

94-49-7145  
MOTC-IOT-93-H3DA005

# 近岸防救災預報系統之建立(2/5)



交通部運輸研究所  
中華民國九十四年四月

94-49-7145  
MOTC-IOT-93-H3DA005

# 近岸防救災預報系統之建立(2/5)

著 者： 邱永芳、蘇青和、簡仲璟

交通部運輸研究所

中華民國九十四年四月

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(2/5) / 邱永芳、蘇青和、簡仲璟著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運研所， 民 94  
面； 公分  
參考書目：面  
ISBN 986-00-0900-7(平裝)

1. 海洋氣象 – 自動化 2. 地理資訊系統

444. 94029

94006738

近岸防救災預報系統之建立 (2/5)

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：台北市敦化北路 240 號

網 址：[www.ihmt.gov.tw](http://www.ihmt.gov.tw)（中文版/中心出版品）

電 話：(04)26587176

出版年月：中華民國九十四年四月

印 刷 者：萬達打字印刷有限公司

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臺灣技術研究中心網站

定 價：400 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

三民書局重南店：台北市重慶南路一段 61 號 4 樓•電話：(02)23617511

三民書局復北店：台北市復興北路 386 號 4 樓•電話：(02)25006600

國家書坊台視總店：台北市八德路三段 10 號 B1•電話：(02)25787542

五南文化廣場：台中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

新進圖書廣場：彰化市中正路二段 5 號•電話：(04)7252792

青年書局：高雄市青年一路 141 號 3 樓•電話：(07)3324910

GPN：1009401138

ISBN：986-00-0900-7（平裝）

近岸防救災預報系統之建立  
(2/5)

交通部運輸研究所

GPN：1009401138

定價 400 元



## 交通部運輸研究所出版品摘要表

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                         |                          |                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 出版品名稱：近岸防救災預報系統之建立 (2/5)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                         |                          |                                                              |
| 國際標準書號 (或叢刊號)<br>ISBN 986-00-0900-7(平裝)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 政府出版品統一編號<br>1009401138 | 運輸研究所出版品編號<br>94-49-7145 | 計畫編號<br>93-H3DA005                                           |
| 主辦單位：港灣技術研究中心<br>主管：邱永芳<br>計畫主持人：邱永芳<br>共同主持人：蘇青和<br>研究人員：簡仲璟、李忠潘、陳陽益、許泰文、張憲國、劉景毅<br>薛憲文、王兆璋、于嘉順、廖建明、劉正琪、錢維安<br>聯絡電話：04-26587175    傳真號碼：04-26571329                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                         |                          | 研究期間<br>自 93 年 01 月<br>至 93 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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                         |                          |                                                              |
| 摘要： <p>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，以五年期間擬建立一套適用於台灣海域之近岸海域防救災預報系統。</p> <p>上年度(第一年度)主要工作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。另外建置防救災預報系統網站、台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。今年(第二年度)工作重點為持續校驗去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、更有效率的預報台灣沿岸海域的風浪；另建置本土化之潮汐及風暴潮水位預報模式，以台灣環島海岸觀測水位資料，校驗數值模擬結果。今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。</p> <p>未來將建立本土化之水位預報模式，以整合台灣環島海岸觀測水位資料，及數值模擬結果，迅速且精確的提供海岸溢淹之預警資訊。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。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。最後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。</p> |                         |                          |                                                              |
| 出版日期                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 頁數                      | 定價                       | 本 出 版 品 取 得 方 式                                              |
| 94 年 4 月                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 384                     | 400                      | 凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。 |
| 機密等級： <p> <input type="checkbox"/>限閱   <input type="checkbox"/>機密   <input type="checkbox"/>極機密   <input type="checkbox"/>絕對機密<br/>         (解密【限】條件：<input type="checkbox"/> 年   月   日解密，<input type="checkbox"/>公布後解密，<input type="checkbox"/>附件抽存後解密，<br/> <input type="checkbox"/>工作完成或會議終了時解密，<input type="checkbox"/>另行檢討後辦理解密)       </p> <p><input checked="" type="checkbox"/>普通</p>                                                                                                                                                                                                                                                                 |                         |                          |                                                              |
| 備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                         |                          |                                                              |

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

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                              |                                 |                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>TITLE:</b> Establishing a Forecast System for Near-shore Disaster Prevention and Salvage                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                              |                                 |                                                                                                                                                |
| ISBN (OR ISSN)<br>ISBN 986-00-0900-7<br>(pbk.)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER<br>1009401138 | IOT SERIAL NUMBER<br>94-49-7145 | PROJECT NUMBER<br>93-H3DA005                                                                                                                   |
| DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER<br>DIVISION DIRECTOR: Yung-Fang Chiu<br>PRINCIPAL INVESTIGATOR: Yung-Fang Chiu<br>PROJECT STAFF: Su, Ching-Ho   Chien, C.C.   Lee, C. P.   Chen, Y.Y   Yu, C.S.   Hsu, T.W.<br>Chang, K.K.   Liu, C.Y.   Wang, C.C.<br>PHONE: 886-4-26587175<br>FAX: 886-4-26571329                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                              |                                 | <b>PROJECT PERIOD</b><br>FROM    January 2004<br>TO        December 2004                                                                       |
| <b>KEY WORDS:</b> Near-shore Area ; Disaster Prevention and Rescue ; Forecast System ; Wind-Wave Forecast ; Storm Surge Forecast ; Flow Forecast                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                              |                                 |                                                                                                                                                |
| <b>ABSTRACT:</b><br><br><p>The sea exploiting activities and coastal developing projects in Taiwan become extensive. In order to protect human lives and properties, coastal engineering measures have to be taken for preventing disasters from huge waves, surges and coastal erosion. Enough knowledge about marine meteorology is crucial. Therefore, to develop an integrated Coastal Ocean Modeling System is an urgent need. In order to achieve this goal, Harbor and Marine Technology Center has conducted Taiwan Coastal Operational Modeling System (TaiCOMS) project under the scheme of national program on “The construction of coastal defense and forecasting systems”. The major goal is to develop a system of marine forecast system for Taiwan, particularly focusing on coastal waters.</p> <p>The efforts in the past year’s research focused on the topics of planning and classifying an island-wide observation network, and established a local Wind-Wave Forecast Model. This model could provide necessary information for the Blue-Highway System. Particular research effort was to collect observation data of waves, island-wide water depths and numerical grids. These three items are the preprocessing part of the forecast system. The objectives of this year’s project are to integrate and to calibrate the four wave models constructed last year, adding fine grid local area wave model for the simulation and analysis of long-term wave characteristics around the seven commercial harbors; set up water level models to simulate tides and storm surges due to typhoon. Since the meteorological conditions on the surface of the model domain are still driven with the available CWB typhoon route data, the project partners will try to apply the wind field forecasted by NOAA to compensate for the lack of full resolution met-data.</p> <p>In the future, establishing storm surge forecast and flow forecast, and integrating these models into Geographic Information System for predicting the marine meteorology surround Taiwan will be the major objective for the entire project.</p> |                                              |                                 |                                                                                                                                                |
| DATE OF PUBLICATION<br>April 2005                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | NUMBER OF PAGES<br>384                       | PRICE<br>400                    | CLASSIFICATION<br><input type="checkbox"/> SECRET<br><input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL<br><input checked="" type="checkbox"/> 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  |
| <b>第一章 前言</b> .....             | 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 台灣環島海象預報系統(TaiCOMS)規劃 ..... | 1-7  |
| <b>第二章 風場及氣壓場模式</b> .....       | 2-1  |
| 2.1 全域風場模式 .....                | 2-1  |
| 2.2 颱風風場模式 .....                | 2-5  |
| 2.3 全域氣壓場模式 .....               | 2-23 |
| <b>第三章 波浪模式</b> .....           | 3-1  |
| 3.1 全域風浪模式 .....                | 3-1  |
| 3.2 定點類神經網路波浪模式 .....           | 3-12 |
| 3.3 定點風域推算半經驗颱風波浪模式 .....       | 3-33 |
| 3.4 近岸波浪模式 .....                | 3-61 |
| 3.5 各類波浪模式之比較 .....             | 3-84 |
| <b>第四章 水位模式</b> .....           | 4-1  |
| 4.1 全域天文潮模式 .....               | 4-1  |
| 4.2 全域暴潮模式 .....                | 4-21 |
| 4.3 全域水位模式 .....                | 4-27 |
| 4.4 定點類神經網路水位模式 .....           | 4-37 |
| 4.5 各類水位模式之比較 .....             | 4-57 |

|                           |      |
|---------------------------|------|
| <b>第五章 台灣環島長期波浪推算結果</b>   | 5-1  |
| 5.1 風浪推算模式、計算地區及計算時間      | 5-1  |
| 5.2 環島藍色公路海域長期波浪推算結果特性    | 5-24 |
| 5.3 台灣 7 個商港長期波浪推算結果特性    | 5-41 |
| 5.4 風浪模式長期推算建立之相關模式       | 5-76 |
| <b>第六章 臺灣環島海象預報數值模式系統</b> | 6-1  |
| 6.1 風壓模式之流程及操作說明          | 6-1  |
| 6.2 各種波浪模式之流程及操作說明        | 6-3  |
| 6.3 各種水位模式之流程及操作說明        | 6-10 |
| <b>第七章 臺灣環島海象預報網路系統</b>   | 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 |
| <b>第八章 結論與建議</b>          | 8-1  |
| 8.1 結論                    | 8-1  |
| 8.2 建議                    | 8-4  |
| <b>參考文獻</b>               | 9-1  |
| <b>附錄一 期末報告審查意見處理情形表</b>  | A-1  |
| <b>附錄二 期末審查會簡報資料</b>      | B-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○五六七五號函送立法院審議的「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。

台灣四面環海,陸域面積約 3 萬 6 千平方公里,在這狹小的地區卻塞了 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,如台灣海峽廣大的漁場、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。

目前台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台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，對於整個台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，各項回歸週期之設計基準也將不足以應付新的自然條件所加諸之嚴酷挑戰。因此，近岸防救災系統的建立是在 21 世紀配合台灣要邁向海洋國家最重要的施政項目之一。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，擬建立一套適用於台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，以整合台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，以能迅速正確掌控海岸各種污染擴散現象，以提供救災必要之資訊。
6. 配合本所海情中心業務，建立近岸防救災預報系統，並採用地理資訊系統之人性化操作界面，以利各界之使用。

## 1.2 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，台灣鄰近的韓國、香港、泰國、新加坡等國亦都已有相當的發展，而國內中央氣象局海象測報中心，近幾年來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

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

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

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 of 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

自 1978 年開始，英國氣象局（UKMO）即使用由 POL (Proudman Oceanographic Laboratory) 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

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 中央氣象局海象測報中心

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，包括了台灣海峽、東海、黃海、南海及部分西北太平洋海域，對於我國海域航行安全有相當大之助益。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)。預計民國九十二年底 SWAN 模式上線預報，研究東北

角海岸模式範圍由東經 121.5 度到 122.5 度，北緯 24.5 度到 25.5 度，網格格點為 500 公尺，每天預報兩次，每次提供未來 24 小時及 36 小時的波浪預報場(中央氣象局海象測報中心提供)。

### 1.3 台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，本計畫在去年 (2003) 已規劃完整的台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，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，上年度(第一年)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。本年度(第二年) 工作重點為持續校驗去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、更有效率的預報台灣沿岸海域的風浪；另建置本土化之潮汐及風暴潮水位預報模式，以台灣環島海岸觀測水位資料，校驗數值模擬結果。今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)將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以檢討現有沿海防護設施的設計波高標準，並做為海岸災害防護措施的依據，水位方面以整合台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。第四年(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，以能迅速正確掌控海岸各種污染擴散現象，以提供救災必要之資訊；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。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。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。

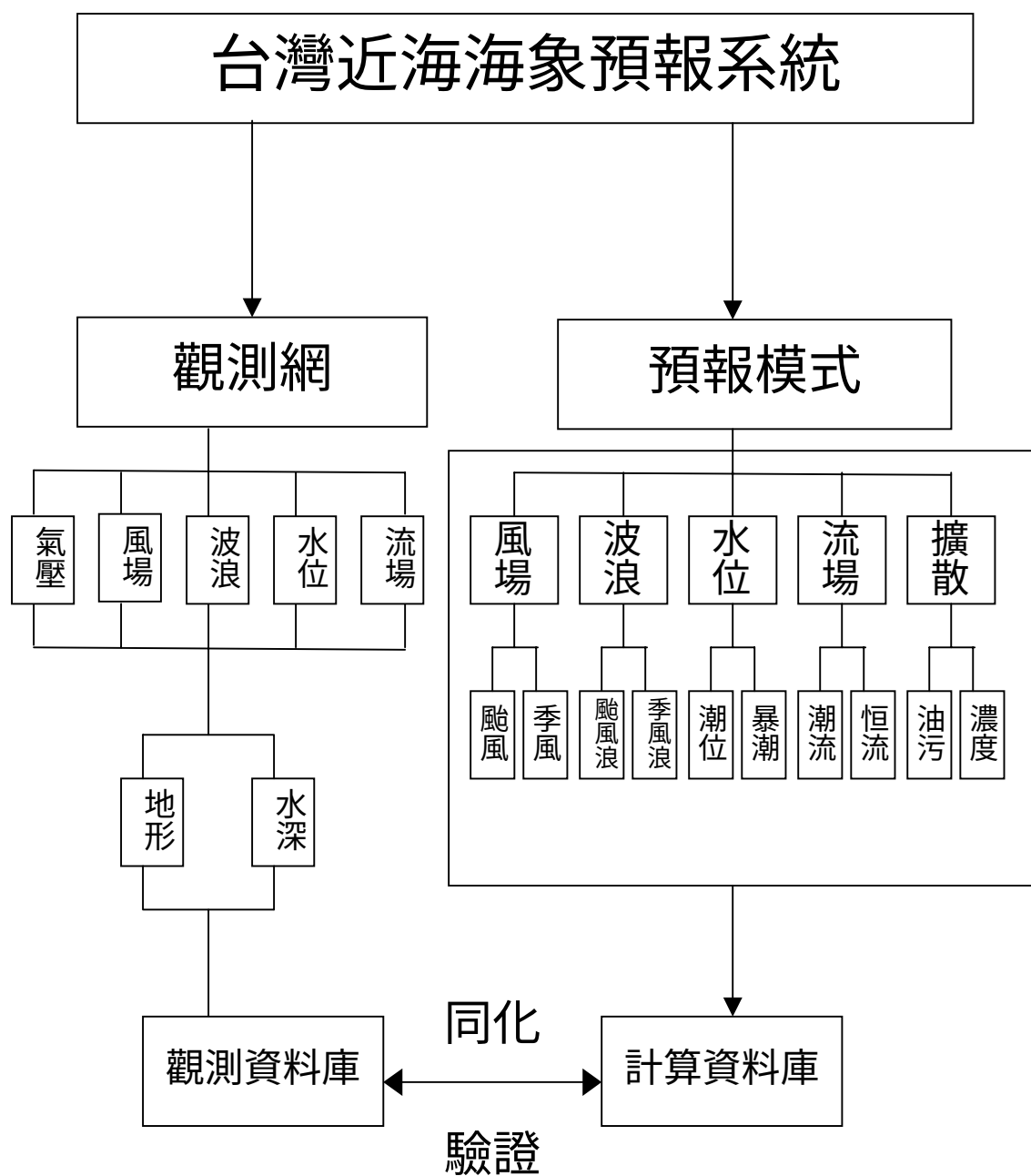


圖1.1 台灣近海海象預報系統架構圖

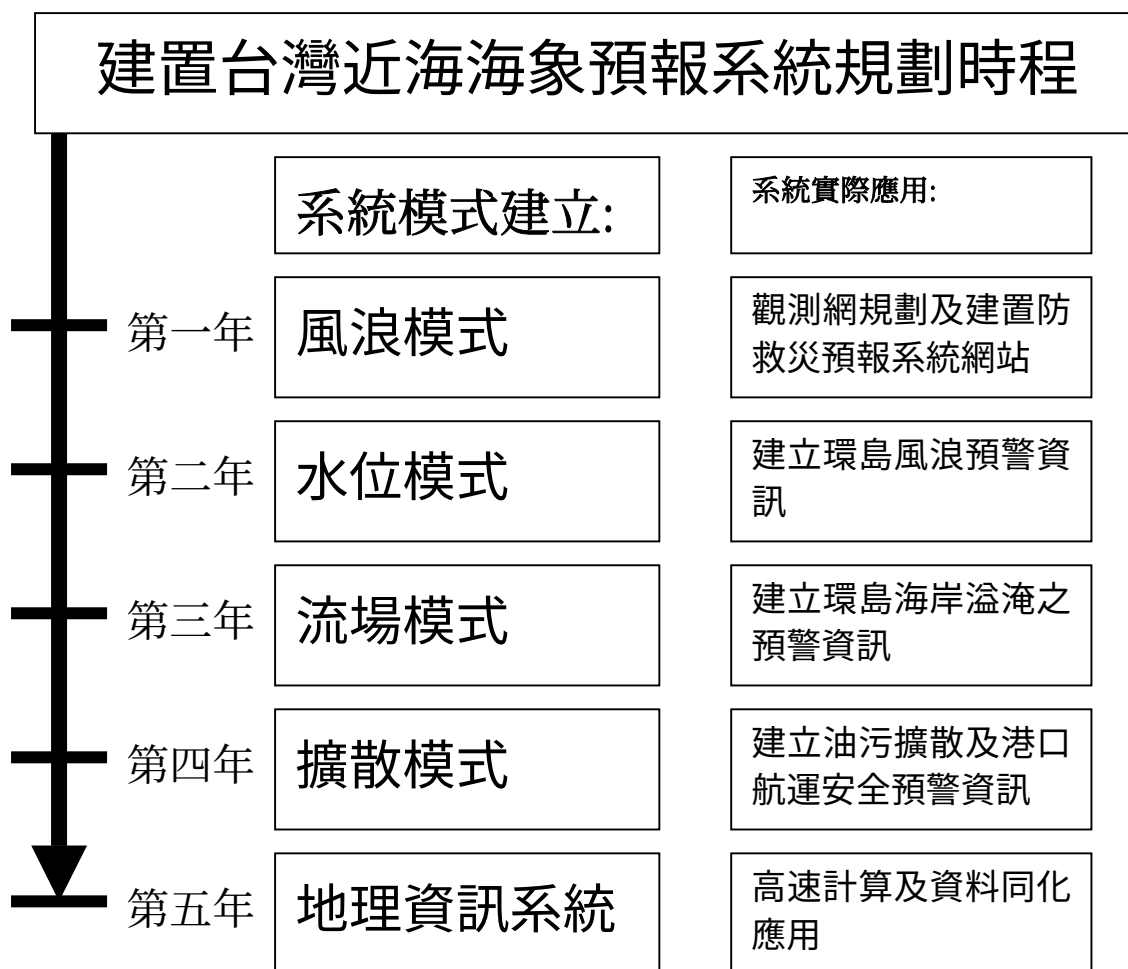


圖1.2 台灣海域海象預報及觀測系統建置之規劃時程

## 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。由於本年度著重於暴潮的模擬，因此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，選出一個適合臺灣地區的颱風模式做為未來使用的依據。另外本年度也取得 NOAA 預報風場及中央氣象局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氣壓場。以下僅就風場及氣壓場兩部分做說明：

### 2.1 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 年完成台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 2.1 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)，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；台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，以便得到更符合台灣海域的風場狀況。  
圖 2.3 至圖 2.5 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。

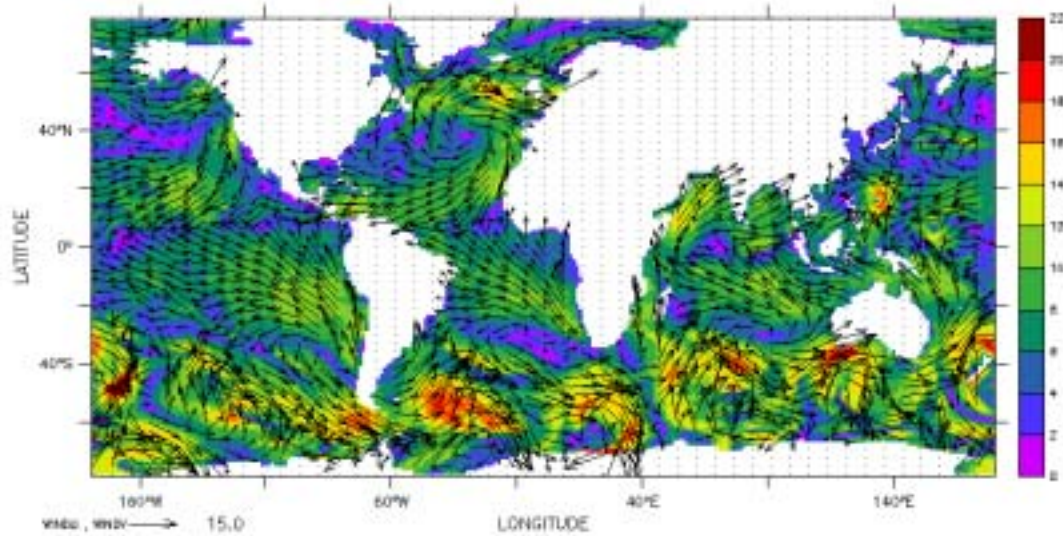


圖 2.1 NOAA 全球預報風場

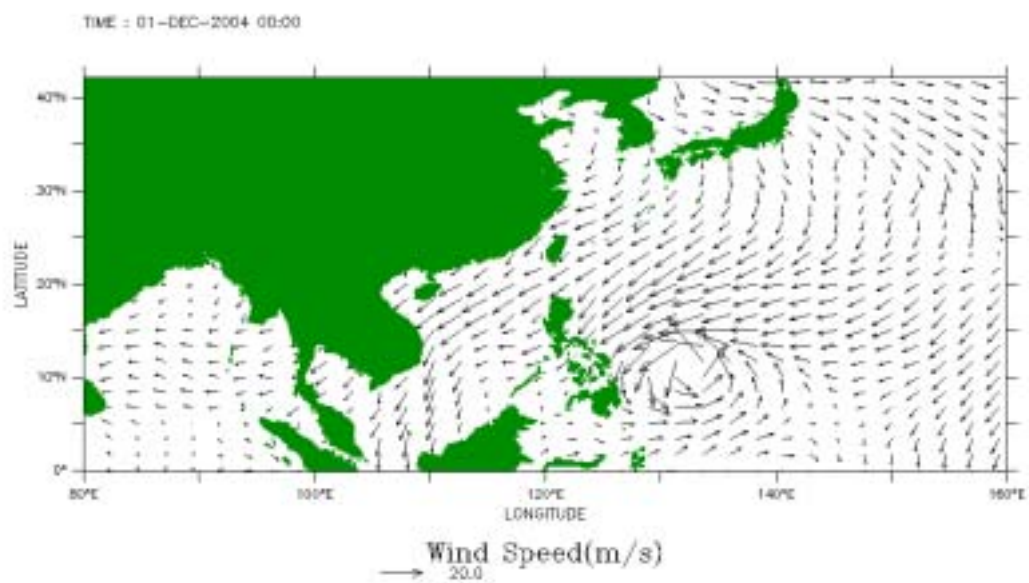


圖 2.2 中央氣象局 NFS 風場模式西太平洋(45KM)風場向量圖



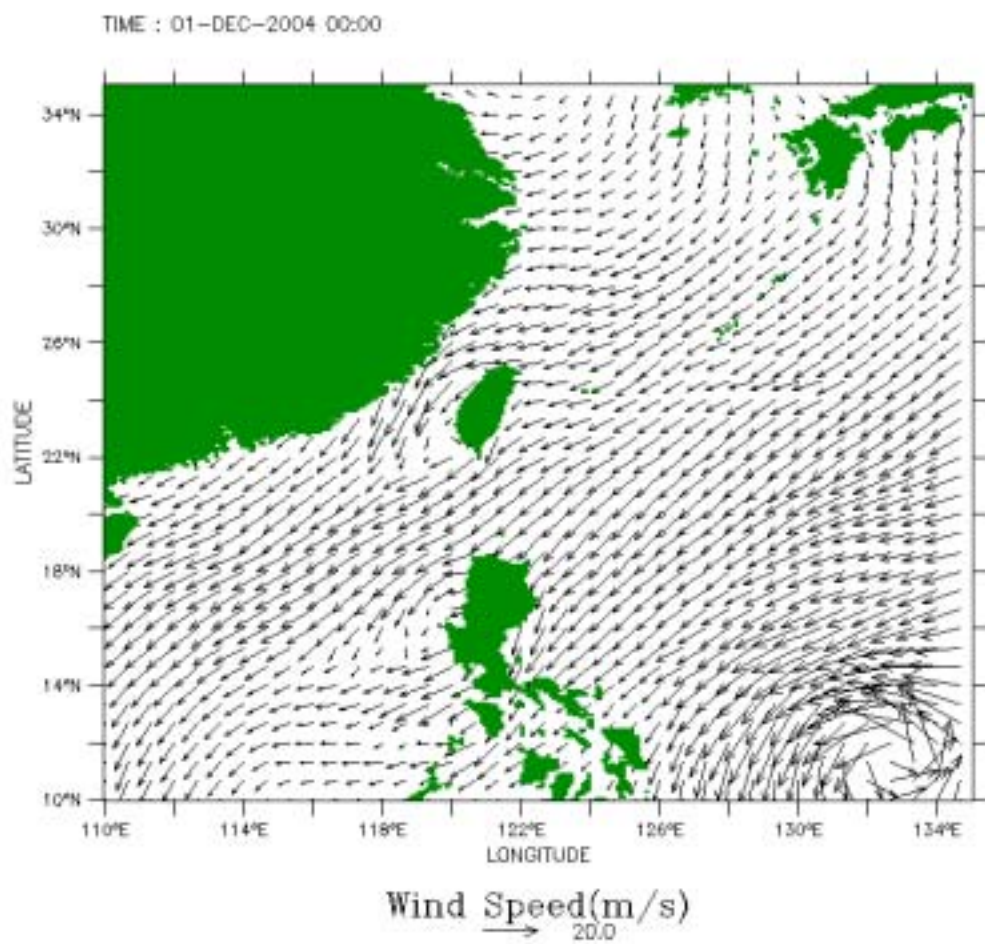


圖 2.3 中央氣象局 NFS 風場模式中國海域(15KM)風場向量圖

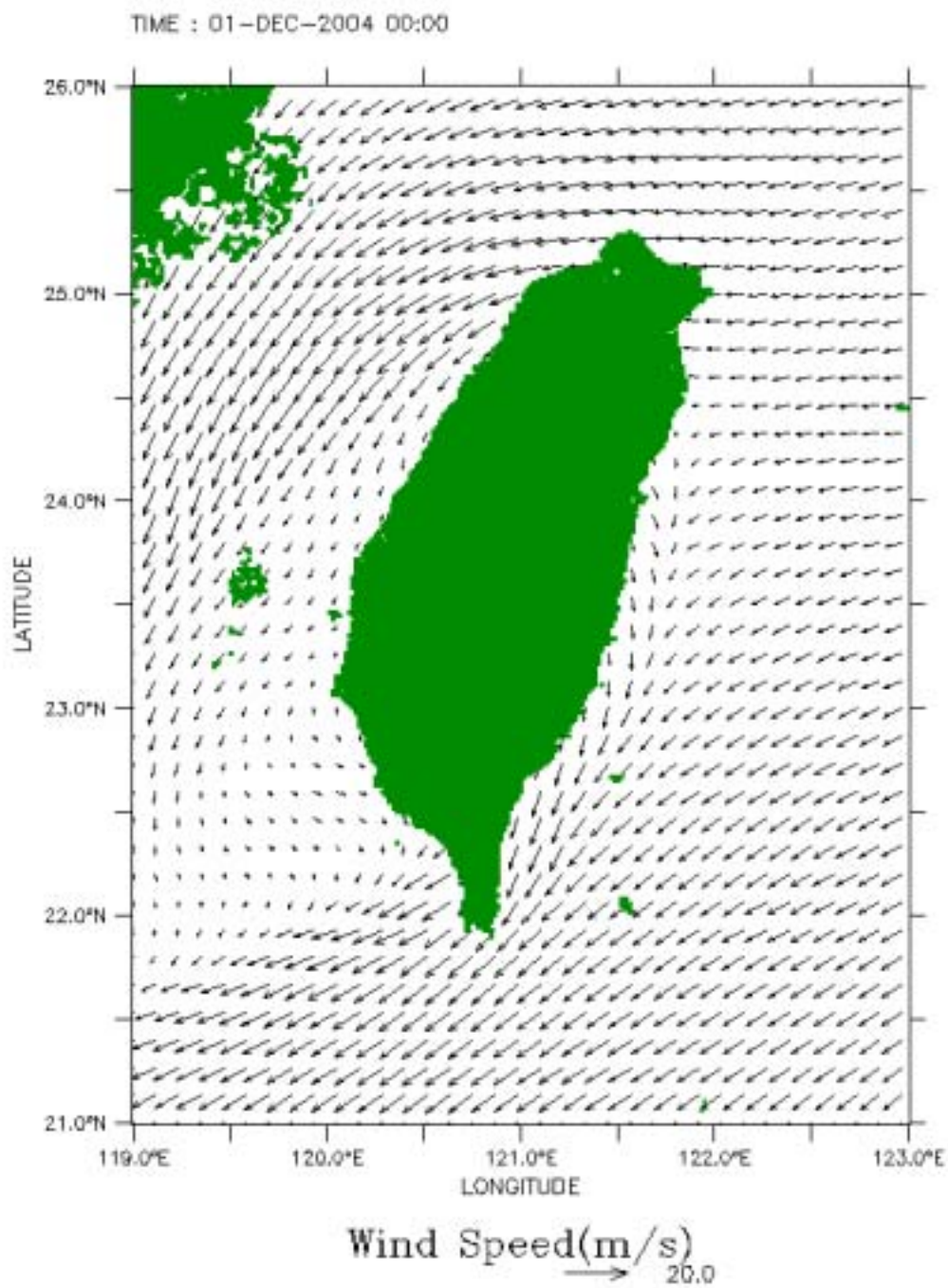


圖 2.4 中央氣象局 NFS 風場模式臺灣海域(5KM)風場向量圖

## 2.2 颱風風場模式

### 2.2.1 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台灣海象預測模擬的颱風解析模式。上年度僅就文獻所蒐集之幾個曾經應用在台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。

### 2.2.2 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台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 年兩個侵台颱風，其中之一為影響範圍涵蓋南台灣的杜鵑颱風 (0313)；另外基於路徑的考量選擇掠過台灣東北

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。

本年度取得基隆、台北、高雄、安平、花蓮及蘇澳港 2001 及 2002 年及台中港 2002 年等七大商港的全年風場資料，由於安平與台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，本計畫選擇台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，轉向東北加速通過台灣東南部海面，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台灣海峽，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，朝台灣東部陸地接近，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台灣海峽北部，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，直撲台灣東南部地區。26 日 18 時 30 分左右在台灣東南部登陸，經歷約 23 小時後，由中部濁水溪口進入台灣海峽，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 時生成於台灣海峽南部後，向東北移動，10 日 5 時左右在台中北方附近登陸，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，俟其中心到達台灣東北方海面時，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 時解除颱風警報，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，無法於安平及台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台北、安平氣象樁時序圖。由台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台北氣象樁時序圖。由於娜克莉颱風的暴風半徑很小，只有 80 公里，因此於台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台北氣象樁時序圖。辛樂克颱風的暴風半徑相當大，但是其中心位置偏北，所以只有台北測站有模擬結果，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。

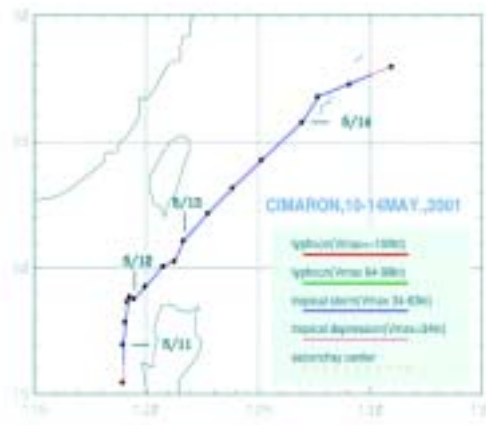
由於目前台灣並沒有很足夠的海面風速資料，只有陸地測站的風速資料，因此海面風速的比對有其困難度，且本計畫主要的目的是颱風波浪的模擬，海面的風速是否準確，對於波浪的模擬結果影響相當的大，所以未來若能取得海面風速的風場預報及海預測站的實測資

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。

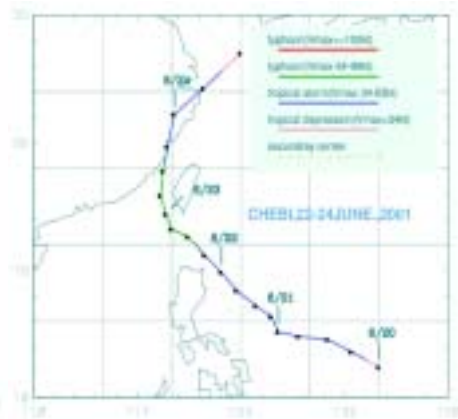


表 2.1 颱風模式使用之變數定義

|                  |                         |
|------------------|-------------------------|
| $F$              | 科氏力 ( $rad/s$ )         |
| $\rho_a$         | 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 ( $m/s$ )     |
| $\alpha_0$       | 垂直穩定條件下風穿過等壓線的向心偏角 (度)  |
| $\alpha$         | 垂直不穩定條件下風穿過等壓線的向心偏角 (度) |
| $\theta$         | 軸對稱風與 Y 軸的夾角 (度)        |
| $\phi$           | 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)   |
| $C_\tau$         | 海面粗糙度                   |
| $\Delta T_{a-s}$ | 長期月平均空氣海水垂直溫差 (°C)      |
| A、B              | 常數                      |



(a)



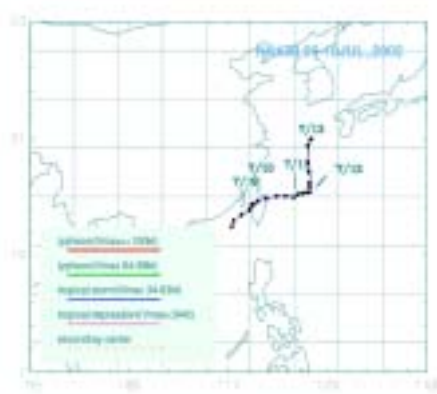
(b)



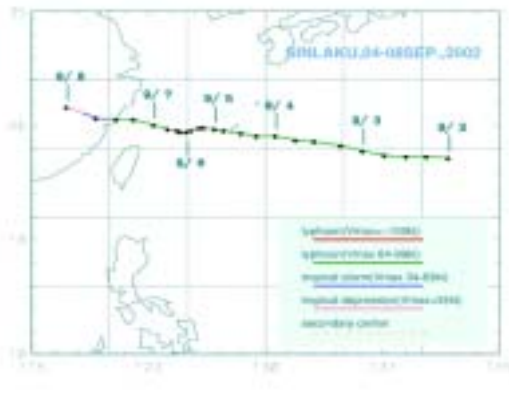
(c)



(d)



(e)



(f)

圖 2.6 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

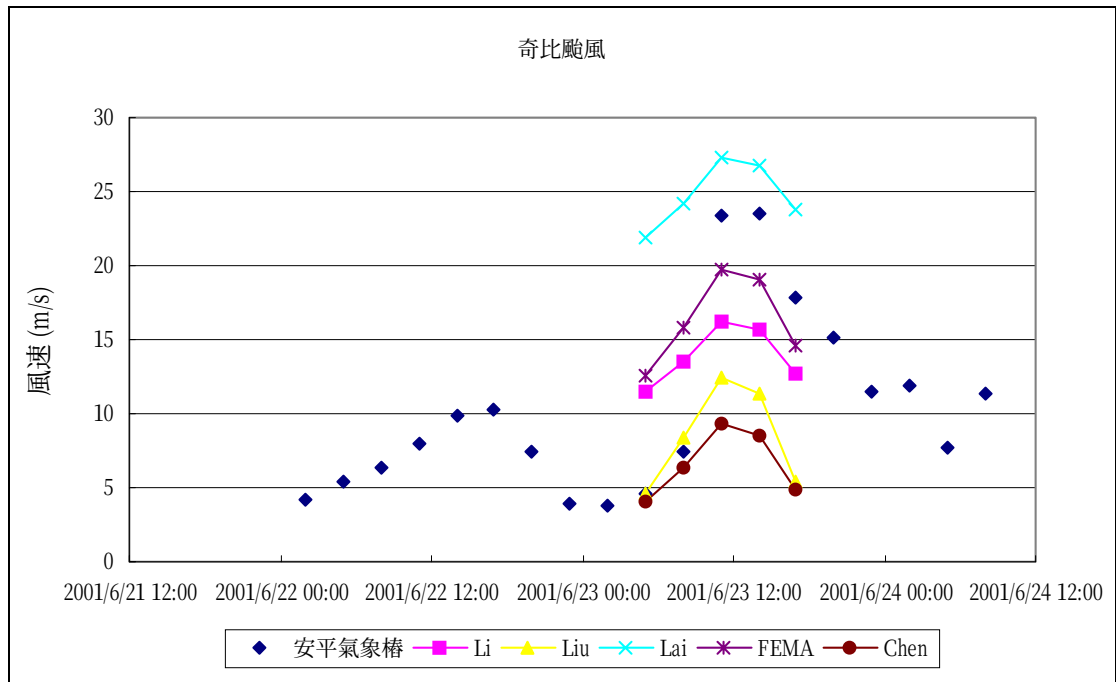
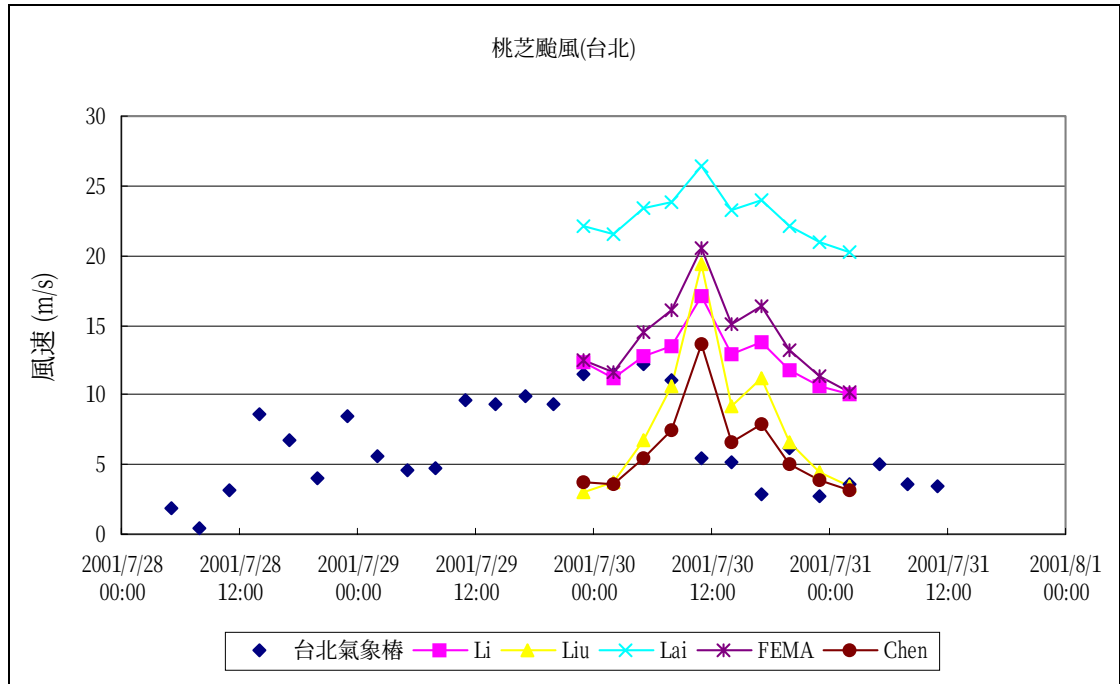
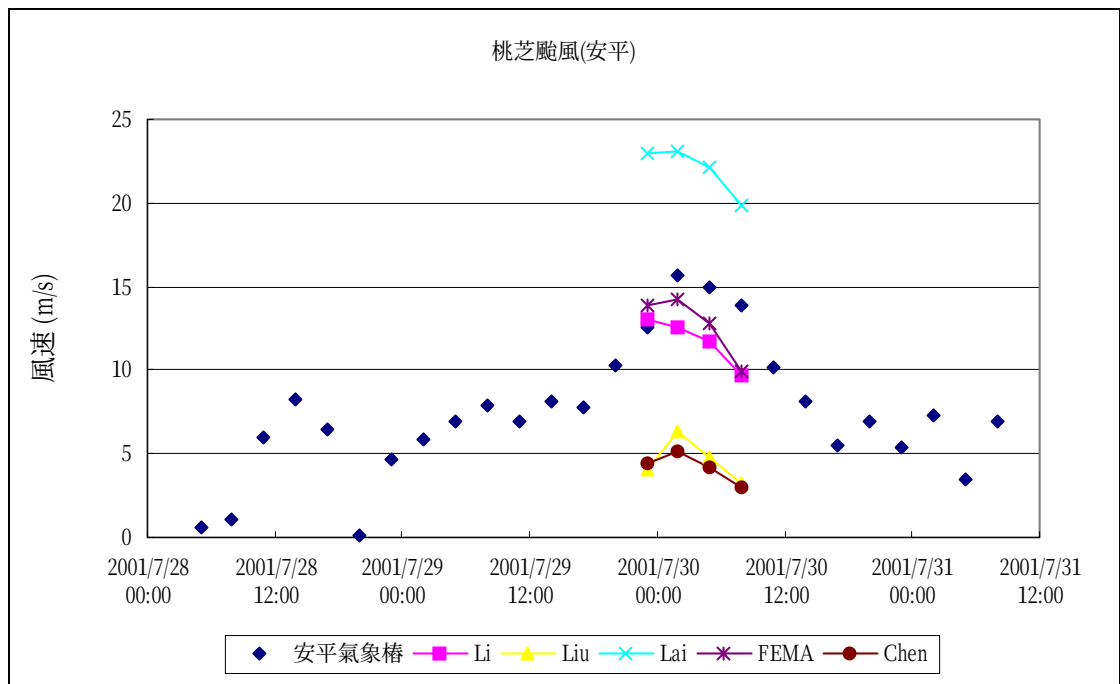


圖 2.7 奇比颱風期間颱風模式與實測資料比對圖



(a)



(b)

圖 2.8 桃芝颱風期間颱風模式與實測資料比對圖(a)台北氣象樁(b)安平氣象樁

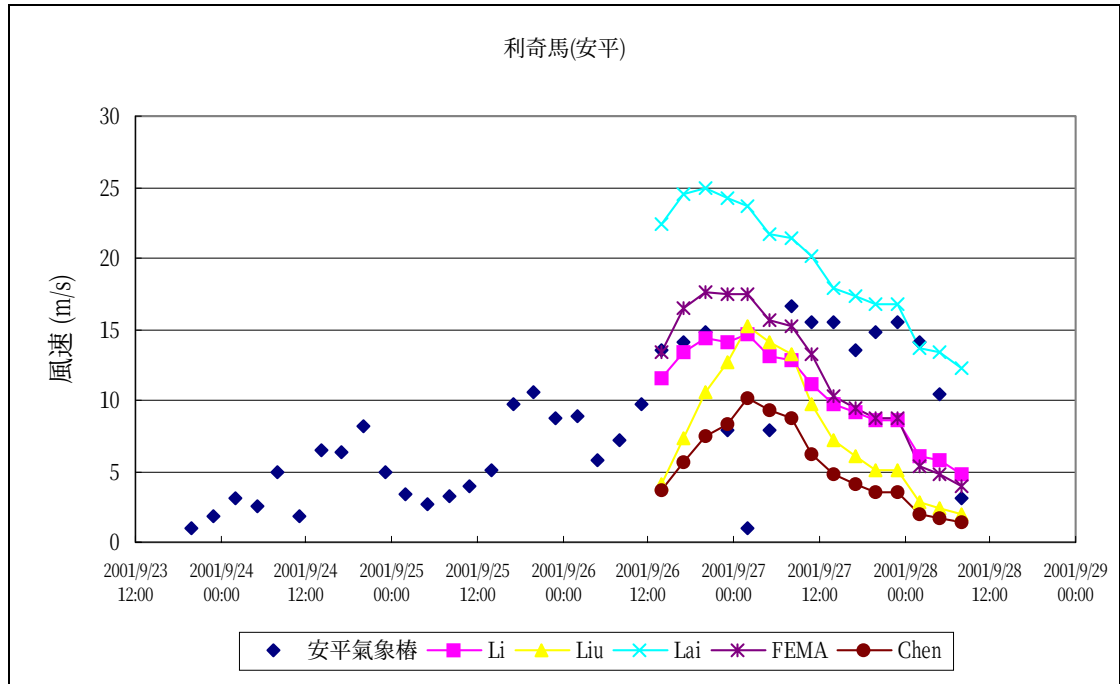


圖 2.9 利奇馬颱風期間颱風模式與實測資料比對圖

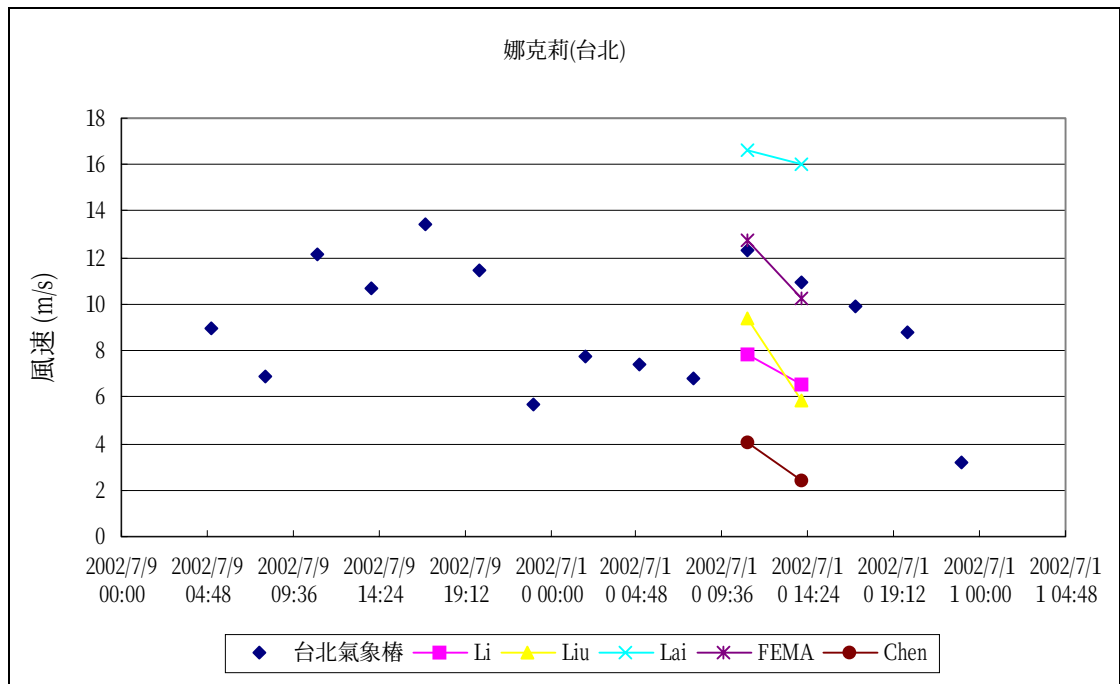


圖 2.10 娜克莉颱風期間颱風模式與實測資料比對圖

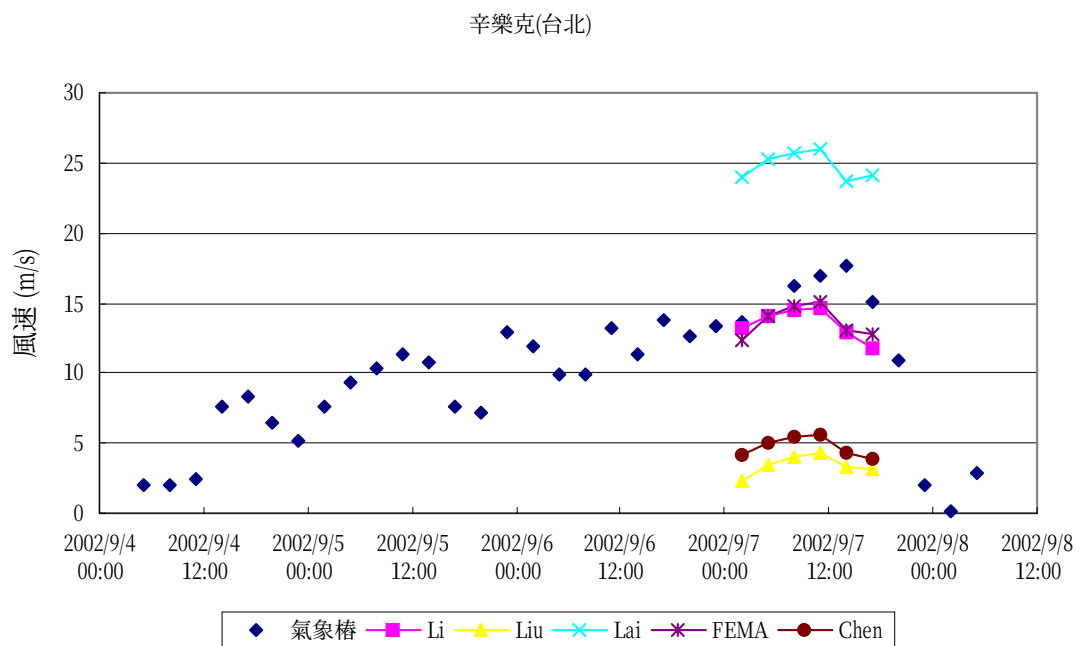


圖 2.11 辛克樂颱風期間颱風模式與實測資料比對圖

## 2.2.2 颱風風場模式校驗

圖 2.12~2.19 為使用賴宗慶理論颱風模式輸入之風場資料與台北及安平氣象樁之比對結果，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，於安平氣象樁的模擬結果皆較台北氣象樁的準確。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台北測站以外，其餘三個颱風皆只有颱風外圍經過台北測站，西馬隆更是沒有經過台北測站，所以可以發現台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。

因為台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 2.20 及 2.21 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 2.2-10 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，未來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，應能得到更準確的風速模擬值。

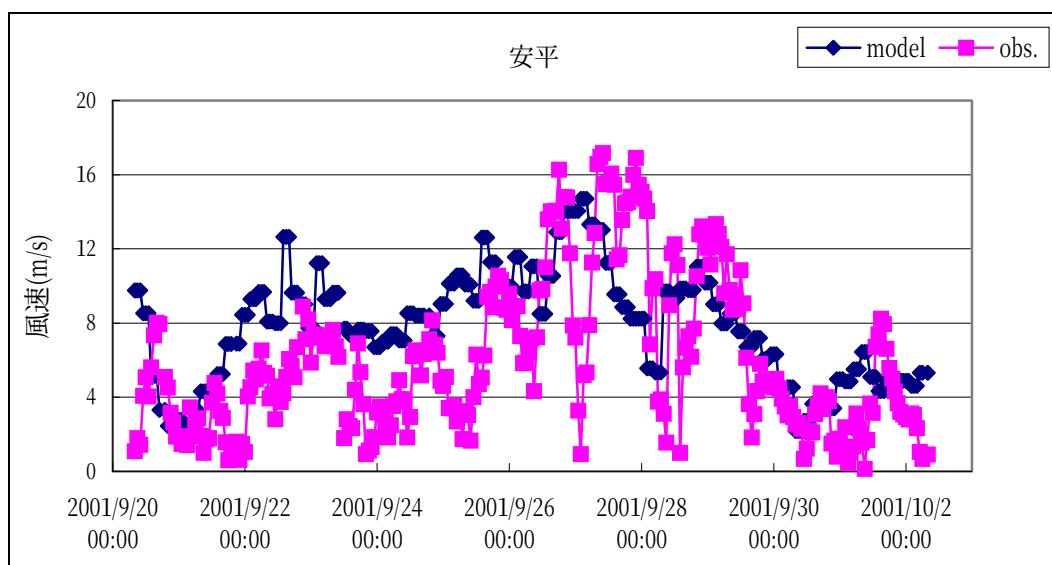


圖 2.12 利奇馬颱風期間模式風場與安平實測資料比對圖

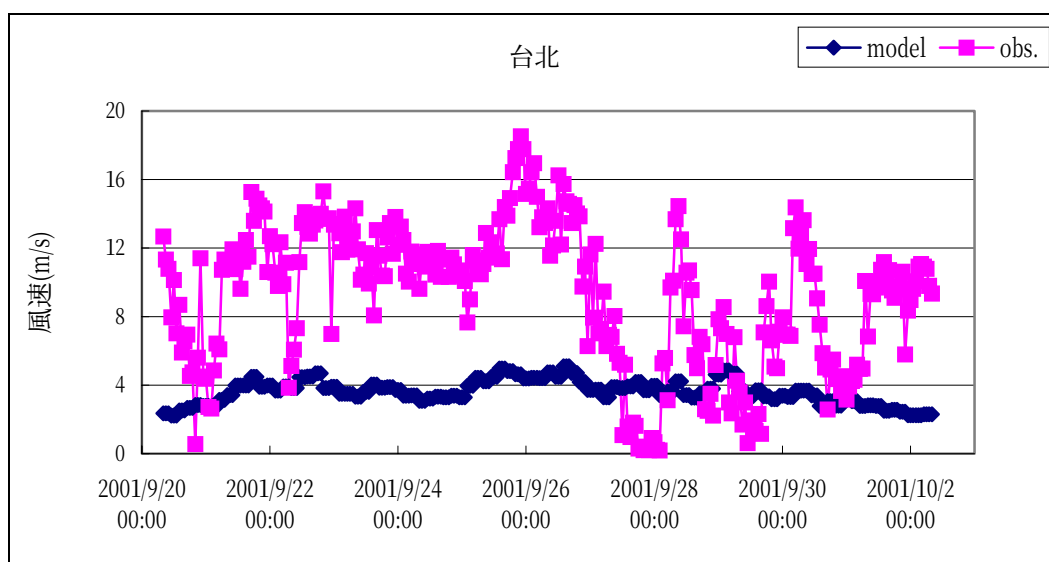


圖 2.13 利奇馬颱風期間模式風場與台北實測資料比對圖



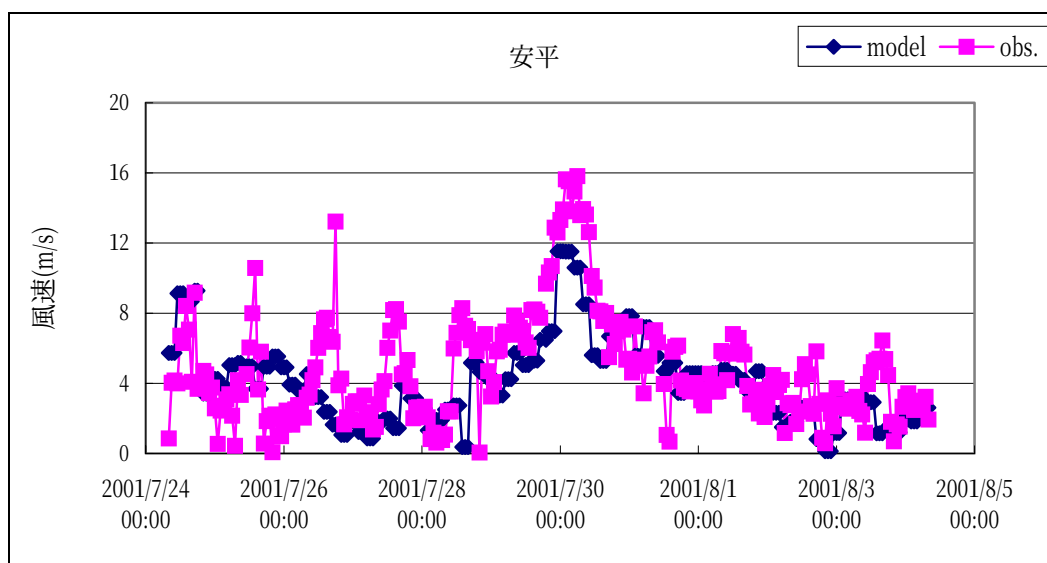


圖 2.14 桃芝颱風期間模式風場與安平實測資料比對圖

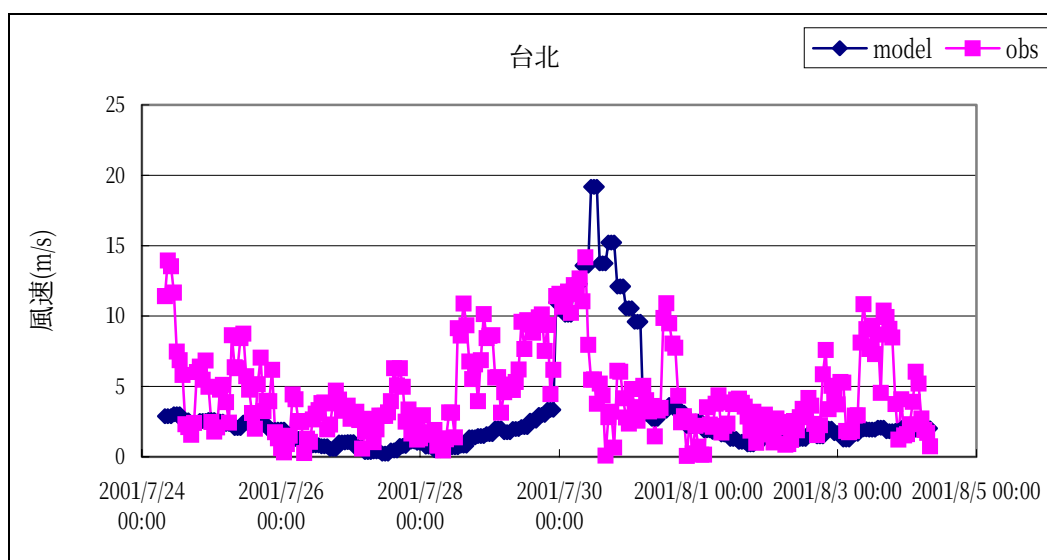


圖 2.15 桃芝颱風期間模式風場與台北實測資料比對圖

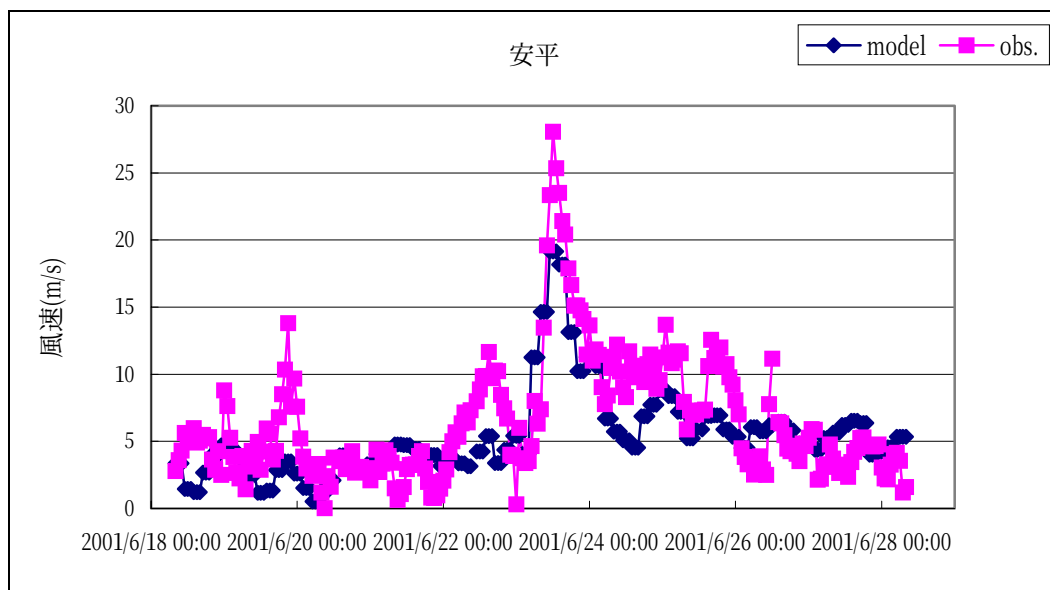


圖 2.16 奇比颱風期間模式風場與安平實測資料比對圖

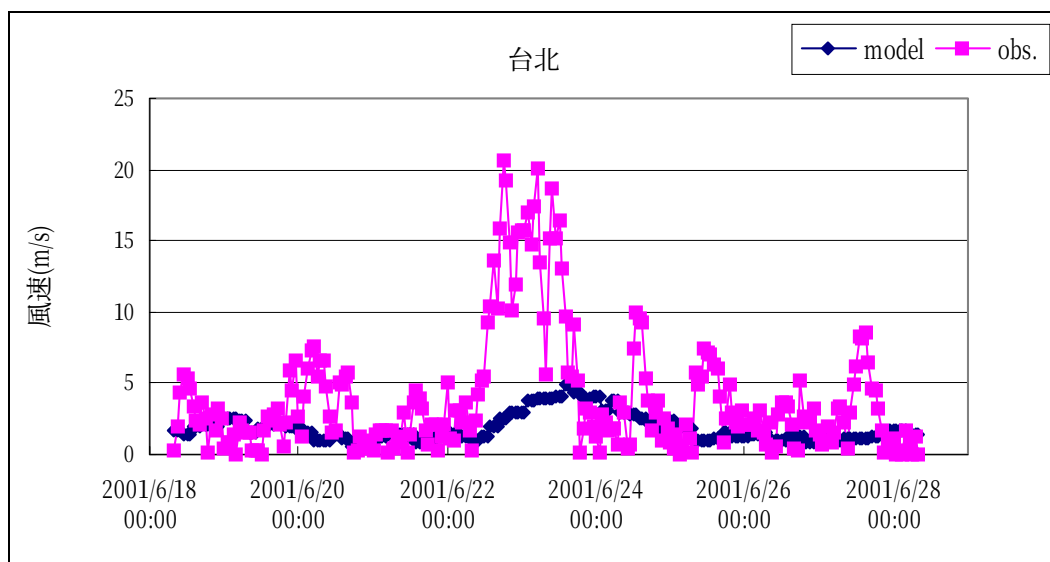


圖 2.17 奇比颱風期間模式風場與台北實測資料比對圖

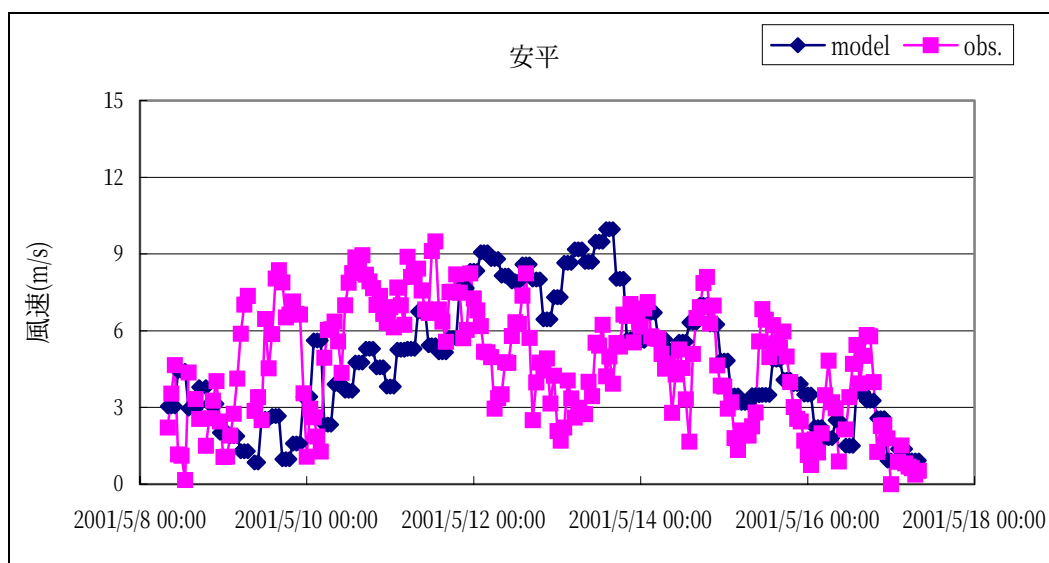


圖 2.18 西馬隆颱風期間模式風場與安平實測資料比對圖

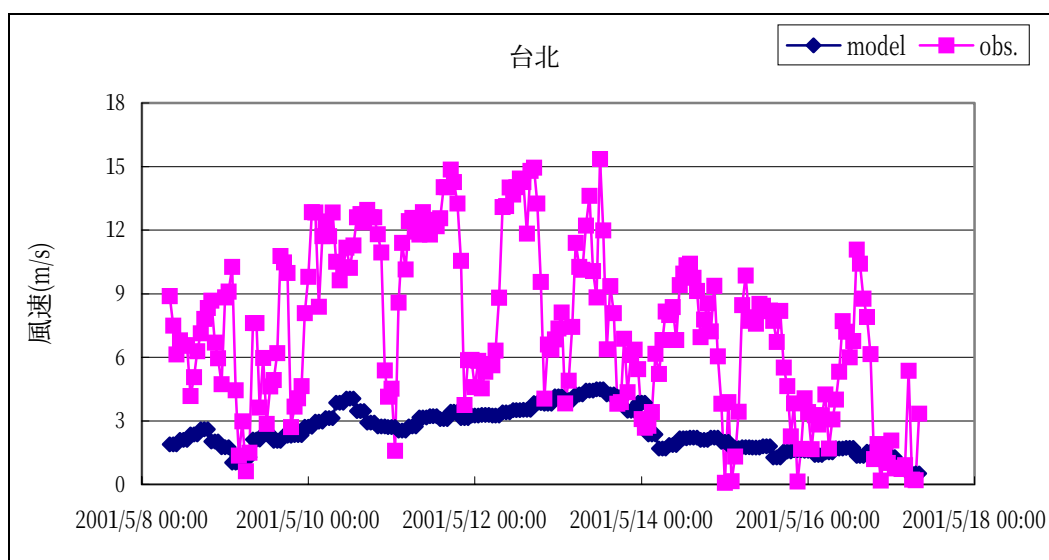


圖 2.19 西馬隆颱風期間模式風場與台北實測資料比對圖

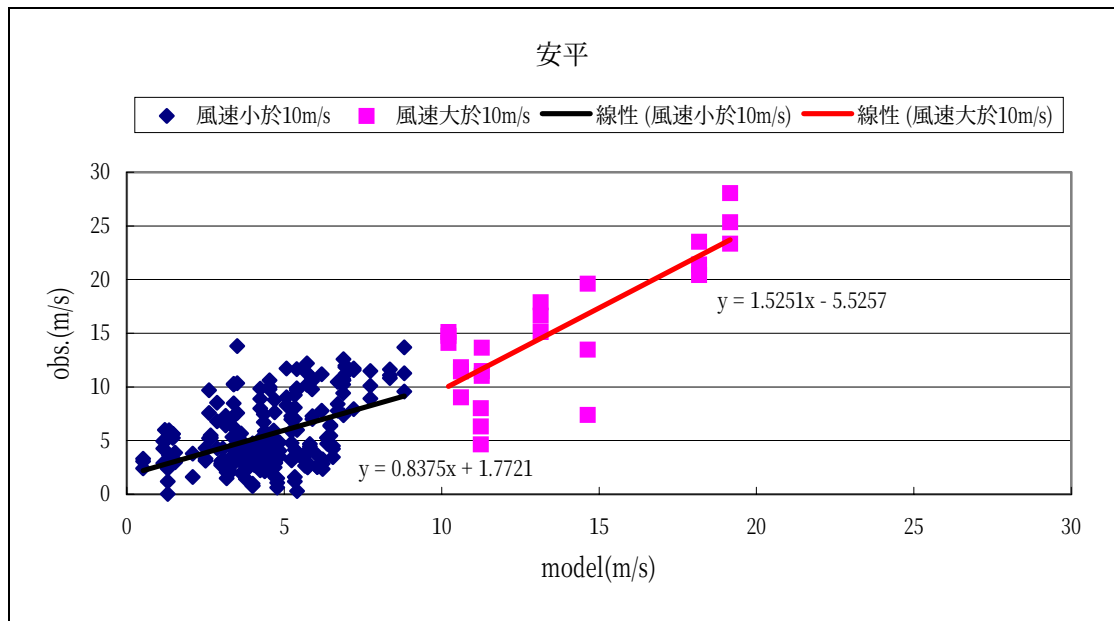


圖 2.20 桃芝颱風期間未修正之模式風場與安平實測資料趨勢圖

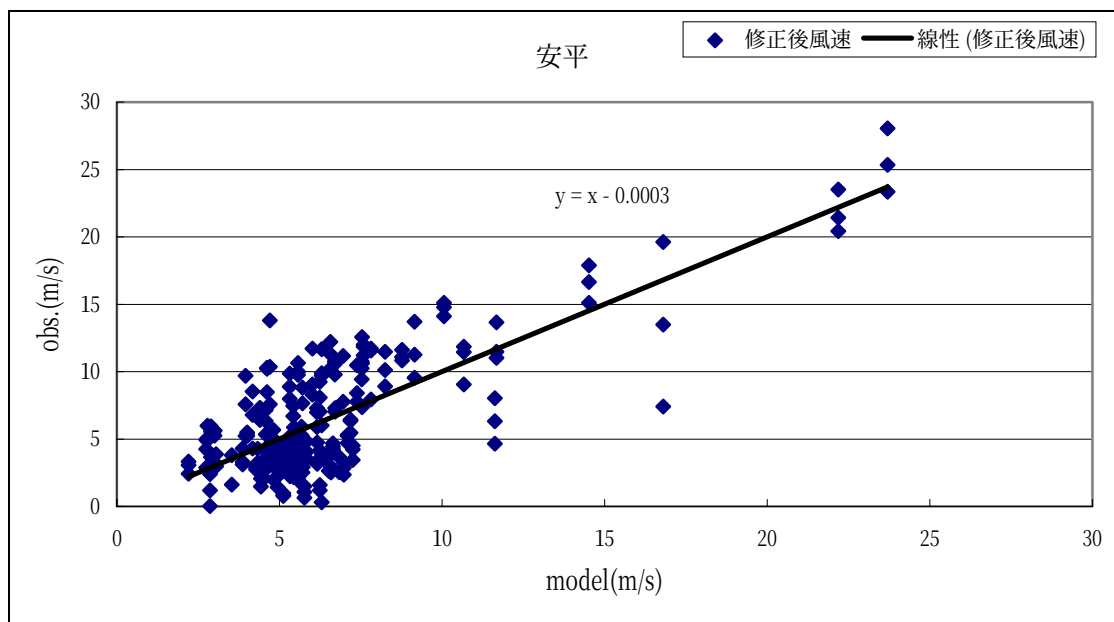


圖 2.21 桃芝颱風期間修正後之模式風場與安平實測資料趨勢圖

## 2.3 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 年完成台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如圖 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；台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，以便得到更符合台灣海域的風場狀況。圖 2.22 至圖 2.24 為中央氣象局 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。

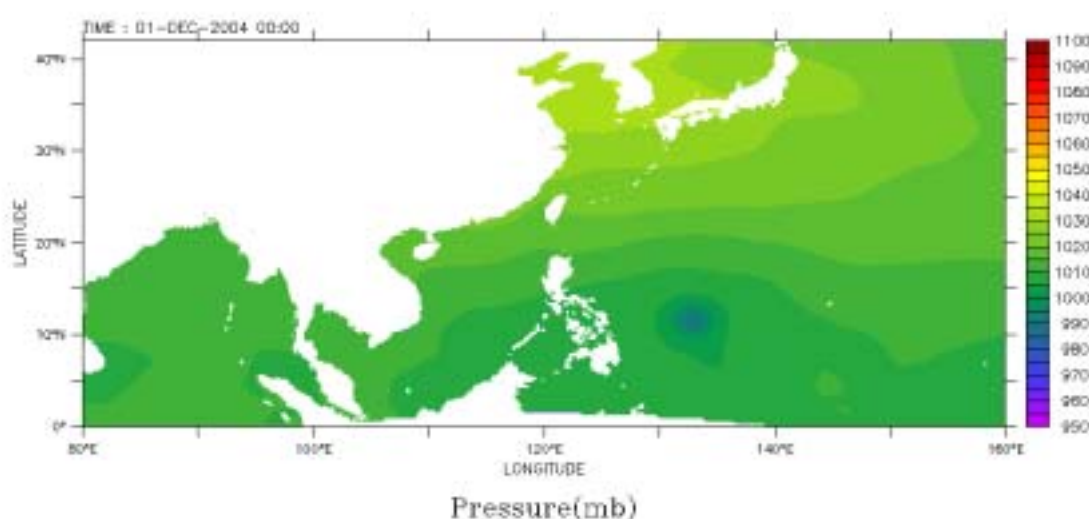


圖 2.22 中央氣象局 NFS 風壓模式西太平洋(45KM)等氣壓圖

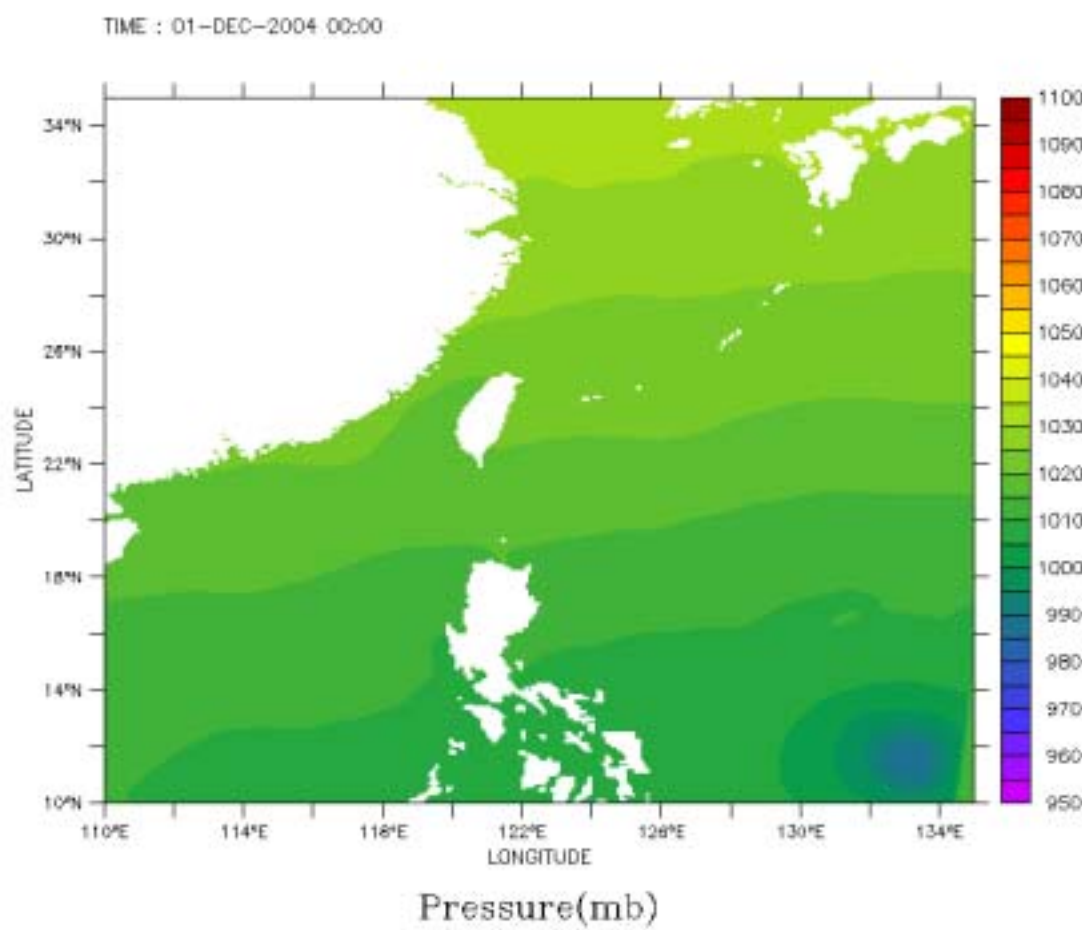


圖 2.23 中央氣象局 NFS 風壓模式中國海域(15KM)等氣壓圖

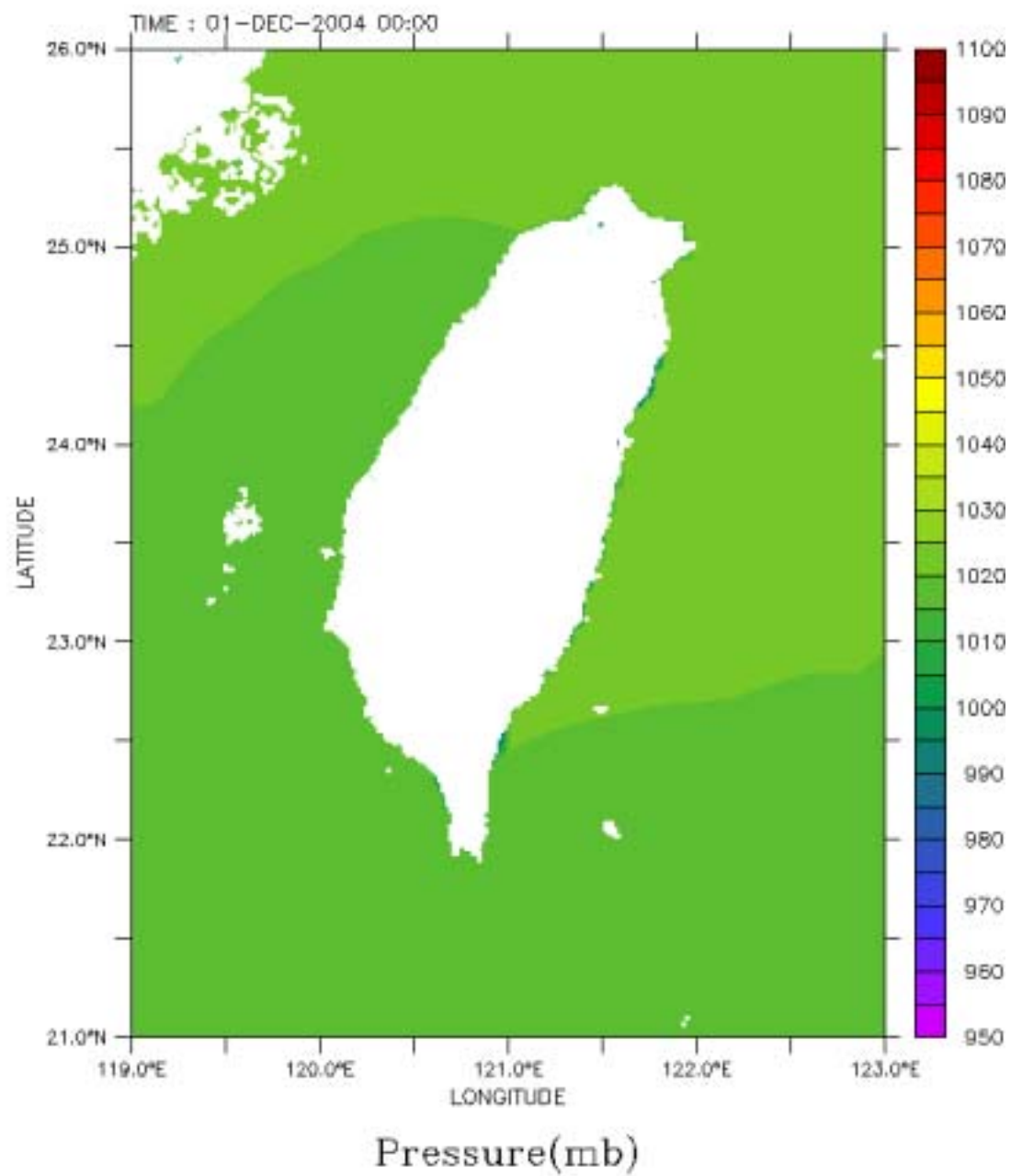


圖 2.24 中央氣象局 NFS 風壓模式臺灣海域(5KM)等氣壓圖

## 第三章 波浪模式

台灣四面環海，夏季時熱帶海洋上的低氣壓容易形成颱風侵襲，冬季則有大陸高氣壓南下形成東北季風，在應用 WAM 模式能快速模擬風浪能力與 SWAN 模式能解析近岸較小格網之功能，利用兩者相互配合模擬海面風浪，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。此外，當外海波浪傳遞至近岸區，波浪除因水深變化而產生折射、繞射及淺化效應外，當結構物存在時，波浪亦將因繞射及反射而產生變形，本計畫亦以緩坡方程式解析七大港區的波浪分布情況。

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。在使用倒傳遞類神經網路（Back-Propagation Neural Network, BPN），屬於前向監督式學習網路，其基本原理是利用疊代修正誤差函數而使誤差函數達到最小。倒傳遞類神經網路的總體運作學習方式有兩種，一為學習過程，就是網路依既定的學習演算法，從使用的輸入資料中學習，並藉以調整網路連結的加權值；使得網路演算結果與目標輸出值相同。本類神經網路預報模式系統的建構，學習資料根據波浪資料及氣象資料觀測站實測數據，以既定的網路模式進行結構上的調整及修正。

定點風域推算半經驗颱風波浪(EXPV)模式係結合 Wilson(1955)之深海風浪及湯(1968)之淺海風浪經驗公式、颱風風場模式以及湯(1970)所發展之移動風域數值推算方法而建立。EXPV 模式可用於推算海岸前任意水深位置之波浪狀況(波高與週期)，具有運算快速之優點，於颱風侵台時本模式可提供即時之颱風波浪預警訊息，有利於海岸防災預警作業。

### 3.1 全域風浪模式

#### 3.1.1 WAM及SWAN風浪模式



目前使用的 WAM 模式經 WAMDI Group (1988) 在模式的物理過程和數值方法上加以改良，適用於遠域風浪之預報。WAM 模式所使用的基本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領域的變化過程。WAM 模式所使用的基本方程式為波浪能量平衡方程式，其表示為：

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{1}{\cos \phi} \frac{\partial}{\partial \phi} (C_{\phi} E) + \frac{\partial}{\partial \lambda} (C_{\lambda} E) + \frac{\partial}{\partial \theta} (C_{\theta} E) = S \quad (3-1-1)$$

式中  $E$  波浪能量密度函數， $\phi$  為緯度， $\lambda$  為經度， $\theta$  為波浪角度， $C_{\phi}$ 、 $C_{\lambda}$  與  $C_{\theta}$  分別為  $\phi$ 、 $\lambda$  與  $\theta$  領域之傳遞速度，此方程式能描述方向波譜在時間及空間領域的變化過程。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。

由荷蘭 Delft 大學主導發展之波浪模式 SWAN (Simulating WAves Nearshore) (Booij 等人，1996)，統合以往學者之研究再加以改良，模式具有第三代風浪模式的特徵，而在能量成長及消散項的參數選擇上比其他模式更具彈性，同時提供第一代、第二代與第三代的相關波浪成長與消散參數供使用者應用，可以計算波浪在時間與空間領域中之傳遞、淺化、波與波之間的非線性交互作用、波浪受風之成長、碎波與底床造成波浪能量衰減及波浪受到海流與地形變化而產生之頻率位移與折射，因此模式具有預報近岸海域風浪之功能。此模式也經過學者 Holthuijsen 等人 (1997) 和 Booij 等人 (1998) 應用實測風浪資料加以驗證。而歐等人 (1999, 2000, 2001) 也曾利用 SWAN 模式對侵襲台灣之颱風風浪做過一系列之研究與模擬，並且已有初步成果。

SWAN 模式所用之控制方程式為求解二維之簡化波浪作用力平衡方程式 (action balance equation)，如下式

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} C_x N + \frac{\partial}{\partial y} C_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} C_{\sigma} N + \frac{\partial}{\partial \theta} C_{\theta} N = \frac{S_{total}}{\sigma} \quad (3-1-2)$$

上式左側之第一項為運動波譜密度函數之時變項，第二與第三項為傳導項，第四與第五項分別表示由於地形與洋流所造成的波浪頻率位移與折射效應， $N(\sigma, \theta) = E(\sigma, \theta) / \sigma$  為波浪作用力密度波譜 (action

density spectrum),  $E(\sigma, \theta)$  為能量密度波譜 (energy density spectrum),  $\sigma$  與  $\theta$  分別表示成份波之頻率與角度,  $S_{total}(\sigma, \theta)$  表示波浪傳遞時可能發生之波浪能量成長、消散及非線性交互作用等物理現象之源函數。在波浪成長與消散之源函數項中, SWAN 模式提供了許多選擇, 包括風浪線性成長項、風浪指數成長項、白沫消散項、四個波波非線性交互作用項、底床摩擦項、三個波波交互作用項、碎波消耗項等。

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。而本計畫計算針對 SWAN 波浪模式所採用學說與參數設定值如表 3.1-1 所示

表 3.1-1 SWAN 模式學說與參數

| 波浪能量<br>授受機制 | SWAN 模式所採用的學說與參數值                                                                                          |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 風的線性成長項      | Cavaleri 和 Malanotte-Rizzoli (1981)                                                                        |
| 風的指數成長項      | Komen 等人 (1984)                                                                                            |
| 白沫消散項        | Komen 等人 (1984)<br>$\bar{s}_{PM} = 3.02 \times 10^{-3}$ , $C_{ds} = 2.33 \times 10^{-5}$                   |
| 四個波波交互作用項    | Hasselmann 等人 (1985)<br>$C_{nl4} = 3 \times 10^7$ , $C_{sh1} = 5.5$<br>$C_{sh2} = 6/7$ , $C_{sh3} = -1.25$ |
| 三個波波交互作用項    | Eldeberky (1996) $\alpha_{EB} = 0.1$                                                                       |
| 碎波消耗項        | Battjes 和 Stive (1985) $r_b = 0.73$                                                                        |
| 底部摩擦項        | Hasselmann 等人的 JONSWAP (1973)                                                                              |

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。

經過去年計畫的經驗，並依照今年計畫的目標，將原先之波浪計算網格重新配置，以達成快速模擬風浪與提升精度的作業化目標。在波浪模式的網格配置區分成三層，分別為代表遠域之大型區域、台灣本島的附近海域的中型區域及特定之小型區域。遠域計算利用適用於大範圍計算的 WAM 風浪模式進行，其計算範圍如圖 3.1-1 所示，圖中水深分佈資料來源為 ETOPO5 水深資料庫，計算範圍南至北緯  $10^{\circ}$ ，北至北緯  $35^{\circ}$ ，西至東經  $110^{\circ}$  與中國大陸陸地為界，東至東經  $134^{\circ}$ ，計算範圍應足可包含台灣附近風浪的影響範圍，且可計算移動較為快速的湧浪，模式的格網大小為  $\Delta x = \Delta y = 0.2^{\circ}$ ，約為 20 公里，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，方向波譜之解析度則採用  $\Delta \theta = 15^{\circ}$ ，計算時間間隔為  $\Delta t = 5$  分鐘。

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。WAM 模式計算中大範圍及數位化水深如上所述，圖 3.1-1 中方框為 SWAN 模式計算範圍，而小範圍 SWAN 模式之計算範圍與數位化水深如圖 3.1-2 所示，水深資料來源為國家海洋科學研究中心之水深資料庫，南至北緯  $21^{\circ}$ ，北至北緯  $26^{\circ}$ ，西至中國大陸約在東經  $119^{\circ}$ ，東至東經  $123^{\circ}$ 。模式所應用的格網大小  $\Delta x = \Delta y = 0.04^{\circ}$  約為 5 公里，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  $\Delta \theta = 15^{\circ}$ ，共計 24 個方位角，計算時間間隔為  $\Delta t = 10$  分鐘。

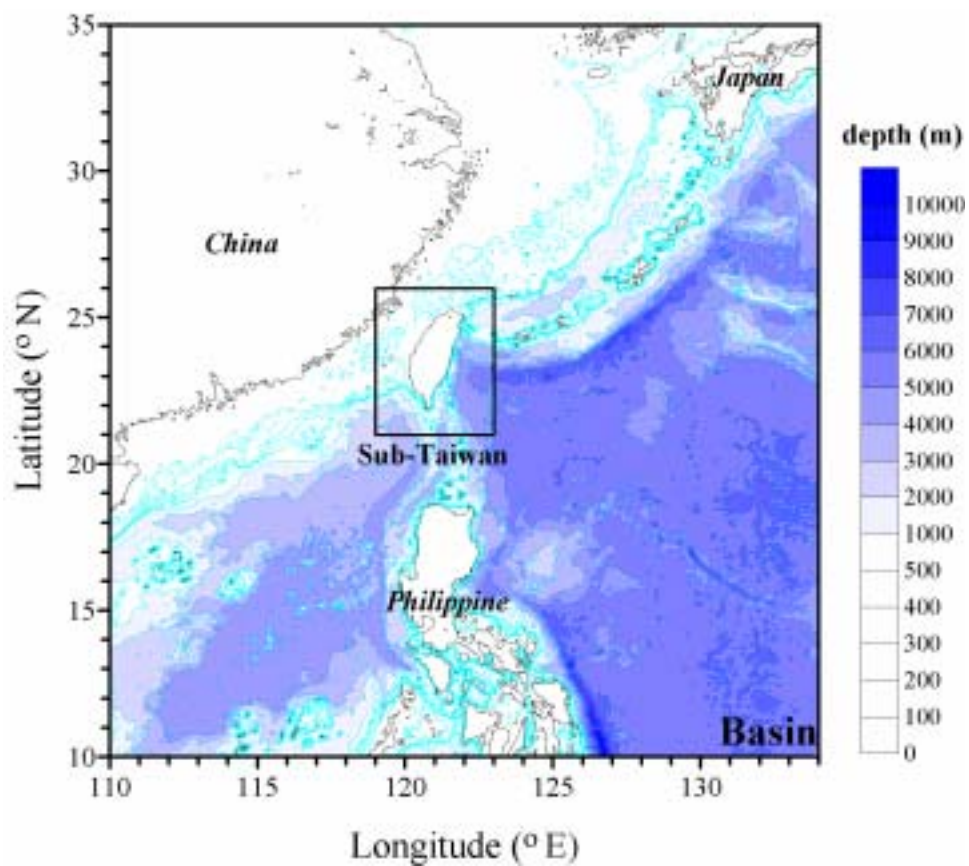


圖 3.1-1 遠域波浪計算範圍及水深分佈圖

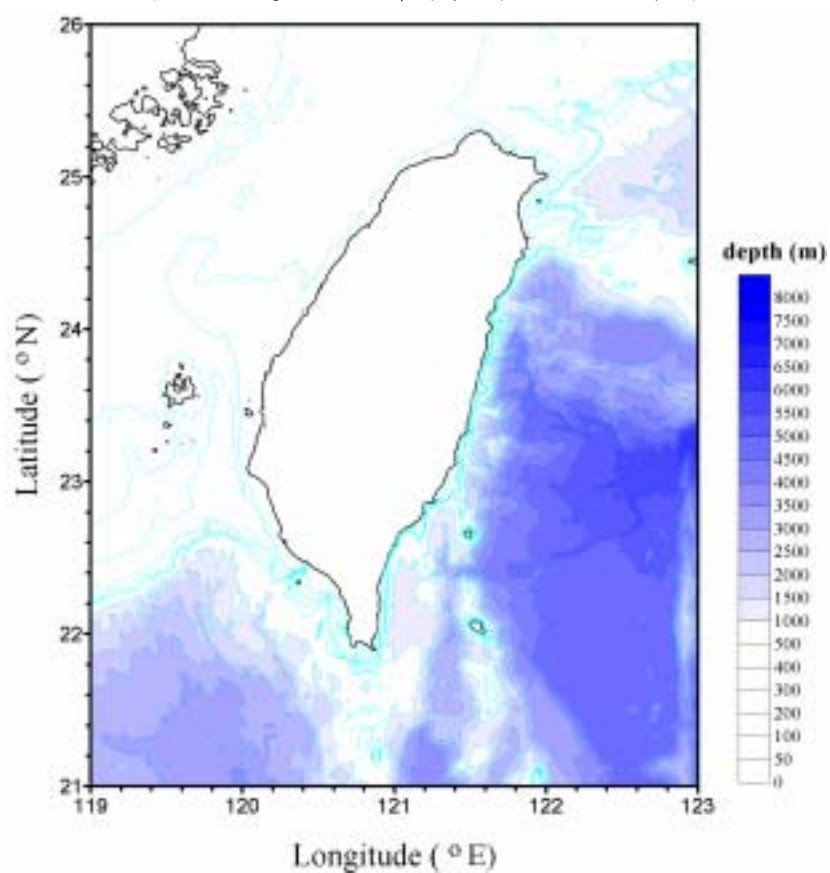


圖 3.1-2 台灣附近海域計算範圍及水深分佈圖

關於風浪模式所需之風場資料，可分為大氣動力模式所得的分析場與模型颱風模式所計算的預測場，本節以颱風為例，故利用模型颱風模式獲得所需的風場資料。由於風浪模式中的主要外力為風，有精確的風場輸入模式中才能獲致準確的風浪推算，而風的驅動力主要為氣壓梯度力，氣壓資料的來源除了大氣模式提供之外，另一個方式就是透過參數化之颱風風場模式來模擬颱風的風場。一般而言當颱風形成後，因其內部氣壓低導致環繞周圍的空氣由外邊的高壓處向低壓的氣旋中心流動，氣壓梯度差為主要的風場動力來源，因此在模擬颱風風場時必須掌握颱風當時大氣壓力之分佈及特性。

在模式驗證與應用方面，利用不同路徑侵襲台灣的颱風所產生的風浪來驗證模式適用性，根據歷年來（1897～2001 年）侵襲台灣之颱風，其路徑由中央氣象局之颱風路徑分類法，大致上可分為九種。考量實測波浪資料來源與颱風路徑的代表性，在去年計畫中一共選擇六個颱風，如第二類路徑之 1996 年賀伯 (Herb) 颱風、第三類路徑之 2001 年桃芝 (Toraji) 颱風、第四類路徑之利奇馬 (Lekima) 颱風、第六類路徑之 1998 年瑞伯 (Zeb) 颱風、第七類路徑之奇比 (Chebi) 颱風、第八類路徑之 2001 年西馬隆 (Cimaron) 颱風等，本年度報告不加以重述。

### 3.1.2 2004年颱風波浪測試與驗證

利用侵襲台灣的颱風所產生的風浪來驗證模式適用性，今年計畫中選取西元 2004 年妮妲 (Nida) 颱風，圖 3.1-3 為妮妲颱風路徑圖，由中央氣象局路徑分類中屬其他類路徑。圖 3.1-4 至圖 3.1-10 分別為基隆、蘇澳、花蓮、高雄、安平、台中與台北，七大港區外海側海域之示性波高與週期變化時序列圖，由於尚無實測資料可加以比較僅對計算結果看來，由於颱風路徑與台灣距離稍遠，除了東海岸側之港區最大示性波高約為兩公尺外，其餘港區皆為 1 公尺左右，而示性週期在颱風靠近期間出現 10 秒以上之長週期波浪。



圖 3.1-3 妮妲颱風路徑圖(資料來源：中國颱風網)

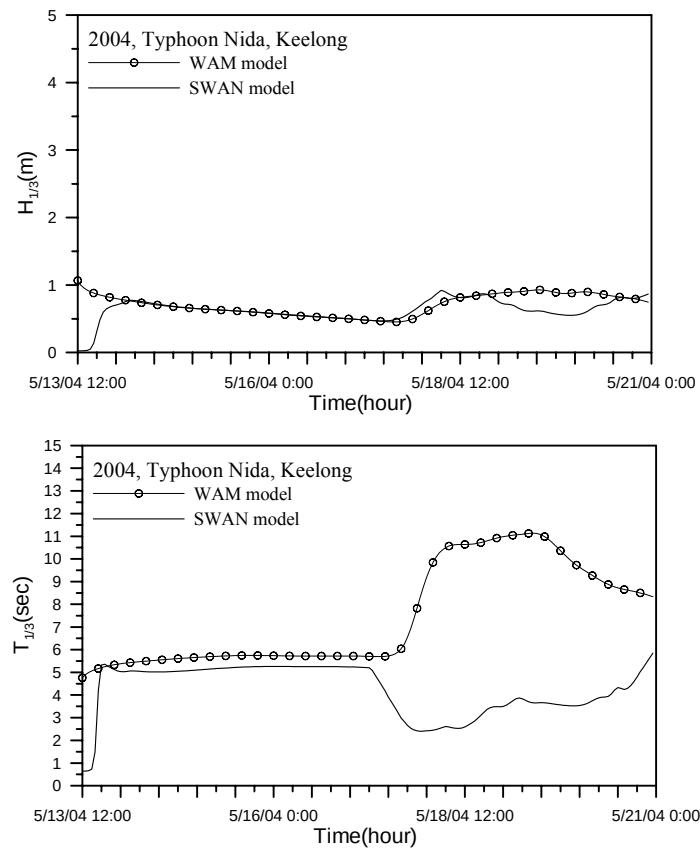


圖 3.1-4 基隆港海域之示性波高與週期時序列變化圖

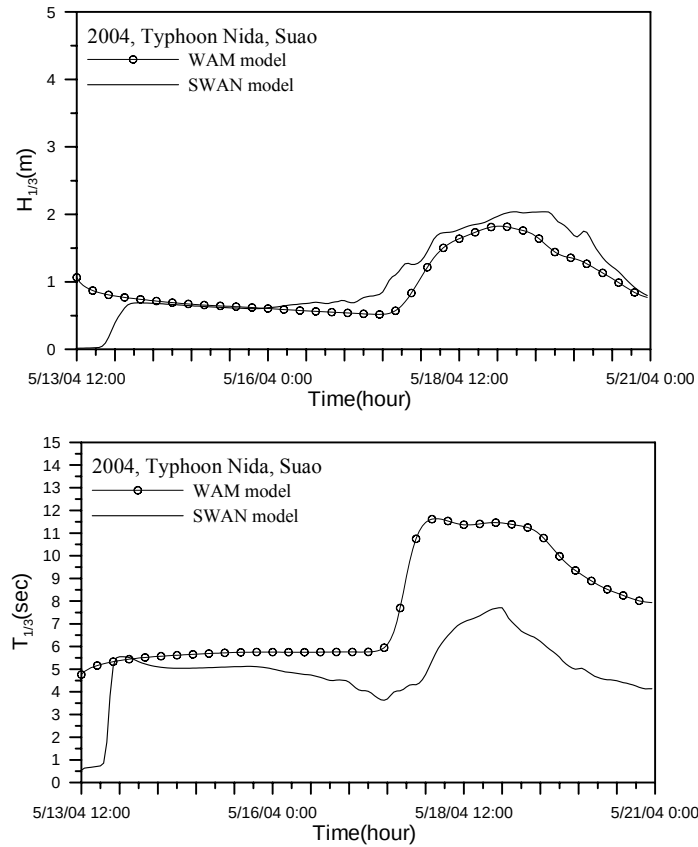


圖 3.1-5 蘇澳港海域之示性波高與週期時序列變化圖

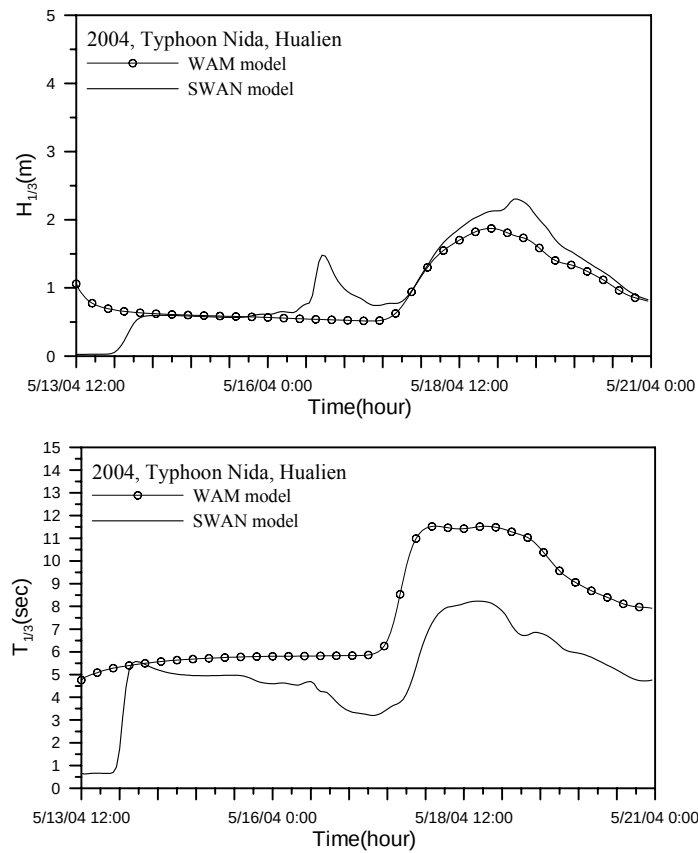


圖 3.1-6 花蓮港海域之示性波高與週期時序列變化圖

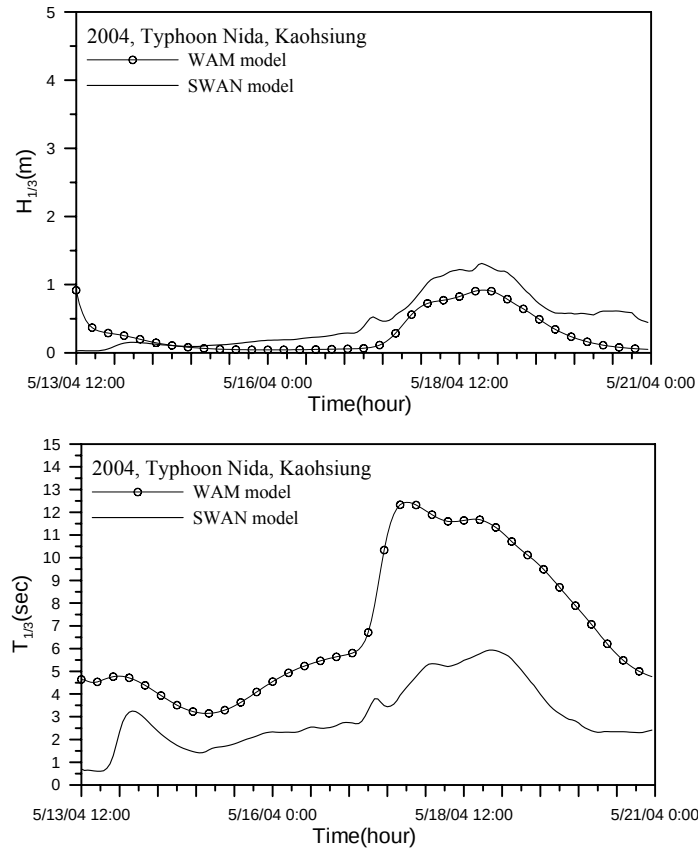


圖 3.1-7 高雄港海域之示性波高與週期時序列變化圖

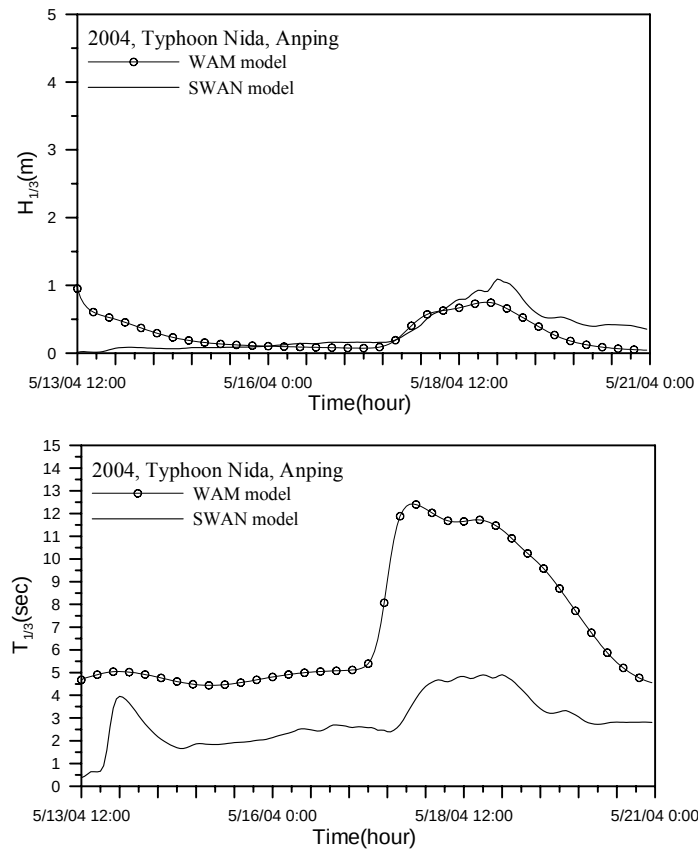


圖 3.1-8 安平港海域之示性波高與週期時序列變化圖



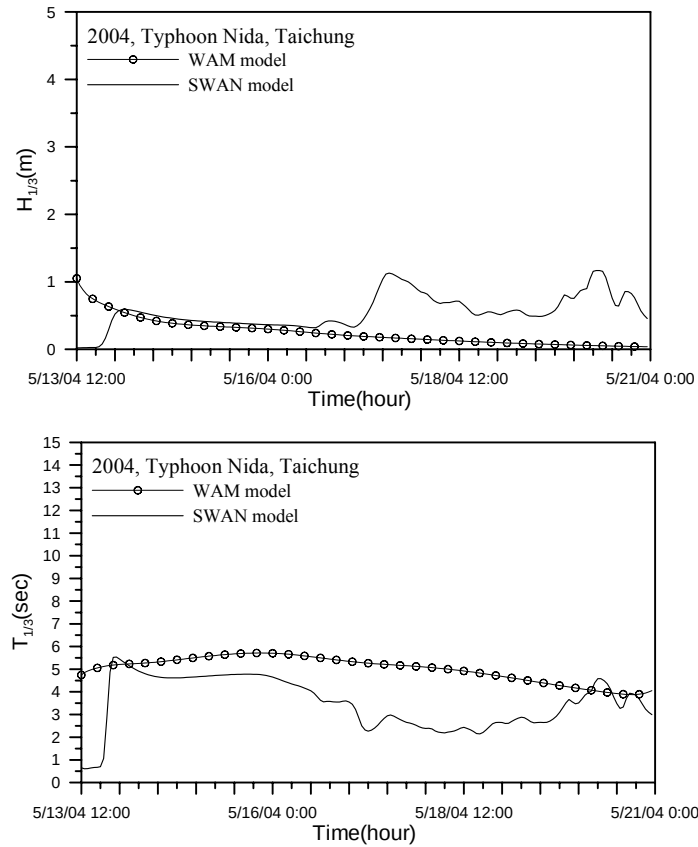


圖 3.1-9 台中港海域之示性波高與週期時序列變化圖

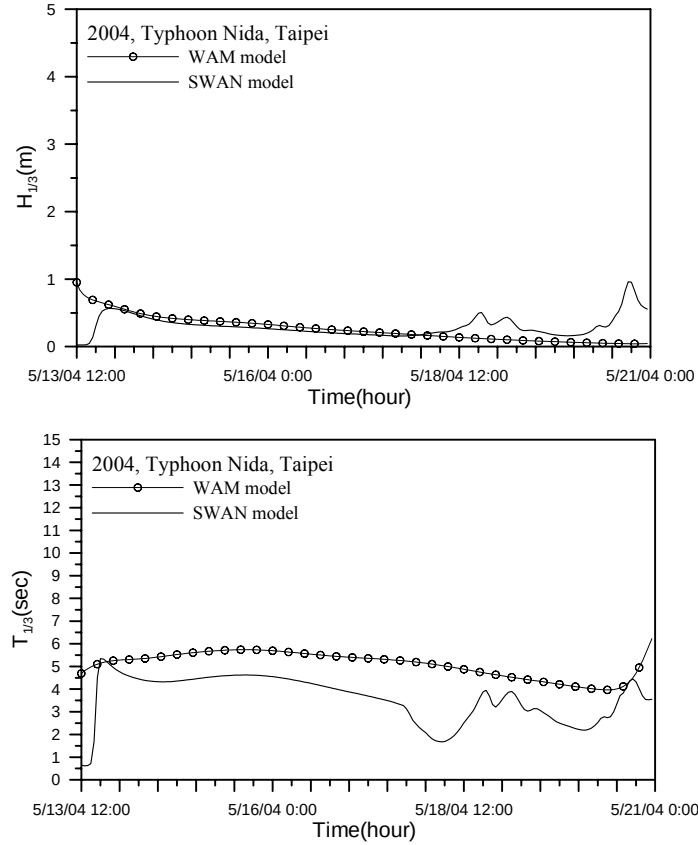


圖 3.1-10 台北港海域之示性波高與週期時序列變化圖

### 3.1.3 討論

地球表面高低氣壓的對流，造成風力的擾動，使得海面出現波浪的起伏。台灣四面環海，夏季時熱帶海洋上的低氣壓容易形成颱風侵襲，冬季則有大陸高氣壓南下形成東北季風，考慮到遠域海面波動對於台灣附近海域之影響，故利用全區域的風浪模式進行模擬。風浪模式的選擇如節 3.1.2 所述，遠域方面以 WAM 模式計算，其能描述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，於深水海域有相當良好的模擬能力。在近域方面以 SWAN 模式計算，其在波浪生長及消散項具有選擇性，包含風浪線性成長項、風浪指數成長項、白沫消散項、四個波波非線性交互作用項、底床摩擦項、三個波波交互作用項、碎波消耗項等，能描述近岸波浪受淺化、折射的影響，使近岸波浪推算更為精準。

在節 3.1.2 中簡述了遠域風浪模式及近岸風浪模式的結合方式，WAM 模式計算範圍涵蓋琉球群島、西太平洋、巴士海峽及台灣海峽，以較粗格網 ( $\Delta x = \Delta y = 0.2^\circ$ ) 快速計算大範圍的波浪變化，並擷取台灣附近海域的二維頻譜(如圖 3.1-1 中方框所示)，利用巢狀網格的計算方式，內插為較細格網 ( $\Delta x = \Delta y = 0.04^\circ$ ) 的頻譜資料，作為 SWAN 模式計算之邊界輸入條件。較粗格網能縮短大範圍區域的計算時間，而 WAM 模式具有模擬深水波浪的能力，經內插所得巢狀格網的邊界條件亦具有相當的準確度；較細格網能滿足近岸複雜曲折的地形，配合 SWAN 模式模擬近岸波浪的能力，能使台灣附近海域波浪推算更為精準。

## 3.2 類神經網路波浪模式

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。本研究使用的倒傳遞類神經網路（Back-Propagation Neural Network，BPN），屬於前向監督式學習網路，其基本原理是利用疊代修正誤差函數而使誤差函數達到最小。倒傳遞類神經網路的總體運作學習方式有兩種，一為學習過程，就是網路依既定的學習演算法，從使用的輸入資料中學習，並藉以調整網路連結的加權值；使得網路演算結果與目標輸出值相同。本類神經網路預報模式系統的建構，學習資料根據波浪資料及氣象資料觀測站實測數據，以既定的網路模式進行結構上的調整及修正。

### 3.2.1 前言

波風浪的生成、發展、傳遞及減衰過程，主要與風的規模及強度關係最為密切，而波浪傳至近岸則受海底地形的影響較大。在台灣地區季節性的氣候影響波浪包括夏季的熱帶氣旋、颱風，冬季的東北季風等。

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。

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。

### 3.2.2類神經網路

類神經網路預報模式系統的主要核心，採用類神經網路理論及模糊理論合併應用。類神經網路具備著一些優良的特性其中包括（1）高速的計算能力（2）自我學習能力（3）高容量的記憶力（4）容錯的能力。人工神經元輸出值與輸入值的關係式，可以表示如下：

$$Y_i = f\left(\sum_j W_{ij} X_j - \theta_i\right) \quad (3.2.1)$$

$Y_i$ ：人工神經元模型的輸出訊號。

$f$ ：人工神經元模型的轉換函數（transfer function），將人工神經元的輸出，經由轉換函數處理後，得到輸出訊號。

$W_{ij}$ ：人工神經元模型連結加權值。

$X_j$ ：人工神經元模型的輸入訊號。

$\theta_i$ ：人工神經元模型的閾值。

本研究使用的倒傳遞類神經網路（back-propagation neural network, BPN），屬於前向監督式學習網路，其基本原理是利用最陡坡降法（gradient steepest descent method），疊代修正誤差函數而使誤差函數達到最小。倒傳遞類神經網路的總體運作學習方式有兩種，一為學習過程，就是網路依既定的學習演算法，從使用的輸入資料中學習，並藉以調整網路連結的加權值；使得網路演算結果與目標輸出值相同。本類神經網路預報模式系統的建構，學習資料根據波浪資料及氣象資料觀測站實測數據，以既定的網路模式進行結構上的調整及修正。

另一種為回想過程，網路依照設定的回想法則，以輸入資料來決定網路的輸出值並進行驗證的工作，在這個部分利用未經類神經網路預報模式系統訓練學習的資料，進行類神經網路預報模式系統的計算、預測能力驗證。

### 3.2.3類神經網路颱風波浪預報模式

對特定台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如后：

(1)台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) 台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) 台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台灣地形的氣象關係，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) 台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台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（3.2.1）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。

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（3.2.2）所示

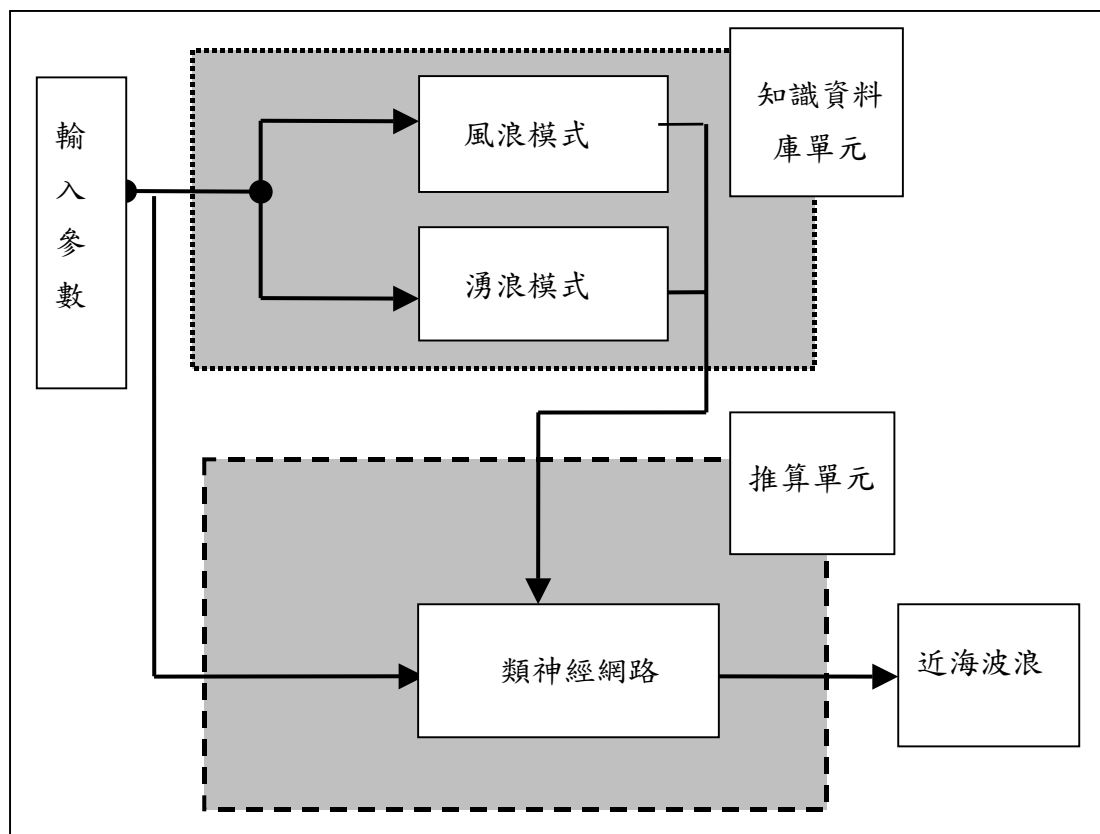


圖 3.2-1 類神經網路預報模式系統架構

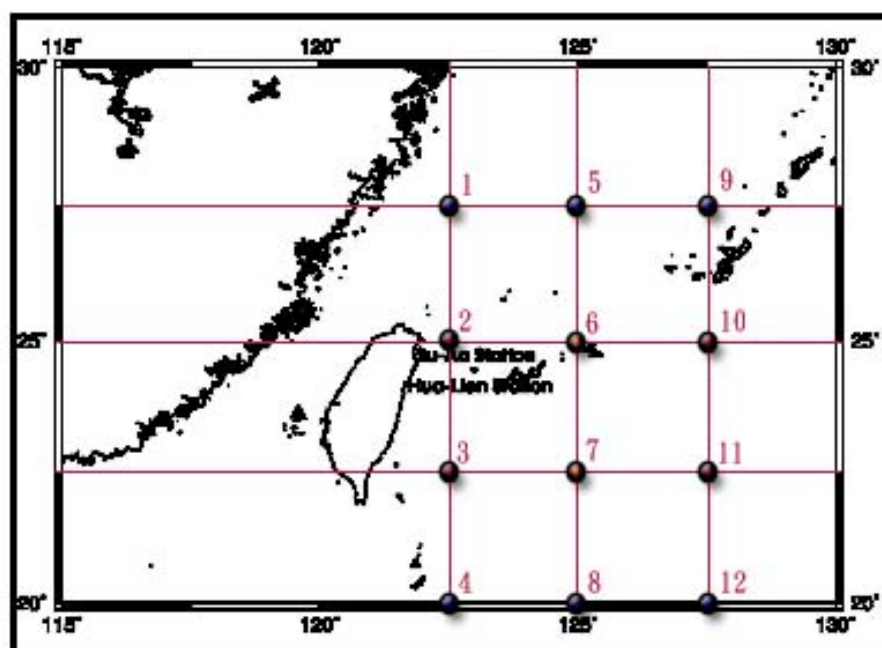


圖 3.2-2 12 個虛擬觀測站位置



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  $V_{10}, r, \theta, \theta_1$  的函數線性組合：

$$S(t_j) = \sum_{i=0}^j a_i f_1(V_{10}, r, \theta, \theta_1; t_i) \quad (3.2.2)$$

式(3.2.2)中  $a_i$  為係數， $f_1$  為函數， $t_j$  為時間。根據以上的能量平衡觀念， $t_j$  小時的颱風波浪為內能量  $S$  的函數：

$$H_{1/3}(t_j) = \sum_{i=0}^j b_i f_2[S(t_i)] \quad (3.2.3)$$

結合式(3.2.2)及式(3.2.3)可表示颱風波浪之示性波高為不同時間  $V_{10}, r, \theta, \theta_1$  的函數

$$H_{1/3}(t_j) = \sum_{i=j-m}^j c_i f(V_{10}, r, \theta, \theta_1; t_i) \quad (3.2.4)$$

式(3.2.4)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(3.2.4)可以寫成式(3.2.5)。本文將針對式(3.2.5)的架構建立類神經網路模式，利用收集的颱風氣象與波浪資料進行類神經網路模式的測試與驗證，並以式

(3.2.4)的架構建立類神經網路模式。

$$H_{1/3}(t_j) = \sum_{i=j-m}^j c_i f(V_{10}, V_{(1)10}, \dots, V_{(12)10}, r, \theta, \theta_1; t_i) \quad (3.2.5)$$

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

$$O_{P \times 1} = f(W_{S \times R} I_{R \times 1} + b_{S \times 1}) \quad (3.2.6)$$

其中  $O_{P \times 1}$  為神經網路具有 P 個向量的輸出矩陣， $f$  為轉移函數， $I_{R \times 1}$  為具有 R 個向量的輸入矩陣， $W_{S \times R}$  為具有 S 個神經元的神經網路權重矩陣， $b_{S \times 1}$  為網路偏權值矩陣，而式(3.2.6)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(3.2.2)及式(3.2.3)中的  $V_{\max}$ 、 $V_f$ 、 $V_{10}$ 、 $V_{(1)10}$ 、 $\dots$ 、 $V_{(12)10}$ 、 $r$  具有連續的特性， $\theta$  為颱風中心與波浪推算位置的方位角，在颱風行進的路徑可能發生角度不連續的現象，因此類神經網路採用兩個隱藏層的架構解決不連續的問題，若將颱風示性波浪與週期合併考量於推算模式時，因此類神經網路模式可以表示為

$$O_1 = f_1(W_{S2 \times S1} \cdot f_1(W_{S1 \times (R \cdot n)} [I_{1R \times 1}]_{n \times 1} + b_{S1 \times 1}) + b_{S2 \times 1}) \quad (3.2.7)$$

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

輸入資料延時 n。

### 3.2.4 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波浪資料收集較為完整，模式操作的部分將以花蓮港為模式推算的測試港口，

並利用花蓮港波浪推算模式推算鄰近的蘇澳港，藉以瞭解模式推算的能力。

首先將今年發展的模式命名為 Model 2004，去年的波浪推算模式為 Model 2003，在相同學習條件下進行模式驗證的工作，驗證的颱風資料的方式分成兩個部分：(1)花蓮港颱風資料驗證，包括 Fred (1994) 颱風、Haiyan (2001) 颱風。(2) 花蓮港波浪推算模式推算蘇澳港颱風波浪 Maggie (1999) 颱風。

花蓮港颱風波浪資料驗證首先是 Fred (1994) 颱風，兩個波浪模式 Model 2003、Model 2004 與觀測值之颱風波浪示性波高歷線比較，如圖所示 (3.2.3)，在不考慮陸地對颱風風場的影響下，兩個波浪推算模式有相近的推算結果，而 Model 2004 的波浪變動趨勢較 Model 2003 更接近觀測值。Haiyan (2001) 颱風，兩個波浪模式 Model 2003、Model 2004 與觀測值之颱風波浪示性波高歷線比較，如圖所示 (3.2.4)，在颱風接近台灣時颱風波浪逐漸成長，在這個階段兩個波浪推算模式有相近的推算結果，而 Model 2004 的波浪平均變動趨勢較 Model 2003 更接近觀測值，兩個推算模式在颱風波浪最大時的估算相近，颱風遠離時 Model 2004 的波浪消退趨勢較 Model 2003 大。

接著利用花蓮的波浪推算模式進一步推算鄰近蘇澳港的颱風波浪行為，這個部分是利用 Maggie (1999) 颱風進行驗證，兩個波浪模式 Model 2003、Model 2004 與觀測值之颱風波浪示性波高歷線比較，如圖(3.2.4)所示，在颱風接近台灣時颱風波浪逐漸成長，在這個階段模式的最低季節波浪採用 1 公尺，因此兩個波浪推算模式的推算結果皆大於實測波高值，而 Model 2004 的波浪平均變動趨勢較 Model 2003 更接近觀測值，兩個推算模式在颱風波浪最大時的發生位置與

