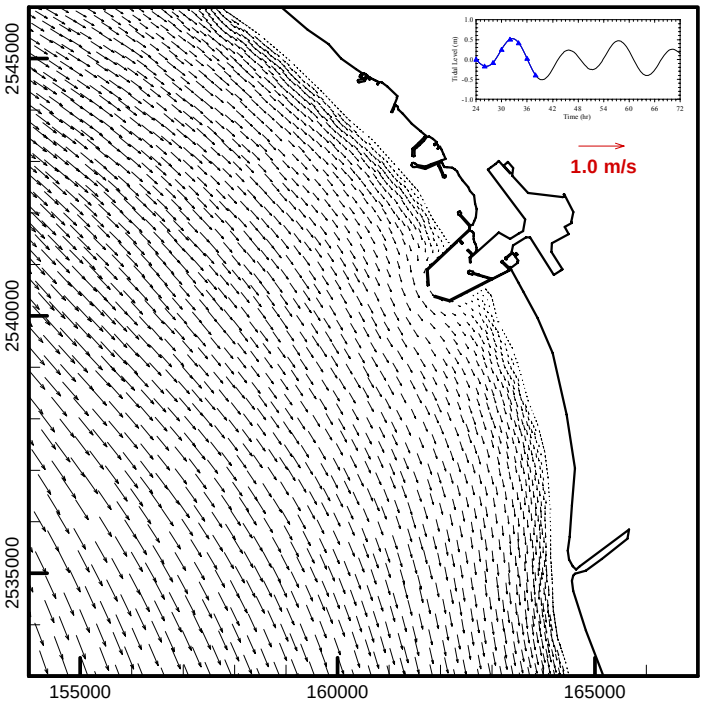


圖4.3.3.19　(續7)安平港近岸流場模擬結果

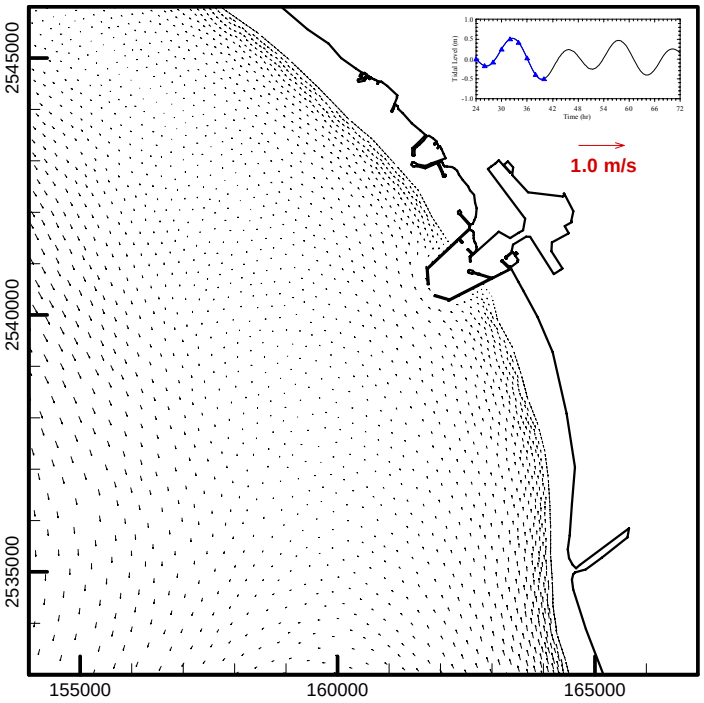


圖4.3.3.19　(續8)安平港近岸流場模擬結果

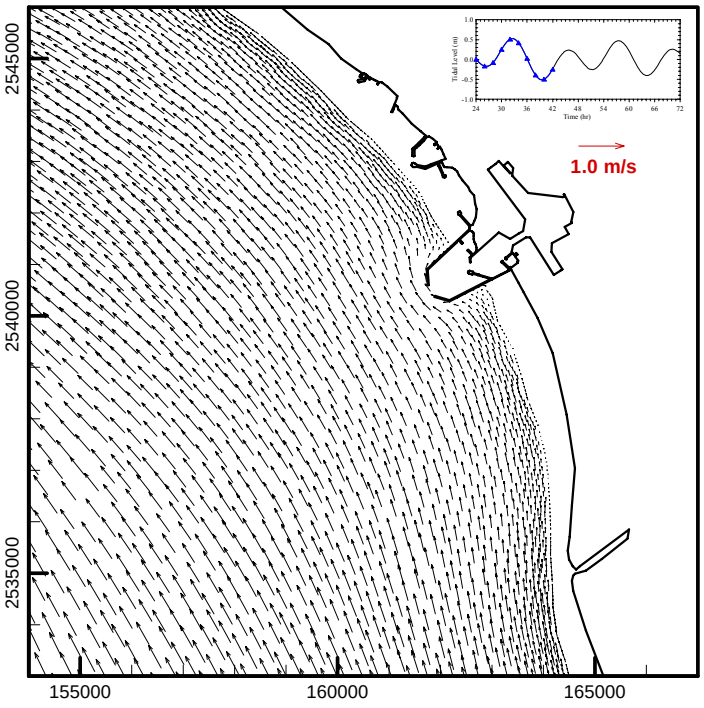


圖4.3.3.19　(續9)安平港近岸流場模擬結果

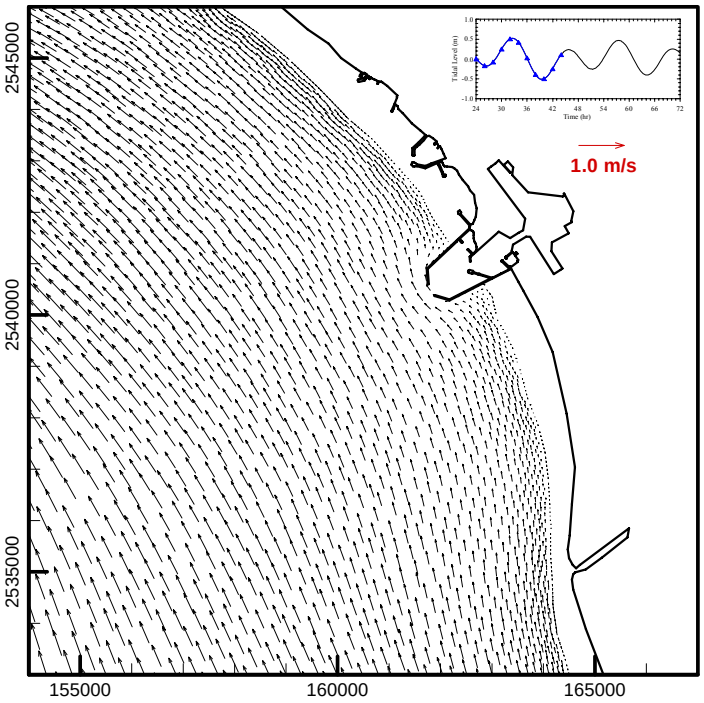


圖4.3.3.19　(續10)安平港近岸流場模擬結果

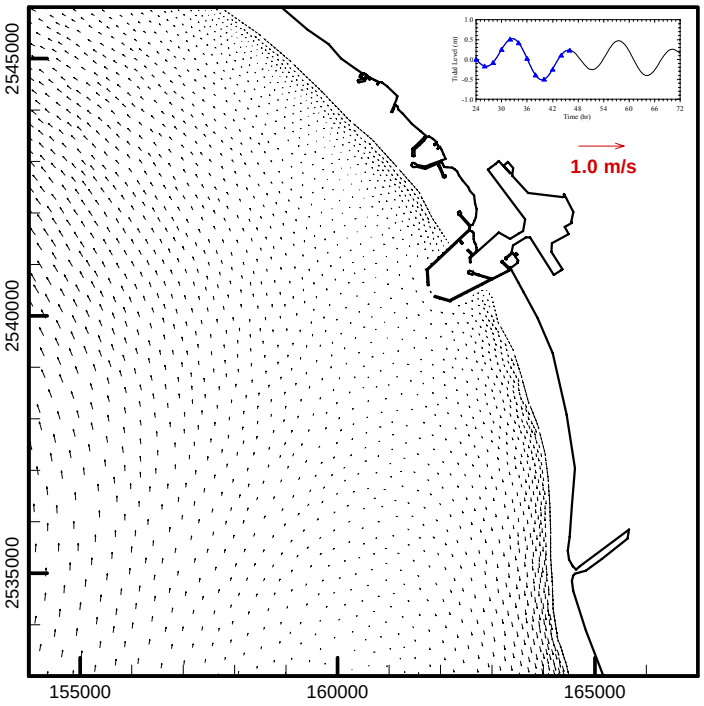


圖4.3.3.19　(續11)安平港近岸流場模擬結果

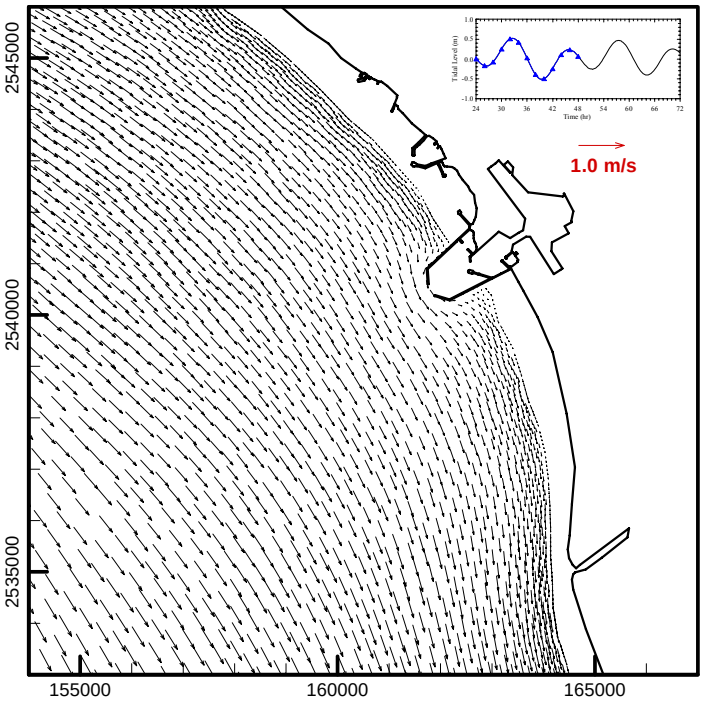


圖4.3.3.19　(續12)安平港近岸流場模擬結果

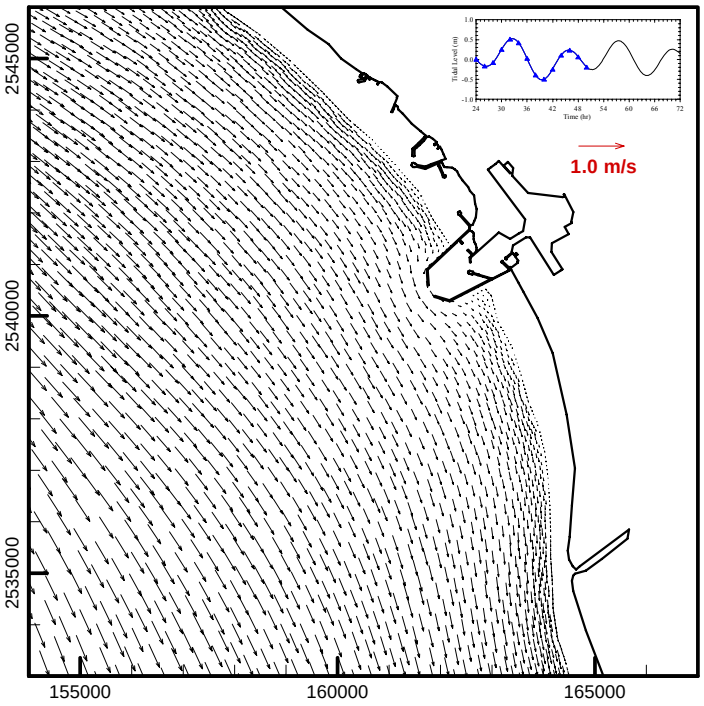


圖4.3.3.19　(續13)安平港近岸流場模擬結果

4.3.4 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) 本計畫近岸潮流數值模擬係銜接近海全域海流及水位等模式模擬結果，模擬港口近岸海域之潮流流場。本年度以安平港為例進行近岸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海流資料，對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 擴散模式

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。

5.1 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夕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：

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x_1}+v\frac{\partial u}{\partial x_2}+w\frac{\partial u}{\partial x_3}-fv=-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial p}{\partial x_1}+\frac{\partial}{\partial x_3}\left(\nu_T\frac{\partial u}{\partial x_3}\right)+\frac{\partial}{\partial x_1}\tau_{11}+\frac{\partial}{\partial x_2}\tau_{21} \qquad (5.1.1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x_1}+v\frac{\partial v}{\partial x_2}+w\frac{\partial v}{\partial x_3}+fu=-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial p}{\partial x_2}+\frac{\partial}{\partial x_3}\left(\nu_T\frac{\partial v}{\partial x_3}\right)+\frac{\partial}{\partial x_1}\tau_{12}+\frac{\partial}{\partial x_2}\tau_{22} \qquad (5.1.2)$$

壓力平衡方程式：

$$\frac{\partial p}{\partial x_3} = -\rho g \qquad (5.1.3)$$

連續方程式：

$$\frac{\partial u}{\partial x_1} + \frac{\partial v}{\partial x_2} + \frac{\partial w}{\partial x_3} = 0 \qquad (5.1.4)$$

溫鹽擴散方程式

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u\frac{\partial T}{\partial x_1} + v\frac{\partial T}{\partial x_2} + w\frac{\partial T}{\partial x_3} = \frac{1}{\rho_0 c_p}\frac{\partial I}{\partial x_3} + \frac{\partial}{\partial x_3}\left(\lambda_T \frac{\partial T}{\partial x_3}\right) + \frac{\partial}{\partial x_1}\left(\lambda_H \frac{\partial T}{\partial x_1}\right) + \frac{\partial}{\partial x_2}\left(\lambda_H \frac{\partial T}{\partial x_2}\right) \qquad (5.1.5)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u\frac{\partial S}{\partial x_1} + v\frac{\partial S}{\partial x_2} + w\frac{\partial S}{\partial x_3} = \frac{\partial}{\partial x_3}\left(\lambda_T \frac{\partial S}{\partial x_3}\right) + \frac{\partial}{\partial x_1}\left(\lambda_H \frac{\partial S}{\partial x_1}\right) + \frac{\partial}{\partial x_2}\left(\lambda_H \frac{\partial S}{\partial x_2}\right) \qquad (5.1.6)$$

其中，水平剪力則定義如下：

$$\tau_{11} = 2\nu_H \frac{\partial u}{\partial x_1} \qquad (5.1.7)$$

$$\tau_{21} = \tau_{12} = \nu_H\left(\frac{\partial u}{\partial x_2} + \frac{\partial v}{\partial x_1}\right) \qquad (5.1.8)$$

$$\tau_{22} = 2\nu_H \frac{\partial v}{\partial x_2} \qquad (5.1.9)$$

COHERENS 在水平格點分布採用 Arakawa-C Grid（Arakawa，1979）交錯網格(如圖 5.1.1 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。

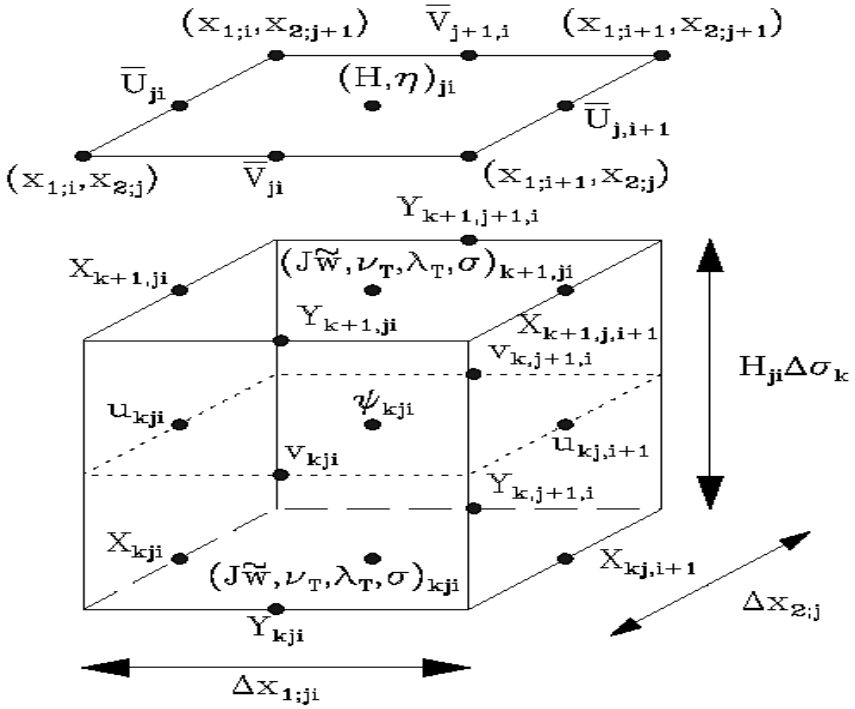


圖 5.1.1 二維及三維的格點分佈
(from COHERENS User Documentation)

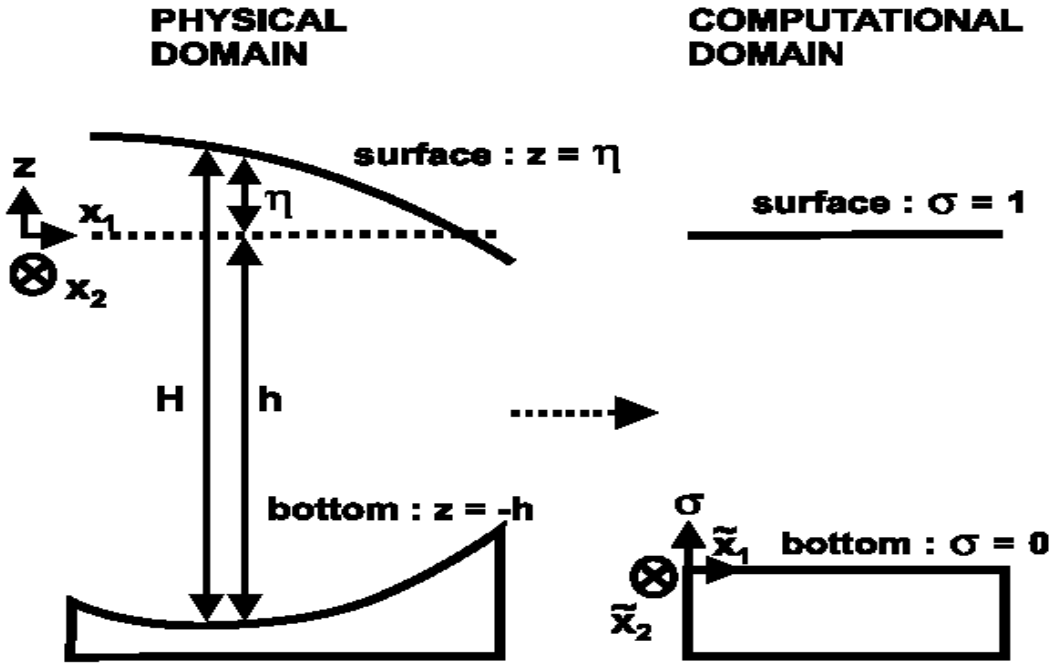


圖 5.1.2 垂直方向之σ座標系統
(from COHERENS User Documentation)

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 5.1.2 所示)。經過座標轉換後，

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

連續方程式：

$$\frac{1}{J}\frac{\partial J}{\partial t}+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x}_1}\left(Ju\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x}_2}\left(Jv\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x}_3}\left(J\tilde{w}\right)=0 \tag{5.1.10}$$

動量方程式：

$$\begin{aligned}&\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{t}}\left(Ju\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x}_1}\left(Ju^2\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x}_2}\left(Juv\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x}_3}\left(J\tilde{w}u\right)-fv=\\&-g\frac{\partial\varsigma}{\partial\tilde{x}_1}-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial\rho_a}{\partial\tilde{x}_1}+Q_1+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x}_3}\left(\frac{\nu_T}{J}\frac{\partial u}{\partial\tilde{x}_3}\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x}_1}\left(J\tau_{11}\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x}_2}\left(J\tau_{21}\right)\end{aligned} \tag{5.1.11}$$

$$\begin{aligned}&\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{t}}\left(Jv\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x}_2}\left(Jv^2\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x}_1}\left(Juv\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x}_3}\left(J\tilde{w}u\right)+fu=\\&-g\frac{\partial\varsigma}{\partial\tilde{x}_2}-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial\rho_a}{\partial\tilde{x}_2}+Q_2+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x}_3}\left(\frac{\nu_T}{J}\frac{\partial v}{\partial\tilde{x}_3}\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x}_1}\left(J\tau_{12}\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x}_2}\left(J\tau_{22}\right)\end{aligned} \tag{5.1.12}$$

壓力平衡方程式

$$\frac{1}{J}\frac{\partial q_d}{\partial\tilde{x}_3}=-g\left(\frac{\rho-\rho_0}{\rho_0}\right) \tag{5.1.13}$$

溫鹽擴散方程式

$$\begin{aligned}&\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{t}}\left(JT\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x}_1}\left(JuT\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x}_2}\left(JvT\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x}_3}\left(J\tilde{w}T\right)=\\&\frac{1}{J\rho_0c_p}\frac{\partial I}{\partial\tilde{x}_1}+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x}_3}\left(\frac{\lambda_T}{J}\frac{\partial T}{\partial\tilde{x}_3}\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x}_1}\left(J\lambda_H\frac{\partial T}{\partial\tilde{x}_1}\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial\tilde{x}_2}\left(J\lambda_H\frac{\partial T}{\partial\tilde{x}_2}\right)\end{aligned} \tag{5.1.15}$$

$$\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial \tilde{t}}(JS)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial \tilde{x}_1}(JuS)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial \tilde{x}_2}(JvS)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial \tilde{x}_3}(J\tilde{w}S)=$$
$$\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial \tilde{x}_3}\left(\frac{\lambda_T}{J}\frac{\partial S}{\partial \tilde{x}_3}\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial \tilde{x}_1}\left(J\lambda_H\frac{\partial S}{\partial \tilde{x}_1}\right)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial \tilde{x}_2}\left(J\lambda_H\frac{\partial S}{\partial \tilde{x}_2}\right) \qquad (5.1.16)$$

其中

$$Q_i=-\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial \tilde{x}_i}(Jq_d)+\frac{1}{J}\frac{\partial}{\partial \tilde{x}_3}\left[q_d\left(\sigma\frac{\partial H}{\partial \tilde{x}_i}-\frac{\partial h}{\partial \tilde{x}_i}\right)\right]$$

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

$$\tilde{w}=\frac{\partial \tilde{x}_3}{\partial t}+u\frac{\partial \tilde{x}_3}{\partial x_1}+v\frac{\partial \tilde{x}_3}{\partial_2}+w\frac{\partial \tilde{x}_3}{\partial x_3}$$

5.1.1 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

5.1.2 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：

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

其中在模式中 Cm0 及 Cs0 之數值係數預設為相等的值，

$D_T^2 = \left(\frac{\partial u}{\partial x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x_2}\right)^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial x_2} + \frac{\partial v}{\partial x_1}\right)^2$ ，Δx_1 及 Δx_2 為格點的間隔大小。

5.1.3 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。

5.1.4 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：

$$\rho_0 \frac{\nu_T}{J}\left(\frac{\partial u}{\partial \tilde{x}_3}, \frac{\partial v}{\partial \tilde{x}_3}\right) = \left(\tau_{s1}, \tau_{s2}\right) = \rho_a C_D^s \left(U_{10}^2 + V_{10}^2\right)^{1/2} \left(U_{10}, V_{10}\right) \qquad (5.1.17)$$

其中 U10 及 V10 為水表面上方 10 公尺的風速，ρa 為空氣密度。

2、底層邊界

底層邊界剪力同樣也是由水平流速所造成，表示如下：

$$\frac{\rho_0 \nu_T}{J}\left(\frac{\partial u}{\partial \tilde{x}_3}, \frac{\partial v}{\partial \tilde{x}_3}\right) = \left(\tau_{b1}, \tau_{b2}\right) \qquad (5.1.18)$$

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）

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

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

- Smith and Banke（1975）

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

- Geernaert et al.（1986）

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

- Charnock（1955）

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

其中 za = 10 m，a = 0.014（Charnock's constant）

5、氣象參數

氣象參數包含表面風速、大氣溫度、大氣壓力、雲量遮蓋率、相對濕度、水氣蒸發量、太陽幅射能及水體能量消失等因子，表 2-1。模式中，氣象所造成之變化影響著水溫、生化反應（例如光合作用）、空氣與水表面間交換（例如氧氣交換）等變化。其中水氣蒸發量（E_{vap}）、太陽幅射能（Q_{SOL}）及水體能量散失（Q_{nsol}），由模擬時間、地點及氣候因素輸入方程式計算得知，其餘參數可由模擬地點當地資料提供。

$$E_{vap} = Q_{la} / L_V \qquad (5.1.19)$$

其中 Q_{la} 為潛熱（latent heat flux）散失，

$L_V = 2.5008 \times 10^6 - 2300.T_S$ 為水氣蒸發所散失之能量（J kg-1），

T_S 為水表面之水溫（℃）。

$$Q_{SOL} = Q_{CS}(1 - 0.62 f_C + 0.0019\gamma_{\theta,\max})(1 - A_S) \qquad (5.1.20)$$

$$Q_{nsol} = Q_{la} + Q_{se} + Q_{lw} \qquad (5.1.21)$$

Q_{CS} 為晴朗天氣下之總幅射能，f_C 為雲量遮蓋率（0~1），$\gamma_{\theta,\max}$ 為太陽在中午時之高角度，A_S 為水表面之反射率，一般海表面為 0.06。

5.1.5 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 5.1.1 即為 COHERENS 使用之參數，圖 5.1.3 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 5.1.4 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 5.1.4 及 5.1.5 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。

台灣地區河川流量站資料庫-高屏溪流域(1730)-里嶺大橋(H043) - Microsoft Internet Explorer

檔案(F) 編輯(E) 檢視(V) 我的最愛(A) 工具(T) 說明(H)

http://water.hre.ntou.edu.tw/~river/cgi-bin/query.pl

臺灣地區河川流量資料庫水文分析

高屏溪流域(1730)里嶺大橋流量站(H043)

流域編號 BASIN_NO	測站編號 STATION_NO	流域名稱 BASIN	河流名稱 TRIBUTARY	測站名稱 STATION	集水區面積 (km²)
1730	H043	高屏溪	高屏溪 1730000	里嶺大橋 LI-LIN BRIDGE	2894.79
東經LONGITUDE (TM_X)	北緯LATITUDE (TM_Y)	高程 ELEVATION(m)	起用-迄止 (YY/MM-YY/MM)	經營單位 AGENCY	紀錄年份 RECORD
120 ° 26 ' 40 " (193049.3)	22 ° 46 ' 24 " (2519189.5)	28	1991/1-	經濟部水利署 (原經濟部水利處)	1991-2004 (現況站)
測站站址	高雄縣大樹鄉鐘鈴村(TA-SHU,KAOHSIUNG)			水資源分區	南區(上游有引水感蕃水)

民國93年(2004)日平均流量

單位:cms

日\月	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
1	44.15	28.52	23.31	28.52	24.29	255.19	256.01	275.44	641.33	386.25	62.20	40.10
2	44.15	28.52	28.52	33.73	17.86	274.84	3049.15	356.97	530.99	369.06	61.69	40.54
3	54.57	33.73	28.52	54.57	15.28	294.49		357.33	508.25	360.94	60.83	170.55
4	49.36	33.73	33.73	23.31	13.35	299.67	9303.88	331.51	494.83	350.74	60.39	775.32
5	44.15	44.15	33.73	44.15	11.75	299.39	5196.54	308.35	507.90	330.09	59.76	395.45
6	44.15	64.99	33.73	33.73	14.35	180.09	4421.69	285.08	414.14	304.06	66.51	320.03
7	44.15	70.20	33.73	28.52	17.01	139.39	3823.57	256.90	447.48	286.30	72.86	248.33
8	38.94	59.78	28.52	59.78	18.10	166.31	3287.63	227.81	486.86	275.28	70.96	221.07
9	38.94	64.99	23.31	33.73	18.10	201.57	2992.67	211.26	498.99	268.23	69.85	187.05
10	38.94	79.74	28.52	28.52	18.10	294.35	2045.78	169.26	550.47	251.69	67.55	109.44
11	44.15	54.57	28.52	28.52	18.10	241.58	970.91	114.55	1183.25	227.50	67.16	81.38
12	44.15	44.15	28.52	23.31	18.10	241.58	635.83	104.94	915.81	228.73	65.58	75.55
13	44.15	44.15	28.52	23.31	18.10	251.73	498.99	317.71	739.17	190.53	65.97	73.81
14	38.94	44.15	23.31	28.52	18.10	253.55	470.98	310.17	714.29	165.17	65.73	71.04
15	33.73	38.94	18.10	23.31	18.10	253.55	473.79	267.01	660.46	144.72	65.10	76.42
16	38.94	44.15	23.31	33.73	18.10	253.55	410.30	233.98	628.04	133.98	64.31	69.24
17	38.94	38.94	18.10	23.31	17.17	253.55	392.81	174.88	642.08	124.78	60.54	68.98
18	33.73	33.73	23.31	73.38	17.63	253.55	385.78	158.52	631.04	131.43	58.95	65.82
19	49.36	28.52	18.10	49.36	18.10	253.55	401.22	181.51	545.88	99.73	58.35	66.45
20	44.15	28.52	23.31	33.73	26.35	253.55	334.11	193.18	504.01	83.25	56.40	62.89
21	44.15	33.73	18.10	38.94	77.27	253.55	319.07	248.91	505.55	81.47	56.07	60.23
22	44.15	33.73	23.31	38.94	197.19	253.55	313.86	222.18	547.18	77.21	57.07	59.49
23	44.15	33.73	18.10	38.94	247.00	253.55	290.59	163.74	510.95	76.90	57.07	55.60
24	38.94	28.52	18.10	33.73	247.00	253.55	301.48	394.50	437.30	73.49	56.81	50.97
25	38.94	28.52	18.10	33.73	247.00	253.55	272.52	1600.92	419.42	82.40	58.63	48.76
26	33.73	28.52	28.52	33.73	247.00	253.55	260.58	1537.72	410.00	81.38	53.19	46.34
27	33.73	28.52	38.94	33.73	247.00	253.55	292.73	982.14	406.41	69.98	50.63	46.07
28	33.73	28.52	38.94	28.52	247.00	253.55	344.18	794.58	400.16	67.00	48.90	46.47
29	33.73	28.52	38.94	28.52	247.00	253.55	376.56	712.08	416.91	66.05	44.38	45.02
30	28.52		44.15	28.52	247.00	253.55	371.13	735.08	405.94	63.75	42.94	43.38

完成 網際網路

圖 5.1.3 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）

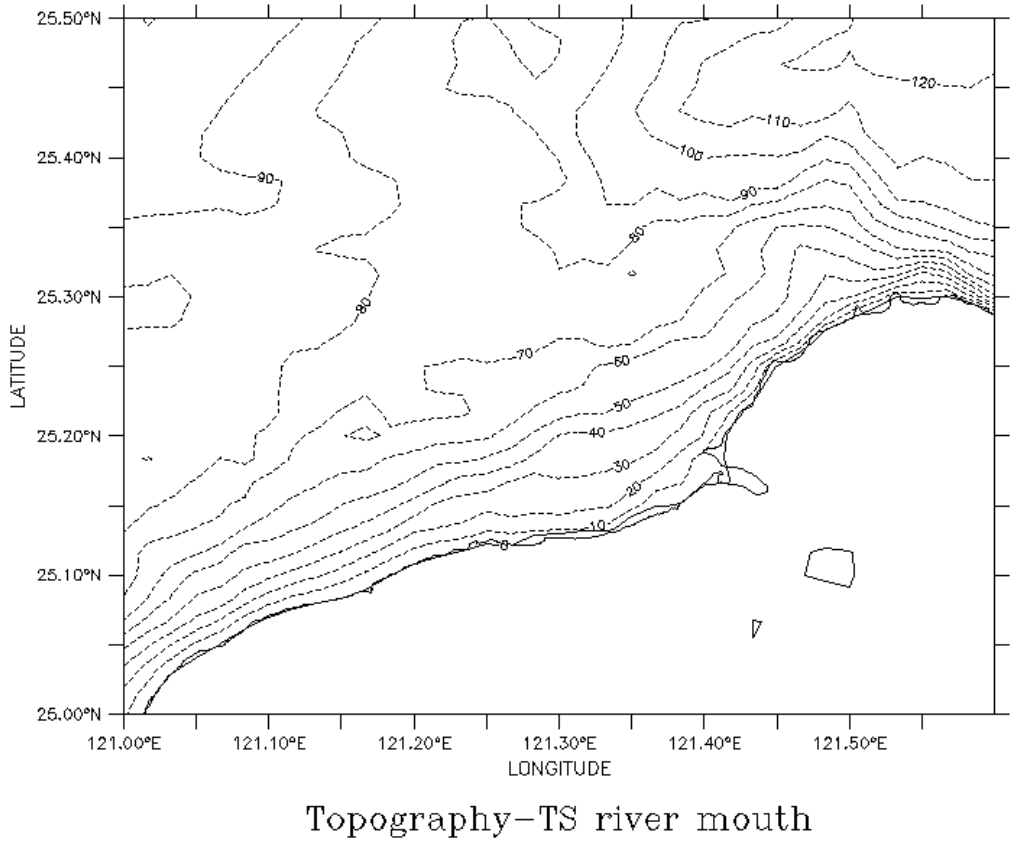


圖 5.1.4 淡水河口等深線圖

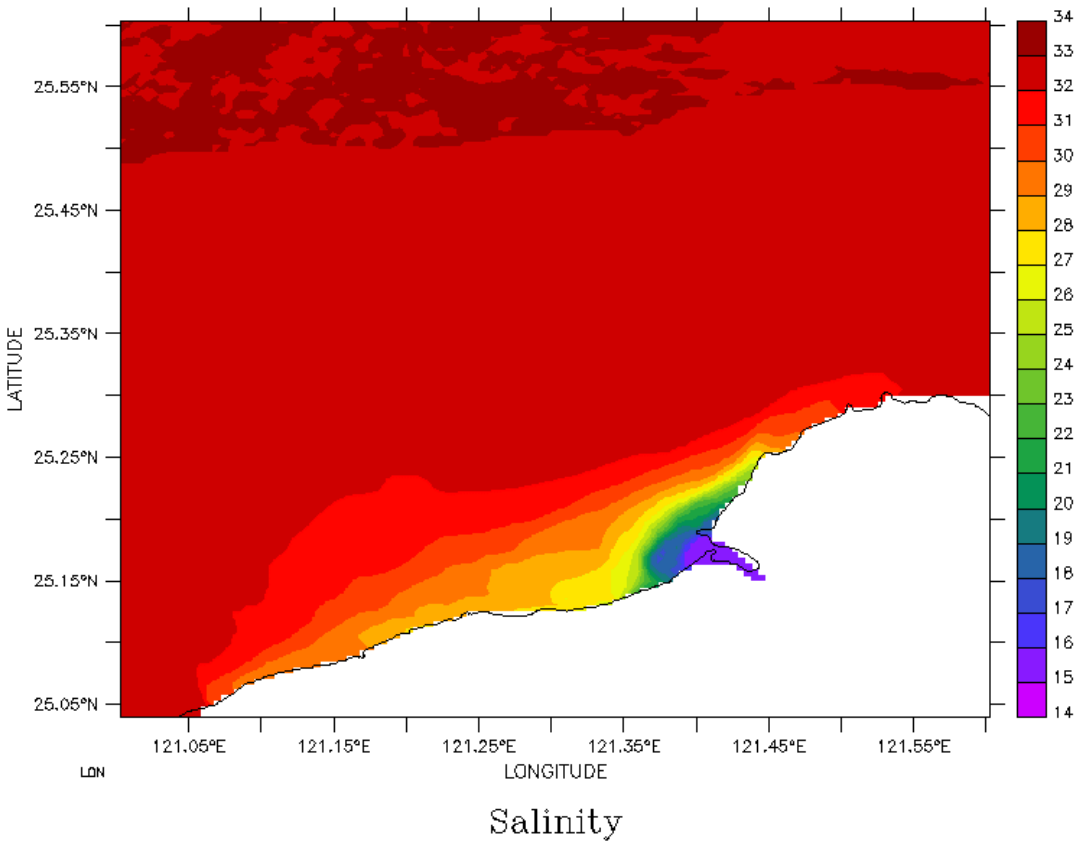


圖 5.1.5 淡水河口退潮時鹽度分佈

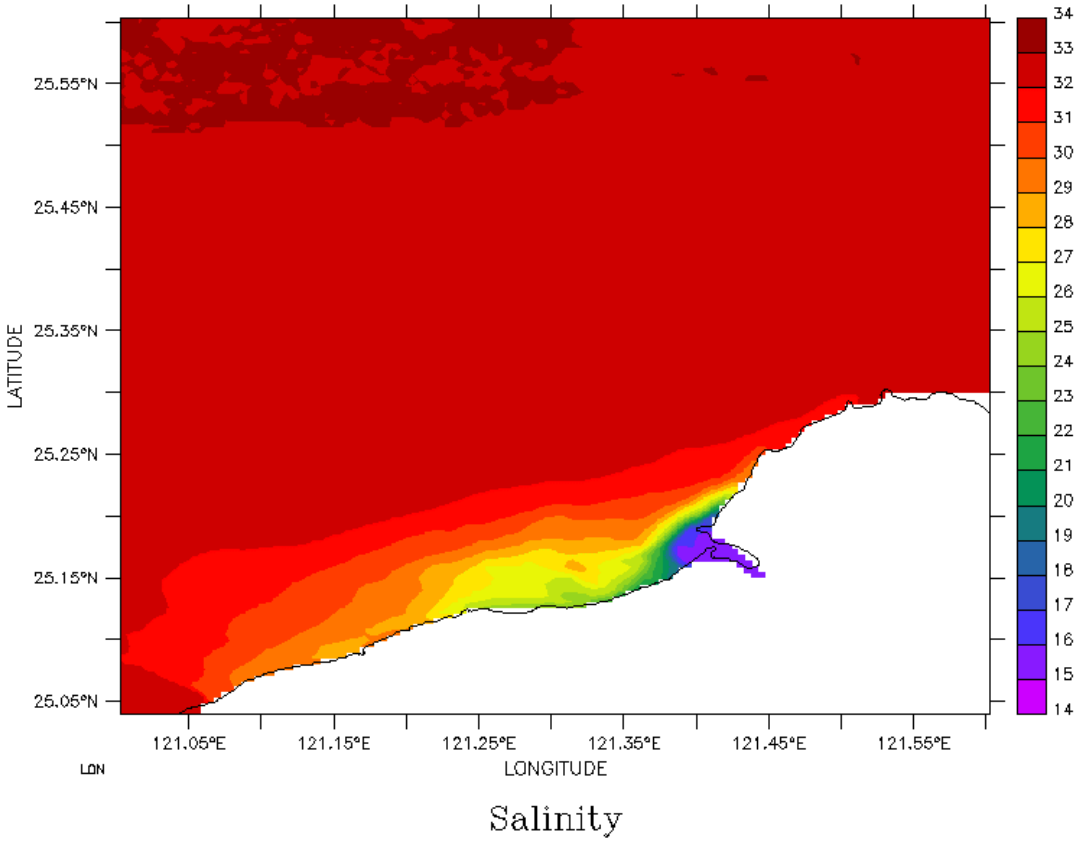


圖 5.1.6 淡水河口漲潮時鹽度分佈

表 5.1.1 COHERENS 中使用之參數

ν_T ， λ_T	垂直渦流（eddy）黏滯係數及擴散係數
ν_H	動量方程式之水平擴散係數
λ_H	溫鹽水平擴散係數
ρ	水體密度（kg/m^3）
ρ_0	reference density（$kg\ m^{-3}$）
f	科氏力
g	重力加速度（m/s^2）
u，v，w	x、y 及 z 方向流速（m/s）
x_1 ， x_2 ， x_3	代表 X、Y、Z 方向
h	水深（m）
ζ	水位變化（m）
H	$h+\zeta$
t	時間
p_a	大氣壓力（N/m^2）
C_D^s	拖曳係數
ρ_a	空氣密度（kg/m^3）
U_{10}, V_{10}	x 及 y 方向風速（m/s）
Q_{SOL}	太陽幅射能（Wm^{-2}）
Q_{nsol}	水體能量散失（Wm^{-2}）
Q_{la}	潛熱散失
Q_{se}	水表面之熱交換
Q_{lw}	長波幅射散失
I	日照強度

5.2 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外洩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。

5.2.1 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。

5.2.2 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 vt 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Δt 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δt，因此每個油團在單位時間的位移則可以下式表達：

Vtk 代表各個小油團於 δtk 時段內在海面上的漂移速度，Δs 是Δt 時間內的位移，δtk 必須滿足以下的條件 (Roache, 1972; Cheng et al., 1984)

$$\Delta S = \sum^{k} v_{t,k}\delta t_k$$

$$\Delta t = \sum^{k} \delta t_k$$

uk 及 vk 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。

5.2.3 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：

- 洩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：

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

ν ：水的黏滯係數

σ ：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洩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

$h=10^{-5} V^{1/4}$ 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：

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

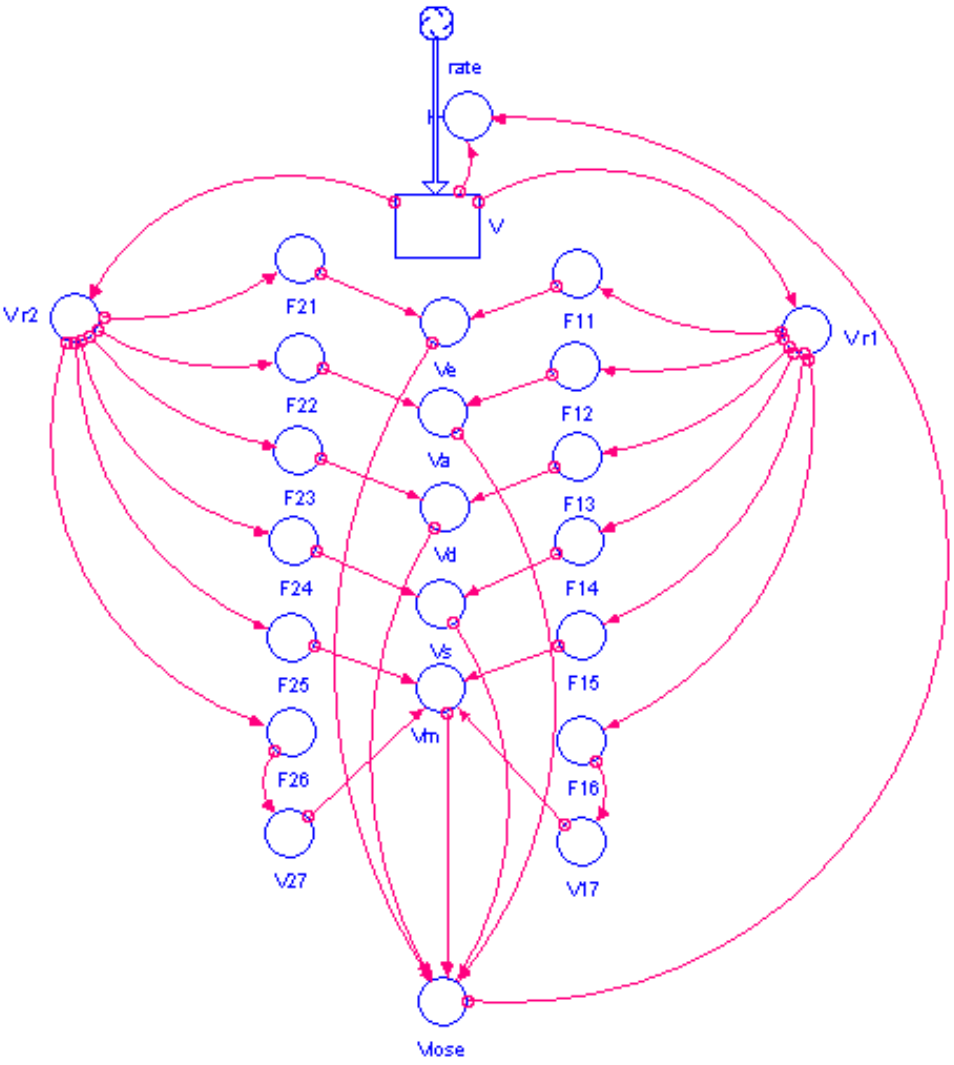
5.2.4 油團變化機制 － 油團風化作用

洩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，面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；另一方面在洩油模式的計算中，複雜又耗時的油品分析程序對計算的效率並無助益，因此，洩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：

- 揮發
- 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 ：揮發之油團體積（F11，F12）

V_a ：因海氣交換作用減少的量（F12，F22）

V_d ：因垂直擴散減少的量（F13，F23）

V_s ：溶解於水中的量（F14，F24）

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（F16，F26）

F15，F25：回收之油團體積

F17，F27：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. 揮發作用（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：$kev = 1.2 \times 10^8$

$kv = PM$ （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）

$$F_{12} = C_{12} V_{r1} H$$

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

其中：$C_{12} = 10^{-8} [1/m.s]$

H ：波高

3. 垂直擴散（vertical dispersion）

$$F_{13} = C_{13} V_{r1} H + C_{x3} \frac{V_{r1}}{V_r}$$

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

$$V = V_{r1} + V_{r2}$$

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

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

C_{x3} = oil removed by dispersant

4. 溶解作用（dissolution）

$$F_{14} = C_{14} V_{r1}$$

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

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

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

5. 回收

$$F_{15} = C_{x5}\frac{V_{r1}}{V_t} \quad , \quad F_{25} = C_{x5}\frac{V_{r2}}{V_t}$$

$$F_{17} = C_{x5}\frac{V_{em1}}{V_t} \quad , \quad F_{27} = C_{x5}\frac{V_{em2}}{V_t}$$

$$V_t = V_{r1} + V_{r2} + V_{em1} + V_{em2}$$

$$Vm = F_{15} + F_{25} + F_{17} + F_{27}$$

$$= C_{x5}\ [m^3 s^{-1}]$$

6. 乳化作用

$$F_{16} = V_{r1}\frac{k_{em}}{C_{16}}H$$

$$F_{26} = V_{r2}\frac{k_{em}}{C_{16}}H$$

其中 $C_{16} = 5\times10^7\left[m\cdot s\right]$

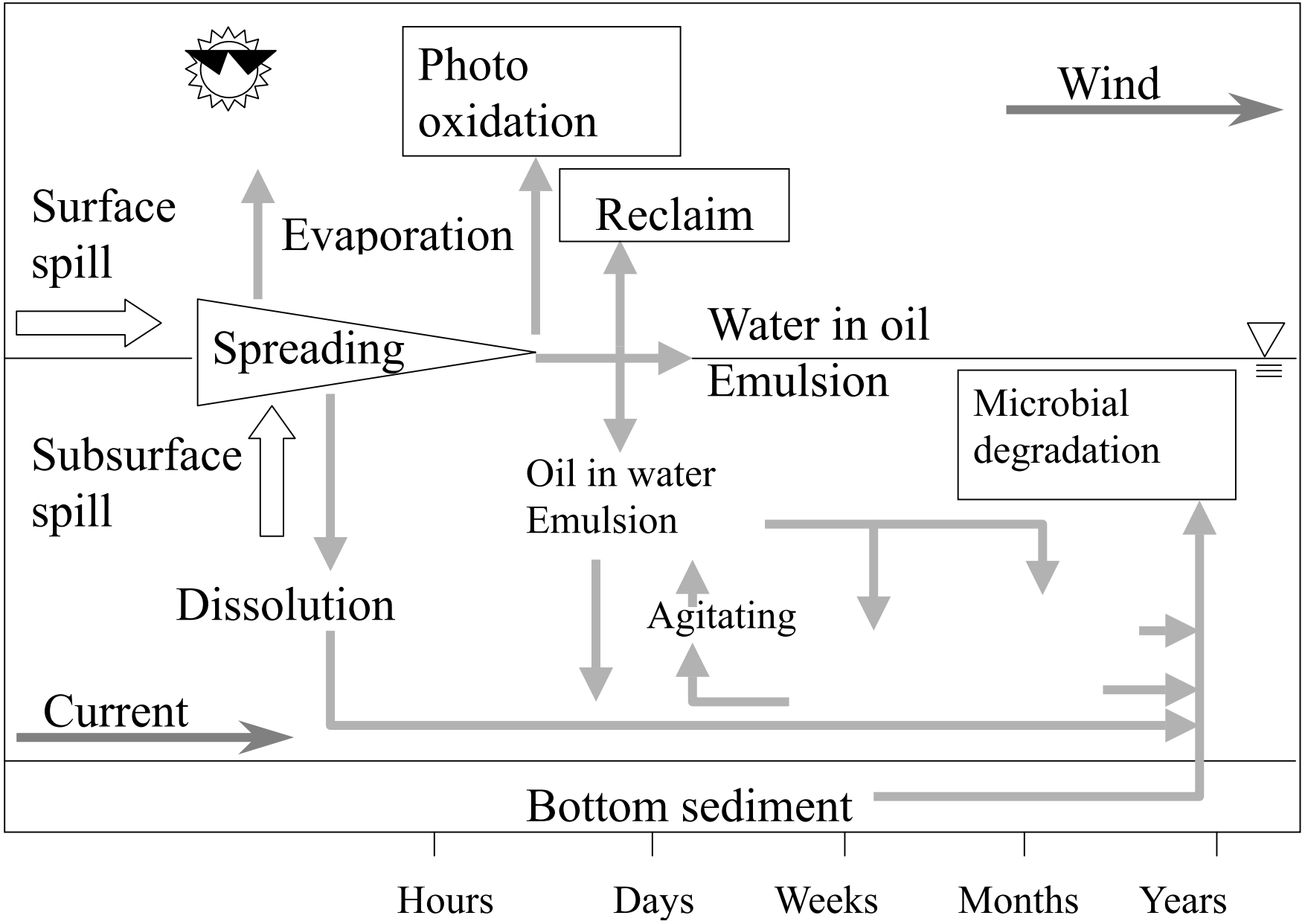


Photo
oxidation
Wind
Surface
spill
Evaporation
Reclaim
Spreading
Water in oil
Emulsion
Subsurface
spill
Oil in water
Emulsion
Microbial
degradation
Dissolution
Agitating
Current
Bottom sediment
Hours
Days
Weeks
Months
Years

圖 5.2.1：油團變化情形

5.2.5 MEDSLIK 的基本原理：

本計畫使用 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，因此本計畫試著將這套

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 5.2.2。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 5.2.2）

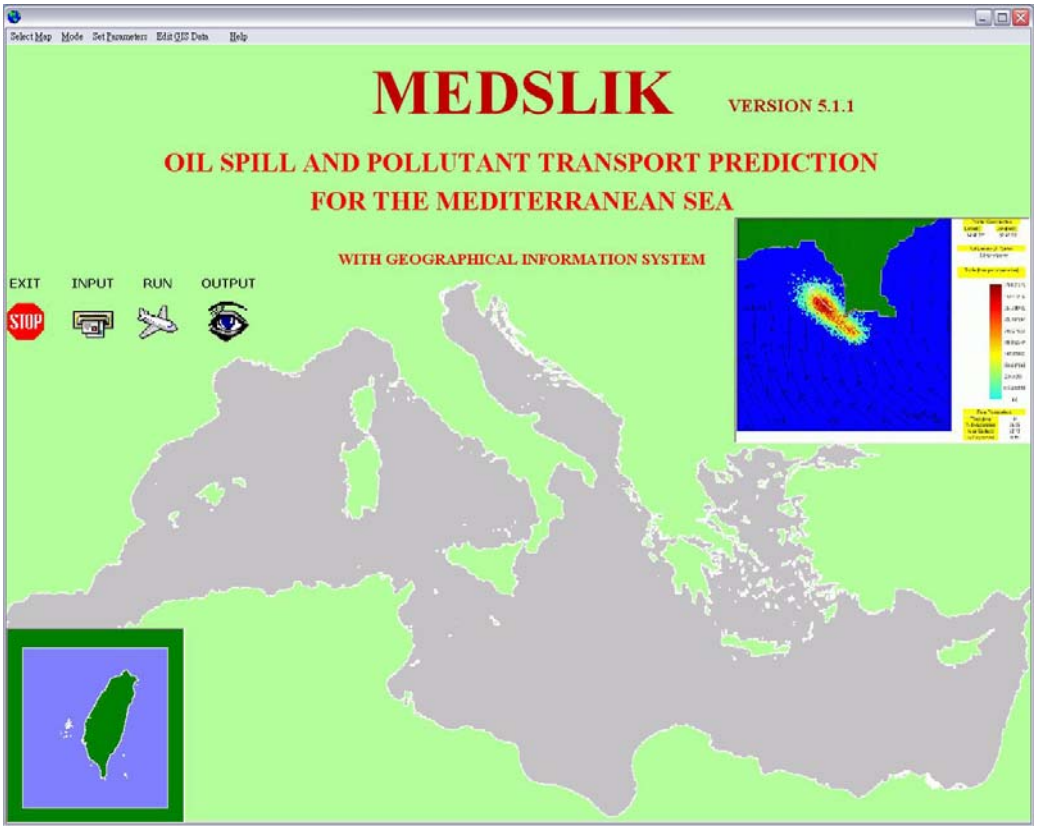


圖 5.2.2 MEDSLIK 5.1 版介面

2. 一些機制參數的修改(見圖 5.2.3),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 5.2.4、圖 5.2.5)

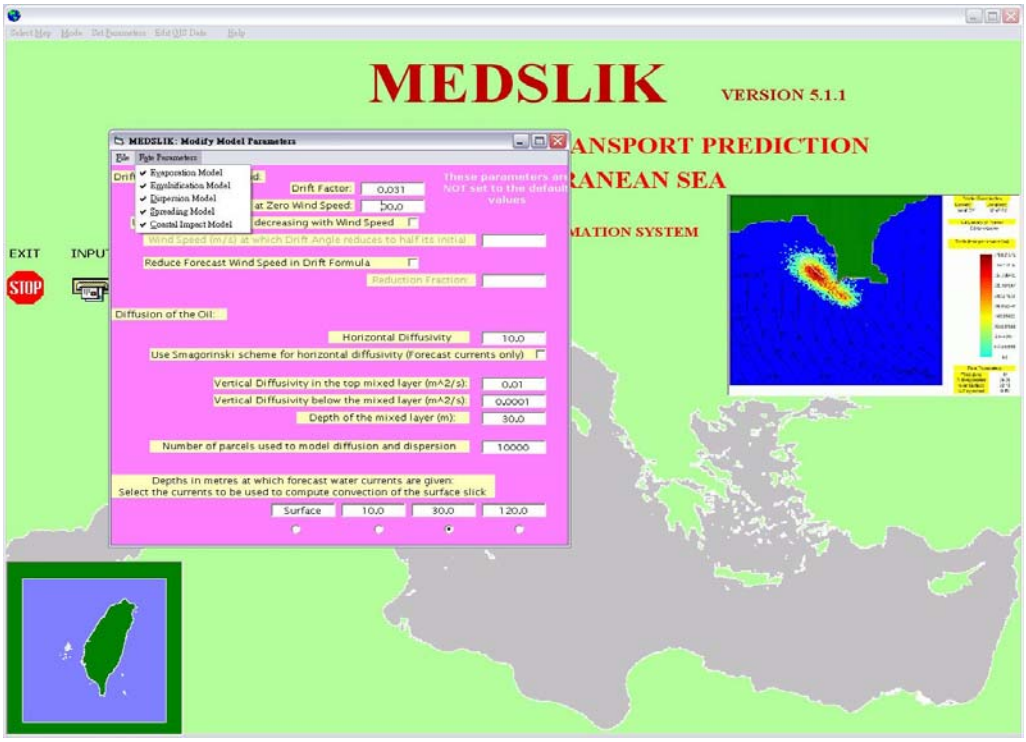


圖 5.2.3 洩油各種機制參數：包括蒸發、乳化、延展、擴散、海岸衝擊

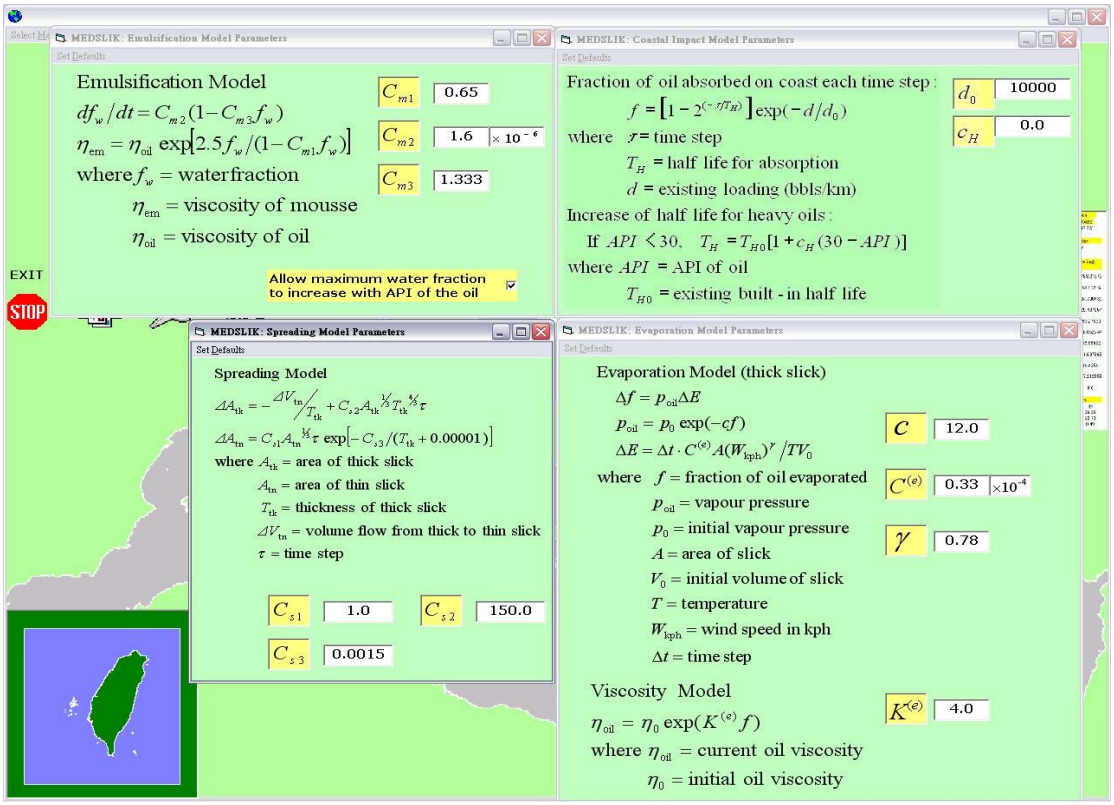


圖 5.2.4 洩油機制參數修改

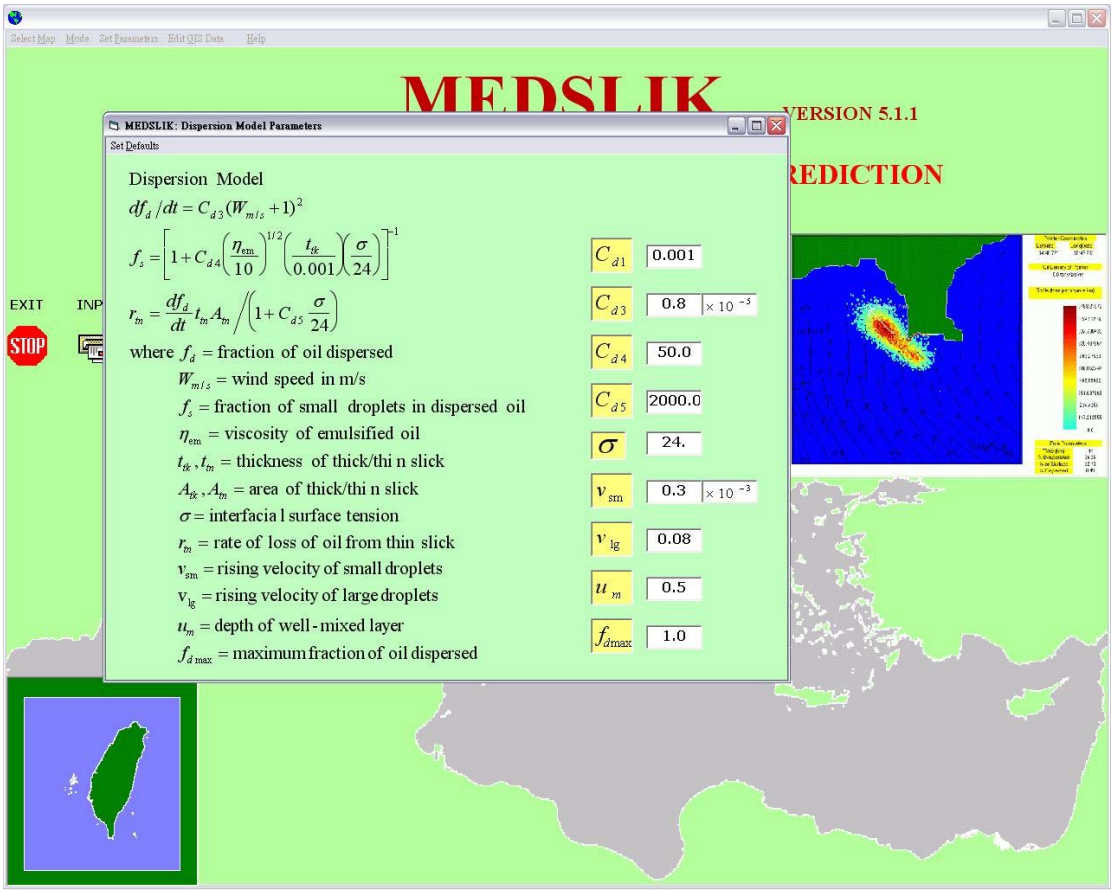


圖 5.2.5 洩油機制參數修改

3. 可以表現每個油團在所模擬時間油團所跑的軌跡（見圖 5.2.6）

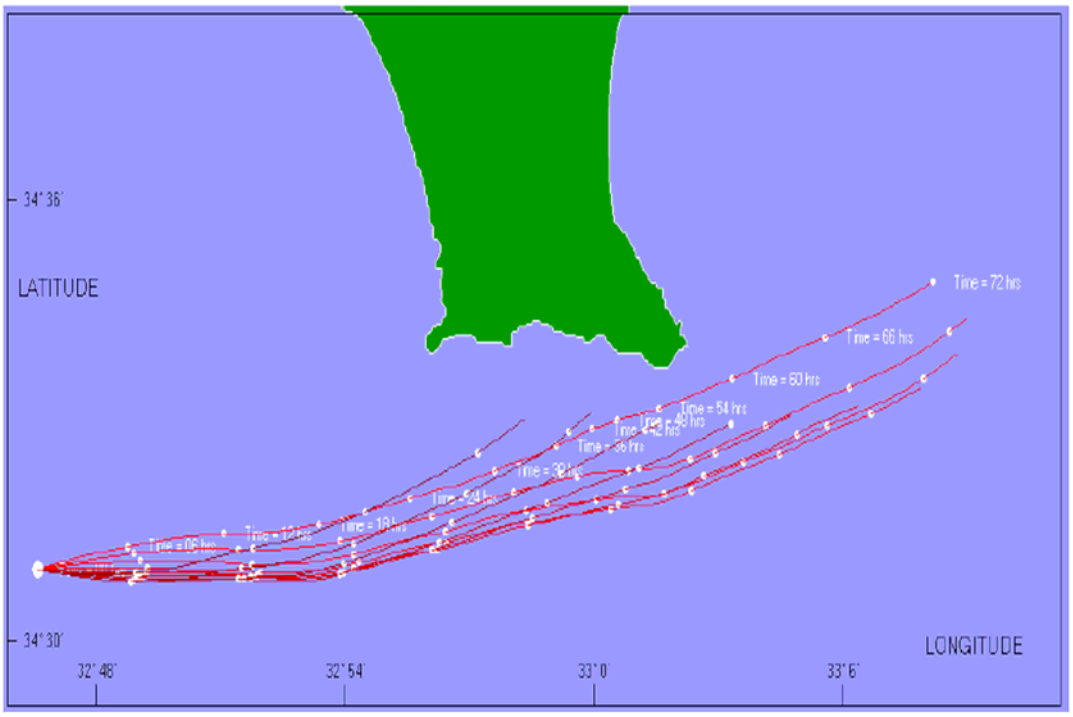


圖 5.2.6 油團隨時間變化的移動軌跡

- 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 5.2.7)

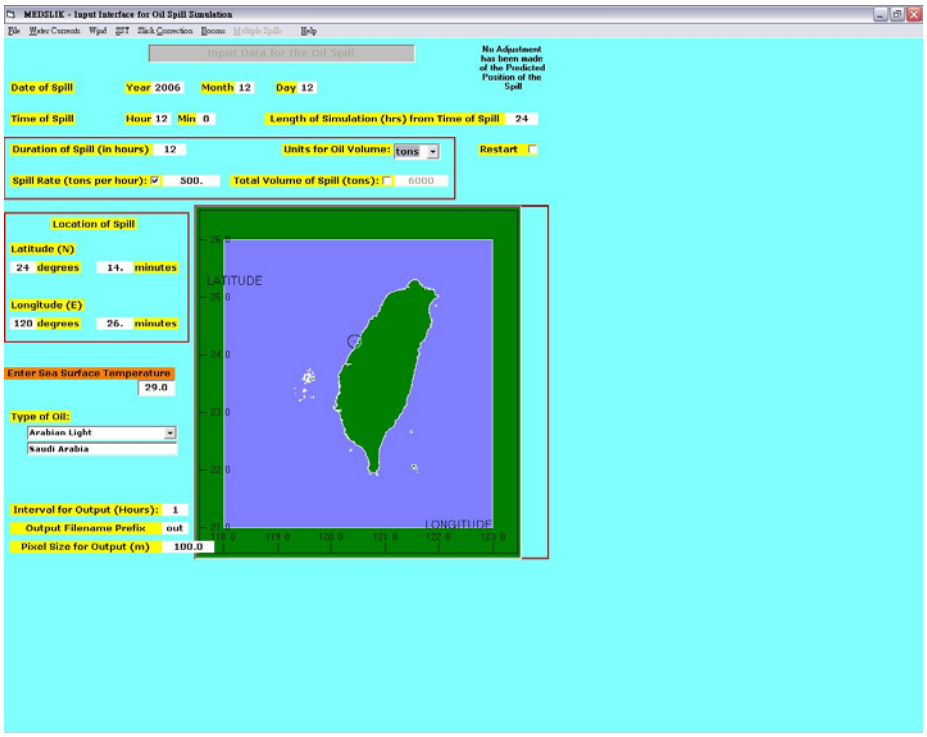


圖 5.2.7 MEDSLIK 的輸入介面

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 5.2.8）。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 5.2.9）。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 5.2.10）。在這是以流場在 24 小時皆固定（見圖 5.2.11）。

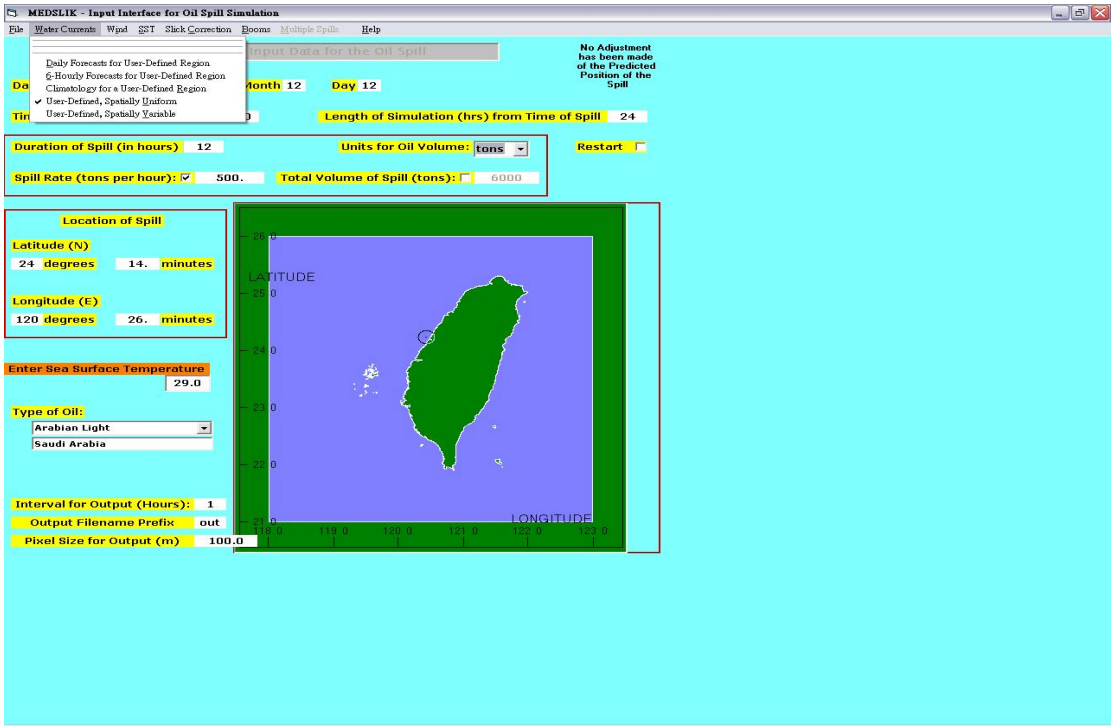


圖 5.2.8 在輸入介面的流場選項

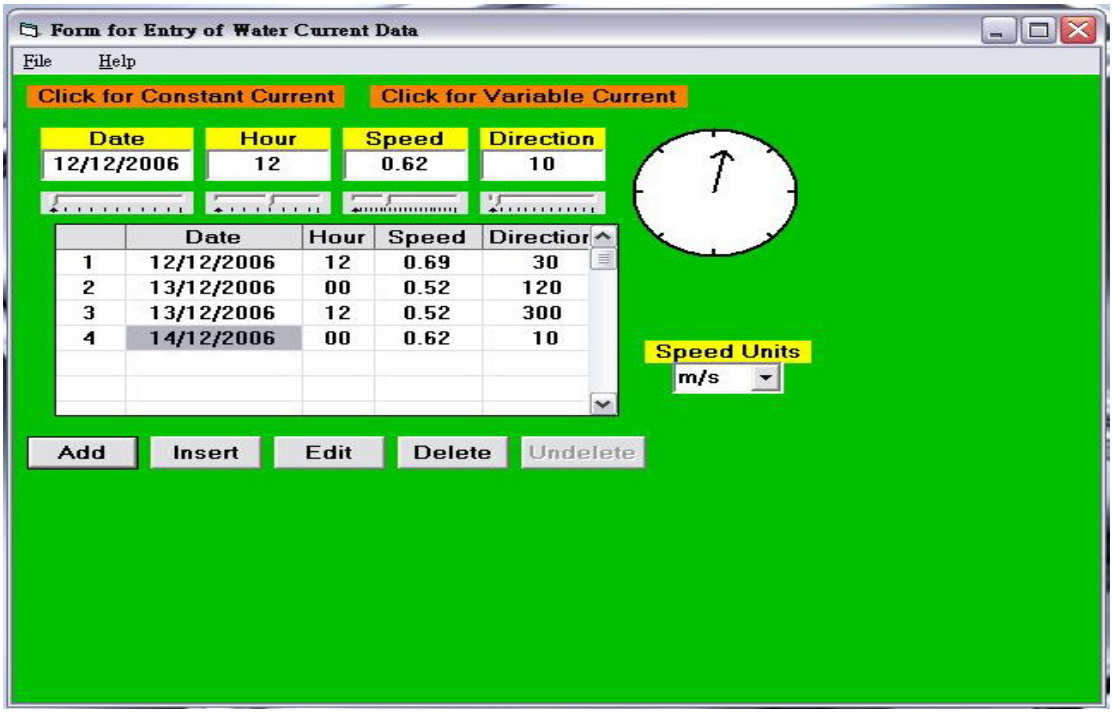


圖 5.2.9 例子所採用的空間固定流場每 12 小時逆時鐘改變

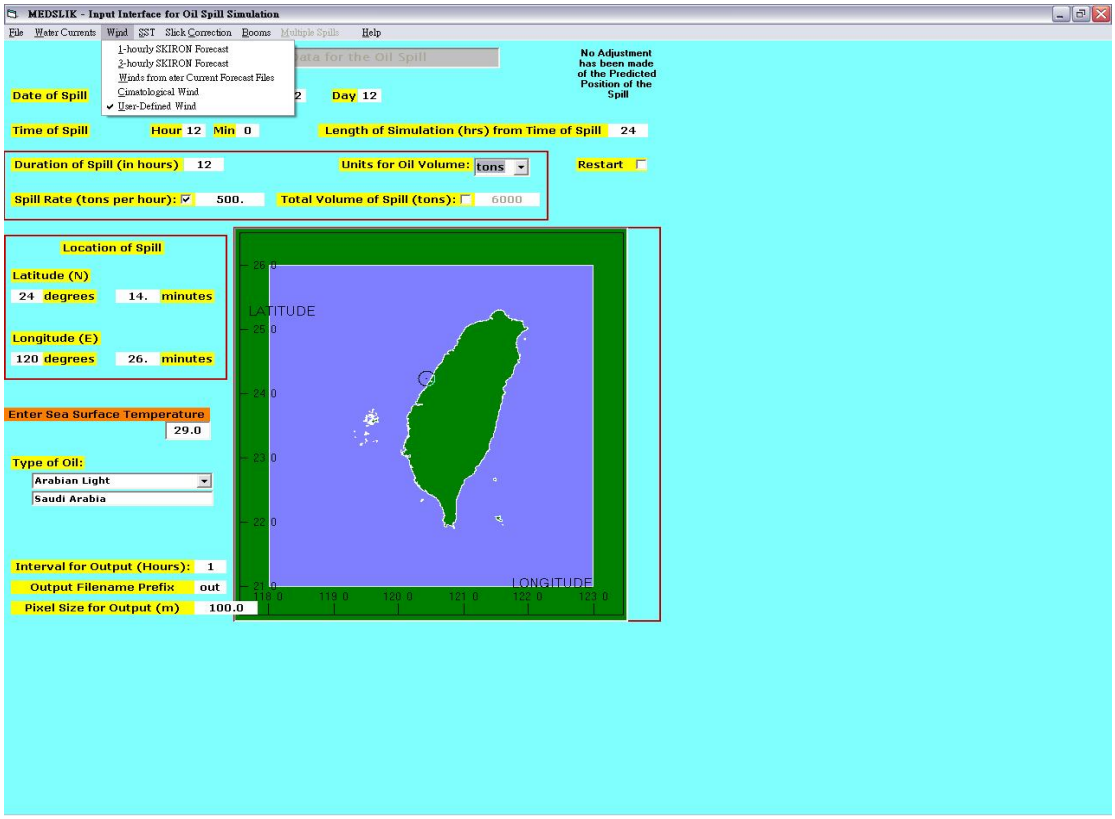


圖 5.2.10 在輸入介面的風場選項

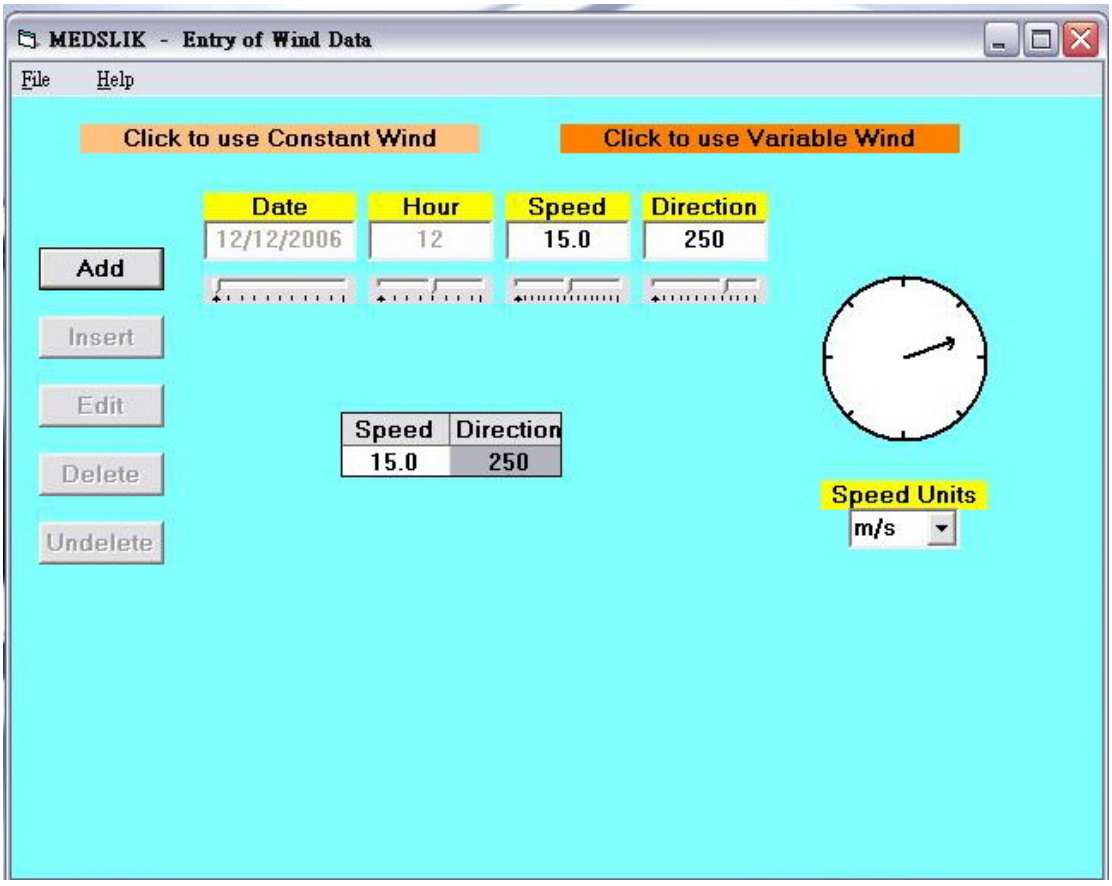


圖 5.2.11 例子所使用的自訂風場

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 5.2.12）、油在 2006/12/12　PM 04：00 開始上岸（見圖 5.2.13）、上岸浮油在 2006/12/13　PM 08：00 因為風場和流場方向改變（見圖 5.2.14）而重新回到海面上的機制也包含於其中（見圖 5.2.15）

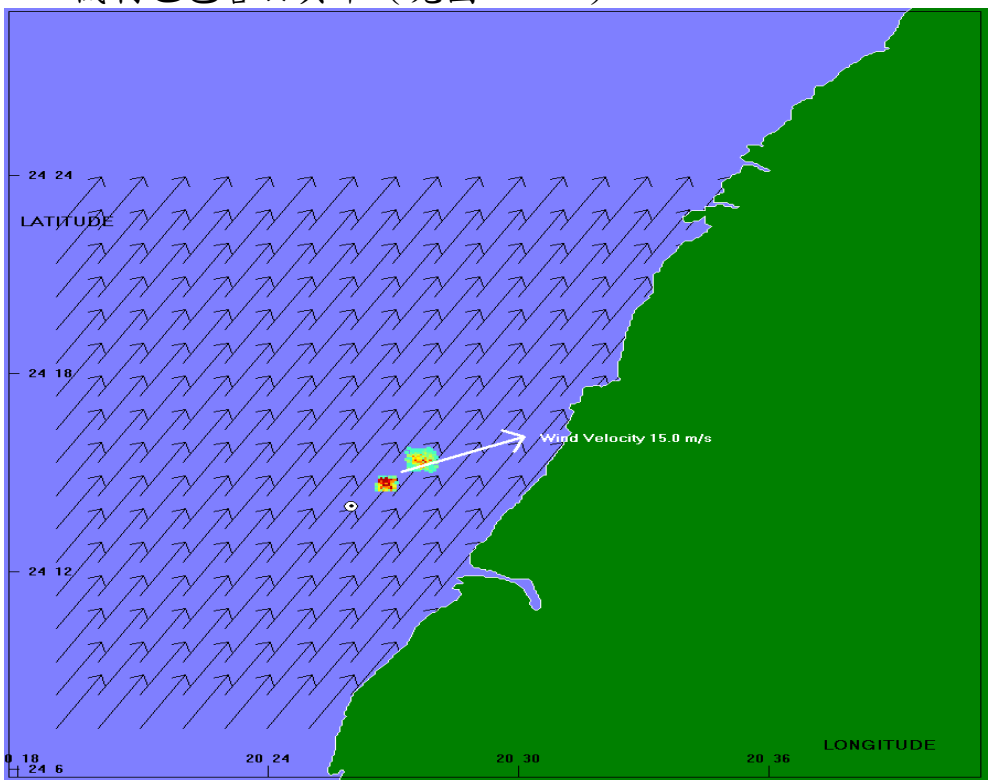


圖 5.2.12 模擬洩油在第一個小時的情況

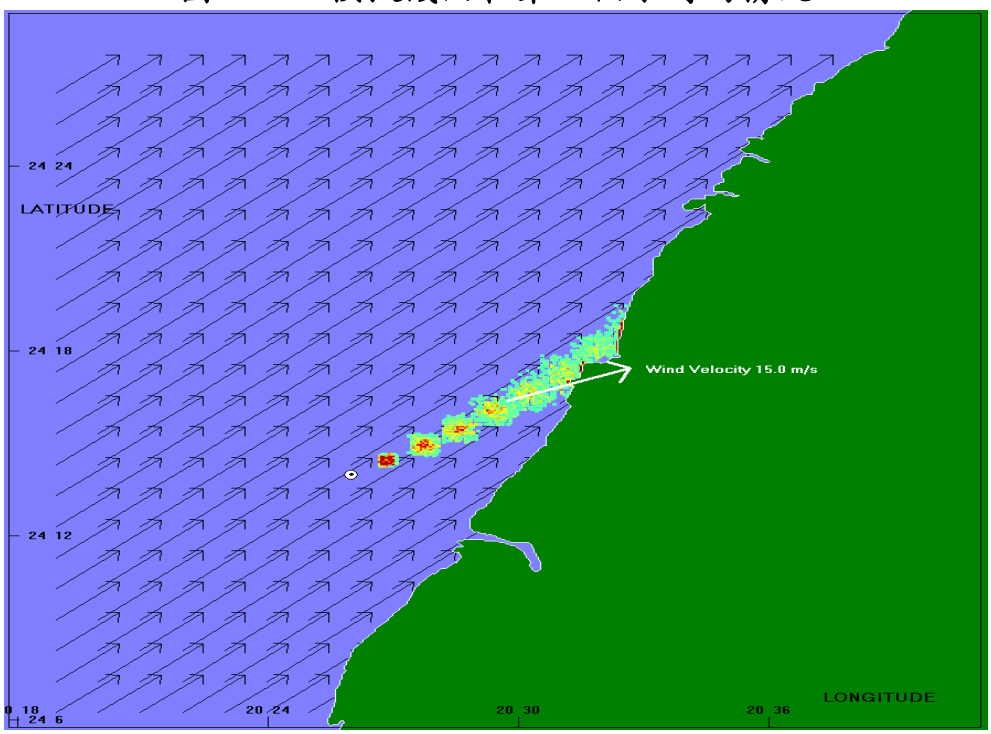


圖 5.2.13 模擬洩油在第四小時候開始上岸

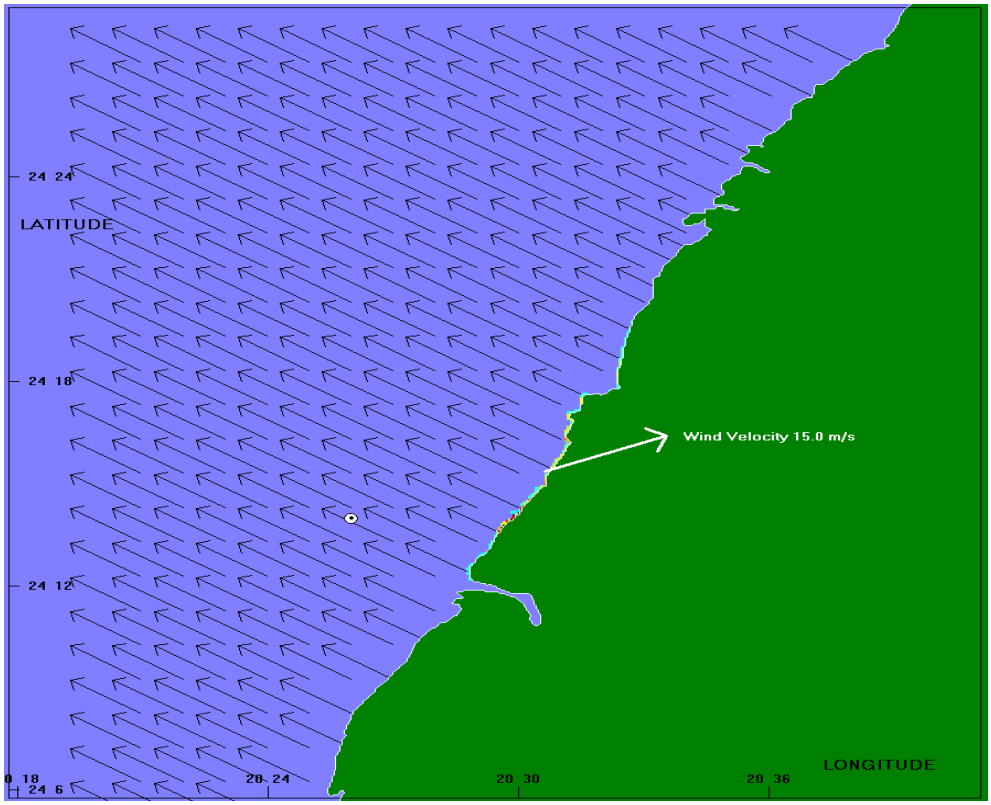


圖 5.2.14 模擬洩油在第二十小時流場開始改變

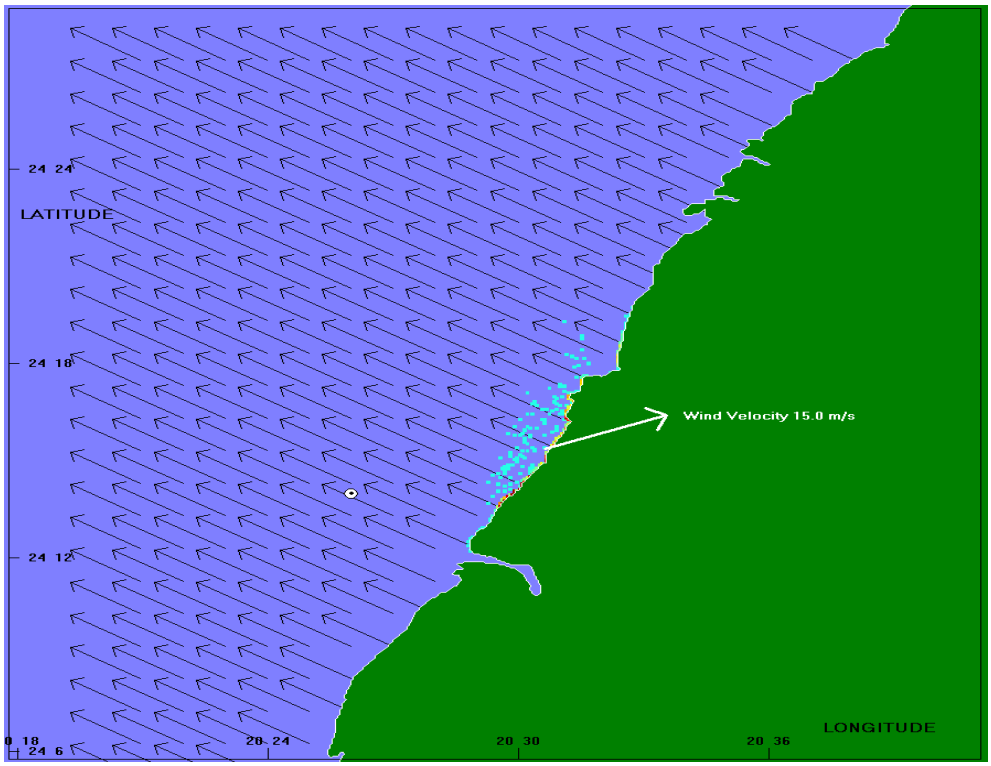


圖 5.2.15 模擬洩油在第二十四時上岸油團重回海上

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 5.2.16）：

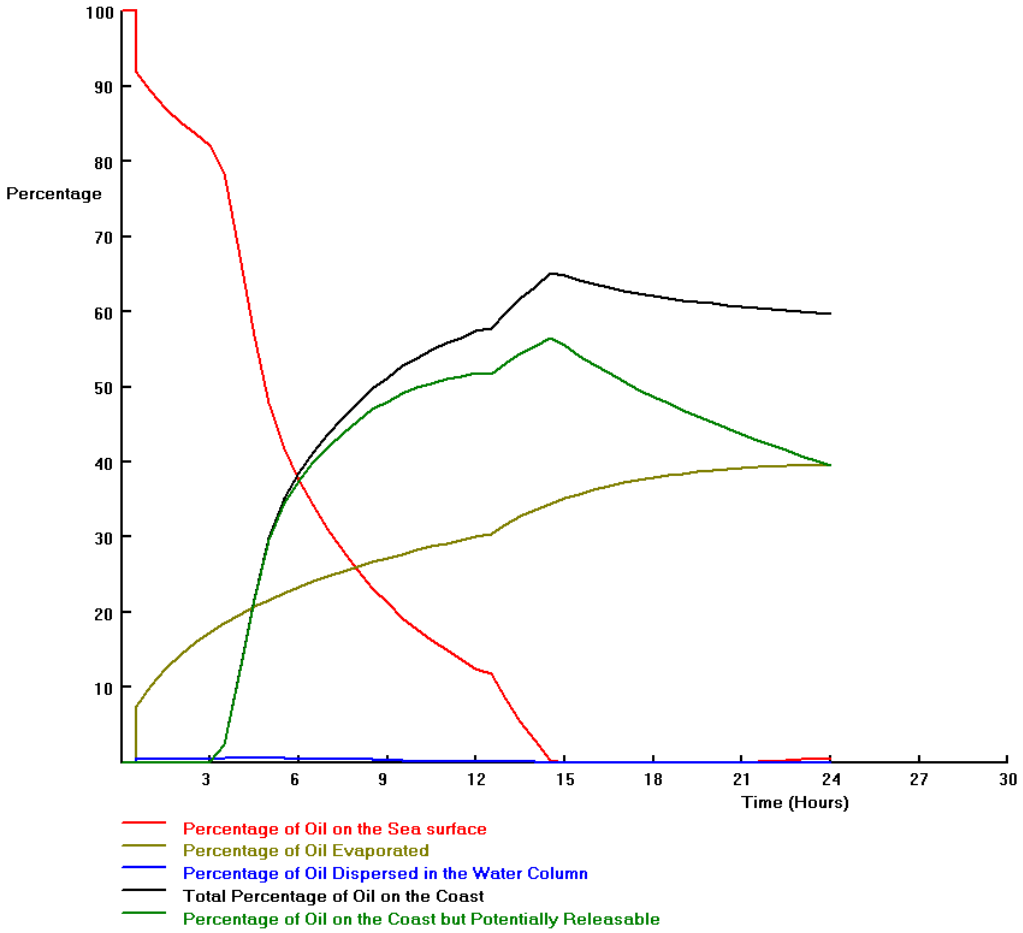


圖 5.2.16 油團的宿命展示圖

第六章 海嘯模式

2004 年南亞海嘯造成的重大傷亡，讓國人進一步的正視地震與海嘯可能造成的威脅；由於我國地震頻仍，若地震於鄰近海域發生，極可能引發大海嘯，造成重大損失。事實上，南亞海嘯後可能受地震與海嘯威脅的世界各國亦多開始致力於海嘯預報系統之引進與研究；我國若無因應措施，對國人心理與國際視聽皆有不良影響。再者，若大海嘯萬一發生，民眾未能即時逃離海灘等危險區域，可能造成重大傷亡；因此建立海嘯數值模式實為當務之急。

海嘯的發生十分罕見，因此任何相關的資料都可能對海嘯之研究有相當的助益。然而由於我國上次發生海嘯災害已超過一個世紀以上，無論是政府或是民間都缺乏相關的資料與經驗，建立海嘯數值模式後，模式的校驗與修正都有極大的困難，自行發展建立海嘯數值模式不易成功；較理想的方式則是與國外進行交流，利用國外已發展成熟的技術與數值模式為基礎，逐步建立本土的海嘯數值模式。本計劃即以此為宗旨，以海嘯研究最發達且海嘯災害的資料與經驗最豐富的日本為對象，逐步引進其已發展成熟的模式，並與其研究人員進行廣泛交流，進一步學習其模擬海嘯的技術，以作為建立本土的海嘯模式之基礎，並進而使海嘯模擬的技術在我國生根發展。

根據已有的史料記載，台灣地區上次發生海嘯災害已有超過一個世紀之遙，無論是政府相關單位或是民間研究機構都缺乏相關的資料與經驗，故建立海嘯數值模式後，模式的校驗與修正都有極大的困難，自行發展建立海嘯數值模式不易成功；較理想的方式則是與國外進行交流，利用國外已發展成熟的技術與數值模式為基礎，逐步建立本土的海嘯數值模式。本計劃即以海嘯研究最發達且海嘯災害的資料與經驗最豐富的日本為對象，逐步引進其已發展成熟的模式，並與其研究人員進行廣泛交流，進一步學習其模擬海嘯的技術，以作為建立本土的海嘯模式之基礎，並進而使海嘯模擬的技術在我國生根發展。本計劃引進日本港灣空港研究所(PARI)所研發之海嘯模式，並研究其操作

方式及轉譯操作說明書，做技術移轉之用，並用以實際執行 2004 年南亞海嘯及 1993 年日本北海道大海嘯。

由於台灣地區實際發生海嘯之紀錄甚少，故本計劃先行收集台灣地區海嘯發生之歷史紀錄，評估台灣地區可能發生之海嘯區域。

本計劃引進日本港灣空港研究所(PARI)所研發之海嘯模式，此模式以淺水線性長波方程式為基礎，並應用 Mansinha 和 Smylie (1971) 所提出之彈性理論作為計算地震的基礎方法，除可用來模擬地震所引發的海嘯外，另可用來計算暴潮模式、線形長波計算、非線形長波計算及非線形長波的陸上遡上計算 (包含防波堤、防潮堤的越流計算)等。

首先，本計劃先開始蒐集有關於世界各地與台灣地區所發生海嘯或是疑似海嘯之歷史紀錄，例如 1896 年日本日本三陸大海嘯、1755 年葡萄牙里斯本海嘯等。另根據中央氣象局及歷史相關文獻記載，台灣地區海嘯或是疑似海嘯之事件共有六起，例如 1867 年發生於基隆及台灣北部之海嘯。由此說明台灣地震發生頻率及強度雖不如日本，但歷史上卻也發生幾起海嘯或是疑似海嘯之紀錄，尤以基隆、安平及高雄為曾經發生海嘯之地點，亦造成為數不少之死傷情況，這說明了台灣本島地區確有發生海嘯之風險。基於海嘯與地震息息相關，亦有其不可預測性，但兩者最大的差異，卻在於海嘯往往是發生逆斷層地震時才會發生且加以必須於大洋中傳播，故如事先了解及蒐集可能發生地震之逆斷層等資料，透過模擬之方式，是可以提供相當充裕的預警及防範時間，將災害降到最低，故尋找適當的海嘯模式是本計劃之首要課題。

同時，地震行為與海嘯發生有關，與台灣同屬環太平洋地震帶之日本，亦飽受海嘯襲擊之苦，是故對海嘯與地震之研究亦獨步於世界，故於引進本模式時，亦同時邀請日本港灣空港研究所之研究人員來台進行技術及學術交流。另外，利用「南亞大海嘯」及「北海道大海嘯」作為本模式實際操作之案例。 此外，將編輯簡要之操作說明，並將模擬結果以及模式適用性作成結論，並進一步討論應用於本土海嘯防災

之實務上。

6.1 海嘯數值計算

6.1.1 海嘯基本理論

海嘯數值計算模式是科學技術用的一種利用數值方法來進行演算的方法。 在本計算模式中，可以同時進行多層水層及多網格的數值計算，其中也可以選擇線形長波計算、非線形長波計算及非線形長波的陸上遡上計算 (包含防波堤・防潮堤的越流計算)。若 (x,y,z) 代表卡氏座標軸，(x,y) 表示水平面，z 表示平均海水面垂直向下，(u,v,w) 為代表 (x,y,z) 之流速分量，p 為壓力，f 為折向係數($f=2\omega\sin\phi$ ，ω 表示地球自轉角速度，ϕ 是緯度)，A_h 、A_v 分別代表水平及垂直方向之渦動黏性係數。離平均海水面高 η 處之氣壓 p_0 ，從海底 $z=-h$ 積分至海面 $z=\eta$ 處，在深度 $D=h+\eta$ 之範圍內，以斷面平均流速 (U,V) 代表每一點之流速 (u,v) ，垂直方向的流速 w ，流速 (u,v) 從海底 $z=-h$ 積分至海面 $z=\eta$ 處，則可得 (x,y) 方向的流量 (M,N) ，海面剪應力 τ_s 及海底剪應力 τ_b ，若使用 (M,N) 來表示，則沿垂直方向積分後之連續方程式及運動方程式可被表示如下：

$$
\begin{aligned}
&\frac{\partial\eta}{\partial t}+\frac{\partial M}{\partial x}+\frac{\partial N}{\partial y}=0\\
&\frac{\partial M}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{M^2}{D}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\frac{MN}{D}\right]=fN-gD\frac{\partial\eta}{\partial x}-\frac{D}{\rho}\frac{\partial p_0}{\partial x}+\frac{1}{\rho}(\tau_{sx}-\tau_{bx})+A_h\left[\frac{\partial^2 M}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 M}{\partial y^2}\right]\\
&\frac{\partial N}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{MN}{D}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\frac{N^2}{D}\right]=fM-gD\frac{\partial\eta}{\partial y}-\frac{D}{\rho}\frac{\partial p_0}{\partial y}+\frac{1}{\rho}(\tau_{sy}-\tau_{by})+A_h\left[\frac{\partial^2 N}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 N}{\partial y^2}\right]
\end{aligned}
\tag{6.1}
$$

然後，如果把垂直方向之水深分為上下兩層，則每層之間各有獨立的連續方程式及運動方程式；如果以 D_1 及 D_2 分別代表上下層之水深厚度，則有：

$$
D_1=h_1+\eta, D_2=D-D_1=h-h_1 \tag{6.2}
$$

則各層之間的流量可分別表示為：

$$M_1 = \int_{-h1}^{z} u dz = u(h_1 + \eta) = uD_1 \quad , \quad N_1 = \int_{-h}^{z} v dz = v(h_1 + \eta) = vD_1$$
$$M_2 = \int_{-h}^{-h1} u dz = u(h - h_1) = uD_2 \quad , \quad N_2 = \int_{-h}^{-h1} v dz = v(h - h_1) = vD_2 \tag{6.3}$$

(6.3)式可用來表示上下層的連續方程式及運動方程式如下：

上層表示式：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M_1}{\partial x} + \frac{\partial N_1}{\partial y} = w_i$$
$$\frac{\partial M_1}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{M_1^2}{H_1}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\frac{M_1 N_1}{H_1}\right] + (uw)_i = fN_1 - gH_1\frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{H_1}{\rho_w}\frac{\partial p_0}{\partial x} + \frac{1}{\rho}(\tau_{sx} - \tau_{ix}) + A_h\left[\frac{\partial^2 M_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M_1}{\partial y^2}\right] \tag{6.4}$$
$$\frac{\partial N_1}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{M_1 N_1}{H_1}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\frac{N_1^2}{H_1}\right] + (uw)_i = -fM_1 - gH_1\frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{H_1}{\rho}\frac{\partial p_0}{\partial y} + \frac{1}{\rho}(\tau_{sy} - \tau_{iy}) + A_h\left[\frac{\partial^2 N_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N_1}{\partial y^2}\right]$$

下層表示式：

$$w_i + \frac{\partial M_2}{\partial x} + \frac{\partial N_2}{\partial y} = 0$$
$$\frac{\partial M_2}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{M_2^2}{H_2}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\frac{M_2 N_2}{H_2}\right] - (uw)_i = fN_2 - gH_2\frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{H_2}{\rho_w}\frac{\partial p_0}{\partial x} + \frac{1}{\rho}(\tau_{ix} - \tau_{bx}) + A_h\left[\frac{\partial^2 M_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M_2}{\partial y^2}\right]$$
$$\frac{\partial N_2}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{M_2 N_2}{H_2}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\frac{N_2^2}{H_2}\right] - (vw)_i = -fM_2 - gH_2\frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{H_2}{\rho}\frac{\partial p_0}{\partial y} + \frac{1}{\rho}(\tau_{iy} - \tau_{by}) + A_h\left[\frac{\partial^2 N_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N_2}{\partial y^2}\right]$$

(6.5)

(1)海面上的剪應力

海面上因風作用所產生的剪應力：

$$\tau_{sx} = \rho_a C_D W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$$
$$\tau_{sy} = \rho_a C_D W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \tag{6.5}$$

式中，ρ_a是空氣密度，C_D是海面的阻抗係數，(W_x, W_y)是海平面上10公尺高之速度分量。

(2)海床上的剪應力

海床上因摩擦所引起的剪應力：

$$\tau_{bx} = \frac{\rho_w g n^2}{H_2^{7/3}} M_2 \sqrt{M_2^2 + N_2^2}$$
$$\tau_{by} = \frac{\rho_w g n^2}{H_2^{7/3}} N_2 \sqrt{M_2^2 + N_2^2} \quad (6.6)$$

式中，ρ_w 是海水密度$(1.03 g/cm^3)$，g 是重力加速度，n 是粗糙係數$(n = 0.026)$。

(3)交界面上的剪應力

上下層間的剪應力可改寫如下：

$$\tau_{ix} = 2\rho_w A_v \frac{U_1 - U_2}{D}$$
$$\tau_{iy} = 2\rho_w A_v \frac{V_1 - V_2}{D} \quad (6.7)$$

式中，(U_1, V_1) 是上層兩方向的平均流速分量；(U_2, V_2) 是下層兩方向的平均流速分量。

(4)交界面上的動量

交界面上的動量傳輸是以 $(uw)_i$ 、$(vw)_i$ 來表示。交界面上的流速假設為

$$u_i = \frac{U_1 + U_2}{2}, v_i = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad (6.8)$$

下層有以下的連續方程式關係存在：

$$w_i = \frac{\partial M_2}{\partial x} + \frac{\partial N_2}{\partial y}$$

則動量可被表示如下的計算方式：

$$(uw)_i = \frac{U_1 + U_2}{2}\left[\frac{\partial M_2}{\partial x} + \frac{\partial N_2}{\partial y}\right]$$
$$(vw)_i = \frac{V_1 + V_2}{2}\left[\frac{\partial M_2}{\partial x} + \frac{\partial N_2}{\partial y}\right] \quad (6.9)$$

線性長波理論方程式之連續方程式及運動方程式可被表示如下：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (6.10)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} = fN - gD\frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{D}{\rho}\frac{\partial p_0}{\partial x} + \frac{1}{\rho}(\tau_{sx} - \tau_{bx}) + A_h\left[\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2}\right]$$
$$\frac{\partial N}{\partial t} = -fM - gD\frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{D}{\rho}\frac{\partial p_0}{\partial y} + \frac{1}{\rho}(\tau_{sy} - \tau_{by}) + A_h\left[\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2}\right] \quad (6.11)$$

6.1.2 差分離散化

在 2 層暴潮模式中其連續式及運動方程式必須以差分形態表示，其中空間差分採用水位η及個別計算點上的水平流量$(M1, M2, N1, N2)$，直角座標(x, y, z)分別對應至離散化中之代號(i, j, k)，圖中的流量(M, N)分別對應至上層$(M1, N1)$及下層$(M2, N2)$，同位置之垂直方向的流速w及水位η則是相同的定義方式。x 方向的流量$(M1.2)$代表$M1$、$M2$，y 方向的流量$(N1.2)$代表$N1$、$N2$，水深$(H1.2)$代表上下兩層的厚度$H1$、$H2$；非線性項則使用上風法表示，運動方程式中的海底剪應力項，使用隱式法。

