

105-018-7858  
MOTC-IOT-104-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(3/4)



交通部運輸研究所

中華民國 105 年 3 月

105-018-7858  
MOTC-IOT-104-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(3/4)

著 者：陳志弘、張憲國、劉勁成、陳蔚瑋、何良勝

交通部運輸研究所

中華民國 105 年 3 月



國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

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. (3/4) / 陳志弘等著.  
-- 初版. -- 臺北市 : 交通部運研所, 民  
105.03

面 ; 公分  
ISBN 978-986-04-8187-7(平裝)

1.波動 2.統計 3.臺灣

351.9

105003786

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(3/4)

著 者：陳志弘、張憲國、劉勁成、陳蔚璋、何良勝

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號

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

電 話：(04)26587176

出版年月：中華民國 105 年 3 月

印 刷 者：禾泰印刷設計有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 70 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站

定 價：新臺幣 250 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02) 25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1010500291

ISBN：978-986-04-8187-7 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。



## 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(3/4)			
國際標準書號 ISBN978-986-04-8187-7 (平裝)	政府出版品統一編號 1010500291	運輸研究所出版品編號 105-018-7858	計畫編號 104-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：陳志弘 聯絡電話：04-26587120 傳真號碼：04-26571329	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、陳蔚瑋 地址：新竹市大學路 1001 號 聯絡電話：03-5131487		研究期間 自 104 年 3 月 至 104 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以新資料更新安平與高雄港類神經網路颱風波浪推算模式，並針對安平港與高雄港以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，並以WRF模式追算方式加密風場資料，以提升推算精度。以類神經模式樣本、實測資料樣本、二維數值模式樣本及M5最小化模式樹樣本四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，本研究針對安平港與高雄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或相關工程單位檢核安平與高雄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
105 年 3 月	200	250	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
<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**

<b>TITLE: Hybrid wave calculation using modular model and numerical simulation for main harbors of Taiwan (3/4)</b>			
<b>ISBN</b> 978-986-04-8187-7 (pbk)	<b>GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER</b> 1010500291	<b>IOT SERIAL NUMBER</b> 105-018-7858	<b>PROJECT NUMBER</b> 104-H2DB001f
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ho Liang-Sheng PROJECT STAFF: Chen Chih-Hung PHONE: (04) 26587120 FAX: (04) 26571329			<b>PROJECT PERIOD</b>  FROM March 2015 TO December 2015
RESEARCH AGENCY: National Chiao Tung University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chang Hsien-Kuo PROJECT STAFF: Lio Jin-Cheng, Chen Wei-Wei ADDRESS: 1001 Ta Hsueh Road Hsinchu Taiwan 300, ROC PHONE: (03) 5131487			
<b>KEY WORDS:</b> WAVE STATISTICS : CLIMATE CHANGE, WAVE MODEL, DESIGN WAVE, MAIN HARBORS OF TAIWAN			
<b>Abstract:</b> <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 upgrade the ANN wave simulation model for the Anpin and Kaohsiung 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 Anpin and Kaohsiung harbors by input high-resolution wind field which re-analysis by WRF model.</p> <p>Four extreme samples, which are, ANN results, observed data, numerical wave model results, and M5 model results were sampled by annual max method, the extreme analysis was used to estimate design wave of each sample. 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 Kendall 、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 typhoon invade Taiwan in the future. The long-term typhoon and wave trend analysis can apply to engineering designing.</p>			
<b>DATE OF PUBLICATION</b> March 2016	<b>NUMBER OF PAGES</b> 200	<b>PRICE</b> 250	<b>CLASSIFICATION</b> <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

中文摘要 .....	I
英文摘要 .....	II
目錄 .....	III
圖目錄 .....	VI
表目錄 .....	X
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 .....	1-9
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 侵臺颱風長期變化趨勢 .....	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 .....	3-1
3.1 資料分析 .....	3-1
3.2 類神經颱風波浪模式 .....	3-7
3.2.1 類神經網路架構 .....	3-7
3.2.2 轉換函數與訓練函數 .....	3-11
3.2.3 隱藏層神經元測試 .....	3-12
3.2.4 資料分類 .....	3-12

3.2.5 模式輸入與輸入層轉換函數.....	3-13
3.3 波浪推算結果與實測波浪之驗證.....	3-19
第四章 M5 最小化模式樹波浪推算模式 .....	4-1
4.1 模式介紹.....	4-1
4.2 模式驗證.....	4-3
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 .....	5-11
5.3 波浪推算模式之誤差分析 .....	5-12
第六章 數值模式之波浪推算方式.....	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
第七章 安平港與高雄港的設計波探討 .....	7-1
7.1 極值分布函數.....	7-1
7.2 極值分布參數推定法 .....	7-3
7.3 信賴檢定.....	7-4
7.3.1 MIR值檢定 .....	7-4
7.3.2 RMSE檢定.....	7-5
7.3.3 ER檢定.....	7-5
7.4 推估值之標準差 .....	7-6
7.5 極值分析結果.....	7-7
7.5.1 安平港各重現期波高推算結果.....	7-7
7.5.2 高雄港各重現期波高推算結果.....	7-11

7.6 因應氣候變遷影響的設計波擬定原則 .....	7-15
7.7 臺灣主要商港設計波浪專家會議.....	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 期中報告審查意見處理情形表 .....	附-1
附錄二 期末報告審查意見處理情形表 .....	附-7
附錄三 期中簡報資料 .....	附-15
附錄四 期末簡報資料 .....	附-35

## 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 臺灣周邊海域示性波高的變化趨勢分布圖(ZHENG AND LI, 2015) .....	1-4
圖 1.3 北大西洋中緯度及高緯度的氣旋數量統計圖 .....	1-5
圖 1.4 工作流程圖 .....	1-11
圖 2.1 安平港海氣象觀測位置圖 .....	2-2
圖 2.2 高雄港海氣象觀測位置圖 .....	2-2
圖 2.3 中度颱風侵襲安平港次數的趨勢分析(500KM 門檻值).....	2-4
圖 2.4 中度颱風侵襲高雄港次數的趨勢分析(500KM 門檻值).....	2-5
圖 2.5 安平港逐時波浪資料與其趨勢線 .....	2-11
圖 2.6 安平港日平均波浪資料及其趨勢線 .....	2-12
圖 2.7 安平港月平均波浪資料及其趨勢線.....	2-12
圖 2.8 安平港年平均波浪資料與其趨勢線.....	2-12
圖 2.9 安平港逐時波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線 .....	2-13
圖 2.10 安平港日平均波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線.....	2-13
圖 2.11 安平港月平均波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線.....	2-14
圖 2.12 安平港年平均波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線.....	2-14
圖 2.13 高雄港逐時波浪資料與其趨勢線 .....	2-16
圖 2.14 高雄港日平均波浪資料及其趨勢線 .....	2-16
圖 2.15 高雄港月平均波浪資料及其趨勢線.....	2-17
圖 2.16 高雄港年平均波浪資料與其趨勢線.....	2-17
圖 2.17 高雄港逐時波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線.....	2-18
圖 2.18 高雄港日平均波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線.....	2-18

圖 2.19 高雄港月平均波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線.....	2-19
圖 2.20 高雄港年平均波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線.....	2-19
圖 3.1 臺灣地區颱風路徑分類圖(1897-2010 年)(引自中央氣象局).....	3-5
圖 3.2 颱風中心位置與相對應安平港波高資料空間分布圖 .....	3-6
圖 3.3 颱風中心位置與相對應高雄港波高資料空間分布圖 .....	3-7
圖 3.4 正切雙彎曲轉換函數與雙彎曲函數 .....	3-12
圖 3.5 颱風中心對目標點方位角 $\theta_1$ 與颱風移動方位角 $\theta_2$ 示意圖 .....	3-13
圖 3.6 颱風距離與目標點波高分布 .....	3-17
圖 3.7 颱風在等壓面上內平均風速分布示意圖(引自中央氣象局).....	3-18
圖 4.1 層級模組法示意圖(AI 為屬性, $M_i$ 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 5.1 安平港 M5 與類神經模式推算結果低估的颱風波浪時序圖.....	5-3
圖 5.2 以兩種模式推算碧利斯(2006)颱風與安平港實測波浪的比較圖 .....	5-4
圖 5.3 以兩種模式推算鳳凰(2008)颱風與安平港實測波浪的比較圖 .....	5-5
圖 5.4 以兩種模式推算莫拉克(2009)颱風與安平港實測波浪的比較圖 .....	5-5
圖 5.5 以兩種模式推算娜克莉(2001)颱風與高雄港實測波浪的比較圖 .....	5-7
圖 5.6 高雄港 M5 與類神經模式推算結果比較圖[(A)海棠(2005)(B)碧利斯(2006)(C)如麗(2008)(D)尼莎(2011)].....	5-8
圖 5.7 高雄港 M5 與類神經模式推算 2003 年杜鵑颱風之結果比較圖 .....	5-9
圖 5.8 高雄港 M5 與類神經模式推算 2004 年敏督利颱風之結果比較圖 .....	5-9
圖 5.9 高雄港 M5 與類神經模式推算 2008 年鳳凰颱風結果的比較圖 .....	5-10
圖 5.10 高雄港 M5 與類神經模式推算 2009 年莫拉菲颱風結果的比較 .....	

圖.....	5-10
圖 5.11 安平港各波浪推算模式推算波高誤差分析 .....	5-12
圖 5.12 安平港各波浪推算模式推算峰值發生時間誤差分析 .....	5-13
圖 5.13 高雄港各波浪推算模式推算波高誤差分析 .....	5-14
圖 5.14 高雄港各波浪推算模式推算峰值發生時間誤差分析 .....	5-14
圖 6.1 風浪推算模擬範圍之地形水深.....	6-3
圖 6.2 安平港示性波高時序列比較.....	6-7
圖 6.2 安平港示性波高時序列比較(續 1).....	6-8
圖 6.2 安平港示性波高時序列比較(續 2).....	6-9
圖 6.3 高雄港示性波高時序列比較.....	6-10
圖 6.3 高雄港示性波高時序列比較(續 1).....	6-11
圖 6.3 高雄港示性波高時序列比較(續 2).....	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 安平港實測波浪資料年極值樣本之機率密度函數及機率函數圖 .....	7-9
圖 7.3 安平港類神經推算結果年極值樣本之機率密度函數及機率函數 圖 .....	7-9
圖 7.4 安平港二維數值推算結果年極值樣本之機率密度函數及機率函 數圖 .....	7-10
圖 7.5 安平港 M5 最小化模式樹推算結果年極值樣本之機率密度函數 及機率函數圖 .....	7-10
圖 7.6 高雄港實測資料年極值樣本之機率密度函數及機率函數圖 .....	7-13
圖 7.7 高雄港類神經推算年極值樣本之機率密度函數及機率函數圖 .....	7-13
圖 7.8 高雄港二維數值模式推算年極值樣本之機率密度函數及機率函 數圖 .....	7-14
圖 7.9 高雄港 M5 最小化模式樹模式推算年極值樣本之機率密度函數	



及機率函數圖 .....	7-14
圖 7.10 DETREND 前後的機率密度比較圖 .....	7-16
圖 7.11 『建立臺灣主要商港設計波浪專家會議(II)』會議照片 .....	7-19

## 表目錄

表 2.1 安平港 1951 年至 2014 年颱風侵襲次數趨勢 .....	2-3
表 2.2 高雄港 1951 年至 2014 年颱風侵襲次數趨勢 .....	2-4
表 2.3 安平港 2000 年至 2014 年波浪資料蒐集率百分比 .....	2-6
表 2.4 高雄港 1999 年至 2012 年波浪資料蒐集率百分比 .....	2-6
表 2.5 安平港長期波浪趨勢分析結果 .....	2-15
表 2.6 高雄港長期波高趨勢分析結果 .....	2-20
表 3.1 選取用來建立安平港模式的颱風資訊與其對應最大波高 .....	3-2
表 3.2 選取用來建立高雄港模式的颱風資訊與其對應最大波高 .....	3-3
表 3.3 三種風場模型的比較表 .....	3-14
表 3.4 安平港類神經颱風波浪推算結果 .....	3-20
表 3.5 高雄港類神經颱風波浪推算結果 .....	3-22
表 4.1 安平港 M5 最小化模式樹波浪推算模式之結果驗證 .....	4-4
表 4.2 高雄港 M5 最小化模式樹波浪推算模式之結果驗證 .....	4-6
表 5.1 安平港兩種波浪推算模式的誤差比較 .....	5-2
表 5.2 高雄港兩種波浪推算模式的誤差比較 .....	5-6
表 5.3 各類神經颱風波浪推算成效比較 .....	5-11
表 5.4 誤差分析結果綜合比較表 .....	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 安平港數值模式之波浪推算結果驗證 .....	6-13
表 6.4 高雄港數值模式之波浪推算結果驗證 .....	6-14
表 7.1 計算樣本順位機率之 $\alpha$ 及 $\beta$ 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 安平港各極值樣本之各重現期分析結果 .....	7-8
表 7.5 安平港四種樣本來源的極值分析結果 .....	7-11
表 7.6 高雄港各極值樣本之各重現期分析結果 .....	7-12
表 7.7 高雄港四種樣本來源的極值分析結果 .....	7-15
表 7.8 各主要港口長期波浪趨勢分析結果 .....	7-16
表 7.9 臺北港各種樣本之各重現期分析結果(未 DETREND) .....	7-17
表 7.10 臺北港各種樣本之各重現期分析結果(DETREND 後) .....	7-18
表 7.11 臺北港四種樣本來源以兩種方式分析 50 年重現期結果 .....	7-18

# 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有合適的波浪推算模式，即可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。本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。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。透過颱風侵臺的狀況與港灣技術研究中心所監測安平港與高雄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)來進行安平港與高雄港的波高趨勢分析，評估受氣候變遷影響的顯著性。

在颱風波浪推算模式方面，本計畫以往昔的經驗與方法配合新的颱風波浪資料來更新安平港與高雄港類神經波浪推算模式。另應用 M5 最小化模式樹發展安平港與高雄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)模擬各場颱風對安平港與高雄港造成的波場以供設計波浪的推算。最後並以各樣本來源來進行安平港與高雄港的極值統計分析，討論樣本差異對設計波推算的影響，最後透過以上分析結果探討如何在設計波推定流程中考量氣候變遷的影響量，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。

在臺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，臺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，臺灣因地理位置關係，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。結果顯示臺灣平均每年約增加 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; Raika 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。Zheng 與 Li(2015)利用 WAVEWATCH-III (WW3)追算分析資料探討中國沿海的示性波高與波能變遷趨勢，其結果顯示 1988 至 2011 年間年平均示性波高的年增率為 1.52cm/yr。其中琉球群島、臺灣海峽

及南海北側區域有顯著性的增加趨勢，約 0.5-4.5cm/yr，尤其以東沙群島的波高增加趨勢最為明顯。另外季節性的變化中波浪增加的趨勢以 12 月至 5 月較為顯著，其長期示性波高變遷趨勢示如圖 1.2。

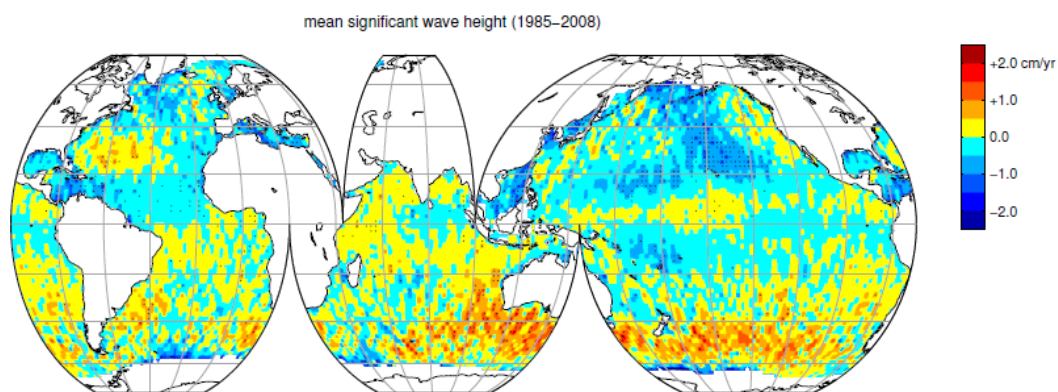


圖 1.1 全球平均波高的變化趨勢分布圖(Young et al., 2011)

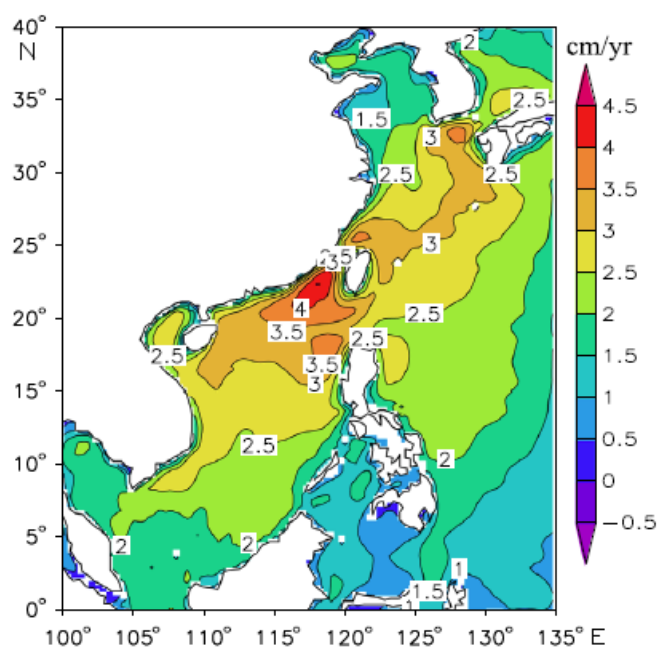


圖 1.2 臺灣周邊海域示性波高的變化趨勢分布圖(Zheng and Li, 2015)

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 1.3，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。

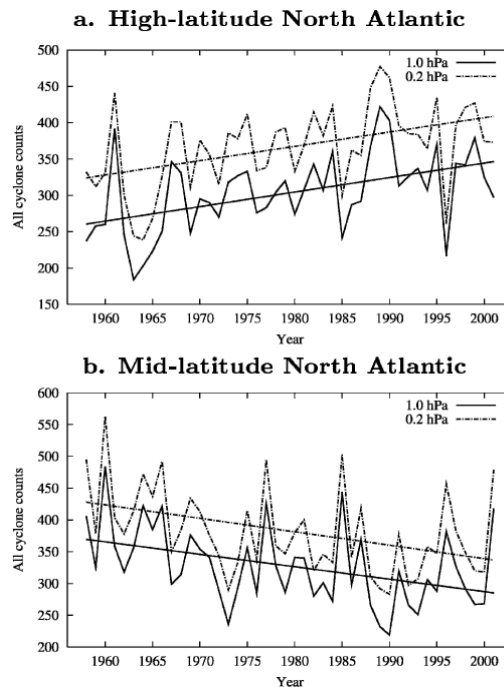


圖 1.3 北大西洋中緯度及高緯度的氣旋數量統計圖

本研究由以上國內外相關研究結果，歸納臺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，單純以本所港灣技術研究中心在安平港與高雄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。本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)。在模式建立時所採用風場計算部份，美國國家氣象中心(National Weather Service)所採用的 SLOSH 參數風場模式與美國國家海洋與大氣管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)的觀測風場進行比較，並顯示 SLOSH 參數風場模式可以快速計算出合理的風場結果(Houston 及 Powell, 1994; Houston 等人, 1999)。

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 Neural Network)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)。隨著本計畫持續發展臺灣各主要港口的 M5 最小化模式樹波浪推算模式，國內外也持續有新的應用與修正方式，在最新的研究文獻中 Zahiri 與 Azamathulla(2014)利用 M5 最小化模式樹與線性基因程序進行複合式渠道的流量預測，文中提到 M5 最小化模式樹不需大量的數值計算也可避免由於渠道幾何因子與流況因子不同而有精度上的差異問題。Samadi 等人(2014)利用 M5 最小化模式樹模擬溢洪道下游沖刷深度，以確保壩體受沖刷下的穩定性。其指出 M5 最小化模式樹的計算與應用較類神經簡單，而精度上明顯較經驗公式、回歸樹及分類演算法有更好的表現。而最近的研究並將 M5 最小化模式樹配合基因程序用來建立熔融擠製成型技術中，其結果顯示可找出影響產品品質的最佳輸入條件，此研究可提升目前日趨廣泛應用的 3D 列印技術。(Garg 等人, 2014)。

考慮對應實測資料的颱風波浪可能有缺漏的狀況，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。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、臺北港、基隆港與臺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

本計畫以安平港與高雄港為主，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 MIKE SW 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主要採用本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』所發展的安平港及高雄港類神經颱風推算模式配合近年來港灣技術研究中心針對安平與高雄兩港所監測的波浪資料進行模式修正。另採用 M5 最小化模式樹進行安平港與高雄港波浪推算模式的建立，再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嘗試採用不同的風場資料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，截至期末報告初稿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. 分析安平港與高雄港之颱風與波浪在氣候變遷下之影響。
2. 建立安平港與高雄港 M5 最小化模式樹波浪推算模式。
3. 比較安平港與高雄港類神經網路波浪推算模式與 M5 波浪推算模式之推算精度。
4. 以數值模式進行安平港與高雄港之波浪推算。

5. 安平港與高雄港設計波高標準之探討。
6. 就本計畫成果之特性，填報績效指標項目，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。

本計畫為四年計劃中的第三年，總計畫工作流程圖如圖 1.4 基於往昔研究深入探討設計波標準，有以下創新發展：

1. 因應全球氣候變遷議題，針對侵臺颱風與各主要港口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(線性回歸分析、Mann-Kandall 趨勢檢測法、Seasonal Kandall 趨勢檢測法及經驗模態分解法)。目前已完成花蓮港、蘇澳港、臺北港、基隆港、安平港及高雄港六大港口。
2. 經港灣技術研究中心所提供臺北港海面上 10m 風速之比較多種參數模型風場，本年度類神經網路颱風波浪模式中的風速推算改採用 SLOSH 參數風場來進行推算點的風速計算。
3. 以 M5 最小化模式樹建立臺灣各主要港口波浪推算模式。
4. 二維數值風浪推算模式中採用 WRF 模式計算空間解析度更佳的風場來進行 MIKE 21 SW 風浪模式之模擬，以提升風浪推算結果的準確度。
5. 為擬定合適的設計波推估流程，並同時考量氣候變遷下所造成波浪的長期影響量造成的不確定性。



圖 1.4 工作流程圖

## 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。

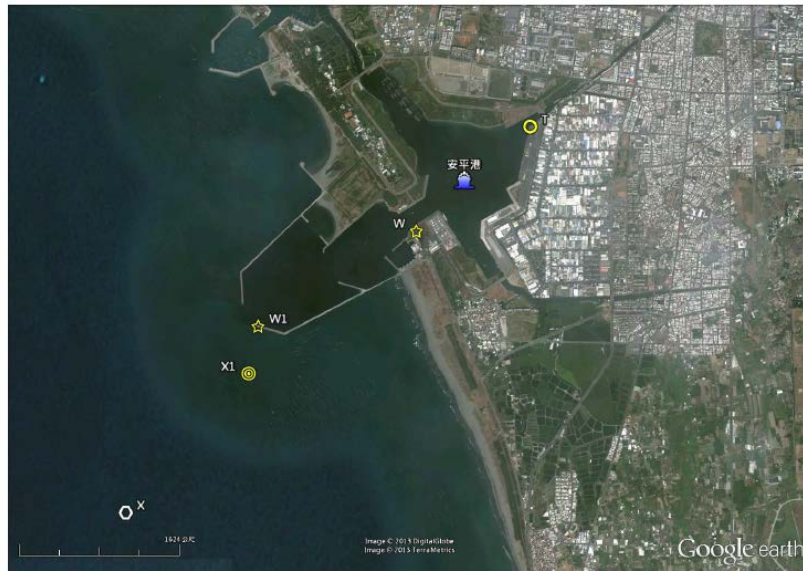
本研究採用本所港灣技術研究中心的波浪觀測資料來進行分析，安平港與高雄港實測波高資料皆由本所港灣技術研究中心提供。港灣技術研究中心於安平港觀測樁水下 5 米處(稱測站 X)之 Inter Ocean S-4ADW 潮波儀所測得之 2Hz 水位變化時間序列處理而得，因 S-4 觀測儀器老舊，目前已更換為 NORTEK 公司之剖面海流表面波浪與潮汐之監測系統(AWCP)，觀測資料至觀測樁於 2011 年 7 月拆除為止。2011 年 7 月於南堤外海增設剖面海流表面波浪與潮汐之監測系統(AWCP)(稱測站 X1)。其新舊觀測樁位置如圖 2.1 所示。

高雄港以往的各项觀測工作均是視工程需要才臨時設立觀測站，但基於海象觀測需較長期資料之需求，本所港灣技術研究中心在 2000 年購置挪威 NORTEK 公司之剖面海流與波浪即時監測系統，2000 年 12 月中旬經會勘後選定在高雄一港口與二港口間亦即高雄市中區污水處理廠附近海域(測站 X0)，以進行長期觀測。2001 年 6 月 23 日奇比颱風經過形成之外圍環流影響以致海底電纜遭受到外力拉扯受損後，以自記方式量測，2002 年 6 月重新補放運轉狀況良好，本站於 2005 年 8 月移至第二港口附近海(稱測站 X1)，水深約 18m，測站位置如圖 2.2 所示。

AWCP 系統有兩個分離波高量測模式：一個是對平靜波浪時，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

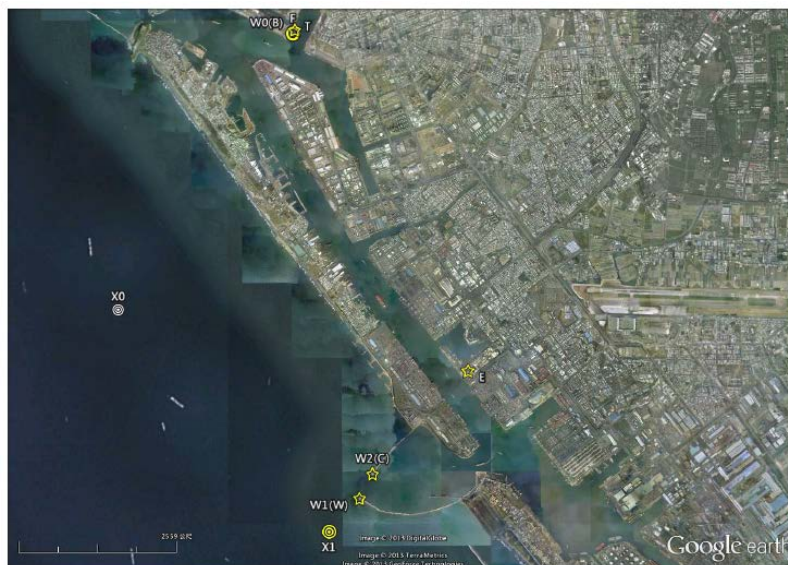


量測範圍(1)資料量測模式：壓力及沿每一個波束選取一個流速層。(2)量測流層距離：0.5、1.0、2.0 m 可選擇性。(3)最大資料輸出頻率：2Hz(以內含)。(4)儀器內取樣頻率：4~6Hz。(5)取樣期間之取樣數：512、1024 或 2048 次可選擇性。(6)所有資料都儲存於岸上的電腦與主機內。



☆ 風速計 ◎ 潮位計 ◎ 波流儀 ◎ 觀測樁

圖 2.1 安平港海氣象觀測位置圖



☆ 風速計 ◎ 潮位計 ◎ 波流儀

圖 2.2 高雄港海氣象觀測位置圖



## 2.2 侵臺颱風長期變化趨勢

由於日本氣象廳 RSMC-Tokyo Center 有針對往昔熱帶氣旋提供較完整的中心資訊，故本計畫依據日本氣象廳所發布 1951 年至 2014 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，本計畫首先以安平港為目標點，並以不同的距離門檻值篩選颱風，若颱風中心接近安平港的距離小於門檻值，則將其標記為侵臺颱風，並將影響安平港這段期間內的最低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 $\leq 997$  hPa)；3.中度颱風( $941$  hPa $<$ 中心海面氣壓 $\leq 976$  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，可計算出每年侵襲各港的颱風次數，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 安平港 1951 年至 2014 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	0.0035	0.0046	0.0038
強烈颱風	-0.0022	-0.0043	-0.0035
輕度颱風	0.0021	-0.0039	0.0022
中度颱風	0.0074	0.0138	0.0170

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 2014 年歷年侵襲安平港次數的趨勢分析結果，整體而言除中度颱風以外，強烈颱風與輕度颱風的變化趨勢相對較小。較具有明顯趨勢變化的中度颱風以 300、500 與 1000km 為門檻值的趨勢分析結果可發現，只有當距離門檻值設定在 500km 以上，中度颱風侵襲安平港次數才有較為顯著的趨勢，以門檻值 500km 來看每年增加率平均約為 0.0138 次/年，以現有颱風紀錄而言每 50 年約會增加 0.69 個颱

風的侵襲機會，圖 2.3 為中度颱風侵襲安平港的歷年紀錄與一階線性回歸後的趨勢線，該線斜率為 0.0138(門檻值設為 500km)。

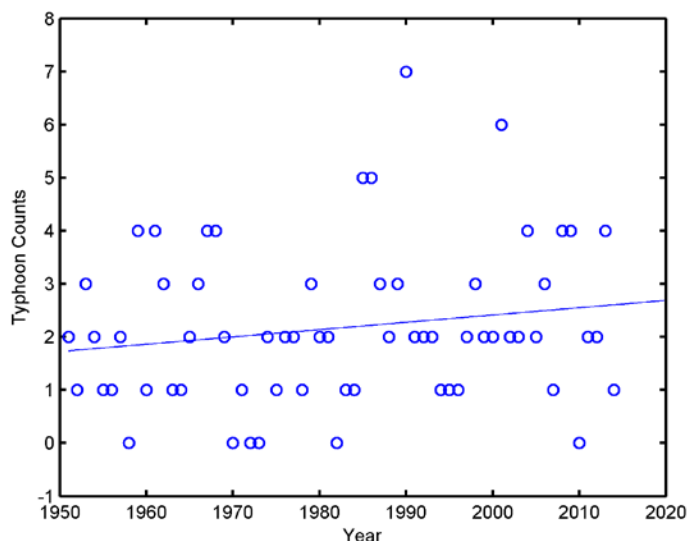


圖 2.3 中度颱風侵襲安平港次數的趨勢分析(500km 門檻值)

另以高雄港為目標點，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，可計算出每年侵襲高雄港的颱風次數，再依線性回歸找出每年次數的長期趨勢如下表：

表 2.2 高雄港 1951 年至 2014 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	0.0008	0.0080	0.0077
強烈颱風	-0.0046	-0.0015	-0.0050
輕度颱風	0.0002	-0.0060	0.0031
中度颱風	0.0075	0.0147	0.0224

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高雄港次數的趨勢分析結果，由於高雄港與安平港的地理位置相近，其間僅距離 47.55km，故其分析結果與安平港相近，僅有中度颱風有明顯趨勢變化，高雄港部份的中度颱風侵襲次數年增率平均約為 0.0147 次/年，以現有颱風紀錄而言每 100 年約增加 0.74 個颱風的侵襲機會，圖 2.4 為中度颱風侵襲高雄港的歷年紀錄與線性回歸後

的趨勢線，該線斜率為 0.0147。本年度安平港與高雄港的分析結果顯示颱風侵襲次數僅些微增加。

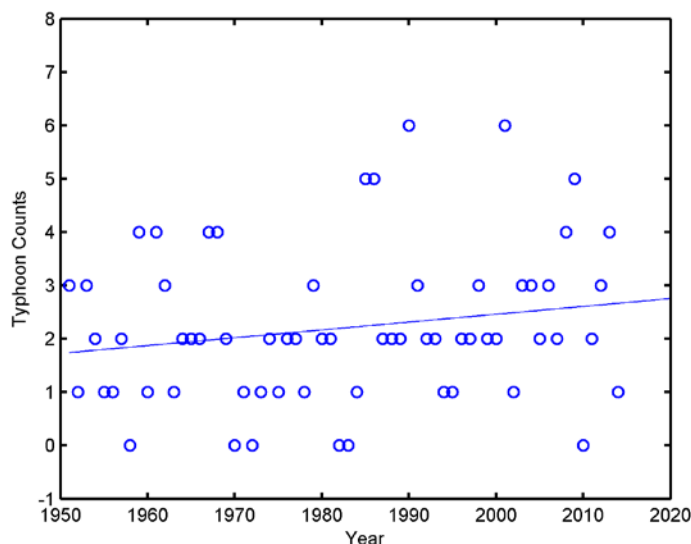


圖 2.4 中度颱風侵襲高雄港次數的趨勢分析(500km 門檻值)

## 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安平港與高雄港波浪資料，其記錄時間皆為 2000 年至 2014 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。

安平港的波浪記錄時間為 2000 年一月至 2014 年十二月，其中除 2011 與 2014 兩年外其年資料蒐集率都有 70% 以上。2011 年九月至十一月、2014 年十月至十二月有較長期的資料缺漏。高雄港波浪資料起始時間雖然為 2000 年。但其中 2000 年僅從 12 月 20 日開始有紀錄，全年資料完整性僅 3.2%，故若要取樣進行年極值統計須將本年度排除，以確保分析的正確性。波浪推算模式與數值模式的驗證上只要在各颱風侵臺期間有完整波浪紀錄的皆會採用。

表 2.3 安平港 2000 年至 2014 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 (%)
2000	99.7	100.0	90.3	66.1	99.5	99.2	33.7	72.0	72.8	91.5	43.1	92.2	80.0
2001	76.3	97.5	90.6	100.0	54.3	86.5	100.0	100.0	99.6	82.5	51.4	85.3	85.3
2002	100.0	100.0	9.9	88.6	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	81.3	80.0	0.0	80.0
2003	100.0	100.0	0.0	99.4	49.9	95.3	100.0	98.7	91.1	94.8	88.2	0.0	76.4
2004	100.0	87.5	100.0	90.6	88.4	91.7	75.8	89.9	70.6	95.8	54.4	76.1	85.1
2005	92.5	74.1	91.9	61.0	63.2	93.9	84.7	100.0	100.0	69.4	97.8	36.8	80.4
2006	47.8	100.0	69.0	71.4	91.8	100.0	99.3	99.9	100.0	100.0	73.2	38.6	82.6
2007	99.7	100.0	99.6	98.9	83.5	99.7	98.4	97.3	98.9	99.3	99.7	99.2	97.9
2008	99.7	100.0	99.6	98.2	99.7	97.9	86.8	98.7	15.7	12.4	96.5	95.6	83.4
2009	93.7	89.6	80.8	99.9	90.7	99.0	97.6	99.3	99.9	57.4	32.6	95.7	86.3
2010	94.2	99.6	85.3	99.2	97.3	99.3	100.0	98.9	96.3	96.1	71.9	0.7	86.6
2011	0.4	11.8	96.2	99.3	80.9	88.1	89.5	75.3	0.0	0.0	0.0	69.9	50.9
2012	99.6	99.9	98.9	99.4	64.5	0.0	41.9	99.7	96.8	65.9	87.5	94.5	79.1
2013	99.5	99.4	97.2	91.5	99.9	99.6	99.7	94.8	77.9	91.9	99.3	99.7	95.9
2014	100.0	86.6	0.0	7.6	99.3	99.0	94.1	100.0	100.0	2.2	0.0	0.0	57.4

表 2.4 高雄港 1999 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 (%)
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.4	3.2
2001	95.3	70.2	97.0	77.1	70.7	93.9	0.0	92.7	72.5	27.3	0.0	0.0	58.1
2002	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.0	100.0	98.4	98.8	99.5	46.8	61.4	44.7
2003	0.0	83.5	92.6	61.9	98.9	99.4	99.9	97.2	99.9	99.9	82.1	0.0	76.3
2004	0.0	0.0	20.8	99.9	99.6	99.9	99.9	99.9	98.3	99.7	99.7	69.5	73.9
2005	99.9	99.9	71.0	0.0	0.0	81.0	99.9	98.1	98.9	99.7	100.0	100.0	79.0
2006	98.9	93.9	65.7	99.0	95.8	98.6	59.0	5.4	100.0	97.7	95.8	99.2	84.1
2007	100.0	21.6	49.5	100.0	75.4	97.5	95.4	29.4	79.6	94.6	95.8	90.6	77.5
2008	95.6	95.5	94.1	70.6	94.5	92.6	71.6	95.8	95.8	93.3	96.0	98.5	91.2
2009	83.6	92.4	72.2	99.2	99.2	98.9	58.3	61.0	83.2	98.7	98.2	99.9	87.1
2010	99.6	99.9	100.0	99.0	99.2	99.7	99.6	98.0	97.4	95.2	94.9	94.1	98.0
2011	94.5	95.4	95.0	93.6	94.6	95.7	94.6	95.6	93.3	46.2	95.1	95.8	90.8
2012	95.0	95.5	95.7	93.8	91.5	94.4	91.5	14.8	80.1	95.6	93.9	95.4	86.4
2013	95.4	94.5	94.4	92.8	53.2	0.0	7.8	100.0	100.0	9.7	34.2	100.0	65.2
2014	100.0	100.0	4.4	24.0	99.6	98.8	71.5	82.4	72.5	96.4	96.5	97.3	78.6

### 2.3.2 趨勢分析

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，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. (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 Mann(1945)以及之後的 Kendall(1975)所提出的無母數方法，能針對資料進行趨勢偵測並能處理缺漏值的狀況，被廣泛的應用在相關的環境科學研究中。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。

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資料來進行分析。我國黃鵬院士所提出之經驗模態分解法 (Empirical Mode Decomposition method, EMD) 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-stationary) 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  $c_i(t)$ ， $i=1 \cdots n$  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 等人(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  $\theta_1$  與  $\theta_2$  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  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  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。本計畫採用 Rilling 等人(2003)所提出的新停止準則來實作經驗模態分解，針對不同取樣方式的波浪記錄資料進行模態分解，並選用各模態外之殘差來進行趨勢分析。

### 2.3.3 分析結果

本計畫所蒐集安平港波浪資料自 2000 年至 2014 年共 15 年，將逐時資料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  $3.66 \times 10^{-5}$ ，換算為年增率則為 0.0134m/year，顯示安平港逐時波浪資料的長期趨勢呈現些遞增情況。將逐時資料進行日平均分析後進行分析的結果如圖 2.6，將圖中趨勢線之斜率換算為年增率為 0.0136m/year。以月平均波高來進行長期趨勢分析則可繪製如圖 2.7，將圖中趨勢線之斜率換算為年增率為 0.0129m/year。此外以年平均波高來進行長期趨勢分析則可繪製如圖 2.8，圖中趨勢線年增率為 0.0120m/year。

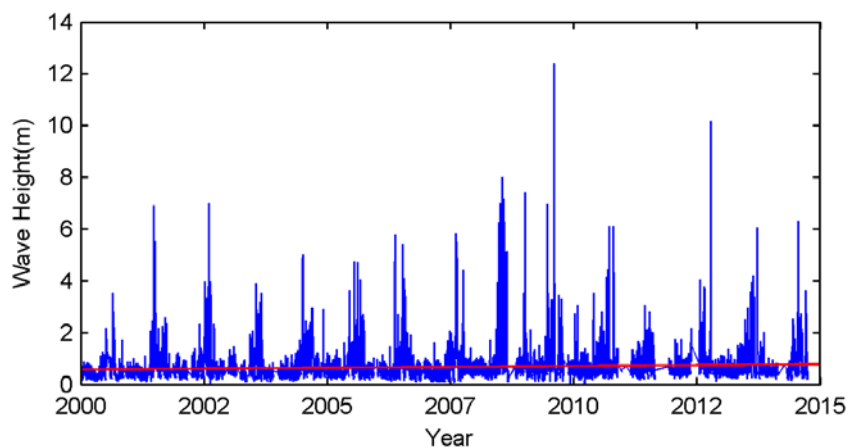


圖 2.5 安平港逐時波浪資料與其趨勢線

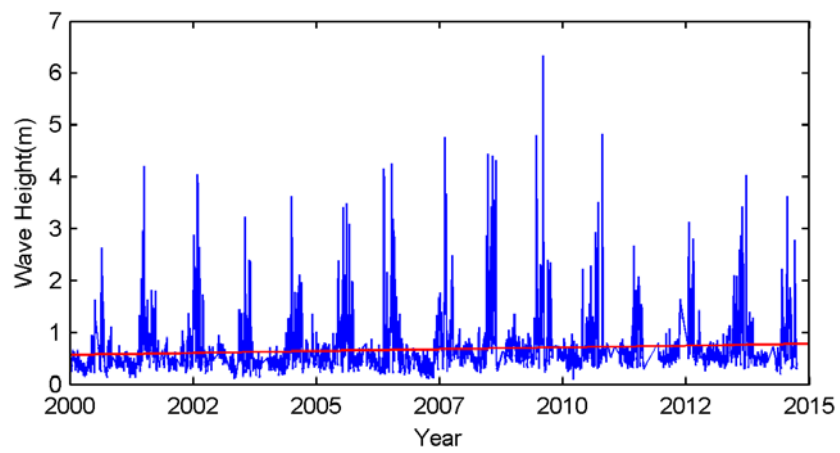


圖 2.6 安平港日平均波浪資料及其趨勢線

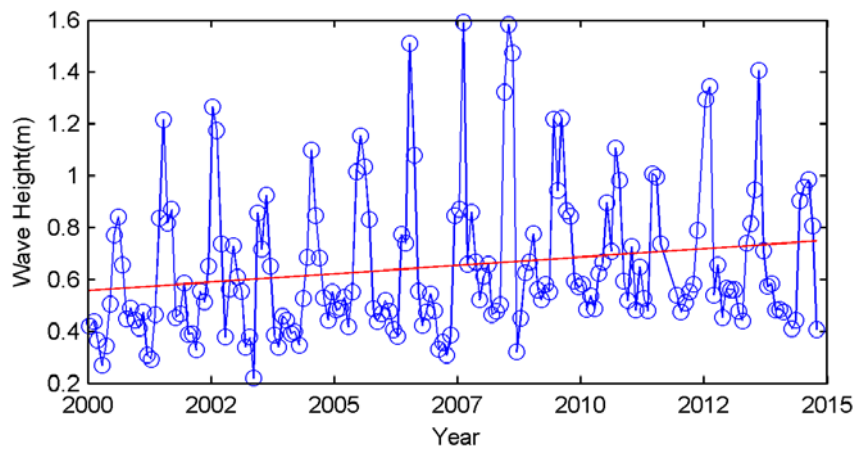


圖 2.7 安平港月平均波浪資料及其趨勢線

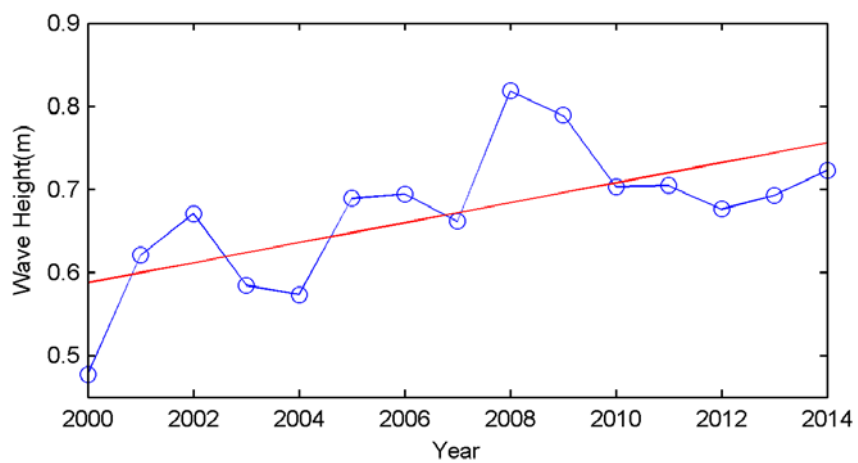


圖 2.8 安平港年平均波浪資料與其趨勢線

經由 EMD 分解後可獲得到長期波浪趨勢分量，安平港逐時波高資料進行 EMD 分解後的趨勢分量示如圖 2.9。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 分析所獲得的趨勢線。以圖中紅線所表示的趨勢分量進行一階線性回歸可獲得資料的長期變遷趨勢，在逐時資料分析中其趨勢分量的年增率為  $0.0136\text{m/year}$ ，日平均資料為  $0.0066\text{m/year}$ ，月平均資料的年增率為  $0.0022\text{m/year}$ ，年平均資料的年增率為  $0.0122\text{m/year}$ 。其中可發現日平均與月平均取樣方式的趨勢分析結果有較大的差異。

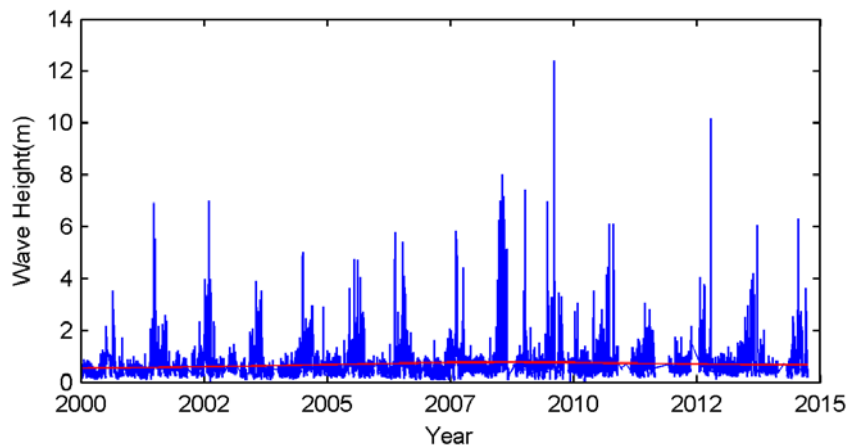


圖 2.9 安平港逐時波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線

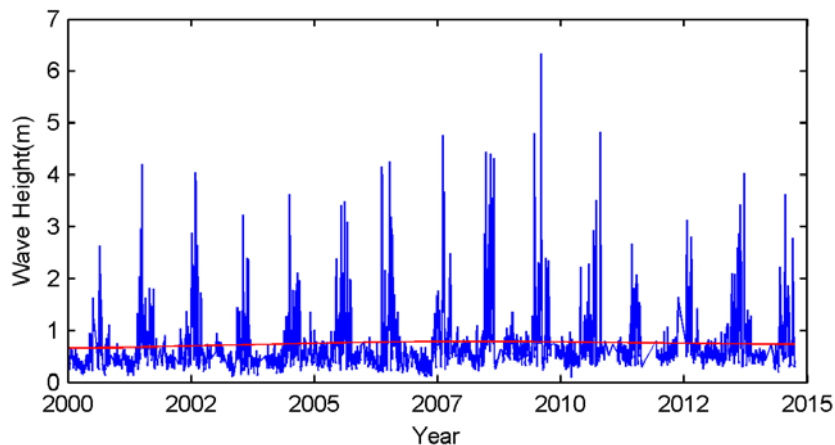


圖 2.10 安平港日平均波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線

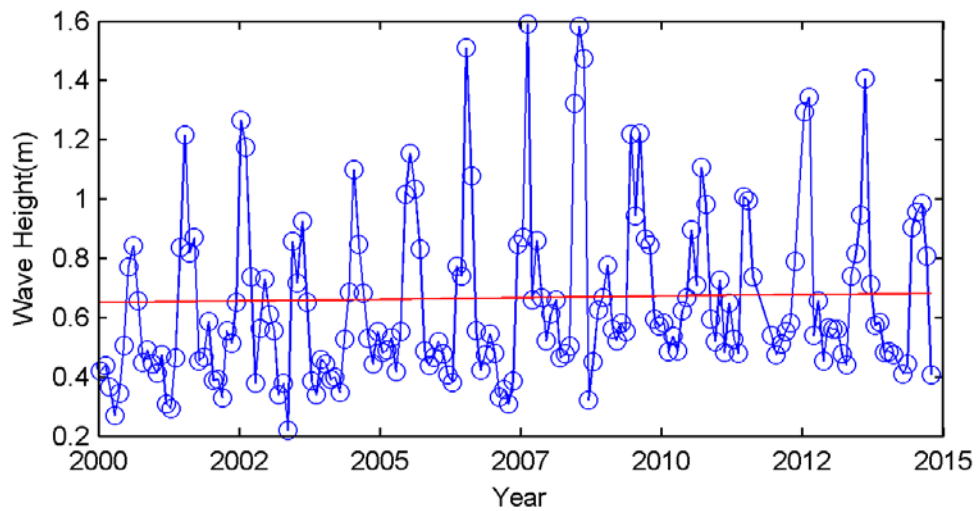


圖 2.11 安平港月平均波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線



圖 2.12 安平港年平均波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線

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 趨勢檢測法來進行檢定，其結果顯示在顯著水準 0.05 下，安平港的波浪資料在各種取樣方式包括逐時、日平均、月平均與年平均皆顯示原假設狀況不成立，即皆歸納為有趨勢的資料。為進一步考量季節性變化影響下的波浪長期變化趨勢，本計畫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，安平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 0.0109m/year。

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，其結果顯示以逐時取樣、日平均、月平均或年平均等取樣方式所計算出來的年增率皆為正值，雖然各種取樣方式不同造成年增率有所差異，但整體而言安平港自 2000 年至 2014 年間的波浪趨勢是屬於遞增的。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，僅年平均有較大的差異，而 EMD 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。本計畫所分析的結果安平港波高年增率為 0.0022 至 0.0136 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，其分析結果安平港波高年增率為 0.0109m/year 應較具代表性。

**表 2.5 安平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	0.0134
日平均線性趨勢	0.0136
月平均線性趨勢	0.0129
年平均線性趨勢	0.0120
Seasonal Kendall 月平均趨勢檢定	0.0109
EMD 趨勢分析 (逐時)	0.0136
EMD 趨勢分析(日平均)	0.0066
EMD 趨勢分析(月平均)	0.0022
EMD 趨勢分析(年平均)	0.0122

本計畫所蒐集高雄港波浪資料自 2000 年至 2014 年共 15 年，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  $2.29 \times 10^{-5}$ ，換算為年增率則為 0.0084m/year。以日平均波高進行趨勢分析可獲得其結果如圖 2.14，其波高年增率為 0.0091m/year。月平均波高進行長期趨勢分析的結果如圖 2.15，將圖中趨勢線之斜率換算為年增率為 0.0100m/year。以年平均波高來進行長期趨勢分析則可繪製如圖 2.16，圖 2.16 中趨勢線年增率為 0.0132m/year。

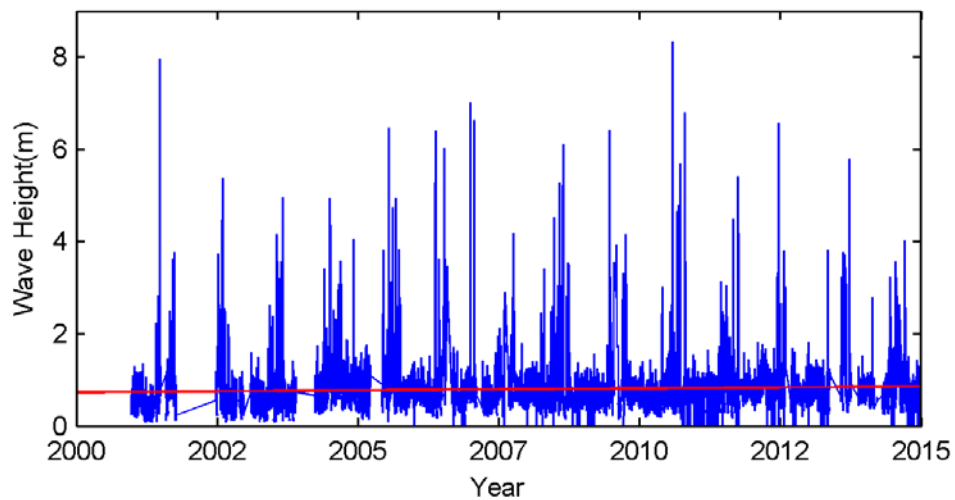


圖 2.13 高雄港逐時波浪資料與其趨勢線

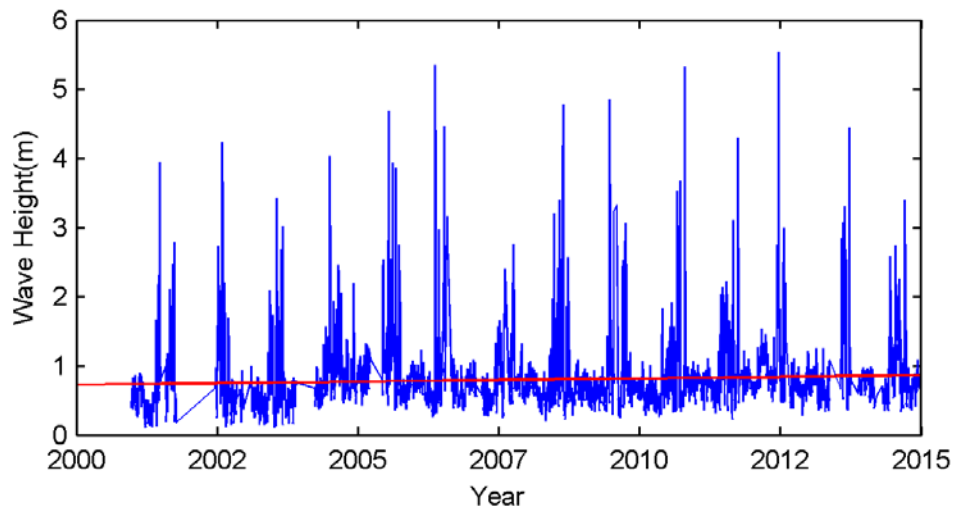


圖 2.14 高雄港日平均波浪資料及其趨勢線

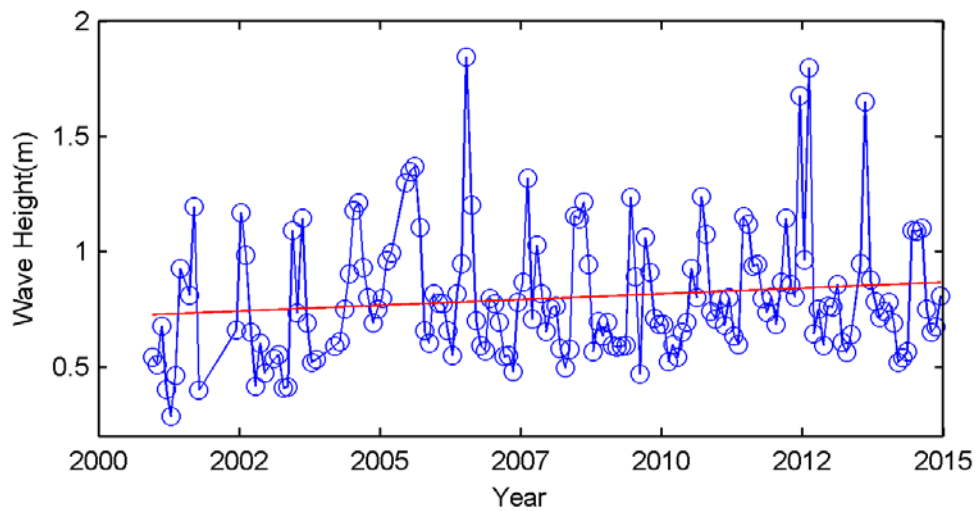


圖 2.15 高雄港月平均波浪資料及其趨勢線

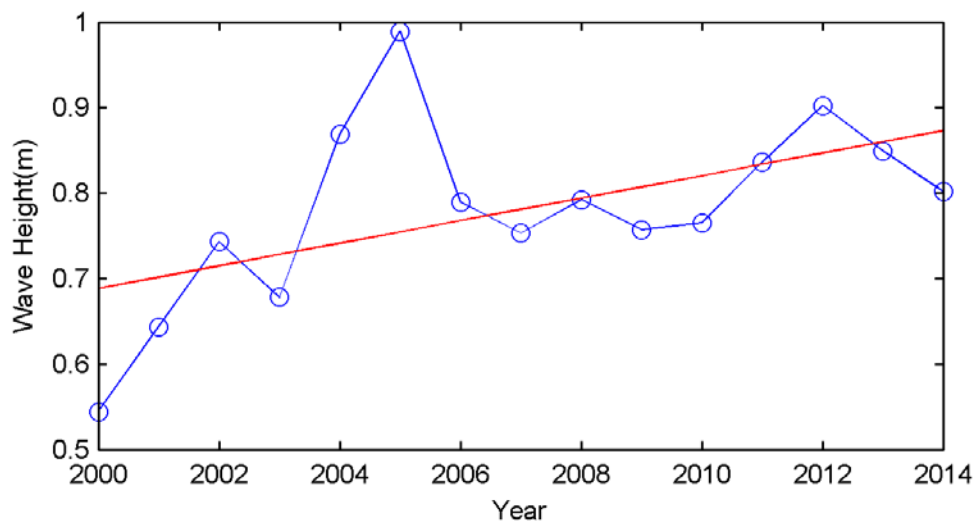


圖 2.16 高雄港年平均波浪資料與其趨勢線

將高雄港逐時波高資料進行 EMD 分解後的趨勢分量示如圖 2.17，經一維線性回歸後獲得其波高年增率為  $0.0042\text{m/year}$ 。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 分解後的趨勢分量，其年增率分別為  $0.0105\text{m/year}$ 、 $0.0087\text{m/year}$  及  $0.0054\text{m/year}$ 。