颱風遠離時的波浪消退趨勢 Model 2004 皆較 Model 2003 接近實測波高值。

因此，颱風波浪推算模式再不增加學習資料的數量條件下，經過架構的修正能夠逐步提升推算的準確性。以此類神經架構應可滿足水位推算以及資料同化的目的。

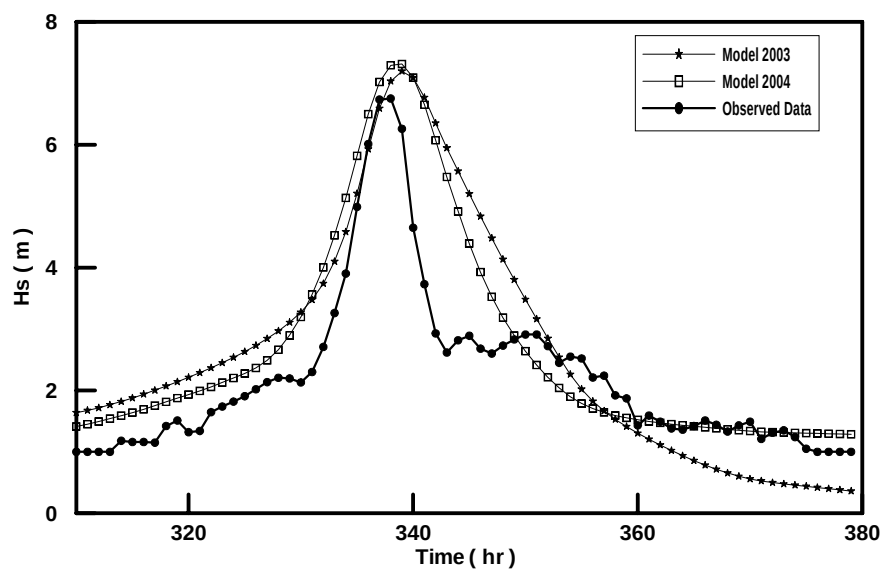


圖 3.2-3 Fred (1994)颱風示性波高 Model 2003 、Model 2004 與觀測值比較

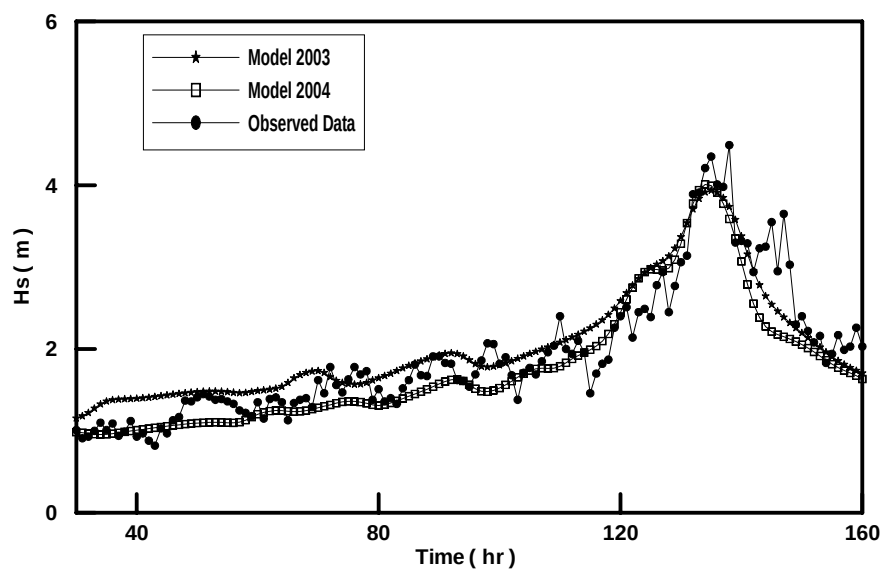


圖 3.2-4 Haiyan (2001)颱風示性波高 Model 2003 ,Model 2004 與觀測值比較

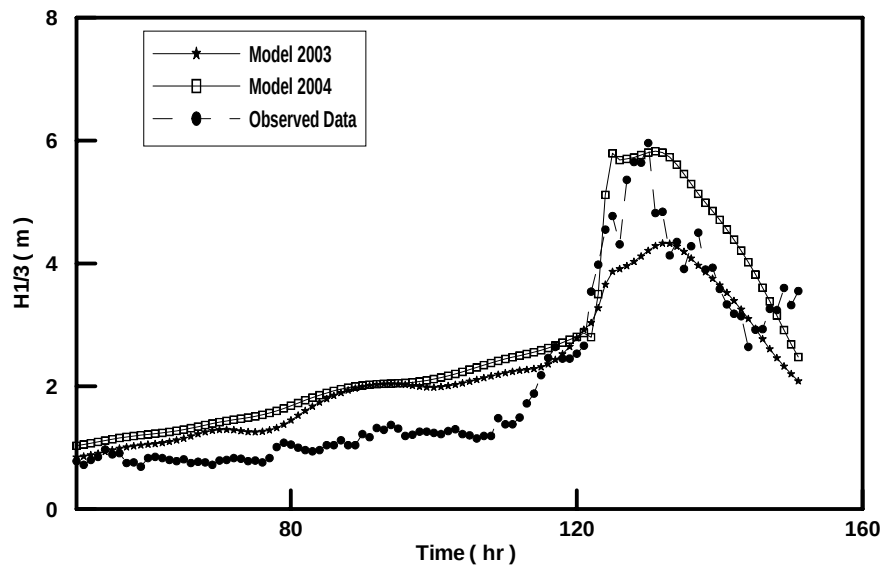


圖 3.2-5 Maggie (1999) 颱風示性波高 Model 2003 , Model 2004 與觀測值比較

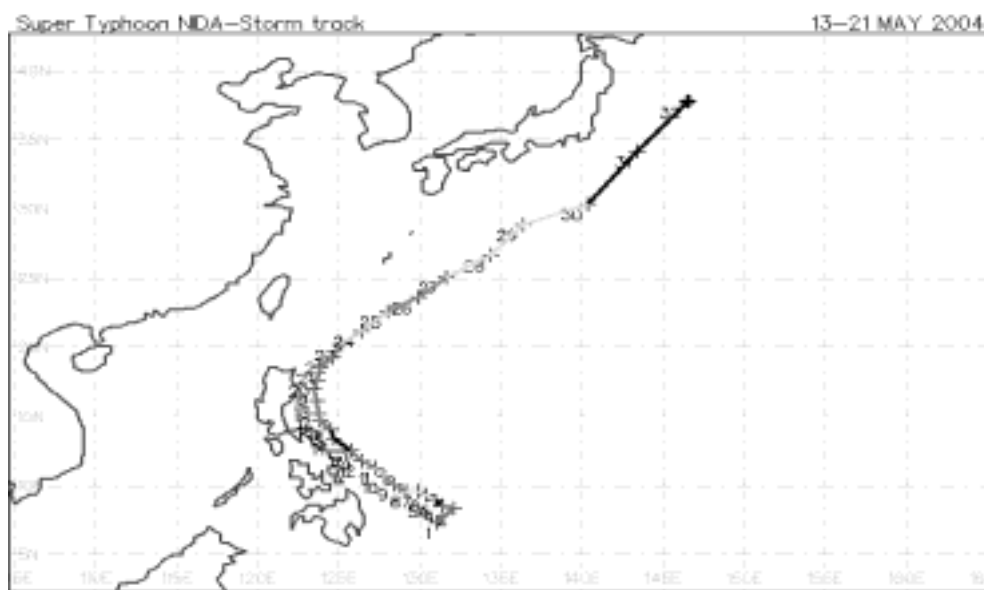


圖 3.2-6 Nida (妮妲，2004) 颱風路徑

接著以花蓮港波浪推算模式 Model 2004 對 Nida (妮妲, 2004) 颱風進行推算, 此外也同時對花蓮附近港灣包括成功以及蘇澳進行颱風波浪推算, 颱風路徑如圖 3.2-6 所示, 三個港口的颱風波浪推算結果如圖 3.2-7 所示。觀察颱風運動行與路徑為可以發現, 在颱風逼近台灣後轉向, 接近的程度依序為成功、花蓮及蘇澳, 因無即時波浪資料比較, 所以由颱風路徑與圖 3.2-7 比較可以發現, 颱風波浪與颱風運動具有相似的行為。

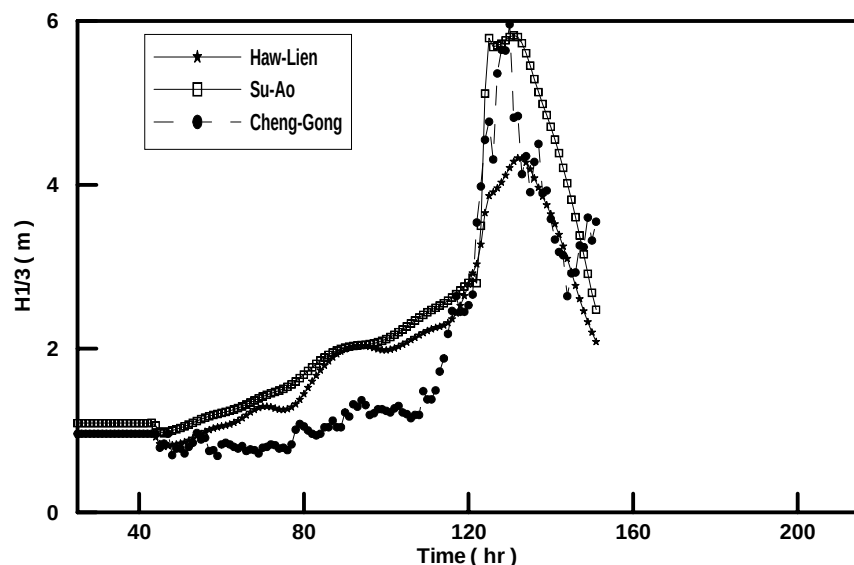


圖 3.2-7 Nida (2004) 颱風 Model 2004 推算花蓮港、蘇澳港及成功港颱風波浪示性波高

### 3.2.5 2004 年颱風波浪測試與驗證

針對 2004 年生成的颱風進行模式的測試與驗證, 選取比較的颱風包括康森(CONSON)颱風、敏督利(MINDULLE)颱風及蘭寧(RANANIM)颱風, 進行模式與觀測值比較的觀測站是由中央氣象局設置的波浪觀測站, 花蓮觀測站位置設在 ( $24^{\circ} 02'8''N$  ,  $121^{\circ} 37'51''E$ ) 在花蓮七星潭外海 0.5 公里, 水深 30 公尺。儀器觀測時間 10 分鐘。蘇澳浮標逐時波浪觀測設置位置為 ( $24^{\circ} 37'10''N$  ,  $121^{\circ} 52'48''E$ ) 在蘇澳港北方三海湮水深二十三公尺處。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。

康森(CONSON)颱風、敏督利(MINDULLE)颱風及蘭寧(RANANIM)颱風的路徑圖如圖 3.2-8-3.2.10 所示, 康森(CONSON)颱

風生成位置在南海在北緯 14.50 東經 116.50 度的位置，由西向東北移動，颱風中途影響菲律賓與台灣陸地後穿過台灣海峽後直撲日本，颱風 7 級暴風半徑約 150 公里，距離花蓮及蘇澳海域最近距離約 228 公里，再不考慮陸地對颱風影響的效應下，如圖 3.2-11 為蘇澳觀測站推算結果，圖 3.2-12 所示為花蓮觀測站推算結果，蘇澳觀測站最大波高約 2.5 公尺，花蓮觀測站最大波高約 2 公尺，由圖中可以觀察出實測波浪的颱風波浪的現象並不明顯，模式的推算則明顯高估許多。

敏督利(MINDULLE)颱風生成位置在南海在北緯 15.90 東經 143.70 度的位置，颱風 7 級暴風半徑約 250 公里由東向西行接近菲律賓後向北行進接進台灣東岸陸地沿海岸線繼續北行後登陸韓國，路徑圖如圖 3.2-9 所示，整個行進過程中在接近菲律賓時颱風的右半圓颱風波浪間接影響台灣，再次接近台灣區域時颱風風場與陸地存在交互作用，這也是主要影響台灣海域的時間，如圖 3.2-13 為蘇澳觀測站推算結果，圖 3.2-14 所示為花蓮觀測站推算結果，實測的颱風波浪行為因應颱風行為也有兩個階段的發展，模型颱風風場推算颱風眼行經的前後 颱風接近花蓮及蘇澳時有最大的颱風波浪發生，模式推算的颱風波浪結果反映了颱風行為，類神經推算模式在颱風中心接近花蓮與蘇澳時推算結果有高估的現象。

蘭寧(RANANIM)颱風的路徑圖如圖 3.2-10 所示，颱風生成位置在南海在北緯 16.60 東經 129.80 度的位置，颱風 7 級暴風半徑約 250 公里由東向西北行進，以接近台灣北部海域進入中國大陸，在颱風接近台灣陸地以前颱風風場與颱風波浪作用花蓮、蘇澳皆沒有受到陸地的影響，因此風場模式的風場分佈與實際風場較接近，蘇澳、花蓮觀測站海域波浪觀測值與類神經模式推算結果比較如圖 3.2-15、圖 3.2-16 所示，觀測值與推算值相當接近。模式針對這三場颱風對花蓮與蘇澳港進行颱風波浪示性週期的推算，結果如圖 3.2-17 至 3.2-22 所示。

經過這 3 場颱風波浪推算與觀測值的比較可以歸納出提高推算準確度的要件，首先是颱風風場模擬的準確性由康森(CONSON)颱風及敏督利(MINDULLE)颱風因陸地與風場交互作用使的颱風風場有劇烈的變化，這也影響了颱風波浪的發展，颱風風場與陸地關係未明確前，類神經網路將利用已發生過的颱風波浪行為對下一次類似的颱風事件進行颱風波浪行為的修正。蘭寧(RANANIM)颱風的行為相當簡

單風場亦不受陸地影響，模型颱風風場與實際颱風風場相似，顯示颱風風場實際的變動將影響颱風波浪推算的準確度，有效的風場模式將可以提高颱風波浪推算的能力。

類神經波浪推算模式的修正歸納出兩個方向，一是藉由已經發生過的颱風加入學習資料中，增加模式學習的經驗藉以修正陸地效應與特殊路徑或行為的颱風波浪，這個方法受限制於必須有足夠學習資料，當資料不足時此方法只適合經過類似學習經驗的颱風事件。第二個修正方向是選用正確、完整的颱風風場分佈外，修改類神經網路結構增加類神經網路記憶與模擬的能力。

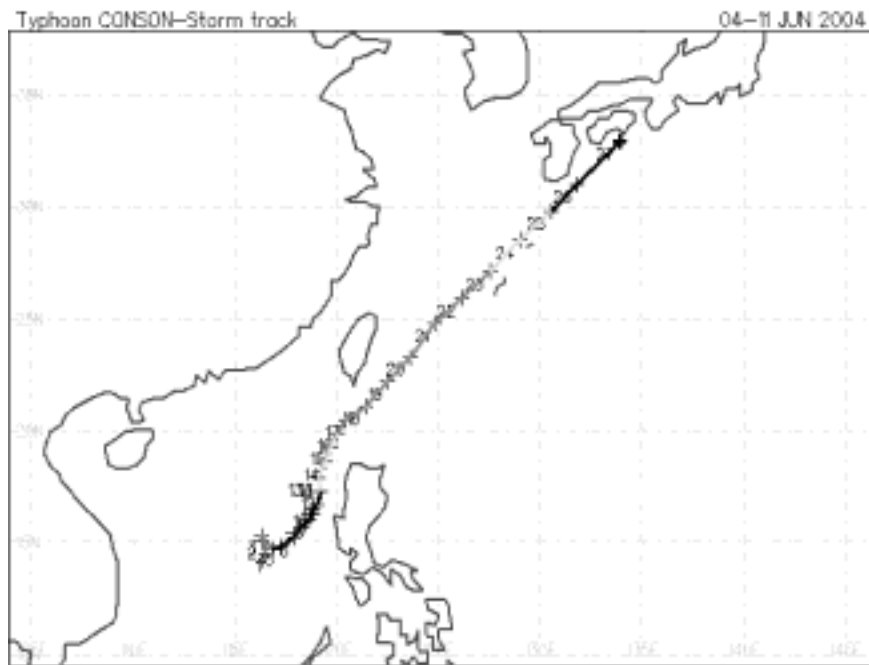


圖 3.2-8 康森(CONSON,2004)颱風路徑



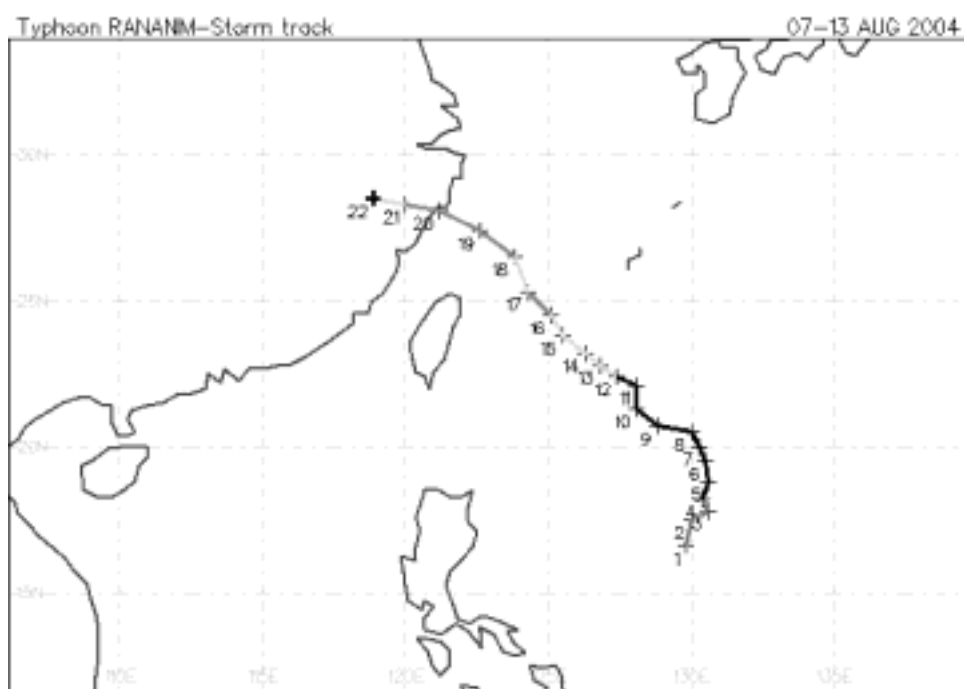


圖 3.2-9 敏督利(MINDULLE,2004)颱風路徑

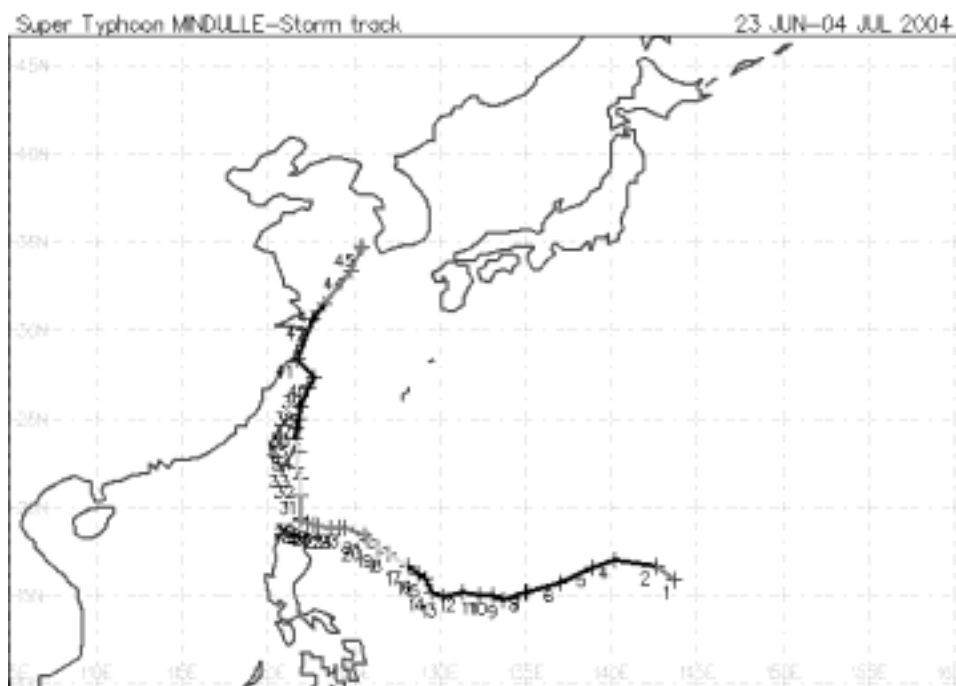


圖 3.2-10 蘭寧(RANANIM,2004)颱風路徑

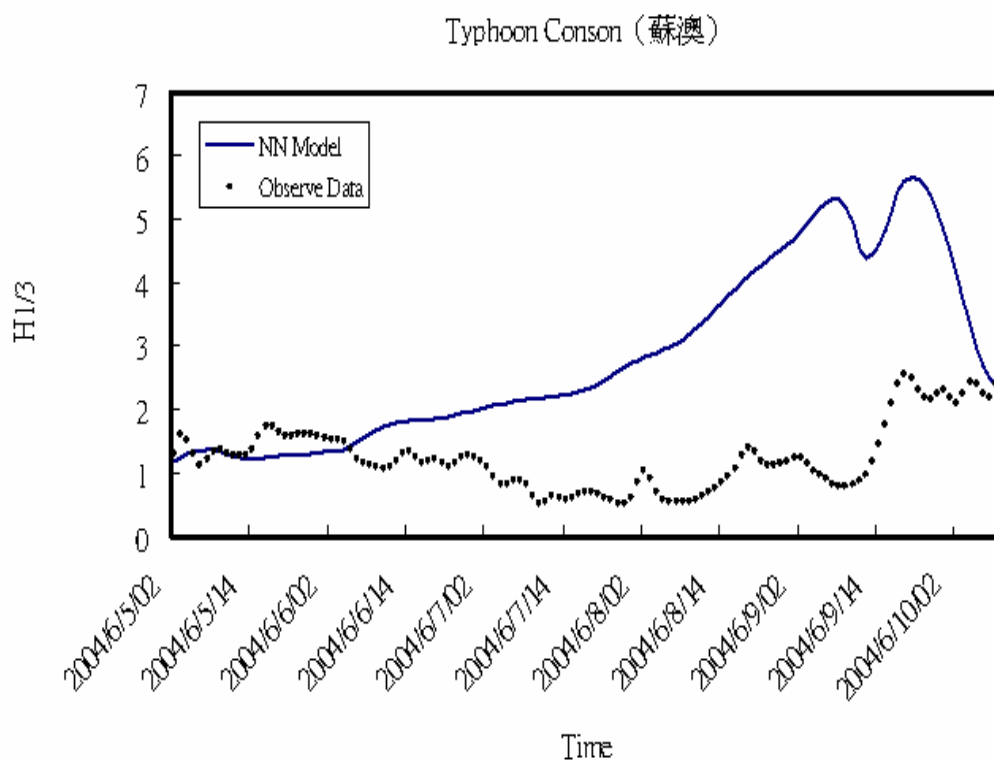


圖 3.2-11 康森颱風 Model 2004 推算蘇澳港颱風波浪示性波高

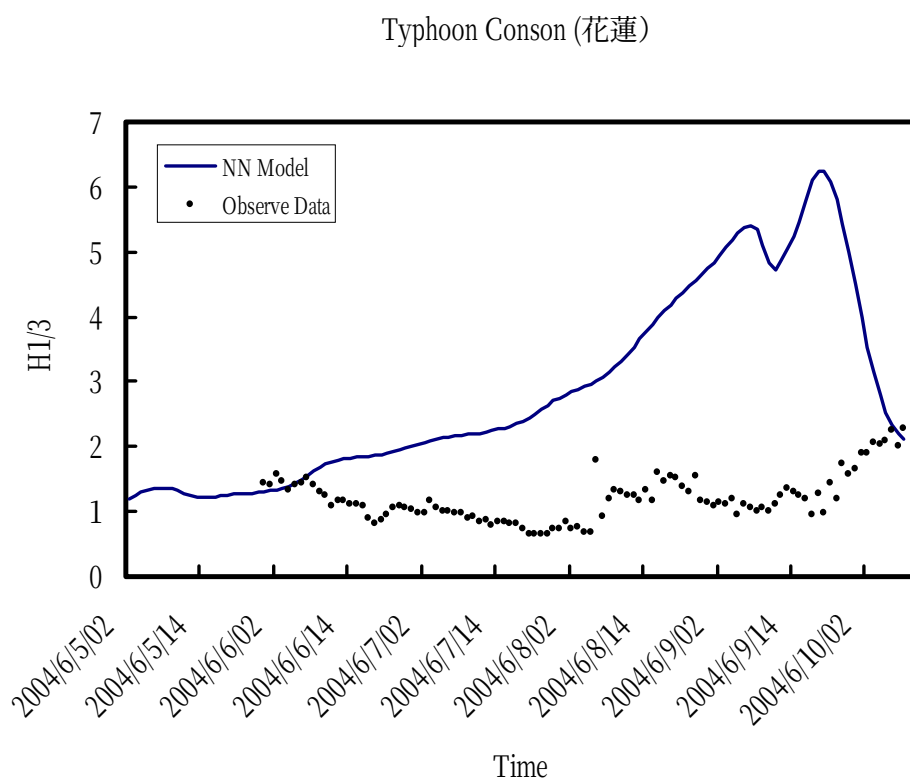


圖 3.2-12 康森颱風 Model 2004 推算花蓮港颱風波浪示性波高

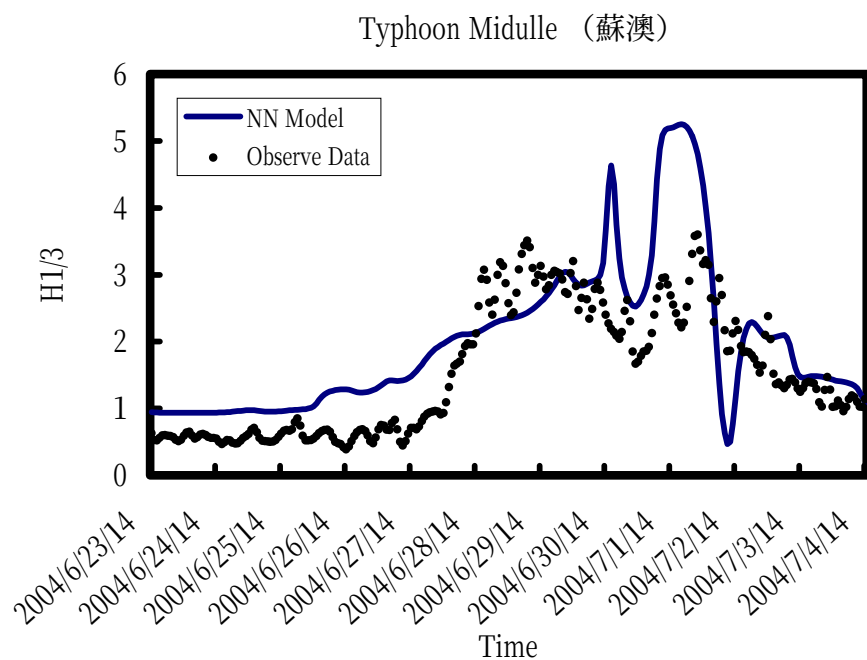


圖 3.2-13 敏督利颱風 Model 2004 推算蘇澳港颱風波浪示性波高

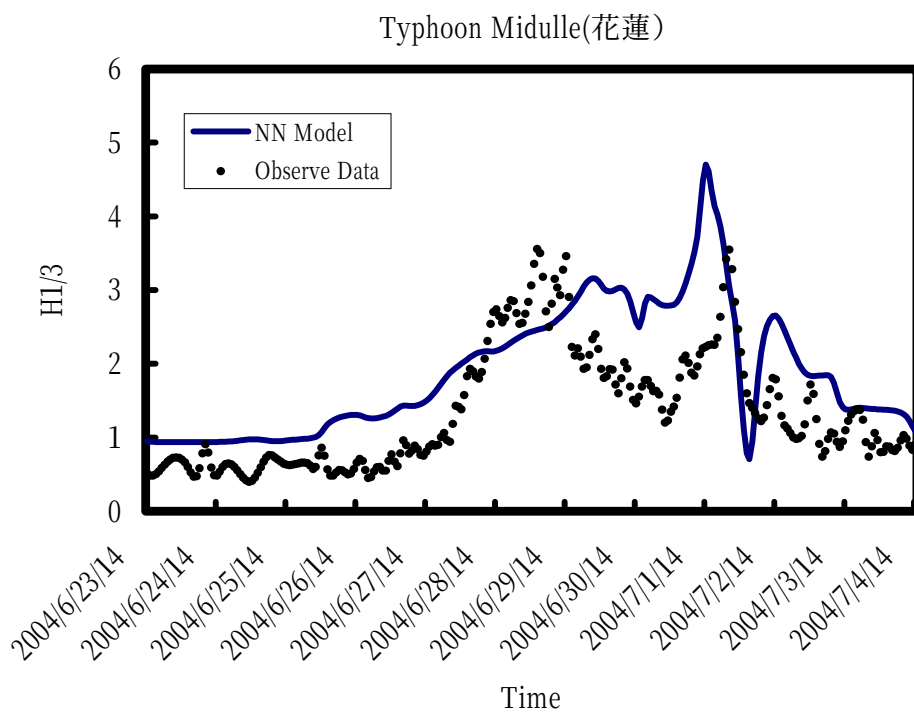


圖 3.2-14 敏督利颱風 Model 2004 推算花蓮港颱風波浪示性波高

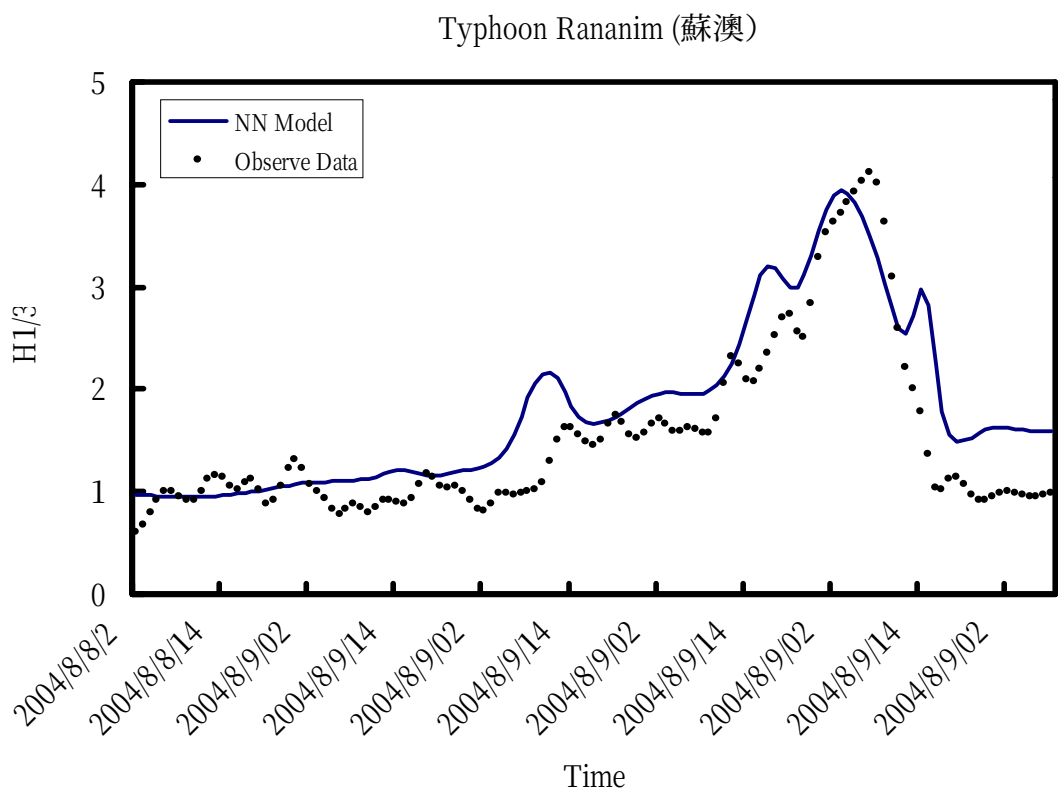


圖 3.2-15 蘭寧颱風 Model 2004 推算蘇澳港颱風波浪示性波高

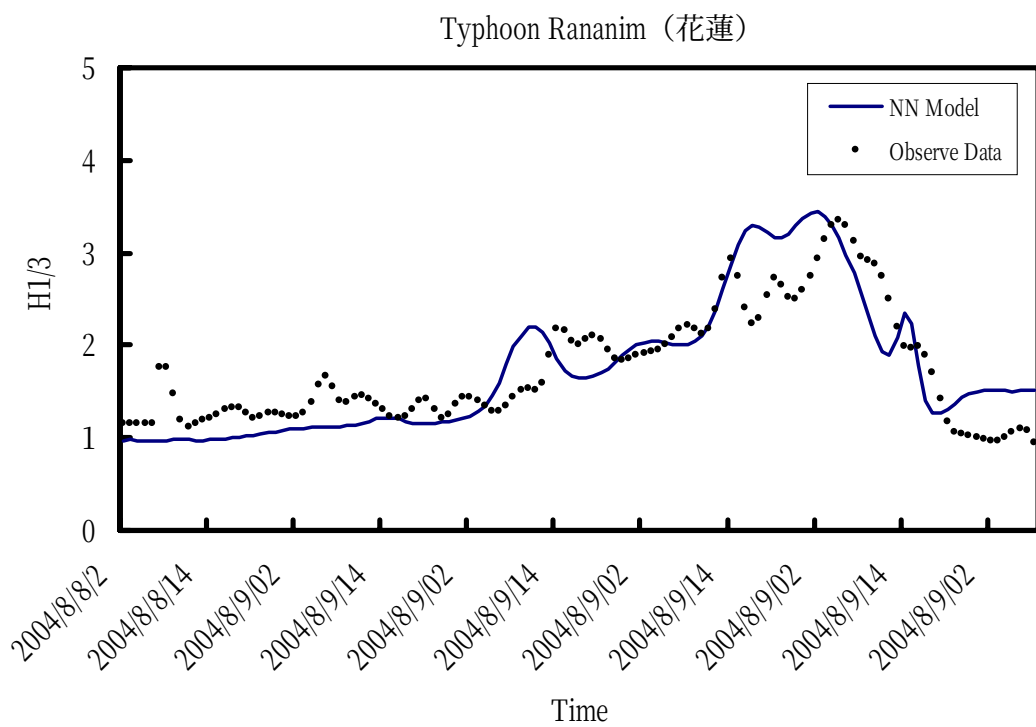


圖 3.2-16 蘭寧颱風 Model 2004 推算花蓮港颱風波浪示性波高

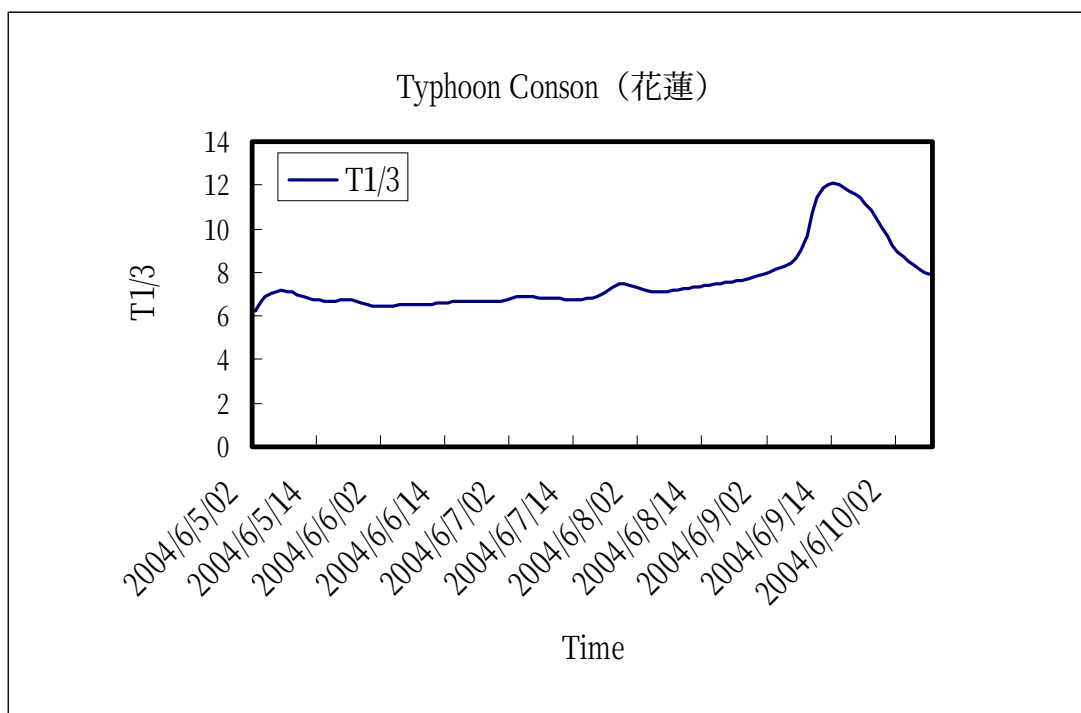


圖 3.2-17 康森颱風 Model 2004 推算花蓮港颱風波浪示性週期

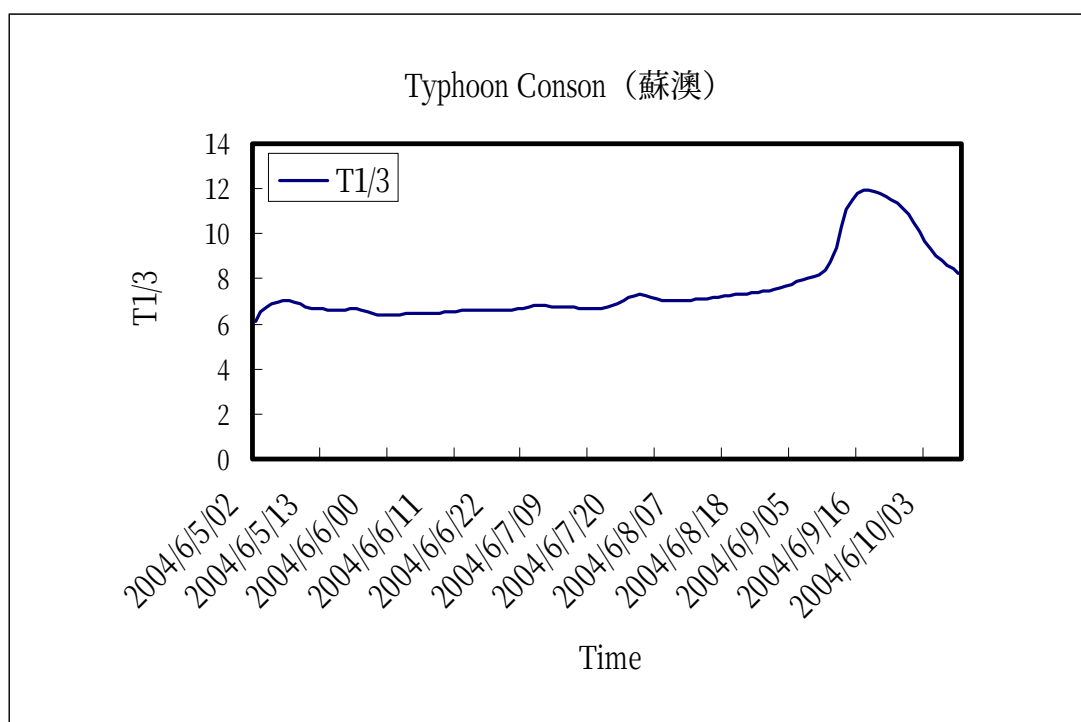


圖 3.2-18 康森颱風 Model 2004 推算蘇澳港颱風波浪示性週期

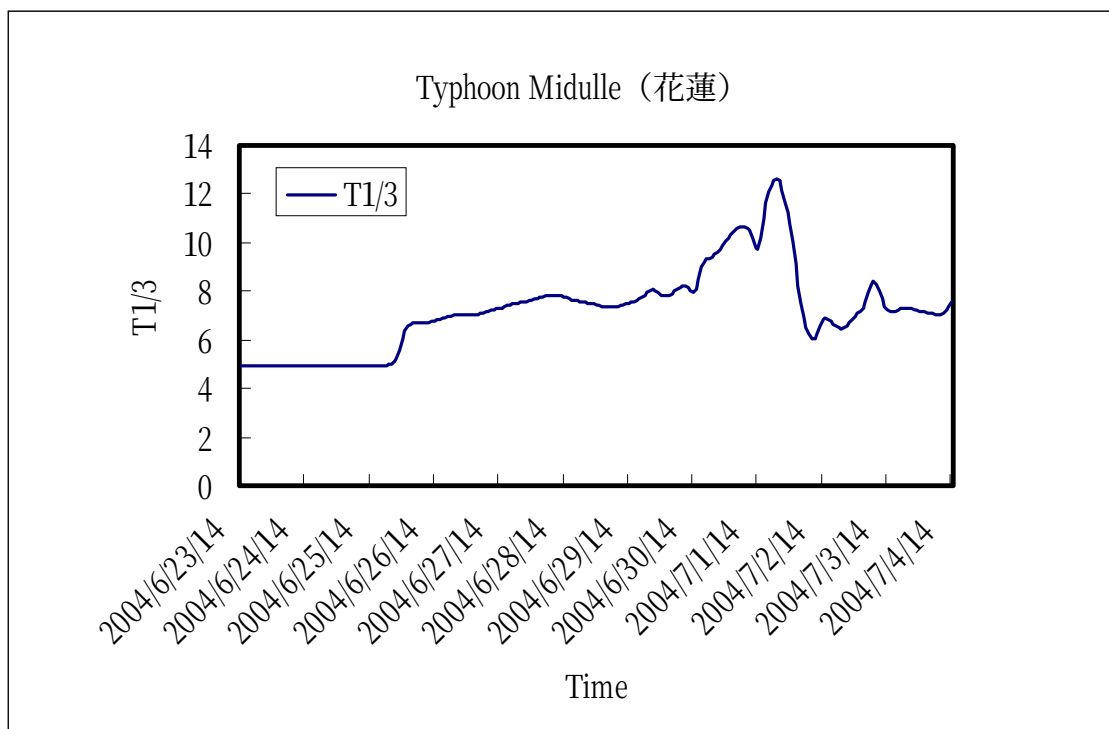


圖 3.2-19 敏督利颱風 Model 2004 推算花蓮港颱風波浪示性週期

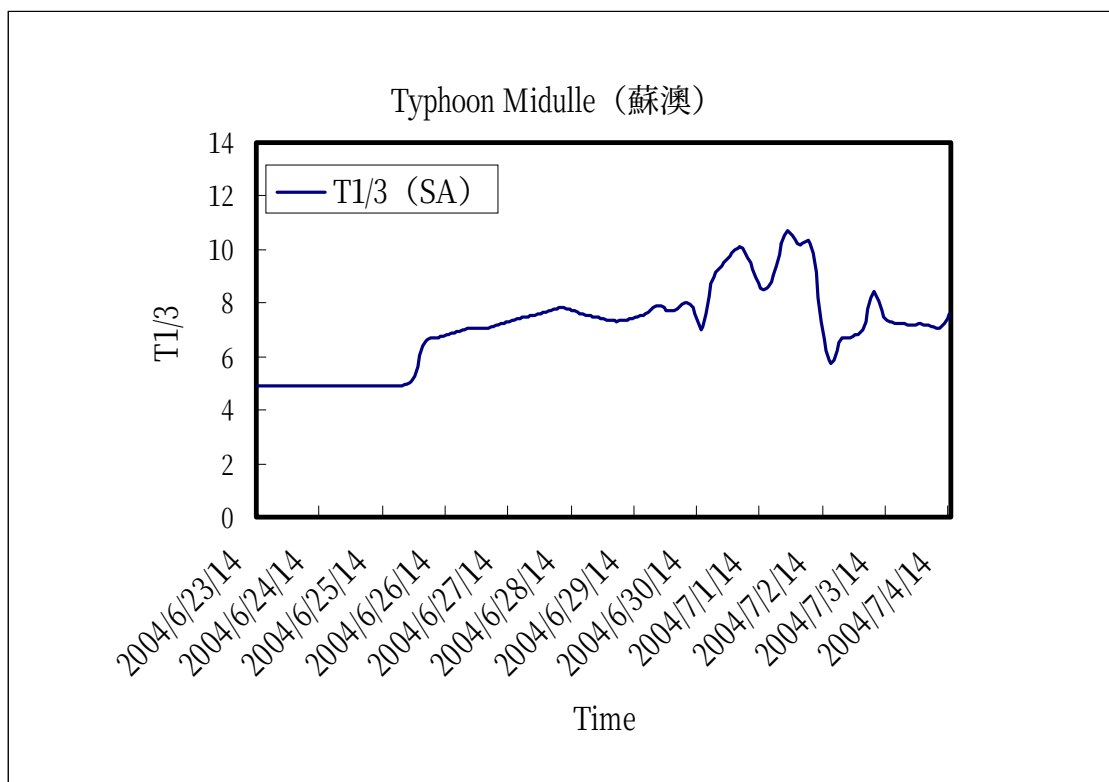


圖 3.2-20 敏督利颱風 Model 2004 推算蘇澳港颱風波浪示性週期

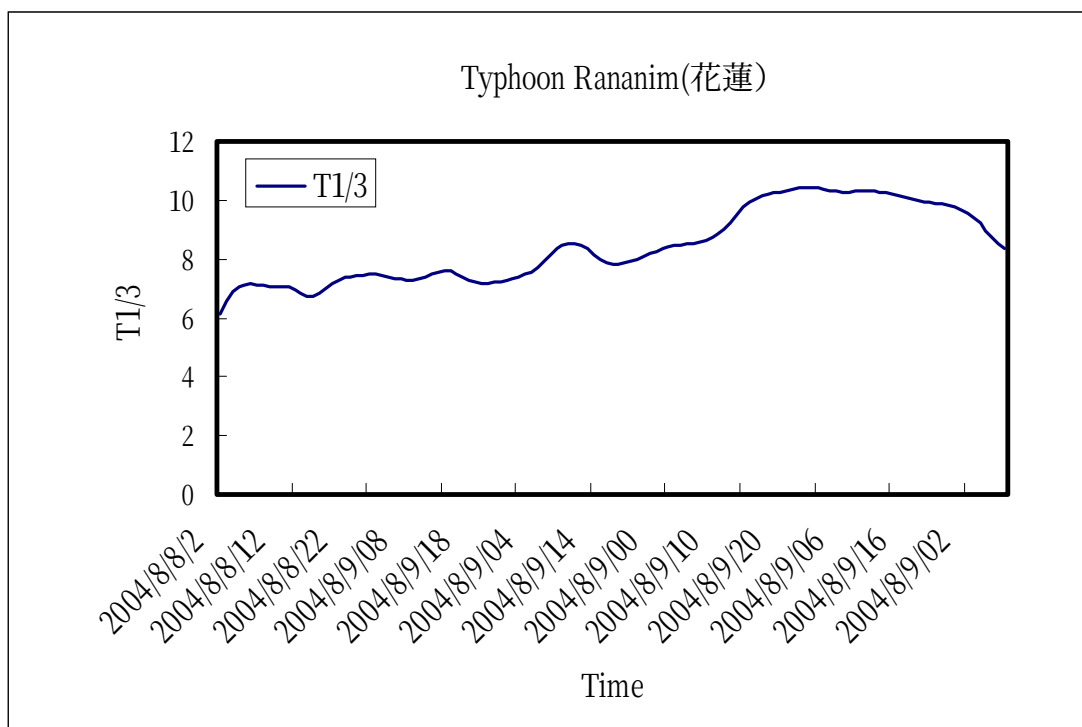


圖 3.2-21 蘭寧颱風 Model 2004 推算花蓮港颱風波浪示性週期

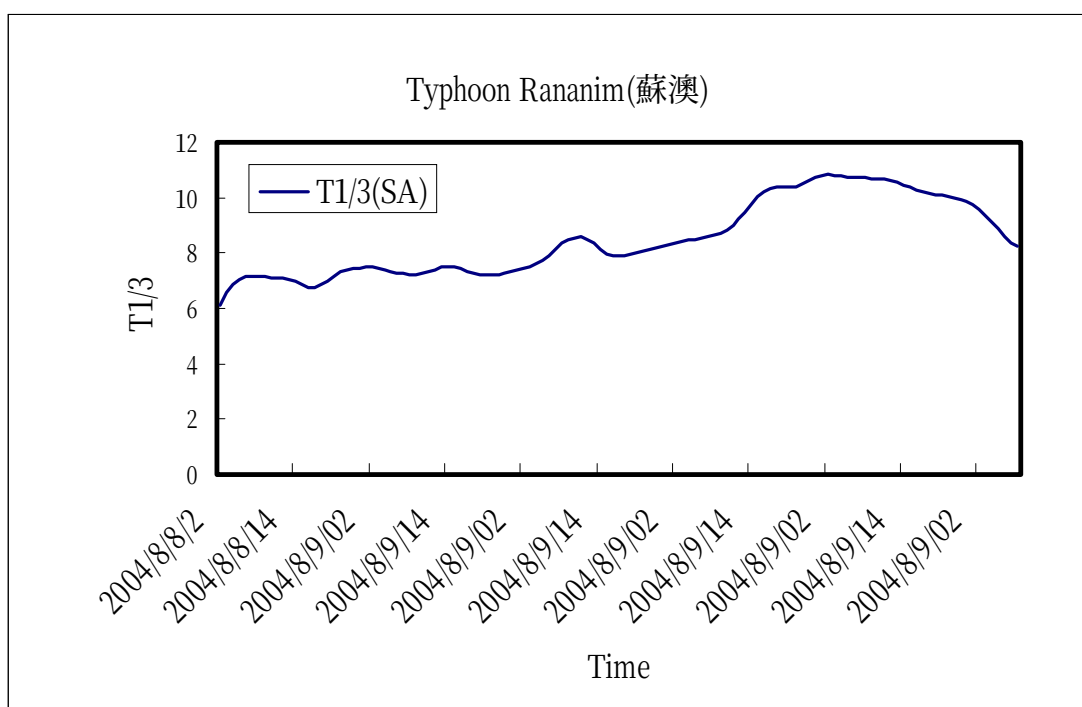


圖 3.2-22 蘭寧颱風 Model 2004 推算蘇澳港颱風波浪示性週期

### 3.3定點風域推算半經驗颱風波浪模式

#### 3.3.1模式理論介紹

常見之半經驗颱風波浪推算模式 Breteschneider 參數法(1958)、井島武士之追蹤法(1961)、湯麟武(1970)之移動風域數值推算法及梁乃匡(1993)之颱風湧浪預報法等。湯(1970)鑑於 Wilson 之方法只能推算深海風浪，不能直接推算海岸前之波浪狀況，故綜合 Wilson 及 Breteschneider 等經驗公式，配合淺海中之風浪關係、海底摩擦之影響、湧浪之推算方式及碎波後波浪之計算，提出移動風域數值推算模式，而本計畫使用之定點颱風波浪推算半經驗模式即是依據上述原理建立並加以改善而成，其基本原理詳述如下：

##### 一、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

$$\frac{gH}{U^2} = \alpha \tanh \left[ k_1 \left( \frac{gF}{U^2} \right)^{1/2} \right] \quad (3.3-1)$$

$$\frac{gT}{2\pi U} = \beta \tanh \left[ k_2 \left( \frac{gF}{U^2} \right)^{1/3} \right] \quad (3.3-2)$$

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； $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $k_1$  及  $k_2$  為常數值，分別等於 0.26、1.40、0.01 及 0.0436。

##### 二、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)

$$\frac{gH}{U^2} = \alpha \tanh \left[ k_3 \left( \frac{gD}{U^2} \right)^{3/4} \right] \tanh \left\{ \frac{k_1 \left( \frac{gF}{U^2} \right)^{1/2}}{\tanh \left[ k_3 \left( \frac{gD}{U^2} \right)^{3/4} \right]} \right\} \quad (3.3-3)$$



$$\frac{gT}{2\pi U} = \beta \tanh \left[ k_4 \left( \frac{gD}{U^2} \right)^{3/8} \right] \tanh \left\{ \frac{k_2 \left( \frac{gF}{U^2} \right)^{1/3}}{\tanh \left[ k_4 \left( \frac{gD}{U^2} \right)^{3/8} \right]} \right\} \quad (3.3-4)$$

式中  $D$  表示水深，常數  $k_3=0.578$ ， $k_4=0.520$ 。當  $D \rightarrow \infty$  時此二式可簡化為(3.3-1)及(3.3-2)式。

### 三、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  $\Delta x$  距離處(即  $x_{n+1} = x_n + \Delta x$ ，如  $\Delta x$  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

$$H_{n+1} = H_n + \left( \frac{dH}{dx} \right)_n \Delta x \quad (3.3-5)$$

$$G_{n+1} = G_n + \left( \frac{dG}{dx} \right)_n \Delta x \quad (3.3-6)$$

式中  $(dH/dx)_n$  及  $(dG/dx)_n$  可由(3.3-1)及(3.3-2)式得到，即

$$\left( \frac{dH}{dx} \right)_n = \frac{k_1^2}{\alpha} \frac{(\alpha + gH_n/U_n^2)(\alpha - gH_n/U_n^2)}{\ln(\alpha + gH_n/U_n^2) - \ln(\alpha - gH_n/U_n^2)} \quad (3.3-7)$$

$$\left( \frac{dG}{dx} \right)_n = \frac{8k_2^3 g}{3\beta U_n} \frac{(\beta/2 + G_n/U_n)(\beta/2 - G_n/U_n)}{[\ln(\beta/2 + G_n/U_n) - \ln(\beta/2 - G_n/U_n)]} \quad (3.3-8)$$

當風浪進入淺海區後，波高仍可依(3.3-5)式計算之，其中  $(dH/dx)_n$  可由(3.3-3)式求得如下：

$$\left( \frac{dH}{dx} \right)_n = \frac{k_1^2}{\alpha} \frac{(\alpha\mu_n + gH_n/U_n^2)(\alpha\mu_n - gH_n/U_n^2)}{(\alpha\mu_n)^3 [\ln(\alpha\mu_n + gH_n/U_n^2) - \ln(\alpha\mu_n - gH_n/U_n^2)]} \quad (3.3-9)$$

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。

$$\frac{G}{U} = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{2kD}{\sinh(2kD)} \right] \frac{gT}{2\pi U} \tanh(kD) \quad (3.3-10)$$

式中  $k$  為週波數 ( $k = 2\pi/L$ ， $L$  為水深  $D$  處之波長)。由於(3.3-10)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 ( $= gT^2/2\pi$ )，則  $S$  可改寫

$$S = \frac{4\pi^2 D}{gT^2} = \frac{gD/U^2}{(gT/2\pi U)^2} \quad (3.3-11)$$

由(3.3-11)式可得到下列關係式

$$\frac{gT}{2\pi U} = \left( \frac{gD/U^2}{S} \right)^{1/2} \quad (3.3-12)$$

同樣地由波浪之延散關係式知

$$S = \frac{2\pi D}{L} \tanh\left(\frac{2\pi D}{L}\right) = y \tanh(y) \quad (3.3-13)$$

將(3.3-12)及(3.3-13)式代入(3.3-10)式得到

$$\frac{G}{U} \frac{1}{(gD/U^2)^{1/2}} = \frac{1}{2yS^{1/2}} (S - S^2 + y^2) \quad (3.3-14)$$

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

$$Z = \frac{G/U}{(gD/U^2)^{1/2}} = \frac{G}{\sqrt{gD}} = f(S) \quad (3.3-15)$$

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  $Z = 1/(2\sqrt{\pi}) = 0.2821$ 。即

$$Z < 0.2821 \quad \text{波浪為深水波}$$

$$0.2821 \leq Z < 1 \quad \text{波浪為淺水波}$$

$$Z = 1 \quad \text{波浪為淺灘波}$$

在  $0 < S < \pi$  之區間內(即淺海波浪狀況下)，由於(3.3-15)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：

$$Z = 1 - a_1 S - a_2 S^2 - \dots - a_6 S^6 \quad (3.3-16)$$

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：

$$S = b_1(1-Z) + b_2(1-Z)^2 + \dots + b_7(1-Z)^7 \quad (3.3-17)$$

其中  $b_1 = 2.464857$ 、 $b_2 = -7.35305$ 、 $b_3 = 52.74583$ 、 $b_4 = -162.2$ 、 $b_5 = 275.83$ 、 $b_6 = -247.2$  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(3.3-5)及(3.3-9)式計算之，即

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

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

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

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  $S_{n+1}$ ：

$$S_{n+1} = S_n + \left( \frac{dS}{dx} \right)_n \Delta x \quad (3.3-18)$$

將(3.3-4)式代入(3.3-11)式得到

$$S = \left( \frac{gD}{U^2} \right) \left\{ \beta \tanh \left[ k_4 (gD/U^2)^{3/8} \right] \tanh \left\{ \frac{k_2 (gF/U^2)^{1/3}}{\tanh \left[ k_4 (gD/U^2)^{3/8} \right]} \right\} \right\}^{-2} \quad (3.3-19)$$

則

$$\left( \frac{dS}{dx} \right)_n = - \frac{8k_2^3}{3\beta} \frac{g}{U_n^2} \frac{S_n}{(\nu_n)^4 \left[ (1/S_n)(gD_n/U_n^2) \right]^{1/2}} \times \quad (3.3-20)$$

$$\frac{\left| \beta \nu_n + (1/S)^{1/2} (gD_n/U_n^2)^{1/2} \right| \left| \beta \nu_n - (1/S_n)^{1/2} (gD_n/U_n^2)^{1/2} \right|}{\left\{ \ln \left[ \beta \nu + (1/S_n)^{1/2} (gD_n/U_n^2)^{1/2} \right] - \ln \left[ \beta \nu - (1/S_n)^{1/2} (gD_n/U_n^2)^{1/2} \right] \right\}^2}$$

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

當  $S_{n+1}$  求出後，再由(3.3-16)式計算  $Z_{n+1}$ 。因在  $\Delta x$  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

$$G_{n+1} = Z_{n+1} \sqrt{gD_n} \quad (3.3-21)$$

$$T_{n+1} = 2\pi \sqrt{(D_n/gS_{n+1})} \quad (3.3-22)$$

於上述計算中要決定  $\Delta x$  及  $\Delta t$  之前，需先決定  $\Delta x$  及  $\Delta t$  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， $\Delta x$  及  $\Delta t$  可由以下決定：

$$G_n \geq \frac{(\Delta x)_{\max}}{(\Delta t)_{\max}} \text{ 時, } \Delta x = (\Delta x)_{\max}, \quad \Delta t = \frac{(\Delta x)_{\max}}{G_n} \quad (3.3-23a)$$

$$G_n < \frac{(\Delta x)_{\max}}{(\Delta t)_{\max}} \text{ 時, } \Delta x = G_n (\Delta t)_{\max}, \quad \Delta t = (\Delta t)_{\max} \quad (3.3-23b)$$

由於  $\Delta x$  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  $\Delta x$  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  $S_{n+1}$ 。

#### 四、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

$$\alpha \leq \frac{gH_n}{U_n^2} \quad (3.3-24)$$

或

$$\frac{\beta}{2} \leq \frac{G_n}{U_n} \quad (3.3-25)$$

在淺海中

$$\alpha \tanh \left[ k_3 \left( gD_n / U_n^2 \right)^{3/4} \right] \leq \frac{gH_n}{U_n^2} \quad (3.3-26)$$

或

$$\beta \tanh \left[ k_4 (gD_n / U_n^2)^{3/8} \right] \leq \sqrt{\frac{1}{S_n} \frac{gD_n}{U_n^2}} \quad (3.3-27)$$

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：

$$\frac{H_{n+1}}{H_F} = \cosh^{-1} \left\{ 0.66 \left( \frac{F}{H_F} \right)^{0.05} \left( \frac{A_n + \Delta x}{F} \right)^{0.25} \tanh \left[ 3.0 \left( \frac{A_n + \Delta x}{F} \right)^{0.30} \right] \right\} \quad (3.3-28)$$

$$\frac{T_{n+1}}{T_F} = \cosh^{1/2} \left\{ 1.74 \left( \frac{2\pi F}{gT_F^2} \right)^{-0.05} \left( \frac{A_n + \Delta x}{F} \right)^{0.20} \tanh \left[ 1.02 \left( \frac{2\pi F}{gT_F^2} \right)^{-0.04} \left( \frac{A_n + \Delta x}{F} \right)^{0.32} \right] \right\} \quad (3.3-29)$$

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：

$$H_{n+1} = \cosh^{-1} \left\{ 0.66 \left( \frac{F}{H_F} \right)^{0.05} \left( \frac{A_n + \Delta x}{F} \right)^{0.25} \tanh \left[ 3.0 \left( \frac{A_n + \Delta x}{F} \right)^{0.30} \right] \right\} H_F - \left[ 1 - \frac{1}{fH_n \Delta x \Phi + 1} \right] H_n \quad (3.3-30)$$

其中

$$\Phi = \frac{16\pi^2}{3g} \frac{1}{G_n T_n} \left\{ \sinh \left[ Z_n \sqrt{S_n} + \sqrt{(Z_n^2 - 1)S_n + S_n^2} \right] \right\}^3 \quad (3.3-31)$$

(3.3-30)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：

$$\alpha \tanh \left[ k_3 \left( g D_n / U_n^2 \right)^{3/4} \right] \leq \frac{g H_n}{U_n^2} < \alpha \quad (3.3-32)$$

時，表示波浪屬於衰減風浪，此時波高之計算須修正為

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

$$\frac{k_1^2 \Delta x (\alpha + g H_n / U_n^2) (\alpha - g H_n / U_n^2)}{\alpha [\ln(\alpha + g H_n / U_n^2) - \ln(\alpha - g H_n / U_n^2)]} - \left[ 1 - \frac{1}{f H_n \Delta x \Phi + 1} \right] H_n \quad (3.3-33)$$

## 五、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：

$$P = P_c + \Delta P \exp(-R_0/R) \quad (3.3-34)$$

其中  $P_c$  為颱風中心氣壓(單位為 mb)， $\Delta P$  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 (3-1-4) 計算之。

2. 傾度風計算公式如下：

$$V_g = \left[ \frac{\Delta P}{\rho_a} \frac{R_0}{R} \exp(-R_0/R) + R^2 \Omega^2 \sin^2 \phi \right]^{1/2} - R \Omega \sin \phi \quad (3.3-35)$$

式中  $V_g$  為傾度風之風速( $m/sec$ )， $\Omega$  為地球自轉角速率( $sec^{-1}$ )， $\phi$  為颱風所經過之緯度平均值， $\rho_a$  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：

$$U(x, t) = C_{w1} \left\{ -\frac{1}{R} \left[ \sin(\alpha)(x - V_x t - x_c) + \cos(\alpha)(-V_y t - y_c) \right] + \frac{C_{w2} V_x}{(V_g)_{\max}} \right\} V_g \quad (3.3-36)$$

其中

$$R = \left[ (x - V_x t - x_c)^2 + (-V_y t - y_c)^2 \right]^{1/2} \quad (3.3-37)$$

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； $\alpha$ 在北緯 $25^\circ$ 以南為 $35^\circ$ ，在北緯 $25^\circ$ 以北為 $30^\circ$ ； $C_{w1}$ 及 $C_{w2}$ 為颱風風場參數。

## 六、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：

$$U_0 = C_{w1} \left\{ -\frac{1}{R} \left[ \sin(\alpha)(x_0 - V_x t_0 - x_c) + \cos(\alpha)(-V_y t_0 - y_c) \right] + \frac{C_{w2} V_x}{(V_g)_{\max}} \right\} V_g \quad (3.3-38)$$

$$R = \left[ (x_0 - V_x t_0 - x_c)^2 + (-V_y t_0 - y_c)^2 \right]^{1/2} \quad (3.3-39)$$

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(3.3-38)式可簡化為



$$U_0 = -C_{w1} \left\{ \frac{\Theta}{R} - \frac{C_{w2} V_x}{(V_g)_{\max}} \right\} V_g \quad (3.3-40)$$

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  $\Theta$ 。由計算結果得知在  $R=100\text{km} \sim 500\text{km}$  之範圍內， $\Theta$  與  $R^2$  之關係可用二次曲線表示之，即

$$\Theta^2 + c_1 \Theta + c_2 R^2 + c_3 = 0 \quad (3.3-41)$$

其中  $\Theta^2$ 、 $R^2$  為  $x_0$  與  $t_0$  之二次函數， $\Theta$  為  $x_0$  與  $t_0$  之一次函數，則(3.3-41)式為  $x_0$  與  $t_0$  之二次方程式，其解為

$$x_0 = c_6 t_0 + c_7 \pm \sqrt{c_8 t_0^2 + c_9 t_0 + c_{10}} \quad (3.3-42)$$

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。

### 3.3.2 例子說明與驗證

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(Pc)、颱風移動速度(VF)與行徑方向( $\theta_F$ )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。

本計畫選取台北港、基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港及台中港等七個港口為定點颱風波浪推算對象，並針對歷年侵台颱風資料分別選取賀伯(07/29~08/01, 1996)、瑞伯(10/13~10/17, 1998)、西馬隆(05/10~05/14, 2001)、奇比(06/22~06/24, 2001)、桃芝(07/28~07/31, 2001)、利奇馬(09/23~09/28, 2001)、梵高(08/19~08/20, 2003)及杜鵑(08/31~09/02, 2003)等八個颱風進行颱風波浪推算，並根據觀測之颱風波浪資料進行模式之校驗。各港口推算點位置及其所延伸出去之吹風距離線如圖 3.3-1 所示，各港口波浪推算點之經緯度座標及水深如表 3.3-1 所列。

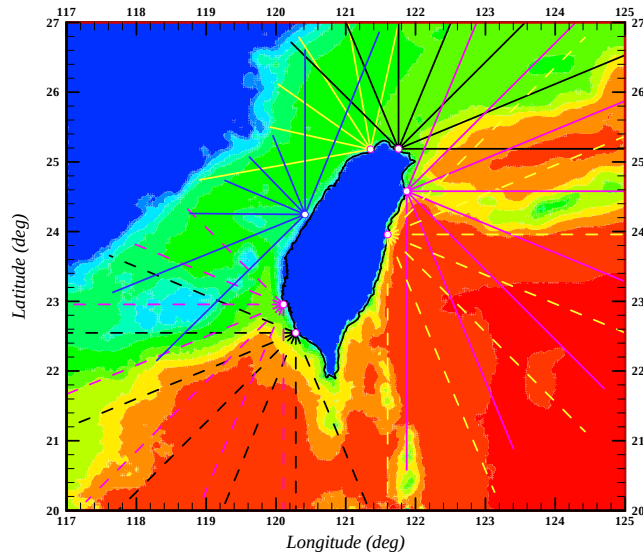


圖 3.3-1 各港口推算點及吹風距離線示意圖

表 3.3-1 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<br>(經度, 緯度) |        | 波浪推算點水<br>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              |
| 台北港  | 121.354             | 25.181 | 20              |
| 台中港  | 120.416             | 24.245 | 20              |
| 安平港  | 120.108             | 22.956 | 20              |
| 高雄港  | 120.283             | 22.548 | 20              |

鑑於各港口現有颱風波浪資料中以花蓮港資料較為完整，因此本計畫先以花蓮港颱風波浪資料率定模式之颱風參數，再根據率定結果計算其餘各港口颱風波浪(註：奇比及利奇馬颱風分別以高雄及安平港實測值率定颱風參數，再據以推算西部各港口颱風波浪)。表 3.3-2 所示為花蓮港颱風波浪推算結果，顯示適當地率定颱風參數模式所推算之波高與實測值相當接近，惟波浪週期普遍較實測值大。其餘台北港、基隆港、蘇澳港、高雄港、安平港及台中港等港口颱風波浪推算結果如表 3.3-3 至 3.3.8 所示，顯示模式推算結果與實測值相近，波浪週期則略大於實測值，顯示模式在波浪週期之推算上仍有待進一步改善。另外，本計畫以平均方根誤差(Error)RMS 表示各港口半經驗颱風

風波浪模式推算結果與實測值間之誤差，其中平均方根誤差定義如下：

$$(Error)_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum (H_{measured} - H_{model})^2}{N}}$$

表 3.3-2 花蓮港颱風波浪推算結果

|                        | 賀伯   | 瑞伯             | 西馬隆           | 奇比            | 桃芝           | 利奇馬          | 梵高            | 杜鵑   |
|------------------------|------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|------|
| 最大示性<br>波高(m)          | 8.8  | 9.3            | 3.4           | 2.4           | 4.8          | 2.7          | 2.4           | 7.4  |
| 週期<br>(sec)            | 16.1 | 16.4           | 12.5          | 7.5           | 10.6         | 10.7         | 14            | 20.6 |
| 波向                     | E    | S              | SSE           | ES            | ES           | S            | ES            |      |
| 實測波高<br>及週期            |      | 9.57<br>(13.0) | 3.27<br>(7.6) | 2.49<br>(9.3) | 4.2<br>(8.7) | 2.2<br>(8.2) | 2.13<br>(6.6) |      |
| (Error) <sub>RMS</sub> | 0.36 |                |               |               |              |              |               |      |

表 3.3-3 台北港颱風波浪推算結果

|                        | 賀伯   | 瑞伯  | 西馬隆 | 奇比   | 桃芝  | 利奇馬 | 梵高            | 杜鵑            |
|------------------------|------|-----|-----|------|-----|-----|---------------|---------------|
| 最大示性<br>波高(m)          | 5.6  | 3.2 | ＝   | 1.2  | 3.3 | ＝   | 1.0           | 1.3           |
| 週期<br>(sec)            | 8.5  | 5.8 | ＝   | 10.0 | 9.3 | ＝   | 6.7           | 4.5           |
| 波向                     | NNE  | N   | ＝   | W    | W   | ＝   | NNE           | NNE           |
| 實測波高<br>及週期            |      |     |     |      |     |     | 0.55<br>(5.9) | 1.21<br>(8.0) |
| (Error) <sub>RMS</sub> | 0.32 |     |     |      |     |     |               |               |

表 3.3-4 基隆港颱風波浪推算結果

|                        | 賀伯   | 瑞伯   | 西馬隆  | 奇比 | 桃芝  | 利奇馬 | 梵高            | 杜鵑            |
|------------------------|------|------|------|----|-----|-----|---------------|---------------|
| 最大示性<br>波高(m)          | 9.8  | 4.4  | 1.3  | —  | 2.1 | 0.9 | 1.0           | 2.2           |
| 週期<br>(sec)            | 10.3 | 11.5 | 10.8 | —  | 6.8 | 4.3 | 7.1           | 7.0           |
| 波向                     | NE   | E    | E    | —  | ENE | W   | EN            | EN            |
| 波浪資料                   |      |      |      |    |     |     | 1.39<br>(5.2) | 2.27<br>(5.3) |
| (Error) <sub>RMS</sub> | 0.28 |      |      |    |     |     |               |               |

表 3.3-5 蘇澳港颱風波浪推算結果

|                        | 賀伯   | 瑞伯   | 西馬隆  | 奇比            | 桃芝   | 利奇馬  | 梵高            | 杜鵑            |
|------------------------|------|------|------|---------------|------|------|---------------|---------------|
| 最大示性<br>波高(m)          | 9.3  | 7.3  | 3.3  | 2.3           | 4.1  | 2.8  | 2.2           | 8.7           |
| 週期<br>(sec)            | 16.0 | 13.6 | 12.4 | 7.2           | 10.4 | 11.7 | 13.7          | 22.5          |
| 波向                     | E    | ES   | SSE  | ES            | SSE  | S    | ESE           | ESE           |
| 實測波高<br>及週期            |      |      |      | 2.49<br>(9.3) |      |      | 2.39<br>(6.3) | 9.1<br>(10.4) |
| (Error) <sub>RMS</sub> | 0.28 |      |      |               |      |      |               |               |

表 3.3-6 高雄港颱風波浪推算結果

|                        | 賀伯   | 瑞伯   | 西馬隆  | 奇比            | 桃芝  | 利奇馬 | 梵高            | 杜鵑            |
|------------------------|------|------|------|---------------|-----|-----|---------------|---------------|
| 最大示性<br>波高(m)          | 2.0  | 2.8  | 3.4  | 6.4           | 2.2 | 2.9 | —             | 4.1           |
| 週期<br>(sec)            | 6.6  | 11.3 | 12.3 | 11.3          | 6.7 | 6.2 | —             | 11.2          |
| 波向                     | WNW  | SSE  | SSE  | WSW           | WNW | WN  | —             | S             |
| 波浪資料                   |      |      |      | 7.95<br>(7.8) |     |     | 3.57<br>(6.8) | 4.91<br>(5.8) |
| (Error) <sub>RMS</sub> | 1.24 |      |      |               |     |     |               |               |

表 3.3-7 安平港颱風波浪推算結果

|                        | 賀伯   | 瑞伯  | 西馬隆  | 奇比            | 桃芝            | 利奇馬           | 梵高            | 杜鵑            |
|------------------------|------|-----|------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 最大示性<br>波高(m)          | 2.3  | 2.4 | 1.9  | 5.7           | 2.3           | 2.8           | —             | 3.9           |
| 週期<br>(sec)            | 7.1  | 5.6 | 10.7 | 10.9          | 6.9           | 7.5           | —             | 11.5          |
| 波向                     | W    | WNW | S    | WSW           | WNW           | WNW<br>W      | —             | S             |
| 波浪資料                   |      |     |      | 6.37<br>(9.4) | 2.18<br>(5.3) | 2.36<br>(5.4) | 3.19<br>(7.8) | 3.52<br>(7.4) |
| (Error) <sub>RMS</sub> | 0.45 |     |      |               |               |               |               |               |

表 3.3-8 台中港颱風波浪推算結果

|               | 賀伯   | 瑞伯  | 西馬隆 | 奇比  | 桃芝  | 利奇馬 | 梵高 | 杜鵑   |
|---------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|----|------|
| 最大示性<br>波高(m) | 5.0  | 2.3 | —   | 3.1 | 3.2 | 2.2 | —  | 2.0  |
| 週期<br>(sec)   | 10.7 | 7.0 | —   | 9.4 | 5.7 | 8.9 | —  | 12.8 |
| 波向            | NNE  | NNW | —   | WSW | NNE | WS  | —  | WS   |
| 備註            |      |     |     |     |     |     |    |      |

相較於 WAM 及 SWAN 等二維波浪模式，本計畫之半經驗颱風波浪模式具有運算快速之特點，於海岸防災系統上，可提供即時之颱風波浪預警訊息。鑑於侵台颱風之實際路徑往往多變難測，而中央氣象局所發佈之颱風警報，對於颱風之後續行進路徑與發展均屬預測之結果，因此海岸防災系統中各種颱風波浪推算模式均會受這些不確定性因素而影響其推算結果，為瞭解這些不確定性因素對定點風域推算半經驗預報系統颱風波浪推算結果之影響，本計畫以花蓮港及賀伯颱風為例進行探討。圖 3.3-2 所示為賀伯颱風侵台路徑圖，顯示賀伯颱風行進方向並非一層不變且行進速度亦忽快忽慢，如表 3.3-9 所示。表中所列為中央氣象局所發佈的颱風中心位置及其相關颱風資料，其中颱風行進方向及速度係根據颱風中心位置之計算結果。根據中央氣象局發佈之賀伯颱風侵台資料顯示，賀伯颱風初始(07/29/11~07/30/05)行進方向約為西北偏西向(N-50°)；之後出現短暫滯留再以近西北北逐

漸偏西北方向行進，並於 07/31/05 時後以近似西北西(N-70°)方向接近台灣東北部海域，最後再折向西從台灣東角登陸，穿越台灣北部陸地出海。

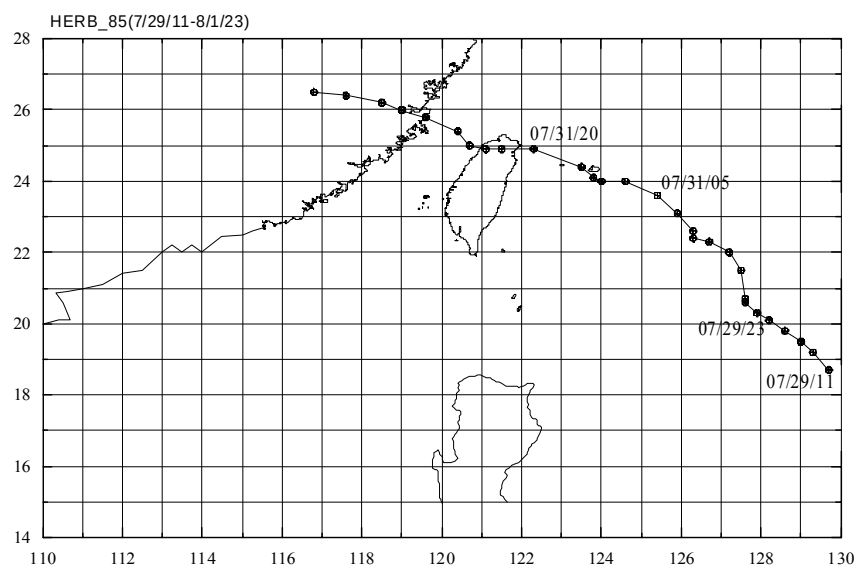


圖 3.3-2 賀伯颱風(1996)行進路徑圖

由於移動風域數值推算模式係假設颱風移動方向不變(即直線行進路徑)，推算各方向吹風距離線上颱風波浪之大小及週期。因此模式操作可依中央氣象局所發佈的即時颱風資料，模擬各種可能的行進路徑及颱風移動速度，推算各港口颱風波浪大小，作為海岸防災之預警訊息。如以針對賀伯颱風案為例，本計畫根據 07/29/11 時所發佈的賀伯颱風資訊進行數值模擬，此時賀伯颱風中心低氣壓為 920mb，依其可能行進方向選擇三種方向角及移動速度(如表 3.3-10 及圖 3.3-3 所示)，分別推算花蓮港可能發生的颱風波浪大小並與實測波浪資料校驗，如圖 3.3-4 所示。圖 3.3-4 所示分別賀伯颱風以三種不同移動速度行進(行進方向約為 N-50°或  $\theta=140^\circ$ )之模擬結果，結果顯示花蓮港颱風波浪最大示性波高約 8~9m，颱風移動速對最大示性波高之影響較不顯著，各吹風距離線波浪發展的歷時曲線受颱風移動速快慢影響較顯著。概括而言，颱風移動速度較快者其最大示性波高略高於移動速度較慢者。圖 3.3-5 及圖 3.3-6 所示分別為颱風行進方向 N-52.5°(或  $\theta=142.5^\circ$ )及 N-55.0°(或  $\theta=145^\circ$ )分別三種不同移動速度行進之模擬結果；結果顯示當颱風行進方向偏向台灣陸地時，花蓮港可能發生的最大示性波高亦隨增大。

表 3.3-9 1996 年賀伯颱風資料一覽表

| 時間                      | 颱風中心位置<br>(經度, 緯度) |      | 颱風中心<br>氣壓(mb) | 颱風移動<br>速度<br>(km/hr) | 颱風移動<br>方向 |
|-------------------------|--------------------|------|----------------|-----------------------|------------|
| 1996/7/29 11:00         | 129.7              | 18.7 | 920            | 23.23                 | 127.2      |
| 1996/7/29 14:00         | 129.3              | 19.2 | 920            | 15.29                 | 133.4      |
| 1996/7/29 17:00         | 129.0              | 19.5 | 920            | 17.85                 | 141.5      |
| 1996/7/29 20:00         | 128.6              | 19.8 | 920            | 17.83                 | 141.5      |
| 1996/7/29 23:00         | 128.2              | 20.1 | 930            | 12.80                 | 144.7      |
| 1996/7/30 02:00         | 127.9              | 20.3 | 930            | 15.24                 | 133.2      |
| 1996/7/30 05:00         | 127.6              | 20.6 | 930            | 3.704                 | 90.0       |
| 1996/7/30 08:00         | 127.6              | 20.7 | 930            | 29.83                 | 96.7       |
| 1996/7/30 11:00         | 127.5              | 21.5 | 930            | 21.21                 | 119.2      |
| 1996/7/30 14:00         | 127.2              | 22.0 | 930            | 20.46                 | 147.1      |
| 1996/7/30 17:00         | 126.7              | 22.3 | 930            | 14.22                 | 164.9      |
| 1996/7/30 20:00         | 126.3              | 22.4 | 930            | 7.40                  | 90.0       |
| 1996/7/30 23:00         | 126.3              | 22.6 | 930            | 23.02                 | 126.5      |
| 1996/7/31 02:00         | 125.9              | 23.1 | 930            | 25.16                 | 132.6      |
| 1996/7/31 05:00         | 125.4              | 23.6 | 930            | 30.94                 | 151.4      |
| 1996/7/31 08:00         | 124.6              | 24.0 | 930            | 20.34                 | 180.0      |
| 1996/7/31 11:00         | 124.0              | 24.0 | 930            | 7.723                 | 151.3      |
| 1996/7/31 14:00         | 123.8              | 24.1 | 930            | 15.05                 | 132.4      |
| 1996/7/31 17:00         | 123.5              | 24.4 | 930            | 44.51                 | 155.4      |
| 1996/7/31 20:00         | 122.3              | 24.9 | 930            | 26.93                 | 180.0      |
| 1996/7/31 23:00         | 121.5              | 24.9 | 930            | 13.46                 | 180.0      |
| 1996/8/01 02:00         | 121.1              | 24.9 | 950            | 13.96                 | 164.6      |
| 1996/8/01 05:00         | 120.7              | 25.0 | 950            | 17.91                 | 124.2      |
| 1996/8/01 08:00         | 120.4              | 25.4 | 965            | 30.60                 | 151.0      |
| 1996/8/01 11:00         | 119.6              | 25.8 | 968            | 21.35                 | 159.7      |
| 1996/8/01 14:00         | 119.0              | 26.0 | 968            | 18.23                 | 156.0      |
| 1996/8/01 17:00         | 118.5              | 26.2 | 968            | 30.84                 | 166.1      |
| 1996/8/01 20:00         | 117.6              | 26.4 | 972            | 26.83                 | 172.1      |
| 1996/8/01 23:00         | 116.8              | 26.5 | 975            | 26.836                | 172.1      |
| 註：颱風移動方向係以東向為零度，逆時針方向為正 |                    |      |                |                       |            |

表 3.3-10 颱風中心於(129.7°,18.7°)時模型颱風之假設條件

| 颱風中心氣壓<br>(mb) | 颱風移動方向<br>( $\theta$ ) | 颱風移動速度<br>(km/hr) |
|----------------|------------------------|-------------------|
| 920            | 140                    | 15                |
| 920            | 142.5                  | 17                |
| 920            | 145                    | 20                |

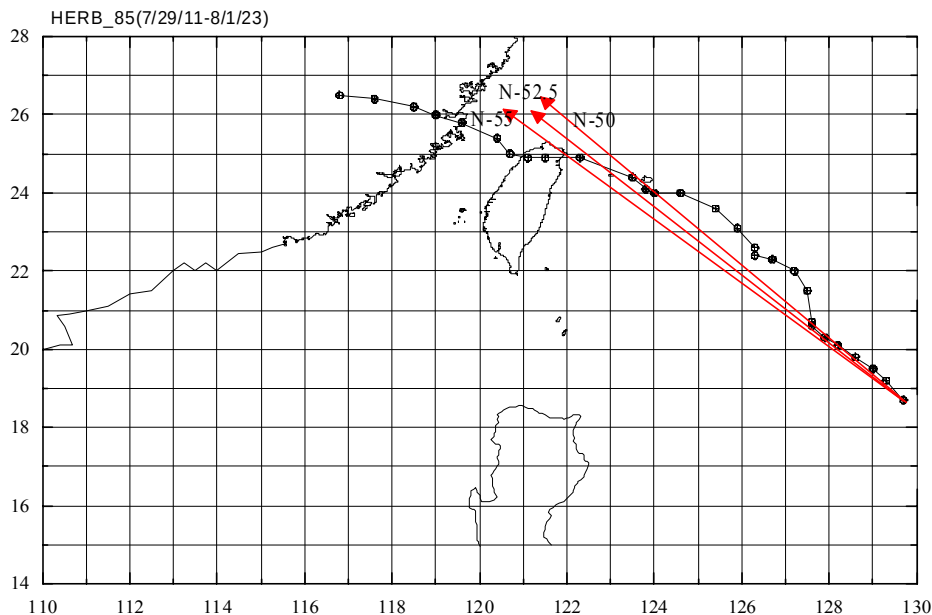


圖 3.3-3 賀伯颱風行進路徑與模型颱風路徑圖

當賀伯颱風於 07/29/23 時中心低氣壓轉為 930mb，由於此時颱風行進方向並未發生顯著的變化，因此模式操作上僅需修正颱風中心低氣壓為 930mb 重新推算各港口颱風波浪大小及其延時，花蓮港颱風波浪模擬結果如圖 3.3-7 至圖 3.3-9 所示。由上述模擬結果得知當賀伯颱風行進路徑偏北時，颱風波浪對花蓮港之影響將會降低，因此在預警操作上不須重新推算颱風波浪；惟當賀伯颱風行進路徑再次偏西對台灣造成威脅時，模式操作上必須重新推算颱風波浪大小及其延時。例如賀伯颱風於 07/31/05 時，颱風中心位於(125.4°,23.5°)，預測



行進路徑為西北西；模式模擬條件如表 3.3-11 及圖 3.3-10 所示，花蓮港颱風波浪推算結果如圖 3.3-11 至圖 3.3-12 所示。模擬結果顯示模式推算結果與實測資料間誤差相當大，探討其原因可歸因於因推算點（花蓮港）位居模擬颱風行進路線之下鋒處，導致 E、ENE 及 EN 方向所模擬之最大示性波高均屬於颱風沿模擬路徑行進抵達颱風中心位置(125.4°,23.5°)之前所發展出的颱風波浪，此與賀伯颱風實際行進路線不同，故圖 3.3-11 至圖 3.3-12 中 E、ENE 及 EN 方向之模擬結果必須進一步修正。

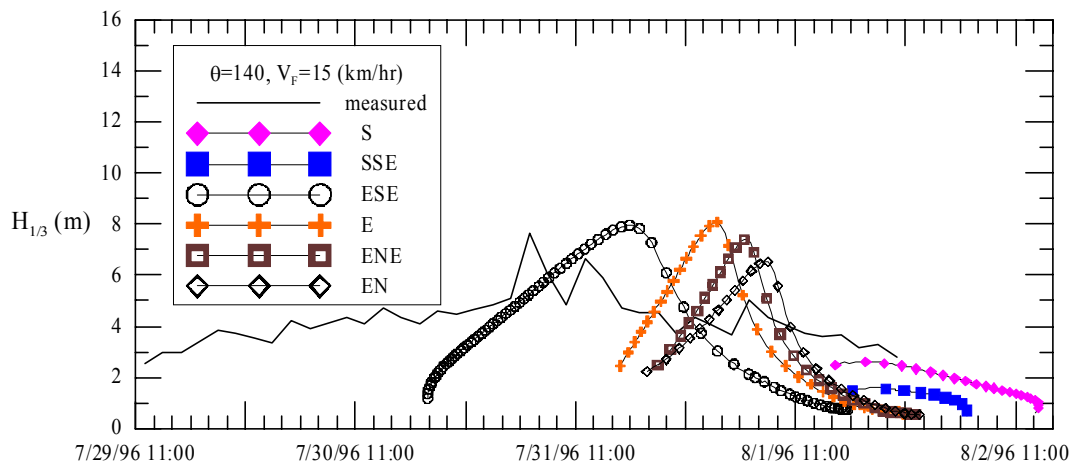


圖 3.3-4(a) 模擬賀伯颱風侵臺時，花蓮港可能發生之最大示性波高及延時預測結果

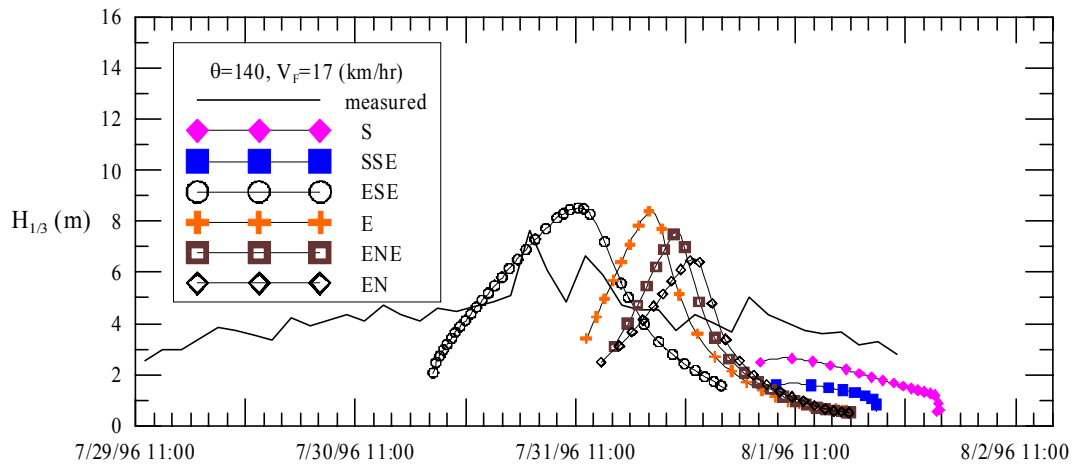


圖 3.3-4(b) 模擬賀伯颱風侵臺時，花蓮港可能發生之最大示性波高及延時預測結果

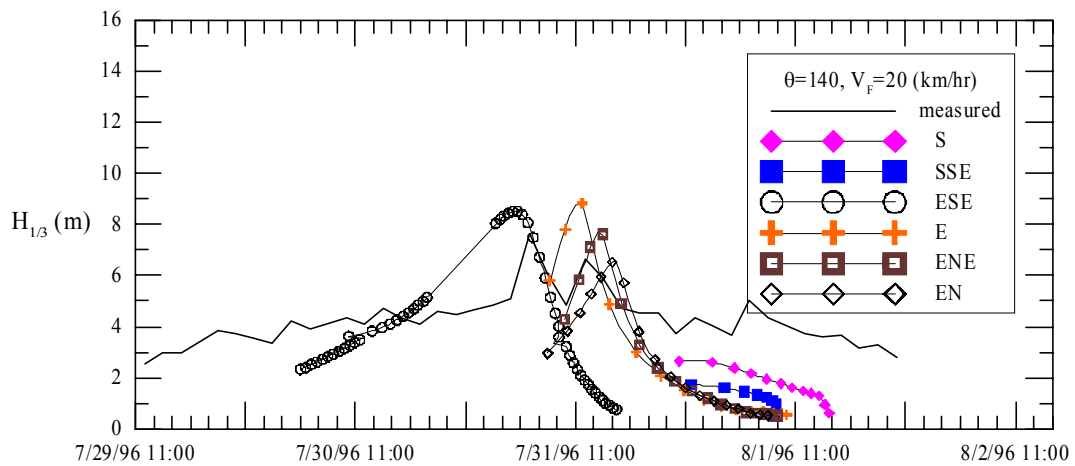


圖 3.3-4(c) 模擬賀伯颱風侵臺時，花蓮港可能發生之最大示性波高及延時預測結果

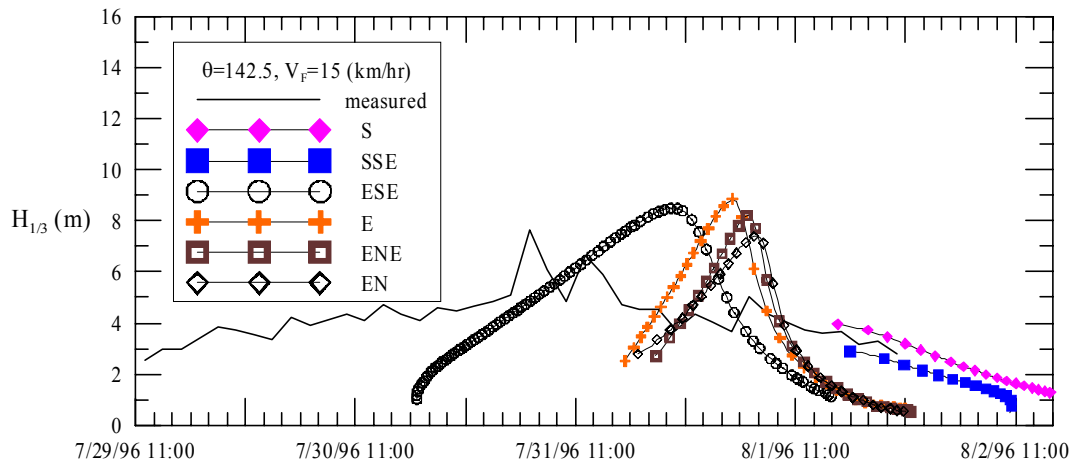


圖 3.3-5(a) 模擬賀伯颱風侵臺時，花蓮港可能發生之最大示性波高及延時預測結果

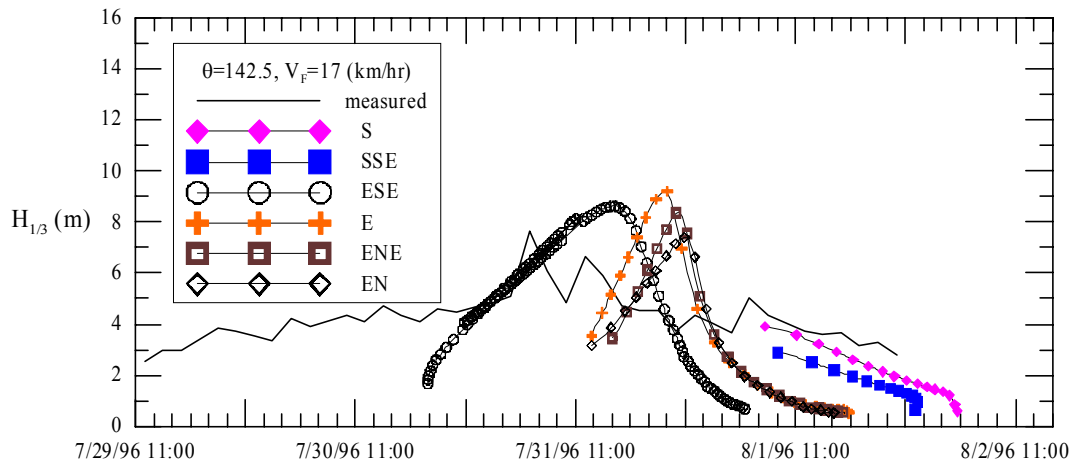


圖 3.3-5(b) 模擬賀伯颱風侵臺時，花蓮港可能發生之最大示性波高及延時預測結果

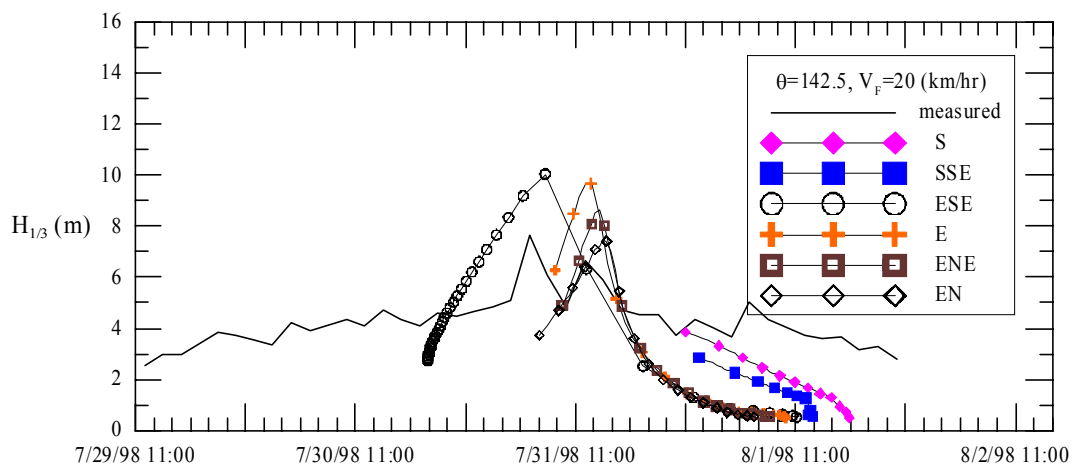


圖 3.3-5(c) 模擬賀伯颱風侵臺時，花蓮港可能發生之最大示性波高及延時預測結果

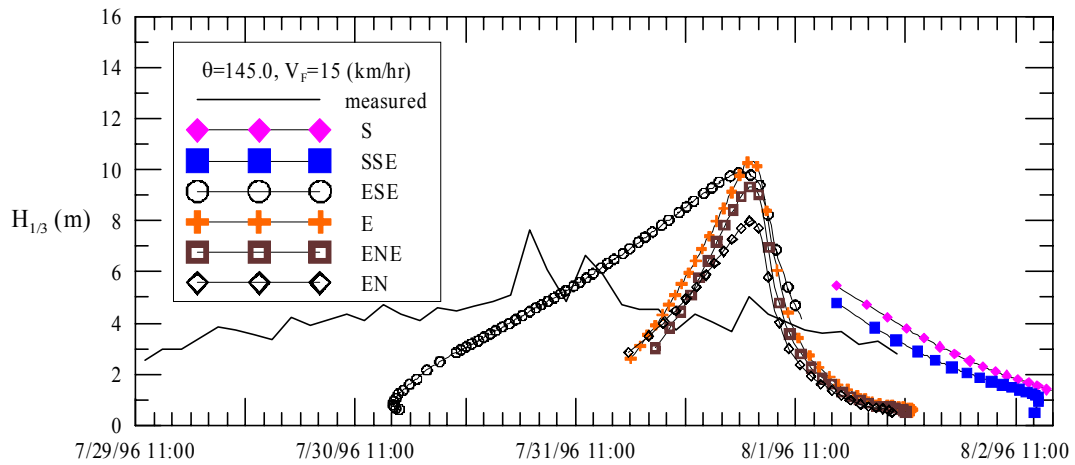


圖 3.3-6(a) 模擬賀伯颱風侵臺時，花蓮港可能發生之最大示性波高及延時預測結果

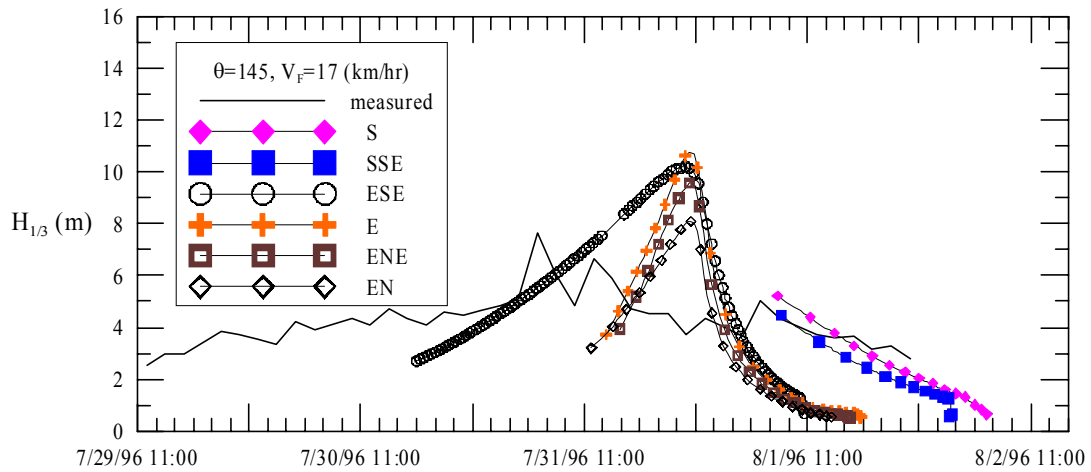


圖 3.3-6(b) 模擬賀伯颱風侵臺時，花蓮港可能發生之最大示性波高及延時預測結果

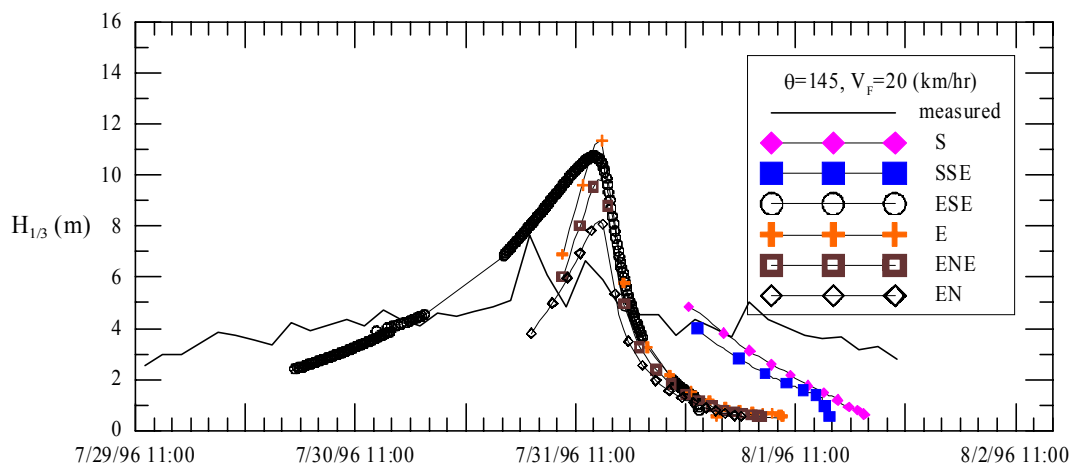


圖 3.3-6(c) 模擬賀伯颱風侵臺時，花蓮港可能發生之最大示性波高及延時預測結果

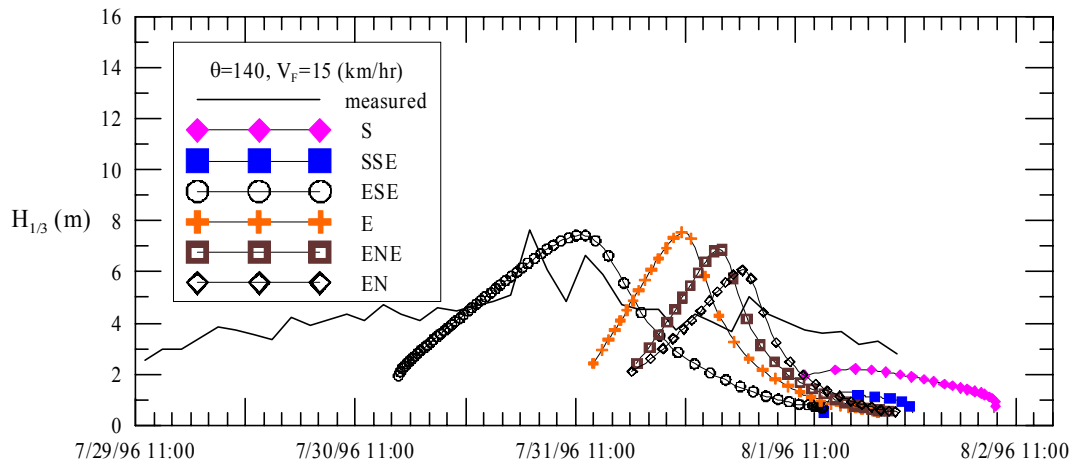


圖 3.3-7(a) 模擬賀伯颱風侵臺時，花蓮港可能發生之最大示性波高及延時預測結果

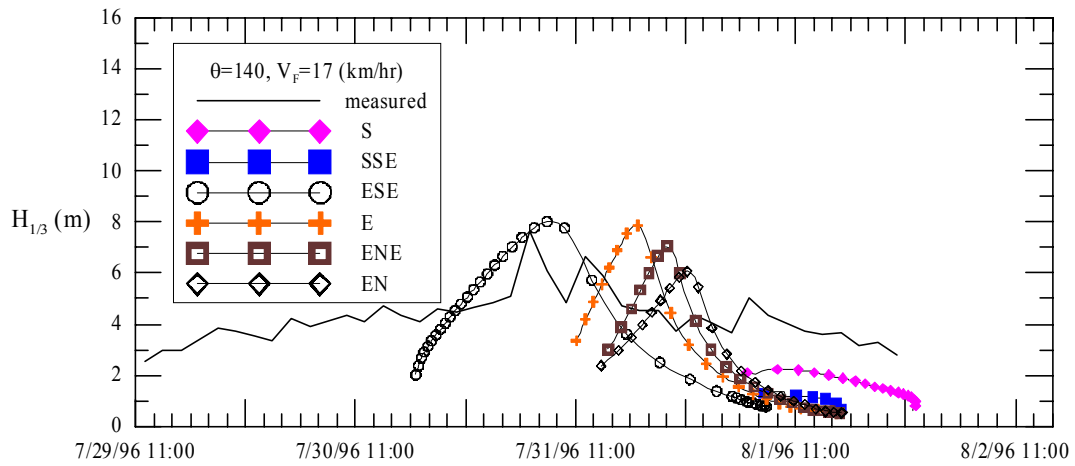


圖 3.3-7(b) 模擬賀伯颱風侵臺時，花蓮港可能發生之最大示性波高及延時預測結果

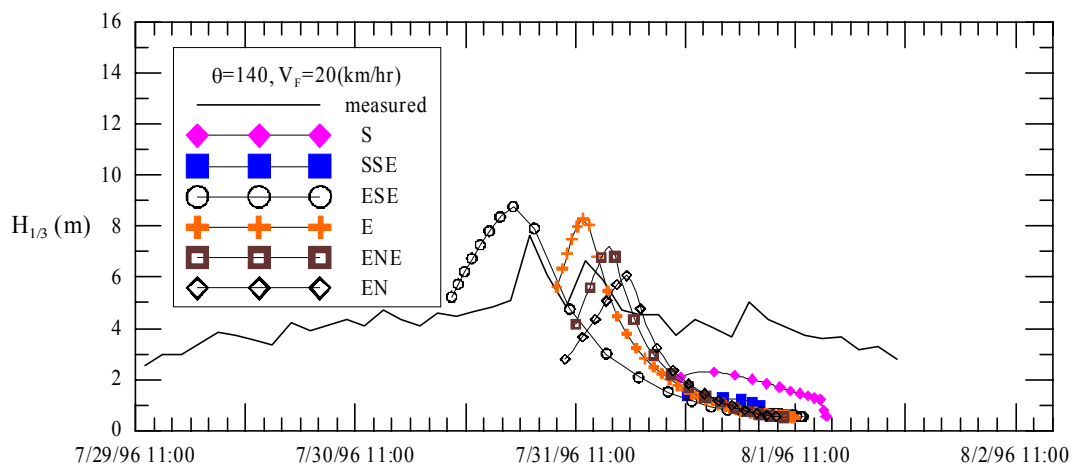


圖 3.3-7(c) 模擬賀伯颱風侵臺時，花蓮港可能發生之最大示性波高及延時預測結果

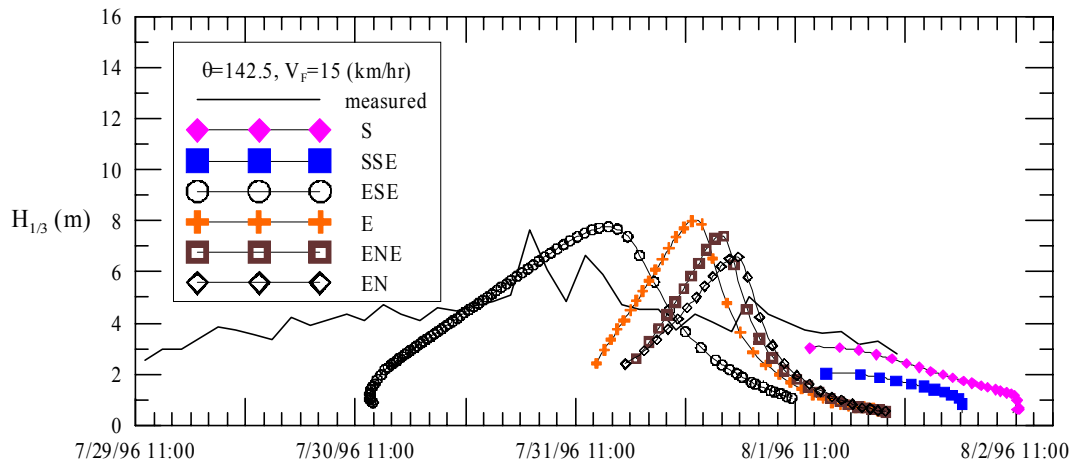


圖 3.3-8(a) 模擬賀伯颱風侵臺時，花蓮港可能發生之最大示性波高及延時預測結果

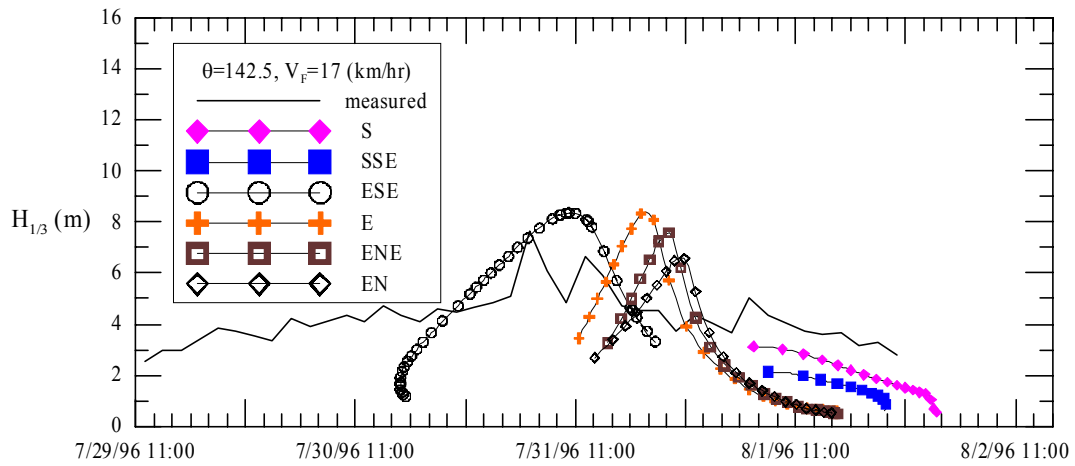


圖 3.3-8(b) 模擬賀伯颱風侵臺時，花蓮港可能發生之最大示性波高及延時預測結果

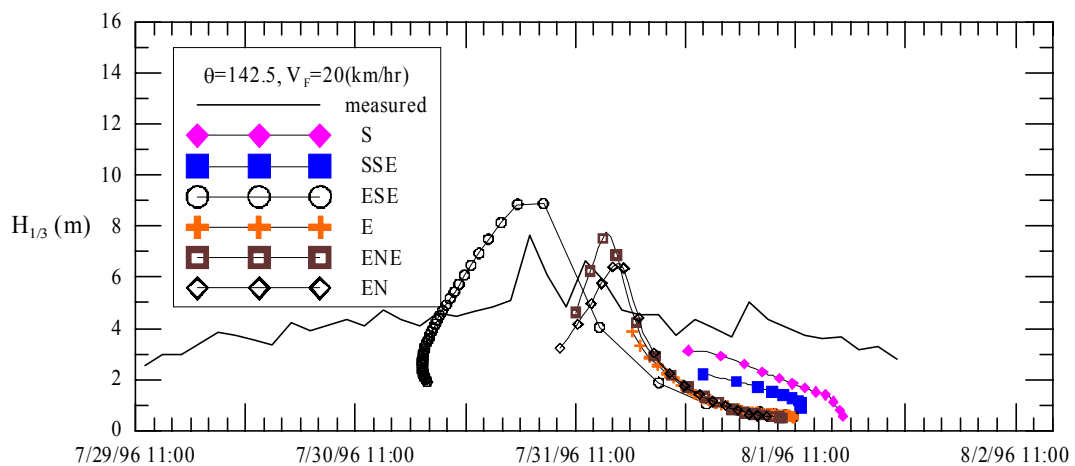


圖 3.3-8(c) 模擬賀伯颱風侵臺時，花蓮港可能發生之最大示性波高及延時預測結果

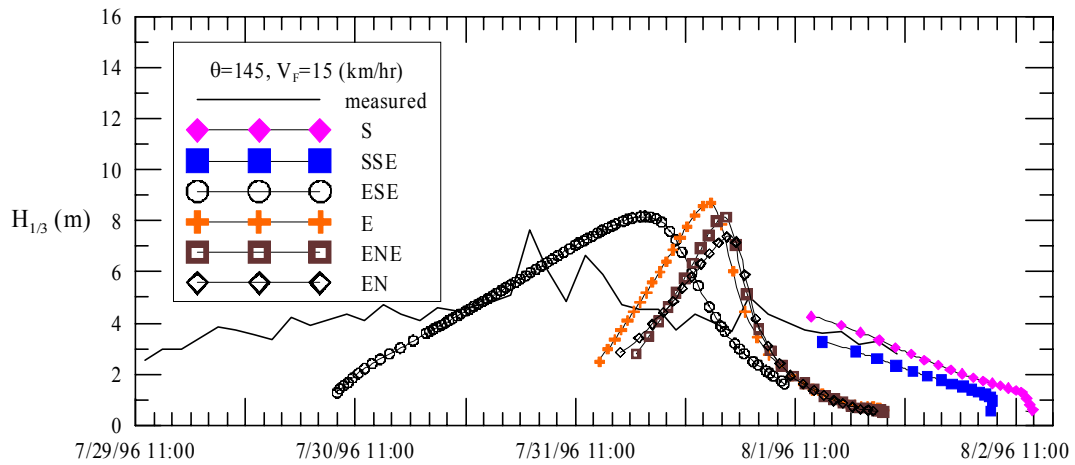


圖 3.3-9(a) 模擬賀伯颱風侵臺時，花蓮港可能發生之最大示性波高及延時預測結果

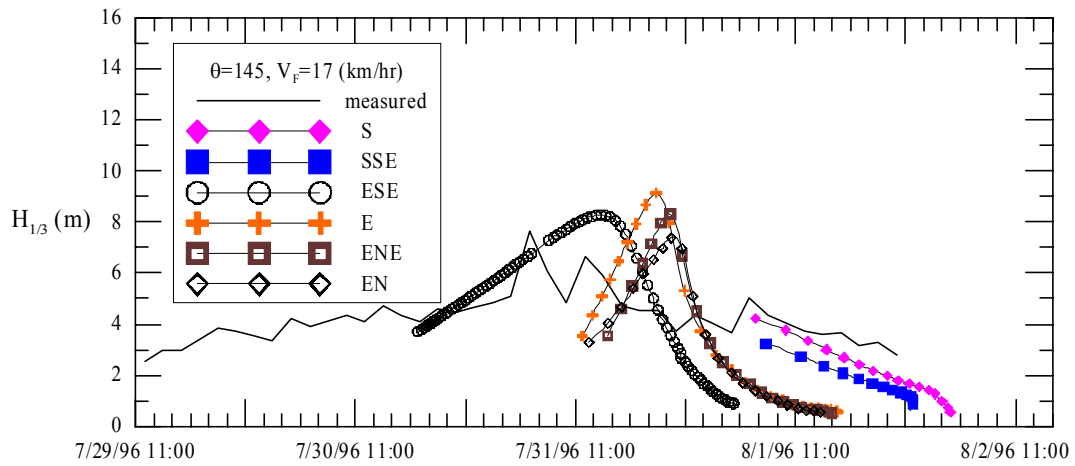


圖 3.3-9(b) 模擬賀伯颱風侵臺時，花蓮港可能發生之最大示性波高及延時預測結果

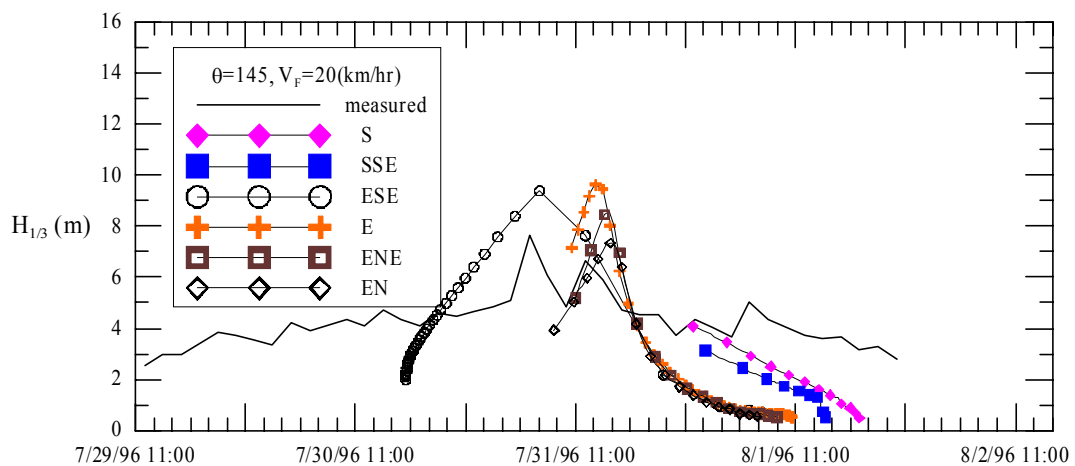


圖 3.3-9(c) 模擬賀伯颱風侵臺時，花蓮港可能發生之最大示性波高及延時預測結果

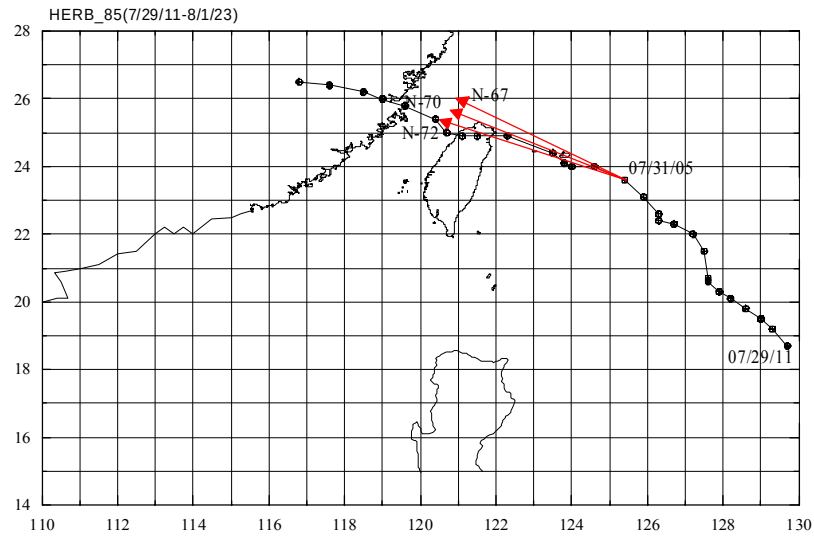


圖 3.3-10 賀伯颱風行進路徑與模型颱風路徑圖

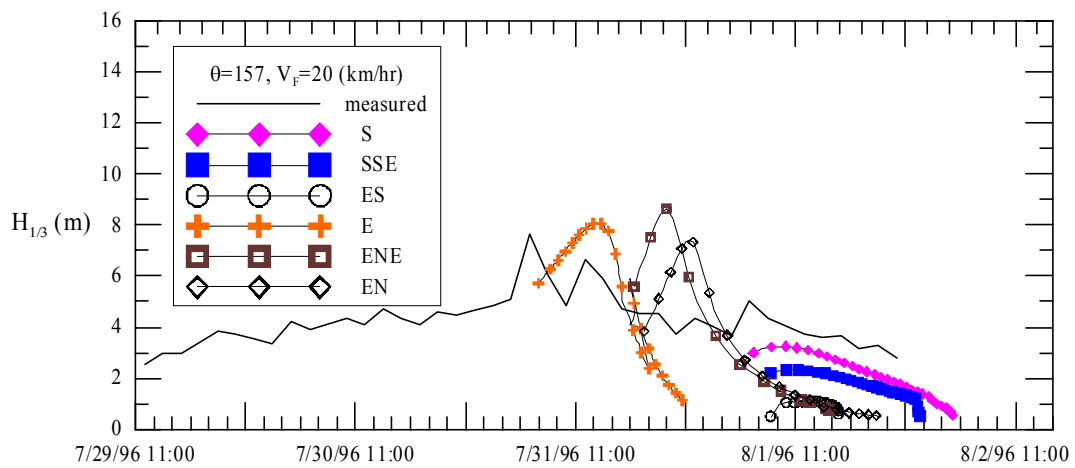


圖 3.3-11(a) 模擬賀伯颱風侵臺時，花蓮港可能發生之最大示性波高及延時預測結果

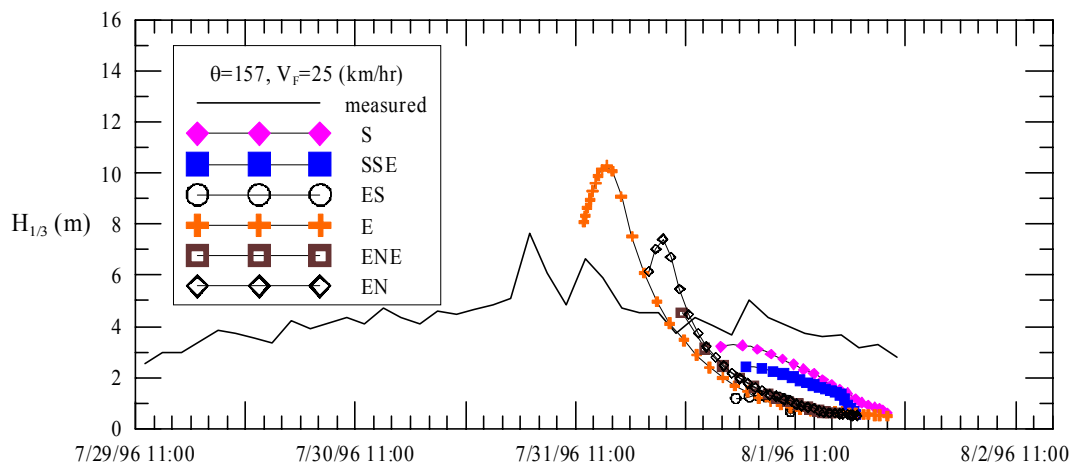


圖 3.3-11(b) 模擬賀伯颱風侵臺時，花蓮港可能發生之最大示性波高及延時預測結果



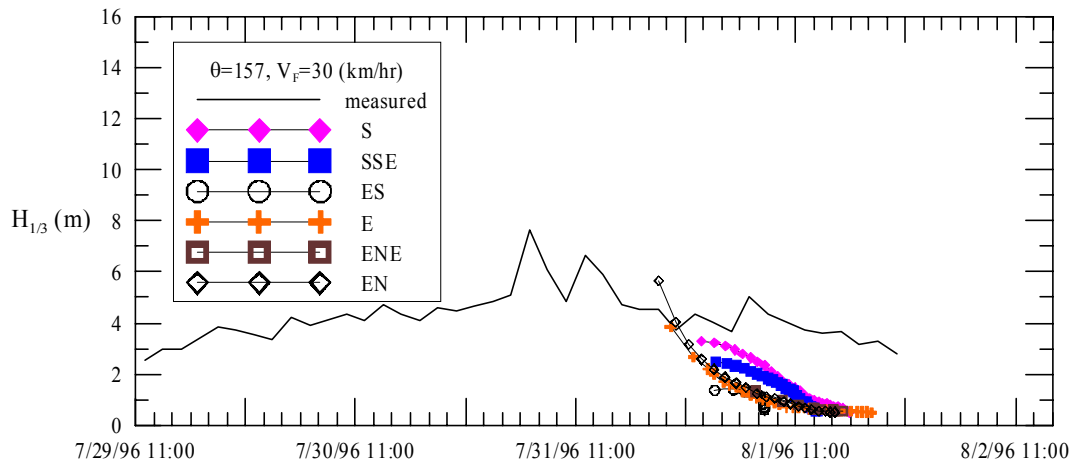


圖 3.3-11(c) 模擬賀伯颱風侵臺時，花蓮港可能發生之最大示性波高及延時預測結果

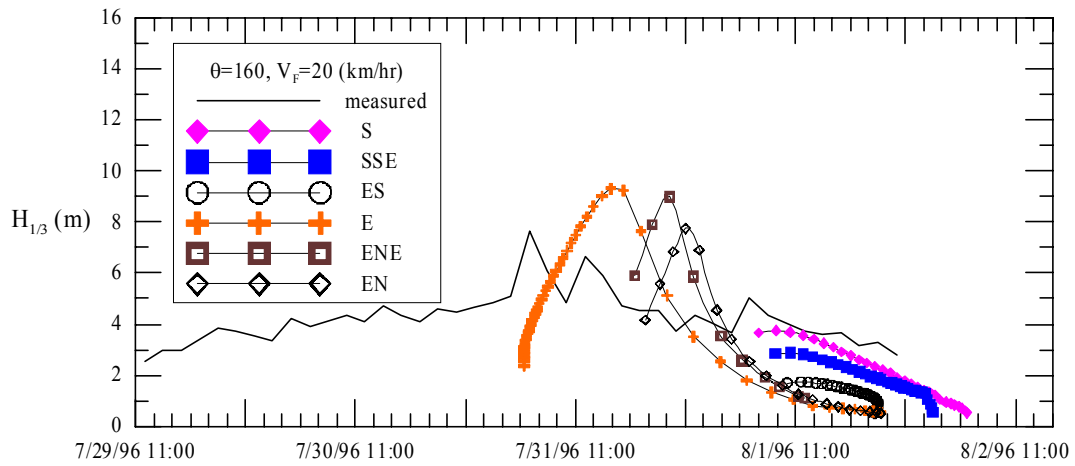


圖 3.3-12(a) 模擬賀伯颱風侵臺時，花蓮港可能發生之最大示性波高及延時預測結果

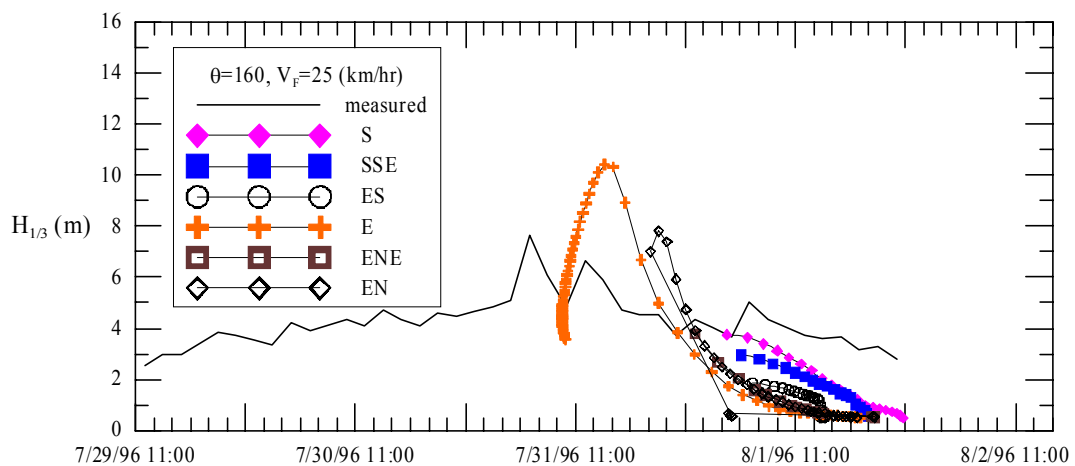


圖 3.3-12(b) 模擬賀伯颱風侵臺時，花蓮港可能發生之最大示性波高及延時預測結果

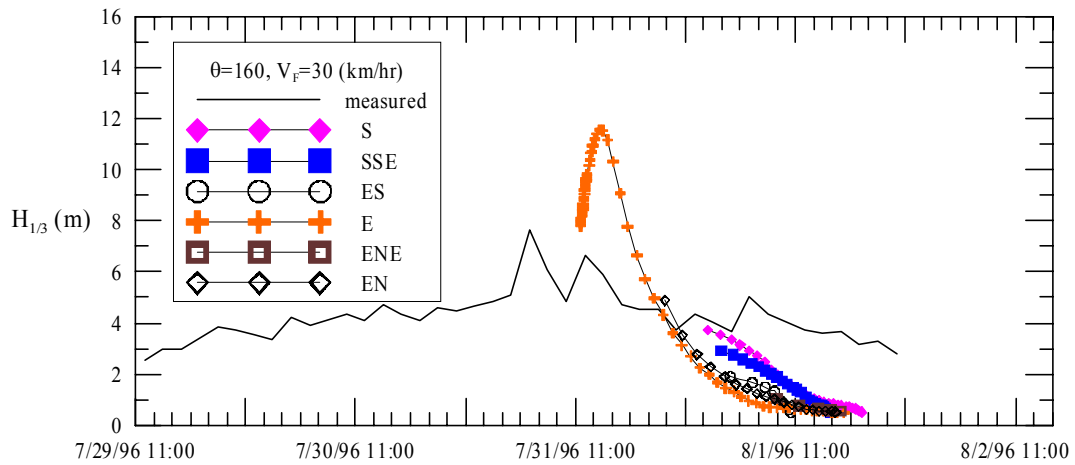


圖 3.3-12(c) 模擬賀伯颱風侵臺時，花蓮港可能發生之最大示性波高及延時預測結果

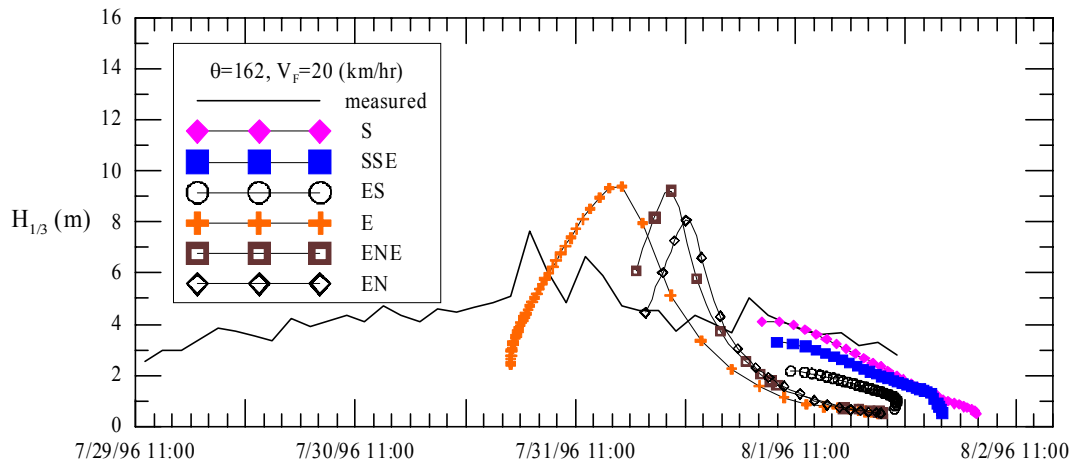


圖 3.3-13(a) 模擬賀伯颱風侵臺時，花蓮港可能發生之最大示性波高及延時預測結果

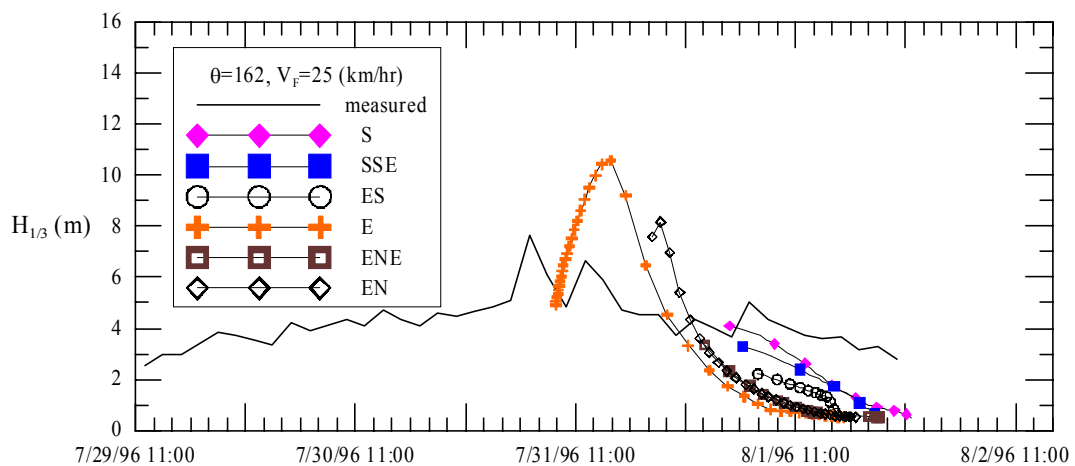


圖 3.3-13(b) 模擬賀伯颱風侵臺時，花蓮港可能發生之最大示性波高及延時預測結果

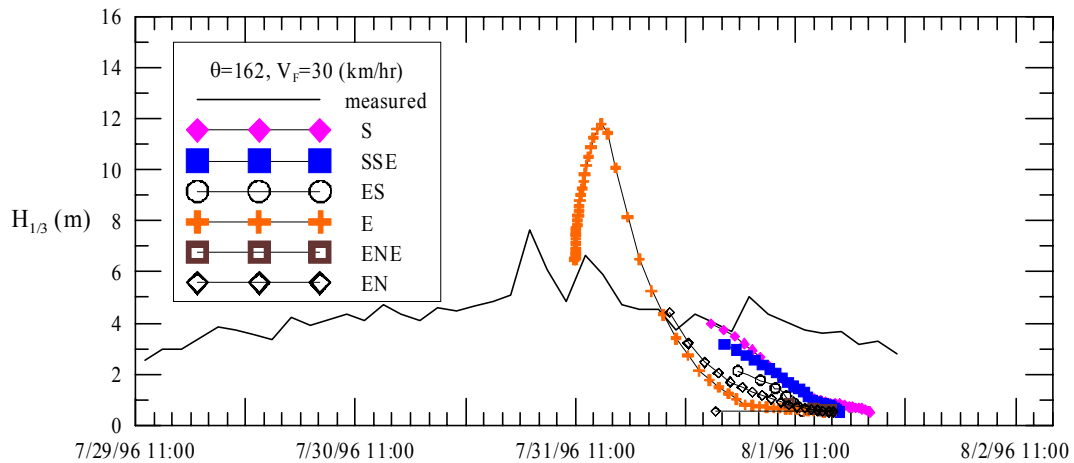


圖 3.3-13(c) 模擬賀伯颱風侵臺時，花蓮港可能發生之最大示性波高及延時預測結果

### 3.3.3 討論

雖然本計畫移動風域數值推算模式計算結果不若 WAM 及 SWAN 之全面性，但因模式本身具有運算快速之特點，於海岸防災預報系統上，對於侵台颱風警報本模式可提供即時之颱風波浪預警訊息。因此，本年度工作主要內容為進行模式之率定與校驗，以期增進模式颱風波浪推算之精度。

