

102-16-7665

MOTC-IOT-101-H2DB001f

# 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(4/4)



交通部運輸研究所

中華民國 102 年 2 月

102-16-7665  
MOTC-IOT-101-H2DB001f

# 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(4/4)

著 者：江玟德、張憲國、劉勁成、陳蔚瑋、何良勝

交通部運輸研究所

中華民國 102 年 2 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長期波浪統計特性及設計波推算之  
研究(4/4)/江玟德等著.--初版.-- 臺北市：

交通部運輸研究所，民 102.02

冊；公分

ISBN 978-986-03-6002-8 (平裝)

1. 波動 2. 神經網路 3. 統計 4. 臺灣

351.941

102001529

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(4/4)

著者：江玟德、張憲國、劉勁成、陳蔚瑋、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 102 年 2 月

印刷者：良機事務機器有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 80 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：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：1010200248

ISBN：978-986-03-6002-8 (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分內容者，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長期波浪統計特性及設計波推算之研究(4/4)			
國際標準書號 ISBN978-986-03-6002-8(平裝)	政府出版品統一編號 1010200248	運輸研究所出版品編號 102-16-7665	計畫編號 101-H2DB001f
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：何良勝 研究人員：江玟德 聯絡電話：04-26587126 傳真號碼：04-26560661	合作研究單位：國立交通大學 計畫主持人：張憲國 研究人員：劉勁成、陳蔚璋 地址：300 新竹市大學路 1001 號 聯絡電話：03-5131487		研究期間 自 101 年 1 月  至 101 年 12 月
關鍵詞：設計波、極值統計、臺灣主要港口			
<p>摘要：</p> <p>本研究考慮風場受陸地阻擋及波浪受陸地遮蔽而衰減改善颱風波浪類神經推算模式，透過二維轉換函數來建立適合臺中港與基隆港之颱風波浪推算模式。率定模式階段使用本所港研中心有測得完整波浪資料的颱風。模式檢驗指標中最大波高誤差取絕對值後平均約為0.9m，而最大波高發生時間誤差取絕對值後平均值約7小時，各場颱風波高與實測值之均方根誤差平均為0.65m。推算波高與實測波高的相關性則平均為0.75。</p> <p>本研究以箱型圖進行初步分析取樣品質，再進一步討論極值分析之最佳推估方法及季節性變化。並以年最大法推算出臺中與基隆兩港各重現期的設計波高提供參考。另外建構波浪極值統計之視窗化操作介面，期望本介面能有效提昇模式的操作效率以及擴展使用者族群，經過更完善的整合能夠使模式的應用性更加廣泛。目標在於建立一套包含波浪資料輸入分析、月極值統計及年極值統計的應用程式，未來透過圖形化的介面使整個操作流程更簡單方便。</p> <p>本研究的成果效益與後續應用主要有兩個部份：1.提供臺灣港務公司基隆港務分公司及臺中港務分公司檢核基隆、臺中兩港區設計波浪之資訊。2.本研究中的類神經颱風波浪推算模式亦可提供基隆港務分公司及臺中港務分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。波浪極值統計視窗化介面能提供相關工程設計單位快速計算各重現期的極值波高。</p>			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
102 年 2 月	246	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 月 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:</b> Investigation of long-term wave statistics and design wave for main harbors of Taiwan (4/4)			
<b>ISBN</b> 978-986-03-6002-8 (pbk)	<b>GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER</b> 1010200248	<b>IOT SERIAL NUMBER</b> 102-16-7665	<b>PROJECT NUMBER</b> 101-H2DB001f
<b>DIVISION:</b> Harbor & Marine Technology Center <b>DIVISION DIRECTOR:</b> Chiu Yung-Fang <b>PRINCIPAL INVESTIGATOR:</b> Ho Liang-Sheng <b>PROJECT STAFF:</b> Jiang Wen-Der <b>PHONE:</b> (04) 26587126 <b>FAX:</b> (04) 26560661			<b>PROJECT PERIOD</b>  FROM January 2012 TO December 2012
<b>RESEARCH AGENCY:</b> National Chiao Tung University <b>PRINCIPAL INVESTIGATOR:</b> Chang Hsien-Kuo <b>PROJECT STAFF:</b> Liou Jin-Cheng, Chen Wei-Wei <b>ADDRESS:</b> 1001 Ta Hsueh Road, Hsinchu, Taiwan 300, ROC <b>PHONE:</b> (03) 5131487			
<b>KEY WORDS:</b> wave statistics, design wave, main harbors of Taiwan			
<b>Abstract:</b>  <p style="text-align: justify;">The aim of the 4-year project is to determine the design wave for international harbors around Taiwan. Key technique for determining design waves is extreme analysis for wave heights that includes good wave samples and their best fitting distribution. The wave samples are less due to short measurement. A special wave prediction model using artificial neural network is developed for typhoon waves considering land effects on the wind structure of typhoons and wave decay. Collected wave data are divided into two groups. The ANN model is examined applicable from good performance indices that are mean peak error less than 0.9m, their mean occurrence difference about 7hrs, rmse for whole data less than 0.65m and their correlation coefficient 0.75.</p> <p style="text-align: justify;">Wave samples are first examined valid by using the technique of box-plot. Least square method are suitable for determining parameters of Log-Normal's probability distribution for extreme analysis is checked. The design waves for Taichung and Keelung Harbor were determined in this project from annual extreme analysis. A whole graphical user interface (GUI) will be used to establish an easy operation system for data analysis, annual and monthly extreme analysis for all international harbors around Taiwan.</p>			
<b>DATE OF PUBLICATION</b> February 2013	<b>NUMBER OF PAGES</b> 246	<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.....	V
表目錄.....	IX
<b>第一章 前言 .....</b>	<b>1-1</b>
1.1 研究目的 .....	1-1
1.2 文獻回顧.....	1-1
1.3 工作項目與各年度成果.....	1-3
<b>第二章 類神經颱風波浪推算模式.....</b>	<b>2-1</b>
2.1 資料來源與處理.....	2-1
2.2 類神經颱風波浪模式.....	2-10
2.2.1 類神經網路架構.....	2-10
2.2.2 資料分類.....	2-14
2.2.3 模式輸入與輸入層轉換函數.....	2-14
2.2.4 歸屬函數修正輸入參數.....	2-20
2.2.5 轉換函數與訓練函數.....	2-26
2.2.6 隱藏層神經元測試.....	2-27
2.3 波浪推算結果與實測波浪之驗證.....	2-28
2.4 類神經颱風波浪推算模式之風險分析.....	2-32
2.5 本年度侵臺颱風之波浪推算結果.....	2-33
<b>第三章 經驗式颱風波浪推算模式.....</b>	<b>3-1</b>
3.1 經驗式波浪推算模式理論.....	3-1
3.2 模式推算結果.....	3-4
<b>第四章 季節性統計分析方法-月極值統計特性 .....</b>	<b>4-1</b>
4.1 極值統計理論.....	4-1
4.2 極值分布函數.....	4-1
4.3 極值分布參數推定.....	4-2
4.3.1 MOM 推定法.....	4-3
4.3.2 MLE 推定法.....	4-3
4.3.3 LSM 推定法.....	4-4
4.4 信賴檢定.....	4-4
4.4.1 MIR 值檢定:.....	4-4

4.4.2 RMSE 檢定:	4-6
4.4.3 ER 檢定:	4-6
4.5 推估值之標準偏差	4-6
4.5.1 Goda(2000)方法:	4-6
4.5.2 MLE 方法:	4-7
4.6 資料分析	4-8
4.6.1 資料選取及補遺	4-8
4.6.2 箱型圖分析決定取樣資料	4-9
4.6.3 重現期的極值波高估算	4-15
4.7 分析結果	4-17
<b>第五章 不同樣本的極值分析與設計波浪推估</b>	<b>5-1</b>
5.1 極值統計資料	5-1
5.2 臺中港各重現期波高推算結果	5-1
5.3 基隆港各重現期波高推算結果	5-5
<b>第六章 波浪極值統計視窗化操作之建構</b>	<b>6-1</b>
6.1 圖形化使用者介面之介紹	6-1
6.2 建構成果	6-4
<b>第七章 極值函數與參數推定法綜合比較</b>	<b>7-1</b>
7.1 颱風波浪推算模式之比較	7-1
7.2 各港類神經颱風波浪推算模式精度比較	7-2
7.3 各月最適極值函數與參數推定法比較	7-3
7.4 各港最適年極值函數與參數推定法綜合比較	7-5
<b>第八章 結論與建議</b>	<b>8-1</b>
8.1 結論	8-1
8.2 建議	8-2
8.3 成果效益及後續應用情形	8-3
<b>參考文獻</b>	<b>參-1</b>
<b>附錄一 臺中港與基隆港類神經波浪推算模式推算結果</b>	<b>附-1</b>
<b>附錄二 第一年期中-期末報告審查意見處理情形表</b>	<b>附-36</b>
<b>附錄三 第二年期中-期末報告審查意見處理情形表</b>	<b>附-43</b>
<b>附錄四 第三年期中-期末報告審查意見處理情形表</b>	<b>附-49</b>
<b>附錄五 第四年期中-期末報告審查意見處理情形表</b>	<b>附-58</b>
<b>附錄六 期中簡報</b>	<b>附-66</b>
<b>附錄七 期末簡報</b>	<b>附-86</b>

## 圖目錄

圖 2.1 基隆港波浪觀測位置示意圖.....	2-2
圖 2.2 臺中港波浪觀測樁位置示意圖.....	2-3
圖 2.3 臺灣地區颱風路徑分類圖(1897-2010 年)(引自中央氣象局).....	2-8
圖 2.4 颱風中心位置與相對應臺中港波高資料空間分布圖.....	2-9
圖 2.5 颱風中心位置與相對應基隆港波高資料空間分布圖.....	2-10
圖 2.6 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.....	2-15
圖 2.7 氣旋中心附近風速風向分佈示意圖.....	2-17
圖 2.8 颱風距離與目標點波高分布.....	2-18
圖 2.9 颱風在等壓面上內平均風速分布示意圖(引自中央氣象局).....	2-20
圖 2.10 各距離範圍的 $\theta_1$ 經高斯轉換後與波高的相關性分布圖.....	2-22
圖 2.11 對應角度與距離的二維 $\theta_1$ 轉換函數.....	2-22
圖 2.12 各距離範圍的 $\theta_3$ 經高斯轉換後與波高的相關性分布圖.....	2-23
圖 2.13 對應角度與距離的二維 $\theta_3$ 轉換函數.....	2-24
圖 2.14 各距離範圍的 $V_{DEG}$ 經高斯轉換後與波高的相關性分布圖.....	2-24
圖 2.15 對應角度與距離的二維 $V_{DEG}$ 轉換函數.....	2-25
圖 2.16 正切雙彎曲轉換函數與雙彎曲函數.....	2-27
圖 2.17 臺中港類神經颱風波浪推算模式風險分析.....	2-32
圖 2.18 基隆港類神經颱風波浪推算模式風險分析.....	2-33
圖 2.19 本研究類神經颱風波浪推算模式推算花蓮港颱風波浪結果.....	2-34
圖 2.20 本研究類神經颱風波浪推算模式推算高雄港颱風波浪結果.....	2-35
圖 2.21 本研究類神經颱風波浪推算模式推算安平港颱風波浪結果.....	2-35
圖 2.22 本研究類神經颱風波浪推算模式推算臺北港颱風波浪結果.....	2-36
圖 2.23 本研究類神經颱風波浪推算模式推算臺中港颱風波浪結果.....	2-36
圖 2.24 本研究類神經颱風波浪推算模式推算基隆港颱風波浪結果.....	2-37
圖 3.1 湯(1970)和井島(1972)推算模式模擬範圍.....	3-4
圖 4.1 箱型圖架構示意圖.....	4-9
圖 4.2 箱型圖分析流程圖.....	4-10
圖 4.3 臺中港 2000-2010 年極值波高箱型圖.....	4-11
圖 4.4 基隆港 2002-2010 年極值波高箱型圖.....	4-14
圖 4.5 T 年重現期極值波高之估算流程示意圖.....	4-16
圖 4.6 推估 1 月臺中港波浪之機率密度函數及機率函數圖.....	4-18
圖 4.7 推估 2 月臺中港波浪之機率密度函數及機率函數圖.....	4-19
圖 4.8 推估 3 月臺中港波浪之機率密度函數及機率函數圖.....	4-20
圖 4.9 推估 4 月臺中港波浪之機率密度函數及機率函數圖.....	4-21

圖 4.10 推估 5 月臺中港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-22
圖 4.11 推估 6 月臺中港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-23
圖 4.12 推估 7 月臺中港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-24
圖 4.13 推估 8 月臺中港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-25
圖 4.14 推估 9 月臺中港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-26
圖 4.15 推估 10 月臺中港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-27
圖 4.16 推估 11 月臺中港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-28
圖 4.17 推估 12 月臺中港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-29
圖 4.18 推估 1 月基隆港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-31
圖 4.19 推估 2 月基隆港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-32
圖 4.20 推估 3 月基隆港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-33
圖 4.21 推估 4 月基隆港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-34
圖 4.22 推估 5 月基隆港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-35
圖 4.23 推估 6 月基隆港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-36
圖 4.24 推估 7 月基隆港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-37
圖 4.25 推估 8 月基隆港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-38
圖 4.26 推估 9 月基隆港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-39
圖 4.27 推估 10 月基隆港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-40
圖 4.28 推估 11 月基隆港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-41
圖 5.1 推估臺中港實測波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	5-3
圖 5.2 臺中港半經驗模式年極值之機率密度函數及機率函數圖 .....	5-4
圖 5.3 臺中港類神經模式年極值之機率密度函數及機率函數圖 .....	5-5
圖 5.4 推估基隆港實測波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	5-7
圖 5.5 基隆港半經驗模式年極值之機率密度函數及機率函數圖 .....	5-8
圖 5.6 基隆港類神經模式年極值之機率密度函數及機率函數圖 .....	5-9
圖 6.1 GUI 的開發對於使用者族群的分布變化 .....	6-1
圖 6.2 波浪極值統計介面的輸入設定視窗部份 .....	6-4
圖 6.3 波浪極值統計介面的輸出視窗部份 .....	6-5
附圖 1 柯羅旺(2003)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	1
附圖 2 杜鵑(2003)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	1
附圖 3 梅米(2003)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	2
附圖 4 米勒(2003)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	2
附圖 5 康森(2004)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	3
附圖 6 蘭寧(2004)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	3
附圖 7 艾利(2004)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	4
附圖 8 陶卡基(2004)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	4

附圖 9	納坦(2004)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	5
附圖 10	敏督利(2004)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	5
附圖 11	海棠(2005)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	6
附圖 12	泰利(2005)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	6
附圖 13	卡努(2005)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	7
附圖 14	丹瑞(2005)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	7
附圖 15	龍王(2005)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	8
附圖 16	珍珠(2006)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	8
附圖 17	碧利斯(2006)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	9
附圖 18	凱米(2006)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	9
附圖 19	桑美(2006)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	10
附圖 20	寶發(2006)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	10
附圖 21	珊珊(2006)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	11
附圖 22	西馬隆(2006)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	11
附圖 23	奇比(2006)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	12
附圖 24	帕布(2007)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	12
附圖 25	聖帕(2007)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	13
附圖 26	韋帕(2007)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	13
附圖 27	柯羅莎(2007)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	14
附圖 28	卡玫基(2008)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	14
附圖 29	鳳凰(2008)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	15
附圖 30	辛樂克(2008)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	15
附圖 31	哈格比(2008)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	16
附圖 32	蓮花(2009)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	16
附圖 33	莫拉菲(2009)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	17
附圖 34	莫拉克(2009)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	17
附圖 35	芭瑪(2009)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	18
附圖 36	凡那比(2010)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	18
附圖 37	梅姬(2010)颱風資訊與臺中港推算結果 .....	19
附圖 38	桃芝(2001)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	19
附圖 39	納莉(2001)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	20
附圖 40	海燕(2001)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	20
附圖 41	雷馬遜(2002)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	21
附圖 42	辛樂克(2002)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	21
附圖 43	蘇迪勒(2003)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	22
附圖 44	杜鵑(2003)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	22

附圖 45	梅米(2003)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	23
附圖 46	米勒(2003)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	23
附圖 47	敏督利(2004)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	24
附圖 48	蘭寧(2004)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	24
附圖 49	梅姬(2004)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	25
附圖 50	艾利(2004)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	25
附圖 51	陶卡基(2004)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	26
附圖 52	納坦(2004)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	26
附圖 53	海棠(2005)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	27
附圖 54	馬莎(2005)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	27
附圖 55	泰利(2005)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	28
附圖 56	卡努(2005)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	28
附圖 57	龍王(2005)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	29
附圖 58	珊珊(2006)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	29
附圖 59	萬宜(2007)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	30
附圖 60	帕布(2007)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	30
附圖 61	聖帕(2007)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	31
附圖 62	韋帕(2007)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	31
附圖 63	柯羅莎(2007)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	32
附圖 64	鳳凰(2008)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	32
附圖 65	辛樂克(2008)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	33
附圖 66	薔蜜(2008)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	33
附圖 67	莫拉克(2009)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	34
附圖 68	凡那比(2010)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	34
附圖 69	梅姬(2010)颱風資訊與基隆港推算結果 .....	35

## 表目錄

表 2.1 自 2000 至 2010 年中央氣象局所發布警報的颱風列表.....	2-4
表 2.2 選取用來建立臺中港模式的颱風資訊與其對應最大波高.....	2-5
表 2.3 選取用來建立基隆港模式的颱風資訊與其對應最大波高.....	2-6
表 2.4 輸入因子與波浪間的相關性分析.....	2-20
表 2.5 雙峰轉換後的輸入參數與波高間的相關性分析 (2400KM 以內).....	2-26
表 2.6 臺中港類神經颱風波浪推算結果.....	2-29
表 2.7 基隆港類神經颱風波浪推算結果.....	2-30
表 3.1 臺中港半經驗颱風波浪推算結果.....	3-5
表 3.2 基隆港半經驗颱風波浪推算結果.....	3-6
表 4.1 各極值分佈相關統計量之特性.....	4-3
表 4.2 計算樣本順位機率之 $\alpha$ 及 $\beta$ 值.....	4-4
表 4.3 相關係數殘差平均值公式之係數 $\bar{a}$ , $\bar{b}$ 及 $\bar{c}$ 值.....	4-5
表 4.4 重現期推算量之標準偏差公式中之係數.....	4-7
表 4.5 臺中港 2000-2010 年每月波高之箱型圖分析表 (單位:M) .....	4-11
表 4.6 臺中港每月最大波高資料表 (單位:M) .....	4-12
表 4.7 基隆港 2002-2010 年每月波高之箱型圖分析表 (單位:M) .....	4-13
表 4.8 基隆港每月最大波高資料表 (單位:M) .....	4-14
表 4.9 推估 1 月臺中港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差.....	4-18
表 4.10 推估 2 月臺中港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差.....	4-19
表 4.11 推估 3 月臺中港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差.....	4-20
表 4.12 推估 4 月臺中港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差.....	4-21
表 4.13 推估 5 月臺中港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差.....	4-22
表 4.14 推估 6 月臺中港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差.....	4-23
表 4.15 推估 7 月臺中港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差.....	4-24
表 4.16 推估 8 月臺中港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差.....	4-25
表 4.17 推估 9 月臺中港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差.....	4-26
表 4.18 推估 10 月臺中港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差.....	4-27
表 4.19 推估 11 月臺中港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差.....	4-28
表 4.20 推估 12 月臺中港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差.....	4-29
表 4.21 推估 1 月基隆港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差.....	4-31
表 4.22 推估 2 月基隆港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差.....	4-32
表 4.23 推估 3 月基隆港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差.....	4-33
表 4.24 推估 4 月基隆港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差.....	4-34

表 4.25 推估 5 月基隆港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差.....	4-35
表 4.26 推估 6 月基隆港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差.....	4-36
表 4.27 推估 7 月基隆港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差.....	4-37
表 4.28 推估 8 月基隆港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差.....	4-38
表 4.29 推估 9 月基隆港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差.....	4-39
表 4.30 推估 10 月基隆港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差.....	4-40
表 4.31 推估 11 月基隆港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差.....	4-41
表 4.32 推估 12 月基隆港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差.....	4-42
表 5.1 推估臺中港實測波浪之各重現期波高及其推算標準偏差.....	5-2
表 5.2 臺中港半經驗模式年極值之各重現期波高及其推算標準偏差.....	5-3
表 5.3 臺中港類神經模式年極值之各重現期波高及其推算標準偏差.....	5-4
表 5.4 推估基隆港實測波浪之各重現期波高及其推算標準偏差.....	5-7
表 5.5 基隆港半經驗模式年極值之各重現期波高及其推算標準偏差.....	5-8
表 5.6 基隆港類神經模式年極值之各重現期波高及其推算標準偏差.....	5-9
表 7.1 臺中港兩種波浪推算模式的誤差比較.....	7-1
表 7.2 基隆港兩種波浪推算模式的誤差比較.....	7-2
表 7.3 各類神經颱風波浪推算成效比較.....	7-3
表 7.4 臺中港各月份最適極值函數與對應的 50 年重現期波高.....	7-4
表 7.5 基隆港各月份最適極值函數與對應的 50 年重現期波高.....	7-4

# 第一章 前言

## 1.1 研究目的

設計港灣或海岸結構物前，都會先決定設計波浪。設計波浪需由長期實測波浪資料或推算波浪資料來決定，對 50 年使用年限的港灣結構物的設計條件，需要利用相當長的波浪實測資料方能分析，但實際上可能常因現有記錄的時間長度不足，無法達成。此時，需要藉由統計方法，利用有限長度的資料，去推估重現期之波浪特性，此分析技巧稱為極值統計。

在國內外設計港灣工程也有相當久之歷史，經驗也相當豐富。在國內往昔計算設計波浪之方法及流程大多參考美國工兵團之海岸工程手冊(Coastal engineering manual)(以前版本稱為海岸保護手冊)，並無防波堤安全上之問題，顯見目前的設計方法及流程是安全無虞的，甚至有超過安全設計之可能，故在學理上及操作上尚有幾個問題值得探討。

極值統計分析應用於海洋工程時，一般採用年最大法，假設每一年的極值波高為符合某種分佈的隨機變量，取每年發生的最大波高進行分析。但實際海洋的波浪，常因受到具有季節性變化的氣象、洋流等外在因素的影響，一年中每個月的極值波浪會顯現出具有週期性變化的特性，而並非完全為隨機的過程。故本研究提出一個分析極值波高的季節性變化之簡單可行方法與過程，考慮極值波高之年週期與半年週期的季節性變化影響，改善一整年極值分佈參數的變異。評估極值統計不同的極值分佈函數與參數推定法，決定較佳模式配適結果，並分析比較年最大法與月最大法推估極值波高結果。

## 1.2 文獻回顧

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)與 Ferreira and Guedes Soares(2000)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選用法與極端值選用法二種。

最早，Petruaskas and Aagaard(1971)討論由暴潮資料推斷觀測樣本，沒有統計上的理論基礎，只有實際觀測波高資料之研究。Guedes Soares(1986)將觀測資料加入某一門檻值作資料選取，提出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，稱為超量門檻選用法(peak over threshold, POT)。Davison(1984)和 Smith(1984)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。Vidal 等(2006)提出因最大波高符合 Rayleigh 分佈，與防波堤設計公式與暴潮延時有相當大的關係。Mendez 等(2006)提出超量門檻選用法之極值波高，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。

Galambos(1987), Embrechts 等(1997), Coles(2001)陸續討論另一種極值統計的研究方法，在波高時序列中的每一固定時間範圍內下，取一極值波高，所分析方式即為極端值選用法。當取樣的固定時間為一年時，即為最常應用的年最大法。Carter and Challenor(1981), Muir and El Shaarawi(1986)使用年最大法分析波高資料分佈問題，保持最大值重要特性的機制。Van Vledder 等(1993)指出極端值選用法沒有完整理論基礎，故無廣泛應用在海岸工程上，但其結果具有指標性的極值特性，仍為值得的研究之方法。Guedes Soares and Scotto(2001)討論極端值選

用法與其他研究方法之比較。本研究應用 Mendez 等(2006)提出極值參數季節性變化之概念，但不同於原作者使用的超量選用法，而是應用於極端值選用法中的年最大法與月最大法，探討極值波高季節性之情況。

### 1.3 工作項目與各年度成果

本研究期程為四年，98 年度以花蓮港與高雄港為主，透過經驗式波浪推算模式與類神經颱風波浪推算模式來探討樣本之極值統計特性，並探討不同取樣樣本及極值函數的統計特性比較，本研究第一年完成花蓮港類神經波浪推算模式的修正，並建立各極值函數與參數推定的數值工具，並比較類神經、半經驗及實測資料在極值統計樣本上的差異，針對年最大法、年前三大、及超量取樣法作探討。99 年度以花蓮與高雄為主，延續往昔經驗並考慮臺灣西海岸受陸地遮蔽效應建立高雄港颱風波浪推算模式，考慮月極值統計特性來分析季節性統計分析方法的適用性，再以年最大法確定花蓮高雄兩港各重現期之設計波浪，並針對年最大取法與超量選用法的差異作比較，另外對於波浪極值統計視窗化操作介面也進行初步建構。100 年以臺北港與安平港為主，分別建立臺北港與安平港的類神經颱風波浪推算模式，對不同取樣樣本(類神經、經驗式、實測資料)與各種極值函數來探討極值統計特性，並分析月極值統計與季節性特性，再確定臺北、安平兩港各回歸期之設計波浪，另外亦持續進行波浪極值統計視窗化操作之建立。

本年度以基隆港與臺中港為主，分別建立基隆港與臺中港的類神經颱風波浪推算模式，針對臺中港的地址位置與其颱風波浪特性提出二維轉換函數來提升模式推算準確性。除了建構類神經颱風波浪推算模式外並以傳統經驗式波浪模式進行推算，對不同取樣樣本(類神經、經驗式、實測資料)與各種極值函數來探討極值統計特性，並分析月極值統計與季節性特性，再推算基隆、臺中兩港各回歸期之設計波浪，另外將整合往昔波浪極值統計技術建立視窗化操作介面。本年度研究

計畫之工作項目分為七個部份，目前所有工作項目皆已完成，工作內容符合預定進度，以下為工作項目。

- 1.以經驗式推算波浪模式推算颱風波浪及探討其樣本之極值統計特性。
2. 建立類神經波浪推算模式，並計算颱風波浪及探討其樣本之極值統計特性。
- 3.探討不同取樣樣本及極值函數對統計特性之比較。
- 4.以年最大取法於最適分布之樣本來源，確定基隆、臺中兩港域之各回歸期之設計波浪。
- 5.以季節性統計分析方法(seasonal wave statistics) 探討基隆、臺中兩港域波浪每月極值統計特性。
- 6.波浪極值統計視窗化操作之建立。
- 7.就本研究成果之特性，填報績效指標項目，並以量化或質化方式，說明本研究主要成果及重大突破。

## 第二章 類神經颱風波浪推算模式

臺中港是位於臺灣中部的一個國際商港，距離北部基隆港和南部高雄港各約 110 海里。港區總面積為 3,793 公頃，水域面積 973 公頃，陸地面積 2,820 公頃；港區全境橫跨臺中市龍井區、梧棲區、清水區，港內大部分設施皆位於梧棲，管理單位為臺灣港務公司臺中港分公司。目前因吞吐量大幅成長為臺灣第二大港，也是中臺灣的航運門戶。臺中港目前有 50 座碼頭，擁有自動化卸儲設備。不過，臺中港一直深受潮汐及淤沙的問題所困擾，雖然開港後發展迅速，臺中港的發展還是略遜於腹地小但位置優越的基隆港，但以臺中港民國 99 年至 100 年的貨物裝卸量來看明顯突破往昔至一億零七百萬噸。

基隆港自清光緒 12 年（西元 1886 年）建港迄今，一直伴隨著臺灣經濟之繁榮發展而茁壯成長；今日臺灣之富足康樂基隆港有不可磨滅之功績。基隆港為國際港埠，肩負促進國際貿易及發展航業之重責大任，尤其接近政治、經濟中心之大臺北都會區，都會週邊又密佈各類型工業區，腹地廣大，人口稠密，資源豐富，向為臺灣高價值貨物吞吐最主要之門戶，港埠地位甚為顯要。發展至今，基隆港的碼頭總數從日治時期全座落在西岸的 18 座，擴增為現在的 57 座（西岸 37 座、東岸 20 座）。民國 95 年年度全中華民國關稅總收入之中，經基隆港之收入為新台幣 821 億餘元，佔總收入之 60.54%。民國 100 年度全國關稅總收入（基隆、臺北、臺中、高雄）共為 1,619 億餘元，其中經基隆港收入為 747 億餘元，佔總收入 46.14%，由此可見，基隆港對國家經濟發展的重大貢獻。