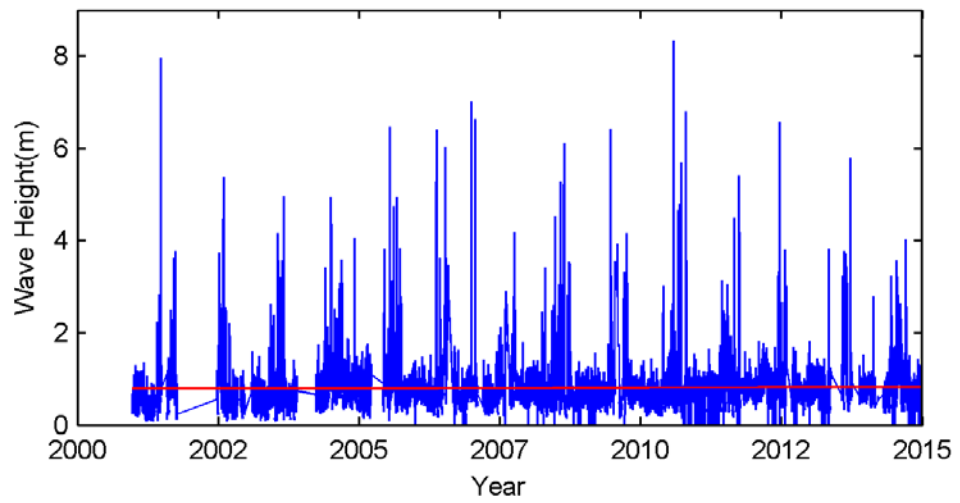


圖 2.17 高雄港逐時波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線

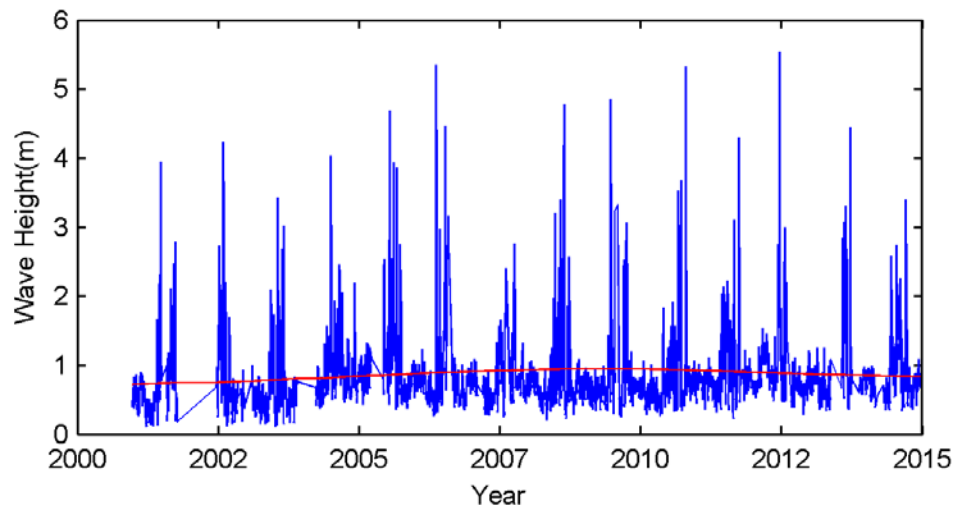


圖 2.18 高雄港日平均波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線



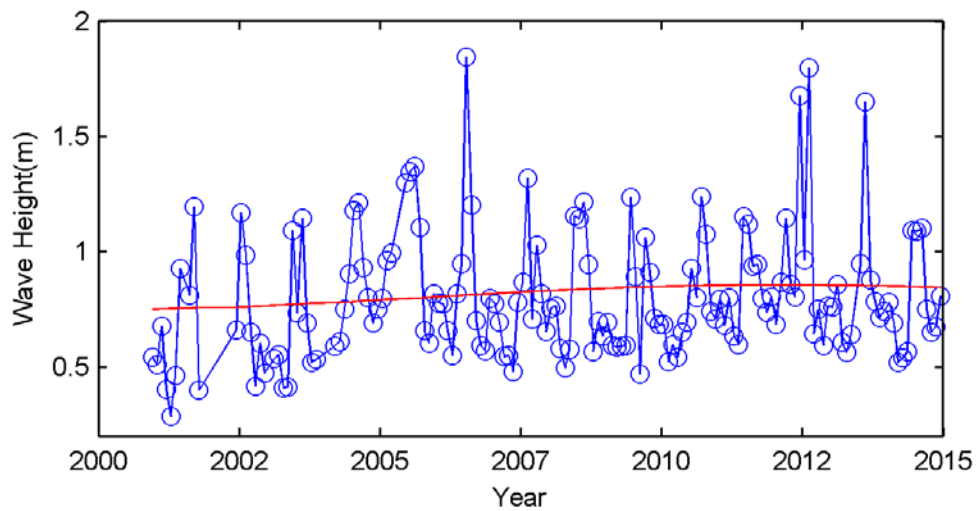


圖 2.19 高雄港月平均波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線

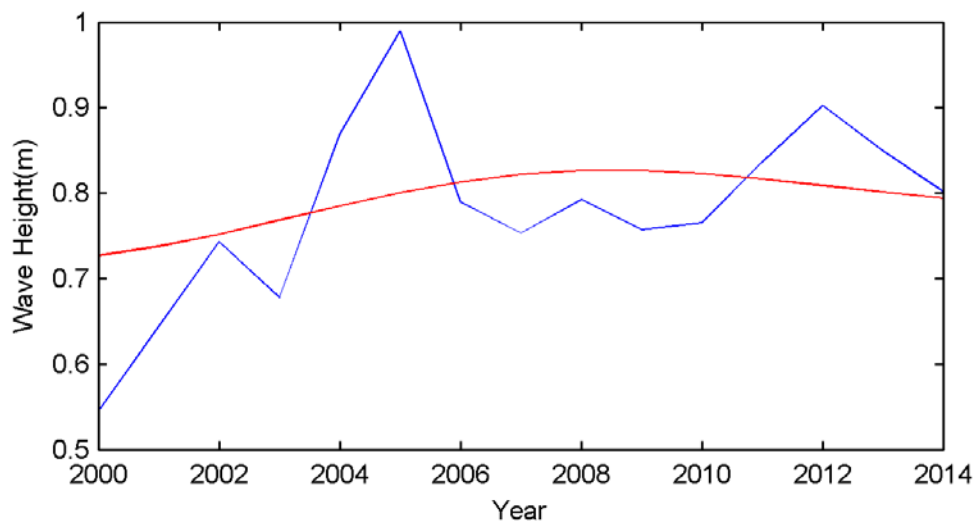


圖 2.20 高雄港年平均波浪資料與 EMD 分析後的趨勢線

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，高雄港的波浪資料在逐時、日平均、月平均與年平均四種取樣方式下皆顯示原假設狀況不成立，即皆歸納為有趨勢的資料。為進一步考量季節性變化影響下的波浪長期變化趨勢，本計畫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，高雄港月平均波浪資料判定是為有趨勢的資料集，其年增率為 0.0101m/year。

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，其結果顯示以各種取樣方式經一維線性回歸方式所計算出高雄港波浪年增率為 0.0084 至 0.0132m/year 之間，顯示高雄港波高長期變遷趨勢為些遞增。而 EMD 法趨勢分析在各種取樣方式下的趨勢分析結果其波高年增率約為 0.0042 至 0.0105m/year。另外採用 Mann-Kendall 趨勢檢測法的結果顯示高雄港在各種取樣方式下其趨勢是存在的，考慮季節性變化的 Seasonal Kendall 趨勢檢定法也判定高雄港的長期波浪資料具趨勢性的變化。考量各種趨勢檢定法的特性而言，無母數分析的 Seasonal Kendall 趨勢檢定法適用於資料缺漏與週期性變化的情形，其分析結果高雄港波高年增率為 0.0101m/year。

**表 2.6 高雄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	0.0084
日平均線性趨勢	0.0091
月平均線性趨勢	0.0100
年平均線性趨勢	0.0132
Seasonal Kendall 月平均趨勢檢定	0.0101
EMD 趨勢分析 (逐時)	0.0042
EMD 趨勢分析(日平均)	0.0105
EMD 趨勢分析(月平均)	0.0087
EMD 趨勢分析(年平均)	0.0054

綜合上述分析結果，安平港與高雄港兩個研究基地在波浪長期趨勢分析的結果皆屬於少量遞增的現象。雖然以各種不同取樣方式來進行趨勢分析會有些許的差異，但以較具有代表性的 Seasonal Kendall 趨勢檢定法來判斷，兩港波浪變遷趨勢十分接近，約為每 100 年增加 1m 波高。

### 第三章 類神經颱風波浪推算模式

為提升設計波浪的推估技術，本計畫希望能評估目前所發展的類神經網路颱風波浪推算模式與 M5 最小化模式樹波浪推算模式之推算能力。安平港與高雄港的類神經波浪推算模式為本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』研究計畫中所建立，但為能採用同樣的資料群來比較兩種模式的推算能力，本計畫採用本年度收集的新資料來對類神經網路波浪推算模式做更新。

#### 3.1 資料分析

波浪資料本研究選取 $H_S$  (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，本研究選擇對應安平港與高雄港實測波浪資料完整之颱風各 46 場，如表 3.1 及表 3.2 所示。

表 3.1 選取用來建立安平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	起始日期	終止日期	最大風速 (knot)	最大波高 (m)
2000	碧利斯	BILIS	2000/8/19	2000/8/23	110	3.52
2001	奇比	CHEBI	2001/6/20	2001/6/24	65	6.92
2001	尤特	UTOR	2001/7/2	2001/7/6	60	5.53
2001	納莉	NARI	2001/9/6	2001/9/20	75	2.58
2001	利奇馬	LEKIMA	2001/9/22	2001/9/27	70	2.36
2002	娜克莉	NAKRI	2002/7/9	2002/7/12	50	3.82
2003	伊布都	IMBUDO	2003/7/17	2003/7/25	90	3.90
2003	莫拉克	MORAKOT	2003/8/2	2003/8/4	45	2.75
2003	科羅旺	KROVANH	2003/8/21	2003/8/26	65	3.18
2003	杜鵑	DUJUAN	2003/8/30	2003/9/3	80	3.52
2004	敏督利	MINDULLE	2004/6/23	2004/7/4	95	5.01
2004	南瑪都	NANMADOL	2004/11/29	2004/12/4	90	2.91
2005	海棠	HAITANG	2005/7/16	2005/7/20	105	4.76
2005	馬莎	MATSA	2005/7/31	2005/8/7	80	2.52
2005	珊瑚	SANVU	2005/8/11	2005/8/13	50	4.72
2005	泰利	TALIM	2005/8/27	2005/9/2	95	4.05
2005	丹瑞	DAMREY	2005/9/21	2005/9/27	80	2.73
2005	龍王	LONGWANG	2005/9/28	2005/10/3	95	2.06
2006	珍珠	CHANCHU	2006/5/9	2006/5/19	95	5.80
2006	碧利斯	BILIS	2006/7/9	2006/7/15	60	5.36
2006	凱米	KAEMI	2006/7/19	2006/7/26	80	4.08
2007	聖帕	SEPAT	2007/8/13	2007/8/19	110	5.38
2007	柯羅莎	KROSA	2007/10/2	2007/10/8	105	4.08
2008	風神	FENGSHEN	2008/6/19	2008/6/25	90	6.16
2008	鳳凰	FUNG_WONG	2008/7/25	2008/7/29	75	5.92
2008	如麗	NURI	2008/8/18	2008/8/23	75	5.08
2009	蓮花	LINFA	2009/6/18	2009/6/22	60	6.90
2009	南卡	NANGKA	2009/6/23	2009/6/26	40	3.35
2009	莫拉菲	MOLAVE	2009/7/16	2009/7/19	65	3.29
2009	莫拉克	MORAKOT	2009/8/3	2009/8/10	75	11.90
2010	萊羅克	LIONROCK	2010/8/29	2010/9/2	50	4.11
2010	凡那比	FANAPI	2010/9/15	2010/9/20	95	5.72
2010	梅姬	MEGI	2010/10/13	2010/10/23	125	6.08
2011	米雷	MEARI	2011/6/22	2011/6/27	60	2.13
2012	蘇拉	SAOLA	2012/7/28	2012/8/3	70	2.40
2012	啟德	KAI_TAK	2012/8/13	2012/8/18	65	2.76
2012	天秤	TEMBIN	2012/8/19	2012/8/30	80	3.67
2013	蘇力	SOULIK	2013/7/8	2013/7/14	100	2.92
2013	尤特	UTOR	2013/8/10	2013/8/15	105	3.94
2013	潭美	TRAMI	2013/8/18	2013/8/22	60	4.20
2013	康芮	KONG_REY	2013/8/26	2013/8/30	55	3.13
2013	天兔	USAGI	2013/9/17	2013/9/23	110	5.92
2014	雷馬遜	RAMMASUN	2014/7/12	2014/7/19	90	2.77
2014	麥德姆	MATMO	2014/7/17	2014/7/25	70	6.00
2014	卡玫基	KALMAEGI	2014/9/12	2014/9/17	75	3.53
2014	鳳凰	FUNG_WONG	2014/9/17	2014/9/24	45	2.75

資料來源：本計畫整理

表 3.2 選取用來建立高雄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	起始日期	終止日期	最大風速 (knot)	最大波高 (m)
2001	奇比	CHEBI	2001/6/20	2001/6/24	65	7.95
2001	利奇馬	LEKIMA	2001/9/22	2001/9/27	70	3.77
2002	娜克莉	NAKRI	2002/7/9	2002/7/12	50	3.23
2003	伊布都	IMBUDO	2003/7/17	2003/7/25	90	4.16
2003	莫拉克	MORAKOT	2003/8/2	2003/8/4	45	3.21
2003	科羅旺	KROVANH	2003/8/23	2003/8/26	65	3.13
2003	杜鵬	DUJUAN	2003/8/30	2003/9/3	80	4.96
2004	康森	CONSON	2004/6/7	2004/6/11	80	2.13
2004	敏督利	MINDULLE	2004/6/23	2004/7/4	95	4.94
2004	南瑪都	NANMADOL	2004/11/29	2004/12/4	90	4.06
2005	海棠	HAITANG	2005/7/13	2005/7/20	105	6.46
2005	馬莎	MATSA	2005/7/31	2005/8/7	80	3.13
2005	珊瑚	SANVU	2005/8/11	2005/8/13	50	4.75
2005	泰利	TALIM	2005/8/27	2005/9/2	95	4.85
2005	丹瑞	DAMREY	2005/9/21	2005/9/27	80	3.78
2005	龍王	LONGWANG	2005/9/29	2005/10/3	95	2.56
2006	珍珠	CHANCHU	2006/5/9	2006/5/19	95	6.39
2006	碧利斯	BILIS	2006/7/9	2006/7/15	60	6.02
2007	柯羅莎	KROSA	2007/10/2	2007/10/8	105	4.10
2008	風神	FENGSHEN	2008/6/19	2008/6/25	90	4.43
2008	卡玫基	KALMAEGI	2008/7/15	2008/7/18	65	3.02
2008	鳳凰	FUNG_WONG	2008/7/25	2008/7/29	75	5.08
2008	如麗	NURI	2008/8/18	2008/8/23	75	5.99
2008	辛樂克	SINLAKU	2008/9/9	2008/9/21	100	2.77
2008	哈格比	HAGUPIT	2008/9/19	2008/9/25	90	3.42
2008	薔蜜	JANGMI	2008/9/24	2008/10/1	115	3.40
2009	蓮花	LINFA	2009/6/18	2009/6/22	60	6.31
2009	南卡	NANGKA	2009/6/23	2009/6/26	40	2.31
2009	莫拉菲	MOLAVE	2009/7/16	2009/7/19	65	3.53
2009	芭瑪	PARMA	2009/10/3	2009/10/14	75	3.03
2010	萊羅克	LIONROCK	2010/8/29	2010/9/2	50	4.59
2010	莫蘭蒂	MERANTI	2010/9/9	2010/9/10	55	4.75
2010	凡那比	FANAPI	2010/9/15	2010/9/20	95	5.69
2010	梅姬	MEGI	2010/10/13	2010/10/23	125	6.66
2011	南瑪都	NANMADOL	2011/8/23	2011/8/31	100	4.48
2011	尼莎	NESAT	2011/9/24	2011/9/30	80	5.21
2012	泰利	TALIM	2012/6/17	2012/6/20	50	6.55
2012	杜蘇芮	DOKSURI	2012/6/27	2012/6/30	40	2.62
2012	蘇拉	SAOLA	2012/7/28	2012/8/3	70	2.98
2013	尤特	UTOR	2013/8/10	2013/8/15	105	3.75
2013	潭美	TRAMI	2013/8/18	2013/8/22	60	3.70
2013	康芮	KONG_REY	2013/8/26	2013/8/30	55	3.34
2013	天兔	USAGI	2013/9/17	2013/9/23	110	5.75
2014	哈吉貝	HAGIBIS	2014/6/14	2014/6/17	40	3.20
2014	雷瑪遜	RAMMASUN	2014/7/12	2014/7/19	90	3.51
2014	卡玫基	KALMAEGI	2014/9/12	2014/9/17	75	3.98

資料來源：本計畫整理

表 3.1 中顯示在 2000 至 2014 年中有 46 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 13 場，這 13 場颱風雖然對波浪造成的影響不大，甚至其影響量可能小於季節風所造成的季節風浪。但為能讓模式能有效地應用在各種規模的侵臺颱風推算本計畫仍考慮選取對研究目標安平港影響較小的颱風進行模式建立。波高在 3m 至 5m 間的有 18 場占最多數，5m 至 7m 有 14 場，7m 以上僅有 1 場。表 3.2 中顯示在 2000 至 2014 年中有 46 場颱風在高雄港擁有相對應完整的波浪資料，其中對應波高小於 3m 的有 6 場，波高在 3m 至 5m 間的有 28 場占最多數，5m 至 7m 有 11 場，7m 以上僅 1 場。

對於安平港與高雄港而言，其港區位置皆位於臺灣西南側海岸，在每年六至九月受到西南季風作用，然而此段時間也恰好為颱風容易侵襲臺灣的季節，由表 3.1 及表 3.2 可發現在六月至九月侵襲安平港與高雄港的颱風皆在 46 場颱風中占 43 場，約為總颱風場數的 93% 以上，顯示安平港與高雄港有大部分的颱風波浪資料除颱風所造成的影響量外，其波高上升的原因亦可能包含季節風浪成分在內，若在季節風與颱風對波浪的影響量是相互累積之假設下，此現象會使颱風波浪推算模式的建立更為困難。

以本計畫的目標推算點的地理位置來說，大部分的侵臺颱風路徑都會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，對於其所造成的波浪影響量就會變小。從歷年的臺灣地區颱風路徑分類統計圖(圖 3.1)可發現，較可能對安平港與高雄港造成直接影響的路徑為第五路徑、第七路徑、第八路徑及第九路徑等。其餘路徑皆會受到地形以及高山的屏障影響。因此本計畫針對安平港與高雄港所有時間序列中的颱風位置與相對應推算點波高值作一空間分布的特性分析，其結果如圖 3.2 與圖 3.3 所示。圖中各點位所對應的顏色為目標點的波高值，黃色代表波高小於 3m 的資料點，綠色代表 3m 至 5m 間的資料點，藍色為 5m 至 7m 間的資料點，紅色則代表發生 7m 以上波高的資料點。

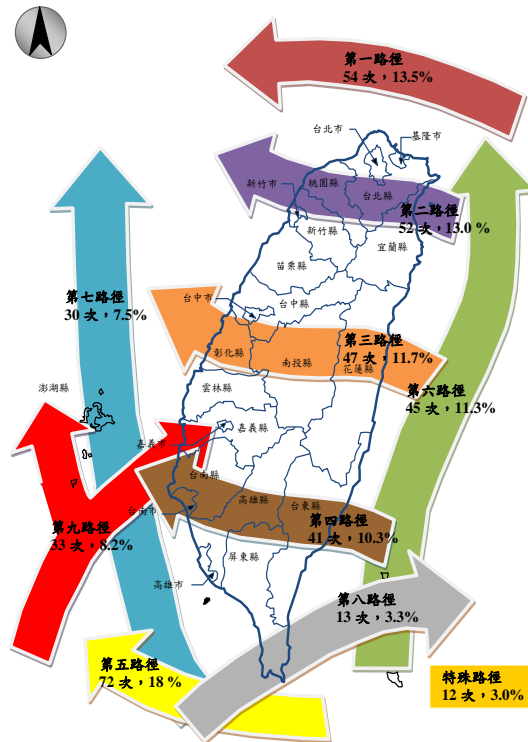


圖 3.1 臺灣地區颱風路徑分類圖(1897-2010 年)(引自中央氣象局)

圖 3.2 中發現對安平港波浪造成最大影響的颱風中心位置皆集中於臺灣苗栗外海處，見圖中紅色資料點(對應波高 7m 以上)，藍色資料點(對應波高 5m 至 7m)則分布於臺灣西側外海方與正北方處，綠色資料點(3m 至 5m)分布的範圍則較大，黃色資料點(對應波高 1m 至 3m)由於尺度已接近一般風浪，所以各處都可見其資料點。為能標出各資料點與安平港的相對距離，故以安平港為中心繪製半徑 500km 與半徑 1000km 的同心圓分界線，圖 3.2 中可發現紅色資料點皆發生於半徑 500km 的距離內，顯示對安平港而言，颱風只有在中心距離靠近安平港 500km 以內才有機會造成 7m 以上的示性波高。藍色資料點大部分也集中在半徑 500km 內，綠色資料點分布則較廣，僅少部分出現在臺灣東側。較值得注意的既使颱風由東向西穿過中央山脈往東北移動，出現較大波浪的情況十分明顯，由於此類颱風出現的機會較多，故其造成影響的次數更較由南往北直撲安平港的颱風來得多。

在所選用的 46 場颱風中，其中所造成最大示性波高大於 7m 對於安平港有較大影響僅莫拉克(MORAKOT, 1998)，其路徑為第三路徑。

5m 至 7m 波高的颱風包括奇比(CHEBI, 2001)、尤特(UTOR, 2001)、敏督利(MINDULLE, 2004)、珍珠(CHANCHU, 2006)、碧利斯(BILIS, 2006)、聖帕(SEPAT, 2007)、風神(FENGSHEN, 2008)、鳳凰(FUNGWONG, 2008)、如麗(NURI, 2008)及蓮花(LINFA, 2009)等。上述波高大於 5m 以上的 15 個颱風，其中有 5 個的路徑是屬於東向西穿過臺灣本島的颱風，其餘皆是屬於臺灣西南側往北行進或是臺灣南側外海自東向西前進的颱風。

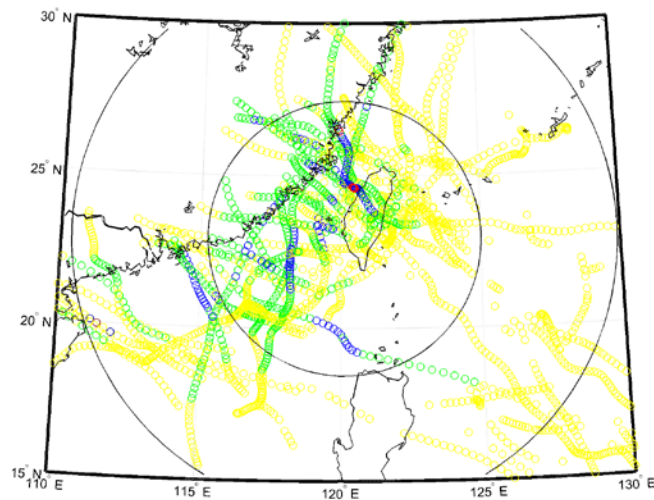


圖 3.2 颱風中心位置與相對應安平港波高資料空間分布圖

圖 3.3 中發現對高雄港波浪造成最大影響的颱風中心位置是在臺灣高雄外海，見圖中紅色資料點(對應波高 7m 以上)，藍色資料點(對應波高 5m 至 7m)則分布於臺灣西北與西南側，綠色資料點(3m 至 5m)主要分布圖中西半部，僅有少數位於東半部，黃色資料點(對應波高 1m 至 3m)則分布於臺灣周邊海域。為能標出各資料點與高雄港的相對距離，故以高雄港為中心繪製半徑 500km 與半徑 1000km 的同心圓分界線，圖 3.3 中可發現紅色、藍色資料點幾乎發生於半徑 500km 的距離內，顯示以高雄港而言，颱風只有在中心距離靠近高雄港 500km 以內且其中心位於臺灣西側才較有機會造成 5m 以上的示性波高。綠色與黃色資料點分布則較廣。



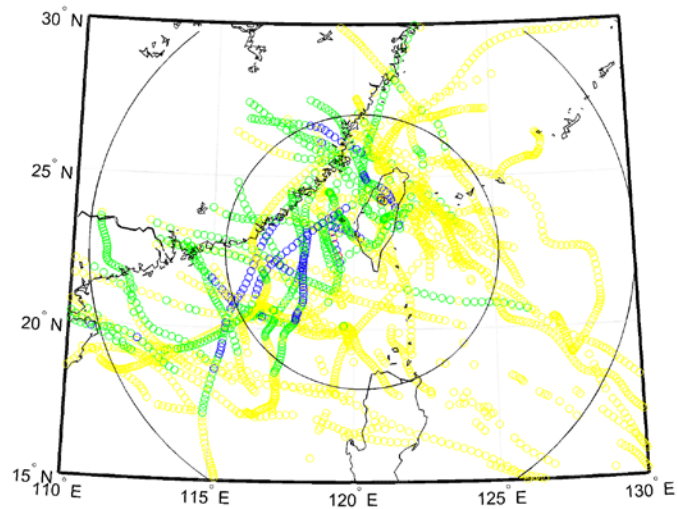


圖 3.3 颱風中心位置與相對應高雄港波高資料空間分布圖

在高雄港所選用的 46 場颱風中，其中所造成最大示性波高大於 7m 的僅有奇比(CHEBI, 2001)，是屬於第七路徑。5m 至 7m 波高的颱風共有 11 場，這 11 場中以路徑特性來看分成三種，第一種如珍珠(CHANCHU, 2006)、蓮花(LINFA, 2009)、梅姬(MEGI, 2010)與泰利(TALIM, 2012)等四場第九路徑的颱風。第二種為海棠(HAITANG, 2005)、碧利斯(BILIS, 2006)、鳳凰(FONGWONG, 2008)及凡那比(FANAPI, 2010)等四場自東向西穿過臺灣本島的颱風。第三種則為颱風自東向西經過臺灣南側與菲律賓海域的颱風，有如麗(NURI, 2008)、尼莎(NESAT, 2011)及天兔(USAGI, 2013)等。

## 3.2 類神經颱風波浪模式

### 3.2.1 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； $\theta_i$ 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 $\theta_1$ 及 $\theta_2$ ，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 $\delta_1$ 與輸出層差距量 $\delta_2$

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

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

### (3) 計算加權值矩陣的修正量 $\Delta W$

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  $\eta$  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， $\delta_j^n$  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 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 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。

### 3.2.2 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 3.4 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。

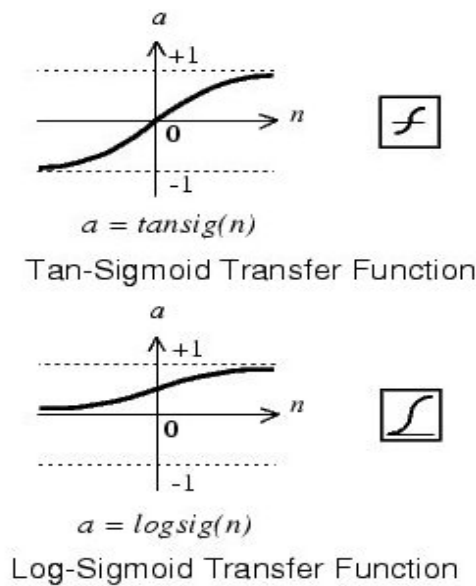


圖 3.4 正切雙彎曲轉換函數與雙彎曲函數

### 3.2.3 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。

### 3.2.4 資料分類

本計畫依循往昔本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安平港及高雄港波浪推算模式，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。

### 3.2.5 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( $\theta_1$ )、3. 颱風侵襲角( $\theta_3$ )、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( $\theta_1$ )、颱風移動方位角( $\theta_2$ )，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。 $\theta_1$ 與 $\theta_2$ 如圖 3.5 所示。

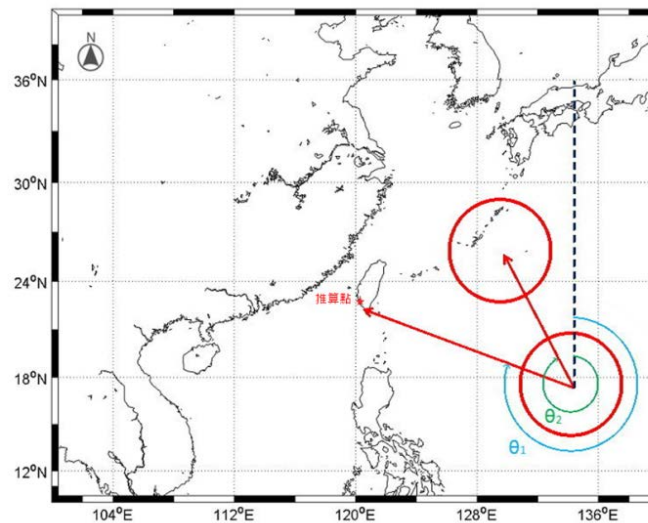


圖 3.5 颱風中心對目標點方位角  $\theta_1$  與颱風移動方位角  $\theta_2$  示意圖

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)， $\theta_3$ 定義為颱風侵襲角。以圖 3.5 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  $\theta_3$  在  $0^\circ$  至  $180^\circ$  則目標推算點所面臨的是颱風的左半圓，反之，若  $\theta_3$  在  $0^\circ$  至  $-180^\circ$  則目標推算點所面臨的是颱風的右半圓。圖 3.5 中  $\theta_1$  小於  $\theta_2$ ，故  $\theta_3$  為正值，顯示目標點面臨的是颱風的左半圓。

本計畫收集近年來參數化風場模型的相關文獻，選擇三種常用的參數化颱風風場模型以進行測試，風場模型包括：1. 中央氣象局提供之 CWB Model(參見吳，2014)；2. SLOSH model；3. Rankin-Vortex Model(RVM)。以三種風場模型針對臺北港現有風速資料之 21 場颱風進行推算並比較其結果如表 3.3。

表 3.3 三種風場模型的比較表

年份	颱風名稱	CWB model				SLOSH model				RVM			
		$\Delta V_{s,p}$ (m/s)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	$R^2$	$\Delta V_{s,p}$ (m/s)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	$R^2$	$\Delta V_{s,p}$ (m/s)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	$R^2$
2000	巴比倫	-0.22	34	1.97	0.47	2.00	31	2.50	0.44	2.84	30	3.00	0.60
2001	納莉	4.60	-7	4.58	0.29	5.87	-8	4.18	0.40	7.72	-9	4.48	0.68
2002	雷馬遜	-5.80	-16	5.81	0.14	-4.78	-16	5.30	0.21	-4.08	-16	6.68	0.35
2002	辛樂克	-2.85	-11	3.69	0.58	-0.54	-3	3.68	0.56	3.65	-3	4.04	0.73
2004	敏督利	9.80	-31	4.92	0.05	14.25	-31	6.26	0.07	12.42	-31	5.79	0.11
2004	蘭寧	6.46	10	5.48	0.28	8.35	9	6.29	0.24	9.17	11	6.61	0.42
2010	凡那比	-1.35	-17	4.21	0.57	0.39	-17	3.71	0.66	3.79	-17	4.24	0.83
2010	梅姬	-10.31	-82	7.05	0.18	-11.69	27	7.60	0.02	-13.58	37	9.73	-0.38
2011	艾利	-12.89	-8	4.38	0.05	-9.81	-5	3.47	0.18	-13.56	-84	5.33	-0.26
2011	桑達	-2.43	4	5.06	0.48	-1.47	4	5.35	0.39	-8.22	0	7.39	0.50
2011	米雷	-9.43	-17	5.35	0.45	-5.95	-15	4.11	0.52	-5.83	-16	6.54	0.53
2011	南瑪都	-10.25	-4	4.13	0.29	-7.27	-3	3.99	0.20	-6.63	-2	5.81	0.29
2012	泰利	-11.90	0	2.82	0.27	-6.58	0	2.44	0.35	-11.29	0	3.43	0.79
2012	杜蘇芮	-15.11	4	5.00	0.39	-13.00	-7	3.95	0.43	-10.53	-7	3.91	0.46
2012	蘇拉	-2.29	16	6.79	0.31	1.06	16	6.70	0.23	2.83	17	8.23	0.48
2012	海葵	-5.52	-4	3.27	0.72	-3.91	-4	2.65	0.70	-3.04	-6	2.71	0.80
2012	啟德	-11.32	-1	3.82	0.18	-10.73	-2	3.27	0.31	-8.88	52	3.46	0.35
2012	天秤	0.51	-7	3.11	0.33	4.31	-7	3.35	0.33	1.17	-120	3.53	0.74
2013	蘇力	-6.71	-8	6.42	0.37	-2.72	-8	5.84	0.49	2.57	-6	5.83	0.74
2013	西馬隆	-21.73	-6	7.09	0.21	-19.38	-6	6.14	0.20	-19.77	-12	6.58	0.20
2013	康芮	-7.24	-19	5.60	0.13	-1.20	-19	5.52	0.14	-4.00	-19	5.90	0.34
	絕對平均值	7.56	14.57	4.79	0.32	6.44	11.33	4.59	0.34	7.41	23.57	5.39	0.44



此三種風場模型於不同時期採用了不同的探空資料或空間實測風速來進行經驗公式的擬合，其公式型態接近，但可能由於其來源資料的地域特性不同而有不同的參數結果。表 3.3 中顯示三種風場模型於 21 場颱風所推算出的風速結果與臺北港實測風速資料間的判定係數(R-square,  $R^2$ )、均方根誤差(RMSE, root mean squared error)、颱風最大風速誤差  $\Delta V_{s,p}$  及最大風速發生時間誤差  $\Delta t_p$ 。而將各場颱風最大風速誤差取絕對值後進行平均可以發現以CWM model的誤差最大，其值為 7.56m/s。RVM的誤差次之，其值為 7.41m/s，而SLOSH model最小，其值為 6.44m/s。以最大風速發生時間的誤差而言，SLOSH model的誤差較小，其值為 11.33 小時，CWB model次之，而RVM最差，其最大風速發生時間的誤差達 23.57 小時。整體RMSE是以SLOSH model最佳，CWB model次之，RVM最差。判定係數是以SLOSH model較佳，RVM次之，而CWB model較差。經以上 21 場颱風的風速推算精度測試後發現SLOSH model在各項比較中皆較往昔使用的RVM準確，故本計畫採用SLOSH model來進行模型風場的推估。

SLOSH 參數風場模式可透過颱風中心位置與相關參數(壓力、影響半徑範圍)來推算颱風風場分布。其理論公式如下：

$$V_r = V_{\max} \frac{2R_m r}{R_m^2 + r^2} \quad (3-17)$$

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Knaff(2007)之公式：

$$R_m = 66.785 - 0.09102V_{\max} + 1.0619(|\phi| - 25) \quad (3-18)$$

SLOSH 風場模型的公式是以水平的壓力梯度風場分布狀況，而本文所探討的風速為垂直方向的海面 10m 上空風速，因此公式須作一個修正，修正方式以一個修正係數修正之，其公式如下：

$$V_{10} = K_m V \quad (3-19)$$

其中， $K_m$ 為一修正係數，一般建議SLOSH Wind Model的修正係數為 $0.75 < K_m < 0.8$ 。本研究修正係數取 0.8。

颱風在北半球為逆時鐘方向旋轉，在行徑過程中颱風的右半邊的風速會是增強的趨勢，颱風的左半邊的風速會是減弱的趨勢，須加上颱風行進狀態時的修正項風速修正，其修正公式如下：

$$U(r) = \frac{R_m r}{R_m^2 + r^2} V_f \quad (3-20)$$

其中， $U$ 為距離颱風中心 $r$ 公里處之修正風速(m/s)、 $r$ 為颱風中心至目標點的距離(km)、 $R_m$ 為最大暴風半徑(km)， $V_f$ 為颱風前進速度(m/s)。最終所求目標點海面 10m風速 $V_{10}$  公式如下：

$$V_{10} = V(r) + U(r) \quad (3-21)$$

由以上之說明可知，利用SLOSH模型颱風模式計算的風場，颱風中心前進速度 $V_f$ 與方向 $\phi$ 、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 $D$ 、 $\theta_1$ 、 $\theta_3$ ，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，以期望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。以颱風資料相對應之波浪資料來繪製距離-波高分布圖，如圖 3.6 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。

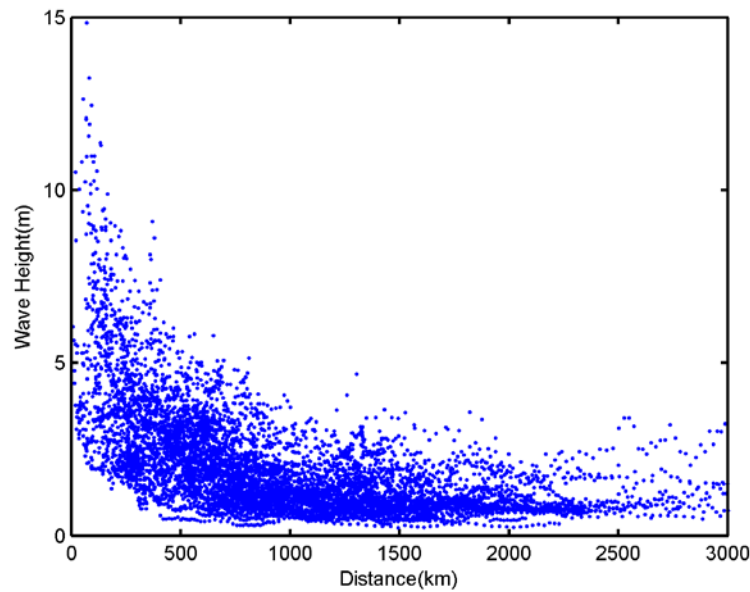


圖 3.6 颱風距離與目標點波高分布

## (3) 目標點的方位角 $\theta_1$ ：

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  $0^\circ$ ，若  $\theta_1$  為  $90^\circ$  表示颱風是在目標點的左側，反之若  $\theta_1$  為  $270^\circ$  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  $\theta_3$ ：

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 3.7 所示，圖 3.7 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SLOSH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  $\theta_3$  與  $\theta_1$  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  $\theta_3$  隱含了  $\theta_2$  (颱風移動方位角) 的資訊，意即輸入  $\theta_3$  也輸入了  $\theta_2$ ，也等於將颱風的行進路徑一起納入考量。

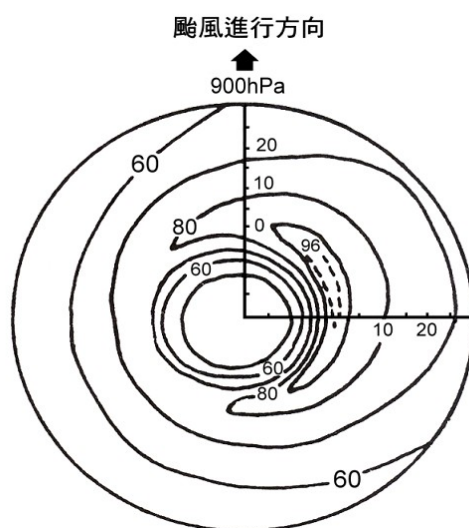


圖 3.7 颱風在等壓面上內平均風速分布示意圖(引自中央氣象局)

(5) 目標點 10m風向  $V_{deg}$ ：

$V_{deg}$  是由 SLOSH 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。

### 3.3 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，分別為判定係數(R-square,  $R^2$ )、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  $\Delta t_p$ 。

$$R^2 = \frac{\left( \sum_m \sum_n ((H_{s,obs})_{mn} - \bar{H}_{s,obs}) ((H_{s,num})_{mn} - \bar{H}_{s,num}) \right)^2}{\left( \sum_m \sum_n ((H_{s,obs})_{mn} - \bar{H}_{s,obs})^2 \right) \left( \sum_m \sum_n ((H_{s,num})_{mn} - \bar{H}_{s,num})^2 \right)} \quad (3-22)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{mn} \sum_m \sum_n ((H_{s,obs})_{mn} - (H_{s,num})_{mn})^2} \quad (3-23)$$

$$\Delta H_{s,p} = MAX(H_{s,num}) - MAX(H_{s,obs}) \quad (3-24)$$

$$\Delta t_p = t_{p,num} - t_{p,obs} \quad (3-25)$$

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(3-24)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(3-25)可知，若  $\Delta t_p$  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  $\Delta t_p$  的平均值部分採用絕對值平均來表示。以安平港與高雄港選擇的各場實測颱風波浪資料進行建立及驗證，其結果如表 3.4 與表 3.5 所示。

表 3.4 安平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)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	$R^2$	$H_{max}$ (m)
2000	碧利斯	BILIS	0.84	1.00	0.53	0.76	3.52
2001	奇比	CHEBI	-2.57	2.00	0.75	0.76	6.92
2001	尤特	UTOR	-1.42	21.00	1.80	0.14	5.53
2001	納莉	NARI	0.63	27.00	0.37	0.49	2.58
2001	利奇馬	LEKIMA	-0.04	-13.00	0.39	0.66	2.36
2002	娜克莉	NAKRI	1.32	1.00	0.93	0.26	3.82
2003	伊布都	IMBUDO	-0.31	9.00	0.67	0.56	3.9
2003	莫拉克	MORAKOT	1.55	-4.00	1.10	0.67	2.75
2003	科羅旺	KROVANH	-0.48	4.00	0.59	0.45	3.18
2003	杜鵑	DUJUAN	0.40	-5.00	0.58	0.88	3.52
2004	敏督利	MINDULLE	-0.51	-21.00	0.60	0.74	5.01
2004	南瑪都	NANMADOL	0.90	-6.00	0.77	0.12	2.91
2005	海棠	HAITANG	-0.21	8.00	0.63	0.83	4.76
2005	馬莎	MATSA	0.07	-3.00	0.41	0.58	2.52
2005	珊瑚	SANVU	-0.24	-8.00	0.68	0.88	4.72
2005	泰利	TALIM	0.80	6.00	0.59	0.83	4.05
2005	丹瑞	DAMREY	0.12	-8.00	0.56	0.59	2.73
2005	龍王	LONGWANG	2.42	1.00	0.96	0.92	2.06
2006	珍珠	CHANCHU	-0.08	-9.00	0.64	0.86	5.8
2006	碧利斯	BILIS	-1.51	-14.00	1.11	0.56	5.36
2006	凱米	KAEMI	0.22	-13.00	0.65	0.72	4.08
2007	聖帕	SEPAT	-0.65	5.00	1.31	0.46	5.38
2007	柯羅莎	KROSA	0.11	9.00	0.92	0.42	4.08
2008	風神	FENGSHEN	-1.90	2.00	0.72	0.92	6.16
2008	鳳凰	FUNG_WONG	-1.30	-13.00	0.90	0.88	5.92
2008	如麗	NURI	-0.73	4.00	0.57	0.86	5.08
2009	蓮花	LINFA	-1.61	-7.00	0.67	0.81	6.9
2009	南卡	NANGKA	0.62	2.00	0.66	0.64	3.35
2009	莫拉菲	MOLAVE	0.42	-3.00	0.53	0.92	3.29
2009	莫拉克	MORAKOT	-6.94	-25.00	1.56	0.83	11.9
2010	萊羅克	LIONROCK	0.04	6.00	0.99	0.32	4.11
2010	凡那比	FANAPI	-0.75	-1.00	0.81	0.79	5.72
2010	梅姬	MEGI	-0.96	6.00	0.57	0.88	6.08
2011	米雷	MEARI	0.72	0.00	0.76	0.00	2.13
2012	蘇拉	SAOLA	0.40	16.00	0.37	0.61	2.4
2012	啟德	KAI_TAK	0.35	-4.00	0.59	0.59	2.76
2012	天秤	TEMBIN	-0.01	-8.00	0.66	0.46	3.67
2013	蘇力	SOULIK	1.19	-5.00	0.58	0.81	2.92
2013	尤特	UTOR	-0.13	-2.00	0.94	0.53	3.94
2013	潭美	TRAMI	-0.61	-11.00	0.42	0.85	4.2
2013	康芮	KONG_REY	-1.13	11.00	0.44	0.77	3.13
2013	天兔	USAGI	-1.38	-4.00	0.56	0.85	5.92
2014	雷馬遜	RAMMASUN	0.55	5.00	0.53	0.76	2.77
2014	麥德姆	MATMO	-1.47	-8.00	0.87	0.53	6
2014	卡玫基	KALMAEGI	-0.70	-12.00	0.73	0.41	3.53
2014	鳳凰	FUNG_WONG	0.31	10.00	0.57	0.15	2.75
絕對平均值			0.90	7.89	0.73	0.64	4.26

由表 3.4 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

$\Delta H_{s,p}$ 以莫拉克(2009)颱風誤差較大，其誤差達-6.94m。最大波高發生時間誤差 $\Delta t_p$ 則以納莉(2001)相差最多，相差 27 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪之均方根誤差 $RMSE$ 最大為莫拉克(2009)，誤差值為 1.56m。推算波高結果與實測波高的 $R^2$ 則以南瑪都(2004)最差，其值為 0.12。此外在驗證組中 15 場颱風波浪推算結果與實測結果最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 以莫拉克(2003)相差最大，誤差 1.55m。最大波高發生時間誤差 $\Delta t_p$ 以尤特(2001)相差最多，誤差 21 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪之 $RMSE$ 最大為尤特(2001)，其值為 1.8m。推算波高結果與實測波高的 $R^2$ 最差為米雷(2011)。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 0.90m，最大波高發生時間誤差絕對值 $\Delta t_p$ 約為 7.89 小時， $RMSE$ 約為 0.73m， $R^2$ 約為 0.64。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 $R^2$ 越高都能顯示模式模擬準確度越高。由表 3.5 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 32 場颱風波浪推算結果與實測結果最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 以如麗(2008)颱風誤差較大，其誤差達 2.4m。最大波高發生時間誤差 $\Delta t_p$ 則以杜鵑(2003)相差最多，相差 23 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪之均方根誤差 $RMSE$ 最大為杜鵑(2003)，誤差值為 1.17m。推算波高結果與實測波高的 $R^2$ 則以杜鵑(2003)最差，其值為 0.31。此外在驗證組中 14 場颱風波浪推算結果與實測結果最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 以娜克莉(2002)相差最大，誤差 2.36m。最大波高發生時間誤差 $\Delta t_p$ 以馬莎(2005)相差最多，誤差 35 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪之 $RMSE$ 最大為伊布都(2003)，其值為 0.79m。推算波高結果與實測波高的 $R^2$ 最差為娜克莉(2002)的 0.27。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 0.76m，最大波高發生時間誤差絕對值 $\Delta t_p$ 約為 5.83 小時， $RMSE$ 約為 0.59m， $R^2$ 約為 0.75。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。整體評估安平港類神經推算結果中的最大波高其誤差平均值為-0.30m，標準差為 1.4m；高雄港則為-0.14m與 0.99m，顯示類神經模式於高雄港

的推算能力較安平港好，但兩港的模式推算結果都有些微低估的現象。

表 3.5 高雄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)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	$R^2$	$H_{max}$ (m)
2001	奇比	CHEBI	-1.44	4.00	0.43	0.94	7.95
2001	利奇馬	LEKIMA	-0.47	-6.00	0.44	0.76	3.77
2002	娜克莉	NAKRI	2.36	1.00	0.72	0.27	3.23
2003	伊布都	IMBUDO	-0.82	10.00	0.79	0.56	4.16
2003	莫拉克	MORAKOT	0.45	-2.00	0.73	0.74	3.21
2003	科羅旺	KROVANH	-0.13	4.00	0.43	0.83	3.13
2003	杜鵬	DUJUAN	-0.66	23.00	1.17	0.31	4.96
2004	康森	CONSON	0.41	-2.00	0.34	0.52	2.13
2004	敏督利	MINDULLE	-0.26	-20.00	0.73	0.71	4.94
2004	南瑪都	NANMADOL	1.53	1.00	0.64	0.71	4.06
2005	海棠	HAITANG	-1.55	7.00	0.72	0.94	6.46
2005	馬莎	MATSA	0.77	35.00	0.66	0.49	3.13
2005	珊瑚	SANVU	-0.54	1.00	0.63	0.81	4.75
2005	泰利	TALIM	0.16	2.00	0.54	0.86	4.85
2005	丹瑞	DAMREY	-0.72	2.00	0.49	0.66	3.78
2005	龍王	LONGWANG	1.68	-2.00	0.71	0.76	2.56
2006	珍珠	CHANCHU	-0.27	0.00	0.56	0.92	6.39
2006	碧利斯	BILIS	-2.04	-2.00	0.85	0.83	6.02
2007	柯羅莎	KROSA	0.11	-3.00	0.80	0.50	4.1
2008	風神	FENGSHEN	-1.25	10.00	0.47	0.88	4.43
2008	卡玫基	KALMAEGI	0.22	2.00	0.34	0.86	3.02
2008	鳳凰	FUNG_WONG	0.04	-17.00	0.67	0.79	5.08
2008	如麗	NURI	-2.40	4.00	0.87	0.94	5.99
2008	辛樂克	SINLAKU	1.33	20.00	0.70	0.67	2.77
2008	哈格比	HAGUPIT	0.24	8.00	0.52	0.92	3.42
2008	薔蜜	JANGMI	1.01	-3.00	0.71	0.44	3.4
2009	蓮花	LINFA	-0.49	-3.00	0.50	0.92	6.31
2009	南卡	NANGKA	0.48	1.00	0.31	0.72	2.31
2009	莫拉菲	MOLAVE	0.30	-15.00	0.54	0.81	3.53
2009	芭瑪	PARMA	-0.34	-1.00	0.37	0.64	3.03
2010	萊羅克	LIONROCK	0.32	1.00	0.70	0.71	4.59
2010	莫蘭蒂	MERANTI	-0.01	-1.00	0.64	0.69	4.75
2010	凡那比	FANAPI	0.99	-1.00	0.46	0.92	5.69
2010	梅姬	MEGI	-1.10	9.00	0.52	0.92	6.66
2011	南瑪都	NANMADOL	0.29	-4.00	0.54	0.81	4.48
2011	尼莎	NESAT	-2.09	9.00	0.88	0.90	5.21
2012	泰利	TALIM	-0.94	-6.00	0.69	0.90	6.55
2012	杜蘇芮	DOKSURI	0.61	-1.00	0.58	0.83	2.62
2012	蘇拉	SAOLA	0.81	-4.00	0.40	0.79	2.98
2013	尤特	UTOR	0.06	0.00	0.42	0.92	3.75
2013	潭美	TRAMI	0.06	1.00	0.60	0.76	3.7
2013	康芮	KONG_REY	-0.46	-1.00	0.38	0.83	3.34
2013	天兔	USAGI	-1.08	-3.00	0.40	0.96	5.75
2014	哈吉貝	HAGIBIS	-0.27	1.00	0.52	0.49	3.2
2014	雷瑪遜	RAMMASUN	-0.28	13.00	0.42	0.83	3.51
2014	卡玫基	KALMAEGI	-0.94	2.00	0.68	0.66	3.98
絕對平均值			0.76	5.83	0.59	0.75	4.30