經由一系列颱風參數之率定與校驗顯示，颱風波浪推算結果以調整風場之參數 CW1 及 CW2 最為敏感，其次為颱風路徑；其中 CW1 約介 0.55~0.90 之間，CW2 約介 1.0~1.50 之間。如 2003 年杜鵑颱風侵台期間臺灣東部地區出現 9m 以上大浪，模式以蘇澳港波浪為參數率定對象，結果顯示當 CW1=0.9 及 CW2=1.5 時模式模擬之波高為 8.7m，相同的參數用於花蓮、港高雄港及安平港所得颱風波高分別為 7.4m、4.1m 及 3.9m，與實測颱風波浪均相近似。

本計畫 3.3.2 節以花蓮港及賀伯颱風為案例進行颱風波浪推算與驗證，結果顯示當模式所模擬之行進路徑若與實際颱風行進路徑相近似時，模式所推算之最大示性波高值與實測波浪最大波高間誤差可望縮小；當模擬之颱風移動速度與颱風實際移動速度之平均值相近時，則模式所推算之最大示性波高之時間延時亦會與實測波浪最大波高發生之時間延時相近。當實際颱風行進路徑改變時，模式所模擬之颱風路徑必須同時考量颱風之歷史路徑、颱風中心位置及推算點位置等素，方可避免數值模擬結果出現與事實不相符之假象結果。

### 3.4 近岸波浪模式

當外海波浪傳遞至近岸區，波浪除因水深變化而產生折射、繞射及淺化效應外，當結構物存在時，波浪亦將因繞射及反射而產生變形，若能正確地描述近岸波場因折射、淺化、繞射及反射共同效應的波浪變化，即可為近岸工程之規劃設計提供良好之參考。

#### 3.4.1 模式理論介紹

本文所選取的波浪模式，以 Suh 等人 (1997) 所推導含有底床非線性項之雙曲線型緩坡方程式為基礎，計算波浪通過離岸潛堤所產生的近岸波場。方程式中所含之底床非線性項，包含有底床曲率項及底床斜率平方項之係數。Suh 等人 (1997) 所推導之延伸型緩坡方程式 (extended mild-slope equation) 如下：

$$-\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} + \nabla \cdot (cc_g \nabla \Phi) + (cc_g k^2 - \omega^2) \Phi + [f_1(kh)g \nabla^2 h + f_2(kh)(\nabla h)^2 g k] \Phi = 0 \quad (3-4-1)$$

式中

$$f_1(kh) = \frac{[-4kh \cosh(kh) + \sinh(3kh) + \sinh(kh) + 8(kh)^2 \sinh(kh)]}{8 \cosh^3(kh)} \cdot [2kh + \sinh(2kh)] - \frac{kh \tanh(kh)}{2 \cosh^2(kh)} \quad (3-4-2)$$

$$f_2(kh) = \frac{\sec^2 h^2(kh)}{6[2kh + \sinh(2kh)]^3} \cdot \{8(kh)^4 + 16(kh)^3 \sinh(2kh) - 9 \sinh^2(2kh) \cosh(2kh) + 12(kh) \cdot [1 + 2 \sinh^4(kh)][kh + \sinh(2kh)]\} \quad (3-4-3)$$

式中  $\Phi$  為流速勢， $\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y)$  為水平方向梯度因子， $(x, y)$  為水平座標， $t$  為時間因子， $c$  為波速， $c_g$  為群波波速， $g$  為重力加速度， $k = 2\pi/L$  為週波數， $\omega$  為角頻率， $L$  為波長， $h$  為水深， $f_1$  及  $f_2$  為底床曲率及底床斜率平方項係數。

對於式 (3-4-1) 所描述的波浪變形，只涵蓋波浪未碎波前之波形

變化，若考慮波浪於近岸之碎波變形，一般加入波浪能量消散 (wave energy dissipation) 於式 (3-4-1) 中處理碎波後的波形，即

$$-\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} + \nabla \cdot (cc_g \nabla \Phi) + cc_g k^2 [(1 + if_d) - \omega^2] \Phi + [f_1(kh)g\nabla^2 h + f_2(kh)(\nabla h)^2 gk] \Phi = 0 \quad (3-4-4)$$

式中  $i = \sqrt{-1}$ 。式 (3-4-4) 中的能量消散項  $f_d$ ，採用 Isobe 等人 (1987) 建議

$$f_d = \frac{5}{2} \tan \beta \sqrt{\frac{1}{kh}} \sqrt{\frac{\gamma - \gamma_r}{\gamma_s - \gamma_r}} \quad (3-4-5)$$

$$\gamma_r = 0.135 \quad (3-4-6)$$

$$\gamma_s = 0.4 \cdot (0.57 + 5.3 \tan \beta) \quad (3-4-7)$$

$$\gamma = |A| / h \quad (3-4-8)$$

$$\gamma_b = 0.53 - 0.3 \exp(-3\sqrt{h/L_0}) + 5 \tan^{3/2} \beta \exp[-45(\sqrt{h/L_0} - 0.1)^2] \quad (3-4-9)$$

其中  $\tan \beta$  為海床坡度， $A$  為波浪之振幅， $L_0$  為深海波長。

雙曲線型緩坡方程式，在處理邊界上較為繁複，故文中擬依 Mei (1983) 之建議，將一緩慢時間變量引入緩坡方程式中，其變量為

$$\bar{t} = \varepsilon t \quad (3-4-10)$$

$\bar{t}$  為緩慢時間變量， $\varepsilon$  為攝動參數 (perturbation coefficient)，且  $\varepsilon \ll 1$ 。根據式 (3-4-10)，則流速勢可進一步寫成

$$\Phi(x, y, t) = \bar{\psi}(x, y, \bar{t}) e^{-i\omega t} \quad (3-4-11)$$

式中  $\bar{\psi}$  為加入攝動參數之流速勢。將式 (3-4-11) 代入式 (3-4-4)，並將二階微小量省略，只保留一階以下各項，則可得一個新的時變性拋物線型緩坡方程式 (time-dependent parabolic mild-slope equation)，

如下式所示：

$$-2\omega i \frac{\partial \bar{\psi}}{\partial t} = \nabla \cdot (CC_g \nabla \bar{\psi}) + cc_g k^2 (1 + if_d) \bar{\psi} + [f_1(kh)g\nabla^2 h + f_2(kh)(\nabla h)^2 gk] \bar{\psi} \quad (3-4-12)$$

上式能降低矩陣之維度，降低數值計算之時間。為簡化式 (3-4-12) 之控制方程式，文中引用 Radder (1979) 之尺度因子，如式 (3-4-13) 所示：

$$\bar{\psi} = \frac{\phi}{\sqrt{CC_g}} \quad (3-4-13)$$

則式 (3-4-12) 可簡化為式 (3-4-14)

$$-\frac{2\omega i}{CC_g} \frac{\partial \phi}{\partial t} = \nabla^2 \phi + k_c^2 \phi \quad (3-4-14)$$

其中

$$k_c = k^2 (1 + if_d) - \frac{\nabla^2 \sqrt{CC_g}}{\sqrt{CC_g}} + \frac{[f_1 g \nabla^2 h + f_2 (\nabla h)^2 gk]}{CC_g} \quad (3-4-15)$$

模式所採用之數值方法為交替方向隱式法 (Alternating Direction Implicit Method)，簡稱 ADI 法。波場差分網格示意圖，如圖 3.4-1 所示。其控制方程式式 (3-4-14) 的數值差分式如下：

$$f_{p,q} \frac{\phi_{p,q}^{n+1/2} - \phi_{p,q}^n}{\frac{1}{2}\Delta t} i = \delta_x^2 \phi_{p,q}^{n+1/2} + \frac{1}{2}(k_c^2)_{p,q} \phi_{p,q}^{n+1/2} + \delta_y^2 \phi_{p,q}^n + \frac{1}{2}(k_c^2)_{p,q} \phi_{p,q}^n \quad (3-4-16)$$

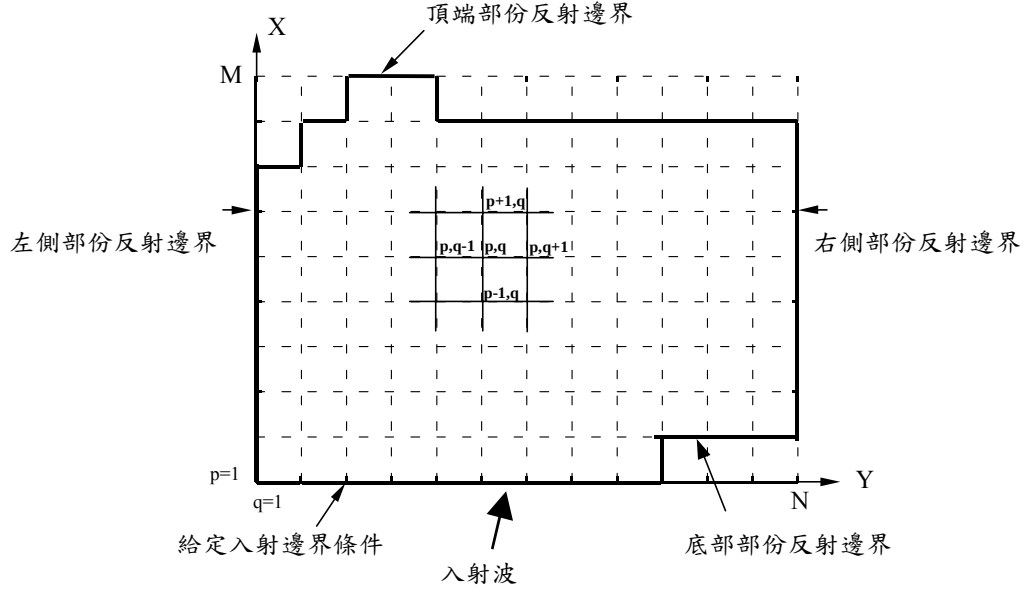


圖 3.4-1 波場模式格網示意圖

$$f_{p,q} \frac{\phi_{p,q}^{n+1} - \phi_{p,q}^{n+1/2}}{\frac{1}{2}\Delta t} i = \delta_x^2 \phi_{p,q}^{n+1/2} + \frac{1}{2}(k_c^2)_{p,q} \phi_{p,q}^{n+1/2} + \delta_y^2 \phi_{p,q}^{n+1} + \frac{1}{2}(k_c^2)_{p,q} \phi_{p,q}^n \quad (3-4-17)$$

$$f_{p,q} = -\frac{2\omega}{(CC_g)_{p,q}} \quad (3-4-18)$$

$$\delta_x^2 \phi_{p,q}^n = \frac{\phi_{p-1,q}^n - 2\phi_{p,q}^n + \phi_{p+1,q}^n}{\Delta x^2} \quad (3-4-19)$$

$$\delta_y^2 \phi_{p,q}^n = \frac{\phi_{p,q-1}^n - 2\phi_{p,q}^n + \phi_{p,q+1}^n}{\Delta y^2} \quad (3-4-20)$$

式 (3-4-16) 至式 (3-4-20) 中，下標  $p$  代表  $x$  軸方向的第  $p$  個格點，下標  $q$  代表  $y$  軸方向的第  $q$  個格點，上標  $n$  代表時間， $\Delta t$  代表差分時間段， $\Delta x$ 、 $\Delta y$  分別為  $x$ 、 $y$  軸之差分間距。

由於所選取的差分方法為隱式法，所以於計算上無顯式法求解時有著穩定度 (stability) 的問題。上述之數值方法經 Von Neumann's

穩定度分析，設

$$\phi_{p,q}^n = \xi^n e^{i\alpha p \Delta x} e^{i\beta q \Delta y} \quad (3-4-21)$$

分別代入式 (3-4-16) 及式 (3-4-17) 可得

$$\xi_1 = \frac{f_{p,q} i + [\frac{\Delta t}{4}(k_c)_{p,q} - \frac{2\Delta t}{\Delta y^2} \sin^2(\frac{\beta \Delta y}{2})]}{f_{p,q} i - [\frac{\Delta t}{4}(k_c)_{p,q} - \frac{2\Delta t}{\Delta x^2} \sin^2(\frac{\alpha \Delta y}{2})]} \quad (3-4-22)$$

$$\xi_2 = \frac{f_{p,q} i + [\frac{\Delta t}{4}(k_c)_{p,q} - \frac{2\Delta t}{\Delta x^2} \sin^2(\frac{\alpha \Delta y}{2})]}{f_{p,q} i - [\frac{\Delta t}{4}(k_c)_{p,q} - \frac{2\Delta t}{\Delta y^2} \sin^2(\frac{\beta \Delta y}{2})]} \quad (3-4-23)$$

式 (3-4-22) 及式 (3-4-23) 為擴大因子 (amplification factor)

$$|\xi| = |\xi_1 \xi_2| = 1 \quad (3-4-24)$$

上式證明利用上述之數值方法去求解方程式可獲得穩定 (unconditionally stable) 的結果。

對於波浪通過計算邊界所需給定的條件，於模式中則是採用輻射邊界 (radiation boundary condition) 來加以處理。其邊界條件可分為完全吸收、部分吸收邊界條件及給定邊界條件。其邊界條件可分為完全吸收、部分吸收邊界條件及給定邊界條件。

I. 吸收及部分吸收邊界條件 (fully and partial absorption boundary condition)

對於波浪通過邊界時，所使用的邊界條件若無任何反射波浪產生，則此邊界將波浪完全吸收，此邊界條件為完全吸收邊界條件 (fully absorbed boundary condition)。若於邊界上只吸收部份的波浪能量，則稱為部份吸收邊界 (partial absorption boundary condition)，其數學式如下式

$$\frac{d\phi}{dt} = \alpha \frac{\partial \phi}{\partial t} + C \frac{\partial \phi}{\partial r} = 0, \text{ 在 } \partial B \quad (3-4-25)$$



上式中  $\alpha$  為吸收係數 (absorption coefficient)。假設  $\alpha=1$ ，則波浪完全通過邊界；若  $\alpha=0$ ，則於邊界上產生全反射；若  $0<\alpha<1$ ，則為部份吸收邊界，式中  $\alpha$  值的決定，需依邊界上的物理特性加以決定。 $r$  為波浪的路徑。利用  $r=|r|=x\cos\theta'+y\sin\theta'$  之關係， $\theta'$  為波浪於邊界上的角度。則上式關係可進一步表示

$$\frac{\partial r}{\partial x} = \cos\theta', \quad \frac{\partial r}{\partial y} = \sin\theta' \quad (3-4-26)$$

代入式 (3-4-25) 可得  $x$  方向的邊界條件為

$$\frac{\partial\phi}{\partial x} \mp ik\phi\cos\theta' = 0, \quad \partial B_{x\pm} \quad (3-4-27)$$

式 (3-4-27) 中  $\partial B_x$  為  $x$  軸的邊界。同理可知，對於波浪通過垂直於  $y$  軸的幅射邊界  $\partial B_y$ ，可得

$$\frac{\partial\phi}{\partial y} \mp ik\phi\sin\theta' = 0, \quad \partial B_{y\pm} \quad (3-4-28)$$

由於在數值模式計算時，無法先得知波浪入射邊界的夾角  $\theta'$ ，故文中利用數值方式疊代求解，將邊界角度疊代至收斂，此一處理方式較能適用於大角度波浪入射之條件 (Hsu 和 Wen, 1999)。

## II. 給定邊界條件 (given boundary condition)

當波浪入射遇結構物所產生的反射波浪通過邊界時。於離岸邊界上包含有入射波波場及反射波波場。由於入射波場為已知，而反射波波場未知且為離岸方向，若波浪沿  $x$  方向正向入射及反射，其邊界條件可以下式表示：

$$\frac{\partial\phi}{\partial x} = ik(\phi_i - \phi_r) = \pm ik_x\phi + 2ik_{xi}\phi_i, \quad \partial B_{\pm} \quad (3-4-29)$$

式中  $\phi_i$  表示為正  $x$  方向的入射波， $\phi_r$  表示為負  $x$  方向的反射波。

## III. 收斂條件

對於本模式所採取的收斂條件為殘差小於  $\varepsilon$  時為其收斂條

件。其殘差表示式如式 (3-4-30) 所示：

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{\sum_p \sum_q ABS(\phi_{p,q}^n - \phi_{p,q}^{n-1})^2}}{\sum_p \sum_q ABS(\phi_{p,q}^n)} \quad (3-4-30)$$

此模式計算時，時間的變化 ( $\Delta t$ ) 為疊代的參數指標，且此參數為影響其收斂速度的重要參數。 $\Delta t$  參數的型式如下：

$$\Delta t = N \frac{2\omega}{CC_g} \Delta x^2 \quad (3-4-31)$$

其中  $N$  為無因次參數，其值界於  $O(1) \sim O(10)$  之間。

### 3.4.2 模式驗證

為驗證文中使用之波場模式，在計算通過陡變地形的適用性，本文選定 Reniers 和 Battjes (1997) 針對規則波所做的實驗數據進行比對。其試驗地形為距沙洲地形之混凝土斜坡進行，底床坡度為 1:20，在其上方加一高度為 0.1 公尺之高斯分佈 (Gauss Distribution) 斷面，如此將造成沙洲至外海的底床坡度為 1:8，而在向岸線的底床坡度為 1:10，如圖 3.4-2 所示。入射波浪條件為波高 ( $H_0$ ) 0.08m，週期 ( $T$ ) 1.0 sec，入射角度 ( $\theta_0$ )  $30^\circ$ 。圖 3.4-3 為運用本文波浪模式計算波浪通過沙洲地形與實驗值及傳統緩坡方程式的比較結果。圖中顯示：當波浪通過沙洲地形時將會碎波，而在通過沙洲底部時將重新被建立，直至岸線處會再次碎波，並產生溯升。由於延伸緩坡方程式中，對於底床地形的非線性影響項加以考慮，故對於陡變地形的波高分佈較傳統緩坡方程式為佳。

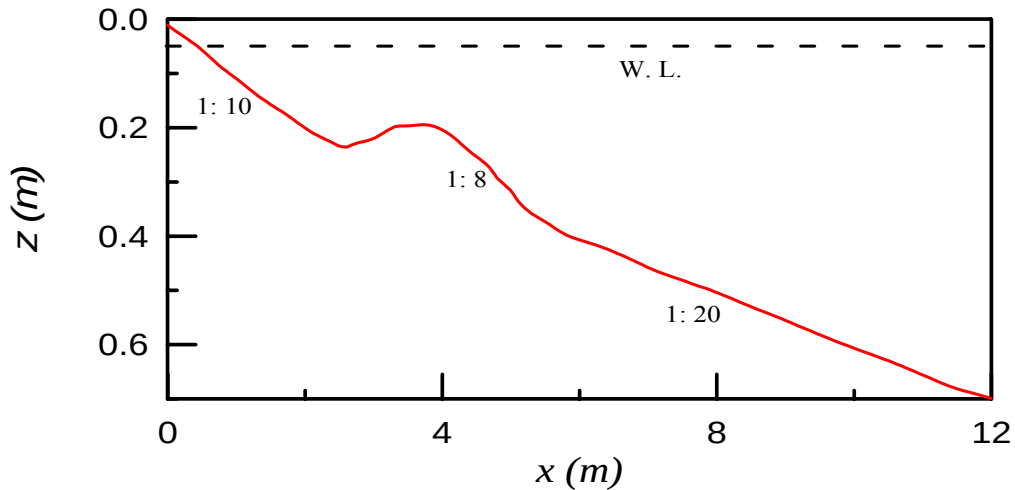


圖 3.4-2 波場驗證配置圖

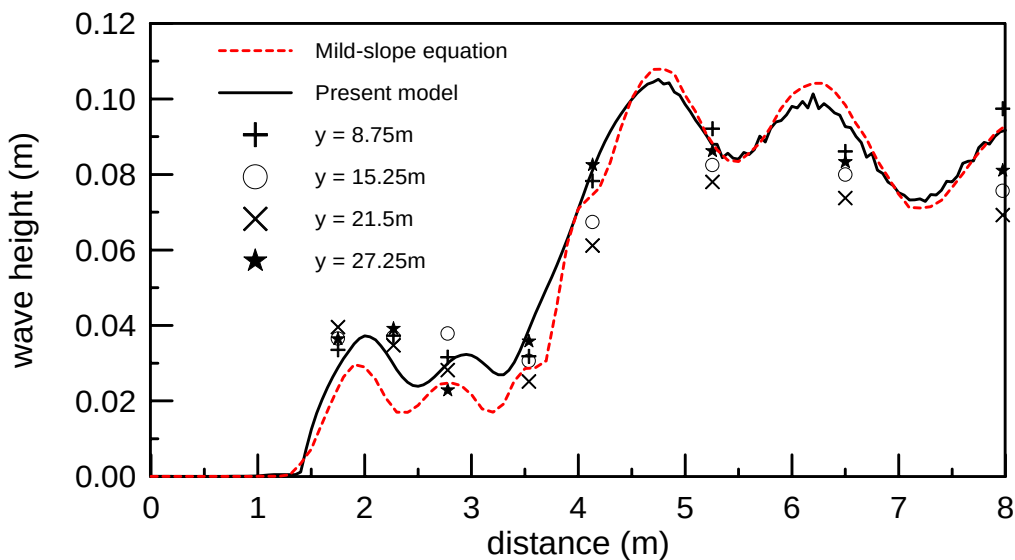


圖 3.4-3 波浪通過陡變地形波高斷面分佈與 Reniers and Battjes (1997) 試驗比較

### 3.4.3 國內七大港近岸波場計算

為探討近岸波浪模式應用於台灣海域計算之可行性，本計畫以國內七大港為目標，配合 3.1 節之風浪模式推算結果，選取民國 90 年 6 月 22 日至 24 日間，侵台之奇比颱風，及民國 93 年 8 月 24 日至 26 日間，侵台之艾利颱風，作為模式波浪之輸入條件，模擬兩場颱風作用下，國內七大港附近海域之近岸波場變化。

七大港之地理位置如圖 3.4-4 所示，由台灣西南部依順時針方向，分別為高雄港、安平港、台中港、台北港、基隆港、蘇澳港及花

蓮港，圖 3.4-5 至圖 3.4-11 為各港區附近海域之水深分佈圖。高雄港計算範圍，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。安平港計算範圍，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。台中港計算範圍，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。台北港計算範圍，沿岸南起林口灰塘，北迄淡水河口北側，全長 14 公里，離岸 5 公里，約至水深 25m 處。基隆港計算範圍，沿岸西起澳底漁港，東迄和平島東側，全長 7 公里，另因龜山島對於基隆港附近海域之近岸波浪，會產生遮蔽效應，計算時應將龜山島包含至計算領域內，故離岸至外海 10 公里，水深約 130m 處。蘇澳港計算範圍，沿岸北起北方澳北側，南迄南方澳南側，全長 8 公里，離岸 6 公里，約至水深 80m 處。花蓮港計算範圍，沿岸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。各港域計算例採用之水深資料、模式計算相關條件及計算時間詳列於表 3-4-1 至表 3-4-3。

表 3.4-1 水深資料表

| 計算例 | 水深資料                                                               |
|-----|--------------------------------------------------------------------|
| 高雄港 | 民國 88 年實測                                                          |
| 安平港 | 民國 92 年實測                                                          |
| 台中港 | 民國 90 年實測                                                          |
| 台北港 | 民國 92 年實測                                                          |
| 基隆港 | 海軍海洋量測局民國 87 年發行之基隆港附近水道圖編號 0353<br>海軍海洋量測局民國 86 年發行基隆港水道圖編號 0353A |
| 蘇澳港 | 民國 92 年實測 (港域)<br>國科會海洋科學研究中心之台灣附近海域海底地形第六版                        |
| 花蓮港 | 民國 92 年實測<br>國科會海洋科學研究中心之台灣附近海域海底地形第六版                             |



圖 3.4-4 國內七大港地理位置圖(國立中央大學太空及遙測研究中心，2000)

表 3.4-2 模式計算條件表

| 計算例 |    | 計算格網<br>(10m×10m) | 計算時間<br>(min) | 波高<br>(m) | 週期<br>(sec) | 波向       |
|-----|----|-------------------|---------------|-----------|-------------|----------|
| 高雄港 | 奇比 | 901×2001          | 313           | 2.24      | 6.71        | S16.4° W |
|     | 艾莉 |                   | 301           | 1.71      | 7.12        | S41.7° W |
| 安平港 | 奇比 | 501×1001          | 228           | 2.26      | 6.39        | S17.6° W |
|     | 艾莉 |                   | 200           | 2.08      | 6.94        | S46.6° W |
| 台中港 | 奇比 | 631×1401          | 268           | 0.46      | 5.01        | S55.6° W |
|     | 艾莉 |                   | 232           | 2.57      | 6.50        | N6.9° E  |
| 台北港 | 奇比 | 501×1401          | 209           | 1.28      | 8.19        | N29.7° W |
|     | 艾莉 |                   | 222           | 3.07      | 7.18        | N6.5° W  |
| 基隆港 | 奇比 | 1001×701          | 207           | 2.25      | 8.74        | N30° W   |
|     | 艾莉 |                   | 211           | 3.45      | 8.32        | N38.9° E |
| 蘇澳港 | 奇比 | 601×801           | 178           | 3.22      | 8.50        | S39° W   |
|     | 艾莉 |                   | 174           | 3.34      | 8.53        | E18.2° N |
| 花蓮港 | 奇比 | 321×801           | 185           | 2.78      | 8.76        | S48° E   |
|     | 艾莉 |                   | 171           | 3.40      | 8.61        | E20.9° N |

圖 3.4-12 至圖 3.4-18 分別為高雄港、安平港、台中港、台北港、基隆港、蘇澳港及花蓮港，在奇比颱風作用下之近岸波場分佈圖，而圖 3.4-19 至圖 3.4-25 則分別為高雄港、安平港、台中港、台北港、基隆港、蘇澳港及花蓮港，在艾莉颱風作用下之近岸波場分佈圖。由圖中可知，波高隨著波浪向岸傳遞而有逐漸變大的現象，當到達更近岸時則開始碎波，而在各港口之下游側則會有一片遮蔽區形成，顯示模式適用於各港區之近岸波場計算。值得注意的是，在台北港計算例中的林口灰塘北側外海處，以及基隆港計算例中的龜山島與和平島間，皆有淺礁地形分佈，因此波浪在淺礁的下流側會有聚焦的現象，波高明顯增大，而在圖 3-4-16 (基隆港)、3-4-19 (高雄港)、3-4-20 (安平港) 及 3-4-24 (蘇澳港) 中，因波浪入射方向恰面對港池開口，故在部分的港區範圍內，會有波高較大的情形發生。整體而言，七大港之防波堤配置，皆能有效地避免颱風對港域內部造成直接的侵襲。

在計算時間方面，14 個計算例之平均計算時間約在 200 分鐘左右，一般而言，計算時間與計算格網數目成正比，然近岸波場模式計算時，因邊界上的波浪角度未知，因此必須利用疊代的方式加以處理，故格網數目較少的計算例，有時會較耗時。

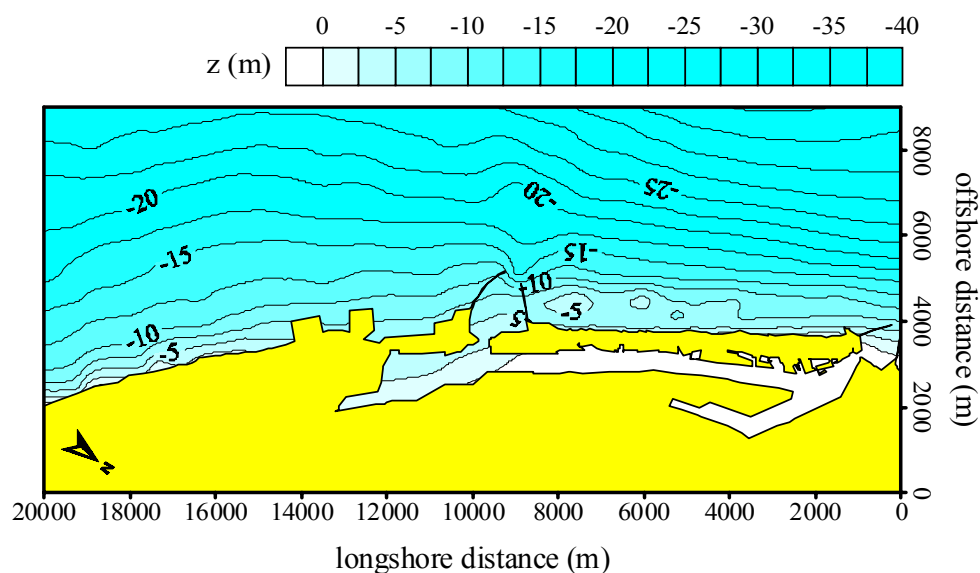


圖 3.4-5 高雄港附近海域地形水深圖

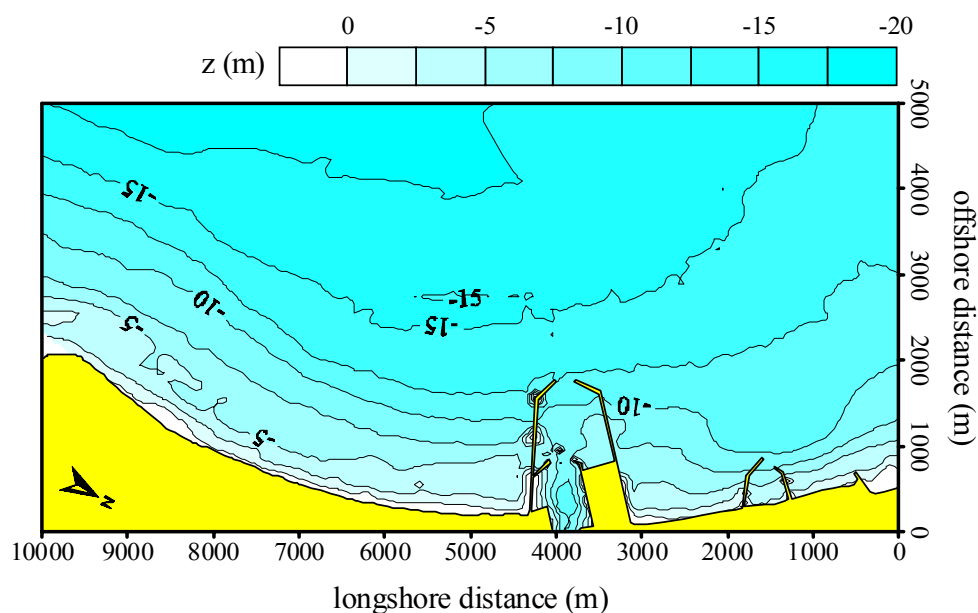


圖 3.4-6 安平港附近海域地形水深圖

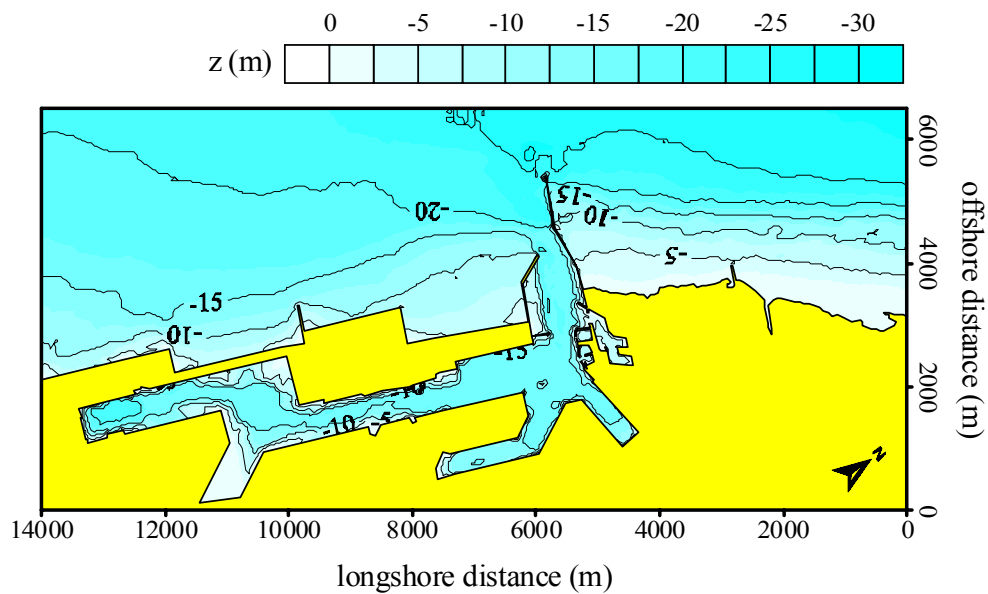


圖 3.4-7 台中港附近海域地形水深圖

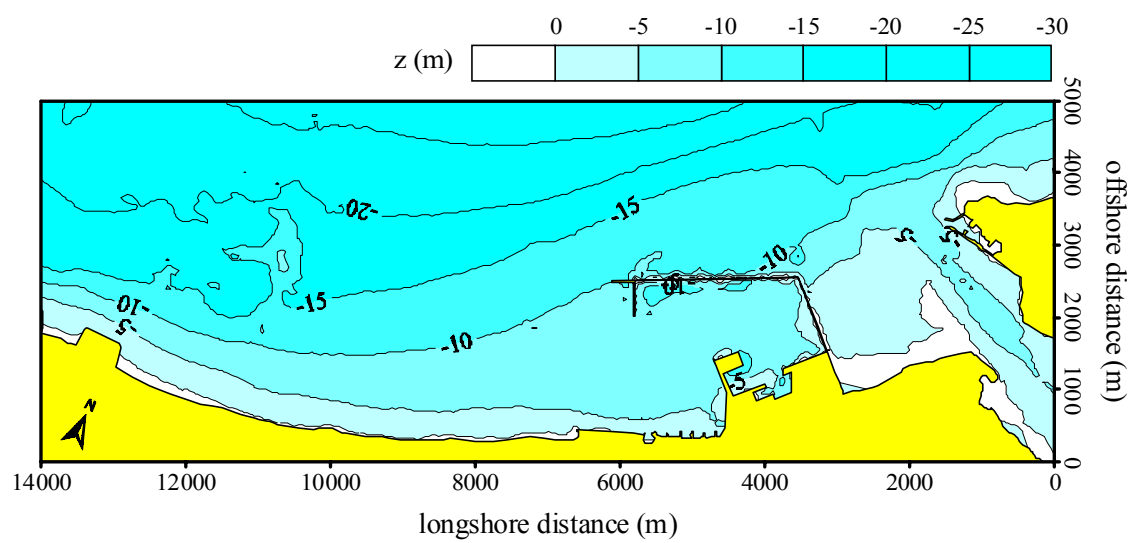


圖 3.4-8 台北港附近海域地形水深圖



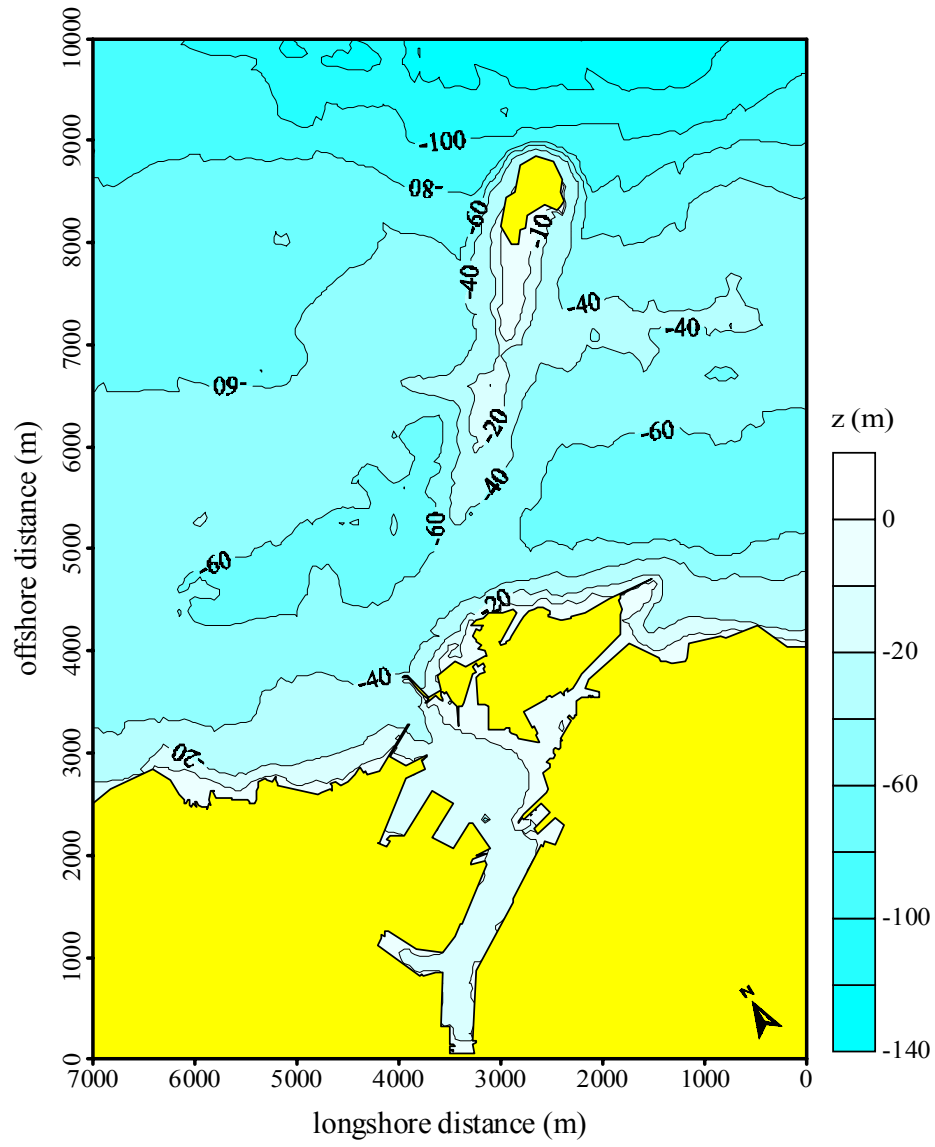


圖 3.4-9 基隆港附近海域地形水深圖

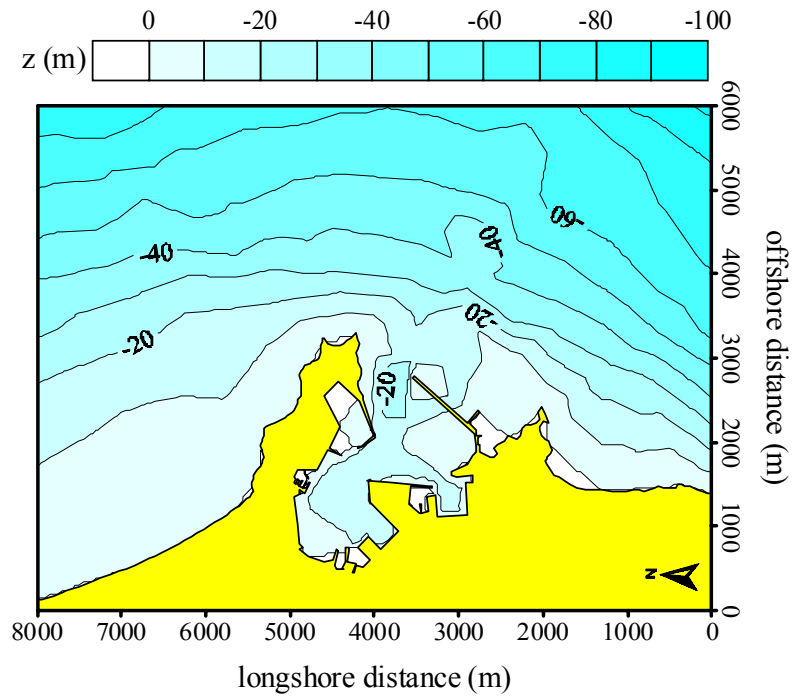


圖 3.4-10 蘇澳港附近海域地形水深圖

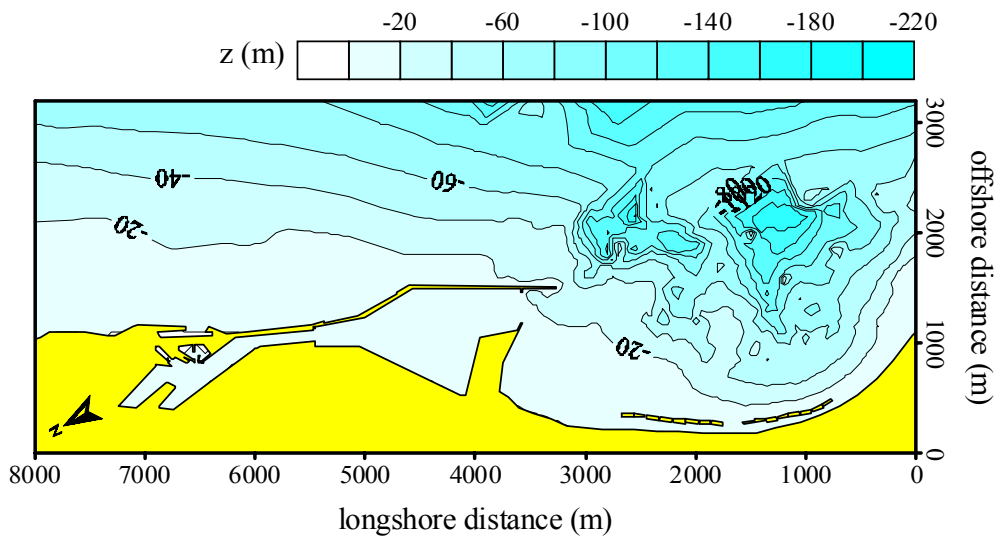


圖 3.4-11 花蓮港附近海域地形水深圖

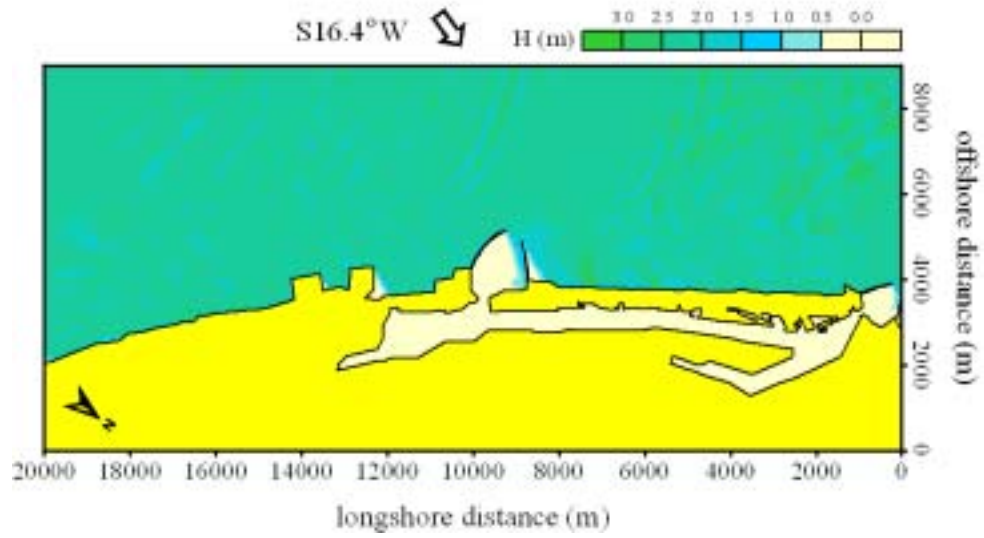


圖 3.4-12 奇比颱風作用下高雄港附近海域近岸波場分佈圖  
( $H_0 = 2.24$  ,  $T_0 = 6.71$ )

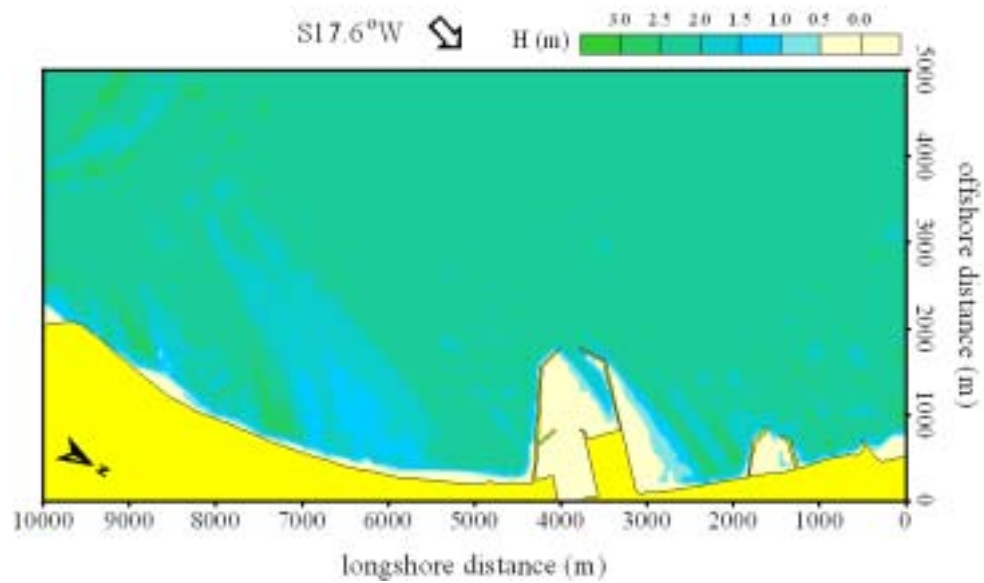


圖 3.4-13 奇比颱風作用下安平港附近海域近岸波場分佈圖  
( $H_0 = 2.26$  ,  $T_0 = 6.39$ )

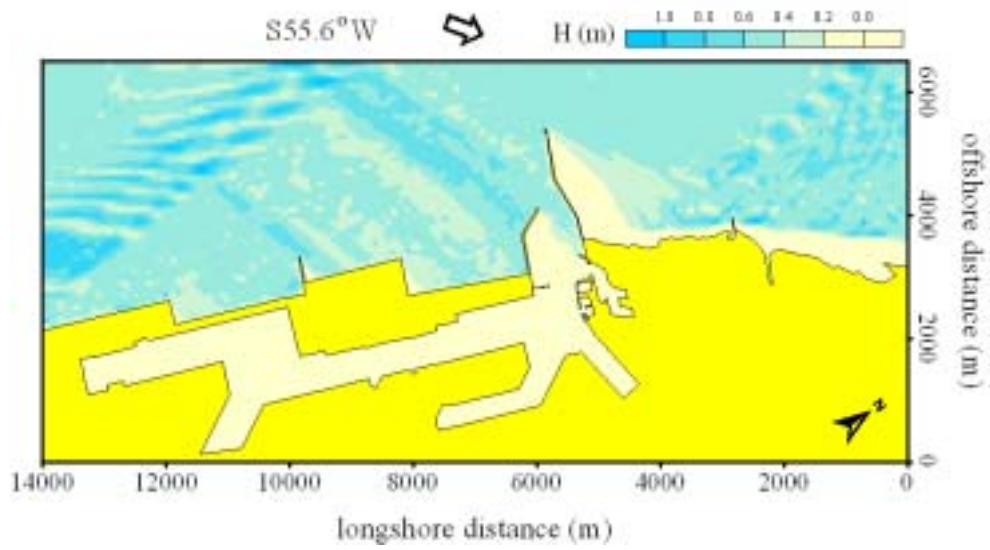


圖 3.4-14 奇比颱風作用下台中港附近海域近岸波場分佈圖  
( $H_0 = 0.46$  ,  $T_0 = 5.01$ )

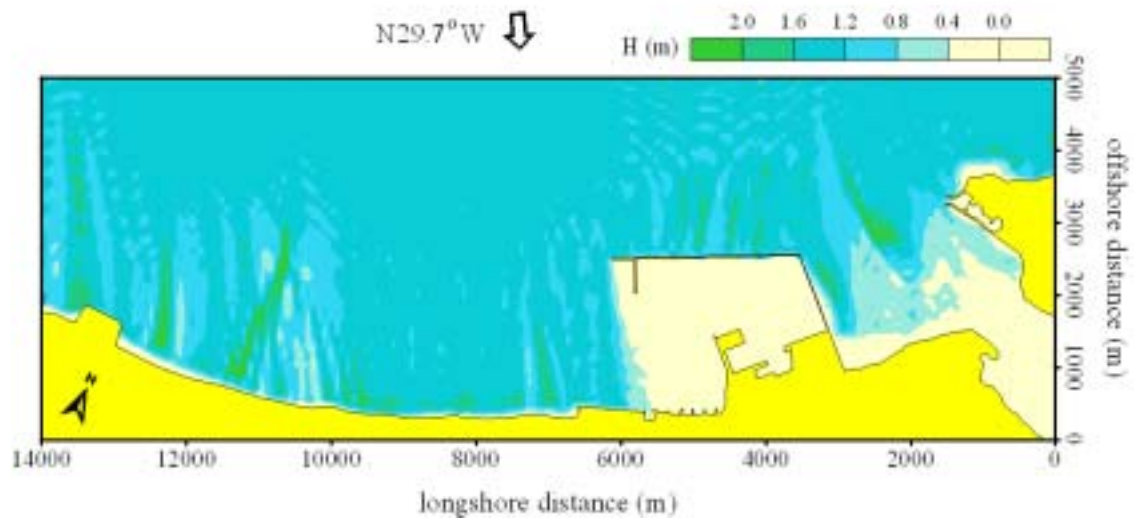


圖 3.4-15 奇比颱風作用下台北港附近海域近岸波場分佈圖  
( $H_0 = 1.28$  ,  $T_0 = 8.19$ )

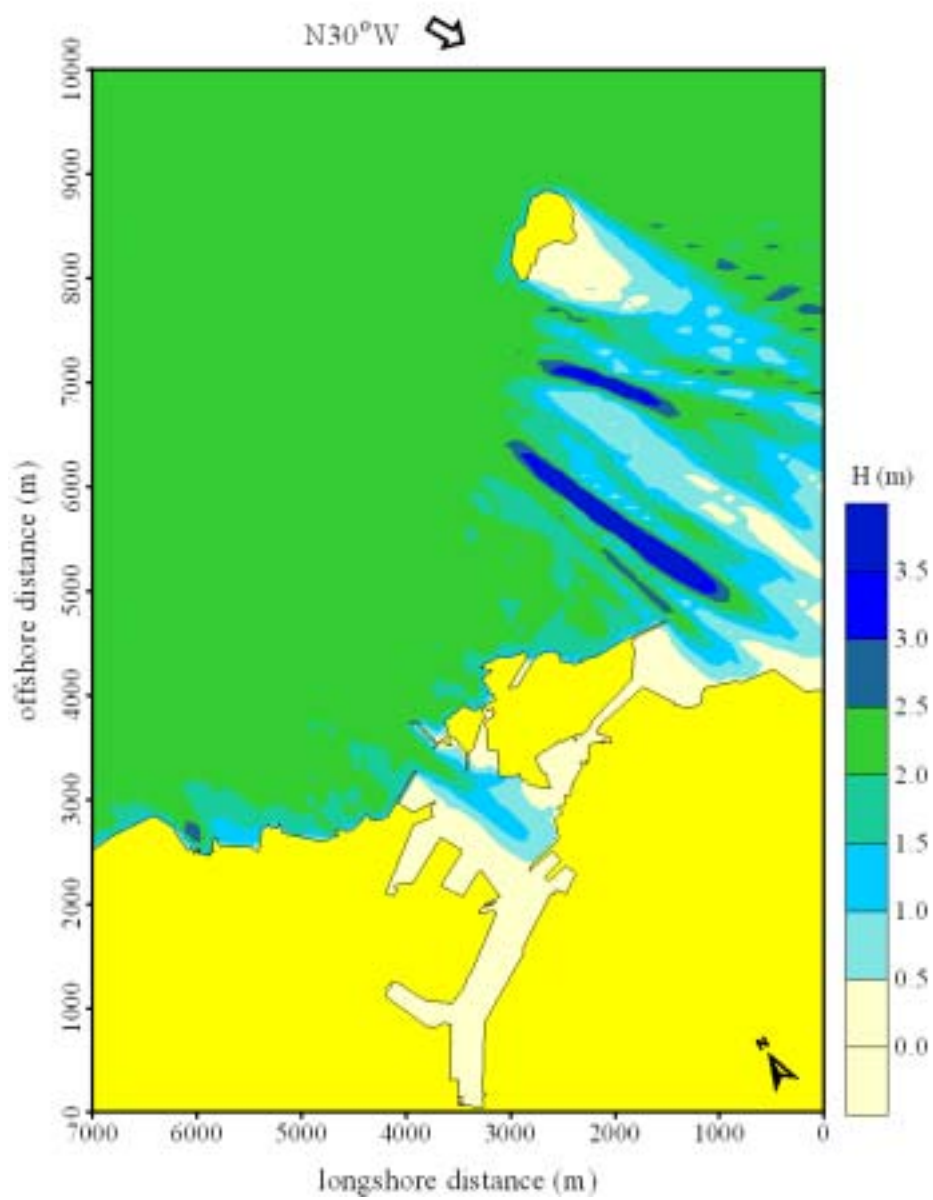


圖 3.4-16 奇比颱風作用下基隆港附近海域近岸波場分佈圖  
 $(H_0 = 2.25, T_0 = 8.74)$

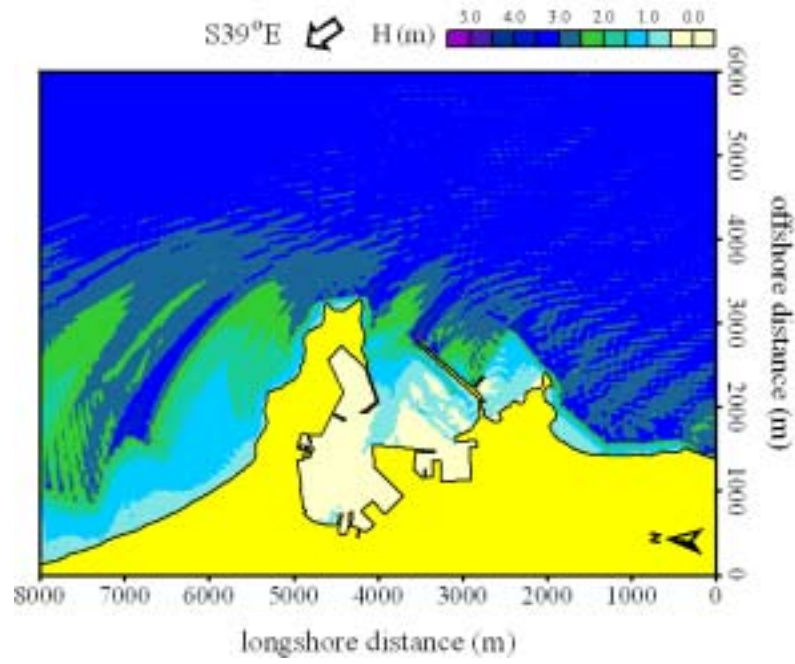


圖 3.4-17 奇比颱風作用下蘇澳港附近海域近岸波場分佈圖  
 $(H_0 = 3.22, T_0 = 8.50)$

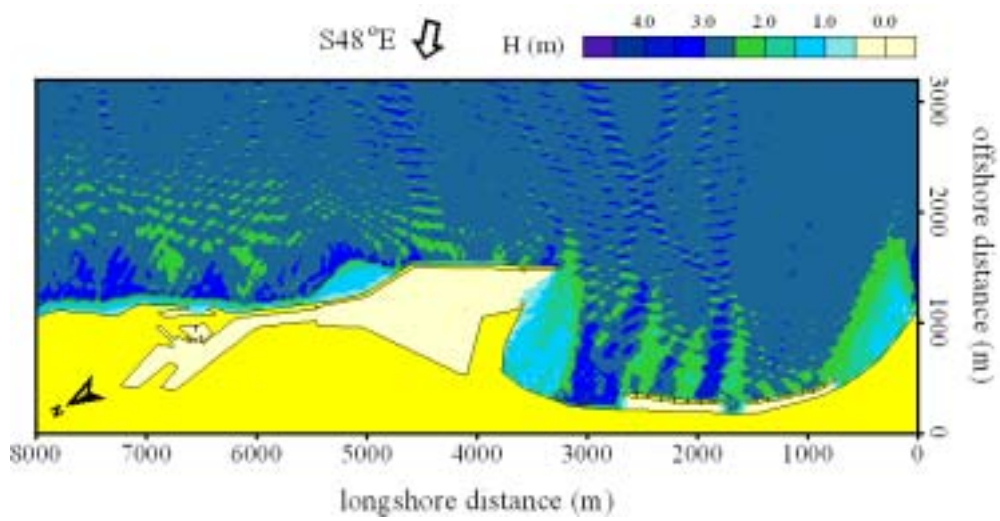


圖 3.4-18 奇比颱風作用下花蓮港附近海域近岸波場分佈圖  
 $(H_0 = 2.78, T_0 = 8.76)$



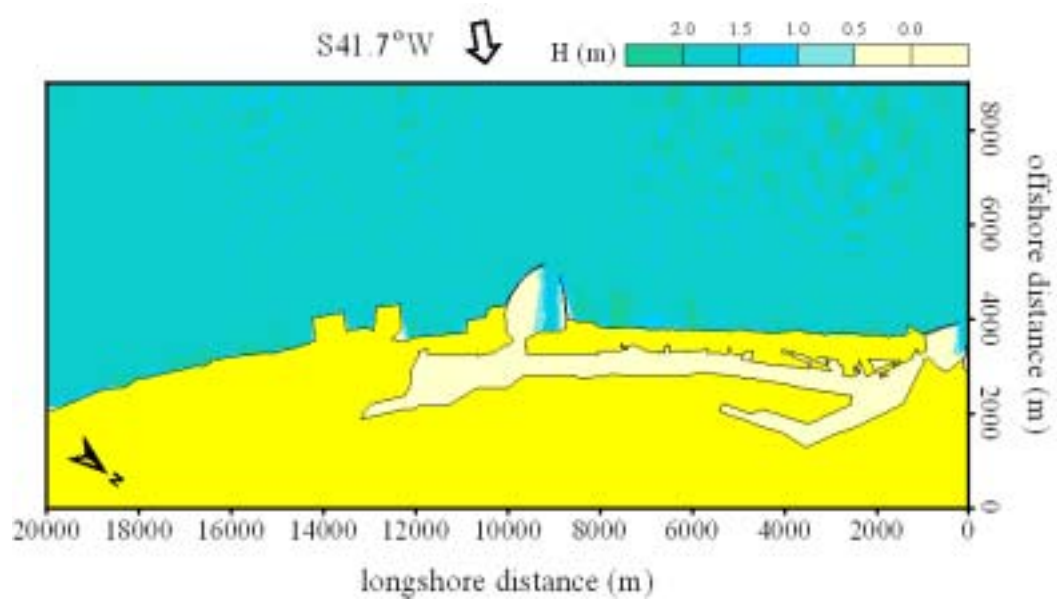


圖 3.4-19 艾莉颱風作用下高雄港附近海域近岸波場分佈圖  
( $H_0 = 1.71$  ,  $T_0 = 7.12$ )

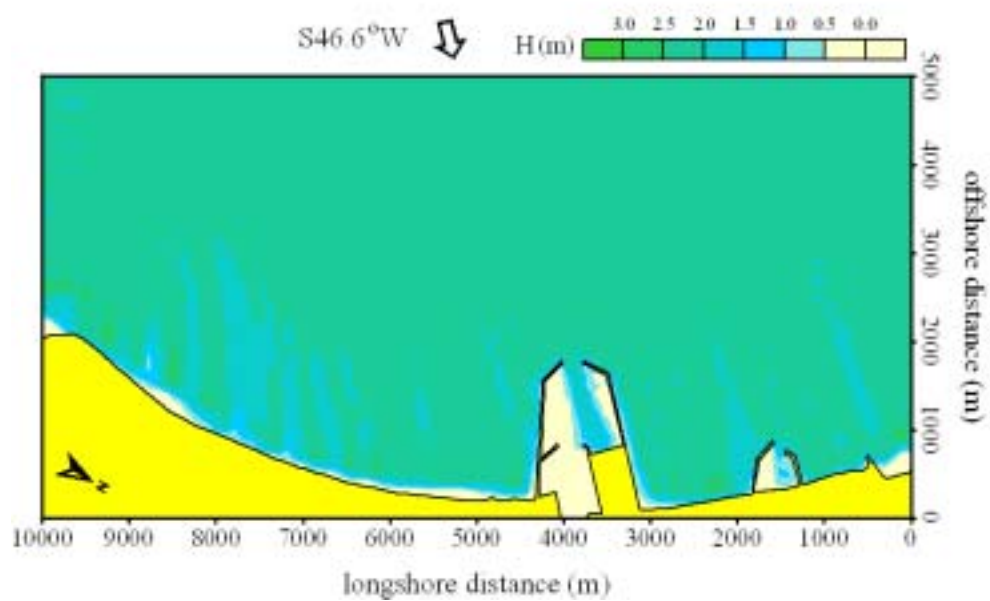


圖 3.4-20 艾莉颱風作用下安平港附近海域近岸波場分佈圖  
( $H_0 = 2.08$  ,  $T_0 = 6.94$ )

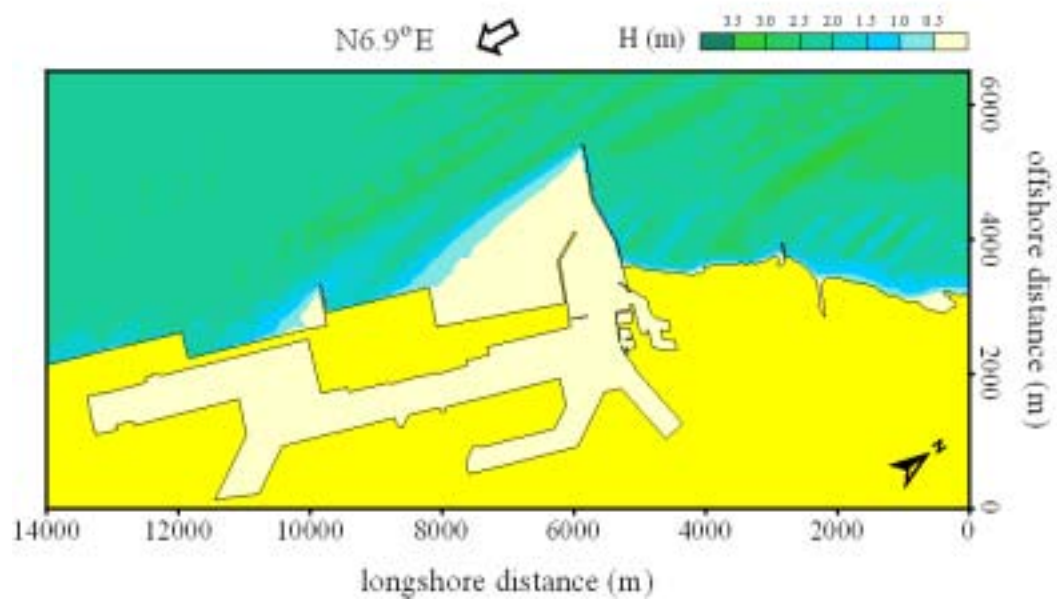


圖 3.4-21 艾莉颱風作用下台中港附近海域近岸波場分佈圖  
( $H_0 = 2.57$  ,  $T_0 = 6.50$ )

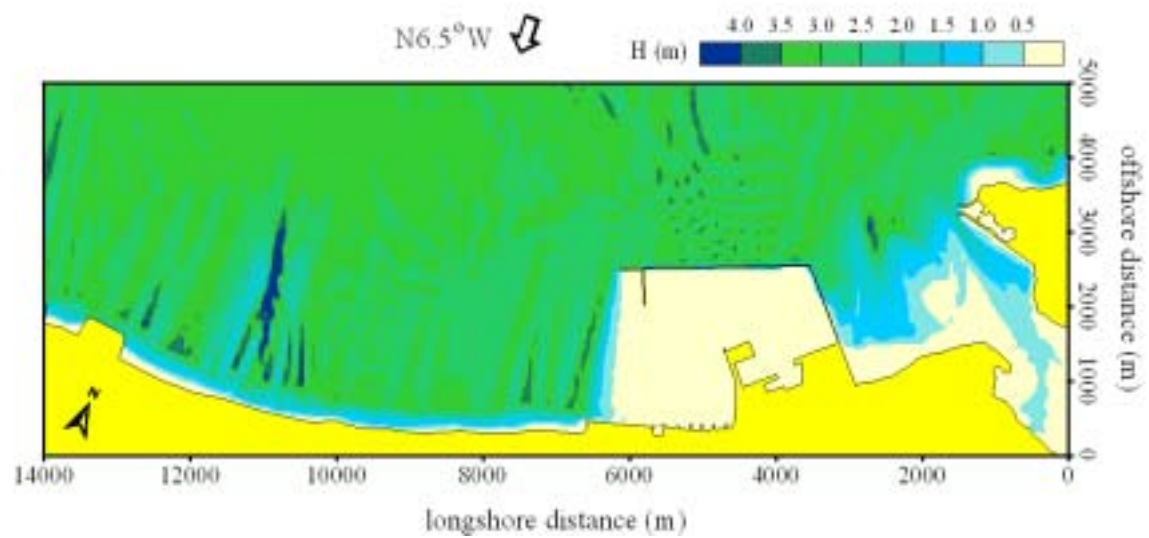


圖 3.4-22 艾莉颱風作用下台北港附近海域近岸波場分佈圖  
( $H_0 = 3.07$  ,  $T_0 = 7.18$ )



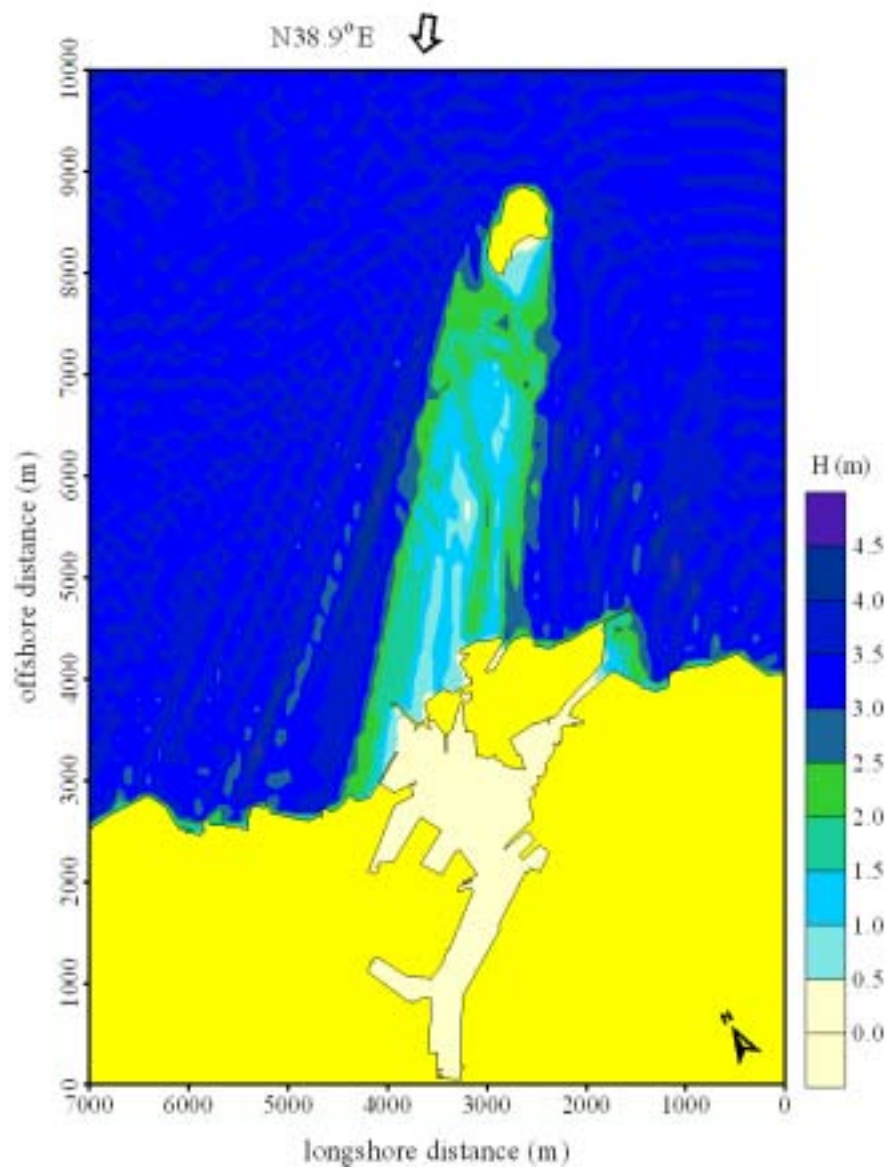


圖 3.4-23 艾莉颱風作用下基隆港附近海域近岸波場分佈圖  
 $(H_0 = 3.45, T_0 = 8.32)$

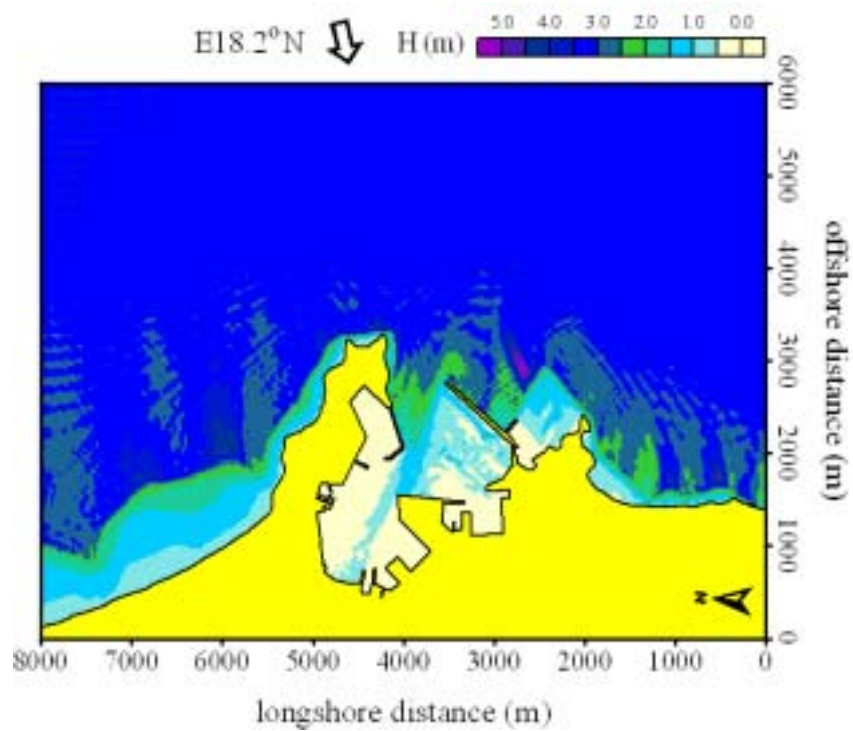


圖 3.4-24 艾莉颱風作用下蘇澳港附近海域近岸波場分佈圖  
( $H_0 = 3.34$  ,  $T_0 = 8.53$ )

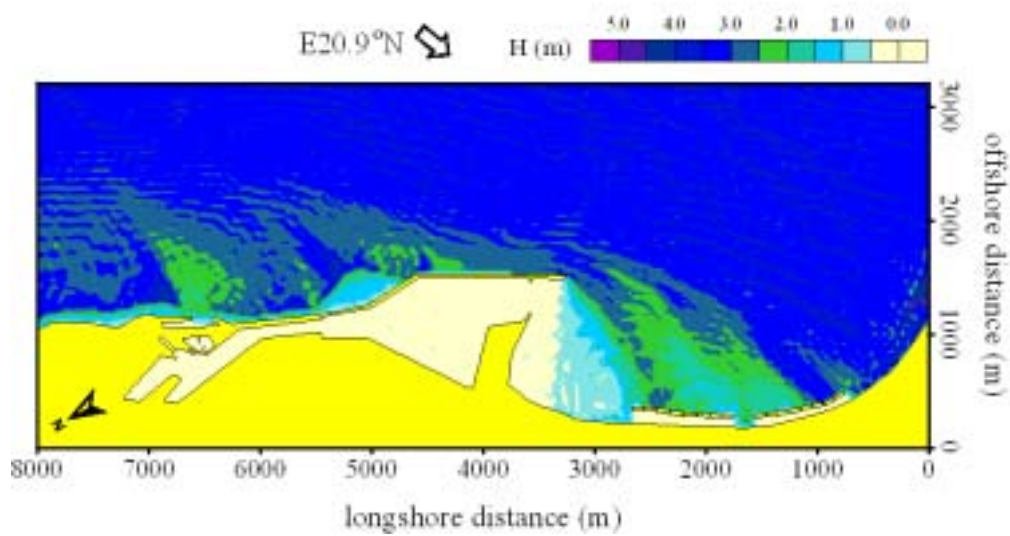


圖 3.4-25 艾莉颱風作用下花蓮港附近海域近岸波場分佈圖  
( $H_0 = 3.40$  ,  $T_0 = 8.61$ )

### 3.5 各類波浪模式之比較

針對 WAM 風浪模式、SWAN 風浪模式、定點類神經網路水位模式、定點風域推算半經驗颱風波浪模式及近岸波浪模式之各模式優缺點與條件限制綜合成表 3.5-1 來相互比較與探討。

在全域風浪模式上，WAM 模式所使用的基本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領域的變化過程，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；而 SWAN 模式具有第三代風浪模式的特徵，而在能量成長及消散項的參數選擇上比其他模式更具彈性，可以計算波浪在時間與空間領域中之傳遞、淺化、波與波之間的非線性交互作用、波浪受風之成長、碎波與底床造成波浪能量衰減及波浪受到海流與地形變化而產生之頻率位移與折射，因此模式具有預報近岸海域風浪之功能。

因此應用 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。WAM 模式具有模擬深水波浪的能力，經內插所得巢狀格網的邊界條件亦具有相當的準確度；較細格網能滿足近岸複雜曲折的地形，配合 SWAN 模式模擬近岸波浪的能力，能使台灣附近海域波浪推算更為精準。在二個模式的配合下，可獲得較全面性的推算結果，但此模式需要有輸入精確的風場資料，才能獲致準確的風浪推算。

類神經網路預報模式系統的主要核心，採用類神經網路理論及模糊理論合併應用。類神經網路具備著一些優良的特性其中包括（1）高速的計算能力（2）自我學習能力（3）高容量的記憶力（4）容錯的能力。倒傳遞類神經網路的總體運作學習方式有兩種，一為學習過程，就是網路依既定的學習演算法，從使用的輸入資料中學習，並藉以調整網路連結的加權值，另一種為回想過程，網路依照設定的回想法則，以輸入資料來決定網路的輸出值並進行驗證的工作。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。

類神經波浪推算模式的修正歸納出兩個方向，一是藉由已經發生過的颱風加

入學習資料中，增加模式學習的經驗藉以修正陸地效應與特殊路徑或行為的颱風波浪，這個方法受限制於必須有足夠學習資料，當資料不足時此方法只適合經過類似學習經驗的颱風事件。第二個修正方向是選用正確、完整的颱風風場分佈外，修改類神經網路結構增加類神經網路記憶與模擬的能力。

配合淺海中之風浪關係、海底摩擦之影響、湧浪之推算方式及碎波後波浪之計算，提出移動風域數值推算模式，而定點風域推算半經驗颱風波浪模式即是依上述原理以及 Breteschneider 參數法(1958)、井島武士之追蹤法(1961)、湯麟武(1970)之移動風域數值推算法及梁乃匡(1993)之颱風湧浪預報法等建立改良而成。

由於移動風域數值推算模式係假設颱風移動方向不變(即直線行進路徑)，推算各方向吹風距離線上颱風波浪之大小及週期。雖然定點風域推算半經驗颱風波浪模式不若 WAM 及 SWAN 之全面性，相較於 WAM 及 SWAN 等二維波浪模式，本模式具有運算快速之特點，因此模式操作可依中央氣象局所發佈的即時颱風資料，模擬各種可能的行進路徑及颱風移動速度，推算各港口颱風波浪大小，於海岸防災預報系統上，對於侵台颱風警報本模式可較迅速提供即時之颱風波浪預警訊息。但因受限於推算模式系假設颱風移動方向不變(即直線行進路徑)，因此對於部分颱風詭譎的行徑，模式所模擬之颱風路徑必須同時考量颱風之歷史路徑、颱風中心位置及推算點位置等因素，方可避免數值模擬結果出現與事實不相符之假象結果。

綜觀以上模式，在颱風路徑離開台灣有相當距離時，預報模式大都能符合實測波浪趨勢，但在颱風接近台灣陸地時，由於風場結構受到陸地影響產生複雜的變化，增加預測的不穩定性，潮、波、流與風的資料結構與正確性，對於各預測模式亦會造成相當之影響，因此對於海洋物理現象觀測站的選定與所呈現的資料，必須更具代表性與正確性，而為強化預報之精神，對於連續性之即時資料取得管道亦是本計劃之關鍵。

表 3.5-1 各類波浪模式之綜合條件比較表

| 模式條件 | 模 式 類 型         | 應 用 說 明                                                                                               |
|------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 限 制  | WAM 風浪模式        | 無法計算近岸海域，無繞射效應。                                                                                       |
|      | SWAN 風浪模式       | 無法計算結構物附近波浪場，無反射效應。                                                                                   |
|      | 近岸波浪模式          | 網格甚小計算時間較長                                                                                            |
|      | 定點類神經網路波浪模式     | 熱帶氣旋發展成為颱風後進行推算，並假設颱風風場分佈與風場模式計算結果相似。<br>模式每次計算單一場颱風，對於兩場颱風同時作用的操作未經測試修正。<br>颱風風場分佈與對波浪作用不考慮陸地所產生的影響。 |
|      | 定點風域推算半經驗颱風波浪模式 | 屬於線風域推算模式，故無法考慮地形變化所產生的折繞射現象。                                                                         |
| 精 度  | WAM 風浪模式        | 模擬期間 8 個測站，WAM 模式之波高平均模擬誤差為 0.33 公尺，週期為 1.14 秒。                                                       |
|      | SWAN 風浪模式       | 模擬期間 8 個測站，SWAN 模式之波高平均模擬誤差為 0.30 公尺，週期為 1.28 秒。                                                      |
|      | 近岸波浪模式          | 得到港內附近的波高值（模式解析度高）                                                                                    |
|      | 定點類神經網路波浪模式     | 推算位置為觀測站附近海域。<br>推算時間的刻度為小時。<br>推算結果示性波高單位為公分、示性週期單位為秒。                                               |
|      | 定點風域推算半經驗颱風波浪模式 | 最大示性波高推算結果以台灣東部海域推算結果誤差較小(均方根誤差值小於 0.5m)，西部海域則受到陸地及狹風域之影響誤差較大。                                        |
| 優 點  | WAM 風浪模式        | 可快速推算大範圍風浪變化，具有風成長、消散與非線性效應，亦可計算波浪受水深影響所產生的折射現象。                                                      |

|      |                 |                                                                                             |
|------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | SWAN 風浪模式       | 採用二階隱式積分，可使用較大之計算時距，可解析格網密度較高之風浪變化。深水處之風成長、消散與非線性效應外，在淺水處亦可計算三波波非線性效應與波浪碎波現象，亦可計算含流之波浪場變化。  |
|      | 近岸波浪模式          | 1.可直接得全港區的波浪變化。                                                                             |
|      | 定點類神經網路波浪模式     | 適合近岸、小尺度區域、環境特殊海域。模式對非線性、複雜的關係具有良好的模擬能力。<br>模式建構快速、容易。<br>模式具有學習、修正的能力。<br>計算速度快。<br>計算成本低。 |
|      | 定點風域推算半經驗颱風波浪模式 | 1.具有運算快速以及模式所需輸入資料及參數較少。<br>2.於颱風侵台時本模式可提供即時之颱風波浪預警訊息，有利於海岸防災預警作業。                          |
| 缺 點  | WAM 風浪模式        | 格網解析度較低，無法計算含流之波浪場。                                                                         |
|      | SWAN 風浪模式       | 計算較費時，所需電腦系統等級較高。                                                                           |
|      | 近岸波浪模式          | 1.網格點解析度甚細。計算時間較長。<br>2.輸出輸入檔案較大                                                            |
|      | 定點類神經網路波浪模式     | 模式需要足夠的學習資料進行學習與模擬。<br>模式推算結果或解答，屬於滿意解而非精確解。                                                |
|      | 定點風域推算半經驗颱風波浪模式 | 1.以模型颱風推算颱風波浪，必須藉由實測資料率定相關參數，以增進模式推算之精度。<br>2.推算點之波高及週期時序資料並非代表海面上實際之風浪。                    |
| 輸入資料 | WAM 風浪模式        | 地形與風之格網資料。                                                                                  |
|      | SWAN 風浪模式       | 地形與風之格網資料，與邊界上之入射二維波譜 (此部份可由 WAM、NWW3 或 SWAN 模式提供)。                                         |

|      |                 |                                                                                                                |
|------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | 近岸波浪模式          | 1.外海入射波之波高、週期及波向。<br>2.港區水深、岸壁反射率等。                                                                            |
|      | 定點類神經網路波浪模式     | 觀測站位置<br>颱風發生時間。<br>颱風中心位置、路徑。<br>颱風近中心最大風速。                                                                   |
|      | 定點風域推算半經驗颱風波浪模式 | 1.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( $\theta_F$ )等。<br>2.推算點位置(經、緯度)、吹風距離線方向及水深資料、最大吹風距離等。 |
| 輸出資料 | WAM 風浪模式        | 可輸出格網點上二維波譜，示性波高，平均週期，平均波浪角度等。                                                                                 |
|      | SWAN 風浪模式       | 可輸出格網點上二維波譜，示性波高，平均週期，平均波浪角度等。                                                                                 |
|      | 近岸波浪模式          | 全區域之波高資料(m)                                                                                                    |
|      | 定點類神經網路波浪模式     | 觀測站附近海域：<br>示性波高 ( $H_{1/3}$ )<br>示性週期 ( $T_{1/3}$ )                                                           |
|      | 定點風域推算半經驗颱風波浪模式 | 各吹風距離線上推算點之示性波高及週期，以及最大示性波高及週期                                                                                 |

## 第四章 水位模式

水位變化的部分主要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）。潮汐模式在國外已有許多年的發展，同時也發展的很完善，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潮汐模式，目前則缺乏較為先進大範圍的潮位預報模式來推算整個台灣海域的水位變化；風暴潮部分目前國內大部分還是採用單點的暴潮偏差來做預報，有些顧問公司或研究單位引進美國防災總署（FEMA）所發展的風暴潮模式，或是加以改進以非規則性網格計算，期能改進預報的準確度。因此，本研究規劃進行三種型態的全域水位預報模式，一方面沿用國內的傳統方法將天文潮與氣象潮的模式分開建置執行，再將其結果透過程式結合作為潮位預報的資訊，另一方面引用歐美的先進預報模式的作法，將天文潮與氣象潮在全域水動力模式內做動態耦合，建立一個潮汐耦合風暴潮的水位預報模式，以提供決策機關作為防災的重要資訊，但是先決條件是需要中央氣象局能夠提供即時全域動態氣象預報資料，水位預報模式才能達成理想的功能。同時也使用類神經網路來模擬水位，比較不同計算方法的結果，最後比較這幾種模式的優劣。

### 4.1 全域天文潮模式

#### 4.1.1 模式理論介紹

天文潮（潮汐）是由於月球和太陽等天體對地球各處引力不同所引起的水位、地殼和大氣的週期性升降現象，海面上升時稱為漲潮（flood）；海面下降時稱為退潮或落潮（ebb）。由於潮汐的升降有其一定頻率，可藉由長期收集潮位資料，利用調和分析得到各分潮之振幅與遲角（Phase lag），再將分析結果重組以預測未來的潮位變化。然而此法需要當地之長期觀測資料，對於無法取得潮位資料（無潮位站）的地方而言，潮位變化並無法得知。為了解各地潮汐變化，天文潮模式的發展與建立即可補足傳統觀測無法涵蓋的部份，藉由基本的水動力方程式，並利用有限差分的方法，與適當的邊界條件，經過率定後的模式結果即可提供模式範圍中每一點之潮位時序變化，模式的二維基本動力方程式簡化如下：



$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = -(R \cos \phi)^{-1} \left[ \frac{\partial}{\partial \chi} (H \bar{u}) + \frac{\partial}{\partial \phi} (H \cos \phi \bar{v}) \right] \quad (4.1-1)$$

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = \bar{f} \bar{v} - (R \cos \phi)^{-1} \left[ g \frac{\partial \zeta}{\partial \chi} + \rho_0^{-1} \frac{\partial P_a}{\partial \chi} \right] + H^{-1} [F_s - F_B] \quad (4.1-2)$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} = -\bar{f} \bar{u} - R^{-1} \left[ g \frac{\partial \zeta}{\partial \phi} + \rho_0^{-1} \frac{\partial P_a}{\partial \phi} \right] + H^{-1} [G_s - G_B] \quad (4.1-3)$$

其中的變數與參數分別為

$\zeta$ ：水位

$\bar{u}$ 、 $\bar{v}$ ：水平深度平均流速

$\chi$ 、 $\phi$ ：模式之橫（經度）、縱（緯度）座標

$H$ ：水深

$f$ ：科氏力參數

$g$ ：重力加速度

$R$ ：地球半徑

$F_s$ 、 $G_s$ ：風速造成之剪應力

$F_B$ 、 $G_B$ ：底床摩擦力

$P_a$ ：大氣壓力

如考慮三維方向的變化（加入垂直變化），則

$$u = \bar{u} + u_r, \quad v = \bar{v} + v_r \quad (4.1-4)$$

$u_r$  與  $v_r$  為垂直剖面水平流速的變化， $u$  與  $v$  則為水平流速（包含三維變化），而  $u_r$  與  $v_r$  分別為

$$\frac{\partial u_r}{\partial t} = -L(u) + f v_r + \frac{uv \tan \phi}{R} - \Pi_\chi + D(u) - H^{-1} [F_S - F_B] \quad (4.1-5)$$

$$\frac{\partial v_r}{\partial t} = -L(v) - f u_r - \frac{u^2 \tan \phi}{R} - \Pi_\phi + D(v) - H^{-1} [G_S - G_B] \quad (4.1-6)$$

其中，

$L(u)$ 、 $L(v)$ ：對流項

$D(u)$ 、 $D(v)$ ：擴散項

$\Pi_\chi$ 、 $\Pi_\phi$ ：浮力項

#### 4.1.2 模式建立及驗證

為了解台灣周圍潮汐變化與西太平洋海域流場分布概況，並考慮颱風對其影響，模式範圍必須包含西太平洋與南海海域，因此天文潮模式的範圍亦必須包含這些區域，以利暴風潮模式耦合計算。模式範圍與地形變化如圖 4.1-1，適當的邊界資料將決定模式模擬的結果，一般來說，如能取得實測值作為邊界驅動，模式應能得到相當不錯的結果，但考量現實狀況下，現場實測無法提供所有邊界點的資料，因此天文潮模式的邊界初步將利用 Global Ocean Model (Schwiderski, 1982) 計算結果內插得出。模式結果將配合量測的資料一併分析，作為模式的驗證，並利用比較結果逐步調整適當的邊界設定，以得到較佳的潮位結果。

模式設定僅以水動力計算，模式格點大小為  $10' \times 10'$ ，邊界僅以東邊深海處與南邊作為驅動，北邊以自由邊界條件 (Free flux) 設定，西邊為陸地，東側與南側以 8 個分潮(四個全日潮及四個半日潮)作為驅動的邊界條件，溫鹽的計算在此暫不予考慮。

模式計算時間為期一年，在模式真正模擬前先以相同邊界條件

進行一段時間的計算，使流場與水位變化從初始條件達到穩定的計算流場做為模擬的初始條件，目的是讓模式中計算變數能以恰當的初始條件開始計算，此後計算之時序變化可作為模式真正模擬的結果，模擬變數僅包含水位與流場的變化。由於僅用潮汐作為邊界驅動，如僅用單一分潮驅動，在模式計算一段時間後，所有計算點將重複該分潮之水位變化，藉此可用以計算模式的收斂時間，根據八個單一分潮分別作為驅動，並計算其潮周間之水位變異均方根（RMS），由圖 4.1-2 可知模式約於計算開始第 10 天後之結果方達收斂，表示模式的初始驅動時間（Warm-up time）約為 10 天，其後之模擬結果將可利用調和分析，與台灣沿岸七個港口潮位測站資料分析之調和常數比較，以作為模式的率定。

在了解模式的收斂情形後，邊界條件同時以八個分潮輸入，模擬一年後對所有計算點水位變化進行調和分析，作為天文潮模式之初步結果，模式結果取其主要八個分潮展示，並與實際潮位量測結果分析之調和常數作一比對，模式與實測之差異性以下式表示：

$$d = \sqrt{(A_m \cos \phi_m - A_o \cos \phi_o)^2 + (A_m \sin \phi_m - A_o \sin \phi_o)^2} \quad (4.1-7)$$

其中，

$A_m$ 、 $\phi_m$  ：模式結果經調和分析所得之分潮振幅與遲角

$A_o$ 、 $\phi_o$  ：實測結果經調和分析所得之分潮振幅與遲角

$d$  ：模式與實測調和常數之差異值

模式結果經逐步調整適當的邊界條件後，其調和分析之結果如圖 4.1-3 ~ 4.1-10 所示，半日潮中以 M2 之振幅最大，全日潮則為 K1，台灣沿岸以台中振幅最大，M2 約為 1.8 公尺左右，但與實際測值差距不大，以下將針對台灣沿岸七個港口測站比對各分潮之結果。

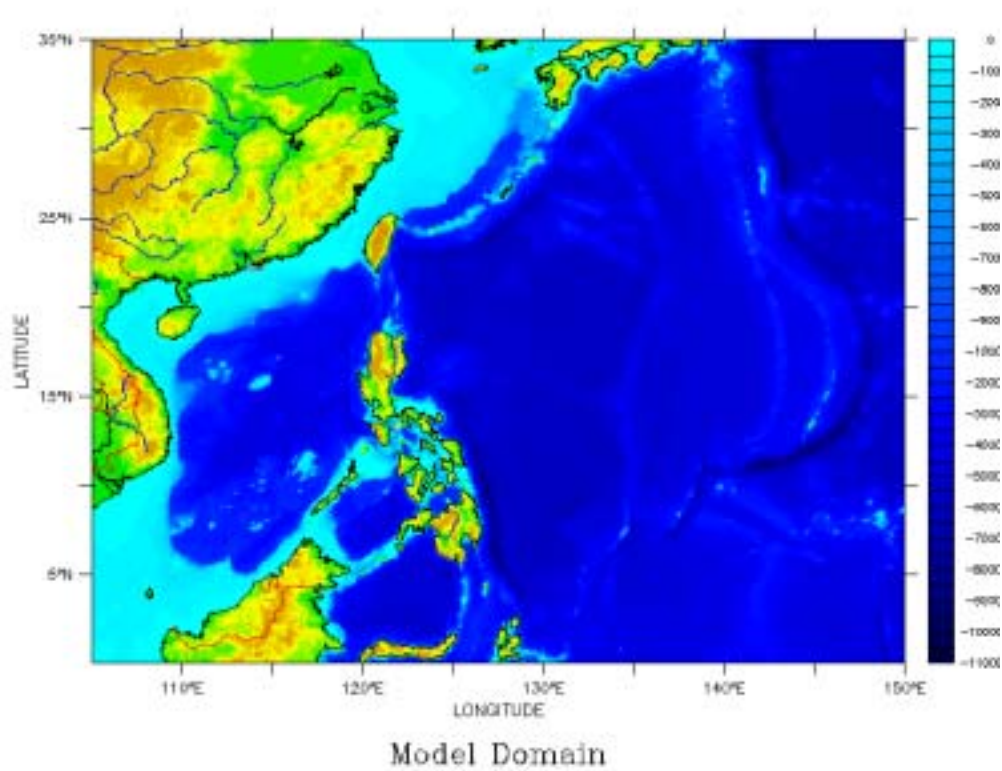


圖 4.1-1 模式範圍與地形

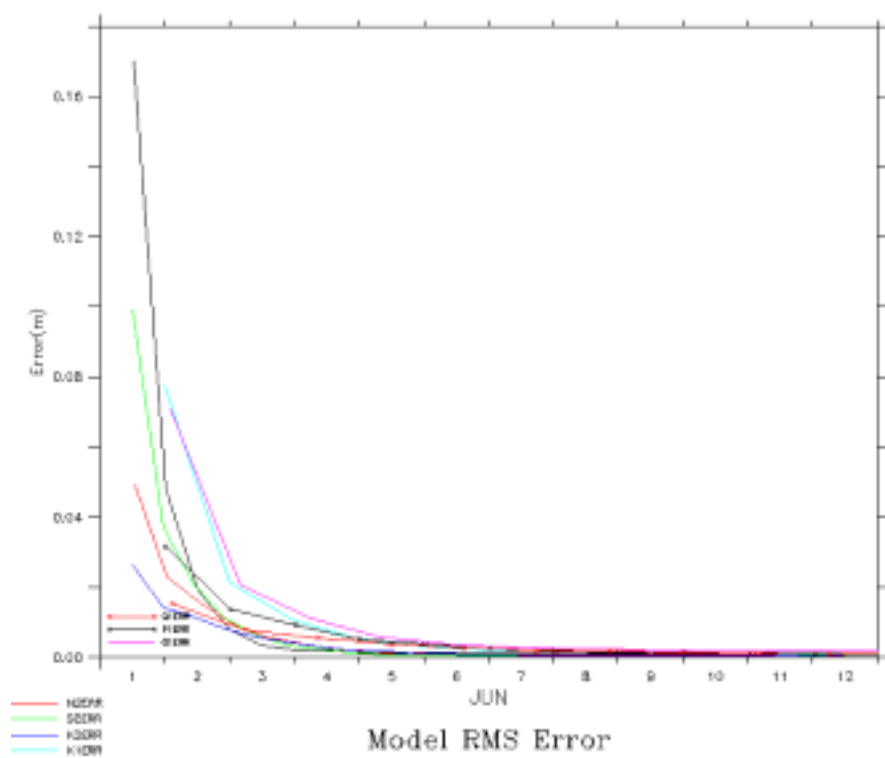


圖 4.1-2 天文潮模式各分潮收斂情形

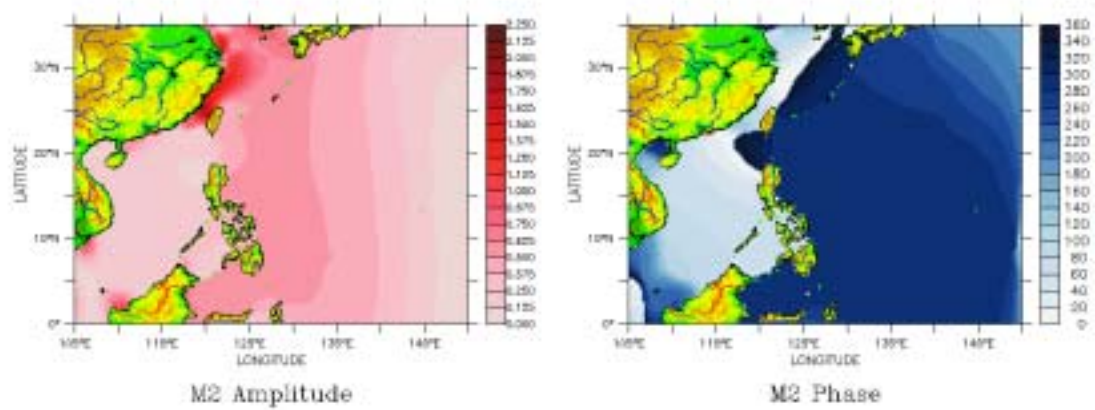


圖 4.1-3 天文潮模式主要分潮 M2 之振幅與遲角分布

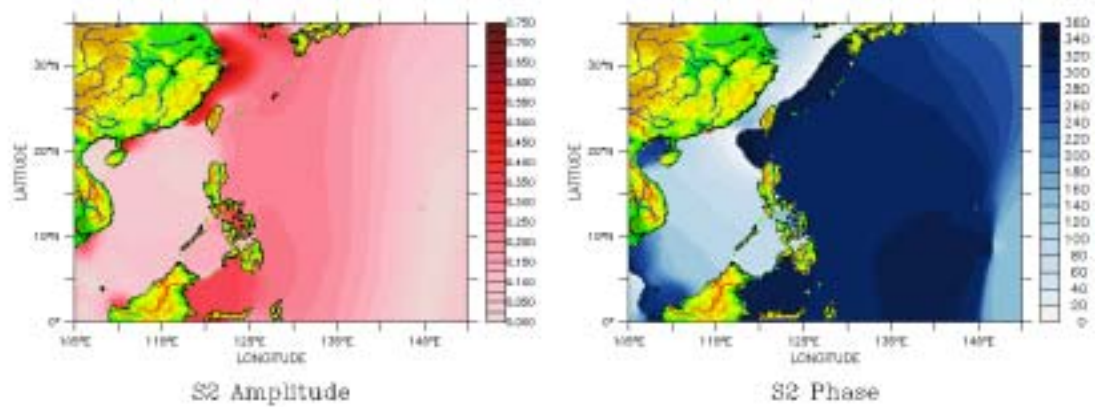


圖 4.1-4 天文潮模式主要分潮 S2 之振幅與遲角分布

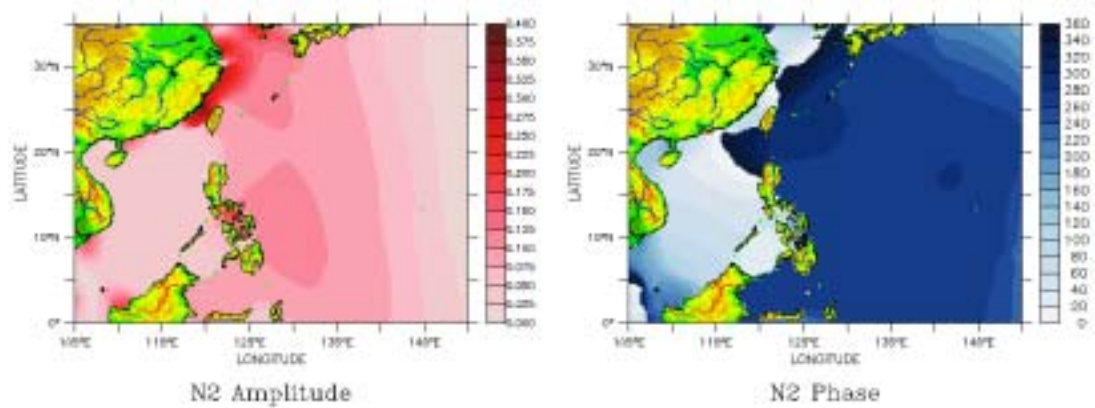


圖 4.1-5 天文潮模式主要分潮 N2 之振幅與遲角分布

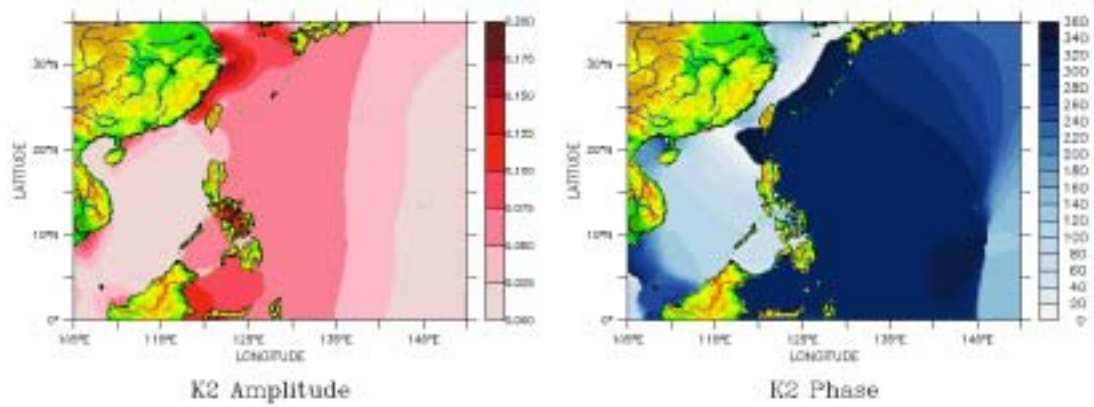


圖 4.1-6 天文潮模式主要分潮 K2 之振幅與遲角分布

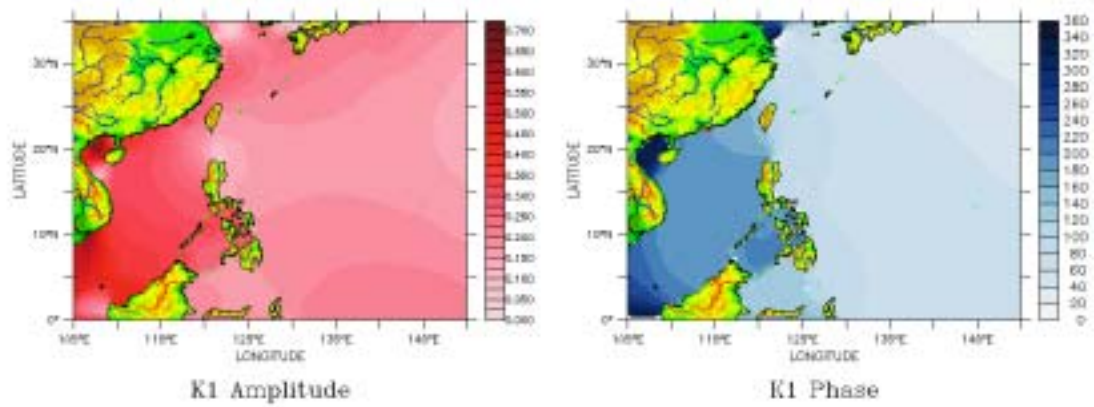


圖 4.1-7 天文潮模式主要分潮 K1 之振幅與遲角分布

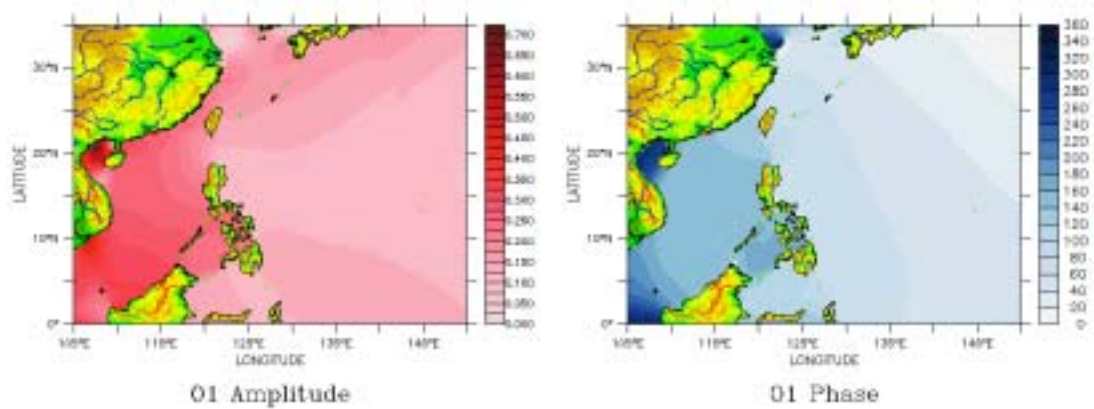


圖 4.1-8 天文潮模式主要分潮 O1 之振幅與遲角分布



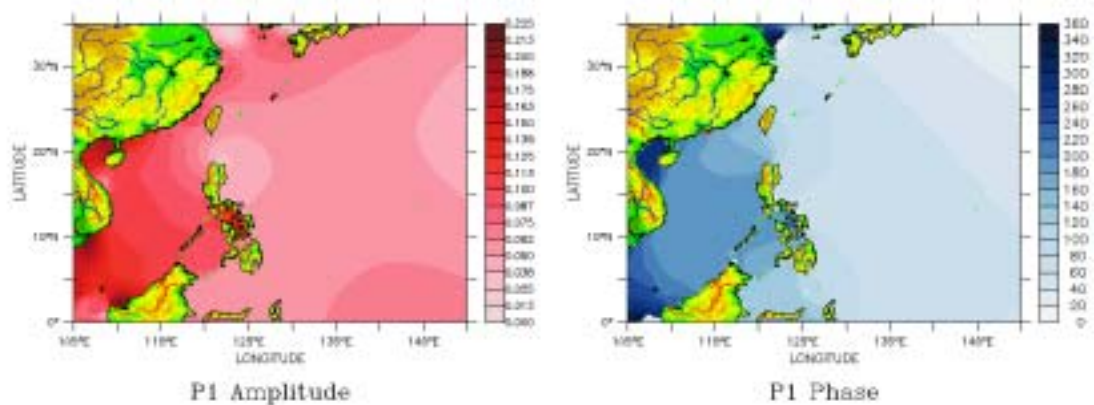


圖 4.1-9 天文潮模式主要分潮 P1 之振幅與遲角分布

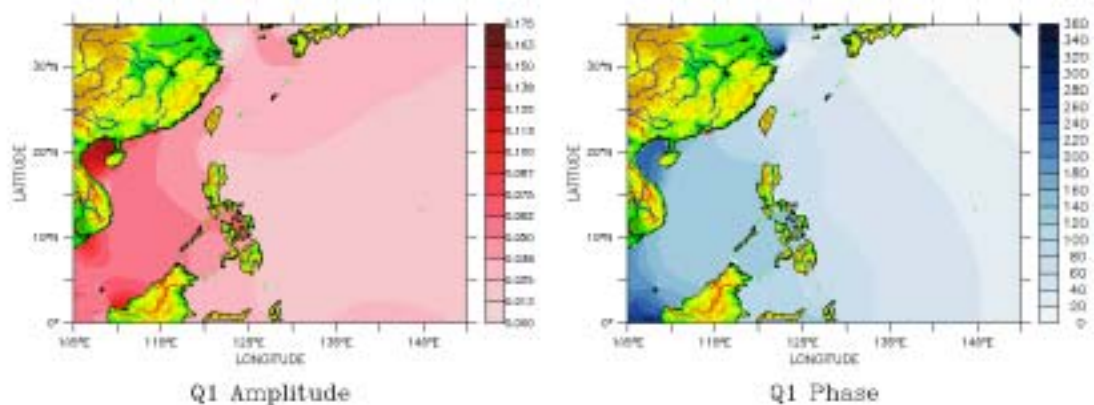


圖 4.1-10 天文潮模式主要分潮 Q1 之振幅與遲角分布

根據式 4-1.7 可計算模式中各分潮與實測資料之差異，蒐集本所港研中心資料包含 2001 至 2004 年，為了比較各港口模式結果，資料的部分以年作為單位進行分析，基本上利用全年資料作為調和分析的輸入，但某些測站點並無全年資料亦或資料品質不佳，將予以剔除以維持分析結果品質，大致上所有港口測站至少可分出 39 個分潮，如有全年資料可分出 61 個分潮，2004 年由於中心資料未齊全，台北港與安平港的資料短缺，另外，為了補足 2004 年資料長度不足（僅 6~8 月），另引自中央氣象局 6~8 月台灣沿岸資料可供模式比對，另一方面亦可利用該資料進行實際測站暴潮偏差的計算。表 4.1-1 為本所港研中心 7 個港口各年之資料密度與調和分析後所得之分潮數量統計，2004 年氣象局資料因僅有三個月，所能分出分潮數量為 39 個。圖 4.1-11 至 4.1-18 為模式與 7 個港口各年資料之各分潮比較結果，氣象局資料調和分析的結果比較則於圖 4.1-19 至 4.1-26 展示，利用式 4-1.7 計算之各年  $d$  值變化則整理於表 4.1-2，氣象局資料  $d$  值分布則於表 4.1-3。

表 4.1-1 港研中心各年水位資料長度與調和分析所得分潮數量

|    | 資料長度（月） |      |      |      | 分潮數量（個） |      |      |      |
|----|---------|------|------|------|---------|------|------|------|
| 時間 | 2001    | 2002 | 2003 | 2004 | 2001    | 2002 | 2003 | 2004 |
| 基隆 | 8~12    | 8~9  | 1~12 | 6~8  | 39      | 39   | 61   | 39   |
| 台北 | 1~11    | 4~12 | 1~10 | X    | 61      | 61   | 61   | X    |
| 安平 | 1~12    | 4~12 | 1~12 | X    | 61      | 61   | 61   | X    |
| 高雄 | 1~12    | 1~12 | 6~12 | 6~8  | 61      | 61   | 61   | 39   |
| 花蓮 | 1~12    | 1~12 | 3~10 | 6~8  | 61      | 61   | 61   | 39   |
| 蘇澳 | 1~12    | 1~12 | 6~12 | 6~8  | 61      | 61   | 61   | 39   |
| 台中 | 4~12    | 1~12 | 1~12 | 6~8  | 61      | 61   | 61   | 39   |

表 4.1-2 各分潮於不同測站模式計算與實測之調和常數差異值 d 歷年變化

| 各測站代碼與位置 |          |       |      | M2    |       |       |       | S2    |       |       |       |
|----------|----------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| No.      | 測站代碼     | 經度    | 緯度   | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  |
| 1        | 基隆<br>KL | 121.8 | 25.4 | 0.423 | 0.411 | 0.407 | 0.415 | 0.106 | 0.101 | 0.103 | 0.089 |
| 2        | 台北<br>TP | 121.3 | 25.2 | 0.337 | 0.400 | 0.317 | X     | 0.109 | 0.117 | 0.116 | X     |
| 3        | 安平<br>AP | 120.0 | 23.0 | 0.198 | 0.128 | 0.135 | X     | 0.041 | 0.003 | 0.004 | X     |
| 4        | 高雄<br>KH | 120.2 | 22.6 | 0.365 | 0.357 | 0.437 | 0.014 | 0.152 | 0.154 | 0.096 | 0.052 |
| 5        | 花蓮<br>HL | 121.7 | 24.0 | 0.007 | 0.031 | 0.028 | 0.036 | 0.107 | 0.112 | 0.109 | 0.099 |
| 6        | 蘇澳<br>SA | 121.9 | 24.7 | 0.055 | 0.042 | 0.051 | 0.036 | 0.112 | 0.111 | 0.111 | 0.097 |
| 7        | 台中<br>TC | 120.4 | 24.3 | 0.107 | 0.152 | 0.162 | 0.121 | 0.127 | 0.107 | 0.126 | 0.089 |



表 4.1-2 (續) 各分潮於不同測站模式計算與實測之調和常數差異值 d 歷年變化

| 各測站代碼與位置 |    |    |       |      | N2    |       |       |       | K2    |       |       |       |
|----------|----|----|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| No.      | 測站 | 代碼 | 經度    | 緯度   | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  |
| 1        | 基隆 | KL | 121.8 | 25.4 | 0.066 | 0.066 | 0.063 | 0.066 | 0.034 | 0.033 | 0.037 | 0.034 |
| 2        | 台北 | TP | 121.3 | 25.2 | 0.103 | 0.114 | 0.086 | X     | 0.023 | 0.037 | 0.007 | X     |
| 3        | 安平 | AP | 120.0 | 23.0 | 0.044 | 0.026 | 0.025 | X     | 0.031 | 0.014 | 0.015 | X     |
| 4        | 高雄 | KH | 120.2 | 22.6 | 0.062 | 0.067 | 0.110 | 0.058 | 0.033 | 0.034 | 0.054 | 0.047 |
| 5        | 花蓮 | HL | 121.7 | 24.0 | 0.113 | 0.101 | 0.109 | 0.109 | 0.003 | 0.004 | 0.002 | 0.026 |
| 6        | 蘇澳 | SA | 121.9 | 24.7 | 0.089 | 0.093 | 0.093 | 0.099 | 0.006 | 0.005 | 0.007 | 0.024 |
| 7        | 台中 | TC | 120.4 | 24.3 | 0.178 | 0.215 | 0.212 | 0.208 | 0.026 | 0.020 | 0.038 | 0.078 |

表 4.1-2 (續) 各分潮於不同測站模式計算與實測之調和常數差異值 d 歷年變化

| 各測站代碼與位置 |    |    |       |      | K1    |       |       |       | O1    |       |       |       |
|----------|----|----|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| No.      | 測站 | 代碼 | 經度    | 緯度   | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  |
| 1        | 基隆 | KL | 121.8 | 25.4 | 0.031 | 0.021 | 0.025 | 0.025 | 0.031 | 0.022 | 0.020 | 0.021 |
| 2        | 台北 | TP | 121.3 | 25.2 | 0.027 | 0.032 | 0.028 | X     | 0.022 | 0.024 | 0.023 | X     |
| 3        | 安平 | AP | 120.0 | 23.0 | 0.066 | 0.035 | 0.038 | X     | 0.059 | 0.035 | 0.035 | X     |
| 4        | 高雄 | KH | 120.2 | 22.6 | 0.169 | 0.167 | 0.015 | 0.043 | 0.113 | 0.111 | 0.103 | 0.028 |
| 5        | 花蓮 | HL | 121.7 | 24.0 | 0.014 | 0.019 | 0.013 | 0.019 | 0.005 | 0.013 | 0.005 | 0.010 |
| 6        | 蘇澳 | SA | 121.9 | 24.7 | 0.023 | 0.021 | 0.022 | 0.032 | 0.016 | 0.016 | 0.018 | 0.017 |
| 7        | 台中 | TC | 120.4 | 24.3 | 0.033 | 0.021 | 0.019 | 0.007 | 0.030 | 0.011 | 0.014 | 0.013 |

