MOTC-CWB-95-O-07

中央氣象局多尺度暴潮模式預報作業改進及長期暴潮水位模擬分析研究（2/3）

著者：于嘉順 江朕榮 尤皓正

執行單位：國立中山大學

委託機關：交 通 部 中 央 氣 象 局

中華民國 95年 12 月 31 日

交通部中央氣象局委託研究計畫出版品摘要表

<table>
<tr><td colspan="3">出版品名稱：中央氣象局多尺度暴潮模式預報作業改進及長期暴潮水位模擬分析研究（2/3）</td></tr>
<tr><td>國際標準書號(或叢刊書)</td><td>政府出版品統一編號</td><td>計畫編號</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>MOTC-CWB-95-0-07</td></tr>
<tr><td rowspan="2">主管：徐月娟
聯絡電話：02-23491190
傳真號碼：02-23491199
e-mail：glory@cwb.gov.tw

承辦人：朱啟豪
聯絡電話：02-23491313
傳真號碼：02-23491199
e-mail：nba@cwb.gov.tw</td><td rowspan="2">研究單位：國立中山大學海洋環境及工程學系
計畫主持人：于嘉順
聯絡電話：07-5252000#5173
傳真號碼：07-5255173
e-mail：jasonyu@mail.nsysu.edu.tw
研究人員：江朕榮 尤皓正
通信地址：高雄市鼓山區蓮海路70號海工所
聯絡電話：07-5252000#5165</td><td>其他參與合作之研究團隊</td></tr>
<tr><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td>研究期間</td></tr>
<tr><td></td><td>95年2月6日至95年12月31日</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td>研究經費</td></tr>
<tr><td></td><td>柒拾貳萬</td></tr>
<tr><td colspan="3">關鍵詞： 颱風、風暴潮、巢式網格、平行計算</td></tr>
<tr><td colspan="3">摘要：

由於氣候變遷的影響，近年來颱風頻率與強度均有相當的變異，暴潮水位與發生頻率亦隨之改變，航運、海岸開發與遊憩安全的設計及管理參數亦相對的有所改變，因此歐美各國為因應全球氣候變遷的影響，一方面在氣象上進行過去預報資料的重分析，經由衛星遙測資料的校驗，提供完整的歷史氣象資料，如美國海洋大氣總署(NOAA)及歐洲中尺度氣象預報中心(ECMWF)均已完成過去四十年的氣象資料重分析，海象測報的相關單位亦積極利用此成果進行歷史暴潮水位的重新模擬與分析，一方面可以藉之改進預警的精確度，重分析之暴潮頻率更是各相關單位重新評估結構安全與開發行為不可或缺的資料。

因此氣象局與國立中山大學合作建立一套臺灣海域暴潮即時預報作業化模式，模式範圍擴大為涵蓋東經105度到150度，北緯 15度到42度，大部分侵台的颱風即可在形成初期納入預報，一方面增加提前預報的時效，另一方面亦可將滯留颱風對台灣沿海水位的影響納入預報。同時在模式改進完成後，利用氣象局過去颱風預報紀錄進行長期暴潮水位之重新模擬及分析，由於海象測報中心的環島水位紀錄亦相當完整，長期校驗及分析的結果將會非常精確與完整，是提供決策不可或缺的數據資料。

本計畫擬分三年進行：(第一年)持續改進去年建立之大範圍暴潮模式涵蓋15ºN ~ 42ºN及105ºE ~ 150ºE並將解析度增進至1/24度，並利用本局台灣沿海各潮位站之紀錄進行校驗，改進暴潮模式平行作業效率，(第二年)建立大範圍模式(1/20度解析度)與細格點模式(1/60度解析度)接合介面，將二種不同尺度與解析度的模式進行單向巢式接合，進行巢式接合模式平行化作業，提升暴潮預報的精度</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td colspan="4">與效率；同時利用氣象局歷年潮位、水溫、氣溫、颱風等紀錄進行長期資料分析分析，(第三年)長期暴潮水位模擬分析，作業化模式上線參與每日水位預報作業。</td></tr>
<tr><td>出版日期</td><td>頁數</td><td>定價</td><td>本 出 版 品 取 得 方 式</td></tr>
<tr><td>95年12月</td><td>47</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">機密等級：
☐限閱☐密☐機密☐極機密☐絕對機密
(解密【限】條件：☐　年　月　日解密，☐公布後解密，☐附件抽存後解密，☐工作完成或會議終了時解密，☐另行檢討後辦理解密)
☑普通</td></tr>
</table>

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS

CENTRAL WEATHER BUREAU

MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE：The improvement of a multi-domain operational storm surge forecast model, long-term simulation and analysis (2/3)

ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	PROJECT NUMBER
		MOTC-CWB-95-O-07

DIRECTOR GENERAL：Yueh-Jiuan G. Hsu
PHONE：02-23491190
FAX：02-23491199
E-MAIL：glory@cwb.gov.tw

SPONSOR STAFF：Chi-Hao, Chu
PHONE：02-23491313
FAX：02-23491199
E-MAIL：nba@cwb.gov.tw

RESEARCH AGENCY：Dept. of Marine Environment and Engineering, National Sun Yat-Sen University
PRINCIPAL INVESTIGATOR：Jason C.S. Yu
PHONE：886-7-5252000#5173
FAX：886-7-5255173
E-MAIL：jasonyu@mail.nsysu.edu.tw
PROJECT STAFF：Chen-Jung Chiang, Hau-Cheng Yu
ADDRESS：70 Lien-hai Rd. Kaohsiung 804, Taiwan ROC
PHONE：886-7-5252000#5165

PROJECT PERIOD	2005.2.6~2005.12.31	PROJECT BUDGET	720,000

KEY WORDS：strom surge, hydrodynamics model, parallel processing

ABSTRACT：

As a result of the climate change, the frequency and intensity of typhoons are changing in recent years. Storm surge levels associated with typhoons are evolving too. The design criteria for navigation and coastal developments require reanalysis. Parameters for setting security criteria for recreation and coastal management require update too. In responding to the impact of global climate change, countries of Europe and US are busy doing longterm weather reanalysis using satellite data the historical meteorological data. For example, NOAA and ECMWF have completed reanalysis of past 40 years meteorological data. With this achievement, longterm simulation and reanalysis of history storm surge can be done. This can improve the precision of early warning, and reset of the design frequencies for the coastal structures and secure lives and properties from surge attacks.

CWB is collaborating with NSYSU for the development of an operational storm surge model for the seas around Taiwan. The model domain covers an area from 105E to 150E in longitude direction and from 15N to 42N in the latitude. The domain can include most of the typhoon paths since their origion. This can bring the forecasts of surge earlier and also included the surge impacts to the coastal sites even the typhoons are not landed. A longterm simulation will be carry out after the model developments using the typhoon records stored in the CWB.

This project has been planed for carried out over three years: (First year) Improving the model to coveran area from 15 º N ~ 42 º N and 105 º E ~ 150 º E. Refining the model to the resolution of 1/24 degree. Carry on with the calibration and the verification processes using CWB tide records, and improving parallel efficiency of the model. (Second year) Established the interface to connect the large domain model (1/20 degree resolution) with the fine grid model (1/60 degree resolution). Analysis of the longterm tidal records. (Third year) Long-term simulation and analysis of historical storms, and the analysis for the surges. Optimize the model to run in an daily operational mode.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
Dec.2005	47		☐SECRET ☐CONFIDENTIAL ☑UNCLASSIFIED

「中央氣象局多尺度暴潮模式預報作業改進及長期暴潮水位模擬分析研究（2/3）」期末報告

目錄

目錄……i

圖目錄……ii

表目錄……iii

第一章 計畫摘要……1

1.1 計畫背景與目的……1

1.2 工作項目……2

1.3 預期成果……2

第二章 工作內容……3

2.1 多尺度暴潮模式……4

2.2 模式結果……6

2.3 巢式網格系統……32

第三章 長期海象分析……37

第四章 結論……45

參考文獻……46

圖目錄

圖 2.2-1 氣象局測站分佈……..…..8
圖 2.2-2 海棠颱風路徑圖（中央氣象局）……9
圖 2.2-3 海棠颱風蘇澳測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖……..…..9
圖 2.2-4 海棠颱風石梯測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖……..…...…10
圖 2.2-5 海棠颱風成功測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖……...……11
圖 2.2-6 海棠颱風大武測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖……...……12
圖 2.2-7 海棠颱風新竹測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖……...…13
圖 2.2-8 海棠颱風箔仔寮測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖……14
圖 2.2-9 海棠颱風東石測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差下比對圖..15
圖 2.2-10 海棠颱風將軍測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖……..……16
圖 2.2-11 泰利颱風路徑圖（中央氣象局）……17
圖 2.2-12 泰利颱風蘇澳測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖……...…..…17
圖 2.2-13 泰利颱風石梯測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖……..…...…18
圖 2.2-14 泰利颱風成功測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖……...……19
圖 2.2-15 泰利颱風大武測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖……..…..……20
圖 2.2-16 泰利颱風新竹測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖……...…21
圖 2.2-17 泰利颱風箔仔寮測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖……22
圖 2.2-18 泰利颱風東石測站模式水位與實測水位(上)及暴潮偏差下比對圖..23
圖 2.2-19 泰利颱風將軍測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖……..……24
圖 2.2-20 龍王颱風路徑圖（中央氣象局）……25
圖 2.2-21 龍王颱風蘇澳測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖……...……..…25
圖 2.2-22 龍王颱風石梯測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖……..…...…26
圖 2.2-23 龍王颱風成功測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖……...……27
圖 2.2-24 龍王颱風大武測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖……...……28

圖 2.2-25 龍王颱風新竹測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖……...….29
圖 2.2-26 龍王颱風箔仔寮測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖……....30
圖 2.2-27 龍王颱風東石測站模式水位與實測水位(上)及暴潮偏差下比對圖..31
圖 2.2-28 龍王颱風將軍測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖……..…….32
圖 2.3-1 單向單層固定接合邊界示意圖…….33
圖 2.3-2 西太平洋模式地形範圍……..…34
圖 2.3-3 台灣海域模式範圍…….34
圖 2.3-4 油車口測站模式水位與實測水位比對圖……35
圖 2.3-5 新竹測站模式水位與實測水位比對圖……..…35
圖 2.3-6 外埔測站模式水位與實測水位比對圖……..…35
圖 2.3-7 箔子寮測站模式水位與實測水位比對圖……36
圖 2.3-8 東石測站模式水位與實測水位比對圖……..…36
圖 2.3-9 將軍測站模式水位與實測水位比對圖……..…36
圖 3-1 各測站分潮 K1 及 O1 振幅年變化圖……38
圖 3-1（續）各測站分潮 K1 及 O1 振幅年變化圖……39
圖 3-2 各測站分潮 M2 及 S2 振幅年變化圖……40
圖 3-2（續）各測站分潮 M2 及 S2 振幅年變化圖……41

表目錄

表 2.1-1 暴潮模式使用之變數及參數……..…6
表 2.2-1 各測站於三個颱風期間模式水位跟實測水位相關係數……..……8
表 3-1 各測站水位大於 10 年天文潮最大水位統計表……..…42
表 3-1（續） 各測站水位大於 10 年天文潮最大水位統計表……..…43
表 3-1（續）各測站水位大於 10 年天文潮最大水位統計表……44

第一章 計畫摘要

1.1 計畫背景與目的

自 1985 年發現大氣層的南極黑洞現象，世界各地的氣象及海洋學者積極研究全球氣候變遷的問題，在海洋影響方面暴潮的預報與長期模擬分析更是廣泛的被討論著。由於氣候變遷的影響，颱風的發生頻率與強度均有相當的改變，風暴潮的影響更是直接關係到沿海地區居民的生命財產安全，古城威尼斯在地層下陷的問題逐漸控制住後，暴潮溢淹的問題就一直是一個世界注目的範例。歐美先進國家亦紛紛改進風暴潮的預報作業並積極的配合長期氣象資料進行長期的暴潮水位模擬與分析，提供沿海地區開發建設的設計參數，改進預報作業的時效與精度，提供航運與遊憩活動即時的預警，本研究為因應此一世界性的發展趨勢，改進並研發多尺度暴潮預報作業模式並利用歷年颱風資料進行長期暴潮水位模擬及分析。

氣象局海象測報中心之前開發使用的暴潮模式預報範圍為西至東經 116.375 度，東至東經 122.75 度；南由北緯 21.375 度，北達北緯 26.75 度，模式解析度為八分之一度，預報時數為未來 36 小時。肇於此暴潮模式的模擬範圍對於颱風造成的影響範圍來說略有不足，所以必需要將模擬的範圍擴大，以便將颱風自形成開始的影響完整的包含在內，近一步將暴潮預報及預警作業化，提供各海岸相關管理單位即時預警。

由於氣候變遷的影響，近年來颱風頻率與強度均有相當的變異，暴潮水位與發生頻率亦隨之改變，航運、海岸開發與遊憩安全的設計及管理參數亦相對的有所改變，因此歐美各國為因應全球氣候變遷的影響，一方面在氣象上進行過去預報資料的重分析，經由衛星遙測資料的校驗，提供完整的歷史氣象資料，如美國海洋大氣總署(NOAA)及歐洲中期天氣預報中心(ECMWF)均已完成過去四十年的氣象資料重分析，海象測報的相關單位亦積極利用此成果進行歷史暴潮水位的重新模擬與分析，一方面可以藉之改進預警的精確度，重分析之暴潮頻率更是各相關單位重新評估海岸結構安全與開發行為重要的參考資料。

因此本計畫之主要目標為建立一套臺灣海域暴潮即時預報作業化模式，模式範圍擴大為涵蓋東經 105 度到 150 度，北緯 15 度到 42 度，大部分侵台的颱風即可在形成初期納入預報，一方面增加提前預報的時效，另一方面亦可將滯留颱風對台灣沿海水位的影響納入預報。同時在模式改進完成後，利用氣象局過去颱風預報紀錄進行長期暴潮水位之重新模擬及分析，由於海象測報中心的環島水位紀錄亦相當完整，長期校驗及分析的結果將是提供決策不可或缺的數據資料。

1.2 工作項目

本計畫擬分三年進行：第一年改進大範圍暴潮模式為涵蓋 15ºN ~ 42ºN 及 105ºE ~ 150ºE 的西太平洋模式與將解析度增進至 1/24 度測試解析度之敏感度，同時利用氣象局台灣沿海各潮位站之紀錄進行校驗，並改進暴潮模式平行作業效率；第二年建立大範圍模式(1/20 度解析度)與細格點模式(1/60 度解析度)接合介面，將二種不同尺度與解析度的模式進行單向巢式接合，包含巢式接合模式平行化作業，提升暴潮預報的精度與效率，同時將氣象局歷年潮位、水溫、氣溫、颱風等紀錄之長期分析；第三年進行長期暴潮水位模擬分析，將模式作業化上線參與每日水位預報作業。分年的工作目標為：

第一年（94 年）：

（1）建立並校驗涵蓋 15ºN ~ 42ºN 及 105ºE ~ 150ºE，精度為 1/24 度之大範圍暴潮數值模式，

（2）改進模式之平行效率，符合目前平行處理標準。

第二年（95 年）：

（1）建立並校驗大範圍暴潮數值模式(1/20 度)與細網格模式(1/60 度)單向巢狀接合及其相關之平行處理作業。

（2）海象資料長期分析。

第三年（96 年）：

（1）利用巢式模式進行長期暴潮模擬及水位分析。

（2）比較數值模式與台灣沿海實測資料並改進模式之整體表現。

（3）完成多尺度暴潮數值模式之作業化裝置。

1.3 預期成果

1、多尺度暴潮模式將有能力提供高解析度且較準確的海域水位即時資訊予各級政府或民間單位，以規劃各種相關的國防、建設、觀光、救援與污染防治等政策。

2、長期水位資料分析及長期暴潮水位模擬分析將可提供海洋開發、航運安全、海岸保全及遊憩活動之設計及管理決策之依據。

3、暴潮水位在未來可以和波浪數值模式結合做更具有整體性的沿岸水位預報。

第二章 工作內容

風暴潮的預報方法一般來說有兩種方式，一種是傳統的經驗方法，另外一種則是數值方法。傳統的經驗方法是利用歷年颱風期間所觀察到的海水水位，配合當時的氣象條件來推導數學的近似公式，或是利用數個鄰近潮位站的資料，分析推演出其各站間的相關性，如此只要其中一潮位站觀測到異常的水位抬升現象，其他的潮位站即可以此相關性來推測暴潮的水位。不過，這些方式並無法適用和涵蓋於所有情況，尤其是台灣海域冬季受到東北季風的影響，夏季則是西南季風主導，每年的五月至十月颱風的侵襲更是無法固定其路徑，因此，當預報的氣壓及風速資料的使用被限制住時，其實用度就大大降低了；另一方面若預測點沒有潮位站，則此經驗模式就無法預報此處的海水水位變化，就非常的缺乏預報的空間完整性。

數值方法則是以整合的水動力微分方程式來描述風暴潮的產生及發展的動力現象，利用電腦高速計算的能力，利用氣象預報的資訊，即時完成風暴潮的預報。使用數值預報模式的優點就是可以得到整個區域的海水位的變化特性，可以有較全面性的預報資料。但是，數值方法也有其限制因素，主要是因為數值方法需要連續的邊界條件，但是若觀測資料往往無法充分滿足時，僅能以內差的方式來求得所需要的邊界條件，如此便會和實際情況產生些許誤差。近年來的發展則是由大範圍模式提供邊界資料。另外，數值模式參數的調整，需要充足的氣象資料與實測資料進行校驗比對，如推估海表面的風剪力需計算驅動海流的風驅係數及利用海流計算海底底床剪力的摩擦係數都需要長期的校驗。不過近年來由於數值方法得助於電腦運算能力的大量提升，加速模擬複雜的動態大氣壓力以及風場分佈的情況，亦提升預報模擬的準確度。

風暴潮預報模式的精確度是建立在品質良好的氣象資料，尤其是風場與氣壓場的預報，所以風暴潮預報模式的建立與改善首要的工作即是盡可能的由氣象資料得到誤差最小且最精確的風速資料。另外，就是模式的解析度受限於計算速度而無法提升。

由於颱風暴風半徑的影響範圍很大，再加上颱風並非固定於同一地點發生，因此影響的區域範圍就更大，台灣海域的颱風大多在西太平洋與南海形成，為了包含大部分的颱風路徑，模式的模擬區域必須要擴大，以便涵蓋整個颱風的影響，同時減少颱風風場對模式邊界的影響。

自 1980 年代電腦科技的快速興起，利用數值模式來計算風暴潮期間即時水位變化的程式逐漸開始出現，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，所以傳統計算方式皆是將天文潮與氣象潮分開計算，不但控制方程式較為簡化，忽略非線性項的影響，而且氣象潮的計算多僅以風場的影響為主，大氣壓力的影響經常是被忽略的。天文潮的預報模式大多將實測水位記錄以調和分析將調和常數重組潮汐的變化；風暴潮的預報模式大多僅輸入氣象條件（氣壓場與風場），並不包含天文潮的影響，僅計算風場及大氣壓力產生

的水位變化，以計算暴潮偏差為主。暴潮水位預報則是將天文潮模式與風暴潮模式算出之水位線性疊加，如此算出的暴潮水位變化並沒有考慮到風暴潮與天文潮之間相互的動力影響，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。

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風暴潮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，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。由於台灣海域潮差變化可達五、六公尺，因此暴潮模式與天文潮模式的結合有相當的必要性。

本計畫為三年期計畫，將於第一年建立擴展範圍及增加精度的大尺度暴潮模式，同時改善平行效率；第二年則建立巢式網格系統並分析長期海象資料；第三年則進行長期水位模擬及分析，並將模式作業化及建立預報展示系統，以供相關單位及研究人員參考。以下即為各年度工作項目說明。

2.1 暴潮模式原理

本計畫採用 Yu（1993）所發展的潮流模式改進台灣海域暴潮水位計算的預報模式（Yu et al, 1994），謹就模式的理論與方法略述於後。

由於三維水動力模式需要的計算時間相當的長，以目前單一計算處理器（CPU）的運算速度來說，要當做即時預報模式仍有執行效率的問題，但由於暴潮水位為海水表面重力波傳遞的現象，水層間的垂直循環並不會影響水位的計算，為求預報時效，所以世界各國的暴潮預報模式還是以建置二維的水動力模式為主；由於垂直循環流速原本就比水平流速小很多，因此可以忽略不計，將水層間的流速積分後除以水深則可定義水深平均流速計算如下：

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

其中 h 為水深，ζ 為水位變化。

所以整個方程式可以改寫如下

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

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

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\bar{u}(h+\zeta)\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\bar{v}(h+\zeta)\right) = 0$$

底層摩擦產生之剪力可寫為

$$\tau_{bx} = \rho k \bar{u}\sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2} \text{ ，} \tau_{bx} = \rho k \bar{v}\sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}$$

其中 k 為底床摩擦係數。

風於表層產生之剪力可寫為

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

在實際計算時，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：

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

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

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

以上三式便是二維暴潮水位預報模式的基本控制方程式，表 2-1 為模式所示用的變數及參數。

模式應用的數值方法為定格點有限差分法，時間的差分項則是使用改良式方向交錯隱式法 ADI（Alternating Direction Implicit）（Yu, 1993）。一般模式使用的數值方法分為顯式法及隱式法，顯式法的優點為較節省記憶體空間，同時在高速計算的應用上也較隱式法簡單，缺點為在時間步長部分必須配合模擬範圍的水深做修正，以便符合其穩定條件；隱式法的優點為穩定度較顯式法為高，時間格點大小不受模式區域內的水深所影響，缺點為需要耗費較大量的記憶體，同時在應用上不若顯式法來的容易。由於這二種數值方法各有利弊，Dronker(1969)曾提出一個變通的方法，稱之為「方向交錯式隱式法」(Alternating Direction Implicit scheme)，此法綜合顯式法的方便性但仍然保持隱式法的穩定特性，由於計算的過程分為二個部分亦可稱之為二段式時間積分法，或是半隱式法。

ADI scheme 的衍生方法有許多，基本的計算方式為將一個時間網格分為兩部分，在第一部分計算時，東西向的動量與連續方程式使用隱式法計算，南北向的動量方程式則使用顯式法計算；第二部分則轉換為南北向的動量與連續方程式使用隱式法計算，東西向的動量方程式則使用顯式法計算，如此便可融合顯式法及隱式法的優點，除可增加計算速度也可節省記憶體，同時又保存隱式法對穩定度不受影響的優點，尤其是在台灣海域，水深變化很大，特別需要穩定度要求的數值方法。

Yu(1993)將 ADI 的計算方法由三個控制方程式改良為僅使用一個控制方程式，如此不但大量減少隱式計算矩陣所使用的記憶體數量，亦可加速整體計算的效率(Yu et al, 1992)。

