

MOTC-IOT-102-H2DB001f

臺灣主要港口附近海域混合波浪統計特性及 推算模式建置研究(1/4)

期末報告



交通部運輸研究所
國立交通大學
合作辦理

中華民國一百零二年十一月

臺灣主要港口附近海域混合波浪統計特性及
推算模式建置研究(1/4)

主持人：張憲國 教授

研究人員：劉勁成 博士

研究人員：陳蔚瑋 博士

交通部運輸研究所

國立交通大學

合作辦理

中華民國 102 年 11 月

臺灣主要港口附近海域混合波浪統計特性及推算模式建置研究(一)

ISBN 號碼
及條碼

GPN :
定價 元

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：臺灣主要港口附近海域混合波浪統計特性及推算模式建置研究(1/4)			
國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號	計畫編號 MOTC-IOT-10 2-H2DB001f
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：何良勝 研究人員：江玟德 聯絡電話：04-26587126 傳真號碼：04-26560661	合作研究單位：國立交通大學 計畫主持人：張憲國 研究人員：劉勁成、陳蔚璋 地址：新竹市大學路 1001 號 聯絡電話：03-5131487		研究期間 自 102 年 3 月 至 102 年 12 月
關鍵詞：氣候變遷、波浪推算、設計波、臺灣主要港口			
<p>摘要：</p> <p>臺灣工程規劃設計所需之設計波浪須由長期實測波浪資料來決定。近年來為解決現有記錄的時間不足的狀況，已發展類神經颱風波浪推算模式，但此技術的建立還是基於往昔的實測資料，在環境有所改變的情況下其可靠性仍需再評估。為提升國內波浪推算技術的正確性本研究除建立蘇澳港類神經網路颱風波浪推算模式，並針對花蓮港與蘇澳港以 M5 最小化模式樹發展新的波浪推算模式，再對類神經與 M5 模式的適用性進行評估，其結果顯示 M5 模式在波高峰值推算能力較類神經模式差，現階段而言類神經模式較適用於逐時預報與極值樣本推算。本研究另以 DHI MIKE 21 SW 二維風浪數值模式模擬各場颱風對各港口造成的波場，發現若能提升風場解析度可有效提升推算精度。以類神經模式樣本、實測資料樣本、二維數值模式樣本三種樣本配合年極值取樣法與超量門檻值取樣法兩種方式進行各重現期的極值分析，並對其結果進行比較分析。另為響應國際航海學會(PIANC)對氣候變遷造成海事工程之影響議題，本研究針對花蓮港與蘇澳港長期監測的波浪資料利用多種檢測法(線性回歸、Seasonal Kendall、EMD)進行分析，以評估颱風及波浪受氣候變遷影響的顯著性，並能有效將結果應用於設計波高的決定標準。本研究成果可供港務公司檢核蘇澳與花蓮兩港區設計波浪之資訊。計畫中發展的類神經與 M5 波浪推算模式亦可於未來颱風侵臺時達成預警的功能。颱風與波浪長期趨勢分析成果可作為未來工程與環境評估的參考。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
102 年 11 月	186	300	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價購買。
<p>機密等級：</p> <p><input type="checkbox"/>密 <input type="checkbox"/>機密 <input type="checkbox"/>極機密 <input type="checkbox"/>絕對機密</p> <p>(解密條件：<input type="checkbox"/>年 <input type="checkbox"/>月 <input type="checkbox"/>日解密，<input type="checkbox"/>公布後解密，<input type="checkbox"/>附件抽存後解密， <input type="checkbox"/>工作完成或會議終了時解密，<input type="checkbox"/>另行檢討後辦理解密)</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>普通</p>			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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

TITLE: Hybrid wave calculation using modular model and numerical simulation for main harbors of Taiwan (1/4)			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-102-H 2DB001f
DIVISION: Center of Harbor & Marine Technology DIVISION DIRECTOR: Chiu, Yung-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ho, Liang-Sheng PROJECT STAFF: Jiang, Wen-Der PHONE: (04) 26587126 FAX: (04) 26560661			PROJECT PERIOD FROM Mar. 2013 TO Dec. 2013
RESEARCH AGENCY: National Chiao Tung University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chang, Hsien-Kuo PROJECT STAFF: Liou, Jin-Cheng, Chen, Wei-Wei ADDRESS: 1001 Ta Hsueh Road, Hsinchu, Taiwan 300, ROC PHONE: (03) 5131487			
KEY WORDS: wave statistics ; climate change ; wave model ; design wave ; main harbors of Taiwan			
Abstract: <p>Design waves for marine structures are commonly determined by extreme analysis on long-term annual maximum wave data. However insufficient data are available for extreme analysis. The problem of insufficient data samples was solved by supplementation of simulated waves which were calculated by ANN wave simulation model developed by the Harbor and Marine Technology Center of Taiwan (IHMT). The accuracy of these wave data samples for extreme analysis should be promoted considering alternative approach and the effect on wave climate by recent global climate change. This project aims to not only establish the ANN wave simulation model for the Suao harbor, but also to develop a new M5 wave model. Comparison on the simulated result by ANN and M5 models with observed data shows the prediction accuracy and applicability of both wave models. ANN model is more suitable for real-time prediction and extreme sample calculating. A numerical wave model of MIKE 21 SW will be used to calculate waves at both Hualien and Suao harbors for chosen typhoons. The different wind field data were used to compare the sensibility of numerical wave model.</p> <p>Three extreme samples, which are, ANN results, observed data, and numerical wave model results, were sampled by annual max method and peak over threshold method, the extreme analysis was used to estimate design wave of each sample.</p> <p>Responding to the issue of the impact of climate change on marine works proposed by World Association for Waterborne Transport Infrastructure (PIANC), Several of trend detecting methods(linear regression 、 Seasonal Kandall 、 EMD) are used to determine the trend of long-term observed typhoon's waves of IHMT. Considering the climate change, applicable standard procedure for design wave was suggested by this research.</p> <p>The results of this study not only can provide harbor bureau and interrelated department to re-examine the design wave, but predict the wave height when thphoon invade Taiwan in the future. The long-term typhoon and wave trend analysis can apply to engineering designing.</p>			
DATE OF PUBLICATION 2013/11	NUMBER OF PAGES 186	PRICE 300	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications			

目錄

第一章 前言	1-1
1.1 計畫目的.....	1-1
1.2 文獻回顧.....	1-2
1.3 工作項目.....	1-8
第二章 氣候變遷對颱風與波浪影響	2-1
2.1 資料來源.....	2-1
2.2 侵台颱風長期變化趨勢.....	2-3
2.3 波浪長期變遷趨勢.....	2-5
2.3.1 資料來源.....	2-5
2.3.2 趨勢分析.....	2-7
2.3.3 分析結果.....	2-11
第三章 類神經颱風波浪推算模式之建立	3-1
3.1 類神經颱風波浪模式.....	3-5
3.1.1 類神經網路架構.....	3-5
3.1.2 資料分類.....	3-9
3.1.3 模式輸入與輸入層轉換函數.....	3-9
3.1.4 轉換函數與訓練函數.....	3-15
3.1.5 隱藏層神經元測試.....	3-16
3.2 波浪推算結果與實測波浪之驗證.....	3-17
第四章 M5 最小化模式樹波浪推算模式之建立	4-1
4.1 資料分析.....	4-2
4.2 模式驗證.....	4-7
第五章 類神經與 M5 最小化模式樹模式特性分析	5-1
5.1 類神經與 M5 最小化模式樹波浪推算模式之比較.....	5-1
5.2 各港類神經颱風波浪推算模式精度比較.....	5-15
5.3 波浪推算模式之風險分析.....	5-16
第六章 二維數值模式之波浪推算	6-1
6.1 MIKE 21 SW 波浪模式.....	6-1
6.2 數值模擬條件.....	6-3
6.3 數值模式驗證.....	6-5
6.4 數值波浪推算模式之風險分析.....	6-9
6.5 風場模式差異性比較.....	6-9
第七章 花蓮港與蘇澳港設計波探討	7-1

7.1 取樣方式.....	7-1
7.2 極值分布函數.....	7-1
7.3 極值分布參數推定法.....	7-3
7.4 信賴檢定.....	7-4
7.4.1 MIR 值檢定.....	7-4
7.4.2 RMSE 檢定.....	7-5
7.4.3 ER 檢定.....	7-6
7.5 推估值之標準差.....	7-6
7.6 極值分析結果.....	7-7
7.6.1 花蓮港各重現期波高推算結果.....	7-7
7.6.2 蘇澳港各重現期波高推算結果.....	7-13
7.7 設計波高標準之探討.....	7-19
第八章 結論與建議.....	8-1
8.1 結論.....	8-1
8.2 建議.....	8-3
8.3 成果效益及後續應用情形.....	8-3
參考文獻.....	9-1
附錄一 花蓮港與蘇澳港波浪推算模式結果.....	1
附錄二 本年度颱風波浪推算結果.....	1
附錄三 期中報告審查意見處理情形表.....	1
附錄四 期末報告審查意見處理情形表.....	1

圖目錄

圖 1.1 全球平均波高的變化趨勢分布圖(YOUNG ET AL., 2011)	1-4
圖 1.2 北大西洋中緯度及高緯度的氣旋數量統計圖	1-4
圖 2.1 花蓮港海氣象觀測位置圖	2-2
圖 2.2 蘇澳港海氣象觀測位置圖	2-2
圖 2.3 中度颱風侵襲花蓮港次數的趨勢分析(500KM 門檻值)	2-4
圖 2.4 中度颱風侵襲蘇澳港次數的趨勢分析(500KM 門檻值)	2-5
圖 2.5 花蓮港逐時波浪資料與其趨勢線	2-12
圖 2.6 花蓮港月平均波浪資料及其趨勢線	2-12
圖 2.7 花蓮港年平均波浪資料與其趨勢線	2-13
圖 2.8 花蓮港月平均波浪採用 SEASONAL-KENDALL 趨勢檢定法的結果	2-13
圖 2.9 花蓮港逐時波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線	2-14
圖 2.10 花蓮港日平均波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線	2-14
圖 2.11 花蓮港月平均波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線	2-15
圖 2.12 花蓮港年平均波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線	2-15
圖 2.13 蘇澳港逐時波浪資料與其趨勢線	2-17
圖 2.14 蘇澳港月平均波浪資料及其趨勢線	2-17
圖 2.15 蘇澳港年平均波浪資料與其趨勢線	2-18
圖 2.16 蘇澳港月平均波浪採用 SEASONAL-KENDALL 趨勢檢定法的結果	2-18
圖 2.17 蘇澳港逐時波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線	2-19
圖 2.18 蘇澳港日平均波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線	2-19
圖 2.19 蘇澳港月平均波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線	2-20
圖 2.20 蘇澳港年平均波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線	2-20
圖 3.1 臺灣地區颱風路徑分類圖(1897-2010 年)(引自中央氣象局)	3-4
圖 3.2 颱風中心位置與相對應蘇澳港波高資料空間分布圖	3-5
圖 3.3 颱風中心對目標點方位角 θ_1 與颱風移動方位角 θ_2 示意圖	3-10
圖 3.4 氣旋中心附近風速風向分佈示意圖	3-11
圖 3.5 颱風距離與目標點波高分布	3-13
圖 3.6 颱風在等壓面上內平均風速分布示意圖(引自中央氣象局)	3-14
圖 3.7 正切雙彎曲轉換函數與雙彎曲函數	3-16
圖 4.1 層級模組法示意圖(AI 為屬性, MI 為分群之模組)	4-1
圖 4.2 M5 最小化模式樹之分組樣本在變數 X_1 及 X_2 分布與輸出 Y 之示意圖 ...	4-2
圖 4.3 颱風中心位置與相對應花蓮港波高資料空間分布圖	4-6
圖 5.1 花蓮港 M5 與類神經模式推算 1991 艾美颱風結果的比較圖	5-4
圖 5.2 花蓮港 M5 與類神經模式推算 1992 泰德颱風結果的比較圖	5-4

圖 5.3	花蓮港 M5 與類神經模式推算 2005 年龍王颱風結果的比較圖.....	5-5
圖 5.4	花蓮港 M5 與類神經模式推算 2007 年聖帕颱風結果的比較圖.....	5-5
圖 5.5	花蓮港 M5 與類神經模式推算 2012 年蘇拉颱風結果的比較圖.....	5-6
圖 5.6	花蓮港 M5 與類神經模式推算 1991 年露絲颱風結果的比較圖.....	5-6
圖 5.7	花蓮港 M5 與類神經模式推算 1994 年弗雷特颱風結果的比較圖.....	5-7
圖 5.8	花蓮港 M5 與類神經模式推算 1994 年席斯颱風結果的比較圖.....	5-7
圖 5.9	花蓮港 M5 與類神經模式推算 2002 年雷馬遜颱風結果的比較圖.....	5-8
圖 5.10	蘇澳港 M5 與類神經模式推算 2004 年納坦颱風結果的比較圖.....	5-11
圖 5.11	蘇澳港 M5 與類神經模式推算 2005 年龍王颱風結果的比較圖.....	5-11
圖 5.12	蘇澳港 M5 與類神經模式推算 2005 年泰利颱風結果的比較圖.....	5-12
圖 5.13	蘇澳港 M5 與類神經模式推算 2005 年海棠颱風結果的比較圖.....	5-12
圖 5.14	蘇澳港 M5 與類神經模式推算 2012 年蘇拉颱風結果的比較圖.....	5-13
圖 5.15	蘇澳港 M5 與類神經模式推算 2003 年杜鵑颱風結果的比較圖.....	5-13
圖 5.16	蘇澳港 M5 與類神經模式推算 2004 年陶卡基颱風結果的比較圖....	5-14
圖 5.17	蘇澳港 M5 與類神經模式推算 2008 年鳳凰颱風結果的比較圖.....	5-14
圖 5.18	花蓮港各波浪推算模式推算波高風險分析.....	5-16
圖 5.19	花蓮港各波浪推算模式推算峰值發生時間風險分析.....	5-17
圖 5.20	蘇澳港各波浪推算模式推算波高風險分析.....	5-17
圖 5.21	蘇澳港各波浪推算模式推算峰值發生時間風險分析.....	5-18
圖 6.1	風浪推算模擬範圍之地形水深.....	6-3
圖 6.2	波浪推算模式推算波高風險分析.....	6-9
圖 6.3	蘇力颱風(2013)示性波高時序列比較.....	6-11
圖 6.4	蘇拉颱風(2012)示性波高時序列比較.....	6-12
圖 7.1	常數 K 在不同情況下的機率密度表現.....	7-3
圖 7.2	推估花蓮港類神經樣本年極值取樣法之機率密度函數及機率函數圖..	7-9
圖 7.3	推估花蓮港實測資料樣本年極值取樣法之機率密度函數及機率函數圖	7-9
圖 7.4	推估花蓮港類神經樣本年極值取樣法之機率密度函數及機率函數圖.	7-10
圖 7.5	推估花蓮港類神經樣本超量門檻取樣法之機率密度函數及機率函數圖	7-11
圖 7.6	推估花蓮港實測資料樣本超量門檻取樣法之機率密度函數及機率函數圖	7-12
圖 7.7	推估花蓮港二維數值模式樣本超量門檻取樣法之機率密度函數及機率函數	7-12
圖 7.8	推估蘇澳港類神經樣本年極值取樣法之機率密度函數及機率函數圖.	7-14
圖 7.9	推估蘇澳港實測資料樣本年極值取樣法之機率密度函數及機率函數圖	7-15
圖 7.10	推估蘇澳港二維數值模式樣本年極值取樣法之機率密度函數及機率函數	7-15

圖 7.11 推估蘇澳港類神經模式樣本超量門檻取樣法之機率密度函數及機率函數圖	7-17
圖 7.12 推估蘇澳港實測資料樣本超量門檻取樣法之機率密度函數及機率函數圖	7-17
圖 7.13 推估蘇澳港二維數值模式樣本超量門檻取樣法之機率密度函數及機率函數圖	7-18
圖 7.14 統一建立台灣主要港口設計波浪之可行性探討座談會	7-20
附圖 1 楊希(1990)颱風資訊與花蓮港推算結果	1
附圖 2 亞伯(1990)颱風資訊與花蓮港推算結果	1
附圖 3 海蒂(1990)颱風資訊與花蓮港推算結果	2
附圖 4 華特(1991)颱風資訊與花蓮港推算結果	2
附圖 5 艾美(1991)颱風資訊與花蓮港推算結果	2
附圖 6 露絲(1991)颱風資訊與花蓮港推算結果	3
附圖 7 芭比(1992)颱風資訊與花蓮港推算結果	3
附圖 8 泰德(1992)颱風資訊與花蓮港推算結果	3
附圖 9 楊希(1993)颱風資訊與花蓮港推算結果	4
附圖 10 蓓琪(1993)颱風資訊與花蓮港推算結果	4
附圖 11 弗雷特(1994)颱風資訊與花蓮港推算結果	4
附圖 12 葛拉絲(1994)颱風資訊與花蓮港推算結果	5
附圖 13 席斯(1994)颱風資訊與花蓮港推算結果	5
附圖 14 肯特(1995)颱風資訊與花蓮港推算結果	5
附圖 15 賴恩(1995)颱風資訊與花蓮港推算結果	6
附圖 16 凱姆(1996)颱風資訊與花蓮港推算結果	6
附圖 17 葛樂禮(1996)颱風資訊與花蓮港推算結果	6
附圖 18 賀伯(1996)颱風資訊與花蓮港推算結果	7
附圖 19 彼得(1997)颱風資訊與花蓮港推算結果	7
附圖 20 蒂納(1997)颱風資訊與花蓮港推算結果	7
附圖 21 溫妮(1997)颱風資訊與花蓮港推算結果	8
附圖 22 奧托(1998)颱風資訊與花蓮港推算結果	8
附圖 23 瑞伯(1998)颱風資訊與花蓮港推算結果	8
附圖 24 山姆(1999)颱風資訊與花蓮港推算結果	9
附圖 25 雅吉(2000)颱風資訊與花蓮港推算結果	9
附圖 26 象神(2000)颱風資訊與花蓮港推算結果	9
附圖 27 海燕(2001)颱風資訊與花蓮港推算結果	10
附圖 28 雷馬遜(2002)颱風資訊與花蓮港推算結果	10
附圖 29 辛樂克(2002)颱風資訊與花蓮港推算結果	10

附圖 30 柯吉拉(2003)颱風資訊與花蓮港推算結果	11
附圖 31 蘇迪勒(2003)颱風資訊與花蓮港推算結果	11
附圖 32 尹布都(2003)颱風資訊與花蓮港推算結果	11
附圖 33 莫拉克(2003)颱風資訊與花蓮港推算結果	12
附圖 34 柯羅旺(2003)颱風資訊與花蓮港推算結果	12
附圖 35 妮妲(2004)颱風資訊與花蓮港推算結果	12
附圖 36 電母(2004)颱風資訊與花蓮港推算結果	13
附圖 37 敏督利(2004)颱風資訊與花蓮港推算結果	13
附圖 38 康柏斯(2004)颱風資訊與花蓮港推算結果	13
附圖 39 蘭寧(2004)颱風資訊與花蓮港推算結果	14
附圖 40 艾利(2004)颱風資訊與花蓮港推算結果	14
附圖 41 海馬(2004)颱風資訊與花蓮港推算結果	14
附圖 42 陶卡基(2004)颱風資訊與花蓮港推算結果	15
附圖 43 納坦(2004)颱風資訊與花蓮港推算結果	15
附圖 44 南瑪都(2004)颱風資訊與花蓮港推算結果	15
附圖 45 海棠(2005)颱風資訊與花蓮港推算結果	16
附圖 46 馬莎(2005)颱風資訊與花蓮港推算結果	16
附圖 47 珊瑚(2005)颱風資訊與花蓮港推算結果	16
附圖 48 泰利(2005)颱風資訊與花蓮港推算結果	17
附圖 49 卡努(2005)颱風資訊與花蓮港推算結果	17
附圖 50 龍王(2005)颱風資訊與花蓮港推算結果	17
附圖 51 珍珠(2006)颱風資訊與花蓮港推算結果	18
附圖 52 艾維尼(2006)颱風資訊與花蓮港推算結果	18
附圖 53 珊珊(2006)颱風資訊與花蓮港推算結果	18
附圖 54 萬宜(2007)颱風資訊與花蓮港推算結果	19
附圖 55 聖帕(2007)颱風資訊與花蓮港推算結果	19
附圖 56 韋帕(2007)颱風資訊與花蓮港推算結果	19
附圖 57 柯羅莎(2007)颱風資訊與花蓮港推算結果	20
附圖 58 卡玫基(2008)颱風資訊與花蓮港推算結果	20
附圖 59 鳳凰(2008)颱風資訊與花蓮港推算結果	20
附圖 60 如麗(2008)颱風資訊與花蓮港推算結果	21
附圖 61 辛樂克(2008)颱風資訊與花蓮港推算結果	21
附圖 62 哈格比(2008)颱風資訊與花蓮港推算結果	21
附圖 63 薔蜜(2008)颱風資訊與花蓮港推算結果	22
附圖 64 莫拉菲(2009)颱風資訊與花蓮港推算結果	22
附圖 65 莫拉克(2009)颱風資訊與花蓮港推算結果	22

附圖 66 盧碧(2009)颱風資訊與花蓮港推算結果	23
附圖 67 凡那比(2010)颱風資訊與花蓮港推算結果	23
附圖 68 梅姬(2010)颱風資訊與花蓮港推算結果	23
附圖 69 艾利(2011)颱風資訊與花蓮港推算結果	24
附圖 70 桑達(2011)颱風資訊與花蓮港推算結果	24
附圖 71 米雷(2011)颱風資訊與花蓮港推算結果	24
附圖 72 南瑪都(2011)颱風資訊與花蓮港推算結果	25
附圖 73 蘇拉(2012)颱風資訊與花蓮港推算結果	25
附圖 74 杰拉華(2012)颱風資訊與花蓮港推算結果	25
附圖 75 瑪姬(1999)颱風資訊與蘇澳港推算結果	26
附圖 76 碧利斯(2000)颱風資訊與蘇澳港推算結果	26
附圖 77 西馬隆(2001)颱風資訊與蘇澳港推算結果	26
附圖 78 尤特(2001)颱風資訊與蘇澳港推算結果	27
附圖 79 辛樂克(2002)颱風資訊與蘇澳港推算結果	27
附圖 80 柯吉拉(2003)颱風資訊與蘇澳港推算結果	27
附圖 81 莫拉克(2003)颱風資訊與蘇澳港推算結果	28
附圖 82 柯羅旺(2003)颱風資訊與蘇澳港推算結果	28
附圖 83 杜鵑(2003)颱風資訊與蘇澳港推算結果	28
附圖 84 妮妲(2004)颱風資訊與蘇澳港推算結果	29
附圖 85 康森(2004)颱風資訊與蘇澳港推算結果	29
附圖 86 電母(2004)颱風資訊與蘇澳港推算結果	29
附圖 87 敏督利(2004)颱風資訊與蘇澳港推算結果	30
附圖 88 蘭寧(2004)颱風資訊與蘇澳港推算結果	30
附圖 89 艾利(2004)颱風資訊與蘇澳港推算結果	30
附圖 90 海馬(2004)颱風資訊與蘇澳港推算結果	31
附圖 91 陶卡基(2004)颱風資訊與蘇澳港推算結果	31
附圖 92 納坦(2004)颱風資訊與蘇澳港推算結果	31
附圖 93 南瑪都(2004)颱風資訊與蘇澳港推算結果	32
附圖 94 海棠(2005)颱風資訊與蘇澳港推算結果	32
附圖 95 馬莎(2005)颱風資訊與蘇澳港推算結果	32
附圖 96 泰利(2005)颱風資訊與蘇澳港推算結果	33
附圖 97 卡努(2005)颱風資訊與蘇澳港推算結果	33
附圖 98 龍王(2005)颱風資訊與蘇澳港推算結果	33
附圖 99 珍珠(2006)颱風資訊與蘇澳港推算結果	34
附圖 100 艾維尼(2006)颱風資訊與蘇澳港推算結果	34
附圖 101 碧利斯(2006)颱風資訊與蘇澳港推算結果	34

附圖 102	凱米(2006)颱風資訊與蘇澳港推算結果	35
附圖 103	珊珊(2006)颱風資訊與蘇澳港推算結果	35
附圖 104	聖帕(2007)颱風資訊與蘇澳港推算結果	35
附圖 105	韋帕(2007)颱風資訊與蘇澳港推算結果	36
附圖 106	米塔(2007)颱風資訊與蘇澳港推算結果	36
附圖 107	卡玫基(2008)颱風資訊與蘇澳港推算結果	36
附圖 108	鳳凰(2008)颱風資訊與蘇澳港推算結果	37
附圖 109	如麗(2008)颱風資訊與蘇澳港推算結果	37
附圖 110	辛樂克(2008)颱風資訊與蘇澳港推算結果	37
附圖 111	哈格比(2008)颱風資訊與蘇澳港推算結果	38
附圖 112	薔蜜(2008)颱風資訊與蘇澳港推算結果	38
附圖 113	莫拉菲(2009)颱風資訊與蘇澳港推算結果	38
附圖 114	莫拉克(2009)颱風資訊與蘇澳港推算結果	39
附圖 115	梅花(2011)颱風資訊與蘇澳港推算結果	39
附圖 116	南瑪都(2011)颱風資訊與蘇澳港推算結果	39
附圖 117	瑪娃(2012)颱風資訊與蘇澳港推算結果	40
附圖 118	杜蘇芮(2012)颱風資訊與蘇澳港推算結果	40
附圖 119	蘇拉(2012)颱風資訊與蘇澳港推算結果	40
附圖 120	三巴(2012)颱風資訊與蘇澳港推算結果	41
附圖 121	杰拉華(2012)颱風資訊與蘇澳港推算結果	41
附圖 122	蘇力颱風各主要港口颱風波浪推算結果	1
附圖 123	西馬隆颱風各主要港口颱風波浪推算結果	2
附圖 124	潭美颱風各主要港口颱風波浪推算結果	2
附圖 125	康芮颱風各主要港口颱風波浪推算結果	3
附圖 126	天兔颱風各主要港口颱風波浪推算結果	3
附圖 127	菲特颱風各主要港口颱風波浪推算結果	4

表目錄

表 2.1 花蓮港 1951 年至 2012 年颱風侵襲次數趨勢.....	2-3
表 2.2 蘇澳港 1951 年至 2012 年颱風侵襲次數趨勢.....	2-4
表 2.3 花蓮港 1990 年至 2012 年波浪資料蒐集率百分比.....	2-6
表 2.4 蘇澳港 1990 年至 2012 年波浪資料蒐集率百分比.....	2-7
表 2.5 花蓮港長期波浪趨勢分析結果.....	2-16
表 2.6 蘇澳港長期波高趨勢分析結果.....	2-21
表 3.1 選取用來建立蘇澳港模式的颱風資訊與其對應最大波高.....	3-1
續表 3.1 選取用來建立蘇澳港模式的颱風資訊與其對應最大波高.....	3-2
表 3.2 蘇澳港類神經颱風波浪推算結果.....	3-18
續表 3.2 蘇澳港類神經颱風波浪推算結果.....	3-19
表 4.1 選取用來建立花蓮港模式的颱風資訊與其對應最大波高.....	4-3
續表 4.1 選取用來建立花蓮港模式的颱風資訊與其對應最大波高.....	4-4
表 4.2 花蓮港 M5 最小化模式樹波浪推算模式之結果驗證.....	4-8
續表 4.2 花蓮港 M5 最小化模式樹波浪推算模式之結果驗證.....	4-9
續表 4.2 花蓮港 M5 最小化模式樹波浪推算模式之結果驗證.....	4-10
表 4.3 蘇澳港 M5 最小化模式樹波浪推算模式之結果驗證.....	4-10
續表 4.3 蘇澳港 M5 最小化模式樹波浪推算模式之結果驗證.....	4-11
表 5.1 花蓮港兩種波浪推算模式的誤差比較.....	5-1
續表 5.1 花蓮港兩種波浪推算模式的誤差比較.....	5-2
續表 5.1 花蓮港兩種波浪推算模式的誤差比較.....	5-3
表 5.2 蘇澳港兩種波浪推算模式的誤差比較.....	5-8
續表 5.2 蘇澳港兩種波浪推算模式的誤差比較.....	5-9
續表 5.2 蘇澳港兩種波浪推算模式的誤差比較.....	5-10
表 5.3 各類神經颱風波浪推算成效比較.....	5-15
表 6.1 風浪推算模擬之網格設定內容.....	6-4
表 6.2 模式參數設定彙整表.....	6-5
表 6.3 花蓮港數值模式之波浪推算結果驗證.....	6-6
續表 6.3 花蓮港數值模式之波浪推算結果驗證.....	6-7
表 6.4 蘇澳港數值模式之波浪推算結果驗證.....	6-7
續表 6.4 蘇澳港數值模式之波浪推算結果驗證.....	6-8
表 6.5 各港口颱風波浪推算結果比較.....	6-12
表 7.1 計算樣本順位機率之 α 及 β 值.....	7-4
表 7.2 相關係數殘差平均值公式之係數 \bar{a} , \bar{b} 及 \bar{c} 值.....	7-5
表 7.3 重現期推算量之標準差公式中之係數.....	7-7

表 7.4	花蓮港各極值樣本採用年極值取樣法之各重現期分析結果.....	7-8
表 7.5	花蓮港各極值樣本採用超量門檻取樣法之各重現期分析結果.....	7-12
表 7.6	花蓮港三種樣本來源以兩種取樣方式的極值分析結果.....	7-13
表 7.7	蘇澳港各極值樣本採用年極值取樣法之各重現期分析結果.....	7-14
表 7.8	蘇澳港各極值樣本採用超量門檻取樣法之各重現期分析結果.....	7-16
表 7.9	蘇澳港三種樣本來源以兩種取樣方式的極值分析結果.....	7-19

第一章 前言

1.1 計畫目的

港灣或海岸工程規劃設計階段或管理營運階段若能有合適的波浪推算模式，能夠更有效率的做出適當的決策。波浪推算模式不但能解決在決定設計波浪時遭遇現有實測資料記錄長度不足的問題，更能於營運階段提供防災與預警的功能，在颱風期能夠於災害發生前，先行提供船舶調度與減災預警的參考。近年來已發展許多成熟的波浪推算技術與極值統計方法，但這些技術的建立還是基於往昔的實測資料，在環境有所改變的情況下這些技術與方法的可靠性是需要再評估的。交通部運輸研究所港灣技術研究中心為響應國際航海學會(The World Association for Waterborne Transport Infrastructure, PIANC) 對氣候變遷造成海事工程之影響探討，本計畫將分析海洋環境的改變的趨勢，並提出港灣工程設計階段的因應方式。

本所港研中心近年來針對波浪推算模式提出大量的研究成果，其中 99 至 101 年度研究計畫『臺灣主要港口附近海域長期波浪統計特性及設計波推算之研究』中應用類神經網路建立颱風波浪推算模式並已針對大部分國際港區進行模式建立與測試，更與經驗式波浪推算模式進行推算能力的比較，其成果顯示類神經颱風波浪推算模式的推算能力較佳。此外並以月最大法進行極值分析來探討季節性的特性，評估各種樣本、極值函數及參數推定法對設計波推求的影響。

相較於往昔研究，本計畫考慮氣候變遷對環境造成改變下提升國內波浪推算技術之正確性。透過颱風侵台的狀況與港研中心所監測花蓮港與蘇澳港的波高資料來進行長期趨勢分析，其中波高長期趨勢分析的部分並選用多種趨勢偵測方法包括不同取樣方式的線性回歸、Mann-Kendall 趨勢檢測法、Seasonal Kendall 趨勢檢測法及經驗模態分解法(Empirical Mode Decomposition method, EMD)來進行花蓮港與蘇澳港的波高趨勢分析，評估受氣候變遷影響的顯著性。

在颱風波浪推算模式方面，本計畫以往昔花蓮港類神經網路波浪推算模式的經驗與方法來建立蘇澳港類神經波浪推算模式。另應用 M5 最小化模式樹發展花蓮港與蘇澳港颱風波浪推算模式，並與類神經颱風波浪推算模式進行精度的分析與適用性評估。除此之外另以 DHI MIKE 21 軟體的二維風浪數值模式(SW)模擬各場颱風對花蓮港與蘇澳港造成的波場以供設計波浪的推算。最後並以年最大取樣法與超量取樣法配合各樣本來源來進行花蓮港與蘇澳港的極值統計分析，討論各種樣本與取樣方式對設計波推算的影響，最後透過以上分析結果探討颱風及波浪在時空環境改變下的設計波浪，並對設計波高的決定標準提出相關對策與建議。

1.2 文獻回顧

「全球暖化」特別是指靠近地表面或是海表面的全球平均氣溫隨著時間逐漸升高的現象。此現象在 20 世紀中期以後趨於明顯。近年來「全球暖化」的名詞漸漸被「氣候變遷」取代，強調氣候的改變，並且不僅僅只有溫度的變化，其交互影響所造成海象、環境等自然變化也是需要評估的重點。

在台灣氣候變遷相關研究中葉(2012)發現全球溫室效應增強，氣候變遷現象影響風能潛勢，台灣西部離岸未來整體風力可能因為氣候變遷影響東北季風減弱。趙(2012)發現由於氣候變遷下使全球水文循環系統遭到改變，台灣因地理位置關係，洪水量增加、暴潮及海岸侵蝕等致災因子日益嚴重，上游集水區河川短促、陡坡急流及地質不佳，容易造成崩塌、土石流等土砂災害。選用日本大氣環流模式(MRI-CGCM2_3_2)配合其他相關資料推估未來洪水頻率曲線的結果顯示，因受到氣候變遷的影響，未來各情境下流量與泥砂量有增加的趨勢。邱(2012)以熱帶氣旋動能指數 (Revised Accumulated Cyclone Energy, RACE)分析西北太平洋颱風活動及其影響因素，並改良 GPI(Genesis Potential Index)分析模式資料，以解析颱風活動與氣候變遷的關連性。結果顯示台灣平均每年約增加 0.1 個颱風。張(2011)以莫

拉克颱風為例說明氣候變遷在全球各處引發多起重大災害，造成屏東沿海地區嚴重水患，在全台各處也造成重大災情。並針對海岸環境進行探查結合颱風災害與海平面上升對海岸之衝擊作災害風險分析。近年來氣候變遷所造成的極端氣候現象已是無法逃避的風險，聯合國提出了減緩以及調適作為回應之方案，歐盟的海岸帶調適管理中整合性海岸帶管理策略引導各國合作，提供了技術、經驗以及經費的補助，並提醒各沿海成員國海岸帶管理與國土安全的直接連結，使各成員國願意投入各個不同層級的海岸帶管理策略行動之中。

在資料趨勢分析技術的往昔研究中，往昔已有許多研究採用最小二乘法求得回歸係數這種方法進行趨勢的分析(Woolf et al., 2003)，然而 Sen(1968)即提出這種方法容易導致誤判且其結果的可靠度受限於常態分布的母體樣本。Hirsch et al. (1982)分析河川水質資料，顯示大部分水質項目成偏態分佈。Hirsch et al. (1984)指出，當資料呈非常態分佈或有缺漏資料情況，適合應用無母數檢定法，無母數法較具有顯著之效率且呈現之結果也較不受離群值影響。

Mann-Kendal 趨勢檢測為無母數方法，為 Mann(1945)以及之後的 Kendall(1975)所提出，能針對資料進行趨勢偵測。此法能處理缺漏值。Hirsch 與 Slack (1984) 應用此方法分析季節性資料的變遷趨勢，之後為國外研究學者廣為採用於水質趨勢分析之無母數方法。Mann Kendall 趨勢偵測被廣泛的應用在相關的環境科學研究中，例如雨量(Yue and Hashino, 2003)、水質(郭與李, 2004; Raïke et al., 2003; Walker, 1991; Zipper et al., 2002)、氣溫(吳志剛, 2000)、海水面抬升與大氣變化(Audiffren, 2000) 等長期趨勢分析。Hirsch 等人(1982)針對 Mann-Kendall 趨勢檢定法提出修改，提出能應用於有週期特性樣本資料的 Seasonal Kendall 趨勢檢定法。Young et al.(2011)以衛星測高資料與浮標資料分析全球波浪與風速的極端值，整合往昔研究五種趨勢偵測法進行風速及波高的變化趨勢評估，圖 1.1 為全球平均波高的變化趨勢分布圖。

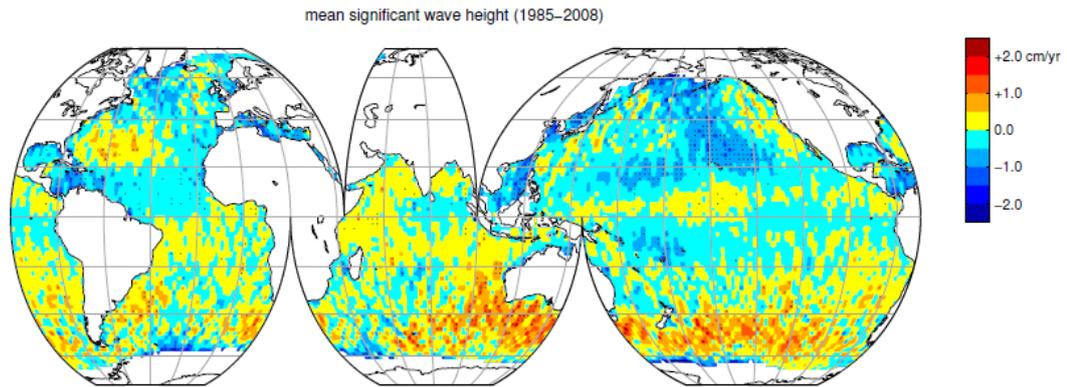


圖 1.1 全球平均波高的變化趨勢分布圖(Young et al., 2011)

對於颱風事件的趨勢分析，Wang et al.(2006)年採用不同氣壓門檻值所計算出來北大西洋中緯度及高緯度的氣旋數量統計圖，示如圖 1.2，其結果顯示發生於北大西洋高緯度地區的颱風次數於近 40 年間是呈現增加的趨勢，而中緯度的部分則相反，在近 40 年間颱風發生次數是保持遞減的狀態，此結果顯示氣候變遷對於颱風發生次數的影響量在空間分布上也有所不同。

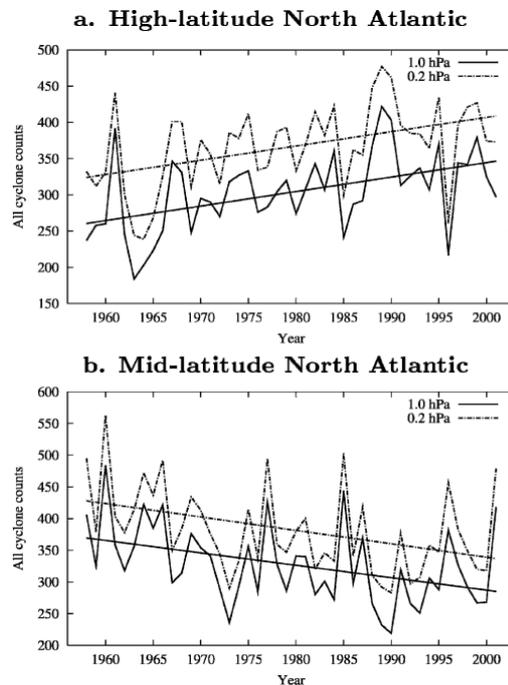


圖 1.2 北大西洋中緯度及高緯度的氣旋數量統計圖

本研究由以上國內外相關研究結果，歸納台灣氣候變遷對港灣環境造成可能的影響有：1.水位的抬升改變波浪碎波位置與港灣周遭流況；2.季節風風速條件的改變造成季節性波浪改變；3.颱風等極端氣候因素發生的頻率與規模改變而造成颱風波浪與暴潮的變化；4.降雨分布與雨量改變造成河川下游對海岸輸沙量的變化。然海象中所發生的極端事件通常是由組合因素造成的，且即便在一個不受外力影響地的氣候環境中，各種極端事件也是經常發生的。在這兩個理由下，想要確認海象極端因素是否由氣候變遷所造成是非常不容易的。故本計畫先不考慮暖化升溫等相對較複雜的成因，單純以交通部運輸研究所港灣技術研究中心在花蓮港與蘇澳港的波浪資料以及造成極端波浪的颱風因素加以分析，評估目前氣候變遷對於海岸與港灣環境會造成的影響量，並期望能提出港灣工程與管理上因應的設計標準。

港灣或海岸工程規劃設計所需之設計波浪須由長期實測波浪資料或推算波浪資料來決定。近年來為解決現有記錄的時間不足的狀況，已發展許多成熟的波浪推算技術與極值統計方法，但這些技術的建立還是基於往昔的實測資料，在環境有所改變的情況下這些技術與方法的可靠性需要再評估的。交通部運輸研究所港灣技術研究中心近年來針對波浪推算模式提出大量的研究成果，其中 99 至 101 年度研究計畫『臺灣主要港口附近海域長期波浪統計特性及設計波推算之研究』中應用類神經網路建立颱風波浪推算模式並已針對大部分國際港區進行模式建立與測試，更與經驗式波浪推算模式進行推算能力的比較，其成果顯示類神經颱風波浪推算模式的推算能力較佳。建立類神經颱風推算模式需要考慮資料的品質與完整性，故需考慮每場颱風對應之波浪資料之完整性及相關性，在模式建立前必須剔除對應波浪資料不完整的颱風，模式輸入的方式針對不同地理位置與地形屏障因素而有不同研究(陳等人, 2011、2012)。

針對颱風所造成的波高提升屬於連續型的數值資料，一般能以回歸分析(Regression Analysis)、資料探勘裡的回歸樹(Regression Tree)和模式樹(Model Tree)以及類神經網路(Artificial Aeural Aetwork)等方法來

進行模擬或預測。然以往昔類神經建立颱風波浪模式之經驗顯示，在波浪推算模式影響波浪大小的成因過於複雜，包括颱風因子中心風速、中心距離與目標推算點方位角；底床地形效應、陸地遮蔽效應、及風場衰減效應等。各影響因子可能為獨立影響或交互影響，本計畫另嘗試使用模式樹的方式來建立颱風波浪推算模式。M5 模式樹是由 Quinlan(1992)所提出，它是透過找尋屬性分割前後類別值標準差降低程度最多的分割點，以此來架構整棵樹狀結構，當時的 M5 並無法處理有名目屬性和缺漏值(missing value)的資料，Wang et al.(1997)及 Witten 與 Frank(2005)則依照 M5 最小化模式樹提出了更完整的架構模式樹之步驟，稱為 M5'。張等(2011)提出以 M5 最小化模式樹及經驗公式探討透水與不透水堤面之波浪反射率。發展以不同輸入參數之兩種 M5 模式能力，其推估能力均比經驗公式稍佳。近年來國外許多研究應用模式樹於波浪推算並有相當的突破(Etemad-Shahidi and Mahjoobi, 2009; Jain and Deo,2008)。

考慮對應實測資料的颱風波浪可能會有缺漏的狀況，本研究另採用 NCEP 風場進行波浪推算，NCEP 風場資料係由美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction，NCEP)與國家大氣研究中心(National Centers for Atmospheric Research，NCAR)在西元 1989 年開始合作發展氣候資料再分析計畫(NCEP/NCAR Reanalysis Project)，此計畫之目標為利用西元 1948 年至今之舊有氣候觀測資料重新進行分析，並發展一氣候資料同化系統(Climote data assimilation system，CDAS)用來分析現今之大氣情況。此系統納入了許多不同類型之觀測資料結果，包括地面觀測、船艦觀測、飛機觀測、無線電探空觀測、衛星觀測等，再經過數據品質管(QC)步驟，集成成為此氣候資料同化系統，目前已有氣象組織利用此系統分析資料進行真實氣象預報。NCEP/NCAR Reanalysis Project 提供資料自 1948 年迄今，資料時距包含每日 6 小時、單日及單月資料，資料項目有氣溫、地表溫度、地中溫度、氣壓、濕度、風速等。本計畫採用 NCEP 每日 6 小時且為海平面上 10m 處之 u、

v 向風速資料，資料範圍包含緯度 $88.542^{\circ} \sim -88.542^{\circ}$ 、經度 $0^{\circ} \sim 358.125^{\circ}$ ，風場資料解析格網為 $1.875^{\circ} \times 1.875^{\circ}$ 。

設計波高的推定須針對波高樣本資料進行極值統計，在確定樣本來源以後，首先必須將原始資料作基本之選取及排序(data sorting)。早期極值統計之資料選取，是討論所有觀測資料。但實際海域上波浪存在各種特性之波高，大部分的取樣資料並不是極端值情況，導致很難由觀測資料推測極值波高的母體參數。於是 Haver(1985)開始針對觀測之極端值作討論，研究發生機率低的極值波高在不同極值函數分佈下的情形。Guedes Soares and Henriques(1996;2001)討論到海域下許多不同的母體共存，在極值分析將所有觀測資料屬於某一母體特性，有母體分類上的困難。故現今極值分析討論局部觀測資料，依資料選取方式，主要可分為超量門檻取樣法與極端值取樣法二種。極端值取樣法即國內目前慣用的年最大法，而超量門檻取樣法為 Guedes Soares(1986)提出的一種極值統計之研究方法。先設定一門檻值，選取所有超越門檻值的資料為觀測樣本，稱為超量門檻取樣法(Peak Over Threshold, POT)。由 Davison(1984)和 Smith(1986)開始推導門檻值的理論，之後 Davison and Smith(1990)以廣義 Pareto 分佈為模式配適，討論超越門檻值統計特性，其超越門檻值的分佈可分成 Gumbel, Frechet, or Weibull 分佈情況。Ferreira and Guedes Soares(1998)和 Elsinghorst 等(1998)描述超越門檻法應用於波高資料推估重現期波高，Naess and Clausen(2002)將此分析結果應用於波速推算之相關問題。Mendez 等(2006)提出超量門檻取樣法的極值波高，存在非穩定的季節性變化，其波高符合極端值分佈。Mendez 等討論暴潮延時和超越門檻值的選擇，對暴潮模式的建立有很重要的影響。本計畫將選用極端值取樣法與超量門檻值取樣法進行分析。Suh 等人(2013)也利用超量門檻取量法配合最小二乘法(LSM)與經驗模擬法(Empirical Simulation Technique)比較推算設計波浪的結果。而國內近年研究中，江等人(2011)以 FT-I、Weibull、GEV 及 Log-Normal 四種極值分布函數配合 MLE、LSM 及 MOM 三種參數推定方式進行測試，其研究成果包括花蓮港、高雄港、安平港、台北港、

基隆港與台中港等主要港口的最適極值函數與參數推定法，並針對各主要港口推算出 50 年回歸期的設計波高及其信賴區間。

1.3 工作項目

本計畫以花蓮港與蘇澳港為主，利用各港長期監測的波浪資料與颱風相關資訊進行趨勢分析，以評估其受氣候變遷影響下是否有顯著的長期變化趨勢。本計畫擬採用類神經、M5 最小化模式樹及二維風浪數值模式等三種波浪推算模式的結果來進行設計波高的分析，類神經波浪推算模式除採用 98 年度本所港研中心『臺灣主要港口附近海域長期波浪統計特性及設計波推算之研究(1/4)』所發展的花蓮港類神經颱風推算模式進行波浪資料推算外，並以其基礎與架構建立蘇澳港類神經颱風推算模式。另採用 M5 最小化模式樹進行各港波浪推算模式的建立，並與類神經網路推算模式進行精度與特性的比較。二維風浪數值模式將以完整的 NCEP 風場對歷史颱風進行模擬，推求對各港口造成的波場，並探討風場對推算結果的精度影響。最後並依各樣本來源配合不同取樣方式考量與颱風及波浪在時空環境改變下針對設計波高的決定標準提出相關對策與建議。

本年度研究計畫之工作項目分為六個部份，已完成所有工作項目，工作內容符合預定進度，以下為工作項目：

1. 分析花蓮港與蘇澳港之颱風與波浪在氣候變遷下之影響。
2. 建立花蓮港與蘇澳港 M5 最小化模式樹波浪推算模式。
3. 比較類神經網路波浪推算模式與 M5 最小化模式樹波浪推算模式之推算精度。
4. 以數值模式進行花蓮港與蘇澳港之波浪推算。
5. 花蓮港與蘇澳港設計波高標準之探討。
6. 參考國科會「科技計畫績效管考平台」之「績效指標(實際成果)資料格式」及「佐證資料格式」，就本計畫成果之特性，選填

合適績效指標項目，並以量化或質化方式，說明本計畫主要研究成果及重大突破。

本計畫基於往昔研究深入探討設計波標準，更有以下創新發展：

1. 因應全球氣候變遷議題，針對侵台颱風與花蓮蘇澳兩港的波浪進行長期趨勢分析，其中波浪資料更以多種趨勢檢測法進行分析(線性回歸、Seasonal Kendall 及兩種 EMD)。
2. 分析蘇澳港實測波浪資料特性，並利用類神經網路建立蘇澳港颱風波浪推算模式。
3. 以 M5 最小化模式樹建立花蓮港與蘇澳港颱風波浪推算模式。
4. 相較於往昔採用每年取一筆樣本的年極值取樣法，本年度引用超量門檻取樣法於同一標準下在每年取多筆樣本進行極值分析，並與年極值取樣法進行比較。
5. 極值分析中以最適極值函數所推算地標準差劃定設計波信賴範圍，以供相關單位引用參考。
6. 以花蓮港與蘇澳港受氣候變遷造成的長期波浪趨勢，首度提出在設計波估算中考慮重現期內受氣候變遷影響量。
7. 以二維數值風浪模式推算極值樣本，並探討不同風場在二維數值風浪模式推算的成效。

第二章 氣候變遷對颱風與波浪影響

2.1 資料來源

本計畫為分析氣候變遷對颱風與波浪造成的趨勢分析，需收集長期的颱風與波浪資料。目前颱風資料來源除中央氣象局所發布的資料外，日本氣象廳 RSMC-Tokyo Center 亦有提供往昔熱帶氣旋中心資訊，另外聯合颱風警報中心(Joint Typhoon Warning Center, 簡稱 JTWC)有提供完整西太平洋往昔與預測颱風資訊。

波浪資料採用交通部運輸研究所港灣技術研究中心的波浪觀測資料來進行分析，港灣技術研究中心目前於花蓮港所設置之測站位置位於花蓮港東防波堤往南延長 380 公尺、水深 34 公尺處(圖 3-1 中站名測站 X)，於 2000 年 9 月 8 日安裝挪威 NORTEK 公司之剖面海流與表面波浪即時傳送監測系統(後簡稱 AWCP)，主要收集波高、週期以及波向等資料。而 2000 年 9 月前的資料浮標雖無波向資料，但提供了 1990 年 10 月 1 日至 2000 年 9 月 30 日的波高以及週期觀測資料。

AWCP 系統有兩個分離波高量測模式：1.對平靜波浪時，當資料由傳統式壓力感應器量測時將會因儀器佈放的深度而受很大的影響。此時，表面高度必須用一個聲波式的高度感應器量測波高。波高量測範圍：(1)資料量測模式：壓力及沿每一個波束選取一個流速層。(2)量測流層距離：0.5、1.0、2.0m 可選擇性。(3)最大資料輸出頻率：2Hz(以內含)。(4)儀器內取樣頻率：4~6Hz。(5)取樣期間之取樣數：512、1024 或 2048 次可選擇性。波向量測範圍：波向的量測從海面下 3m 以上的流向資料與波高資料計算轉換而得。2.對攪動的海況時，用於轉換波向的該層深度應該自動被調整為平均水位，也就是 $H_{\max}/2$ 。量測的參數為：平均波向及波向分布，波向單位為度。

而蘇澳港在 2002 年 7 月於港口外 700m 附近、水深 25m 處(測站 X)，水深約 25m 處安裝一部挪威 NORTEK 公司之 AWCP，2004 年 9 月至 12 月受船隻影響受損，至 2007 年已滿五年儀器與電纜漸漸老化

故障頻繁。因此 2007 年 10 月中旬更新 AWCP，同樣安裝在原地水深 25m 處，目前正常運轉量測。花蓮港與蘇澳港測站位置如圖 2.1 與圖 2.2。



圖 2.1 花蓮港海氣象觀測位置圖



圖 2.2 蘇澳港海氣象觀測位置圖

2.2 侵台颱風長期變化趨勢

目前颱風資料來源除中央氣象局所發布的資料外，日本氣象廳 RSMC-Tokyo Center 亦有提供往昔熱帶氣旋中心資訊，另外聯合颱風警報中心(Joint Typhoon Warning Center, 簡稱 JTWC)有提供完整西太平洋往昔與預測颱風資訊。本計畫依據日本氣象廳所發布 1951 年至 2012 年西太平洋熱帶氣旋的路徑及氣壓資料進行整理，並建立颱風資料庫以評估各港長期受颱風侵襲的紀錄。

颱風中心與目標點的距離為颱風侵襲與否的主要判斷因子，本計畫首先以花蓮港為目標點，並以不同的距離門檻值篩選颱風，若颱風中心接近花蓮港的距離小於門檻值，則將其標記為侵台颱風，並將侵襲花蓮港這段時間的中心氣壓依中央氣象局所劃分的颱風規模做分級，以評估該颱風所屬級別。中央氣象局所定義颱風級別可分為四類：1. 熱帶低壓(中心海面氣壓 >997 hPa)；2. 輕度颱風(976 hPa $<$ 中心海面氣壓 ≤ 997 hPa)；3. 中度颱風(941 hPa $<$ 中心海面氣壓 ≤ 976 hPa)；4. 強烈颱風(941 hPa \geq 中心海面氣壓)。將各場颱風依據距離門檻值與颱風規模進行篩選，可計算出每年侵襲花蓮港的颱風次數，再依一階線性回歸找出每年次數的長期趨勢如下表：

表 2.1 花蓮港 1951 年至 2012 年颱風侵襲次數趨勢

	門檻值 300km	門檻值 500km	門檻值 1000km
所有熱帶低壓	0.0141	0.0025	0.0180
強烈颱風	0.0067	-0.0071	-0.0024
輕度颱風	0.0035	0.0020	0.0061
中度颱風	0.0072	0.0215	0.0221

表 2.1 顯示三種距離門檻值對應各種不同颱風規模的資料集所統計出 1951 年至 2012 年歷年侵襲花蓮港次數的趨勢分析結果，整體而言除了強烈颱風以外其餘颱風規模每年侵襲花蓮港的次數都顯示有增加的趨勢，尤其以門檻值設定為 500km 以上可以發現，中度颱風侵襲花蓮港次數有明顯的增加，每年增加率為 0.022 次，以現有颱風紀錄而

言每 50 年約會增加 1.1 個颱風的侵襲機會，圖 2.3 為中度颱風侵襲花蓮港的歷年紀錄與一階線性回歸後的趨勢線，該線斜率為 0.0215。

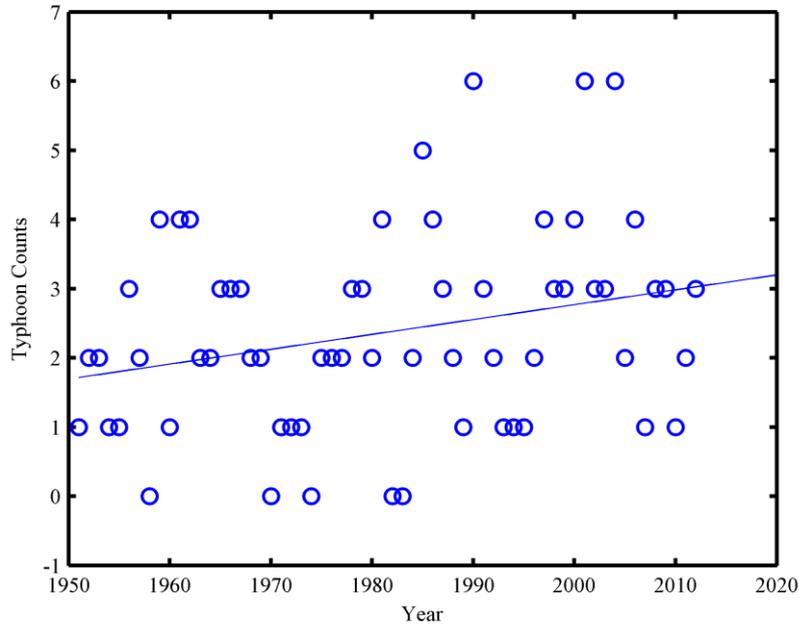


圖 2.3 中度颱風侵襲花蓮港次數的趨勢分析(500km 門檻值)

另以蘇澳港為目標點，進行相同分析。將各場颱風依據距離門檻值與颱風規模進行篩選，可計算出每年侵襲蘇澳港的颱風次數，再依線性回歸找出每年次數的長期趨勢如下表：

表 2.2 蘇澳港 1951 年至 2012 年颱風侵襲次數趨勢

	門檻值 300km	門檻值 500km	門檻值 1000km
所有熱帶低壓	0.0142	-0.0016	0.0171
強烈颱風	0.0028	-0.0033	-0.0028
輕度颱風	0.0001	-0.0008	-0.0005
中度颱風	0.0149	0.0172	0.0241

表 2.2 顯示三種距離門檻值對應各種不同颱風規模的資料集所統計出歷年侵襲蘇澳港次數的趨勢分析結果，在門檻值選用 300km 的颱風侵襲次數趨勢分析中可發現，颱風侵襲次數皆為增加趨勢。門檻值 500km 的情況下則只有中度颱風有侵襲次數增加的趨勢，其餘為次數減少的趨勢。門檻值 1000km 的部分，若以侵襲蘇澳港的所有熱帶低壓

次數來進行分析可發現為增加的趨勢，中度颱風亦同為增加趨勢，其餘強烈颱風與輕度颱風的統計中則稍有減少的趨勢。以其變化趨勢的強度來看，中度颱風的侵襲次數的增加趨勢明顯大於其他減少的趨勢，以現有颱風紀錄而言蘇澳港中度颱風侵襲的次數是增加的，輕度颱風與中度颱風則稍有減少。以門檻值 500km 來統計中度颱風侵襲次數可發現每 100 年約增加 1.72 個颱風的侵襲機會，圖 2.4 為中度颱風侵襲蘇澳港的歷年紀錄與線性回歸後的趨勢線，該線斜率為 0.0215。

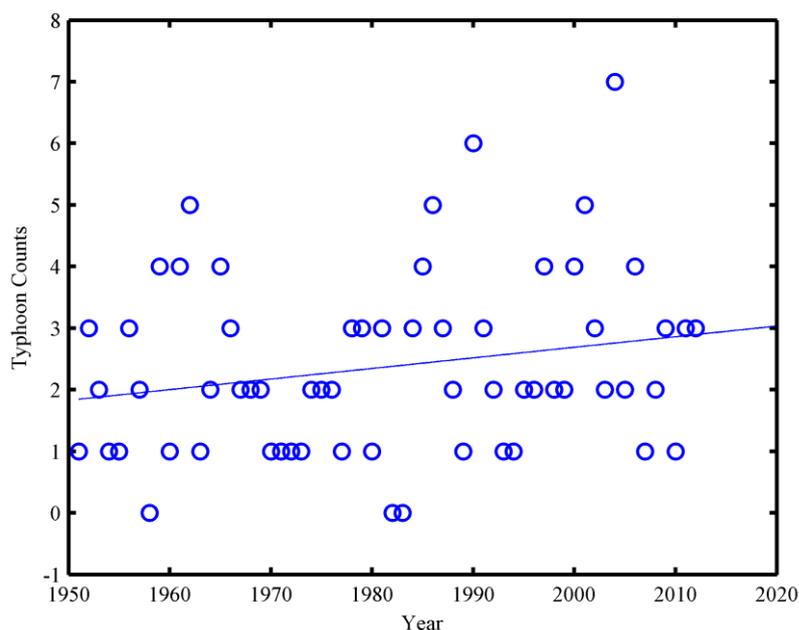


圖 2.4 中度颱風侵襲蘇澳港次數的趨勢分析(500km 門檻值)