### 2.1 資料來源與處理

本研究所分析的資料均是由本所港研中心所提供的波浪資料。本所港研中心於 2001 年 6 月中旬安置挪威 NORTEK 公司之剖面海流表面波浪與潮汐之監測系統(簡稱 AWCP)，安裝在基隆港東防波堤堤頭外水深 44 m 處(測站 X0)，2006 年 8 月因防波堤延伸工程，移至現址(測

站 X1)。歷年觀測波浪資料蒐集概況如表 1.1。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。其新舊觀測樁位置如圖 2.1 所示。

臺中港波浪之觀測方面，因臺中港務局北防波堤延長工程開始展開整平拋石工作影響到儀器安全，2000 年 8 月 18 日暫時停止量測並將設備收回。2003 年 5 月臺中港務局北防波堤延長工程完成後本所隨即在 2003 年 7 月 5 日就安裝完成(挪威 NORTEK 公司)波高波向與剖面海流即時傳送監測系統，安裝在臺中港北防波堤堤頭 150m 外、水深 25 m 處(稱測站 X1)，如圖 2.2 所示。



圖 2.1 基隆港波浪觀測位置示意圖



圖 2.2 臺中港波浪觀測樁位置示意圖

根據本所港研中心所提供之臺中港波浪資料，紀錄時間為 2000 年 1 月至 2010 年 12 月。其中有三段長期資料缺漏的時間：1. 2000 年 9 月至 2003 年 7 月；2. 2007 年 11 至 12 月；3. 2008 年 10 月至 2009 年 5 月，其餘波浪資料大致上完整，但遇上颱風時常會有 6~10 小時的缺漏。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(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。再依據中央氣象局(CWB)所公佈之侵臺颱風列表，挑選合適的颱風作為模式的建立與驗證之用。中央氣象局公佈之 2000 年至 2010 年侵臺颱風共有 73 場，如表 2.1 所示。

表 2.1 自 2000 至 2010 年中央氣象局所發布警報的颱風列表

年份	颱風名	颱風名	日期	強度	路徑	年份	颱風名	颱風名	日期	強度	路徑
2000	啟德	KAI-TAK	07/06~07/10	中度	6	2004	南瑪都	NANMADOL	12/03~12/04	中度	9
2000	碧利斯	BILIS	08/21~08/23	強烈	3	2005	海棠	HAITANG	07/16~07/20	強烈	3
2000	巴比倫	PRAPIROON	08/27~08/30	輕度	6	2005	馬莎	MATSA	08/03~08/06	中度	1
2000	寶發	BOPHA	09/08~09/10	輕度	特殊	2005	珊瑚	SANVU	08/11~08/13	輕度	--
2000	雅吉	YAGI	10/23~10/26	中度	--	2005	泰利	TALIM	08/30~09/01	強烈	3
2000	象神	XANGSANE	10/30~11/01	中度	6	2005	卡努	KHANUN	09/09~09/11	中度	--
2000	貝碧佳	BEBINCA	11/06~11/07	輕度	--	2005	丹瑞	DAMREY	09/21~09/23	中度	--
2001	西馬隆	CIMARON	05/11~05/13	輕度	8	2005	龍王	LONGWANG	09/30~10/03	強烈	3
2001	奇比	CHEBI	06/22~06/24	中度	7	2006	珍珠	CHANCHU	05/16~05/18	中度	9
2001	尤特	UTOR	07/03~07/05	中度	5	2006	艾維尼	EWINIAR	07/07~07/09	中度	--
2001	潭美	TRAMI	07/10~07/11	輕度	4	2006	碧利斯	BILIS	07/12~07/15	輕度	2
2001	玉兔	YUTU	07/23~07/24	輕度	--	2006	凱米	KAEMI	07/23~07/26	中度	3
2001	桃芝	TORAJI	07/28~07/31	中度	3	2006	桑美	SAOMAI	08/09~08/10	中度	--
2001	納莉	NARI	09/13~09/19	中度	特殊	2006	寶發	BOPHA	08/07~08/09	輕度	4
2001	納莉	NARI	09/08~09/10	中度	特殊	2006	珊珊	SHANSHAN	09/14~09/16	中度	--
2001	利奇馬	LEKIMA	09/23~09/28	中度	4	2007	帕布	PABUK	08/06~08/08	輕度	4
2001	海燕	HAIYAN	10/15~10/16	中度	--	2007	梧提	WUTIP	08/08~08/09	輕度	3
2002	雷馬遜	RAMMASUN	07/02~07/04	中度	--	2007	聖帕	SEPAT	08/16~08/19	強烈	3
2002	娜克莉	NAKRI	07/09~07/10	輕度	9	2007	韋帕	WIPHA	09/17~09/19	中度	1
2002	辛樂克	SINLAKU	09/04~09/08	中度	1	2007	柯羅莎	KROSA	10/04~10/07	強烈	2
2003	柯吉拉	KUJIRA	04/21~04/24	中度	--	2007	米塔	MITAG	11/26~11/27	中度	--
2003	南卡	NANGKA	06/01~06/03	輕度	--	2008	卡玫基	KALMAEGI	07/16~07/18	中度	2
2003	蘇迪勒	SOUDELOR	06/16~06/18	中度	--	2008	鳳凰	FUNG-WONG	07/26~07/29	中度	3
2003	尹布都	IMBUDO	07/21~07/23	中度	--	2008	如麗	NURI	08/19~08/21	中度	--
2003	莫拉克	MORAKOT	08/02~08/04	輕度	4	2008	辛樂克	SINLAKU	09/11~09/16	強烈	2
2003	梵高	VAMCO	08/19~08/20	輕度	--	2008	哈格比	HAGUPIT	09/21~09/23	中度	--
2003	柯羅旺	KROVANH	08/22~08/23	中度	--	2008	薔蜜	JANGMI	09/26~09/29	強烈	2
2003	杜鵑	DUJUAN	08/31~09/02	中度	5	2009	蓮花	LINFA	06/19~06/22	輕度	9
2003	米勒	MELOR	11/02~11/03	輕度	8	2009	莫拉菲	MOLAVE	07/16~07/18	輕度	--
2004	康森	CONSON	06/07~06/09	中度	--	2009	莫拉克	MORAKOT	08/05~08/10	中度	3
2004	敏督利	MINDULLE	06/28~07/03	中度	6	2009	芭瑪	PARMA	10/03~10/06	中度	特殊
2004	康柏斯	KOMPASU	07/14~07/15	輕度	--	2010	萊羅克	LIONROCK	08/31~09/02	輕度	9
2004	蘭寧	RANANIM	08/10~08/13	中度	--	2010	南修	NAMTHEUN	08/30~08/31	輕度	--
2004	艾利	AERE	08/23~08/26	中度	1	2010	莫蘭蒂	MERANTI	09/09~09/10	輕度	--
2004	海馬	HAIMA	09/11~09/13	輕度	6	2010	凡那比	FANAPI	09/17~09/20	中度	4
2004	米雷	MEARI	09/26~09/27	中度	--	2010	梅姬	MEGI	10/21~10/23	中度	9
2004	納坦	NOCK-TEN	10/23~10/26	中度	6						

資料來源：中央氣象局網站

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，本研究選擇對實測波浪資料完整之

颱風臺中港共 37 場與基隆港共 31 場來進行資料分析，如表 2.2 與表 2.3 所示。

**表 2.2 選取用來建立臺中港模式的颱風資訊與其對應最大波高**

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大風速 (knot)	最大波高 (m)
2003	柯羅旺	KROVANH	65	1.24
2003	杜鵑	DUJUAN	80	3.30
2003	梅米	MAEMI	105	2.20
2003	米勒	MELOR	50	4.20
2004	康森	CONSON	80	3.34
2004	蘭寧	RANANIM	80	2.55
2004	艾利	AERE	80	3.44
2004	陶卡基	TOKAGE	85	3.99
2004	納坦	NOCK_TEN	85	4.56
2004	敏督利	MINDULLE	95	3.05
2005	海棠	HAITANG	105	6.96
2005	泰利	TALIM	95	6.26
2005	卡努	KHANUN	85	3.15
2005	丹瑞	DAMREY	80	3.27
2005	龍王	LONGWANG	95	5.58
2006	珍珠	CHANCHU	95	3.86
2006	碧利斯	BILIS	60	4.72
2006	凱米	KAEMI	80	3.63
2006	桑美	SAOMAI	105	3.02
2006	寶發	BOPHA	55	2.67
2006	珊珊	SHANSHAN	110	3.20
2006	西馬隆	CIMARON	100	3.69
2006	奇比	CHEBI	100	3.18
2007	帕布	PABUK	65	1.94
2007	聖帕	SEPAT	110	5.43
2007	韋帕	WIPHA	100	4.62
2007	柯羅莎	KROSA	105	6.74
2008	卡玫基	KALMAEGI	65	3.28
2008	鳳凰	FUNG_WONG	75	6.24
2008	辛樂克	SINLAKU	100	5.24
2008	哈格比	HAGUPIT	90	3.64
2009	蓮花	LINFA	60	2.76
2009	莫拉菲	MOLAVE	65	1.22
2009	莫拉克	MORAKOT	75	7.78
2009	芭瑪	PARMA	100	4.35
2010	凡那比	FANAPI	95	5.09
2010	梅姬	MEGI	125	4.83

資料來源：本研究整理

表 2.3 選取用來建立基隆港模式的颱風資訊與其對應最大波高

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大風速 (knot)	最大波高 (m)
2001	桃芝	TORAJI	75.00	1.30
2001	納莉	NARI	75.00	7.43
2001	海燕	HAIYAN	70.00	10.12
2002	雷馬遜	RAMMASUN	85.00	6.78
2002	辛樂克	SINLAKU	80.00	11.35
2003	蘇迪勒	SOUDELOR	80.00	2.19
2003	杜鵑	DUJUAN	80.00	2.50
2003	梅米	MAEMI	105.00	4.20
2003	米勒	MELOR	50.00	3.81
2004	敏督利	MINDULLE	95.00	1.43
2004	蘭寧	RANANIM	80.00	4.35
2004	梅姬	MEGI	65.00	1.91
2004	艾利	AERE	80.00	6.82
2004	陶卡基	TOKAGE	85.00	4.97
2004	納坦	NOCK TEN	85.00	4.31
2005	海棠	HAITANG	105.00	5.80
2005	馬莎	MATSA	80.00	7.41
2005	泰利	TALIM	95.00	5.44
2005	卡努	KHANUN	85.00	3.79
2005	龍王	LONGWANG	95.00	3.05
2006	珊珊	SHANSHAN	110.00	4.67
2007	萬宜	MAN YI	95.00	1.89
2007	帕布	PABUK	65.00	2.01
2007	聖帕	SEPAT	110.00	2.51
2007	韋帕	WIPHA	100.00	4.22
2007	柯羅莎	KROSA	105.00	7.06
2008	鳳凰	FUNG WONG	75.00	3.19
2008	辛樂克	SINLAKU	100.00	4.19
2008	薔蜜	JANGMI	115.00	4.78
2009	莫拉克	MORAKOT	75.00	4.51
2010	凡那比	FANAPI	95.00	3.29
2010	梅姬	MEGI	125.00	4.94

資料來源：本研究整理

表 2.2 中顯示在 2000 至 2010 年中有 37 場擁有完整的波浪資料，其中對應波高小於 2m 的有 3 場，在往昔的觀念中會認為這幾場颱風對波浪造成的影響較小，若將此類颱風納入學習資料中可能會造成不良的結果，但本研究考慮必須適當選取對研究目標臺中港影響較小的學習颱風進行輸入，可透過距離與角度等參數等輸入，讓模式能完整學習在不同角度與距離下颱風對臺中港不造成影響的情況。波高在 2m 至

3m 間的有 4 場，3m 至 4m 有 16 場占最多數，4m 至 5m 有 6 場，5m 至 6m 有 4 場，6m 至 7m 有 4 場，7m 以上則有 1 場。對於臺中港而言，其港區位置位於臺灣西側的海岸，會受到 9 月開始至冬季季風作用完畢的 2 月會有較大的波浪，其餘季節平均適性波高皆小於 2m，尤其以 6 月至 9 月波高較小，所以在颱風季節 6 月至 10 月間若有較大波高的發生一般都是颱風造成。能明顯與季節風作用的季節有所分別，較不易造成誤判。在選用模式適合之颱風時，需注意是否有雙颱同時影響。

表 2.3 基隆港部分則有 32 場完整的波浪資料，其中對應波高小於 3m 的有 8 場，3m 至 5m 間共 15 場，5m 至 7m 則有 4 場，7m 以上有 5 場。整體來看颱風對基隆港的波浪影響比臺中港來得大，實測波高最高達 11.35m。對基隆港颱風波浪來說每年都有 4m 波高以上的颱風波浪紀錄，實測資料大於 7m 以上的的颱風更達到五場之多，且其受季節性波浪的影響季節也與臺中港相近，較不易與颱風造成的波浪造成誤判，對於建立類神經網路颱風波浪推算模式來說基隆港是很合適的一個研究基地。

考慮到颱風行徑的路徑，如果颱風是由臺灣東部往西部行徑，颱風結構容易受到中央山脈阻擋而造成結構鬆散，依往昔經驗這類型的颱風受到高山的屏障效應，對於臺灣西部各港的影響就會變小，而颱風的最大示性波高就會偏低。從歷年的臺灣地區颱風路徑分類統計圖(圖 2.3)可發現，較可能對臺中港造成直接影響的路徑為第五路徑、第七路徑及第九路徑等。其餘路徑受到地形以及高山的屏障影響，是一個需要考慮的因素。因此本研究針對臺中港 38 場颱風的所有時間序列中的颱風位置與相對應臺中港波高值作一空間分布的特性分析，其結果如圖 2.4 所示。圖中為本研究所選取 38 場颱風的空間位置分布，各點位所對應的顏色為臺中港的波高值，色調越暖代表波高越高；色調越冷則對應波高越低。深藍色代表波高小於 1.5m 的資料點，淺藍色代表波高介於 1.5m 至 2.5m 間的資料點，綠色代表 2.5m 至 3.5m 間的資料點，黃色為 3.5m 至 5m 間的資料點，紅色則代表發生 5m 以上波高的資料點。

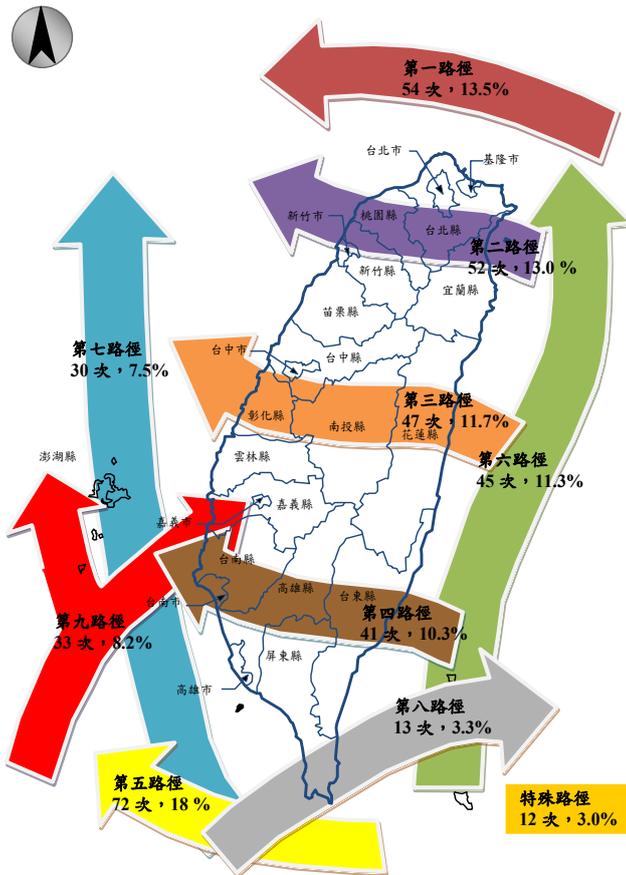


圖 2.3 臺灣地區颱風路徑分類圖(1897-2010 年)(引自中央氣象局)

圖 2.4 中發現對臺中港波浪造成最大影響的颱風中心位置是在花蓮外海處，此現象與往昔研究結果有所不同，往昔研究顯示在安平與高雄等西部港口其颱風所造成的波浪會受到中央山脈減輕阻隔及波浪傳遞受陸地遮蔽而減輕，但在臺中港的資料分析中卻無法明顯看出中央山脈與陸地遮蔽造成的影響。

在所選用的 37 場颱風中，其中最大示性波高大於 5m 對於臺中港有較大影響之海棠(HAITANG, 2005)、泰利(TALIM, 2005)、龍王(LONGWANG, 2005)、聖帕(SEPAT, 2007)、柯羅莎(KROSA, 2007)、鳳凰(FONGWONG, 2008)、辛樂克(SINLAKU, 2008)、莫拉克(MORAKOT, 2009)、凡那比(FANAPI, 2010)等，其路徑皆非屬直撲臺中港的第五、七、九路徑，皆為由東向西登陸臺灣經中央山脈侵襲臺中港的颱風。

這也就是圖 2.3 中對臺中港波浪影響較大的颱風位置都在臺灣東側海岸的原因。故後續在選用模式輸入因子時須考慮到此現象。

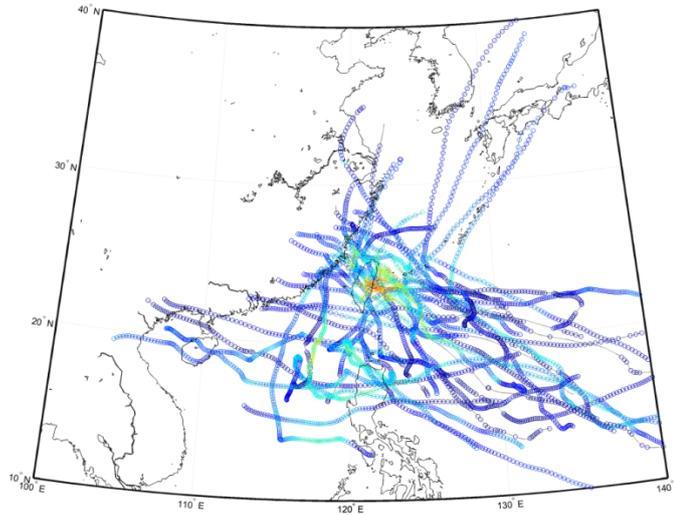


圖 2.4 颱風中心位置與相對應臺中港波高資料空間分布圖

基隆港部分在所選用的 32 場颱風中，其中最大示性波高大於 5m 並對於基隆港有較大影響之納莉(NARI, 2001)、海燕(HAIYAN, 2001)、辛樂克(SINAKU, 2002)、艾利(AERE, 2004)、海棠(HAITANG, 2005)、馬莎(MATSA, 2005)、泰利(TALIM, 2005)、柯羅莎(KROSA, 2007)等。由圖 2.5 可以明顯看出途中暖色系資料點較多，顯示基隆港現有颱風波浪資料雖然較少，但其發生的颱風波浪最大波高都較大，且位置集中於臺灣東部及東北部外海處，影響較大的通常為第 1、第 2 與第 6 路徑三種狀況，造成最大波高的颱風為辛樂克(SINLAKU, 2002)，於臺灣東北方外海處緩慢西行時所造成，其波高達 11.35m，針對此類型特徵的颱風為本模式的考慮重點。其路徑皆屬經過臺灣東側的第一、二、六路徑，故顯示颱風空間上位置對其產生波浪的影響有很明顯的關係。

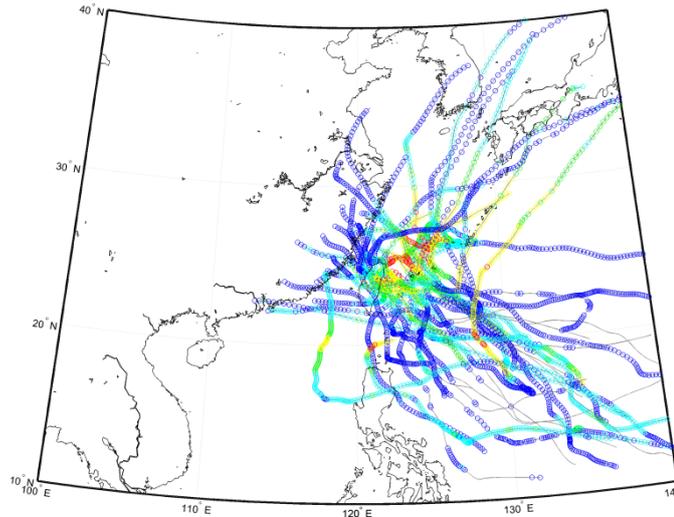


圖 2.5 颱風中心位置與相對應基隆港波高資料空間分布圖

## 2.2 類神經颱風波浪模式

### 2.2.1 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：

$$Y_i = f\left(\sum_j W_{ij} X_j - \theta_i\right) \quad (2-1)$$

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(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  $Y$

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

$$Z = f(net_1) = \frac{e^{net_1} - e^{-net_1}}{e^{net_1} + e^{-net_1}} \quad (2-3)$$

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

$$Y = f(net_2) = \frac{e^{net_2} - e^{-net_2}}{e^{net_2} + e^{-net_2}} \quad (2-5)$$

(2)計算隱藏層差距量  $\delta_1$  與輸出層差距量  $\delta_2$

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

$$\delta_2 = (1+Y)(1-Y)(Z-Y) \quad (2-7)$$

(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：

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

此時加權值的修正量可表示為：

$$\Delta W = -\eta \cdot \frac{\partial E}{\partial W} \quad (2-9)$$

$$\frac{\partial E}{\partial W_{ij}} = -\delta_j^n A_i^{n-1} \quad (2-10)$$

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：

$$W_1 = W_1 + \Delta W_1 \quad (2-11)$$

$$\theta_1 = \theta_1 + \Delta \theta_1 \quad (2-12)$$

$$W_2 = W_2 + \Delta W_2 \quad (2-13)$$

$$\theta_2 = \theta_2 + \Delta \theta_2 \quad (2-14)$$

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：

$$O_{P \times 1} = f(W_{S \times R} I_{R \times 1} + b_{S \times 1}) \quad (2-15)$$

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

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

其中， $z$  為輸入層的神經元個數， $h$  為隱藏層神經元個數。

### 2.2.2 資料分類

本所港研中心往昔在『臺灣港灣地區颱風波浪推算之應用研究』研究中已完成花蓮港類神經颱風波浪推算模式以及其使用者介面的開發。而在本研究前三年度採用更完整的資料與分類方式對花蓮港、高雄港、安平港及臺北港進行颱風波浪推算模式的改善與建立，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。

### 2.2.3 模式輸入與輸入層轉換函數

RSMC-Tokyo Center 的颱風氣象資料包括颱風經緯度、中心最大風速及中心氣壓，為了使類神經模式輸入的資訊更為精細與明確，本研究利用這三項颱風資料計算出 5 個類神經的輸入參數，分別為：1. 颱風與目標點距離( $D$ )、2. 颱風中心對目標點的方位角( $\theta_1$ )、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 2.6 所示。

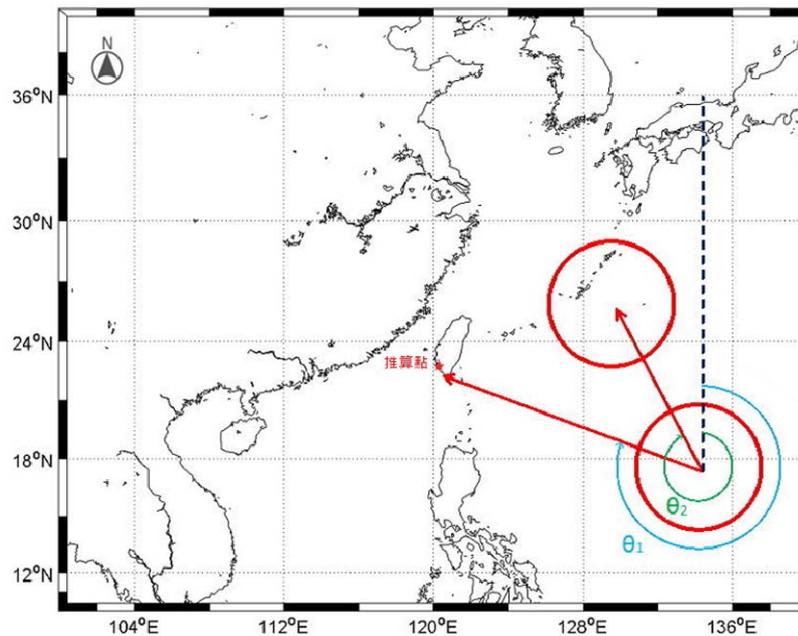


圖 2.6 颱風中心對目標點方位角  $\theta_1$  與颱風移動方位角  $\theta_2$  示意圖

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 2.6 狀況為例，颱風中心是由圖中右下往左上方移動，目標點安平港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 2.6 中  $\theta_1$  小於  $\theta_2$ ，故  $\theta_3$  為正值，顯示目標點安平港面臨的是颱風的左半圓。

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

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

$$V_r = \begin{cases} V_{\max} (R/R_m)^7 \exp(7(1-R/R_m)) & \text{for } R < R_m \\ V_{\max} \exp((0.0025R_m + 0.05)(1-R/R_m)) & \text{for } R \geq R_m \end{cases} \quad (2-17)$$

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

$$R_m = 28.52 \tanh(0.0873(\phi - 28)) + 12.22 / \exp((P_\infty - P_c) / 33.86) + 0.2V_f + 37.22 \quad (2-18)$$

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

$$V_i = 0.5 V_f \cos \phi \quad (2-19)$$

其中， $V_f$  為颱風中心前進速度，而  $\phi$  為至颱風中心連線與最大風速連線兩條線之間的夾角。其相互關係如圖 2.7 所示。颱風中心前進方向與最大風速連線之間夾角約 115 度，而風速總和  $V$  則為  $V_r + V_i$ 。

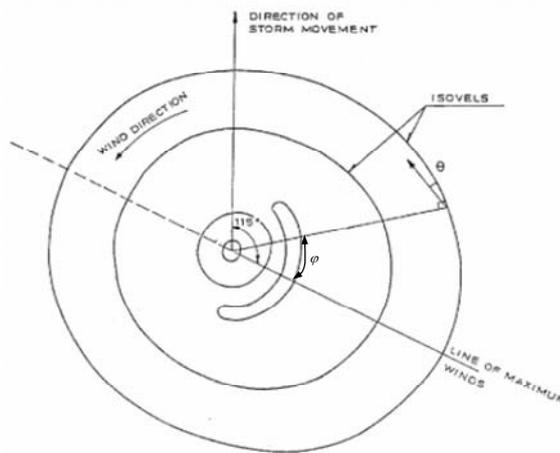


圖 2.7 氣旋中心附近風速風向分佈示意圖

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

$$\theta = \begin{cases} 10^\circ & \text{for } 0 < R \leq R_m \\ 10^\circ + 15^\circ(R - R_m)/(0.2R_m) & \text{for } R_m < R \leq 1.2R_m \\ 25^\circ & \text{for } 1.2R_m < R \end{cases} \quad (2-20)$$

由以上之說明可知，利用 RVM 模型颱風模式計算的風場，颱風中心前進速度  $V_f$  與方向  $\phi$ 、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 RVM 模型颱風模式計算風速時，只需要輸入目標點座標以及颱風逐時座標與逐時中心氣壓，但其並未考慮陸地上受到地形或是山脈的遮蔽影響，若要以傳統的統計方法、歸納或是理論方法計算地形影響亦不容易，所以本研究將目標點風速  $V$  配合其他輸入參數一起輸入類神經網路進行學習，以期能解決複雜的地形影響。

#### (2) 颱風與目標點距離 $D$ ：

颱風與目標點的距離越近，對目標點當地波浪的影響就越大，意即距離  $D$  越小，波高值會越大。以本研究所收集的颱風資料相對應之臺中港波浪資料來繪製距離-波高分布圖，如圖 2.8 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 1800km 以上，出現波高 3m 的數量明顯的變少，故本研究將排除 1800km 以上的資料點，並將剩餘資料點距離除以 1800km 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。