表 2.1-1 暴潮模式使用之變數及參數

ν_t	垂直渦流（eddy）黏滯係數
ρ	水體密度（kg/m^3）
F	科氏力
G	重力加速度（m/s^2）
u、v、w	x、y 及 z 方向流速（m/s）
H	水深（m）
ζ	水位變化（m）
T	時間
p_a	大氣壓力（N/m^2）
τ_{bx},τ_{by}	底床摩擦產生之剪力
τ_{sx},τ_{sy}	風於表層產生之剪力
α_x,α_y	水平擴散係數
C_D	風驅係數
ρ_a	空氣密度（kg/m^3）
W_x，W_y	x 及 y 方向風速（m/s）

2.2 模式結果

本年度使用 2005 年 6 至 10 月的氣象局 RC 分析風場，每六小時一筆資料，進行連續的模擬，期間經過三個強烈颱風海棠（200505）、泰利（200513）及龍王（200519），將此三段時間擷取出來瞭解模式對三個強烈颱風的模擬情形。

首先第一個侵襲的颱風為海棠颱風，颱風編號為 200505，警報發佈時間為 2005 年 7 月 16 日至 20 日。海棠颱風於 7 月 12 日在關島北北西方生成，一路往西方推進，其後強度慢慢變強，於 7 月 16 日之後成為強烈颱風，近中心最大風速可達 55 公尺/秒，然後直撲台灣而來，較特別的是海棠颱風在 7 月 18 日在台灣花蓮外海逆時鐘打轉一圈之後，才於當日下午 2 點 50 分左右從宜蘭東澳附近登陸，之後在 22 點左右從苗栗後龍附近出海，進入台灣海峽後繼續向西北移動，圖 2.2-2 即為海棠颱風路徑圖，此活動路徑為氣象局分類之 1 號路徑。

第二個侵台的強度颱風為泰利颱風，颱風編號為 200513，警報發佈時間為 2005 年 8 月 30 日至 9 月 1 日。泰利颱風於 8 月 27 日在關島西方海面生成後，一路往西北方向前進，至 28 日後轉向西北西，朝台灣而來，並於海面上持續增強，於 8 月 30 日成為強烈颱風，近中心最大風速可達 53 公尺/秒。泰利颱風在 9 月 1 日靠近花蓮近海時，其低層環流中心呈現滯留打轉並且消失減弱，且隨即由台中西方近海形成之副低壓中心取代，並持續向西北方向移動，主要登陸地點為

花蓮宜蘭之間，圖 2.2-11 為泰利颱風路徑圖，此路徑為氣象局分類之 2 號路徑。

第三個侵台強烈颱風為龍王颱風，颱風編號為 200519，警報發佈時間為 2005 年 9 月 30 日至 10 月 3 日。龍王颱風於 9 月 26 日在關島北方生成，向西北行進一段時間後即轉向偏西移動朝台灣而來，其強度在 9 月 29 日成為強烈颱風，進中心最大風速可達 51 公尺/秒。龍王颱風在 10 月 2 日清晨 5 點由花蓮豐濱附近登入，並且很快的在早上 10 點從濁水溪口出海進入台灣海峽，繼續往大陸移動，圖 2.2-20 為龍王颱風路徑圖，此活動路徑為氣象局分類之 2 號路徑，與泰利颱風相同。

上述三個颱風由於路徑相近，經過的測站有東部測站蘇澳、石梯、成功及大武，西部測站則有新竹、箔仔寮、東石及將軍。圖 2.2-3 至圖 2.2-10 為海棠颱風路徑附近測站的模式水位、暴潮偏差及實測水位、暴潮偏差比對時序圖，圖 2.2-12 至圖 2.2-19 為海棠颱風路徑附近測站的模式水位、暴潮偏差及實測水位、暴潮偏差比對時序圖，圖 2.2-21 至圖 2.2-28 為龍王颱風路徑附近測站的模式水位、暴潮偏差及實測水位、暴潮偏差比對時序圖，暴潮偏差為扣除模式天文潮水位得到。水位比對圖上細線為模式天文潮水位，粗線為含暴潮模式水位，點則為實測水位；暴潮偏差比對圖上，粗線為模式暴潮偏差，x 線則為實測暴潮偏差。

三個颱風的模擬結果也相當類似，由水位時序圖，東部測站首接近颱風中心，可發現同一時間離颱風中心較近的測站，極值水位模擬愈低估，而西部測站同樣也產生這種狀況，此為使用 RC 分析風場，解析度較大無法解析颱風中心，且六小時一筆資料，對於颱風的動態變化也比較無法精確描述。

暴潮偏差的圖形也有類似的狀況，遠離颱風中心的暴潮偏差差異較小，透過暴潮偏差的圖形，可發現西部台灣海峽測站，其暴潮偏差仍然有潮汐的訊號，此部分應為模式水位與實測水位仍有些許的相位差導致。

表 2.2-1 為三個颱風期間所有測站的模式水位與實測水位的相關係數，大部分的測站相關係數都介於 0.8~0.97，只有龍洞測站低於 0.8，以及泰利颱風時段的成功測站 0.6 左右。

表 2.2-1 各測站於三個颱風期間模式水位跟實測水位相關係數

西部測站	相關係數			東部測站			
	海棠	泰利	龍王		海棠	泰利	龍王
麟山鼻	0.8793	0.9069	0.8882	龍洞	0.7541	0.7555	0.6881
油車口	0.9453	0.9541	0.957	梗枋	0.9354	0.9206	0.8025
新竹	0.925	0.9448	0.9569	蘇澳	0.9422	0.9104	0.9382
外埔	x	0.9482	0.9586	花蓮	x	x	x
箔子寮	0.9306	0.9258	0.9537	石梯	0.8026	0.8299	0.9519
東石	0.9328	0.8457	0.9364	成功	0.8421	0.5653	0.9601
將軍	0.9259	0.9462	0.9434	大武	0.8151	0.9334	0.9602
安平	x	x	x	蘭嶼	0.9786	0.9318	0.9759
永安	0.943	x	0.9324				
高雄	0.9444	0.8952	0.9171				
東港	0.8861	0.874	0.8726				
蟳廣嘴	0.8167	0.9423	0.9494				
後壁湖	0.9168	0.9599	0.9658				
小琉球	0.9273	0.8824	0.8985				
料羅灣	0.8654	0.9029	0.8823				

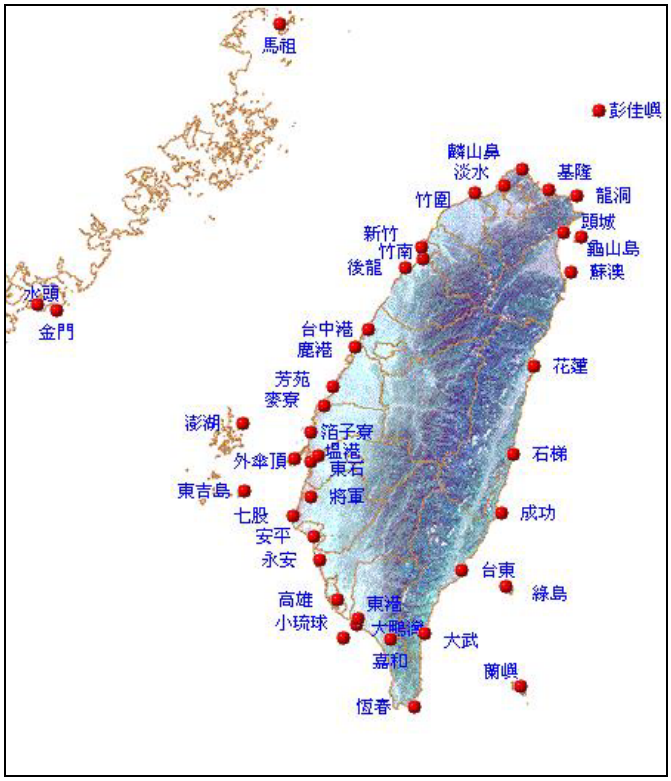


圖 2.2-1 氣象局測站分佈

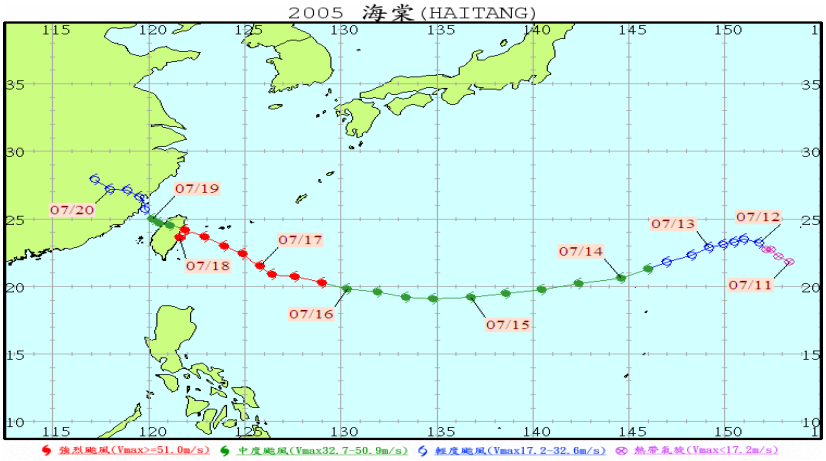
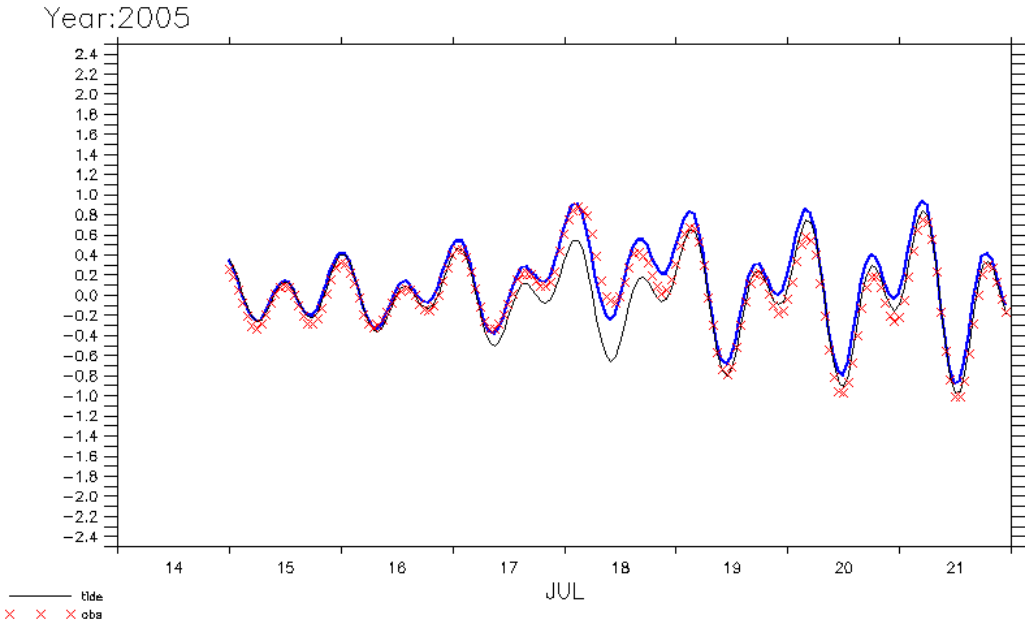
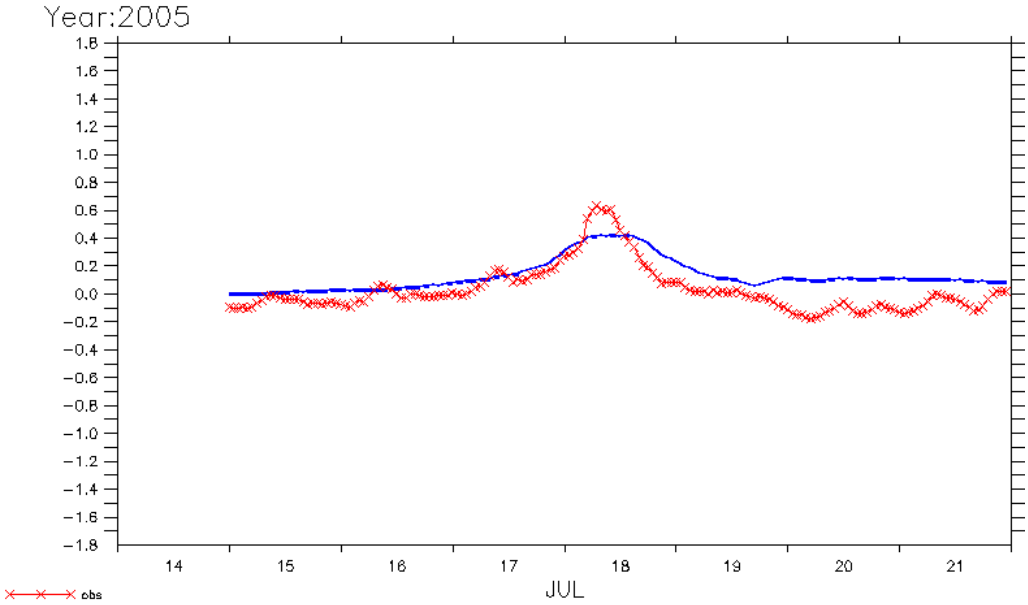


