

MOTC-CWB-96-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 (3/3)

著者：于嘉順 江朕榮 尤皓正 余杏儒

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 96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

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（3/3）		
國際標準書號(或叢刊書)	政府出版品統一編號	計畫編號
		MOTC-CWB-96-0-07
主管：徐月娟 聯絡電話：02-23491190 傳真號碼：02-23491199 e-mail：glory@cwbg.gov.tw 承辦人：陳仁曾 聯絡電話：02-23491315 傳真號碼：02-23491199 e-mail：gaia@cwbg.gov.tw	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	其他參與合作之研究團隊
	研究人員：江朕榮 尤皓正 余杏儒 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	研究期間
		96年2月13日至96年12月31日
		研究經費
		伍拾伍萬
關鍵詞： 颱風、風暴潮、巢式網格、平行計算		
摘要： <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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15°N ~ 42°N及105°E ~ 150°E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</p>		

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。

出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
96年12月	79		

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

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 (3/3)			
ISBN(OR ISSN)		GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	PROJECT NUMBER
			MOTC-CWB-96-0-07
DIRECTOR GENERAL : Yueh-Jiuan G. Hsu PHONE : 02-23491190 FAX : 02-23491199 E-MAIL : glory@cwbc.gov.tw SPONSOR STAFF : Ren-Zeng, Chen PHONE : 02-23491315 FAX : 02-23491199 E-MAIL : gaia@cwbc.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	2007.2.13~2007.12.31	PROJECT BUDGET	550,000
KEY WORDS : strom surge, hydrodynamics model, parallel processing			
ABSTRACT : <p style="text-align: justify;">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.</p>			

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 ° N ~ 42 ° N and 105 ° E ~ 150 ° 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.2007	79		<input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input checked="" type="checkbox"/> 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 (3/3)」 期末報告

目錄

目錄	i
圖目錄	iii
表目錄	vii
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	3
第二章 多尺度暴潮模式	4
2.1 暴潮模式原理	5
2.2 模式地形及邊界設定	8
2.3 模式校驗	9
2.4 模式應用	16
第三章 長期海象資料分析	56
3.1 長期水位調和分析	56
3.2 暴潮水位極值分析	60
第四章 結論	69

第五章 本年度驗收標準	70
參考文獻	71

圖目錄

圖 2.2-1 西太平洋模式地形範圍	9
圖 2.2-2 台灣海域模式範圍	9
圖 2.3-1 模式結果與實測資料全日潮振幅比對	11
圖 2.3-2 模式結果與實測資料全日潮相位比對	12
圖 2.3-3 模式結果與實測資料半日潮振幅比對	13
圖 2.3-4 模式結果與實測資料半日潮相位比對	14
圖 2.3-5 淡水測站實測資料與模式比對圖(y 軸為實測資料, x 軸為模式資料)	15
圖 2.4-1 海棠颱風路徑圖 (中央氣象局)	19
圖 2.4-2 泰利颱風路徑圖 (中央氣象局)	19
圖 2.4-3 龍王颱風路徑圖 (中央氣象局)	19
圖 2.4-4 氣象局測站分佈	20
圖 2.4-5 海棠颱風蘇澳測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下) (細線:天文潮,粗線:整合水位,x:實測水位)	21
圖 2.4-6 海棠颱風石梯測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下) (細線:天文潮,粗線:整合水位,x:實測水位)	22
圖 2.4-7 海棠颱風成功測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下) (細線:天文潮,粗線:整合水位,x:實測水位)	23
圖 2.4-8 海棠颱風大武測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下) (細線:天文潮,粗線:整合水位,x:實測水位)	24
圖 2.4-9 海棠颱風新竹測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下) (細線:天文潮,粗線:整合水位,x:實測水位)	25
圖 2.4-10 海棠颱風箔仔寮測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下) (細線:天文潮,粗線:整合水位,x:實測水位)	26
圖 2.4-11 海棠颱風東石測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下) (細線:天文潮,粗線:整合水位,x:實測水位)	27
圖 2.4-12 海棠颱風將軍測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下) (細線:天文潮,粗線:整合水位,x:實測水位)	28
圖 2.4-13 泰利颱風蘇澳測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下) (細線:天文潮,粗線:整合水位,x:實測水位)	29
圖 2.4-14 泰利颱風石梯測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下) (細線:天文潮,粗線:整合水位,x:實測水位)	30
圖 2.4-15 泰利颱風成功測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下) (細線:天文潮,粗線:整合水位,x:實測水位)	31
圖 2.4-16 泰利颱風大武測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下) (細線:天文潮,粗線:整合水位,x:實測水位)	32
圖 2.4-17 泰利颱風新竹測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下) (細線:天文潮,粗線:整合水位,x:實測水位)	33

圖 2.4-18 泰利颱風箔子寮測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下) (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位).....	34
圖 2.4-19 泰利颱風東石測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下) (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位).....	35
圖 2.4-20 泰利颱風將軍測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下) (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位).....	36
圖 2.4-21 龍王颱風蘇澳測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下) (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位).....	37
圖 2.4-22 龍王颱風石梯測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下) (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位).....	38
圖 2.4-23 龍王颱風成功測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下) (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位).....	39
圖 2.4-24 龍王颱風大武測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下) (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位).....	40
圖 2.4-25 龍王颱風新竹測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下) (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位).....	41
圖 2.4-26 龍王颱風箔子寮測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下) (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位).....	42
圖 2.4-27 龍王颱風東石測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下) (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位).....	43
圖 2.4-28 龍王颱風將軍測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下) (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位).....	44
圖 2.4-29 凱米颱風路徑圖 (中央氣象局網站)	46
圖 2.4-30 凱米颱風期間淡水測站與實測資料時序圖(粗線：3分, 細線：1分) ..	48
圖 2.4-31 凱米颱風期間新竹測站與實測資料時序圖(粗線：3分, 細線：1分) ..	49
圖 2.4-32 凱米颱風期間箔子寮測站與實測資料時序圖(粗線：3分, 細線：1分) ..	49
圖 2.4-33 凱米颱風期間外埔測站與實測資料時序圖(粗線：3分, 細線：1分) ..	49
圖 2.4-34 凱米颱風期間東石測站與實測資料時序圖(粗線：3分, 細線：1分) ..	50
圖 2.4-35 凱米颱風期間將軍測站與實測資料時序圖(粗線：3分, 細線：1分) ..	50
圖 2.4-36 凱米颱風期間梗枋測站與實測資料時序圖(粗線：3分, 細線：1分) ..	50
圖 2.4-37 凱米颱風期間花蓮測站與實測資料時序圖(粗線：3分, 細線：1分) ..	51
圖 2.4-38 凱米颱風期間石梯測站與實測資料時序圖(粗線：3分, 細線：1分) ..	51
圖 2.4-39 凱米颱風期間大武測站與實測資料時序圖(粗線：3分, 細線：1分) ..	51
圖 2.4-40 淡水測站模式水位與實測水位比對圖 (x 軸為模式資料, y 軸為實測資料).....	52
圖 2.4-41 將軍測站模式水位與實測水位比對圖 (x 軸為模式資料, y 軸為實測資料).....	52
圖 2.4-42 新竹測站模式水位與實測水位比對圖	

(x 軸為模式資料，y 軸為實測資料).....	52
圖 2.4-43 外埔測站模式水位與實測水位比對圖	
(x 軸為模式資料，y 軸為實測資料).....	53
圖 2.4-44 安平測站模式水位與實測水位比對圖	
(x 軸為模式資料，y 軸為實測資料).....	53
圖 2.4-45 小琉球測站模式水位與實測水位比對圖	
(x 軸為模式資料，y 軸為實測資料).....	53
圖 2.4-46 後壁湖測站模式水位與實測水位比對圖	
(x 軸為模式資料，y 軸為實測資料).....	54
圖 2.4-47 龍洞測站模式水位與實測水位比對圖	
(x 軸為模式資料，y 軸為實測資料).....	54
圖 2.4-48 花蓮測站模式水位與實測水位比對圖	
(x 軸為模式資料，y 軸為實測資料).....	54
圖 2.4-49 梗枋測站模式水位與實測水位比對圖	
(x 軸為模式資料，y 軸為實測資料).....	55
圖 2.4-50 大武測站模式水位與實測水位比對圖	
(x 軸為模式資料，y 軸為實測資料).....	55
圖 3.1-1 花蓮測站各年主要全日分潮比較圖.....	57
圖 3.1-2 高雄測站各年主要全日分潮比較圖.....	58
圖 3.1-3 基隆測站各年主要全日分潮比較圖.....	58
圖 3.1-4 澎湖測站各年主要全日分潮比較圖.....	58
圖 3.1-5 花蓮測站各年主要半日分潮比較圖.....	59
圖 3.1-6 高雄測站各年主要半日分潮比較圖.....	59
圖 3.1-7 基隆測站各年主要半日分潮比較圖.....	59
圖 3.1-8 澎湖測站各年主要半日分潮比較圖.....	60
圖 3.2-1 花蓮測站迴歸期水位變化(20 年資料).....	65
圖 3.2-2 高雄測站迴歸期水位變化(20 年資料).....	65
圖 3.2-3 基隆測站迴歸期水位變化(20 年資料).....	66
圖 3.2-4 澎湖測站迴歸期水位變化(20 年資料).....	66
圖 3.2-5 花蓮測站迴歸期水位變化(50 年資料).....	66
圖 3.2-6 高雄測站迴歸期水位變化(50 年資料).....	67
圖 3.2-7 基隆測站迴歸期水位變化(50 年資料).....	67
圖 3.2-8 澎湖測站迴歸期水位變化(50 年資料).....	67
圖 3.2-14 台灣海域 200 年迴歸期暴潮水位分佈圖.....	53

表目錄

表 2.1-1 暴潮模式使用之變數及參數	8
表 2.4-1 各測站於三個颱風期間模式水位跟實測水位相關係數	18
表 2.4-1 各測站於三個颱風期間模式水位跟實測水位 r.m.s 值統計	18
表 2.4-3 各測站於模擬期間模式水位與實測水位相關係數 (西太平洋模式)	46
表 2.4-4 各測站於模擬期間模式水位與實測水位相關係數 (台灣海域模式)	47
表 2.4-5 各測站於模擬期間模式水位與實測水位 r.m.s 值統計 (西太平洋模式)	47
表 2.4-6 各測站於模擬期間模式水位與實測水位 r.m.s 值統計 (台灣海域模式)	48
表 3.1-1 各測站平均海平面逐年變化 (單位:公尺)	57
表 3.1-2 各測站各分潮振幅 51 年平均值	60
表 3.2-1 計算樣本順位機率之 α 及 β 值	62
表 3.2-2 相關係數殘差平均值公式之係數 \bar{a} 、 \bar{b} 及 \bar{c} 值	63
表 3.2-3 重現期推算量之標準偏差公式中之係數	64
表 3.2-4 各颱風產生的最高暴潮位重現期(利用 20 年分析結果推算).....	68

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，進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/NCEP) 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 15°N ~ 42°N 及 105°E ~ 150°E 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接合，包含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 15°N ~ 42°N 及 105°E ~ 150°E，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 多尺度暴潮模式

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，以下即為三年模式建立及效驗的工作成果。

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

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

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

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

底層摩擦產生之剪力可寫為

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

其中 k 為底床摩擦係數。

風於表層產生之剪力可寫為

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

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：

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

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

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

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 2.1-1 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 的計算方法由三個差分方程式改良為僅使用一個差分方程式，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)

本章節為本年度工作項目執行結果，包含模式校驗改進等項目，以期能建置一套適用於台灣本地且執行效率佳之預報模式。

2.2 模式地形及邊界設定

氣象局海象測報中心目前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。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，因此本計畫在前兩年將模式模擬範圍擴展為東經 105 度至 150 度，北緯 15 度至 42 度（西太平洋模式），地形解析度為 1/20 度，如圖 2.2-1，以期能將颱風自生成開始產生的影響包含在內。由於台灣地區海底地形變化相當的大，因此除了 1/20 度的模擬地形，本計畫也規劃了 1/60 度的地形進行模擬，模擬的範圍為東經 117 度至 123 度，北緯 21 度至 26 度（台灣海域模式），以期完整解析台灣附近海域的地形。

模式的邊界輸入為 8 個分潮的振幅及相位，包含四個主要全日潮 Q1、O1、P1、

K1 及四個主要半日潮 N2、M2、S2、K2，分潮資料的取得為全球潮汐模式資料，由於模式範圍涵蓋太平洋深水區域，模式同時也將深海平均潮的影響加入模擬。

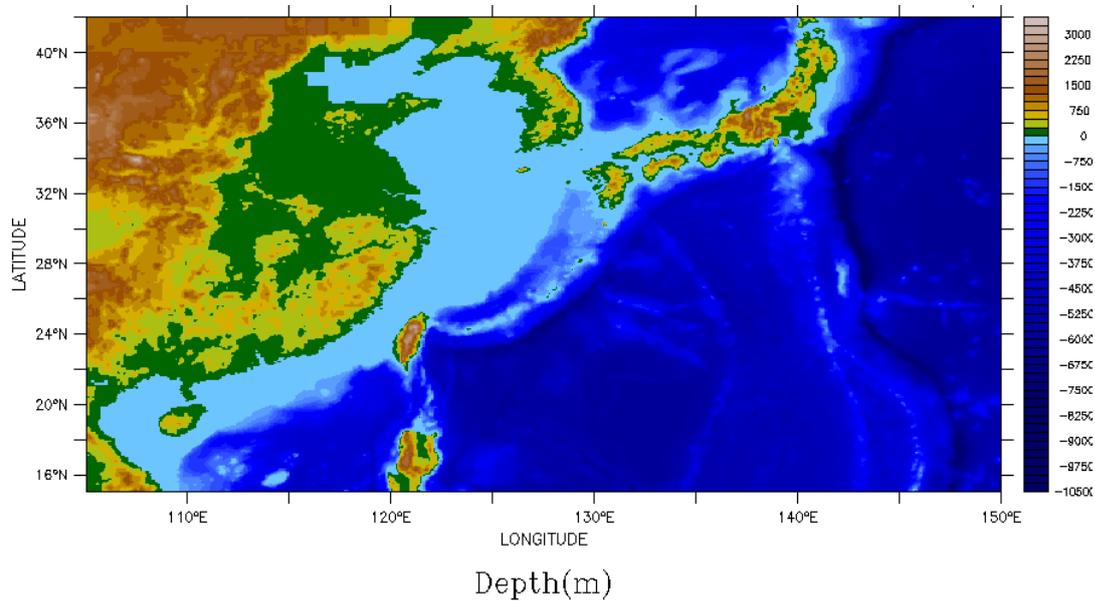


圖 2.2-1 西太平洋模式地形範圍

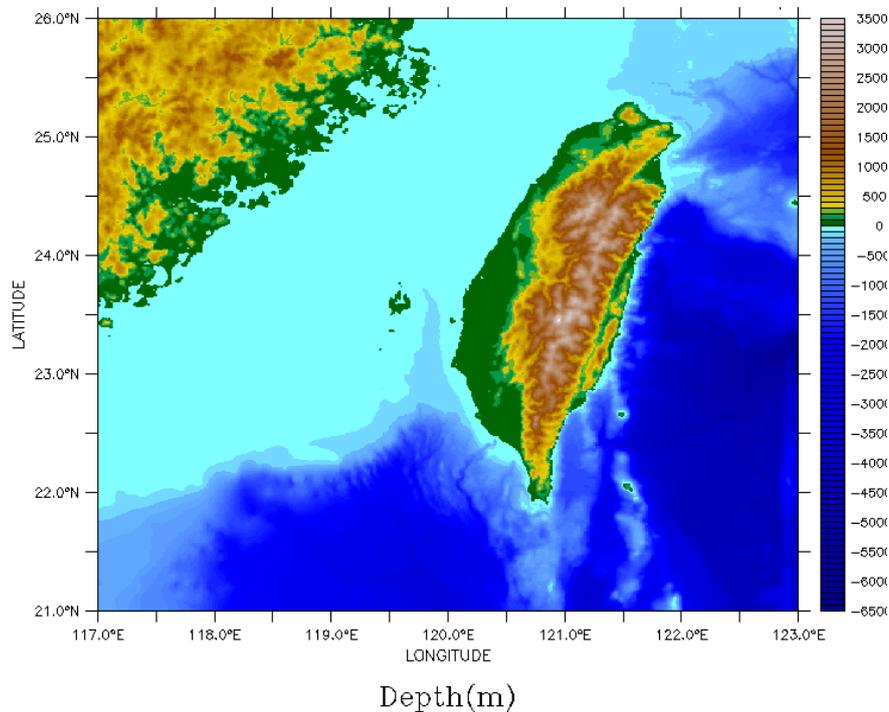


圖 2.2-2 台灣海域模式範圍

2.3 模式校驗

水位主要由天文潮及氣象潮相互作用產生，主要受到天文潮的主導，因此水位要能預測準確，需先由天文潮潮位著手，本計畫先進行西太平洋模式天文潮的校驗，將

模式模擬結果與實測資料同時進行調和分析，取出的 8 個主要分潮進行比對，了解模式的適用性。模式的模擬時間為 2004 年 6 月至 10 月五個月連續模擬，同時段的實測資料則由中央氣象局海象測報中心提供，提供的測站為成功 (CK)、梗枋 (GF)、花蓮 (HL)、後壁湖 (KD)、蘭嶼 (LY)、澎湖 (PH)、蘇澳 (SA)、新竹 (SC) 及淡水 (TS)。圖 2.3-1 至圖 2.3-4 為模式結果與實測資料同時進行調和分析後，各測站取主要分潮的振幅與相位比對結果。由振幅的比對圖，模式結果各分潮差距不大。由相位的比對圖，資料經分析後，不管是全日潮或是半日潮，模式相位與實測資料的相位差距不大，皆在 20 度以內。

圖 2.3-5 為模式結果與實測資料比對圖，圖上 X 軸為模式結果，Y 軸為實測資料，實測資料部分比對時間點為 2004 年 6~10 月，每個小時一筆資料，共 3666 筆資料；模式結果部分則為西太平洋模式之結果。比對結果上，除了梗枋測站有些許偏移，淡水測站較為分散，此部份推測為北台灣地形及海岸線變化較複雜，1/20 度的解析度能不足以描述，其餘的測站比對結果則相當良好。

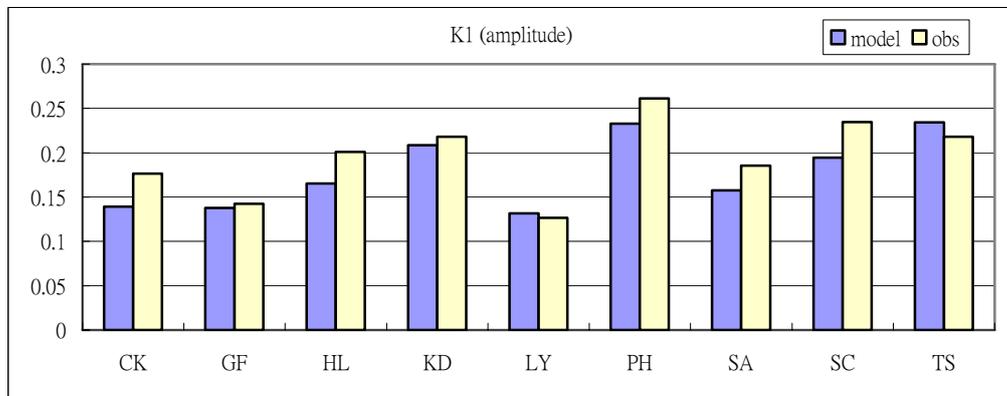
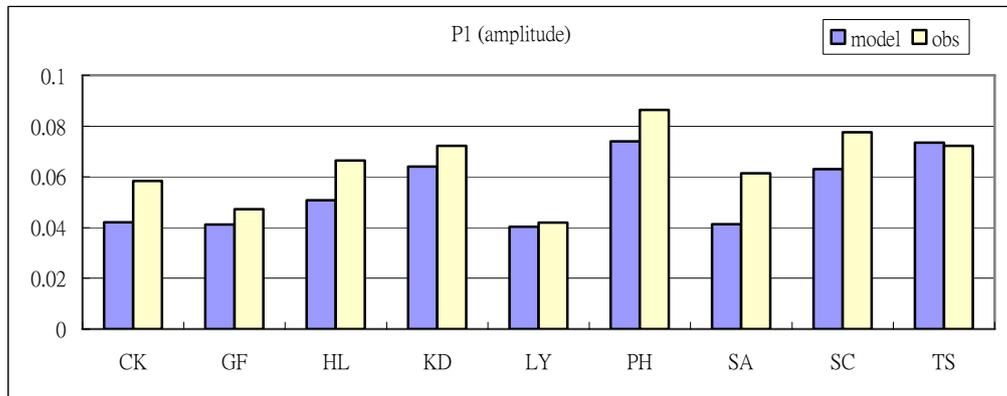
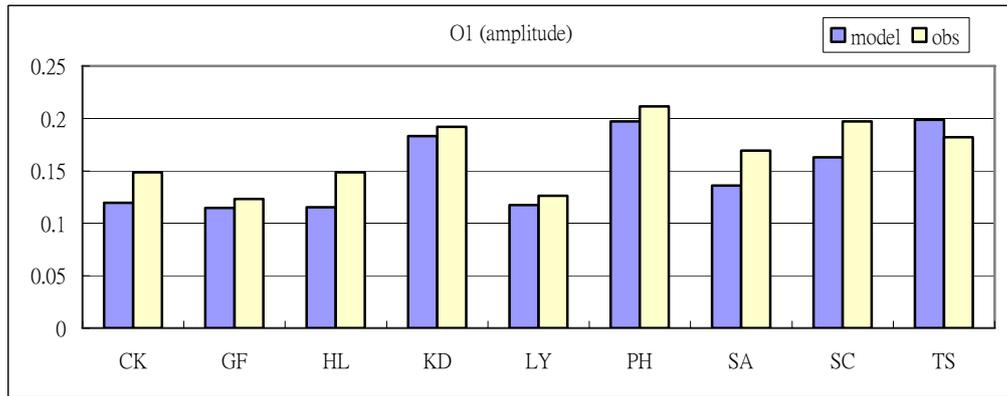
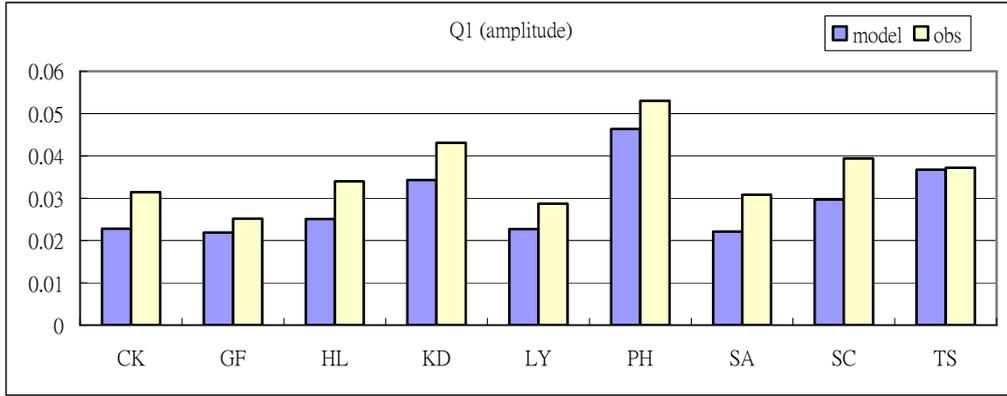


圖 2.3-1 模式結果與實測資料全日潮振幅比對

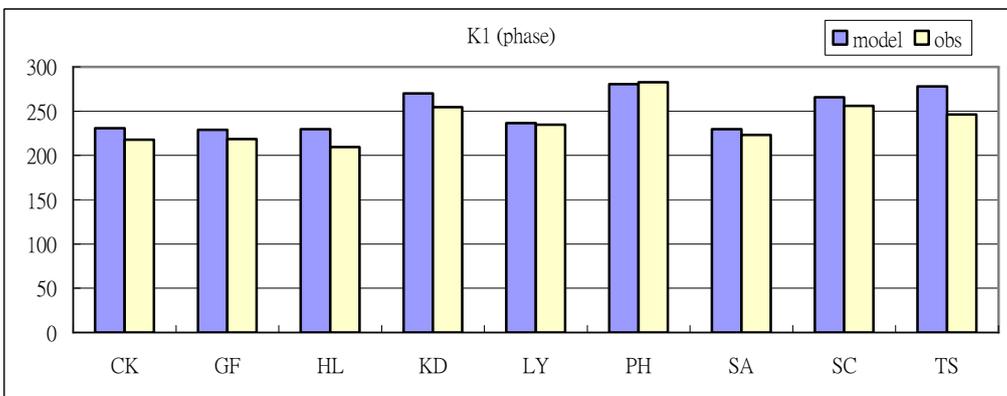
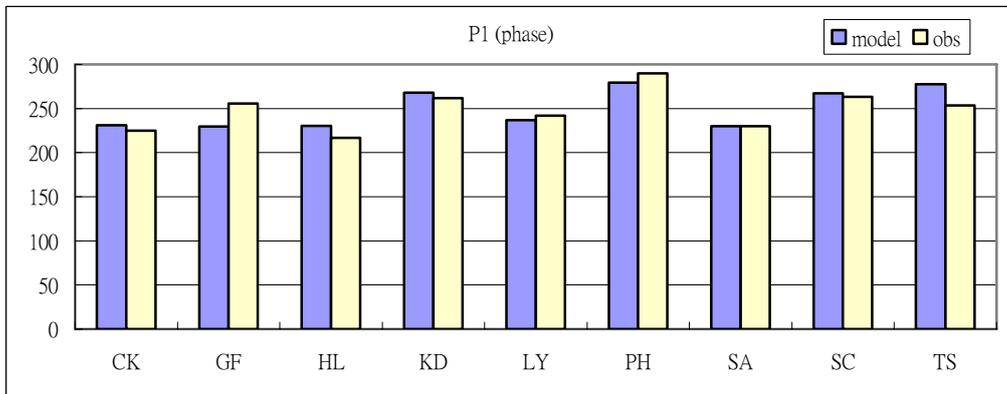
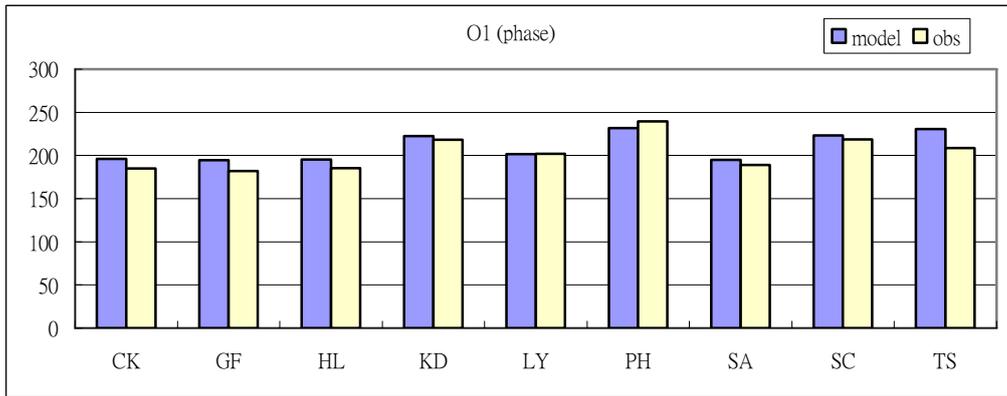
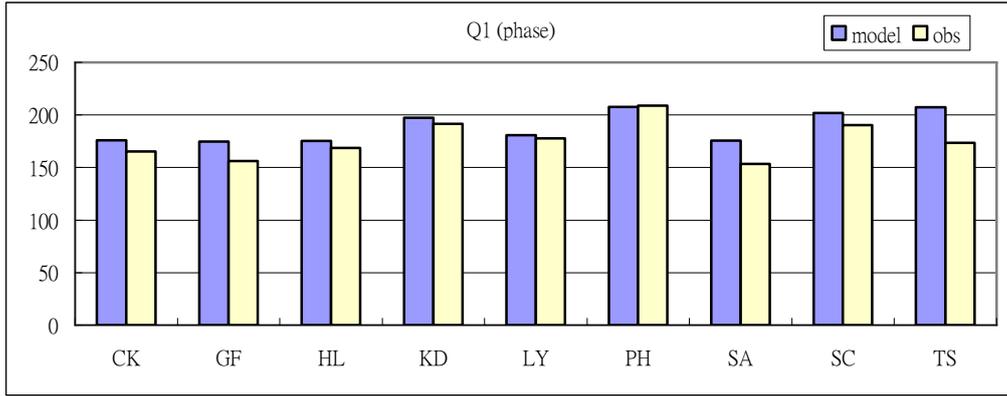


圖 2.3-2 模式結果與實測資料全日潮相位比對

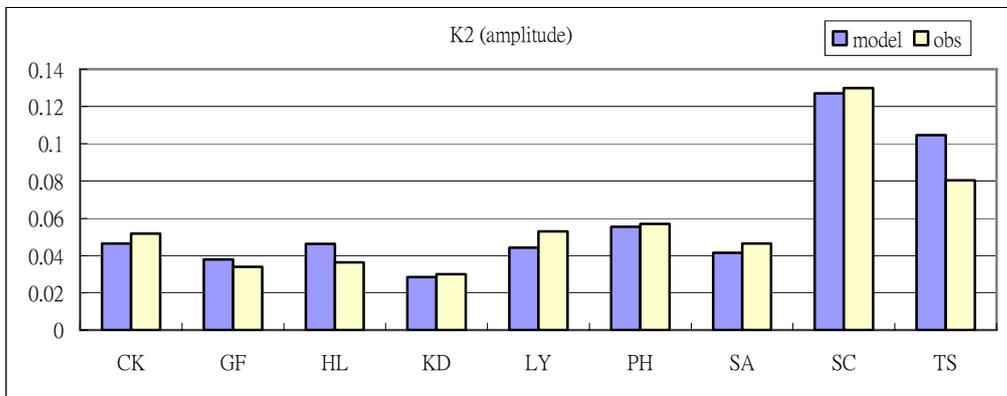
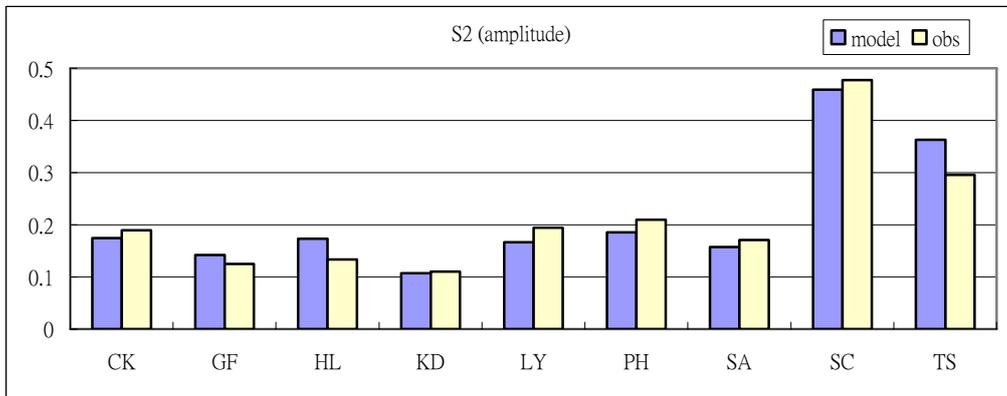
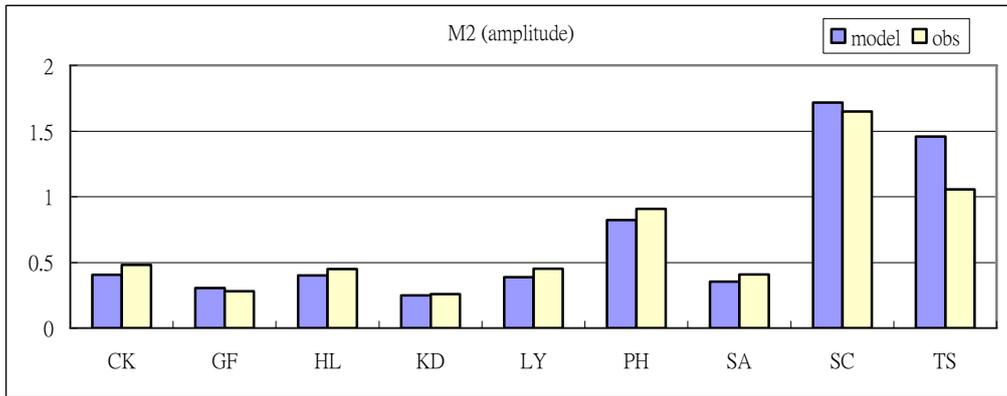
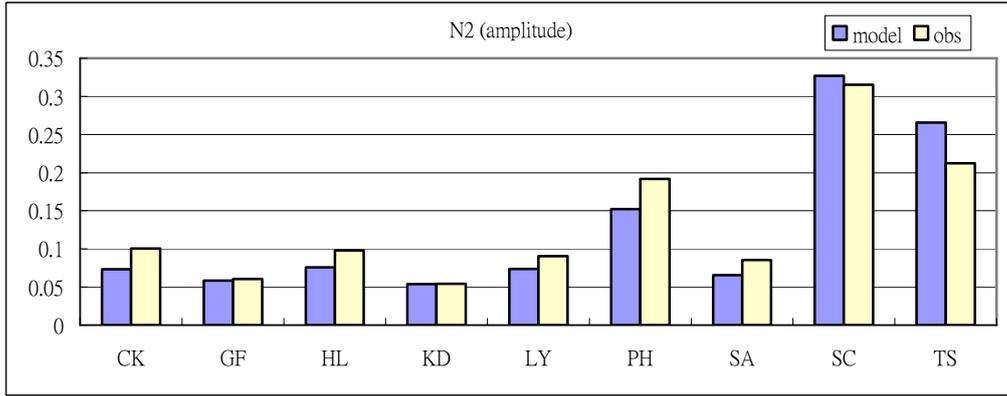