6.1.3 計算條件：

近地海嘯數值計算的初始條件是使用地震斷層模式所計算的海底地殼變動垂直位移。

(1)初始條件 (推斷地震斷層模式的初始水位)

如果地球內部因為其他原因積蓄而造成地層發生扭曲，進一步產生龜裂 (斷層)，沿著這條交界面兩側的地殼如果發生劇烈的位移，這現象就是斷層運動，斷層發生相對運動的時候就會發生地震。如果在海底下發生斷層運動，沿海底垂直方向發生沈降或隆起，這就成為海嘯發生的原因。

斷層運動本身如以微觀的角度觀之，有非常複雜的過程，巨觀的看，整體的運動能簡單的模式表示。最單純的模式如圖 6.1 所示，長度 L、寬度 W 的曲面斷層。一般以 D(滑動量或者稱為交錯量)。圖 6.2 表示在水平方向位移的橫向斷層 (右邊分歧・左分歧) 在垂直方向位移的縱向斷層 (正・逆斷層)。根據斷層幾何學特性，滑動方向λ、斷層走向ϕ和斷層面傾斜角δ等 6 個斷層參數，可以由分析地震波推斷。

如果能給予上述的斷層參數，那鄰近斷層帶的海底 (地表方面) 垂直位移變化可以利用 Mansinha and Smylie (1971)所提出以彈性理論作為基礎的方法計算。圖 6.3 表示斷層的動向和地表變化的概念。將垂直位移作為海面的水位變化，作為海嘯數值計算的初始條件。

通常，是把海底瞬時間的變化直接傳遞給海面上。而實際上的地震斷層運動，有的是瞬間產生變動，有的會持續 100 秒左右。由相田(1969)的研究顯示利用瞬間的變位及長延時變化完畢時之變位作為海嘯的初始水位變動，這兩者的差異並不大。

(2)邊界條件

(2.1)離岸邊界條件

關於海嘯計算區域內離岸邊界條件，根據長波理論的特性曲線准許其自由通過邊界。以下整理離岸邊界條件的設定方法。只考慮入射波的強製邊界，以下採用特性曲線法來討論此一現象。

在相同水深的海域中，假定從離岸邊界條件使用 sin 形波作為入射的波浪，則在此一海域中傳播的波浪可用線形長波來近似。

以上指一維方向的傳播，至於二維方向的傳播上述的離散式會更為擴張。在二維方向的傳播，有關於特性曲線法成立的特性是屬於一般化的，所以此處應用擴展一維傳播的結果。與一維傳播最大的不同是在於波浪的進行方向。因為一般波浪的入射方向是固定的，負的特性線也是有固定的方向。但是，在計算網格內表示反射波的正特性線有時和入射方向不同。不過，如果考慮正負兩特性線的方向的時候，則就有可能按照一維傳播模式同樣的方式計算。

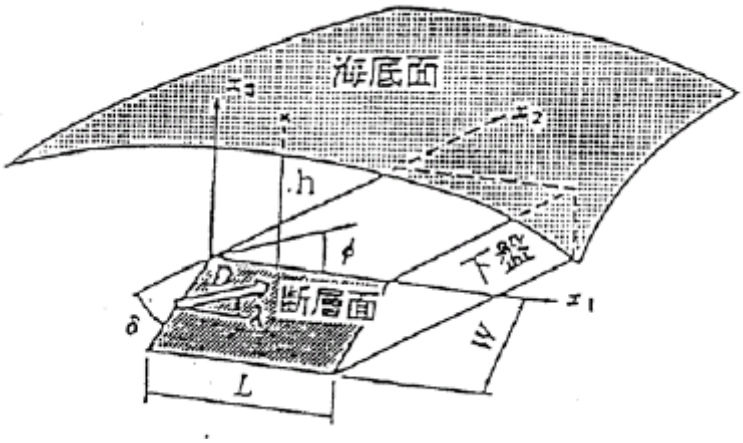


圖 6.1 斷層運動最單純的模式

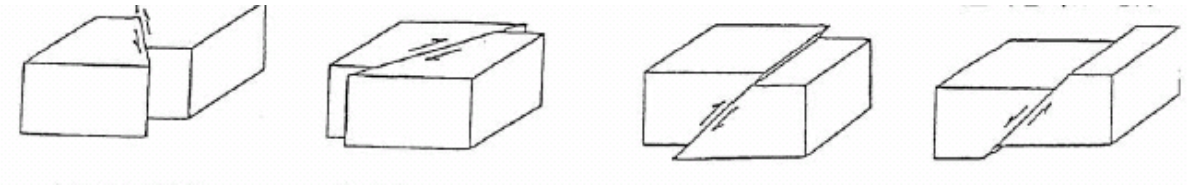


圖 6.2 由左至右分別為水平方向位移的右分歧、 左分歧橫向斷層、在垂直方向位移的正斷層、逆斷層

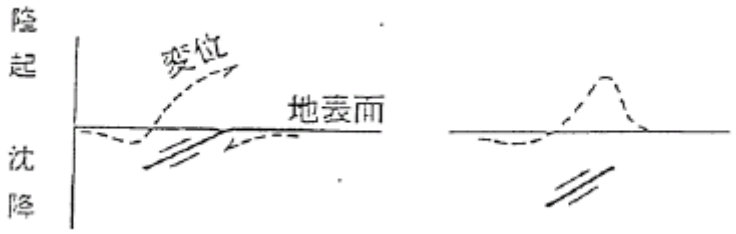


圖 6.3 斷層的動向和地表變化

(2.2)自由透過境界

自由透過境界是用來計算來自計算網格內的反射波，能讓其自由通過邊界。此時，只考慮採用前述入射波的特性曲線法的關係來表示反射波成分即可。在境界位置 $x = x_0$ 處，考慮讓自由透過反射波的方法的地點在境界，近地海嘯中例如昭和南海地震海嘯中的南海道海嘯傳播計算，就是以前述的離岸邊界條件處理。

(2.3)溯上邊界條件

有關於海嘯所引起陸地的溯上，在採用非線形長波理論式的時候只考慮往陸地的溯上。此時是採用岩崎・真野(1979)的方法。考慮一波浪的前緣在一類似樓梯地形的傳遞，陸地格點的地表高程為 h，海域格點的水位為 η；把兩者差作為實水深 D。

(2.4)越流邊界條件

在計算網格內若有防波堤或者突提時，水位越過堤頂時，使用下面本間公式可計算每單位寬度的越流量 Q。

(2.5)和其他網格進行結合的計算條件 (接續境界)

海嘯數值分析模式中，需要從海上至計算地點沿岸依序細分化，併合其他網格進行計算。計算網格間隔細分化、可以考慮採用 1:2 分割法及 1:3 分割法並用。結合不同間隔計算格點的網格進行計算時，可採用如下的處理:大網格計算所得之流量以內插方式給予小網格，以小網格計算所得之水位作為大網格之內的值。

(3)其他的計算條件

(3.1)計算時間間隔

在全網格計算中，為了差分模式的穩定性，必須採用相同的時間間隔 Δt ，即是(C.F. L.條件) ，Δt 之設定，必須在每個地點都滿足此條件。

(3.2)摩擦係數

在非線性長波理論中，考慮利用曼寧的粗糙係數來評估海底摩擦。在本模式中，海底是被考慮為一個具有大規則斷面之流路，此時曼寧的粗糙係數 n=0.025m(-1/3)s，海底摩擦運動量損失係数為 f，本模式可以容許 f 隨空間變化。有關底床的種類和(曼寧)的粗糙係數值如表 6.1 所列。

表 6.1　底床的種類和(曼寧)的粗糙係數值

流路形態		概略值
平野的小流路	雜草叢生、滿水位狀態及深淵	0.025～0.033
	同上，但是石頭較多	0.03 ～0.04
	雜草叢生，蜿蜒蛇行還有一些較淺的部份	0.033～0.044
		0.35～0.05
	同上，但是含有一些石頭雜草及蟻窩	0.04～0.055
	同上，但是水位較低	0.045～0.06
	同上，並且石頭相當多	0.05～0.08
	水流緩慢，深淵中含有雜草	
山地流路	底面有細沙、玉石及若干大玉石	0.03～0.05
	大玉石與玉石互相交錯	0.04～0.07
大流路	規則的斷面含有大玉石與潅木	0.025～0.06
	不規則的粗糙斷面	0.035～0.10

[摘自土木學會之水理公式集]

6.2 實例模擬

6.2.1 南亞大海嘯

2004 年 12 月 26 日清晨，印尼發生 9.0 級大地震，震央位於蘇門答臘島西北部的亞齊省西南外海 160 公里處。地震引發南亞大海嘯，巨浪沖向印尼、泰國、斯里蘭卡、印度這些印度洋周邊國家，甚至沖向遠在五千公里外的非洲東岸，其影響範圍及所在地之地震規模如圖 6.4 所示。

本模式必須先行輸入地震相關物理參數於 smatra.fault 檔中，供副程式 DEFORM 執行地震模式運算。首先將斷層運動分成三段，其斷層的端點位置經緯度分別為北緯 2.5 度東經 95.75 度、北緯 5 度東經 94 度、北緯 10 度東經 92 度，斷層長度分別為 330KM、570KM、300KM。斷層面的寬度皆為 150 KM，斷層面上緣的深度皆為 7KM，斷層面的向下傾斜角皆為 15 度，滑動量皆為 11 公尺。分別計算普吉島(Phuket)、班答亞齊(Banda Aceh)及可倫坡(Colombo)等印度洋沿岸之主要城市水位變化，模式測試結果如圖 6.5 至圖 6.7。

圖 6.4 印度洋大地震影響範圍及所在地之地震規模

圖 6.5 表示泰國普吉島(Phuket)、印尼班答亞齊(Banda Aceh)及可倫坡(Colombo)於地震發生後 20 小時內之水位變化情形，由本圖可得知由於鄰近地震震央，故印尼之班答亞齊(Banda Aceh)與泰國普吉島(Phuket)迅速發生劇烈水位變化，其最大波高約為 6-7 公尺。

由於斷層上方的水體先流向下沈斷層，因此被抬升的斷層後方的海岸先發生大退潮，之後才會遭到海浪侵襲，亦即此時波谷會先發生。由圖6.5可發現印尼班答亞齊(Banda Aceh)及泰國普吉島(Phuket)均發生此一現象，同時，這樣的行為也符合倖存的泰國普吉島遊客對於海嘯來臨前先有大退潮的描述。位於另一側的可倫坡(Colombo)因為於逆斷層另一側，其水位描述正好與上述兩城相反，均是波峰先到達海岸。由以上結果顯示，故本模式應可適用模擬海嘯發生時之水位變化。

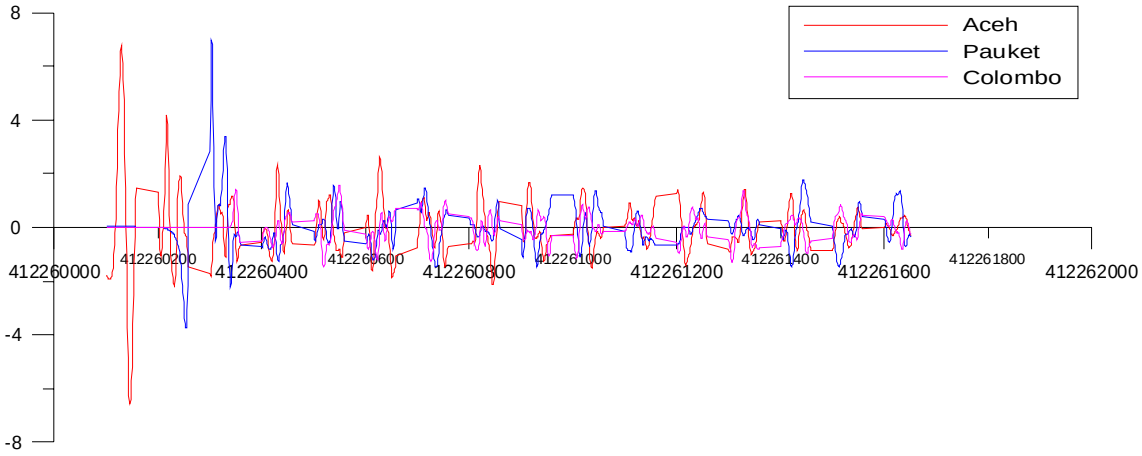


圖 6.5　班答亞齊(Banda Aceh)、泰國普吉島(Phuket)及可倫坡(Colombo)於海嘯發生時之水位變化

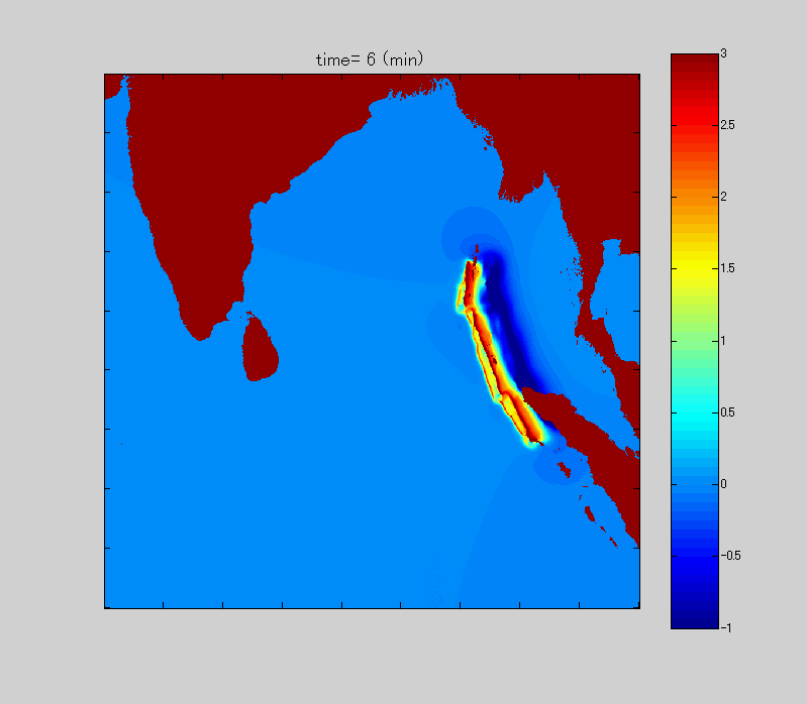


圖 6.6 南亞大海嘯因三段斷層運動造成之水位變化

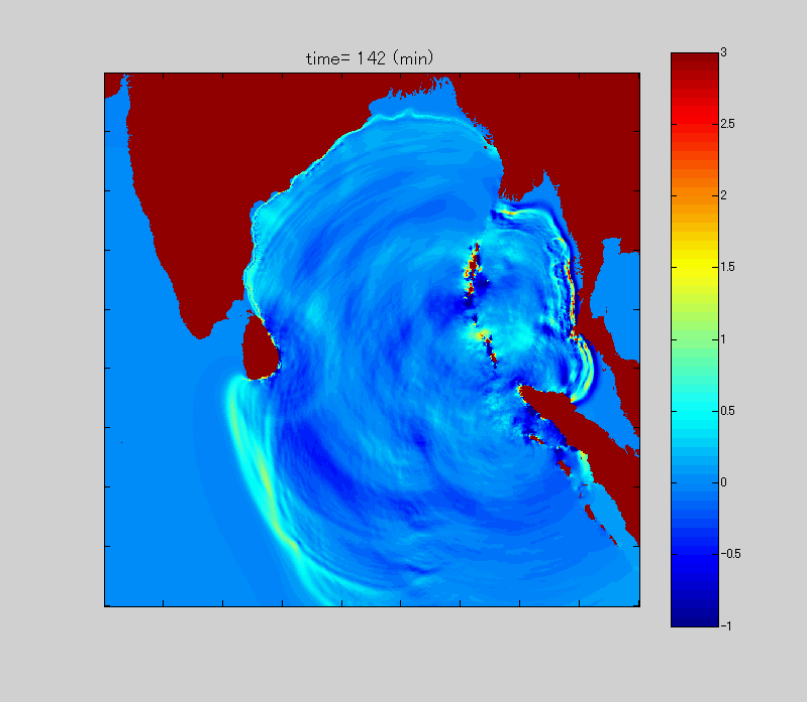


圖 6.7 南亞大海嘯斷層錯動 142 分鐘後之水位變化

6.2.2 北海道大海嘯

北海道大海嘯發生在 1993 年 7 月 2 日，震源在北海道外海，主要受災地點為 Okushiri Island (北緯 42 度 10 分; 東經 139 度 31 分)。首先將斷層運動分成兩段，其斷層的端點位置經緯度分別為北緯 40.24 度、東經 138.8 度與北緯 40.67 度、東經 139.18 度。斷層長度皆為 60KM，斷層面的寬度皆為 40 KM，斷層面上緣的深度皆為 1KM，斷層面的向下傾斜角分別為 30 度與 40 度，滑動量分別為 5 公尺與 4 公尺。其水位變化參見圖 6.8 與圖 6.9。

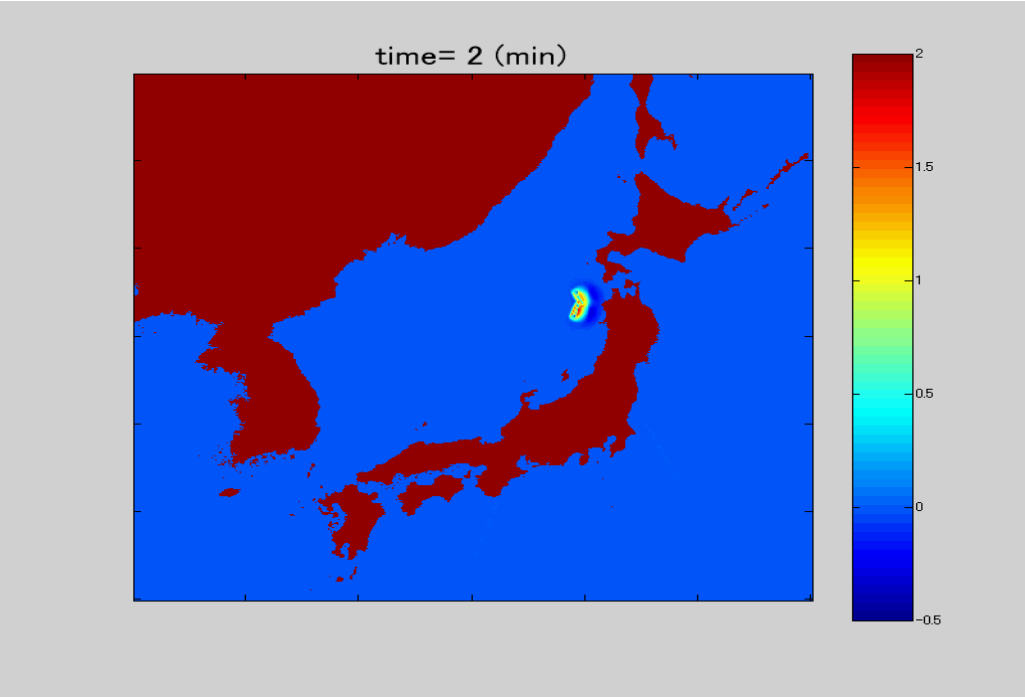


圖 6.8 北海道大海嘯因兩段斷層運動造成之水位變化

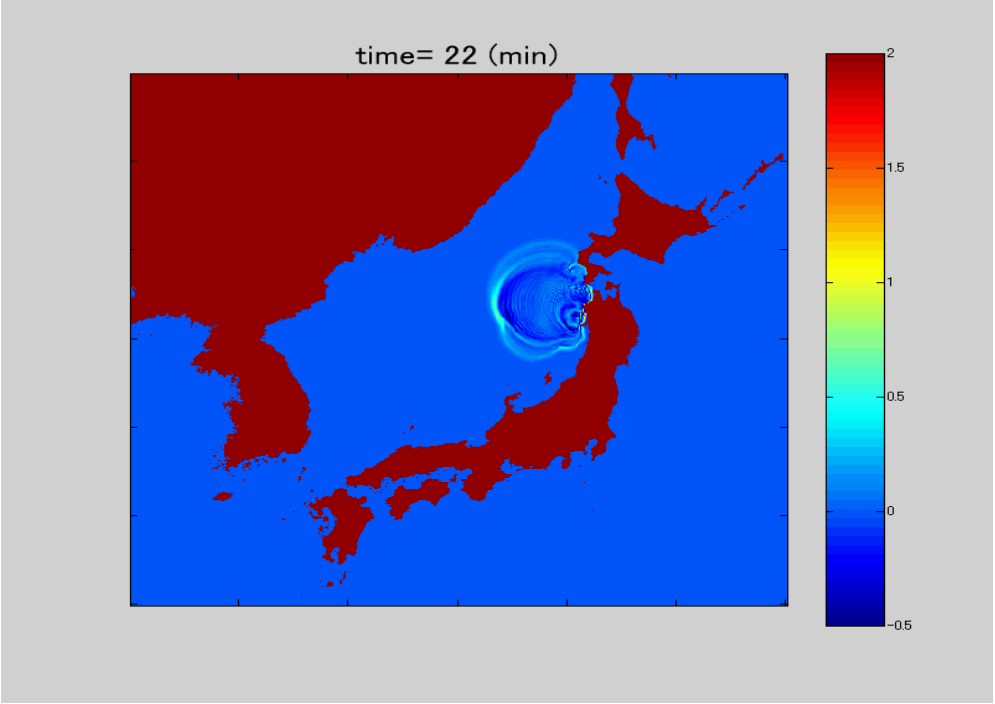


圖 6.9 北海道大海嘯斷層錯動 22 分鐘後之水位變化

第七章 臺灣環島海象預報系統

7.1 網路資訊系統架構

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

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

7.1.1 第一層下拉式表單

- 系統說明
- 觀測資料
- 颱風海象
- 風壓模式
- 波場模式
- 水位模式
- 流場模式
- 擴散模式(建構中)
- 相關網站
- 回首頁

7.1.2 第二層下拉式表單

- 系統說明
  - 系統概述
  - 研究計畫
- 觀測資料
  - 綜合查詢
  - 查詢說明
  - 觀測網站
  - 典型水深
  - 典型海象
  - 典型風壓
  - 典型波浪
  - 典型水位
  - 典型海流
  - 典型擴散(建構中)
- 颱風海象
  - 模式說明
  - 典型資料
- 風壓模式
  - 即時風壓
  - 歷史風壓
  - 模式說明
  - 典型風壓
- 波場模式
  - 即時波場
  - 歷史波場
  - 模式說明
  - 典型波場
- 水位模式
  - 即時水位
  - 歷史水位

- ◆ 模式說明
- ◆ 典型水位

- ➢ 流場模式
  - ◆ 即時海流
  - ◆ 歷史海流
  - ◆ 模式說明
  - ◆ 典型海流
- ➢ 擴散模式(建構中)
- ➢ 相關網站
  - ◆ 港灣研究中心
  - ◆ 中央氣象局
  - ◆ 經濟部水利署
- ➢ 回首頁

7.1.3 第三層下拉式表單

- ➢ 系統說明
  - ◆ 系統概述→輸出結果
  - ◆ 研究計畫
    - ● 計畫緣由→輸出結果
    - ● 計畫目的→輸出結果
    - ● 參與人力→輸出結果
- ➢ 觀測資料
  - ◆ 觀測網站
    - ● 風力測站→輸出風力測站位置圖
    - ● 波浪測站→輸出波浪測站位置圖
    - ● 水位測站→輸出水位測站位置圖
    - ● 海流測站→輸出海流測站位置圖
    - ● 水深測區→輸出水深測區位置圖
  - ◆ 綜合查詢→查詢表單→輸出結果
  - ◆ 查詢說明→輸出結果
  - ◆ 典型水深→表單點選→輸出等深線圖
  - ◆ 典型海象→表單點選→輸出各種海象歷線圖。

- 典型風壓→表單點選→輸出颱風路徑圖、氣壓、風速、風向歷線圖(或風向量圖、等氣壓圖)。
- 典型波浪→表單點選→輸出波高、週期、波向歷線圖(或等波高、等週期、波向量圖)。
- 典型水位→表單點選→輸出水位歷線圖(或等水位線圖)。
- 典型海流→表單點選→輸出流速、流向歷線圖(或海流向量圖)。
- 典型擴散→表單點選→輸出等值圖(或歷線圖)。

➢ 颱風海象
- 模式說明→輸出結果
- 典型資料→表單點選→輸出結果

➢ 風壓模式
- 即時風壓
  - 即時颱風→查詢表單→輸出 72 小時風向量圖(或風速、風向歷線圖)。
  - 即時風場→查詢表單→輸出 72 小時風向量圖(或風速、風向歷線圖)。
  - 即時氣壓→查詢表單→輸出 72 小時等氣壓圖(或氣壓歷線圖)。
- 歷史風壓
  - 歷史颱風→查詢表單→輸出風向量圖(或風速、風向歷線圖)。
  - 歷史風場→查詢表單→輸出風向量圖(或風速、風向歷線圖)。
  - 歷史氣壓→查詢表單→輸出等氣壓圖(或氣壓歷線圖)。
- 模式說明→輸出結果
- 典型風壓→表單點選→輸出結果

➢ 波場模式
- 即時波場→表單點選→輸出 72 小時等波高圖、等週期圖、波向線圖、波向量圖(或波高、週期、波向歷線圖)。
- 歷史波場→表單點選→輸出等波高圖、等週期圖、波向線圖、波向量圖(或波高、週期、波向歷線圖)。
- 模式說明→輸出結果
- 典型波浪→表單點選→輸出結果

➢ 水位模式
- 即時水位→表單點選→輸出 72 小時等天文潮位線圖 (或天文潮位歷線圖) 。等暴潮位線圖 (或暴潮位歷線圖)。等總水位線圖(或總水位歷線圖)。
- 歷史水位→表單點選→輸出等天文潮位線圖 (或天文潮位歷線圖) 。等暴潮位線圖 (或暴潮位歷線圖)。等總水位線圖 (或總

水位歷線圖)。

- ◆ 模式說明→輸出結果
- ◆ 典型水位→表單點選→輸出結果

- ➢ 流場模式
  - ◆ 即時海流→表單點選→輸出 72 小時海流向量圖 (或海流歷線圖) 。
  - ◆ 歷史海流→表單點選→輸出海流向量圖 (或海流歷線圖)。
  - ◆ 模式說明→輸出結果
  - ◆ 典型海流→表單點選→輸出結果
- ➢ 擴散模式(建構中)
- ➢ 相關網站
  - ◆ 港灣研究中心
  - ◆ 中央氣象局
  - ◆ 經濟部水利署
- ➢ 回首頁

[註]:

1. ”輸出結果”一般為”圖檔”或”說明檔”或”報表檔”，僅提供固定之結果，不提供選擇功能。”表單點選”，以固定之各種表單提供選取。
2. ”波高”代表”示性波高”， ”週期”代表”示性週期”。

7.2 網站架構

7.2.1 網站架構概念

設計Taicoms網站架構時，預先考量到往後如果開放給一般民眾參觀，如何在使用者進入到此網站後，便可以一目了然的理解網站所要呈現的內容，同時可以符合港研中心所建議的資料架構。現今的網頁均會在首頁，利用一些多媒體技術來加強網頁的生動、活潑性。因此，網頁設計之初也將此概念加入，利用flash的動畫來加強本網站的豐富性。網站的設計也以可以讓使用者一目了然的架框結構來當作開

發基礎。本網頁設計時將網頁切割成三個FRAME(頁框)；左頁框放計劃執行相關單元選單，右頁框則當作顯示頁面，上頁框則是作為本網站BANNER顯示處。概念圖如下圖所示。

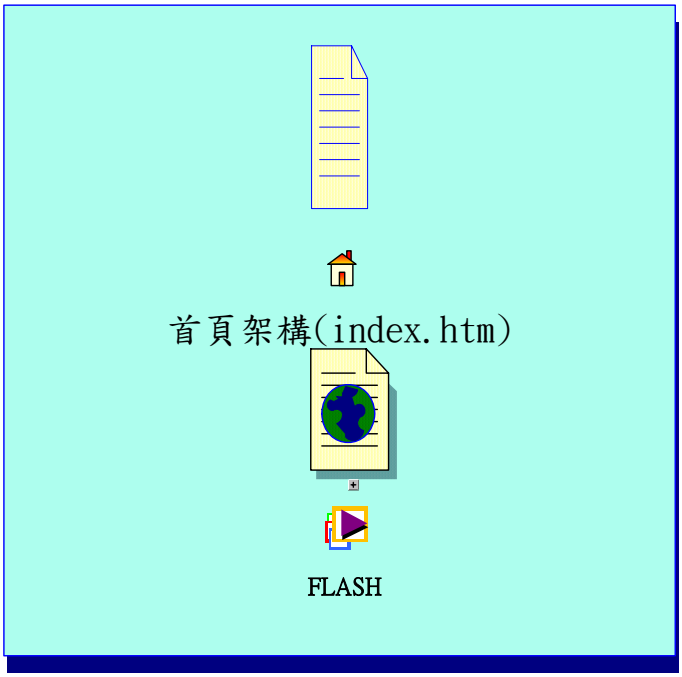


圖7.2.1　Taicoms首頁架構

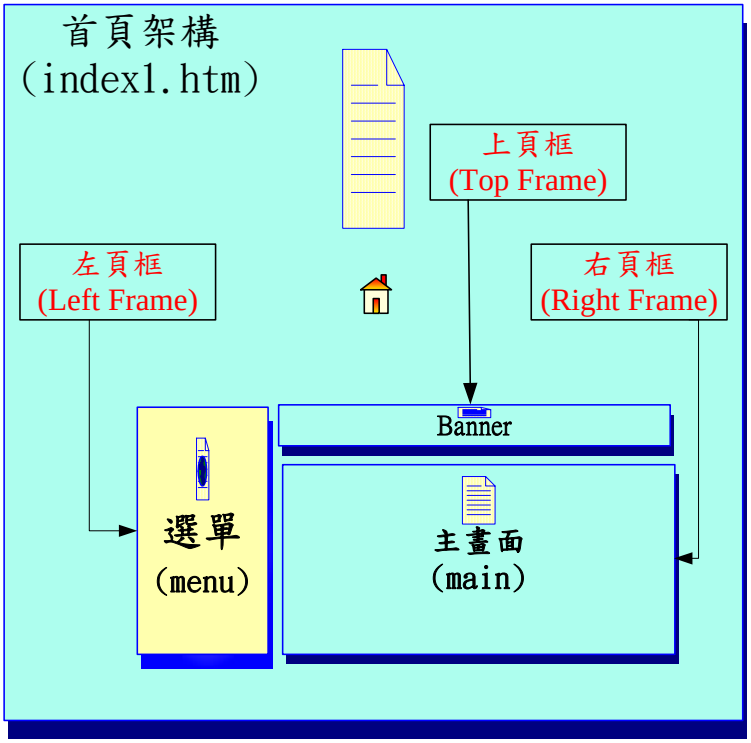


圖7.2.2　TaiCOMS網站架構概念

7.2.2 階層概念選單

本計劃中很多資料都必須利用階層式的概念，一層一層的將東西呈現。為了方便使用者在進入此網站後，可以馬上找到所需要的資料，設計時，先將所有主題分門別類，利用專業的概分方式（示意圖如下）將本計劃的主題呈現出來。一般的政府機關網站也是利用此方式幫助使用者來找尋資料，所以使用者在使用上會有熟悉的感覺，操作較易。

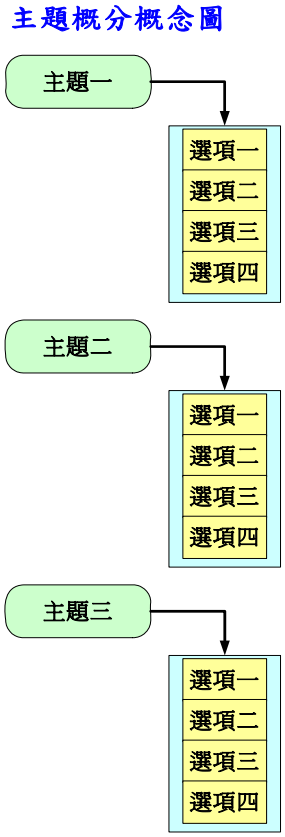


圖7.2.3　以主題為概分概念圖

7.2.3 資料呈現方式

網站在資料的呈現部分完全以使用者的直覺化反應來作設計。當使用者在選單上點選所要觀看的主題後，往往希望能馬上在網頁看到選單選項的內容資料。所以網站設計上才會將視窗以架框的格式來實

現，當使用者點選左邊架框的選單後，右手邊的頁框會馬上呈現資料。

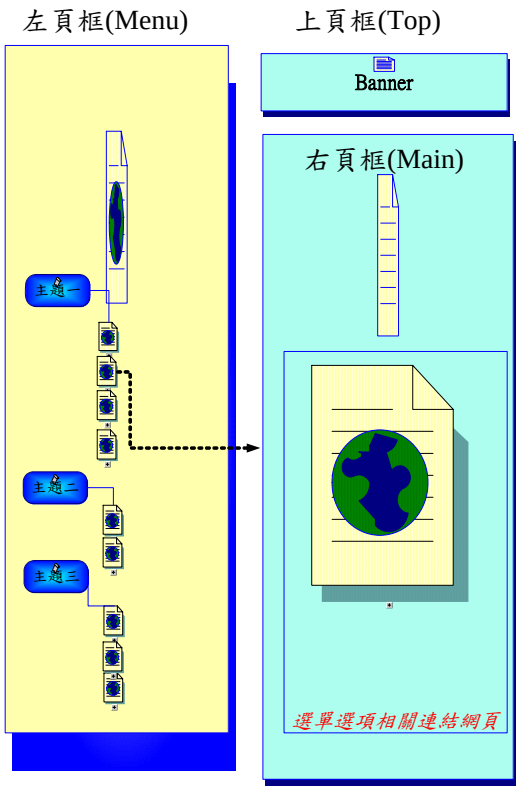


圖7.2.4　資料呈現方式

7.2.4 網站內容

本章節將所規劃的概念，實際利用Homepage的方式呈現。本網站中，將主題分成下列幾項：

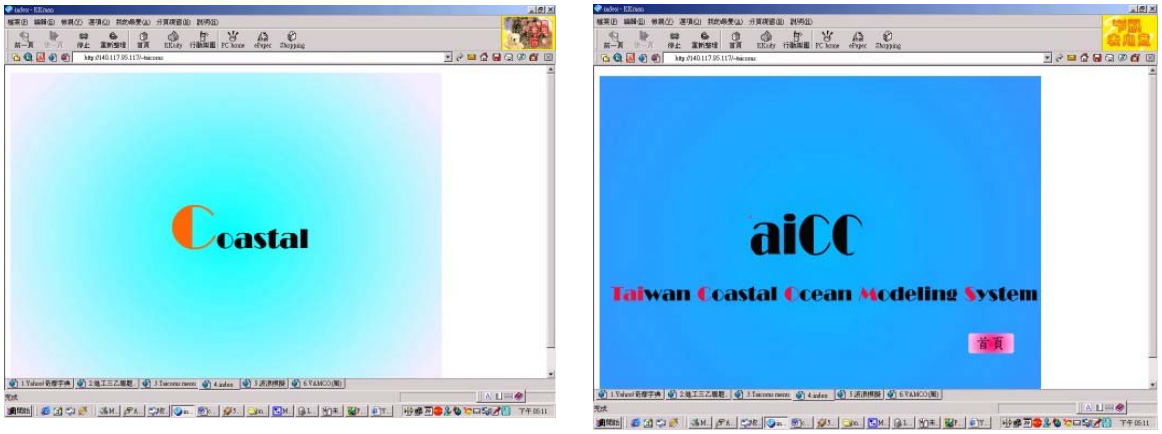


圖7.2.5　Flash多媒體首頁

💻主網頁

圖 7.2.6　Taicoms 主網頁

➢　系統說明

在系統說明的選項中，包含有系統概述及研究計畫。

圖 7.2.7a　Taicoms 系統說明

圖 7.2.7b　Taicoms 系統說明 2

➢ 系統說明

◆ **系統概述**

其中系統概述包含臺灣近海海象預報系統及臺灣近海海象預報系統規劃時程。

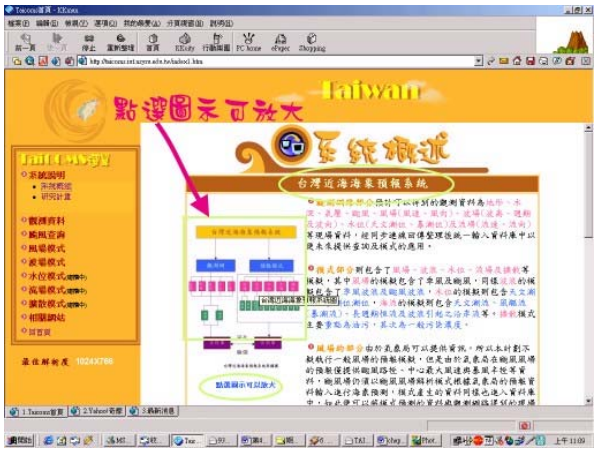


圖 7.2.8 臺灣近海海象預報系統概述

圖 7.2.9 臺灣近海海象預報系統示意圖

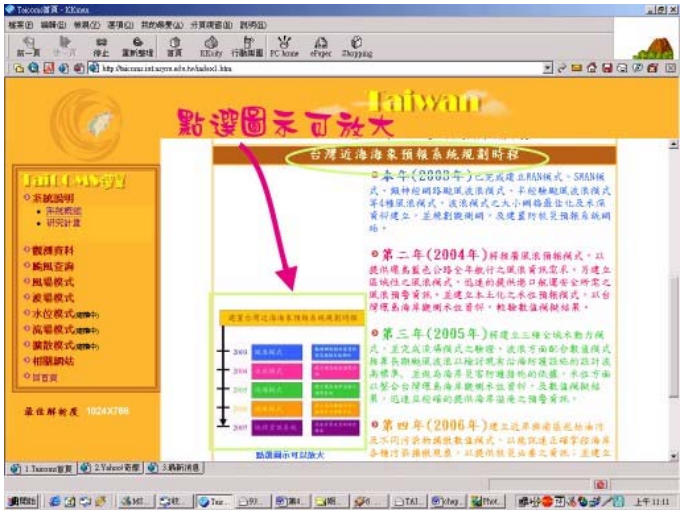


圖 7.2.10 臺灣近海海象預報系統規劃時程　圖 7.2.11 臺灣近海海象預報系統規劃時程圖

◆ 研究計畫

圖 7.2.12　研究計畫

- 計畫緣由

圖 7.2.13 計畫緣由

- 計畫目的

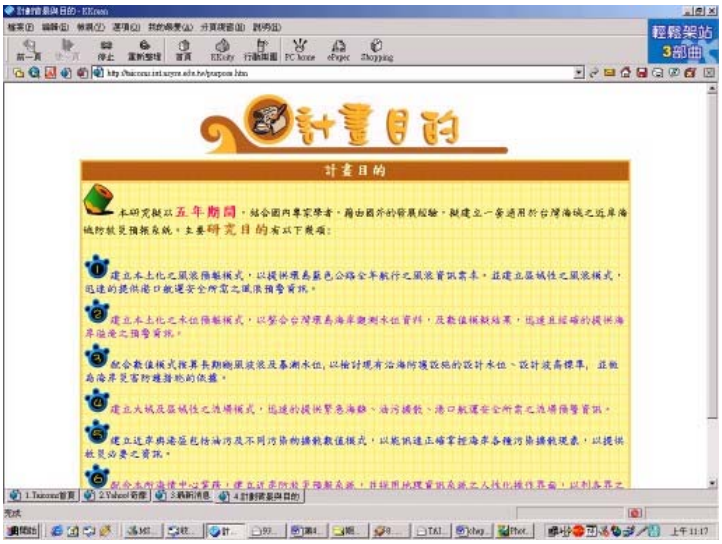
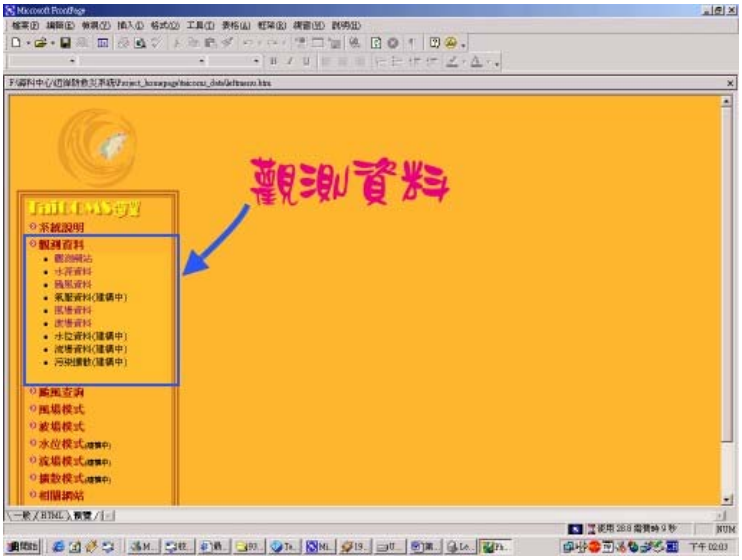


圖 7.2.14 計畫目的

- 參與人力

圖7.2.15 參與人力

➢ 觀測資料



➢

圖 7.2.16 觀測資料選項

◆ 觀測網站

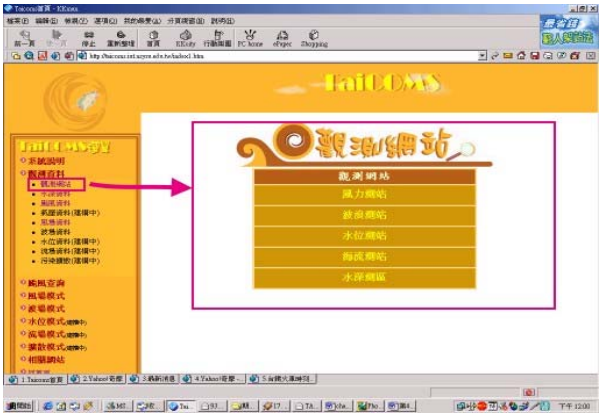


圖 7.2.17 觀測網站

● 風力測站

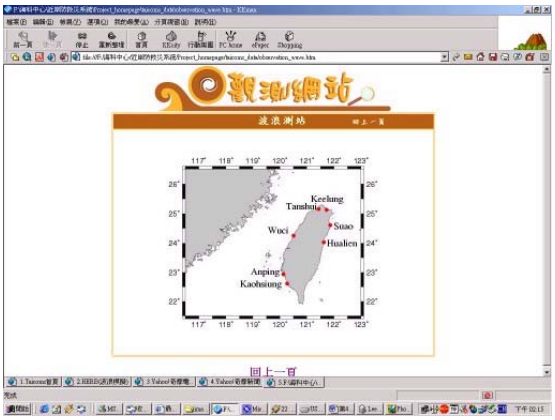
點選前

點選後

圖 7.2.18 風力測站

● 波浪測站

點選前

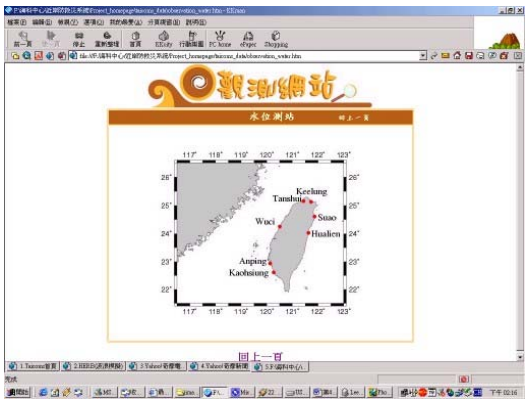


點選後

圖 7.2.19 波浪測站

- 水位測站

點選前

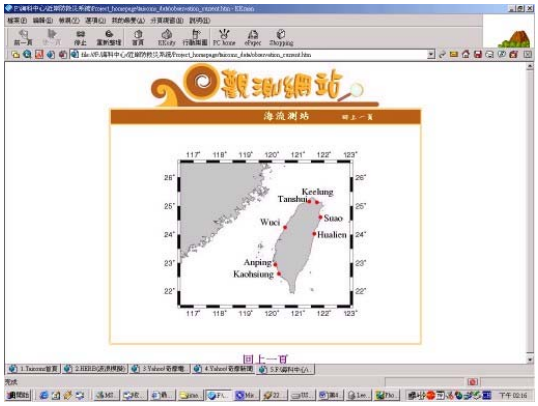


點選後

圖 7.2.20 水位測站

- 海流測站

點選前



點選後

圖 7.2.21 海流測站

- 水深測區

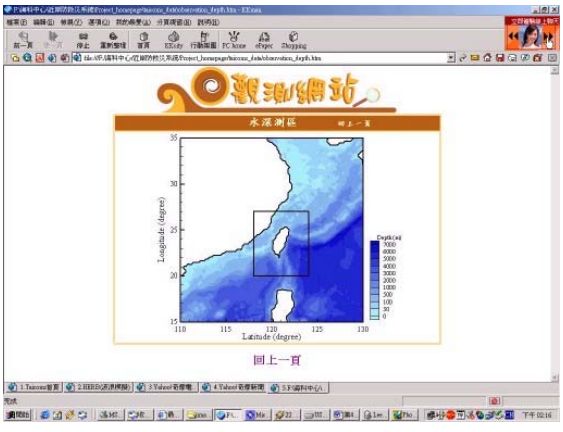


圖 7.2.22 水深測區

◆ 典型水深

圖 7.2.23 典型水深資料

◆ 綜合查詢

◆ 查詢說明

◆ 典型海象

◆ 典型風壓

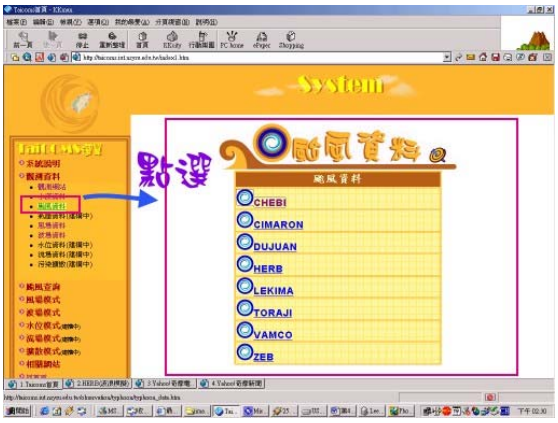


圖 7.2.24a 典型颱風資料

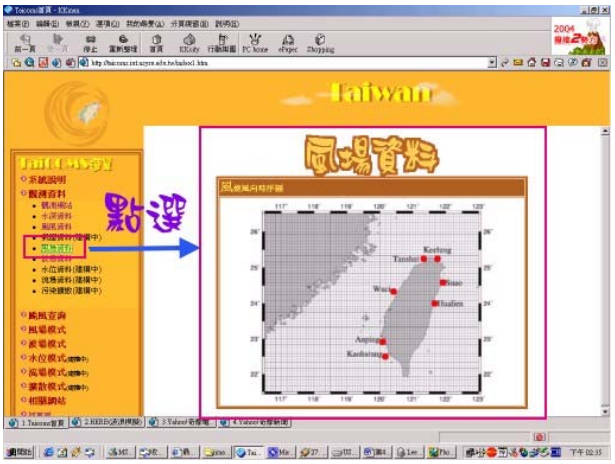
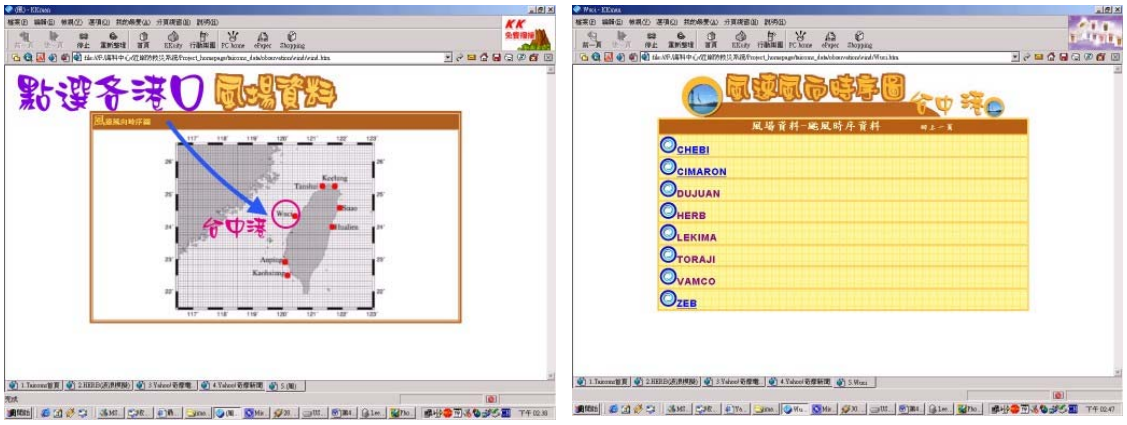


圖 7.2.24b 典型風場資料

點選各港口的名稱，將可以看到近幾年來颱風在此港口的風速風向時序圖。下面以點選臺中港為例，將可在網站看到如下畫面：



點選前　　點選後

圖 7.2.25 典型風場資料(以點選臺中港為例)

◆ 典型波場

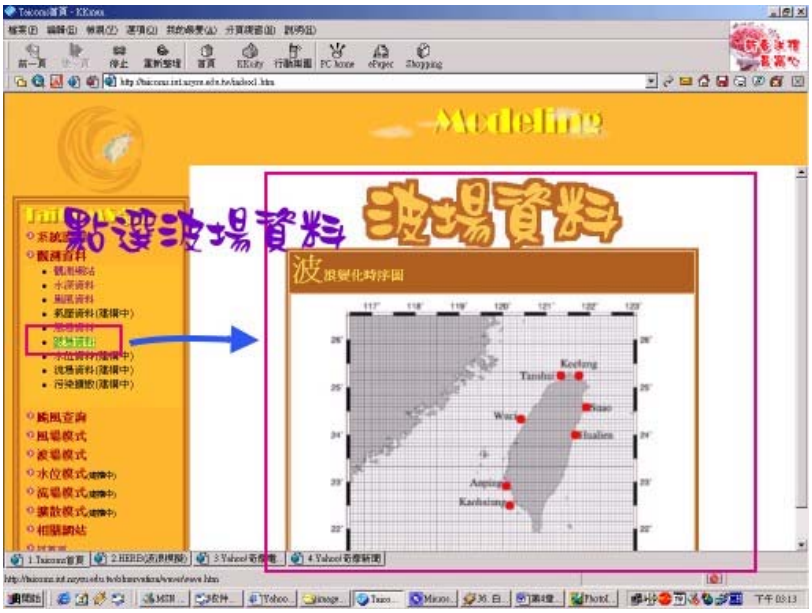
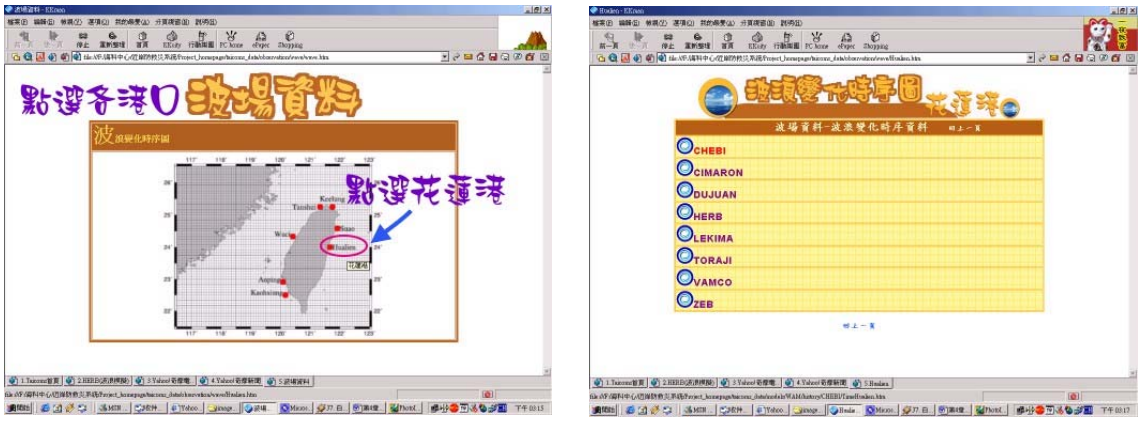


圖 7.2.26 典型波場資料

點選各港口的名稱，將可以看到近幾年來颱風在此港口的波場變化時序圖。下面以點選花蓮港為例，將可在網站看到如下畫面：



點選前　　點選後

圖 7.2.27 典型波場資料(以點選花蓮港為例)

◆ 典型水位

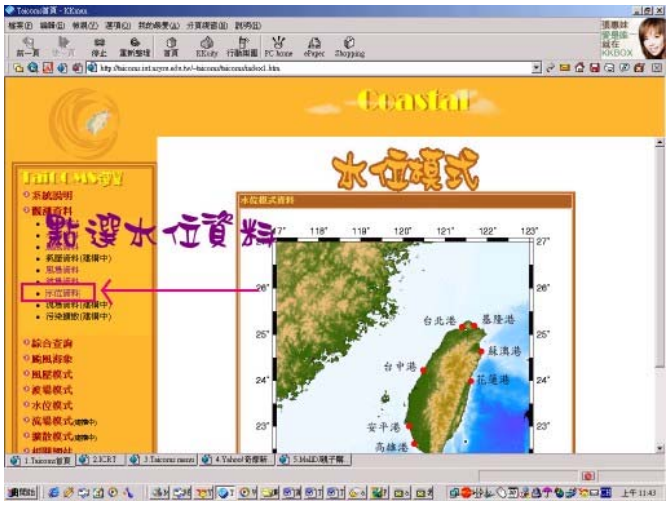


圖 7.2.28 典型水位資料

◆ 典型海流

◆ 典型擴散(建構中)

➢ 颱風海象

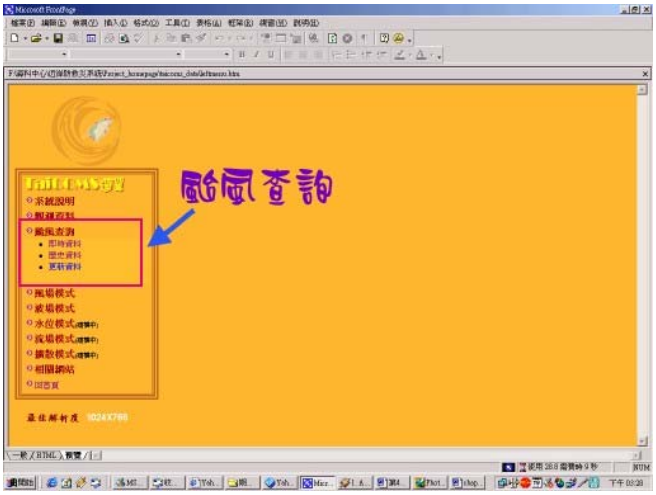


圖 7.2.29 典型颱風海象查詢

◆ 典型資料

圖 7.2.30 典型颱風歷史資料

其中，點選風場資料及波浪模擬後所呈現的畫面如下：

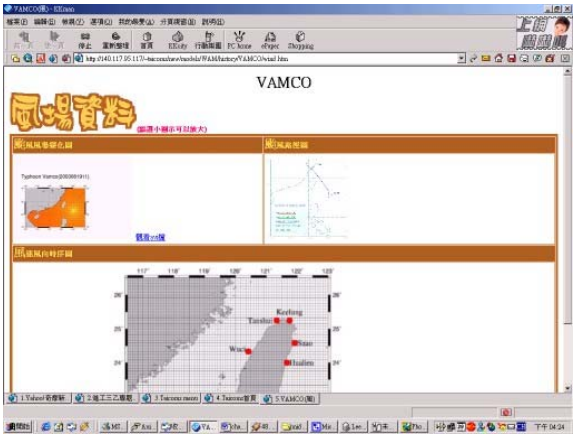
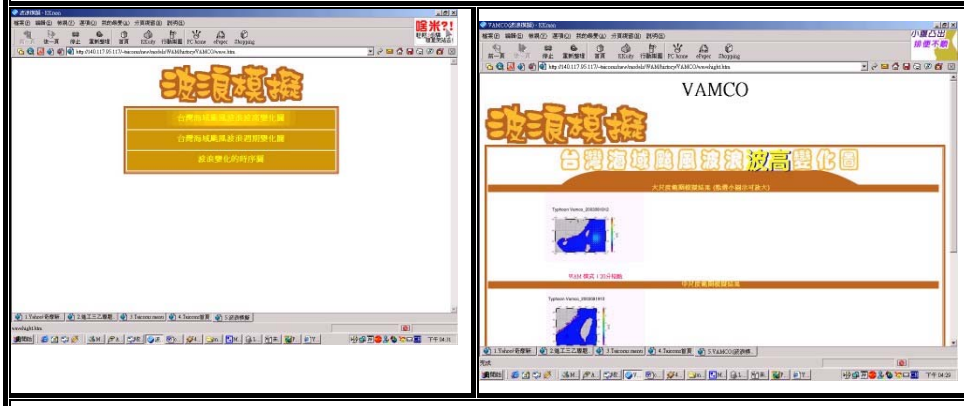
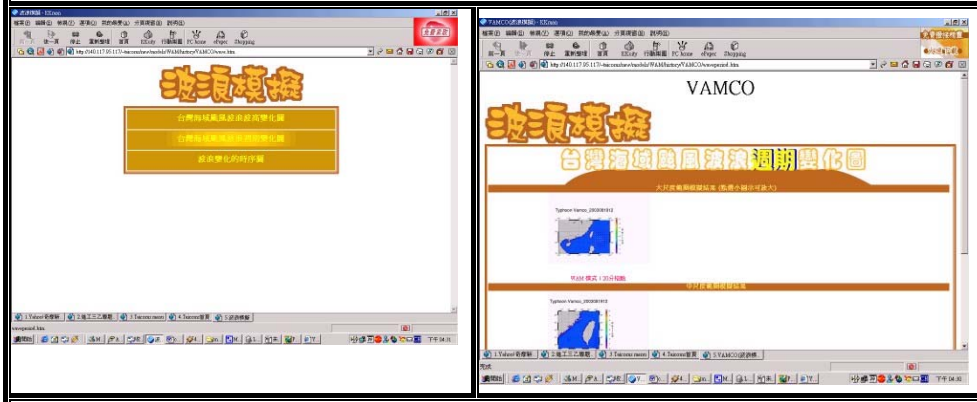


圖 7.2.31 典型颱風風場資料

臺灣海域颱風波浪波高變化圖



臺灣海域颱風波浪週期變化圖



波浪變化時序圖

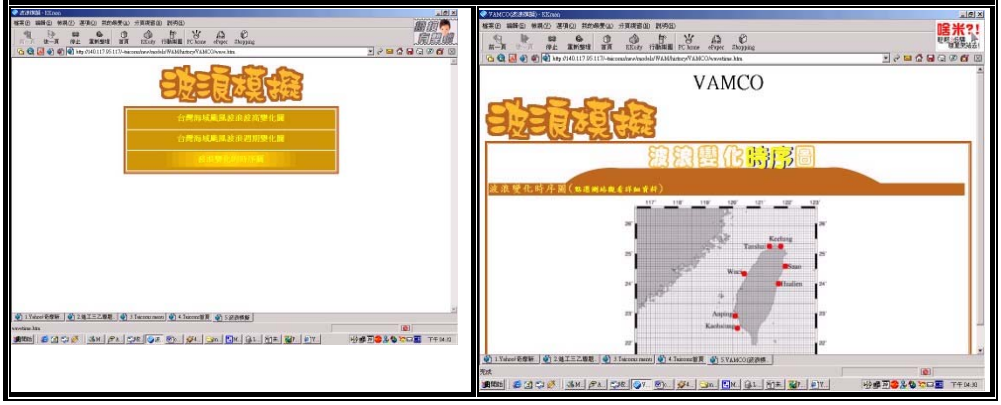


圖 7.2.32 典型颱風波浪模擬

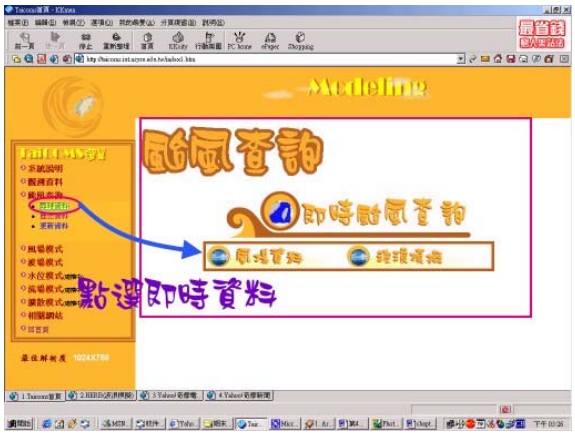


圖 7.2.33　典型颱風水位資料

◆ 模式說明

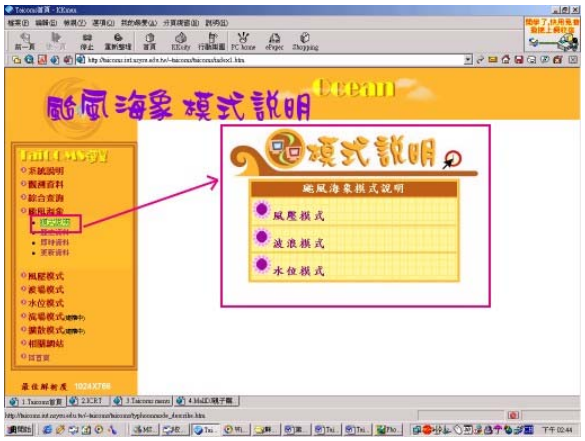
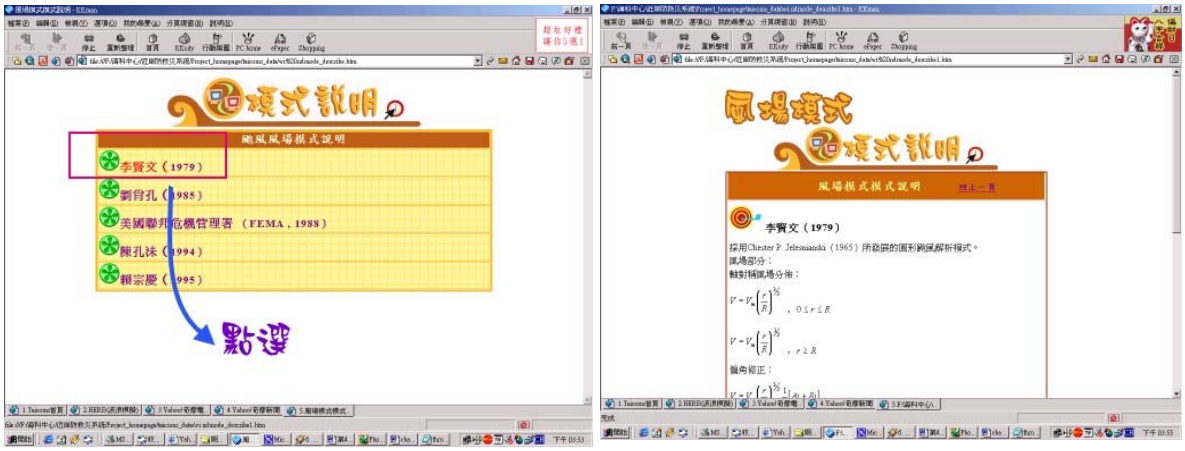


圖 7.2.34 颱風颱風海象模式說明

➢ 風場模式

◆ 模式說明

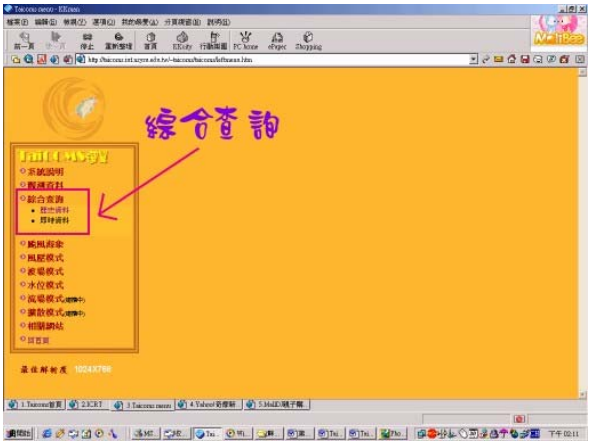
圖 7.2.35　風場模式說明



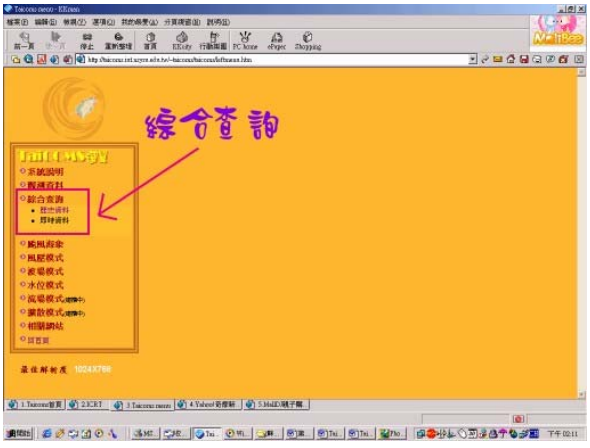
點選模式前　　點選模式後

圖 7.2.36 風場模式說明 2

◆ 即時風壓



◆ 歷史風壓



◆ 典型風壓

圖 7.2.37 風場模式典型歷史風壓

- 波場模式
  - 模式說明

圖 7.2.38 波場模式說明 1

點選模式前

點選模式後

圖 7.2.39 波場模式說明 2

◆ 即時波場

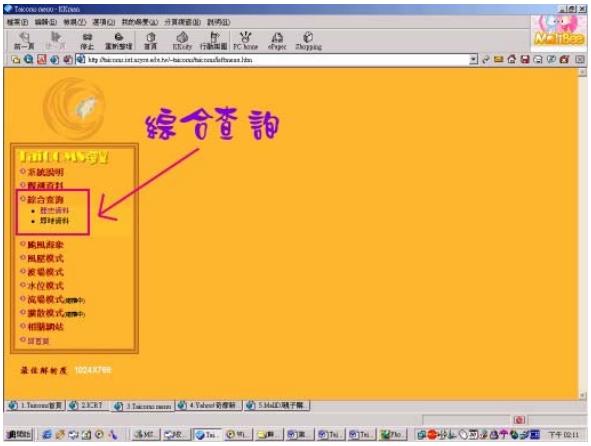


圖 7.2.40 波場模式說明 3

◆ 歷史波場

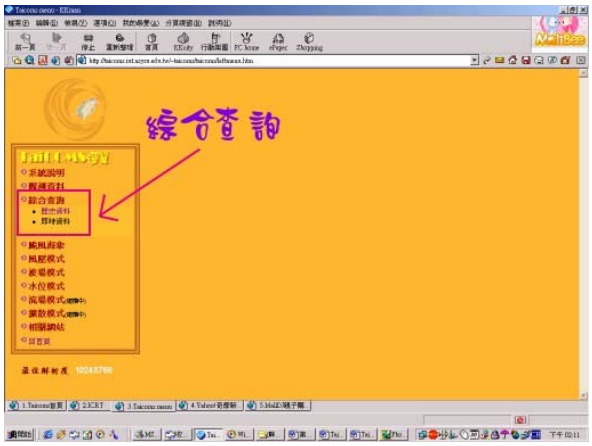


圖 7.2.41 波場模式說明 4

◆ 典型波場

圖 7.2.42 波場模式典型歷史波場

- 水位模式
  - 模式說明

圖 7.2.43 水位模式說明 1

  - 即時水位

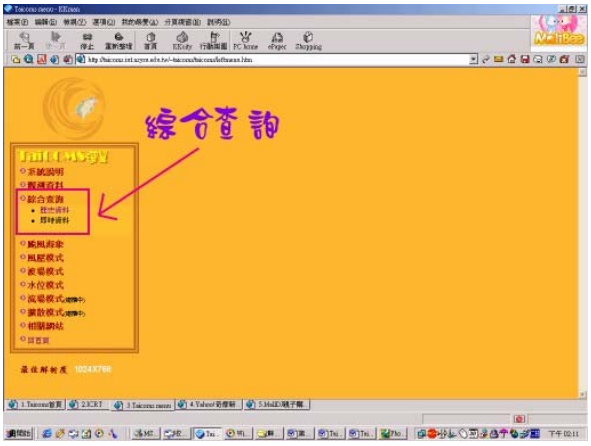


圖 7.2.44 水位模式說明 2

  - 歷史水位

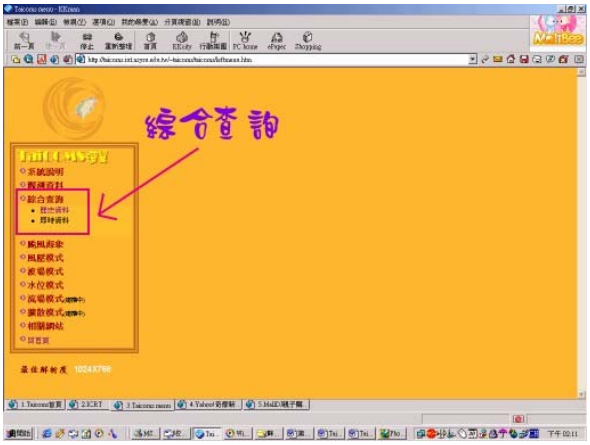


圖 7.2.45 水位模式說明 3

◆ 典型水位

圖 7.2.46　水位模式典型水位資料

➢ 流場模式

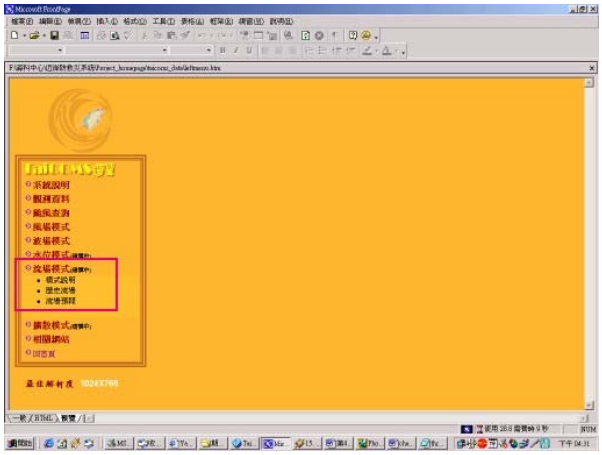


圖 7.2.47 流場模式

➢ 擴散模式（建構中）

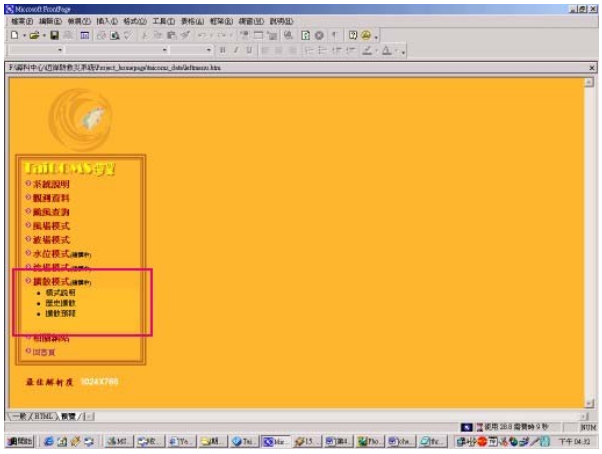


圖7.2.48　擴散模式

7.3 綜合查詢自動化機制

為了提供使用者更多的資訊，本系統研發一機制來呈現歷年來利用觀測或數值模擬等方式所統計的資訊給使用者參考。同時為了考量使用者的習慣，我們透過下拉式選單來讓使用者點選所需要的資訊，達到所見即所得的友善介面。

7.3.1 資料格式

本機制的即時及歷史資料提供的格式以'*.pdf'檔為主。為了讓資訊可以互相流通，制定一個命名的規範，所有參與相關單位依照此規範來產生相關檔案資訊。協定後按照規範命名的檔案如下：

N_ WAV_HI_ VW0_TC_PT-A_1998_MON-12_01_F&R_1.PDF

或

數值_波浪_歷史_ WAN 模式_臺中港_測點 A_1998 年_12 月_1 日_圖與表_1.PDF

由於檔案格式統一，利用此特性來建構一個有結構性的選單。

7.3.2 資料結構

由於先前檔案的命名已經統一格式，我們則依此格式透過一個由 matlab 所撰寫的程式來將這些歷年資料分門別類，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 7.3.1 所示。經過 matlab 程式處理後，所有的檔案皆以巢狀結構資料夾型式（如圖 7.3.2 及圖 7.3.3）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。

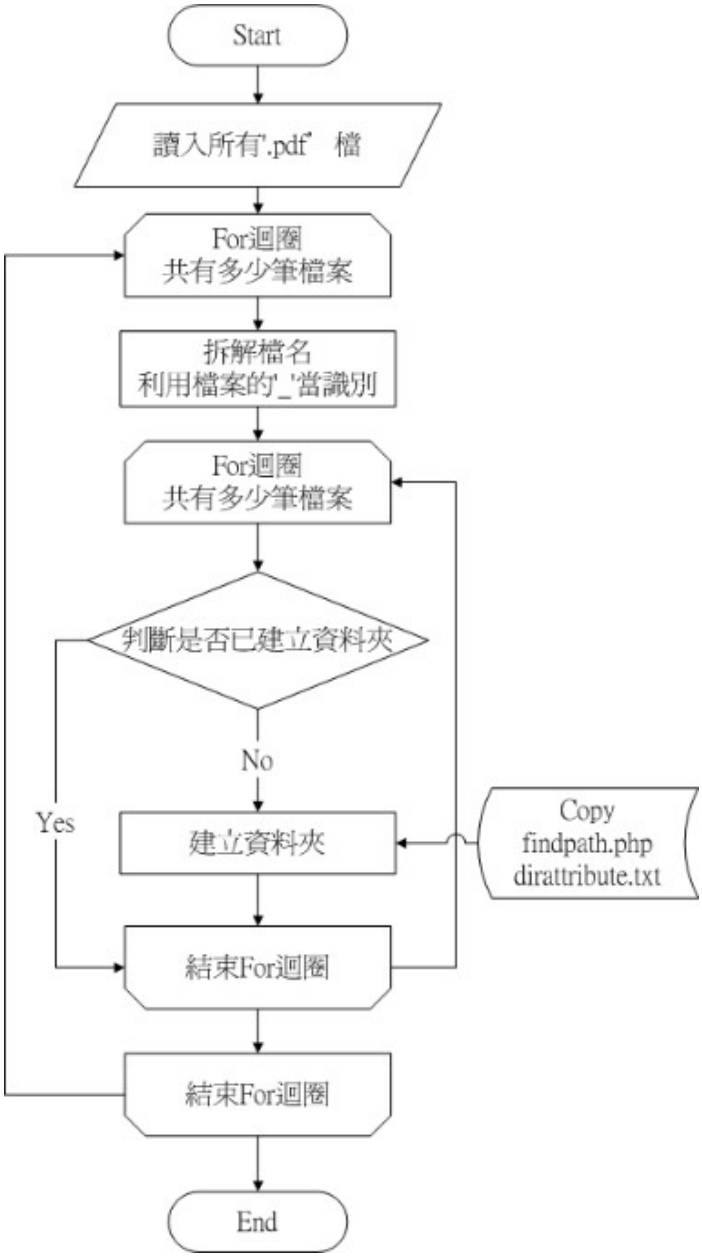


圖 7.3.1　Matlab 程式處理流程

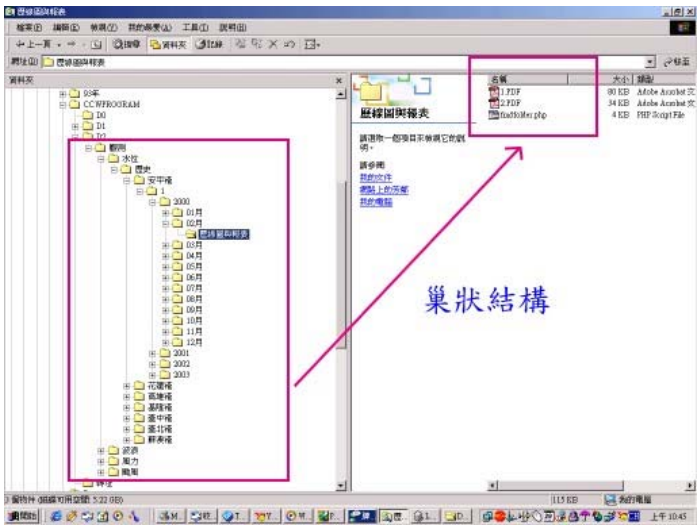


圖 7.3.2　巢狀資料夾結構

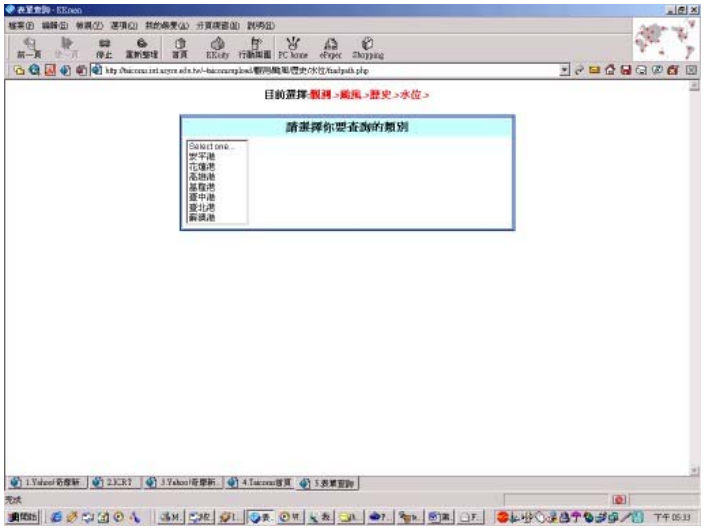


圖 7.3.3　下拉式視窗結構

第八章 海象即時現報作業及年度評估成果

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 年初完成風力、氣壓、波浪、水位及海流等預報模式，移至同一計算主機計算，今年度重點為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。

8.1 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 8.1，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 8.2。

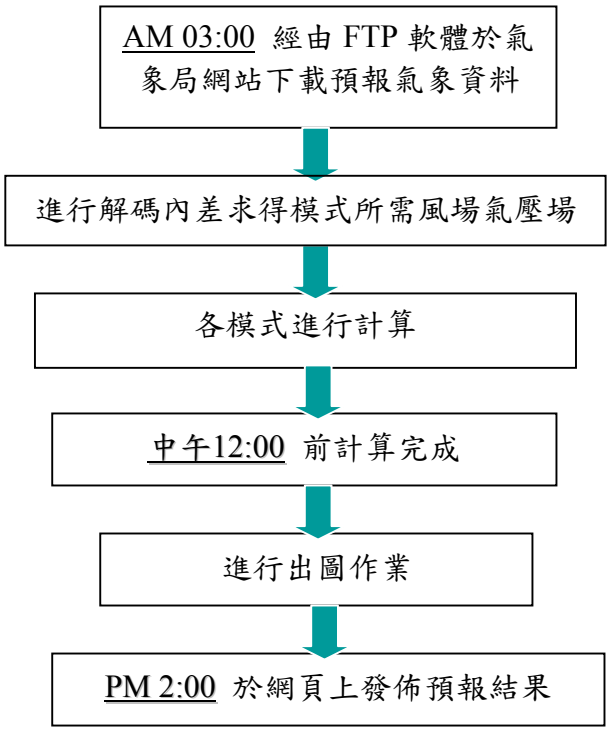


圖 8.1 TaiCOMS 系統線上預報流程

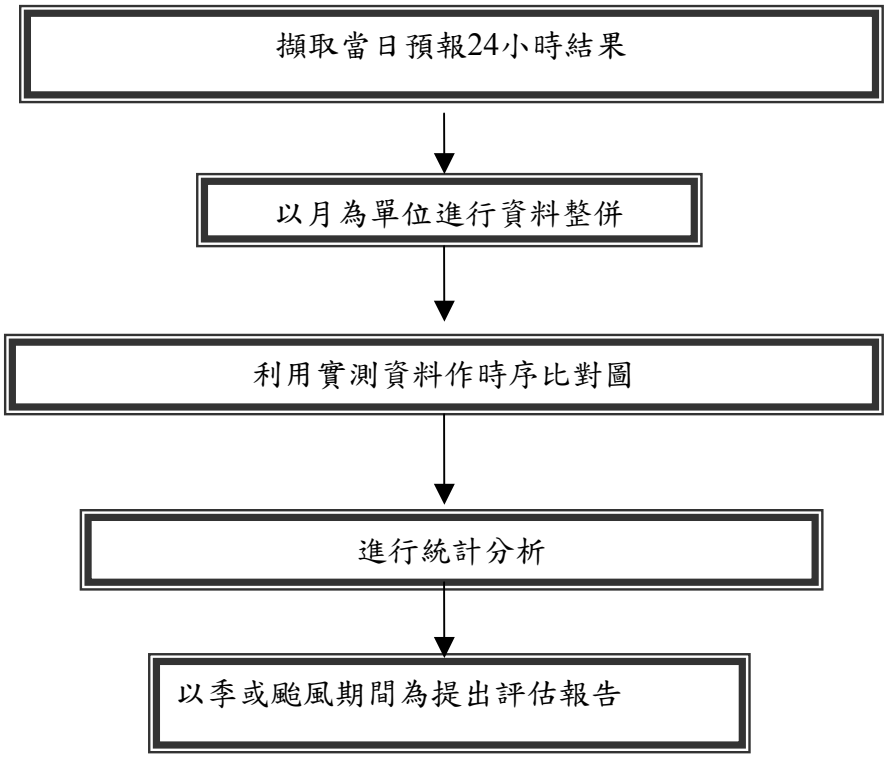


圖 8.2 預報作業評估流程圖

81.1 整季結果評估

8.1.1.1 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 8.1.1.1 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 8.1.1.2 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 8.1.1.1 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 8.1.1.2 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	**31.048**	**16.263**	**21.102**	**20.699**	**22.849**
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	**12.5**	**0.403**	**2.285**	**2.151**	**11.694**
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	**31.821**	**6.101**	**29.911**	**30.952**	**34.226**

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，未移至計算主機，此段期間因網路不穩定，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 8.1.1.3 及 8.1.1.4 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 8.1.1.5 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 8.1.1.3 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 8.1.1.4 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 8.1.1.5 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	**91.935**	**0**	**69.892**	**52.285**	**97.312**
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	**96.909**	**0**	**88.575**	**34.543**	**98.79**
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	**95.833**	**0**	**94.94**	**0**	**98.958**

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。

8.1.1.2 第二季線成果評估

表 8.1.2.1 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 8.1.2.2 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 8.1.2.1 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 8.1.2.2 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	**31.452**	**7.93**	**20.833**	**24.597**	**29.973**
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	**49.722**	**0**	**45.139**	**45.833**	**47.917**
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	**63.71**	**0**	**59.543**	**59.946**	**63.172**

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）波浪預報仍位於分散電腦，未移至主要計算主機，此段期間網路不穩定，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）波浪模式移至主要計算主機順利解決。

表 8.1.2.3 及 8.1.2.4 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 8.1.2.5 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 8.1.2.3 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 8.1.2.4 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 8.1.2.5 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	**57.796**	**1.478**	**57.661**	**64.919**	**100**
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	**90.694**	**26.528**	**85.278**	**90**	**96.944**
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	**9.812**	**95.968**	**52.419**	**95.296**	**97.715**

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。

8.1.1.3 第三季線成果評估

表 8.1.3.1 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，此部分仍待進一步比對較驗。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 為五個國際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 8.1.3.2 則為各月份實測資料比數統計，第三寄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 8.1.3.1 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 8.1.3.2 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	**39.31**	**37.78**	**30.42**	**30.42**	**0**
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	**9.81**	**11.83**	**0**	**4.03**	**1.88**
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	**22.44**	**23.12**	**20.16**	**20.7**	**0**

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 8.1.3.3 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 8.1.3.3 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 8.1.3.4 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 8.1.3.5 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	**95.69**	**0**	**0**	**96.67**	**96.39**
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	**49.73**	**0**	**0**	**50.81**	**95.43**
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	**75.27**	**40.76**	**0**	**19.49**	**91.67**

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，此部分有待進一步比對較驗。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。

8.1.1.4 第四季線成果評估

表 8.1.4.1 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，因此本計畫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 8.1.4.2 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，此部分仍待未來跟現場觀測資料進行進一步比對較驗，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 8.1.4.1 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 8.1.4.2 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	**40.69**	**70**	**69.17**	**70**	**0**
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	**71.10**	**71.10**	**69.76**	**60.22**	**23.92**
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	**64.17**	**64.31**	**64.31**	**63.47**	**61.53**

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（珊珊颱風，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 8.1.4.3 及表 8.1.4.4 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 8.1.4.5 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 8.1.4.3 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 8.1.4.4 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 8.1.4.5 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	**97.08**	**92.36**	**0**	**98.47**	**83.33**
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	**95.16**	**7.39**	**25.54**	**81.59**	**95.56**
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	**81.39**	**49.44**	**55.97**	**94.31**	**94.31**

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。

8.1.2 颱風案例評估

根據氣象局資料，在今年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 8.1.5.1，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珓駒 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珓駒 n 陸，並繼續以西南西方向前進。9 日 7 時 20 分在台南附近出海，且強度快速減弱為熱帶低氣壓。

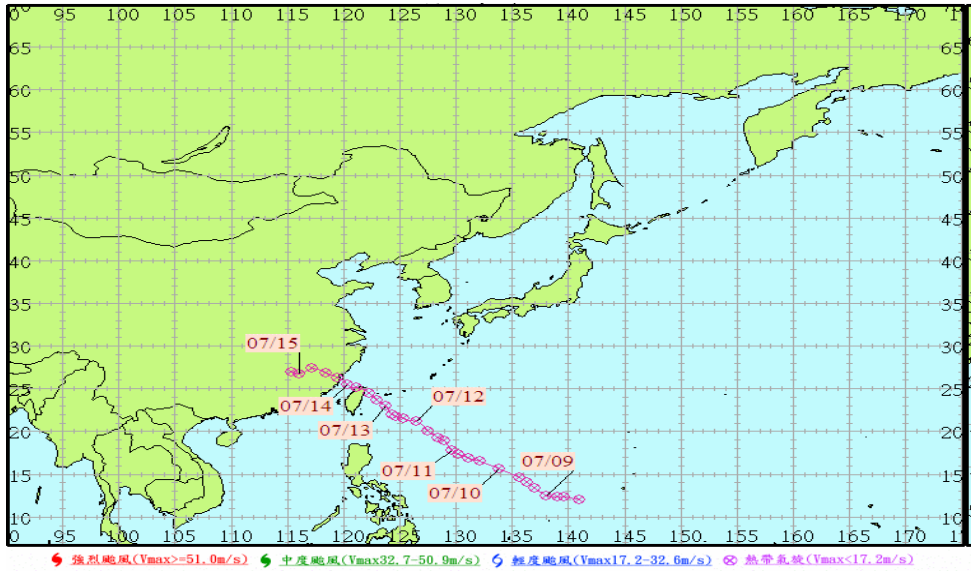
圖 8.1.5.2 至圖 8.1.5.10 為四個颱風期間水位及波浪比對圖。在碧利斯颱風期間，僅有花蓮、基隆及蘇澳及港有實測資料可供比對，但是比數相當稀少。在花蓮港的比對圖中，可發現模式在 7 月 13 及 14 日低估了高水位，其他時間則與實測資料相同，推測為使用動態風場，解析度過大，在氣壓及風速解析不夠導致。蘇澳港區則僅有三點實測資料，模式都能完整模擬到。波浪實測資料部分，僅有花蓮、蘇澳及台中港有資料。在波高比對上，可發現 WAM 的結果落後 SWAN，在花蓮及蘇澳港，WAM 皆遺漏第一個高點，而 SWAN 雖然兩個高點皆有模擬到，但是第一個高點低估波高，第二個高點則高估波高；台中港的結果則發現 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。

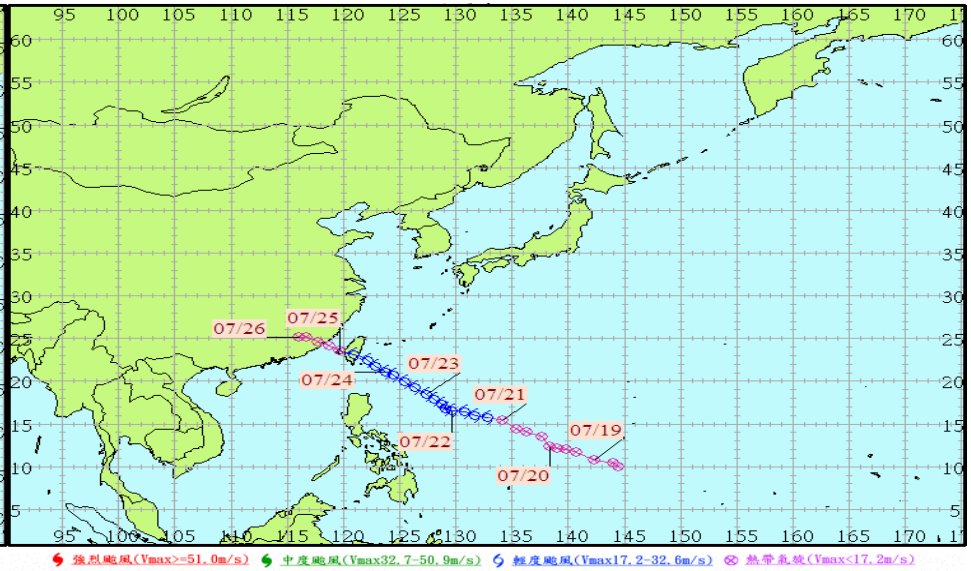
凱米颱風期間，有資料的水位一樣只有三個港區花蓮、基隆及蘇澳，但是每個站位的資料比數皆為個位數，無法作進一步的評估。而在波浪比對部分，則只有台中港有實測資料。在台中港波浪及週期的比對，SWAN 波高比對結果不錯，但是 WAM 的結果仍然是落後實測波高；週期則發現 WAM 跟 SWAN 皆沒有模擬到 7 月 23 日的最大週期。

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。

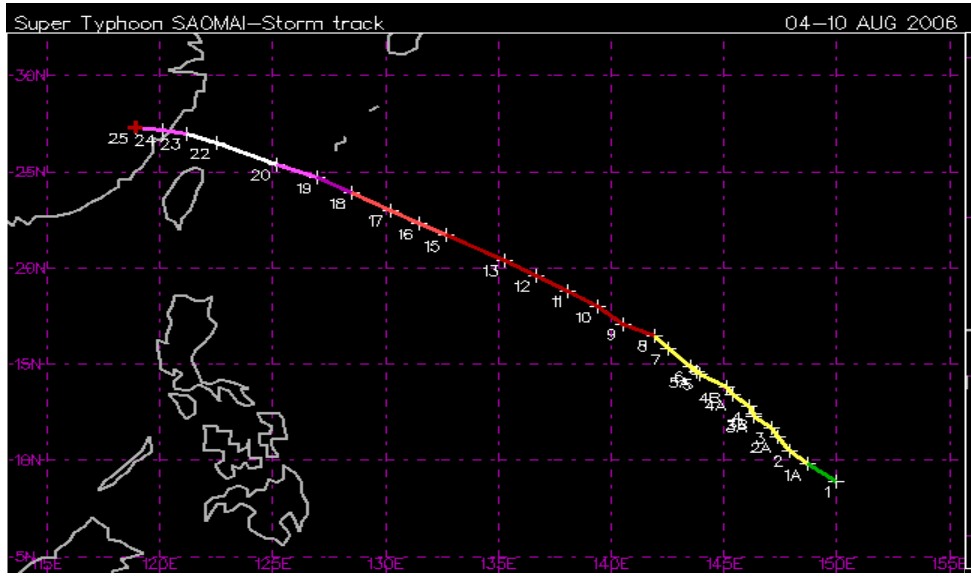
綜合以上四個颱風的比對結果，最大的問題能是在實測資料的不足，無法進行更仔細的比對，無法對於預報時的準確性做評估，這是未來仍須與港研中心討論的地方。



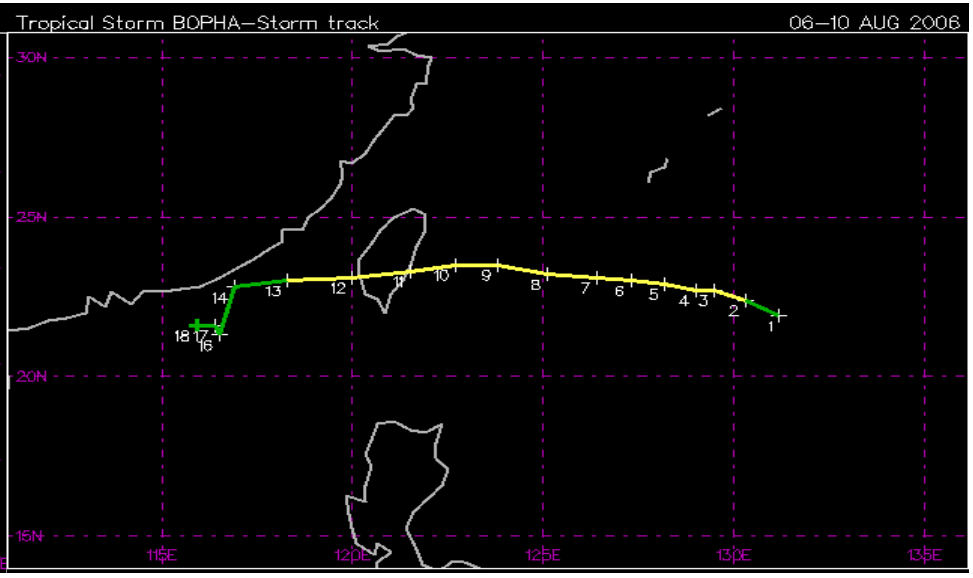
碧利斯颱風路徑圖(中央氣象局)



凱米颱風路徑圖(中央氣象局)



桑美颱風路徑圖(Unisys Weather)



寶發颱風路徑圖(Unisys Weather)

圖 8.1.5.1 本年度侵台颱風路徑圖

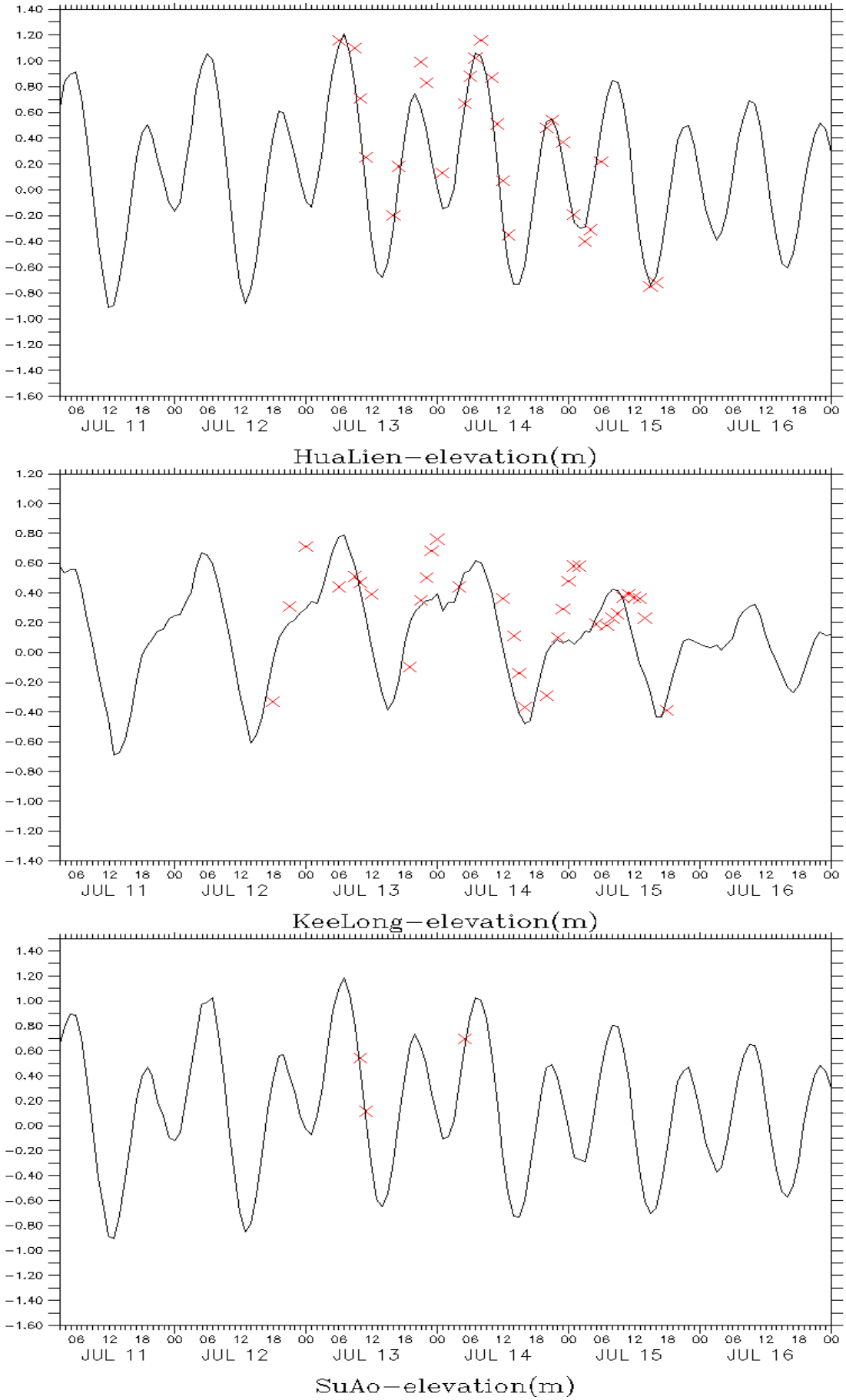


圖 8.1.5.2 碧利斯颱風期間水位比對圖

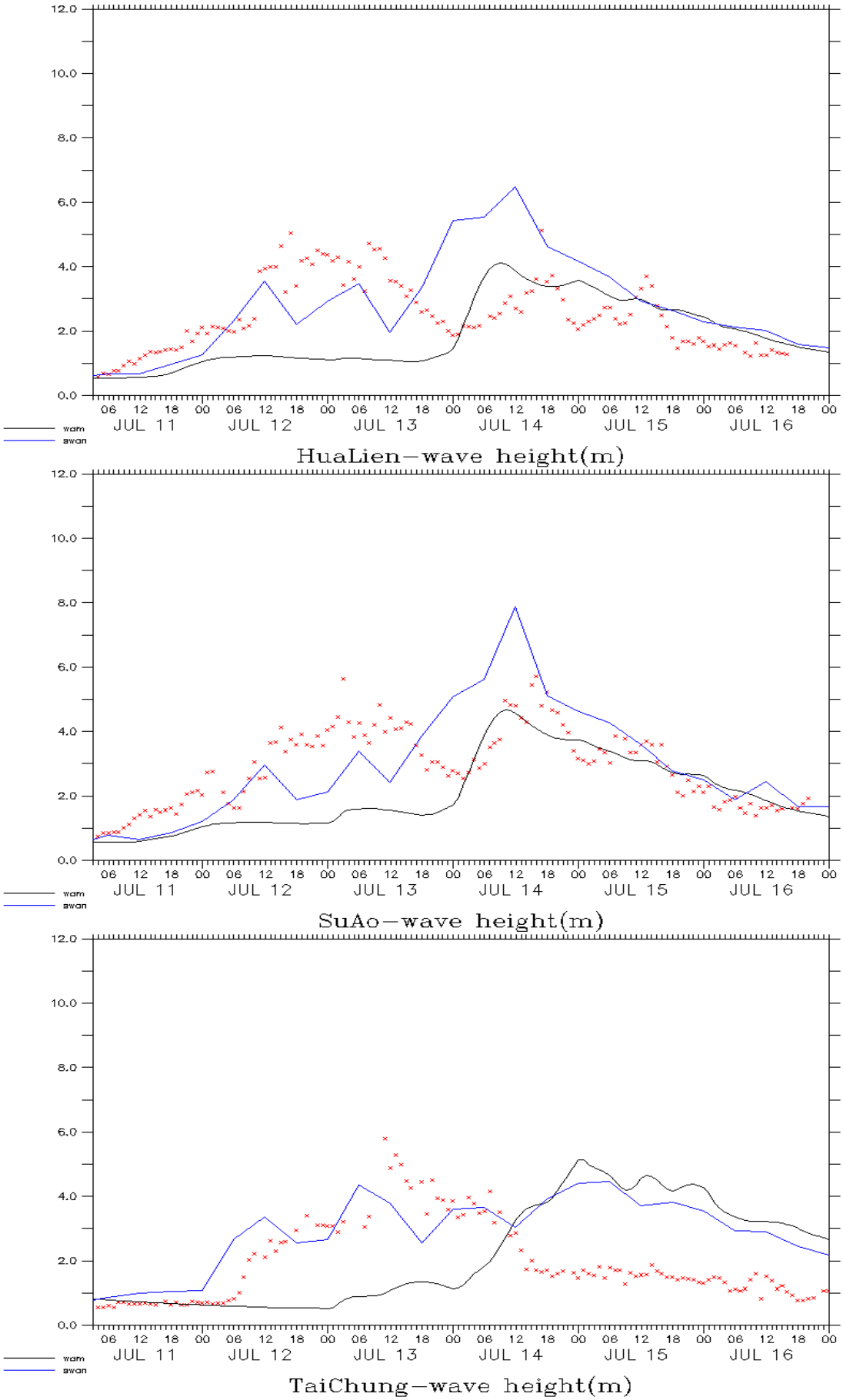
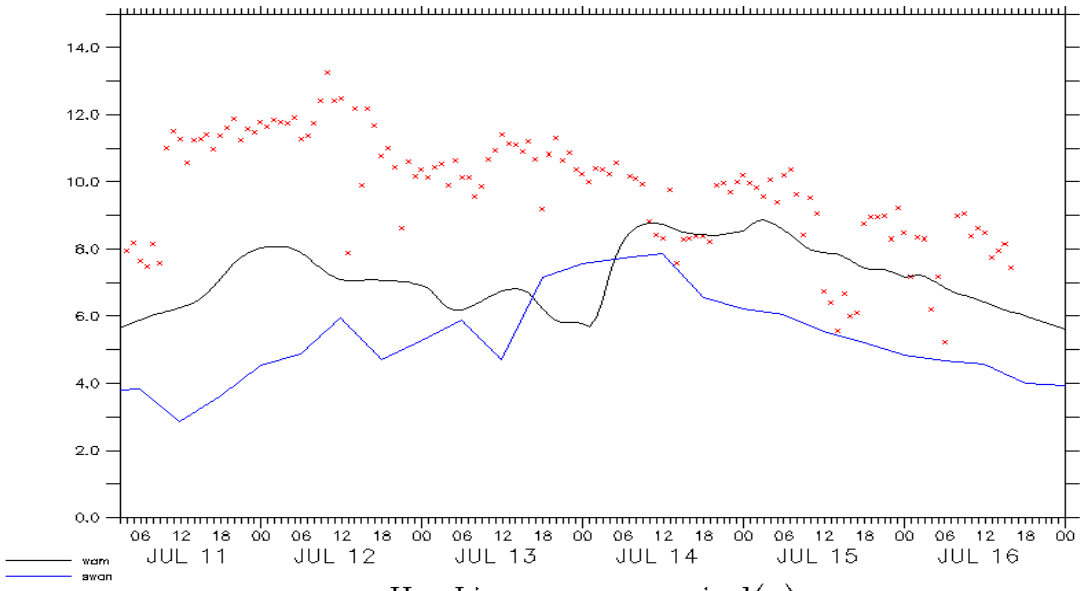
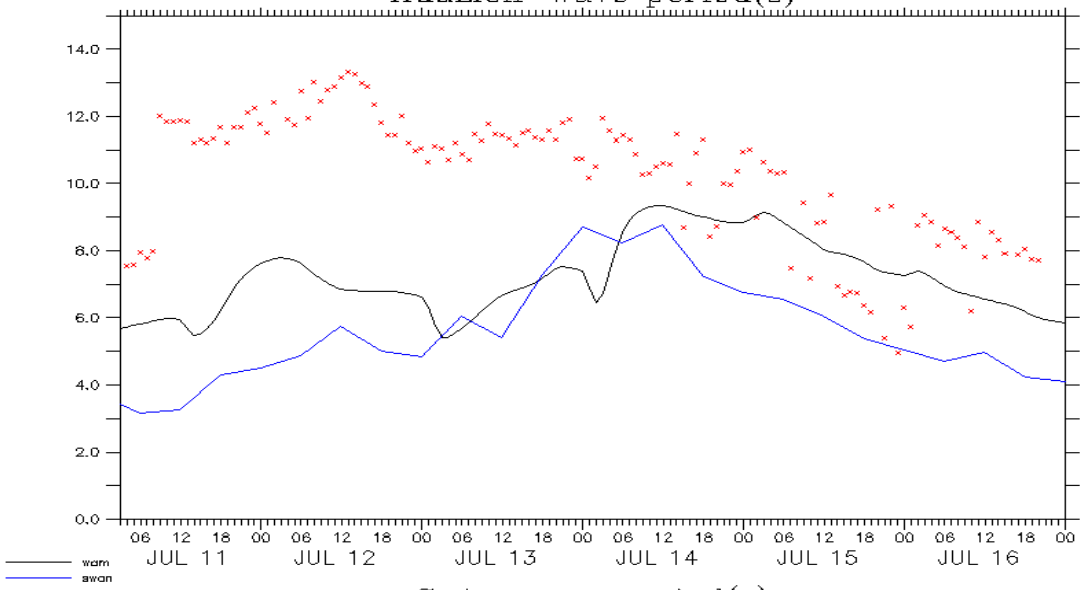