## 第四章 M5 最小化模式樹波浪推算模式

為提升極值統計樣本的品質，本計畫除持續更新往昔類神經網路波浪推算模式外，並以 M5 最小化模式樹進行波浪推算模式之建立。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。期望能在提升颱風波浪推算的能力，以增加設計波高估算的合理性。

### 4.1 模式介紹

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。

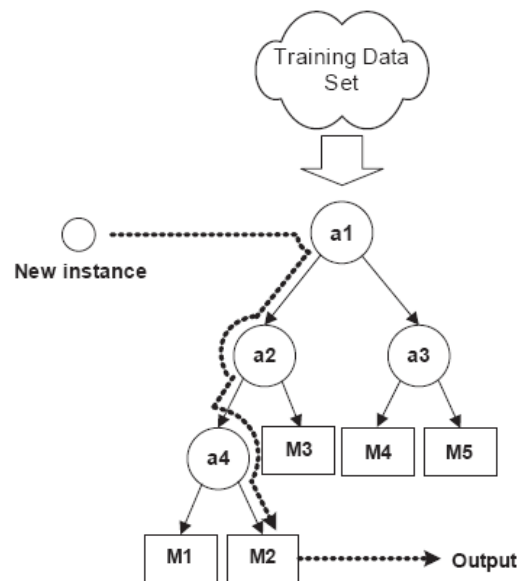


圖 4.1 層級模組法示意圖(ai 為屬性，Mi 為分群之模組)

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

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

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，以安平港與高雄港的颱風資料進行推估颱風所造成的波浪大小。

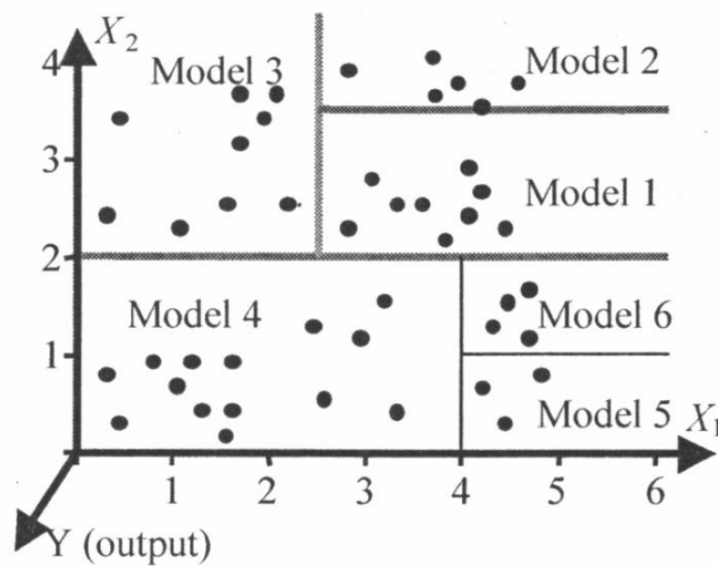


圖 4.2 M5 最小化模式樹之分組樣本在變數 $x_1$ 及 $x_2$ 分布與輸出 $y$ 之示意圖

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( $\theta_1$ )、3. 颱風侵襲角( $\theta_3$ )、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( $\nu$ )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安平港波浪推算模式其運算規則達 581 組，而高雄港波浪推算模式則為 461 組，顯示安平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，安平港與高雄港的波浪模式推算結果驗證如表 4.1 及表 4.2。

表 4.1 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，分別為判定係數、均方根誤差、颱風波浪最大波高誤差及最大波高發生時間誤差。

**表 4.1 安平港 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)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	$R^2$	$H_{max}$ (m)
2000	碧利斯	BILIS	1.04	-5.00	0.78	0.62	3.52
2001	奇比	CHEBI	-2.01	1.00	0.46	0.94	6.92
2001	尤特	UTOR	-1.63	14.00	1.25	0.55	5.53
2001	納莉	NARI	-0.01	22.00	0.25	0.73	2.58
2001	利奇馬	LEKIMA	0.49	-75.00	0.61	0.40	2.36
2002	娜克莉	NAKRI	-0.82	-1.00	0.52	0.57	3.82
2003	伊布都	IMBUDO	-0.94	11.00	0.50	0.82	3.9
2003	莫拉克	MORAKOT	-0.54	-1.00	0.63	0.71	2.75
2003	科羅旺	KROVANH	-0.40	0.00	0.31	0.81	3.18
2003	杜鵑	DUJUAN	-0.18	0.00	0.49	0.88	3.52
2004	敏督利	MINDULLE	-1.28	-11.00	0.82	0.48	5.01
2004	南瑪都	NANMADOL	-0.65	-7.00	0.40	0.51	2.91
2005	海棠	HAITANG	-1.04	13.00	1.03	0.61	4.76
2005	馬莎	MATSA	1.14	-1.00	0.64	0.46	2.52
2005	珊瑚	SANVU	-0.45	-8.00	1.02	0.58	4.72
2005	泰利	TALIM	-0.15	7.00	0.49	0.83	4.05
2005	丹瑞	DAMREY	0.15	-9.00	0.32	0.85	2.73
2005	龍王	LONGWANG	1.64	3.00	0.67	0.87	2.06
2006	珍珠	CHANCHU	-0.36	-18.00	0.87	0.72	5.8
2006	碧利斯	BILIS	-1.43	-11.00	0.58	0.84	5.36
2006	凱米	KAEMI	-0.22	-13.00	0.31	0.95	4.08
2007	聖帕	SEPAT	-1.33	2.00	0.61	0.81	5.38
2007	柯羅莎	KROSA	-0.46	24.00	1.10	0.16	4.08
2008	風神	FENGSHEN	-1.72	-4.00	0.57	0.97	6.16
2008	鳳凰	FUNG_WONG	-2.14	-4.00	1.07	0.85	5.92
2008	如麗	NURI	-0.76	-6.00	0.45	0.93	5.08
2009	蓮花	LINFA	-1.87	1.00	0.58	0.87	6.9
2009	南卡	NANGKA	-0.85	3.00	0.30	0.78	3.35
2009	莫拉菲	MOLAVE	0.35	-12.00	0.33	0.90	3.29
2009	莫拉克	MORAKOT	-7.76	-22.00	1.85	0.46	11.9
2010	萊羅克	LIONROCK	-0.11	-2.00	0.63	0.55	4.11
2010	凡那比	FANAPI	-1.87	0.00	0.65	0.90	5.72
2010	梅姬	MEGI	-1.11	-1.00	0.44	0.95	6.08
2011	米雷	MEARI	-0.05	-1.00	0.21	0.73	2.13
2012	蘇拉	SAOLA	-0.07	16.00	0.34	0.64	2.4
2012	啟德	KAI_TAK	0.13	-4.00	0.42	0.70	2.76
2012	天秤	TEMBIN	-0.70	-20.00	0.44	0.70	3.67
2013	蘇力	SOULIK	0.10	-6.00	0.30	0.92	2.92
2013	尤特	UTOR	-1.19	-3.00	0.44	0.90	3.94
2013	潭美	TRAMI	-0.36	-5.00	0.54	0.73	4.2
2013	康芮	KONG_REY	-0.32	11.00	0.37	0.78	3.13
2013	天兔	USAGI	-0.60	-5.00	0.65	0.83	5.92
2014	雷馬遜	RAMMASUN	-0.13	2.00	0.23	0.95	2.77
2014	麥德姆	MATMO	-2.31	-1.00	0.68	0.66	6
2014	卡玫基	KALMAEGI	-0.77	-2.00	0.31	0.91	3.53
2014	鳳凰	FUNG_WONG	-0.42	37.00	0.39	0.46	2.75
絕對平均值			0.96	9.24	0.58	0.73	4.26

由表 4.1 中可發現安平港學習組中 31 場颱風波浪推算結果與實測結果最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 以莫拉克(2009)颱風誤差較大，其峰值大小相差 7.26m。最大波高發生時間誤差 $\Delta t_p$ 以利奇馬(2001)相差最多，差 75 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪之均方根誤差 $RMSE$ 最大為莫拉克(2009)，其誤差達 1.85m。推算波高結果與實測波高的判定係數 $R^2$ 則以柯羅莎(2007)最差，其值為 0.16。此外在驗證組中 15 場颱風波浪推算結果與實測結果最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 以麥德姆(2014)相差最大，誤差 2.31m。最大波高發生時間誤差 $\Delta t_p$ 以鳳凰(2014)相差最多，誤差 37 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪之 $RMSE$ 最大為尤特(2001)，其值為 1.25m。推算波高結果與實測波高 $R^2$ 最差為鳳凰(2014)的 0.46。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 0.96m，最大波高發生時間誤差絕對值 $\Delta t_p$ 約為 9.24 小時， $RMSE$ 約為 0.58m， $R^2$ 約為 0.73。

由表 4.2 中可發現高雄港學習組中 32 場颱風波浪推算結果與實測結果最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 以海棠(2005)颱風誤差較大，其值為 2.38m。最大波高發生時間誤差 $\Delta t_p$ 以丹瑞(2005)相差最多，與實際資料相差 49 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪之均方根誤差 $RMSE$ 最大為杜鵑(2003)，其誤差達 1.06m。推算波高結果與實測波高的判定係數 $R^2$ 亦以杜鵑(2003)最差，其值為 0.34。此外在驗證組中 14 場颱風波浪推算結果與實測結果最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 以娜克莉(2001)相差最大，誤差 2.16m。最大波高發生時間誤差 $\Delta t_p$ 以敏督利(2004)相差最多，誤差 20 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪之均方根誤差 $RMSE$ 最大為娜克莉(2003)，其值為 1.07m。推算波高結果與實測波高的 $R^2$ 最差為馬莎(2005)的 0.32。平均來說模式推算結果的各颱風波高峰值誤差絕對值 $\Delta H_{s,p}$ 約為 0.82m，波高峰值發生時間誤差絕對值 $\Delta t_p$ 約為 6.87 小時， $RMSE$ 約為 0.60m， $R^2$ 約為 0.74。以四個指標來評估安平港與高雄港的M5 最小化模式樹波浪推算模式，發現高雄港的推算能力較安平港好。

表 4.2 高雄港 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)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	$R^2$	$H_{max}$ (m)
2001	奇比	CHEBI	-1.71	-1.00	0.52	0.94	7.95
2001	利奇馬	LEKIMA	-0.62	-8.00	0.44	0.75	3.77
2002	娜克莉	NAKRI	2.16	0.00	1.07	0.51	3.23
2003	伊布都	IMBUDO	-0.45	1.00	0.87	0.49	4.16
2003	莫拉克	MORAKOT	0.77	-4.00	0.77	0.82	3.21
2003	科羅旺	KROVANH	0.50	7.00	0.56	0.81	3.13
2003	杜鵑	DUJUAN	-0.44	19.00	1.06	0.34	4.96
2004	康森	CONSON	0.06	21.00	0.39	0.45	2.13
2004	敏督利	MINDULLE	-0.47	-20.00	0.72	0.70	4.94
2004	南瑪都	NANMADOL	0.98	2.00	0.44	0.76	4.06
2005	海棠	HAITANG	-2.38	1.00	0.90	0.93	6.46
2005	馬莎	MATSA	0.82	-7.00	0.66	0.32	3.13
2005	珊瑚	SANVU	-0.60	2.00	0.97	0.57	4.75
2005	泰利	TALIM	0.13	2.00	0.42	0.91	4.85
2005	丹瑞	DAMREY	-0.19	49.00	0.59	0.63	3.78
2005	龍王	LONGWANG	1.15	-2.00	0.58	0.86	2.56
2006	珍珠	CHANCHU	-1.44	2.00	0.58	0.94	6.39
2006	碧利斯	BILIS	-2.17	6.00	0.96	0.73	6.02
2007	柯羅莎	KROSA	-0.55	-4.00	0.83	0.39	4.1
2008	風神	FENGSHEN	-0.38	-2.00	0.45	0.85	4.43
2008	卡玖基	KALMAEGI	-0.13	-11.00	0.27	0.91	3.02
2008	鳳凰	FUNG_WONG	-0.64	-17.00	0.54	0.90	5.08
2008	如麗	NURI	-2.01	3.00	0.81	0.89	5.99
2008	辛樂克	SINLAKU	1.31	4.00	0.76	0.77	2.77
2008	哈格比	HAGUPIT	-0.14	0.00	0.42	0.86	3.42
2008	薔蜜	JANGMI	1.53	0.00	0.83	0.45	3.4
2009	蓮花	LINFA	-1.31	-3.00	0.70	0.85	6.31
2009	南卡	NANGKA	0.96	1.00	0.32	0.65	2.31
2009	莫拉菲	MOLAVE	0.47	-17.00	0.79	0.48	3.53
2009	芭瑪	PARMA	-0.76	-2.00	0.43	0.48	3.03
2010	萊羅克	LIONROCK	0.32	-2.00	0.54	0.80	4.59
2010	莫蘭蒂	MERANTI	0.05	-1.00	0.50	0.81	4.75
2010	凡那比	FANAPI	-0.64	-2.00	0.65	0.89	5.69
2010	梅姬	MEGI	-1.57	4.00	0.53	0.92	6.66
2011	南瑪都	NANMADOL	0.10	-5.00	0.61	0.79	4.48
2011	尼莎	NESAT	-1.38	-4.00	0.62	0.92	5.21
2012	泰利	TALIM	-1.46	1.00	0.85	0.84	6.55
2012	杜蘇芮	DOKSURI	1.09	8.00	0.58	0.68	2.62
2012	蘇拉	SAOLA	-0.34	-3.00	0.31	0.88	2.98
2013	尤特	UTOR	0.02	-11.00	0.36	0.96	3.75
2013	潭美	TRAMI	-0.26	12.00	0.56	0.67	3.7
2013	康芮	KONG_REY	-0.91	5.00	0.30	0.91	3.34
2013	天兔	USAGI	-1.08	-11.00	0.59	0.86	5.75
2014	哈吉貝	HAGIBIS	-0.40	-2.00	0.53	0.56	3.2
2014	雷瑪遜	RAMMASUN	-0.19	24.00	0.32	0.89	3.51
2014	卡玖基	KALMAEGI	-0.76	3.00	0.31	0.92	3.98
絕對平均值			0.82	6.87	0.60	0.74	4.26

## 第五章 類神經與 M5 最小化模式樹模式特性分析

本章為比較港灣技術研究中心近年來所發展的類神經網路與M5最小化模式樹兩套波浪推算模式對於颱風波浪推算的適用性，故採用相同的訓練資料群與測試資料群來進行模式建構，再以相同的推算目標颱風的波浪推算結果進行特性分析。在上述相同基準下比較各場颱風的四個誤差指標，分別為判定係數 $R^2$ 、均方根誤差 $RMSE$ 、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 $\Delta t_p$ 。並針對其中最大波高誤差與最大波高發生時間誤差進行模式推算風險分析，來評估安平港與高雄港兩種模式推估結果的準確性及其誤差特性。此外本年度所更新的安平港與高雄港類神經網路波浪推算模式也與往昔所建立其他各港的類神經網路波浪推算模式之推算能力做比較，以了解各港由於地理位置及氣候特性不同而產生的差異。

### 5.1類神經與 M5 最小化模式樹波浪推算模式之比較

本節將安平港及高雄港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(以下簡稱類神經模式)之推算結果作比較，兩種模式皆採用往昔歷史資料來建立一『輸入-輸出』的計算方法，類神經模式先決定好網路架構，再經由訓練資料不斷的透過演算法修正網路中的各個權重來提升及輸出結果的精度。M5 模式則由輸入資料的特性以樹狀的觀念不斷劃分規則區，各個規則區中再透過線性回歸來完成計算。兩種方法雖有差異但皆適合用來模擬複雜的機制。安平港兩種模式推算結果與實測資料進行比較的 46 場颱風如表 5.1。以安平港 46 場颱風來看，波高峰值的推算精度以類神經模式較佳，但整體推算 $RMSE$ 及 $R^2$ 皆是以M5 最小化模式樹波浪推算模式較佳。由表 5.1 的結果比較中可以發現大部分颱風以兩種不同模式推估的結果類似，全部 46 場颱風中有 24 場颱風類神經網路模式與M5 模式的推算峰值誤差皆在 1m以內，顯示兩種模式在這些颱風的模擬有良好的結果。

表 5.1 安平港兩種波浪推算模式的誤差比較

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R <sup>2</sup>	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R <sup>2</sup>	$H_{obs}$ (m)
		類神經				M5				
2000	碧利斯(BILIS)	0.84	1.00	0.53	0.76	1.04	-5.00	0.78	0.62	3.52
2001	奇比(CHEBI)	-2.57	2.00	0.75	0.76	-2.01	1.00	0.46	0.94	6.92
2001	尤特(UTOR)	-1.42	21.00	1.80	0.14	-1.63	14.00	1.25	0.55	5.53
2001	納莉(NARI)	0.63	27.00	0.37	0.49	-0.01	22.00	0.25	0.73	2.58
2001	利奇馬(LEKIMA)	-0.04	-13.00	0.39	0.66	0.49	-75.00	0.61	0.40	2.36
2002	娜克莉(NAKRI)	1.32	1.00	0.93	0.26	-0.82	-1.00	0.52	0.57	3.82
2003	伊布都(IBMUDO)	-0.31	9.00	0.67	0.56	-0.94	11.00	0.50	0.82	3.9
2003	莫拉克(MORAKOT)	1.55	-4.00	1.10	0.67	-0.54	-1.00	0.63	0.71	2.75
2003	科羅旺(KROVANH)	-0.48	4.00	0.59	0.45	-0.40	0.00	0.31	0.81	3.18
2003	杜鵑(DUJUAN)	0.40	-5.00	0.58	0.88	-0.18	0.00	0.49	0.88	3.52
2004	敏督利(MINDULLE)	-0.51	-21.00	0.60	0.74	-1.28	-11.00	0.82	0.48	5.01
2004	南瑪都(NANMADOL)	0.90	-6.00	0.77	0.12	-0.65	-7.00	0.40	0.51	2.91
2005	海棠(HAITANG)	-0.21	8.00	0.63	0.83	-1.04	13.00	1.03	0.61	4.76
2005	馬莎(MATSA)	0.07	-3.00	0.41	0.58	1.14	-1.00	0.64	0.46	2.52
2005	珊瑚(SANVU)	-0.24	-8.00	0.68	0.88	-0.45	-8.00	1.02	0.58	4.72
2005	泰利(TALIM)	0.80	6.00	0.59	0.83	-0.15	7.00	0.49	0.83	4.05
2005	丹瑞(DAMREY)	0.12	-8.00	0.56	0.59	0.15	-9.00	0.32	0.85	2.73
2005	龍王(LONGWANG)	2.42	1.00	0.96	0.92	1.64	3.00	0.67	0.87	2.06
2006	珍珠(CHANCHU)	-0.08	-9.00	0.64	0.86	-0.36	-18.00	0.87	0.72	5.8
2006	碧利斯(BILIS)	-1.51	-14.00	1.11	0.56	-1.43	-11.00	0.58	0.84	5.36
2006	凱米(KAEMI)	0.22	-13.00	0.65	0.72	-0.22	-13.00	0.31	0.95	4.08
2007	聖帕(SEPAT)	-0.65	5.00	1.31	0.46	-1.33	2.00	0.61	0.81	5.38
2007	柯羅莎(KROSA)	0.11	9.00	0.92	0.42	-0.46	24.00	1.10	0.16	4.08
2008	風神(FENGSHEN)	-1.90	2.00	0.72	0.92	-1.72	-4.00	0.57	0.97	6.16
2008	鳳凰(FUNG_WONG)	-1.30	-13.00	0.90	0.88	-2.14	-4.00	1.07	0.85	5.92
2008	如麗(NURI)	-0.73	4.00	0.57	0.86	-0.76	-6.00	0.45	0.93	5.08
2009	蓮花(LINFA)	-1.61	-7.00	0.67	0.81	-1.87	1.00	0.58	0.87	6.9
2009	南卡(NANGKA)	0.62	2.00	0.66	0.64	-0.85	3.00	0.30	0.78	3.35
2009	莫拉菲(MOLAVE)	0.42	-3.00	0.53	0.92	0.35	-12.00	0.33	0.90	3.29
2009	莫拉克(MORAKOT)	-6.94	-25.00	1.56	0.83	-7.76	-22.00	1.85	0.46	11.9
2010	萊羅克(LIONROCK)	0.04	6.00	0.99	0.32	-0.11	-2.00	0.63	0.55	4.11
2010	凡那比(FANAPI)	-0.75	-1.00	0.81	0.79	-1.87	0.00	0.65	0.90	5.72
2010	梅姬(MEGI)	-0.96	6.00	0.57	0.88	-1.11	-1.00	0.44	0.95	6.08
2011	米雷(MEARI)	0.72	0.00	0.76	0.00	-0.05	-1.00	0.21	0.73	2.13
2012	蘇拉(SAOLA)	0.40	16.00	0.37	0.61	-0.07	16.00	0.34	0.64	2.4
2012	啟德(KAI_TAK)	0.35	-4.00	0.59	0.59	0.13	-4.00	0.42	0.70	2.76
2012	天秤(TEMBIN)	-0.01	-8.00	0.66	0.46	-0.70	-20.00	0.44	0.70	3.67
2013	蘇力(SOULIK)	1.19	-5.00	0.58	0.81	0.10	-6.00	0.30	0.92	2.92
2013	尤特(UTOR)	-0.13	-2.00	0.94	0.53	-1.19	-3.00	0.44	0.90	3.94
2013	潭美(TRAMI)	-0.61	-11.00	0.42	0.85	-0.36	-5.00	0.54	0.73	4.2
2013	康芮(KONG_REY)	-1.13	11.00	0.44	0.77	-0.32	11.00	0.37	0.78	3.13
2013	天兔(USAGI)	-1.38	-4.00	0.56	0.85	-0.60	-5.00	0.65	0.83	5.92
2014	雷馬遜(RAMMASUN)	0.55	5.00	0.53	0.76	-0.13	2.00	0.23	0.95	2.77
2014	麥德姆(MATMO)	-1.47	-8.00	0.87	0.53	-2.31	-1.00	0.68	0.66	6
2014	卡玫基(KALMAEGI)	-0.70	-12.00	0.73	0.41	-0.77	-2.00	0.31	0.91	3.53
2014	鳳凰(FUNG_WONG)	0.31	10.00	0.57	0.15	-0.42	37.00	0.39	0.46	2.75
平均絕對值		0.90	7.89	0.73	0.64	0.96	9.24	0.58	0.73	0.85



本文選出下列在安平港推算中誤差較大的颱風進行探討與比較，如奇比(2001)、尤特(2001)與風神(2008)三場颱風這兩種模式的推算結果都接近，但與實測仍有較大的誤差，其波高推算值與實測值比較圖示如圖 5.1。圖中奇比(2001)與風神(2008)兩種模式的推算結果在趨勢上與實測波浪資料相近，但其推算出的峰值仍與實測資料有明顯的差異。尤特(2001)颱風兩種模式的推算結果皆與實測有很大的差異，尤其峰值發生時間更與實測峰值有 14~21 小時的差異，然而由尤特颱風在本計畫中是屬於測試用颱風，也就是完全沒有納入兩種模式的訓練資料群，若未來作模式更新可考慮納入訓練資料群。

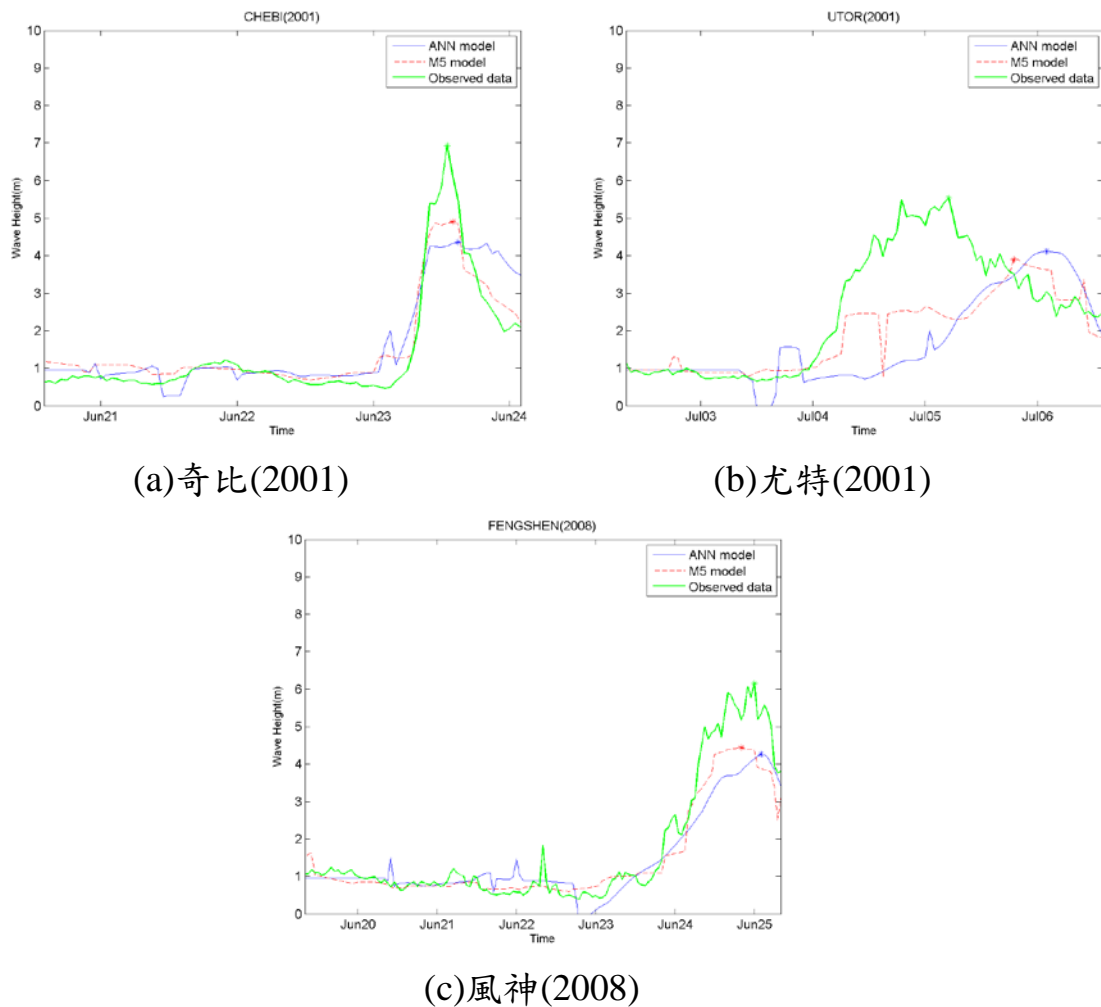


圖 5.1 安平港 M5 與類神經模式推算結果低估的颱風波浪時序圖

此外在分析兩種模式的精度比較中顯示有些颱風的推算峰值發生時間與實測值有較大，排除其中由於颱風波浪峰值不明顯的案例外，發現某類的西行颱風侵臺後進入臺灣海峽往西北方移動時，造成安平港波浪測站有測得較大的波浪，而兩種模式對於此類颱風峰值的推估會有較大誤差，如圖 5.2、圖 5.3 及圖 5.4 的碧利斯(2006)、鳳凰(2008)及莫拉克(2009)三場。圖中除了看出兩種模式推算的峰值結果都偏早發生，以最大風速與其颱風中心與推算點的距離時序列圖來看，這三場颱風波浪實測資料中發生峰值的時間點都明顯較為延遲，表示颱風遠離臺灣登入中國大陸後還有可能會在安平港發生波高峰值，這種狀況是目前兩種模式都無法正確模擬的。目前無法判明是否為一般傳統所稱的『回南效應』所造成，未來可配合現場風速資料做評估。

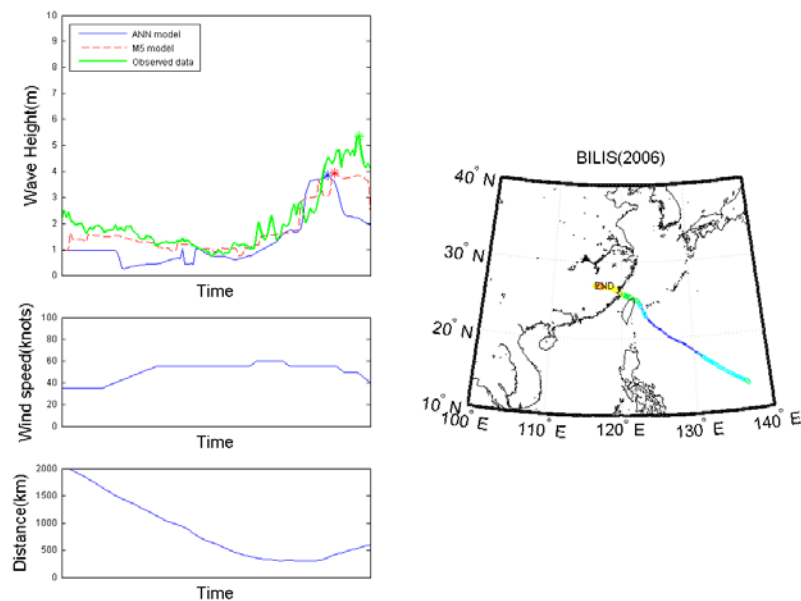


圖 5.2 以兩種模式推算碧利斯(2006)颱風與安平港實測波浪的比較圖

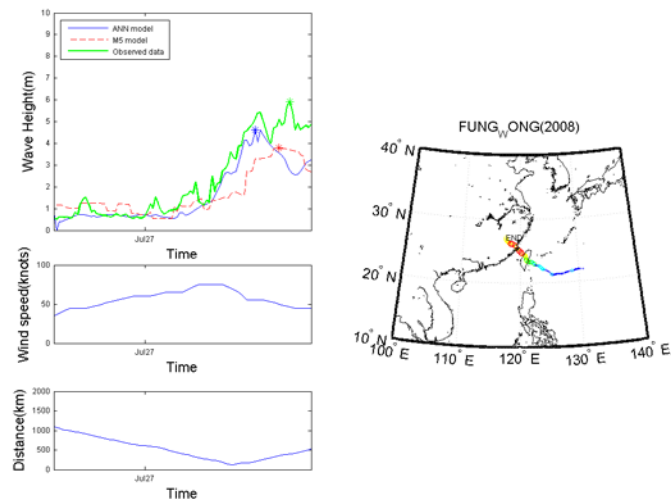


圖 5.3 以兩種模式推算鳳凰(2008)颱風與安平港實測波浪的比較圖

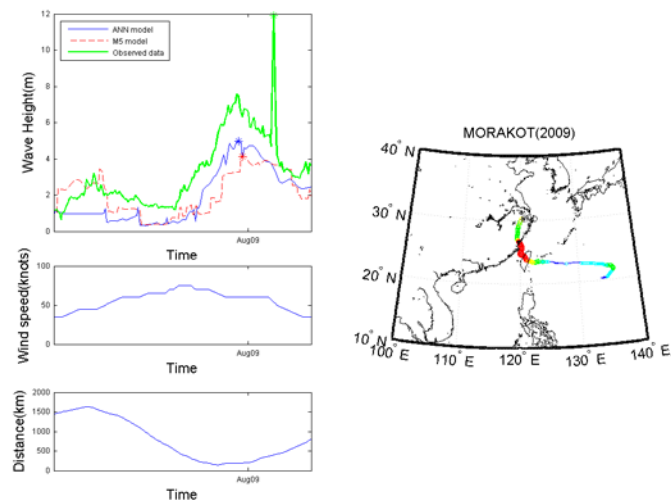


圖 5.4 以兩種模式推算莫拉克(2009)颱風與安平港實測波浪的比較圖

另以高雄港M5 模式與類神經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 46 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 $R^2$ 進行評估，以高雄港 46 場颱風的絕對平均值來看，類神經模式在各方面的精度都高於M5 模式所推估的結果。

表 5.2 高雄港兩種波浪推算模式的誤差比較

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R <sup>2</sup>	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R <sup>2</sup>	$H_{obs}$ (m)
		類神經				M5				
2001	奇比(CHEBI)	-1.44	4.00	0.43	0.94	-1.71	-1.00	0.52	0.94	7.95
2001	利奇馬(LEKIMA)	-0.47	-6.00	0.44	0.76	-0.62	-8.00	0.44	0.75	3.77
2002	娜克莉(NAKRI)	2.36	1.00	0.72	0.27	2.16	0.00	1.07	0.51	3.23
2003	伊布都(IMBUDO)	-0.82	10.00	0.79	0.56	-0.45	1.00	0.87	0.49	4.16
2003	莫拉克(MORAKOT)	0.45	-2.00	0.73	0.74	0.77	-4.00	0.77	0.82	3.21
2003	科羅旺(KROVANH)	-0.13	4.00	0.43	0.83	0.50	7.00	0.56	0.81	3.13
2003	杜鵑(DUJUAN)	-0.66	23.00	1.17	0.31	-0.44	19.00	1.06	0.34	4.96
2004	康森(CONSON)	0.41	-2.00	0.34	0.52	0.06	21.00	0.39	0.45	2.13
2004	敏督利(MINDULLE)	-0.26	-20.00	0.73	0.71	-0.47	-20.00	0.72	0.70	4.94
2004	南瑪都(NANMADOL)	1.53	1.00	0.64	0.71	0.98	2.00	0.44	0.76	4.06
2005	海棠(HAITANG)	-1.55	7.00	0.72	0.94	-2.38	1.00	0.90	0.93	6.46
2005	馬莎(MATSA)	0.77	35.00	0.66	0.49	0.82	-7.00	0.66	0.32	3.13
2005	珊瑚(SANVU)	-0.54	1.00	0.63	0.81	-0.60	2.00	0.97	0.57	4.75
2005	泰利(TALIM)	0.16	2.00	0.54	0.86	0.13	2.00	0.42	0.91	4.85
2005	丹瑞(DAMREY)	-0.72	2.00	0.49	0.66	-0.19	49.00	0.59	0.63	3.78
2005	龍王(LONGWANG)	1.68	-2.00	0.71	0.76	1.15	-2.00	0.58	0.86	2.56
2006	珍珠(CHANCHU)	-0.27	0.00	0.56	0.92	-1.44	2.00	0.58	0.94	6.39
2006	碧利斯(BILIS)	-2.04	-2.00	0.85	0.83	-2.17	6.00	0.96	0.73	6.02
2007	柯羅莎(KROSA)	0.11	-3.00	0.80	0.50	-0.55	-4.00	0.83	0.39	4.1
2008	風神(FENGSHEN)	-1.25	10.00	0.47	0.88	-0.38	-2.00	0.45	0.85	4.43
2008	卡玫基(KALMAEGI)	0.22	2.00	0.34	0.86	-0.13	-11.00	0.27	0.91	3.02
2008	鳳凰(FUNG_WONG)	0.04	-17.00	0.67	0.79	-0.64	-17.00	0.54	0.90	5.08
2008	如麗(NURI)	-2.40	4.00	0.87	0.94	-2.01	3.00	0.81	0.89	5.99
2008	辛樂克(SINLAKE)	1.33	20.00	0.70	0.67	1.31	4.00	0.76	0.77	2.77
2008	哈格比(HAGUPIT)	0.24	8.00	0.52	0.92	-0.14	0.00	0.42	0.86	3.42
2008	薔蜜(JANGMI)	1.01	-3.00	0.71	0.44	1.53	0.00	0.83	0.45	3.4
2009	蓮花(LINFA)	-0.49	-3.00	0.50	0.92	-1.31	-3.00	0.70	0.85	6.31
2009	南卡(NANGKA)	0.48	1.00	0.31	0.72	0.96	1.00	0.32	0.65	2.31
2009	莫拉菲(MOLAVE)	0.30	-15.00	0.54	0.81	0.47	-17.00	0.79	0.48	3.53
2009	芭瑪(PARMA)	-0.34	-1.00	0.37	0.64	-0.76	-2.00	0.43	0.48	3.03
2010	萊羅克(LIONROCK)	0.32	1.00	0.70	0.71	0.32	-2.00	0.54	0.80	4.59
2010	莫蘭蒂(MERANTI)	-0.01	-1.00	0.64	0.69	0.05	-1.00	0.50	0.81	4.75
2010	凡那比(FANAPI)	0.99	-1.00	0.46	0.92	-0.64	-2.00	0.65	0.89	5.69
2010	梅姬(MEGI)	-1.10	9.00	0.52	0.92	-1.57	4.00	0.53	0.92	6.66
2011	南瑪都(NANMADOL)	0.29	-4.00	0.54	0.81	0.10	-5.00	0.61	0.79	4.48
2011	尼莎(NESAT)	-2.09	9.00	0.88	0.90	-1.38	-4.00	0.62	0.92	5.21
2012	泰利(TALIM)	-0.94	-6.00	0.69	0.90	-1.46	1.00	0.85	0.84	6.55
2012	杜蘇芮(DOKSURI)	0.61	-1.00	0.58	0.83	1.09	8.00	0.58	0.68	2.62
2012	蘇拉(SAOLA)	0.81	-4.00	0.40	0.79	-0.34	-3.00	0.31	0.88	2.98
2013	尤特(UTOR)	0.06	0.00	0.42	0.92	0.02	-11.00	0.36	0.96	3.75
2013	潭美(TRAMI)	0.06	1.00	0.60	0.76	-0.26	12.00	0.56	0.67	3.7
2013	康芮(KONG_REY)	-0.46	-1.00	0.38	0.83	-0.91	5.00	0.30	0.91	3.34
2013	天兔(USAGI)	-1.08	-3.00	0.40	0.96	-1.08	-11.00	0.59	0.86	5.75
2014	哈吉貝(HAGIBIS)	-0.27	1.00	0.52	0.49	-0.40	-2.00	0.53	0.56	3.2
2014	雷瑪遜(RAMMASUN)	-0.28	13.00	0.42	0.83	-0.19	24.00	0.32	0.89	3.51
2014	卡玫基(KALMAEGI)	-0.94	2.00	0.68	0.66	-0.76	3.00	0.31	0.92	3.98
平均絕對值		0.76	5.83	0.59	0.75	0.82	6.87	0.60	0.74	4.26

由表 5.2 中可以發現娜克莉(2001)、海棠(2005)、碧利斯(2006)鳳凰(2008)及尼莎(2011)等五場颱風由兩個模式推估的結果其波浪峰值皆與實測紀錄有較大差異，其中娜克莉(2001)的推算結果為高估，其餘則較低於實測波浪資料。娜克莉(2001)的波高比較圖如圖 5.5 所示，圖中顯示本場颱風自高雄外海處生成，而後穿過臺灣本島往東北方前進，由於其生成點與推算點太接近，且此類西南往東北移動的颱風更為少見，目前兩種模式推估出來的結果峰值發生時間吻合，但峰值波高有明顯高估的現象，未來若有此類型颱風可再加以評估是否納入訓練資料群，以提高模式精度。圖 5.6 為兩種模式推算結果其波高峰值皆明顯低於實測波浪資料的四場颱風，此類情況除了造成模式預報對於現場情況的低估外，若採用此資料進行極值分析推估設計波高可能將造成誤判。目前本計畫所建立的兩種模式都將此四場颱風納入訓練資料群中，但推算出來的波高峰值誤差仍約為 2m。

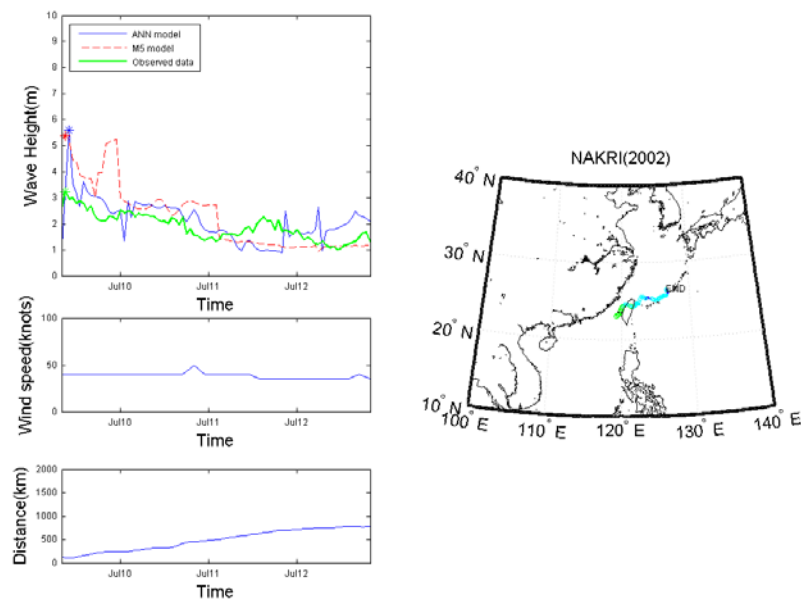
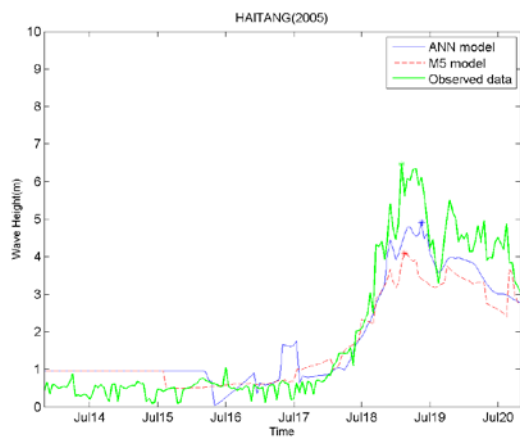
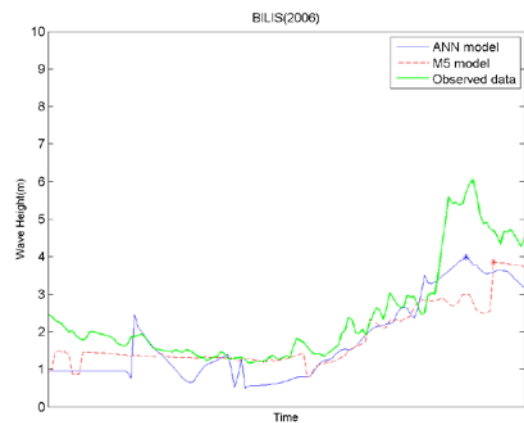


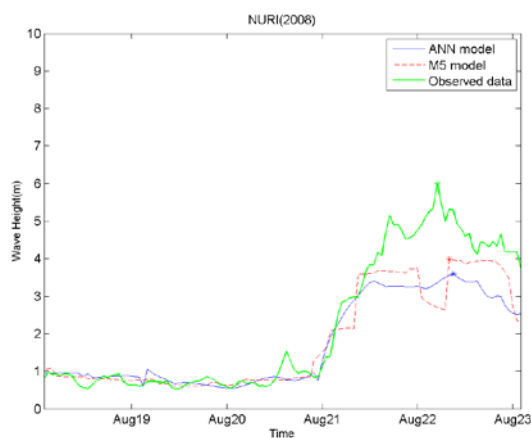
圖 5.5 以兩種模式推算娜克莉(2001)颱風與高雄港實測波浪的比較圖



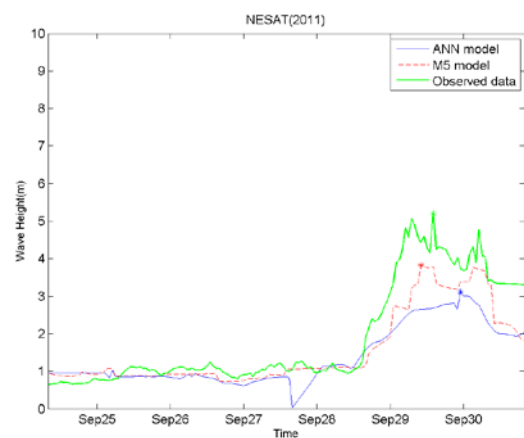
(a)海棠(2005)



(b)碧利斯(2006)



(c)如麗(2008)



(d)尼莎(2011)

**圖 5.6 高雄港 M5 與類神經模式推算結果比較圖[(a)海棠(2005) (b)碧利斯(2006)(c)如麗(2008)(d)尼莎(2011)]**

由表 5.2 中另外可以發現有杜鵑(2003)、敏督莉(2004)、鳳凰(2008)與莫拉菲(2009)四場颱風的推算結果在波高峰值發生時間上有較大的誤差，圖 5.7 為杜鵑(2003)颱風的推算結果比較圖，圖中顯示杜鵑颱風中心在距離高雄港約 500km 遠處的花蓮外海即造成高雄港測站測得 5m 的波高峰值，此類現象較為少見，以目前兩種模式納入訓練資料也無法推估出類似結果。另圖 5.8、圖 5.9 及圖 5.10 分別為敏督利(2004)、鳳凰(2008)及莫拉菲(2009)三場颱風的推估與實測比較圖，圖中顯示兩種模式推估的峰值發生時間點都偏早，由實測波浪資料中來看這三場颱風在最靠近高雄港時幾乎都有造成一波高峰值，但隨著颱風遠離波高下降後，在颱風中心接近中國大陸時在高雄港又會造成一更大的峰

值，此期間約相差 15 至 20 小時，目前兩種模式所推估的峰值發生時間都是颱風中心靠近推算點高雄港的第一個峰值時間，所以峰值推估時間會與實測資料有較大的誤差。

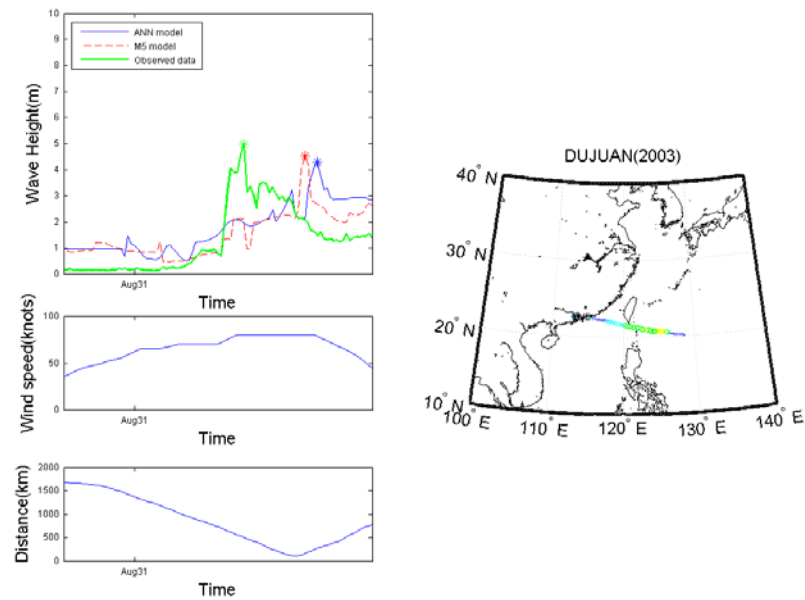


圖 5.7 高雄港 M5 與類神經模式推算 2003 年杜鵑颱風之結果比較圖

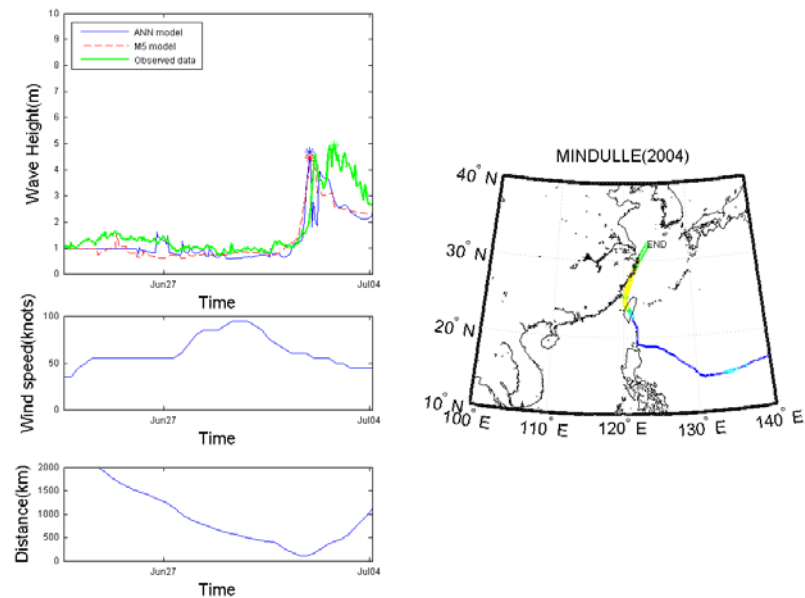


圖 5.8 高雄港 M5 與類神經模式推算 2004 年敏督利颱風之結果比較圖

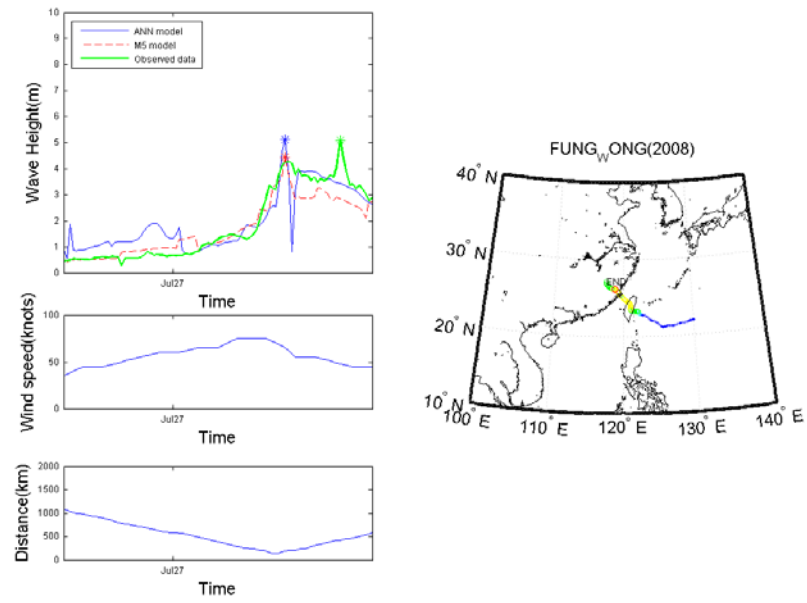


圖 5.9 高雄港 M5 與類神經模式推算 2008 年鳳凰颱風結果的比較圖

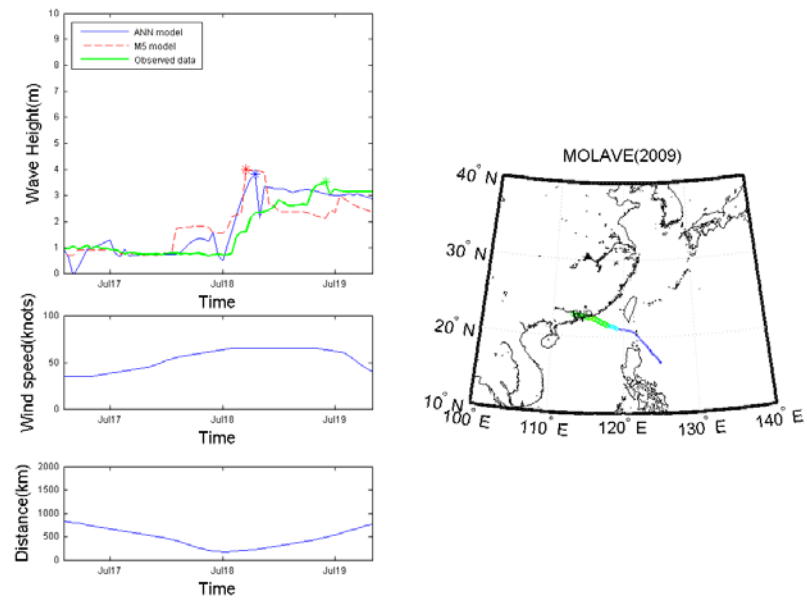


圖 5.10 高雄港 M5 與類神經模式推算 2009 年莫拉菲颱風結果的比較圖



在上述分析與比較中可發現 M5 最小化模式樹與類神經兩種方法所建立的颱風波浪推算模式的推算能力相近，且在上述特定路徑的臺風推算上也有相同的問題，但整體而言無論是安平或高雄港，類神經模式所推估波高峰值發生時間在誤差標準值部分皆小於 M5 模式，顯示在峰值發生時間部分類神經模式所推估的結果較為可靠。故現階段若考慮這兩種方法，無論是應用於即時預報或極值樣本推算仍建議採用以類神經模式較為合適。

## 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，本所港灣技術研究中心已完成包括花蓮、高雄、臺北、臺中、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，本年度並以新蒐集之颱風波浪資料更新安平港與高雄港之推算模式。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 0.76m，但其可能原因是為高雄港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  $\Delta t_p$  波則以花蓮港波浪推算模式最為準確。均方根誤差 RMSE 則以高雄港最佳，其值為 0.59m。推算波高結果與實測波高的決定係數  $R^2$  以最高雄港為最佳，其值為 0.75。

表 5.3 各類神經颱風波浪推算成效比較

	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	$R^2$
花蓮港	0.98	5.04	0.69	0.69
高雄港	0.76	5.83	0.59	0.75
安平港	0.90	7.89	0.73	0.64
臺北港	0.93	6.35	0.81	0.58
臺中港	0.79	10.86	0.70	0.50
基隆港	0.95	6.00	0.69	0.66
蘇澳港	1.09	5.96	0.85	0.66

隨著觀測資料量的增加，本計畫本次更新的安平港與高雄港類神經波浪推算模式的精度有很大的提升。往昔臺灣東岸與北端的花蓮港、

蘇澳港與基隆港三個港的模式推算結果較佳，相反的西岸的高雄港、安平港、臺中港及西北端的臺北港則明顯較差。現在透過更多颱風波浪樣本進行模式更新，各港的類神經波浪模式推算能力皆能有所提升。目前類神經颱風波浪推算模式已可應用於即時颱風波浪推算與預測，本研究團隊並持續於每年颱風侵臺時即透過美國聯合氣象中心下載未來 72 小時的颱風路徑與強度預測資料，並以自動化的程式進行資料品管與轉換，再經由類神經網路推算即可即時獲得結果。

### 5.3 波浪推算模式之誤差分析

前述各波浪推算的模式驗證部分以前述四個誤差特性 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，安平港的最大波高推算誤差分析如圖 5.11，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 5.11 顯示以安平港 M5 模式推算結果的各場颱風波高峰值誤差的誤差分析，其平均值為-0.74m，中位數為-0.50m，標準差為 1.36m，46 個樣本中不通過 95%信賴度的有 2 個，佔全部的 4.35%。安平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-0.30m，中位數為-0.06m，標準差為 1.40m，46 個樣本中為於 95%信賴度區間外的有 2 個，佔全部的 4.35%。