表 4.1-2 (續) 各分潮於不同測站模式計算與實測之調和常數差異值 d 歷年變化

| 各測站代碼與位置 |    |    |       |      | P1    |       |       |       | Q1    |       |       |       |
|----------|----|----|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| No.      | 測站 | 代碼 | 經度    | 緯度   | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  |
| 1        | 基隆 | KL | 121.8 | 25.4 | 0.006 | 0.009 | 0.001 | 0.006 | 0.005 | 0.014 | 0.003 | 0.002 |
| 2        | 台北 | TP | 121.3 | 25.2 | 0.003 | 0.008 | 0.015 | X     | 0.011 | 0.010 | 0.006 | X     |
| 3        | 安平 | AP | 120.0 | 23.0 | 0.031 | 0.016 | 0.013 | X     | 0.021 | 0.008 | 0.009 | X     |
| 4        | 高雄 | KH | 120.2 | 22.6 | 0.048 | 0.052 | 0.043 | 0.035 | 0.021 | 0.020 | 0.171 | 0.016 |
| 5        | 花蓮 | HL | 121.7 | 24.0 | 0.010 | 0.007 | 0.004 | 0.006 | 0.002 | 0.002 | 0.001 | 0.005 |
| 6        | 蘇澳 | SA | 121.9 | 24.7 | 0.006 | 0.006 | 0.014 | 0.017 | 0.004 | 0.004 | 0.003 | 0.016 |
| 7        | 台中 | TC | 120.4 | 24.3 | 0.005 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.005 | 0.010 | 0.008 | 0.007 |

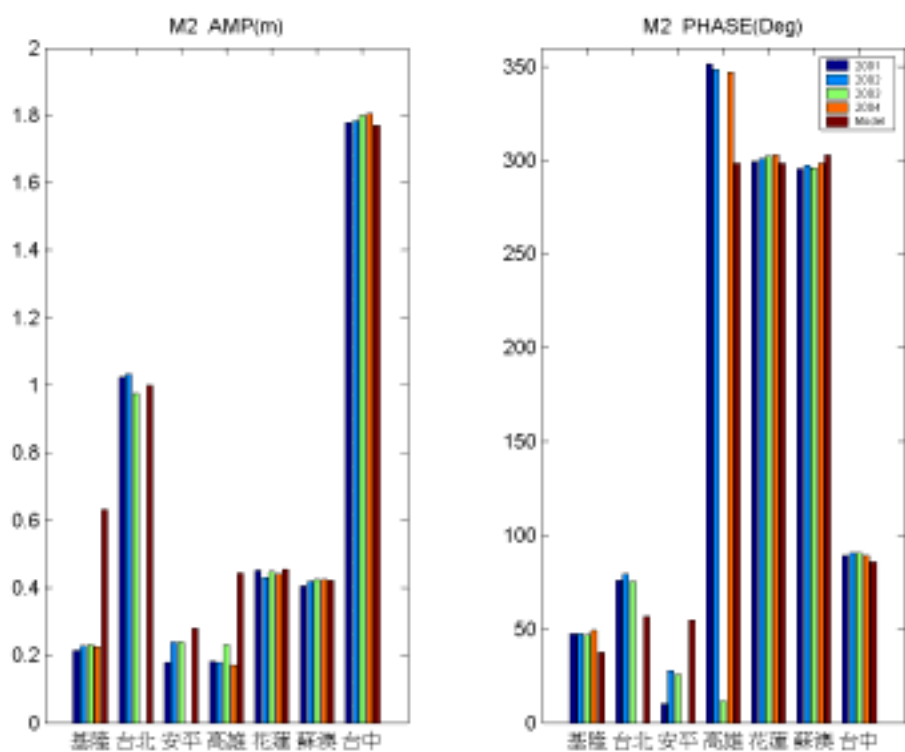


圖 4.1-11 各港口實測與模式分年 M2 調和常數比較

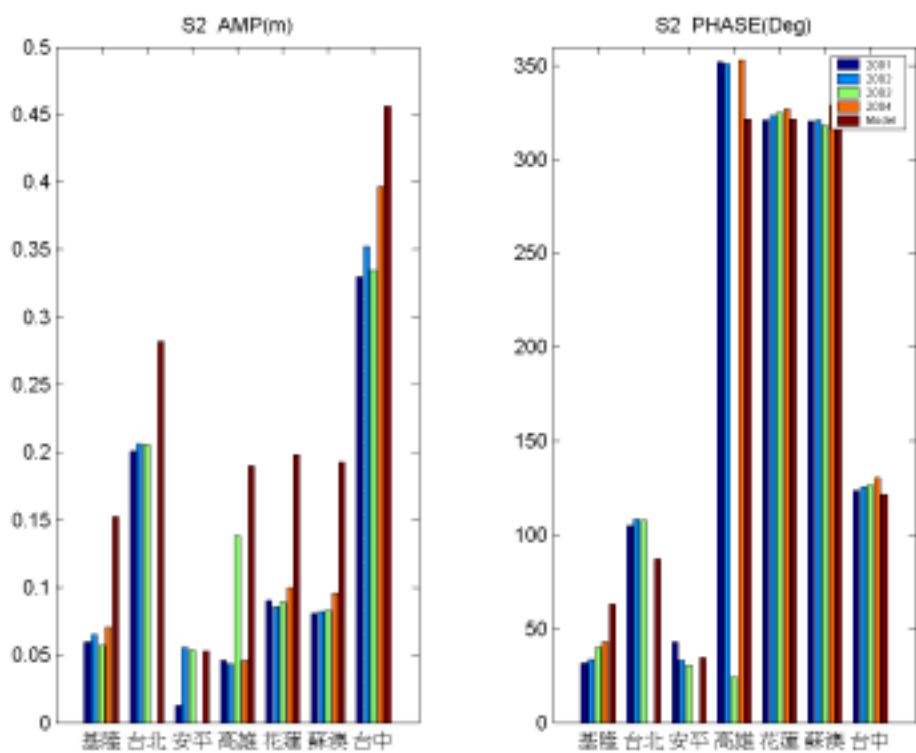


圖 4.1-12 各港口實測與模式分年 S2 調和常數比較

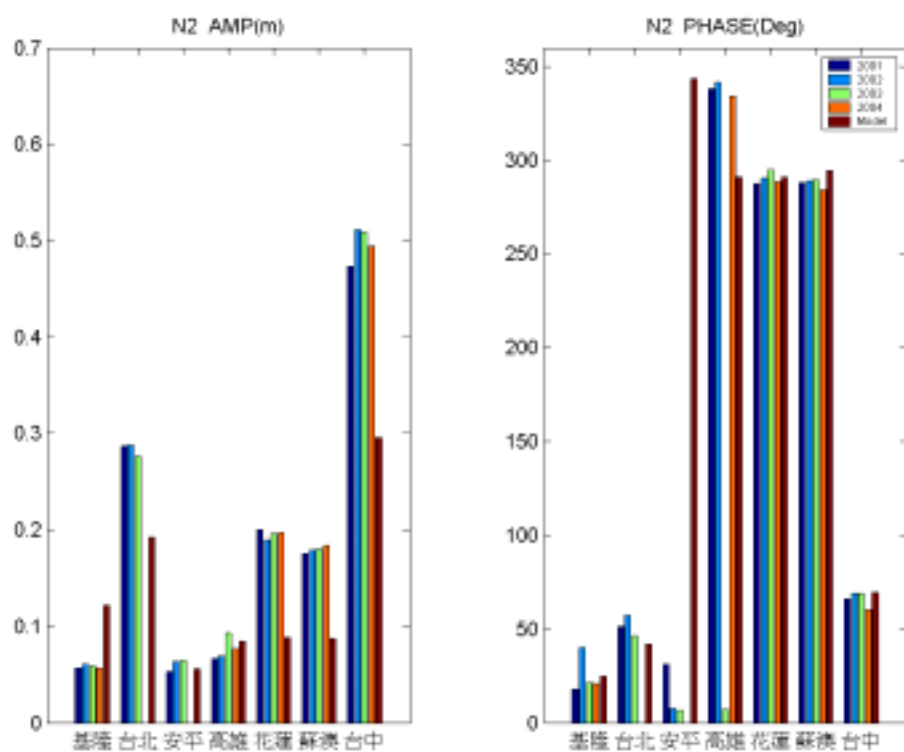


圖 4.1-13 各港口實測與模式分年 N2 調和常數比較

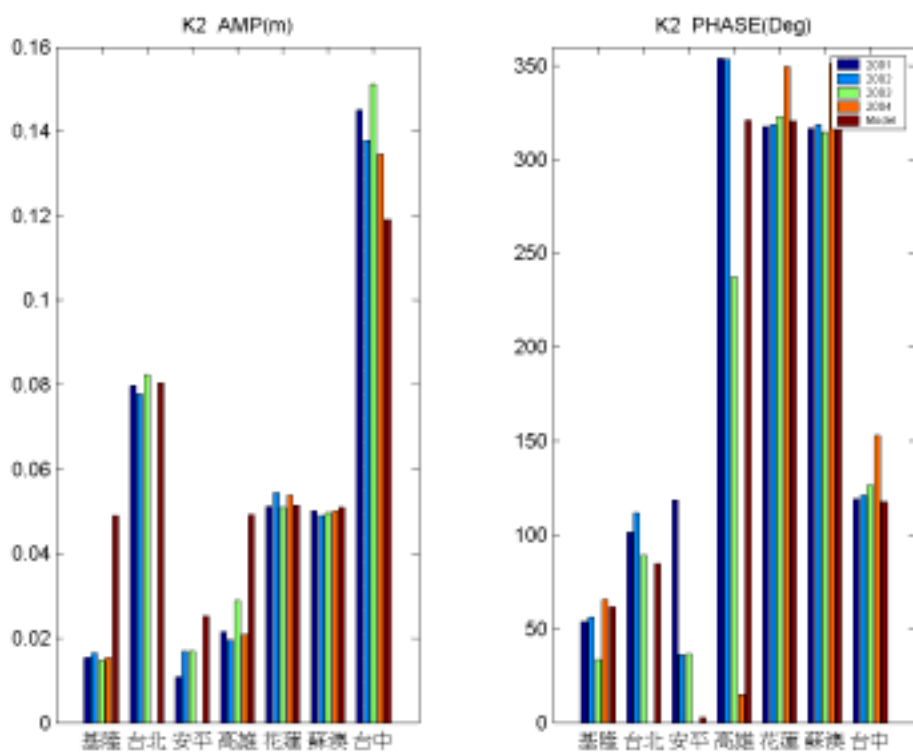


圖 4.1-14 各港口實測與模式分年 K2 調和常數比較

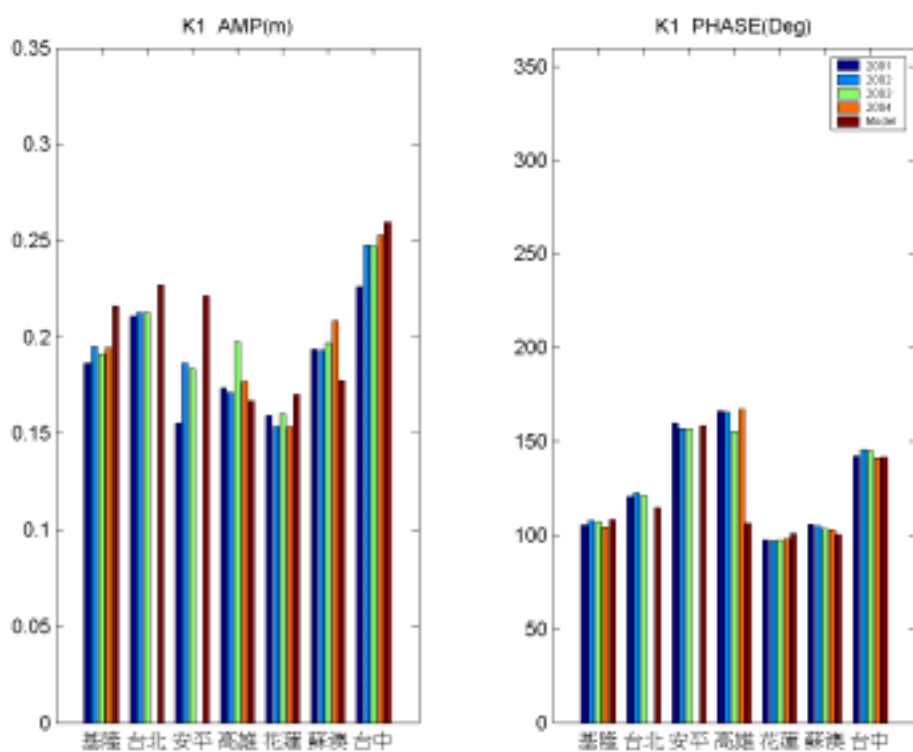


圖 4.1-15 各港口實測與模式分年 K1 調和常數比較

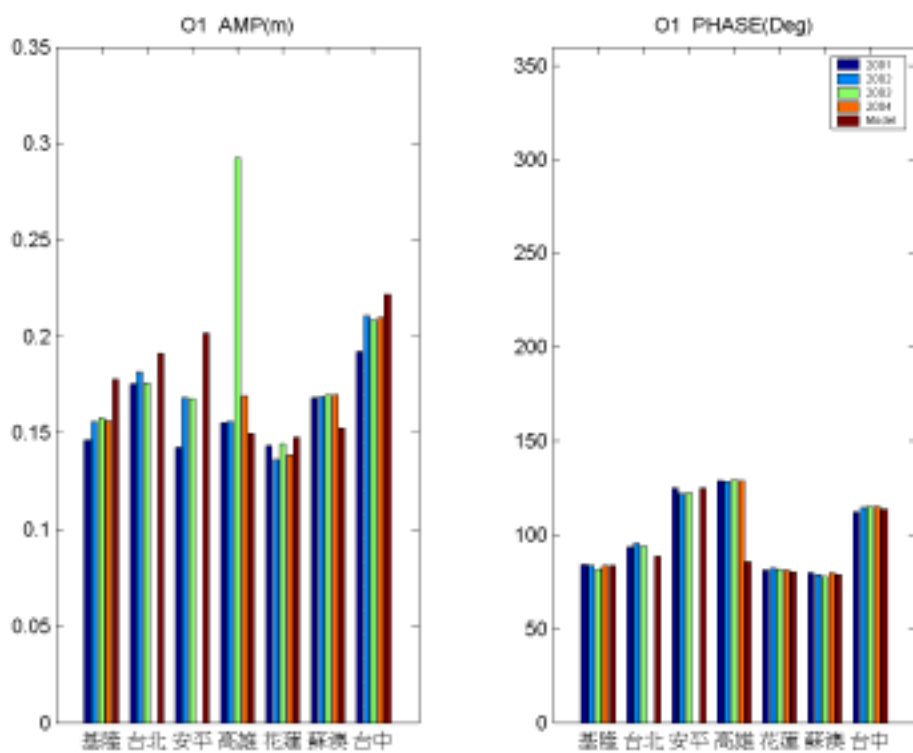


圖 4.1-16 各港口實測與模式分年 O1 調和常數比較

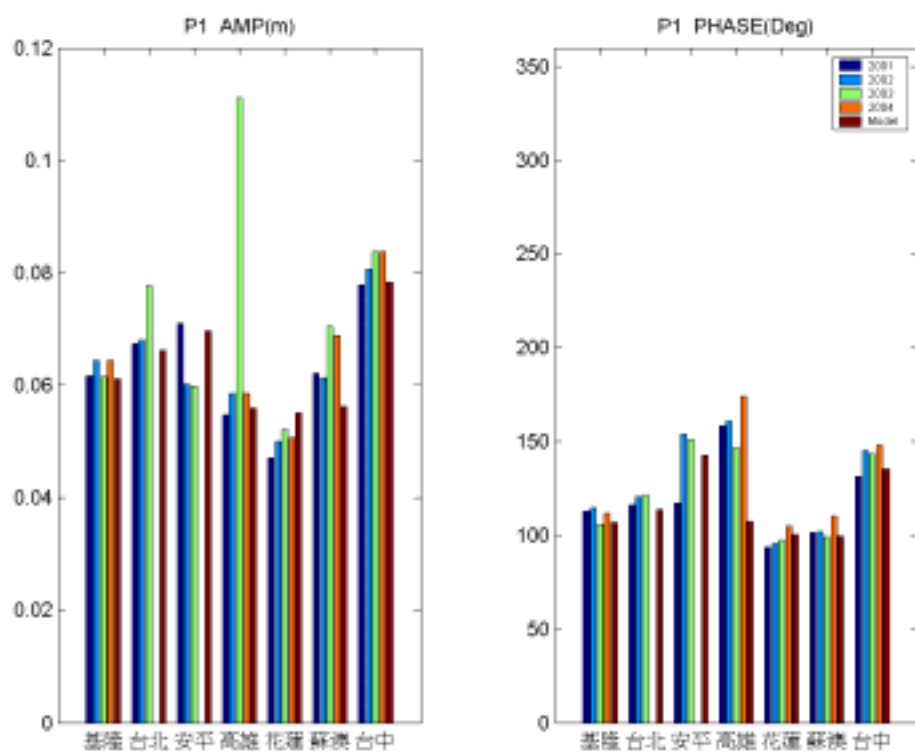


圖 4.1-17 各港口實測與模式分年 P1 調和常數比較

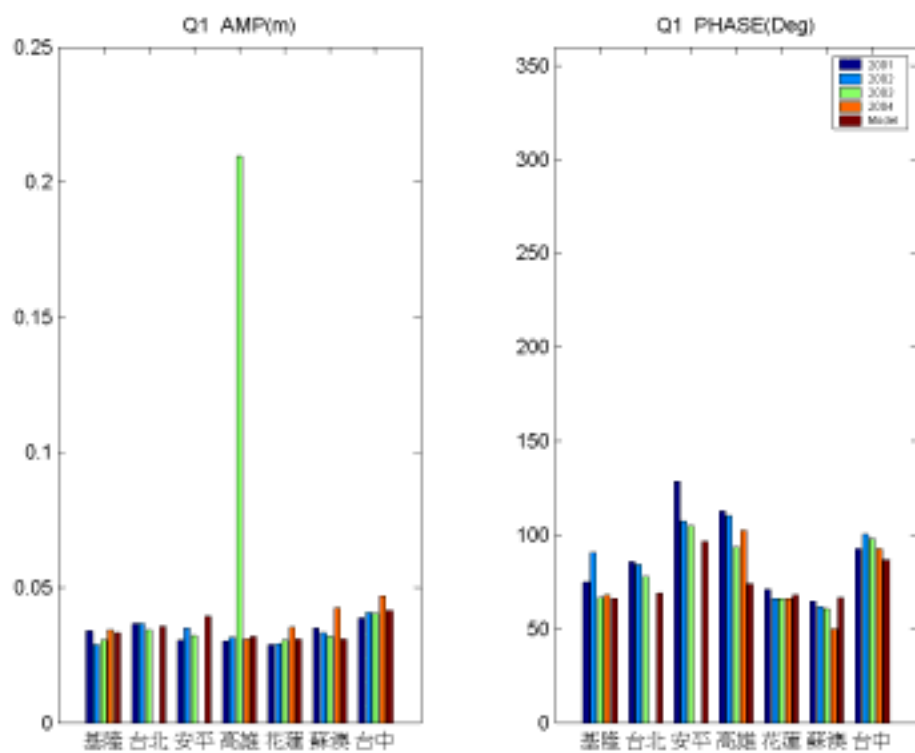


圖 4.1-18 各港口實測與模式分年 Q1 調和常數比較

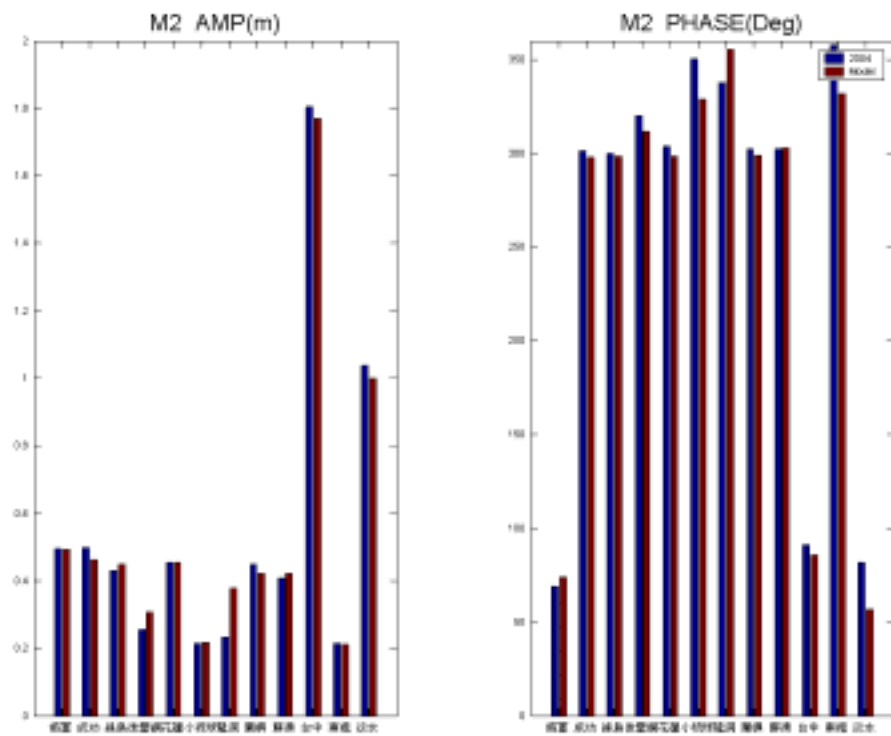


圖 4.1-19 氣象局測站實測與模式 M2 調和常數比較

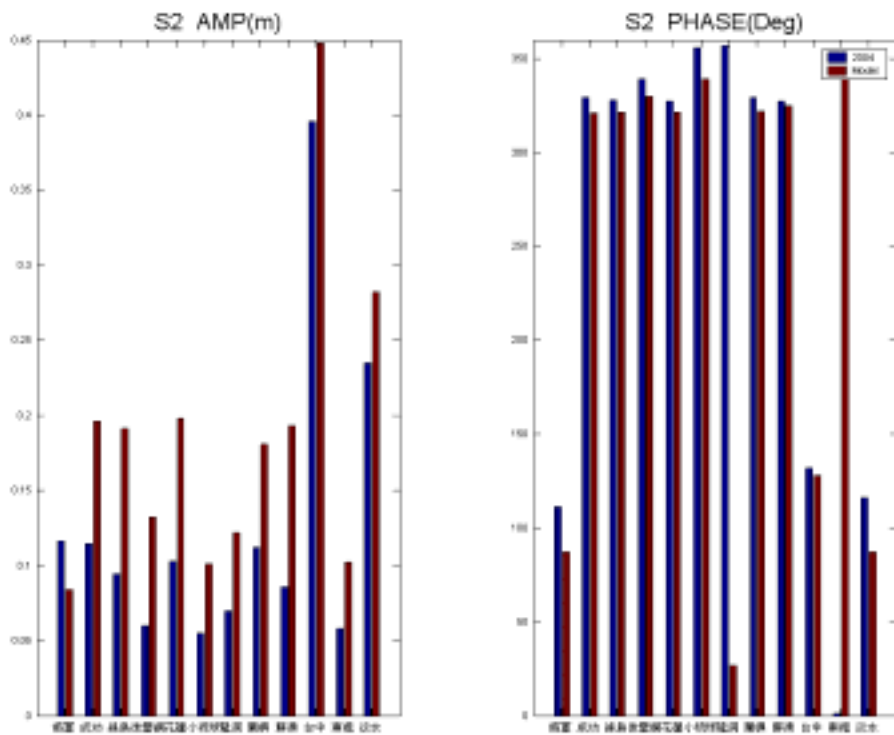


圖 4.1-20 氣象局測站實測與模式 S2 調和常數比較

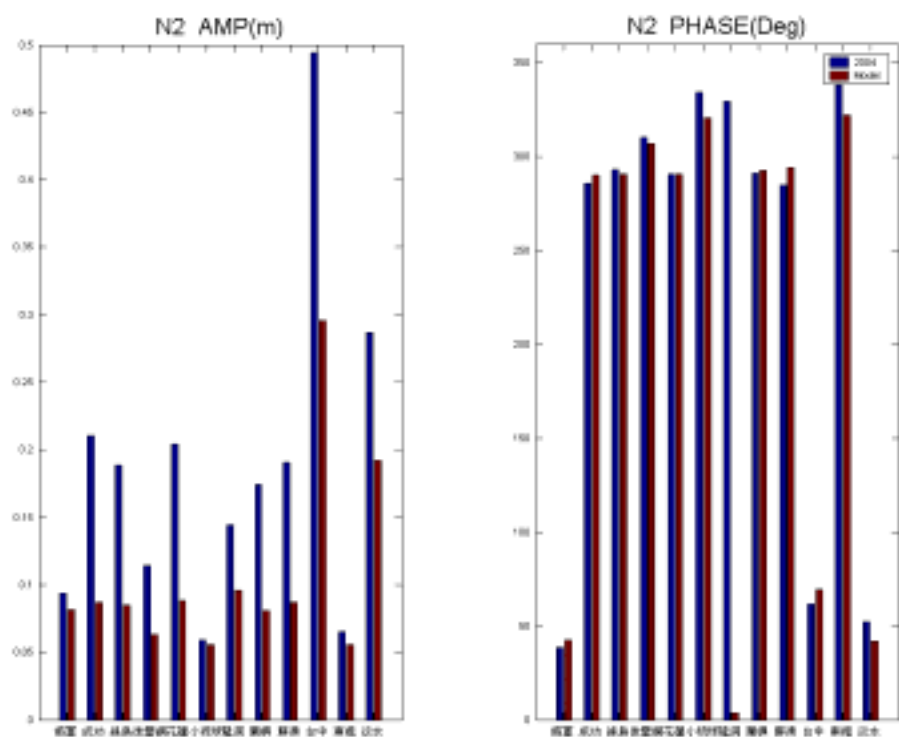


圖 4.1-21 氣象局測站實測與模式 N2 調和常數比較

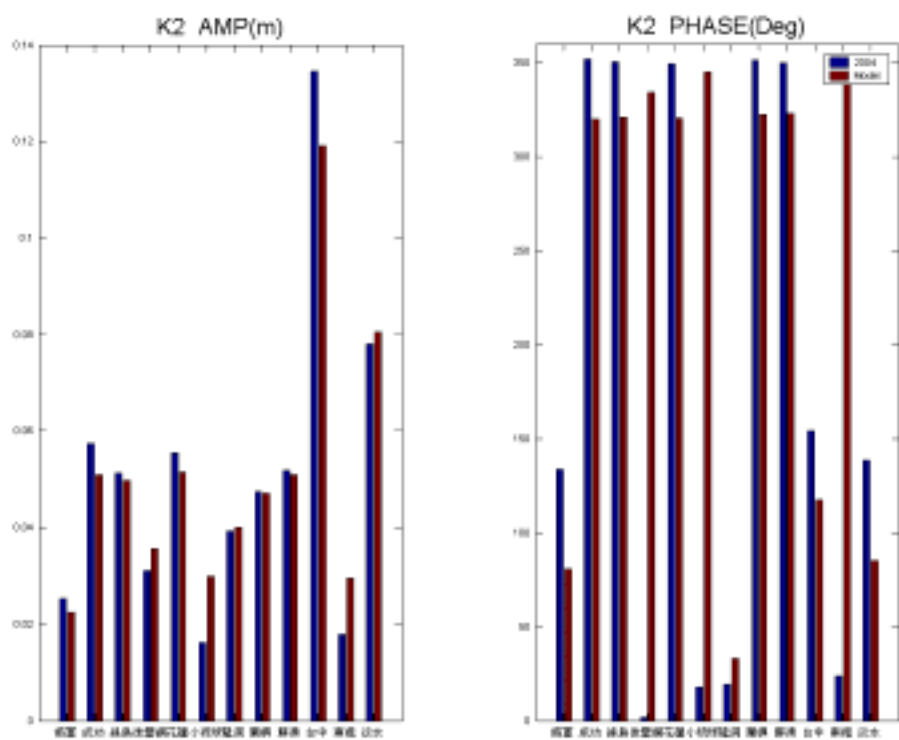


圖 4.1-22 氣象局測站實測與模式 K2 調和常數比較



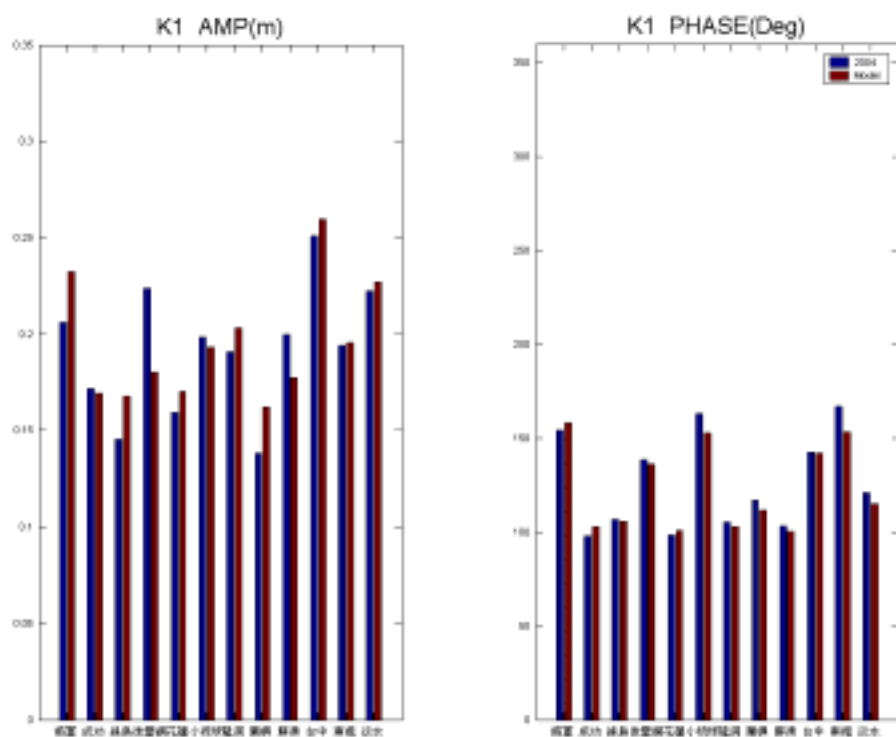


圖 4.1-23 氣象局測站實測與模式 K1 調和常數比較

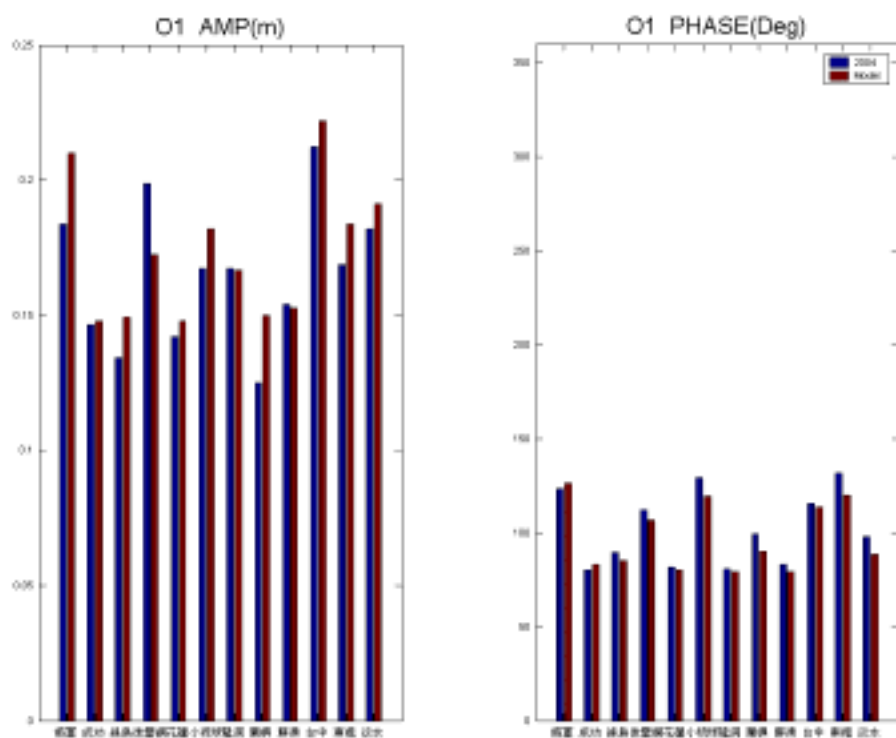


圖 4.1-24 氣象局測站實測與模式 O1 調和常數比較

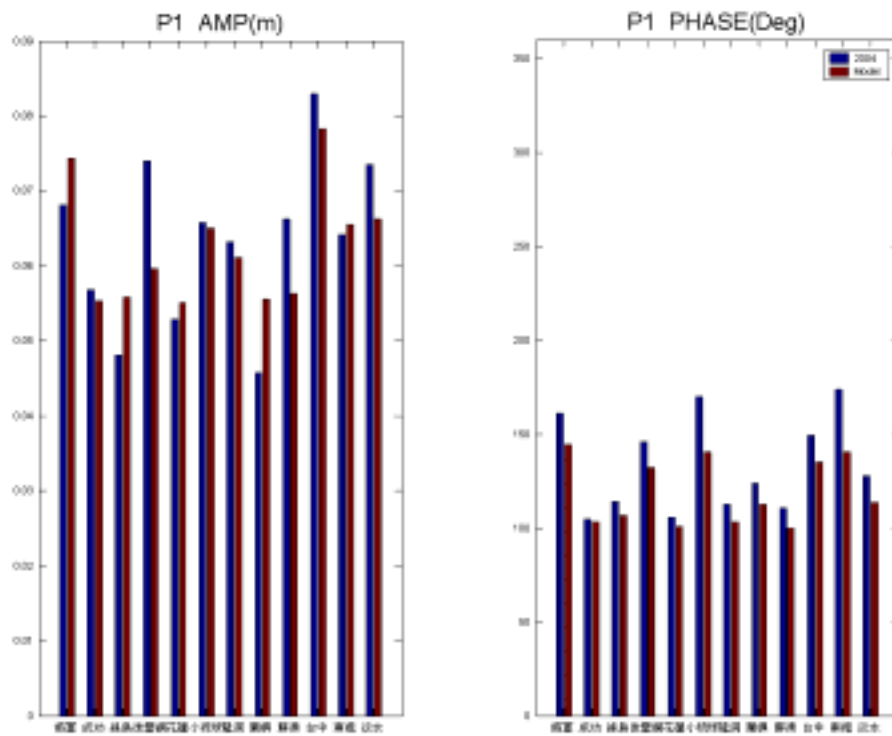


圖 4.1-25 氣象局測站實測與模式 P1 調和常數比較

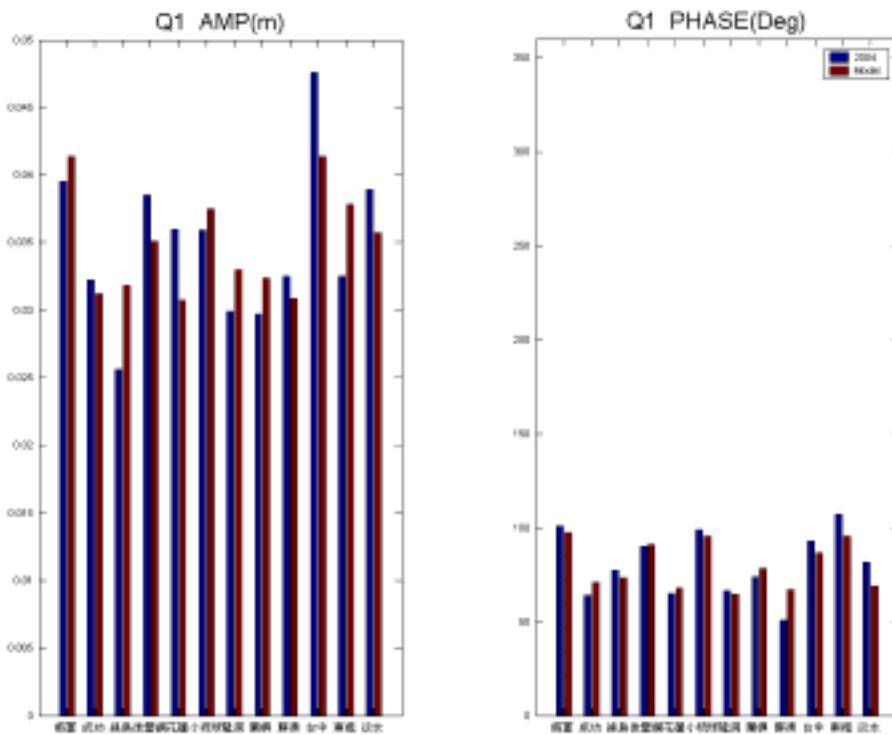


圖 4.1-26 氣象局測站實測與模式 Q1 調和常數比較

表 4.1-3 各分潮於不同測站模式計算與實測之調和常數差異值 d

| No. | 測站  | 經度     | 緯度   | M2    | S2    | N2    | K2    | K1    | O1    | P1    | Q1    |
|-----|-----|--------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1   | 將軍  | 120.1  | 23.2 | 0.041 | 0.052 | 0.013 | 0.021 | 0.031 | 0.028 | 0.022 | 0.003 |
| 2   | 成功  | 121.4  | 23.1 | 0.044 | 0.084 | 0.124 | 0.030 | 0.015 | 0.007 | 0.002 | 0.004 |
| 3   | 綠島  | 121.5  | 22.7 | 0.022 | 0.098 | 0.104 | 0.026 | 0.023 | 0.018 | 0.010 | 0.007 |
| 4   | 後壁湖 | 120.8  | 21.9 | 0.066 | 0.074 | 0.052 | 0.016 | 0.044 | 0.032 | 0.021 | 0.003 |
| 5   | 花蓮  | 121.65 | 24.0 | 0.040 | 0.096 | 0.116 | 0.027 | 0.013 | 0.007 | 0.005 | 0.006 |
| 6   | 小琉球 | 120.4  | 22.4 | 0.080 | 0.051 | 0.014 | 0.019 | 0.036 | 0.032 | 0.034 | 0.003 |
| 7   | 龍洞  | 122.0  | 25.1 | 0.170 | 0.071 | 0.084 | 0.010 | 0.015 | 0.004 | 0.010 | 0.003 |
| 8   | 蘭嶼  | 121.5  | 22.1 | 0.038 | 0.072 | 0.094 | 0.024 | 0.027 | 0.034 | 0.014 | 0.004 |
| 9   | 蘇澳  | 121.9  | 24.6 | 0.014 | 0.108 | 0.106 | 0.024 | 0.024 | 0.011 | 0.015 | 0.009 |
| 10  | 台中  | 120.6  | 24.3 | 0.171 | 0.058 | 0.205 | 0.081 | 0.009 | 0.012 | 0.021 | 0.008 |
| 11  | 東港  | 120.5  | 22.5 | 0.097 | 0.053 | 0.019 | 0.019 | 0.047 | 0.040 | 0.037 | 0.009 |
| 12  | 淡水  | 121.4  | 25.2 | 0.445 | 0.138 | 0.103 | 0.072 | 0.023 | 0.032 | 0.019 | 0.009 |

#### 4.1.3結果討論

天文潮模式的結果校驗需依據實際測站資料來做調整，在經過適當的調整邊界設定後，模式與實測結果經由調和分析比對台灣沿岸 7 個港口測站之調和常數差異可由表 4.1-2 清楚得知，大致上來說，

其差異（d 值）不超過 5 公分，顯示模式經由調整後邊界驅動的結果大致良好，就主要分潮 M2 與 K1 而言，高雄與基隆差異值較大，同時可由圖 4.1-11~18 可得知，大部分的實測分潮與模式結果相當，但高雄與基隆的分潮振幅差異最大可達兩倍（M2、S2），由於受到地形變化較大影響，在大範圍模式中不易得到類似結果，將藉由小範圍高解析度模式的建立來彌補。另外，2003 年高雄測站資料分析結果異於其餘年份，同年其餘測站並無相同情形，可能是資料本身品質問題，該結果在進行潮位重組時將予以剔除，以其餘年份代替。氣象局資料部分，主要分潮 M2 大致符合，淡水測站由於遲角偏差較大使得差異較大，模式 S2、N2 分潮普遍較大，由於氣象局資料僅購買颱風期間月份，資料長度較為不足，分析結果無法完整代表潮汐特性，未來尚待取得較為長期潮位紀錄以進行分析，目前所有實測潮位資料，紀錄密度均為每小時一筆，地形或天候產生之高頻複合現象，並無法完整表現，未來亦期待取得原始資料，方能進行分析高頻的潮汐行為。

## 4.2 全域暴潮模式

### 4.2.1 模式理論介紹

風暴潮主要是由氣象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，完全根據當時的氣象狀況產生，其中影響最大的氣象因素就是風在海面產生的剪力及海面氣壓不同產生的抬昇，而在近岸地區又受到地形及底床的交互作用影響，增加風暴潮的水位變化。風暴潮依其產生的氣象條件可分為熱帶風暴潮及溫帶風暴潮。熱帶風暴潮，主要由颱風所產生的，由於颱風是低氣壓，本身所挾帶的風速相當強，再加上颱風擁有相當大的暴風半徑，影響的範圍極大，所以產生的風暴潮也比較強，但是此風暴潮的特性完全取決於颱風的路徑與影響時間；溫帶風暴潮則是以季風所產生的水位變化為主，由於季風的風速比起颱風要小的很多，所以產生的風暴潮強度比較弱，但是季風持續的時間短則一兩個月，長則可達半年，所以累積影響的時間較颱風產生的要長很多，另外影響的範圍也比颱風大很多。

風暴潮的水位計算有兩種方式，分別為經驗公式及數值模式。由於以前的電腦運算能力有限，所以利用長期的水位資料分析推導水位

變化經驗公式，來求得風暴潮的水位變化，歐洲在早期亦曾使用區域關聯模式來提供風暴潮的早期預警。這些方法的優點是不需要大量的計算，所以幾乎是可以同步提供預警，但是亦有其限制，無法提供全面海域的水位變化情形，關聯模式又必須有許多同步的水位觀測站連結方得以提供預報，若需海面的水位變化，則需使用多點的水位資料分別求出其水位變化經驗公式，然後比較個點的關係，亦可預報風暴潮時各點的變化，但是此法最大的限制一方面是在推算點必須有長期的觀測資料，另一方面由於這些方法是屬於經驗公式，還是無法掌握全部的預測，一般來說準確率不及五成。在 1980 年代電腦科技的興起，利用數值模式來計算風暴潮期間的水位變化的程式漸漸開始出現，初期由於電腦的計算量不夠大，對水動力的數值解析方法的發展也缺乏經驗，所以傳統的計算方式皆是天文潮與氣象潮分開計算，而且氣象潮的計算多以風場的影響為主，大氣壓力的影響經常是被忽略的。天文潮的預報大多以調和分析之結果當作邊界，求得模式內各處的水位變化；風暴潮部分則是僅輸入氣象條件（氣壓場與風場），不包含天文潮的影響，求得只有風及壓力產生的水位變化，以得到暴潮偏差為主，水位預報則是將天文潮與風暴潮算出之水位線性疊加，以此算出的水位變化並沒有考慮到風暴潮與天文潮之間的相互影響，但是由於不需考慮與天文潮波的互動關係，計算上也較為快速，所以在潮差不大或是大陸棚海域較短的區域（如美國東西岸海域），仍然是風暴潮預報的主要方法。以下為風暴潮基本公式，以球面座標表示：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{R \cos \phi} \frac{\partial u}{\partial \chi} + \frac{v}{R} \frac{\partial u}{\partial \phi} - \frac{uv \tan \phi}{R} - v(2\omega \sin \phi) = -\frac{g}{R \cos \phi} \frac{\partial \zeta}{\partial \chi} - \frac{1}{\rho R \cos \phi} \frac{\partial p_a}{\partial \chi} - \frac{\tau_{bx} - \tau_{sx}}{\rho(h + \zeta)} \quad (4.2-1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{u}{R \cos \phi} \frac{\partial v}{\partial \chi} + \frac{v}{R} \frac{\partial v}{\partial \phi} - \frac{u^2 \tan \phi}{R} + u(2\omega \sin \phi) = -\frac{g}{R} \frac{\partial \zeta}{\partial \phi} - \frac{1}{\rho R} \frac{\partial p_a}{\partial \phi} - \frac{\tau_{bx} - \tau_{sx}}{\rho(h + \zeta)} \quad (4.2-2)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \phi} \left( \frac{\partial}{\partial \chi} (u(h + \zeta)) + \frac{\partial}{\partial \phi} ((h + \zeta)v \cos \phi) \right) = 0 \quad (4.2-3)$$

底層摩擦產生之剪力可寫為

$$\tau_{bx} = \rho k u \sqrt{u^2 + v^2}, \quad \tau_{by} = \rho k v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (4.2-4)$$

其中 k 為底床摩擦係數。

風於表層產生之剪力可寫為

$$\tau_{sx} = C_D \rho_a W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2}, \quad \tau_{sy} = C_D \rho_a W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad (4.2-5)$$

CD：拖曳係數

$\rho_a$ ：空氣密度

W<sub>x</sub>：x 方向風速

W<sub>y</sub>：y 方向風速

#### 4.2.2 模擬結果說明

本節利用不同路徑侵襲台灣的颱風所產生的暴潮來驗證模式適用性，根據歷年來（1897～2001 年）侵襲台灣之颱風，其路徑由中央氣象局之颱風路徑分類法，大致上可分為 9 種。考量實測資料來源與颱風路徑的代表性，一共選擇六個歷史颱風及兩個今年颱風：第二類路徑之 1996 年賀伯（Herb）颱風、第三類路徑之 2001 年桃芝（Toraji）颱風、第四類路徑之利奇馬（Lekima）颱風、第六類路徑之 1998 年瑞伯（Zeb）颱風、第七類路徑之奇比（Chebi）颱風、第八類路徑之 2001 年西馬隆（Cimaron）颱風、第五類路徑之 2003 年杜鵑（Dujuan）颱風、第一類路徑之 2003 年梵高（Vamco）颱風等。今將八個颱風進行模擬之結果，並與觀測資料比較說明如附錄 x 之圖 x-1 至圖 x.-52。另圖 4.2-1~4.2-4 為今年度敏督利及蘭寧颱風暴潮偏差與實測港口暴潮偏差比對圖。圖 4.2-1 及圖 4.2-2 為敏督利颱風其間花蓮港及蘇澳港的暴潮偏差比對圖。由比對圖可以發現比對的結果並不好，敏督利期間花蓮港的模擬結果只有在大小部分符合，趨勢與實際資料並不相同；而在蘇澳港的部分則可是模擬結果低於實測資料。在蘭寧颱風部分，由於路徑的關係，可以發現蘇澳港的比對結果叫花蓮港好，但仍然低估了暴潮偏差值，在趨勢方面也是蘇澳港的結果比花蓮港好。比對結果不佳的原因會於後節討論。

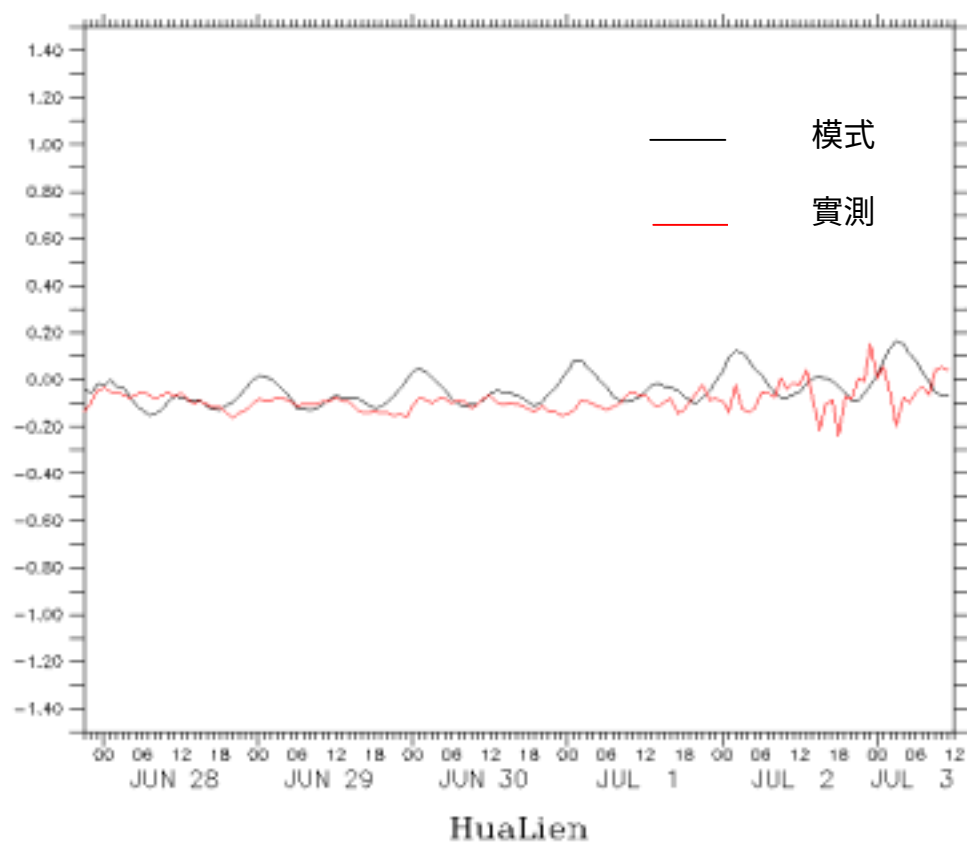


圖 4.2-1 敏督利颱風其間花蓮港暴潮偏差比對圖

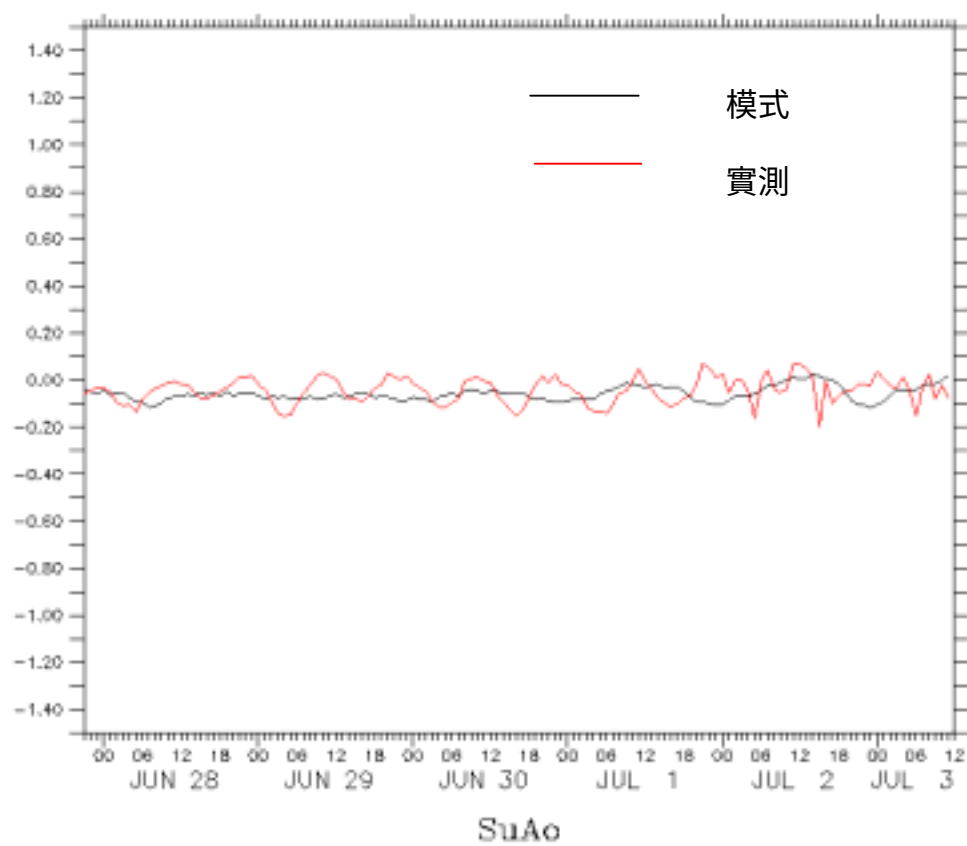


圖 4.2-2 敏督利颱風其間蘇澳港暴潮偏差比對圖

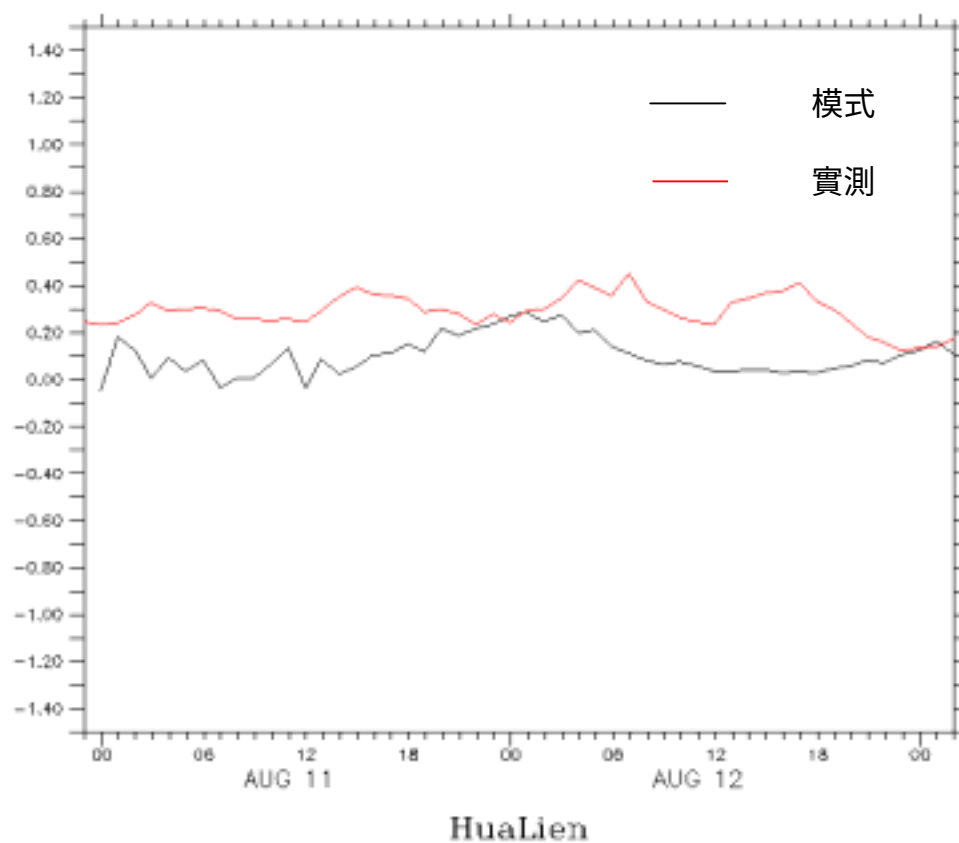


圖 4.2-3 蘭寧颱風其間花蓮港暴潮偏差比對圖

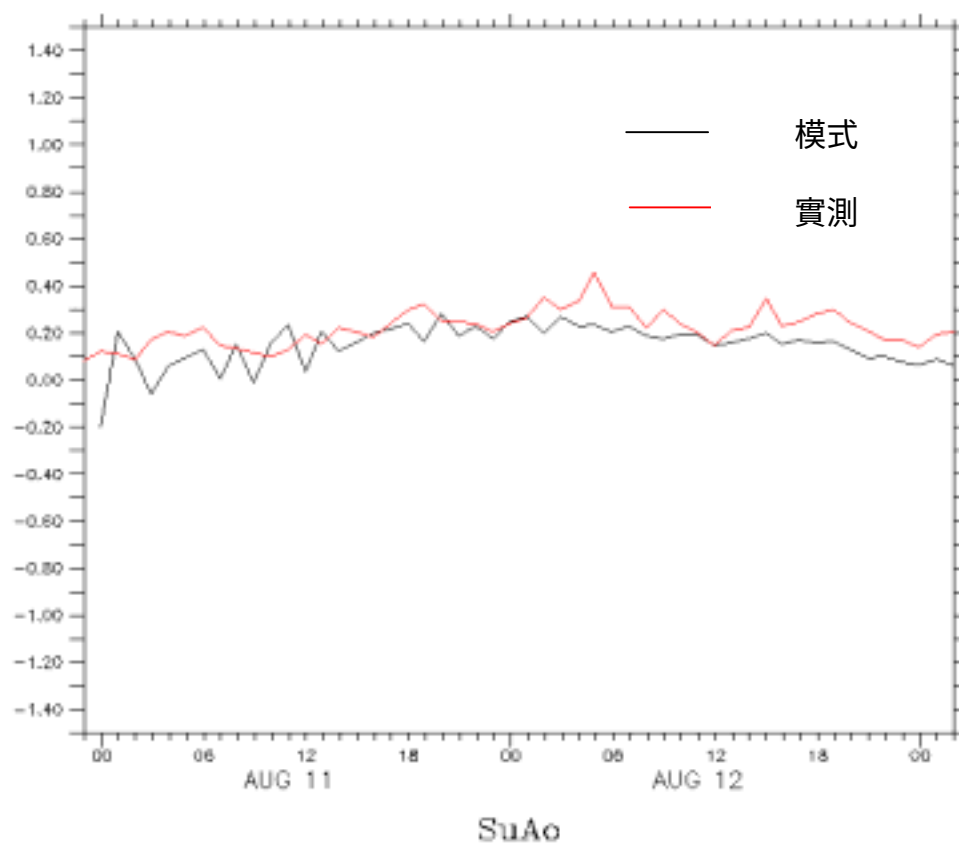


圖 4.2-4 蘭寧颱風其間蘇澳港暴潮偏差比對圖



### 4.2.3 討論與建議

綜合以上的模擬結果，對於暴潮偏差比對的不同，推測為以下幾個原因，第一個原因為颱風經過台灣陸地，造成結構的破壞，使得風速分佈與颱風模式的初始假設不合，同時也會影響路徑預報的精確性，再加上大尺度的網格解析度太粗，使得近岸的地形無法被精確的描繪出來，造成整個暴潮位的偏小，未來將模式解析度增加之後，可以得到更精確的暴潮偏差。

第二個原因則為 NOAA 預報風場的網格解析度過大，在台灣海峽內部只有一點兩點的風速資料，因此內插出來的風速雖然在趨勢上可以符合，但是在風速大小部分便無法有很好的結果，特別在近岸地區風速的內插更是明顯的偏小，下一年度若能引用中央氣象局更精細的動態風場預報資料，應會有更好的暴潮偏差模擬結果。

第三個原因為颱風暴風半徑的準確性，由於 NOAA 預報風場解析度過大，因此對於颱風風場的模擬往往無法得到風速的極值，颱風範圍內的風速都較實際量測值來的小，因此需要使用颱風模型來模擬颱風內部風場，取代 NOAA 預報風場的颱風範圍，此時颱風的暴風半徑準確性便相當的重要，若是預報半徑過大，會造成風速偏大，預報半徑過小則是風速不足，此情況對於暴潮偏差的模擬影響很大。

第四個原因為氣壓因素，由於本年度沒有辦法取得平面的氣壓場分佈，因此無法將氣壓的影響納入，導致暴潮偏差被低估，下一年度若能取得中央氣象局的平面預報氣壓場後，將能得到更準確的暴潮偏差結果。

第五個原因為分析暴潮偏差的方式，目前使用的方法為以實測水位減去調和分析的重組水位（取震幅超過一公分的分潮）得到，由於目前的潮位站大部分皆位於港區內，會受到地形的影響，因此使用此方式來分析，並無法將地形的影響去除得到單純的暴潮偏差，未來可以嘗試使用其他的分析方式如 EMD，以便可以得到更準確的暴潮偏差值。

## 4.3 全域水位模式

### 4.3.1 模式理論介紹

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，因此本年的目標除分別完成天文潮波與風暴潮預報模式外，整合完成一套風暴潮與天文潮耦合的水位預報模式亦是本年度計畫的重點之一。

對於不可壓縮流體的基本水動力方程式可分為兩個部分，一為 momentum equation，一為 continuity equation (Dronkers, 1975)，以卡氏座標分述如下：

momentum equation：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = fv - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( \nu_t \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \nu_t \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \nu_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right]$$

(4.3-1)

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -fu - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( \nu_t \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \nu_t \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \nu_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right]$$

(4.3-2)

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( \nu_t \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \nu_t \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \nu_t \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right]$$

(4.3-3)

continuity equation：

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4.3-4)$$

$\nu_t$  : turbulent eddy viscosity

$\rho$  : 水體密度

$p$  : hydrostatic pressure

$f$  : 科氏力

$g$  : 重力加速度

$u$  : x 方向流速

$v$  : y 方向流速

$w$  : z 方向流速

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，所以本年度以建置二維水動力模式為主；再加上垂直流速原本就比水平流速小很多，因此可以忽略不計，水深平均流速可以定義如下：

$$\bar{u} = \frac{1}{(h + \zeta)} \int_{-h}^{\zeta} u dz ; \bar{v} = \frac{1}{(h + \zeta)} \int_{-h}^{\zeta} v dz \quad (4.3-5)$$

其中  $h$  為水深， $\zeta$  為水位變化。

所以整個方程式可以改寫如下 (Nihoul, 1982)

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} = f \bar{v} - g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \alpha_x \left( \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} \right) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho(h + \zeta)} + \frac{\tau_{sx}}{\rho(h + \zeta)} \quad (4.3-6)$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} = -f \bar{u} - g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \alpha_y \left( \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} \right) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho(h + \zeta)} + \frac{\tau_{sy}}{\rho(h + \zeta)} \quad (4.3-7)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\bar{u}(h + \zeta)) + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{v}(h + \zeta)) = 0 \quad (4.3-8)$$

$t$  : 時間

$p_a$  : 大氣壓力

$\tau_{bx}, \tau_{by}$ ：底床摩擦產生之剪力

$\tau_{sx}, \tau_{sy}$ ：風於表層產生之剪力

$\alpha_x, \alpha_y$ ：水平擴散係數

底層摩擦產生之剪力可寫為

$$\tau_{bx} = \rho k u \sqrt{u^2 + v^2}, \quad \tau_{by} = \rho k v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (4.3-9)$$

其中 k 為底床摩擦係數。

風於表層產生之剪力可寫為

$$\tau_{sx} = C_D \rho_a W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2}, \quad \tau_{sy} = C_D \rho_a W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad (4.3-10)$$

CD：拖曳係數

$\rho_a$ ：空氣密度

Wx：x 方向風速

Wy：y 方向風速

在實際的運算上，網格格點是以經緯度來表示，所以需將卡氏座標轉換成球面座標，如此可將方程式改寫如下：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{R \cos \phi} \frac{\partial u}{\partial \chi} + \frac{v}{R} \frac{\partial u}{\partial \phi} - \frac{uv \tan \phi}{R} - v(2\omega \sin \phi) = -\frac{g}{R \cos \phi} \frac{\partial \zeta}{\partial \chi} - \frac{1}{\rho R \cos \phi} \frac{\partial p_a}{\partial \chi} - \frac{\tau_{bx} - \tau_{sx}}{\rho(h + \zeta)} \quad (4.3-11)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{u}{R \cos \phi} \frac{\partial v}{\partial \chi} + \frac{v}{R} \frac{\partial v}{\partial \phi} - \frac{u^2 \tan \phi}{R} + u(2\omega \sin \phi) = -\frac{g}{R} \frac{\partial \zeta}{\partial \phi} - \frac{1}{\rho R} \frac{\partial p_a}{\partial \phi} - \frac{\tau_{by} - \tau_{sy}}{\rho(h + \zeta)} \quad (4.3-12)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \phi} \left( \frac{\partial}{\partial \chi} (u(h + \zeta)) + \frac{\partial}{\partial \phi} ((h + \zeta)v \cos \phi) \right) = 0 \quad (4.3-13)$$

以上三式便是二維水位預報模式的基本原理。

模式的數值方法，為了配合格點的設置，預計採用有限差分法作為模式的數值方法，由於本計劃之大尺度模式所涵蓋的網格範圍相當大，計算點相當的多，因此記憶體使用量相對也需要比較多，所以在

計算方法是選擇了較節省記憶體顯示法來計算。

#### 4.3.2 模式結果說明

模式模擬的颱風為今年度的敏督利及蘭寧颱風。圖 4.3-1~圖 4.3-5 為五大港區於敏督利颱風期間模式水位及實測水位的比對圖。圖 4.3-6~圖 4.3-10 為五大港區於蘭寧颱風期間模式水位及實測水位的比對圖，安平港及台北港由於沒有今年度的實測資料，因此無法比對。由圖上可以發現敏督利颱風其間花蓮港、蘇澳港及台中港的結果皆相當的不錯，水位的趨勢及大小都能模擬到，只有台中港的潮時稍微延遲，高雄港及基隆港的結果則差較多，推測為地形的影響及網格解析度較大的關係。在蘭寧颱風的部分與敏督利颱風類似，花蓮港、蘇澳港及台中港皆有不錯的比對結果，高雄港及基隆港的結果也比較不好，但是基隆港的結果較敏督利颱風其間的比對圖好，推測為蘭寧颱風路徑未經過臺灣陸地，且由北部略過，因此基隆港的結果較好。另外由於各港口測站的基準水平面不一樣，因此實測資料的比對也有其困難度，未來若能統一各個測站的基準水平面，在資料的處理會準確許多，能更容易的與模式結果比對，驗證模式的準確性。台中港的部分兩個颱風結果皆產生潮時的偏差，推測為內部地形的影響，由於網格點解析度較粗，因次對於近岸地形的描述較不精確，待未來網格解析度提高便可得到更精確的水位預報。

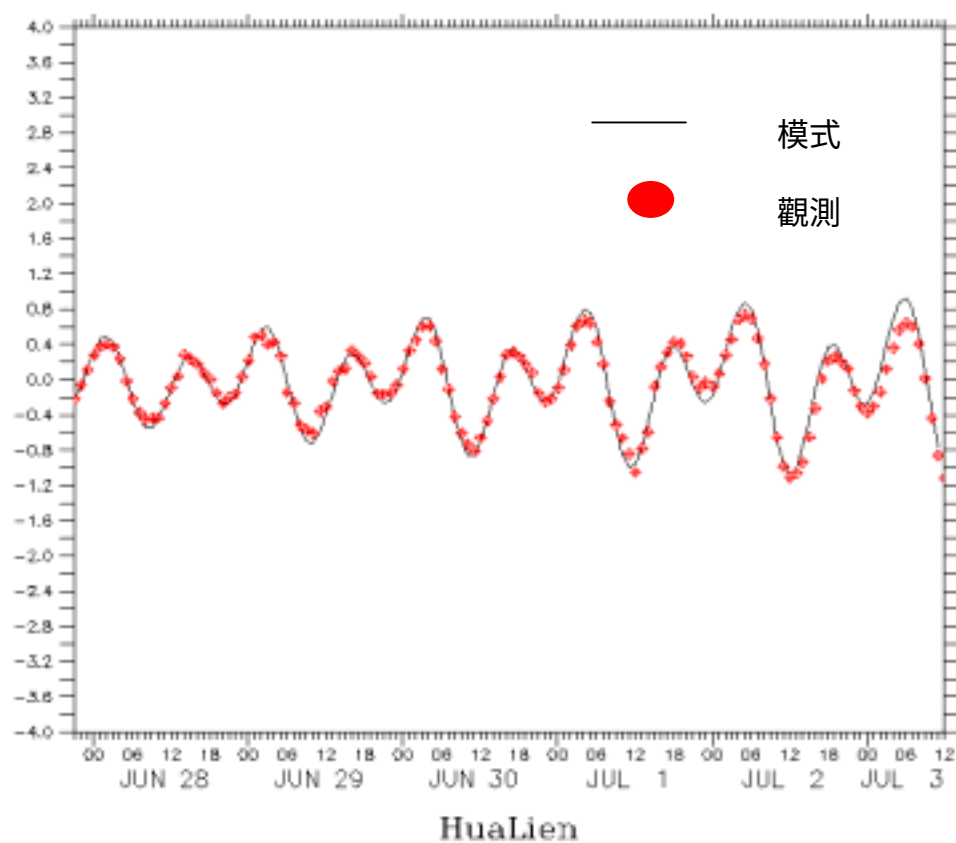


圖 4.3-1 敏督利颱風期間花蓮港水位比對圖

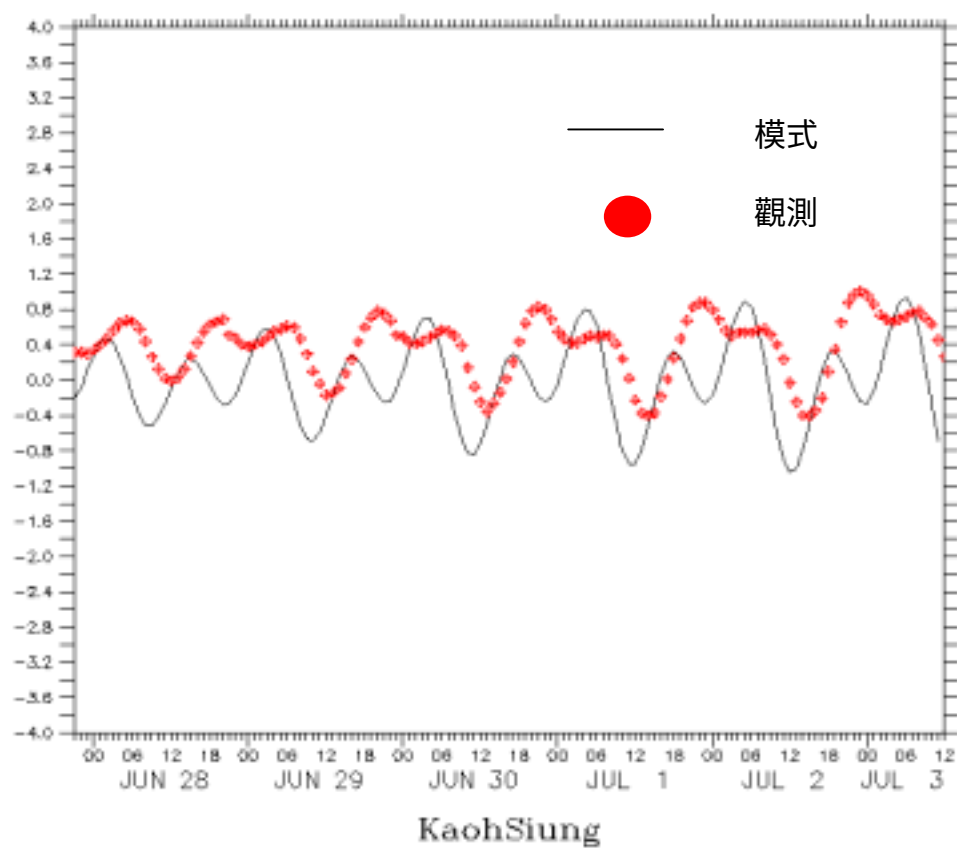


圖 4.3-2 敏督利颱風期間高雄港水位比對圖

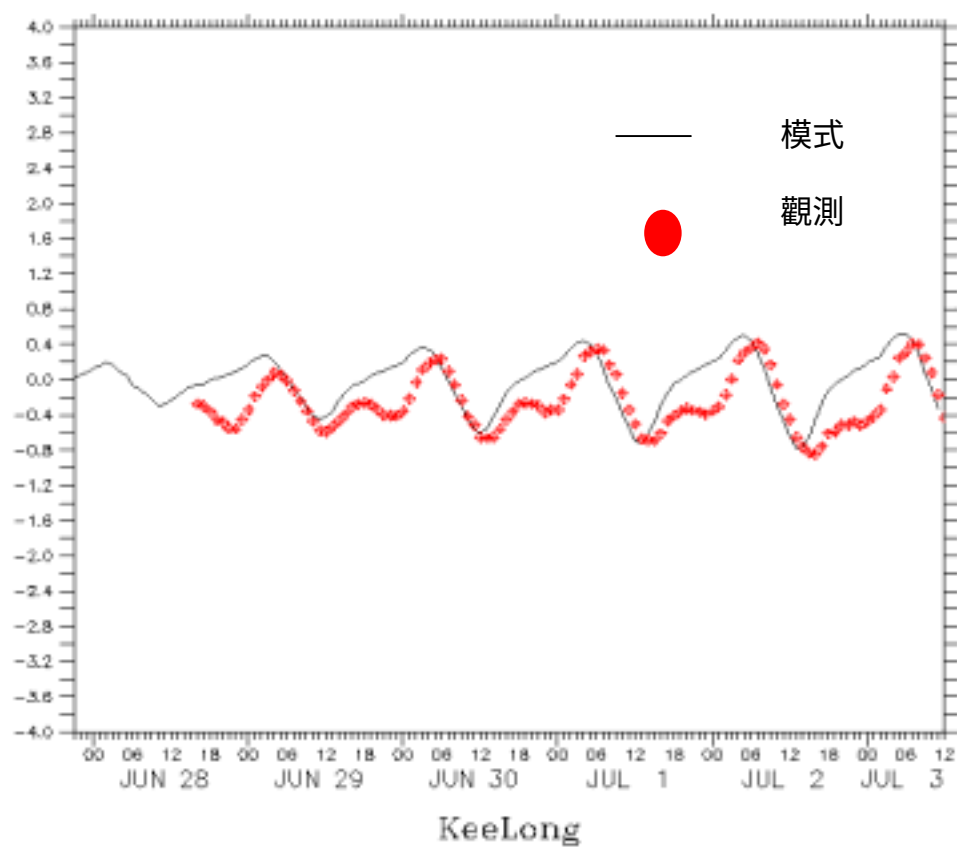


圖 4.3-3 敏督利颱風期間基隆港水位比對圖

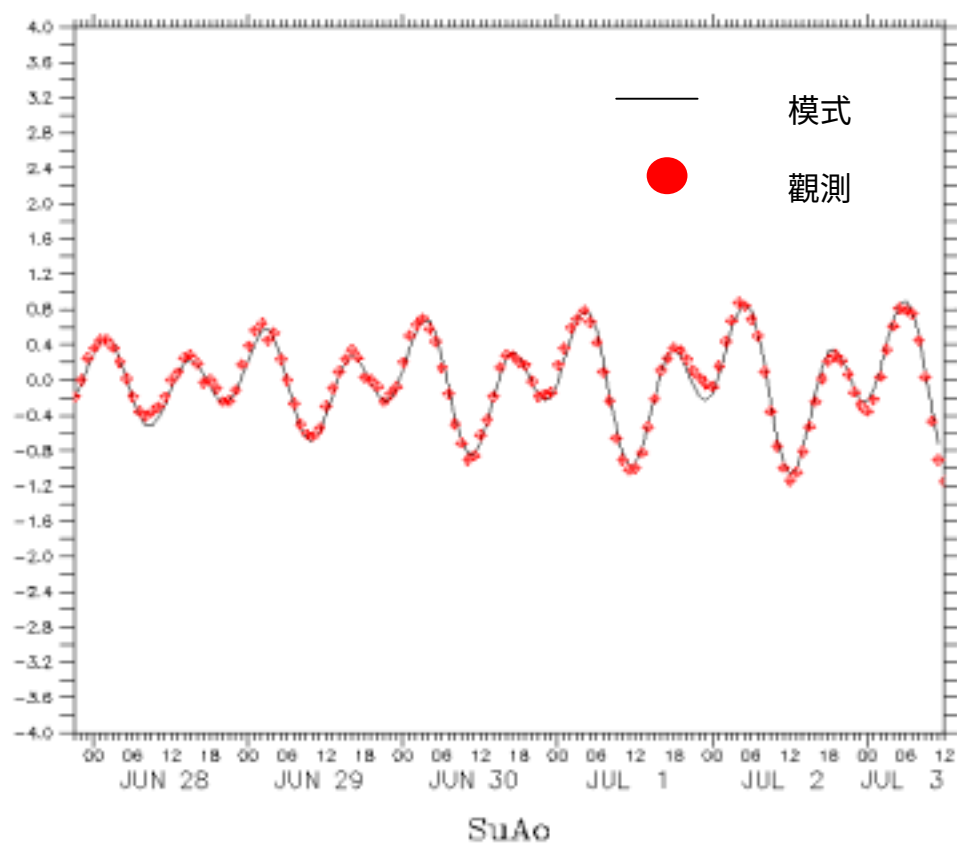


圖 4.3-4 敏督利颱風期間蘇澳港水位比對圖

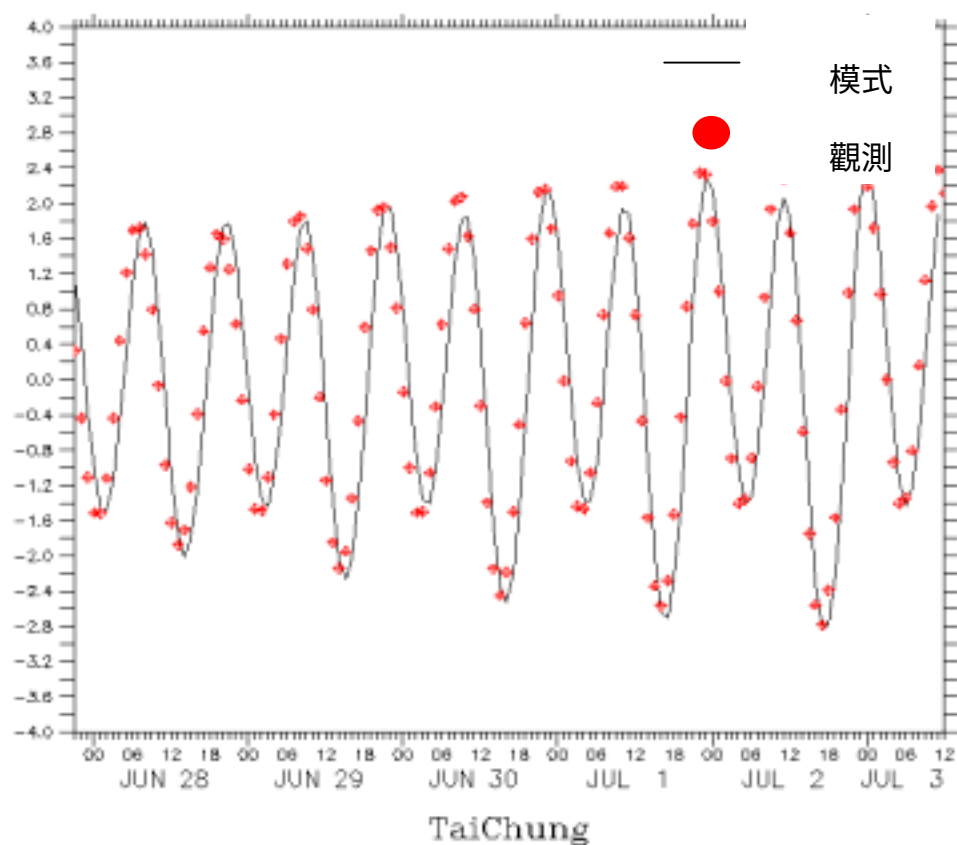


圖 4.3-5 敏督利颱風期間台中港水位比對圖

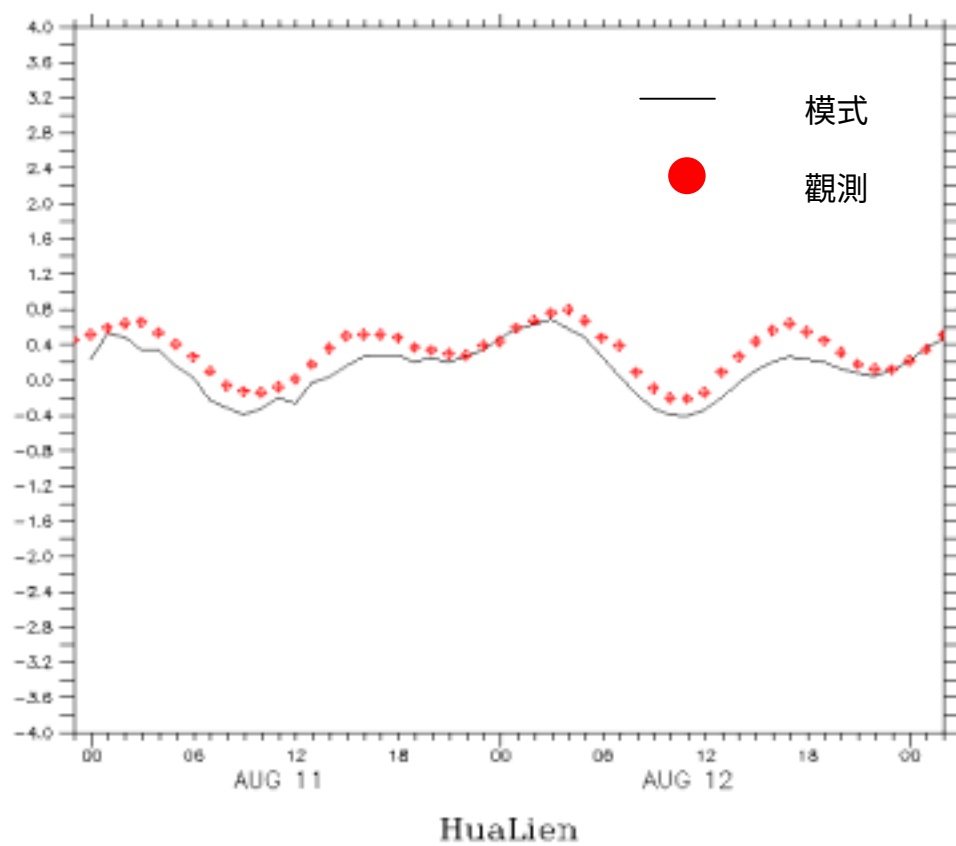


圖 4.3-6 蘭寧颱風期間花蓮港水位比對圖



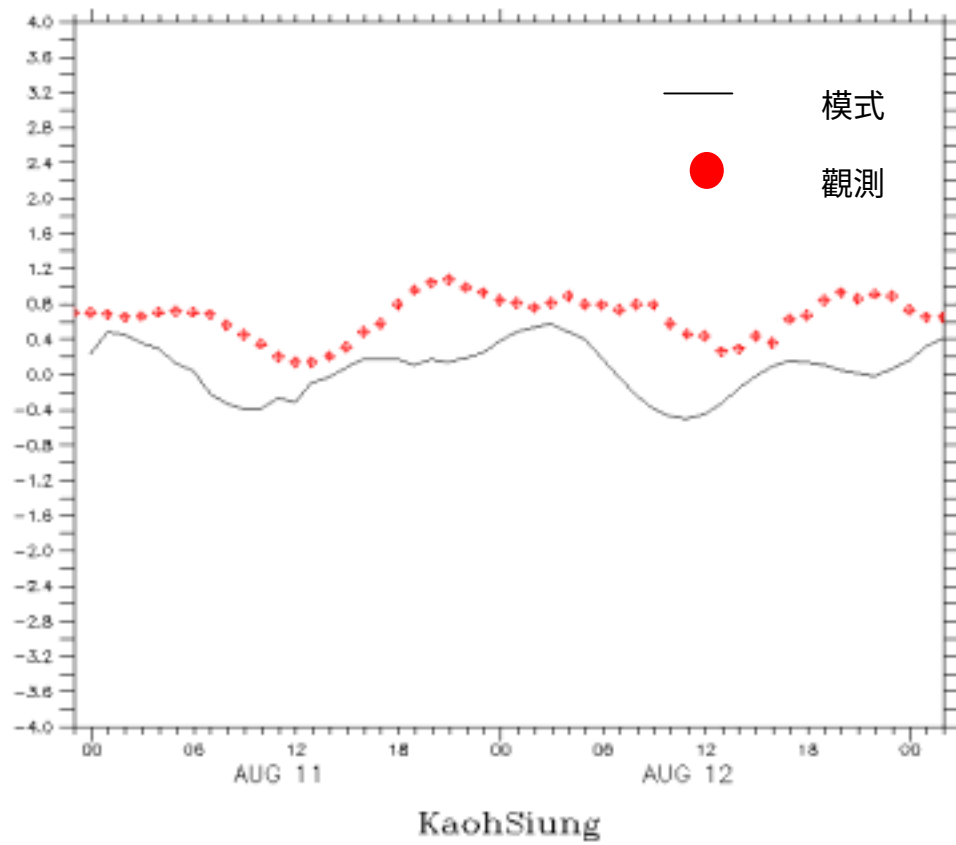


圖 4.3-7 蘭寧颱風期間高雄港水位比對圖

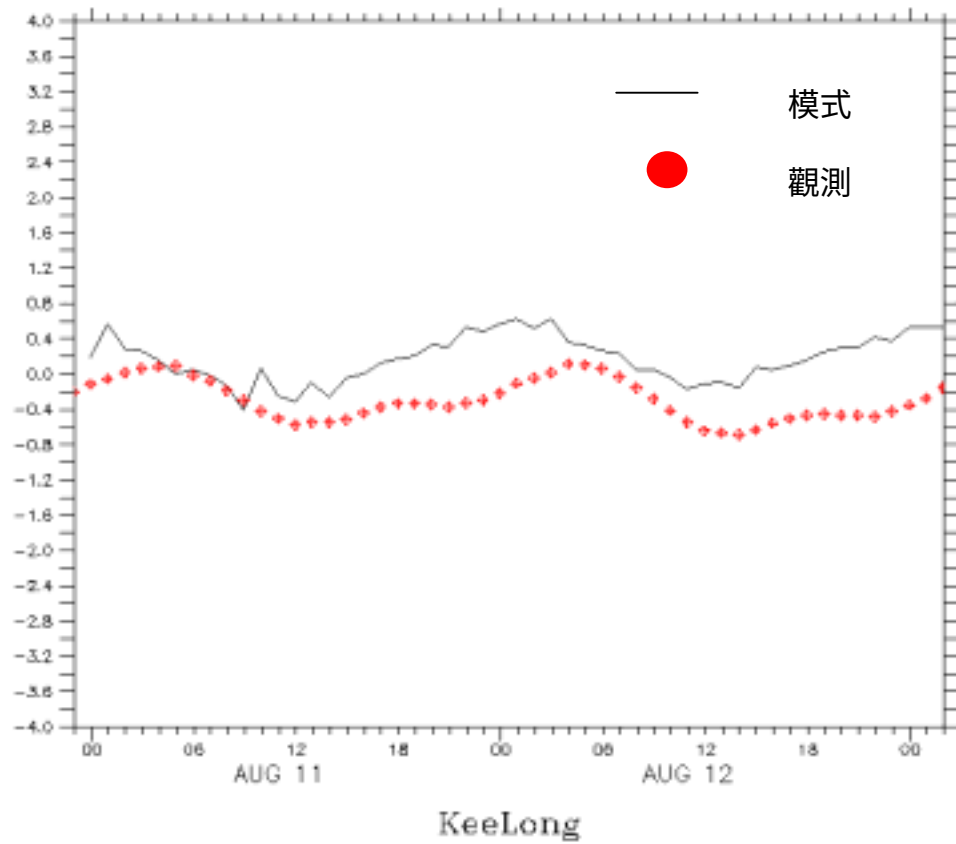


圖 4.3-8 蘭寧颱風期間基隆港水位比對圖

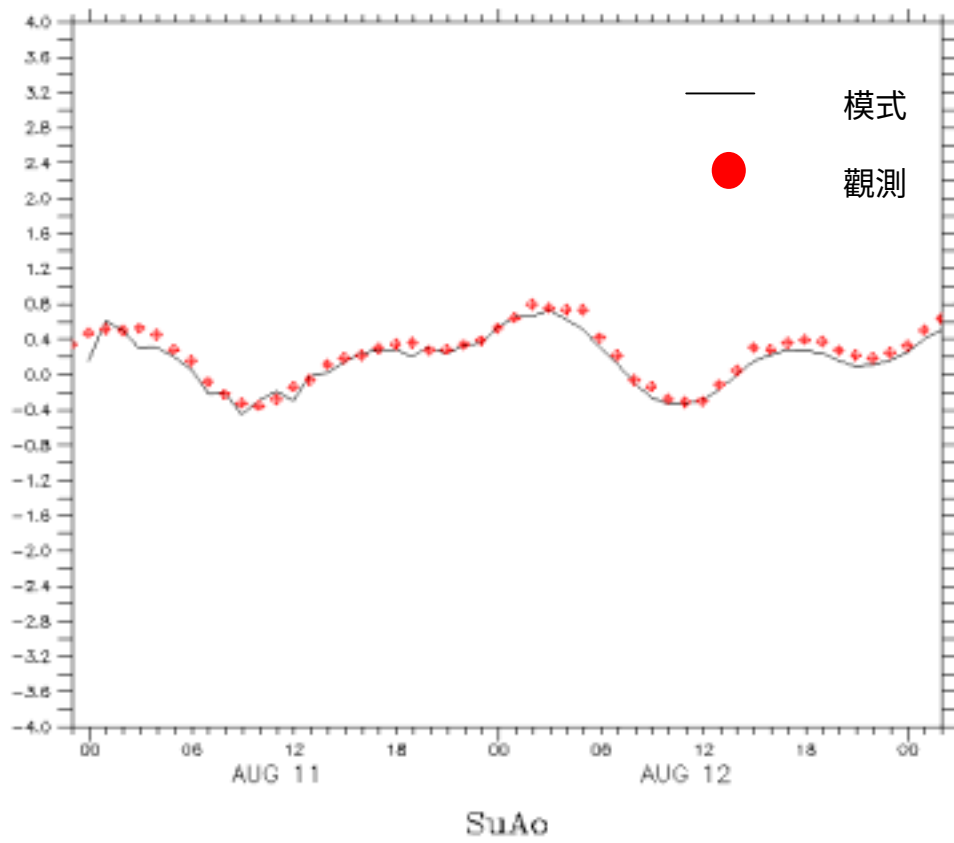


圖 4.3-9 蘭寧颱風期間蘇澳港水位比對圖

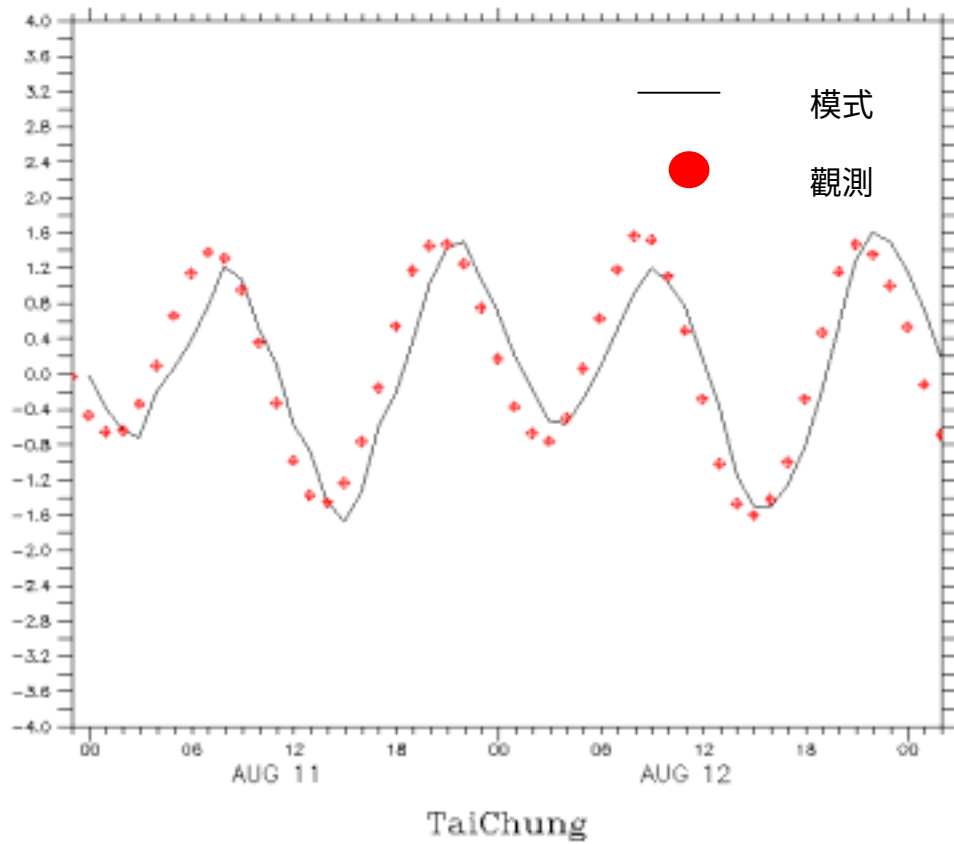


圖 4.3-10 蘭寧颱風期間台中港水位比對圖

### 4.3.3 討論

由以上的模擬結果可以發現水位整體的模擬結果大致上情況還符合實測資料，惟某些極值仍無法由模式得出，此為模式取點與測站位置偏移所致。模式由於網格點較大，因此要取出精確測站的點位有其困難度，網格偏移一點結果便會相差許多，另外則是近岸地型的影響，由於格點較粗，對於近岸的地形無法很精確的描述，因此無法將地型的影響很準確的包含進去，所以在水位的模擬結果會有些許差距，待未來模式精度提升後，便可以產生更近於實測資料的模式結果。同時會利用更多資料持續校正水位模式。

#### 4.4定點類神經網路水位模式

潮汐是一種海水水位週期運動的一種現象。潮汐對於海岸活動、海岸結構的設計高程及海港船隻進出安全有相當影響。所以，如何正確預測潮汐是相當重要的。往昔利用天體引力所求得之潮汐水位其相位角度與實測水位相似，其水位大小則小於實測潮汐。天文潮汐與實測潮汐仍有較大的誤差，其起因於天文引力之假設，地球為完全的球體與表面上全為海洋，水深均一。本計劃將利用天體引力產生水位變化的關係，應用類神經網路來進行潮汐預測。並以太陽及月亮為主要作用的天體，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。

##### 4.4.1天文潮之神經網路模式

本計劃將利用天體引力產生水位變化的關係，應用類神經網路來進行潮汐預測。本計劃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。天體引潮力分為四項，包括天體對海水水體的萬有引力、天體與地球相對旋轉的離心力、地球本身的萬有引力以及自轉所生的科氏力。但這四種引潮力主要對水位有影響的為天體的萬有引力及相對旋轉的離心力二項，其他兩項因平衡抵消而不予以考慮。月球對地球上的潮汐引力如圖 4.4-1 中向月亮的白箭頭，表示受力是朝著月亮方向，而地球與月球公轉的離心力為圖 4.4-1 中之條紋箭頭，離心力垂直於地球與月球的公有旋轉軸，並相反於引力的方向，而離心力與引力的合力為實線箭頭所示。

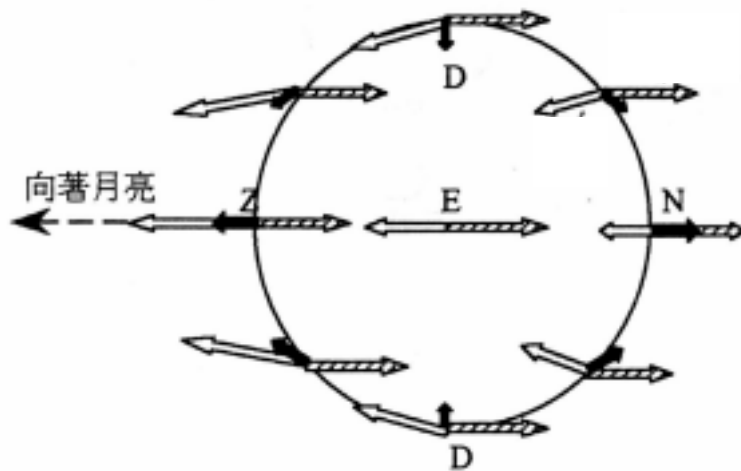


圖 4.4-1 月球對地球水體所造成的引潮力狀況

當地球與月球相對運動位置示意，如圖 4.4-2，若令月球與地球兩中心距離為  $D$ ， $X$  點為地球上水體的位置，而其與月球中心的距離為  $\rho$ ，地球半徑為  $R$ ，地月的質量各為  $E$  與  $M$ ，重力加速度為  $g$ ，並令  $X$  處的水體為單位質量，月球引力， $F_a$ ，及運動離心力， $F_c$ ，分別為

$$F_a = \frac{gR^2 M}{E \rho^2} \quad (4.4.1)$$

$$F_c = g \left( \frac{M}{E} \right) \left( \frac{R^2}{D^2} \right) \quad (4.4.2)$$

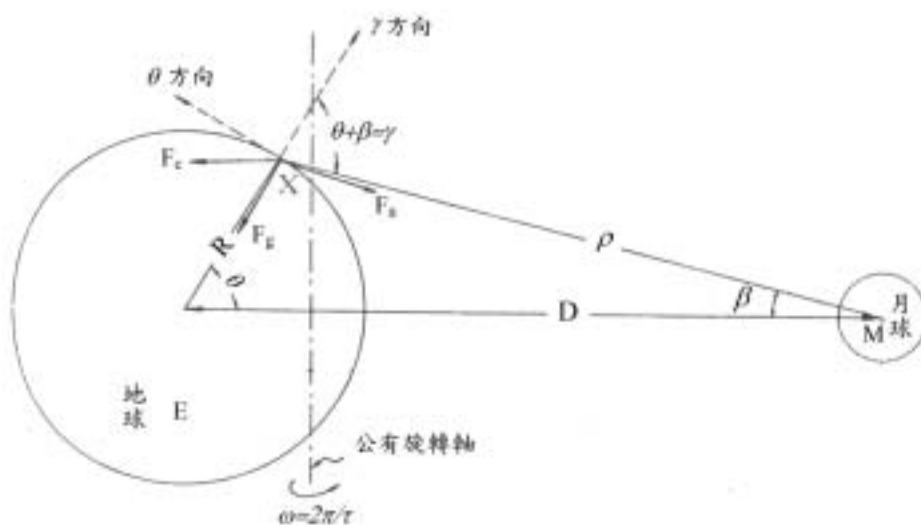


圖 4.4-2 月球對地表水體引潮力分析圖

其中天體引力與離心力的合力，以極座標  $r$  與  $\theta$  表示其分力為

$$F_r = g \left( \frac{M}{E} \right) R^2 \left( \frac{\cos \gamma}{\rho^2} - \frac{\cos \theta}{D^2} \right) \quad (4.4.3)$$

$$F_\theta = g \left( \frac{M}{E} \right) R^2 \left( \frac{\sin \theta}{D^2} - \frac{\sin \gamma}{\rho^2} \right) \quad (4.4.4)$$

式(4.4.3)及式(4.4.4)中， $\gamma = \theta + \beta$ ， $\beta$  為月球中心與 X 點及地心兩連線的夾角， $\theta$  為觀測點 X 頭頂方向與地心及月球中心之連線的夾角，稱為天頂距離。由餘弦定理可知

$$\rho = \sqrt{R^2 + D^2 - 2DR \cos \theta} \quad (4.4.5)$$

$$\cos \gamma = \frac{D \cos \theta - R}{\rho} \quad (4.4.6a)$$

$$\sin \gamma = \frac{D \sin \theta}{\rho} \quad (4.4.6b)$$

由於  $R/D$  很小，故式(4.4.3)及(4.4.4)中  $\cos \gamma / \rho^2$  與  $\sin \gamma / \rho^2$  可依二項式定理展開而得到

$$\begin{aligned}
F_r &= g \left( \frac{M}{E} \right) \frac{R^2}{D^2} \left[ \left( \cos \theta - \frac{R}{D} \right) \left( 1 + 3 \frac{R}{D} \cos \theta + \dots \right) - \cos \theta \right] \\
&= \frac{g}{2} \left( \frac{M}{E} \right) \frac{R^3}{D^3} (1 + 3 \cos 2\theta)
\end{aligned} \tag{4.4.7}$$

$$\begin{aligned}
F_\theta &= g \left( \frac{M}{E} \right) \frac{R^2}{D^2} \left[ \sin \theta - \sin \theta \left( 1 + 3 \frac{R}{D} \cos \theta + \dots \right) \right] \\
&= -\frac{3}{2} \left( \frac{M}{E} \right) \frac{R^3}{D^3} \sin 2\theta
\end{aligned} \tag{4.4.8}$$

由式(4.4.7)與(4.4.8)可知，引潮力與天體之質量成正比，而與兩者間的距離之三次方成反比。上述雖以月球為例，但也可適用於其他天體。

為了讓網路學習大小潮變化的特性，在此引入重要的天體在各時刻的相關平面位置，以及其所對應的位能形式，以期在類神經網路中給予其應有的資訊。式(4.4.9a,b)及式(4.4.10)分別為極座標受力與位勢之關係及為單位質量的水體受天體的引力所產生的位勢 $\Omega_a$

$$\frac{\partial \Omega}{\partial r} = F_r \tag{4.4.9a}$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial \Omega}{\partial \theta} = F_\theta \tag{4.4.9b}$$

$$\Omega_a = \int_\rho^\infty \frac{KM}{r^2} dr = \frac{KM}{\rho} \tag{4.4.10}$$

代入共同旋轉的離心力 $F_c$ 之 $r$ 方向與 $\theta$ 方向之分力於式(4.4.9)，得位勢為 $\Omega_c$

$$\Omega_c = -\frac{KM}{D^2} r \cos \theta + C_0 \tag{4.4.11}$$

$C_0$  為常數，故引潮力的位勢總合為

$$\Omega = \Omega_a + \Omega_c = \frac{KM}{\rho} - \frac{KMr}{D^2} \cos \theta + C_0 \tag{4.4.12}$$

若代入條件地心  $r=0$ ， $\rho=D$  處無引潮力則  $\Omega=0$ ，可得常數  $C_0=-KM/D$ 。若以地球表面來看  $r=R$ ， $\theta$  為  $X$  點的天頂距離，則

$$\Omega = KM \left( \frac{1}{\rho} - \frac{R \cos \theta}{D^2} - \frac{1}{D} \right) \quad (4.4.13)$$

本文之神經網路為類神經網路具有學習最佳化的功能，並透過輸出值與學習目標值間的連結建立起其相關性，利用網路權重與門限值來表示其關係的強弱。由於倒傳遞網路具有監督式的學習，神經元間的交互作用經由該學習方式求得網路之最小均方根誤差。本文架構神經網路使用 Matlab 軟體來建置倒傳遞類神經網路，如圖 4.4-3 所示。

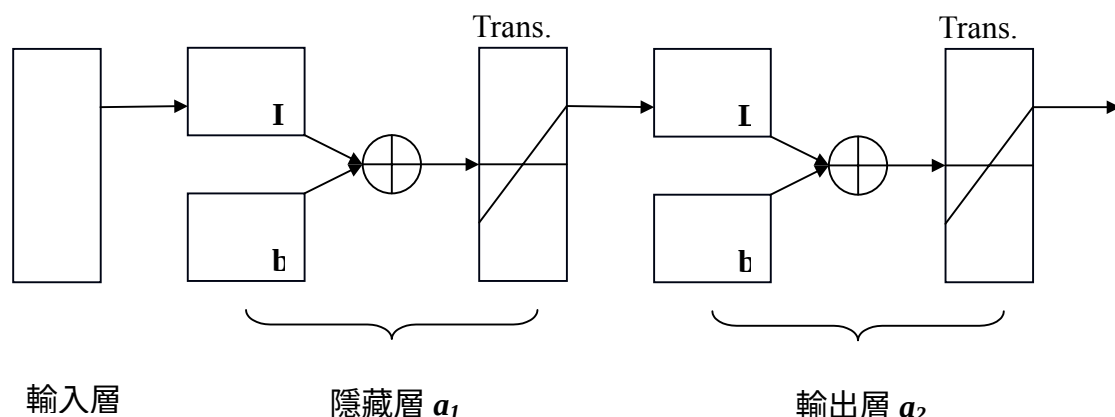


圖 4.4-3 倒傳遞類神經網路結構示意圖

傳遞學習演算法是被廣泛使用的一種學習演算法，因其具有學習及回想的功能，故可在回想過程中以相同於學習過程的方式來進行預測。一般倒傳遞網路可分為三部份，輸入層用以接受外在環境的訊息，輸出層用以輸出訊息給外在環境，隱藏層則表現輸入與輸出層各處理單元間的相互關係，並以權重和閥值來闡述該相關性。倒傳遞網路學習方式是由輸入相當數量之學習樣本，應用向前餽入與誤差向後推導兩步驟，推求輸入變數與輸出變數的內在對映規則，再應用回想功能，進行新案例之輸出變數值推估。

圖 4.4-3 所架構之網路為一層隱藏層及一層輸出層，Trans.為轉換



函數， $S$  為神經元個數， $P$  為輸入變數矩陣， $IW$  和  $b_1$  為輸入層與隱藏層間的權重和閾值矩陣， $LW$  和  $b_2$  為輸出層與隱藏層間的權重和閾值矩陣。經由網路學習誤差最佳化的過程，神經網路將輸入值及學習目標值的關係紀錄在閾值與權重上，以此表示輸入值與學習目標值間的關係強弱。其中，神經網路使用轉換函數使隱藏層模仿生物神經元處理非線性的機能，以輸入值之加權乘積和轉換成處理單元之輸出值。整個倒傳遞網路模式由隱藏層與輸入參數及輸出層的關係可用方程式表示為

$$a_1 = f(I_w P + b_1) \quad (4.4.14)$$

$$a_2 = f(L_w a_1 + b_2) \quad (4.4.15)$$

其中  $a_1$  為隱藏層之輸出值矩陣， $a_2$  為倒傳遞網路輸出值矩陣， $f$  為轉換函數。

藉由上式之運算後求出網路輸出值，其與學習目標值  $Y$  間之誤差平方定義為誤差函數  $E$ ，示如下式

$$E = \frac{1}{2} (a_2 - Y)^2 \quad (4.4.16)$$

因此，整個網路學習的過程為了最佳化各神經元間之權重與閾值使誤差函數達到最小值，即使網路輸出值趨近學習目標值。當網路完成學習過程，建立最合適的權重和閾值後即可以此網路的回想過程來進行預測分析。

最佳化過程可分為兩類，一為啟發式的最佳化，如可變學習數率 (Variable Learning Rate) 與有彈性 (Resilient) 之演算法；另一為使用標準的數值最佳化，如共軛梯度法、擬牛頓法及 Levenberg-Marquardt (L-M) 法。一般而言，在函數逼近的問題上 Levenberg-Marquardt 演算法將有最快之收斂性 (Neural Network Toolbox User's Guide)。因此，本文選擇使用 L-M 演算法做為達到網路誤差函數最小之最佳化過程，該

演算法將使用 Hessian 矩陣逼近方式來達到最佳的目的，並以下式表示之

$$X_{k+1} = X_k - [J^T J + \mu I]^{-1} J^T e \quad (4.4.17)$$

其中， $X_k$ 、 $X_{k+1}$  分別表示每次疊代權重與閾值之前後最佳化計算值， $J$  為 Jacobian 矩陣，它包含網路誤差與權重值和閾值的一階微分， $e$  為網路誤差向量， $I$  為單位向量。式(4.4.17)之  $\mu=0$  時，則近似牛頓法的 Hessian 矩陣，當  $\mu$  值很大時，式(4.4.17)則具有較小步階之梯度下降，其目的即為盡可能之快速地移向牛頓法以達到網路誤差最佳化的結果，最後可獲得適應該網路之最佳化權重和閾值。

本文將以所述之天文潮引力理論為基礎，進行神經網路之分析。利用日、月及地球天體運行之三維空間資料，計算式(4.4.13)所述日與月之  $D$ 、 $\rho$  及  $\theta$  值，並增加日、月與地球之相對角度  $\phi$ ，示如圖 4.4-4，而本文之神經網路之輸入值共有七種參數，每一種參數之延時各為 3 小時，輸出值則對應之實測潮汐水位  $\eta$ ，示如表 4.4-1，其中  $R$  為地球半徑。本神經網路稱為 ANN-AST，使用一層隱藏層，5 個神經元，轉換函數為雙曲線函數，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 年 8760 筆資料。

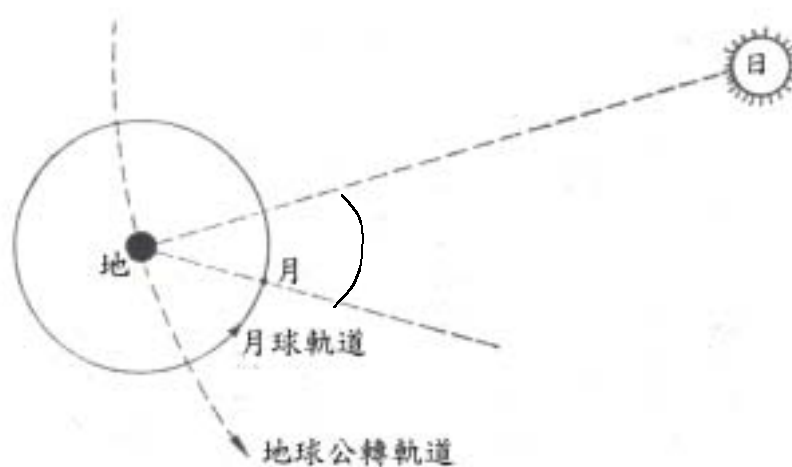


圖 4.4-4 太陽、月球相對地球角度

表 4.4-1 天文潮神經網路輸入參數

|      | T                                                           | t-1                                                             | t-2                                                             |
|------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Moon | $\left(\frac{R}{D_m}\right)_t$                              | $\left(\frac{R}{D_m}\right)_{t-1}$                              | $\left(\frac{R}{D_m}\right)_{t-2}$                              |
| Moon | $\left(\frac{R}{\rho_m}\right)_t$                           | $\left(\frac{R}{\rho_m}\right)_{t-1}$                           | $\left(\frac{R}{\rho_m}\right)_{t-2}$                           |
| Moon | $\left[\left(\frac{R}{D_m}\right)^2 \cos \theta_m\right]_t$ | $\left[\left(\frac{R}{D_m}\right)^2 \cos \theta_m\right]_{t-1}$ | $\left[\left(\frac{R}{D_m}\right)^2 \cos \theta_m\right]_{t-2}$ |
| Sun  | $\left(\frac{R}{D_s}\right)_t$                              | $\left(\frac{R}{D_s}\right)_{t-1}$                              | $\left(\frac{R}{D_s}\right)_{t-2}$                              |
| Sun  | $\left(\frac{R}{\rho_s}\right)_t$                           | $\left(\frac{R}{\rho_s}\right)_{t-1}$                           | $\left(\frac{R}{\rho_s}\right)_{t-2}$                           |
| Sun  | $\left[\left(\frac{R}{D_s}\right)^2 \cos \theta_s\right]_t$ | $\left[\left(\frac{R}{D_s}\right)^2 \cos \theta_s\right]_{t-1}$ | $\left[\left(\frac{R}{D_s}\right)^2 \cos \theta_s\right]_{t-2}$ |
| M-S  | $(\cos \varphi)_t$                                          | $(\cos \varphi)_{t-1}$                                          | $(\cos \varphi)_{t-2}$                                          |

由天文潮神經網路模式之建構，經學習一年資料後，預測下一年資料。並計算預測值與實測值之每月誤差均方根，另與調和分析結果比較，示如圖 4.4-5。由圖 4.4-5 可知，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，網路預測部分(後 12 個月)之誤差均方根值為 10.57，略高於調和分析法之結果，示如表 4.4-2。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颱風期間暴潮偏差之求解。

表 4.4-2 網路模式與調和分析法之誤差均方根

| 誤差均方根(cm) | HA    | ANN-AST |
|-----------|-------|---------|
| 學習(第一年)   | 6.57  | 6.37    |
| 預測(第二年)   | 10.28 | 10.57   |

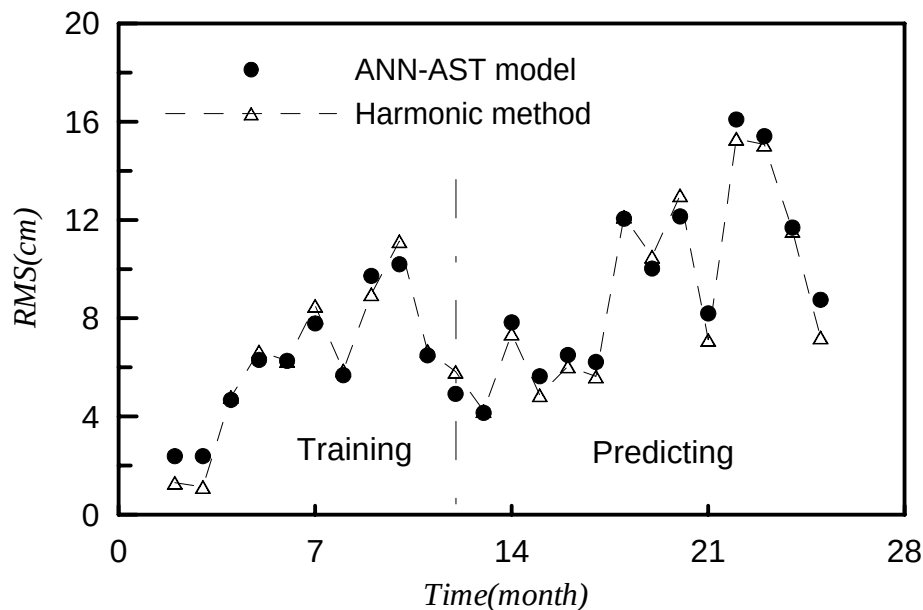


圖 4.4-5 ANN-AST 與調和分析法推算潮汐之每月誤差均方根的比較

#### 4.4.2 颱風暴潮分析

本文將建構完成之 ANN-AST 模式應用於颱風暴潮分析，本文以 2002 年 7 月 2 日 14 時至 4 日 17 時之雷瑪遜(Rammasun)颱風資料，應用花蓮港暴潮水位之分析，而本模式和調和分析法之結果比較，示如圖 4.4-6 至圖 4.4-8。由圖 4.4-6 至圖 4.4-7 可知，ANN-AST 模式之推算水位與調和分析法相似，由圖 4.4-8 可知 ANN-AST 模式之暴潮偏差略低於調和分析之結果，顯示，ANN-AST 於暴潮推算具有與調和分析相似之結果，因此，可應用本模式於颱風暴潮之推算。另外，由調和分析法推算之雷瑪遜颱風暴潮，並前後增加共五天之實際水位與調和分析資料之差，示如圖 4.4-9。由圖 4.4-9 可知，前後五天颱風現象對花蓮港之影響小於颱風期間之結果，但是實際水位與推算水位

之差約 5-15 公分左右，顯示，實際水位除了颱風影響所產生之暴潮外，可能另含其他因素於實際水位之影響。

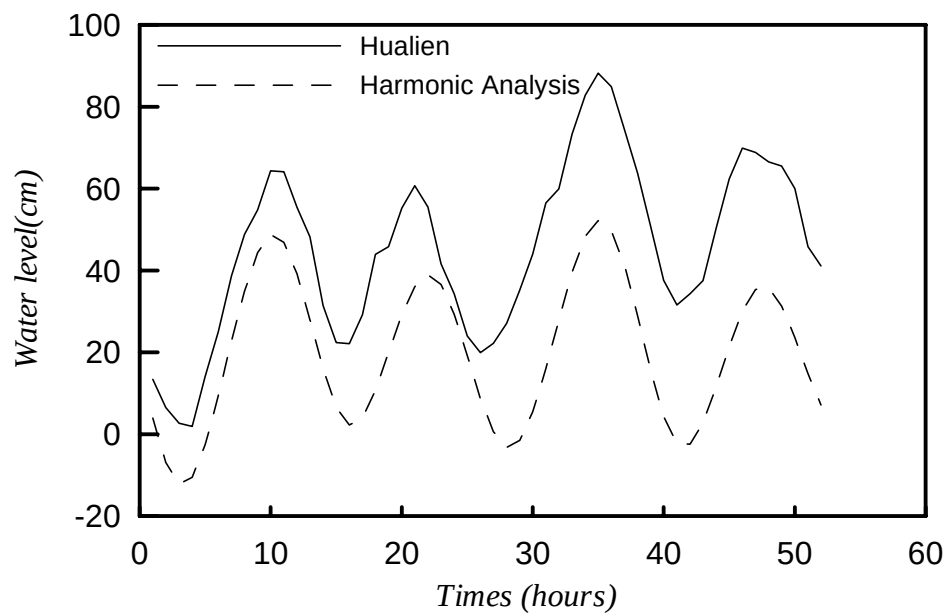


圖 4.4-6 以調和分析法計算雷瑪遜颱風發生期間之暴潮偏差

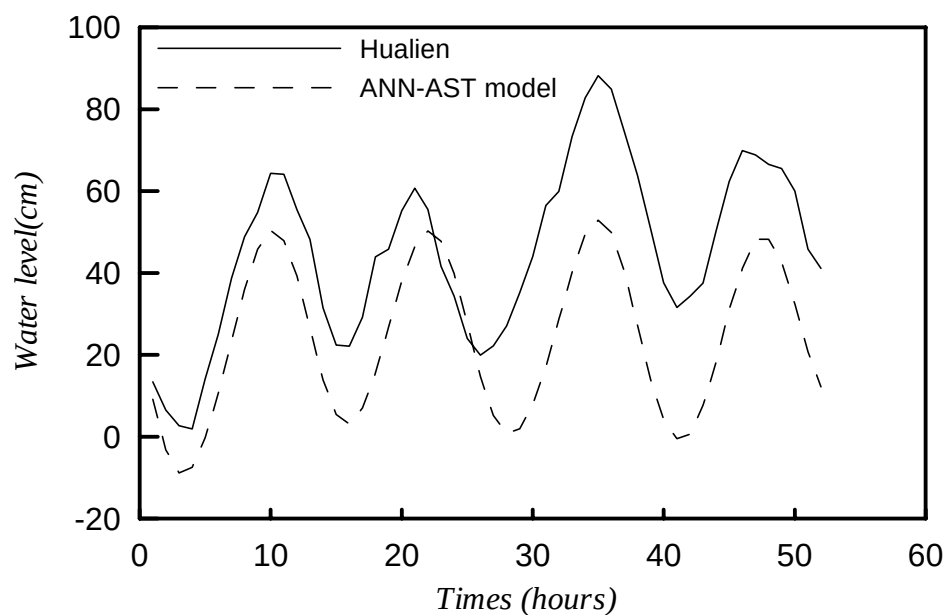


圖 4.4-7 以 ANN-AST 計算雷瑪遜颱風發生期間之暴潮偏差

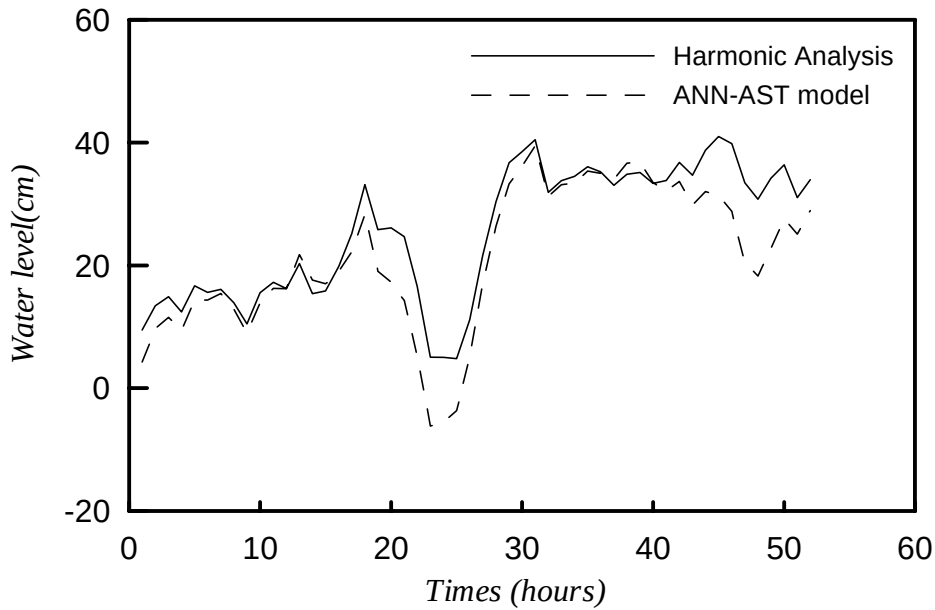


圖 4.4-8 ANN-AST 模式與調和分析法暴潮結果比較

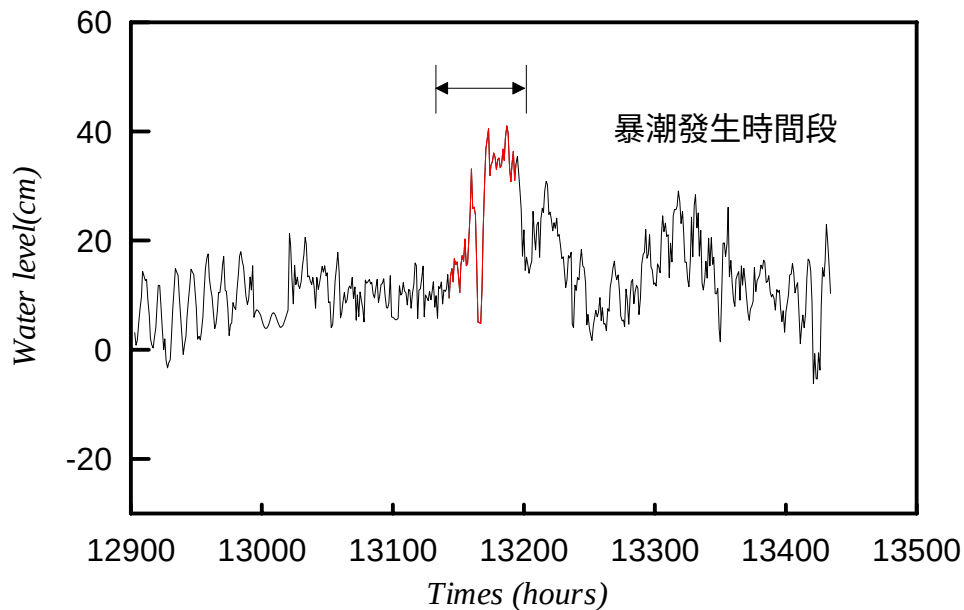


圖 4.4-9 以調和分析法分析暴潮偏差

由上述之結果，顯示 ANN-AST 可應用花蓮港暴潮偏差之推算。本文將以 2004 之 6 月 7 日 17 時至 9 日 23 時之康森(Conson)颱風，6 月 28 日 17 時至 7 月 3 日 11 時之敏督利(Mindulle)颱風；8 月 10 日 23 時至 13 日 02 時之蘭寧(Rananim)颱風共三場颱風資料，其路徑與中心氣壓示如表 4.4-3 至 4.4-5，並進行颱風暴潮 ANN-AST 模式之推算，並示如圖 4.4-10 至圖 4.4-15，圖 4.4-10、圖 4.4-12 及圖 4.4-14 為

ANN-AS 模式在花蓮港之推算水位與實測值之比較。

由圖 4.4-11 及表 4.4-3 可知在 6 月 8 日 4 時至 14 時及 9 日 4 時至 16 時兩個時間段，有大於零之暴潮偏差。第一個時段之颱風中心氣壓由 985 毫巴降低為 982 毫巴，與花蓮港之距離為 675 公里縮短至 539 公里；第二個時段之颱風中心氣壓皆為 970 毫巴，與花蓮港之距離為 373 公里縮短至 194 公里。由圖 4.4-13 及表 4.4-4 可知在 6 月 29 日 7 時至 14 時，有大於零之暴潮偏差。該時段之颱風中心氣壓為 942 毫巴，與花蓮港之距離為 615 公里縮短至 603 公里。由圖 4.4-15 及表 4.4-5 可知在 8 月 10 日 23 時至 11 日 9 時及 8 月 11 日 13 時至 12 日 11 時，有大於零之暴潮偏差。第一個時段之颱風中心氣壓由 970 毫巴降低為 975 毫巴，與花蓮港之距離為 605 公里縮短至 496 公里；第二個時段之颱風中心氣壓由 965 毫巴降低為 960 毫巴，與花蓮港之距離為 424 公里縮短至 376 公里。由上述結果可知颱風中心氣壓越大，且越靠近測站位置，則暴潮偏差越大。反之，暴潮偏差則不明顯。