圖 2.3-3 模式結果與實測資料半日潮振幅比對

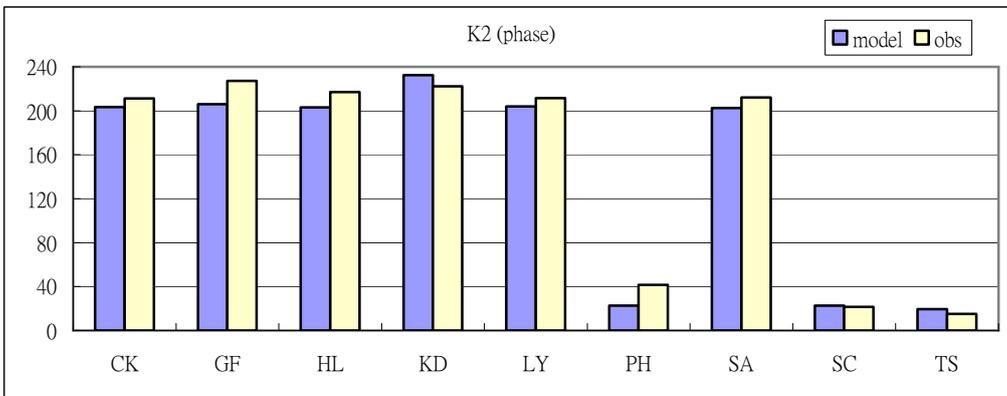
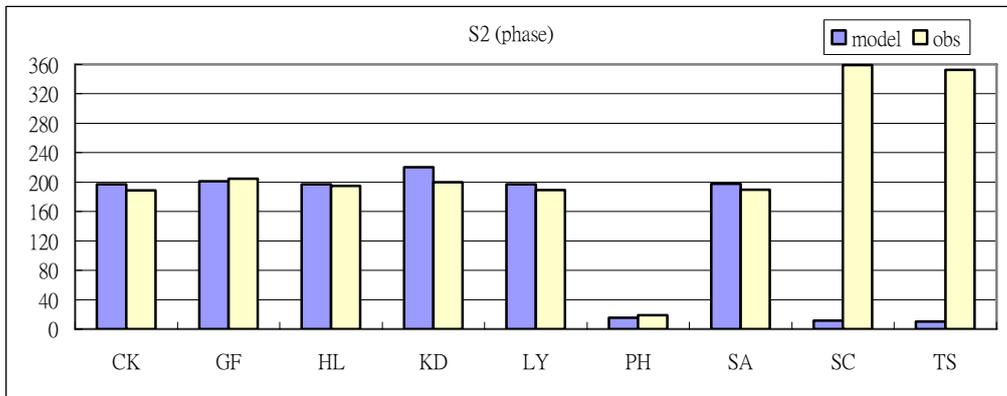
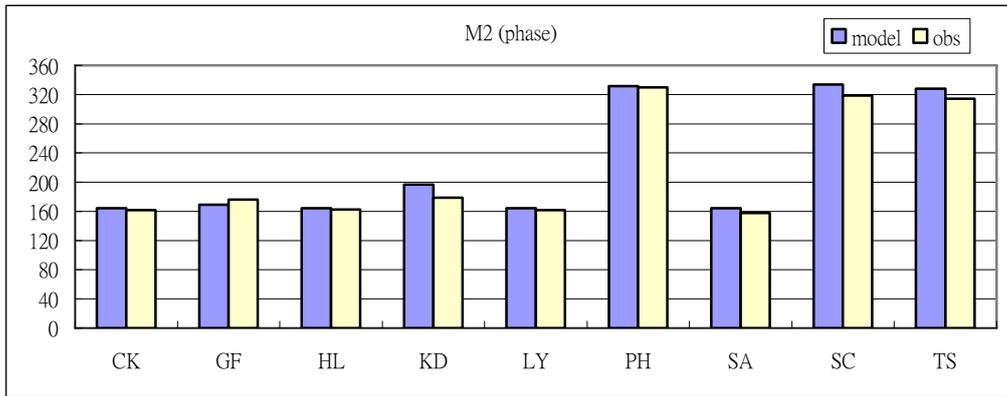
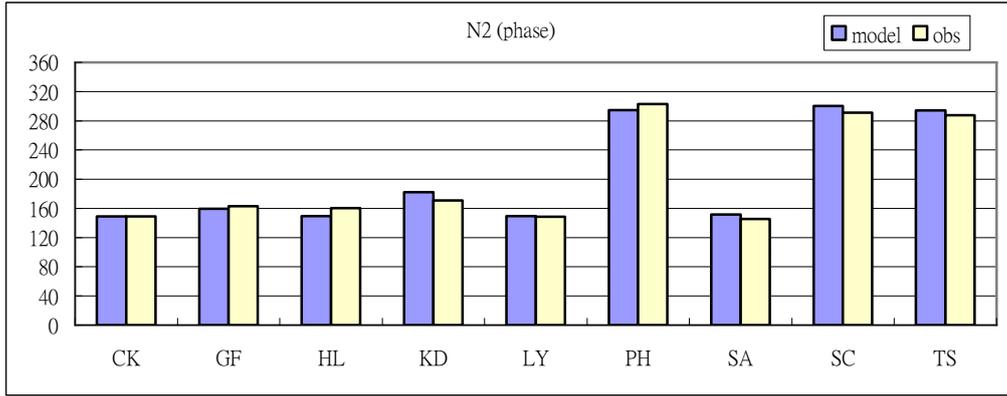


圖 2.3-4 模式結果與實測資料半日潮相位比對

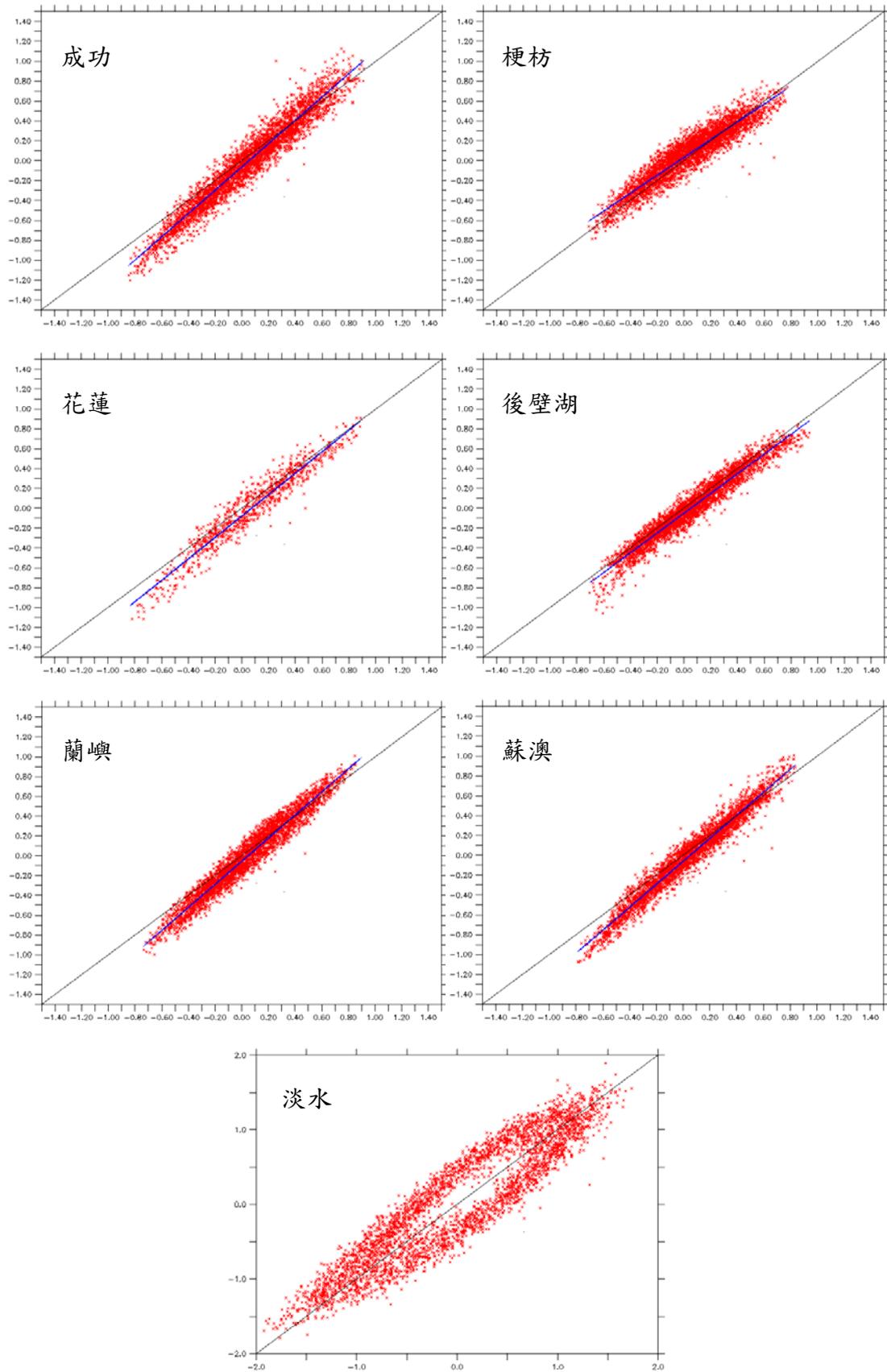


圖 2.3-5 各測站實測資料與模式比對圖(y 軸為實測資料，x 軸為模式資料)

2.4 模式應用

在經過第一年度模式驗證後，第二年度及本年度皆為利用實際的颱風案例進行模擬。第二年度使用 2005 年 6 至 10 月的氣象局提供的 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），如圖 2.4-1 至圖 2.4-3，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。

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（如圖 2.4-1），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（如圖 2.4-2），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，

與泰利颱風相同（如圖 2.4-3）。

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 2.4-4 為中央氣象局的測站分佈位置圖。圖 2.4-5 至圖 2.4-18 為海棠颱風、泰利颱風及龍王颱風路徑附近測站的模式水位與實測水位比對時序圖及暴潮偏差圖。

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。

表 2.4-1 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 2.4-2 為三個颱風期間所有測站的模式水位與實測水位進行 r.m.s 值計算。大部分測站介於 0.1~0.3 公尺之間，僅有部份測站如新竹及料羅灣有超過 0.3 公尺的值出現，整體來說 r.m.s 控制在合理的範圍。

表 2.4-1 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	相關係數		
	海棠	泰利	龍王		海棠	泰利	龍王
麟山鼻	0.8157	0.8356	0.8079	龍洞	0.8171	0.8415	0.7103
油車口	0.9730	0.9613	0.9834	梗枋	0.9129	0.9307	0.8232
新竹	0.8910	0.9083	0.9140	蘇澳	0.9473	0.9188	0.9434
外埔	無資料	0.9215	0.9242	花蓮	無資料	無資料	無資料
箔子寮	0.9501	0.9416	0.9687	石梯	0.8161	0.8687	0.9532
東石	0.9212	0.8405	0.9345	成功	0.8547	0.5696	0.9654
將軍	0.9245	0.9353	0.9536	大武	0.8257	0.9536	0.9669
安平	無資料	無資料	無資料	蘭嶼	0.9880	0.9637	0.9866
永安	0.9251	無資料	0.9324				
高雄	0.9568	0.9288	0.9416				
東港	0.9218	0.9203	0.9134				
蟳廣嘴	0.8297	0.9576	0.9514				
後壁湖	0.9048	0.9529	0.9608				
小琉球	0.9605	0.9177	0.9362				
料羅灣	0.8651	0.8963	0.8812				

表 2.4-2 各測站於三個颱風期間模式水位跟實測水位 r.m.s 值統計

西部測站	r.m.s(公尺)			東部測站	r.m.s(公尺)		
	海棠	泰利	龍王		海棠	泰利	龍王
麟山鼻	0.316	0.229	0.299	龍洞	0.209	0.228	0.129
油車口	0.193	0.152	0.121	梗枋	0.092	0.007	0.118
新竹	0.426	0.319	0.376	蘇澳	0.14	0.144	0.101
外埔	無資料	0.312	0.362	花蓮	無資料	無資料	無資料
箔子寮	0.204	0.178	0.138	石梯	0.236	0.169	0.124
東石	0.254	0.249	0.180	成功	0.207	0.354	0.125
將軍	0.173	0.127	0.097	大武	0.193	0.106	0.072
安平	無資料	無資料	無資料	蘭嶼	0.051	0.101	0.125
永安	0.078	無資料	0.057				
高雄	0.105	0.112	0.061				
東港	0.094	0.093	0.087				
蟳廣嘴	0.145	0.071	0.053				
後壁湖	0.175	0.108	0.054				
小琉球	0.097	0.099	0.060				
料羅灣	0.539	0.377	0.471				

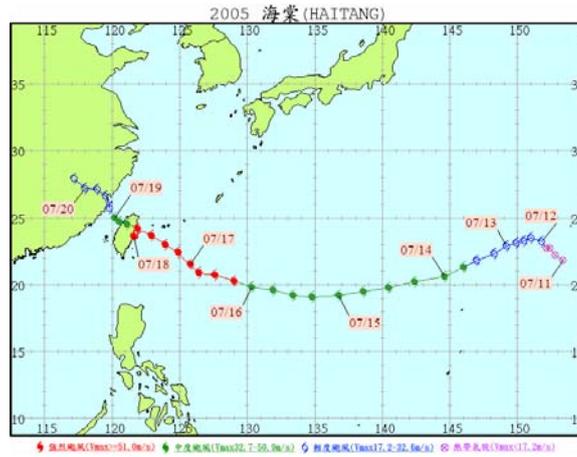


圖 2.4-1 海棠颱風路徑圖 (中央氣象局)

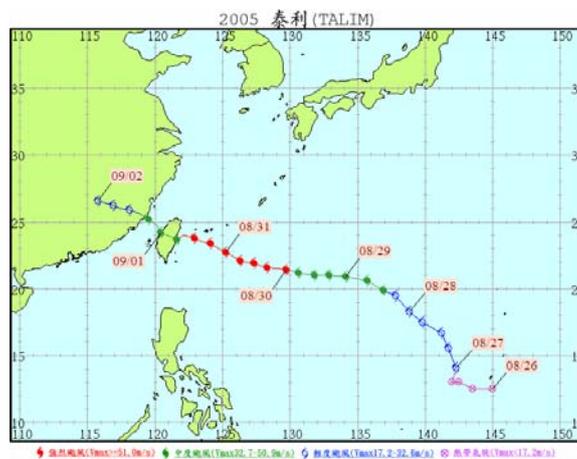


圖 2.4-2 泰利颱風路徑圖 (中央氣象局)

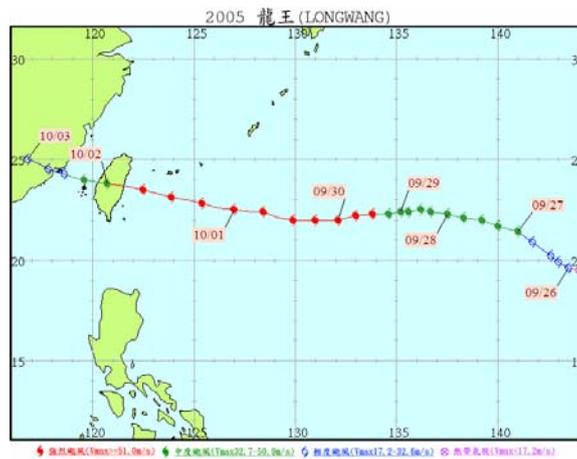


圖 2.4-3 龍王颱風路徑圖 (中央氣象局)

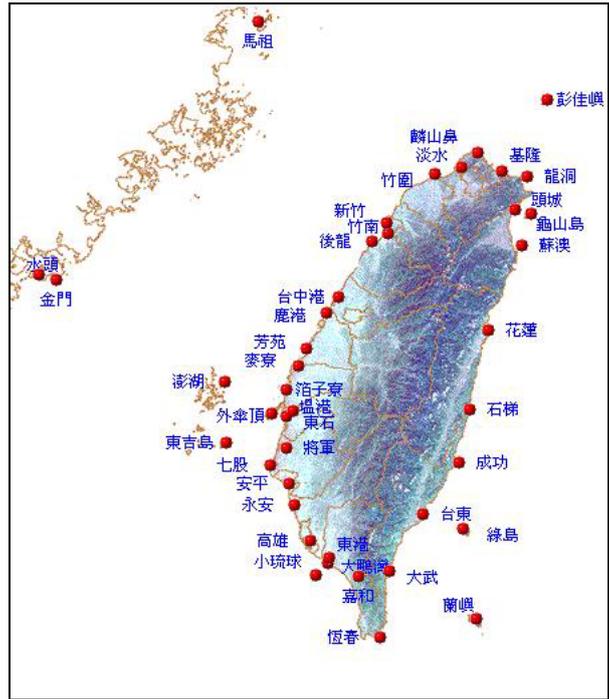


圖 2.4-4 氣象局測站分佈

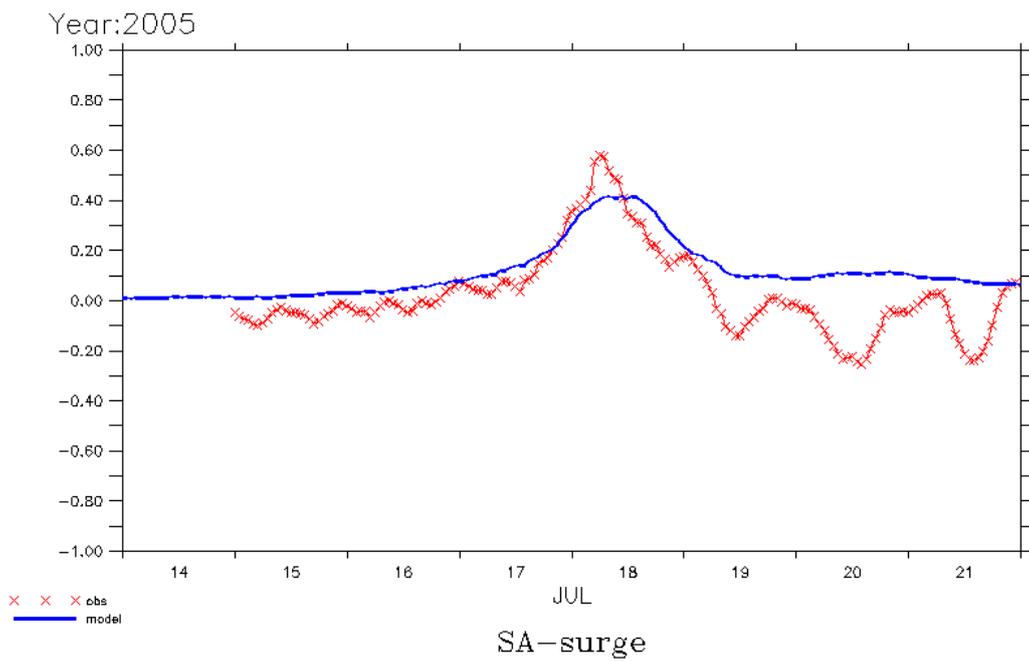
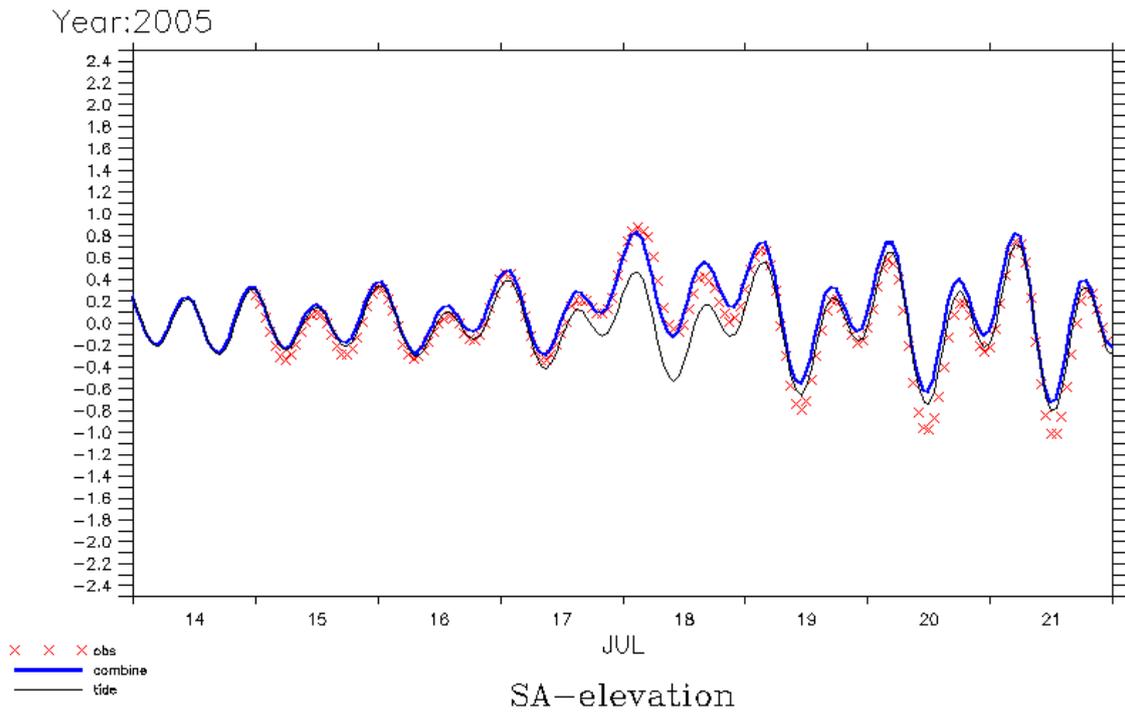


圖 2.4-5 海棠颱風蘇澳測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下)
 (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位)

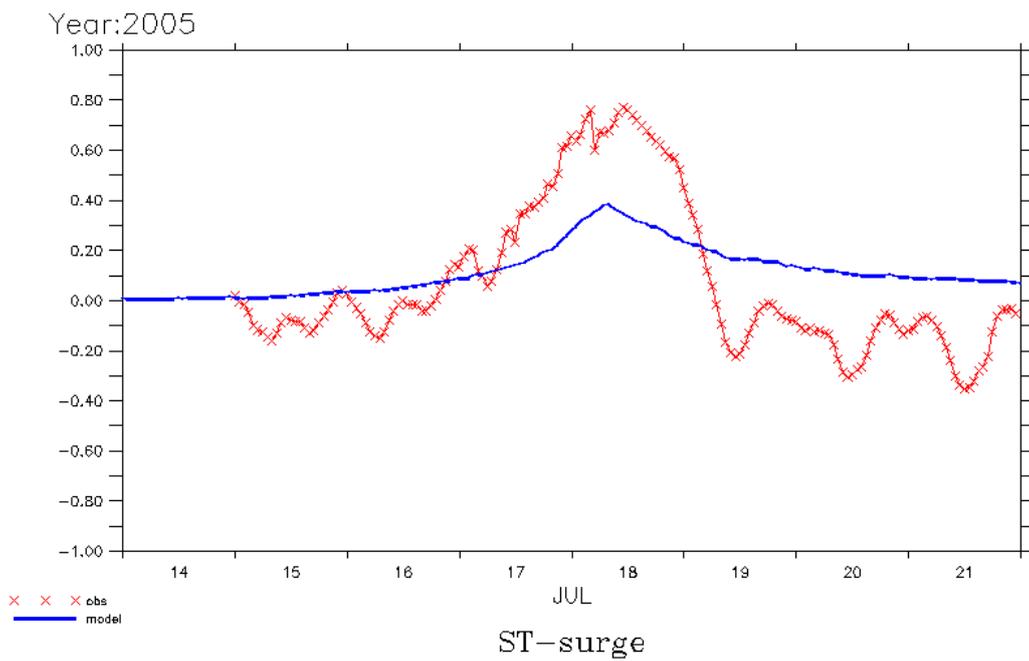
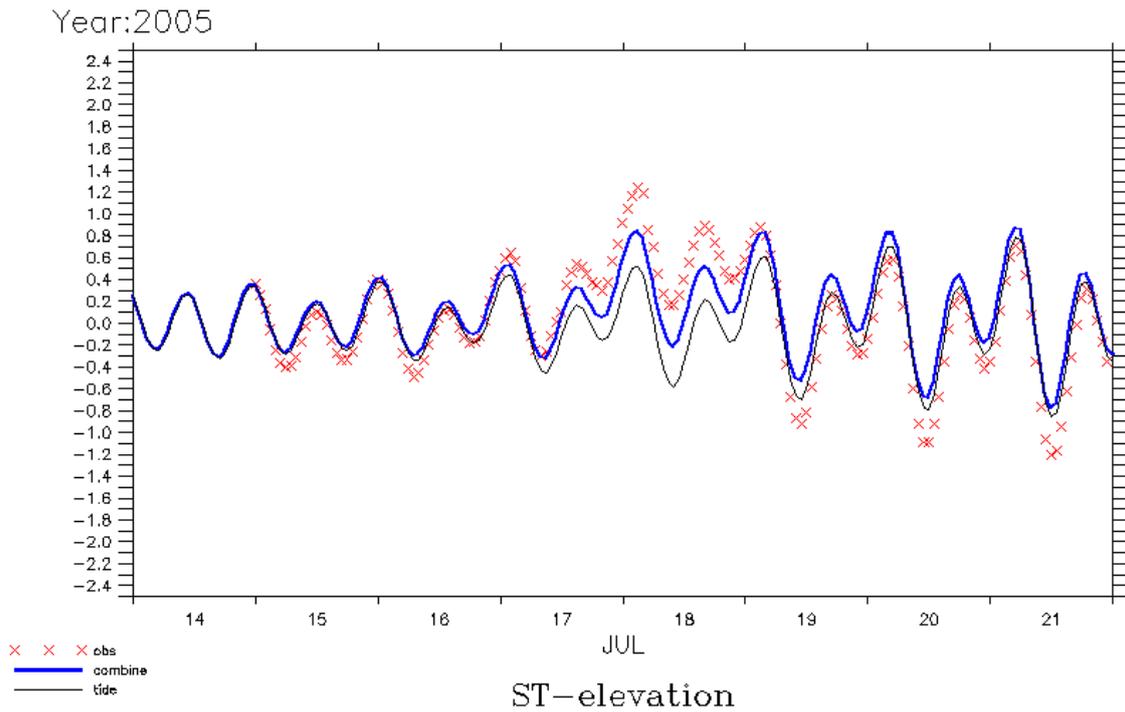


圖 2.4-6 海棠颱風石梯測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下)
 (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位)

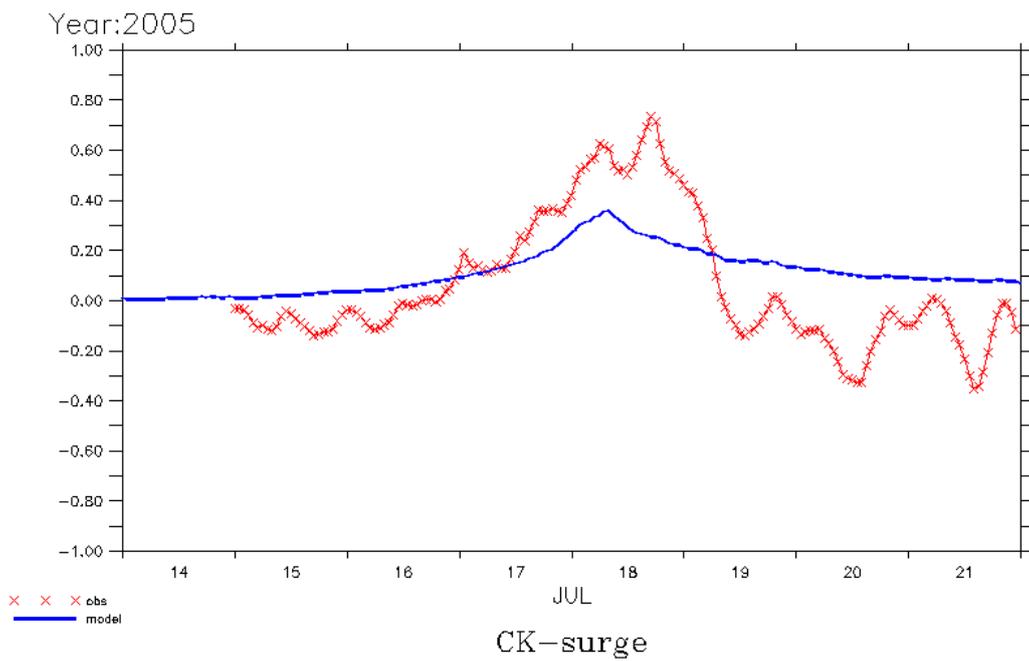
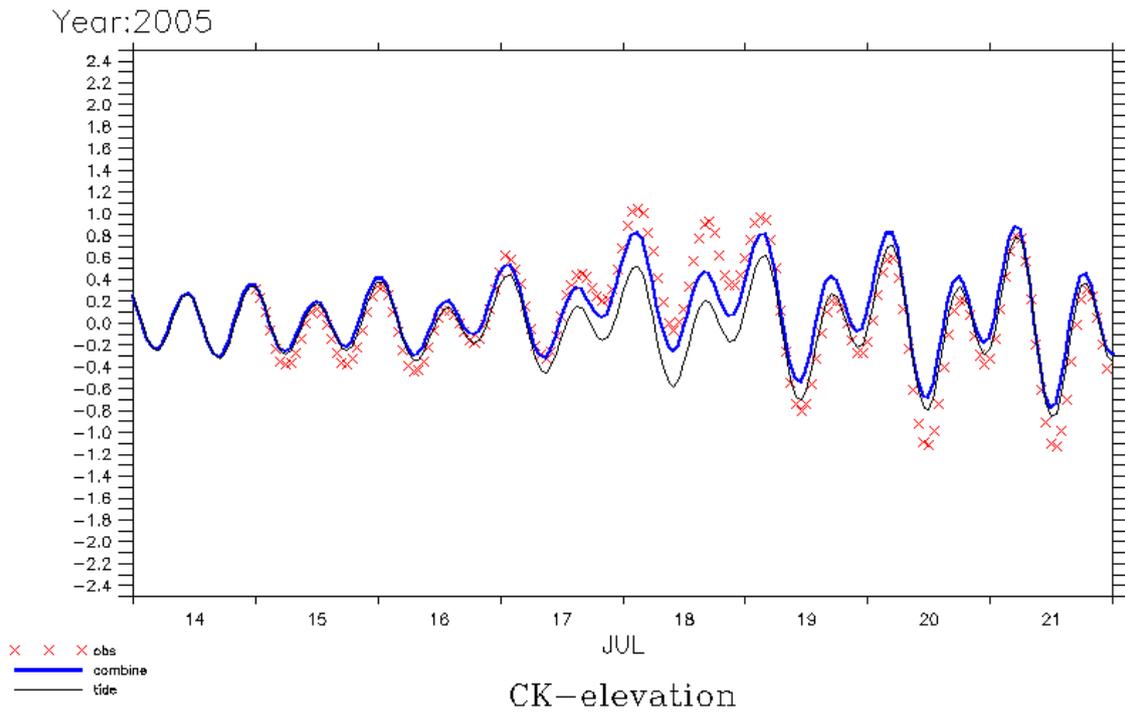


圖 2.4-7 海棠颱風成功測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下)
 (細線：天文潮，粗線：整合水位，x：實測水位)