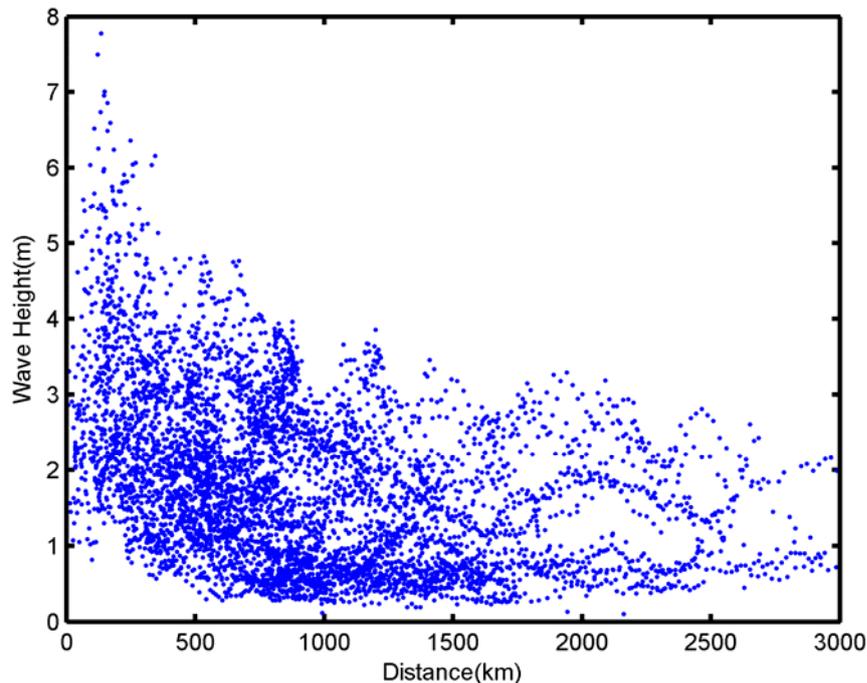


圖 2.8 颱風距離與目標點波高分布

(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。在目標點安平港左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；而在目標點右側的颱風則會受到中央山脈的遮蔽影響，使其影響力降低。

(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 2.9 所示，圖 2.9 中顯示颱風暴風範圍內的風速並非均勻分布的，如以象限劃分，在北半球行進中的颱風其右前方象限的風最大，因該象限颱風環流風向與導引氣流風向相同。如向西行進之颱風此象限吹東北風與夏季西太平洋的東北信風合併而增強了風速，至於右後方及左前方象限則是偏南的風與偏西的風，因與東北信風有抵消作用，風勢較小，在左後方象限的風最小，因該象限吹西南風恰與西太平洋的東北信風相反，故大量抵消，所以一般而言，颱風前半部風力大於後半部。由於 RVM 模型颱風模式並未考量到這種颱風的不對稱性，故需輸入此參數用以判斷目標點是位於颱風的左半圓還是右半圓(以前進方向為中心)。本研究同時考慮  $\theta_3$  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。

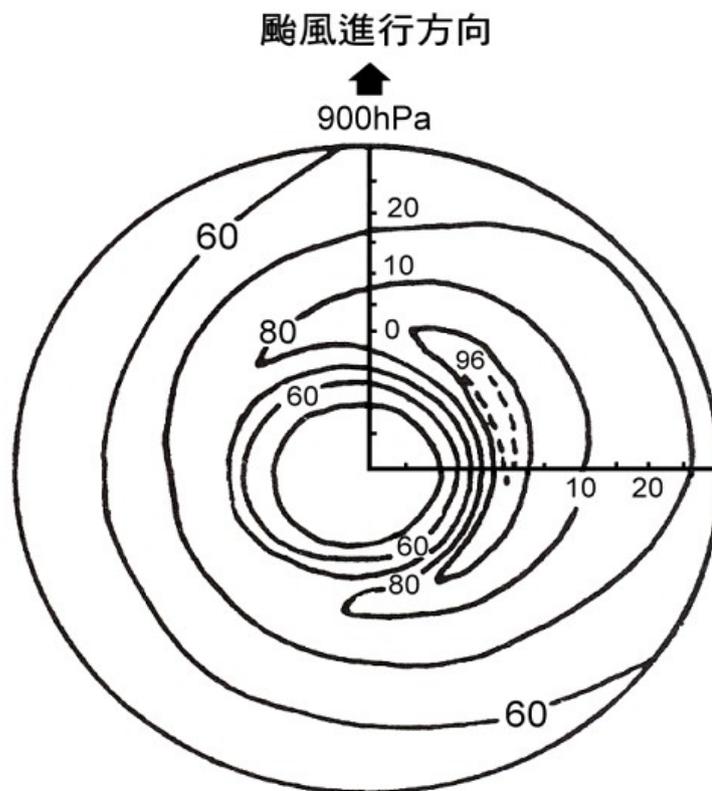


圖 2.9 颱風在等壓面上內平均風速分布示意圖(引自中央氣象局)

(5) 目標點 10m 風向  $V_{deg}$  :

$V_{deg}$  是由 RVM 模型風場模式中計算而得，此處的風向定義為風的去向，而一般定義風向為來向。由於目標點位於臺灣西南方，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。

#### 2.2.4 歸屬函數修正輸入參數

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  $V$ 、 $V_{deg}$ 。但在正式開始訓練前可先透過相關性分析來了解各輸入因子與輸出層波高值間的關係，其結果如表 2.4 所示。

表 2.4 輸入因子與波浪間的相關性分析

輸入因子	相關性 $R$
目標點風速 $V$	0.47
距離 $D$	0.39
目標點方位角 $\theta_1$	-0.11
颱風侵襲角 $\theta_3$	0.08
目標點風向 $V_{deg}$	-0.03

表 2.4 顯示目前輸入參數只有目標點風速  $V$ 、距離  $D$  與波高的相關性是正相關，而其餘三個參數與波高的相關性都偏低或是呈現負相關的現象。

$\theta_1$ 、 $\theta_3$ 、 $V_{deg}$  這三個輸入參數為「角度」，但是角度的大小值卻不一定能有效地反映出該輸入參數與波高的關聯性。以  $\theta_1$  為例，當  $\theta_1=90^\circ$  時代表颱風是在目標點的左側，對應到的輸出波高會較大，以直觀想法僅為將  $90^\circ$  輸入類神經，告訴類神經當角度等於  $90^\circ$  時波高就會大，但在類神經內部  $90^\circ$  是被當作一個值，先被正規化處理，再與權重相乘

後，被送進隱藏層神經元並與其他參數相加，此種運算方式無法有效地告知類神經角度與波高的關聯性。

本研究欲以一個歸屬函數來描述角度與波高的關係，透過歸屬函數的轉換後再輸入類神經，用意為將「角度資訊」轉換為「影響度資訊」，其值介於 0 至 1，當影響度越高對應到的波高就越大。以  $\theta_1$  為例，當  $\theta_1=90^\circ$  時，透過歸屬函數的轉換得到影響度會接近 1，代表其影響程度大。而在類神經內部計算時，影響度的大小便可以控制隱藏層神經元內的整體函數值的大小，讓類神經對於輸入參數的學習更加直接。影響度的大小，代表轉換前的參數角度對波高的影響力，轉換前對應到的波高大，轉換後得到的影響度就會大；轉換前對應到的波高小，則轉換後得到的影響度就會小。此種關係顯示，經由轉換後的影響度與波高會是一個正線性相關。欲找到一個高斯函數作為合適的歸屬函數，以提高輸入參數與波高的相關性，本研究將三個角度參數做了以下分析：

#### (1) 目標點方位角 $\theta_1$

本研究將距離 2400km 以外的目標點方位角  $\theta_1$  資料刪除後，將剩下距離 0 至 2400km 分為 12 組，針對每一組進行尺度參數為 30 而中心位置為  $0^\circ$  至  $360^\circ$  的高斯轉換，其轉換結果與波高的相關性分布示如圖 2.10。圖 2.10 中可發現經高斯轉換後在空間上有三個較大的峰值，但無法單純以  $\theta_1$  的角度來切割出相關性高與相關性低的區域。圖中在距離颱風中心 500km 以內， $\theta_1$  在  $250^\circ$  至  $360^\circ$  與波高有較大的相關性，在距離 500km 至 2000km 則有一不規則區塊是與波高有較大相關，隨著距離漸遠相關性較高的範圍漸漸擴大，直到 1800km 至 2200km 處，相關性較高的區域已不再明顯。2000km 以外，則是在  $320^\circ$  與波高間的相關性有稍微提高其值約為 0.2。

配合上述的特性，我們發現往昔高雄港、安平港及臺北港所採用的一維高斯轉換函數已不夠描述此空間分布特性，故本研究提出除了考慮  $\theta_1$  角度外並同時考量距離變量來決定一個二維的空間轉換函數。

如圖 2.11 所示，圖中 X-Y 平面的兩軸分別為與颱風中心距離及  $\theta_1$ ，Z 軸則代表轉換值，其值在-1 與 1 之間，圖中顏色越接近暖色系的對應的轉換值越高，冷色系則越低。轉換函數在空間上不同位置可以由該點對應的颱風中心距離與  $\theta_1$  可對應不同的轉換值。

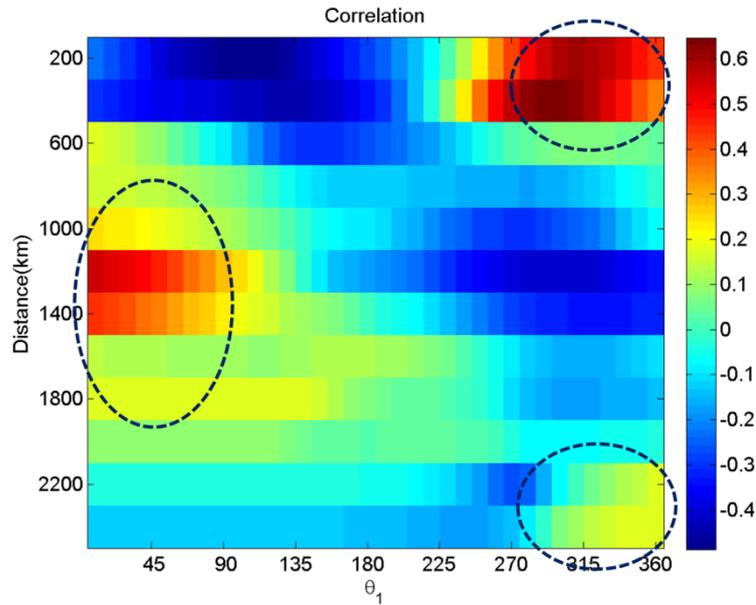


圖 2.10 各距離範圍的  $\theta_1$  經高斯轉換後與波高的相關性分布圖

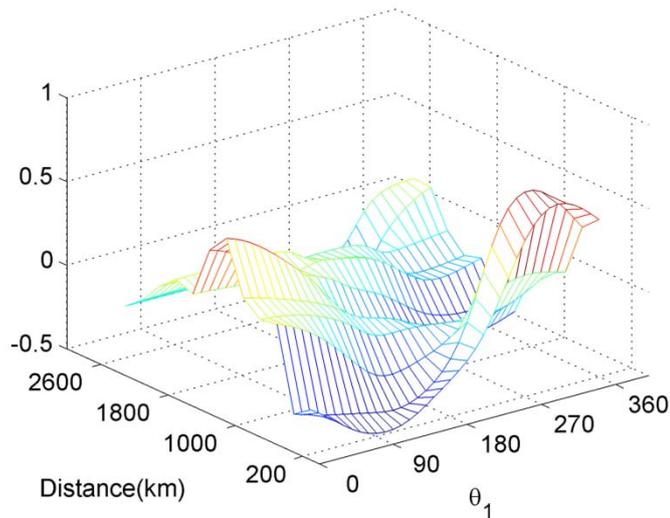


圖 2.11 對應角度與距離的二維  $\theta_1$  轉換函數

## (2) 颱風侵襲角 $\theta_3$

將距離 2400km 以外的颱風侵襲角  $\theta_3$  資料刪除後，將剩下距離 0 至 2400km 分為 12 組，針對每一組進行尺度參數為 30 而中心位置為  $-180^\circ$  至  $180^\circ$  的高斯轉換，其轉換結果與波高的相關性分布示如圖 2.12。

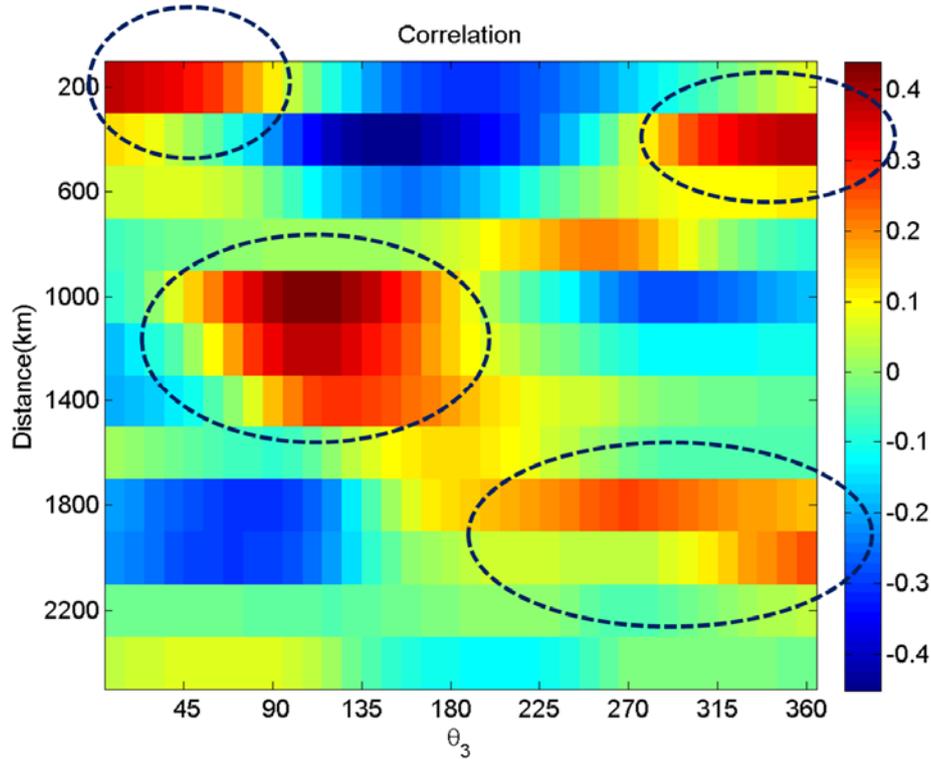


圖 2.12 各距離範圍的  $\theta_3$  經高斯轉換後與波高的相關性分布圖

圖 2.12 中發現其結果與  $\theta_1$  相同，在空間上在不同的距離，其  $\theta_3$  與波高的相關性有不同的特性，尤其圖中在距離 0km 至 200km 與 200km 至 400km 間的範圍就有所不同，其高相關性的範圍由  $0^\circ \sim 90^\circ$  漸變為  $300^\circ \sim 360^\circ$  左右。800km 至 1400km 間的特性較一致，但 1600km 至 2000km 間又有所不同。故與  $\theta_1$  相同，本研究採用二維轉換函數來進行  $\theta_3$  的轉換，如圖 2.13 所示。

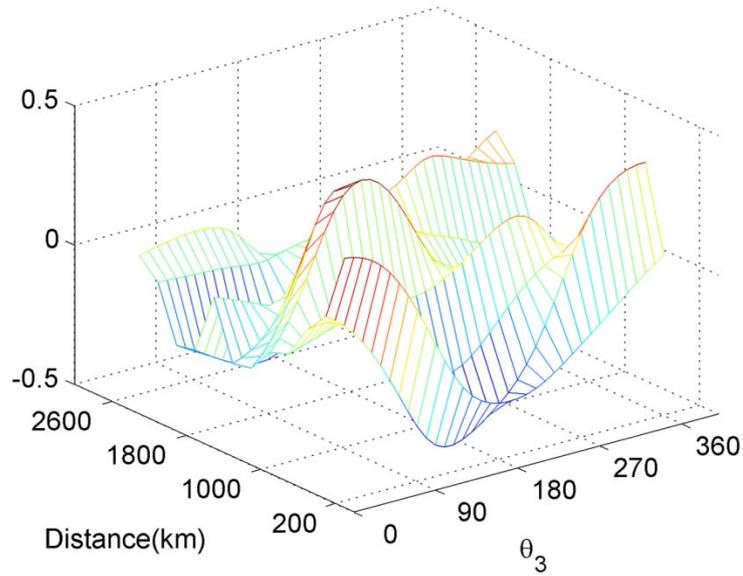


圖 2.13 對應角度與距離的二維  $\theta_3$  轉換函數

(3) 目標點風向  $V_{deg}$

將距離 2400km 以外的目標點風向  $V_{deg}$  資料刪除後，將剩下距離 0 至 2400km 分為 12 組，針對每一組進行尺度參數為 30 而中心位置為  $0^\circ$  至  $360^\circ$  的高斯轉換，其轉換結果與波高的相關性分布示如圖 2.14。

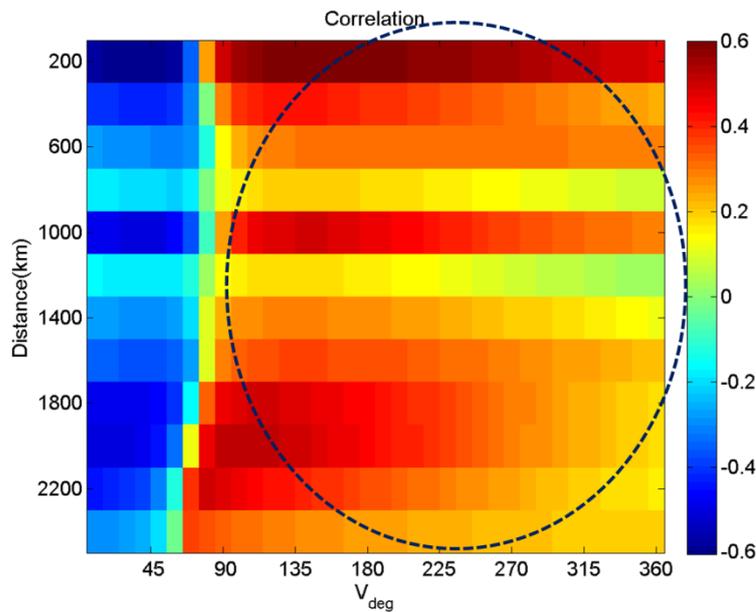


圖 2.14 各距離範圍的  $V_{deg}$  經高斯轉換後與波高的相關性分布圖

圖中發現  $V_{deg}$  所對應的波高相關性圖在各距離的表現上較相近，基本上各個距離都是以  $0^\circ \sim 90^\circ$  之間的相關性較差， $90^\circ \sim 225^\circ$  間相關性較佳， $225^\circ$  至  $360^\circ$  則逐漸遞減。代表高斯轉換後中心位置約以  $90^\circ$  為分界，與波高間的相關性有空間上分布的特性，當高斯歸屬函數的中心位置在  $90^\circ$  以下其轉換結果與波高的相關性低，反之當高斯歸屬函數的中心位置在  $90^\circ$  以上則其結果與波高的相關性高。但若要詳細描述  $V_{deg}=90^\circ$  以上相關性較高的區域內的差異，以二維轉換函數較能完整描述。本研究  $V_{deg}$  二維轉換函數如圖 2.15 所示，圖中顯示  $V_{deg}$  角度在  $90^\circ$  以上其經過轉換後的輸入值較大，由於 RVM 模型風場模式的風向為風的去向而非來向，對於目標點臺中港而言  $0^\circ$  與  $90^\circ$  皆為從海上往陸上吹的東南風，以距離 200km 內來看臺中港當地風向在東南向以外的範圍會造成較大波高。

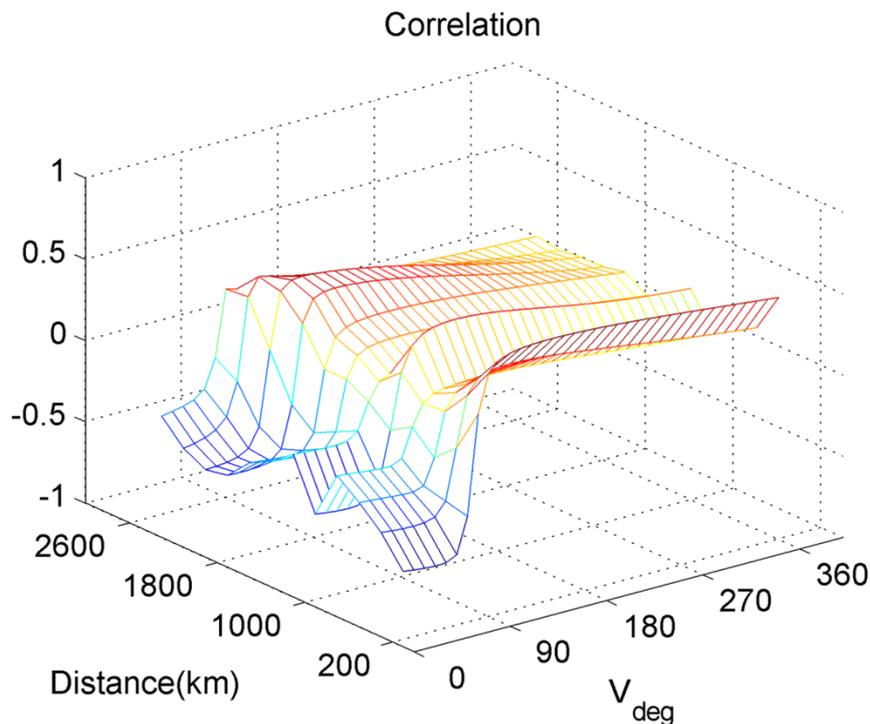


圖 2.15 對應角度與距離的二維  $V_{deg}$  轉換函數

經由以上轉換函數之計算後，我們可於臺中港得到三組雙峰的高斯歸屬函數用來描述這三種角度參數，轉換後再與波高作相關性分

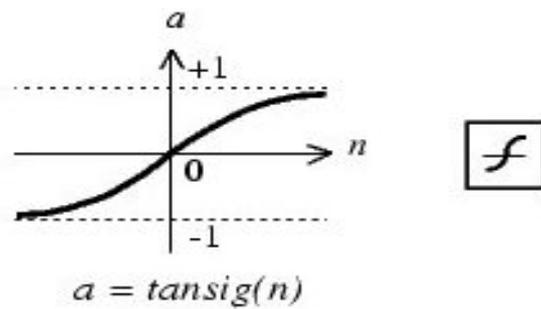
析，其結果如表 2.5 所示。 $\theta_1$  經過轉換後相關性由-0.11 提升為 0.20、 $V_{deg}$  經過轉換後相關性由-0.03 提升為 0.29， $\theta_3$  經過轉換後相關性由 0.08 提升到 0.16，三者之  $R$  皆有些微提升。

表 2.5 雙峰轉換後的輸入參數與波高間的相關性分析  
(2400km 以內)

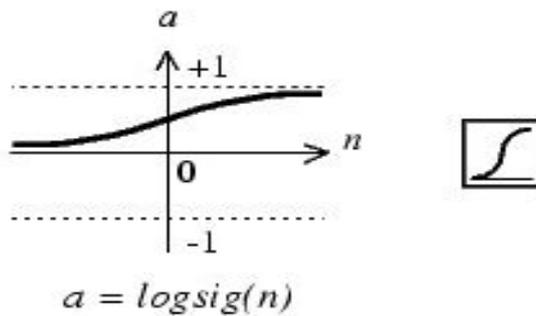
雙峰轉換後的輸入參數	相關性 R
方位角影響度( $\theta_1$ )	0.20
侵襲角影響度( $\theta_3$ )	0.16
風向影響度( $V_{deg}$ )	0.29

### 2.2.5 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 2.16 所示。



Tan-Sigmoid Transfer Function



Log-Sigmoid Transfer Function

圖 2.16 正切雙彎曲轉換函數與雙彎曲函數

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。

### 2.2.6 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。

### 2.3 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，分別為相關係數(*R*, correlation coefficient)、均方根誤差(*RMSE*, root mean squared error)、颱風波浪最大波高誤差  $\Delta H_{s,p}$  及最大波高發生時間誤差  $\Delta t_p$ 。

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

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

$$\Delta H_{s,p} = MAX(H_{s,num}) - MAX(H_{s,obs}) \quad (2-23)$$

$$\Delta t_p = t_{p,num} - t_{p,obs} \quad (2-24)$$

其中  $H_{s,num}$  為模式推算颱風波浪示性波高； $H_{s,obs}$  為測站實測颱風波浪示性波高； $t_{p,num}$  為模式推算颱風波浪示性波高最大值發生時間； $t_{p,obs}$  為測站實測颱風波浪示性波高最大值發生時間。由式(2-23)可知，若  $\Delta H_{s,p}$  為正值，表示模式推算的示性波高過於高估，若為負值則表示低估，由式(2-24)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。以臺中港選擇的各場實測颱風波浪資料進行建立及驗證，其結果如下表 2.6 所示。

表 2.6 臺中港類神經颱風波浪推算結果

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R	$H_{max}$ (m)
2003	柯羅旺 KROVANH	0.32	10	0.40	0.30	1.24
2003	杜鵑 DUJUAN	0.16	-7	0.70	0.76	3.30
2003	梅米 MAEMI	0.09	-57	0.48	0.64	2.20
2003	米勒 MELOR	-0.74	8	0.50	0.84	4.20
2004	康森 CONSON	1.19	5	0.83	0.59	3.34
2004	蘭寧 RANANIM	0.37	24	0.67	0.33	2.55
2004	艾利 AERE	0.41	10	0.42	0.93	3.44
2004	陶卡基 TOKAGE	-1.18	-17	1.27	0.65	3.99
2004	納坦 NOCK_TEN	-0.73	1	1.49	0.57	4.56
2004	敏督利 MINDULLE	1.64	-30	0.69	0.65	3.05
2005	海棠 HAITANG	-1.13	0	0.39	0.97	6.96
2005	泰利 TALIM	-1.36	0	0.75	0.90	6.26
2005	卡努 KHANUN	-0.77	-29	0.49	0.54	3.15
2005	丹瑞 DAMREY	-0.46	-23	0.81	0.25	3.27
2005	龍王 LONGWANG	-0.86	2	0.73	0.74	5.58
2006	珍珠 CHANCHU	-1.22	-6	0.95	0.44	3.86
2006	碧利斯 BILIS	-0.11	-26	0.58	0.88	4.72
2006	凱米 KAEMI	0.47	1	0.44	0.92	3.63
2006	桑美 SAOMAI	0.58	-16	0.43	0.82	3.02
2006	寶發 BOPHA	1.43	-2	0.54	0.94	2.67
2006	珊珊 SHANSHAN	0.85	8	0.68	0.80	3.20
2006	西馬隆 CIMARON	-0.47	-9	0.70	0.39	3.69
2006	奇比 CHEBI	-1.26	-7	0.82	0.67	3.18
2007	帕布 PABUK	1.62	-2	0.80	0.77	1.94
2007	聖帕 SEPAT	-0.24	2	0.49	0.86	5.43
2007	韋帕 WIPHA	-1.78	8	1.19	0.53	4.62
2007	柯羅莎 KROSA	-0.84	-7	0.98	0.89	6.74
2008	卡玫基 KALMAEGI	0.24	-11	0.76	0.81	3.28
2008	鳳凰 FUNG_WONG	-0.46	0	0.73	0.91	6.24
2008	辛樂克 SINLAKU	0.88	12	0.79	0.79	5.24
2008	哈格比 HAGUPIT	-0.22	9	0.61	0.64	3.64
2009	蓮花 LINFA	-0.82	5	0.35	0.80	2.76
2009	莫拉菲 MOLAVE	1.21	3	0.70	0.48	1.22
2009	莫拉克 MORAKOT	-1.73	-1	0.70	0.94	7.78
2009	芭瑪 PARMA	-0.24	37	0.53	0.85	4.35
2010	凡那比 FANAPI	-0.46	7	0.46	0.92	5.09
2010	梅姬 MEGI	-0.71	0	1.01	0.68	4.83
	絕對值平均	0.79	10.86	0.70	0.71	4.00

表 2.7 基隆港類神經颱風波浪推算結果

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R	$H_{max}$ (m)
2001	桃芝 TORAJI	1.12	-2	0.74	0.60	1.3
2001	納莉 NARI	-0.86	6	0.72	0.74	7.43
2001	海燕 HAIYAN	-4.57	-4	1.20	0.90	10.12
2002	雷馬遜 RAMMASUN	-0.56	-2	0.54	0.94	6.78
2002	辛樂克 SINLAKU	-3.28	0	0.74	0.95	11.35
2003	蘇迪勒 SOUDELOR	2.42	6	0.88	0.55	2.19
2003	杜鵑 DUJUAN	1.18	-6	0.50	0.73	2.5
2003	梅米 MAEMI	-0.30	3	0.50	0.88	4.2
2003	米勒 MELOR	-0.04	3	0.48	0.84	3.81
2004	敏督利 MINDULLE	2.15	-11	0.88	0.74	1.43
2004	蘭寧 RANANIM	-0.30	3	0.54	0.88	4.35
2004	梅姬 MEGI	0.24	5	0.33	0.81	1.91
2004	艾利 AERE	1.49	4	0.77	0.94	6.82
2004	陶卡基 TOKAGE	-0.13	6	0.87	0.90	4.97
2004	納坦 NOCK_TEN	0.08	6	0.87	0.54	4.31
2005	海棠 HAITANG	-0.92	-2	0.64	0.93	5.8
2005	馬莎 MATSA	-0.92	5	0.59	0.96	7.41
2005	泰利 TALIM	-0.77	3	0.67	0.90	5.44
2005	卡努 KHANUN	-0.20	-4	0.55	0.76	3.79
2005	龍王 LONGWANG	-0.16	-1	0.34	0.74	3.05
2006	珊珊 SHANSHAN	0.52	10	0.96	0.70	4.67
2007	萬宜 MAN_YI	0.27	4	0.49	0.69	1.89
2007	帕布 PABUK	0.34	-21	0.38	0.83	2.01
2007	聖帕 SEPAT	0.29	-5	0.66	0.64	2.51
2007	韋帕 WIPHA	-0.63	5	0.35	0.91	4.22
2007	柯羅莎 KROSA	-1.28	1	0.46	0.95	7.06
2008	鳳凰 FUNG_WONG	0.30	5	0.48	0.91	3.19
2008	辛樂克 SINLAKU	2.57	0	0.78	0.92	4.19
2008	薔蜜 JANGMI	0.89	-2	0.61	0.88	4.78
2009	莫拉克 MORAKOT	-0.68	2	0.33	0.96	4.51
2010	凡那比 FANAPI	0.98	2	0.47	0.93	3.29
2010	梅姬 MEGI	-0.72	-1	0.50	0.83	4.94
	絕對值平均	0.97	4.38	0.62	0.82	4.57