本計畫針對近 60 年內侵襲花蓮港與蘇澳港颱風做相關統計與趨勢分析後發現只有中度颱風侵襲次數有隨著時間增加，輕度颱風與強烈颱風則沒有較明顯的增加或減少。

2.3 波浪長期變遷趨勢

2.3.1 資料來源

根據港灣技術研究中心所提供之花蓮港與蘇澳港波浪資料，其記錄時間分別為 1990 年至 2012 年及 1999 年至 2012 年，為瞭解波浪資料缺漏的狀況，本計畫整理各月份的波浪資料蒐集率，其中若該月份

波浪記錄資料完整則記為 100%，若有缺漏則依該月份應有資料量為分母計算百分比，如表 2.3 及表 2.4 所示。

表 2.3 花蓮港 1990 年至 2012 年波浪資料蒐集率百分比

年份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	平均 蒐集率 (%)
1990	93.7	99.7	78.2	65.3	68.8	67.4	63.3	78.0	57.6	93.7	64.2	95.2	77.1
1991	96.9	96.4	95.6	91.7	92.7	85.3	98.9	98.1	98.2	98.9	33.5	99.9	90.5
1992	74.5	59.2	100.0	19.4	30.9	99.9	99.9	98.7	97.5	99.6	99.2	98.5	81.4
1993	99.9	99.1	89.7	99.7	14.8	15.0	21.2	41.9	50.4	52.2	50.7	51.2	57.1
1994	49.7	50.3	49.6	49.9	49.9	50.0	28.6	28.9	50.3	19.6	25.4	51.2	42.0
1995	41.3	49.9	49.9	49.7	49.3	35.8	45.2	49.3	30.0	36.4	13.8	50.0	41.7
1996	33.9	51.3	50.0	48.8	43.4	43.3	53.2	23.5	0.0	26.3	17.8	76.3	39.0
1997	53.2	0.0	58.6	82.9	52.0	76.3	85.1	43.5	0.0	100.0	99.7	100.0	62.6
1998	100.0	99.9	60.2	0.0	21.1	71.8	39.8	83.3	99.6	99.1	99.7	99.9	72.9
1999	99.9	100.0	99.3	89.3	11.8	0.0	0.0	43.5	16.0	20.7	50.3	54.2	48.7
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	63.6	94.6	98.9	79.2	28.0
2001	71.6	73.4	22.2	25.4	41.0	24.9	17.6	90.1	91.9	97.8	0.0	0.0	46.3
2002	94.1	67.3	79.0	94.3	85.6	100.0	96.4	99.1	99.2	99.9	94.4	99.9	92.4
2003	89.5	95.7	29.0	100.0	97.0	100.0	97.7	95.0	0.0	25.9	97.9	98.1	77.2
2004	99.7	99.9	88.3	99.7	98.0	99.9	97.0	97.0	96.4	95.0	97.1	98.9	97.2
2005	92.2	97.2	99.6	98.8	99.9	92.6	98.1	100.0	96.4	96.9	97.8	100.0	97.5
2006	99.3	99.1	99.9	98.8	98.5	98.8	50.4	0.0	99.9	98.5	99.4	99.7	86.9
2007	99.5	99.3	99.3	99.9	48.1	73.1	93.4	93.4	99.7	99.7	96.1	100.0	91.8
2008	99.9	99.4	99.7	99.7	99.7	99.4	99.6	99.2	99.7	99.5	99.9	99.9	99.6
2009	99.9	99.9	99.7	99.7	99.9	99.4	98.8	99.6	99.9	99.7	99.9	99.6	99.7
2010	99.9	99.7	99.9	99.7	99.7	99.3	58.7	99.7	99.9	99.7	99.9	99.7	96.3
2011	96.5	97.3	97.2	97.2	96.1	95.3	98.1	98.8	99.0	98.0	94.0	95.6	96.9
2012	95.7	94.8	97.6	95.6	96.2	94.6	95.3	94.2	99.0	97.4	98.2	90.7	95.8

表 2.4 蘇澳港 1990 年至 2012 年波浪資料蒐集率百分比

年份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	平均 蒐集率 (%)
1999	0.0	0.0	0.0	0.0	87.6	96.4	97.0	27.7	52.1	95.3	60.3	0.0	43.0
2000	94.4	27.4	0.0	98.5	99.1	99.0	91.9	88.7	93.1	91.0	0.0	0.0	65.3
2001	41.0	68.9	63.6	59.9	70.8	56.8	77.2	52.2	23.6	5.1	91.7	95.3	58.8
2002	71.1	19.6	0.0	0.0	0.0	0.0	39.1	98.7	99.6	91.8	98.6	59.0	48.1
2003	99.6	93.3	98.1	99.2	0.0	0.0	0.0	95.7	64.0	4.7	99.7	99.5	62.8
2004	99.3	98.3	99.9	94.4	90.5	82.6	94.5	99.7	70.4	74.3	94.9	98.1	91.4
2005	99.6	99.9	96.1	97.9	11.2	47.1	55.2	93.5	91.3	98.8	99.4	98.7	82.4
2006	49.3	21.4	85.3	99.2	99.9	99.9	97.6	96.9	99.9	96.4	99.7	99.5	87.1
2007	62.9	99.6	99.7	99.7	99.7	99.7	99.7	97.2	99.4	58.6	99.9	99.9	93.0
2008	99.9	98.6	99.7	99.4	99.9	99.9	99.6	99.5	99.7	96.5	99.7	98.5	99.2
2009	82.1	96.9	99.6	99.9	99.9	59.7	97.2	99.5	99.7	99.1	99.9	98.8	94.3
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	78.0	69.7	0.0	12.3
2011	34.8	92.7	92.5	46.7	0.0	3.6	98.5	90.7	78.3	92.3	93.9	96.5	68.4
2012	71.8	78.9	96.6	98.8	95.0	97.4	67.2	95.0	96.7	97.2	98.8	92.5	90.5

2.3.2 趨勢分析

不同於颱風一年平均出現 3 至 4 個的獨立事件，波浪現象為一連續的時間序列。若要評估其長期變化趨勢，可用數值方法來進行評估。趨勢偵測法中最簡單的方式即是採用一階線性回歸方式進行資料回歸，如式(2-1)

$$y(t) = a_1 t + b_1 \quad (2-1)$$

式中 $y(t)$ 為波高資料為時間的函數， t 為時間， a_1 與 b_1 則為回歸係數，回歸係數可經由最小乘法求得，往昔已有許多研究採用這種方法進行趨勢的分析，然而這種方法容易導致誤判且其結果的可靠度受限於常態分布的母體樣本。傳統線性回歸的方法可經由以下回歸型式去除季節性的影響

$$y(t) = a_2 t + b_2 \sin(2\pi / 12t + c_2) + d_2 \quad (2-2)$$

式中有共有四個係數 a_2 、 b_2 、 c_2 、 d_2 ，亦可經由最小二乘法進行推求。雖然這種回歸型式可以明確分離出季節性影響，但與所有回歸方式相同，此法仍會因為母體樣本內的雜訊而產生偽造的趨勢結果。

Mann-Kendall 趨勢檢測法是一種無母數方法，能針對時間序列資料做相對趨勢的檢測。此法能處理母體樣本中有缺漏的狀況。在隨機資料不存在趨勢的假設狀況下，樣本 $Y=(y_1, y_2, y_3, \dots, y_n)$ 為 n 個獨立且同樣為隨機分布的變數。可以定義一測試統計量 S

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(y_j - y_k) \quad (2-3)$$

其中

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } x > 0 \\ 0 & \text{if } x = 0 \\ -1 & \text{if } x < 0 \end{cases} \quad (2-4)$$

在樣本無趨勢的假設下，當 $n \rightarrow \infty$ 趨近於無窮大時 S 的分布應為對稱的常態分布，且其平均值應為 0，變異量 V_S^2 應為

$$V_S^2 = n(n-1)(2n+5)/18 \quad (2-5)$$

可導出雙尾檢驗

$$Z = [S - \text{sgn}(S)]/V_S \quad (2-6)$$

若以 $\alpha/2$ 為顯著水準，若 $|Z| < Z_{\alpha/2}$ 成立則顯示此樣本符合原假設狀況(無趨勢)，若不成立則代表樣本帶有顯著趨勢，且 Z 值為正代表有增加趨勢，反之則具有降低的趨勢。

Hirsch 等人(1982)針對 Mann-Kendall 趨勢檢定法提出修改，提出 Seasonal Kendall 趨勢檢定法，將 m 個季節的個別檢定結果合併，並以式(6-7)計算全部統計量 S'

$$S' = \sum_{j=1}^m S_i \quad (2-7)$$

其中 S' 為測試統計量，而 S_i 為 Mann-Kendall 趨勢檢定法在 i 季的統計量 ($i=1,2,3,\dots,m$)。整體統計量應為對稱的常態分布，且其平均值應為 0，變異量 $V_{S'}^2$ 應為

$$V_{S'}^2 = \sum_{i=1}^m V_{S_i}^2 + \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{k=i+1}^m \text{cov}(S_i, S_k) \quad (2-8)$$

其中 S_i 、 S_k 分別為 Mann-Kendall 趨勢檢定在第 i 、 k 季的統計量， $\text{cov}(S_i, S_k)$ 為 S_i 、 S_k 的共變異數(covariance)，若為獨立變量則可簡化為

$$V_{S'}^2 = \sum_{i=1}^m V_{S_i}^2 \quad (2-9)$$

而 Seasonal Kendall 趨勢檢定法的常態檢定變量 Z' 為近似標準常態分布並定義如

$$Z = \begin{cases} \frac{S'-1}{V_{S'}^2} & \text{if } S' > 0 \\ 0 & \text{if } S' = 0 \\ \frac{S'+1}{V_{S'}^2} & \text{if } S' < 0 \end{cases} \quad (2-10)$$

其中 S' 為正值表示為遞增趨勢，負值為遞減趨勢。

除了上述線性回歸與無母數分析外，本計畫並應用經驗模態分解法對長期波高料來進行分析。我國黃鐸院士所提出之經驗模態分解法 (Empirical Mode Decomposition method, EMD) ^{Huang et al. (1998) [1]} 為希伯特-黃轉換(Hilbert-Huang Transform, HHT)的程序之一，被認定對於獲得非平穩(non-stationery)以及非線性(nonlinear)訊號的趨勢擁有良好效果。

EMD 法是將訊號分解成多個本質模態函數(Intrinsic Mode Function, IMF)及一個均值趨勢(mean trend)，每個 IMF 皆需滿足下列兩個條件：1.整筆資料中，局部極大值(local maxima)與局部極小值(local minima)的數目之和與跨零點(zero-crossing)的數目要相等或是最多相差一個。2.在任一時間點上，由局部極大值所定義的上包絡線(upper

envelope)與局部極小值所定義的下包絡線(lower envelope)，所得到之均值為零或幾乎為零。而經驗模態分解法流程如下：

1. 可視為找出原始時間序列函數 $y(t)$ 所有局部極大值，將所有局部極大值連接並以立方雲線(cubic spline)內插，得到上包絡線，亦利用局部極小值以相同方式獲取下包絡線，爾後利用上包絡線與下包絡線得到均值包絡線 $m(t)$ 。

2. 將原始時間序列函數 $y(t)$ 與 $m_1(t)$ 為 $h_1(t)$ 。

$$h_1(t) = y(t) - m_1(t) \quad (2-11)$$

經判別 $h_1(t)$ 不為本質模態函數，將繼續上述之程序；即以 $h_1(t)$ 為待處理訊號，重複上述步驟 k 次直到 $h_k(t)$ 滿足本質模態函數之定義，將此視為一種篩選程序(sifting process)，而 $h_k(t)$ 記為

$$c_1(t) = h_k(t) \quad (2-12)$$

3. 分解出第一個本質模態函數 $c_1(t)$ ，利用 $c_1(t)$ 與 $y(t)$ 之差值得殘餘值(residue)為 $r_1(t)$

$$r_1(t) = y(t) - c_1(t) \quad (2-13)$$

4. 當 $r_1(t)$ 不為一趨勢分量，則將 $r_1(t)$ 作為一新的時間序列函數，並重複上述步驟 1 至步驟 3，找出剩餘之本質模態函數。

經上述流程可將原始時間序列函數 $y(t)$ 分解 n 個本質模態函數為 $c_i(t)$ ， $i=1 \dots n$ 與一趨勢分量為 $r_n(t)$ ，即可表示為：

$$y(t) = \sum_{i=1}^n c_i(t) + r_n(t) \quad (2-14)$$

此外 Rilling, Flandrin and Gonçalvés (2003) 提出篩選程序中新的停止準則(stopping criterion)以避免篩選程序的篩選次數過多而破壞本質模態函數的特性；其利用兩個閾值 θ_1 與 θ_2 作為停止準則。

首先利用上包絡線及下包絡線定義出模態振幅(mode amplitude) $a(t)$ 與均值 $m(t)$ ，其公式分別表示為：

$$a(t) = (e_{\max}(t) - e_{\min}(t)) / 2 \quad (2-15)$$

$$m(t) = (e_{\max}(t) + e_{\min}(t)) / 2 \quad (2-16)$$

其中 $e_{\max}(t)$ 為上包絡線而 $e_{\min}(t)$ 為下包絡線。

再以模態振幅與均值的比值且取絕對值定義為評估函數 (evaluation function) $\sigma(t)$ ，其公式為：

$$\sigma(t) = |m(t) / a(t)| \quad (2-17)$$

藉由上述兩個閾值 θ_1 、 θ_2 及參數評估函數 $\sigma(t)$ ，使篩選程序停止篩選。其準則為在 $(1-\alpha)$ 倍的時間序列的總延時下 $\sigma(t) < \theta_1$ ，並且剩餘部分為 $\sigma(t) < \theta_2$ ；且上述參數一般預設為 $\alpha \approx 0.05$ ， $\theta_1 \approx 0.05$ 和 $\theta_1 \approx 10\theta_2$ 。波高資料為時間的函數，可利用上述之經驗模態分解法或改良其停止準則的經驗模態分解法已獲得趨勢分量為 $r_n(t)$ 再利用一階線性回歸方式來估算的年增率。

本計畫是採用國立中央大學數據研究中心所提供的 EEMD 分解程式(後文表為 EMD[Huang])與法國學者 Rilling 團隊於網路上提供的 MATLAB 程式碼(後文表為 EMD[Rilling])。其中 EMD[Rilling]即前文所述之改良式經驗模態分解法。

2.3.3 分析結果

本計畫所蒐集花蓮港波浪資料自 1990 年至 2012 年共 23 年，若忽略缺漏的資料並將其餘資料接起來進行一階線性回歸可獲得逐時資料的趨勢線，如圖 2.5 所示。圖中趨勢線之斜率為 -0.000025，換算為年增率則為 -0.009m/year，顯示花蓮港逐時波浪資料有稍微降低的長期趨勢。以月平均波高來進行長期趨勢分析則可繪製如圖 2.6，將圖中趨勢線之斜率換算為年增率為 -0.0071m/year。此外以年平均波高來進行長期趨勢分析則可繪製如圖 2.7，圖 2.7 中趨勢線年增率為 -0.008m/year。

另外除了以上述一階線性回歸方式來估算的年增率，本計畫並採用 Mann-Kendall 趨勢檢測法來進行分析，其結果顯示在顯著水準 0.05

下，花蓮港月平均波浪資料符合原假設狀況，即歸納為無趨勢的資料；然而，若採用考慮季節性變化的 Seasonal Kendall 趨勢檢定法，將每年 3~5 月、6~8 月、9~11 月及 12~2 月分為四個季節指標，在顯著水準 0.05 的情況下，花蓮港月平均波浪資料不符合原假設，是為一含有趨勢的資料集，其年增率經計算為 -0.0068m/year ，如圖 2.8 所示。

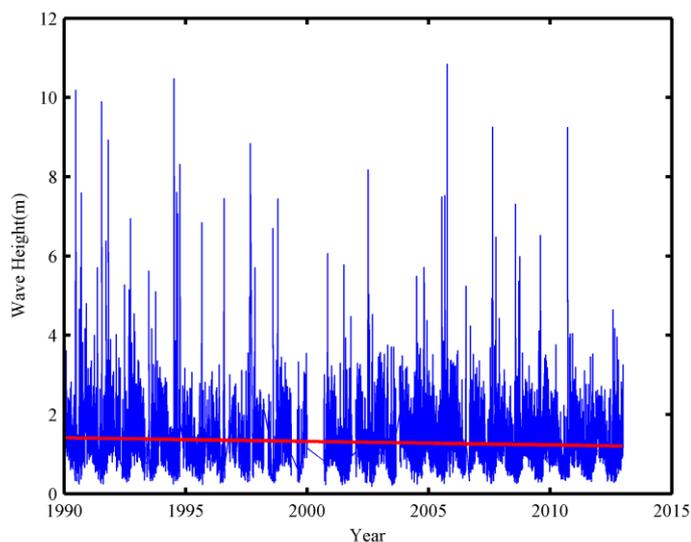


圖 2.5 花蓮港逐時波浪資料與其趨勢線

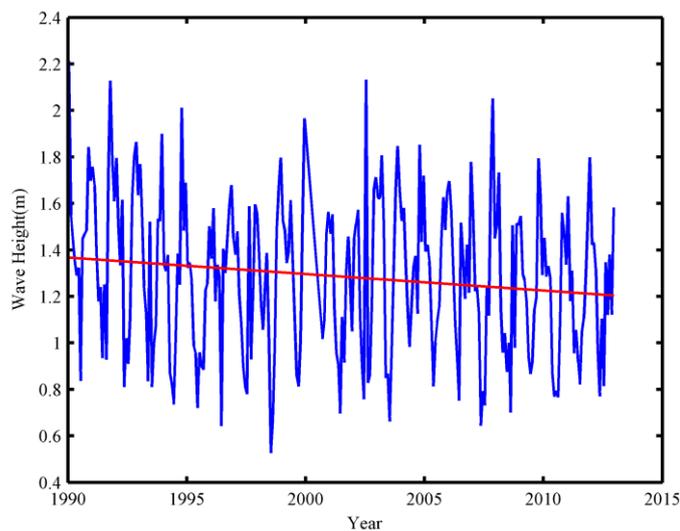


圖 2.6 花蓮港月平均波浪資料及其趨勢線

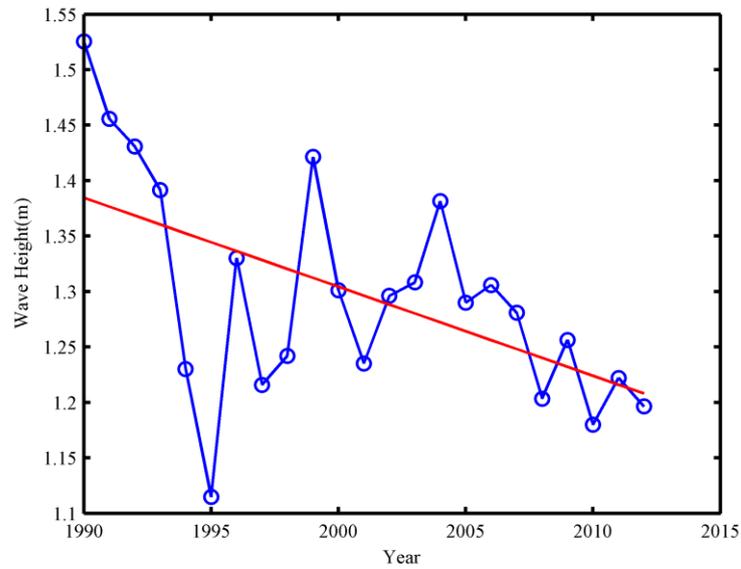


圖 2.7 花蓮港年平均波浪資料與其趨勢線

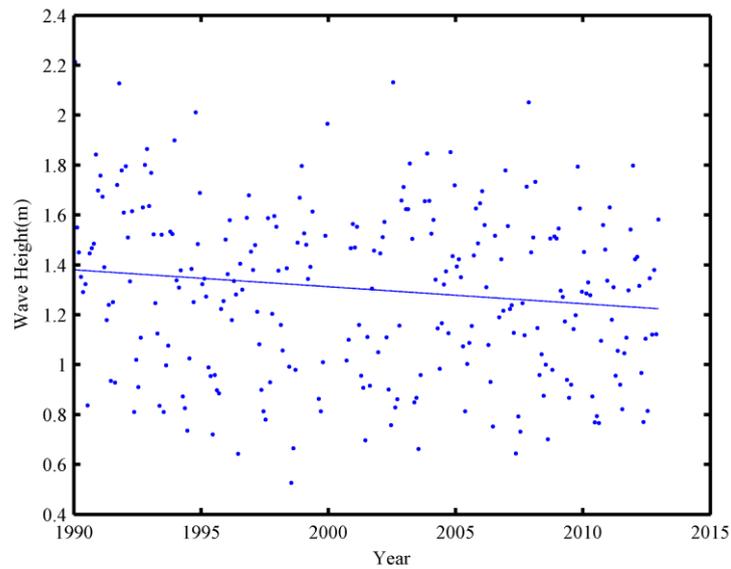


圖 2.8 花蓮港月平均波浪採用 Seasonal-Kendall 趨勢檢定法的結果

經由兩種 EMD 分解後可獲得到趨勢分量，再以一階線性回歸可獲得逐時資料的趨勢線之斜率。將花蓮港逐時波高資料進行 EMD 分解後的趨勢線示如圖 2.9。圖中藍色細線為逐時資料，紅色粗線為利用 EMD[Huang]分解後回歸所得的趨勢線，綠色粗線則為經 EMD[Rilling]分解後回歸所得的趨勢線。此外為能比較不同取樣方式對長期波高趨勢的影響，另採用波高的日平均資料、月平均資料及年平均資料來進

行分析。圖 2.10、圖 2.11 及圖 2.12 分別為以日平均、月平均及年平均波高進行 EMD 分解後的趨勢線。

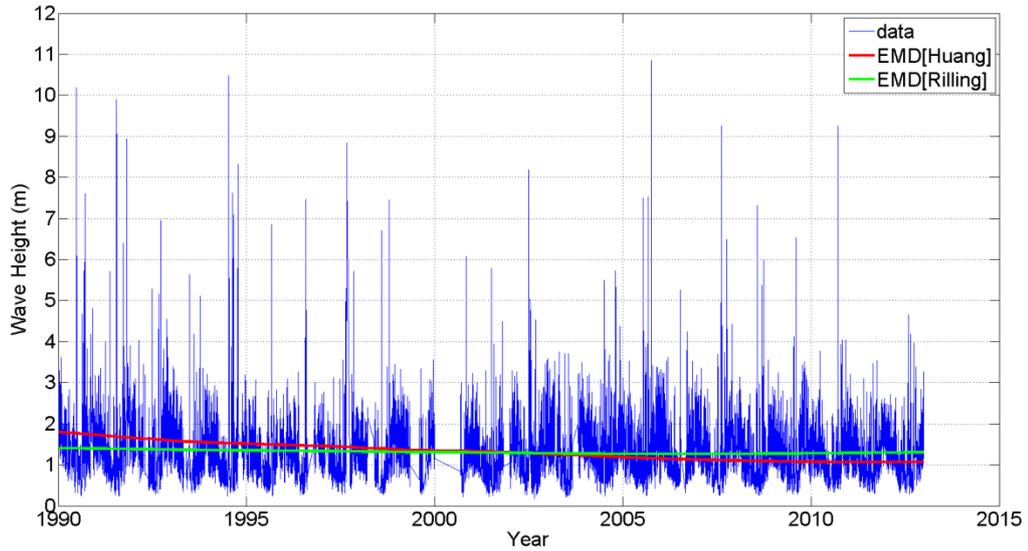


圖 2.9 花蓮港逐時波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線

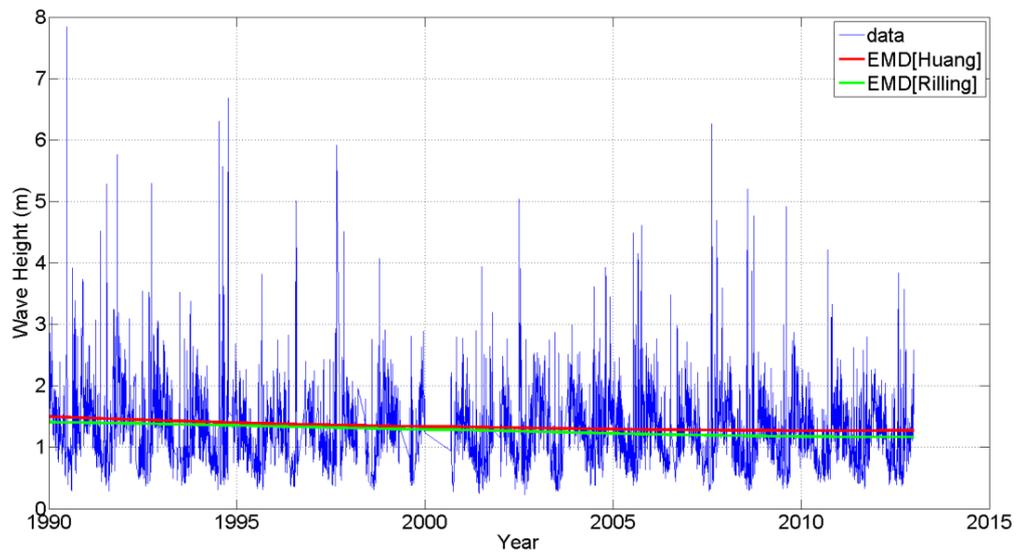


圖 2.10 花蓮港日平均波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線

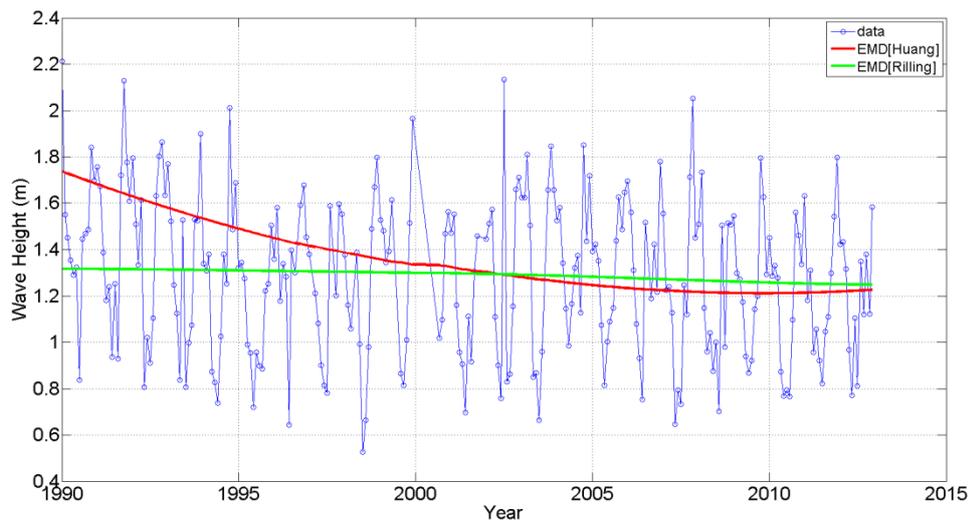


圖 2.11 花蓮港月平均波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線

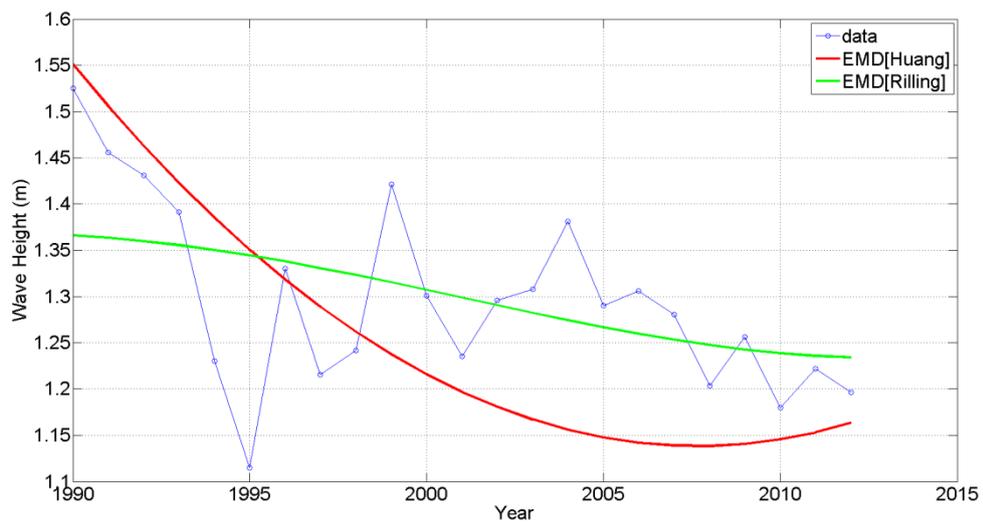


圖 2.12 花蓮港年平均波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線

經上述多種趨勢檢定方法與不同波高取樣方式所分析的結果如表 2.5 所示，其結果顯示不論是以逐時取樣、月平均或年平均取樣方式所計算出來的年增率皆為負值，雖然各種取樣方式不同造成年增率有所差異，但整體而言花蓮港自 1990 年至 2012 年間的波浪趨勢是屬於降低的。而各種方法與取樣方式的比較可以發現，線性回歸在不同取樣方式下其回歸結果相近，而兩種 EMD 分解法所得到的趨勢分析結果在不同取樣方式下有較大的差異。這兩種分解法在同樣的取樣方式下結

也並無相近的結果。本計畫所分析的結果花蓮港波高年增率為-0.0068至-0.0424 m/year。但若以趨勢檢定法的特性而言，無母數分析的Seasonal Kendall趨勢檢定法可適用於資料缺漏與週期性變化的情形，其分析結果花蓮港波高年增率為-0.0068 m/year。

表 2.5 花蓮港長期波浪趨勢分析結果

分析與取樣方式	年增率(m/year)
逐時資料線性趨勢	-0.0090
月平均線性趨勢	-0.0071
年平均線性趨勢	-0.0080
Seasonal Kendall 趨勢檢定	-0.0068
EMD[Huang](逐時)	-0.0424
EMD[Huang](日平均)	-0.0113
EMD[Huang](月平均)	-0.0240
EMD[Huang](年平均)	-0.0176
EMD[Rilling](逐時)	-0.0068
EMD[Rilling](日平均)	-0.0139
EMD[Rilling](月平均)	-0.0035
EMD[Rilling](年平均)	-0.0068

本計畫所蒐集蘇澳港波浪資料自 1999 年至 2012 年共 14 年，若忽略缺漏的資料並將其餘資料接起來進行一階線性回歸可獲得逐時資料的趨勢線，如圖 2.13 所示。圖中趨勢線之斜率為 0.000042，換算為年增率則為 0.0155m/year，顯示蘇澳港逐時波浪資料有稍微增加的長期趨勢。以月平均波高來進行長期趨勢分析則可繪製如圖 2.14，將圖中趨勢線之斜率換算為年增率為 0.0173m/year。此外以年平均波高來進行長期趨勢分析則可繪製如圖 2.15，圖 2.15 中趨勢線年增率為 0.0186m/year。

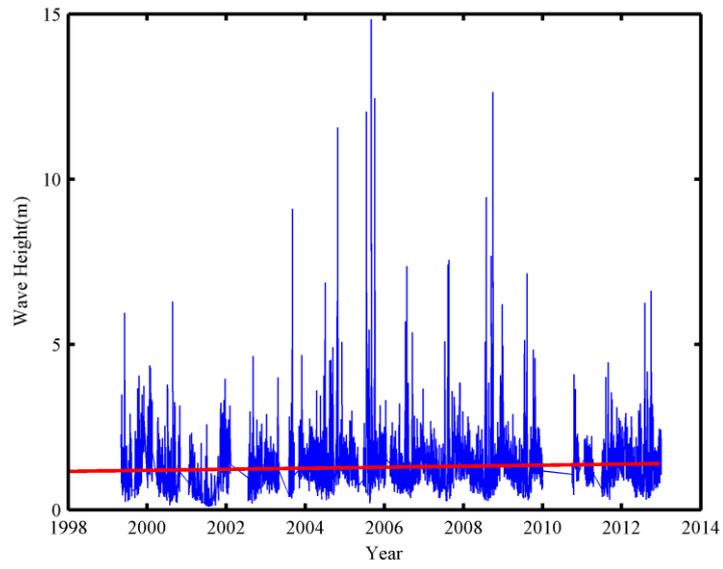


圖 2.13 蘇澳港逐時波浪資料與其趨勢線

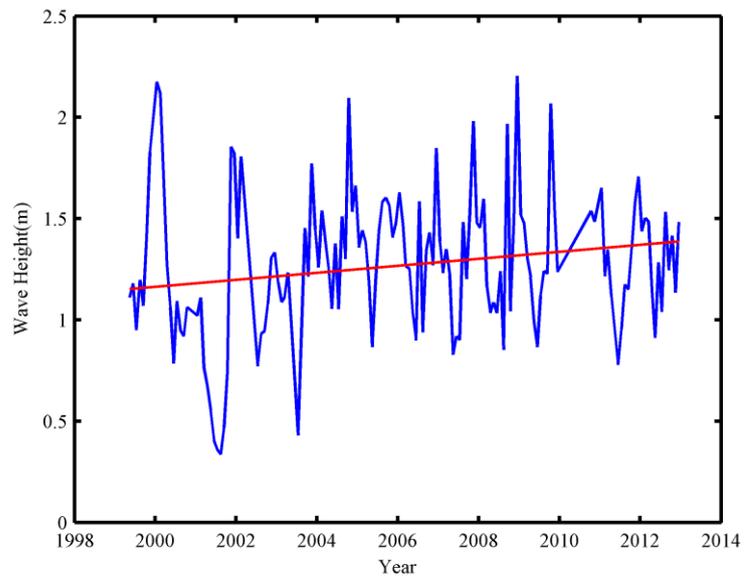


圖 2.14 蘇澳港月平均波浪資料及其趨勢線

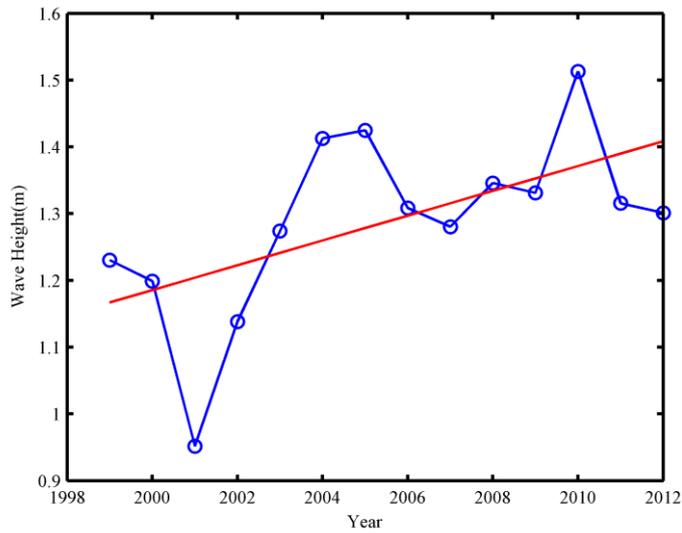


圖 2.15 蘇澳港年平均波浪資料與其趨勢線

另外除了以上述一階線性回歸方式來估算的年增率，本計畫並採用 Mann-Kendall 趨勢檢測法來進行分析，其結果顯示在顯著水準 0.05 下，蘇澳港月平均波浪資料符合原假設狀況，即歸納為無趨勢的資料；然而，若採用考慮季節性變化的 Seasonal Kendall 趨勢檢定法，將每年 3~5 月、6~8 月、9~11 月及 12~2 月分為四個季節指標，在顯著水準 0.05 的情況下，蘇澳港月平均波浪資料的不符合原假設是為一含有趨勢的資料集，其年增率經計算為 0.0133m/year，如圖 2.16 所示。

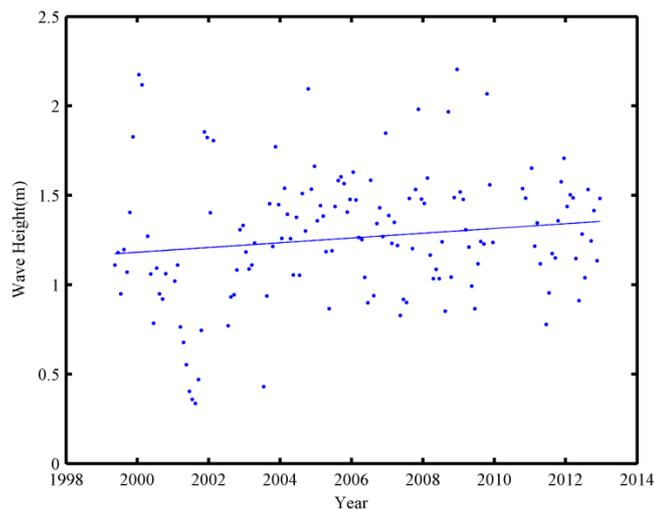


圖 2.16 蘇澳港月平均波浪採用 Seasonal-Kendall 趨勢檢定法的結果

將蘇澳港逐時波高資料進行 EMD 分解後的趨勢線示如圖 2.17。圖中藍色細線為逐時資料，紅色粗線為利用 EMD[Huang]分解後回歸所得的趨勢線，綠色粗線則為經 EMD[Rilling]分解後回歸所得的趨勢線。此外另採用波高的日平均資料、月平均資料及年平均資料來進行分析。圖 2.18、圖 2.19 及圖 2.20 分別為以日平均、月平均及年平均波高進行 EMD 分解後的趨勢線。

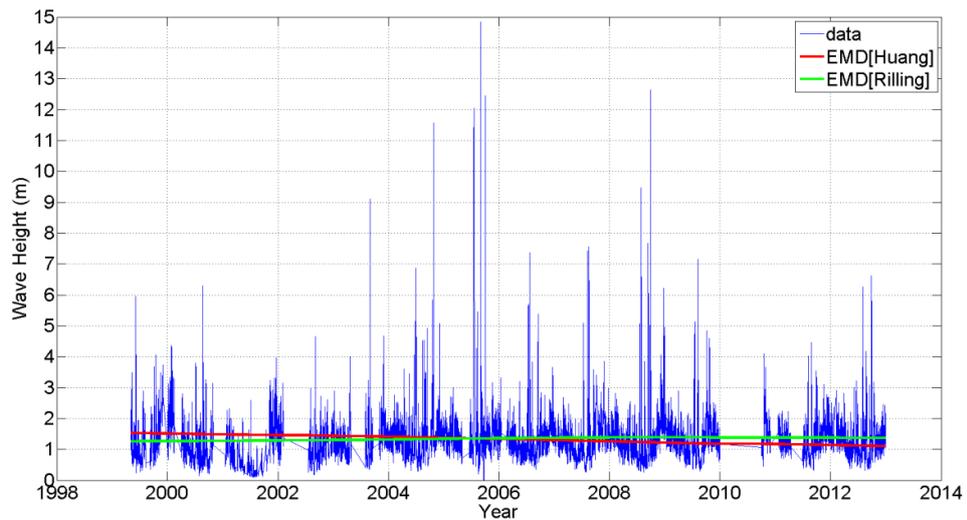


圖 2.17 蘇澳港逐時波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線

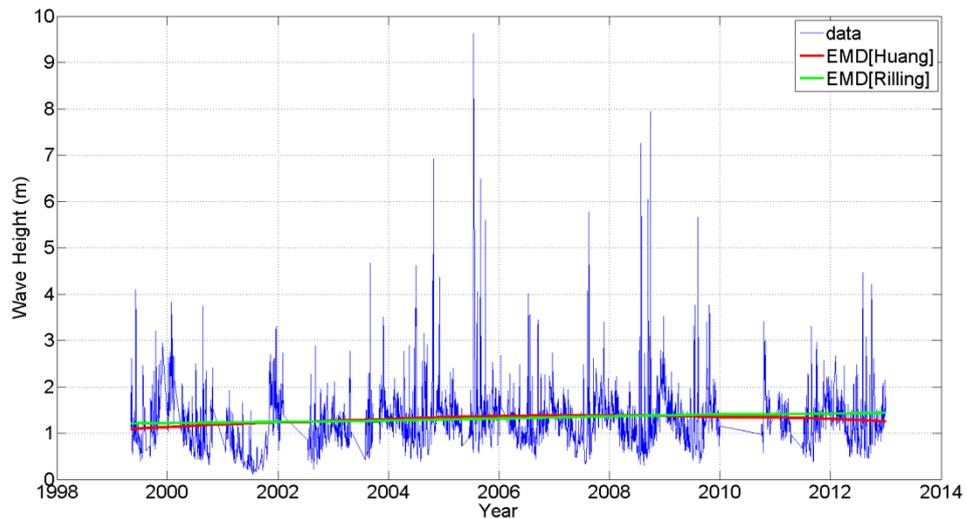


圖 2.18 蘇澳港日平均波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線

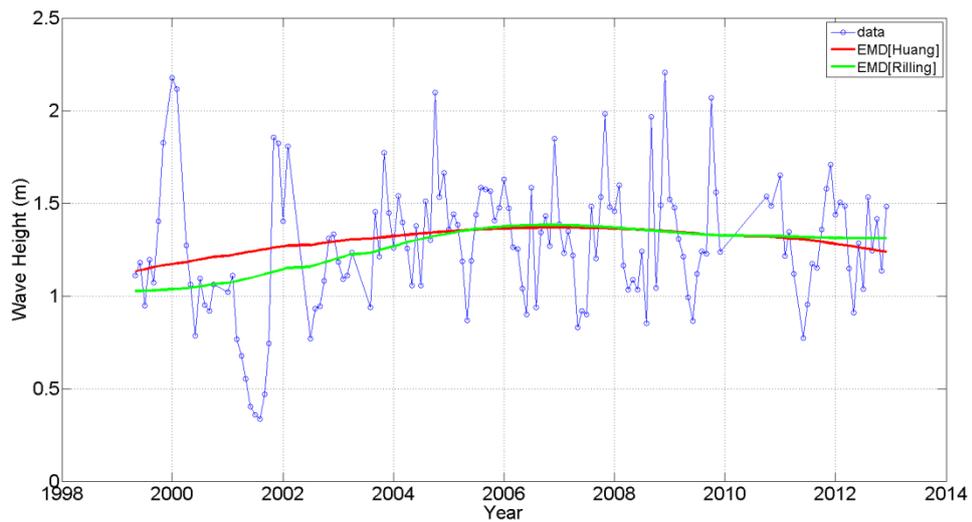


圖 2.19 蘇澳港月平均波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線

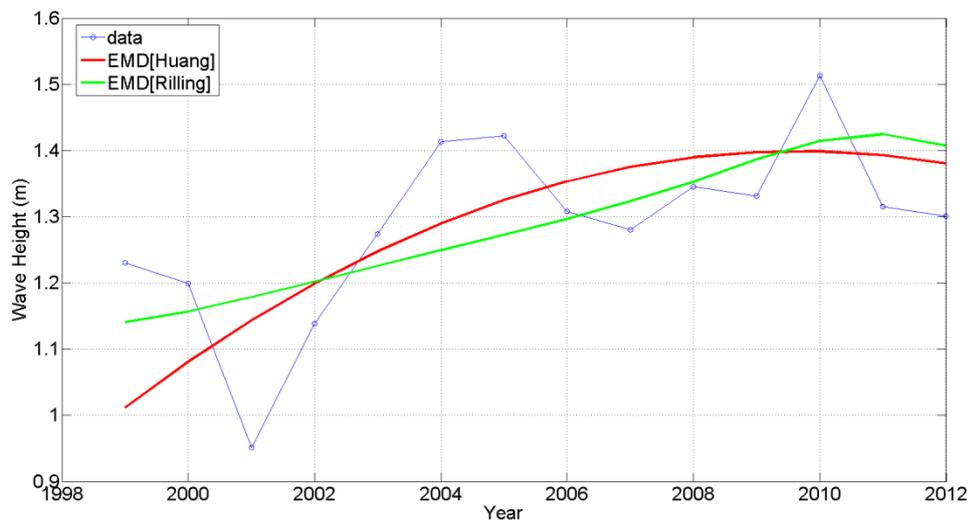


圖 2.20 蘇澳港年平均波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線

經多種趨勢檢定方法與各種資料取樣方式的分析結果如表 2.6，其結果顯示不論是以逐時取樣、月平均或年平均取樣方式所計算出來的結果除了 EMD[Huang]逐時樣本之外年增率皆為正值，雖然各種取樣方式不同造成年增率有所差異，但整體而言蘇澳港自 1999 年至 2012 年間的波浪趨勢是屬於增加的。而各種方法與取樣方式的比較可以發現，線性回歸在不同取樣方式下其回歸結果相近，而兩種 EMD 分解法在同樣的取樣方式下結也較無一致的结果，其中 EMD[Huang]在不同取樣狀

況下其結果差異較大，尤其是在逐時資料的分析結果取其他趨勢分析方法有很大的差異。本計畫所分析的結果蘇澳港波高皆屬於逐年增加的，不考量差異較大的分析結果其年增率為 0.0090 至 0.0284 m/year。但若以趨勢檢定法的特性而言，無母數分析的 Seasonal Kendall 趨勢檢定法可適用於資料缺漏與週期性變化的情形，其分析結果蘇澳港波高年增率為 0.0133 m/year。

表 2.6 蘇澳港長期波高趨勢分析結果

分析與取樣方式	年增率(m/year)
逐時資料線性趨勢	0.0155
月平均線性趨勢	0.0173
年平均線性趨勢	0.0186
Seasonal Kendall 趨勢檢定	0.0133
EMD[Huang](逐時)	-0.0429
EMD[Huang](日平均)	0.0162
EMD[Huang](月平均)	0.0090
EMD[Huang](年平均)	0.0284
EMD[Rilling](逐時)	0.0134
EMD[Rilling](日平均)	0.0234
EMD[Rilling](月平均)	0.0252
EMD[Rilling](年平均)	0.0235

第三章 類神經颱風波浪推算模式之建立

根據港灣技術研究中心所提供之蘇澳港波浪資料，紀錄時間為1999年5月至2012年12月。其中有四段較長期資料缺漏的時間：1. 2000年11月至2001年1月；2. 2002年2至7月；3. 2003年5月至7月；4. 2010年1月至9月，其餘波浪資料大致上完整。本研究選取 H_5 (示性波高)作為實測波高資料，即以波群中依照大小排序，取前1/3大的個別波波高平均值來代表波浪的大小，其在統計特性上，具安定性且較能反映波浪所含之能量大小，是最常使用的代表波。(郭，2001)

颱風資料取自日本國土交通省氣象廳(簡稱JMA)的RSMC-Tokyo Center 颱風氣象資料，颱風的名稱、發生時間與行進路徑皆採用RSMC-Tokyo Center 發佈的資料為準，時間格式以臺灣的所在時區為準。RSMC-Tokyo Center 所發佈之颱風資料，為每6小時一筆，而港灣技術研究中心之波浪資料為每1小時一筆，為配合波浪資料之時間間距，本研究將颱風氣象資料(經緯度、中心氣壓、近中心最大風速)，利用三次多項式內插，將其時間間距內插為1小時一筆。再依據各場颱風路徑資訊與目標推算點相對位置來挑選合適的颱風作為模式的建立與驗證之用。建立類神經颱風推算模式需要考慮資料的品質與完整性，本研究考慮每場颱風對應之波浪資料之完整性及相關性，故在模式建立前必須剔除對應波浪資料不完整的颱風，本研究選擇對應蘇澳港實測波浪資料完整之颱風共47場，如表3.1所示。

表 3.1 選取用來建立蘇澳港模式的颱風資訊與其對應最大波高

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大風速 (knot)	最大波高 (m)
1999	瑪姬	MAGGIE	75	5.96
2000	碧利斯	BILIS	110	6.30
2001	西馬隆	CIMARON	50	2.02
2001	尤特	UTOR	60	2.58
2002	辛樂克	SINLAKU	80	4.65
2003	柯吉拉	KUJIRA	90	4.00
2003	莫拉克	MORAKOT	45	2.82
2003	柯羅旺	KROVANH	65	3.24

續表 3.1 選取用來建立蘇澳港模式的颱風資訊與其對應最大波高

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大風速 (knot)	最大波高 (m)
2003	杜鵑	DUJUAN	80	9.10
2004	妮妲	NIDA	95	3.45
2004	康森	CONSON	80	2.38
2004	電母	DIANMU	100	4.06
2004	敏督利	MINDULLE	95	6.87
2004	蘭寧	RANANIM	80	4.51
2004	艾利	AERE	80	4.53
2004	海馬	HAIMA	40	4.92
2004	陶卡基	TOKAGE	85	5.84
2004	納坦	NOCK_TEN	85	11.57
2004	南瑪都	NANMADOL	90	5.07
2005	海棠	HAITANG	105	12.04
2005	馬莎	MATSA	80	4.27
2005	泰利	TALIM	95	14.84
2005	卡努	KHANUN	85	2.85
2005	龍王	LONGWANG	95	12.45
2006	珍珠	CHANCHU	95	3.21
2006	艾維尼	EWINIAR	100	3.00
2006	碧利斯	BILIS	60	5.70
2006	凱米	KAEMI	80	7.37
2006	珊珊	SHANSHAN	110	5.37
2007	聖帕	SEPAT	110	7.56
2007	韋帕	WIPHA	100	3.59
2007	米塔	MITAG	80	3.85
2008	卡玫基	KALMAEGI	65	5.08
2008	鳳凰	FUNG_WONG	75	9.46
2008	如麗	NURI	75	3.85
2008	辛樂克	SINLAKU	100	7.68
2008	哈格比	HAGUPIT	90	5.02
2008	薔蜜	JANGMI	115	12.64
2009	莫拉菲	MOLAVE	65	5.14
2009	莫拉克	MORAKOT	75	7.15
2011	梅花	MUIFA	95	4.02
2011	南瑪都	NANMADOL	100	4.46
2012	瑪娃	MAWAR	75	3.01
2012	杜蘇芮	DOKSURI	40	2.48
2012	蘇拉	SAOLA	70	6.26
2012	三巴	SANBA	110	3.09
2012	杰拉華	JELAWAT	110	6.62

資料來源：本計畫整理

表 3.1 中顯示在 1999 至 2012 年中有 47 場颱風擁有相對應完整的波浪資料，其中對應波高小於 3m 的有 7 場，在往昔的觀念中會認為這幾場颱風對波浪造成的影響較小，若將此類颱風納入學習資料中可能會造成不良的結果，但本研究考慮必須適當選取對研究目標蘇澳港影響較小的學習颱風進行輸入，可透過距離與角度等參數等輸入，讓模式能完整學習在不同角度與距離下颱風對蘇澳港不造成影響的情況。波高在 3m 至 5m 間的有 17 場占最多數，5m 至 7m 有 12 場，7m 至 9m 有 4 場，9m 至 11m 有 2 場，11m 以上則有 5 場。對於蘇澳港而言，其港區位置位於臺灣東部的海岸，會受到冬季季風作用而產生較大的季節風浪，而其他季節若發生較大波浪一般都是颱風所造成。能明顯與季節風作用的季節有所分別，較不易造成誤判，但選用模式訓練用之颱風時，需注意是否有雙颱風同時影響的現象，若有則須進行剔除。

雖然大部分的侵台颱風路徑皆是由東向西行，但若颱風是由臺灣西部往東部行徑，颱風結構容易受到中央山脈阻擋而造成結構鬆散，依往昔經驗這類型的颱風受到高山的屏障效應，對於台灣東部各港的影響就會變小，而颱風的最大示性波高就會偏低。從歷年的臺灣地區颱風路徑分類統計圖(圖 3.1)可發現，較可能對蘇澳港造成直接影響的路徑為第一路徑、第二路徑、第三路徑及第六路徑等。其餘路徑受到地形以及高山的屏障影響，是需要考慮的因素。因此本計畫針對蘇澳港 47 場颱風的所有時間序列中的颱風位置與相對應蘇澳港波高值作一空間分布的特性分析，其結果如圖 3.2 所示。圖中為本研究所選取 47 場颱風的空間位置分布，各點位所對應的顏色為蘇澳港的波高值，色調越暖代表波高越高；色調越冷則對應波高越低。由於資料點太多所以不顯示 3m 以下的波高點，深藍色代表波高介於 3m 至 5m 的資料點，淺藍色代表波高介於 5m 至 7m 間的資料點，綠色代表 7m 至 9m 間的資料點，黃色為 9m 至 11m 間的資料點，紅色則代表發生 11m 以上波高的資料點。

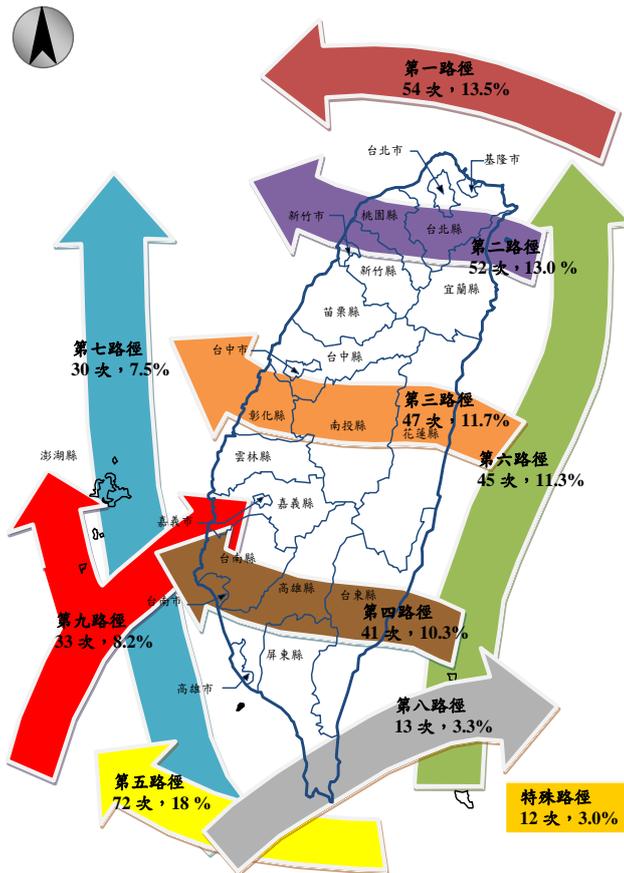


圖 3.1 臺灣地區颱風路徑分類圖(1897-2010 年)(引自中央氣象局)

圖 3.2 中發現對蘇澳港波浪造成最大影響的颱風中心位置是在宜蘭、花蓮外海處，見圖中紅色資料點(對應波高 11m 以上)，黃色資料點(對應波高 9m 至 11m)與綠色資料點(7m 至 9m)雖主要分布宜蘭、花蓮外海處，但西海岸與基隆東北海岸及西南風小琉球外海也有出現，淺藍色資料點(對應波高 5m 至 7m)則分布於台灣周邊，較無法明顯看出受中央山脈阻隔而產生的影響。為能標出各資料點與蘇澳港的相對距離，故以蘇澳港為中心繪製半徑 500km 與半徑 1000km 的分界線，圖 3.2 中可發現紅色、黃色及綠色資料點皆發生於半徑 500km 的距離內，顯示以蘇澳港而言，颱風只有在中心距離靠近蘇澳港 500km 以內才有機會造成 7m 以上的示性波高。

在所選用的 47 場颱風中，其中所造成最大示性波高大於 9m 對於蘇澳港有較大影響之杜鵑(DUJUAN, 2003)、納坦(NOCK-TEN, 2004)、

海棠(HAITANG, 2005)、泰利(TALIM, 2005)、龍王(LONGWANG, 2005)、鳳凰(FONGWONG, 2008)、薔蜜(JANGMI, 2008)等，其路徑除了杜鵑為第五路徑外，其餘皆屬直撲蘇澳港登陸台灣本島的第二、第三路徑。這些對蘇澳港影響較大的颱風也就是圖 3.2 中紅色及黃色資料點(波高 9m 以上)。

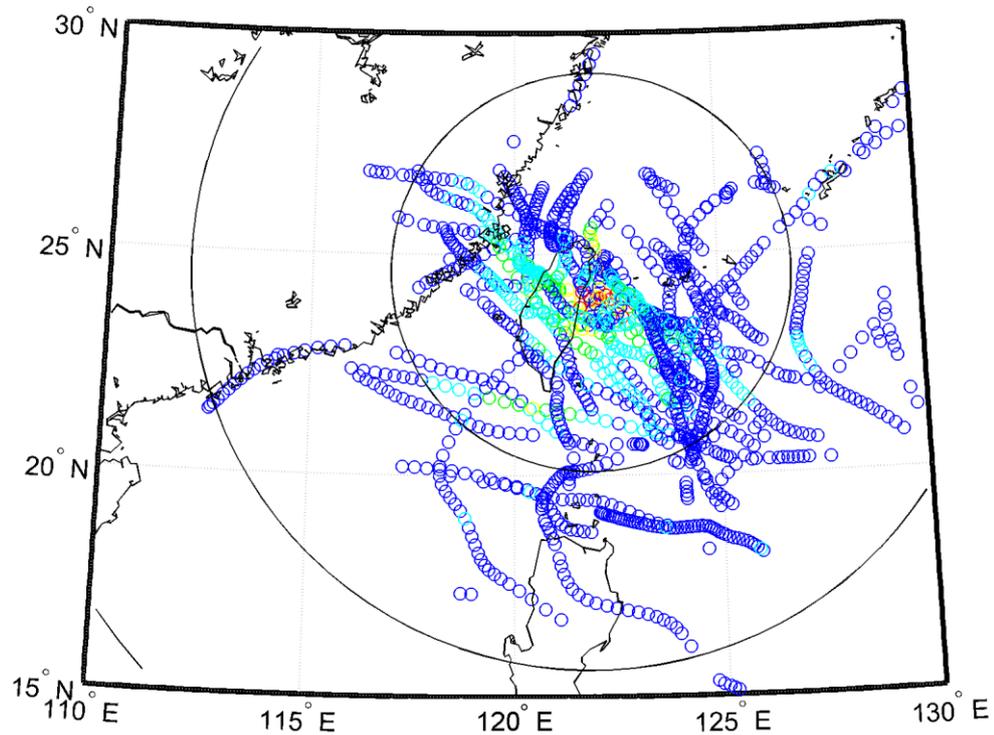


圖 3.2 颱風中心位置與相對應蘇澳港波高資料空間分布圖

3.1 類神經颱風波浪模式

3.1.1 類神經網路架構

類神經網路具備著一些優良的特性其中包括(1)高速的計算能力(2)自我學習能力(3)高容量的記憶力(4)容錯的能力。

人工神經元輸出值與輸入值的關係式，可以表示如下：

$$Y_i = f\left(\sum_j W_{ij} X_j - \theta_i\right) \quad (3-1)$$

其中， Y_i 為人工神經元模型的輸出訊號； f 為人工神經元模型的轉換函數(transfer function)，將人工神經元的輸出，經由轉換函數處理後，得到輸出訊號； W_{ij} 為人工神經元模型連結加權值； X_j 為人工神經元模型的輸入訊號； θ_i 為人工神經元模型的閾值。

本研究使用 MATLAB 類神經網路軟體，選擇其中的工具程式庫之倒傳遞網路作為颱風推算的工具。倒傳遞類神經網路(back-propagation neural network, BPNN)，屬於前向監督式學習網路，其基本原理是利用最陡坡降法(gradient steepest descent method)，疊代修正誤差函數而使誤差函數達到最小。倒傳遞類神經網路的總體運作學習方式有兩種，一為學習過程，就是網路依既定的學習演算法，從使用的輸入資料中學習，並藉以調整網路連結的加權值；使得網路演算結果與目標輸出值相同；另一種為回想過程，網路依照設定的回想法則，以輸入資料來決定網路的輸出值。