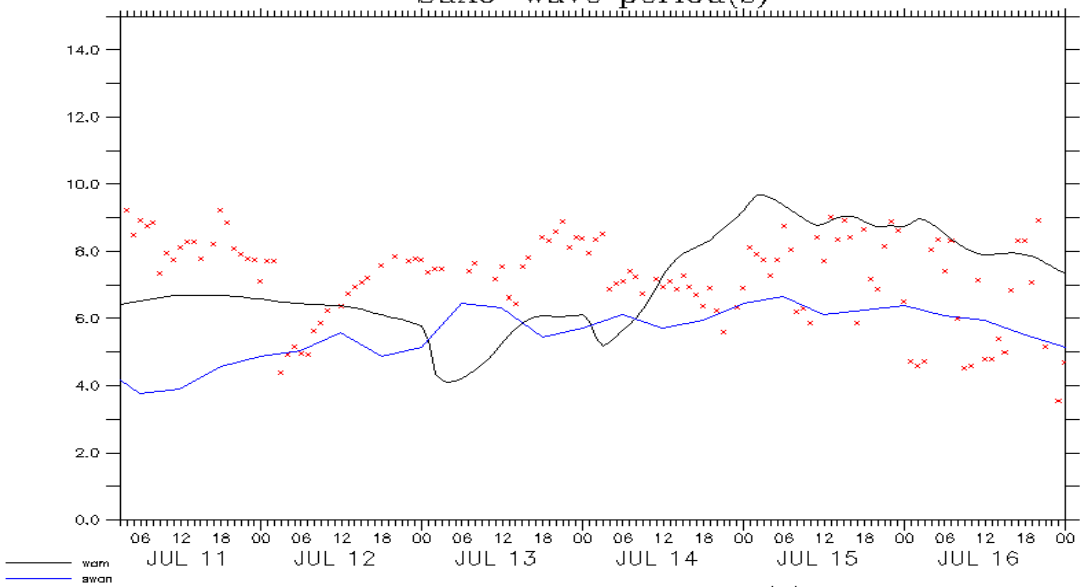
圖 8.1.5.3 碧利斯颱風期間波高比對圖



HuaLien—wave period(s)



SuAo—wave period(s)



TaiChung—wave period(s)

圖 8.1.5.4 碧利斯颱風期間週期比對圖

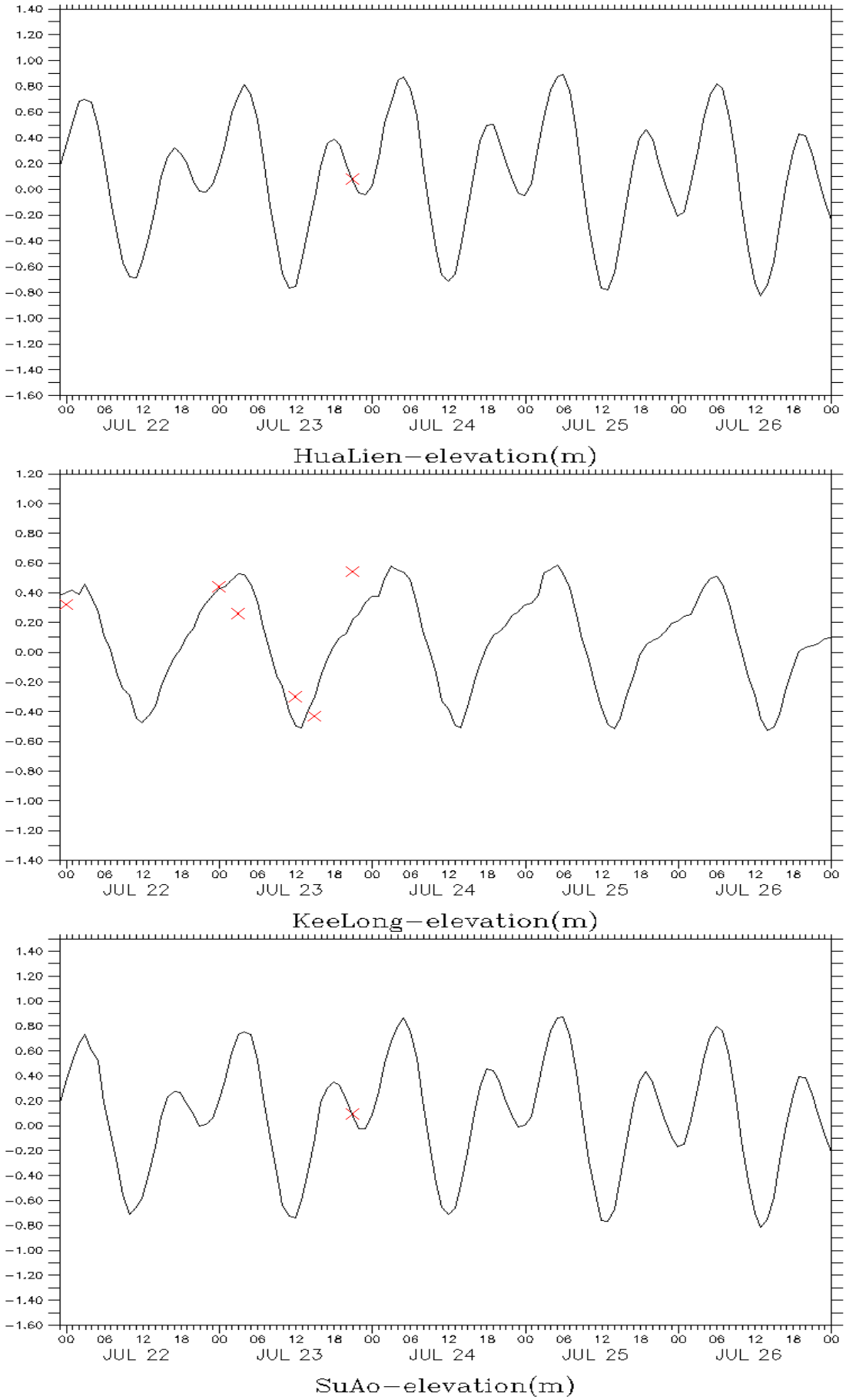
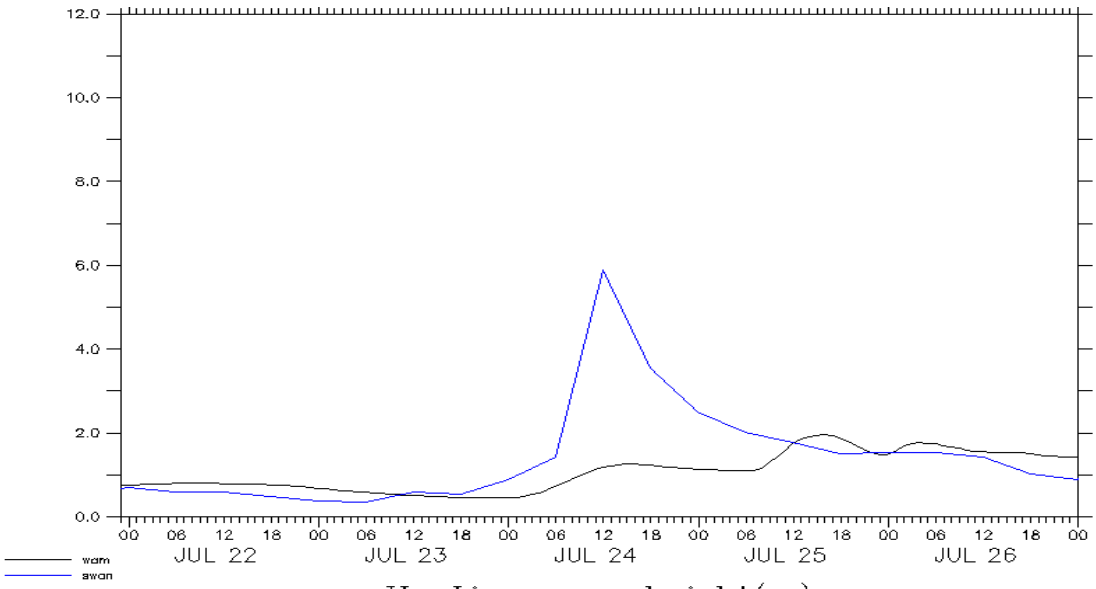
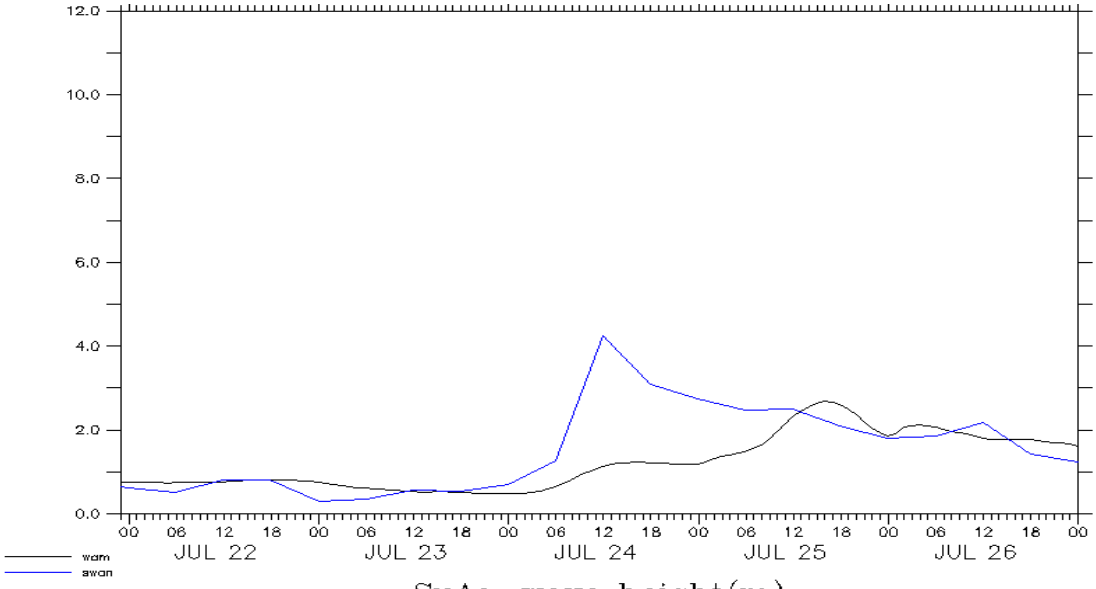


圖 8.1.5.5 凱米颱風期間水位比對圖





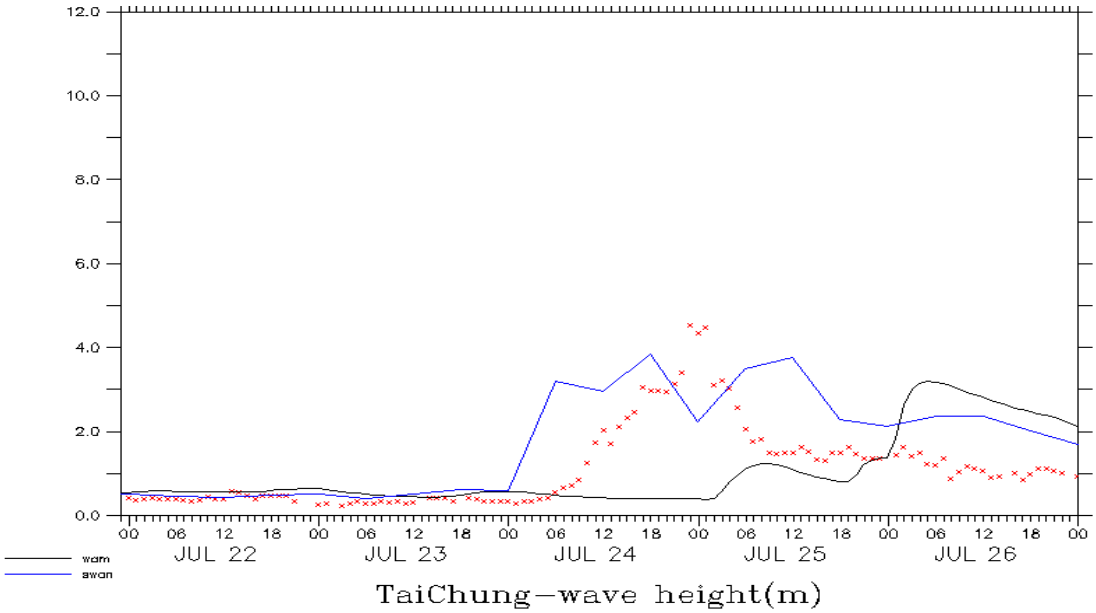
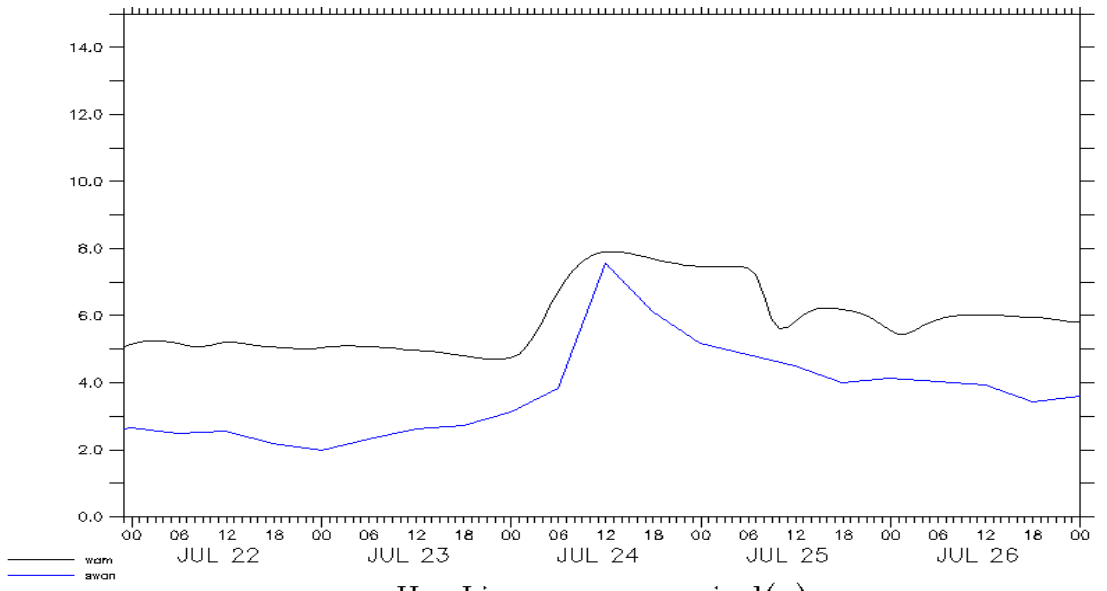
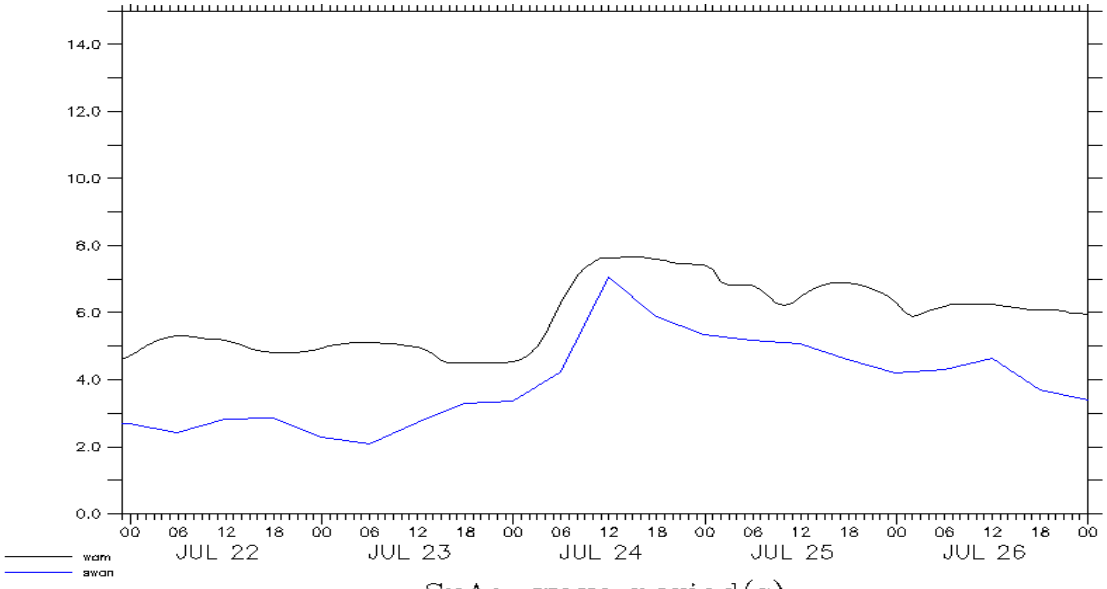


圖 8.1.5.6 凱米颱風期間波高比對圖





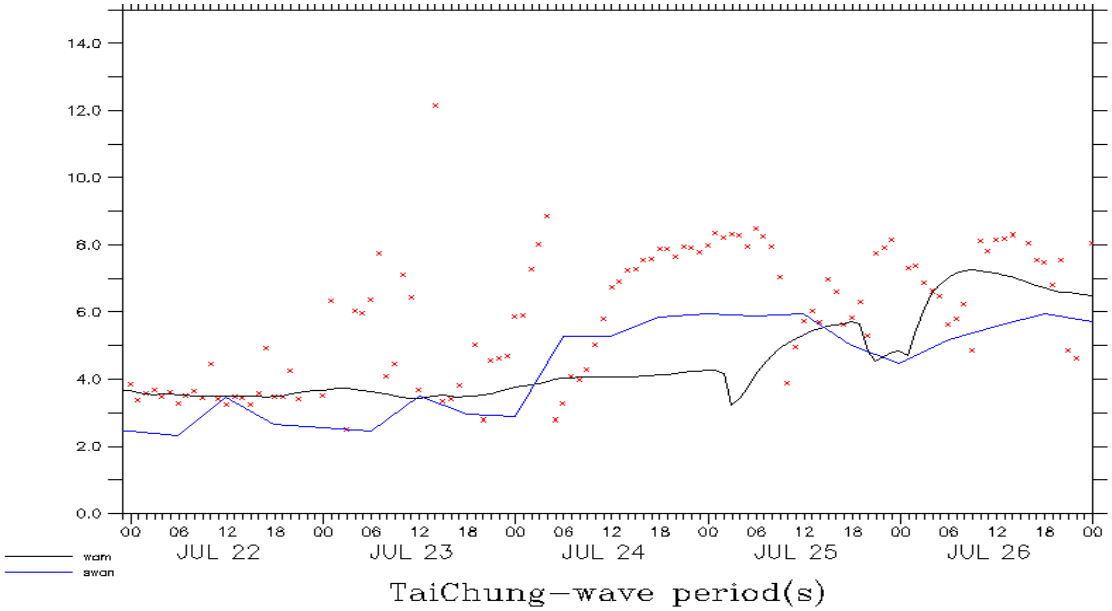
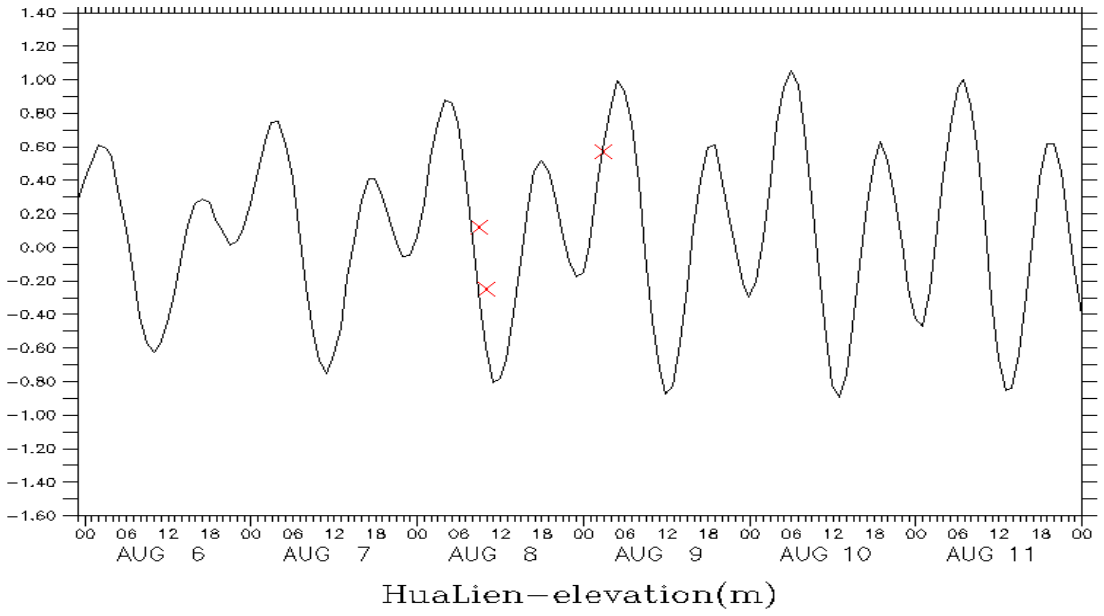
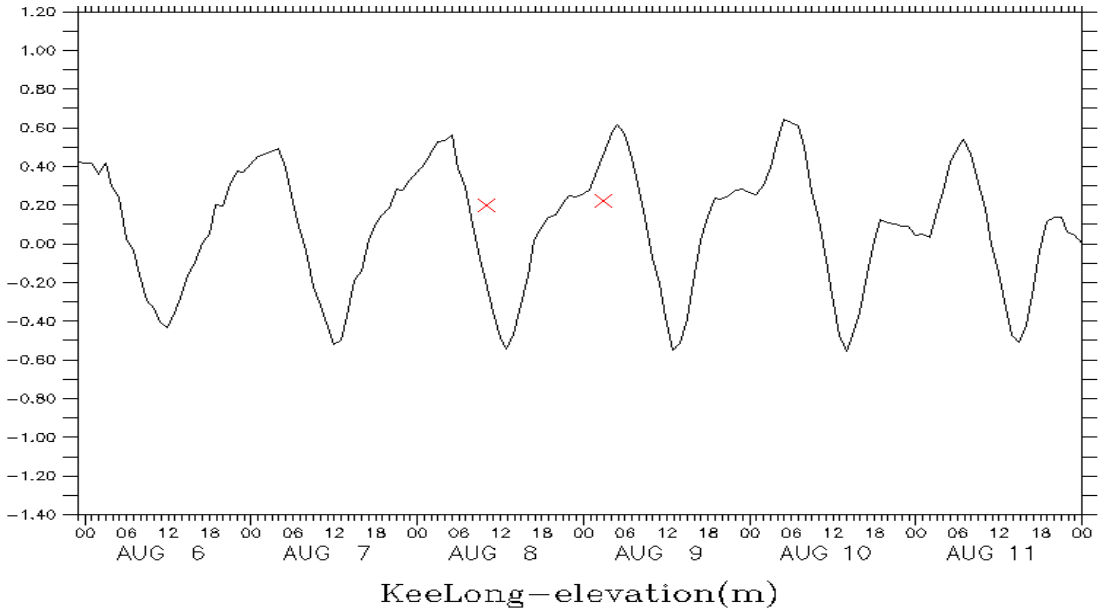


圖 8.1.5.7 凱米颱風期間週期比對圖





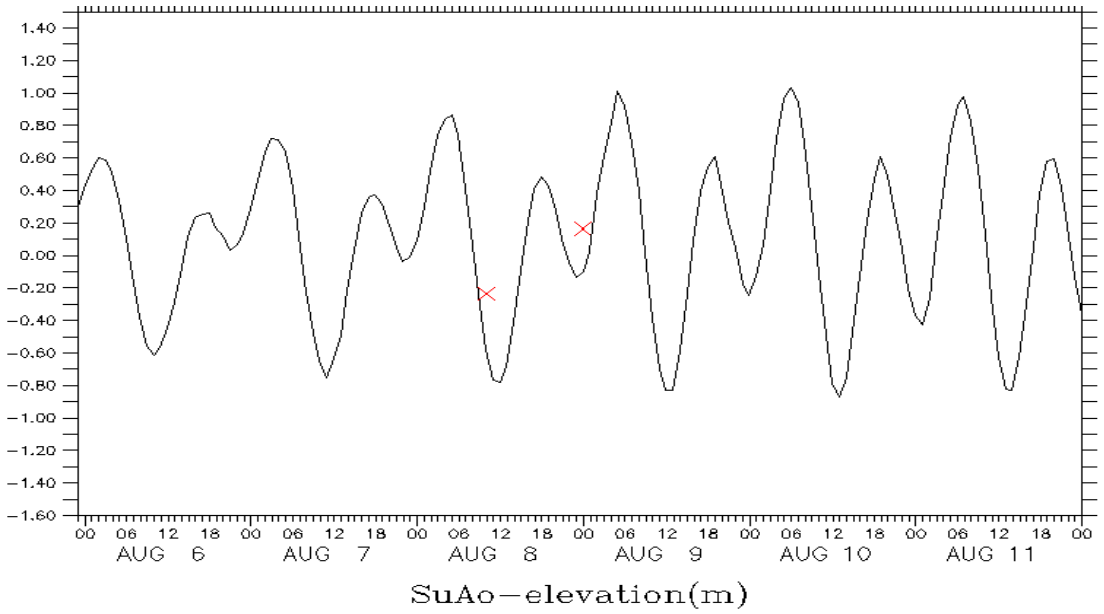
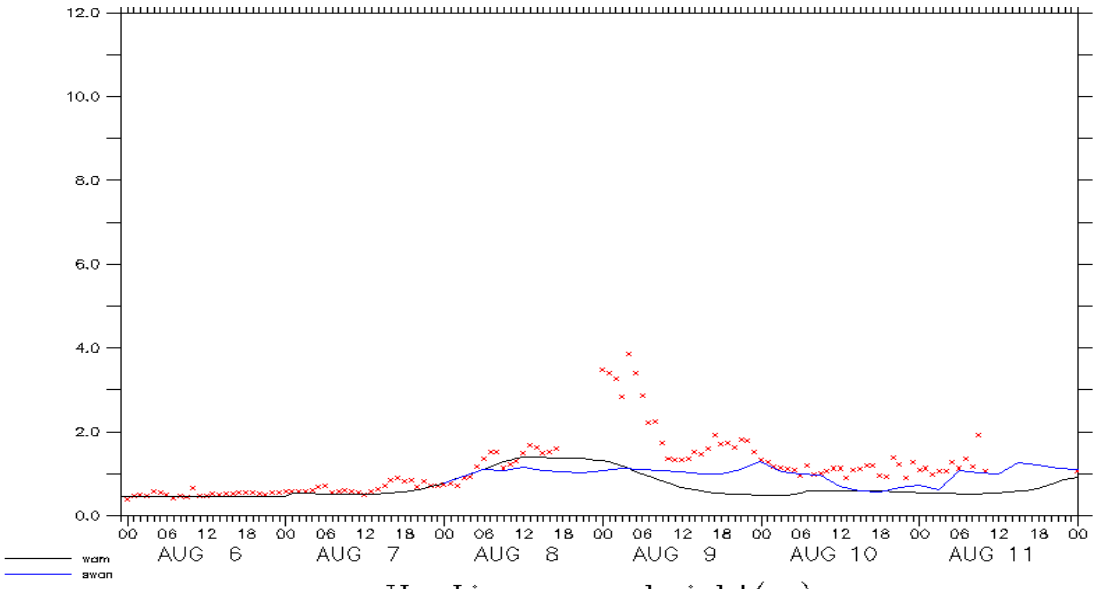
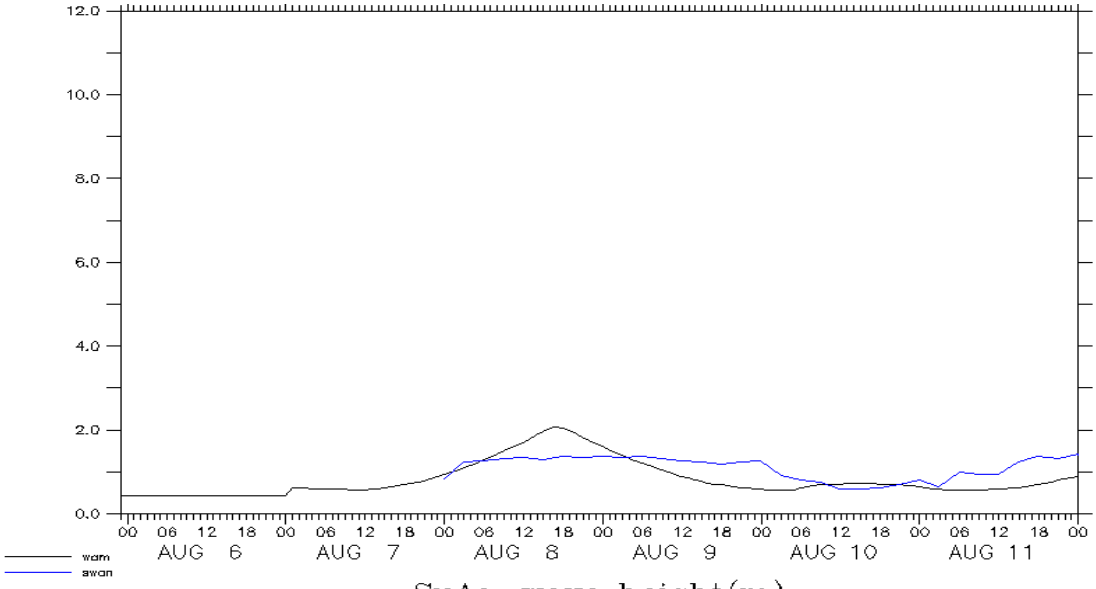


圖 8.1.5.8 桑美及寶發颱風期間水位比對圖





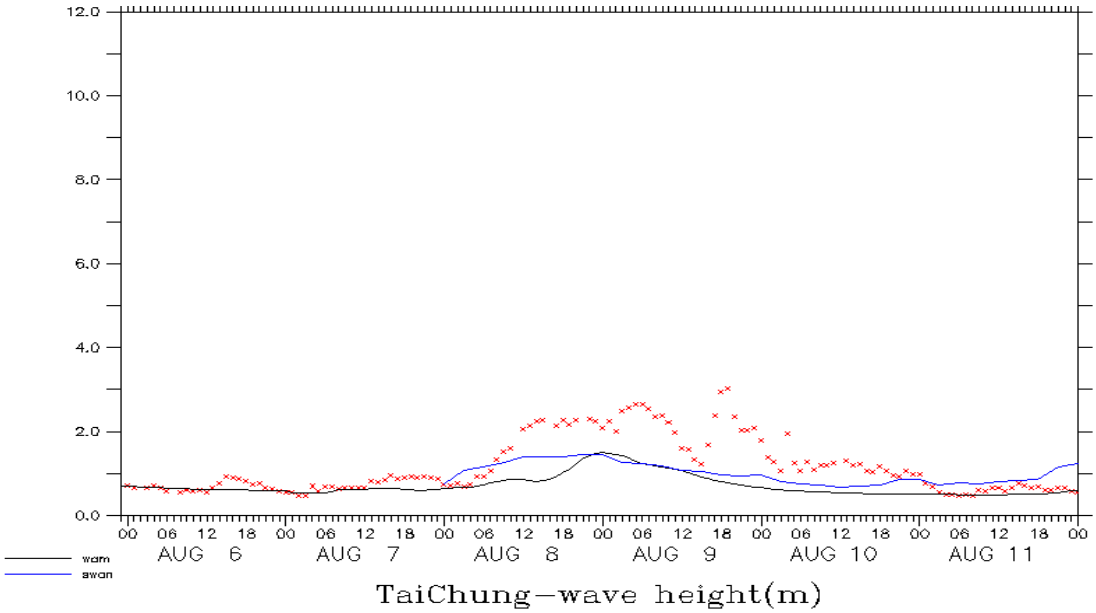
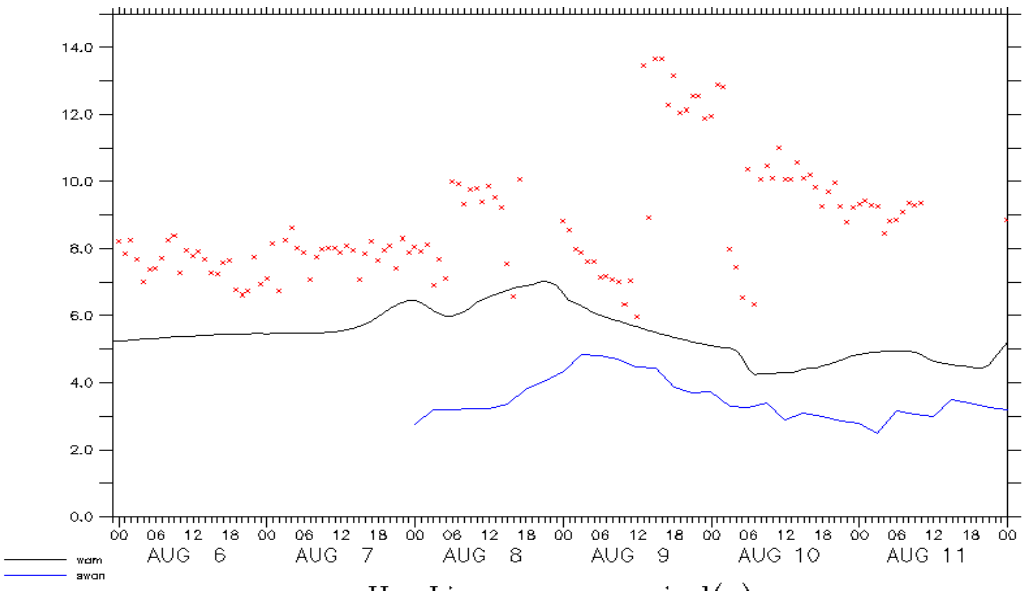
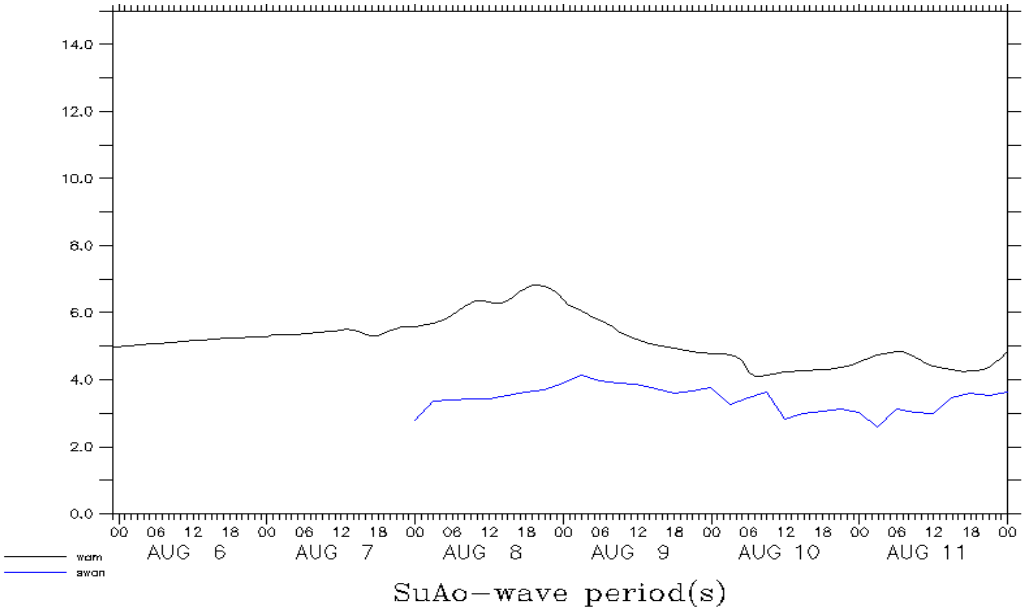


圖 8.1.5.9 桑美及寶發颱風期間波高比對圖





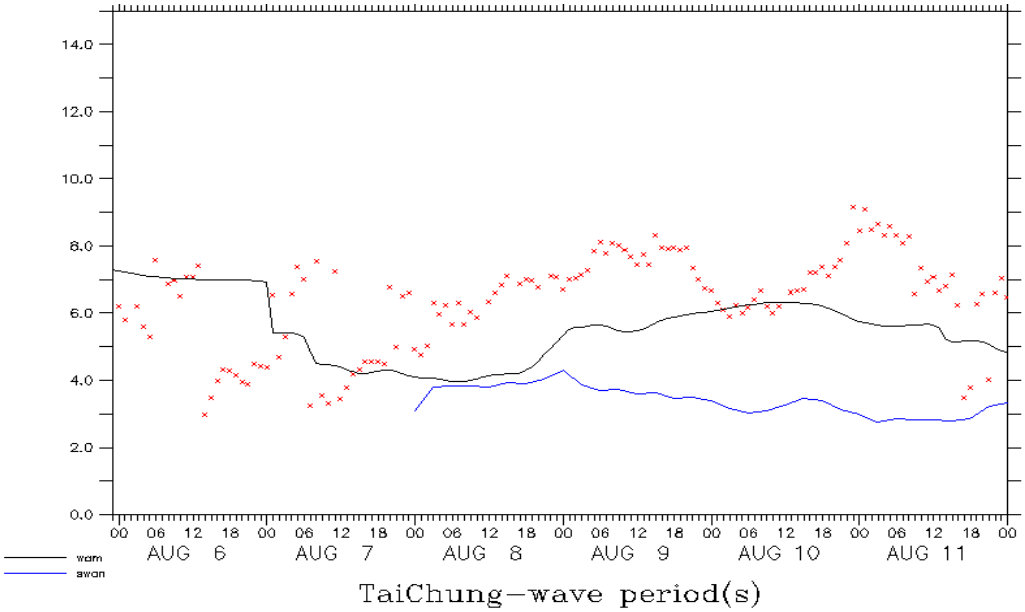


圖 8.1.5.10 桑美及寶發颱風期間週期比對圖

8.2 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。

8.2.1 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 8.2.1.1 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 V10 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 tj 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 V10 ,r, θ , θ 1 的函數線性組合

$$S(t_j) = \sum_{i=0}^{j} a_i f_1(V_{10}, r, \theta, \theta_1; t_i) \qquad (8.2.1)$$

式(8.2.1)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

$$H_{1/3}(t_j) = \sum_{i=0}^{j} b_i f_2 [S(t_i)] \tag{8.2.2}$$

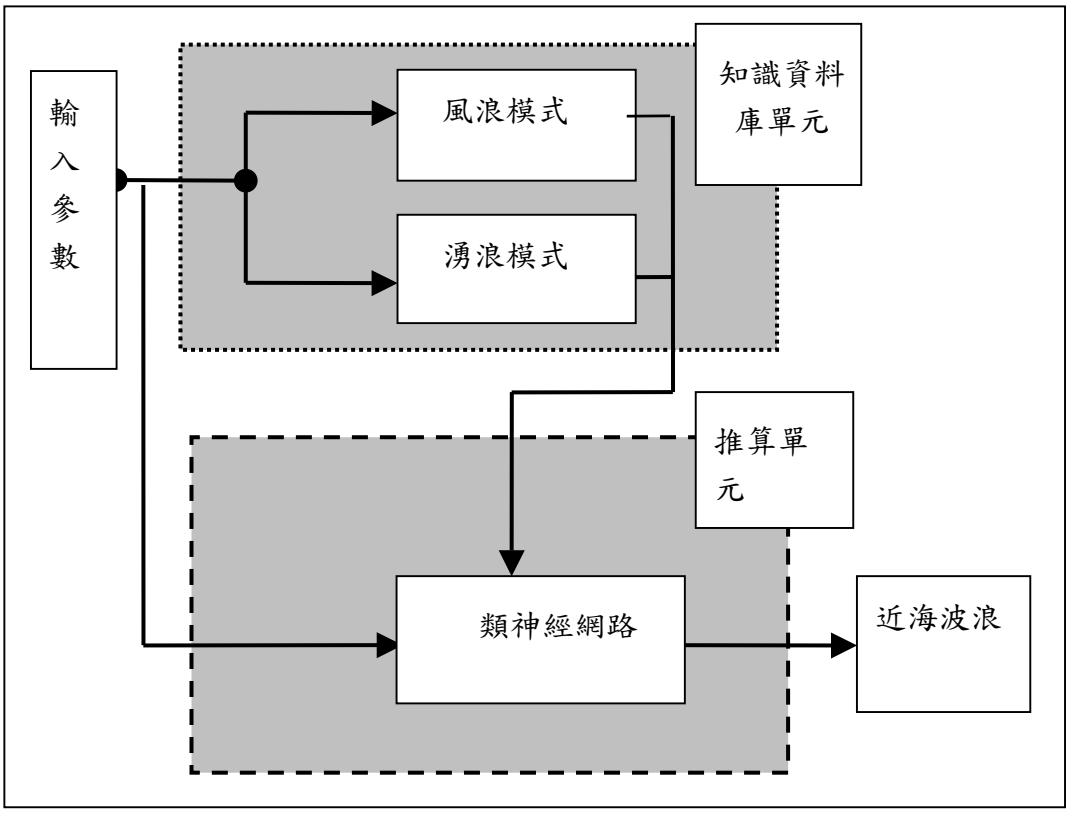


圖 8.2.1.1 類神經網路預報模式系統架構

結合式(8.2.1)及式(8.2.2)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

$$H_{1/3}(t_j) = \sum_{i=j-m}^{j} c_i f(V_{10}, r, \theta, \theta_1; t_i) \tag{8.2.3}$$

式(8.2.3)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(8.2.3)可以寫成式(8.2.4)。本文將針對式(8.2.4)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(8.2.4)的架構建立類神經網路模式。

$$H_{1/3}(t_j) = \sum_{i=j-m}^{j} c_i f(V_{10}, V_{(1)10}, \cdots\cdots V_{(12)10}, r, \theta, \theta_1; t_i) \quad (8.2.4)$$

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：

$$O_{P\times 1} = f(W_{S\times R} I_{R\times 1} + b_{S\times 1}) \quad (8.2.5)$$

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(8.2.5)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(8.2.1)及式(8.2.3)中的 V_{max} 、V_f 、V_{10} 、$V_{(1)10}$ …. $V_{(12)10}$ 、r 具有連續的特性，θ 為颱風中心與波浪推算位置的方位角，在颱風行進的路徑可能發生角度不連續的現象，因此類神經網路採用兩個隱藏層的架構解決不連續的問題，若將颱風示性波浪與週期合併考量於推算模式時，因此類神經網路模式可以表示為

$$O_1 = f_1(W_{S2\times S1} \cdot f_1(W_{S1\times(R*n)}[I_{1R\times 1}]_{n\times 1} + b_{S1\times 1}) + b_{S2\times 1}) \quad (8.2.6)$$

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

8.2.2 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 8.2.2.1。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。

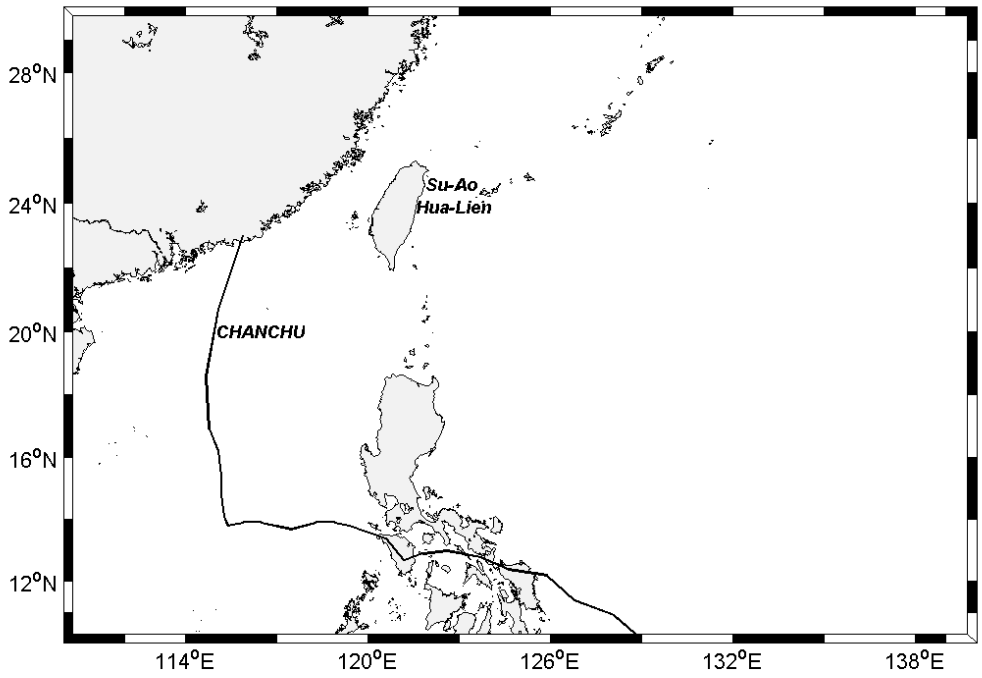


圖 8.2.2.1 颱風路徑圖

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 8.2.2.2 至 8.2.2.9。其中圖 8.2.2.2 至 8.2.2.5 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，實現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 8.2.2.2 至 8.2.2.5 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 8.2.2.6 至 8.2.2.9 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，原因為此次颱風路經由西南海域接近台灣，對西南海域的影響較大；而東部所受的影響則較小，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。

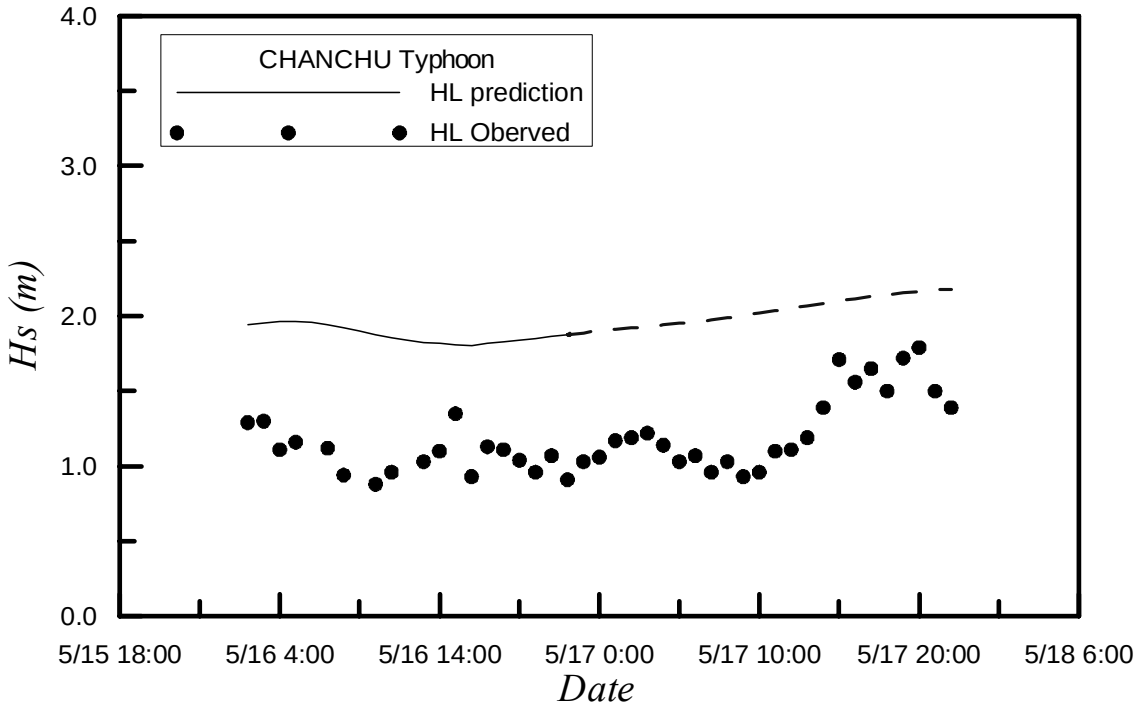


圖 8.2.2.2　珍珠颱風之花蓮港預測示性波高於預測時間(1)之路徑

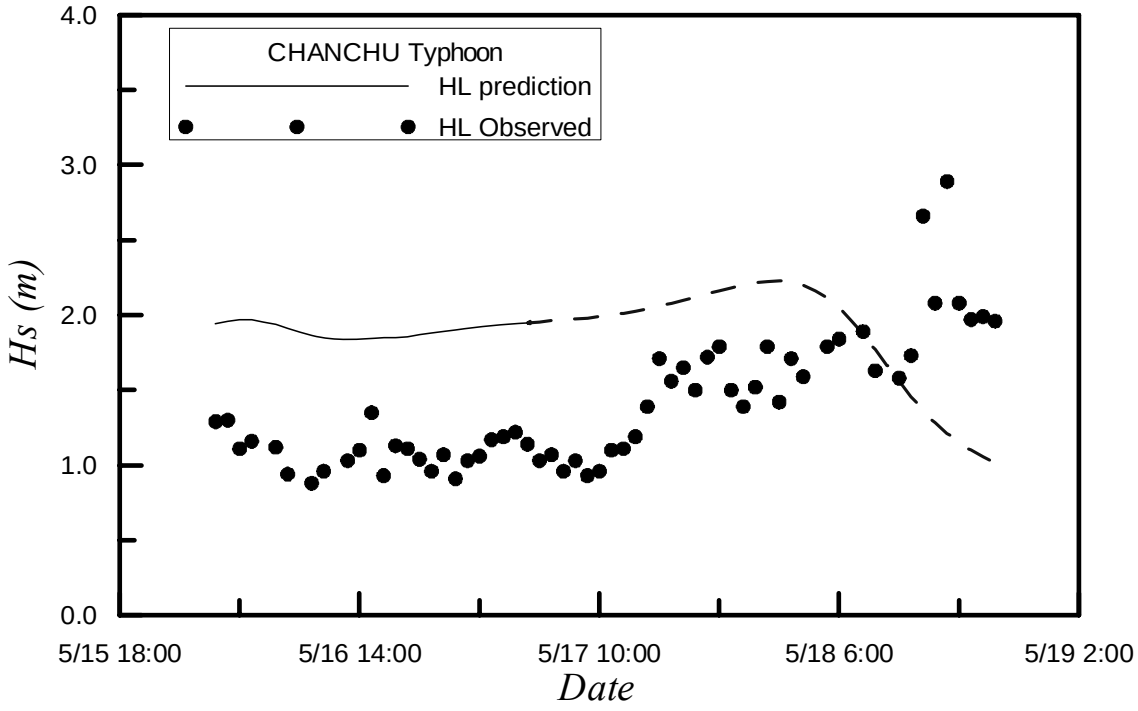


圖 8.2.2.3　珍珠颱風之花蓮港預測示性波高於預測時間(2)之路徑

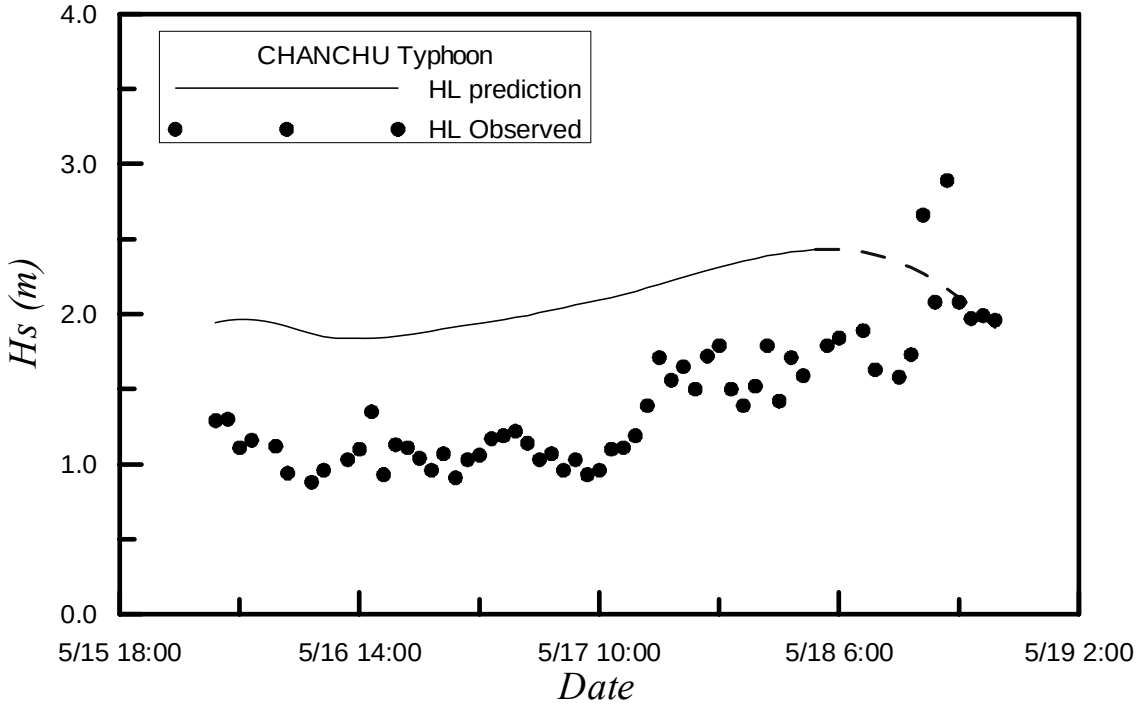


圖 8.2.2.4　珍珠颱風之花蓮港預測示性波高於預測時間(3)之路徑

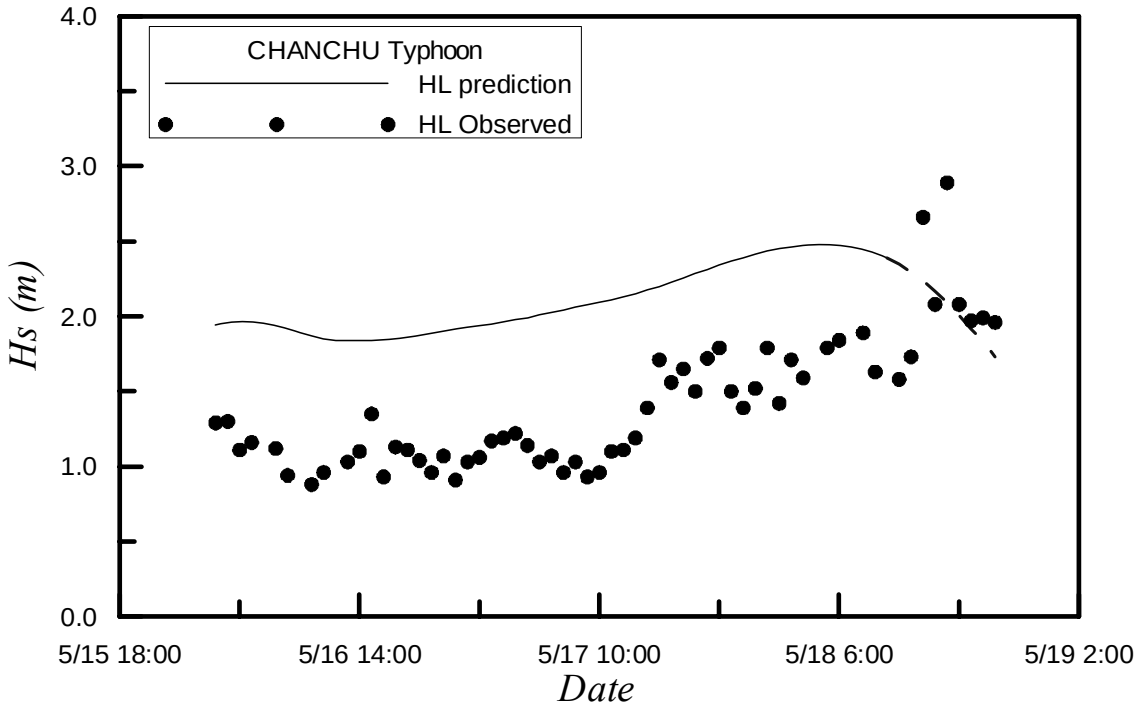


圖 8.2.2.5　珍珠颱風之花蓮港預測示性波高於預測時間(4)之路徑

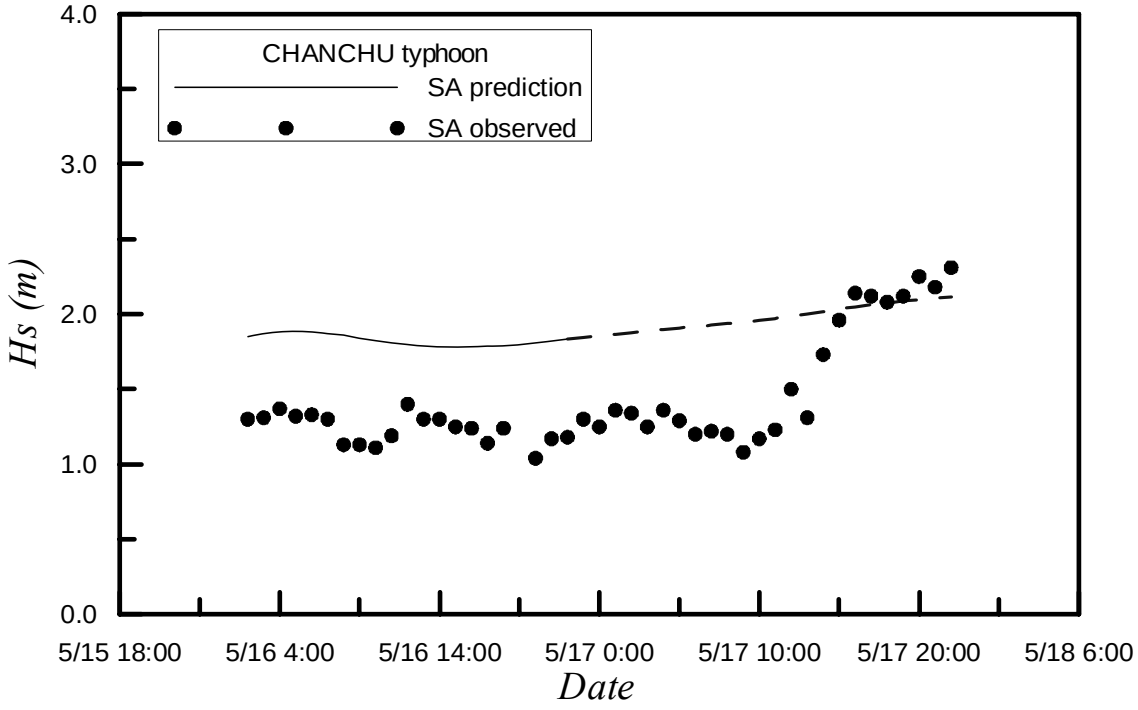


圖 8.2.2.6　珍珠颱風之蘇澳港預測示性波高於預測時間(1)之路徑

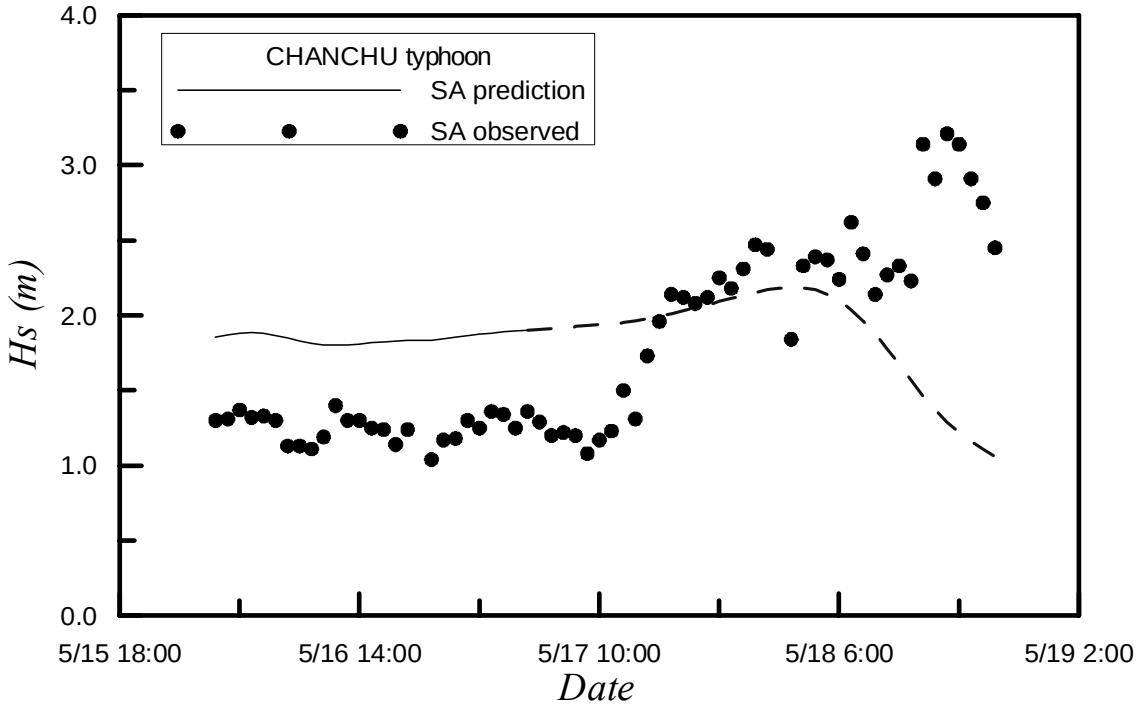


圖 8.2.2.7　珍珠颱風蘇澳港預測示性波高於預測時間(2)之路徑

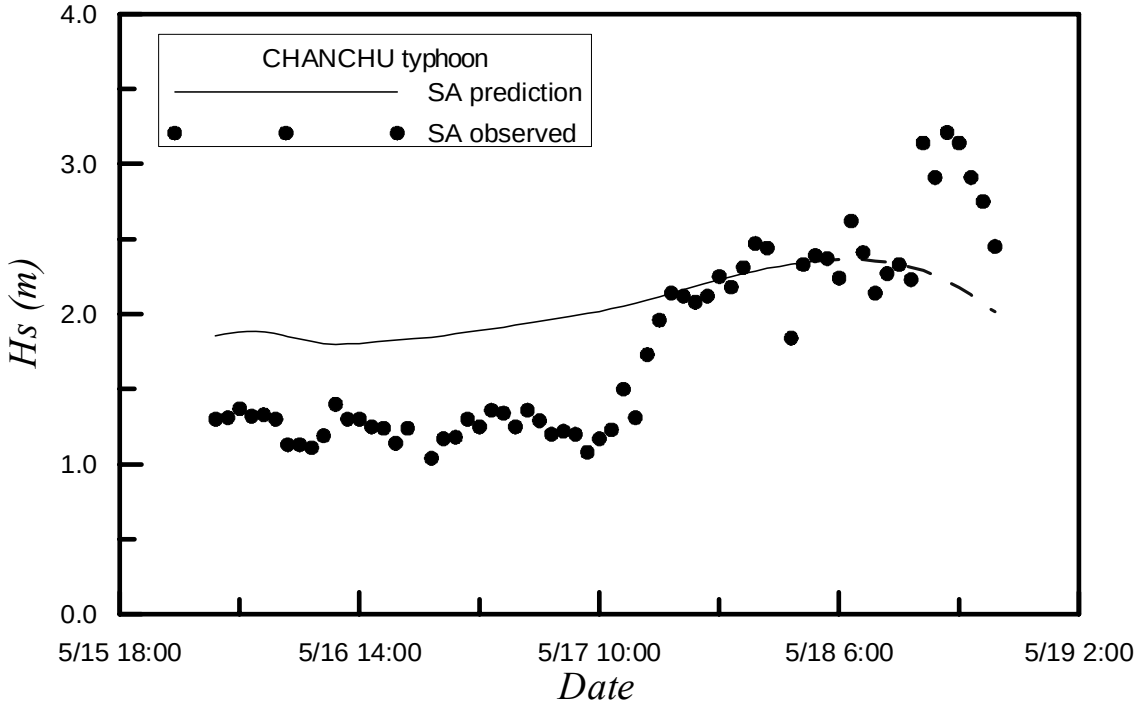


圖 8.2.2.8　珍珠颱風之蘇澳港預測示性波高於預測時間(3)之路徑

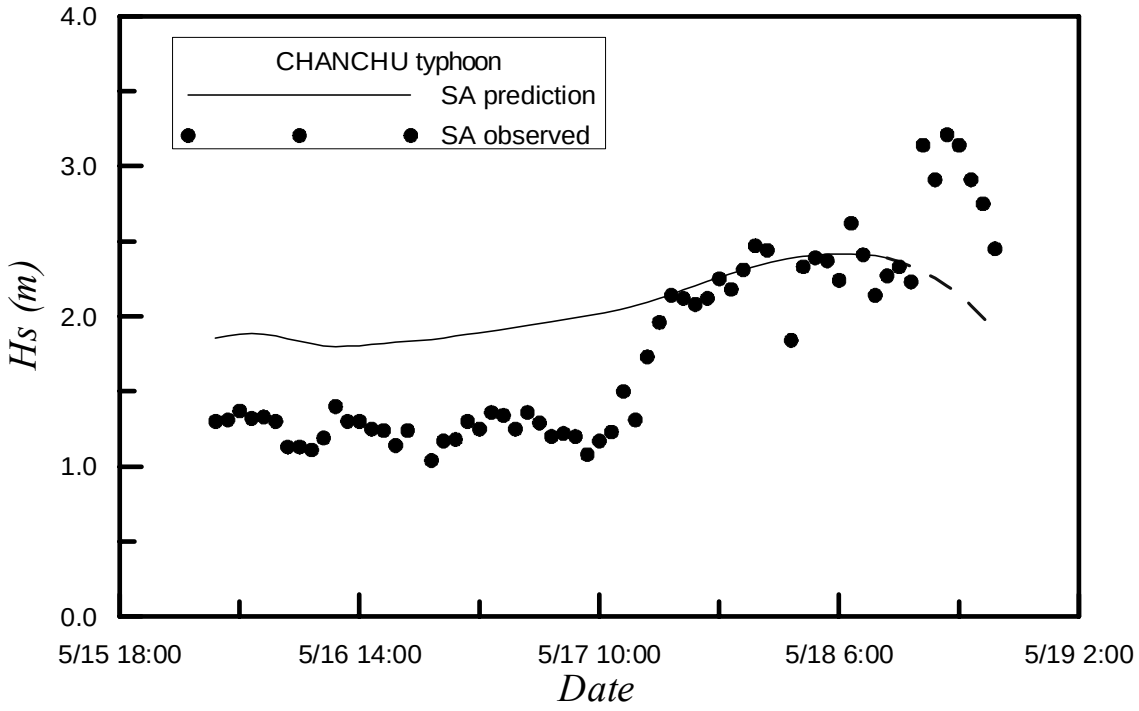


圖 8.2.2.9　珍珠颱風之蘇澳港預測示性波高於預測時間(4)之路徑

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 8.2.2.10。其中圖 8.2.2.10 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，實現表示實際路徑所推算的颱風波浪。圖 8.2.2.11 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 8.2.2.11 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 8.2.2.12 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。

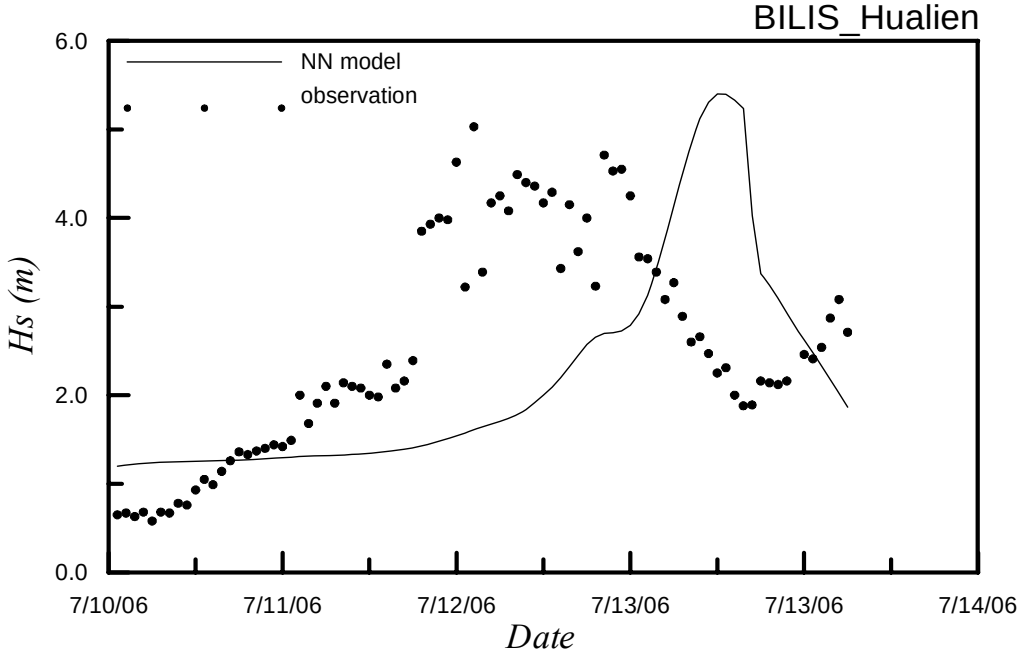


圖 8.2.2.10　碧利斯颱風之花蓮港預測示性波高

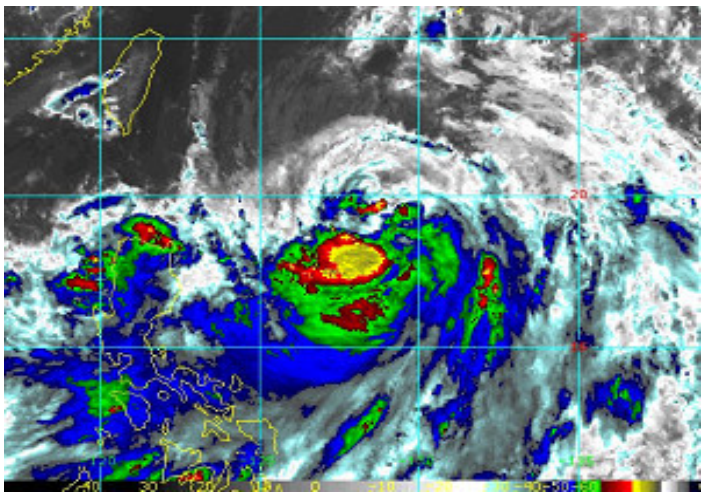


圖 8.2.2.11　碧利斯颱風 7 月 9 日之衛星雲圖

圖 8.2.2.12　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 8.2.2.13。其中圖 8.2.2.13 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 8.2.2.15 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。

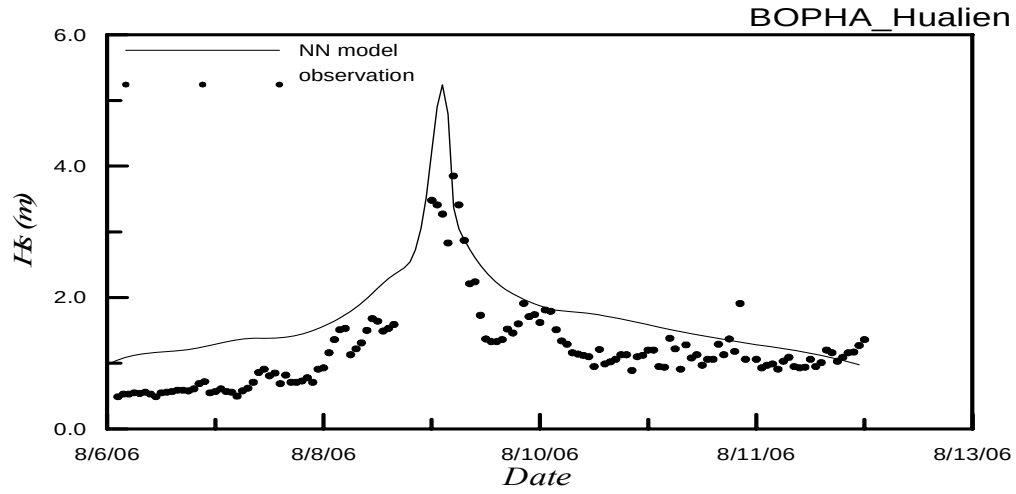


圖 8.2.2.13　寶發颱風之花蓮港預測示性波高

4.桑美(SAOMAI，2006)颱風：

桑美颱風其推算結果示如圖 8.2.2.14。其中圖 8.2.2.14 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 8.2.2.17 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。

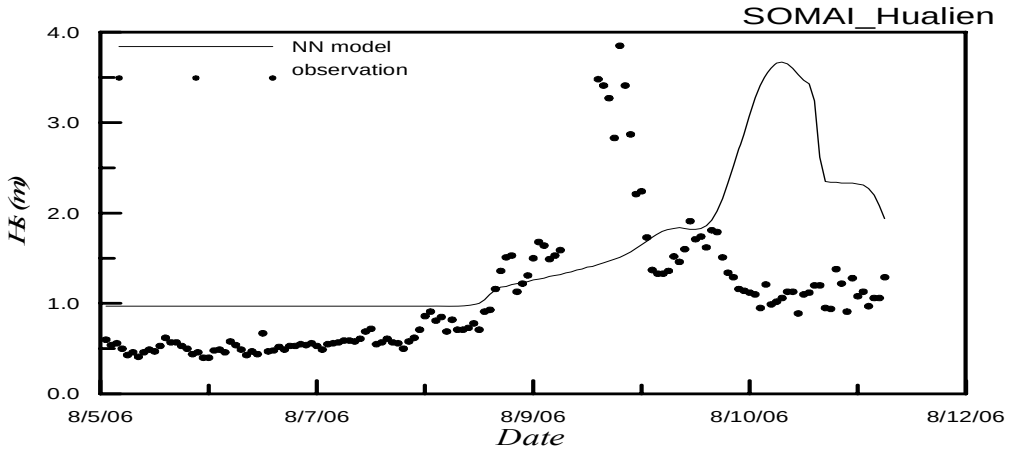


圖 8.2.2.14　桑美颱風之花蓮港預測示性波高

5. 珊珊(SHANSHAN，2006)颱風

珊珊颱風 95 年 9 月 11 日凌晨在琉球海面生成，，中心氣壓 985 百帕，11 日 14 時的中心位置在北緯 18.6 度，東經 133.7 度，即在琉球那霸東南方約 1050 公里之海面上，向西北移動，時速 12 公里，中心附近最大風速每秒 25 公尺（即每小時 90 公里），相當於 10 級風，瞬間最大陣風每秒 33 公尺（即每小時 120 公里），相當於 12 級風，7 級風暴風半徑 100 公里，以西北西行進，9/15 進入台灣東部海面後，因北方太平洋高壓東退往北行進，9/16 並往北北東行進，遠離台灣向日本西南方行進並開始減弱，9/18 變性為溫帶氣旋。路徑表示如圖 8.2.2.15。

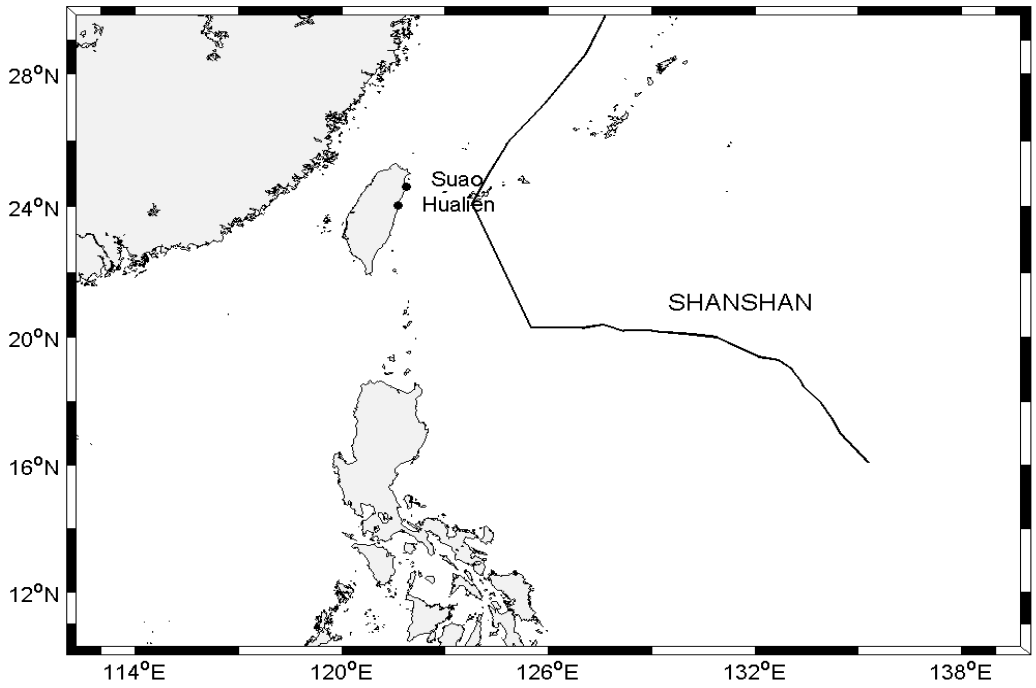


圖 8.2.2.15 珊珊颱風路徑圖

珊珊颱風推算結果示如圖 8.2.2.16。其中圖 8.2.2.16 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 8.2.2.19 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。

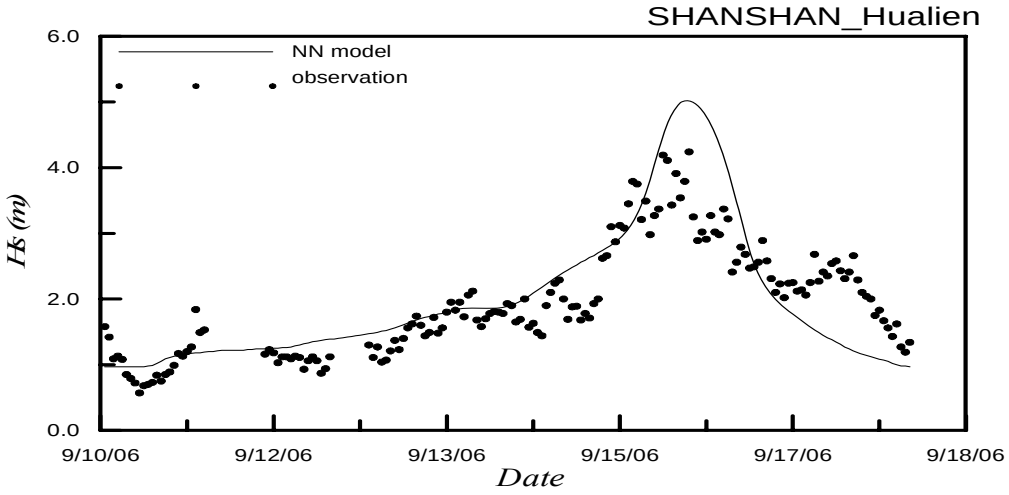


圖 8.2.2.16　珊珊颱風之花蓮港預測示性波高

8.2.3　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 8.2.3.1 模式對 2006 年颱風測試結果 R、RMS、 ΔH_{sp} 及 Δt_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
ΔH_{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
Δt (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。

8.2.4 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 8.2.4.1，其相對應之 ANFIS 架構則示圖 8.2.4.2。由圖 8.2.4.1 的模糊推論中可知，規則 1： If x1 is A1 and y1 is B1 then f1 = p1 · x1 + q1 · y1 + r1，規則 2：If x2 is A2 and y2 is B2 then f2 = p2 · x2 + q2 · y2 + r2，上述之模糊推論於 ANFIS 架構中，在同一層中所有節點之歸屬或轉換函數，使用相同的函數，以下說明其內部構造，其分為五層分別為輸入層、規則層、正規化層、結論推論層及輸出層，其推算之流程為先將輸入數據進行模糊化，並架構輸入因子之歸屬函數，而歸屬函數則藉由類神經網路最佳化的學習功能求得，經由模糊推理得到輸出的模糊評價結果。因此，該模糊類神經網路模式具有一般類神經網路的性質與優點外，又由於使用模糊推算的運行機制，使得處理單元的計算變成較簡便，且亦加快計算的速度，並使系統容錯的能力大為增加。

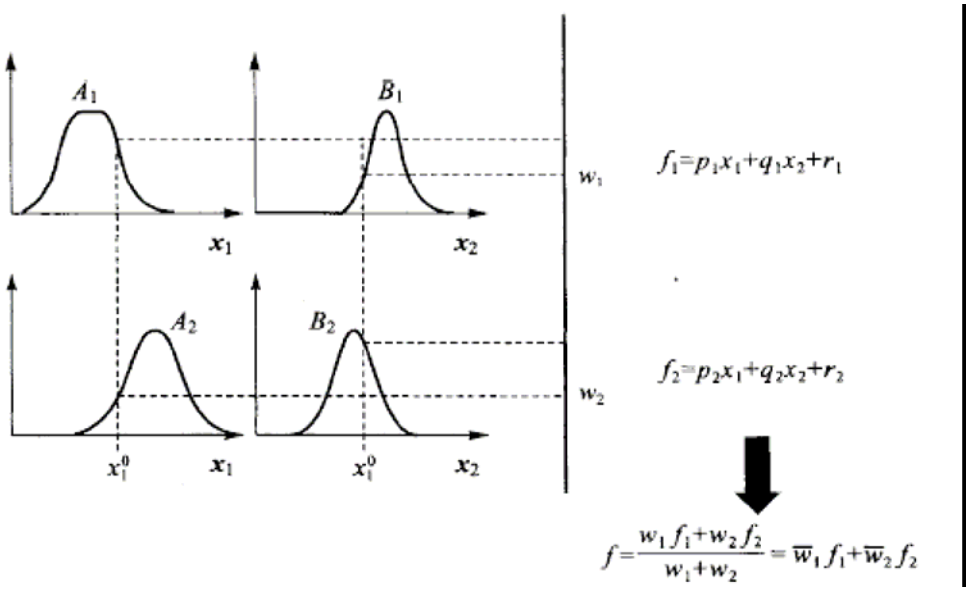


圖 8.2.4.1 模糊邏輯推論示意圖

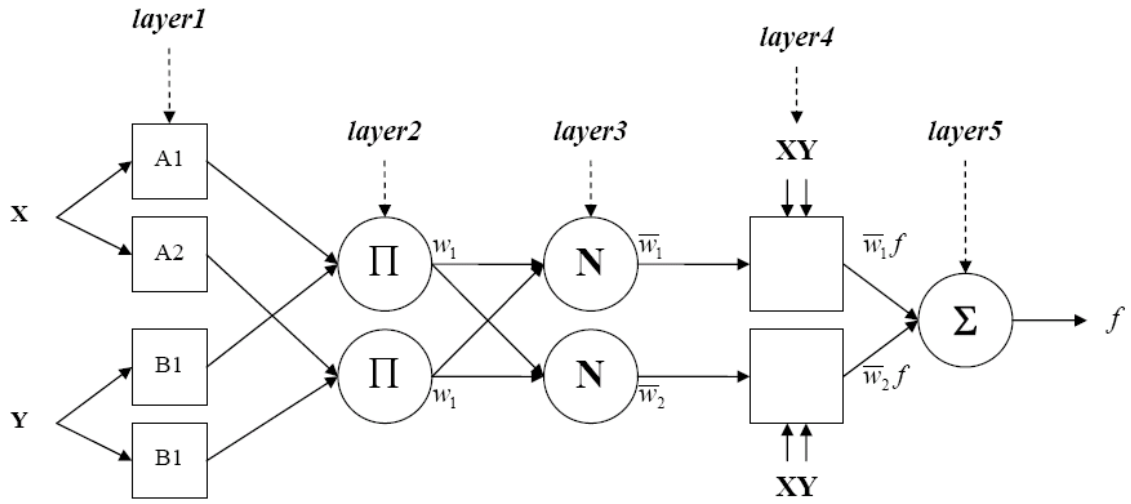


圖 8.2.4.2 適應性網路架構模糊推論系統架構示意圖

由圖8.2.4.2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 8.2.4.2 中的方塊神經元，依圖 8.2.4.2 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(8.2.7)，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，μAi (x)為鐘形函數示如式(8.2.8)，其最大值為 1，最小值為 0。

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) \tag{8.2.7}$$

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1+\left|\frac{x-c_i}{a_i}\right|^{2b_i}} \tag{8.2.8}$$

其中，i 為歸屬函數的數量，x 為輸入值， ai、bi、ci 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(8.2.9)及式(8.2.10)，處理單元則為圖 8.2.4.2 中圓形神經元，其中以符號 Π 表示，而規則數量可由第一層之歸屬函數

數量的輸入變數數量之冪次方，因此本層之輸出值則為四個規則，即(22=4)。

$$O_i^2 = w_i \tag{8.2.9}$$

$$w_i = \mu_{Ai}(x) \times \mu_{bi}(x) \qquad i = 1,2 \tag{8.2.10}$$

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(8.2.11)，其處理單元為圖 8.2.4.2 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。

$$O_i^3 = \overline{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \quad i = 1,2 \tag{8.2.11}$$

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(8.2.12)其處理單元為圖 8.2.22 中方形神經元。

$$O_i^4 = \overline{w}_i f_i = \overline{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \tag{8.2.12}$$

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 Σ 符號標示，其可計算第四層之輸出總和，作為網路之輸出值，示如式(8.2.13)。

$$O_i^5 = \sum_i \overline{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \tag{8.2.13}$$

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。

8.2.5 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 1×1 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 8.2.5.3 至 8.2.5.4。由圖 8.2.5.3 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 8.2.5.4 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。

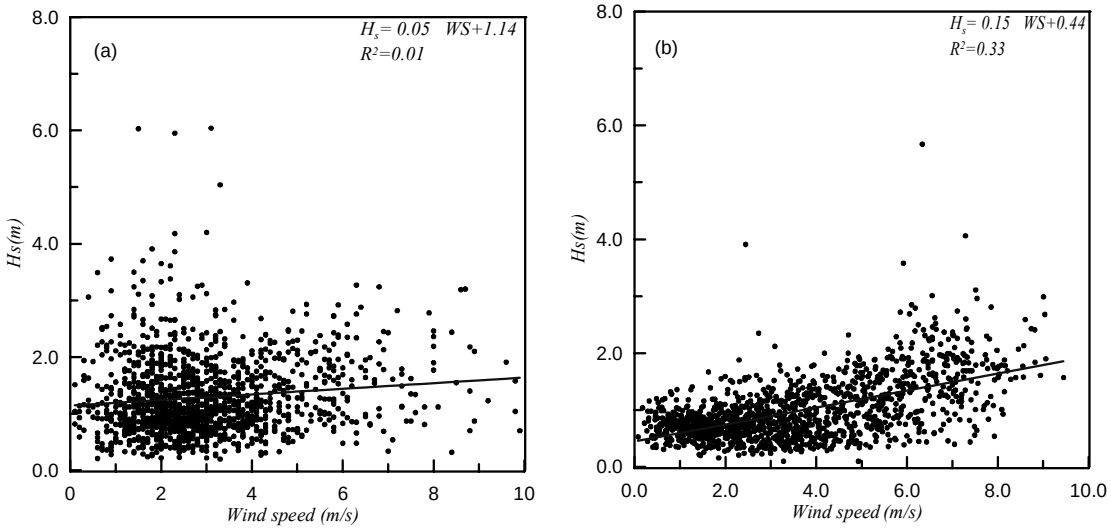


圖 8.2.5.3 花蓮港波高與實測(a)及模式(b)風向比較圖

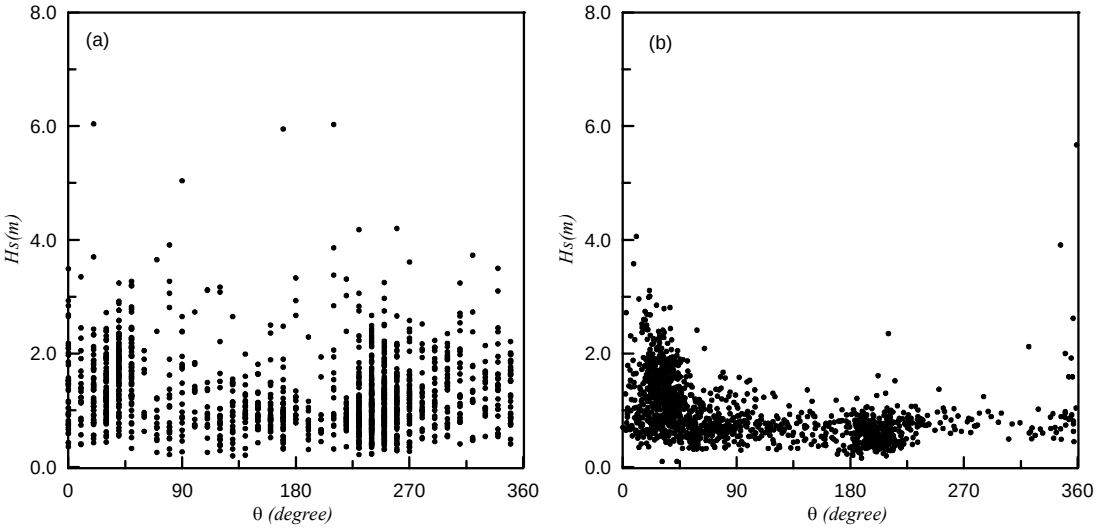


圖 8.2.5.4 花蓮港波高與實測(a)及模式(b)風向比較圖

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 8.2.5.5，來代表風速影響波高的持續性。由圖 8.2.5.5 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。

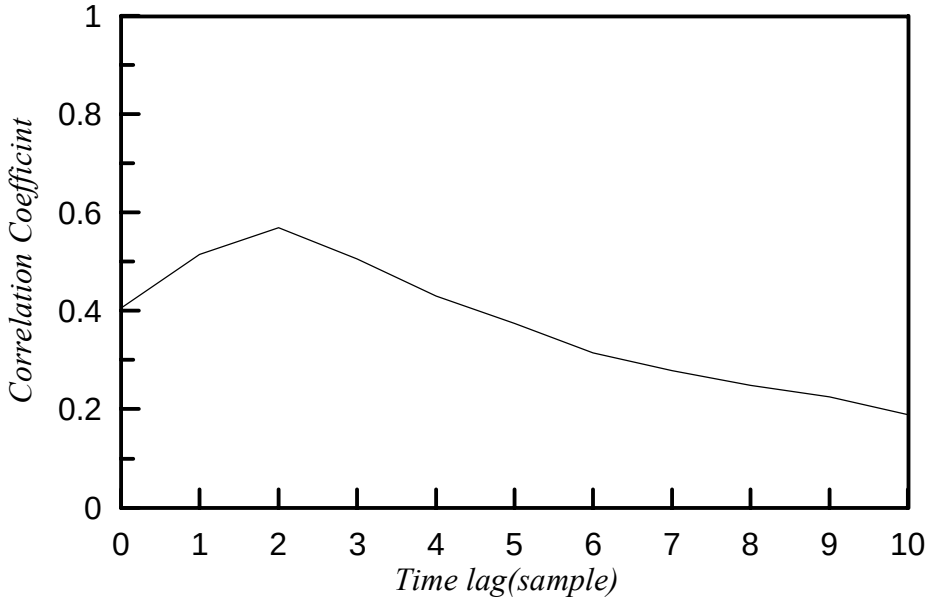


圖 8.2.5.5 花蓮港波高與模式風速之不同延時相關性比較圖

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 8.2.5.6 至 8.2.5.9。由圖 8.2.5.6 及 8.2.5.7 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 8.2.5.8 及 8.2.5.9 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。本研究進一部分析不同季節之推算結果，示如表 8.2.5.1。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(8.2.14)，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

$$r=\frac{\sum_{i=1}^{N}\left[\left(P_i-\overline{P}\right)\left(O_i-\overline{O}\right)\right]}{\left[\sum_{i=1}^{N}\left(P_i-\overline{P}\right)^2\sum_{i=1}^{N}\left(O_i-\overline{O}\right)^2\right]^{1/2}} \tag{8.2.14}$$

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

（2）絕對誤差 ε（mean absolute error）：示如式(8.2.15)，ε 值可表現出預測值與實測值之間之平均預測誤差，ε 越大則表示偏差量越多而誤差大。

$$\varepsilon=\frac{\sum_{i=1}^{N}\left|\left(P_i-O_i\right)\right|}{N} \tag{8.2.15}$$

（3）相對誤差 bias：示如式(8.2.16)，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。

$$bias=\frac{\sum_{i=1}^{N}\left(P_i-O_i\right)}{N} \tag{8.2.16}$$

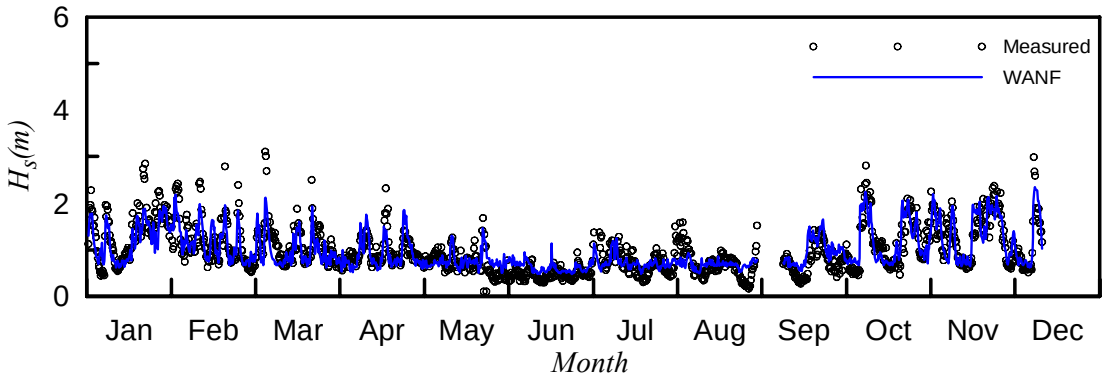


圖 8.2.5.6 2002 年花蓮港模式學習輸出值與實測值比較圖

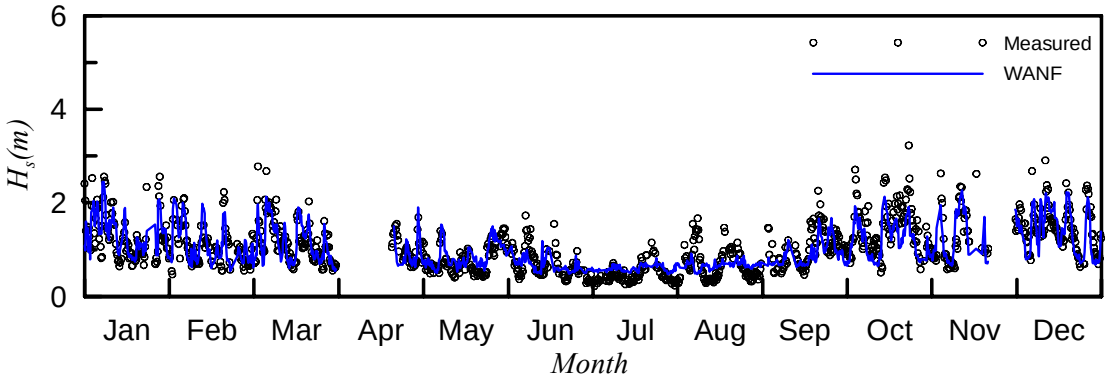


圖 8.2.5.7 2003 年花蓮港模式預測輸出值與實測值比較圖

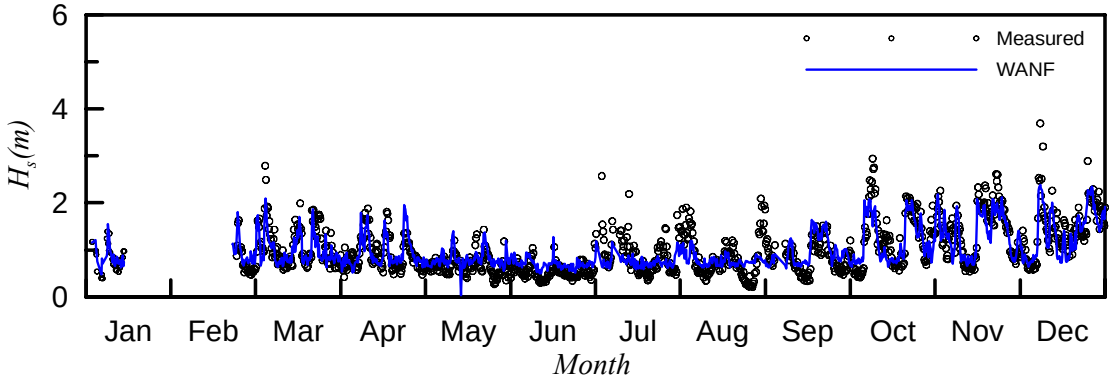


圖 8.2.5.8 2002 年蘇澳港模式學習輸出值與實測值比較圖

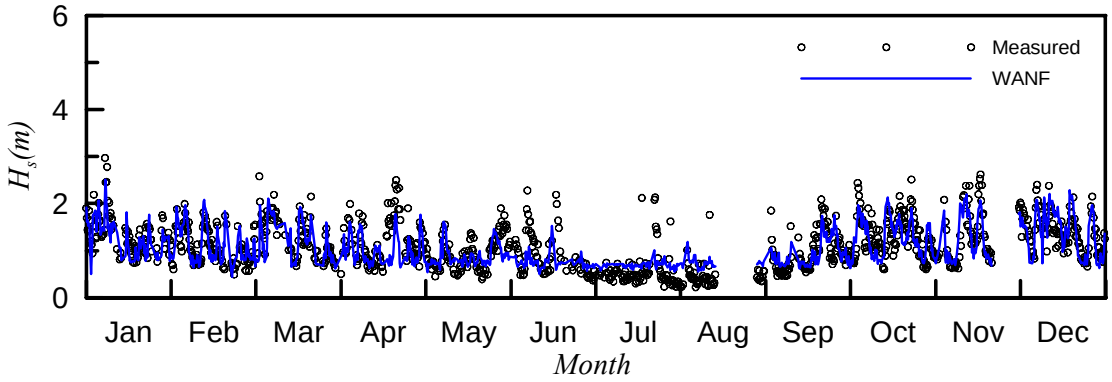


圖 8.2.5.9 2003 年蘇澳港模式預測輸出值與實測值比較圖

由表 8.2.5.1 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 8.2.5.1 WANF 模式於花蓮及蘇澳之學習及預測比較表

		花蓮			蘇澳		
		r	*ε*	*bias*	*r*	*ε*	*bias*
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

8.3 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 8.3.1 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 8.3.2 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 8.3.3 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，以逐步消減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：

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

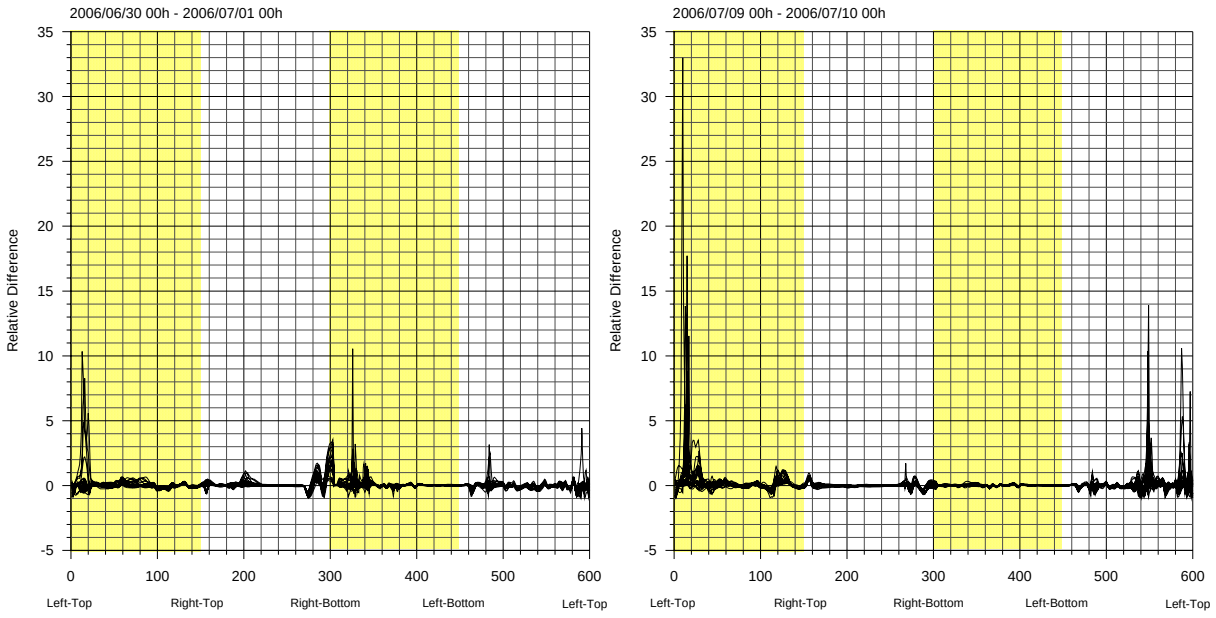
$$w(i,j) = \max\left(0, \frac{R^2 - d_{i,j}^2}{R^2 + d_{i,j}^2}\right)$$

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。

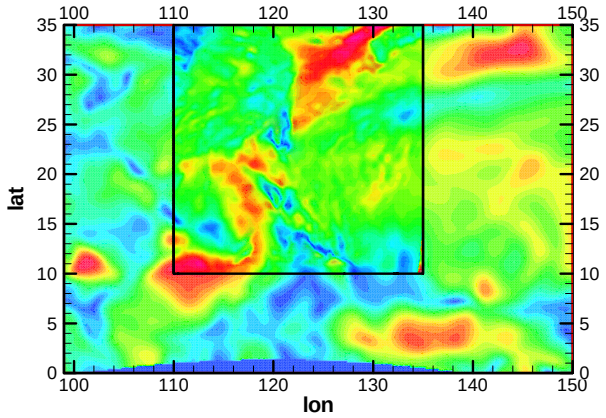
圖 8.3.4 係 2006/6/30 0h 及 2006/7/10 0h 兩個時間的 RC 與調整 MC 風場的套疊，如與圖 8.3.2 相比對可發現其邊界風速值的差異性已有改善。圖 8.3.5 乃以 MC 風場範圍內 RC 與調整 MC 的共通節點上的風速值進行相對差值的比較(以 RC 風速為準)。我們可發現兩個風場的大部分區域透過邊界值的一致性調整，其風速差異性已小於 10%，而圖 8.3.3 中的深色區域亦有相當改善。而在邊界上差值分佈的參差不齊，我們可以看到並非屬於系統性的差異量。圖 8.3.6 顯示兩個時間上所有共通節點相對風速差異比的統計分佈，上圖為原始 MC 風場與 RC 風場的相對差異比，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。