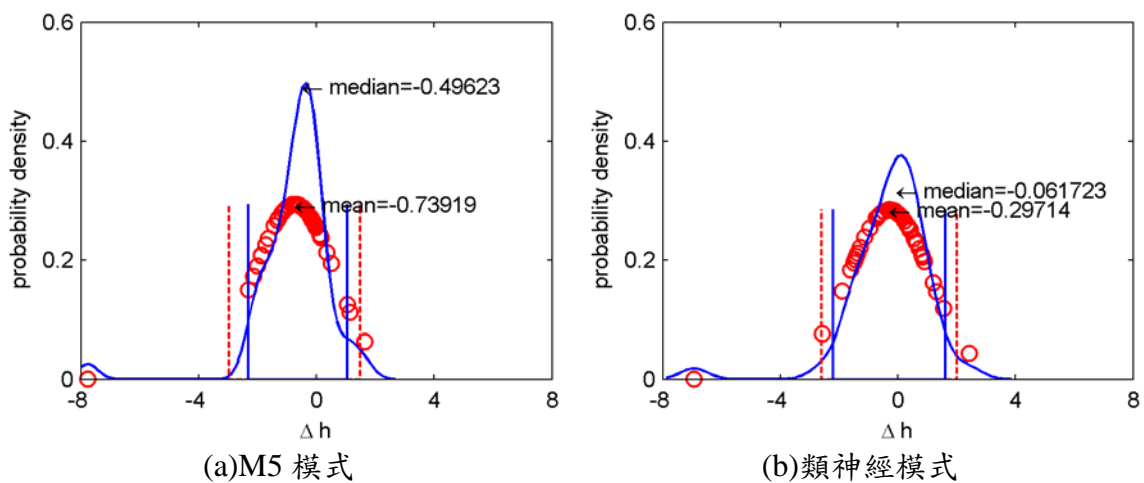


圖 5.11 安平港各波浪推算模式推算波高誤差分析

圖 5.12 顯示以安平港 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-1.98 小時，中位數為-1.00 小時，標準差為 15.63 小時，46 個樣本中不通過 95%信賴度的有 3 個，佔全部的 6.52%。安平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-1.11 小時，中位數為-1.50 小時，標準差為 10.11 小時，46 個樣本中為於 95%信賴度區間外的有 5 個，佔全部的 10.87%。

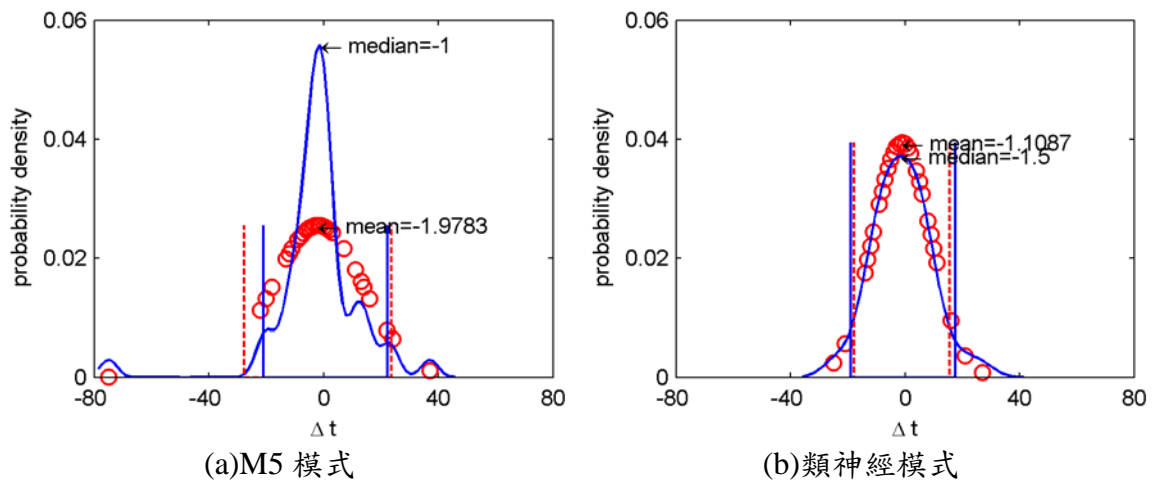


圖 5.12 安平港各波浪推算模式推算峰值發生時間誤差分析

圖 5.13 顯示以高雄港 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-0.28m，中位數為-0.36m，標準差為 1.00m，46 個樣本中不通過 95%信賴度的有 5 個，佔全部的 10.87%。高雄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 -0.14m，中位數為-0.07m，標準差為 0.99m，46 個樣本中為於 95%信賴度區間外的有 6 個，佔全部的 13.04%。

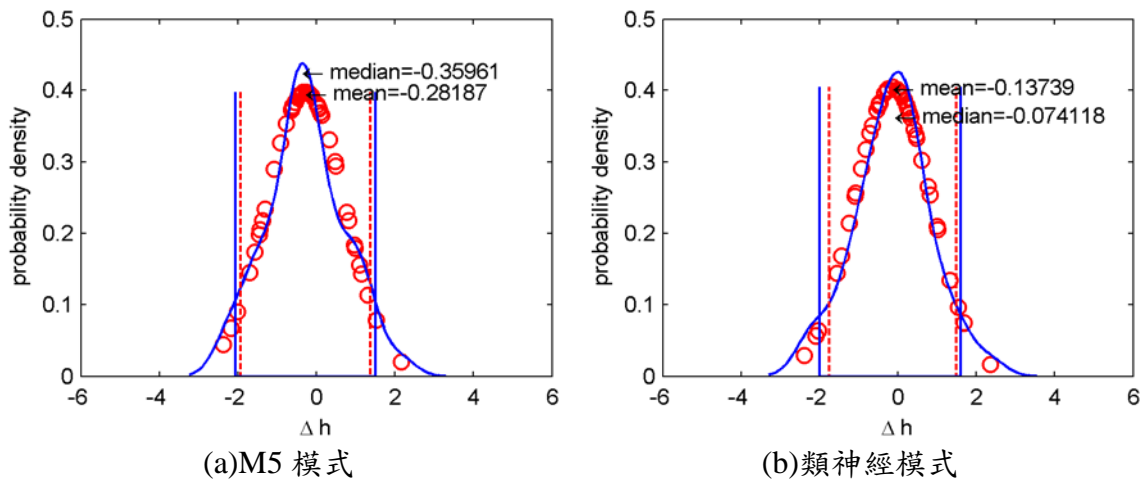


圖 5.13 高雄港各波浪推算模式推算波高誤差分析

圖 5.14 顯示以高雄港 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 0.83 小時，中位數為 0 小時，標準差為 11.26 小時，46 個樣本中為於 95%信賴度區間外的有 4 個，佔全部的 8.7%。高雄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 1.61 小時，中位數為 1.00 小時，標準差為 9.22 小時，46 個樣本中為於 95%信賴度區間外的有 6 個，佔全部的 13.04%。

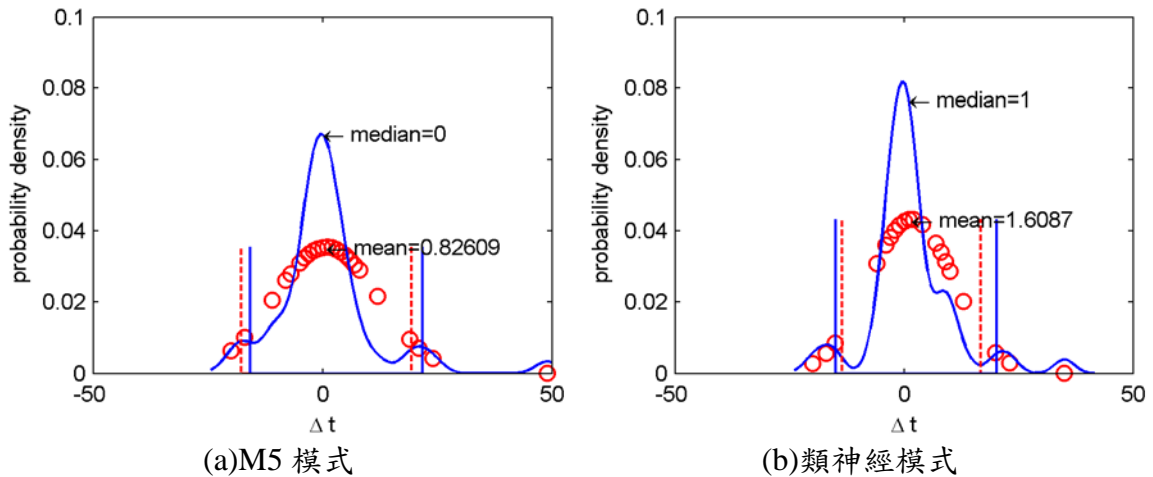


圖 5.14 高雄港各波浪推算模式推算峰值發生時間誤差分析

表 5.4 為誤差分析的綜合比較表，表中可發現安平港兩種模式在波高峰值推估上都有些許低估的現象，峰值發生時間則稍微較實測資

料早發生。高雄港兩模式所推估的波高峰值誤差也有類似現象，而兩模式所推估的峰值發生時間則稍較實測波浪資料晚發生。而無論是安平或高雄港，類神經模式所推估波高峰值發生時間在誤差標準值部分皆小於 M5 模式，顯示在峰值發生時間部分類神經模式所推估的結果較為可靠。

**表 5.4 誤差分析結果綜合比較表**

	安平港 M5		安平港類神經		高雄港 M5		高雄港類神經	
	最大波高	發生時間	最大波高	發生時間	最大波高	發生時間	最大波高	發生時間
平均值	-0.74	-1.98	-0.30	-1.11	-0.28	0.83	-0.14	1.61
中位數	-0.50	-1.00	-0.06	-1.50	-0.36	0.00	-0.07	1.00
標準差	1.36	15.63	1.40	10.11	1.00	11.26	0.99	9.22
未通過 95% 百分比	4.35	6.52	4.35	10.87	10.87	8.70	13.04	13.04

## 第六章 數值模式之波浪推算方式

### 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； $\sigma$  為角頻率；而  $\theta$  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  $\sigma$  之變化速度。 $c_\theta = d\theta/dt$ ，代表波向角  $\theta$  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， $C_\theta$  為  $\theta$  方向的波浪行進速度， $\omega$  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、臺灣及菲律賓群島，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，鄰近臺灣、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 5,436 個節點、9,709 個元素，網格之設定如表 6.1 所示。

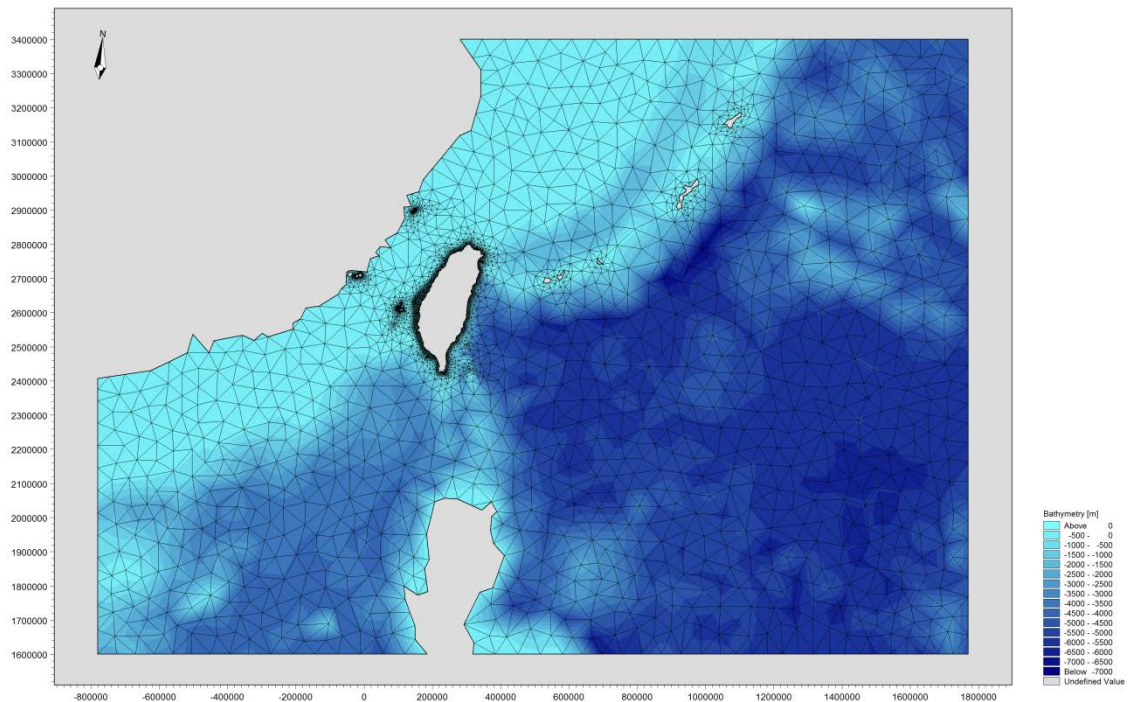


圖 6.1 風浪推算模擬範圍之地形水深



表 6.1 風浪推算模擬之網格設定內容

元素個數	9,709
節點個數	5,436
最小元素面積(m <sup>2</sup> )	1,984
最大元素面積(m <sup>2</sup> )	$1.2 \times 10^9$

## 2.風場模式

本計畫風場模式採用高雄海洋科技大學海事資訊科技系暨研究所陳昭銘教授承辦港研所「臺北港區風場數值預報系統之建置研究」計畫，索取研究成果進行模擬，陳教授的風場主要是將大氣模式的風場資料細化成 2km 的解析度(以下簡稱 ARW\_NFS2km)，並依照波浪推算模式的需求逐時輸出風場資料，ARW\_NFS2km 所使用之大氣風場預報模式係以 Weather Research and Forecasting (WRF)模式(e.g., Skamarock et al. 2001)為基礎，經由進階改良之 Advanced Research WRF (ARW; e.g., Skamarock et al. 2005; Skamarock et al. 2008)模式。ARW\_NFS2km 模式之優點為可使用多層巢狀方式，將全球觀測資料所預報之大尺度預報資訊(約為 50km 解析度)，以動力降尺度方式逐漸內化到各指定小區域，並經由提高網格點之解析度，達到指定區域所需求之高解析度預報資訊。ARW\_NFS2km 以全球預報模式之高解析度( $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ ，約 50km 網格點)預報結果為邊界條件，採用三層巢狀系統，以 4 倍放大效率，依序使用 32km、8km、2km 解析度，將全球預報資訊降尺度到臺灣鄰近海域與港灣區。

目前國內僅有 ARW\_NFS2km 計算如此細網格的風場且可逐時輸出提供波浪推算使用，然該風場僅有 2010 年後的資料，至於 2010 年前的風場，本團隊採用 Climate Forecast System Reanalysis (CFSR; Saha et al., 2010)作為邊界條件，該資料為美國環境預報中心(National Environmental Prediction Centers, NCEP)執行 1979~2010 年觀測資料之同化，並提高資料同化後之重分析資料的解析度，表面 10m 風場之解析度約為 30 公里，此資料提供 6 小時之觀測風場，為目前可涵蓋臺灣

鄰近海域範圍最高空間解析度之觀測重分析資料。本團隊將 CFSR 的風場資料細化成 2km 的解析度(以下簡稱 ARW\_CFSR2km)，ARW\_CFSR2km 模式仍使用多層巢狀方式，將 CFSR 風場以動力降尺度方式逐漸內化到各指定小區域，並經由提高網格點之解析度，達到指定區域所需求之高解析度資訊，進而獲得可靠度更高的設計波浪條件。

### 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  $22.5^\circ$  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	$0.055Hz \sim 0.542Hz$
角度領域	$0^\circ \sim 360^\circ$ 、 $\Delta\theta=22.5^\circ$
時 距	$\Delta t=15min$
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

數值模擬成果將提供後續極值統計分析作為極值樣本使用，取樣方式目前國內皆採用年極端值取樣法的年最大法，此法可在某時間尺度下均勻選取範圍內的極端代表值，由於每年僅選取當年度最大值作為代表，因此該極端值樣本的精度便顯得特別重要，故本計畫將透過

每年實測第一大示性波高和第二大示性波高來進行模式的驗證，以了解模式在模擬第一大示性波高和第二大示性波高的準確性。

### 1. 模式評估指標

測試數值模式推算值與觀測值的吻合程度，除了採用 3.3 節所述 4 個指標來評估模式推算結果的優劣，更增加相對誤差的比較，評估指標分別為決定係數( $R^2$ , coefficient of determination)、均方根誤差(RMSE, root mean squared error)、颱風波浪最大波高誤差  $\Delta H_{s,p}$ 、最大波高發生時間誤差  $\Delta t_p$ 、最大波高誤差與最大波高的相對誤差  $\Delta H_{s,p}/H_{max}$  及均方根誤差與最大波高的相對誤差  $RMSE/H_{max}$ 。本研究同時訂定評估指標的誤差標準，即決定係數  $R^2 > 0.6$ 、最大波高發生時間誤差  $\Delta t_p < 12\text{hr}$ 、最大波高誤差與最大波高的相對誤差  $\Delta H_{s,p}/H_{max} < 25\%$ 、均方根誤差與最大波高的相對誤差  $RMSE/H_{max} < 20\%$ 。

### 2. 示性波高的時序列比較

圖 6.2 為安平港示性波高的時序列比較圖，圖中實心圓點為觀測值，實線為 MIKE 21 SW 採用 ARW 風場的推算結果，由圖中可知，僅 2013 年的潭美(Trami)颱風在波高處有差異，其餘模擬趨勢和觀測值皆非常一致。圖 6.3 為高雄港示性波高的時序列比較圖，由圖中可知，所有颱風的示性波高模擬趨勢和觀測值皆非常一致。

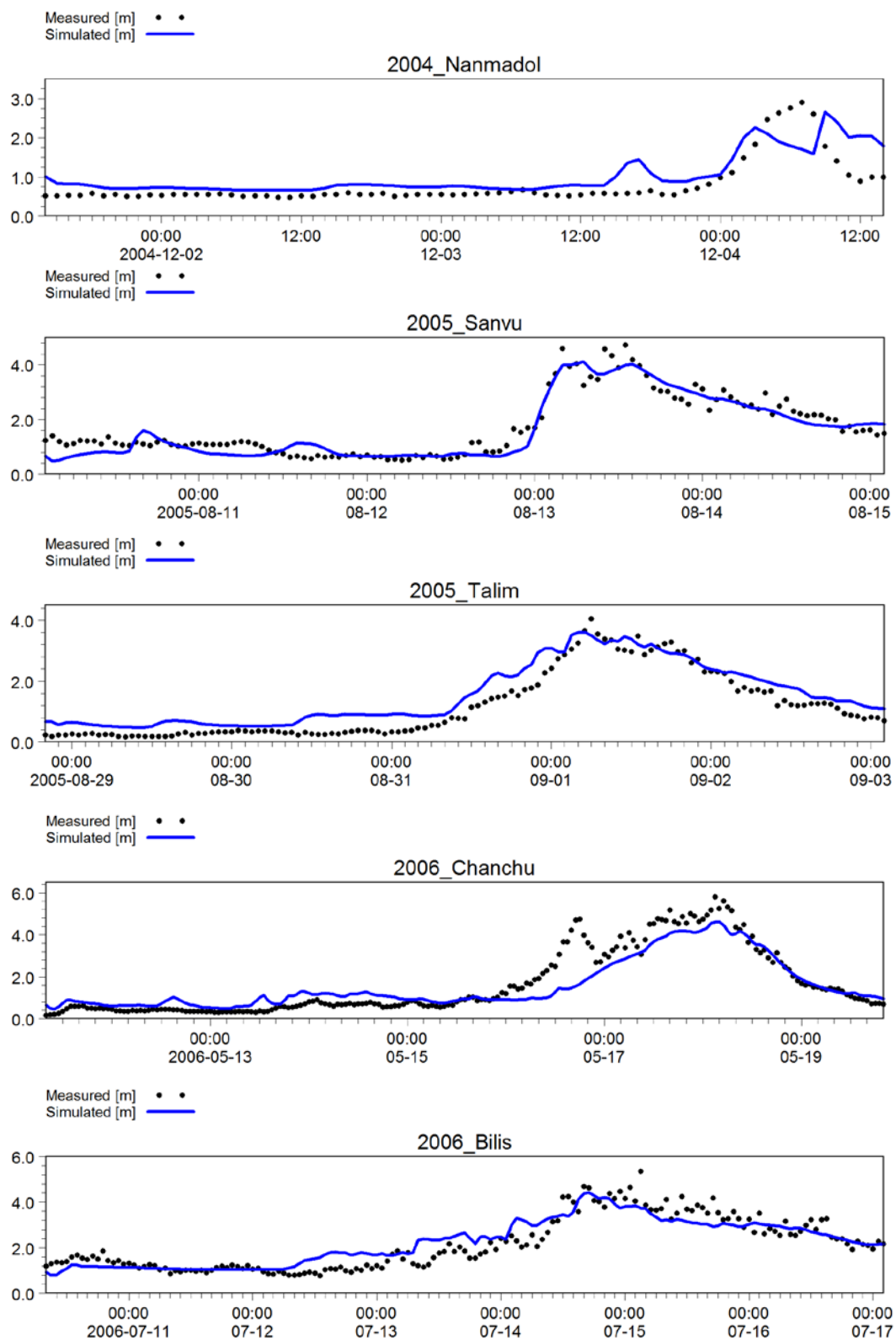


圖 6.2 安平港示性波高時序列比較

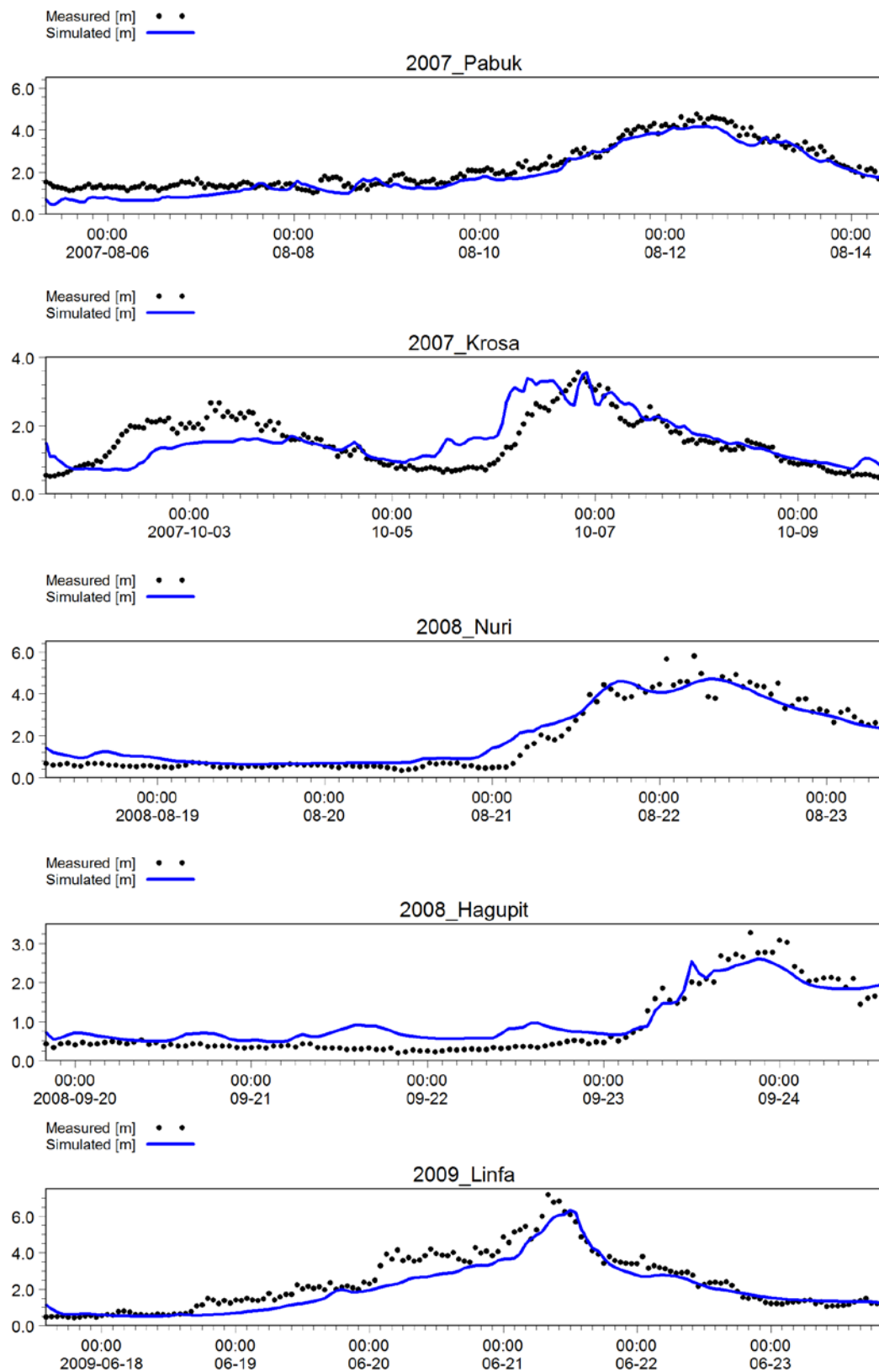


圖 6.2 安平港示性波高時序列比較(續 1)

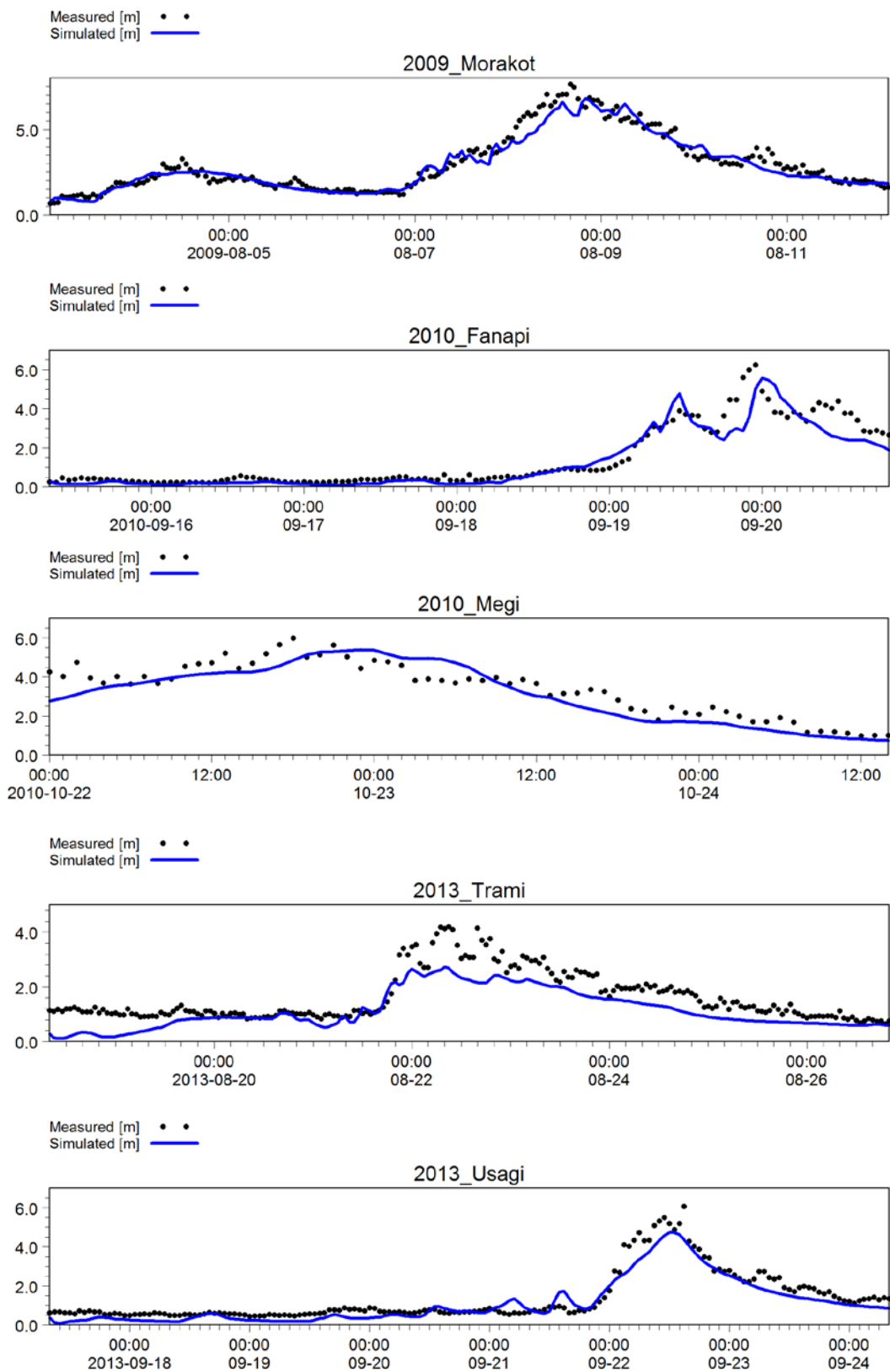


圖 6.2 安平港示性波高時序列比較(續 2)

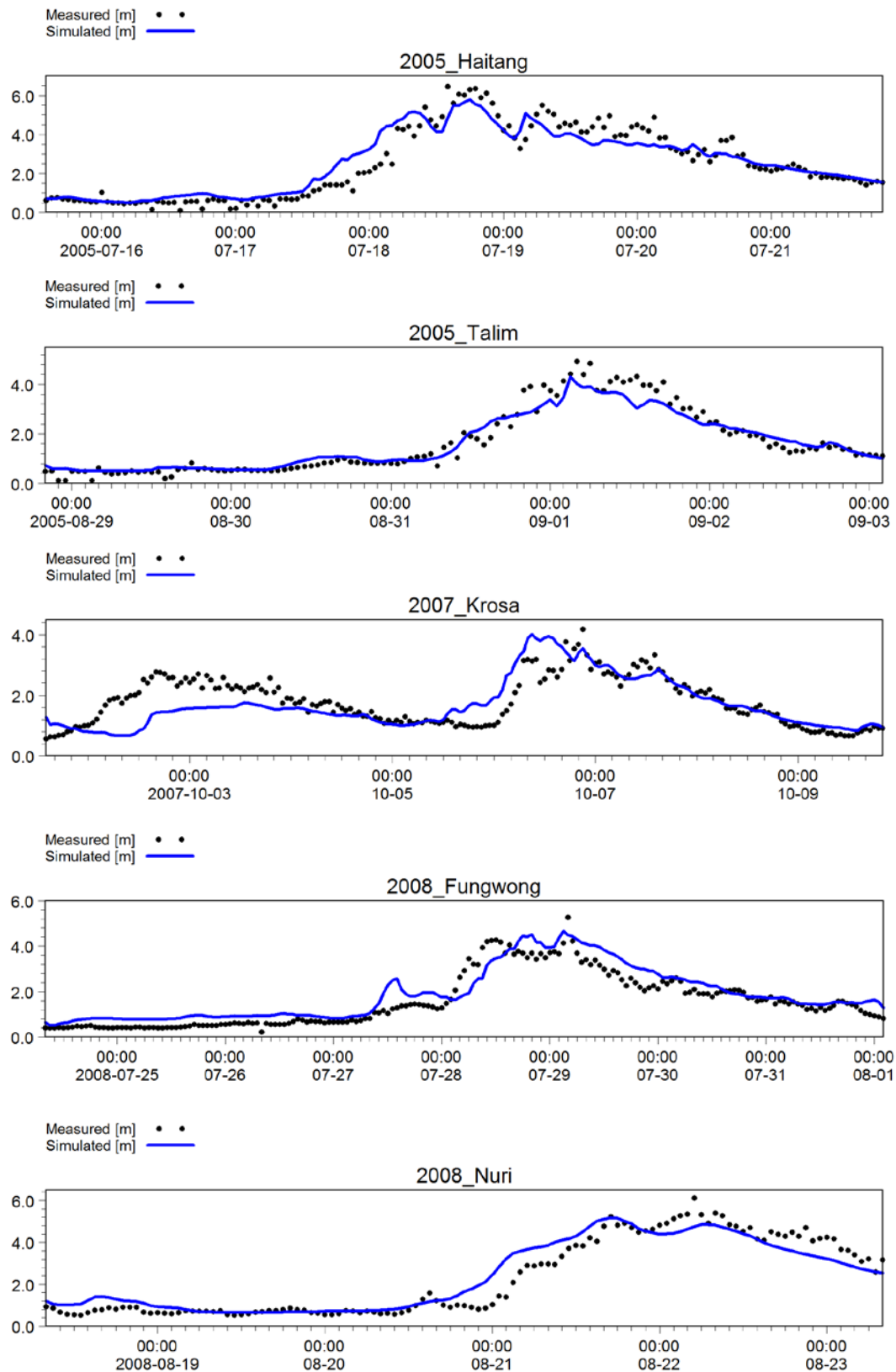


圖 6.3 高雄港示性波高時序列比較

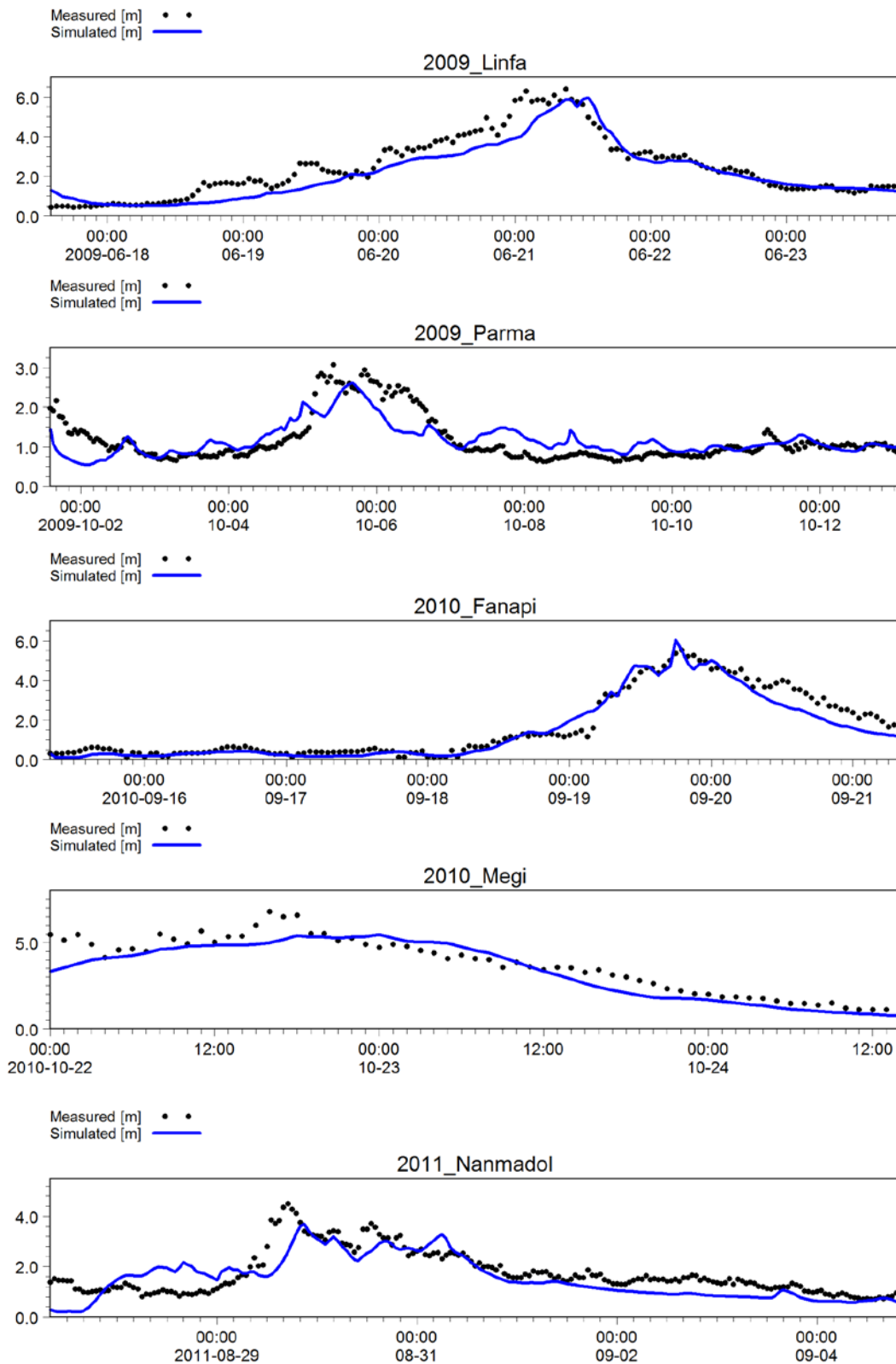


圖 6.3 高雄港示性波高時序列比較(續 1)



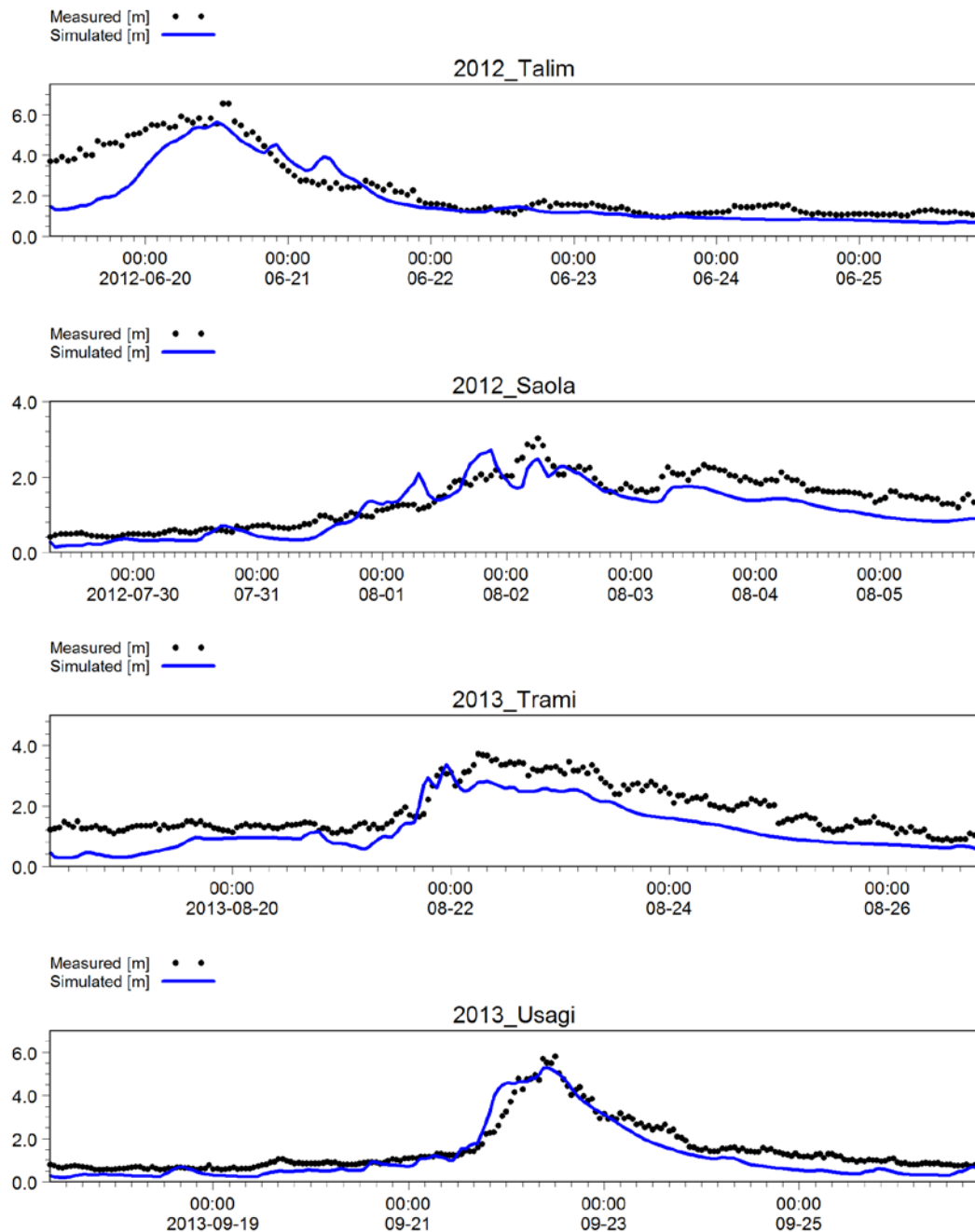


圖 6.3 高雄港示性波高時序列比較(續 2)

### 3. 示性波高的評估指標比較

表 6.3 為安平港推算結果的比較，由表中可發現安平港颱風波浪推算結果與實測結果最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 以潭美(2013)颱風誤差較大，其誤差達 1.48m。最大波高發生時間誤差 $\Delta t_p$ 以碧利斯(2006)颱風相差最多，其誤差達 10 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差 $RMSE$ 最

大為珍珠(2006)颱風，其誤差達 0.68m。推算波高結果與實測波高的決定係數 $R^2$ 以柯羅莎(2007)颱風最差。平均來說模式推算結果的各颱風最大波高誤差絕對值 $\Delta H_{s,p}$ 為 0.77m，最大波高發生時間誤差絕對值 $\Delta t_p$ 為 3 小時，RMSE為 0.5m，決定係數 $R^2$ 為 0.85。另由評估指標的誤差標準比較可知，表中灰階部分為未達標準的項目，僅南瑪都(2004)颱風和柯羅莎(2007)颱風在決定係數 $R^2$ 未達標準、潭美(2013)颱風在最大波高誤差與最大波高的相對誤差 $\Delta H_{s,p}/H_{max}$ 未達標準，其餘颱風的各指標皆有達到標準內，顯示MIKE 21 SW採用ARW風場在安平港有不錯的推算結果。

表 6.3 安平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)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	$R^2$	$H_{max}$ (m)	$\frac{\Delta H_{s,p}}{H_{max}}(\%)$	$\frac{RMSE}{H_{max}}(\%)$
2004	南瑪都	NANMADOL	-0.24	2	0.45	0.56	2.91	-8.37	15.4
2005	珊瑚	SANVU	-0.61	-6	0.36	0.91	4.72	-12.87	7.64
2005	泰利	TALIM	-0.43	-1	0.42	0.95	4.05	-10.52	10.45
2006	珍珠	CHANCHU	-1.16	1	0.68	0.85	5.8	-20.02	11.75
2006	碧利斯	BILIS	-0.93	-10	0.50	0.81	5.35	-17.43	9.42
2007	帕布	PABUK	-0.61	2	0.42	0.93	4.78	-12.77	8.81
2007	柯羅莎	KROSA	-0.02	2	0.55	0.52	3.57	-0.55	15.38
2008	如麗	NURI	-1.10	3	0.47	0.94	5.81	-19.00	8.07
2008	哈格比	HAGUPIT	-0.67	1	0.33	0.92	3.28	-20.35	9.95
2009	蓮花	LINFA	-0.86	4	0.61	0.91	7.20	-12.00	8.54
2009	莫拉克	MORAKOT	-0.84	4	0.47	0.93	7.66	-10.97	6.08
2010	凡那比	FANAPI	-0.69	1	0.61	0.87	6.26	-11.03	9.69
2010	梅姬	MEGI	-0.57	5	0.60	0.87	5.98	-9.53	10.00
2013	潭美	TRAMI	-1.48	-1	0.63	0.84	4.21	-35.09	15.00
2013	天兔	USAGI	-1.33	-2	0.45	0.92	6.06	-21.92	7.44
絕對平均值			0.77	3	0.5	0.85	5.18	14.83	10.24

註：誤差標準( $R^2 > 0.6$ 、 $\Delta t_p < 12\text{hr}$ 、 $\Delta H_{s,p}/H_{max} < 25\%$ 、 $\text{RMSE}/H_{max} < 20\%$ )

表 6.4 為高雄港推算結果的比較，由表中可發現高雄港颱風波浪推算結果與實測結果最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 以梅姬(2010)颱風誤差較大，其誤差達 1.35m。最大波高發生時間誤差 $\Delta t_p$ 以柯羅莎(2007)颱風和如麗(2008)颱風相差最多，其誤差達 12 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差 $RMSE$ 最大為潭美(2013)颱風，其誤差達 0.68m。推算波高結果與實測波高的決定係數 $R^2$ 以芭瑪(2009)颱風最差。平均來說模式推算結果的各颱風最大波高誤差絕對值 $\Delta H_{s,p}$ 為 0.62m，最大波高發生時間誤差絕對值 $\Delta t_p$ 為 5.14 小時， $RMSE$ 為 0.56m，決定係數 $R^2$ 為 0.81。另由評估指標的誤差標準比較可知，表中灰階部分為未達標準的項目，僅柯羅莎(2007)颱風、芭瑪(2009)颱風和南瑪都(2011)颱風在決定係數 $R^2$ 未達標準，其餘颱風的各指標皆有達到標準內，顯示MIKE 21 SW採用ARW風場在高雄港有不錯的推算結果。

表 6.4 高雄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)	$\Delta t_p$ (hour)	$RMSE$	$R^2$	$H_{max}$ (m)	$\frac{\Delta H_{s,p}}{H_{max}(\%)}$	$\frac{RMSE}{H_{max}(\%)}$
2005	海棠	HAITANG	-0.68	4	0.62	0.89	6.46	-10.59	9.66
2005	泰利	TALIM	-0.62	-1	0.36	0.95	4.94	-12.56	7.25
2007	柯羅莎	KROSA	-0.16	-12	0.59	0.55	4.18	-3.91	14.06
2008	鳳凰	FUNG-WONG	-0.60	-1	0.50	0.87	5.27	-11.36	9.57
2008	如麗	NURI	-0.93	-12	0.58	0.90	6.12	-15.15	9.44
2009	蓮花	LINFA	-0.43	4	0.60	0.89	6.41	-6.72	9.43
2009	芭瑪	PARMA	-0.46	6	0.41	0.51	3.08	-14.99	13.25
2010	凡那比	FANAPI	0.53	-1	0.45	0.94	5.52	9.61	8.10
2010	梅姬	MEGI	-1.35	8	0.60	0.90	6.80	-19.89	8.79
2011	南瑪都	NANMADOL	-0.81	4	0.62	0.59	4.50	-18.00	13.88
2012	泰利	TALIM	-0.92	-1	0.95	0.75	6.57	-13.96	14.52
2012	蘇拉	SAOLA	-0.31	-9	0.40	0.78	3.02	-10.18	13.28
2013	潭美	TRAMI	-0.35	-7	0.68	0.85	3.72	-9.43	18.37
2013	天兔	USAGI	-0.52	-2	0.50	0.92	5.80	-8.89	8.54
絕對平均值			0.62	5.14	0.56	0.81	5.17	11.8	11.3

註：誤差標準( $R^2 > 0.6$ 、 $\Delta t_p < 12\text{hr}$ 、 $\Delta H_{s,p}/H_{max} < 25\%$ 、 $RMSE/H_{max} < 20\%$ )

## 第七章 安平港與高雄港的設計波探討

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四種，除本所港灣技術研究中心長期的波浪觀測資料外，另採用類神經颱風波浪推算模式、DHI MIKE 21 二維風浪數值模式與 M5 最小化模式樹波浪推算模式等三種模式的推算結果。在取樣方式上選用一般工程上常用的年極端值取樣法。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 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)

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

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

### 3. Weibull 分佈

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

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

### 4. 對數常態分佈 (lognormal distribution)

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

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

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，如所示。圖 7.1 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。

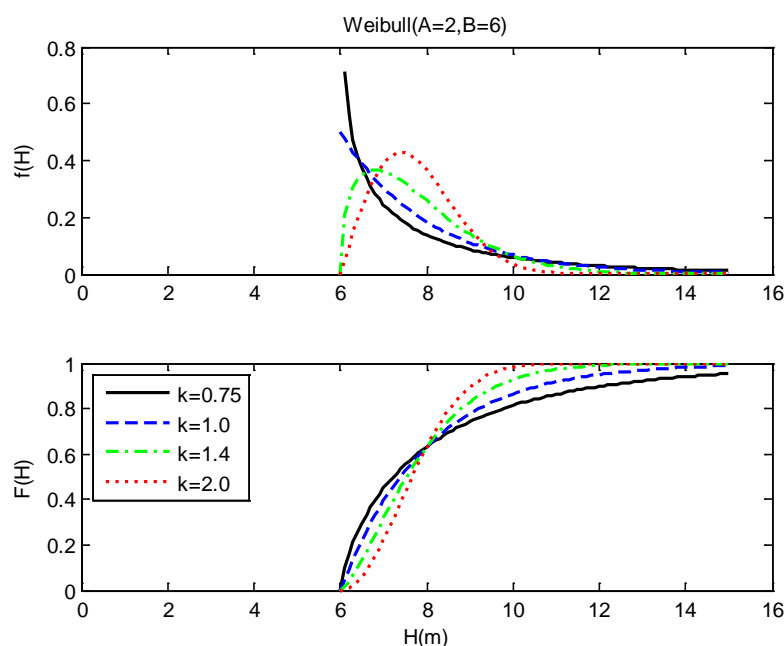


圖 7.1 常數  $k$  在不同情況下的機率密度表現

## 7.2 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。由本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』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 對於臺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

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

$\alpha$  及  $\beta$  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 $\alpha$ 及 $\beta$ 值

分佈函數	$\alpha$ 值	$\beta$ 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

## 7.3 信賴檢定

### 7.3.1 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

### 7.3.2 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。

### 7.3.3 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



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

## 7.4 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  $\sigma_x$  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  $\sigma_z$  乘以樣本  $x$  之標準差  $\sigma_x$ ，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  $\sigma_z$  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

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

式(7-15)至式(7-16)中之係數如所示

至於對數常態函數之  $\sigma_z$  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	$a_1$	$a_2$	K	$c$	$N_0$	$v_0$
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		

## 7.5 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、港灣技術研究中心長期觀測波浪資料、DHI MIKE 21 二維風浪數值模式及 M5 最小化模式樹波浪推算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。

### 7.5.1 安平港各重現期波高推算結果

本計畫蒐集港灣技術研究中心在安平港長期監測之波浪資料自 2000 起至 2014 年共 15 年，故以類神經颱風波浪推算模式、DHI MIKE 12 二維風浪推算模式及 M5 最小化模式樹波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，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考慮非颱風所造成的波高，若年極值樣本小於非颱風季的波高，即以非颱風的最大波高為該年年極值樣本。四種樣本來源的年極值樣本並在扣除本研究 2.3 節所計算的長期波浪變遷趨勢再進行各重現期的分析，結果如表 7.4 所示。

表 7.4 安平港各極值樣本之各重現期分析結果

Index	T (yr)	實測資料樣本(OBS)				類神經樣本(ANN)			
		FT-I	FT-II	Weibull	LogN	FT-I	FT-II	Weibull	LogN
MIR( <i>m</i> )		1.11	1.59	0.83	0.93	0.64	0.50	0.46	1.59
RMSE( <i>m</i> )		0.34	0.43	0.27	0.31	0.08	0.07	0.06	0.11
ER ( <i>m</i> )		0.69	0.87	0.45	0.78	0.04	0.04	0.02	0.23
$x_R(m)$	10	7.13	7.03	7.18	7.33	5.27	5.25	5.29	5.22
	25	8.16	8.21	8.01	8.37	5.58	5.61	5.60	5.43
	50	8.93	9.15	<u>8.56</u>	9.12	5.81	5.91	<u>5.82</u>	5.57
	100	9.69	10.16	9.06	9.85	6.04	6.22	6.03	5.70
	200	10.45	11.23	9.53	10.57	6.27	6.55	6.23	5.82
$\sigma (m)$	10	0.80	0.95	0.72	0.49	0.24	0.28	0.27	0.15
	25	1.09	1.37	0.88	0.58	0.32	0.41	0.35	0.17
	50	1.30	1.71	<u>0.99</u>	0.65	0.39	0.51	<u>0.41</u>	0.19
	100	1.52	2.08	1.08	0.72	0.45	0.62	0.47	0.21
	200	1.74	2.48	1.18	0.78	0.52	0.74	0.52	0.23
Index	T (yr)	二維數值模式樣本(MIKE)				M5 最小化模式樹樣本(M5)			
		FT-I	FT-II	Weibull	LogN	FT-I	FT-II	Weibull	LogN
MIR( <i>m</i> )		1.70	2.00	1.76	1.66	1.29	0.45	0.45	3.44
RMSE( <i>m</i> )		0.35	0.40	0.33	0.34	0.04	0.03	0.03	0.06
ER ( <i>m</i> )		0.14	0.30	0.06	0.27	0.06	0.04	0.00	0.14
$x_R(m)$	10	5.96	5.89	5.99	6.16	5.18	5.15	5.19	5.16
	25	6.80	6.84	6.66	7.01	5.30	5.32	5.34	5.23
	50	7.42	7.61	<u>7.10</u>	7.62	5.39	5.48	<u>5.46</u>	5.28
	100	8.03	8.42	7.51	8.22	5.48	5.68	5.57	5.32
	200	8.64	9.30	7.88	8.81	5.56	5.92	5.69	5.36
$\sigma (m)$	10	0.66	0.79	0.60	0.41	0.09	0.14	0.14	0.06
	25	0.90	1.13	0.73	0.48	0.12	0.22	0.20	0.07
	50	1.07	1.41	<u>0.81</u>	0.54	0.15	0.30	<u>0.24</u>	0.07
	100	1.25	1.72	0.89	0.59	0.17	0.40	0.29	0.08
	200	1.43	2.05	0.97	0.64	0.20	0.52	0.33	0.09

表 7.4 中灰階底色部分顯示在四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，其結果顯示四種樣本皆以 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。實測資料樣本、類神經樣本、二維數值模式樣本及 M5 最小化模式樹樣本的 50 年重現期極值波高分別為 8.56m、5.82m、7.10m 及 5.46m。標準差部分分別為 0.99m、0.41m、0.81m 與 0.24m。四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 至圖 7.5。圖中顯示各極值分布與樣本資料間的回歸近似情況，安平港四種樣本的年極值樣本皆可找到最適分布來進行後續分析。