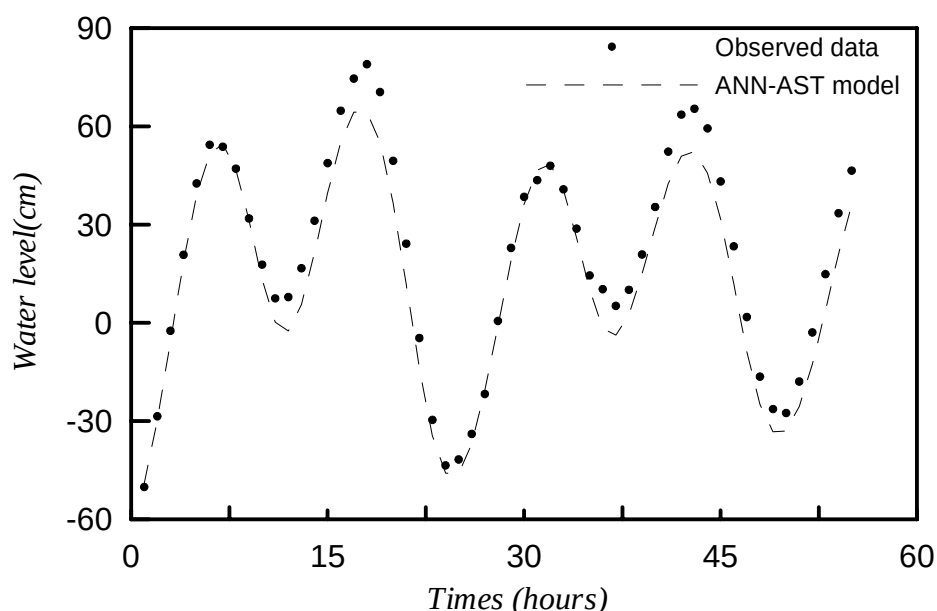


圖 4.4-10 以 ANN-AST 計算康森颱風期間之潮位與實測值之比較

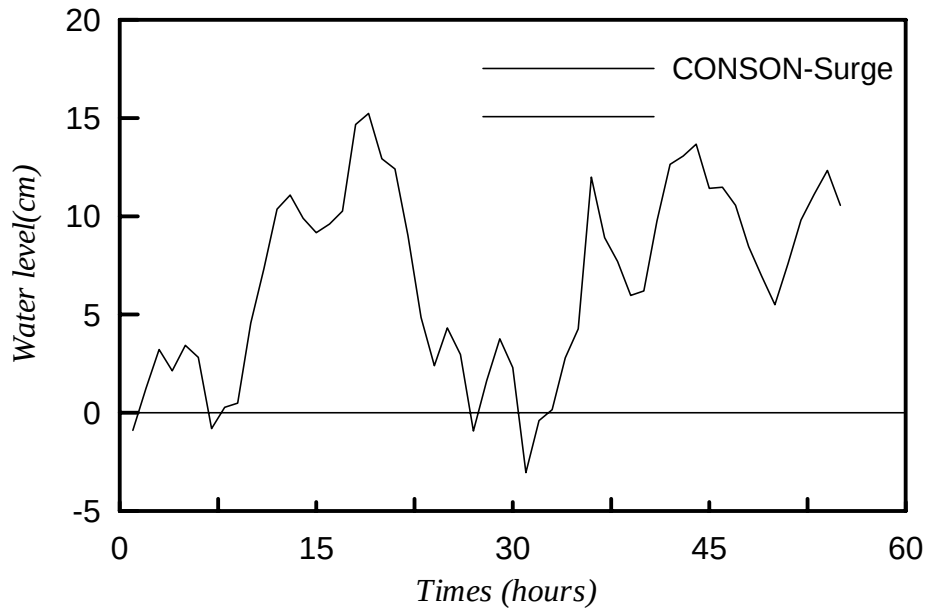


圖 4.4-11 ANN-AST 模式推算康森颱風之暴潮偏差

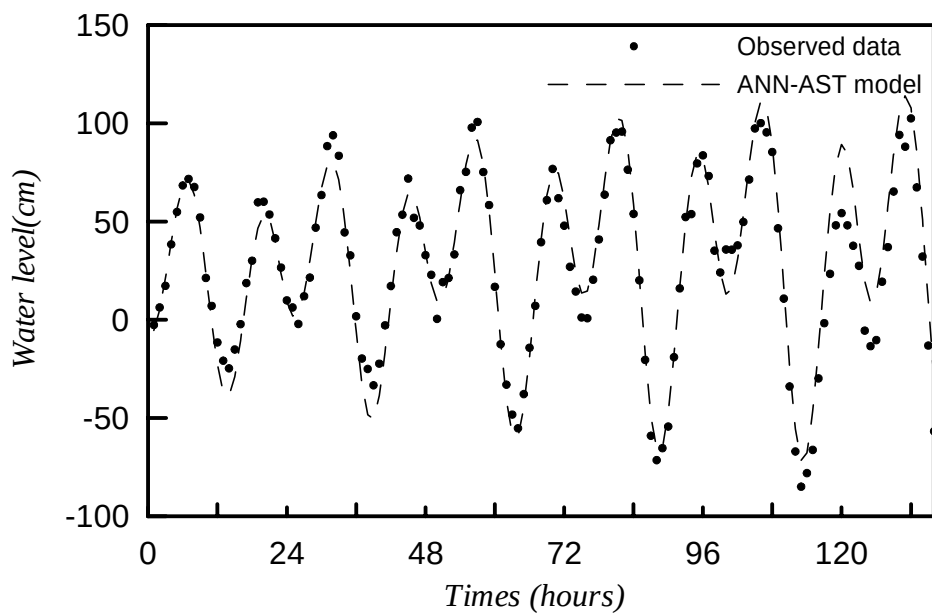


圖 4.4-12 以 ANN-AST 計算敏督利颱風期間之潮位與實測值之比較



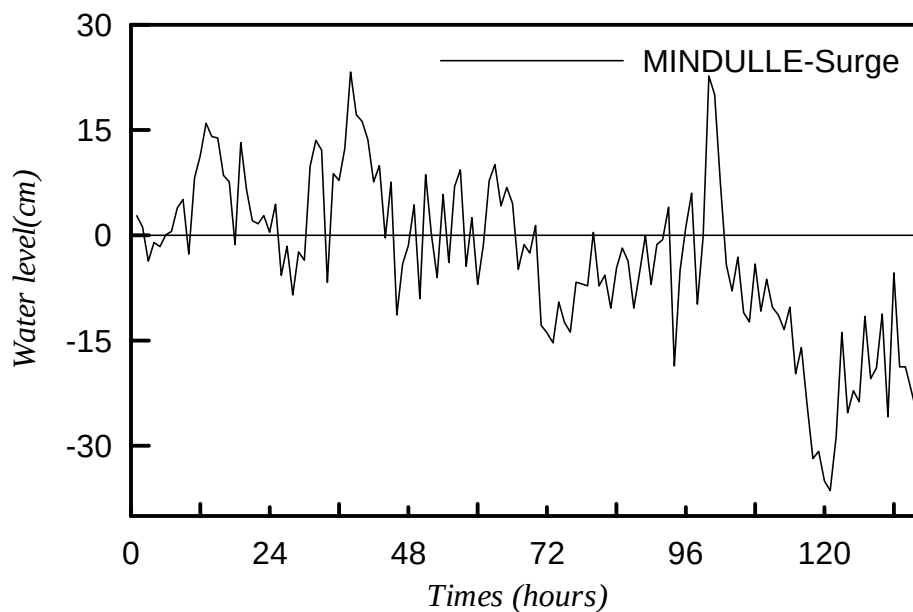


圖 4.4-13 ANN-AST 模式推算敏督利颱風之暴潮偏差

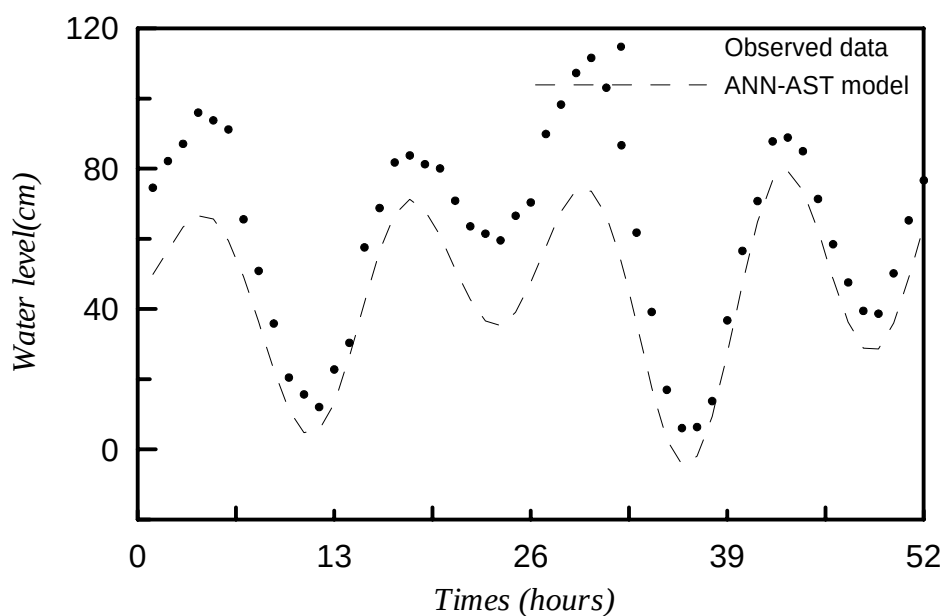


圖 4.4-14 以 ANN-AST 計算蘭寧颱風期間之潮位與實測值之比較

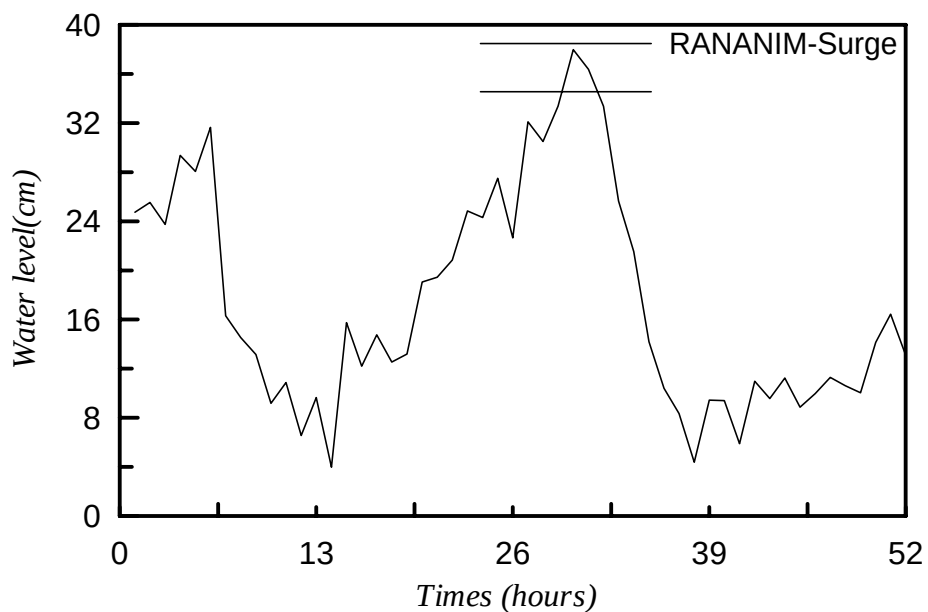


圖 4.4-15 ANN-AST 模式推算蘭寧颱風之暴潮偏差

表 4.4-3 康森颱風路徑與中心氣壓(資料來源；中央氣象局)

| 時間       | 中心位置 (度) |       | 中心氣壓<br>(百帕) | 風暴半徑 (公里) |     |
|----------|----------|-------|--------------|-----------|-----|
|          | 北緯       | 東經    |              | 七級風       | 十級風 |
| 7 日 17 時 | 16.9     | 118.9 | 985          | 150       | -   |
| 7 日 20 時 | 17.3     | 119.0 | 985          | 150       | -   |
| 7 日 23 時 | 17.7     | 119.1 | 985          | 150       | -   |
| 8 日 02 時 | 18.1     | 119.2 | 985          | 150       | -   |
| 8 日 05 時 | 18.3     | 119.3 | 985          | 150       | -   |
| 8 日 08 時 | 18.7     | 119.5 | 985          | 150       | -   |
| 8 日 11 時 | 19.1     | 119.6 | 982          | 150       | -   |
| 8 日 12 時 | 19.2     | 119.6 | 982          | 150       |     |
| 8 日 13 時 | 19.4     | 119.6 | 982          | 150       | -   |
| 8 日 14 時 | 19.5     | 119.6 | 982          | 150       | -   |
| 8 日 15 時 | 19.6     | 119.7 | 982          | 150       | -   |
| 8 日 16 時 | 19.7     | 119.8 | 982          | 150       | -   |
| 8 日 17 時 | 19.7     | 119.8 | 975          | 150       | -   |
| 8 日 18 時 | 19.8     | 119.9 | 975          | 150       | -   |
| 8 日 19 時 | 19.9     | 120.0 | 975          | 150       | -   |
| 8 日 20 時 | 20.0     | 120.1 | 970          | 150       | -   |
| 8 日 21 時 | 20.0     | 120.2 | 970          | 150       | -   |
| 8 日 22 時 | 20.1     | 120.3 | 970          | 150       | -   |
| 8 日 23 時 | 20.3     | 120.5 | 970          | 150       | -   |

| 時間       | 中心位置 (度) |       | 中 心 氣 壓<br>(百帕) | 風暴半徑 (公里) |     |
|----------|----------|-------|-----------------|-----------|-----|
|          | 北緯       | 東經    |                 | 七級風       | 十級風 |
| 9 日 00 時 | 20.3     | 120.5 | 970             | 150       | -   |
| 9 日 01 時 | 20.4     | 120.5 | 970             | 150       | -   |
| 9 日 02 時 | 20.5     | 120.6 | 970             | 150       | -   |
| 9 日 03 時 | 20.6     | 120.7 | 970             | 150       | -   |
| 9 日 04 時 | 20.7     | 120.8 | 970             | 150       | -   |
| 9 日 05 時 | 20.8     | 120.9 | 970             | 150       | 50  |
| 9 日 06 時 | 20.9     | 121.0 | 970             | 150       | 50  |
| 9 日 07 時 | 21.0     | 121.2 | 970             | 150       | 50  |
| 9 日 08 時 | 21.2     | 121.3 | 970             | 150       | 50  |
| 9 日 09 時 | 21.3     | 121.5 | 970             | 150       | 50  |
| 9 日 10 時 | 21.4     | 121.7 | 970             | 150       | 50  |
| 9 日 11 時 | 21.7     | 121.9 | 970             | 150       | 50  |
| 9 日 12 時 | 22.1     | 122.4 | 970             | 150       | 50  |
| 9 日 14 時 | 22.3     | 122.6 | 970             | 150       | 50  |
| 9 日 15 時 | 22.5     | 122.7 | 970             | 150       | 50  |
| 9 日 16 時 | 22.6     | 122.8 | 970             | 150       | 50  |
| 9 日 17 時 | 22.9     | 123.0 | 970             | 150       | 50  |
| 9 日 20 時 | 23.5     | 123.8 | 970             | 150       | 50  |
| 9 日 23 時 | 24.3     | 124.4 | 970             | 150       | 50  |

表 4.4-4 敏督利颱風路徑與中心氣壓(資料來源；中央氣象局)

| 時間        | 中心位置 (度) |       | 中 心 氣 壓<br>(百帕) | 風暴半徑 (公里) |     |
|-----------|----------|-------|-----------------|-----------|-----|
|           | 北緯       | 東經    |                 | 七級風       | 十級風 |
| 27 日 20 時 | 17.4     | 127.0 | 973             | 200       | 50  |
| 28 日 17 時 | 18.5     | 125.3 | 950             | 250       | 100 |
| 28 日 20 時 | 18.5     | 125.1 | 950             | 250       | 100 |
| 28 日 23 時 | 18.7     | 124.7 | 950             | 250       | 100 |
| 29 日 02 時 | 18.8     | 124.4 | 950             | 250       | 100 |
| 29 日 08 時 | 18.9     | 124.0 | 942             | 250       | 100 |
| 29 日 11 時 | 18.9     | 123.9 | 942             | 250       | 100 |
| 29 日 14 時 | 18.9     | 123.7 | 942             | 250       | 100 |
| 29 日 17 時 | 18.9     | 123.4 | 942             | 250       | 100 |
| 29 日 20 時 | 19.0     | 123.2 | 942             | 250       | 100 |
| 29 日 23 時 | 19.0     | 122.9 | 945             | 250       | 100 |
| 30 日 00 時 | 19.0     | 122.9 | 945             | 250       | 100 |
| 30 日 01 時 | 19.0     | 122.8 | 945             | 250       | 100 |

| 時間        | 中心位置 (度) |       | 中 心 氣 壓<br>(百帕) | 風暴半徑 (公里) |     |
|-----------|----------|-------|-----------------|-----------|-----|
|           | 北緯       | 東經    |                 | 七級風       | 十級風 |
| 30 日 02 時 | 19.1     | 122.7 | 945             | 250       | 100 |
| 30 日 03 時 | 19.1     | 122.7 | 945             | 250       | 100 |
| 30 日 04 時 | 19.1     | 122.6 | 945             | 250       | 100 |
| 30 日 05 時 | 19.1     | 122.5 | 945             | 250       | 100 |
| 30 日 06 時 | 19.1     | 122.4 | 945             | 250       | 100 |
| 30 日 07 時 | 19.1     | 122.3 | 945             | 250       | 100 |
| 30 日 08 時 | 19.1     | 122.3 | 952             | 250       | 100 |
| 30 日 09 時 | 19.1     | 122.3 | 952             | 250       | 100 |
| 30 日 10 時 | 19.1     | 122.2 | 952             | 250       | 100 |
| 30 日 11 時 | 19.2     | 122.1 | 952             | 250       | 100 |
| 30 日 12 時 | 19.2     | 122.1 | 952             | 250       | 100 |
| 30 日 13 時 | 19.2     | 122.1 | 952             | 250       | 100 |
| 30 日 14 時 | 19.3     | 122.0 | 952             | 250       | 100 |
| 30 日 15 時 | 19.4     | 122.0 | 952             | 250       | 100 |
| 30 日 16 時 | 19.4     | 122.0 | 952             | 250       | 100 |
| 30 日 17 時 | 19.6     | 122.1 | 952             | 250       | 100 |
| 30 日 18 時 | 19.6     | 122.1 | 952             | 250       | 100 |
| 30 日 19 時 | 19.7     | 122.1 | 952             | 250       | 100 |
| 30 日 20 時 | 19.8     | 122.1 | 952             | 250       | 100 |
| 30 日 21 時 | 19.9     | 122.1 | 952             | 250       | 100 |
| 30 日 22 時 | 20.0     | 122.1 | 952             | 250       | 100 |
| 30 日 23 時 | 20.2     | 122.1 | 965             | 250       | 100 |
| 1 日 00 時  | 20.3     | 122.1 | 965             | 250       | 100 |
| 1 日 01 時  | 20.4     | 122.1 | 965             | 250       | 100 |
| 1 日 02 時  | 20.6     | 122.0 | 968             | 200       | 80  |
| 1 日 03 時  | 20.7     | 122.0 | 968             | 200       | 80  |
| 1 日 04 時  | 20.8     | 122.0 | 968             | 200       | 80  |
| 1 日 05 時  | 21.1     | 122.0 | 968             | 200       | 80  |
| 1 日 06 時  | 21.3     | 122.0 | 968             | 200       | 80  |
| 1 日 07 時  | 21.5     | 121.9 | 968             | 200       | 80  |
| 1 日 08 時  | 21.7     | 121.8 | 975             | 200       | -   |
| 1 日 09 時  | 21.8     | 121.7 | 975             | 200       | -   |
| 1 日 10 時  | 21.9     | 121.7 | 975             | 200       | -   |
| 1 日 11 時  | 21.9     | 121.6 | 975             | 200       | -   |
| 1 日 12 時  | 22.0     | 121.6 | 975             | 200       | -   |

| 時間       | 中心位置 (度) |       | 中 心 氣 壓<br>(百帕) | 風暴半徑 (公里) |     |
|----------|----------|-------|-----------------|-----------|-----|
|          | 北緯       | 東經    |                 | 七級風       | 十級風 |
| 1 日 13 時 | 22.1     | 121.6 | 975             | 200       | -   |
| 1 日 14 時 | 22.2     | 121.6 | 975             | 200       | -   |
| 1 日 15 時 | 22.4     | 121.7 | 975             | 200       | -   |
| 1 日 16 時 | 22.6     | 121.7 | 975             | 200       | -   |
| 1 日 17 時 | 22.8     | 121.7 | 975             | 200       | -   |
| 1 日 18 時 | 23.0     | 121.8 | 975             | 200       | -   |
| 1 日 19 時 | 23.1     | 121.8 | 975             | 200       | -   |
| 1 日 20 時 | 23.3     | 121.8 | 975             | 200       | -   |
| 1 日 21 時 | 23.5     | 121.8 | 975             | 200       | -   |
| 1 日 22 時 | 23.7     | 121.7 | 975             | 200       | -   |
| 1 日 23 時 | 23.9     | 121.5 | 975             | 200       | -   |
| 2 日 00 時 | 24.0     | 121.5 | 975             | 200       | -   |
| 2 日 01 時 | 24.1     | 121.5 | 975             | 200       | -   |
| 2 日 02 時 | 24.3     | 121.5 | 980             | 200       | -   |
| 2 日 03 時 | 24.4     | 121.5 | 980             | 200       | -   |
| 2 日 04 時 | 24.6     | 121.6 | 980             | 200       | -   |
| 2 日 05 時 | 24.8     | 121.6 | 980             | 200       | -   |
| 2 日 06 時 | 24.9     | 121.6 | 980             | 200       | -   |
| 2 日 07 時 | 25.0     | 121.6 | 980             | 200       | -   |
| 2 日 08 時 | 25.0     | 121.6 | 980             | 200       | -   |
| 2 日 09 時 | 25.0     | 121.5 | 980             | 200       | -   |
| 2 日 10 時 | 25.1     | 121.4 | 980             | 200       | -   |
| 2 日 11 時 | 25.2     | 121.0 | 983             | 150       | -   |
| 2 日 12 時 | 25.2     | 121.1 | 983             | 150       | -   |
| 2 日 13 時 | 25.2     | 121.1 | 983             | 150       | -   |
| 2 日 14 時 | 25.3     | 121.1 | 983             | 150       | -   |
| 2 日 15 時 | 25.4     | 121.2 | 983             | 150       | -   |
| 2 日 16 時 | 25.6     | 121.3 | 983             | 150       | -   |
| 2 日 17 時 | 25.8     | 121.4 | 983             | 150       | -   |
| 2 日 18 時 | 25.9     | 121.5 | 983             | 150       | -   |
| 2 日 19 時 | 26.0     | 121.5 | 983             | 150       | -   |
| 2 日 20 時 | 26.2     | 121.6 | 983             | 150       | -   |
| 2 日 21 時 | 26.3     | 121.7 | 983             | 150       | -   |
| 2 日 22 時 | 26.5     | 121.8 | 983             | 150       | -   |
| 2 日 23 時 | 26.7     | 121.9 | 983             | 150       | -   |

| 時間       | 中心位置 (度) |       | 中 心 氣 壓<br>(百帕) | 風暴半徑 (公里) |     |
|----------|----------|-------|-----------------|-----------|-----|
|          | 北緯       | 東經    |                 | 七級風       | 十級風 |
| 3 日 02 時 | 27.0     | 122.0 | 983             | 150       | -   |
| 3 日 05 時 | 27.3     | 122.1 | 983             | 150       | -   |
| 3 日 08 時 | 27.5     | 122.2 | 983             | 150       | -   |
| 3 日 11 時 | 27.7     | 122.1 | 990             | 120       | -   |

表 4.4-5 蘭寧颱風路徑與中心氣壓(資料來源；中央氣象局)

| 時間        | 中心位置 (度) |       | 中 心 氣 壓<br>(百帕) | 風暴半徑 (公里) |     |
|-----------|----------|-------|-----------------|-----------|-----|
|           | 北緯       | 東經    |                 | 七級風       | 十級風 |
| 10 日 23 時 | 22.7     | 127.4 | 970             | 250       | 100 |
| 11 日 02 時 | 22.9     | 127.1 | 970             | 250       | 100 |
| 11 日 05 時 | 23.0     | 126.6 | 965             | 250       | 100 |
| 11 日 08 時 | 23.1     | 126.4 | 965             | 250       | 100 |
| 11 日 11 時 | 23.5     | 126.0 | 965             | 250       | 100 |
| 11 日 12 時 | 23.8     | 125.8 | 965             | 250       | 100 |
| 11 日 13 時 | 23.8     | 125.8 | 965             | 250       | 100 |
| 11 日 14 時 | 23.9     | 125.6 | 960             | 250       | 100 |
| 11 日 15 時 | 23.9     | 125.5 | 960             | 250       | 100 |
| 11 日 16 時 | 24.0     | 125.4 | 960             | 250       | 100 |
| 11 日 17 時 | 24.1     | 125.2 | 960             | 250       | 100 |
| 11 日 18 時 | 24.2     | 125.2 | 960             | 250       | 100 |
| 11 日 19 時 | 24.3     | 125.1 | 960             | 250       | 100 |
| 11 日 20 時 | 24.3     | 125.1 | 960             | 250       | 100 |
| 11 日 21 時 | 24.6     | 125.0 | 960             | 250       | 100 |
| 11 日 22 時 | 24.8     | 124.9 | 960             | 250       | 100 |
| 11 日 23 時 | 25.0     | 124.8 | 960             | 250       | 100 |
| 12 日 00 時 | 25.1     | 124.8 | 960             | 250       | 100 |
| 12 日 01 時 | 25.3     | 124.6 | 960             | 250       | 100 |
| 12 日 02 時 | 25.5     | 124.5 | 960             | 250       | 100 |
| 12 日 03 時 | 25.6     | 124.3 | 960             | 250       | 100 |
| 12 日 04 時 | 25.7     | 124.2 | 960             | 250       | 100 |
| 12 日 05 時 | 25.9     | 124.2 | 960             | 250       | 100 |
| 12 日 06 時 | 26.2     | 124.1 | 960             | 250       | 100 |
| 12 日 07 時 | 26.4     | 123.9 | 960             | 250       | 100 |
| 12 日 08 時 | 26.5     | 123.8 | 960             | 250       | 100 |
| 12 日 09 時 | 26.7     | 123.5 | 960             | 250       | 100 |
| 12 日 10 時 | 26.9     | 123.3 | 960             | 250       | 100 |

| 時間        | 中心位置 (度) |       | 中心氣壓<br>(百帕) | 風暴半徑 (公里) |     |
|-----------|----------|-------|--------------|-----------|-----|
|           | 北緯       | 東經    |              | 七級風       | 十級風 |
| 12 日 11 時 | 27.1     | 123.1 | 960          | 250       | 100 |
| 12 日 12 時 | 27.2     | 122.8 | 960          | 250       | 100 |
| 12 日 13 時 | 27.3     | 122.7 | 960          | 250       | 100 |
| 12 日 14 時 | 27.5     | 122.5 | 955          | 250       | 100 |
| 12 日 15 時 | 27.5     | 122.4 | 955          | 250       | 100 |
| 12 日 16 時 | 27.7     | 122.2 | 955          | 250       | 100 |
| 12 日 17 時 | 27.9     | 122.0 | 955          | 250       | 100 |
| 12 日 18 時 | 28.0     | 121.8 | 955          | 250       | 100 |
| 12 日 19 時 | 28.1     | 121.6 | 955          | 250       | 100 |
| 12 日 20 時 | 28.2     | 121.3 | 955          | 250       | 100 |
| 12 日 21 時 | 28.3     | 120.9 | 955          | 250       | 100 |
| 12 日 22 時 | 28.3     | 120.7 | 955          | 250       | 100 |
| 12 日 23 時 | 28.4     | 120.5 | 975          | 200       | 50  |
| 13 日 02 時 | 28.5     | 120.0 | 980          | 150       | -   |

#### 4.4.3 討論

往昔由天體位勢求得之潮汐水位，其振幅大小皆小於實測值。因此，本研究應用天體引力之相關天體參數，以建構神經網路模式。該模式稱之為天文潮神經網路模式(ANN-AST)。該模式在延時為 3 小時、輸入參數共 21 個及學習時間為花蓮港 2001 年數據 8760 小時，其 ANN-AS 模式推算結果之精度與調和分析法相似。藉由該網路模式可求得較精確之潮汐水位，進而可求得在颱風期間之暴潮偏差。本研究並應用該模式於 2004 年在花蓮港之康森、敏督利及蘭寧等三個颱風暴潮偏差推算，其結果顯示，颱風之中心氣壓越大，中心位置越靠近花蓮港者，其暴潮偏差越明顯。若中心氣壓大，但離花蓮港較遠或心氣壓小，但離花蓮港較近者，暴潮偏差則較不明顯。故，藉由天體作用參數所建構之神經網路，可實際應用於花蓮港潮位預測，並可推算暴潮偏差。

## 4.5 各類水位模式比較

### 4.5.1 例子說明比較

圖 4.5-1~圖 4.5-5 為類神經網路暴潮模式與全域暴潮模式的模擬結果，模擬的颱風為 2004 年康森及敏督利。可由圖上發現類神經網路暴潮模式於康森颱風的模擬結果在趨勢及偏差大小上與實測暴潮偏差接近。而全域暴潮模式由於網格點較大，取點會有誤差，且未加入氣壓場的來模擬，可以發現暴潮偏差值偏小。敏督利颱風情況與康森相同，但是類神經網路暴潮模式的模擬結果上可發現雖然在趨勢上與實測暴潮偏差類似，但是在大小上仍無法模擬到極大值，在全域暴潮水位的部分，顯示出的情況與康森颱風相似，模擬出的暴潮偏差值則偏低。

圖 4.5-5 則為全域暴潮模式加入氣壓場的影響後模擬的結果。可以發現暴潮偏差水位與實測資料差距不大，結果也與類神經網路暴潮模式相似，氣壓的加入對於暴潮偏差水位的影響相當的大。

圖 4.5-6 為全域水位模式結果與實測資料比對圖。由圖上可以發現全域水位模式的模擬結果相當不錯，模式結果與實測資料相當的吻合。

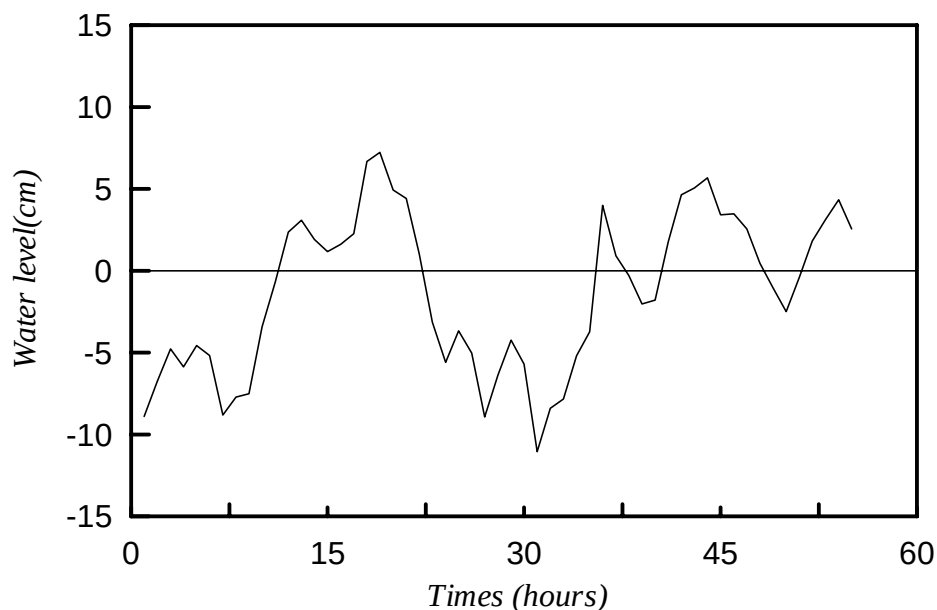


圖 4.5-1 ANN-AST 模式推算康森颱風之花蓮暴潮偏差



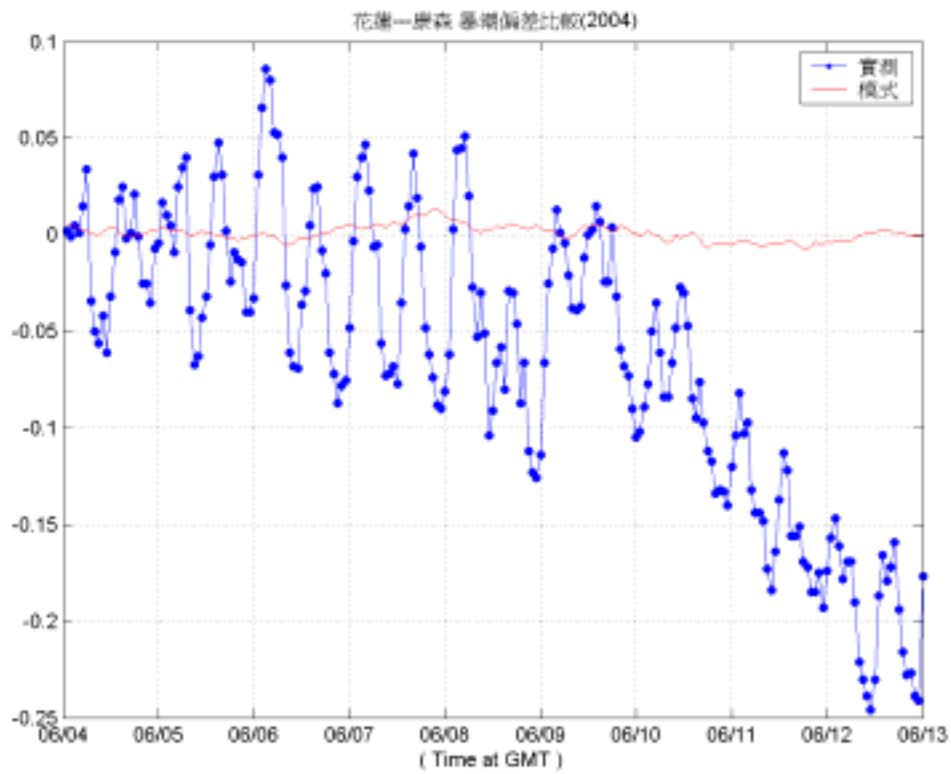


圖 4.5-2 全域暴潮模式推算康森颱風之花蓮暴潮偏差

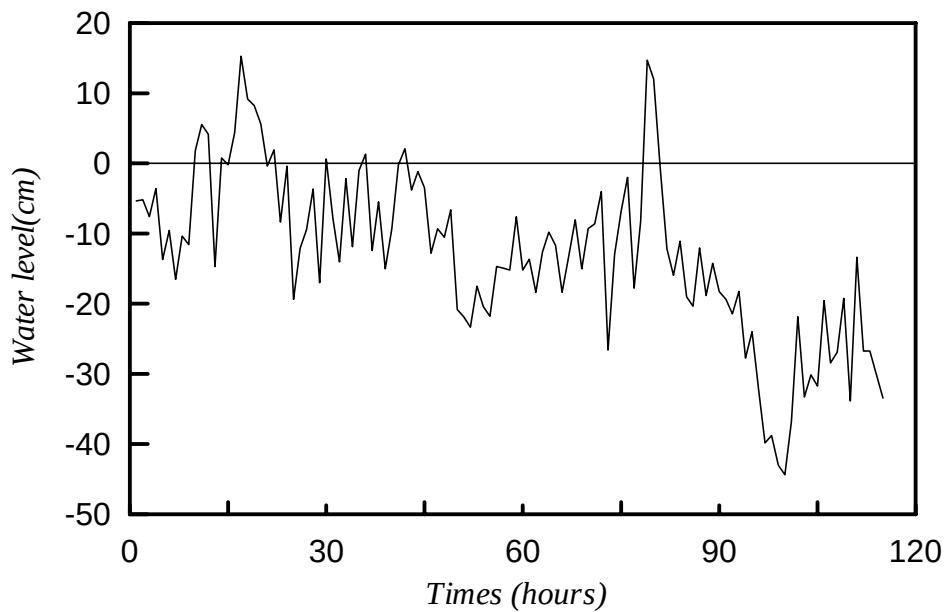


圖 4.5-3 ANN-AST 模式推算敏督利颱風之花蓮暴潮偏差

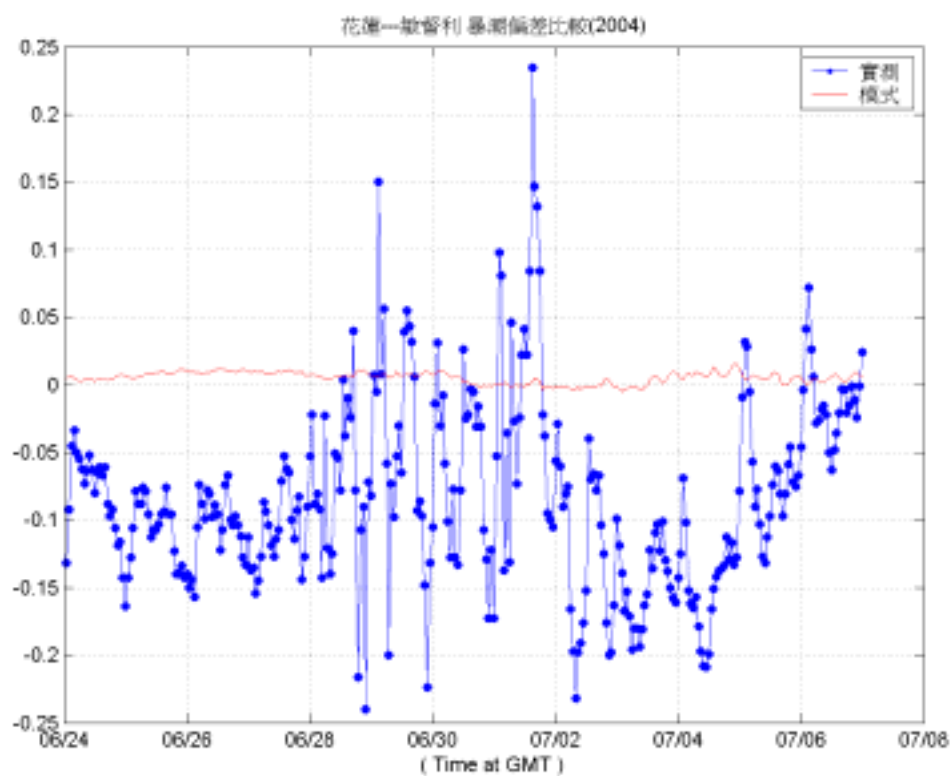


圖 4.5-4 全域暴潮模式推算敏督利颱風之花蓮暴潮偏差

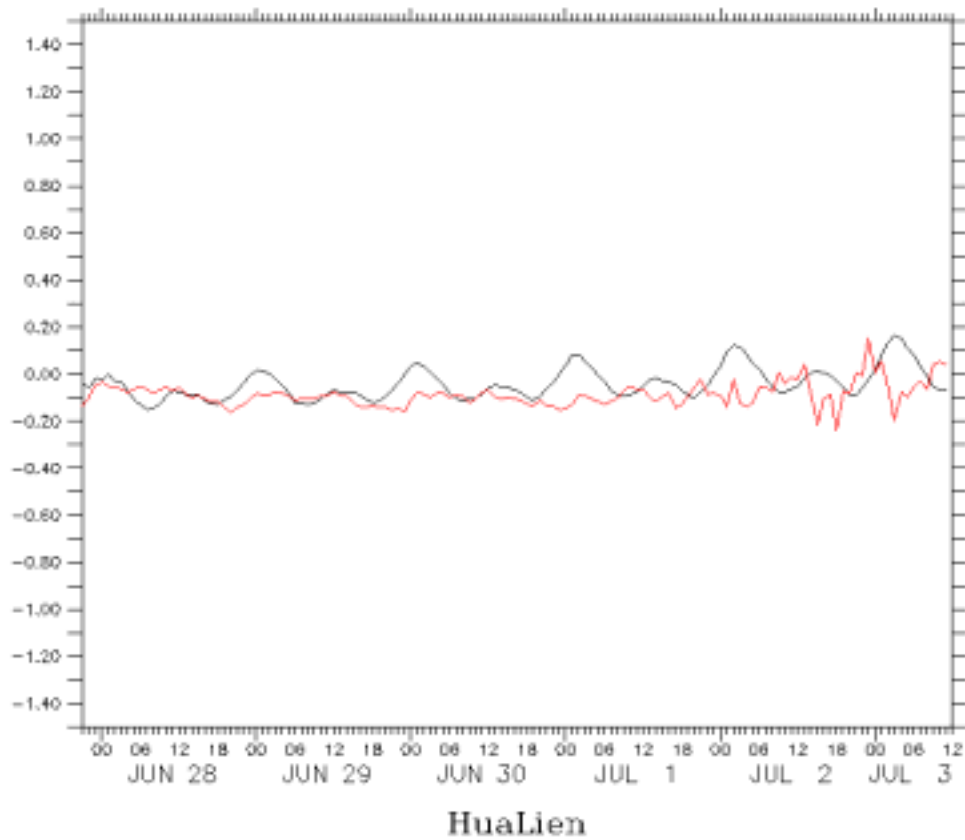


圖 4.5-5 全域暴潮模式推算敏督利颱風之花蓮暴潮偏差

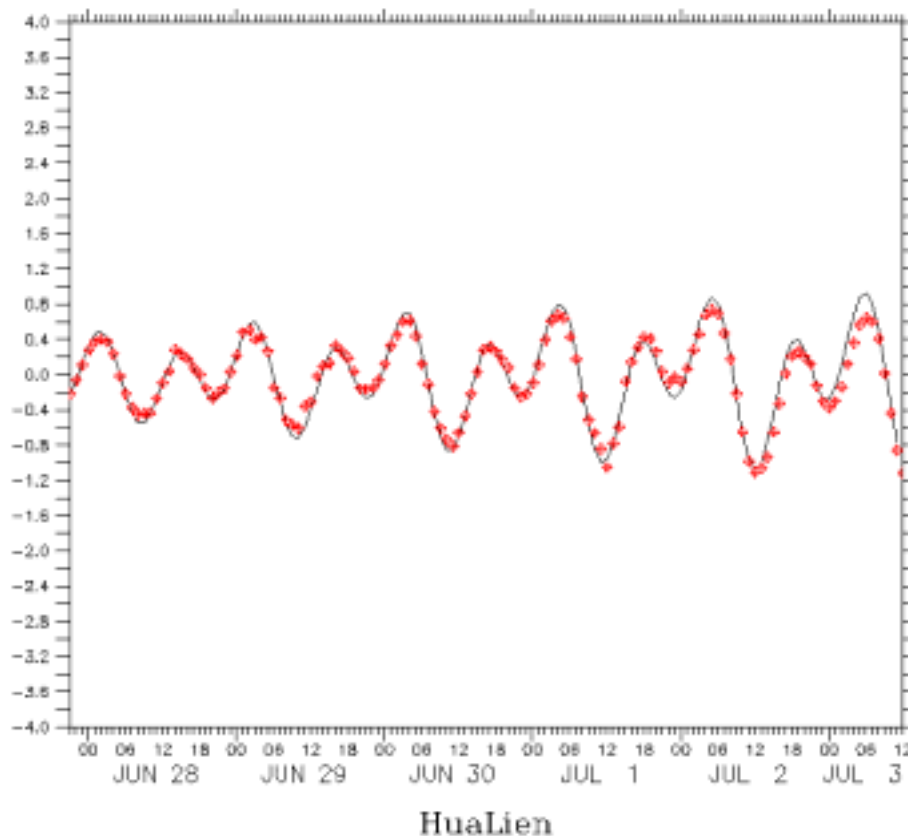


圖 4.5-6 全域水位模式推算敏督利颱風之花蓮暴潮偏差

#### 4.5.2 討論

由上面的例子可以發現全域暴潮模式模擬出來的結果與類神經網路暴潮模式的結果差異不小，原因為取點的不同，全域暴潮模式由於網格點較大，因此取出的點位不若類神經暴潮網路的精確，因此在近岸地型的描述上便會差距很多，如此對於結果的比對會影響很大，然全域暴潮模式可以模擬整個平面的暴潮偏差情況也是類神經網路無法做到的，因此這兩種暴潮模式皆各有其優點及缺點。然由最後的全域水位模式結果可以得到相當不錯的水位結果，同時也可以得到全區域的水位變化，再加上暴潮偏差在使用上並沒有水位來的直接，因此未來利用全域水位預報模式來取代全域暴潮模式直接預報水位是最為可行及合理的方式。

表 4.5-1 全域水位模式與定點類神經網路水位模式應用摘要表

全域水位模式應用表

| 說明項目 | 應用說明                       |
|------|----------------------------|
| 限制   | 計算時間較預警模式長<br>需要全區域的風場及壓力場 |
| 精度   | 得到水位為測站附近的值（可提高模式解析度改進）    |
| 優點   | 可直接得到水位變化<br>可模擬全區域的水位變化   |
| 缺點   | 網格點解析度較粗，近岸結果較不好<br>計算時間較長 |
| 輸入資料 | 潮汐邊界<br>氣象條件（風速及壓力）        |
| 輸出資料 | 全區域之水位資料(m)                |

定點類神經網路水位模式應用摘要表

| 說明項目 | 應用說明                                                                                               |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 限制   | 需有一年以上之實際潮位資料。                                                                                     |
| 精度   | 推算位置為觀測站潮汐水位。<br>推算時間的刻度為小時。<br>潮位推算結果與調和分析法相似。                                                    |
| 優點   | 對非線性、複雜的關係具有良好的模擬能力。<br>模式建構快速、容易。<br>模式具有學習修正的能力。<br>計算速度快。                                       |
| 缺點   | 模式需要足夠的學習資料進行學習與模擬。<br>模式推算結果或解答，屬於滿意解而非精確解。<br>僅能預測已學習過之測站水位                                      |
| 輸入資料 | 地球半徑 $R$ 。<br>天頂距離 $\rho$ (太陽、月亮)。<br>觀測點頭頂方向與地心及星球(太陽、月亮)中心之連線夾角 $\theta$ 。<br>日、月與地球之相對角度 $\psi$ |
| 輸出資料 | 觀測站之潮位資料(cm)                                                                                       |

## 第五章 台灣環島長期波浪推算結果

本章利用第三章所建立的台灣海岸之風浪模式，為了使風浪預報在空間與時間上皆可達到快速計算的要求，透過 2001 與 2002 年之長期風浪推算，驗證風浪模式之合理性。

### 5.1 風浪推算模式、計算地區及計算時間

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○五六七五號函送立法院審議的「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，或致地形、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。

台灣四面環海，陸域面積約 36000 平方公里，這狹小的地區向海發展的方向就變的很自然了，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，如台灣海峽廣大的漁場、填海造陸、各縣市政府推行的藍色公路等。本計畫目的為建立台灣環島沿岸之海象預報模式，為了使風浪預報在空間與時間上皆可達到委託單位的要求，整合不同風浪與波浪預報模式，完成海象預報模式的建立。

風浪模式的選擇在第三章中已有略述，在遠域區域中選擇 WAM 模式，在近岸區域選擇 SWAN 風浪模式，透過巢狀格網連結兩模式，使其在台灣近岸海域可達約 5 公里之風浪預報解析度。風浪模式之外力主要為風，風場資料的獲得在計畫中並未規劃，如由計畫中進行風場的模擬並不合經濟效益，故風場資料的獲得以國內外現有之產品為主要選擇。圖 5-1 為格林威治時間 2001 年 1 月 1 日 0 時之美國大氣及海洋總署 (NOAA) 之大氣模式的海面風場分析資料，其資料範圍為北緯 78° 至南緯 78°，起始東經 0° 至 358.75°，其資料幾乎涵蓋全

球，在緯度解析度為 1 度，而經度解析度為 1.25 度，資料時間間隔為 3 小時。為了配合風浪模式之格網範圍與解析度，經線性內插後可得如圖 5-2 之 2001 年 1 月 1 日 0 時台灣附近海域之風場資料。

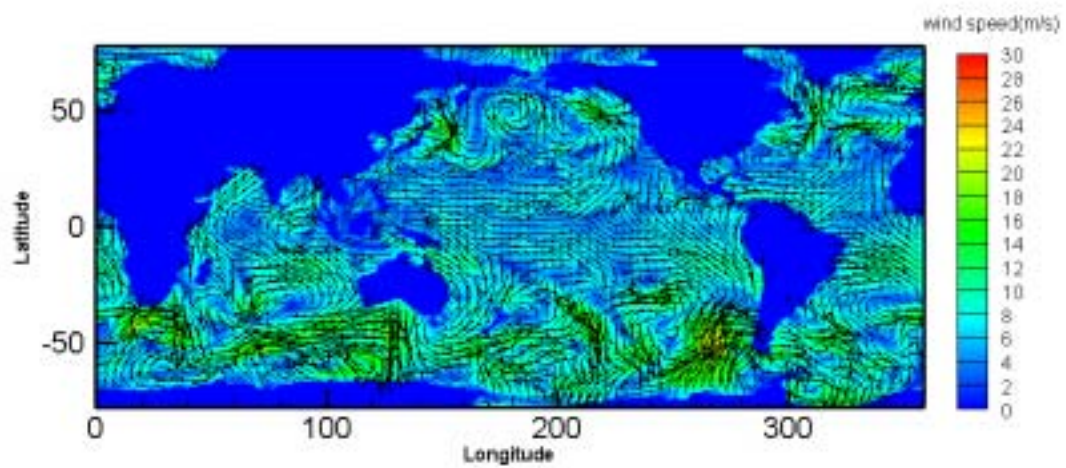


圖 5-1 NOAA 之大氣模式風場資料

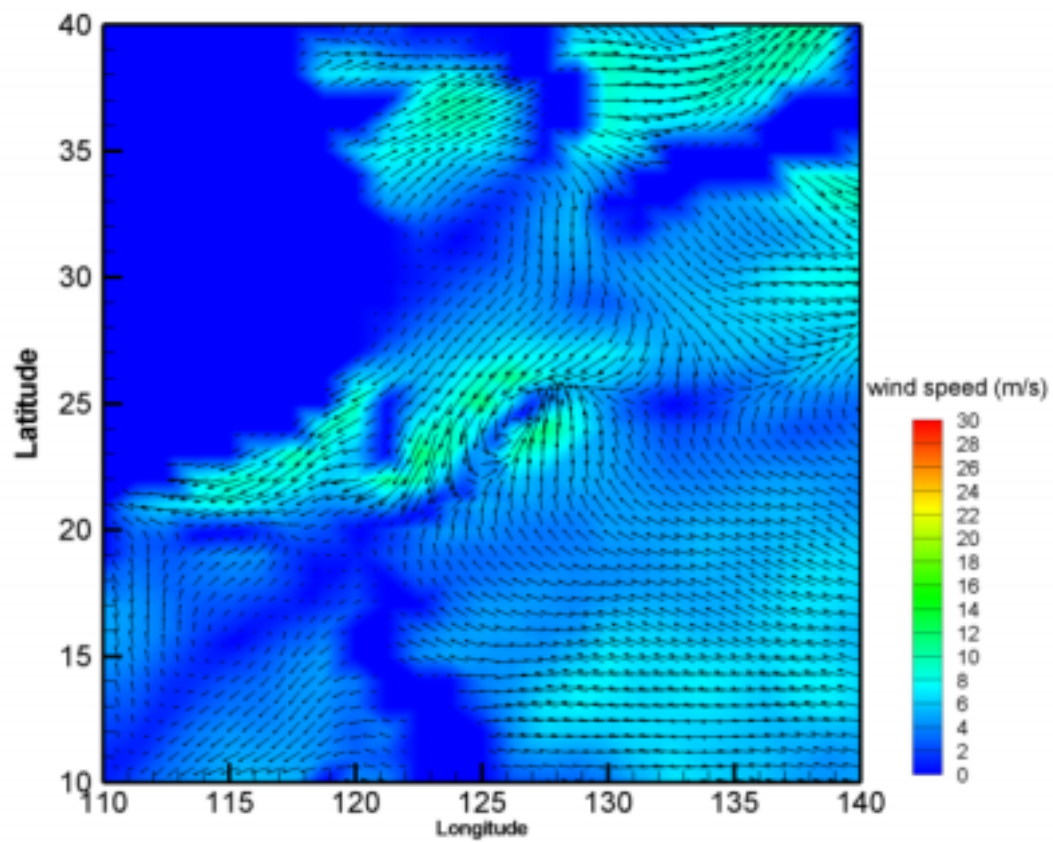


圖 5-2 台灣附近海域之風場資料

模式計算範圍、計算時間間隔、格網大小、頻率及方向波譜解析度與節 3.1.2 所介紹的相同，而模式推算長期波浪的時間點乃以現階段所能獲得之美國大氣及海洋總署 (NOAA) 之大氣模式的海面風場分析資料，時間從格林威治時間 2001 年 1 月 1 日 0 時至 2003 年 2 月 1 日 0 時，可涵蓋兩年間春夏秋冬之波浪變化情形。而風浪模式主要輸出作驗證之地區以台北港、基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港及台中港等 7 個商港為主，另外為兼顧環島藍色公路海域之完整性，特別輸出台東綠島、屏東鵝鑾鼻及澎湖馬公之波浪推算結果，以分析台灣環島附近海域之海象預報模式，上述地區於台灣海域之位置如圖 5-3 所示。

為了客觀表示推算結果之優劣，本計畫利用兩統計參數作為模擬結果之優劣程度之參考。一為相關係數 CR，其可表現推算值與實測值間之趨勢，其定義為

$$CR = \frac{\sum_{i=1}^N [(P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})]}{\left[ \sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2 \right]^{1/2}} \quad (5-1)$$

其中  $P_i$  與  $O_i$  分別表示推算值與實測值，而  $\bar{P}$  與  $\bar{O}$  分別表示推算時間內之推算平均值與實測資料平均值， $N$  為資料點數。另一個參數為絕對誤差  $\varepsilon$ ，其定義為

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^N |P_i - O_i|}{N} \quad (5-2)$$

其可表現出推算值與實測值間之平均推算誤差。

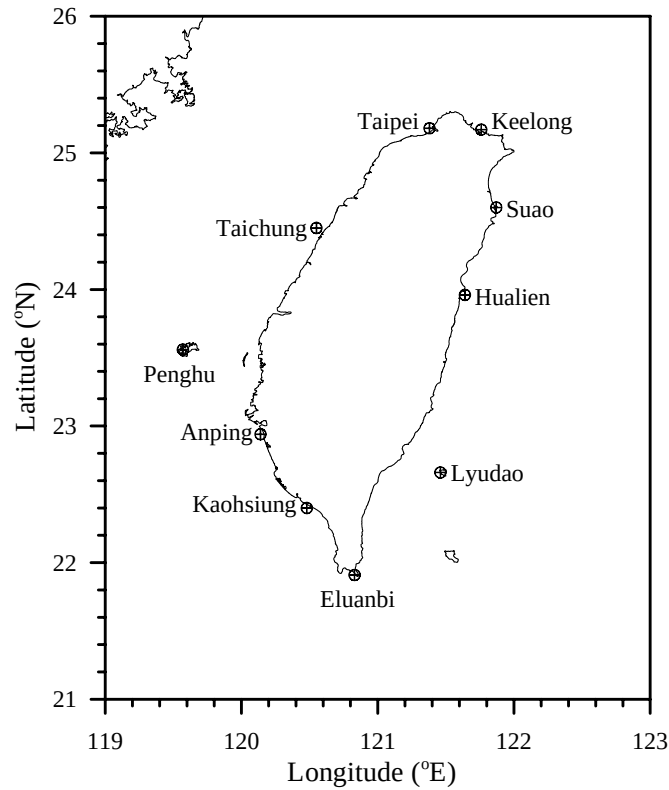


圖 5-3 風浪模式主要輸出地區位置圖

圖 5-4 及圖 5-5 分別為 2001 年、2002 年安平港附近海域風速實測資料與推算值之比較圖，安平港受到中度奇比颱風之侵襲，在 2001 年 6 月 23 日 12 時發生最大風速為 28.06 m/s。依時間特性之統計分析，如表 5-1 所示，實測風速最大平均值發生在 2002 年冬季，約為 6.90 m/s，NOAA 大氣模式模擬平均風速約為 4.79 m/s，實測風速與推算值之相關係數為 0.57、絕對誤差為 2.78 m。安平港位於台灣西南方，年平均風速約為 5.46 m/s，在夏、秋二季容易受到颱風影響，造成風速紊亂分散，在冬季，台灣海峽之狹管效應導致東北季風風向一致，平均風速也較大。利用 NOAA 大氣模式推算風速發現，除了 2002 年春季模擬結果相關係數較低外，大致均有相當良好之相關性。



表 5-1 安平港附近海域風速實測資料與推算值之比較統計表

| 參數<br>月份 |              | 實測<br>平均 | NOAA<br>大氣模式 | 相關<br>係數 | 絕對<br>誤差 |
|----------|--------------|----------|--------------|----------|----------|
| 風速       | 2001 年<br>春季 | 5.71     | 3.84         | 0.52     | 2.46     |
|          | 2001 年<br>夏季 | 4.61     | 3.44         | 0.41     | 2.09     |
|          | 2001 年<br>秋季 | 5.28     | 4.07         | 0.57     | 2.37     |
|          | 2001 年<br>冬季 | 6.66     | 4.83         | 0.35     | 2.68     |
|          | 2001 年<br>春季 | 5.27     | 3.74         | 0.002    | 2.76     |
|          | 2001 年<br>夏季 | 4.46     | 3.44         | 0.31     | 2.12     |
|          | 2001 年<br>秋季 | 4.78     | 4.01         | 0.57     | 2.05     |
|          | 2001 年<br>冬季 | 6.90     | 4.79         | 0.57     | 2.78     |

註：風速 (公尺/秒)

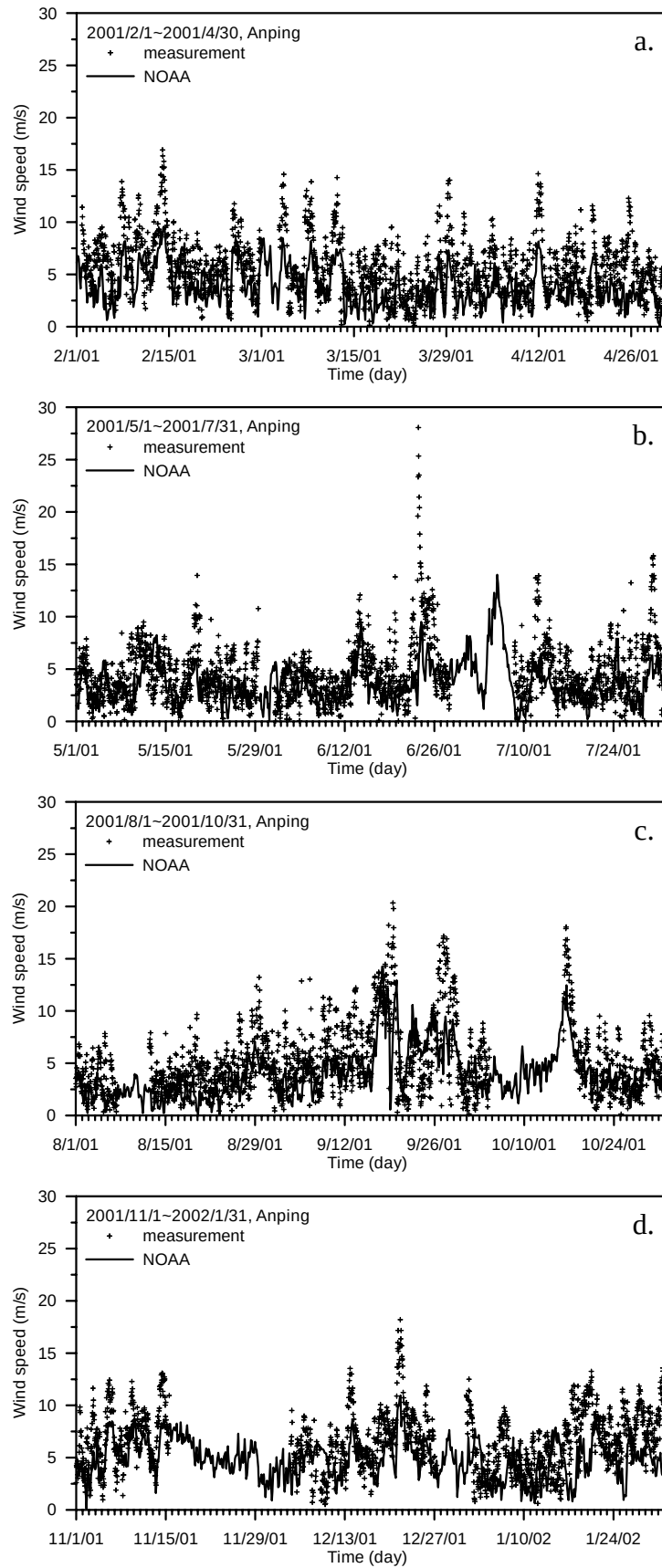


圖 5-4 安平港附近 2001 年實測風速與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

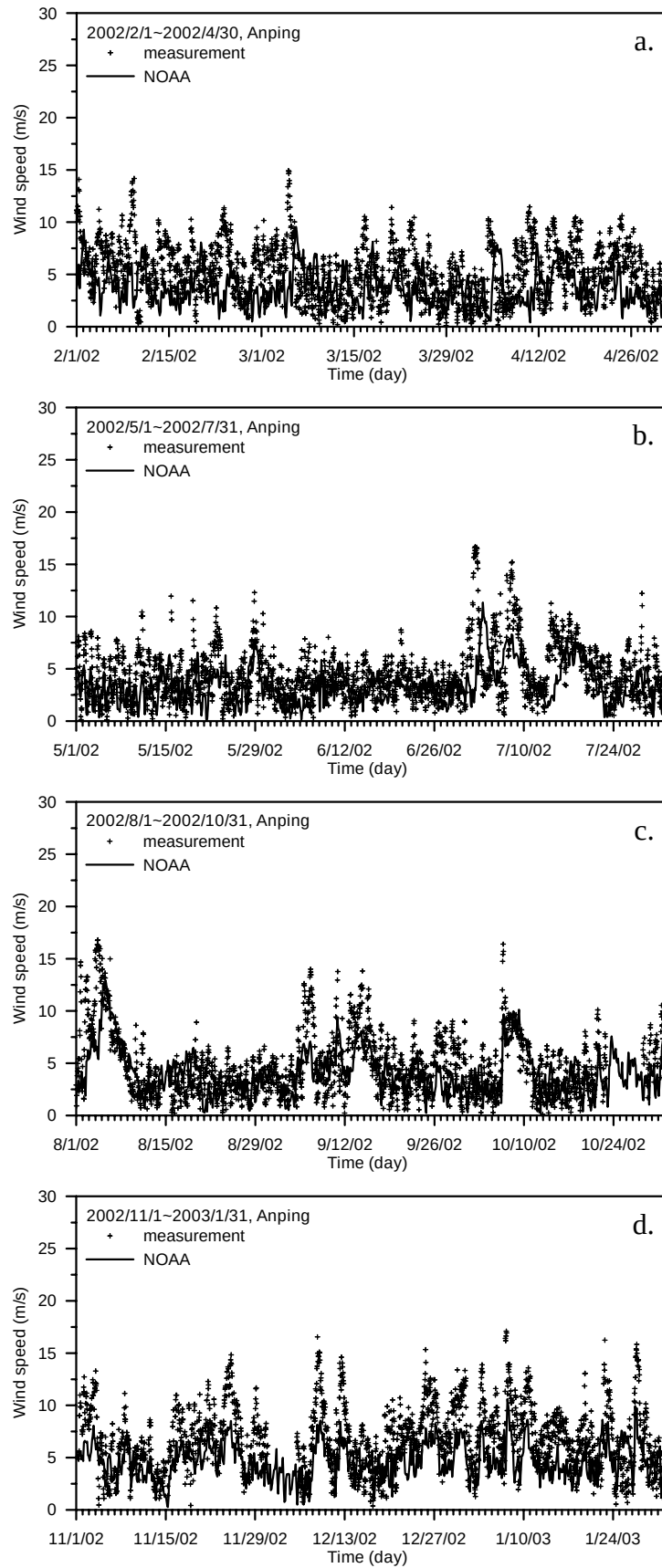


圖 5-5 安平港附近 2002 年實測風速與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

圖 5-6 及圖 5-7 分別為 2001 年、2002 年花蓮港附近海域風速實測資料與推算值之比較圖，花蓮港受到中度桃芝颱風之侵襲，在 2001 年 7 月 30 日 5 時發生最大風速為 18.5 m/s。依時間特性之統計分析，如表 5-2 所示，實測風速最大平均值發生在 2002 年冬季，約為 3.33 m/s，NOAA 大氣模式模擬平均風速約為 3.46 m/s，實測風速與推算值之相關係數為 0.51、絕對誤差為 1.41 m。花蓮港位於台灣東部，年平均風速約為 2.99 m/s，風速推算與實測風速之誤差較小，絕對誤差約在 1.42 m 左右。

表 5-2 花蓮港附近海域風速實測資料與推算值之比較統計表

| 參數<br>月份 |              | 實測<br>平均 | NOAA<br>大氣模式 | 相關<br>係數 | 絕對<br>誤差 |
|----------|--------------|----------|--------------|----------|----------|
| 風速       | 2001 年<br>春季 | 3.02     | 3.05         | 0.35     | 1.40     |
|          | 2001 年<br>夏季 | 3.01     | 2.55         | 0.25     | 1.53     |
|          | 2001 年<br>秋季 | 2.96     | 3.06         | 0.30     | 1.44     |
|          | 2001 年<br>冬季 | 3.20     | 3.39         | 0.36     | 1.50     |
|          | 2001 年<br>春季 | 3.08     | 2.70         | 0.33     | 1.34     |
|          | 2001 年<br>夏季 | 2.59     | 2.43         | 0.07     | 1.40     |
|          | 2001 年<br>秋季 | 2.79     | 2.77         | 0.21     | 1.37     |
|          | 2001 年<br>冬季 | 3.33     | 3.46         | 0.51     | 1.41     |

註：風速 (公尺/秒)

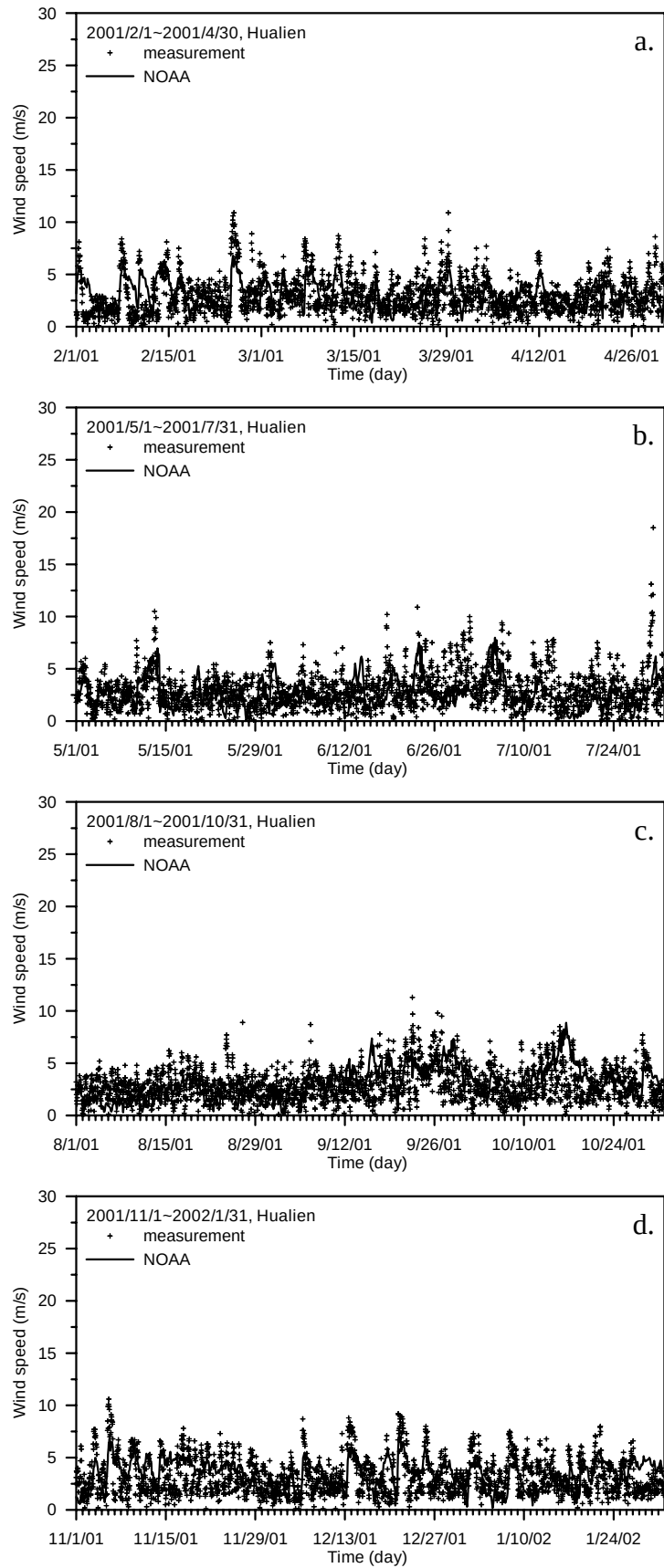


圖 5-6 花蓮港附近 2001 年實測風速與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

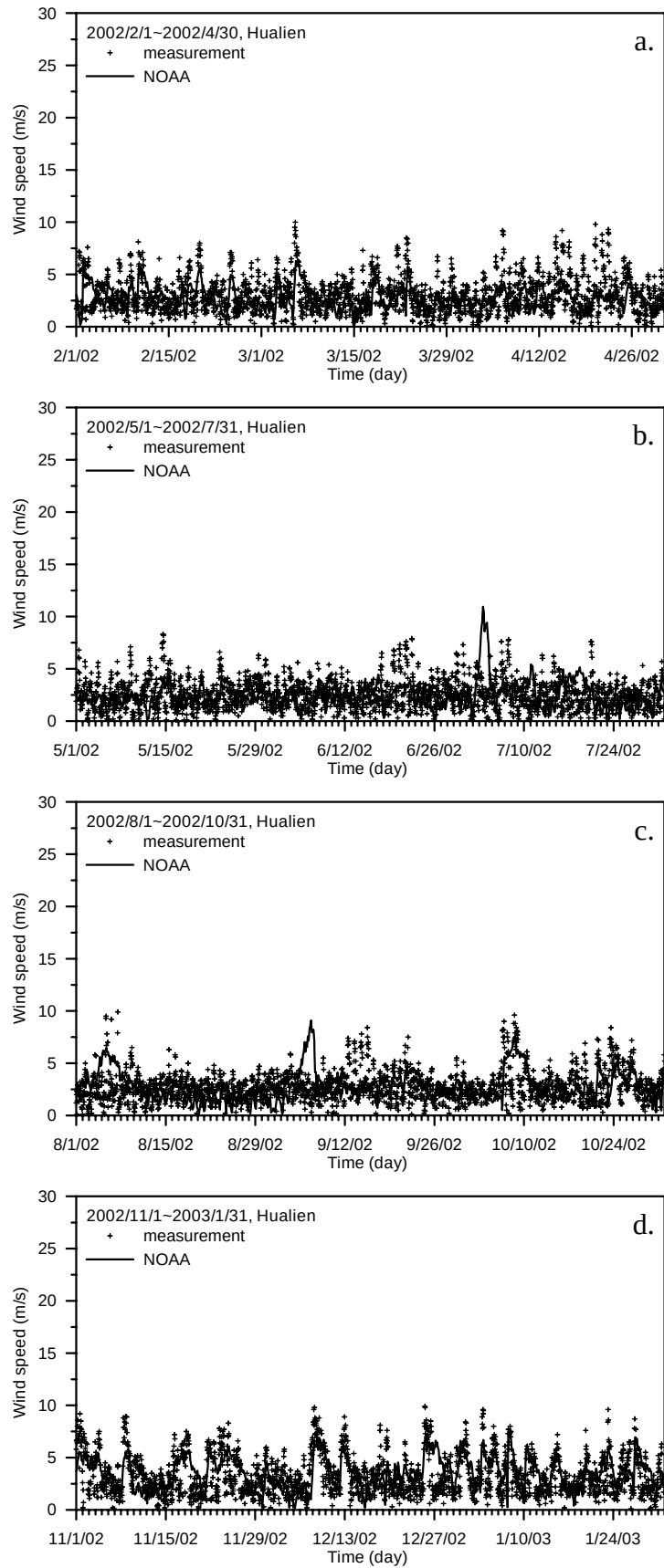


圖 5-7 花蓮港附近 2002 年實測風速與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

圖 5-8 及圖 5-9 分別為 2001 年、2002 年高雄港附近海域風速實測資料與推算值之比較圖，高雄港受到中度奇比颱風之侵襲，在 2001 年 6 月 23 日 1 時發生最大風速為 12.2 m/s。依時間特性之統計分析，如表 5-3 所示，實測風速最大平均值發生在 2001 年秋季，約為 2.32 m/s，NOAA 大氣模式模擬平均風速約為 3.59 m/s，實測風速與推算值之相關係數為 0.38、絕對誤差為 1.86 m。高雄港的地理位置與安平港較為相近，年平均風速約為 2.23 m/s。冬季時，利用 NOAA 大氣模式分析海面風場資料較實測風速大，其可能是東北季風受中央山脈阻隔，導致高雄港附近風速稍弱。

表 5-3 高雄港附近海域風速實測資料與推算值之比較統計表

| 參數<br>月份 |              | 實測<br>平均 | NOAA<br>大氣模式 | 相關<br>係數 | 絕對<br>誤差 |
|----------|--------------|----------|--------------|----------|----------|
| 風速       | 2001 年<br>春季 | 2.12     | 3.92         | 0.01     | 2.20     |
|          | 2001 年<br>夏季 | 2.28     | 3.66         | 0.32     | 1.95     |
|          | 2001 年<br>秋季 | 2.32     | 3.59         | 0.38     | 1.86     |
|          | 2001 年<br>冬季 | 2.11     | 4.42         | 0.03     | 2.46     |
|          | 2001 年<br>春季 | 2.28     | 3.72         | 0.01     | 1.86     |
|          | 2001 年<br>夏季 | 2.31     | 3.19         | 0.28     | 1.56     |
|          | 2001 年<br>秋季 | 2.23     | 3.76         | 0.23     | 1.98     |
|          | 2001 年<br>冬季 | 2.16     | 4.65         | 0.02     | 2.62     |

註：風速 (公尺/秒)

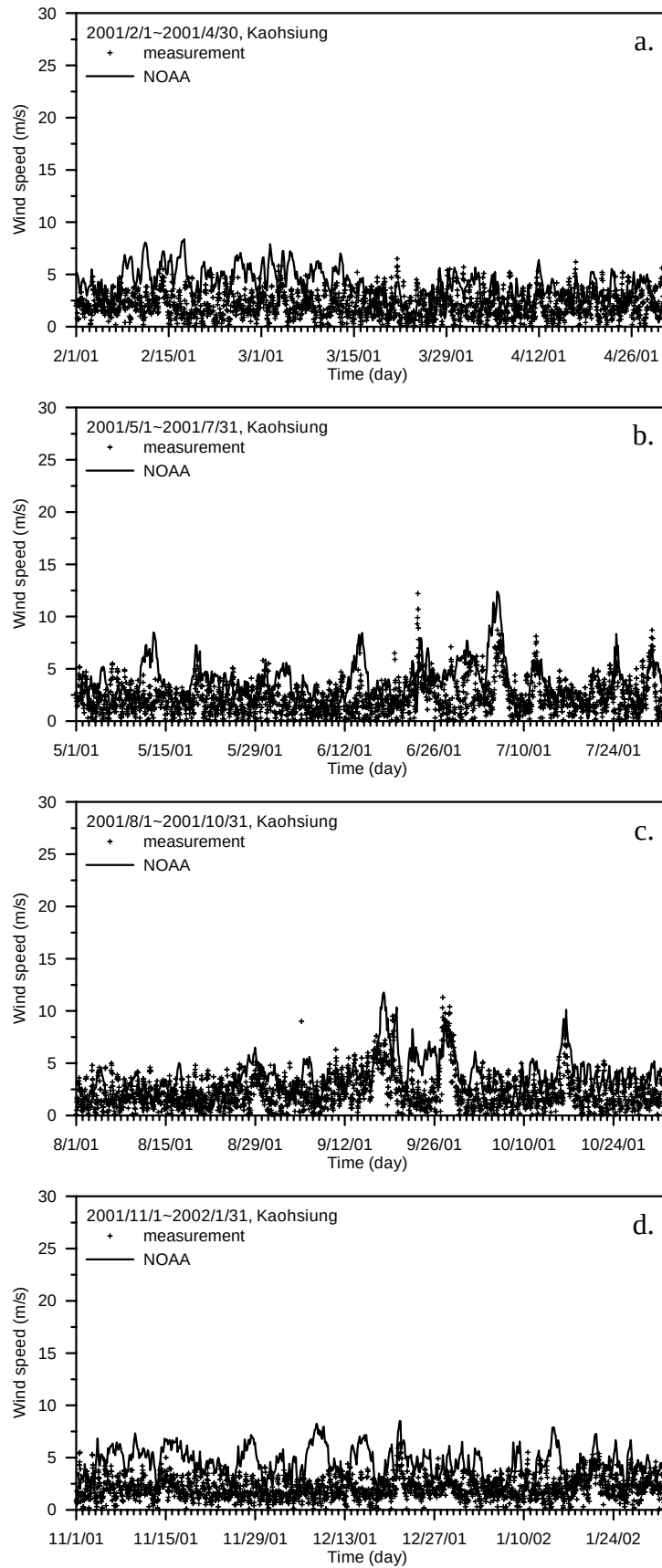


圖 5-8 高雄港附近 2001 年實測風速與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)



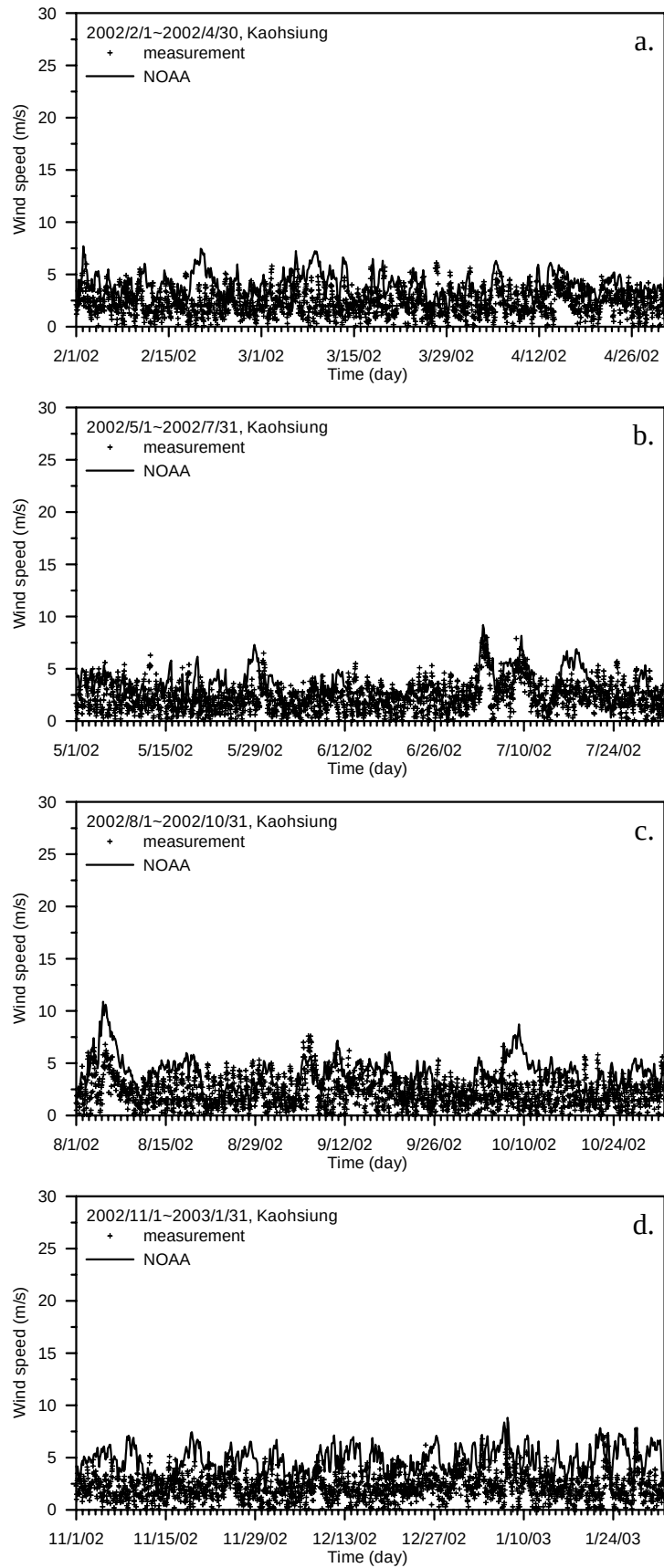


圖 5-9 高雄港附近 2002 年實測風速與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

圖 5-10 及圖 5-11 分別為 2001 年、2002 年基隆港附近海域風速實測資料與推算值之比較圖，基隆港受到中度 莉颱風之侵襲，在 2001 年 9 月 16 日 20 時發生最大風速為 20.9 m/s，根據中央氣象局颱風紀錄， 莉颱風路徑特殊，且停留時間過久，豐沛雨量造成北台灣嚴重水患。依時間特性之統計分析，如表 5-4 所示，實測風速最大平均值發生在 2001 年秋季，約為 3.48 m/s，NOAA 大氣模式模擬平均風速約為 3.07 m/s，實測風速與推算值之相關係數為 0.44、絕對誤差為 1.53 m。基隆港位於台灣北部，年平均風速為 2.90 m/s，主要受到東北季風迎風面之影響，冬季風速普遍偏大，風速推算之結果大致與實測風速有良好之相關性，絕對誤差也較小。

表 5-4 基隆港附近海域風速實測資料與推算值之比較統計表

| 參數<br>月份 |              | 實測<br>平均 | NOAA<br>大氣模式 | 相關<br>係數 | 絕對<br>誤差 |
|----------|--------------|----------|--------------|----------|----------|
| 風速       | 2001 年<br>春季 | 2.97     | 3.04         | 0.62     | 1.20     |
|          | 2001 年<br>夏季 | 2.59     | 2.48         | 0.42     | 1.22     |
|          | 2001 年<br>秋季 | 3.48     | 3.07         | 0.44     | 1.53     |
|          | 2001 年<br>冬季 | 3.37     | 3.37         | 0.56     | 1.27     |
|          | 2001 年<br>春季 | 2.65     | 2.81         | 0.29     | 1.35     |
|          | 2001 年<br>夏季 | 2.43     | 2.35         | 0.23     | 1.30     |
|          | 2001 年<br>秋季 | 2.77     | 2.92         | 0.22     | 1.42     |
|          | 2001 年<br>冬季 | 2.95     | 3.54         | 0.43     | 1.39     |

註：風速 (公尺/秒)

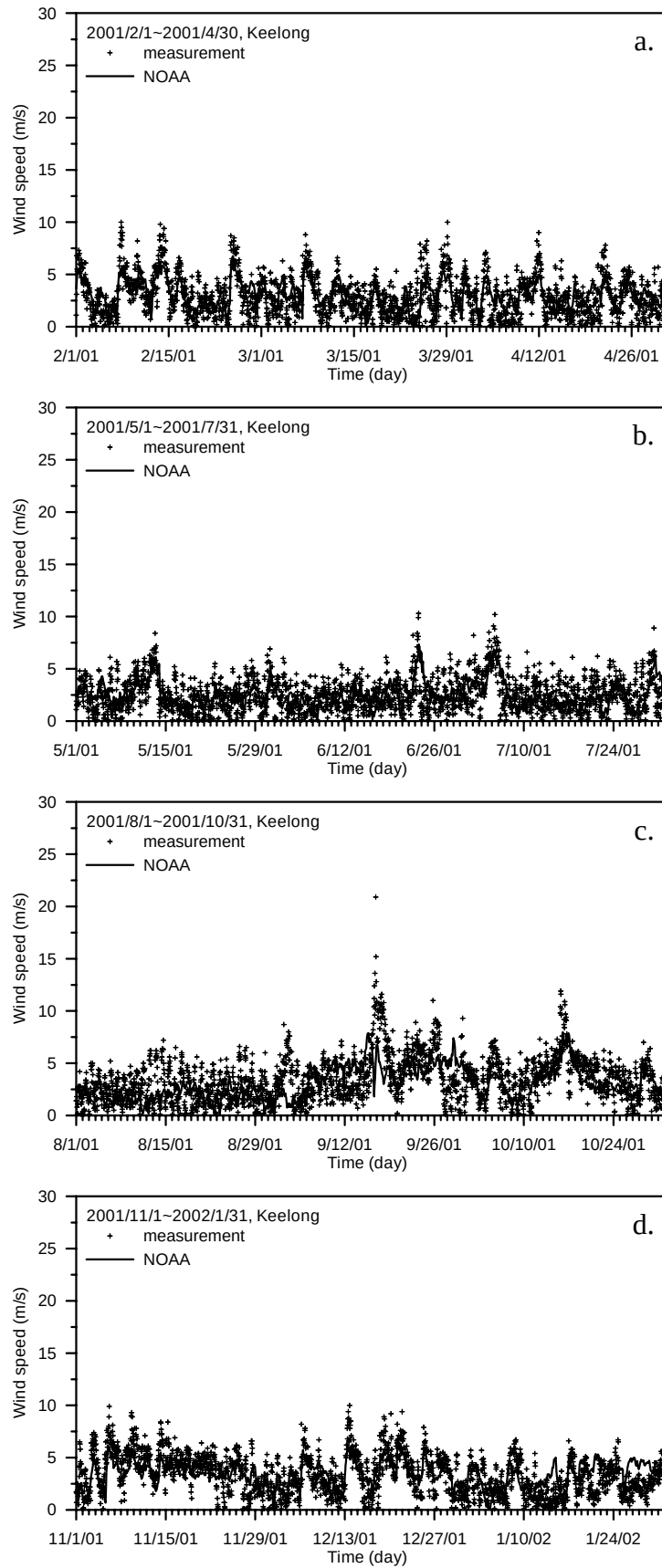


圖 5-10 基隆港附近 2001 年實測風速與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

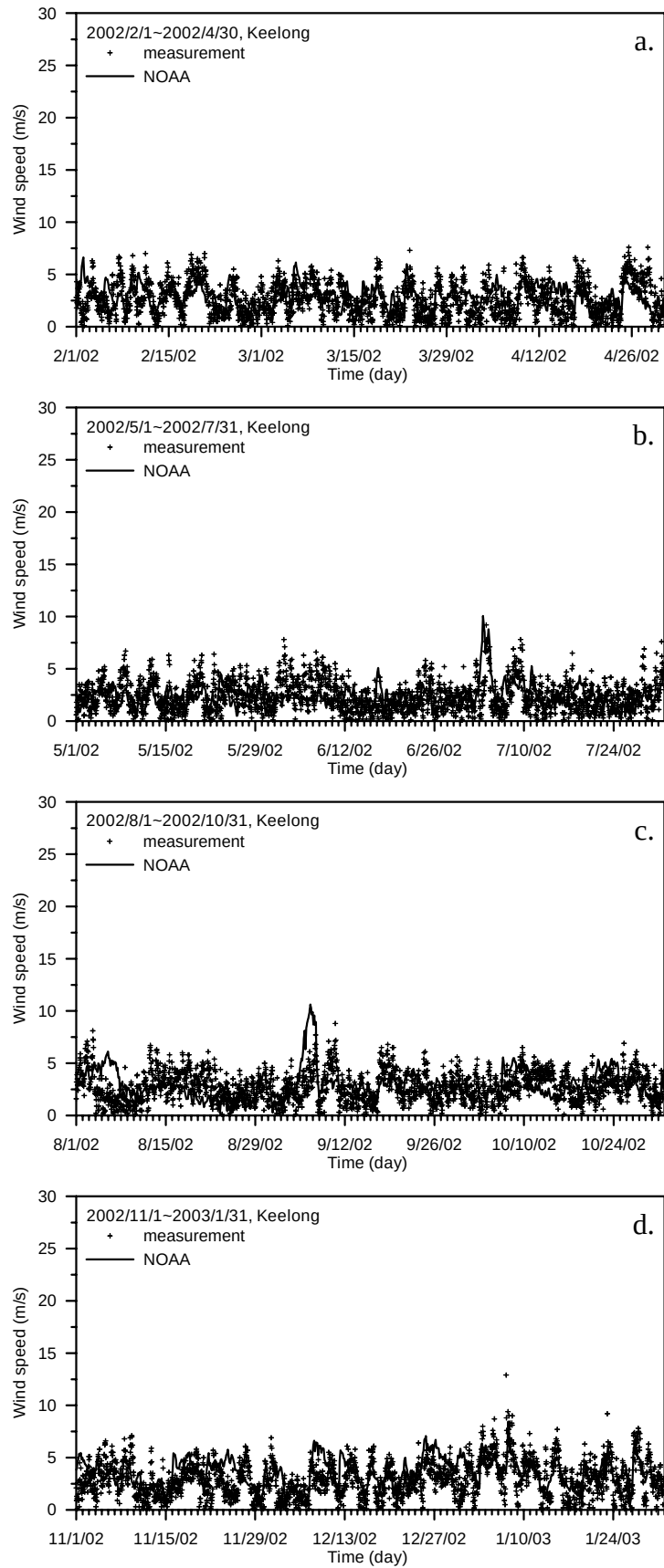


圖 5-11 基隆港附近 2002 年實測風速與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

圖 5-12 及圖 5-13 分別為 2001 年、2002 年蘇澳港附近海域風速實測資料與推算值之比較圖，蘇澳港受到中度桃芝颱風之侵襲，在 2001 年 7 月 30 日 7 時發生最大風速為 14.9 m/s。依時間特性之統計分析，如表 5-5 所示，實測風速最大平均值發生在 2001 年冬季，約為 3.01 m/s，NOAA 大氣模式模擬平均風速約為 4.53 m/s，實測風速與推算值之相關係數為 0.37、絕對誤差為 2.00 m。蘇澳港位於台灣東北部，年平均風速為 2.71 m/s。

表 5-5 蘇澳港附近海域風速實測資料與推算值之比較統計表

| 參數<br>月份 |              | 實測<br>平均 | NOAA<br>大氣模式 | 相關<br>係數 | 絕對<br>誤差 |
|----------|--------------|----------|--------------|----------|----------|
| 風速       | 2001 年<br>春季 | 2.65     | 4.06         | 0.27     | 1.96     |
|          | 2001 年<br>夏季 | 2.73     | 3.35         | 0.43     | 1.76     |
|          | 2001 年<br>秋季 | 2.83     | 4.11         | 0.35     | 2.11     |
|          | 2001 年<br>冬季 | 3.01     | 4.53         | 0.37     | 1.99     |
|          | 2001 年<br>春季 | 2.64     | 3.63         | 0.16     | 2.69     |
|          | 2001 年<br>夏季 | 2.27     | 3.20         | 0.20     | 1.91     |
|          | 2001 年<br>秋季 | 2.76     | 3.83         | 0.26     | 1.92     |
|          | 2001 年<br>冬季 | 2.77     | 4.69         | 0.40     | 2.23     |

註：風速 (公尺/秒)

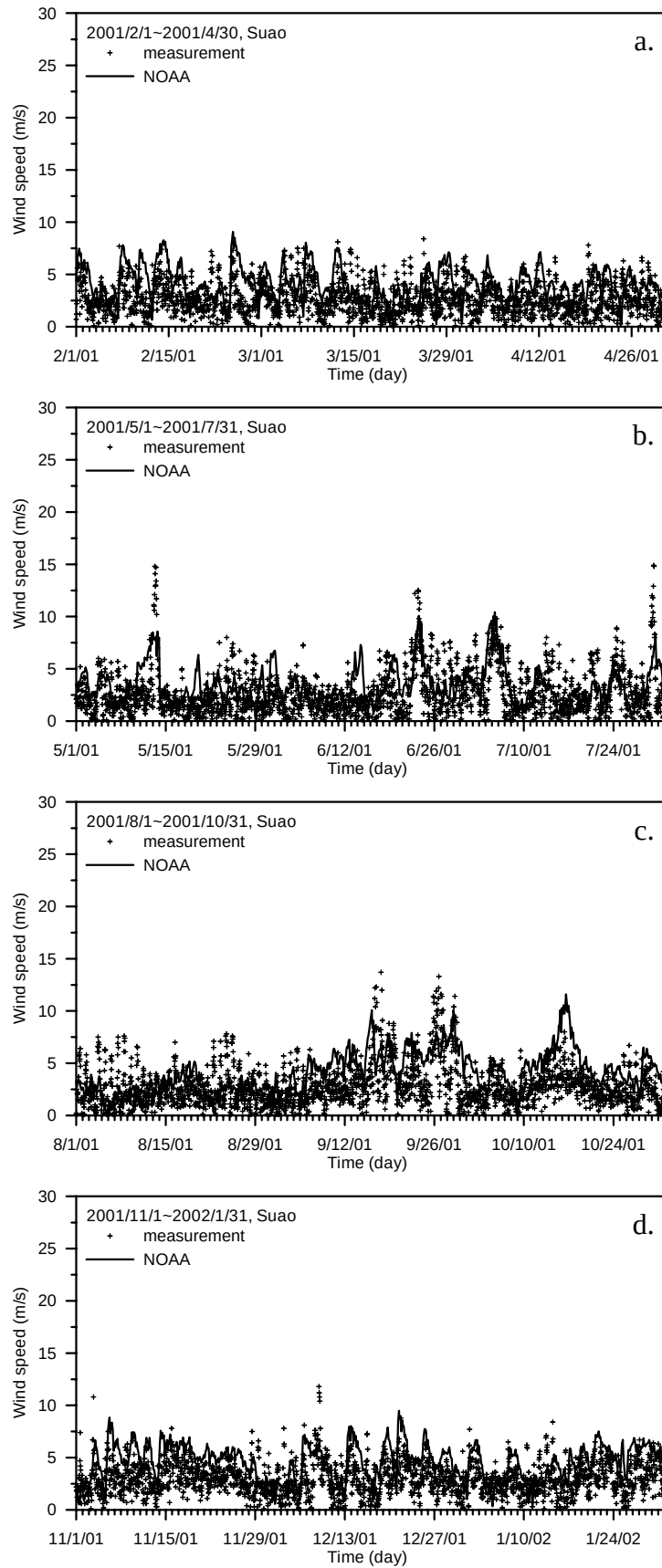


圖 5-12 蘇澳港附近 2001 年實測風速與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

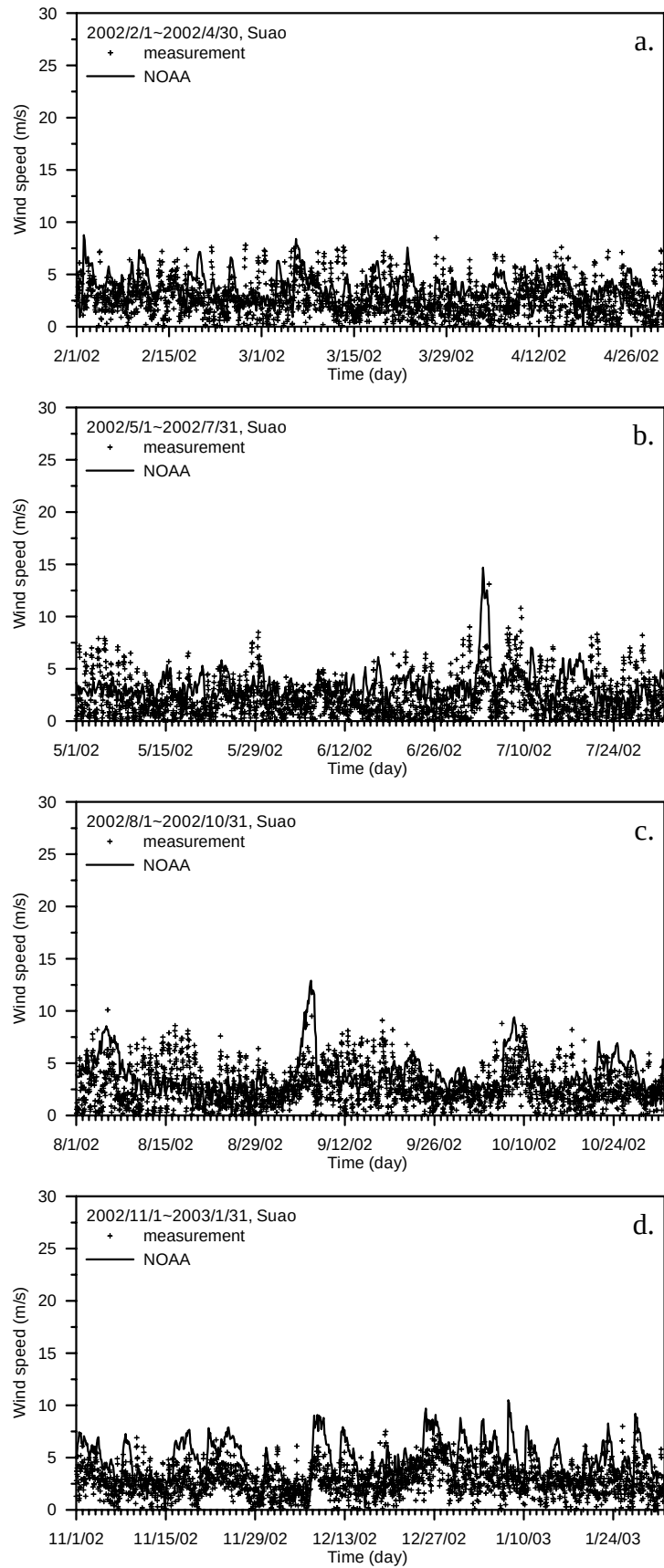


圖 5-13 蘇澳港附近 2002 年實測風速與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

圖 5-14 及圖 5-15 分別為 2001 年、2002 年台北港附近海域風速實測資料與推算值之比較圖，台北港受到中度納莉颱風之侵襲，在 2001 年 9 月 16 日 23 時發生最大風速為 22.07 m/s。依時間特性之統計分析，如表 5-6 所示，實測風速最大平均值發生在 2001 年冬季，約為 7.56 m/s，NOAA 大氣模式模擬平均風速約為 1.52 m/s，實測風速與推算值之相關係數為 0.78、絕對誤差為 6.07 m。台北港之地理位置與基隆港相近，由於地勢較低，受到東北季風直接影響，導致年平均風速 6.33 m/s。

表 5-6 台北港附近海域風速實測資料與推算值之比較統計表

| 參數<br>月份 |              | 實測<br>平均 | NOAA<br>大氣模式 | 相關<br>係數 | 絕對<br>誤差 |
|----------|--------------|----------|--------------|----------|----------|
| 風速       | 2001 年<br>春季 | 6.48     | 1.34         | 0.77     | 5.21     |
|          | 2001 年<br>夏季 | 5.05     | 1.08         | 0.53     | 4.04     |
|          | 2001 年<br>秋季 | 6.69     | 1.45         | 0.69     | 5.29     |
|          | 2001 年<br>冬季 | 7.56     | 1.52         | 0.78     | 6.07     |
|          | 2001 年<br>春季 | 6.09     | 1.31         | 0.70     | 4.84     |
|          | 2001 年<br>夏季 | 5.42     | 1.28         | 0.53     | 4.23     |
|          | 2001 年<br>秋季 | 5.88     | 1.32         | 0.62     | 4.63     |
|          | 2001 年<br>冬季 | 7.44     | 1.59         | 0.71     | 5.87     |

註：風速 (公尺/秒)



綜合以上風場實測資料與 NOAA 大氣模式比較結果可知，可將以上六個測站分成三組，相關係數由優至劣排列分別為(1)台北、安平；(2)基隆、花蓮；(3)蘇澳、高雄，若將這三組位置對照至圖 5-3 可看出在緯度解析度 1 度及經度解析度 1.25 度，第一組是最接近角隅點的位置，而最差的一組在方框的中心點，因此可研判出解析度的大小影響模式計算的準確性，而且實測風速資料變化較為快速，不若分析之風場資料變化較為平緩，但大致上仍可表現出風速變化趨勢。若能獲得更高解析度的大氣資料，計算結果正確性會更好。故利用此風場資料所推算出之風浪變化，若不考慮風浪模式本身之精確度所導致之誤差，此風場模式仍可應用於台灣附近遠域波浪推算。

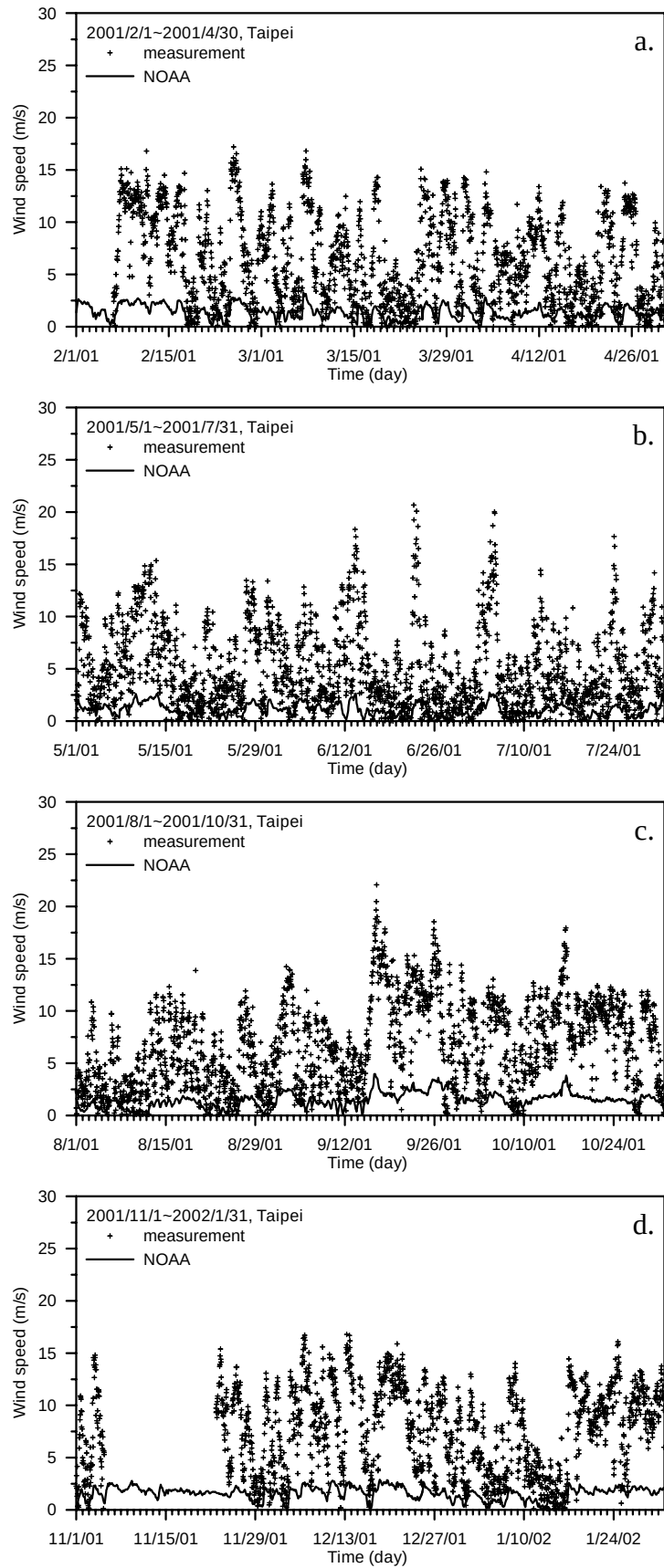


圖 5-14 台北港附近 2001 年實測風速與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

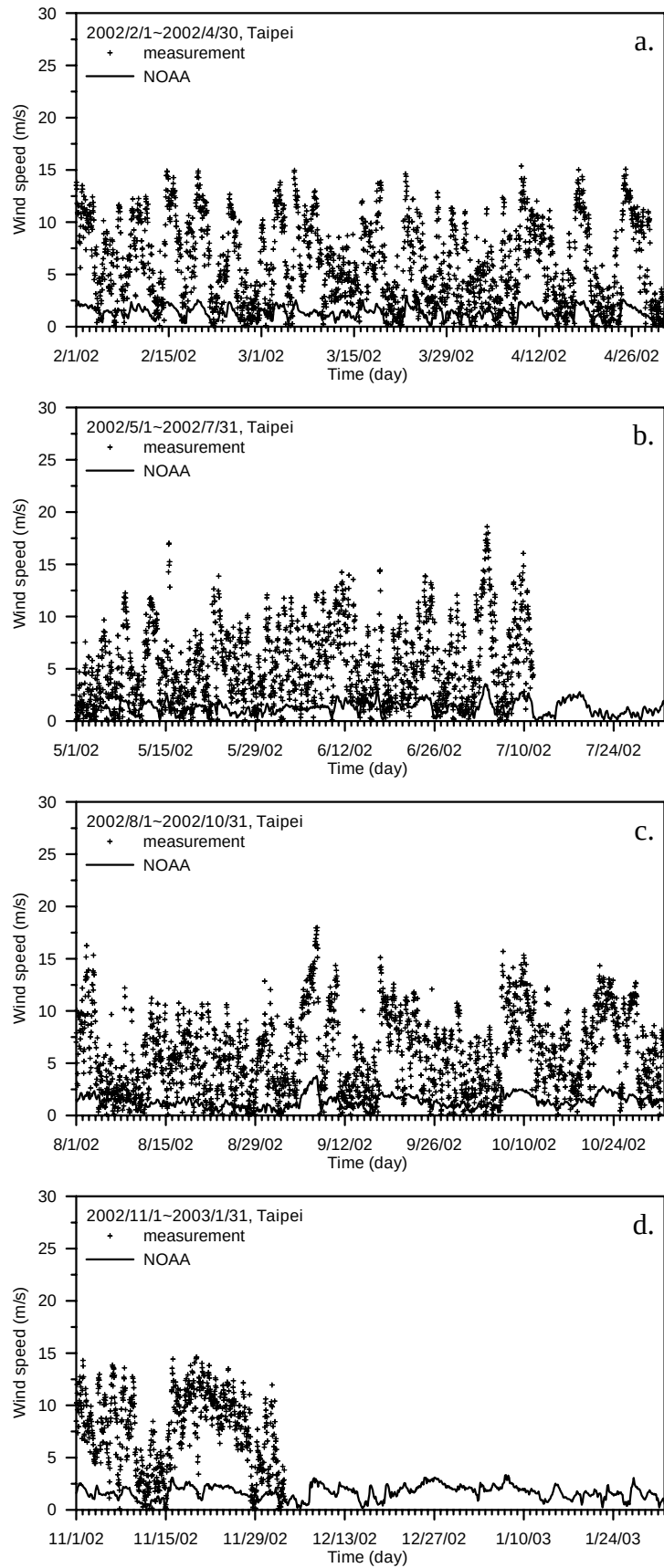


圖 5-15 台北港附近 2002 年實測風速與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

## 5.2 環島藍色公路海域長期波浪推算結果特性

由於週休二日制度之實施，每逢例假日均出現車潮、人潮，造成各旅遊郊區擁擠不堪，不但影響民眾休閒旅遊的品質，也無法提升國內觀光事業之發展。為改善國人休閒旅遊之缺點，政府藉由台灣四面環海，海洋資源豐富之優勢，推動兼具休閒、交通、娛樂及文化保育之「藍色公路」構想，增加國人旅遊休閒的選擇性；此外還可改善沿海漁業資源日漸枯竭情況，將傳統漁業轉型，發展海上觀光，亦可間接紓解陸上交通問題；藍色公路的優點還不僅於此，還可增加就業人數地區、促進地方經濟繁榮、提升地區之觀光價值，進而打開台灣在國際上的知名度。

藍色公路除了規劃具有海洋觀光特性之航線外，旅遊的舒適便利更是能延續海上觀光之發展。藍色公路以船隻為交通工具，大多使用娛樂漁船或遊艇，海上波浪甚大會導致船身晃動，遊客容易發生身體不適，降低民眾海洋旅遊之意願。依據觀光局的統計資料，東港至小琉球、台東至綠島這兩條航線每年乘坐人數約有 40 萬~50 萬，是目前較具有發展空間的藍色公路航線，為了分析台灣環島藍色公路海域長期波浪推算之特性，選擇台東綠島、屏東鵝鑾鼻及澎湖馬公三個區域進行模擬，以有助海洋觀光航線之發展。

圖 5-16 至圖 5-19 分別為 2001 年、2002 年台東綠島附近海域實測示性波高、週期與模式推算值之比較圖，從圖中可看出綠島受到颱風影響較大的分別有 2001 年之西馬隆 (5 月)、奇比 (6 月)、尤特 (7 月) 及潭美 (7 月) 與 2002 年的雷馬遜颱風 (7 月)，其中 2001 年的尤特 (7/4) 與潭美颱風 (7/11) 接踵而來，且均在台灣東南方海面上形成，分別朝西北西、西北方向前進，直接影響台灣東、南部沿海地區，導致綠島附近海域的波高起伏最為劇烈，WAM 與 SWAN 模式計算出的示性波高與週期分別為 5.9 m、7.7 m 與 11.8 sec、13.0 sec。

圖 5-20 至圖 5-23 分別為 2001 年、2002 年屏東鵝鑾鼻附近海域實測示性波高、週期與模式推算值之比較圖，由於鵝鑾鼻的地理位置與綠島相近，對於相同路徑的颱風所造成的影響亦大致相同，由圖中可以發現，鵝鑾鼻附近海域的波浪特性與綠島相似，在 2001 年的 7 月上旬的颱風波浪較強，根據實測波浪數據得知最大示性波高為 7.1 m，而 WAM 與 SWAN 模式計算出的示性波高分別是 6.7 m 及 9.3

m。圖 5-24 至圖 5-27 分別為 2001 年、2002 年澎湖馬公附近海域實測示性波高、週期與模式推算值之比較圖，從圖中可看出 WAM 與 SWAN 模式計算出的最大的颱風示性波高分別是 5.0 m 及 6.2m。

接著依時間特性統計台東綠島、屏東鵝鑾鼻及澎湖馬公附近海域模式推算值，分別如表 5-7 至 5-9 所示，從表中可看出三個地區之風速均以冬季最大夏季最小，台東綠島冬季平均風速為 3.59 m/s、夏季為 2.24 m/s、全年平均風速為 2.80m/s，WAM 模式推算綠島冬季平均波高是 1.25 m、夏季為 0.82 m、年平均值為 1.0 m，SWAN 模式之推算值較 WAM 模式大，依序分別是 1.95 m、1.23 m 及 1.55 m。

至於屏東鵝鑾鼻的冬季平均風速為 8.28 m/s、夏季為 5.39 m/s、全年平均風速為 6.56 m/s，WAM 模式推算綠島冬季平均波高是 1.56 m、夏季為 1.08 m、年平均值為 1.25 m，SWAN 模式之推算值較 WAM 模式大，依序分別是 2.41 m、1.58 m 及 1.90 m。澎湖馬公雖然在風速方面也是冬季最大夏季最小，但是波高平均值卻是春季最小，冬季、春季與年平均波高以 WAM 計算後分別為 1.13 m、0.81 m 及 0.97 m，而 SWAN 則是 1.14 m、0.88 m 與 1.05 m。整體來說 SWAN 在波高計算值較 WAM 稍微大，而週期則大致相同，以鵝鑾鼻測站來對模式作比較可知，模式在波高與週期趨勢上尚稱合理，唯獨在冬季時分差距較大。

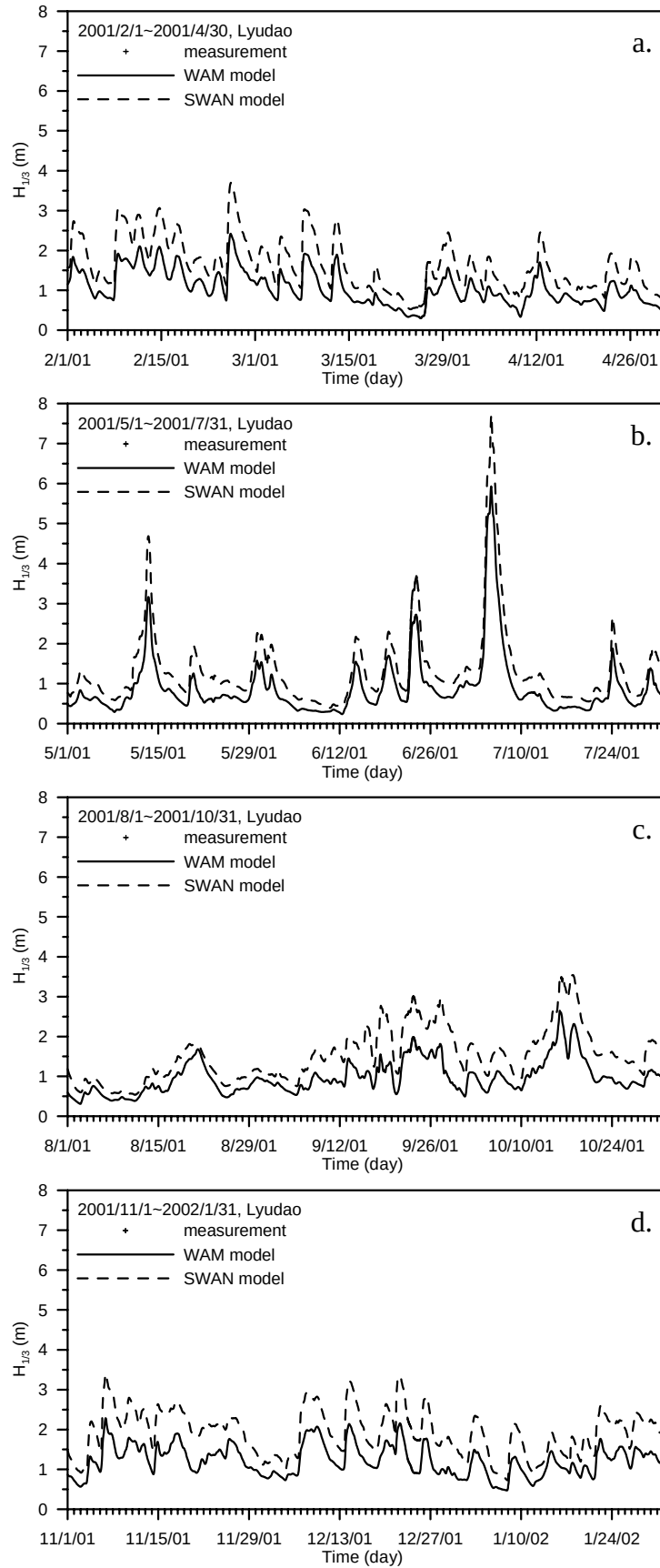


圖 5-16 台東綠島附近 2001 年實測示性波高與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

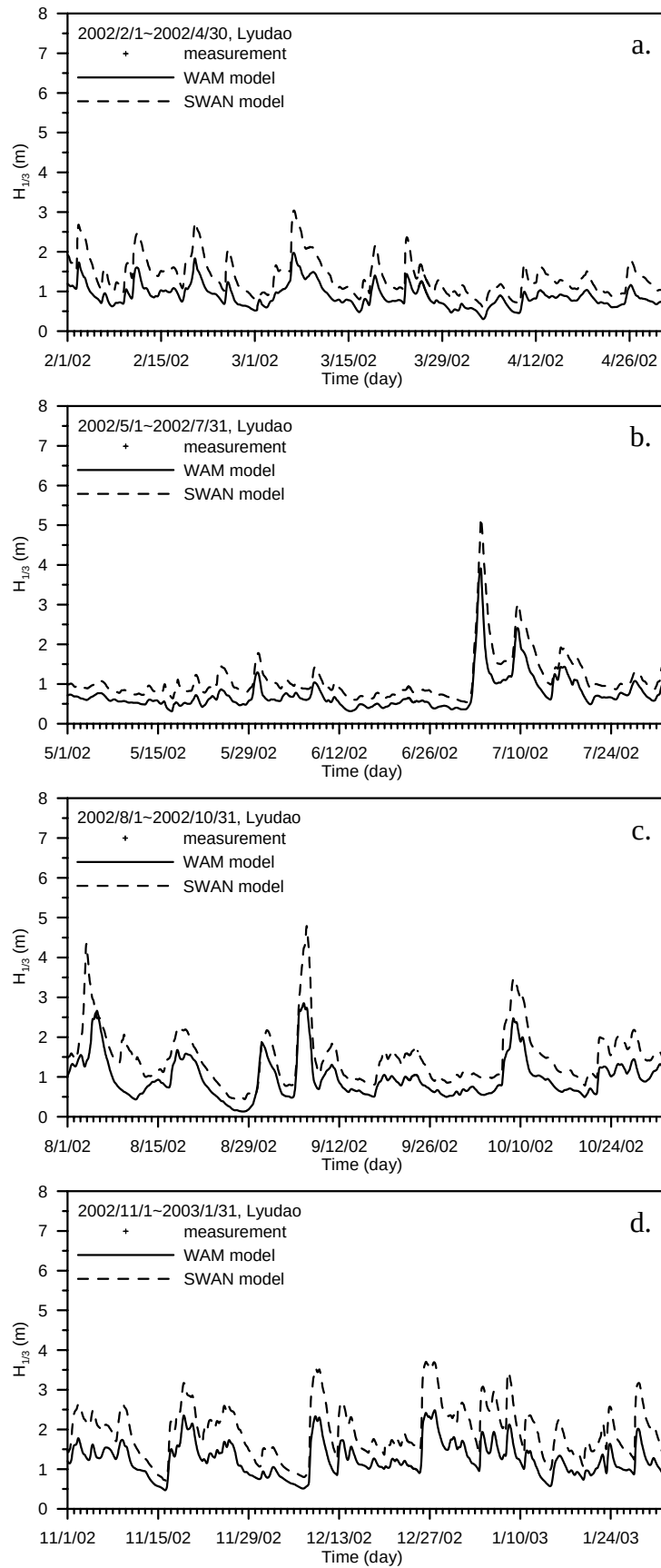


圖 5-17 台東綠島附近 2002 年實測示性波高與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

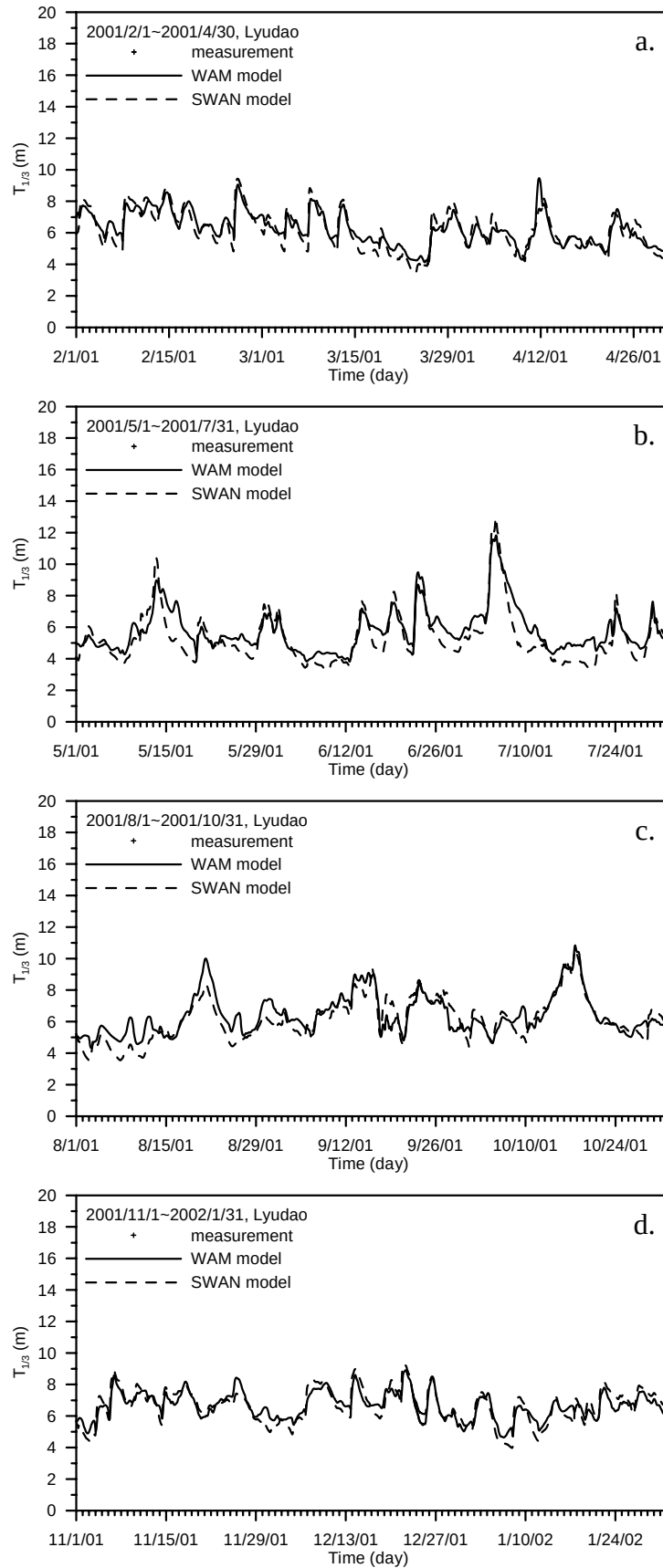


圖 5-18 台東綠島附近 2001 年實測示性週期與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)