圖 2.2-2 海棠颱風路徑圖（中央氣象局）

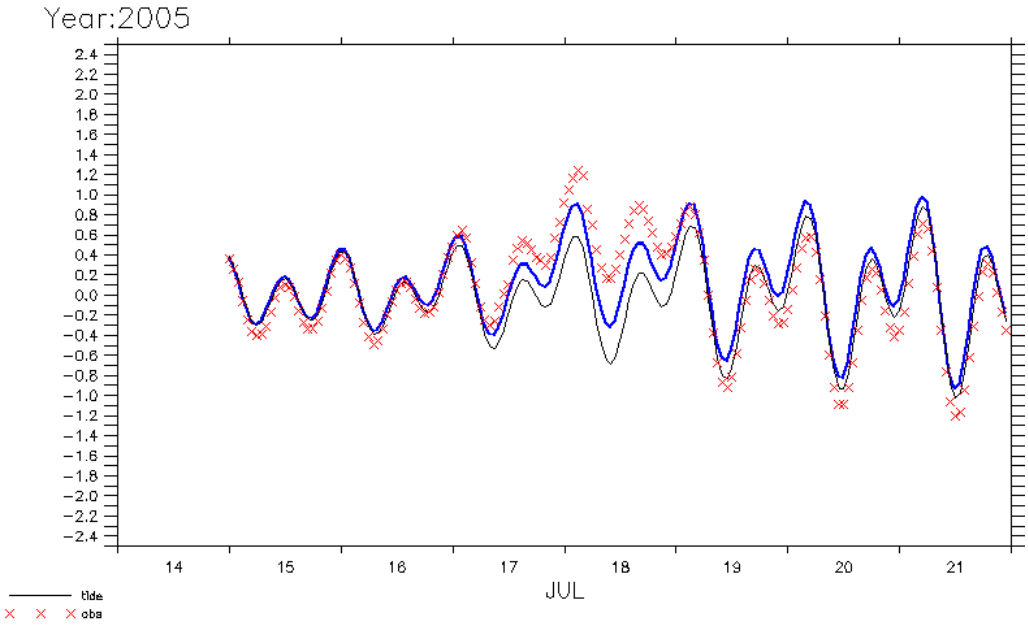


elevation

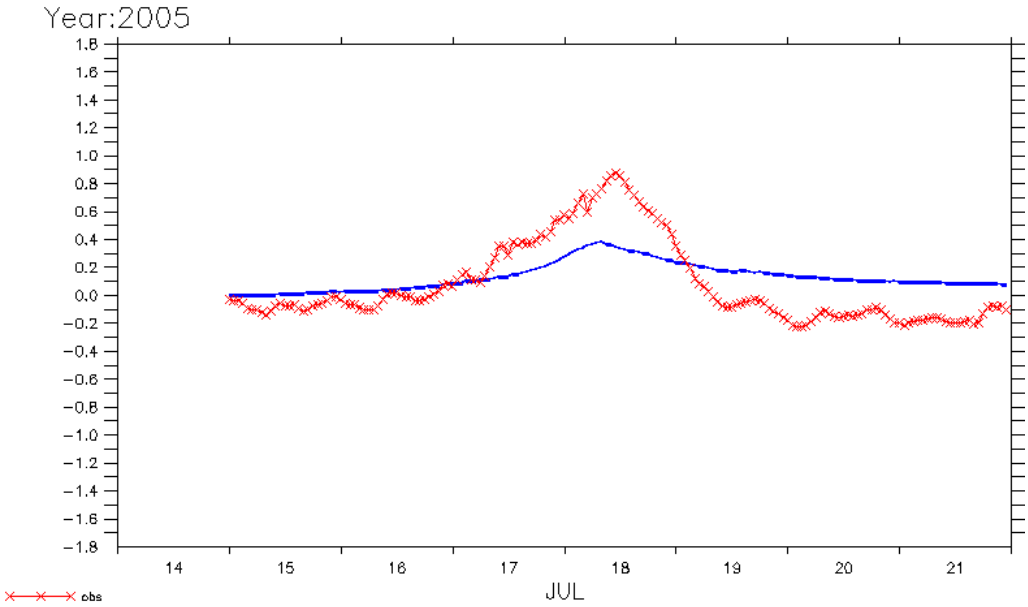


surge

圖 2.2-3 海棠颱風蘇澳測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖



elevation



surge

圖 2.2-4 海棠颱風石梯測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖

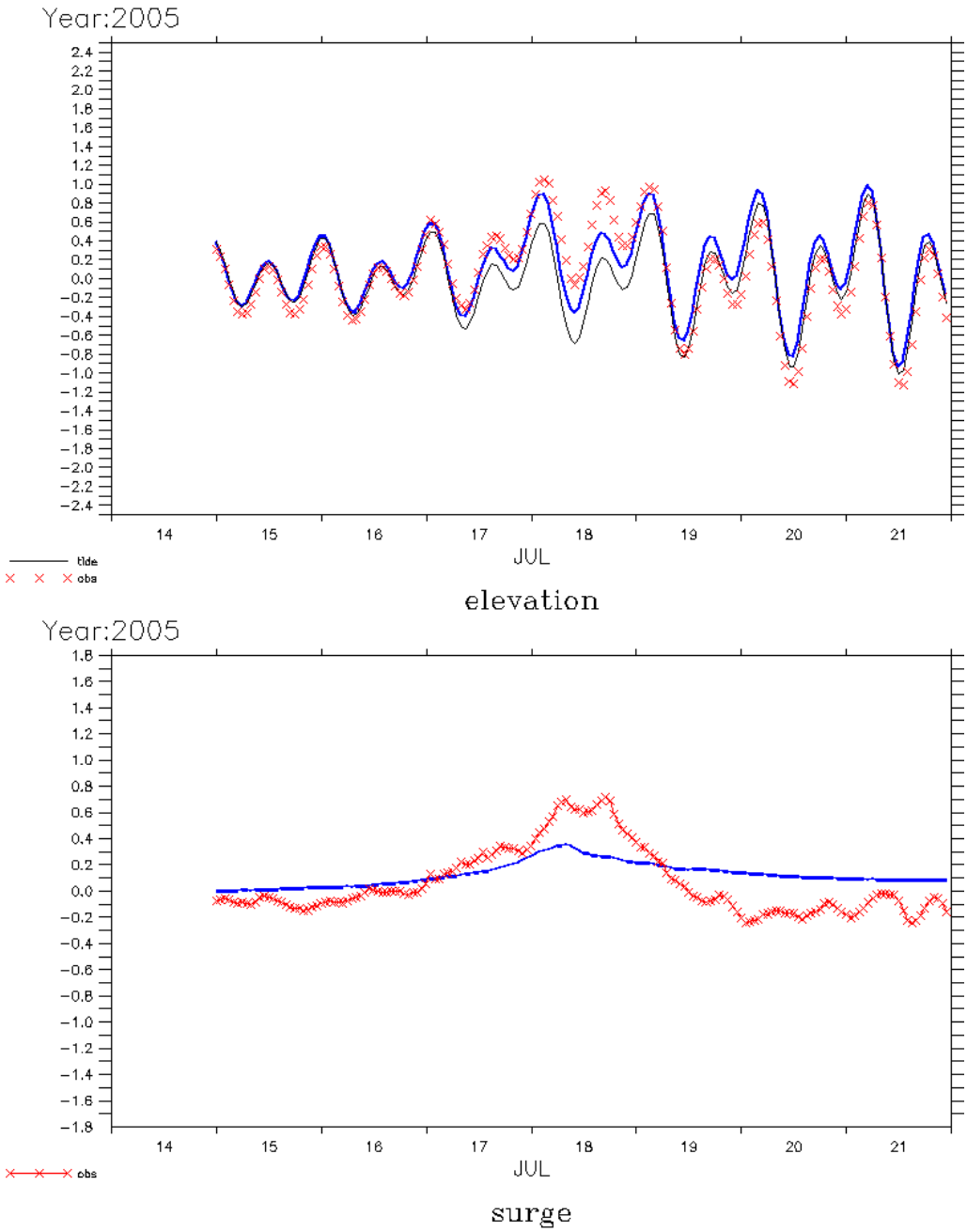


圖 2.2-5 海棠颱風成功測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖

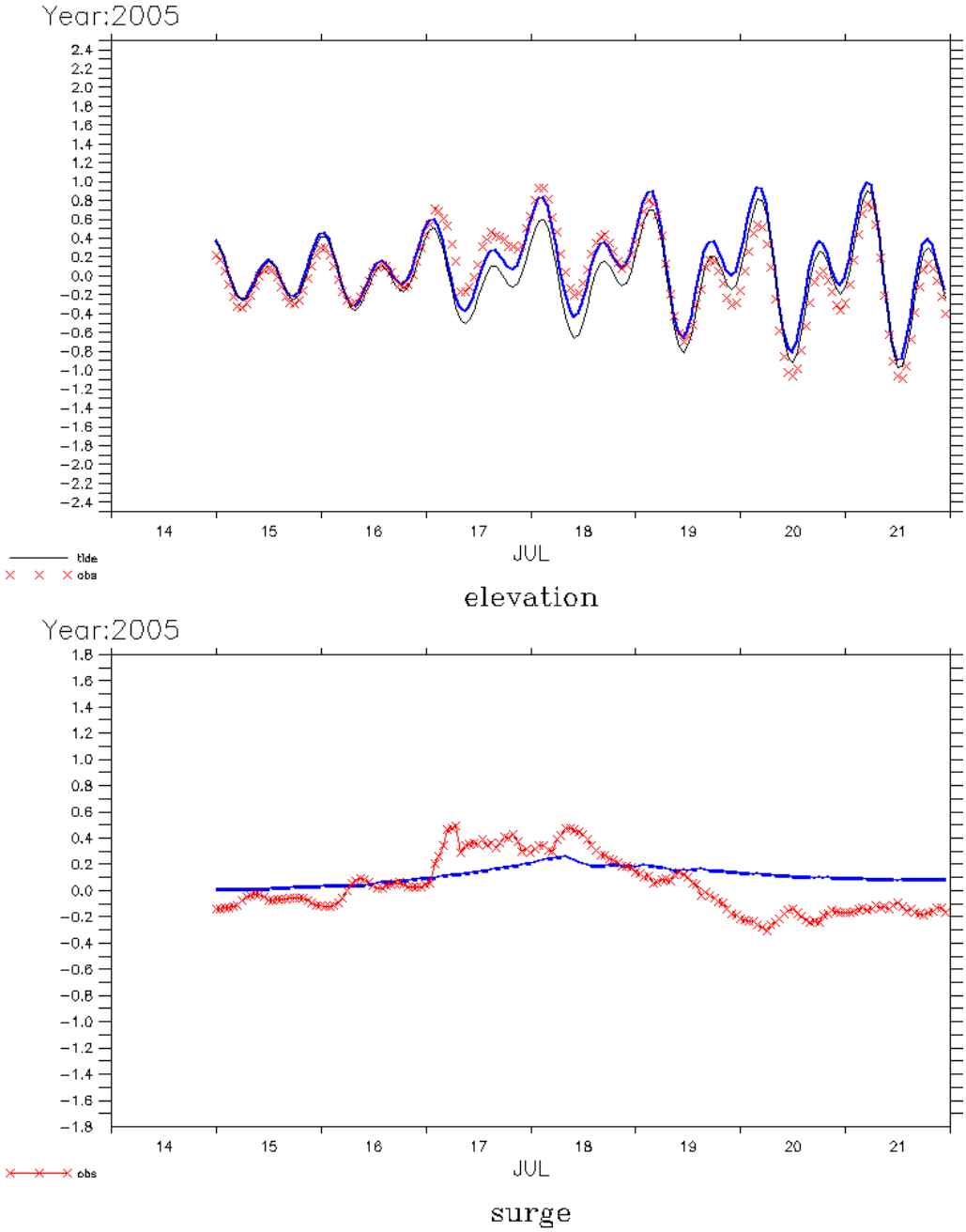


圖 2.2-6 海棠颱風大武測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖

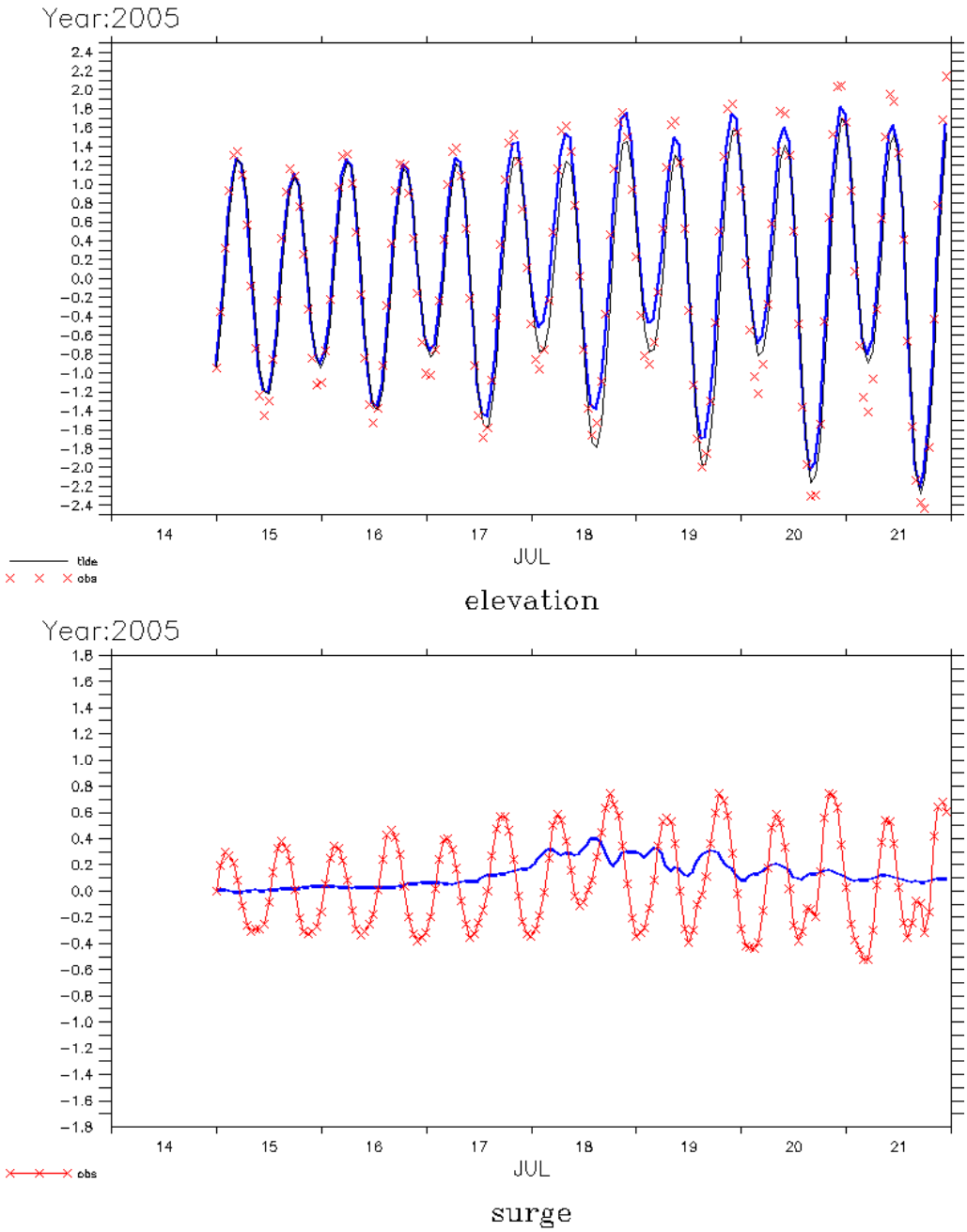


圖 2.2-7 海棠颱風新竹測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖

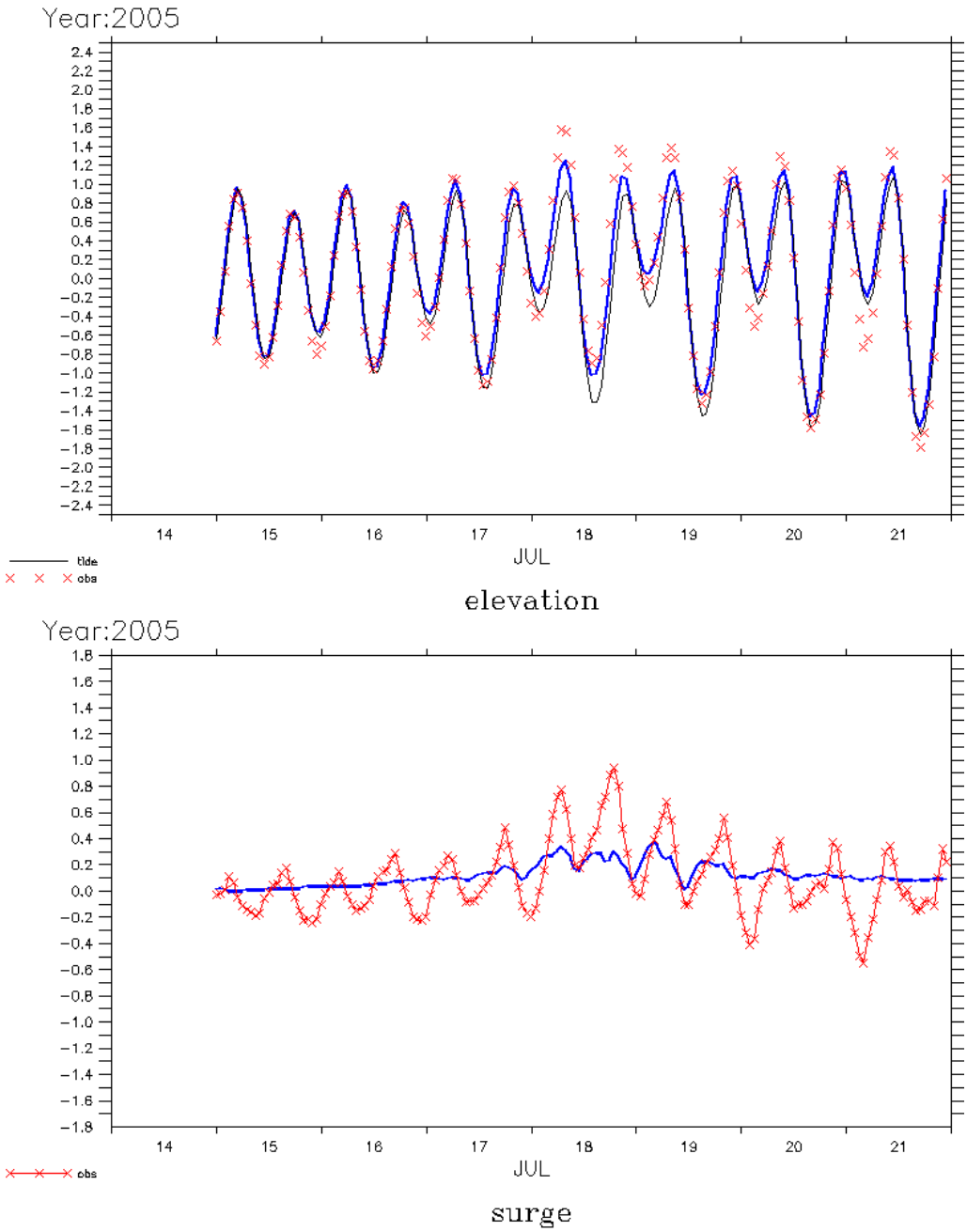


圖 2.2-8 海棠颱風箔仔寮測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖