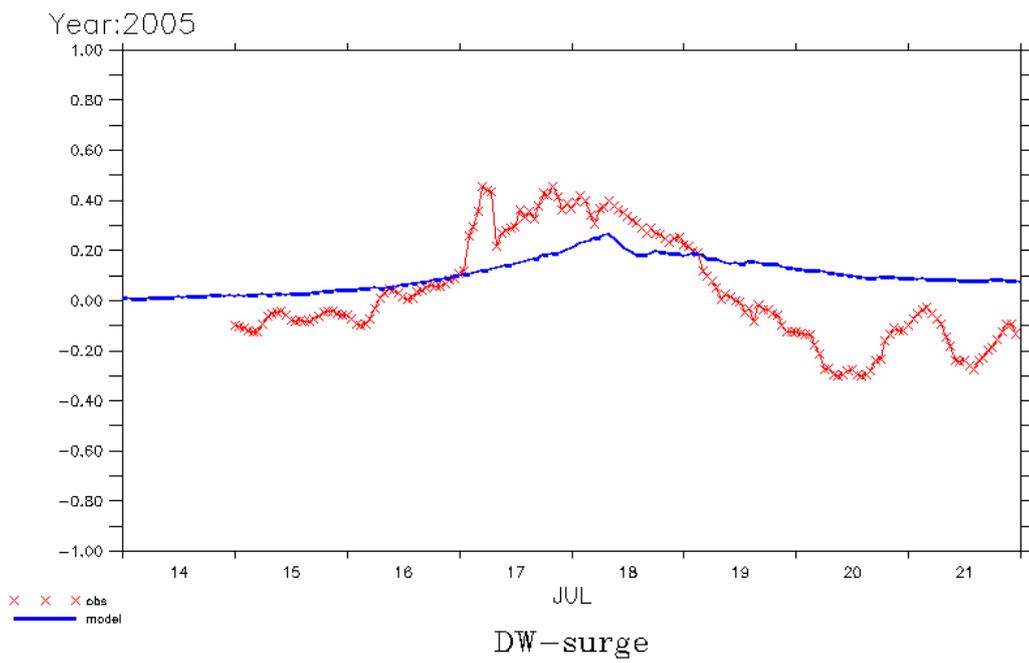
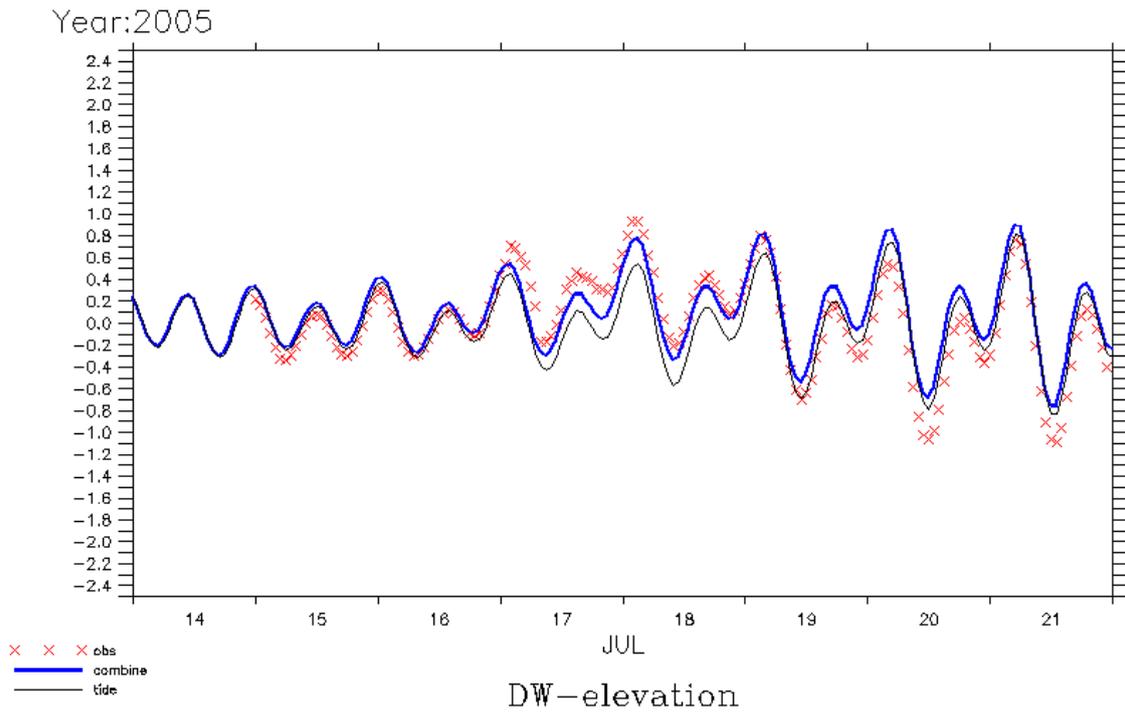


圖 2.4-8 海棠颱風大武測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下)
 (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位)

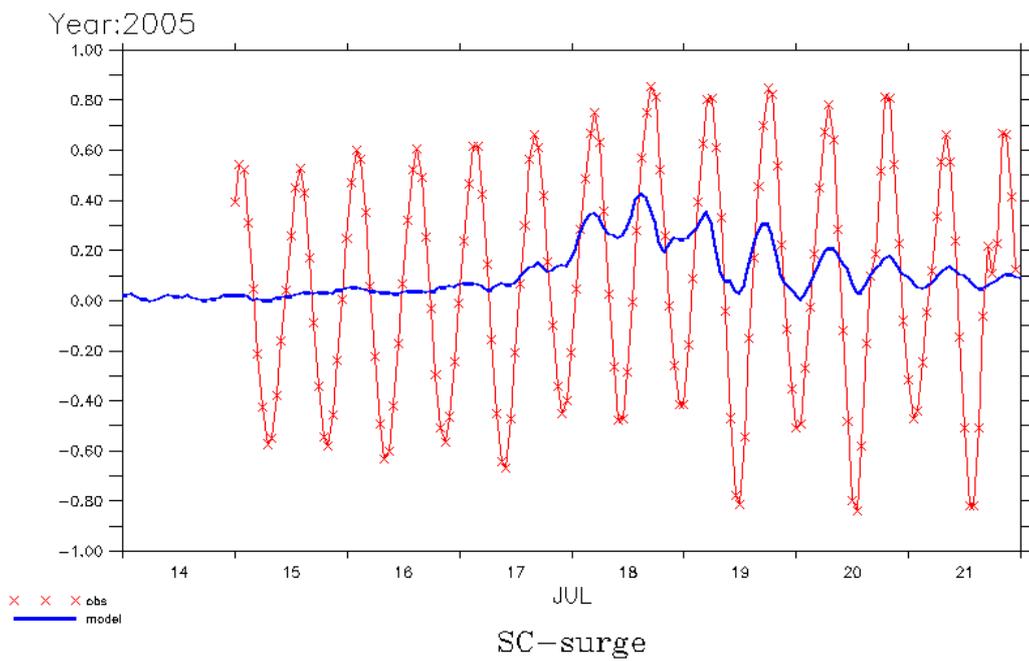
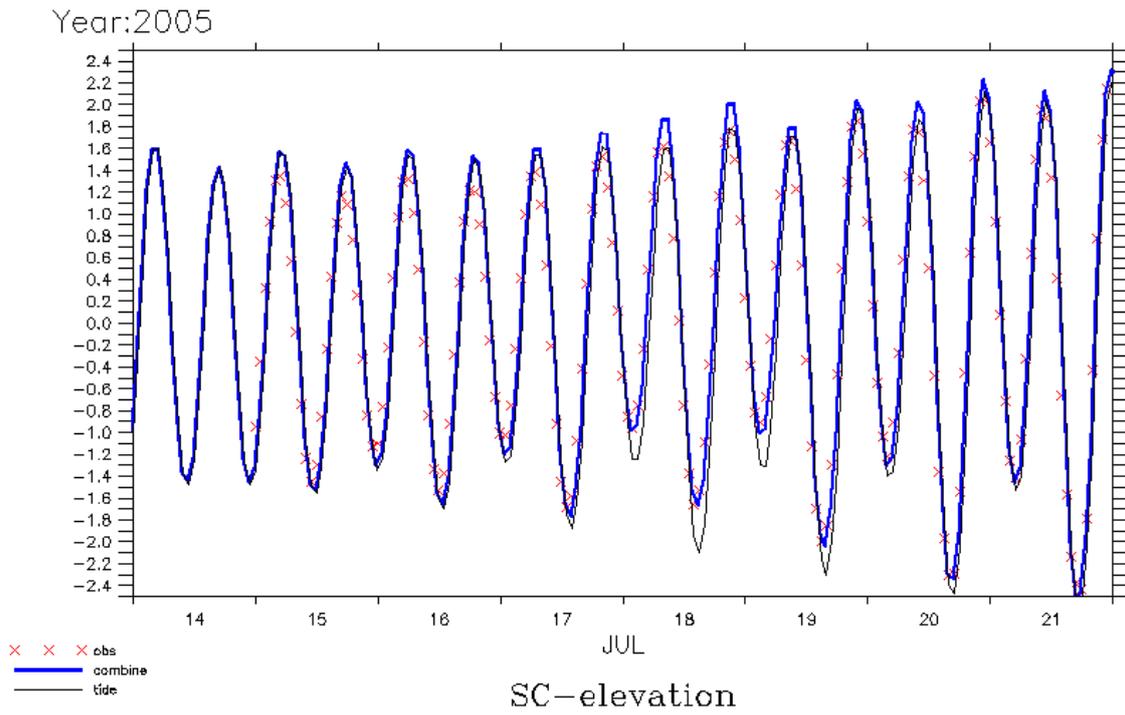


圖 2.4-9 海棠颱風新竹測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下)
 (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位)

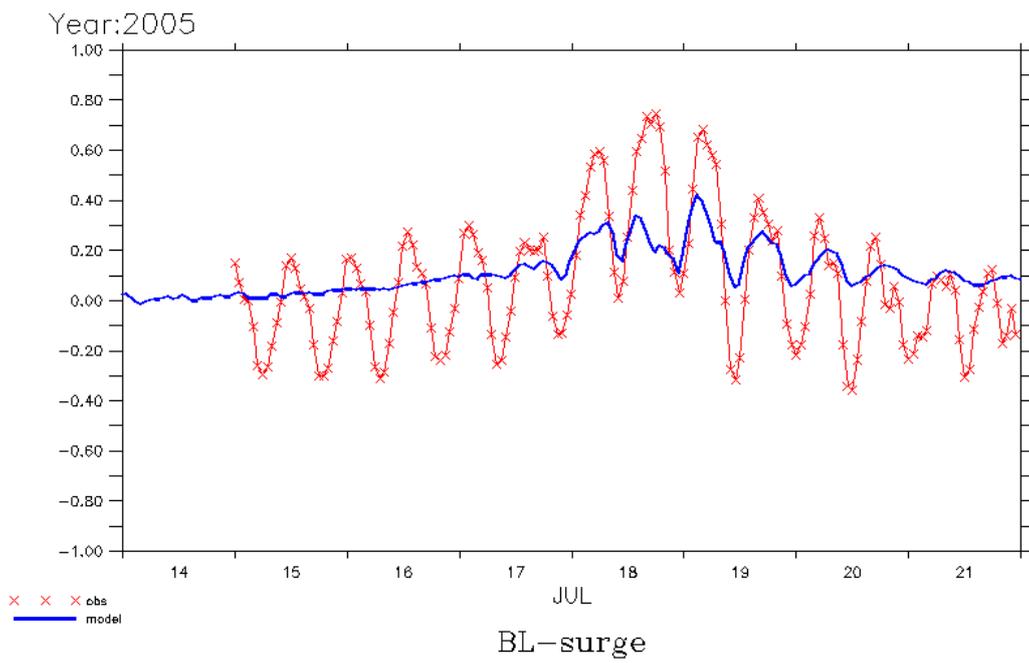
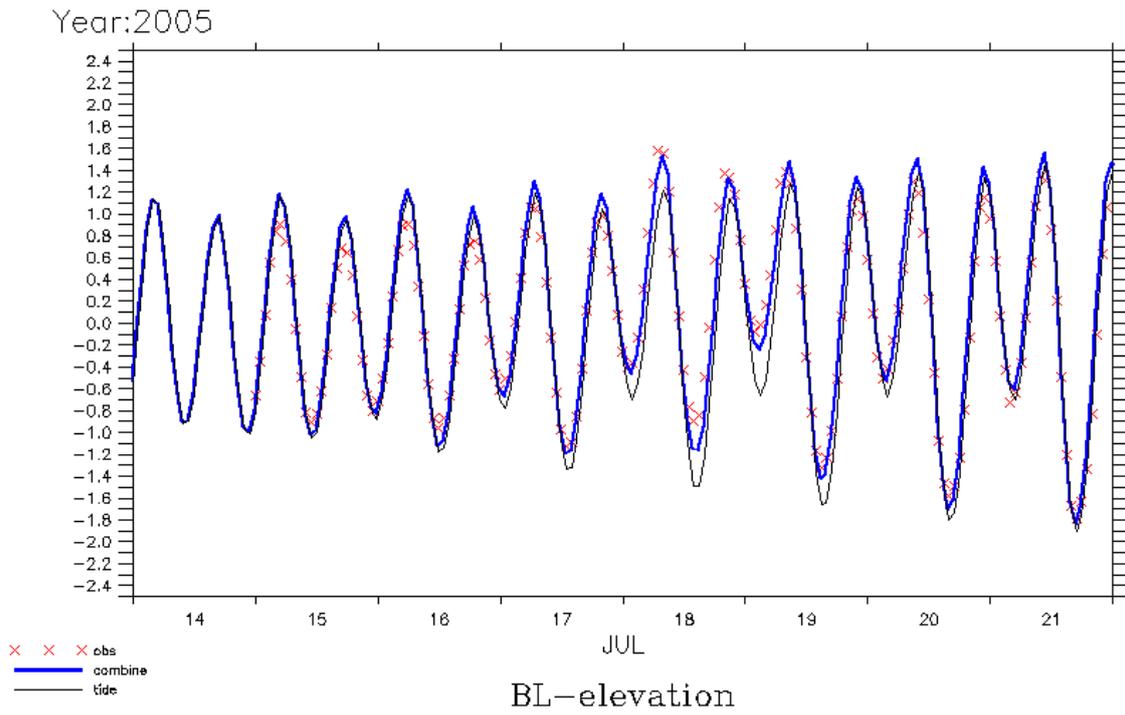


圖 2.4-10 海棠颱風箔仔寮測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下)
 (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位)

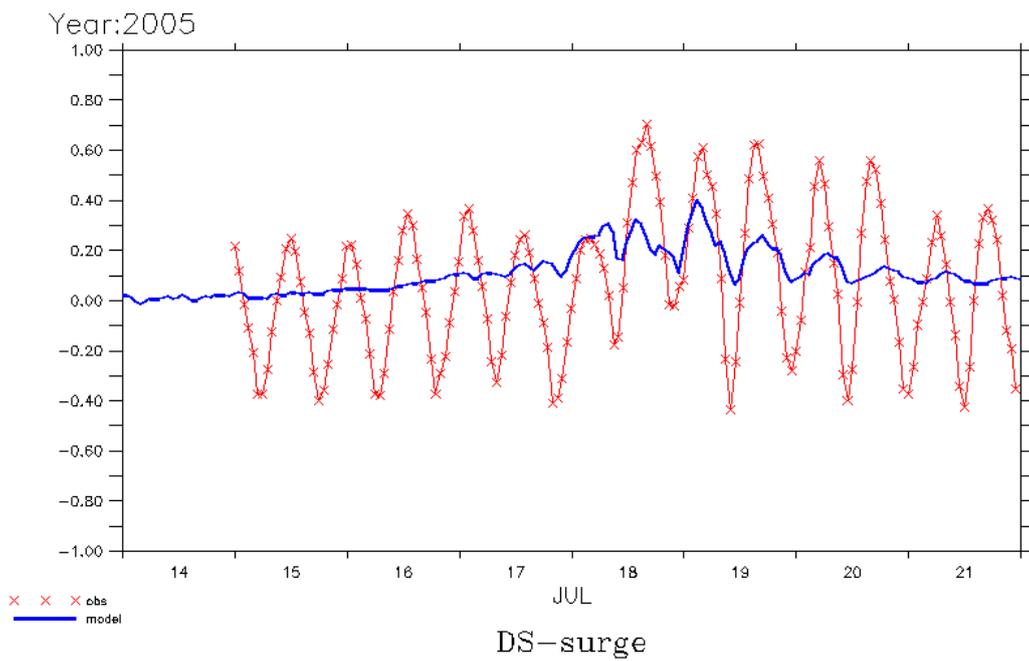
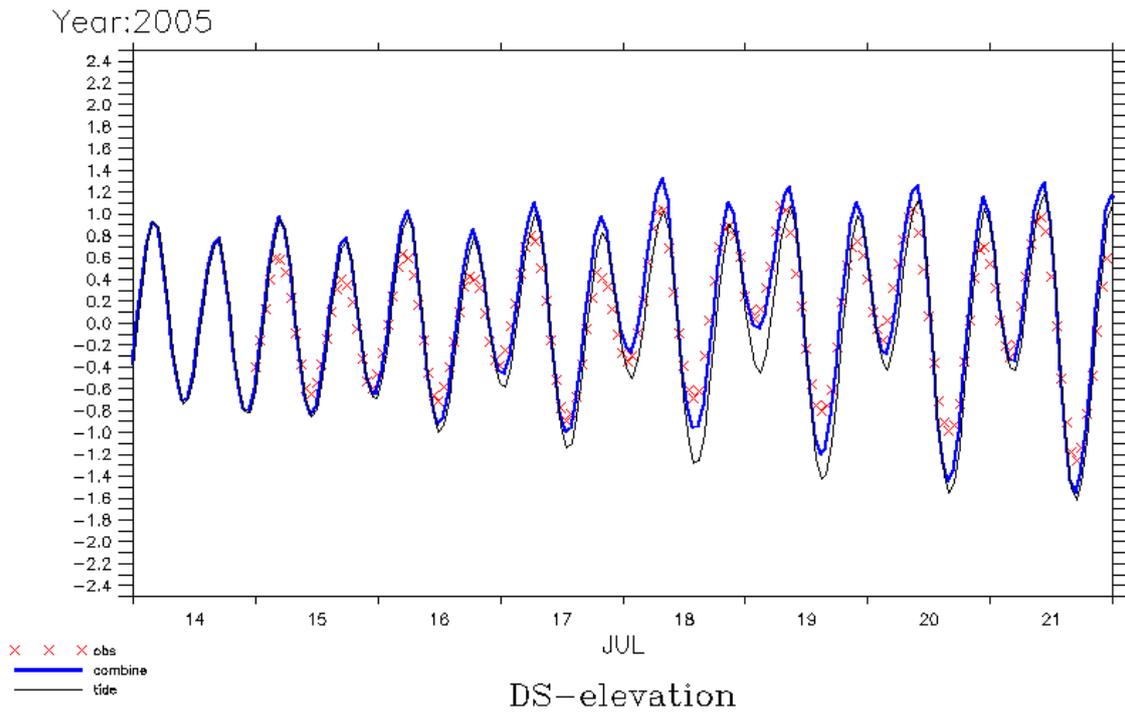


圖 2.4-11 海棠颱風東石測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下)
 (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位)

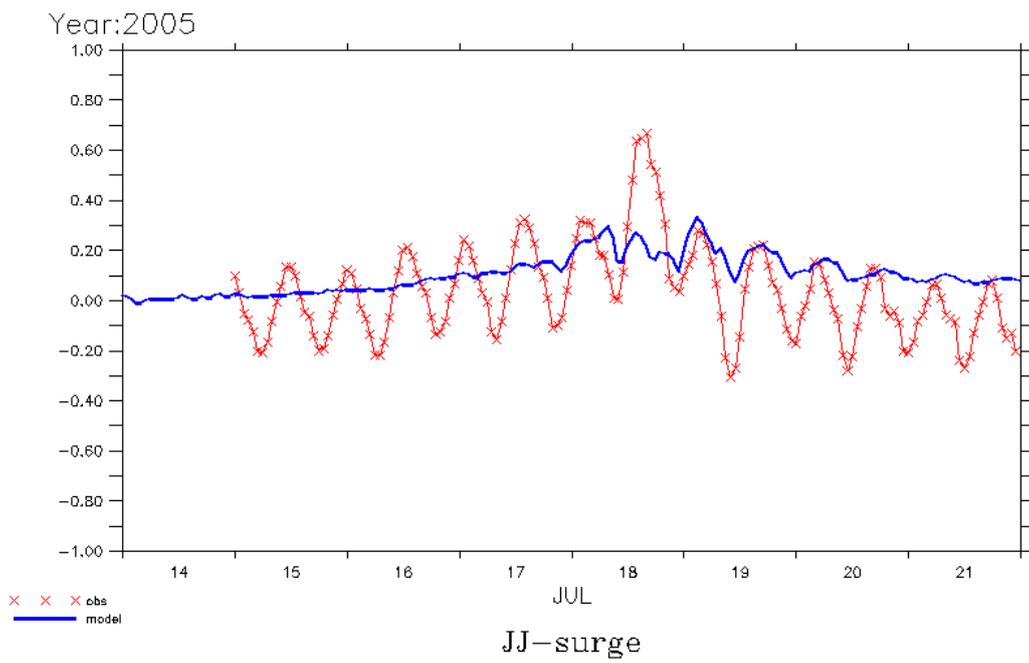
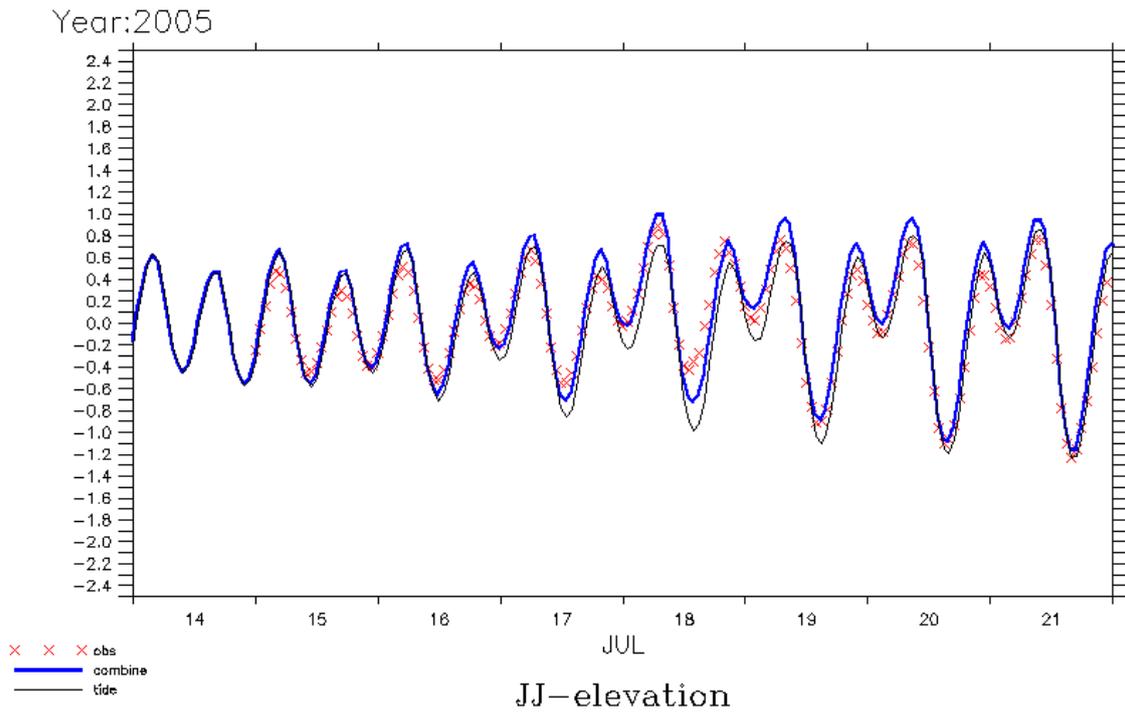


圖 2.4-12 海棠颱風將軍測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下)
(細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位)

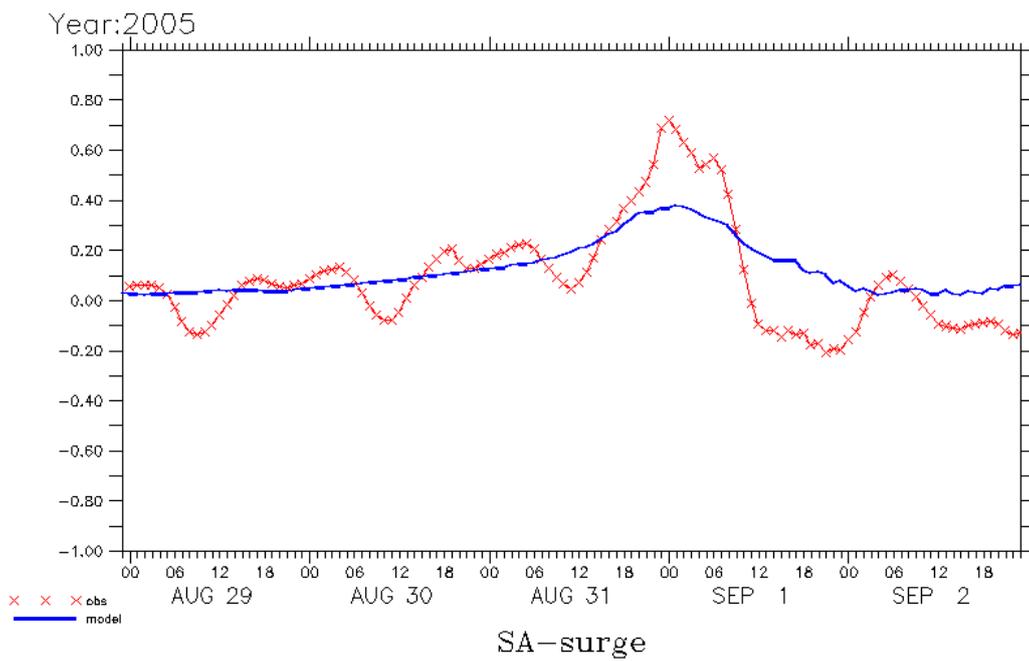
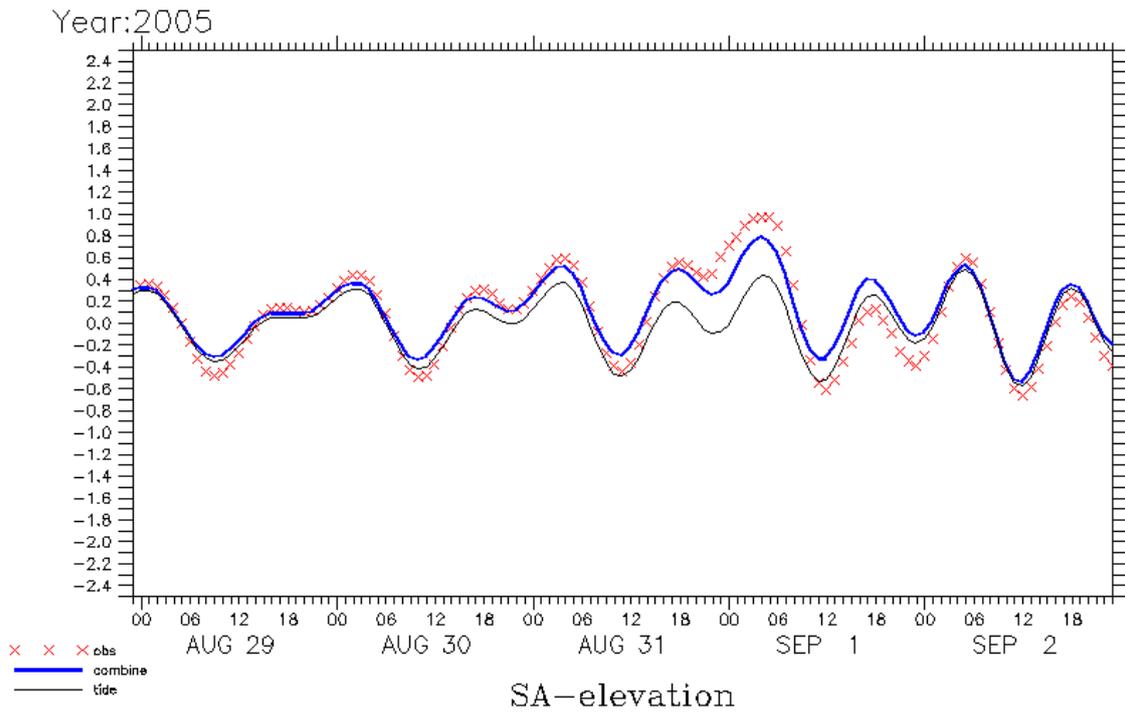


圖 2.4-13 泰利颱風蘇澳測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下)
 (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位)

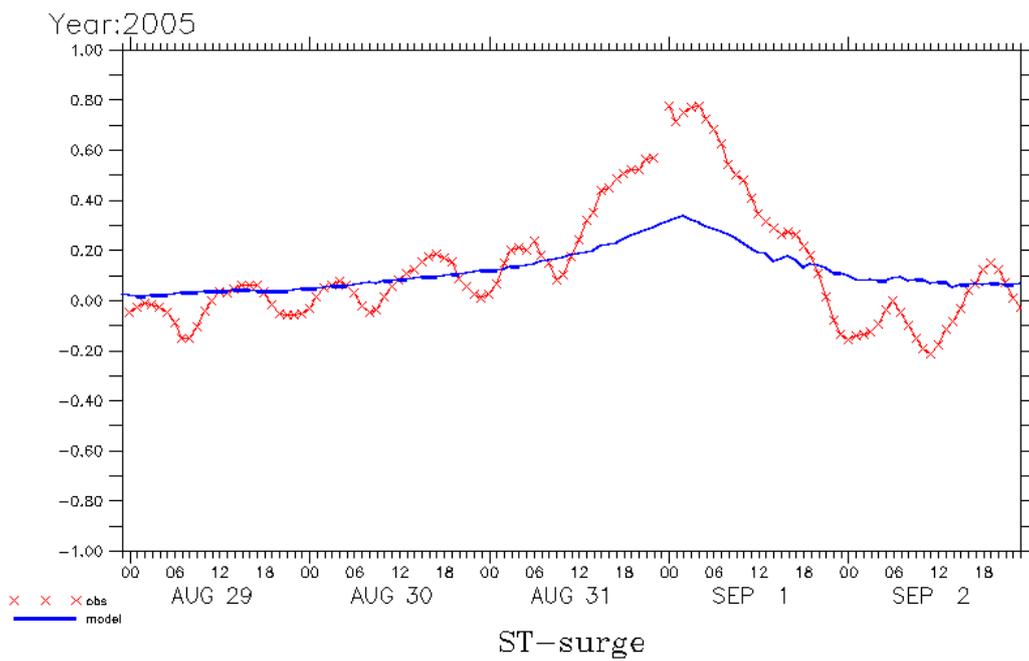
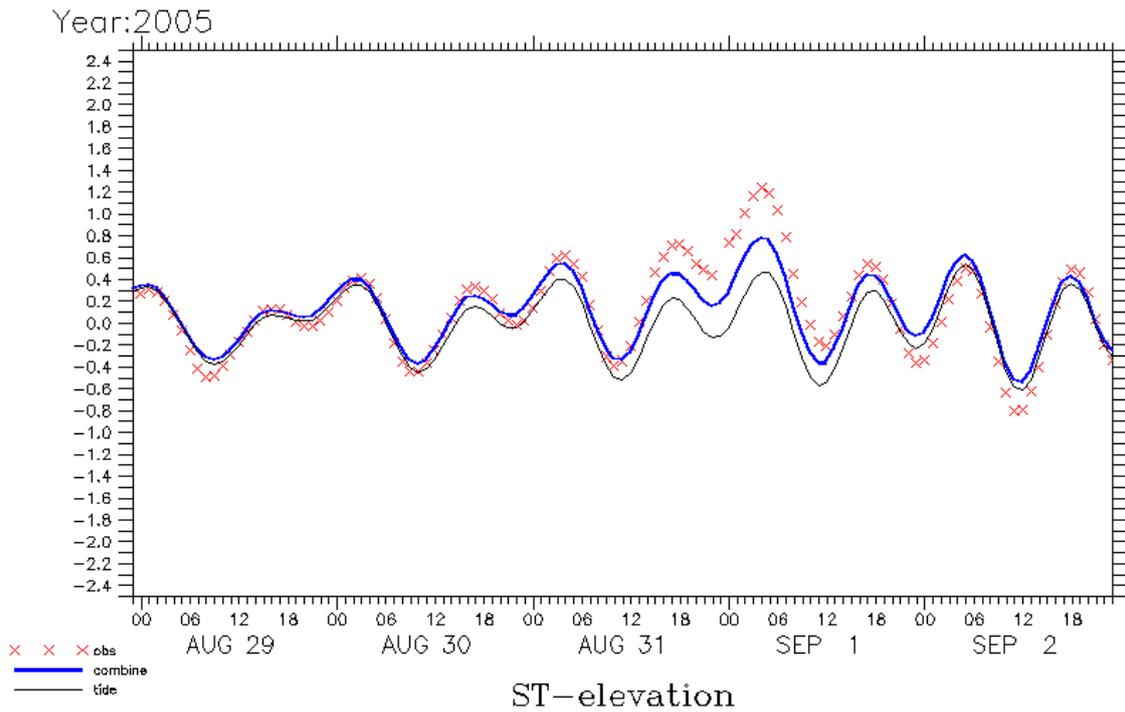