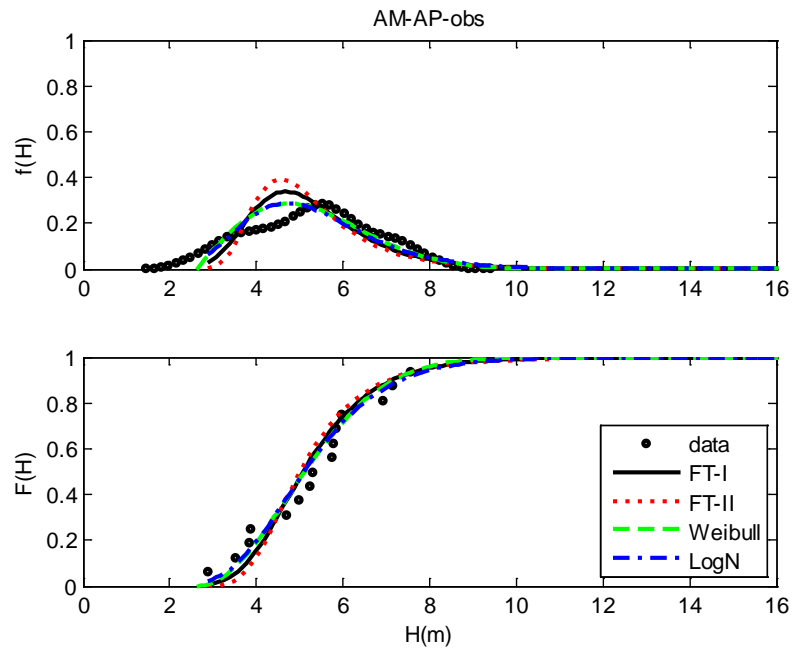


圖 7.2 安平港實測波浪資料年極值樣本之機率密度函數及機率函數圖

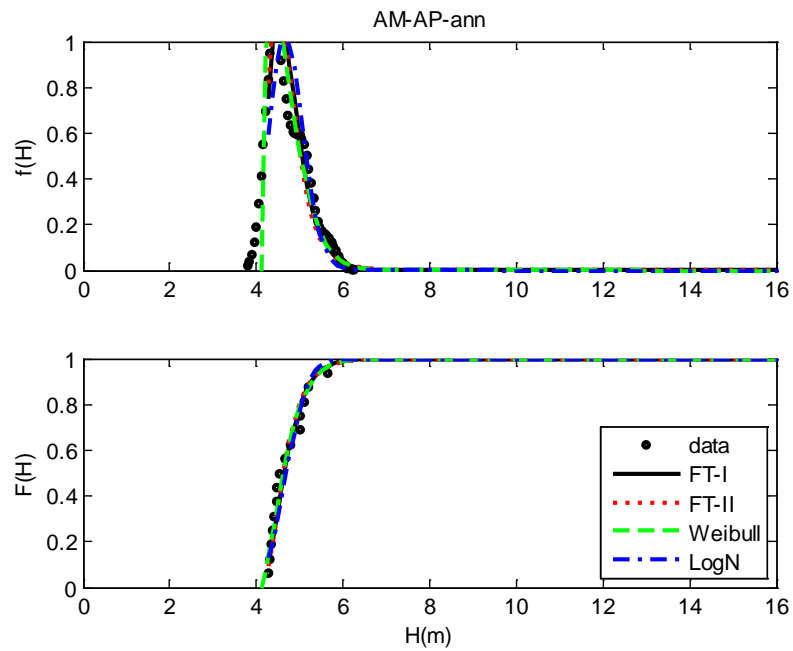


圖 7.3 安平港類神經推算結果年極值樣本之機率密度函數及機率函數圖

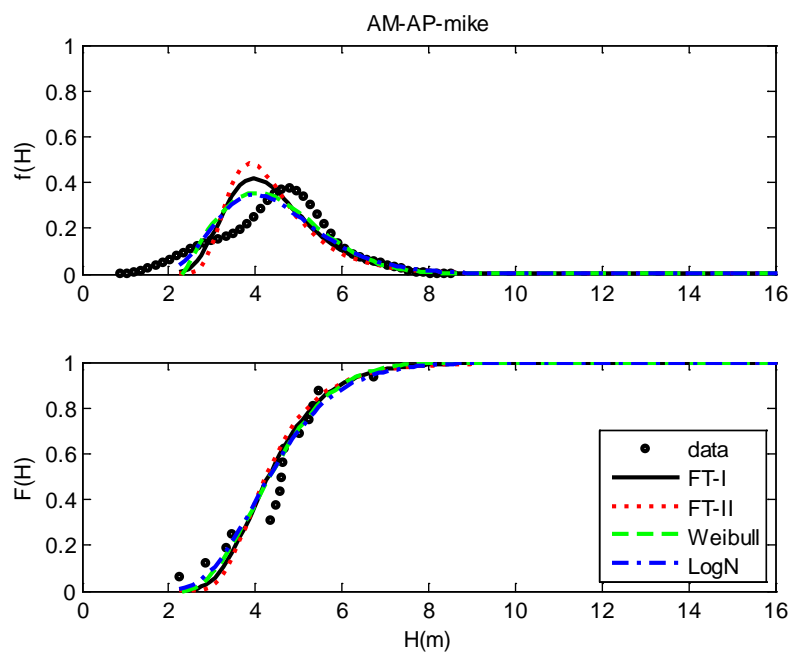


圖 7.4 安平港二維數值推算結果年極值樣本之機率密度函數及機率函數圖

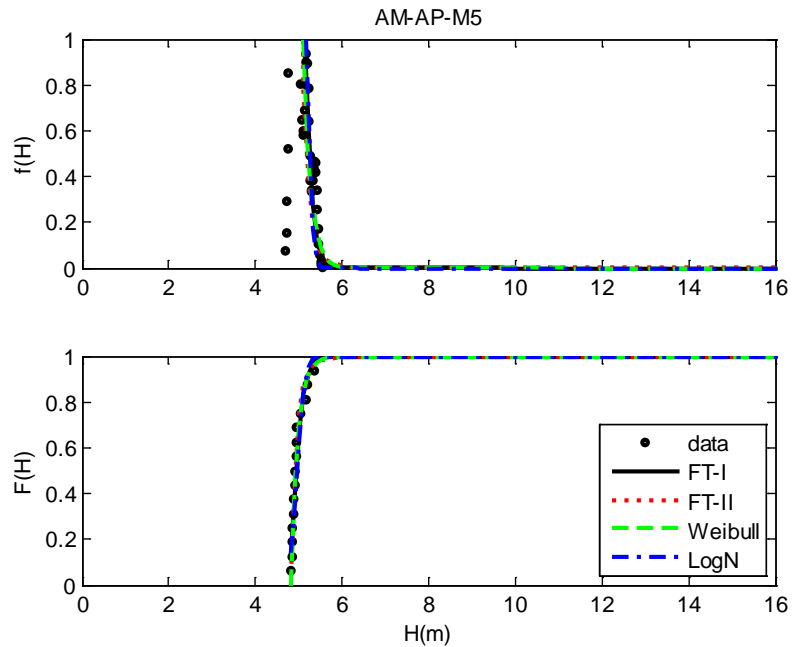


圖 7.5 安平港 M5 最小化模式樹推算結果年極值樣本之機率密度函數及機率函數圖

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 7.5，結果顯示四種樣本的 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與 M5 樣本則由於其推算結果有低估的現象而較小；標準差則以類神經樣本與 M5 樣本較小，實測資料與二維數值模式較大。以安平港三種模式的極值分析結果顯示，二維數值模式的推算樣本應用於設計波的推算與實測波高資料推算的結果最為接近，類神經與 M5 模式則有偏低的現象。表中並列出四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 7.5 安平港四種樣本來源的極值分析結果**

樣本來源	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)		
實測資料	8.56	0.99	6.93~10.18	7.48~10.73
類神經樣本	5.82	0.41	5.14~6.50	5.69~7.05
二維數值模式	7.10	0.81	5.76~8.44	6.30~8.99
M5 樣本	5.46	0.24	5.06~5.86	5.60~6.40

### 7.5.2 高雄港各重現期波高推算結果

本計畫蒐集港灣技術研究中心在高雄港長期監測之波浪資料自 2001 起至 2014 年共 14 年，以類神經颱風波浪推算模式、DHI MIKE 12 二維風浪推算模式及 M5 最小化模式樹波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，在實測樣本中除了颱風期間的最大波高外並考慮非颱風所造成的波高，若年極值樣本小於非颱風季的波高，即以非颱風的最大波高為該年年極值樣本。四種樣本來源的年極值樣本並在扣除本研究 2.3 節所計算的長期波浪變遷趨勢再進行各重現期的分析，結果如表 7.6 所示。

表 7.6 高雄港各極值樣本之各重現期分析結果

Index	T (yr)	實測資料樣本(OBS)				類神經樣本(ANN)			
		FT-I	FT-II	Weibull	LogN	FT-I	FT-II	Weibull	LogN
MIR( <i>m</i> )		1.35	1.72	1.22	1.03	0.76	1.09	0.55	0.59
RMSE( <i>m</i> )		0.32	0.38	0.28	0.27	0.15	0.20	0.12	0.13
ER ( <i>m</i> )		0.24	0.39	0.06	0.18	0.33	0.44	0.21	0.15
$x_R(m)$	10	7.33	7.26	7.36	7.44	6.35	6.31	6.37	6.34
	25	8.18	8.23	8.05	8.20	6.92	6.95	6.82	6.77
	50	8.82	9.01	8.50	<u>8.74</u>	7.33	7.47	<u>7.12</u>	7.07
	100	9.45	9.85	8.92	9.25	7.74	8.02	7.40	7.34
	200	10.07	10.74	9.30	9.74	8.16	8.61	7.65	7.60
$\sigma$ ( <i>m</i> )	10	0.70	0.83	0.63	0.42	0.45	0.52	0.41	0.27
	25	0.95	1.19	0.77	0.50	0.61	0.75	0.49	0.32
	50	1.13	1.48	0.86	<u>0.56</u>	0.73	0.94	<u>0.55</u>	0.36
	100	1.32	1.80	0.95	0.62	0.85	1.15	0.61	0.40
	200	1.51	2.15	1.03	0.67	0.98	1.37	0.66	0.43
Index	T (yr)	二維數值模式樣本(MIKE)				M5 最小化模式樹樣本(M5)			
		FT-I	FT-II	Weibull	LogN	FT-I	FT-II	Weibull	LogN
MIR( <i>m</i> )		1.70	1.97	1.85	1.59	1.06	0.43	0.56	2.41
RMSE( <i>m</i> )		0.35	0.40	0.34	0.33	0.12	0.09	0.09	0.17
ER ( <i>m</i> )		0.12	0.28	0.07	0.16	0.17	0.03	0.01	0.39
$x_R(m)$	10	6.51	6.44	6.54	6.67	5.70	5.65	5.71	5.63
	25	7.34	7.39	7.20	7.47	6.07	6.14	6.19	5.87
	50	7.96	8.15	7.63	<u>8.03</u>	6.34	6.57	<u>6.55</u>	6.03
	100	8.57	8.96	8.03	8.57	6.62	7.07	6.90	6.18
	200	9.17	9.83	8.41	9.10	6.89	7.63	7.26	6.32
$\sigma$ ( <i>m</i> )	10	0.69	0.81	0.62	0.42	0.30	0.39	0.45	0.18
	25	0.93	1.17	0.75	0.49	0.41	0.60	0.64	0.22
	50	1.11	1.46	0.84	<u>0.55</u>	0.49	0.78	<u>0.79</u>	0.24
	100	1.30	1.77	0.93	0.60	0.57	0.99	0.94	0.26
	200	1.49	2.11	1.01	0.66	0.65	1.24	1.09	0.29

表 7.6 中灰階底色部分顯示在四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，其結果顯示實測資料樣本與二維數值模式樣本是以 Log-Normal 為最適分布，而類神經樣本與 M5 樣本則以 Weibull 分布為最適分布，其中 M5 樣本若選用 FT-II 型分布也有不錯的結果，其推估的各重現期波高與標準差都與 Weibull 接近。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。實測資料樣本、類神經樣本、二維數值模式樣本及 M5 最小化模式樹樣本的 50 年重現期極值波高分別為 8.74m、7.12m、8.03m 及 6.55m。標準差部分分別為 0.56m、0.55m、0.55m 與 0.79m。四種樣本來源的各種機率密度函數與機率函數圖示如圖 7.6 至圖 7.9。圖中顯示

各極值分布與樣本資料間的回歸近似情況，高雄港四種樣本的年極值樣本皆可找到最適分布來進行後續分析。

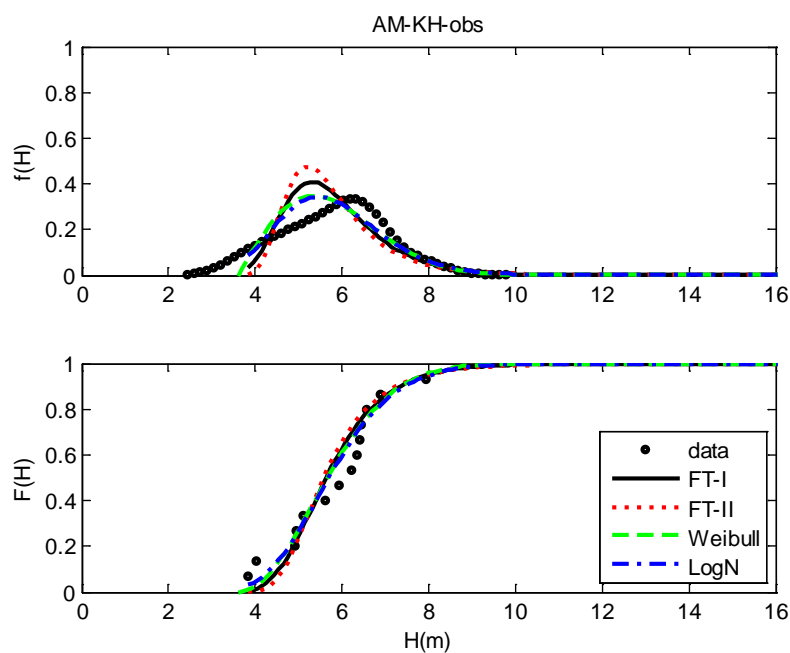


圖 7.6 高雄港實測資料年極值樣本之機率密度函數及機率函數圖

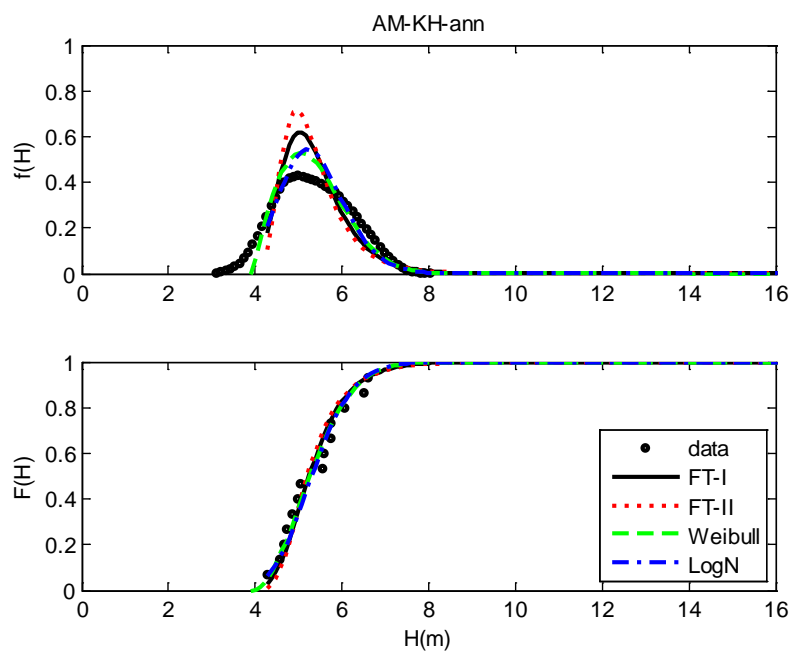


圖 7.7 高雄港類神經推算年極值樣本之機率密度函數及機率函數圖



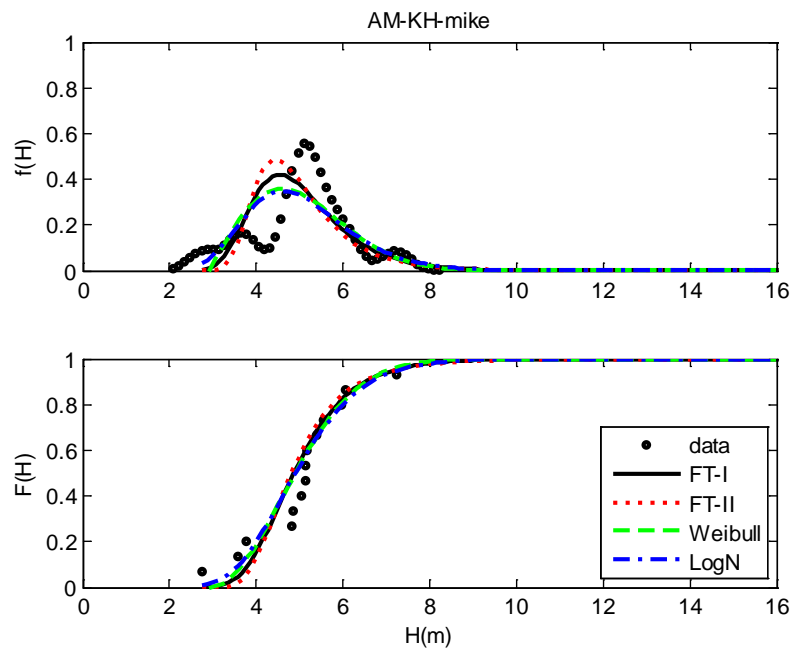


圖 7.8 高雄港二維數值模式推算年極值樣本之機率密度函數及機率函數圖

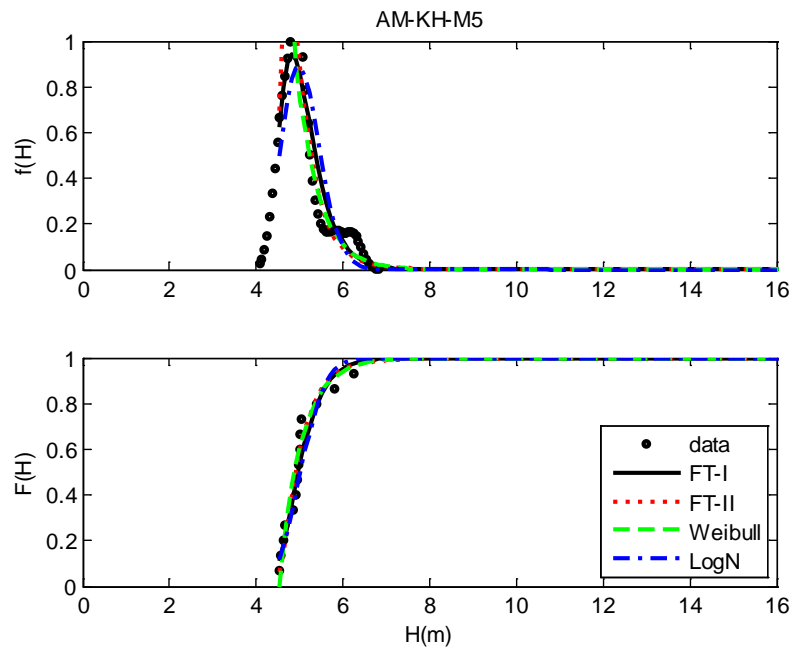


圖 7.9 高雄港 M5 最小化模式樹模式推算年極值樣本之機率密度函數及機率函數圖

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 7.7，結果顯示四種樣本的 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與 M5 樣本則由於其推算結果有低估的現象而較小；標準差則以 M5 樣本較大，其於三種樣本較小且接近。分析結果顯示二維數值模式推算樣本進行極值分析的結果與實測波高樣本最為接近。表中並列出四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 7.7 高雄港四種樣本來源的極值分析結果**

樣本來源	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)		
實測資料	8.74	0.56	7.81~9.66	8.32~10.17
類神經樣本	7.12	0.55	6.21~8.04	6.71~8.54
二維數值模式	8.03	0.55	7.12~8.94	7.63~9.44
M5 樣本	6.55	0.79	5.24~7.85	5.74~8.36

## 7.6 因應氣候變遷影響的設計波擬定原則

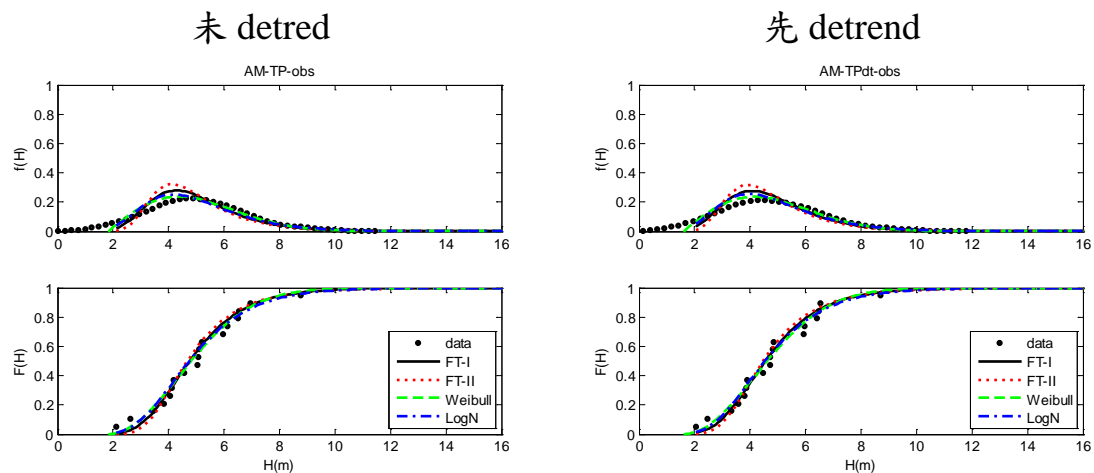
本所港灣技術研究中心為響應國際航海學會(The World Association for Waterborne Transport Infrastructure, PIANC) 對氣候變遷造成海事工程之影響探討議題，在本計畫中已持續進行各港在氣候變遷影響下颱風與波浪的特性分析。截至本年度期末報告本計畫已針對花蓮、蘇澳、臺北、基隆、安平與高雄六個主要港口進行波浪長期趨勢分析來分析各港受氣候變遷下的影響量，各港綜合結果如表 7.8，然而此影響量要如何應用至設計波擬定的流程中也是往昔研究中並未探討過的重要課題。在去年度的設計波推算中，研究團隊先以港灣技術研究中心的長期波浪實測資料進行各種趨勢分析與檢測，並在各種樣本的極值分析完成後再加以考慮重現期下的趨勢增加量。此法雖然較往昔工程規畫設計上多考慮了氣候變遷的波高增加量，但卻忽略掉極值分析樣本需具被等質性的原則，若已知樣本本身具備趨勢性，就應

在進行極值分析前先進行趨勢去除(detrend)的動作，本計畫以現有資料中趨勢最明顯的臺北港資料來進行修正。

**表 7.8 各主要港口長期波浪趨勢分析結果**

主要港口	波高年增率 (m/year)
花蓮港	-0.0068
蘇澳港	0.0133
臺北港	0.0236
基隆港	不具趨勢性
安平港	0.0109
高雄港	0.0101

選用臺北港(1996~2013 年)的資料進行測試，將實測波高、類神經推算、二維數值推算與 M5 模式推算的四種年極值樣本扣掉其對應的趨勢增加量，與未扣除趨勢的樣本進行極值統計比較，實測波高樣本之機率密度函數圖如圖 7.10 所示。各種樣本直接進行極值分析以推求重現期波高的結果如表 7.9，先進行 detrend 後再進行分析的結果則示如表 7.10。圖中顯示 detrend 對極值函數的擬合狀況並無太大影響，而表 7.9 與表 7.10 的比較間可發現兩種方法的三種極值函數評估指標略有不同，但最適極值函數的選擇結果是相同的。



**圖 7.10 detrend 前後的機率密度比較圖**

表 7.9 臺北港各種樣本之各重現期分析結果(未 detrend)

Index	T (yr)	實測資料樣本(OBS)				類神經樣本(ANN)			
		FT-I	FT-II	Weibull	LogN	FT-I	FT-II	Weibull	LogN
MIR( $m$ )		0.54	0.81	0.58	0.63	1.59	2.21	1.23	0.91
RMSE( $m$ )		0.27	0.36	0.26	0.30	0.22	0.28	0.18	0.16
ER ( $m$ )		0.09	0.40	0.29	0.33	0.52	0.64	0.38	0.47
$x_R(m)$	10	7.24	7.14	7.28	7.49	5.48	5.42	5.52	5.57
	25	8.49	8.57	8.27	8.85	6.06	6.07	5.98	6.08
	50	<u>9.42</u>	9.73	8.93	9.86	6.48	6.59	6.29	<u>6.43</u>
	100	10.34	10.95	9.54	10.86	6.91	7.14	6.57	6.77
	200	11.25	12.26	10.10	11.87	7.33	7.74	6.83	7.09
$\sigma (m)$	10	0.86	1.03	0.77	0.54	0.41	0.49	0.36	0.25
	25	1.15	1.47	0.93	0.64	0.55	0.70	0.44	0.30
	50	<u>1.38</u>	1.84	1.04	0.71	0.65	0.87	0.49	<u>0.34</u>
	100	1.61	2.24	1.14	0.78	0.76	1.06	0.54	0.37
	200	1.84	2.66	1.24	0.84	0.87	1.26	0.59	0.40
Index	T (yr)	二維數值模式樣本(MIKE)				M5 最小化模式樹樣本(M5)			
		FT-I	FT-II	Weibull	LogN	FT-I	FT-II	Weibull	LogN
MIR( $m$ )		0.70	0.83	0.57	0.75	2.10	2.60	2.08	1.20
RMSE( $m$ )		0.28	0.33	0.24	0.27	0.11	0.13	0.10	0.07
ER ( $m$ )		0.56	0.86	0.61	0.29	0.18	0.23	0.11	0.10
$x_R(m)$	10	6.63	6.55	6.70	6.59	4.21	4.18	4.22	4.22
	25	7.75	7.83	7.82	7.62	4.44	4.45	4.41	4.40
	50	8.58	8.87	<u>8.61</u>	8.38	4.62	4.66	4.53	<u>4.52</u>
	100	9.40	9.98	9.36	9.12	4.79	4.89	4.65	4.63
	200	10.22	11.16	10.08	9.85	4.96	5.13	4.76	4.73
$\sigma (m)$	10	0.77	0.93	0.87	0.48	0.17	0.20	0.15	0.11
	25	1.04	1.33	1.13	0.57	0.23	0.29	0.18	0.13
	50	1.25	1.66	<u>1.32</u>	0.64	0.27	0.36	0.21	<u>0.14</u>
	100	1.45	2.02	1.49	0.70	0.32	0.44	0.23	0.15
	200	1.66	2.40	1.67	0.76	0.36	0.53	0.24	0.17

另以表 7.11 來比較兩種方式所推算出來的結果，表中顯示先進行 detrend 在進行分析的 50 年重現期極值波高都略小於原來方法。雖然差異不大，但未來在極值分析前可先進行趨勢分析，確保資料為無趨勢再行分析。分析後的信賴區間再加上年增率對應重現期的氣候變遷量。可避免因為考慮長期變遷趨勢而造成設計波的高估。

表 7.10 臺北港各種樣本之各重現期分析結果(detrend 後)

Index	T (yr)	實測資料樣本(OBS)				類神經樣本(ANN)			
		FT-I	FT-II	Weibull	LogN	FT-I	FT-II	Weibull	LogN
MIR(m)		0.63	0.83	0.75	0.77	1.52	2.13	1.15	0.89
RMSE(m)		0.30	0.37	0.30	0.32	0.21	0.27	0.17	0.16
ER (m)		0.03	0.30	0.42	0.17	0.52	0.63	0.37	0.46
$x_R(m)$	10	7.06	6.97	7.10	7.27	5.28	5.22	5.32	5.37
	25	8.32	8.41	8.10	8.64	5.86	5.87	5.78	5.88
	50	9.25	9.58	8.76	9.66	6.28	6.39	6.09	6.24
	100	<u>10.18</u>	10.82	9.37	10.68	6.71	6.94	6.37	<u>6.58</u>
	200	11.10	12.14	9.94	11.71	7.13	7.54	6.63	6.90
$\sigma (m)$	10	0.87	1.04	0.78	0.54	0.40	0.49	0.36	0.25
	25	1.17	1.49	0.94	0.64	0.55	0.70	0.44	0.30
	50	<u>1.40</u>	1.86	1.05	0.72	0.65	0.87	0.49	<u>0.34</u>
	100	1.63	2.26	1.16	0.79	0.76	1.06	0.54	0.37
	200	1.86	2.69	1.25	0.85	0.87	1.26	0.59	0.40
Index	T (yr)	二維數值模式樣本(MIKE)				M5 最小化模式樹樣本(M5)			
		FT-I	FT-II	Weibull	LogN	FT-I	FT-II	Weibull	LogN
MIR(m)		0.71	0.93	0.63	0.72	0.48	0.84	0.41	0.27
RMSE(m)		0.28	0.35	0.24	0.26	0.06	0.08	0.05	0.04
ER (m)		0.61	0.90	0.28	0.46	0.10	0.17	0.02	0.02
$x_R(m)$	10	6.42	6.34	6.46	6.44	4.07	4.04	4.08	4.06
	25	7.54	7.62	7.36	7.52	4.33	4.35	4.29	4.26
	50	8.37	8.65	<u>7.95</u>	8.32	4.53	4.60	4.43	<u>4.39</u>
	100	9.19	9.75	8.50	9.11	4.73	4.86	4.56	4.51
	200	10.01	10.93	9.00	9.90	4.93	5.14	4.68	4.62
$\sigma (m)$	10	0.77	0.92	0.69	0.48	0.18	0.22	0.16	0.12
	25	1.04	1.33	0.84	0.57	0.25	0.32	0.20	0.14
	50	1.24	1.66	<u>0.94</u>	0.64	0.30	0.40	0.22	<u>0.15</u>
	100	1.45	2.01	1.03	0.70	0.35	0.48	0.25	0.17
	200	1.66	2.40	1.12	0.76	0.40	0.57	0.27	0.18

表 7.11 臺北港四種樣本來源以兩種方式分析 50 年重現期結果

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	Before	8.58	1.25	6.52~10.63	7.70~11.81
	先 detrend	8.37	1.24	6.32~10.42	7.50~11.60
實測資料	Before	9.86	0.71	8.69~11.03	9.87~12.21
	先 detrend	9.66	0.72	8.48~10.84	9.66~12.02
二維數值模式	Before	4.53	0.21	4.20~4.87	5.38~6.05
	先 detrend	4.43	0.22	4.06~4.80	5.24~5.98
M5 樣本	Before	6.43	0.34	5.88~6.99	7.06~8.17
	先 detrend	6.24	0.34	5.68~6.79	6.86~7.97

## 7.7 臺灣主要商港設計波浪專家會議

本計畫除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，本所港灣技術研究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，港灣技術研究中心曾於民國一零二年主辦的『統一建立臺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參與。本年度研究團隊並配合港灣技術研究中心於 10 月 19 日舉辦『建立臺灣主要商港設計波浪專家會議(II)』，會議照片圖 7.11，會議中除展示本計畫目前二維數值模式精度的提升並探討目前決定設計波的流程與不同目標點的設計波比較，此外會議中並提出幾項新的討論議題包括：

1. 深海位置的選擇
2. 十六方位的極值樣本與極值分析
3. 以深水設計波再由浪模式推算至防波堤前的外力設計條件
4. 國外設計防波堤的流程。

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 7.11 『建立臺灣主要商港設計波浪專家會議(II)』會議照片

## 第八章 結論與建議

本計畫針對安平港與高雄港進行 M5 最小化模式樹之建構，並更新往昔發展的安平港與高雄港類神經波浪推算模式，以比較兩種波浪推算模式的精度及特性。二維數值風浪推算模式以去年度的工作經驗透過 WRF 追算高解析度的風場資料來提升風浪模式精度，再以本計畫中三種推算模式樣本配合實測波高樣本進行安平港與高雄港的設計波推算，在重現期的推算過程中一併考慮本計畫所分析氣候變遷對波高所造成的影響量。所獲得之結論、建議、成果效益及後續應用情形分述如以下各節。

### 8.1 結論

1. 本計畫針對近 64 年內侵襲安平港與高雄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無明顯趨勢。中度颱風侵襲安平港的年增加率平均約為 0.0138 次/年。高雄港部份的中度颱風侵襲次數年增率平均約為 0.0147 次/年，以現有颱風紀錄而言每 100 年約增加一個颱風的侵襲機會。
2. 透過多種趨勢分析方法所獲得的結果顯示安平港波高年增率為 0.0022 至 0.0136 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，其分析結果安平港波高年增率為 0.0109 m/year 較具代表性。高雄港以一階線性回歸與 EMD 法配合逐時、月平均與年平均等波浪取樣方式所估算的為年增率約為 0.0042 至 0.0105 m/year，而採用 Seasonal Kendall 趨勢檢定法其波高年增率為 0.0101 m/year，結果顯示高雄港與安平港的波浪長期趨勢分析結果相當接近，皆是屬於些微遞增，波高約每 100 年增加 1m。
3. 本計畫並以新蒐集之颱風波浪資料配合較適用的 SLOSH 參數模型風場更新安平港與高雄港之類神經網路波浪推算模式，以提升模式

推算能力。針對目前已建立完成的颱風波浪推算模式進行比較，由於颱風波浪樣本的新增，已大幅提升安平港與高雄港的波浪推算能力，改善往昔臺灣西岸推算能力較東岸差的情況。

4. 利用M5 最小化模式樹模式建立的安平港與高雄港的M5 最小化模式樹波浪推算模式，在驗證結果中顯示M5 模式可以達到與類神經模式相近的推算能力，以波高峰值誤差、波高峰值發生時間誤差、RMSE與 $R^2$ 四個指標來評估安平港與高雄港的M5 最小化模式樹波浪推算模式，發現高雄港的推算能力較安平港好。
5. 以安平港 46 場颱風來評估兩種模式，波高峰值的推算精度以類神經模式較佳，但整體推算RMSE及 $R^2$ 皆是以M5 最小化模式樹波浪推算模式較佳。高雄港 46 場颱風的分析結果顯示類神經模式在四種誤差評估指標的精度表現上都高於M5 模式所推估的結果。本計畫並針對推算較差的幾場颱風進行探討，除了少數幾場推估結果會與實測波高峰值相差約 2m外，另發現由東向西侵臺的颱風在遠離臺灣本島進入中國大陸後會造成另一波高峰值，這種現象目前兩種模式皆無法模擬此現象。安平港與高雄港兩種模式在波高峰值推估上都有些許低估的現象。而無論是安平或高雄港，類神經模式所推估波高峰值發生時間在誤差標準值部分皆小於M5 模式，顯示在峰值發生時間部分類神經模式所推估的結果較為可靠。故現階段無論是即時預報或極值樣本推算仍建議採用以類神經模式較為合適。
6. 本計畫透過 WRF 模式追算高解析度的風場資料，以此為輸入條件可提升二維數值風浪推算模式的推算能力，以驗證結果來看，安平港與高雄港的推算精度都高於目前類神經與 M5 模式。
7. 由三種模式推算樣本配合實測波高樣本進行極值統計分析並推求 50 重現期的結果比較中發現二維數值模式的推算樣本最接近實測波高樣本，約有 1m 內的差量；類神經模式樣本次之，約有 2m 的差量；M5 模式樣本最差，差量約 2.5m，有明顯低估的現象。此外本計畫並以波高長期變遷趨勢最大的臺北港為例，評估波高長期變遷



趨勢對極值統計分析的影響，結果顯示在進行極值分析前先 detrend 的做法可避免因考量氣候變遷因素而高估設計波高。

## 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。其中安平港與高雄港各有幾場颱風案例在遠離臺灣登陸中國大陸時才造成較大波浪的情況，建議可由觀測點風速資料進行評估，以了解其造成風浪的機制。
2. 安平港與高雄港波浪地理位置相近，僅距離約 47.55km，所以長期波浪趨勢分析的結果十分接近。但就前兩年度所作分析顯示各港還是有不同變遷趨勢，未來完成各主要港口的颱風與波浪長期趨勢分析後可對於各港間的變遷趨勢做綜合評估。
3. 未來在極值分析前建議可先進行趨勢分析，確保資料為無趨勢再行分析。分析後的信賴區間再加上年增率對應重現期的氣候變遷量。可避免因為考慮長期變遷趨勢而造成設計波的高估。

## 8.3 成果效益及後續應用情形

本研究成果可提供高雄港務公司檢核安平與高雄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高雄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。

## 參考文獻

1. 合田良実、小舟浩治，「波浪の極値統計における分布関数の棄却基準」，海岸工学論文集，第 36 卷，135-139(1989)。
2. 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)。
3. 郭一羽，「海岸工程學」，文山書局，第四章(2001)
4. 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)。
5. 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)。
6. 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，臺灣(2011)。
7. 張書瑋，「氣候變遷下臺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)。
8. 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，臺灣(2011)。
9. 葉弘德，「氣候變遷對臺灣西部離岸風能潛勢與發電量之影響評估」，臺灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文(2012)。
10. 趙紀翔，「氣候變遷對蘭陽溪流域影響評估」，國立台北科技大學環境工程與管理研究所碩士論文(2012)。
11. 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)。
12. 陳蔚瑋、張憲國、何良勝、劉勁成，「應用二維歸屬函數建立臺中港類神經網路颱風波浪推算模式」，第三十四屆海洋工程研討會論文集，

台南，臺灣(2012)。

- 13.吳祚任，「臺灣海域近岸風暴潮溢淹預報模式之開發與研究(3/4)」，交通部中央氣象局(2014)。
- 14.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.
- 15.Bhattacharya, B and D.P. Solomatine (2005) "Neural networks and M5 model trees in modeling water level-discharge relationship," *Neurocomputing*, 63, 381-396.
- 16.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.
- 17.Cios, K., Pedrycz, W., Seiniarski, R. W. and Kurgan, L. A. (2007) "Data mining, a knowledge discovery approach," Springer.
- 18.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.
- 19.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.
- 20.Dawson, C W. and Wilby, R. L. (2001) "Hydrological Modeling Using Artificial Neural Networks," *Progress in Physical Geography*, 25(1): 80-108.
- 21.DHI (2011), User guide and reference manual of MIKE 21-coastal hydraulics and oceanography hydrodynamic model, Danish Hydraulic Institute.
- 22.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.

23. 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.
24. 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.
25. Garg, A., Tai, K., Lee, C. H. and Savalani, M. M. (2014) "A Hybrid M5'-Genetic Programming Approach For Ensuring Greater Trustworthiness Of Prediction Ability In Modeling Of FDM Process," *Journal of Intelligent Manufacturing*, 25, 1349-1365.
26. 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.
27. 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.
28. Guedes Soares, C., Scotto, M. (2001) "Modelling uncertainty of long-term predictions of significant wave height," *Ocean Engineering* 28, 329-342.
29. Guedes Soares, C. (1986) "Assessment of the uncertainty in visual observations of wave height," *Ocean Engineering*, 13, 1, 37-56.
30. Haver, S. (1985) "Wave Climate off northern Norway," *Applied Ocean Research*, 7, 85-92.
31. 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.
32. 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.

- 33.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.
- 34.Holthuijsen, L.H, N. Booij and T.H.C. Herbers (1989), "A Prediction Model for Stationary, Short-crested Waves in Shallow Water with Ambient Currents," *Coastal Engineering*, 13, 23-54.
- 35.Houston, S.H., and Powell, M.D. (1994) "Observed and modeled wind and water-level response from tropical storm Marco (1990)," *Weather and Forecasting*, 9, 3, 427-439.
- 36.Houston, S.H., Shaffer, W.A., Powell, M.D., and Chen, J. (1999) "Comparisons of HRD and SLOSH surface wind fields in hurricanes: Implications for storm surge modeling," *Weather and Forecasting*, 14, 5, 671-686.
- 37.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.
- 38.Huang, W., and Foo, S. (2002) "Neural network modeling of salinity variation in Apalachicola River," *Water Research*, Vol. 36, 356-362.
- 39.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.
- 40.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.
- 41.Kecman, V. (2001) "Learning and Soft Computing: Support Vector Machines, Neural Networks , and Fuzzy Logic Models," *The MIT Press Cambridge, Massachusetts London , England*.
- 42.Kendall, M. G. (1975) "Rank Correlation Methods," London: Charles Griffin.
- 43.Knaff, J.A., C. R. Sampson, M. DeMaria, T. P. Marchok, J. M. Gross,

- and McAdie, C. J. (2007) "Statistical Tropical Cyclone Wind Radii Prediction Using Climatology and Persistence," *Wea. Forecasting*, 22, 4, 781-791.
- 44.Komen, G.J., L. Cavaleri, M. Doneland, K. Hasselmann, S. Hasselmann and P.A.E.M. Janssen, (1994), *Dynamics and Modelling of Ocean Waves*, Cambridge University Press, UK, 560p.
- 45.Kurkova, V. (1992) "Kolmogorov's Theorem and multilayer neural networks," *Neural Networks*, Vol. 5, 501-506.
- 46.Mann, H. B., (1945) "Non-parametric tests against trend," *Econometrica*, 13, 245-259.
- 47.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 timedependent POT model," *Journal of Geophysical Research*, 111, C07024.
- 48.Moller M, (1993) "A scaled conjugate gradient algorithm for fast supervised learning," *Neural Networks*, 6(4), 525-533.
- 49.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.
- 50.Quinlan J.R. (1992) "Learning with continuous classes," *Proceedings of 5th Australian Joint Conference on Artificial Intelligence*, World Scientific, Singapore, 343-348.
- 51.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.
- 52.Rilling, G., Flandrin, P. and Goncalves, P. (2003) "On empirical mode decomposition and its algorithm," *Proc. IEEE-EURASIP Workshop NonLinear Signal Image Process.*
- 53.Saha, S. and Coauthors (2010) "The NCEP Climate Forecast System

- Reanalysis,” *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 91, 1015-1057.
- 54.Samadi, M., Jabbari, E., Azamathulla, H. M. (2014) “Assessment of M5 model tree and classification and regression trees for prediction of scour depth below free overfall spillways,” *Neural Comput & Applic.*, 24, 2, 357-366.
  - 55.Sen, P. K. (1968) "Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau," *Journal of the American Statistical Association*, 63, 1379-1389.
  - 56.Smith, R.L. (1986) "Extreme value theory based on the r largest annual events," *Journal of Hydrology*, 86, 27-43.
  - 57.Skamarock, W. C., J. B. Klemp, and Dudhia, J. (2001) “Prototype for the WRF (Weather Research and Forecasting) model,” *Preprints, Ninth Conf. on Mesoscale Processes, Fort Lauderdale, FL, Amer. Meteor. Soc.*, J11-J15.
  - 58.Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, W. Wang, and Powers, J. G. (2005) A description of the Advanced Research WRF version 2. NCAR/TN-468\_STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 88pp.
  - 59.Skamarock, W. C. (2008) A description of the advanced research WRF version 3. NCAR Tech Note NCAR/TN-4751STR, 125 pp.
  - 60.Suh, K. D., Kim, M. and Chun J. (2013) "Estimation of design wave height using empirical simulation technique," *Ocean Engineering*, 61, 39-49.
  - 61.U.S. Army Corps of Engineers (2002) Coastal Engineering Manual. Engineer Manual, Washington, D.C.
  - 62.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.
  - 63.Walker, W. W. (1991) "Water quality trends at inflows to Everglades

- National Park," *Water Resources Bulletin*, 27, 1, 59-72.
64. Wang Y. and Witten I.H. (1997) "Induction of model trees for predicting continuous classes," *Proceedings European Conference on Machine Learning*, Prague, 128-137.
65. Weibull, W. (1951) "A statistical distribution function of wide application," *Journal of Applied Mechanics*, 18, 293.
66. Witten, I. H., and Frank, E. (2005) "Data Mining : Practical Machine Learning Tools and Techniques (2nd ed.)," San Francisco : Morgan Kaufmann.
67. 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.
68. Young, I.R. (1999), Wind Generated Ocean Waves, in Elsevier Ocean Engineering Book Series, Volume 2, Eds. R. Bhattacharyya and M.E. McCormick, Elsevier.
69. Young, I. R., Zieger, S., Babanin, A. V. (2011) "Global Trends in Wind Speed and Wave Height," *Science*, 332, 6028, 451-455.
70. 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.
71. Zahiri, A., Azamathulla, H. M. (2014) "Comparison between linear genetic programming and M5 tree models to predict flow discharge in compound channels," *Neural Comput & Applic*, 24, 413-420.
72. Zheng, C. W., Li, C. Y. (2015) "Variation of the wave energy and significant wave height in the China Sea and adjacent waters," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 381-387.
73. 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 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(3/4)

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	本所計畫承辦單位 審查意見
<p>一、林炤圭委員</p> <p>1. 建議測試用之颱風分路徑和等級分別比較，以釐清本計畫所提方法之適用範圍。例如第三章之各個比較表其<math>R^2</math>值差異很大。</p> <p>2. 本計劃所引用之方法常有不同之結果，希望期末報告時能有具體建議。例如波浪長期趨勢。</p>	<p>1. 感謝委員建議，為使本研究中所建立的風浪推算模式能適用於所有颱風，本研究在選用的測試颱風與訓練颱風時已考量路徑及等級來進行群集分析，以確保兩群資料的均勻性，避免模式只適用於某些颱風，已於報告中 3.2.2 節說明。另路徑與等級分類比較在模式建立初期研究團隊皆已進行歸納分析，並參考其結果探討於 5.1 節中。</p> <p>2. 由於取樣方式與趨勢偵測方式的不同會造成不同的分析結果，本計畫盡可能將所有方法的結果列出，並已說明 Seasonal Kendall 方法可避免資料缺漏與季節性變化所造的誤判，故建議選擇其結果作為代表。</p>	<p>1. 依處理情形辦理。</p> <p>2. 依處理情形辦理。</p>

<p>3. 建議列出 M5 方法中之分類的結果，而非僅止說明理論，以便了解 M5 之合理性。ANN 中各個輸入參數之交互影響如何釐清。</p> <p>4. 建議列出整個作業之流程。</p>	<p>3. 由於颱風各因子與波浪間的關係複雜，M5 模式的分類結果的規則數一般多達 300~700 組，故較難以逐一列出說明。ANN 本身具有多神經元曾與多層的線性關係，一般也較難以探討各參數間的影響量。</p> <p>4. 已增列工作流程圖於圖 1.4。</p>	<p>3. 依處理情形辦理。</p> <p>4. 依處理情形辦理。</p>
<p>二、郭一羽委員</p> <p>1. 本計畫研究成果有學術和應用價值。</p> <p>2. 增加 ANN 和 M5 兩模式之理論構想以及適用條件的差異處。</p>	<p>1. 感謝委員認可。</p> <p>2. 由於兩種模式皆屬於透過大量資料訓練來建立的，其中架構十分繁瑣，模式架構理論已於報告中加強說明，理論構想已補充於 5.1 節。兩種模式適用的情況類似，目前以現有驗證資料顯示兩種模式都對於東向西行跨越臺灣海峽進入大陸後的波高峰值較難正確模擬，已說明於期末報告 5.1 節中，未來若有更多樣本資料將再嘗試探討是否有改善的方法。</p>	<p>1. 依處理情形辦理。</p> <p>2. 依處理情形辦理。</p>

3. 颱風數量隨氣候變遷增加量與其隨機變化相比可忽略應加以說明。颱風強度是否增加可否分析(或以波高來說明)。	3. 感謝委員建議，分析結果顯示颱風侵臺次數有些微增加的趨勢，本結果可提供相關研究作參考，另由於颱風強度定義是以最大風速來決定，然而此最大風速未必影響推算點，故以 2.3 節的波高趨勢來說明較為合適。	3. 依處理情形辦理。
4. ANN 及 M5 模式的輸入參數，是否有隨氣候變遷增加？	4. 兩種模式都經由大量資料進行訓練來進行內部參數，理論上越多資料所建立的模式精度越佳，以目前資料量與特性而論若分不同時間區段來進行建模，勢必會遭遇各區段資料特性不均勻的狀況，故目前難以評估模式參數與氣候變遷之間的關係。	4. 依處理情形辦理。
5. 肯定設計波之氣候變遷的處理。但註明實用上影響很小。	5. 感謝委員肯定，未來可於所有主要港口的分析完成後再進一步探討是否須考量此影響量。	5. 依處理情形辦理。
<p>三、蔡清標委員</p> <p>1. 研究內容豐富，具成果。</p> <p>2. P1-3 第二段到第三段倒數第五行，建議併在</p>	<p>1. 感謝委員肯定。</p> <p>2. 感謝委員建議，由於此段為往昔相關研究的文</p>	1. 依處理情形辦理。

2.3.2 節趨勢分析中說明較易閱讀。	獻回顧，故將保留在文獻回顧章節，並已將與本研究所採用方法較相關的部分在 2.3.2 節中加入說明。	
3. 類神經模式中，容許誤差值之設定如何？建議說明之。	3. 本研究類神經模式訓練過程的容許誤差值為正規化後 MAE 或 MSE 的 0.01，然而本研究採用多種停止條件，通常模式停止訓練的狀況是發生在其學習效率降低的狀況。	3. 依處理情形辦理。
4. 3.2.4 節及 3.2.5 節放在 3.2.1 節之後似較佳	4. 感謝委員建議，已於期末報告第三章作調整。	4. 依處理情形辦理。
<p>四、何良勝委員</p> <p>1. 內文修正或補充說明之處：</p> <p>(1)P.1-1、P.1-2 內之“本所港灣技術研究中心”，修正為“交通部運輸研究所港灣技術研究中心”。</p> <p>(2)P.3-12，第 2 段內，三場風場模型，補充概略說明。</p> <p>(3)P.5-14，表 5.4 內，其「未通過 95% 百分比」宜作適當補充說明，避免產生誤解。</p>	<p>1.</p> <p>(1) 已於各章節進行修正。</p> <p>(2) 已補充於 P3-15。</p> <p>(3) 已修改說明於 5.3 節。</p>	1. 依處理情形辦理。

<p>2. 第二章中，有關安平與高雄所選擇颱風有所不同，建議作適當說明。</p> <p>3. P.5-1 之 5.1 節中，建議就兩種模式之分析結果，作一優劣說明。</p>	<p>2.已說明於 P.3-1 末段。</p> <p>3.已加入說明於 P5-11。</p>	<p>2. 依處理情形辦理。</p> <p>3. 依處理情形辦理。</p>
<p>五、曾相茂委員</p> <p>1. 第 2-2 頁(6)所有資料都儲存於傳回港灣技術研究中心的電腦及在水中量測中的 AWCP 內，也就是至少儲存在二個地方。</p> <p>2. 中央氣象局所定義颱風級分為是近中心最大風速 1.輕度颱風:17.2~32.6 公尺/秒 2. 中度颱風 32.7~50.9 公尺/秒 3.強烈颱風 51 公尺/秒以上，不知 2-2 頁為何用中心海面氣壓來分。</p> <p>3. 高雄港的觀測站是在 2000 年 12 月 20 日才安裝完成，所以 12 月 20 日前是沒有資料，2000 年 12 月 20 日~2005 年 8 月安裝在一、二港口間之高雄市中洲汙水處理廠外，海底電纜經常被底拖網漁船拖拉，以致</p>	<p>1. 感謝委員協助說明。</p> <p>2. 本研究中的分類標準也與中央氣象局的標準相同，然而日本氣象廳較完整的資料是氣壓值，故採用經驗公式轉算為壓力門檻。</p> <p>3. 感謝委員協助說明。</p>	<p>1. 依處理情形辦理。</p> <p>2. 依處理情形辦理。</p> <p>3. 依處理情形辦理。</p>

<p>沒有資料，2005 年 8 月至今改安裝在高雄二港口外，資料較正常傳回。</p>		
<p>六、蔡立宏委員：</p> <p>1. 本研究目標為即時預報，請說明模式資料收集傳輸與計算所需時間、預報時間及作業流程。</p> <p>2. 氣候變遷的影響量，在颱風部分僅探討長期增加個數及氣旋量，對於颱風引起的波浪改變如何？</p> <p>3. 不同模式在不同港口的模擬結果，建議探討模擬最佳及最差的原因。</p>	<p>1. 已於期末報告 P5-12 進行說明。</p> <p>2. 目前僅分別探討颱風侵臺個數與波浪的趨勢分析結果，由於定義上的颱風強度也未必會發生於推算點造成較大的波浪，以設計波的觀點而論可由 2.3.3 節各種不同取樣方式的波浪趨勢分析結果來進行評估。</p> <p>3. 模擬較差的颱風已探討於 5.1 節，而以目前颱風波浪模式建立的經驗，各港資料量對於模式推估精度也是很大的影響因素，也增加各港特性探討上的困難。已增列說明於 5.2 節。</p>	<p>1. 依處理情形辦理。</p> <p>2. 依處理情形辦理。</p> <p>3. 依處理情形辦理。</p>

## 附錄二 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(3/4)

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	本所計畫承辦單位 審查意見
<p>一、林炤圭委員</p> <p>1. 本計畫擬以類神經推算模式進行各港區的波浪推算，在應用上應有協助風波推算模式進行品質檢核之功能。但如 1.1 節計畫目的第二段文字所述之內容，本人持保守之看法。計畫團隊引用了許多理論與方法來設法提升類神經推算的精度，但有部分環節似乎已經模糊掉波浪的物理本質。</p>	<p>1. 本研究採用了類神經、M5 及二維數值模式等三種方式來進行波浪推算，其中類神經與 M5 兩種方法是屬於較複雜的最佳化模式，雖然無法如同往昔經驗公式以較單純的數學式說明各物裡量間的關係，但其操作上與應用上已明確於文中及往昔許多文獻說明其效能，本研究也持續針對每年新的侵臺颱風進行推算並驗證。</p>	<p>1. 依處理情形辦理。</p>
<p>2. DHI MIKE 21 的模式 SW 其本質就是 SWAN 模式，因此其推算結果的正確與否仍和輸入之地形、風場、以及其網格解析度有關，如作者欲強調 SW 的推算結果較目前的波浪推算模式為佳時，需要考慮目前的波浪推算系統的建置是</p>	<p>2. 文中第五章主要是將本計畫新發展的 M5 模式與往昔發產的類神經波浪推算模式進行推算精度的比較。另外在設計波推算樣本的選擇上，我們採用實測、M5、類神經、二維數值模式等樣本近型極值分析結果的比較，結果顯示二維</p>	<p>2. 依處理情形辦理。</p>