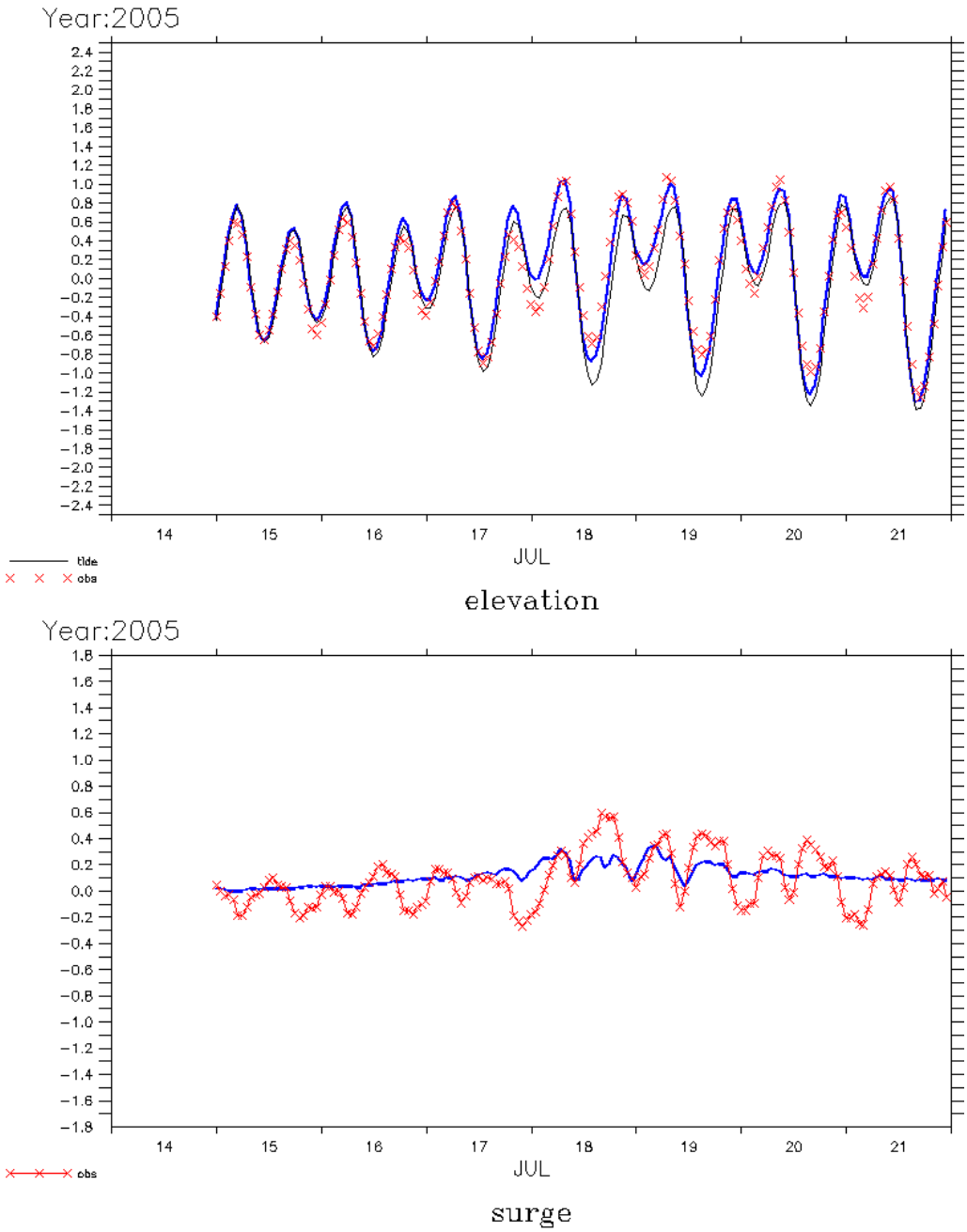


圖 2.2-9 海棠颱風東石測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差下比對圖

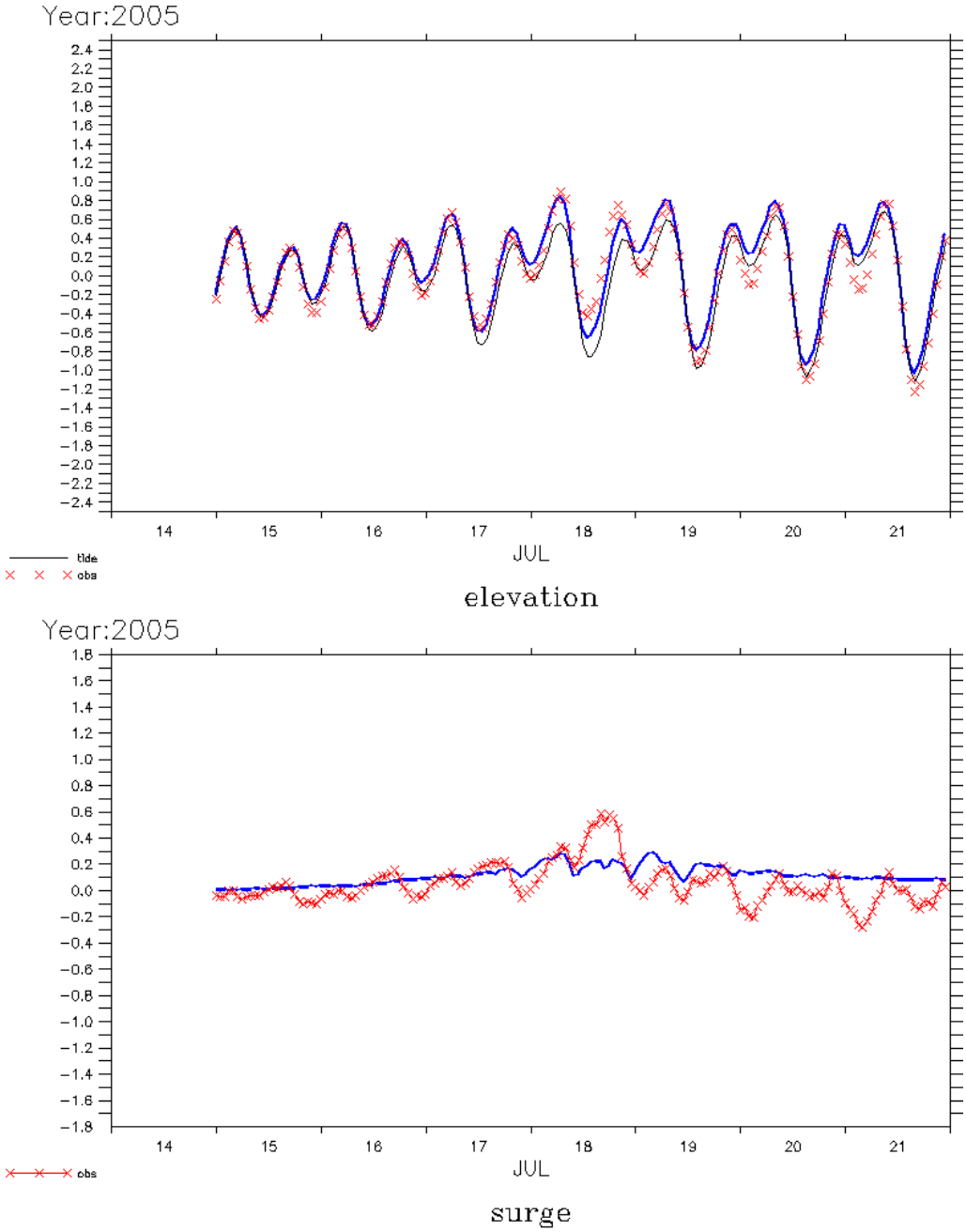


圖 2.2-10 海棠颱風將軍測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖

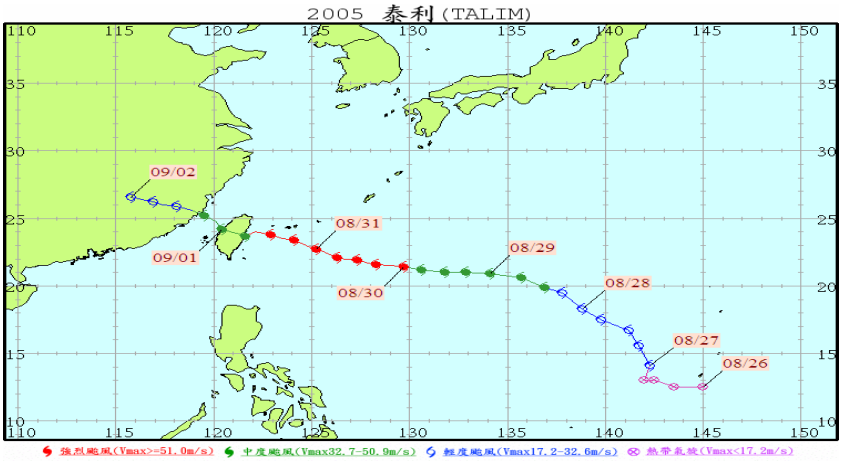


圖 2.2-11 泰利颱風路徑圖（中央氣象局）

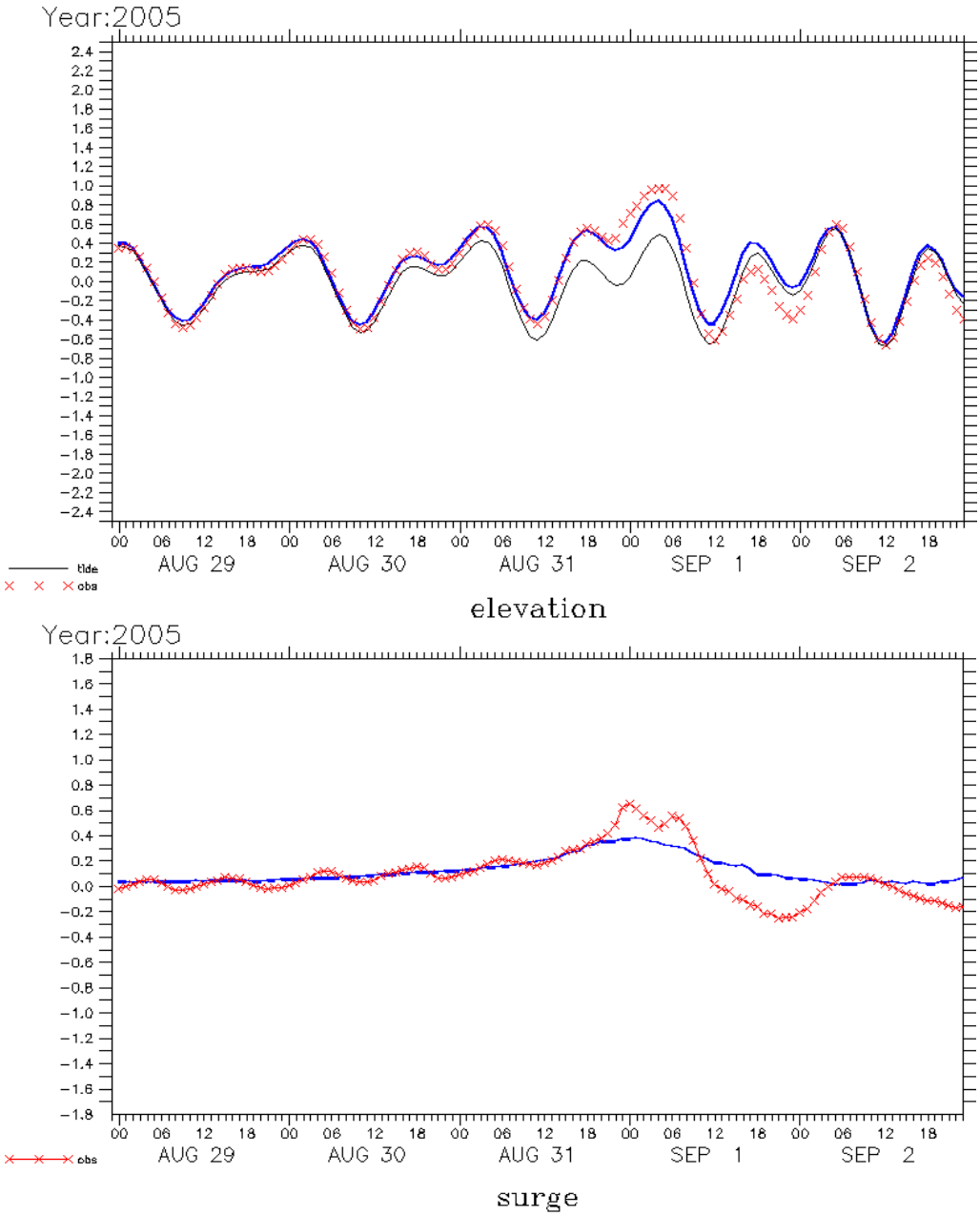


圖 2.2-12 泰利颱風蘇澳測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖

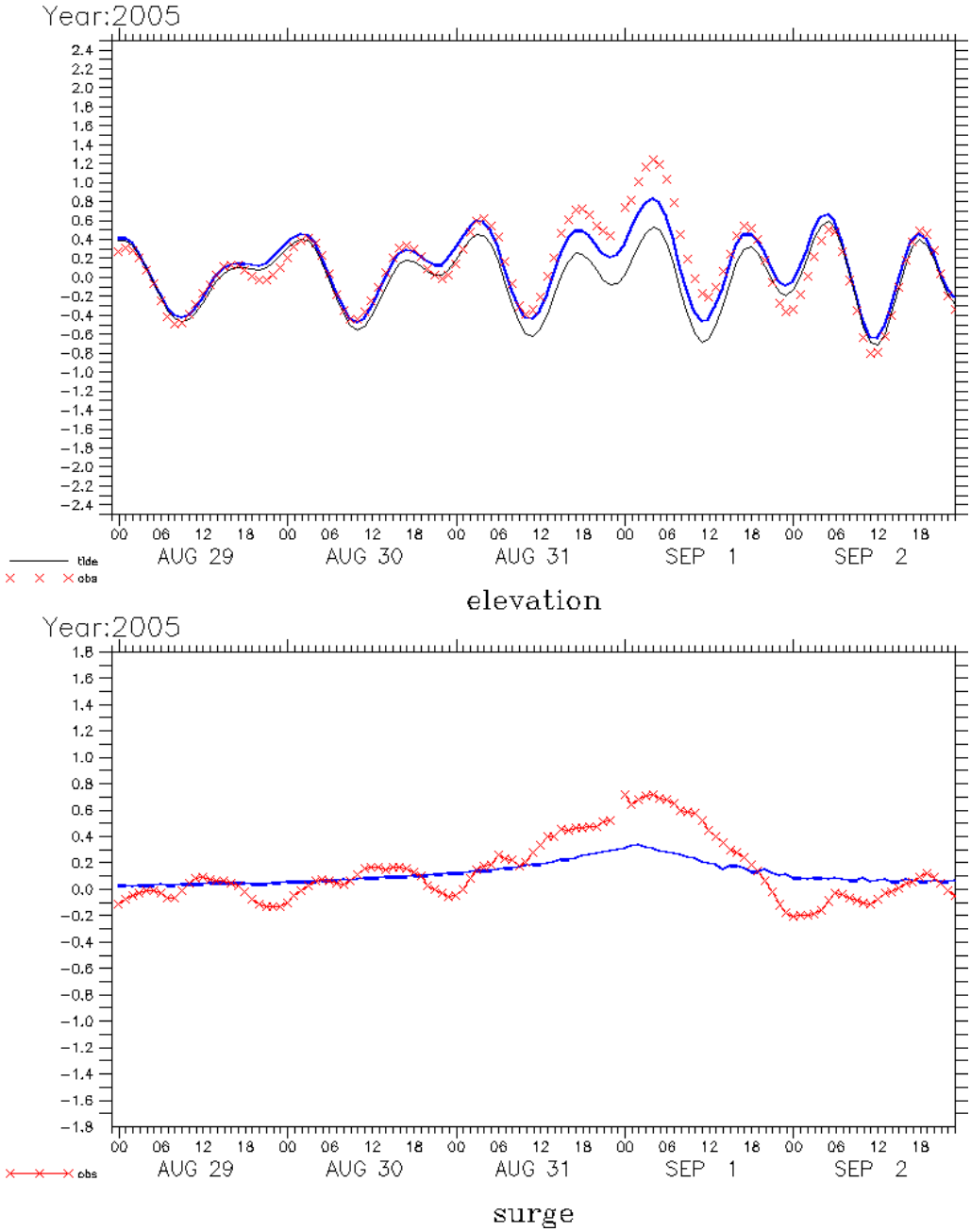


圖 2.2-13 泰利颱風石梯測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖

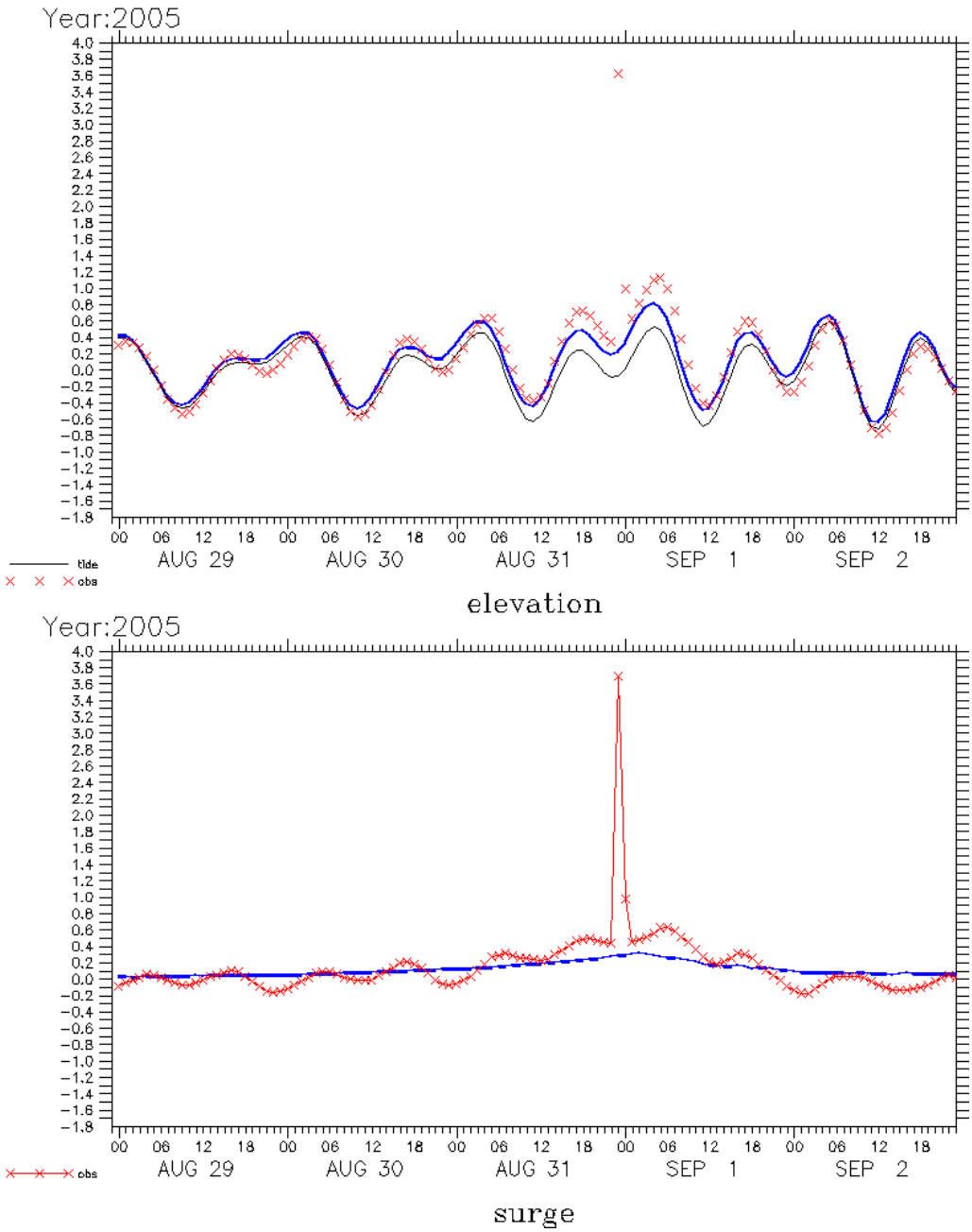


圖 2.2-14 泰利颱風成功測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖

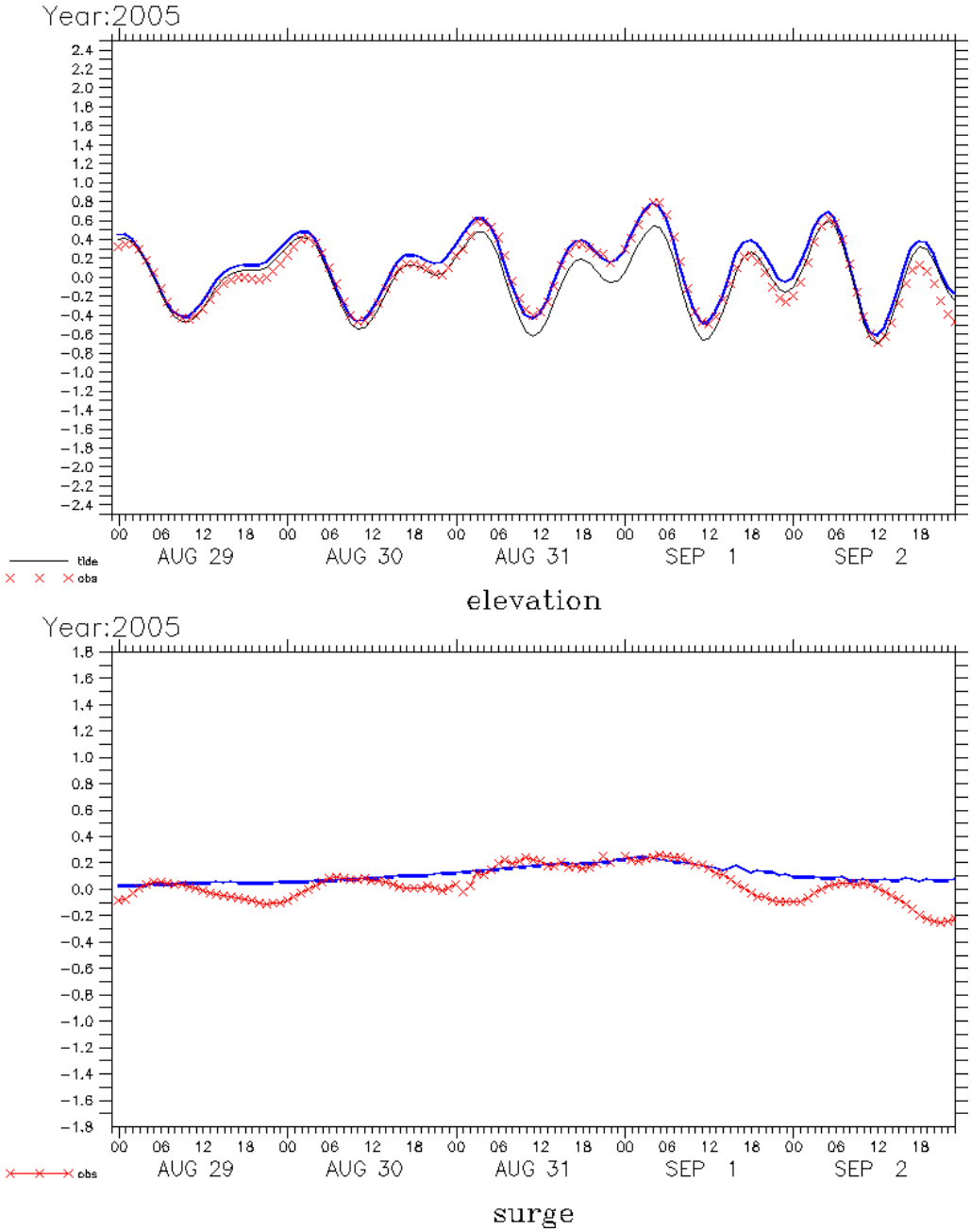