由表 2.6 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 25 場颱風波浪推算結果與實測結果最大波高誤差  $\Delta H_{s,p}$  以 MORAKOT(2009) 颱風誤差較大，其誤差達 1.73m。最大波高發生時間誤差  $\Delta t_p$  則以 MAEMI(2003)、PARMA(2009) 相差最多。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差  $RMSE$  最大為 TOKAGE(2004)。推算波高結果與實測波高的相關性  $R$  則以 DAMREY(2005) 最差。此外在驗證組中 12 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 WIPHA(2007) 相差最大，誤差 1.78m。最大波高發生時間誤差  $\Delta t_p$  以 MINDULLE(2004) 相差最多，誤差 30 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差  $RMSE$  最大為 WIPHA(2007)，其值為 1.19m。推算波高結果與實測波高的相關性  $R$  最差為 RANANIM (2003) 的 0.33。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 0.79m，最大波高發生時間誤差絕對值  $\Delta t_p$  約為 10.86 小時， $RMSE$  約為 0.70m，相關係數  $R$  約為 0.71。

由表 2.7 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 22 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 HAIYAN(2001) 颱風誤差較大，其誤差達 4.57m。最大波高發生時間誤差  $\Delta t_p$  則以 SHANSHAN(2006) 相差最多。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差  $RMSE$  最大為 HAIYAN(2004)。推算波高結果與實測波高的相關性  $R$  則以 NOCK\_TEN(2004) 最差。此外在驗證組中 10 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 SINLAKU(2008) 相差最大，誤差 2.57m。最大波高發生時間誤差  $\Delta t_p$  以 PABUK(2007) 相差最多，誤差 21 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差  $RMSE$  最大為 SOUDELOR(2003) 與 MINDULLE(2004)，其值為 0.88m。推算波高結果與實測波高的相關性  $R$  最差為 SOUDELOR(2003) 的 0.55。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 0.97m，最大波高發生時間誤差絕對值  $\Delta t_p$  約為 4.38 小時， $RMSE$  約為 0.62m，相關係數  $R$  約為 0.82。

## 2.4類神經颱風波浪推算模式之風險分析

前述臺中港類神經波浪推算的模式驗證部分以相關係數(R, correlation coefficient)、均方根誤差(RMSE, root mean squared error)、颱風波浪最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 及最大波高發生時間誤差 $\Delta t_p$ 等四個誤差特性來表現各場颱風的推算結果，本節則以波浪推算模式其推算波高峰值的誤差來做風險分析，臺中港的波浪推算風險分析如圖 2.17。

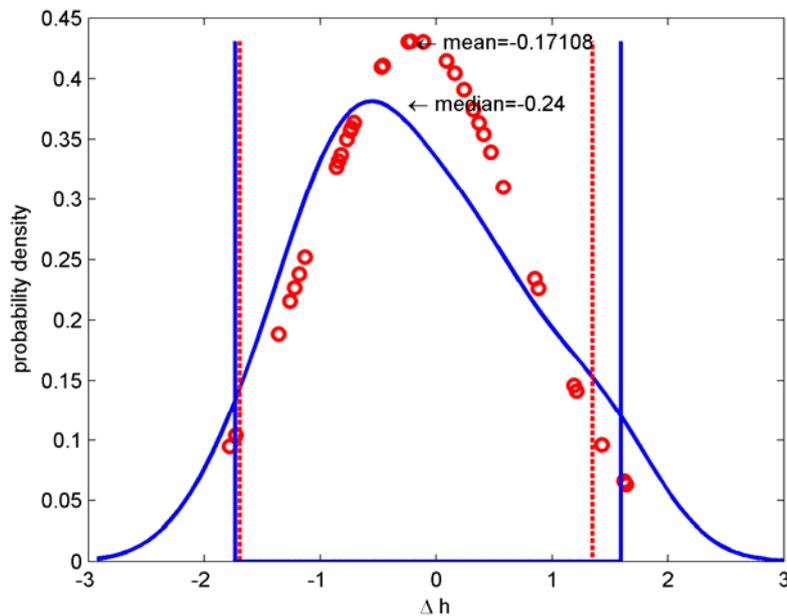


圖 2.17 臺中港類神經颱風波浪推算模式風險分析

圖 2.17 顯示臺中港類神經颱風波浪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-0.17m，中位數為-0.24m，標準偏差為0.92m，37 個樣本中不通過 95%信賴度的有 5 個，佔全部的 13.5%。圖 2.18 顯示基隆港類神經颱風波浪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-0.05m，中位數為-0.09m，標準偏差為 1.42m，32 個樣本中不通過 95%信賴度的有 4 個，佔全部的 12.5%。

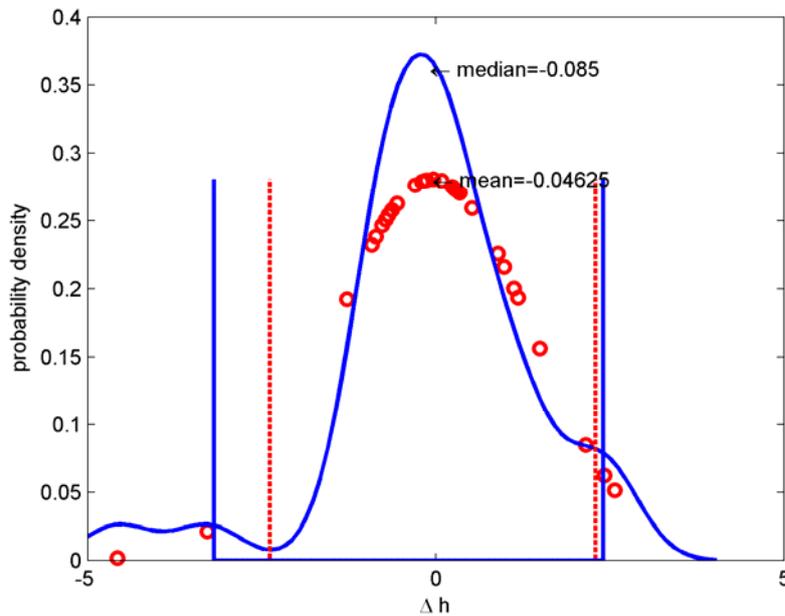


圖 2.18 基隆港類神經颱風波浪推算模式風險分析

## 2.5 本年度侵臺颱風之波浪推算結果

本研究目前已完成六個港口的類神經颱風波浪推算模式建構，分別為花蓮港、高雄港、安平港、臺北港、臺中港及基隆港。本節以今年侵臺颱風蘇拉進行颱風波浪的推算，其模擬結果如下：

由圖 2.19 花蓮港推算結果顯示蘇拉颱風的對花蓮港造成影響的最大波高為 4.84m，其發生時間為 8/1 PM 06:00。結果顯示花蓮港推算結果與實測資料間 RMSE 為 0.94m，相關係數為 0.67。由圖 2.20 高雄港推算結果顯示蘇拉颱風的對高雄港造成影響的最大波高為 3.67m，其發生時間為 8/2 AM 09:00，圖中可發現在最大波高發生時實測資料有缺故難以評估推估值之正確性，整體誤差為 0.48m，相關係數為 0.80。圖 2.21 安平港推算結果顯示蘇拉颱風對安平港造成影響的最大波高為 2.39m，其發生時間為 8/2 AM 08:00，整體誤差為 0.23m，相關係數為 0.92。圖 2.22 臺北港推算結果顯示蘇拉颱風的對臺北港造成影響的最大波高為 2.96m，其發生時間為 8/2 PM 01:00，但由圖中可發現推估值與實測波浪間有約 12 小時的差距，且最大波高推算值低估了約 1m，整體誤差 0.68m，相關係數 0.59。圖 2.23 臺中港推算結果顯示蘇拉颱風

風的對臺中港造成影響的最大波高為 5.34m，其發生時間為 8/2 PM 01:00，與實測資料比較發現推估值最大波高發生時間提早 6 小時，且最大波高高估 1m，整體誤差為 0.72m，相關係數 0.79。圖 2.24 基隆港推算結果顯示蘇拉颱風的對臺中港造成影響最大波高為 6.15m，其發生時間為 8/2 AM 06:00，但缺乏實測資料可進行比對。由模式推估結果來看蘇拉颱風對基隆港影響最大，臺中港次之，其餘受影響大小順序為花蓮港、高雄港、臺北港最後是安平港。最大波高發生的時間順序為花蓮港、基隆港、安平港、高雄港，最後為臺北與臺中港。

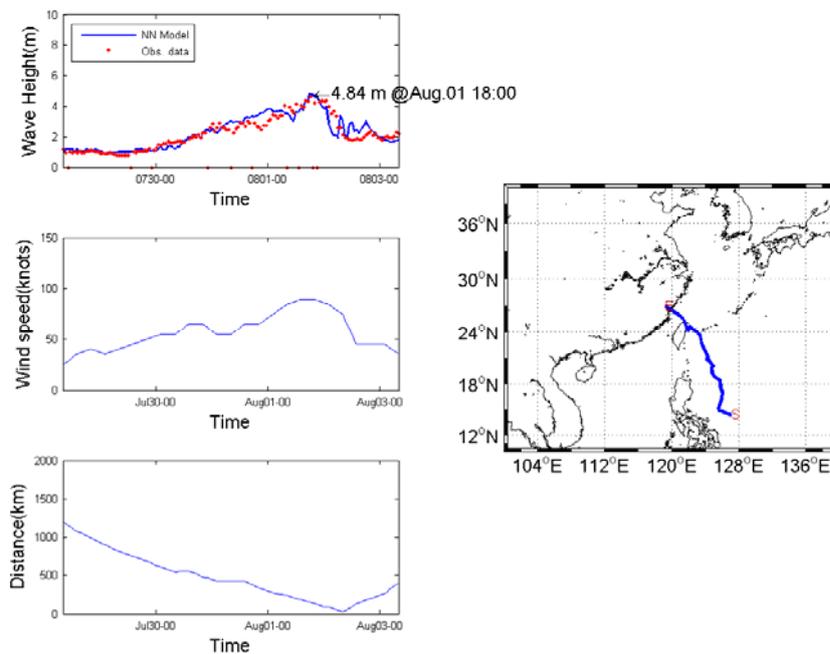


圖 2.19 本研究類神經颱風波浪推算模式推算花蓮港颱風波浪結果

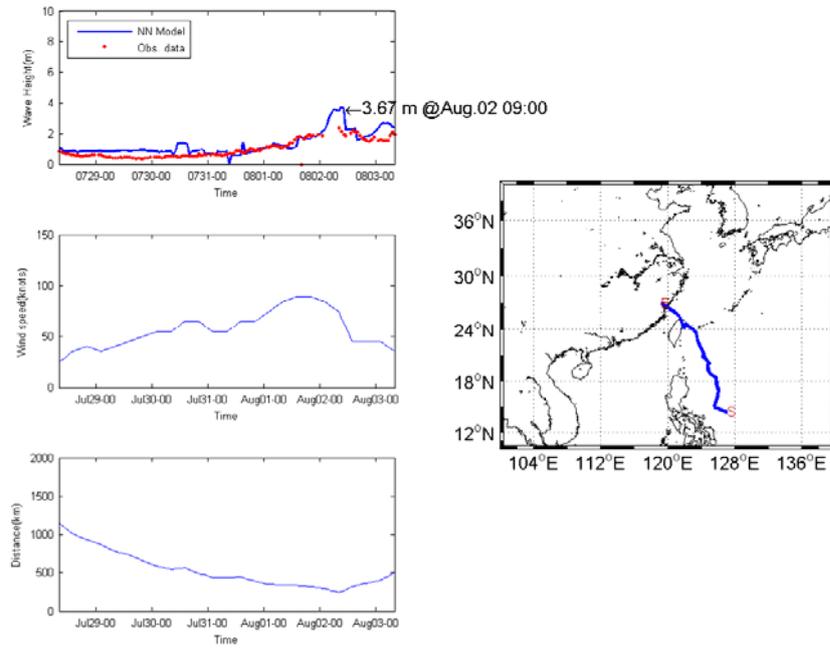


圖 2.20 本研究類神經颱風波浪推算模式推算高雄港颱風波浪結果

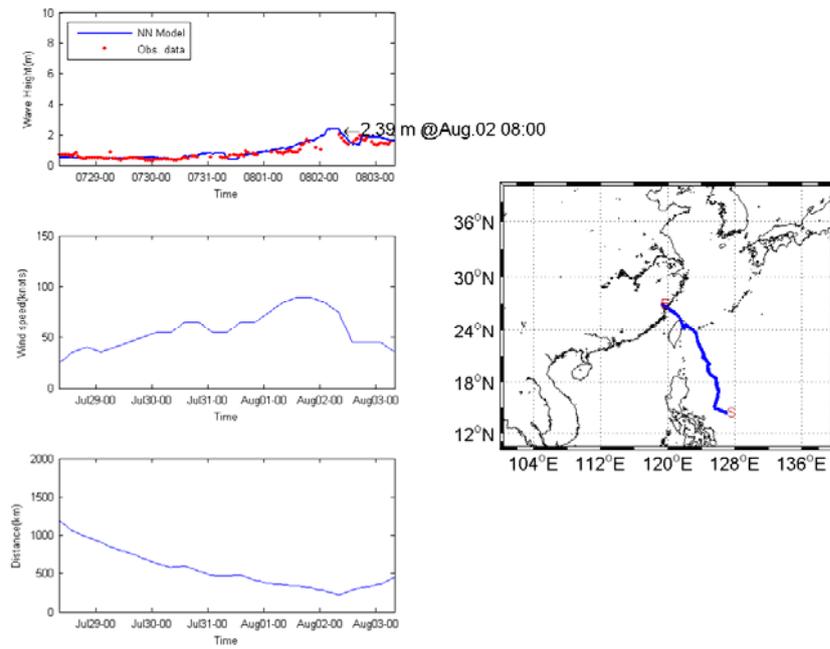


圖 2.21 本研究類神經颱風波浪推算模式推算安平港颱風波浪結果

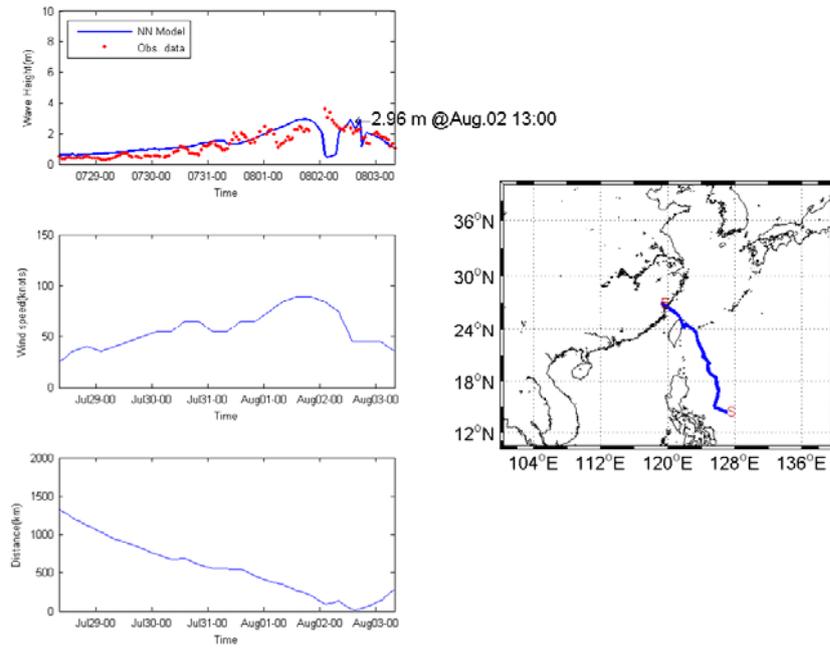


圖 2.22 本研究類神經颱風波浪推算模式推算臺北港颱風波浪結果

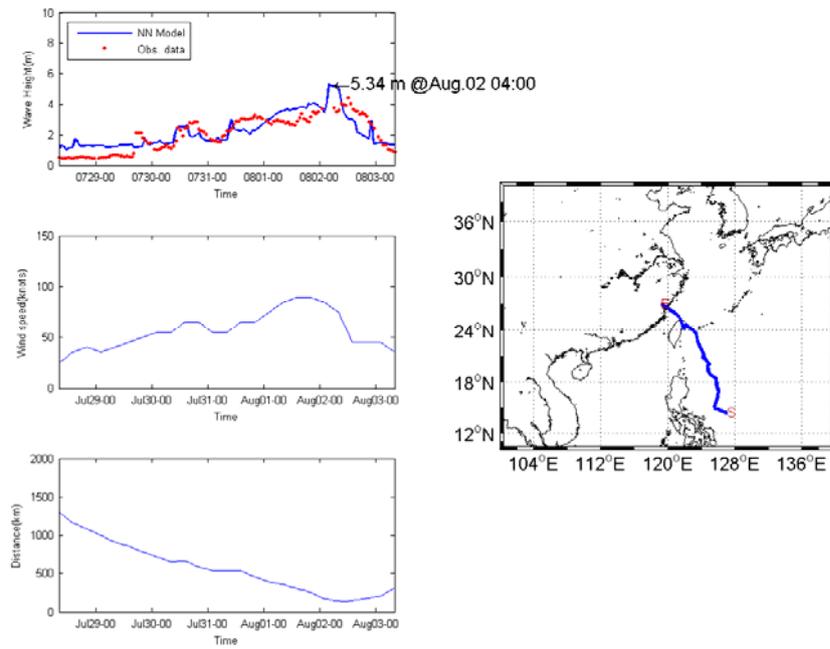


圖 2.23 本研究類神經颱風波浪推算模式推算臺中港颱風波浪結果

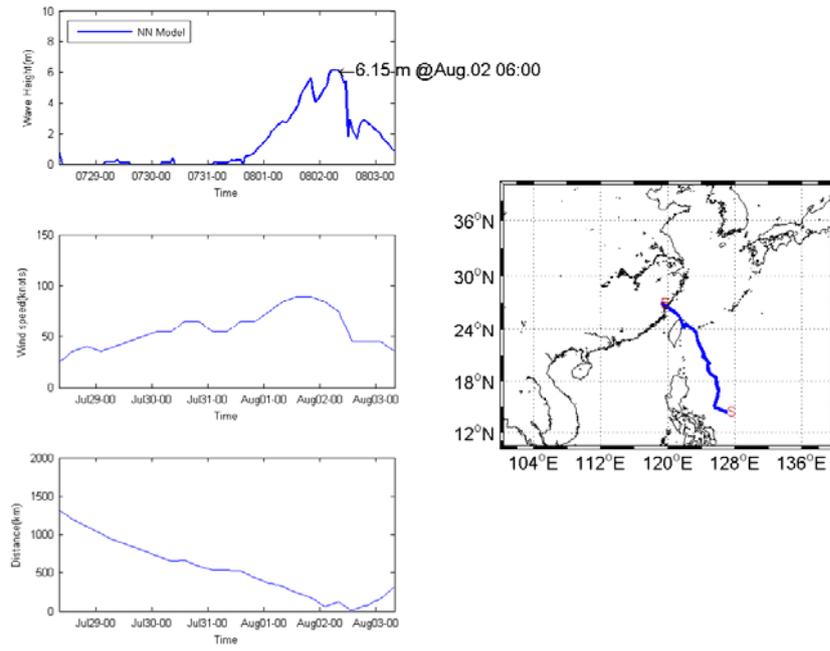


圖 2.24 本研究類神經颱風波浪推算模式推算基隆港颱風波浪結果

## 第三章 經驗式颱風波浪推算模式

### 3.1 經驗式波浪推算模式理論

常見之半經驗颱風波浪推算模式 Bretschneider 參數法(1952)、井島(1972)之追蹤法、湯(1970)之移動風域數值推算法及梁(1982)之颱風湧浪預報法等。湯(1970)鑑於 Wilson 之方法只能推算深海風浪，不能直接推算海岸前之波浪狀況，故綜合 Wilson 及 Bretschneider 等經驗公式，配合淺海中之風浪關係、海底摩擦之影響、湧浪之推算方式及碎波後波浪之計算，提出移動風域數值推算模式，而本研究使用之定點颱風波浪推算半經驗模式即是依據上述原理建立而成，其基本原理詳述如下：

#### 1. 波向與風向之關係

依據深海之波浪觀測結果發現，一般波浪進行之方向與海面上平均風向甚為接近，故就風浪而言，在其形成初期可認為波向與風向一致，但當波浪進行某一段距離後，若波浪週期保持不變，則因風向改變在新方向之波高  $H_\theta$  將可寫成

$$H_\theta = H \cos\theta \quad (3-1)$$

式中  $H$  為前一推算點之波高， $\theta$  為新風向與原風向之夾角。

#### 2. 風與風浪之關係

##### (1) 深海波浪

在深海時根據 Wilson (1955) 之方法推算深海風浪，即以下列近似公式推算波浪之波高與週期，即

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

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

式中  $H$  為示性波波高， $T$  為示性波週期， $F$  為吹風距離， $U$  為風速， $g$  為重力加速度， $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $k_1$  及  $k_2$  為常數值，分別等於 0.26、1.40、0.01 及 0.0436。

## (2) 淺海波浪

當波浪進入淺水區後，依風、浪、水深間之關係為(湯，1970)

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

$$\frac{gT}{2\pi U} = \beta \tanh \left[ k_4 \left( \frac{gD}{U^2} \right)^{3/8} \right] \tanh \left\{ \frac{k_2 \left( \frac{gF}{U^2} \right)^{1/3}}{\tanh \left[ k_4 \left( \frac{gD}{U^2} \right)^{3/8} \right]} \right\} \quad (3-5)$$

式中  $D$  表示水深，常數  $k_3=0.578$ ， $k_4=0.520$ 。當  $D \rightarrow \infty$  時，式(3-4)及(3-5)可簡化為式 3-2)及(3-3)。

## 3. 湧浪之計算

當風向改變角度  $\theta$  大於  $60^\circ$  或風浪獲得能量較損失者為小時，均視為湧浪，其波高及週期與風浪之關係依據 Bretschneider 之湧浪研究結果可表示如式(3-6)和(3-7)所示。

$$\frac{H_f}{H_d} = \cosh \left\{ 0.66 \left( \frac{F}{H_f} \right)^{0.06} \left( \frac{D}{F} \right)^{0.25} \tanh \left[ 3 \left( \frac{D}{F} \right)^{0.3} \right] \right\} \quad (3-6)$$

$$\frac{T_d}{T_f} = \cosh \left\{ 1.74 \left( \frac{2\pi F}{gT_f^2} \right)^{-0.05} \left( \frac{D}{F} \right)^{0.2} \tanh \left[ 1.02 \left( \frac{2\pi F}{gT_f^2} \right)^{-0.04} \left( \frac{D}{F} \right)^{0.32} \right] \right\} \quad (3-7)$$

式中  $H_f$  與  $T_f$  及  $H_d$  與  $T_d$  分別為風浪及湧浪對應之波高與週期， $F$  表風浪成為湧浪前之風域長， $D$  為湧浪進行之減衰距離，當風浪一旦變成湧浪後，則假設其不再受風之影響。

#### 4. 波浪之能量傳遞速度

當波浪隨風向進行或轉變成湧浪後，其能量傳遞速度均以波浪群速度表示之。

#### 5. 氣象條件與風速之關係

颱風風速由兩種風速分量合成

$$\vec{u} = \vec{u}_1 + \vec{u}_2 \quad (3-8)$$

其中， $\vec{u}_1$  為低氣壓及地球自轉角速度所引起之風速， $\vec{u}_2$  則為颱風移動時帶動其周圍氣流所產生之風速， $\vec{u}_1$  及  $\vec{u}_2$  之大小可由式(3-9)和(3-10)計算

$$u_1 = c_1 \sqrt{\frac{\Delta P r_0}{\rho_a r} e^{-\frac{r_0}{r}} + \left(\frac{fr}{2}\right)^2} - \frac{fr}{2} \quad (3-9)$$

$$u_2 = c_2 \frac{\sqrt{\frac{\Delta P r_0}{\rho_a r} e^{-\frac{r_0}{r}} + \left(\frac{fr}{2}\right)^2} - \frac{fr}{2}}{\sqrt{\frac{\Delta P}{\rho_a e} + \left(\frac{fr_0}{2}\right)^2} - \frac{fr_0}{2}} \quad (3-10)$$

式中  $\rho_a$  為空氣密度； $r_0$  為最大風速半徑； $r$  為求風速位置點與颱風中心之距離； $f$  為 Coriolis 係數  $= 2\omega \sin \varphi$ ； $\omega$  為地球自轉角速度； $\varphi$  為計算點之緯度； $c_1$  為地面風速與傾度風速之比值，在臺灣地區風向與等壓線約成  $30^\circ$  且反時針向內吹，一般  $c_1=0.6\sim 0.65$ ； $c_2$  為 0.7； $\vec{u}_2$  為方向同颱風之移動風向； $\Delta P$  為氣壓深度或颱風中心氣壓  $P_c$  與外圍氣壓  $P(r)$  之差值，可由氣象雷達觀測估計或由如下之 Myers 公式計算

$$P(r) = P_c + \Delta P e^{-\frac{r_0}{r}} \quad (3-11)$$

#### 6. 模擬範圍

湯(1970)和井島(1972)採用矩型格網方式計算，模擬範圍的邊界南至北緯  $18^\circ$ 、北至北緯  $28^\circ$ 、西至東經  $116^\circ$ 、東至東經  $126^\circ$ ，地形格網的解析精度為  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  (約為  $10 \times 10$  公里)，示如圖 3.1。圖中方框為目

標推算區，該推算區大小為  $0.4^{\circ} \times 0.4^{\circ}$  (約為  $40 \times 40$  公里)，設定方式是以目標推算點為中心，東西南北各  $0.2^{\circ}$  來設定其邊界。湯(1970)和井島(1972)採用波浪追蹤法，該方法為計算所有模擬範圍內的波浪傳遞情形，當波浪傳遞至目標推算區的邊界時即記錄該波浪的大小及方向，如此重複計算至所有時刻皆完成，然此種方式受到颱風路徑的影響很大，因此並無法推算出每場颱風的波浪狀況。

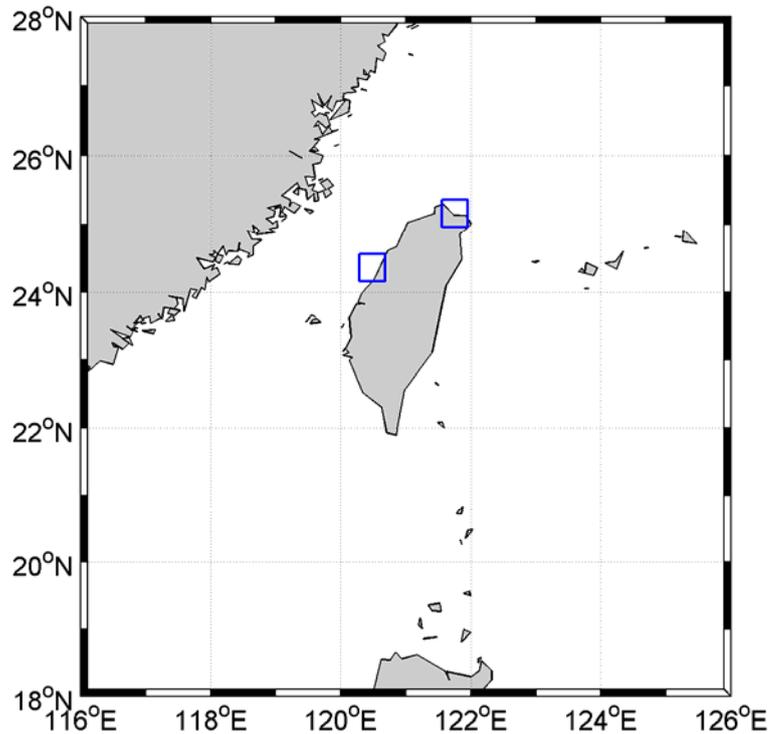


圖 3.1 湯(1970)和井島(1972)推算模式模擬範圍

### 3.2 模式推算結果

本研究以中央氣象局所公布有對臺灣造成影響的颱風輸入湯(1970)和井島(1972)的波浪推算模式進行推算，並與 2.1 節所述兼具資料完整性以及資料相關性的實測颱風波浪進行比較，臺中港颱風波浪的推算結果如表 3.1，臺中港颱風波浪推算結果如表 3.2。