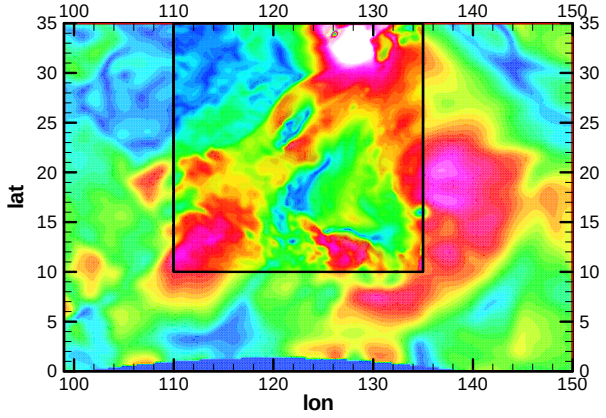


(a) 2006/06/30 00h ~ 2006/07/01 00h　　(b) 2006/07/09 00h ~ 2006/07/10 0h

圖 8.3.1　RC 與 MC 風場相接邊界上之風速相對誤差值

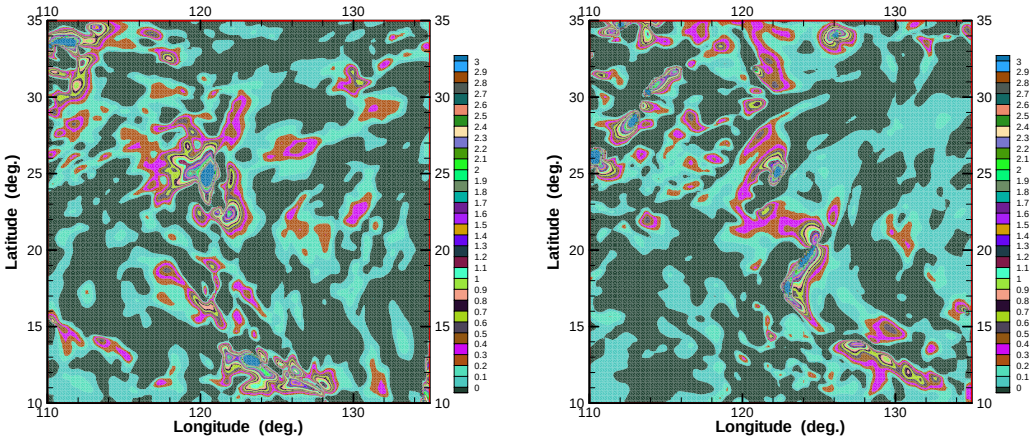


(a) 2006/06/30 00h



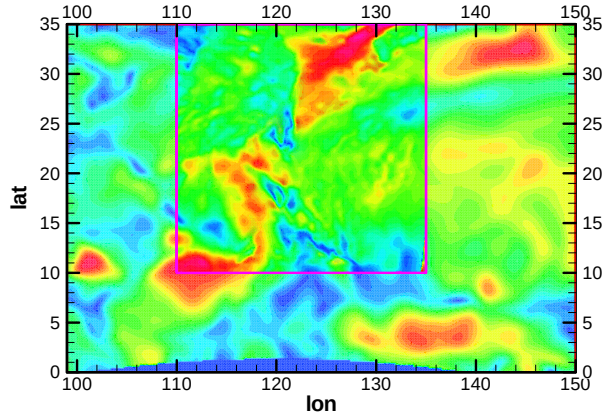
(b) 2006/07/10 00h

圖 8.3.2　RC 風場與 MC 風場套疊情形

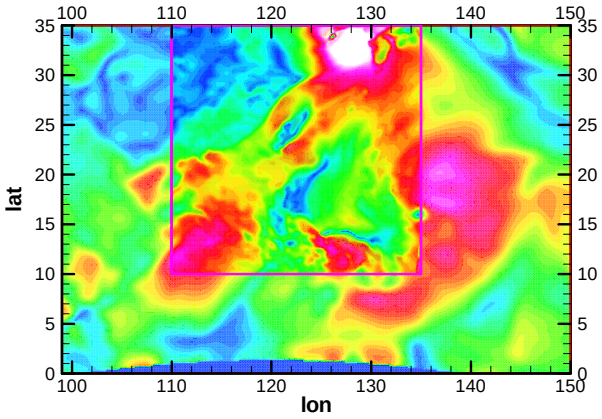


(a) 2006/06/30 00h　　(b) 2006/07/10 0h

圖 8.3.3　RC 與 MC 風場之風速相對誤差分佈

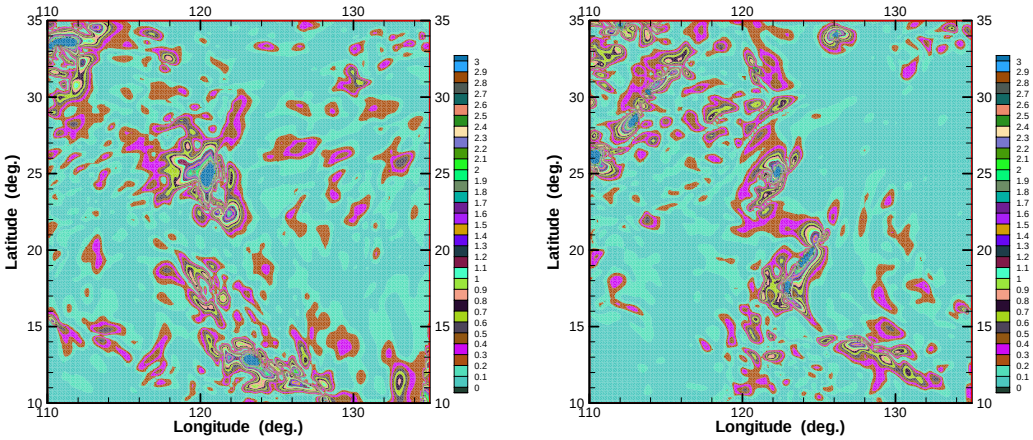


(a) 2006/06/30 00h



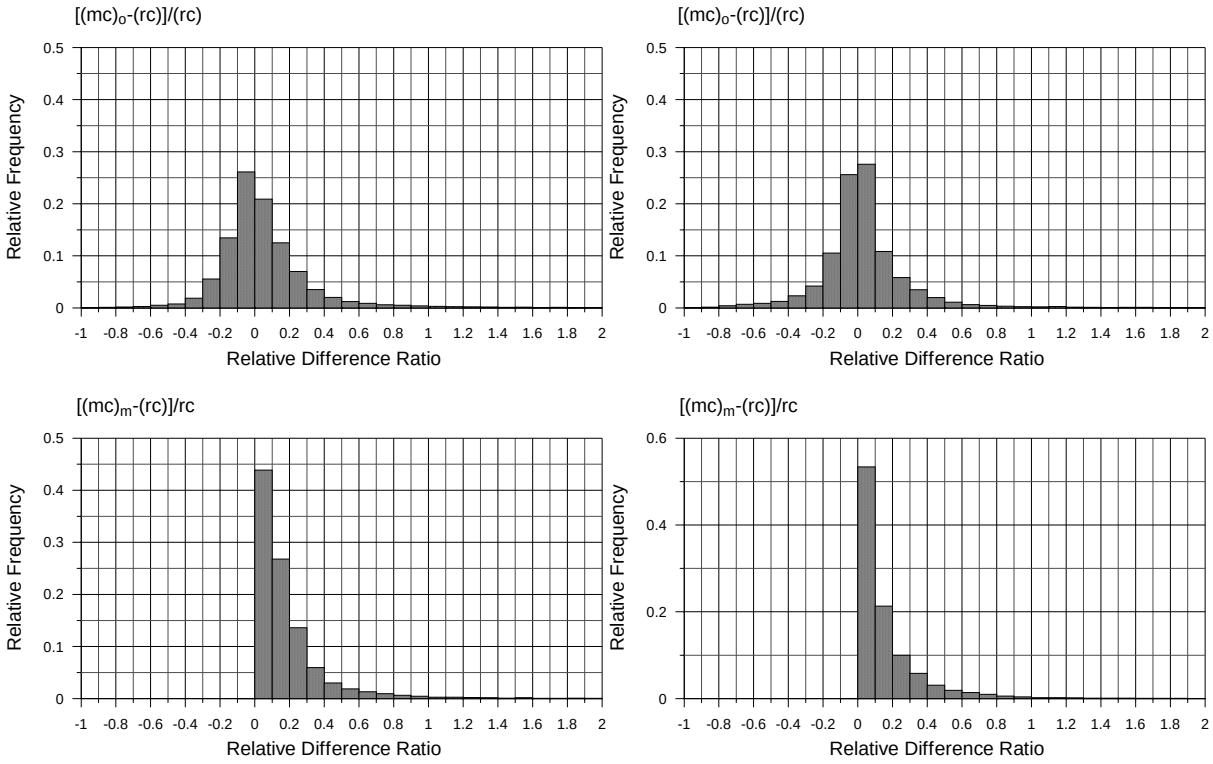
(b) 2006/07/10 00h

圖 8.3.4　RC 風場與修正 MC 風場套疊情形



(a) 2006/06/30 00h　　(b) 2006/07/10 0h

圖 8.3.5　RC 與 MC 風場之風速相對誤差分佈



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

圖 8.3.6　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)

8.4 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。

8.4.1 台灣海域全域(WAM)風浪模式系統

8.4.1.1 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：

$$\frac{\partial E}{\partial t}+\nabla_h\cdot\left[(\vec{U}+\vec{C}_g)E\right]=S_{tot} \tag{8.4.1}$$

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(8.4.1)從直角座標轉換為球面座標，其方程式表示如下 (WAMDI Group，1988)：

$$\frac{\partial E}{\partial t}+(\cos\phi)^{-1}\frac{\partial}{\partial\phi}(C_\phi E)+\frac{\partial}{\partial\lambda}(C_\lambda E)+\frac{\partial}{\partial\theta}(C_\theta E)=S_{tot} \tag{8.4.2}$$

式中，ϕ為緯度，λ為經度，C_ϕ、C_λ與 C_θ分別ϕ、λ與θ領域之傳遞速度，各領域的傳遞速度如下：

$$C_\phi=C_g\sin\theta/R\ ,\ C_\lambda=C_g\cos\theta/R\cos\phi \tag{8.4.3}$$

$$C_\theta=\frac{1}{k}\frac{\partial\sigma}{\partial d}\left(\frac{\sin\theta}{\cos\phi}\frac{\partial d}{\partial\lambda}-\cos\theta\frac{\partial d}{\partial\phi}\right)/R \tag{8.4.4}$$

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

$$S_{tot}=S_{in}+S_{nl}+S_{ds}+\ldots \tag{8.4.5}$$

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：

$$\frac{\partial N}{\partial t}+\nabla_h\cdot\left[(\vec{U}+\vec{C}_g)N\right]=0 \tag{8.4.6}$$

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 (8.4.6)，則上式可改寫成

$$\frac{\partial E}{\partial t}+\nabla_h\cdot\left[(\vec{U}+\vec{C}_g)E\right]=\frac{E}{\sigma}\left[\frac{\partial\sigma}{\partial t}+(\vec{U}+\vec{C}_g)\cdot\nabla_h\sigma\right] \tag{8.4.7}$$

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。

8.4.1.2 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 8.4.1.1 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)。

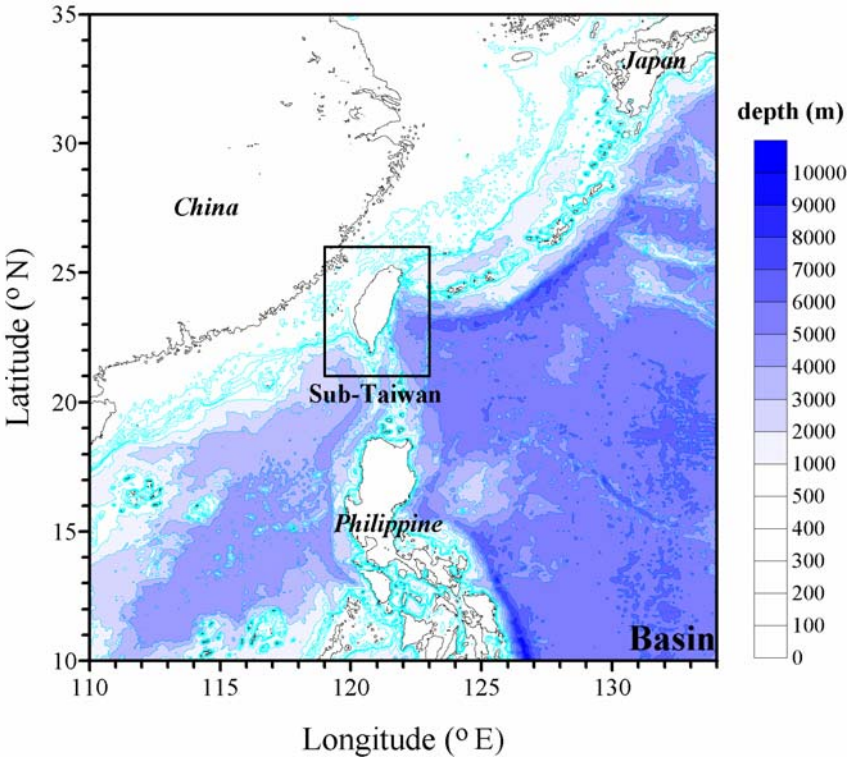


圖 8.4.1.1 遠域波浪計算範圍及水深分佈圖

8.4.2 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控間領域中的傳遞、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量衰減、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水面的上升(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，σ為相對頻率；θ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)

$$\frac{\partial N}{\partial t}+\frac{\partial c_x N}{\partial x}+\frac{\partial c_y N}{\partial y}+\frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma}+\frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta}=\frac{S}{\sigma} \tag{8.4.8}$$

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 cx 及 cy 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 σ-軸上以 cσ的速度位移；第五項係表示因為水深或流所引起的折射(在 θ-軸上以 cθ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(σ, θ))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：

$$S_{in}(\sigma,\theta)=A+BE(\sigma,\theta) \tag{8.4.9}$$

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 Sds,w(σ, θ)、底床摩擦 Sds,b(σ, θ)、及水深引起碎波 Sds,br(σ, θ)。

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

$$S_{ds,w}(\sigma,\theta)=-\Gamma\tilde{\sigma}\frac{k}{\tilde{k}}E(\sigma,\theta) \tag{8.4.10}$$

其中，Γ是與波形尖銳度有關的係數；k=2π/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。

$$S_{ds,b}(\sigma,\theta) = -C_{bottom}\frac{\sigma^2}{g^2 \sinh^2 kd}E(\sigma,\theta) \tag{8.4.11}$$

其中，Cbottom 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

$$S_{ds,br}(\sigma,\theta) = \frac{D_{tot}}{E_{tot}}E(\sigma,\theta) \tag{8.4.12}$$

其中，Etot 是總波浪能量；Dtot(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。Dtot 的值與碎波參數γ=Hmax/d 有明顯關係，其中 Hmax 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

$$K_t = 0.5\left[1-\sin\left(\frac{\pi}{2\alpha}\left(\frac{F}{H_i}+\beta\right)\right)\right] \quad for \quad -\beta-\alpha < \frac{F}{H_i} < \alpha-\beta \tag{8.4.13}$$

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

表 8.4.2.1　不同堤體之透過係數參數表

堤 體 種 類	α	β
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 8.4.2.1 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。

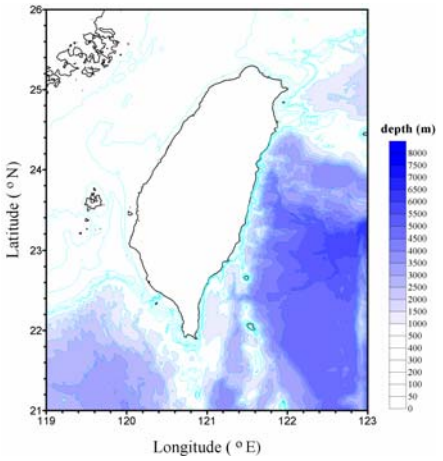


圖 8.4.2.1 台灣附近海域計算範圍及水深分佈圖

8.4.3 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 8.4.3.1 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 8.4.3.2 至圖 8.4.3.3 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°×0.2°及 0.04°×0.04°，約相當於 20km×20km 及 4km×4km，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 8.4.3.4 顯示台灣附近水域的水深地形比較(網格為 0.25°×0.25°)，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°×0.25°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。

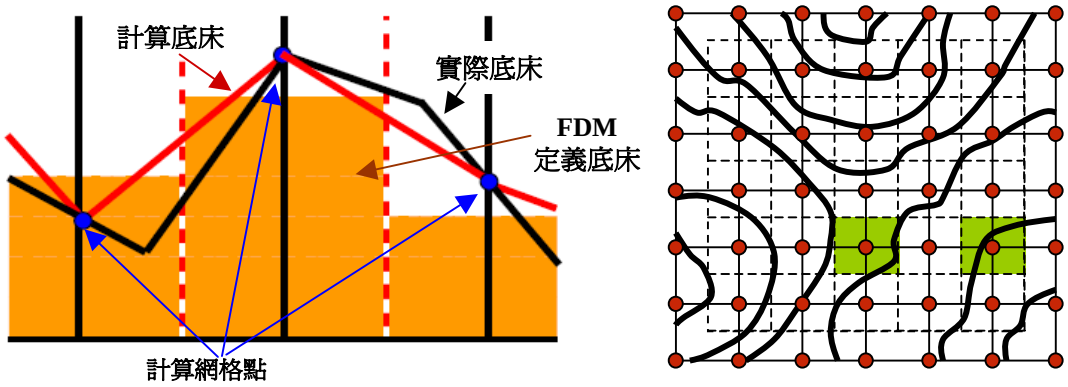
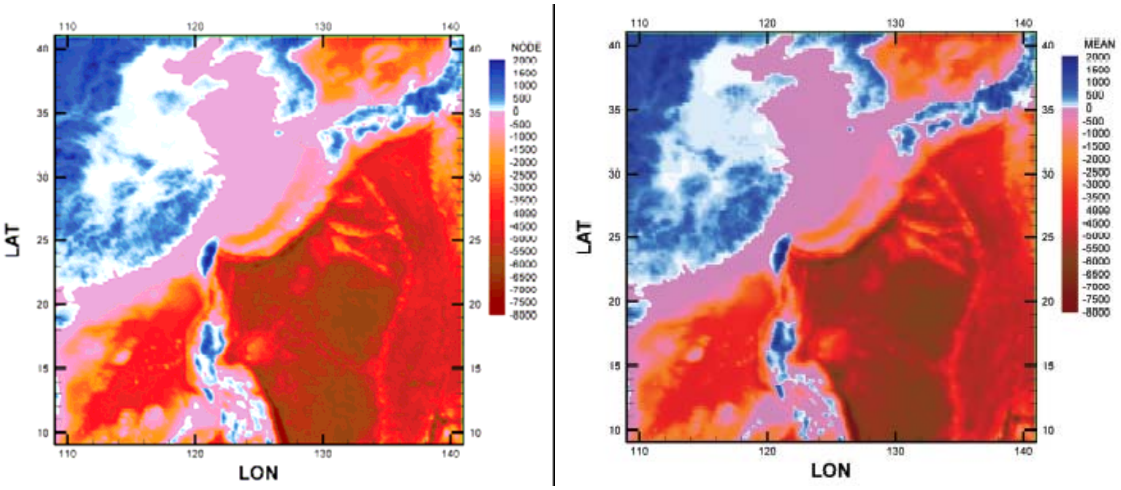
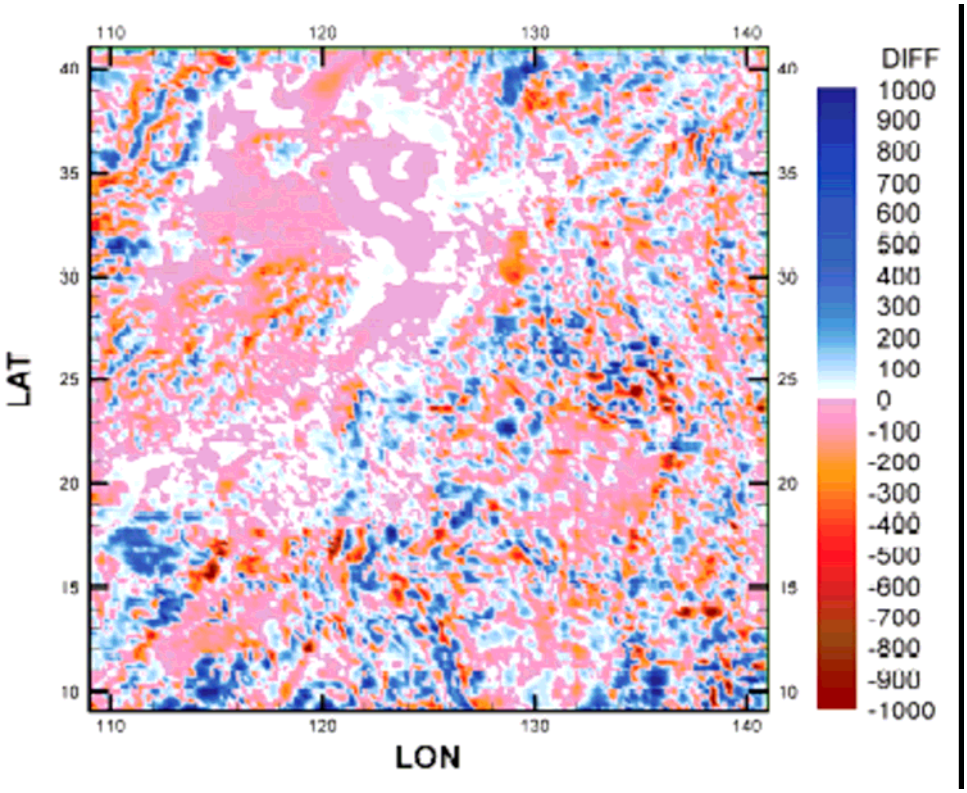


圖 8.4.3.1 有限差分法之網格水深值定義圖

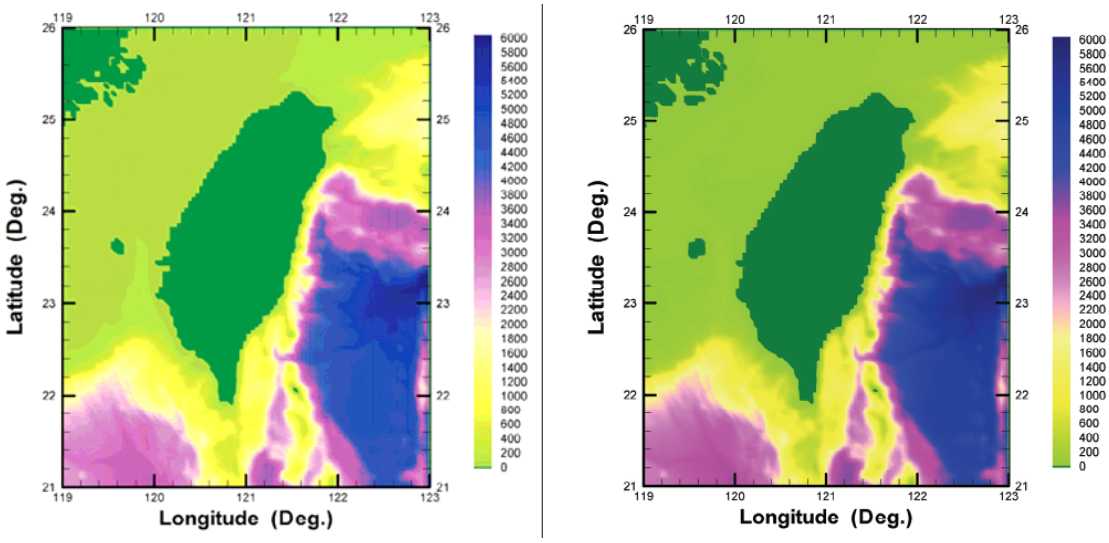


(a) 節點水深地形　　(b) 網格平均水深地形

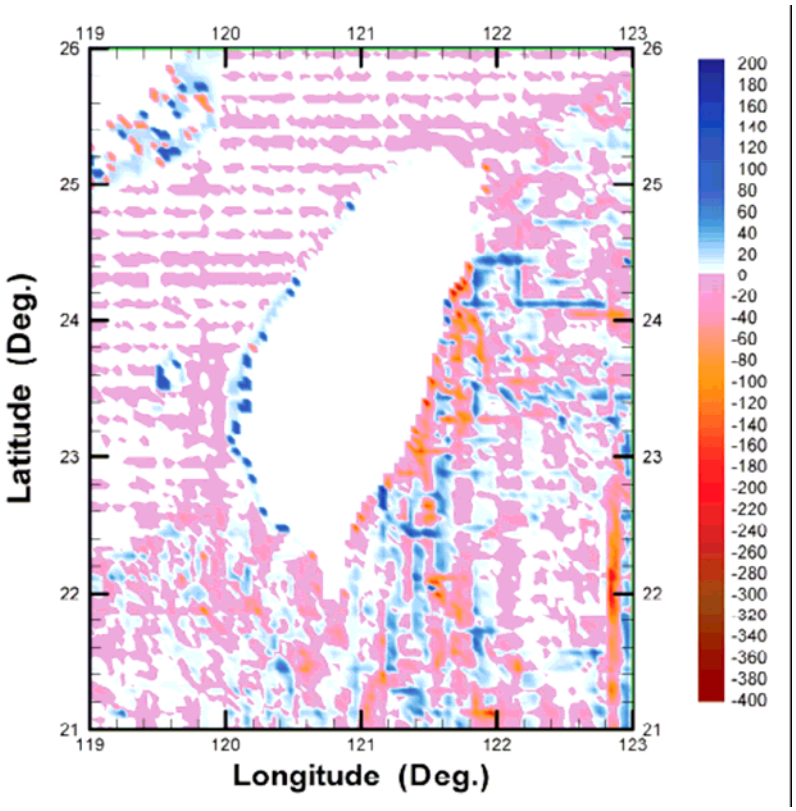


(c)　節點水深-幾何平均水深之高程差

圖 8.4.3.2 WAM 波浪推算範圍的水深地形比較

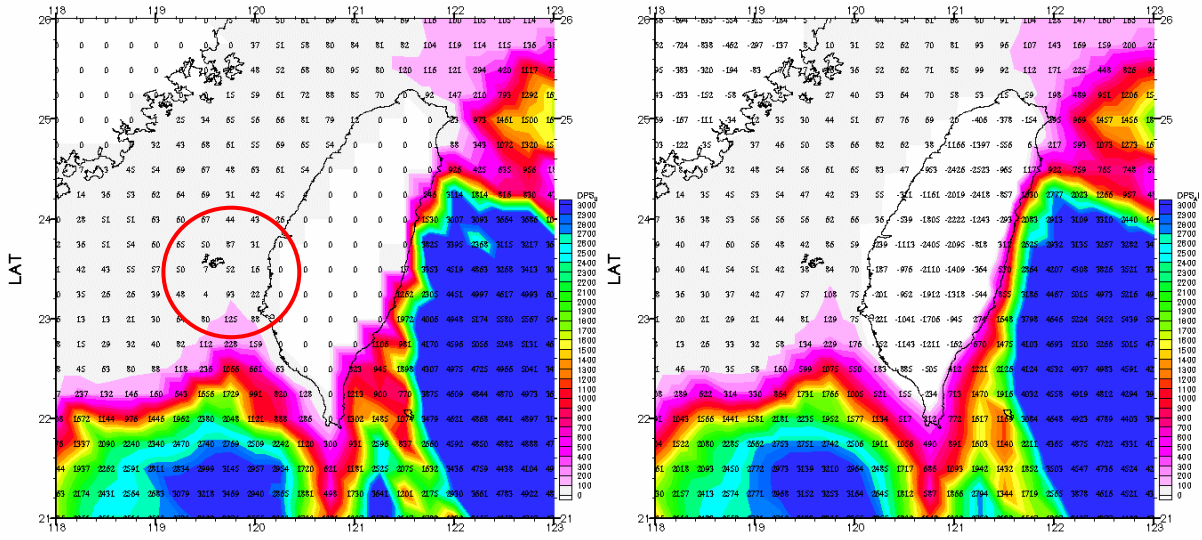


(a) 節點水深地形　　(b) 網格平均水深地形

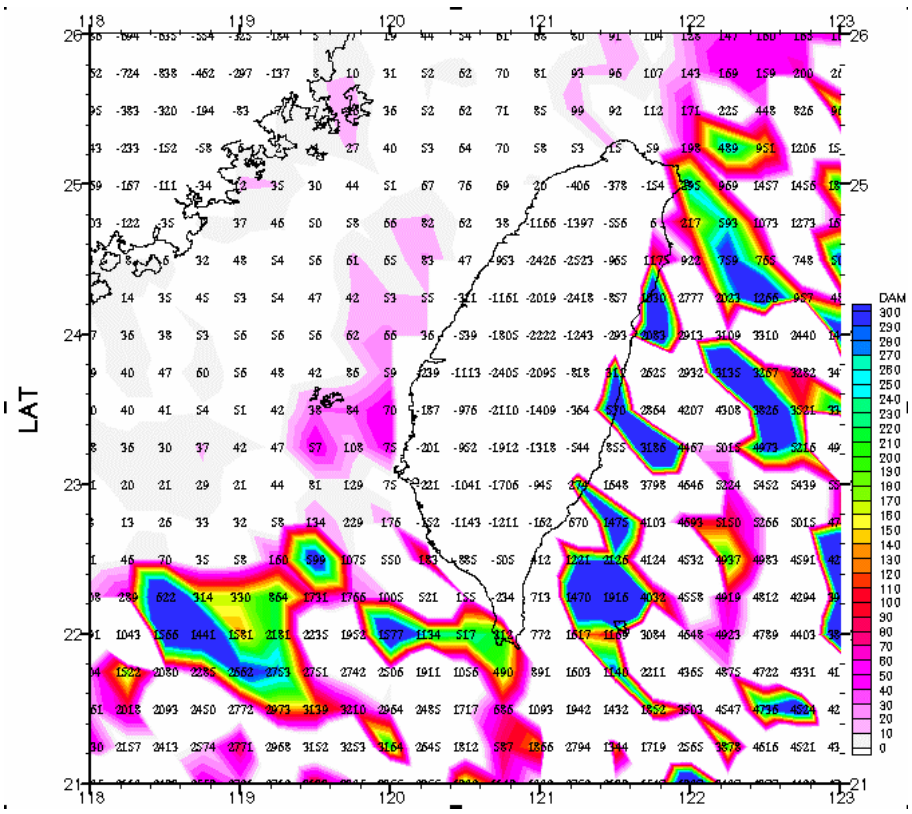


(c)　節點水深-幾何平均水深之高程差

圖 8.4.3.3 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8.4.3.4 台灣附近水域水深地形比較(0.25°×0.25°)

8.4.4 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 8.4.4.1 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 8.4.4.2 至圖 8.4.4.3 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。

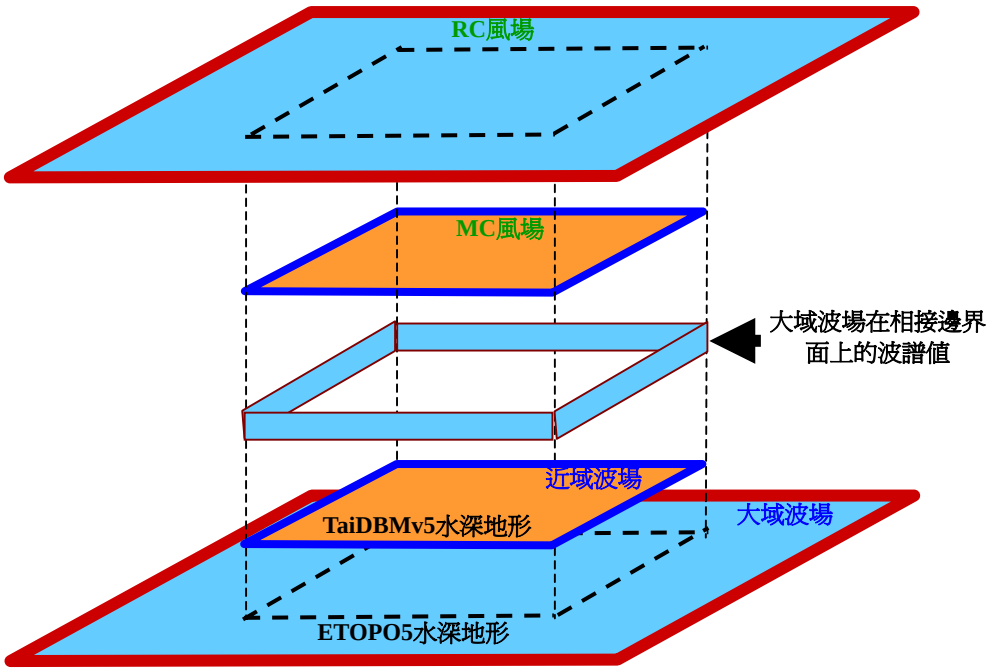
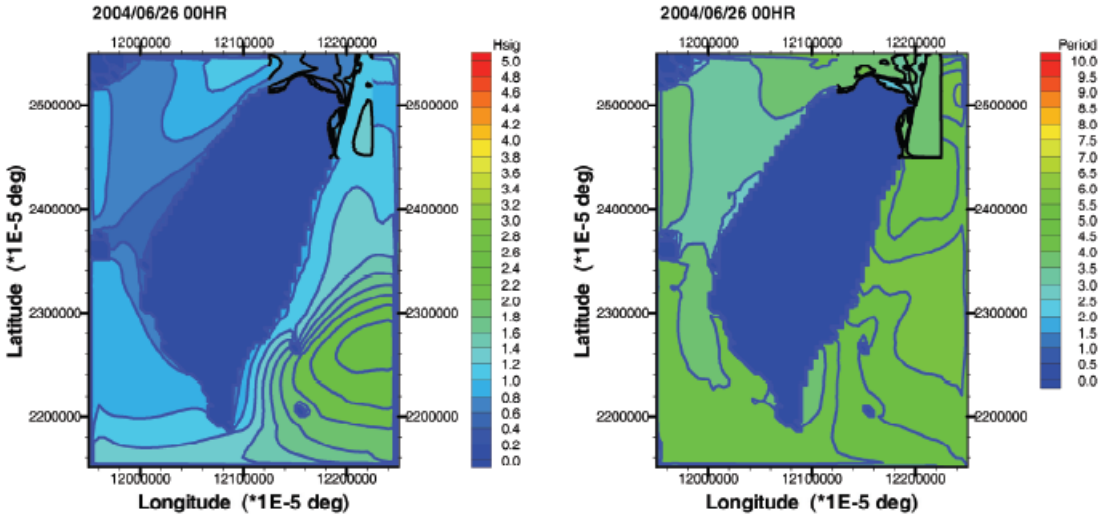


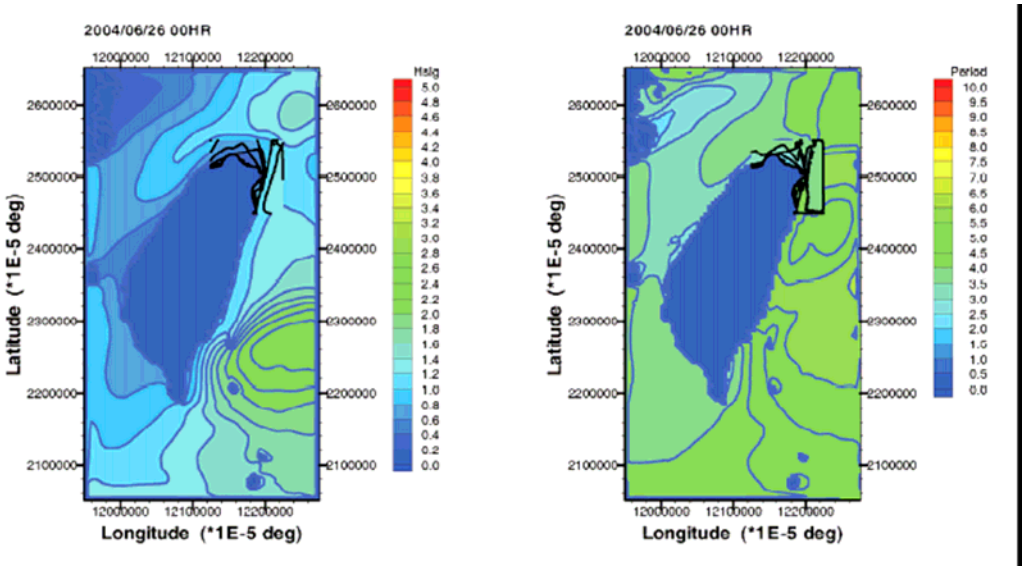
圖8.4.4.1 TaiCOMs風浪預報模式的架構

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 8.4.3.2 2004/06/26 00HR 定常模擬結果



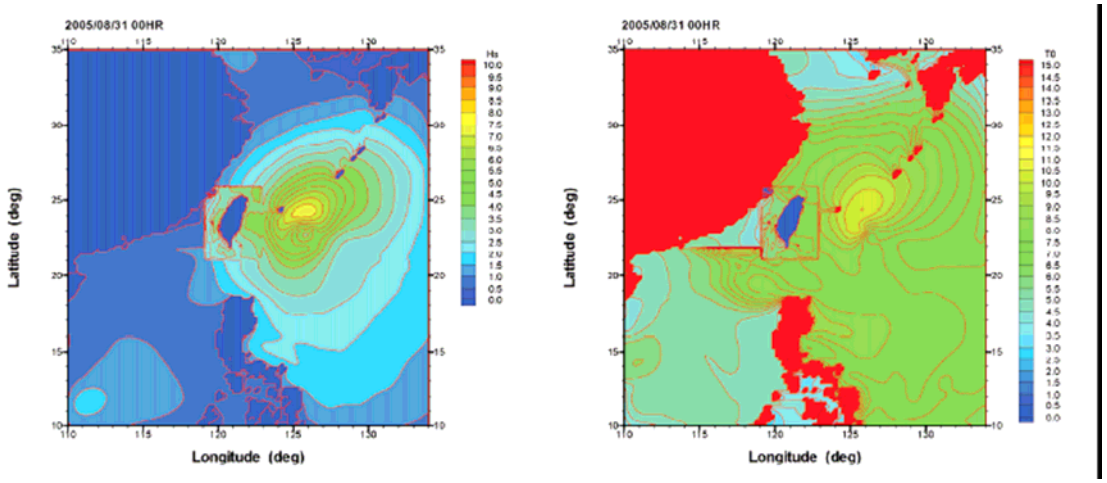
(a) 波高分佈比較圖　　(b) 週期分佈比較圖

圖 8.4.3.3 2004/06/26 00HR 擴大計算範圍之定常模擬結果

8.4.5 迭代次數與定常/非定常模擬的檢討

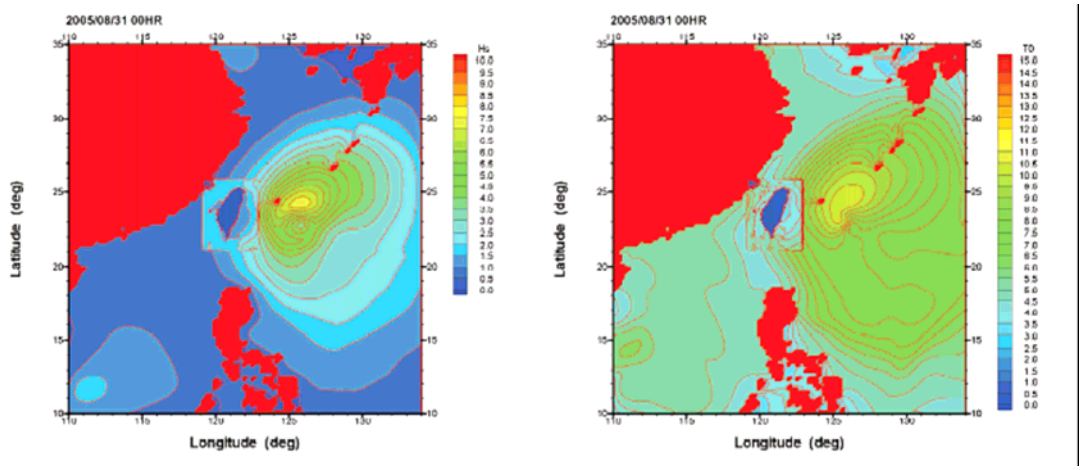
在 TAICOMS 系統中，WAM 大域波浪推算係採用非定常狀態的模擬，而 SWAN 中域波浪推算模式則以定常狀態模擬。為瞭解 SWAN 推算中，定常與非定常模擬所可能造成的影響，本節針對 SWAN 模式中可選用的定常、類定常(非定常但 1 次迭代，為 SWAN 的預設值)及非定常(不限迭代次數)等方式進行相關的模擬，以探討迭代次數對波浪推算結果影響。

圖 8.4.5.1 至 8.4.5.3 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響。



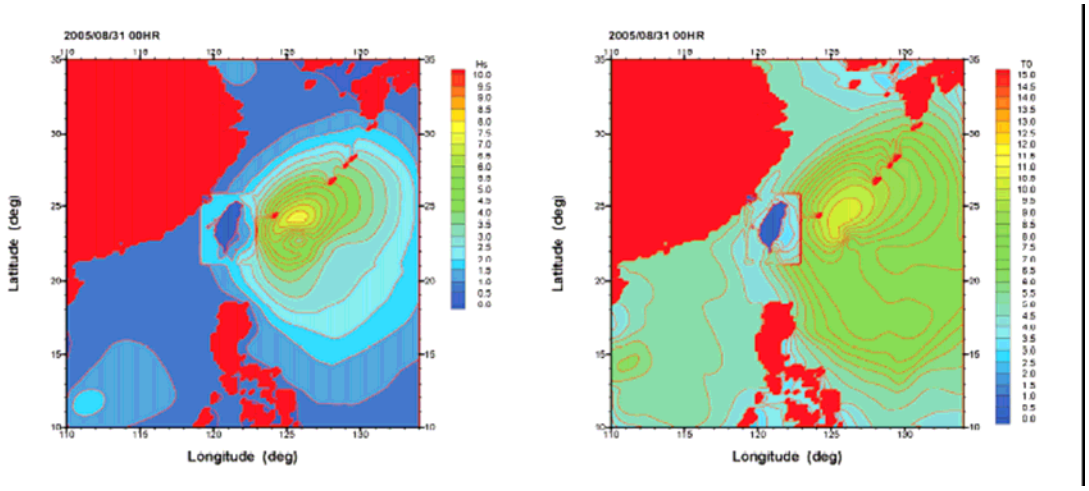
(a) 波高分佈圖　　(b) 週期分佈

圖 8.4.5.1 2005/08/31 00HR WAM+SWAN 波浪分佈比較圖(定常模擬)



(a) 波高分佈圖　　(b) 週期分佈

圖 8.4.5.2 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 8.4.5.3 2005/08/31 00HR WAM+SWAN 波浪分佈比較圖
(非定常模擬、無限次迭代)

8.4.6 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 8.4.6.1 至 8.4.6.3 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 8.4.6.4 至 8.4.6.6 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 8.4.6.7 至 8.4.6.9 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 8.4.6.1 至 8.4.6.3 及圖 8.4.6.4 至 8.4.6.6 觀察可看到推算結果的分佈趨勢大致相同，但是從圖 8.4.6.7 至 8.4.6.9 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 8.4.6.10 至 8.4.6.12 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 8.4.6.13 至 8.4.6.15 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 8.4.6.16 至 8.4.6.18 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 8.4.6.19 至 8.4.6.21 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 8.4.6.22 至 8.4.6.24 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。

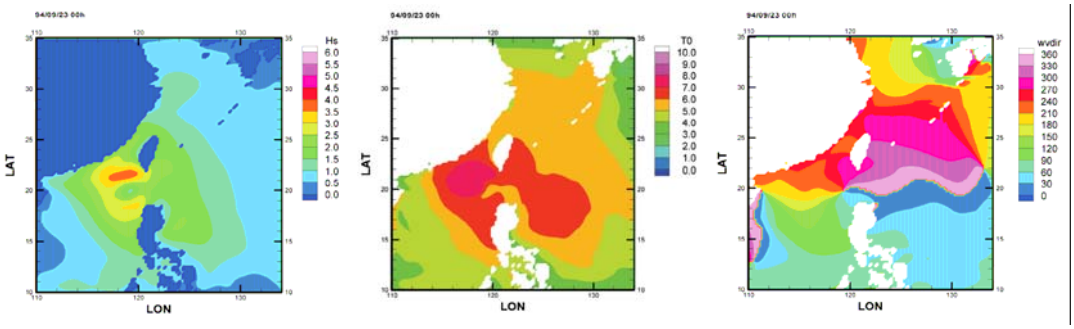
從圖 8.4.6.10 至 8.4.6.12 及圖 8.4.6.13 至 8.4.6.15 觀察可看到利用節點水深或平均水深對開闊海域推算結果的分佈趨勢大致相同，但是從圖 8.4.6.19 至 8.4.6.21 中則發現在近岸地區及台灣海峽裡面不論示性波高及示性週期均有相當的差異性，主波方向分佈的影響則較小。由此可知，網格水深的修正主要的影響在近岸水域的推算結果，而此一部份又恰好是近岸防災或預警所集中的焦點。因此，波浪推算所使用的網格水深應加以修正為平均水深。

從圖 8.4.6.10 至 8.4.6.12 及圖 8.4.6.16 至 8.4.6.18 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 8.4.6.22 至 8.4.6.24 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 8.4.6.25 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。

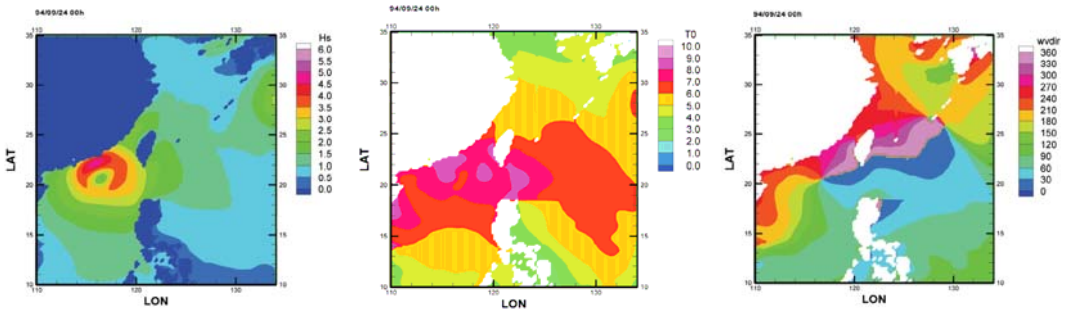
8.4.7 綜合檢討

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。



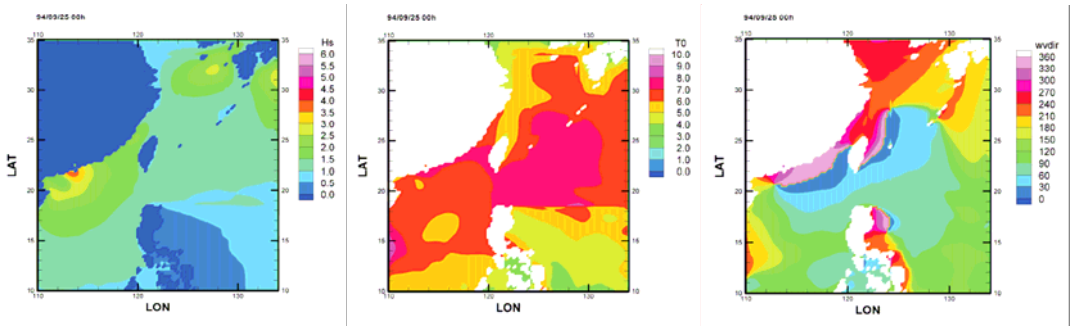
(a) 示性波高　　(b) 平均週期　　(c) 主波方向

圖 8.4.6.1　2005/09/23 00h 的 WAM 波浪推算結果(節點水深)



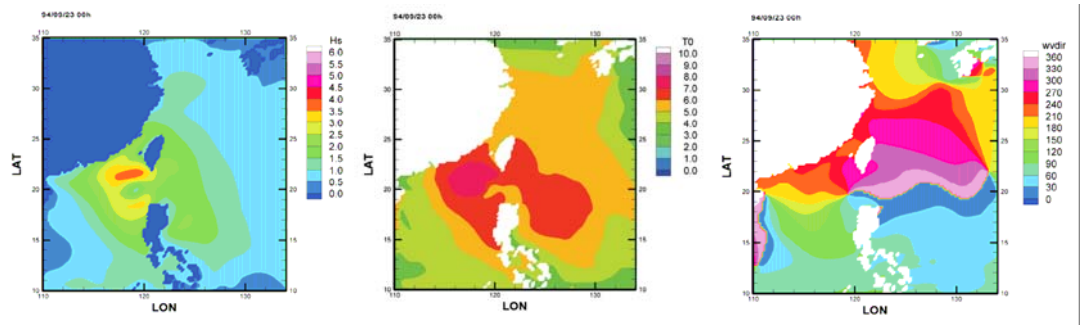
(a) 示性波高　　(b) 平均週期　　(c) 主波方向

圖 8.4.6.2　2005/09/24 00h 的 WAM 波浪推算結果(節點水深)



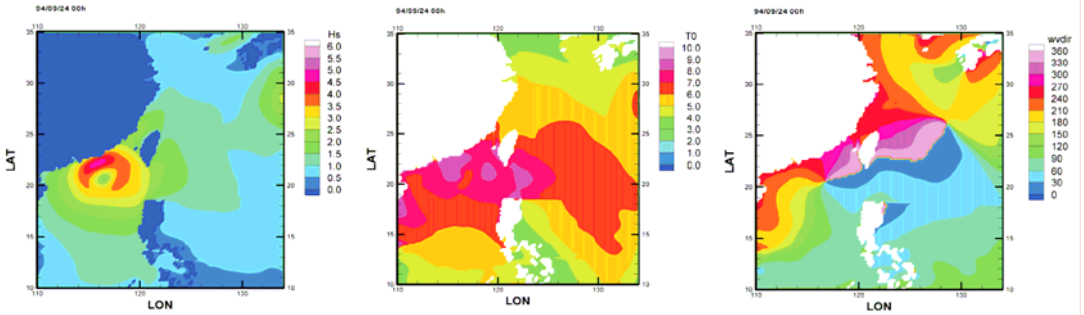
(a) 示性波高　　(b) 平均週期　　(c) 主波方向

圖 8.4.6.3　2005/09/25 00h 的 WAM 波浪推算結果(節點水深)



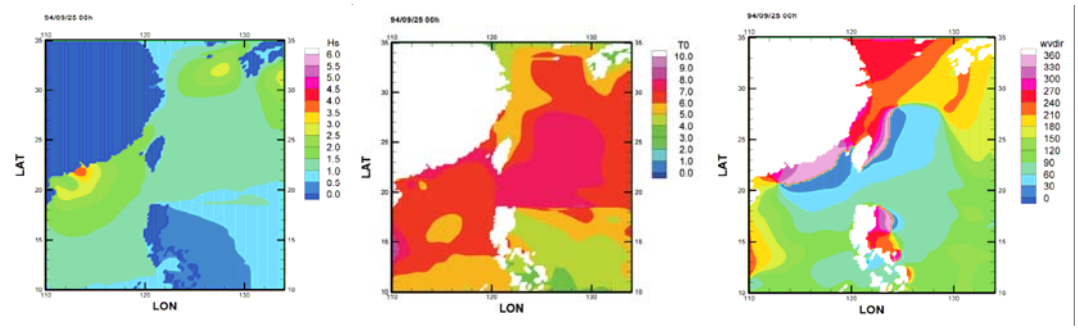
(a) 示性波高　　(b) 平均週期　　(c) 主波方向

圖 8.4.6.4　2005/09/23 00h 的 WAM 波浪推算結果(平均水深)



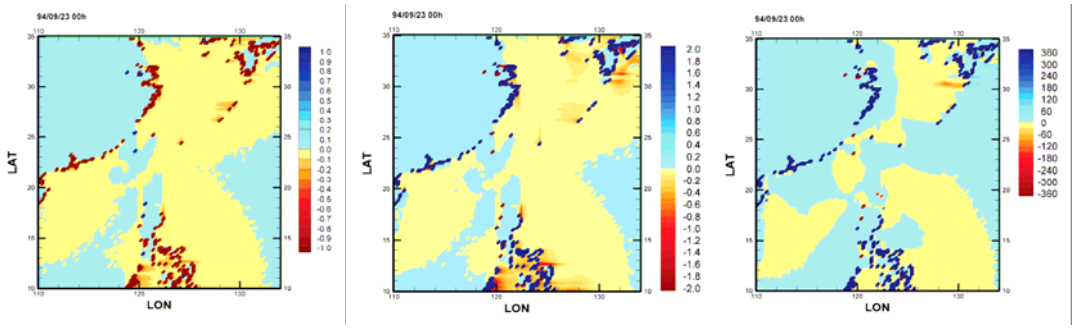
(a) 示性波高　　(b) 平均週期　　(c) 主波方向

圖 8.4.6.5　2005/09/24 00h 的 WAM 波浪推算結果(平均水深)



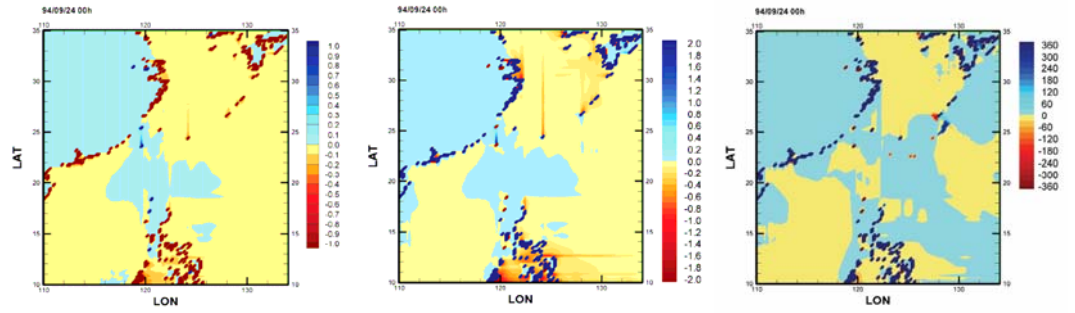
(a) 示性波高　　(b) 平均週期　　(c) 主波方向

圖 8.4.6.6　2005/09/25 00h 的 WAM 波浪推算結果(平均水深)



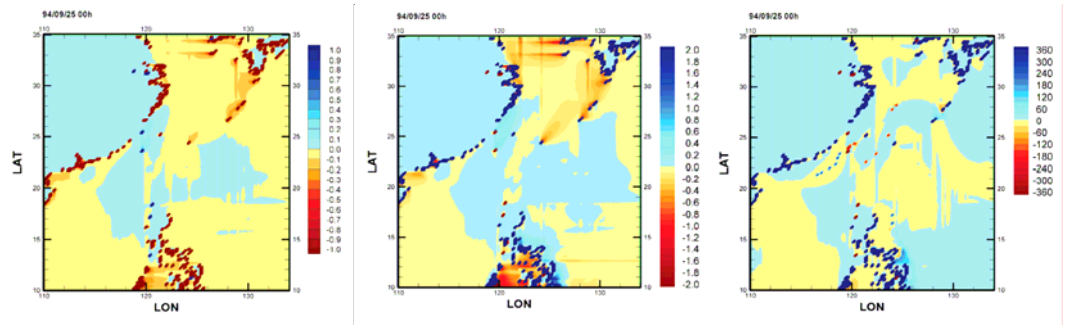
(a) 示性波高　　(b) 平均週期　　(c) 主波方向

圖 8.4.6.7　2005/09/23 00h 的 WAM 波浪推算結果
(節點水深與平均水深之差值)



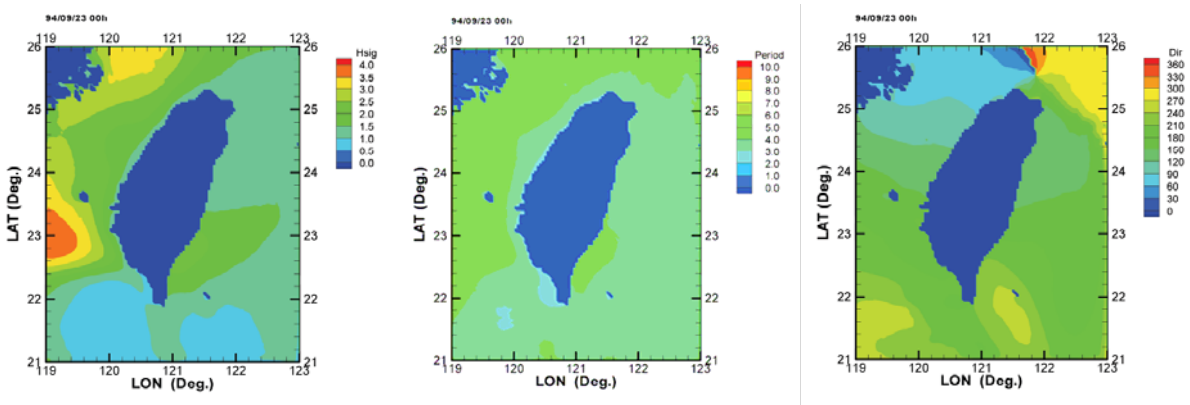
(a) 示性波高　　(b) 平均週期　　(c) 主波方向

圖 8.4.6.8　2005/09/24 00h 的 WAM 波浪推算結果
(節點水深與平均水深之差值)



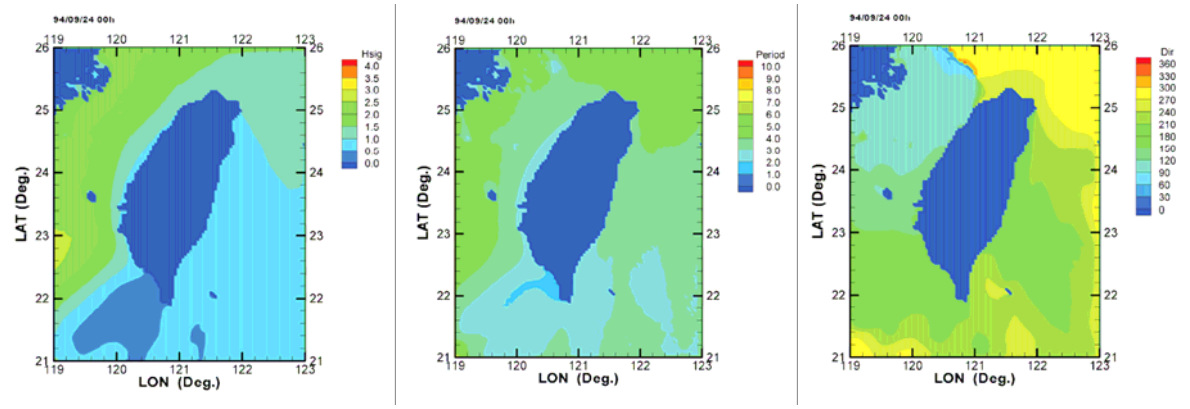
(a) 示性波高　　(b) 平均週期　　(c) 主波方向

圖 8.4.6.9　2005/09/25 00h 的 WAM 波浪推算結果
(節點水深與平均水深之差值)



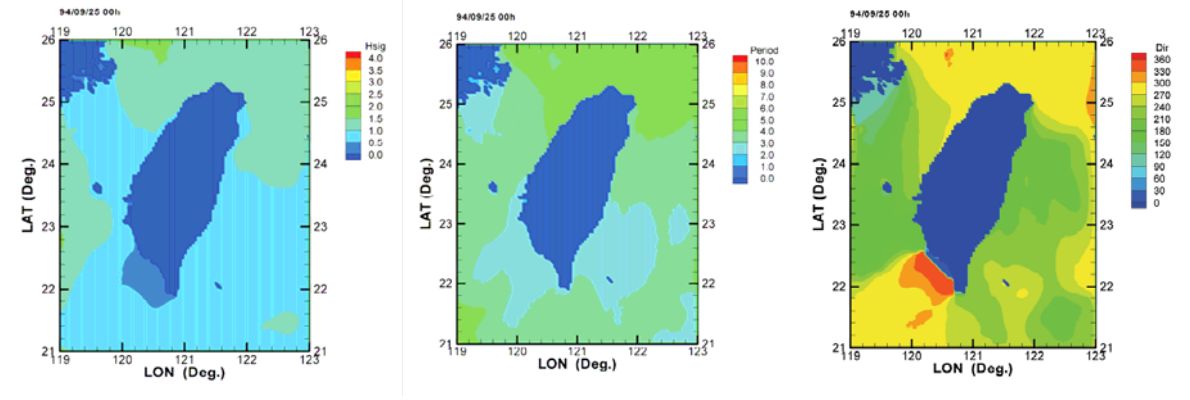
(a) 示性波高　　(b) 平均週期　　(c) 主波方向

圖 8.4.6.10　2005/09/23 00h 的 SWAN 波浪推算結果
(節點水深、3 小時間隔)



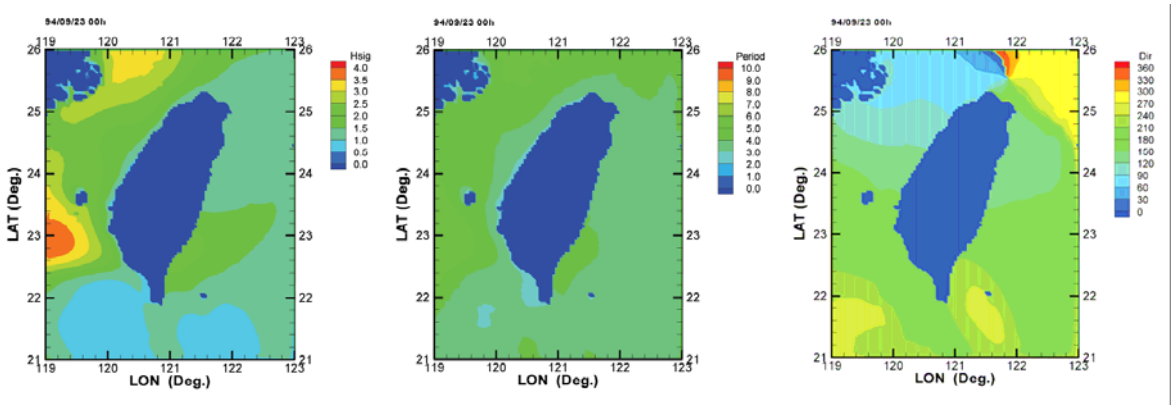
(a) 示性波高　　(b) 平均週期　　(c) 主波方向

圖 8.4.6.11　2005/09/24 00h 的 SWAN 波浪推算結果
(節點水深、3 小時間隔)



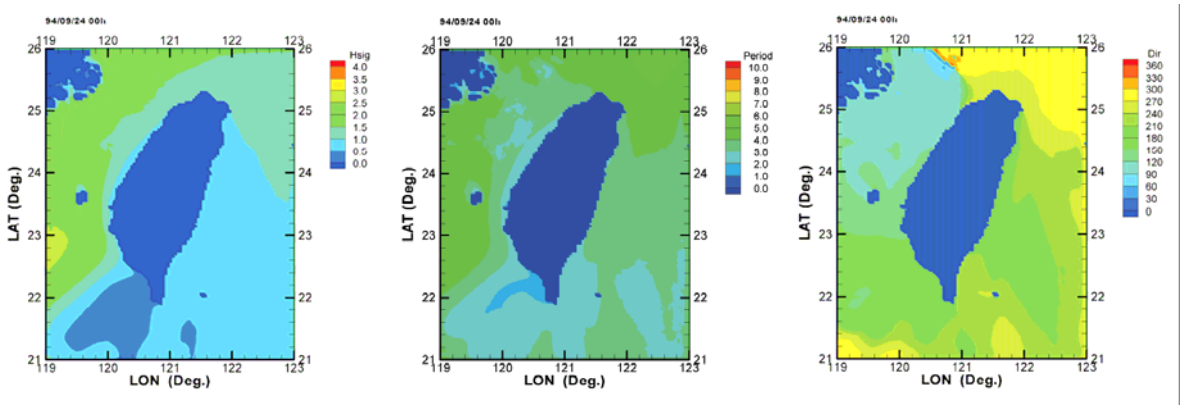
(a) 示性波高　　(b) 平均週期　　(c) 主波方向

圖 8.4.6.12　2005/09/25 00h 的 SWAN 波浪推算結果
(節點水深、3 小時間隔)



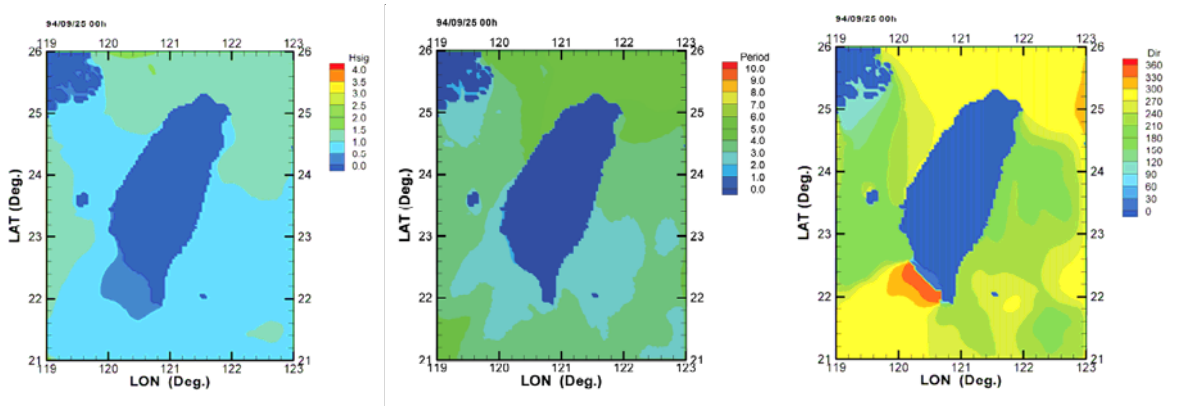
(a) 示性波高　　(b) 平均週期　　(c) 主波方向

圖 8.4.6.13　2005/09/23 00h 的 SWAN 波浪推算結果
(平均水深、3 小時間隔)



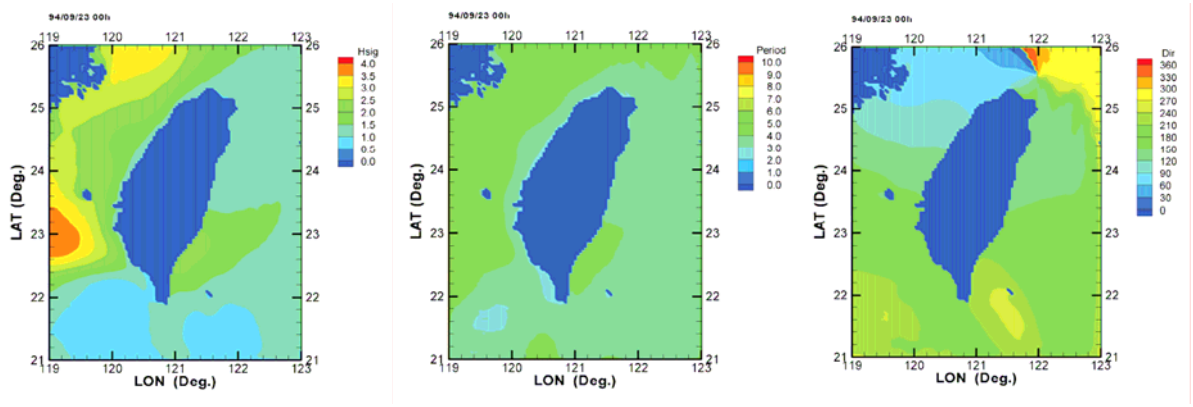
(a) 示性波高　　(b) 平均週期　　(c) 主波方向

圖 8.4.6.14　2005/09/24 00h 的 SWAN 波浪推算結果
(平均水深、3 小時間隔)



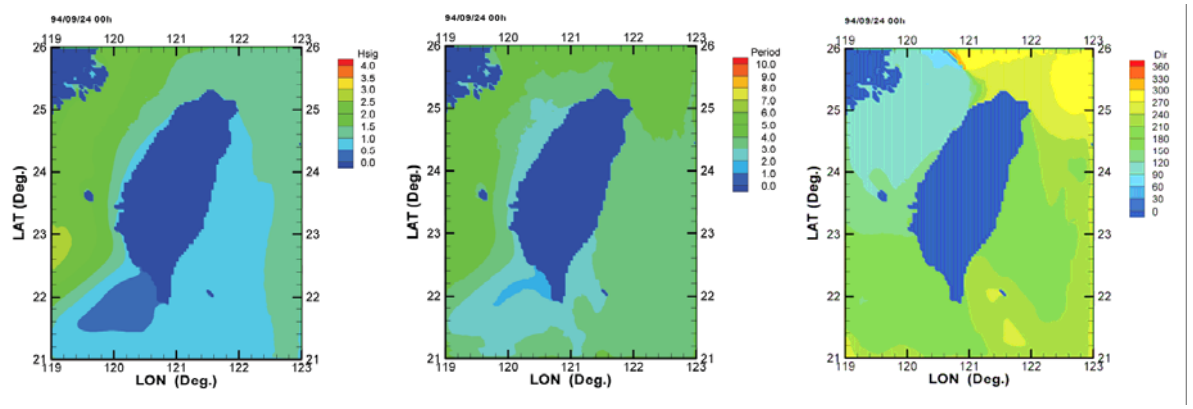
(a) 示性波高　　(b) 平均週期　　(c) 主波方向

圖 8.4.6.15　2005/09/25 00h 的 SWAN 波浪推算結果
(平均水深、3 小時間隔)



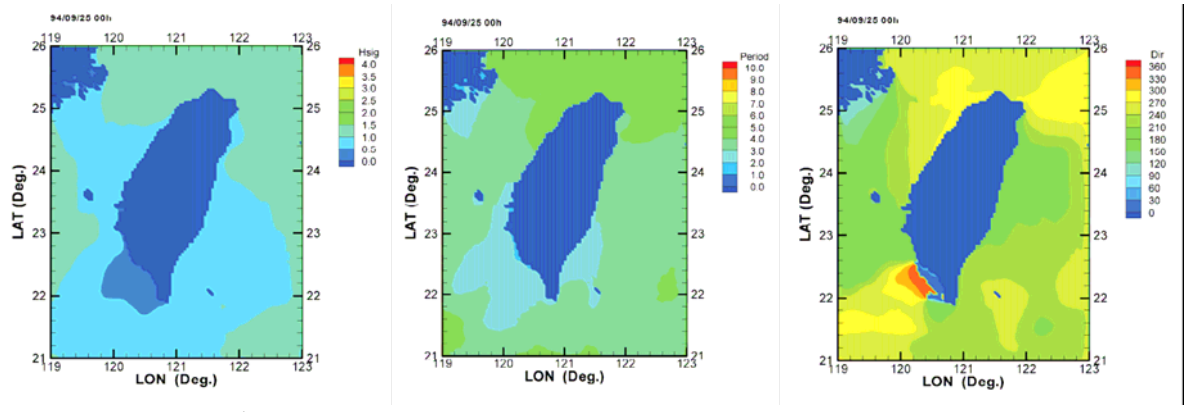
(a) 示性波高　　(b) 平均週期　　(c) 主波方向

圖 8.4.6.16　2005/09/23 00h 的 SWAN 波浪推算結果
(節點水深、6 小時間隔)



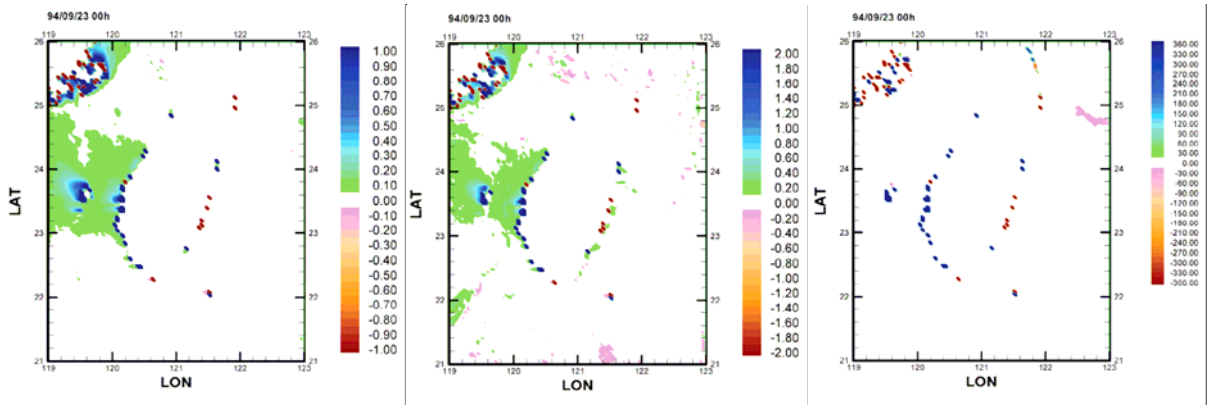
(a) 示性波高　　(b) 平均週期　　(c) 主波方向

圖 8.4.6.17　2005/09/24 00h 的 SWAN 波浪推算結果
(節點水深、6 小時間隔)



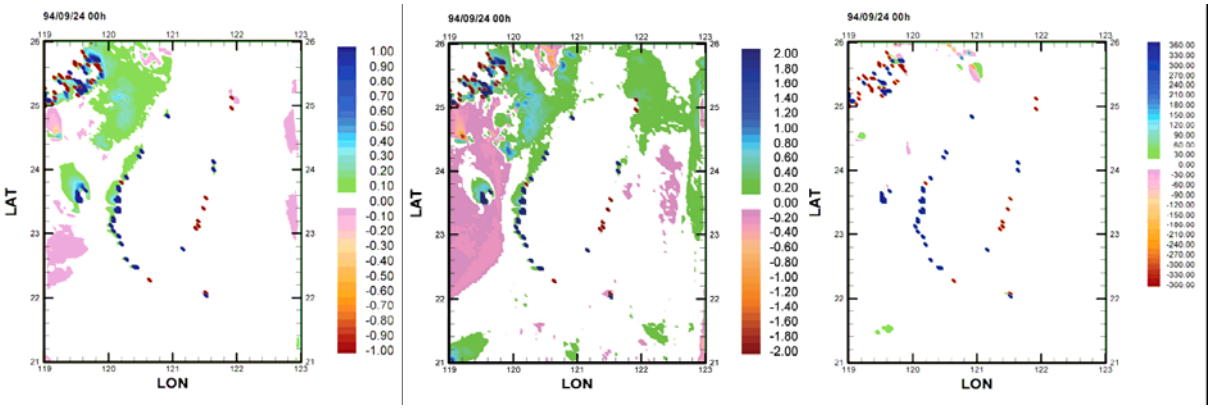
(a) 示性波高　　(b) 平均週期　　(c) 主波方向

圖 8.4.6.18　2005/09/25 00h 的 SWAN 波浪推算結果
(節點水深、6 小時間隔)



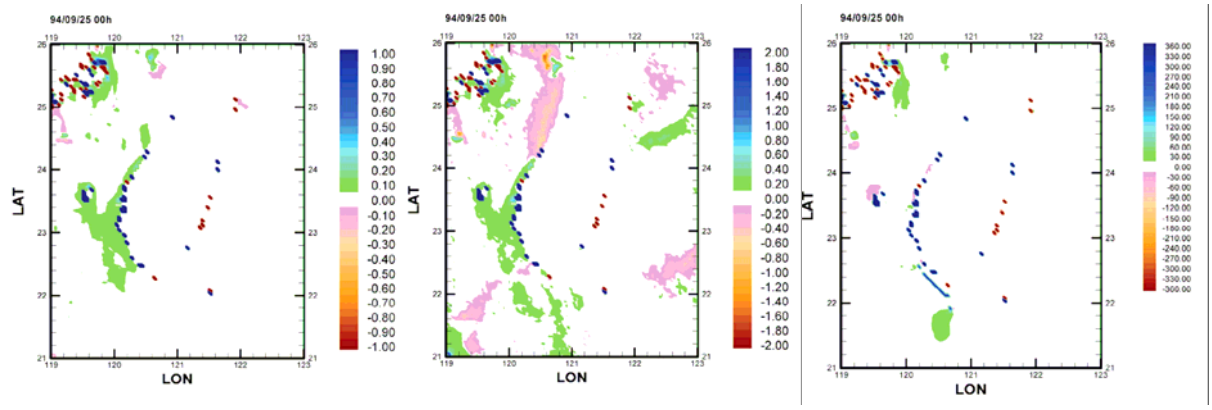
(a) 示性波高　　(b) 平均週期　　(c) 主波方向

圖 8.4.6.19　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)



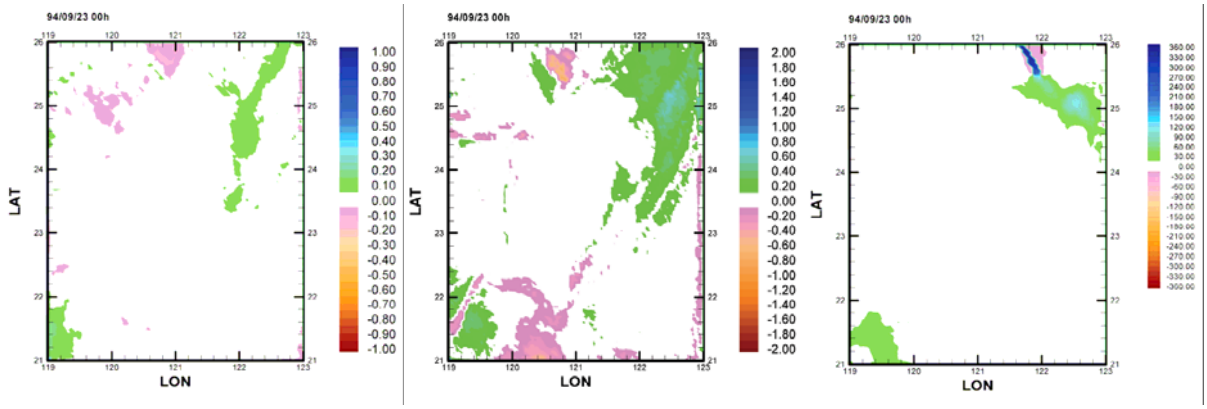
(a) 示性波高　　(b) 平均週期　　(c) 主波方向

圖 8.4.6.20　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)



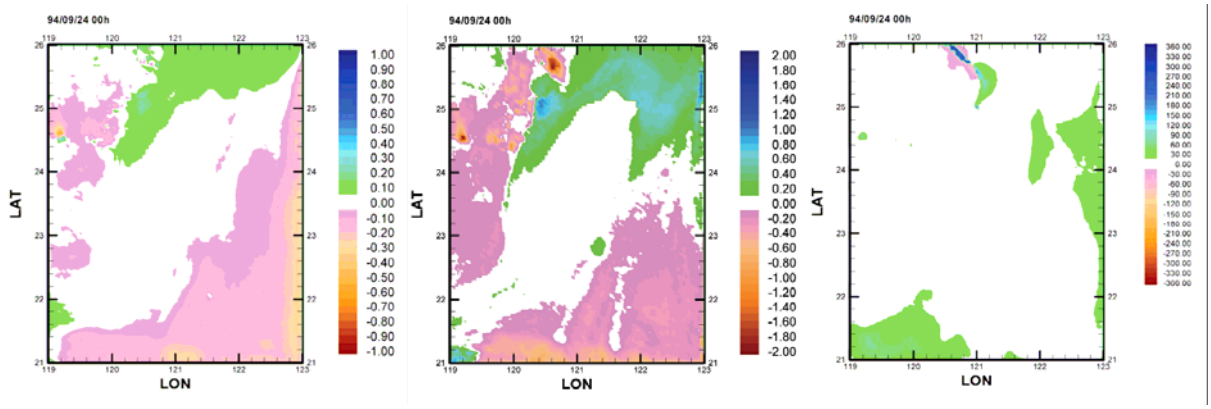
(a) 示性波高　　(b) 平均週期　　(c) 主波方向

圖 8.4.6.21　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)



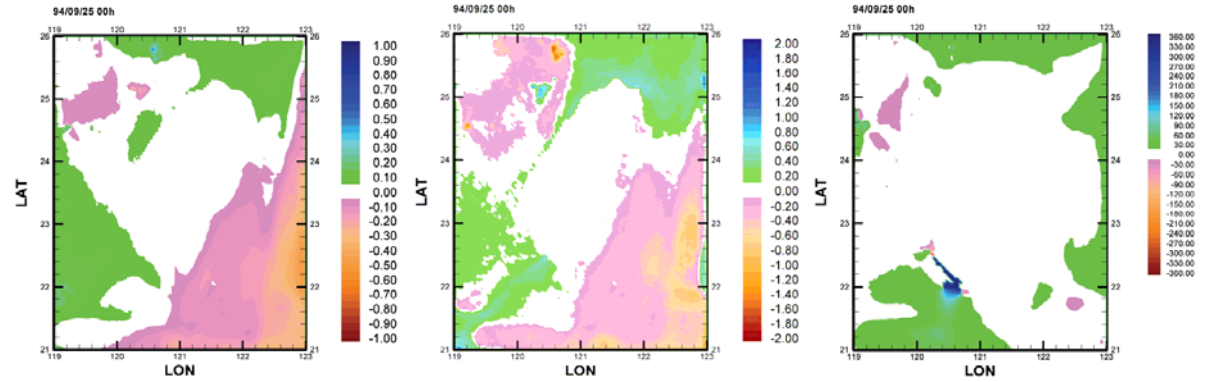
(a) 示性波高　　(b) 平均週期　　(c) 主波方向

圖 8.4.6.22　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)



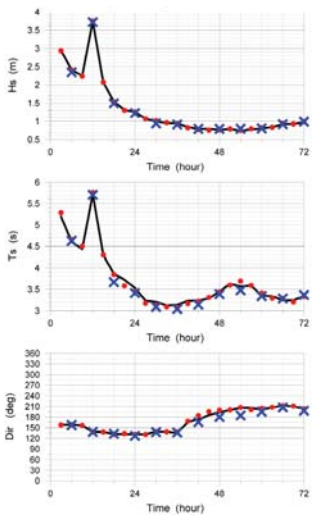
(a) 示性波高　　(b) 平均週期　　(c) 主波方向

圖 8.4.6.23　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)

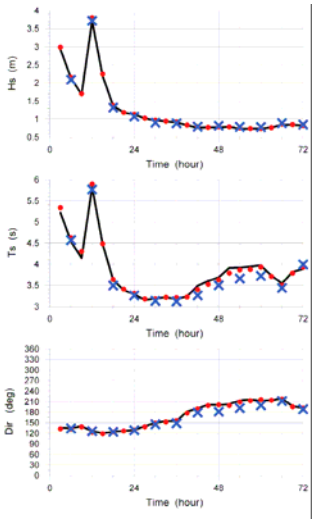


(a) 示性波高　　(b) 平均週期　　(c) 主波方向

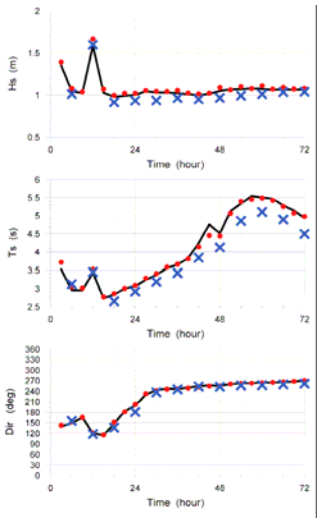
圖 8.4.6.24　2005/09/25 00h 的 SWAN 波浪推算結果
(節點水深、3 小時與 6 小時間隔之差值)



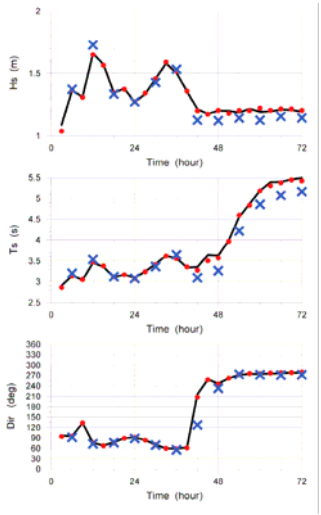
(a) 花蓮港



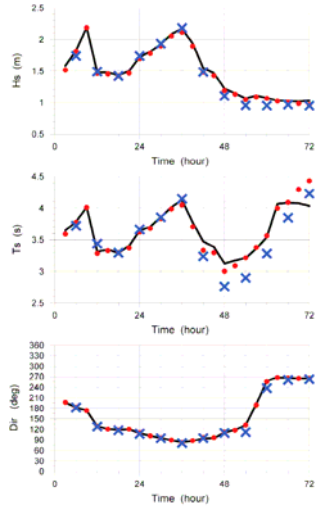
(b) 蘇澳港



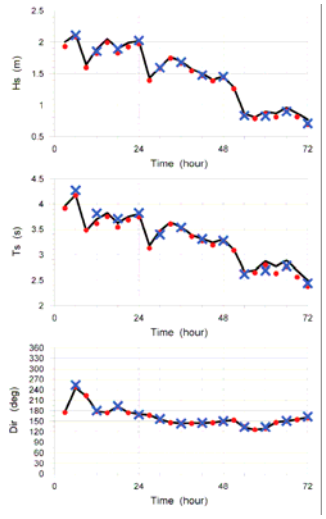
(c) 基隆港



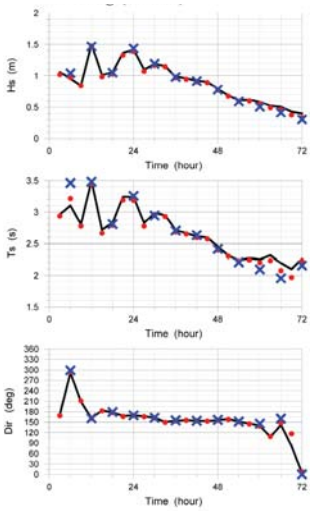
(d) 台北港



(e) 台中港



(f) 安平港



(f) 高雄港

圖 8.4.6.25　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)

第九章 長期海象數值模擬分析

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數值模擬，並且利用本中心提供的實測資料進行比對驗證。

9.1 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，並引用本所即時觀測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 9.1.1 至 9.1.4 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 9.1.1 至 9.1.12 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 9.1.1 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 9.1.2 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 9.1.3 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 9.1.4 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						

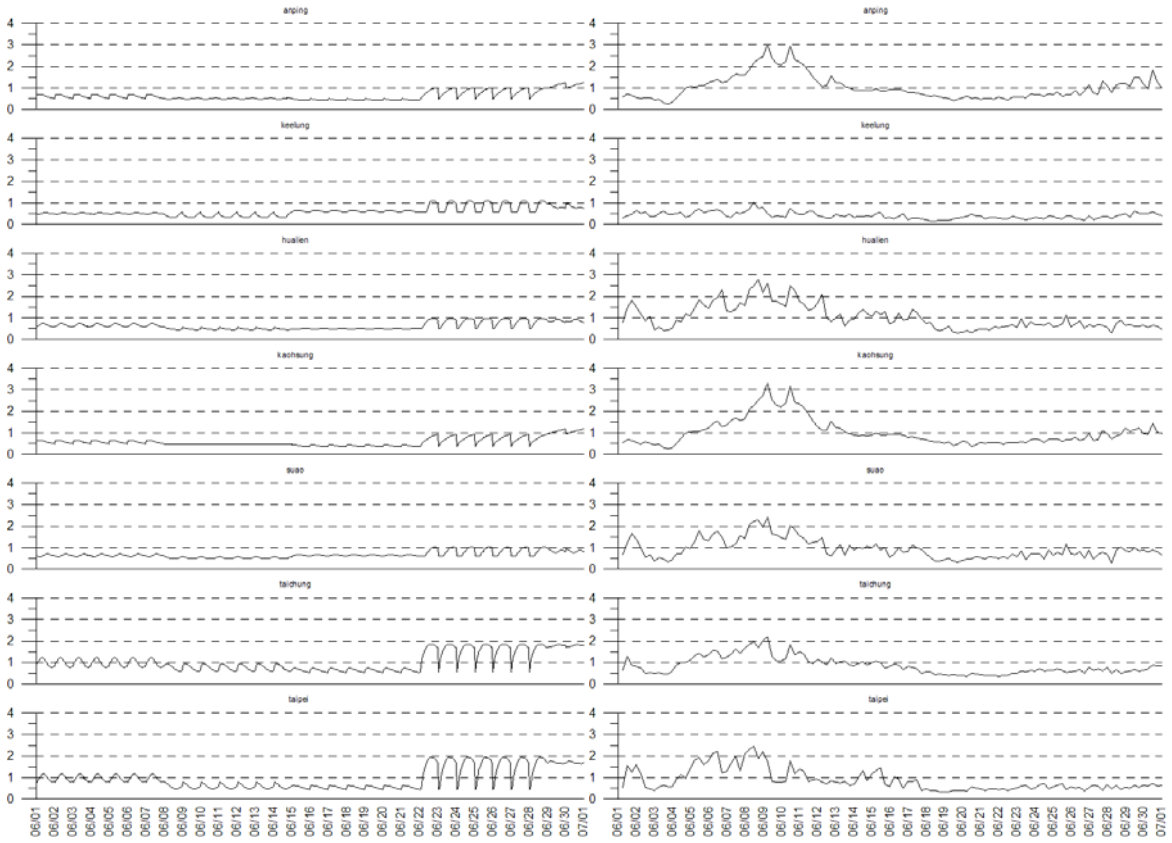


圖 9.1.1 七大商港 2006 年六月份示性波高時序列圖(WAM+SWAN)

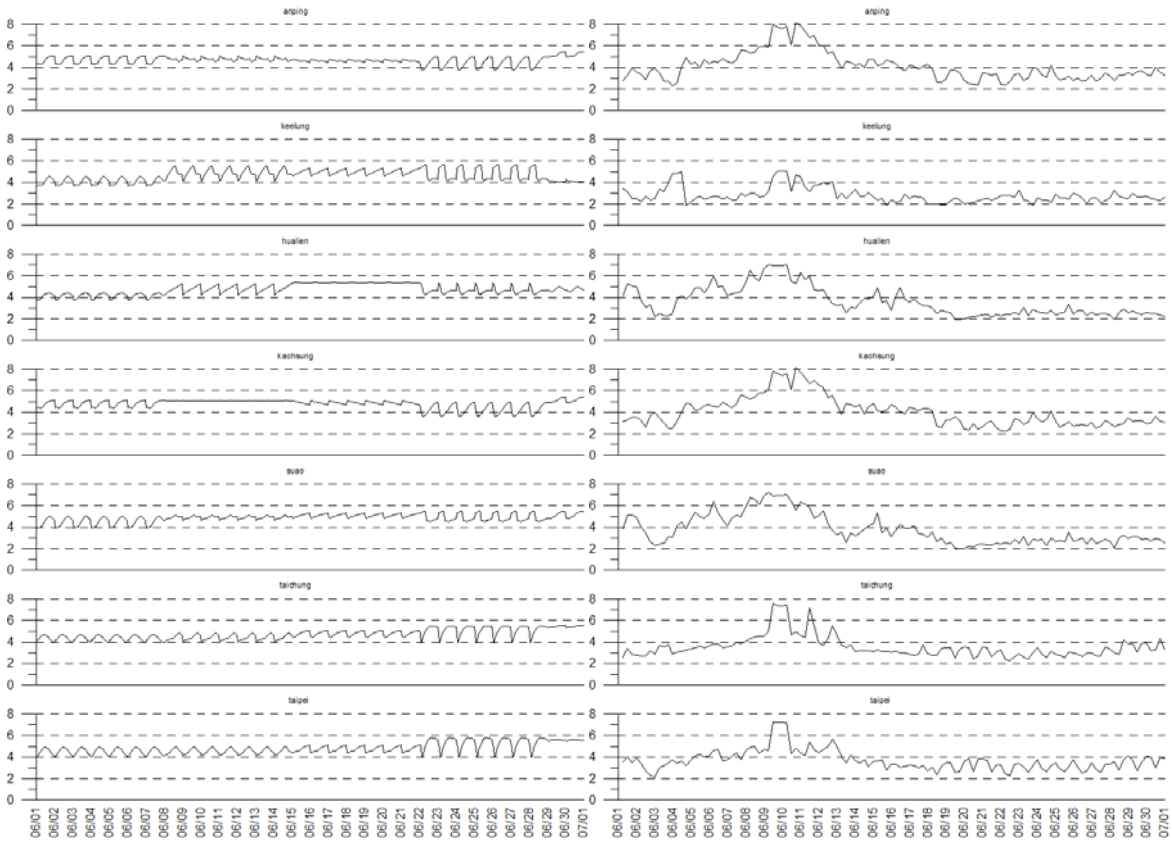


圖 9.1.2 七大商港 2006 年六月份波浪週期時序列圖(WAM+SWAN)

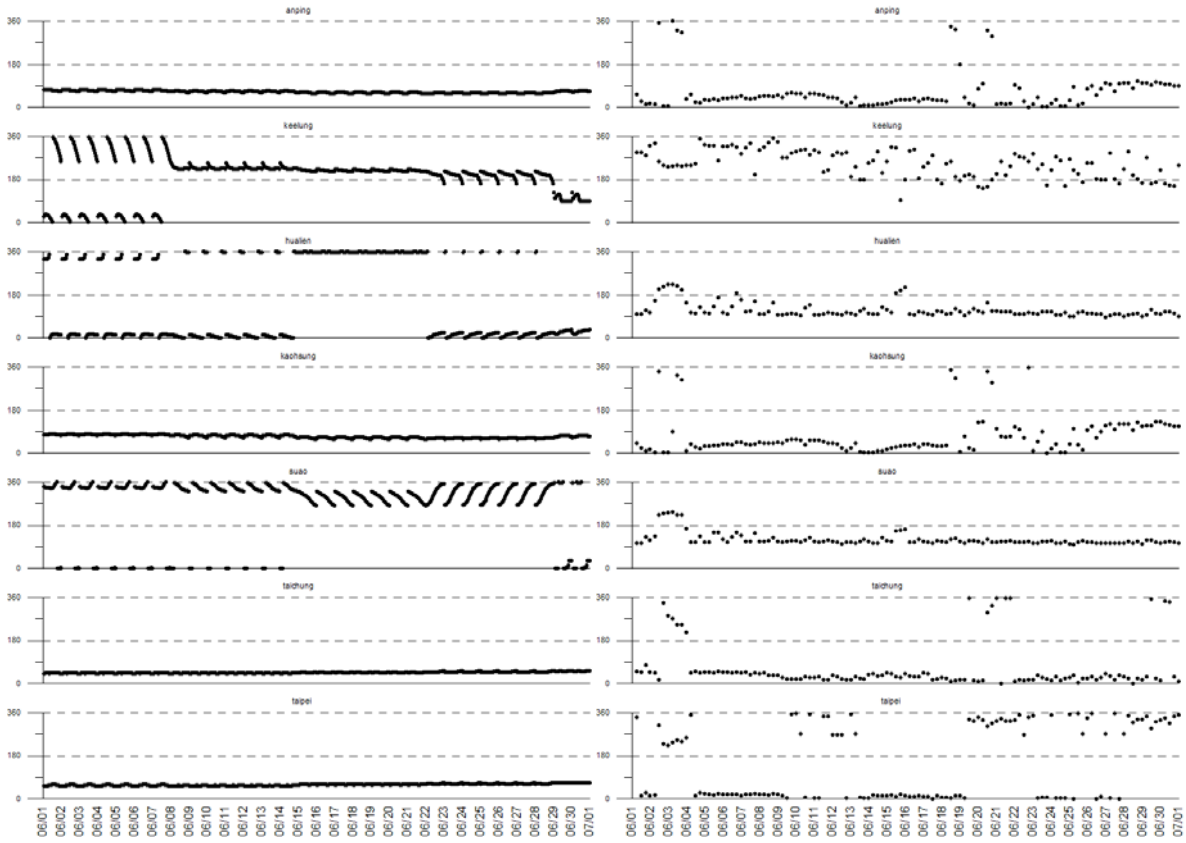


圖 9.1.3 七大商港 2006 年六月份波浪方向時序列圖(WAM+SWAN)

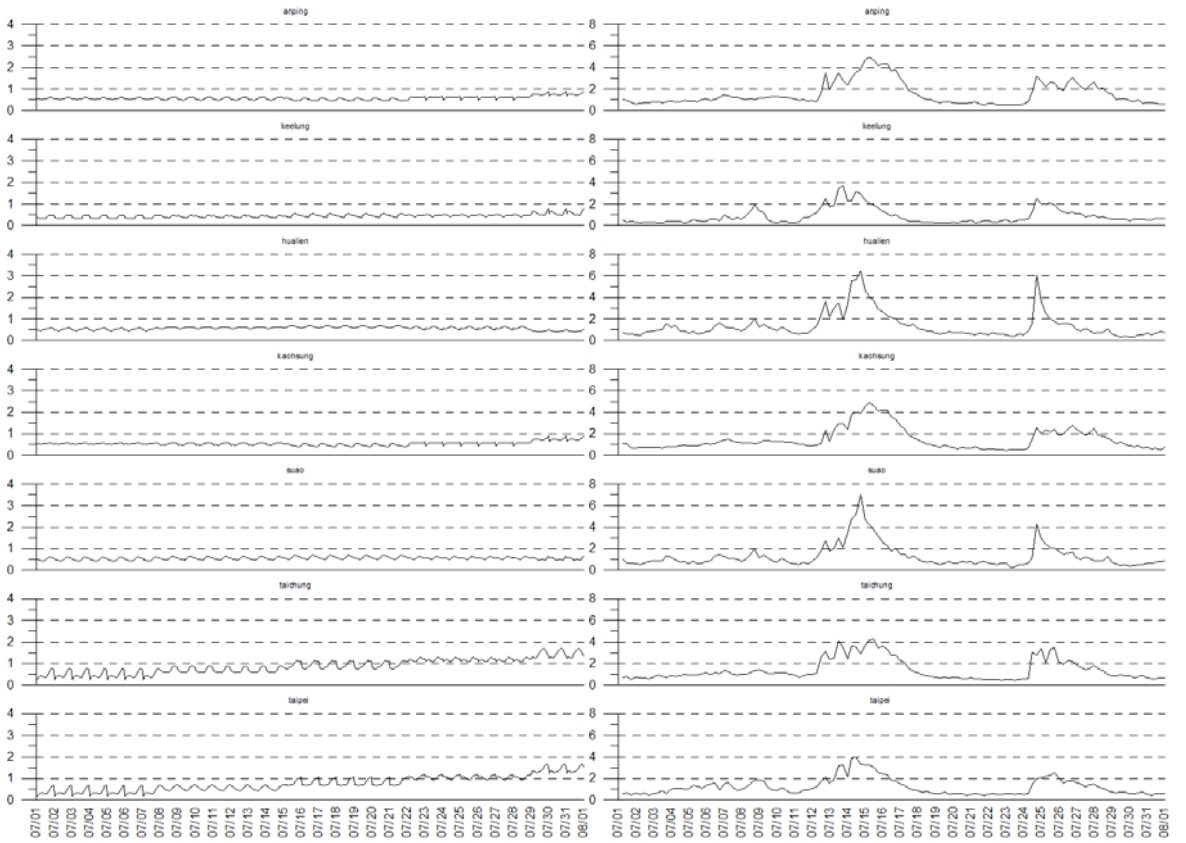


圖 9.1.4 七大商港 2006 年七月份示性波高時序列圖(WAM+SWAN)

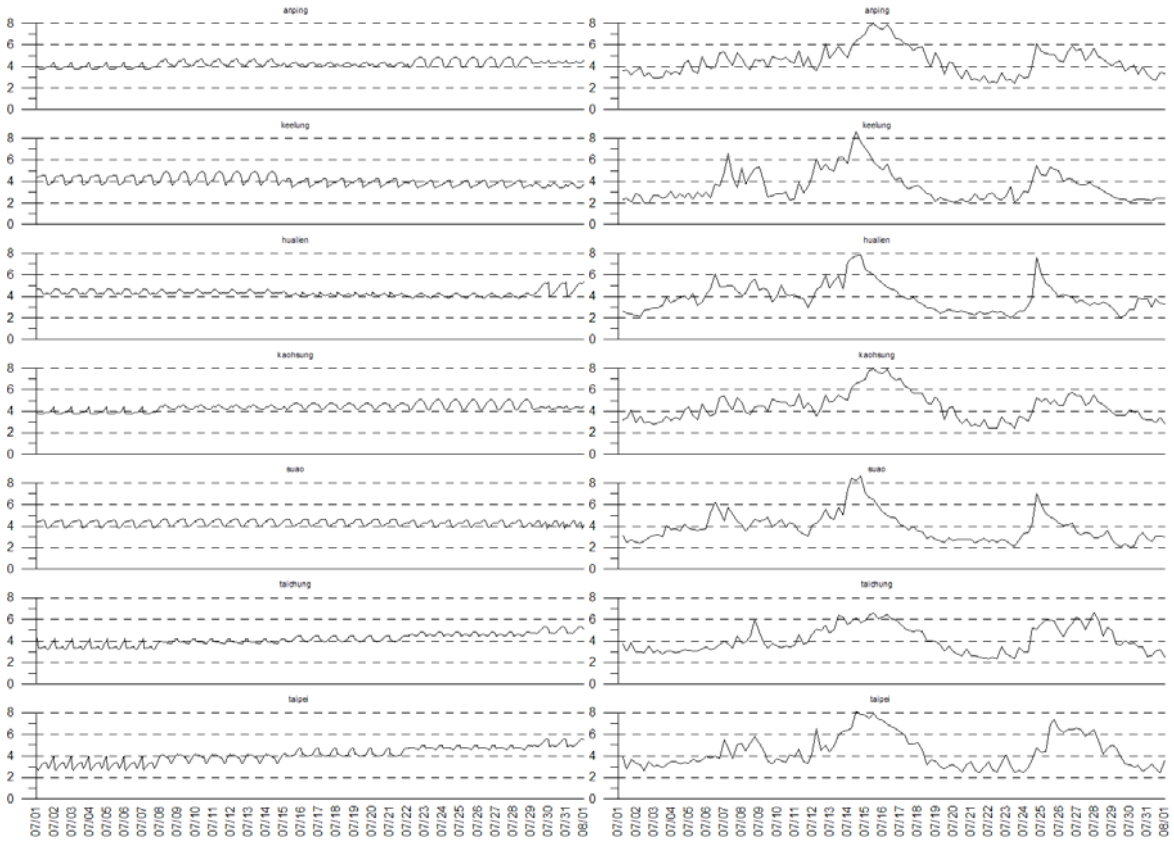


圖 9.1.5 七大商港 2006 年七月份波浪週期時序列圖(WAM+SWAN)

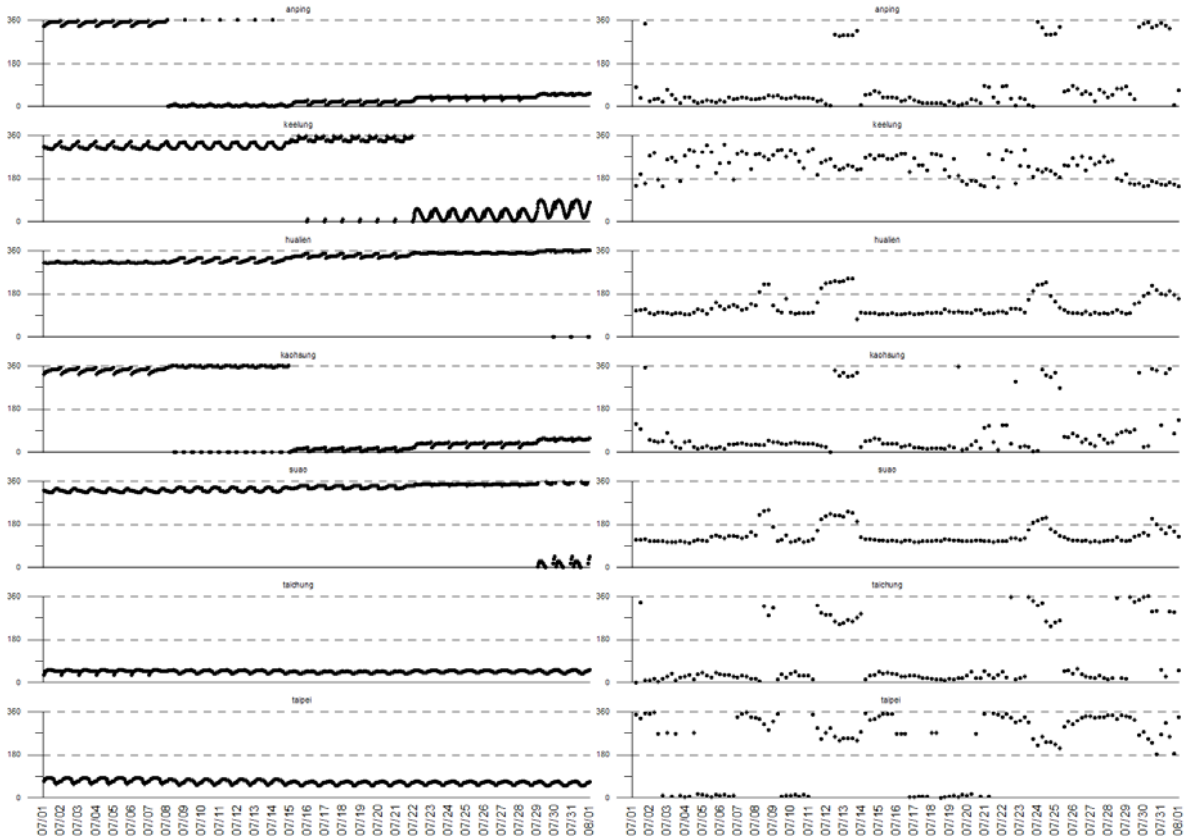


圖 9.1.6 七大商港 2006 年七月份波浪方向時序列圖(WAM+SWAN)