圖 2.4-14 泰利颱風石梯測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下)
 (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位)

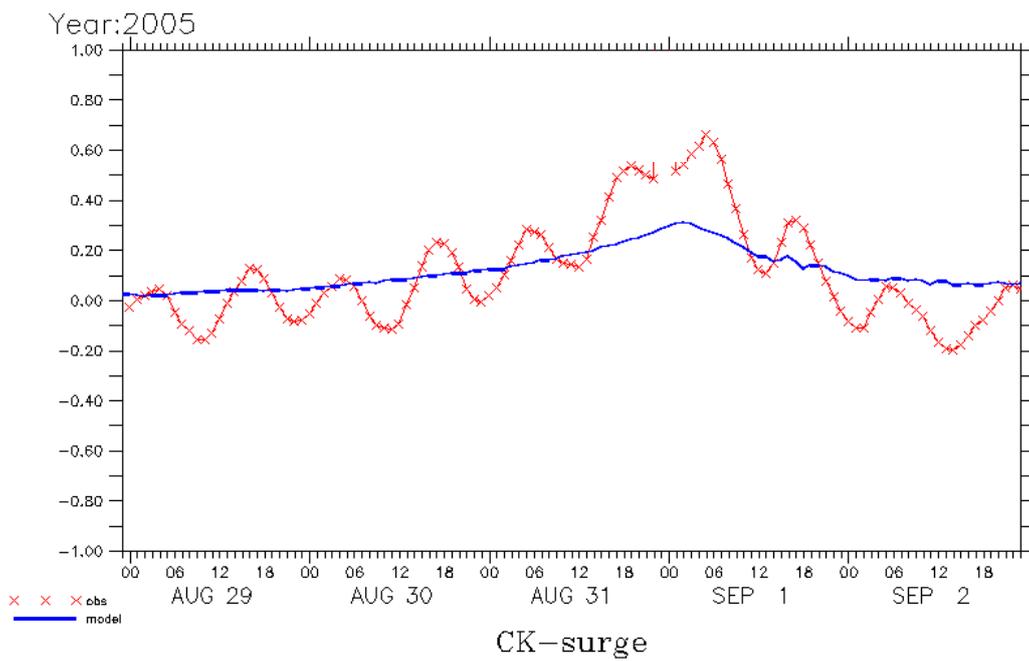
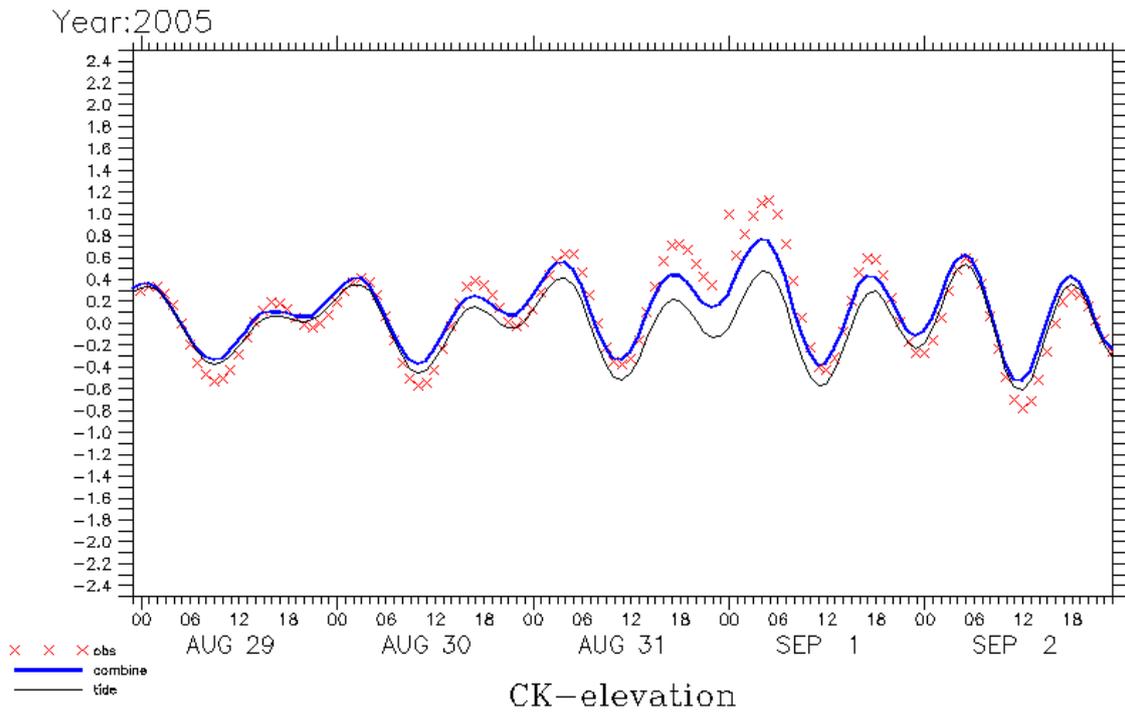


圖 2.4-15 泰利颱風成功測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下)
 (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位)

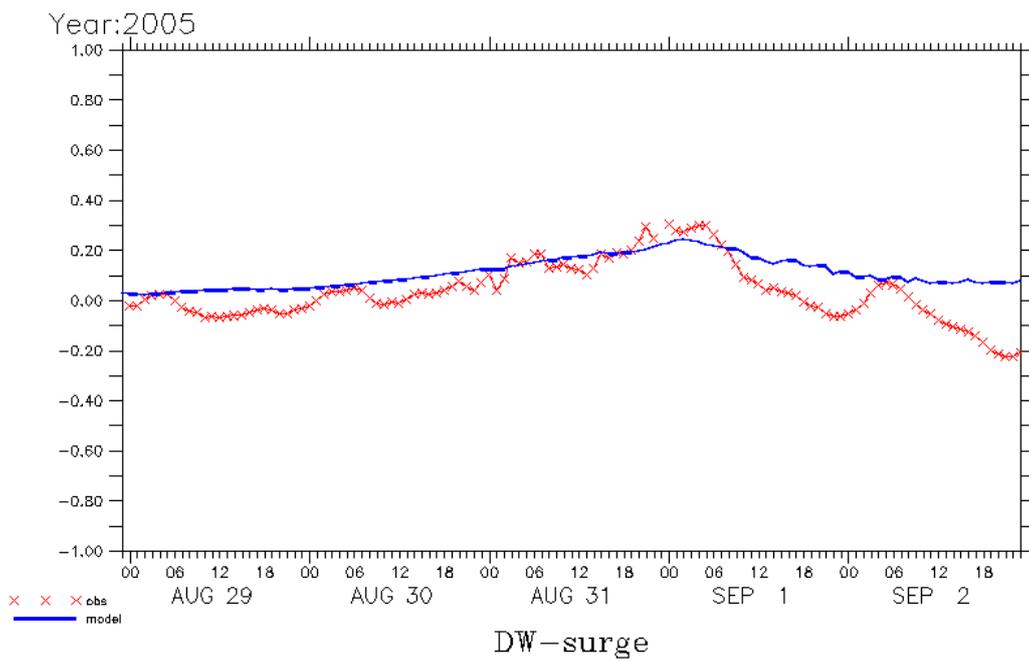
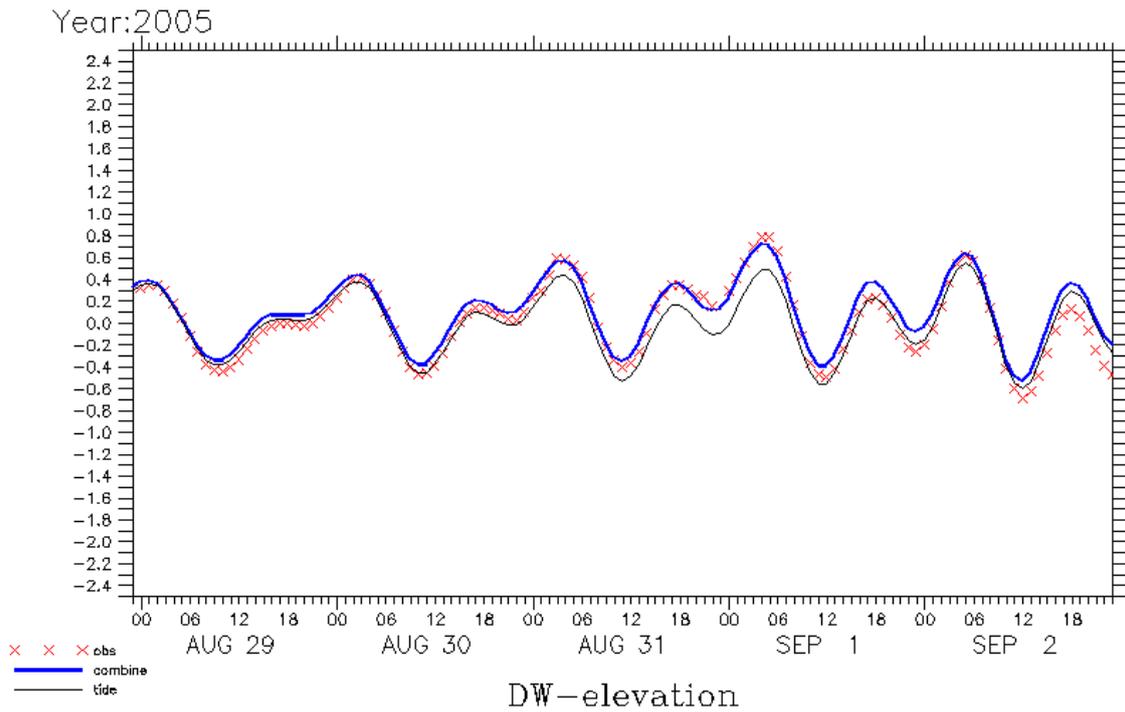


圖 2.4-16 泰利颱風大武測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下)
 (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位)

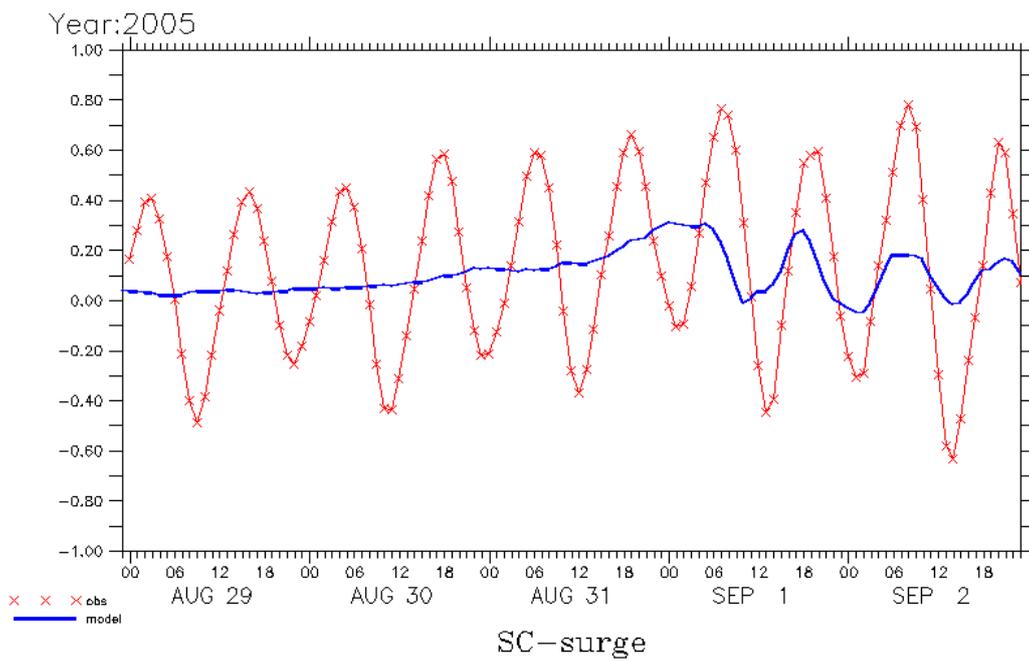
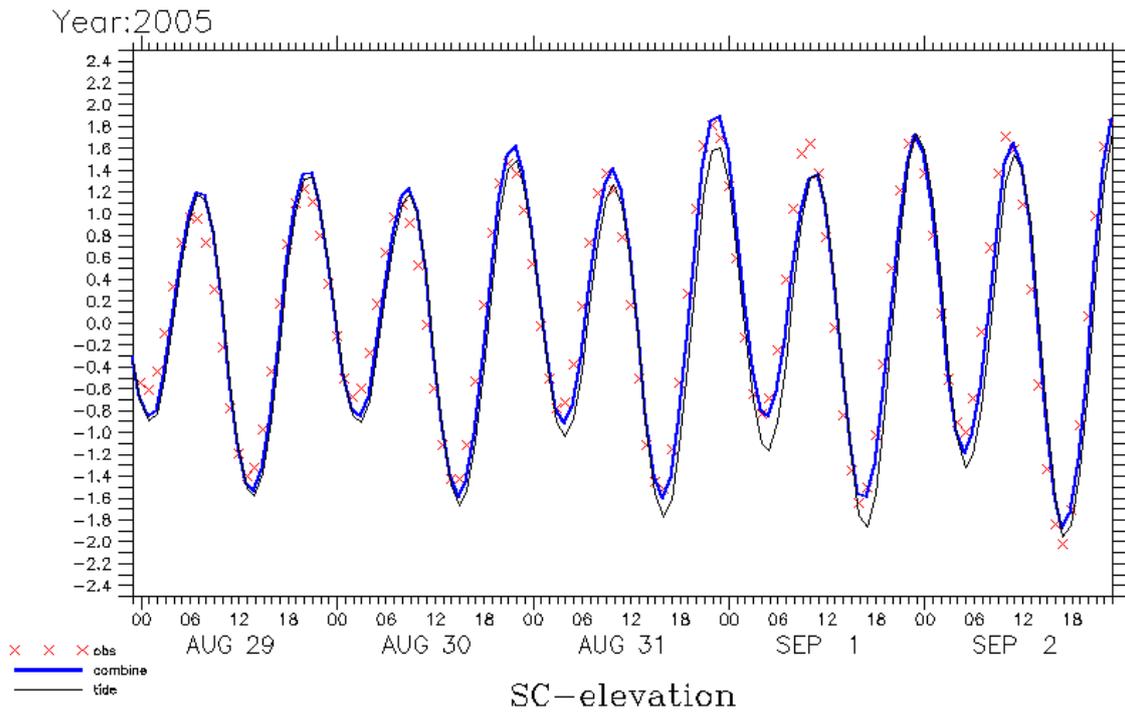


圖 2.4-17 泰利颱風新竹測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下)
 (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位)

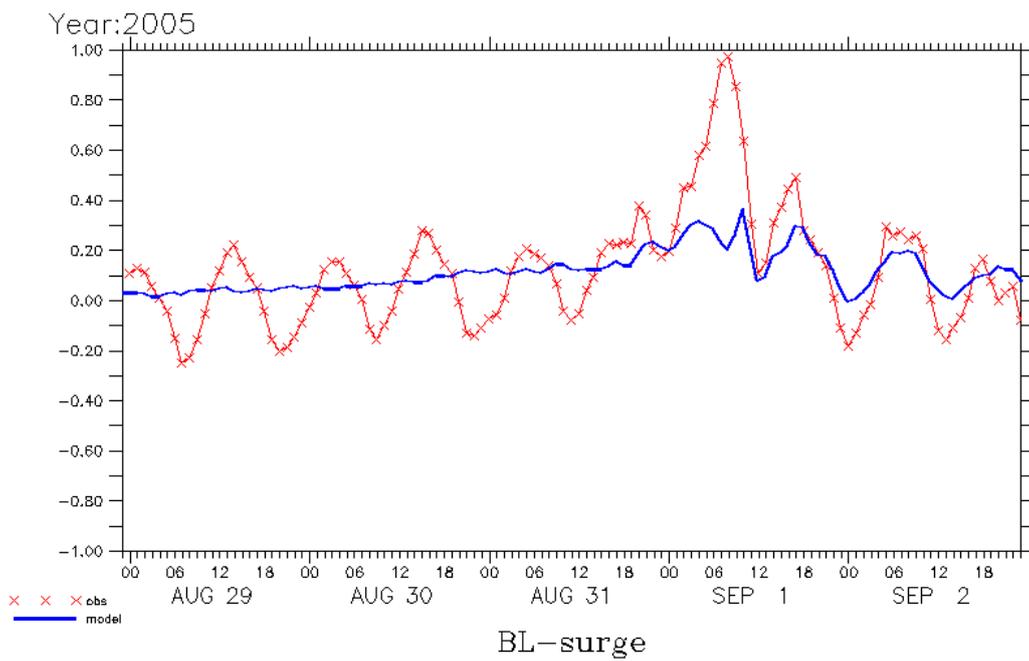
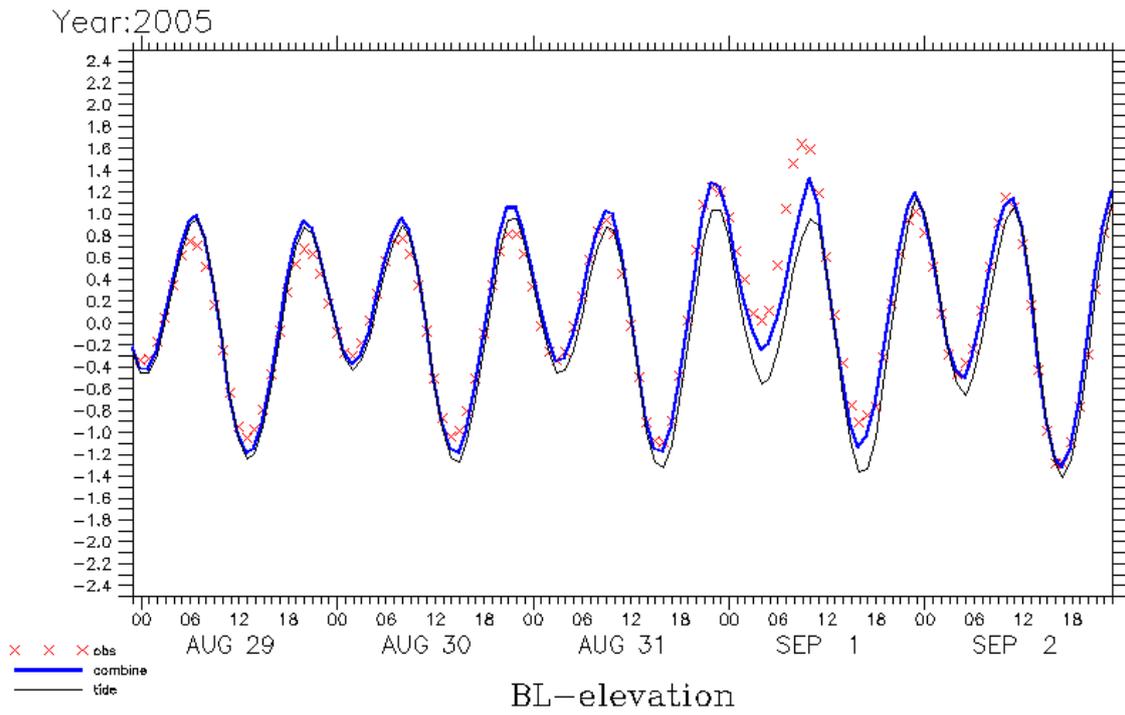


圖 2.4-18 泰利颱風箔子寮測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下)
 (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位)

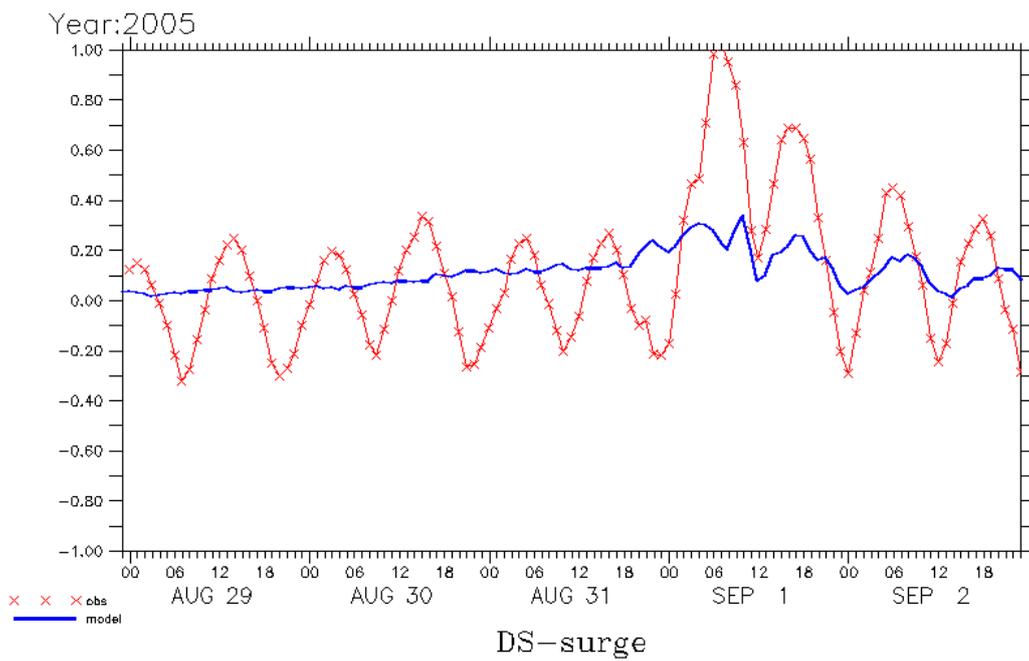
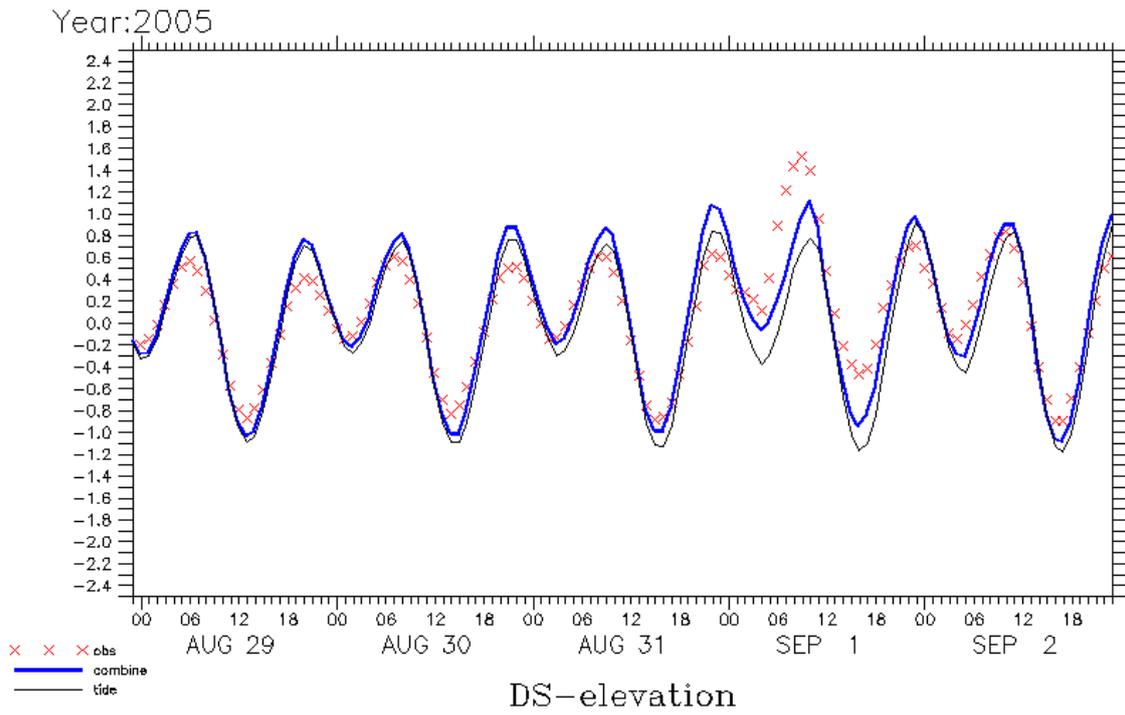


圖 2.4-19 泰利颱風東石測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下)
 (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位)

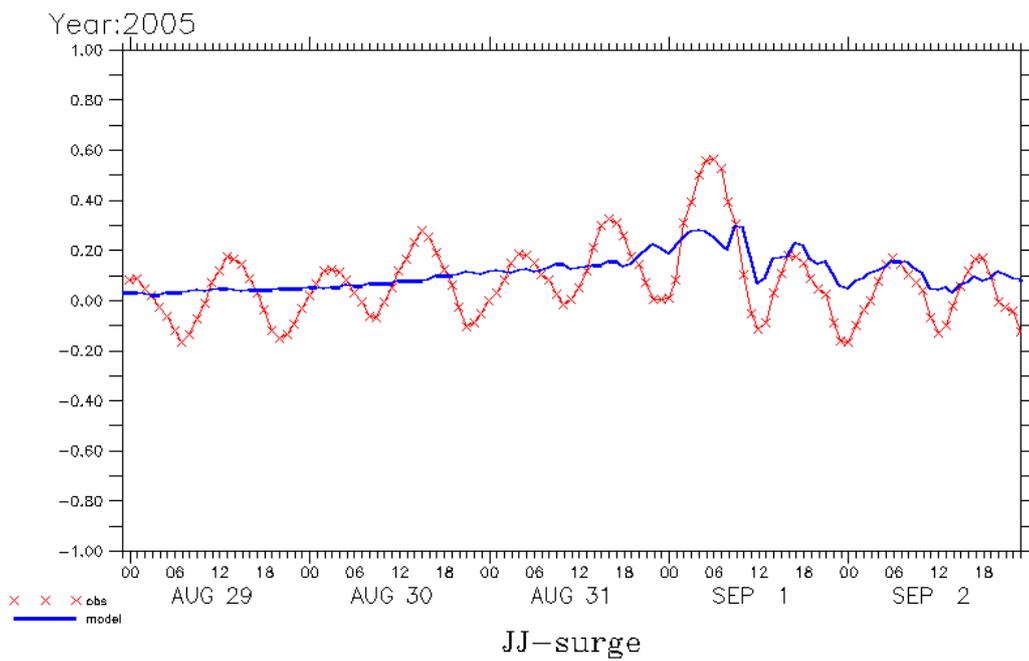
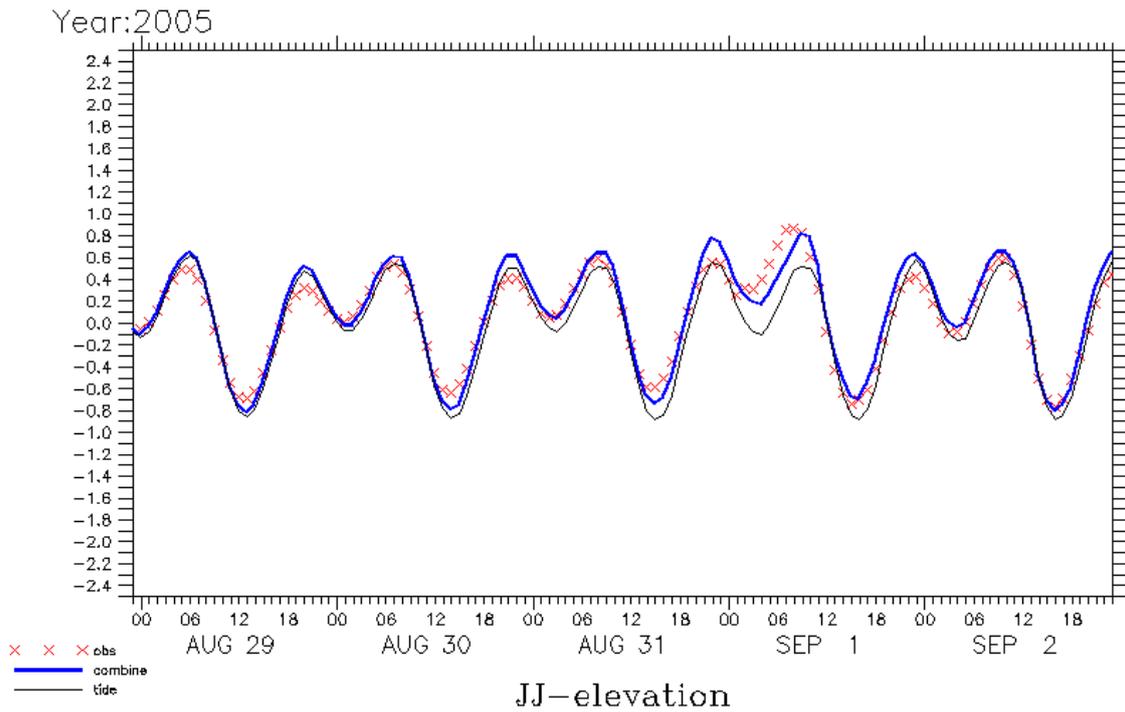


圖 2.4-20 泰利颱風將軍測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下)
 (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位)

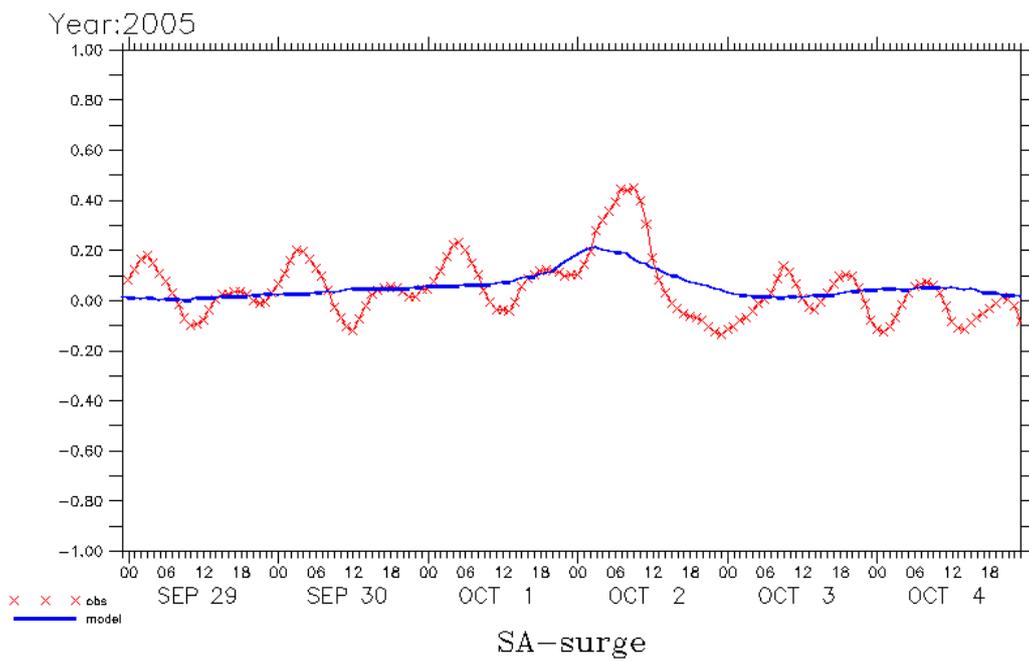
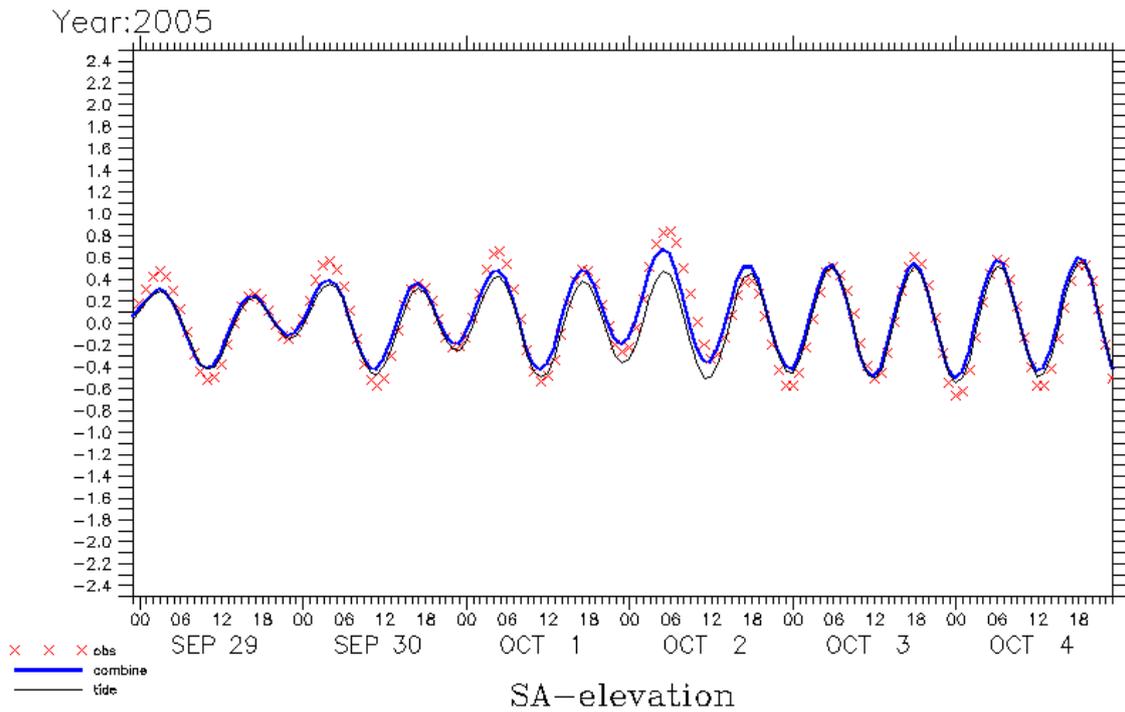