表 3.1 臺中港半經驗颱風波浪推算結果

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R	$H_{obs}$ (m)
2000	啟德(KAI_TAK)	-0.89	-61	1.24	0.02	3.75
2004	敏督利(MINDULLE)	0.56	15	0.76	0.13	3.05
2004	艾利(AERE)	2.81	-18	0.94	-0.22	3.44
2004	納坦(NOCK_TEN)	-0.52	-11	1.97	0.02	4.56
2004	南瑪都(NANMADOL)	1.44	-43	1.78	0.26	3.53
2005	海棠(HAITANG)	-0.98	-13	2.04	-0.18	6.96
2005	泰利(TALIM)	-0.45	-6	1.98	-0.12	6.26
2005	龍王(LONGWANG)	0.53	-2	1.24	0.67	5.58
2006	珍珠(CHANCHU)	-1.15	-163	0.73	0.46	4.93
2006	凱米(KAEMI)	-0.38	-13	0.99	0.15	3.63
2007	聖帕(SEPAT)	-0.21	-2	1.56	0.21	5.43
2007	柯羅莎(KROSA)	-1.58	-11	1.99	0.27	6.74
2008	辛樂克(SINLAKU)	-0.92	-34	1.23	0.47	5.24
2009	莫拉克(MORAKOT)	-4.03	-17	2.21	0.09	7.78
2010	凡那比(FANAPI)	-0.25	0	1.18	0.68	5.09
2010	梅姬(MEGI)	-2.49	-44	0.13	0.78	4.83
絕對值平均		1.20	28.31	1.37	0.23	5.05

由於湯(1970)和井島(1972)的波浪推算模式會以目標範圍區的邊界所接收的各方向波浪大小及數量來做統計，故只有 23 場有被推算出結果，表 3.1 顯示臺中港 16 場颱風波浪推算結果與實測資料間的相關係數、均方根誤差、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  $\Delta t_p$ 。表中可發現 2001 至 2003 間並沒有列出颱風波浪結果的比較，其中 2001 年是因為本模式推算出有波浪的颱風恰好無實測資料可供比較，2002 及 2003 年則是因為本模式並無推算颱風造成的波浪。

表中各場颱風波浪最大波高誤差  $\Delta H_{s,p}$  以 MORAKOT(2009)相差最大，其最大波高與實測資料相差了 4.03m；相差最小的則是 SEPAT(2007)，與實測最大波高僅差 0.21m，16 場颱風波浪中模式推算最大波高與實測最大波高相差值平均為 1.20m。此外最大波高發生時間誤差  $\Delta t_p$  則以 CHANCHU (2006)相差最多，與實測最大波高發生時間差

了 163 小時；相差最小的則為 FANAPI(2010)其推算結果最大波高發生時間與實測完全符合；16 場颱風波浪推算結果與實測結果最大波高發生時間平均相差 28.31 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差最大為 MORAKOT (2009)，其值為 2.21m，最小為 MEGI(2010)的 0.13m；16 場颱風波浪平均 RMSE 為 1.37m。推算波高結果與實測波高的相關性則以 MEGI(2010)最佳，相關係數 0.78；最差為 ARER(2004)的-0.22；16 場颱風波浪與實測波高相關係數平均為 0.23。

**表 3.2 基隆港半經驗颱風波浪推算結果**

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R	$H_{obs}$ (m)
2001	奇比(CHEBI)	2.00	-4	1.28	0.26	0.96
2001	桃芝(TORAGE)	4.84	-11	3.02	0.02	1.3
2001	納莉(NARI)	0.96	0	1.50	0.79	7.43
2001	利奇馬(LEKIMA)	-2.85	-42	1.19	-0.18	4.68
2003	柯吉拉(KUJIRA)	-2.08	-234	0.67	-0.40	4.38
2003	蘇迪勒(SOUDELOR)	3.67	5	2.61	-0.65	2.19
2004	康森(CONSON)	3.35	1	2.15	0.57	2.36
2004	蘭寧(RANANIM)	2.68	-1	1.32	0.92	4.35
2004	艾利(AERE)	3.06	-6	2.16	0.52	6.82
2004	納坦(NOCKTEN)	7.92	-155	4.13	0.09	4.97
2005	海棠(HAITANG)	3.54	-12	2.57	0.41	5.8
2005	馬莎(MATSA)	-1.07	-10	1.78	0.51	7.41
2005	泰利(TALIM)	1.87	-5	2.20	0.43	5.44
2005	卡努(KHANUN)	4.68	-122	3.28	0.65	3.91
2005	龍王(LONGWANG)	5.06	-2	2.39	0.84	3.05
2007	聖帕(SEPAT)	3.19	-4	1.64	0.83	2.51
2007	柯羅莎(KROSA)	4.45	-14	4.16	0.05	7.06
2008	辛樂克(SINLAKU)	6.25	-8	3.21	0.32	4.19
2009	莫拉克(MORAKOT)	2.33	-24	2.53	-0.30	4.51
2010	凡那比(FANAPI)	2.79	-3	1.47	0.67	3.29
絕對值平均		3.43	33.15	2.26	0.32	4.33

基隆港只有 29 場有被推算出結果，表 3.2 顯示基隆港 20 場颱風波浪推算結果與實測資料間的相關係數、均方根誤差、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  $\Delta t_p$ 。表中可發現 2000、2002 及 2006 三年並沒有列出颱風波浪結果的比較，其原因為本模式推算出有波浪的颱風恰好無實測資料可供比較。

表中各場颱風波浪最大波高誤差  $\Delta H_{s,p}$  以 NOCKTEN(2004)相差最大，其最大波高與實測資料相差了 7.92m；相差最小的則是 NARI(2001)，與實測最大波高僅差 0.96m，20 場颱風波浪中模式推算最大波高與實測最大波高相差值平均為 3.43m。此外最大波高發生時間誤差  $\Delta t_p$  則以 KUJIRA (2003)相差最多，與實測最大波高發生時間差了 234 小時；相差最小的則為 NARI(2004)其推算結果最大波高發生時間與實測完全符合；20 場颱風波浪推算結果與實測結果最大波高發生時間平均相差 33.51 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差最大為 KROSA (2007)，其值為 4.16m，最小為 KUJIRA (2003)的 0.67m；20 場颱風波浪平均 RMSE 為 2.26m。推算波高結果與實測波高的相關性則以 RANANIM(2004)最佳，相關係數 0.92；最差為 SOULDELOR (2003)的-0.65；20 場颱風波浪與實測波高相關係數平均為 0.32。

## 第四章 季節性統計分析方法-月極值統計特性

極值統計分析應用於海洋工程時，一般採用年最大法，假設每一年的極值波高為符合某種分佈的隨機變量，取每年發生的最大波高進行分析。但實際海洋的波浪，常因受到具有季節性變化的氣象、洋流等外在因素的影響，一年中每個月的極值波浪會顯現出具有週期性變化的特性，而並非完全為隨機的過程。

### 4.1 極值統計理論

於本章中簡單介紹極值統計的相關理論，包括資料的選取方式，極值分佈函數的種類，極值分佈函數中的參數推估方法。最後介紹檢定樣本的統計特性，判定是否適用於所選定的極值分佈函數與參數推定。

### 4.2 極值分布函數

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

1.極值 I 型分布(FT- I 型分布，又稱 Gumbel 分布)

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{x-B}{A}}}, -\infty < x < \infty \quad (4-1a)$$

$$f(x) = \frac{1}{A} e^{-\frac{x-B}{A}} e^{-\frac{x-B}{A}} \quad (4-1b)$$

2.通用極值分佈(generalized extreme value, GEV)

$$F(x) = e^{-\left(1+k\frac{x-B}{A}\right)^{\frac{1}{k}}}, B - A/k \leq x < \infty \quad (4-2a)$$

$$f(x) = \frac{1}{A} \left(1+k\frac{x-B}{A}\right)^{-\left(1+\frac{1}{k}\right)} e^{-\left(1+k\frac{x-B}{A}\right)^{\frac{1}{k}}} \quad (4-2b)$$

### 3. Weibull 分佈

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k}, \quad B \leq x < \infty \quad (4-3a)$$

$$f(x) = \frac{k}{A} \left(\frac{x-B}{A}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k} \quad (4-3b)$$

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

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

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

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

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

式(4-1)至式(4-4)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)與樣本標準偏差(standard deviation)有關， $k$  為形狀常數，決定機率函數之尖扁形狀。當式(4-2)之通用極值分布函數之  $k$  為正時，通用極值分布轉為極值 II 型分布，當通用極值分布函數之  $k$  為負時，通用極值分布轉為極值 III 型分布。

### 4.3 極值分布參數推定

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。

### 4.3.1 MOM 推定法

若已選出之分布函數後依統計可計算出其統計量，如平均值，標準偏差及眾數(mode)與函數內之參數有關，如表 4.1 所示。樣本無偏態推算值也可獲得平均值及標準偏差，依表 4.1 之統計量則可算出函數之參數。

表 4.1 各極值分佈相關統計量之特性

分佈函數	眾數	平均值	標準偏差
Gumbel	$B$	$B + A\gamma$	$\pi A/\sqrt{6}$
GEV	$B + \frac{A}{k} \left[ \left( \frac{k}{1+k} \right)^k - 1 \right]$	$B + \frac{A}{k} [\Gamma(1-k) - 1]$	$\frac{A}{k} [\Gamma(1-2k) - \Gamma^2(1-k)]^{1/2}$
Weibull 分佈	$B + A \left( 1 - \frac{1}{k} \right)^{1/k}, k > 1$	$B + A \Gamma \left( 1 + \frac{1}{k} \right)$	$A \left[ \Gamma \left( 1 + \frac{2}{k} \right) - \Gamma^2 \left( 1 + \frac{1}{k} \right) \right]^{1/2}$
Lognormal	$e^{B-A^2}$	$e^{\left( B + \frac{A^2}{2} \right)}$	$e^{\left( B + \frac{A^2}{2} \right)} \left( e^{A^2} - 1 \right)^{1/2}$

表 4.1 中， $\Gamma(\cdot)$  為 Gamma 函數， $\gamma$  為 Euler 數， $\gamma = 0.5772\dots$ 。

### 4.3.2 MLE 推定法

最大概似法乃選擇機率密度函數或對數機率密度函數為最大概似函數(likelihood)及對數最大概似函數(log-likelihood)，以 Gumbel 分布為例分別為

$$L(x; A, B) = \prod_{i=1}^n \frac{1}{A} e^{-\frac{x_i - B}{A}} e^{-\frac{x_i - B}{A}} \quad (4-5)$$

$$l(x; A, B) = \sum_{i=1}^n -\frac{x_i - B}{A} - e^{-\frac{x_i - B}{A}} - n \ln(A) \quad (4-6)$$

其中  $x_i$  為樣本。值若資料符合於機率密度函數中適合參數時，最大概似函數則越大；反之，資料符合於機率密度函數中不適合參數時，最

大概似函數則越小。一般選用對數最大概似函數，將式(4-6)分別對參數偏微分等於零，則可找出最佳之參數讓樣本資料使最大概似函數為最大。最大概似法之原理可詳見 Kotz and Nadarajah (2000)及 Coles (2001)。

### 4.3.3 LSM 推定法

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

$$F_m = 1 - \frac{m - \alpha}{N + \beta}, \quad m = 1, 2, \dots, N \quad (4-7)$$

$\alpha$  及  $\beta$  值在不同分布函數其值不同如下所示(Goda, 2000)。

表 4.2 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

由上述可知，推算重現期值之精準與 (1)樣本來源，(2)機率分布的函數，(3)參數推定方法等有關。

## 4.4 信賴檢定

### 4.4.1 MIR 值檢定:

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

各極值分布函數之排序機率下之推算值  $x_m$  如下公式

$$x_m = ay_m + b \quad (4-8)$$

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

$$\text{Gumbel : } y_m = -\ln(-\ln F_m) \quad (4-9a)$$

$$\text{GEV : } y_m = \frac{1}{k} [(-\ln F_m)^{-k} - 1] \quad (4-9b)$$

$$\text{Weibull : } y_m = [-\ln(1 - F_m)]^{1/k} \quad (4-9c)$$

$$\text{Lognormal : } y_m = \text{inverf}(F_m) \quad (4-9d)$$

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

$$\Delta \bar{r} = e^{\bar{a} + \bar{b} \ln N + \bar{c} (\ln N)^2} \quad (4-10)$$

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 4.3。

表 4.3 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

#### 4.4.2 RMSE 檢定:

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

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - x_m)^2} \quad (4-11)$$

其中  $x_m$  為推估各排序機率下之波高。

#### 4.4.3 ER 檢定:

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

$$ER = |x_{MAX} - (x_{MAX})_m| \quad (4-12)$$

### 4.5 推估值之標準偏差

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。

#### 4.5.1 Goda(2000)方法:

Gumbel 分佈之估算值之標準偏差量為

$$\sigma(x_R) = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[ 1 + 0.885(y_R - \gamma) + 0.6687(y_R - \gamma)^2 \right]^{1/2} \sigma_x \quad (4-13)$$

式(4-13)中  $\sigma_x$  為樣本  $x$  之標準偏差， $y_R$  為重現期之基準化變量，即式(4-10)， $x_R$  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偏差  $\sigma_z$  乘以樣本  $x$  之標準偏差  $\sigma_x$ ，當做推算偏差量

$$\sigma(x_R) = \sigma_x \cdot \sigma_z \quad (5-14)$$

Gumbel、GEV 及 Weibull 分佈之標準偏差  $\sigma_z$  為：

$$\sigma_z = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[ 1.0 + \hat{A}(y_R - c)^2 \right]^{1/2} \quad (4-15)$$

而  $\hat{A}$  值在 Gumbel 及 Weibull 分佈為：

$$\hat{A} = a_1 e^{a_2 N^{-1.3}} \quad (4-16a)$$

但 GEV 及 FT-II 之  $\hat{A}$  值可表為

$$\hat{A} = a_1 e^{a_2 \left[ \ln\left(\frac{N}{N_0}\right) \right]^2 - \kappa \left[ \ln\left(\frac{1}{v_0}\right) \right]^2} \quad (4-16b)$$

式(4-15)至式(4-16)中之係數如所示

表 4.4 重現期推算量之標準偏差公式中之係數

分佈函數	$a_1$	$a_2$	$\kappa$	$c$	$N_0$	$v_0$
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		

至於對數常態函數之  $\sigma_z$  則為：

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

#### 4.5.2 MLE 方法：

MLE 推估估算值之標準偏差量時需先計算一個資訊矩陣 (information matrix)，以 Gumbel 分佈為例其定義為

$$IE = \begin{bmatrix} -\frac{\partial^2 l}{\partial A^2} & -\frac{\partial^2 l}{\partial A \partial B} \\ -\frac{\partial^2 l}{\partial A \partial B} & -\frac{\partial^2 l}{\partial B^2} \end{bmatrix} \quad (4-18)$$

變異與共變異矩陣  $V$  (variance-covariance matrix) 為資訊矩陣之反矩陣。而重現期之推估值可表為

$$x_R = B - A \ln(F_R) \quad (4-19)$$

其中  $F_R = 1 - 1/T$ ， $T$  為重現期。因分佈函數內參數之變化率則為

$$\nabla x_R = \left[ \frac{\partial x_R}{\partial A}, \frac{\partial x_R}{\partial B} \right] = [-\ln F_R, 1] \quad (4-20)$$

估算值之變異數則為

$$Var(x_R) = \nabla x_R V (\nabla x_R)^T \quad (4-21)$$

將式(4-21)取開根號則為估算值之標準偏差量。此推導原理可詳見 Coles (2001)。

## 4.6 資料分析

本章說明資料分析的相關處理，先介紹遺漏資料補齊方法，再利用箱型圖分析檢驗資料是否含有異常雜訊，以建立分析樣本，最後介紹由樣本推估重現期極值波高的方法。

### 4.6.1 資料選取及補遺

本文分析的波浪觀測資料為本所港研中心於臺中港與基隆港海象觀測站每隔一個小時記錄一筆波高與週期資料。分別以月與年為單位時間間隔，將單位時間間隔內的波高資料由大至小的順序排列後，選取每個單位時間間隔內的最大波高（即一月選一筆月最大波高及一年選一筆年最大波高），做為分析極值波高的樣本資料。

當有某月份缺乏整個月的觀測資料，為保持整體資料的完整性並考慮資料的平均趨勢，本文將波浪資料以年為單位，若當年只缺一個

月份的極值波高時，取該年其他月份極值波高的平均值做為該月的極值波高；若當年內缺兩個月份的極值波高時，則先判別該月是否有颱風來襲，再分別取該年發生颱風月份極值波高的平均值或未發生颱風月份極值波高的平均值，做為該月的極值波高。

#### 4.6.2 箱型圖分析決定取樣資料

利用儀器蒐集現場資料的過程中，常因電壓的不穩定或其它不明原因而產生異常的雜訊，本文分析的對象為極值資料，極易和異常雜訊混淆不清，因此必需進一步檢定資料的合理性。本文引用統計學上的箱型圖（Box Plot）理論進行資料之篩分，並佐以當地的海象資料以研判資料的合理性。箱型圖架構如圖 4.1 所示

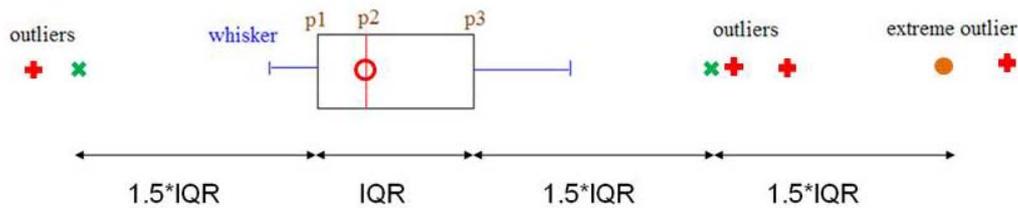


圖 4.1 箱型圖架構示意圖

圖 4.1 顯示，三個四分位數(即圖上 p1、p2、p3 點位值)構成箱型結構，組成箱型圖主體。其箱型之長度為 p3-p1 的值，稱為分位數間隔（interquartile range, IQR）。

進行箱型圖檢定時，首先將所有資料從小至大排序，之後判定四分位數值。

$$I_i = N * i / 4, \quad i=1,2,3,4 \quad (4-22)$$

式(4-22)中，N 為總資料個數。I<sub>i</sub> 為排序資料中第 i 個四分位數的位置，p<sub>i</sub> 為該位置處的資料值，稱之為第 i 個四分位數。估算第一四分位數 (p1) 與第三四分位數 (p3) 時，分別取 i=1、3，即排序為第 25% 與 75% 位置處的資料值，用以描述資料之離散程度；估算第二四分位數 (p2) 時，取 i=2，為排序第 50% 處的資料值，描述資料的中位數，

若中位數偏左代表多數樣本數據偏小；反之，若中位數偏右代表多數樣本數據偏大。由式(4-22)中計算出四分位數，繪出箱型主體後，須判定大於 75%與小於 25%的極值波高，以 1.5 倍與 3 倍的 IQR 分別定義為雜訊 (outlier) 與極端雜訊 (extreme outlier) 之界線，以符號x及●表示之。另外樣本之範圍則以觸鬚 (whisker) 表示之，觸鬚範圍為箱型外向兩側延伸至樣本不大於 1.5 倍 IQR 之最大值及最小值；若樣本最大值或最小值超過觸鬚範圍時，則以十字表示。若樣本最大值介於 1.5 倍與 3 倍 IQR 資料間，即雜訊，而樣本最大值大於 3 倍 IQR 時，稱為極端雜訊。將每月最大波高資料代入箱型圖分析，篩分出屬於極值雜訊的波高及其發生時間，其過程詳見圖 4.2 流程圖。

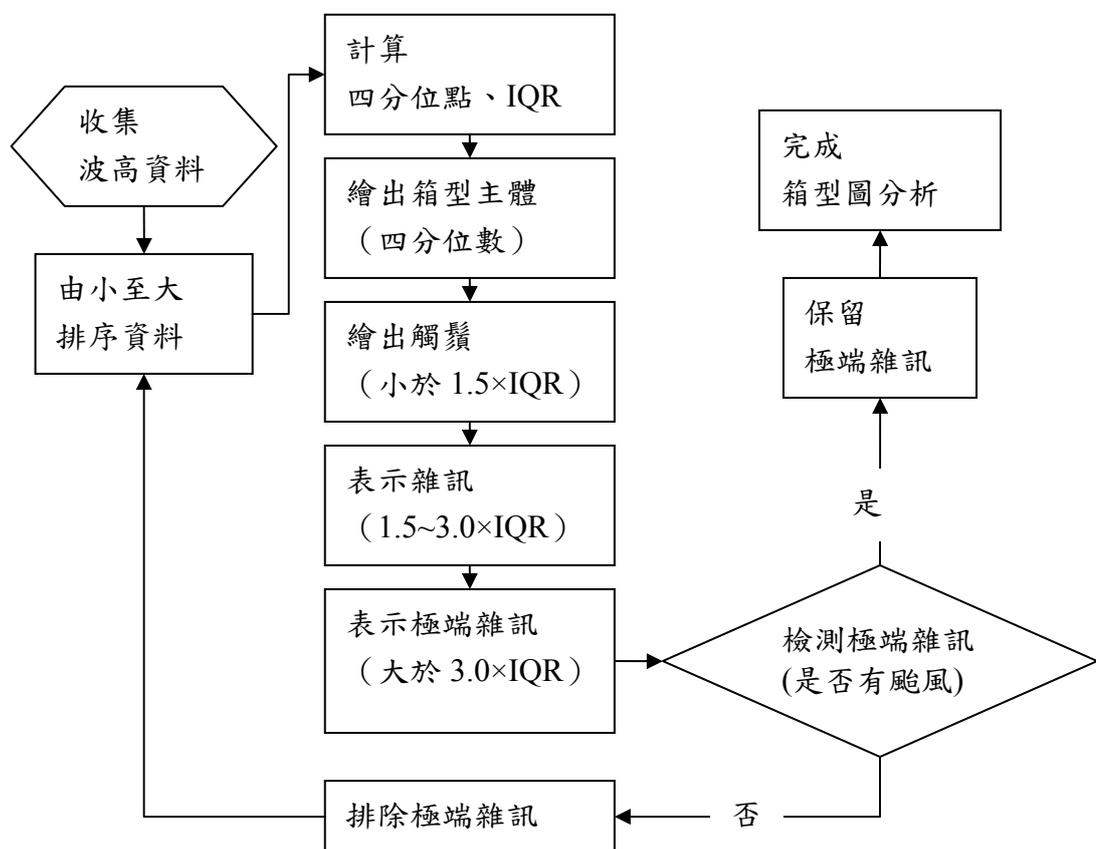


圖 4.2 箱型圖分析流程圖

圖 4.3 所示為臺中港 2000 至 2010 年各月極值波高的箱型圖。圖中符號說明如圖 4.1 所示。由圖 4.3 與表 4.5 可知，臺中港各月最大波高

除了一月、二月及十一月外，其餘月份皆有超過雜訊上界限值，因此除了颱風時所發生的之極值波高，均屬於雜訊波高。

表 4.5 臺中港 2000-2010 年每月波高之箱型圖分析表 (單位：m)

月份	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
第一四分位數	1.58	1.10	0.87	0.58	0.54	0.50	0.52	0.52	0.79	1.54	1.24	1.46
中位數	2.18	1.99	1.71	1.15	0.85	0.75	0.69	0.75	1.25	2.12	2.09	2.11
第三四分位數	2.74	2.91	2.59	1.83	1.30	1.01	0.95	1.12	1.86	2.76	2.77	2.73
IQR	1.16	1.81	1.72	1.25	0.76	0.51	0.43	0.60	1.07	1.22	1.53	1.27
1.5*IQR	1.74	2.72	2.58	1.88	1.14	0.77	0.65	0.90	1.61	1.83	2.30	1.91
3*IQR	3.48	5.43	5.16	3.75	2.28	1.53	1.29	1.80	3.21	3.66	4.59	3.81
觸鬚上界限	4.48	5.63	5.17	3.71	2.44	1.78	1.60	2.02	3.47	4.59	5.07	4.64
雜訊上界限	6.22	8.34	7.75	5.58	3.58	2.54	2.24	2.92	5.07	6.42	7.36	6.54

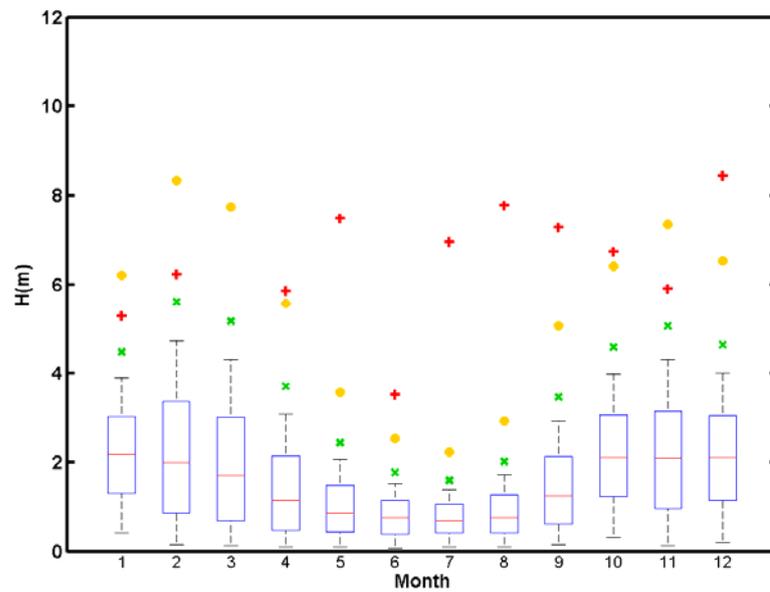


圖 4.3 臺中港 2000-2010 年極值波高箱型圖

以月最大法選取的臺中港每月最大波高資料如表 4.6 所示。經由箱型圖分析後，通常會將極端雜訊的樣本資料捨棄，但因本文探討對象為極端值波高，篩分出的極端雜訊可能是當地的異常氣象所造成，不能冒然捨棄極端雜訊的樣本資料。因此引用中央氣象局所提供的颱風資料，與發生極端雜訊波高的時間點做進一步之比對，以決定極端雜訊波高的取捨。

表 4.6 臺中港每月最大波高資料表 (單位:m)

月份 年代	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
2000	4.52	4.79	3.76	2.58	3.39	2.76	3.75	3.97	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	-	-	-	-	-	-	-	1.83	3.3	4.06	5.92	4.28
2004	3.5	4.68	5.28	4.14	7.5	3.34	3.05	3.44	3.96	4.56	4.74	4.07
2005	4.71	6.24	6.91	3.23	2.93	2.15	6.96	5.8	6.26	6.26	4.46	-
2006	4.66	4.88	3.74	2.81	4.93	1.98	4.72	3.02	4.86	3.69	3.42	4.08
2007	5.21	4.79	5.63	5.86	3.48	3.52	3.23	5.43	4.62	6.74	-	-
2008	5.28	5.02	14.49	3.75	3.87	1.62	6.24	2.02	7.29	-	-	-
2009	-	-	-	-	-	2.76	1.72	7.78	3.32	4.35	5.36	3.73
2010	4.07	3.78	4.58	4.28	2.49	2.92	1.83	2.99	5.09	6.25	4.34	8.44

表 4.6 中灰底色的部分代表未通過箱型圖檢定的月最大值。其中尤其在 3 月至 5 月及 12 月的部分，由於非颱風等異常氣候會發生的季節，故此類超過極端雜訊範圍的值可考慮予以排除，而 6 月至 10 月須考量是否為颱風所造成的極端波浪來判定是否保留。依中央氣象局提供的歷年颱風資訊，表中 2005、2006 及 2008 年的 7 月份極端雜訊分別是受到 HAITANG(2005)、BILIS(2006)及 FONGWONG(2008)的影響所造成。而 2007 與 2009 年 8 月的極端雜訊則是由於 SEPAT(2007)與 MORAKOT(2009)所造成的影響。2005、2008 及 2010 年的 9 月極端雜訊是分別由 TALIM(2005)、JANGMI(2008)及 FANAPI(2010)所造成的，另外 2007 的 10 月極端雜訊則是由 KROSA(2007)所造成。以上颱風所造成的雜訊將予以保留，示如表 4.6 中灰底色白色值的部分，其餘有問題的極端雜訊則視狀況排除後重新經箱型圖檢定。但若極端訊前後資料正常，且其特性不是單一瞬時突波的波高，其波高變化不像是儀器