圖 2.2-15 泰利颱風大武測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖

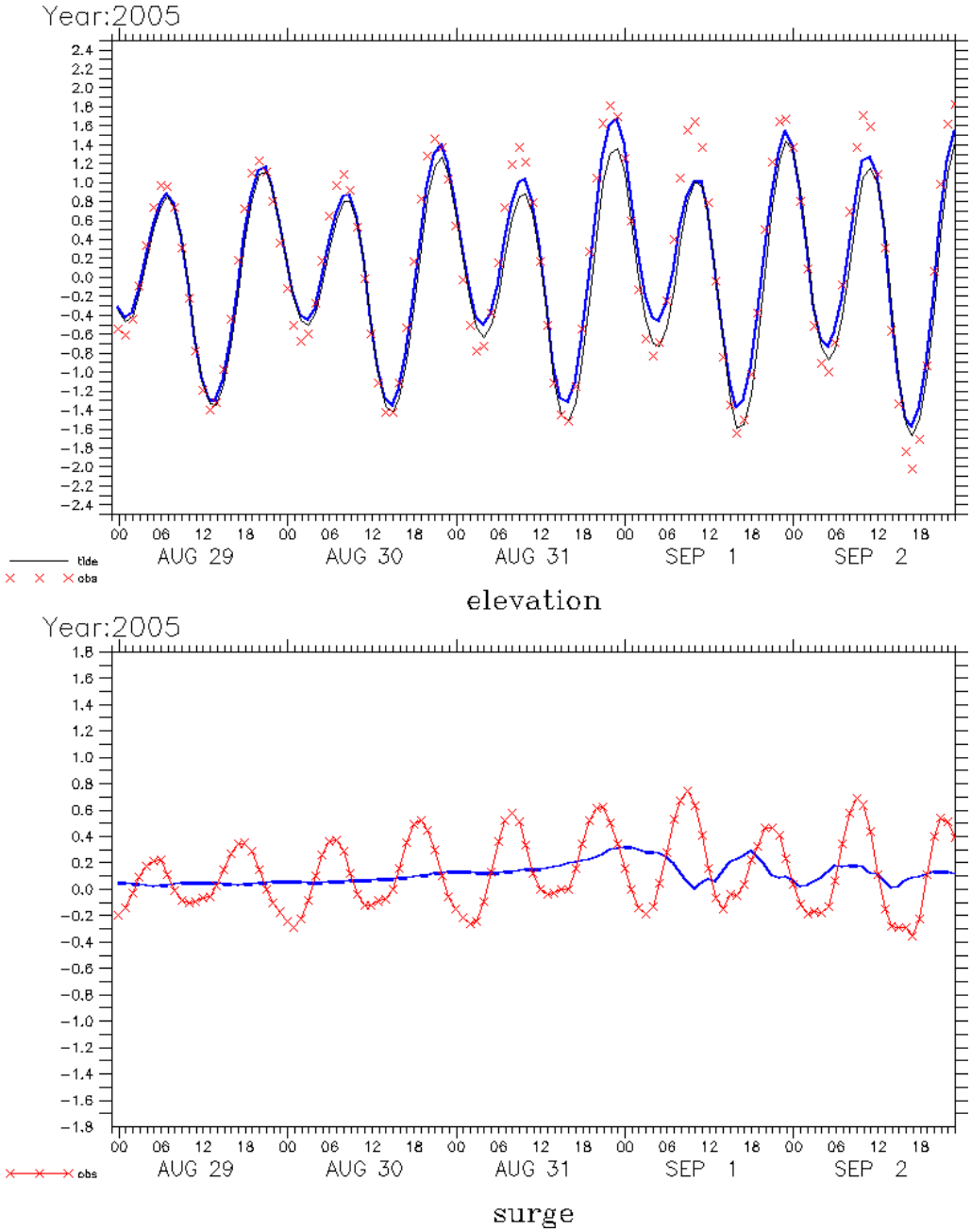


圖 2.2-16 泰利颱風新竹測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖

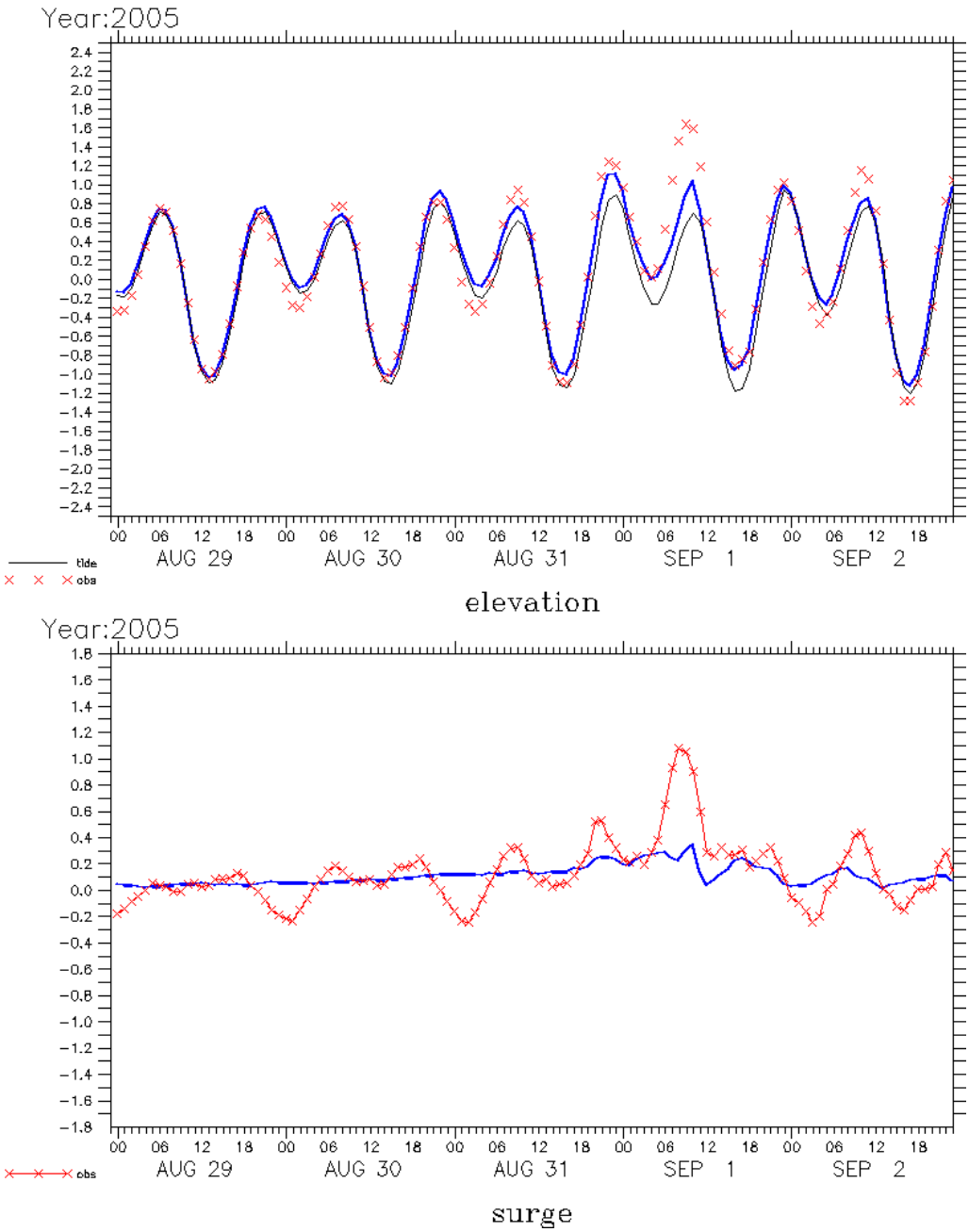


圖 2.2-17 泰利颱風箔子寮測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖

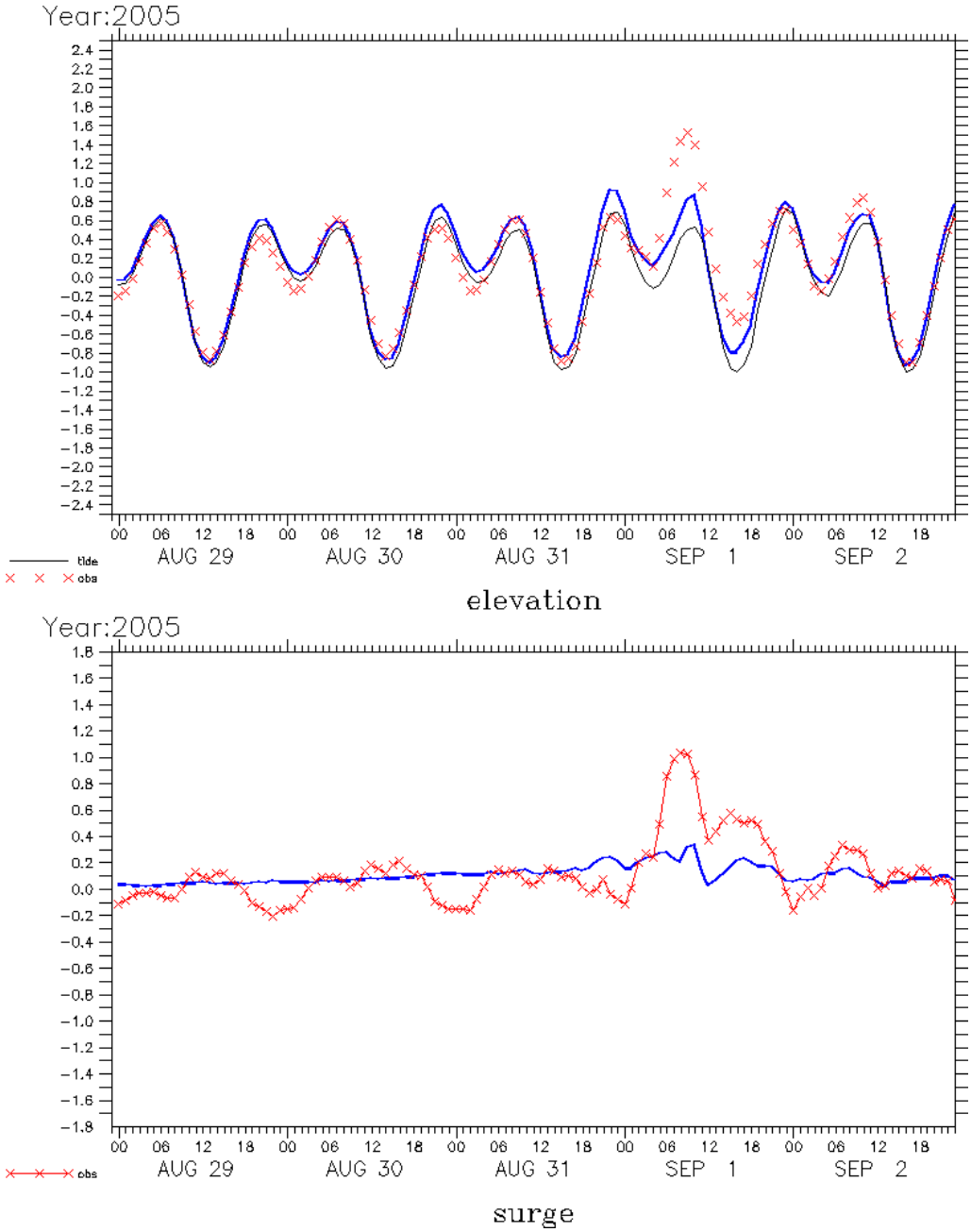


圖 2.2-18 泰利颱風東石測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖

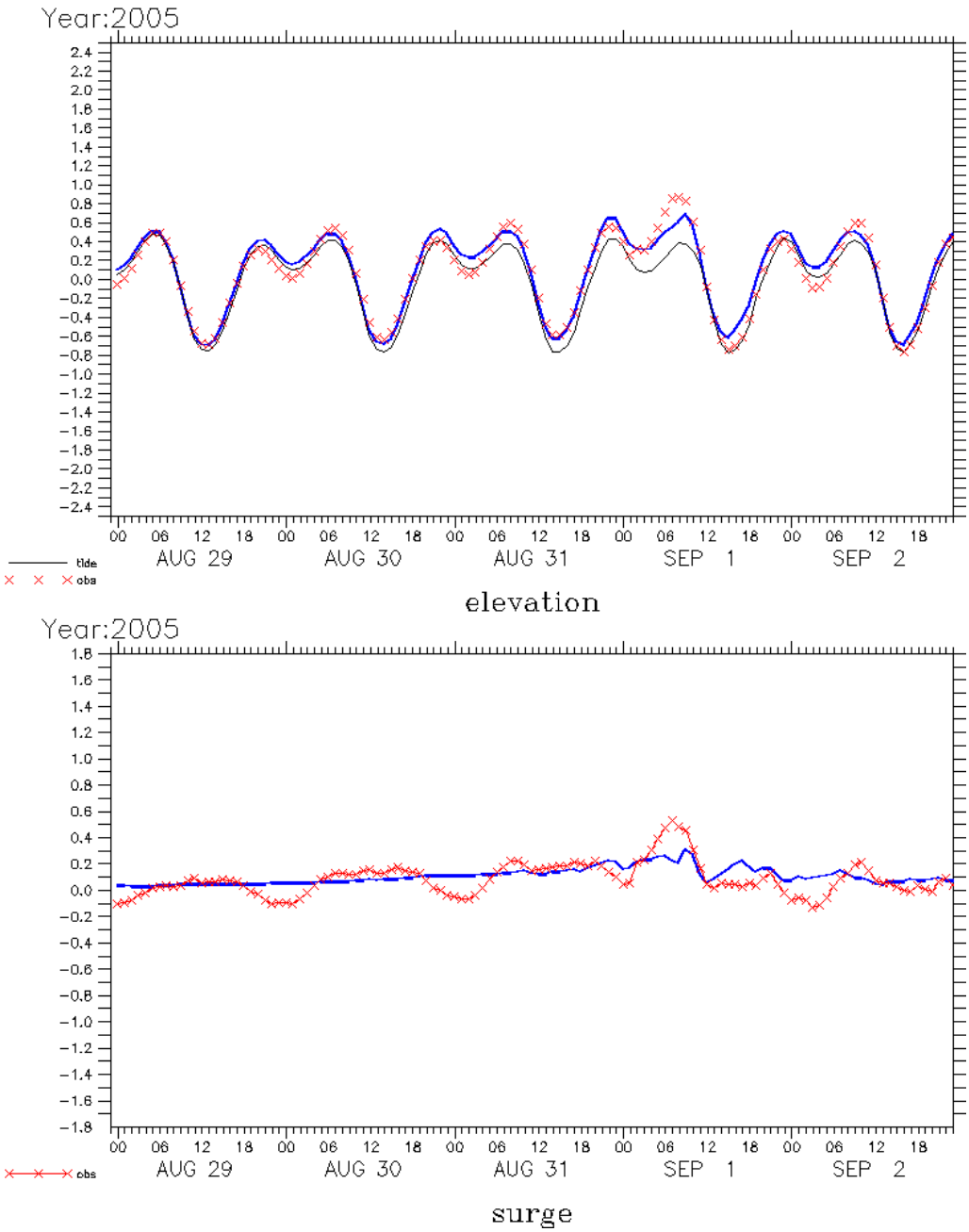


圖 2.2-19 泰利颱風將軍測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖

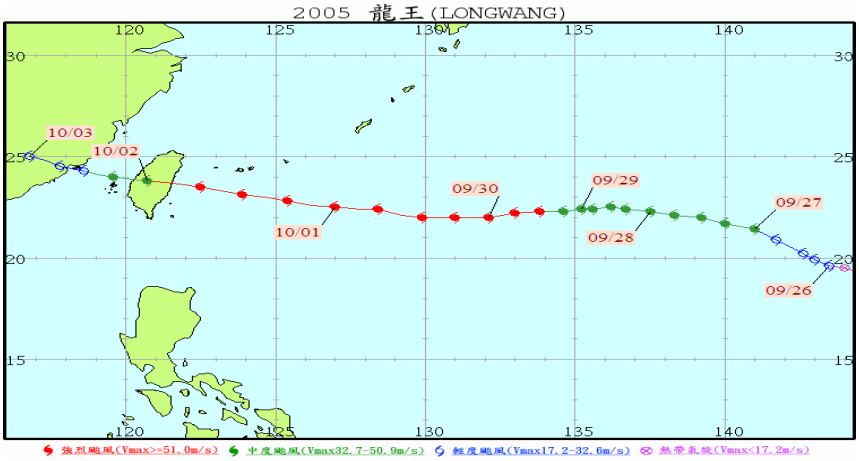


圖 2.2-20 龍王颱風路徑圖（中央氣象局）

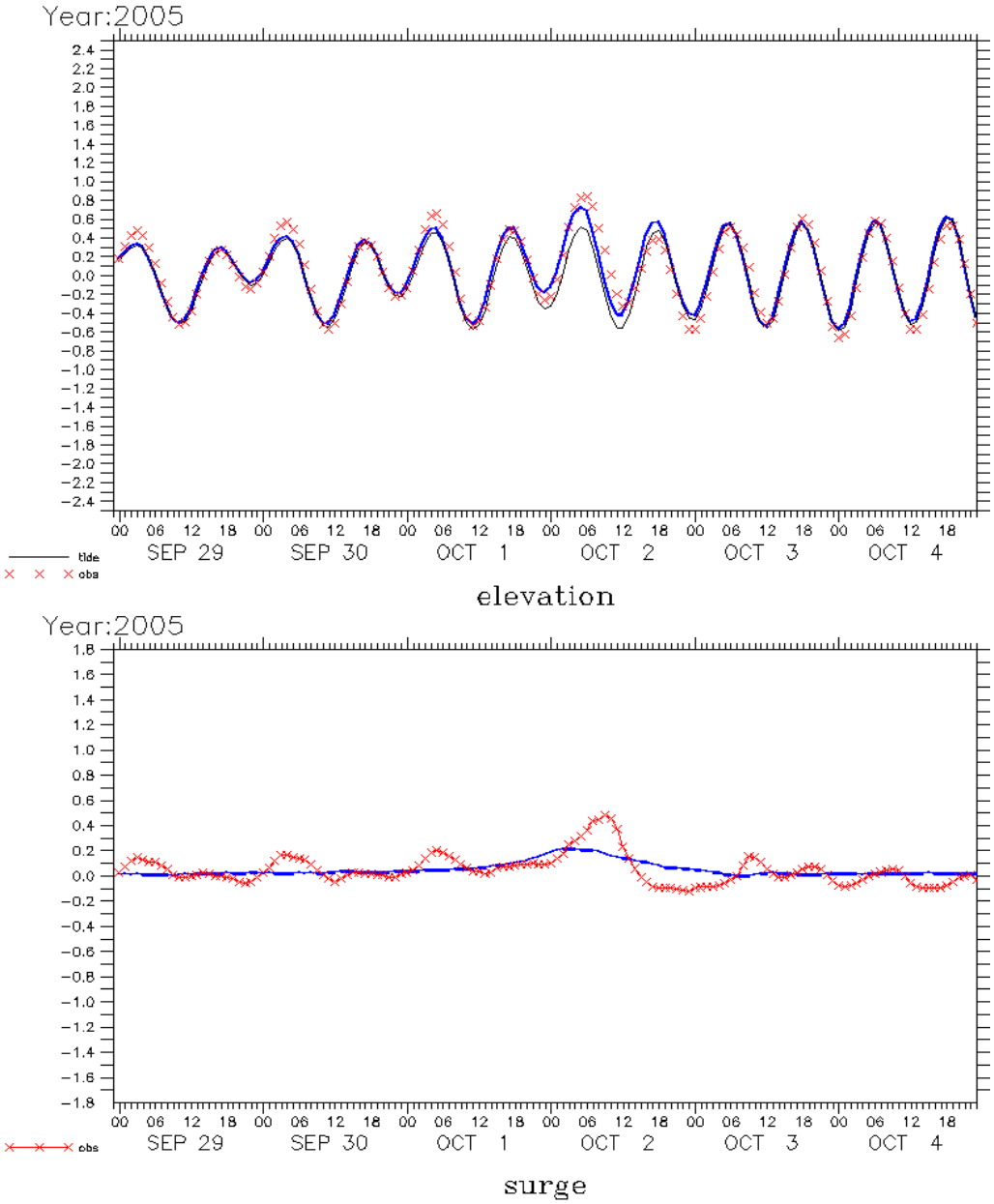
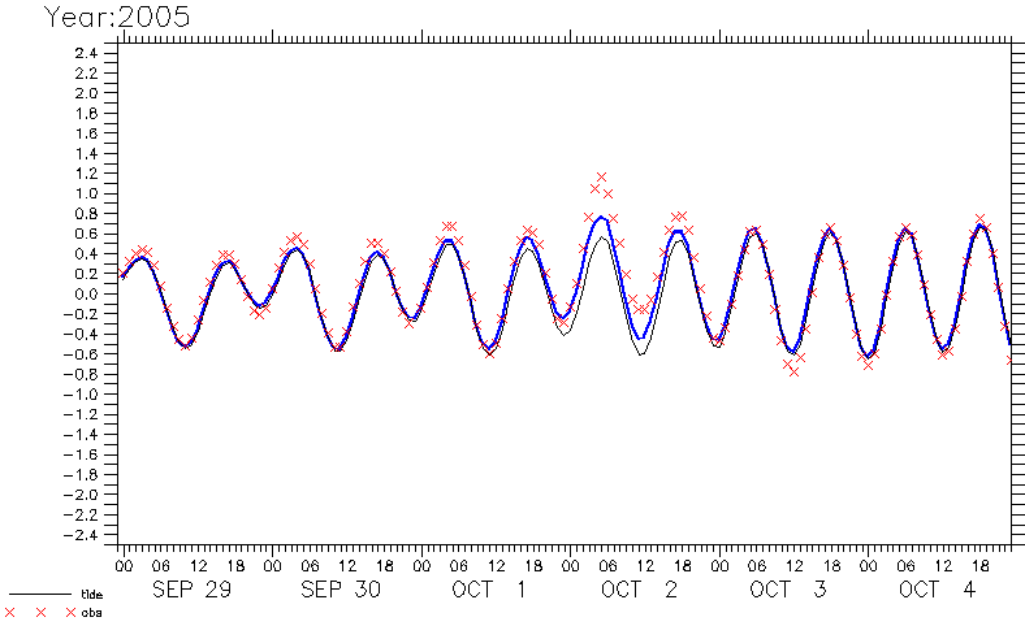
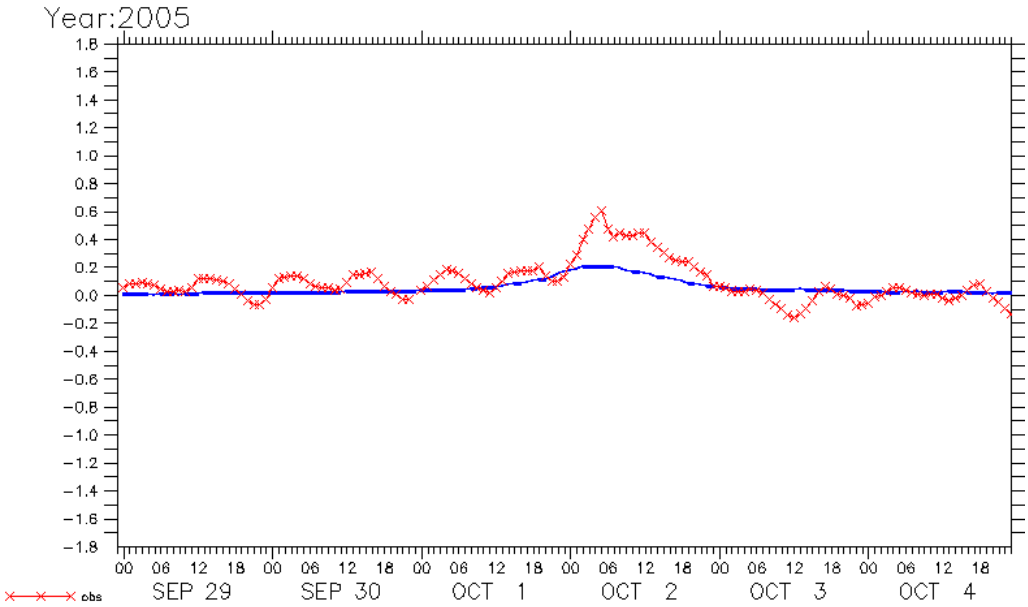