圖 2.4-21 龍王颱風蘇澳測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下)
 (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位)

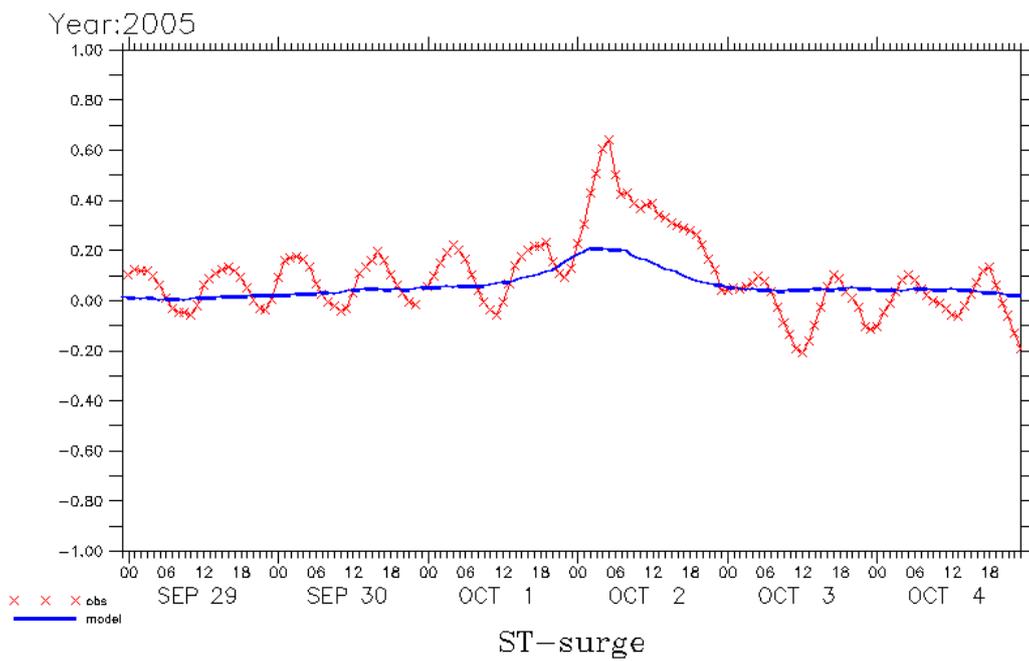
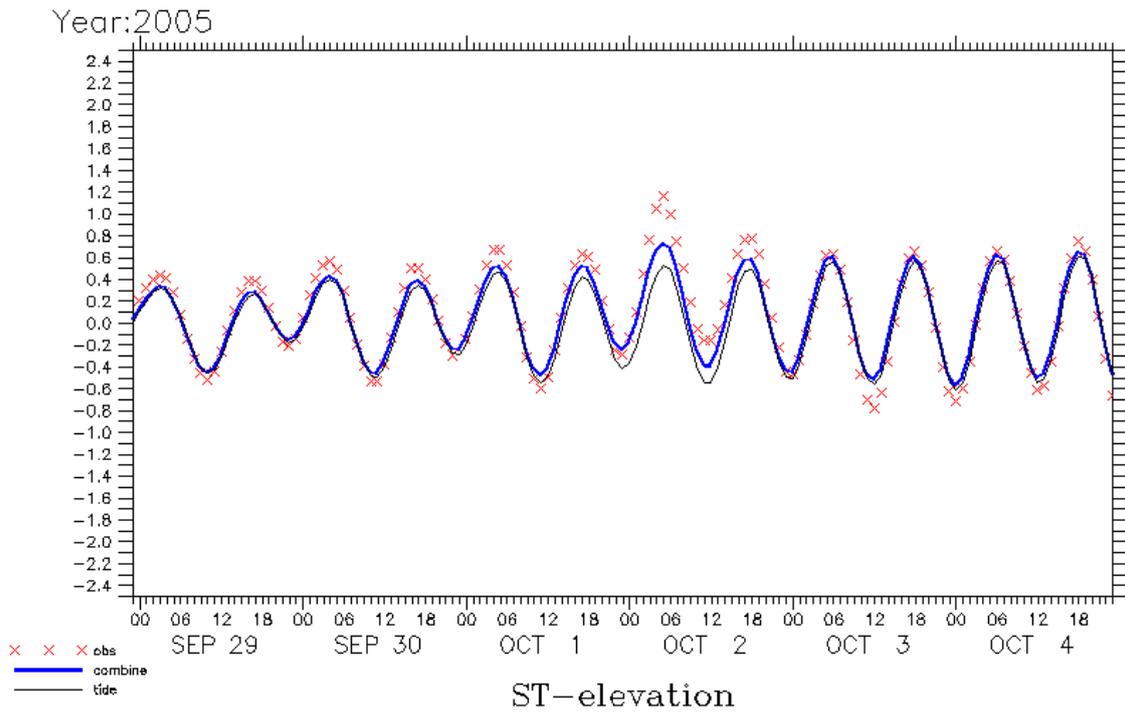


圖 2.4-22 龍王颱風石梯測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下)
 (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位)

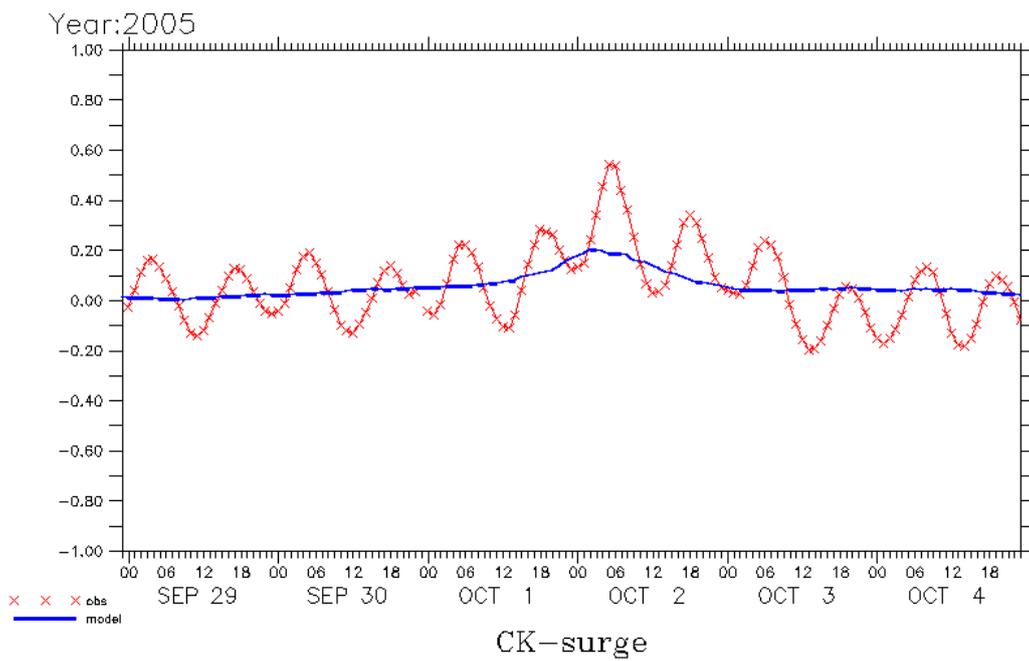
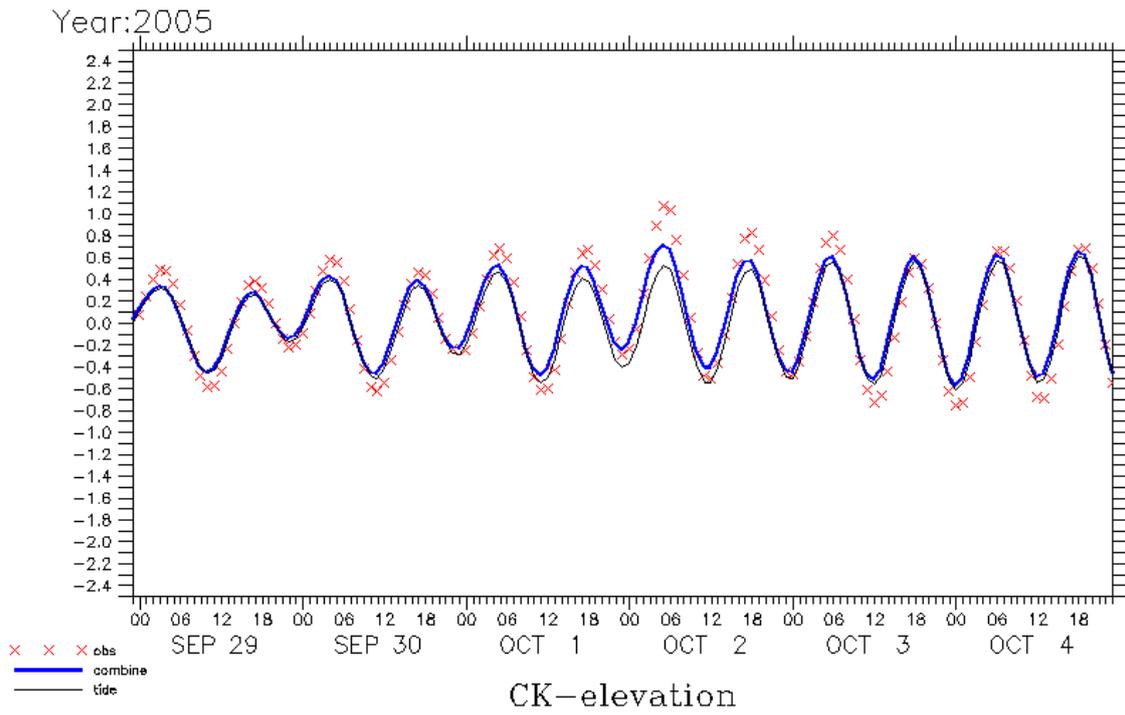


圖 2.4-23 龍王颱風成功測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下)
 (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位)

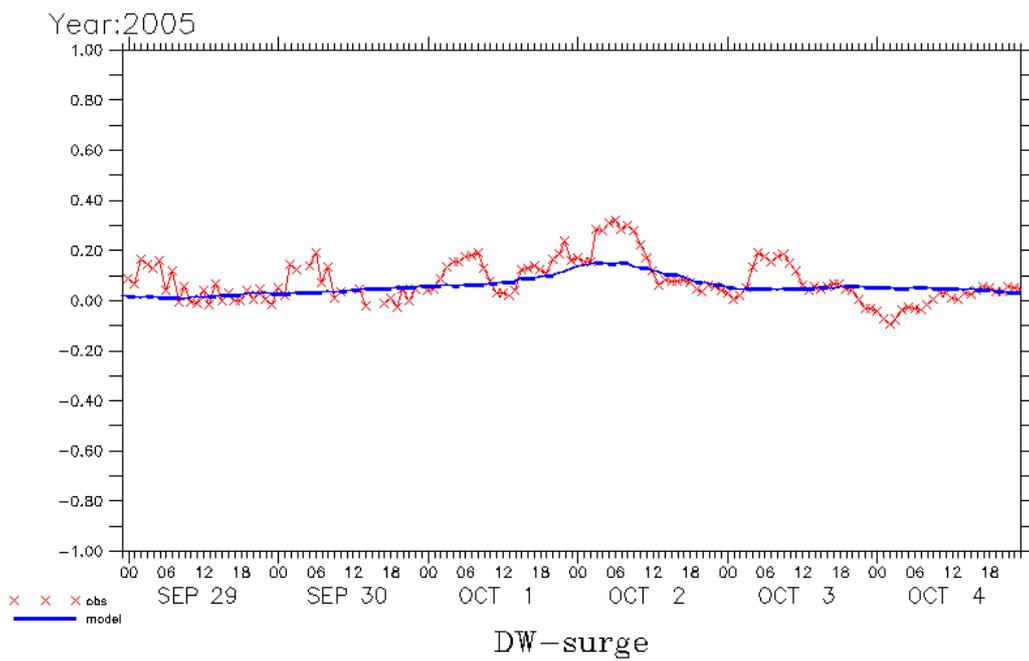
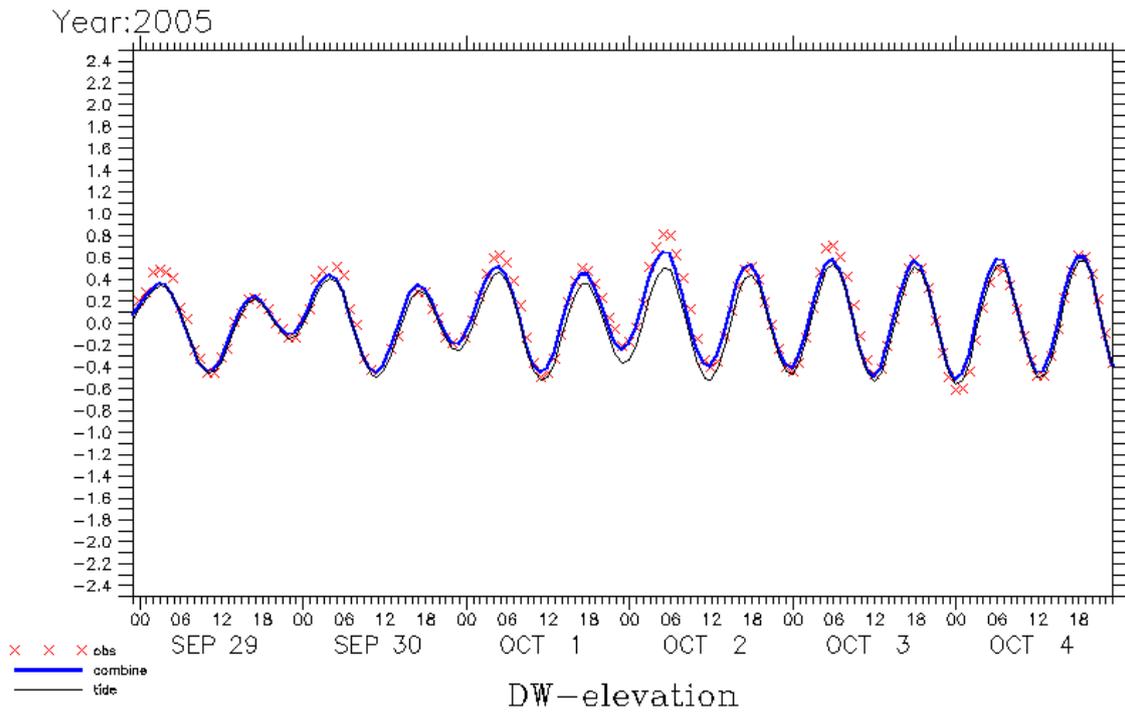


圖 2.4-24 龍王颱風大武測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下)
 (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位)

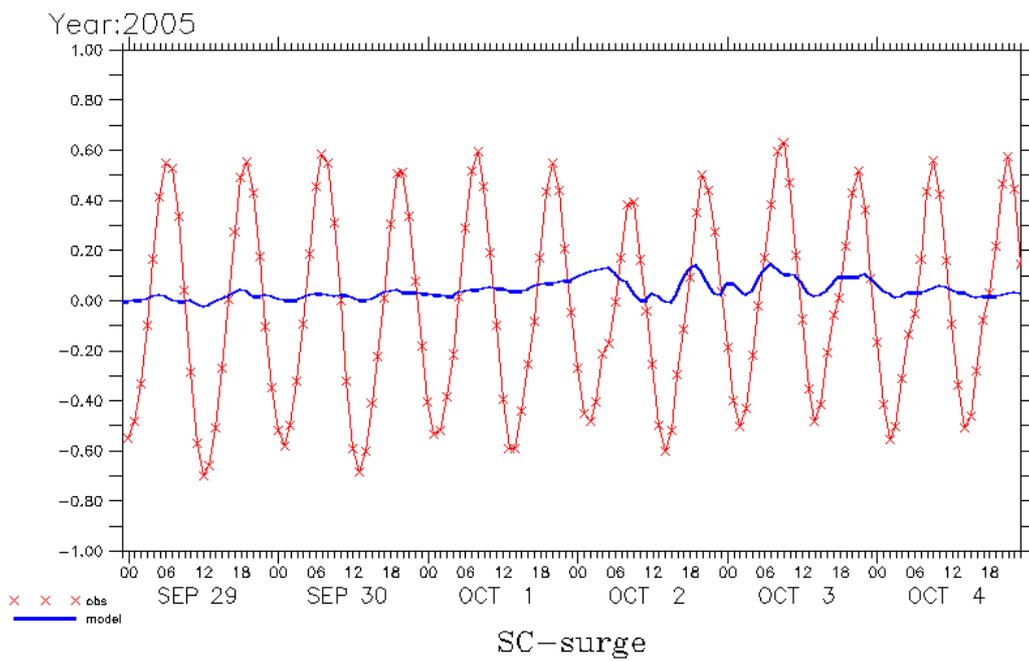
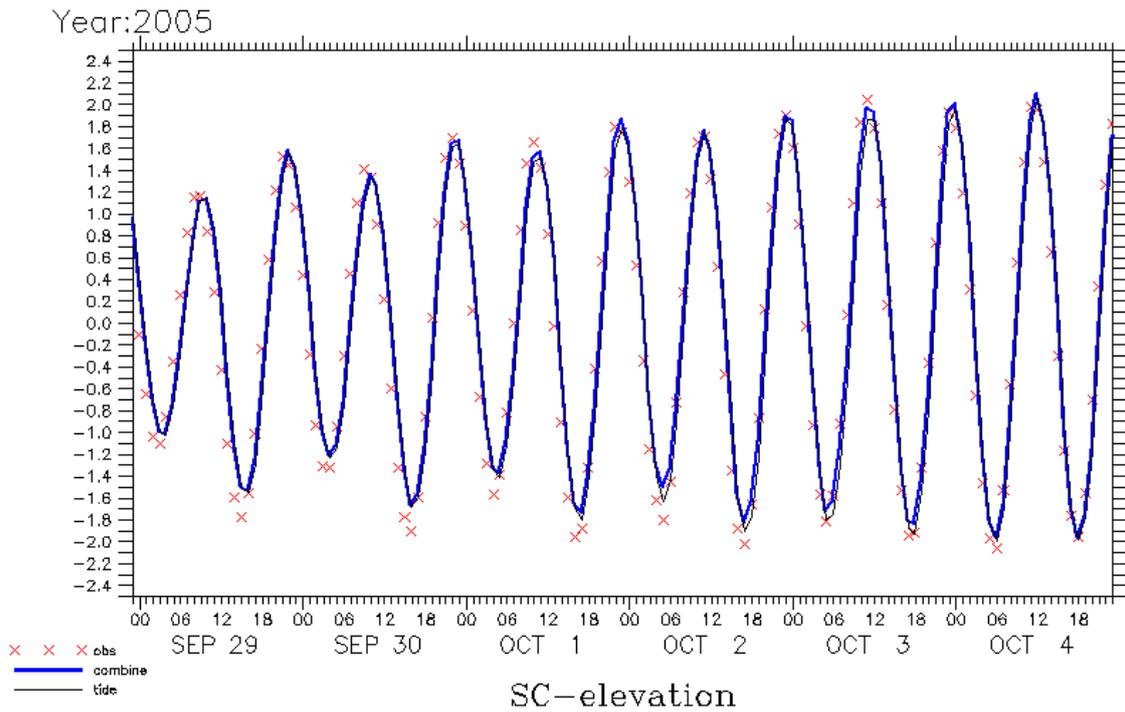


圖 2.4-25 龍王颱風新竹測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下)
 (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位)

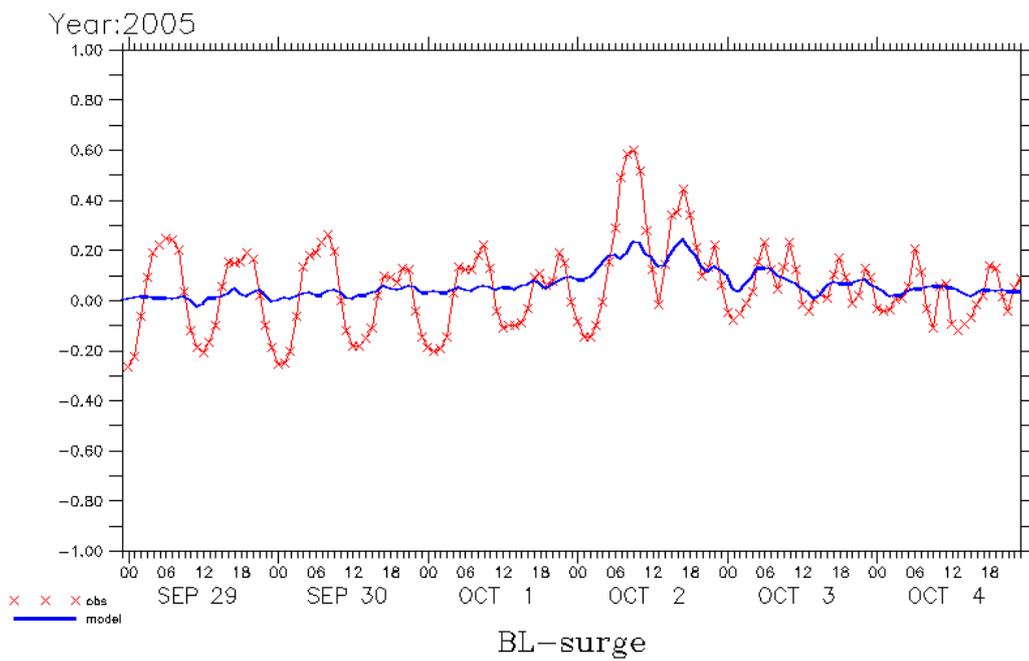
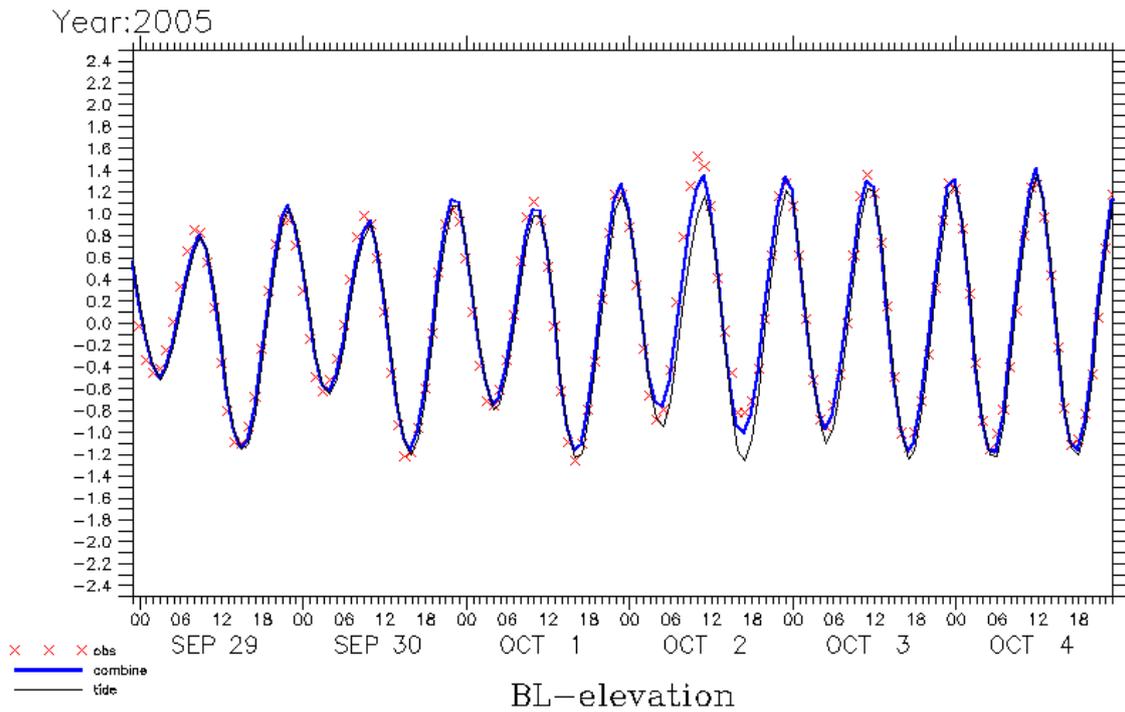


圖 2.4-26 龍王颱風箔子寮測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下)
 (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位)

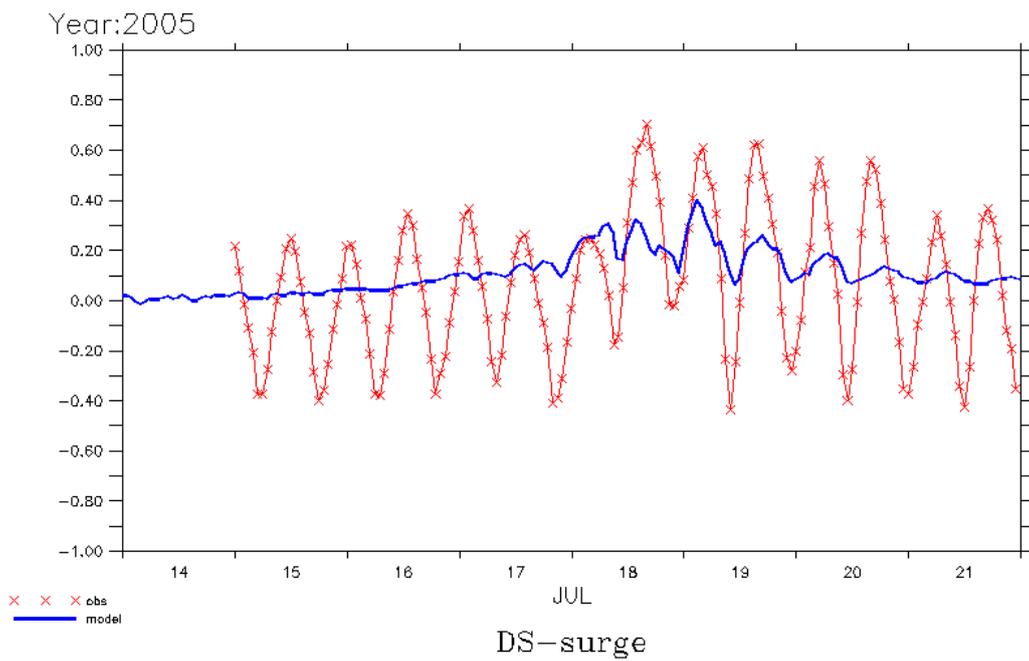
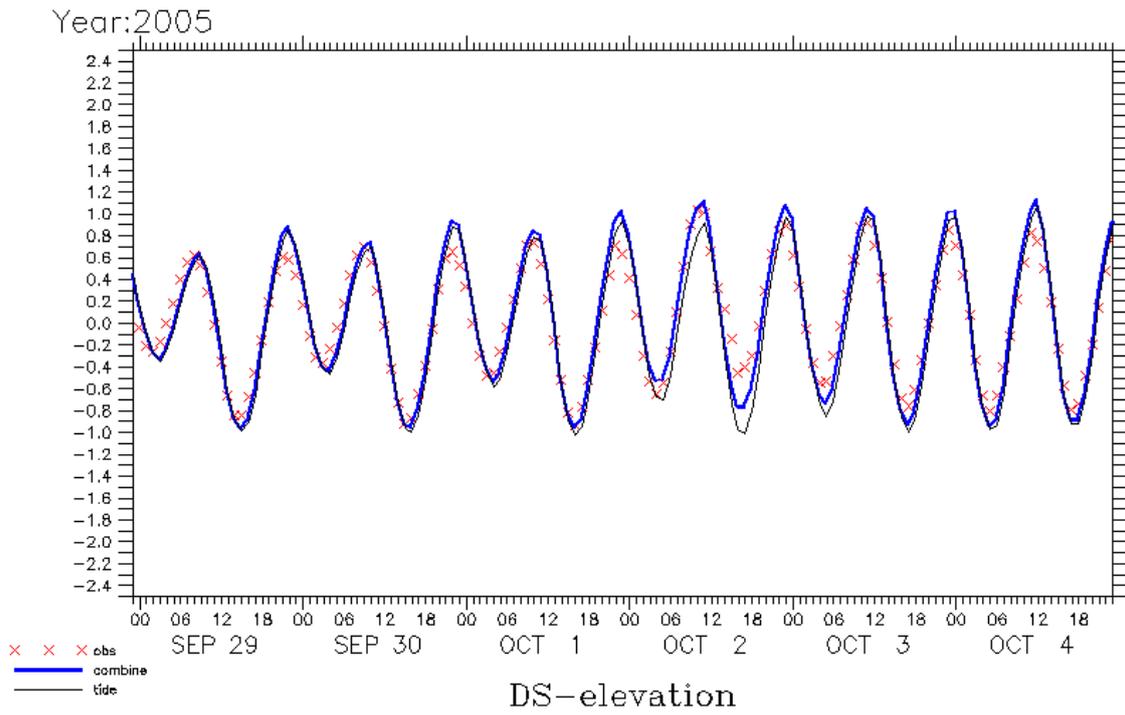


圖 2.4-27 龍王颱風東石測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下)
 (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位)

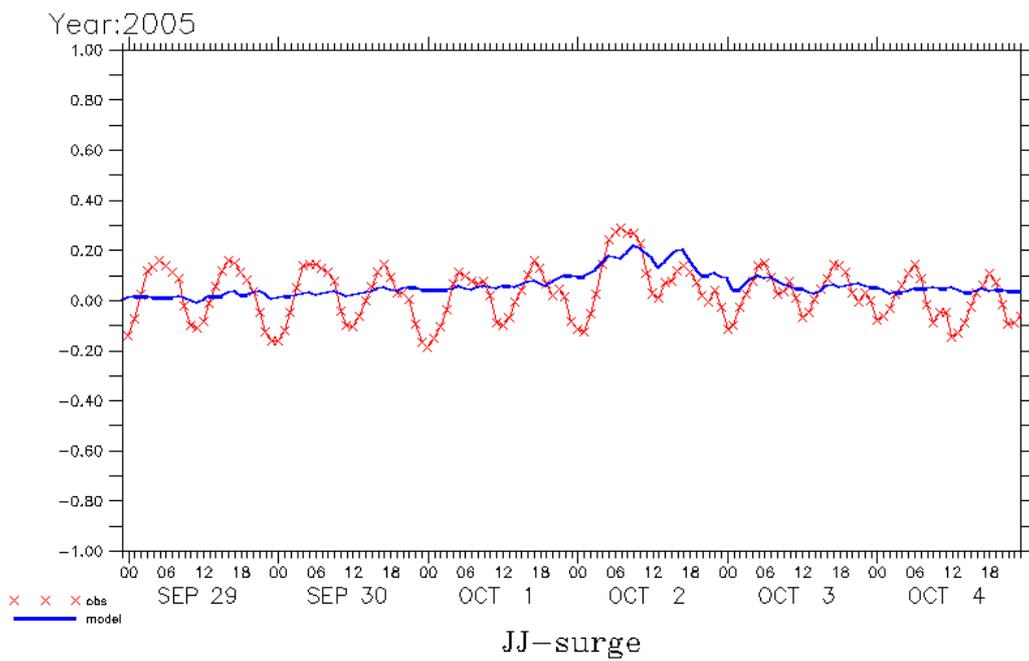
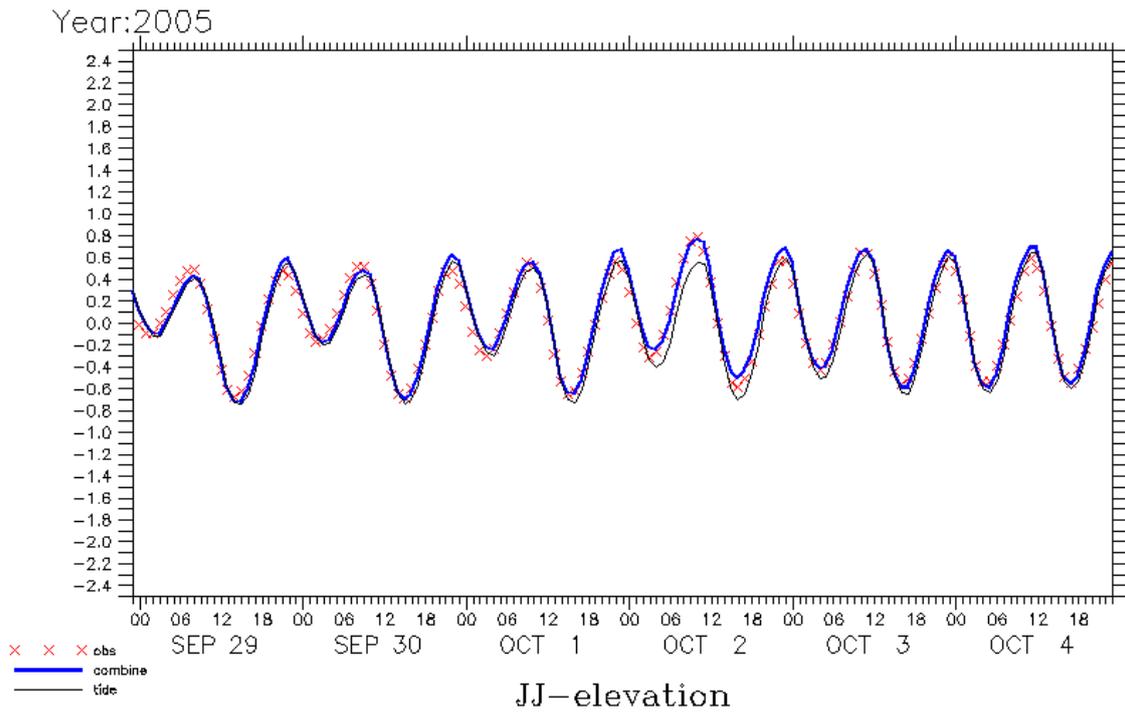