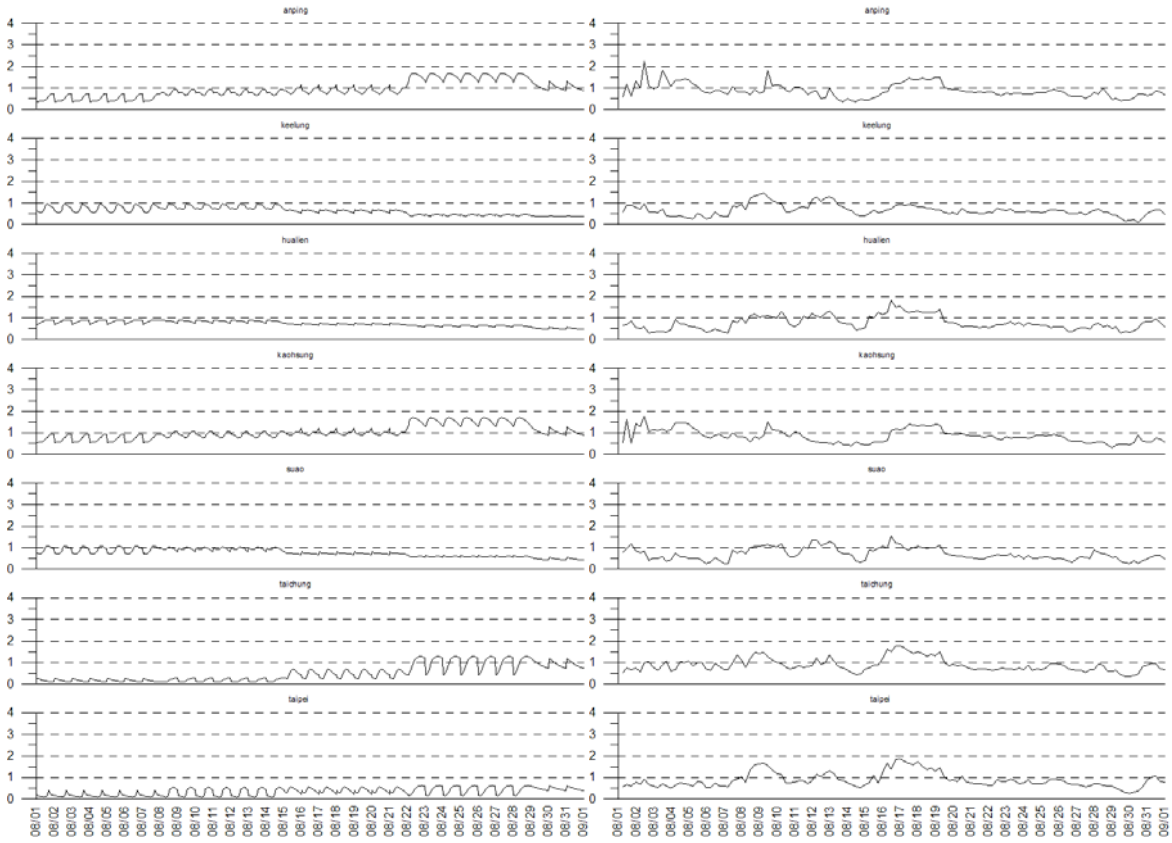


圖 9.1.7 七大商港 2006 年八月份示性波高時序列圖(WAM+SWAN)

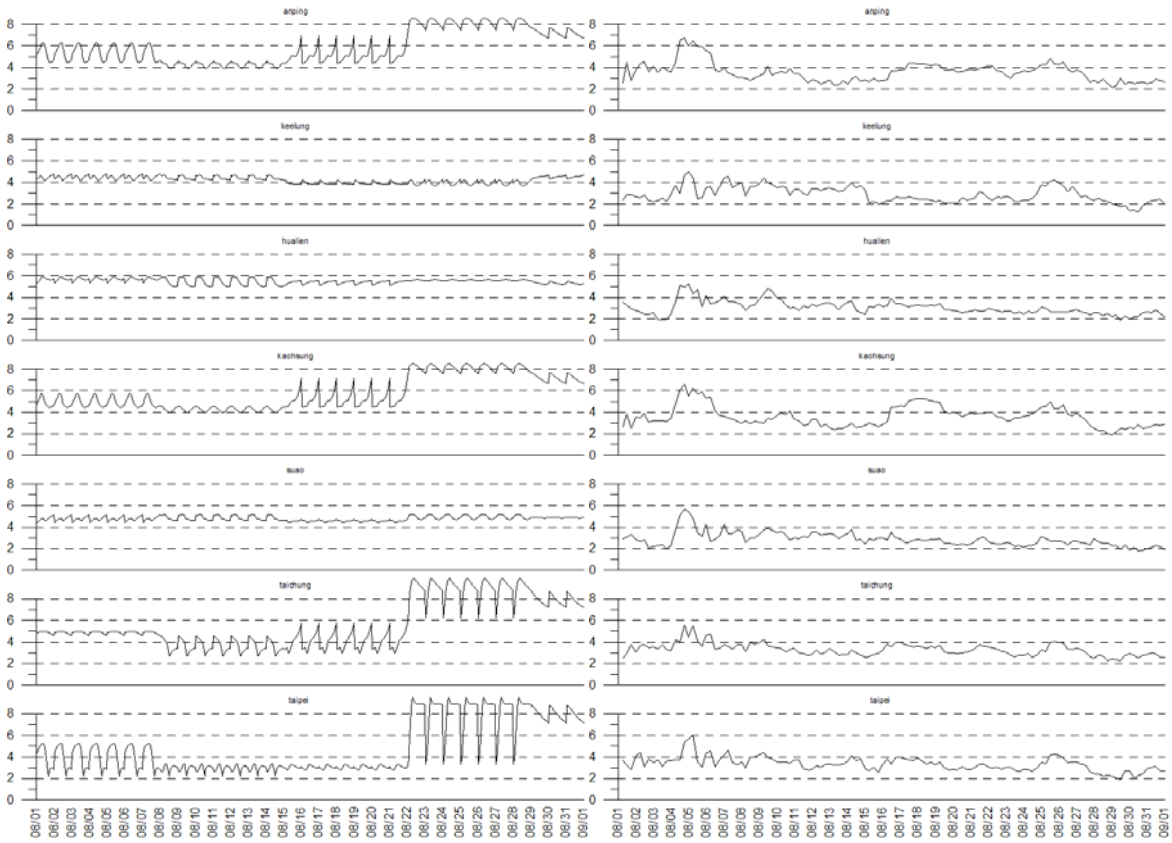


圖 9.1.8 七大商港 2006 年八月份波浪週期時序列圖(WAM+SWAN)

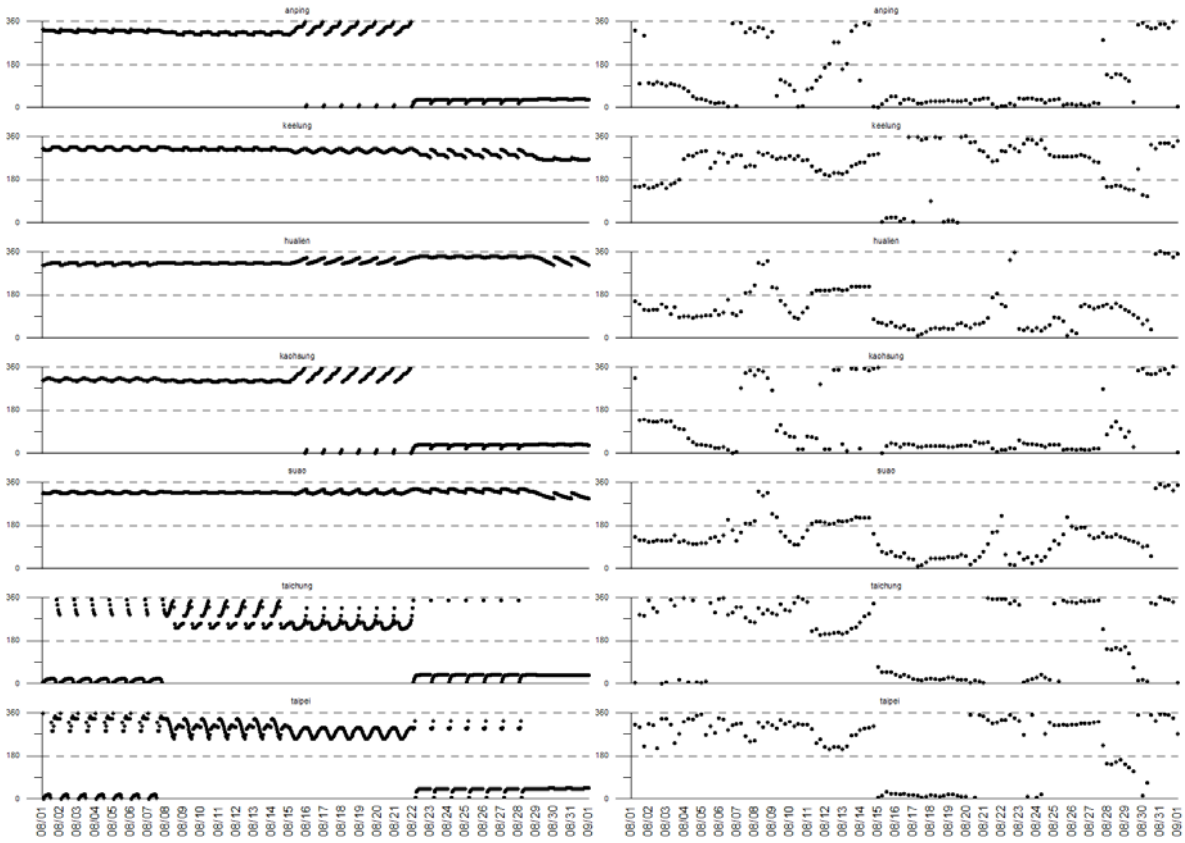


圖 9.1.9 七大商港 2006 年八月份波浪方向時序列圖(WAM+SWAN)

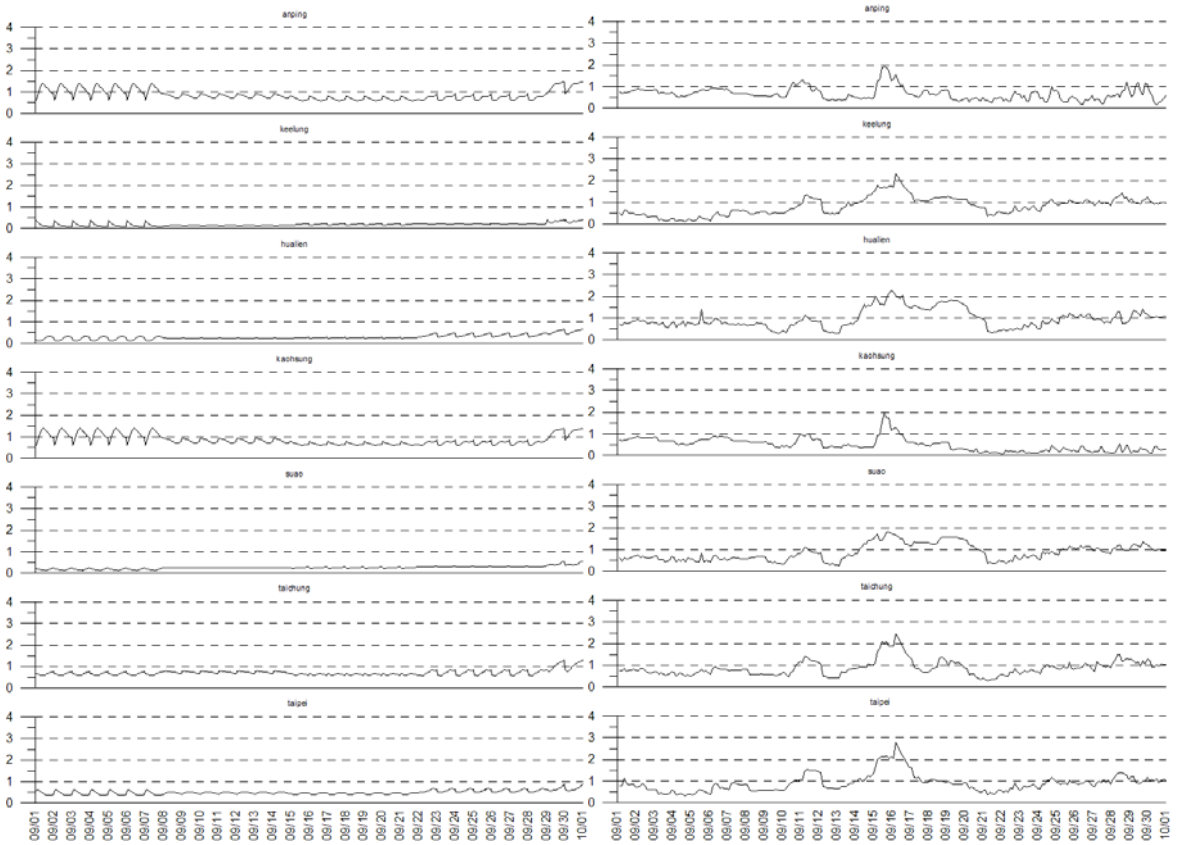


圖 9.1.10 七大商港 2006 年九月份示性波高時序列圖(WAM+SWAN)

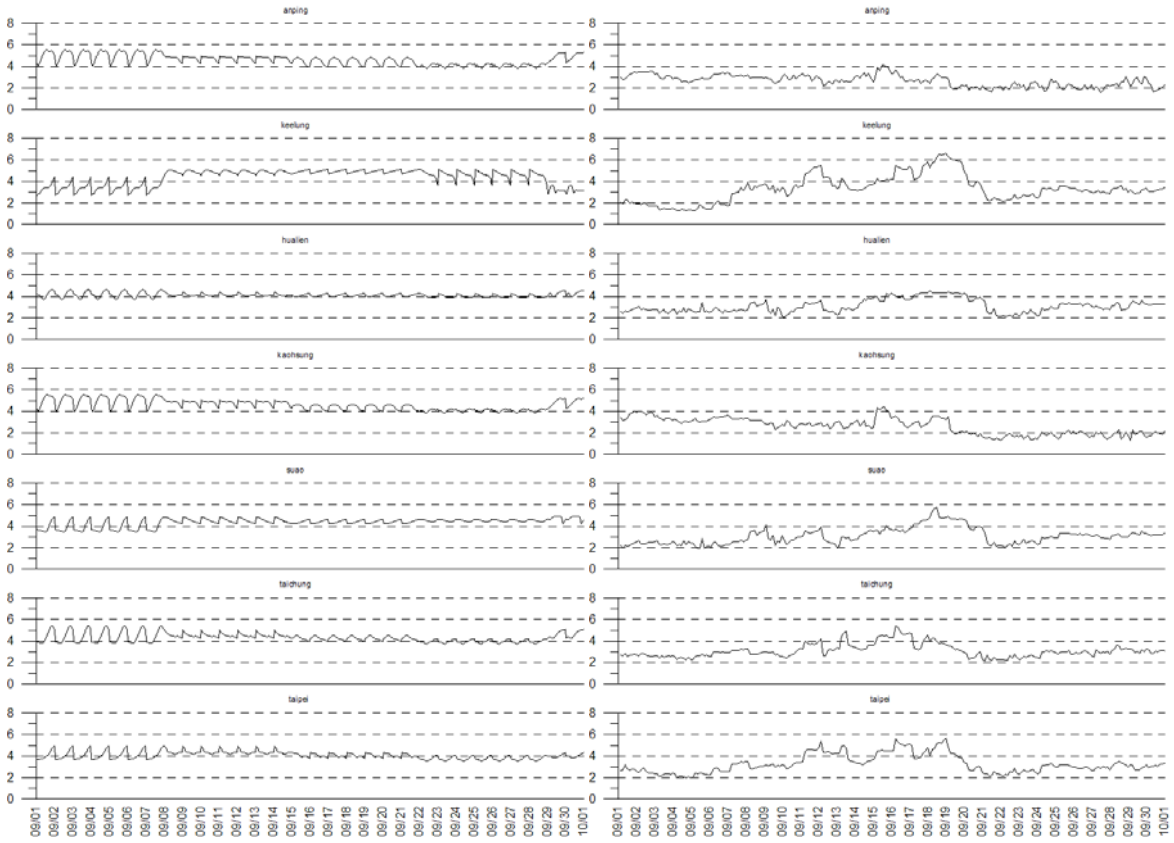


圖 9.1.11 七大商港 2006 年九月份波浪週期時序列圖(WAM+SWAN)

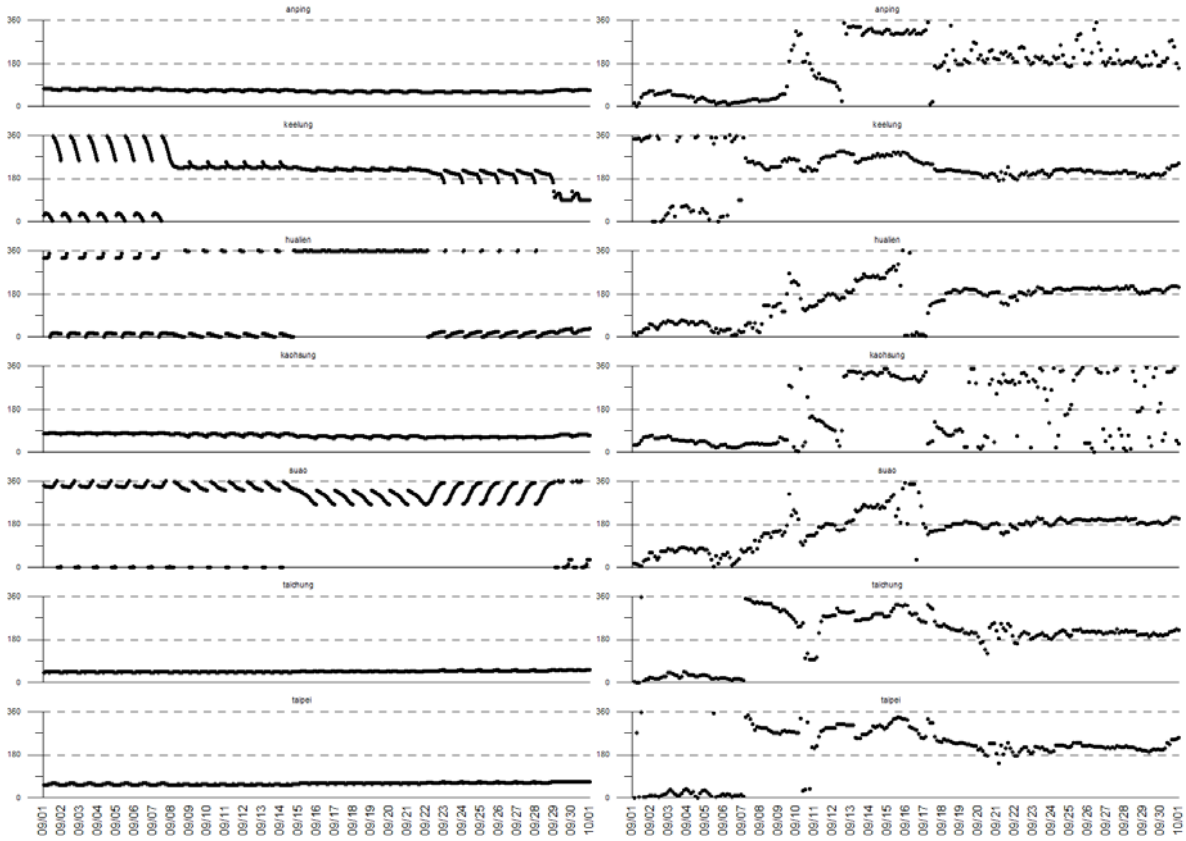


圖 9.1.12 七大商港 2006 年九月份波浪方向時序列圖(WAM+SWAN)

9.2 水位模擬

為了瞭解台灣主要港區長期變化，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 9.2.1 至 9.2.4 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 9.2.5 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。因此此部分有賴更多質與量皆足夠的實測資料。

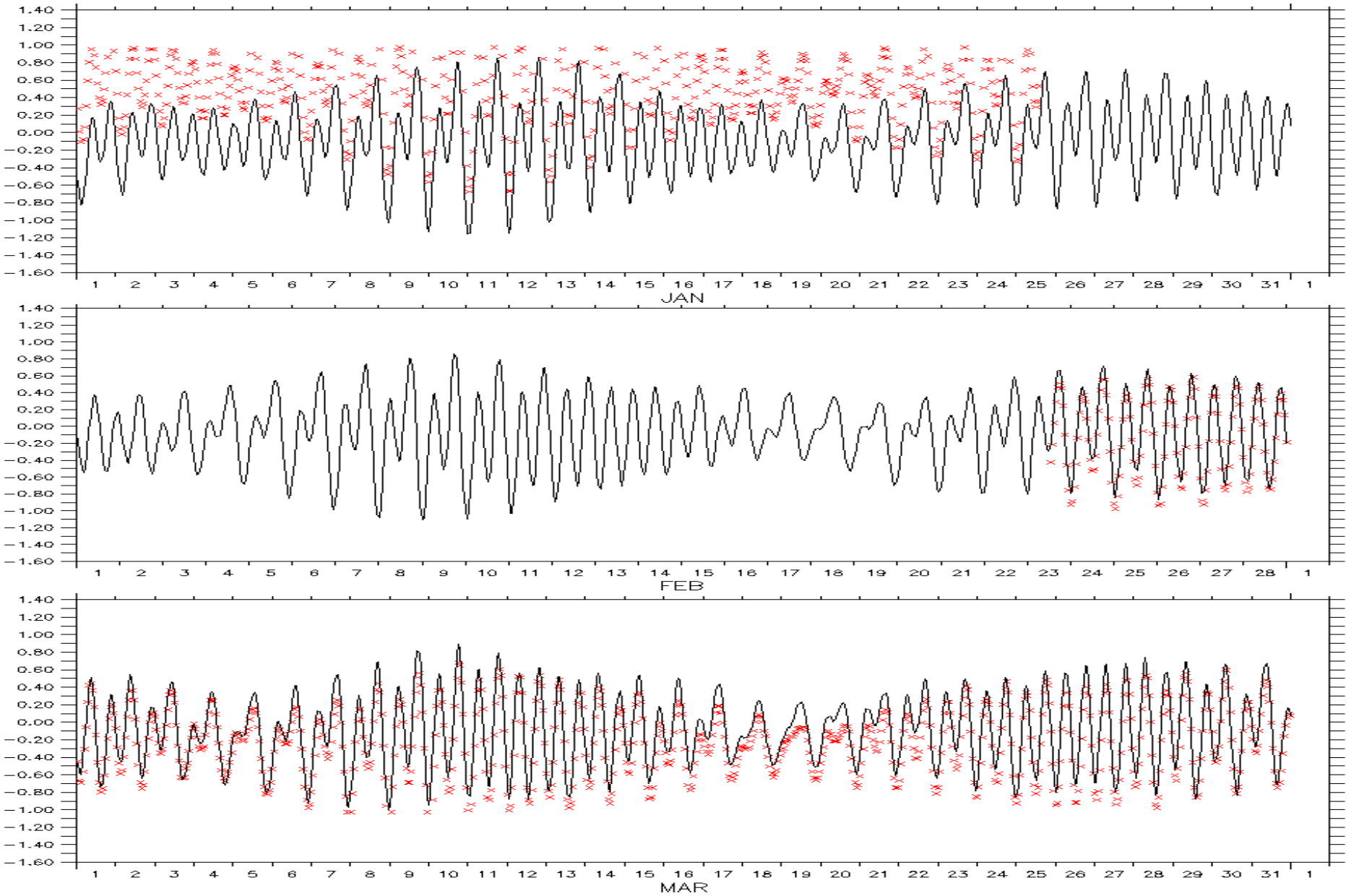


圖 9.2.1 花蓮港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

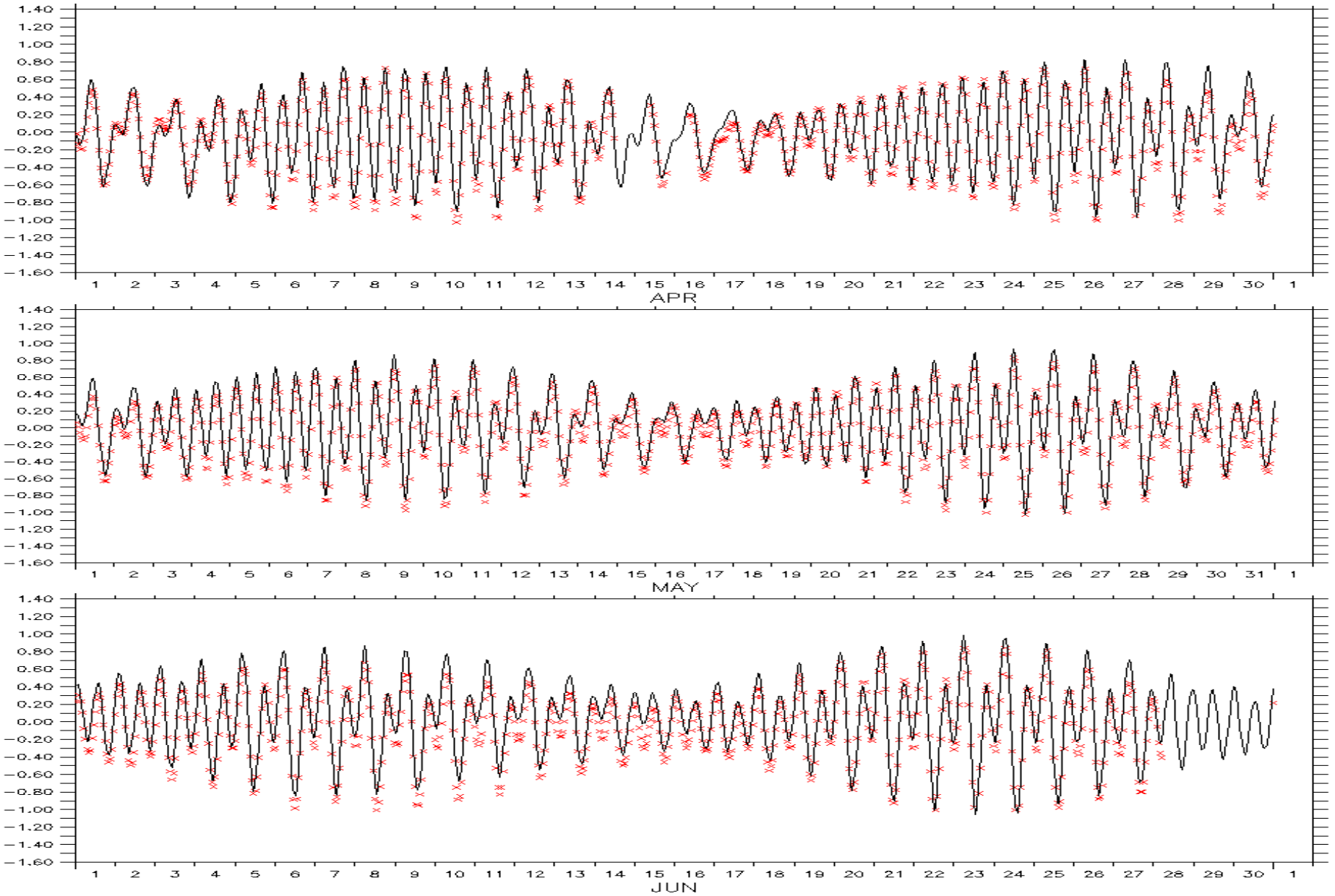


圖 9.2.1(續)花蓮港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

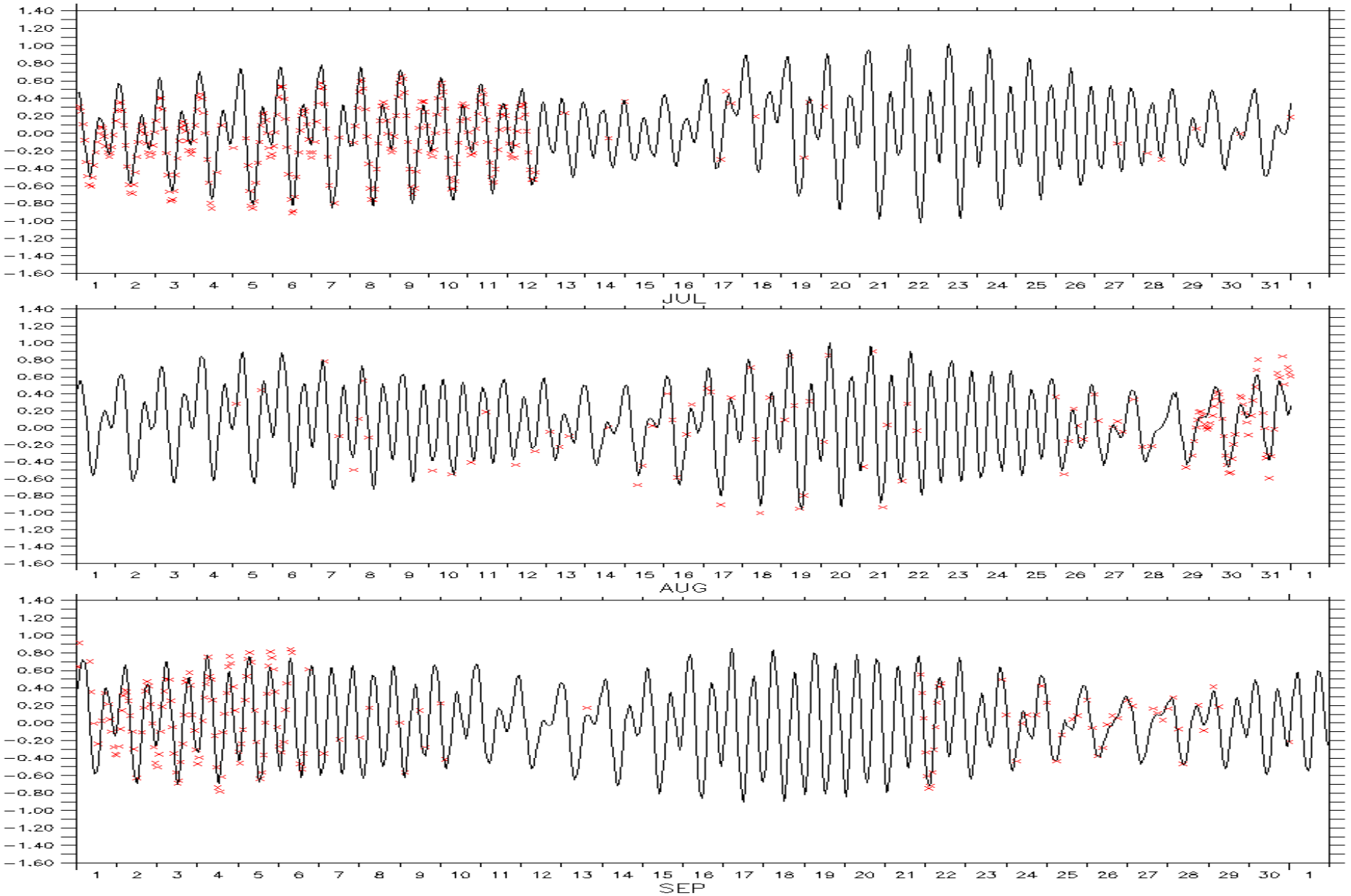


圖 9.2.1(續)花蓮港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

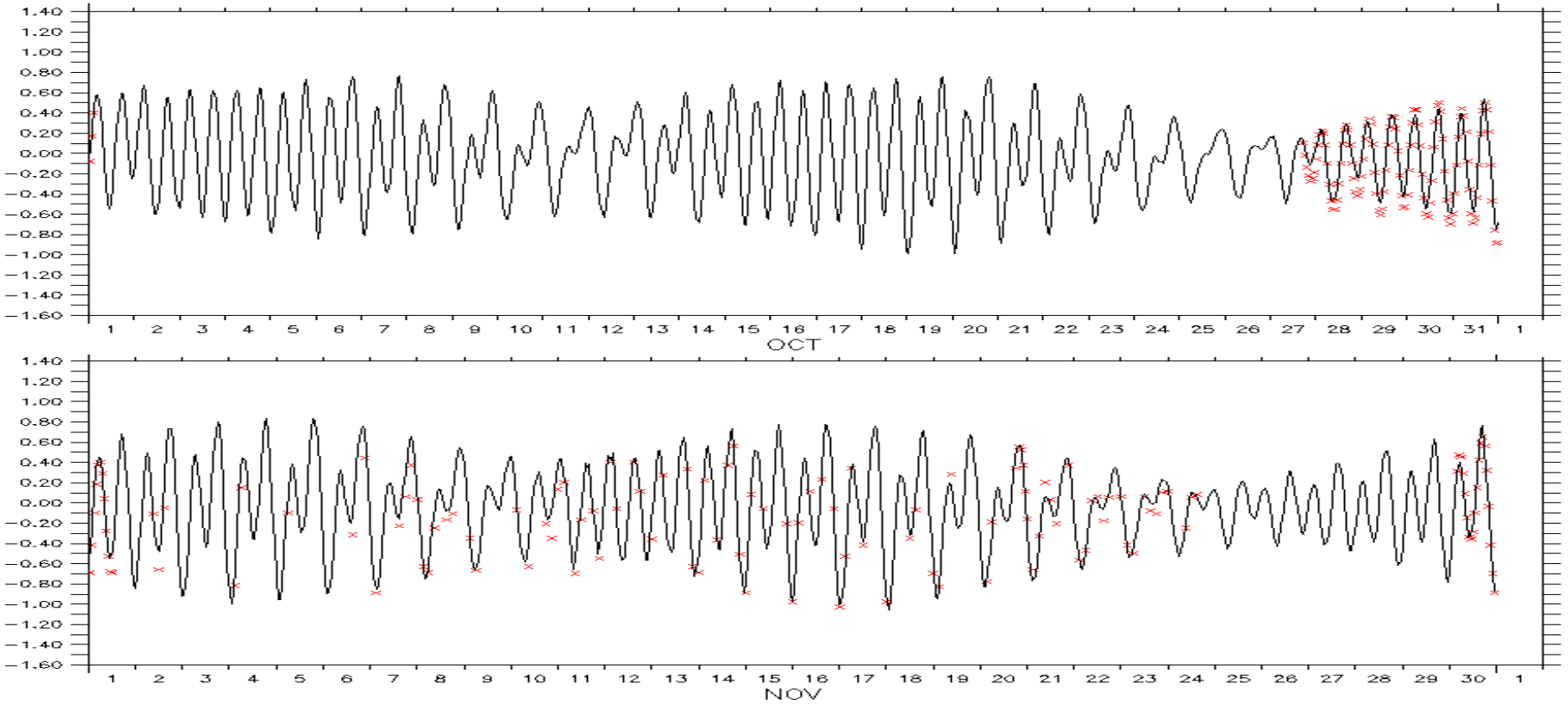


圖 9.2.1(續)花蓮港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

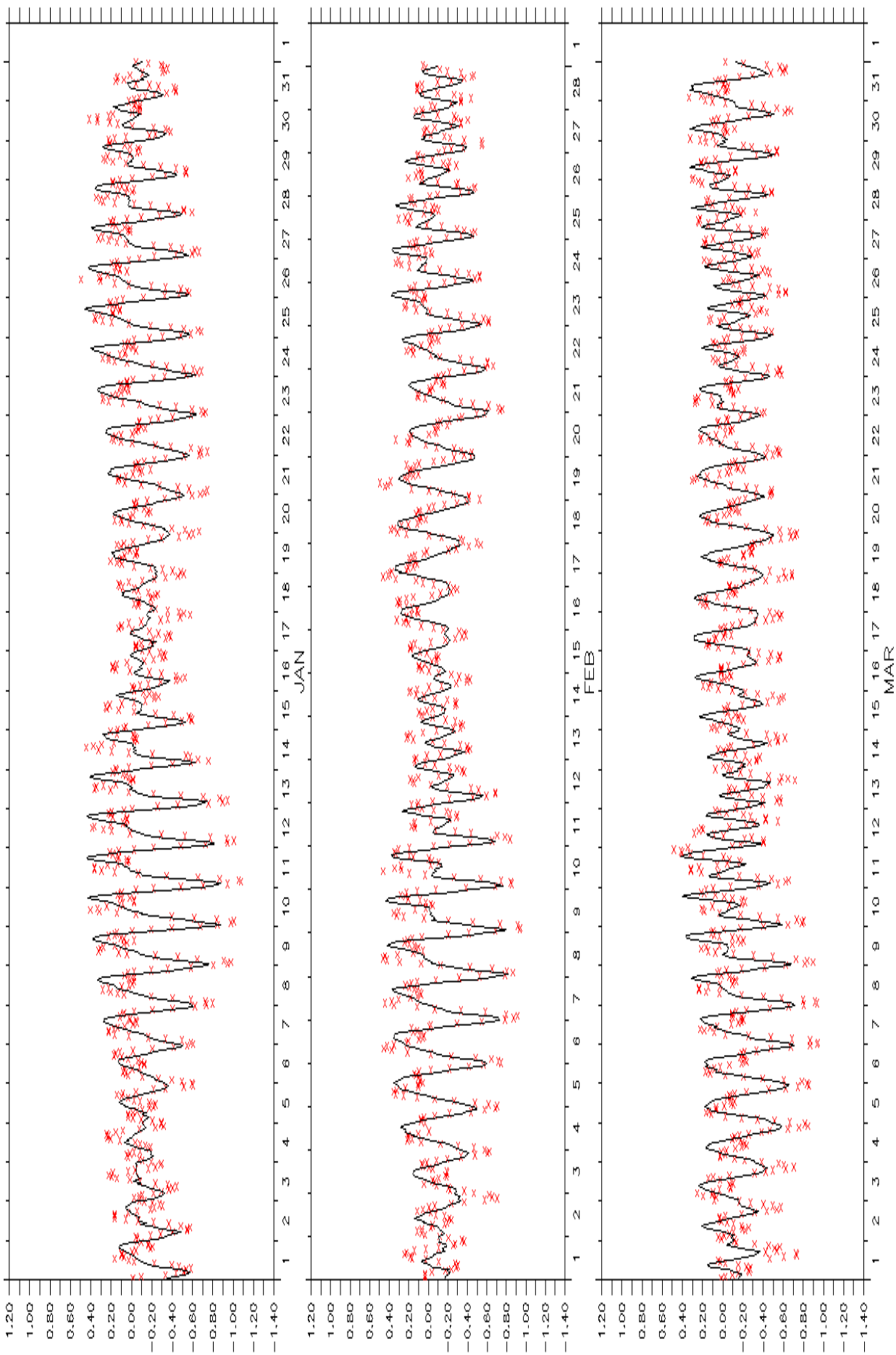


圖 9.2.2 基隆港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

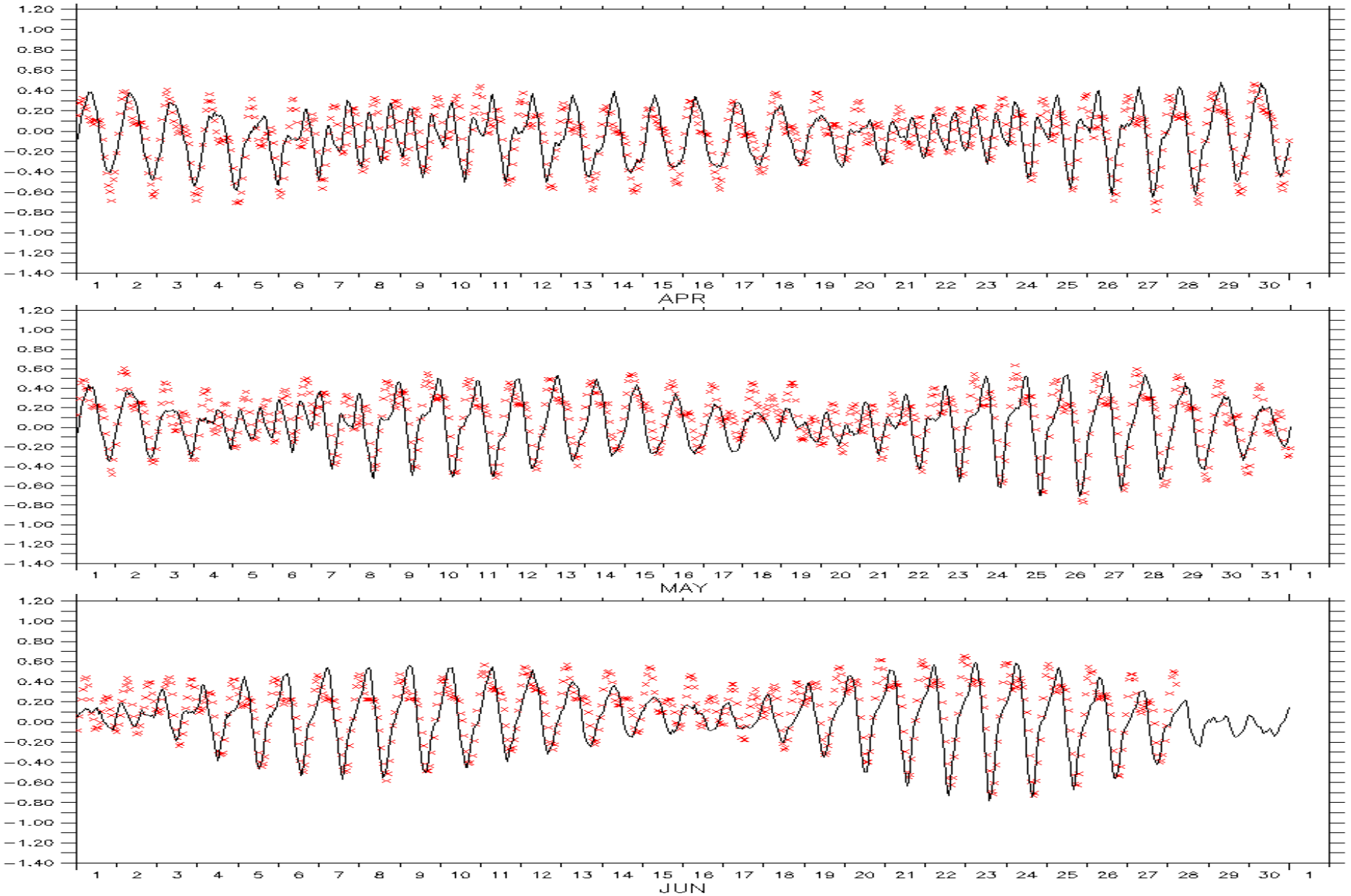


圖 9.2.2(續)基隆港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

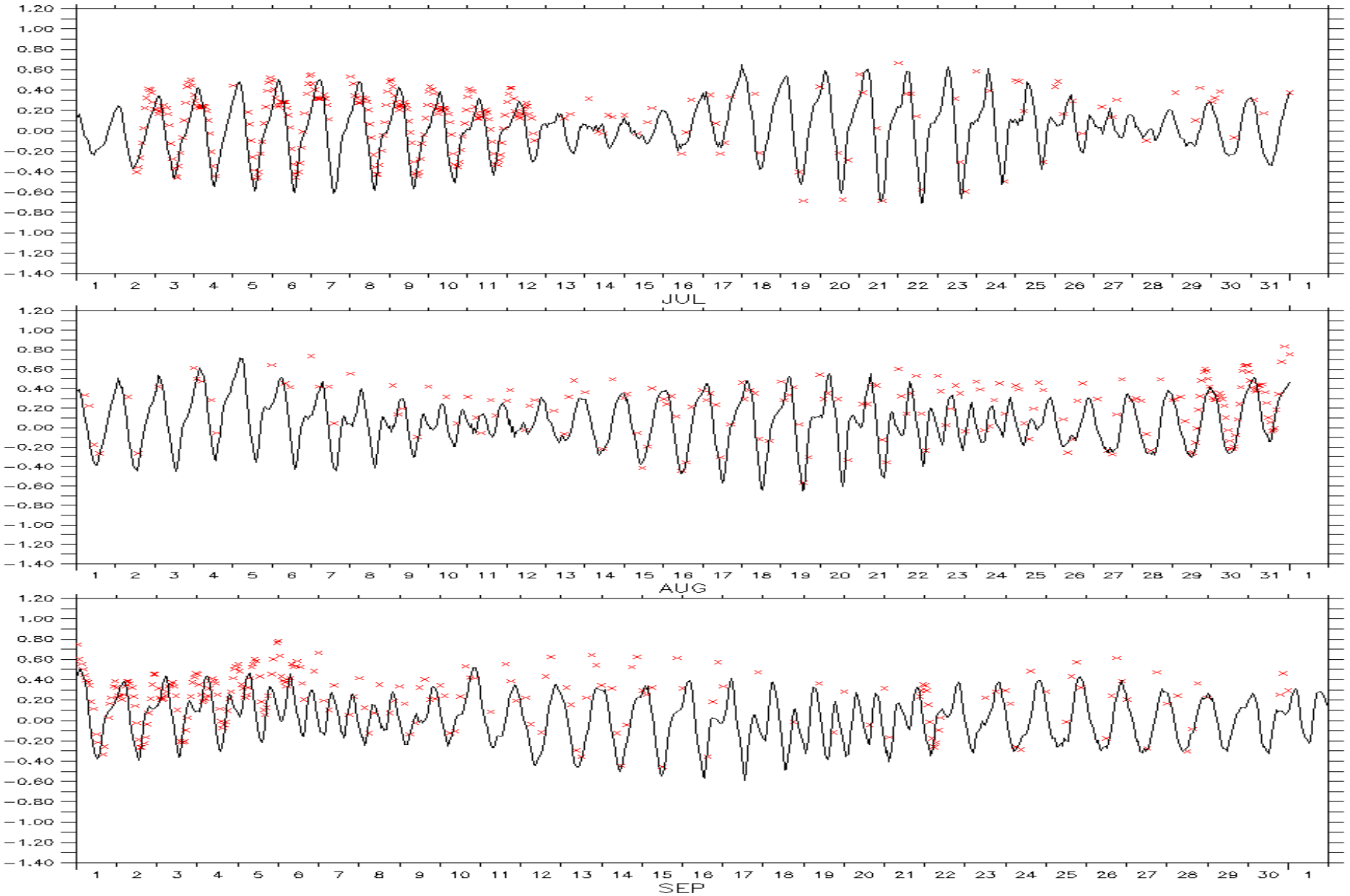


圖 9.2.2(續)基隆港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

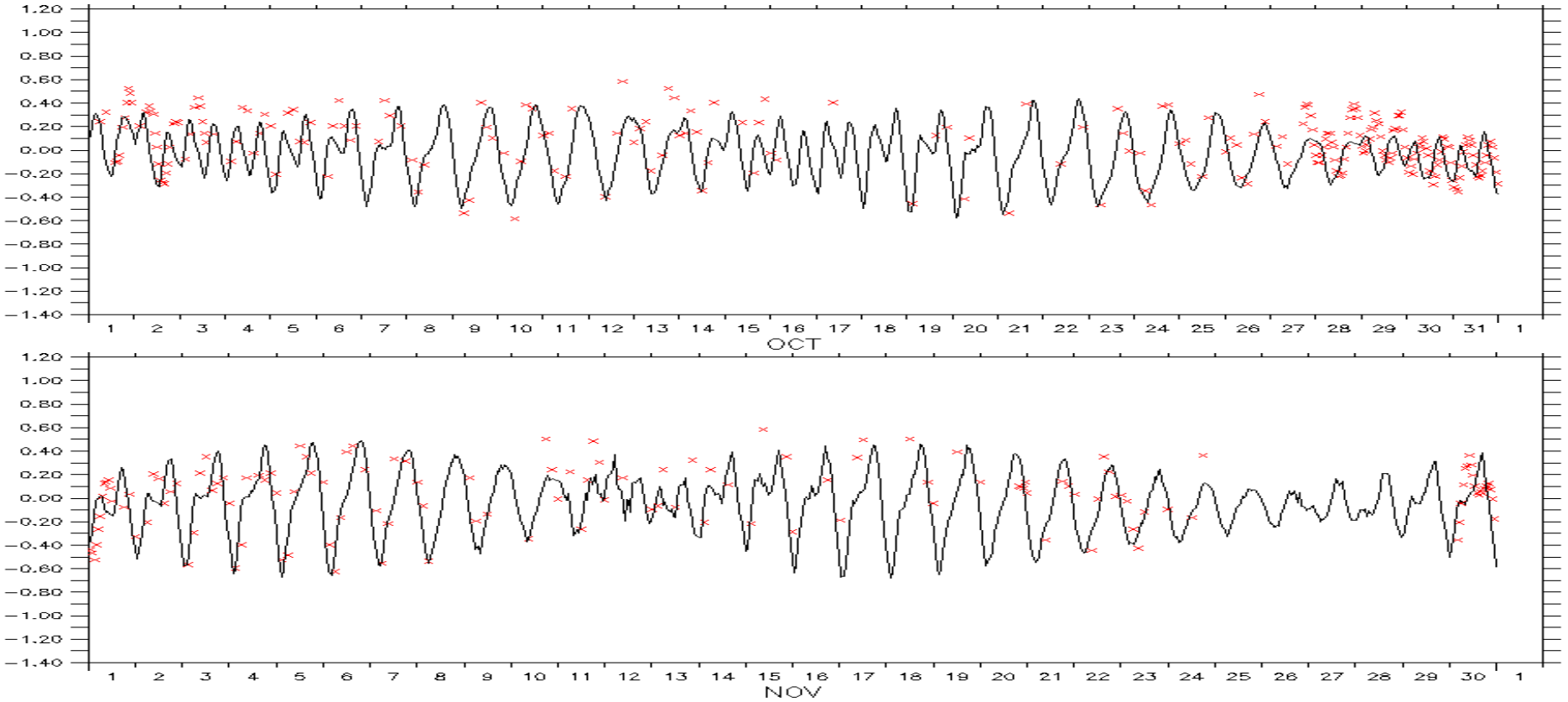


圖 9.2.2(續)基隆港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

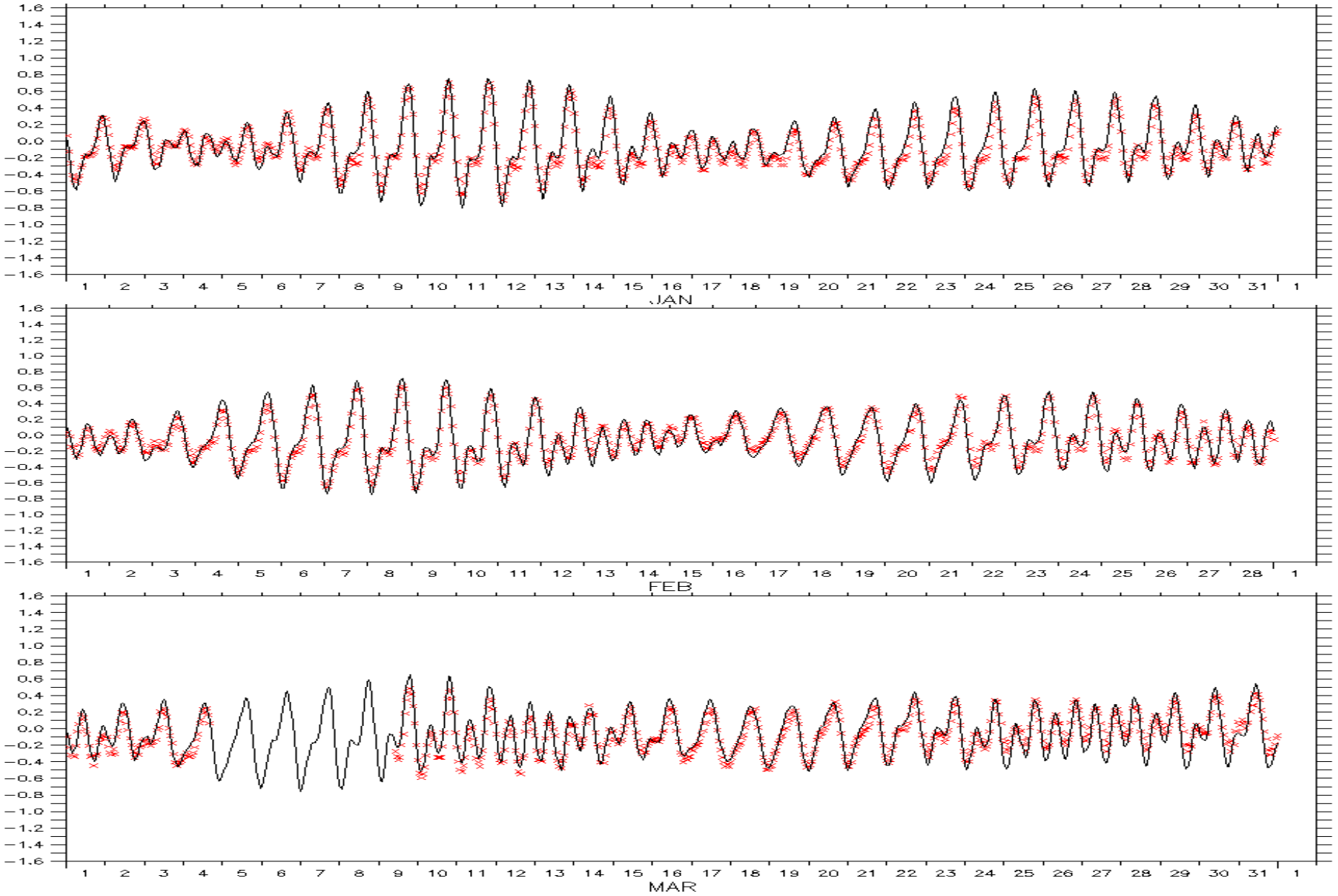


圖 9.2.3 高雄港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

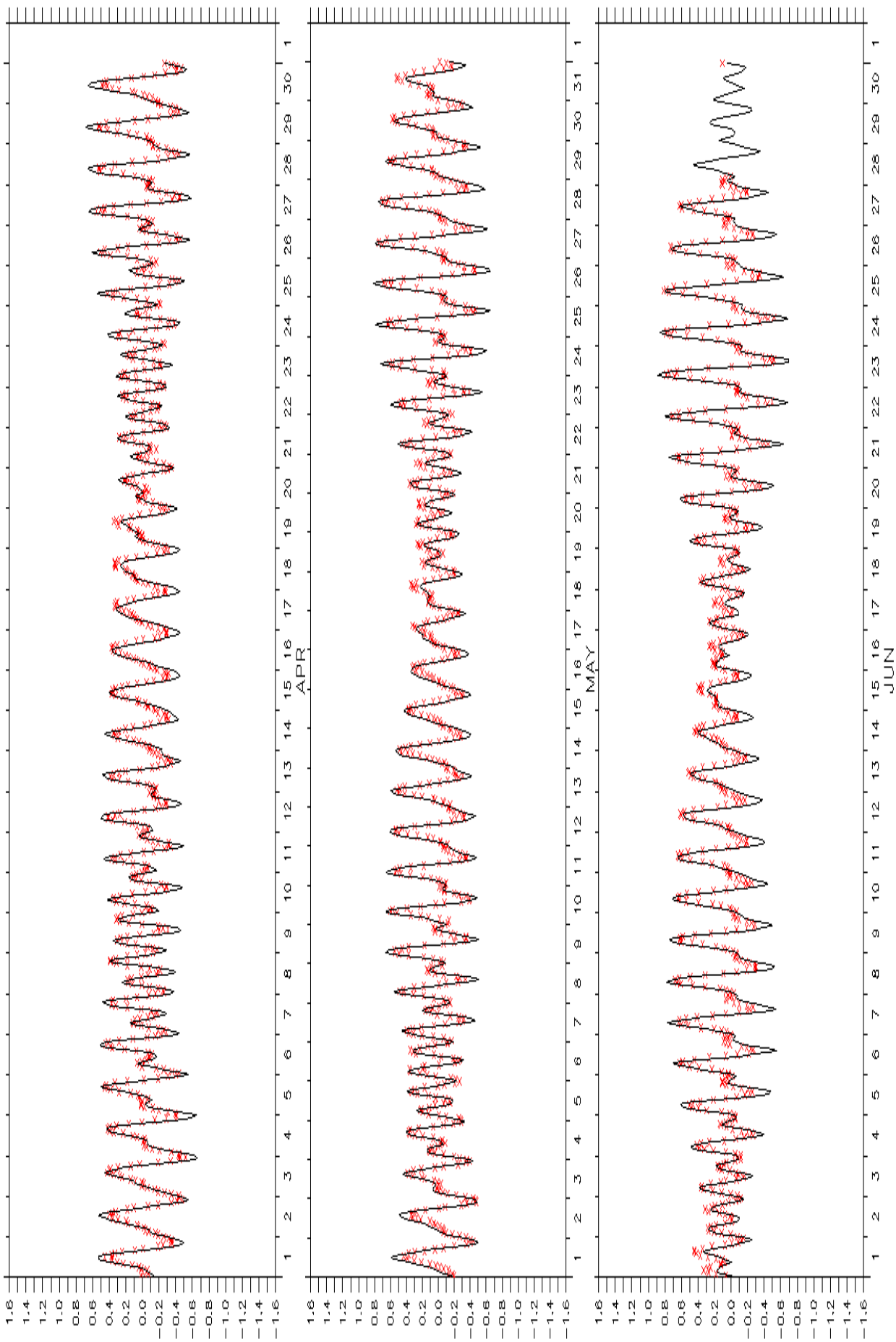


圖 9.2.3(續)高雄港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

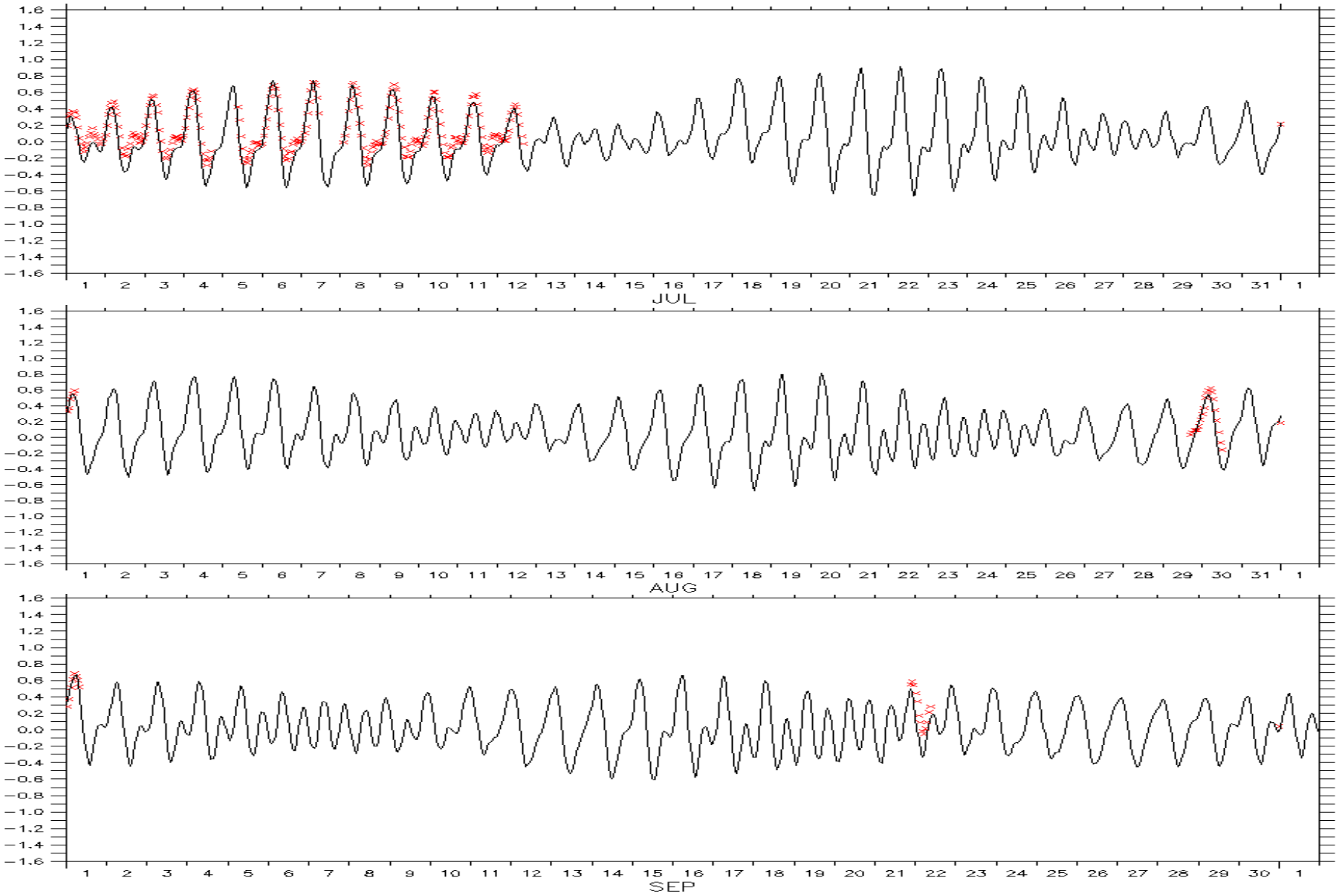


圖 9.2.3(續)高雄港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

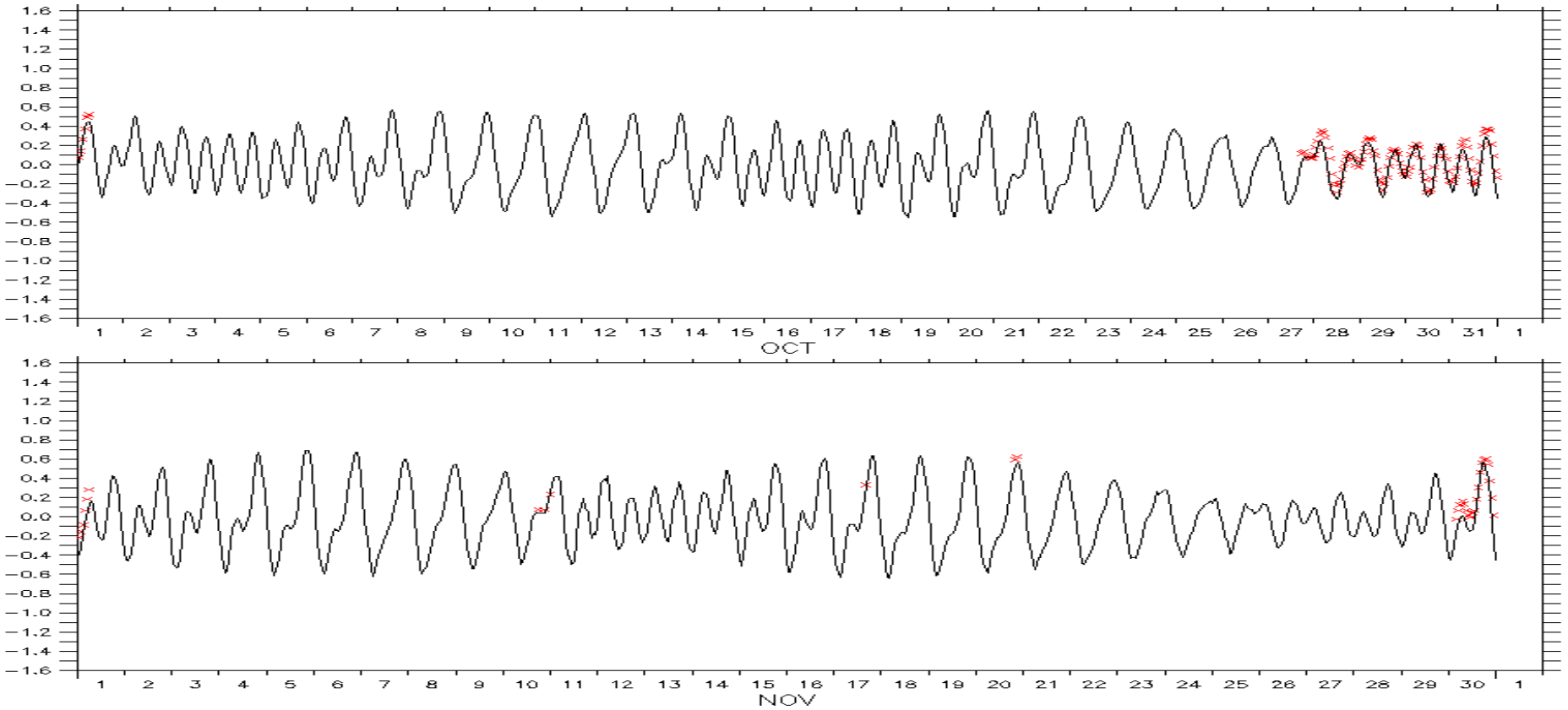


圖 9.2.3(續)高雄港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

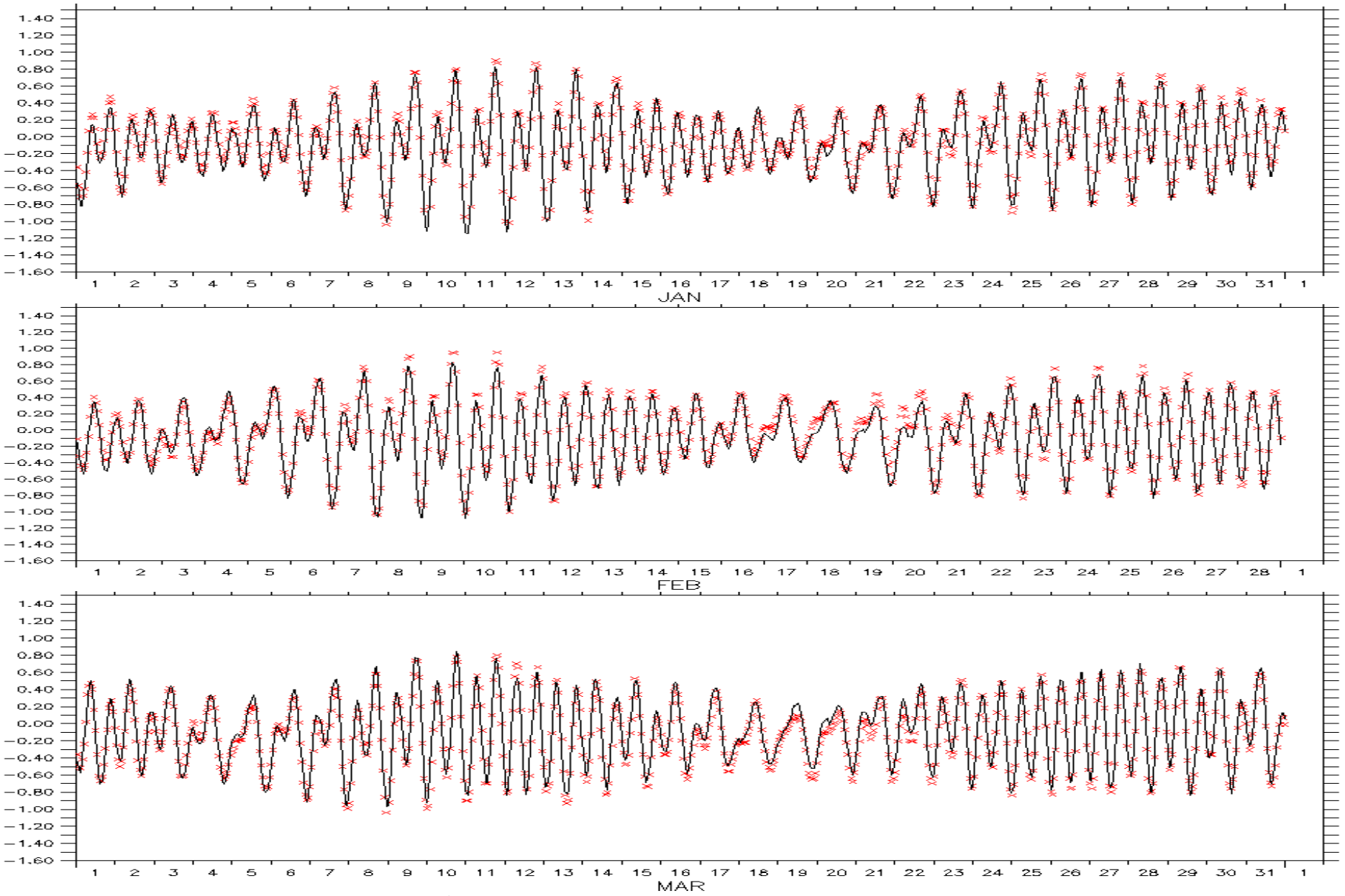


圖 9.2.4 蘇澳港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

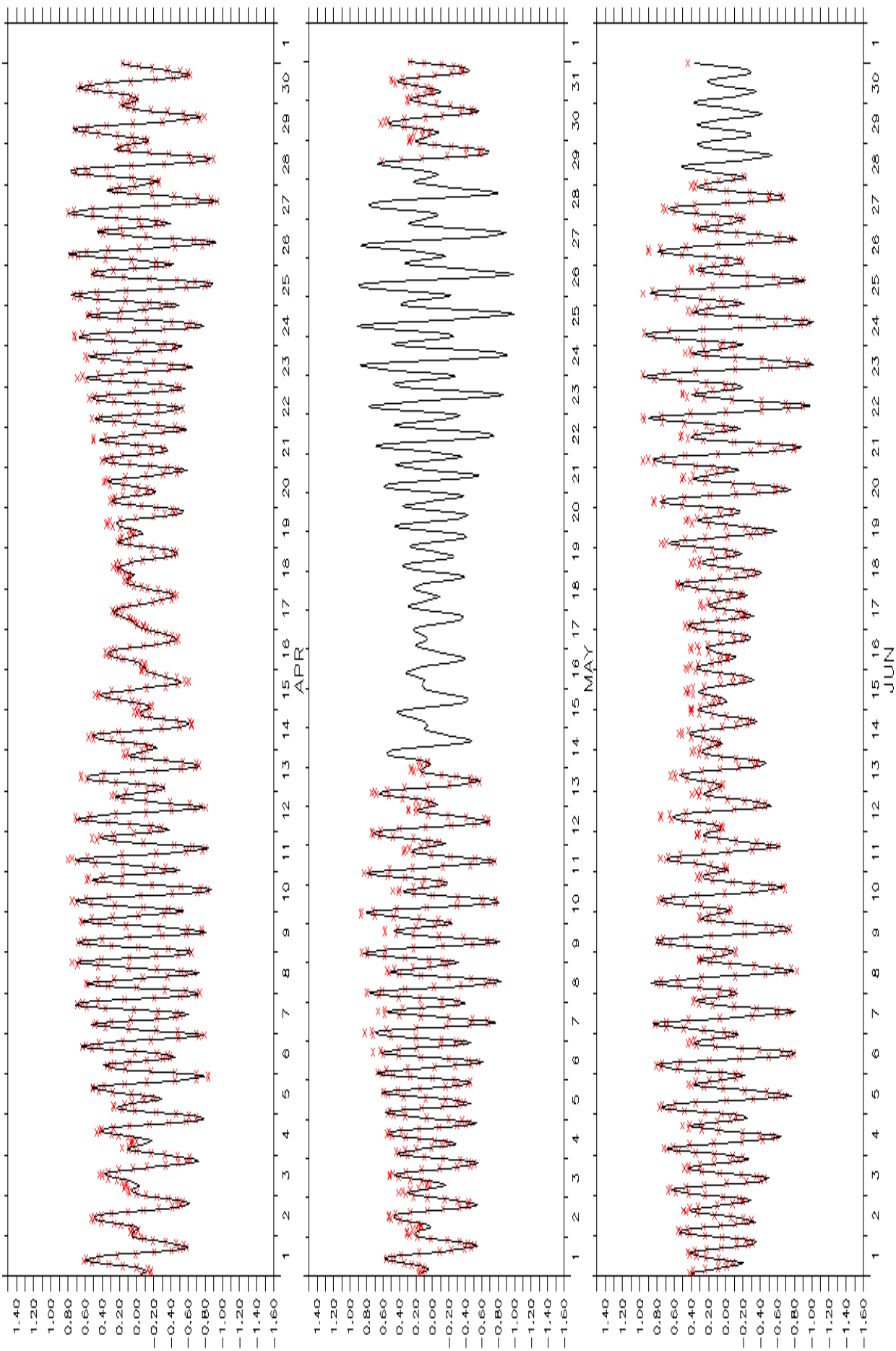


圖 9.2.4(續)蘇澳港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

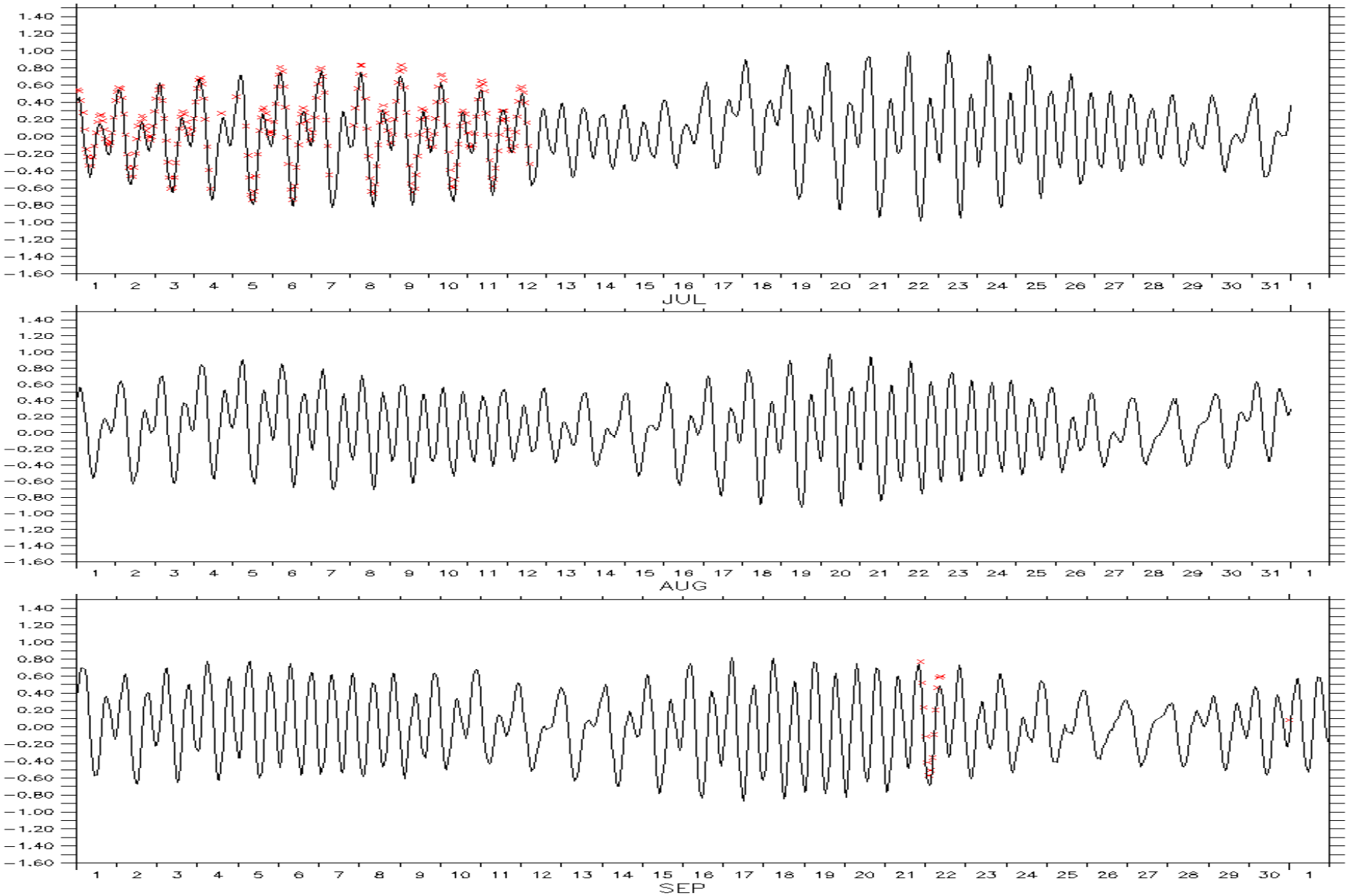


圖 9.2.4(續)蘇澳港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

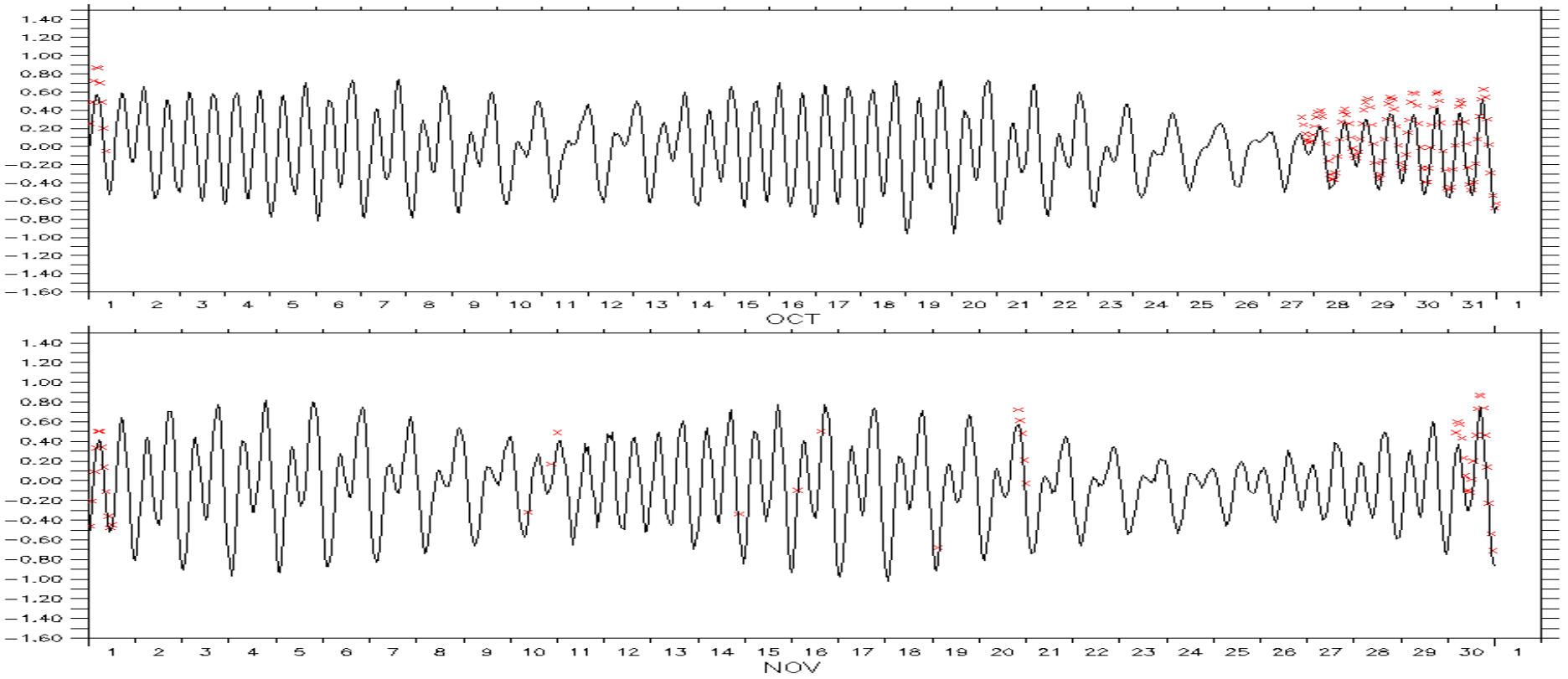


圖 9.2.4(續)蘇澳港 2005 年模式結果與實測資料比對圖

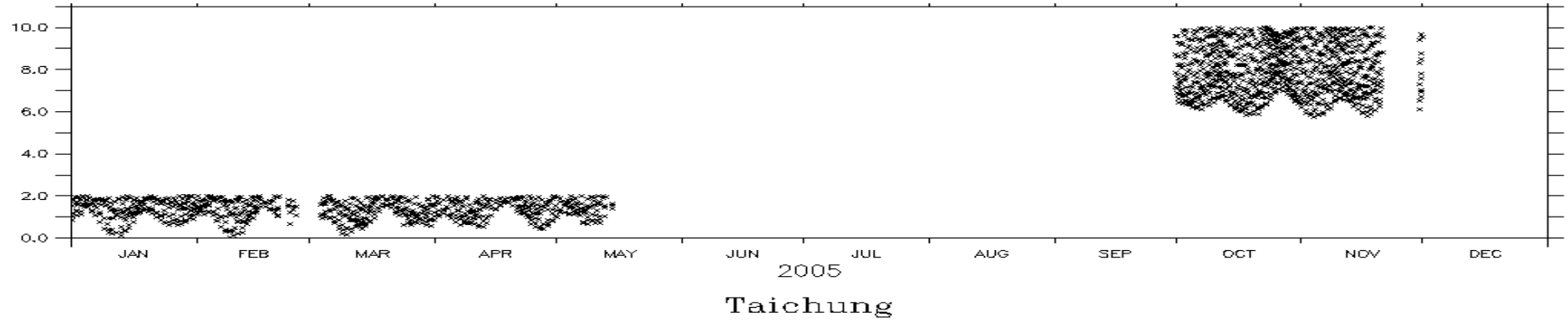


圖 9.2.5 台中港 2005 年全年實測資料時序圖

第十章 結論與建議

10.1 結論

1. 本年度已完成各項海象預報數值模式建置，主要項目包括風場(風速、風向)、氣壓場(氣壓)、波場(波高、週期及波向)、水位(天文潮位、暴潮位)、流場(流速、流向)、擴散(河口溫鹽及油污擴散)、海嘯等。

2. 由於海象模式中的重要外力為風，有精確的風場輸入模式中才能獲致準確的風浪推算，在引用幾個颱風模式的理論，同時藉由實測風速的比對，以評估適合臺灣地區的颱風模式。全域預報風場方面，則引用 NOAA 預報風場及中央氣象局 NFS 預報風場作為背景風場增加風速的準確性，氣壓場的部分也取得中央氣象局 NFS 預報氣壓場。

3. 波浪的模擬為海象預報中較複雜的，本年度已完成全域波浪預報模式系統的建置及驗證，包括大尺度的西太平洋海域 WAM 模式、中尺度臺灣海域 SWAN 模式、小尺度近岸波浪 REF/DIF 模式、細尺度港區波浪 FEMWVF 模式等四種尺度。另定點波浪推算則有類神經網路颱風波浪及季風波浪模式、風域推算之半經驗颱風波浪模式等兩種，波浪模式已正式上線預報，本年度並完成年度評估成果。全域模式，在預報作業上來說，全域模式是完全適用於線上操作的預報系統。類神經網路模式及半經驗颱風波浪模式自我修正能力相當好，且計算快速。

4. 水位模式方面，全域模式分天文潮模式、全域暴潮模式及全域水位模式，全域天文潮模式主要為週期性水位變化，全域暴潮模式主要外力為颱風，全域水位模式則整合天文潮與暴潮，並使用歐盟發展的模式-COHERENS 作為水位計算，其次為計算模式之順利運作及為配合計算精度之需求，分大中小三種計算

範圍尺度，包括大尺度的西太平洋海域、中尺度臺灣海域、小尺度近岸海域(包括港口)，大中兩種計算範圍尺度已正式上線預報，本年度並完成年度評估成果。另定點波浪推算則有類神經網路颱風暴潮及天文潮模式。全域模式，在預報作業上來說，全域模式是完全適用於線上操作的預報系統。類神經網路模式自我修正能力相當好，且計算快速。由於水位實測資料，皆未包含觀測之基本水位，因此在轉換為模式高程水位變化與模式比對時，會產生偏移的現象，增加比對時的困難度，無法比對判斷，希望未來能獲得測站的基準水位，以減少此部分的誤差。

5. 海流模式方面，全域模式分二維海流模式及三維海流模式，並使用歐盟發展的模式-COHERENS 作為海流計算，為計算模式之順利運作及為配合計算精度之需求，分大中小三種計算範圍尺度，包括大尺度的西太平洋海域、中尺度臺灣海域、小尺度近岸海域(包括港口)，大中兩種計算範圍尺度已正式上線預報，海流模式則僅止於上線測試，模式 結果還需要實測資料校正。三維海流模式則已建置完成，由於記憶體使用量過大及計算時間過長，在一般 PC 上執行有其模擬限制，因此目前還無法上線使用。海流推算主要外力包括潮汐及風力。二維海流模式雖然於本年度建置完畢，也進行過去颱風時期流場推算，然缺乏實測流場資料進行比對校正，此部分仍須配合實測資料，以得到較可信的流場分佈，尤其是海峽內之海流資料。二維模式，在預報作業上來說，較三維適用於線上操作的預報系統。二維海流模式主要提供油污擴散模式計算，三維海流模式主要提供溫鹽擴散模式計算。

6. 為因應污染擴散，本年度進行擴散模式的建置，主要目標為河口溫鹽及油污擴散，溫鹽擴散模式建置方面，河口為淡水鹹水交會處，其中鹽度分佈會隨著潮夕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，研究著重於鹽度的於河口分佈變化。油污擴散建置

方面，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模式中，流場也為重要的基本資料。模式可分成兩部份，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。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。

7. 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。

8. 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。

9. 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 O1、P1、K1、N2、M2 及 S2 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 O1、P1、K1、N2、M2 及 S2 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。

10.2 建議

總結今年度預報上線，雖然遇到了許多問題，然在各模組盡力的配合下，至目前雖未能產生完美的預報系統，但至少每日可提供詳細

的資訊供使用者查詢參考，以下為上線至今所遇到之問題列出，提供討論，以得到較完善的解決辦法，使本計畫預報網站更為實用。

1. 中央氣象局預報資料取得方面：平日皆能準時的取得預報資料，準時完成本計畫預報，然遇到颱風日氣象局會延後發佈預報資料，此時對於本計畫的預報時效即產生影響，甚而當日無法發佈預報結果，此部分為本計畫目前較無法控制之問題。

2. 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。

3. 本年上半年度進行前兩季預報模式結果的評估，各模式皆有一定程度的準確性，然實測資料的取得及取得的資料品質是目前遭遇最大的困難，特別是水位實測資料部分，除了實際資料不夠多之外，各段資料水準點也不同，此部分對於模式的校驗及結果的評估影響相當大，因此有待取得更多及品質更好的實測資料進行評估。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，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，這是未來仍須解決重點。

參考文獻

1. 邱永芳、蘇青和，2006，"近岸防救災預報系統之建立"，九十四年度防救災專案計畫成果研討會論文集, 95 年 2 月。

2. 邱永芳、蘇青和，2006，"臺灣近岸海象預報系統 "，2006 天氣分析與預報研討會論文集, 95 年 10 月參考文獻

3. 邱永芳、蘇青和、簡仲璟，2006，"近岸防救災預報系統之建立研究(3/5)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，基本研究報告 95-30-7175，MOTC-IOT-94-H3DA005。

4. 邱永芳、蘇青和，2005，"近岸防救災預報系統之建立"，九十三年度防救災專案計畫成果研討會論文集, 94 年 2 月。

5. 邱永芳、蘇青和、簡仲璟，2005，"近岸防救災預報系統之建立研究(2/5)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，基本研究報告 94-49-7145，MOTC-IOT-93-H3DA005。

6. 邱永芳、蘇青和，2004，"近岸防救災預報系統之建立研究"，九十二年度防救災專案計畫成果研討會，臺中中興大學，中華民國 93 年 2 月。

7. 邱永芳、蘇青和、簡仲璟，2004，"近岸防救災預報系統之建立研究(1/5)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，基本研究報告 93-77-7110，MOTC-IOT-92-H3BA03。

8. 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。

9. 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。

10. 侯和雄、劉正宗，1982，臺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。

11. 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。

12.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。

13.張憲國、黃金維，2001，以 NAO99b 潮汐模式預測臺灣西岸潮汐之評估"，第二十三屆海洋工程研討會論文集，105 頁-111 頁。

14.劉文俊，1996，臺灣的潮汐"，文英出版社。

15.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。

16.廖建明、歐善惠、許泰文、方介群、臧效義，2002，應用 SWAN 模式模擬臺灣附近颱風波浪之特性，臺中，第二十四屆海洋工程研討會論文集，第 469-476 頁。

17.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。

18.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，臺南，第 429-436 頁。

19.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(Ⅱ)，第二十二屆海洋工程研討會論文集，臺中，第 461-468 頁。

20.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。

21.Arakawa A. and Suarez M. J., 1983, Vertical differencing of the primitive equations in sigma coordinates. *Monthly Weather Review*, 111, 34-45.

22.Backhaus J. O., 1985, A three-dimensional model for the simulation of shelf sea dynamics. *Deutsche hyhrographische Zeitschrift*, 38, 165-187.

23.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.

24. Booji, 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.

25. Bretschneider, C.L., 1952, The generation and decay of wind waves in deep water. *Transaction American Geophysical Unio*, Vol. 33, No. 3, 381-389.

26. Cressman, G., 1959, An operational objective analysis system, *Monthly Weather Review*, 87, 367-374.

27. 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.

28. 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.

29. 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.

30. Deo, M.C., Jagdale, S.S., 2003, Prediction of breaking waves with neural networks. *Ocean Engineering*, Vol. 30, No. 9, pp. 1163-1178.

31. 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.

32. Deo, M.C., Kiran Kumar, N., 2000, Interpolation of wave heights. *Ocean Engineering*, Vol. 27, No. 9, pp. 907-919.

33. Deo, M.C., Sridhar Naidu, C., 1999, Real time wave forecasting using neural networks. *Ocean Engineering*, Vol. 26, No. 3, 191-203.

34. 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.

35. Desai, S. D., and Wahr, J., 1995, “Empirical ocean tide models estimated from TOPEX/POSEIDON altimetry.” J. Geophys. Res., 100(c12), 25205-25228.

36. Doodson, A.T., 1921, The harmonic development of the tid-generating potential. *Proc. R. Soc. Lond. A.*, 100, 305-329.

37. Evensen, G., 1992, Using the extended Kalman filter with a multi-layer quasi-geostrophic ocean model, *J. Geophys. Res.*, 97, 17905-17921.

38. Gandin, L.S., 1963, Objective Analysis of Meteorological Fields, Gidrometeoizdat, Leningrd, 242.

39. Gerling, T.W., 1992, Partitioning sequences and arrays of directional ocean wave spectra into component wave systems, *J. Atm. Oc.Techn.*, 9, 444-458.

40. Groves, G.. W., and Reynolds, R. W., 1975, An orthogonalized convolution method of tide prediction. *J. Geophys. Res.*, 80, 4131-4138.

41. 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.

42. 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.

43. Hasselmann, K., S. Hasselmann, E. Bauer, C. Brüning, S. Lehner, H.C. Graber 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.

44. Hasselmann, S., C. Brüning and P. Lionell, 1994, Towards a generalized optimal interpolation method for the assimilation of ERS-1 SAR retrieved wave spectra in a wave model, *Proc. 2nd ERS-1 Symp.*, ESA SP-361, 21-25.

45. 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.

46. Hedges, T. S., 1976, An empirical modification to linear wave theory, *Proc. Inst. Civ. Eng.*, 61, pp. 575-579.

47. 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.

48. Hopfield, J.J., and Tank, D., 1985, Neural computation of decision in optimization problems. *Biological Cybernetics*, Vol. 51, pp. 141-152.

49. 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.

50. 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.

51. Jeffreys, H., 1924, On the formation of water waves by wind. Proceedings of Royal Society of London Series A, Vol. 107, pp. 189-206.

52. Jeffreys, H., 1925, On the formation of water waves by wind Ⅱ. Proceedings of Royal Society of London Series A, Vol. 110, pp. 341-347.

53. 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.

54. Kalman, R.E, 1960, A new approach to linear filtering and prediction problems, *Trans. ASME J. Basic Eng.*, 82, 35-45.

55. 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.

56. 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.

57. Kirby, J. T. and Dalrymple R. A., 1983, The propagation of weakly nonlinear waves in the presence of varying depth and currents, *Proc. 20th Congress I.A.H.R.*, Moscow.

58. 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.

59. 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.

60. 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.

61. 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.

62. 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.

63. 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.

64. Lee, T.L., and D.S. Jeng, 2002. Application of artificial neural networks in tide forecasting, *Ocean Engineering*, Vol. 29, pp. 1003-1022.

65. 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.

66. 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.

67. 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.

68. 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.

69. 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.

70. 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.

71. Miles, J.W., 1957, On the generation of surface waves by shear flows. *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 3, pp. 185-204.

72. Miles, J.W., 1960, On the generation of surface waves by turbulent shear flows. *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 7, pp. 469-478.

73. Munk, W. H., and Cartwright, D. E., 1996, Tidal spectroscopy and prediction. *Philos. Trans. R. Soc. Landon, Ser. A.*, 259, 533-581.

74. Nelson, M., Hill, T., Remus, W., and O'Connor, M., 1999, Time series forecasting using neural networks: should the data be deseasonalizes first?, *Journal of Forecasting*, Vol. 18, pp. 359-367.

75. Panofsky, R.A., 1949, Objective weather-map analysis, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 6, 386-392.

76. Phillips, O.M., 1957, On the generation of waves by turbulent wind. *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 2, pp. 417-445.

77. Ray, R. D., 1998, Spectral analysis of highly aliased sea-level signals, *J. Geophys. Res.*, 103(C11), 24991-25003.

78. Smith S. D. and Banke E. G., 1975. Variation of the sea surface drag coefficient with windspeed, *Quarterly Journal Meteorological Society*, 101, 665-673.

79. 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

80. 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.

81. 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.

82. 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.

83. 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.