倒傳遞類神經網路學習演算法中，加權值矩陣為 W_1 及 W_2 ，偏權值量為 θ_1 及 θ_2 ，輸入量為 X ，目標輸出量為 T ，轉換函數則採用雙曲函數(hyperbolic tangent function)，而網路輸出量為 Y ，網路的學習過程大致可分為下列幾個單元：

(1) 計算隱藏層輸出量 Z 與網路輸出量 Y

$$net_1 = \sum_i W_{1i} X_i - \theta_1 \quad (3-2)$$

$$Z = f(net_1) = \frac{e^{net_1} - e^{-net_1}}{e^{net_1} + e^{-net_1}} \quad (3-3)$$

$$net_2 = \sum_j W_{2j} X_j - \theta_2 \quad (3-4)$$

$$Y = f(net_2) = \frac{e^{net_2} - e^{-net_2}}{e^{net_2} + e^{-net_2}} \quad (3-5)$$

(2) 計算隱藏層差距量 δ_1 與輸出層差距量 δ_2

$$\delta_1 = Z(1-Z) \sum_j (W_{2j} \delta_j) \quad (3-6)$$

$$\delta_2 = (1+Y)(1-Y)(Z-Y) \quad (3-7)$$

(3) 計算加權值矩陣的修正量 ΔW

由於監督式學習目的在降低網路的目標輸出值 T_j 與網路輸出值 Y_j 之間的差距，為了達到這個目的，以誤差函數 E 做為修正的加權值指標，並藉由轉換函數降低誤差函數值，誤差函數 E 設為：

$$E = \frac{1}{2} \sum_j (T_j - Y_j)^2 \quad (3-8)$$

此時加權值的修正量可表示為：

$$\Delta W = -\eta \cdot \frac{\partial E}{\partial W} \quad (3-9)$$

$$\frac{\partial E}{\partial W_{ij}} = -\delta_j^n A_i^{n-1} \quad (3-10)$$

其中 η 為學習速率(learning rate)，主要控制每次誤差函數最小化的速率快慢， δ_j^n 為 W_{ij} 所連結第 n 層之處理單元差距量， A_i^{n-1} 為 W_{ij} 所連結第 $n-1$ 層之處理單元值。

(4) 隱藏層與輸出層加權值矩陣 W_1 、 W_2 及偏權值向量 θ_1 、 θ_2 的更新：

$$W_1 = W_1 + \Delta W_1 \quad (3-11)$$

$$\theta_1 = \theta_1 + \Delta \theta_1 \quad (3-12)$$

$$W_2 = W_2 + \Delta W_2 \quad (3-13)$$

$$\theta_2 = \theta_2 + \Delta \theta_2 \quad (3-14)$$

當倒傳遞類神經網路經過輸入值與目標輸出值一次的學習，便算是經過一個學習的循環，而學習循環的次數將取決於誤差函數收斂與否以及是否達到容許的誤差量。一般而言，倒傳遞類神經網路較其他的類神經網路需要較多的學習循環次數。由測試用的資料數據，利用學習完成的網路參數進行網路回想的過程，由網路回想過程得到的網路輸出值與目標輸出值比較，以評估網路學習的精度。

類神經網路模式採用倒傳遞類神經網路架構(Backpropagation Neural Network, BPNN)，關於倒傳遞神經網路的理論與演算詳見 Eberhar and Dobbins (1990)的說明與推導。倒傳遞類神經網路對於線性及非線性函數有良好的模擬能力，而類神經網路在適當的結構組織下能夠模擬有限範圍的隨機函數，也就是類神經結構擁有極佳的記憶能力，模擬能力的好壞受限制於學習資料的完整性及類神經網路結構。

倒傳遞類神經網路藉由學習資料與模擬結果的誤差修正各個加權值，同時藉由學習的過程建構正確的輸入參數與輸出值間的關係。對於具有一個隱藏層的倒傳遞類神經網路通常表示為：

$$O_{P \times 1} = f(W_{S \times R} I_{R \times 1} + b_{S \times 1}) \quad (3-15)$$

其中 $O_{P \times 1}$ 為神經網路具有 P 個向量的輸出矩陣， f 為轉移函數， $I_{R \times 1}$ 為具有 R 個向量的輸入矩陣， $W_{S \times R}$ 為具有 S 個神經元的神經網路權重矩陣， $b_{S \times 1}$ 為網路偏權值矩陣。式(15)簡單的表示方法為 ” S - P ”，所以一個具有 2 個隱藏層神經元的個數分別為 10 及 20，且一個輸出單元時，簡單的表示法為 1-10-20-1。

在使用倒傳遞網路的首先必須決定隱藏層的層數，以確定網路的大小，方能建構一個好的模式。在許多理論研究的結果與工程領域的模擬應用上都顯示，大多數問題可藉由單層隱藏層的架構來處理，2 層以上的架構是用來處理更複雜的問題以及非線性的關係，隱藏層層數的決定在不同的研究或問題中有不同的結論(Chester, 1990; Hayashi 等, 1990; Kurkova, 1992; Hush 和 Horne, 1993)。

類神經網路架構的建置包括輸入層、隱藏層及輸出層，輸入層與輸出層都可以由現有的資訊以及問題本身決定，系統的控制因子或影響因子決定輸入層的神經元個數，系統的預測變數決定輸出層的神經元個數。輸入項資料建議先經過前處理，將資料正規化至一定的範圍間，如此可在網路訓練前考慮輸入參數與輸出值的極端狀況，來確定網路輸入與輸出的值域，且經過處理後的訓練資料，可以讓訓練時權重調整的速率相近。當決定隱藏層的層數後，各隱藏層神經元個數的

多寡對網路有相當大的影響，過少的神經元個數無法建構適當的網路來描述問題，過多的神經元個數則造成網路自由度過高，進而難以控制網路訓練的目標造成過度學習的狀況，甚至隱含了雜訊的描述，而失去歸納推演的能力。選取的隱藏層神經元個數一般須經由測試來避免網路結構太過複雜或太過簡單，以往研究結果建議可採用 Huang 和 Foo (2002)提出的經驗公式

$$h = 2z + 1 \quad (3-16)$$

其中， z 為輸入層的神經元個數， h 為隱藏層神經元個數。

3.1.2 資料分類

本計畫依循往昔交通部運輸研究所港灣技術研究中心『臺灣主要港口附近海域長期波浪統計特性及設計波推算之研究』研究中所採用的資料與分類方式來建立蘇澳港波浪推算模式，對於颱風風速及路徑變化我們採用群集分析法(cluster analysis)對颱風資料進行分類，獲得各特性不同的分類群後再將各分類群以三分之二與三分之一的比例分為學習資料與驗證資料，即可獲得相同特性的學習資料與驗證資料。此方式可以確保學習資料包含各種不同的特性，以避免類神經在學習階段為了保留驗證資料而未學到該有的特性。

3.1.3 模式輸入與輸入層轉換函數

RSMC-Tokyo Center 的颱風氣象資料包括颱風經緯度、中心最大風速及中心氣壓，為了使類神經模式輸入的資訊更為精細與明確，本研究利用這三項颱風資料計算出 5 個類神經的輸入參數，分別為：1. 颱風與目標點距離(D)、2. 颱風中心對目標點的方位角(θ_1)、3. 颱風侵襲角(θ_3)、4. 目標點海面 10m 風速(V)、5. 目標點上空風向(V_{deg})。由經緯度資料可計算：颱風與目標點距離(D)、颱風中心對目標點的方位角(θ_1)、颱風移動方位角(θ_2)，距離與方位角只需透過颱風中心座標與目標點座標即可計算。 θ_1 與 θ_2 如圖 3.3 所示。

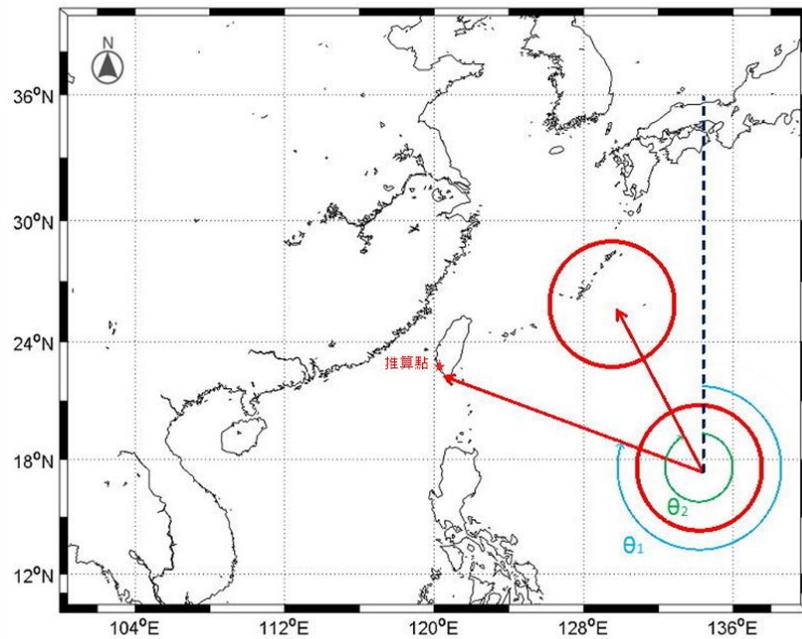


圖 3.3 颱風中心對目標點方位角 θ_1 與颱風移動方位角 θ_2 示意圖

因北半球的颱風為逆時鐘旋轉，以颱風前進方向為中心來看，其右半圓較左半圓的風力大，故目標點所面臨的是颱風的左半圓或右半圓對於模式推算來說是一個需要考量的因素。本研究透過颱風移動方位角減去颱風中心對目標點方位角($\theta_3 = \theta_2 - \theta_1$)來定義目標點所面臨的颱風結構(左右半圓)， θ_3 定義為颱風侵襲角。以圖 3.3 狀況為例，颱風中心是由圖中右下往左上方移動，目標點目前所面臨的是颱風的左半圓。由以上關係可知，若 θ_3 在 0° 至 180° 則目標推算點所面臨的是颱風的左半圓，反之，若 θ_3 在 0° 至 -180° 則目標推算點所面臨的是颱風的右半圓。圖 3.3 中 θ_1 小於 θ_2 ，故 θ_3 為正值，顯示目標點面臨的是颱風的左半圓。

由經緯度資料再搭配中心最大風速與中心氣壓資料經由 RVM 模型颱風模式 (Rankin-Vortex Model) 可計算：目標點海面 10m 風速(V)、目標點上空風向(V_{deg})。RVM 係模擬颱風風場架構，在資料齊全的條件下，風場可由氣壓分佈推算而得。然而，在絕大多數情形下，氣壓分佈資料取得不易，由氣壓分佈資料去產生風場較為困難。一般而言，當颱風成形後，因其內部氣壓低導致環繞周圍的空氣由外邊高壓處向

低壓的氣旋中心流動，因海面上颱風中心附近之氣壓分佈具有對稱性，故熱帶氣旋所造成之風場可利用風場模式推算之。其理論公式如下：

$$V_r = \begin{cases} V_{\max} (R/R_m)^7 \exp(7(1-R/R_m)) & \text{for } R < R_m \\ V_{\max} \exp((0.0025R_m + 0.05)(1-R/R_m)) & \text{for } R \geq R_m \end{cases} \quad (3-17)$$

其中， V_r 為距颱風中心 R 公里處之旋轉風速， R_m 為最大暴風半徑， V_{\max} 為近中心最大風速。有關最大暴風半徑 R_m 之計算，本研究採 Graham 和 Nunn (1959) 之公式：

$$R_m = 28.52 \tanh(0.0873(\phi - 28)) + 12.22 / \exp((P_\infty - P_c) / 33.86) + 0.2V_f + 37.22 \quad (3-18)$$

其中， ϕ 為緯度， P_c 為中心氣壓，而 P_∞ 為距颱風中心無限遠處之氣壓，可設定為 1 大氣壓(1013.3mb)。旋轉風速係指純粹由氣壓差所產生之風速，當颱風中心靜止不動時，旋轉風速即為颱風中心附近之風速，當颱風在移動時，則應加上修正風速

$$V_t = 0.5V_f \cos \varphi \quad (3-19)$$

其中， V_f 為颱風中心前進速度，而 φ 為至颱風中心連線與最大風速連線兩條線之間的夾角。其相互關係如圖 3.4 所示。颱風中心前進方向與最大風速連線之間夾角約 115 度，而風速總和 V 則為 $V_r + V_t$ 。

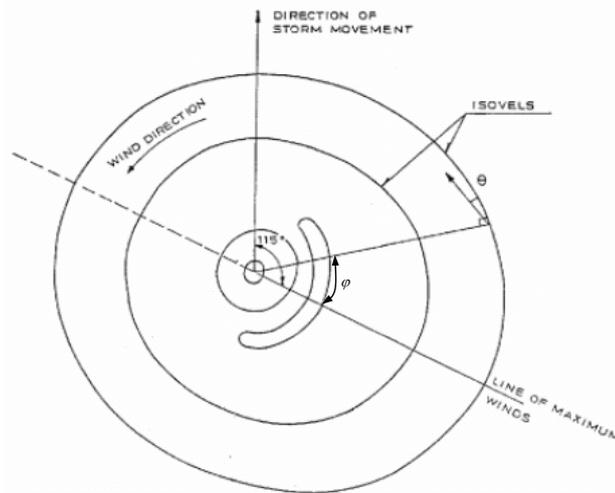


圖 3.4 氣旋中心附近風速風向分佈示意圖

颱風中心附近之風向，係沿著等壓線依至氣旋中心之距離向氣旋中心偏移 10~25 度。偏移角度之計算公式如下：

$$\theta = \begin{cases} 10^\circ & \text{for } 0 < R \leq R_m \\ 10^\circ + 15^\circ(R - R_m)/(0.2R_m) & \text{for } R_m < R \leq 1.2R_m \\ 25^\circ & \text{for } 1.2R_m < R \end{cases} \quad (3-20)$$

由以上之說明可知，利用 RVM 模型颱風模式計算的風場，颱風中心前進速度 V_f 與方向 ϕ 、中心氣壓 P_c 及近中心最大風速 V_{max} ，可由颱風記錄直接輸入，而後即可算出目標點海面 10m 風速 V 以及目標點上空風向 V_{deg} 。本研究在輸入參數的選擇上，挑選了具有能夠代表颱風遠近特性、位置特性、左右不對稱性，共三個輸入參數 D 、 θ_1 、 θ_3 ，以及能夠代表目標點特性的風速與風向，共兩個輸入參數 V 、 V_{deg} 。以下針對上節所計算之五個參數做進一步的探討。

(1) 目標點 10m 風速 V ：

颱風接近目標點時，驅動波浪最主要的動力為風，風的起因是由於颱風中心低氣壓與外部壓力的差異造成壓力梯度的變化，此壓力梯度使得空氣劇烈的流動形成風。利用 RVM 模型颱風模式計算風速時，只需要輸入目標點座標以及颱風逐時座標與逐時中心氣壓，但其並未考慮陸地上受到地形或是山脈的遮蔽影響，若要以傳統的統計方法、歸納或是理論方法計算地形影響亦不容易，所以本研究將目標點風速 V 配合其他輸入參數一起輸入類神經網路進行學習，以期能解決複雜的地形影響。

(2) 颱風與目標點距離 D ：

颱風與目標點的距離越近，對目標點當地波浪的影響就越大，意即距離 D 越小，波高值會越大。以本研究所收集的颱風資料相對應之蘇澳港波浪資料來繪製距離-波高分布圖，如圖 3.5 所示。圖中顯示雖然颱風距離與目標點波高大致上呈現反比，但在距離小時仍會有許多波高小的狀況發生(圖中左下角密集區)，這顯示颱風因為其他因素例如

颱風減弱、陸地遮蔽或陸域地形造成風場的衰減，使得目標點波高降低，距離與波高值並非單純的呈現反比關係。另外也可發現在颱風距離目標點 2000km 以上，出現波高 3m 的數量明顯的變少，故本研究將排除 2000km 以上的資料點，並將剩餘資料點距離除以 2000km 來作正規化再以 1 減之，將原本反比之關係修改為正比關係再輸入類神經。

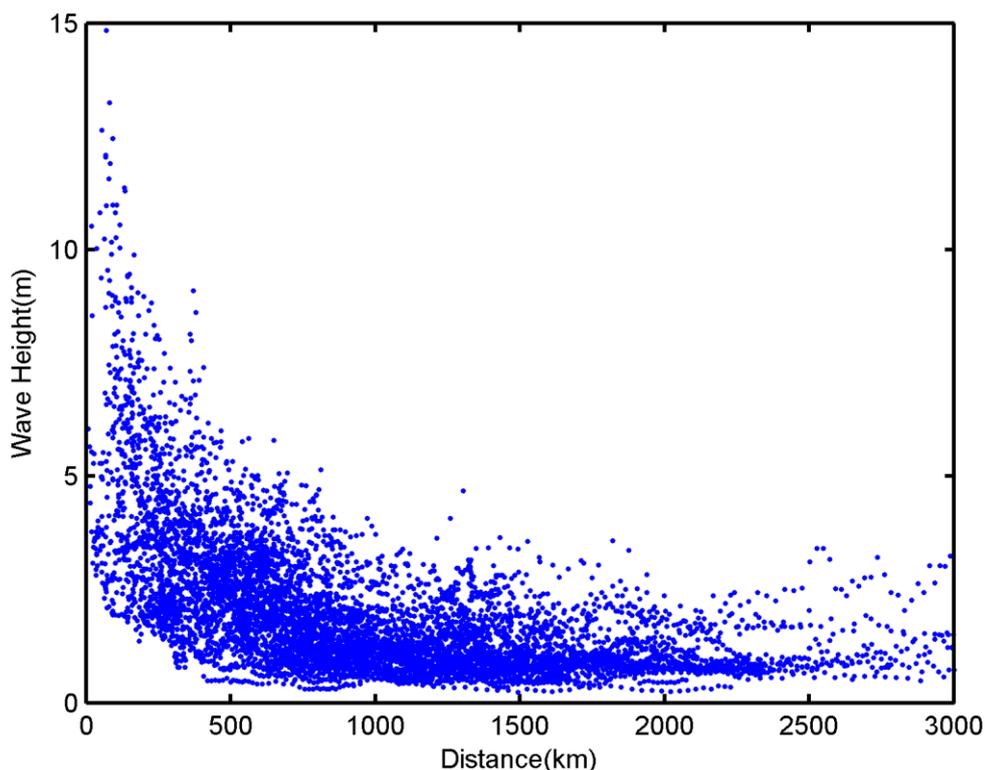


圖 3.5 颱風距離與目標點波高分布

(3) 目標點的方位角 θ_1 ：

由目標點的方位角可以計算目標點是在颱風中心的哪一個方位，本研究設定正北為 0° ，若 θ_1 為 90° 表示颱風是在目標點的左側，反之若 θ_1 為 270° 則表示颱風位於目標點的東側太平洋的位置，這兩種不同的位置，會因為地形遮蔽與阻隔產生不同的影響。在目標點右側的颱風不會受到中央山脈的遮蔽影響，此位置的颱風對目標點有直接的影響；而在目標點左側的颱風則會受到中央山脈的遮蔽影響。

(4) 颱風侵襲角 θ_3 ：

如前所述，侵襲角公式為 $\theta_3 = \theta_2 - \theta_1$ 。颱風風速結構圖如圖 3.6 所示，圖 3.6 中顯示颱風暴風範圍內的風速並非均勻分布的，如以象限劃分，在北半球行進中的颱風其右前方象限的風最大，因該象限颱風環流風向與導引氣流風向相同。如向西行進之颱風此象限吹東北風與夏季西太平洋的東北信風合併而增強了風速，至於右後方及左前方象限則是偏南的風與偏西的風，因與東北信風有抵消作用，風勢較小，在左後方象限的風最小，因該象限吹西南風恰與西太平洋的東北信風相反，故大量抵消，所以一般而言，颱風前半部風力大於後半部。由於 RVM 模型颱風模式並未考量到這種颱風的不對稱性，故需輸入此參數用以判斷目標點是位於颱風的左半圓還是右半圓(以前進方向為中心)。本研究同時考慮 θ_3 與 θ_1 兩種方位角的影響，意即同時考慮到颱風的不對稱性與地形的遮蔽效應，而同時 θ_3 隱含了 θ_2 (颱風移動方位角)的資訊，意即輸入 θ_3 也輸入了 θ_2 ，也等於將颱風的行進路徑一起納入考量。

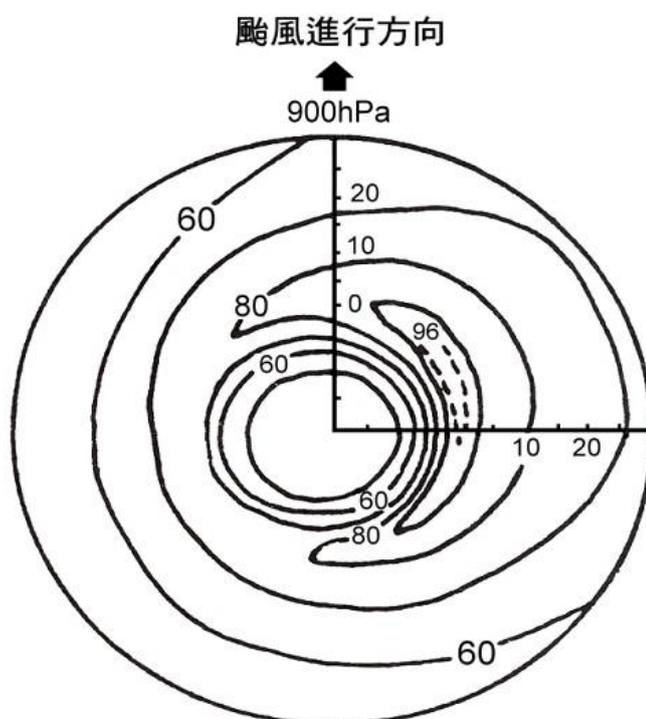


圖 3.6 颱風在等壓面上內平均風速分布示意圖(引自中央氣象局)

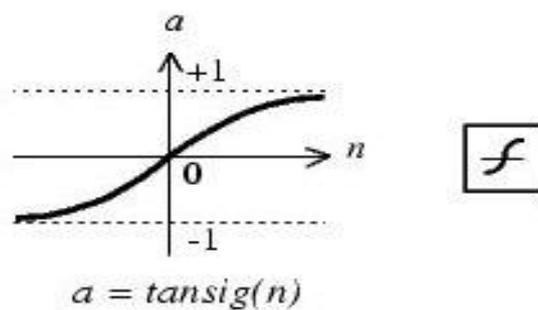
(5) 目標點 10m 風向 V_{deg} :

V_{deg} 是由 RVM 模型風場模式中計算而得，此處的風向定義為風的去向，而一般定義風向為來向。當風向為從海上往陸上吹時，其所造成的波浪應較大，而從陸上往海上吹時，造成的波浪則較小，本研究期望藉由 V_{deg} 讓類神經網路判別風向所造成波浪大小的影響。

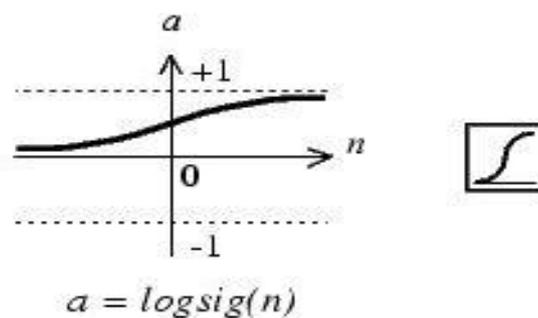
3.1.4 轉換函數與訓練函數

為了避免網路的複雜化以及過度學習的情況發生，Kecman(2001) 提出隱藏層的個數宜採用 1 或 2 層具有最好的收斂性質，因每增加一層隱藏層需要計算的權重值與偏權值數量就會突增，需要測試的神經元個數組合亦會增加，故過多的隱藏層會使網路趨向複雜，減緩其收斂速度。本研究採用的類神經隱藏層個數為 1 層，欲模擬非線性的運算過程，以及輸入參數會有正負方向性，故選用具有能輸出正負值的正切雙彎曲轉換函數(tansig)為其隱藏層之轉換函數，正切雙彎曲轉換函數的輸出介於-1 和 1 之間，相較於雙彎曲函數(logsig)輸出介於 0 和 1 之間擁有較多的輸出範圍。當正切雙彎曲轉換函數之自變數趨近於正負無窮大時，輸出值會接近於-1 或 1。如圖 3.7 所示。

基本的倒傳遞網路所使用的訓練演算法為最陡坡降法，意即權重以及閾值的調整方向，是朝著目標函數的負梯度方向前進，雖然朝著負梯度方向降低最快，但是未必能有最快的收斂。本研究所使用的訓練演算法為共軛梯度演算法(Conjugate Gradient Algorithm)中收斂速度較慢的 trainscg(Scaled Conjugate Gradient)，Scaled Conjugate Gradient 是由 Moller(1993)提出，其在最陡坡降法的簡易演算程序與牛頓法快速的二次收斂速率之間採用了折衷的方式，調整的方向是由前次調整方向與目標函數梯度之線性組合而成。



Tan-Sigmoid Transfer Function



Log-Sigmoid Transfer Function

圖 3.7 正切雙彎曲轉換函數與雙彎曲函數

3.1.5 隱藏層神經元測試

決定隱藏層個數後，隱藏層神經元個數的多寡亦對網路有著相當大的影響，使用過少的神經元個數無法有效的建構適當的網路來描述問題，使用過多的神經元個數會使網路的複雜度過高，易發生過度學習的狀況，甚至造成模擬的結果有雜訊的產生，失去了網路的推演能力。本研究使用 Dawson(2001)所提出的網路增長法(Constructive algorithm)來確定神經元個數，其方法為先設定小數目的隱藏層神經元個數開始訓練，再逐一增加神經元個數，當神經元個數增加到某一個數之後，整體學習組的 *RMSE* 無法被有效的降低，該個數即為最佳的神經元個數。同時配合驗證組的 *RMSE*，確保使用的神經元個數不會發生過度學習的情況。另外亦參考 Huang 及 Foo (2002)提出的經驗公式 $h=2z+1$ ，其中 z 為輸入層的神經元個數、 h 為隱藏層神經元個數。

3.2 波浪推算結果與實測波浪之驗證

為瞭解各模式推算值與觀測值的吻合程度，將採用 4 個指標來評估各模式推算結果的優劣，分別為相關係數(R, correlation coefficient)、均方根誤差(RMSE, root mean squared error)、颱風波浪最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 及最大波高發生時間誤差 Δt_p 。

$$R = \frac{\sum_m \sum_n ((H_{s,obs})_{mn} - \bar{H}_{s,obs})(H_{s,num})_{mn} - \bar{H}_{s,num})}{\sqrt{\left(\sum_m \sum_n ((H_{s,obs})_{mn} - \bar{H}_{s,obs})^2\right)\left(\sum_m \sum_n ((H_{s,num})_{mn} - \bar{H}_{s,num})^2\right)}} \quad (3-21)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{mn} \sum_m \sum_n ((H_{s,obs})_{mn} - (H_{s,num})_{mn})^2} \quad (3-22)$$

$$\Delta H_{s,p} = MAX(H_{s,num}) - MAX(H_{s,obs}) \quad (3-23)$$

$$\Delta t_p = t_{p,num} - t_{p,obs} \quad (3-24)$$

其中 $H_{s,num}$ 為模式推算颱風波浪示性波高； $H_{s,obs}$ 為測站實測颱風波浪示性波高； $t_{p,num}$ 為模式推算颱風波浪示性波高最大值發生時間； $t_{p,obs}$ 為測站實測颱風波浪示性波高最大值發生時間。由式(3-23)可知，若 $\Delta H_{s,p}$ 為正值，表示模式推算的示性波高過於高估，若為負值則表示低估，由式(3-24)可知，若 Δt_p 為正值，表示模式推算的示性波高最大值發生時間較實測晚，若為負值則表示較實測早。另外本文相關表格中為避免常態性的誤差分布造成平均值偏小的狀況，在 $\Delta H_{s,p}$ 與 Δt_p 的平均值部分採用絕對值平均來表示。以蘇澳港選擇的各場實測颱風波浪資料進行建立及驗證，其結果如下表 3.2 所示。

表 3.2 蘇澳港類神經颱風波浪推算結果

年份	中文名稱	英文名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hour)	RMSE	R	H_{max} (m)
1999	瑪姬	MAGGIE	-1.59	-6.00	0.85	0.83	5.96
2000	碧利斯	BILIS	0.15	2.00	0.65	0.98	6.30
2001	西馬隆	CIMARON	1.22	15.00	0.91	0.45	2.02
2001	尤特	UTOR	1.25	-4.00	1.21	0.88	2.58
2002	辛樂克	SINLAKU	-0.66	6.00	0.57	0.79	4.65
2003	柯吉拉	KUJIRA	-0.40	5.00	0.68	0.60	4.00
2003	莫拉克	MORAKOT	1.33	-4.00	1.89	0.68	2.82
2003	柯羅旺	KROVANH	0.00	-1.00	0.58	0.74	3.24
2003	杜鵑	DUJUAN	-2.62	-3.00	0.87	0.97	9.10
2004	妮妲	NIDA	-0.55	5.00	0.55	0.81	3.45
2004	康森	CONSON	1.77	-10.00	0.87	0.65	2.38
2004	電母	DIANMU	-1.96	9.00	0.50	0.84	4.06
2004	敏督利	MINDULLE	-0.66	1.00	1.16	0.75	6.87
2004	蘭寧	RANANIM	-0.76	-1.00	0.46	0.86	4.51
2004	艾利	AERE	0.52	6.00	0.64	0.86	4.53
2004	海馬	HAIMA	0.97	2.00	0.70	0.75	4.92
2004	陶卡基	TOKAGE	-2.91	8.00	1.41	0.68	5.84
2004	納坦	NOCK TEN	0.85	2.00	2.16	0.60	11.57
2004	南瑪都	NANMADOL	-1.32	14.00	1.10	0.92	5.07
2005	海棠	HAITANG	0.13	1.00	1.27	0.94	12.04
2005	馬莎	MATSA	-0.41	1.00	0.41	0.90	4.27
2005	泰利	TALIM	-1.99	1.00	1.05	0.97	14.84
2005	卡努	KHANUN	0.80	7.00	0.66	0.57	2.85
2005	龍王	LONGWANG	1.46	0.00	0.65	0.96	12.45
2006	珍珠	CHANCHU	1.45	3.00	0.36	0.87	3.21
2006	艾維尼	EWINIAR	0.19	-7.00	0.38	0.80	3.00
2006	碧利斯	BILIS	-0.09	-28.00	0.97	0.80	5.70
2006	凱米	KAEMI	-0.74	-5.00	0.70	0.92	7.37
2006	珊珊	SHANSHAN	0.24	-1.00	0.73	0.82	5.37
2007	聖帕	SEPAT	0.02	6.00	0.77	0.96	7.56
2007	韋帕	WIPHA	1.99	-1.00	0.82	0.79	3.59
2007	米塔	MITAG	-0.88	10.00	1.57	0.39	3.85

續表 3.2 蘇澳港類神經颱風波浪推算結果

年份	中文名稱	英文名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hour)	<i>RMSE</i>	<i>R</i>	H_{max} (m)
2008	卡玫基	KALMAEGI	0.82	-13.00	1.19	0.85	5.08
2008	鳳凰	FUNG WONG	-2.85	8.00	1.42	0.90	9.46
2008	如麗	NURI	0.04	0.00	0.56	0.91	3.85
2008	辛樂克	SINLAKU	0.20	0.00	0.73	0.94	7.68
2008	哈格比	HAGUPIT	-1.04	3.00	0.51	0.94	5.02
2008	薔蜜	JANGMI	-0.20	0.00	0.68	0.97	12.64
2009	莫拉菲	MOLAVE	-1.00	-8.00	0.70	0.83	5.14
2009	莫拉克	MORAKOT	-0.70	1.00	0.69	0.94	7.15
2011	梅花	MUIFA	-1.61	-8.00	0.49	0.69	4.02
2011	南瑪都	NANMADOL	0.33	19.00	0.78	0.83	4.46
2012	瑪娃	MAWAR	0.18	12.00	0.58	0.64	3.01
2012	杜蘇芮	DOKSURI	1.54	-16.00	0.87	0.91	2.48
2012	蘇拉	SAOLA	5.28	-1.00	0.88	0.85	6.26
2012	三巴	SANBA	-0.86	16.00	0.56	0.68	3.09
2012	杰拉華	JELAWAT	-2.73	0.00	1.04	0.76	6.62
絕對平均值			1.09	5.96	0.85	0.81	5.66

由表 3.2 中，灰底色的部分為驗證組的颱風，其餘則為學習組，表中可發現學習組中 31 場颱風波浪推算結果與實測結果最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 以陶卡基(2004)颱風誤差較大，其誤差達-2.91m。最大波高發生時間誤差 Δt_p 則以杜蘇芮(2012)、三巴(2012)相差最多。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差 *RMSE* 最大為鳳凰(2008)。推算波高結果與實測波高的相關性 *R* 則以卡努(2005)最差。此外在驗證組中 16 場颱風波浪推算結果與實測結果最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 以蘇拉(2012)相差最大，誤差 5.28m。最大波高發生時間誤差 Δt_p 以碧利斯(2006)相差最多，誤差 28 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差 *RMSE* 最大為納坦(2004)，其值為 2.16m。推算波高結果與實測波高的相關性 *R* 最差為米塔(2007)的 0.39。平均來說模式推算結果的各颱風最大波高誤差絕對值 $\Delta H_{s,p}$ 約為 1.09m，最大波高發生時間誤差絕對值 Δt_p 約為 5.96 小時，*RMSE* 約為 0.85m，相關係數 *R* 約為 0.81。以四指數來評估模式優劣，

其中最大波高值誤差與最大波高發生時間誤差越低代表模式模擬結果越佳，各場颱風 RMSE 越低與相關係數 R 越高都能顯示模式模擬準確度越高，由此四誤差參數說明本模式在蘇澳港能提供良好的颱風波浪模擬。

第四章 M5 最小化模式樹波浪推算模式之建立

當有各種因子影響一個複雜問題時，可將此因子之數據劃分成幾個類似屬性(attribute)分別去關連一個輸出量(output)，以此概念之方法可稱為機械學習(machine learning)、專家(expert)或模組(module)。當數據以動態分群(dynamic committee)時，即將輸入值(input space)區分為數群(sub regions)，逐漸成樹支狀(tree-like)之結構，這種分群之模式統稱為層級模組法(hierarchical(tree-like) modular model)，而類神經或本文 M5 最小化模式樹都是此類方法，模組法之詳細介紹可見，Bhattacharya and Solomatine(2005)、Cios et al.(2007)。

M5 最小化模式樹已證實是一種架構小但精準有效之層級模組法。選擇測試數據，以屬性分界逐漸分支(split)樹狀，最後獲得數個末端葉子(leaf)，如圖 4.1 所示。以兩變數為例，再將分組數據與輸出值做線性回歸，如圖 4.2 所示。M5 最小化模式樹是否分支(split)，取決於分群的數量或其變異量，本文以標準差衰減量(standard deviation reduction, SDR)為指標來決定是否再分支，其定義為

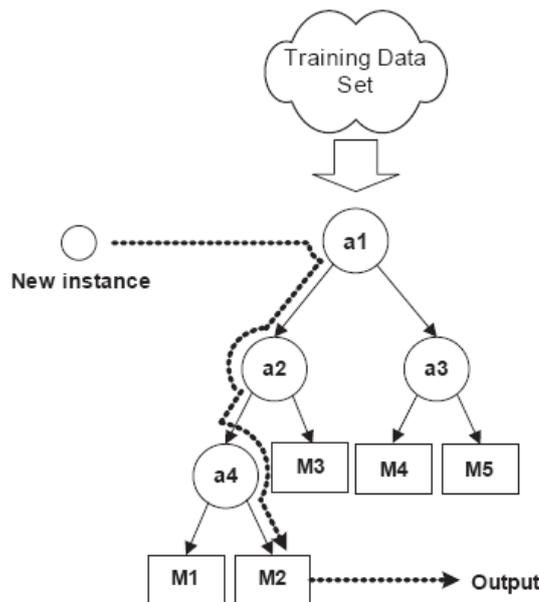


圖 4.1 層級模組法示意圖(ai 為屬性，Mi 為分群之模組)

$$SDR = sd(T) - \sum_{i=1}^n \frac{|T_i|}{|T|} sd(T_i) \quad (4-1)$$

其中 T 為進至某屬性之目標值(target value, 推估值), 而 T_i 為分區 i 之目標值, $sd(T_i)$ 為分群資料 T_i 之標準差。由式(4-1)可知當同一屬性之數據分在同群, 其推估值比較接近線性, $sd(T_i)$ 較小, 因此 SDR 大, 因此選擇最佳模式應在最大 SDR 值上。本文利用此方法, 以花蓮港與蘇澳港的颱風資料進行推估颱風所造成的波浪大小。

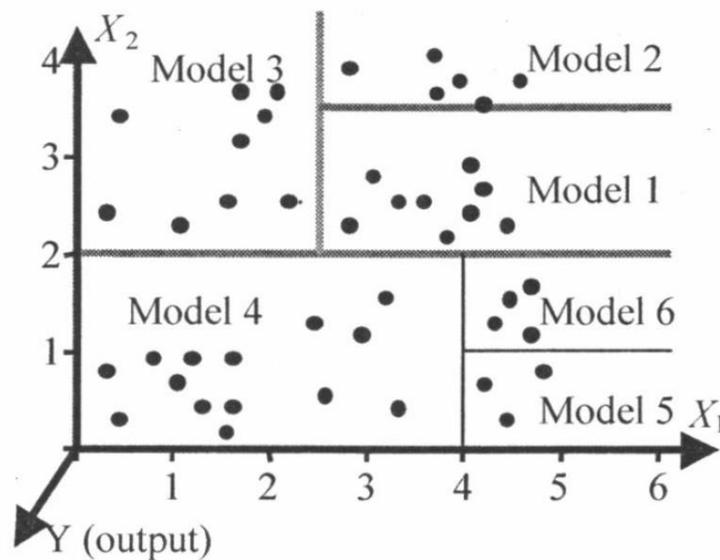


圖 4.2 M5 最小化模式樹之分組樣本在變數 x_1 及 x_2 分布與輸出 y 之示意圖

4.1 資料分析

蘇澳港的訓練資料及驗證資料與蘇澳港類神經網路波浪推算模式相同, 可參見表 3.1 及表 3.2。然而花蓮港類神經颱風波浪的訓練資料是民國 98 年度所建立, 為了能以最新資料進行 M5 最小化模式樹波浪推算模式的建立, 本計畫以 1990 年至 2012 年所蒐集的波浪資料重新與 JMA 自 1951 年至 2012 年颱風資料重新建立颱風波浪資料庫, 並透過基本分析剔除雙颱風效應或與非颱風所造成的異常波浪, 進而篩選出合適的颱風共 74 場, 見表 4.1。

表 4.1 選取用來建立花蓮港模式的颱風資訊與其對應最大波高

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大風速 (knot)	最大波高 (m)
1990	楊希	YANCY	80	4.67
1990	亞伯	ABE	75	3.54
1990	海蒂	HATTIE	80	3.83
1991	華特	WALT	100	5.71
1991	艾美	AMY	95	9.90
1991	露絲	RUTH	115	8.94
1992	芭比	BOBBIE	90	5.28
1992	泰德	TED	50	6.95
1993	楊希	YANCY	95	3.27
1993	蓓琪	BECKY	55	2.30
1994	弗雷特	FRED	100	7.62
1994	葛拉絲	GLADYS	80	7.08
1994	席斯	SETH	110	8.32
1995	肯特	KENT	85	6.85
1995	賴恩	RYAN	85	2.61
1996	凱姆	CAM	40	2.44
1996	葛樂禮	GLORIA	65	4.59
1996	賀伯	HERB	95	7.46
1997	彼得	PETER	65	3.10
1997	蒂納	TINA	75	2.73
1997	溫妮	WINNIE	100	4.97
1998	奧托	OTTO	65	6.70
1998	瑞伯	ZEB	110	7.45
1999	山姆	SAM	55	3.34
2000	雅吉	YAGI	70	2.55
2000	象神	XANGSANE	75	6.07
2001	海燕	HAIYAN	70	4.48
2002	雷馬遜	RAMMASUN	85	8.18
2002	辛樂克	SINLAKU	80	4.53
2003	柯吉拉	KIJIRA	90	3.76
2003	蘇迪勒	SOUDELOR	80	3.71
2003	尹布都	IMBUDO	90	3.71
2003	莫拉克	MORAKOT	45	2.91
2003	柯羅旺	KROVANH	65	2.67
2004	妮妲	NIDA	95	2.43
2004	電母	DIANMU	100	2.97
2004	敏督利	MINDULLE	95	5.50
2004	康柏斯	KOMPASU	45	3.81

續表 4.1 選取用來建立花蓮港模式的颱風資訊與其對應最大波高

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大風速 (knot)	最大波高 (m)
2004	蘭寧	RANANIM	80	3.52
2004	艾利	AERE	80	3.68
2004	海馬	HAIMA	40	2.78
2004	陶卡基	TOKAGE	85	5.72
2004	納坦	NOCK_TEN	85	5.33
2004	南瑪都	NANMADOL	90	4.10
2005	海棠	HAITANG	105	7.50
2005	馬莎	MATSA	80	3.18
2005	珊瑚	SANVU	50	3.86
2005	泰利	TALIM	95	7.53
2005	卡努	KHANUN	85	2.25
2005	龍王	LONGWANG	95	10.85
2006	珍珠	CHANCHU	95	2.89
2006	艾維尼	EWINIAR	100	2.17
2006	珊珊	SHANSHAN	110	4.24
2007	萬宜	MAN_YI	95	3.69
2007	聖帕	SEPAT	110	9.26
2007	韋帕	WIPHA	100	3.74
2007	柯羅莎	KROSA	105	6.49
2008	卡玫基	KALMAEGI	65	2.85
2008	鳳凰	FUNG_WONG	75	7.32
2008	如麗	NURI	75	2.97
2008	辛樂克	SINLAKU	100	5.37
2008	哈格比	HAGUPIT	90	3.40
2008	薔蜜	JANGMI	115	6.00
2009	莫拉菲	MOLAVE	65	4.12
2009	莫拉克	MORAKOT	75	6.53
2009	盧碧	LUPIT	95	3.51
2010	凡那比	FANAPI	95	9.25
2010	梅姬	MEGI	125	3.94
2011	艾利	AERE	40	2.08
2011	桑達	SONGDA	105	3.11
2011	米雷	MEARI	60	2.77
2011	南瑪都	NANMADOL	100	3.46
2012	蘇拉	SAOLA	70	4.65
2012	杰拉華	JELAWAT	110	3.96

資料來源：本計畫整理

表 4.1 中顯示在 1990 至 2012 年中有 74 場颱風擁有相對應完整的波浪資料，其中對應波高小於 3m 的有 17 場，在往昔的觀念中會認為這幾場颱風對波浪造成的影響較小，若將此類颱風納入學習資料中可能會造成不良的結果，但本研究考慮必須適當選取對研究目標花蓮港影響較小的學習颱風進行輸入，可透過距離與角度等參數等輸入，讓模式能完整學習在不同角度與距離下颱風對花蓮港不造成影響的情況。波高在 3m 至 5m 間的有 30 場占最多數，5m 至 7m 有 13 場，7m 至 9m 有 10 場，9m 以上則有 4 場。對花蓮港而言，其港區位置位於臺灣東部的海岸，會受到冬季季風作用而產生較大的季節風浪，而其他季節若發生較大波浪一般都是颱風所造成。能明顯與季節風作用的季節有所分別。

雖然大部分的侵台颱風路徑皆是由東向西行，但若颱風是由臺灣西部往東部行徑，颱風結構容易受到中央山脈阻擋而造成結構鬆散，依往昔經驗這類型的颱風受到高山的屏障效應，對於台灣東部各港的影響就會變小，而颱風的最大示性波高就會偏低。從歷年的臺灣地區颱風路徑分類統計圖(圖 3.1)可發現，較可能對花蓮港造成直接影響的路徑為第二路徑、第三路徑、第四路徑及第六路徑等。其餘路徑受到地形以及高山的屏障影響，是需要考慮的因素。因此本計畫針對花蓮港 74 場颱風的所有時間序列中的颱風位置與相對應花蓮港波高值作一空間分布的特性分析，其結果如圖 4.3 所示。圖中為本研究所選取 74 場颱風的空間位置分布，各點位所對應的顏色為花蓮港的波高值，色調越暖代表波高越高；色調越冷則對應波高越低。深藍色代表波高介於 3m 至 5m 的資料點，綠色代表波高介於 5m 至 7m 間的資料點，黃色代表 7m 至 9m 間的資料點，紅色則代表發生 9m 以上波高的資料點。

與蘇澳港不同的是圖 4.3 中發現對花蓮港波浪造成最大影響的颱風中心位置不在局限於宜蘭、花蓮外海處，當颱風中心在台灣西側海岸與西南側外海皆對花蓮港造成過較大的影響。為能標出各資料點與花蓮港的相對距離，故以花蓮港為中心繪製半徑 500km 與半徑 1000km 的分界線，圖 4.3 中可發現紅色資料點皆發生於半徑 500km 的距離內，

但黃色資料點則有發生於 500km 至 1000km 的距離範圍內，顯示以花蓮港而言，颱風只有在中心距離靠近蘇澳港 500km 以內才有機會造成 9m 以上的示性波高，但在 1000km 內仍有機會發生 7m 以上的波高，相較於蘇澳港此分析顯示花蓮港在颱風距離 500km 外即可能對花蓮港造成 7m 以上的影響。

在所選用的 74 場颱風中，其中所造成最大示性波高大於 9m 對於花蓮港有較大影響之艾美(AMY, 1991)、龍王(LONGWANG, 2005)、聖帕(SEPAT, 2007)、凡納比(FANAPI, 2010)等，其路徑除了艾美為第五路徑外，其餘皆屬直撲花蓮港登陸台灣本島的第三路徑。見圖 3.2 中紅色資料點(波高 9m 以上)。

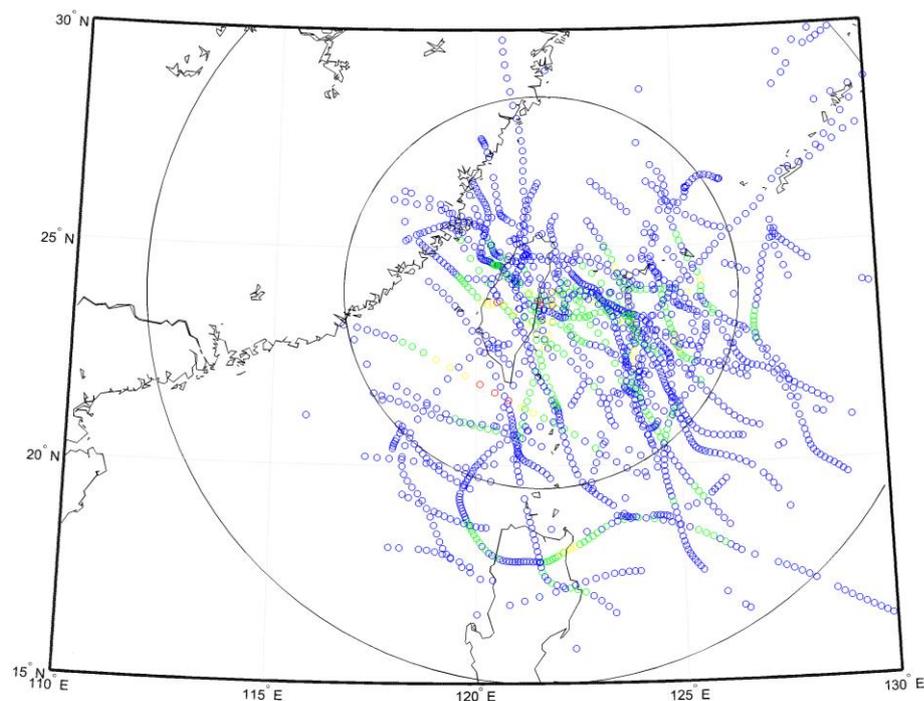


圖 4.3 颱風中心位置與相對應花蓮港波高資料空間分布圖

依建立類神經颱風波浪模式所採用的資料與分類方式來建立 M5 最小化模式樹波浪推算模式，對於颱風風速及路徑變化我們採用群集分析法(cluster analysis)對颱風資料進行分類，獲得各特性不同的分類群

後再將各分類群以三分之二與三分之一的比例分為學習資料與驗證資料，即可獲得相同特性的學習資料與驗證資料。本計畫將颱風資訊轉算為第三章所提及的5個輸入參數，分別為：1. 颱風與目標點距離(D)、2. 颱風中心對目標點的方位角(θ_1)、3. 颱風侵襲角(θ_3)、4. 目標點海面10m 風速(V)、5. 目標點上空風向(V_{deg})。並配合相對應的波高資料以進行 M5 最小化模式樹的建立。

4.2 模式驗證

將前述準備好的學習資料以 M5 最小化模式樹進行模式建立，有下列之步驟：

1. 誤差估算(error estimate): 為評估模式精度以實測輸出與推估之絕對誤差為標準，並考慮參數數量(ν)與數據個數(n)，以 $(n+\nu)/(n-\nu)$ 乘以絕對誤差來降低誤差的低估。
2. 線性模式(linear models): 各所有可能分群之輸入值與輸出值以直線回歸(linear regression)表示之。
3. 簡化 (simplification of linear models): 因為有些輸入參數在分群回歸時無高相關，遂可減少變數回歸。
4. 修剪(pruning): 若輸入值因屬性相近而不用在分支時，則變為最終葉。
5. 平滑(smoothing) 因為本方法為分區回歸，因此在分區界可能有不連續現場，故以加權(weighting)來估算以平滑化推估值。

利用 M5 最小化模式樹模式所建立的花蓮港波浪推算模式其運算規則達 833 組，而蘇澳港波浪推算模式則為 784 組，兩者接近但仍顯示花蓮港的波浪推算模式用了較多的運算規則，表示其複雜度較高。在建立波浪推算模式後本計畫採用相對樣的實測波浪資料進行驗證，花蓮港與蘇澳港的波浪模式推算結果驗證如表 4.2 及表 4.3。

表 4.2 花蓮港 M5 最小化模式樹波浪推算模式之結果驗證

年份	中文名稱	英文名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hour)	RMSE	R	H_{max} (m)
1990	楊希	YANCY	-0.45	26.00	0.60	0.91	4.67
1990	亞伯	ABE	-0.68	-9.00	0.79	0.52	3.54
1990	海蒂	HATTIE	-1.52	2.00	0.57	0.90	3.83
1991	華特	WALT	-3.26	-23.00	1.04	0.91	5.71
1991	艾美	AMY	-5.47	9.00	1.93	0.85	9.90
1991	露絲	RUTH	-6.23	53.00	1.96	0.82	8.94
1992	芭比	BOBBIE	-1.10	6.00	0.46	0.91	5.28
1992	泰德	TED	-3.43	10.00	1.60	0.84	6.95
1993	楊希	YANCY	0.94	9.00	0.65	0.70	3.27
1993	蓓琪	BECKY	0.07	-1.00	0.24	0.86	2.30
1994	弗雷特	FRED	-3.60	9.00	1.21	0.82	7.62
1994	葛拉絲	GLADYS	-2.47	2.00	0.54	0.93	7.08
1994	席斯	SETH	-3.80	4.00	1.10	0.96	8.32
1995	肯特	KENT	-2.02	-2.00	0.45	0.95	6.85
1995	賴恩	RYAN	2.13	-18.00	1.22	0.35	2.61
1996	凱姆	CAM	-0.37	5.00	0.23	0.95	2.44
1996	葛樂禮	GLORIA	0.05	8.00	0.98	0.80	4.59
1996	賀伯	HERB	-2.48	23.00	1.41	0.78	7.46
1997	彼得	PETER	-0.77	1.00	0.40	0.69	3.10
1997	蒂納	TINA	-0.03	-9.00	0.35	0.69	2.73
1997	溫妮	WINNIE	-1.96	-14.00	0.59	0.92	4.97
1998	奧托	OTTO	0.21	1.00	1.15	0.91	6.70
1998	瑞伯	ZEB	-2.33	-14.00	1.20	0.79	7.45
1999	山姆	SAM	-0.81	-3.00	0.44	0.97	3.34
2000	雅吉	YAGI	0.22	-27.00	0.52	0.69	2.55
2000	象神	XANGSANE	-1.69	0.00	0.45	0.83	6.07
2001	海燕	HAIYAN	-1.58	2.00	0.79	0.74	4.48
2002	雷馬遜	RAMMASUN	-4.03	-2.00	0.82	0.94	8.18
2002	辛樂克	SINLAKU	-1.39	-3.00	0.55	0.79	4.53
2003	柯吉拉	KUJIRA	-1.01	10.00	0.32	0.92	3.76
2003	蘇迪勒	SOUDELOR	0.19	15.00	0.64	0.78	3.71
2003	尹布都	IMBUDO	-1.28	-7.00	0.42	0.92	3.71

續表 4.2 花蓮港 M5 最小化模式樹波浪推算模式之結果驗證

2003	莫拉克	MORAKOT	-0.45	-4.00	0.80	0.79	2.91
2003	柯羅旺	KROVANH	-0.32	-13.00	0.32	0.77	2.67
2004	妮妲	NIDA	0.07	-9.00	0.20	0.93	2.43
2004	電母	DIANMU	-0.29	2.00	0.32	0.91	2.97
2004	敏督利	MINDULLE	-1.04	-6.00	0.39	0.94	5.50
2004	康柏斯	KOMPASU	-0.92	0.00	0.68	0.78	3.81
2004	蘭寧	RANANIM	-0.65	-4.00	0.35	0.86	3.52
2004	艾利	AERE	-0.04	9.00	0.50	0.87	3.68
2004	海馬	HAIMA	0.03	-1.00	0.61	0.66	2.78
2004	陶卡基	TOKAGE	-2.78	-8.00	1.33	0.75	5.72
2004	納坦	NOCK_TEN	-0.66	1.00	0.50	0.91	5.33
2004	南瑪都	NANMADOL	-1.61	-9.00	1.05	0.88	4.10
2005	海棠	HAITANG	-0.84	6.00	0.91	0.91	7.50
2005	馬莎	MATSA	0.86	1.00	0.44	0.86	3.18
2005	珊瑚	SANVU	-1.17	21.00	0.88	0.74	3.86
2005	泰利	TALIM	-0.80	1.00	0.59	0.94	7.53
2005	卡努	KHANUN	1.47	-7.00	0.72	0.88	2.25
2005	龍王	LONGWANG	-3.94	1.00	0.56	0.95	10.85
2006	珍珠	CHANCHU	-0.69	-20.00	0.27	0.82	2.89
2006	艾維尼	EWINIAR	0.69	-13.00	0.49	0.85	2.17
2006	珊珊	SHANSHAN	0.48	-5.00	0.38	0.92	4.24
2007	萬宜	MAN_YI	-0.93	2.00	0.38	0.83	3.69
2007	聖帕	SEPAT	-3.24	-3.00	0.92	0.93	9.26
2007	韋帕	WIPHA	0.55	7.00	0.52	0.84	3.74
2007	柯羅莎	KROSA	0.29	6.00	1.21	0.81	6.49
2008	卡玫基	KALMAEGI	1.27	-10.00	0.95	0.73	2.85
2008	鳳凰	FUNG_WONG	-1.48	3.00	0.67	0.95	7.32
2008	如麗	NURI	-0.19	8.00	0.52	0.85	2.97
2008	辛樂克	SINLAKU	-0.95	8.00	0.55	0.95	5.37
2008	哈格比	HAGUPIT	-0.62	1.00	0.38	0.95	3.40
2008	薔蜜	JANGMI	-0.85	3.00	0.40	0.97	6.00
2009	莫拉菲	MOLAVE	-1.03	-3.00	0.45	0.93	4.12
2009	莫拉克	MORAKOT	-1.65	-2.00	0.54	0.95	6.53

續表 4.2 花蓮港 M5 最小化模式樹波浪推算模式之結果驗證

2009	盧碧	LUPIT	-0.96	5.00	0.39	0.93	3.51
2010	凡那比	FANAPI	-2.60	-1.00	0.75	0.89	9.25
2010	梅姬	MEGI	-1.27	0.00	0.40	0.86	3.94
2011	艾利	AERE	-0.09	-8.00	0.20	0.89	2.08
2011	桑達	SONGDA	1.22	-2.00	0.45	0.87	3.11
2011	米雷	MEARI	-0.01	6.00	0.17	0.95	2.77
2011	南瑪都	NANMADOL	0.64	1.00	0.72	0.83	3.46
2012	蘇拉	SAOLA	-0.15	6.00	0.39	0.94	4.65
2012	杰拉華	JELAWAT	0.10	-11.00	0.52	0.89	3.96
絕對平均值			1.32	7.62	0.67	0.85	4.80

表 4.3 蘇澳港 M5 最小化模式樹波浪推算模式之結果驗證

年份	中文名稱	英文名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hour)	RMSE	R	H_{max} (m)
1999	瑪姬	MAGGIE	-1.95	0.00	0.61	0.95	5.96
2000	碧利斯	BILIS	1.73	2.00	0.85	0.96	6.30
2001	西馬隆	CIMARON	0.73	1.00	0.46	0.73	2.02
2001	尤特	UTOR	1.00	6.00	1.14	0.78	2.58
2002	辛樂克	SINLAKU	-0.54	5.00	0.50	0.83	4.65
2003	柯吉拉	KUJIRA	-1.03	-30.00	0.34	0.92	4.00
2003	莫拉克	MORAKOT	-0.26	-9.00	0.70	0.81	2.82
2003	柯羅旺	KROVANH	-1.04	-12.00	0.37	0.90	3.24
2003	杜鵑	DUJUAN	-2.70	1.00	0.76	0.98	9.10
2004	妮妲	NIDA	-0.45	0.00	0.25	0.95	3.45
2004	康森	CONSON	1.96	-15.00	1.11	0.45	2.38
2004	電母	DIANMU	-1.75	13.00	0.60	0.71	4.06
2004	敏督利	MINDULLE	-1.64	-2.00	0.49	0.96	6.87
2004	蘭寧	RANANIM	-1.21	-1.00	0.52	0.79	4.51
2004	艾利	AERE	0.66	5.00	0.59	0.88	4.53
2004	海馬	HAIMA	-1.51	8.00	0.54	0.79	4.92
2004	陶卡基	TOKAGE	-3.02	40.00	1.21	0.71	5.84
2004	納坦	NOCK TEN	-4.75	13.00	2.04	0.64	11.57
2004	南瑪都	NANMADOL	-1.06	12.00	0.77	0.90	5.07
2005	海棠	HAITANG	-2.82	2.00	1.07	0.98	12.04