問題或是現場遭受干擾所造成，本研究將其保留，至於其生成原因須採用原始測量資料進行分析探討。由於表中有許多資料缺漏的月份，為保持後續分析的合理性本研究選用較完整的 2004 年至 2010 年作月極值統計分析，在此範圍內若資料不齊即採用前後兩年該月資料進行內插的結果。

圖 4.4 所示為基隆港 2002 至 2010 年各月極值波高的箱型圖。圖中符號說明如圖 4.1 所示。由圖 4.4 與表 4.7 可知，基隆港各月最大波高每個月份皆有超過雜訊上界限值，除了颱風所造成的大波高，其餘雜訊波高階需要進行檢視。

**表 4.7 基隆港 2002-2010 年每月波高之箱型圖分析表（單位：m）**

月份	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
第一四分位數	1.03	0.83	0.65	0.54	0.42	0.32	0.27	0.30	0.59	0.96	0.94	1.02
中位數	1.72	1.50	1.10	0.84	0.63	0.46	0.36	0.44	0.91	1.41	1.56	1.61
第三四分位數	2.37	2.28	1.76	1.33	0.91	0.78	0.50	0.75	1.37	1.96	2.28	2.31
IQR	1.34	1.45	1.11	0.79	0.49	0.46	0.23	0.45	0.78	1.00	1.34	1.29
1.5*IQR	2.01	2.18	1.67	1.19	0.74	0.69	0.35	0.68	1.17	1.50	2.01	1.94
3*IQR	4.02	4.35	3.33	2.37	1.47	1.38	0.69	1.35	2.34	3.00	4.02	3.87
觸鬚上界限	4.38	4.46	3.43	2.52	1.65	1.47	0.85	1.43	2.54	3.46	4.29	4.25
雜訊上界限	6.39	6.63	5.09	3.70	2.38	2.16	1.19	2.10	3.71	4.96	6.30	6.18

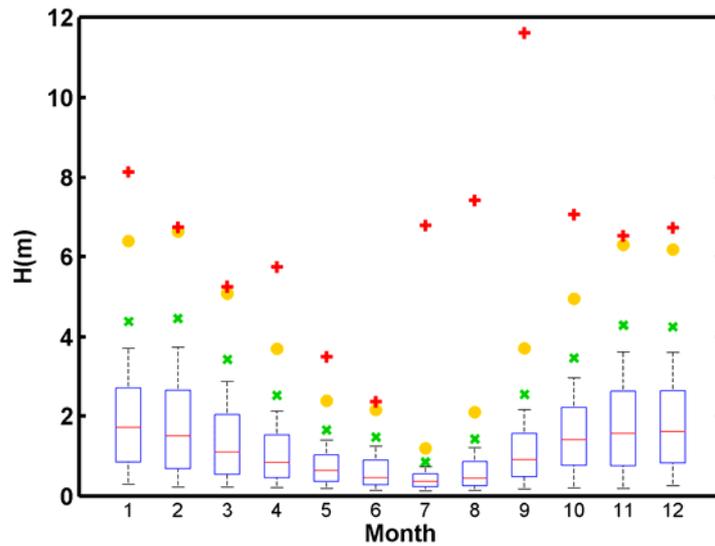


圖 4.4 基隆港 2002-2010 年極值波高箱型圖

表 4.8 基隆港每月最大波高資料表 (單位:m)

月份 年代	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
2002	4.42	3.28	4.73	4.06	2.8	1.67	6.78	2.67	11.35	3.75	4.69	3.38
2003	4.1	4.49	4.51	4.38	2.43	2.19	4.11	1.67	4.2	4.24	4.75	5.2
2004	3.78	5.69	4.29	5.74	3.49	2.36	1.43	6.82	4.54	4.97	4.62	4.66
2005	4.11	5.6	5.01	2.46	3.03	1.5	5.8	7.41	4.87	4.62	4.54	6.17
2006	8.14	6.74	5.25	4.76	1.73	1.3	3.84	1.69	4.67	2.85	2.95	3.72
2007	3.29	2.22	0.75	4.09	1.32	1.1	1.89	2.51	4.22	7.06	6.52	3.48
2008	4.15	4.29	3.11	3.02	2.78	1.21	3.19	1.16	4.78	2.59	4.82	5.76
2009	4.63	3.54	4.05	2.94	1.9	1.72	1.54	4.51	2.17	3.76	5.17	4.12
2010	4.83	3.89	4.09	3.85	1.69	2.29	0.88	1.77	3.29	6.1	3.24	6.72

表 4.8 中灰底色的部分代表未通過箱型圖檢定的月最大值。其中尤其在 1 月至 6 月及 12 月的部分，由於非颱風等異常氣候會發生的季節，故此類超過極端雜訊範圍的值將視狀況予以排除，其首先須考量的狀況為儀器量測的問題，若該月份出現該極端雜訊後隨即沒有資料，或此雜訊為瞬時突波等狀況就予以刪除。7 月至 11 月須考量是否為颱風所造成的極端波浪來判定是否保留。依中央氣象局提供的歷年颱風資訊比對極端雜訊發生時間發現，表中七月份有受到

RAMMASUN(2002)、HAITANG(2005)及 FUNGWONG(2008)的影響所造成。而八月份有 AERE(2004)、MATSA(2005)、SEPAT(2007)與 MORAKOT(2009)所造成的影響。九月份分別由 SINLAKU(2002)、TALIM(2005)、SHANSHAN(2006)、JANGMI(2008)所造成的影響，10月即11月分別受到 KROSA(2007)與 MITAG(2007)影響。以上颱風所造成的雜訊將予以保留，示如表 4.8 中灰底色白色值的部分，其餘極端雜訊則視狀況予以排除。由於表中有許多資料缺漏的月份，為保持後續分析的合理性本研究選用較完整的 2002 年至 2010 年作月極值統計分析，在此範圍內若資料不齊即採用前後兩年該月資料進行內插的結果。

#### 4.6.3 重現期的極值波高估算

利用前節所述之參數推定法推得不同分佈時的尺度參數及位置參數後，可推估各重現期的極值波高。將欲求的重現期年值  $T$ ，以年為單位，代入式(4-23)中可計算  $T$  年重現期的可靠度累積機率  $F_T$

$$F_T = 1 - 1/T \quad (4-23)$$

將  $F_T$  取代式(4-9)中的  $F_m$ ，可計算得  $T$  年重現期的基準化變量  $y_T$ 。將尺度參數設為斜率、位置參數設為截距與  $T$  年重現期基準化變量代入式(4-8)，可得  $T$  年重現期的極值波高  $x_T$ 。圖 4.5 所示為估算  $T$  年重現期之極值波高流程圖。

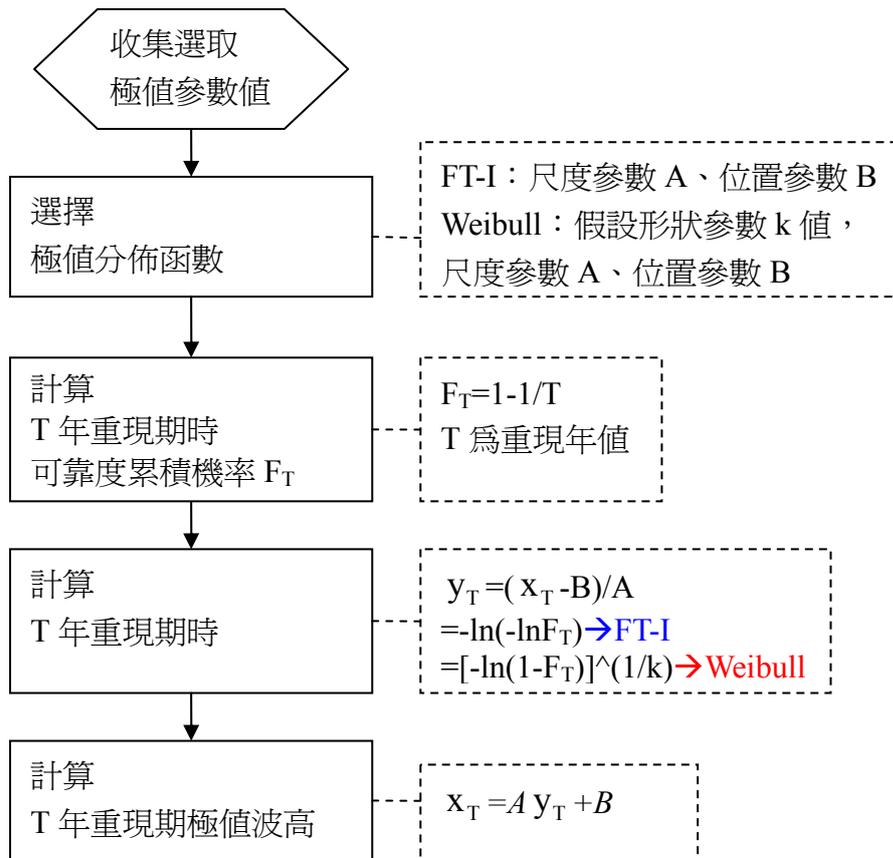


圖 4.5 T 年重現期極值波高之估算流程示意圖

## 4.7 分析結果

利用臺中港 2004 至 2010 年之波高進行月極值統計分析，考量不同極值分布函數的適用性，並推算出各重現期的波高值，由表 4.9 至表 4.20 及圖 4.6 至圖 4.17 之檢定指標顯示，MIR 值在 LSM 及 MLE 兩種推估法中各函數所得到之數值幾乎相近，而從 RMSE 值顯示，LSM 推估法所推估出來的各極值函數下之波高與樣本間之 RMSE 較 MLE 推估法低，因此極值推估法以 LSM 推估臺中港較佳，表中灰底色代表較佳的檢定結果。另外機率分布函數從各檢定指標而論，臺中港總共 7 年的資料中各月份波高除了 2 月為 FT-1 誤差較小，6 月為 Weibull 分布誤差較小，3 月及 11 月為 GEV 較佳，其餘月份皆以 LogN 函數誤差較小，整體而言，Weibull 函數在部分月份有較好表現但其推算結果的標準偏差過大，使得 95%信賴區間過大而無意義。LogN 各月份的表現都與最佳函數相近，且其所估算出來的波高標準偏差都較低，所以除了上述最佳極值函數外，基本上臺中港亦可採用 LogN 極值函數來推估各回歸期的設計波高。

選用各月份適合分布後，所推算波高與樣本間之 RMSE 值為 0.07-0.50m 之間。若推估重現期為  $T=10$ 、25、50 及 100 年之各極值分布函數之波高( $x_R$ )及其推算標準偏差( $\sigma$ )顯示，各月份以推估標準偏差最小的極值函數作為標準的情況下，臺中港除 5、6 及 10 月以 GEV 極值函數可獲得最小的標準偏差，各月份皆以 LogN 極值函數值所推估出來的最適合分布擁有適當之標準偏差，可視應用狀況選取上述最佳極值函數或考量最適當的標準偏差選用 LogN 與 GEV 極值函數。在此採用標準偏差所評估出來的最佳極值函數推算 50 年重現期之波高，若在 95%信賴度情況下，推算各月份波高值分別為一月 5.28m 至 7.00m、二月 5.04m 至 8.64m、三月 4.88m 至 10.88m、四月 5.00m 至 7.32m、五月 3.62m 至 4.80m、六月 2.46m 至 6.30m、七月 8.75m 至 14.43m、八月 8.21m 至 13.81m、九月 6.95m 至 10.63m、十月 4.46 m 至 9.89m、十一月 4.46m 至 6.46m 及十二月 4.45m 至 6.89m。

表 4.9 推估 1 月臺中港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR( $m$ )		1.66	1.41	1.08	-	1.66	1.41	1.07	-
RMSE( $m$ )		0.22	0.20	0.18	-	0.25	0.32	0.18	-
Xe ( $m$ )		0.35	0.31	0.20	-	0.21	0.73	0.23	-
$x_R(m)$	10	5.43	5.43	5.48	-	5.62	5.24	5.45	-
	25	5.90	5.81	5.87	-	6.18	5.47	5.83	-
	50	6.25	6.06	6.14	-	6.61	5.63	6.09	-
	100	6.59	6.29	6.40	-	7.02	5.77	6.33	-
$\sigma (m)$	10	0.49	0.61	0.33	-	0.39	0.41	0.45	-
	25	0.66	0.76	0.39	-	0.49	0.48	0.59	-
	50	0.79	0.85	0.44	-	0.56	0.54	0.69	-
	100	0.93	0.94	0.48	-	0.63	0.59	0.79	-

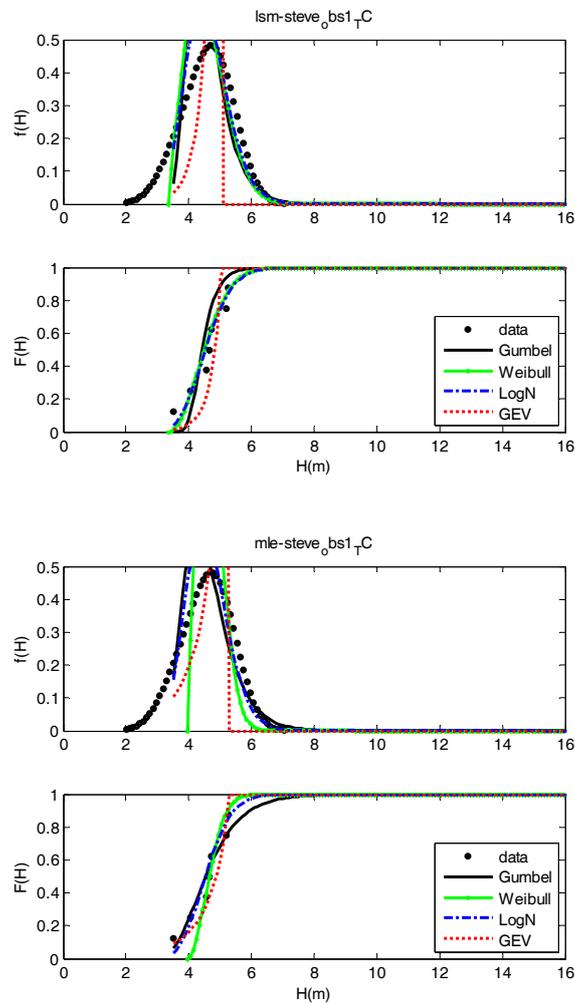


圖 4.6 推估 1 月臺中港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.10 推估 2 月臺中港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		1.61	1.83	1.83	1.62	1.61	1.83	1.83	1.62
RMSE(m)		0.25	0.28	0.26	0.27	0.25	0.28	0.26	0.27
Xe(m)		0.28	0.47	0.20	0.18	0.23	0.54	0.20	0.19
$x_R(m)$	10	5.89	5.88	5.85	5.87	5.95	5.77	5.85	5.79
	25	6.44	6.57	6.26	6.26	6.53	6.38	6.27	6.16
	50	6.84	7.09	6.54	6.50	6.95	6.84	6.55	6.39
	100	7.24	7.61	6.81	6.72	7.38	7.31	6.82	6.60
$\sigma(m)$	10	0.57	1.20	0.38	0.61	0.47	0.54	0.46	0.45
	25	0.77	1.76	0.45	0.77	0.60	0.68	0.59	0.64
	50	0.92	2.18	0.51	0.88	0.70	0.77	0.69	0.82
	100	1.07	2.60	0.56	0.97	0.80	0.85	0.78	1.03

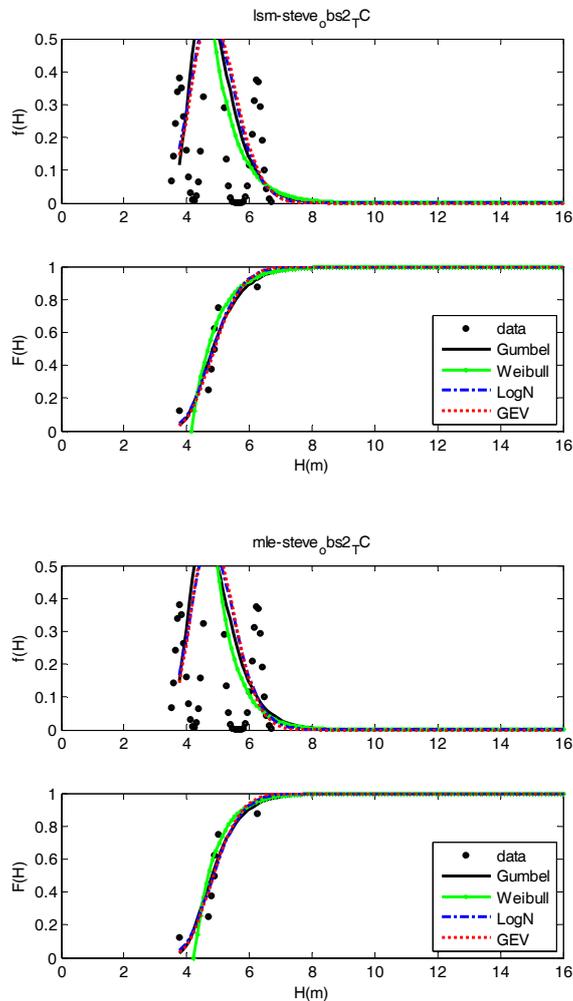


圖 4.7 推估 2 月臺中港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.11 推估 3 月臺中港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		0.13	0.20	0.22	0.16	0.13	0.20	0.23	0.16
RMSE(m)		0.14	0.13	0.13	0.12	0.15	1.01	0.16	0.18
Xe (m)		0.03	0.15	0.02	0.02	0.14	1.35	0.05	0.12
$x_R(m)$	10	6.59	6.61	6.56	6.59	6.38	6.52	6.43	6.33
	25	7.43	7.44	7.25	7.35	7.13	6.99	7.06	6.98
	50	8.05	8.03	7.74	7.88	7.68	7.32	7.51	7.43
	100	8.67	8.59	8.20	8.38	8.22	7.64	7.93	7.87
$\sigma (m)$	10	0.82	1.31	0.55	0.97	0.85	0.90	0.81	1.07
	25	1.10	1.72	0.65	1.30	1.13	1.18	1.10	1.93
	50	1.32	2.02	0.72	1.53	1.34	1.38	1.32	2.78
	100	1.53	2.30	0.79	1.75	1.55	1.57	1.55	3.80

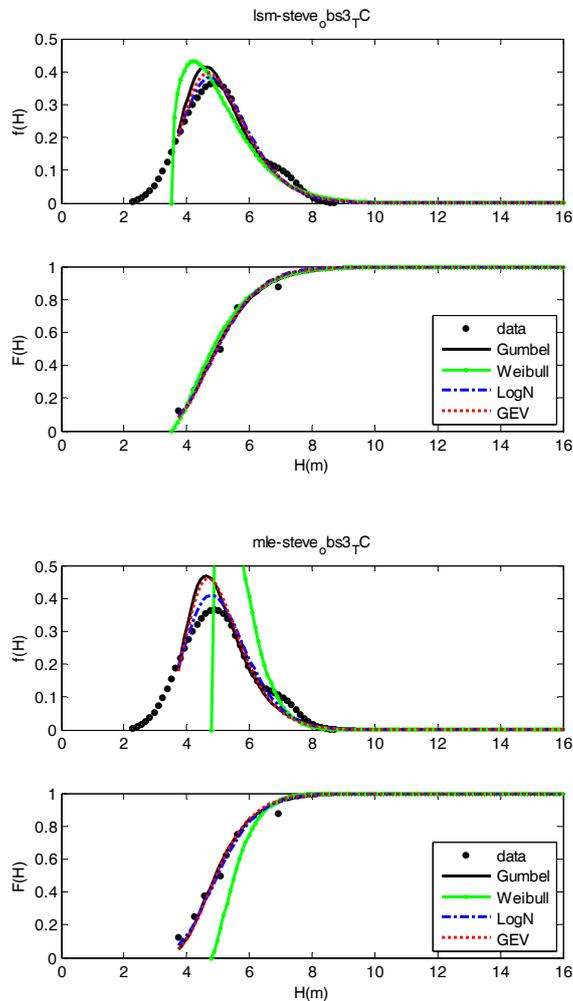


圖 4.8 推估 3 月臺中港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.12 推估 4 月臺中港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		0.47	0.53	0.47	0.45	0.40	0.53	0.48	0.45
RMSE(m)		0.16	0.17	0.16	0.16	0.16	0.20	0.17	0.19
Xe (m)		0.09	0.06	0.03	0.05	0.14	0.22	0.09	0.10
$x_R(m)$	10	5.18	5.16	5.17	5.18	5.07	5.00	5.08	4.98
	25	5.86	5.70	5.75	5.72	5.70	5.46	5.62	5.46
	50	6.36	6.05	6.16	6.09	6.17	5.76	5.99	5.78
	100	6.86	6.38	6.55	6.43	6.63	6.04	6.35	6.08
$\sigma (m)$	10	0.67	0.83	0.45	0.76	0.66	0.63	0.67	0.76
	25	0.90	1.03	0.53	0.99	0.87	0.80	0.91	1.26
	50	1.08	1.16	0.59	1.14	1.02	0.92	1.09	1.75
	100	1.26	1.28	0.65	1.29	1.18	1.03	1.28	2.31

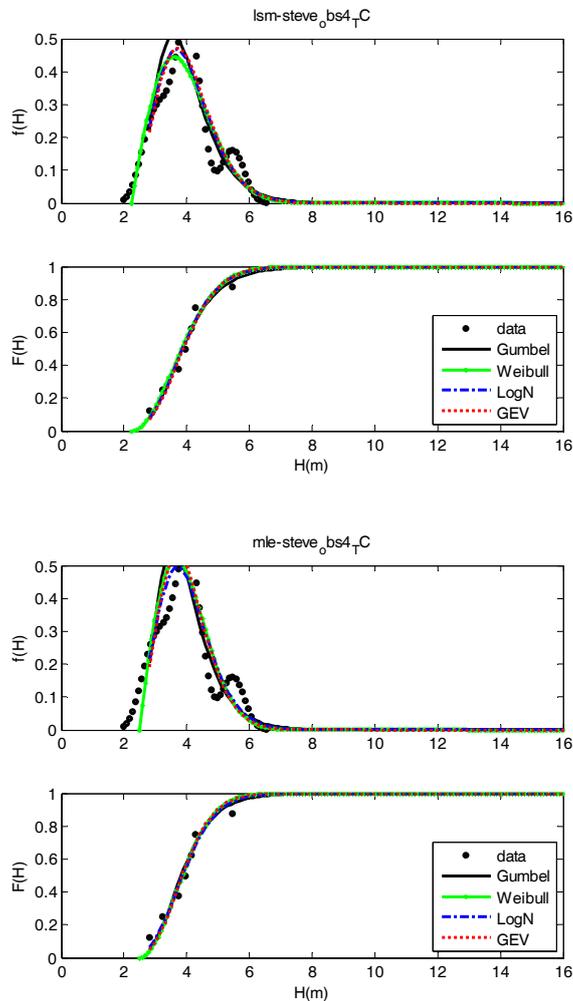


圖 4.9 推估 4 月臺中港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.13 推估 5 月臺中港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		0.77	0.52	0.38	0.91	0.77	0.52	0.37	-
RMSE(m)		0.10	0.08	0.07	0.12	0.11	0.09	0.07	-
Xe(m)		0.11	0.09	0.03	0.14	0.08	0.13	0.07	-
$x_R(m)$	10	3.74	3.74	3.75	3.57	3.76	3.67	3.71	-
	25	4.07	4.01	4.02	3.61	4.11	3.92	3.96	-
	50	4.32	4.19	4.21	3.63	4.37	4.08	4.13	-
	100	4.57	4.35	4.39	3.64	4.63	4.23	4.29	-
$\sigma(m)$	10	0.34	0.42	0.23	0.25	0.31	0.31	0.32	-
	25	0.46	0.52	0.27	0.26	0.39	0.38	0.42	-
	50	0.55	0.59	0.30	0.27	0.46	0.44	0.50	-
	100	0.64	0.65	0.33	0.28	0.52	0.48	0.57	-

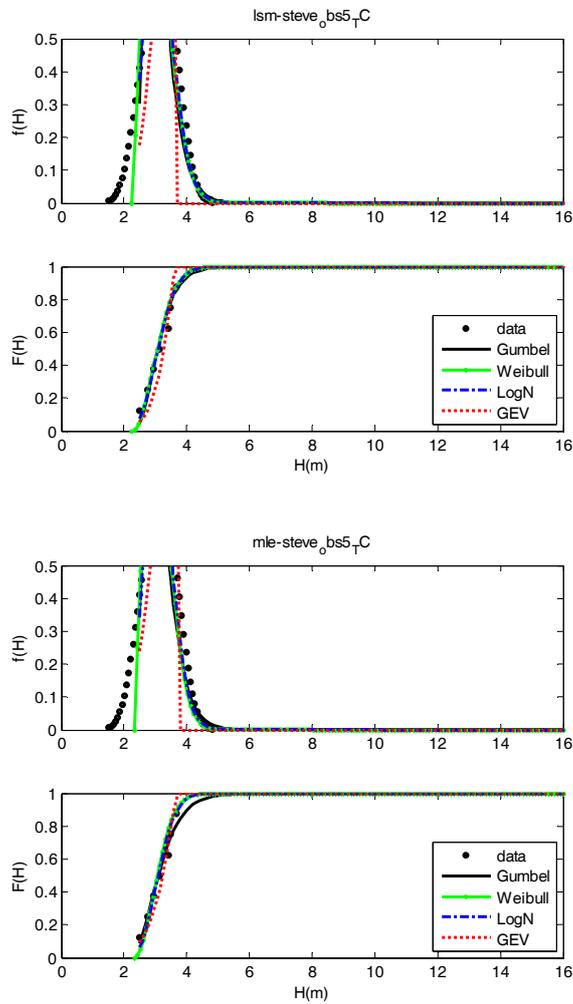


圖 4.10 推估 5 月臺中港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.14 推估 6 月臺中港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		0.85	0.59	0.72	3.27	0.85	0.59	0.69	-
RMSE(m)		0.18	0.15	0.17	0.36	0.18	0.17	0.16	-
Xe(m)		0.13	0.09	0.04	0.28	0.10	0.19	0.08	-
$x_R(m)$	10	3.63	3.64	3.73	3.08	3.63	3.52	3.65	-
	25	4.19	4.09	4.31	3.10	4.20	3.91	4.18	-
	50	4.61	4.38	4.72	3.11	4.62	4.18	4.57	-
	100	5.02	4.66	5.13	3.11	5.04	4.42	4.94	-
$\sigma(m)$	10	0.56	0.70	0.38	0.36	0.52	0.52	0.65	-
	25	0.76	0.87	0.45	0.37	0.67	0.65	0.91	-
	50	0.91	0.98	0.50	0.37	0.79	0.74	1.12	-
	100	1.06	1.08	0.55	0.37	0.90	0.83	1.35	-

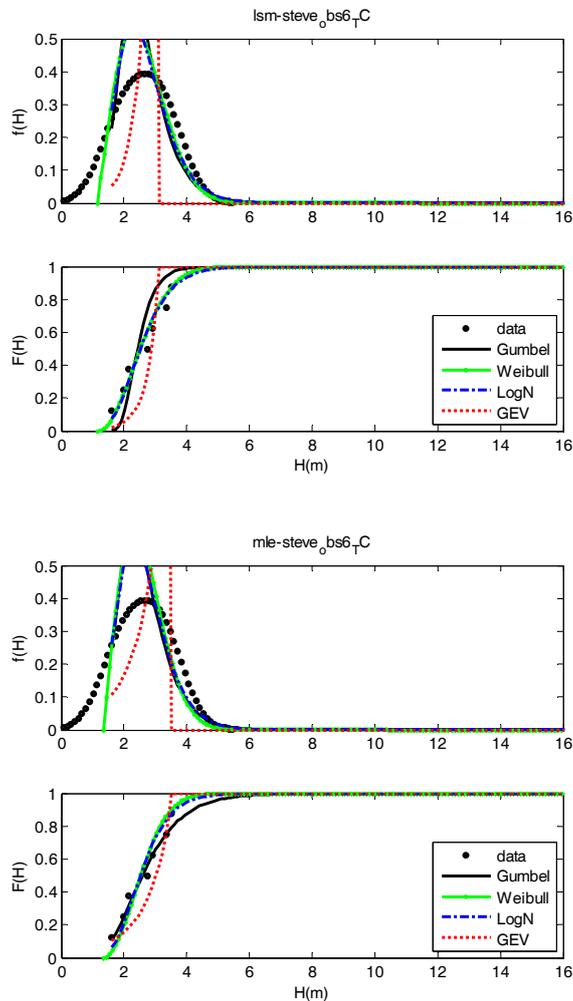


圖 4.11 推估 6 月臺中港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.15 推估 7 月臺中港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR( $m$ )		0.60	0.50	0.74	0.73	0.60	0.50	0.71	0.73
RMSE( $m$ )		0.44	0.40	0.50	0.50	0.50	0.54	0.48	0.51
Xe ( $m$ )		0.29	0.39	0.15	0.07	0.11	0.19	0.08	0.02
$x_R(m)$	10	6.95	6.94	7.38	6.85	6.52	6.46	7.11	6.68
	25	8.59	8.24	9.71	8.78	7.98	7.52	9.23	8.53
	50	9.81	9.11	11.59	10.34	9.07	8.22	10.92	10.03
	100	11.02	9.91	13.59	12.01	10.14	8.87	12.70	11.63
$\sigma (m)$	10	1.63	2.03	1.10	2.29	1.70	1.61	2.44	2.60
	25	2.20	2.51	1.30	3.32	2.26	2.08	3.91	6.32
	50	2.63	2.83	1.45	4.17	2.68	2.41	5.24	10.55
	100	3.07	3.13	1.59	5.08	3.10	2.71	6.77	16.13