附錄 A　95 年海象即時預報與現場觀測資料比較圖

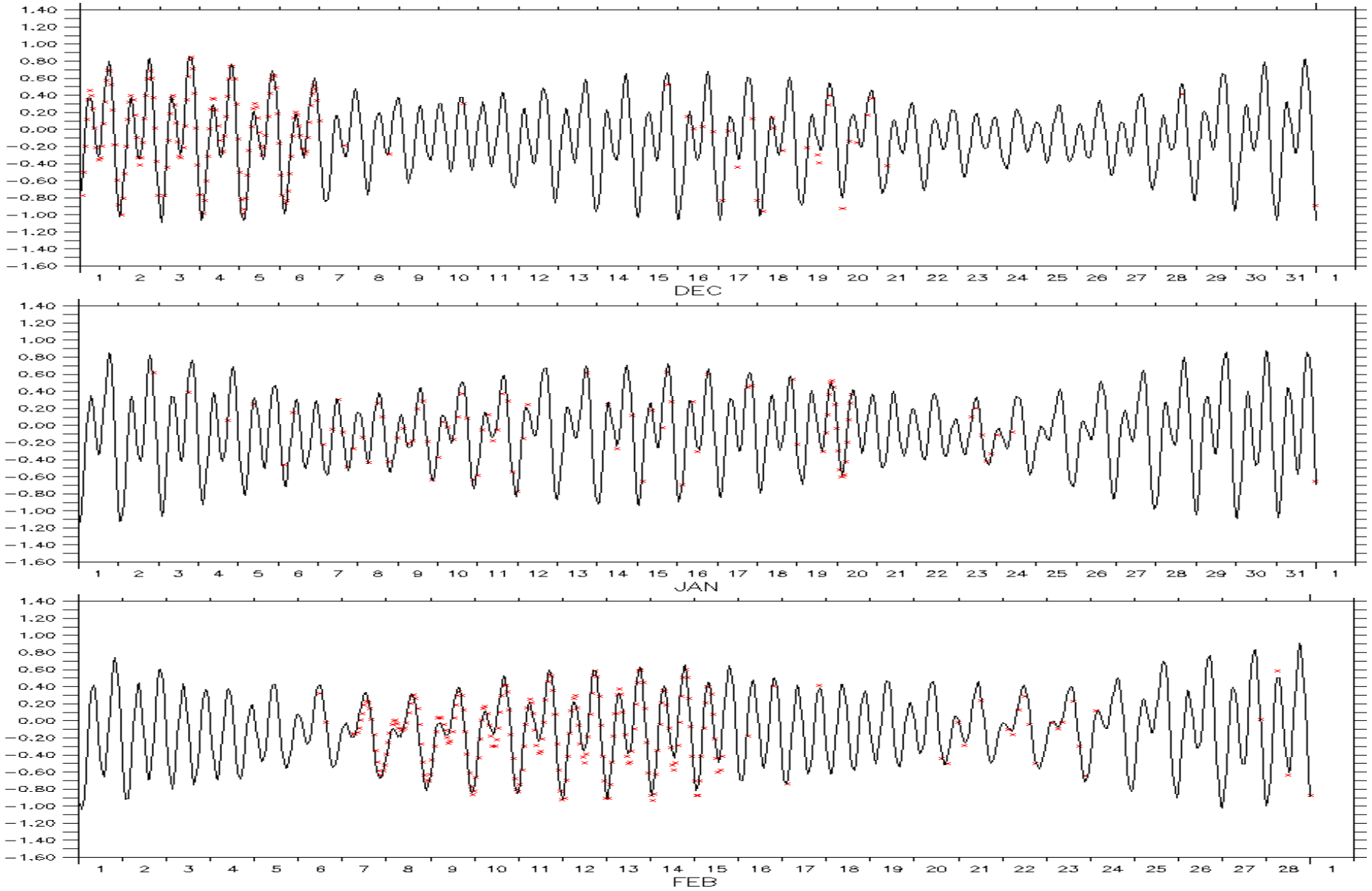


圖 A.1.1 花蓮港 2005 年 12 月至 2006 年 2 月水位比對結果

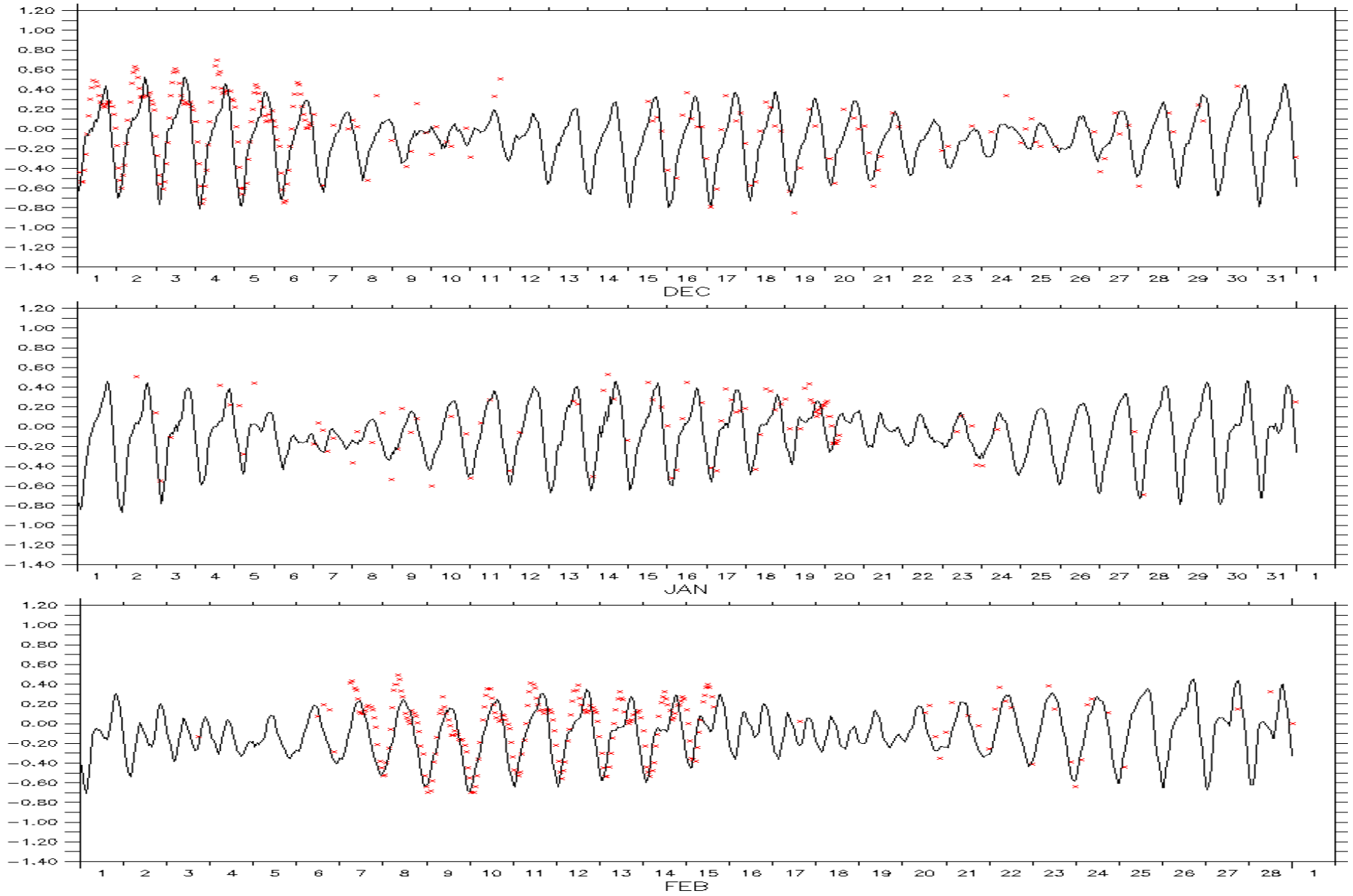


圖 A.1.2 基隆港 2005 年 12 月至 2006 年 2 月水位比對結果

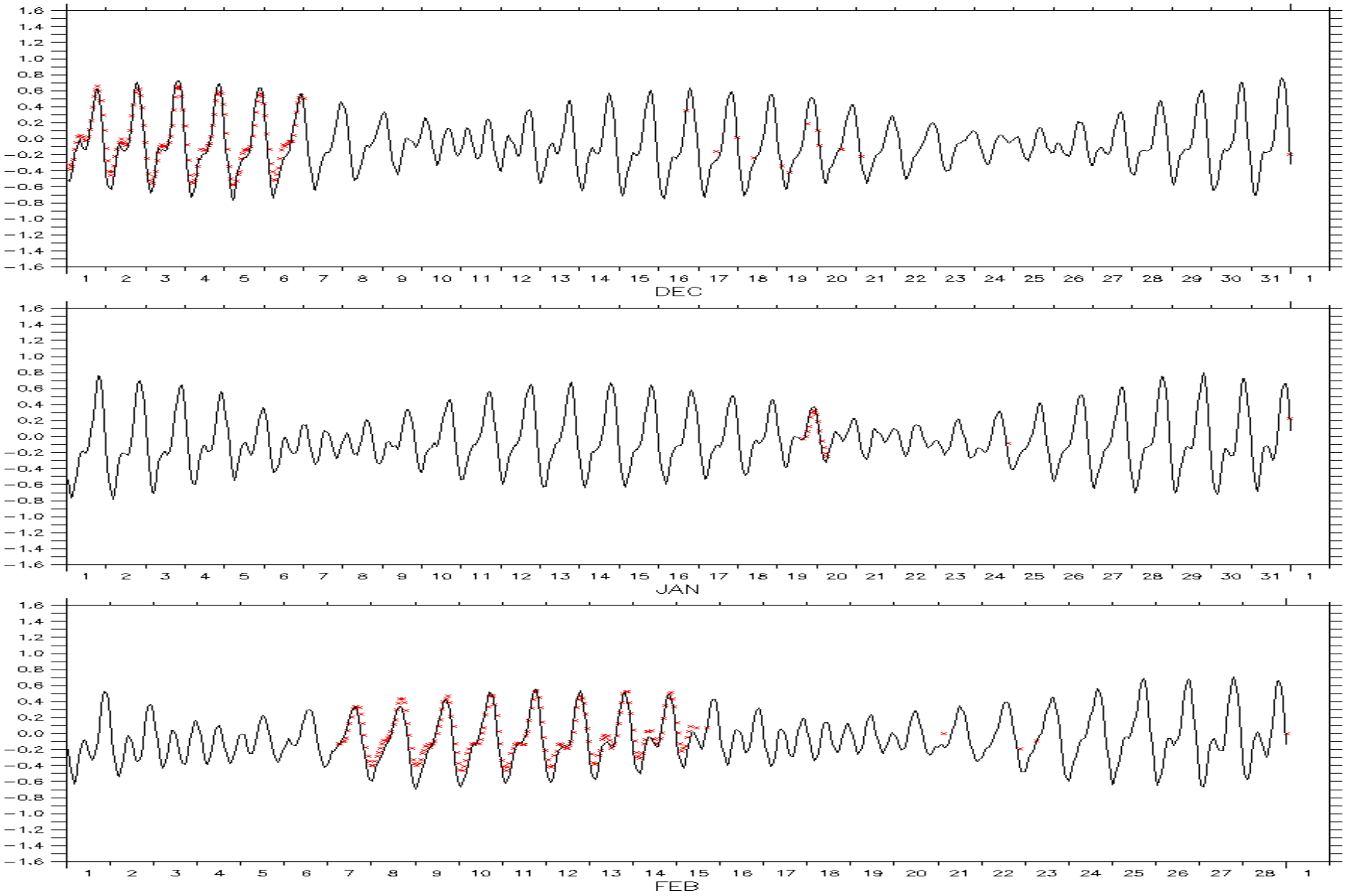


圖 A.1.3 高雄港 2005 年 12 月至 2006 年 2 月水位比對結果

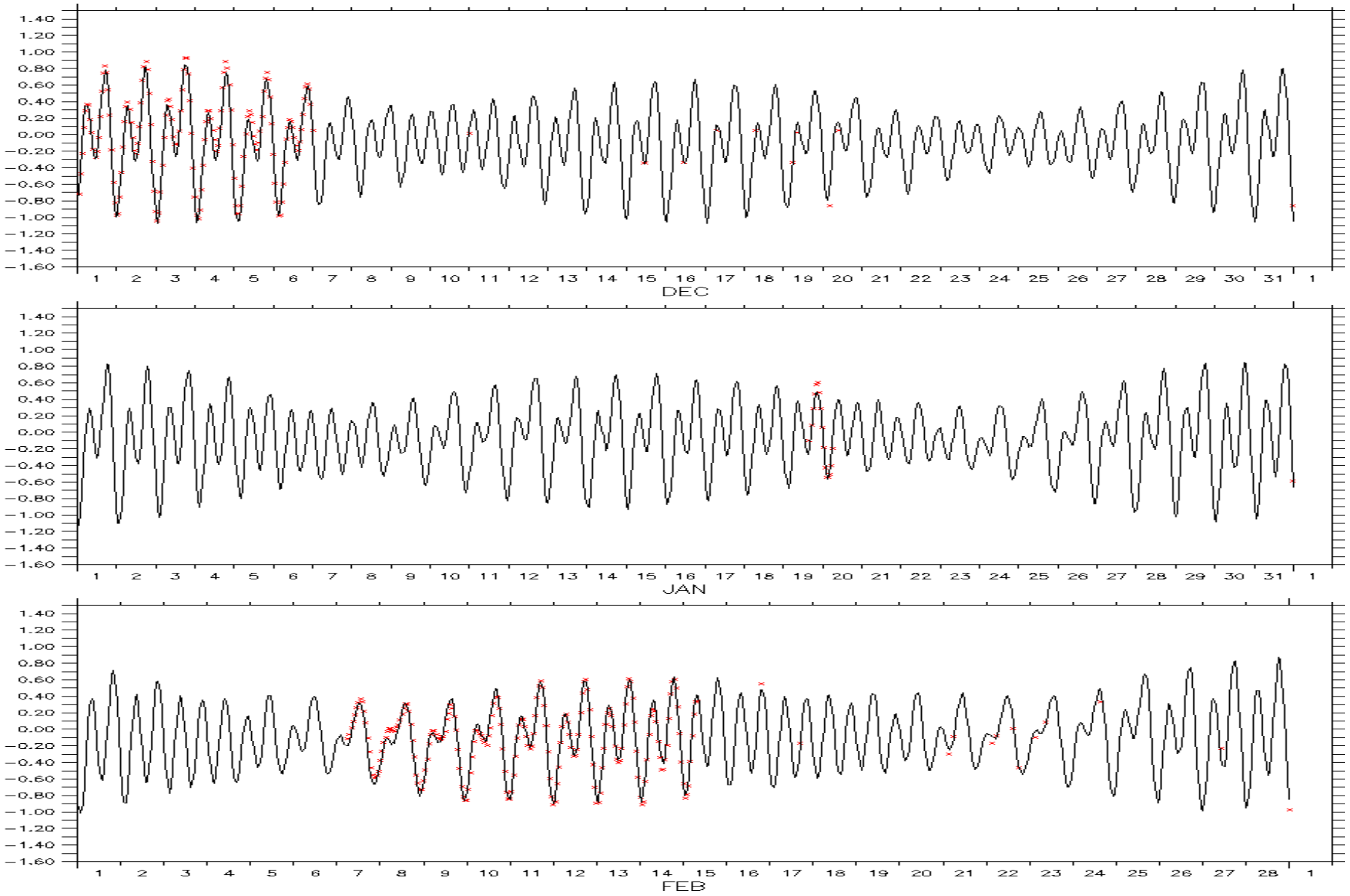


圖 A.1.4 蘇澳港 2005 年 12 月至 2006 年 2 月水位比對結果

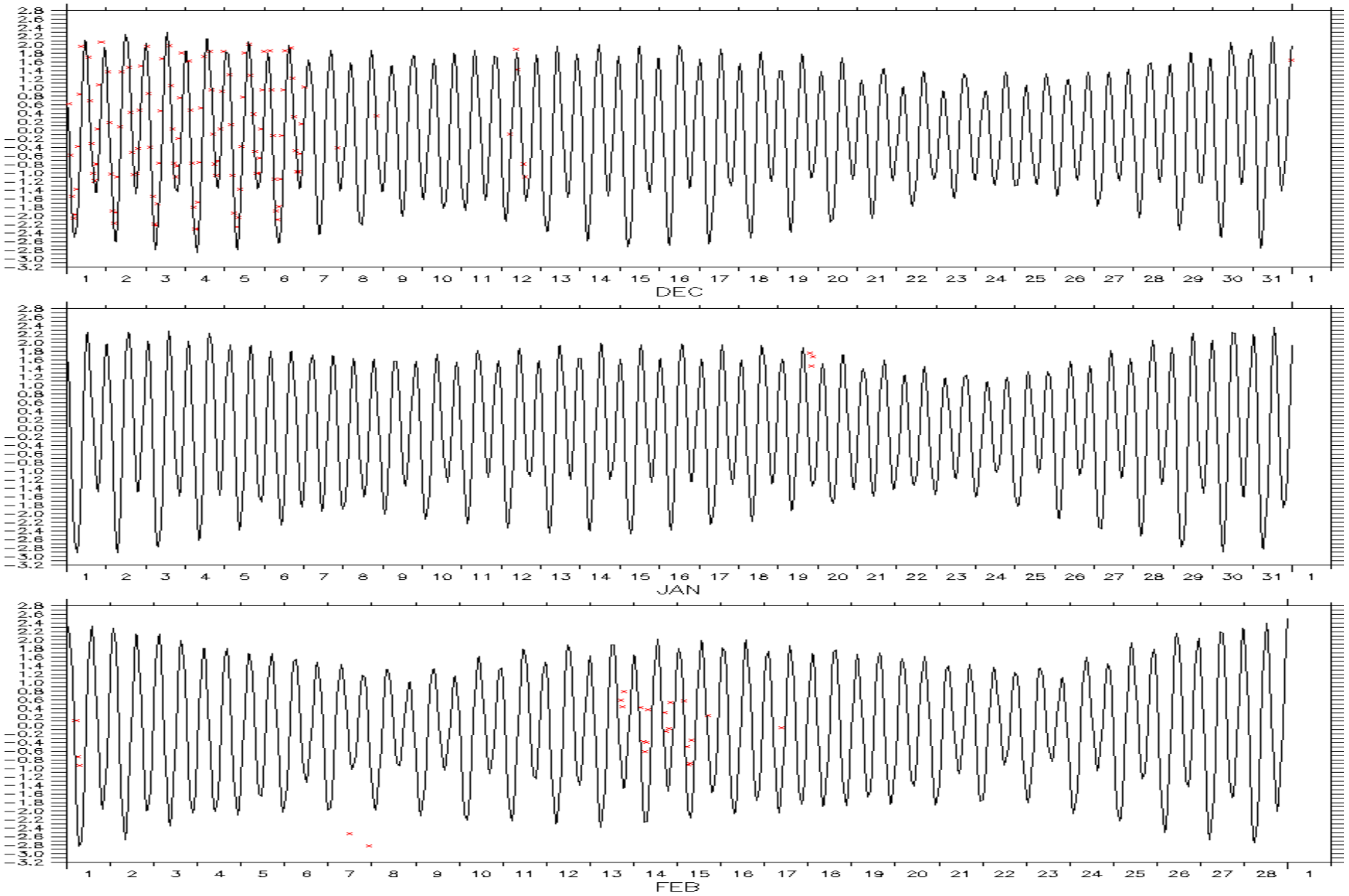


圖 A.1.5 台中港 2005 年 12 月至 2006 年 2 月水位比對結果

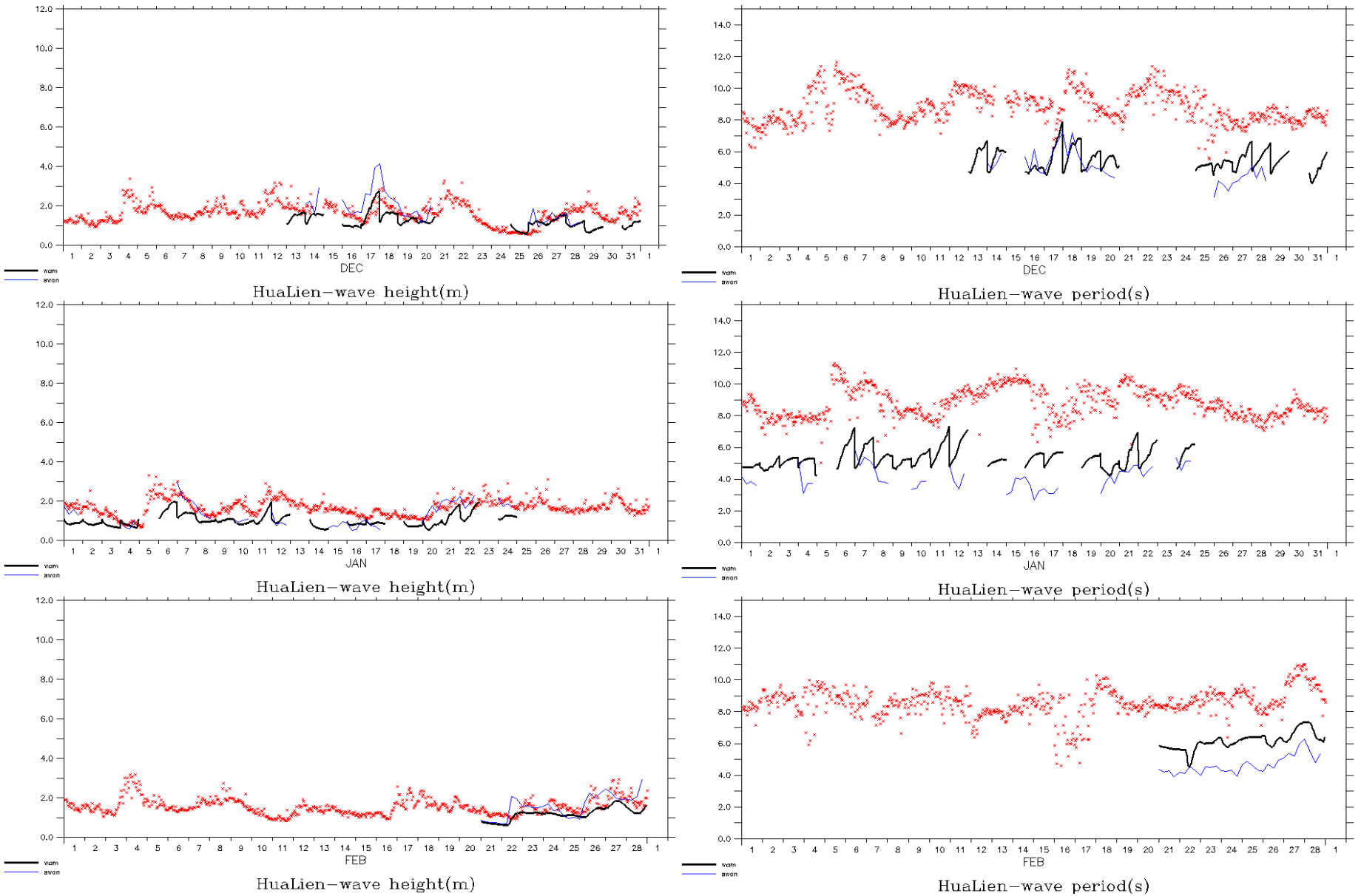


圖 A.1.6 花蓮港 2005 年 12 月至 2006 年 2 月波浪模式波高及週期比對圖（粗黑線：WAM，細藍線：SWAN）

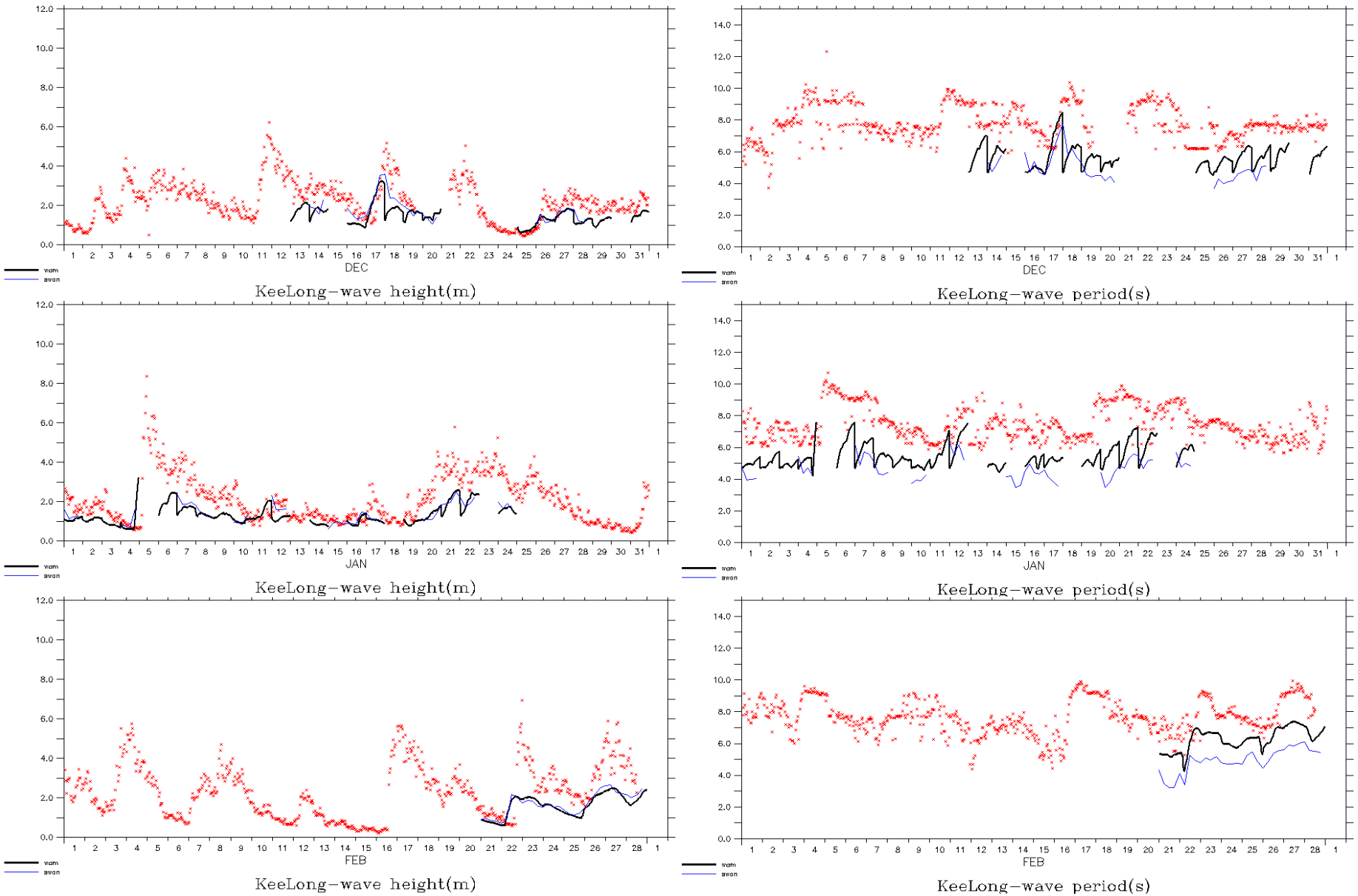


圖 A.1.7 基隆港 2005 年 12 月至 2006 年 2 月波浪模式波高及週期比對圖（粗黑線：WAM，細藍線：SWAN）

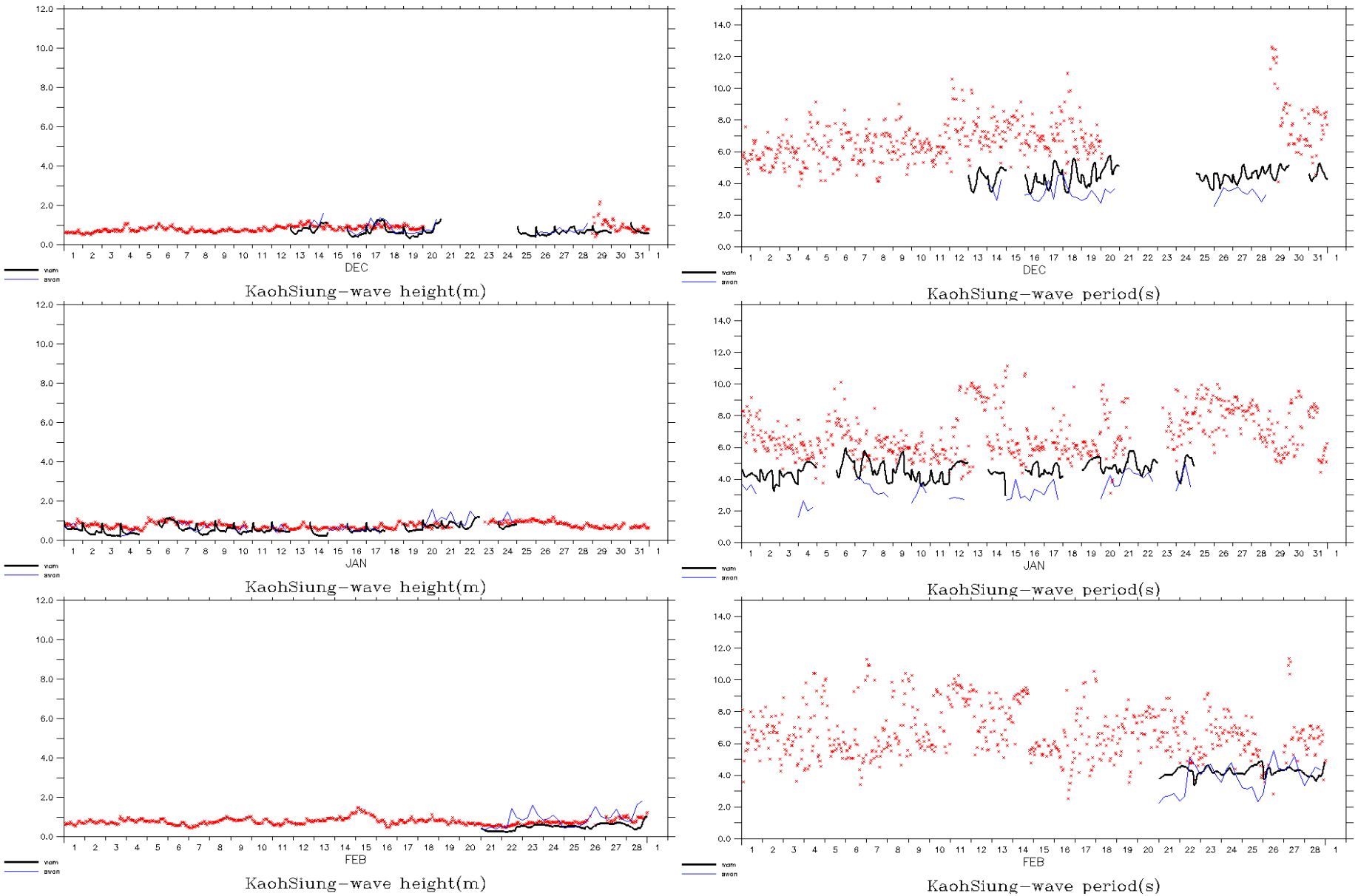


圖 A.1.8 高雄港 2005 年 12 月至 2006 年 2 月波浪模式波高及週期比對圖（粗黑線：WAM，細藍線：SWAN）

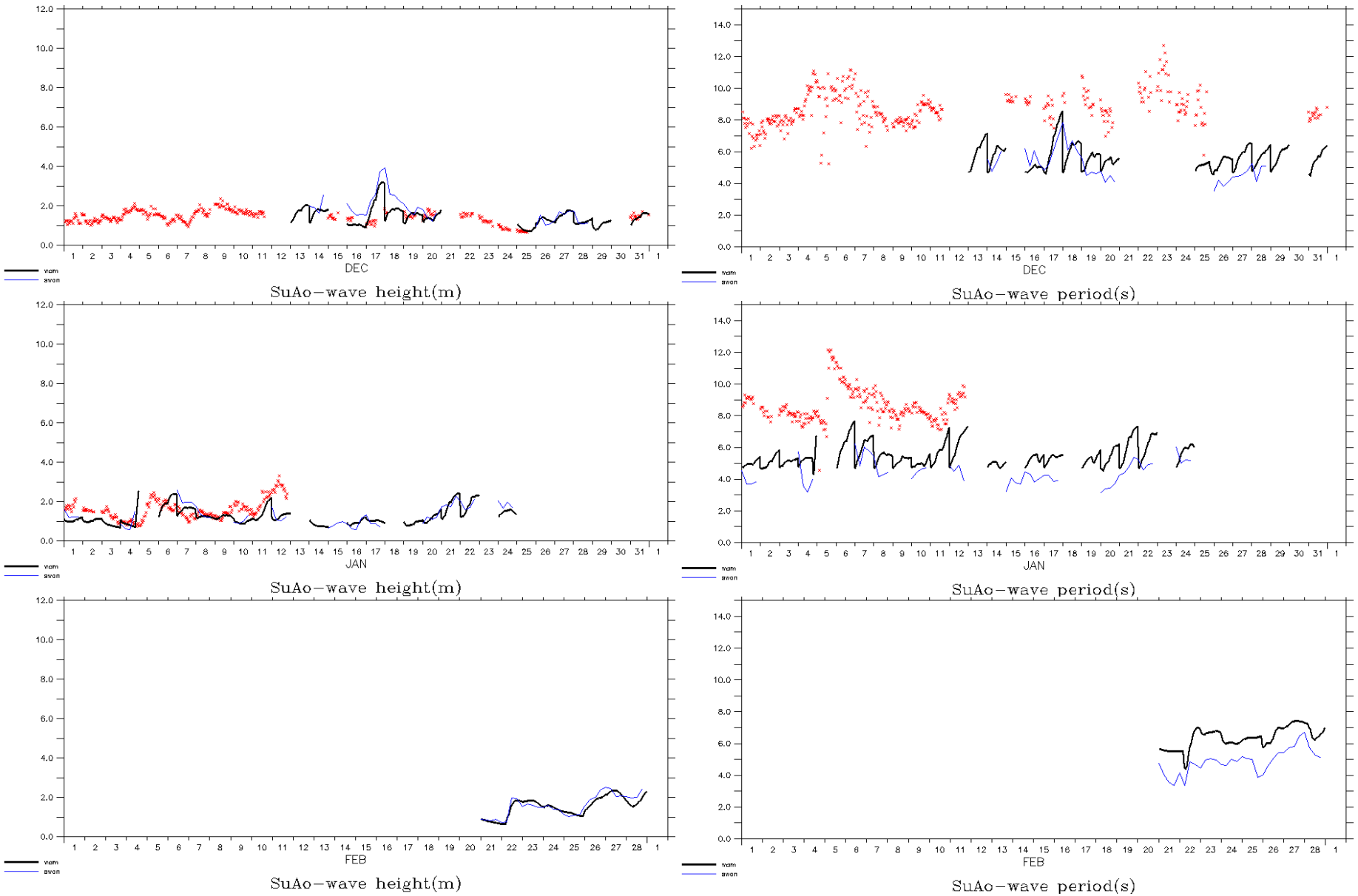


圖 A.1.9 蘇澳港 2005 年 12 月至 2006 年 2 月波浪模式波高及週期比對圖（粗黑線：WAM，細藍線：SWAN）

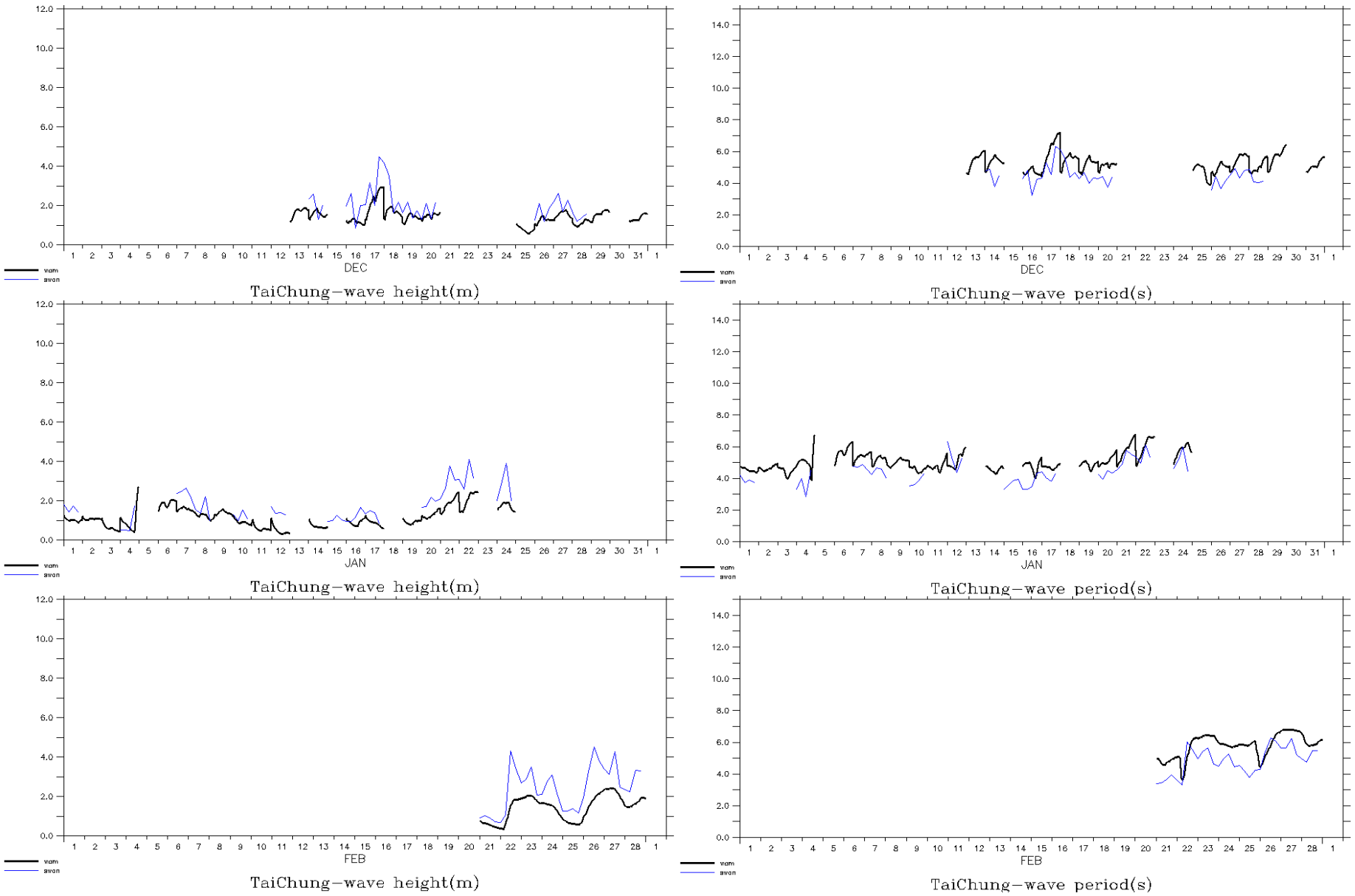
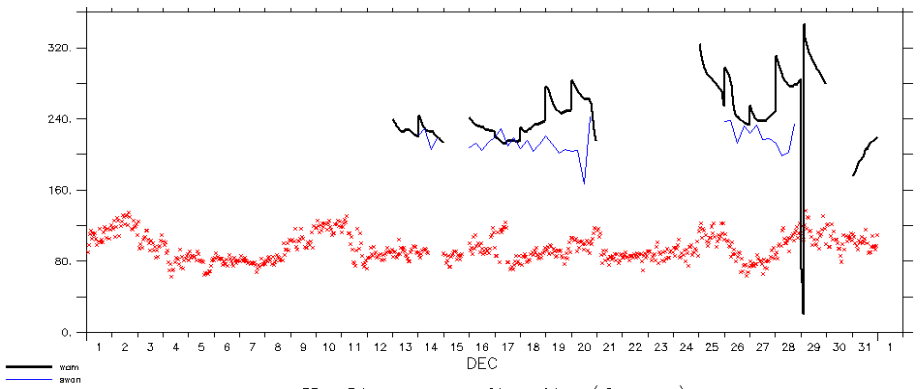
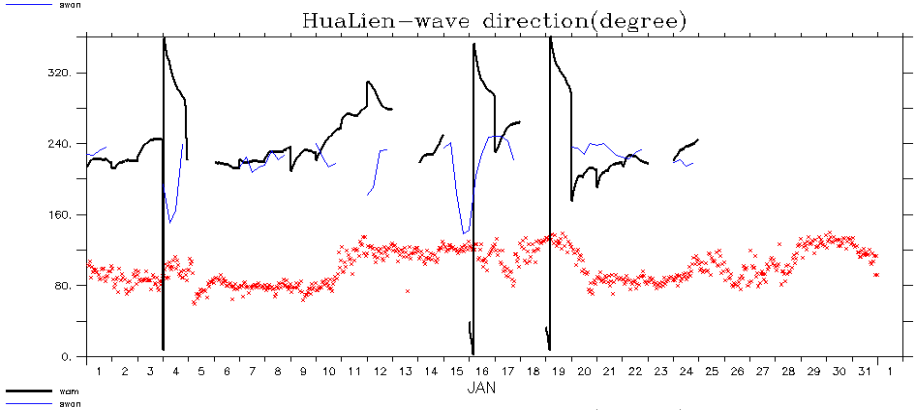


圖 A.1.10 台中港 2005 年 12 月至 2006 年 2 月波浪模式波高及週期比對圖（粗黑線：WAM，細藍線：SWAN）





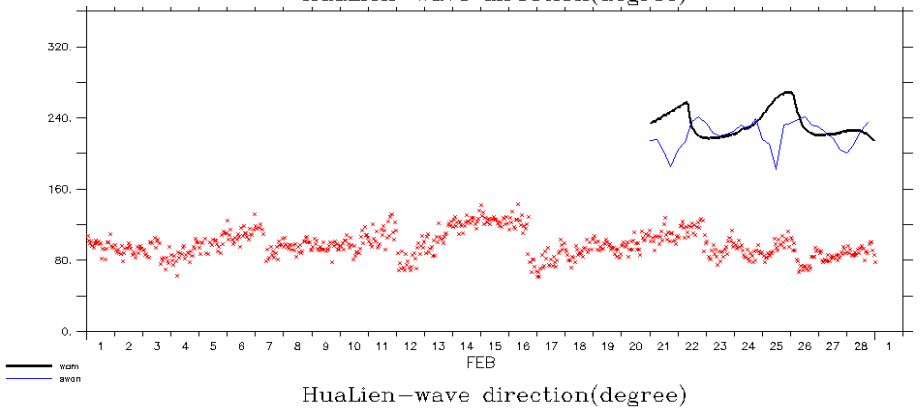
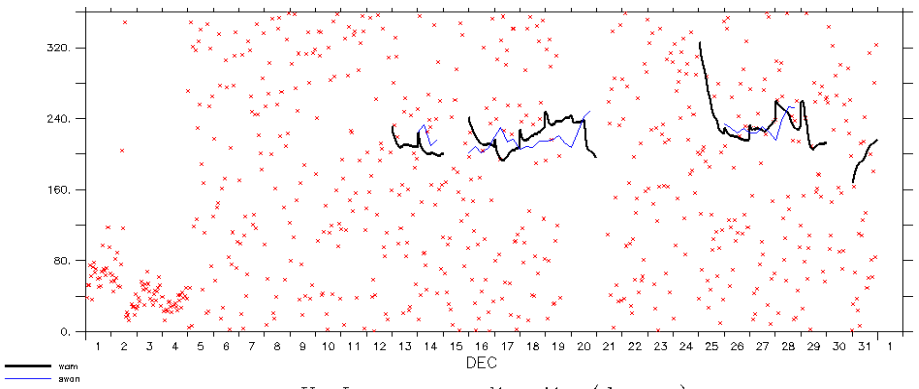
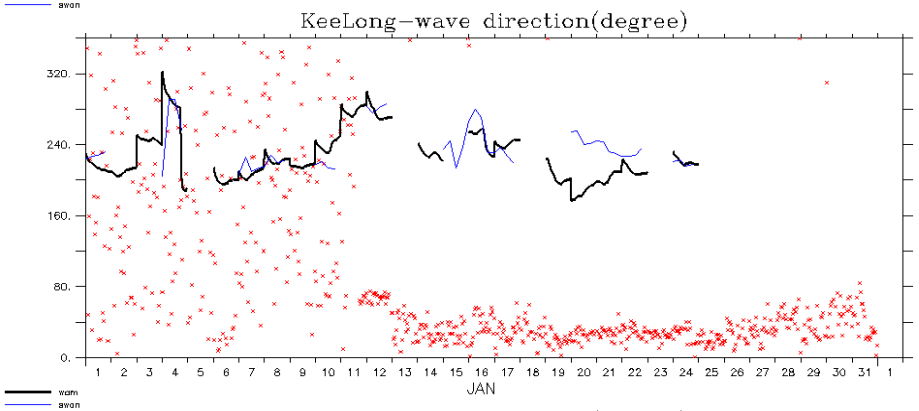