圖 2.4-28 龍王颱風將軍測站模式水位與實測水位時序圖(上)及暴潮偏差(下)
 (細線：天文潮, 粗線：整合水位, x：實測水位)

本年度則利用西太平洋模式及台灣海域模式進行 2006 年的颱風模擬。模擬時間為 2006 年 7 月份，此月份有一中度颱風凱米（編號 200605）登陸，可作為

模式的比對，氣象條件輸入使用中央氣象局提供的動態分析壓力場及風場

(RC)，輸入時間為每六小時一筆。

凱米颱風於 2006 年 7 月 19 日於關島西南方生成，以西北西方向朝台灣前進，於 7 月 21 日發展為中度颱風，24 日 23 時 45 分左右由台東縣登入後，繼續向西北西方向前進，於 25 日 19 時由金門附近登入福建後，減弱為熱帶性低氣壓，颱風路徑如圖 2.4-29。

表 2.4-3 為模式於 2006 年 7 月份及凱米颱風期間（計算時間為 2006 年 7 月 22 日 1 時至 7 月 27 日零時）西太平洋模式的模擬結果與實測資料進行相關係數計算的統計表。本次比對測站資料由中央氣象局取得，包含 15 個西部測站及 7 個東部測站，共 22 個測站資料進行比對。表中相關係數統計結果，西部測站相關係數皆在 0.9 以上，部份測站更在 0.95 以上，凱米颱風期間計算結果比整月份計算結果稍好；東部測站則除了龍洞及梗枋不到 0.9 外，其餘測站相關係數也都在 0.9 以上；在凱米颱風時期，各測站的結果又比整月份來的好，特別是龍洞及梗枋相關性皆增加許多，為龍洞相關係數仍是未到 0.9，推測以 1/20 度地形進行模擬，仍不足以解析龍洞附近的地形。表 2.4-4 則為台灣海域模式的模擬結果，模式結果與西太平洋海域模式結果相近，但是東北部的龍洞及梗枋有比較好的結果，相關係數可突破 0.9。

圖 2.4-30 至圖 2.4-39 為凱米颱風期間西太平洋模式結果、台灣海域模式結果與實測資料比對圖，西太平洋模式結果為黑色粗線，台灣海域模式結果為藍色細線。結果顯示，在東部測站，西太平洋模式與台灣海域模式結果相當，在西部測站，則可發現台灣海域模式因為地形解析度較好，因此在相位及極端值的比對要比西太平洋模式更接近實測資料。雖然台灣海域模式解析度較高，但是對於梗枋測站的比對結果，仍有差異，在大潮極小潮的高平潮，模式結果跟實測資料吻合，但是低平潮的部份模式則產生高估，此現象也於西部測站發現，因此模式仍需持續進行修正。

圖 2.4-40 至圖 2.4-50 為西太平洋模式、台灣海域模式與實測水位之比對圖。

圖上結果除了淡水及將軍外，其餘測站台灣海域模式的結果皆比西太平洋模式接近中線，梗枋測站則為所有測站中與實測資料差異最大的。

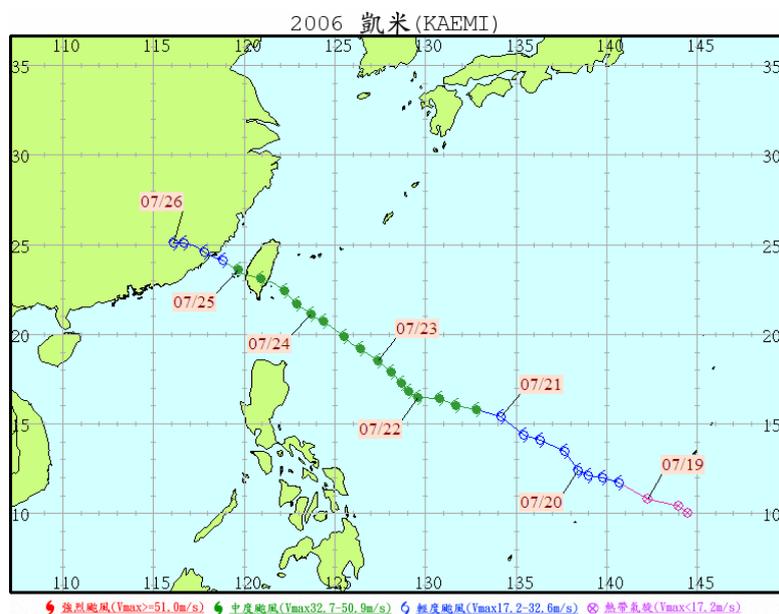


圖 2.4-29 凱米颱風路徑圖 (中央氣象局網站)

表 2.4-3 各測站於模擬期間模式水位與實測水位相關係數 (西太平洋模式)

西部測站	相關係數		東部測站	相關係數	
	2006年7月	凱米		2006年7月	凱米
麟山鼻	0.9044	0.9069	龍洞	0.8494	0.8917
淡水	0.9697	0.9821	梗枋	0.8686	0.9449
新竹	0.9471	0.9491	花蓮	0.9434	0.9695
外埔	0.9480	0.9489	石梯	0.9428	0.9702
箔子寮	0.9850	0.9870	成功	0.9247	0.9260
東石	0.9577	0.9340	大武	0.9332	0.9701
將軍	0.9807	0.9864	蘭嶼	0.9163	0.9418
安平	0.9625	0.9817			
永安	0.9732	0.9869			
高雄	0.9554	0.9502			
東港	0.9072	0.9210			
蟳廣嘴	0.9325	0.9590			
後壁湖	0.9661	0.9907			
小琉球	0.9279	0.9423			
料羅灣	0.9603	0.9630			

表 2.4-4 各測站於模擬期間模式水位與實測水位相關係數（台灣海域模式）

西部測站	相關係數		東部測站	相關係數	
	2006年7月	凱米颱風		2006年7月	凱米颱風
麟山鼻	0.9779	0.9779	龍洞	0.9098	0.9394
淡水	0.8345	0.8228	梗枋	0.9113	0.9496
新竹	0.9877	0.9896	花蓮	0.9539	0.9802
外埔	0.9867	0.9850	石梯	0.9292	0.9430
箔子寮	0.9428	0.950	成功	0.9301	0.9212
東石	0.9232	0.9238	大武	0.9429	0.9641
將軍	0.9419	0.9573	蘭嶼	0.9375	0.9466
安平	0.9492	0.9685			
永安	0.9625	0.9749			
高雄	0.9440	0.9472			
東港	0.9085	0.9164			
蟬廣嘴	0.9085	0.9294			
後壁湖	0.9510	0.9809			
小琉球	0.9357	0.9352			
料羅灣	0.9786	0.9864			

表 2.4-5 各測站於模擬期間模式水位與實測水位 r.m.s 值統計（西太平洋模式）

西部測站	r.m.s(公尺)		東部測站	r.m.s(公尺)	
	2006年7月	凱米		2006年7月	凱米
麟山鼻	0.110	0.129	龍洞	0.125	0.138
淡水	0.042	0.052	梗枋	0.020	0.017
新竹	0.189	0.219	花蓮	0.050	0.044
外埔	0.156	0.212	石梯	0.118	0.120
箔子寮	0.068	0.078	成功	0.108	0.109
東石	0.095	0.149	大武	0.104	0.154
將軍	0.030	0.027	蘭嶼	0.050	0.056
安平	0.080	0.095			
永安	0.078	0.085			
高雄	0.061	0.062			
東港	0.035	0.033			
蟬廣嘴	0.029	0.031			
後壁湖	0.070	0.078			
小琉球	0.040	0.039			
料羅灣	0.259	0.277			

表 2.4-6 各測站於模擬期間模式水位與實測水位 r.m.s 值統計 (台灣海域模式)

西部測站	r.m.s(公尺)		東部測站	r.m.s(公尺)	
	2006年7月	凱米		2006年7月	凱米
麟山鼻	0.100	0.12	龍洞	0.105	0.108
淡水	0.03	0.049	梗枋	0.015	0.016
新竹	0.18	0.21	花蓮	0.051	0.048
外埔	0.126	0.202	石梯	0.103	0.110
箔子寮	0.038	0.058	成功	0.10	0.11
東石	0.090	0.129	大武	0.094	0.134
將軍	0.030	0.021	蘭嶼	0.036	0.046
安平	0.059	0.075			
永安	0.068	0.080			
高雄	0.041	0.052			
東港	0.030	0.023			
蟬廣嘴	0.025	0.029			
後壁湖	0.057	0.062			
小琉球	0.042	0.040			
料羅灣	0.159	0.197			

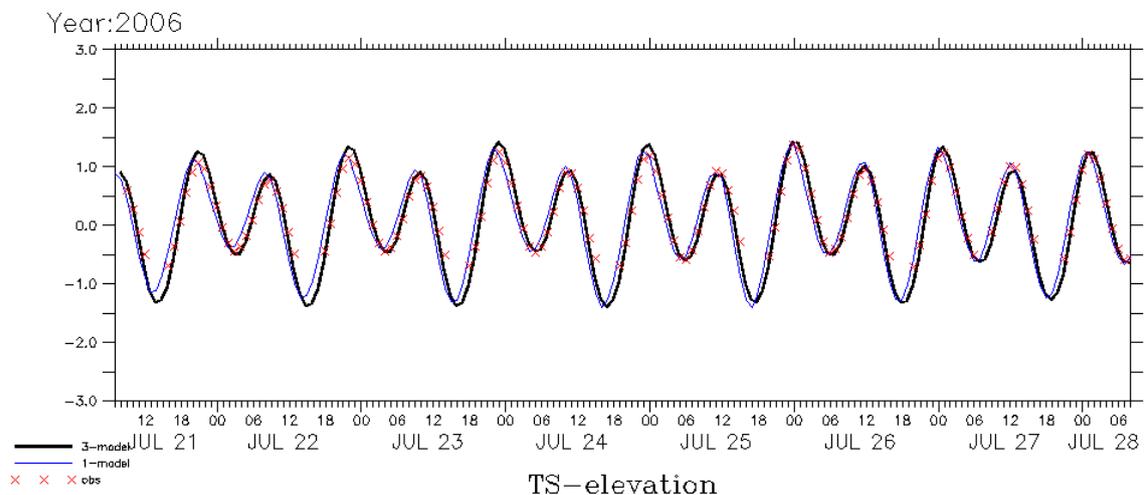


圖 2.4-30 凱米颱風期間淡水測站與實測資料時序圖(粗線：3分,細線：1分)

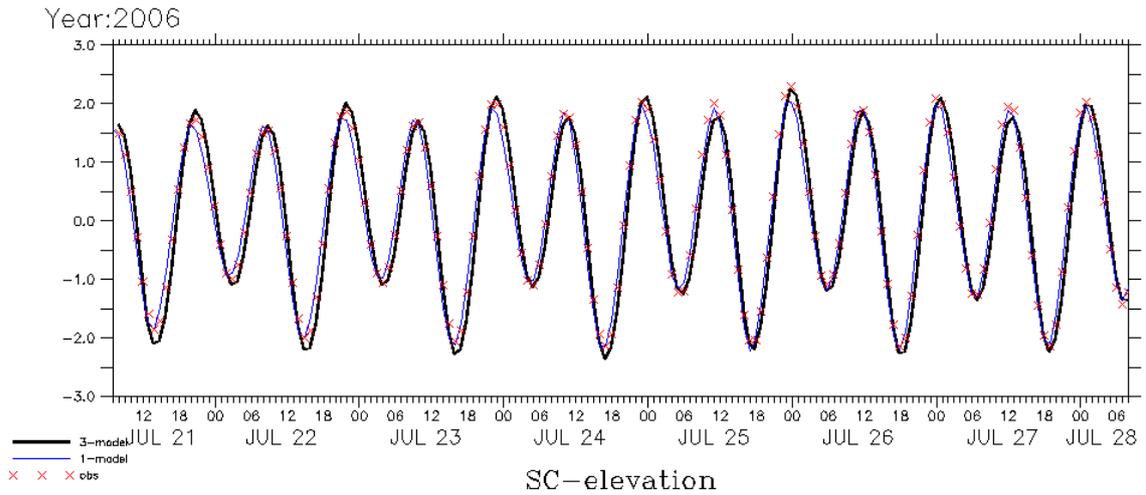


圖 2.4-31 凱米颱風期間新竹測站與實測資料時序圖(粗線：3 分,細線：1 分)

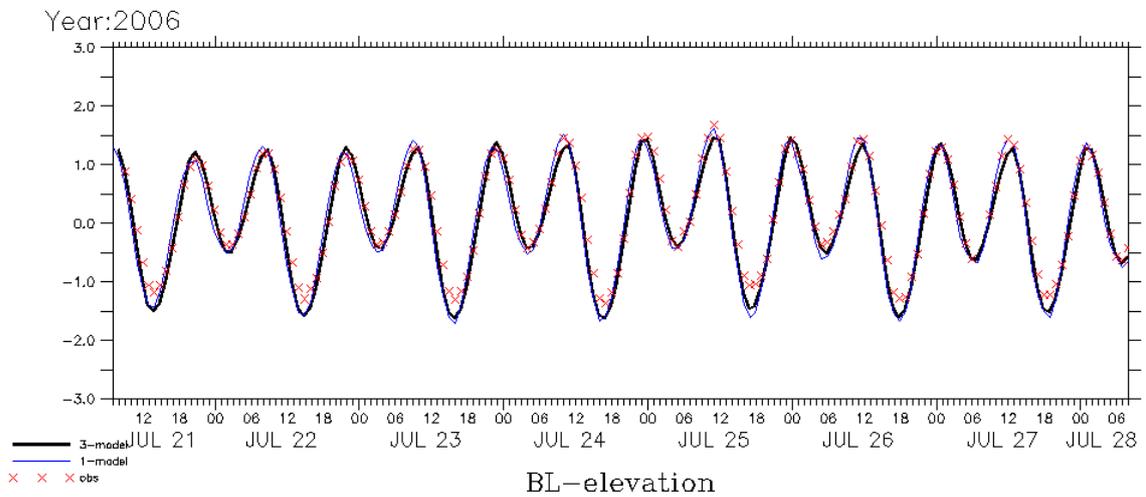


圖 2.4-32 凱米颱風期間箔子寮測站與實測資料時序圖(粗線：3 分,細線：1 分)

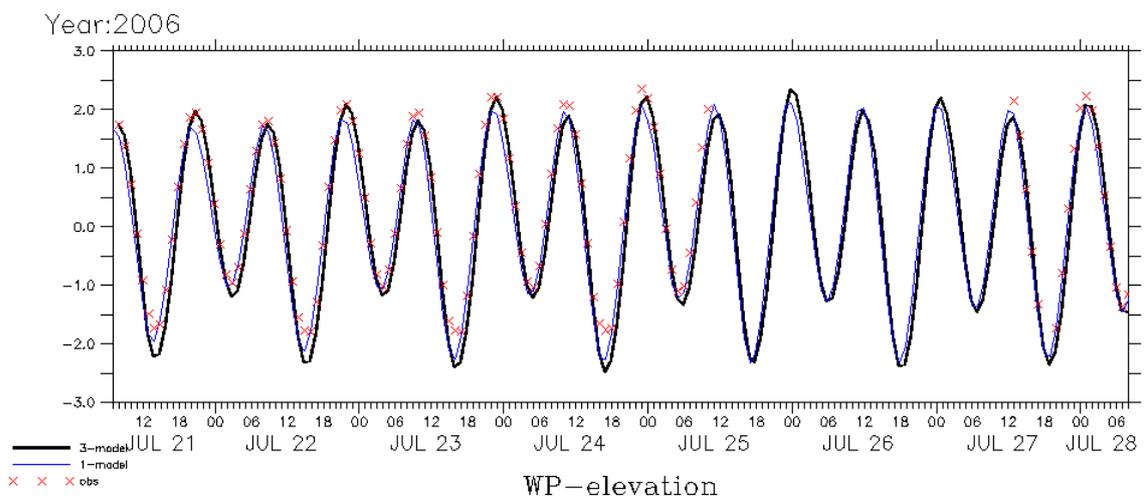


圖 2.4-33 凱米颱風期間外埔測站與實測資料時序圖(粗線：3 分,細線：1 分)

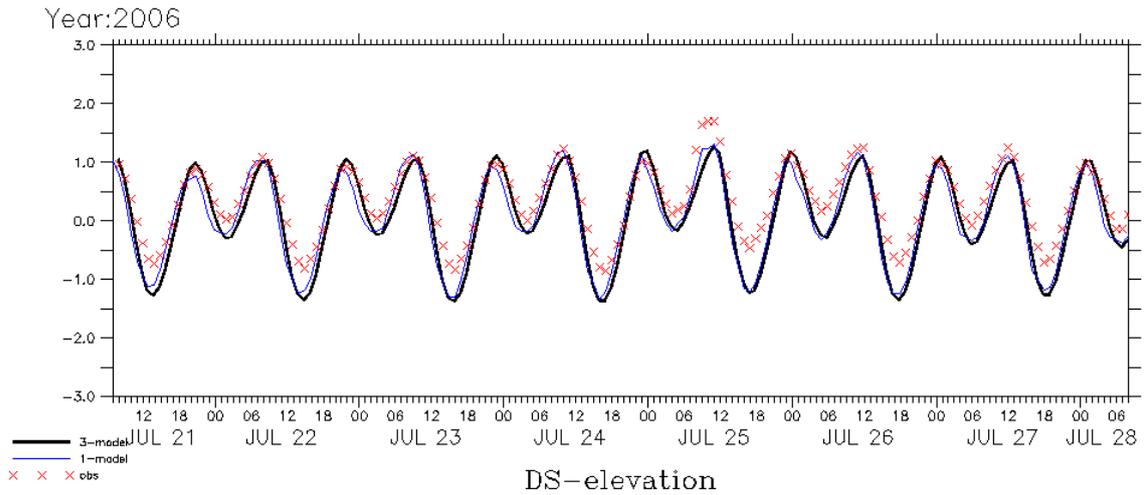


圖 2.4-34 凱米颱風期間東石測站與實測資料時序圖(粗線：3 分,細線：1 分)

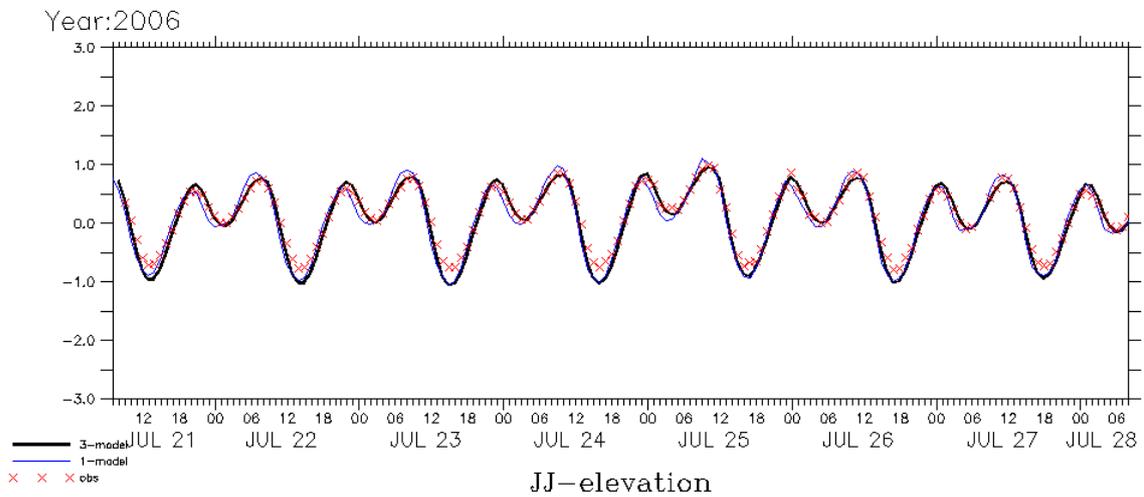


圖 2.4-35 凱米颱風期間將軍測站與實測資料時序圖(粗線：3 分,細線：1 分)

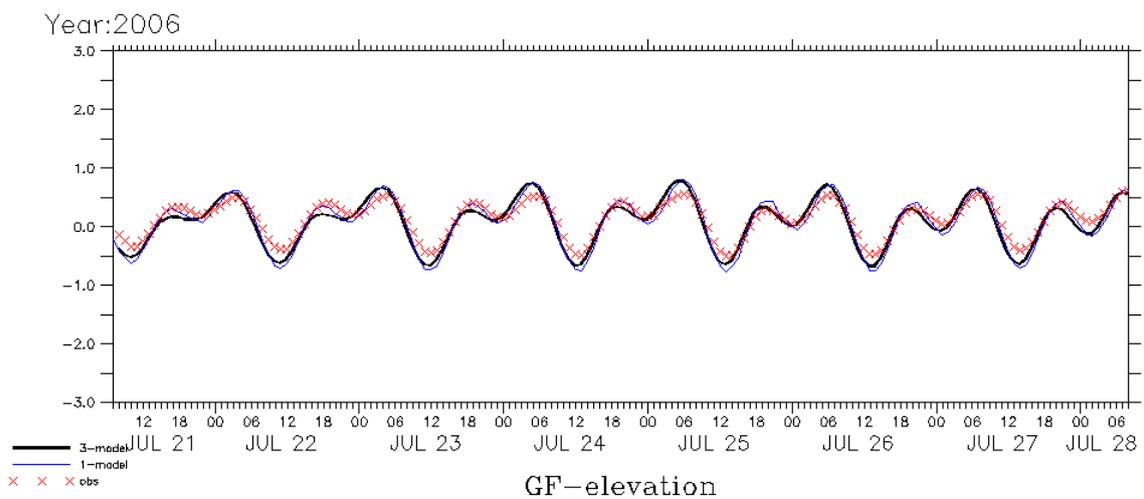


圖 2.4-36 凱米颱風期間梗枋測站與實測資料時序圖(粗線：3 分,細線：1 分)

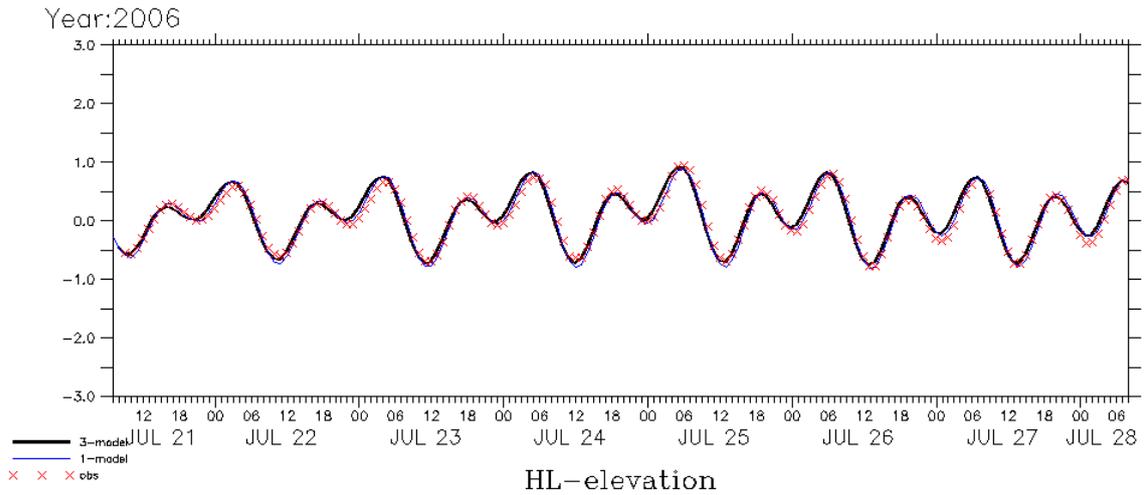


圖 2.4-37 凱米颱風期間花蓮測站與實測資料時序圖(粗線：3 分,細線：1 分)

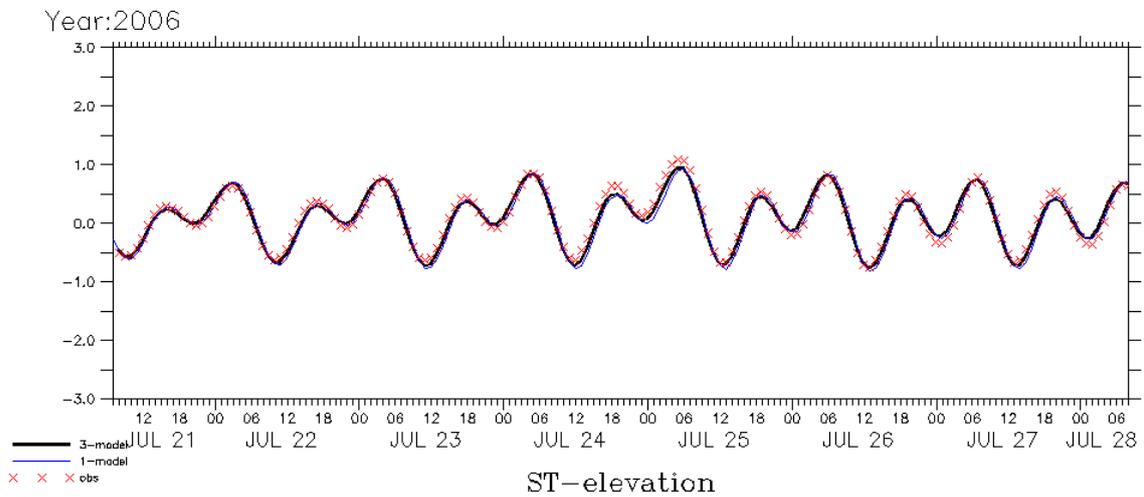


圖 2.4-38 凱米颱風期間石梯測站與實測資料時序圖(粗線：3 分,細線：1 分)

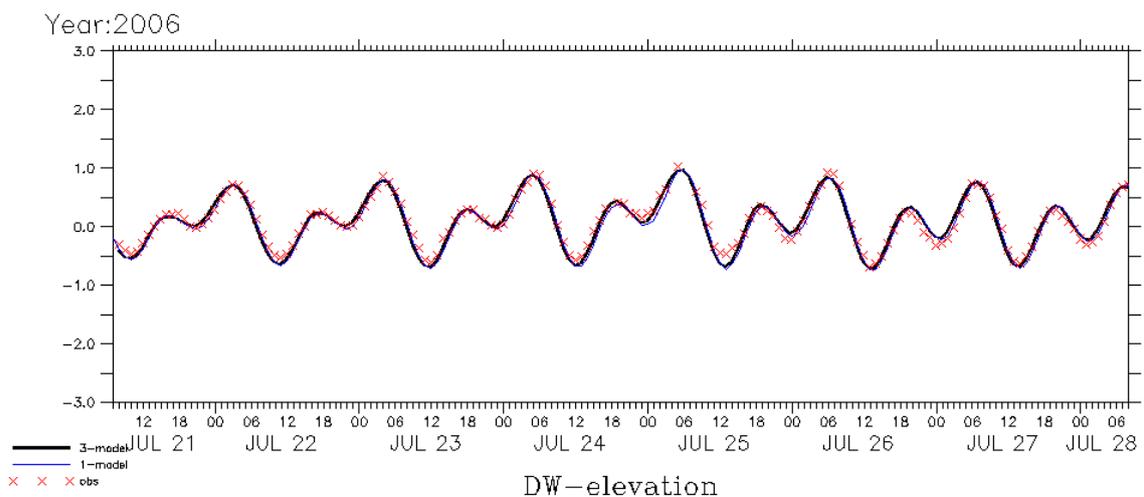


圖 2.4-39 凱米颱風期間大武測站與實測資料時序圖(粗線：3 分,細線：1 分)

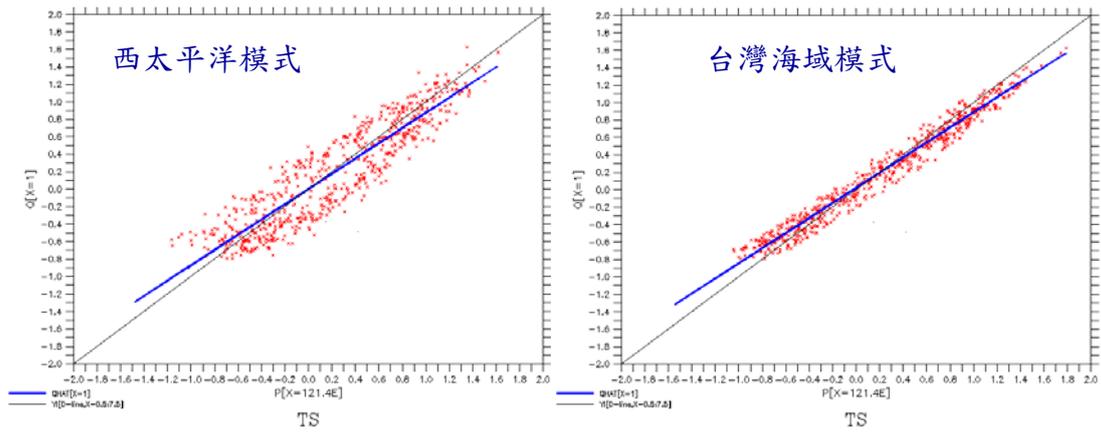


圖 2.4-40 淡水測站模式水位與實測水位比對圖(x 軸為模式資料，y 軸為實測資料)

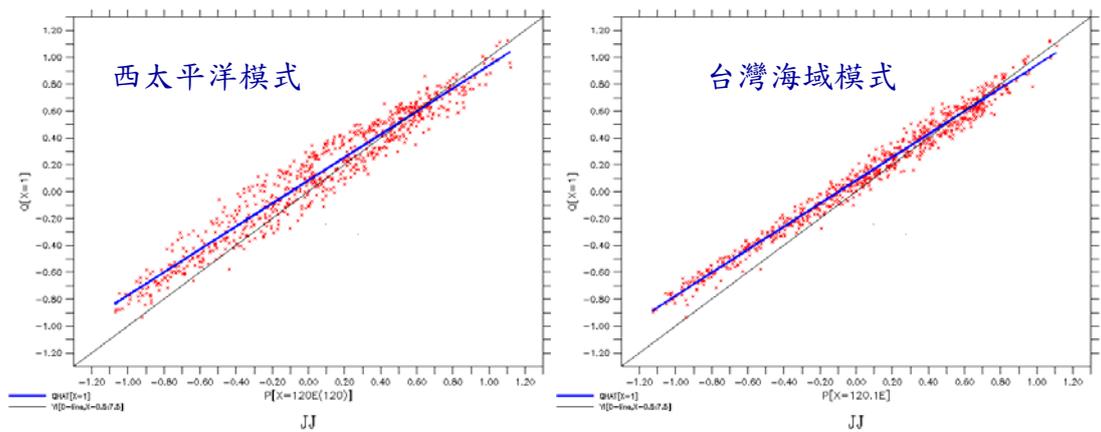


圖 2.4-41 將軍測站模式水位與實測水位比對圖(x 軸為模式資料，y 軸為實測資料)