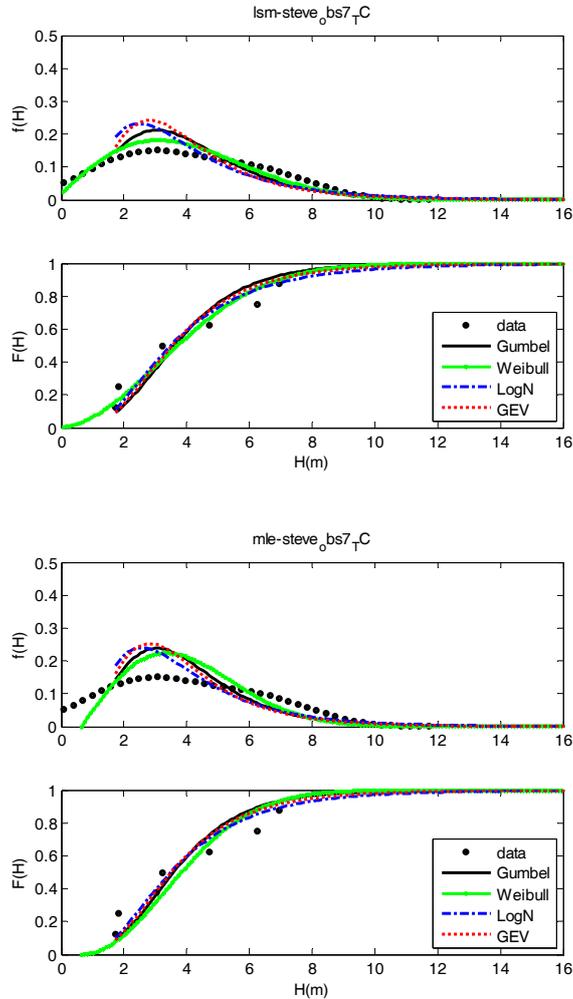


圖 4.12 推估 7 月臺中港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.16 推估 8 月臺中港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		0.45	0.40	0.43	0.50	0.45	0.40	0.42	0.50
RMSE(m)		0.38	0.36	0.37	0.41	0.48	1.70	0.39	0.42
Xe(m)		0.18	0.03	0.01	0.17	0.09	0.09	0.07	0.23
$x_R(m)$	10	7.31	7.36	7.50	7.13	6.76	6.92	7.24	7.04
	25	8.94	8.99	9.47	9.25	8.14	8.31	9.03	9.09
	50	10.15	10.14	11.02	11.07	9.17	9.28	10.41	10.85
	100	11.35	11.23	12.62	13.11	10.19	10.20	11.84	12.83
$\sigma(m)$	10	1.61	2.57	1.08	2.34	1.75	1.92	2.12	2.26
	25	2.17	3.40	1.28	3.56	2.35	2.63	3.27	4.89
	50	2.59	3.98	1.43	4.63	2.80	3.13	4.27	8.02
	100	3.02	4.54	1.57	5.84	3.26	3.62	5.40	12.36

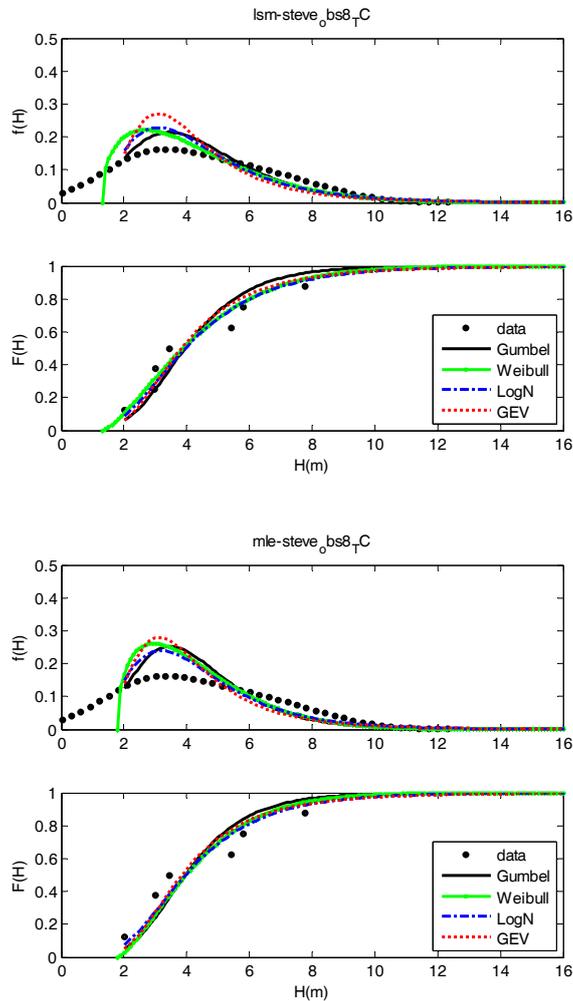


圖 4.13 推估 8 月臺中港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.17 推估 9 月臺中港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR( $m$ )		0.17	0.22	0.19	0.18	0.17	0.22	0.19	0.18
RMSE( $m$ )		0.16	0.17	0.16	0.16	0.21	0.27	0.19	0.25
Xe ( $m$ )		0.05	0.00	0.01	0.04	0.18	0.32	0.10	0.14
$x_R(m)$	10	7.04	7.02	7.06	7.04	6.78	6.71	6.89	6.70
	25	8.13	7.88	8.07	7.99	7.76	7.43	7.80	7.51
	50	8.94	8.45	8.79	8.64	8.48	7.90	8.45	8.07
	100	9.74	8.97	9.50	9.26	9.20	8.34	9.08	8.61
$\sigma (m)$	10	1.06	1.32	0.71	1.25	1.10	1.05	1.16	1.46
	25	1.43	1.63	0.85	1.64	1.46	1.35	1.62	2.70
	50	1.71	1.85	0.94	1.92	1.73	1.55	1.99	3.93
	100	2.00	2.04	1.04	2.19	2.00	1.74	2.37	5.36

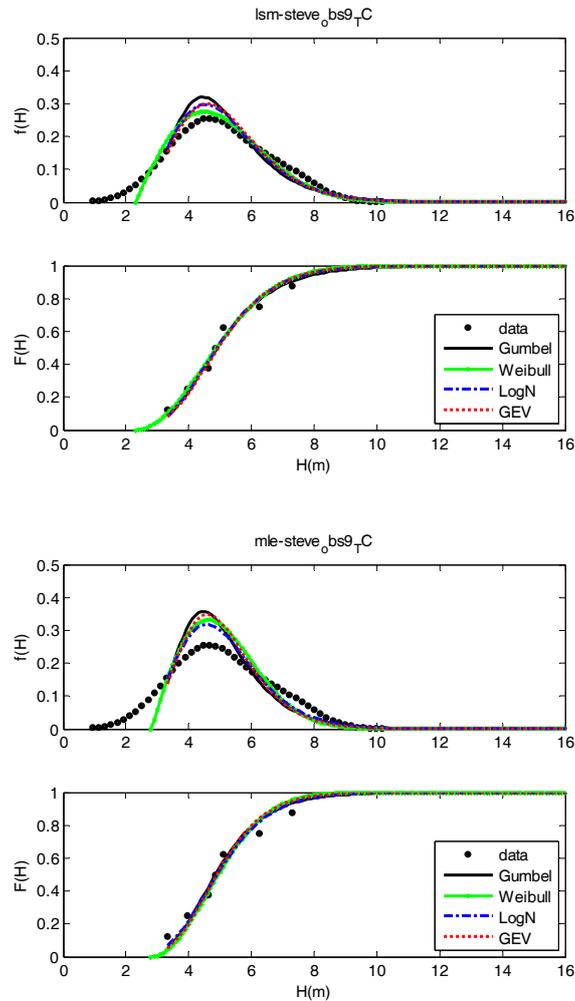


圖 4.14 推估 9 月臺中港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.18 推估 10 月臺中港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		1.38	1.23	1.24	4.22	1.38	1.23	1.24	4.22
RMSE(m)		0.38	0.35	0.36	0.66	0.39	0.38	0.36	1.53
Xe (m)		0.12	0.06	0.00	0.46	0.12	0.27	0.03	3.86
$x_R(m)$	10	6.85	6.85	6.89	5.97	6.75	6.66	6.83	6.62
	25	7.75	7.57	7.69	6.00	7.62	7.29	7.60	6.70
	50	8.42	8.05	8.26	6.01	8.27	7.71	8.15	6.72
	100	9.09	8.49	8.81	6.02	8.92	8.09	8.67	6.73
$\sigma$ (m)	10	0.93	1.16	0.63	0.60	0.88	0.84	0.90	0.76
	25	1.26	1.43	0.74	0.62	1.15	1.06	1.22	0.90
	50	1.51	1.62	0.83	0.62	1.35	1.21	1.47	0.95
	100	1.75	1.79	0.91	0.63	1.56	1.35	1.72	0.98

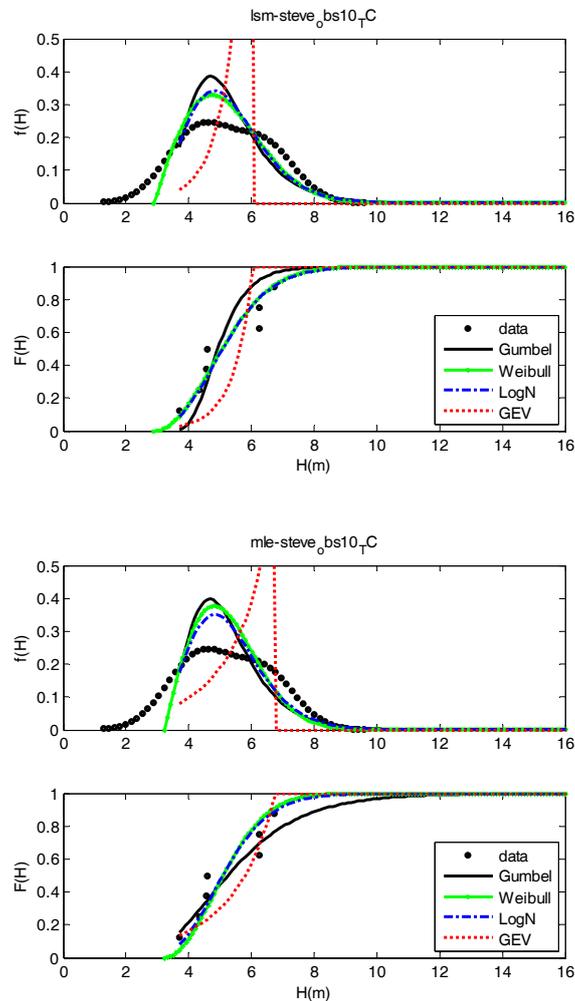


圖 4.15 推估 10 月臺中港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.19 推估 11 月臺中港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		1.92	2.10	1.77	1.12	1.92	2.10	1.77	1.12
RMSE(m)		0.22	0.22	0.21	0.20	0.25	0.37	0.21	0.20
Xe(m)		0.38	0.36	0.28	0.18	0.24	0.88	0.27	0.13
$x_R(m)$	10	5.24	5.23	5.25	5.19	5.46	5.08	5.26	5.14
	25	5.67	5.57	5.59	5.37	5.99	5.26	5.61	5.32
	50	5.99	5.79	5.82	5.46	6.39	5.38	5.84	5.41
	100	6.30	6.00	6.03	5.53	6.78	5.49	6.06	5.48
$\sigma(m)$	10	0.45	0.56	0.30	0.41	0.35	0.36	0.37	0.23
	25	0.61	0.70	0.36	0.47	0.42	0.42	0.48	0.28
	50	0.73	0.79	0.40	0.51	0.48	0.46	0.55	0.34
	100	0.85	0.87	0.44	0.53	0.54	0.50	0.63	0.40

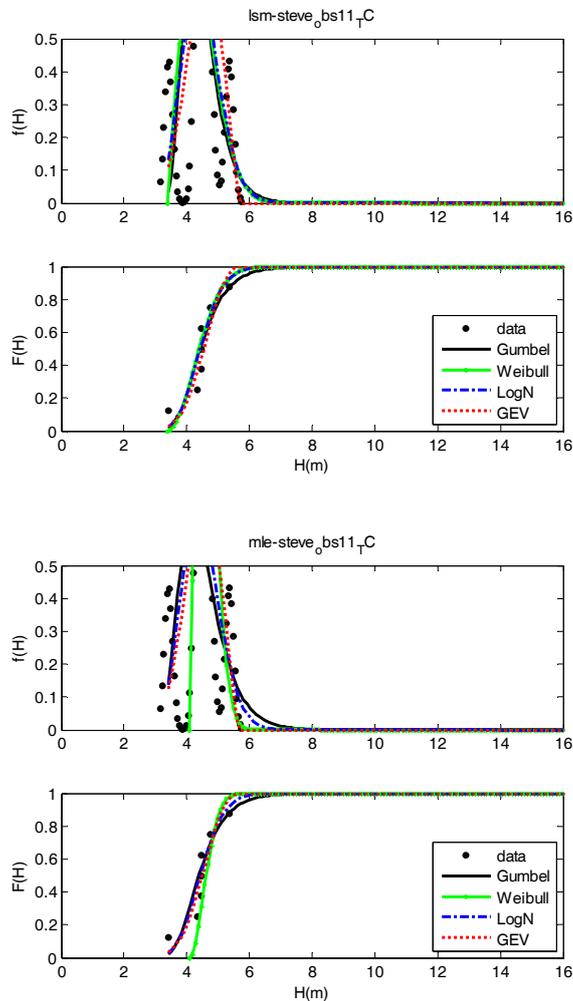


圖 4.16 推估 11 月臺中港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.20 推估 12 月臺中港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		2.73	0.72	3.75	-	2.73	0.72	3.65	-
RMSE(m)		0.40	0.22	0.46	-	0.49	0.28	0.45	-
Xe(m)		0.46	0.20	0.37	-	0.19	0.05	0.46	-
$x_R(m)$	10	5.24	5.30	4.99	-	4.72	5.03	5.12	-
	25	5.87	6.40	5.39	-	5.11	5.90	5.59	-
	50	6.34	7.31	5.67	-	5.41	6.62	5.91	-
	100	6.80	8.27	5.94	-	5.70	7.37	6.22	-
$\sigma$ (m)	10	0.70	2.02	0.47	-	1.13	0.87	0.41	-
	25	0.94	3.36	0.55	-	1.61	1.32	0.52	-
	50	1.12	4.46	0.62	-	1.96	1.68	0.61	-
	100	1.31	5.64	0.68	-	2.32	2.07	0.69	-

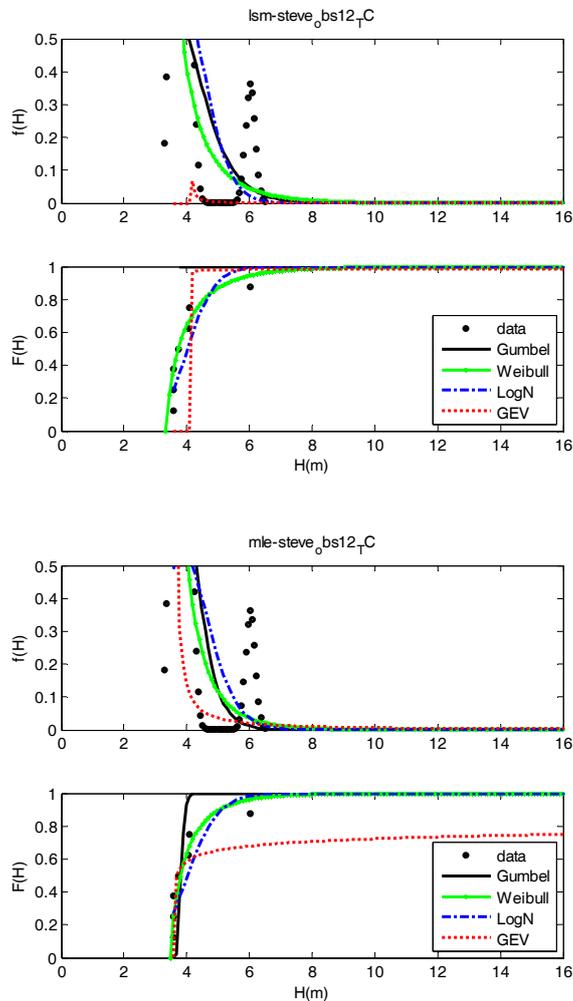


圖 4.17 推估 12 月臺中港波浪之機率密度函數及機率函數圖

利用基隆港 2002 至 2010 年之波高進行月極值統計分析，考量不同極值分布函數的適用性，並推算出各重現期的波高值，由表 4.21 至表 4.32 及圖 4.18 至圖 4.29 之檢定指標 RMSE 值顯示，LSM 推估法所推估出來的各極值函數下之波高與樣本間之 RMSE 較 MLE 推估法低，因此極值推估法以 LSM 推估基隆港較佳，表中灰底色代表較佳的檢定結果。另外機率分布函數從各檢定指標而論基隆港總共 9 年的資料中各月份波高除了 1、2、4、5 及 6 月為 GEV 分布誤差較小之外，3、7、8 及 12 月則以 Weibull 函數誤差較小，10 月與 11 月以 LogN 誤差最小，整體而言，可以發現 GEV 函數在波高較小的幾個月份有很好的表現，但在波高較大的其他月份並不太適合。Weibull 反而在大波高的月份有較好表現，但在基隆港 7 月及 8 月 LSM 所推算出來的 Weibull 函數有很大的標準偏差，其可能原因為基隆港 7 月及 8 月在沒有颱風侵襲時其平均波高都很低，然一旦受颱風影響就會有很大的極值波高，使各年月極值樣本的變化非常大。LogN 雖然只有在 10 月及 11 月是最合適的極值函數，但除了 1 月及 9 月外在各月份的表現都與最佳函數相近，且其所估算出來的波高標準偏差都較低，所以除了上述最佳極值函數外，基本上基隆港在各種情況下可保守選擇 LogN 極值函數來推估各回歸期的設計波高。選用各月份適合分布後，所推算波高與樣本間之 RMSE 值為 0.07-0.96m 之間。若推估重現期為  $T=10、25、50$  及 100 年之各極值分布函數之波高( $x_R$ )及其推算標準偏差( $\sigma$ )顯示，基隆港除 3 月以 FT-1 極值函數配合 MLE 可獲得最小的標準偏差，各月份皆以 LogN 極值函數值所推估出來的最適合分布擁有適當之標準偏差，可視應用狀況選取上述最佳極值函數或考量最適當的標準偏差選用 LogN 極值函數。本文依據以各指標評選出最佳極值函數推算 50 年重現期之波高，若在 95%信賴度情況下，推算各月份波高值分別為一月 1.53m 至 16.89m、二月 4.91m 至 9.89m、三月 3.94m 至 9.66m、四月 4.25m 至 8.17m、五月 2.58m 至 4.90m、六月 1.85m 至 3.61m、七月 2.89m 至 15.19m、八月 5.48m 至 14.10m、九月 4.81m 至 19.95m、十月 6.86 m 至 10.38m、十一月 6.04m 至 8.54m 及十二月 5.25m 至 10.43m。

表 4.21 推估 1 月基隆港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		2.70	0.91	3.51	1.09	2.70	0.91	3.44	1.09
RMSE(m)		0.60	0.38	0.69	0.40	0.70	0.44	0.67	0.47
Xe(m)		0.34	0.21	0.17	0.07	0.05	0.38	0.23	0.17
$x_R(m)$	10	6.42	6.45	6.06	6.32	5.77	6.12	6.16	5.96
	25	7.42	8.14	6.77	7.83	6.47	7.53	6.94	7.19
	50	8.17	9.53	7.28	9.21	6.99	8.68	7.49	8.31
	100	8.91	11.01	7.77	10.84	7.51	9.91	8.02	9.64
$\sigma(m)$	10	0.97	2.51	0.65	1.50	1.27	1.13	0.65	1.41
	25	1.31	4.15	0.78	2.43	1.78	1.70	0.86	2.82
	50	1.57	5.51	0.87	3.29	2.17	2.16	1.02	4.53
	100	1.83	6.96	0.95	4.32	2.56	2.65	1.19	7.01

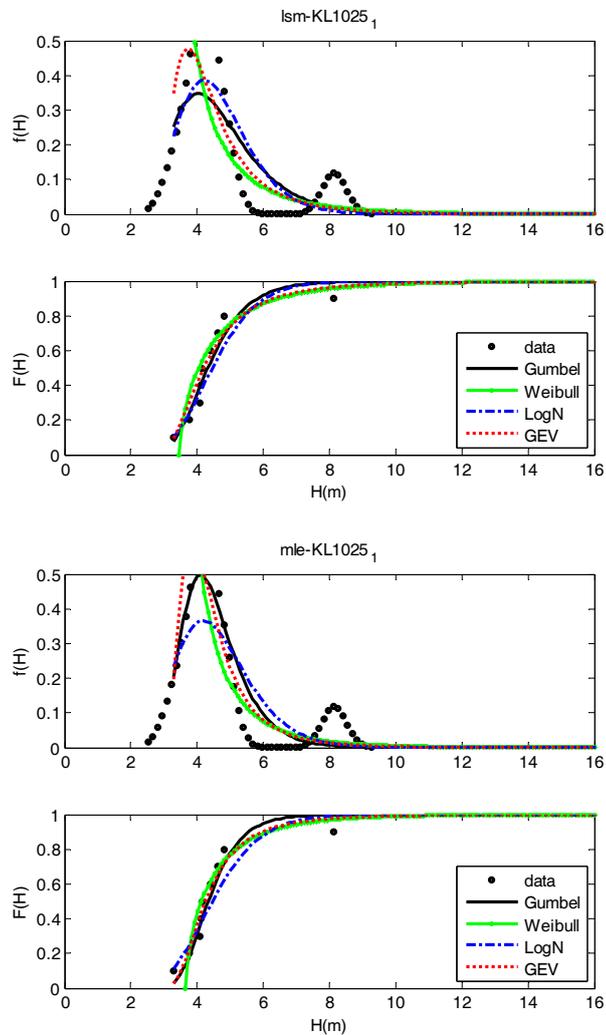


圖 4.18 推估 1 月基隆港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.22 推估 2 月基隆港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		0.42	0.34	0.42	0.22	0.42	0.34	0.40	0.22
RMSE(m)		0.24	0.21	0.25	0.20	0.24	0.23	0.23	0.25
Xe(m)		0.37	0.30	0.26	0.04	0.33	0.41	0.33	0.09
$x_R(m)$	10	6.41	6.42	6.62	6.37	6.44	6.25	6.48	6.10
	25	7.52	7.30	7.81	7.01	7.57	7.07	7.59	6.68
	50	8.33	7.88	8.69	7.40	8.40	7.61	8.40	7.03
	100	9.15	8.41	9.57	7.71	9.23	8.10	9.21	7.32
$\sigma(m)$	10	0.97	1.09	0.65	0.95	0.88	0.87	1.14	0.90
	25	1.31	1.34	0.77	1.15	1.13	1.07	1.63	1.46
	50	1.57	1.50	0.86	1.27	1.32	1.21	2.04	1.95
	100	1.83	1.66	0.95	1.38	1.52	1.33	2.47	2.46

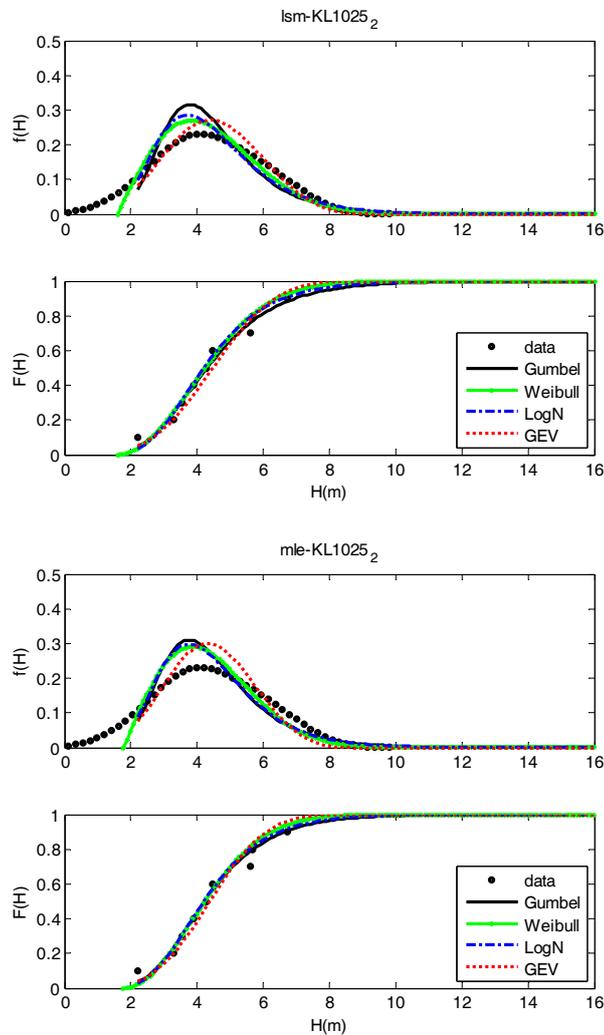


圖 4.19 推估 2 月基隆港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.23 推估 3 月基隆港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		4.76	4.68	5.86	-	4.76	-	6.52	-
RMSE(m)		0.76	0.72	1.08	-	1.08	-	1.49	-
Xe(m)		1.77	1.68	0.95	-	0.84	-	0.70	-
$x_R(m)$	10	5.57	5.61	6.72	-	6.89	-	7.73	-
	25	6.46	6.32	8.48	-	8.42	-	10.26	-
	50	7.11	6.80	9.85	-	9.56	-	12.33	-
	100	7.77	7.23	11.27	-	10.69	-	14.53	-
$\sigma(m)$	10	0.95	1.06	0.64	-	0.60	-	1.38	-
	25	1.28	1.30	0.75	-	0.70	-	1.99	-
	50	1.53	1.46	0.84	-	0.77	-	2.53	-
	100	1.78	1.62	0.92	-	0.84	-	3.12	-

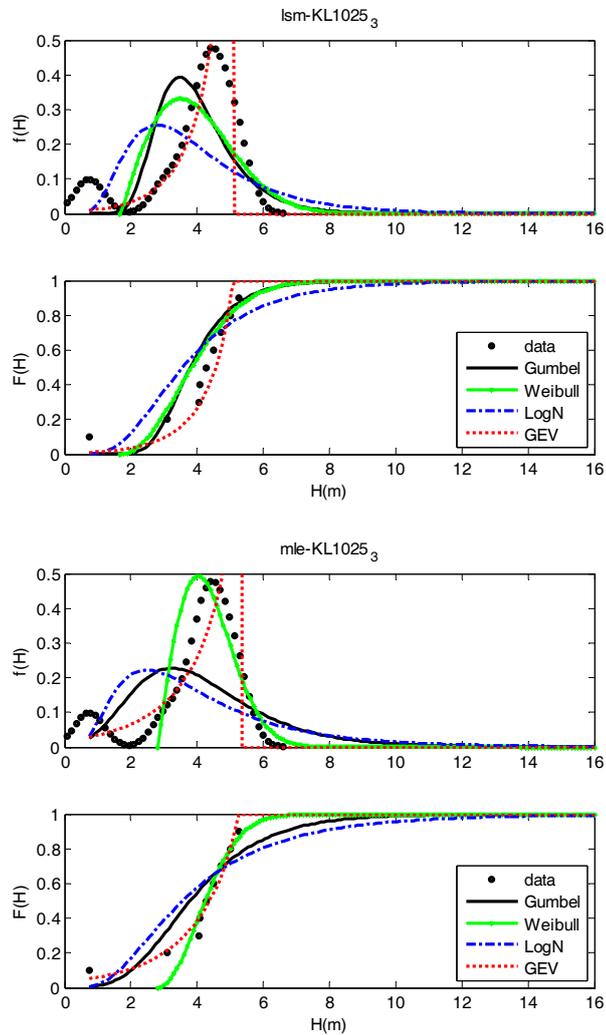


圖 4.20 推估 3 月基隆港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.24 推估 4 月基隆港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR( $m$ )		0.44	0.44	0.41	0.35	0.44	0.44	0.40	0.35
RMSE( $m$ )		0.18	0.17	0.17	0.17	0.18	0.20	0.17	0.20
$X_e(m)$		0.14	0.10	0.05	0.09	0.13	0.24	0.10	0.00
$x_R(m)$	10	5.37	5.37	5.43	5.35	5.35	5.22	5.34	5.16
	25	6.17	6.00	6.18	5.88	6.15	5.79	6.04	5.64
	50	6.76	6.42	6.73	6.21	6.74	6.17	6.55	5.94
	100	7.35	6.81	7.26	6.49	7.32	6.51	7.04	6.20
$\sigma(m)$	10	0.70	0.79	0.47	0.72	0.65	0.64	0.74	0.66
	25	0.95	0.97	0.56	0.89	0.85	0.80	1.02	1.06
	50	1.14	1.09	0.62	1.00	0.99	0.91	1.24	1.42
	100	1.32	1.20	0.69	1.10	1.14	1.01	1.47	1.82