圖 A.1.11 花蓮港 2005 年 12 月至 2006 年 2 月波浪模式波向比對圖





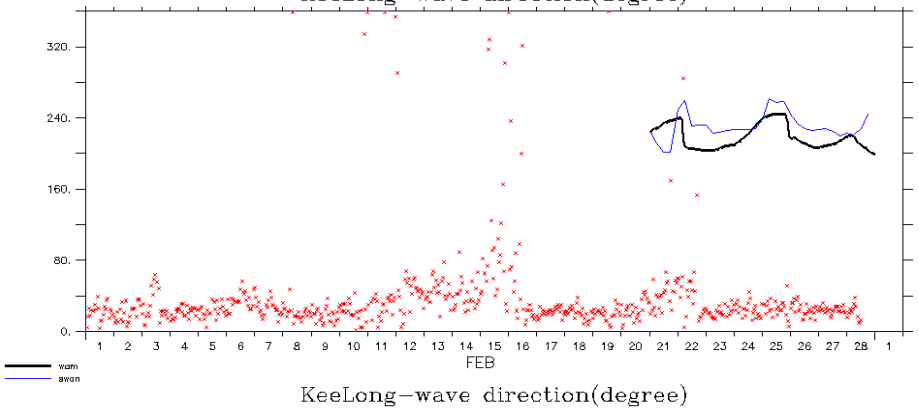


圖 A.1.12 基隆港 2005 年 12 月至 2006 年 2 月波浪模式波向比對圖

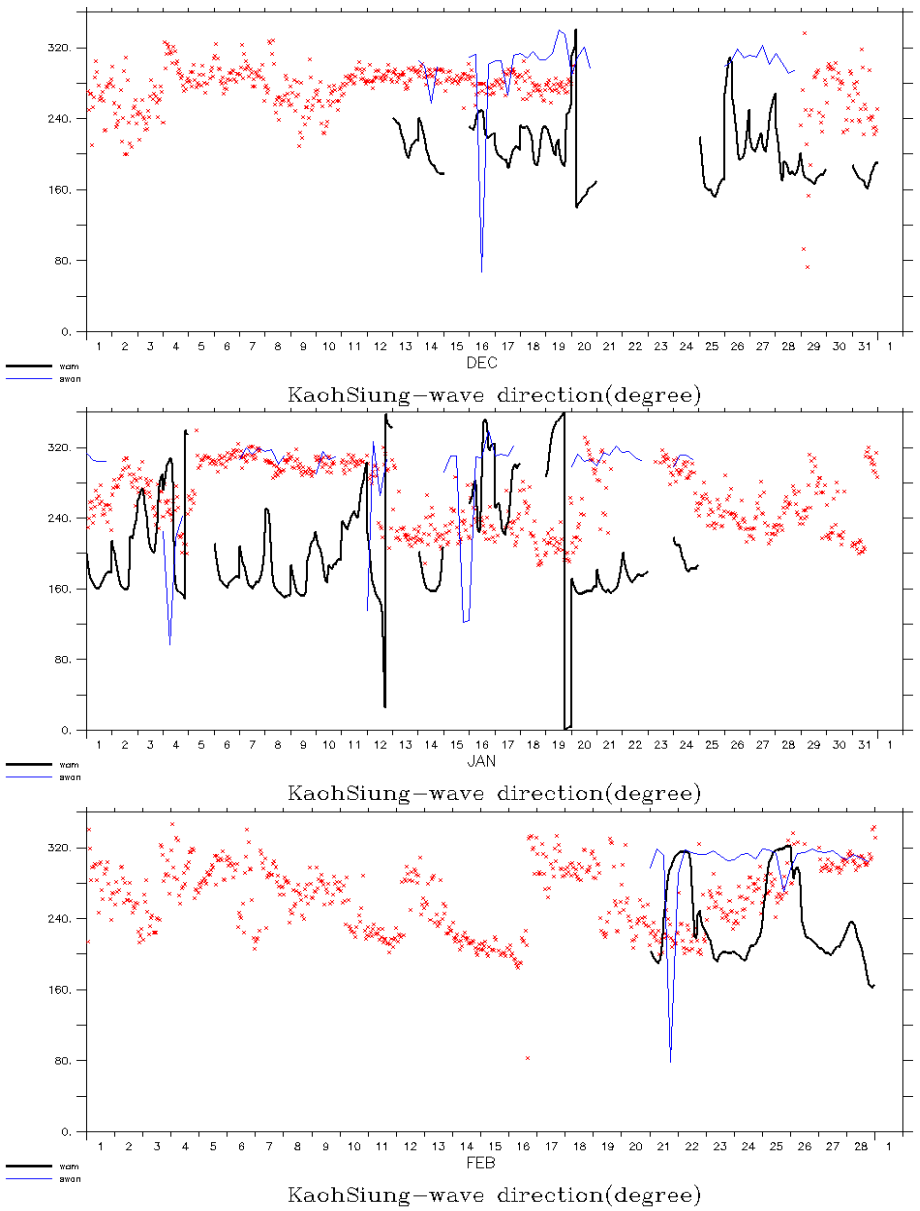


圖 A.1.13 高雄港 2005 年 12 月至 2006 年 1 月波浪模式波向比對圖

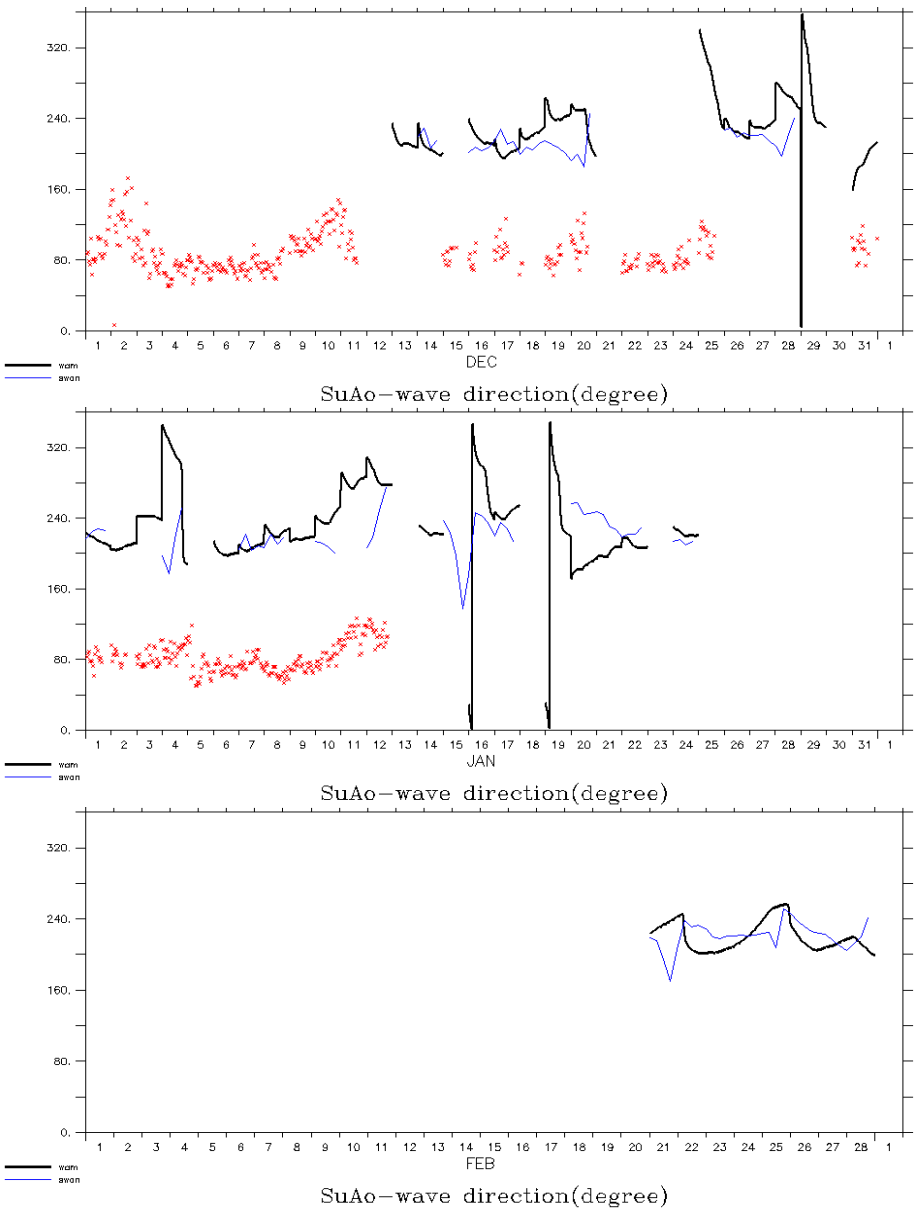


圖 A.1.14 蘇澳港 2005 年 12 月至 2006 年 2 月波浪模式波向比對圖

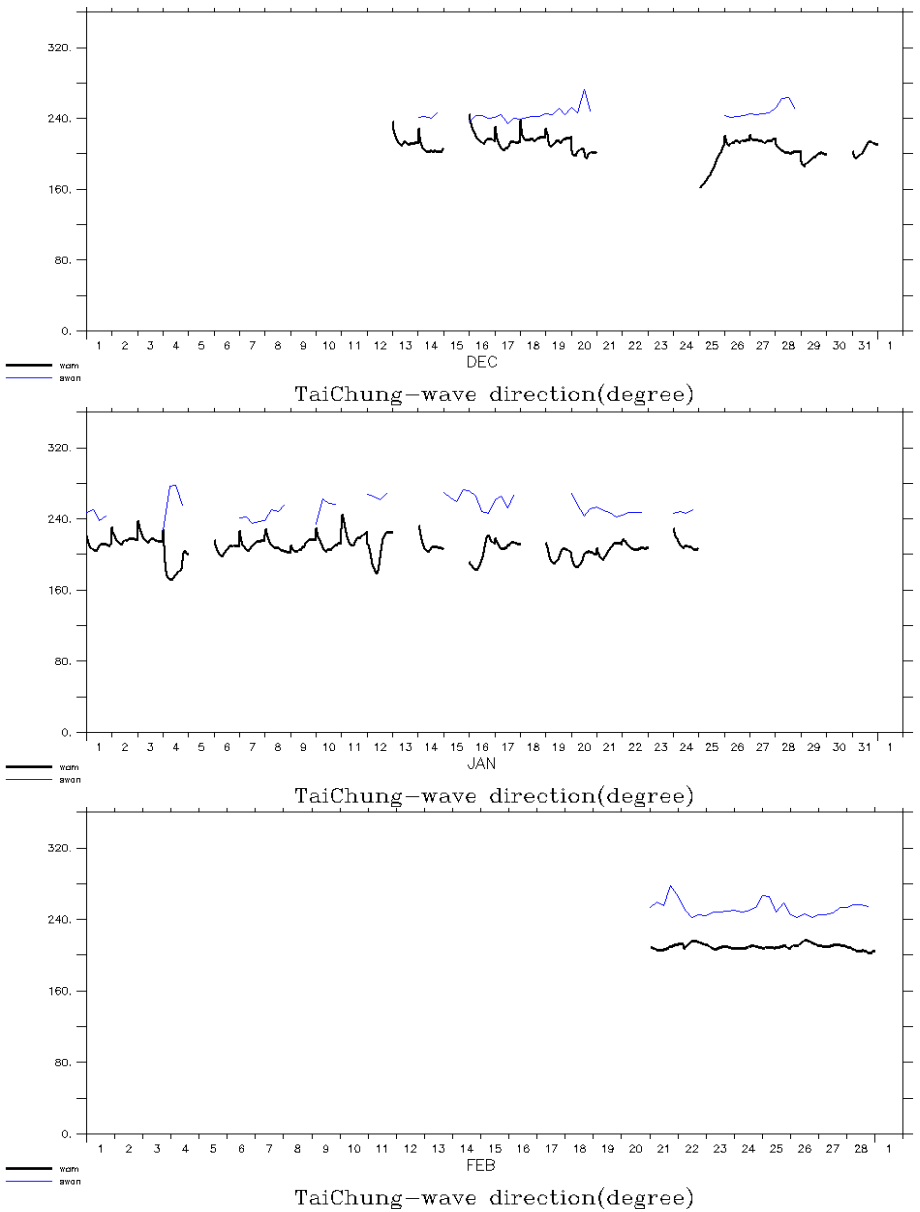


圖 A.1.15 台中港 2005 年 12 月至 2006 年 3 月波浪模式波向比對圖

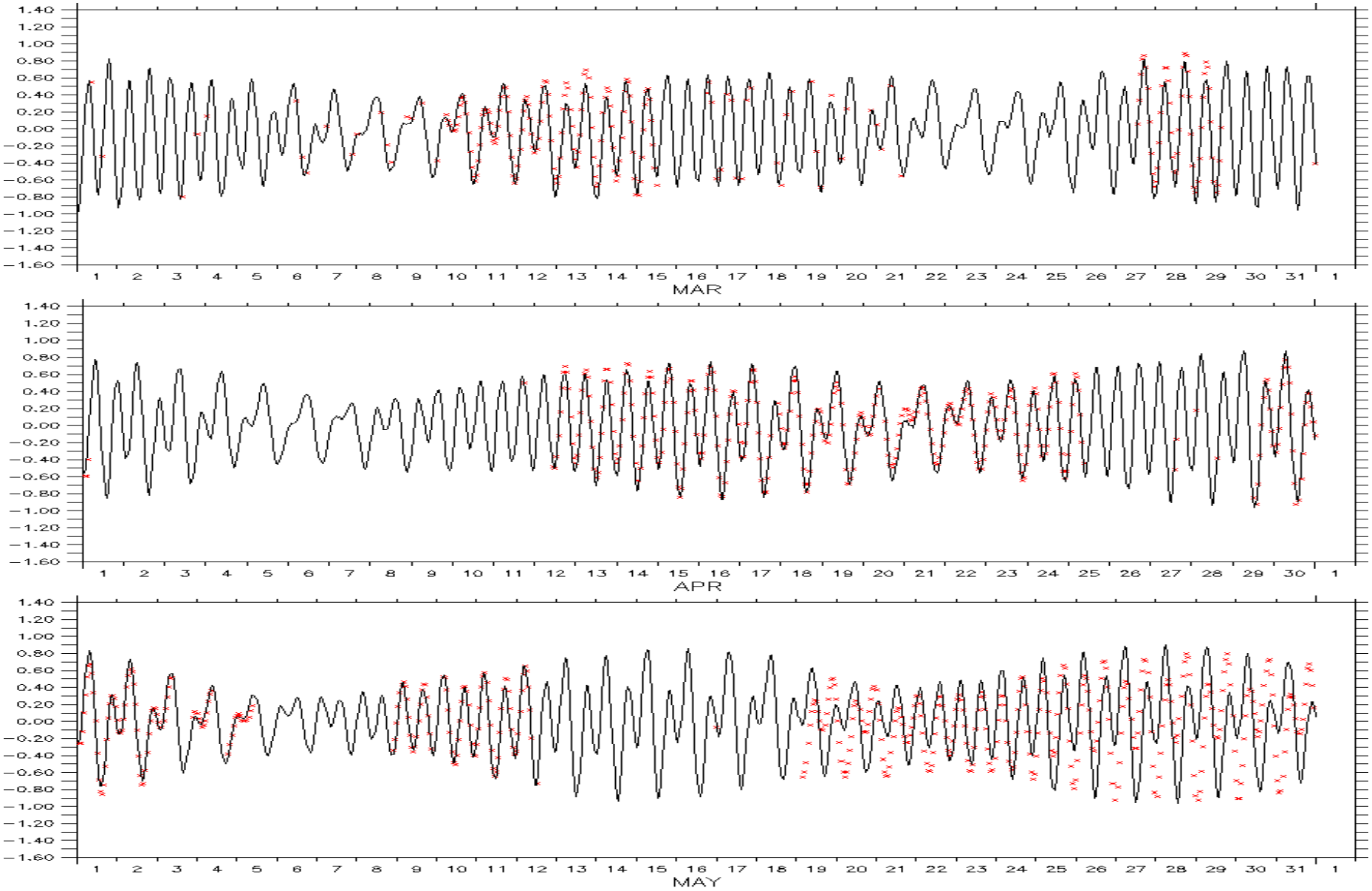


圖 A.2.1 花蓮港 2006 年 3 月至 5 月水位比對結果

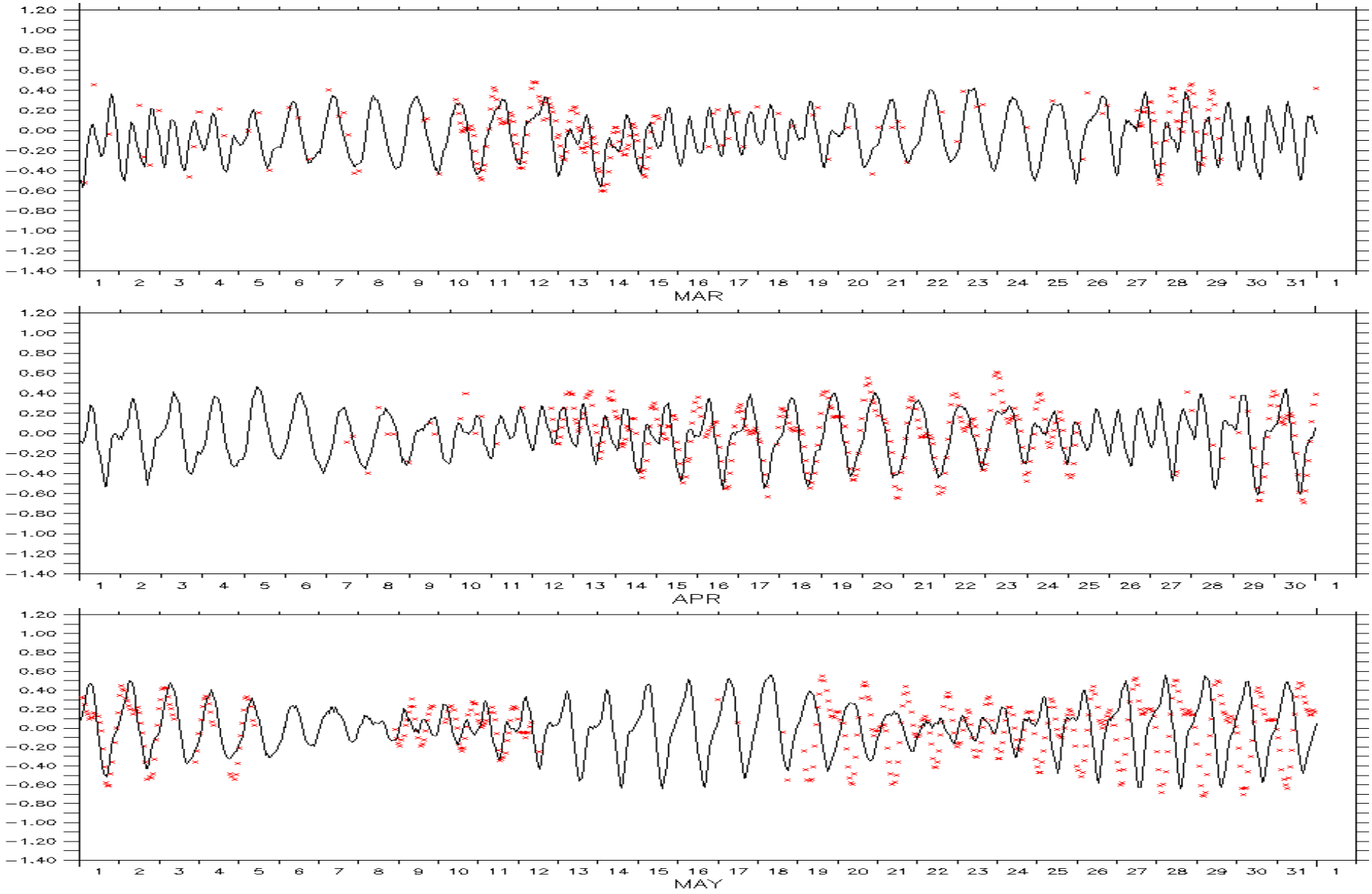


圖 A.2.2 基隆港 2006 年 3 月至 5 月水位比對結果

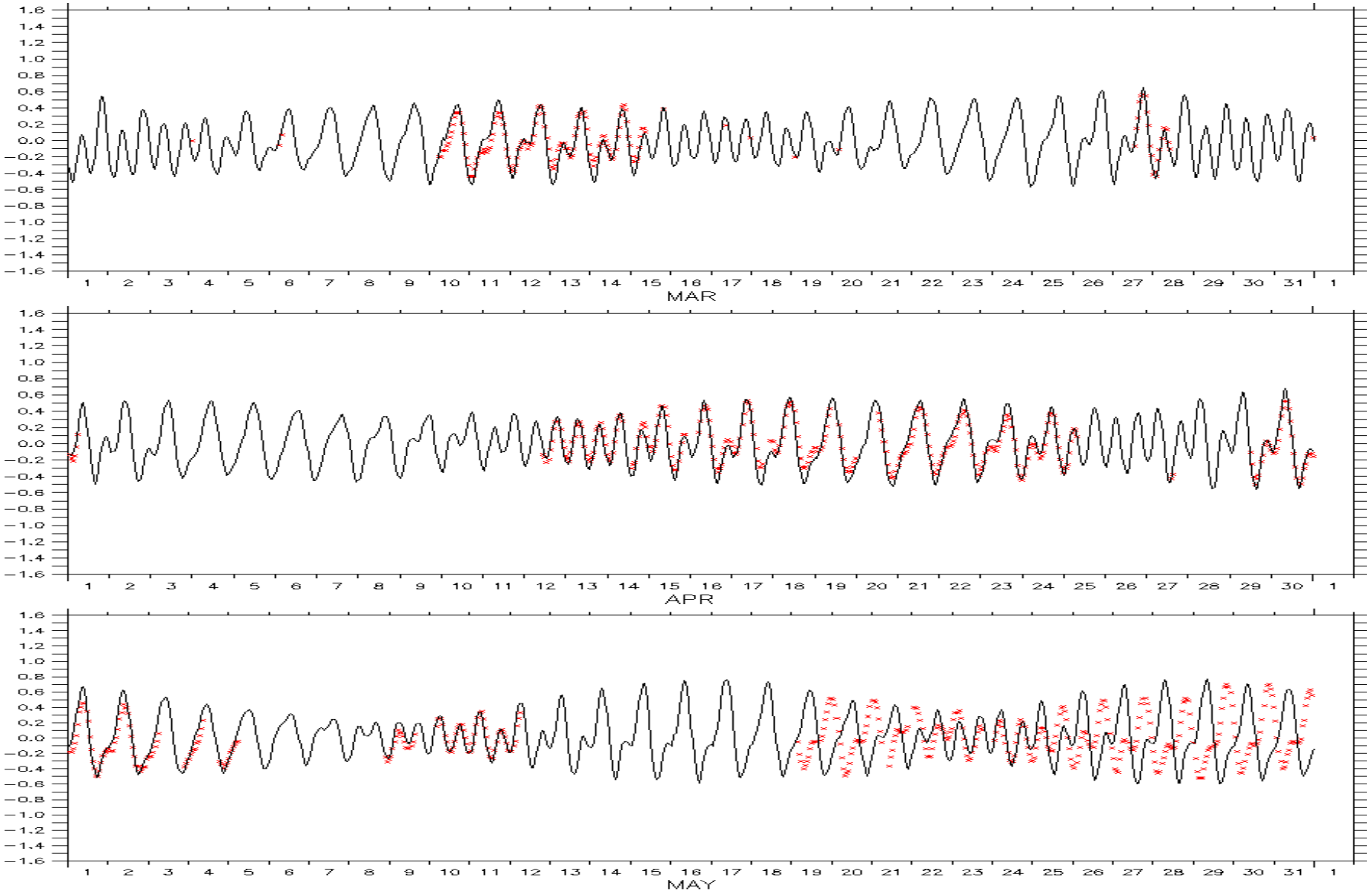


圖 A.2.3 高雄港 2006 年 3 月至 5 月水位比對結果

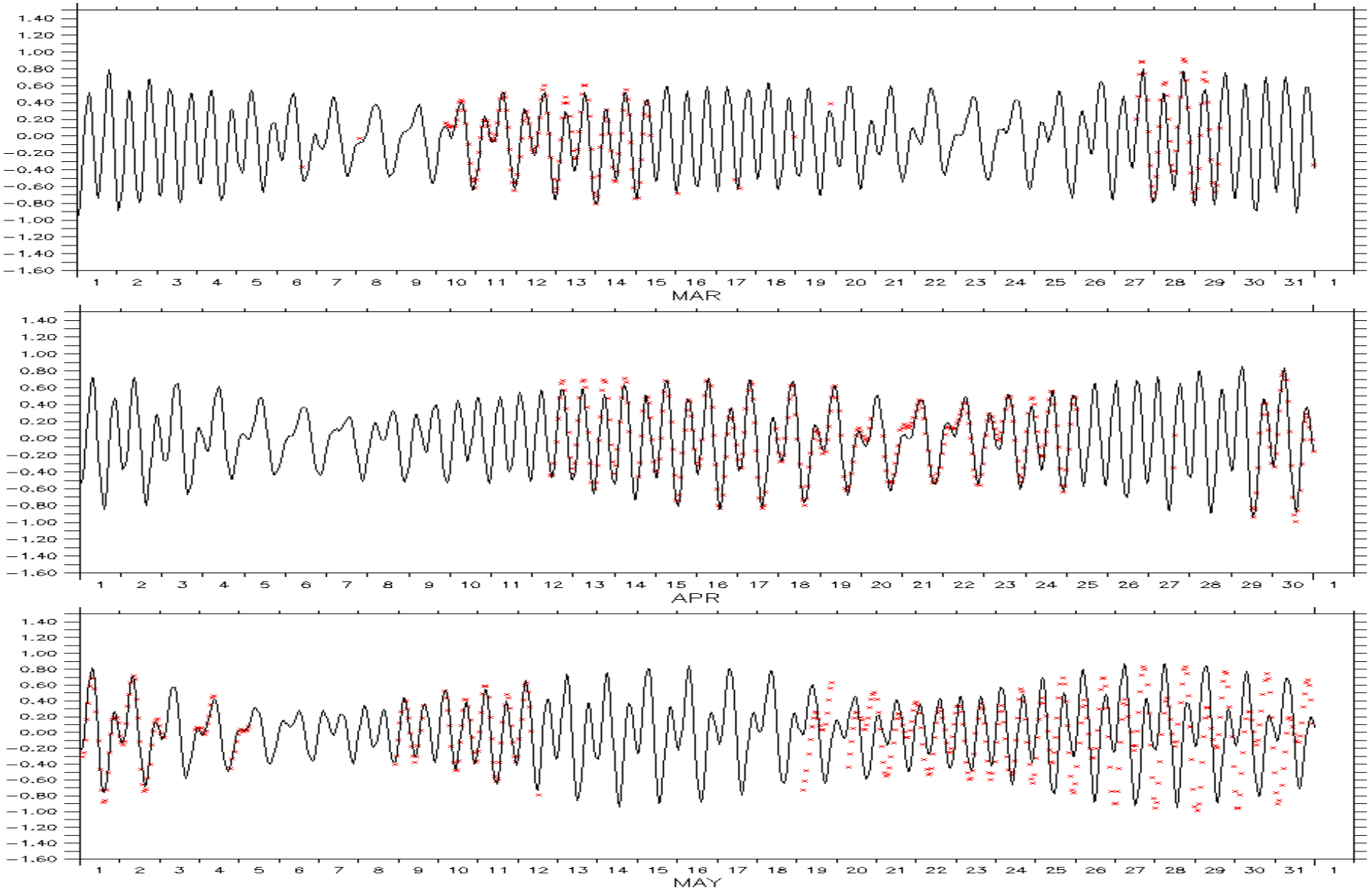


圖 A.2.4 蘇澳港 2006 年 3 月至 5 月水位比對結果

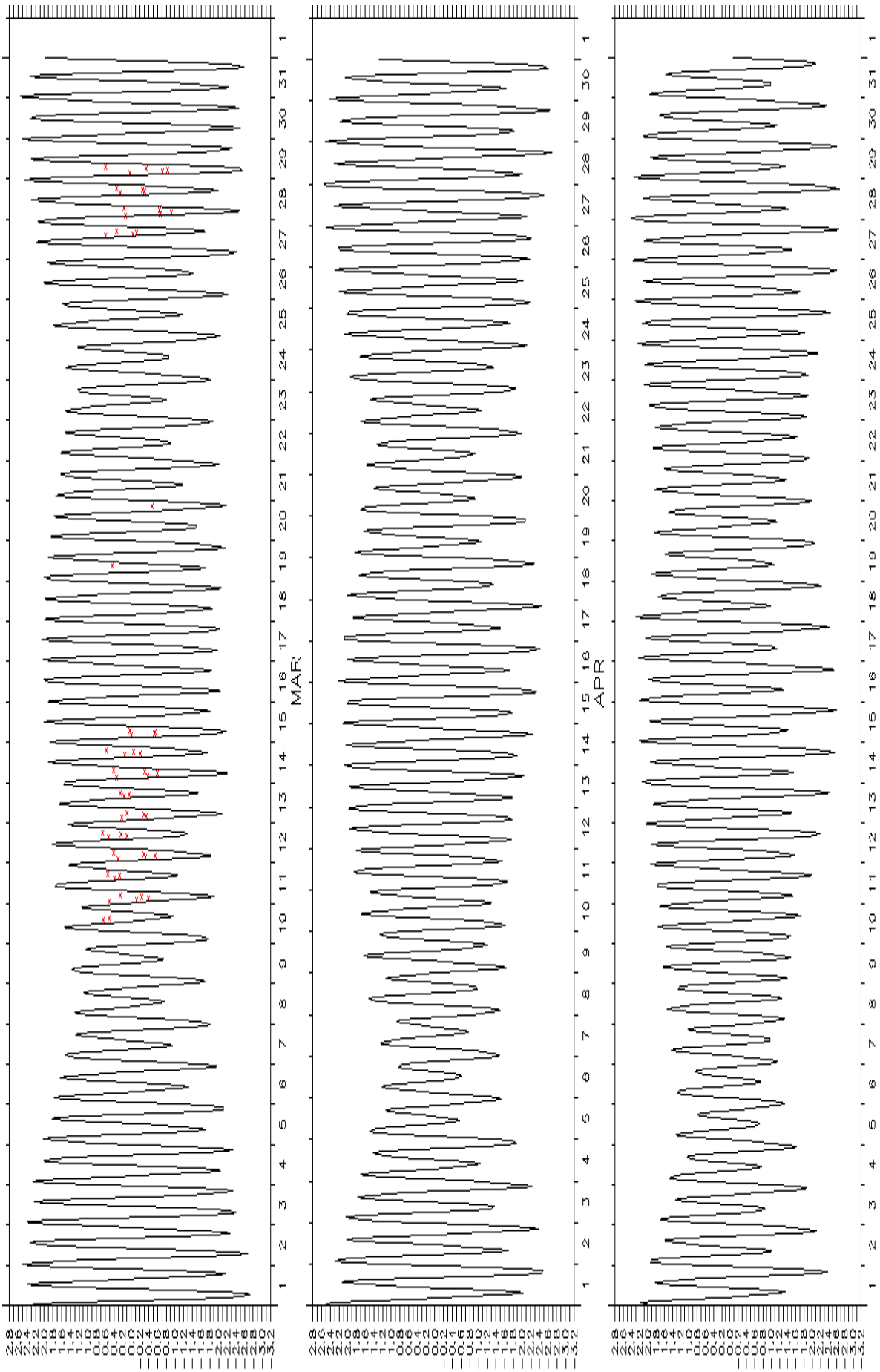


圖 A.2.5 台中港 2006 年 3 月至 5 月水位比對結果

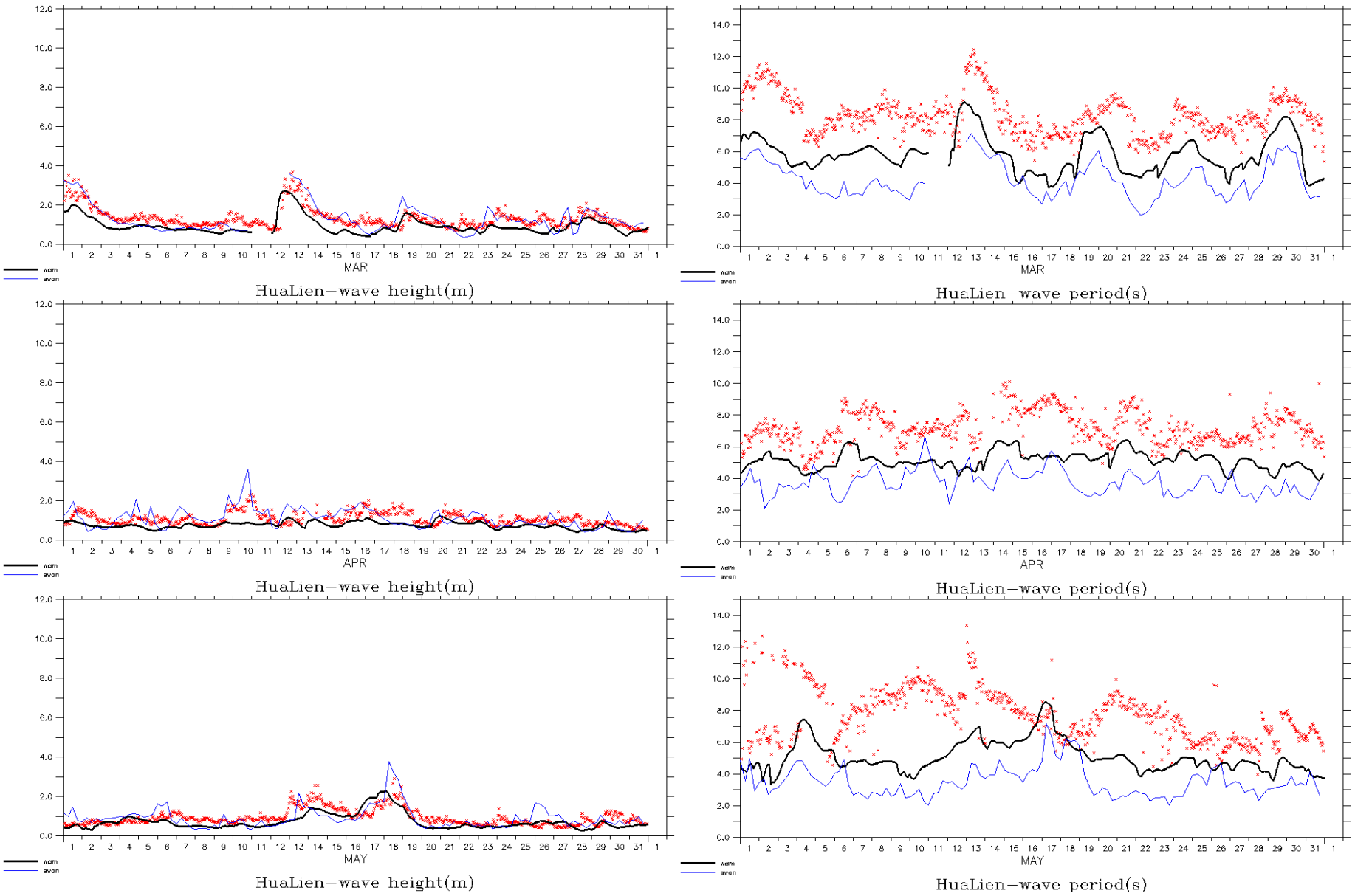


圖 A.2.6 花蓮港 2006 年 3 月至 5 月波浪模式波高及週期比對圖

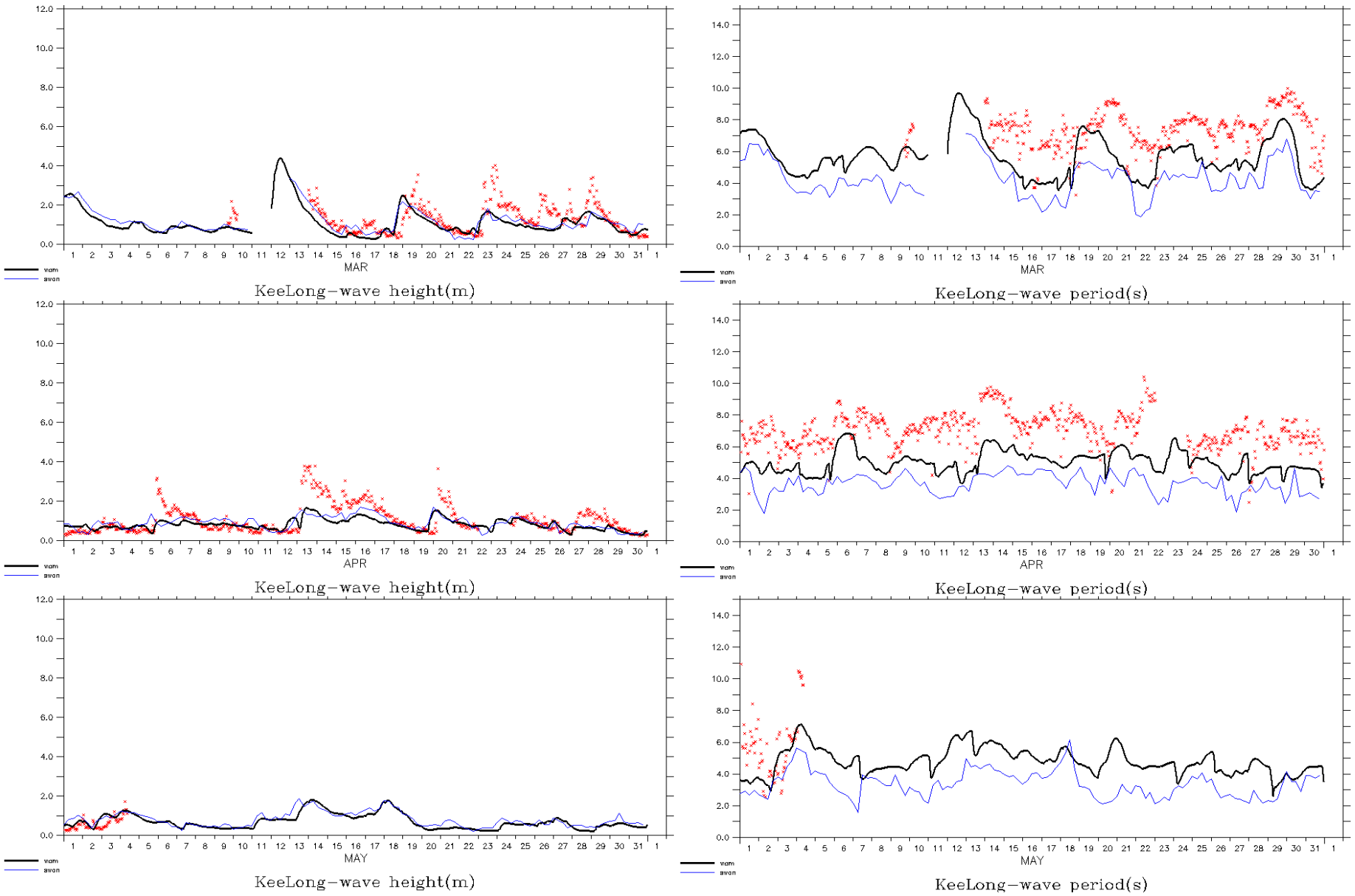


圖 A.2.7 基隆港 2006 年 3 月至 5 月波浪模式波高及週期比對圖

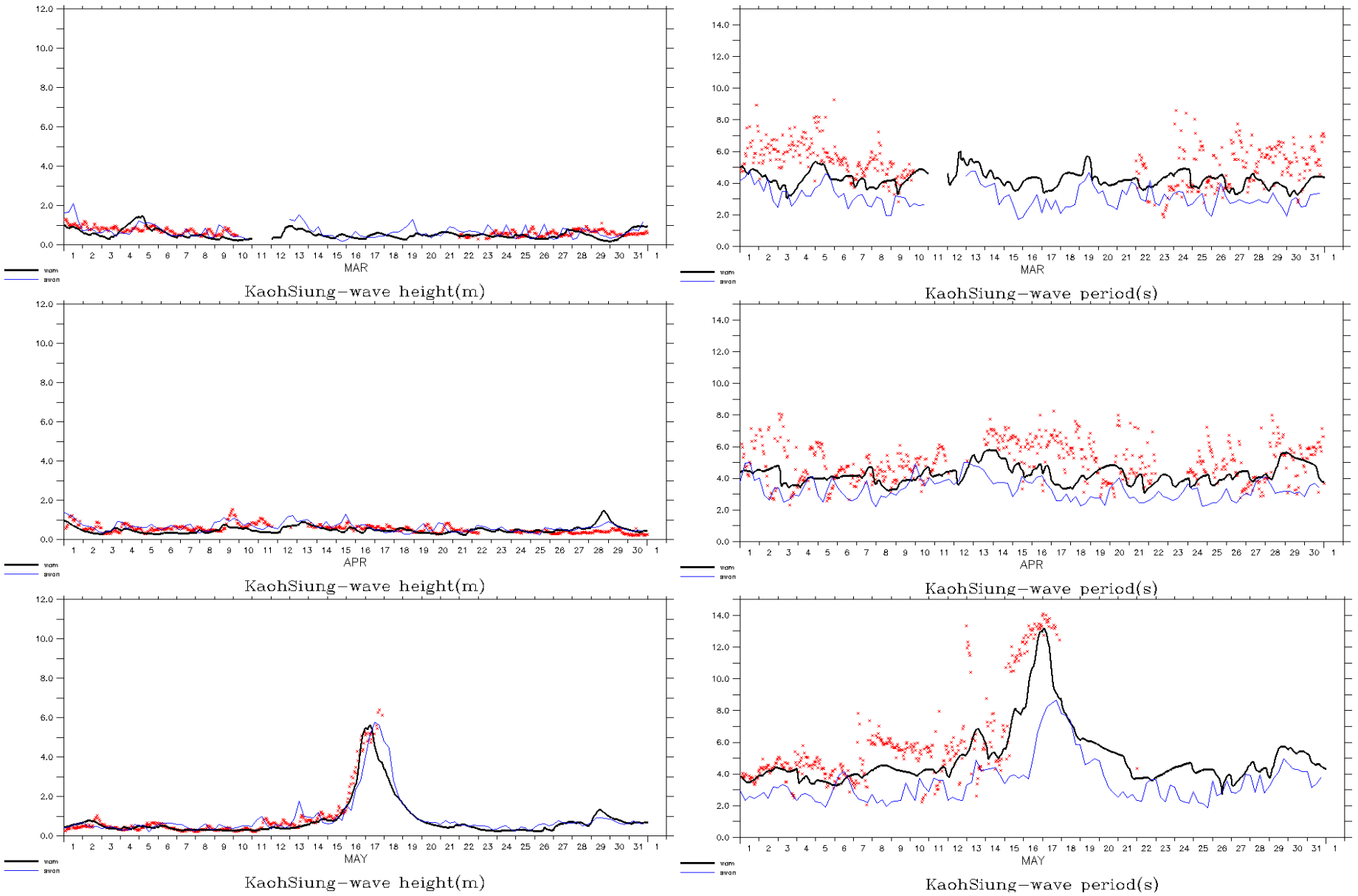


圖 A.2.8 高雄港 2006 年 3 月至 5 月波浪模式波高及週期比對圖

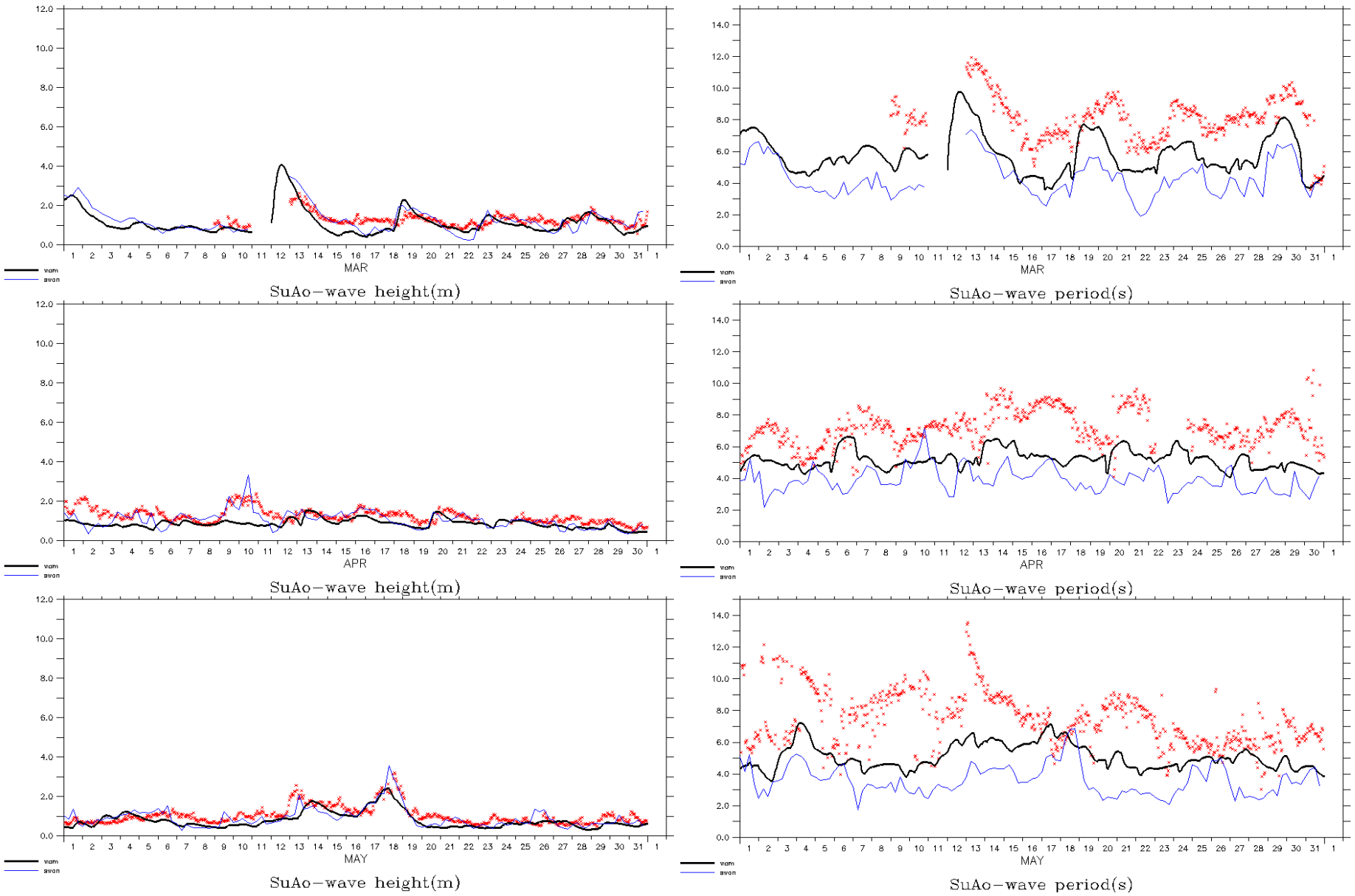


圖 A.2.9 蘇澳港 2006 年 3 月至 5 月波浪模式波高及週期比對圖

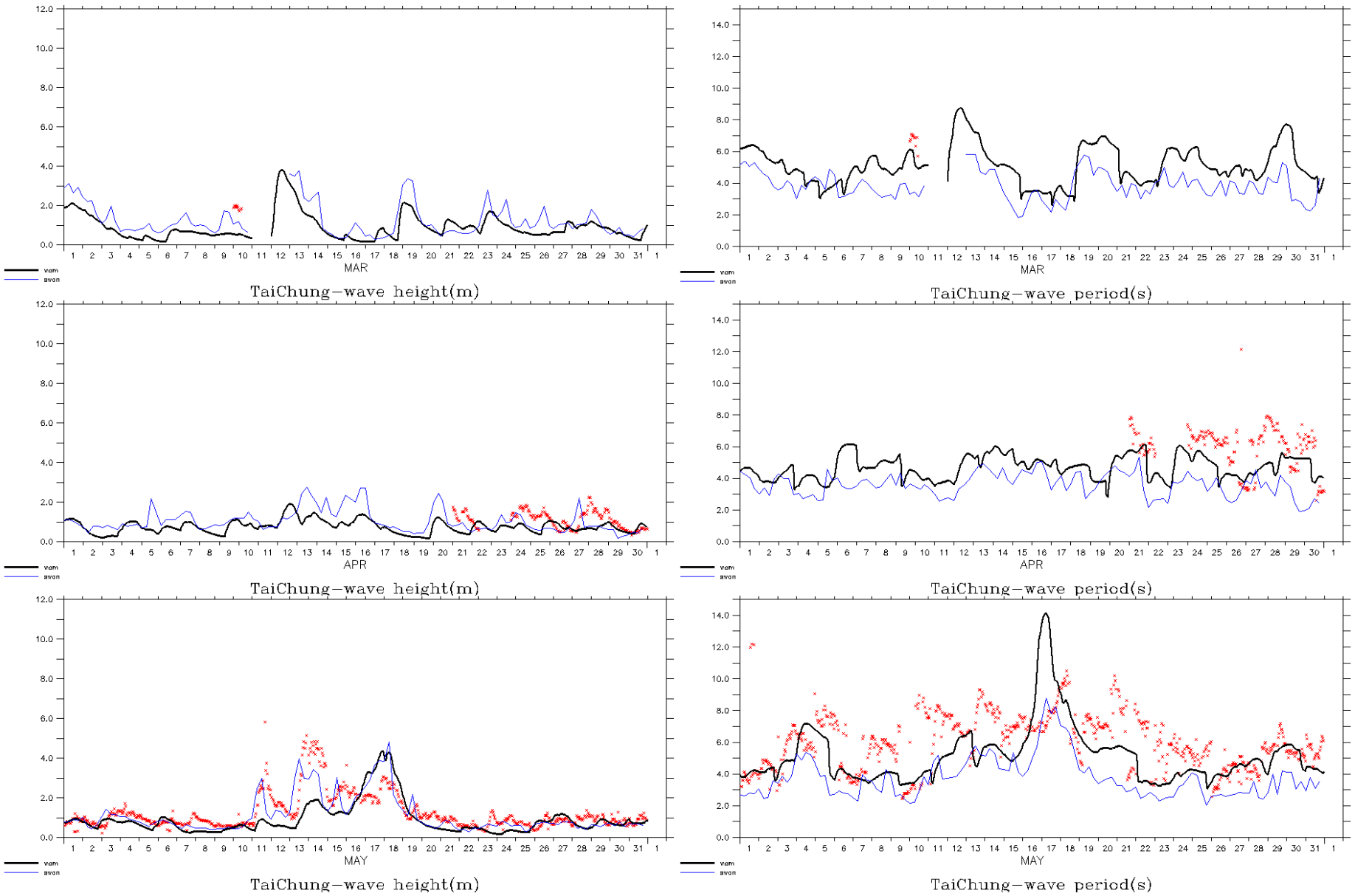


圖 A.2.10 台中港 2006 年 3 月至 5 月波浪模式波高及週期比對圖

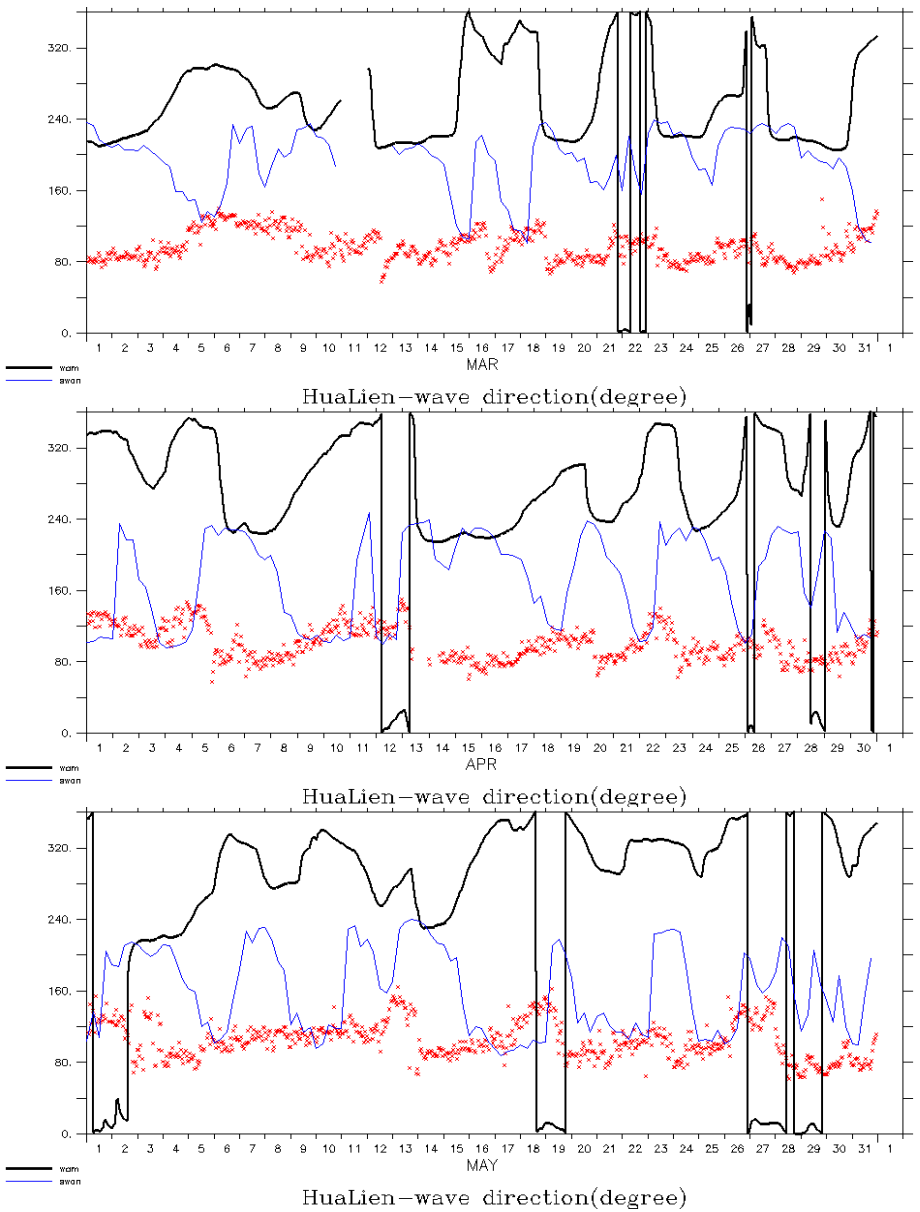


圖 A.2.11 花蓮港 2006 年 3 月至 5 月波浪模式波向比對圖

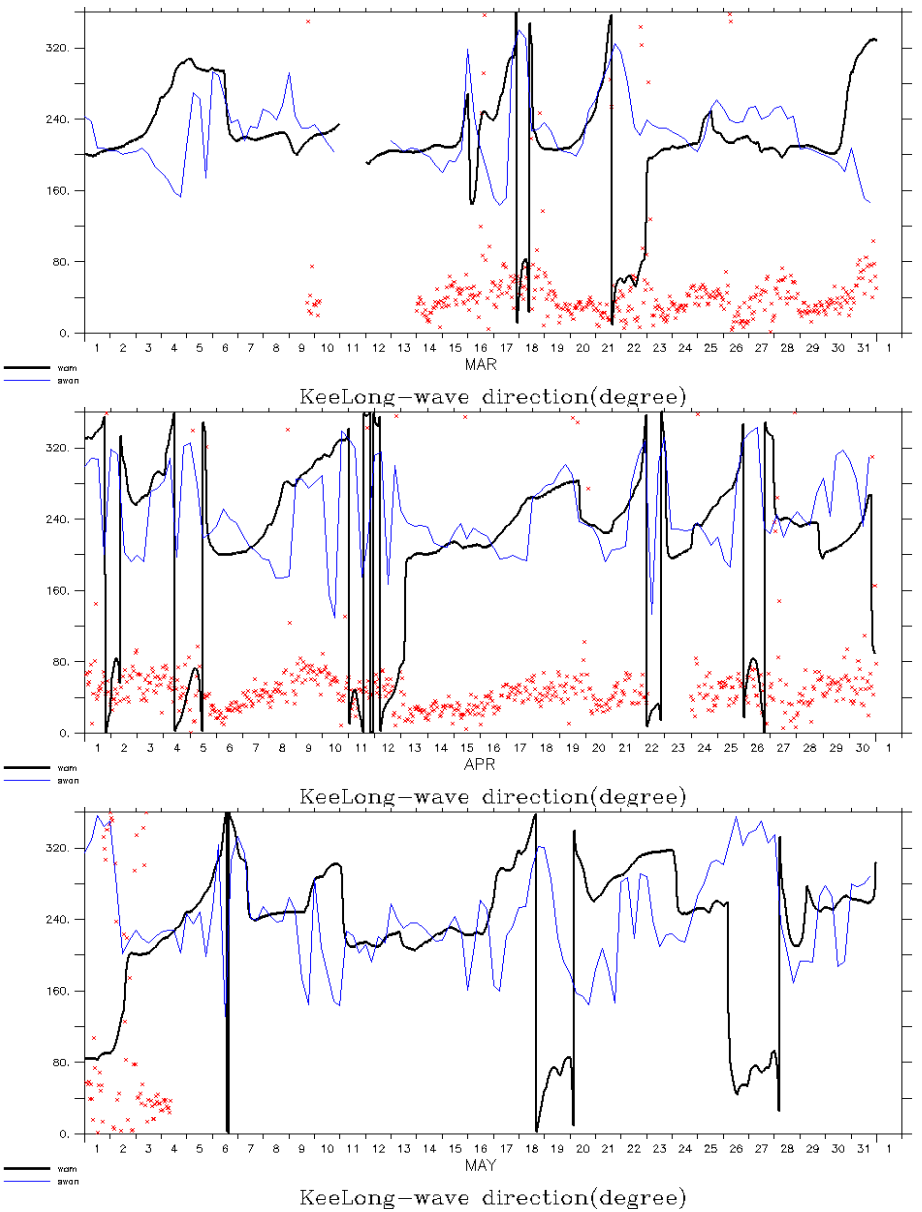


圖 A.2.12 基隆港 2006 年 3 月至 5 月波浪模式波向比對圖

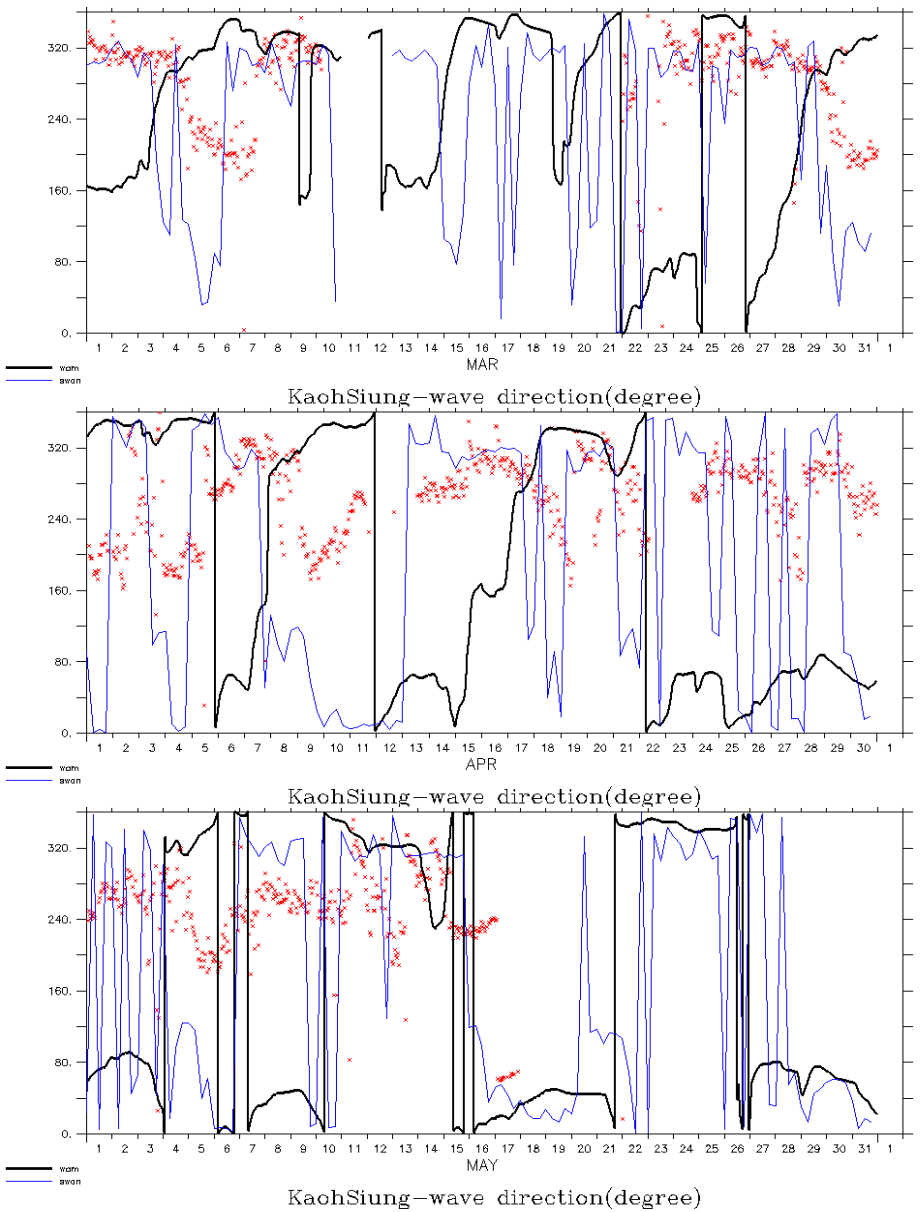


圖 A.2.13 高雄港 2006 年 3 月至 5 月波浪模式波向比對圖

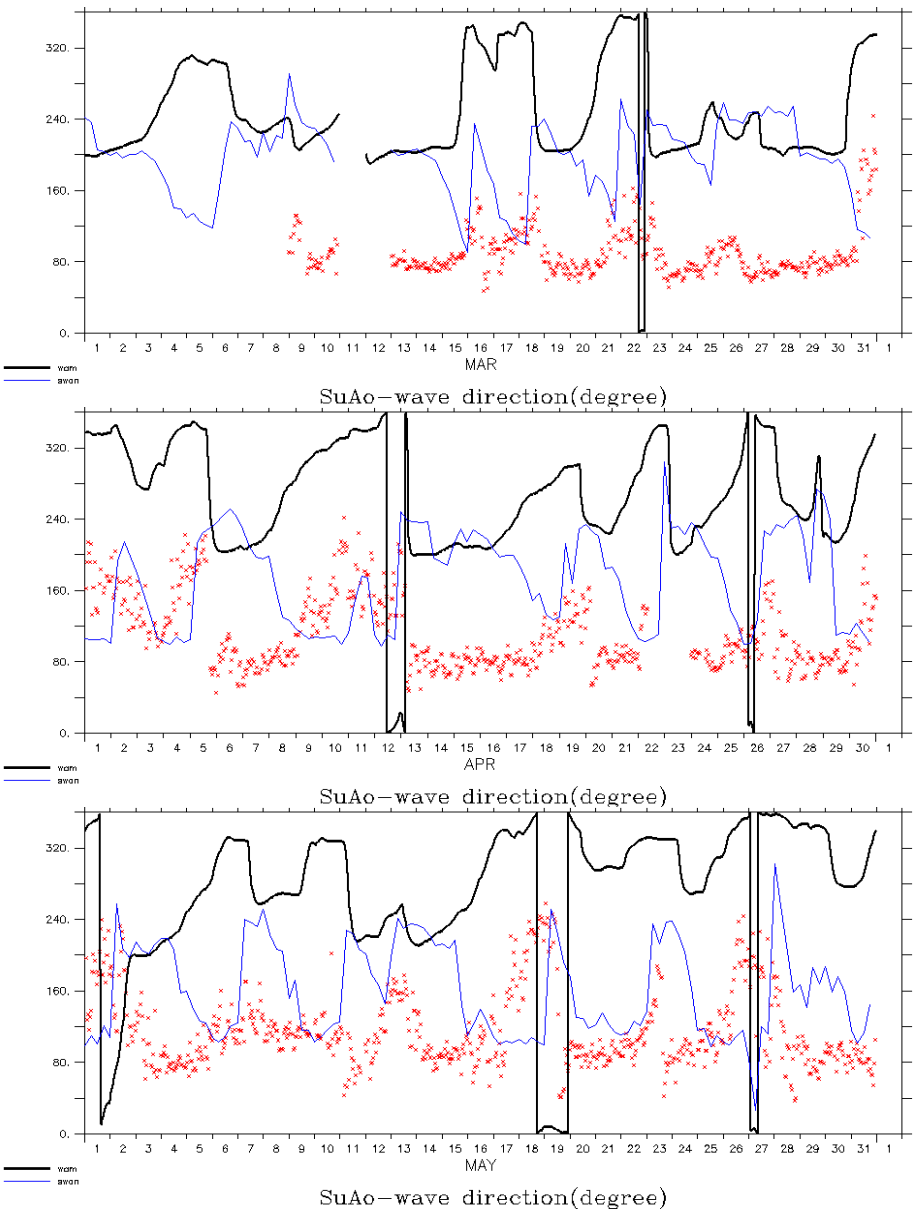


圖 A.2.14 蘇澳港 2006 年 3 月至 5 月波浪模式波向比對圖

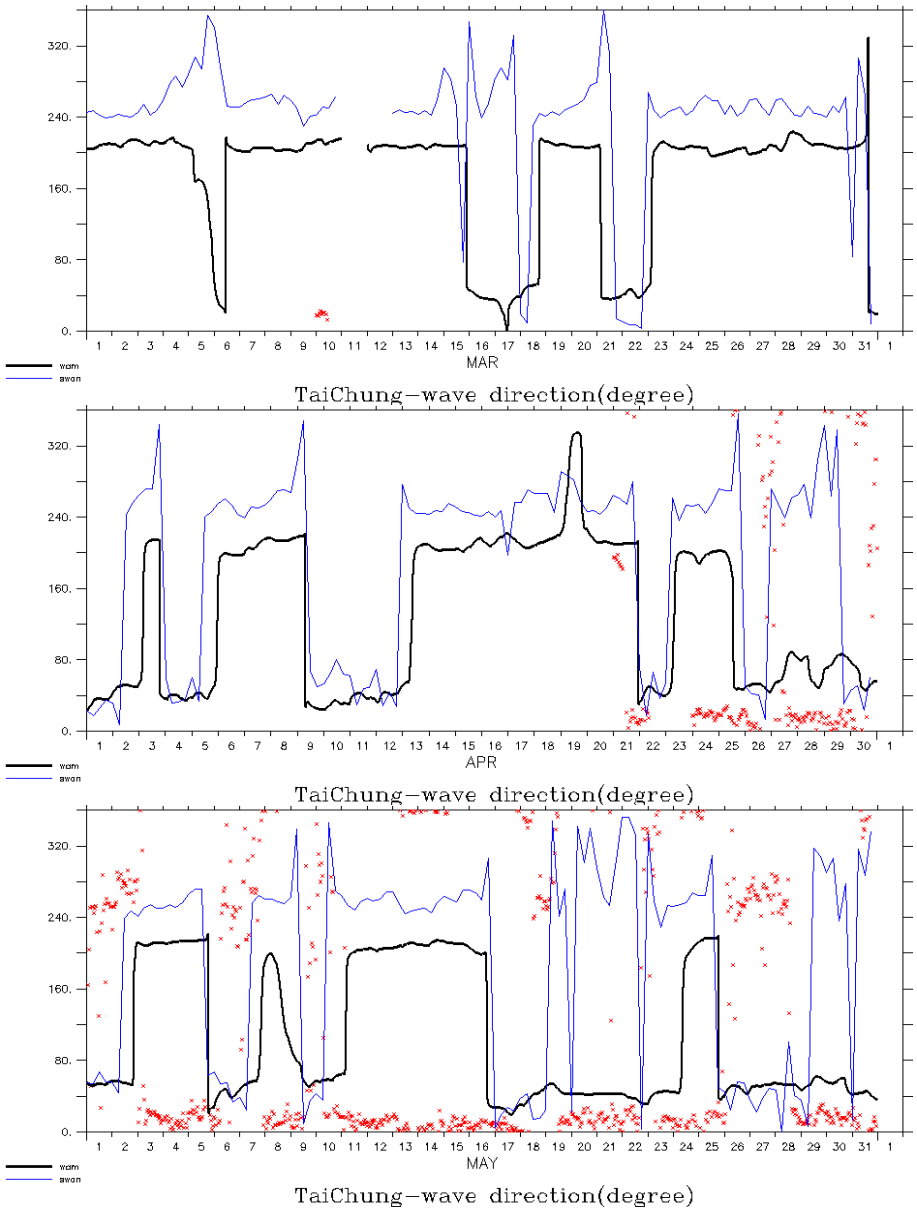


圖 A.2.15 台中港 2006 年 3 月至 2006 年 5 月波浪模式波向比對圖

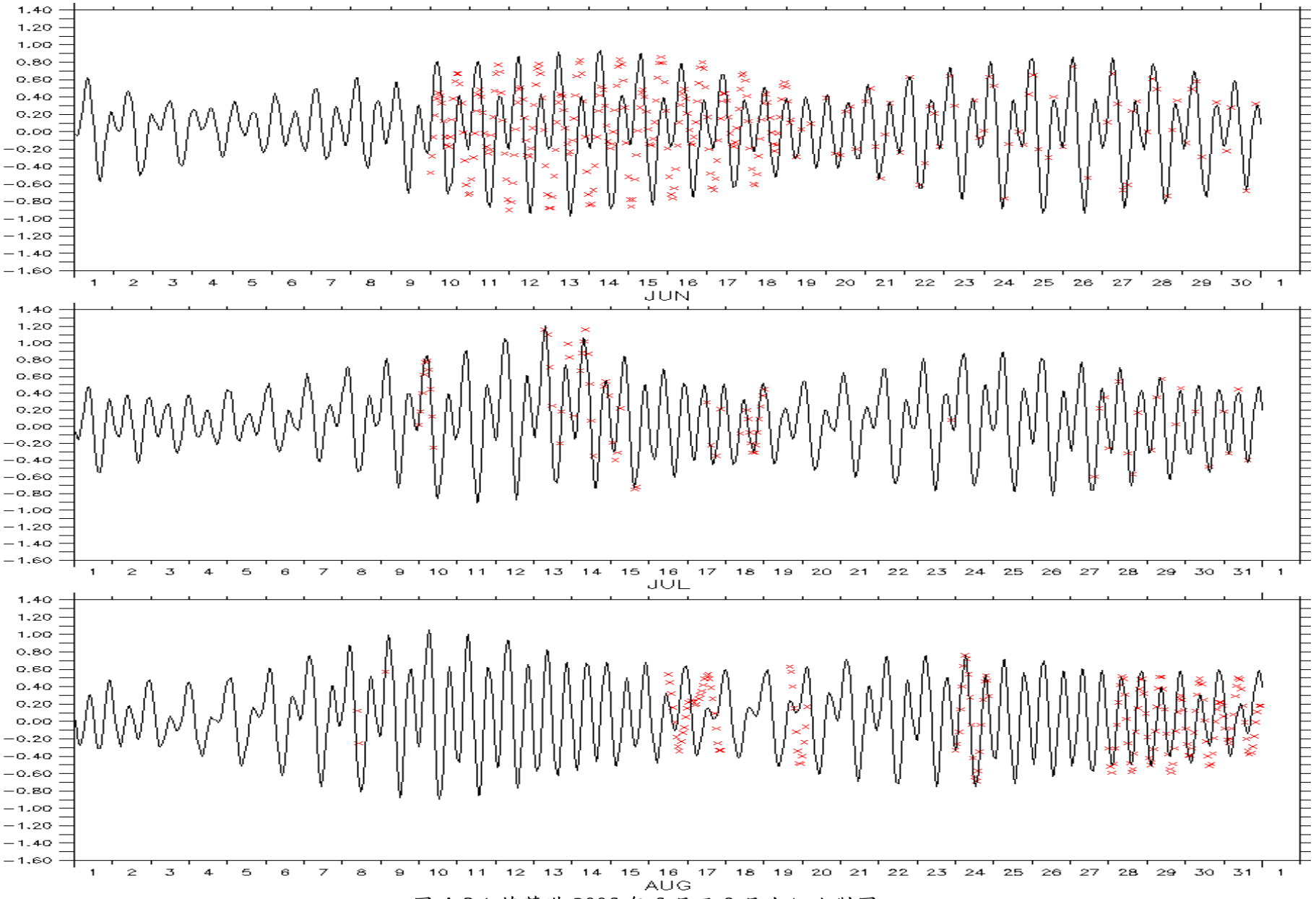


圖 A.3.1 花蓮港 2006 年 6 月至 8 月水位比對圖

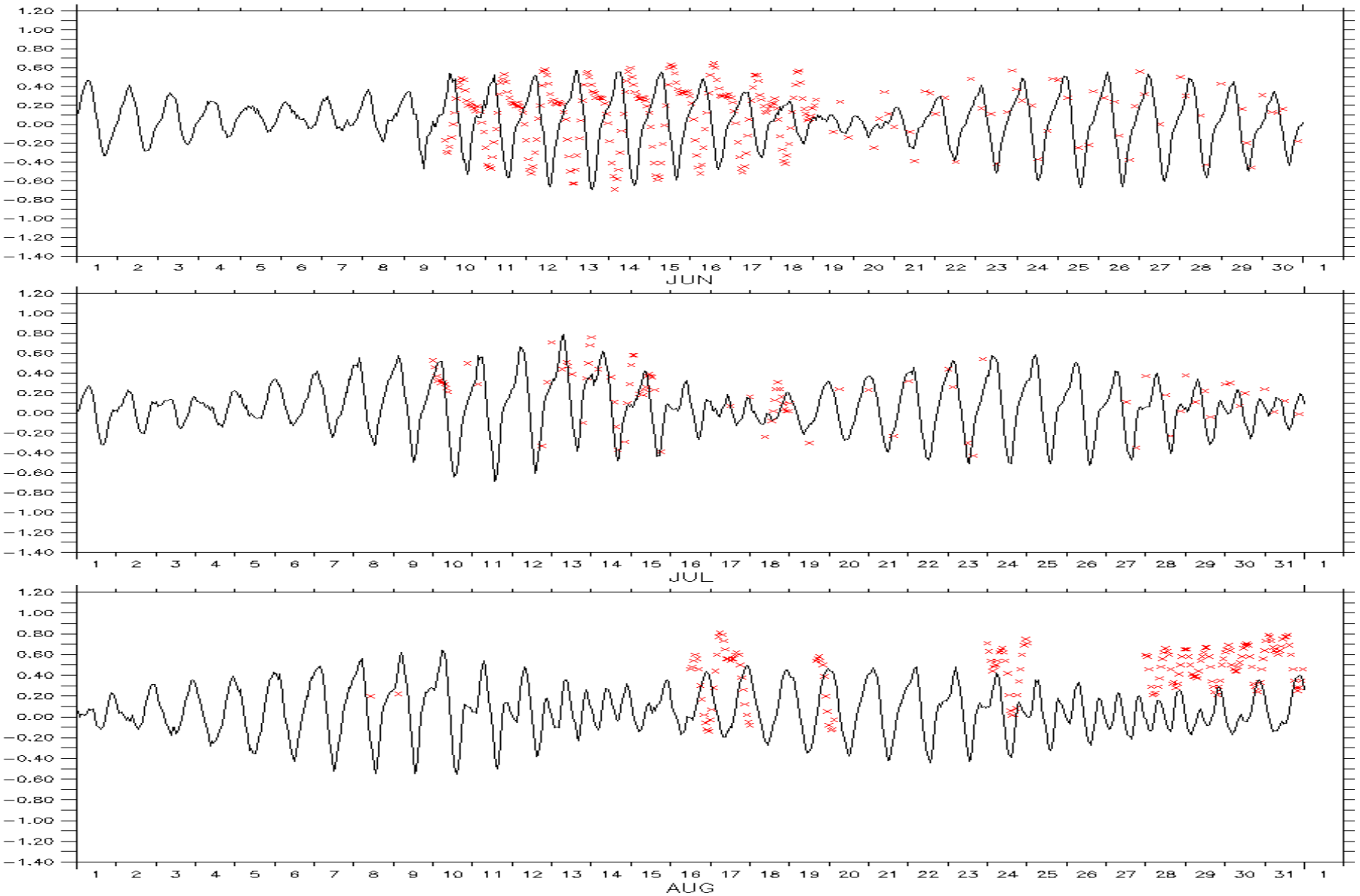


圖 A.3.2 基隆港 2006 年 6 月至 8 月水位比對圖

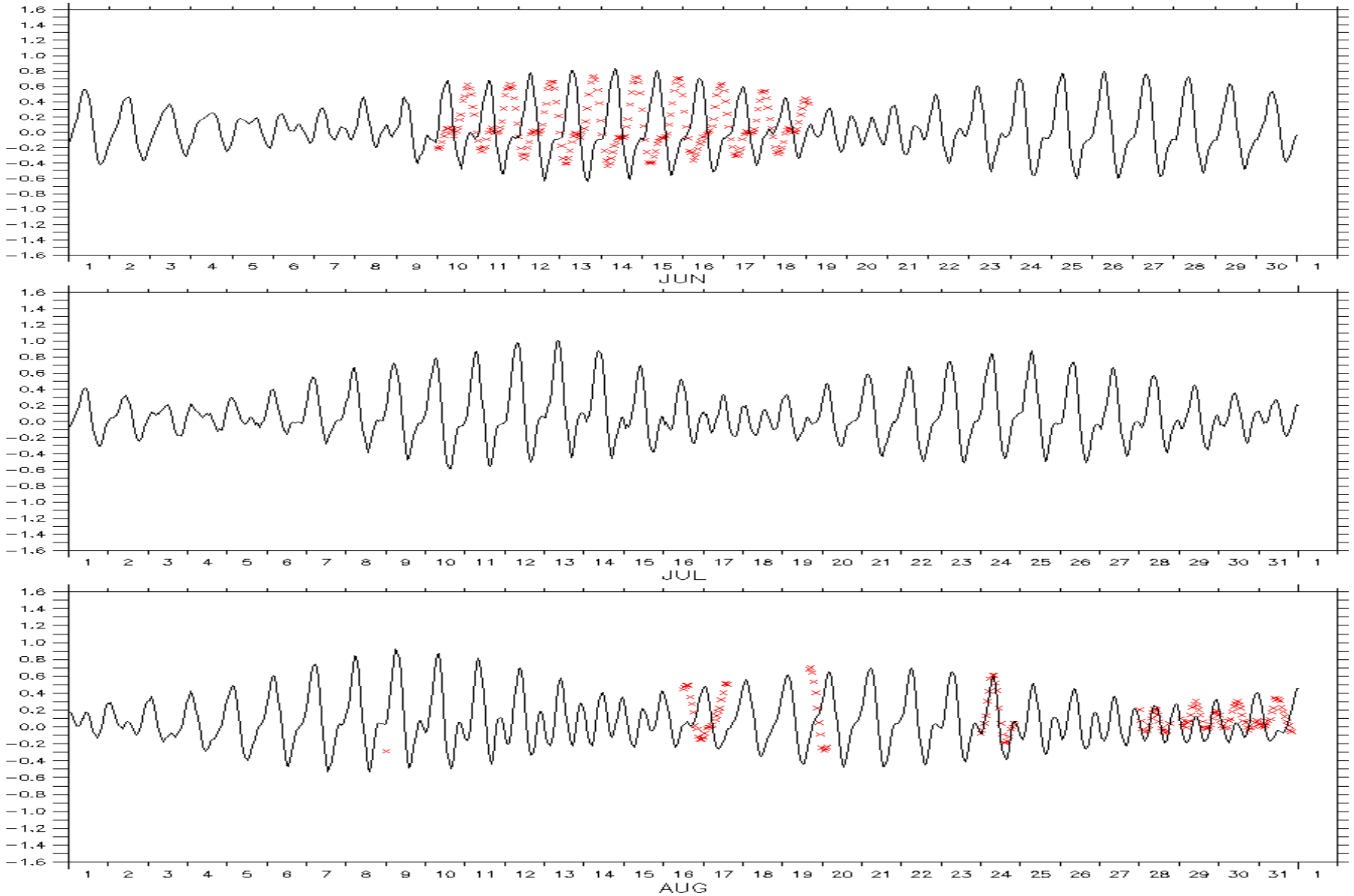


圖 A.3.3 高雄港 2006 年 6 月至 8 月水位比對圖

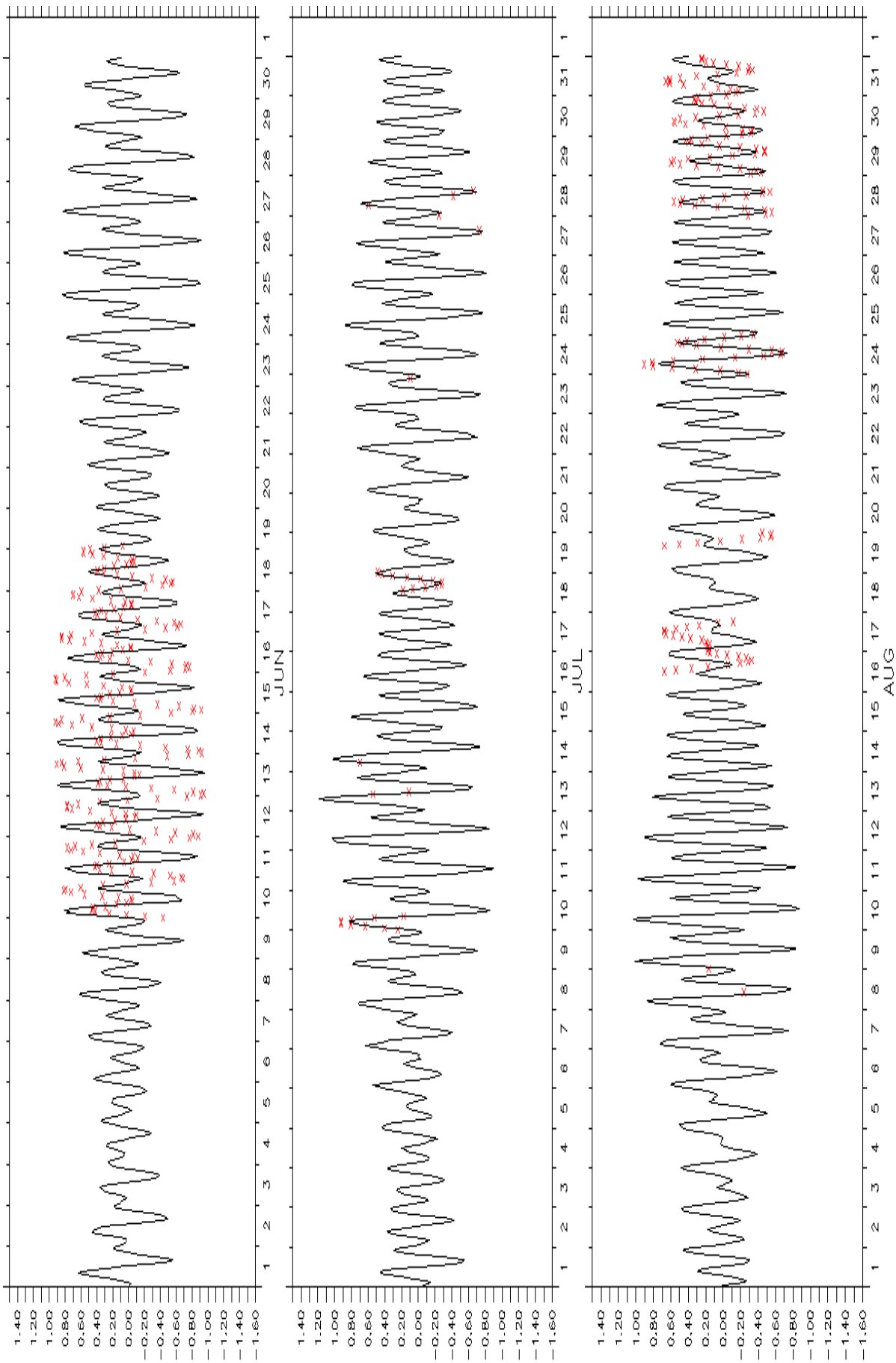


圖 A.3.4 蘇澳港 2006 年 6 月至 8 月水位比對圖

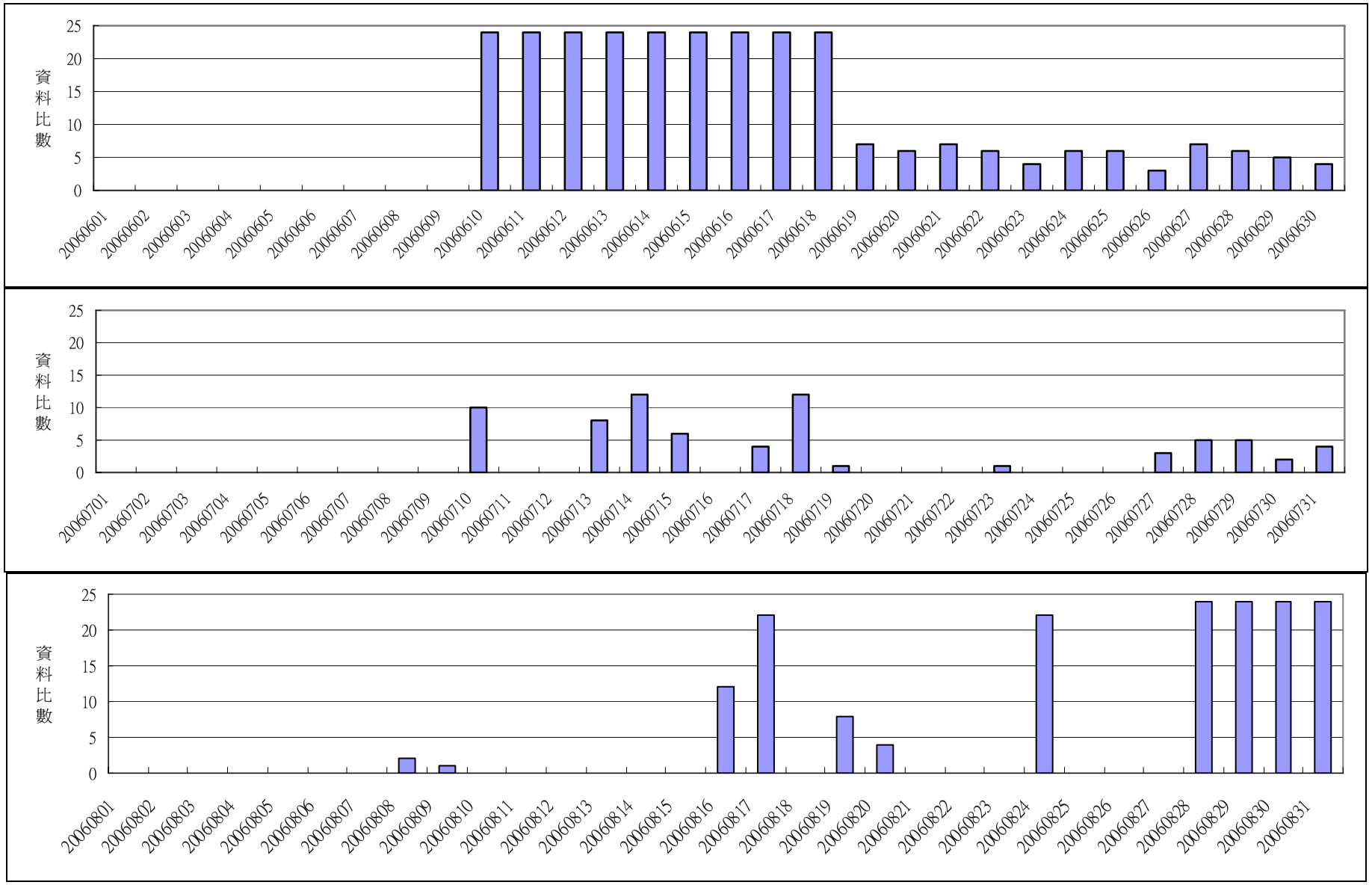


圖 A.3.5 花蓮 2006 年 6 月至 8 月實測水位資料比數統計

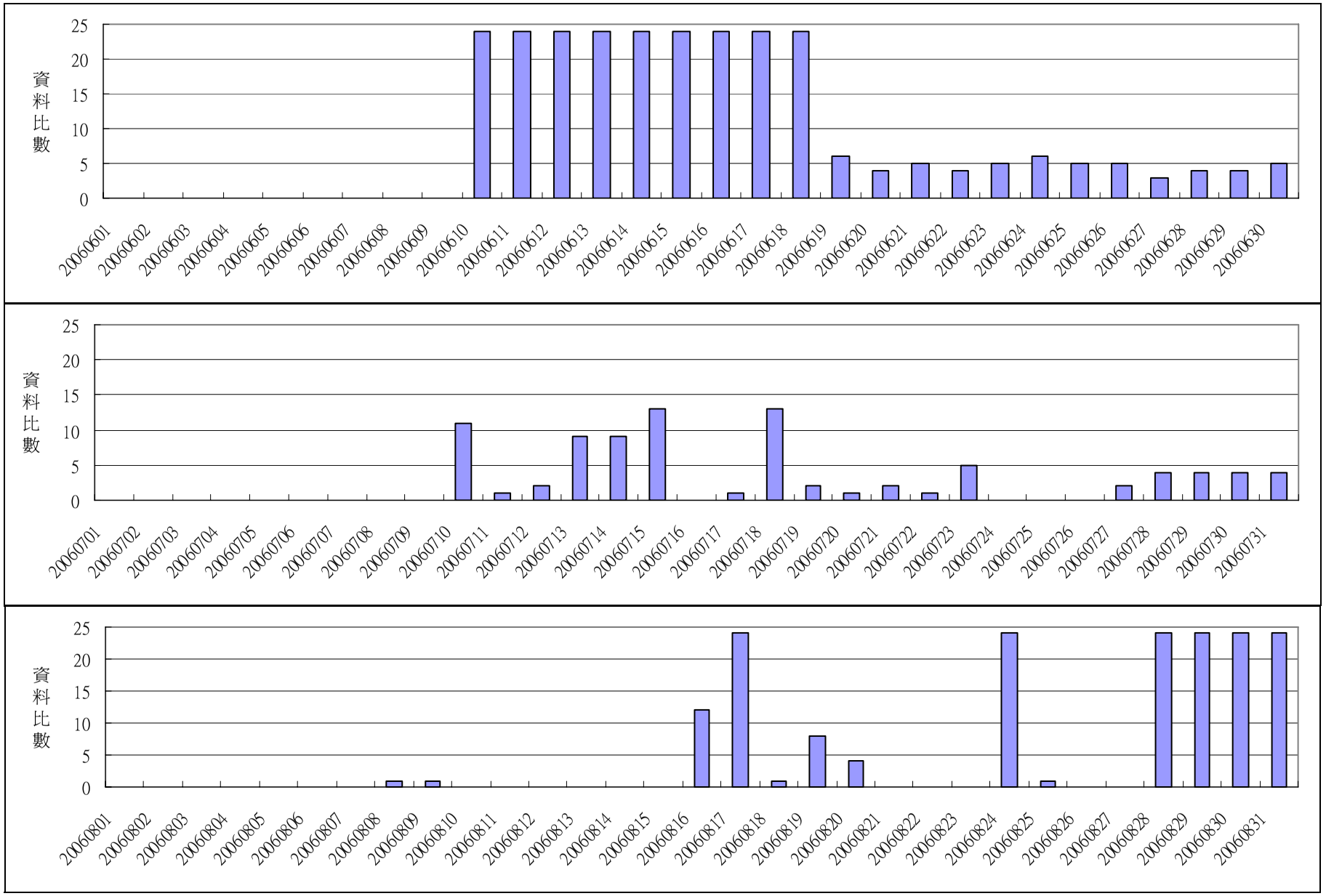


圖 A.3.6 基隆 2006 年 6 月至 8 月實測水位資料比數統計

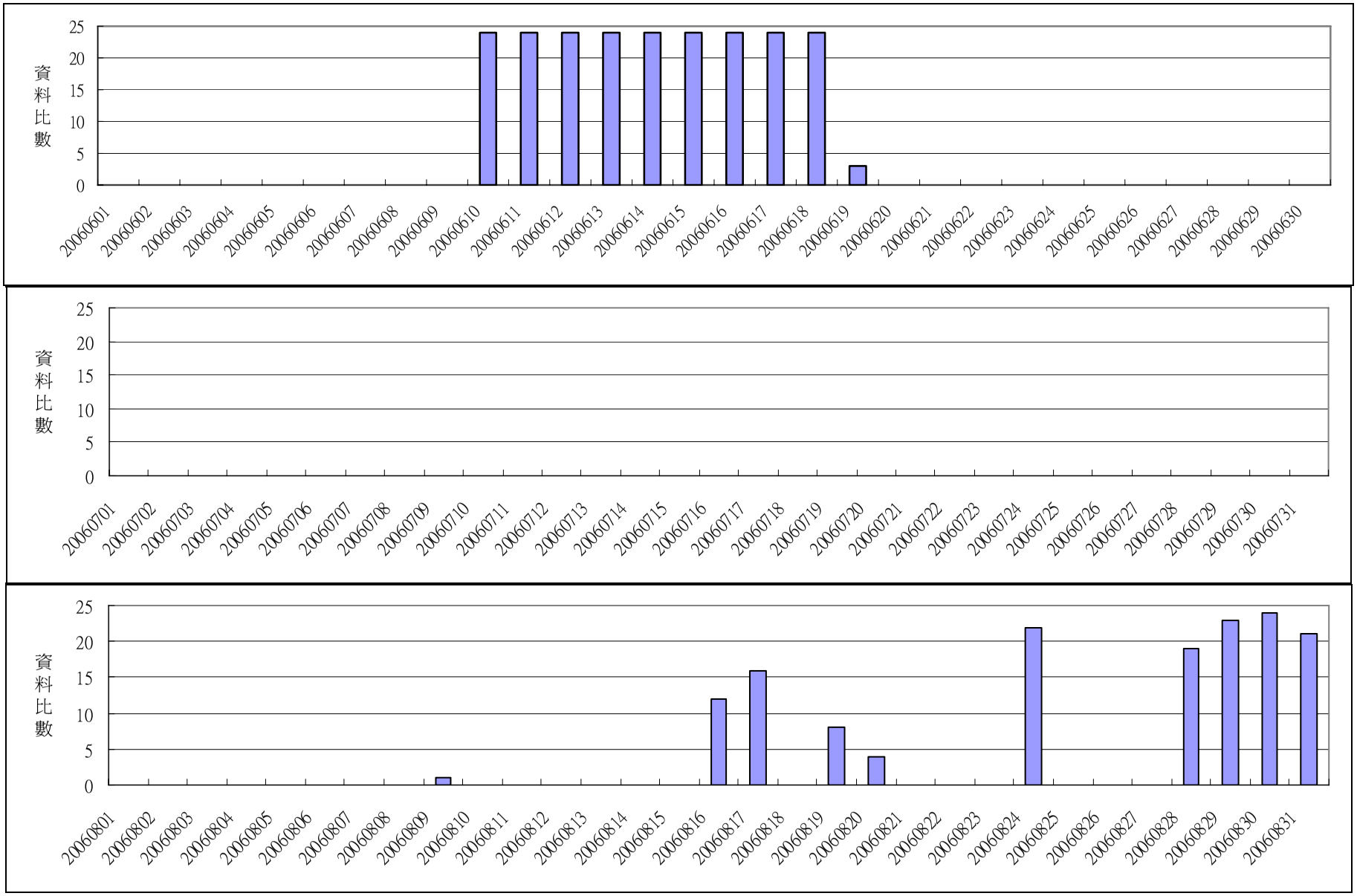


圖 A.3.7 高雄 2006 年 6 月至 8 月實測水位資料比數統計

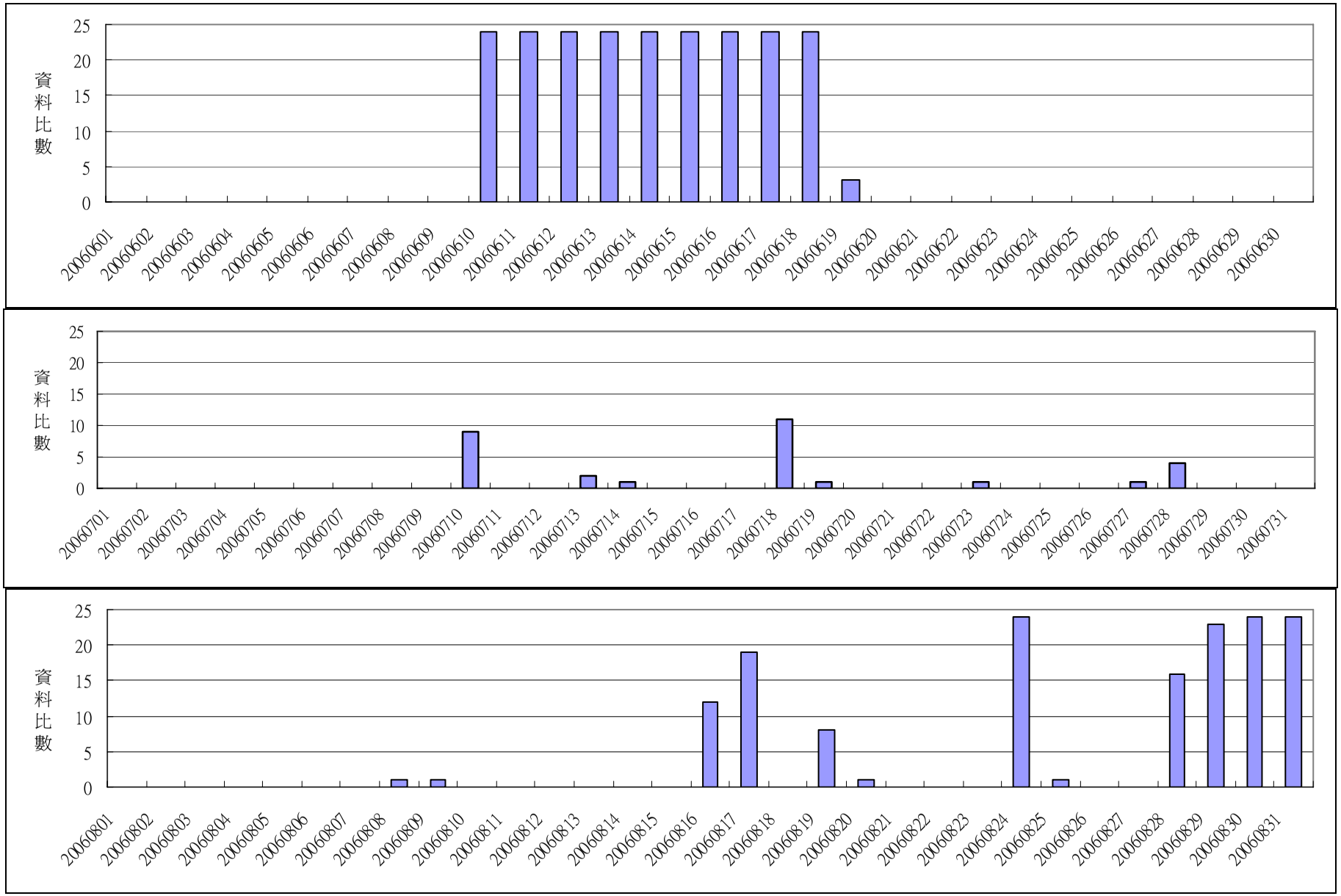


圖 A.3.8 蘇澳 2006 年 6 月至 8 月實測水位資料比數統計

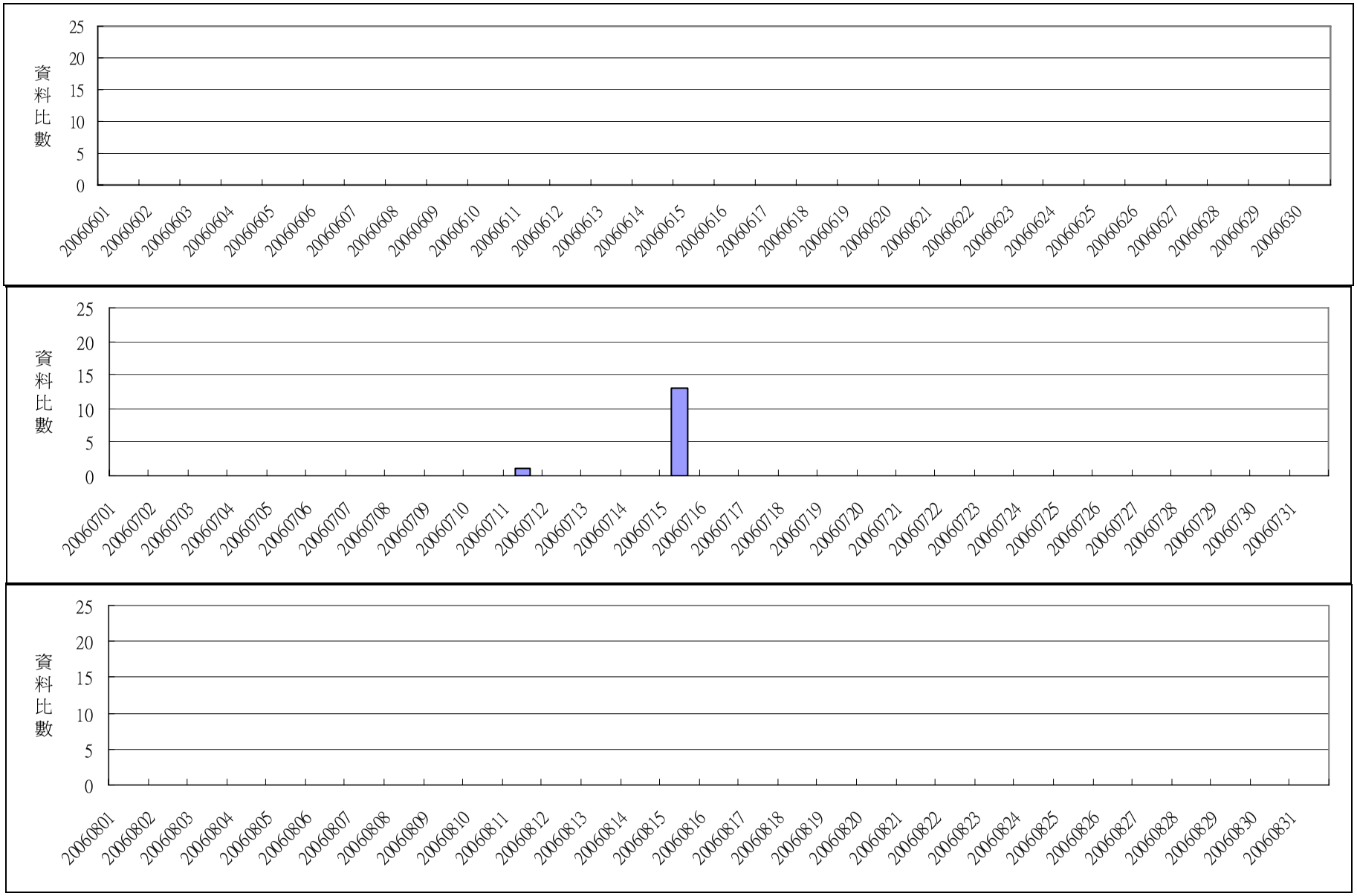


圖 A.3.9 台中 2006 年 6 月至 8 月實測水位資料比數統計

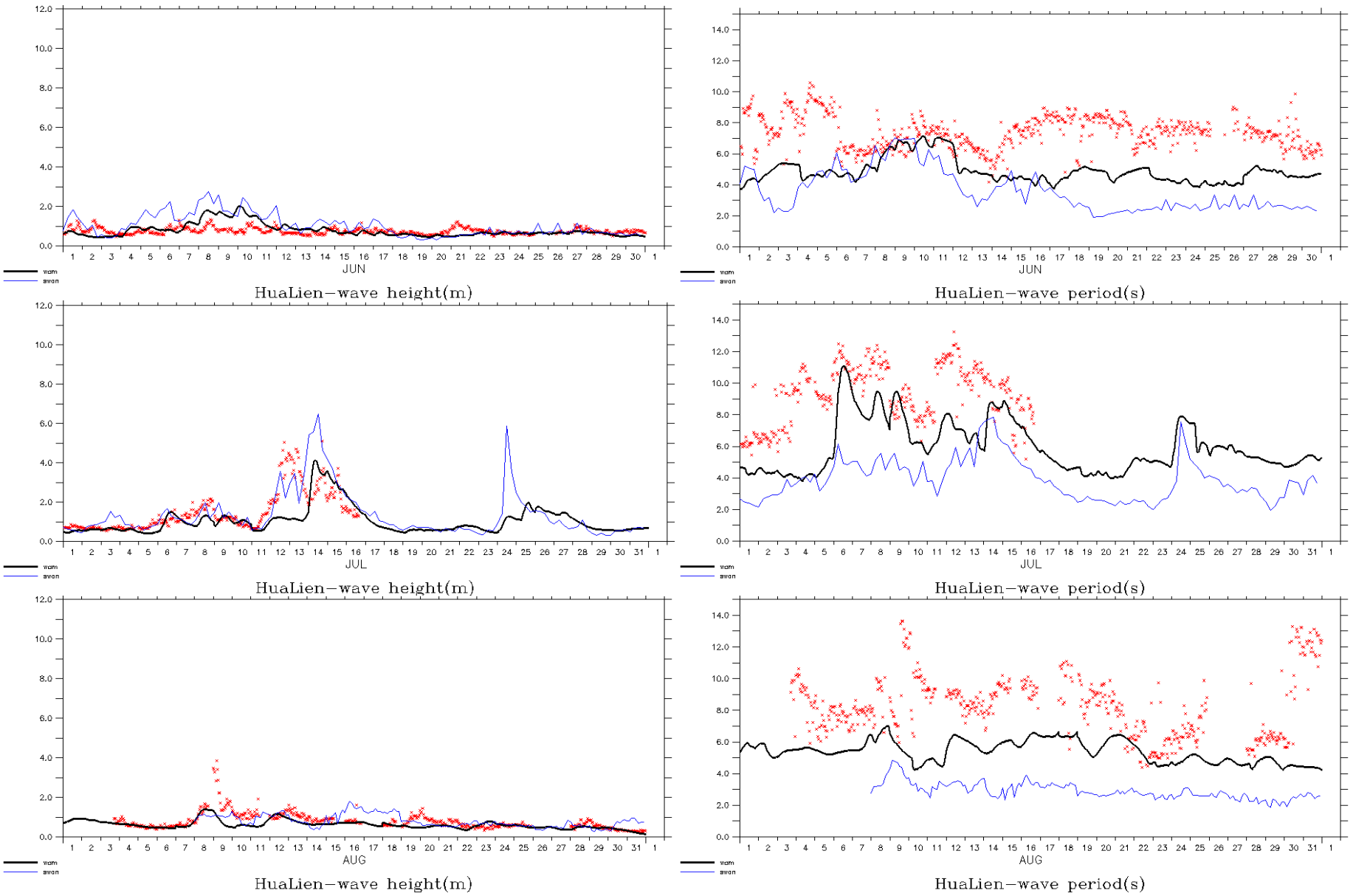


圖 A3.10 花蓮港 2006 年 6 月至 8 月波高及週期比對圖

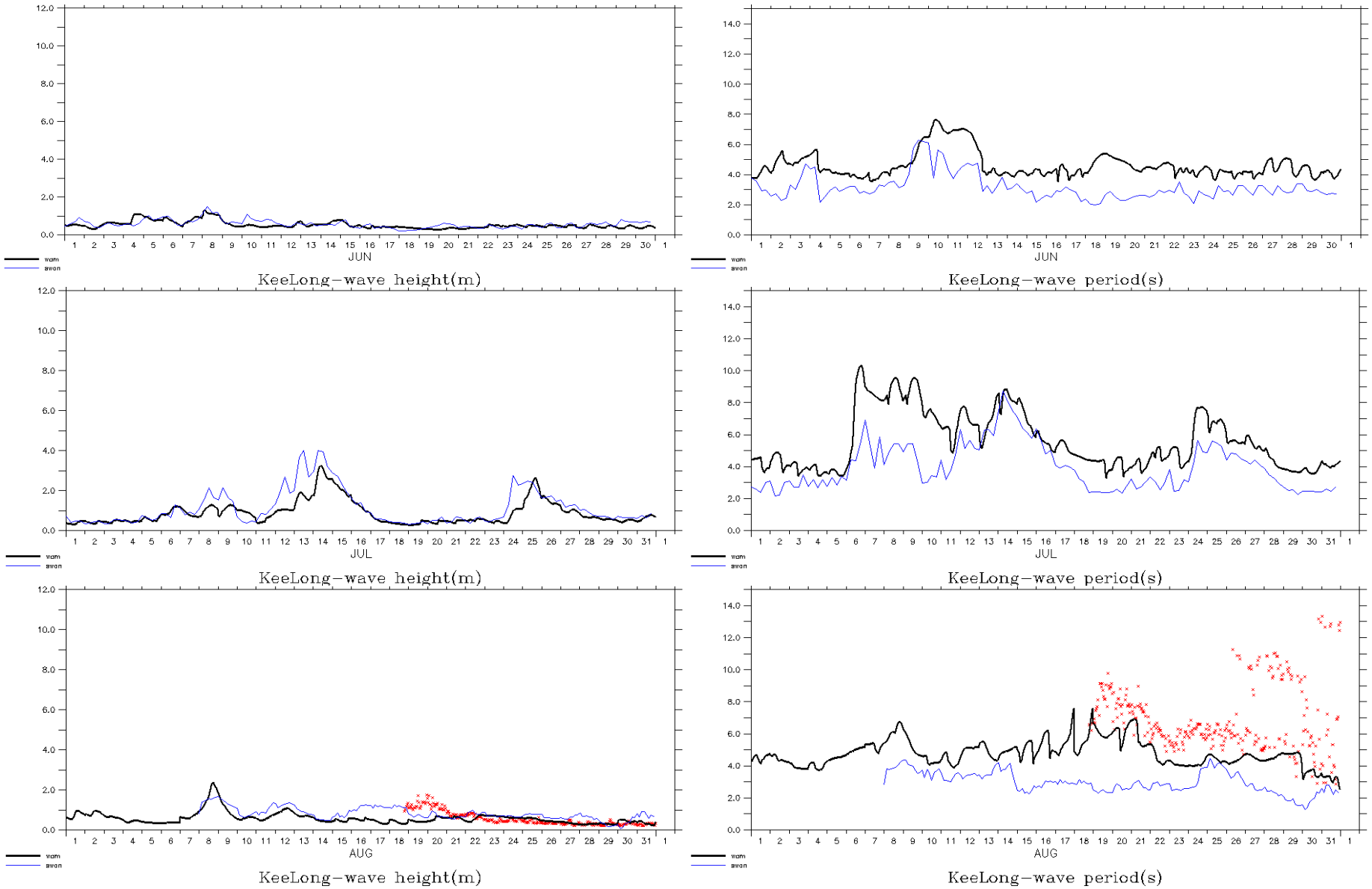


圖 A.3.11 基隆港 2006 年 6 月至 8 月波高及週期比對圖

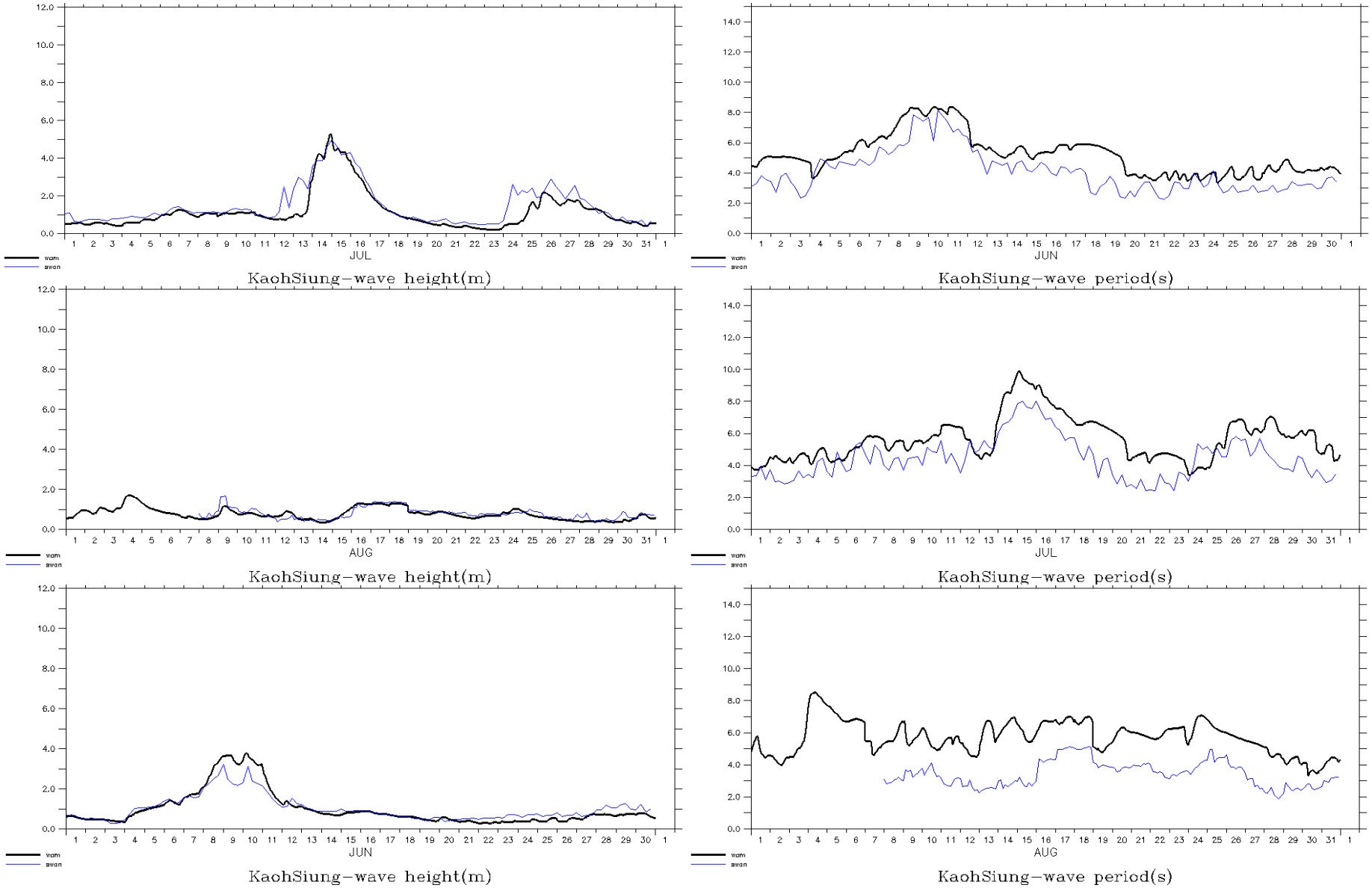


圖 A.3.12 高雄港 2006 年 6 月至 8 月波高及週期比對圖

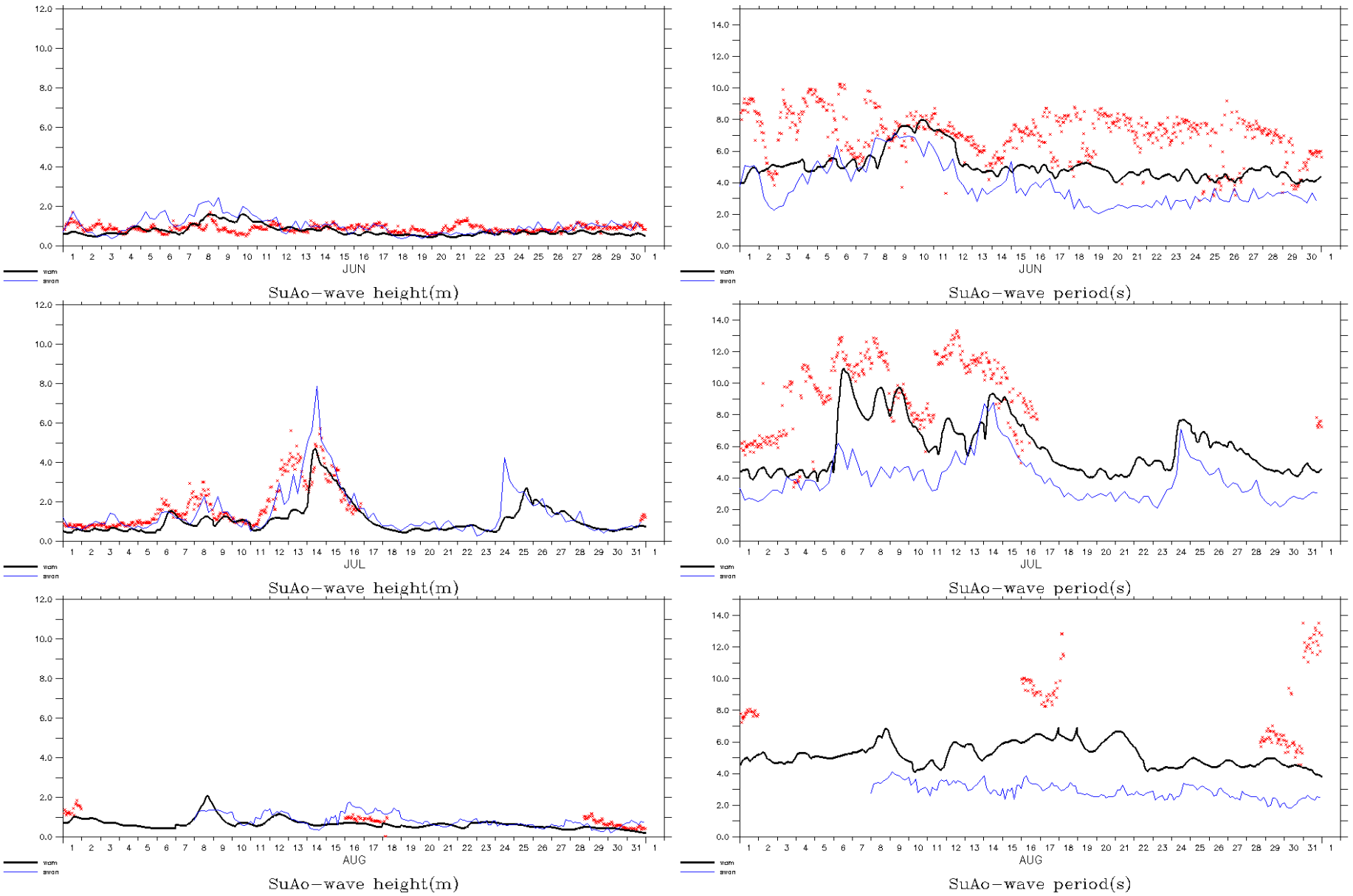


圖 A.3.13 蘇澳港 2006 年 6 月至 8 月波高及週期比對圖

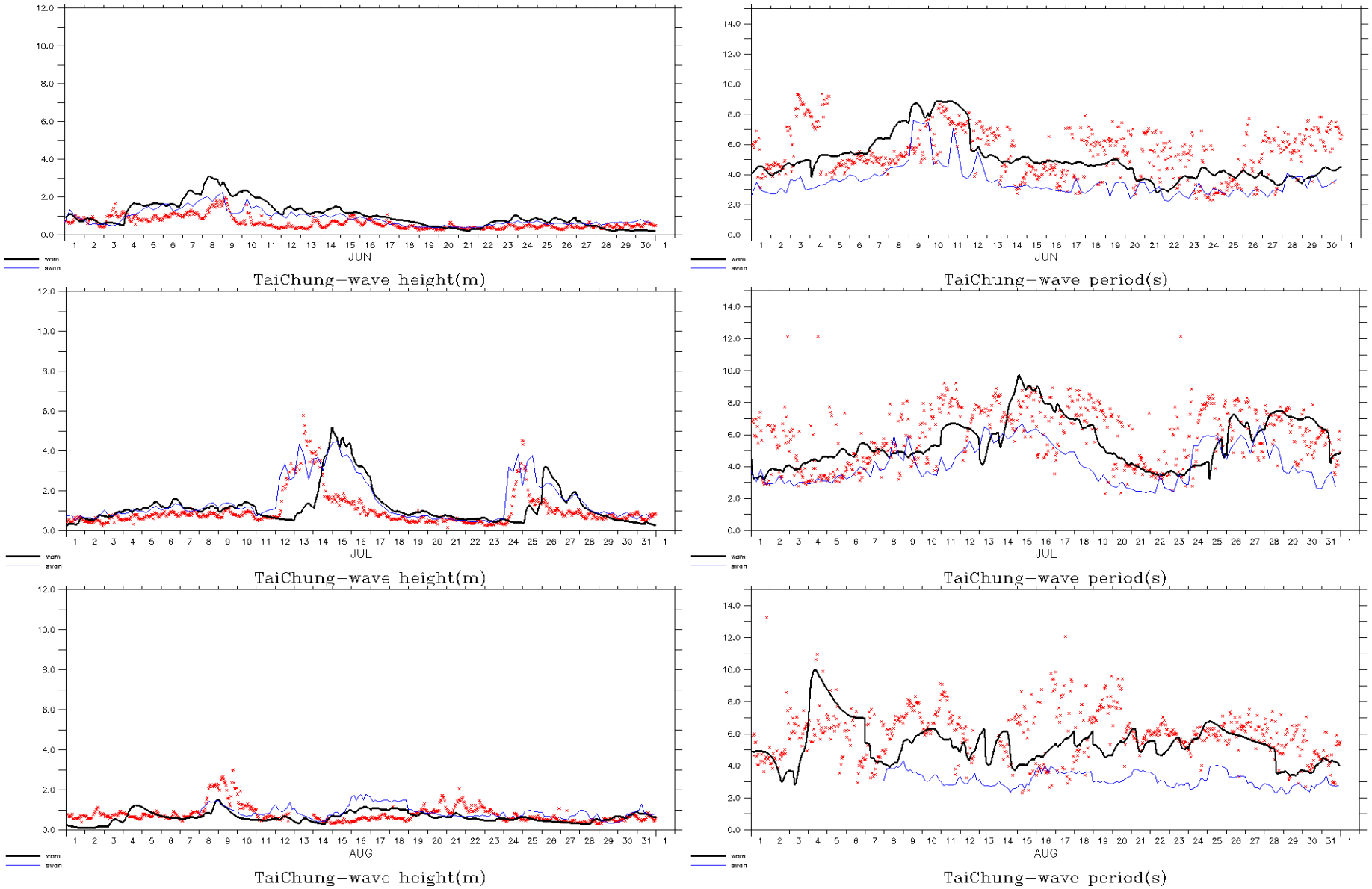
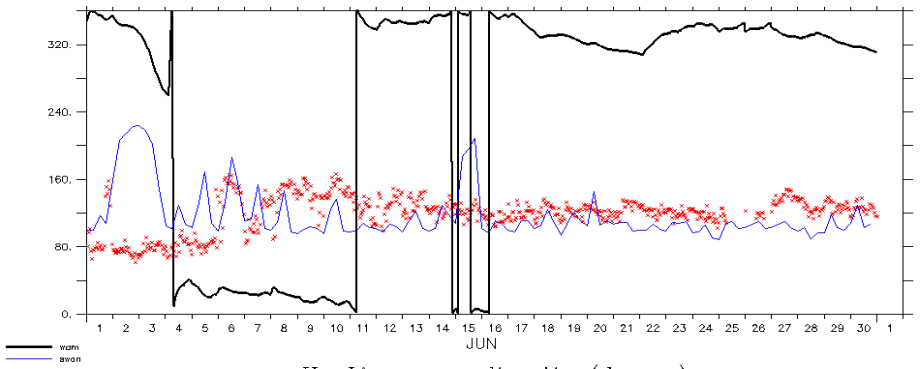
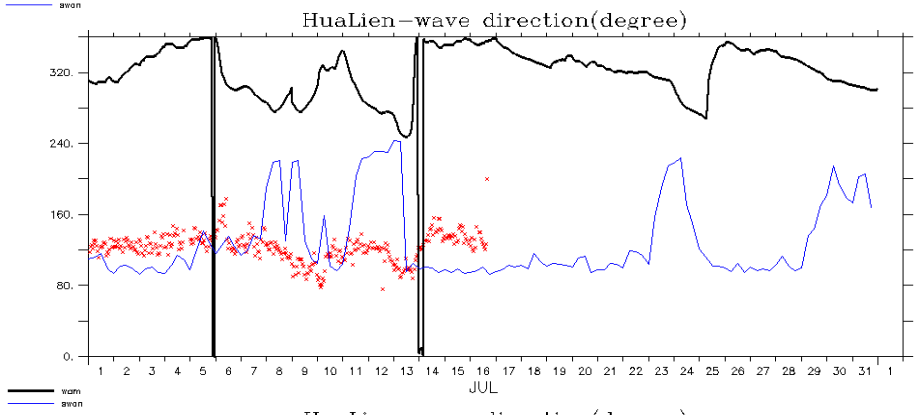


圖 A.3.14 台中港 2006 年 6 月至 8 月波高及週期比對圖





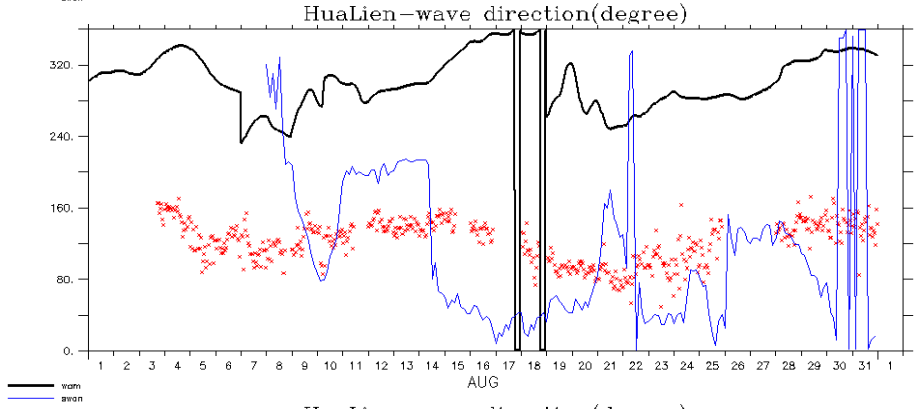
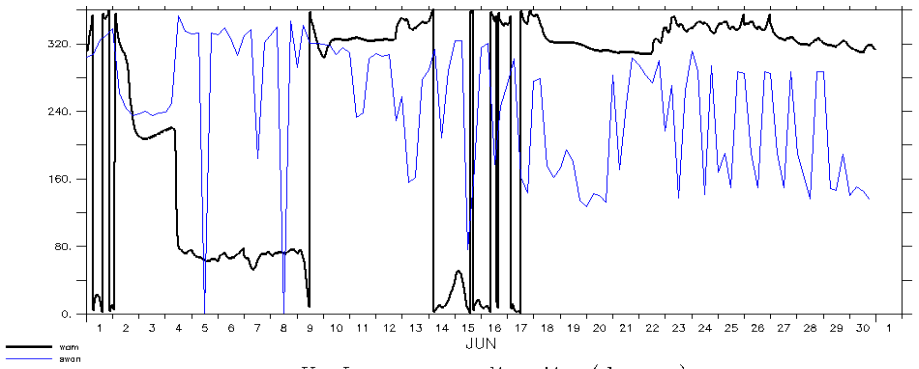
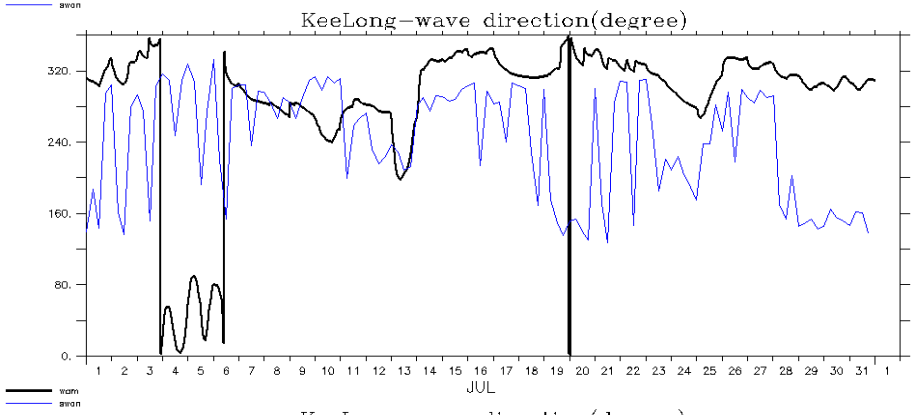