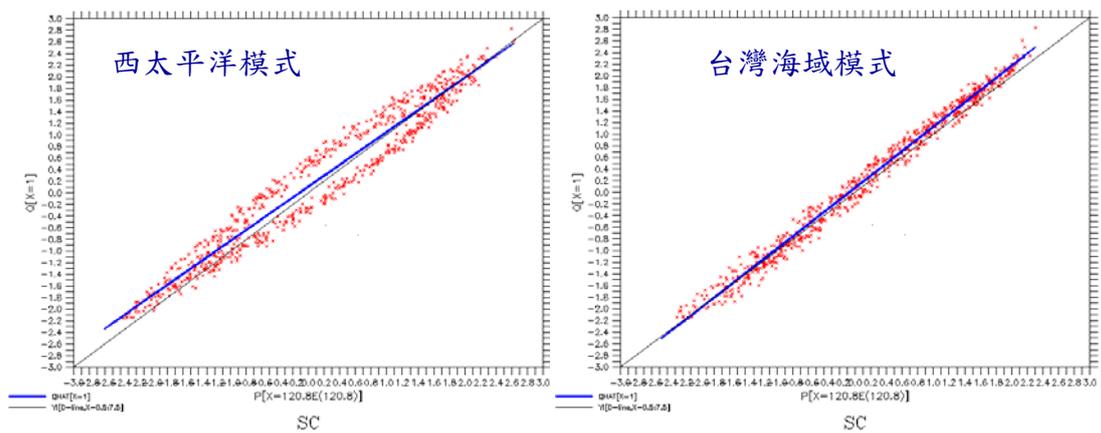


圖 2.4-42 新竹測站模式水位與實測水位比對圖(x 軸為模式資料，y 軸為實測資料)

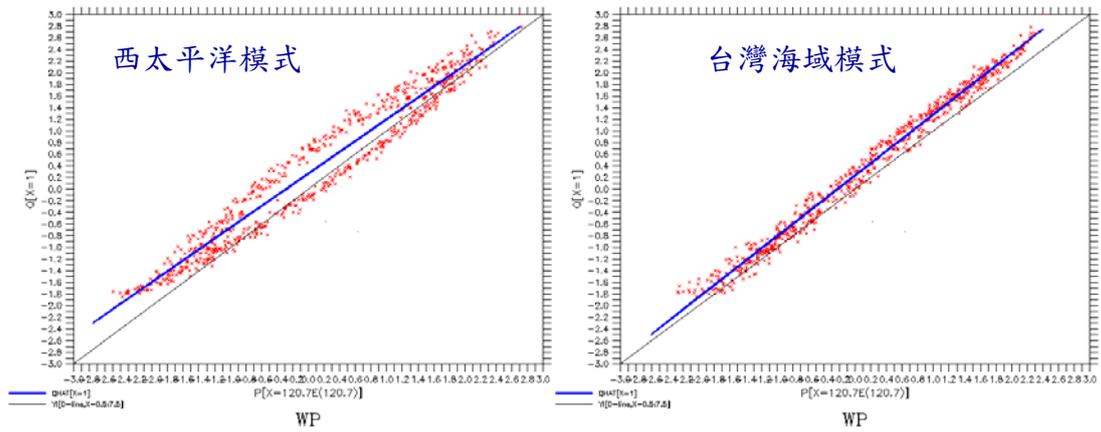


圖 2.4-43 外埔測站模式水位與實測水位比對圖(x 軸為模式資料，y 軸為實測資料)

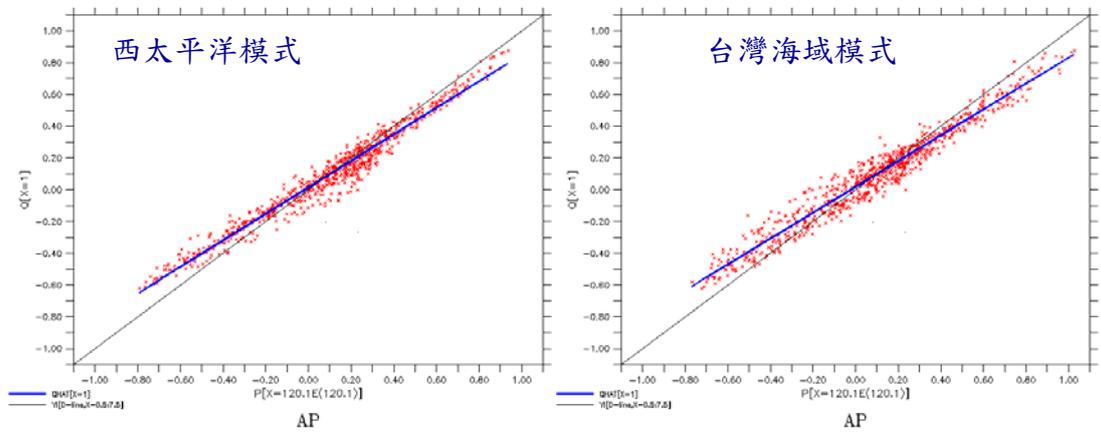


圖 2.4-44 安平測站模式水位與實測水位比對圖(x 軸為模式資料，y 軸為實測資料)

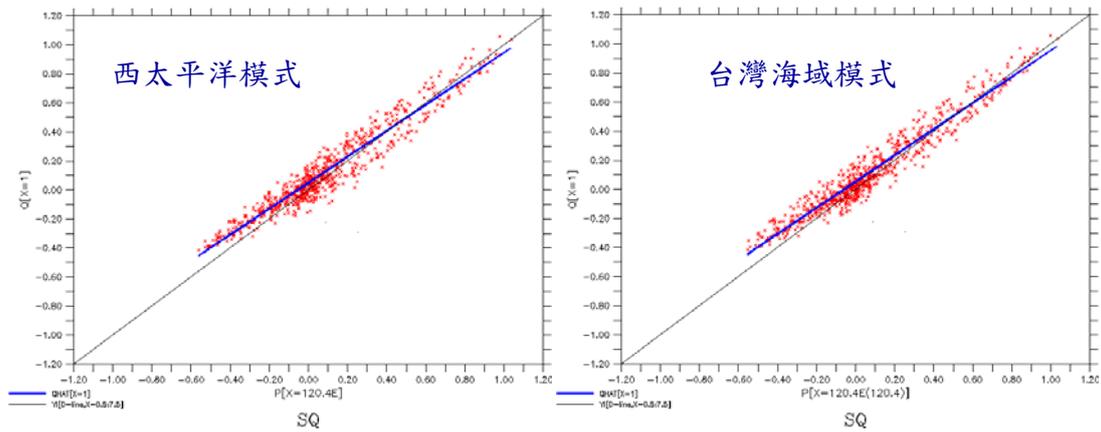


圖 2.4-45 小琉球測站模式水位與實測水位比對圖(x 軸為模式資料，y 軸為實測資料)

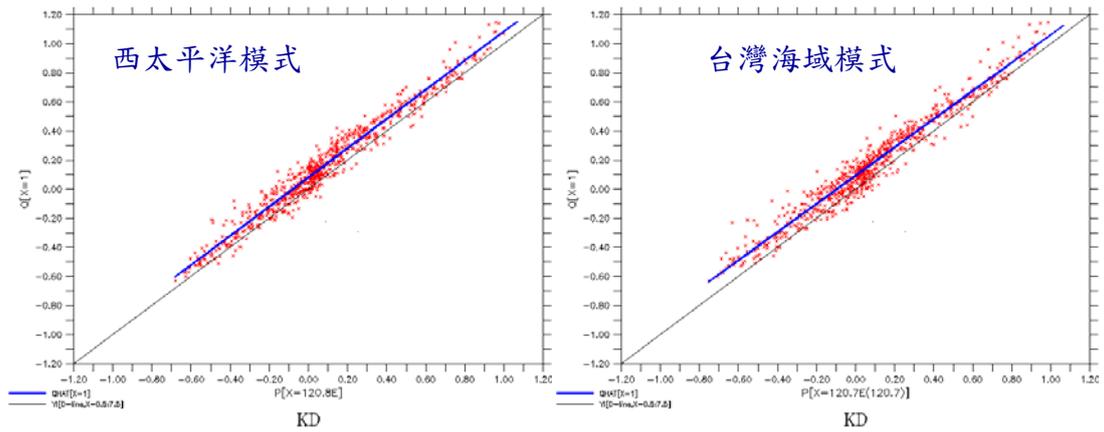


圖 2.4-46 後壁湖測站模式水位與實測水位比對圖(x 軸為模式資料，y 軸為實測資料)

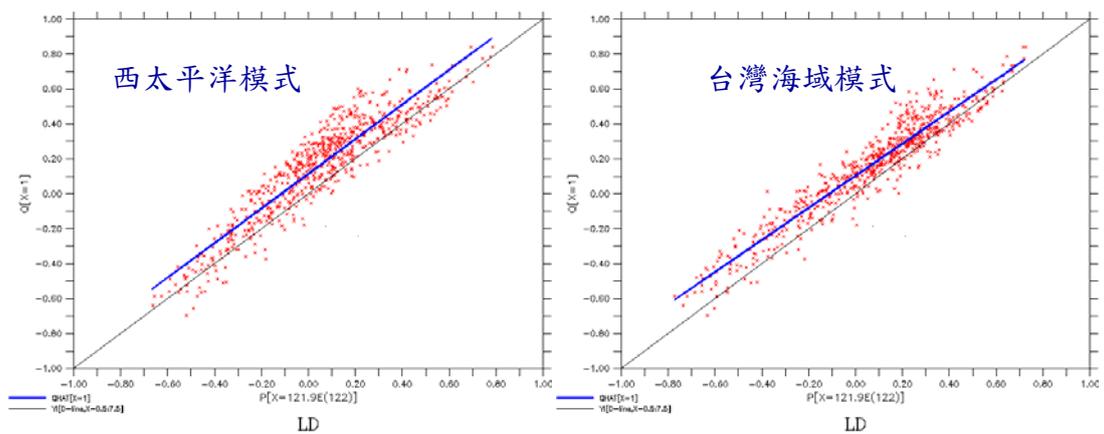


圖 2.4-47 龍洞測站模式水位與實測水位比對圖(x 軸為模式資料，y 軸為實測資料)

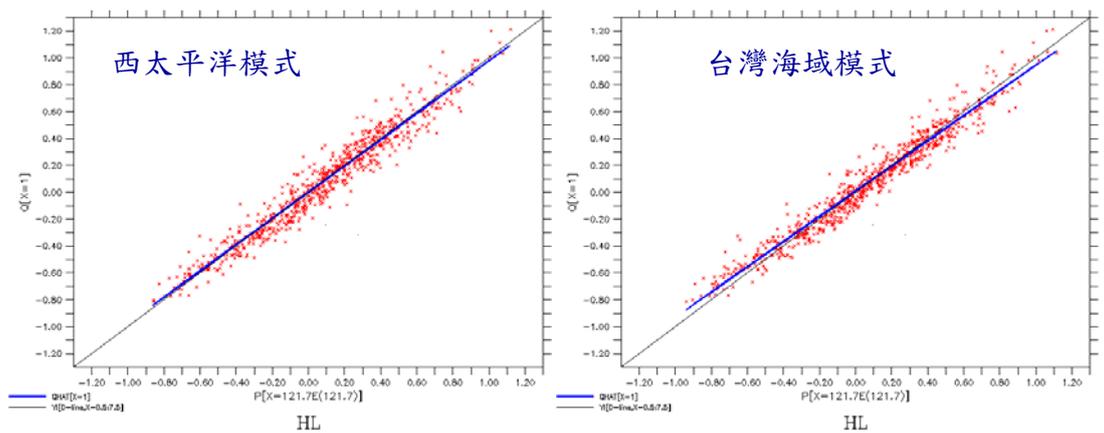


圖 2.4-48 花蓮測站模式水位與實測水位比對圖(x 軸為模式資料，y 軸為實測資料)

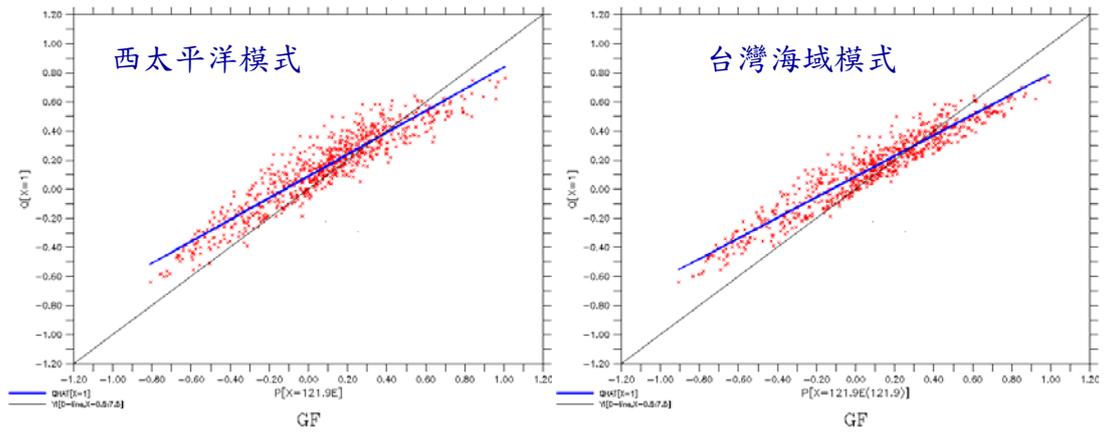


圖 2.4-49 檳枋測站模式水位與實測水位比對圖(x 軸為模式資料,y 軸為實測資料)

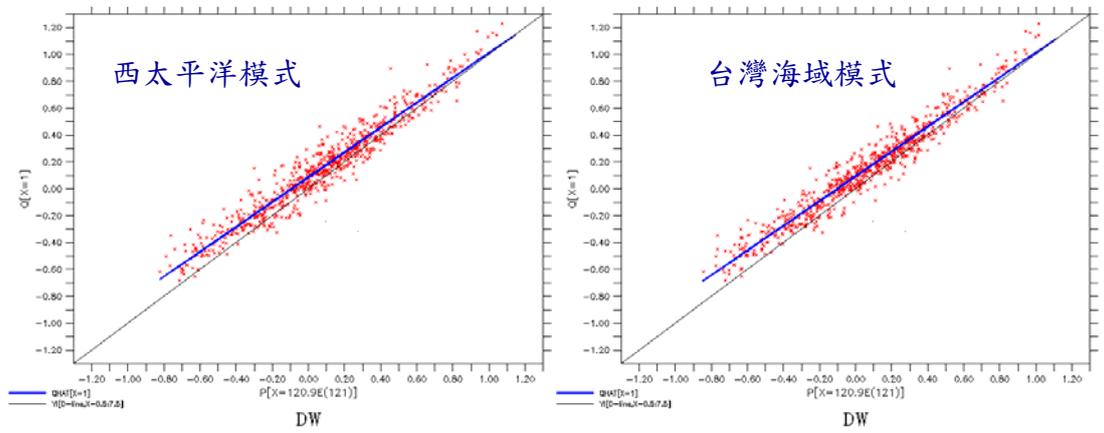


圖 2.4-50 大武測站模式水位與實測水位比對圖(x 軸為模式資料，y 軸為實測資料)

第三章 長期海象資料分析

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可能隨之改變，航運、海岸開發與遊憩安全的設計及管理參數亦需相對的有所改變。除了颱風強度及頻率改變外，因為人類工業發展迅速，製造出相當多的溫室氣體，使得地球氣溫上升，產生溫室效應，導致極區冰山融化，也造成海平面升高的現象。綜合上述因素，颱風產生的暴潮水位可能會比過去更高，對近岸地區的威脅也更大。因此本計畫利用氣象局海象測報中心環島水位記錄之長期資料進行分析。分析過程分為二個部分，首先進以調和分析解析長期水位的分潮特性，並嘗試了解台灣地區海水平面的變化現象；接著利用 50 年的潮位資料進行暴潮水位分析，推算暴潮水位重現期。

3.1 長期水位調和分析

去年度取得氣象局 10 年長期水位資料進行分析後，本年度再取得 1956 至 2006 年共 51 年資料進行長期水位分析，取得的測站為花蓮、高雄、基隆及澎湖。取得資料由於水準點變化太大，因此必須先進行水準點修正，表 3.1-1 為水準點修正後，每年的平均水位變化，可了解在水準點修正完後，各測站在各年度的平均海平面並沒有顯著的變化（由於年數過多，因此僅列出 1986 至 2000 年的資料）。由於資料已經經過水準點調整，因此分析出的結果無法看出長期的海平面變化。接著將修正完後的實測資料進行調和分析，取得 8 個主要分潮，分別為四個全日潮 K1、O1、P1 及 Q1，四個半日潮 M2、N2、S2 及 K2。圖 3.1-1 至圖 3.1-8 為 51 年資料各年度各分潮振幅變化狀況，各年度分析出來的調和常數差異不大。表 3.1-2 為各測站各分潮振幅 51 年平均值。

表 3.1-1 各測站平均海平面逐年變化 (單位：公尺)

	花蓮	高雄	基隆	澎湖
1986	0.000215	無資料	-0.00077	-0.00113
1987	0.00144	0.000264	0.00146	0.0000862
1988	-0.000812	-0.00153	-0.00084	0.000152
1989	-0.00751	0.000618	0.00113	0.000281
1990	0.011	0.000335	-0.00098	-0.00127
1991	0.00401	-0.0001	0.000669	0.00303
1992	-0.00009	0.000621	-0.00055	-0.00137
1993	0.000726	-0.00113	-0.00018	0.00114
1994	無資料	-0.0001	0.000543	-0.0127
1995	無資料	0.00196	0.000302	-0.00132
1996	無資料	0.002	-0.00034	0.000225
1997	0.00181	-0.00000833	0.0000929	-0.00086
1998	-0.0023	-0.0008	0.00119	-0.00036
1999	-0.00161	0.000675	-0.00192	-0.00112
2000	0.00207	-0.00061	0.00291	0.000236
2001	0.00231	0.00219	無資料	0.00291
2002	-0.000614	0.00181	無資料	-0.00039
2003	-0.00164	-0.0013	無資料	-0.00019
2004	0.000364	-0.00056	0.00106	-0.00211
2005	-0.0047	-0.00026	-0.00198	-0.0057
2006	0.00387	0.000754	0.000347	0.000991

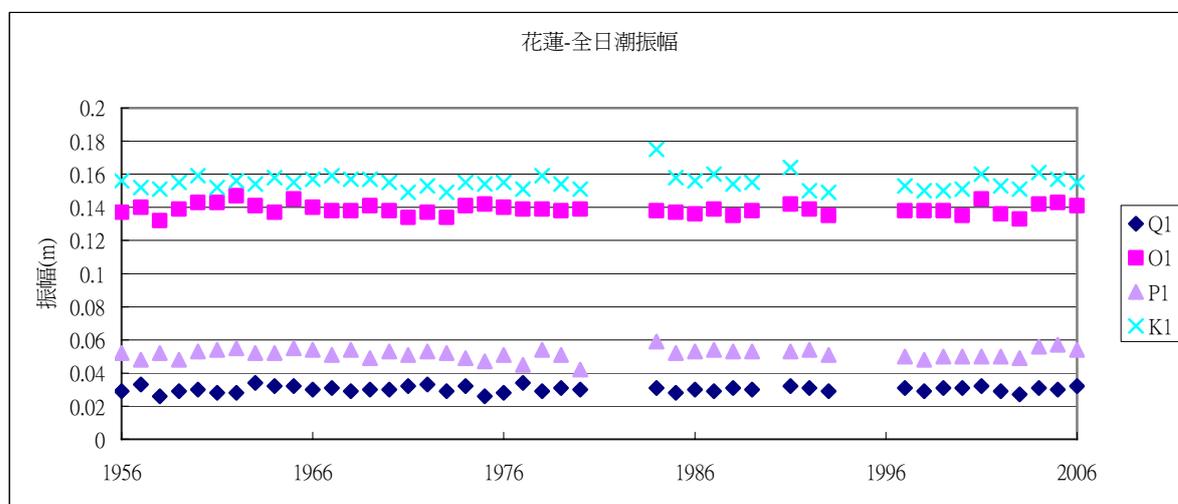


圖 3.1-1 花蓮測站各年主要全日分潮比較圖

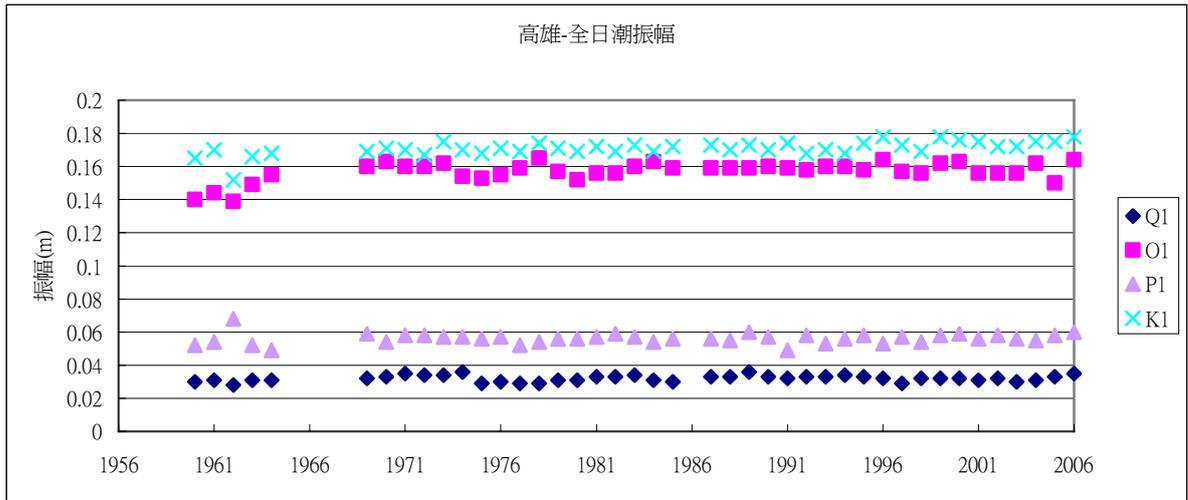


圖 3.1-2 高雄測站各年主要全日分潮比較圖

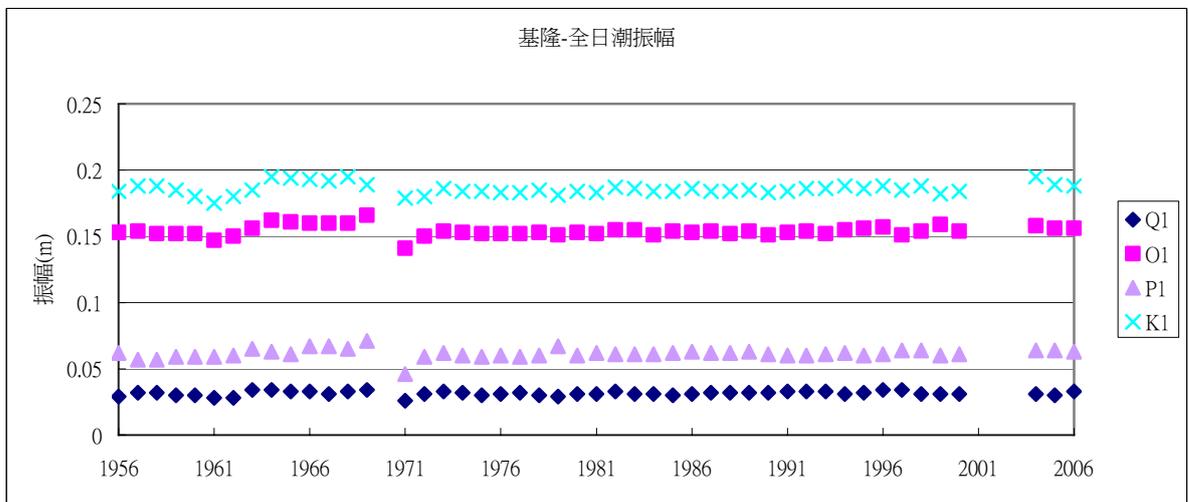


圖 3.1-3 基隆測站各年主要全日分潮比較圖

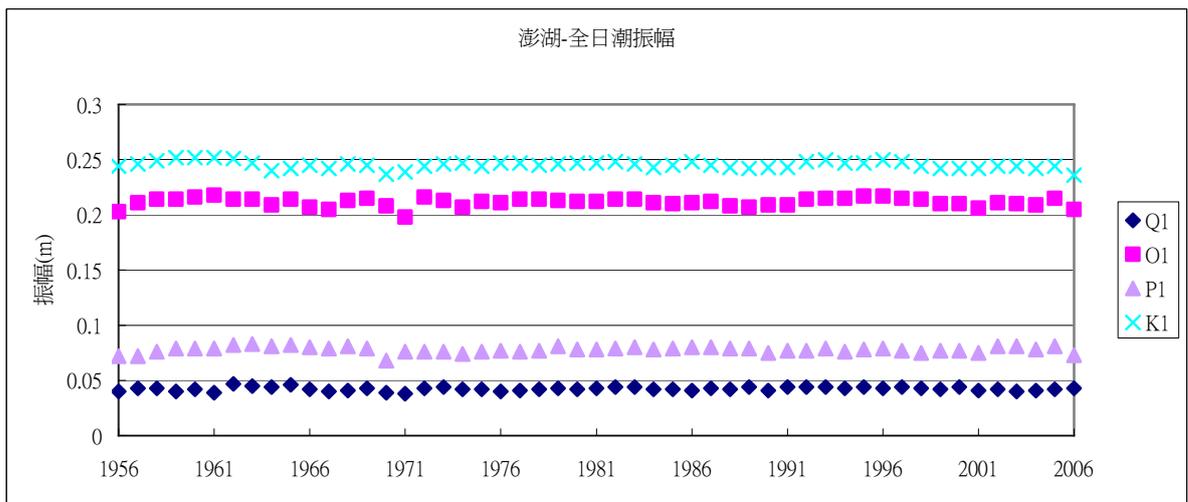


圖 3.1-4 澎湖測站各年主要全日分潮比較圖

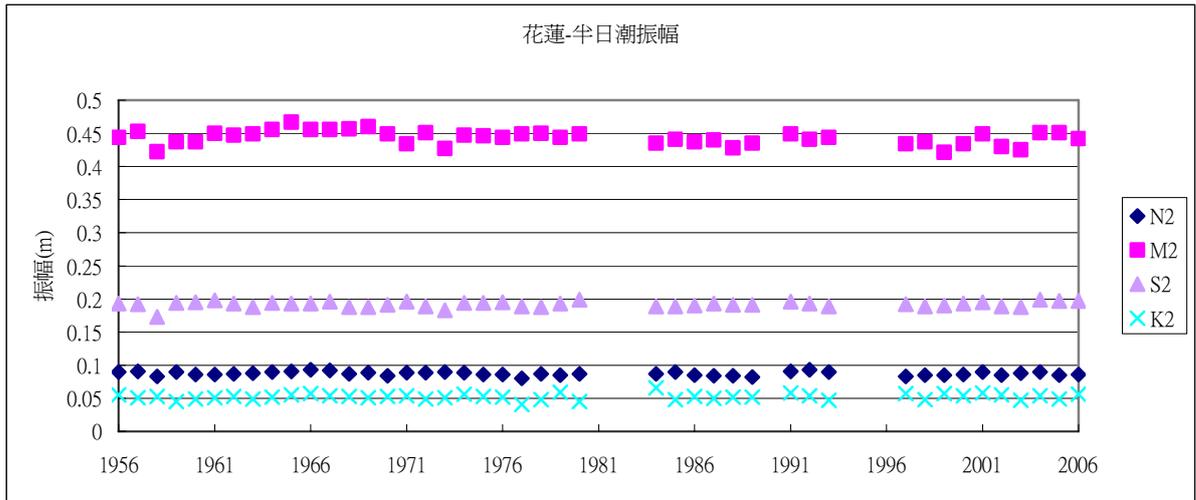


圖 3.1-5 花蓮測站各年主要半日分潮比較圖

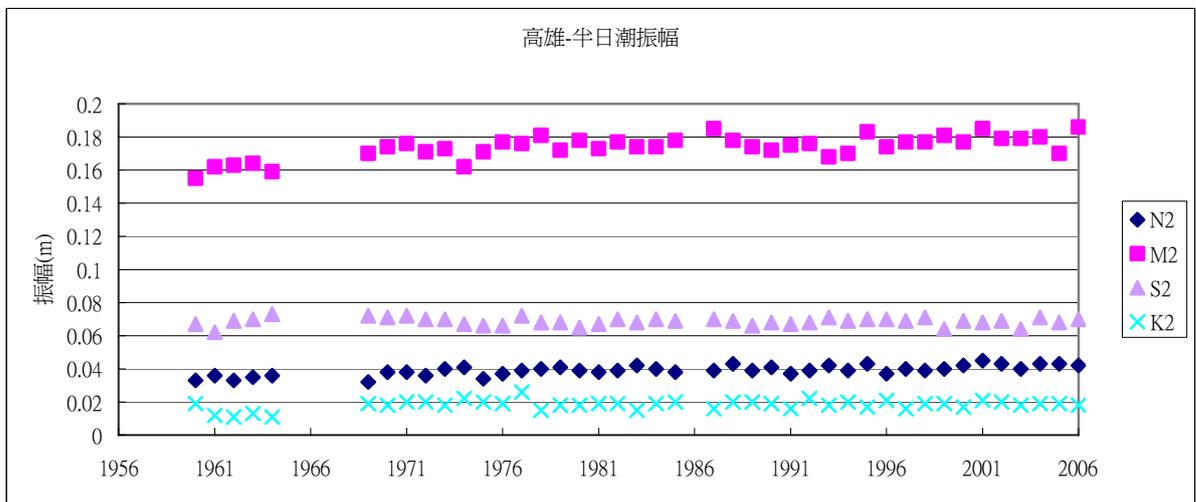


圖 3.1-6 高雄測站各年主要半日分潮比較圖

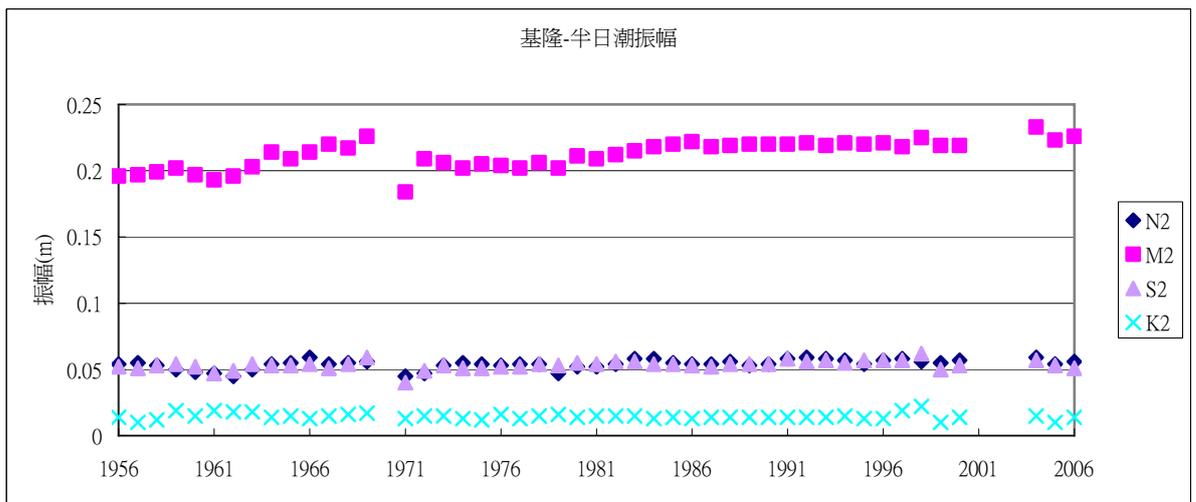


圖 3.1-7 基隆測站各年主要半日分潮比較圖

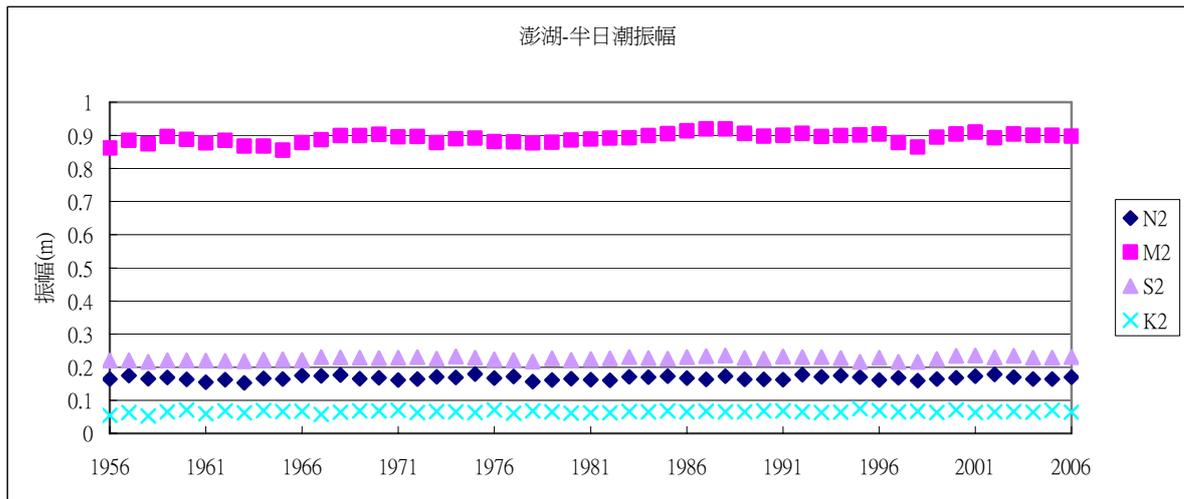


圖 3.1-8 澎湖測站各年主要半日分潮比較圖

表 3.1-2 各測站各分潮振幅 51 年平均值

分潮振幅	花蓮	基隆	高雄	澎湖
Q1	0.0302	0.0314	0.032	0.0424
O1	0.1389	0.1541	0.1571	0.2115
P1	0.0517	0.0614	0.0561	0.0778
K1	0.1551	0.1857	0.1710	0.2452
N2	0.0874	0.054	0.0391	0.1671
M2	0.4433	0.2122	0.174	0.8913
S2	0.1918	0.0534	0.0686	0.2262
K2	0.0524	0.0146	0.0182	0.0652