圖 2.2-21 龍王颱風蘇澳測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖



elevation



surge

圖 2.2-22 龍王颱風石梯測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖

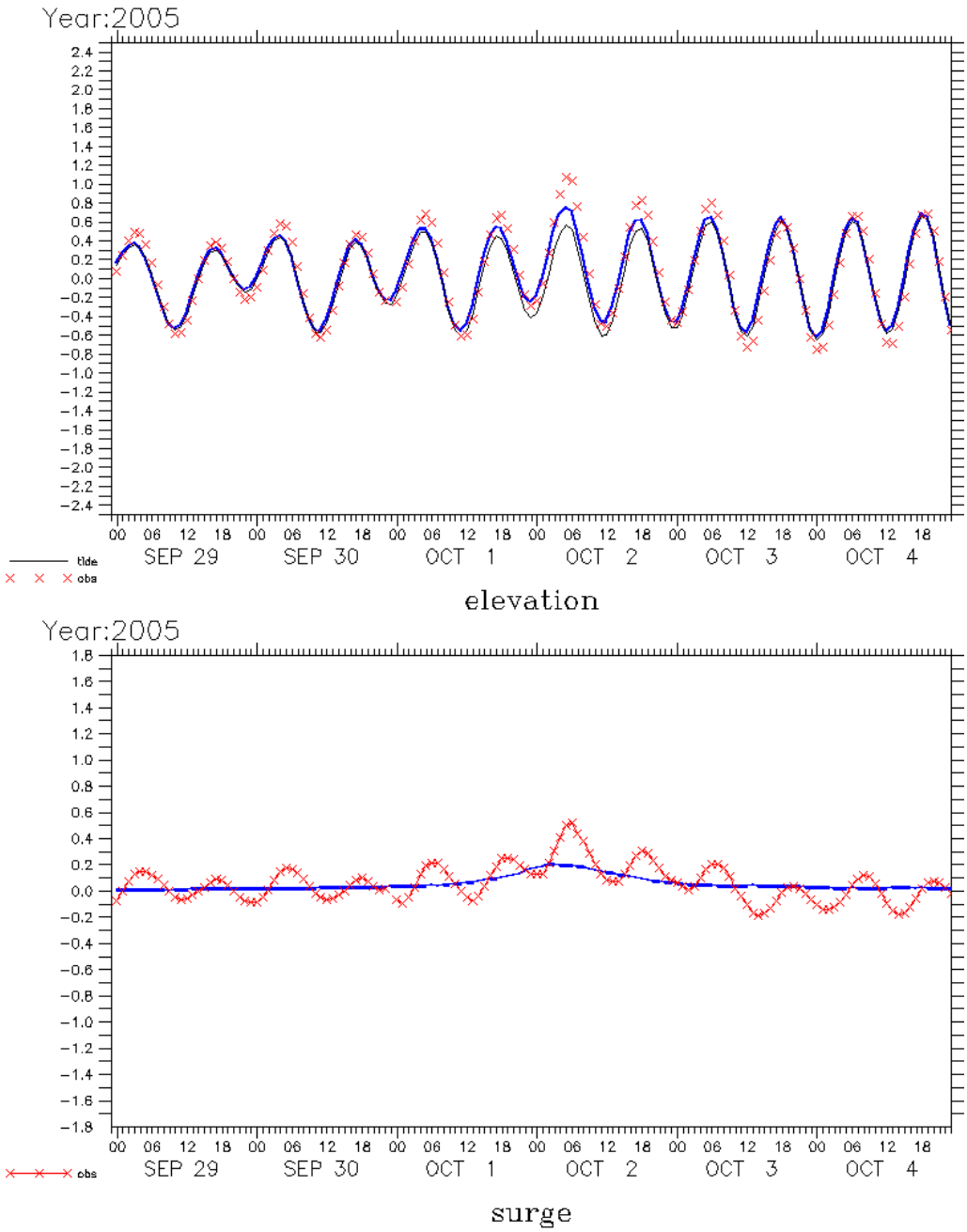


圖 2.2-23 龍王颱風成功測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖

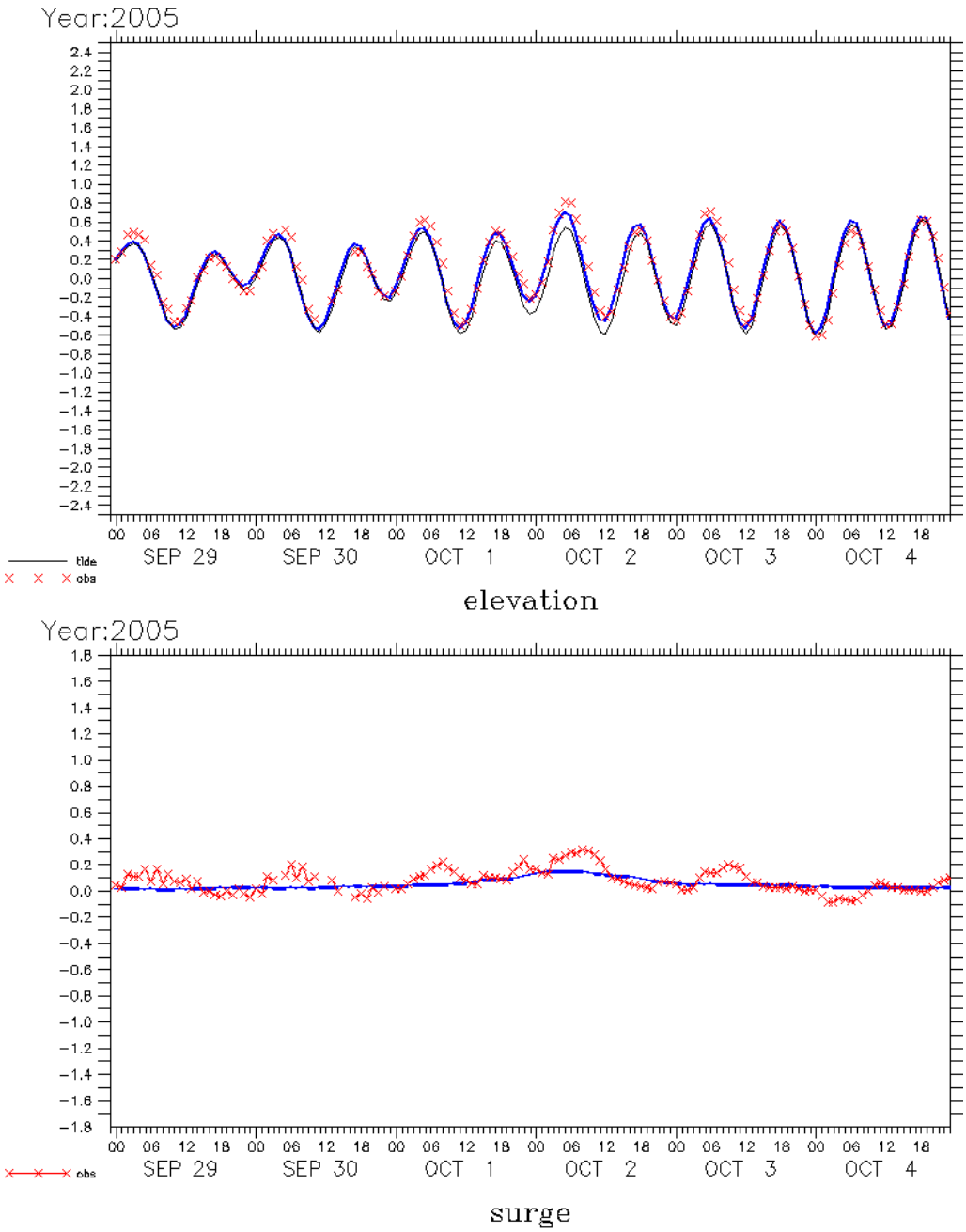


圖 2.2-24 龍王颱風大武測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖

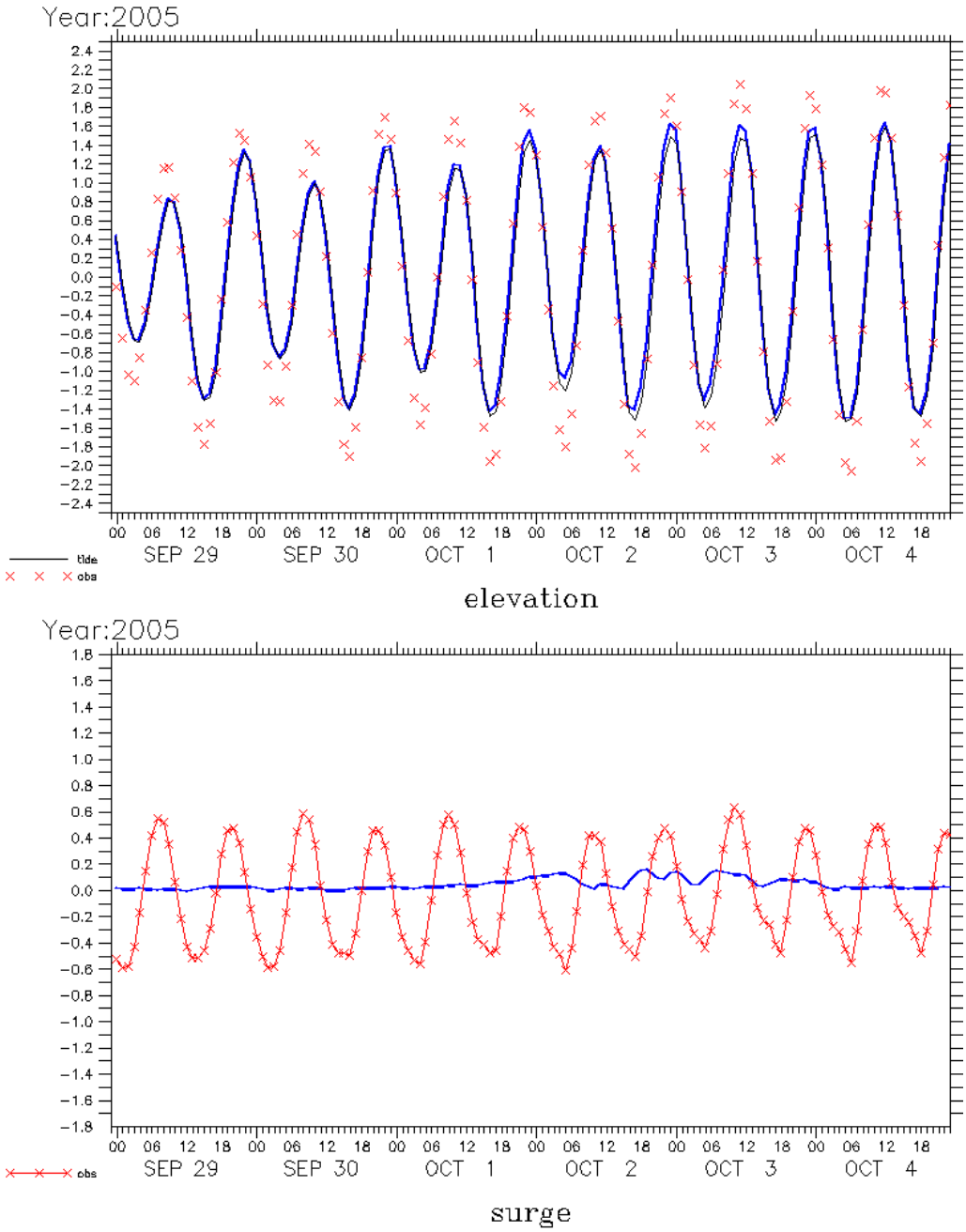


圖 2.2-25 龍王颱風新竹測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖

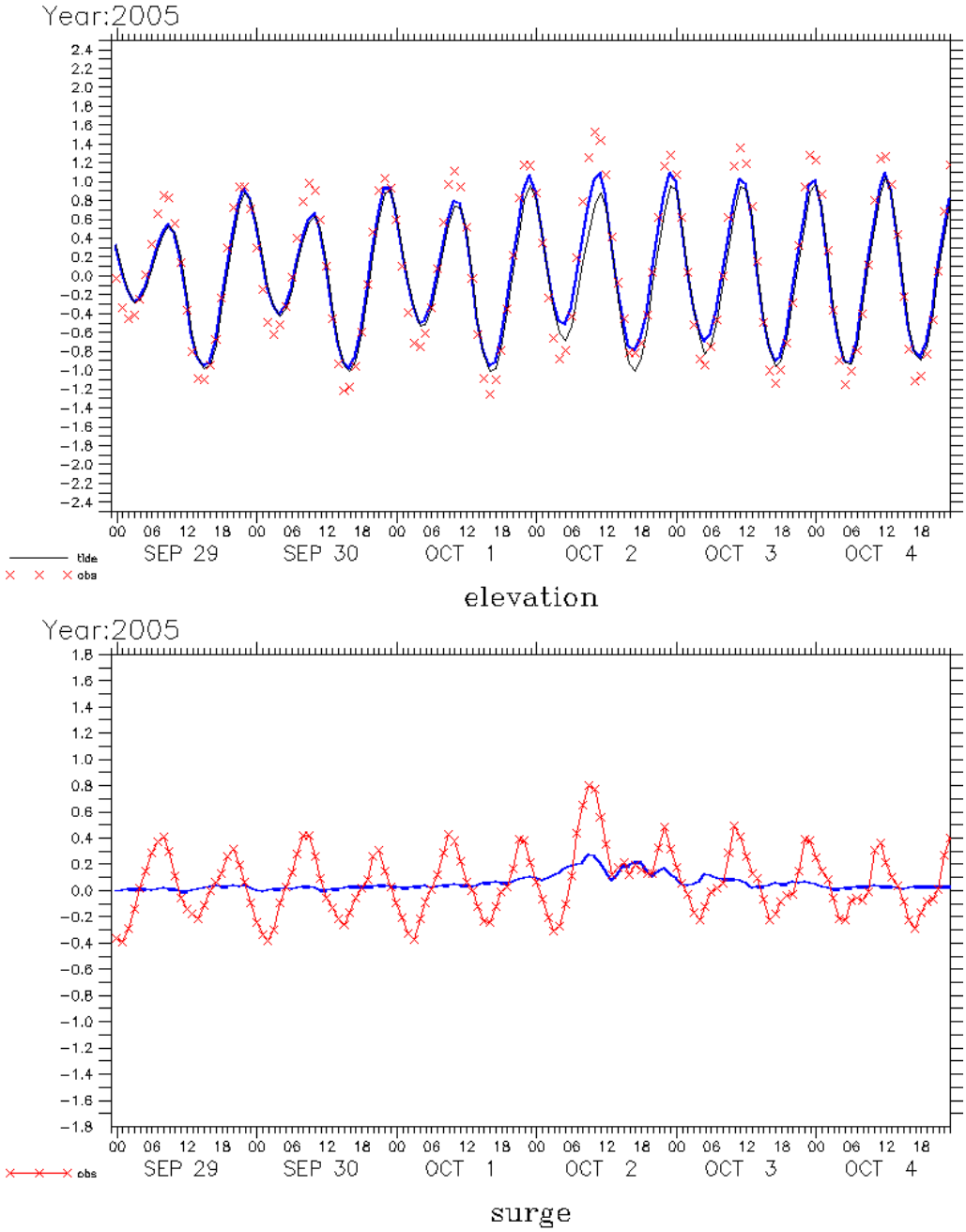


圖 2.2-26 龍王颱風箔子寮測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖

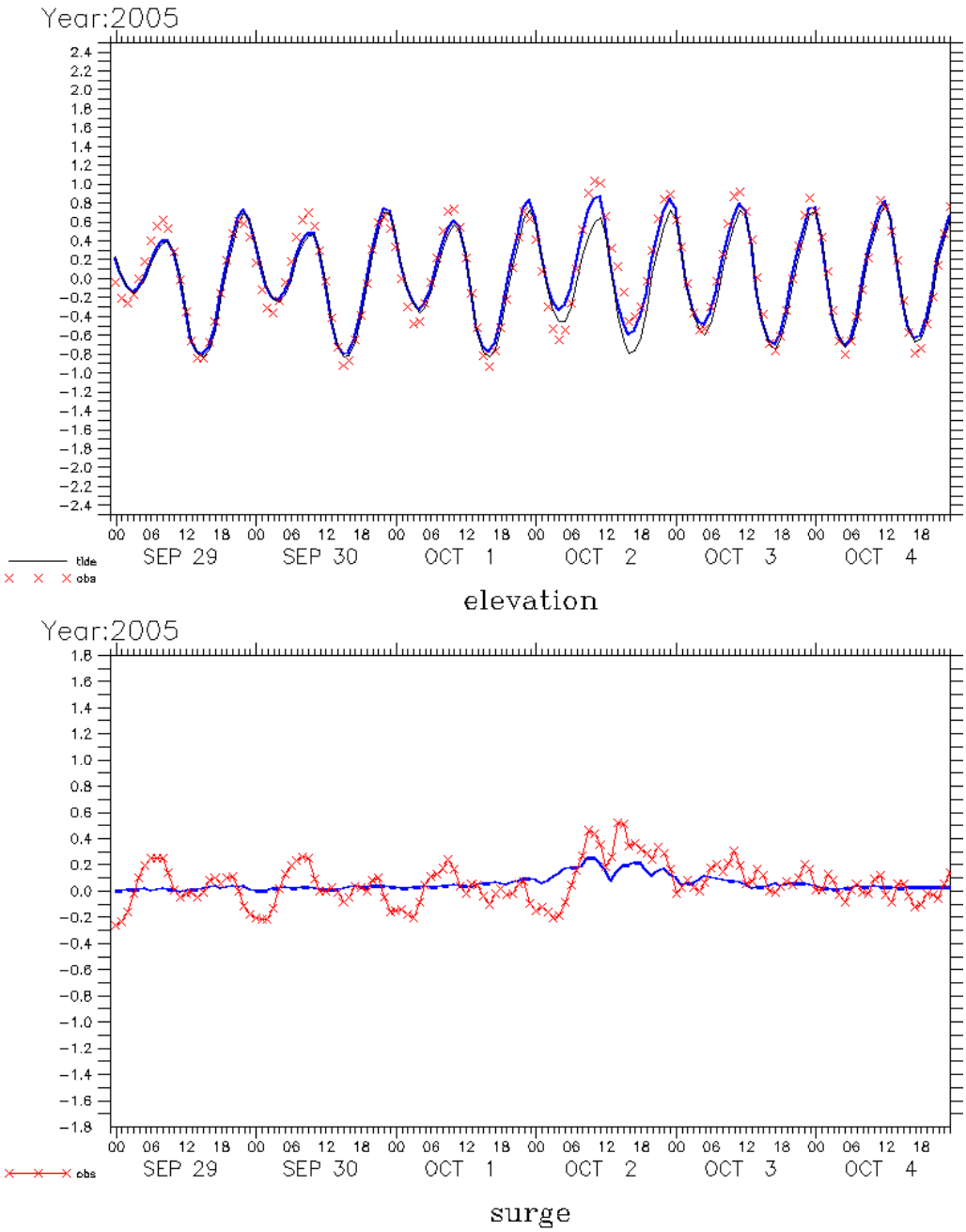


圖 2.2-27 龍王颱風東石測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖

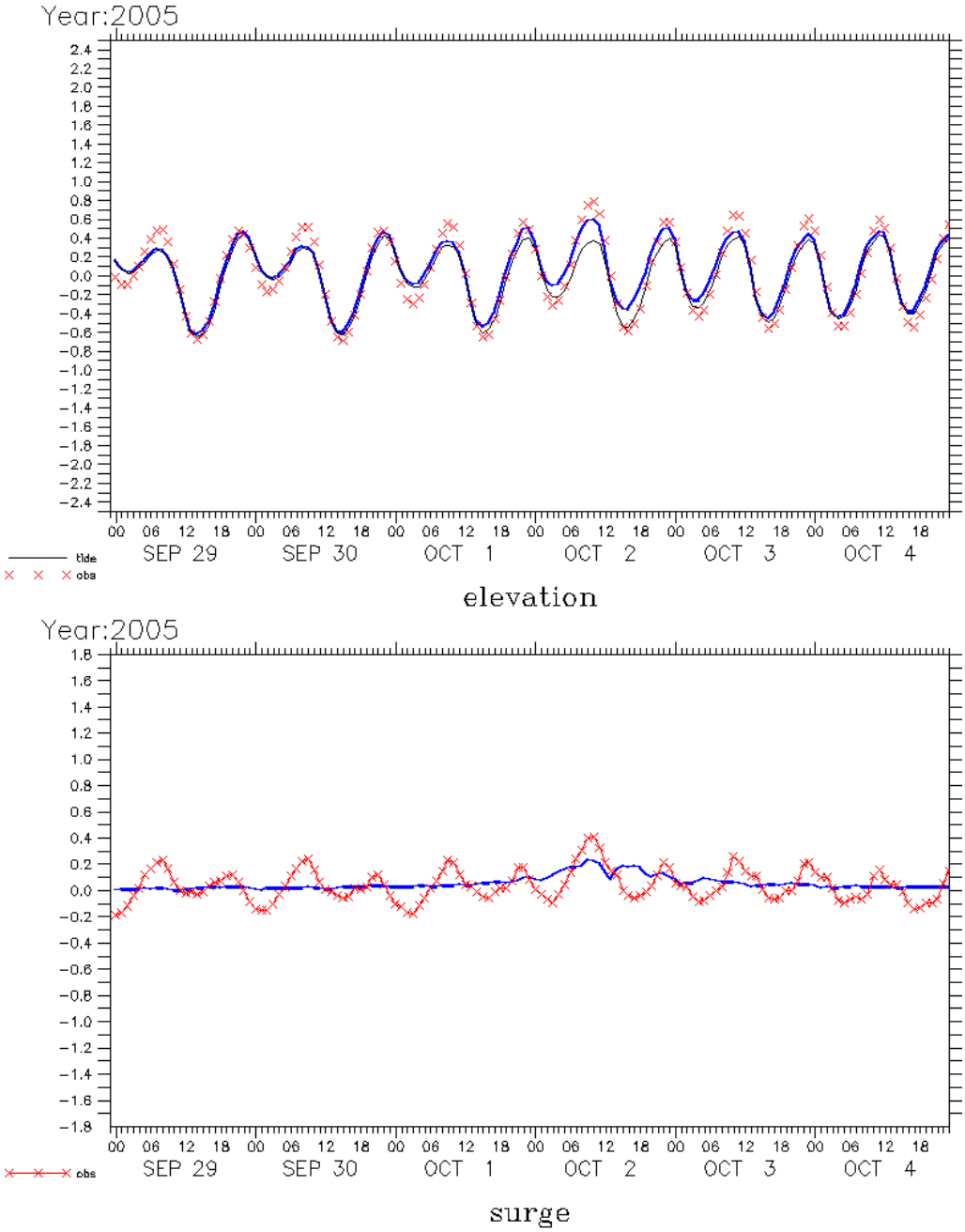


圖 2.2-28 龍王颱風將軍測站模式水位與實測水位（上）及暴潮偏差（下）比對圖

2.3 巢式網格系統

由於受到地形及動力的複雜特性，水動力模式經常會面臨格網尺寸或大小的取捨，尤其在台灣海域的潮汐與風暴潮模擬計算時，一方面為求將颱風形成時的影響即納入計算，所以必須將模式範圍擴大至西太平洋及南海，為求計算時效，格點不能太小，在第一年完成範圍 15N~42N，105E~150E，解析度 1/24 大尺度模式後，對於台灣近岸地形的精度描述會有相當大的改進，但是若要更完整的表現出近岸地形的特色，仍須仰賴更高解析度的網格，但是大尺度模式解析度會因為計算機器及計算時間的限制無法無限制增加，而小範圍高精度的模式雖可以完整呈現近岸地形地貌，但是對於颱風於外海產生的影響便無法納入計算，因此本

計畫於今年（第二年）規劃了單向巢式網格系統的發展，亦即利用大尺度模式的計算結果，將其輸入小尺度模式做為邊界條件，如此便可將外海產生的影響及近岸地形的影響皆考慮到，應可得到較佳的水位預報結果。

在去年的發展過程以由 5 分網格縮小至 2.5 分，計算時間亦隨之增加了約 6 倍，雖然以平行處理的技術增加計算的效率，但是在台灣北部及西部的大陸棚海域，水深變淺，海底地形變化很大，2.5 分網格亦無法完整呈現。今年擬以 1 分（1/60 度）網格計算台灣沿海的潮汐及風暴潮，若以目前大模式範圍縮小格點尺寸計算，所需計算的時間約需再增加 8 倍，不但計算費時，在大多數的深海地區亦沒有必要，反而浪費計算效率。

如果能在台灣沿岸海域以細網格計算，並將大範圍模式計算的結果同步接合成為細網格模式的邊界，一方面能兼顧外海能量傳遞的連續，並增加大陸棚海域計算的解析度，更能節省大量的計算時間，應是值得研發應用的技術。

故本計劃今年度（95）擬建立 1 分（1/60 度）與 3 分（1/20 度）兩種網格的模式，並研發接合的技術將之同步接合計算。

不同尺度模式接合的技術應用在大尺度計算，世界上已有多件實例應用於各種計算領域，尤其在氣象預報的計算應用上已非常成熟，在海洋研究及應用上並不多見，大多為特定的研究而做，在潮汐及風暴潮預報作業的應用研究更是少見，一方面是大多數國家並無此一預報上的需求，或是計算能量充足不需應用此技術節省計算時間，如美、英均可應用 1024 或更多 CPU 同步進行計算，目前氣象局海象測報中心的計算能量僅可以 8 個 CPU 做平行計算。

根據以往的經驗，不同尺度模式的接合方法可分為：

－ 單向或雙向

－ 單層或多層

－ 固定接合邊界或隨需求動態變動

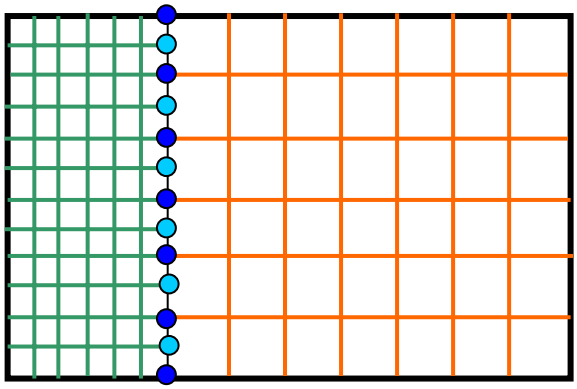


圖 2.3-1：單向單層固定接合邊界示意圖

在今年度的計劃中，將嘗試建立單向、單層、固定接合邊界的應用技術（如圖 2.3-1），根據 Yu（1993）的研究，海洋模式同步接合以三倍為最佳，雖可進行更多倍數的接合，但是由於地形水深的變化，可能會過度影響細網格模式的結果，為配合台灣海域模式 1 分解析度（圖 2.3-3），將西太平洋模式改為 3 分解析度（圖 2.3-2）。西太平洋模式仍用去年修改之邊界條件，僅將格點改為 3 分，細網格台灣海域模式與西太平洋模式接合的區域，選擇在離岸較遠且無地形或物理現象上較為特殊的區域（如圖 2-3-1），接合僅空間處理，時間上為同步，不做接合，但大模式的時間步長必須配合細網格模式縮小。在進行實際應用前，先以進行測試，待通過敏感度分析後，再應用於預報模式。圖 2.3-4 至 2.3-9 為接和後的模擬結果，模擬時間為 2005 年 6 月份，大小尺度使用的氣象條件皆為氣象局提供

的六小時一筆的分析風場。由於東部水深較深，且直接可面對東邊開放邊界，因此大小尺度的結果差異不大，但是在海峽內部的測站，之前建置完成大尺度結果往往會低估水位，特別是在新竹、外埔的西北部測站最為明顯，而在使用巢式網格架構計算後，由結果可得知模式水位已經可以完整的描述實際現象，不會有低估的現象；西南部的箔仔寮、東石及將軍則也些許高估，此部分未來能會繼續進行校正。本年度目前僅使用單向巢式網格，僅將大尺度的模式結果引入作為小尺度的邊界條件，氣象條件的部分也是分別計算使用。下一年度會繼續進行巢狀網格的改進，以達到動態雙向的目標。