<p>在一個前提之下進行的：不使用商用軟體。結論中指出二維數值模式推估結果優於 M5，是否意味著類神經的推估方法仍有待加強？</p>	<p>模式的樣本所分析的結果與實測樣本的結果最為接近。此外，類神經與 M5 都可以透過資料量的增加提升期推算精度與正確性，若在有新資料的情況下必然希望能持續提昇推算精度。</p>	
<p>3. 有關波高變化趨勢僅是就量測到的波高進行趨勢分析，固然近年的氣候變遷可能會引發較大的波高，但少數幾個極值就可能調整趨勢線上升，研究團隊是否考慮到此一現象？以 Zheng and Li(2015)所提 1988 年至 2011 年間平均示性波高年增率為 1.52cm/yr，此一數據看似平常，但意謂著該 24 年間中國沿海示性波高平均增加了約 36cm，若再加上其可能的正負誤差，是否表示也可能示性波高增加了 50cm 以上？常時波浪與颱風波浪一般都認為在進行趨勢分析時應該要加以分離，但報告中似乎未提及該研究所研究的對象波浪屬性為何。同樣的考慮也出現在本研究的</p>	<p>3. 本研究主要探討設計波的推定，故包含颱風事件與常時波浪一併進行考慮來進行波高長期趨勢分析。文中已考量季節性變化的問題，並提出以 Seansonal kendall 的趨勢檢測法來解決。EMD 法特性在於可將複雜的物裡合成量進行分解，但針對委員所提到儀器量測誤差的問題可能無法考量，此類問題應該由資料品管來著手處理。此外委員提到以物理特性探討氣候變遷的影響量，需要大氣、海溫等許多資訊來進行全球尺度的建模，本計畫僅應用現有波浪資料透過多種取樣方式與趨勢檢測法來評估往昔的長期趨勢。</p>	<p>3. 依處理情形辦理。</p>



<p>趨勢線分析上，研究團隊使用各商港的逐時與月最大的觀測資料進行趨勢線的回歸，如同以前審查時所討論過的，線性回歸無法看出季節性的振盪。加上在沒有先分離異常波浪即進行EMD的趨勢分解時，是否考慮到所獲得的平均年增率可能是異常波浪或儀器測量誤差所引起？幾個波高大於5公尺的波浪要影響平均趨勢線相當容易，是否曾考慮過先將颱風/鋒面波浪予以分離再試試看？依此一論述，安平港、高雄港在15年間平均示性波高增加了近20cm，報告中(P.2-20)也指出兩港每100年會增加1公尺的波高，雖然我們都看不到未來是否會發生，但從物理現象來討論時，這種可能性應該是微乎其微。純粹利用一些數學或統計理論進行推估而不加入物理性是相當危險的。</p> <p>4. 圖3.2及圖3.3應說明顏色所代表意義。</p>	<p>4. P.3-5與P3-6中已有進行說明。</p>	<p>4. 依處理情形辦理。</p>
--	------------------------------	--------------------

<p>5. 表 3.3 進行三種模型風場的比較，在臺灣沿海進行波浪推算一直存在的問題就是地形效應使得各個商港的推算精度會因為颱風的路徑而不同。也就是說臺北港推算得很好，並不代表高雄港或安平港就很好。相關的比較是否曾經先就時間軸上的變化進行觀察？因為只要推估的結果與觀測值有時間差(經常發生)，誤差就會很大，也影響報評估的結果。</p>	<p>5. 目前僅收集臺北港 10m 風速，故先以臺北港來進行模型風場的測試，未來若有類似的資料可再進一步進行分析比較。</p>	<p>5. 依處理情形辦理。</p>
<p>6. 目前的颱風波浪推估結果僅能說 M5 模式比 ANN 模式稍有改善，但與實測值間的偏差仍大(波高可以差到 2 公尺以上，不能說推估良好)，應尋求改善。</p>	<p>6. ANN 與 M5 模式可透過更多的資料訓練來提昇推算能力，若有更多的資料相信可再提升其精度。</p>	<p>6. 依處理情形辦理。</p>
<p>二、郭一羽委員</p> <p>1. 希望明確指出氣候變遷對波浪數量與強度的影響。</p> <p>2. 類神經與 M5 模式建立，對樣本量的要求如何？</p>	<p>1. 已整理於結論 8.1 的第一點與第二點中。</p> <p>2. 模式訓練與測試用的樣本分類已說明於 3.2.4，目前仍無相關研究探討</p>	<p>1. 依處理情形辦理。</p> <p>2. 依處理情形辦理。</p>

<p>3. 類神經與 M5 的誤差值是否可量化，並做為以後預報的補正值，極值分佈應利用數值方法，類神經與 M5 有其優點，而有其特殊用途，請明確指出。</p> <p>4. 各種模式都有其參數，各參數的氣候變遷特性如何是否可加以探討？特別是數值模擬式的輸入參數。</p> <p>5. 內容豐富詳細，有實用與參考價值。</p>	<p>樣本的需求量。</p> <p>3. 兩種模式的誤差分析已詳述於 5.3 節，未來各主要港口的模式完成後可一併進行探討，並告知使用者推算結果可能造成的偏差量範圍，以提供使用者作為參考。</p> <p>4. 類神經與 M5 模式較複雜，尤其 M5 模式資料量不同可能就會有不同的樹狀架構，故無法進行參數與氣候變遷的分析。二維數值模式的各參數目前採用 default 值，未來若波浪推估精度有明顯隨著時間的變化趨勢始考慮進行調整。</p> <p>5. 感謝委員認可。</p>	<p>3. 依處理情形辦理。</p> <p>4. 依處理情形辦理。</p> <p>5. 依處理情形辦理。</p>
<p>三、梁乃匡委員</p> <p>1. 建議用類神經網路時排除受陸地遮蔽的資料，結果會改善。在結論 5 中提到：「發現由東向西侵臺的颱風在遠離臺灣本島進入中國大陸後，仍會對安平港與高雄港樣成另一波高峰值」，應</p>	<p>1. 由於類神經模式除了應用於設計波高樣本的推估外，目前並應用於即時颱風波浪的預報，針對未來未知的颱風路徑與強度，建議還是廣納現有的資料進行學習與測試。另文中 P5-4 已提</p>	<p>1. 依處理情形辦理。</p>

<p>是颱風過後引發的西南氣流所造成，與颱風本身無關。</p>	<p>及結論 5 這種現象可能為『回南效應』，然而在沒有確切的數據來進行說明，故沒有列入結論中，感謝委員協助說明。</p>	
<p>2. P1-3 第二段到第三段倒數第五行，建議併在 2.3.2 節趨勢分析中說明較易閱讀。</p>	<p>2. 感謝委員建議，已於 2.3.2 節中加入說明。</p>	<p>2. 依處理情形辦理。</p>
<p>四、歐善惠委員</p> <p>1. 本計畫內容豐富，研究態度嚴謹，具有層次與條理，成果頗為具體。</p>	<p>1. 感謝委員認可。</p>	<p>1. 依處理情形辦理。</p>
<p>2. 本計畫研究重點之類神經網路及 M5 最小化模式波浪推算方法係根據實測波浪資料加以推演，其成果之正確性取決於實測資料之正確性，較不具力學基礎。文獻回顧中建議納入檢討。</p>	<p>2. 兩種方法已有許多文獻說明其應用性與機制，可針對未知或較複雜物理關係進行擬合，目前無法找到相關研究對此部份進行檢討。</p>	<p>2. 依處理情形辦理。</p>
<p>3. 摘要提到類神經網路與 M5 波浪推算模式亦可應用於預警功能，但兩模式均根據長期實測資料，具有長期實測資料之地點並不普通，預警</p>	<p>3. 目前港灣技術研究中心在七大主要港口都有超過 10 年的波浪測量紀錄，比較可惜的是往昔有些測站剛好會在颱風發生時發生問題而造成</p>	<p>3. 依處理情形辦理。</p>

功能如何達成，請做進一步說明。	資料遺漏。但以現有資料已可建立精度相當高的推算模式，相關成果已於 5.2 節中說明。	
4. 本計畫研究成果豐碩，除提供實際應用外，可積極在國際期刊學術發表。	4. 感謝委員認可，將積極發表。	4. 依處理情形辦理。
5. 本計畫名稱似乎不能完全反應目前研究計畫的實際執行內容。	5. 建議港灣技術研究中心研議未來此類延續型計畫的名稱是否可調整。	5. 依處理情形辦理。
6. 針對期末報告建議： (1) 增加符號目錄。 (2) 頁數以統一編頁，勿分章編碼。 (3) P.1-6 類神經網路英文名稱 (Artificial Aeural Aetwork) 有誤，請修正。	6. (1) 趨勢分析與極值統計分析中大多為待定係數或回歸係數，已於文中詳述各符號代表意義。 (2) 此編碼為港灣技術研究中心規定格式。 (3) 已修正。	6. 依處理情形辦理。
五、何良勝委員 1. 有關結論部分，請作適度補充修正： (1) 第 4 點，「高雄港 M5 模式推算較安平港好」，作補充說明。 (2) 第 5 點有些繁長，建議分開陳述。 (3) 第 7 點，增加量化數據之說明。	1. (1) 已加入說明。 (2) 已調整。 (3) 已補充。	1. 依處理情形辦理。

<p>五、蔡立宏委員</p> <p>1. 氣候變遷在波浪的影響量，以時、日、月、年做分析，未來是否分季節或颱風來分析。</p> <p>2. 以類神經模擬預測杜鵑颱風，在蘇澳港誤差比較多，建議可再用另一場颱風蘇迪勒分析，另預報需增加可能低估或誤差範圍說明。</p> <p>3. 颱風中心在那時可預估到目標港波浪最大值。</p> <p>4. 在安平港、高雄港 ANN、M5 2-D V mfrica model 結果均低估，在其他港的情形如何？。</p>	<p>1. 已測試過分季與分月的結果類似，且本研究已採用 Seasonal Kendall 趨勢檢測法，已可考量季節性變化。目前若僅選取颱風波浪作為樣本會過少，若資料量夠可考慮無母數分析進行趨勢評估。</p> <p>2. 簡報中已呈現蘇迪勒颱風推算結果。誤差範圍未來會在模式使用手冊中詳加說明。</p> <p>3. 本研究的類神經預報模式是以 JTWC 未來 72 小時的颱風位置與強度資訊進行波浪推算，精度也受到來源資料的影響，目前尚無針對空間上的颱風位置進行誤差分析。</p> <p>4. 以類神經模式來說，花蓮與基隆港較為接近，臺北港與蘇澳港稍低估，未來完成臺中港的分析後將一併進行蹤探討論。</p>	<p>1. 依處理情形辦理。</p> <p>2. 依處理情形辦理。</p> <p>3. 依處理情形辦理。</p> <p>4. 依處理情形辦理。</p>

## 附錄三 期中簡報資料

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混合波浪統計特性及推算模式建置研究(3/4)

期中簡報

簡報人：張憲國



國立交通大學土木工程系所  
中華民國一百零四年七月十五日



### 研究動機

- 港灣工程規劃設計之設計波浪須由長期實測波浪資料來決定。近年來發展類神經颱風波浪推算模式以解決現有記錄時間不足的問題，但本模式的建立仍需往昔的實測資料，但在氣候環境改變的情況下這些技術的可靠性仍需再評估。
- 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，本計畫針對颱風事件與波浪資料進行趨勢分析以評估氣候變遷影響的顯著性，並針對設計波高的決定標準提出相關對策與建議。
- 為提升國內波浪推算技術之正確性本研究針對安平港與高雄港以M5最小化模式樹建立模式，再與類神經網路模式比較兩者的適用性。
- 本研究以二維風浪數值模式模擬各場颱風對安平港與高雄港造成的波場以供設計波浪的推算。



## 總計畫研究流程



## 本年度工作項目

以安平港與高雄港為目標：

- 分析安平港與高雄港之颱風與波浪在氣候變遷下之影響。(已完成)
- 建立安平港與高雄港M5最小化模式樹波浪推算模式。(已完成)
- 比較安平港與高雄港類神經網路波浪推算模式與M5波浪推算模式之推算精度。(已完成)
- 以數值模式進行安平港與高雄港之波浪推算。(進行中)
- 安平港與高雄港設計波高標準之探討。(進行中)

另就本計畫說明主要研究成果及重大突破。並針對論文發表、技術活動與決策依據等三項進行績效指標評估。



## 創新研發

本計畫基於往昔研究深入探討設計波標準，有以下創新發展：

- 因應全球氣候變遷議題，針對安平與高雄兩港的波浪及颱風事件採用多種趨勢檢測法進行長期趨勢分析。
- 經港研中心所提供臺北港海面上10m風速之比較多種參數模型風場，本年度類神經網路颱風波浪模式中的風速推算改選用較合適的參數模型風場配合近年來新的颱風波浪資料對往昔發展之安平與高雄港類神經颱風波浪推算模式進行更新。
- 以M5最小化模式樹建立安平港與高雄港颱風波浪推算模式。
- 以安平港與高雄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來劃定信賴範圍。
- 採用WRF模式追算時間與空間解析度更佳的風場，以提升二維風浪模式模擬之精度。

5

## 資料來源

資料來源：港灣技術研究中心波浪年報資料

安平港：2000年1月至2014年10月

高雄港：2000年12月至2014年12月

\*本計畫所整理各年度各月份資料蒐集率可參見報告



風速計 潮位計 波浪儀



風速計 潮位計 波浪儀

安平港及高雄港測站位置

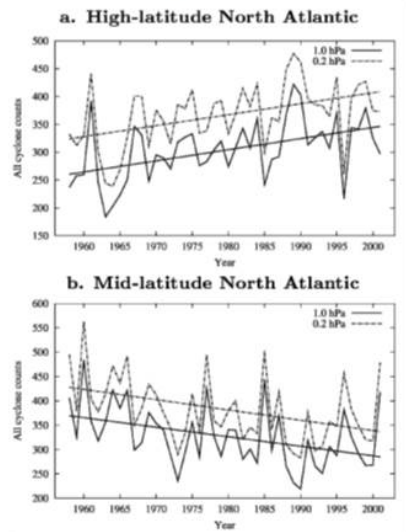
6

## 氣候變遷的影響量(颱風)

### ■ 颱風資料來源：

1. 中央氣象局(1958至今)
2. 日本氣象廳(1951至今)
3. 聯合颱風警報中心(1945至今)

- 本計畫經整理後採用日本氣象廳往昔西太平洋颱風資料針對所發布的警報單及中心位置資訊評估在不同篩選門檻距離下安平港與高雄港長期受颱風影響的次數及規模是否存在有氣候變遷影響的趨勢或變化。



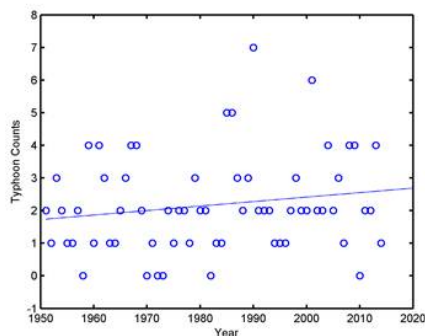
Wang et al. (2006) 年用不同氣壓門檻值所計算出來北大西洋中緯度及高緯度的氣旋數量統計圖

7

## 氣候變遷的影響量(颱風)

安平港1951年至2014年  
颱風侵襲次數趨勢(個數/年)

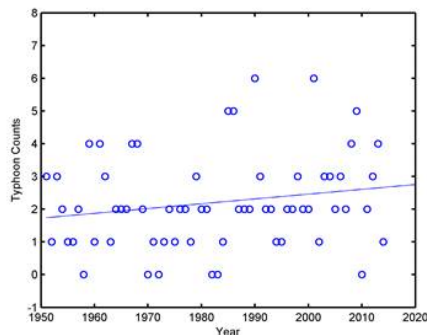
	門檻值 300km	門檻值 500km	門檻值 1000km
所有熱帶低壓	0.0035	0.0046	0.0038
強烈颱風	-0.0022	-0.0043	-0.0035
輕度颱風	0.0021	-0.0039	0.0022
中度颱風	0.0074	0.0138	0.0170



50年約會增加0.69個颱風的侵襲

高雄港1951年至2014年  
颱風侵襲次數趨勢(個數/年)

	門檻值 300km	門檻值 500km	門檻值 1000km
所有熱帶低壓	0.0008	0.0080	0.0077
強烈颱風	-0.0046	-0.0015	-0.0050
輕度颱風	0.0002	-0.0060	0.0031
中度颱風	0.0075	0.0147	0.0224



50年約會增加0.74個颱風的侵襲

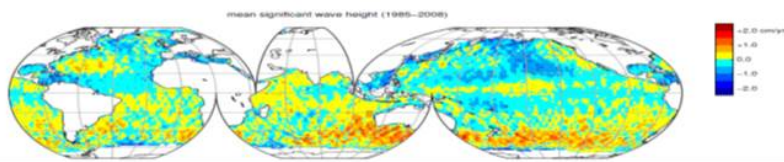
8



## 氣候變遷的影響量(波浪)

波浪現象為一連續的時間序列，若欲評估其長期變化趨勢，可用以下數值方法來嘗試評估：

- $y(t) = a_1 t + b_1$  (線性回歸)
- Mann-Kendall趨勢檢測法(可應用於資料有缺漏的樣本)
- Seasonal Kendall趨勢檢定法(有效處理有季節性的變化與資料缺漏的狀況)
- EMD經驗模態分解法 (G.Rilling)



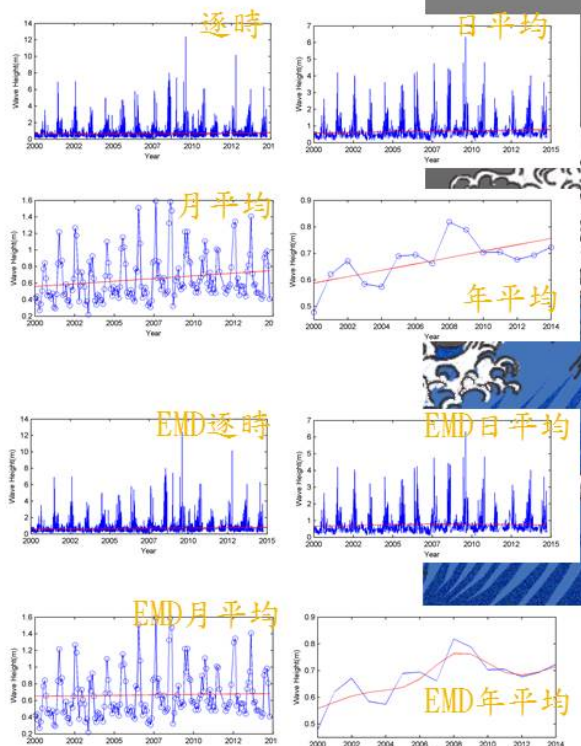
全球平均波高的變化趨勢分布圖(Young et al., 2011)

## 氣候變遷的影響量(波浪)

安平港

分析與取樣方式	年增率(m/year)
逐時資料線性趨勢	0.0134
日平均線性趨勢	0.0136
月平均線性趨勢	0.0129
年平均線性趨勢	0.0120
Seasonal Kendall 月平均趨勢檢定	0.0109
EMD趨勢分析(逐時)	0.0136
EMD趨勢分析(日平均)	0.0066
EMD趨勢分析(月平均)	0.0022
EMD趨勢分析(年平均)	0.0122

各取樣方式以線性回歸所估算的年增率約為0.0022至0.0136m/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0.0109m/year，安平港近15年間的波浪趨勢是屬於增加的。



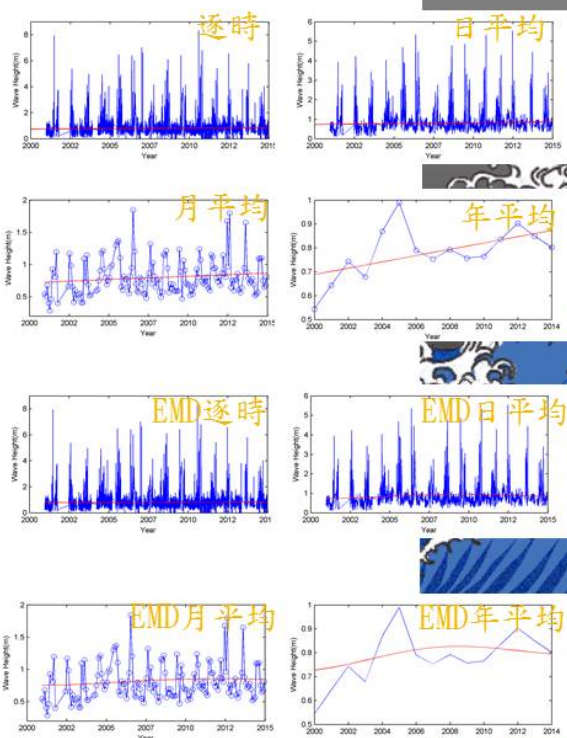
## 氣候變遷的影響量(波浪)

### 高雄港

分析與取樣方式	年增率(m/year)
逐時資料線性趨勢	0.0084
日平均線性趨勢	0.0091
月平均線性趨勢	0.0100
年平均線性趨勢	0.0132
Seasonal Kendall 月平均趨勢檢定	0.0101
EMD趨勢分析(逐時)	0.0042
EMD趨勢分析(日平均)	0.0105
EMD趨勢分析(月平均)	0.0087
EMD趨勢分析(年平均)	0.0054

各取樣方式以線性回歸所估算的年增率約為0.0042至0.0105m/year，若採用考慮季節性變化的Seasonal Kendall趨勢檢定法，其波高趨勢為0.0101m/year，整體而言高雄港波高長期變化趨勢屬增加。

就往昔經驗Seasonal Kendall法較具代表性，由此看來高雄與安平趨勢相似。

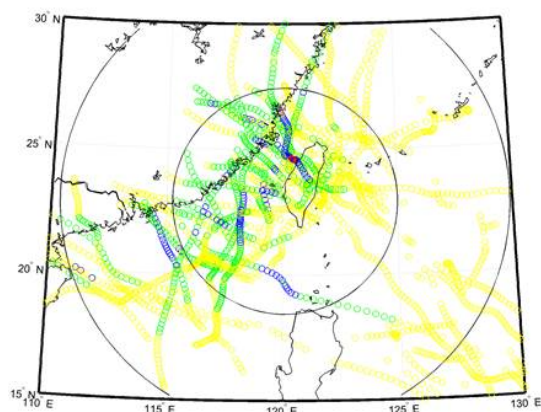


## 颱風波浪資料分析

### 安平港

- ◆ 本研究選擇安平港颱風共46場  
波高小於3m的有13場(黃色)  
波高介於3m至5m間的有18場(綠色)  
波高介於5m至7m有14場(藍色)  
波高大於7m以上則有1場(紅色)
- ◆ 對安平港造成直接影響的路徑：第五路徑、第七路徑、第八路徑及第九路徑等。
- ◆ 颱風只有在中心距離靠近安平港港500km以內才有機會造成7m以上的示性波高。藍色資料點大部分集中在半徑500km內，綠色資料點分布則較廣。較值得注意的既使颱風由東向西穿過中央山脈往東北移動，出現較大波浪的情況也十分明顯，且其造成影響的次數更較由南往北直撲安平港的颱風來得多。

### 波高空間分布的特性分析



黑色實線：以安平港為中心繪製半徑500km與1000km之界線

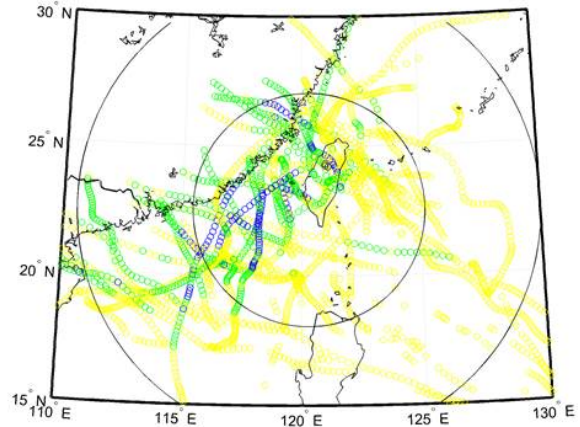


## 颱風波浪資料分析

### 高雄港

- ◆ 本研究選擇高雄港颱風共46場  
波高小於3m的有6場(黃色)  
波高介於3m至5m間的有28場(綠色)  
波高介於5m至7m有11場(藍色)  
波高大於7m以上則有1場(紅色)
- ◆ 對高雄港造成直接影響的路徑：第五路徑、第七路徑、第八路徑及第九路徑等。
- ◆ 對高雄港波浪造成最大影響的颱風中心位置是在台灣高雄外海(紅色資料點)，藍色資料點(對應波高5m至7m)則分布於台灣西北與西南側，綠色資料點(3m至5m)主要分布圖中西半部，僅有少數位於東半部。以高雄港而言，颱風只有在中心距離靠近高雄港500km以內且其中心位於台灣西側才較有機會造成5m以上的示性波高。

### 波高空間分布的特性分析



黑色實線：以基高雄港為中心繪製半徑500km與1000km之界線

13

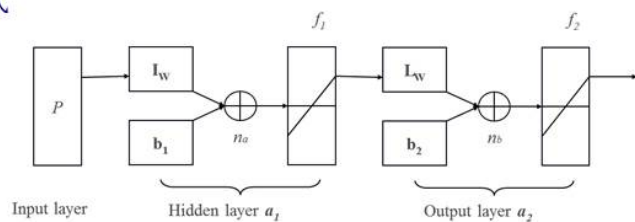
## 類神經波浪推算模式

人工神經元輸出值與輸入值的關係式

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

誤差函數  $E$   $E = \frac{1}{2} \sum_j (T_j - Y_j)^2$

加權值的修正量  $\Delta W = -\eta \cdot \frac{\partial E}{\partial W}$



JMA實測颱風資料

1. 颱風經緯度
2. 近中心最大風速
3. 中心氣壓

計算輸入參數

輸入參數

- (1) 颱風與目標距離  $D$
- (2) 目標點風速  $V$  (改SLOSH參數風場)
- (3) 目標點方位角  $\theta_1$
- (4) 颱風侵襲角  $\theta_3$
- (5) 目標點風向  $V_{deg}$

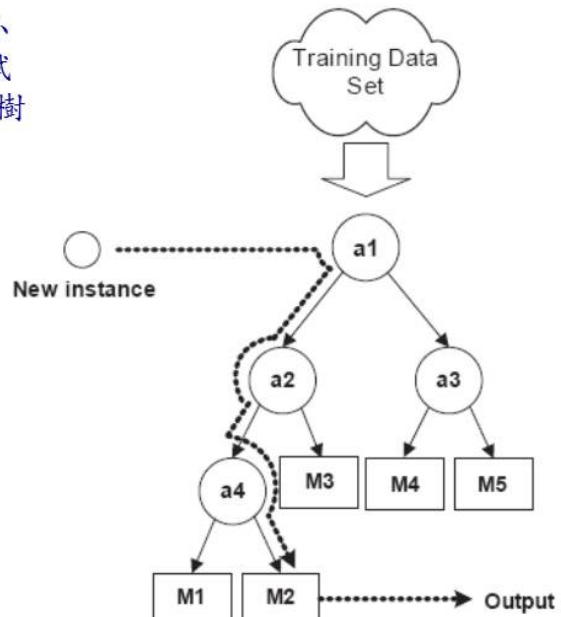
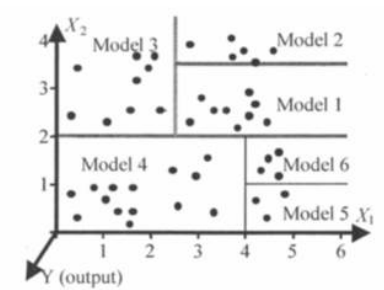
14

## M5波浪推算模式

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)

模式分支判斷指標(Qualin, 1992)

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



15

## 安平港模式比較

平均絕對值	$\Delta H_{s,p}$	$\Delta t_p$	RMSE	$R^2$
類神經	0.90	7.89	0.73	0.64
M5	0.96	9.24	0.58	0.73

- 波高峰值的推算精度以類神經模式較佳，但整體推算RMSE及 $R^2$ 皆是以M5模式較佳。
- 46場颱風中有24場颱風類神經網路模式與M5模式的推算峰值誤差皆在1m以內。
- 本計畫並歸納二類型推算結果較差的颱風做後續探討。

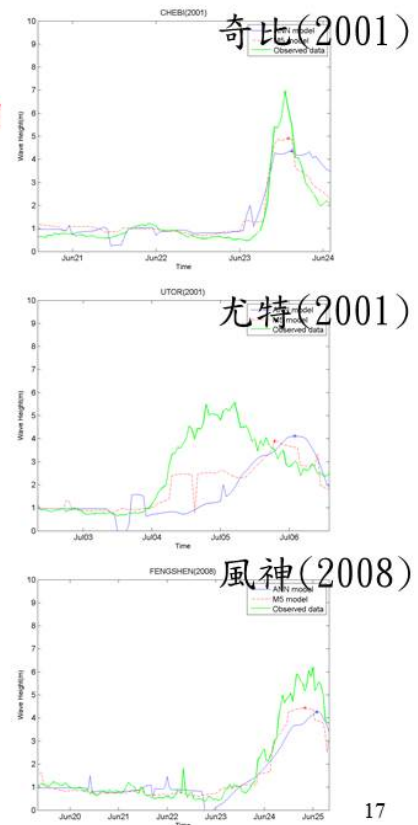
年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$				$\Delta t_p$				$R^2$				$H_{max}$ (m)
		(m)	(hour)	RMSE	$R^2$	(m)	(hour)	RMSE	$R^2$	(m)	(hour)	RMSE	$R^2$	
2000	碧利斯	0.84	1.00	0.53	0.76	1.04	-5.00	0.78	0.62	3.52				
2001	奇比	-2.57	2.00	0.75	0.76	-2.01	1.00	0.46	0.94	6.92				
2001	尤特	-1.42	21.00	1.80	0.14	-1.63	14.00	1.25	0.55	5.53				
2001	納莉	0.63	27.00	0.37	0.49	-0.01	22.00	0.25	0.73	2.58				
2001	利奇馬	-0.04	-13.00	0.39	0.66	0.49	-75.00	0.61	0.40	2.36				
2002	娜克莉	1.32	1.00	0.93	0.26	-0.82	-1.00	0.52	0.57	3.82				
2003	伊布都	-0.31	9.00	0.67	0.56	-0.94	11.00	0.50	0.82	3.9				
2003	莫拉克	1.55	-4.00	1.10	0.67	-0.54	-1.00	0.63	0.71	2.75				
2003	科羅旺	-0.48	4.00	0.59	0.45	-0.40	0.00	0.31	0.81	3.18				
2003	杜鵬	0.40	-5.00	0.58	0.88	-0.18	0.00	0.49	0.88	3.52				
2004	敏督利	-0.51	-21.00	0.60	0.74	-1.28	-11.00	0.82	0.48	5.01				
2004	南瑪都	0.90	-6.00	0.77	0.12	-0.65	-7.00	0.40	0.51	2.91				
2005	海棠	-0.21	8.00	0.63	0.83	-1.04	13.00	1.03	0.61	4.76				
2005	馬莎	0.07	-3.00	0.41	0.58	1.14	-1.00	0.64	0.46	2.52				
2005	珊珊	-0.24	-8.00	0.68	0.88	-0.45	-8.00	1.02	0.58	4.72				
2005	奈利	0.80	6.00	0.59	0.83	-0.15	7.00	0.49	0.83	4.05				
2005	丹瑞	0.12	-8.00	0.56	0.59	0.15	-9.00	0.32	0.85	2.73				
2005	龍王	2.42	1.00	0.96	0.92	1.64	3.00	0.67	0.87	2.06				
2006	珍珠	-0.08	-9.00	0.64	0.86	-0.36	-18.00	0.87	0.72	5.8				
2006	碧利斯	-1.51	-14.00	1.11	0.56	-1.43	-11.00	0.58	0.84	5.36				
2006	凱米	0.22	-13.00	0.65	0.72	-0.22	-13.00	0.31	0.95	4.08				
2007	聖帕	-0.65	5.00	1.31	0.46	-1.33	2.00	0.61	0.81	5.38				
2007	柯羅莎	0.11	9.00	0.92	0.42	-0.46	24.00	1.10	0.16	4.08				
2008	風神	-1.90	2.00	0.72	0.92	-1.72	-4.00	0.57	0.97	6.16				
2008	鳳凰	-1.30	-13.00	0.90	0.88	-2.14	-4.00	1.07	0.85	5.92				
2008	如麗	-0.73	4.00	0.57	0.86	-0.76	-6.00	0.45	0.93	5.08				
2009	蓮花	-1.61	-7.00	0.67	0.81	-1.87	1.00	0.58	0.87	6.9				
2009	南卡	0.62	2.00	0.66	0.64	-0.85	3.00	0.30	0.78	3.35				
2009	莫拉非	0.42	-3.00	0.53	0.92	0.35	-12.00	0.33	0.90	3.29				
2009	莫拉克	-6.94	-25.00	1.56	0.83	-7.76	-22.00	1.85	0.46	11.9				
2010	萊羅克	0.04	6.00	0.99	0.32	-0.11	-2.00	0.63	0.55	4.11				
2010	凡那比	-0.75	-1.00	0.81	0.79	-1.87	0.00	0.65	0.90	5.72				
2010	梅姬	-0.96	6.00	0.57	0.88	-1.11	-1.00	0.44	0.95	6.08				
2011	米雷	0.72	0.00	0.76	0.00	-0.05	-1.00	0.21	0.73	2.13				
2012	蘇拉	0.40	16.00	0.37	0.61	-0.07	16.00	0.34	0.64	2.4				
2012	啟德	0.35	-4.00	0.59	0.59	0.13	-4.00	0.42	0.70	2.76				
2012	天秤	-0.01	-8.00	0.66	0.46	-0.70	-20.00	0.44	0.70	3.67				
2013	蘇力	1.19	-5.00	0.58	0.81	0.10	-6.00	0.30	0.92	2.92				
2013	尤特	-0.13	-2.00	0.94	0.53	-1.19	-3.00	0.44	0.90	3.94				
2013	潭美	-0.61	-11.00	0.42	0.85	-0.36	-5.00	0.54	0.73	4.2				
2013	康芮	-1.13	11.00	0.44	0.77	-0.32	11.00	0.37	0.78	3.13				
2013	天兔	-1.38	-4.00	0.56	0.85	-0.60	-5.00	0.65	0.83	5.92				
2014	雷馬遜	0.55	5.00	0.53	0.76	-0.13	2.00	0.23	0.95	2.77				
2014	麥德姆	-1.47	-8.00	0.87	0.53	-2.31	-1.00	0.68	0.66	6				
2014	卡玫基	-0.70	-12.00	0.73	0.41	-0.77	-2.00	0.31	0.91	3.53				

16

## 安平港模式比較 (推算結果較差的颱風)

(類型I)兩種模式的推算結果接近但皆明顯低於實測

- 奇比(2001)與風神(2008)兩種模式的推算結果在趨勢上與實測波浪資料相近，但其推算出的峰值仍與實測資料有明顯的差異。
- 尤特(2001)颱風兩種模式的推算結果皆與實測有很大的差異，尤其峰值發生時間更與實測峰值有14~21小時的差異，然而由尤特颱風在本計畫中是屬於測試用颱風，也就是完全沒有納入兩種模式的訓練資料群，若未來作模式更新可考慮納入訓練資料群。

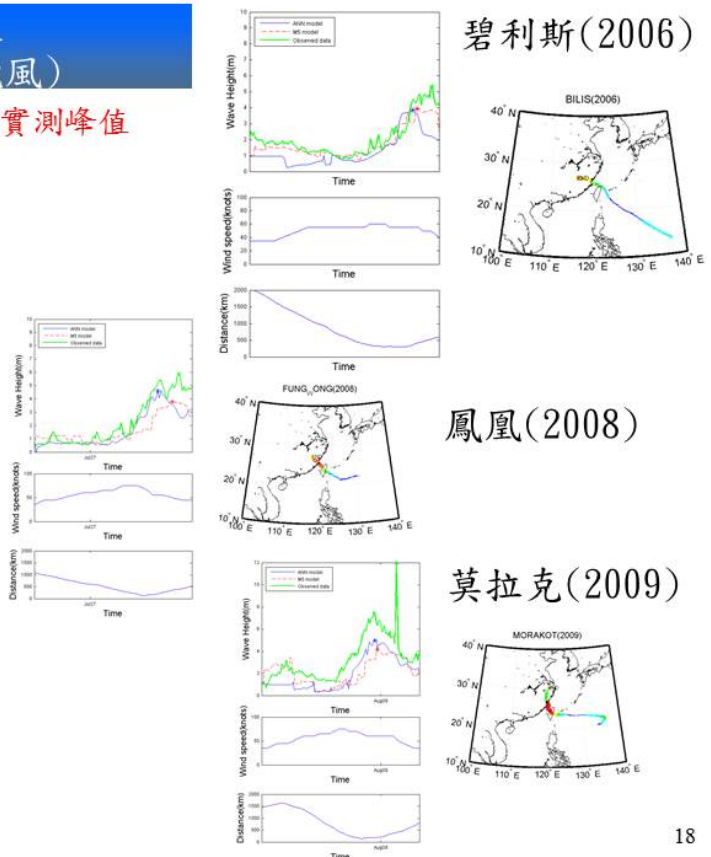


17

## 安平港模式比較 (推算結果較差的颱風)

(類型II)推算峰值發生時間早於實測峰值

- 三場西行颱風的比較中顯示颱風遠離台灣登陸中國大陸後還有可能會在安平港發生波高峰值，這種狀況是目前兩種模式都無法正確模擬的。未來可配合實測風速資料來釐清可能的成因。



18



## 高雄港模式比較

平均絕對值	$\Delta H_{z,p}$	$\Delta t_p$	RMSE	$R^2$
類神經	0.76	5.83	0.59	0.75
M5	0.82	6.87	0.60	0.74

- 以四種模式評估指標包括：波高峰值、峰值發生時間、RMSE與 $R^2$ 進行評估，以高雄港46場颱風的絕對平均值來看，類神經模式在各方面的精度都高於M5模式所推估的結果。
- 本計畫並歸納二類型推算結果較差的颱風做後續探討。

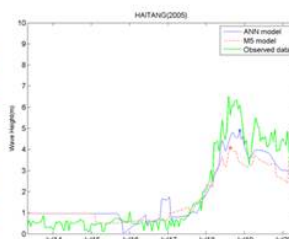
年份	颱風名稱	$\Delta H_{z,p}$	$\Delta t_p$	RMSE	$R^2$	$\Delta H_{z,p}$	$\Delta t_p$	RMSE	$R^2$	$H_{max}$
		(m)	(hour)			(m)	(hour)			
類神經										
		(m)	(hour)			(m)	(hour)			(m)
2001	奇比	-1.44	4.00	0.43	0.94	-1.71	-1.00	0.52	0.94	3.52
2001	利奇馬	-0.47	-6.00	0.44	0.76	-0.62	-8.00	0.44	0.75	6.92
2002	娜克莉	2.36	1.00	0.72	0.27	2.16	0.00	1.07	0.51	5.53
2003	伊布都	-0.82	10.00	0.79	0.56	-0.45	1.00	0.87	0.49	2.58
2003	莫拉克	0.45	-2.00	0.73	0.74	0.77	-4.00	0.77	0.82	2.36
2003	科羅旺	-0.13	4.00	0.43	0.83	0.50	7.00	0.56	0.81	3.82
2003	杜鰲	-0.66	23.00	1.17	0.31	-0.44	19.00	1.06	0.34	3.9
2004	康森	0.41	-2.00	0.34	0.52	0.06	21.00	0.39	0.45	2.75
2004	敏督利	-0.26	-20.00	0.73	0.71	-0.47	-20.00	0.72	0.70	3.18
2004	南瑪都	1.53	1.00	0.64	0.71	0.98	2.00	0.44	0.76	3.52
2005	海棠	-1.55	7.00	0.72	0.94	-2.38	1.00	0.90	0.93	5.01
2005	馬莎	0.77	35.00	0.66	0.49	0.82	-7.00	0.66	0.32	2.91
2005	珊珊	-0.54	1.00	0.63	0.81	-0.60	2.00	0.97	0.57	4.76
2005	泰利	0.16	2.00	0.54	0.86	0.13	2.00	0.42	0.91	2.52
2005	丹瑞	-0.72	2.00	0.49	0.66	-0.19	49.00	0.59	0.63	4.72
2005	龍王	1.68	-2.00	0.71	0.76	1.15	-2.00	0.58	0.86	4.05
2006	珍珠	-0.27	0.00	0.56	0.92	-1.44	2.00	0.58	0.94	2.73
2006	碧利斯	-2.04	-2.00	0.85	0.83	-2.17	6.00	0.96	0.73	2.06
2007	柯羅莎	0.11	-3.00	0.80	0.50	-0.55	-4.00	0.83	0.39	5.8
2008	風神	-1.25	10.00	0.47	0.88	-0.38	-2.00	0.45	0.85	5.36
2008	卡玖基	0.22	2.00	0.34	0.86	-0.13	-11.00	0.27	0.91	4.08
2008	鳳凰	0.04	-17.00	0.67	0.79	-0.64	-17.00	0.54	0.90	5.38
2008	如麗	-2.40	4.00	0.87	0.94	-2.01	3.00	0.81	0.89	4.08
2008	辛樂克	1.33	20.00	0.70	0.67	1.31	4.00	0.76	0.77	6.16
2008	哈格比	0.24	8.00	0.52	0.92	-0.14	0.00	0.42	0.86	5.92
2008	替蜜	1.01	-3.00	0.71	0.44	1.53	0.00	0.83	0.45	5.08
2009	蓮花	-0.49	-3.00	0.50	0.92	-1.31	-3.00	0.70	0.85	6.9
2009	南卡	0.48	1.00	0.31	0.72	0.96	1.00	0.32	0.65	3.35
2009	莫拉菲	0.30	-15.00	0.54	0.81	0.47	-17.00	0.79	0.48	3.29
2009	芭瑪	-0.34	-1.00	0.37	0.64	-0.76	-2.00	0.43	0.48	11.9
2010	萊羅克	0.32	1.00	0.70	0.71	0.32	-2.00	0.54	0.80	4.11
2010	莫蘭特	-0.01	-1.00	0.64	0.69	0.05	-1.00	0.50	0.81	5.72
2010	凡那比	0.99	-1.00	0.46	0.92	-0.64	-2.00	0.65	0.89	6.08
2010	梅姬	-1.10	9.00	0.52	0.92	-1.57	4.00	0.53	0.92	2.13
2011	南瑪都	0.29	-4.00	0.54	0.81	0.10	-5.00	0.61	0.79	2.4
2011	尼莎	-2.09	9.00	0.88	0.90	-1.38	-4.00	0.62	0.92	2.76
2012	泰利	-0.94	-6.00	0.69	0.90	-1.46	1.00	0.85	0.84	3.67
2012	杜蘇芮	0.61	-1.00	0.58	0.83	1.09	8.00	0.58	0.68	2.92
2012	蘇拉	0.81	-4.00	0.40	0.79	-0.34	-3.00	0.31	0.88	3.94
2013	尤特	0.05	0.00	0.42	0.92	0.02	-11.00	0.36	0.95	4.2
2013	潭美	0.06	1.00	0.60	0.76	-0.26	12.00	0.56	0.67	3.13
2013	康芮	-0.46	-1.00	0.38	0.83	-0.91	5.00	0.30	0.91	5.92

19

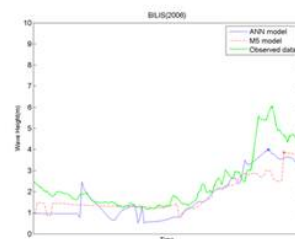
## 高雄港模式比較 (推算結果較差的颱風)

(類型I)兩種模式的峰值推算結果皆低估實測峰值

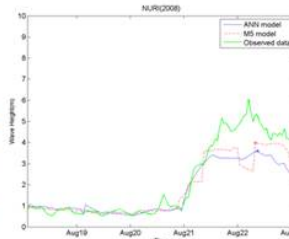
- 海棠(2005)、碧利斯(2006)如麗(2008)及尼莎(2011)等四場颱風由兩個模式推估的結果相近，但其所推算波高峰值皆與實測記錄有較大差異。
- 此類推算結果低估的現象，既使將此四場颱風納入訓練資料群中仍無法改善，其推算出來的波高峰值誤差仍約有2m的低估。



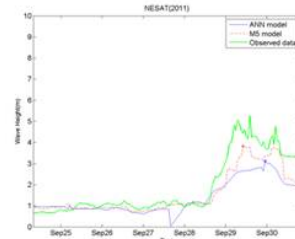
(a)海棠(2005)



(b)碧利斯(2006)



(c)如麗(2008)



(d)尼莎(2011)

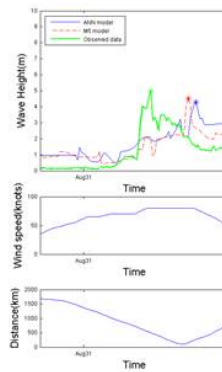
20



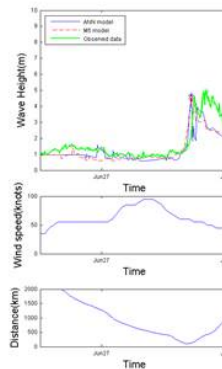
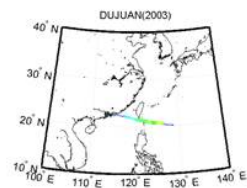
## 高雄港模式比較 (推算結果較差的颱風)

(類型II)推估峰值發生時間有較大誤差

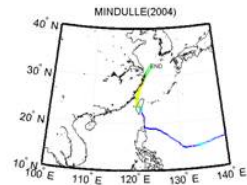
- 杜鵑(2003)颱風中心在距離高雄港約500km遠處的花蓮外海即造成高雄港測站測得5m的波高峰值，此類現象較為少見，以目前兩種模式納入訓練資料也無法推估出類似結果。
- 敏督利(2004)颱風在接近推算點造成近5m波高峰值後，其中心往西北移動20小時後推算點實測紀錄又出現5m波高的峰值。



杜鵑(2003)



敏督利(2004)

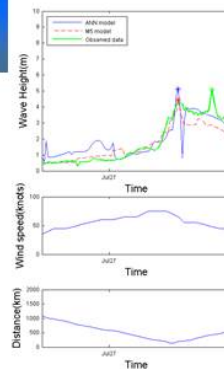


21

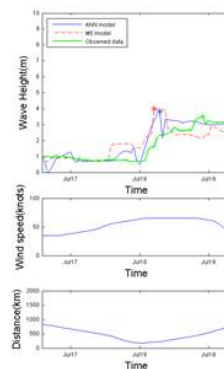
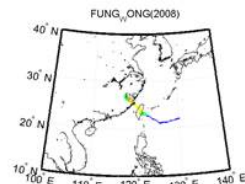
## 高雄港模式比較 (推算結果較差的颱風)

(類型II)推估峰值發生時間有較大誤差

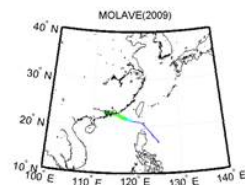
- 敏督利(2004)、鳳凰(2008)及莫拉菲(2009)三場颱風的比較途中顯示兩種模式推估的峰值發生時間點都偏早，由實測波浪資料中來看這三場颱風在最靠近高雄港時幾乎都有造成一波高峰值，但隨著颱風遠離波高下降後，在颱風中心接近中國大陸時在高雄港又會造成一更大的峰值，此期間約相差15至20小時，目前兩種模式所推估的峰值發生時間都是颱風中心靠近推算點高雄港的第一個峰值時間，所以峰值推估時間會與實測資料有較大的誤差。



鳳凰(2008)



莫拉菲(2009)

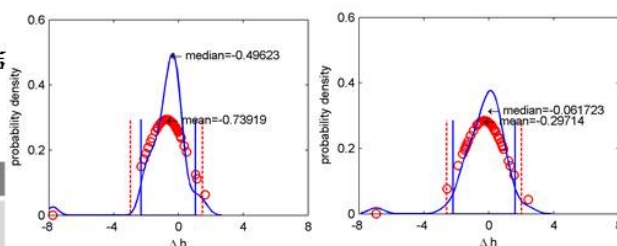


22

## 模式誤差分析(安平港)

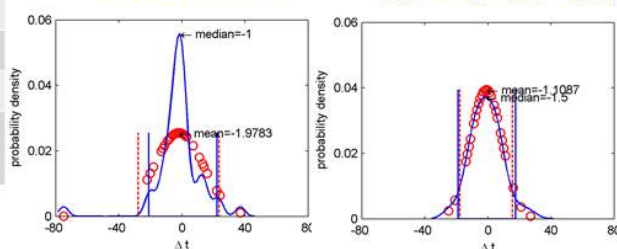
安平港M5模式與類神經模式推算結果的各場颱風波高峰值及發生時間之誤差分析：

	安平港M5		安平港類神經	
	最大波高	發生時間	最大波高	發生時間
平均值	-0.74	-1.98	-0.30	-1.11
中位數	-0.50	-1.00	-0.06	-1.50
標準差	1.36	15.63	1.40	10.11
未通過95%百分比	4.35	6.52	4.35	10.87



M5模式最大波高

類神經模式最大波高



M5模式最大波高時間

類神經模式最大波高時間

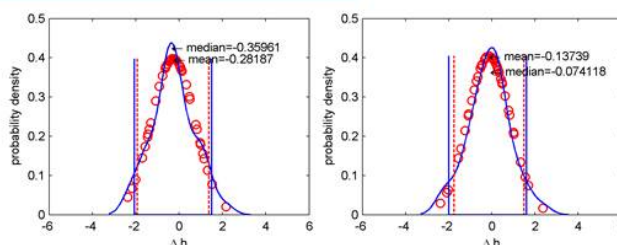
安平港兩種模式在波高峰值推估上都有些許低估的現象，峰值發生時間則稍微較實測資料早發生。

23

## 模式誤差分析(高雄港)

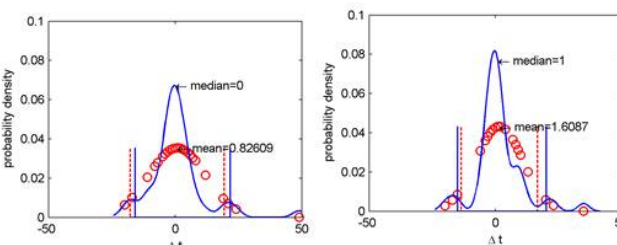
高雄港M5模式與類神經模式推算結果的各場颱風波高峰值及發生時間之誤差分析：

	高雄港M5		高雄港類神經	
	最大波高	發生時間	最大波高	發生時間
平均值	-0.28	0.83	-0.14	1.61
中位數	-0.36	0.00	-0.07	1.00
標準差	1.00	11.26	0.99	9.22
未通過95%百分比	10.87	8.70	13.04	13.04



M5模式最大波高

類神經模式最大波高



M5模式最大波高時間

類神經模式最大波高時間

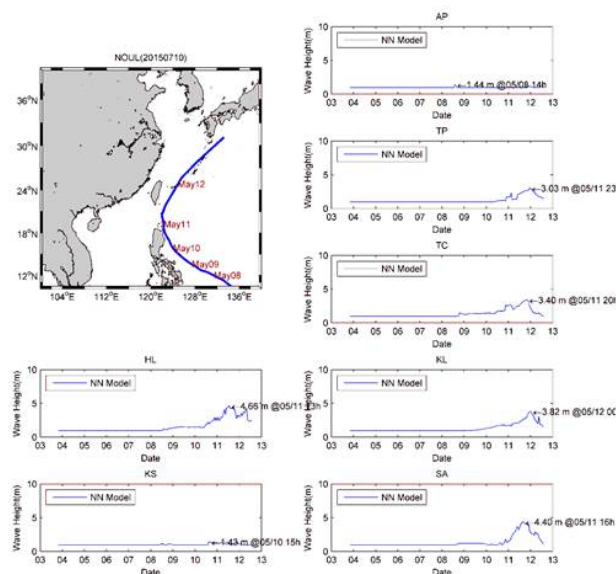
高雄港兩種模式在波高峰值推估上都有些許低估的現象，峰值發生時間則稍微較實測資料晚發生。

24

## 紅霞(NOUL)颱風波浪預報

- 本年度5/4日在關島西南方海面形成後往西轉西北方向緩慢移動，5/10日8時其中心在鵝鑾鼻南南東方海面，暴風圈逐漸接近巴士海峽及臺灣東南部海面；20時起其強度逐漸減弱，暴風半徑亦逐漸減小，並逐漸向北轉東北移動。各港波浪推算結果如下：