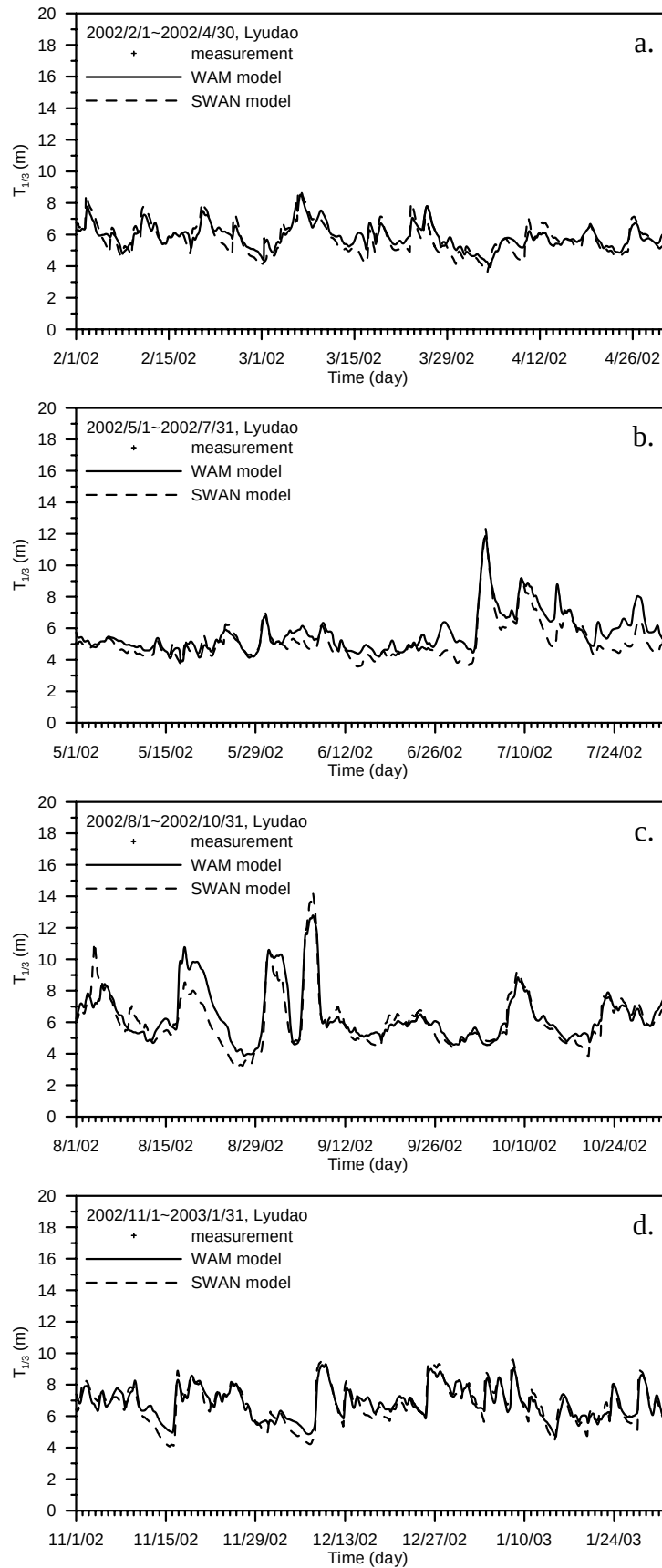


圖 5-19 台東綠島附近 2002 年實測示性週期與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

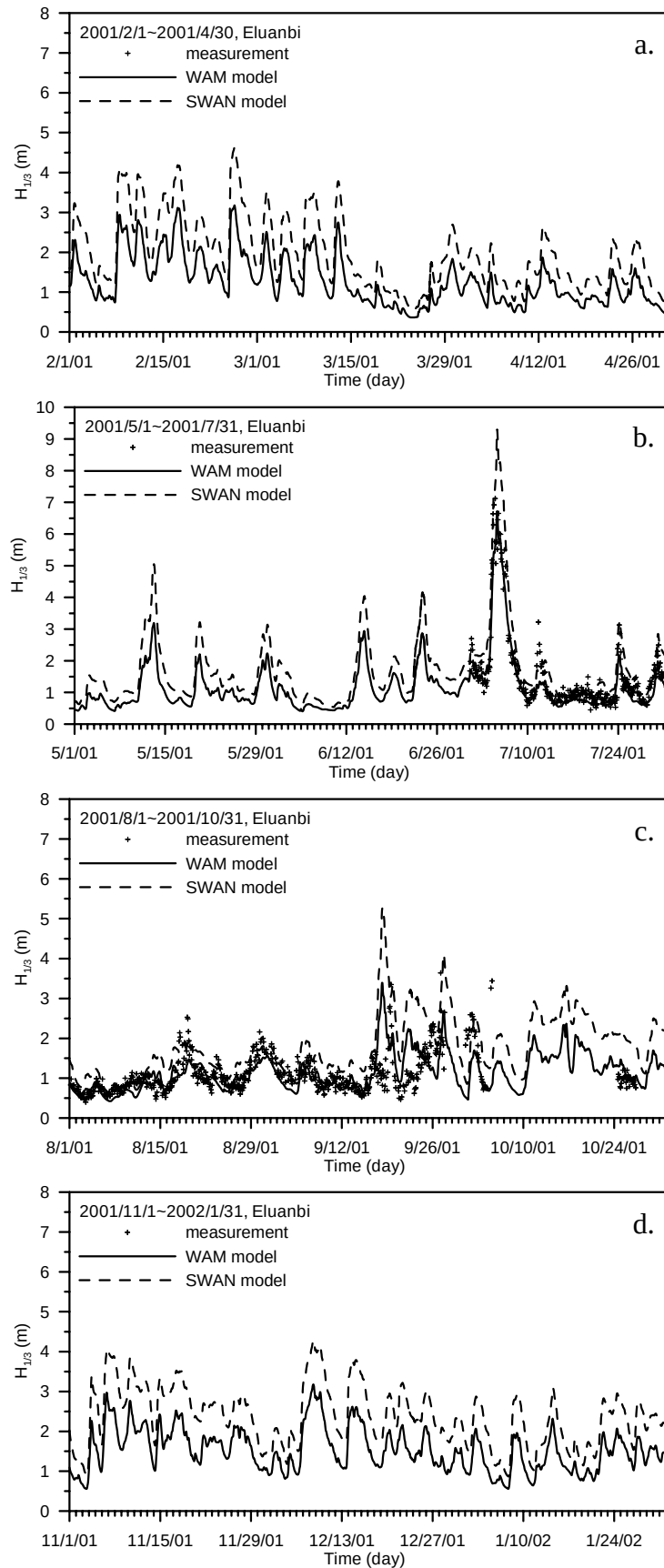


圖 5-20 屏東鵝鑾鼻附近 2001 年實測示性波高與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

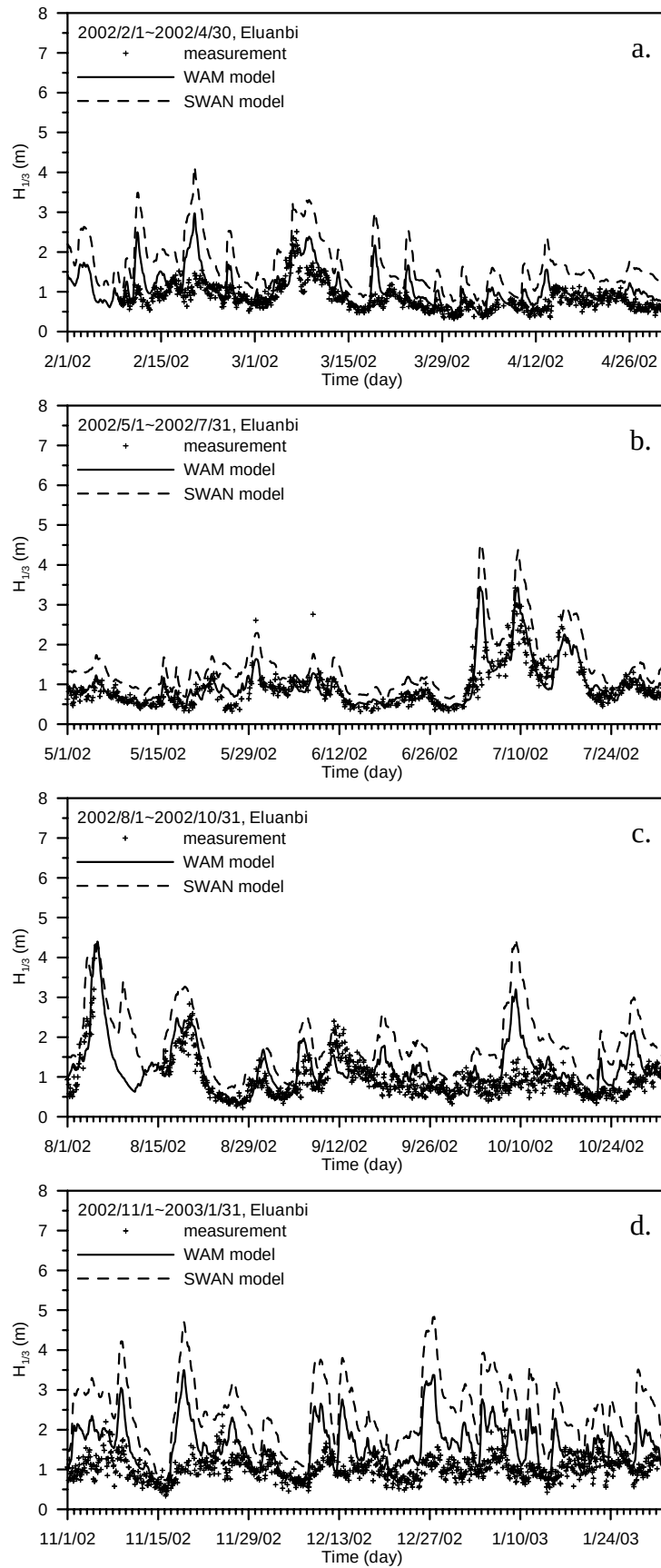


圖 5-21 屏東鵝鑾鼻附近 2002 年實測示性波高與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

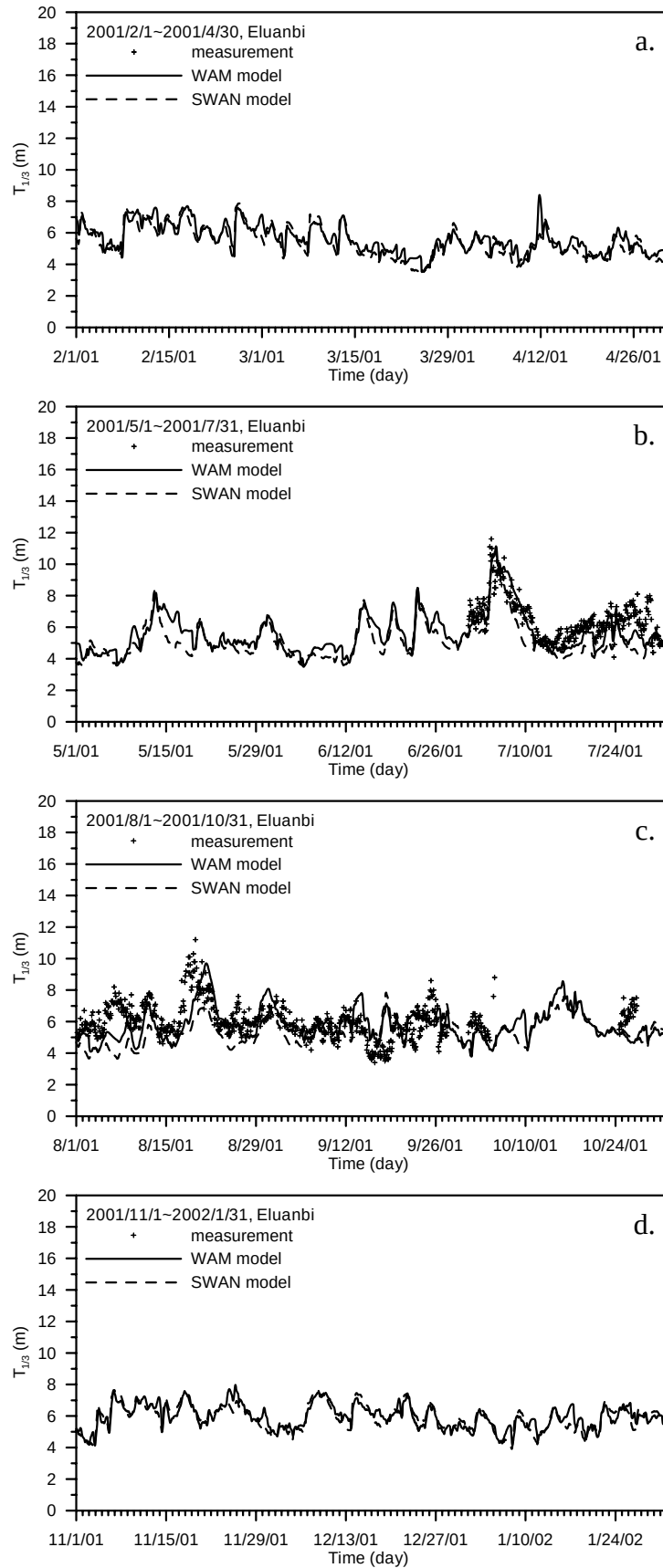


圖 5-22 屏東鵝鑾鼻附近 2001 年實測示性週期與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

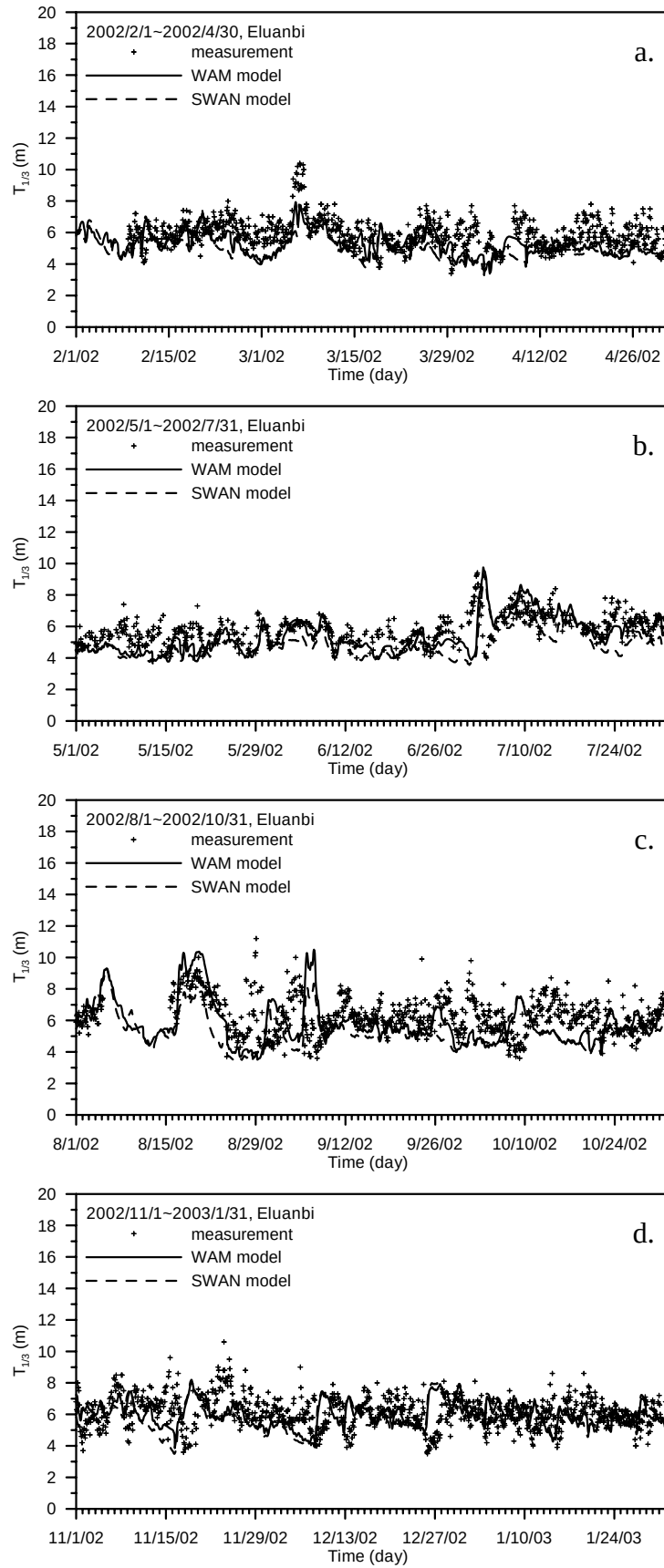


圖 5-23 屏東鵝鑾鼻附近 2002 年實測示性週期與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

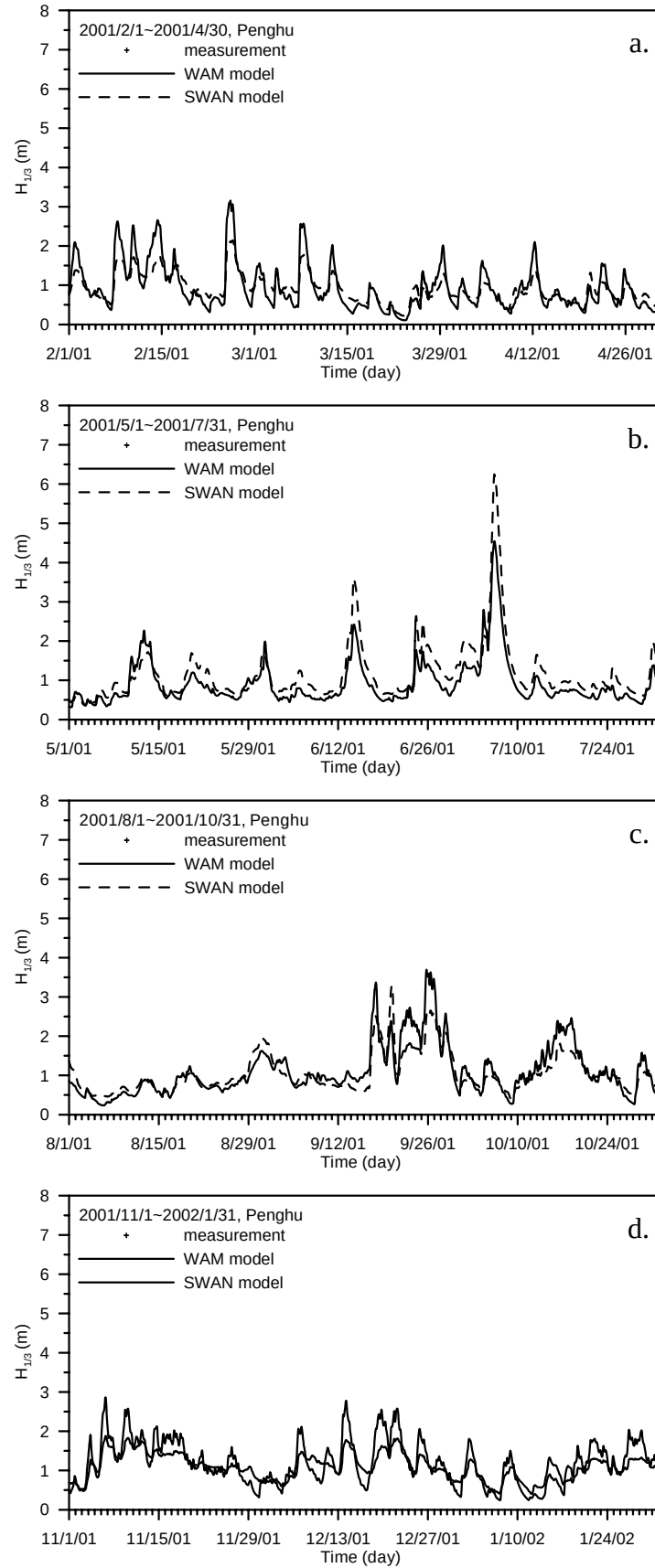


圖 5-24 澎湖馬公附近 2001 年實測示性波高與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

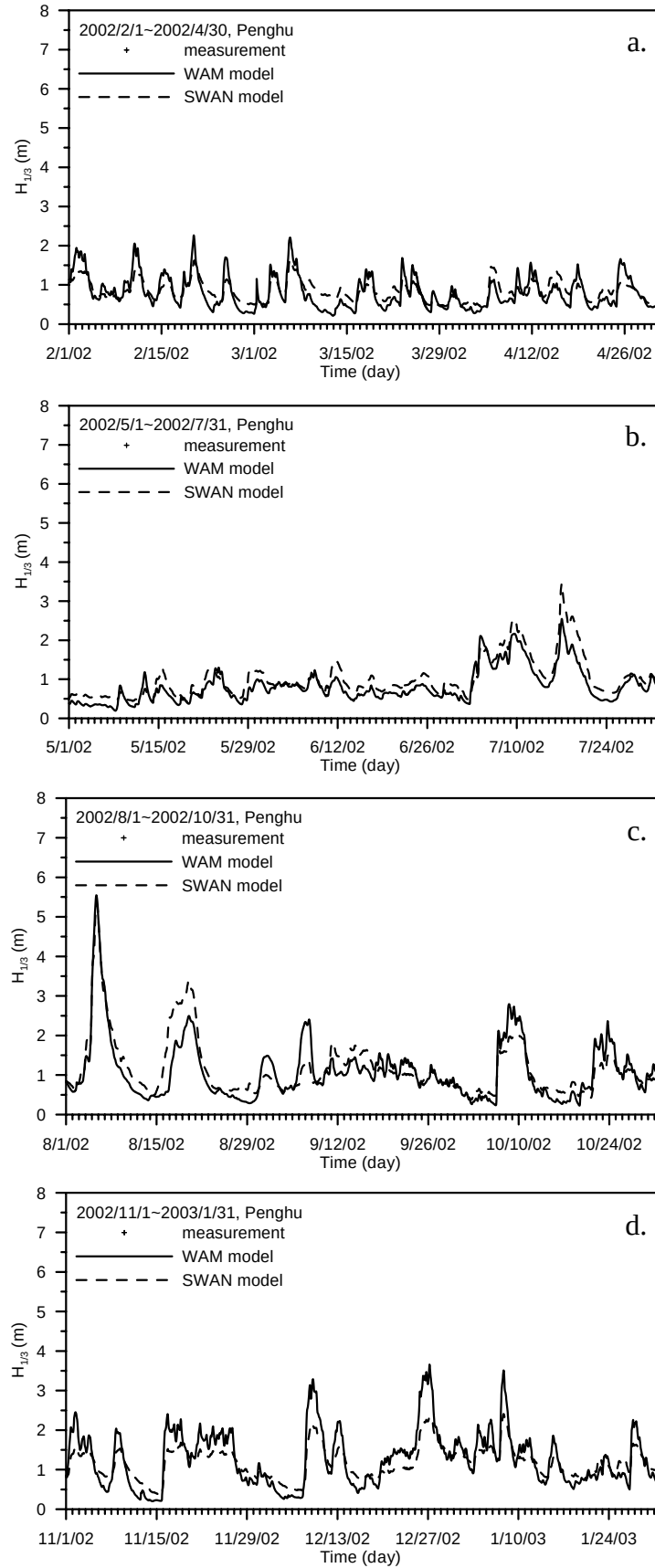


圖 5-25 澎湖馬公附近 2002 年實測示性波高與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

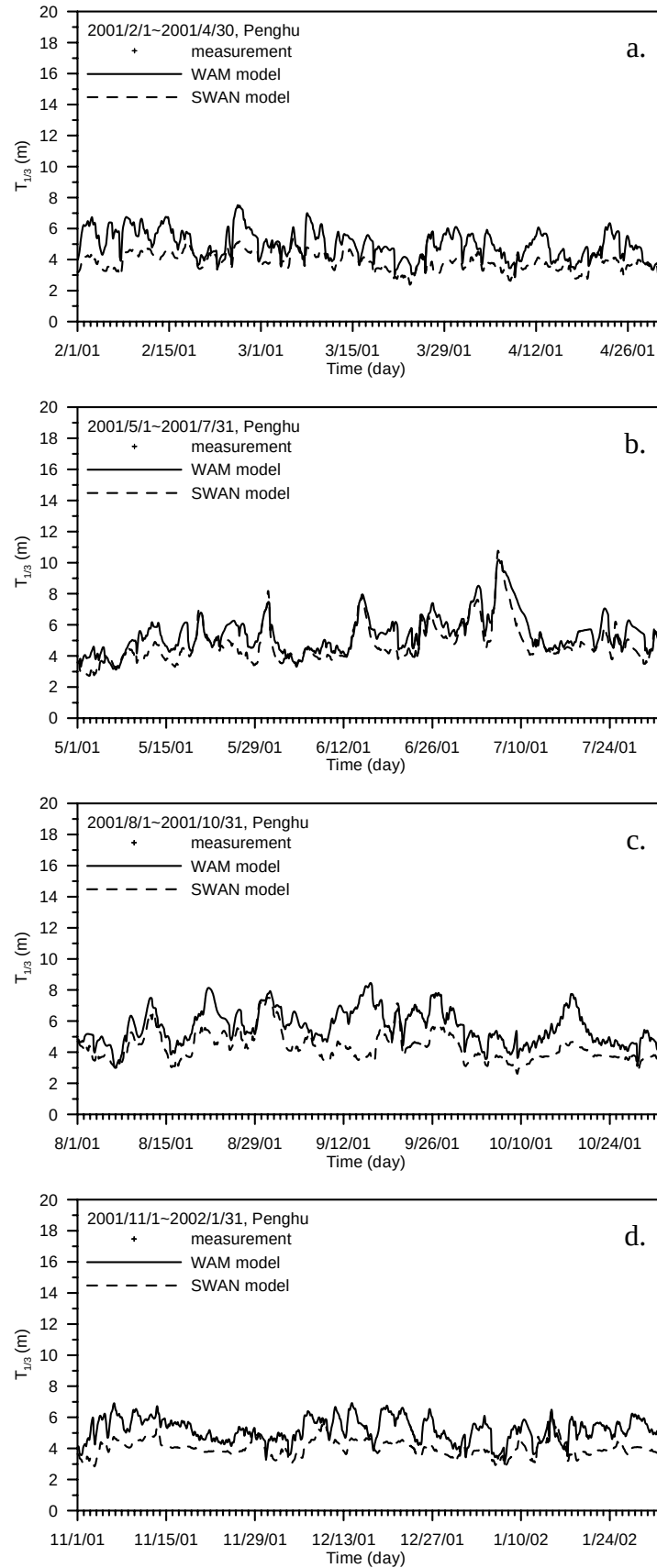


圖 5-26 澎湖馬公附近 2001 年實測示性週期與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)



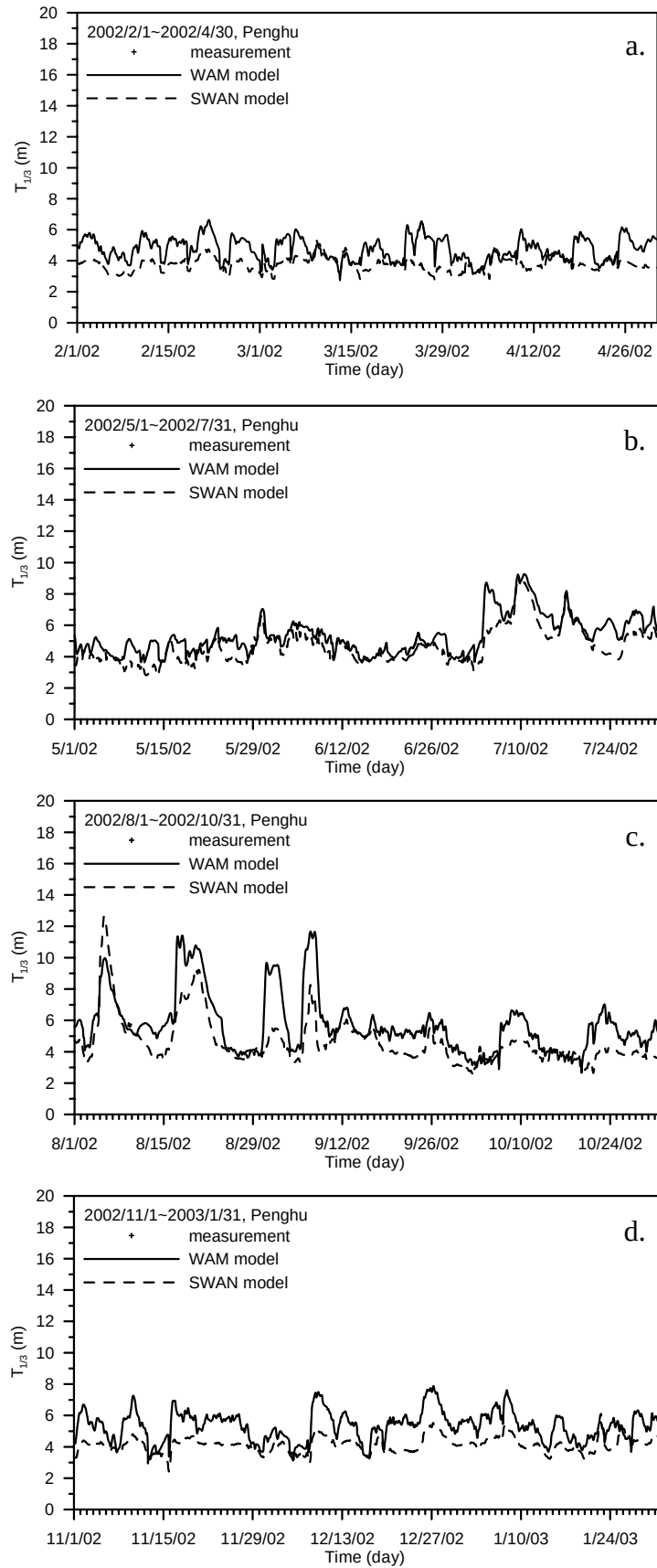


圖 5-27 澎湖馬公附近 2002 年實測示性週期與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

表 5-7 台東綠島附近海域模式推算值之統計表

| 參數<br>月份     | NOAA 大氣模式<br>模擬風速平均 | 遠域風浪模式模擬平均 |      | 近岸風浪模式模擬平均 |      |
|--------------|---------------------|------------|------|------------|------|
|              |                     | 示性波高       | 示性週期 | 示性波高       | 示性週期 |
| 2001 年<br>春季 | 2.96                | 1.05       | 6.24 | 1.63       | 6.14 |
| 2001 年<br>夏季 | 2.36                | 0.89       | 5.77 | 1.34       | 5.32 |
| 2001 年<br>秋季 | 2.67                | 0.98       | 6.41 | 1.53       | 6.15 |
| 2001 年<br>冬季 | 3.55                | 1.23       | 6.66 | 1.93       | 6.66 |
| 2001 年<br>春季 | 2.59                | 0.89       | 5.88 | 1.37       | 5.74 |
| 2001 年<br>夏季 | 2.11                | 0.75       | 5.68 | 1.11       | 5.18 |
| 2001 年<br>秋季 | 2.50                | 0.98       | 6.43 | 1.50       | 6.16 |
| 2001 年<br>冬季 | 3.63                | 1.26       | 6.85 | 1.97       | 6.75 |

註：風速 (公尺/秒)、示性波高 (公尺)、示性週期 (秒)

表 5-8 屏東鵝鸞鼻附近海域模式推算值之統計表

| 參數<br>月份     | NOAA 大氣模式<br>模擬風速平均 | 遠域風浪模式模擬平均 |      | 近岸風浪模式模擬平均 |      |
|--------------|---------------------|------------|------|------------|------|
|              |                     | 示性波高       | 示性週期 | 示性波高       | 示性週期 |
| 2001 年<br>春季 | 6.79                | 1.27       | 5.59 | 1.96       | 5.41 |
| 2001 年<br>夏季 | 5.71                | 1.17       | 5.59 | 1.73       | 5.15 |
| 2001 年<br>秋季 | 6.12                | 1.16       | 5.79 | 1.78       | 5.37 |
| 2001 年<br>冬季 | 8.09                | 1.53       | 5.96 | 2.37       | 5.91 |
| 2001 年<br>春季 | 6.17                | 1.07       | 5.27 | 1.65       | 5.07 |
| 2001 年<br>夏季 | 5.06                | 0.99       | 5.40 | 1.42       | 4.88 |
| 2001 年<br>秋季 | 6.07                | 1.21       | 5.86 | 1.81       | 5.38 |
| 2001 年<br>冬季 | 8.47                | 1.59       | 5.98 | 2.44       | 5.89 |

註：風速 (公尺/秒)、示性波高 (公尺)、示性週期 (秒)

表 5-9 澎湖馬公附近海域模式推算值之統計表

| 參數<br>月份     | NOAA 大氣模式<br>模擬風速平均 | 遠域風浪模式模擬平均 |      | 近岸風浪模式模擬平均 |      |
|--------------|---------------------|------------|------|------------|------|
|              |                     | 示性波高       | 示性週期 | 示性波高       | 示性週期 |
| 2001 年<br>春季 | 5.02                | 0.86       | 4.95 | 0.91       | 3.88 |
| 2001 年<br>夏季 | 4.51                | 0.94       | 5.42 | 1.17       | 4.47 |
| 2001 年<br>秋季 | 5.20                | 1.02       | 5.55 | 1.04       | 4.33 |
| 2001 年<br>冬季 | 6.50                | 1.10       | 5.19 | 1.10       | 4.03 |
| 2001 年<br>春季 | 4.71                | 0.76       | 4.72 | 0.84       | 3.78 |
| 2001 年<br>夏季 | 4.04                | 0.83       | 5.33 | 1.01       | 4.65 |
| 2001 年<br>秋季 | 5.09                | 1.05       | 5.65 | 1.17       | 4.63 |
| 2001 年<br>冬季 | 6.51                | 1.16       | 5.29 | 1.17       | 4.13 |

註：風速 (公尺/秒)、示性波高 (公尺)、示性週期 (秒)

### 5.3 台灣7個商港長期波浪推算結果特性

本節針對台灣 7 個商港在經過長達兩年波浪推算後，分別將實測資料與遠域模式及近岸模式之結果作一比較，圖 5-28 至圖 5-55 分別為 2001 年 2 月至 2003 年 1 月之安平、花蓮、高雄、基隆、蘇澳、台中與台北港附近海域之實測示性波高、週期與計算結果比較圖，圖中黑點為港灣技術研究中心之觀測值，黑線為 WAM 模式之推算結果，黑色虛線為 SWAN 之計算值。由圖中可知，在波高變化趨勢上大致能吻合實測資料，表示推算結果具有一定之合理性，但在波高變化劇烈處，如出現局部最大波高處，模式計算準確性降低，推估其原因應與風浪模式之參數有關，仍需大量實測資料作模式參數上之調整，另外與風場資料解析度過低亦有所關聯。由於風場資料解析度約為 1 度，相對於台灣海域地形與海岸線多變化有偏低之慮，但大致上而言仍可推算出正確之風浪變化趨勢。在週期方面的推算可模擬出週期變化的趨勢，在長週期波浪出現時亦可合理的推算，表示模式在風浪的推算方面可合理的表現出各港區外海波浪的變化。

為了更進一步了解實測資料與模式推算結果之關係，分析各季節之實測與模式結果之個別平均值、相關係數與絕對誤差，統計如表 5-10 至表 5-15 中所示。由表中可知，除了台中港資料短缺外，計算其餘六大港之波高之相關係數平均值，遠域模式及近岸模式均為 0.77、以安平港最低，基隆港最高，絕對誤差平均值（絕對誤差/實測值）則分別為 0.35、0.48，以台北港最高，花蓮港最低。以台北港為例，其相關係數為 0.83，但絕對誤差則高達 0.62，參照實測與模擬之比較圖形，由於局部最大值在模擬結果皆有偏低現象，導致絕對誤差偏大但相關係數仍高的現象。

在週期模擬方面，遠域及近域模式之相關係數皆有偏低現象其平均值分別為 0.50 及 0.42，絕對誤差則為 0.17、0.22，表示週期推算平均誤差約 2 成左右。綜合以上可知，風浪模式模擬時，風場之準確性佔較大因素，若能獲得更正確的風場相信計算結果會更佳，另外由於受限模式格網大小，各站所輸出的位置可能無法與實際觀測站位置吻合，兩者水深若有差異計算時可能就會有誤差了，通常模式輸出點的水深較深，因此推算值就會稍微大些。但是整體波浪的趨勢尚能合理模擬。

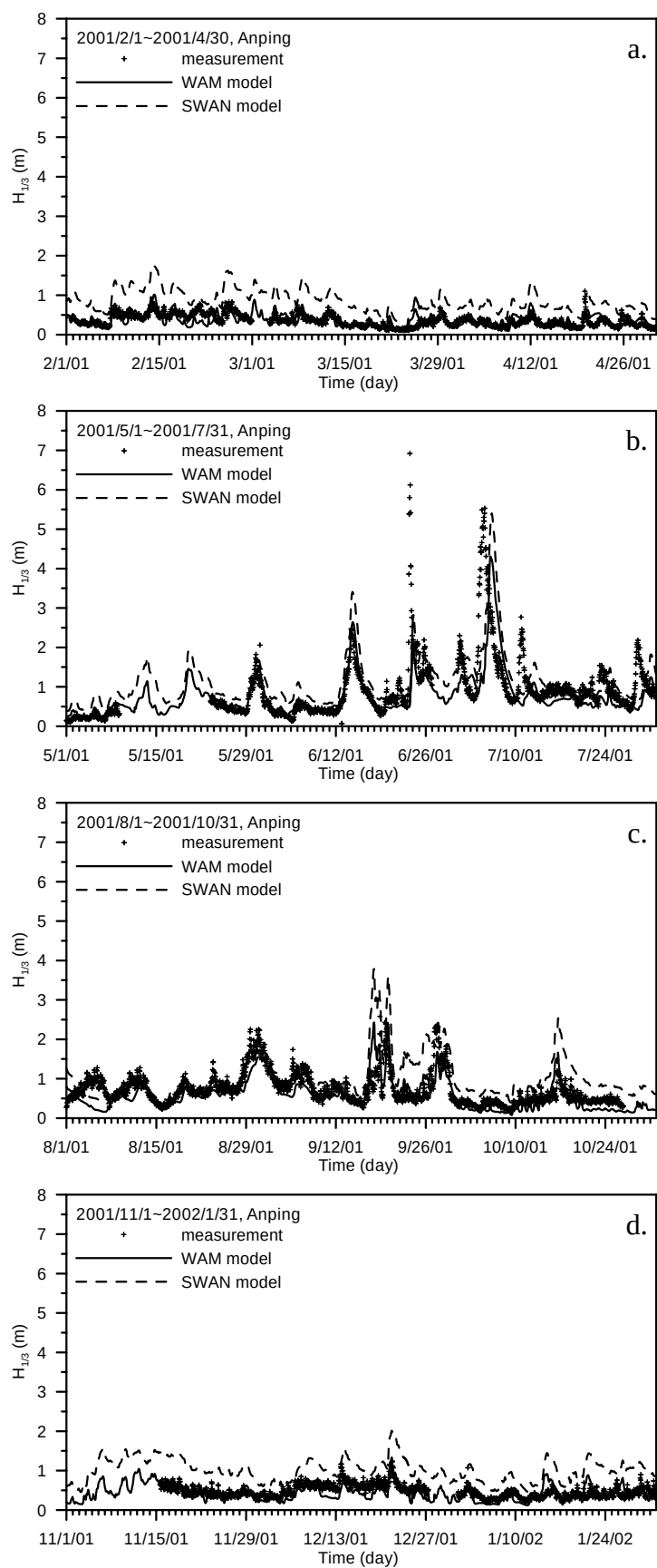


圖 5-28 安平港附近 2001 年實測示性波高與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

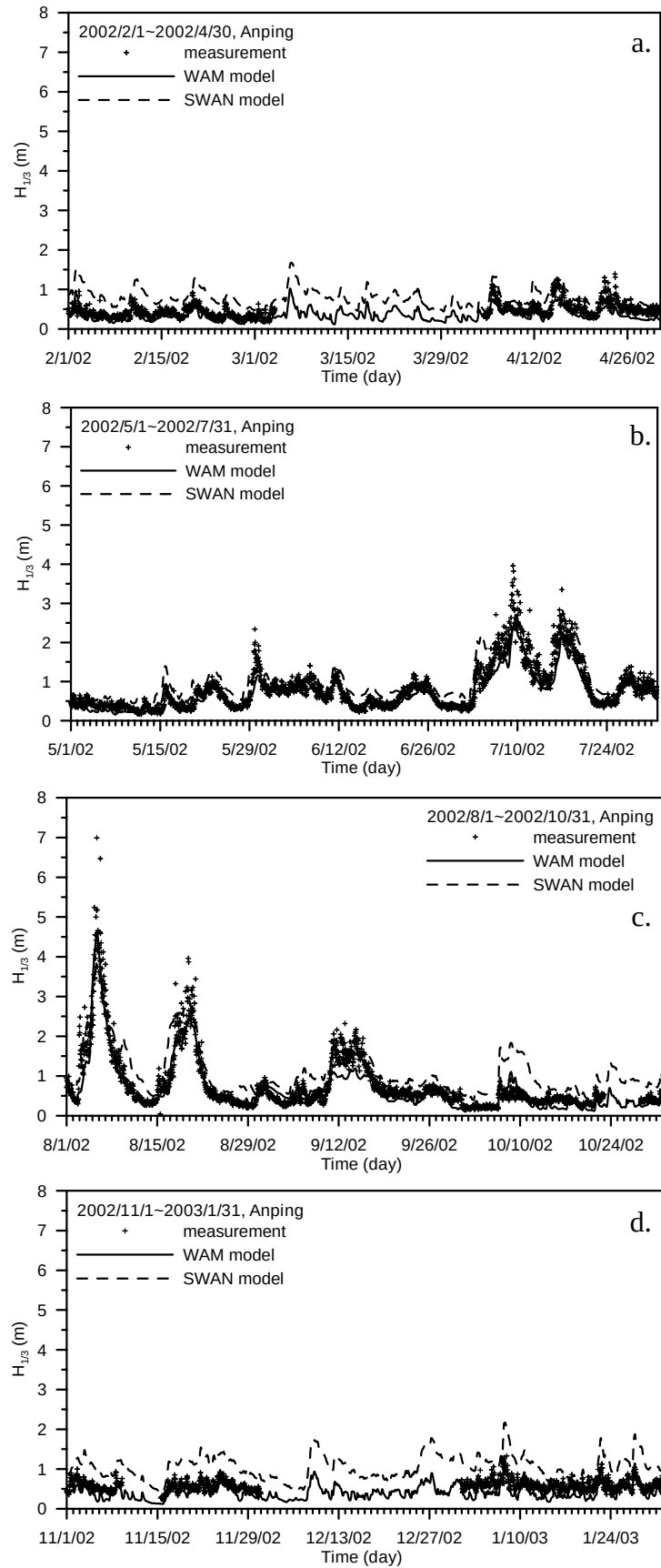


圖 5-29 安平港附近 2002 年實測示性波高與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

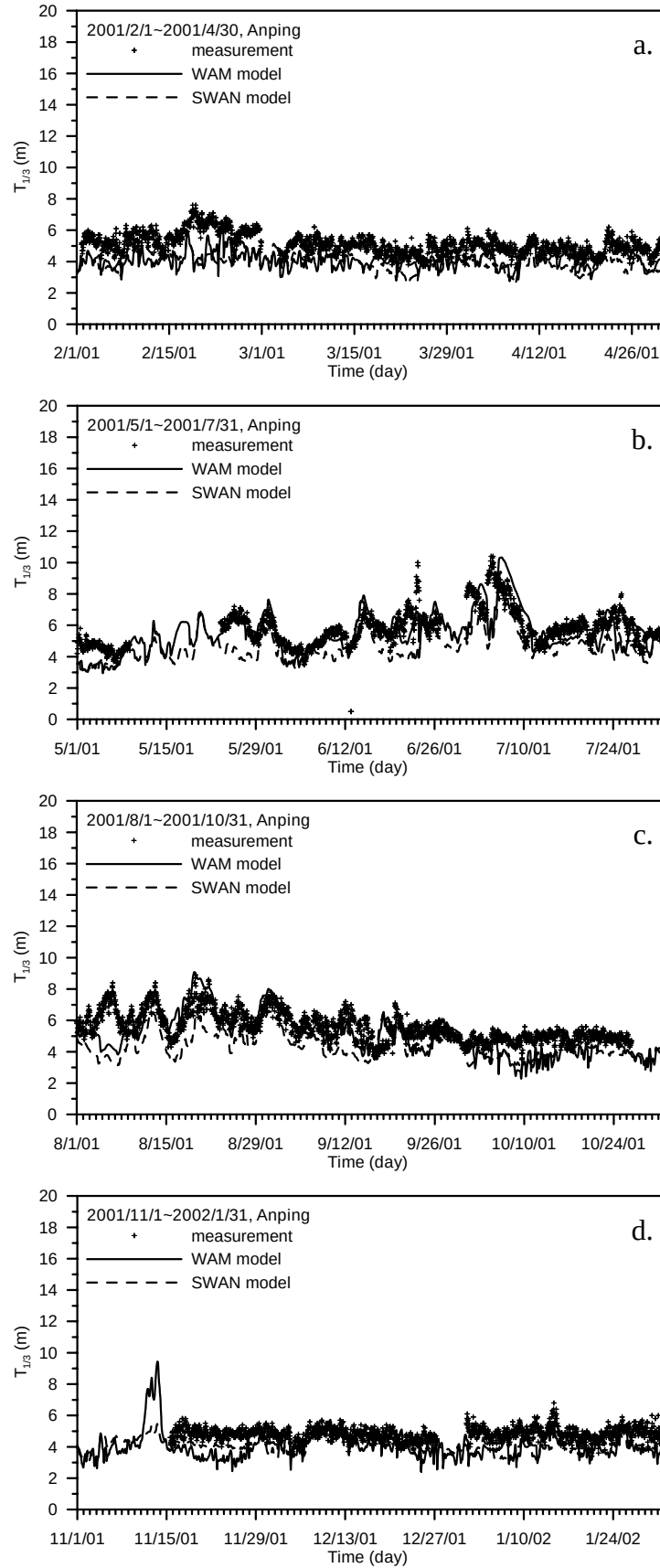


圖 5-30 安平港附近 2001 年實測示性週期與推算值之比較圖 (a. 春季、  
b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)



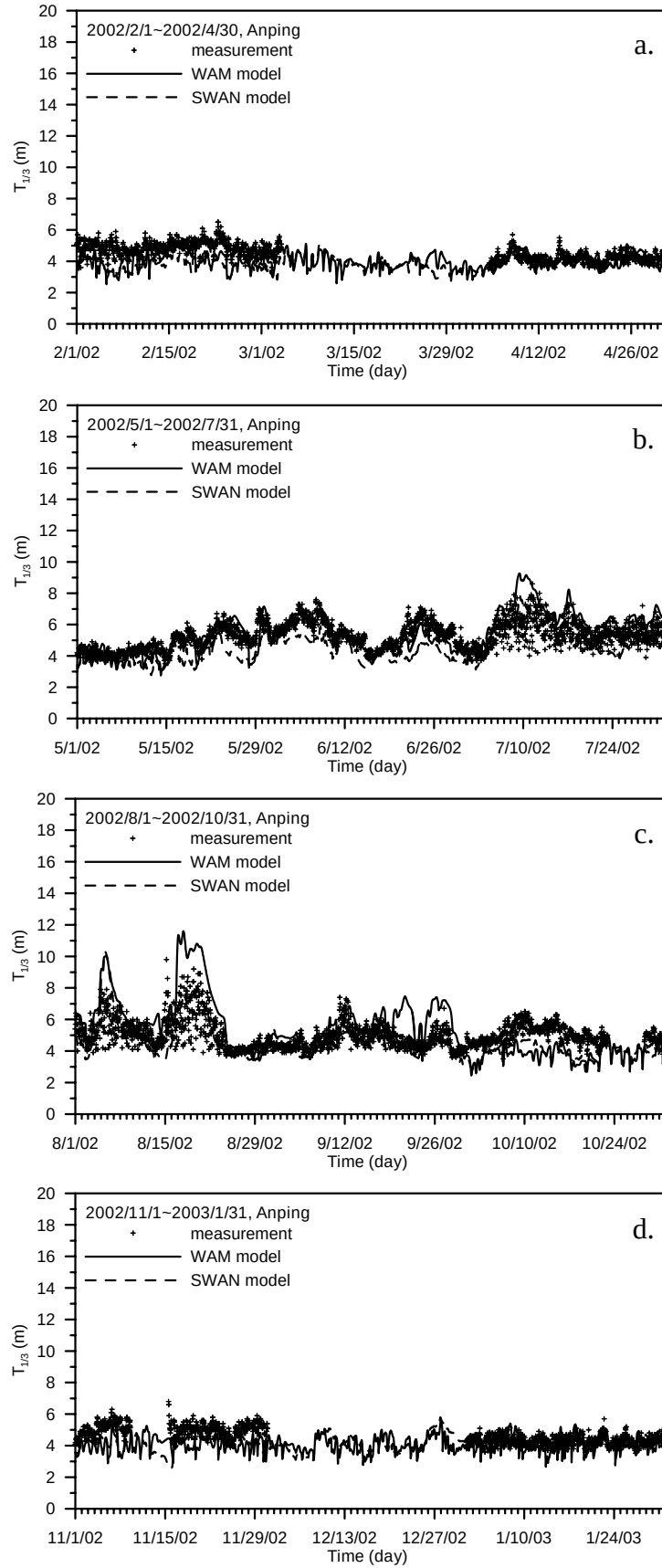


圖 5-31 安平港附近 2002 年實測示性週期與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

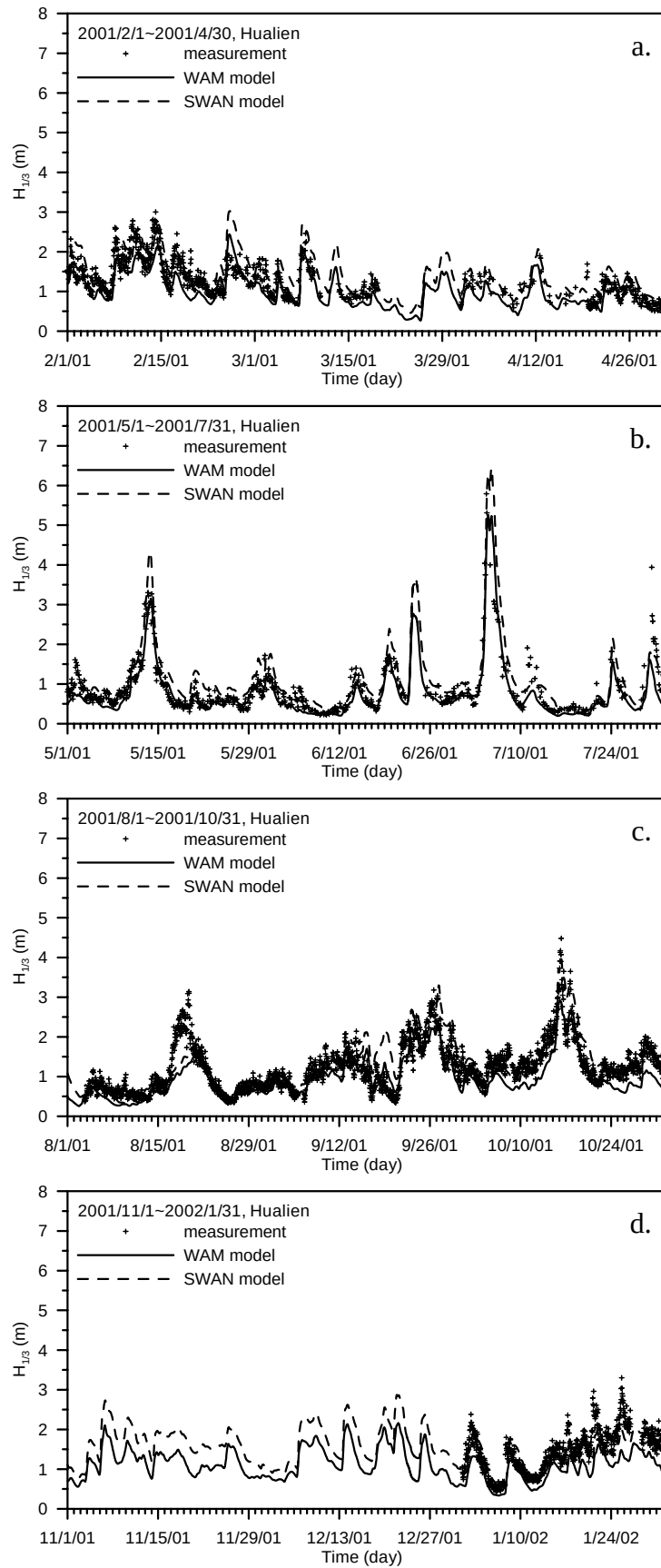


圖 5-32 花蓮港附近 2001 年實測示性波高與推算值之比較圖 (a. 春季、  
b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

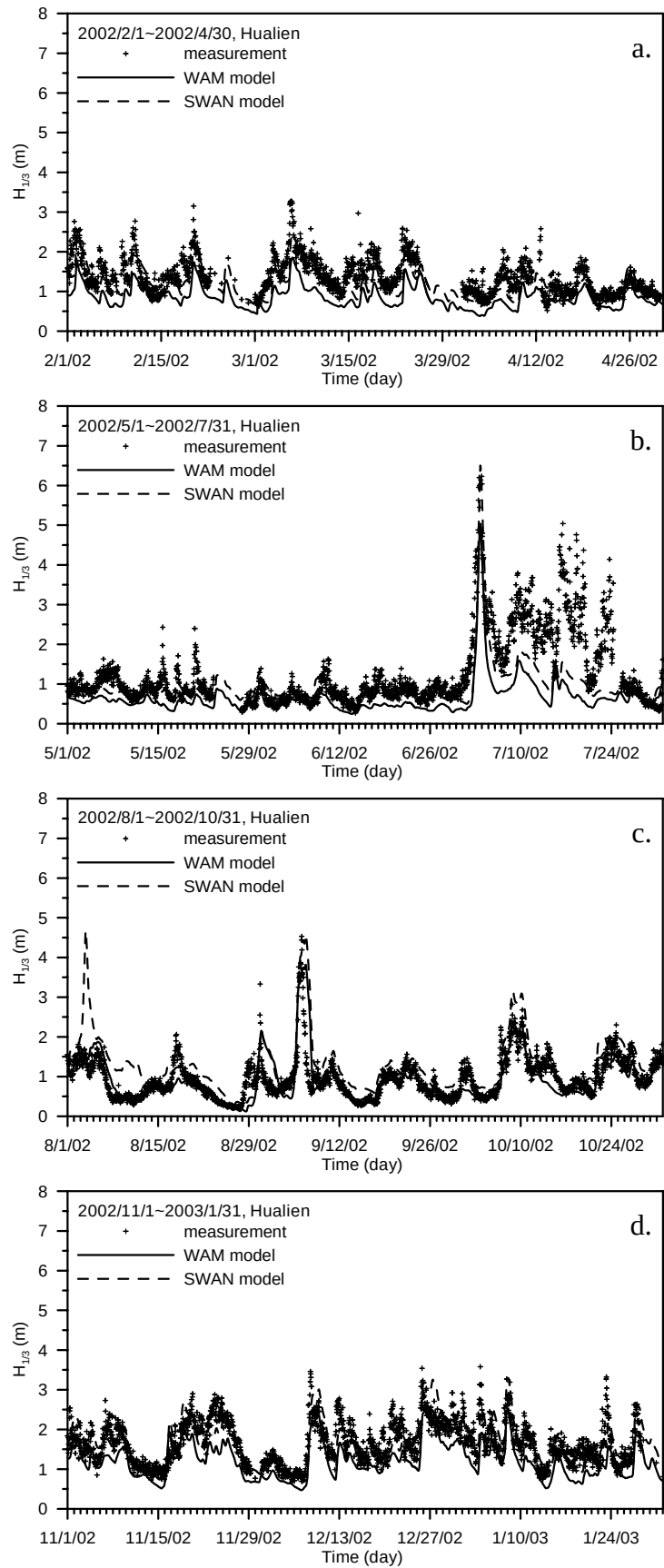


圖 5-33 花蓮港附近 2002 年實測示性波高與推算值之比較圖 (a. 春季、  
b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

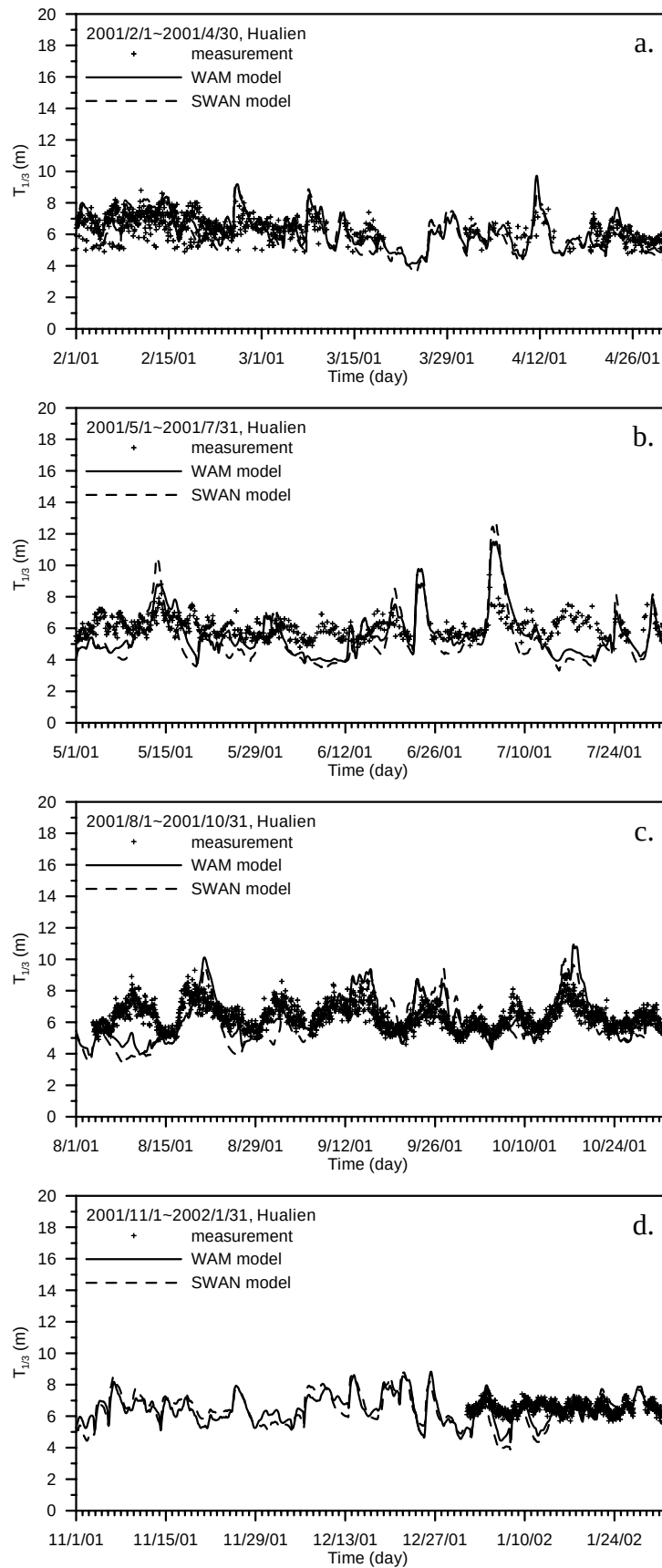


圖 5-34 花蓮港附近 2001 年實測示性週期與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

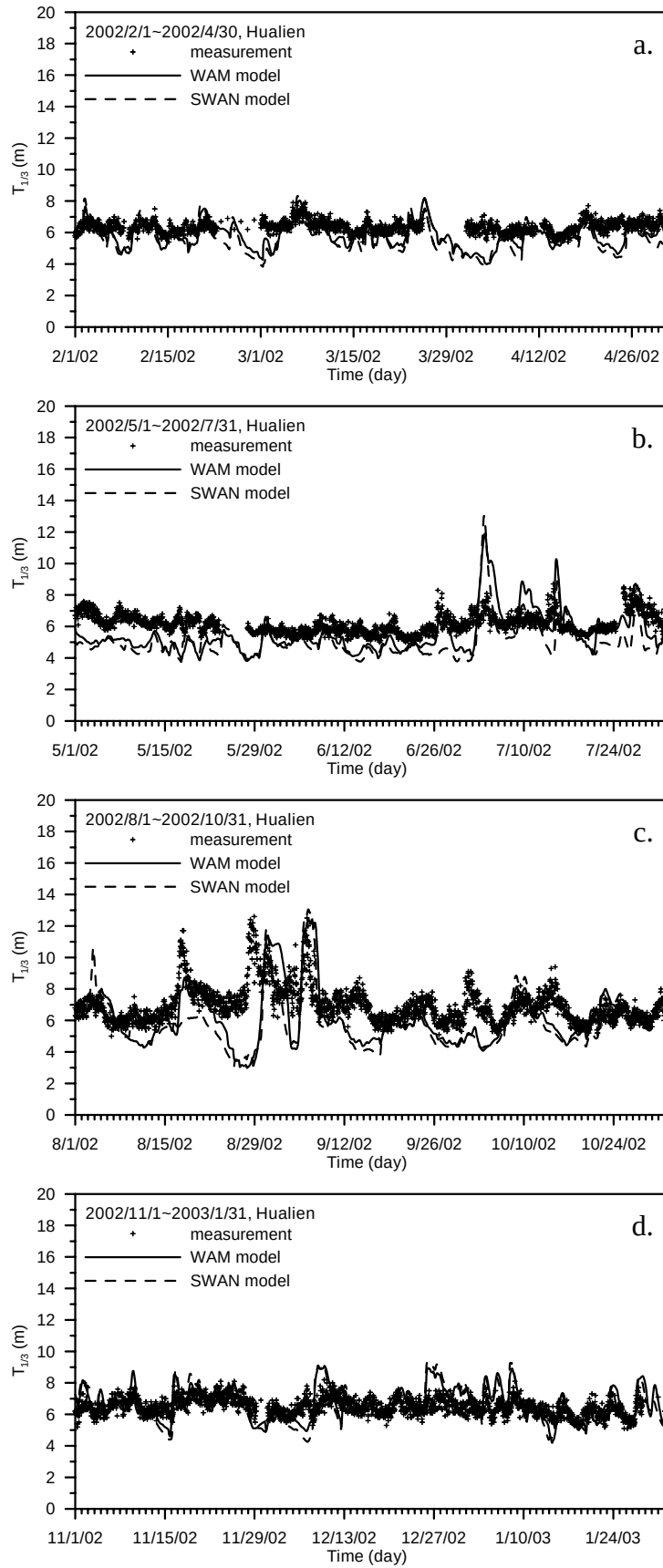


圖 5-35 花蓮港附近 2002 年實測示性週期與推算值之比較圖 (a. 春季、  
b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

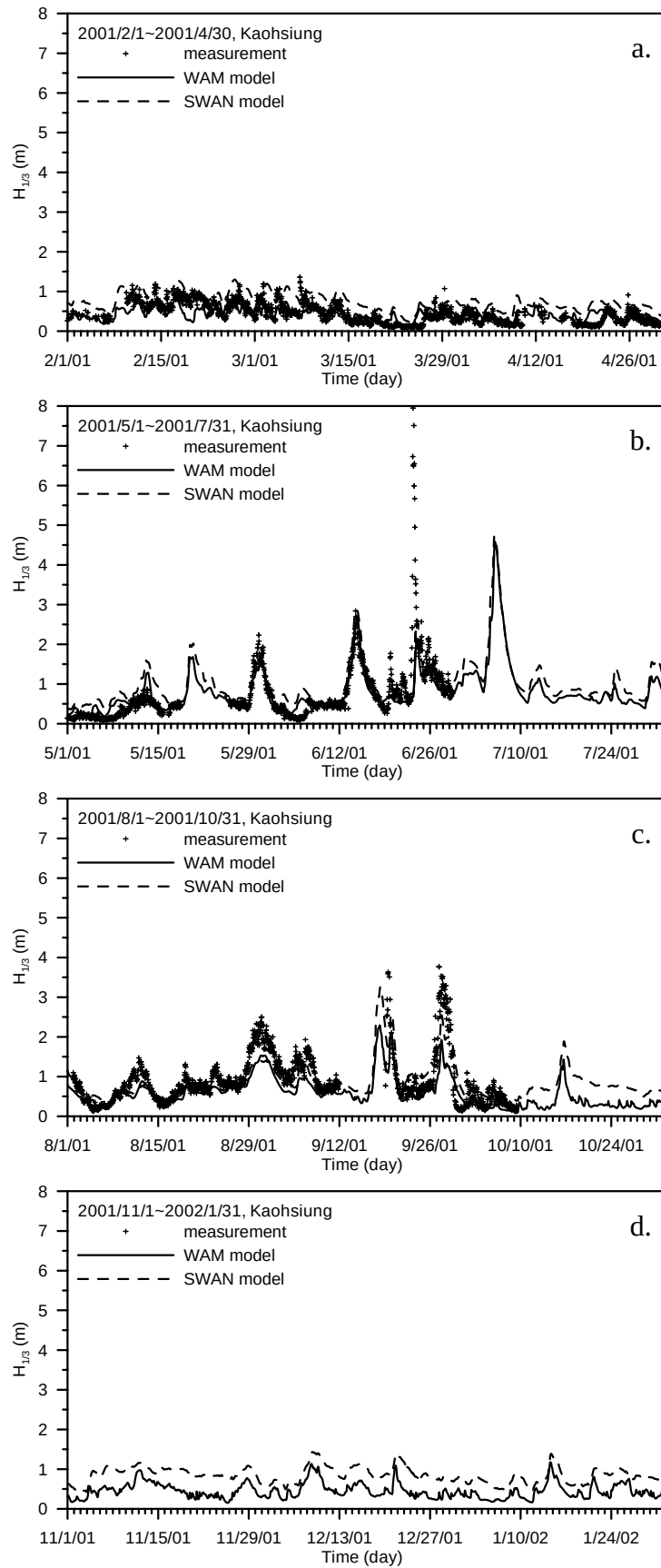


圖 5-36 高雄港附近 2001 年實測示性波高與推算值之比較圖 (a. 春季、  
b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

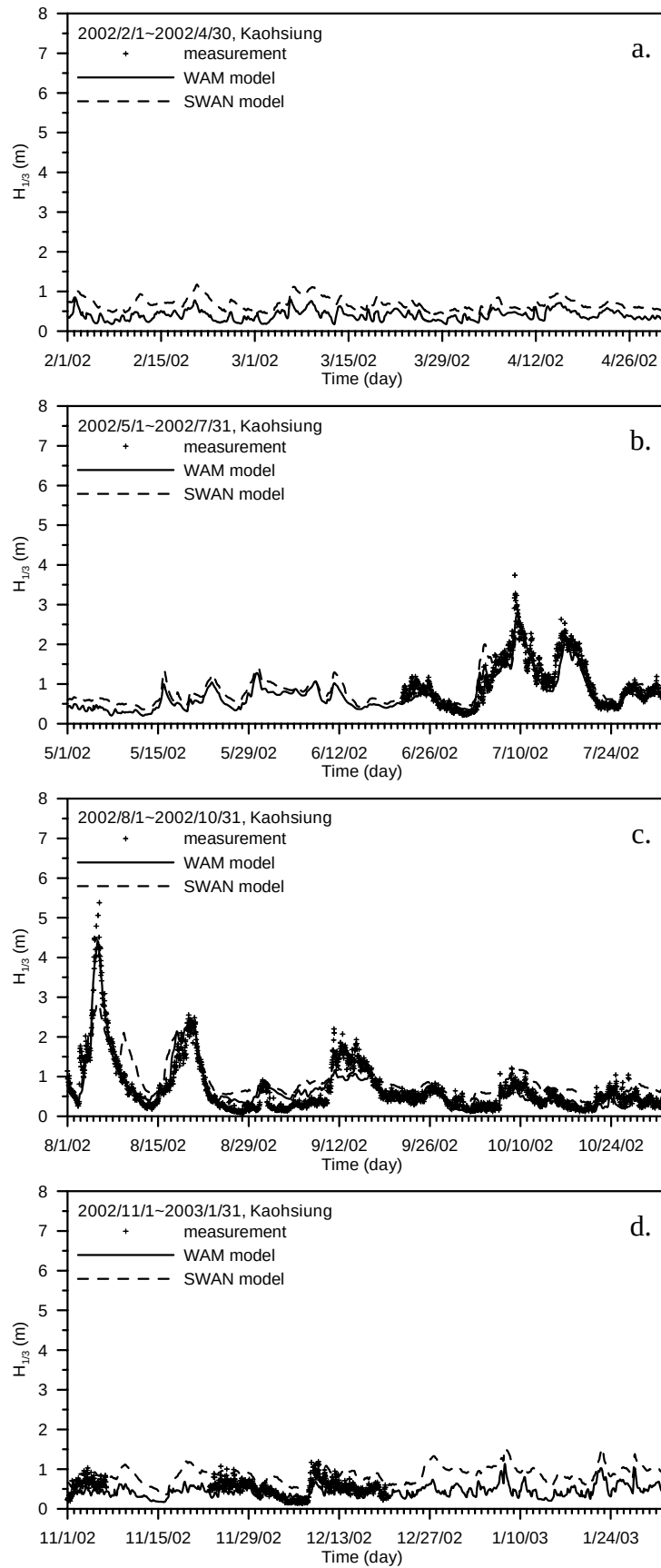


圖 5-37 高雄港附近 2002 年實測示性波高與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

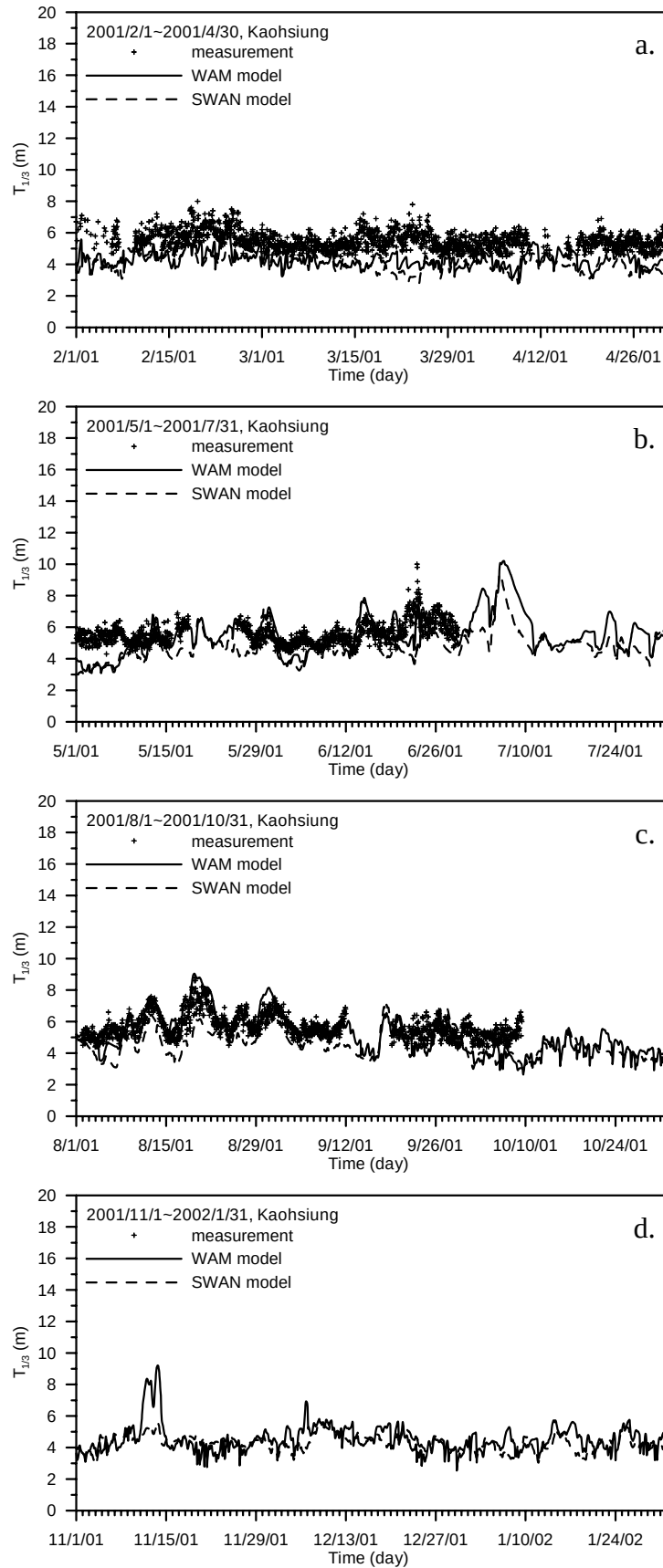


圖 5-38 高雄港附近 2001 年實測示性週期與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)



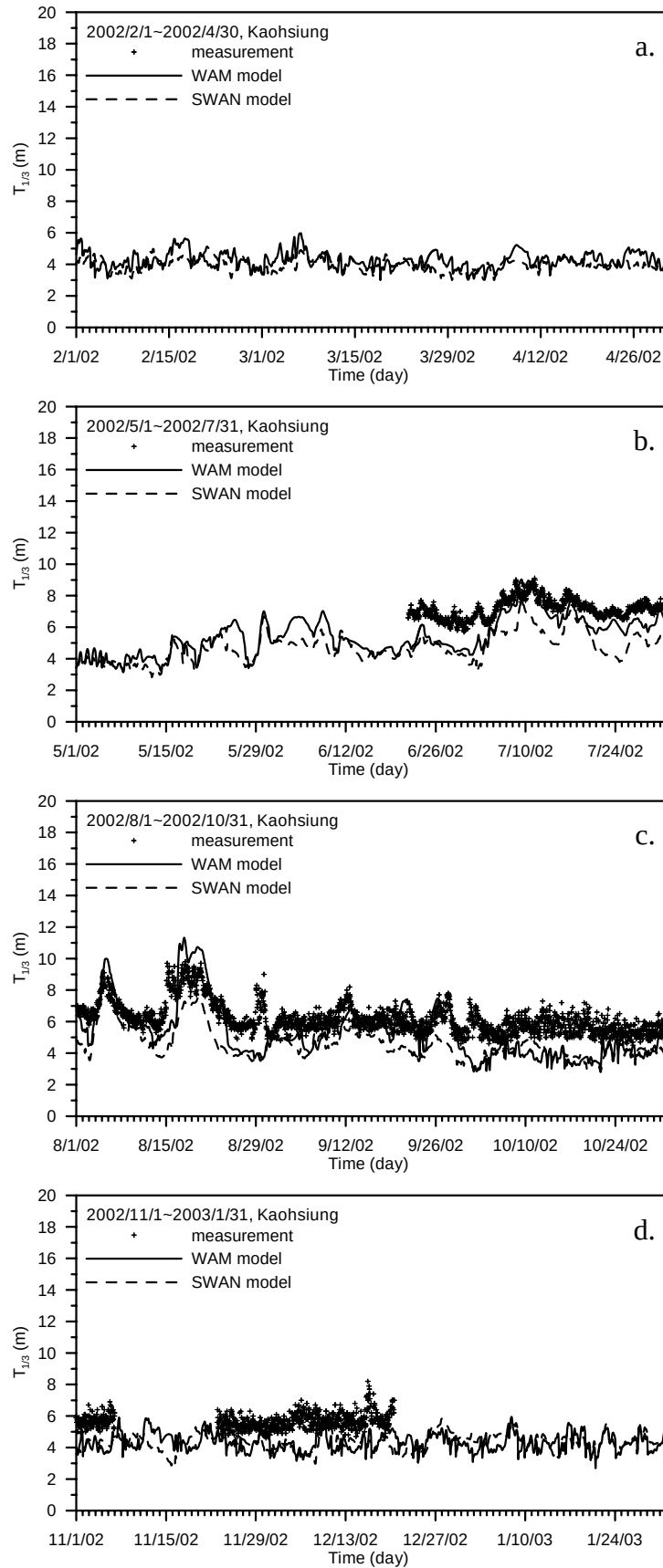


圖 5-39 高雄港附近 2002 年實測示性週期與推算值之比較圖 (a. 春季、  
b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

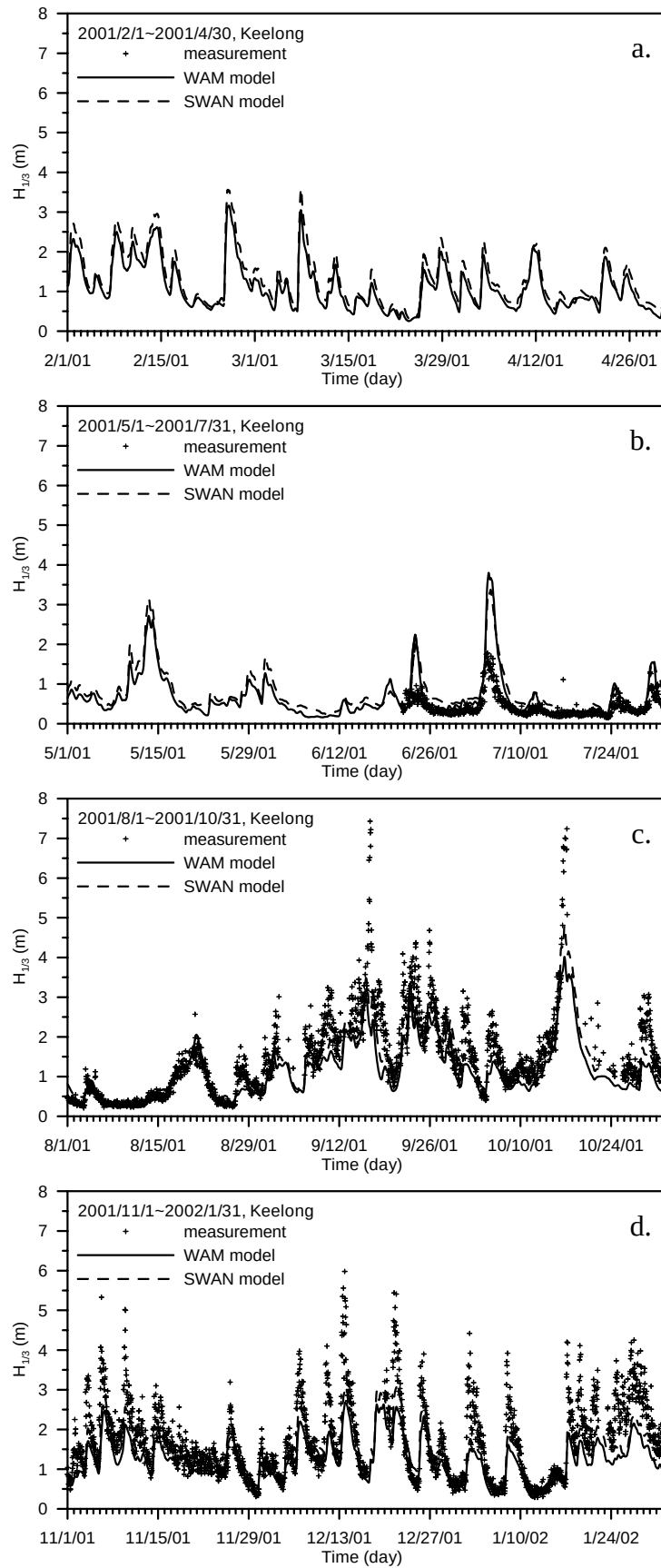


圖 5-40 基隆港附近 2001 年實測示性波高與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

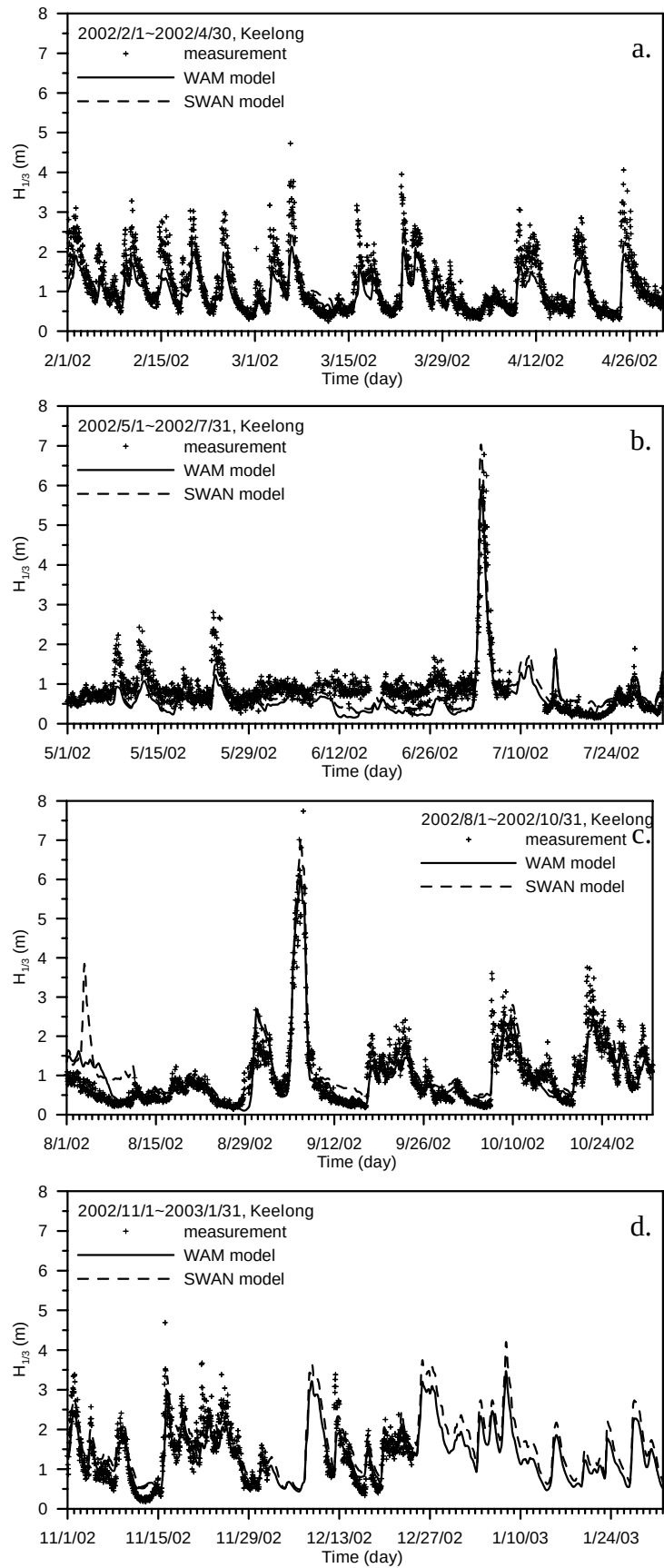


圖 5-41 基隆港附近 2002 年實測示性波高與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

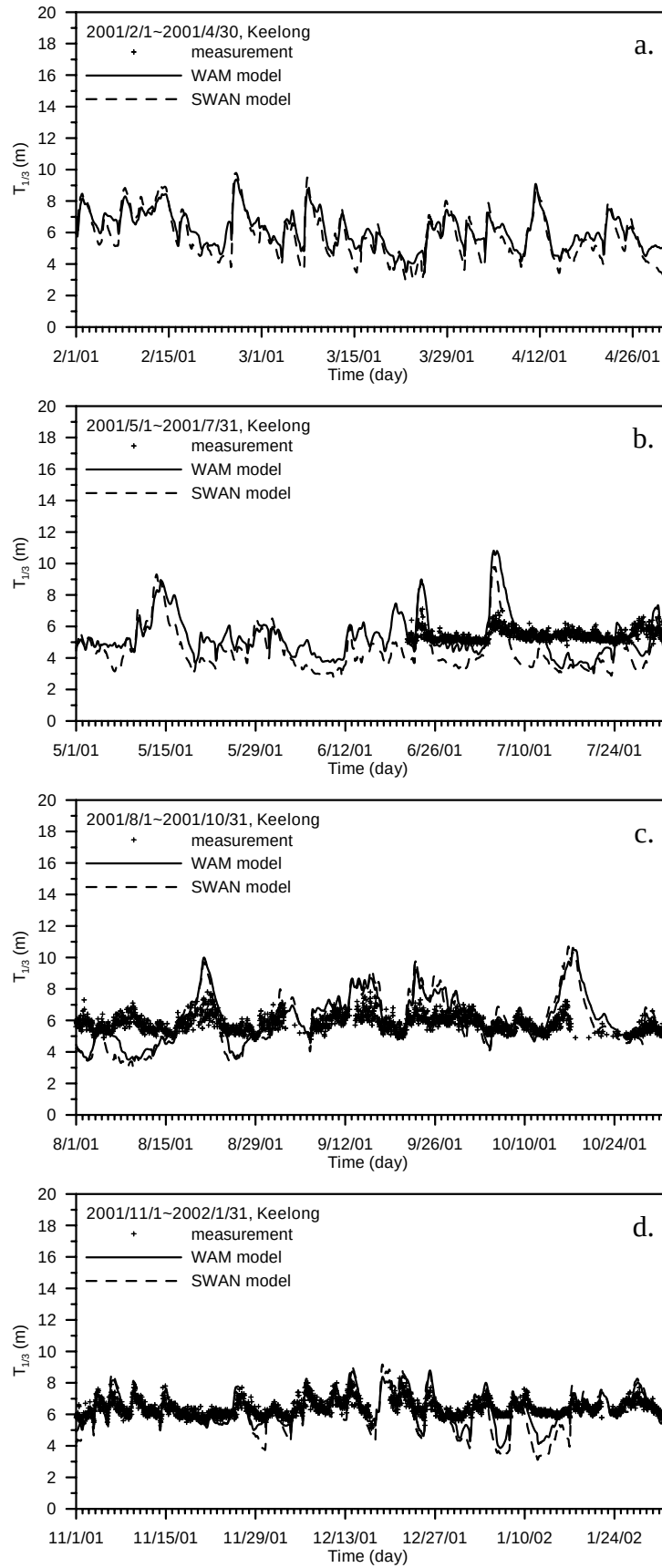


圖 5-42 基隆港附近 2001 年實測示性週期與推算值之比較圖 (a. 春季、  
b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

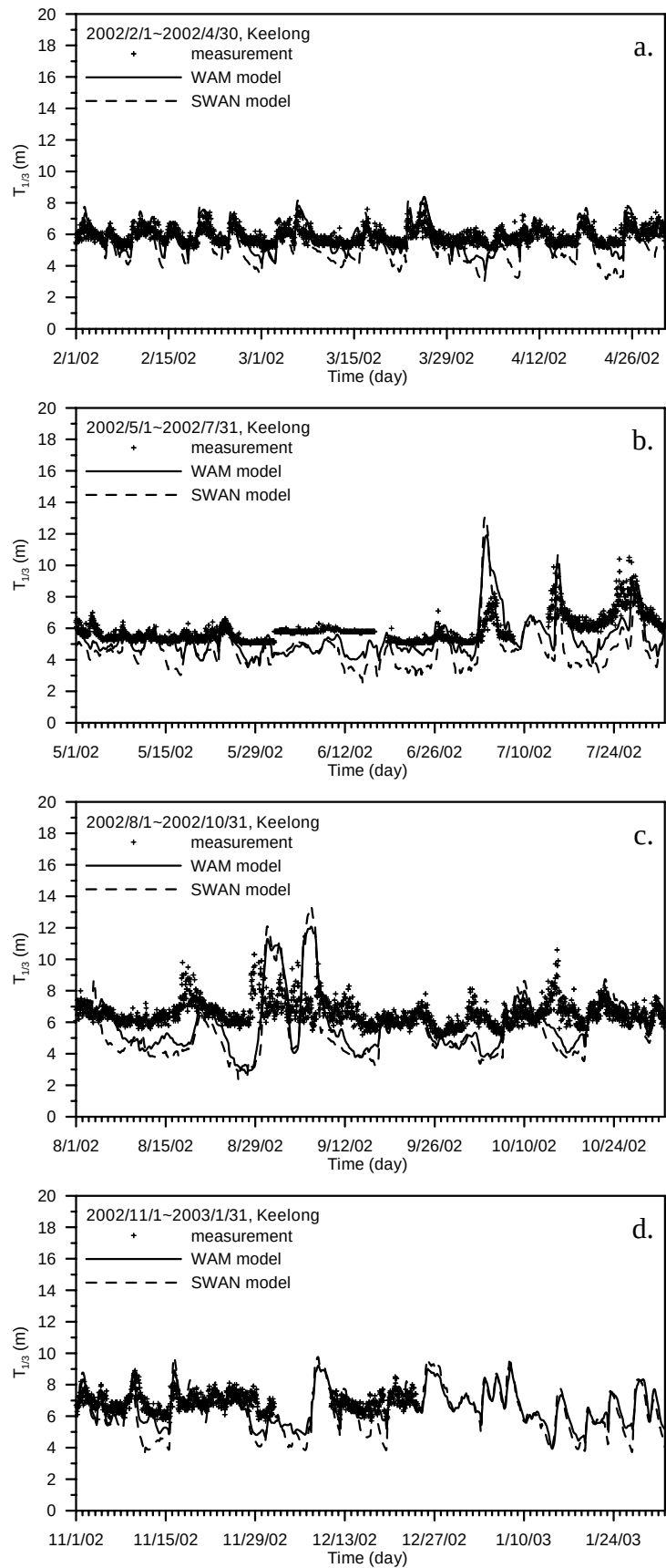


圖 5-43 基隆港附近 2002 年實測示性週期與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

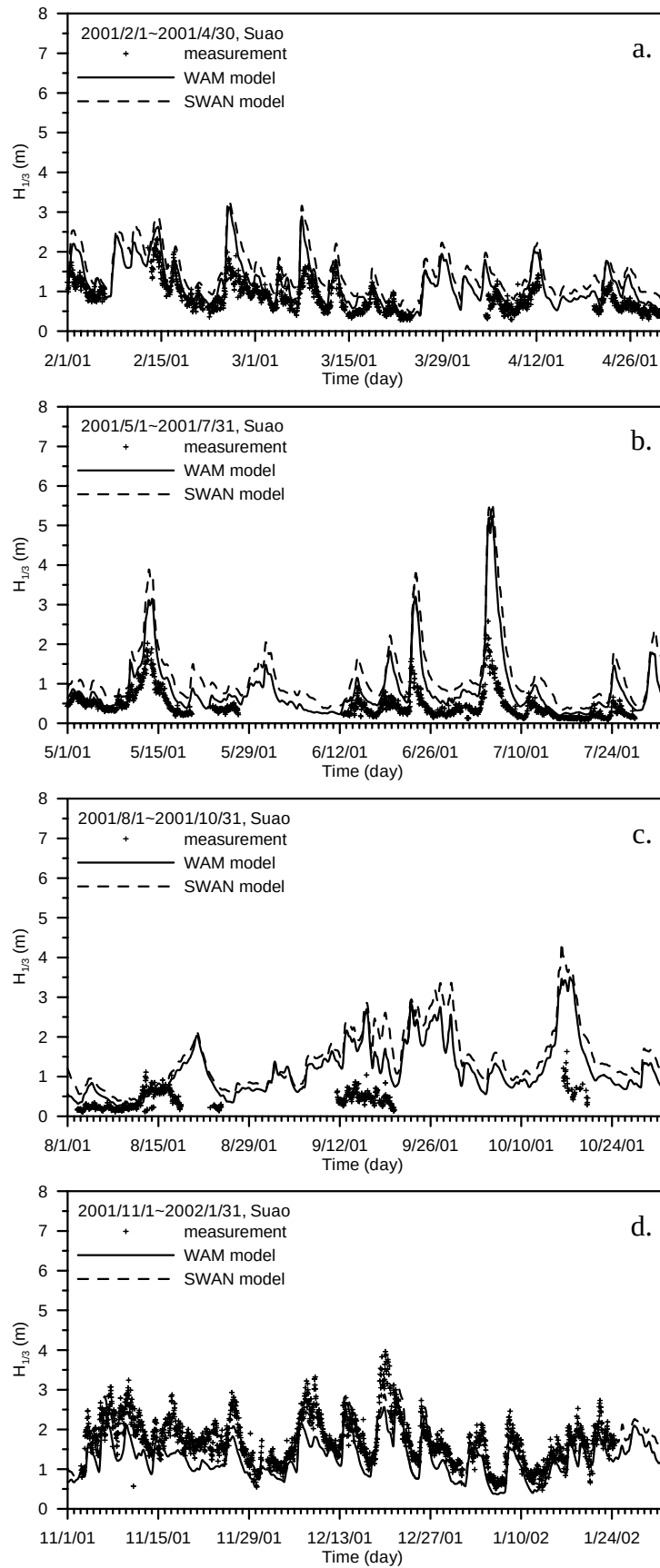


圖 5-44 蘇澳港附近 2001 年實測示性波高與推算值之比較圖 (a. 春季、  
b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

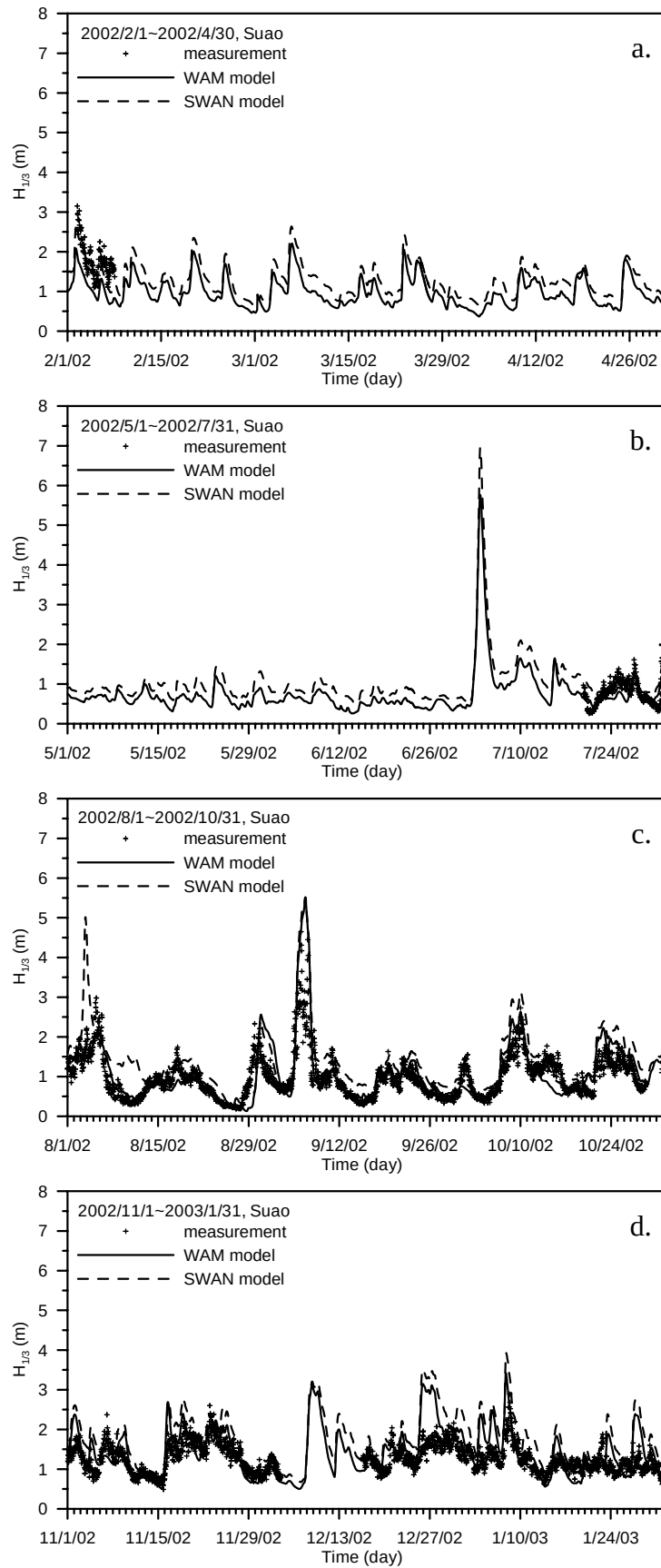


圖 5-45 蘇澳港附近 2002 年實測示性波高與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

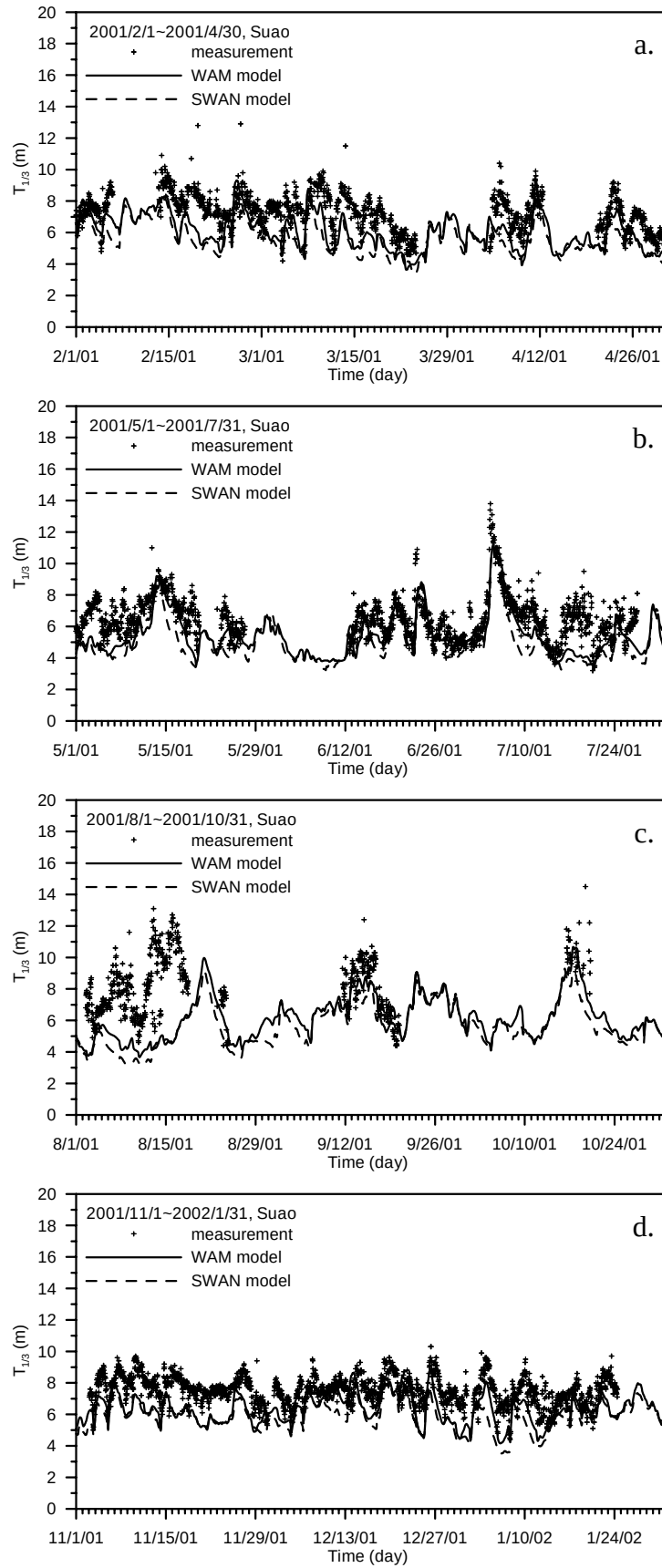


圖 5-46 蘇澳港附近 2001 年實測示性週期與推算值之比較圖 (a. 春季、  
b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)



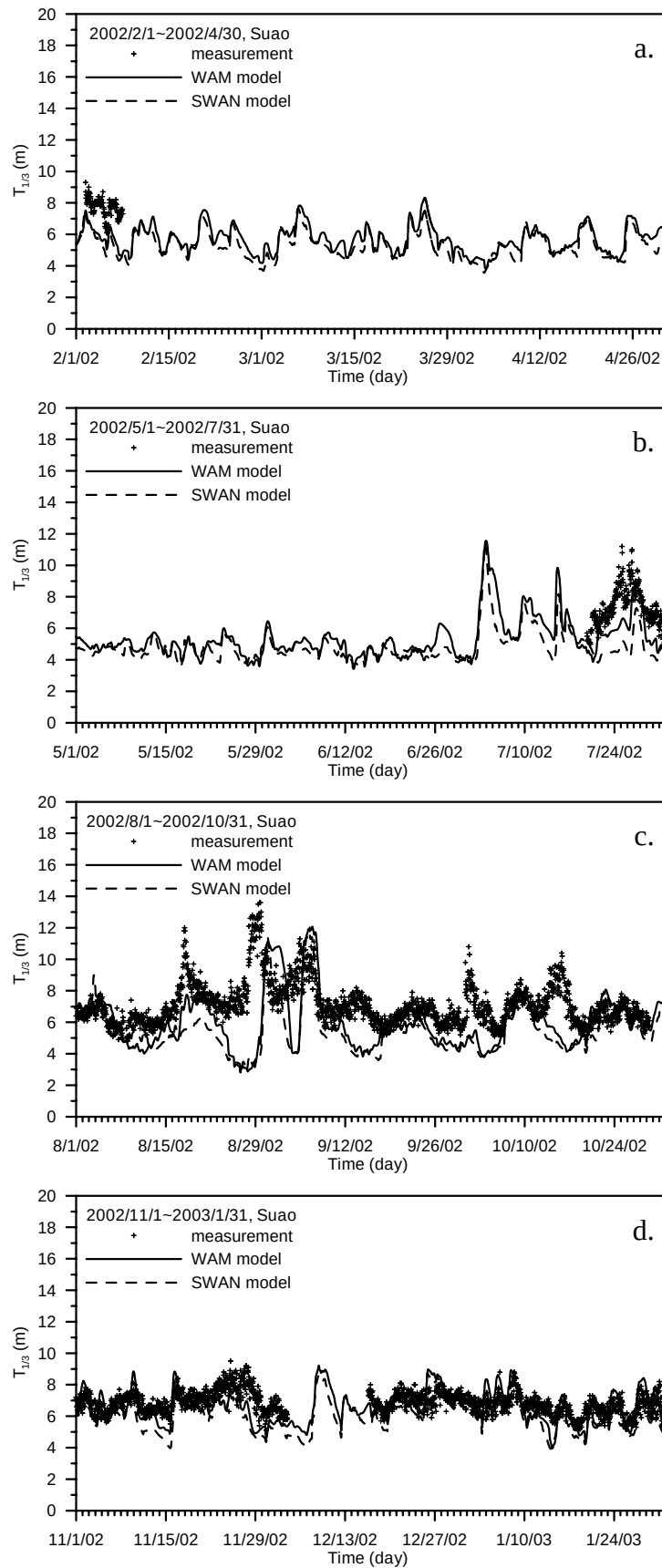


圖 5-47 蘇澳港附近 2002 年實測示性週期與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

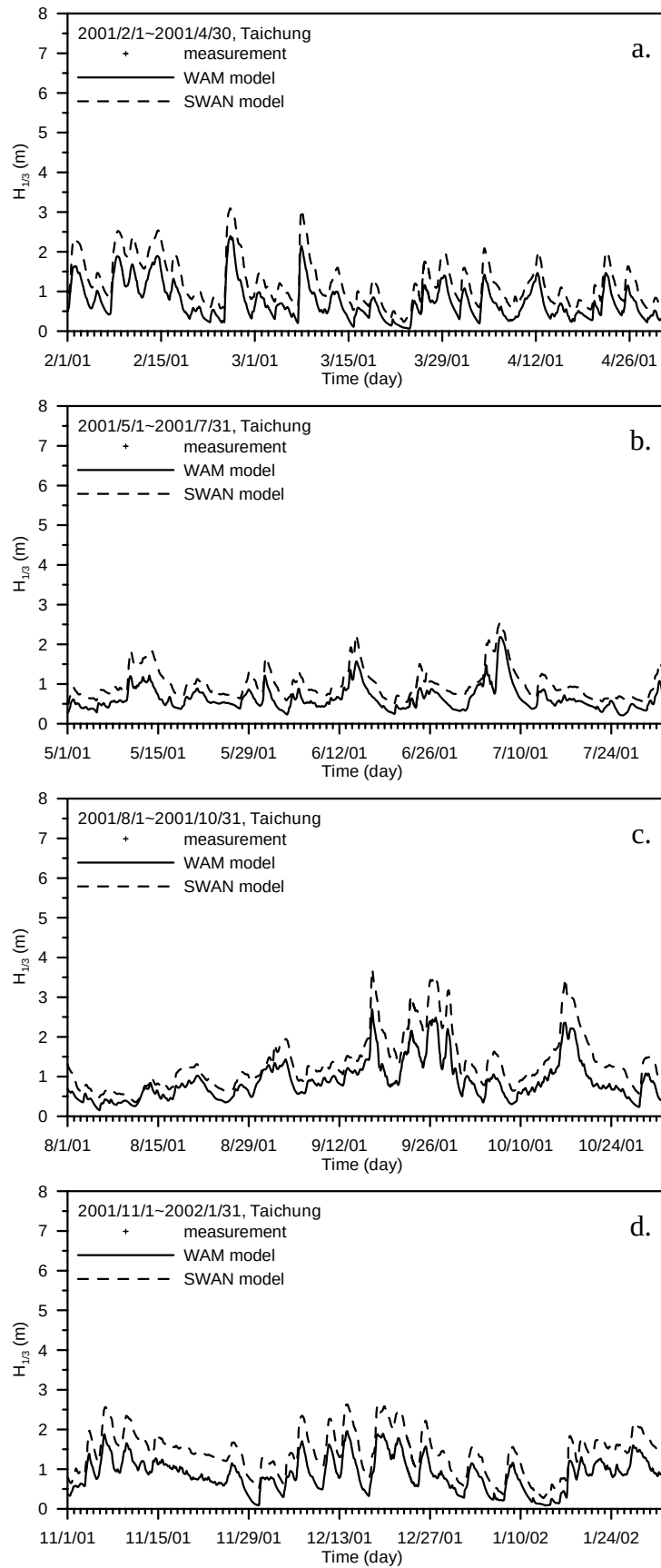


圖 5-48 台中港附近 2001 年實測示性波高與推算值之比較圖 (a. 春季、  
b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

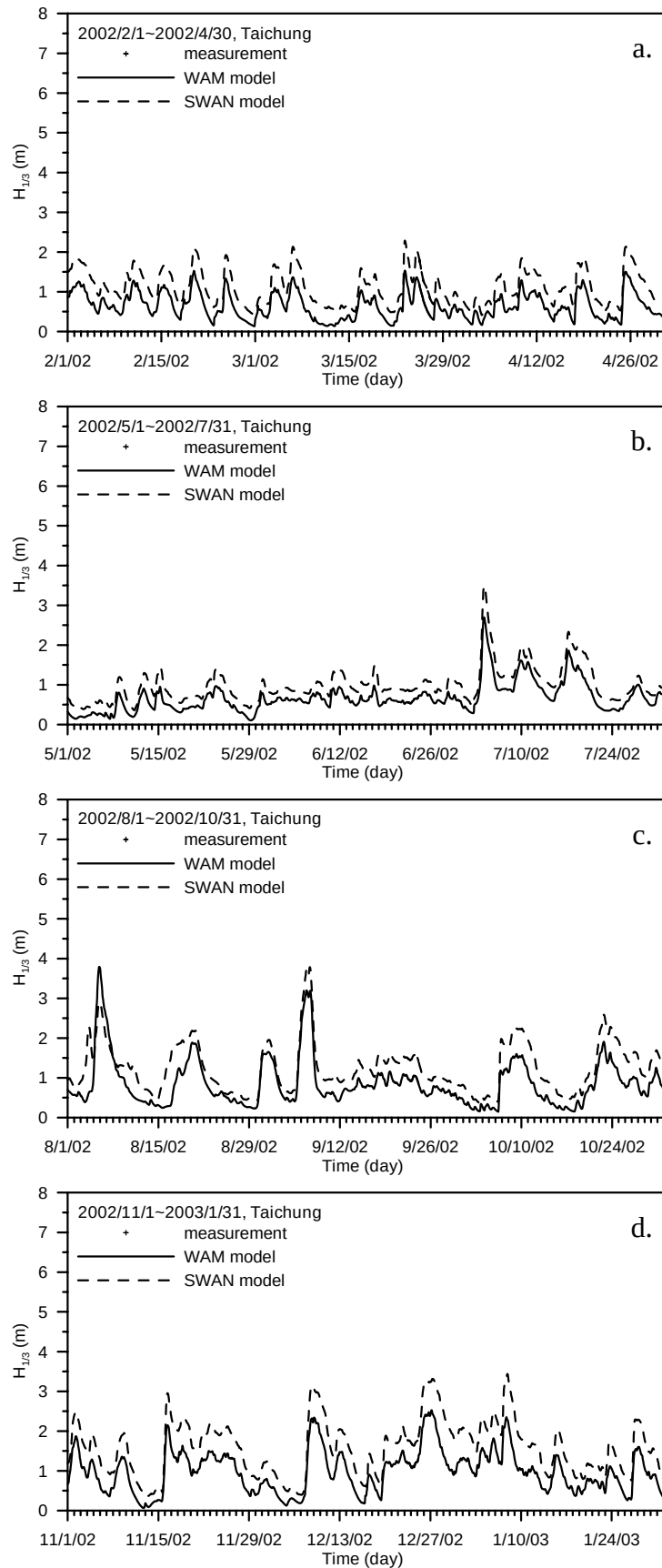


圖 5-49 台中港附近 2002 年實測示性波高與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

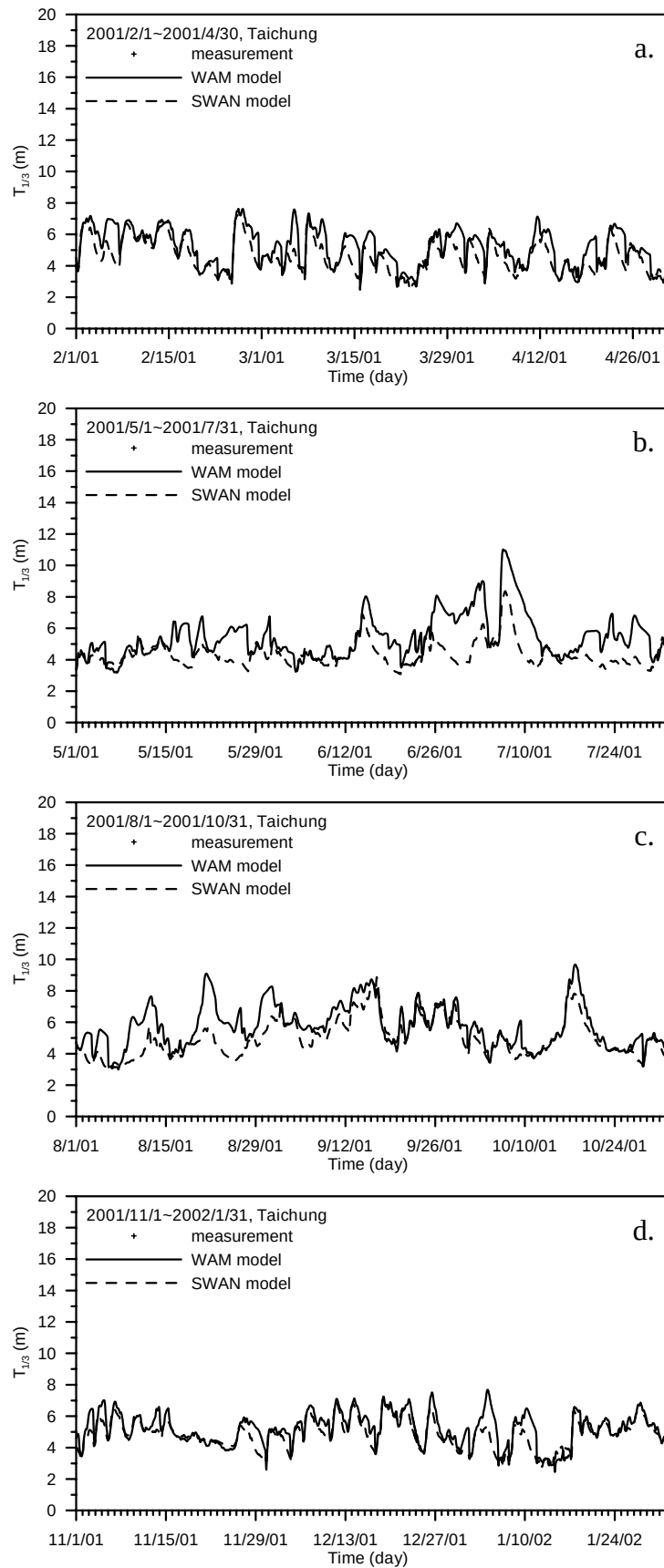


圖 5-50 台中港附近 2001 年實測示性週期與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

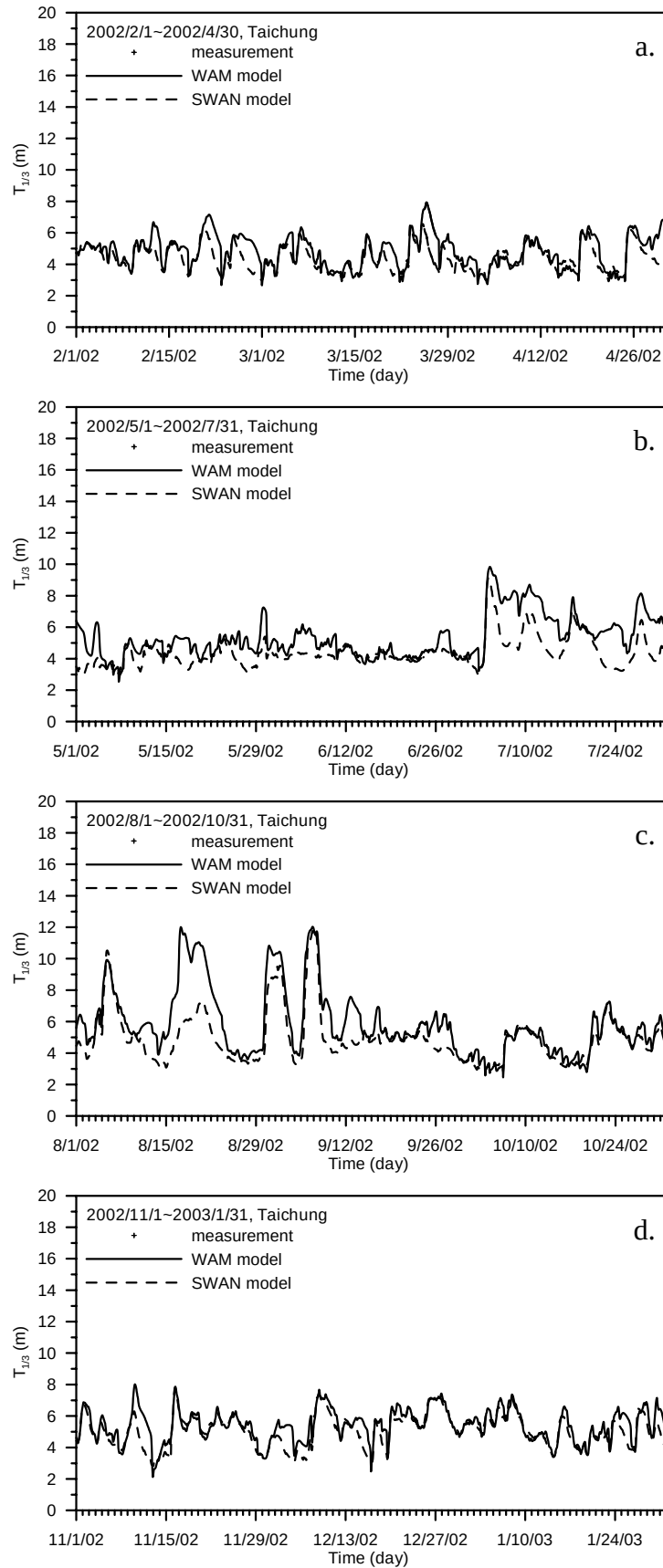


圖 5-51 台中港附近 2002 年實測示性週期與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

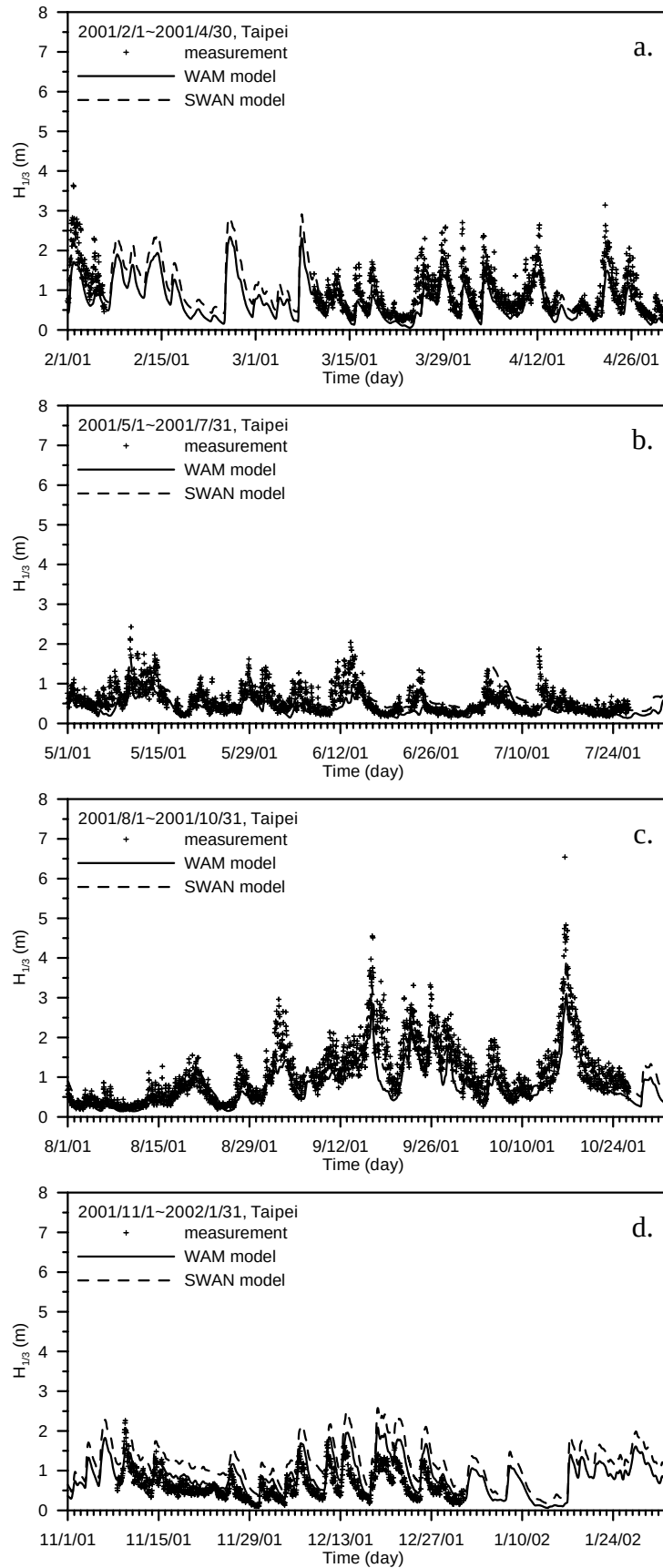


圖 5-52 台北港附近 2001 年實測示性波高與推算值之比較圖 (a. 春季、  
b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

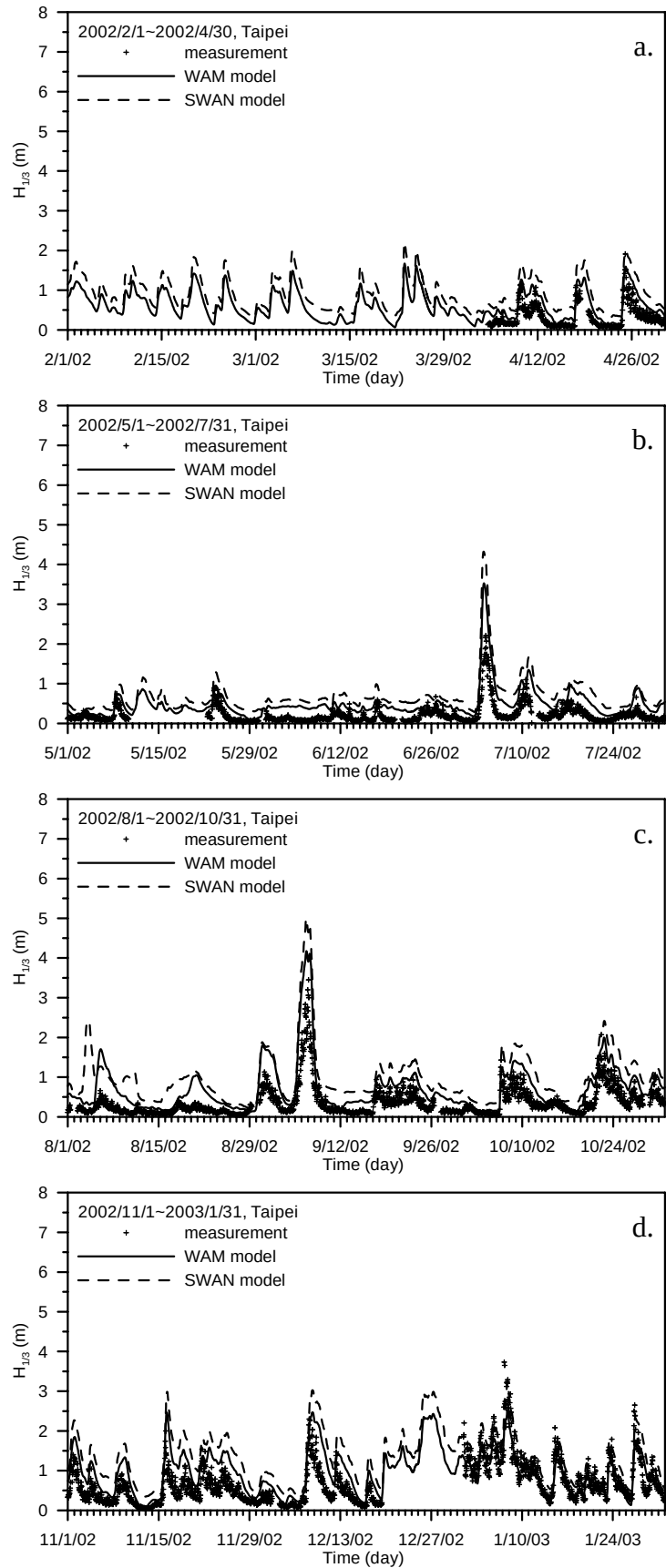


圖 5-53 台北港附近 2002 年實測示性波高與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

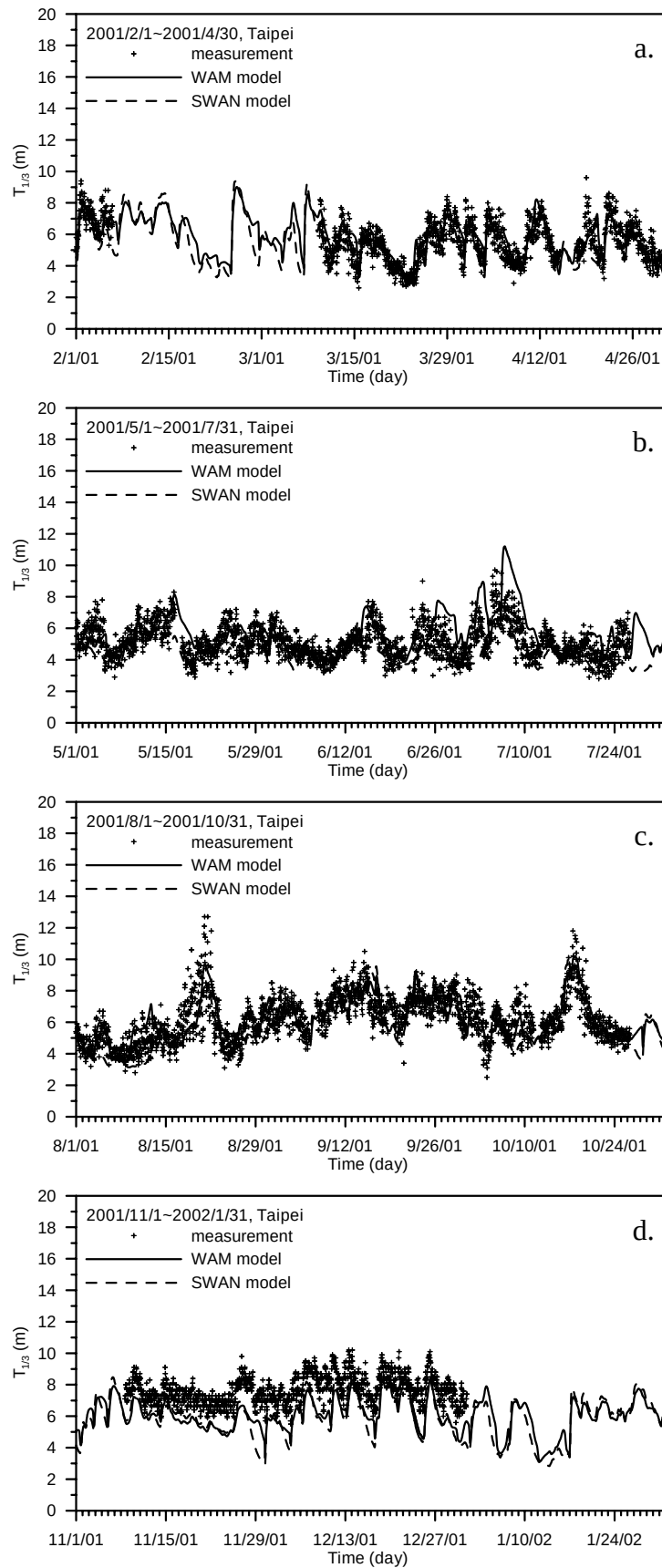


圖 5-54 台北港附近 2001 年實測示性週期與推算值之比較圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)