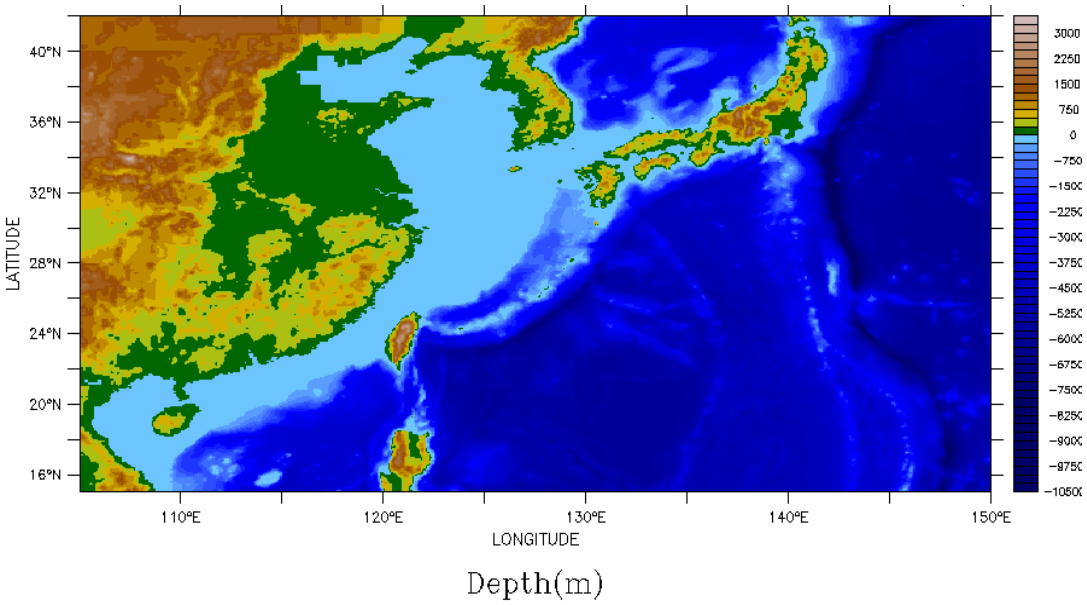


圖 2.3-2 西太平洋模式地形範圍

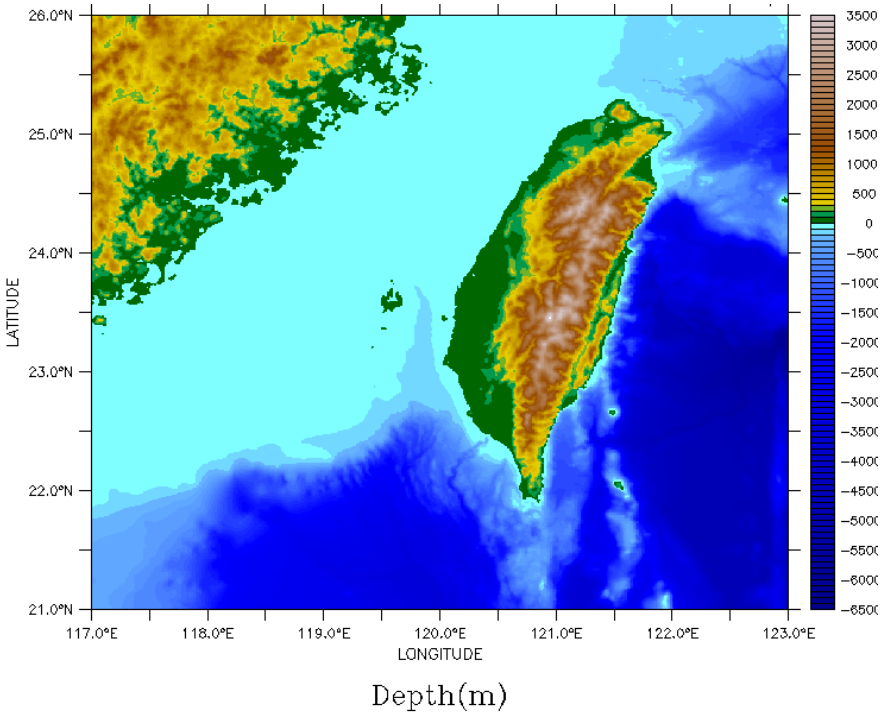


圖 2.3-3 台灣海域模式範圍

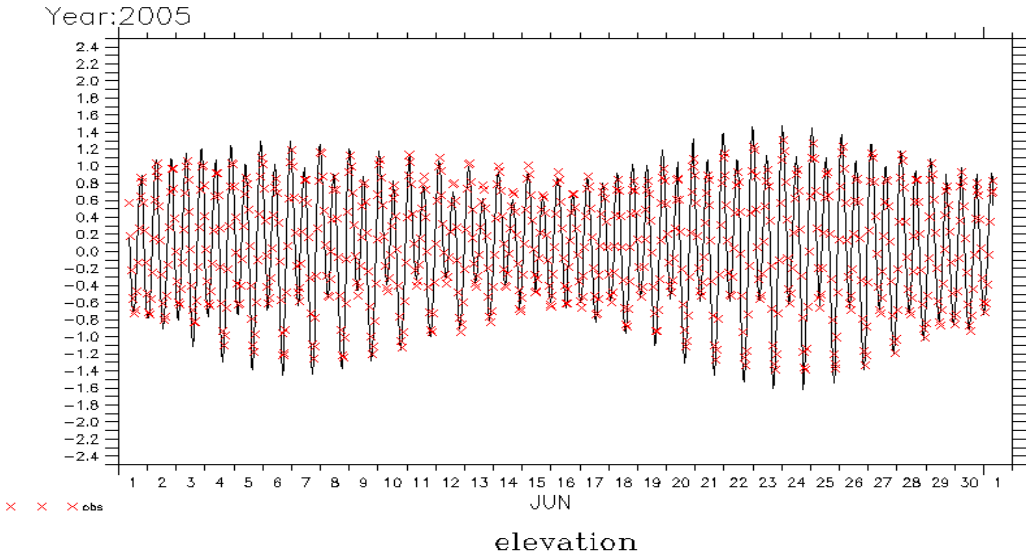


圖 2.3-4 油車口測站模式水位與實測水位比對圖

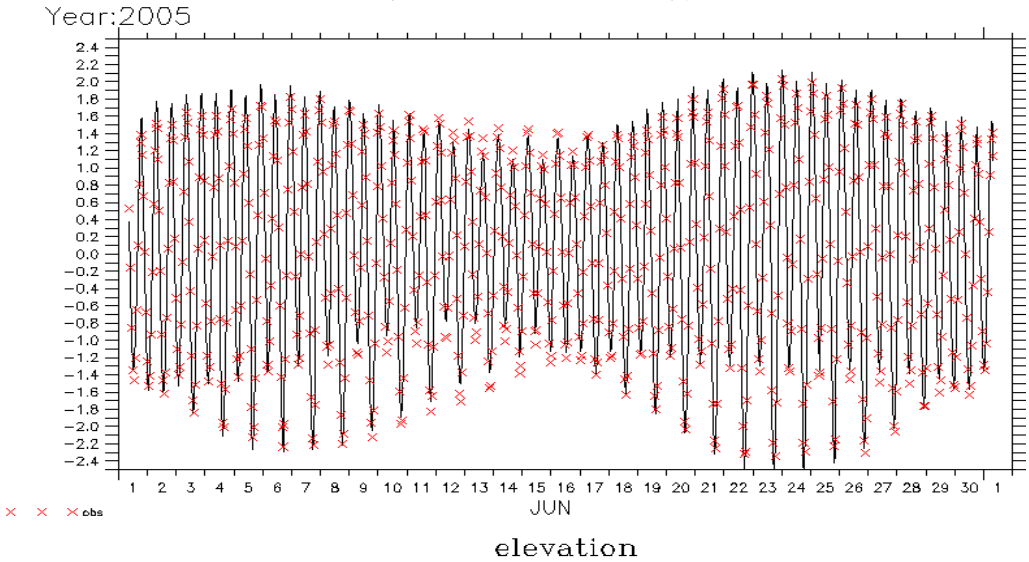


圖 2.3-5 新竹測站模式水位與實測水位比對圖

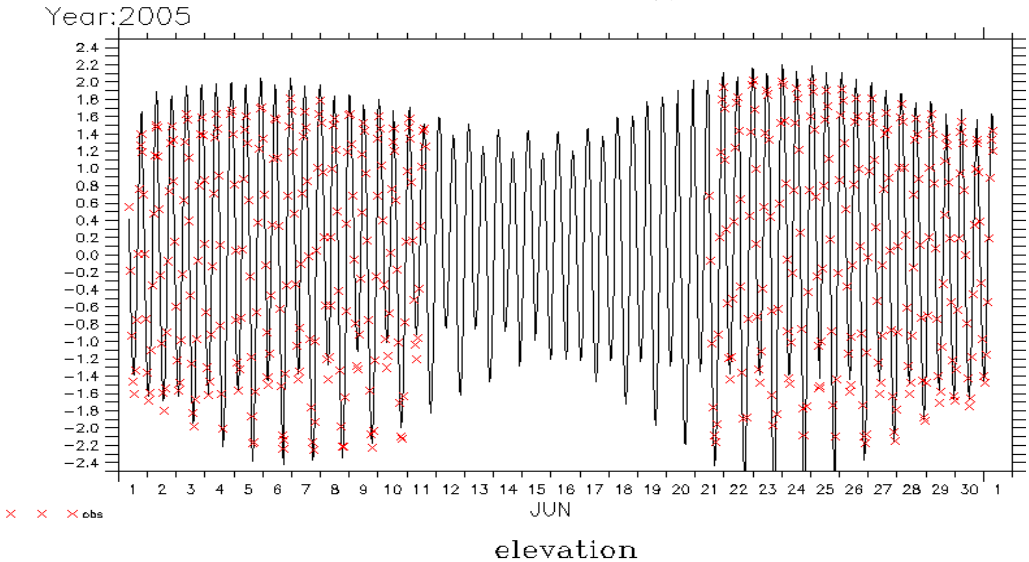


圖 2.3-6 外埔測站模式水位與實測水位比對圖

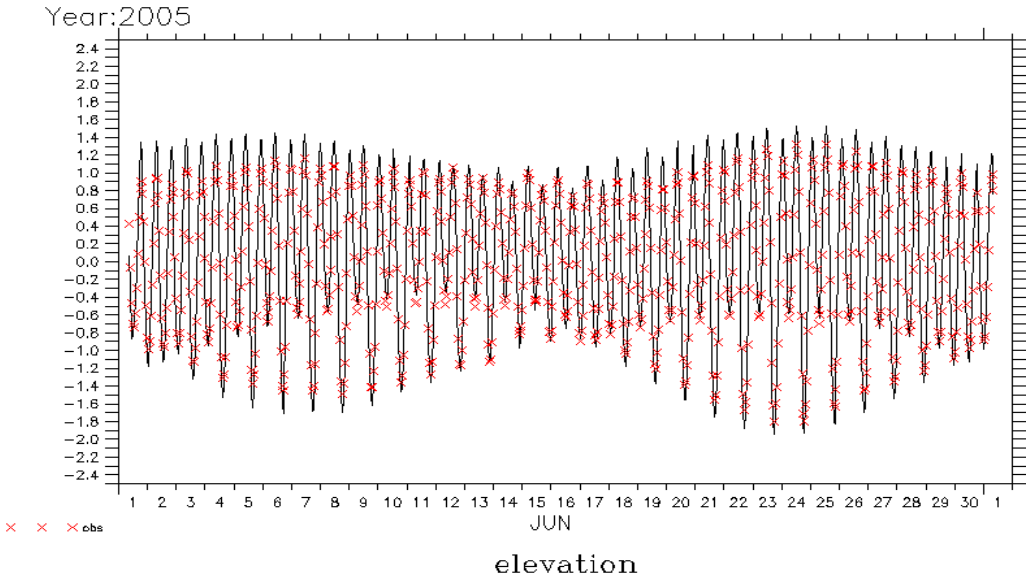


圖 2.3-7 箔子寮測站模式水位與實測水位比對圖

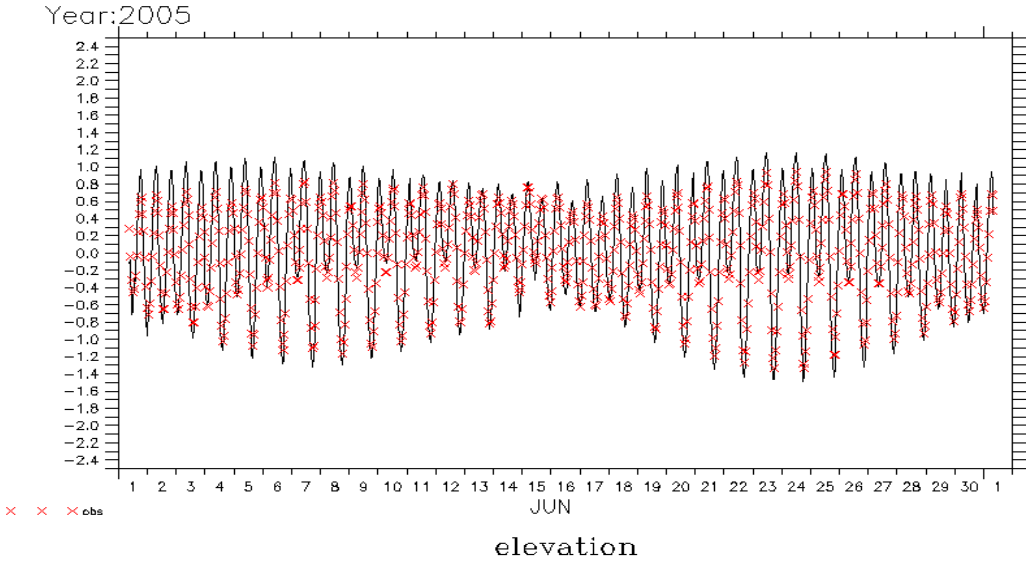


圖 2.3-8 東石測站模式水位與實測水位比對圖

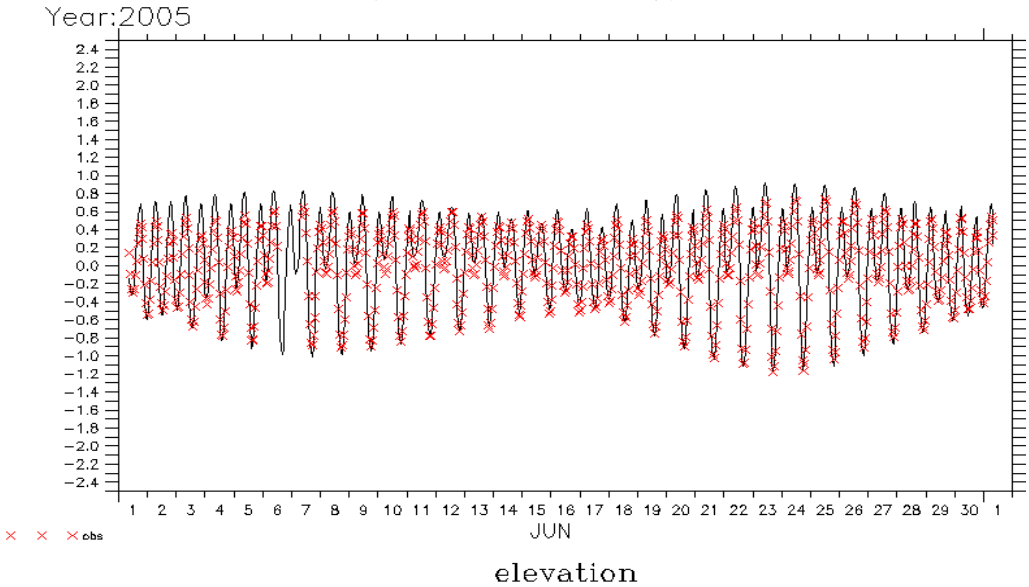


圖 2.3-9 將軍測站模式水位與實測水位比對圖

第三章 長期海象資料分析

本年度欲取得測站 1996 年至 2005 年共 10 年的長期資料，包括新竹、後壁湖、蘇澳、花蓮、成功、澎湖、蘭嶼、淡水、高雄及富岡等測站，以便進行長期水位資料分析。由於時間過長，因此部分測站有資料缺失的現象，如成功測站缺少 2003 及 2005 年資料，花蓮測站缺乏 2002 至 2005 年資料，富岡測站則僅有 2001 至 2005 年的資料。

取得實測資料後，進行分年度調和分析，瞭解各分潮在 10 年間變化的情況，由於一年的資料進行調和分析可分離出許多分潮，因此目前僅取台灣地區最重要的分潮，2 個全日潮 K1、O1 及 2 個半日潮 M2、S2 進行比較，圖 3-1 及 3-2 即為各測站各分潮振幅的年變化圖。由各測站的結果，全日潮的部分隨著時間振幅慢慢增加，增加較大的時段為 1998 年至 2002 年，其後至 2005 年增加幅度趨緩，接近靜止，富岡測站資料雖然年份比較短，但是其趨勢跟其他測站一模一樣。半日潮的行為則跟全日潮相反，M2 分潮振幅隨著時間慢慢有變小的趨勢，與全日潮類似，在後幾年也趨近於平緩，S2 分潮的振幅則是呈現上下震盪差異相當小的狀態。

表 3-1 為各測站水位大於 10 年最大天文潮位的時間點統計，括號內的日期為農曆日期。由統計表中，大部分極值水位皆發生在颱風來臨時期，特別是強烈颱風經過時，如賀伯颱風；另外一部份則發生在非颱風季節，此部分應為台灣地區季風影響所產生的現象，加上適逢農曆大潮期間，使得部分季風產生的最大水位與颱風不相上下，因此季風與大小潮產生的時間對水位的影響是不能忽略。