	$H_{s,p}$ (m)
花蓮港	4.66
高雄港	1.43
安平港	1.44
臺北港	3.03
臺中港	3.40
基隆港	3.82
蘇澳港	4.40

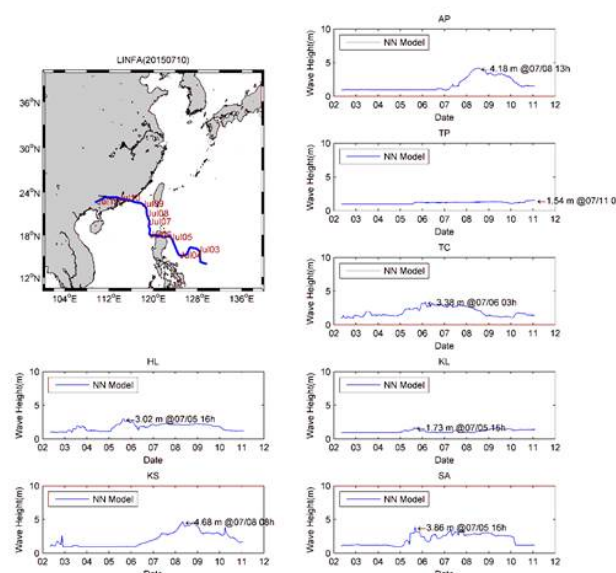


25

## 蓮花(LINFA)颱風波浪預報

- 本年度7/2在菲律賓西方海面形成後往西北轉北北西移動，7/9日10時其中心在高雄西南方海面，目前聯合氣象中心預報路徑將轉向往西移動，各港預測最大波高如下。

	$H_{s,p}$ (m)
花蓮港	3.02
高雄港	4.68
安平港	4.18
臺北港	1.54
臺中港	3.38
基隆港	1.73
蘇澳港	3.86



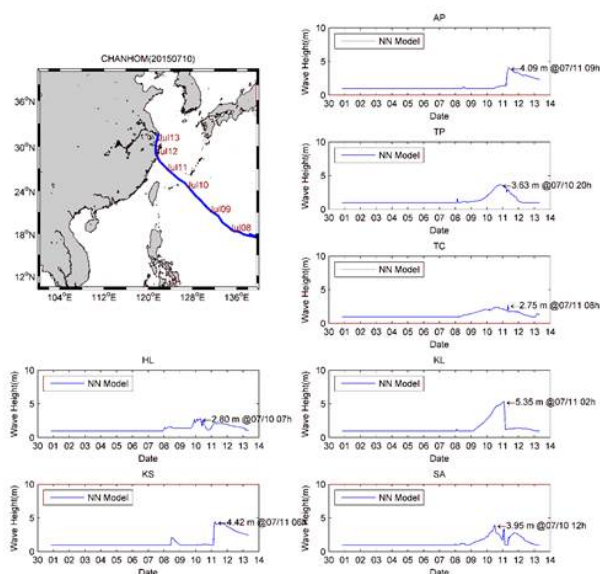
26



## 昌鴻(CHAN-HOM)颱風波浪預報

- 本年度6/30於太平洋海面生成，中心持續往西北移動，**目前仍往台灣前進中**。以聯合颱風警報中心之預測路徑推算對台灣各主要港口的波浪影響如下：

	$H_{s,p}$ (m)
花蓮港	2.80
高雄港	4.42
安平港	4.09
臺北港	3.63
臺中港	2.75
基隆港	5.35
蘇澳港	3.95



27

## 風場準確性的提升

### ■ 風場

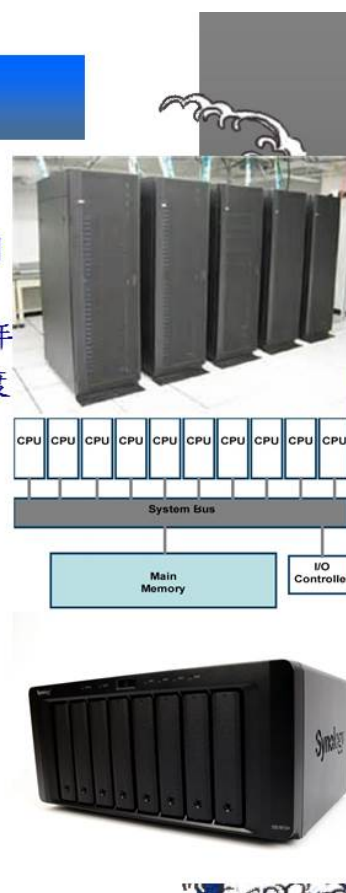
- NCEP風場(200km)—風場資料之解析度過大，應用在颱風時則有低估的現象
- CFSR風場(30km)—空間解析度較高，但僅至2010年
- Advanced Research WRF模式2km風場—空間解析度最高，但目前國內僅能取得2010至2013數場颱風。

### ■ Advanced Research WRF模式

- 2011年以後可採用NFS風場進行加密演算。
- 2010年前須採用CFSR風場進行加密演算。

### ■ 可能遭遇的困難

- 計算時間：加密演算需高速電腦配合平行計算。
- 儲存空間：自1990至2010年CFSR未經加密前所需空間為10.5TB。



## 風場及波浪模擬評估

➤ 2010以後的風場模擬(由陳教授計算):  
輸入NFS風場資料。

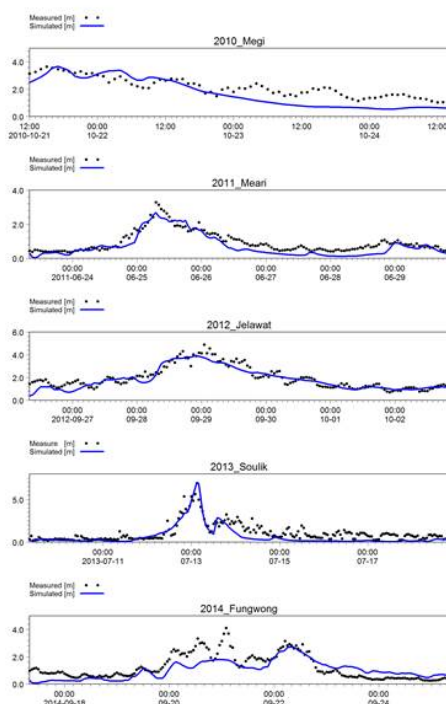
2010以前的風場模擬(由交大計算):  
輸入CFSR風場資料

➤ 評估指標

- 1)  $R^2 > 0.6$
- 2)  $\Delta T_p < 12\text{hr}$
- 3)  $\Delta H_p / H_{\max} < 25\%$
- 4)  $\Delta H_{\text{rmse}} / H_{\max} < 20\%$

29

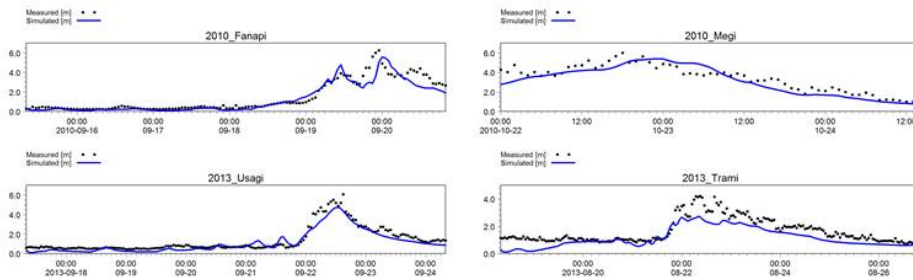
## 臺北港設計波高誤差比較(ARW\_NFS2km)



TP	RMSE	R2	dHs	dT	maxHs	dHs/maxHs	RMSE/maxHs
2014_Fungwong	0.64	0.57	-1.39	30	4.11	-33.73	15.46
2013_Souluk	0.70	0.77	0.06	0	6.94	0.86	10.06
2012_Jelawat	0.42	0.84	-0.98	-3	4.90	-20.03	8.56
2011_Meari	0.33	0.86	-0.61	0	3.29	-18.42	10.16
2010_Megi	0.70	0.78	0.01	2	3.65	0.39	19.18
2013_Fitow	0.68	0.78	1.08	-2	4.97	21.68	13.75
2012_Saola	0.57	0.79	1.28	2	3.75	34.17	15.26

30

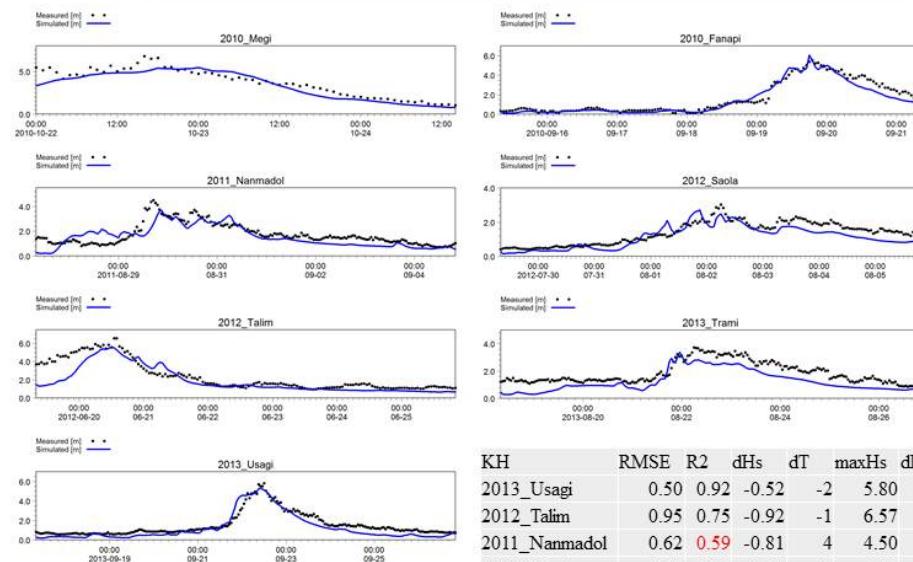
## 安平港設計波高誤差比較(ARW\_NFS2km)



AP	RMSE	R2	dHs	dT	maxHs	dHs/maxHs	RMSE/maxHs
2013_Usagi	0.45	0.92	-1.33	-2	6.06	-21.92	7.44
2010_Fanapi	0.61	0.87	-0.69	1	6.26	-11.03	9.69
2013_Trami	0.63	0.84	-1.48	-1	4.21	-35.09	15.00
2010_Megi	0.60	0.87	-0.57	5	5.98	-9.53	10.00

31

## 高雄港設計波高誤差比較(ARW\_NFS2km)



KH	RMSE	R2	dHs	dT	maxHs	dHs/maxHs	RMSE/maxHs
2013_Usagi	0.50	0.92	-0.52	-2	5.80	-8.89	8.54
2012_Talim	0.95	0.75	-0.92	-1	6.57	-13.96	14.52
2011_Nanmadol	0.62	0.59	-0.81	4	4.50	-18.00	13.88
2010_Megi	0.60	0.90	-1.35	8	6.80	-19.89	8.79
2013_Trami	0.68	0.85	-0.35	-7	3.72	-9.43	18.37
2012_Saola	0.40	0.78	-0.31	-9	3.02	-10.18	13.28
2010_Fanapi	0.45	0.94	0.53	-1	5.52	9.61	8.10

32



## 氣候變遷對於設計波高的影響

- 目前已針對以下四個主要港口進行長期趨勢分析，其結果顯示臺北港受氣候變遷影響下的波浪成長趨勢較高。故已臺北港為例考慮此變遷量在設計波決定流程中該如何修正。

花蓮trend: -0.0068m/year

蘇澳trend: 0.0133m/year

臺北trend: 0.0236 m/year

基隆trend: 不具趨勢性

安平trend: 0.0109m/year

高雄trend: 0.0101m/year

- 比較兩種方式：

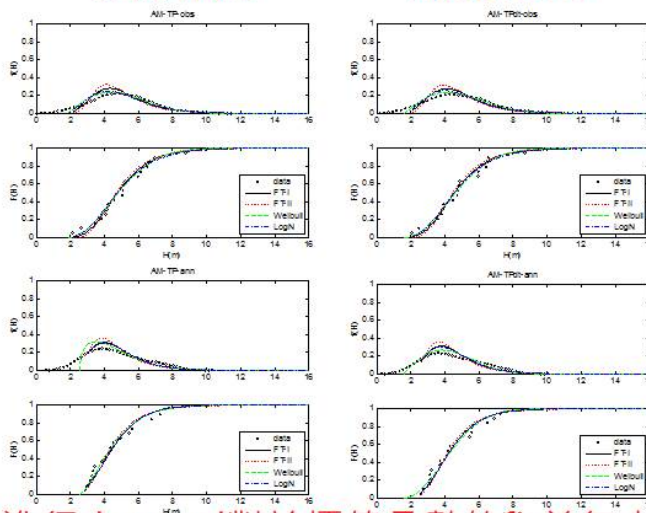
1. 進行極值統計後再將各重現期的波高加上(重現期\*趨勢)
2. 先將樣本進行detrend去除趨勢，再進行極值分析，最後<sub>33</sub>再加上(重現期\*趨勢)

## 氣候變遷對於設計波高的影響

- 選用臺北港(1996~2013測試,將年極值樣本(OBS,M5,ANN,2D)扣掉該年度樣本所對應的趨勢增加量,再作極值統計,最後照以前的方式作50年重現期上下範圍。

之前作法

先detrend



先進行detrend對於極值函數的fit並無太大影響

34

## 以前直接取年極值

Index	T (yr)	實測資料樣本(OBS)				M5最小化模式樹樣本(M5)			
		FT-I	FT-II	Weibul 1	LogN	FT-I	FT-II	Weibul 1	LogN
MIR(m)		0.54	0.81	0.58	0.63	1.59	2.21	1.23	0.91
RMSE <sub>(m)</sub>		0.27	0.36	0.26	0.30	0.22	0.28	0.18	0.16
ER (m)		0.09	0.40	0.29	0.33	0.52	0.64	0.38	0.47
$x_g(m)$	10	7.24	7.14	7.28	7.49	5.48	5.42	5.52	5.57
	25	8.49	8.57	8.27	8.85	6.06	6.07	5.98	6.08
	50	9.42	9.73	8.93	9.86	6.48	6.59	6.29	6.43
	100	10.34	10.95	9.54	10.86	6.91	7.14	6.57	6.77
	200	11.25	12.26	10.10	11.87	7.33	7.74	6.83	7.09
(m)	10	0.86	1.03	0.77	0.54	0.41	0.49	0.36	0.25
	25	1.15	1.47	0.93	0.64	0.55	0.70	0.44	0.30
	50	1.38	1.84	1.04	0.71	0.65	0.87	0.49	0.34
	100	1.61	2.24	1.14	0.78	0.76	1.06	0.54	0.37
	200	1.84	2.66	1.24	0.84	0.87	1.26	0.59	0.40
Index	T (yr)	類神經樣本(ANN)				二維數值模式樣本(MIKE)			
		FT-I	FT-II	Weibul 1	LogN	FT-I	FT-II	Weibul 1	LogN
MIR(m)		0.70	0.83	0.57	0.75	2.10	2.60	2.08	1.20
RMSE <sub>(m)</sub>		0.28	0.33	0.24	0.27	0.11	0.13	0.10	0.07
ER (m)		0.56	0.86	0.61	0.29	0.18	0.23	0.11	0.10
$x_g(m)$	10	6.63	6.55	6.70	6.59	4.21	4.18	4.22	4.22
	25	7.75	7.83	7.82	7.62	4.44	4.45	4.41	4.40
	50	8.58	8.87	8.61	8.38	4.62	4.66	4.53	4.52
	100	9.40	9.98	9.36	9.12	4.79	4.89	4.65	4.63
	200	10.22	11.16	10.08	9.85	4.96	5.13	4.76	4.73
(m)	10	0.77	0.93	0.87	0.48	0.17	0.20	0.15	0.11
	25	1.04	1.33	1.13	0.57	0.23	0.29	0.18	0.13
	50	1.25	1.66	1.32	0.64	0.27	0.36	0.21	0.14
	100	1.45	2.02	1.49	0.70	0.32	0.44	0.23	0.15
	200	1.66	2.40	1.67	0.76	0.36	0.53	0.24	0.17

## Detrend後取年極值

Index	T (yr)	實測資料樣本(OBS)				M5最小化模式樹樣本(M5)			
		FT-I	FT-II	Weibul 1	LogN	FT-I	FT-II	Weibul 1	LogN
MIR(m)		0.63	0.83	0.75	0.77	1.52	2.13	1.15	0.89
RMSE <sub>(m)</sub>		0.30	0.37	0.30	0.32	0.21	0.27	0.17	0.16
ER (m)		0.03	0.30	0.42	0.17	0.52	0.63	0.37	0.46
$x_g(m)$	10	7.06	6.97	7.10	7.27	5.28	5.22	5.32	5.37
	25	8.32	8.41	8.10	8.64	5.86	5.87	5.78	5.88
	50	9.25	9.58	8.76	9.66	6.28	6.39	6.09	6.24
	100	10.18	10.82	9.37	10.68	6.71	6.94	6.37	6.58
	200	11.10	12.14	9.94	11.71	7.13	7.54	6.63	6.90
(m)	10	0.87	1.04	0.78	0.54	0.40	0.49	0.36	0.25
	25	1.17	1.49	0.94	0.64	0.55	0.70	0.44	0.30
	50	1.40	1.86	1.05	0.72	0.65	0.87	0.49	0.34
	100	1.63	2.26	1.16	0.79	0.76	1.06	0.54	0.37
	200	1.86	2.69	1.25	0.85	0.87	1.26	0.59	0.40
Index	T (yr)	類神經樣本(ANN)				二維數值模式樣本(MIKE)			
		FT-I	FT-II	Weibul 1	LogN	FT-I	FT-II	Weibul 1	LogN
MIR(m)		0.71	0.93	0.63	0.72	0.48	0.84	0.41	0.27
RMSE <sub>(m)</sub>		0.28	0.35	0.24	0.26	0.06	0.08	0.05	0.04
ER (m)		0.61	0.90	0.28	0.46	0.10	0.17	0.02	0.02
$x_g(m)$	10	6.42	6.34	6.46	6.44	4.07	4.04	4.08	4.06
	25	7.54	7.62	7.36	7.52	4.33	4.35	4.29	4.26
	50	8.37	8.65	7.95	8.32	4.53	4.60	4.43	4.39
	100	9.19	9.75	8.50	9.11	4.73	4.86	4.56	4.51
	200	10.01	10.93	9.00	9.90	4.93	5.14	4.68	4.62
(m)	10	0.77	0.92	0.69	0.48	0.18	0.22	0.16	0.12
	25	1.04	1.33	0.84	0.57	0.25	0.32	0.20	0.14
	50	1.24	1.66	0.94	0.64	0.30	0.40	0.22	0.16
	100	1.45	2.01	1.03	0.70	0.35	0.48	0.25	0.17
	200	1.66	2.40	1.12	0.76	0.40	0.57	0.27	0.18

兩種方法的三種指標略有不同,但最適極值函數的選擇上相同

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	Before	8.58	1.25	'6.52~10.63'	'7.70~11.81'
	先detrend	8.37	1.24	'6.32~10.42'	'7.50~11.60'
實測資料	Before	9.86	0.71	'8.69~11.03'	'9.87~12.21'
	先detrend	9.66	0.72	'8.48~10.84'	'9.66~12.02'
二維數值模式	Before	4.53	0.21	'4.20~4.87'	'5.38~6.05'
	先detrend	4.43	0.22	'4.06~4.80'	'5.24~5.98'
M5樣本	Before	6.43	0.34	'5.88~6.99'	'7.06~8.17'
	先detrend	6.24	0.34	'5.68~6.79'	'6.86~7.97'

- 先detrend後再分析的50年重現期極值波高都略小於原來方法。
- 未來在極值分析前可先進行趨勢分析，確保資料為無趨勢再行分析。分析後的信賴區間再加上年增率\*50年的氣候變遷量。可避免因為考慮長期變遷趨勢而造成設計波的高估。





## 結論

- ◆ 本計畫針對近64年內侵襲安平港與高雄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無明顯趨勢。中度颱風侵襲安平港的年增加率平均約為0.0138次/年。高雄港部份的中度颱風侵襲次數年增加率平均約為0.0147次/年，以現有颱風紀錄而言每100年約增加一個颱風的侵襲機會。。
- ◆ 透過多種趨勢分析方法所獲得的結果顯示安平港波高年增率為0.0022至0.0136 m/year。高雄港則約為0.0042至0.0105 m/year，顯示高雄港與安平港的波浪長期趨勢分析結果皆是屬於些微遞增。
- ◆ 本計畫以新蒐集之颱風波浪資料配合較適用的SLOSH參數模型風場更新安平港與高雄港之類神經網路波浪推算模式，以提升模式推算能力。針對目前已建立完成的颱風波浪推算模式進行比較，由於颱風波浪樣本的新增，已大幅提升安平港與高雄港的波浪推算能力，改善往昔台灣西岸推算能力較東岸差的情況。

## 結論

- ◆ 利用M5最小化模式樹模式建立的安平港與高雄港的M5最小化模式樹波浪推算模式，在驗證結果中顯示M5模式可以達到與類神經模式相近的推算能力，其中高雄港的M5模式推算能力較安平港好。
- ◆ 以安平港46場颱風來評估兩種模式，波高峰值的推算精度以類神經模式較佳，但整體推算RMSE及R<sup>2</sup>皆是以M5最小化模式樹波浪推算模式較佳。高雄港46場颱風的分析結果顯示在四種誤差評估指標的精度表現上都以類神經模式較佳。本計畫並針對推算較差的幾場颱風進行探討，除了少數幾場推估結果會與實測波高峰值相差約2m外，另發現由東向西侵台的颱風在遠離台灣本島進入中國大陸後仍會對安平港與高雄港造成另一波高峰值，這種現象目前兩種模式皆無法正確模擬，未來可透過當地風速資料探討其機制並嘗試予以改善。而無論是安平或高雄港，類神經模式所推估波高峰值發生時間在誤差標準差部分皆小於M5模式，顯示在峰值發生時間部分類神經模式所推估的結果較為可靠。故現階段無論是即時預報 38 或極值樣本推算仍建議採用以類神經模式較為合適。

簡報完畢



## 附錄四 期末簡報資料

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混合波浪統計特性及推算模式建置研究(3/4)

期末簡報

簡報人：張憲國



國立交通大學土木工程系所  
中華民國一百零四年十一月二十四日



一、林昭圭委員	
● 建議測試用之颱風分路徑和等級分別比較，以釐清本計畫所提方法之適用範圍。例如第三章之各個比較表其 $R^2$ 值差異很大。	● 為使本研究中所建立的風浪推算模式能適用於所有颱風，本研究在選用的測試颱風與訓練颱風時已考量路徑及等級來進行群集分析，以確保兩群資料的均勻性，避免模式只適用於某些颱風，已於報告中3.2.2節說明。另路徑與等級分類比較在模式建立初期研究團隊皆已進行歸納分析，並參考其結果探討於5.1節中
● 本計畫所引用之方法常有不同之結果，希望期末報告時能有具體建議。例如波浪長期趨勢。	● 由於取樣方式與趨勢偵測方式的不同會造成不同的分析結果，本計畫盡可能將所有方法的結果列出，並已說明Seasonal Kendall方法可避免資料缺漏與季節性變化所造的誤判，故建議選擇其結果作為代表。
● 建議列出M5方法中之分類的結果，而非僅止說明理論，以便了解M5之合理性。ANN中各個輸入參數之交互影響如何釐清。	● 由於颱風各因子與波浪間的關係複雜，M5模式的分類結果的規則數一般多達300~700組，故較難以逐一列出說明。ANN本身具有多神經元曾與多層的線性關係，一般也較難以探討各參數間的影響量。
● 建議列出整個作業之流程。	● 已增列工作流程圖於圖1.4。

2



<p>二、郭一羽委員</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 本計畫研究成果有學術和應用價值。</li> <li>● 增加ANN和M5兩模式之理論構想以及適用條件的差異處。</li> <li>● 颱風數量隨氣候變遷增加量與其隨機變化相比可忽略應加以說明。颱風強度是否增加可否分析(或以波高來說明)。</li> <li>● ANN及M5模式的輸入參數，是否有隨氣候變遷增加？</li> <li>● 肯定設計波之氣候變遷的處理。但註明實用上影響很小。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 感謝委員認可。</li> <li>● 由於兩種模式皆屬於透過大量資料訓練來建立的，其中架構十分繁瑣，模式架構理論已於報告中加強說明，<b>理論構想已補充於5.1節</b>。兩種模式適用的情況類似，目前以現有驗證資料顯示兩種模式都對於東向西行跨越台灣海峽進入大陸後的波高峰值較難正確模擬，已<b>說明於期末報告5.1節中</b>，未來若有更多樣本資料將再嘗試探討是否有改善的方法。</li> <li>● 感謝委員建議，分析結果顯示颱風侵台次數有些微增加的趨勢，本結果可提供相關研究作參考，另由於颱風強度定義是以最大風速來決定，然而此最大風速未必影響推算點，故<b>以2.3節的波高趨勢來說明較為合適</b>。</li> <li>● 兩種模式都經由大量資料進行訓練來進行內部參數，理論上<b>越多資料所建立的模式精度越佳</b>，以目前資料量與特性而論若分不同時間區段來進行建模，勢必會遭遇各區段資料特性不均勻的狀況，故<b>目前難以評估模式參數與氣候變遷之間的關係</b>。</li> <li>● 感謝委員肯定，未來可於所有主要港口的分析完成後再進一步探討是否須考量此影響量。</li> </ul>
---	---



<p>三、蔡清標委員</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 研究內容豐富，具成果。</li> <li>● P1-3第二段到第三段倒數第五行，建議併在2.3.2節趨勢分析中說明較易閱讀。</li> <li>● 類神經模式中，容許誤差值之設定如何建議說明之。</li> <li>● 3.2.4節及3.2.5節放在3.2.1節之後似較佳</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 感謝委員肯定。</li> <li>● 感謝委員建議，由於此段為往昔相關研究的文獻回顧，故將保留在文獻回顧章節，並<b>已將與本研究所採用方法較相關的部分在2.3.2節中加入說明</b>。</li> <li>● 本研究類神經模式訓練過程的容許誤差值為正規化後MAE或MSE的0.01，然而本研究採用多種停止條件，<b>通常模式停止訓練的狀況是發生在其學習效率降低的狀況</b>。</li> <li>● 感謝委員建議，<b>已於期末報告第三章作調整</b>。</li> </ul>
<p>四、何良勝委員</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 內文修正或補充說明之處： (1)P.1-1、P.1-2內之“本所港研中心”，修正為“交通部運輸研究所港研中心”。 (2)P.3-12，第2段內，三場風場模型，補充概略說明。 (3)P.5-14，表5.4內，其「未通過95%百分比宜作適當補充說明，避免產生誤解」。</li> <li>● 第二章中，有關安平與高雄所選擇颱風有所不同，建議作適當說明。</li> <li>● P.5-1之5.1節中，建議就兩種模式之分析結果，作一優劣說明。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● (1)已於各章節進行修正。 (2)已<b>補充於P3-15</b>。 (3)已<b>修改說明於5.3節</b>。</li> <li>● 已說明於<b>P.3-1末段</b>。</li> <li>● 已加入<b>說明於P5-11</b>。</li> </ul>



<p>五、曾相茂委員</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 第2-2頁(6)所有資料都儲存於傳回港研中心的電腦及在水中量測中的AWCP 內，也就是至少儲存在二個地方。</li> <li>● 中央氣象局所定義颱風級分為是近中心最大風速1.輕度颱風：17.2~32.6 公尺/秒2.中度颱風32.7~50.9公尺/秒3.強烈颱風51公尺/秒以上，不知2-2頁為何用中心海面氣壓來分。</li> <li>● 高雄港的觀測站是在2000年12月20日才安裝完成，所以12月20日前是沒有資料2000 年12月20日~2005年8 月安裝在一、二港口間之高雄市中洲汙水處理廠外，海底電纜經常被底拖網漁船拖拉，以致沒有資料，2005年8月至今改安裝在高雄二港口外，資料較正常傳回。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 感謝委員協助說明。</li> <li>● 本研究中的分類標準也與中央氣象局的標準相同，然而日本氣象廳較完整的資料是氣壓值，故採用經驗公式轉算為壓力門檻。</li> <li>● 感謝委員協助說明。</li> </ul>
---	---



<p>六、蔡立宏委員：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 本研究目標為即時預報，請說明模式資料收集傳輸與計算所需時間、預報時間及作業流程。</li> <li>● 氣候變遷的影響量，在颱風部分僅探討長期增加個數及氣旋量，對於颱風引起的波浪改變如何？</li> <li>● 不同模式在不同港口的模擬結果，建議探討模擬最佳及最差的原因。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 已於期末報告P5-12進行說明。</li> <li>● 目前僅分別探討颱風侵台個數與波浪的趨勢分析結果，由於定義上的颱風強度也未必會發生於推算點造成較大的波浪以設計波的觀點而論可由2.3.3節各種不同取樣方式的波浪趨勢分析結果來進行評估。</li> <li>● 模擬較差的颱風已探討於5.1節，而以目前颱風波浪模式建立的經驗，各港資料量對於模式推估精度也是很大的影響因素，也增加各港特性探討上的困難。已增列說明於5.2節。</li> </ul>
--	---





## 研究動機

- 港灣工程規劃設計之設計波浪須由長期實測波浪資料來決定。近年來發展類神經颱風波浪推算模式以解決現有記錄時間不足的問題，但本模式的建立仍需往昔的實測資料，但在氣候環境改變的情況下這些技術的可靠性仍需再評估。
- 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，本計畫針對颱風事件與波浪資料進行趨勢分析以評估氣候變遷影響的顯著性，並針對設計波高的決定標準提出相關對策與建議。
- 為提升國內波浪推算技術之正確性本研究針對安平港與高雄港以M5最小化模式樹建立模式，再與類神經網路模式比較兩者的適用性。
- 本研究以二維風浪數值模式模擬各場颱風對安平港與高雄港造成的波場以供設計波浪的推算。



7

## 總計畫研究流程



## 本年度工作項目

以安平港與高雄港為目標：

- 分析安平港與高雄港之颱風與波浪在氣候變遷下之影響。(已完成)
- 建立安平港與高雄港M5最小化模式樹波浪推算模式。(已完成)
- 比較安平港與高雄港類神經網路波浪推算模式與M5波浪推算模式之推算精度。(已完成)
- 以數值模式進行安平港與高雄港之波浪推算。(已完成)
- 安平港與高雄港設計波高標準之探討。(已完成)

另就本計畫說明主要研究成果及重大突破。並針對論文發表、技術活動與決策依據等三項進行績效指標評估。

9

## 創新研發

本計畫基於往昔研究深入探討設計波標準，有以下創新發展：

- 因應全球氣候變遷議題，針對安平與高雄兩港的波浪及颱風事件採用多種趨勢檢測法進行長期趨勢分析。
- 經港研中心所提供臺北港海面上10m風速之比較多種參數模型風場，本年度類神經網路颱風波浪模式中的風速推算改選用較合適的參數模型風場配合近年來新的颱風波浪資料對往昔發展之安平與高雄港類神經颱風波浪推算模式進行更新。
- 以M5最小化模式樹建立安平港與高雄港颱風波浪推算模式。
- 以安平港與高雄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來劃定信賴範圍。
- 採用WRF模式追算時間與空間解析度更佳的风場，以提升二維風浪模式模擬之精度。

10



## 資料來源

資料來源：港灣技術研究中心波浪年報資料

安平港：2000年1月至2014年10月

高雄港：2000年12月至2014年12月

\*本計畫所整理各年度各月份資料蒐集率可參見報告



風速計 潮位計 波浪儀



風速計 潮位計 波浪儀

安平港及高雄港測站位置

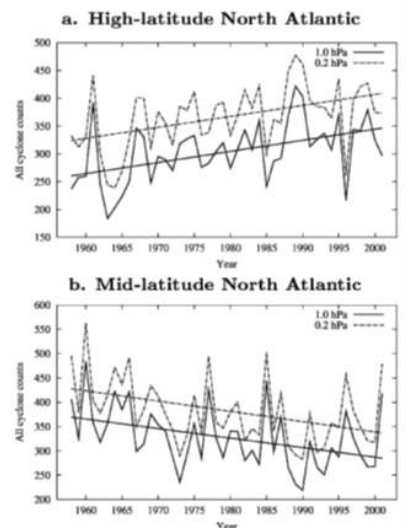
11

## 氣候變遷的影響量(颱風)

### ■ 颱風資料來源：

1. 中央氣象局(1958至今)
2. 日本氣象廳(1951至今)
3. 聯合颱風警報中心(1945至今)

- 本計畫經整理後採用日本氣象廳往昔西太平洋颱風資料針對所發布的警報單及中心位置資訊評估在不同篩選門檻距離下安平港與高雄港長期受颱風影響的次數及規模是否存在有氣候變遷影響的趨勢或變化。



Wang et al. (2006) 年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

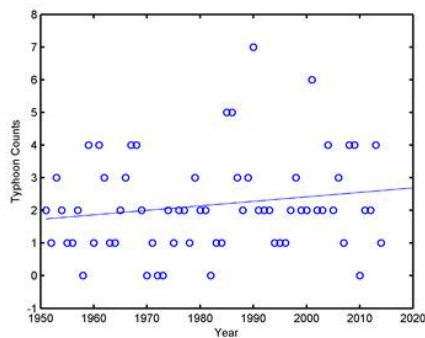
12



## 氣候變遷的影響量(颱風)

安平港1951年至2014年  
颱風侵襲次數趨勢(個數/年)

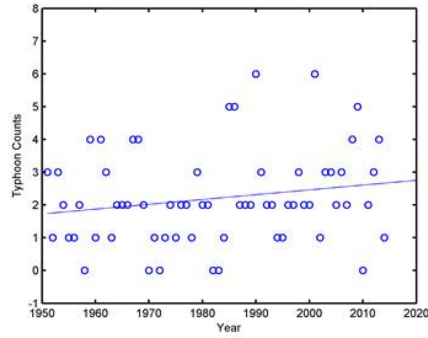
	門檻值 300km	門檻值 500km	門檻值 1000km
所有熱帶低壓	0.0035	0.0046	0.0038
強烈颱風	-0.0022	-0.0043	-0.0035
輕度颱風	0.0021	-0.0039	0.0022
中度颱風	0.0074	0.0138	0.0170



50年約會增加0.69個颱風的侵襲

高雄港1951年至2014年  
颱風侵襲次數趨勢(個數/年)

	門檻值 300km	門檻值 500km	門檻值 1000km
所有熱帶低壓	0.0008	0.0080	0.0077
強烈颱風	-0.0046	-0.0015	-0.0050
輕度颱風	0.0002	-0.0060	0.0031
中度颱風	0.0075	0.0147	0.0224



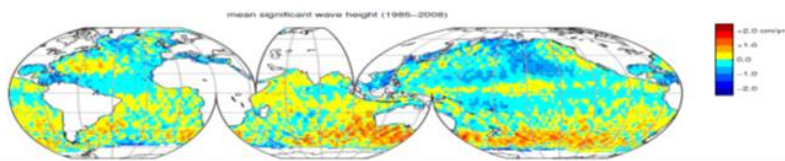
50年約會增加0.74個颱風的侵襲

13

## 氣候變遷的影響量(波浪)

波浪現象為一連續的時間序列，若欲評估其長期變化趨勢，可用以下數值方法來嘗試評估：

- $y(t) = a_1t + b_1$  (線性回歸)
- Mann-Kendall趨勢檢測法(可應用於資料有缺漏的樣本)
- Seasonal Kendall趨勢檢定法(有效處理有季節性的變化與資料缺漏的狀況)
- EMD經驗模態分解法 (G.Rilling)



全球平均波高的變化趨勢分布圖(Young et al., 2011)

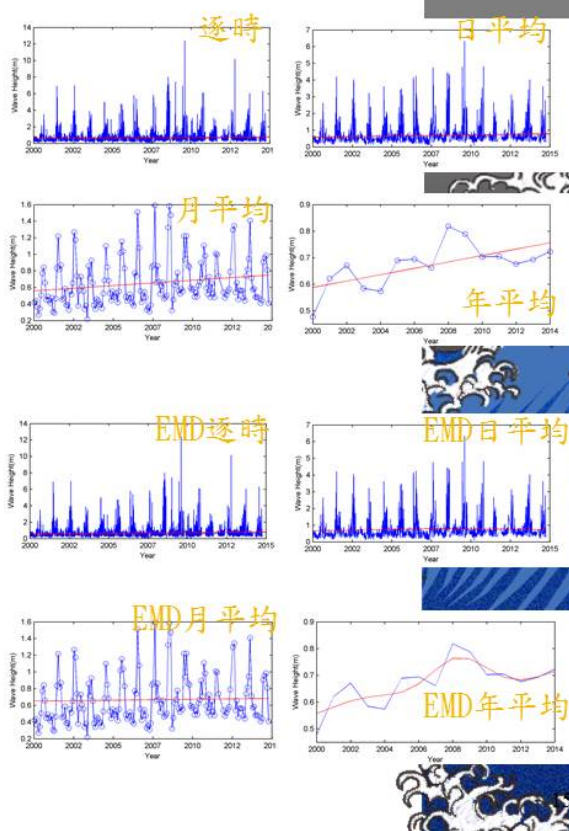
14

## 氣候變遷的影響量(波浪)

### 安平港

分析與取樣方式	年增率(m/year)
逐時資料線性趨勢	0.0134
日平均線性趨勢	0.0136
月平均線性趨勢	0.0129
年平均線性趨勢	0.0120
Seasonal Kendall 月平均趨勢檢定	0.0109
EMD趨勢分析(逐時)	0.0136
EMD趨勢分析(日平均)	0.0066
EMD趨勢分析(月平均)	0.0022
EMD趨勢分析(年平均)	0.0122

各取樣方式以線性回歸所估算的年增率約為0.0022至0.0136m/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0.0109m/year，安平港近15年間的波浪趨勢是屬於增加的。

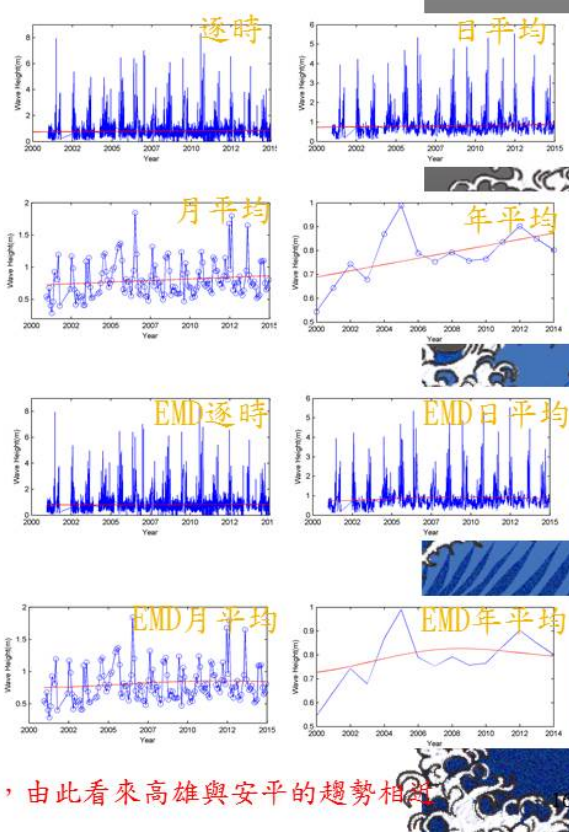


## 氣候變遷的影響量(波浪)

### 高雄港

分析與取樣方式	年增率(m/year)
逐時資料線性趨勢	0.0084
日平均線性趨勢	0.0091
月平均線性趨勢	0.0100
年平均線性趨勢	0.0132
Seasonal Kendall 月平均趨勢檢定	0.0101
EMD趨勢分析(逐時)	0.0042
EMD趨勢分析(日平均)	0.0105
EMD趨勢分析(月平均)	0.0087
EMD趨勢分析(年平均)	0.0054

各取樣方式以線性回歸所估算的年增率約為0.0042至0.0105m/year，若採用考慮季節性變化的Seasonal Kendall趨勢檢定法，其波高趨勢為0.0101m/year，整體而言高雄港波高長期變化趨勢屬增加。



就往昔經驗SeasonalKendall法較具代表性，由此看來高雄與安平的趋势相似

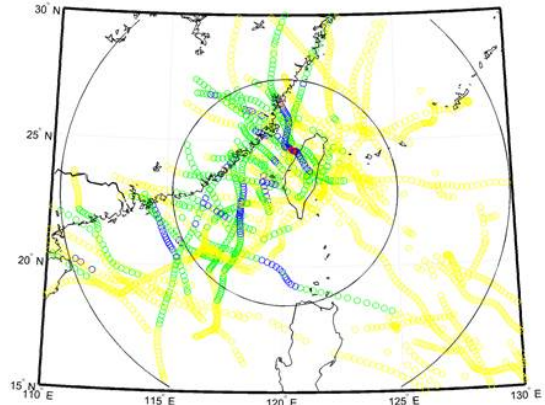


## 颱風波浪資料分析

### 安平港

- ◆ 本研究選擇安平港颱風共46場  
波高小於3m的有13場(黃色)  
波高介於3m至5m間的有18場(綠色)  
波高介於5m至7m有14場(藍色)  
波高大於7m以上則有1場(紅色)
- ◆ 對安平港造成直接影響的路徑：第五路徑、第七路徑、第八路徑及第九路徑等。
- ◆ 颱風只有在中心距離靠近安平港港500km以內才有機會造成7m以上的示性波高。藍色資料點大部分集中在半徑500km內，綠色資料點分布則較廣。較值得注意的既使颱風由東向西穿過中央山脈往東北移動，出現較大波浪的情況也十分明顯，且其造成影響的次數更較由南往北直撲安平港的颱風來得多。

波高空間分布的特性分析



黑色實線：以安平港為中心繪製半徑500km與1000km之界線

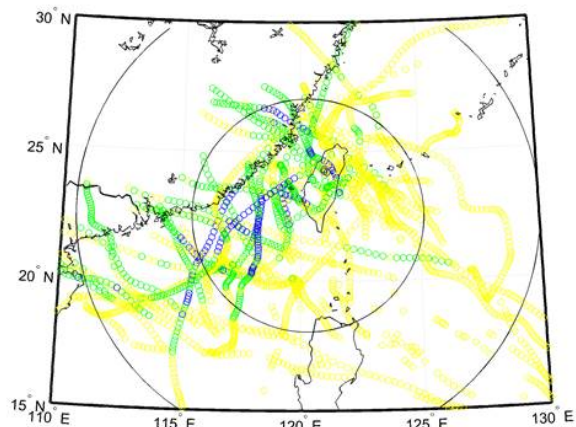
17

## 颱風波浪資料分析

### 高雄港

- ◆ 本研究選擇高雄港颱風共46場  
波高小於3m的有6場(黃色)  
波高介於3m至5m間的有28場(綠色)  
波高介於5m至7m有11場(藍色)  
波高大於7m以上則有1場(紅色)
- ◆ 對高雄港造成直接影響的路徑：第五路徑、第七路徑、第八路徑及第九路徑等。
- ◆ 對高雄港波浪造成最大影響的颱風中心位置是在台灣高雄外海(紅色資料點)，藍色資料點(對應波高5m至7m)則分布於台灣西北與西南側，綠色資料點(3m至5m)主要分布圖中西半部，僅有少數位於東半部。以高雄港而言，颱風只有在中心距離靠近高雄港500km以內且其中心位於台灣西側才較有機會造成5m以上的示性波高。

波高空間分布的特性分析



黑色實線：以基高雄港為中心繪製半徑500km與1000km之界線

18

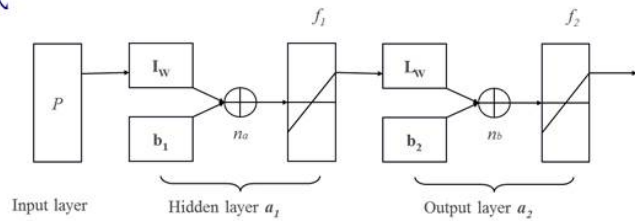
## 類神經波浪推算模式

人工神經元輸出值與輸入值的關係式

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

誤差函數  $E$   $E = \frac{1}{2} \sum_j (T_j - Y_j)^2$

加權值的修正量  $\Delta W = -\eta \cdot \frac{\partial E}{\partial W}$



JMA實測颱風資料

1. 颱風經緯度
2. 近中心最大風速
3. 中心氣壓

計算  
輸入  
參數

輸入參數

- (1) 颱風與目標距離  $D$
- (2) 目標點風速  $V$  (改SLOSH參數風場)
- (3) 目標點方位角  $\theta_1$
- (4) 颱風侵襲角  $\theta_3$
- (5) 目標點風向  $V_{deg}$

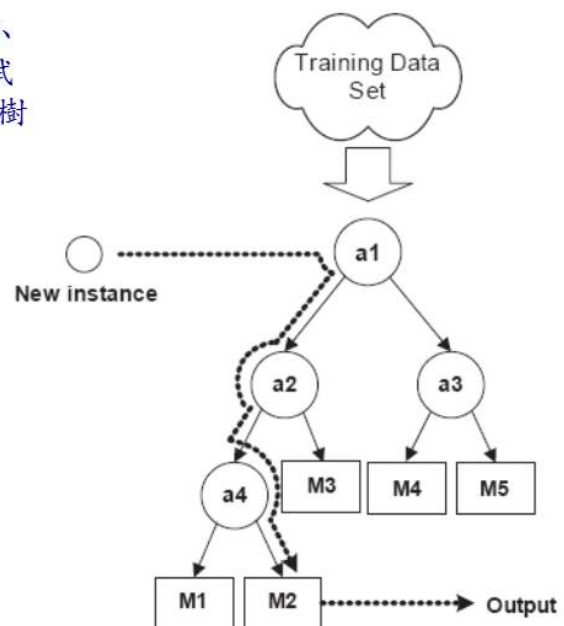
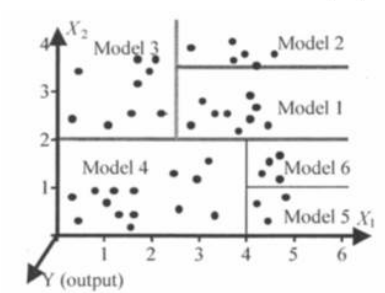
19

## M5波浪推算模式

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)

模式分支判斷指標(Qualin, 1992)

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



20



## 安平港模式比較

平均絕對值	$\Delta H_{z,p}$	$\Delta t_p$	RMSE	R <sup>2</sup>
類神經	0.90	7.89	0.73	0.64
M5	0.96	9.24	0.58	0.73

- 波高峰值的推算精度以類神經模式較佳，但整體推算RMSE及R<sup>2</sup>皆是以M5模式較佳。
- 46場颱風中有24場颱風類神經網路模式與M5模式的推算峰值誤差皆在1m以內。
- 本計畫並歸納二類型推算結果較差的颱風做後續探討。

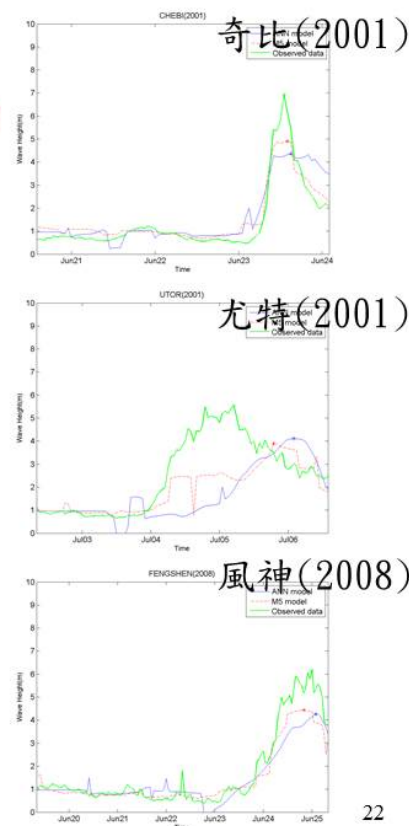
年份	颱風名稱	ΔH <sub>z,p</sub> (m)	Δt <sub>p</sub> (hour)	RMSE	R <sup>2</sup>	ΔH <sub>z,p</sub> (m)	Δt <sub>p</sub> (hour)	RMSE	R <sup>2</sup>	H <sub>z,p</sub> (m)
類神經										
M5										
2000	碧利斯	0.84	1.00	0.53	0.76	1.04	-5.00	0.78	0.62	3.52
2001	奇比	-2.57	2.00	0.75	0.76	-2.01	1.00	0.46	0.94	6.92
2001	尤特	-1.42	21.00	1.80	0.14	-1.63	14.00	1.25	0.55	5.53
2001	納莉	0.63	27.00	0.37	0.49	-0.01	22.00	0.25	0.73	2.58
2001	利奇馬	-0.04	-13.00	0.39	0.66	0.49	-75.00	0.61	0.40	2.36
2002	歐克斯	1.32	1.00	0.93	0.26	-0.82	-1.00	0.52	0.57	3.82
2003	伊布都	-0.31	9.00	0.67	0.56	-0.94	11.00	0.50	0.82	3.9
2003	莫拉克	1.55	-4.00	1.10	0.67	-0.54	-1.00	0.63	0.71	2.75
2003	科羅旺	-0.48	-4.00	0.59	0.45	-0.40	0.00	0.31	0.81	3.18
2003	杜鰲	0.40	-5.00	0.58	0.88	-0.18	0.00	0.49	0.88	3.52
2004	歐查利	-0.51	-21.00	0.60	0.74	-1.28	-11.00	0.82	0.48	5.01
2004	雷瑪都	0.90	-6.00	0.77	0.12	-0.65	-7.00	0.40	0.51	2.91
2005	海棠	-0.21	8.00	0.63	0.83	-1.04	13.00	1.03	0.61	4.76
2005	馬莎	0.07	-3.00	0.41	0.58	1.14	-1.00	0.64	0.46	2.52
2005	珊瑚	-0.24	-8.00	0.68	0.88	-0.45	-8.00	1.02	0.58	4.72
2005	麥利	0.80	6.00	0.59	0.83	-0.15	7.00	0.49	0.83	4.05
2005	丹雅	0.12	-8.00	0.56	0.59	0.15	-9.00	0.32	0.85	2.73
2005	龍王	2.42	1.00	0.96	0.92	1.64	3.00	0.67	0.87	2.06
2006	珍珠	-0.08	-9.00	0.64	0.86	-0.36	-18.00	0.87	0.72	5.8
2006	碧利斯	-1.51	-14.00	1.11	0.56	-1.43	-11.00	0.58	0.84	5.36
2006	凱米	0.22	-13.00	0.65	0.72	-0.22	-13.00	0.31	0.95	4.08
2007	藍柏	-0.65	5.00	1.31	0.46	-1.33	2.00	0.61	0.81	5.38
2007	柯羅莎	0.11	9.00	0.92	0.42	-0.46	24.00	1.10	0.16	4.08
2008	風神	-1.90	2.00	0.72	0.92	-1.72	-4.00	0.57	0.97	6.16
2008	鳳凰	-1.30	-13.00	0.90	0.88	-2.14	-4.00	1.07	0.85	5.92
2008	如蘭	-0.73	4.00	0.57	0.86	-0.76	-6.00	0.45	0.93	5.08
2009	蓮花	-1.61	-7.00	0.67	0.81	-1.87	1.00	0.58	0.87	6.9
2009	奇卡	0.62	2.00	0.66	0.64	-0.85	3.00	0.30	0.78	3.35
2009	莫拉莎	0.42	-3.00	0.53	0.92	0.35	-12.00	0.33	0.90	3.29
2009	莫拉克	-6.94	-25.00	1.56	0.83	-7.76	-22.00	1.85	0.46	11.9
2010	萊羅克	0.04	6.00	0.99	0.32	-0.11	-2.00	0.63	0.55	4.11
2010	凡那比	-0.75	-1.00	0.81	0.79	-1.87	0.00	0.65	0.90	5.72
2010	梅姬	-0.96	6.00	0.57	0.88	-1.11	-1.00	0.44	0.95	6.08
2011	米雪	0.72	0.00	0.76	0.00	-0.05	-1.00	0.21	0.73	2.13
2012	蘇拉	0.40	16.00	0.37	0.61	-0.07	16.00	0.34	0.64	2.4
2012	歐德	0.35	-4.00	0.59	0.59	0.13	-4.00	0.42	0.70	2.76
2012	天秤	-0.01	-8.00	0.66	0.46	-0.70	-20.00	0.44	0.70	3.67
2013	蘇力	1.19	-5.00	0.58	0.81	0.10	-6.00	0.30	0.92	2.92
2013	尤特	-0.13	-2.00	0.94	0.53	-1.19	-3.00	0.44	0.90	3.94
2013	潭美	-0.61	-11.00	0.42	0.85	-0.36	-5.00	0.54	0.73	4.2
2013	康芮	-1.13	11.00	0.44	0.77	-0.32	11.00	0.37	0.78	3.13
2013	天兔	-1.38	-4.00	0.56	0.85	-0.60	-5.00	0.65	0.83	5.92
2014	寶島	0.55	5.00	0.53	0.76	-0.13	2.00	0.23	0.95	2.77
2014	麥德姆	-1.47	-8.00	0.87	0.53	-2.31	-1.00	0.68	0.66	6
2014	卡致基	-0.70	-12.00	0.73	0.41	-0.77	-2.00	0.31	0.91	3.53
2014	鳳凰	0.31	10.00	0.57	0.15	-0.42	37.00	0.39	0.46	2.75

21

## 安平港模式比較 (推算結果較差的颱風)

(類型I)兩種模式的推算結果接近但皆明顯低於實測

- 奇比(2001)與風神(2008)兩種模式的推算結果在趨勢上與實測波浪資料相近，但其推算出的峰值仍與實測資料有明顯的差異。
- 尤特(2001)颱風兩種模式的推算結果皆與實測有很大的差異，尤其峰值發生時間更與實測峰值有14~21小時的差異，然而由尤特颱風在本計畫中是屬於測試用颱風，也就是完全沒有納入兩種模式的訓練資料群，若未來作模式更新可考慮納入訓練資料群。

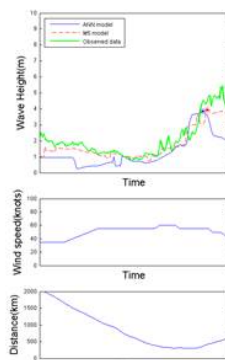
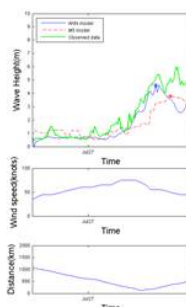


22

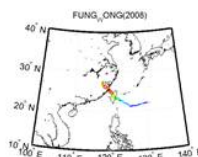
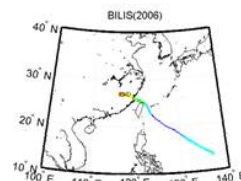
## 安平港模式比較 (推算結果較差的颱風)

(類型II)推算峰值發生時間早於實測峰值

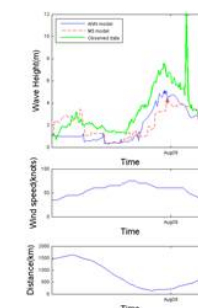
- 三場西行颱風的比較中顯示颱風遠離台灣登陸中國大陸後還有可能會在安平港發生波高峰值，這種狀況是目前兩種模式都無法正確模擬的。未來可配合實測風速資料來釐清可能的成因。



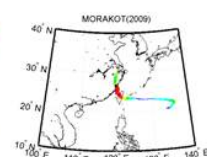
碧利斯(2006)



鳳凰(2008)



莫拉克(2009)



23

## 高雄港模式比較

平均絕對值	$\Delta H_{p,p}$	$\Delta t_p$	RMSE	$R^2$
類神經	0.76	5.83	0.59	0.75
M5	0.82	6.87	0.60	0.74

- 以四種模式評估指標包括：波高峰值、峰值發生時間、RMSE與 $R^2$ 進行評估，以高雄港46場颱風的絕對平均值來看，類神經模式在各方面的精度都高於M5模式所推估的結果。
- 本計畫並歸納二類型推算結果較差的颱風做後續探討。