3.2 暴潮水位極值分析

水位極大值主要會受到以下幾個因素所影響全球海平面變遷、區域性的地殼變動或地層下陷、因平均海平面的變動而導致潮汐的變動及風暴潮受到全球氣候變遷的影響而產生變異。其中又以颱風產生的風暴潮為主要的影響因素。

受暴潮水位影響最大的便是近岸地區，此區為人口密集且為主要經濟發展地區，需要建設人工建物來防止人民生命財產的流失，因此了解暴潮水位的變化，對於近岸地區的人工防災建築物的設計，有很大的幫助。

本年度取得中央氣象局提供資長期水位資料進行分析，以了解過去時間暴潮水位的變化，同時利用模式進行長期模擬，了解台灣海域整各平面的暴潮水位變化。

3.2.1 極值分析理論

3.2.1.1 極值分佈函數

一般資料的來源為目視觀測，或是由儀器測量。極值統計所採用的資料，基本上需滿足獨立性(independency)、等質性(homogeneity)及分佈性(identically distributed)等三項要求。常用的極值分佈函數有

(1) 極值 I 型分佈

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{x-B}{A}}}, \quad -\infty < x < \infty \quad (3.2-1a)$$

$$f(x) = \frac{1}{A} \exp\left(-\frac{x-B}{A} - \exp\left(-\frac{x-B}{A}\right)\right) \quad (3.2-1b)$$

(2) 極值 II 型分佈

$$F(x) = e^{-\left(1+\frac{x-B}{kA}\right)^{-k}}, \quad B - kA \leq x < \infty \quad (3.2-2a)$$

$$f(x) = \frac{1}{A} \left(1 + \frac{x-B}{kA}\right)^{-(1+k)} e^{-\left(1+\frac{x-B}{kA}\right)^{-k}} \quad (3.2-2b)$$

(3) Weibull 分佈

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k}, \quad B \leq x < \infty \quad (3.2-3a)$$

$$f(x) = \frac{x}{A} \left(\frac{x-B}{A}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k} \quad (3.2-3b)$$

式(3.2-1)與(3.2-2)中， x 為樣本變數， $f(x)$ 為機率密度函數(probability density function)， $F(x)$ 為累積時率函數(cumulative probability function)， A 、 B 為描述機率密度函數形狀之參數， A 與樣本平均值(mean)有關，即位置參數(location parameter)，而 B 值為變異數(variance)，即尺度參數(scale parameter)。式(3.2-3)之 Weibull 分佈為 Weibull(1939)研究材料破壞強度分佈所提出。

3.2.1.2 資料選序

極值分佈推定，首先需將原始資料作基本的選擇及排序(data sampling)。資料序列選擇之方法可分為三類。

(4) 全部記錄選用法(full series, complete-duration series)

此方法為將所有記錄取出，並加以極值分析。此方法需要將所有資料加予分析，因其程序及資料數量繁瑣，分析費時，故一般較不採用此法。

(5) 極端值選用法(extreme-value series)

此法為利用現有記錄，在每一固定期間內僅取一個極端值為樣本來進行統計分析。此法的優點是取擇較為客觀，但有時此固定期間內發連續發生數次極端事件，此法恐怕有掛一漏萬的缺點。

(6) 超量選用法(partial-duration series)

此法為以某一基本量為基準，不考慮其發生時間間隔之長短。若以工程需要，先要訂出取樣標準，即可由全部資料中選擇出超過標準量之樣本，此種方法優點為考慮樣本之大小順序而不論其發生時間，但缺點為不一定每年取出一個資料來分析，有時一年卻有數個的現象。

極端值選用法及超量選用法較常使用，一般工程若損壞只歸咎於一次臨界嚴重情況時，則使用極端值選用法，如果工程之損壞乃由於重覆性破壞作用而造成的，極值分析時宜採用超量選用法。

3.2.1.3 極值推定

當資料列選擇方法及極值分佈函數決定後，推定極值分佈中參數的方法一般有 LSM(least square method)、MOM(method of moment)、MLM(maximum likelihood method)等法。

較常用的方法靈 LSM 法。LSM 法值得注意的是如何決定排序資料之機率而不導致偏態的結果，即是給予適當的劃位(plotting position)，合田(1990)提出不同極值分佈之劃位，當選取 N 個資料，首先將 N 個資料依大小順序排列，再計算各順位之機率 F_m ，機率計算公式如下

$$F_m = 1 - \frac{m - \alpha}{N + \beta}, \quad m=1,2,\dots,N \quad (3.2-4)$$

在計算 F_m 中， α 及 β 值在不同分佈函數不同示如表 3.2-1。

表 3.2-1 計算樣本順位機率之 α 及 β 值

分布函數	α 值	β 值
極值 I 型分佈	0.44	0.12
極值 II 型分佈	$0.44+0.52/k$	$0.12-0.11/k$
Weibull 分佈	$0.20+0.27/\sqrt{k}$	$0.20+0.23/\sqrt{k}$

在極值分佈函數中，極值 II 型及 Weibull 分佈均有形狀參數 k ， k 值一般有四個固定值，在極值 II 型分佈 $k=2.5$ 、 3.33 、 5.0 及 10.0 ，而 Weibull 分佈 $k=0.75$ 、 1.0 、 1.4 及 2.0 等四種。

在樣本順序 x_m 對應之分佈機率 F_m ，則可用最小二乘法將順序統計量與基準化變量 y_m 直線迴歸成

$$x_m = ay_m + b \quad (3.2-5)$$

式(3.2-5)中之 a 、 b 分別為直線迴歸之斜率及截距，而 y_m 基準化變量與機率 F_m 依不同分佈有下列關係

極值 I 型分佈：
$$y_m = -\ln(-\ln F_m) \quad (3.2-6)$$

極值 II 型分佈：
$$y_m = k \left[(-\ln F_m)^{-1/k} - 1 \right] \quad (3.2-7)$$

Weibull 分佈：
$$y_m = [-\ln(1 - F_m)]^{1/k} \quad (3.2-8)$$

3.2.1.4 信賴檢定

樣本特性是否適合於所選極值分佈函數的程度，一般使用卡方檢定 (Chi-squared test) 及相關係數 (correlation coefficient test)。然而，二者均不易區分不同極值分佈之適用性，所以合田和小舟(1989)提出 MIR 法 (minimum ratio of residual correlation coefficient) 來當作判斷之基準。由最小二乘法所得直線函數可推算出樣本概率 F_m 下之推算值，由樣本及推算值可計算出二者相關係數 r ，若定義相關係數殘差為 $\Delta r = 1 - r$ 時，合田和小舟(1989)提出相關係數殘差平均值可表為

$$\Delta \bar{r} = e^{\bar{a} + \bar{b} \ln N + \bar{c} (\ln N)^2} \quad (3.2-9)$$

式(3.2-9)中係數 \bar{a} 、 \bar{b} 及 \bar{c} 依不同分佈分別示如表 3.2-2。

表 3.2-2 相關係數殘差平均值公式之係數 \bar{a} 、 \bar{b} 及 \bar{c} 值

分佈函數	係數 \bar{a}	係數 \bar{b}	係數 \bar{c}
極值 I 型	-2.310	-0.3122	-0.044
極值 II 型(k=2.5)	-2.455	-0.1580	0
極值 II 型(k=3.33)	-2.471	-0.1970	-0.007
極值 II 型(k=5.0)	-2.463	-0.2241	-0.019
極值 II 型(k=10.0)	-2.465	-0.2580	-0.033
Weibull 分佈(k=0.75)	-2.603	-0.1009	-0.047
Weibull 分佈(k=1.0)	-2.355	-0.2612	-0.043
Weibull 分佈(k=1.4)	-2.221	-0.3668	-0.044
Weibull 分佈(k=2.0)	-2.047	-0.4767	-0.041

3.2.1.5 推算偏差推估

對於極值分析所推算出各重限期之各物理值，因為數據不完全符合選擇之分佈函數，故所推算之結果必含有變動性，亦即推算結果僅是分佈函數中某機率上之平均值，其偏差量大小應要予以估算。合田和小舟(1989)提出以補統計量的標準偏差 σ_z 可合併為

$$\sigma(x_R) = \sigma_x \cdot \sigma_z \quad (3.2-10)$$

其中， σ_x 為樣本之變異數，極值 I、II 型及 Weibull 分佈之 σ_z 為

$$\sigma_z = [1.0 + A(y_R - c)^2]^{1/2} / \sqrt{N} \quad (3.2-11)$$

而 A 值在極值 I 型及 Weibull 分佈為

$$A = a_1 e^{a_2 N^{-1.3}} \quad (3.2-12)$$

但在極值 II 型之 A 值表示為

$$A = a_1 e^{a_2 \left[\ln \left(\frac{N^{0.5}}{N_0} \right) \right]^2 - \kappa \left[\ln \left(\frac{1}{\nu_0} \right) \right]^2} \quad (3.2-13)$$

式(3.2-11)至式(3.2-13)中，各係數如表 3.2-3 所示。

表 3.2-3 重現期推算量之標準偏差公式中之係數

分佈函數	a_1	a_2	κ	c	N_0	ν_0
極值 I 型	0.64	9.0	0.93	0		
極值 II 型(k=2.5)	1.27	0.12	0.24	0.3	23	1.34
極值 II 型(k=3.33)	1.23	0.09	0.36	0.2	25	0.66
極值 II 型(k=5.0)	1.34	0.07	0.41	0.1	35	0.45
極值 II 型(k=10.0)	1.48	0.06	0.47	0.0	60	0.34
Weibull 分佈(k=0.75)	1.615	11.4	-0.63	0.0		
Weibull 分佈(k=1.0)	1.92	11.4	0.00	0.3		
Weibull 分佈(k=1.4)	2.05	11.4	0.69	0.4		
Weibull 分佈(k=2.0)	2.24	11.4	1.34	0.5		

3.2.2 極值分析結果

由於極值分析方法眾多，目前選用極值 I 型進行分析，後兩小節的實測及模式極值分析皆是採用此方式進行。

3.2.2.1 實測暴潮水位極值分析

在上半年度，取得中央氣象局 20 年的實測資料，取出每日最大值，進行極

值分析並推算迴歸期水位，圖 3.2-1 至圖 3.2-4 為四個測站的推算結果。下半年度氣象局持續提供 1956~2006 年的 51 年潮位資料進行分析，取出每年最大值共 51 比進行極值分析，圖 3.2-5 至圖 3.2-8 為測站利用 51 年資料推算的迴歸年水位變化。表 3.2-4 則為利用 20 年資料推算的迴歸期水位公式，求得各颱風最大暴潮水位所符合的迴歸期。

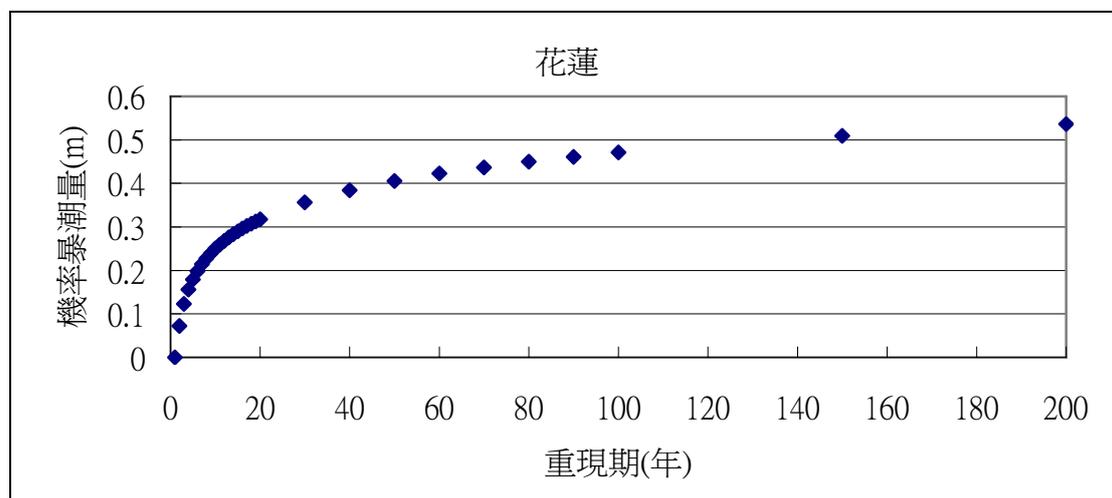


圖 3.2-1 花蓮測站迴歸期水位變化(20 年資料)

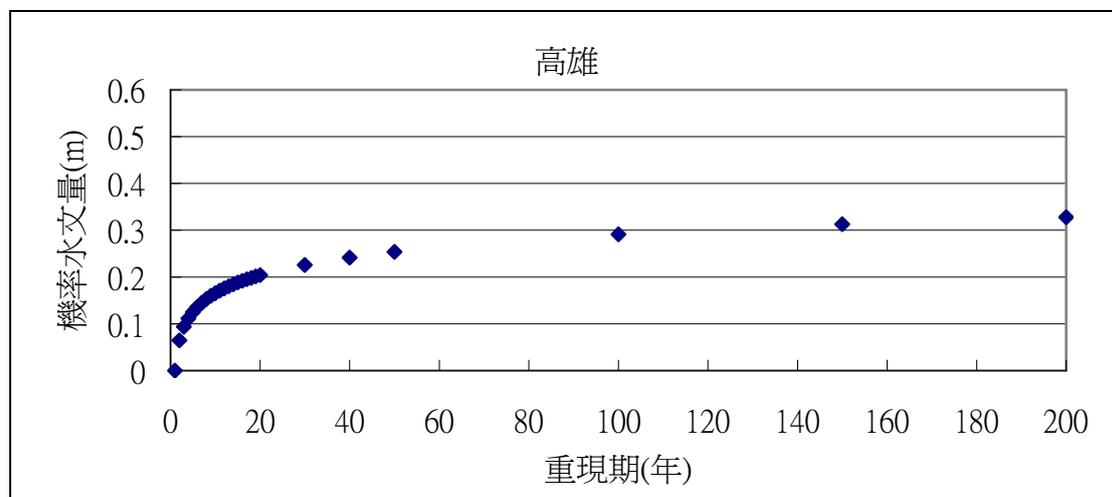


圖 3.2-2 高雄測站迴歸期水位變化(20 年資料)

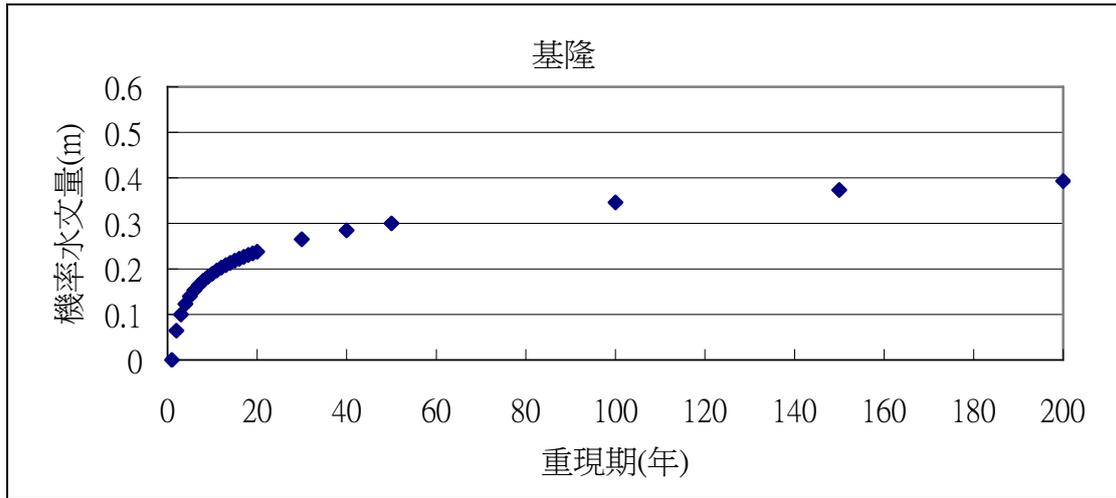


圖 3.2-3 基隆測站迴歸期水位變化(20 年資料)

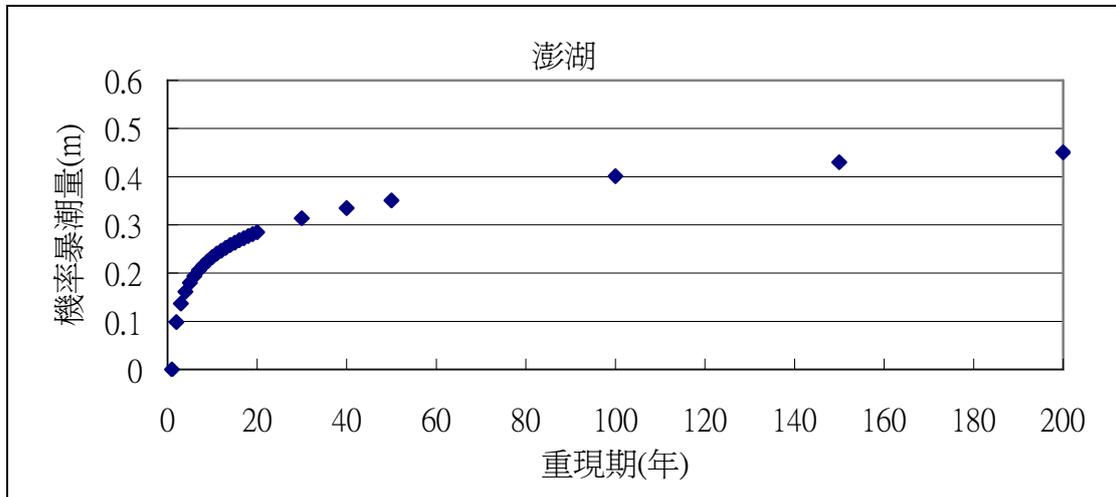


圖 3.2-4 澎湖測站迴歸期水位變化(20 年資料)

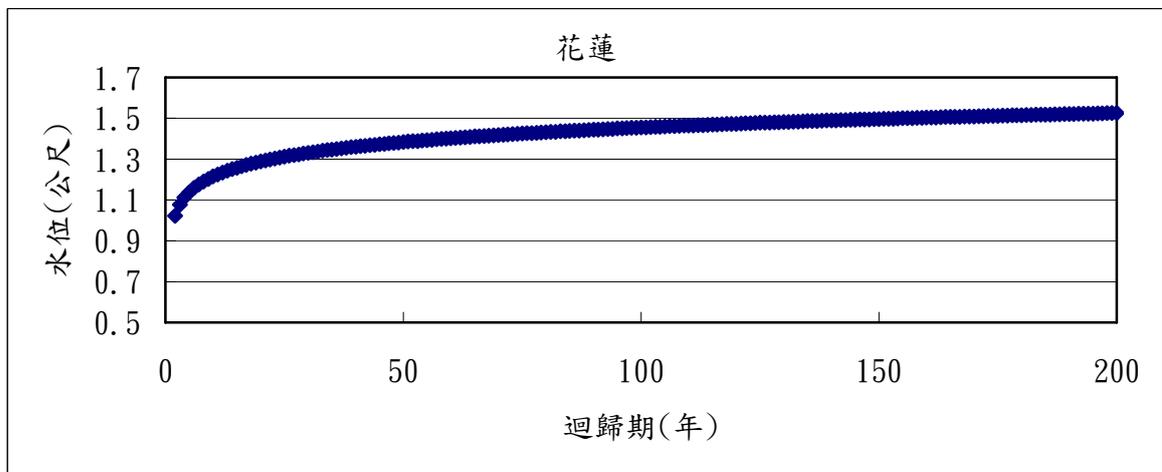


圖 3.2-5 花蓮測站迴歸期水位變化(50 年資料)

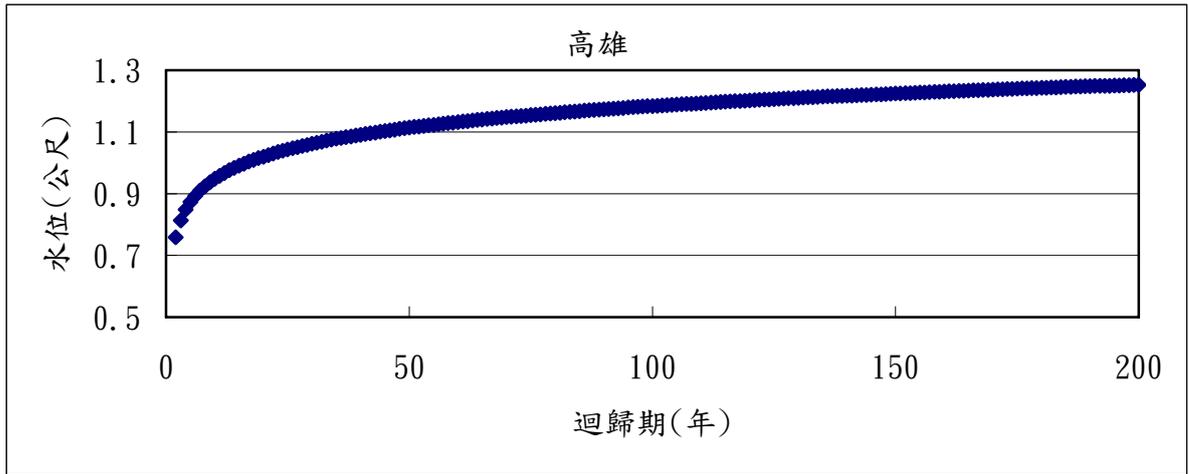


圖 3.2-6 高雄測站迴歸期水位變化(50 年資料)

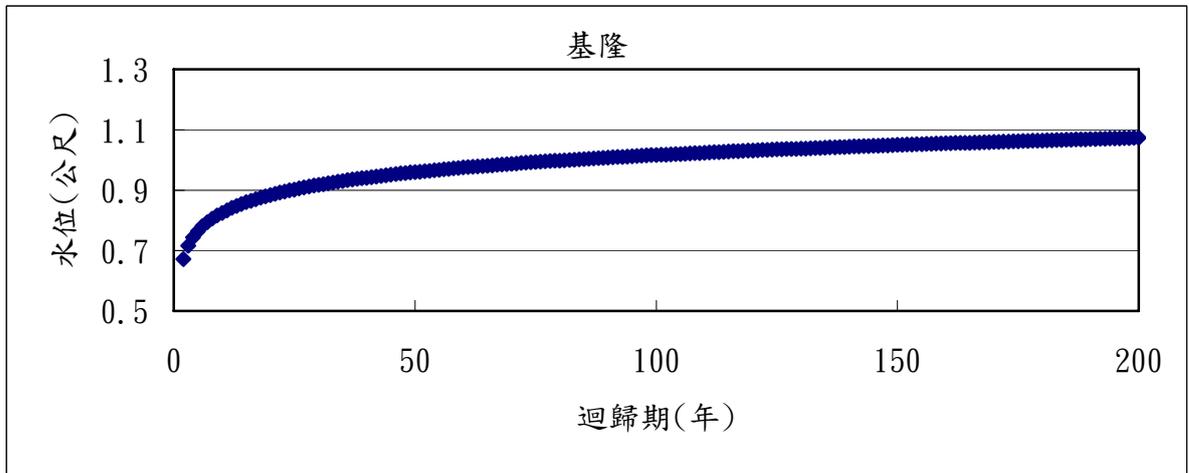


圖 3.2-7 基隆測站迴歸期水位變化(50 年資料)

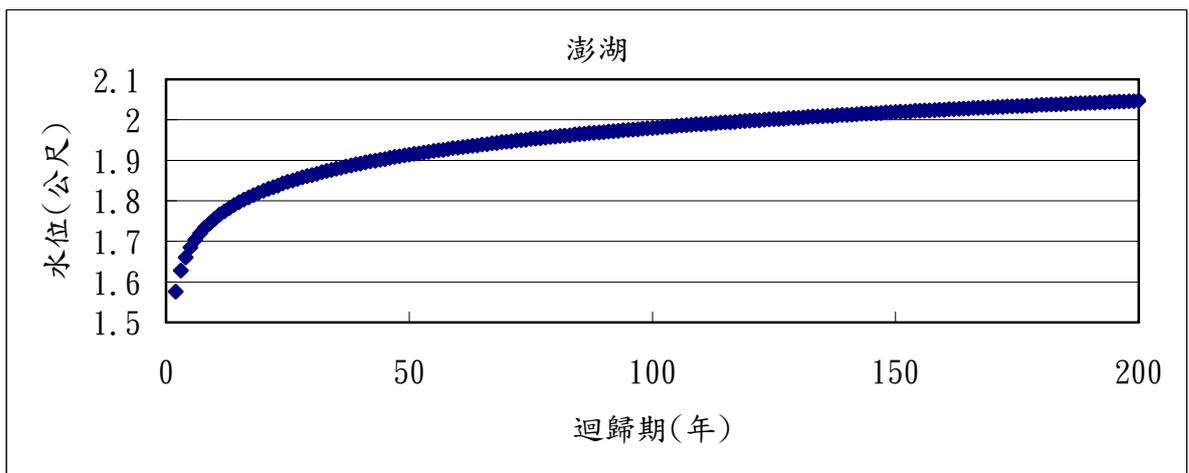


圖 3.2-8 澎湖測站迴歸期水位變化(50 年資料)

表 3.2-4 各颱風產生的最高暴潮位重現期(利用 20 年分析結果推算)

颱風	強度	侵台時間	路徑分類	登陸地點	測站	最高暴潮偏差(m)	重現年
敏都利	中	2004/06/28~07/03	4	花蓮	花蓮	0.5638	>200
象神	中	2000/10/30~11/01	4	未登陸	花蓮	0.4348	68
碧利斯	強	2000/08/27~08/30	2	台東	高雄	0.1430	7
賀伯	強	1996/07/29~08/01	1	基隆與蘇澳間	基隆	0.787	>200
					高雄	0.208	22
					澎湖	0.685	>200

第四章 結論

目前所建置的西太平洋模式及台灣海域模式，在經過 2005 年及 2006 年實際颱風模擬，模式水位結果與實測水位結果大致吻合，僅在部份測站如梗枋產生較大的偏差現象，此部份仍需要繼續探討如何修正，以期能使所有測站的模式預報結果更趨近於實測值。

透過長期水位資料分析及極值水位分析，可以了解台灣地區測站海水平面的變化及極值水位發生的機率，然台灣由於使用壓力式水位計量測水位，因此每隔一段時間便會產生水準點偏移，而經過水準點修正後，便無法了解海平面的變化，此為本計畫之分析未能得到的結果；而利用模式進行長期資料模擬，則可以得到沒有測站地區的極值水位發生機率，兩相配合可以提供近岸地區極值水位變化的參考。

第五章 本年度驗收標準

綜合以上所述，新版驗收標準如下：

工作項目	驗收標準
1、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。	96年6月底前需安裝於海象測報中心指定之電腦並測試完成，附上安裝、操作手冊、模式光碟。
2、海象資料長期分析。	由報告內容驗收。
3、長期暴潮模擬及水位分析	由報告內容驗收。
4、多尺度暴潮模式作業化	96年10月底前需安裝於海象測報中心指定之電腦並測試完成。
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，乙方至少每2個月應向甲方報告工作進度（簡報或會議型式）

※備註：1、期末報告中須包括對全程計畫總成果之摘要說明。

2、由於今（96）年為此3年計畫之最後一年，甲方預計於96年11月舉行成果發表會，請乙方預作準備。

3、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20份交予甲方。

本年度工作項目均已完成，工作項目1已於6月份將模式安裝於氣象局海象測報中心，工作項目4模式作業化系統已於今年7月份颱風期，上線預報成功，唯預報之細部時間序列結果產生震盪現象，正積極探討原因進行修正，預定計畫結束前更新氣象局安裝的模式；工作項目2及3則如期末報告內容所示。

參考文獻

1. 中央氣象局網站
2. 合田良實, (1990) 港灣構造物耐波設計, 鹿島出版社
3. 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
4. 徐義人, (2003) 應用水文學, 大中國圖書公司, pp.493~553
5. 陳家銘, (2007) 應用波浪數值模式推算台灣海域波浪特性, 國立中山大學海洋環境及工程學系研究所碩士論文
6. 張憲國, (2001) 波浪推算, 海洋工程學, 郭一羽主編, 第四章, 文山出版, 第一版
7. 張憲國、彭雅琴, (2001) 侵台颱風的最低中心氣壓與最大風速之極值統計, 海洋工程學刊, 第一卷, 第一期, pp.55~70
8. 蔡政衛, (2003) 台灣集水區乾旱特性及其頻率分析之探討碩士論文, 國立成功大學水利及海洋工研究所
9. Dronkers (1969) Tidal computations in rivers, coastal areas and seas., *J. of Hydraulics ASCE* 95, p44-77
10. Holland, G. J., (1980) An Analytic Model of the Wind and Pressure Profiles in Hurricanes. , *Monthly Weather Review*, Vol.108, p1212~1218
11. 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
12. 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
13. Shapiro, L. J., (1983) The Asymmetric Boundary Layer Flow Under a Translating Hurricane. , *Journal of the Atmospheric Science*, Vol.40, p1984~1998
14. 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
15. Stephen A. Thompson, (1999) Hydrology for Water Management, p 242~254
16. Weibull, W., (1951) A statistical distribution function of wide application, *Journal of Applied Mechanics*, Vol.18, pp293
17. Yu, C.S. (1993) Modelling Shelf Sea Dynamics and Estuarine Circulations. Ph.D. Thesis, Dept. of Civil Eng., K.U.Leuven.
18. Yu, C.S., H.Y. Chang, S.C. Tcheng and K.C. Huang (2000) Modeling tidal flow currents in the Taiwan Strait on parallel computers. In: Proceedings of the High Performance Computing Symposium – HPC 2000, A. Tentner (ed.), 2000 Advanced Simulation Technologies Conference, April 16-20, 2000, Washington

D.C., 308-312. (NSC89-2213-E-110-025).

19. 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.
20. 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.

期末審查意見辦理情形

中山大學陳陽益教授	
審查意見	意見回覆
1. 本計劃執行成果達成所需。	謝謝評審肯定。
2. 建議高雄沿海的漲退潮流推算與實際比較一下，如此可更確定本模式結果的更正確性。	由於目前本計畫未進行潮流模擬，所以未進行潮流比對。
3. 如何改善平均水位上昇的推估，請建議。	由於目前並無進行水位上昇的推估，此部份可留待未來相關計畫進行。

台灣大學林銘崇教授	
審查意見	意見回覆
1. 模式檢驗結果顯示淡水測站實測值與模式值比對較為分散，是否亦與位於河口附近有關？	本模式目前未能加入河流的影響，所以淡水測站部份有可能是因為流量影響水位，此部份可於未來進行評估。
2. 台灣海域各不同迴歸期暴潮水位分布型態幾乎一致，代表何種意義？	此部份未來可再進行深入探討。

台灣大學莊文思教授	
審查意見	意見回覆
1. 模式說明應更清楚，例如：開口邊界條件調和係數及水深資料來源，底部摩擦係數擇定等。	於期末報告增列。
2. 簡報內有暴潮偏差比對圖，報告內亦應納入。	於期末報告增列。
3. 氣象局潮位資料已有即時連線，未來可朝資料同化至模式，發展更精確之預報。	未來若能與氣象局配合，且有接續計畫，可進行測試。

台灣大學陳慶生教授	
審查意見	意見回覆
1. 模式結果與實測資料比較應加入root-mean-square誤差分析。	於期末報告增列。
2. 泰利颱風新竹(圖2-4-17)、箔子寮(圖2-4-18)、東石(圖2-4-19)模式結果與實測偏差頗大，應進一步討論其原因。	謝謝評審建議，會增加探討。
3. 圖2-4-25新竹測站實測潮位振幅均大於模式計算結果，但圖2-4-31又顯示，同樣測站模式與測量水位頗為一致，原因為何，應加以討論。	此部份會於期末報告一併修正。

中央氣象局鄭明典主任	
審查意見	意見回覆
1. 模擬結果合理，報告內容符合驗收標準。	謝謝評審肯定。

中央氣象局徐月娟主任	
審查意見	意見回覆
1. 本年度期末報告內容應包含3年期計畫的總成果，請詳加查核綜整呈現最終的成果。	會於期末報告呈現最終成果。
2. 第50-53頁迴歸期暴潮水位分布圖請再斟酌其涵義或說明。	謝謝評審建議，會於期末報告中進行修改。