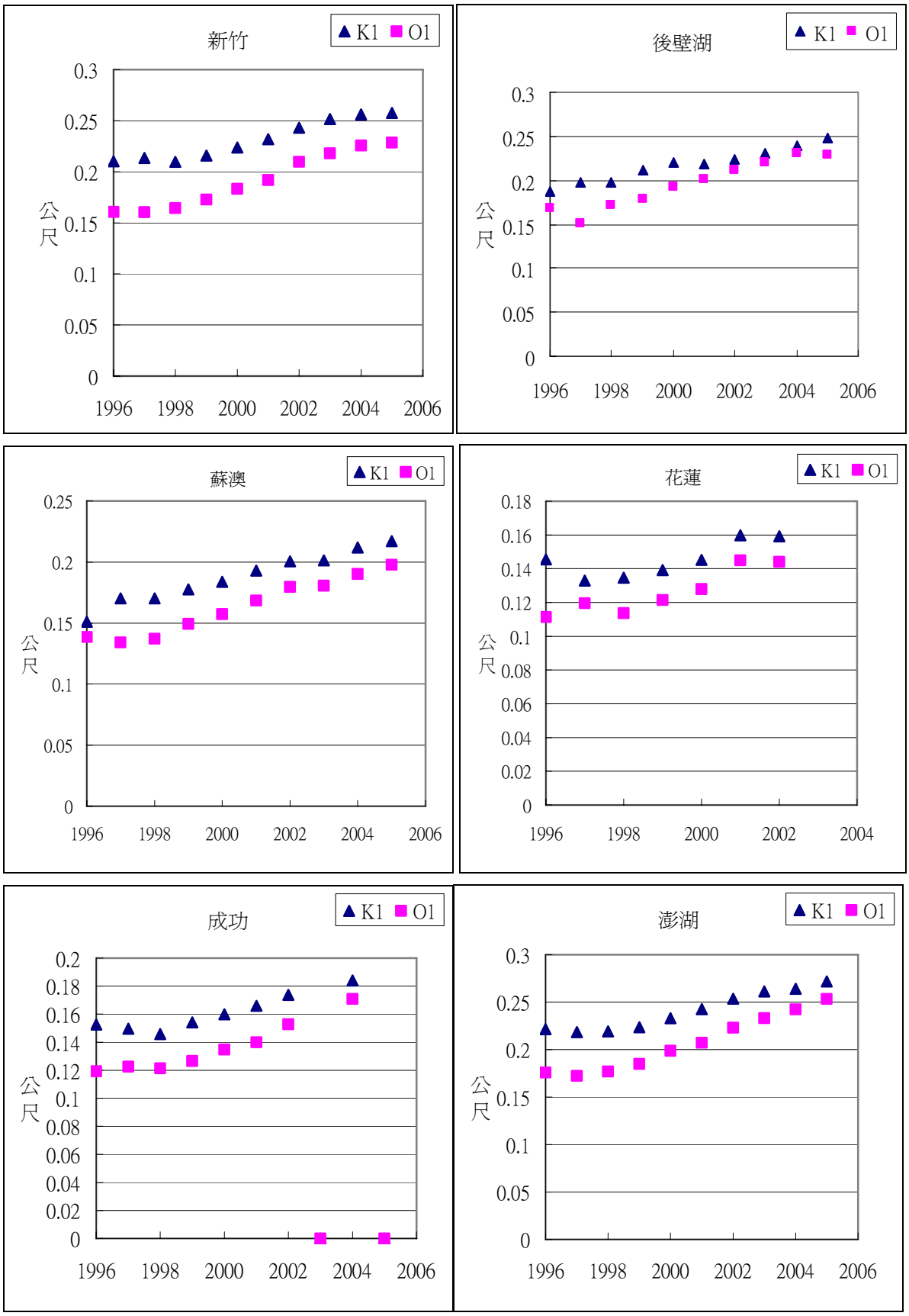


圖 3-1 各測站分潮 K1 及 O1 振幅年變化圖

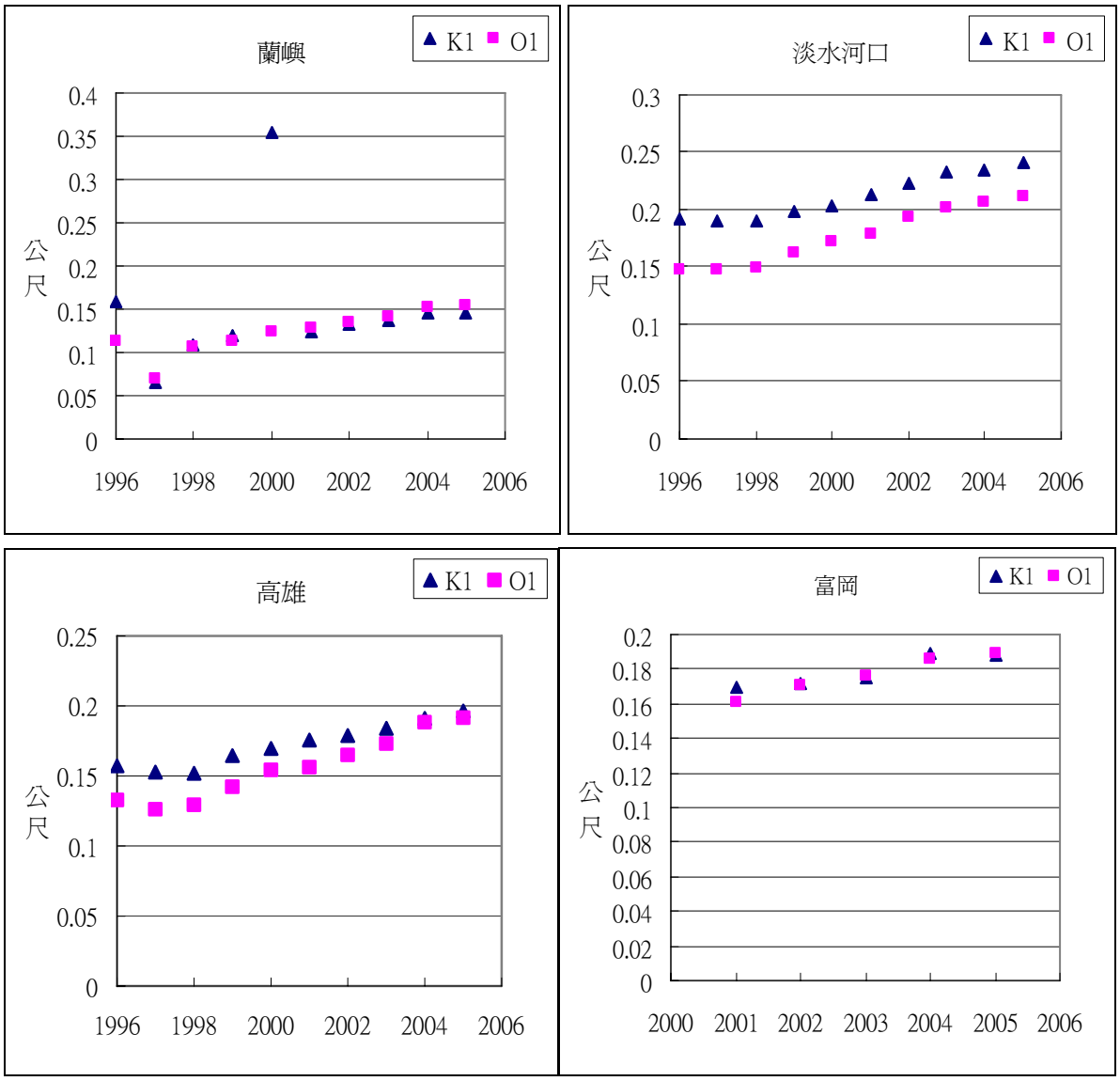


圖 3-1（續）各測站分潮 K1 及 O1 振幅年變化圖

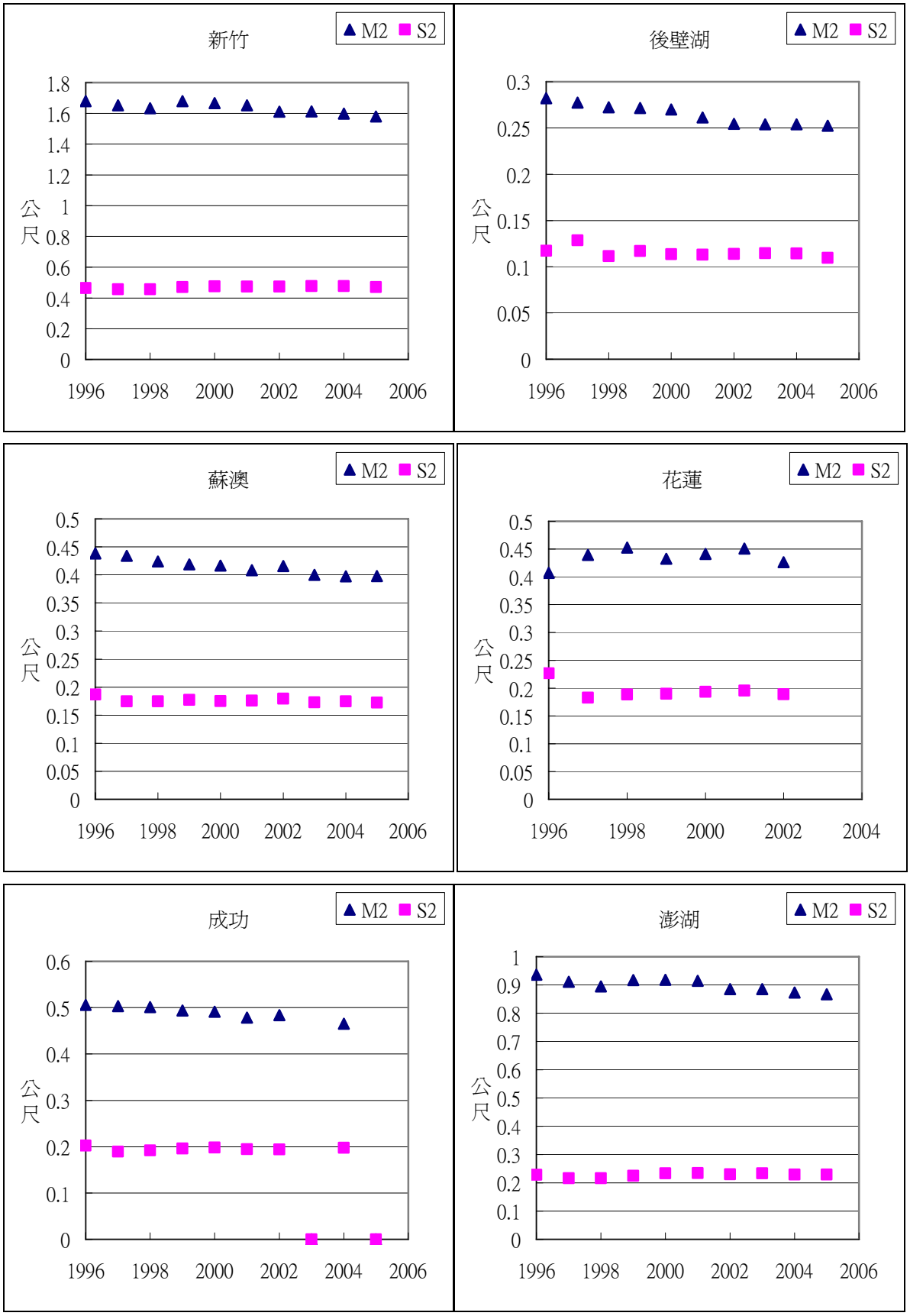


圖 3-2 各測站分潮 M2 及 S2 振幅年變化圖

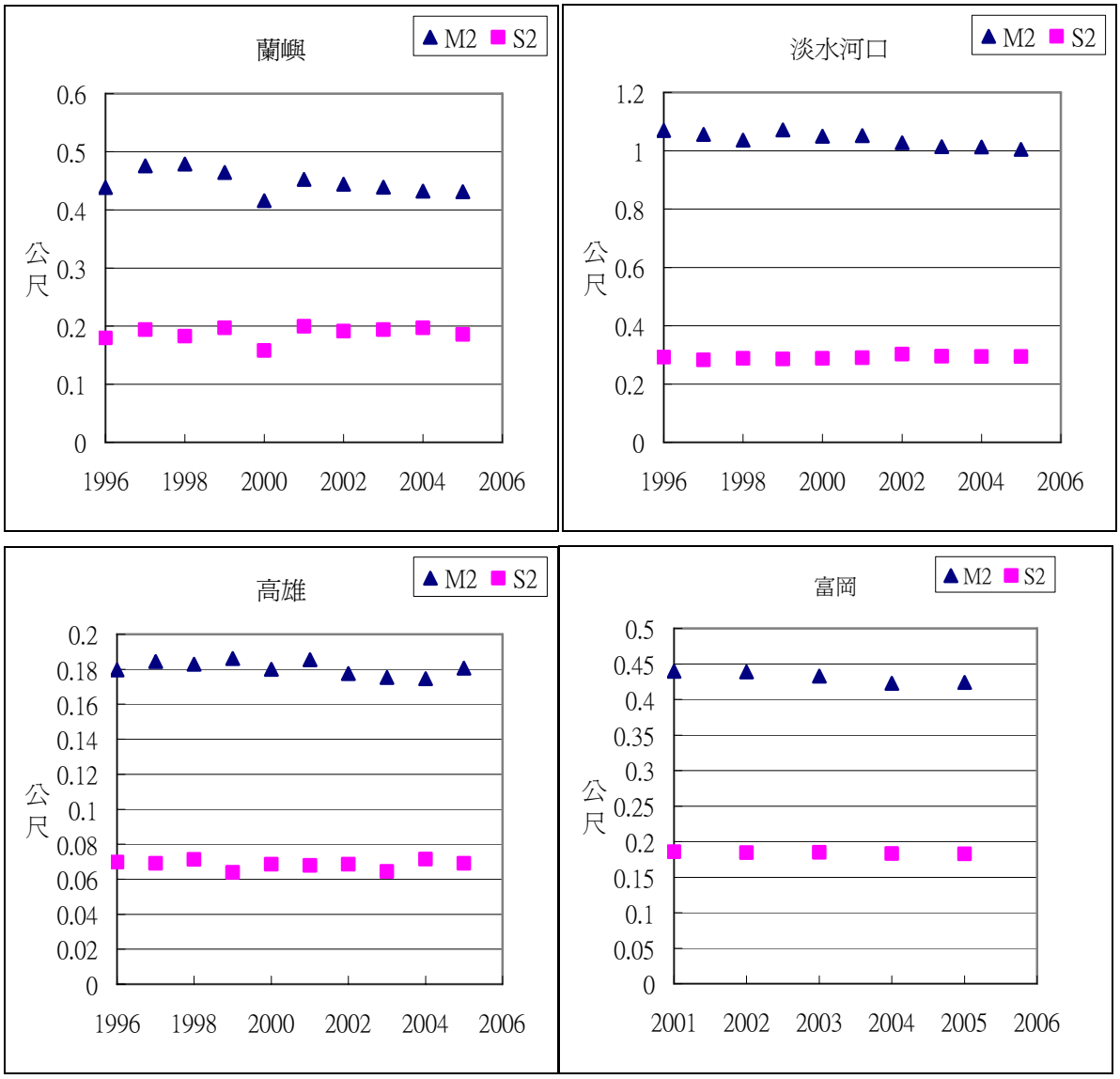


圖 3-2（續）各測站分潮 M2 及 S2 振幅年變化圖

表 3-1 各測站水位大於 10 年天文潮最大水位統計表

測站	年	月	日	時	水位(cm)	情況	其它	十年天文潮最大水位(cm)
新竹	1996	8(6)	1(17)	0	296.8	賀伯	強，07/29～08/01	270.6
	1997	8(7)	17(15)	23	338.1	溫妮	中，08/16～08/19	
後壁湖	2000	10(10)	31(5)	20	99.1	象神	中，10/30～11/01	95.9
	2001	6(5)	23(3)	6	119.1	奇比	中，06/22～06/24	
	2001	7(5)	5(15)	6	124.3	尤特	中，07/03～07/05	
	2003	9(8)	1(5)	23	97.5	杜鵑	中，08/31～09/02	
	2003	9(8)	2(6)	1	103.6	杜鵑	中，08/31～09/02	
	2004	6(4)	4(17)	6	96.6	無颱風	06/07～06/09 有康森颱風來襲	
	2004	6(4)	5(18)	7	105.6	無颱風	06/07～06/09 有康森颱風來襲	
	2004	6(4)	6(19)	8	101.2	無颱風	06/07～06/09 有康森颱風來襲	
蘇澳	1996	7(6)	31(16)	6	124.7	賀伯	強，07/29～08/01	99
	1996	8(6)	1(17)	7	132.7	賀伯	強，07/29～08/01	
	1997	8(7)	19(17)	6	102.1	溫妮	中，08/16～08/19	
	2000	9(8)	14(17)	6	103.3	無颱風		
	2001	1(12)	10(16)	18	102.7	無颱風		
	2001	12(11)	28(14)	16	108.4	無颱風		
	2001	12(11)	29(15)	17	118.2	無颱風		
	2001	12(11)	30(16)	18	125.5	無颱風		
	2001	12(11)	31(17)	18	135.2	無颱風		
	2002	9(8)	7(1)	6	100.8	辛樂克	中，09/04～09/08	

表 3-1 （續）各測站水位大於 10 年天文潮最大水位統計表

測站	年	月	日	時	水位 (cm)	情況	其它	十年天文潮最大水位 (cm)
成功	1996	7(6)	30(15)	05	109.3	賀伯	強，07/29～08/01	105.8
	1996	7(6)	31(16)	06	128.3	賀伯	強，07/29～08/02	
	1996	8(6)	1(17)	06	130.3	賀伯	強，07/29～08/03	
	1997	8(7)	18(16)	05	129.6	溫妮	中，8/16~8/19	
	1997	8(7)	19(17)	06	122.6	溫妮	中，8/16~8/20	
	1997	8(7)	29(27)	03	118.1	卡絲	輕，8/29~8/30	
	1997	9(8)	16(15)	05	110.2	無颱風		
	1997	9(8)	17(16)	06	108.2	無颱風		
	1997	9(8)	18(17)	07	107.2	無颱風		
	2000	8(7)	22(21)	23	132.6	碧利斯	強，8/21~8/23	
	2000	8(7)	23(22)	00	110.8	碧利斯	強，8/21~8/24	
	2000	8(8)	29(1)	06	112.7	巴比侖	輕，8/27~8/30	
	2000	8(8)	30(2)	06	119.7	巴比侖	輕，8/27~8/31	
	2001	1(12)	10(16)	18	110.3	無颱風		
	2002	9(8)	8(2)	06	110.9	辛樂克	中，9/4~9/8	
	2004	6(4)	5(18)	07	112.8	無颱風	06/07～06/09 有康森颱風來襲	
澎湖	1996	7(6)	31(16)	12	173.3	賀伯	強，07/29～08/01	163.8
	1996	8(6)	1(17)	0	183.3	賀伯	強，07/29～08/01	
	1997	2(1)	9(3)	0	166.6	無颱風		
淡水	1996	7(6)	31(16)	23	203.5	賀伯	強，07/29～08/01	183.4
	1996	8(6)	1(17)	1	195.5	賀伯	強，07/29～08/01	
	1996	9(8)	30(18)	13	186.8	無颱風	09/27～09/28 有薩恩颱風來襲(中)	
	1997	8(7)	17(15)	23	204.3	溫妮	中，08/16～08/19	
	1997	8(7)	18(16)	10	223.3	溫妮	中，08/16～08/19	
	2001	10(9)	17(1)	11	192.6	無颱風	10/15～10/16 有海燕颱風來襲(中)	

表 3-1 （續）各測站水位大於 10 年天文潮最大水位統計表

測站	年	月	日	時	水位(cm)	情況	其它	十年天文潮最大水位(cm)
蘭嶼	1996	1(12)	20(1)	18	104.1	無颱風		102.9
	1996	1(12)	21(2)	19	106.1	無颱風		
	1996	1(12)	22(3)	19	109.1	無颱風		
	1996	11(10)	11(1)	18	109.1	無颱風		
	1996	11(10)	12(2)	19	103.1	無颱風		
	1997	2(1)	9(3)	19	103	無颱風		
	1997	8(7)	18(16)	5	111.8	溫妮	中，08/16～08/19	
	1997	8(7)	19(17)	6	110.8	溫妮	中，08/16～08/19	
	1999	1(11)	2(15)	18	109.4	無颱風		
	1999	1(11)	3(16)	19	108.8	無颱風		
	2001	1(12)	11(17)	19	105.7	無颱風		
	2001	6(5)	23(3)	7	113.1	奇比	中，06/22～06/24	
	2003	5(4)	18(18)	7	103.9	無颱風		
	2004	7(5)	3(16)	6	103.3	敏督利	中，06/28～07/03	
	2004	8(6)	1(16)	6	110.2	無颱風		
	2004	8(6)	2(17)	7	105.3	無颱風		
	2004	11(10)	14(3)	19	103.9	無颱風		
	2005	8(7)	21(17)	7	108.3	無颱風		
高雄	1997	2(1)	7(1)	19	74.3	無颱風		73.9
	2001	7(5)	5(15)	7	81.9	尤特	中，07/03～07/05	
	2004	1(1)	22(1)	19	74.6	無颱風		
	2004	6(4)	6(19)	9	76.2	康森	中，06/07～06/09	
	2004	7(5)	2(15)	6	83.7	敏督利	中，06/28～07/03	
	2004	7(5)	3(16)	8	83.7	敏督利	中，06/28～07/03	
	2004	12(11)	13(2)	20	74.3	無颱風		
	2004	12(11)	14(3)	21	77	無颱風		
	2005	1(12)	10(1)	19	77.9	無颱風		
	2005	1(12)	11(2)	20	76.9	無颱風		
富岡	2001	2(1)	9(17)	19	105.8	無颱風		104.3
	2001	6(5)	23(3)	7	108.8	奇比	中，06/22～06/24	
	2002	9(8)	8(2)	7	109.2	辛樂克	中，09/04～09/08	

第四章 結論

目前所建置的大尺度模式在水位的模擬準確度相當高，唯颱風來臨時，受限於尺度過大且六小時一筆的 RC 分析風場及氣象場，導致颱風期間水位低估，特別是在靠近颱風中心的地區，此部分未來仍會繼續進行修正，以便取得更好的暴潮水位推算，達成上線預報的目標。

巢式網格建置完成，初步測試結果，由於東部水深較深，且直接可面對東邊開放邊界，因此大小尺度的結果差異不大，但是在海峽內部的測站，之前建置完成大尺度結果往往會低估水位，特別是在新竹、外埔的西北部測站最為明顯，而在使用巢式網格架構計算後，由結果可得知模式水位已經可以完整的描述實際現象，不會有低估的現象；西南部的箔仔寮、東石及將軍則也些許高估，此部分未來能會繼續進行校正。本年度目前僅使用單向巢式網格，僅將大尺度的模式結果引入作為小尺度的邊界條件，氣象條件的部分也是分別計算使用。下一年度會繼續進行巢狀網格的改進，以達到動態雙向的目標。

本年度目前僅進行長期實測水位資料的初步分析，瞭解台灣地區主要分潮年的趨勢變化，並且統計了 10 年之中各測站水位大於 10 年最大天文潮水位的時間點，此部分可以做為未來長期模擬的參考，而長期暴潮的趨勢分析也會於明年度進行。

第五章 中央氣象局多尺度暴潮模式預報作業改進及長期暴潮水位模擬分析研究（2/3）委託工作事項及驗收標準

工作項目	驗收標準
1、建立並校驗大範圍暴潮數值模式與細網格模式單向巢狀接合及其相關之平行處理作業。	報告內容 32 頁至 36 頁
2、95 年 6 月 1 日前須在本局建置暴潮模式（ADI）（解析度 1/20）並測試完成，同時協助本局建置暴潮模式（ADI）預報作業系統，模式輸出結果需包含 2D 動畫檔及圖檔。	模式已安裝於海象測報中心指定之電腦並測試完成。
3、修改暴潮模式（ADI）之模式初始輸入參數，氣象局僅提供日期、颱風經緯度、氣壓、風速、暴風半徑。	安裝模式並測試完成。
4、海象資料長期分析。	報告內容 37 頁至 44 頁。
5、依契約書第 8 條規定，乙方須配合甲方不定期之查訪。	甲方於每季不定期對乙方進行工作進度查訪（簡報或會議型式）

※ 備註：乙方於期末報告審查通過後，需依照行政院研究發展考核委員會政府出版品電子檔繳交作業規定，製作報告及電子檔案光碟 5 份交予甲方。

參考文獻

1、中央氣象局網站

2、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

3、Dronkers (1969) Tidal computations in rivers, coastal areas and seas., J. of Hydraulics ASCE 95, p44-77

4、Holland, G.. J., (1980) An Analytic Model of the Wind and Pressure Profiles in Hurricanes. , Monthly Weather Review, Vol.108, p1212~1218

5、Lai, C.-C. A., (1995) Probabilistic Forecast of Tropical Cyclone-generated Storm Surge With a Dynamic-statistical Approach. , MTS Journal, Vol.26, No.2, p33~42

6、Powell, M. D., (1982) The Transition of the Hurricane Frederic Boundary-Layer Wind Field from the Open Gulf of Mexico to Landfall. , Monthly Weather Review, Vol.110, p1912~1932

7、Shapiro, L. J., (1983) The Asymmetric Boundary Layer Flow Under a Translating Hurricane. , Journal of the Atmospheric Science, Vol.40, p1984~1998

8、Shea, D. J. and W. M. Gray, (1973) The Hurricane's Inner Core Region. I. Symmetric and Asymmetric Structure. , Journal of the Atmospheric Science, Vol.30, p1544~1564

9、Yu, C.S. (1993) Modelling Shelf Sea Dynamics and Estuarine Circulations. Ph.D. Thesis, Dept. of Civil Eng., K.U.Leuven.

10、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 Technonogy Library, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1331- 1338.

10、Yu, C.S., Z.W. Song, D. Roose, and J. Berlamont (1992) Implementation of tidal flow equations on distributed parallel computers. *Proc. of the Int. Conf. on Parallel Computing and Transputers Applications (PACTA'92)*, Barcelona, September 21-25, 1992, Spain.

交通部中央氣象局

95 年度委託研究計畫「多尺度暴潮模式預報作業改進及長期暴潮水位模擬分析（2/3）」期末報告及 96 年度「多尺度暴潮模式預報作業改進及長期暴潮水位模擬分析(3/3)」計畫書審查　會議紀錄

壹、時　　間：民國 95 年 12 月 11 日（星期一）下午 3 時 20 分

貳、地　　點：本局 205 會議室

叁、主　　席：紀副局長水上　　紀錄：朱啟豪

肆、出席委員：詳簽到單

伍、列席人員：詳簽到單

陸、執行單位：國立中山大學于嘉順助理教授

柒、主席報告：略

捌、執行單位簡報：略

玖、95 年度委託研究計畫期末報告審查委員意見及建議事項：

一、林教授銘崇：

（一）各測站分潮（K1，O1）振幅隨年度變化不小，如何解釋。

（二）模式計算之暴潮偏差量大多較實測值為小。

（三）建議列上模式計算範圍，網格示意圖。

（四）西海岸之模式計算結果應與地形複雜性有關，值得進一步探討。

廠商回覆：

（一）目前以十年的資料可發現部分趨勢，此部分可能為天文潮 19 年的週期變化，但是仍然需要更長時間的實測資料分析瞭解得到更進一步的結果

（二）此部分為分析風場時間間隔過大及解析度過大導致無法完整解析颱風

（三）此部分放於巢式網格部分

（四）謝謝評審建議，此部分會在下一年度的計畫中繼續進行探討

二、陳院長陽益：

（一）每 6 小時一筆風場資料，6 小時內如何內插，尤其在颱風中心通過時其變化較劇烈者，並請說明其精度或改進。

（二）大的長波湧浪會使水位抬昇的困擾，要如何去掉，否則會有預報偏高之虞。

（三）地形水深效應，如平坦海床與灣澳地形之差異，應考量進去或比對。

（四）各分潮振幅有逐年變化的現象，其原因需再長期資料來分析找出證據，並考量全球暖化海平面水位上升的現象。

廠商回覆：

謝謝評審建議，本團隊會繼續進行資料分析及模式修正，以建立更符合實際狀況的系統。

三、葉組長天降：

（一）Table3-1 月日建議加農曆，依天文潮之資訊更清楚。另後續應針對非颱風期間造成之高水位做進一步分析，如風速、風向天氣型態情形。

（二）資料以兩時間做內插，將無法代表系統（如颱風）之移動，應加以改善。

（三）結論可加強對驗收項目進行各項工作之簡要說明。

（四）年度工作正常進行，驗收合格。

廠商回覆：

（一）謝謝評審建議，已在期末完稿加上。此部分會在明年度計畫進行更詳盡的分析。

（二）謝謝評審建議，此部分會在明年度計畫繼續進行修正。

（三）已已於期末完稿加上驗收標準

四、鄭主任明典：

報告說明清楚，所有測試結果合理，符合計畫內容，審查通過。最大未解決問題為颱風結構的影響，這部分要多花時間去解決。

廠商回覆：

（一）謝謝評審建議，明年度會繼續加強分析。

五、徐主任月娟：

（一）實測水位減去模式計算之天文潮位會發生振盪情形，表示模式預報的水位與實測之間可能有潮時上的差異，可能需要再加以調校。

（二）每 6 小時間隔之海平面氣壓場，颱風中心有位移，其中間內插時間可能造成兩個中心，是否考慮到此問題，如何解決。

（三）文字、圖修正：第六頁倒數第 11 行後面「近」中心最大風速，第 45 頁第 6 行前面「巢」式網格，第 19 頁圖 2.2-14spike。

廠商回覆：

（一）此部分會利用巢式網格進行修正

（二）此部分會於明年度繼續分析討論

（三）已於期末完稿修正

審查結果：審核通過。

拾、96 年度計畫書審查委員意見：

一、林教授銘崇：

（一）計畫內容具體可行。

（二）預期成果提到暴潮水位和波浪模式結合，或許值得發展。

廠商回覆：

謝謝評審建議。

二、陳院長陽益：

（一）近岸區的颱風大浪會影響海面水位，要考慮去除。

（二）各項的計算值請列出其精確度，以為參考或可改進之處。

廠商回覆：

謝謝評審建議，本團隊會繼續進行模式修正改進。

三、葉組長天降：

（一）對造成各地非颱風侵襲而有較高水位的個案能做較仔細探討，以了解何種天氣型態造成。

（二）對模擬以單純資料內插來處理若資料間距大於 3 小時時，將無法正確掌握颱風之移動，應在本年度加強此方面之改善。

廠商回覆：

謝謝評審建議，會在未來繼續進行分析及討論。

四、鄭主任明典：

計畫內容合理，步驟清楚可行。建議再加強颱風風場前置處理的合理化，例如可引用氣象上普遍使用的颱風渦流”re-allocation”的技術，而非用單純內插。

廠商回覆：

謝謝評審建議，會在本年度嘗試使用不同方式進行內差，以得到更精確的風速資料。

五、徐主任月娟：

本計畫以食用於颱風暴潮預報為主，對颱風個案預測水位的準確性，尚有改進空間，請再加強。

廠商回覆：

謝謝評審建議，會再繼續進行分析及改進。

六、結論：

（一）依據各專家學者的意見，請廠商（國立中山大學）參酌，作為本案的工作項目及工作目標之依據。

（二）本案為 3 年計畫，96 年度「中央氣象局多尺度暴潮模式預報作業改進及長期暴潮水位模擬分析」計畫書經委員審查評選後所獲評分符合評分標準（總分平均達 80 分（含）以上且經出席委員過半數以上審議合格），依規定取得本採購案議價資格。

拾壹、散會：下午 4 時 20 分