續表 4.3 蘇澳港 M5 最小化模式樹波浪推算模式之結果驗證

2005	馬莎	MATSA	-0.43	-1.00	0.45	0.88	4.27
2005	泰利	TALIM	-5.69	1.00	1.01	0.96	14.84
2005	卡努	KHANUN	0.60	-4.00	0.58	0.70	2.85
2005	龍王	LONGWANG	-3.22	0.00	0.74	0.94	12.45
2006	珍珠	CHANCHU	-0.21	-8.00	0.29	0.84	3.21
2006	艾維尼	EWINIAR	-0.28	-14.00	0.41	0.85	3.00
2006	碧利斯	BILIS	0.90	-5.00	0.87	0.84	5.70
2006	凱米	KAEMI	-1.77	-3.00	0.42	0.97	7.37
2006	珊珊	SHANSHAN	-0.47	-1.00	0.43	0.93	5.37
2007	聖帕	SEPAT	0.20	2.00	0.61	0.96	7.56
2007	韋帕	WIPHA	3.94	12.00	1.64	0.60	3.59
2007	米塔	MITAG	-0.87	4.00	0.75	0.53	3.85
2008	卡玫基	KALMAEGI	0.46	-13.00	0.86	0.84	5.08
2008	鳳凰	FUNG WONG	-2.02	-1.00	1.12	0.96	9.46
2008	如麗	NURI	-1.34	1.00	0.52	0.90	3.85
2008	辛樂克	SINLAKU	-0.20	30.00	1.05	0.85	7.68
2008	哈格比	HAGUPIT	-1.17	5.00	0.46	0.95	5.02
2008	薔蜜	JANGMI	-2.21	0.00	0.75	0.97	12.64
2009	莫拉菲	MOLAVE	-1.40	-8.00	0.63	0.87	5.14
2009	莫拉克	MORAKOT	-1.16	-9.00	0.56	0.95	7.15
2011	梅花	MUIFA	-1.03	-11.00	0.56	0.54	4.02
2011	南瑪都	NANMADOL	-0.71	8.00	0.89	0.73	4.46
2012	瑪娃	MAWAR	-0.20	-6.00	0.25	0.89	3.01
2012	杜蘇芮	DOKSURI	-0.26	-7.00	0.32	0.97	2.48
2012	蘇拉	SAOLA	-0.17	-1.00	0.47	0.94	6.26
2012	三巴	SANBA	-0.46	4.00	0.40	0.90	3.09
2012	杰拉華	JELAWAT	-2.15	-2.00	0.56	0.92	6.62
絕對平均值			1.39	7.19	0.69	0.85	5.66

表 4.2 中颱風英文名稱標為灰階底色的颱風為未加入模式建立階段的驗證用颱風，利用驗證颱風的精度可以評估該模式是否具有通用性，可以避免建立過度複雜的模式樹來迎合現有學習資料，但卻無法

適用於其他颱風的狀況。要測試各模式推算值與觀測值的吻合程度，將採用 3.2 節所述 4 個指標來評估各模式推算結果的優劣，分別為相關係數(R , correlation coefficient)、均方根誤差($RMSE$, root mean squared error)、颱風波浪最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 及最大波高發生時間誤差 Δt_p 。

由表 4.2 中可發現花蓮港學習組中 49 場颱風波浪推算結果與實測結果最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 以露絲(1991)颱風誤差較大。最大波高發生時間誤差 Δt_p 亦以露絲(1991)相差最多。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差 $RMSE$ 最大為露絲(1991)，其誤差達 1.96m。推算波高結果與實測波高的相關性 R 則以賴恩(1995)最差。此外在驗證組中 25 場颱風波浪推算結果與實測結果最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 以龍王(2005)相差最大，誤差-3.95m。最大波高發生時間誤差 Δt_p 以珍珠(2006)相差最多，誤差 20 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差 $RMSE$ 最大為莫拉克(2003)，其值為 0.8m。推算波高結果與實測波高的相關性 R 最差為蒂納(1997)的 0.69。平均來說模式推算結果的各颱風最大波高誤差絕對值 $\Delta H_{s,p}$ 約為 1.32m，最大波高發生時間誤差絕對值 Δt_p 約為 7.62 小時， $RMSE$ 約為 0.67m，相關係數 R 約為 0.85。

由表 4.3 中可發現蘇澳港學習組中 31 場颱風波浪推算結果與實測結果最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 以陶卡基(2004)颱風誤差較大，其值為-3.02m。最大波高發生時間誤差 Δt_p 亦以陶卡基(2004)相差最多，與實際資料相差 40 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差 $RMSE$ 最大為韋帕(2007)，其誤差達 1.64m。推算波高結果與實測波高的相關性 R 則以康森(2004)最差。此外在驗證組中 16 場颱風波浪推算結果與實測結果最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 以泰利(2005)相差最大，誤差-5.69m。最大波高發生時間誤差 Δt_p 以納坦(2004)相差最多，誤差 13 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差 $RMSE$ 最大為納坦(2004)，其值為 2.04m。推算波高結果與實測波高的相關性 R 最差為米塔(1997)的 0.53。平均來說模式推算結果的各颱風最大波高誤差絕對值 $\Delta H_{s,p}$ 約為 1.39m，最大波高發生時間誤差絕對值 Δt_p 約為 7.19 小時， $RMSE$ 約為 0.69m，相關係數 R 約為 0.85。

以驗證結果來看花蓮港的模式雖然運算規則較為複雜，但驗證結果中顯示其最大波高及整體 RMSE 僅稍微較蘇澳港模式好，最大波高發生時間的推估精度則以蘇澳港較佳，相關係數 R 兩個港的模式相同。

第五章 類神經與 M5 最小化模式樹模式特性分析

5.1 類神經與 M5 最小化模式樹波浪推算模式之比較

本節將花蓮港及蘇澳港 M5 最小化模式樹波浪推算模式(以下簡稱 M5 模式)與類神經波浪推算模式之推算結果作比較，選取兩種模式皆有推算出結果且能與實測資料進行比較的颱風共 74 場如表 5.1。以四種模式評估指標包括：波高峰值、峰值發生時間、RMSE 與相關係數 R 進行評估，以花蓮港 74 場颱風來看，波高峰值的估算精度以類神經模式較佳，但其他如峰值發生時間、整體推算 RMSE 及相關係數 R 皆是以 M5 最小化模式樹波浪推算模式較佳。

表 5.1 花蓮港兩種波浪推算模式的誤差比較

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$	Δt_p	RMSE	R	$\Delta H_{s,p}$	Δt_p	RMSE	R	H_{obs} (m)
		(m)	(hour)	M5				類神經		
1990	楊希(YANCY)	-0.45	26	0.6	0.91	-0.84	28	0.79	0.87	4.67
1990	亞伯(ABE)	-0.68	-9	0.79	0.52	-0.27	-10	0.81	0.50	3.54
1990	海蒂(HATTIE)	-1.52	2	0.57	0.9	-1.63	1	1.09	0.51	3.83
1991	華特(WALT)	-3.26	-23	1.04	0.91	-2.50	-10	1.11	0.72	5.71
1991	艾美(AMY)	-5.47	9	1.93	0.85	-2.14	1	0.92	0.99	9.90
1991	露絲(RUTH)	-6.23	53	1.96	0.82	-5.68	-7	1.80	0.80	8.94
1992	芭比(BOBBIE)	-1.1	6	0.46	0.91	-0.62	16	0.93	0.62	5.28
1992	泰德(TED)	-3.43	10	1.6	0.84	-1.41	9	1.39	0.84	6.95
1993	楊希(YANCY)	0.94	9	0.65	0.7	0.08	15	0.58	0.68	3.27
1993	蓓琪(BECKY)	0.07	-1	0.24	0.86	0.75	-5	0.32	0.88	2.30
1994	弗雷特(FRED)	-3.6	9	1.21	0.82	-3.31	-4	1.32	0.89	7.62
1994	葛拉絲(GLADYS)	-2.47	2	0.54	0.93	-1.28	2	0.65	0.92	7.08
1994	席斯(SETH)	-3.8	4	1.1	0.96	-3.92	5	1.45	0.87	8.32
1995	肯特(KENT)	-2.02	-2	0.45	0.95	-1.64	-2	0.48	0.92	6.85
1995	賴恩(RYAN)	2.13	-18	1.22	0.35	2.38	5	1.08	0.73	2.61
1996	凱姆(CAM)	-0.37	5	0.23	0.95	0.18	9	0.26	0.91	2.44
1996	葛樂禮(GLORIA)	0.05	8	0.98	0.8	0.18	9	0.66	0.89	4.59
1996	賀伯(HERB)	-2.48	23	1.41	0.78	-2.45	7	1.67	0.68	7.46
1997	彼得(PETER)	-0.77	1	0.4	0.69	-1.52	15	0.69	0.44	3.10
1997	蒂納(TINA)	-0.03	-9	0.35	0.69	1.16	-1	0.50	0.63	2.73
1997	溫妮(WINNIE)	-1.96	-14	0.59	0.92	-2.07	-13	0.91	0.74	4.97
1998	奧托(OTTO)	0.21	1	1.15	0.91	-0.03	-1	1.20	0.89	6.70
1998	瑞伯(ZEB)	-2.33	-14	1.2	0.79	-2.10	3	1.15	0.85	7.45
1999	山姆(SAM)	-0.81	-3	0.44	0.97	-0.82	-3	0.62	0.91	3.34

續表 5.1 花蓮港兩種波浪推算模式的誤差比較

2000	雅吉(YAGI)	0.22	-27	0.52	0.69	0.66	-31	0.55	0.70	2.55
2000	象神(XANGSANE)	-1.69	0	0.45	0.83	-0.48	-1	0.66	0.72	6.07
2001	海燕(HAIYAN)	-1.58	2	0.79	0.74	-0.90	-2	0.86	0.87	4.48
2002	雷馬遜(RAMMASUN)	-4.03	-2	0.82	0.94	-4.60	-1	1.36	0.85	8.18
2002	辛樂克(SINLAKU)	-1.39	-3	0.55	0.79	-1.07	7	0.66	0.69	4.53
2003	柯吉拉(KUJIRA)	-1.01	10	0.32	0.92	-0.33	-17	0.49	0.81	3.76
2003	蘇迪勒(SOUDELOR)	0.19	15	0.64	0.78	0.52	18	0.64	0.75	3.71
2003	尹布都(IMBUDO)	-1.28	-7	0.42	0.92	-0.50	-8	0.40	0.91	3.71
2003	莫拉克(MORAKOT)	-0.45	-4	0.8	0.79	0.87	-5	1.40	0.67	2.91
2003	柯羅旺(KROVANH)	-0.32	-13	0.32	0.77	0.49	-4	0.56	0.63	2.67
2004	妮妲(NIDA)	0.07	-9	0.2	0.93	-0.87	16	0.41	0.87	2.43
2004	電母(DIANMU)	-0.29	2	0.32	0.91	-1.50	6	0.51	0.77	2.97
2004	敏督利(MINDULLE)	-1.04	-6	0.39	0.94	2.00	-3	0.62	0.88	5.50
2004	康柏斯(KOMPASU)	-0.92	0	0.68	0.78	-0.10	-6	1.37	-0.21	3.81
2004	蘭寧(RANANIM)	-0.65	-4	0.35	0.86	-0.39	-3	0.49	0.88	3.52
2004	艾利(AERE)	-0.04	9	0.5	0.87	-0.10	19	0.38	0.92	3.68
2004	海馬(HAIMA)	0.03	-1	0.61	0.66	0.98	-6	0.84	0.01	2.78
2004	陶卡基(TOKAGE)	-2.78	-8	1.33	0.75	-2.92	9	1.39	0.79	5.72
2004	納坦(NOCK_TEN)	-0.66	1	0.5	0.91	0.87	-1	0.77	0.88	5.33
2004	南瑪都(NANMADOL)	-1.61	-9	1.05	0.88	-0.94	11	0.81	0.91	4.10
2005	海棠(HAITANG)	-0.84	6	0.91	0.91	0.59	6	1.16	0.81	7.50
2005	馬莎(MATSA)	0.86	1	0.44	0.86	0.29	-10	0.40	0.87	3.18
2005	珊瑚(SANVU)	-1.17	21	0.88	0.74	-1.21	-8	0.95	0.56	3.86
2005	泰利(TALIM)	-0.8	1	0.59	0.94	0.07	-1	0.61	0.94	7.53
2005	卡努(KHANUN)	1.47	-7	0.72	0.88	1.23	-16	0.47	0.68	2.25
2005	龍王(LONGWANG)	-3.94	1	0.56	0.95	-0.89	0	0.46	0.97	10.85
2006	珍珠(CHANCHU)	-0.69	-20	0.27	0.82	-0.49	0	0.33	0.80	2.89
2006	艾維尼(EWINIAR)	0.69	-13	0.49	0.85	0.78	-8	0.52	0.83	2.17
2006	珊珊(SHANSHAN)	0.48	-5	0.38	0.92	0.83	4	0.73	0.79	4.24
2007	萬宜(MAN_YI)	-0.93	2	0.38	0.83	-1.73	8	0.64	0.54	3.69
2007	聖帕(SEPAT)	-3.24	-3	0.92	0.93	-0.44	-3	0.84	0.92	9.26
2007	韋帕(WIPHA)	0.55	7	0.52	0.84	0.46	5	0.57	0.80	3.74
2007	柯羅莎(KROSA)	0.29	6	1.21	0.81	-0.97	1	1.22	0.88	6.49
2008	卡玫基(KALMAEGI)	1.27	-10	0.95	0.73	2.55	-10	1.16	0.67	2.85
2008	鳳凰(FUNG_WONG)	-1.48	3	0.67	0.95	0.18	0	0.77	0.91	7.32
2008	如麗(NURI)	-0.19	8	0.52	0.85	0.54	9	0.68	0.85	2.97
2008	辛樂克(SINLAKU)	-0.95	8	0.55	0.95	-0.53	8	0.57	0.92	5.37
2008	哈格比(HAGUPIT)	-0.62	1	0.38	0.95	0.62	-7	0.45	0.96	3.40
2008	薔蜜(JANGMI)	-0.85	3	0.4	0.97	1.42	3	0.67	0.90	6.00
2009	莫拉菲(MOLAVE)	-1.03	-3	0.45	0.93	-0.10	-1	0.70	0.79	4.12
2009	莫拉克(MORAKOT)	-1.65	-2	0.54	0.95	1.37	13	1.00	0.83	6.53
2009	盧碧(LUPIT)	-0.96	5	0.39	0.93	-0.33	-27	0.43	0.85	3.51
2010	凡那比(FANAPI)	-2.6	-1	0.75	0.89	-0.33	5	1.34	0.83	9.25
2010	梅姬(MEGI)	-1.27	0	0.4	0.86	-0.83	10	0.54	0.71	3.94

續表 5.1 花蓮港兩種波浪推算模式的誤差比較

2011	艾利(AERE)	-0.09	-8	0.2	0.89	0.24	12	0.38	0.56	2.08
2011	桑達(SONGDA)	1.22	-2	0.45	0.87	0.95	-5	0.44	0.92	3.11
2011	米雷(MEARL)	-0.01	6	0.17	0.95	0.53	7	0.52	0.67	2.77
2011	南瑪都(NANMADOL)	0.64	1	0.72	0.83	1.82	6	0.92	0.90	3.46
2012	蘇拉(SAOLA)	-0.15	6	0.39	0.94	3.70	15	1.48	0.56	4.65
2012	杰拉華(JELAWAT)	0.1	-11	0.52	0.89	0.76	12	0.58	0.86	3.96
	絕對值平均	1.32	7.62	0.67	0.85	1.17	7.77	0.80	0.77	4.8

由表 5.1 的結果比較中可以發現有大部分颱風以兩種不同模式推估的結果類似，但如艾美(1991)、泰德(1992)、龍王(2005)、聖帕(2007)與蘇拉(2012)五場颱風明顯在最大波高的推估結果有較大的差異，如圖 5.2 至圖 5.4，屬於第六路徑的泰德(1992)及第三路徑的龍王(2005)及聖帕(2007)三場颱風的皆於花蓮海岸登陸，但在推估結果中類神經網路模式的結果明顯較 M5 模式的結果佳，M5 模式在此類直撲颱風的推估結果可能會有低估的現象。而蘇拉(2012)颱風(圖 5.5)其路徑較接近第六路徑，但在行進至花蓮外海即將登陸時卻突然轉向往北，此颱風的推估結果類神經網路模式的結果有明顯高估的誤判，以上五個颱風是兩種模式推估結果中差異較大的，也可看出兩模式在某些特性的颱風推算上仍有不足之處。

由表 5.1 中另外可以發現露絲(1991)、弗雷特(1994)、席斯(1994)及雷馬遜(2002)四個颱風由兩個模式推估的結果相近，但與實測值有較大差異。其中露絲(圖 5.6)歸類為第八路徑，其發生最大波高的時間點其颱風仍位於 500km 外的菲律賓向西移動中，卻造成花蓮港近 9m 的波高，M5 模式與類神經模式的推算結果相近但與實測資料有很大的差異。另圖 5.7 至圖 5.9 的弗雷特(1994)、席斯(1994)及雷馬遜(2002)三個颱風路徑相同皆是東部外海向北移動卻未登陸的颱風，此類型颱風在兩種模式的推估結果相近，但皆有明顯的低估現象，對於波浪模式推估或預警上會造成較大影響。

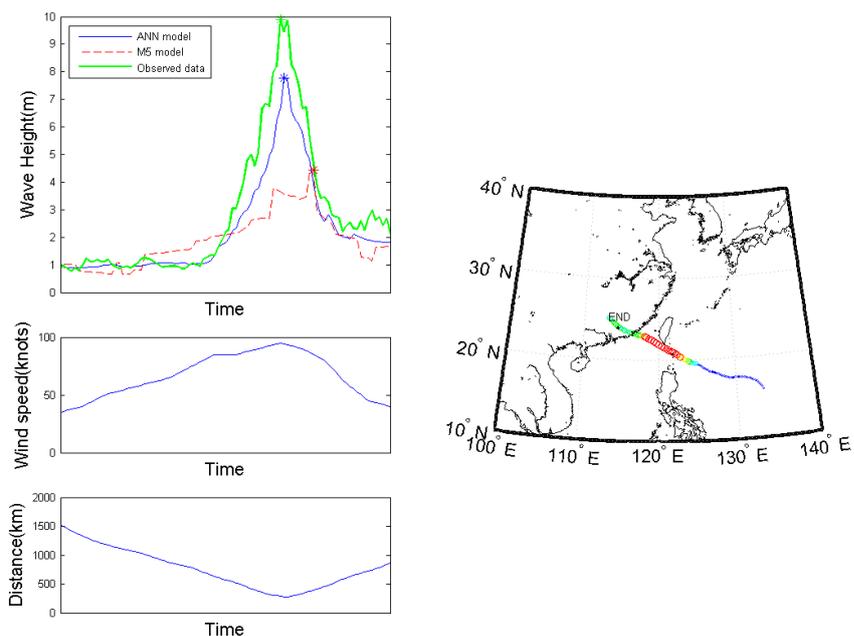


圖 5.1 花蓮港 M5 與類神經模式推算 1991 艾美颱風結果的比較圖

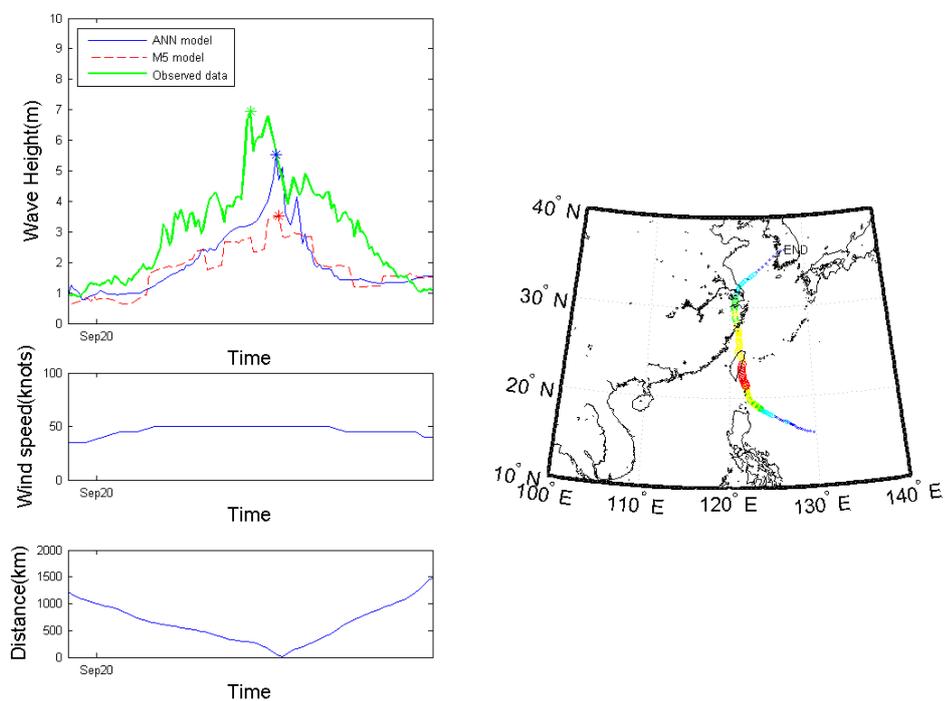


圖 5.2 花蓮港 M5 與類神經模式推算 1992 泰德颱風結果的比較圖

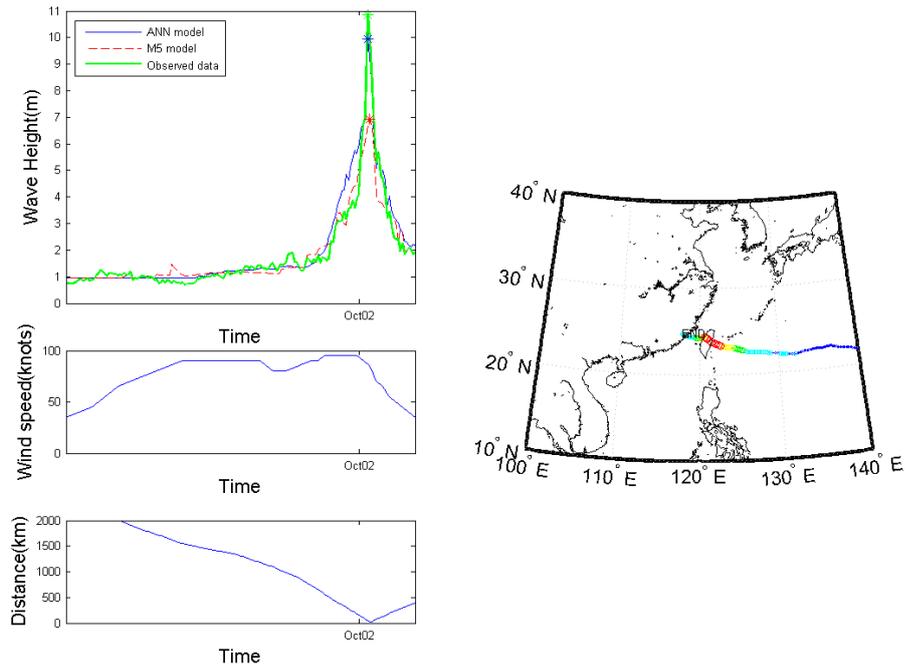


圖 5.3 花蓮港 M5 與類神經模式推算 2005 年龍王颱風結果的比較圖

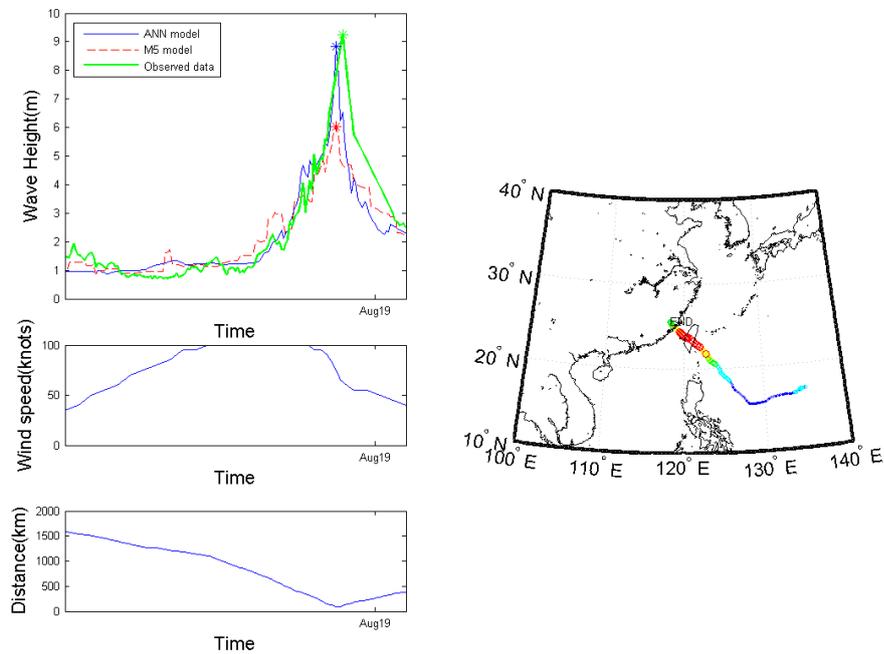


圖 5.4 花蓮港 M5 與類神經模式推算 2007 年聖帕颱風結果的比較圖

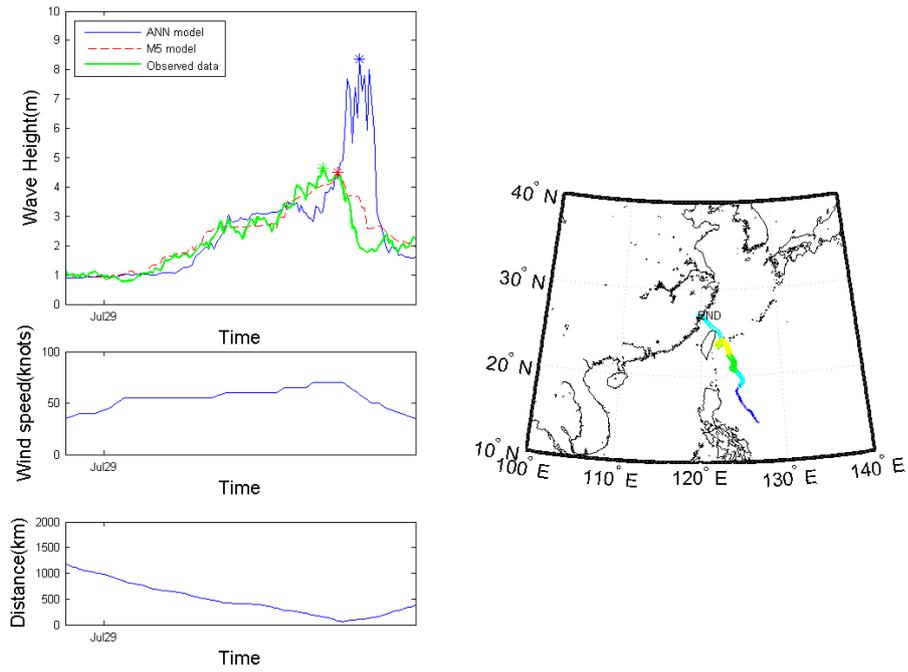


圖 5.5 花蓮港 M5 與類神經模式推算 2012 年蘇拉颱風結果的比較圖

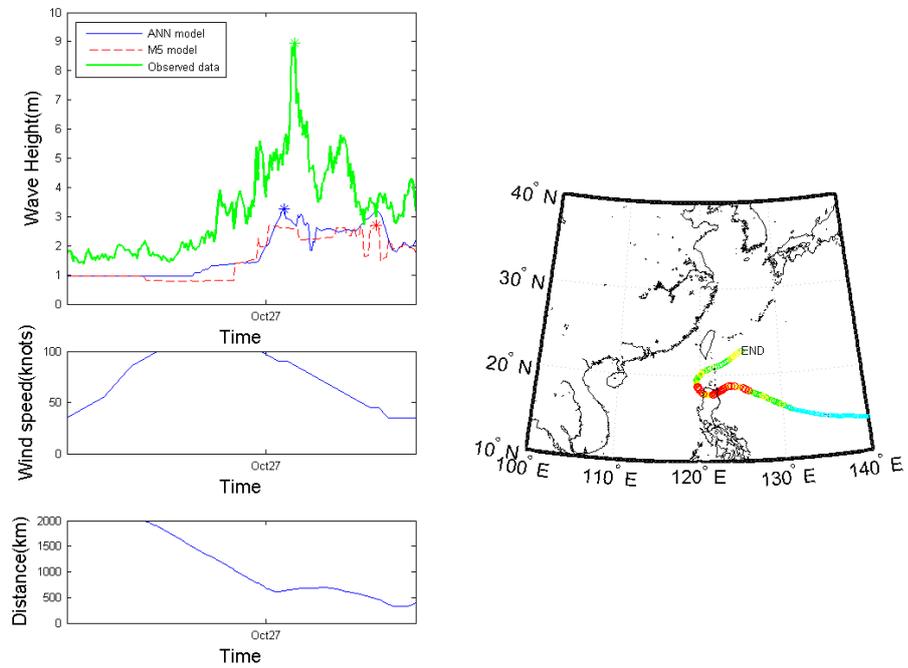


圖 5.6 花蓮港 M5 與類神經模式推算 1991 年露絲颱風結果的比較圖

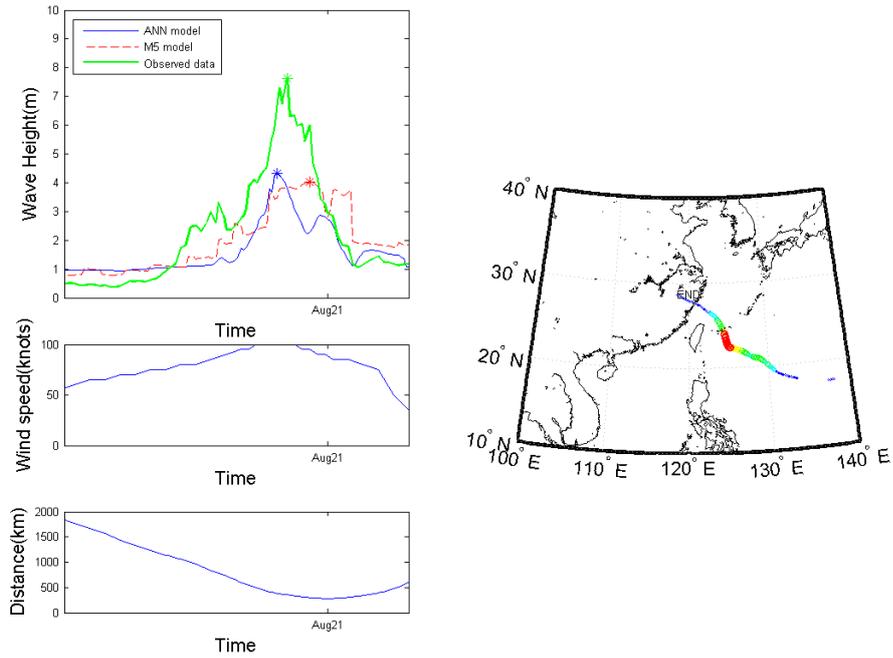


圖 5.7 花蓮港 M5 與類神經模式推算 1994 年弗雷特颱風結果的比較圖

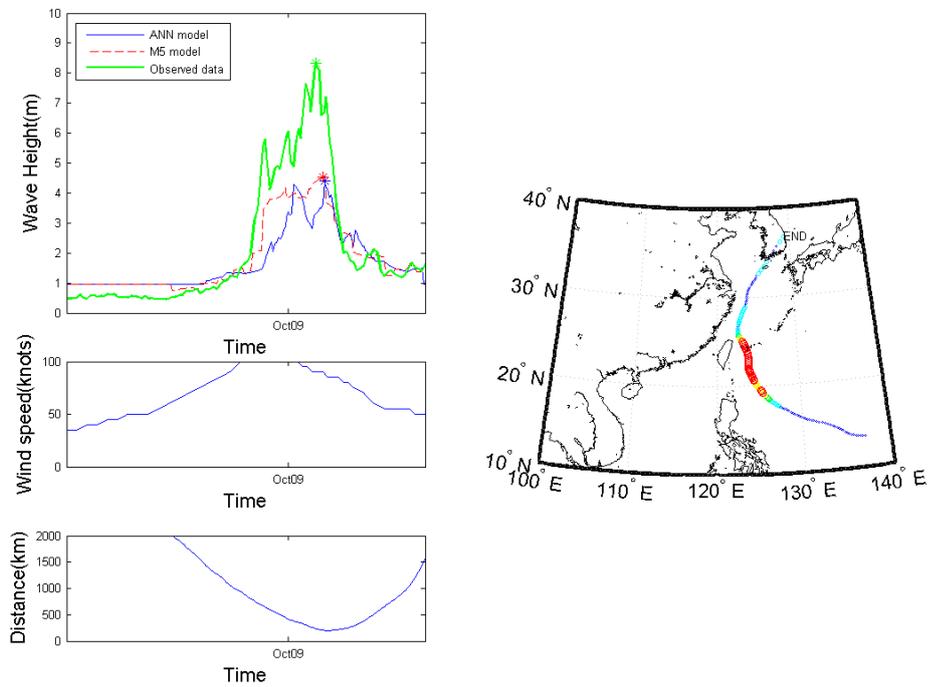


圖 5.8 花蓮港 M5 與類神經模式推算 1994 年席斯颱風結果的比較圖

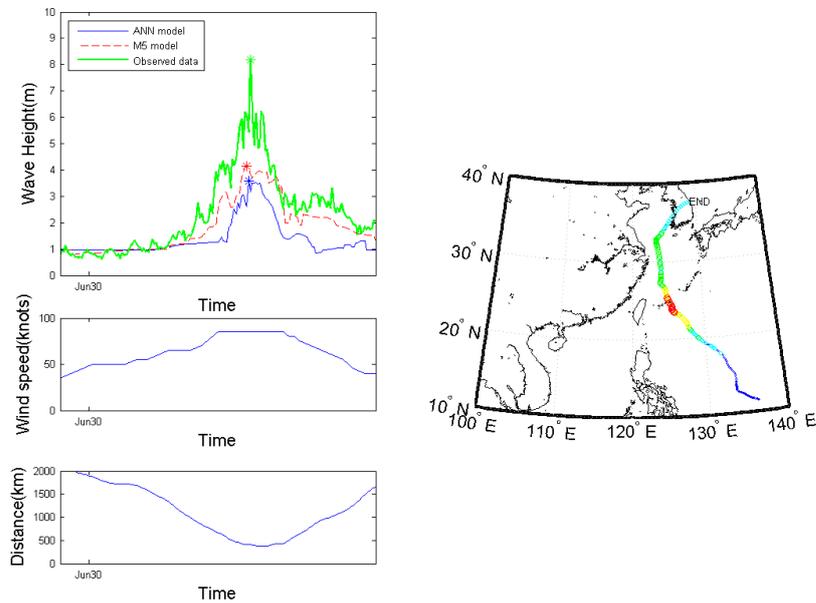


圖 5.9 花蓮港 M5 與類神經模式推算 2002 年雷馬遜颱風結果的比較圖

另以蘇澳港 M5 模式與類神經波浪推算模式之推算結果進行比較，選取兩種模式皆有推算出結果且能與實測資料進行比較的颱風共 47 場如表 5.2。其中以四種模式評估指標包括：波高峰值、峰值發生時間、RMSE 與相關係數 R 進行評估，以蘇澳港 47 場颱風的絕對平均值來看，類神經網路模式推估颱風所造成波浪的峰值與峰值發生時間較 M5 模式佳，整體 RMSE 與相關係數 R 則以 M5 模式為佳。

表 5.2 蘇澳港兩種波浪推算模式的誤差比較。

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$	Δt_p	RMSE	R	$\Delta H_{s,p}$	Δt_p	RMSE	R	H_{obs} (m)
		(m)	(hour)			(m)	(hour)			
		M5				類神經				
1999	瑪姬(MAGGIE)	-1.95	0	0.61	0.95	-1.59	-6	0.85	0.83	5.96
2000	碧利斯(BILIS)	1.73	2	0.85	0.96	0.15	2	0.65	0.98	6.3
2001	西馬隆(CIMARON)	0.73	1	0.46	0.73	1.22	15	0.91	0.45	2.02
2001	尤特(UTOR)	1	6	1.14	0.78	1.25	-4	1.21	0.88	2.58
2002	辛樂克(SINLAKU)	-0.54	5	0.5	0.83	-0.66	6	0.57	0.79	4.65
2003	柯吉拉(KUJIRA)	-1.03	-30	0.34	0.92	-0.40	5	0.68	0.60	4
2003	莫拉克(MORAKOT)	-0.26	-9	0.7	0.81	1.33	-4	1.89	0.68	2.82

續表 5.2 蘇澳港兩種波浪推算模式的誤差比較

2003	柯羅旺(KROVANH)	-1.04	-12	0.37	0.9	0.00	-1	0.58	0.74	3.24
2003	杜鵑(DUJUAN)	-2.7	1	0.76	0.98	-2.62	-3	0.87	0.97	9.1
2004	妮姐(NIDA)	-0.45	0	0.25	0.95	-0.55	5	0.55	0.81	3.45
2004	康森(CONSON)	1.96	-15	1.11	0.45	1.77	-10	0.87	0.65	2.38
2004	電母(DIANMU)	-1.75	13	0.6	0.71	-1.96	9	0.50	0.84	4.06
2004	敏督利(MINDULLE)	-1.64	-2	0.49	0.96	-0.66	1	1.16	0.75	6.87
2004	蘭寧(RANANIM)	-1.21	-1	0.52	0.79	-0.76	-1	0.46	0.86	4.51
2004	艾利(AERE)	0.66	5	0.59	0.88	0.52	6	0.64	0.86	4.53
2004	海馬(HAIMA)	-1.51	8	0.54	0.79	0.97	2	0.70	0.75	4.92
2004	陶卡基(TOKAGE)	-3.02	40	1.21	0.71	-2.91	8	1.41	0.68	5.84
2004	納坦(NOCKTEN)	-4.75	13	2.04	0.64	0.85	2	2.16	0.60	11.57
2004	南瑪都(NANMADOL)	-1.06	12	0.77	0.9	-1.32	14	1.10	0.92	5.07
2005	海棠(HAITANG)	-2.82	2	1.07	0.98	0.13	1	1.27	0.94	12.04
2005	馬莎(MATSA)	-0.43	-1	0.45	0.88	-0.41	1	0.41	0.90	4.27
2005	泰利(TALIM)	-5.69	1	1.01	0.96	-1.99	1	1.05	0.97	14.84
2005	卡努(KHANUN)	0.6	-4	0.58	0.7	0.80	7	0.66	0.57	2.85
2005	龍王(LONGWANG)	-3.22	0	0.74	0.94	1.46	0	0.65	0.96	12.45
2006	珍珠(CHANCHU)	-0.21	-8	0.29	0.84	1.45	3	0.36	0.87	3.21
2006	艾維尼(EWINIAR)	-0.28	-14	0.41	0.85	0.19	-7	0.38	0.80	3
2006	碧利斯(BILIS)	0.9	-5	0.87	0.84	-0.09	-28	0.97	0.80	5.7
2006	凱米(KAEMI)	-1.77	-3	0.42	0.97	-0.74	-5	0.70	0.92	7.37
2006	珊珊(SHANSHAN)	-0.47	-1	0.43	0.93	0.24	-1	0.73	0.82	5.37
2007	聖帕(SEPAT)	0.2	2	0.61	0.96	0.02	6	0.77	0.96	7.56
2007	韋帕(WIPHA)	3.94	12	1.64	0.6	1.99	-1	0.82	0.79	3.59
2007	米塔(MITAG)	-0.87	4	0.75	0.53	-0.88	10	1.57	0.39	3.85
2008	卡玫基(KALMAEGI)	0.46	-13	0.86	0.84	0.82	-13	1.19	0.85	5.08
2008	鳳凰(FUNGWONG)	-2.02	-1	1.12	0.96	-2.85	8	1.42	0.90	9.46
2008	如麗(NURI)	-1.34	1	0.52	0.9	0.04	0	0.56	0.91	3.85
2008	辛樂克(SINLAKU)	-0.2	30	1.05	0.85	0.20	0	0.73	0.94	7.68
2008	哈格比(HAGUPIT)	-1.17	5	0.46	0.95	-1.04	3	0.51	0.94	5.02
2008	薔蜜(JANGMI)	-2.21	0	0.75	0.97	-0.20	0	0.68	0.97	12.64
2009	莫拉菲(MOLAVE)	-1.4	-8	0.63	0.87	-1.00	-8	0.70	0.83	5.14
2009	莫拉克(MORAKOT)	-1.16	-9	0.56	0.95	-0.70	1	0.69	0.94	7.15
2011	梅花(MUIFA)	-1.03	-11	0.56	0.54	-1.61	-8	0.49	0.69	4.02
2011	南瑪都(NANMADOL)	-0.71	8	0.89	0.73	0.33	19	0.78	0.83	4.46
2012	瑪娃(MAWAR)	-0.2	-6	0.25	0.89	0.18	12	0.58	0.64	3.01

續表 5.2 蘇澳港兩種波浪推算模式的誤差比較

2012	杜蘇芮(DOKSURI)	-0.26	-7	0.32	0.97	1.54	-16	0.87	0.91	2.48
2012	蘇拉(SAOLA)	-0.17	-1	0.47	0.94	5.28	-1	0.88	0.85	6.26
2012	三巴(SANBA)	-0.46	4	0.4	0.9	-0.86	16	0.56	0.68	3.09
2012	杰拉華(JELAWAT)	-2.15	-2	0.56	0.92	-2.73	0	1.04	0.76	6.62
絕對值平均		1.39	7.19	0.69	0.85	1.09	5.96	0.85	0.81	5.66

由表 5.2 中另外可以發現納坦(2004)、龍王(2005)、泰利(2005)、海棠(2005)及蘇拉(2012)五個颱風由兩個模式推估的結果差異較大，如圖 5.10 至圖 5.13 以 M5 模式推估納坦(2004)、龍王(2005)、泰利(2005)及海棠(2005)四個颱風與花蓮港 M5 模式一樣會在此類直撲推算點登陸的颱風有低估的現象。而圖 5.14 蘇拉(2012)颱風與花蓮港模式相同，類神經模式在蘇澳港的推估結果一樣有高估的現象，顯示類神經模式在此類型路徑的颱風應再探討改善的方法。

由表 5.2 中另外可以發現杜鵑(2003)、陶卡基(2004)及鳳凰(2008)三個颱風由兩個模式推估的結果相近，但與實測值有較大差異。其中杜鵑(圖 5.15)為第五路徑，兩個模式推估發生最大波高的時間點與實測資料相近，但其峰值低估了 2.6m。陶卡基(圖 5.16)在花蓮外海距離花蓮港 500km 處轉向北方處造成花蓮港 5.8m 的波高，其原因可能為轉向前的湧浪傳遞或其他未知因素，目前以兩種模式皆無法順利模擬此颱風所造成的波浪。鳳凰颱風(圖 5.17)以第三路徑登陸台灣東海岸並造成 9.5m 的波高，兩種推算模式的結果雖然趨勢相近但峰值仍有 2.8m 的低估。

類神經模式與 M5 模式都是基於波浪實測資料以颱風資訊來進行建立的，雖採用不同的建立方式卻有類似的推算能力。然而由以上分析發現兩種模式各有其優缺點，M5 模式所推算的時序列結果由於其分區回歸的特性，其推算結果常會有類似階梯函數突然增加或下降的現象，且其峰值的誤差較大。現階段無論是即時預報或極值樣本推算仍以類神經模式較為適用。

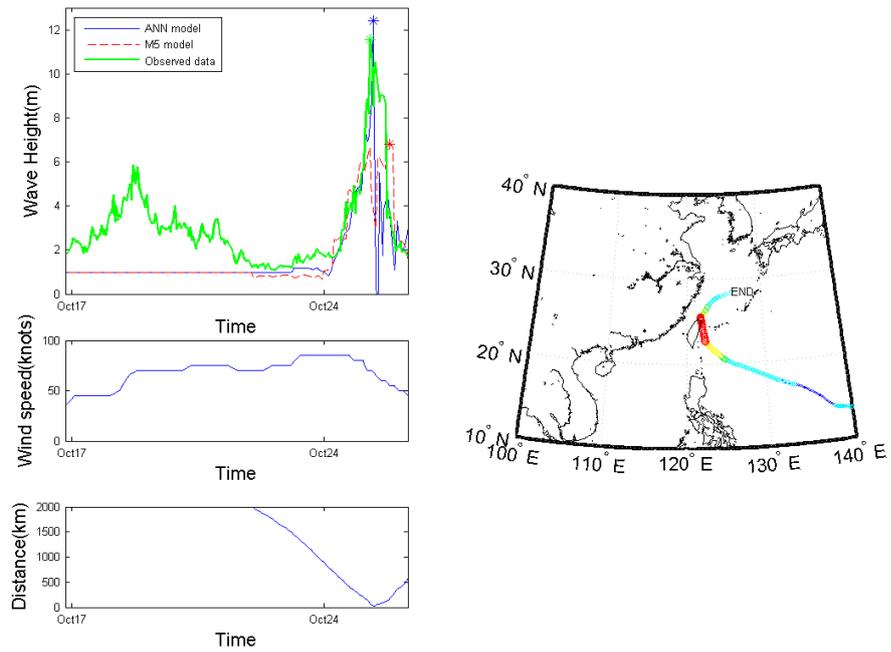


圖 5.10 蘇澳港 M5 與類神經模式推算 2004 年納坦颱風結果的比較圖

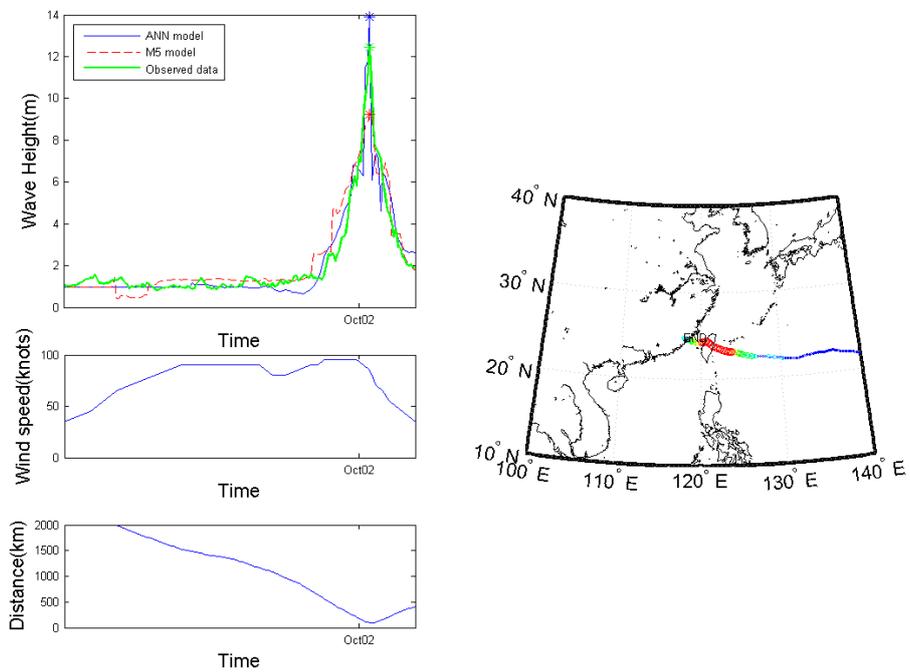


圖 5.11 蘇澳港 M5 與類神經模式推算 2005 年龍王颱風結果的比較圖

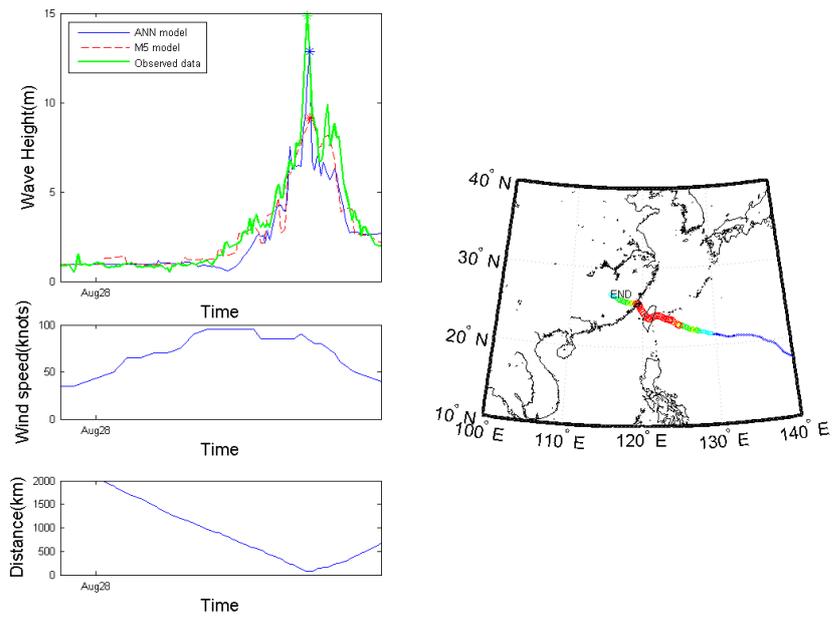


圖 5.12 蘇澳港 M5 與類神經模式推算 2005 年泰利颱風結果的比較圖

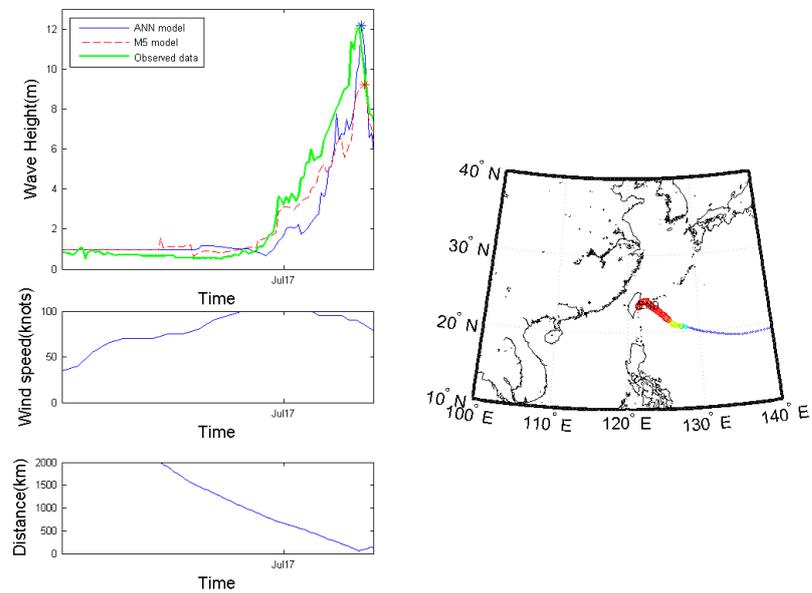


圖 5.13 蘇澳港 M5 與類神經模式推算 2005 年海棠颱風結果的比較圖

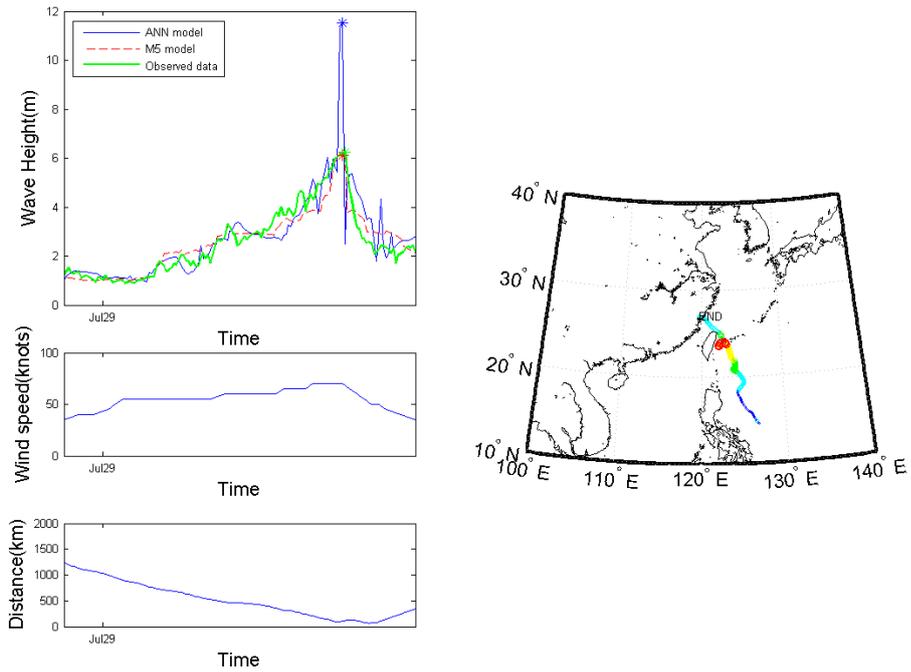


圖 5.14 蘇澳港 M5 與類神經模式推算 2012 年蘇拉颱風結果的比較圖

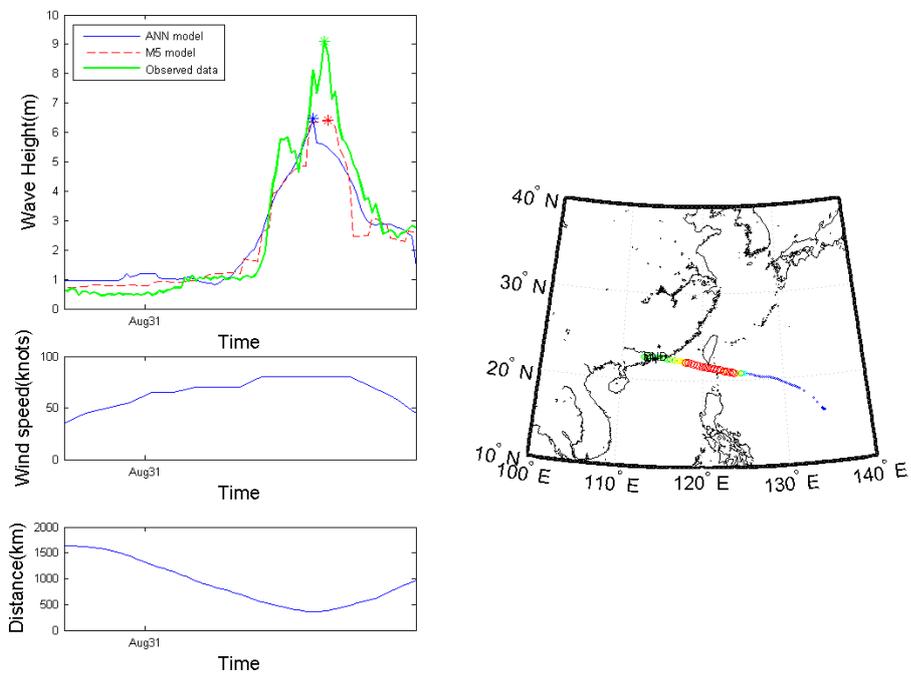


圖 5.15 蘇澳港 M5 與類神經模式推算 2003 年杜鵑颱風結果的比較圖

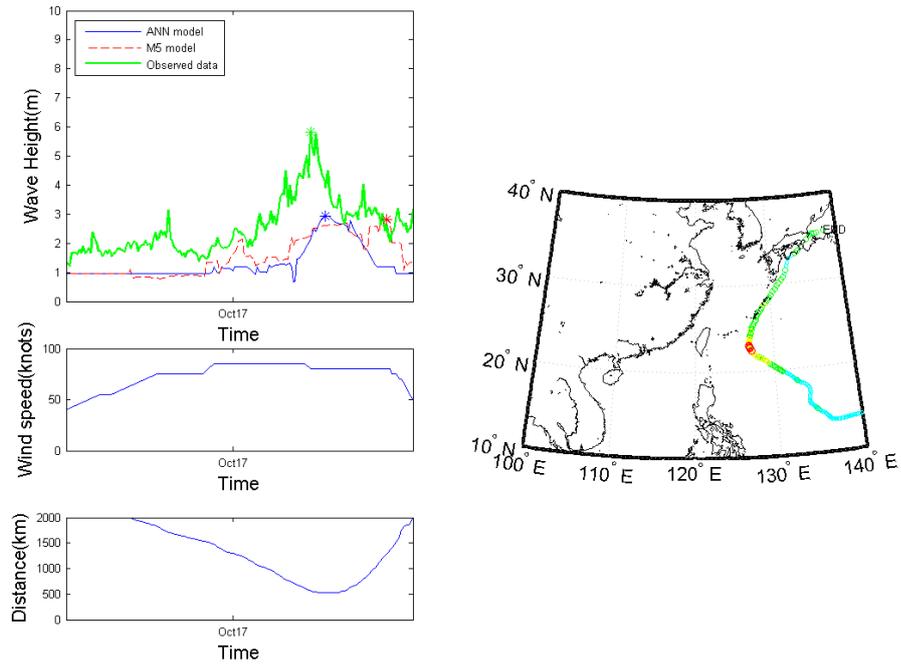


圖 5.16 蘇澳港 M5 與類神經模式推算 2004 年陶卡基颱風結果的比較圖

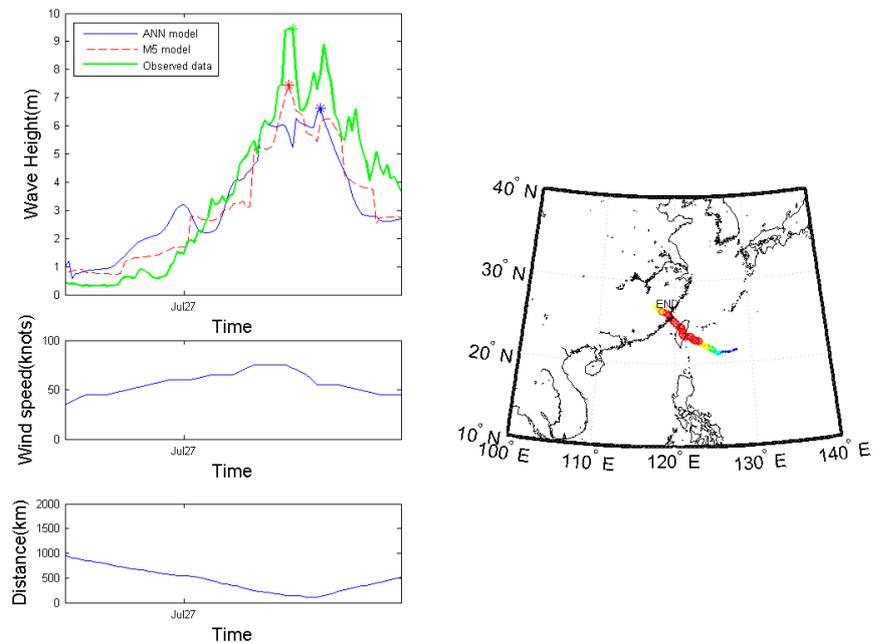


圖 5.17 蘇澳港 M5 與類神經模式推算 2008 年鳳凰颱風結果的比較圖

5.2 各港類神經颱風波浪推算模式精度比較

截至本年度期末報告，本所港研中心已完成包括花蓮、高雄、台北、台中、基隆及蘇澳等全國六大國際港及安平港的類神經颱風波浪推算模式。表 5.3 顯示歷年來發展颱風波浪推算模式的成效比較，其中 $\Delta H_{s,p}$ 部分是以高雄港最佳，誤差 0.67m，但其可能原因是為高雄港目前記錄的颱風波浪峰值都較其他港小。最大波高發生時間誤差 Δt_p 波則以基隆港波浪推算模式最為準確。均方根誤差 RMSE 則以臺北港最佳，其值為 0.59m。推算波高結果與實測波高的相關性 R 以最花蓮港為最佳，其值為 0.83。整體來說，模式成效以花蓮港、蘇澳港與基隆港較佳，由於大部分颱風皆由東往西侵臺，且花蓮港的颱風波浪實測資料最完整，所以該測站的模式推算能力較佳。高雄港、安平港與臺北港在地理位上有一個共通點，大部分颱風在接近此區域其風場結構皆受到地形的阻擋，其波浪傳遞也受到陸地的遮蔽效應，且颱風波浪資料較少，所以模式的推算能力並沒有花蓮港那麼好，而臺中港部分由於資料較少，且有幾場颱風的對應波高有異常的波峰值外，配合二維的轉換函數，其模式推算能力與安平港模式接近，未來若能有更多的颱風波浪資料進行分析，相信能繼續提升模式推算能力。