圖 A.3.15 花蓮港 2006 年 6 月至 8 月第三季波向比對圖





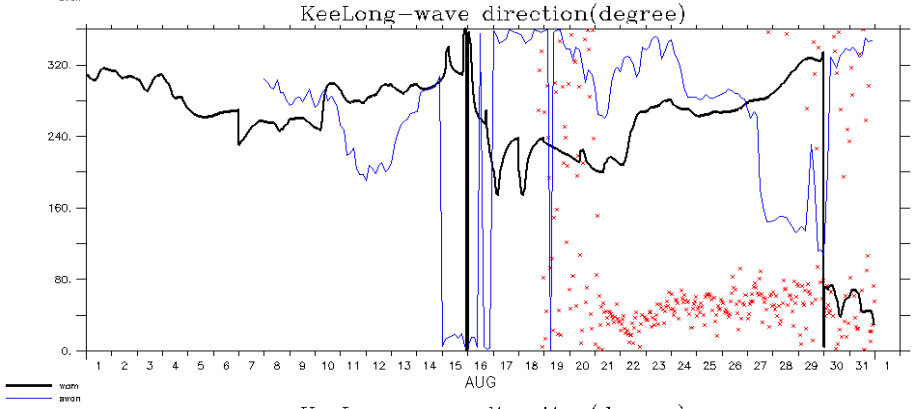


圖 A.3.16 基隆港 2006 年 6 月至 8 月第三季波向比對圖

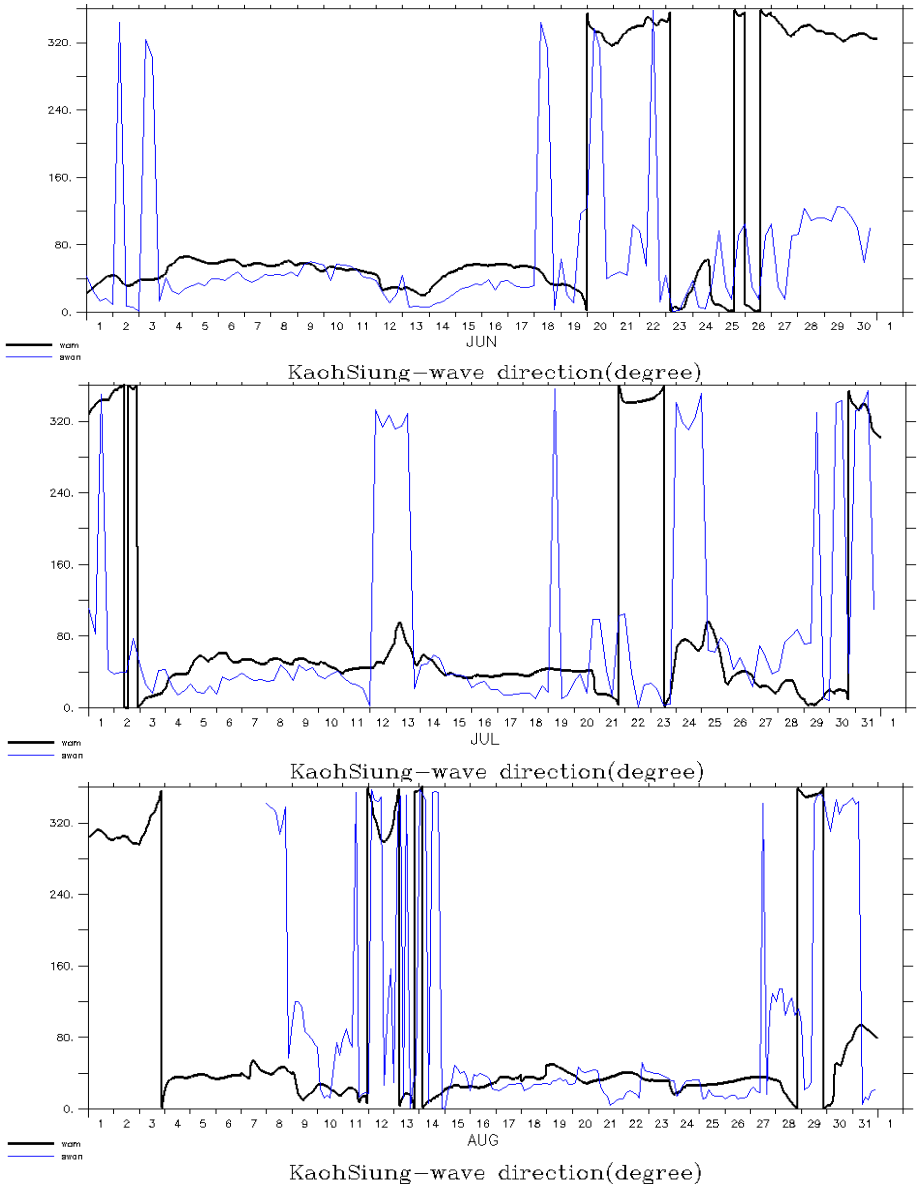


圖 A.3.16 高雄港 2006 年 6 月至 8 月波向比對圖

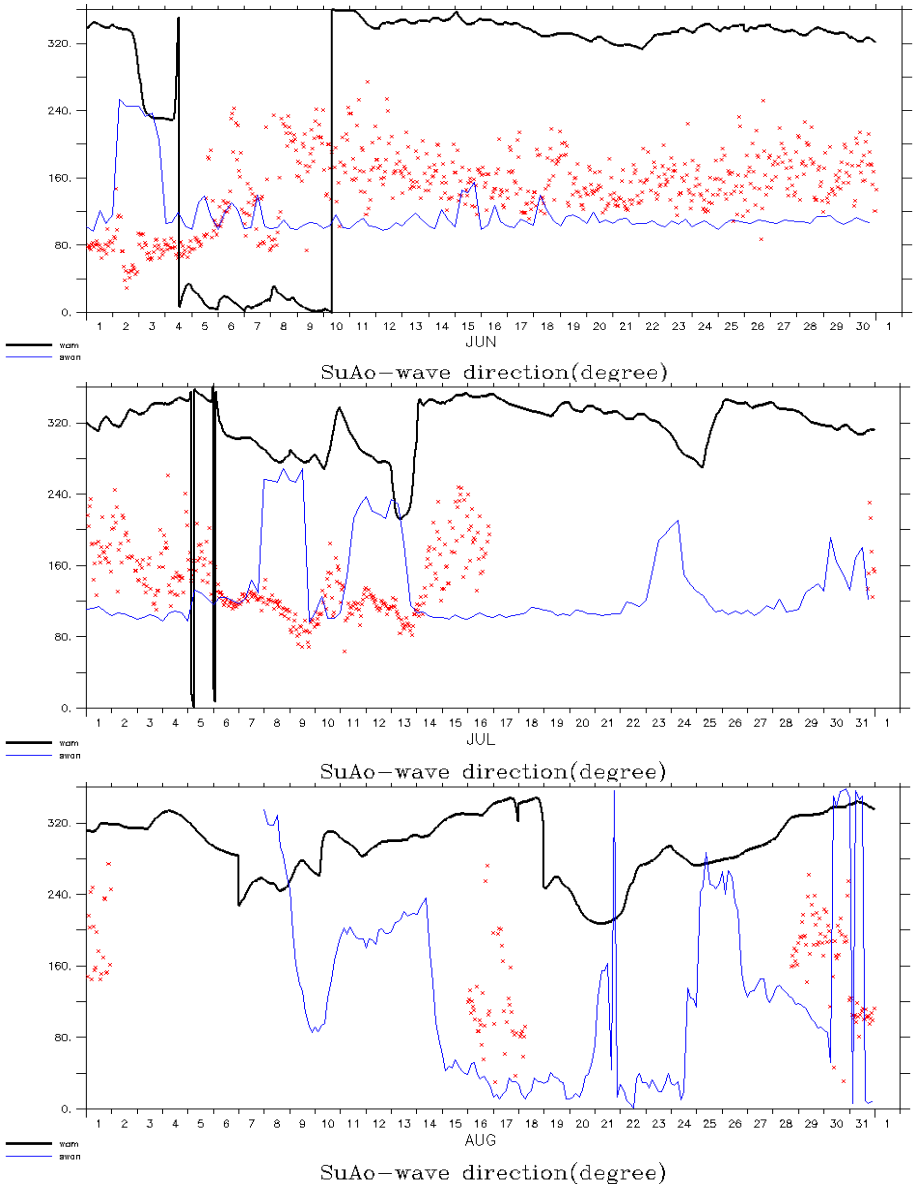


圖 A.3.17 蘇澳港 2006 年 6 月至 8 月波向比對圖

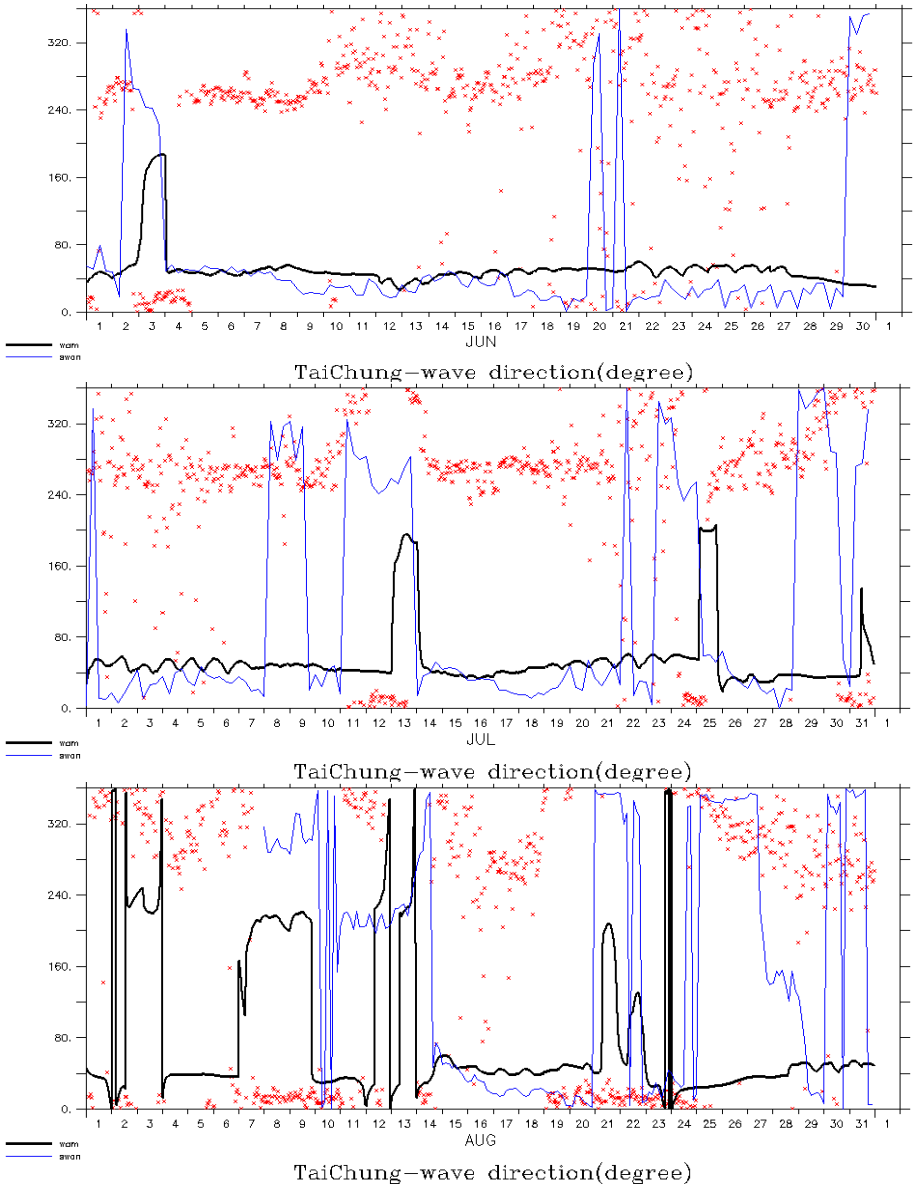


圖 A.3.18 台中港 2006 年 6 月至 8 月波向比對圖

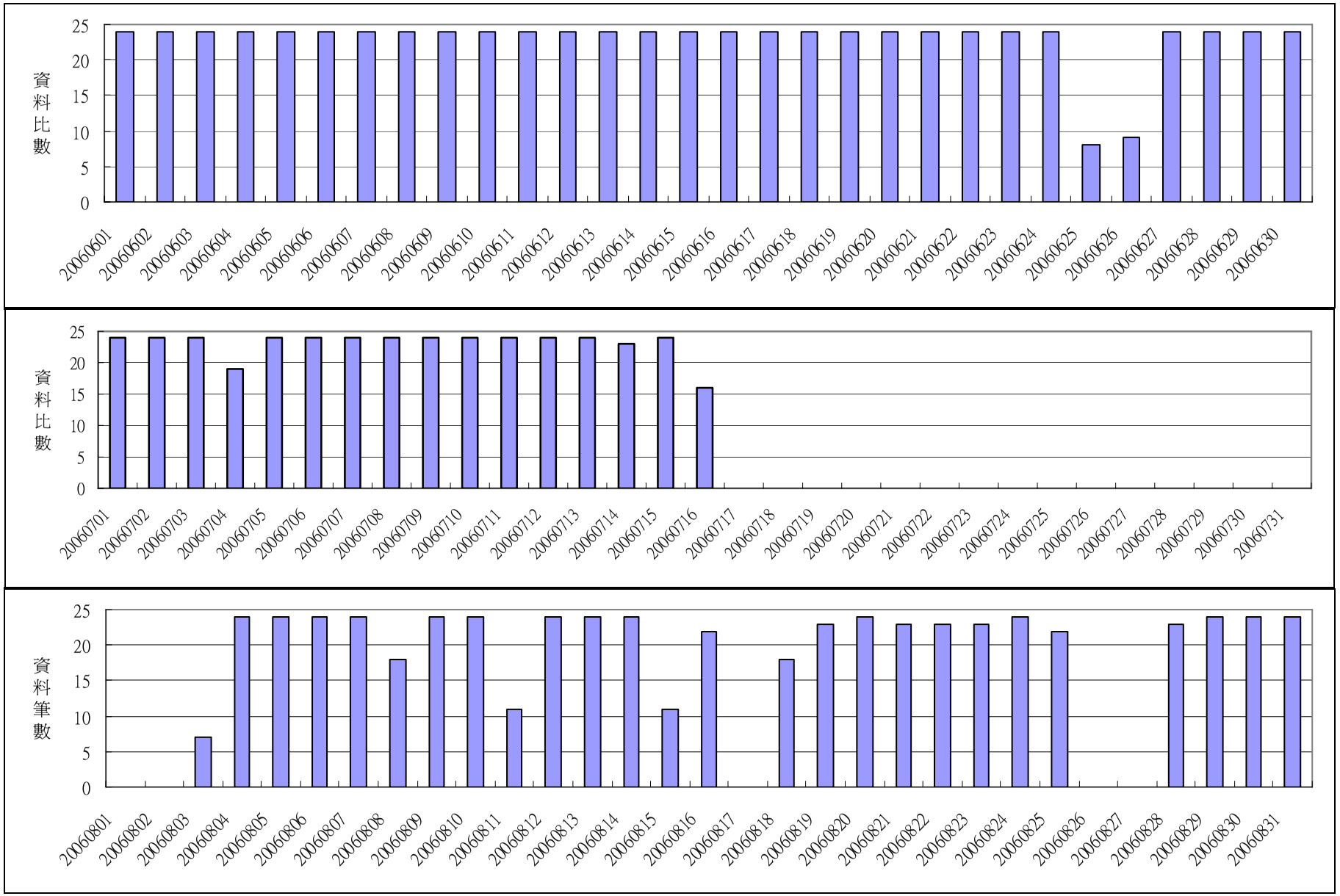


圖 A.3.19 花蓮 2006 年 6 月至 8 月第三季實測波浪資料比數統計

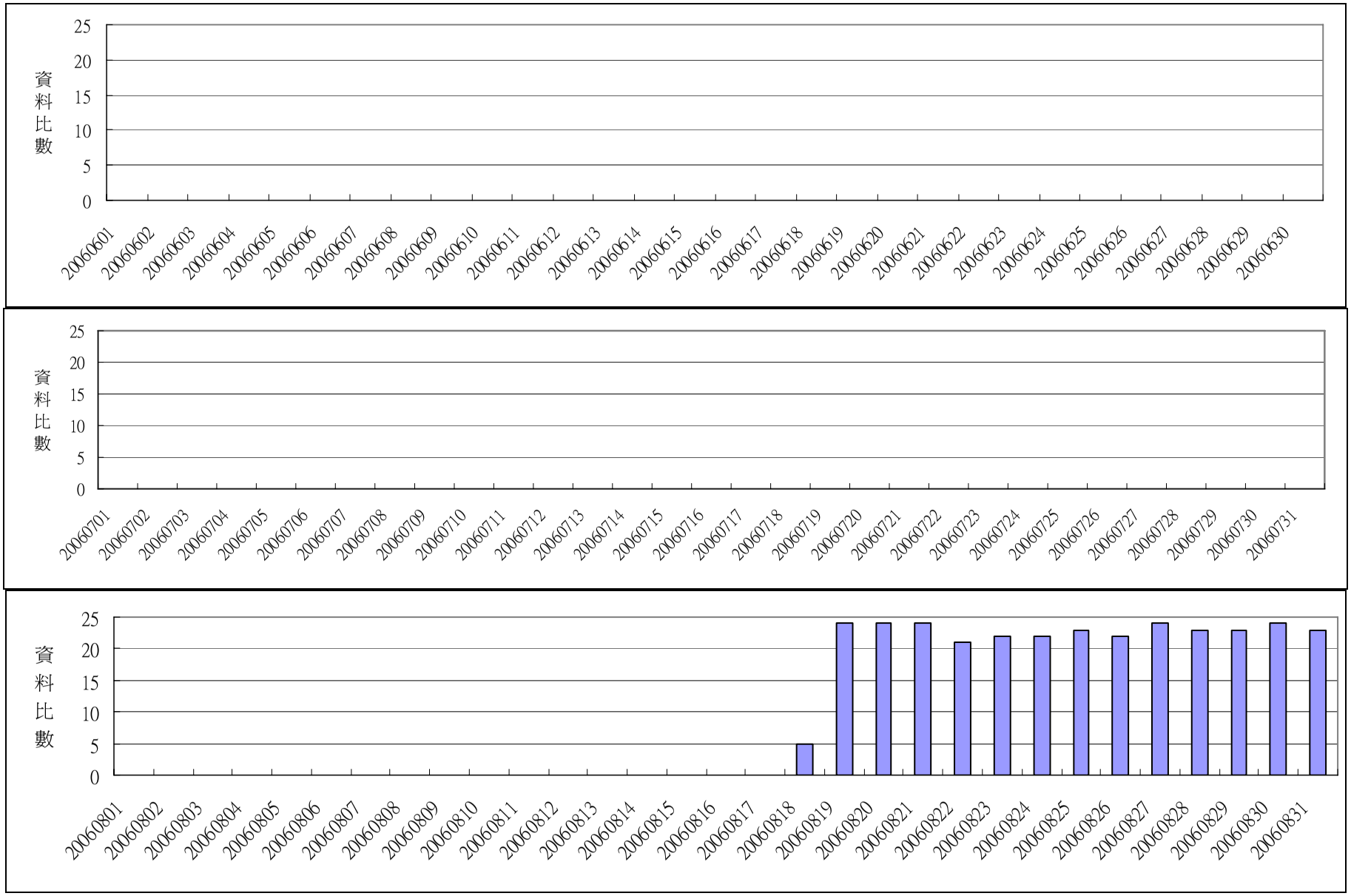


圖 A.3.20 基隆 2006 年 6 月至 8 月第三季實測波浪資料比數統計

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

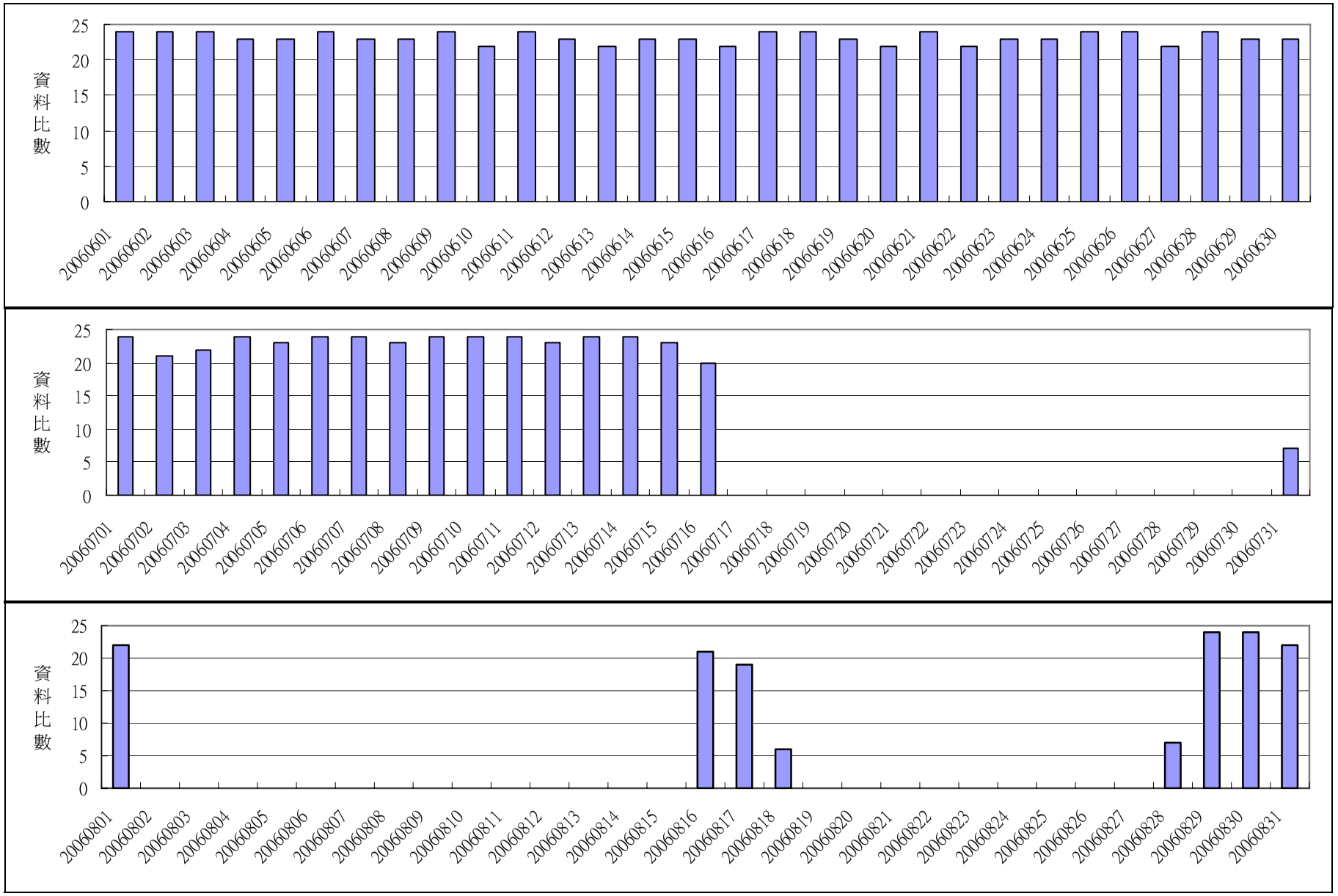


圖 A.3.22 蘇澳 2006 年 6 月至 8 月第三季實測波浪資料比數統計

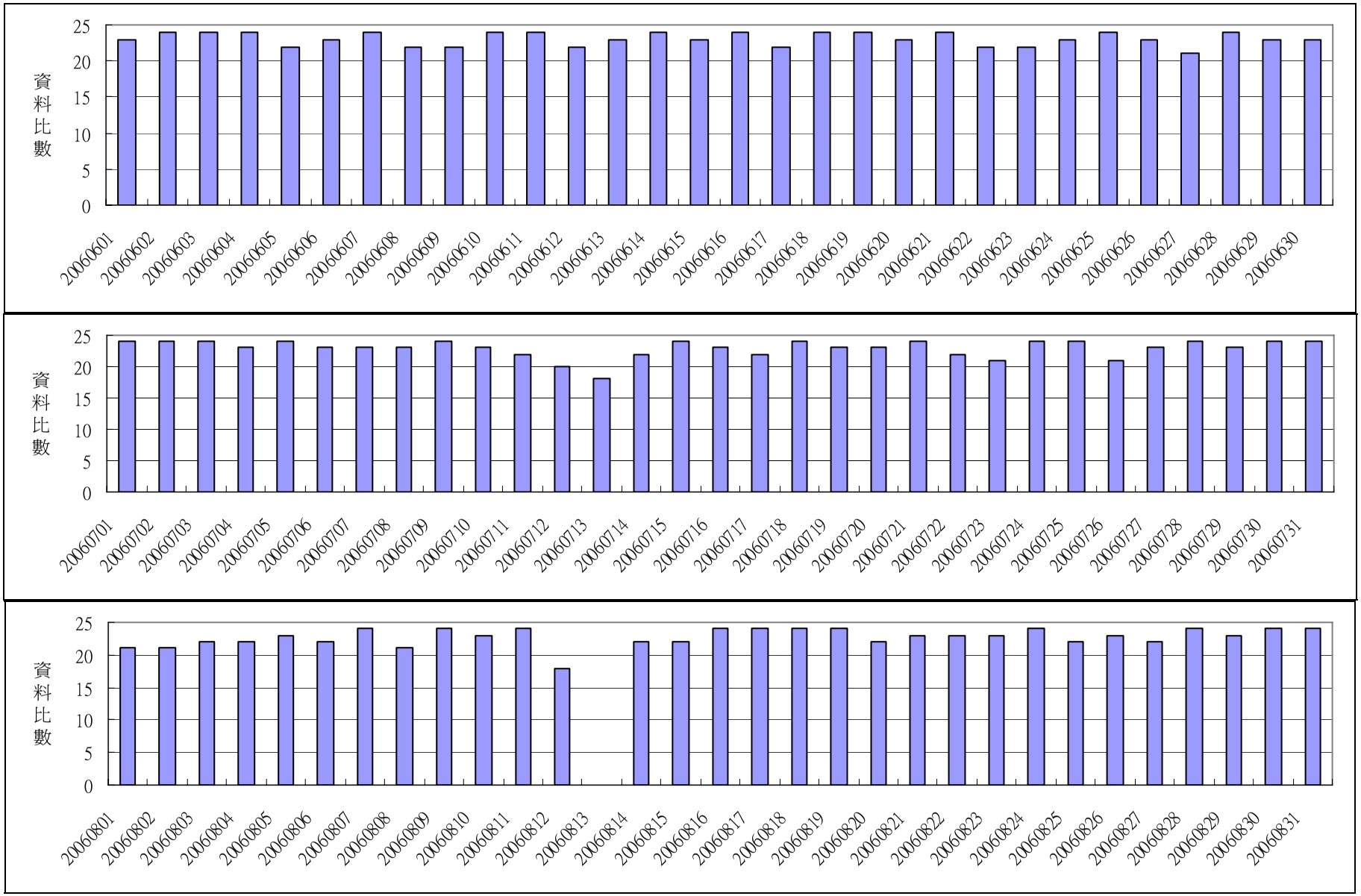


圖 A.3.23 蘇澳 2006 年 6 月至 8 月第三季實測波浪資料比數統計

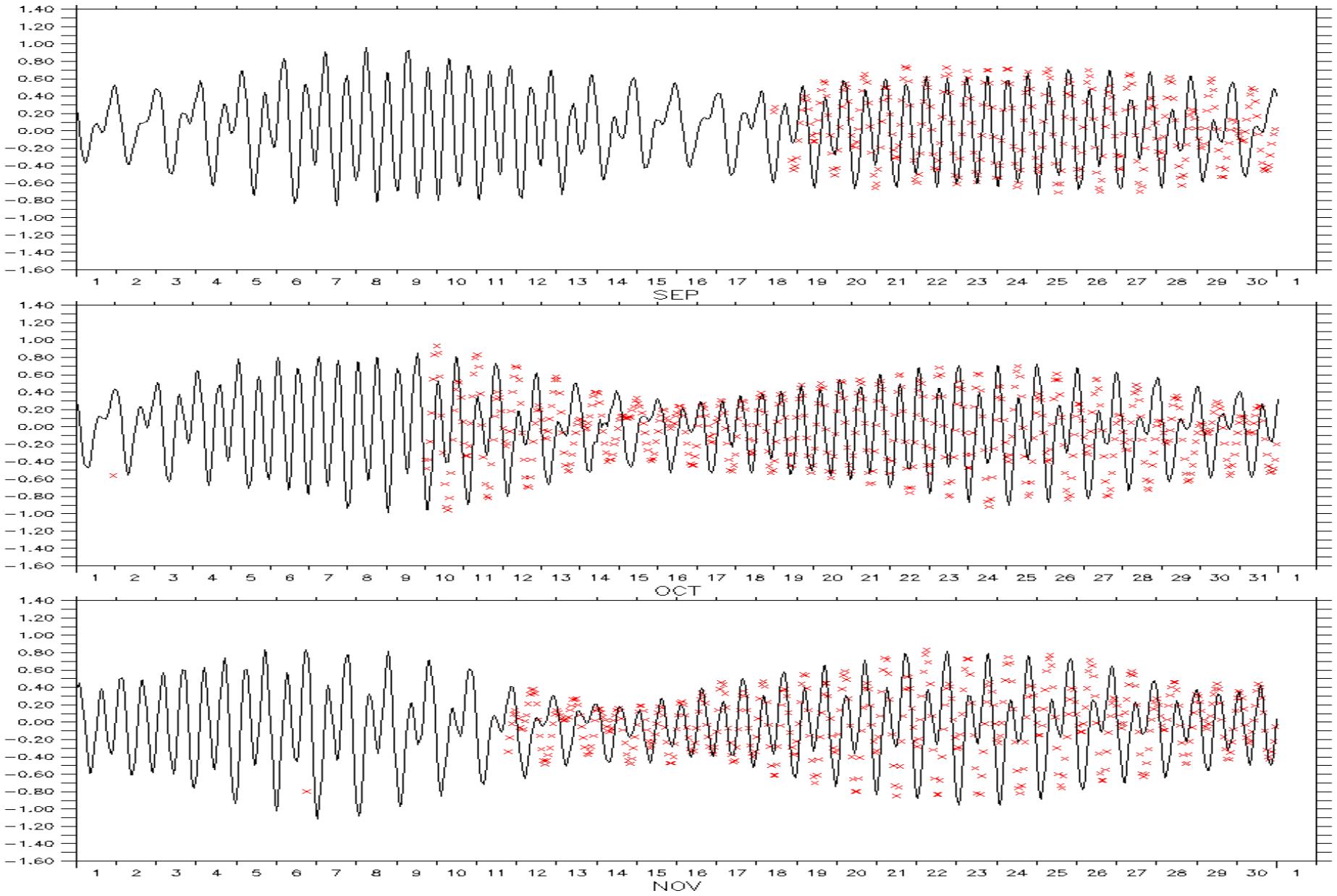


圖 A.4.1 花蓮港 2006 年 9 月至 11 月水位比對圖

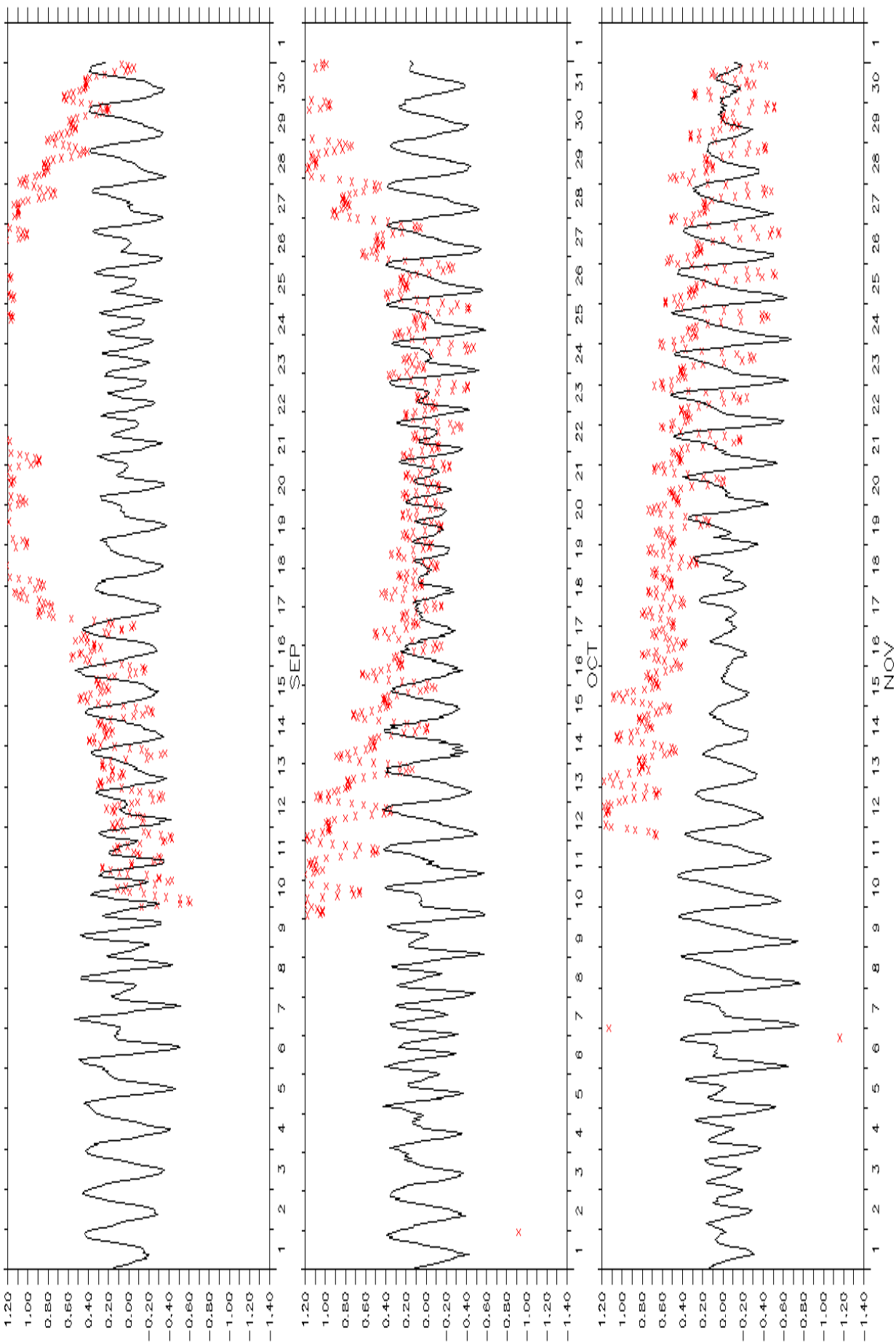


圖 A.4.2 基隆港 2006 年 9 月至 11 月水位比對圖

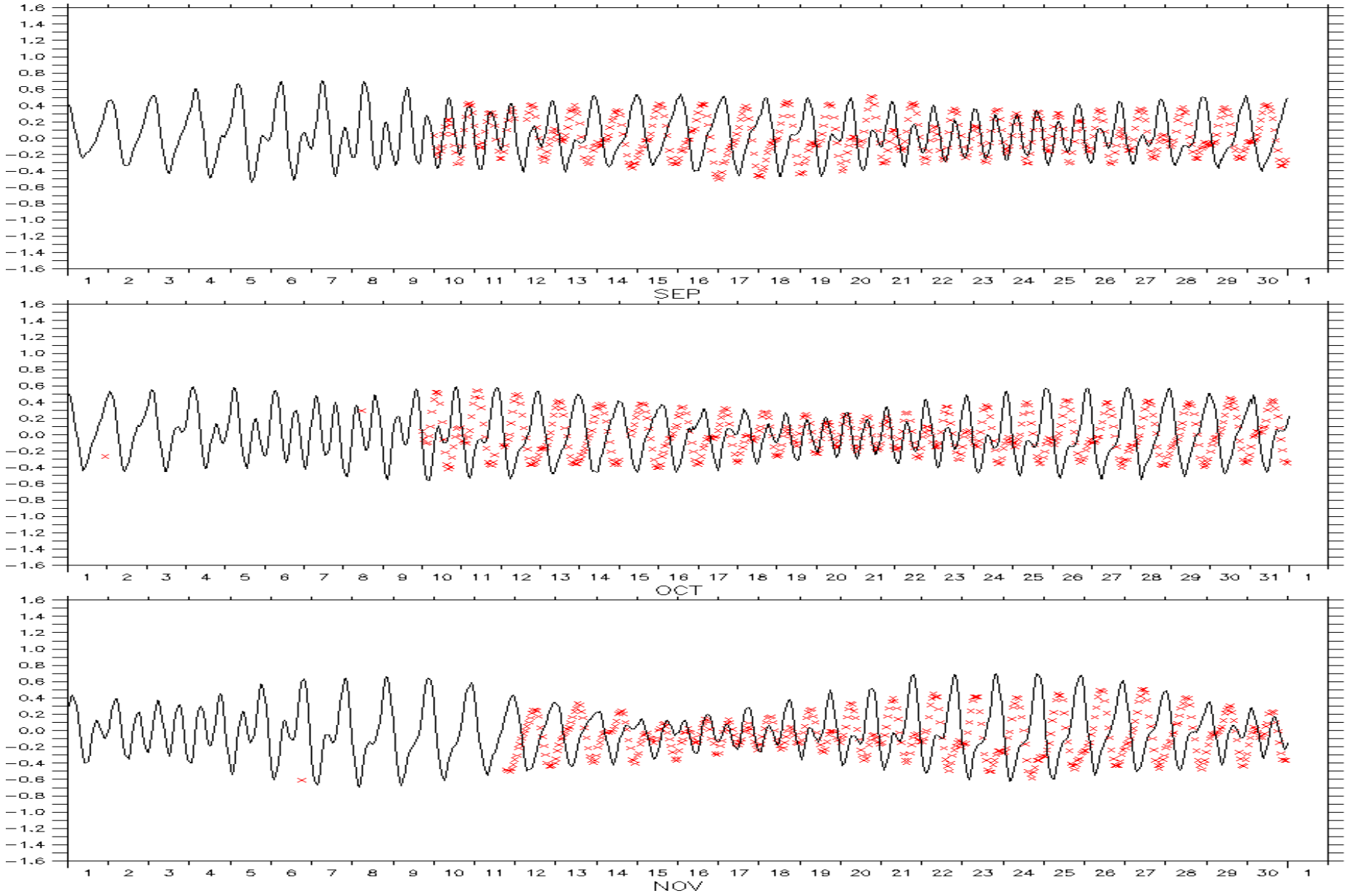


圖 A.4.3 高雄港 2006 年 9 月至 11 月水位比對圖

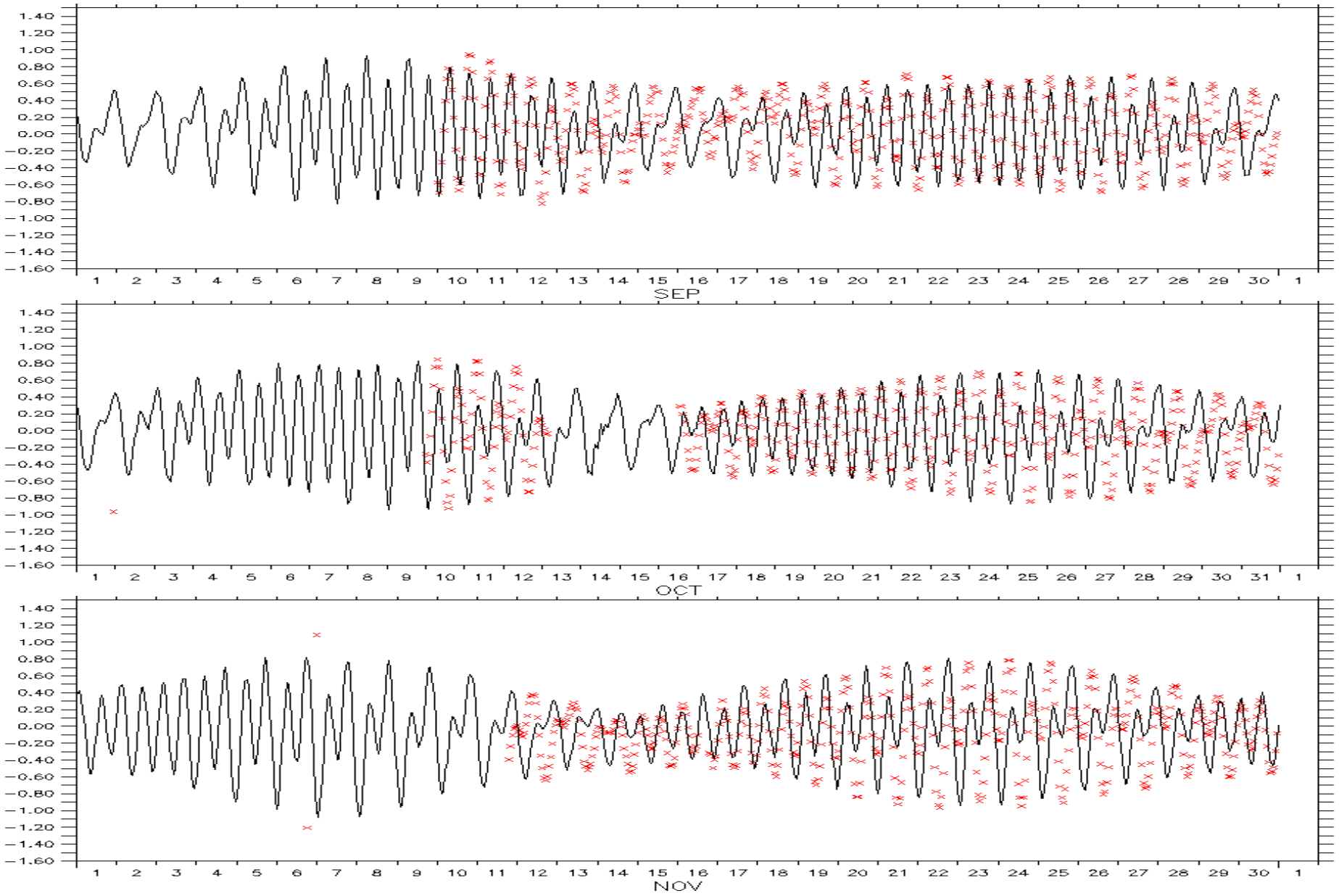


圖 A.4.4 蘇澳港 06 年 9 月至 11 月水位比對圖

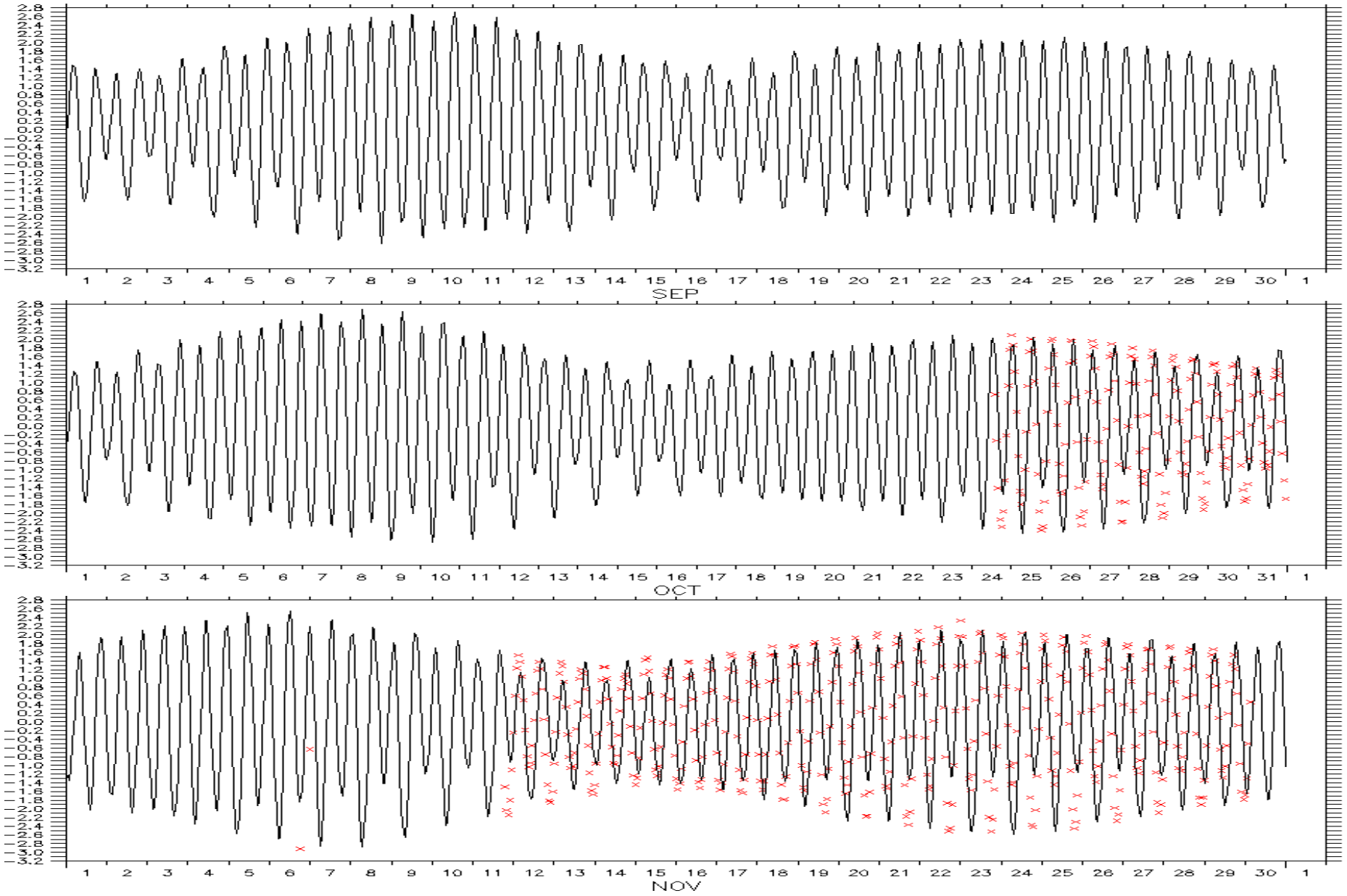


圖 A.4.5 台中港 2006 年 9 月至 11 月水位比對圖

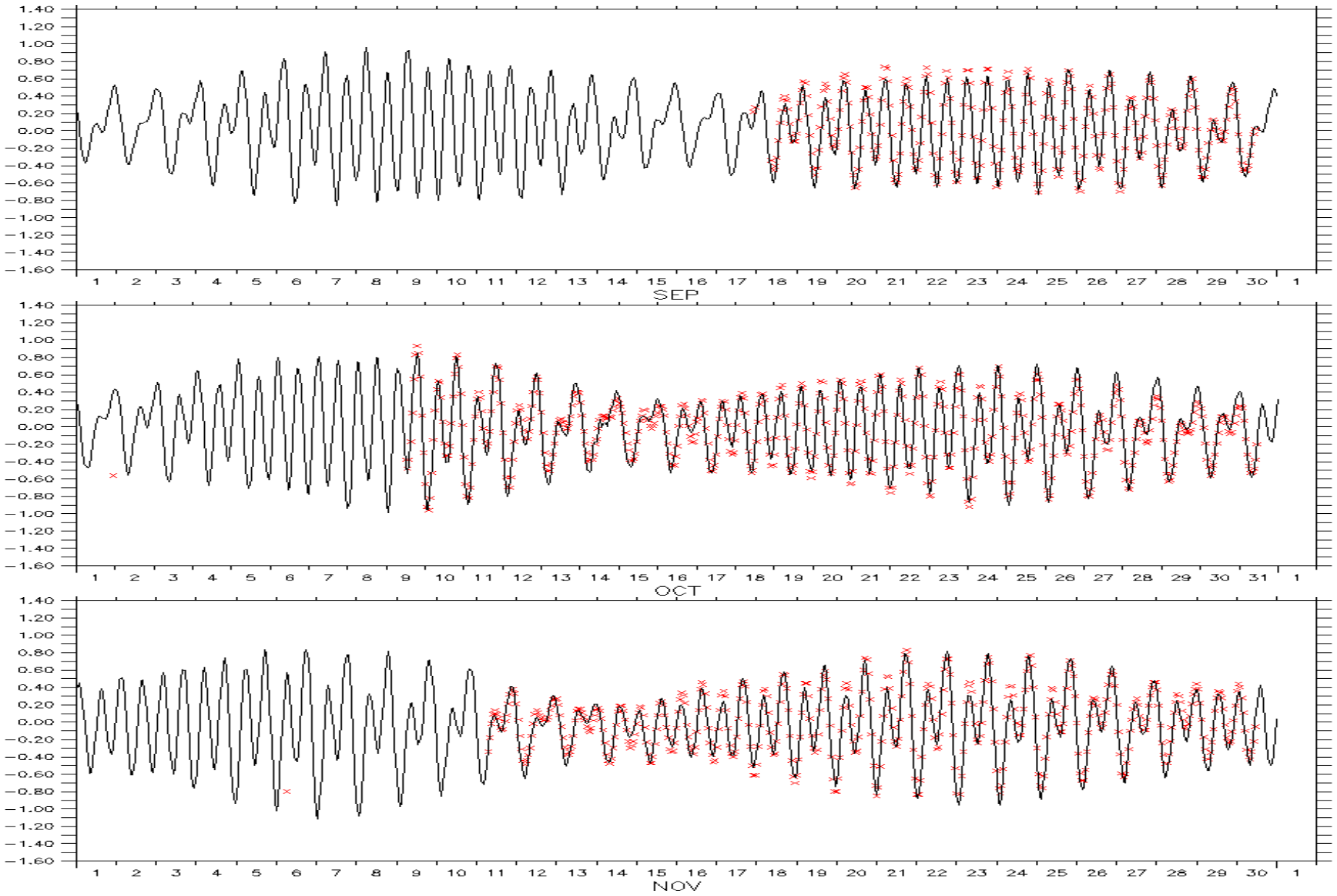


圖 A.4.6 花蓮港實測資料時間修正後 2006 年 9 月至 11 月水位比對圖

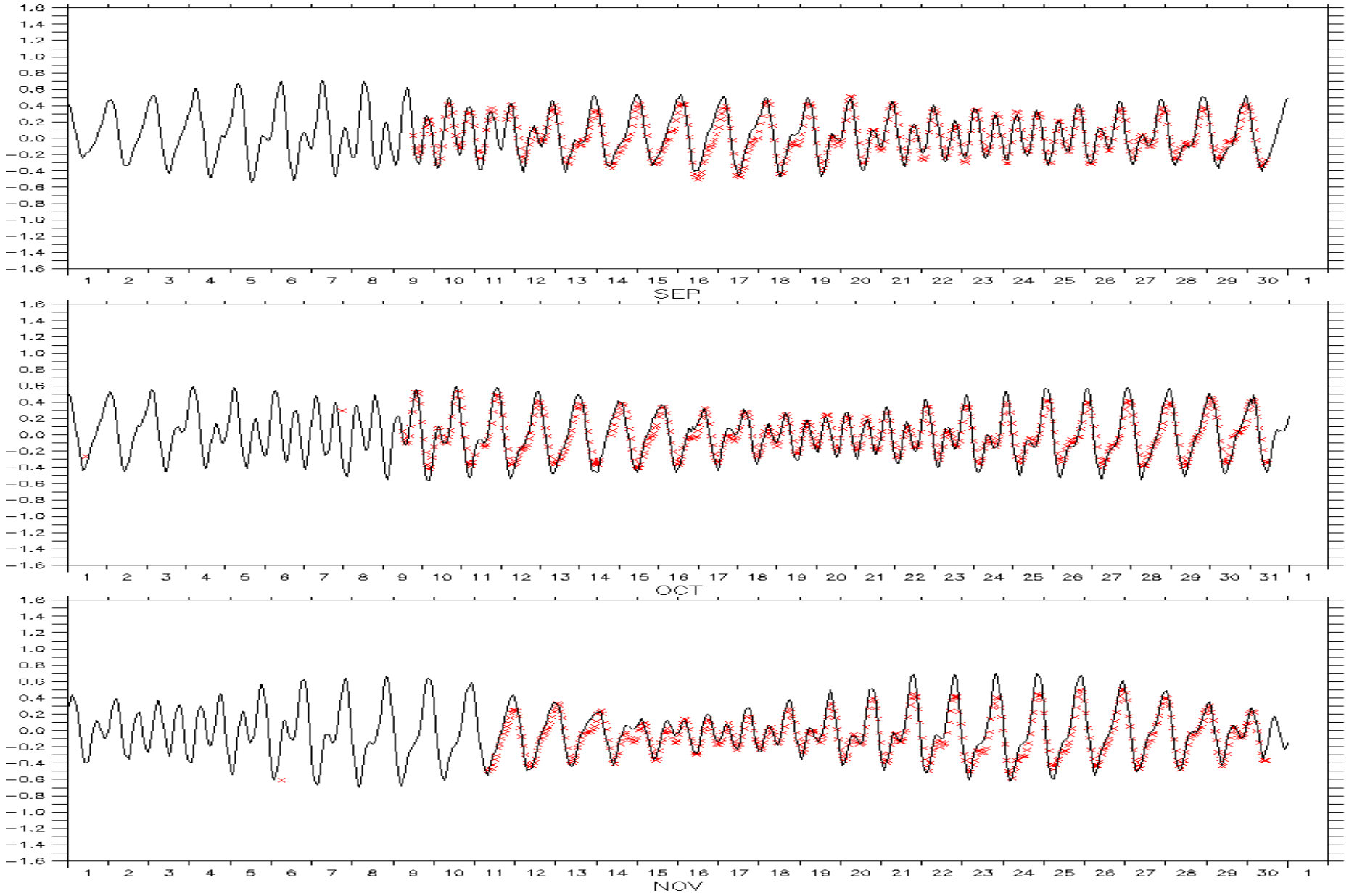


圖 A.4.7 高雄港實測資料時間修正後 2006 年 9 月至 11 月水位比對圖

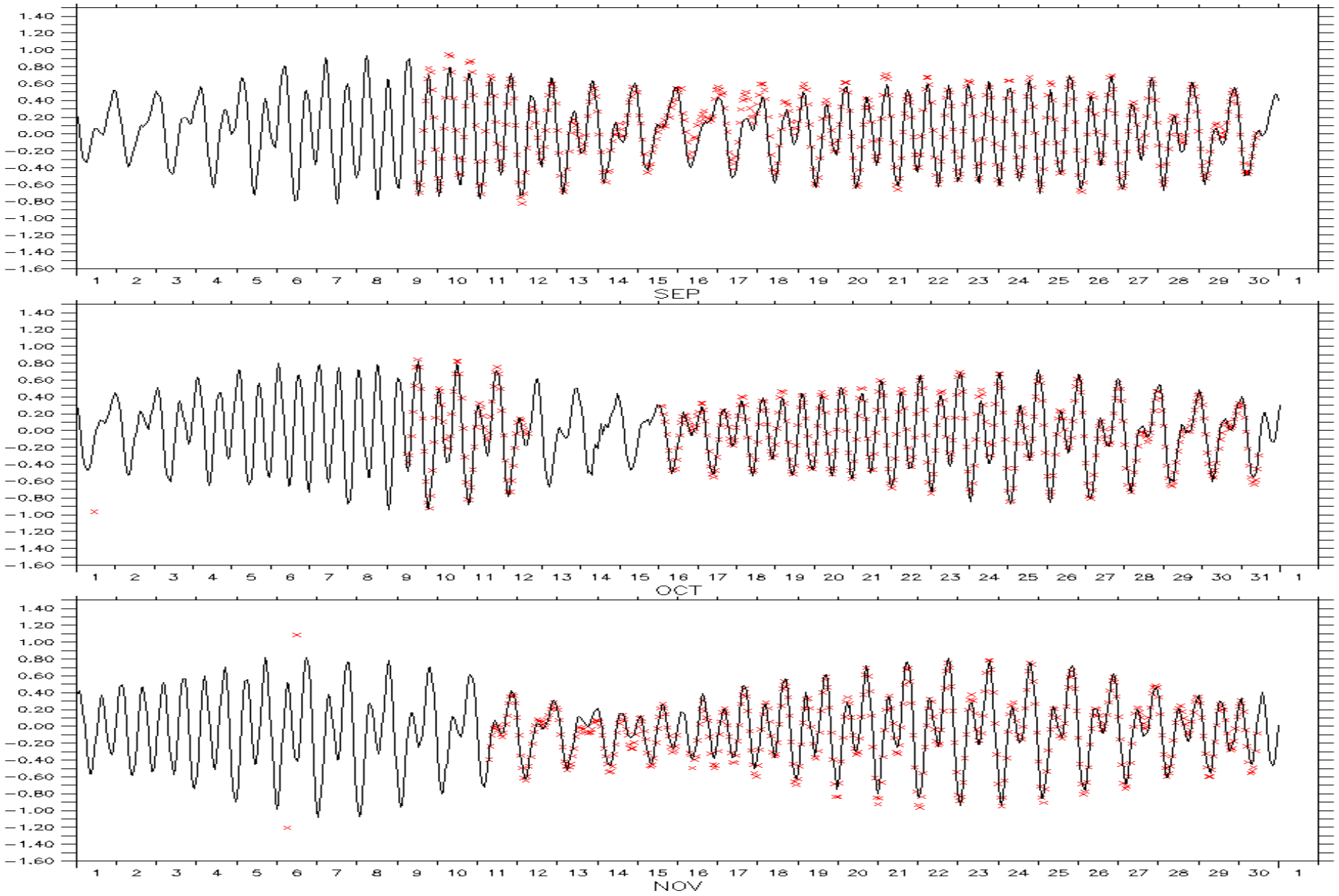


圖 A.4.8 蘇澳港實測資料時間修正後 2006 年 9 月至 11 月水位比對圖

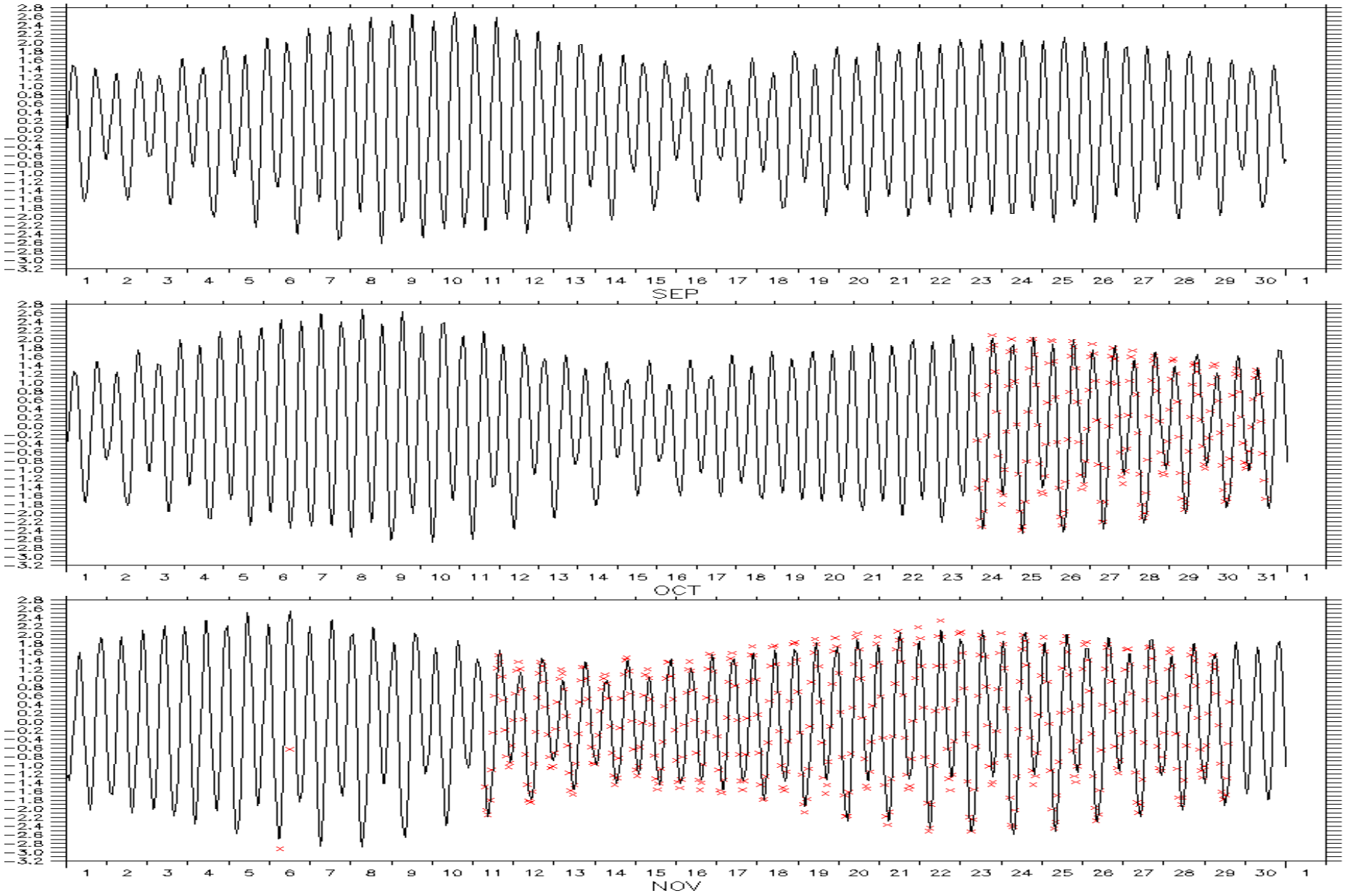


圖 A.4.9 台中港實測資料時間修正後 2006 年 9 月至 11 月水位比對圖

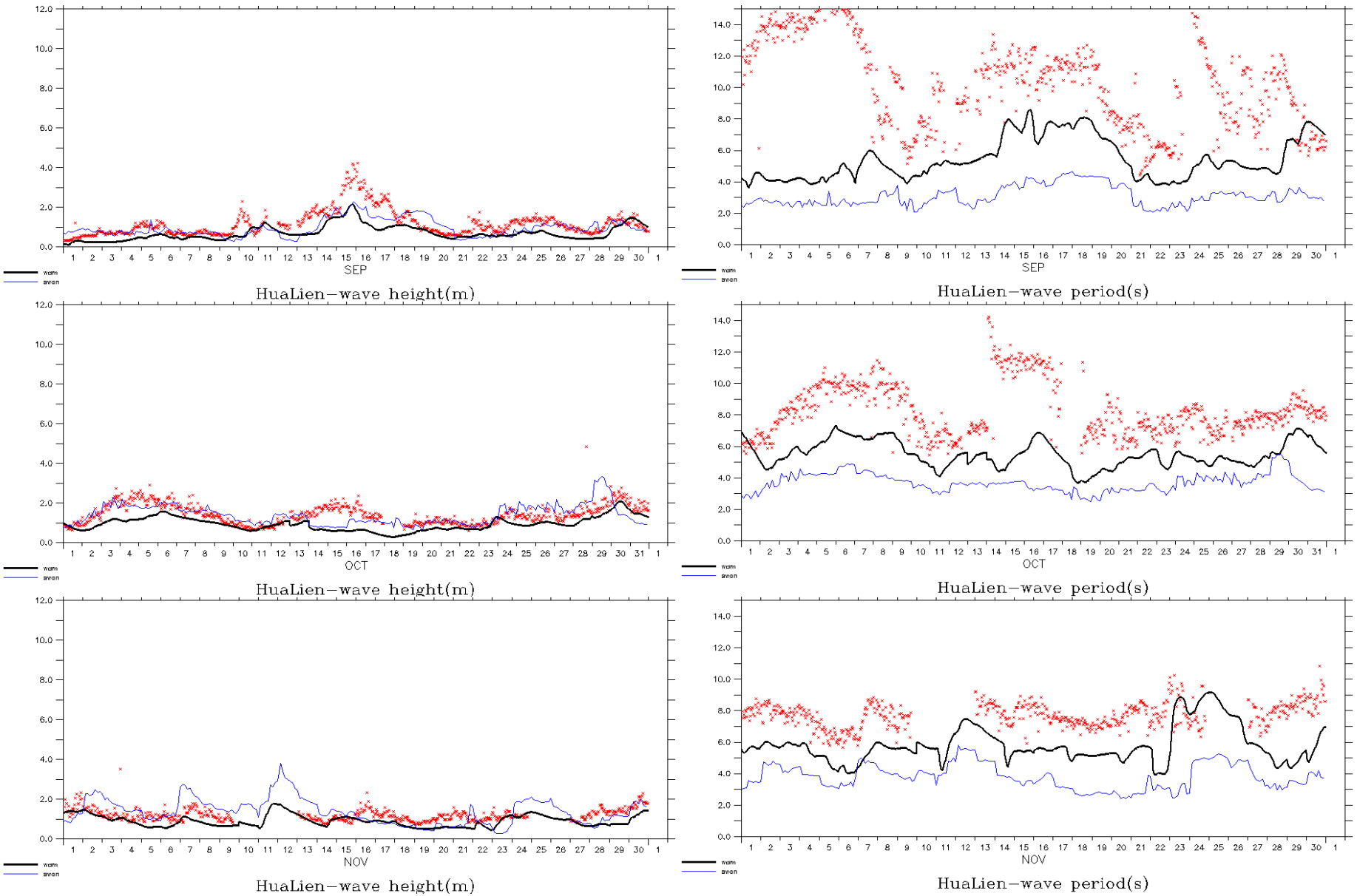


圖 A.4.10 花蓮港 2006 年 9 月至 11 月波高及週期比對圖

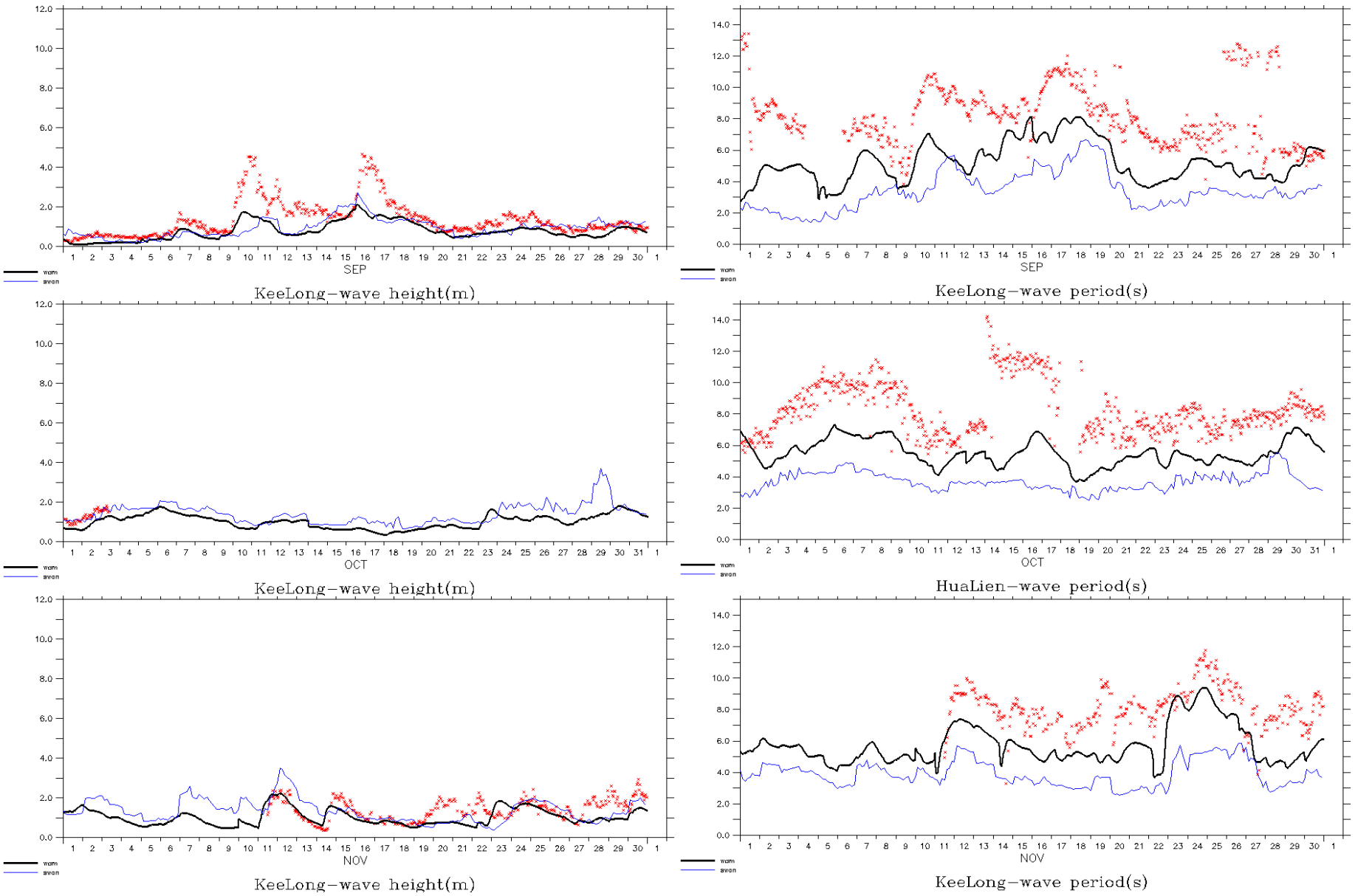


圖 A.4.11 基隆港 2006 年 9 月至 11 月波高及週期比對圖

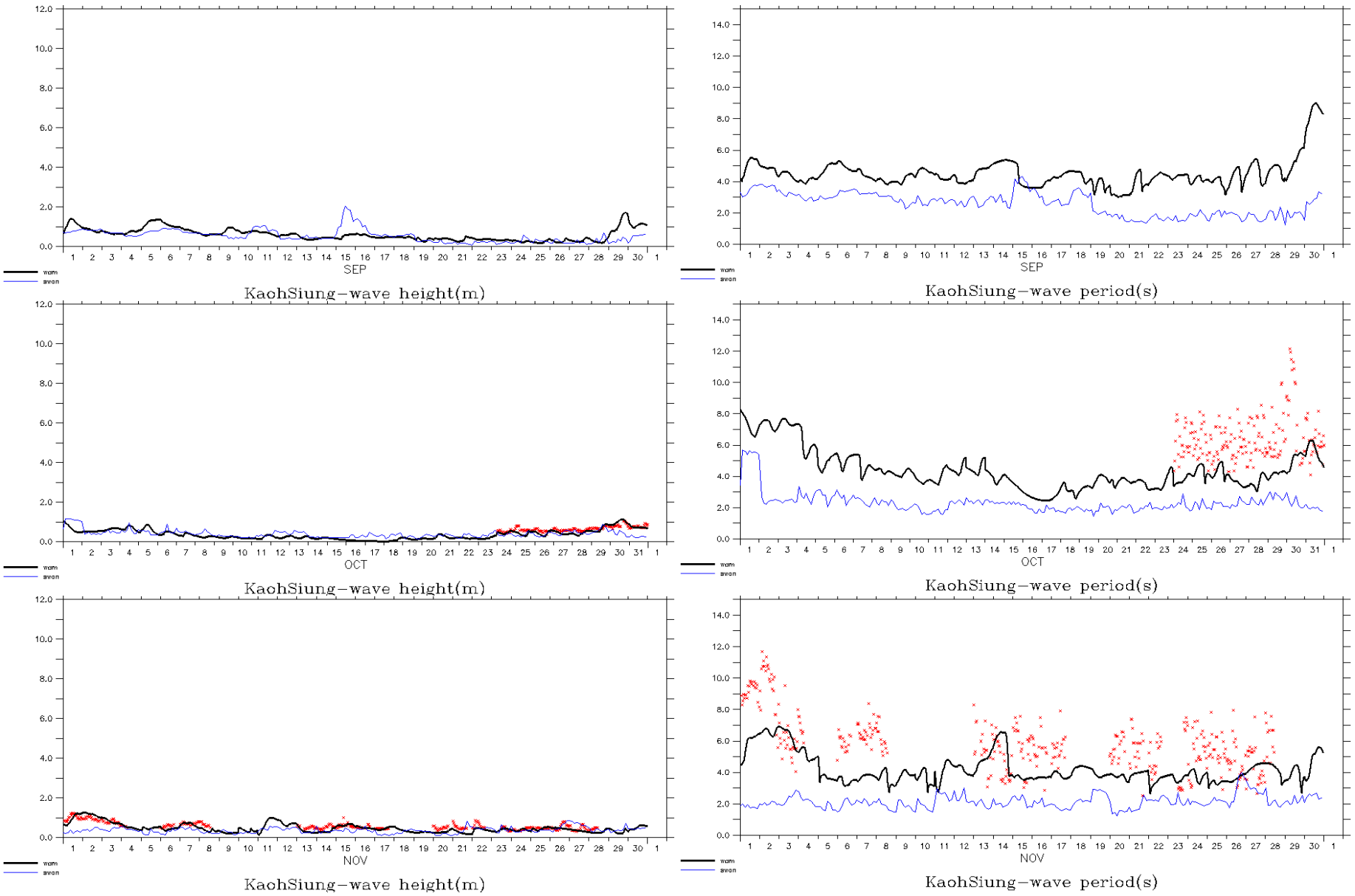


圖 A.4.12 高雄港 2006 年 9 月至 11 月波高及週期比對圖

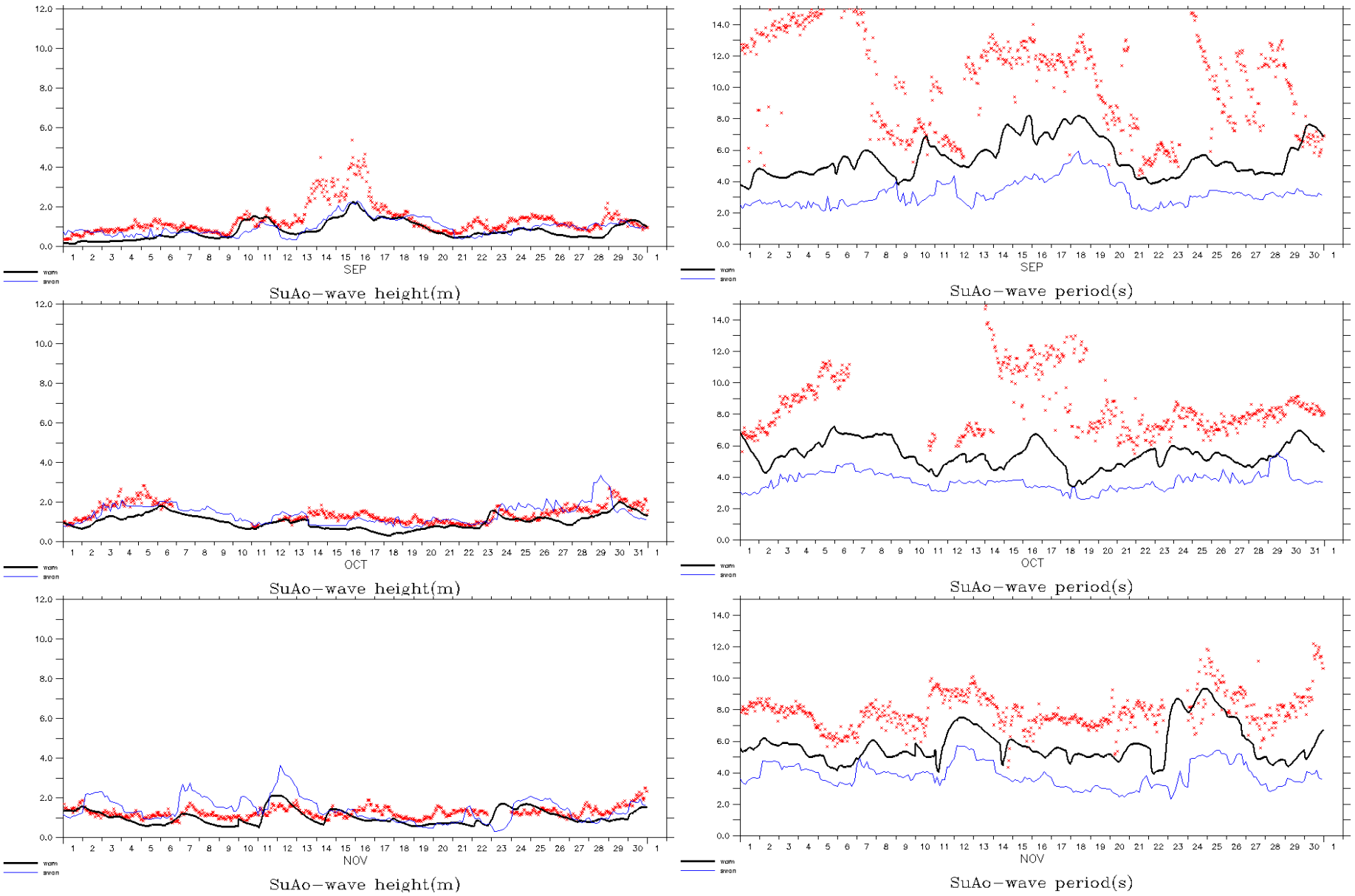


圖 A.4.13 蘇澳港 2006 年 9 月至 11 月波高及週期比對圖

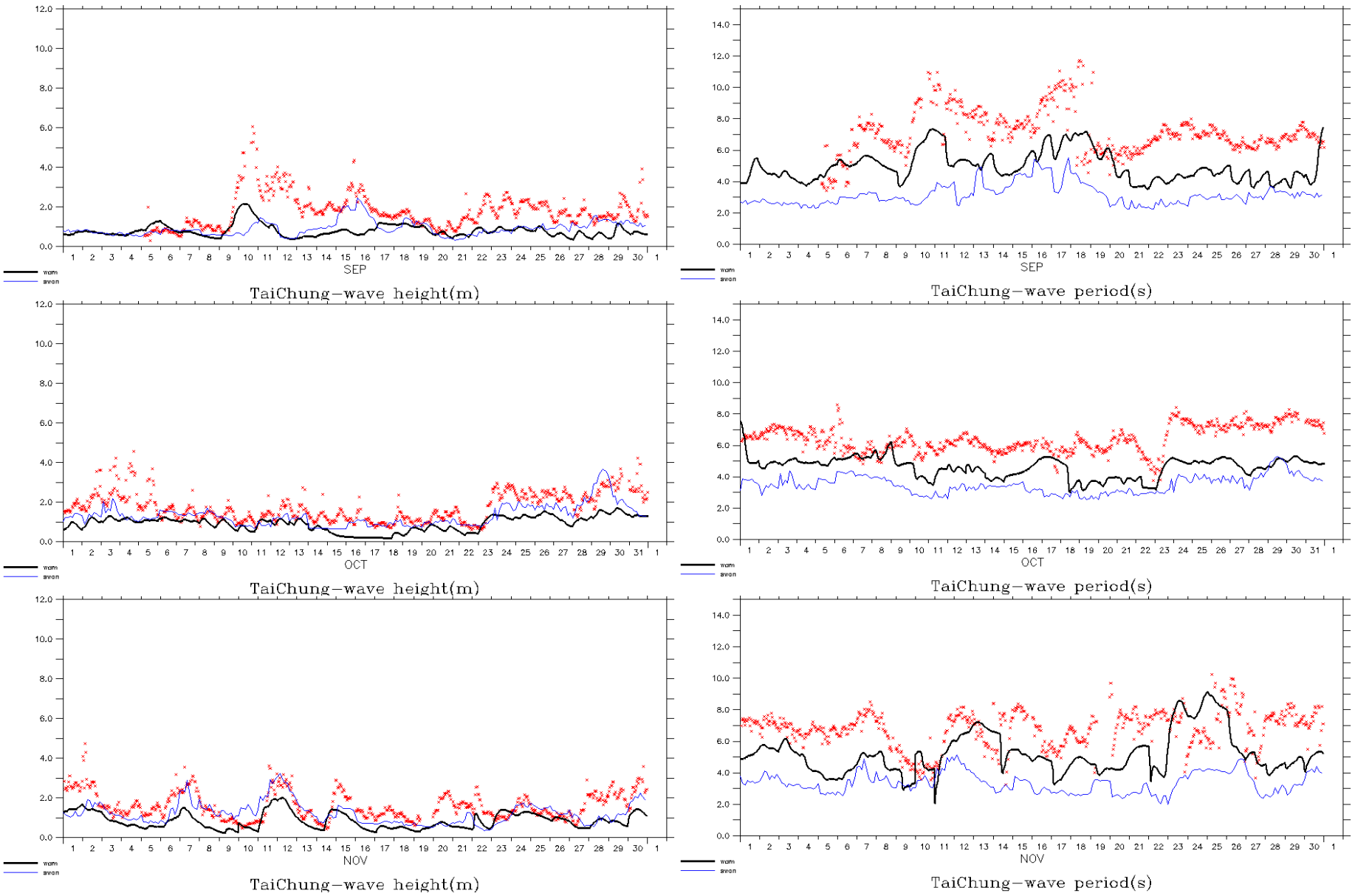


圖 A.4.14 台中港 2006 年 9 月至 11 月波高及週期比對圖

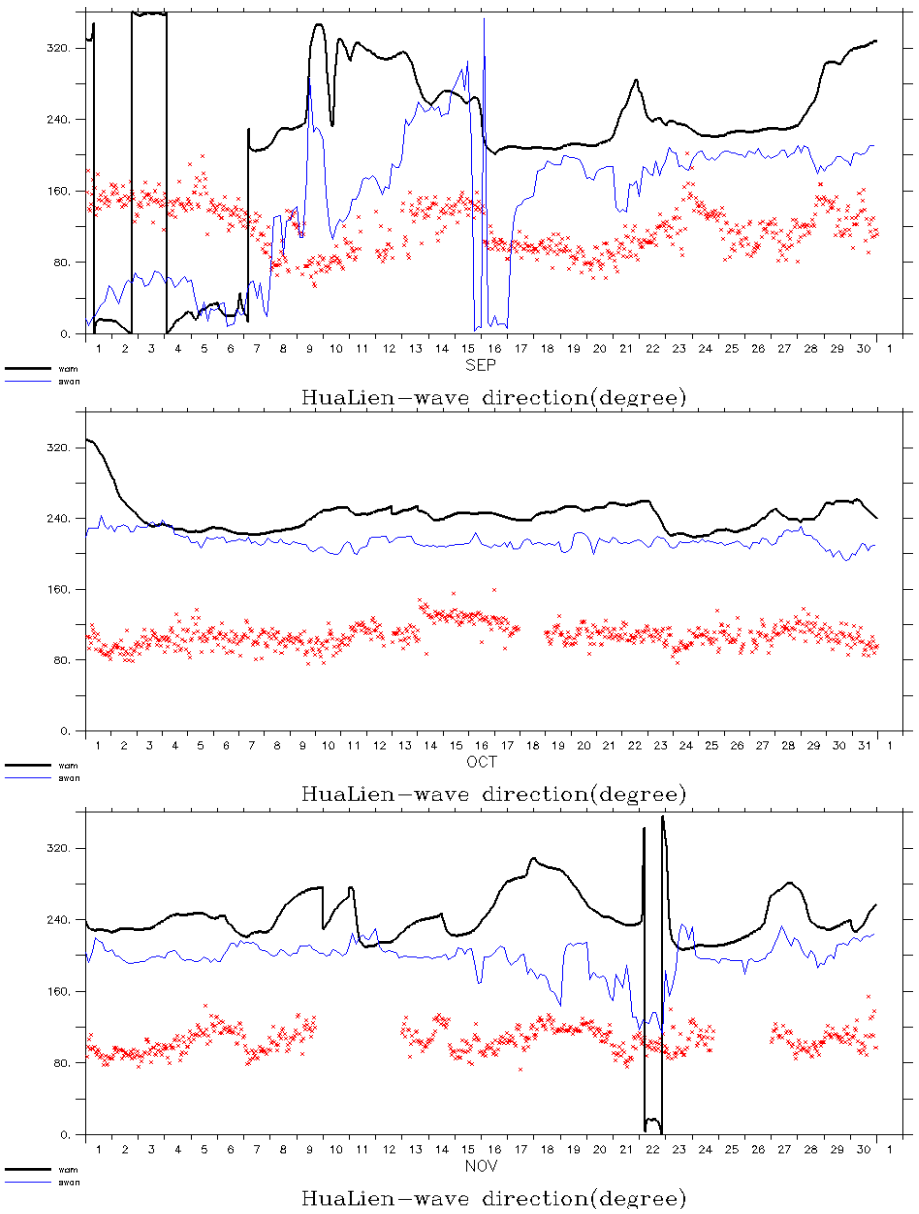


圖 A.4.15 花蓮港 2006 年 9 月至 11 月第三季波向比對圖

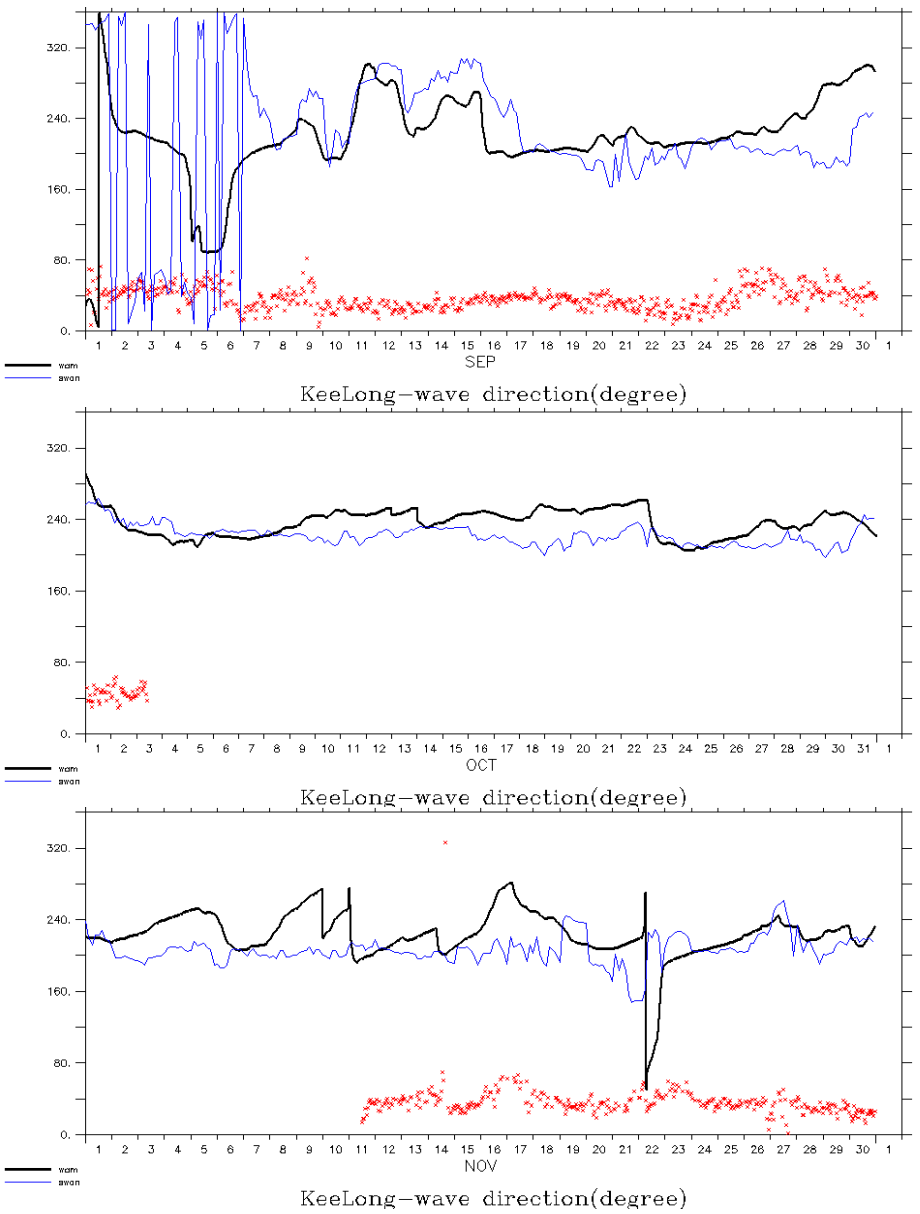
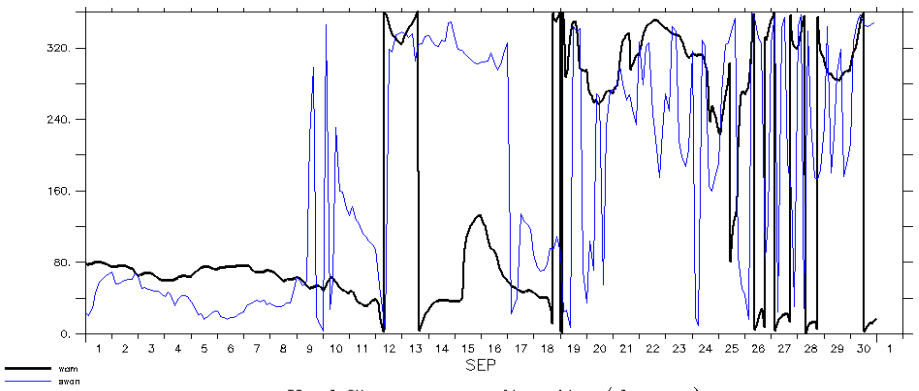
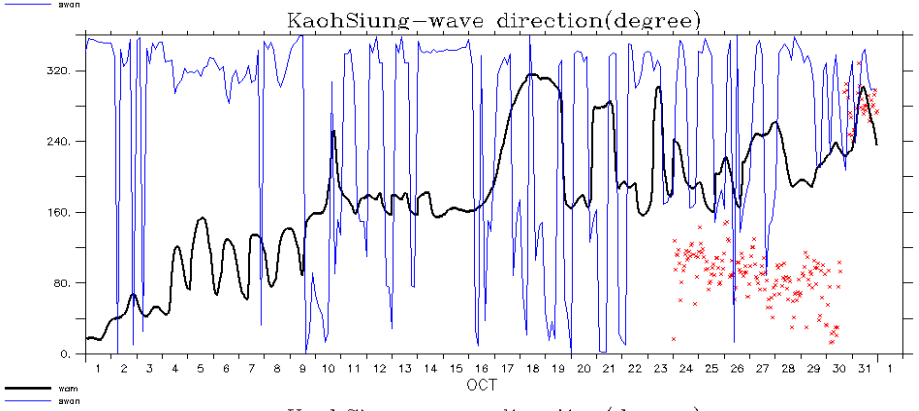


圖 A.4.16 基隆港 2006 年 9 月至 11 月第三季波向比對圖





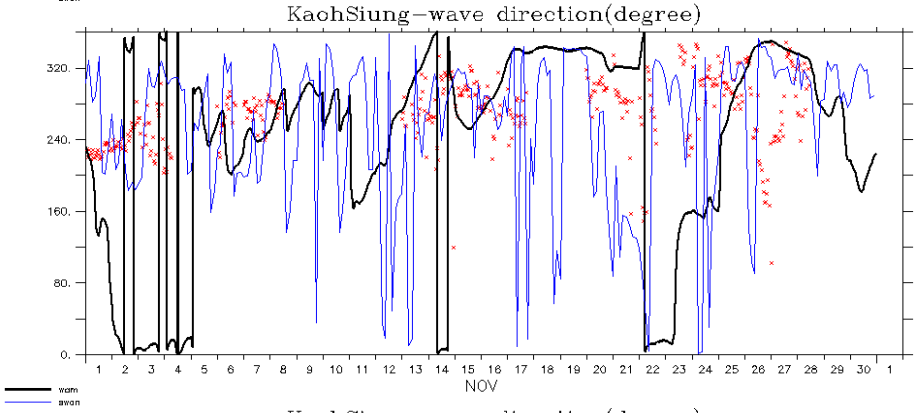
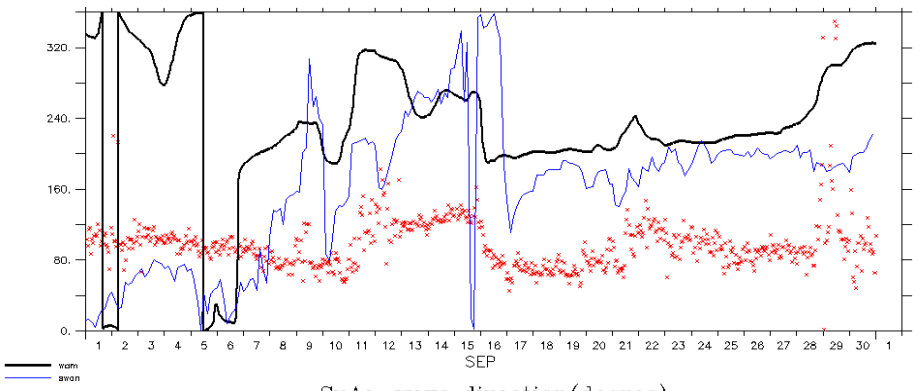
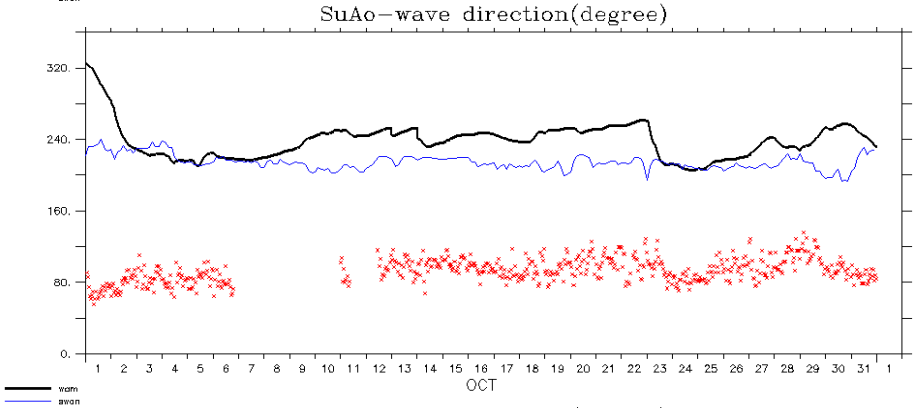


圖 A.4.16 高雄港 2006 年 9 月至 11 月波向比對圖





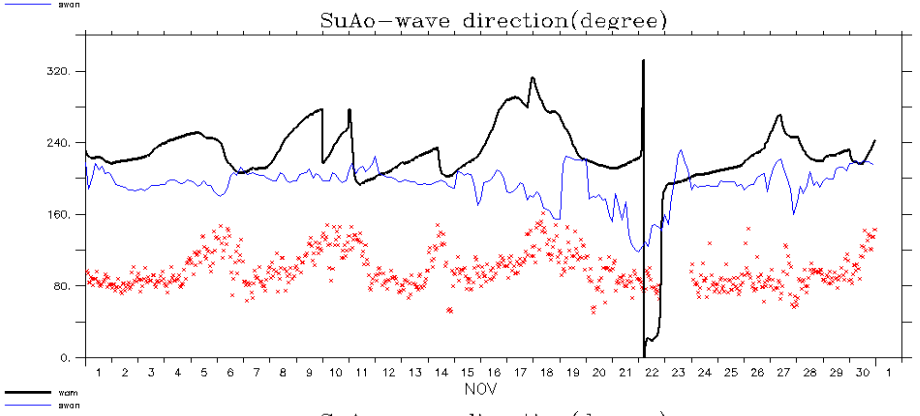


圖 4.4.17 蘇澳港 2006 年 9 月至 11 月波向比對圖

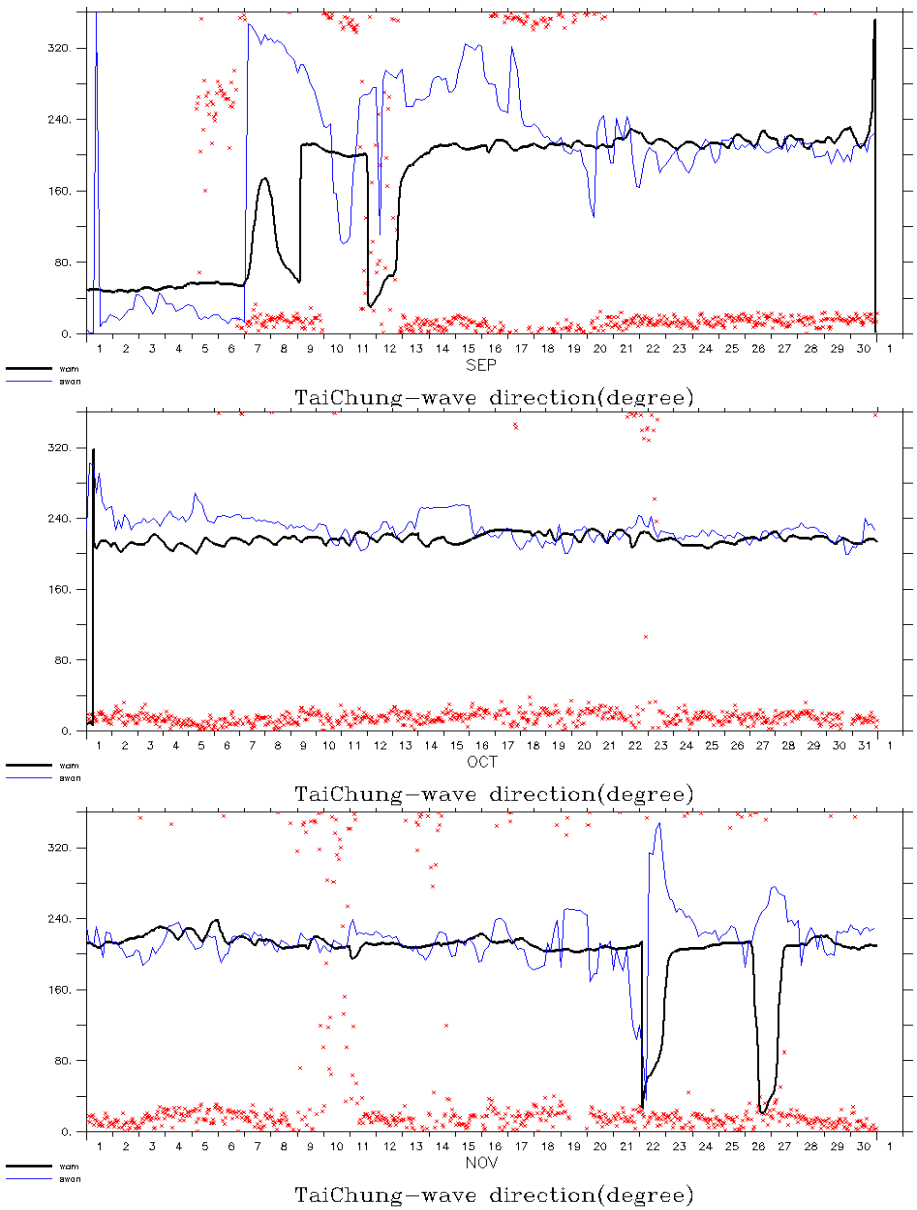


圖 A.4.18 台中港 2006 年 9 月至 11 月波向比對圖

附錄 B　期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所自辦研究計畫
期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：近岸防救災預報系統之建立(4/5)

參與審查人員 及其所提之意見	本所計畫承辦單位 處理情形
一、梁委員乃匡：	
本計畫為五年期計畫的第四年，結合所外專家共同執行，內容的深度與廣度均有相當水準，也照顧到實用性。	謝謝委員肯定。
二、林委員銘崇：	
因應系統實際應用方面之海岸溢淹預警資訊，相關對應之模式建立僅以水位模式呈現，是否足夠？	展示詳細海岸溢淹預警資訊，除預報水位資訊外，另需配合實際海堤高度及海岸地形等資訊。
三、莊委員甲子：	
1.報告書總目錄宜補充。	已依委員意見增加。
2.氣壓場與風場間相關性探討後續研究建議加以補強。	氣壓場與風場之預報資訊皆引自中央氣象局，未來將加強成果評估印證。
3.波浪模式中，全域與近岸模式之連接性與相關性建議加以補充。	波場預報模式，在大域、中域、小域等分階段計算，其整合銜接部份為模式發展之重點，於報告中有詳細說明。
4.各種近岸模式波浪預報結果之比較分析宜加進行，其優劣性宜加探討，並作其最適性建議。	此部份在前幾個年度報告已作詳細比較說明。
5.海嘯模式建議以本島可能發生狀況為實例加以演算。	謝謝委員建議，此部份為明年度研究重點。
四、翁委員文凱：	
1.在本計畫中，引用相當多之model，各模式皆有其處理之邊界條件，其所算出之結果，大域與小域 model 中是否能相互契合？尤其在風場與壓場中，影響波場相當大，未來如何改善此部分？	風場、波場、水位及流長等預報模式，在大域、中域、小域等分階段計算，其整合銜接部份為模式發展之重點，本計畫於報告中有詳細說明。氣壓場與風場之預報資訊皆引自中央氣象局，未來將加強成果評估印證。
2.類神經網路 ANFIS 模式中，在夏季推測結果中，部分推測結果可看出	謝謝委員建議，未來模式之修正及驗證將納入重點考量。

颱風之波浪,但部分結果則差異相當大,顯示模型學習量可能不夠,建議再增多資料學習。另外,為何0.7m 以下之波高,模式有高估之現象,建議再一步探討。	
五、簡委員仲璟:	
1.數值預報結果與觀測資料之比較,宜規劃一套合適之比較作業程序及標準,此對模式之修正或參數使用上可得較佳結果。	謝謝委員建議,未來成果評估將納入考慮。
2.計畫內容詳盡、完整,對於發展本土化的數值模式極有助益,應持續辦理。	謝謝委員肯定。
3.不同工作團隊間的工作協調,資料交換及成果整合,請主辦單位多予注意。	謝謝委員建議,未來計畫運作將加強成果整合。

附錄 C　期末報告審查簡報資料

近岸防救災預報系統之建立(4/5)

計畫主持人:邱永芳
共同主持人:蘇青和
港灣技術研究中心
2007年3月2日

港灣技術研究中心

近岸防救災預報系統之建立(4/5)

1、前言
2、海象預報系統
3、海氣象即時監測系統
4、線上預報作業及成果評估
5、結論與建議

港灣技術研究中心

1、前 言

- 目的:建立適用於台灣海象預警系統。
  - 臺灣海岸受颱風侵襲、暴潮溢淹、波浪破壞、海岸侵蝕等災害甚為嚴重。
  - 另海域有海難、漏油等人為災害發生
- 用途:提供政府(民間)決策(管理):災害防救及工程設計即時正確的資訊。
  - 為提供精確海象資料，即時採取應變措施，達到搶災救災目的，國內亟需一套可作業化預警系統。

港灣技術研究中心

1、前 言(續1)

- 海象泛指波浪、風力、潮位及海流等。開發海洋資源、發展航運、港灣建設...等等。皆需長期(即時)可靠海象氣象資料作依據。
- 即時監測作業，可迅速掌握海象資訊，但需投入甚多人力及物力。欲準確推估全面性海象動態，掌控未來海況，則有賴預報系統。

港灣技術研究中心

1、前 言(續2)

- 近岸防救災預報系統建置
  - 海象數值模擬系統建置。
  - 主要商港海氣象即時觀測站。
  - 線上預報作業及評估成果。

港灣技術研究中心

1、前 言（續3）

建置台灣近海海象預報系統規劃時程

	系統模式建立方面:	系統實際應用方面:
2003	風浪模式	建置防救災系統網站
2004	水位模式	風浪預警資訊
2005	流場模式	海岸溢淹預警資訊
本年度	擴散模式及海嘯模式	即時現報及評估成果
2007以後	作業化預報系統	設計波高及設計水位

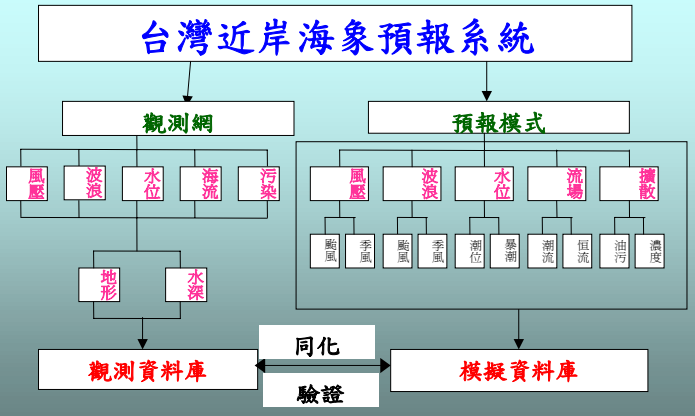
港灣技術研究中心

2、海象預報系統

- 海象預警系統:(颱風、海難為重點)
  - 預警項目:水位(天文潮及颱風暴潮位)、波浪(季風波浪及颱風波浪)、流場(潮流及恒流、近岸流場)、油污擴散、海嘯。
  - 外來項目:氣象(風場、颱風、氣壓、雨量)、河川水文資料(河口水位、流量)。(主要由氣象局或水利署提供)

港灣技術研究中心

2、海象預報系統(續1)



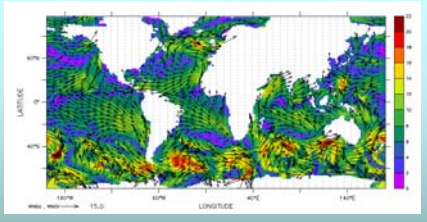
港灣技術研究中心

2.1 風場及氣壓模式

- 海面風場:
  - NOAA全球預報風場:南緯78度~北緯78度，西經180度至東經180度，網格解析度1.25度*1度[圖2.1]。
  - 中央氣象局NFS預報風場模式提供三種不同尺度(45km,15km,5km)[圖2.2]。
- 海面氣壓:
  - 中央氣象局NFS預報氣壓場模式提供三種不同尺度(45km,15km,5km)[圖2.3]。

港灣技術研究中心

圖2.1 NOAA全球預報風場(1度)



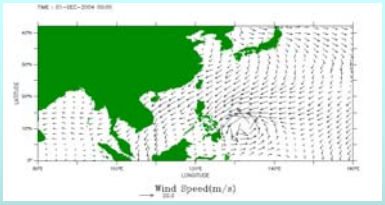
颱風風場模式

–CWB提供颱風路徑(中心位置、七級風暴風半徑、中心最大風速)等。

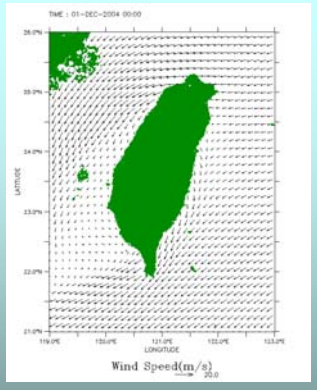
–風場分佈需使用颱風模式解析。5個颱風模式:李賢文模式(Li, 1979)、劉肖孔模式(Lau, 1985)、美國聯邦危機管理署模式（FEMA, 1988)、陳孔沫模式（Chen, 1994)及賴宗慶模式(Lai, 1995)等。

港灣技術研究中心

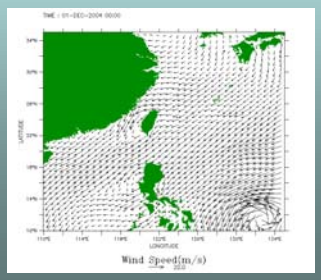
圖2.2 NFS風場模式向量圖



西太平洋海域(45KM)



中國海域(15KM)

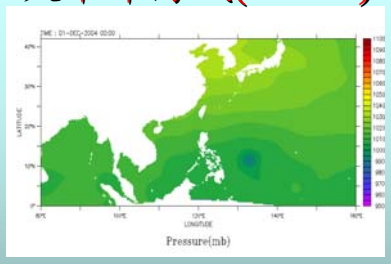


臺灣海域(5KM)

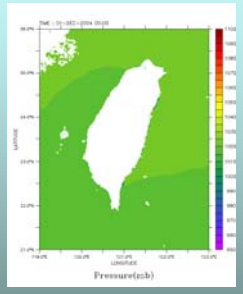
港灣技術研究中心

圖2.3中央氣象局NFS等氣壓圖

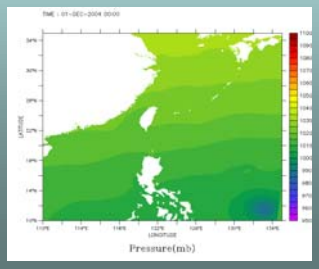
西太平洋海域(45KM)



臺灣海域(5KM)



中國海域(15KM)



港灣技術研究中心

2.2 波場模式

- 全域波浪模式
  - 分外海、近海、近岸、港區4種網格
- 定點類神經網路波浪模式
- 定點半經驗颱風波浪模式
- 各種波浪模式比較

港灣技術研究中心

2.2 波場模式(續1)

- 全域波浪模式:
  - WAM風浪模式:歐洲波浪預報群研發,西太平洋海域(大域,大網格:20分)[@]。
  - SWAM風浪模式:荷蘭 Delft 大學發展,臺灣海域(中域,小網格:1分) [@] 。
  - REF/DIF近岸波浪模式: Kirby發展,近岸海域(小域,小網格:200m) [@] 。
  - MSE近岸港區波浪模式: Mild-Slope Eq.:各港區(細域,細網格:10m~50m) [@] 。

港灣技術研究中心

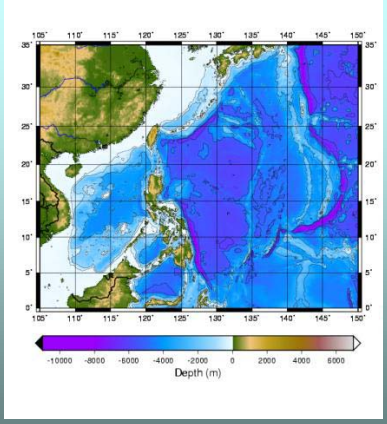
圖2.6 WAN 西太平洋預報模式（大尺度）

模式範圍

北緯　0度至 35度
東經105度至150度
網格解析度　20分
(歐洲波浪預報群研發)

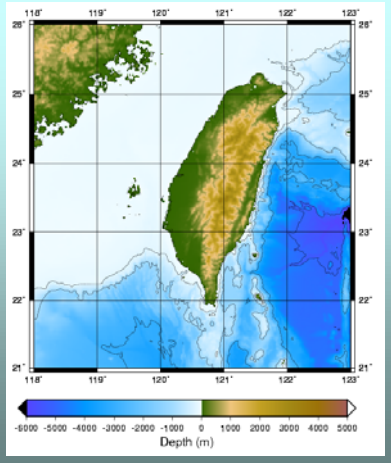
規劃目的

將颱風影響台灣可能的最遠距離給包含進來，以便讓近海預報系統的精確度更為完善，同時大尺度模式運算所產生的資料可以作為中尺度的邊界條件。



港灣技術研究中心

圖2.7 SWAN台灣海域模式（中尺度）

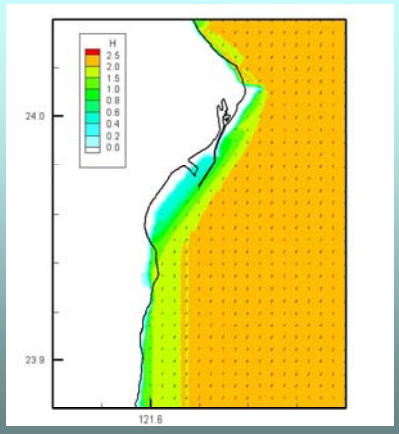


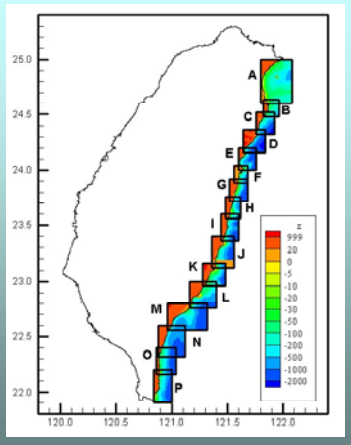
- 由荷蘭 Delft 大學發展，考慮波浪之傳遞、淺化、波與波非線性交互作用具有預報近海風浪功能。
- swan中尺度模式(1分)[圖2.7]。

港灣技術研究中心

圖2.8 REF/DIF 近岸模式(小尺度)

(kirby and Dalrymple發展)

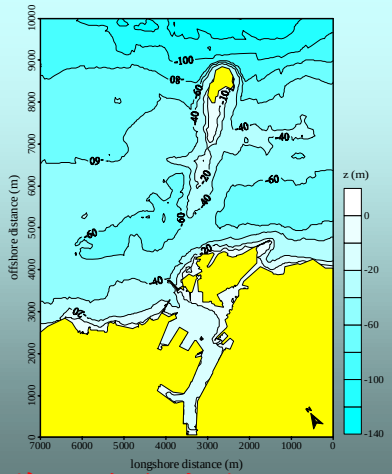




花蓮港海域地形水深圖

港灣技術研究中心

圖2.9 MSE 港區波浪模式（細尺度）



基隆港海域地形水深圖

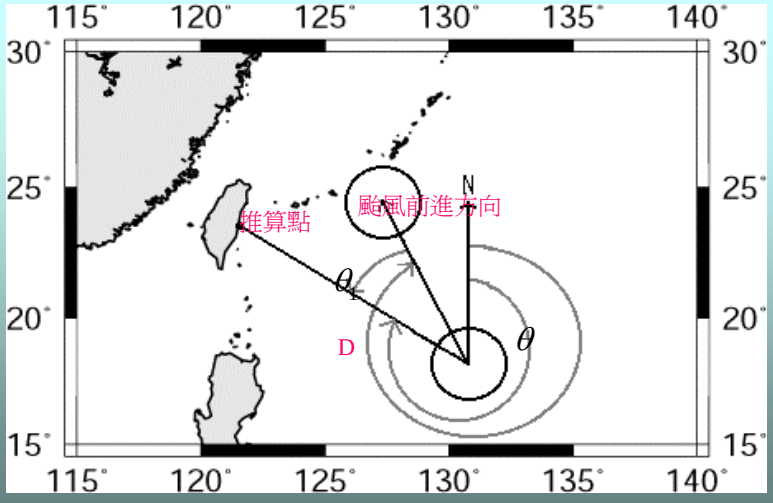
中心

類神經網路波浪模式

- 特性
  - 考量颱風及氣象不確定性(不準確性)、模式計算需要付出極大成本。類神經網路模式自我修正學習能力相當好且快速。
  - 類神經網路模式對小尺度區域複雜的非線性特性具有良好的模擬能力。
  - 預報模式結構圖[圖3.9]。

港灣技術研究中心

圖2.10 類神經網路預報模式(定點)



港灣技術研究中心

花蓮測站颱風與波浪學習資料

花蓮港測站			
年代	颱風名稱	颱風資料時段	波浪資料時段
1997	Levi	05/25(1800)~05/30(0600)	05/25(1800)~05/30(0600)
	Opal	06/15(0600)~06/21(0600)	06/15(0600)~06/21(0600)
	Peter	06/23(0600)~06/29(0000)	06/23(0600)~06/29(0000)
1998	Otto	08/02(0000)~08/05(0600)	08/02(0000)~08/05(0600)
1999	Sam	08/18(0600)~08/23(0000)	08/18(0600)~08/23(0000)
2000	Jelawat	08/01(0000)~08/11(0000)	08/03(0800)~08/11(0000)
	Bilis	08/18(0600)~08/24(0000)	08/18(0600)~08/22(1200)
	Bopha	09/05(1800)~09/11(0600)	09/08(0400)~09/11(0600)
	Yagi	10/22(1200)~10/27(0600)	10/22(1200)~10/27(0600)

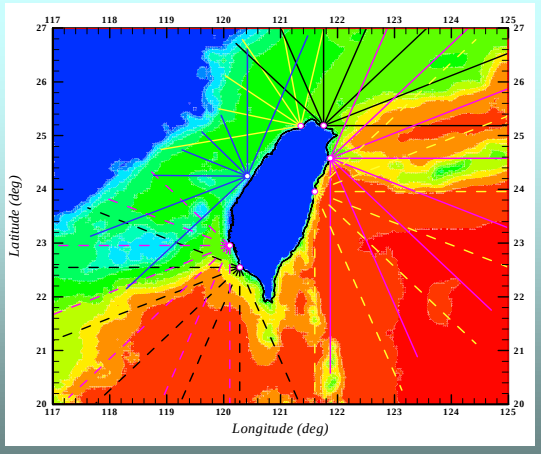
港灣技術研究中心

半經驗颱風波浪模式

- 特性
  - 採用湯麟武(1970)移動風域數值推算法。
  - 考慮淺海風浪關係、海底摩擦影響、湧浪推算及碎波效應。
  - 計算推算點各吹風距離線上之示性波高及週期 [圖2.11]。
  - 設計波高推算。

港灣技術研究中心

圖2.11 推算吹風距離線(Fetch line)



港灣技術研究中心

各種波浪模式比較

- WAM,SWAN, REF/DIF,MSE四種全域(大中小細)模式是適用於線上操作的預報系統。
- 類神經網路模式、半經驗模式自我修正學習能力相當好，且計算快速。
- 在近岸海象複雜，預測近岸波浪需要相當多量測資料及電腦資源配和，以達到特殊地形或區域預警防災的功能。

港灣技術研究中心

2.3 水位模式

- 全域水位模式：引用歐盟發展模式-COHERENS。
  - 天文潮模式(週期性水位變化)
  - 暴潮模式(颱風為主因)。
- 定點類神經網路水位模式。
- 模式驗證及各種模式比較

港灣技術研究中心

全域天文潮模式

- 天文潮模式的邊界潮位利用Global Ocean Model (Schwiderski, 1982) 計算結果內插得到，以8個分潮(四個全日潮及四個半日潮)計算。
- 大域範圍:東經105~150度，北緯0~35度，解析度為1/6度同WAN模式。中域範圍同SWAN模式區域。小域範圍同REF/DIF波浪模式區域。

港灣技術研究中心

全域暴潮模式

- 暴潮模式的四週邊界為自由邊界(free flux)，以風場及氣壓場作為表面驅動力。
- 計算範圍同天文潮模式(大中小)，但重點於小區域 。

港灣技術研究中心

類神經網路水位模式

- 特性
  - 考量颱風及氣象不確定性(不準確性)、模式計算需要付出極大成本。類神經網路模式自我修正學習能力相當好且快速。
  - 類神經網路模式對小尺度區域複雜的非線性特性具有良好的模擬能力。

[B]

港灣技術研究中心

2.4 海流模式

- 全域海流模式：引用歐盟發展模式-COHERENS。
  - 2D海流模式：潮汐及風力為主。
  - 3D海流模式：潮汐及風力為主。
- 2D近岸水動力模式(HYDR2)
- 2D及3D模式比較

港灣技術研究中心

2D全域海流模式

- 大域四週測邊界潮位引用Global Ocean Model (Schwiderski, 1982) 結果:8個分潮(四個全日潮及四個半日潮)作為驅動。
- 表面輸入風場及氣壓資料(風剪力)。
- 模式計算範圍同水位模式(大中小3種)。
- 得到垂直方向平均之潮流與風驅流。
- 未來提供油污擴散模式計算。

港灣技術研究中心

3D全域海流模式

- 四週測邊界潮位引用Global Ocean Model (Schwiderski, 1982) 結果:8個分潮(四個全日潮及四個半日潮)作為驅動。
- 表面輸入風場及氣壓資料(風剪力)。
- 模式計算範圍同2D海流模式。
- 垂直方向分多層(溫度或鹽度不同)。
- 包括垂直方向多層之流場。
- 未來提供溫鹽擴散模式計算。

港灣技術研究中心

海流預報模式比較

- 2D全域模式，在預報作業上來說，較3D適用於線上操作的預報系統。
- 在近岸海象複雜，預測近岸地區(小域)海流需要相當多量測資料及電腦資源配和，以達到區域預警防災功能。
- 2D流場提供油污擴散模式計算。
- 3D流場提供溫鹽擴散模式計算。

港灣技術研究中心

2.5 擴散模式

- 因應污染擴散，本年度進行擴散模式建置，主要目標為油污擴散及河口溫鹽。
  - –2D油污擴散模式。
  - –3D溫鹽擴散模式。

港灣技術研究中心

2D擴散模式–洩油軌跡預測

- 緣由:台灣海峽及東岸太平洋海運交通相當頻繁
  - – 基隆外海所發生布拉格號油輪洩油污染事件
  - – 墾丁龍坑海域發生阿瑪斯號洩油污染事件
- 洩油模式
  - – 納入海流、風場作用及洩油傳輸機制
  - – 引用TaiCOMS預報風、浪、潮、流等資料
  - – 與作業化模式結合

港灣技術研究中心

3D擴散模式—溫鹽擴散

3D 水動力方程式:

動量方程式

連續方程式

壓力平衡方程式

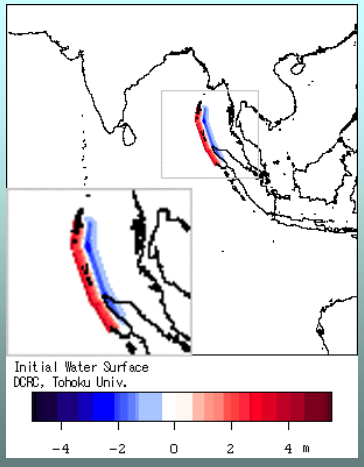
3D 溫鹽擴散方程式:

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

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

港灣技術研究中心

2.6 海嘯模式



南亞海嘯造成的重大傷亡，讓國人進一步的正視海嘯可能造成的威脅

港灣技術研究中心

地震斷層上下運動造成海嘯

•斷層上下運動可達十公尺以上 (台灣九二一大地震)

港灣技術研究中心

海嘯數值模式

- 需要強大的電腦運算能力
- 資訊不足 –臺灣海嘯是十分罕見
  - –我國上次發生海嘯災害已超過一個世紀以上，缺乏相關資料與經驗
- 海嘯數值模式校驗與修正極困難
  - –理想方式為引進國外成熟技術數值模式為基礎，逐步建立本土的海嘯模式

港灣技術研究中心

本年度研究內容

- 引進日本港灣空港研究所之海嘯數值模式。
- 模擬實際發生大海嘯(2004南亞大海嘯,1993北海道大海嘯)。
- 編寫海嘯數值模式使用手冊。
- 邀請日本港灣空港研究所之研究人員進行交流 。

港灣技術研究中心

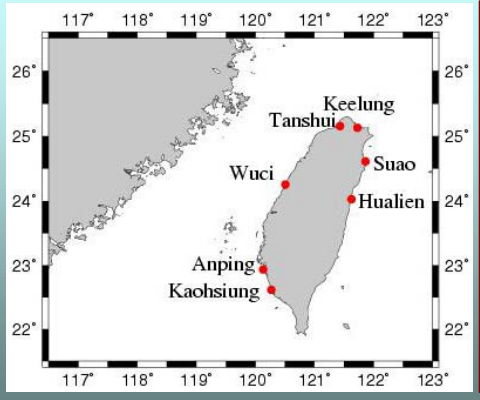
3、海氣象即時監測系統

現況:

- 國內近岸測站尚稱足夠，但較缺乏整合。而外海觀測站甚缺乏。
- 配合預報模式作業化，觀測資料需自動化即時監測功能。

港灣技術研究中心

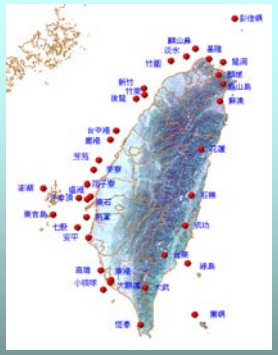
港研中心所屬觀測站



港灣技術研究中心

氣象局觀測站 海科中心觀測 水利署觀測站

(引自氣象局網站) (引自海科中心網站) (引自水利署網站)



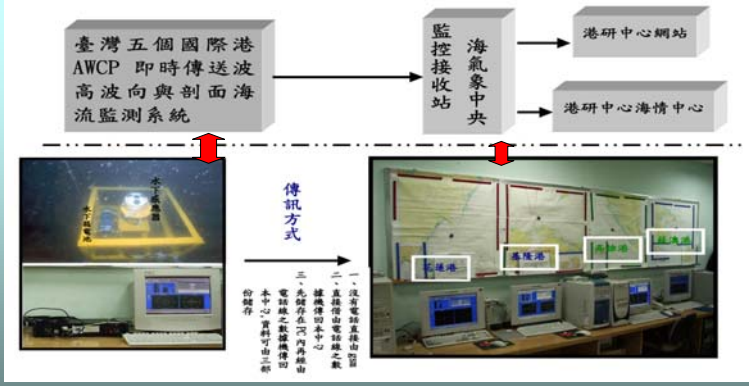
港灣技術研究中心

港研中心主要商港觀測網站

- 自1986年開始，港研(所)中心在主要商港進行長期海氣象資料觀測、建立資料庫。
- 主要商港：基隆港、蘇澳港、花蓮港、台中港、高雄港、台北港及安平港等七港。
- 自1999年擬更新計畫，逐步汰舊換新引精密儀器，並配海象數值模擬系統建立，以期獲較全面完整港區海象特性。

港灣技術研究中心

即時監測系統示意圖



港灣技術研究中心

4.線上預報作業及成果評估

- 海象預警系統網站 (TaiCOMS)。
- 作業化之線上預報系統。
- 年度預報成果評估。

港灣技術研究中心

TaiCOMS 網站系統

- **網站架構**
  - 初步提供供專業使用者查看。
  - 往後開放給一般民眾。

港灣技術研究中心

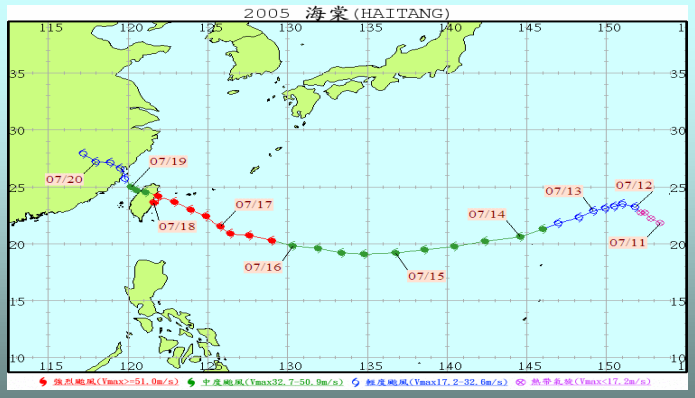
TaiCOMS 網站系統

網站架構

- 系統說明
- 風壓模式
- 波場模式--------> ✓模式說明
  - ✓颱風波場
  - ✓即時波場
  - ✓歷史波場
- 水位模式
- 流場模式
- 擴散模式
- 颱風海象
- 觀測資料
- 相關網站

港灣技術研究中心

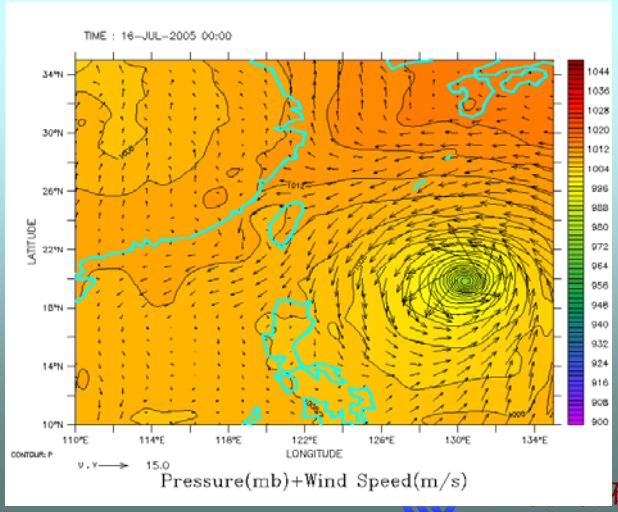
海棠強烈颱風(2005/7/18)



海棠颱風路徑圖
資料來源：中央氣象局網站

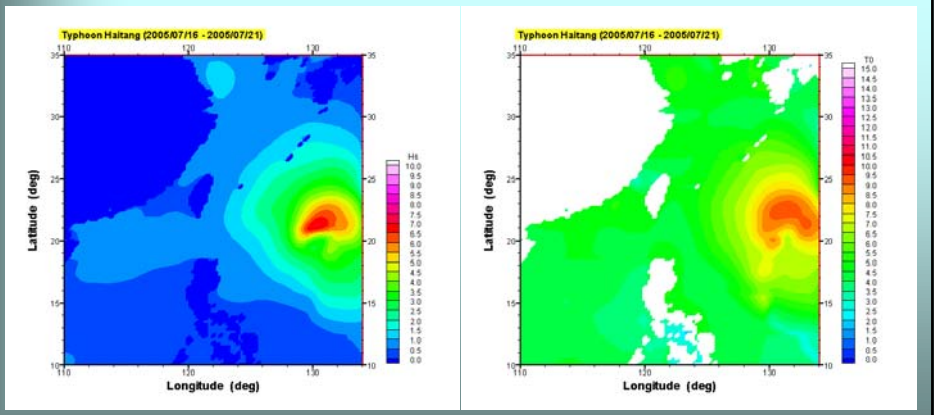
港灣技術研究中心

海棠強烈颱風(NFS風場模式)



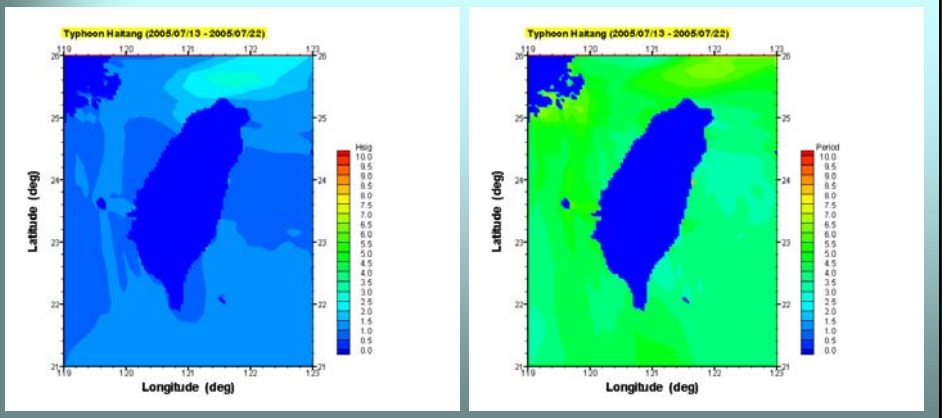
港灣技術研究中心

海棠強烈颱風(WAN波浪模式)



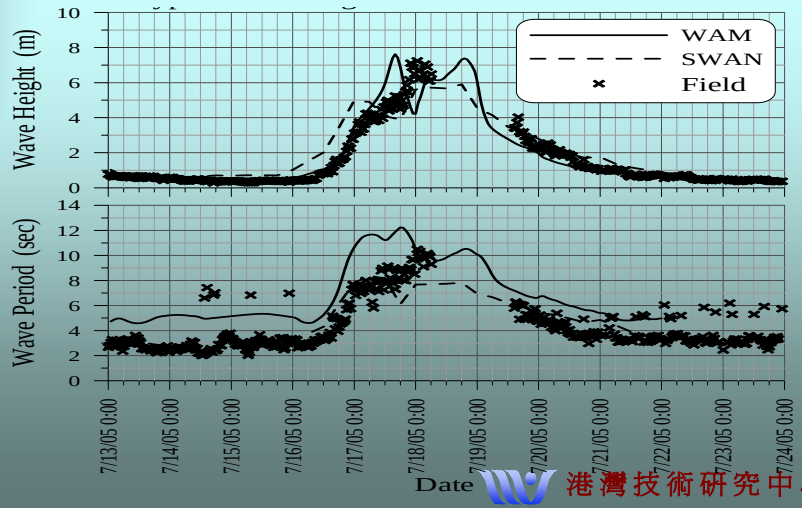
港灣技術研究中心

海棠強烈颱風(SWAN波浪模式



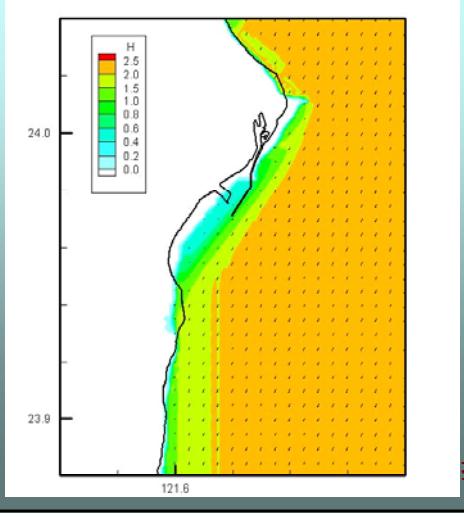
港灣技術研究中心

花蓮港波高及週期歷線圖(海棠颱風)(WAN SWAN)



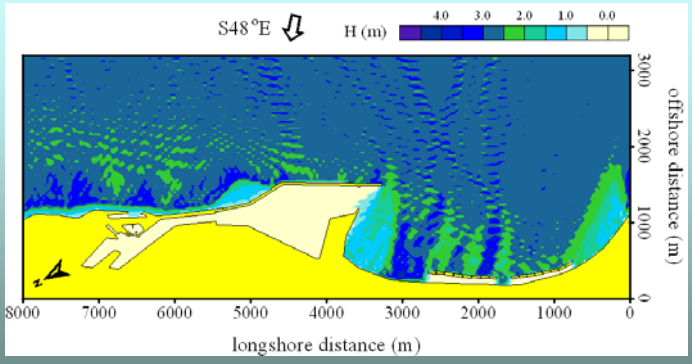
港灣技術研究中心

花蓮港海域近岸波場分佈圖 (REF/DIF)



技術研究中心

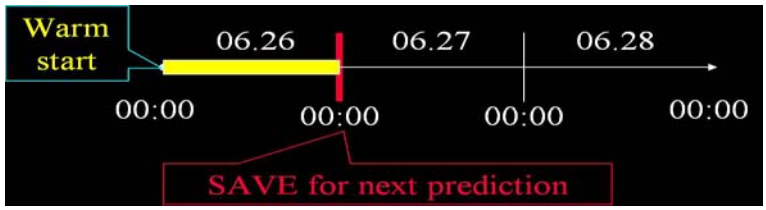
花蓮港港區波場分佈圖 (MSE)



港灣技術研究中心

即時現報作業概念

- 每次作業時間為三天
  - 24小時現報（與七大港即時觀測系統比對）
  - 48小時預報（純模式模擬結果）
- Example: 06.27 00:00



港灣技術研究中心

預報成果評估方式流程

擷取每日預報前24小時結果

↓

以月為單位進行資料整併

↓

利用實測資料與模式結果以月為單位作時序比對圖

↓

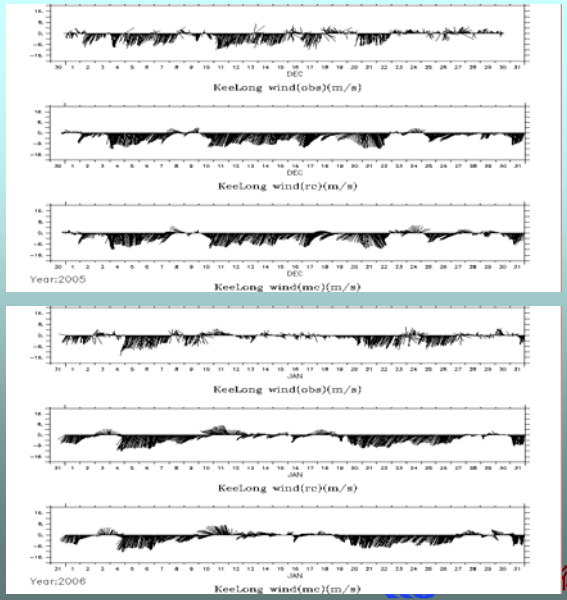
以月為單位進行rms計算

↓

以季或颱風為單位提出評估報告

港灣技術研究中心

2005年12月與2006年1月風速比對結果-基隆



港灣技術研究中心

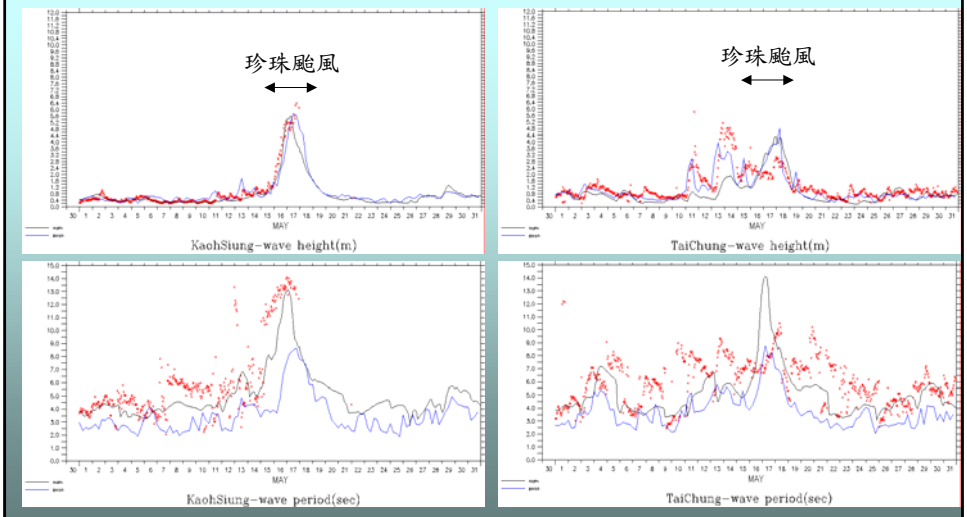
預報模式成果評估－風速

前兩季風速模式風速rms值(m/s)

		基隆	台中	高雄	蘇澳	花蓮
2005年12月	MC	0.87	2.58	1.32	1.03	2.31
	RC	3.34	3.18	3.18	5.34	3.28
2006年1月	MC	1.01	2.69	1.61	1.27	2.54
	RC	3.15	2.70	2.8	4.71	2.61
2006年2月	MC	1.07	3.07	2.35	1.37	2.6
	RC	3.69	3.19	3.32	5.15	2.6
2006年3月	MC	1.07	2.35	1.89	1.38	2.41
	RC	3.08	2.7	2.49	4	2.25
2006年4月	MC	1.37	1.94	1.66	1.51	2.36
	RC	3.23	2.62	2.61	3.99	2.34
2006年5月	MC	1.78	2.05	1.71	1.8	1.96
	RC	3.21	3.13	2.82	3.47	2.28

港灣技術研究中心

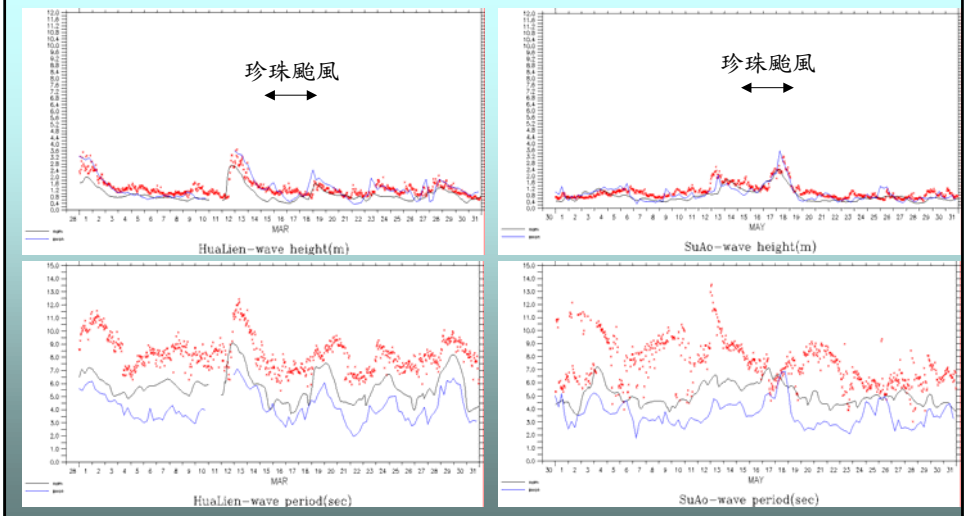
2006年5月波浪模式波高週期比對結果



高雄(黑線:WAM, 藍線:SWAN)　　台中(黑線:WAM, 藍線:SWAN)

港灣技術研究中心

2006年5月波浪模式波高週期比對結果



花蓮(黑線:WAM, 藍線:SWAN)　　蘇澳(黑線:WAM, 藍線:SWAN)

港灣技術研究中心

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	0.44

港灣技術研究中心

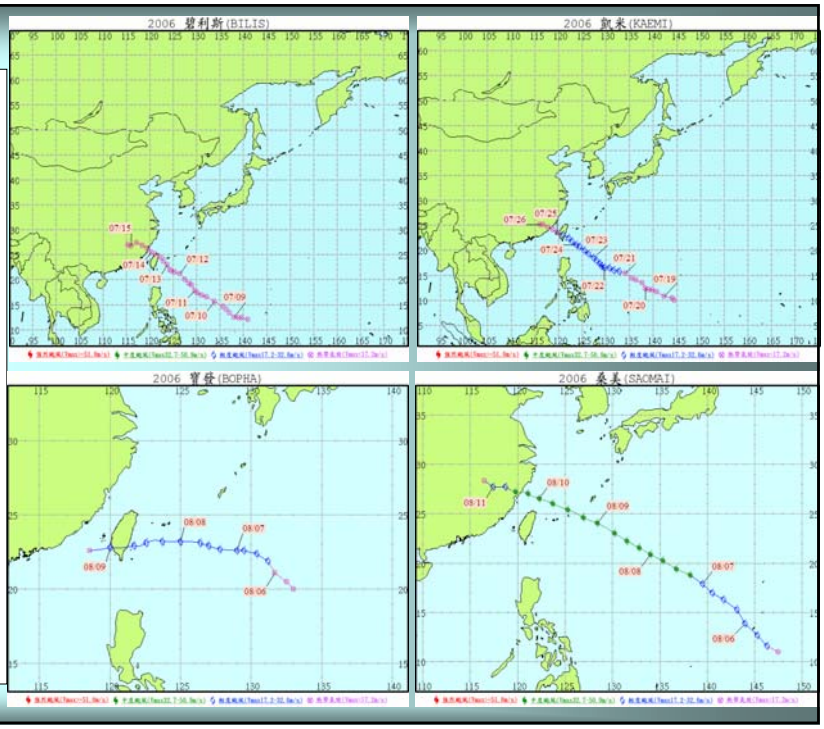
預報模式成果評估－水位

前兩季水位模式rms值(m)

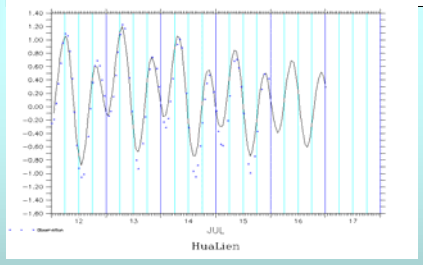
	基隆	台中	高雄	蘇澳	花蓮
2005年12月	0.26	0.72	0.12	0.08	0.09
2006年1月	0.24	2.68	0.09	0.09	0.08
2006年2月	0.23	4.78	0.13	0.07	0.10
2006年3月	0.23	1.56	0.1	0.1	0.12
2006年4月	0.22	無資料	0.09	0.08	0.09
2006年5月	0.44	無資料	0.42	0.4	0.36

港灣技術研究中心

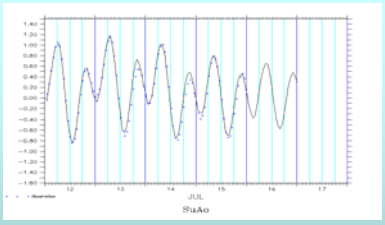
06年侵台颱風路徑圖



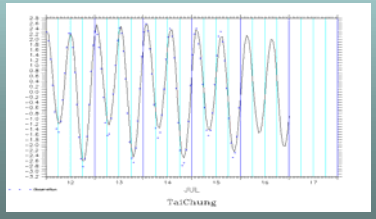
碧利斯颱風期間水位比對圖



花蓮



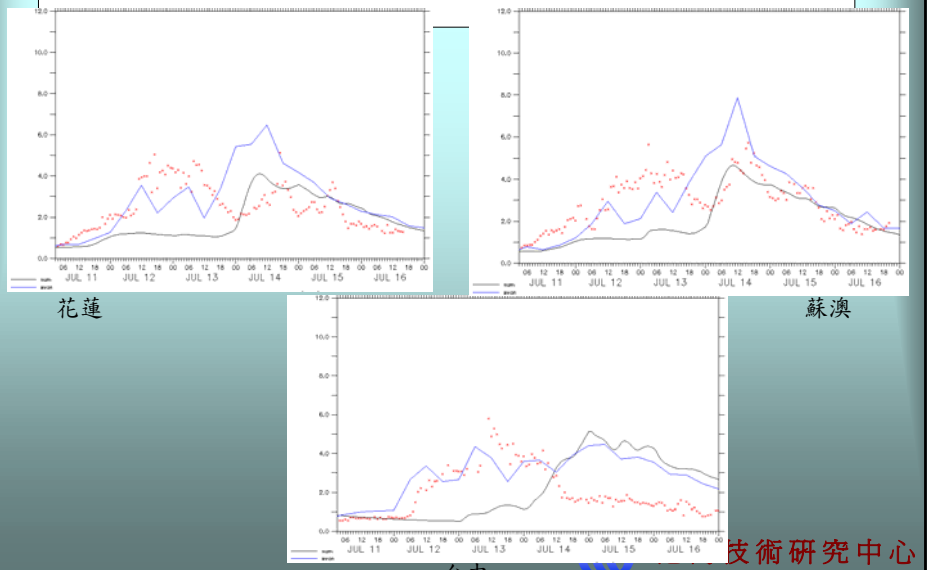
蘇澳



台中

港灣技術研究中心

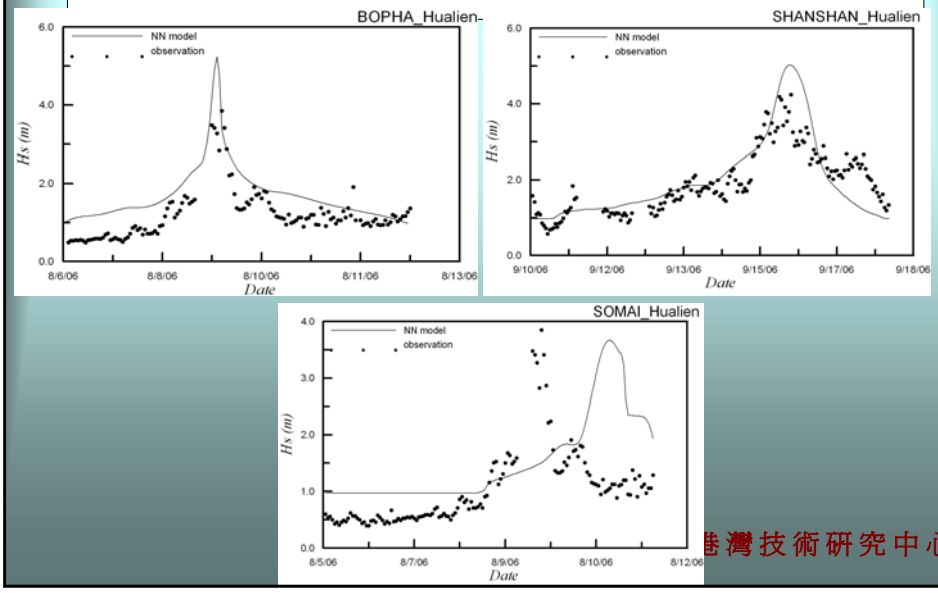
碧利斯颱風期間波高比對圖



花蓮　　蘇澳　　台中

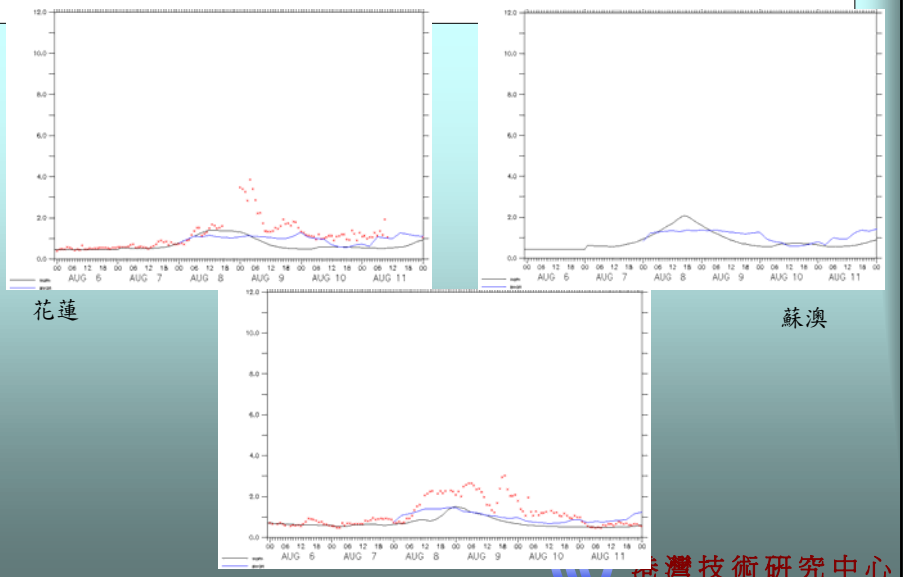
港灣技術研究中心

類神經颱風波浪模式評估分析(花蓮)



港灣技術研究中心

桑美及寶發颱風期間波高比對圖



花蓮　　蘇澳

台中

港灣技術研究中心

5. 結論與建議

- 海象預警系統:提供政府決策與管理單位在預警措施、災害防護及工程設計等即時正確的資訊。
- TaiCOMS網站:初步僅供專業使用者，往後開放給一般民眾。
- 作業化改善及精確度提昇為未來工作重點—有賴現場觀測資料校驗。

港灣技術研究中心

5. 結論與建議(續1)

- 風場及氣壓模式方面:氣象局NFS提供三種尺度資訊--有正確氣象才有正確海象。
- 波浪預報作業:全域模式適用線上操作，但類神經網路單點模式提供快速的訊息。近海或港區波浪預報為未來重點。未來推算長期颱風波浪,以檢討現有設計波高標準。

港灣技術研究中心

5. 結論與建議(續2)

- 水位模式方面: 提供環島海岸溢淹預警。 天文潮大致良好(高雄與基隆差異較大)，暴潮偏差值偏小，將藉小網格改進。未來推算長期暴潮,以檢討現有設計水位標準。
- 海流模式方面:建立大域及區域性流場及污染擴散模式，迅速提供緊急海難、油污擴散、港口航運安全資訊。在近岸複雜地形，需由大到小(高解析度)，配合觀測資料及高速計算，以達到區域預警防災功能。

港灣技術研究中心

5. 結論與建議(續3)

- 海嘯模式方面: 未來將著重於台灣沿岸海嘯影響範圍，淹水潛勢分析，建立教育民眾防災自救知識及避難路線圖。
- 配合本所海情中心業務，並採用地理資訊系統之人性化操作界面，以利各界之使用。

港灣技術研究中心

簡報完畢
敬請指正!

港灣技術研究中心