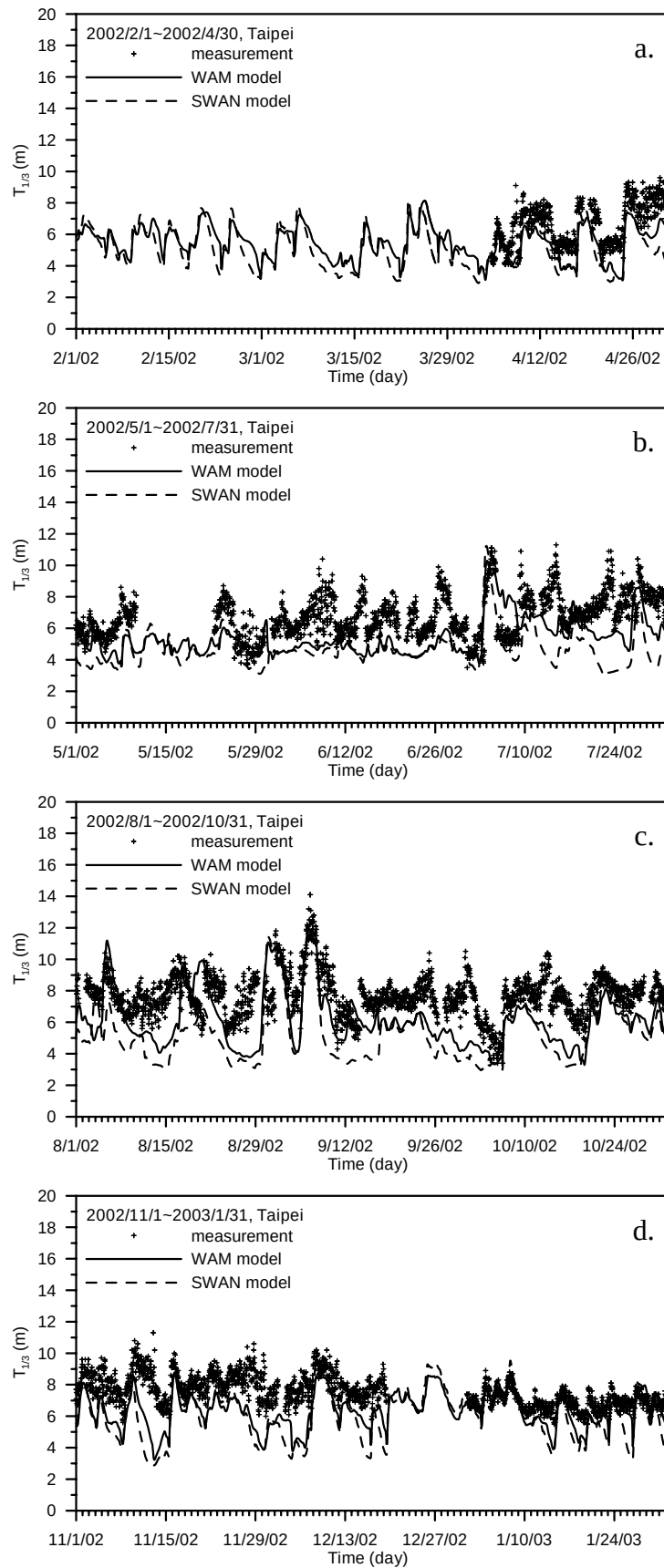


圖 5-55 台北港附近 2002 年實測示性週期與推算值之比較圖 (a. 春季、  
b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季)

表 5-10 安平港附近海域實測資料與推算值之比較統計表

| 參數<br>月份 |              | 實測<br>平均 | 遠域風浪模式<br>模擬平均 | 相關<br>係數 | 絕對<br>誤差 | 近岸風浪模式<br>模擬平均 | 相關<br>係數 | 絕對<br>誤差 |
|----------|--------------|----------|----------------|----------|----------|----------------|----------|----------|
| 示性波高     | 2001 年<br>春季 | 0.36     | 0.37           | 0.52     | 0.11     | 0.84           | 0.76     | 0.48     |
|          | 2001 年<br>夏季 | 0.91     | 0.80           | 0.70     | 0.33     | 1.12           | 0.72     | 0.47     |
|          | 2001 年<br>秋季 | 0.73     | 0.60           | 0.71     | 0.23     | 1.03           | 0.53     | 0.39     |
|          | 2001 年<br>冬季 | 0.48     | 0.42           | 0.49     | 0.14     | 0.99           | 0.66     | 0.52     |
|          | 2002 年<br>春季 | 0.46     | 0.36           | 0.58     | 0.14     | 0.80           | 0.53     | 0.34     |
|          | 2002 年<br>夏季 | 0.81     | 0.72           | 0.92     | 0.17     | 1.00           | 0.89     | 0.26     |
|          | 2002 年<br>秋季 | 0.79     | 0.70           | 0.89     | 0.20     | 1.11           | 0.85     | 0.39     |
|          | 2002 年<br>冬季 | 0.59     | 0.45           | 0.54     | 0.18     | 1.10           | 0.59     | 0.51     |
| 示性週期     | 2001 年<br>春季 | 5.09     | 4.15           | 0.38     | 0.99     | 3.95           | 0.48     | 1.16     |
|          | 2001 年<br>夏季 | 5.79     | 5.57           | 0.66     | 0.86     | 4.71           | 0.56     | 1.25     |
|          | 2001 年<br>秋季 | 5.56     | 5.15           | 0.67     | 0.81     | 4.45           | 0.42     | 1.24     |
|          | 2001 年<br>冬季 | 4.80     | 4.03           | 0.13     | 0.86     | 4.11           | 0.12     | 0.76     |
|          | 2002 年<br>春季 | 4.53     | 4.11           | 0.14     | 0.65     | 3.87           | 0.29     | 0.70     |
|          | 2002 年<br>夏季 | 5.26     | 5.42           | 0.67     | 0.68     | 4.54           | 0.58     | 0.94     |
|          | 2002 年<br>秋季 | 4.99     | 5.40           | 0.52     | 1.21     | 4.50           | 0.59     | 0.83     |
|          | 2002 年<br>冬季 | 4.60     | 4.07           | 0.03     | 0.71     | 4.31           | -0.03    | 0.54     |

註：示性波高 (公尺)、示性週期 (秒)

表 5-11 花蓮港附近海域實測資料與推算值之比較統計表

| 參數<br>月份 |              | 實測<br>平均 | 遠域風浪模式<br>模擬平均 | 相關<br>係數 | 絕對<br>誤差 | 近岸風浪模式<br>模擬平均 | 相關<br>係數 | 絕對<br>誤差 |
|----------|--------------|----------|----------------|----------|----------|----------------|----------|----------|
| 示性波高     | 2001 年<br>春季 | 1.35     | 1.14           | 0.80     | 0.28     | 1.55           | 0.77     | 0.31     |
|          | 2001 年<br>夏季 | 0.89     | 0.76           | 0.90     | 0.21     | 1.11           | 0.88     | 0.31     |
|          | 2001 年<br>秋季 | 1.23     | 0.99           | 0.83     | 0.32     | 1.35           | 0.80     | 0.30     |
|          | 2001 年<br>冬季 | 1.45     | 0.99           | 0.82     | 0.46     | 1.37           | 0.79     | 0.24     |
|          | 2002 年<br>春季 | 1.37     | 0.86           | 0.73     | 0.51     | 1.21           | 0.70     | 0.28     |
|          | 2002 年<br>夏季 | 1.28     | 0.66           | 0.70     | 0.64     | 0.94           | 0.71     | 0.46     |
|          | 2002 年<br>秋季 | 0.95     | 0.93           | 0.77     | 0.24     | 1.29           | 0.72     | 0.42     |
|          | 2002 年<br>冬季 | 1.67     | 1.24           | 0.76     | 0.46     | 1.68           | 0.75     | 0.30     |
| 示性週期     | 2001 年<br>春季 | 6.48     | 6.52           | 0.49     | 0.69     | 6.39           | 0.41     | 0.86     |
|          | 2001 年<br>夏季 | 6.05     | 5.51           | 0.39     | 1.03     | 5.31           | 0.34     | 1.33     |
|          | 2001 年<br>秋季 | 6.35     | 6.26           | 0.52     | 0.89     | 6.10           | 0.36     | 1.09     |
|          | 2001 年<br>冬季 | 6.51     | 6.17           | 0.37     | 0.58     | 6.15           | 0.12     | 0.84     |
|          | 2002 年<br>春季 | 6.36     | 5.78           | 0.42     | 0.71     | 5.68           | 0.32     | 0.88     |
|          | 2002 年<br>夏季 | 6.16     | 5.54           | 0.44     | 1.13     | 5.07           | 0.26     | 1.35     |
|          | 2002 年<br>秋季 | 6.95     | 6.15           | 0.35     | 1.40     | 5.89           | 0.28     | 1.60     |
|          | 2002 年<br>冬季 | 6.49     | 6.71           | 0.48     | 0.70     | 6.66           | 0.46     | 0.80     |

註：示性波高 (公尺)、示性週期 (秒)

表 5-12 高雄港附近海域實測資料與推算值之比較統計表

| 參數<br>月份 |              | 實測<br>平均 | 遠域風浪模式<br>模擬平均 | 相關<br>係數 | 絕對<br>誤差 | 近岸風浪模式<br>模擬平均 | 相關<br>係數 | 絕對<br>誤差 |
|----------|--------------|----------|----------------|----------|----------|----------------|----------|----------|
| 示性波高     | 2001 年<br>春季 | 0.44     | 0.43           | 0.55     | 0.16     | 0.75           | 0.72     | 0.32     |
|          | 2001 年<br>夏季 | 0.72     | 0.69           | 0.67     | 0.23     | 0.90           | 0.63     | 0.33     |
|          | 2001 年<br>秋季 | 0.89     | 0.63           | 0.86     | 0.30     | 0.84           | 0.83     | 0.27     |
|          | 2001 年<br>冬季 | ×        | ×              | ×        | ×        | ×              | ×        | ×        |
|          | 2002 年<br>春季 | ×        | ×              | ×        | ×        | ×              | ×        | ×        |
|          | 2002 年<br>夏季 | 1.05     | 0.98           | 0.93     | 0.18     | 1.12           | 0.87     | 0.22     |
|          | 2002 年<br>秋季 | 0.68     | 0.68           | 0.91     | 0.20     | 0.91           | 0.85     | 0.34     |
|          | 2002 年<br>冬季 | 0.53     | 0.43           | 0.52     | 0.16     | 0.81           | 0.73     | 0.29     |
| 示性週期     | 2001 年<br>春季 | 5.52     | 4.30           | 0.21     | 1.25     | 4.11           | 0.04     | 1.42     |
|          | 2001 年<br>夏季 | 5.56     | 5.21           | 0.44     | 0.85     | 4.62           | 0.20     | 1.19     |
|          | 2001 年<br>秋季 | 5.66     | 5.53           | 0.71     | 0.73     | 4.73           | 0.48     | 1.09     |
|          | 2001 年<br>冬季 | ×        | ×              | ×        | ×        | ×              | ×        | ×        |
|          | 2002 年<br>春季 | ×        | ×              | ×        | ×        | ×              | ×        | ×        |
|          | 2002 年<br>夏季 | 7.18     | 6.16           | 0.85     | 1.08     | 5.19           | 0.71     | 1.99     |
|          | 2002 年<br>秋季 | 6.18     | 5.30           | 0.73     | 1.24     | 4.58           | 0.64     | 1.62     |
|          | 2002 年<br>冬季 | 5.67     | 4.21           | 0.03     | 1.47     | 4.23           | -0.12    | 1.44     |

註：示性波高 (公尺)、示性週期 (秒)

表 5-13 基隆港附近海域實測資料與推算值之比較統計表

| 參數<br>月份 |              | 實測<br>平均 | 遠域風浪模式<br>模擬平均 | 相關<br>係數 | 絕對<br>誤差 | 近岸風浪模式<br>模擬平均 | 相關<br>係數 | 絕對<br>誤差 |
|----------|--------------|----------|----------------|----------|----------|----------------|----------|----------|
| 示性波高     | 2001 年<br>春季 | ×        | ×              | ×        | ×        | ×              | ×        | ×        |
|          | 2001 年<br>夏季 | 0.43     | 0.67           | 0.87     | 0.28     | 0.76           | 0.88     | 0.35     |
|          | 2001 年<br>秋季 | 1.50     | 1.10           | 0.87     | 0.45     | 1.31           | 0.89     | 0.34     |
|          | 2001 年<br>冬季 | 1.70     | 1.22           | 0.85     | 0.53     | 1.46           | 0.83     | 0.41     |
|          | 2002 年<br>春季 | 1.19     | 0.93           | 0.87     | 0.32     | 1.11           | 0.85     | 0.26     |
|          | 2002 年<br>夏季 | 0.87     | 0.62           | 0.81     | 0.36     | 0.75           | 0.82     | 0.31     |
|          | 2002 年<br>秋季 | 1.02     | 1.02           | 0.89     | 0.28     | 1.22           | 0.87     | 0.36     |
|          | 2002 年<br>冬季 | 1.35     | 1.31           | 0.86     | 0.27     | 1.54           | 0.84     | 0.35     |
| 示性週期     | 2001 年<br>春季 | ×        | ×              | ×        | ×        | ×              | ×        | ×        |
|          | 2001 年<br>夏季 | 5.45     | 5.31           | 0.46     | 1.13     | 4.31           | 0.43     | 1.51     |
|          | 2001 年<br>秋季 | 5.81     | 6.00           | 0.54     | 0.99     | 5.89           | 0.48     | 1.17     |
|          | 2001 年<br>冬季 | 6.39     | 6.28           | 0.72     | .54      | 6.11           | 0.67     | 0.80     |
|          | 2002 年<br>春季 | 5.89     | 5.77           | 0.67     | 0.50     | 5.37           | 0.66     | 0.92     |
|          | 2002 年<br>夏季 | 5.88     | 5.34           | 0.53     | 0.96     | 4.65           | 0.42     | 1.51     |
|          | 2002 年<br>秋季 | 6.54     | 5.94           | 0.25     | 1.36     | 5.61           | 0.18     | 0.78     |
|          | 2002 年<br>冬季 | 6.88     | 6.57           | 0.60     | 0.59     | 6.25           | 0.53     | 1.03     |

註：示性波高 (公尺)、示性週期 (秒)

表 5-14 蘇澳港附近海域實測資料與推算值之比較統計表

| 參數<br>月份 |              | 實測<br>平均 | 遠域風浪模式<br>模擬平均 | 相關<br>係數 | 絕對<br>誤差 | 近岸風浪模式<br>模擬平均 | 相關<br>係數 | 絕對<br>誤差  |
|----------|--------------|----------|----------------|----------|----------|----------------|----------|-----------|
| 示性<br>波高 | 2001 年<br>春季 | 0.85     | 1.16           | 0.84     | 0.33     | 1.46           | 0.85     | 0.61      |
|          | 2001 年<br>夏季 | 0.44     | 0.88           | 0.85     | 0.44     | 1.20           | 0.82     | 0.76      |
|          | 2001 年<br>秋季 | 0.40     | 1.01           | 0.56     | 0.64     | 1.27           | 0.54     | 0.88      |
|          | 2001 年<br>冬季 | 1.72     | 1.29           | 0.80     | 0.47     | 1.62           | 0.82     | 0.50      |
|          | 2002 年<br>春季 | 1.81     | 1.10           | 0.83     | 0.70     | 1.53           | 0.80     | 0.32<br>× |
|          | 2002 年<br>夏季 | 0.77     | 0.71           | 0.62     | 0.20     | 0.89           | 0.46     | 0.25      |
|          | 2002 年<br>秋季 | 0.98     | 1.08           | 0.81     | 0.28     | 1.38           | 0.79     | 0.47      |
|          | 2002 年<br>冬季 | 1.27     | 1.43           | 0.66     | 0.33     | 1.77           | 0.70     | 0.53      |
| 示性<br>週期 | 2001 年<br>春季 | 7.26     | 6.09           | 0.66     | 1.32     | 5.63           | 0.56     | 1.71      |
|          | 2001 年<br>夏季 | 6.47     | 5.51           | 0.69     | 1.13     | 5.02           | 0.65     | 1.52      |
|          | 2001 年<br>秋季 | 8.16     | 5.78           | 0.32     | 2.49     | 5.32           | 0.26     | 2.97      |
|          | 2001 年<br>冬季 | 7.49     | 6.33           | 0.55     | 1.27     | 5.92           | 0.50     | 1.63      |
|          | 2002 年<br>春季 | 7.71     | 5.88           | 0.62     | 1.82     | 5.53           | 0.62     | 2.17      |
|          | 2002 年<br>夏季 | 7.28     | 5.88           | 0.67     | 1.46     | 4.81           | 0.33     | 2.48      |
|          | 2002 年<br>秋季 | 7.10     | 5.96           | 0.24     | 1.62     | 5.50           | 0.19     | 1.85      |
|          | 2002 年<br>冬季 | 6.83     | 6.59           | 0.51     | 0.74     | 6.12           | 0.50     | 0.94      |

註：示性波高 (公尺)、示性週期 (秒)

表 5-15 台北港附近海域實測資料與推算值之比較統計表

| 參數<br>月份 |              | 實測<br>平均 | 遠域風浪模式<br>模擬平均 | 相關<br>係數 | 絕對<br>誤差 | 近岸風浪模式<br>模擬平均 | 相關<br>係數 | 絕對<br>誤差 |
|----------|--------------|----------|----------------|----------|----------|----------------|----------|----------|
| 示性波高     | 2001 年<br>春季 | 0.94     | 0.63           | 0.85     | 0.32     | 0.90           | 0.84     | 0.22     |
|          | 2001 年<br>夏季 | 0.57     | 0.40           | 0.60     | 0.20     | 0.63           | 0.61     | 0.21     |
|          | 2001 年<br>秋季 | 1.10     | 0.82           | 0.87     | 0.33     | 1.12           | 0.89     | 0.25     |
|          | 2001 年<br>冬季 | 0.64     | 0.92           | 0.84     | 0.30     | 1.28           | 0.82     | 0.65     |
|          | 2002 年<br>春季 | 0.32     | 0.57           | 0.90     | 0.25     | 0.85           | 0.88     | 0.53     |
|          | 2002 年<br>夏季 | 0.21     | 0.48           | 0.89     | 0.27     | 0.70           | 0.89     | 0.49     |
|          | 2002 年<br>秋季 | 0.35     | 0.70           | 0.90     | 0.36     | 1.00           | 0.87     | 0.65     |
|          | 2002 年<br>冬季 | 0.67     | 0.89           | 0.76     | 0.33     | 1.27           | 0.77     | 0.61     |
| 示性週期     | 2001 年<br>春季 | 5.57     | 5.69           | 0.75     | 0.68     | 5.29           | 0.80     | 0.66     |
|          | 2001 年<br>夏季 | 5.12     | 5.54           | 0.45     | 0.96     | 4.51           | 0.60     | 0.83     |
|          | 2001 年<br>秋季 | 6.20     | 6.20           | 0.75     | 0.78     | 5.74           | 0.76     | 0.91     |
|          | 2001 年<br>冬季 | 7.64     | 6.12           | 0.70     | 1.52     | 6.10           | 0.64     | 1.57     |
|          | 2002 年<br>春季 | 6.63     | 5.31           | 0.79     | 1.37     | 5.00           | 0.67     | 1.67     |
|          | 2002 年<br>夏季 | 6.75     | 5.46           | 0.38     | 1.64     | 4.61           | 0.33     | 2.22     |
|          | 2002 年<br>秋季 | 7.69     | 6.16           | 0.56     | 1.89     | 5.28           | 0.57     | 2.56     |
|          | 2002 年<br>冬季 | 7.57     | 6.21           | 0.42     | 1.43     | 5.89           | 0.35     | 1.78     |

註：示性波高 (公尺)、示性週期 (秒)

## 5.4 風浪模式長期推算建立之相關模式

相關模式為其一研究重點，其目的為透過回歸公式，可由風速資料即可快速推算波高，期望可作為系統無法操作或需要快速推算時之用。

### 5.4.1 相關模式理論介紹

本節以風與浪之間的關係來建立各測站的相關模式，決定以指數型態迴歸的方式來求得風與浪的公式，假設風浪模式輸入的風速與波高可成立如下

$$\hat{H}_{1/3} = A \exp(BU_{10}) \quad (5-3)$$

其中  $\hat{H}_{1/3}$  為迴歸線之示性波高值 (m)， $U_{10}$  為風速(m/s)， $A$ 、 $B$  為待求係數。一般用最小二乘法來推算待求係數值，再以 Person 積差相關係數的平方值  $R^2$  來決定此相關模式的可靠性， $R^2$  值越高表是模式的信賴度更高。

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (H_{1/3} - \hat{H}_{1/3})^2}{\sum (H_{1/3})^2 - \frac{(\sum H_{1/3})^2}{n}} \quad (5-4)$$

其中  $H_{1/3}$  為風浪模式計算出的波高值。

### 5.4.2 台灣 7 個商港之風浪相關模式

圖 5-56 至圖 5-69 分別為遠域風浪模式於七大港附近 2001 年至 2002 年風速與示性波高之關係圖，圖中黑點為某時刻之風速所對照的波高值，黑實線為模式最佳迴歸趨勢線，迴歸公式如圖右下角所示，Y 代表因變數的波高，X 代表自變數的風速值，同時有列出  $R^2$  (R-squared) 來確認此相關模式的實用性。在此若定義  $R^2 > 0.5$  以上即可應用此相關模式來作一簡易推估方法，從圖中可看出安平港僅有春季及冬季符合，冬季之  $R^2$  值甚至達 0.65 以上，花蓮港與蘇澳港在，冬季值尚有 0.46 之水準，同樣高雄港也是春、冬兩季的模擬情況較佳，基隆與台北港也是冬季模擬情況較好， $R^2$  介於 0.42 ~ 0.62



之間，同樣也是冬季，台中港在春、冬兩季的值介於 0.55~0.65 之間。圖 5-70 及圖 5-83 則分別為近域 SWAN 風浪模式於七大港附近 2001 年至 2002 年風速與示性波高之關係圖，基本上近域模式與遠域模式在迴歸時的趨勢是一致的，甚至在提升秋季的  $R^2$  值，可從安平、花蓮、基隆、蘇澳及台北港看出實用性增大的情形。

根據以上分析顯示遠域模式的風浪相關模式應用時，冬季波浪示性波高與風速之相關性較為一致，較具有其應用性，而近岸模式的相關模式則可應用之秋、冬兩季， $R^2$  約在 0.5 以上，另外花蓮港、基隆港、蘇澳港及台北港均在冬季發生示性波高之最大平均值，由於台灣東、北部地區在冬季屬於東北季風迎風面，受東北季風影響時間較長，且風向較為一致，故造成此地區波浪變化較大，可看出似乎在風速較大的情況下，由於波浪受到風的因素所佔成分偏大，而其他波浪效應（如折射、淺化等）相對起來影響力偏小的情況下，另外台灣夏季主要受到颱風波浪影響，風速與示性波高之相關性較小。

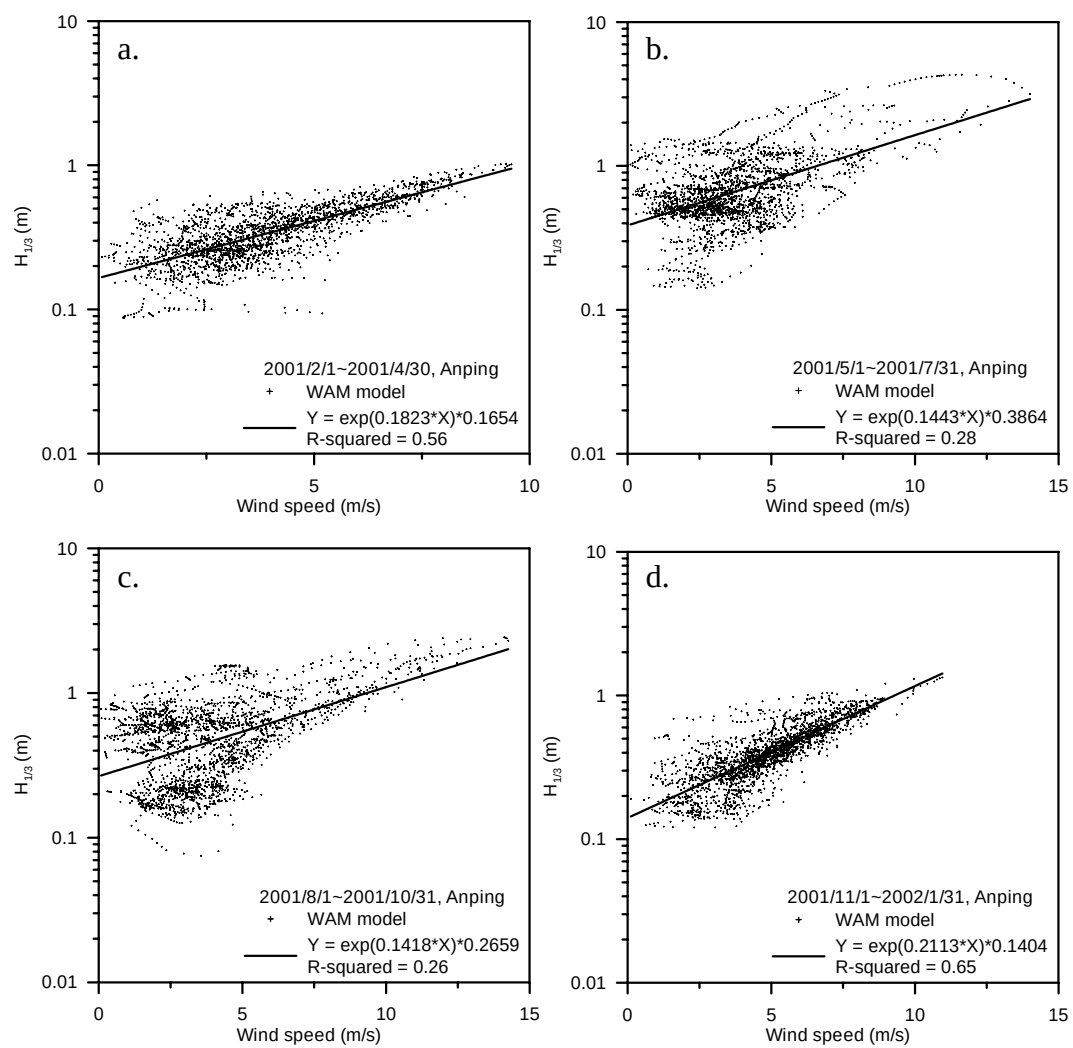


圖 5-56 安平港附近 2001 年風速與示性波高之關係圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季，WAM)

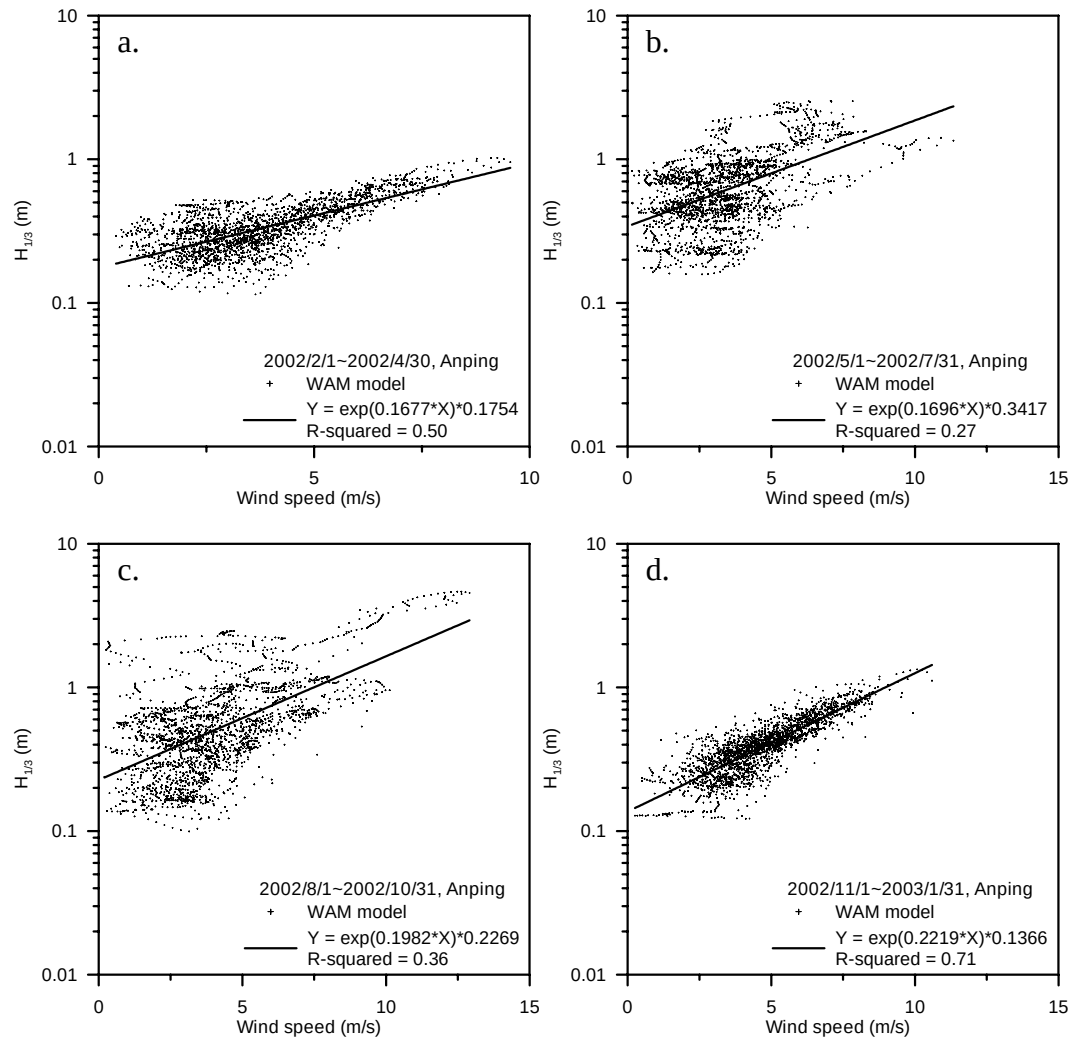


圖 5-57 安平港附近 2002 年風速與示性波高之關係圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季，WAM)

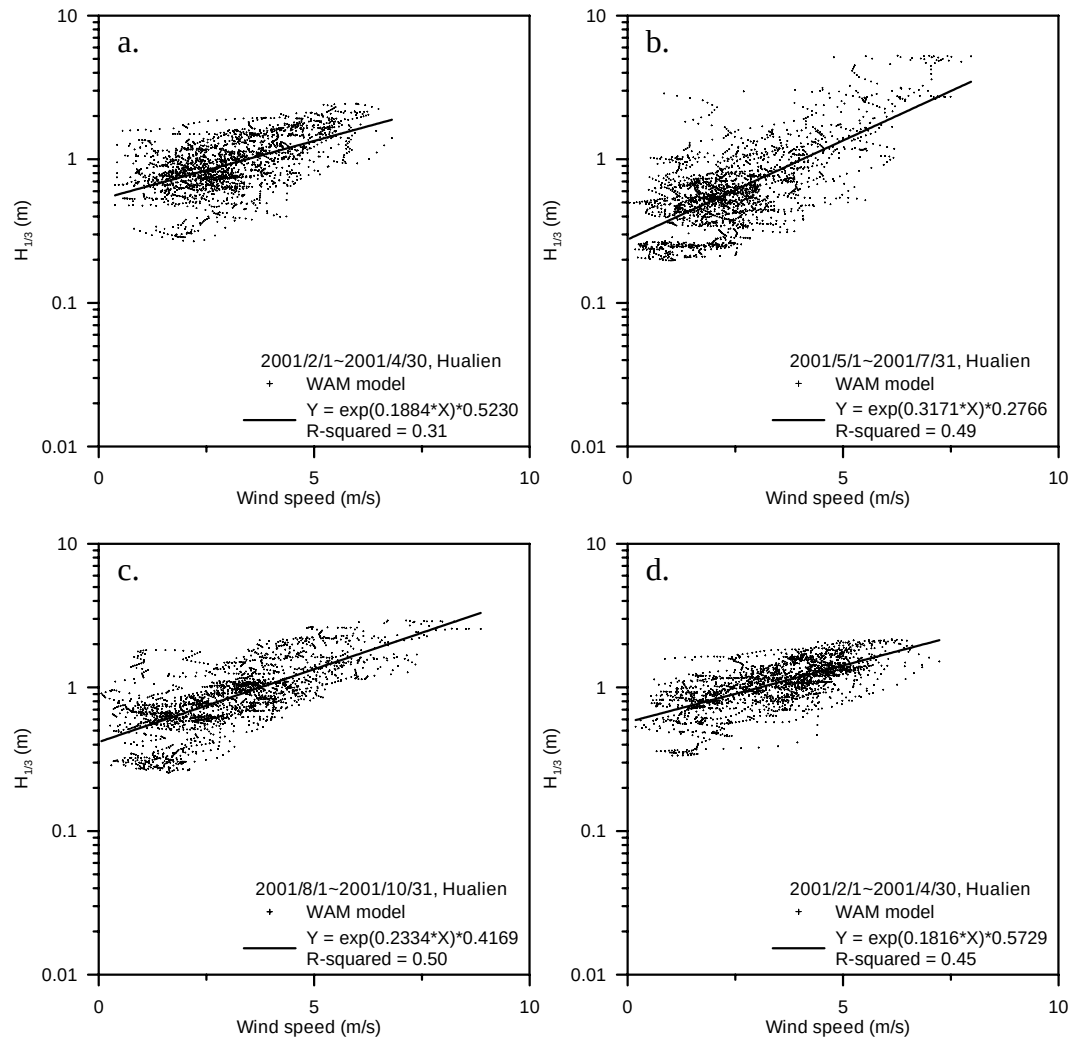


圖 5-58 花蓮港附近 2001 年風速與示性波高之關係圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季，WAM)

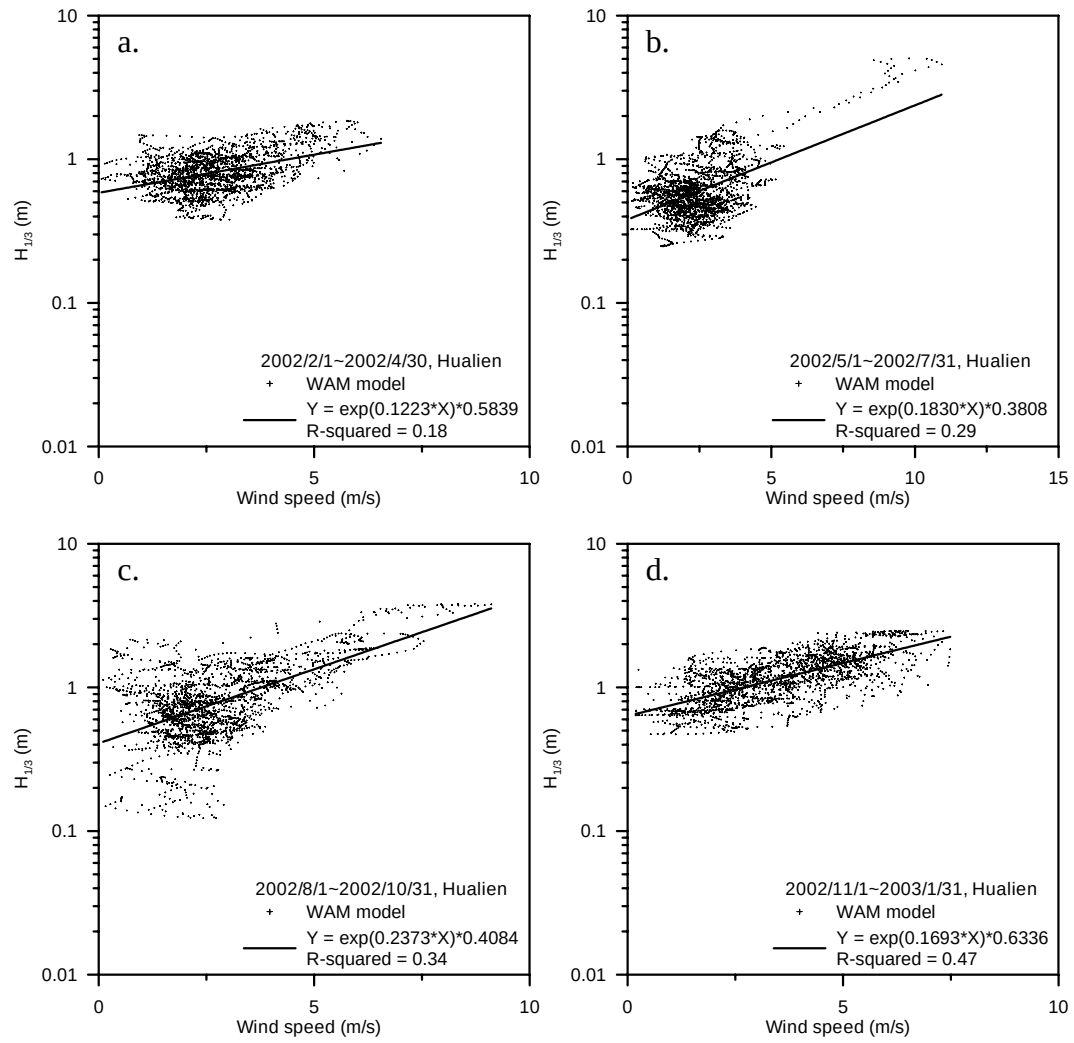


圖 5-59 花蓮港附近 2002 年風速與示性波高之關係圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季，WAM)

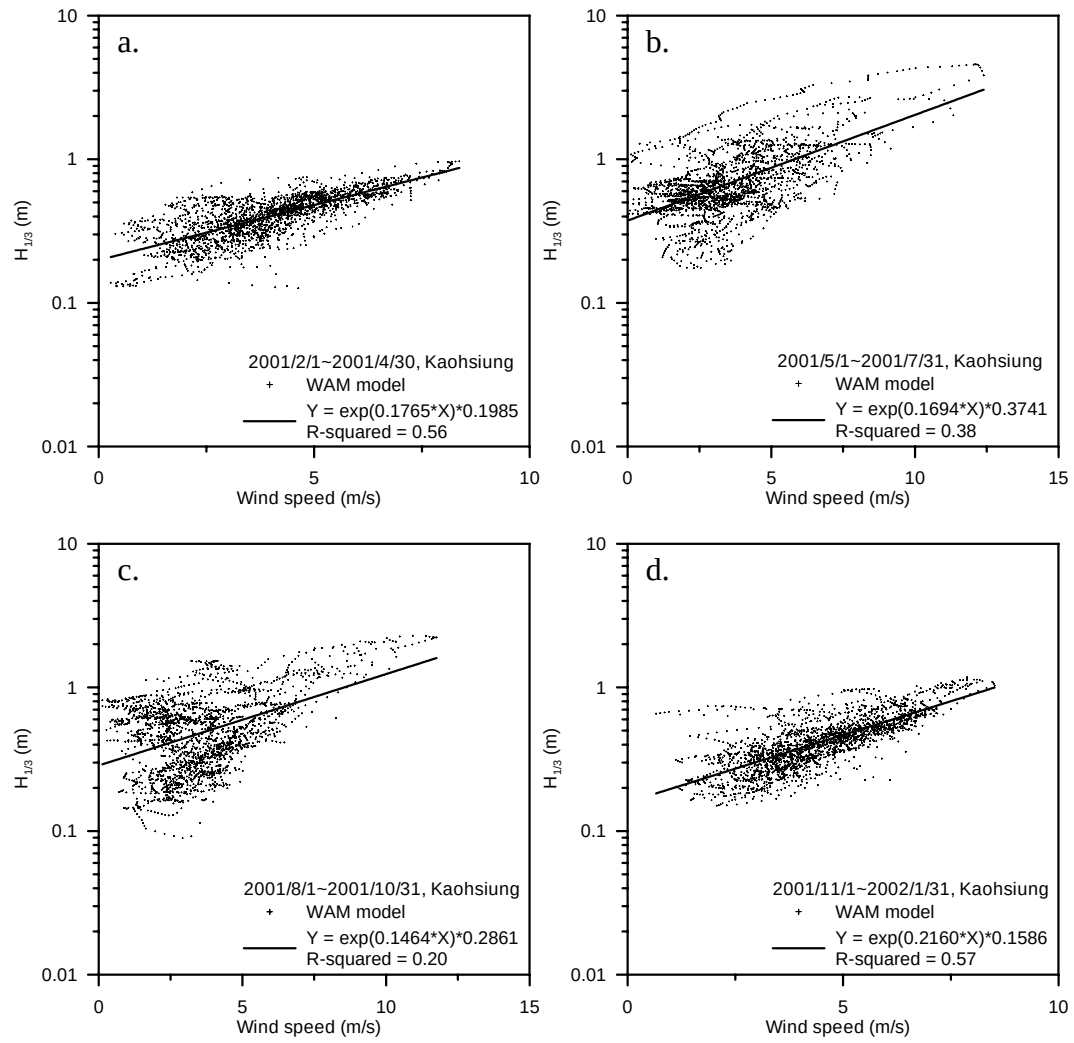


圖 5-60 高雄港附近 2001 年風速與示性波高之關係圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季，WAM)

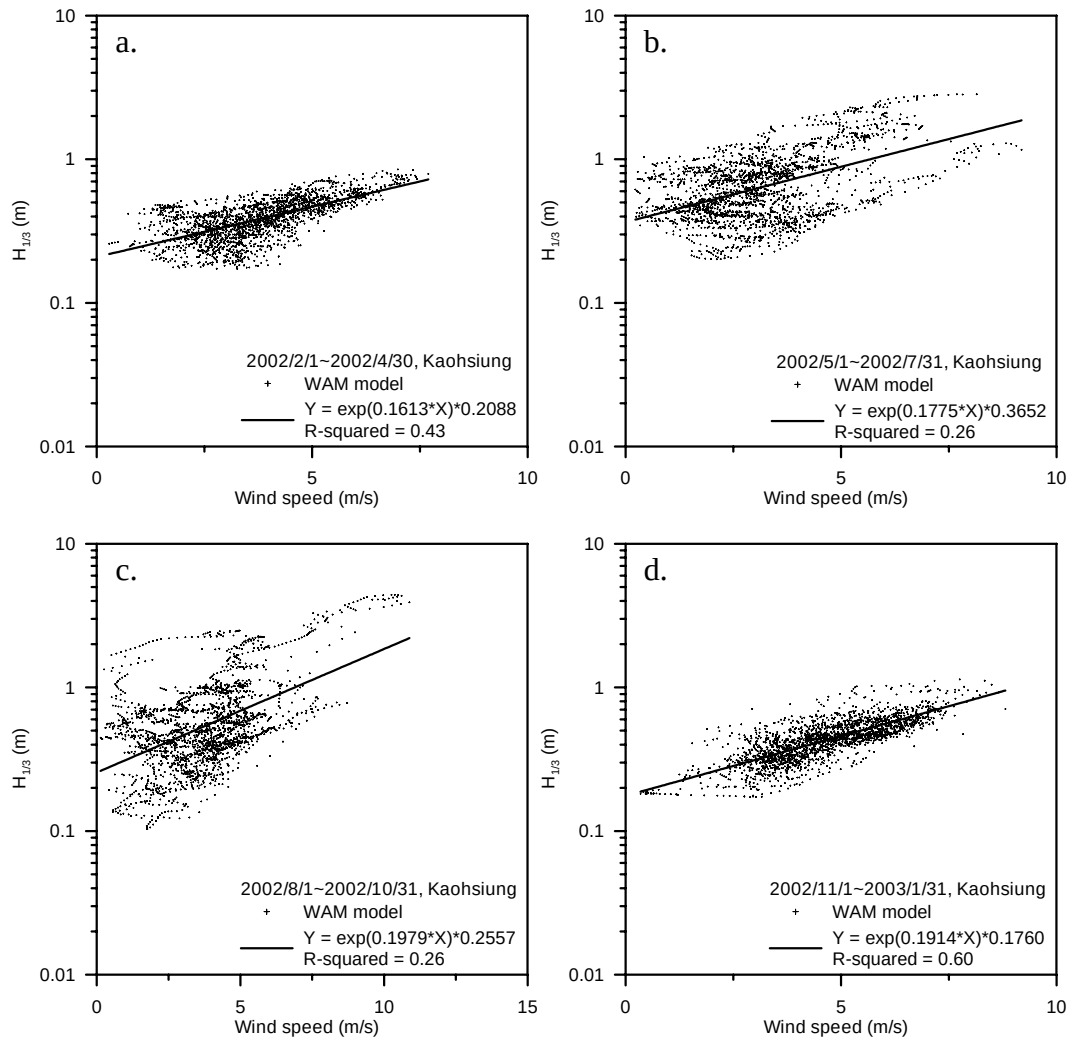


圖 5-61 高雄港附近 2002 年風速與示性波高之關係圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季，WAM)

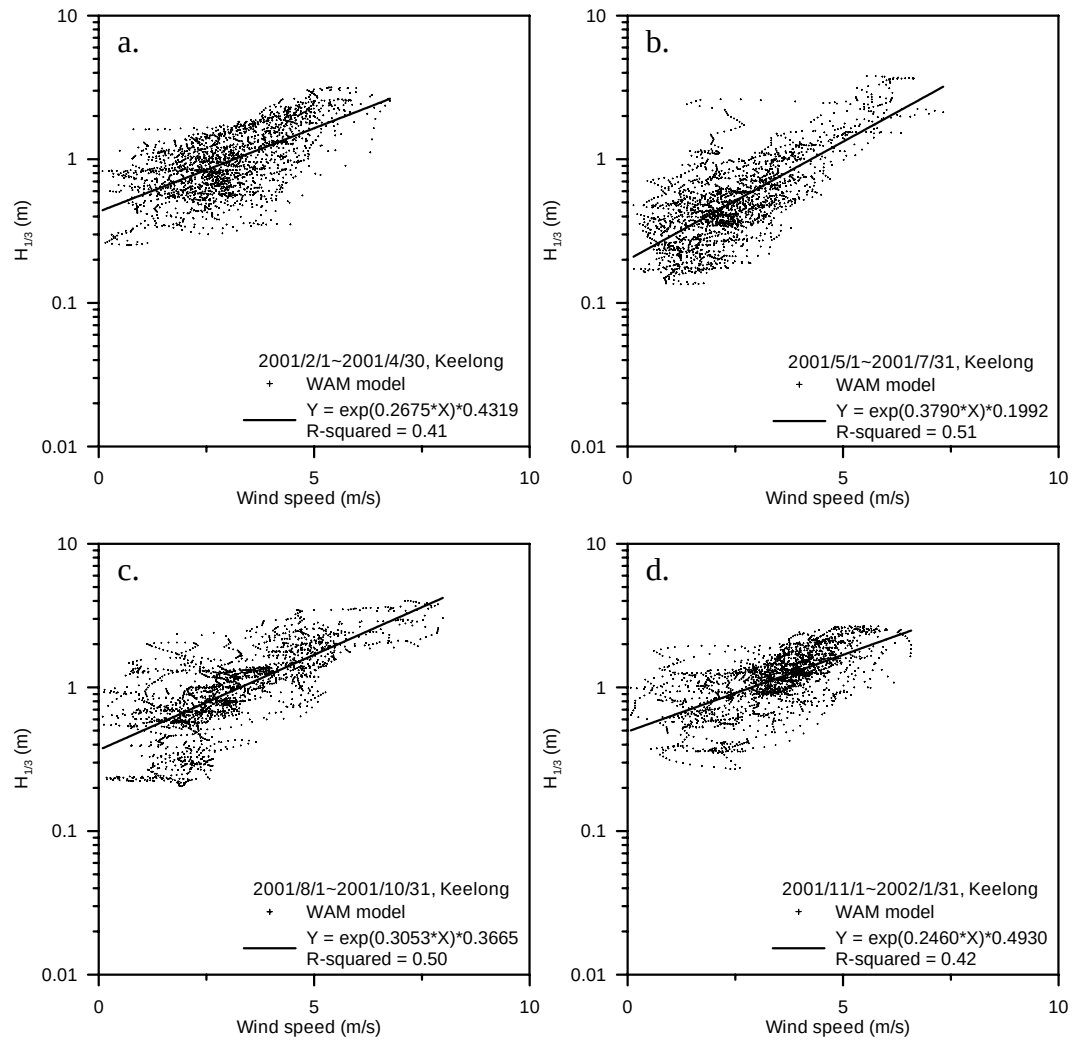


圖 5-62 基隆港附近 2001 年風速與示性波高之關係圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季，WAM)



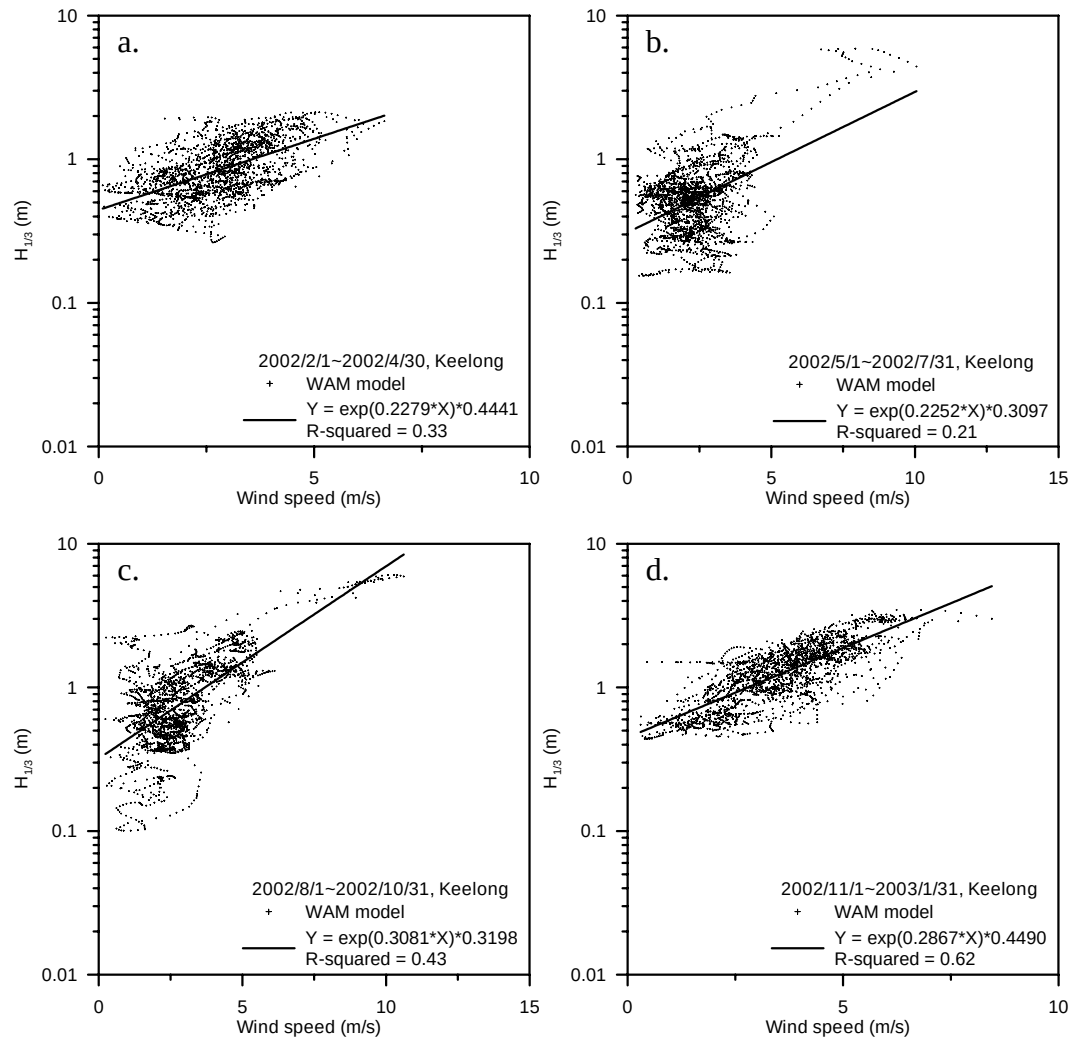


圖 5-63 基隆港附近 2002 年風速與示性波高之關係圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季，WAM)

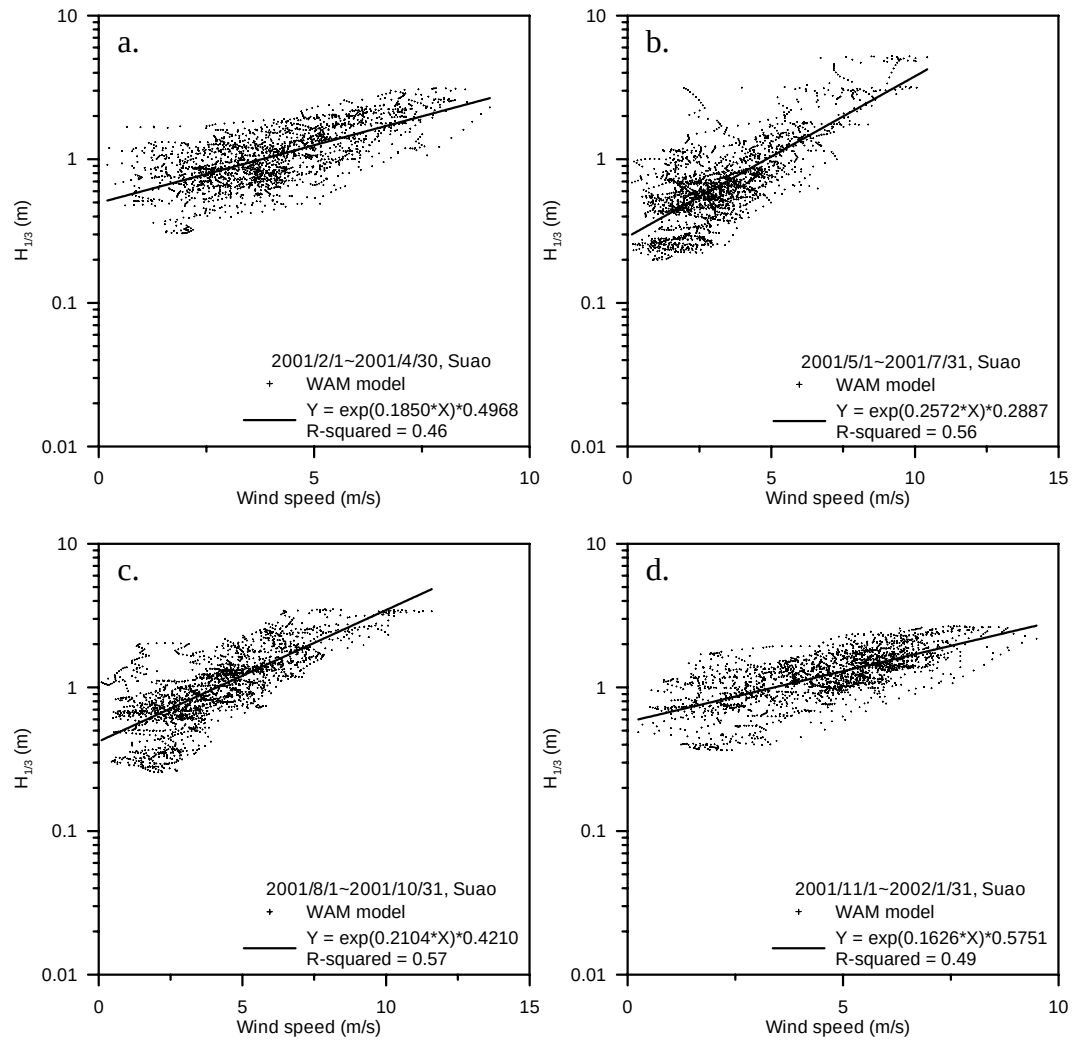


圖 5-64 蘇澳港附近 2001 年風速與示性波高之關係圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季，WAM)

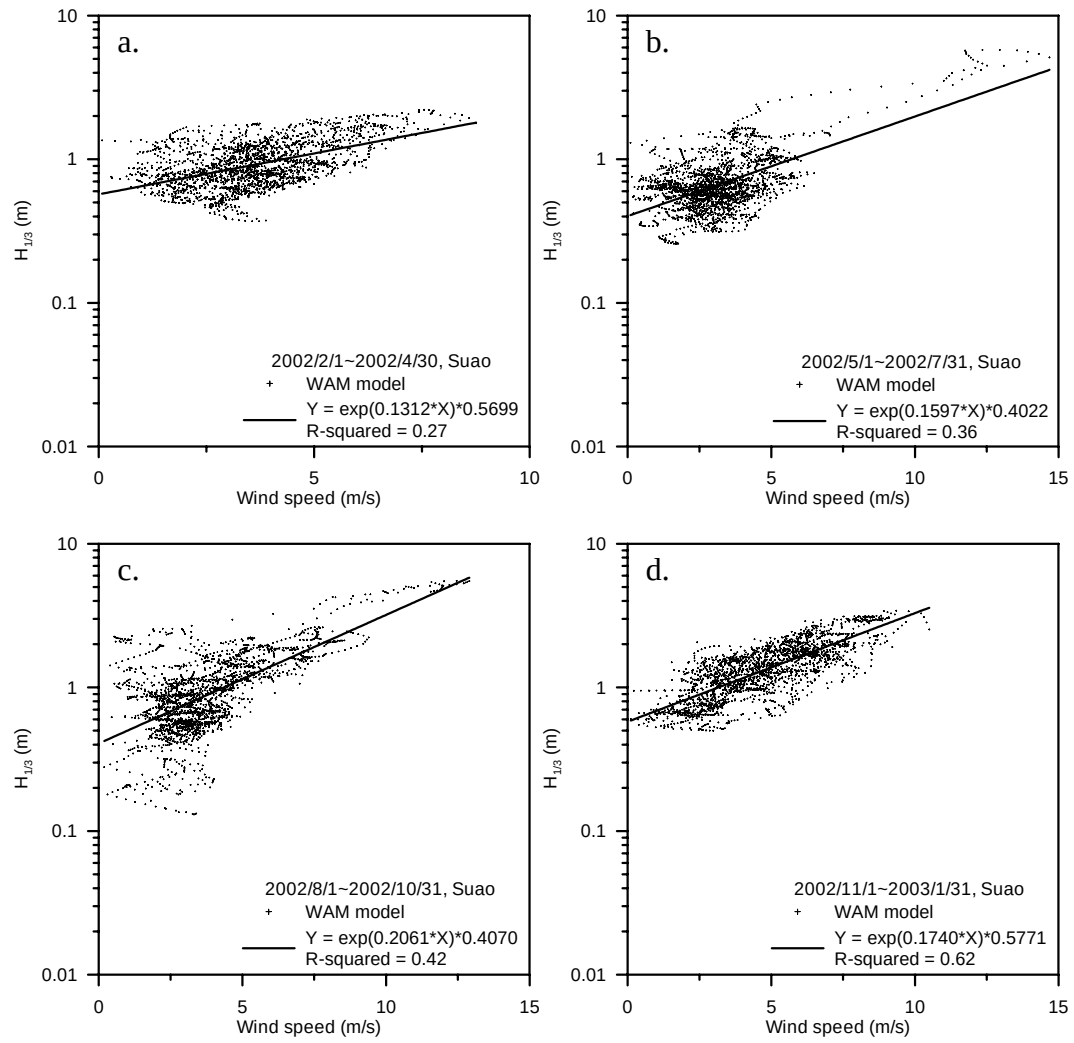


圖 5-65 蘇澳港附近 2002 年風速與示性波高之關係圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季，WAM)

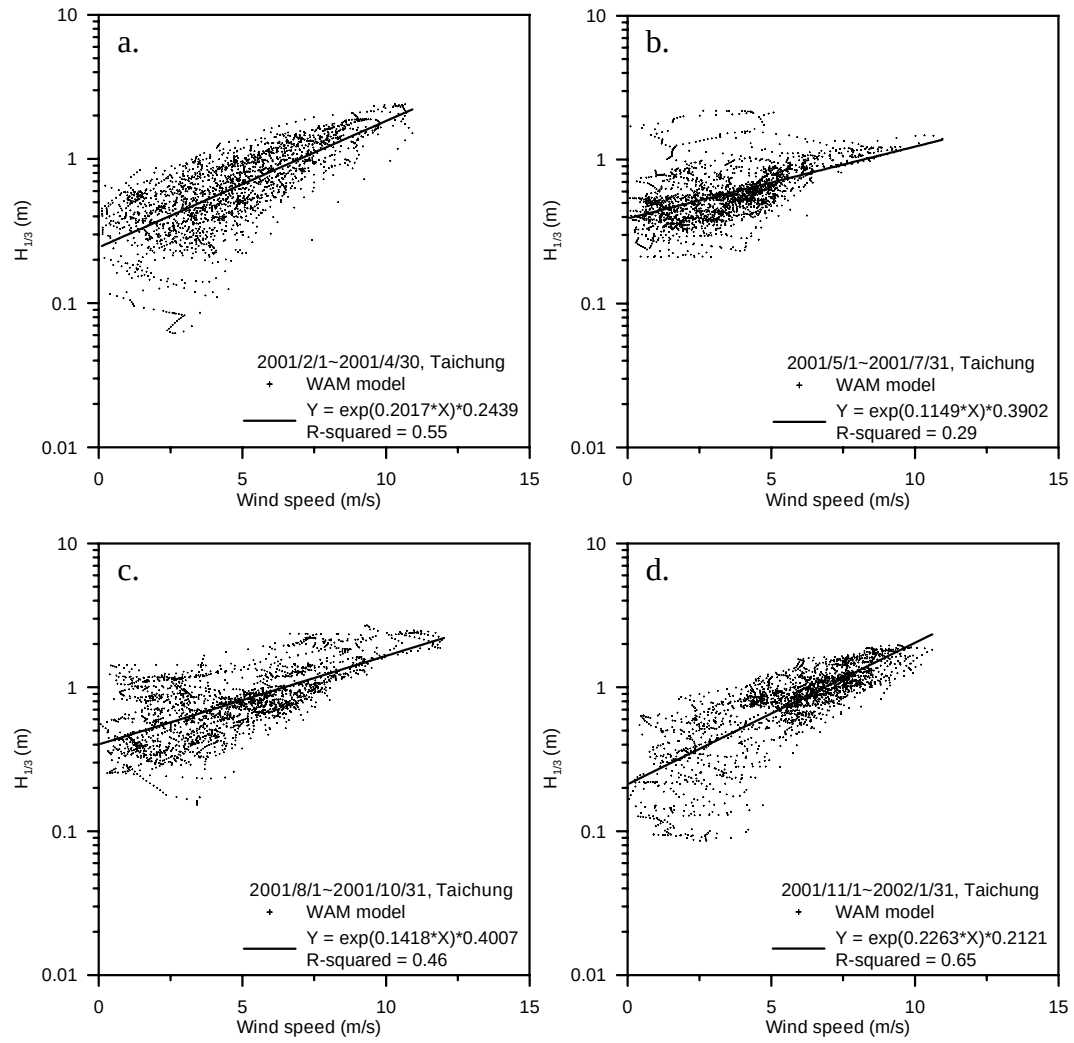


圖 5-66 台中港附近 2001 年風速與示性波高之關係圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季，WAM)

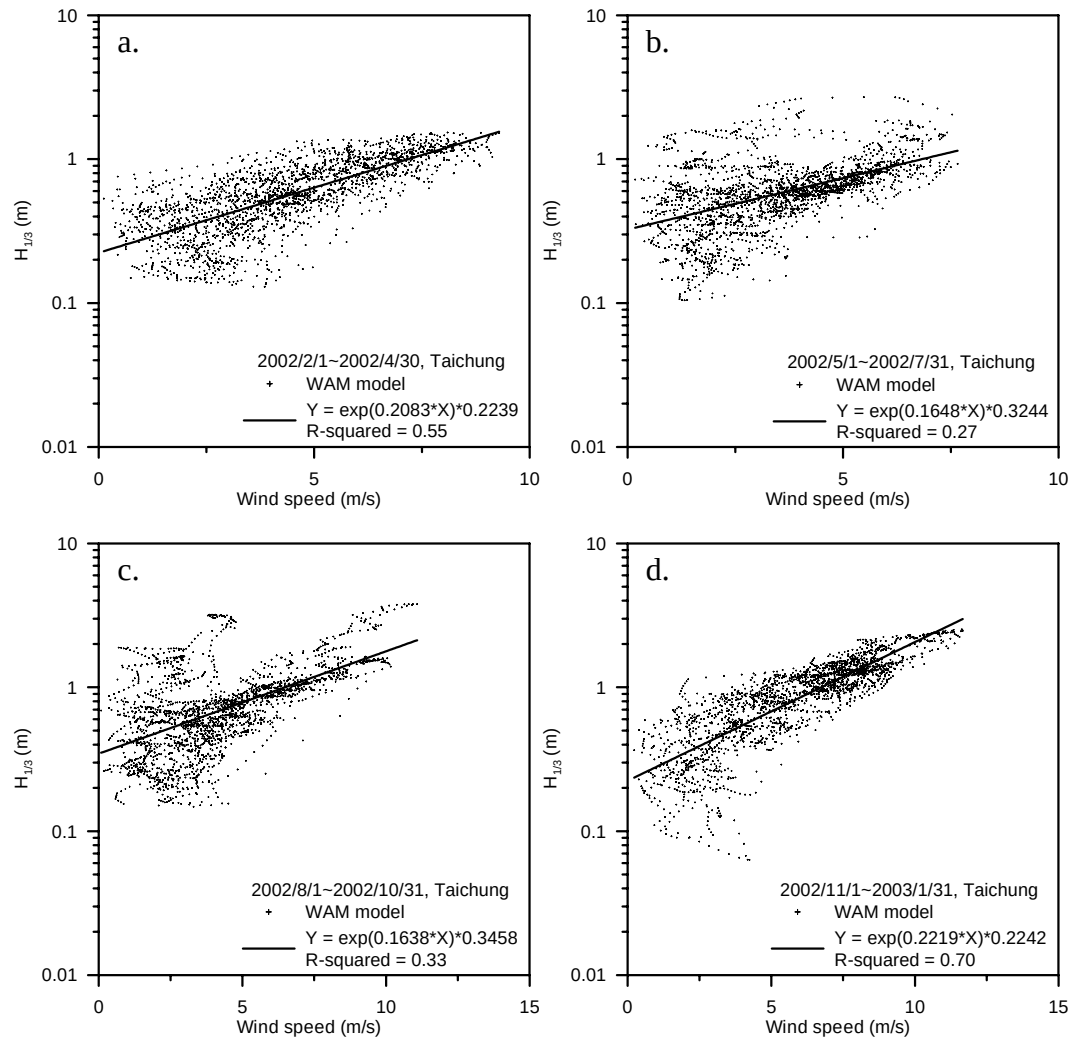


圖 5-67 台中港附近 2002 年風速與示性波高之關係圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季，WAM)

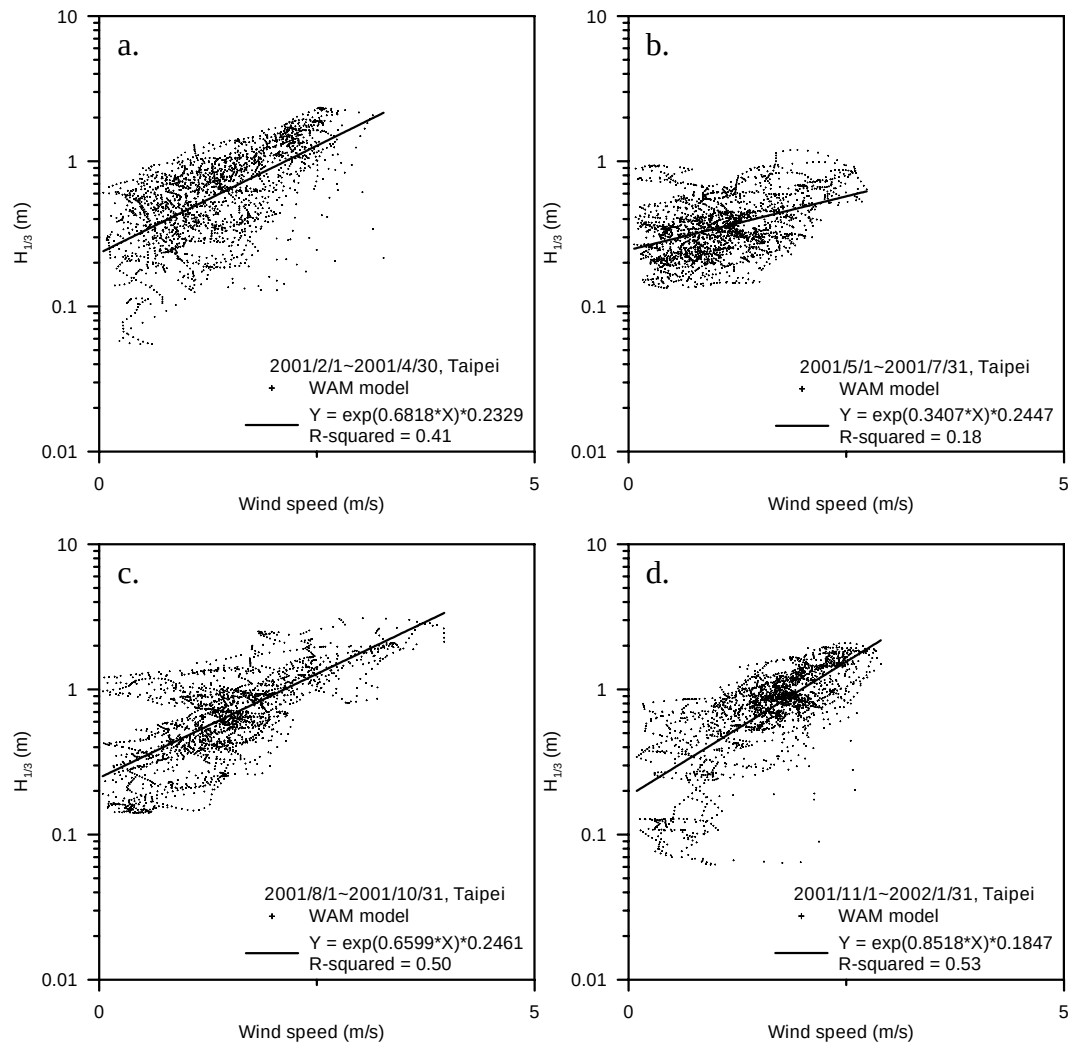


圖 5-68 台北港附近 2001 年風速與示性波高之關係圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季，WAM)

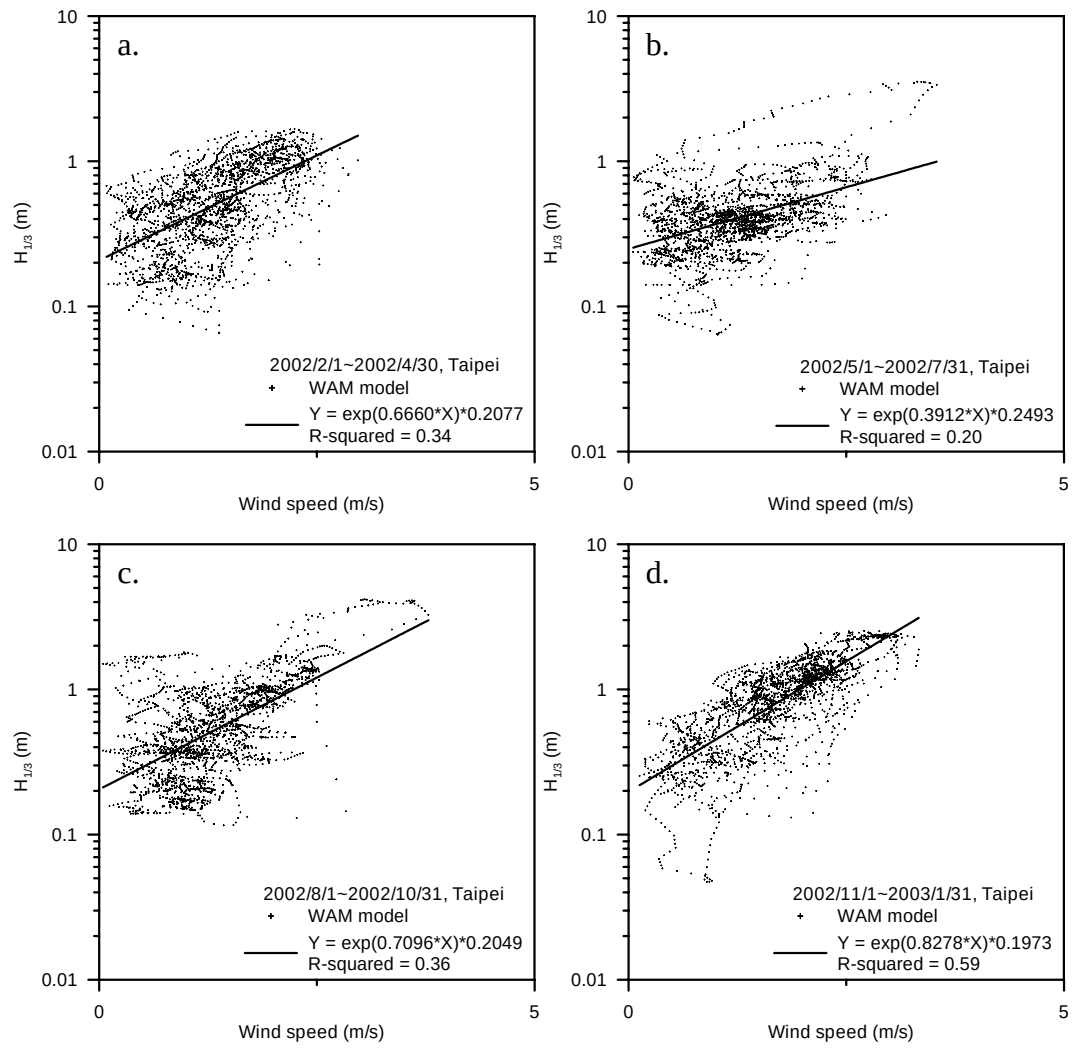


圖 5-69 台北港附近 2002 年風速與示性波高之關係圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季，WAM)

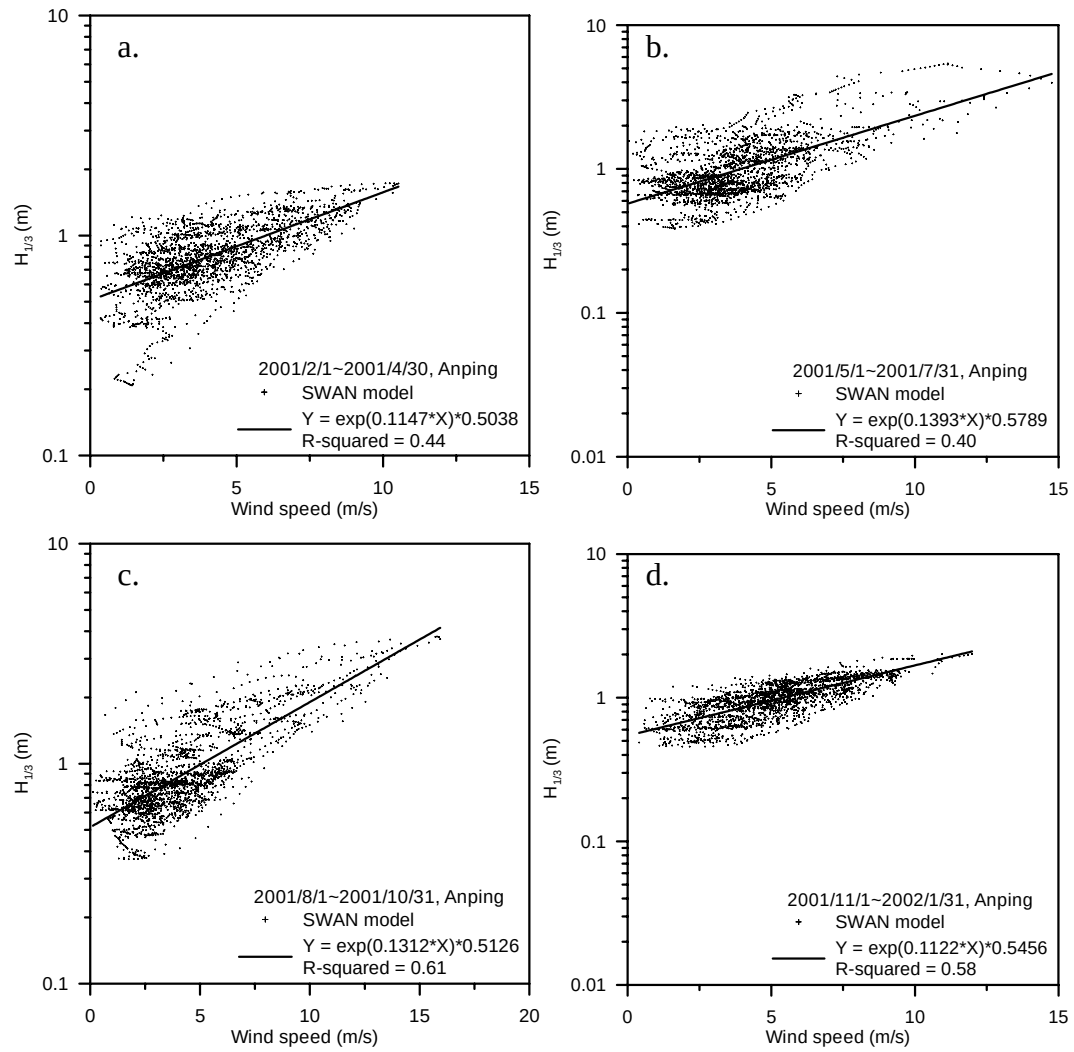


圖 5-70 安平港附近 2001 年風速與示性波高之關係圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季，SWAN)



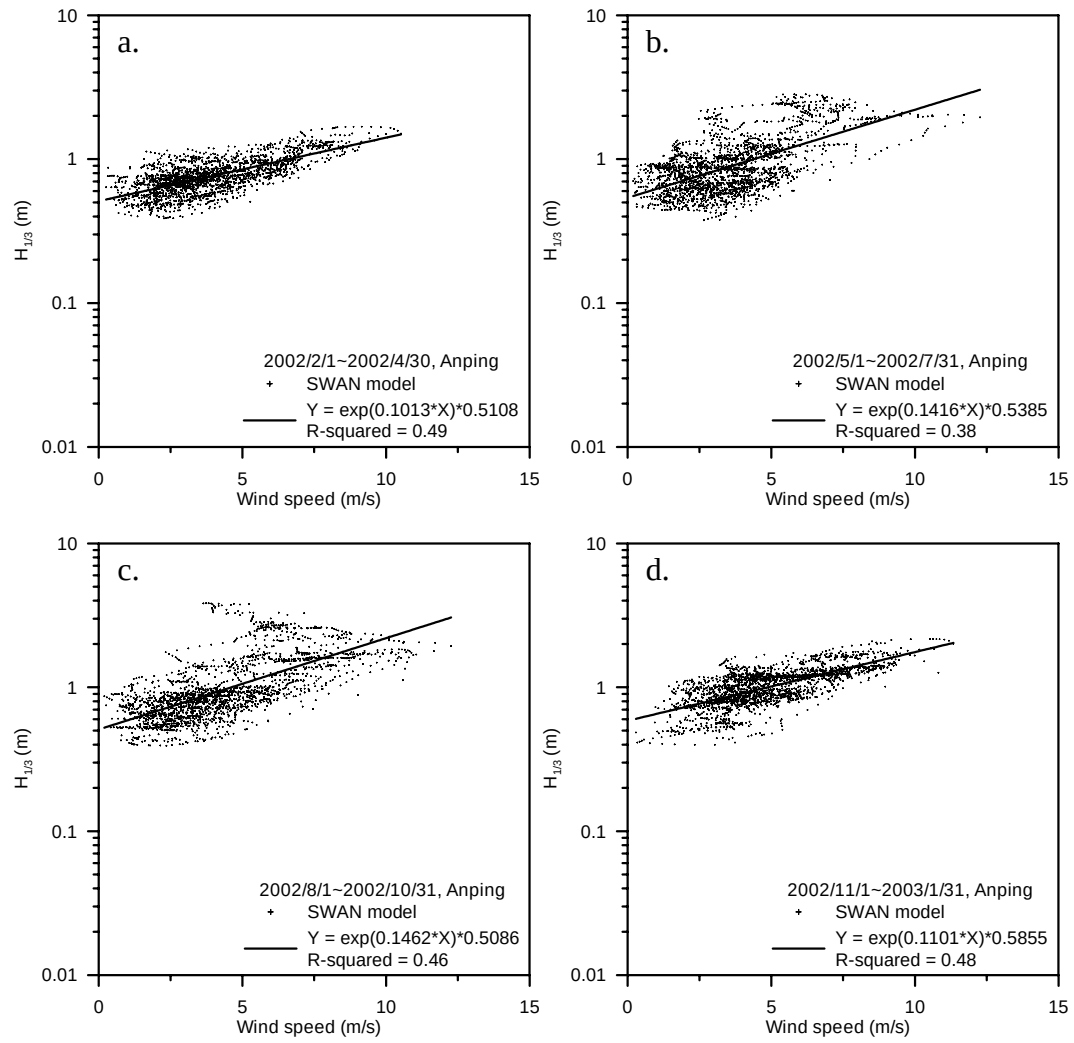


圖 5-71 安平港附近 2002 年風速與示性波高之關係圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季，SWAN)

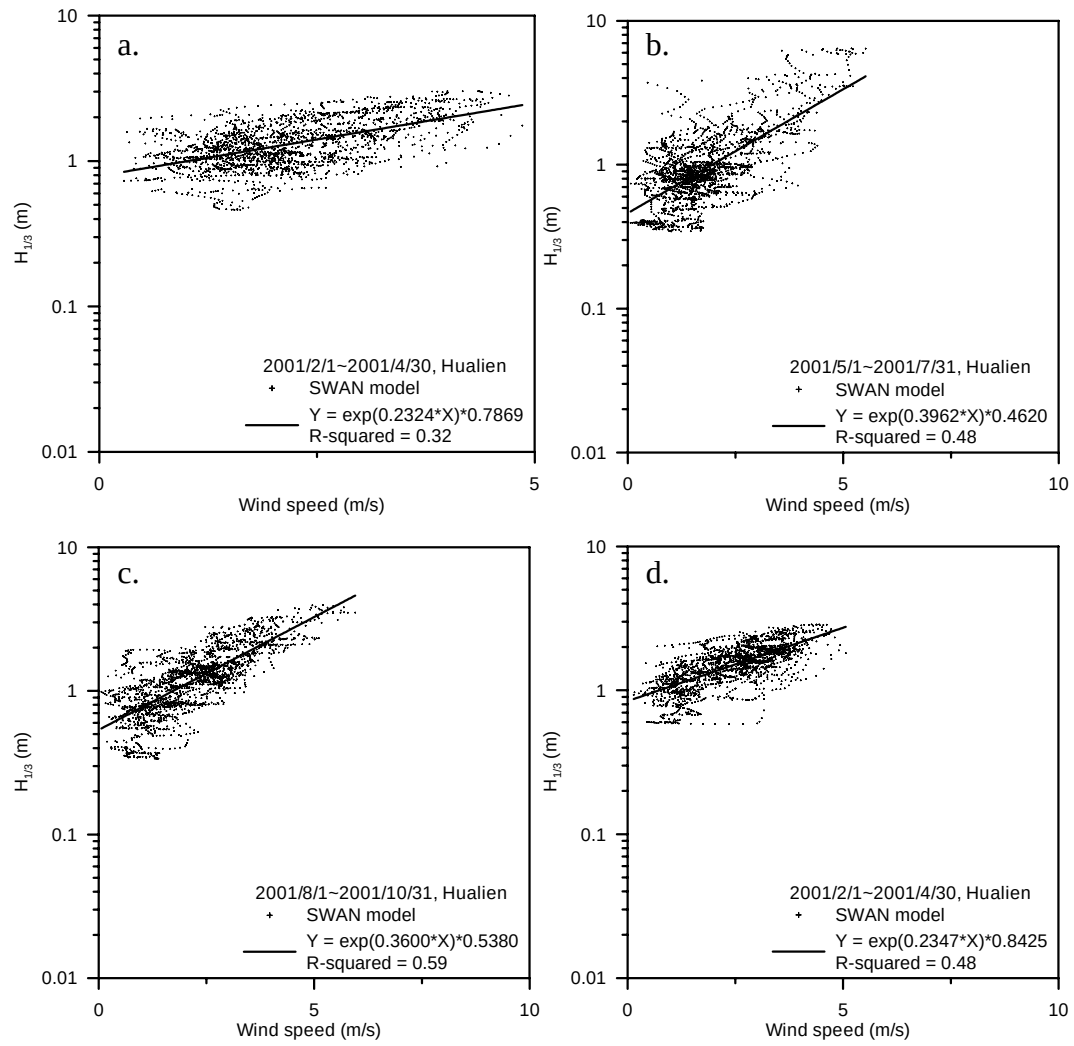


圖 5-72 花蓮港附近 2001 年風速與示性波高之關係圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季，SWAN)

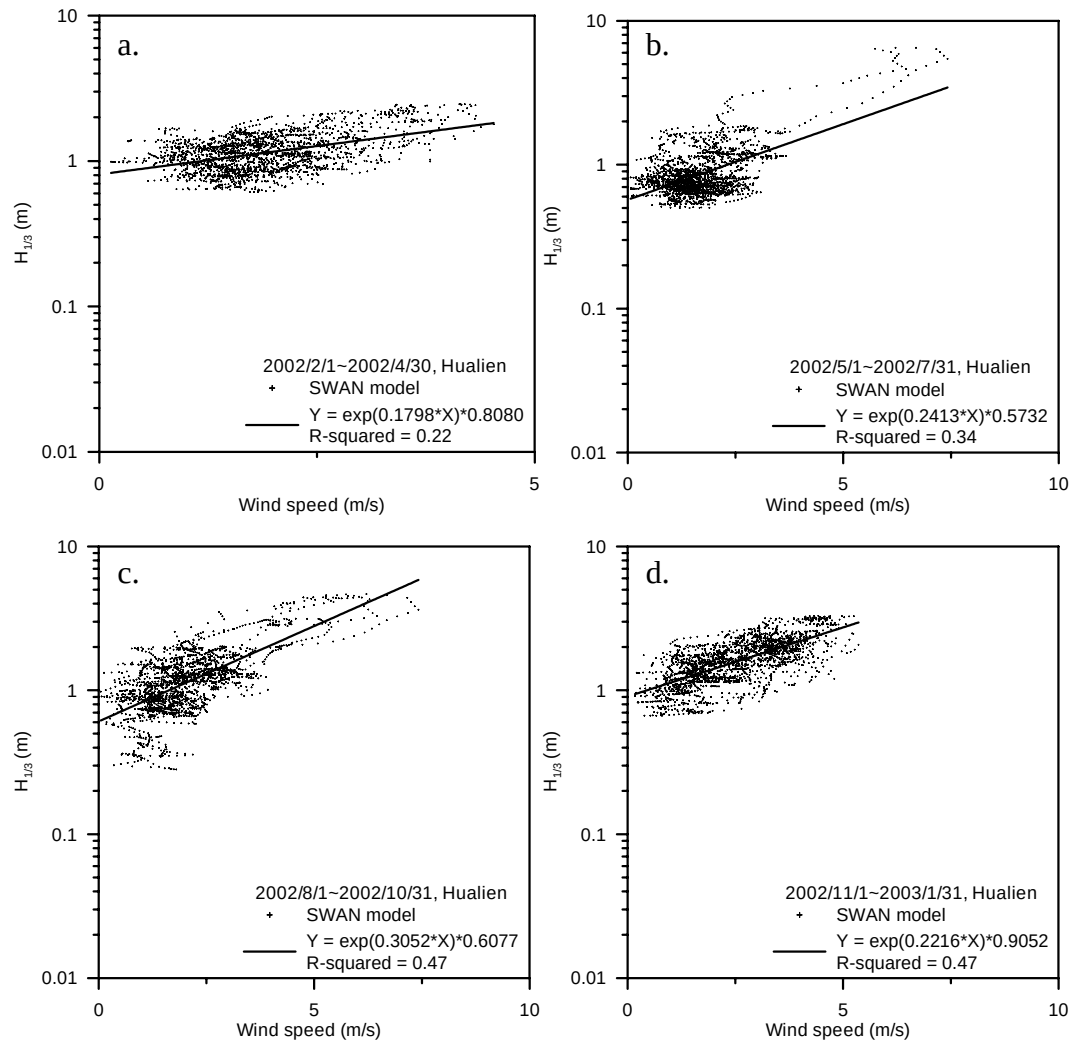


圖 5-73 花蓮港附近 2002 年風速與示性波高之關係圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季，SWAN)

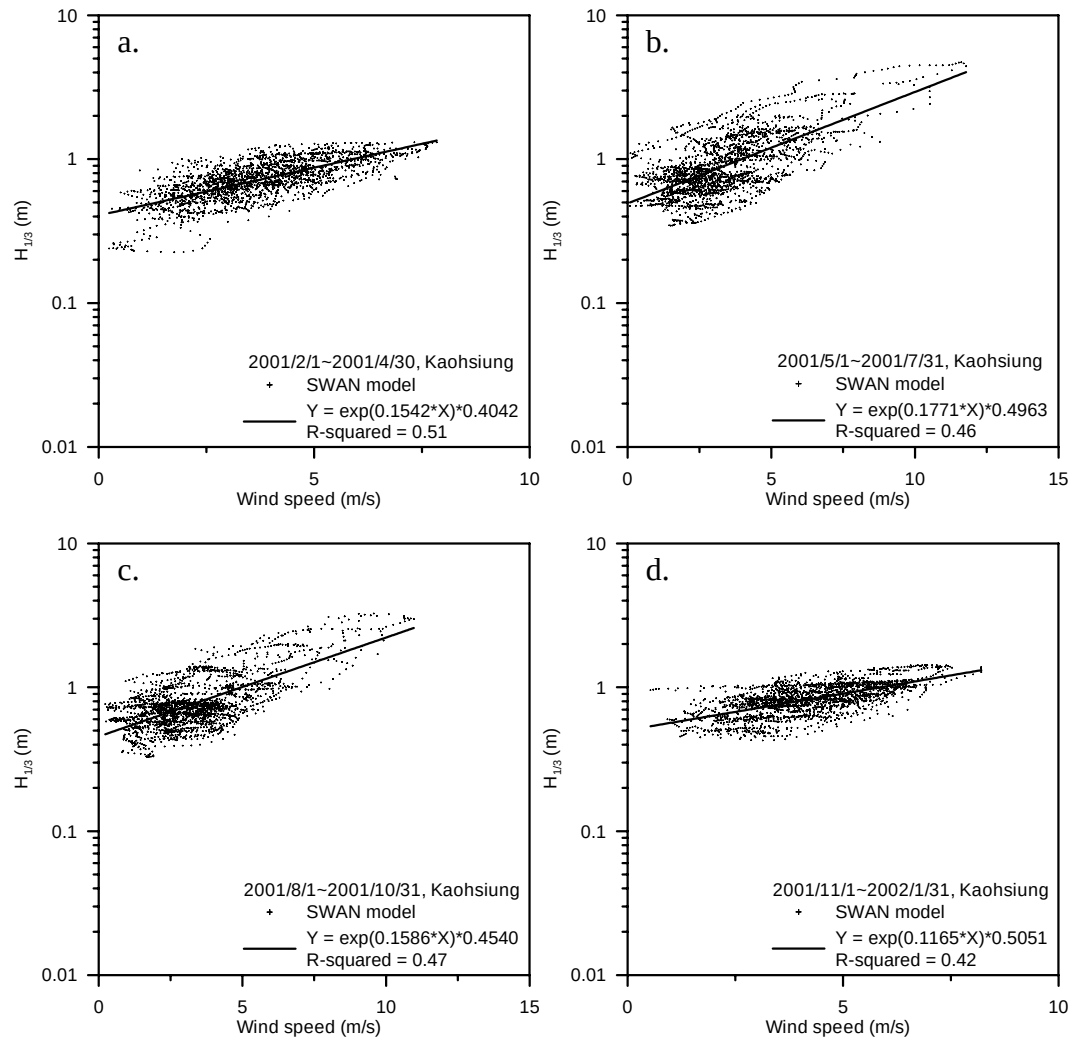


圖 5-74 高雄港附近 2001 年風速與示性波高之關係圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季，SWAN)

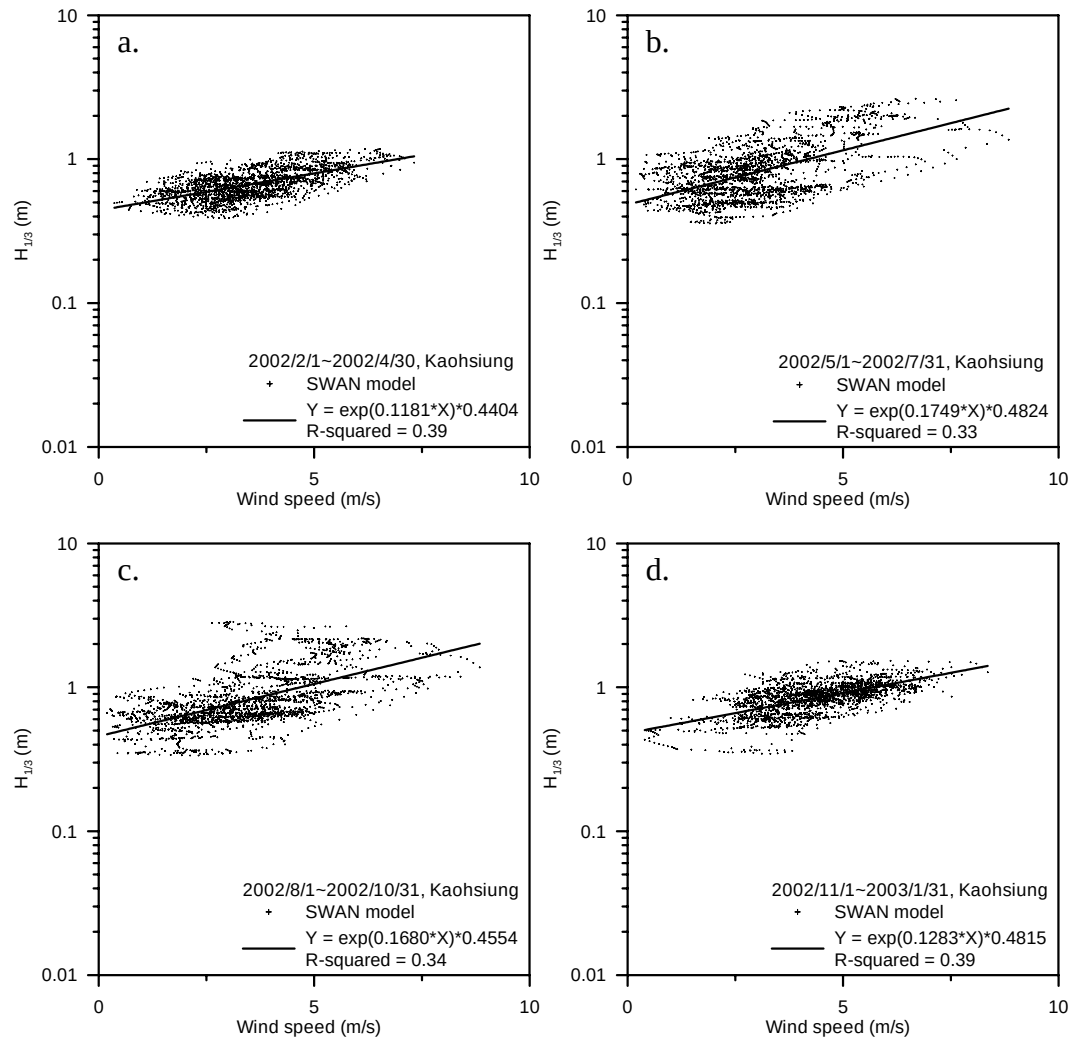


圖 5-75 高雄港附近 2002 年風速與示性波高之關係圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季，SWAN)

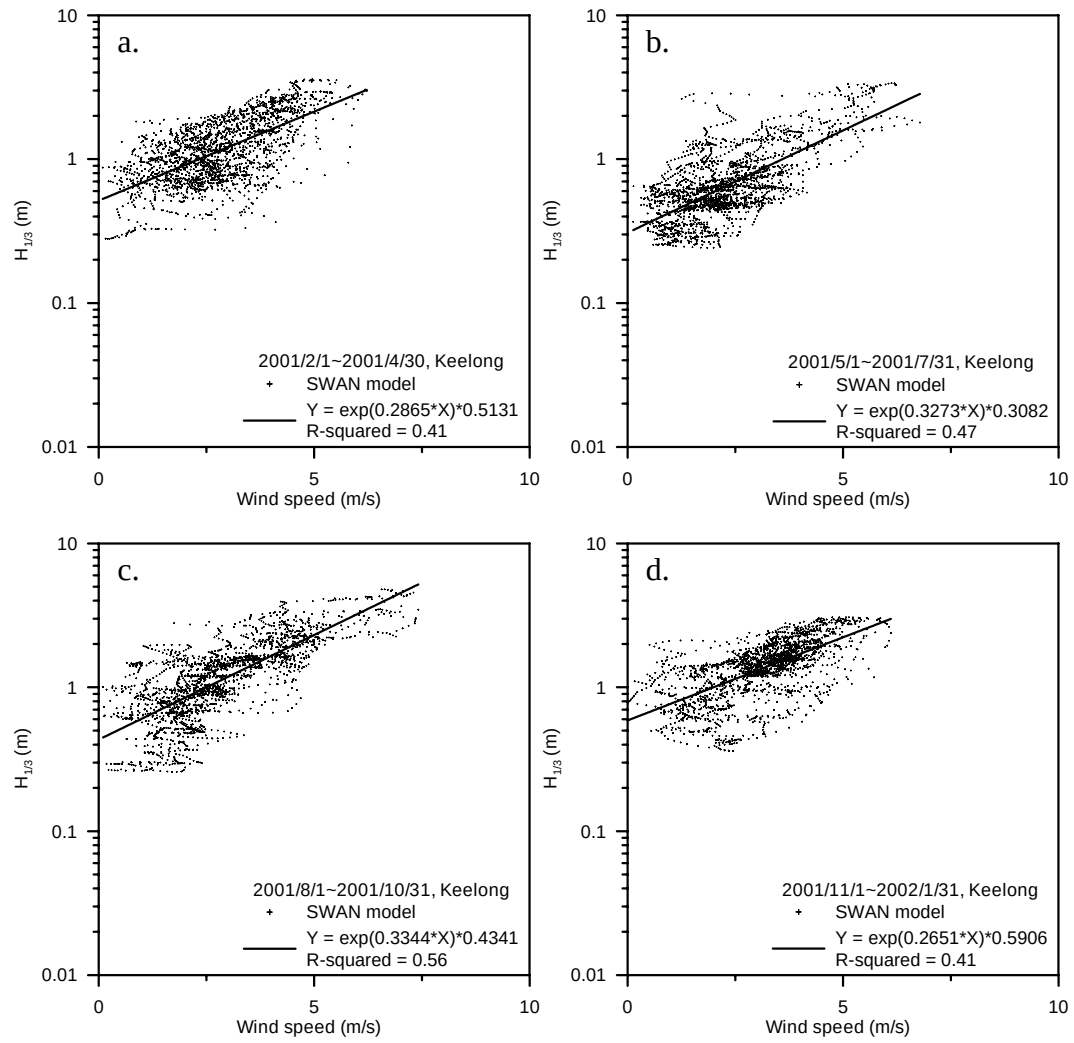


圖 5-76 基隆港附近 2001 年風速與示性波高之關係圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季，SWAN)

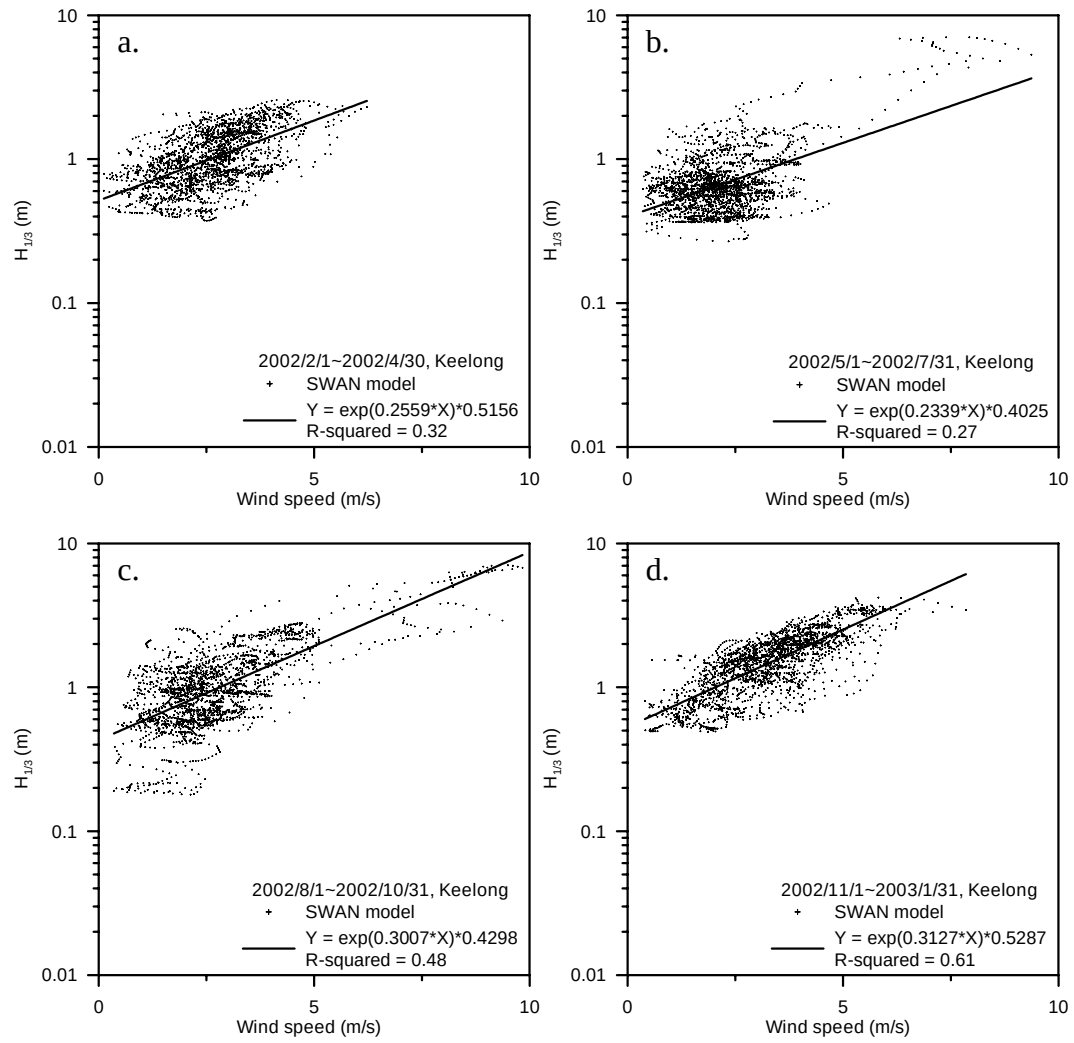


圖 5-77 基隆港附近 2002 年風速與示性波高之關係圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季，SWAN)

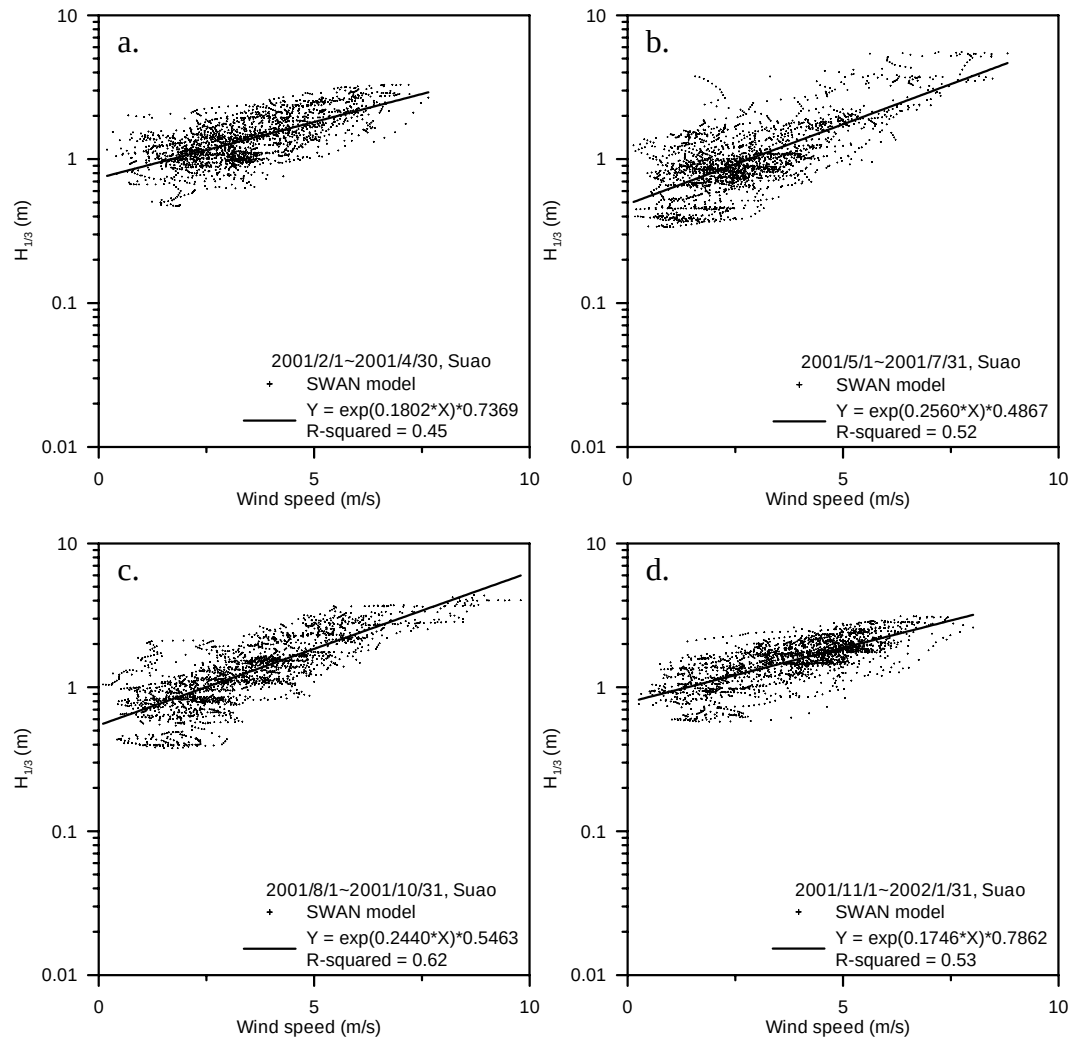


圖 5-78 蘇澳港附近 2001 年風速與示性波高之關係圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季，SWAN)



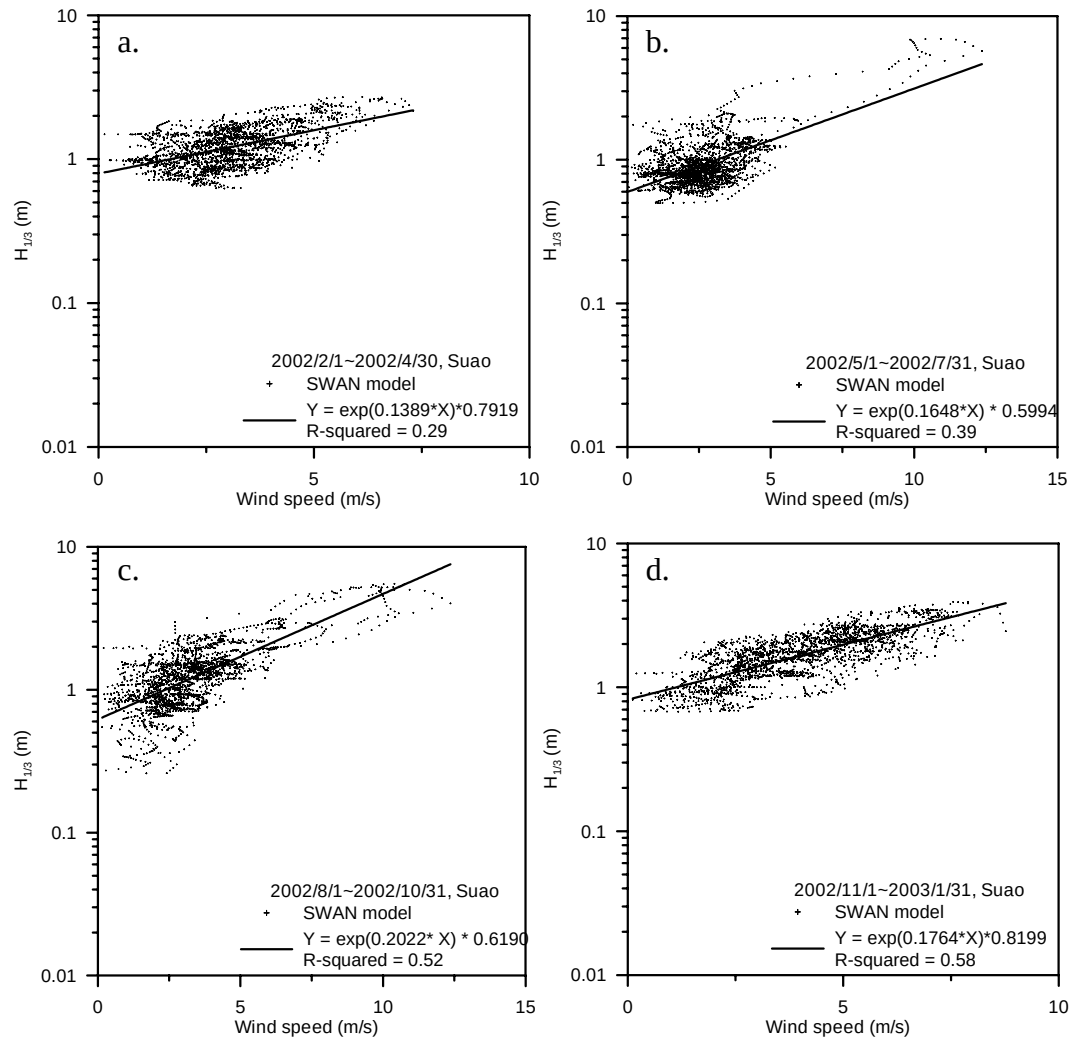


圖 5-79 蘇澳港附近 2002 年風速與示性波高之關係圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季，SWAN)

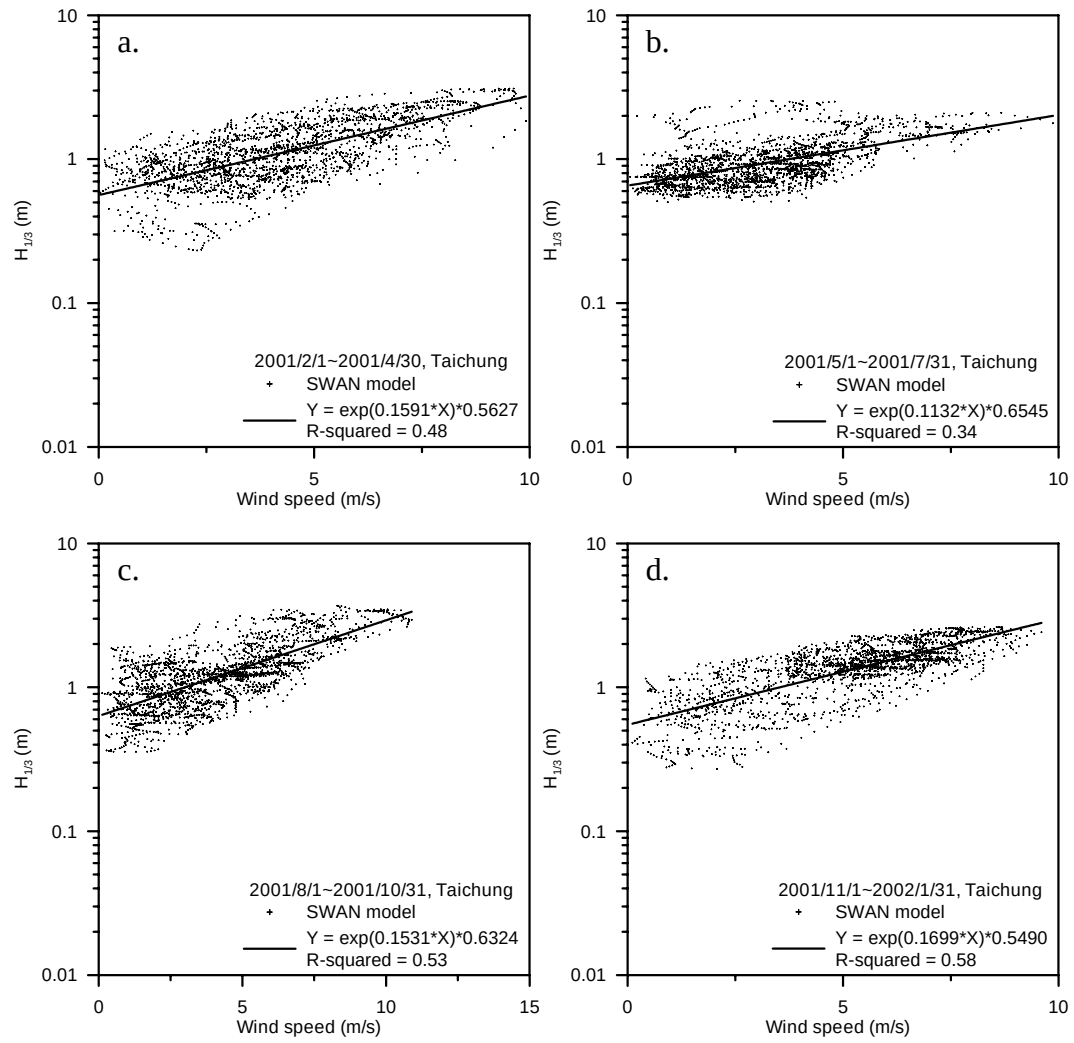


圖 5-80 台中港附近 2001 年風速與示性波高之關係圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季，SWAN)

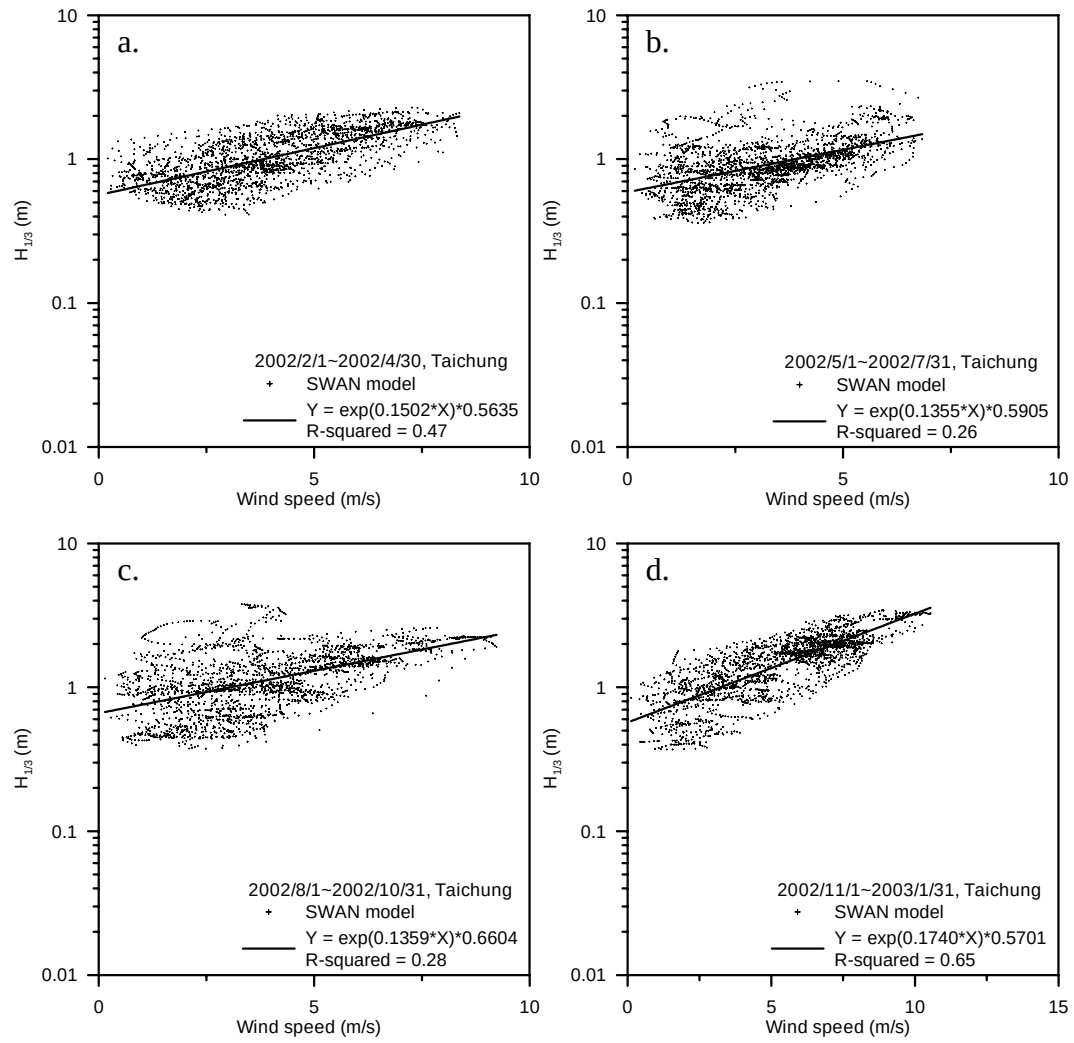


圖 5-81 台中港附近 2002 年風速與示性波高之關係圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季，SWAN)

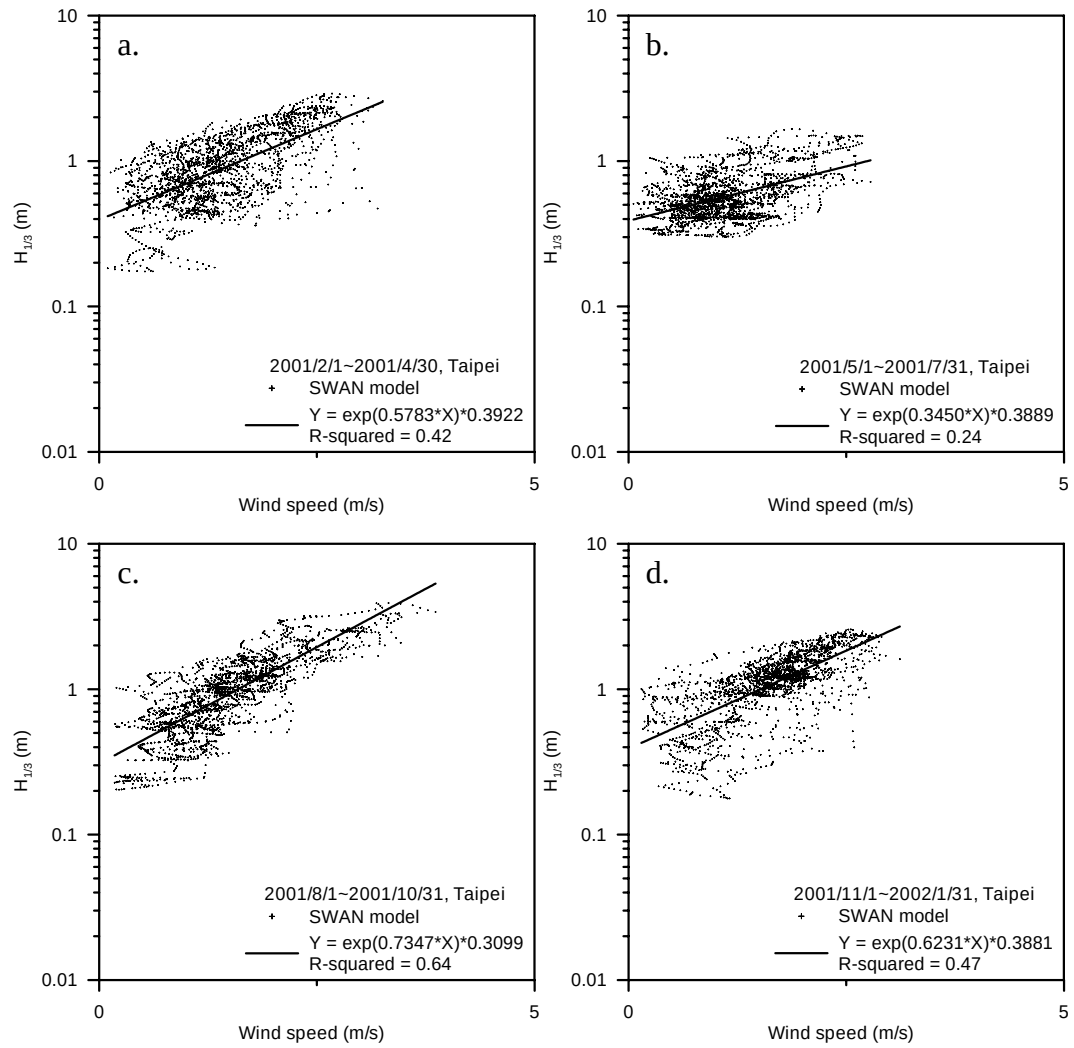


圖 5-82 台北港附近 2001 年風速與示性波高之關係圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季，SWAN)

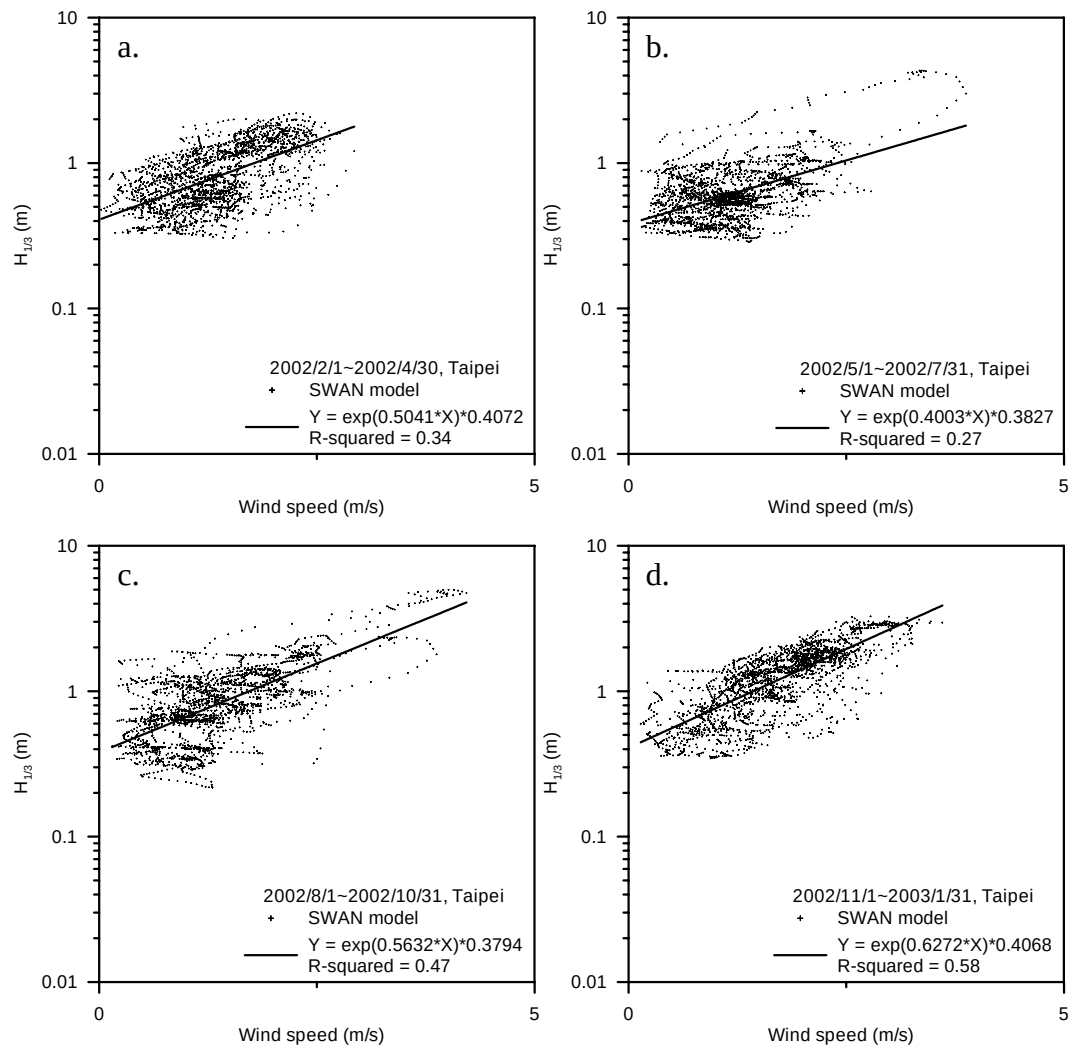


圖 5-83 台北港附近 2002 年風速與示性波高之關係圖 (a. 春季、b. 夏季、c. 秋季、d. 冬季，SWAN)