表 5.3 各類神經颱風波浪推算成效比較

	$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hour)	RMSE	R
花蓮港	0.98	5.04	0.69	0.83
高雄港	0.67	8.70	0.64	0.74
安平港	1.03	10.06	0.72	0.73
臺北港	1.02	14.81	0.59	0.73
臺中港	0.79	10.86	0.70	0.71
基隆港	0.97	4.38	0.62	0.82
蘇澳港	1.09	5.96	0.85	0.81

5.3 波浪推算模式之風險分析

前述各波浪推算的模式驗證部分以相關係數(R, correlation coefficient)、均方根誤差(RMSE, root mean squared error)、颱風波浪最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 及最大波高發生時間誤差 Δt_p 等四個誤差特性來表現各場颱風的推算結果，本節則以各波浪推算模式其推算波高峰值的誤差來做風險分析，花蓮港的最大波高推算風險分析如圖 5.18，圖中紅色空心點為誤差值以 Normal 分布繪製的機率密度函數，紅色虛線為其 90%信賴區間範圍；藍色實線為利用 ksdensity 所繪製的機率密度函數，藍色虛線為其 95%信賴區間範圍。圖 5.18 顯示以花蓮港 M5 模式推算結果的各場颱風波高峰值誤差的風險分析，其平均值為-1.00m，中位數為-0.81m，標準差為 1.55m，74 個樣本中不通過 95%信賴度的有 7 個，佔全部的 9.46%。花蓮港類神經颱風推算結果的各場颱風波高峰值誤差的風險分析，其平均值為-0.36m，中位數為-0.30m，標準差為 1.57m，74 個樣本中不通過 95%信賴度的有 7 個，佔全部的 9.46%。圖 5.19 顯示以花蓮港 M5 模式推算結果的各場颱風波高峰值發生時間誤差的風險分析，其平均值為 0.30 小時，中位數為 1.00 小時，標準差為 11.32 小時，74 個樣本中不通過 95%信賴度的有 7 個，佔全部的 9.46%。花蓮港類神經颱風推算結果的各場颱風波高峰值發生時間誤差的風險分析，其平均值為 1.28 小時，中位數為 0.50 小時，標準差為 10.11 小時，74 個樣本中不通過 95%信賴度的有 7 個，佔全部的 9.46%。

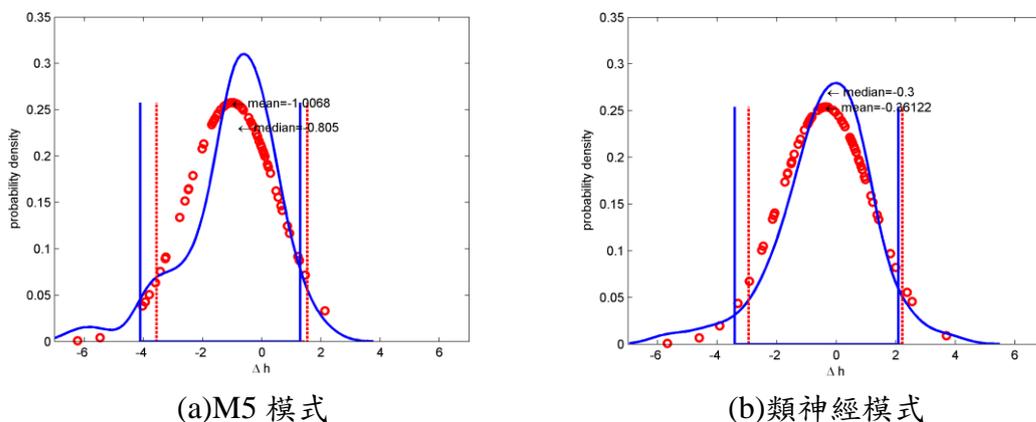


圖 5.18 花蓮港各波浪推算模式推算波高風險分析

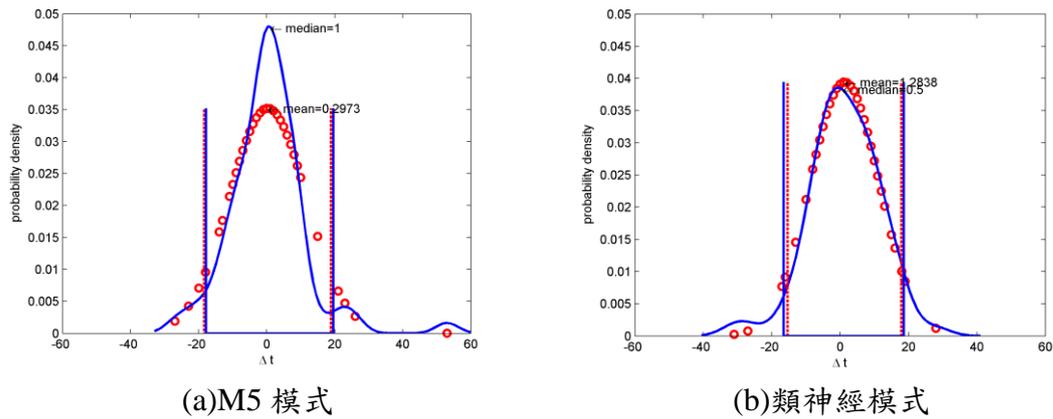


圖 5.19 花蓮港各波浪推算模式推算峰值發生時間風險分析

圖 5.20 顯示以蘇澳港 M5 模式推算結果的各場颱風波高峰值誤差的風險分析，其平均值為 -0.87m ，中位數為 -0.87m ，標準差為 1.64m ，47 個樣本中不通過 95% 信賴度的有 4 個，佔全部的 8.51%。蘇澳港類神經颱風推算結果的各場颱風波高峰值誤差的風險分析，其平均值為 -0.12m ，中位數為 0m ，標準差為 1.49m ，47 個樣本中不通過 95% 信賴度的有 5 個，佔全部的 10.64%。圖 5.21 顯示以蘇澳港 M5 模式推算結果的各場颱風波高峰值發生時間誤差的風險分析，其平均值為 0.26 小時，中位數為 0 小時，標準差為 11.04 小時，47 個樣本中不通過 95% 信賴度的有 3 個，佔全部的 6.38%。蘇澳港類神經颱風推算結果的各場颱風波高峰值發生時間誤差的風險分析，其平均值為 0.98 小時，中位數為 1.00 小時，標準差為 8.45 小時，47 個樣本中不通過 95% 信賴度的有 6 個，佔全部的 12.77%。

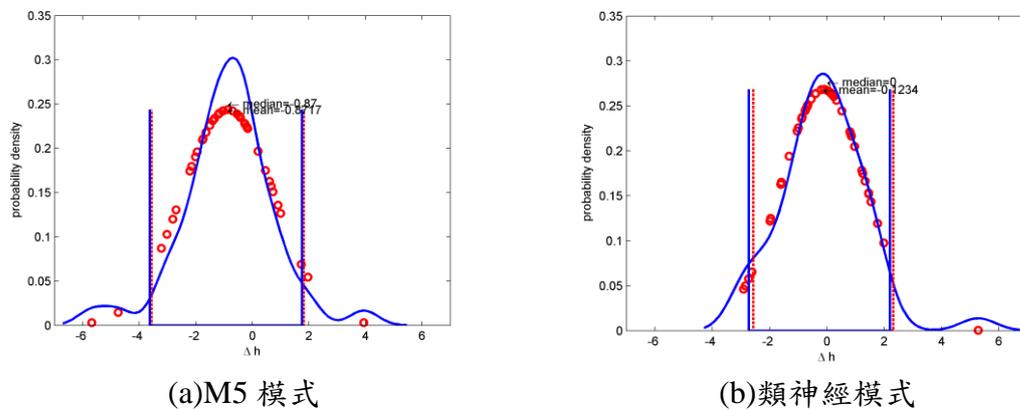


圖 5.20 蘇澳港各波浪推算模式推算波高風險分析

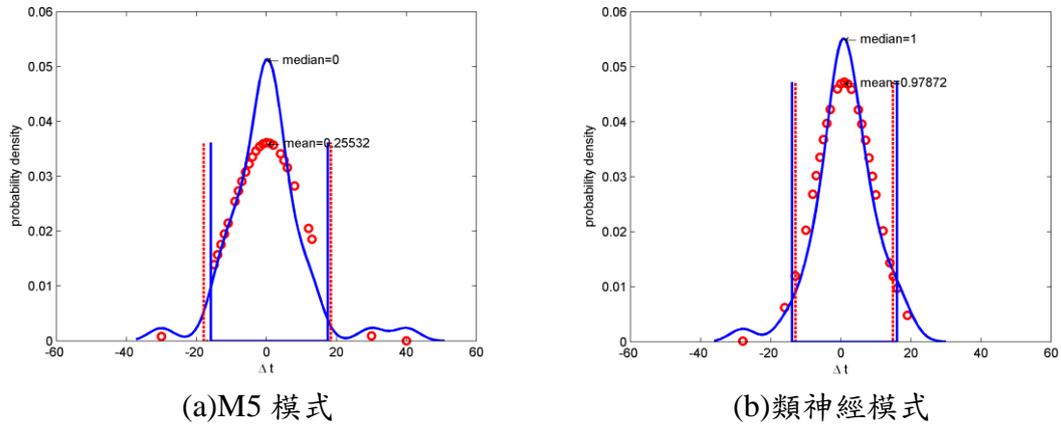


圖 5.21 蘇澳港各波浪推算模式推算峰值發生時間風險分析

由上述推估誤差的風險分析雖然無法直接比較兩個模式的精度，但峰值誤差偏向高估或低估與峰值發生時間的誤差偏早或偏晚，而標準差能說明誤差波動的幅度大小。

第六章 二維數值模式之波浪推算

6.1 MIKE 21 SW 波浪模式

本計畫數值模式採用丹麥水力研究所(DHI: Danish Hydraulic Institute)研發完成之 MIKE 21 軟體進行數值模擬，DHI 是一個獨立的國際諮詢及科學研究機構，其所研發的 MIKE 21 是模擬水動力、水質、泥沙、波浪的專業工程軟體，主要應用於港口、河流、湖泊、河口海岸和海洋，具有先進的前後處理功能和用戶介面。模式以有限體積法(Finite Volume Method)將控制方程式在空間上進行離散，所採用之網格系統為非結構性三角形網格，每一個三角形都代表一個元素，每一時間步均可解出各元素中心的 N 值。

MIKE 21 SW 主要用於模擬離岸及近岸區，風浪和湧浪的成長、衰減及傳播變形。MIKE 21 SW 包含兩個不同公式：

1. 全譜公式

全譜公式基於 Komen 等人(1994)和 Young (1999)的波動守恆方程。全譜模式包含下列物理現象：風浪成長、波與波非線性交互作用、白沫消散、底床摩擦消散、水深引起的波浪破碎、水深變化引起的折射和淺水變形、波流交互作用、水深隨時間變化產生的影響、波浪場冰層覆蓋產生的影響。

該模式係模擬波浪在各種外力作用下之波能變化，其求解之方程式為波浪作用力守恆方程式(Wave action conservation equation)，此方程式為二維時變域之偏微分方程式，表示如下：

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{v}N) = \frac{S}{\sigma} \quad (6-1)$$

其中， $N(\bar{x}, \sigma, \theta, t)$ 為波力頻譜密度函數(wave action density function)，與波能頻譜密度函數(wave energy density function)之關係為 $N=E/\sigma$ ； $\bar{x}=(x, y)$ 為卡氏坐標； t 為時間； σ 為角頻率；而 θ 則為波向角。

$\vec{v} = (c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta)$ 為一個 4 維空間的向量， $(c_x, c_y) = d\vec{x}/dt = \vec{c}_g + \vec{U}$ ，代表群波在空間上的傳遞速度，其中 \vec{c}_g 為群波速度，而 \vec{U} 則為海流之流速，模式可考量波浪在海流流動狀況下之傳遞情形。 $c_\sigma = d\sigma/dt$ ，代表角頻率 σ 之變化速度。 $c_\theta = d\theta/dt$ ，代表波向角 θ 之變化速度。

$\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y, \partial/\partial \sigma, \partial/\partial \theta)$ 為一個 4 維空間的向量運算子， S 則為源項(Source term)，代表波浪傳遞過程時可能發生之波浪能量成長、消散及非線性交互作用等物理現象，表示如下：

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} + S_{surf} \quad (6-2)$$

其中 S_{in} 為風浪之成長項， S_{nl} 為波與波非線性交互作用項， S_{ds} 為白沫消散項， S_{bot} 為底床摩擦項，而 S_{surf} 則為碎波消耗項。

2. 方向參數化解耦公式

方向參數化解耦公式基於波動守恆方程的參數化形式，按照 Holthuijsen (1989) 理論，參數化在頻率空間內進行，引入波譜的零階和一階矩作為決定變量，可用於以波浪碎波後而產生之沿岸流的泥沙傳輸計算。參數化的方程式表示如下：

$$\frac{\partial(m_0)}{\partial t} + \frac{\partial(C_{gx}m_0)}{\partial x} + \frac{\partial(C_{gy}m_0)}{\partial y} + \frac{\partial(C_\theta m_0)}{\partial \theta} = T_0 \quad (6-3)$$

$$\frac{\partial(m_1)}{\partial t} + \frac{\partial(C_{gx}m_1)}{\partial x} + \frac{\partial(C_{gy}m_1)}{\partial y} + \frac{\partial(C_\theta m_1)}{\partial \theta} = T_1 \quad (6-4)$$

其中 $m_0(x, y, \theta)$ 為波譜 $N(x, y, \omega, \theta)$ 的零次矩， $m_1(x, y, \theta)$ 為波譜 $N(x, y, \omega, \theta)$ 的一次矩， C_{gx} 及 C_{gy} 分別為群波速度 x 、 y 方向之分量， C_θ 為 θ 方向的波浪行進速度， ω 為角頻率， T_0 和 T_1 為 Source Terms，包含風、底床摩擦、碎波等因素。 n 次矩 $m_n(\theta)$ 定義為

$$m_n(x, y, \theta) = \int_0^\infty \omega^n N(x, y, \omega, \theta) d\omega \quad (6-5)$$

6.2 數值模擬條件

1. 地形及網格設定

本計畫所採用之地形資料，於近岸區利用海軍海洋測量局發行之海圖地形，而遠岸區則採用 National Geophysical Data Center 發布之全球高程資料 ETOPO2v2 (2006)。該地形資料範圍包含東經 180°~西經 180°、北緯 89.967°~南緯 90°，地形格網之解析精度為 2'×2' (約為 4×4 公里)。本計畫採用非結構型三角網格方式計算，模擬範圍之邊界南約至北緯 14°、北約至北緯 30°、西約至東經 111°、東約至東經 135°，範圍涵蓋至大陸、台灣及菲律賓群島，所模擬範圍之地形水深如圖 6.1 所示。由圖中可知，為於近岸區獲得較高精度之模擬結果，鄰近台灣、澎湖、金門、馬祖海域之海岸線採用較密之網格，而遠岸區則採用較粗之網格，共計有 3,445 個節點、5,924 個元素，網格之設定如表 6.1 所示。

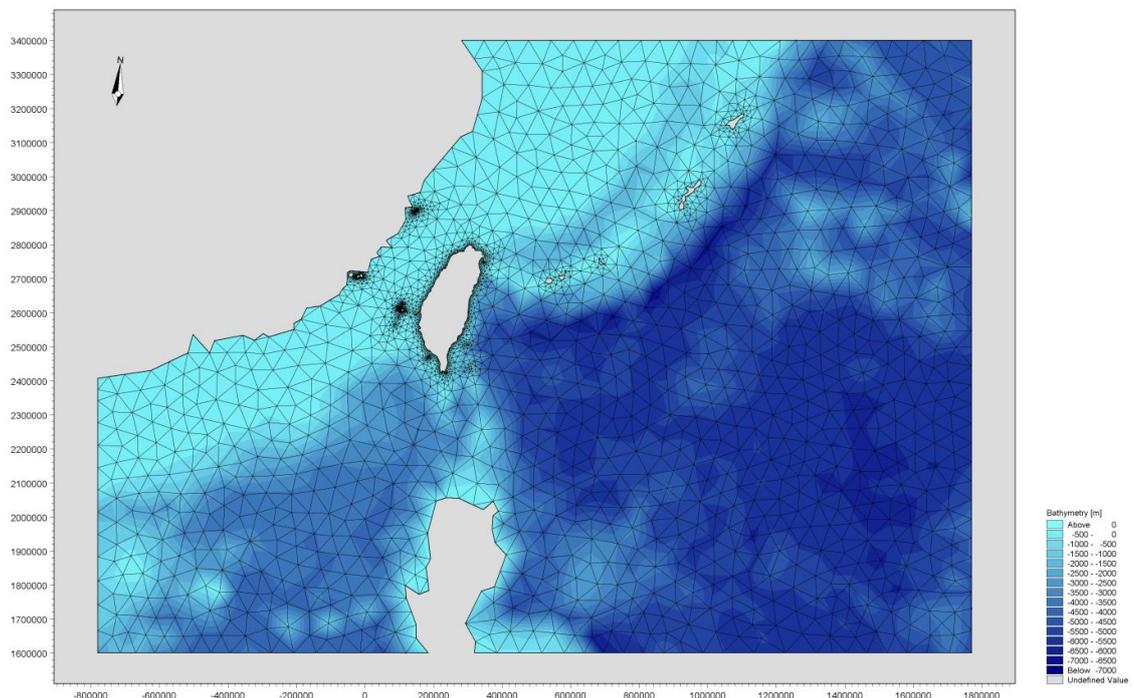


圖 6.1 風浪推算模擬範圍之地形水深

表 6.1 風浪推算模擬之網格設定內容

元素個數	5,924
節點個數	3,445
最小元素面積(m ²)	8,610
最大元素面積(m ²)	2.9×10 ⁹

2.風場模式

本計畫採用 NCEP 風場進行波浪推算，NCEP 風場資料係由美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)與國家大氣研究中心(National Centers for Atmospheric Research, NCAR)在西元 1989 年開始合作發展氣候資料再分析計畫(NCEP/NCAR Reanalysis Project)，此計畫之目標為利用西元 1948 年至今之舊有氣候觀測資料重新進行分析，並發展一氣候資料同化系統(Climote data assimilation system, CDAS)用來分析現今之大氣情況。此系統納入了許多不同類型之觀測資料結果，包括地面觀測、船艦觀測、飛機觀測、無線電探空觀測、衛星觀測等，再經過數據品質(QC)步驟，集成為此氣候資料同化系統，目前已有氣象組織利用此系統分析資料進行真實氣象預報。

NCEP/NCAR Reanalysis Project 提供資料自 1948 年迄今，資料時距包含每日 6 小時、單日及單月為一報之資料，資料項目有氣溫、地表溫度、地中溫度、氣壓、濕度、風速等，提供方式可以經由網路下載(<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>)。本計畫採用 NCEP 每日 6 小時且為海平面上 10m 處之 u、v 向風速資料，資料範圍包含緯度 88.542°~ -88.542°、經度 0°~358.125°，風場資料解析格網為 1.875°×1.875°。

3.模式參數設定

本計畫進行 SW 模組颱風波浪推算所設定之相關參數如表 6.2 所示。在頻率領域方面，最小頻率採 0.055Hz，並以 1.1 倍參數的指數型式分割成 25 個頻率帶，相當於週期 1.85~18.18 秒。在角度領域方面，以 22.5°為 1 個角度單位，共計分割成 16 個方向角，計算時距以 15 分

鐘進行計算。風浪能量消散機制則考量 4 個波波非線性交互作用、碎波效應、底床摩擦、白沫消散等物理機制。計算範圍的邊界條件共分成二種邊界形式，一為陸域邊界，其不考慮入射波浪的能量通量；另一為海域邊界，其考慮波浪通過此邊界時完全被吸收。

表 6.2 模式參數設定彙整表

相關參數	設 定
頻率領域	0.055Hz~0.542Hz
角度領域	0°~360°、 $\Delta\theta=22.5^\circ$
時 距	$\Delta t=15\text{min}$
碎波指標	$\gamma=0.8$
底床摩擦	$k_N=0.04m$
白沫消散	$C_{ds}=4.5$ 、 $\delta_{ds}=0.5$

6.3 數值模式驗證

測試數值模式推算值與觀測值的吻合程度，將採用 3.2 節所述 4 個指標來評估各模式推算結果的優劣，分別為相關係數(R, correlation coefficient)、均方根誤差(RMSE, root mean squared error)、颱風波浪最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 及最大波高發生時間誤差 Δt_p 。

由表 6.3 中可發現花蓮港颱風波浪推算結果與實測結果最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 以雷馬遜(2002)颱風誤差較大。最大波高發生時間誤差 Δt_p 以天秤(2012)相差最多。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差 RMSE 最大為娜克莉(2002)，其誤差達 1.19m。推算波高結果與實測波高的相關性 R 亦以娜克莉(2002)最差。平均來說模式推算結果的各颱風最大波高誤差絕對值 $\Delta H_{s,p}$ 約為 0.58m，最大波高發生時間誤差絕對值 Δt_p 約為 9.54 小時，RMSE 約為 0.52m，相關係數 R 約為 0.81。

由表 6.4 中可發現蘇澳港颱風波浪推算結果與實測結果最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 以泰利(2005)颱風誤差較大。最大波高發生時間誤差 Δt_p 以柯羅旺(2003)相差最多。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差 RMSE 最大為泰利(2005)，其誤差達 1.26m。推算波高結果與實測波高的相關

性 R 以米塔(2007)最差。平均來說模式推算結果的各颱風最大波高誤差絕對值 $\Delta H_{s,p}$ 約為 1.38m，最大波高發生時間誤差絕對值 Δt_p 約為 13.57 小時，RMSE 約為 0.66m，相關係數 R 約為 0.83。

表 6.3 花蓮港數值模式之波浪推算結果驗證

年份	中文名稱	英文名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hour)	RMSE	R	H_{max} (m)
2000	雅吉	YAGI	-0.08	5	0.38	0.81	2.55
2001	西馬隆	CIMARON	-0.71	12	0.44	0.90	3.30
2001	利奇馬	LEKIMA	-0.18	16	0.36	0.77	3.18
2001	海燕	HAIYAN	0.52	-13	0.86	0.73	4.48
2002	雷馬遜	RAMMASUN	-2.34	3	0.63	0.94	8.18
2002	娜克莉	NAKRI	-0.80	13	1.19	0.35	3.79
2002	辛樂克	SINLAKU	-1.40	-11	0.65	0.72	4.53
2003	柯吉拉	KUJIRA	-1.67	-66	0.57	0.83	3.76
2003	南卡	NANGKA	0.25	56	0.32	0.48	1.61
2003	蘇迪勒	SOUDELOR	-0.82	-3	0.41	0.91	3.71
2003	尹布都	IMBUDO	0.73	0	0.51	0.91	3.71
2003	莫拉克	MORAKOT	-0.67	-2	0.38	0.89	2.91
2003	柯羅旺	KROVANH	-0.66	-3	0.26	0.88	2.67
2003	米勒	MELOR	-1.08	7	0.38	0.75	3.24
2004	康森	CONSON	0.18	-11	0.41	0.39	2.06
2004	敏督利	MINDULLE	-0.39	0	0.62	0.85	5.50
2004	康柏斯	KOMPASU	-1.86	1	0.67	0.82	3.81
2004	蘭寧	RANANIM	-0.10	-9	0.35	0.91	3.52
2004	艾利	AERE	-0.11	7	0.53	0.74	3.68
2004	海馬	HAIMA	0.14	-4	0.26	0.89	2.78
2004	米雷	MEARI	-0.03	8	0.30	0.88	2.39
2004	納坦	NOCK-TEN	-0.63	-7	1.13	0.49	5.72
2004	南瑪都	NANMADOL	-0.16	-9	0.36	0.93	4.38
2005	海棠	HAITANG	-0.85	-1	0.41	0.97	7.50
2005	馬莎	MATSA	-0.16	6	0.30	0.91	3.18
2005	珊瑚	SANVU	-0.29	10	0.29	0.97	3.86
2005	泰利	TALIM	-0.76	-3	0.56	0.94	7.53
2005	丹瑞	DAMREY	0.38	6	0.38	0.95	3.13
2005	龍王	LONGWANG	-0.82	1	0.28	0.98	10.85
2006	珍珠	CHANCHU	0.01	-4	0.37	0.74	2.89
2006	艾維尼	EWINIAR	-0.09	-1	0.51	0.87	4.99
2006	珊珊	SHANSHAN	-0.33	0	0.56	0.72	4.24
2007	韋帕	WIPHA	-0.78	8	0.55	0.76	3.74
2007	柯羅莎	KROSA	0.27	-17	0.70	0.88	6.49
2007	米塔	MITAG	1.12	-2	0.80	0.67	4.43

續表 6.3 花蓮港數值模式之波浪推算結果驗證

2008	卡玫基	KALMAEGI	0.43	-9	0.33	0.88	2.85
2008	鳳凰	FUNG-WONG	-0.80	0	0.35	0.98	7.32
2008	如麗	NURI	-0.03	35	0.70	0.72	2.97
2008	辛樂克	SINLAKU	0.05	1	0.56	0.92	5.37
2008	哈格比	HAGUPIT	1.65	-4	0.56	0.96	3.40
2008	薔蜜	JANGMI	0.41	-1	0.74	0.87	6.00
2009	蓮花	LINFA	0.42	-4	0.40	0.70	2.14
2009	莫拉菲	MOLAVE	-0.30	-9	0.69	0.86	4.12
2009	莫拉克	MORAKOT	1.11	13	0.89	0.90	6.53
2009	芭瑪	PARMA	0.40	-3	0.65	0.81	3.43
2010	萊羅克	LIONROCK	0.11	1	0.37	0.64	1.94
2010	南修	NAMTHEUN	-0.84	3	0.47	0.78	1.9
2010	莫蘭蒂	MERANTI	0.02	8	0.45	0.51	1.92
2010	凡那比	FANAPI	0.11	2	0.86	0.88	9.25
2010	梅姬	MEGI	0.59	-4	0.46	0.88	3.94
2011	艾利	AERE	0.32	-22	0.37	0.81	2.08
2011	桑達	SONGDA	0.00	7	0.32	0.91	3.11
2011	米雷	MEARI	0.93	-2	0.39	0.90	2.77
2011	梅花	MUIFA	0.59	10	0.46	0.71	2.77
2011	南瑪都	NANMADOL	-0.54	1	0.37	0.91	3.46
2012	泰利	TALIM	0.26	-11	0.56	0.60	2.63
2012	杜蘇芮	DOKSURI	0.28	-2	0.31	0.95	1.97
2012	蘇拉	SAOLA	-1.12	-14	0.99	0.78	4.65
2012	啟德	KAI-TAK	1.20	-9	0.59	0.84	1.63
2012	天秤	TEMBIN	-0.52	70	0.58	0.82	4.18
2012	杰拉華	JELAWAT	0.72	13	0.57	0.88	3.96
絕對平均值			0.58	9.56	0.52	0.81	4.07

表 6.4 蘇澳港數值模式之波浪推算結果驗證

年份	中文名稱	英文名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hour)	RMSE	R	H_{max} (m)
2002	辛樂克	SINLAKU	0.25	6	0.67	0.85	4.65
2003	柯吉拉	KUJIRA	-1.92	-40	0.52	0.80	4.00
2003	莫拉克	MORAKOT	-0.77	-12	0.35	0.87	2.82
2003	柯羅旺	KROVANH	-0.65	-118	0.47	0.76	3.24
2003	杜鵑	DUJUAN	-4.21	-1	0.89	0.97	9.10
2004	康森	CONSON	0.25	-9	0.35	0.67	2.38
2004	敏督利	MINDULLE	-2.56	-38	1.17	0.76	6.87
2004	康柏斯	KOMPASU	-0.61	0	0.34	0.84	2.5
2004	蘭寧	RANANIM	-0.81	-5	0.36	0.89	4.51
2004	艾利	AERE	-0.06	7	0.77	0.75	4.53

續表 6.4 蘇澳港數值模式之波浪推算結果驗證

2004	海馬	HAIMA	-2.09	1	0.60	0.89	4.92
2004	納坦	NOCK-TEN	-4.07	1	1.14	0.82	11.57
2004	南瑪都	NANMADOL	-0.50	15	0.76	0.79	5.07
2005	馬莎	MATSA	-0.70	16	0.54	0.83	4.27
2005	珊瑚	SANVU	0.64	4	0.68	0.93	5.45
2005	泰利	TALIM	-7.00	2	1.26	0.95	14.84
2005	卡努	KHANUN	-0.23	0	0.39	0.81	2.85
2005	龍王	LONGWANG	-4.36	0	0.68	0.98	12.45
2006	珍珠	CHANCHU	0.18	-4	0.56	0.74	3.21
2006	艾維尼	EWINIAR	-0.31	-7	0.38	0.87	4.45
2006	碧利斯	BILIS	0.21	-10	0.96	0.82	5.70
2006	凱米	KAEMI	-3.81	15	0.95	0.73	7.37
2006	珊珊	SHANSHAN	-0.03	8	0.76	0.68	5.37
2007	韋帕	WIPHA	-0.27	-2	0.72	0.63	3.59
2007	米塔	MITAG	1.76	30	0.88	0.59	3.85
2008	卡孜基	KALMAEGI	-2.99	8	0.70	0.90	5.08
2008	鳳凰	FUNG-WONG	-3.03	12	0.96	0.95	9.46
2008	如麗	NURI	-1.48	44	0.72	0.73	3.85
2008	辛樂克	SINLAKU	0.47	10	0.82	0.89	7.68
2008	哈格比	HAGUPIT	-0.29	4	0.32	0.96	5.02
2008	薔蜜	JANGMI	-4.42	0	1.22	0.86	12.64
2009	莫拉菲	MOLAVE	-1.50	-11	0.65	0.84	5.14
2009	莫拉克	MORAKOT	0.25	5	0.83	0.90	7.15
2009	芭瑪	PARMA	-1.12	-2	0.51	0.78	4.85
2011	梅花	MUIFA	-0.24	-12	0.40	0.81	4.02
2011	南瑪都	NANMADOL	-1.22	8	0.27	0.97	4.46
2012	泰利	TALIM	-0.14	-2	0.62	0.63	3.22
2012	杜蘇芮	DOKSURI	-0.21	-9	0.33	0.91	2.48
2012	蘇拉	SAOLA	-0.8	-24	1.11	0.78	6.26
2012	啟德	KAI-TAK	0.76	-9	0.46	0.89	2.1
2012	天秤	TEMBIN	-0.07	68	0.66	0.81	4.18
2012	杰拉華	JELAWAT	-1.41	13	0.69	0.85	6.62
絕對平均值			1.40	14.10	0.68	0.83	5.58

6.4 數值波浪推算模式之風險分析

前述波浪推算的模式驗證部分以相關係數(R, correlation coefficient)、均方根誤差(RMSE, root mean squared error)、颱風波浪最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 及最大波高發生時間誤差 Δt_p 等四個誤差特性來表現各場颱風的推算結果，本節則以波浪推算模式其推算波高峰值的誤差來做風險分析，花蓮港和蘇澳港的最大波高推算風險分析如圖 6.2 所示，圖中紅色空心點為誤差值以 Normal 分布繪製的機率密度函數，紅色虛線為其 90%信賴區間範圍；藍色實線為利用 ksdensity 所繪製的機率密度函數，藍色虛線為其 95%信賴區間範圍。圖中顯示花蓮港推算結果的各場颱風波高峰值誤差的風險分析，其平均值為-0.14m，中位數為-0.08m，標準差為 0.75m，61 個樣本中不通過 95%信賴度的有 8 個，佔全部的 13.11%。蘇澳港推算結果的各場颱風波高峰值誤差的風險分析，其平均值為-1.17m，中位數為-0.63m，標準差為 1.78m，42 個樣本中不通過 95%信賴度的有 5 個，佔全部的 11.90%。

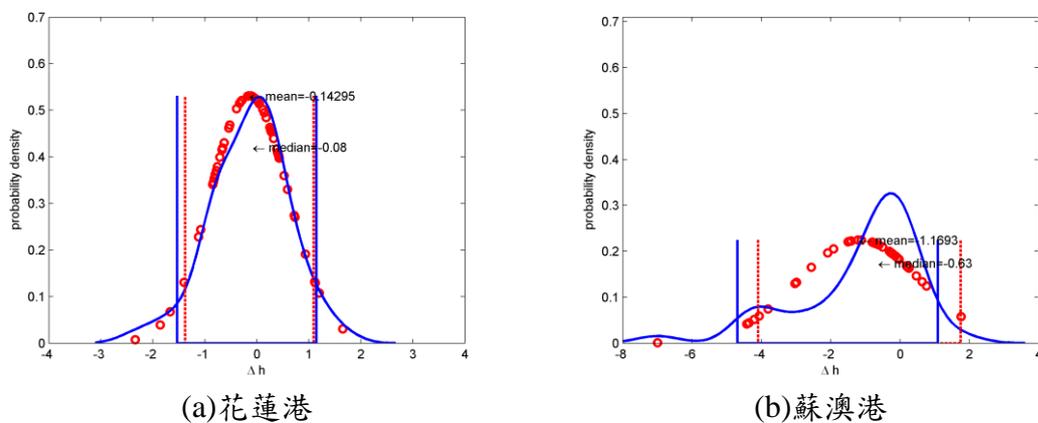


圖 6.2 波浪推算模式推算波高風險分析

6.5 風場模式差異性比較

本計畫採用 NCEP 風場模式進行颱風波浪推算，NCEP 風場為考慮海平面氣候變化而分析得之風場資料，對於季節風的模擬效果較佳，但 NCEP 風場資料之解析度過大，應用在颱風時則有低估的現象。為了解風場模式的差異對颱風波浪推算的影響，特別與高雄海洋科技大

學海事資訊科技系暨研究所陳昭銘教授目前承辦港研所「臺北港區風場數值預報系統之建置研究」計畫，索取部分研究成果進行比較，陳教授的風場(後簡稱 2km 網格風場)主要是將大氣模式的風場資料細化成 2km 的解析度，並依照波浪推算模式的需求逐時輸出風場資料，目前僅取得 2013 年蘇力颱風和 2012 年蘇拉颱風的風場資料，因此將透過此 2 場颱風來進行風場模式差異性的比較。

圖 6.3 和圖 6.4 分別為蘇力颱風和蘇拉颱風的時序列比較，圖中 TP、TC、HL 及 SA 分別表示臺北港、臺中港、花蓮港及蘇澳港，圖中實心圓點為觀測值，虛線為 MIKE 21 SW 採用 NCEP 風場之推算結果，實線為 MIKE 21 SW 採用 2km 網格風場之推算結果，由圖中可知，採用 2km 網格風場之推算結果較採用 NCEP 風場之推算結果更接近實測資料，尤其在西北部的臺北港和西部的臺中港，雖然受到地形的影響，但仍可推算至良好的成果，顯示風場網格的細化有其必要性。

為比較風場模式的差異性，仍採用 3.2 節所述 4 個指標來評估模式推算結果的優劣，表 6.5 為各港口颱風波浪推算結果比較，表中由於蘇力颱風在花蓮港無法確定最大波高值，因此無法計算颱風波浪最大波高誤差及最大波高發生時間誤差。由颱風波浪最大波高誤差之比較可知，採用 2km 網格風場之推算結果，誤差皆在 1m 以內，最低甚至可達到 0.08m，而採用 NCEP 風場之推算結果，則如往昔研究成果，大多呈現低估的現象。由最大波高發生時間誤差之比較可知，採用 2km 網格風場之推算結果，誤差皆在 7 小時以內，最低甚至可達到 0 小時，即與實測值同一時間發生最大波高。由整場颱風作用期間示性波高 RMSE 之比較可知，採用 2km 網格風場之推算結果，除蘇力颱風作用期間，蘇澳港之 RMSE 為 1.30m 外，其餘推算結果 RMSE 皆小於 1m，而採用 NCEP 風場推算結果的 RMSE 則介於 1~1.8m 之間。由相關係數比較可知，採用 2km 網格風場之推算結果，相關係數皆高於 0.9。綜合 4 個指標之比較可知，MIKE 21 SW 採用 2km 網格風場之推算結果，可獲得不錯之推算成果。

本計畫與「臺北港區風場數值預報系統之建置研究」同屬於港研所計畫，目前國內僅有該計畫在計算如此細網格的風場且可逐時輸出提供波浪推算使用，若能透過合作的方式，取得該計畫 1990~2012 年所有颱風經過細化後的 2km 網格風場，勢必能提升極值統計樣本的精確度，進而獲得可靠度更高的設計波浪條件。

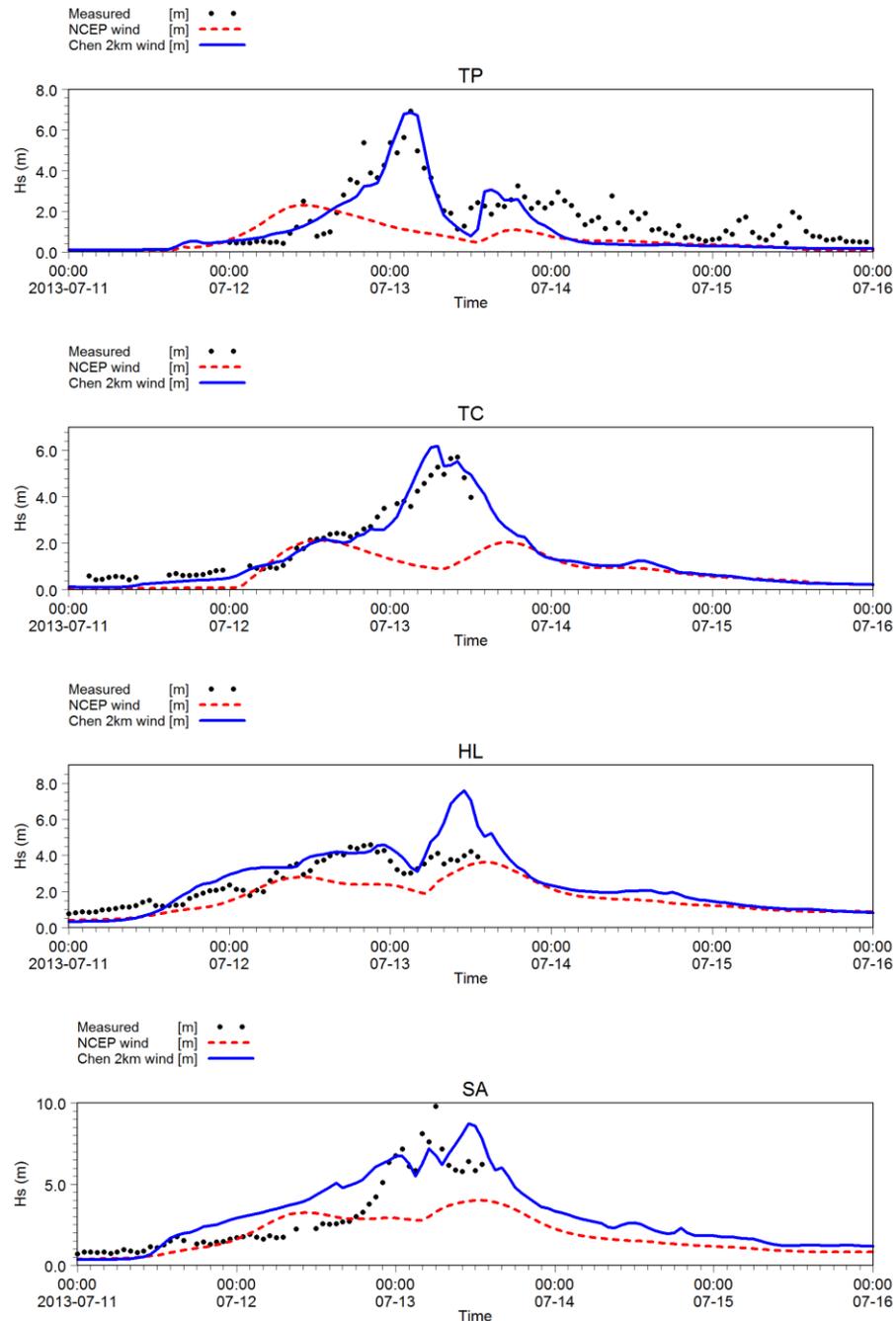


圖 6.3 蘇力颱風(2013)示性波高時序列比較

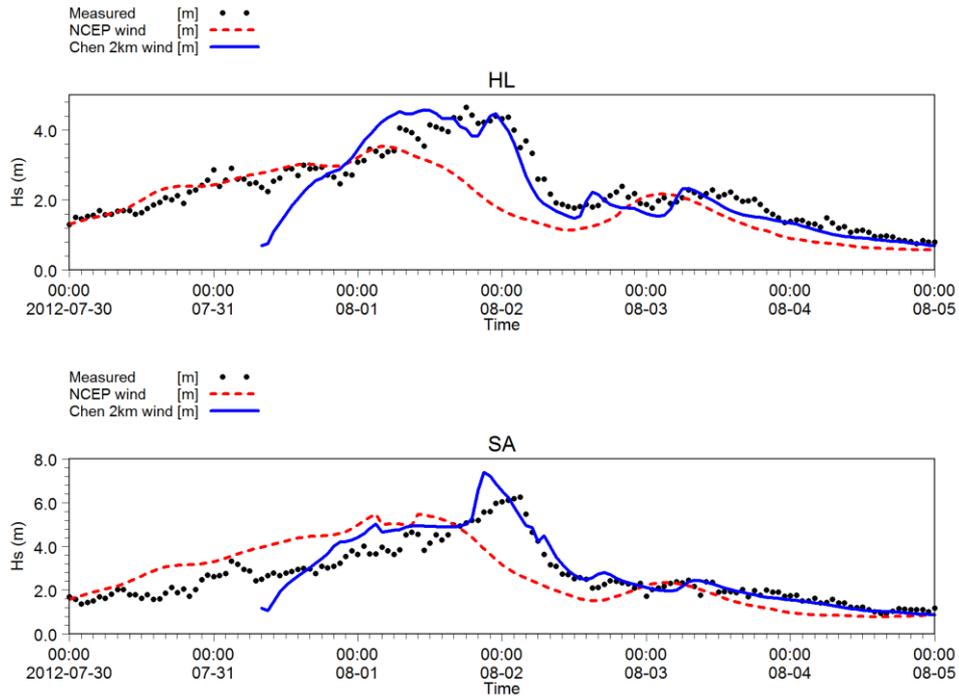


圖 6.4 蘇拉颱風(2012)示性波高時序列比較

表 6.5 各港口颱風波浪推算結果比較

年份	颱風名稱	測站	H_{max} (m)	風場	$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hour)	RMSE	R
2013	蘇力 Soulik	TP	6.94	NCEP	-4.63	-16	1.64	0.30
				Chen	-0.08	0	0.90	0.87
		TC	5.3	NCEP	-3.60	-19	1.73	0.53
				Chen	0.46	-3	0.44	0.98
		HL	-	NCEP	-	-	0.93	0.92
				Chen	-	-	1.02	0.91
SA	9.9	NCEP	-5.78	7	1.79	0.79		
		Chen	-1.07	5	1.30	0.90		
2012	蘇拉 Saola	HL	4.65	NCEP	-1.12	-14	0.99	0.78
				Chen	-0.08	-7	0.40	0.95
		SA	6.26	NCEP	-0.8	-24	1.11	0.78
				Chen	1.12	-6	0.51	0.97

註：表中「-」表示無法確定最大波高值。

第七章 花蓮港與蘇澳港設計波探討

設計波高需由波浪資料中選定具代表性的極值樣本來進行推算，一般波浪資料的來源有兩種，包括現場的量測數據或波浪推算結果。極值統計所採用的資料，基本上須滿足獨立性、等質性及分布性等三項要求。所謂獨立性係指兩個事件的發生是不相關的。等質性為事件出現在空間或者時間上的統計特性是相當的。分布性是指資料數據大小滿足某種分布型態。本計畫極值樣本來源有三種，分別為港研中心長期的波浪觀測資料、類神經颱風波浪推算模式與 DHI MIKE 21 二維風浪數值模式的推算結果。在取樣方式上，本計畫選用年極端值取樣法的年最大法與超量門檻值取樣法兩種方式進行比較。而在極值分析中的極值分布函數、極值分布參數推定法、信賴檢定法與推估值標準差則分述如下。

7.1 取樣方式

極值分析是以有限的觀測資料來推求較大重現期所可能會遭遇到極值情況，依資料選取方式，主要可分為超量門檻選用法與極端值選用法二種。國內往昔皆採用極端直選用法來進行取樣，如年最大法及月最大法，此法可在某時間尺度下均勻選取範圍內的極值代表值。另外超量門檻選用法則是以一門檻值來進行劃分，在門檻值以上的值皆選為極值樣本，以本計畫為例，是採用年最大法取樣各年極值，再將其中最小值作為門檻值。在此門檻值以上將作為極值波高的樣本，故與年最大法的差異在於本取樣方式可在各年取不同數量的樣本來進行分析，本章將分別採用兩種取樣方式的樣本來進行極值分析。

7.2 極值分布函數

根據 CEM (coastal engineering manual, 2002)及往昔文獻建議長期波浪極值之適合機率分布函數為

1.極值 I 型分布(FT- I 型分布，又稱 Gumbel 分布)

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{x-B}{A}}}, -\infty < x < \infty \quad (7-1a)$$

$$f(x) = \frac{1}{A} e^{-\frac{x-B}{A}} e^{-\frac{x-B}{A}} \quad (7-1b)$$

2. 極值 II 型分布 (FT-II 型分布)

$$F(x) = e^{-\left(1 + \frac{x-B}{kA}\right)^{-k}}, B - kA \leq x < \infty \quad (7-2a)$$

$$f(x) = \frac{1}{A} \left(1 + \frac{x-B}{kA}\right)^{-(1+k)} e^{-\left(1 + \frac{x-B}{kA}\right)^{-k}} \quad (7-2b)$$

3. Weibull 分佈

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k}, B \leq x < \infty \quad (7-3a)$$

$$f(x) = \frac{k}{A} \left(\frac{x-B}{A}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k} \quad (7-3b)$$

4. 對數常態分佈 (lognormal distribution)

$$F(x) = \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf}\left(\frac{\ln x - B}{\sqrt{2A}}\right)\right), 0 < x < \infty \quad (7-4a)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi Ax}} e^{-\frac{(\ln x - B)^2}{2A^2}} \quad (7-4b)$$

其中 $\operatorname{erf}(x)$ 為誤差函數 (error function)，其定義

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \quad (7-4c)$$

式 (7-1) 至式 (7-4) 中， x 為樣本變數， $f(x)$ 為機率密度函數 (probability density function)， $F(x)$ 為累積機率函數 (cumulative probability function)， A 及 B 為描述機率密度函數形狀之參數， B 稱為位置參數 (location parameter) 與樣本平均值 (mean) 有關，而 A 值稱為

尺度參數 (scale parameter) 與樣本標準差 (standard deviation) 有關， k 為形狀常數，決定機率函數之尖扁形狀。其中 Weibull 分布中 k 常數在不同值下會有不同的機率密度表現，如圖 7.1 所示。圖中顯示 $k=0.75$ 與 $k=1.0$ 的兩種情況下，機率密度的在橫軸座標較小的一側將不會遞減至零，而 $k=1.4$ 及 $k=2.0$ 的機率密度圖則在橫軸座標較小的一側會遞減至零。至於如何選用 k 值通常需視資料特性而定，目的是為了能夠更完美的擬合較大波浪部分的資料分布特性。

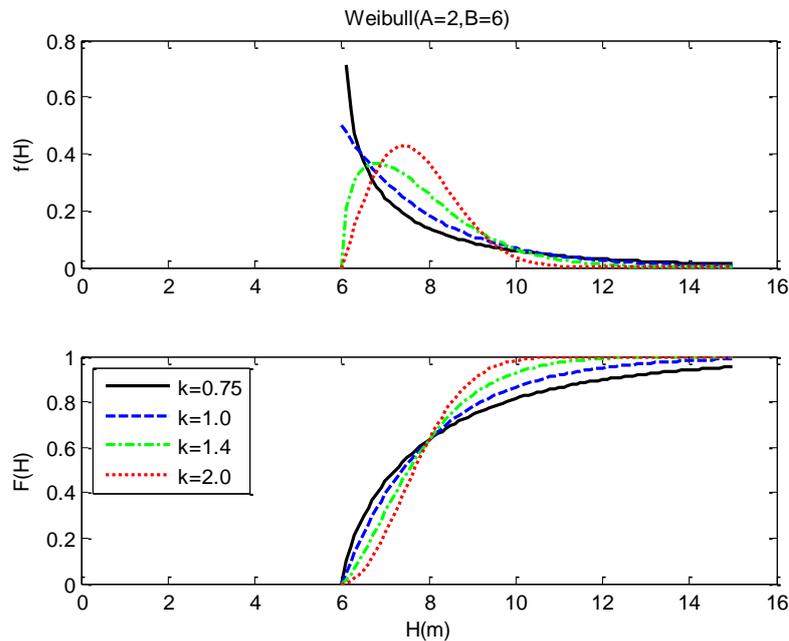


圖 7.1 常數 k 在不同情況下的機率密度表現

7.3 極值分布參數推定法

當資料選取方法及極值分布函數決定後，極值分布中參數如何推定，有不同的方法。一般極值分布參數推定法，有力矩法 (method of moment, MOM)，最小二乘法 (least squared method, LSM)，最大概似法 (Maximum likelihood estimates, MLE)，加權機率力矩法 (probability weighted moment, PWM) 等。其中，MOM 法為最簡單之參數推定法，此乃利用位置參數與尺度參數分別與平均值與變異數之公式直接計算獲得，LSM 及 MLE 為最常用之推定法。由交通部運輸研究所臺灣技術研究中心『臺灣主要港口附近海域長期波浪統計特性及設計波推算

之研究』98 年度至 101 年度四年的研究計畫中已針對花蓮、高雄、安平、臺北、臺中及基隆港六大商港進行波浪極值分析，並比較三種參數推定法，顯示 LSM 對於台灣各主要港口的極值樣本較為適用，故本計畫選用 LSM 法來進行參數推定。

LSM 法需要先決定樣本之排序機率。當資料收集後，首先適當的劃位 (plotting position) 得到無偏態的排序資料之機率。Goda (2000) 提出不同極值分布之劃位，當選取 N 個資料，首先將 N 個資料依大小順序排列，再計算第 m 順位之值的累積機率 F_m ，其計算公式如下

$$F_m = 1 - \frac{m - \alpha}{N + \beta}, \quad m = 1, 2, \dots, N \quad (7-7)$$

α 及 β 值在不同分布函數其值不同如下所示(Goda, 2000)。

表 7.1 計算樣本順位機率之 α 及 β 值

分佈函數	α 值	β 值
Gumbel	0.44	0.12
GEV	$0.44 + 0.52/k$	$0.12 - 0.11/k$
Weibull	$0.20 + 0.27/\sqrt{k}$	$0.20 + 0.23/\sqrt{k}$
Lognormal	0.375	0.25

7.4 信賴檢定

7.4.1 MIR 值檢定

一般使用卡方檢定及相關係數檢定，檢定所選極值分布函數是否適用。Goda (2000) 提出以 $MIR = (1 - r) / \Delta \bar{r}$ 相對相關係數殘差來檢定極值分布函數的合適性。其中 r 為樣本及排序機率下之推算值之相關係數， $\Delta \bar{r}$ 為平均相關係數殘差。MIR 值愈小，代表樣本較適合此極值分布。

各極值分布函數之排序機率下之推算值 x_m 如下公式

$$x_m = ay_m + b \quad (7-8)$$

式中之 A, B 分別為推估出之參數， y_m 為各極值分布函數在機率 F_m 下之相關值，如下

$$\text{Gumbel : } y_m = -\ln(-\ln F_m) \quad (7-9a)$$

$$\text{GEV : } y_m = \frac{1}{k}[(-\ln F_m)^{-k} - 1] \quad (7-9b)$$

$$\text{Weibull : } y_m = [-\ln(1 - F_m)]^{1/k} \quad (7-9c)$$

$$\text{Lognormal : } y_m = \text{inverf}(F_m) \quad (7-9d)$$

而 $\Delta \bar{r}$ 之計算依各極值分布函數 Goda (2000) 建議為

$$\Delta \bar{r} = e^{\bar{a} + \bar{b} \ln N + \bar{c} (\ln N)^2} \quad (7-10)$$

式(4-10)中 N 為樣本個數係數， \bar{a} 、 \bar{b} 及 \bar{c} 值依不同分佈分別示如表 7.2。

表 7.2 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}
Gumbel	-2.310	-0.3122	-0.044
GEV ($k=2.5$)	-2.455	-0.1582	0
($k=4.33$)	-2.471	-0.1970	-0.007
($k=5.0$)	-2.463	-0.2241	-0.019
($k=10.0$)	-2.409	-0.2580	-0.033
Weibull ($k=0.75$)	-2.603	-0.1009	-0.047
($k=1.0$)	-2.355	-0.2612	-0.043
($k=1.4$)	-2.221	-0.3668	-0.044
($k=2.0$)	-2.047	-0.4767	-0.041
Lognormal	-2.094	-0.4343	-0.045

7.4.2 RMSE 檢定

因 MIR 值係與相關係數有關表示與推估各排序機率下之整體波高與樣本間之相關性程度，若計算出各排序機率下之波高與樣本之誤差有相似誤差，其 MIR 值就小，為整體評估各排序機率下之波高與樣本間之誤差，另外可以 RMSE 來當檢定標準。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - x_m)^2} \quad (7-11)$$

其中 x_m 為推估各排序機率下之波高。

7.4.3 ER 檢定

極值分析主要是推估各重現期之極值，當樣本數量多時，樣本最大值代表具有欲計算重現期之物理量，因此本研究仿往昔學者比較樣本最大值之推估值與實測值之差異。ER 定義如下

$$ER = |x_{MAX} - (x_{MAX})_m| \quad (7-12)$$

7.5 推估值之標準差

利用極值分析所推算出的各種限期之物理值，因為收集到的數據不可能完全符合選擇之分布函數，故所推算之結果必含有不確定性，亦即推算結果僅是機率上之平均值，其偏差量大小應要予以估算。

Gumbel 分佈之估算值之標準差量為

$$\sigma(x_R) = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[1 + 0.885(y_R - \gamma) + 0.6687(y_R - \gamma)^2 \right]^{1/2} \sigma_x \quad (7-13)$$

式(7-13)中 σ_x 為樣本 x 之標準差， y_R 為重現期之基準化變量，即式(7-10)， x_R 為重現期之推算值。其他分佈並無簡易公式推定，合田和小舟(1989)提出以補助統計量的標準差 σ_z 乘以樣本 x 之標準差 σ_x ，當做推算偏差量

$$\sigma(x_R) = \sigma_x \cdot \sigma_z \quad (7-14)$$

Gumbel、GEV 及 Weibull 分佈之標準差 σ_z 為：

$$\sigma_z = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[1.0 + \hat{A}(y_R - c)^2 \right]^{1/2} \quad (7-15)$$

而 \hat{A} 值在 Gumbel 及 Weibull 分佈為：

$$\hat{A} = a_1 e^{a_2 N^{-1.3}} \quad (7-16a)$$

但 GEV 及 FT-II 之 \hat{A} 值可表為

$$\hat{A} = a_1 e^{a_2 \left[\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) \right]^2 - \kappa \left[\ln\left(\frac{1}{v_0}\right) \right]^2} \quad (7-16b)$$

式(7-15)至式(7-16)中之係數如所示

至於對數常態函數之 σ_z 則為：

$$\sigma_z = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[1.2 + 0.65(y_R - 0.2)^{2.0} \right]^{1/2} \quad (4-17)$$

表 7.3 重現期推算量之標準差公式中之係數

分佈函數	a_1	a_2	κ	c	N_0	v_0
Gumbel	0.64	9.0	0.93	0		
GEV ($1/k=2.5$)	1.27	0.12	0.24	0.3	23	1.34
($1/k=4.33$)	1.23	0.09	0.36	0.2	25	0.66
($1/k=5.0$)	1.34	0.07	0.41	0.1	35	0.45
($1/k=10.0$)	1.48	0.06	0.47	0.0	60	0.34
Weibull ($k=0.75$)	1.65	11.4	-0.63	0.0		
($k=1.0$)	1.92	11.4	0.00	0.3		
($k=1.4$)	2.05	11.4	0.69	0.4		
($k=2.0$)	2.24	11.4	1.34	0.5		

7.6 極值分析結果

本節採用各種極值樣本來源，包括類神經颱風波浪推算模式、港研中心長期觀測波浪資料及 DHI MIKE 21 二維風浪數值模式的推估結果來進行極值分析。配合 FT-I、FT-II、Weibull 與 Log-Normal 四種極值分布函數以 LSM 參數推定法進行計算各重現期的極值波高與標準差估算，最後再以 MIR、RMSE 與 ER 三種信賴檢定法來決定最適分布函數。

7.6.1 花蓮港各重現期波高推算結果

本計畫蒐集集港研中心在花蓮港長期監測之波浪資料自 1990 起至 2012 年共 23 年，故以類神經颱風波浪推算模式與 DHI MIKE 12 二維風浪推算模式進行相對應時間的推算結果。並將此結果進行年極值取樣法(Annual Max, AM)，年極值取樣法即選取當年度樣本中的最大值，在實測樣本中除了颱風期間的最大波高外並須考慮非颱風所造成的波高，在花蓮港實測樣本中發現僅 1999 年年極值樣本為小於非颱風季的波高，故以非颱風所造成的 3.55m 為該年年極值樣本。以三種樣本來源的年極值樣本各 23 筆進行各重現期的分析，結果如表 7.4 所示，表中灰階底色部分顯示在三種極值樣本分析中 MIR、RMSE 極 ER 信賴檢定法最好的結果，其結果顯示三種樣本皆是以 Weibull 分布為最適分布。表中並將最適分布所對應的 50 年重現期極值波高與標準差以下底線方式做標註。類神經樣本、實測資料樣本與二維數值模式樣本的 50 年重現期極值波高分別為 10.88m、12.44m 與 11.76m，標準差部分分別為 0.93m、1.23m 與 1.22m。年極值取樣法三種樣本來源的各種機率密度函數與機率函數圖示如圖 7.2、圖 7.3 及圖 7.4。

表 7.4 花蓮港各極值樣本採用年極值取樣法之各重現期分析結果

Index	T (yr)	類神經樣本(ANN)				實測資料樣本(OBS)				二維數值模式樣本(MIKE)			
		FT-I	FT-II	Weibull	LogN	FT-I	FT-II	Weibull	LogN	FT-I	FT-II	Weibull	LogN
MIR(m)		3.24	3.79	3.01	3.05	1.49	2.13	0.95	1.58	1.44	2.02	1.16	1.84
RMSE(m)		0.64	0.75	0.56	0.62	0.58	0.75	0.42	0.59	0.57	0.73	0.46	0.68
ER (m)		1.05	1.33	0.68	1.40	1.79	2.22	1.26	2.24	1.75	2.18	1.19	2.67
$x_R(m)$	10	9.16	9.01	9.25	9.56	10.08	9.90	10.19	10.48	9.44	9.27	9.54	10.03
	25	10.36	10.35	10.23	10.83	11.74	11.77	11.55	12.31	11.10	11.13	10.87	12.04
	50	11.25	11.44	<u>10.88</u>	11.74	12.98	13.28	<u>12.44</u>	13.66	12.32	12.63	<u>11.76</u>	13.56
	100	12.14	12.59	11.47	12.63	14.21	14.89	13.26	15.00	13.54	14.24	12.57	15.08
	200	13.02	13.82	12.02	13.50	15.43	16.61	14.03	16.34	14.76	15.94	13.32	16.62
$\sigma (m)$	10	0.77	0.93	0.69	0.49	1.02	1.23	0.91	0.65	1.01	1.22	0.90	0.65
	25	1.03	1.33	0.83	0.58	1.37	1.77	1.10	0.77	1.36	1.75	1.09	0.77
	50	1.24	1.67	<u>0.93</u>	0.65	1.64	2.21	<u>1.23</u>	0.86	1.62	2.19	<u>1.22</u>	0.86
	100	1.44	2.02	1.02	0.72	1.91	2.68	1.35	0.95	1.89	2.66	1.34	0.94
	200	1.65	2.41	1.10	0.78	2.18	3.19	1.46	1.03	2.16	3.16	1.45	1.02