年份	颱風名稱	$\Delta H_{p,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	$R^2$	$\Delta H_{p,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	$R^2$	H <sub>max</sub> (m)
類神經										
2001	奇比	-1.44	4.00	0.43	0.94	-1.71	-1.00	0.52	0.94	3.52
2001	利奇馬	-0.47	-6.00	0.44	0.76	-0.62	-8.00	0.44	0.75	6.92
2002	德克約	2.36	1.00	0.72	0.27	2.16	0.00	1.07	0.51	5.53
2003	伊布都	-0.82	10.00	0.79	0.56	-0.45	1.00	0.87	0.49	2.58
2003	莫拉克	0.45	-2.00	0.73	0.74	0.77	-4.00	0.77	0.82	2.36
2003	科羅旺	-0.13	4.00	0.43	0.83	0.50	7.00	0.56	0.81	3.82
2003	杜鰲	-0.66	23.00	1.17	0.31	-0.44	19.00	1.06	0.34	3.9
2004	麥森	0.41	-2.00	0.34	0.52	0.06	21.00	0.39	0.45	2.75
2004	歐哲利	-0.26	-20.00	0.73	0.71	-0.47	-20.00	0.72	0.70	3.18
2004	南瑪都	1.53	1.00	0.64	0.71	0.98	2.00	0.44	0.76	3.52
2005	海棠	-1.55	7.00	0.72	0.94	-2.38	1.00	0.90	0.93	5.01
2005	高沙	0.77	35.00	0.66	0.49	0.82	-7.00	0.66	0.32	2.91
2005	珊瑚	-0.54	1.00	0.63	0.81	-0.60	2.00	0.97	0.57	4.76
2005	泰利	0.16	2.00	0.54	0.86	0.13	2.00	0.42	0.91	2.52
2005	丹瑞	-0.72	2.00	0.49	0.66	-0.19	49.00	0.59	0.63	4.72
2005	龍王	1.68	-2.00	0.71	0.76	1.15	-2.00	0.58	0.86	4.05
2006	珍珠	-0.27	0.00	0.56	0.92	-1.44	2.00	0.58	0.94	2.73
2006	碧利斯	-2.04	-2.00	0.85	0.83	-2.17	6.00	0.96	0.73	2.06
2007	柯羅莎	0.11	-3.00	0.80	0.50	-0.55	-4.00	0.83	0.39	5.8
2008	黑神	-1.25	10.00	0.47	0.88	-0.38	-2.00	0.45	0.85	5.36
2008	卡欣基	0.22	2.00	0.34	0.86	-0.13	-11.00	0.27	0.91	4.08
2008	鳳凰	0.04	-17.00	0.67	0.79	-0.64	-17.00	0.54	0.90	5.38
2008	如麗	-2.40	4.00	0.87	0.94	-2.01	3.00	0.81	0.89	4.08
2008	辛樂克	1.33	20.00	0.70	0.67	1.31	4.00	0.76	0.77	6.16
2008	哈格比	0.24	8.00	0.52	0.92	-0.14	0.00	0.42	0.86	5.92
2008	響堂	1.01	-3.00	0.71	0.44	1.53	0.00	0.83	0.45	5.08
2009	蓮花	-0.49	-3.00	0.50	0.92	-1.31	-3.00	0.70	0.85	6.9
2009	南卡	0.48	1.00	0.31	0.72	0.96	1.00	0.32	0.65	3.35
2009	莫拉菲	0.30	-15.00	0.54	0.81	0.47	-17.00	0.79	0.48	3.29
2009	芭瑪	-0.34	-1.00	0.37	0.64	-0.76	-2.00	0.43	0.48	11.9
2010	凱羅克	0.32	1.00	0.70	0.71	0.32	-2.00	0.54	0.80	4.11
2010	莫蘭蒂	-0.01	-1.00	0.64	0.69	0.05	-1.00	0.50	0.81	5.72
2010	凡那比	0.99	-1.00	0.46	0.92	-0.64	-2.00	0.65	0.89	6.08
2010	梅姬	-1.10	9.00	0.52	0.92	-1.57	4.00	0.53	0.92	2.13
2011	南瑪都	0.29	-4.00	0.54	0.81	0.10	-5.00	0.61	0.79	2.4
2011	尼莎	-2.09	9.00	0.88	0.90	-1.38	-4.00	0.62	0.92	2.76
2012	泰利	-0.94	-6.00	0.69	0.90	-1.46	1.00	0.85	0.84	3.67
2012	杜鰲	0.61	-1.00	0.58	0.83	1.09	8.00	0.58	0.68	2.92
2012	蘇拉	0.81	-4.00	0.40	0.79	-0.34	-3.00	0.31	0.88	3.94
2013	尤特	0.06	0.00	0.42	0.92	0.02	-11.00	0.36	0.96	4.2
2013	潭美	0.06	1.00	0.60	0.76	-0.26	12.00	0.56	0.67	3.13
2013	康芮	-0.46	-1.00	0.38	0.83	-0.91	5.00	0.30	0.91	5.92
2013	天兔	-1.08	-3.00	0.40	0.96	-1.08	-11.00	0.59	0.86	2.77
2014	哈吉貝	-0.27	1.00	0.52	0.49	-0.40	-2.00	0.53	0.56	6
2014	雷博達	-0.28	13.00	0.42	0.83	-0.19	24.00	0.32	0.89	3.53
2014	卡欣基	-0.94	2.00	0.68	0.66	-0.76	3.00	0.31	0.92	2.75

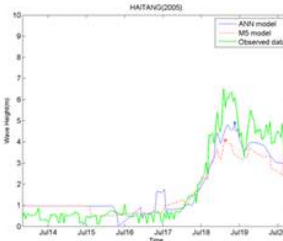
24



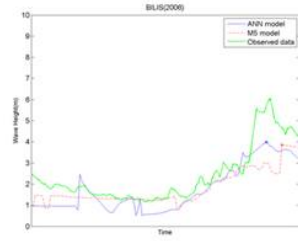
## 高雄港模式比較 (推算結果較差的颱風)

(類型I)兩種模式的峰值推算結果皆低估實測峰值

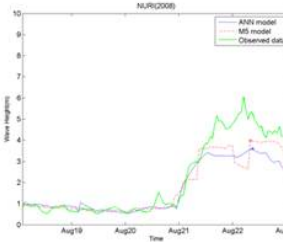
- 海棠(2005)、碧利斯(2006)如麗(2008)及尼莎(2011)等四場颱風由兩個模式推估的結果相近，但其所推算波高峰值皆與實測記錄有較大差異。
- 此類推算結果低估的現象，既使將此四場颱風納入訓練資料群中仍無法改善，其推算出來的波高峰值誤差仍約有2m的低估。



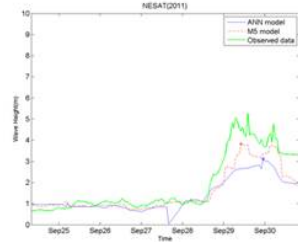
(a)海棠(2005)



(b)碧利斯(2006)



(c)如麗(2008)



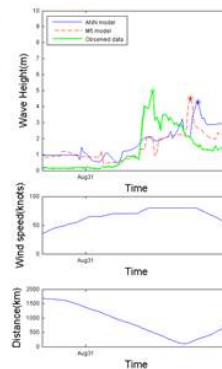
(d)尼莎(2011)

25

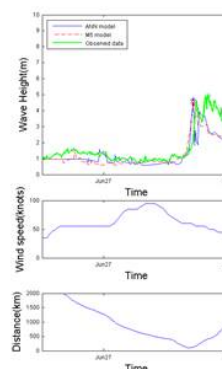
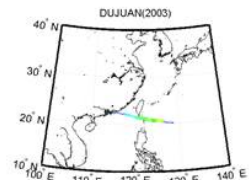
## 高雄港模式比較 (推算結果較差的颱風)

(類型II)推估峰值發生時間有較大誤差

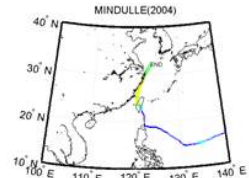
- 杜鵑(2003)颱風中心在距離高雄港約500km遠處的花蓮外海即造成高雄港測站測得5m的波高峰值，此類現象較為少見，以目前兩種模式納入訓練資料也無法推估出類似結果。
- 敏督利(2004)颱風在接近推算點造成近5m波高峰值後，其中心往西北移動20小時後推算點實測紀錄又出現5m波高的峰值。



杜鵑(2003)



敏督利(2004)



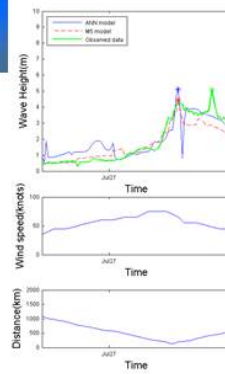
26



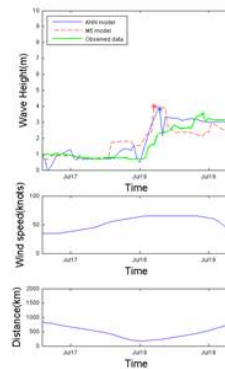
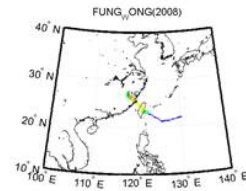
## 高雄港模式比較 (推算結果較差的颱風)

(類型II)推估峰值發生時間有較大誤差

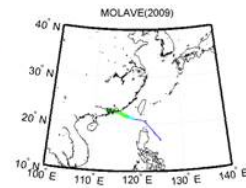
- 敏督利(2004)、鳳凰(2008)及莫拉菲(2009)三場颱風的比較途中顯示兩種模式推估的峰值發生時間點都偏早，由實測波浪資料中來看這三場颱風在最靠近高雄港時幾乎都有造成一波高值，但隨著颱風遠離波高下降後，在颱風中心接近中國大陸時在高雄港又會造成一更大的峰值，此期間約相差15至20小時，目前兩種模式所推估的峰值發生時間都是颱風中心靠近推算點高雄港的第一個峰值時間，所以峰值推估時間會與實測資料有較大的誤差。



鳳凰(2008)



莫拉菲(2009)

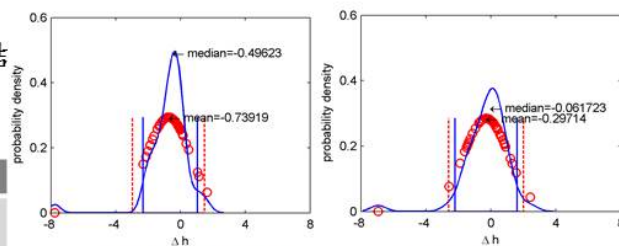


27

## 模式誤差分析(安平港)

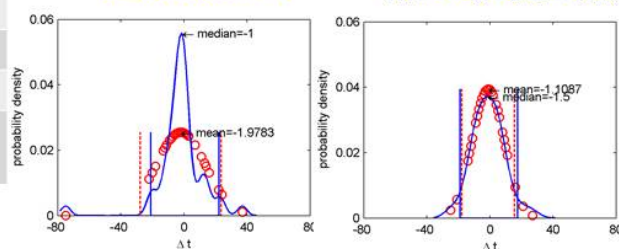
安平港M5模式與類神經模式推算結果的各場颱風波高峰值及發生時間之誤差分析：

	安平港M5		安平港類神經	
	最大波高	發生時間	最大波高	發生時間
平均值	-0.74	-1.98	-0.30	-1.11
中位數	-0.50	-1.00	-0.06	-1.50
標準差	1.36	15.63	1.40	10.11
未通過95%百分比	4.35	6.52	4.35	10.87



M5模式最大波高

類神經模式最大波高



M5模式最大波高時間

類神經模式最大波高時間

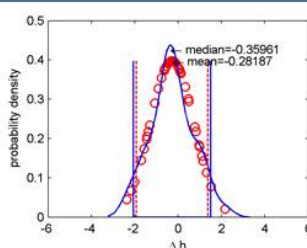
安平港兩種模式在波高峰值推估上都有些許低估的現象，峰值發生時間則稍微較實測資料早發生。

28

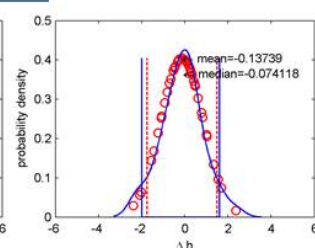
## 模式誤差分析(高雄港)

高雄港M5模式與類神經模式推算結果的各場颱風波高峰值及發生時間之誤差分析：

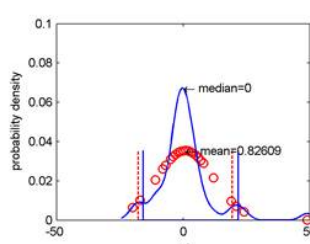
	高雄港M5		高雄港類神經	
	最大波高	發生時間	最大波高	發生時間
平均值	-0.28	0.83	-0.14	1.61
中位數	-0.36	0.00	-0.07	1.00
標準差	1.00	11.26	0.99	9.22
未通過95%百分比	10.87	8.70	13.04	13.04



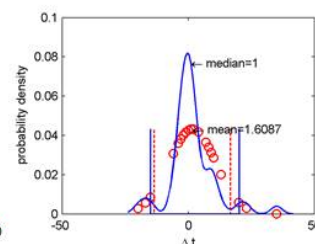
M5模式最大波高



類神經模式最大波高



M5模式最大波高時間



類神經模式最大波高時間

高雄港兩種模式在波高峰值推估上都有些許低估的現象，峰值發生時間則稍微較實測資料晚發生。

29

## 風場準確性的提升

### 風場

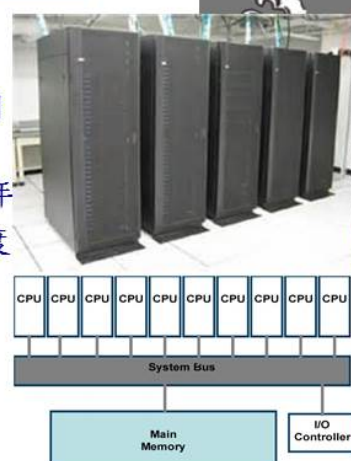
- NCEP風場(200km)—風場資料之解析度過大，應用在颱風時則有低估的現象
- CFSR風場(30km)—空間解析度較高，但僅至2010年
- Advanced Research WRF模式2km風場—空間解析度最高，但目前國內僅能取得2010至2013數場颱風。

### Advanced Research WRF模式

- 2011年以後可採用NFS風場進行加密演算。
- 2010年前須採用CFSR風場進行加密演算。

### 可能遭遇的困難

- 計算時間：加密演算需高速電腦配合平行計算。
- 儲存空間：自1990至2010年CFSR未經加密前所需空間為10.5TB。





## 風場及波浪模擬評估

➤ 2010以後的風場模擬(由陳教授計算):  
輸入NFS風場資料。

2010以前的風場模擬(由交大計算):  
輸入CFRS風場資料

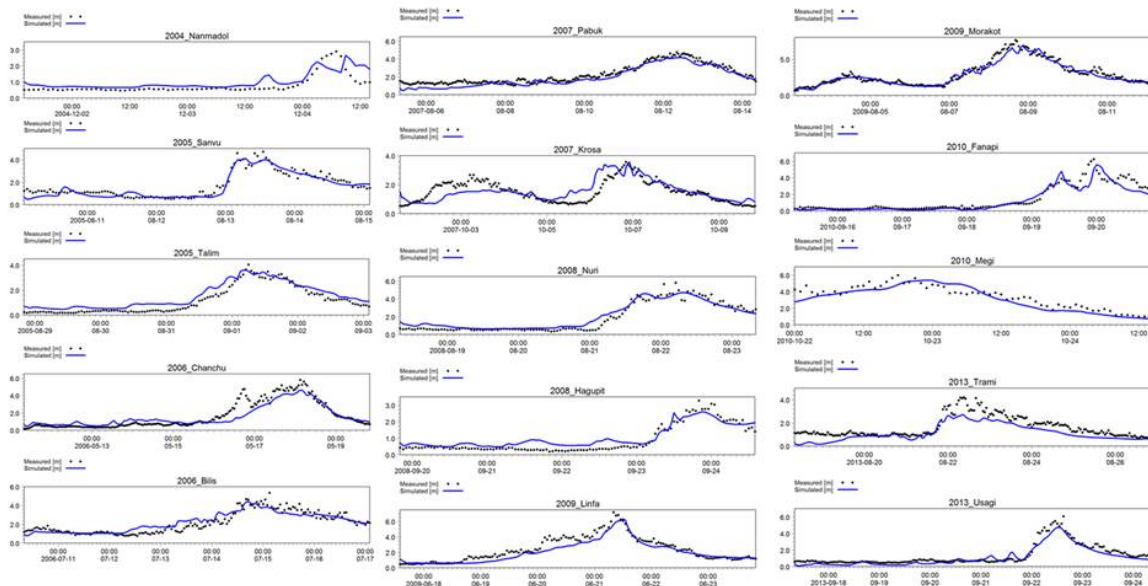
➤ 評估指標

- 1)  $R^2 > 0.6$
- 2)  $\Delta T_p < 12\text{hr}$
- 3)  $\Delta H_p / H_{\max} < 25\%$
- 4)  $\Delta H_{rms} / H_{\max} < 20\%$

31



## 安平港設計波高誤差比較(二維數模)



32

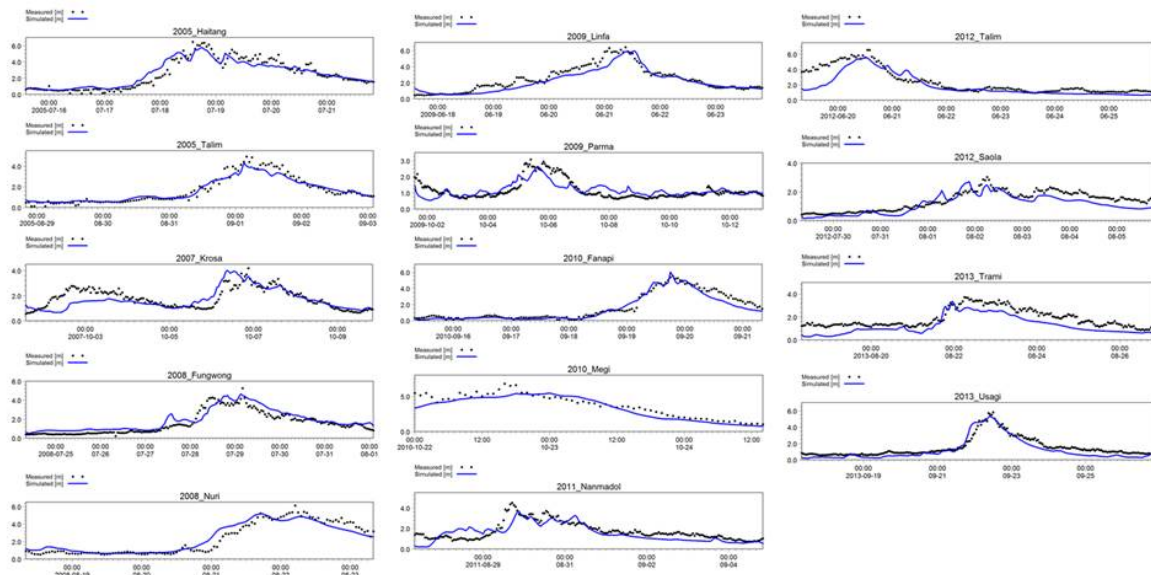
## 安平港設計波高誤差比較(二維數模)

年份	中文名稱	英文名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMS E	R <sup>2</sup>	H <sub>max</sub> (m)	$\frac{\Delta H_{s,p}}{H_{max}}(\%)$	RMSE / H <sub>max</sub> (%)
2004	南瑪都	NANMADOL	-0.24	2	0.45	0.56	2.91	-8.37	15.4
2005	珊瑚	SANVU	-0.61	-6	0.36	0.91	4.72	-12.87	7.64
2005	泰利	TALIM	-0.43	-1	0.42	0.95	4.05	-10.52	10.45
2006	珍珠	CHANCHU	-1.16	1	0.68	0.85	5.8	-20.02	11.75
2006	碧利斯	BILIS	-0.93	-10	0.50	0.81	5.35	-17.43	9.42
2007	帕布	PABUK	-0.61	2	0.42	0.93	4.78	-12.77	8.81
2007	柯羅莎	KROSA	-0.02	2	0.55	0.52	3.57	-0.55	15.38
2008	如麗	NURI	-1.10	3	0.47	0.94	5.81	-19.00	8.07
2008	哈格比	HAGUPIT	-0.67	1	0.33	0.92	3.28	-20.35	9.95
2009	蓮花	LINFA	-0.86	4	0.61	0.91	7.20	-12.00	8.54
2009	莫拉克	MORAKOT	-0.84	4	0.47	0.93	7.66	-10.97	6.08
2010	凡那比	FANAPI	-0.69	1	0.61	0.87	6.26	-11.03	9.69
2010	梅姬	MEGI	-0.57	5	0.60	0.87	5.98	-9.53	10.00
2013	潭美	TRAMI	-1.48	-1	0.63	0.84	4.21	-35.09	15.00
2013	天兔	USAGI	-1.33	-2	0.45	0.92	6.06	-21.92	7.44
絕對平均值			0.77	3	0.5	0.85	5.18	14.83	10.24

33



## 高雄港設計波高誤差比較(二維數模)



34



## 高雄港設計波高誤差比較(二維數模)

年份	中文名稱	英文名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMS E	$R^2$	$H_{max}$ (m)	$\frac{\Delta H_{s,p}}{H_{max}}$ (%)	$\frac{RMSE}{H_{max}}$ (%)
2005	海棠	HAITANG	-0.68	4	0.62	0.89	6.46	-10.59	9.66
2005	泰利	TALIM	-0.62	-1	0.36	0.95	4.94	-12.56	7.25
2007	柯羅莎	KROSA	-0.16	-12	0.59	0.55	4.18	-3.91	14.06
2008	鳳凰	FUNG-WONG	-0.60	-1	0.50	0.87	5.27	-11.36	9.57
2008	如麗	NURI	-0.93	-12	0.58	0.90	6.12	-15.15	9.44
2009	蓮花	LINFA	-0.43	4	0.60	0.89	6.41	-6.72	9.43
2009	芭瑪	PARMA	-0.46	6	0.41	0.51	3.08	-14.99	13.25
2010	凡那比	FANAPI	0.53	-1	0.45	0.94	5.52	9.61	8.10
2010	梅姬	MEGI	-1.35	8	0.60	0.90	6.80	-19.89	8.79
2011	南瑪都	NANMADOL	-0.81	4	0.62	0.59	4.50	-18.00	13.88
2012	蘇拉	SAOLA	-0.31	-9	0.40	0.78	3.02	-10.18	13.28
2013	潭美	TRAMI	-0.35	-7	0.68	0.85	3.72	-9.43	18.37
2013	天兔	USAGI	-0.52	-2	0.50	0.92	5.80	-8.89	8.54
絕對平均值			0.62	5.14	0.56	0.81	5.17	11.8	11.3

35

## 氣候變遷對於設計波高的影響

- 目前已針對以下四個主要港口進行長期趨勢分析，其結果顯示臺北港受氣候變遷影響下的波浪成長趨勢較高。故已臺北港為例考慮此變遷量在設計波決定流程中該如何修正。

花蓮trend: -0.0068m/year  
 蘇澳trend: 0.0133m/year  
 臺北trend: 0.0236 m/year  
 基隆trend: 不具趨勢性  
 安平trend: 0.0109m/year  
 高雄trend: 0.0101m/year

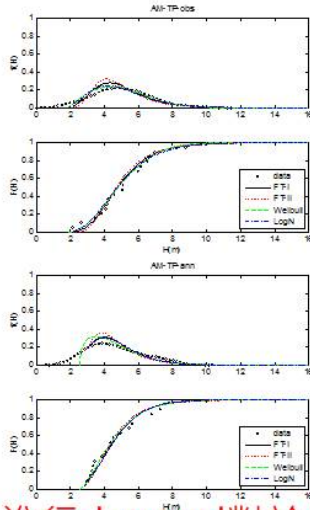
- 比較兩種方式：

1. 進行極值統計後再將各重現期的波高加上(重現期\*趨勢)
2. 先將樣本進行detrend去除趨勢，再進行極值分析，最後再加上(重現期\*趨勢)

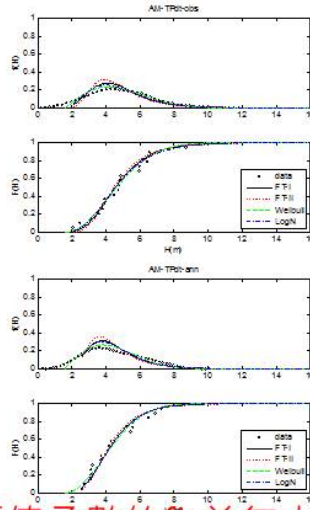
## 氣候變遷對於設計波高的影響

- 選用臺北港(1996~2013測試,將年極值樣本(OBS,M5,ANN,2D)扣掉該年度樣本所對應的趨勢增加量,再作極值統計,最後照以前的方式作50年重現期上下範圍。

### 之前作法



### 先detrend



先進行detrend對於極值函數的fit並無太大影響

37

### 以前直接取年極值

Index	T (yr)	實測資料樣本(OBS)				M5最小化模式樹樣本(M5)			
		FT-I	FT-II	Weibul 1	LogN	FT-I	FT-II	Weibul 1	LogN
MIR(m)		0.54	0.81	0.58	0.63	1.59	2.21	1.23	0.91
RMSE <sub>(m)</sub>		0.27	0.36	0.26	0.30	0.22	0.28	0.18	0.16
ER (m)		0.09	0.40	0.29	0.33	0.52	0.64	0.38	0.47
$x_R(m)$	10	7.24	7.14	7.28	7.49	5.48	5.42	5.52	5.57
	25	8.49	8.57	8.27	8.85	6.06	6.07	5.98	6.08
	50	9.42	9.73	8.93	9.86	6.48	6.59	6.29	6.43
	100	10.34	10.95	9.54	10.86	6.91	7.14	6.57	6.77
	200	11.25	12.26	10.10	11.87	7.33	7.74	6.83	7.09
(m)	10	0.86	1.03	0.77	0.54	0.41	0.49	0.36	0.25
	25	1.15	1.47	0.93	0.64	0.55	0.70	0.44	0.30
	50	1.38	1.84	1.04	0.71	0.65	0.87	0.49	0.34
	100	1.61	2.24	1.14	0.78	0.76	1.06	0.54	0.37
	200	1.84	2.66	1.24	0.84	0.87	1.26	0.59	0.40
Index	T (yr)	類神經樣本(ANN)				二維數值模式樣本(MIKE)			
		FT-I	FT-II	Weibul 1	LogN	FT-I	FT-II	Weibul 1	LogN
MIR(m)		0.70	0.83	0.57	0.75	2.10	2.60	2.08	1.20
RMSE <sub>(m)</sub>		0.28	0.33	0.24	0.27	0.11	0.13	0.10	0.07
ER (m)		0.56	0.86	0.61	0.29	0.18	0.23	0.11	0.10
$x_R(m)$	10	6.63	6.55	6.70	6.59	4.21	4.18	4.22	4.22
	25	7.75	7.83	7.82	7.62	4.44	4.45	4.41	4.40
	50	8.58	8.87	8.61	8.38	4.62	4.66	4.53	4.52
	100	9.40	9.98	9.36	9.12	4.79	4.89	4.65	4.63
	200	10.22	11.16	10.08	9.85	4.96	5.13	4.76	4.73
(m)	10	0.77	0.93	0.87	0.48	0.17	0.20	0.15	0.11
	25	1.04	1.33	1.13	0.57	0.23	0.29	0.18	0.13
	50	1.25	1.66	1.32	0.64	0.27	0.36	0.21	0.14
	100	1.45	2.02	1.49	0.70	0.32	0.44	0.23	0.15
	200	1.66	2.40	1.67	0.76	0.36	0.53	0.24	0.17

### Detrend後取年極值

Index	T (yr)	實測資料樣本(OBS)				M5最小化模式樹樣本(M5)			
		FT-I	FT-II	Weibul 1	LogN	FT-I	FT-II	Weibul 1	LogN
MIR(m)		0.63	0.83	0.75	0.77	1.52	2.13	1.15	0.89
RMSE <sub>(m)</sub>		0.30	0.37	0.30	0.32	0.21	0.27	0.17	0.16
ER (m)		0.03	0.30	0.42	0.17	0.52	0.63	0.37	0.46
$x_R(m)$	10	7.06	6.97	7.10	7.27	5.28	5.22	5.32	5.37
	25	8.32	8.41	8.10	8.64	5.86	5.87	5.78	5.88
	50	9.25	9.58	8.76	9.66	6.28	6.39	6.09	6.24
	100	10.18	10.82	9.37	10.68	6.71	6.94	6.37	6.58
	200	11.10	12.14	9.94	11.71	7.13	7.54	6.63	6.90
(m)	10	0.87	1.04	0.78	0.54	0.40	0.49	0.36	0.25
	25	1.17	1.49	0.94	0.64	0.55	0.70	0.44	0.30
	50	1.40	1.86	1.05	0.72	0.65	0.87	0.49	0.34
	100	1.63	2.26	1.16	0.79	0.76	1.06	0.54	0.37
	200	1.86	2.69	1.25	0.85	0.87	1.26	0.59	0.40
Index	T (yr)	類神經樣本(ANN)				二維數值模式樣本(MIKE)			
		FT-I	FT-II	Weibul 1	LogN	FT-I	FT-II	Weibul 1	LogN
MIR(m)		0.71	0.93	0.63	0.72	0.48	0.84	0.41	0.27
RMSE <sub>(m)</sub>		0.28	0.35	0.24	0.26	0.06	0.08	0.05	0.04
ER (m)		0.61	0.90	0.28	0.46	0.10	0.17	0.02	0.02
$x_R(m)$	10	6.42	6.34	6.46	6.44	4.07	4.04	4.08	4.06
	25	7.54	7.62	7.36	7.52	4.33	4.35	4.29	4.26
	50	8.37	8.65	7.95	8.32	4.53	4.60	4.43	4.39
	100	9.19	9.75	8.50	9.11	4.73	4.86	4.56	4.51
	200	10.01	10.93	9.00	9.90	4.93	5.14	4.68	4.62
(m)	10	0.77	0.92	0.69	0.48	0.18	0.22	0.16	0.12
	25	1.04	1.33	0.84	0.57	0.25	0.32	0.20	0.14
	50	1.24	1.66	0.94	0.64	0.30	0.40	0.22	0.15
	100	1.45	2.01	1.03	0.70	0.35	0.48	0.25	0.17
	200	1.66	2.40	1.12	0.76	0.40	0.57	0.27	0.18

兩種方法的三種指標略有不同,但最適極值函數的選擇上相同



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	Before	8.58	1.25	'6.52~10.63'	'7.70~11.81'
	先detrend	8.37	1.24	'6.32~10.42'	'7.50~11.60'
實測資料	Before	9.86	0.71	'8.69~11.03'	'9.87~12.21'
	先detrend	9.66	0.72	'8.48~10.84'	'9.66~12.02'
二維數值模式	Before	4.53	0.21	'4.20~4.87'	'5.38~6.05'
	先detrend	4.43	0.22	'4.06~4.80'	'5.24~5.98'
M5樣本	Before	6.43	0.34	'5.88~6.99'	'7.06~8.17'
	先detrend	6.24	0.34	'5.68~6.79'	'6.86~7.97'

- 先detrend後再分析的50年重現期極值波高都略小於原來方法。
- 未來在極值分析前可先進行趨勢分析，確保資料為無趨勢再行分析。分析後的信賴區間再加上年增率\*50年的氣候變遷量。可避免因為考慮長期變遷趨勢而造成設計波的高估。



## 極值分布函數

(1)極值I型分布(FT-I型分布，又稱Gumbel分布)

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

(2)極值II型分布(FT-II型分布)

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

(3) Weibull分布-三參數型式

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

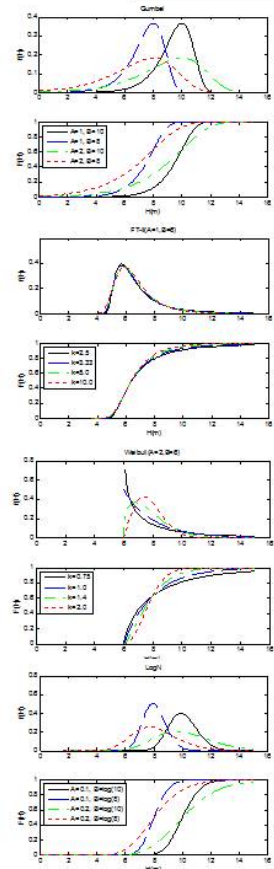
(4)對數常態分布 (lognormal distribution)

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}Ax} e^{-\frac{(\ln x - B)^2}{2A^2}} \quad F(x) = \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf}\left(\frac{\ln x - B}{\sqrt{2}A}\right)\right) \quad 0 < x < \infty$$

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

A: 尺度參數(scale parameter)  
B: 位置參數(location parameter)  
k: 形狀參數

Coastal Engineering Manual (2002)



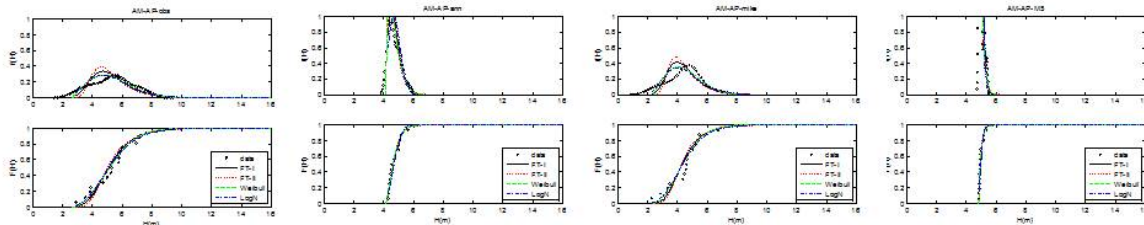
## 極值分析結果

資料來源：安平港實測資料、ANN推算結果、二維模式推算結果及M5模式推算結果

取樣方式: AM(年極值, 15筆)

在90%信賴度下, 推估  
50年重現期

Index	T (yr)	實測資料樣本(OBS)				類神經樣本(ANN)				二維數值模式樣本(MIKE)				M5最小化模式樣本(M5)				OBS :
		FT-I	FT-II	Weibull	LogN	FT-I	FT-II	Weibull	LogN	FT-I	FT-II	Weibull	LogN	FT-I	FT-II	Weibull	LogN	
MIR(m)		1.11	1.59	0.83	0.93	0.64	0.50	0.46	1.59	1.70	2.00	1.76	1.66	1.29	0.45	0.45	3.44	8.56±1.65×0.99
RMSE(m)		0.34	0.43	0.27	0.31	0.08	0.07	0.06	0.11	0.35	0.40	0.33	0.34	0.04	0.03	0.03	0.06	= 6.93~10.18 (m)
ER (m)		0.69	0.87	0.45	0.78	0.04	0.04	0.02	0.23	0.14	0.30	0.06	0.27	0.06	0.04	0.00	0.14	ANN :
x <sub>R</sub> (m)	10	7.13	7.03	7.18	7.33	5.27	5.25	5.29	5.22	5.96	5.89	5.99	6.16	5.18	5.15	5.19	5.16	5.82±1.65×0.41
	25	8.16	8.21	8.01	8.37	5.58	5.61	5.60	5.43	6.80	6.84	6.66	7.01	5.30	5.32	5.34	5.23	= 5.14~6.50 (m)
	50	8.93	9.15	8.56	9.12	5.81	5.91	5.82	5.57	7.42	7.61	7.10	7.62	5.39	5.48	5.46	5.28	MIKE :
	100	9.69	10.16	9.06	9.85	6.04	6.22	6.03	5.70	8.03	8.42	7.51	8.22	5.48	5.68	5.57	5.32	7.10±1.65×0.81
	200	10.45	11.23	9.53	10.57	6.27	6.55	6.23	5.82	8.64	9.30	7.88	8.81	5.56	5.92	5.69	5.36	= 5.76~8.44 (m)
σ (m)	10	0.80	0.95	0.72	0.49	0.24	0.28	0.27	0.15	0.66	0.79	0.60	0.41	0.09	0.14	0.14	0.06	M5 :
	25	1.09	1.37	0.88	0.58	0.32	0.41	0.35	0.17	0.90	1.13	0.73	0.48	0.12	0.22	0.20	0.07	5.46±1.65×0.24
	50	1.30	1.71	0.99	0.65	0.39	0.51	0.41	0.19	1.07	1.41	0.81	0.54	0.15	0.30	0.24	0.07	= 5.06~5.86 (m)
	100	1.52	2.08	1.08	0.72	0.45	0.62	0.47	0.21	1.25	1.72	0.89	0.59	0.17	0.40	0.29	0.08	
	200	1.74	2.48	1.18	0.78	0.52	0.74	0.52	0.23	1.43	2.05	0.97	0.64	0.20	0.52	0.33	0.09	



41

## 極值分析結果

- 製作不同樣本來源的最佳極值函數極值分析結果列表, 包括信賴區間。可瞭解各種組合的極值分析結果, 並方便相關單位引用。
- 另以多種趨勢檢測法分析氣候變遷影響下安平港波浪長期變遷趨勢, 考量其平均值與標準差劃定考慮長期變遷的設計波信賴區間。

樣本來源	50年重現期 極值波高(m)	標準差 (m)	90%信賴區間 (m)	考慮長期變遷 信賴區間 (m)
實測資料	8.56	0.99	6.93~10.18	7.48~10.73
類神經樣本	5.82	0.41	5.14~6.50	5.69~7.05
二維數模	7.10	0.81	5.76~8.44	6.30~8.99
M5樣本	5.46	0.24	5.06~5.86	5.60~6.40

安平港極值分析結果

42



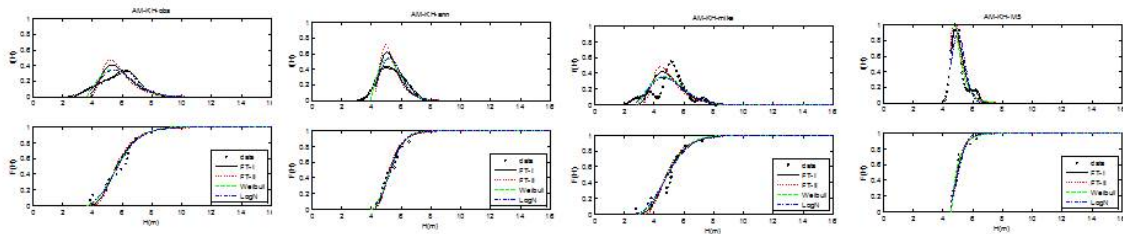
## 極值分析結果

資料來源：高雄港實測資料、ANN推算結果、二維模式推算結果及M5模式推算結果

取樣方式：AM(年極值，14筆)

在90%信賴度下，推估  
50年重現期

Index	T (yr)	實測資料樣本(OBS)				類神經樣本(ANN)				二維數值模式樣本(MIKE)				M5最小化誤差樹樣本(M5)				OBS :
		FT-I	FT-II	Weibull	LogN	FT-I	FT-II	Weibull	LogN	FT-I	FT-II	Weibull	LogN	FT-I	FT-II	Weibull	LogN	
MIR(m)		1.35	1.72	1.22	1.03	0.76	1.09	0.55	0.59	1.70	1.97	1.85	1.59	1.06	0.43	0.56	2.41	8.74±1.65×0.56
RMSE(m)		0.32	0.38	0.28	0.27	0.15	0.20	0.12	0.13	0.35	0.40	0.34	0.33	0.12	0.09	0.09	0.17	= 7.81~9.66 (m)
ER (m)		0.24	0.39	0.06	0.18	0.33	0.44	0.21	0.15	0.12	0.28	0.07	0.16	0.17	0.03	0.01	0.39	ANN :
x <sub>g</sub> (m)	10	7.33	7.26	7.36	7.44	6.35	6.31	6.37	6.34	6.51	6.44	6.54	6.67	5.70	5.65	5.71	5.63	7.12±1.65×0.55
	25	8.18	8.23	8.05	8.20	6.92	6.95	6.82	6.77	7.34	7.39	7.20	7.47	6.07	6.14	6.19	5.87	= 6.21~8.04 (m)
	50	8.82	9.01	8.50	8.74	7.33	7.47	7.12	7.07	7.96	8.15	7.63	8.03	6.34	6.57	6.55	6.03	MIKE :
	100	9.45	9.85	8.92	9.25	7.74	8.02	7.40	7.34	8.57	8.96	8.03	8.57	6.62	7.07	6.90	6.18	8.03±1.65×0.55
	200	10.07	10.74	9.30	9.74	8.16	8.61	7.65	7.60	9.17	9.83	8.41	9.10	6.89	7.63	7.26	6.32	= 7.12~8.94 (m)
σ (m)	10	0.70	0.83	0.63	0.42	0.45	0.52	0.41	0.27	0.69	0.81	0.62	0.42	0.30	0.39	0.45	0.18	M5 :
	25	0.95	1.19	0.77	0.50	0.61	0.75	0.49	0.32	0.93	1.17	0.75	0.49	0.41	0.60	0.64	0.22	6.55±1.65×0.79
	50	1.13	1.48	0.86	0.56	0.73	0.94	0.55	0.36	1.11	1.46	0.84	0.55	0.49	0.78	0.79	0.24	= 5.24~7.85 (m)
	100	1.32	1.80	0.95	0.62	0.85	1.15	0.61	0.40	1.30	1.77	0.93	0.60	0.57	0.99	0.94	0.26	
	200	1.51	2.15	1.03	0.67	0.98	1.37	0.66	0.43	1.49	2.11	1.01	0.66	0.65	1.24	1.09	0.29	



43

## 極值分析結果

- 製作不同樣本來源的最佳極值函數極值分析結果列表，包括信賴區間。可瞭解各種組合的極值分析結果，並方便相關單位引用。
- 另以多種趨勢檢測法分析氣候變遷影響下高雄港波浪長期變遷趨勢，考量其平均值與標準差劃定考慮長期變遷的設計波信賴區間。

樣本來源	50年重現期 極值波高(m)	標準差 (m)	90%信賴區間 (m)	考慮長期變遷 信賴區間 (m)
實測資料	8.74	0.56	7.81~9.66	8.32~10.17
類神經樣本	7.12	0.55	6.21~8.04	6.71~8.54
二維數模	8.03	0.55	7.12~8.94	7.63~9.44
M5樣本	6.55	0.79	5.24~7.85	5.74~8.36

高雄港極值分析結果

44

## 台灣主要商港設計波浪專家會議

- 交通部運輸研究所港灣技術研究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，港研中心曾於民國一零二年主辦的『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參與。本年度研究團隊並配合港研中心於10月19日舉辦『建立台灣主要商港設計波浪專家會議(II)』

新討論議題：

1. 深海位置的選擇
2. 十六方位的極值樣本與極值分析
3. 以深水設計波再由浪模式推算至防波堤前的外力設計條件
4. 國外設計防波堤的流程。



## 結論

- ◆ 本計畫針對近64年內侵襲安平港與高雄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無明顯趨勢。中度颱風侵襲安平港的年增加率平均約為0.0138次/年。高雄港部份的中度颱風侵襲次數年增率平均約為0.0147次/年，以現有颱風紀錄而言每100年約增加一個颱風的侵襲機會。。
- ◆ 透過多種趨勢分析方法所獲得的結果顯示安平港波高年增率為0.0022至0.0136 m/year。高雄港則約為0.0042至0.0105 m/year，顯示高雄港與安平港的波浪長期趨勢分析結果皆是屬於些微遞增。
- ◆ 本計畫以新蒐集之颱風波浪資料配合較適用的SLOSH參數模型風場更新安平港與高雄港之類神經網路波浪推算模式，以提升模式推算能力。針對目前已建立完成的颱風波浪推算模式進行比較，由於颱風波浪樣本的新增，已大幅提升安平港與高雄港的波浪推算能力，改善往昔台灣西岸推算能力較東岸差的情況。



## 結論

- ◆ 利用M5最小化模式樹模式建立的安平港與高雄港的M5最小化模式樹波浪推算模式，在驗證結果中顯示M5模式可以達到與類神經模式相近的推算能力，其中高雄港的M5模式推算能力較安平港好。
- ◆ 以安平港46場颱風來評估兩種模式，波高峰值的推算精度以類神經模式較佳，但整體推算RMSE及 $R^2$ 皆是以M5最小化模式樹波浪推算模式較佳。高雄港46場颱風的分析結果顯示在四種誤差評估指標的精度表現上都以類神經模式較佳。本計畫並針對推算較差的幾場颱風進行探討，除了少數幾場推估結果會與實測波高峰值相差約2m外，另發現由東向西侵台的颱風在遠離台灣本島進入中國大陸後仍會對安平港與高雄港造成另一波高峰值，這種現象目前兩種模式皆無法正確模擬，未來可透過當地風速資料探討其機制並嘗試予以改善。而無論是安平或高雄港，類神經模式所推估波高峰值發生時間在誤差標準差部分皆小於M5模式，顯示在峰值發生時間部分類神經模式所推估的結果較為可靠。故現階段無論是即時預報或極值樣本推算，兩種模式中仍建議採用以類神經模式較為合適。



47

## 結論

- ◆ 本計畫透過WRF模式追算高解析度的風場資料，以此為輸入條件可提升二維數值風浪推算模式的推算能力，以驗證結果來看，安平港與高雄港的推算精度都高於目前類神經與M5模式。
- ◆ 由三種模式推算樣本配合實測波高樣本進行極值統計分析並推求50重現期的結果比較中發現二維數值模式的推算樣本最接近實測波高樣本，類神經模式樣本次之，M5模式樣本最差，有明顯低估的現象。此外本計畫並以波高長期變遷趨勢最大的臺北港為例，評估波高長期變遷趨勢對極值統計分析的影響，結果顯示在進行極值分析前先detrend的做法可避免因考量氣候變遷因素而高估設計波高。



48

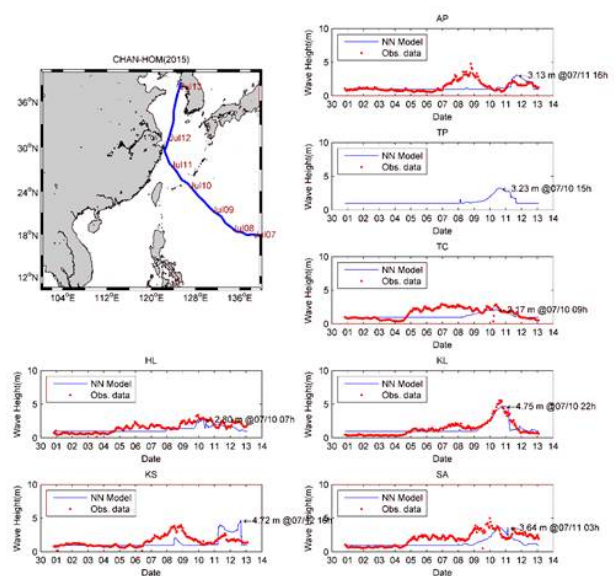
# 簡報完畢



## 昌鴻(CHAN-HOM)颱風波浪預報

- 本年度6/30於太平洋海面生成，中心持續往西北移動。以聯合颱風警報中心之預測路徑推算對台灣各主要港口的波浪影響如下：

	$H_{s,p}$ (m)	Obs (m)	$\Delta H_{s,p}$ (m)
花蓮港	2.80	3.41	-0.62
高雄港	4.72	4.00	0.73
安平港	3.13	4.77	-1.64
臺北港	3.23	NaN	NaN
臺中港	2.17	2.96	-0.79
基隆港	4.75	5.58	-0.83
蘇澳港	3.64	4.99	-1.35



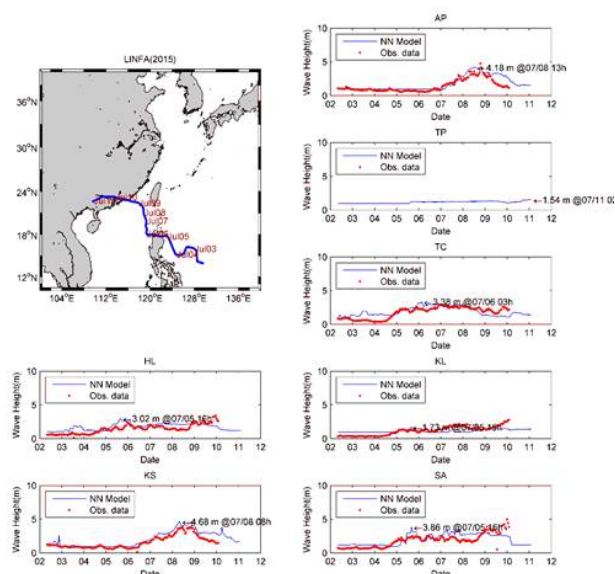
昌鴻颱風資料6/30~7/13  
蓮花颱風資料7/2~7/11  
兩場時段有重疊



## 蓮花(LINFA)颱風波浪預報

- 本年度7/2在菲律賓西方海面形成後往西北轉北北西移動，7/9日10時其中心在高雄西南方海面，各港推算與實測最大波高如下：

	$H_{s,p}$ (m)	Obs (m)	$\Delta H_{s,p}$ (m)
花蓮港	3.02	3.41	-0.39
高雄港	4.68	4.00	0.68
安平港	4.18	4.77	-0.59
臺北港	1.54	NaN	NaN
臺中港	3.38	2.96	0.42
基隆港	1.73	2.81	-1.08
蘇澳港	3.86	4.99	-1.13



昌鴻颱風資料6/30~7/13

蓮花颱風資料7/2~7/11

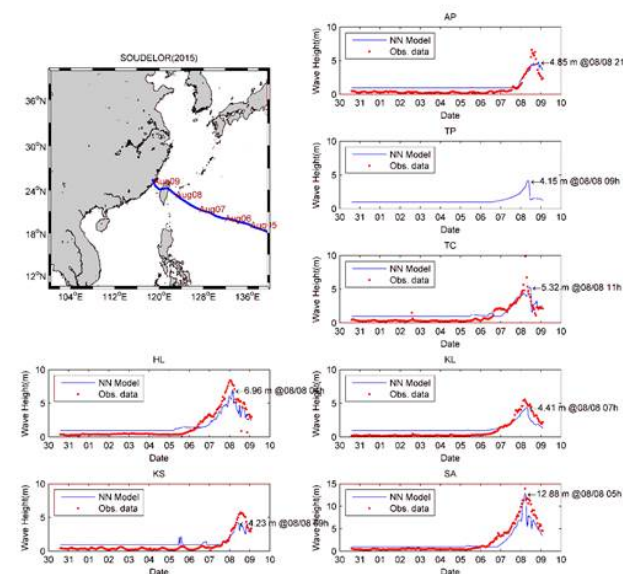
兩場時段有重疊

51

## 蘇迪勒(SOUDELOR)颱風波浪預報

- 生成後穩定向西北西移動並快速增強，8日4時40分左右中心由花蓮秀林鄉登陸，11時在雲林縣臺西鄉出海。以聯合颱風警報中心之預測路徑推算對台灣各主要港口的波浪影響如下：

	$H_{s,p}$ (m)	Obs (m)	$\Delta H_{s,p}$ (m)
花蓮港	6.96	8.41	-1.45
高雄港	4.23	5.75	-1.53
安平港	4.85	6.62	-1.76
臺北港	4.15	NaN	NaN
臺中港	5.32	9.98	-4.65
基隆港	4.41	5.56	-1.15
蘇澳港	12.88	15.26	-2.38

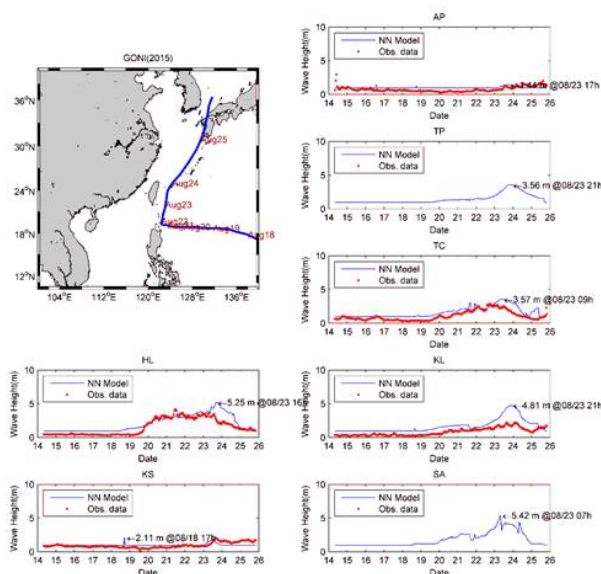


52

## 天鵝(GONI)颱風波浪預報

- 15日2時發展為颱風後往西北西方向移動，暴風圈經過台灣東方海面，23日20時其中心在臺北東南東方海面加速遠離。以聯合颱風警報中心之預測路徑推算對台灣各主要港口的波浪影響如下：

	$H_{s,p}$ (m)	Obs (m)	$\Delta H_{s,p}$ (m)
花蓮港	5.25	4.19	1.05
高雄港	2.11	2.01	0.10
安平港	1.44	2.97	-1.53
臺北港	3.56	NaN	NaN
臺中港	3.57	2.90	0.67
基隆港	4.81	2.25	2.56
蘇澳港	5.42	2.99	2.43

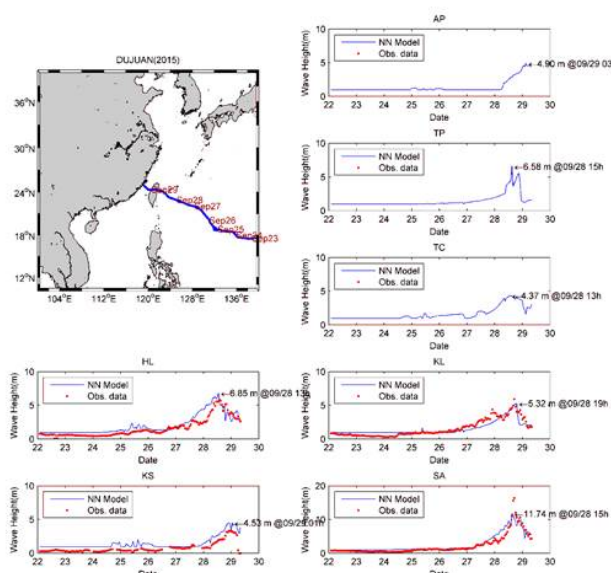


53

## 杜鵑(DUJUAN)颱風波浪預報

- 生成後向西北轉西北西方向移動，28日17時40分其中心由宜蘭南澳鄉登陸，29日1時於彰化芳苑鄉出海。以聯合颱風警報中心之預測路徑推算對台灣各主要港口的波浪影響如下：

	$H_{s,p}$ (m)	Obs (m)	$\Delta H_{s,p}$ (m)
花蓮港	6.85	5.84	1.01
高雄港	4.53	3.33	1.20
安平港	4.90	NaN	NaN
臺北港	6.58	NaN	NaN
臺中港	4.37	NaN	NaN
基隆港	5.32	5.93	-0.61
蘇澳港	11.74	16.33	-4.59



54