## 第六章 臺灣環島海象數值模式系統

本章將介紹整個臺灣環島海象數值模式系統之計算相關區域範圍,流程及操作說明如后。

### 6.1 風壓模式之流程及操作說明

由於今年度由 NOAA 及 CWB(中央氣象局)提供大氣模式之海面風場資料，故將說明其模式執行流程。

#### 6.1.1 NOAA 風場模式

NOAA 預報風場為全球尺度的風場資料，範圍為西經 180 度至東經 180 度，南緯 75 度至北緯 75 度，網格解析度在經度部分為 1.25 度一格，緯度部分則為 1 度一格，由於輸出的檔案為二進位檔，一般文書編輯程式無法直接讀取，因此需使用其專屬的擷取程式才有辦法取得其中之風速資料，所使用的程式為 wgrib，在 NOAA 網站便可取得原始程式，目前使用的版本為 1.7 版。由於 wgrib 沒有視窗介面，因此使用者只能在 windows 命令列模式下、UNIX 及 LINUX 環境下執行，同時必須要準備 C++的編譯器。

擷取資料的步驟如下

1. 由 NOAA 網站取得 wgrib 的原始程式
2. 取得預報風場的風速資料檔
3. 利用 C++編譯器產出執行檔 wgrib
4. 利用執行檔配合風速資料檔即可產出一般文書編輯軟體 可以讀取的純文字風速資料檔，檔案內容為風向量
5. 從此純文字檔取出模式範圍所需要的風速資料即可
6. 若模式解析度與 NOAA 預報風場不一致時，便需要利用內插的方式得到模式內部所有點的風速資料

### 6.1.2 CWB 風場模式

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，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；台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，以便得到更符合台灣海域的風場狀況。

### 6.1.3 CWB 氣壓模式

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；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；台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。

### 6.1.4 颱風風場模式

颱風模式所需要的資訊為警報時間、颱風中心經度、緯度、中心最低氣壓(豪巴)、暴風半徑(公里)、中心最大風速(公尺/秒)、移動速度(公里/小時)及移動方向(角度，向東移動為 0 度，逆時鐘旋轉)，將以上資訊存成七行的形式，同時以颱風名稱為檔名的檔案即可讓颱風模式讀入。以敏督利颱風為例，檔名為 mindulle.csv，檔案各式如下：

| 日期      | 經度    | 緯度   | 中心氣壓 | 暴風半徑 | 中心最大風速 | 移動速度 | 移動方向  |
|---------|-------|------|------|------|--------|------|-------|
| 6281700 | 125.3 | 18.5 | 950  | 250  | 43     | 10   | 157.5 |
| 6282000 | 125.1 | 18.5 | 950  | 250  | 43     | 10   | 157.5 |
| 6282300 | 124.7 | 18.7 | 950  | 250  | 43     | 10   | 157.5 |

## 6.2 各種波浪模式之流程及操作說明

### 6.2.1 WAM 與 SWAN 颱風波浪模式

目前所使用的 WAM 模式是由 WAMDI Group (1988) 所發表，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、BOUNT、PGRID、PSWGRID、PSPEC、PSWSPEC 等，由於計畫執行所需本計畫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 等。而在 SWAN (Booij 等人，1996) 模式方面，本計畫所使用的 SWAN 模式是最新版本的 SWAN cycle III Version 40.31 版。由於 WAM 與 SWAN 模式皆使用 Fortran 90 程式語言所發展，故利用標準 Fortran 90 程式語言編譯成相關程式執行檔，以利計畫執行。在模式執行平台上，為了計畫結束後相關人員操作便利，現今有 Windows 版本與 Linux 版本，在不同平台上除了相關檔案的路徑有所差異之外，其餘操作流程皆為一致。

圖 6.2-1 為 WAM 與 SWAN 風浪操作流程圖，如圖所示，由中央氣象局所提供的風場資料經由預處理程式轉換至 WAM 與 SWAN 模式所需之風場格式之後，配合水深資料，先進行 WAM 模式之 PREPROC 與 PRESET 模組，之後進行主程式 CHIEF 之風浪模擬，由 CHIEF 模組所輸出之 CBO 邊界檔即可做為 SWAN 模式之邊界輸入檔，而 MAP 檔可利用 PGRID 模組輸出 WAM 模式之結果。

表 6.2-1 為中央氣象局現所使用的有限區域大氣模式(NFS)之模式網格資訊，為了配合氣象局之大氣模式之範圍，以 WAM 模式範圍符合 MC 模式，而 SWAN 模式之範圍符合 HC 模式，由於大氣模式之座標是利用 Lambert 投影法，與波浪模式所使用的球面直角座標有所不同，且格網位置有差異，故需利用內插方式轉換出波浪模式所需的風場資料以進行計算。



表 6.2-1 為中央氣象局之有限區域大氣模式網格資訊

| 模式  | DMS<br>FLAP | DIMENSION | RESOLUTION | 格點位置                                                       |
|-----|-------------|-----------|------------|------------------------------------------------------------|
| NFS | RC          | 221*127   | 45KM       | 左下點(-5.34068°N, 77.91867°E)<br>右上點(42.92812°N, 180.2034°E) |
|     | MC          | 181*193   | 15KM       | 左下點(9.28194°N, 109.7727°E)<br>右上點(35.26665°N, 137.7342°E)  |
|     | HC          | 91*121    | 5 KM       | 左下點(20.78609°N, 118.6597°E)<br>右上點(26.33824°N, 123.2724°E) |

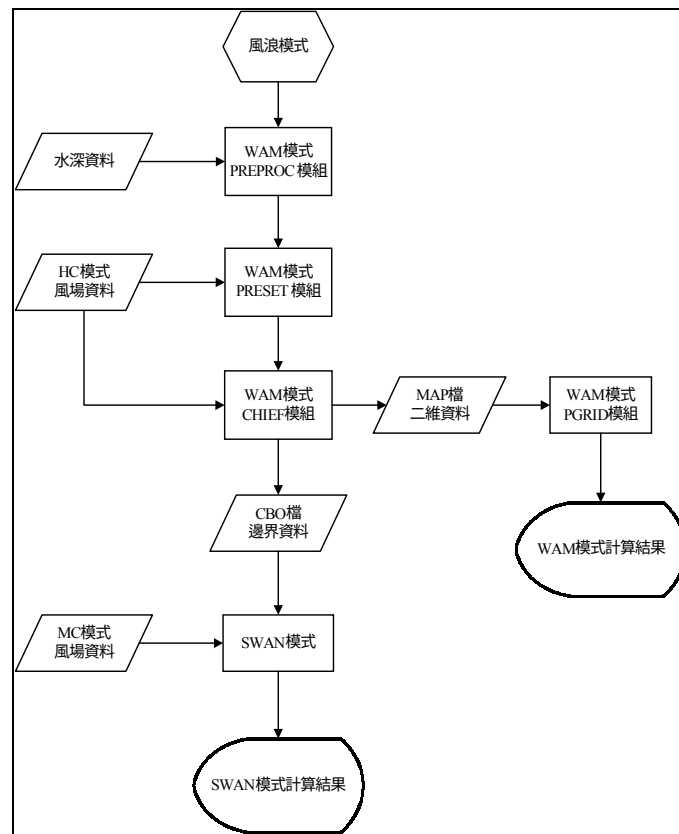


圖 6.2-1 WAM 與 SWAN 風浪模式操作流程圖

### 6.2.2 定點風域推算半經驗颱風波浪模式

定點風域推算半經驗颱風波浪模式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。當各港

口之推算點位置(經、緯度)以及自推算點延伸出去之吹風距離線及其相關水深資料等均事先建置完成後, 模式僅需輸入的颱風相關資料如颱風位置(經、緯度)、颱風中心氣壓( $P_c$ )、颱風移動速度( $V_F$ )與行徑方向( $\theta_F$ )等以及颱風風場模式之 CW1 及 CW2 參數, 即可執行數值模擬。模式輸出結果包括推算點上各波向之最大波高及週期, 以及推算點上各波向波高及週期之時間序列結果。模式之計算流場如圖 6.2-2 所示：

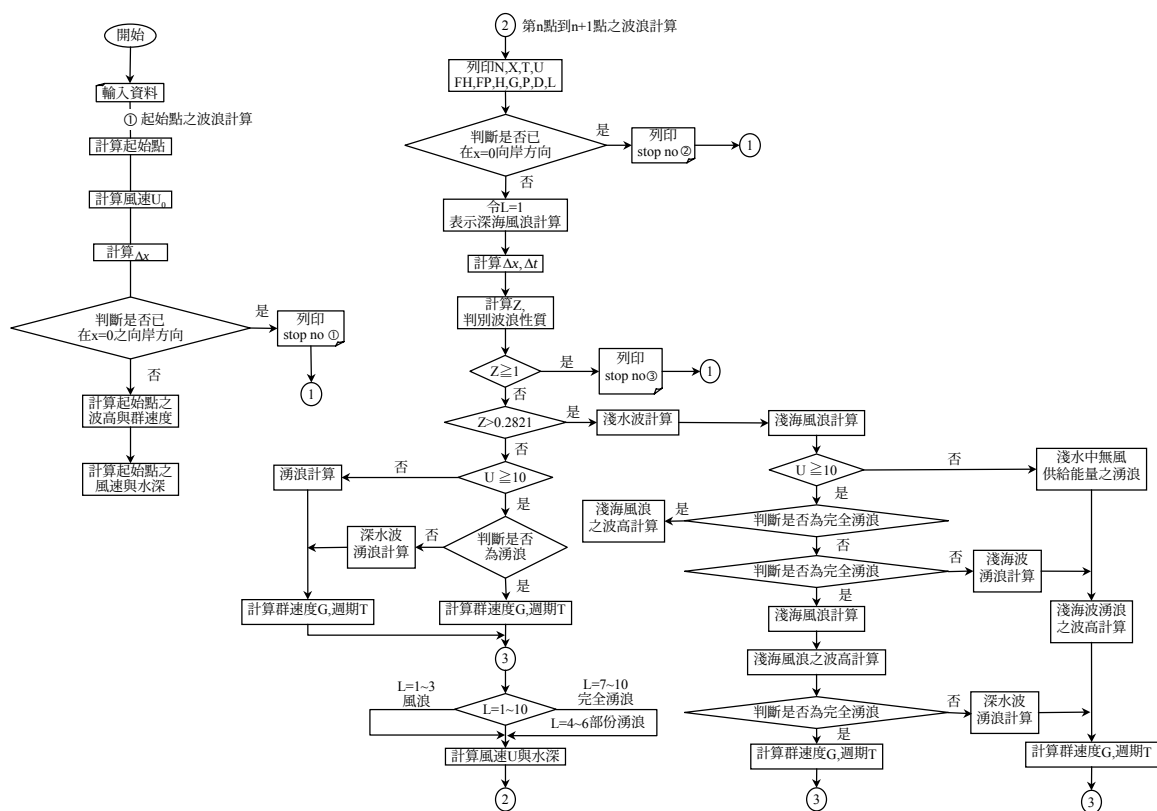


圖 6.2-2 定點風域推算半經驗颱風波浪模式之計算流程圖

## 6.2.3 定點類神經網路波浪模式

定點類神經網路波浪模式硬體及作業系統規格如下:

### 軟體環境：(系統平台)

1. Microsoft Windows (Windows 98, ME, 2000, XP)
2. Linux

### 模式操作

#### (1) MATLAB 6.5 ( for Windows or Linux )

MATLAB 是由 MathWorks 公司於 1984 年推出的數學軟體，其名稱是由「矩陣實驗室」(MATrix LABoratory) 所合成，因此可知其最早的發展理念是提供一套非常完善的矩陣運算指令，但隨著數值運算需求的演變，MATLAB 已成為各種系統模擬、數位訊號處理、科學目視的標準語言。

#### (2) Neural Network Toolbox (類神經網路工具箱)

配合 MATLAB 操作平台，類神經網路工具箱提供許多類神經網路架構，以符合各種資料形式的需求，主要包括：

Associative, Backpropagation, Feature Map, Hopfield, Kohonen, Self-Organizing, Window-Hoff 網路

- 競爭性，限制性，線性，Sigmoid 傳遞函數
- 成果分析函數及圖型
- 無限多網層，元素，交接點
- 利用 SIMULINK 做動態模擬

### 硬體環境

配合系統及操作平台提供中央處理器及記憶體空間建議如下：

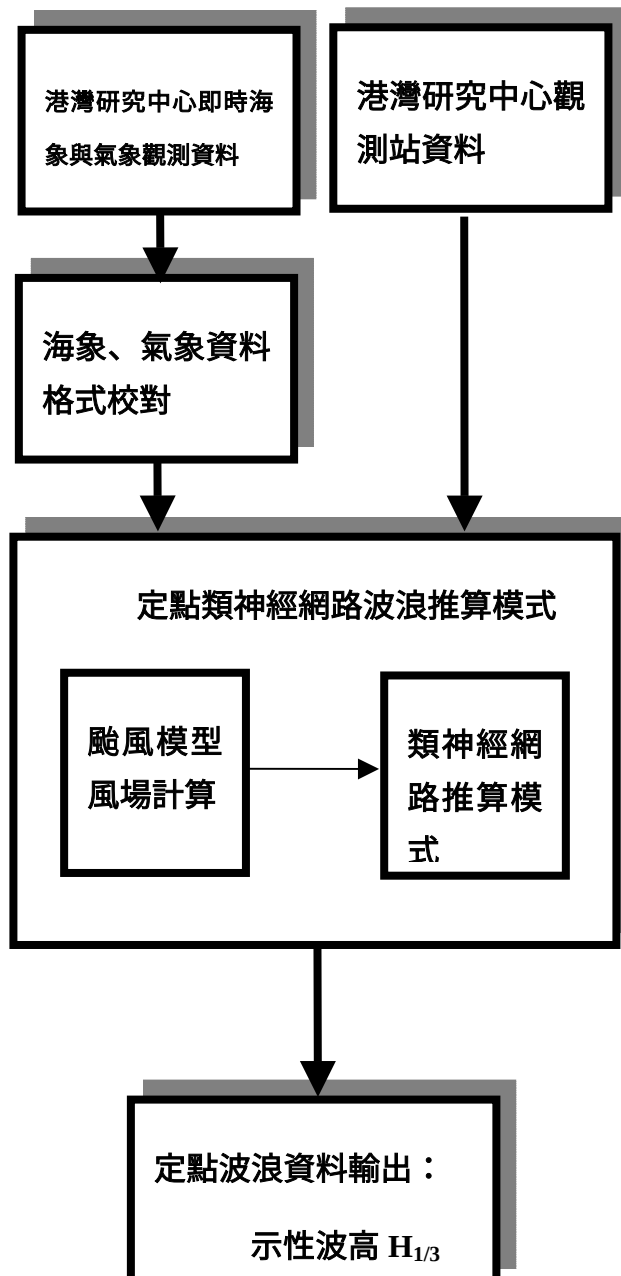
**CPU（處理器）**

- ◆ Intel Pentium 4 （系列）
- ◆ Intel Celeron （系列）
- ◆ AMD Athlon （系列）
- ◆ AMD Athlon 64 （Operation 32bit）

**RAM（記憶體）**

- 512 MB 以上

## 模式流程圖



## 6.2.4 近岸波浪模式

### 模式流程圖

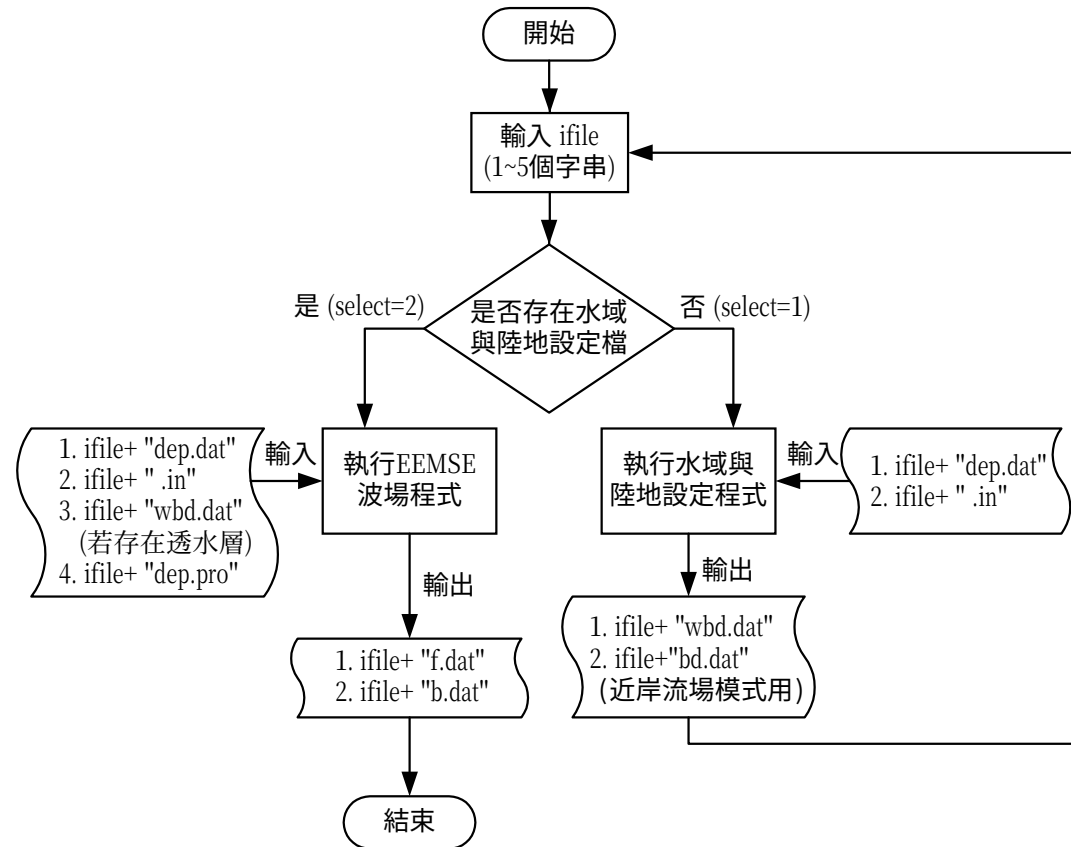


圖 1-1 EEMSE 波場模式計算操作流程示意圖

## 6.3 各種水位模式之流程及操作說明

### 6.3.1 全域天文潮模式

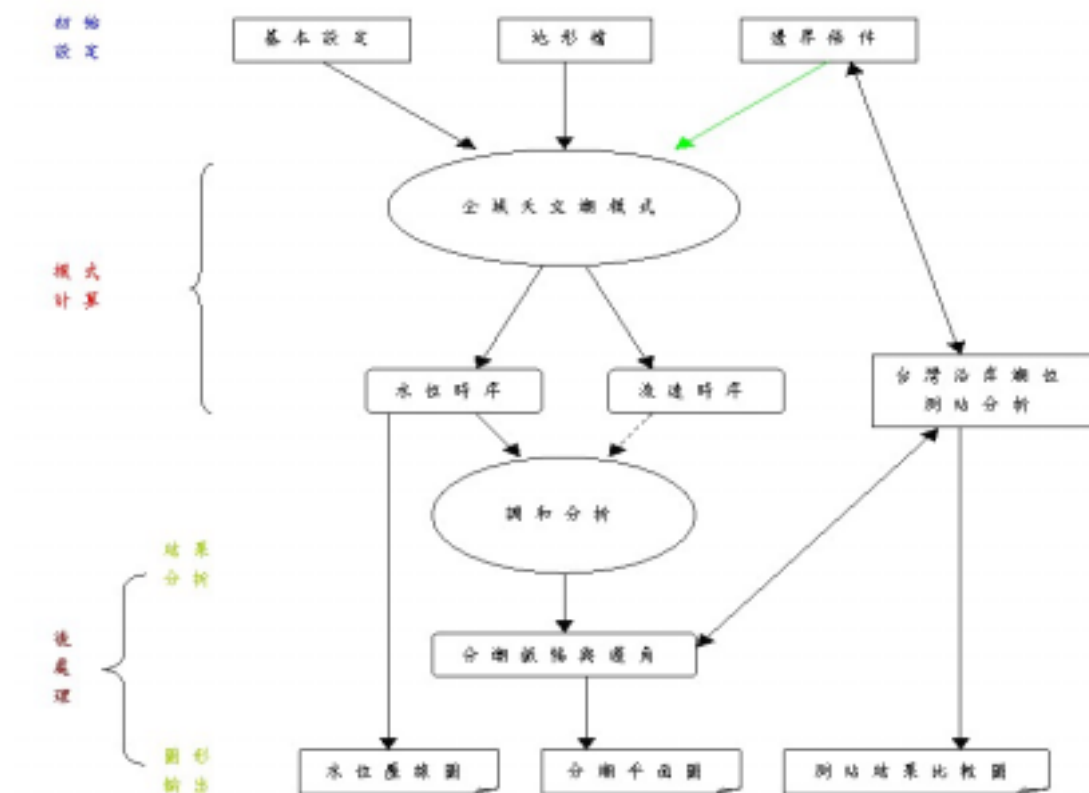


圖 6.3-1 全域天文潮模式流程

### 6.3.2 全域暴潮模式

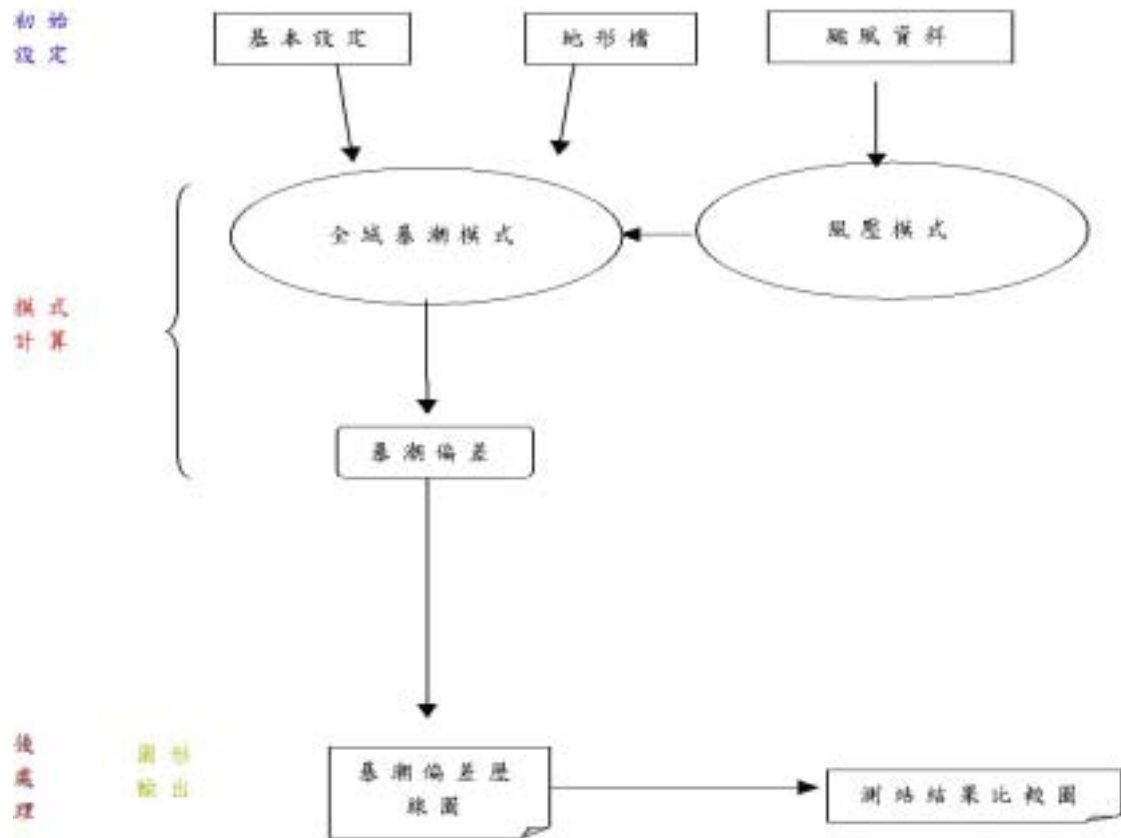


圖 6.3-2 全域暴潮模式流程



### 6.3.3 全域水位模式

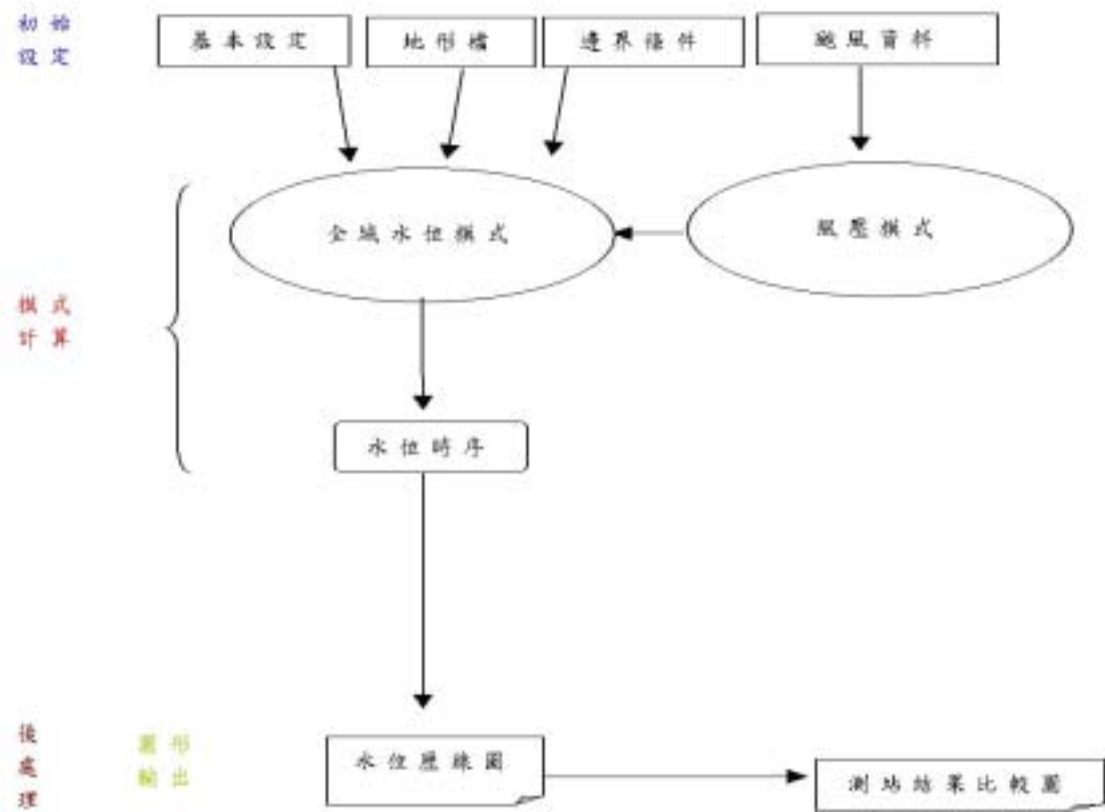


圖 6.3-3 全域水位模式流程圖

## 第七章 臺灣環島海象預報網路系統

### 7.1 網路資訊系統架構

台灣四周海岸由不同單位依其個別需求而佈置許多海象觀測站。由於缺乏整體性的整合，往往形成觀測站分布不均、觀測項目、經度與資料格式不同，造成觀測結果無法相互支援提供防災使用，而顯現資源重複投資卻沒有發揮應有的功能現象。本計畫的另一目標是建置本土化颱風波浪預報系統，透過模式的預測模擬可提供台灣沿海波浪在時間及空間上完整的資料，模式預報資料與現場觀測資料的比對與展示可以提供使用者參考，亦可作為模式修正的資訊。因此，本計畫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(建構中)
- 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(建構中)
  - ◆ 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(建構中)
- 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(建構中)

- 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。
2. ”表單點選”，以固定之各種表單提供選取。
3. ”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。

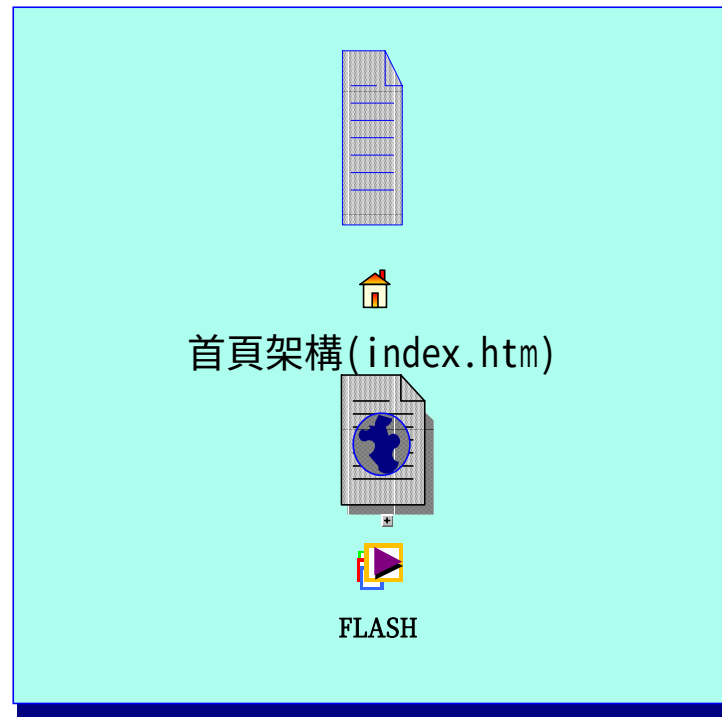


圖7.2.1 Taicoms首頁架構

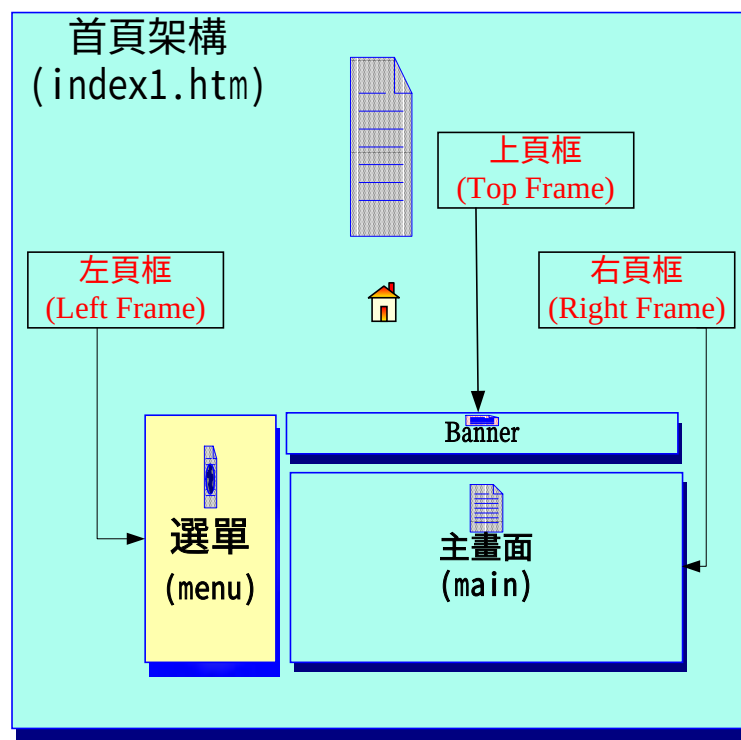


圖7.2.2 TaiCOMS網站架構概念

## 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。

主題概分概念圖

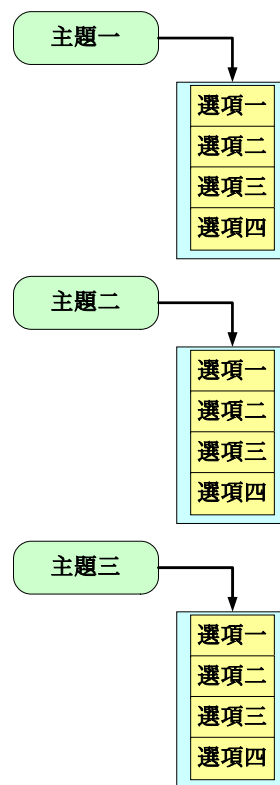


圖7.2.3 以主題為概分概念圖

### 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。



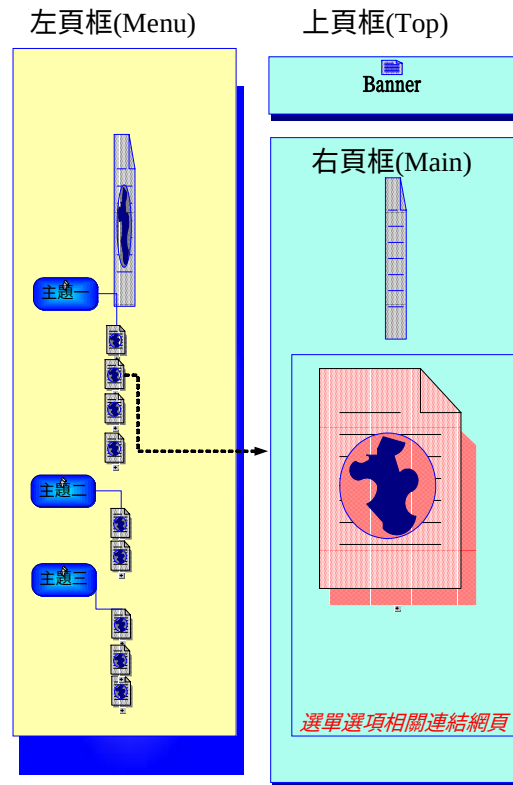


圖7.2.4 資料呈現方式

## 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：

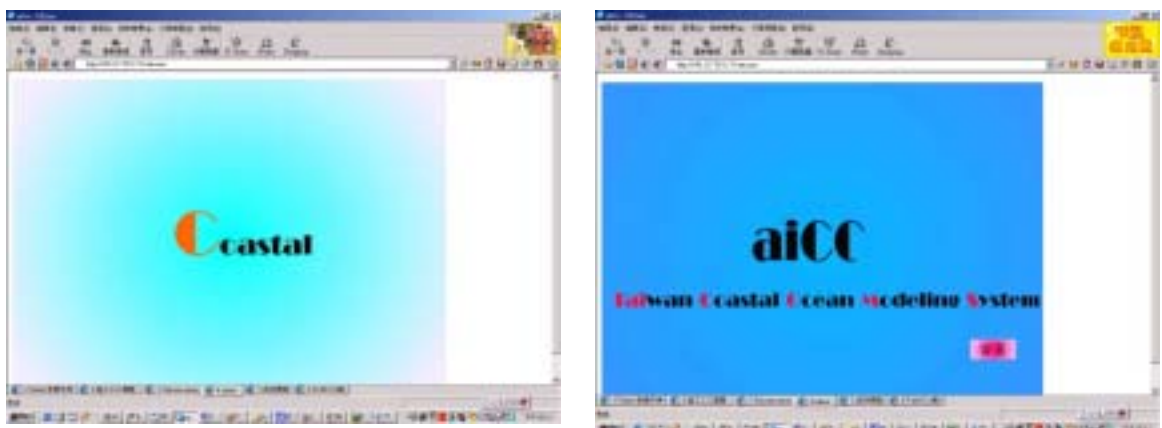


圖7.2.5 Flash多媒體首頁

主網頁(<http://taicoms.iut.nsysu.edu.tw/index1.htm>)



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

其中系統概述包含台灣近海海象預報系統及台灣近海海象預報系統規劃時程。



圖 7.2.8 台灣近海海象預報系統概述



圖 7.2.9 台灣近海海象預報系統示意圖

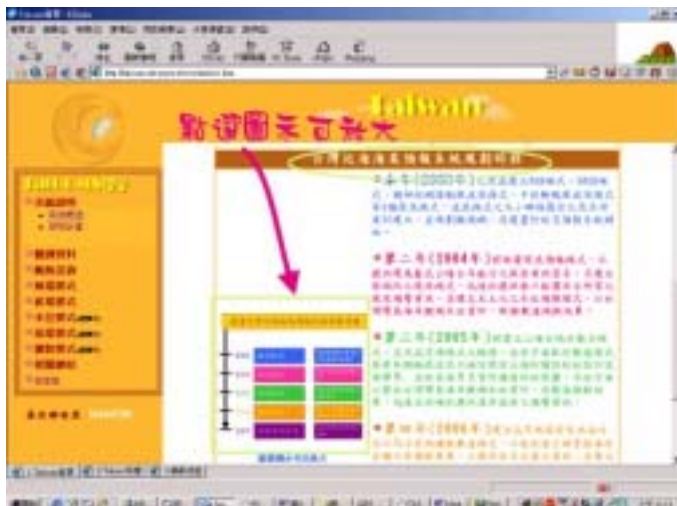


圖 7.2.10 台灣近海海象預報系統規劃時程



圖 7.2.11 台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

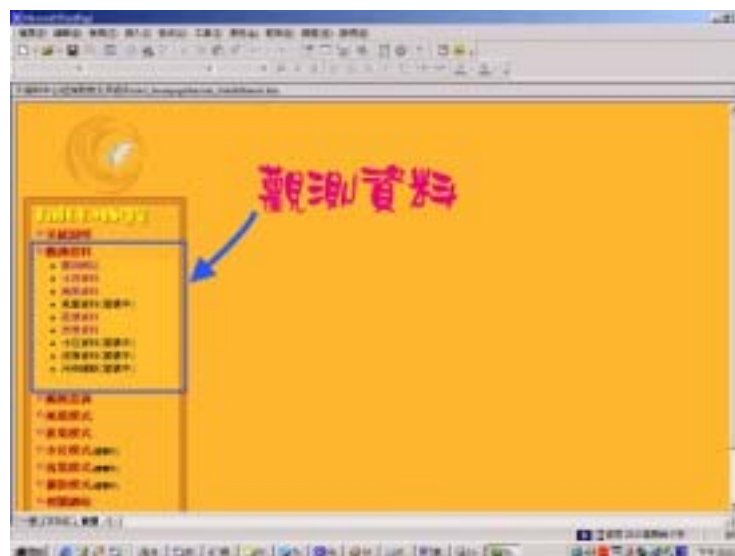


圖 7.2.16 觀測資料選項

◆ 觀測網站



圖 7.2.17 觀測網站(觀測網站中共包含有下列幾個不同形式的測站)

- 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

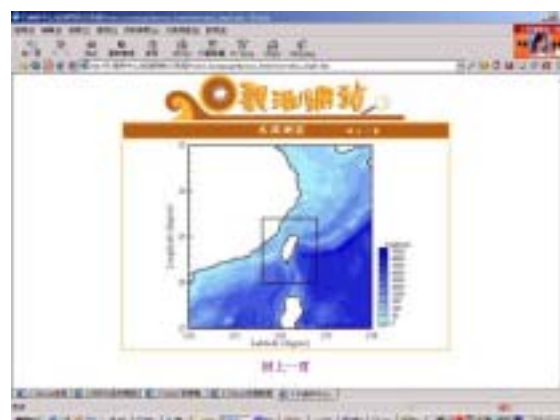


圖 7.2.22 水深測區



◆ 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

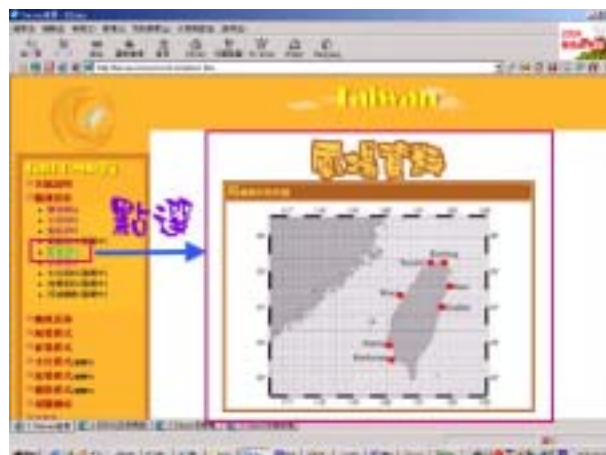
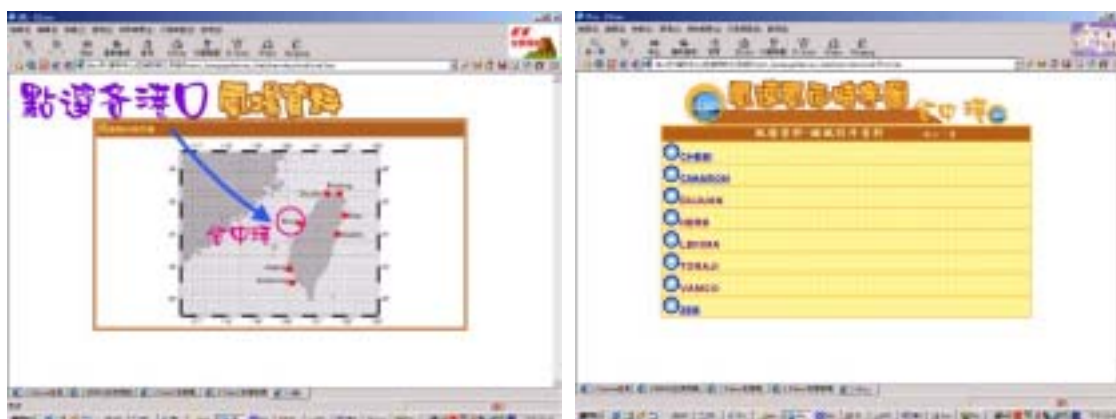


圖 7.2.24b 典型風場資料

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**台中港**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**台中港**為例)

◆ 典型波場

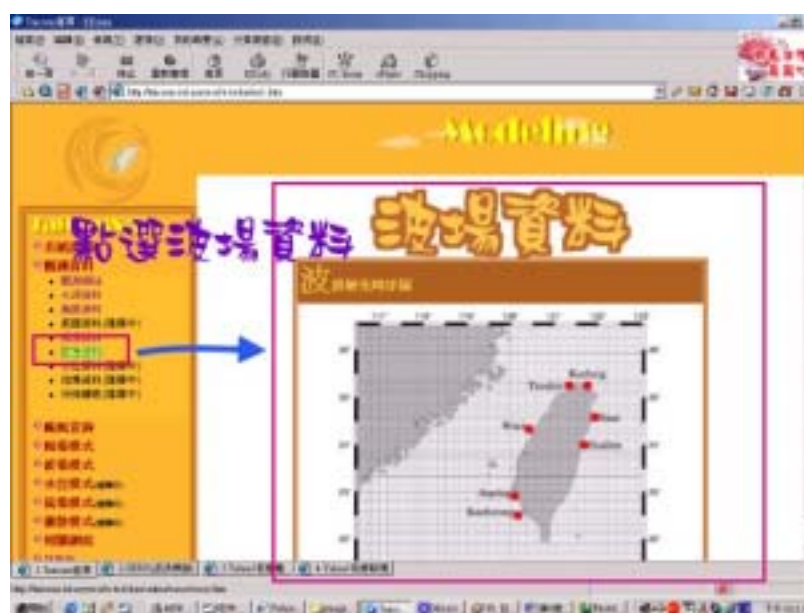
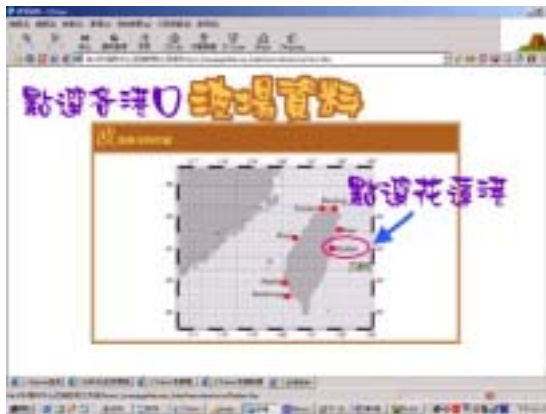


圖 7.2.26 典型波場資料

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

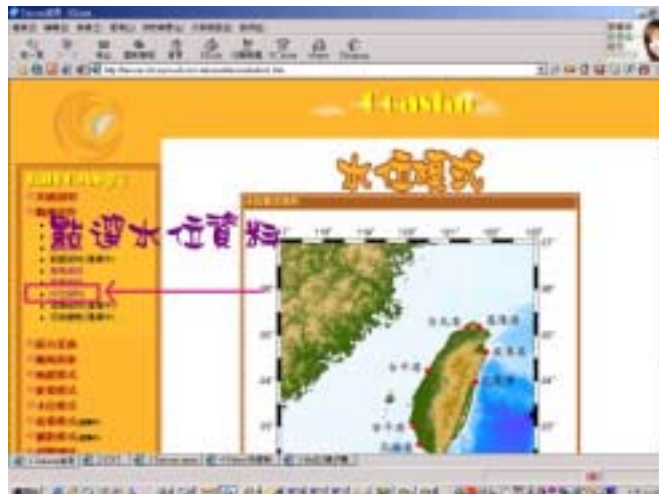


圖 7.2.28 典型水位資料

#### ◆ 典型海流(建構中)

#### ◆ 典型擴散(建構中)

#### ➤ 颱風海象

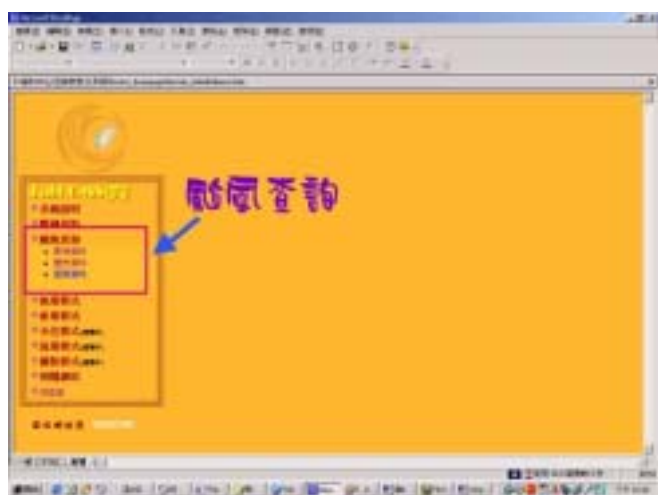


圖 7.2.29 典型颱風海象查詢

◆ 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：

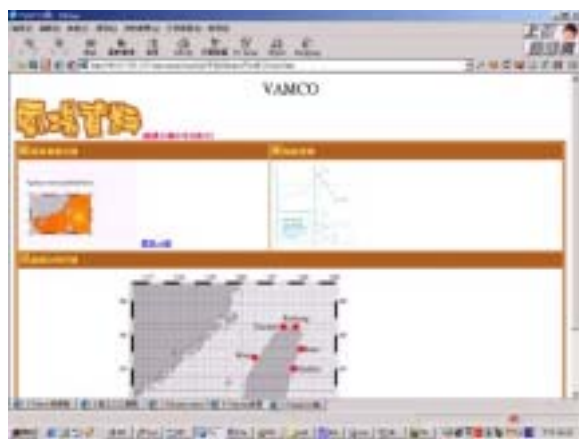
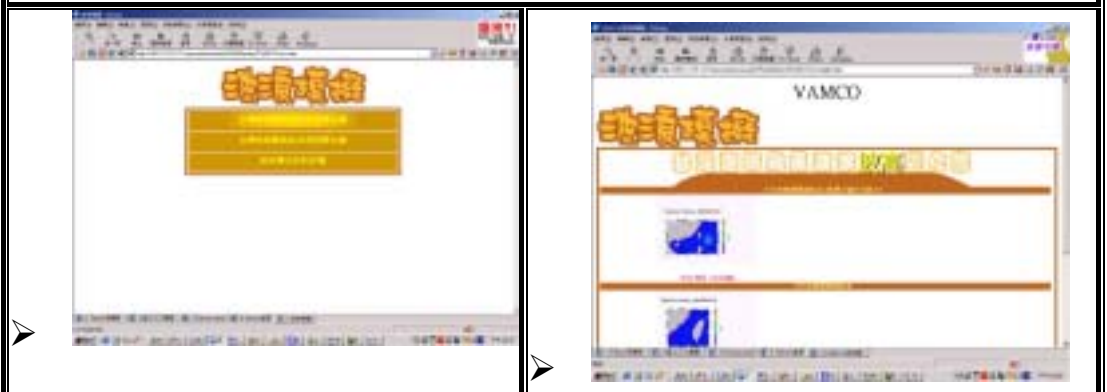
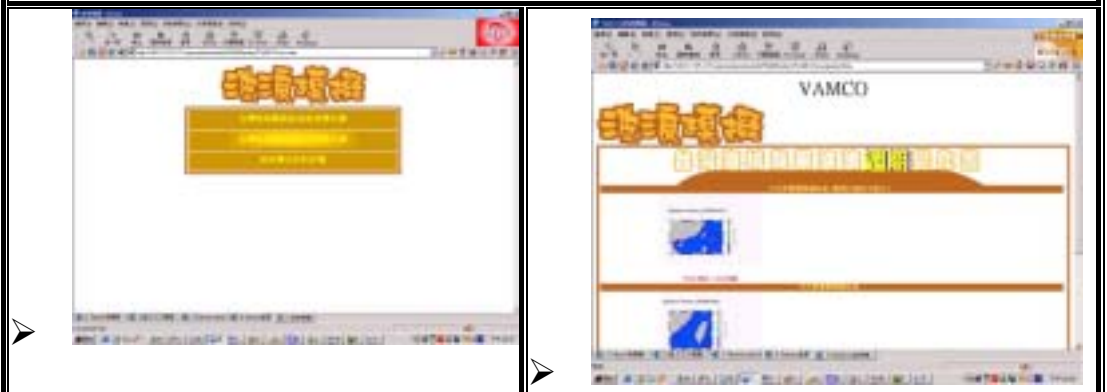


圖 7.2.31 典型颱風風場資料

➤ 台灣海域颱風波浪波高變化圖



➤ 台灣海域颱風波浪週期變化圖



➤ 波浪變化時序圖

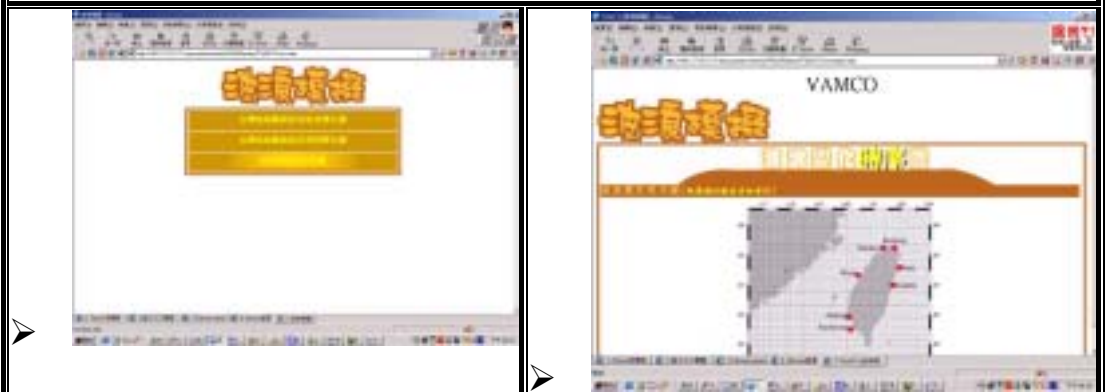


圖 7.2.32 典型颱風波浪模擬



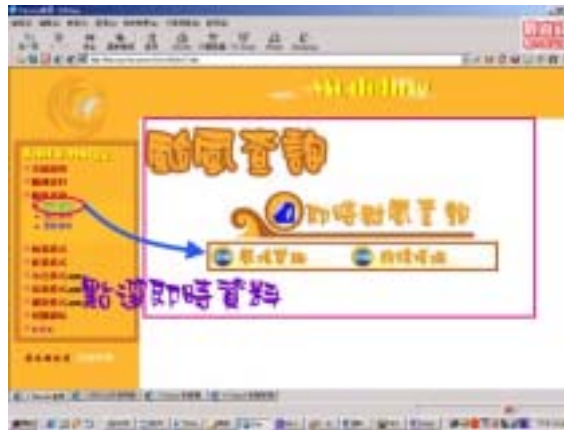


圖 7.2.33 典型颱風水位資料

◆ 模式說明



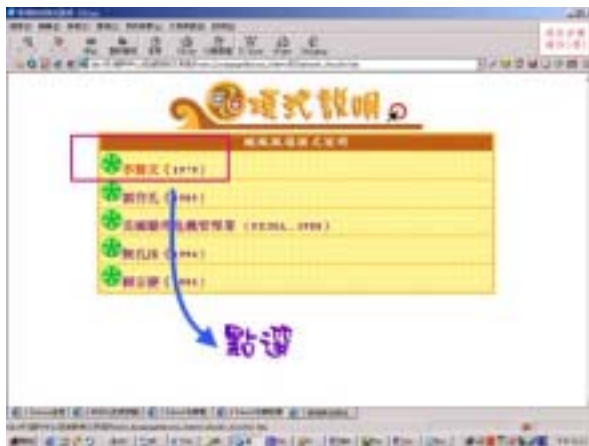
圖 7.2.34 颱風颱風海象模式說明

➤ 風場模式

◆ 模式說明



圖 7.2.35 風場模式說明



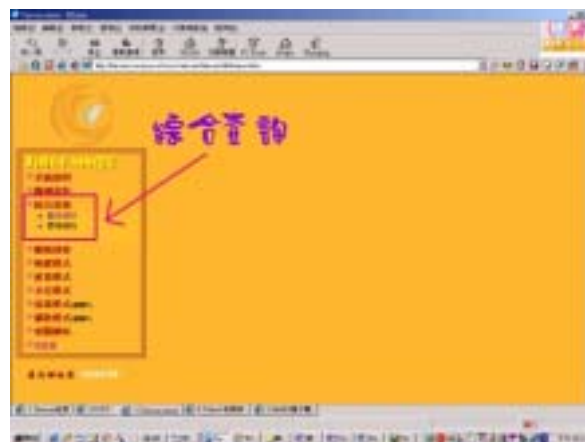
點選模式前



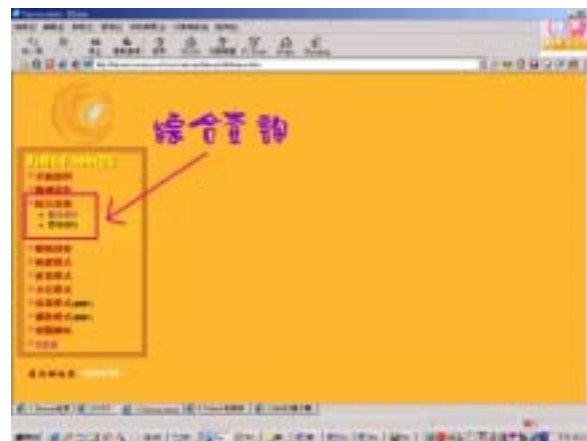
點選模式後

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 波場模式模式說明



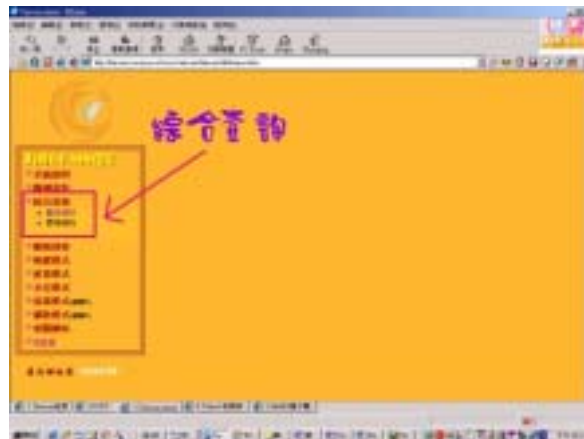


點選模式前

點選模式後

圖 7.2.39 波場模式模式說明 2

◆ 即時波場



◆ 歷史波場



◆ 典型波場

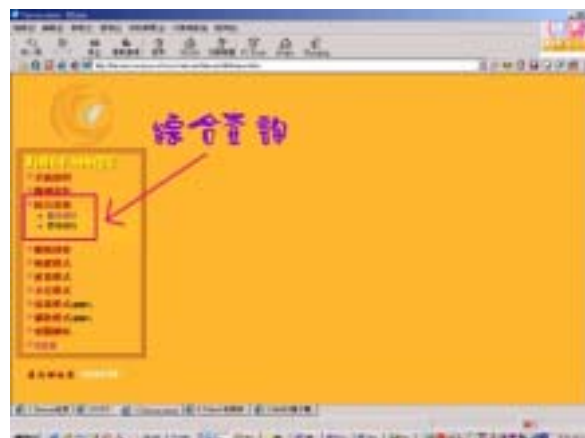


圖 7.2.40 波場模式典型歷史波場

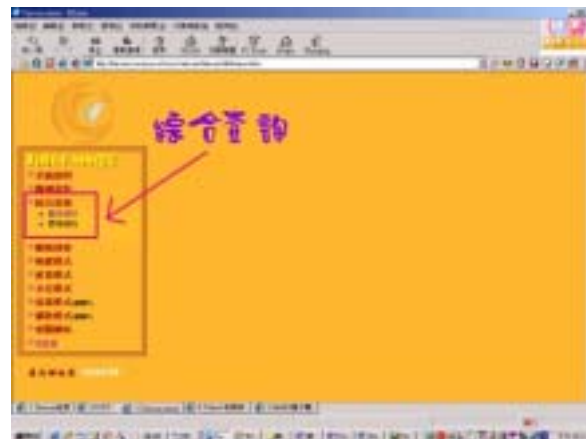
- 水位模式
  - ◆ 模式說明



- ◆ 即時水位



◆ 歷史水位



◆ 典型水位



圖 7.2.41 水位模式典型水位資料

➤ 流場模式（建構中）

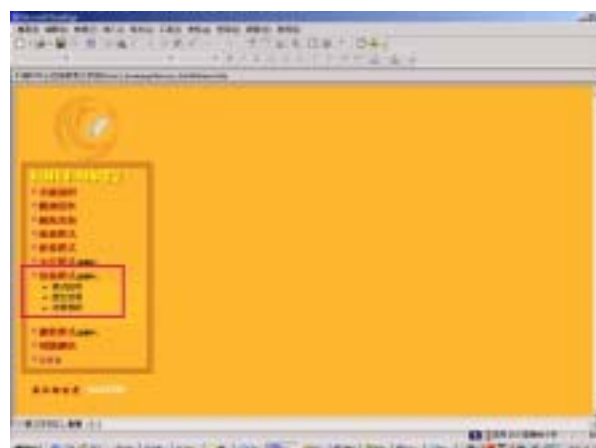


圖 7.2.42 流場模式

➤ 擴散模式（建構中）

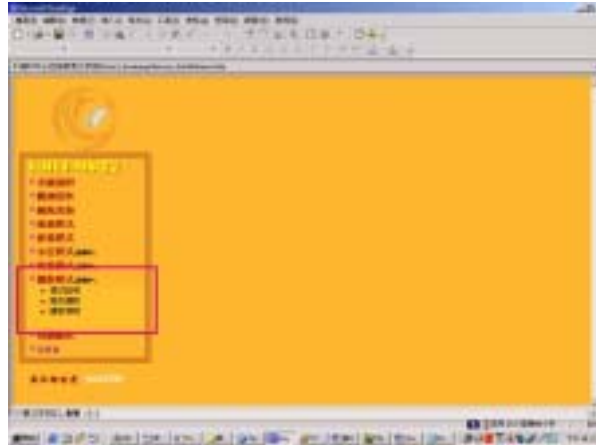


圖7.2.43 擴散模式

## 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。

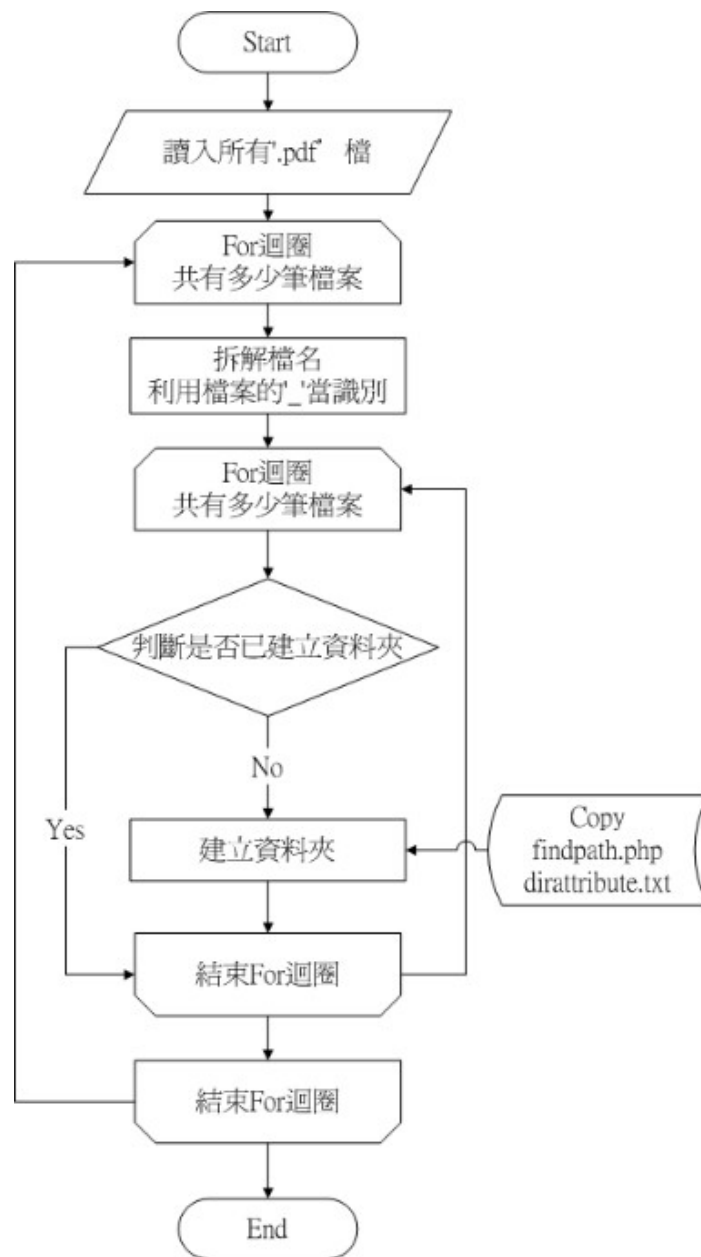


圖 7.3-1 Matlab 程式處理流程

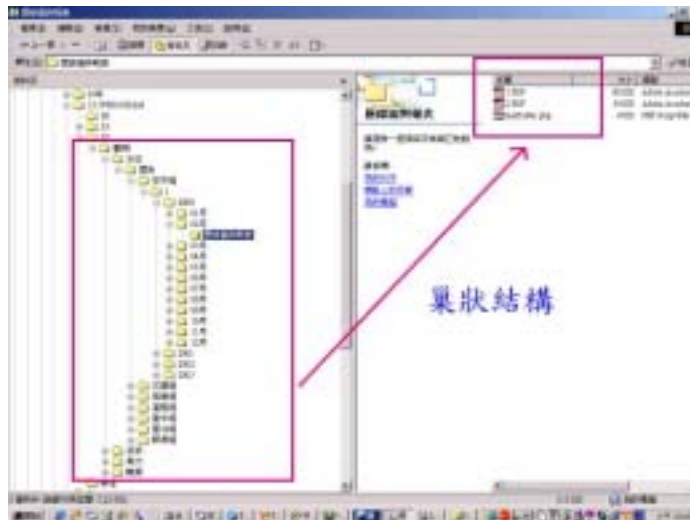


圖 7.3-2 巢狀資料夾結構



圖 7.3-3 下拉式視窗結構

## 第八章 結論與建議

### 8.1 結論

1. 應用 WAM 模式能快速模擬遠洋風浪能力與 SWAN 模式能解析近岸較小格網之功能，利用兩者相互配合模擬海面風浪。綜合風場實測資料與 NOAA 大氣模式比較結果可知，利用 NOAA 所提供之解析度約 1 度之風場資料進行模擬，其實測風速資料變化較為快速，不如分析之風場資料變化較為平緩，但大致上仍可表現出風速變化趨勢。若能獲得更高解析度的大氣資料，風浪模式計算結果正確性應會更好。
2. 就利用風浪模式模擬六大港區(台中港在模擬時間範圍內無資料)，了解實測資料與模式推算結果之關係，分析各季節之實測與模式結果之個別平均值、相關係數與絕對誤差，遠域模式及近岸模式之平均相關係數均為 0.77，其中以安平港最低，基隆港最高，絕對誤差平均值則分別為 0.35 公尺、0.48 公尺，以台北港最高，花蓮港最低。以台北港為例，其平均相關係數為 0.83，但平均絕對誤差則高達 0.62 公尺，參照實測與模擬之比較圖形，由於局部最大值在模擬結果皆有偏低現象，導致絕對誤差偏大但相關係數仍高的現象。
3. 利用風浪模式模擬藍色公路海域之結果，除了七大港區之外，統計台東綠島、屏東鵝鑾鼻及澎湖馬公附近海域模式推算值，台東綠島冬季平均風速為 3.59 m/s、夏季為 2.24 m/s、全年平均風速為 2.80m/s，風浪模式推算綠島冬季平均波高是 1.95 m、夏季為 1.23 m、年平均值為 1.55m。至於屏東鵝鑾鼻的冬季平均風速為 8.28 m/s、夏季為 5.39 m/s、全年平均風速為 6.56 m/s，風浪模式推算綠島冬季平均波高是 2.41m、夏季為 1.58 m、年平均值為 1.90m。澎湖馬公雖然在風速方面也是冬季最大夏季最小，但是波高平均值卻是春季最小，冬季、春季與年平均波高以風浪模式計算後分別為 1.14m、0.88m 及 1.05m。
4. 以風浪模式推算結果，利用緩坡方程式進行七大港區港內外波場之模擬方面，選取於民國 90 年 6 月 22 日侵台之奇比颱風與民國 93 年 8 月 25 日之艾利颱風，作為模式波浪之輸入條件，模擬颱風作用下，國內



七大港附近海域之近岸波場變化。除了部份波浪入射方向恰面對港池開口，故在部分的港區範圍內，會有波高較大的情形發生，就整體而言，模擬結果可表現港內外波場變化，在奇比與艾利颱風侵襲下，七大港之防波堤配置大多能有效地避免颱風對港域內部造成直接的侵襲。

5. 根據分析顯示遠域模式的風浪相關模式應用時，冬季波浪示性波高與風速之相關性較為一致，較具有其應用性，而近岸模式的相關模式則可應用之秋、冬兩季， $R^2$  約在 0.5 以上，另外花蓮港、基隆港、蘇澳港及台北港均在冬季發生示性波高之最大平均值。
6. 在近岸海象複雜的環境下，推算、預測近岸波浪的計算模式需要相當多的相關資料以及電腦資源，相關資料的量測品質如波高、波浪週期、地形、水深等以及電腦計算的複雜度都會影響計算結果的精確度。海象觀測儀器隨著科技、技術的成熟，量測資料的品質亦大幅提昇，類神經波浪推算的研究利用觀測站的波浪資料、颱風氣象資料及類神經網路模式的架構，經過簡單的模式建構過程建構颱風波浪推算模式，可以滿足特殊地形或區域的颱風預測及預警防災的功能。
7. 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，並以台灣東部海域花蓮港為例。模式測試的結果顯示，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。本模式以 Holland Model 模擬的颱風風場無法計算颱風風場與陸地交互影像後的風場分佈，所以當風場受到地形影響時模式無法充分反應出颱風波浪行，對於這樣的限制可以藉由結合即時風場資料或是更精準的颱風風場計算模式得到改善。
8. 颱風波浪推算模式以類神經網路為基礎，具有自我學習的能力，利用每次颱風事件後的颱風波浪資料對颱風波浪推算模式進行修正，以因應該區域的地形地貌或是海象的改變。此外，在地形條件無劇烈變化的限制下，本模式可以擴大推算範圍，以提供鄰近區域颱風波浪推算的模擬與校正。因此，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。

9. 以移動風域數值推算法建立定點風域推算半經驗颱風波浪模式，由於模式本身具有運算快速以及模式所需之資料亦相對地較少等優點，在海岸防災預警應用上，較易針對各種可能的颱風行進路徑、移動速度及中心低氣壓值進行颱風波浪推算，充份提供各種可能的颱風波浪預警訊息。半經驗颱風波浪模式相關參數必需經由實測資料不斷地率定才能增加相關參數判斷之經驗，藉以增進其預測之準確度。以半經驗颱風波浪模式推算颱風波浪，普遍存在波高之週期偏大缺點，仍有待進一步改善。
10. 天文潮模式經由調整後邊界驅動的結果大致良好，就主要分潮 M2 與 K1 而言，高雄與基隆差異值較大，大部分的實測分潮與模式結果相當接近，但高雄與基隆的分潮振幅差異最大可達兩倍（M2、S2），由於受到地形變化較大影響，在大範圍模式中由於格點較大不易得到類似結果，將藉由小範圍高解析度模式的建立來彌補。
11. 暴潮模式結果與分析後之暴潮偏差比對，測站暴潮偏差值明顯偏小有以下幾個原因，第一個原因為颱風經過台灣陸地，造成結構的破壞，使的風速分佈與颱風模式的初始假設不合，同時也會影響路徑預報的精確性，再加上大尺度範圍的網格解析度太粗，使得近岸的地形無法被精確的描繪出來，造成整個暴潮位的偏小，未來將模式解析度增加之後，可以得到更精確的暴潮偏差。第二個原因則為 NOAA 預報風場的網格解析度過大，在台灣海峽內部只有一點兩點的風速資料，因此內插出來的風速雖然在趨勢上可以符合，但是在風速大小部分便無法有很好的結果，特別在近岸地區風速的內插更是明顯的偏小，待下一年度取得中央氣象局更精細的動態風場預報資料，便可得到更好的暴潮偏差模擬結果。第三個原因為颱風暴風半徑的準確性，由於 NOAA 預報風場解析度過大，因此對於颱風風場的模擬往往無法得到風速的極值，颱風範圍內的風速都較實際量測值來的小，因此需要使用颱風模型來模擬颱風內部風場，取代 NOAA 預報風場的颱風範圍，此時颱風的

暴風半徑準確性便相當的重要，若是預報半徑過大，會造成風速偏大，預報半徑過小則是風速不足，此情況對於暴潮偏差的模擬影響很大。第四個原因為氣壓因素，由於本年度沒有辦法取得平面的氣壓場分佈，因此無法將氣壓的影響納入，導致暴潮偏差被低估，下一年度若能取得中央氣象局的平面預報氣壓場後，會得到更準確的暴潮偏差結果。第五個原因為分析暴潮偏差的方式，目前使用的方法為以實測水位減去調和分析的重組水位（取震幅超過一公分的分潮）得到，由於目前的潮位站大部分皆位於港區內，會受到地形的影響，因此使用此方式來分析，並無法將地形的影響去除得到單純的暴潮偏差，未來可以嘗試使用其他的分析方式如 EMD，期能得到更準確的暴潮偏差值。

12. 全域水位模式的計算結果，除了基隆與高雄測站因地形的影響計算結果不理想，其餘港區的預報水位皆能與實際狀況大致符合，待未來提高模式解析度及精確的地形資料，便可以得到更精確的水位預報，未來更可以直接取代全域暴潮模式做為平時及颱風期間的預報模式。

## 8.2 建議

1. 由於風浪模式中的主要外力為風，有精確的風場輸入模式中才能獲致準確的風浪推算，故如何獲得時間與空間解析度適合本計畫之風場仍為需要努力之目標。
2. 由於波浪模式格網解析度與計算機運算時間密切相關，數值波浪模式之模擬時間具作業化程度仍有改善空間，除了相關硬體配合，亦可考慮實際需求進行解析度與計算範圍之調整。
3. 類神經網路目前發展模式受限於實測資料的數量及資料的連續性，由於類神經網路需要足夠的學習資料，因此模式建構將有所限制，經過 2004 年三場颱風波浪的模擬與推算結果更可以了解到颱風風場準確性的重要，目前模式因應推算誤差的對策將採用以推算颱風波浪產生誤差的颱風事件為模式更新時類神經網路的學習目標，局部修正類似路徑的颱風波浪行為。此外，模式準確度整體提升的方法與策略將以內差、經驗式配合數值模式資料及模糊理論提高模式推算的能力。

4. 水位的推算模式未來尚待取得較為長期潮位紀錄以進行分析，且紀錄密度更密之實測資料，便可分析出地形或天候產生之高頻複合現象，進行分析高頻的潮汐行為。由於大尺度網格解析度太粗，使得近岸的地形無法被精確的描繪出來，造成整個暴潮位的偏小，未來需將模式解析度增加，以得到更精確的暴潮偏差，但是需要計算能力較強的計算主機配合，才能在合理的計算時間內達成即時預報的目的。NOAA預報風場網格解析度過大，在台灣海峽內部只有一點兩點的風速資料，因此內插出來的風速雖然在趨勢上可以符合，但是在風速大小部分便無法有很好的結果，特別在近岸地區風速的內插更是明顯的偏小，下一年度希望在引用中央氣象局更精細的動態風場預報資料，會有更好的暴潮偏差模擬結果。由於本年度未將氣壓的影響納入，導致暴潮偏差被低估，下一年度在引用中央氣象局的平面預報氣壓場後，以便得到更準確的暴潮偏差結果。
5. 在水位的推算模式建構方向上，將與颱風波浪模式結合，藉以發展出全時推算預測的模式。配合波浪、水位模式利用建構資料的同化機制，與數值模式計算的結果連結，以填補實測資料的不足。藉由模式結構的修改與更新期望能達成波浪、水位全時推算的的目標。

## 參考文獻

1. 邱永芳、蘇青和(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。
2. 歐善惠、許泰文、臧效義、方介群、廖建明(1999), 「應用 SWAN 波浪模式推算台灣附近海域颱風波浪之研究」, 第二十一屆海洋工程研討會論文集, 87 頁-95 頁。
3. 歐善惠、許泰文、臧效義、廖建明、方介群(2000), 「應用 SWAN 模式於台灣西部海域之波浪預測」, 第二屆國際海洋大氣會議論文彙編, 183 頁-188 頁。
4. 歐善惠、許泰文、廖建明、臧效義、鄧秋霞(2001), 「近岸颱風波浪推算之研究」, 2001 海洋數值模式研討會論文集 5-1 頁-5-19 頁。
5. 郭鴻基、吳俊傑、李勝清 (2002) 「天搖地動—颱風研究的挑戰」, 科學發展月刊第 29 卷第 12 期, 第 859-866 頁。
6. 張憲國、錢維安 (2002) 「台灣港灣地區颱風波浪推算模式之應用研究 (二)」, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究報告。
7. 張憲國、錢維安 (2001) 「台灣港灣地區颱風波浪推算模式之應用研究 (一)」, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究報告。
8. 張憲國、錢維安 (2000) 「臺灣東部港灣預警系統之應用研究-港外波浪動態特性」, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究報告。
9. 簡仲璟、曾相茂 (1999) 「花蓮港颱風波浪特性研究」, 第 25 屆海洋工程研討會論文集, 第 55-62 頁。
10. 王時鼎(1988) 「臺灣颱風風力特性及其預報研究 (二)」, 行政院國家科學委員會防災科技研究報告, 70 頁。
11. 交通部中央氣象局(1998) 「颱風百問」, 第 10-20 頁。

- 12.劉廣英、俞川心、李富城(1986)「移近或登陸臺灣颱風強度變化及其成因之研究」,行政院國家科學委員會防災科技研究報告, 72 頁。
- 13.羅俊雄, 張隆男(1987)「颱風特性及風對結構物影響」, 行政院國家科學委員會防災科技研究報告, 70 頁。
- 14.徐月娟(1996), 彌陀海域潮汐及暴潮之數值模擬, 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
- 15.井島武士 (1972), 台中港設計波浪計算報告書, 日本港灣顧問公司。
- 16.李汴軍 (1997), 中央氣象局第二代波譜模式特性探討, 中華民國第十九屆海洋工程研討會論文集, 80-84 頁。
- 17.蔡丁貴、莊文傑、蘇青和 (2002), 近海災害防救系統構想。第 24 屆海洋工程研討會專題講座論文集, 43-54 頁。
- 18.廖建明 (2001), 近岸風浪模式之研究, 國立成功大學水利及海洋工程研究所博士論文。
- 19.廖建明、歐善惠、許泰文、方介群、臧效義 (2002), 應用 SWAN 模式模擬台灣附近颱風波浪之特性, 中華民國第二十四屆海洋工程研討會論文集, 469- 476 頁。
- 20.Booij, N., L.H. Holthuijsen and R.C. Ris (1996), “The SWAN Wave Model for Shallow Water,” Proceedings of 24th International Conference on Coastal Engineering, ASCE, Orlando, Vol. 1, pp. 668-676.
- 21.Chen, Guan-Yu、Chiu, Yung-Fang (2002), ” Building a Forecast System for Near-shore Disaster Prevention, Recovery, and Rescue in Taiwan—Plan of the Center of Harbor and Marine Technology ”。第 24 屆海洋工程研討會專題講座論文集, 105-110 頁。
- 22.Flather, Roger A., ” Existing operational oceanography “, Coastal

- Engineering 41 (2000), pp 13-40
- 23.Holland, G.J. (1980), "An Analytical Model of the Wind and Pressure Profiles in Hurricanes," *Monthly Weather Review*, No. 108, pp. 1212-1218.
- 24.Holthuijsen, L.H., N. Booij, R.C. Ris, J.H. Andorka Gal and J.C.M. de Jong (1997), "A Verification of the Third-Generation Wave Model SWAN along the Southern North Sea Coast," *Proceedings 3rd International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis, WAVES'97, ASCE*, pp. 49-63.
- 25.Janssen, Peter (1995), "The wave model", *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*
- 26.Ou., S.H., J.M. Liao, T.W. Hsu and S.Y. Tzang (2002), "Simulating Typhoon Waves by SWAN wave model in Coastal Waters of Taiwan," *Ocean Engineering*, Vol. 29, pp. 947-971.
- 27.Prandle, David, "Introduction Operational oceanography in coastal waters", *Coastal Engineering* 41 (2000), pp 3-12
- 28.Prandle, David, "Operational oceanography---a view ahead", *Coastal Engineering* 41 (2000), pp 353-359
- 29.WAMDI Group (1988), "The WAM Model – A Third Generation Ocean Wave Prediction Model," *Journal of Physical Oceanography*, Vol. 18, pp. 1775-1810
- 30.Yu. C.S., M. Marcus and J. Monbaliu (1994) Numerical modelling of storm surges along the Belgium coast. In : *Computational Methods in Water Resources X, Peters et al. (eds)*, Water Science Technology Library, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1331- 1338.

## 附錄一、期末報告審查意見處理情形表

| 參與審查人員<br>及其所提之意見                                                                                                                                                                                | 本所計畫承辦單位<br>處理情形                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>陳陽益委員：</b><br>一、本計畫之研究結果很具體、詳實與實際實用性。<br>二、列出精確度較宜，並建議儘量尋找出不準的因素在那裡及如何改善，尤其以颱風風浪預報為重點。其他水位部分，因總水位為暴潮位與天文潮位之合成，天潮水位一般預測皆有相當準的程度，而暴潮位經確度較難掌握，但因其值相較天文潮位皆不大，故總水位的預報模式大都預報皆會準確。<br>三、建議增加海嘯的預警系統。 | 一、謝謝陳教授肯定。<br>二、95 年度各項海象預報，包括波浪及水位，依建議將增加精確度或誤差之統計評估結果，並作為預報模式改進之重要依據。<br>三、奉行政院災害防救委員會指示，95 年度度本中心已進行海嘯相關之研究，未來本計畫將考慮增加海嘯預警相關之研究。                                                                                                                |
| <b>許泰文委員：</b><br>一、本計畫執行成果豐富，對模式整合進行努力，值得肯定。<br>二、颱風風場如何正確輸入？請加強評估。<br>三、WAM 和 SWAN、MSE 三者如何銜接？計算效率如何提高？<br>四、水位預報模式建議能包含 wave setup 和 wind setup。<br>五、模式目的和方向是否以提供藍色公路海況預報、海灘和油污擴散為主？          | 一、謝謝許教授肯定。<br>二、颱風風場部份，除引用美國 NOAA 之預報風場及中央氣象局之 NFS 預報風場，並引用 5 種以上颱風風場模式測試比較。<br>三、此三種模式依序分為大域(西太平洋)、中域(臺灣海域)及小域(港區)三個步驟依序完成整個波浪計算。<br>四、wave setup 和 wind setup 等兩種效應相較其他因素為小，未來增加預報經確度將考慮納入。<br>五、提供藍色公路波況、海況預報、海灘和油污擴散為重要目標，其他港口航運安全所需之預警資訊也是重點。 |



| 參與審查人員<br>及其所提之意見                                                                                                               | 本所計畫承辦單位<br>處理情形                                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>張憲國委員：</b></p> <p>一、風場是否有需進行內插？去年第 27 屆海洋工程研討會有篇論文探討內插之技巧，若有需要可參考其論文。</p> <p>二、未來是否有可行進行推估誤差評估，提供使用者依據自己的需求去加減推估的平均值。</p> | <p>一、颱風風場部份，除引用美國 NOAA 之預報風場(大網格)及中央氣象局之 NFS 預報風場(大小網格)，並引用 5 種以上颱風風場模式(細網格)。風場無需再進行內插。</p> <p>二、未來各項海象預報，包括波浪及水位，將進行精確度或誤差之評估，並作為預報模式改進之重要依據。</p>    |
| <p><b>何良勝委員：</b></p> <p>一、預報資料提供各港務局做防災準備使用，數值結果應與觀測結果之校核甚為重要。</p> <p>二、建議執行後續計畫時，應更能明確建立各種模式之統一整合型模式。</p>                      | <p>一、本計畫將整合本所現有觀測資料與預報模式之結果，未來將建立 計算模式相關分析及資料同化整合使用，以提高預報精確性和使用性。</p> <p>二、本計畫完成時將建立整合性近岸防救災預報系統:包括風壓預報系統、波浪預報系統、水位預報系統、流場預報系統、汙染擴散預警系統等 5 個系統整合。</p> |

## 近岸防救災預報系統 之建立(2/5)

計畫主持人:邱永芳

共同主持人:蘇青和

港灣技術研究中心

2005年2月1日

## 近岸防救災預報系統 之建立(2/5)

- |         |        |
|---------|--------|
| 1.前言    | 2.風壓模式 |
| 3.波場模式  | 4.水位模式 |
| 5.環島波場  | 6.網路系統 |
| 7.結論與建議 |        |

## 1. 前 言

- ✿目的:建立適用於台灣海象預警系統。
- ✿背景:近岸防救災系統建立是台灣邁向海洋國家重要施政項目之一。
- ✿用途:提供政府決策與管理單位及民間:預警措施、災害防護及工程設計等即時正確的資訊。

[B]

## 1. 前 言 (續1)

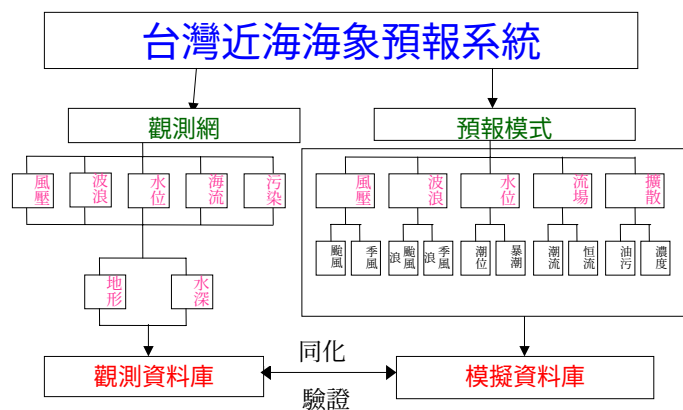
- ✿海象預警系統:(以颱風、海難為重點)
  - 預警項目:水位(天文潮及颱風暴潮位)、波浪(季風波浪及颱風波浪)、流場(潮流及恒流、風驅流)、油污擴散。
  - 外來項目:氣象(風場、颱風、氣壓、雨量)、河川水文資料(河口水位、流量)。

## 1. 前言 (續2)

### ✂計畫內容：

- 近岸海象**預報模式**建立 (**本土化**)。
- 海象預報**資訊網站**建立 (**即時海象**)。
- 臺灣**環島海象分析**：颱風(季)風波浪、暴潮位特性、**設計波高(水位)**。

## 1. 前言 (續3)



# 1. 前言 (續4)

## 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:   |
|------|-----------|-------------|
| 上一年  | 風浪模式      | 建置防救災系統網站   |
| 本年度  | 水位模式      | 建立風浪預警資訊    |
| 2005 | 流場模式      | 建立海岸溢淹預警資訊  |
| 2006 | 擴散模式      | 建立油污擴散及航運預警 |
| 2007 | 地理資訊系統    | 高速計算及資料同化應用 |

# 2. 風壓模式

## 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2.2a,b,c]。

## 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2.3a,b,c]。

圖2.1 NOAA全球預報風場

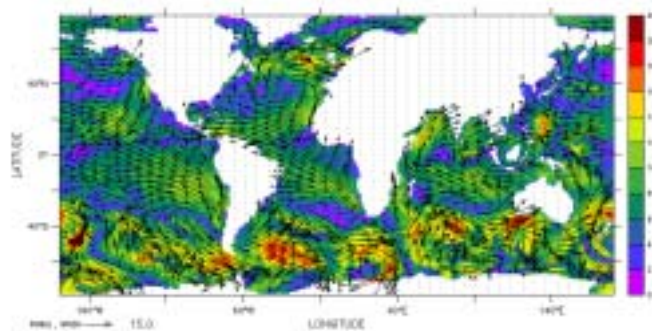


圖2.2a 中央氣象局NFS風場模式  
西太平洋(45KM)風場向量圖

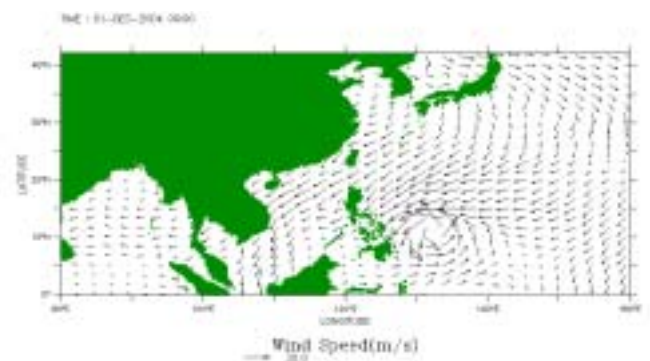


圖2.3b 中央氣象局NFS風場模式  
中國海域(15KM)風場向量圖

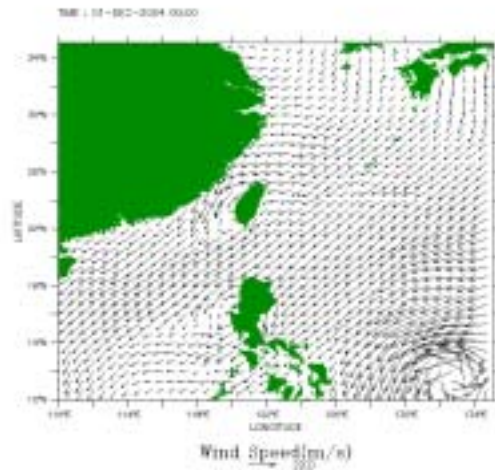


圖2.2c 中央氣象局NFS風場模式  
臺灣海域(5KM)風場向量圖

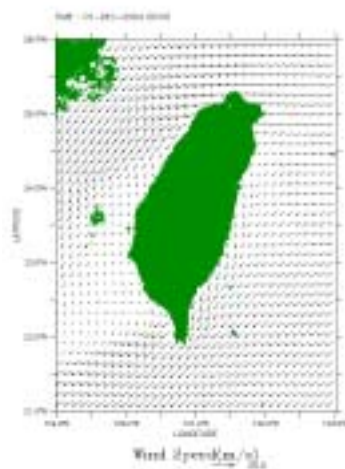


圖2.3a 中央氣象局NFS風壓模式  
西太平洋(45KM)等氣壓圖

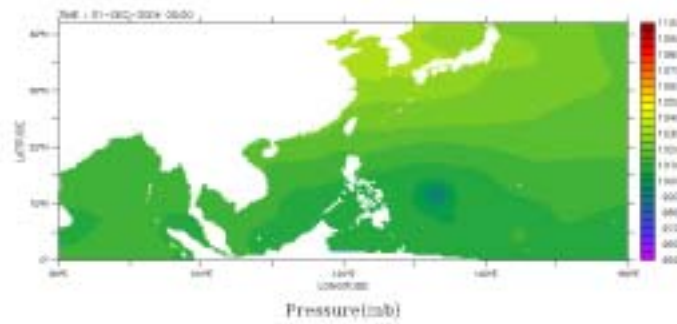
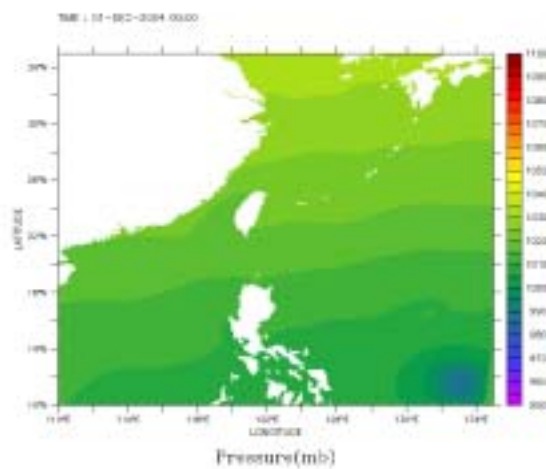
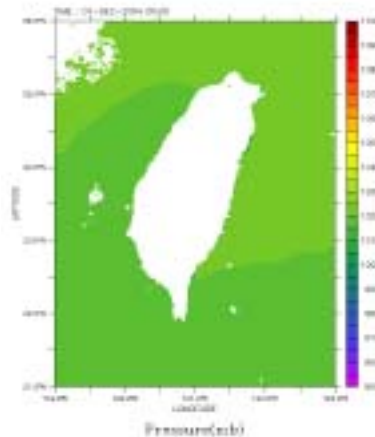


圖2.3b 中央氣象局NFS風壓模式  
中國海域(15KM)等氣壓圖





●圖2.3c中央氣象局NFS風壓模式  
臺灣海域(5KM) 等氣壓圖



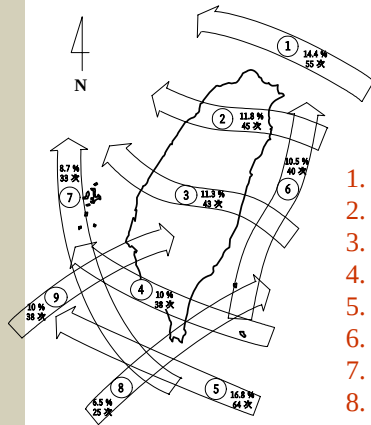
## 2. 風壓模式(續1)

### ● 颱風風場：

- 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。典型颱風路徑圖[圖2.4]。**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。
- 各種颱風模型與實測**比較**[圖2.5a,b]。

[B]

## 圖2.4 典型颱風路徑



1. 第一類路徑之2003年梵高(Vamco)颱風
2. 第二類路徑之1996年賀伯(Herb)颱風
3. 第三類路徑之2001年桃芝(Toraji)颱風
4. 第四類路徑之2001年利奇馬(Lekima)颱風
5. 第五類路徑之2003年杜鵑(Dujuan)颱風
6. 第六類路徑之1998年瑞伯(Zeb)颱風
7. 第七類路徑之2001年奇比(Chebi)颱風
8. 第八類路徑之2001年西馬隆(Cimaron)颱風

## 圖2.5a 賀伯颱風(1996)路徑圖

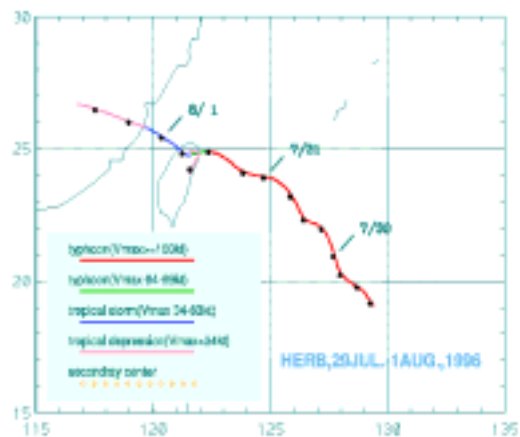
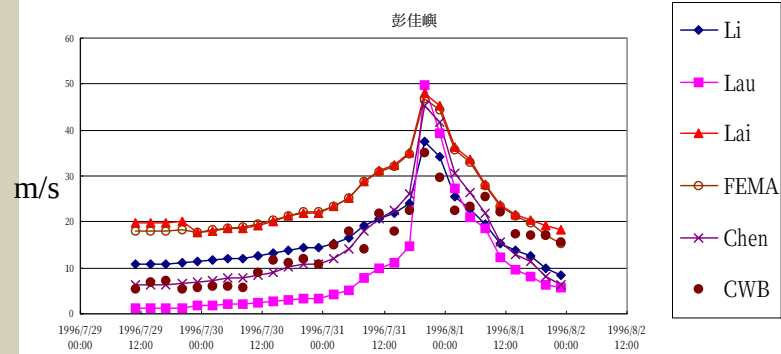


圖2.5b 彭佳嶼各種颱風模式比較



[B]

### 3. 波場模式

- ✂️ 全域波浪模式 (外海、近海、近岸)
- ✂️ 定點類神經網路波浪模式
- ✂️ 定點半經驗颱風波浪模式
- ✂️ 模式驗證
- ✂️ 各種波浪模式比較

[B]

### 3. 波場模式(續1)

#### ✎全域波浪模式：

- **WAM**風浪模式:由歐洲波浪預報群研發:西太平洋海域(**大域**,大網格:20分) [a]。
- **SWAM**風浪模式:由荷蘭 Delft 大學主導發展:臺灣海域(**中域**,小網格:1分) [a]。
- **MSE**近岸波浪模式: Mild-Slope Equation: 各港區(**小域**,細網格:10m~50m) [a]。

### WAM 波浪模式

✎WAM模式由歐洲波浪預報群研發，目前第三代波浪模式已廣泛地應用在**全球或區域性海洋氣象預報**。

✎WAM模式為**大尺度模式**[圖3.1]，可應用在深水及近海(深海)海域。

✎模式輸入：**風場、水深資料**及相關資料。

✎模式輸出：**示性波高、波向及頻率**。

## 圖3.1 WAN 西太平洋預報模式 (大尺度)

### 模式範圍

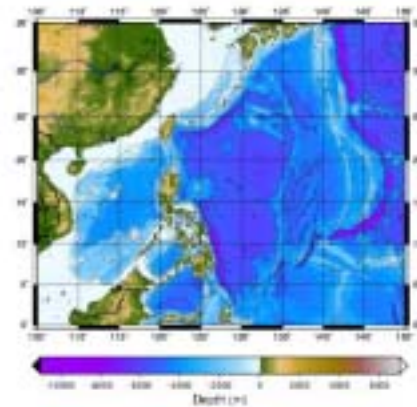
北緯 0度至 35度

東經105度至150度

網格解析度 20分

### 規劃目的

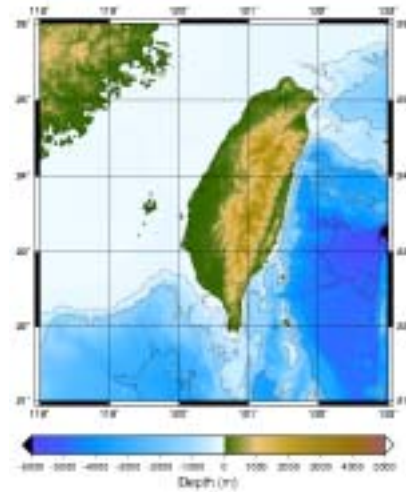
將颱風影響台灣可能的最遠距離給包含進來，以便讓近海預報系統的精確度更為完善，同時大尺度模式運算所產生的資料可以作為中尺度的邊界條件。



## SWAN 波浪模式

- 由荷蘭 Delft 大學發展之波浪模式SWAN (Simulating WAVes Nearshore)具第三代風浪模式特徵，在能量消長更具彈性。
- SWAN 模式考慮波浪之傳遞、淺化、波與波非線性交互作用、波浪成長、碎波，具有預報近海風浪功能。
- ✎ SWAN模式為中尺度模式[圖3.2]。

● 圖3.2 SWAN台灣海域預報模式  
(中尺度)



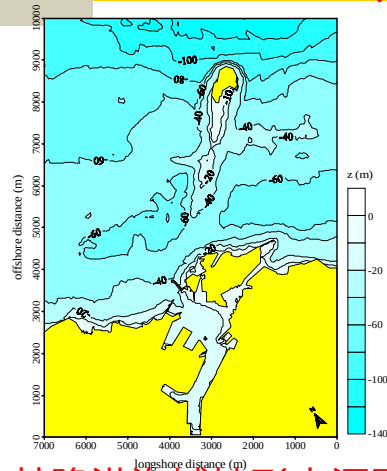
## MSE 近岸波浪模式

- 含波浪能量消散項之延伸型緩波方程式

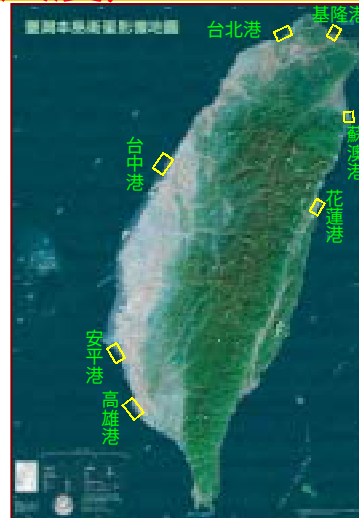
$$-\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} + \nabla \cdot (cc_g \nabla \Phi) + cc_g k^2 [(1 + if_d) - \omega^2] \Phi + [f_1(kh)g\nabla^2 h + f_2(kh)(\nabla h)^2 gk] \Phi = 0$$

- ✎ 包括波浪繞射、折射及反射等特性。
- ✎ MSE模式為小尺度模式[圖3.3a,b]。

## MSE 近岸波浪模式 (小尺度)



基隆港海域地形水深圖



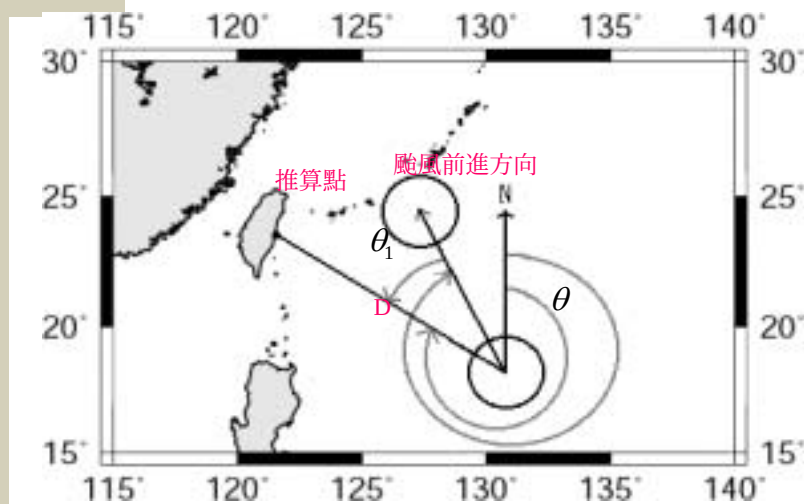
## 類神經網路波浪模式

### 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3.4]。

[B]

圖3.4 類神經網路預報模式



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) |



## 半經驗颱風波浪模式

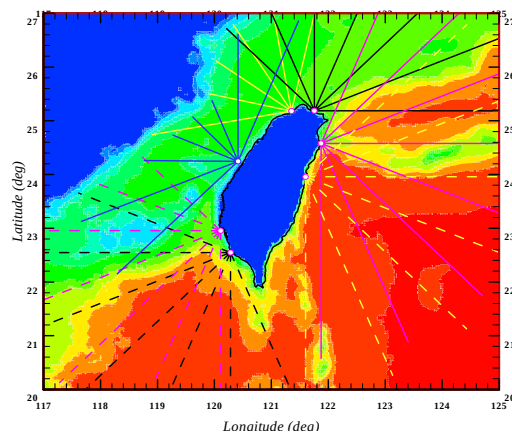
### ✂特性

- 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3.5]。

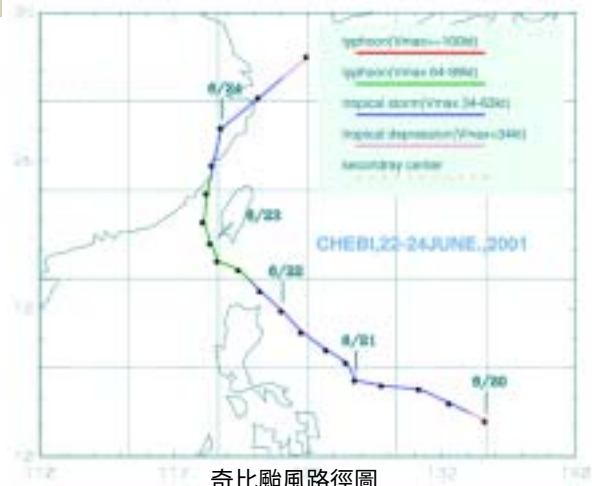
[B]

## 圖3.5 推算吹風距離線

- 各港口波浪推算吹風距離線(Fetch line)



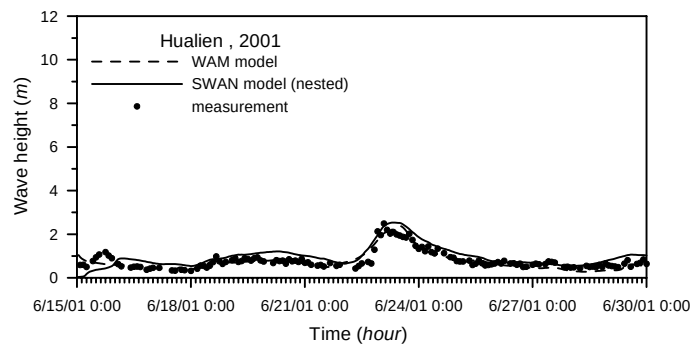
### 圖3.6a 模式驗證 – 奇比颱風



奇比颱風路徑圖

資料來源：中央氣象局網站

### 圖3.6b 風場模式驗證 – 奇比颱風



奇比颱風於花蓮海域之指示波高變化時序列圖

圖3.6c 波場模式驗證-奇比颱風  
(SWAN模式 WAM模式)

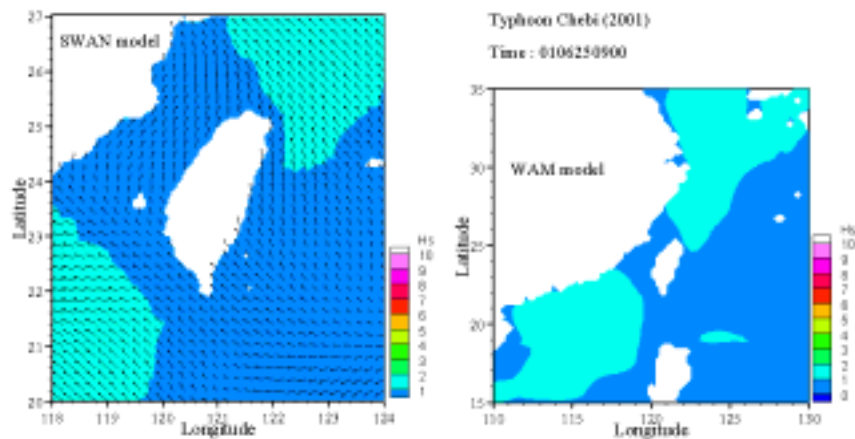
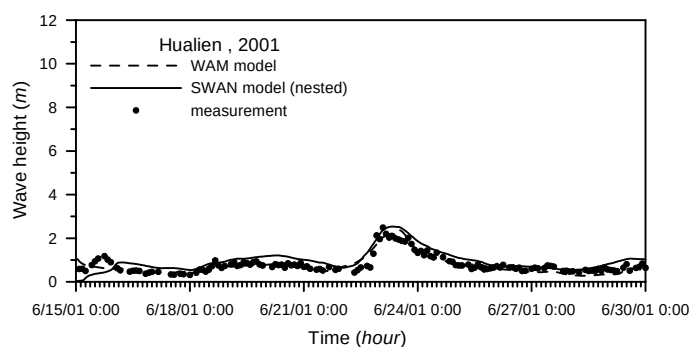
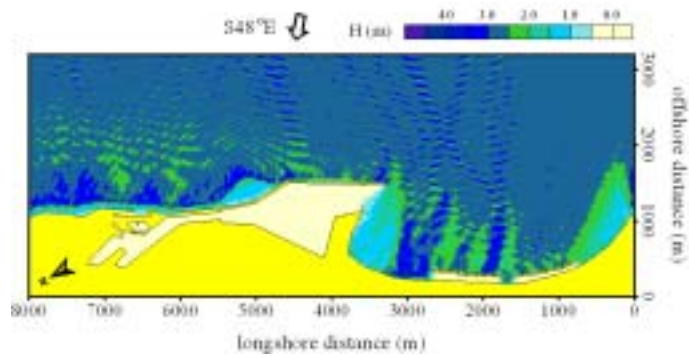


圖3.6d 波浪模式驗證 – 奇比颱風  
(SWAN模式)



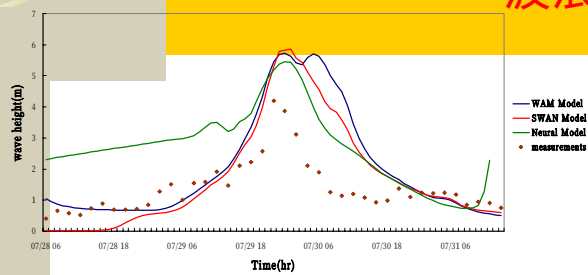
奇比颱風於花蓮海域之指示波高變化時序列圖

圖3.6e 奇比颱風作用下花蓮港附近海域近岸波場分佈圖

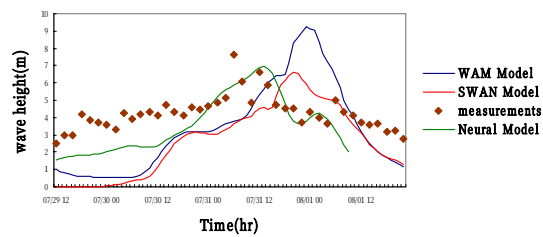


Typhoon Toraji(2001), Hualien

## 波浪預報模式比較



Typhoon Herb(1996), Hualien



## 各種波浪模式比較

- WAM,SWAN,MSE三種全域(大中小)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、半經驗模式自我修正學習能力相當好，且計算快速。
- 在近岸海象複雜的環境下，預測近岸波浪的模式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颱風預測及預警防災的功能。

## 4. 水位模式

- ✦ 全域天文潮模式：週期性水位變化
- ✦ 全域暴潮模式：颱風為主因。
- ✦ 全域水位模式：天文潮與暴潮整合。
- ✦ 模式驗證
- ✦ 各種模式比較

## 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[圖4.1]，中域範圍同SWAN模式區域 [圖4.2]。

### 圖4.1 大域模式地形範圍

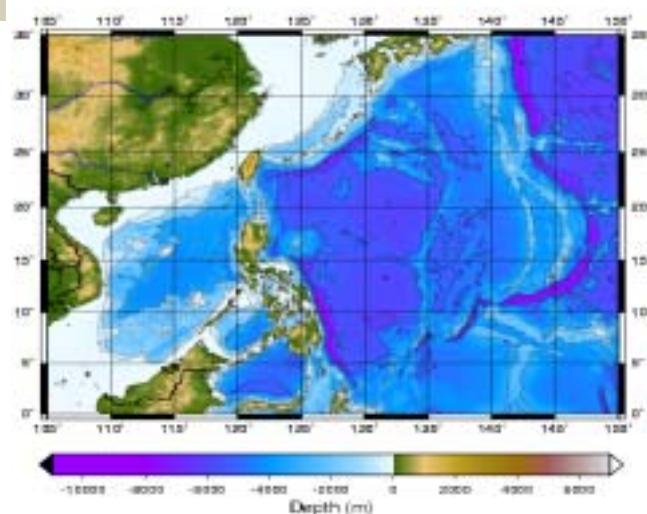
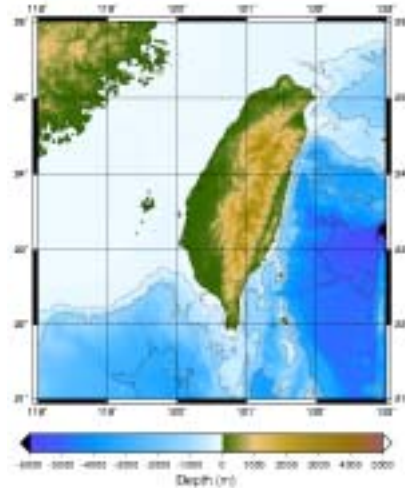


圖4.2 中域模式地形範圍



## 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，但重點於小區域。

## 全域水位模式

- ✿ 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)。
- ✿ 模式計算範圍同天文潮及暴潮模式。
- ✿ 得到結果即為實際水位變化。

## 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]



圖4.3a M2分潮振幅與遲角(大尺度)  
(天文潮模式)

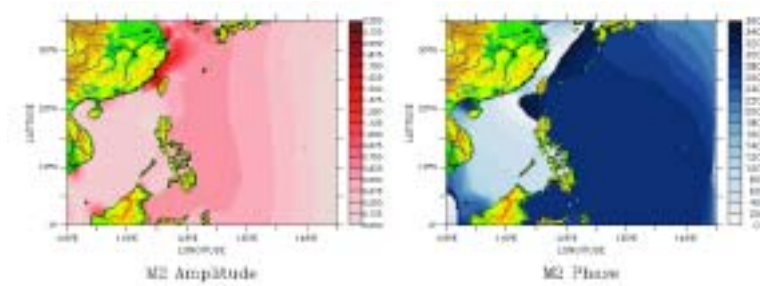


圖4.3b 各港口M2調和常數比較  
(實測與天文潮模式)

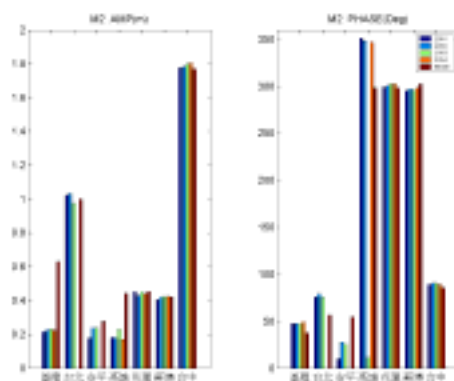


圖4.4a 蘭寧颱風蘇澳暴潮偏差比較  
(實測與全域暴潮模式)

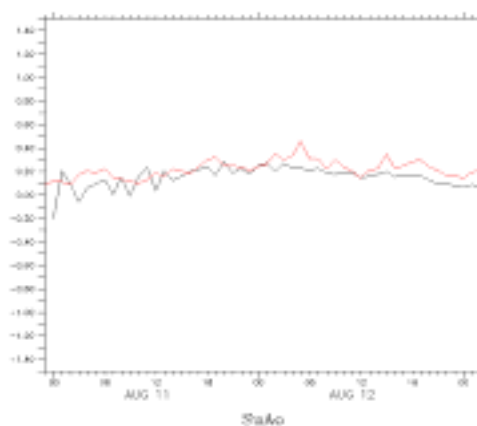


圖4.4b 蘭寧颱風蘇澳港水位比較  
(實測與全域水位模式)

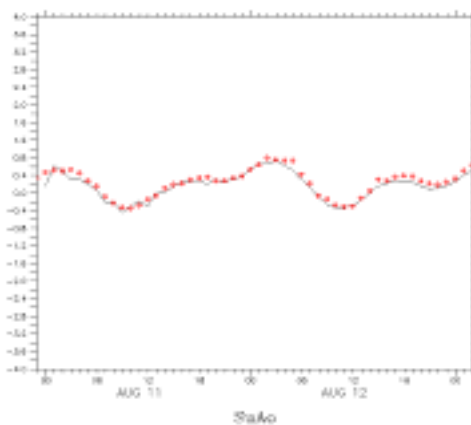


圖4.5a 敏督利颱風花蓮水位比較  
(實測與全域水位模式)

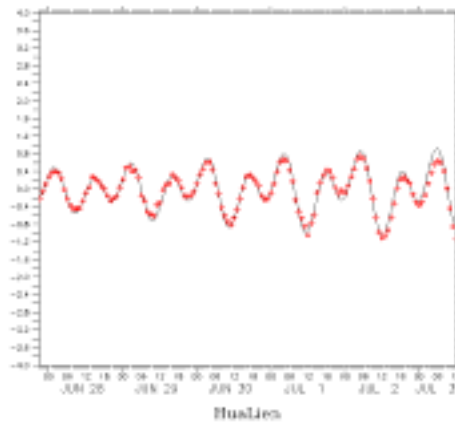
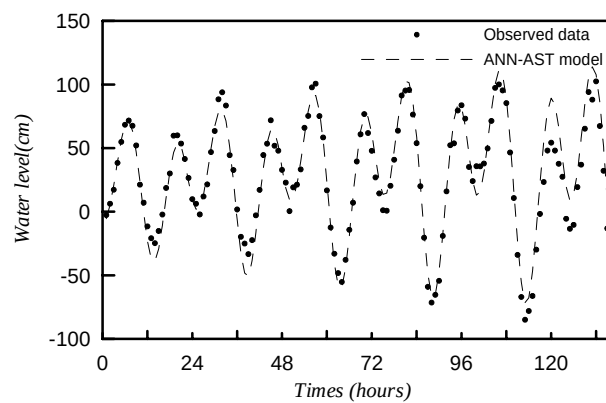


圖4.5b 敏督利颱風花蓮水位比較  
(實測與類神經模式)



## 水位預報模式比較

- 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。
- 在近岸海象複雜的環境下，預測近岸暴潮溢淹模式需要相當多量測資料及電腦資源配和，以達到區域颱風預測及預警防災的功能。

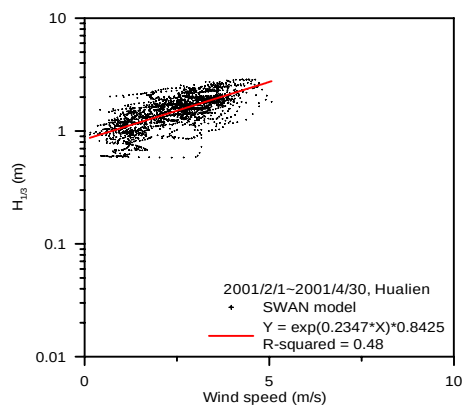
## 5. 環島波場

- ✎ 引用全域風浪模式，進行2001與2002兩年長期臺灣環島海域波場推算(重點：七商港或環島藍色公路海域)。
- ✎ 風場：NOAA風場+模型颱風資料。
- ✎ 建立相關模式。

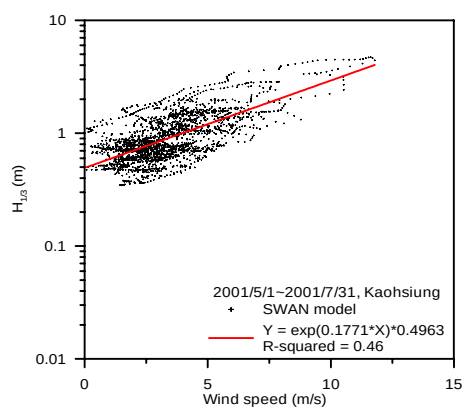
– 指數型態迴歸： $\hat{H}_{1/3} = A \exp(BU_{10})$

– 相關模式的可靠性：
$$R^2 = 1 - \frac{\sum (H_{1/3} - \hat{H}_{1/3})^2}{\sum (H_{1/3})^2 - \frac{(\sum H_{1/3})^2}{n}}$$

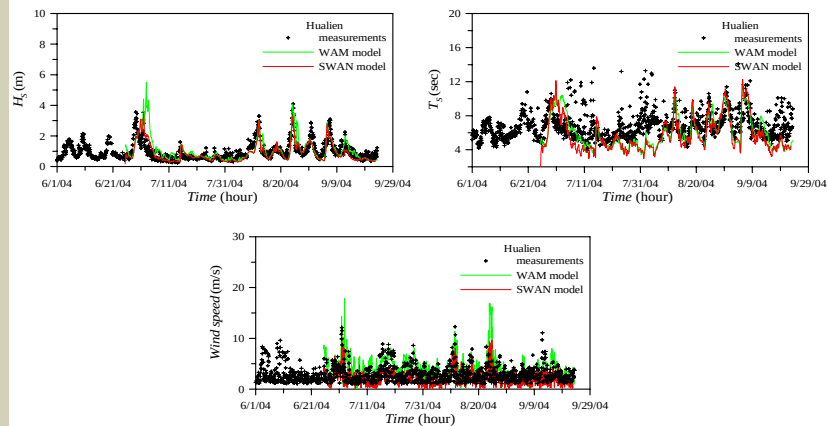
## ●花蓮港附近風速與波高關係圖 (冬季)



## ●高雄港附近風速與波高關係圖 (夏季)



## 2001年花蓮之風浪模式模擬結果



## 模式與實測資料之相關係數

| 項目<br>測站 | 近岸波浪模式(SWAN) |      |      |
|----------|--------------|------|------|
|          | 波高           | 週期   | 風速   |
| 七股       | 0.65         | 0.61 | 0.61 |
| 大鵬灣      | 0.85         | 0.67 | 0.57 |
| 金門       | 0.78         | 0.50 | 0.64 |
| 鵝鑾鼻      | 0.85         | 0.28 | 0.67 |
| 龜山島      | 0.86         | 0.64 | 0.86 |
| 花蓮       | 0.75         | 0.33 | 0.29 |
| 龍洞       | 0.88         | 0.66 | 0.64 |
| 蘇澳       | 0.88         | 0.71 | 0.63 |

## 6. 網路系統

### ✧ 臺灣海象預報模式 (TaiCOMS)

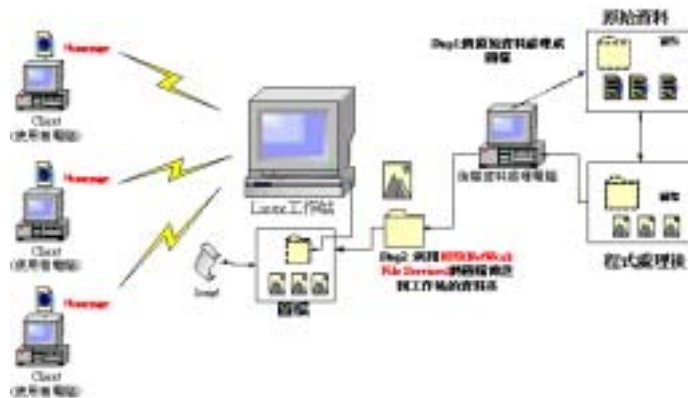
- 風壓模式。
- 波場模式。
- 水位模式。
- 流場模式。
- 擴散模式。

[B]

## 6. 網路系統 (續1)

- ✧ 規劃以網路為溝通媒介環境，讓各單位使用者能透過此系統輕鬆地掌握、瞭解所需的資料。
- ✧ 介面以港灣研究中心為主架構。資料利用分門別類方式將每個主題突顯出來，在針對每個主體內容做細部資料的呈現或查詢。

## TaiCOMS 操作系統架構概念圖



## 6. 網路系統(續2)

### 網站架構

- 初步架構，希望能提供最新的海象資料供專業使用者查看。
- TaiCOMS網站，往後開放給一般民眾，使用者可以一目了然的理解所要呈現的內容。



## 6. 網路系統(續3)

### ✿海情中心(港灣技術研究中心)

- 港研中心海象觀測站資料校核。
- 外來資料處理。
- 預報結果品管。
- 提供即時觀測資料及預報結果。

## TaiCOMS 系統

主網頁(<http://taicoms.iut.nsysu.edu.tw/index1.htm>)



## TaiCOMS 系統

### 🖥️ 颱風查詢



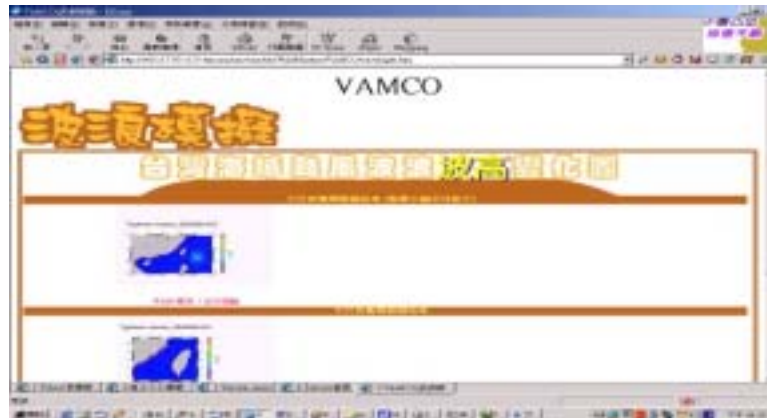
## TaiCOMS 系統

### 🖥️ 颱風查詢



## TaiCOMS 系統

### 🖥️ 颱風查詢



## 7. 結論與建議

- 台灣海象預警系統: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網站系統初步僅供專業使用者，考量往後開放給一般民眾。
- 風壓模式引用中央氣象局與NOAA海上風場模式。中央氣象局NFS預報風壓模式並即時提供三種不同尺度。

[B]

## 7. 結論與建議(續1)

- 波浪預報作業上，全域模式適用線上操作系統，但是其他二種單點模式卻可以提供快速的預警訊息。
- 全域波浪模式分三個不同尺度模式，以達到適用台灣海域或港區的網格系統。
- 引用全域風浪模式，進行2001與2002兩年長期臺灣環島海域波場推算(重點:七商港或環島藍色公路海域)。

## 7. 結論與建議(續2)

- 水位模式建立方面，天文潮經由調整邊界驅動結果大致良好(高雄與基隆差異值較大)，未來將藉由小範圍高解析度模式的建立來彌補。
- 暴潮模式，測站暴潮偏差值明顯偏小，未來模式解析度增加之後，可以得到更精確的暴潮偏差。

## 7. 結論與建議(續2)

- 未來整合環島水位供海岸溢淹之預警。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。
- 建立大域及區域性之流場及污染擴散模式,迅速提供緊急海難、油污擴散、港口航運安全所需之預警資訊。

簡報完畢  
敬請指正!