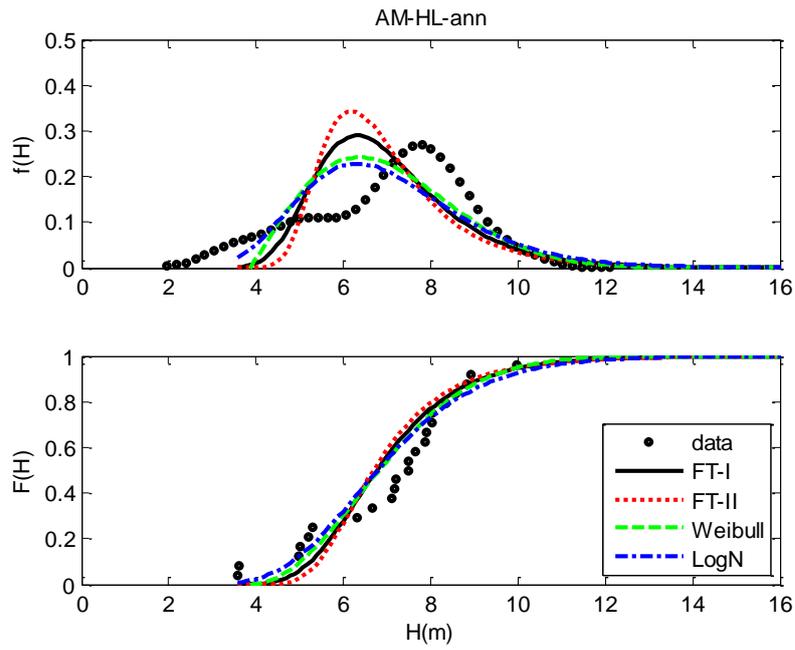


圖 7.2 推估花蓮港類神經樣本年極值取樣法之機率密度函數及機率函數圖

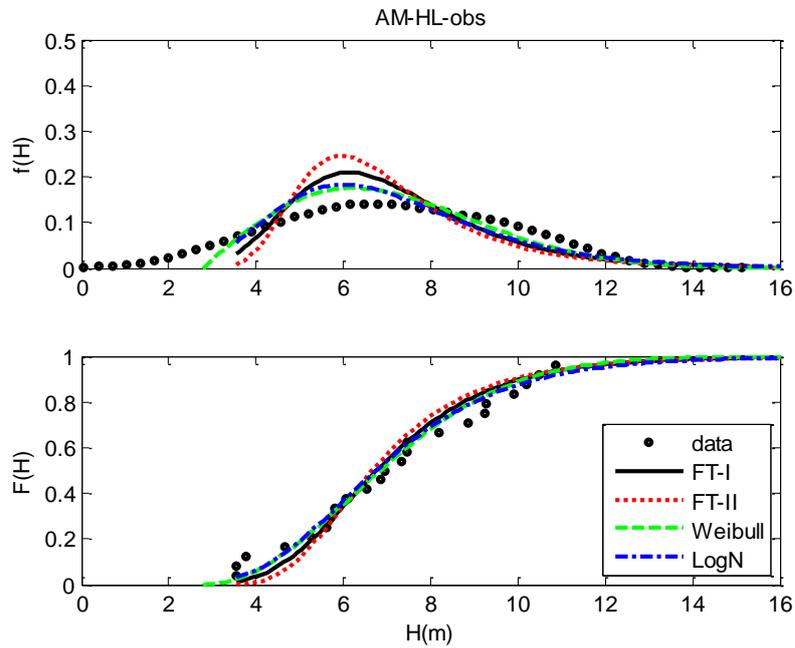


圖 7.3 推估花蓮港實測資料樣本年極值取樣法之機率密度函數及機率函數圖

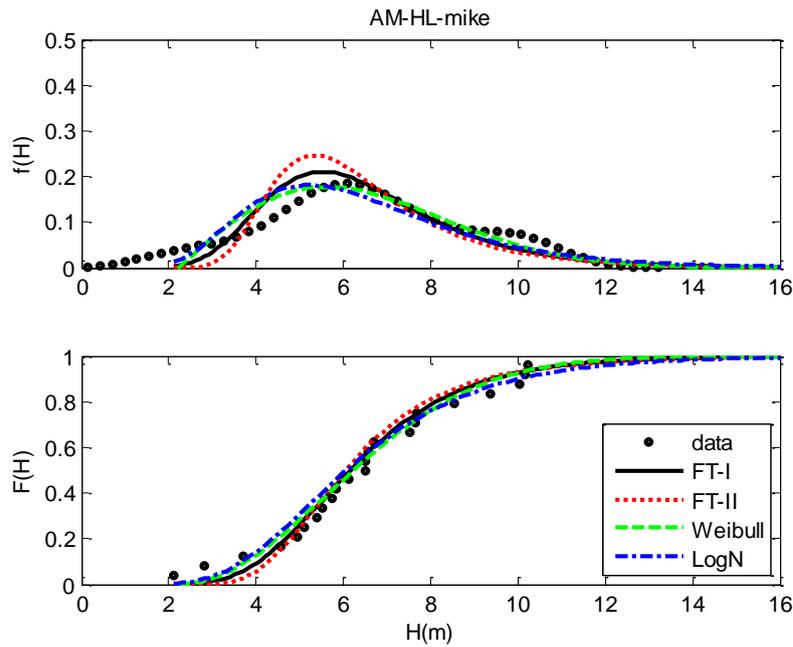


圖 7.4 推估花蓮港類神經樣本年極值取樣法之機率密度函數及機率函數圖

除年極值取樣法外，本計畫另採用超量門檻取樣法(Peak Over Threshold, POT)對花蓮港三種樣本來源共 23 年的資料中進行取樣，以各樣本來源年極值中的最小值做為門檻值，取樣所得類神經樣本、實測資料樣本及二維數值模式樣本分別為 72、91、114 筆。並將此結果進行各重現期的分析，結果如表 7.5 所示，表中灰階底色部分顯示在三種極值樣本的極值分析中 MIR、RMSE 極 ER 信賴檢定法最好的結果，其結果顯示三種樣本皆是以 Weibull 分布為最適分布。表中並將最適分布所對應的 50 年重現期極值波高與標準差以下底線方式做標註。類神經樣本、實測資料樣本與二維數值模式樣本的 50 年重現期極值波高分別為 10.67m、12.27m 與 11.43m，標準差部分分別為 0.57m、0.83m 與 0.80m。超量門檻取樣法三種樣本來源的各種機率密度函數與機率函數圖示如圖 7.5、圖 7.6 及圖 7.7。

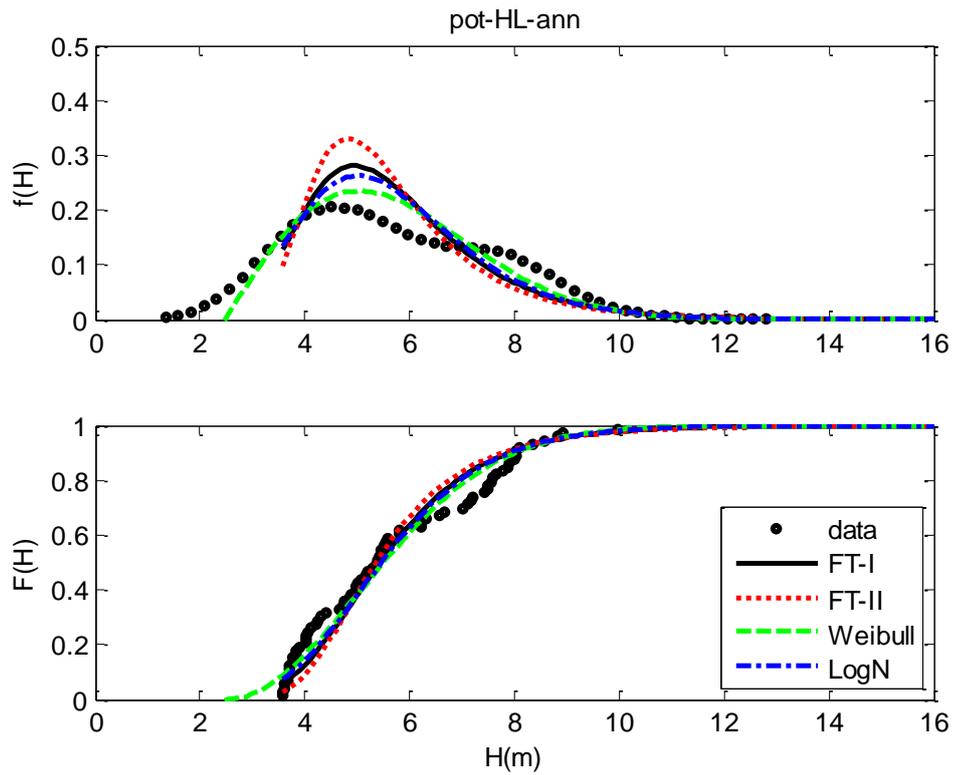


圖 7.5 推估花蓮港類神經樣本超量門檻取樣法之機率密度函數及機率函數圖

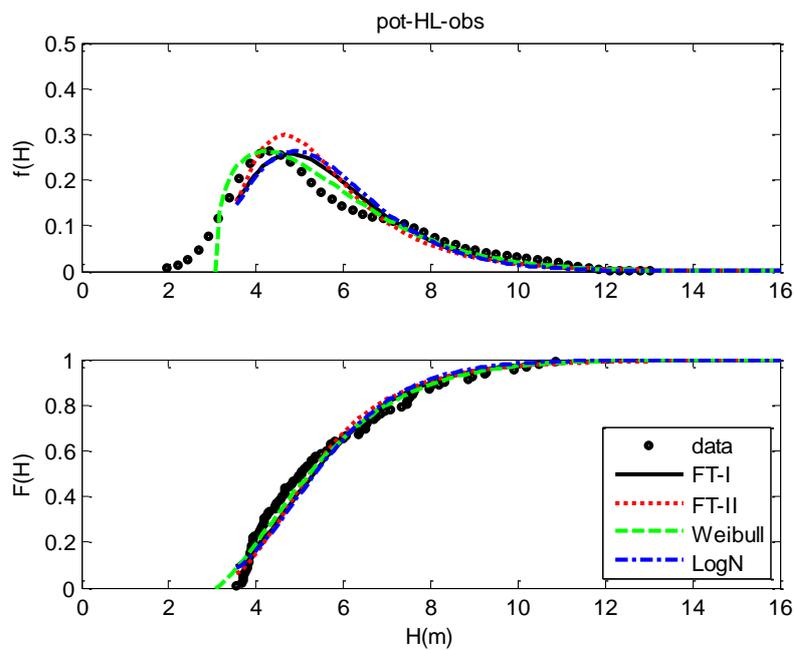


圖 7.6 推估花蓮港實測資料樣本超量門檻取樣法之機率密度函數及機率函數圖

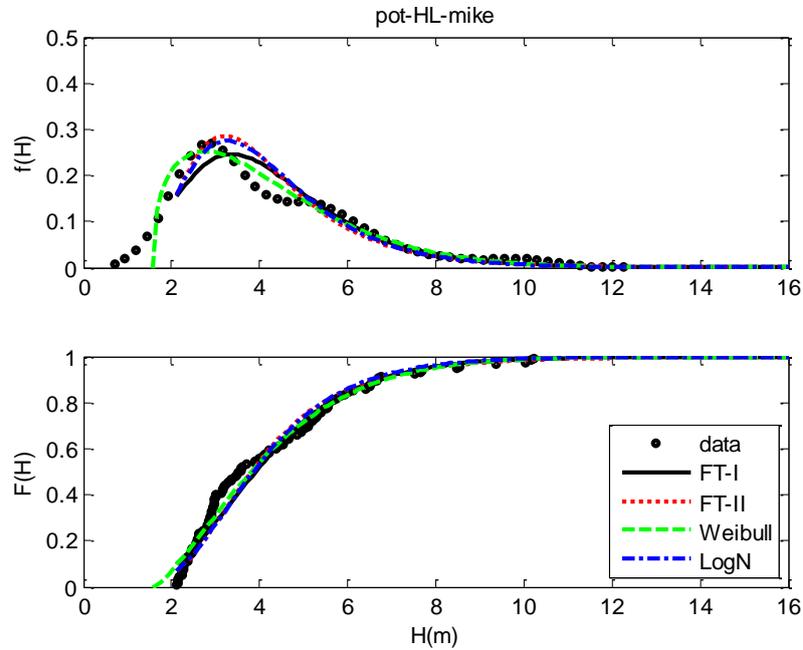


圖 7.7 推估花蓮港二維數值模式樣本超量門檻取樣法之機率密度函數及機率函數圖

表 7.5 花蓮港各極值樣本採用超量門檻取樣法之各重現期分析結果

Index	T (yr)	類神經樣本(ANN)				實測資料樣本(OBS)				二維數值模式樣本(MIKE)			
		FT-I	FT-II	Weibull	LogN	FT-I	FT-II	Weibull	LogN	FT-I	FT-II	Weibull	LogN
MIR(m)		2.66	3.07	2.20	3.00	1.84	1.64	1.01	2.76	1.91	1.37	1.13	2.24
RMSE(m)		0.42	0.53	0.31	0.38	0.35	0.40	0.24	0.39	0.34	0.35	0.24	0.34
ER (m)		1.35	2.14	0.48	0.94	1.23	2.34	1.15	0.25	1.05	2.39	0.92	0.68
$x_R(m)$	10	9.44	9.51	9.24	9.35	10.04	10.25	10.17	9.55	9.17	9.49	9.27	8.92
	25	10.65	11.04	10.08	10.44	11.37	11.98	11.39	10.64	10.55	11.34	10.53	10.32
	50	11.56	12.28	10.67	11.25	12.36	13.40	12.27	11.46	11.58	12.85	11.43	11.40
	100	12.47	13.62	11.21	12.05	13.36	14.91	13.12	12.28	12.62	14.46	12.30	12.51
	200	13.38	15.04	11.73	12.85	14.35	16.53	13.94	13.09	13.65	16.19	13.15	13.64
$\sigma (m)$	10	0.59	0.82	0.46	0.35	0.60	0.83	0.63	0.35	0.59	0.95	0.61	0.33
	25	0.74	1.09	0.53	0.39	0.74	1.08	0.75	0.39	0.72	1.24	0.72	0.37
	50	0.85	1.31	0.57	0.43	0.85	1.29	0.83	0.43	0.82	1.48	0.80	0.41
	100	0.96	1.55	0.61	0.46	0.95	1.51	0.92	0.46	0.92	1.73	0.87	0.43
	200	1.07	1.80	0.66	0.49	1.06	1.75	1.00	0.49	1.02	2.00	0.95	0.46

為方便進行各樣本與取樣方式的比較本計畫整理上述極值分析結果如表 7.6，結果顯示三種樣本的 50 年重現期極值波高以實測資料最高、二維數值模式樣本次之而類神經樣本較小；標準差則以類神經樣本較小，二維數值模式樣本次之，實測資料較大。此外在年極值取樣法與超量門檻值取樣法的比較中，可以發現超量門檻值取樣法推求的 50 年重現期極值波高會略小於年極值取樣法，且其標準差明顯小於年極值取樣法，顯示超量門檻取樣法因能客觀選取樣本而進行極值分析後所獲得的極值波高較年極值取樣法可靠。表中並列出三種樣本來源配合兩種取樣方式的 90% 信賴區間值，另利用本計畫 2.3 節 Seasonal Kendall 趨勢檢定法所分析波浪長期變遷趨勢結果，估算在氣候變遷的影響下 50 年的波高變化量，即可推求考慮長期變遷的設計波標準。

表 7.6 花蓮港三種樣本來源以兩種取樣方式的極值分析結果

樣本來源	取樣方式	50 年重現期		90% 信賴區間 (m)	考慮長期變遷 信賴區間 (m)
		極值波高 (m)	標準差 (m)		
類神經樣本	年極值取樣	10.88	0.93	9.35~12.41	8.69~11.75
	超量取樣	10.67	0.57	9.73~11.61	9.07~10.96
實測資料	年極值取樣	12.44	1.23	10.42~14.47	9.76~13.81
	超量取樣	12.27	0.83	10.90~13.64	10.24~12.99
二維數值模式	年極值	11.76	1.22	9.75~13.77	9.10~13.11
	超量取樣	11.43	0.80	10.12~12.75	9.46~12.09

7.6.2 蘇澳港各重現期波高推算結果

本計畫蒐集港研中心在蘇澳港長期監測之波浪資料自 1999 起至 2012 年共 14 年，故以類神經颱風波浪推算模式與 DHI MIKE 12 二維風浪推算模式進行相對應時間的推算結果。並將此結果以年極值取樣法進行各重現期的分析，結果如表 7.7 所示，表中灰階底色部分顯示在三種極值樣本的極值分析中 MIR、RMSE 極 ER 信賴檢定法最好的結果，其結果顯示類神經樣本與實測資料樣本皆是以 Weibull 分布為最適分布，而二維數值模式樣本則是以 FT-I 為最適分布。表中並將最適分布所對應的 50 年重現期極值波高與標準差以下底線方式做標註。類

神經樣本、實測資料樣本與二維數值模式樣本的 50 年重現期極值波高分別為 16.44m、16.82m 與 11.56m，標準差部分分別為 2.63m、3.58m 與 1.73m。年極值取樣法三種樣本來源的各種機率密度函數與機率函數圖示如圖 7.8、圖 7.9 及圖 7.10。

表 7.7 蘇澳港各極值樣本採用年極值取樣法之各重現期分析結果

Index	T (yr)	類神經樣本(ANN)				實測資料樣本(OBS)				二維數值模式樣本(MIKE)			
		FT-I	FT-II	Weibull	LogN	FT-I	FT-II	Weibull	LogN	FT-I	FT-II	Weibull	LogN
MIR(m)		1.51	1.79	1.38	1.86	0.54	0.42	0.39	0.50	0.77	0.94	0.91	0.78
RMSE(m)		1.03	1.18	0.91	1.11	0.60	0.56	0.49	0.57	0.37	0.43	0.37	0.36
ER (m)		1.59	2.07	1.02	2.43	0.01	0.64	0.17	0.29	0.13	0.15	0.45	0.19
$x_R(m)$	10	12.87	12.65	12.97	13.46	12.24	12.10	12.39	12.12	9.25	9.16	9.27	9.39
	25	15.47	15.62	15.05	16.66	14.82	15.12	14.99	14.82	10.58	10.68	10.33	10.65
	50	17.39	18.01	16.44	19.11	16.75	17.55	16.82	16.88	11.56	11.92	11.03	11.55
	100	19.30	20.55	17.70	21.63	18.65	20.14	18.55	18.98	12.54	13.23	11.67	12.42
	200	21.21	23.27	18.88	24.22	20.55	22.91	20.22	21.13	13.51	14.63	12.26	13.28
$\sigma (m)$	10	2.14	2.52	1.93	1.30	2.07	2.44	2.35	1.25	1.07	1.26	0.96	0.65
	25	2.89	3.63	2.34	1.54	2.79	3.51	3.07	1.49	1.44	1.81	1.17	0.77
	50	3.47	4.54	2.63	1.71	3.35	4.39	3.58	1.66	1.73	2.26	1.31	0.86
	100	4.05	5.51	2.89	1.88	3.91	5.33	4.07	1.82	2.02	2.75	1.44	0.94
	200	4.63	6.56	3.14	2.04	4.47	6.34	4.54	1.97	2.31	3.28	1.57	1.02

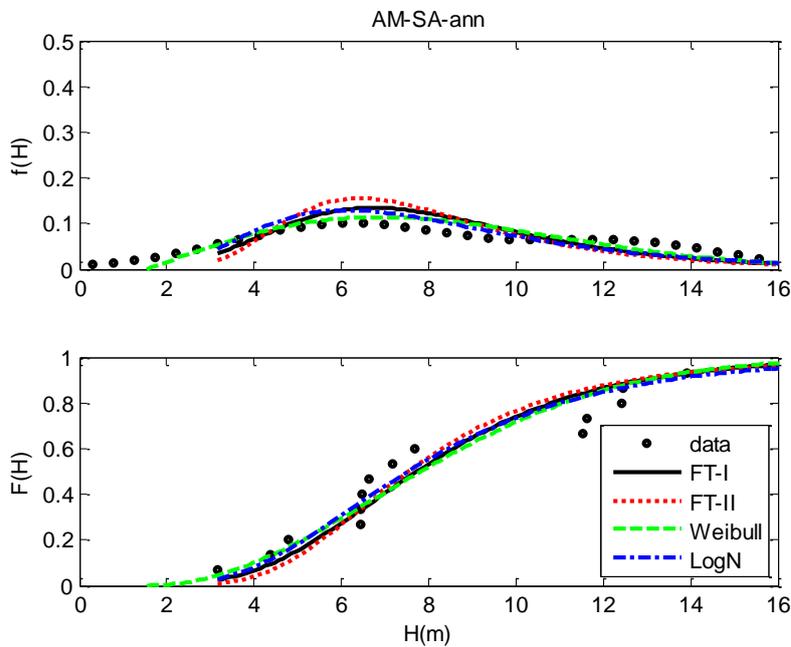


圖 7.8 推估蘇澳港類神經樣本年極值取樣法之機率密度函數及機率函數圖

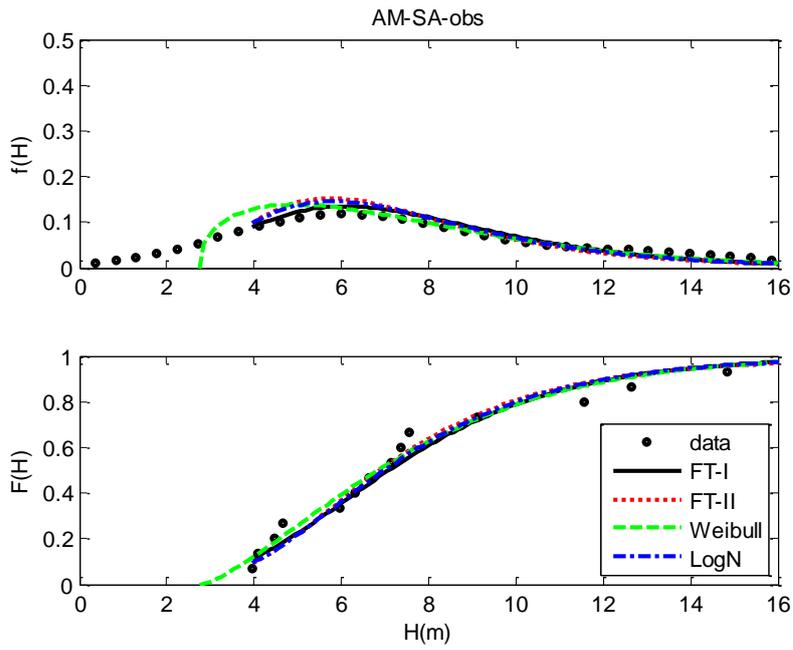


圖 7.9 推估蘇澳港實測資料樣本年極值取樣法之機率密度函數及機率函數圖

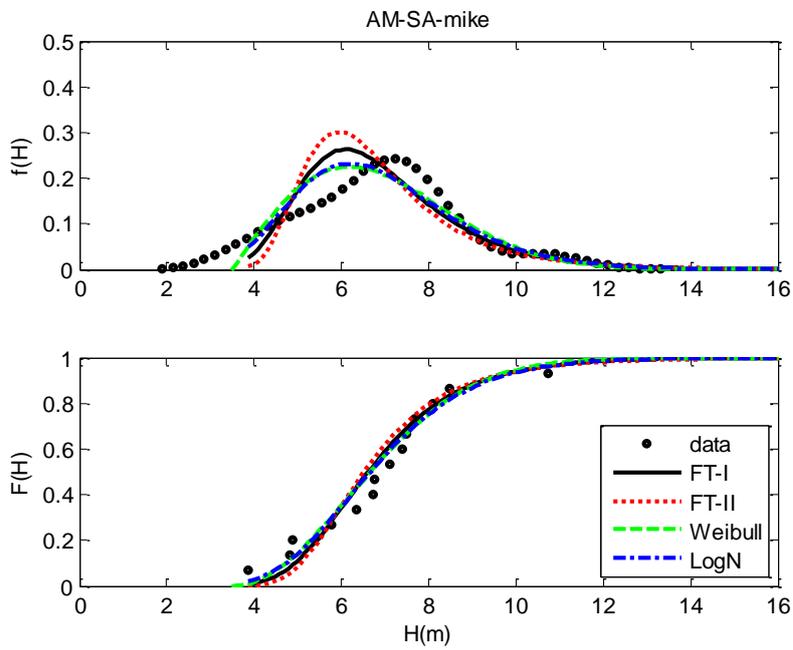


圖 7.10 推估蘇澳港二維數值模式樣本年極值取樣法之機率密度函數及機率函數圖

除年極值取樣法外，本計畫另採用超量門檻取樣法對蘇澳港三種樣本來源共 14 年的資料中進行取樣，以各樣本來源年極值中的最小值做為門檻值，取樣所得類神經樣本、實測資料樣本及二維數值模式樣本分別為 81、42、35 筆。並將此結果進行各重現期的分析，結果如表 7.8 所示，表中灰階底色部分顯示在三種極值樣本的極值分析中 MIR、RMSE 及 ER 信賴檢定法最好的結果，其結果顯示三種樣本皆是以 Weibull 分布為最適分布。表中並將最適分布所對應的 50 年重現期極值波高與標準差以下底線方式做標註。類神經樣本、實測資料樣本與二維數值模式樣本的 50 年重現期極值波高分別為 17.51m、16.23m 與 10.84m，標準差部分分別為 3.31m、2.59m 與 1.04m。超量門檻取樣法三種樣本來源的各種機率密度函數與機率函數圖示如圖 7.11、圖 7.12 及圖 7.13。其中圖 7.11 與圖 7.12 中的 Weibull 分布(綠色虛線)形狀與其他樣本較為不同，可參見 7.1 節說明。

表 7.8 蘇澳港各極值樣本採用超量門檻取樣法之各重現期分析結果

Index	T (yr)	類神經樣本(ANN)				實測資料樣本(OBS)				二維數值模式樣本(MIKE)			
		FT-I	FT-II	Weibull	LogN	FT-I	FT-II	Weibull	LogN	FT-I	FT-II	Weibull	LogN
MIR(m)		5.94	2.05	1.93	8.31	2.23	0.98	0.75	2.97	0.69	0.83	0.69	0.89
RMSE(m)		0.89	0.89	0.68	1.03	0.72	0.63	0.46	0.84	0.25	0.31	0.24	0.26
ER (m)		0.31	4.59	3.41	2.31	0.51	1.85	1.03	2.01	0.12	0.43	0.12	0.65
$x_R(m)$	10	10.91	11.16	11.99	9.64	11.32	11.29	11.77	10.52	8.76	8.72	8.85	8.63
	25	12.66	14.55	15.05	11.01	13.28	14.14	14.31	12.14	9.95	10.15	10.02	9.65
	50	13.97	17.80	<u>17.51</u>	12.06	14.74	16.65	<u>16.23</u>	13.35	10.85	11.31	<u>10.84</u>	10.38
	100	15.28	21.80	20.09	13.11	16.20	19.52	18.15	14.57	11.74	12.55	11.63	11.10
	200	16.59	26.72	22.76	14.18	17.65	22.81	20.08	15.79	12.63	13.87	12.39	11.80
$\sigma (m)$	10	0.86	1.71	2.03	0.50	1.08	1.60	1.63	0.66	0.67	0.84	0.73	0.41
	25	1.06	2.53	2.74	0.56	1.38	2.30	2.17	0.76	0.87	1.16	0.91	0.48
	50	1.22	3.32	<u>3.31</u>	0.61	1.62	2.93	<u>2.59</u>	0.84	1.02	1.43	<u>1.04</u>	0.53
	100	1.37	4.29	3.91	0.66	1.85	3.65	3.00	0.91	1.17	1.71	1.17	0.58
	200	1.53	5.49	4.54	0.70	2.09	4.48	3.42	0.98	1.33	2.01	1.29	0.63

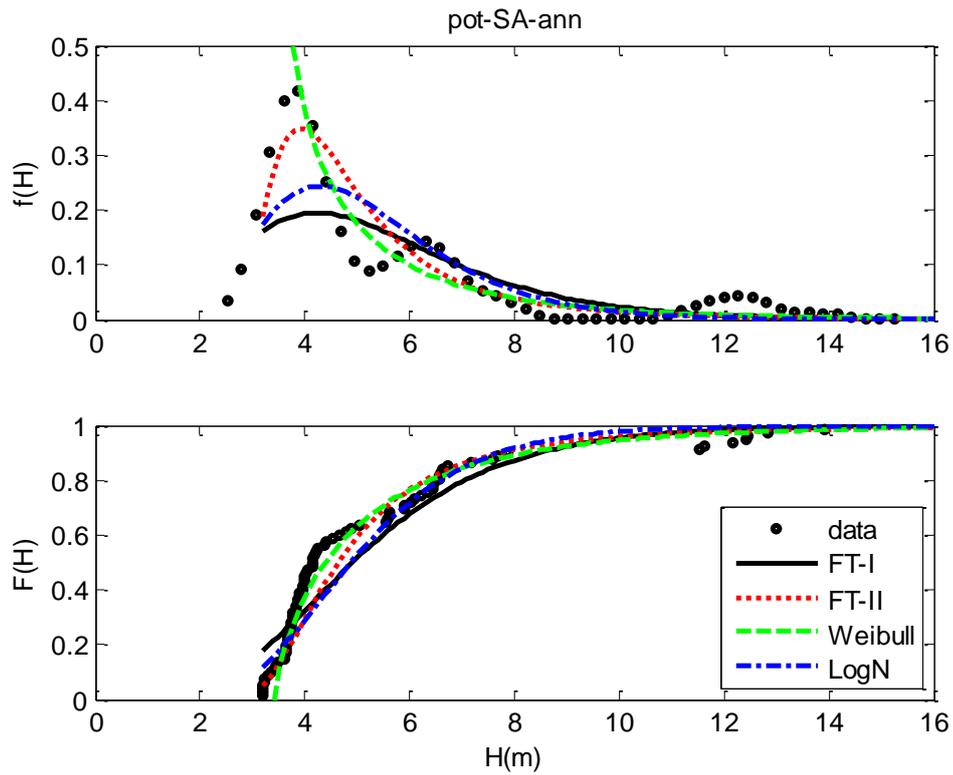


圖 7.11 推估蘇澳港類神經模式樣本超量門檻取樣法之機率密度函數及機率函數圖

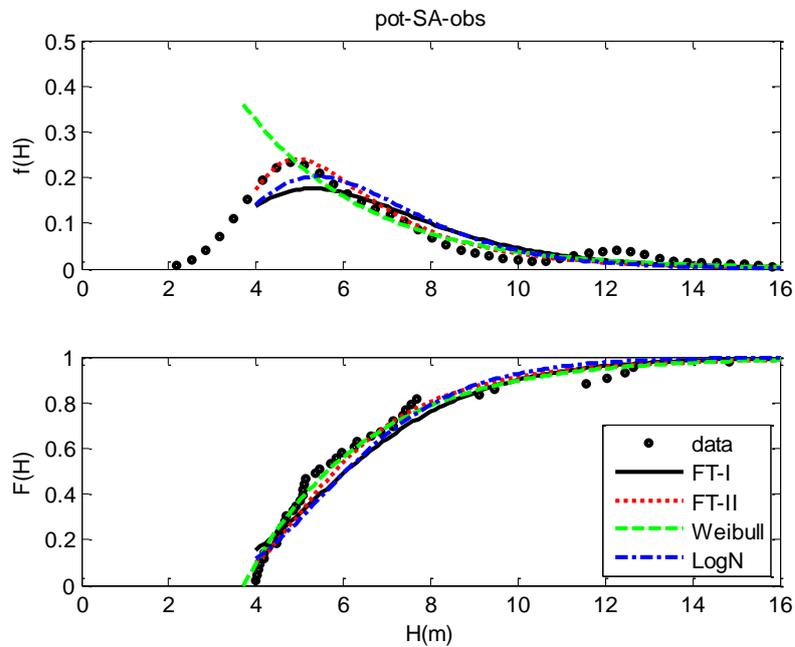


圖 7.12 推估蘇澳港實測資料樣本超量門檻取樣法之機率密度函數及機率函數圖

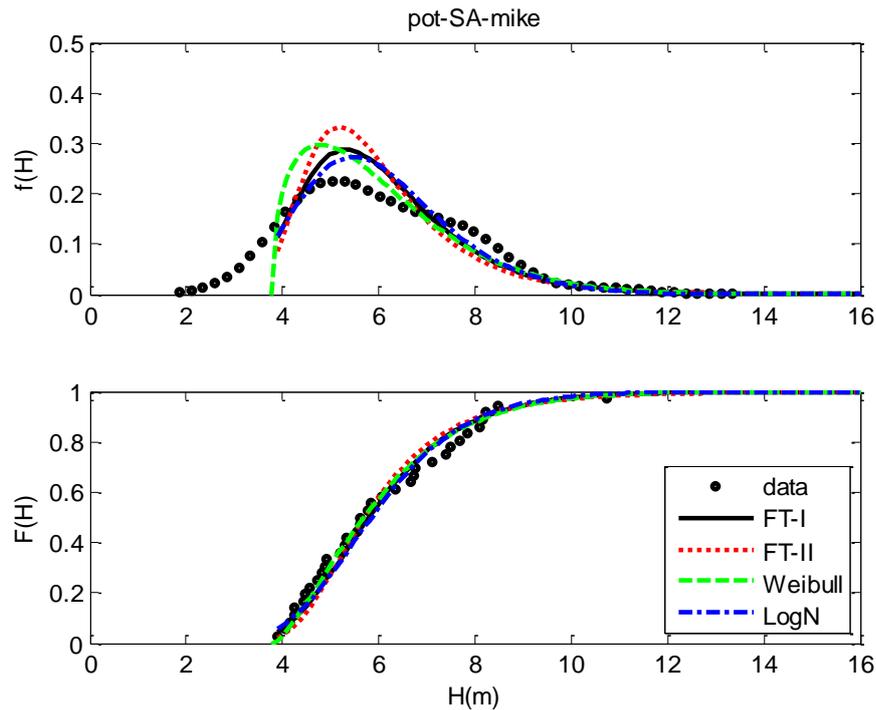


圖 7.13 推估蘇澳港二維數值模式樣本超量門檻取樣法之機率密度函數及機率函數圖

為方便進行各樣本與取樣方式的比較本計畫整理上述極值分析結果如表 7.9，結果顯示三種樣本經年極值取樣的 50 年重現期極值波高以類神經樣本與實測資料接近而二維數值模式樣本較低，超量門檻取樣法的類神經樣本略高於實測資料樣本而二維數值模式樣本較小；年極值取樣法標準差則以二維數值模式較小，類神經樣本次之，實測資料較大。超量門檻取樣法標準差同樣以二維數值模式較小，但實測樣本次之，類神經樣本較大。整體來看，類神經樣本與實測資料樣本的極值分析結果接近，二維數值模式樣本的结果偏低。表中並列出三種樣本來源配合兩種取樣方式的 90% 信賴區間值，另利用本計畫 2.3 節 Seasonal Kendall 趨勢檢定法所分析波浪長期變遷趨勢結果，再估算在氣候變遷的影響下 50 年的波高變化量，即可推求考慮長期變遷的設計波標準，未來可方便相關單位引用。此外實測樣本的極值分析結果顯示蘇澳港 50 年重現期的設計波浪高達 16m 原因在於極值樣本中有五年的年極值高於 11m，其中泰利颱風(2005)的波高達 14.84m(可參見表 3.1)，而類神經模式是基於實測資料來進行建立故也能模擬出類似結果，但

二維數值模式樣本是由風場資料進行波場的推算，三種樣本間獲得的結果的差異可再另外進行探討。

表 7.9 蘇澳港三種樣本來源以兩種取樣方式的極值分析結果

樣本來源	取樣方式	50 年重現期		90% 信賴區間 (m)	考慮長期變遷 信賴區間 (m)
		極值波高 (m)	標準差 (m)		
類神經樣本	年極值取樣	16.44	2.63	12.10~20.77	12.77~21.44
	超量取樣	17.51	3.31	12.05~22.98	12.71~23.65
實測資料	年極值取樣	16.82	3.58	10.92~22.72	11.58~23.38
	超量取樣	16.23	2.59	11.97~20.50	12.63~21.16
二維數值模式	年極值	11.56	1.73	8.71~14.42	9.37~15.08
	超量取樣	10.84	1.04	9.12~12.56	9.79~13.23

7.7 設計波高標準之探討

本計畫除了提升波浪推算樣本的精度外，並採用最合適的參數推定法決定最適極值分布函數，在各重現期的設計波結果並以長期波浪趨勢分析的結果展示本計畫考量氣候變遷的影響下以各種樣本來源推估設計波的標準。此外，為避免由不同單位推算港灣結構物的設計波浪可能產生不同的困擾，港研中心欲建立各港的基準設計波浪及推算設計波浪的標準流程。為評估此設計波浪的可靠性及執行的可行性，本研究團隊配合港研中心所主辦的『統一建立台灣主要港口設計波浪之可行性探討座談會』邀請各相關單位共同推動。會議並於 2013 年 10 月 11 日召開，會議照片如圖 7.14。討論議題包括：1.樣本取樣方式對推算值的影響；2.推算樣本準確性對推算值的影響；3.推算 16 方位設計波的必要性；4.深海波或相當深海波(波浪測點)的推算點；5.安全係數及標準結構尺寸修改後反推波浪的重現期；6.測試操作流程的地點選擇；7.如何公告主要港灣設計波浪的基準；8.執行人力及工作分配等。此工作的推動相信對國內港灣工程發展會有很大的助益。



圖 7.14 統一建立台灣主要港口設計波浪之可行性探討座談會

第八章 結論與建議

8.1 結論

本計畫蒐集花蓮港與蘇澳港波浪資料與颱風資料進行長期趨勢分析，另針對花蓮港與蘇澳港進行 M5 最小化模式樹之建構，並配合新建立的蘇澳港類神經波浪推算模式與往昔建立的花蓮港波浪推算模式進行比較以評估兩種波浪推算模式的適用性及特性。此外並以二維數值風浪模式進行極值樣本的推算，最後以三種極值樣本來源配合兩種取樣方式推求最適極值函數的各重現期極值波高，獲得以下結論：

1. 本計畫統計歷年侵襲花蓮港與蘇澳港次數之結果，整體而言除了強烈颱風以外其餘颱風規模每年侵蝕花蓮港的次數都顯示有增加的趨勢，尤其以中度颱風侵襲花蓮港次數有明顯的增加，以現有颱風紀錄而言每 50 年約增加 1.1 個颱風的侵襲機會。歷年侵襲蘇澳港次數的趨勢分析結果，颱風侵襲次數亦只有中度颱風有明顯的增加趨勢，其餘強烈颱風與輕度颱風的統計中則稍有減少的趨勢。以其變化趨勢的強度來看，中度颱風的侵襲次數的增加趨勢明顯大於其他減少的趨勢，以現有颱風紀錄而言蘇澳港中度颱風侵襲的次數是增加的，平均而言每 100 年約增加 1.72 個颱風的侵襲機會
2. 花蓮港以多種趨勢檢測法配合各種取樣方式所估算的為年增率約為 -0.0068 至 -0.0424m/year，若採用考慮季節性變化的 Seasonal Kendall 趨勢檢定法，其波高年增率經計算為 -0.0068m/year，花蓮港自 1990 年至 2012 年間的波浪趨勢是屬於降低的。蘇澳港以一階線性回歸配合逐時、月平均與年平均等波浪取樣方式所估算的為年增率約為 0.0090 至 0.0284m/year，若採用考慮季節性變化的 Seasonal Kendall 趨勢檢定法，其波高年增率經計算為 0.0133m/year，整體而言蘇澳港的波浪趨勢是屬於增加的。
3. 利用 M5 最小化模式樹所建立的花蓮港波浪推算模式其運算規則達 833 組，而蘇澳港波浪推算模式則為 784 組，兩者接近但仍顯示花

蓮港的複雜度較高。以驗證結果來看花蓮港的模式雖然運算規則較為複雜，但驗證結果中顯示其最大波高及整體 RMSE 僅稍微較蘇澳港模式好，最大波高發生時間的推估精度則以蘇澳港較佳，相關係數 R 兩個港的模式相同。

4. 在類神經與 M5 模式兩種推估模式的比較中，波高峰值的估算精度以類神經模式較佳，而整體推算 RMSE 及相關係數 R 皆是以 M5 模式較佳。另外 M5 模式在直撲推算點颱風的推估結果可能會有低估的現象。而類神經模式對於在行進至花蓮外海突然轉向往北的颱風會有明顯高估的誤判。此外，經東部外海向北移動卻未登陸的颱風，在兩種模式的推估結果相近，但相較於實測資料皆有明顯的低估現象。整體而言兩種模式各有其優缺點，但 M5 模式所推算的時序列結果由於其分區回歸的特性，其推算結果常會有類似階梯函數突然增加或下降的現象，且其峰值的誤差較大。現階段無論是即時預報或極值樣本推算仍以類神經模式較為適用。
5. 截至本年度期末報告，本所港研中心已完成包括花蓮、高雄、台北、台中、基隆及蘇澳等全國六大國際港及安平港的類神經颱風波浪推算模式。整體而言，模式成效以花蓮港、蘇澳港與基隆港較佳，高雄港、安平港與臺北港在由於其地理位置與颱風波浪資料較少，所以模式的推算能力並沒有花蓮港那麼好，而臺中港部分由於資料較少，且有幾場颱風的對應波高有異常的波峰值，其模式推算能力與安平港模式接近。
6. 為能比較不同樣本來源的極值分析結果，本計畫採用 DHI MIKE 21 SW 來進行花蓮港與蘇澳港二維數值模式的風浪推算，並以此結果進行極值分析。此外並以港研中心本年度「臺北港區風場數值預報系統之建置研究」計畫研究成果中的 2km 風場資料與 NCEP 風場資料進行二維數值模式推算，其結果顯示 2km 風場資料能有效提升二維數值模式的推算精度。

7. 本計畫以類神經樣本、實測資料樣本、二維數值模式樣本配合年極值取樣法與超量門檻值取樣法進行花蓮港與蘇澳港的極值分析，並推算 10、25、50、100 及 200 年等重現期的設計波高。另取 50 年重現期的極值分析結果配合本計畫所分析出花蓮港與蘇澳港長期波高變化年增量，計算在氣候變遷的影響下，花蓮港與蘇澳港的設計波高標準。

8.2 建議

1. 在類神經颱風波浪推算模式的研究成果目前仍有改善的空間，除了各場颱風波高峰值的誤差量還有其誤差發生時間的延遲，未來若有更新的波浪資料或颱風資訊供學習或驗證可再提升模式之可靠度。另外模式推估成效的評估建議可在完成更多港口推算模式後進行綜合評估，並分析各港間的相關性。
2. 花蓮港與蘇澳港波浪地理位置相近，但長期波浪趨勢分析的結果顯示為截然不同的趨勢，其原因須進一步探討。
3. 在波浪長期趨勢分析中本研究採用多種方法進行分析，但各方法的結果雖接近但仍有不同，未來可再深入探討各方法對設計波標準的適用性。
4. 蘇澳港的極值分析中三種樣本 50 年重現期的設計波浪的差距高達 6m，為探討三種樣本極值分析結果正確性，建議未來可利用蘇澳港實測資料中波高較大的颱風如泰利(2005)進行原始波壓或聲波資料的資料檢測。而二維數值模式可利用更高精度的風場資料(如 2km 風場)進行推算來判斷各樣本間的正确性。

8.3 成果效益及後續應用情形

本研究成果可提供基隆港務公司及花蓮港務公司檢核蘇澳與花蓮兩港區設計波浪之資訊。本計畫中的類神經颱風波浪推算模式與 M5 模式樹波浪推算模式亦可提供基隆港務公司及花蓮港務公司推算颱風

侵臺時兩港域可能會發生的波浪災害，以達成預警的功能。颱風與波浪長期趨勢分析成果可作為未來工程與環境評估的參考。另二維數值模式的風浪推算未來可與港研中心「臺北港區風場數值預報系統之建置研究」計畫進行合作繼續提升國內波浪推算能力。

參考文獻

1. 吳志剛，「氣候變遷對高屏溪流域水資源衝擊之探討」，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文(2000)。
2. 郭一羽，「海岸工程學」，文山書局，第四章(2001)
3. 郭鎮維、李建堂，「翡翠水庫上游集水區水質趨勢分析」，地理學報，第三十八期，111-128(2004)。
4. 江玟德、張憲國、劉勁成、陳蔚瑋、何良勝，「臺灣主要港口附近海域長期波浪統計特性及設計波(3/4)」，交通部運輸研究所(2011)。
5. 張憲國、劉勁成、陳蔚瑋，「以 M5 模式及經驗公式推算透水與不透水堤面之波浪反射率」，第三十三屆海洋工程研討會論文集，高雄，台灣(2011)。
6. 張書瑋，「氣候變遷下台灣海岸地區脆弱度分析」，國立海洋大學河海工程學系碩士論文(2011)。
7. 陳蔚瑋、何良勝、林賢銘、張憲國，「結合歸屬函數之類神經網路颱風波浪推算模式」，第三十三屆海洋工程研討會論文集，高雄，台灣(2011)。
8. 葉弘德，「氣候變遷對台灣西部離岸風能潛勢與發電量之影響評估」，台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文(2012)。
9. 趙紀翔，「氣候變遷對蘭陽河流域影響評估」，國立台北科技大學環境工程與管理研究所碩士論文(2012)。
10. 邱品竣，「西北太平洋地區颱風活動研究：與氣候變遷之關係」，中國文化大學地學研究所博士論文(2012)。
11. 陳蔚瑋、張憲國、何良勝、劉勁成，「應用二維歸屬函數建立台中港類神經網路台風波浪推算模式」，第三十四屆海洋工程研討會論文集，台南，台灣(2012)。
12. Audiffren, N. (2000) "Mann-Kendall data tests for Ozone 1995-1999

- data series at the PUY de Dome and in the AUVERGNE Region (France)," *Tropospheric Ozone Research Annual Report 2000*, 43-93.
13. Bhattacharya, B and D.P. Solomatine (2005) "Neural networks and M5 model trees in modeling water level-discharge relationship," *Neurocomputing*, 63, 381-396.
 14. Chester, D. (1990) "Why two hidden layers are better than one," *In Proceeding IEEE International Joint Conference on Neural Networks*, Washington, D.C. 265-268.
 15. Cios, K., Pedrycz, W., Seiniarski, R. W. and Kurgan, L. A. (2007) "Data mining, a knowledge discovery approach," Springer.
 16. Davison, A.C. (1984) "Modelling excesses over high thresholds, with an application," *In: Tiago de Oliveira, J. (Ed.), Statistical Extremes and Applications. NATO Adv. Sci. Ser. C Math-Phys. Sci., Reidel, Dordrecht*, 461-482.
 17. Davison, A.C. and Smith, R.L. (1990) "Models for exceedances over high thresholds with discussion," *Journal of the Royal Statistical Society. Series B*, 62, 191-208.
 18. Dawson, C W. and Wilby, R. L. (2001) "Hydrological Modeling Using Artificial Neural Networks," *Progress in Physical Geography*, 25(1): 80-108.
 19. DHI (2009) "User guide and reference manual of MIKE 21-coastal hydraulics and oceanography hydrodynamic model," Danish Hydraulic Institute.
 20. Elsinghorst, C., Groeneboom, P., Jonathan, P., Smulders, L. and Taylor, P.H. (1998) "Extreme value analysis of North Sea storm severity," *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 120, 3, 177-183.
 21. Etemad-Shahidi, A. and Mahjoobi, J. (2009) "Comparison between M5' model tree and neural networks for prediction of significant wave height in Lake Superior," *Ocean Engineering*, 36, 1175-1181.
 22. Ferreira, J.A. and Guedes Soares, C. (1998) "An application of the

- peaks over threshold method to predict extremes of significant wave height," *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 120, 3, 165-176.
- 23.Goda, Y. (2000) "Random Seas and Design of Maritime Structures," In: Liu, P.L.-F. (Ed.), *Advanced Series on Ocean Engineering*, vol. 15. World Scientific, Singapore.
- 24.Graham, H.E., and Nunn, D.E. (1959) "Meteorological conditions pertinent to standard project hurricane," *Atlantic and Gulf Coasts of United States, National Hurricane Research Project*, Report No. 3, U. S. Weather Service.
- 25.Guedes Soares, C. (1986) "Assessment of the uncertainty in visual observations of wave height," *Ocean Engineering*, 13, 1, 37-56.
- 26.Guedes Soares, C., Henriques, A.C. (1996) "Statistical uncertainty in long-term distributions of significant wave height," *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 11, 284-291.
- 27.Guedes Soares, C., Scotto, M. (2001) "Modelling uncertainty of long-term predictions of significant wave height," *Ocean Engineering* 28, 329-342.
- 28.Haver, S. (1985) "Wave Climate off northern Norway," *Applied Ocean Research*, 7, 85-92.
- 29.Hayashi, Y., Sakata, M., and Gallant, S.I. (1990) "Multi-layer versus single-layer neural networks and an application to reading hand-stamped characters," *In proceeding International Conference on Neural Networks*, Paris, 781-784.
- 30.Hirsch, R. M., Slack, J. R. and Smith, R. A. (1982) "Techniques of trend analysis for monthly water quality data," *Water Resources Research*, 18, 1, 107-121.
- 31.Hirsch, R. M. and Slack, J. R. (1984) "A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence," *Water Resources Research*, 20, 6, 727-732.
- 32.Huang, N. E., Shen, Z., Long, S. R., Wu, M.L., Shih, H.H., Zheng, Q.,

- Yen, N.C., Tung, C.C. and Liu, H.H. (1998) "The empirical mode decomposition and Hilbert spectrum for nonlinear and nonstationary time series analysis," *Proc. Roy. Soc. London A*, 454, 903-995.
33. Huang, W., and Foo, S. (2002) "Neural network modeling of salinity variation in Apalachicola River," *Water Research*, Vol. 36, 356-362.
34. Hush, D.R., and Horne, B.G. (1993) "Progress in supervised neural network: what's new since lippmann," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 10, 8-39.
35. Jain, P. and Deo, M.C. (2008) "Artificial Intelligence Tools to Forecast Ocean Waves in Real Time," *The Open Ocean Engineering Journal*, 1, 13-20.
36. Kecman, V, (2001) "Learning and Soft Computing: Support Vector Machines, Neural Networks , and Fuzzy Logic Models," *The MIT Press Cambridge, Massachusetts London , England*.
37. Kendall, M. G. (1975) "Rank Correlation Methods," London: Charles Griffin.
38. Kurkova, V. (1992) "Kolmogorov's Theorem and multilayer neural networks," *Neural Networks*, Vol. 5, 501-506.
39. Mann, H. B., (1945) "Non-parametric tests against trend," *Econometrica*, 13, 245-259.
40. Mendez, F.J., Menendez, M., Luceno, A. and Losada, I.J. (2006) "Estimation of the long-term variability of extreme significant wave height using a time dependent POT model," *Journal of Geophysical Research*, 111, C07024.
41. Moller M, (1993) "A scaled conjugate gradient algorithm for fast supervised learning," *Neural Networks*, 6(4), 525-533.
42. Naess, A. and Clausen, P.H. (2002) "The impact of data accuracy on the POT estimates of long return period design values," *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 124, 53-58.
43. Quinlan J.R. (1992) "Learning with continuous classes," Proceedings of 5th Australian Joint Conference on Artificial Intelligence, World

Scientific, Singapore, 343-348.

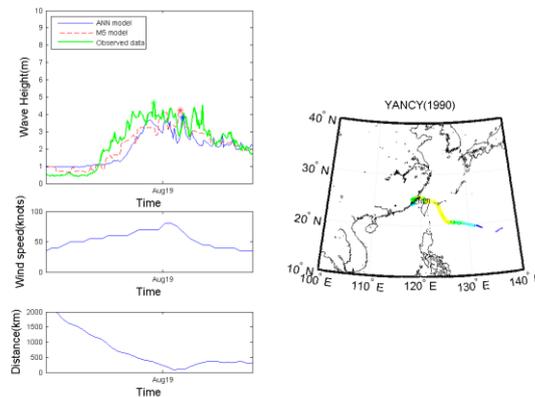
44. Raike, A., Pietilainen, O. P., Rekolainen, S., Kauppila, P., Pitkanen, H., Niemi, J., Raateland, A. and Vuorenmaa, J. (2003) "Trends of phosphorus, nitrogen and chlorophyll a concentrations in Finish rivers and lakes in 1975-2000," *The Science of the Total Environment*, 310, 47-59.
45. Rilling, G., Flandrin, P. and Goncalves, P. (2003) "On empirical mode decomposition and its algorithm," *Proc. IEEE-EURASIP Workshop NonLinear Signal Image Process.*
46. Sen, P. K. (1968) "Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau," *Journal of the American Statistical Association*, 63, 1379-1389.
47. Smith, R.L. (1986) "Extreme value theory based on the r largest annual events," *Journal of Hydrology*, 86, 27-43.
48. Suh, K. D., Kim, M. and Chun J. (2013) "Estimation of design wave height using empirical simulation technique," *Ocean Engineering*, 61, 39-49.
49. Van Vledder, G., Goda, Y., Hawkes, P., Mansard, E., Martin, M.J., Mathiesen, M., Peltier, E., Thompson, E. (1993) "Case studies of extreme wave analysis: a comparative analysis," *Proceedings of the Second International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis*. ASCE, New York, 978-992.
50. Walker, W. W. (1991) "Water quality trends at inflows to Everglades National Park," *Water Resources Bulletin*, 27, 1, 59-72.
51. Wang Y. and Witten I.H. (1997) "Induction of model trees for predicting continuous classes," *Proceedings European Conference on Machine Learning*, Prague, 128-137.
52. Weibull, W. (1951) "A statistical distribution function of wide application," *Journal of Applied Mechanics*, 18, 293.
53. Witten, I. H., and Frank, E. (2005) "Data Mining : Practical Machine Learning Tools and Techniques (2nd ed.)," San Francisco : Morgan

Kaufmann.

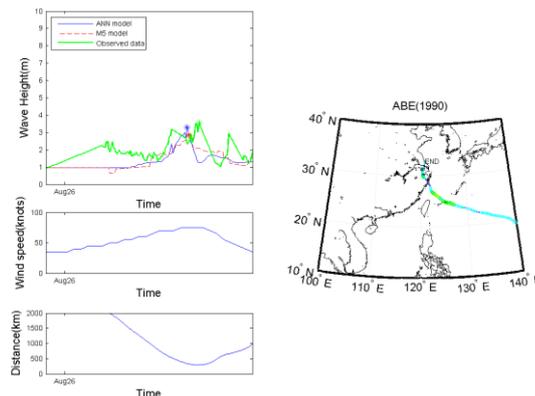
54. Woolf, D. K., Cotton, P. D. and Challenor, P. G. (2003) "Measurements of the offshore wave climate around the British Isles by satellite altimeter," *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A*, 361, 27.
55. Young, I. R. (1999) "Wind-generated ocean waves," In Elsevier Ocean Engineering Book Series, Volume 2. Eds. R. Bhattacharyya and M. E. McCormick, Elsevier.
56. Young, I. R., Zieger, S., Babanin, A. V. (2011) "Global Trends in Wind Speed and Wave Height," *Science*, 332, 6028, 451-455.
57. Yue, S. and Hashino, M. (2003) "Long term trends of annual and monthly precipitation in Japan," *Journal of the American Water Resources Association*, 39, 3, 587-596.
58. Zipper, C. E., Holtzman, G. I., Darken, P. F., Gildea, J. J. and Stewart, R. E. (2002) "Virginia USA water quality, 1978 to 1995: regional interpretation," *Journal of the American Water Resources Association*, 38, 3, 789-802.

附錄一 花蓮港與蘇澳港波浪推算模式結果

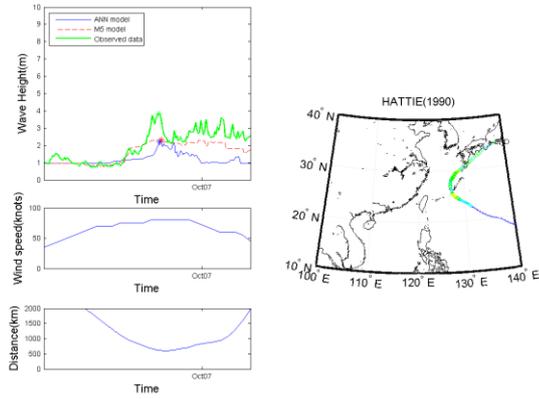
以下為本計畫針對花蓮港自 1990 年至 2012 年及蘇澳港 1999 年至 2012 年共 121 場颱風進行類神經颱風波浪推算模式與 M5 最小化模式樹波浪推算模式的推算結果，各圖左上為兩種模式推估的波高結果與實測波高的比較圖，其中細實線為類神經颱風波浪推算模式的結果，虛線為 M5 最小化模式樹波浪模式的推算結果，粗實線則為實測波高資料。左中為颱風中心最大風速的時序列變化，左下為颱風中心與推算點距離的時序列變化圖，而圖右則為颱風路徑圖。



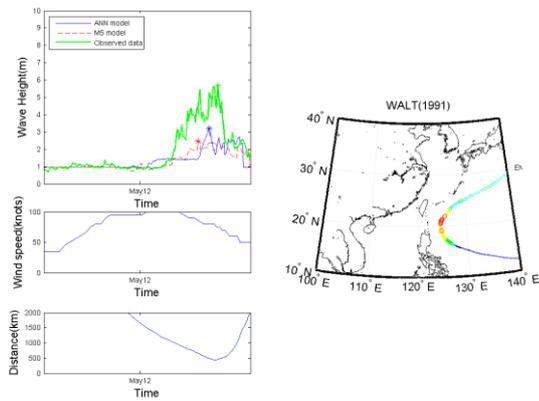
附圖 1 楊希(1990)颱風資訊與花蓮港推算結果



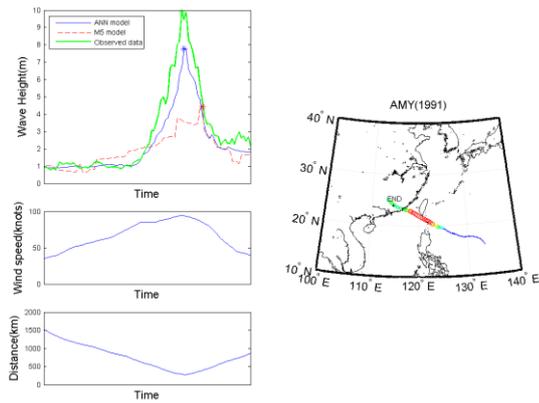
附圖 2 亞伯(1990)颱風資訊與花蓮港推算結果



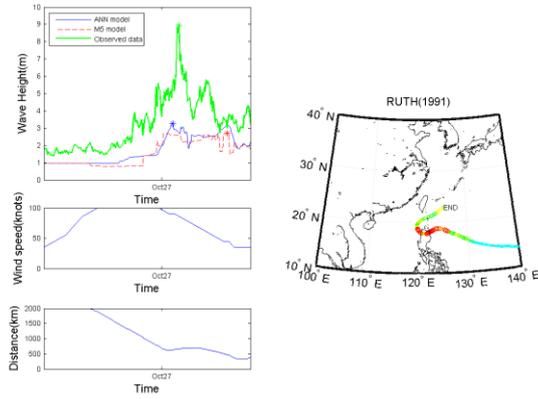
附圖 3 海蒂(1990)颱風資訊與花蓮港推算結果



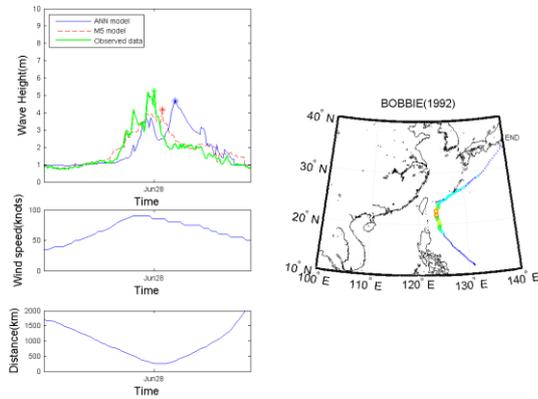
附圖 4 華特(1991)颱風資訊與花蓮港推算結果



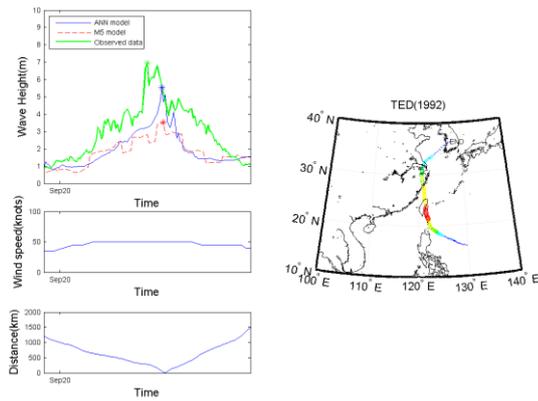
附圖 5 艾美(1991)颱風資訊與花蓮港推算結果



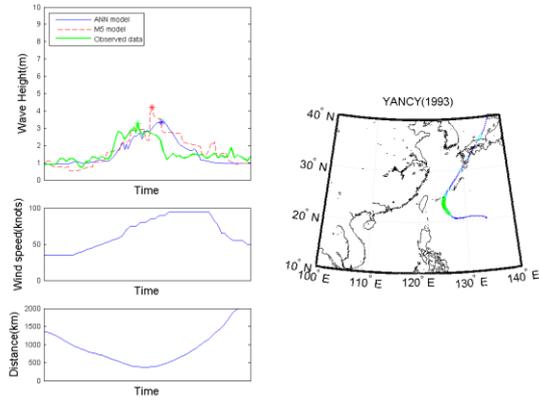
附圖 6 露絲(1991)颱風資訊與花蓮港推算結果



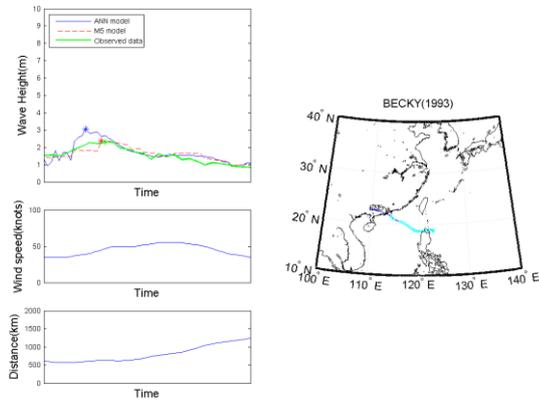
附圖 7 芭比(1992)颱風資訊與花蓮港推算結果



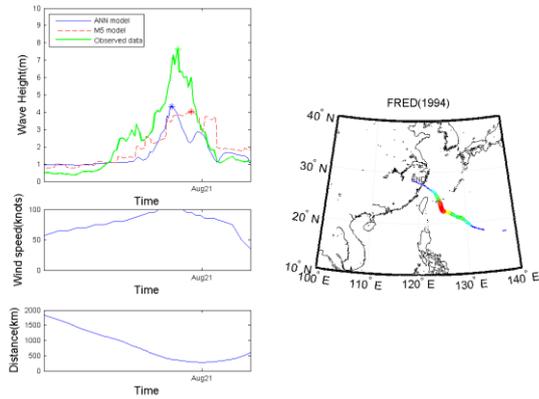
附圖 8 泰德(1992)颱風資訊與花蓮港推算結果



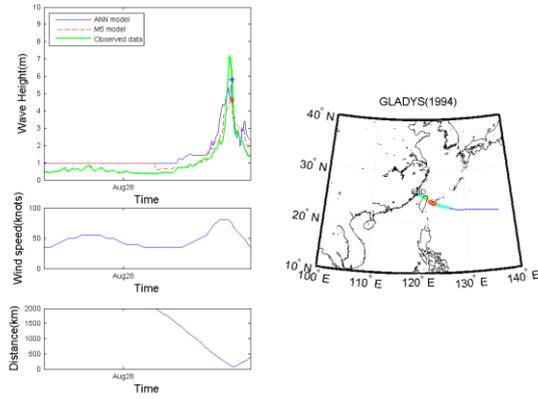
附圖 9 楊希(1993)颱風資訊與花蓮港推算結果



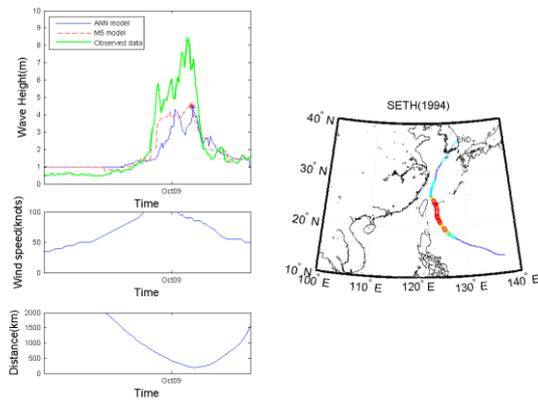
附圖 10 蓓琪(1993)颱風資訊與花蓮港推算結果



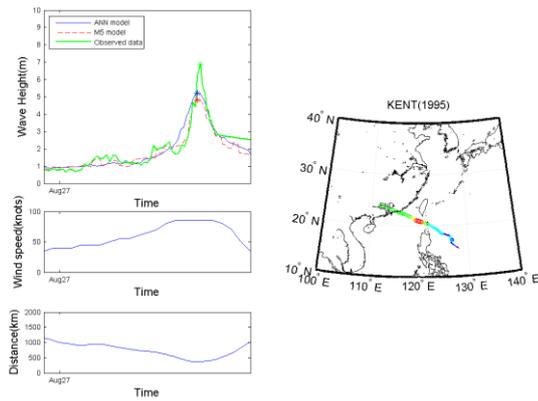
附圖 11 弗雷特(1994)颱風資訊與花蓮港推算結果



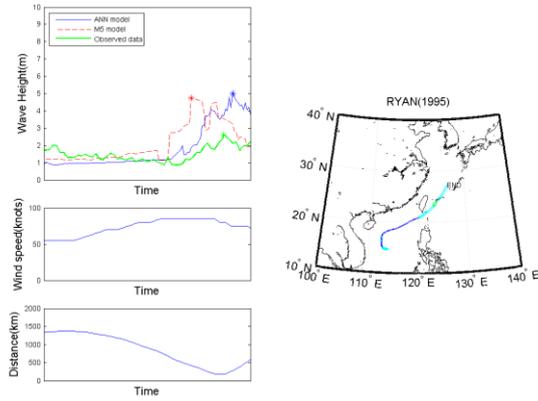
附圖 12 葛拉絲(1994)颱風資訊與花蓮港推算結果



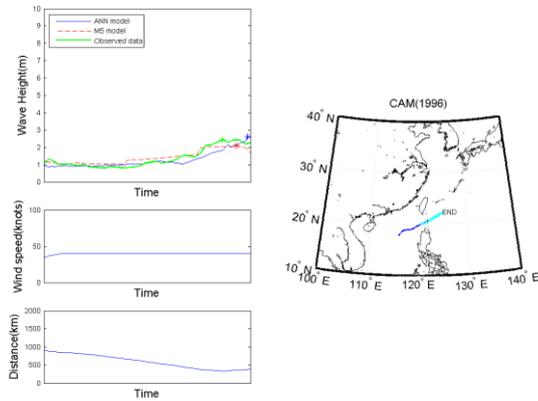
附圖 13 席斯(1994)颱風資訊與花蓮港推算結果



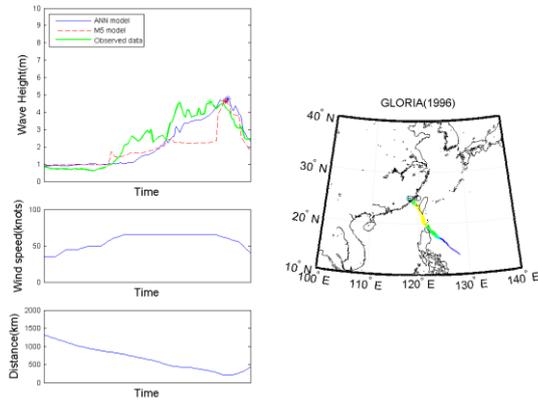
附圖 14 肯特(1995)颱風資訊與花蓮港推算結果



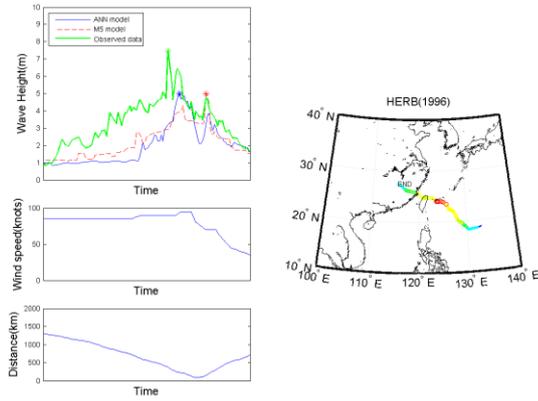
附圖 15 賴恩(1995)颱風資訊與花蓮港推算結果



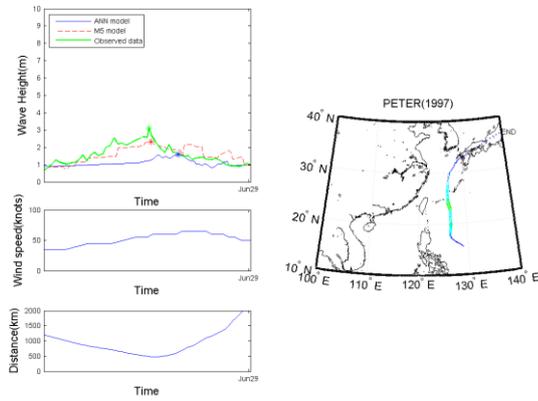
附圖 16 凱姆(1996)颱風資訊與花蓮港推算結果



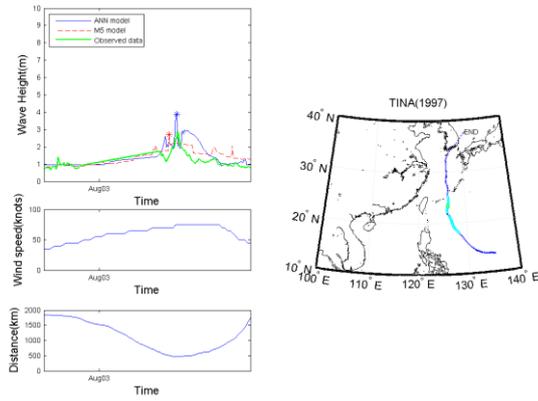
附圖 17 葛樂禮(1996)颱風資訊與花蓮港推算結果



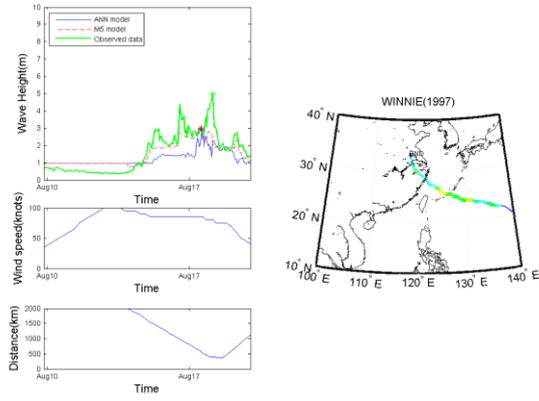
附圖 18 賀伯(1996)颱風資訊與花蓮港推算結果



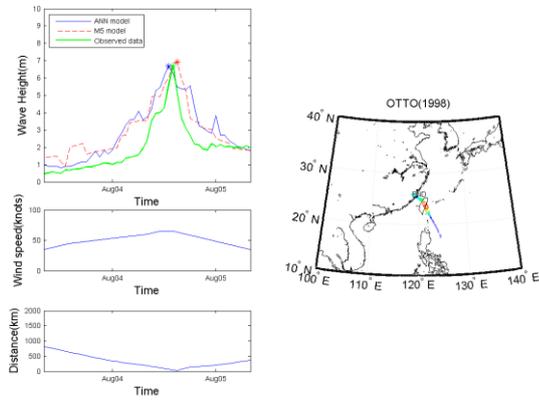
附圖 19 彼得(1997)颱風資訊與花蓮港推算結果



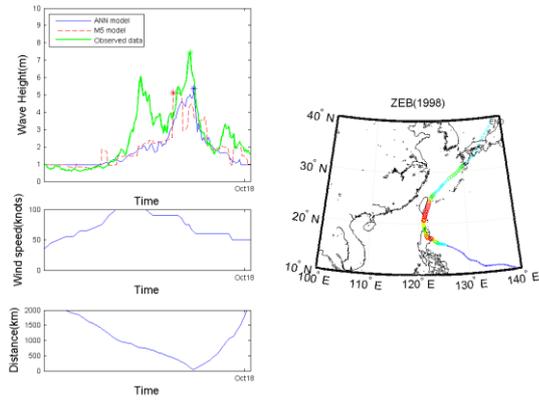
附圖 20 蒂納(1997)颱風資訊與花蓮港推算結果



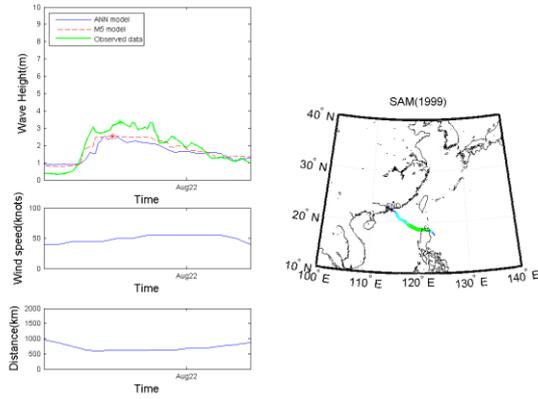
附圖 21 溫妮(1997)颱風資訊與花蓮港推算結果



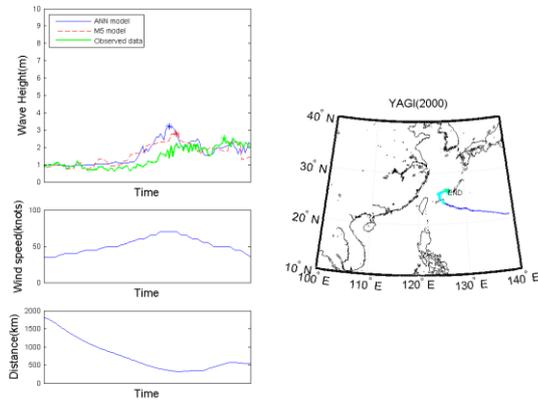
附圖 22 奧托(1998)颱風資訊與花蓮港推算結果



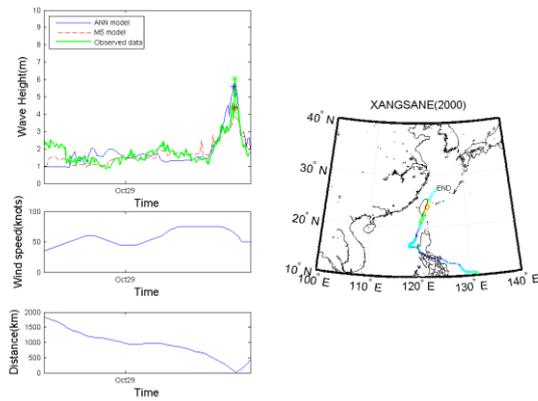
附圖 23 瑞伯(1998)颱風資訊與花蓮港推算結果



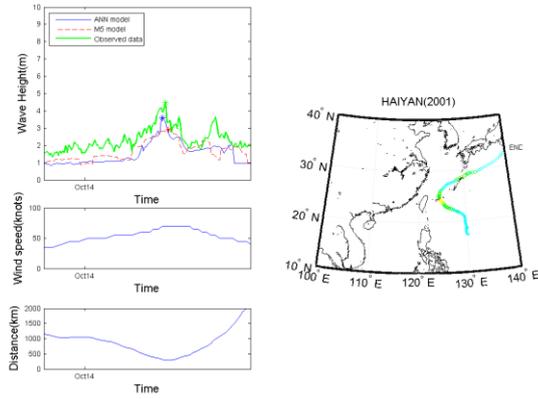
附圖 24 山姆(1999)颱風資訊與花蓮港推算結果



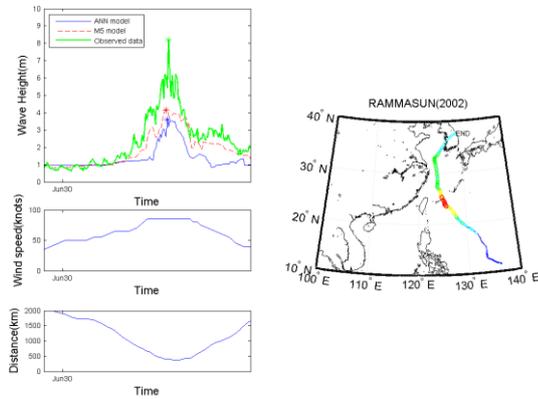
附圖 25 雅吉(2000)颱風資訊與花蓮港推算結果



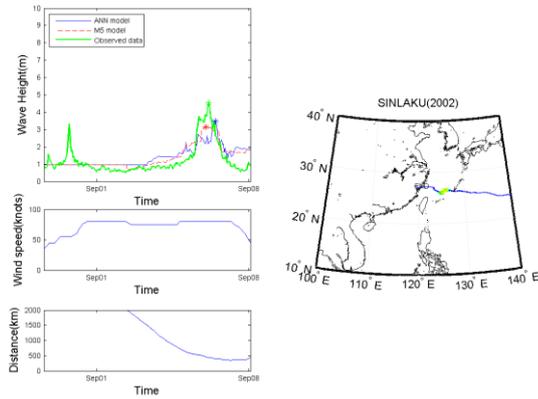
附圖 26 象神(2000)颱風資訊與花蓮港推算結果



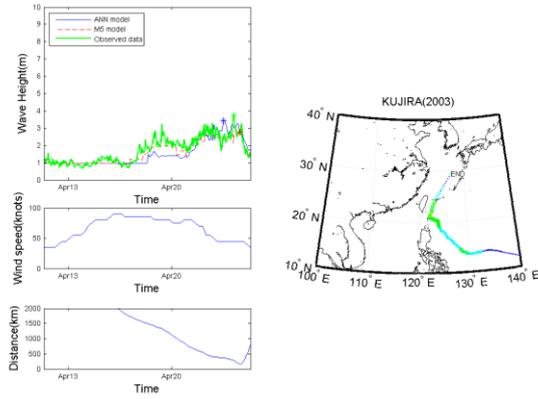
附圖 27 海燕(2001)颱風資訊與花蓮港推算結果



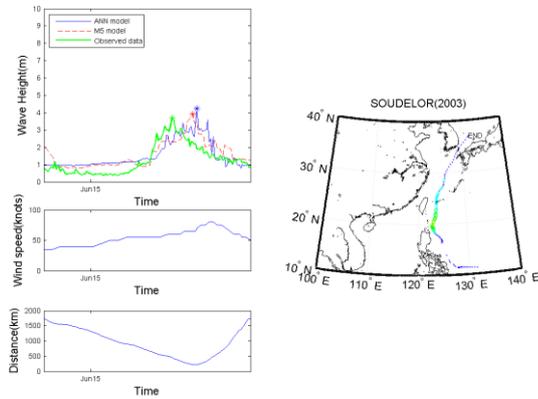
附圖 28 雷馬遜(2002)颱風資訊與花蓮港推算結果



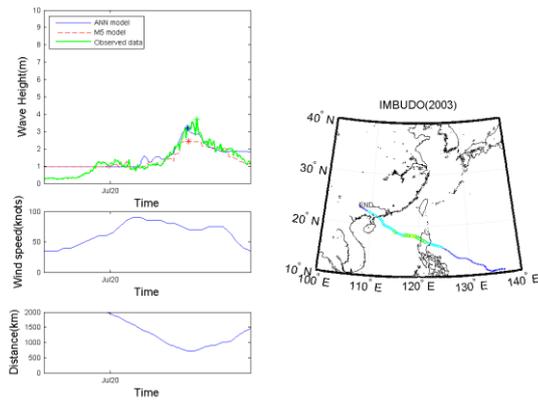
附圖 29 辛樂克(2002)颱風資訊與花蓮港推算結果



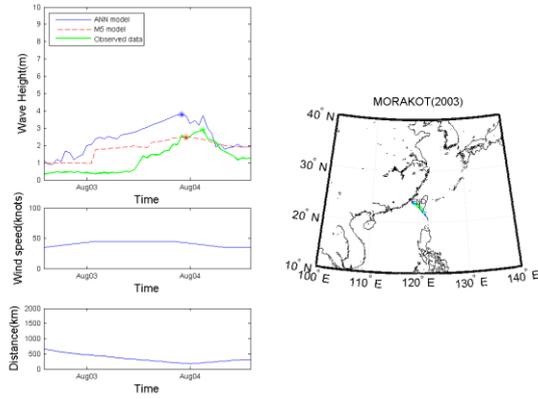
附圖 30 柯吉拉(2003)颱風資訊與花蓮港推算結果



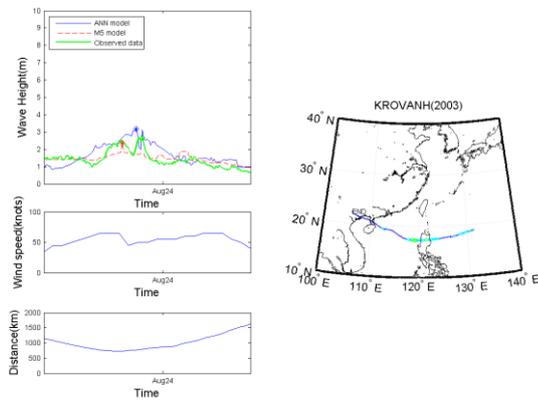
附圖 31 蘇迪勒(2003)颱風資訊與花蓮港推算結果



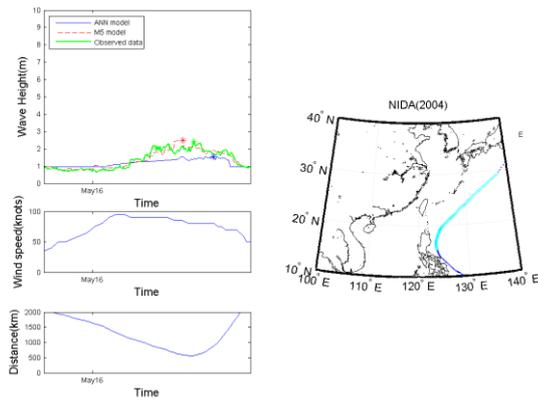
附圖 32 尹布都(2003)颱風資訊與花蓮港推算結果



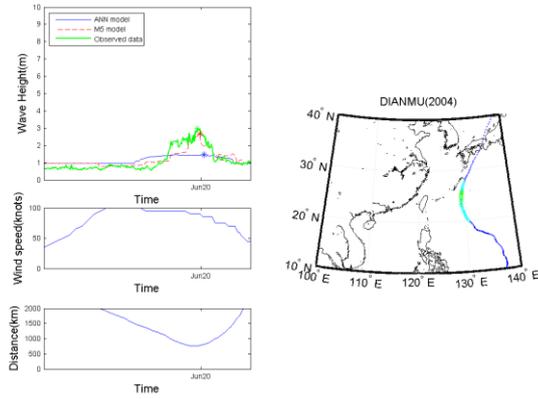
附圖 33 莫拉克(2003)颱風資訊與花蓮港推算結果



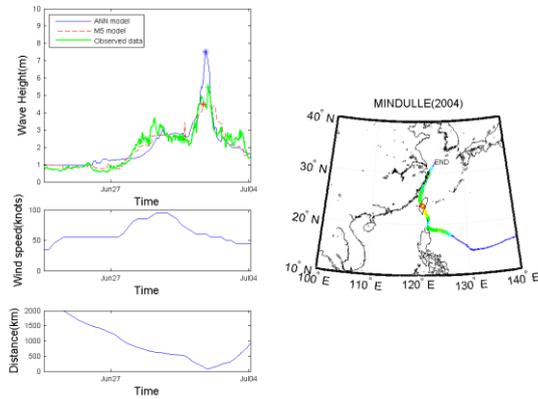
附圖 34 柯羅旺(2003)颱風資訊與花蓮港推算結果



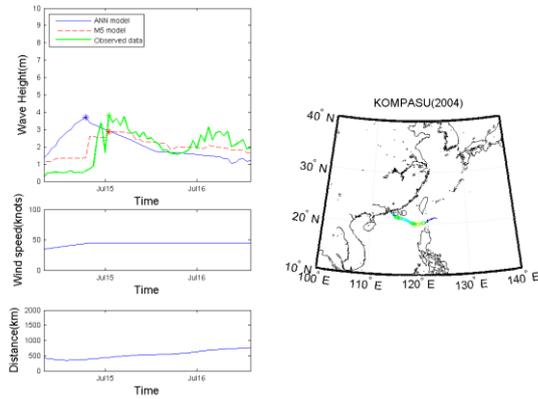
附圖 35 妮妲(2004)颱風資訊與花蓮港推算結果



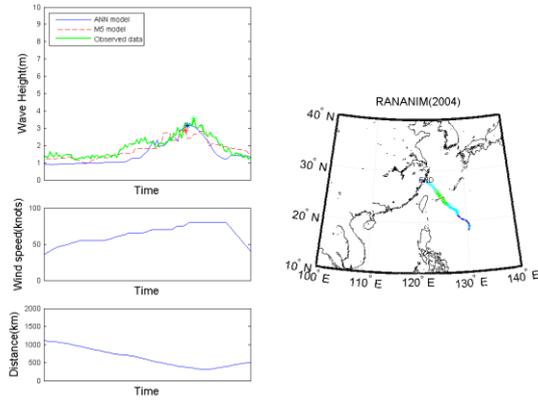
附圖 36 電母(2004)颱風資訊與花蓮港推算結果



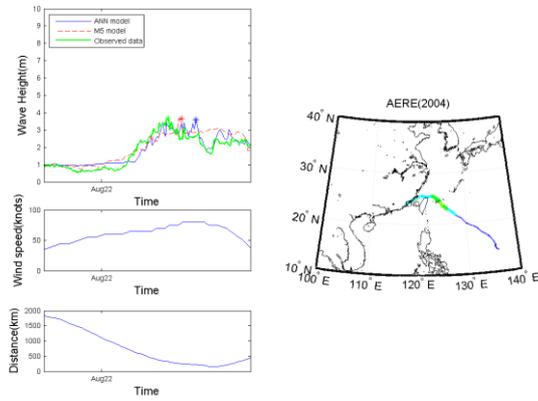
附圖 37 敏督利(2004)颱風資訊與花蓮港推算結果



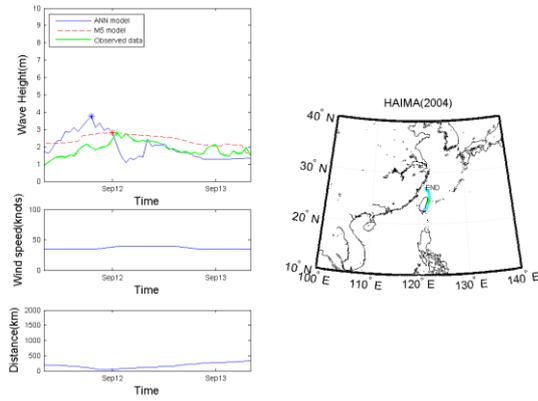
附圖 38 康柏斯(2004)颱風資訊與花蓮港推算結果



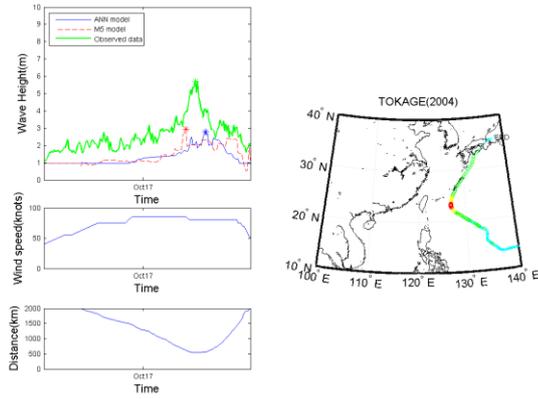
附圖 39 蘭寧(2004)颱風資訊與花蓮港推算結果



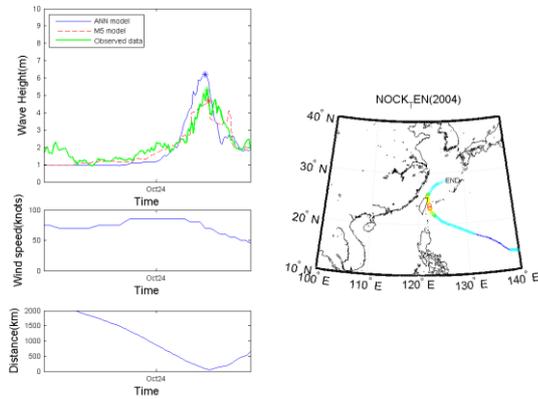
附圖 40 艾利(2004)颱風資訊與花蓮港推算結果



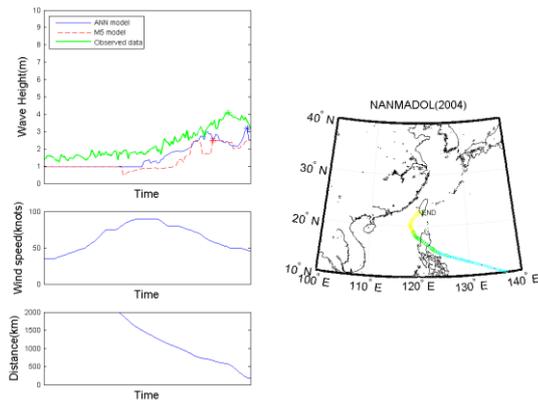
附圖 41 海馬(2004)颱風資訊與花蓮港推算結果



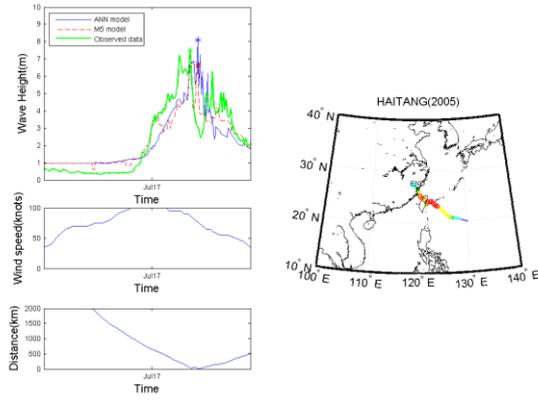
附圖 42 陶卡基(2004)颱風資訊與花蓮港推算結果



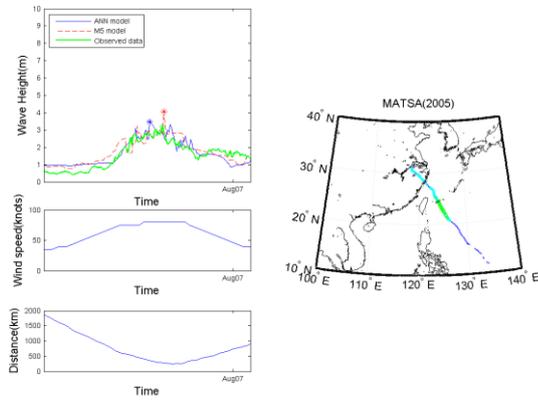
附圖 43 納坦(2004)颱風資訊與花蓮港推算結果



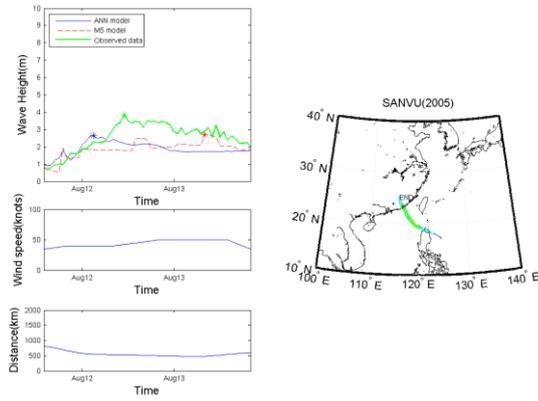
附圖 44 南瑪都(2004)颱風資訊與花蓮港推算結果



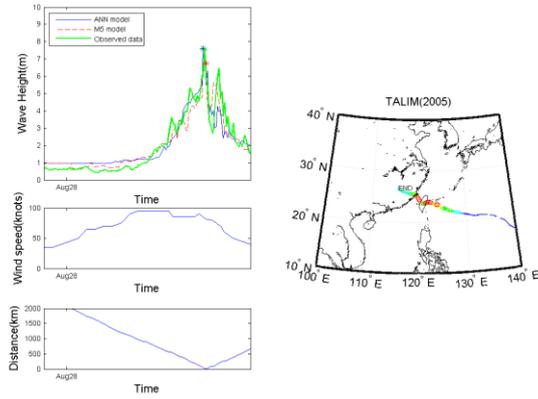
附圖 45 海棠(2005)颱風資訊與花蓮港推算結果



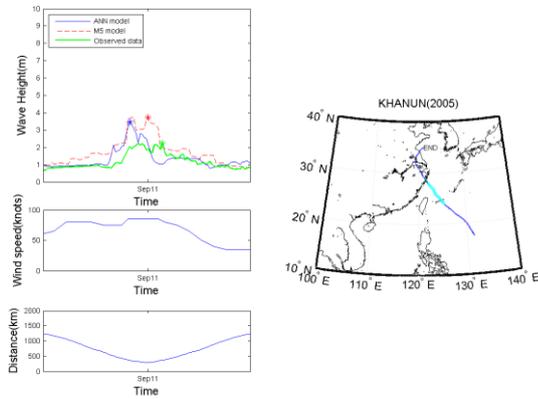
附圖 46 馬莎(2005)颱風資訊與花蓮港推算結果



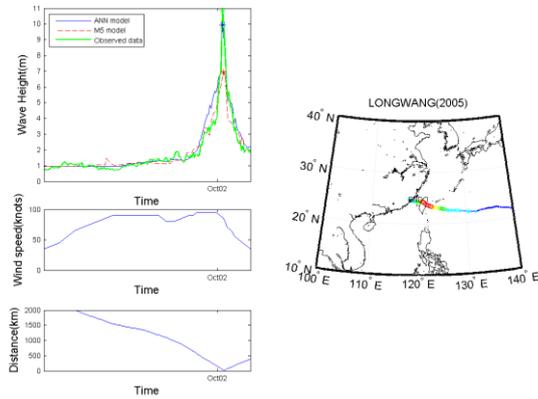
附圖 47 珊瑚(2005)颱風資訊與花蓮港推算結果



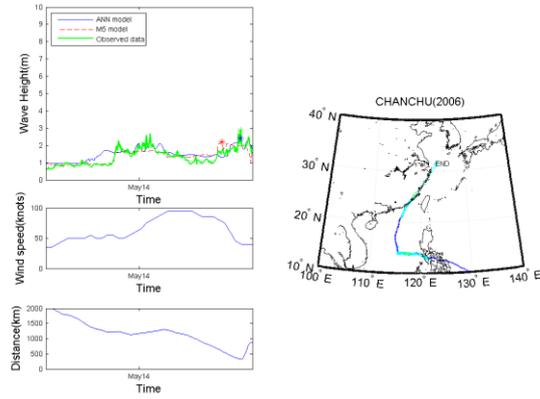
附圖 48 泰利(2005)颱風資訊與花蓮港推算結果



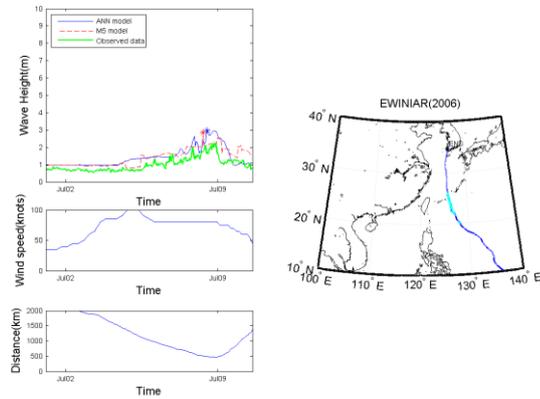
附圖 49 卡努(2005)颱風資訊與花蓮港推算結果



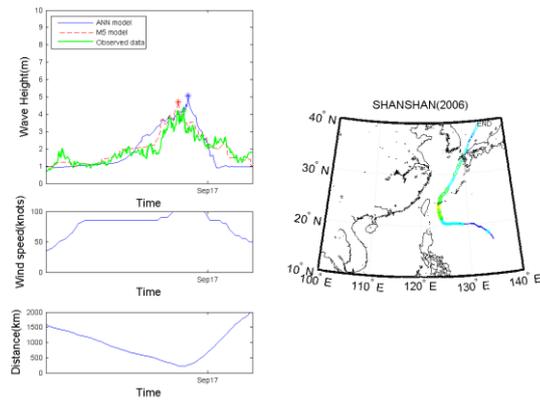
附圖 50 龍王(2005)颱風資訊與花蓮港推算結果



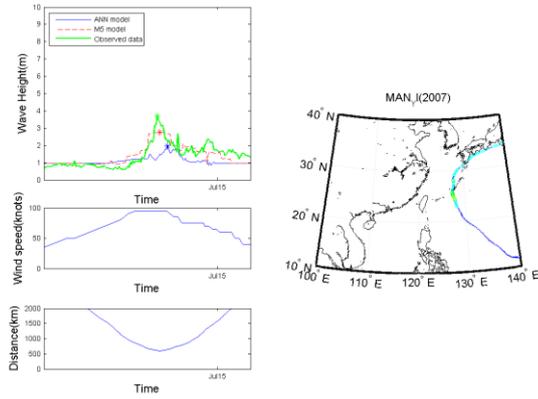
附圖 51 珍珠(2006)颱風資訊與花蓮港推算結果



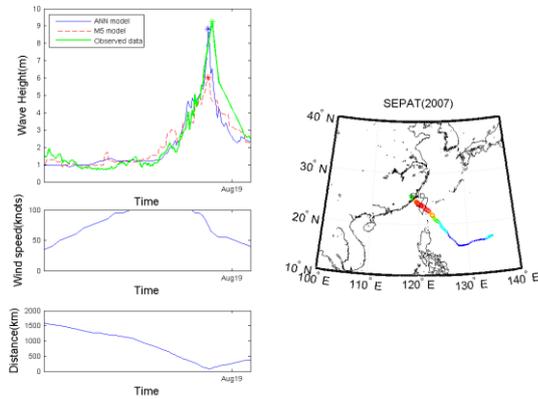
附圖 52 艾維尼(2006)颱風資訊與花蓮港推算結果



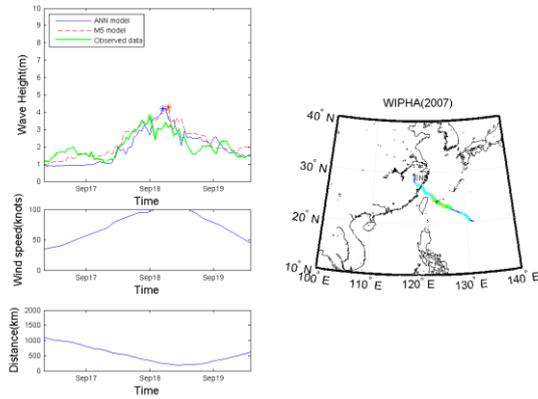
附圖 53 珊珊(2006)颱風資訊與花蓮港推算結果



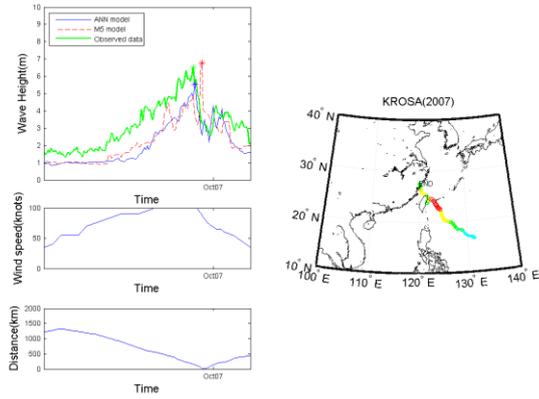
附圖 54 萬宜 (2007)颱風資訊與花蓮港推算結果



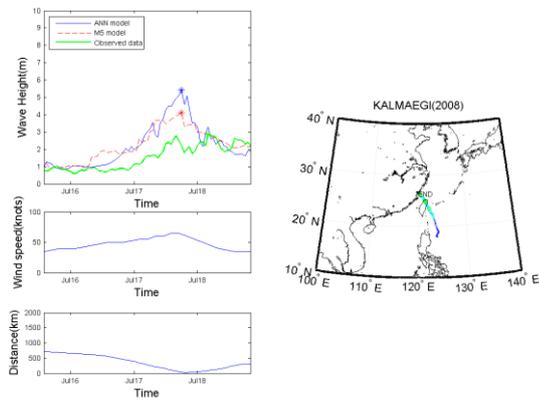
附圖 55 聖帕(2007)颱風資訊與花蓮港推算結果



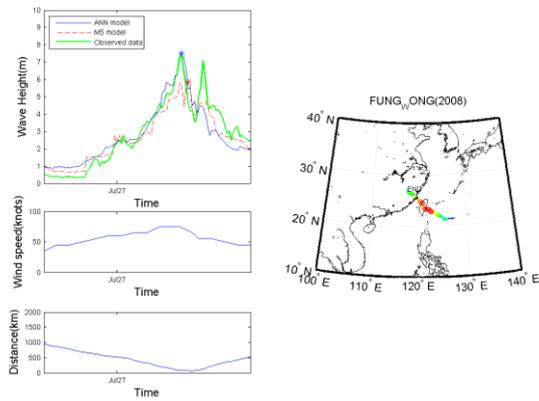
附圖 56 韋帕(2007)颱風資訊與花蓮港推算結果



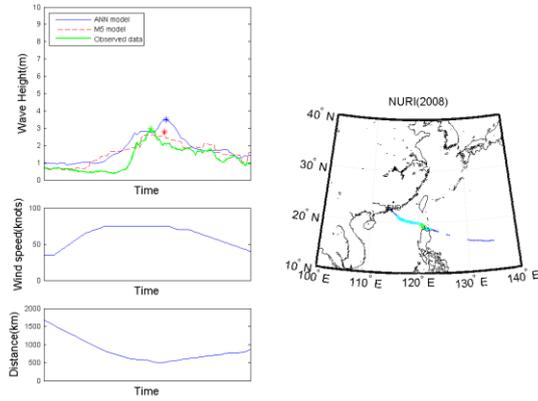
附圖 57 柯羅莎(2007)颱風資訊與花蓮港推算結果



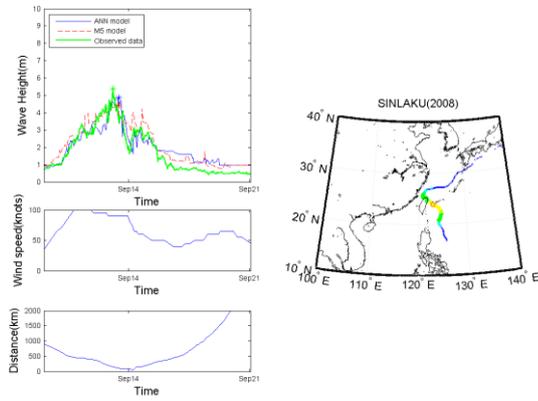
附圖 58 卡玫基(2008)颱風資訊與花蓮港推算結果



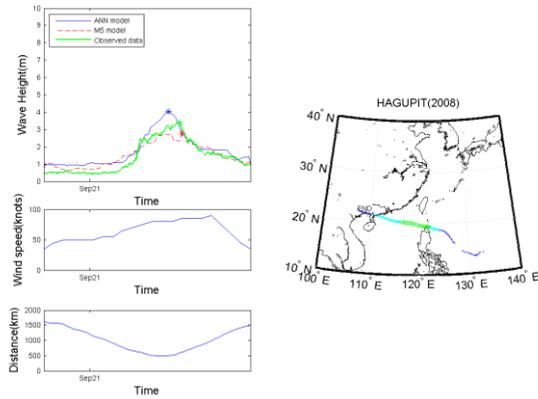
附圖 59 鳳凰(2008)颱風資訊與花蓮港推算結果



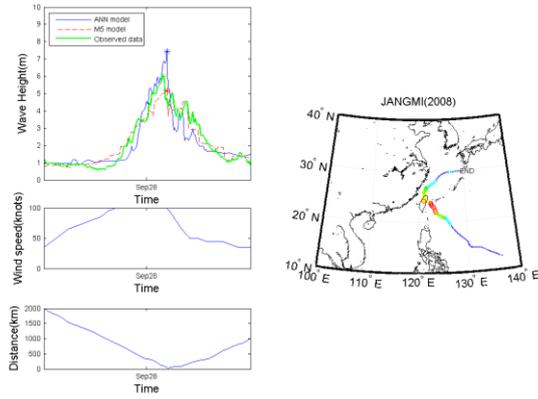
附圖 60 如麗(2008)颱風資訊與花蓮港推算結果



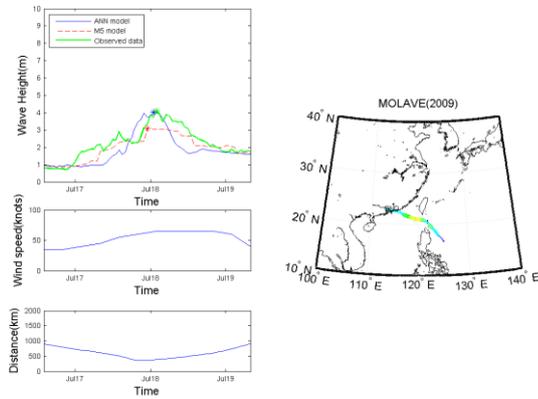
附圖 61 辛樂克(2008)颱風資訊與花蓮港推算結果



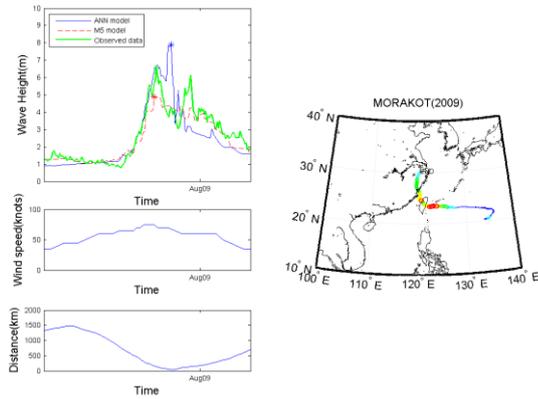
附圖 62 哈格比(2008)颱風資訊與花蓮港推算結果



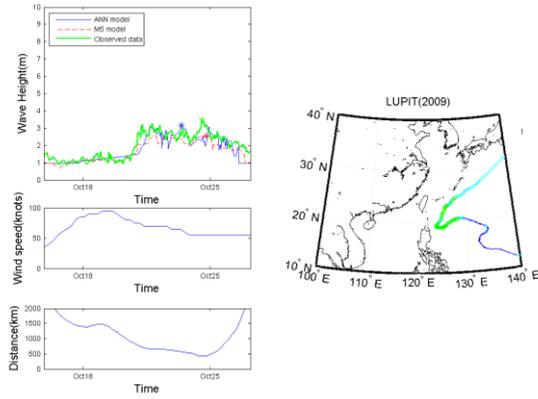
附圖 63 薔蜜(2008)颱風資訊與花蓮港推算結果



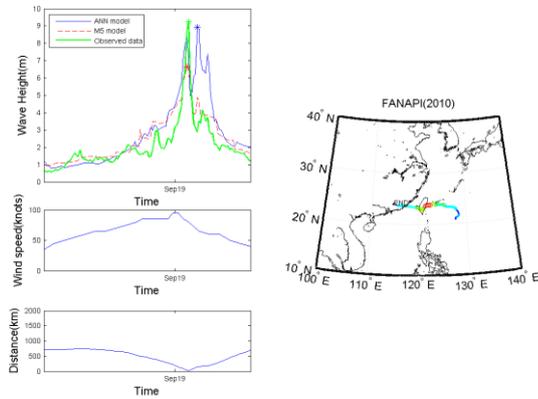
附圖 64 莫拉菲(2009)颱風資訊與花蓮港推算結果



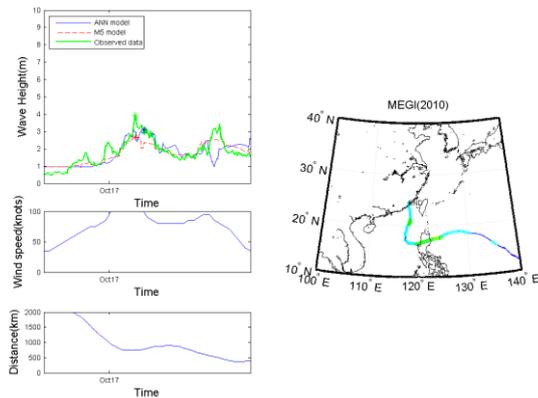
附圖 65 莫拉克(2009)颱風資訊與花蓮港推算結果



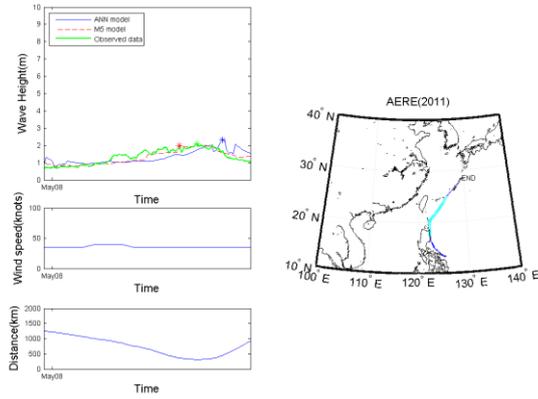
附圖 66 盧碧(2009)颱風資訊與花蓮港推算結果



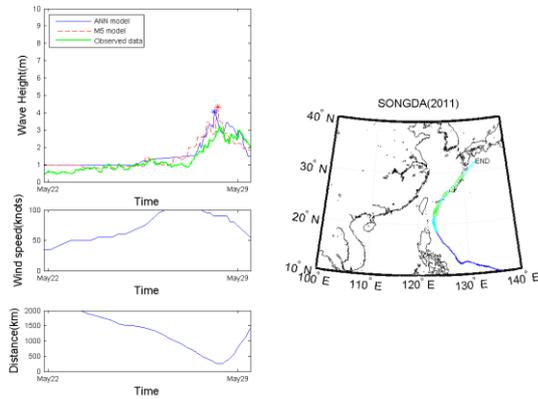
附圖 67 凡那比(2010)颱風資訊與花蓮港推算結果



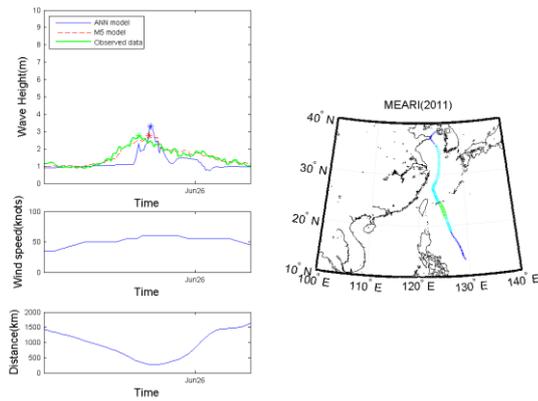
附圖 68 梅姬(2010)颱風資訊與花蓮港推算結果



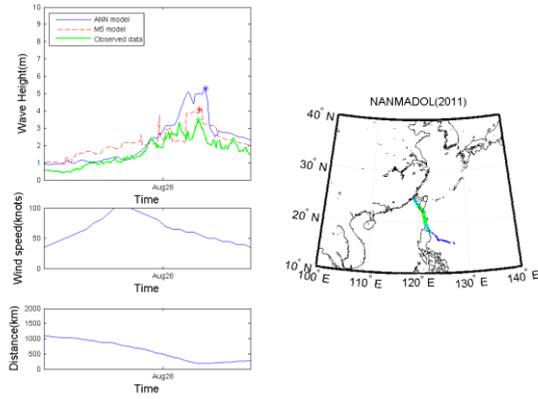
附圖 69 艾利(2011)颱風資訊與花蓮港推算結果



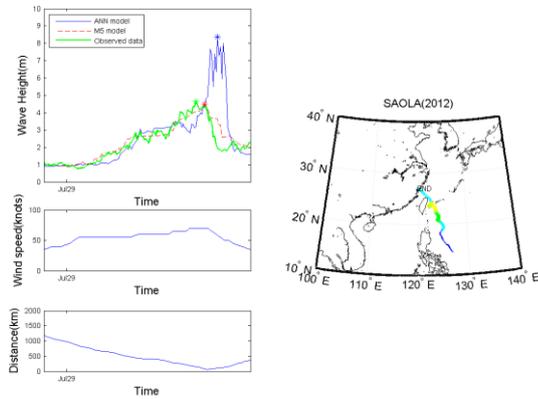
附圖 70 桑達(2011)颱風資訊與花蓮港推算結果



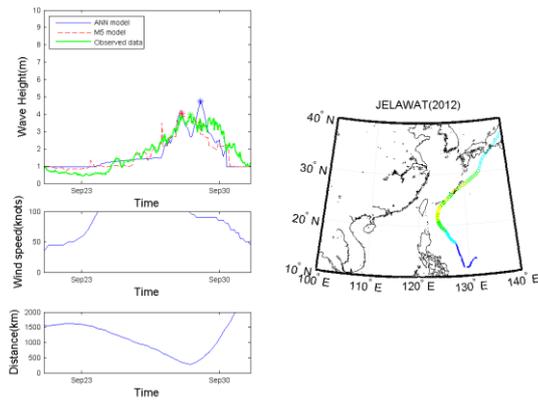
附圖 71 米雷(2011)颱風資訊與花蓮港推算結果



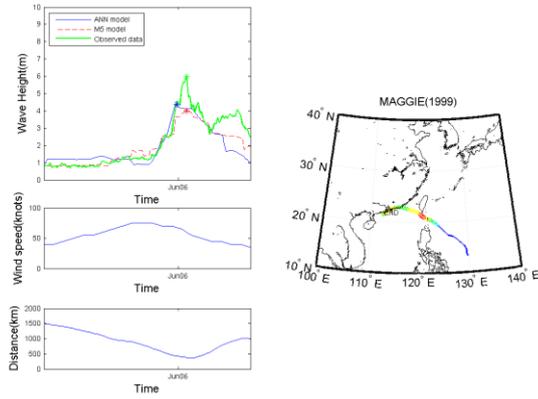
附圖 72 南瑪都(2011)颱風資訊與花蓮港推算結果



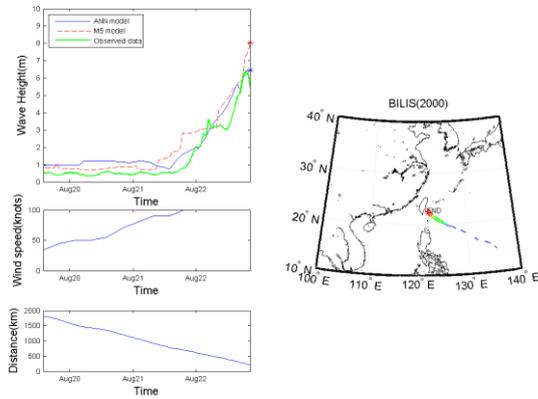
附圖 73 蘇拉(2012)颱風資訊與花蓮港推算結果



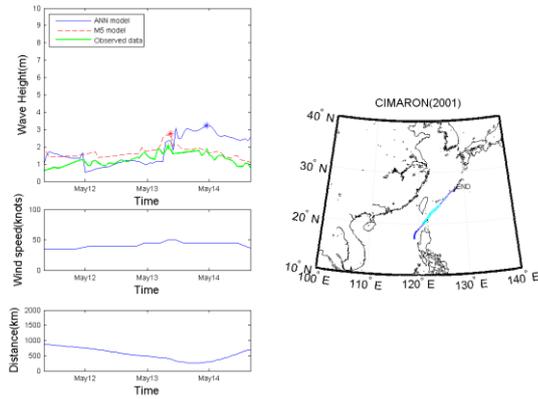
附圖 74 杰拉華(2012)颱風資訊與花蓮港推算結果



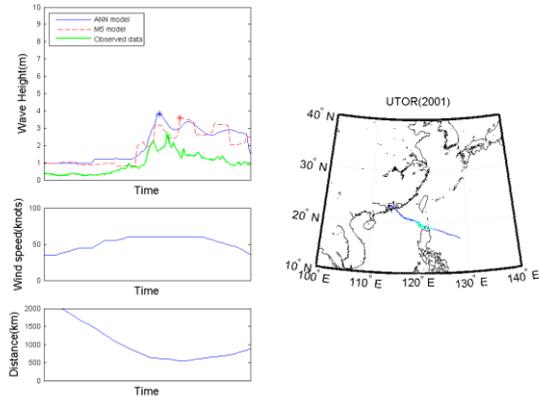
附圖 75 瑪姬(1999)颱風資訊與蘇澳港推算結果



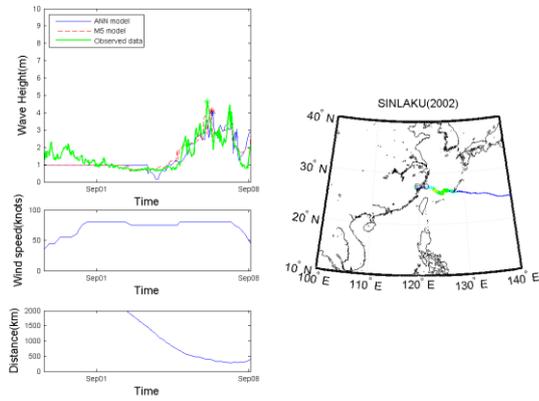
附圖 76 碧利斯(2000)颱風資訊與蘇澳港推算結果



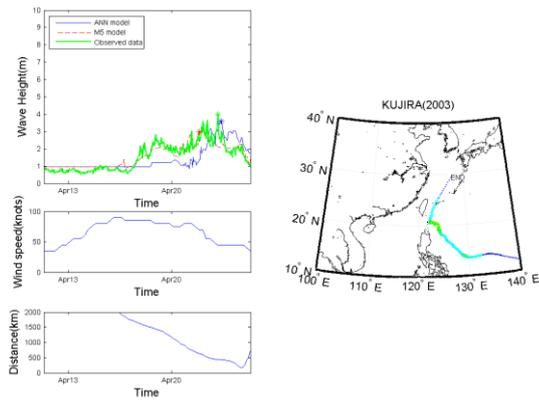
附圖 77 西馬隆(2001)颱風資訊與蘇澳港推算結果



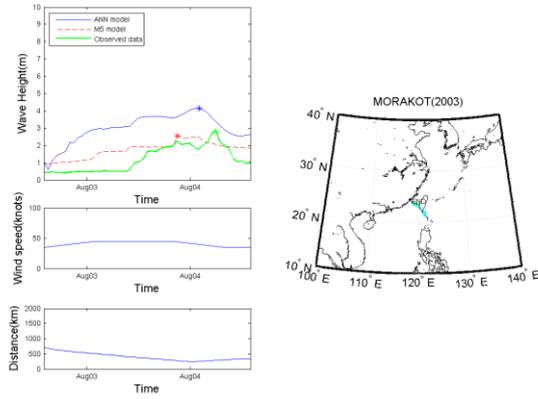
附圖 78 尤特(2001)颱風資訊與蘇澳港推算結果



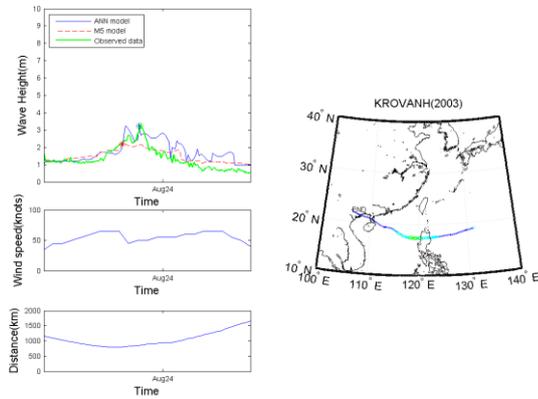
附圖 79 辛樂克(2002)颱風資訊與蘇澳港推算結果



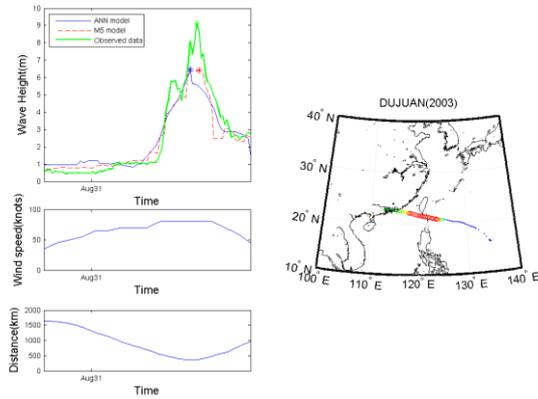
附圖 80 柯吉拉(2003)颱風資訊與蘇澳港推算結果



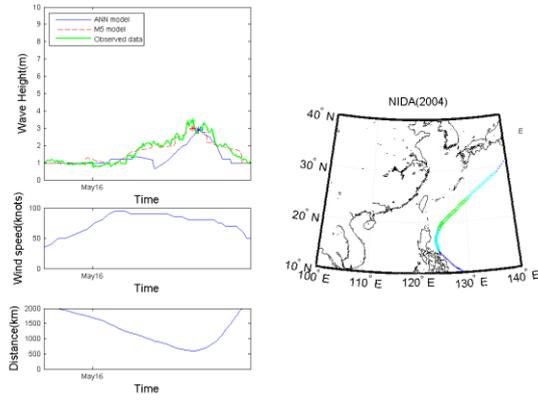
附圖 81 莫拉克(2003)颱風資訊與蘇澳港推算結果



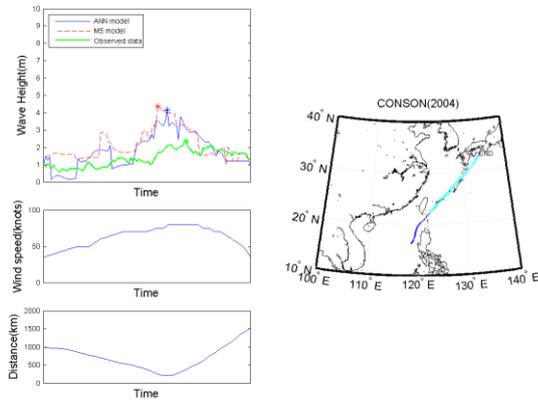
附圖 82 柯羅旺(2003)颱風資訊與蘇澳港推算結果



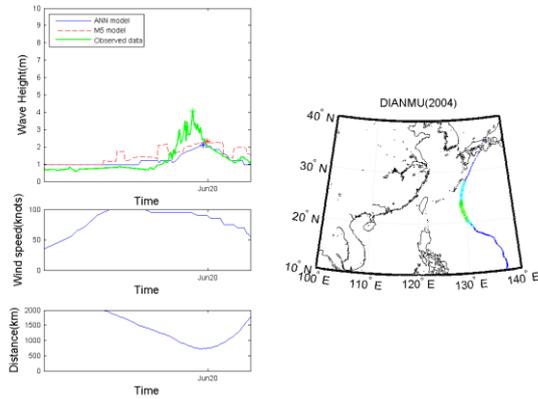
附圖 83 杜鵑(2003)颱風資訊與蘇澳港推算結果



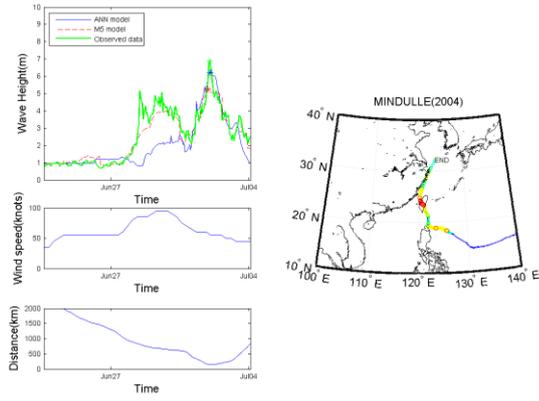
附圖 84 妮妲(2004)颱風資訊與蘇澳港推算結果



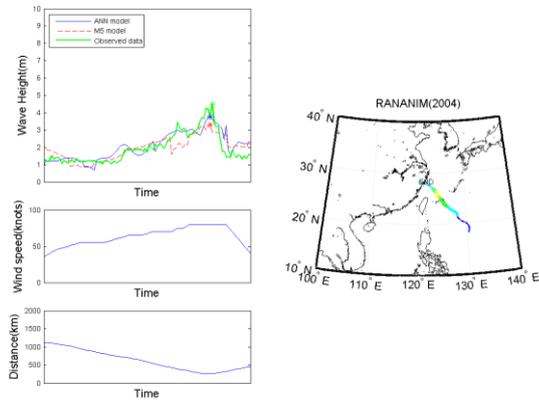
附圖 85 康森(2004)颱風資訊與蘇澳港推算結果



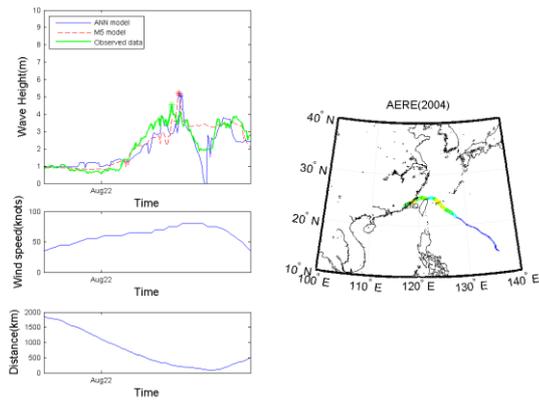
附圖 86 電母(2004)颱風資訊與蘇澳港推算結果



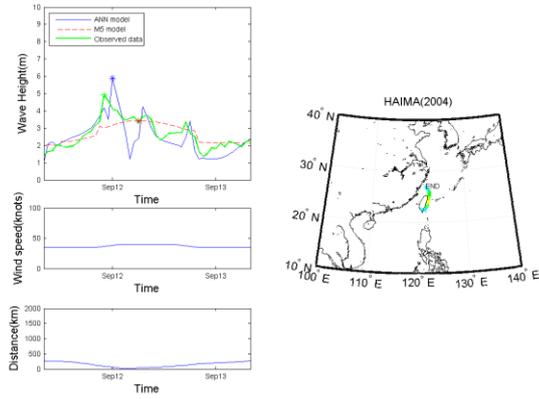
附圖 87 敏督利(2004)颱風資訊與蘇澳港推算結果



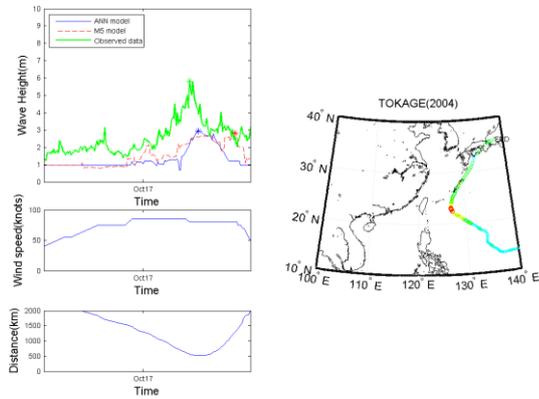
附圖 88 蘭寧(2004)颱風資訊與蘇澳港推算結果



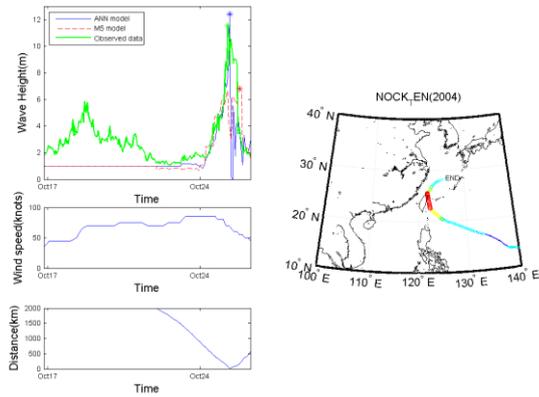
附圖 89 艾利(2004)颱風資訊與蘇澳港推算結果



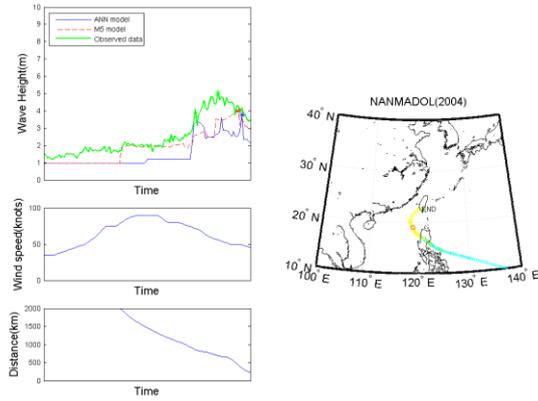
附圖 90 海馬(2004)颱風資訊與蘇澳港推算結果



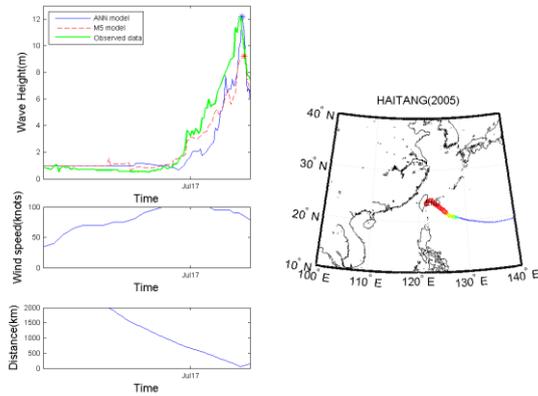
附圖 91 陶卡基(2004)颱風資訊與蘇澳港推算結果



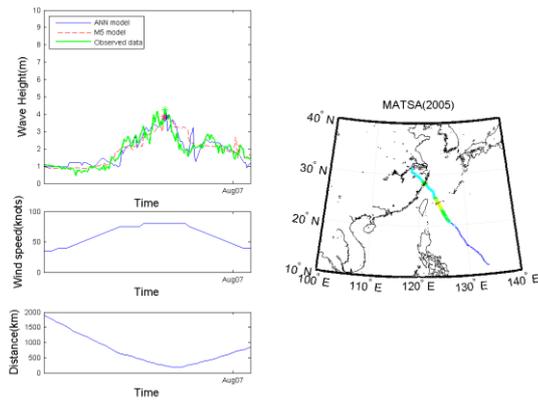
附圖 92 納坦(2004)颱風資訊與蘇澳港推算結果



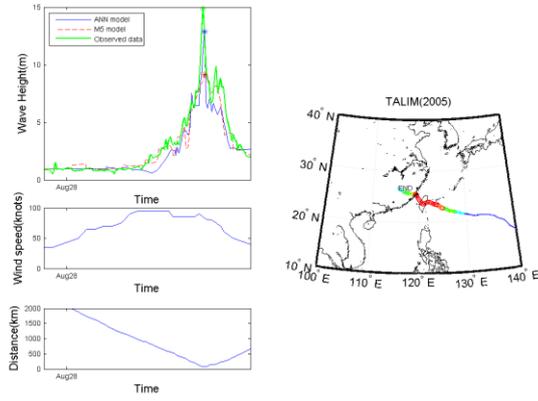
附圖 93 南瑪都(2004)颱風資訊與蘇澳港推算結果



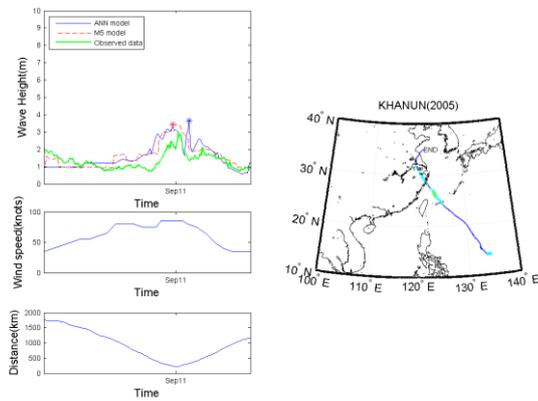
附圖 94 海棠(2005)颱風資訊與蘇澳港推算結果



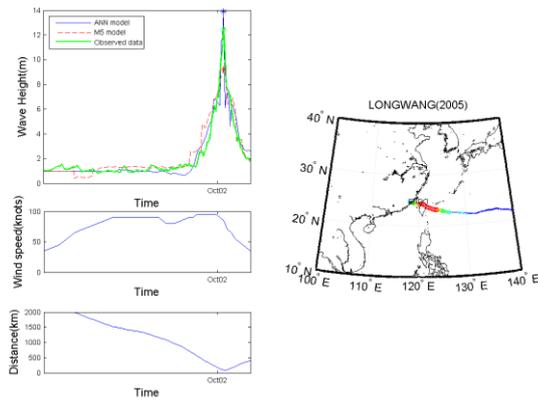
附圖 95 馬莎(2005)颱風資訊與蘇澳港推算結果



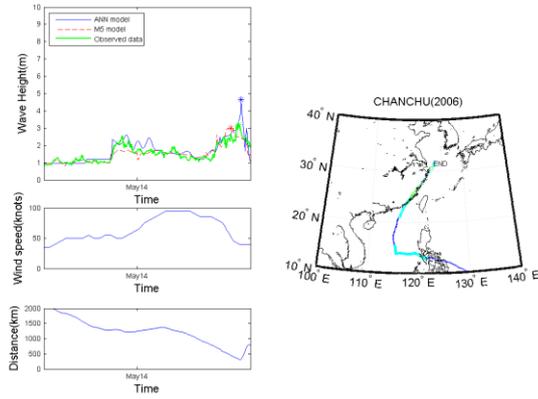
附圖 96 泰利(2005)颱風資訊與蘇澳港推算結果



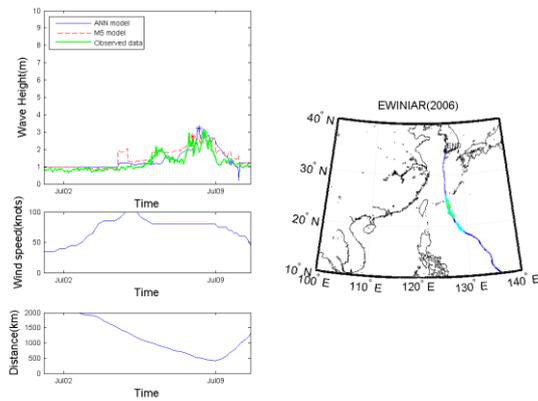
附圖 97 卡努(2005)颱風資訊與蘇澳港推算結果



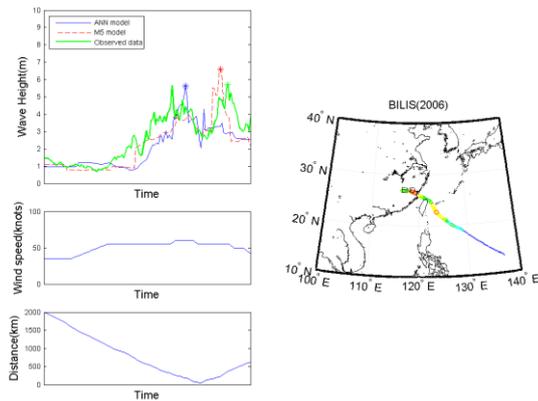
附圖 98 龍王(2005)颱風資訊與蘇澳港推算結果



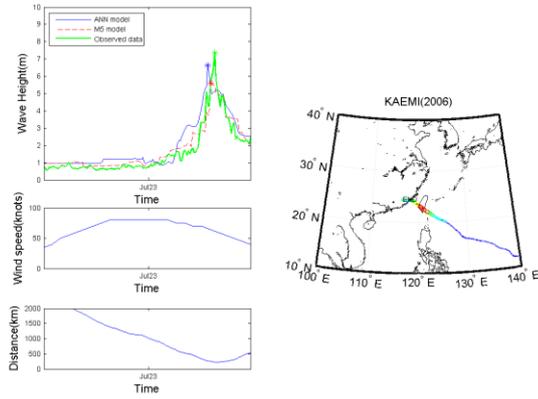
附圖 99 珍珠(2006)颱風資訊與蘇澳港推算結果



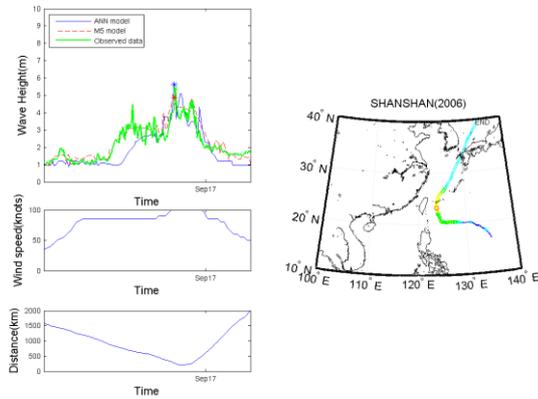
附圖 100 艾維尼(2006)颱風資訊與蘇澳港推算結果



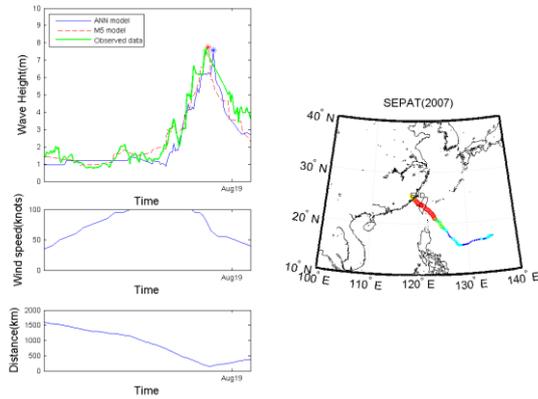
附圖 101 碧利斯(2006)颱風資訊與蘇澳港推算結果



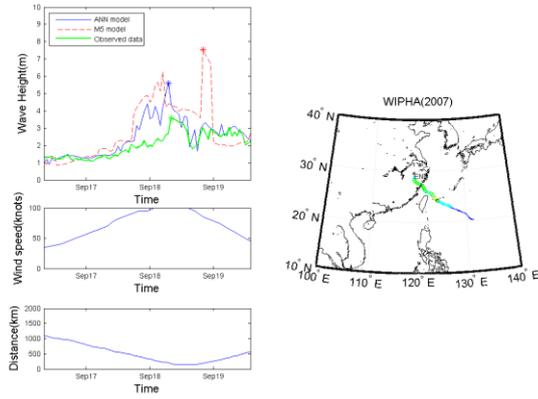
附圖 102 凱米(2006)颱風資訊與蘇澳港推算結果



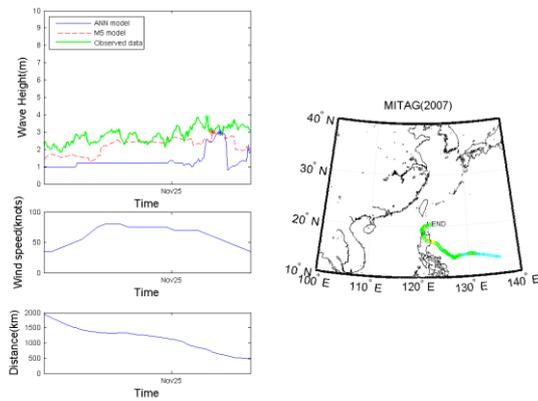
附圖 103 珊珊(2006)颱風資訊與蘇澳港推算結果



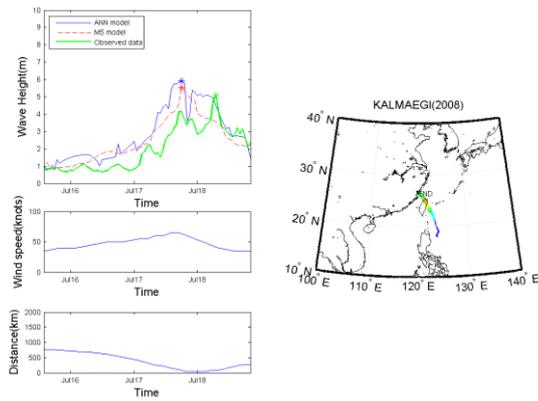
附圖 104 聖帕(2007)颱風資訊與蘇澳港推算結果



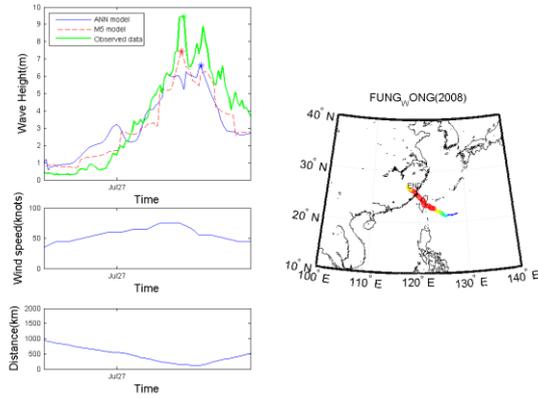
附圖 105 韋帕(2007)颱風資訊與蘇澳港推算結果



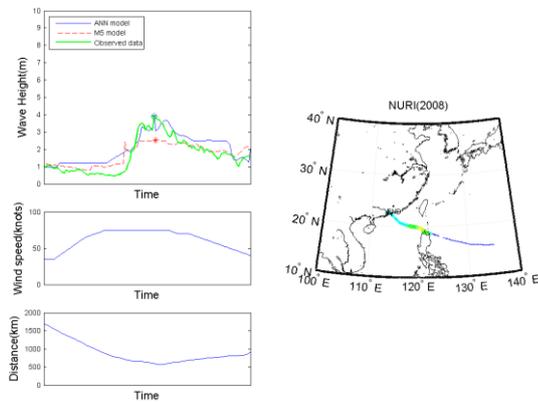
附圖 106 米塔(2007)颱風資訊與蘇澳港推算結果



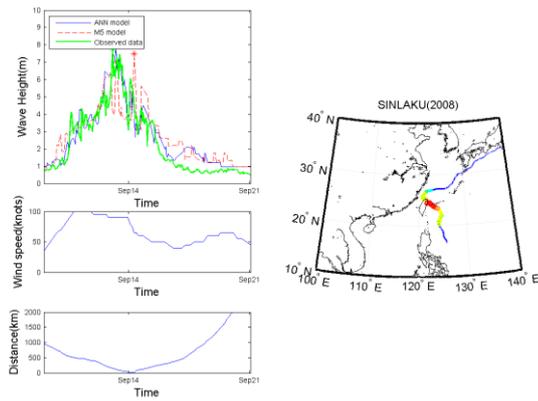
附圖 107 卡玫基(2008)颱風資訊與蘇澳港推算結果



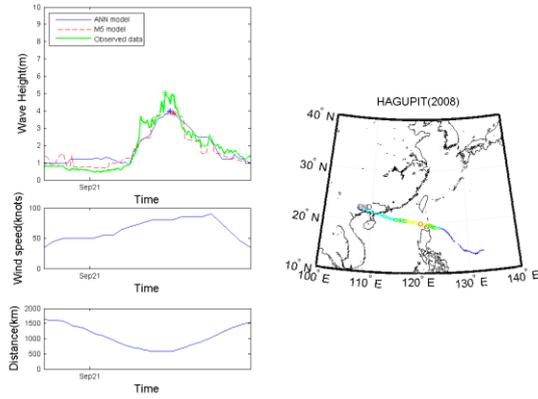
附圖 108 鳳凰(2008)颱風資訊與蘇澳港推算結果



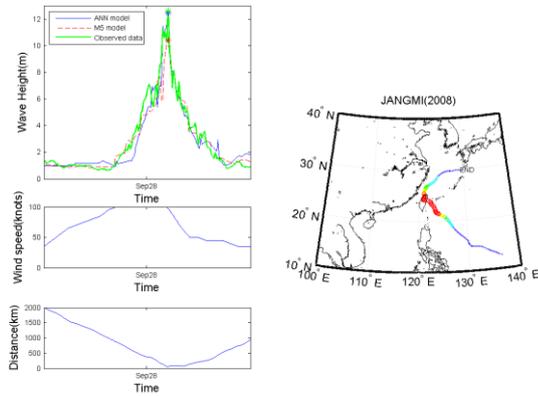
附圖 109 如麗(2008)颱風資訊與蘇澳港推算結果



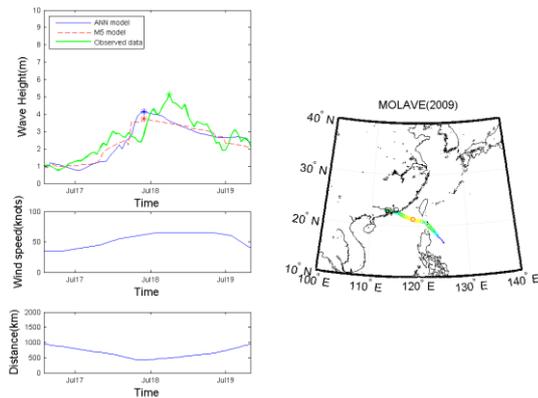
附圖 110 辛樂克(2008)颱風資訊與蘇澳港推算結果



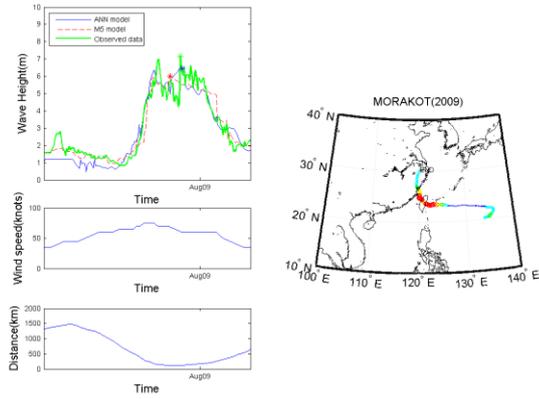
附圖 111 哈格比(2008)颱風資訊與蘇澳港推算結果



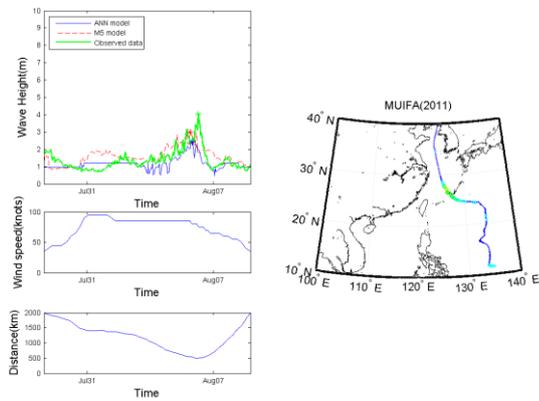
附圖 112 薔蜜(2008)颱風資訊與蘇澳港推算結果



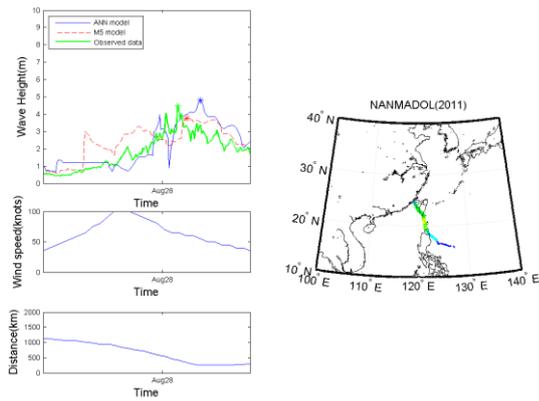
附圖 113 莫拉菲(2009)颱風資訊與蘇澳港推算結果



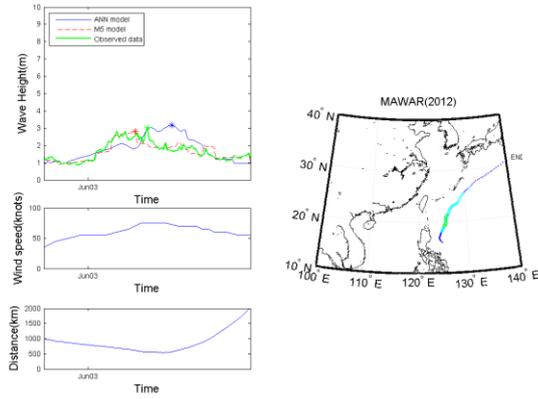
附圖 114 莫拉克(2009)颱風資訊與蘇澳港推算結果



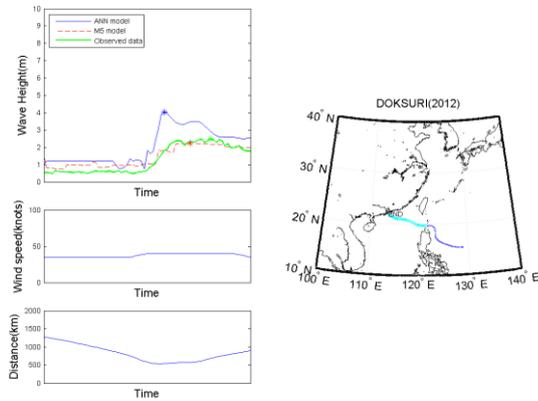
附圖 115 梅花(2011)颱風資訊與蘇澳港推算結果



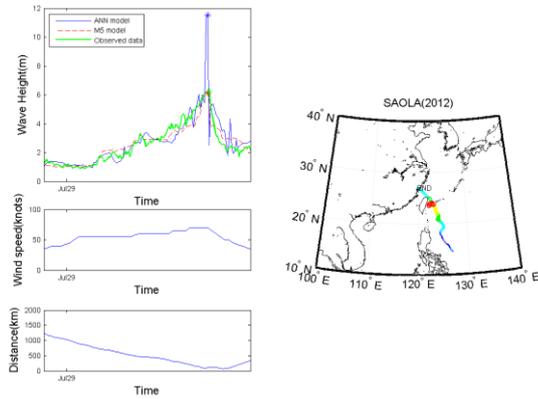
附圖 116 南瑪都(2011)颱風資訊與蘇澳港推算結果



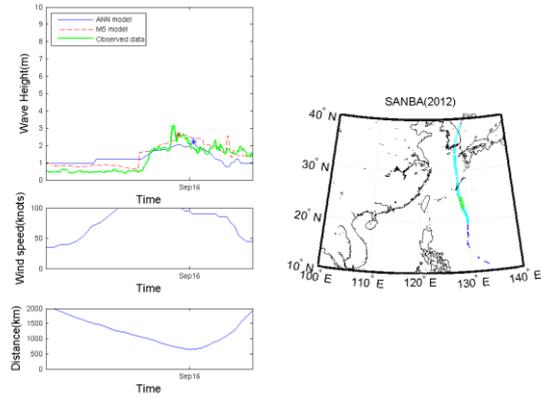
附圖 117 瑪娃(2012)颱風資訊與蘇澳港推算結果



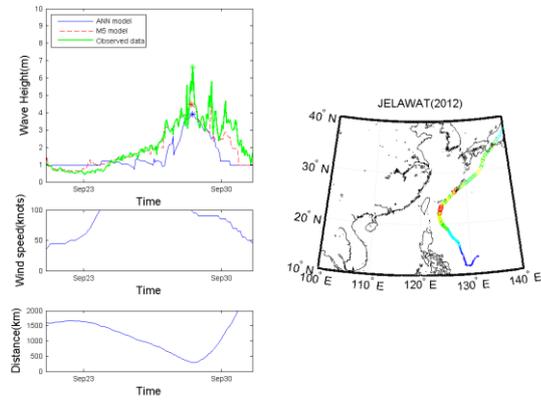
附圖 118 杜蘇芮(2012)颱風資訊與蘇澳港推算結果



附圖 119 蘇拉(2012)颱風資訊與蘇澳港推算結果



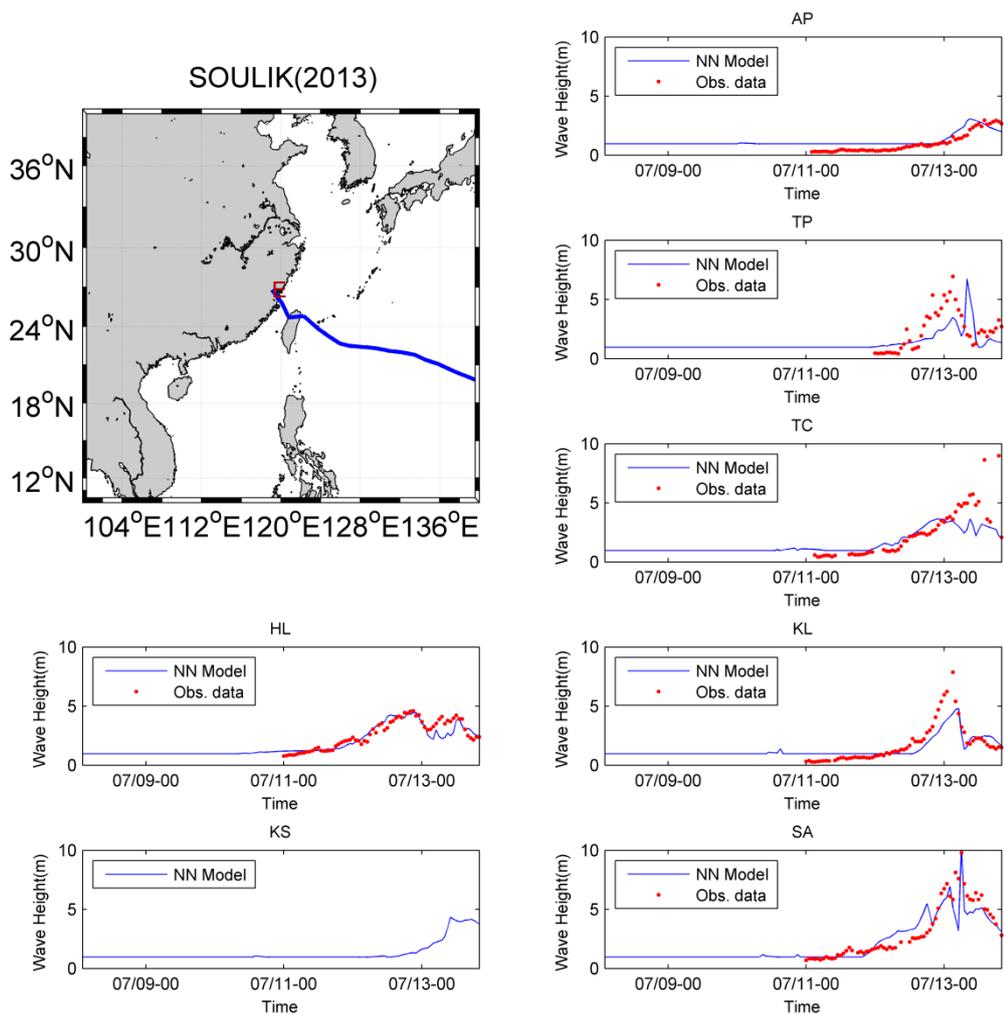
附圖 120 三巴(2012)颱風資訊與蘇澳港推算結果



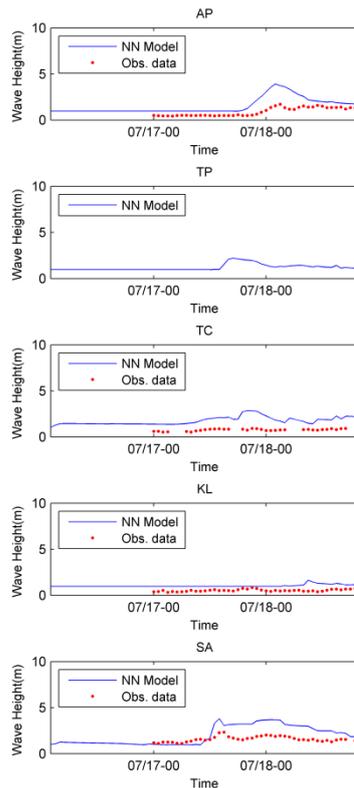
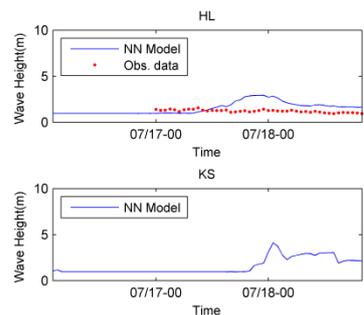
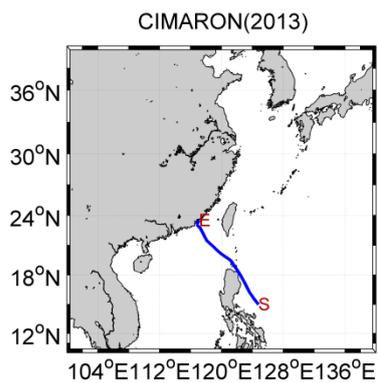
附圖 121 杰拉華(2012)颱風資訊與蘇澳港推算結果

附錄二 本年度颱風波浪推算結果

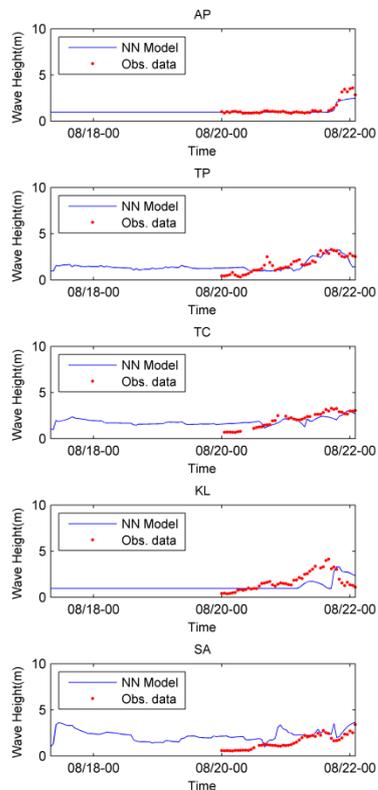
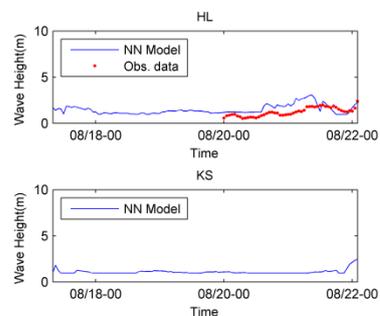
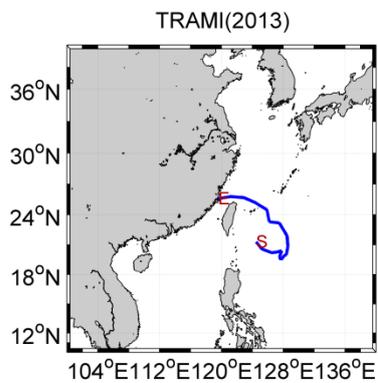
以下為本年度截至期末報告前的侵台颱風推算結果，圖中左上為颱風路徑圖，其他為台灣七大主要港口的類神經模式推算結果，圖中標示推算點的簡稱與實際港口名稱對照分別為：HL-花蓮港、KS-高雄港、AP-安平港、TP-臺北港、TC-臺中港、KL-基隆港、SA-蘇澳港。圖中藍色線為類神經模式所推算的波高資料，紅色點則為港研中心港灣環境資訊網所擷取未品管波高資料。



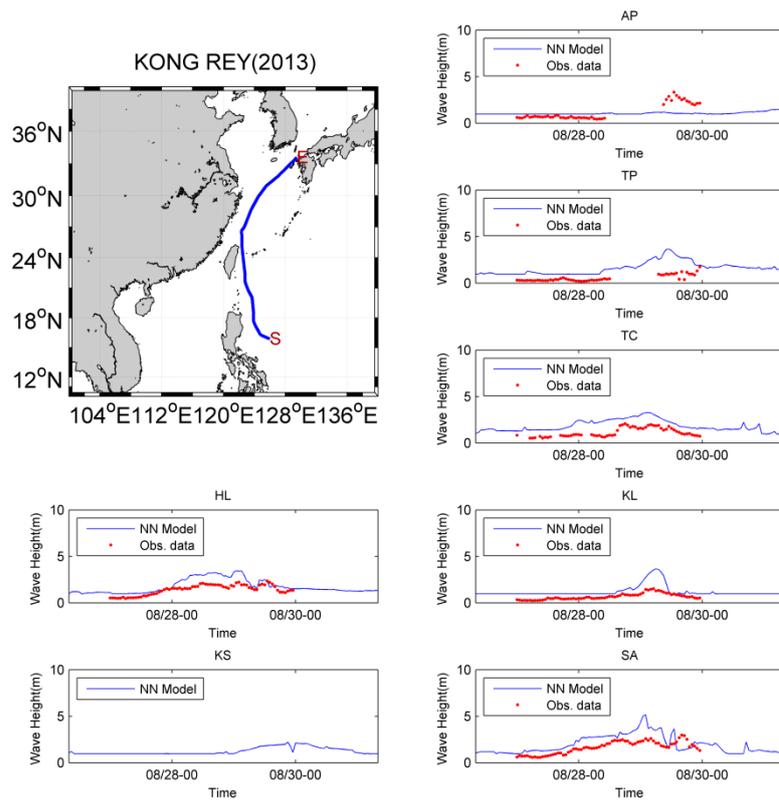
附圖 122 蘇力颱風各主要港口颱風波浪推算結果



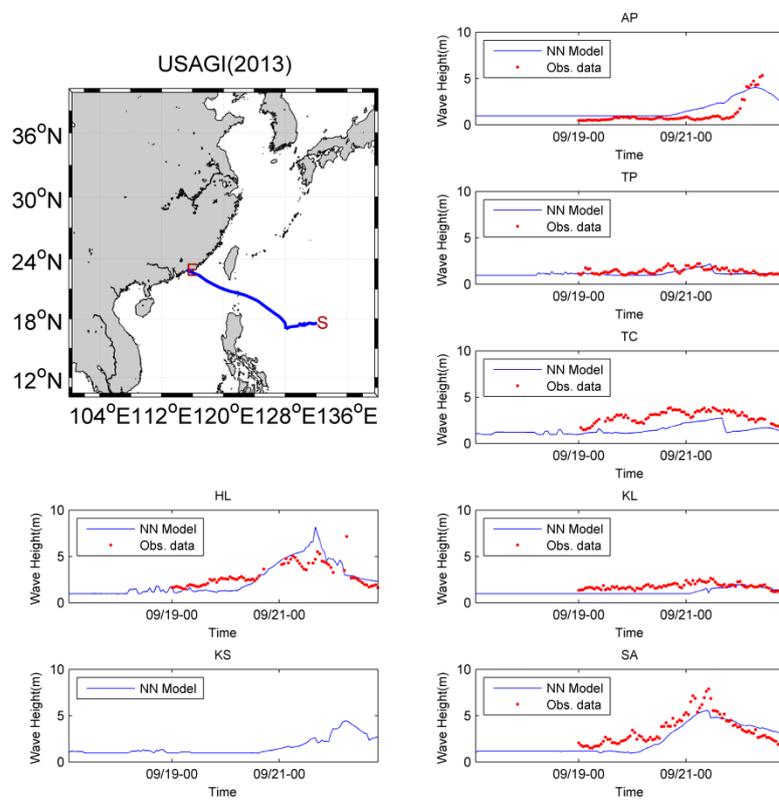
附圖 123 西馬隆颱風各主要港口颱風波浪推算結果



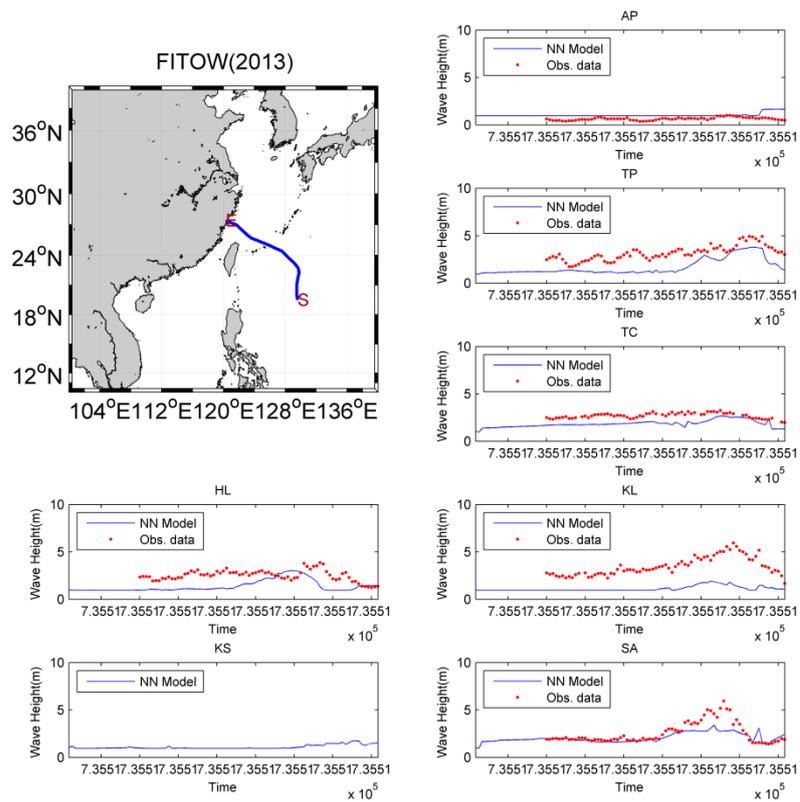
附圖 124 潭美颱風各主要港口颱風波浪推算結果



附圖 125 康芮颱風各主要港口颱風波浪推算結果



附圖 126 天兔颱風各主要港口颱風波浪推算結果



附圖 127 菲特颱風各主要港口颱風波浪推算結果

附錄三 期中報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

■期中□期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：臺灣主要港口附近海域混合波浪統計特性及推算模式建置研究
(1/4)

執行單位：國立交通大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
李兆芳委員	
<p>(一)M5 模式可以在內容中統一名稱。</p> <p>(二)</p> <p>(1)P2-2 觀測位置圖可放大。</p> <p>(2)P2-3 熱帶低壓是否加上正常氣壓上限。</p> <p>(3)P2-7 文獻敘述可移到 1.2 文獻回顧。</p> <p>(4)P7-3 參考文獻編輯。</p> <p>(三)趨勢的呈現雖以線性回歸容易表示趨勢，但是直線並表現不出數據分佈的變化，代表性可以討論。</p>	<p>(一)感謝委員建議，將於期末報告中確認所有名稱統一。</p> <p>(二)</p> <p>(1)遵照辦理，將於期末報告中針對目標點作放大。</p> <p>(2)往昔文獻中並無低氣壓與高氣壓間的分界點，低氣壓與高氣壓為相對於周邊氣壓場的定義。</p> <p>(3)遵照辦理。</p> <p>(4)感謝指正，已修正格式。</p> <p>(三)本研究除了採用往昔線性回歸來偵測樣本趨勢外並考慮資料缺漏與周期性變化的資料特性採用 Mann-Kendall 趨勢檢測法與 Seasonal Kendall 趨勢檢定法，期望能以客觀合理的解度比較各種方法的差異與其結果。</p>
韓文育委員：	
<p>(一)本計畫如為四年計畫之第一年，建議於報告中述明各年度預計研究項目及預期成果，俾利各該年度驗收作業。</p> <p>(二)本計畫不論用何種模式或幾種模式分析推算波浪，其計畫最終目的應為提出各港可信且可應用之設計波高，在此表達高度期待。</p>	<p>(一)感謝委員建議，由於本計畫為每年公開招標，港研中心未來在各年度招標都能調整選擇的研究基地與工作項目等，目前將述明已確定工作項目與預期成果。</p> <p>(二)感謝委員認可，本工作團隊將全力完成目標。</p>

<p>(三)氣候變遷屬大區域甚至全球性的問題，本報告分別就花蓮及蘇澳港進行氣候變遷之研究，針對颱風侵襲該二港次數作趨勢分析及波浪變遷趨勢分析，波浪分析結果指出花蓮港波浪趨勢屬於降低，但蘇澳港趨勢為增加，以該二港相鄰之地理位置而言，該項結論與氣候變遷有何關連？又直線回歸是否過於粗糙。</p> <p>(四)M5 模式，對各颱風推算之ΔH多為負值，但平均值為“正值”，實際應用於颱風推算時是否會有誤導之問題。</p>	<p>(三)以區域性變化討論氣候變遷或許不夠宏觀，但以目前實務應用而言本研究首要目標為花蓮港與蘇澳港，故就現有資料進行分析，一維線性回歸雖然不若其他複雜的方程式能描述複雜的資料變化，但已足夠表示現有樣本的增加趨勢與減少趨勢特性。</p> <p>(四)本文表格中平均值為取絕對值後再進行平均計算，避免正負誤差相消，目前M5 最小化模式樹的波浪推算模式在峰值處普遍有低估的情形，將盡可能朝此方向改進修正。</p>
<p>陳文俊委員</p>	
<p>(一)颱風侵襲門檻值設定如以中心風速作為考量因子與目前氣壓之設定方式是否有類似之結果？</p> <p>(二)蘇澳港及花蓮港颱風波浪模式建立所選用之颱風場次是否皆為對兩港具有實質影響之颱風，以避免有稀釋影響量之誤差。</p> <p>(三)所得到花蓮港及蘇澳港近一、二十年來之波高變動趨勢對兩港口未來之規劃具有實質之幫助，給予肯定，另外週期之回歸是否有可能作得此類似之結果？</p> <p>(四)兩種波浪模式之推估於風險分析中指出兩個模式各互有高估或低估之情形，未來是否能依團隊經驗建議於港灣操作上建議。</p>	<p>(一)由於JMA 目前提供資料是以氣壓資料較為完整，且基本上往昔颱風風速資料是由中心氣壓進行推算，往昔文獻也有氣壓與中心風速成正比的研究，故其結果應為類似。</p> <p>(二)以實測資料進行訓練而建立的模式基本上需要各種情況的輸入資料來提供訓練，以期能建立適合各種路徑與規模的颱風，本研究已考慮資料完整性與雙颱風交互效應下的不合理資料。</p> <p>(三)感謝委員認可，往昔波浪週期的特性研究較為少見，且週期較不若波高具有的統計特性，在設計上也常用經驗公式取代實際測量數據，未來若有相關研究發展可再進行探討。</p> <p>(四)兩種模式各有其優缺點，M5 模式所推算的時序列結果由於其分區回歸的特性，其推算結果常會有類似階梯函數突然增加或下降的現象，且其峰值的誤差較大。現階段無論是即時預報或極值樣本推算仍以類神經模式較為適用。</p>
<p>張富東委員：</p>	
<p>(一)臺灣主要港口附近進行混合波浪統計特性及推算模式建置，報告中今年只列舉</p>	<p>(一)本年度依工作項目僅著重於花蓮港與蘇澳港，未來各年度將依據港研中心的考</p>

<p>東部海域兩大港口進行分析，今年是否對於西部港口有進行分析的可能？（因西部港口地形與東部揭然不同）。</p> <p>(二)花蓮港與蘇澳港波浪調查地理位置相近，卻得出不同趨勢的分析結果，是否與觀測儀器的設置地點有關？（是否太接近港區結構物造成反射影響）。</p>	<p>量與需求進行分析。</p> <p>(二)本研究採用實測資料分析長期變遷趨勢，但各港同一時間僅有單一測站樣本能分析的情況下無法確認是否此特性是由設定位置所造成。</p>
<p>何良勝委員</p>	
<p>(一)建議修正部份章節名稱，例如，2.2 颱風變遷趨勢、2.3 波浪變遷趨勢、第四章 M5 最小化…（取消“M5”字樣），第五章波浪推算模式精度與特性比較。</p> <p>(二)建議增列本年度颱風預報與推算驗證比較。</p> <p>(三)建議可召開「專家會議」，以瞭解國內相關單位之需求，以建立符合需要的設計波浪條件。</p> <p>(四)建議部份表列結果，可以增列圖示比較。</p>	<p>(一)將於期末報告中進行修正。</p> <p>(二)由於期中報告印製時尚未遭遇侵台颱風，已於期末報告中補充本年度六場侵台颱風分析結果於附錄二。</p> <p>(三)配合辦理。</p> <p>(四)感謝委員建議，已嘗試進行圖示比較，但由於颱風樣本數過多，花蓮港 74 場蘇澳港 47 場，以直方圖或點線圖描述各場颱風的各個誤差值無法在橫軸清楚表示各場颱風名稱，且若採用颱風編號來對應橫軸，亦需要對照表格。</p>

附錄四 期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

□期中 ■期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：臺灣主要港口附近海域混合波浪統計特性及推算模式建置研究
(1/4)

執行單位：國立交通大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
李兆芳委員	
(一)使用的方法 M5 最小化模式樹名稱的寫法能否前後一致，如 P.1-8~P.1-9 及第四章標題。	(一)已統一，其他未統一部分為簡稱，另 P.1-8 由於為合約既定工作項目故沿用。
(二)第三章 3.2 說明為評估模式優劣，但在 P.3-19 僅提及各參數值，能否有最後之建議。	(二)3.2 節以四指數來顯示模式優劣，其中最大波高值誤差與最大波高發生時間誤差越低代表模式模擬結果越佳，各場颱風 RMSE 越低與相關係數 R 越高都能顯示模式模擬準確度越高，已加註說明模式模擬之能力。
(三)第六章波浪模式之說明，建議能清楚描述，同時，中英文對照請確認。	(三)已確認中英對照之正確性，感謝委員建議。
(四)計畫中提及花蓮港及蘇澳港，但章節只有蘇澳港建議清楚說明。	(四)由於花蓮港類神經波浪推算模式已發展多年，第三章是詳述首次建立蘇澳港類神經颱風波浪模式，另以 M5 最小化模式樹建立花蓮港與蘇澳港的部分則位於第四章，將修改章節名稱以強調各模式的建立。
(五)結論 4 說明計畫成果達到目的，為好的結論。但結論 3 和 4 建議合併，5 的寫法建議修改。	(五)結論 3 是說明 M5 最小化模式樹波浪推算模式之建立與其精度；結論 4 為比較 M5 最小化模式樹波浪推算模式與類神經波浪推算模式的比較；結論 5 為截至今年度七大港類神經波浪推算模式的成果與比較。
(六)文獻 13 的格式請用一致寫法。	(六)已修正，感謝委員建議。
(七)其他建議，計畫成果如果是評估模式，	(七)本研究建立與應用三種模式，其中 M5

<p>除了結果外，似乎應該要有所使用參數的說明。</p>	<p>最小化模式樹波浪推算模式與類神經波浪推算模式為經驗數值模式，是透過往昔資料進行訓練而成的快速計算方式，並無相關物理參數可進行比較評估；另 DHI MIKE 21 二維數值風浪模式所採用的相關內定參數已詳列於表 6.2。</p>
<p>韓文育委員：</p>	
<p>(一)本案研究團隊業應歷年審查意見，召開設計波浪實務座談會，敬表肯定，唯建議將該座談會紀錄放於期末報告之附錄供參。</p>	<p>(一)由於該座談會並非本計畫內工作項目，與港研中心商議的結果將由座談會主辦單位另案處理。</p>
<p>(二)本案延續過去之研究以統計模式推算波高，本年度另以物理模式(MIKE 21)推算進行比較，但因未考慮波浪方向及回推深海波高，設計實務上恐無法運用，建議後續計畫能針對各港深海波 16 方向建立可信數據，以為工程運用。</p>	<p>(二)感謝委員提供實務應用建議，目前數值經驗模式無法提供波向，但 MIKE 21 能夠對波向提供合理的模擬，而回推深海波高在二維波場結果亦可以做到，但這些資訊在未來工程設計的應用上可以再進行研討。</p>
<p>(三)本計畫對「氣候變遷」所為之結論明顯較弱，或許是樣本數較少，建議以敘述方式說明近年 10 月、11 月颱風數量與以往之差異，並作可能之原因研判，以作為該章節之交代或許較為妥適。</p>	<p>(三)本研究是依據往年長期資料並配合多種合適的方式進行趨勢分析，以現有數據資訊來說已做了完整的分析與討論，另近年夏季至秋季侵台颱風稍多的現象在往昔 60 年颱風資料統計也是屬於合理範圍並無太大差異。(對花蓮港來說，101 年 3 場、102 年是 4 場)</p>
<p>(四)附錄一級附錄二建議對各推算結果能有簡單文字敘述，便於閱讀。另報告書內容文字宜整體校對，避免錯別字。</p>	<p>(四)遵照辦理，以增添敘述與校對。</p>
<p>張富東委員：</p>	
<p>(一)5.3 節波浪推算模式之風險分析一節，圖 5.19 花蓮港推算峰值風險分析圖，M5 模式與類神經模式的比較圖，建議縱軸應該以相同數值表示，以利比較。</p>	<p>(一)感謝委員建議，已修正。</p>
<p>(二)6.4 節數值波浪推算模式之風險分析一節，圖 6.2 波浪推算模式推算花蓮港及蘇澳港的波高風險分析比較圖，建議縱軸亦以相同數值表示，以免誤導。</p>	<p>(二)感謝委員建議，已修正縱軸座標範圍。</p>

<p>(三)7.6 節設計波高標準之探討一節，圖 7.14「統一建立臺灣主要港口設計波浪之可行性探討座談會」，未於文中表述圖說，請加註。</p>	<p>(三)感謝委員指正，已加註。</p>
<p>何良勝委員：</p>	
<p>一、於摘要部分修正或補充說明： 1.第 7 行文字”究另…”。 2.增列分析成果說明。 3.增列”成果效益及後續應用情形”說明。</p> <p>二、補充說明 P.2-6 之表 2-3、表 2-4 之代表意義。</p> <p>三、Chap3、Chap4、Chap5、Chap6 章節名稱適度修正，或是於每章之前作一簡要說明。</p> <p>四、Chap7 中，7-15 之”超量門檻取樣”部分，另立一節說明。</p>	<p>一、已增列補充與修正相關名稱。</p> <p>二、以補充說明資料蒐集率百分比。</p> <p>三、已加入簡要說明。</p> <p>四、已增列說明於 7-1 節。</p>