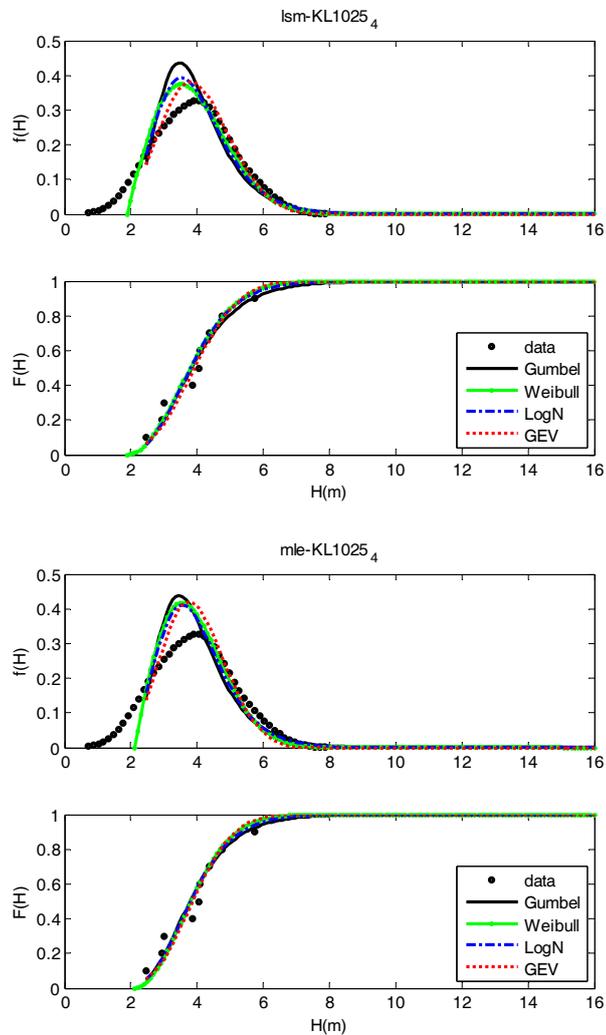


圖 4.21 推估 4 月基隆港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.25 推估 5 月基隆港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR( $m$ )		0.74	0.55	0.71	0.40	0.74	0.55	0.69	0.40
RMSE( $m$ )		0.17	0.14	0.16	0.15	0.17	0.16	0.16	0.17
Xe ( $m$ )		0.10	0.05	0.03	0.18	0.07	0.16	0.06	0.15
$x_R(m)$	10	3.38	3.39	3.47	3.33	3.37	3.28	3.41	3.21
	25	3.95	3.84	4.07	3.60	3.94	3.69	3.97	3.46
	50	4.37	4.14	4.51	3.74	4.37	3.96	4.38	3.60
	100	4.79	4.42	4.95	3.86	4.79	4.20	4.79	3.70
$\sigma (m)$	10	0.51	0.57	0.34	0.46	0.47	0.46	0.57	0.42
	25	0.68	0.70	0.40	0.55	0.61	0.57	0.81	0.71
	50	0.82	0.78	0.45	0.59	0.71	0.65	1.01	0.96
	100	0.95	0.86	0.49	0.63	0.82	0.73	1.22	1.20

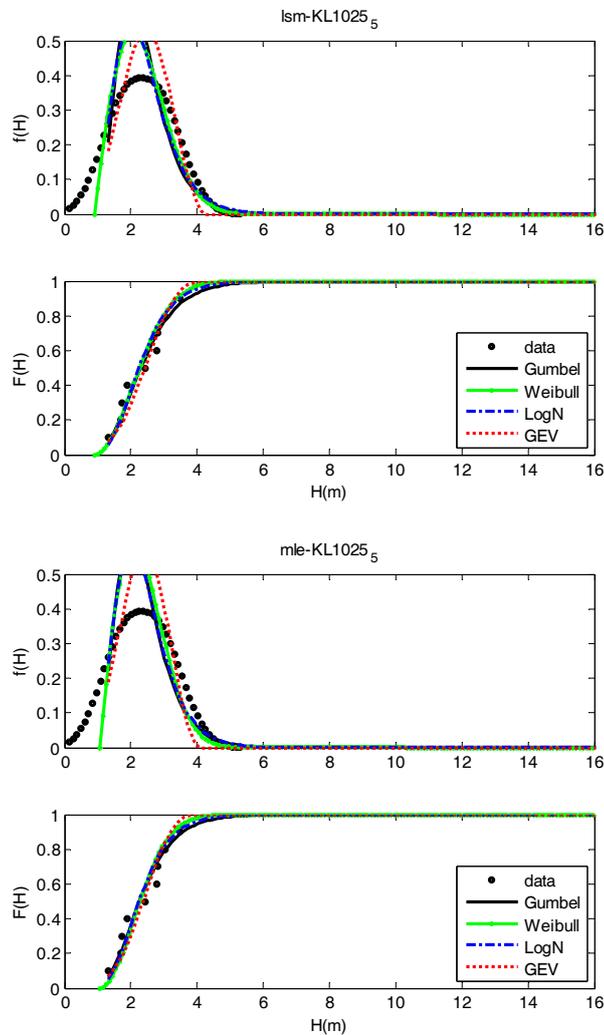


圖 4.22 推估 5 月基隆港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.26 推估 6 月基隆港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR( $m$ )		1.05	0.81	0.94	0.61	1.05	0.81	0.93	-
RMSE( $m$ )		0.13	0.11	0.12	0.11	0.13	0.12	0.12	-
Xe ( $m$ )		0.00	0.03	0.04	0.14	0.00	0.07	0.02	-
$x_R(m)$	10	2.37	2.38	2.40	2.36	2.33	2.30	2.37	-
	25	2.74	2.67	2.76	2.59	2.69	2.55	2.70	-
	50	3.01	2.87	3.02	2.73	2.95	2.72	2.95	-
	100	3.28	3.05	3.27	2.84	3.22	2.88	3.18	-
$\sigma (m)$	10	0.33	0.37	0.22	0.33	0.32	0.30	0.35	-
	25	0.45	0.46	0.26	0.40	0.41	0.38	0.48	-
	50	0.54	0.51	0.30	0.45	0.48	0.44	0.59	-
	100	0.62	0.57	0.32	0.49	0.56	0.49	0.70	-

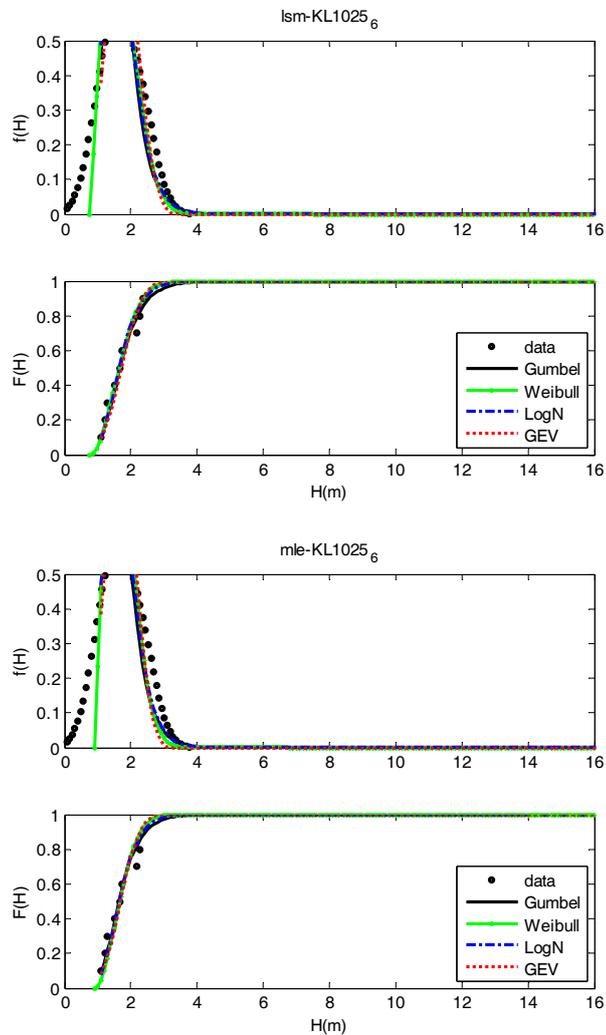


圖 4.23 推估 6 月基隆港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.27 推估 7 月基隆港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		0.42	0.37	0.77	0.74	0.42	0.37	0.71	0.74
RMSE(m)		0.36	0.33	0.52	0.49	0.43	1.75	0.46	0.49
Xe(m)		0.29	0.03	0.02	0.19	0.08	0.05	0.07	0.10
$x_R(m)$	10	6.21	6.27	6.84	5.96	5.79	5.90	6.54	6.09
	25	7.83	7.90	9.63	8.06	7.23	7.32	9.06	8.29
	50	9.04	9.04	12.01	9.88	8.30	8.31	11.19	10.20
	100	10.23	10.13	14.65	11.95	9.36	9.25	13.52	12.36
$\sigma(m)$	10	1.43	2.04	0.96	2.06	1.49	1.62	2.44	1.83
	25	1.93	2.68	1.14	3.16	1.97	2.18	4.16	4.24
	50	2.31	3.14	1.27	4.13	2.34	2.59	5.82	7.24
	100	2.69	3.57	1.39	5.24	2.71	2.98	7.82	11.45

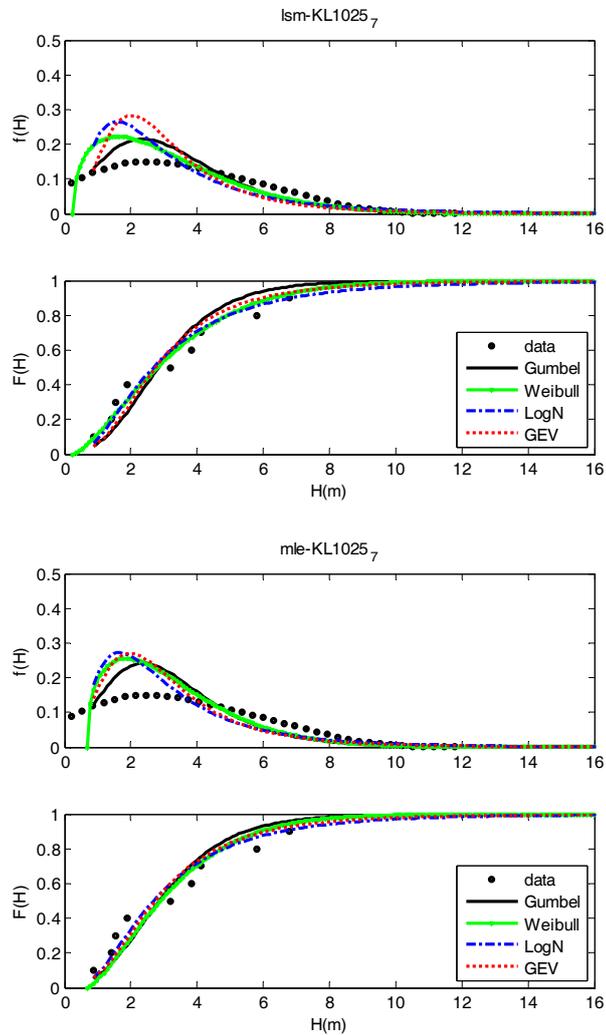


圖 4.24 推估 7 月基隆港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.28 推估 8 月基隆港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR( $m$ )		1.24	0.87	1.06	3.98	1.24	0.87	1.06	3.98
RMSE( $m$ )		0.69	0.60	0.65	1.24	0.84	0.66	0.67	3.38
Xe ( $m$ )		0.76	0.06	0.16	1.04	0.32	0.21	0.14	0.17
$x_R(m)$	10	6.59	6.65	6.55	4.33	5.73	6.23	6.40	6.94
	25	8.38	8.96	9.01	6.46	7.15	8.26	8.72	12.53
	50	9.71	10.71	11.07	9.16	8.20	9.79	10.65	19.63
	100	11.03	12.46	13.32	13.42	9.24	11.32	12.75	30.83
$\sigma (m)$	10	1.63	3.05	1.09	4.32	1.88	1.60	2.14	0.97
	25	2.20	4.44	1.30	9.07	2.55	1.96	3.54	2.58
	50	2.63	5.50	1.45	15.13	3.06	2.20	4.86	5.27
	100	3.06	6.57	1.59	24.70	3.57	2.41	6.43	10.31

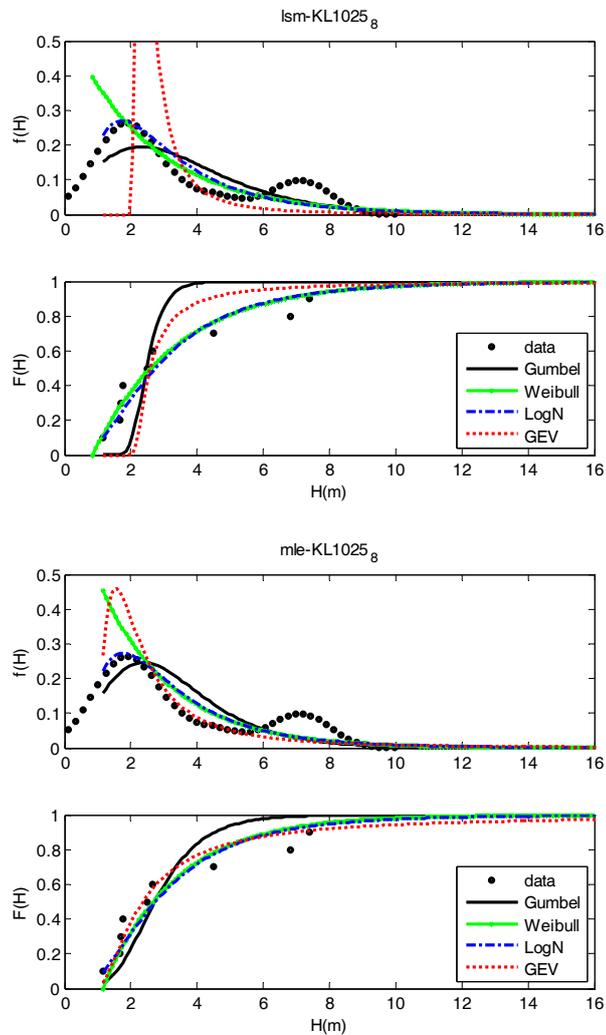


圖 4.25 推估 8 月基隆港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.29 推估 9 月基隆港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR( $m$ )		3.12	1.52	3.24	2.05	3.12	1.52	3.20	2.05
RMSE( $m$ )		1.18	0.90	1.23	1.00	1.28	0.96	1.20	1.06
Xe ( $m$ )		0.25	0.75	0.22	0.05	0.27	1.02	0.17	0.40
$x_R(m)$	10	8.16	8.17	7.65	8.12	7.27	7.68	7.79	7.56
	25	9.97	11.18	9.31	10.50	8.66	10.25	9.55	9.58
	50	11.31	13.66	10.57	12.52	9.70	12.38	10.89	11.29
	100	12.64	16.29	11.85	14.75	10.73	14.63	12.25	13.18
$\sigma (m)$	10	1.79	4.60	1.20	2.49	1.92	2.01	1.47	2.25
	25	2.41	7.61	1.42	3.75	2.63	3.03	2.12	4.05
	50	2.88	10.11	1.59	4.83	3.17	3.86	2.68	6.05
	100	3.36	12.77	1.74	6.05	3.71	4.73	3.28	8.71

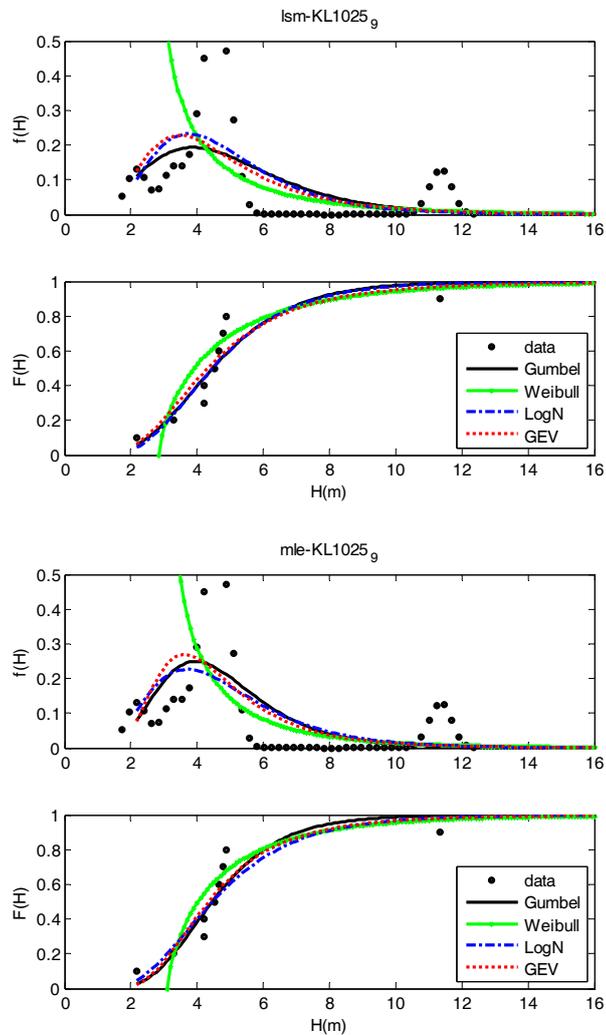


圖 4.26 推估 9 月基隆港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.30 推估 10 月基隆港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		0.18	0.22	0.19	0.18	0.18	0.22	0.19	0.18
RMSE(m)		0.17	0.18	0.16	0.17	0.21	0.75	0.19	0.23
Xe(m)		0.06	0.13	0.07	0.14	0.06	1.30	0.01	0.02
$x_R(m)$	10	6.53	6.57	6.60	6.54	6.30	5.85	6.44	6.25
	25	7.69	7.73	7.76	7.61	7.36	6.45	7.50	7.20
	50	8.55	8.54	8.62	8.38	8.14	6.87	8.28	7.89
	100	9.41	9.31	9.47	9.12	8.92	7.27	9.06	8.54
$\sigma(m)$	10	1.01	1.44	0.68	1.19	1.02	1.09	1.13	1.28
	25	1.36	1.89	0.80	1.59	1.34	1.42	1.61	2.38
	50	1.63	2.22	0.90	1.89	1.59	1.66	2.00	3.49
	100	1.90	2.52	0.98	2.17	1.84	1.89	2.42	4.83

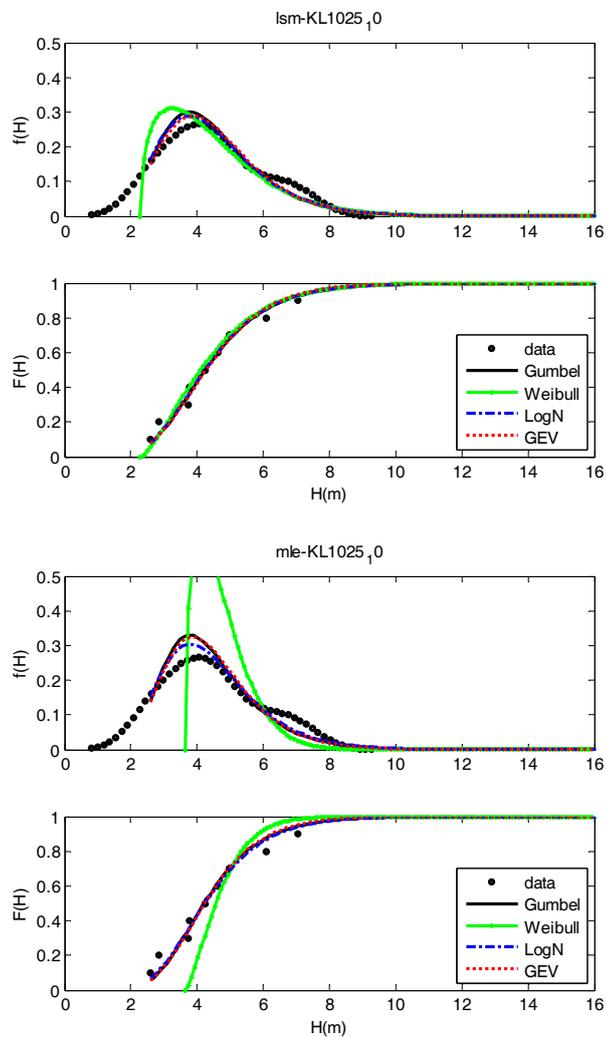


圖 4.27 推估 10 月基隆港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.31 推估 11 月基隆港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		1.62	1.83	1.64	1.16	1.62	1.83	1.65	1.16
RMSE(m)		0.35	0.36	0.34	0.34	0.37	0.36	0.34	0.34
Xe(m)		0.35	0.31	0.19	0.05	0.19	0.28	0.19	0.04
$x_R(m)$	10	6.00	6.00	6.07	5.97	6.20	5.97	6.08	5.89
	25	6.79	6.61	6.79	6.43	7.09	6.59	6.79	6.33
	50	7.37	7.03	7.29	6.70	7.75	7.00	7.30	6.60
	100	7.94	7.40	7.78	6.92	8.40	7.38	7.79	6.81
$\sigma(m)$	10	0.72	0.81	0.49	0.71	0.59	0.59	0.68	0.48
	25	0.98	0.99	0.58	0.86	0.74	0.71	0.90	0.63
	50	1.17	1.12	0.64	0.95	0.86	0.79	1.08	0.79
	100	1.36	1.24	0.71	1.02	0.98	0.87	1.26	0.96

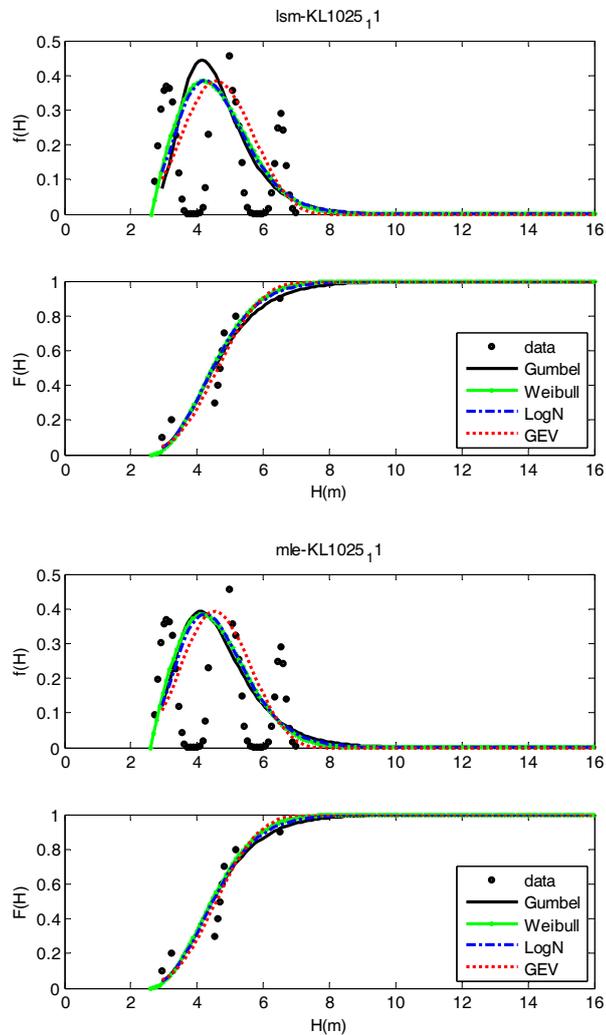


圖 4.28 推估 11 月基隆港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.32 推估 12 月基隆港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		0.57	0.39	0.48	0.46	0.57	0.39	0.48	0.46
RMSE(m)		0.25	0.20	0.22	0.23	0.26	0.27	0.23	0.26
Xe(m)		0.17	0.24	0.25	0.26	0.11	0.07	0.20	0.16
$x_R(m)$	10	6.54	6.56	6.57	6.56	6.38	6.32	6.47	6.33
	25	7.51	7.33	7.45	7.43	7.28	6.96	7.30	7.12
	50	8.22	7.84	8.08	8.04	7.95	7.39	7.89	7.68
	100	8.94	8.31	8.69	8.63	8.61	7.78	8.46	8.21
$\sigma(m)$	10	0.85	0.96	0.57	0.99	0.85	0.81	0.86	1.83
	25	1.15	1.17	0.68	1.32	1.12	1.04	1.17	4.41
	50	1.38	1.32	0.76	1.55	1.32	1.19	1.43	6.93
	100	1.61	1.46	0.83	1.78	1.52	1.34	1.69	9.89

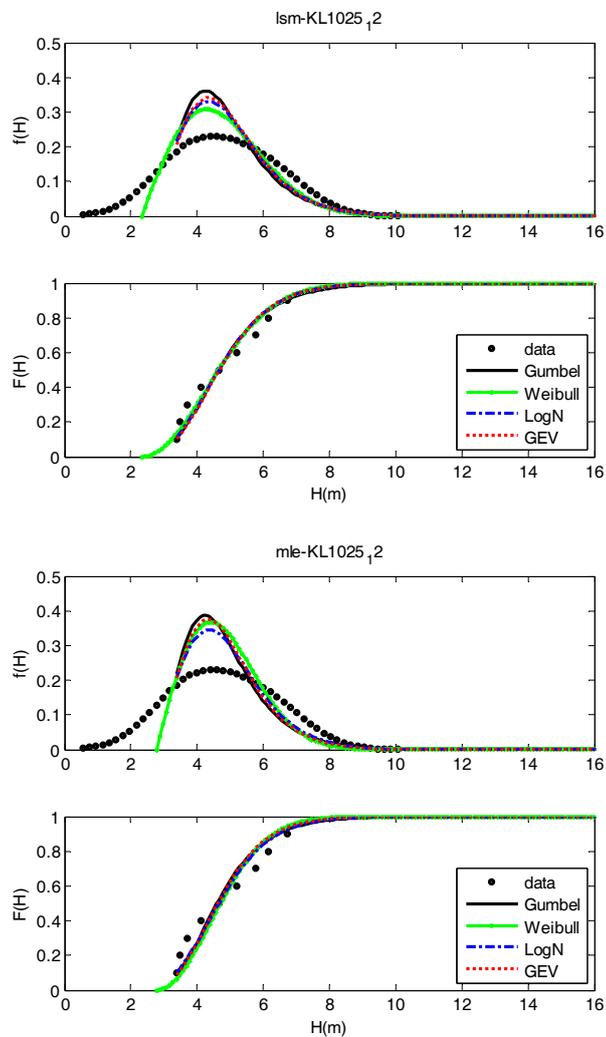


圖 4.29 推估 12 月基隆港波浪之機率密度函數及機率函數圖

## 第五章 不同樣本的極值分析與設計波浪推估

### 5.1 極值統計資料

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。分布性是說資料數據大小滿足某種分布型態。極值分布之推定，首先必須將每年各場颱風最大值波高取出後，再將其排序，取出每年最大波高值來作為極值分析之樣本。本章應用 4.2 節至 4.3 節所述的極值函數與參數推定方法透過 4.4 節與 4.5 節的各種檢定值來測試最適函數與參數推定法，以推求臺中港與基隆港各重現期的設計波浪。

### 5.2 臺中港各重現期波高推算結果

年極值統計部分，除了臺中港 7 年波高實測資料作為分析外，並與使用類神經颱風波浪推算模式推算 32 年與半經驗波浪推算模式推算 71 年之臺中港每年最大波高作為年極值統計分析比較，從表 5.1 至表 5.3 及圖 5.1 至圖 5.3 顯示，實測波浪極值分析部分，MLE 與 LSM 在各檢定值的比較上相當接近，而 LSM 推估法配合 LogN 與 GEV 極值函數能夠獲得較低的標準偏差，但 GEV 的 MIR 誤差較大且在機率密度圖中其下降段斜率趨近無窮大使長重現期的對應波高不變，故以實測資料來看臺中港最佳參數推定法與極值函數應分別為 LSM 與 LogN。以最佳極值函數推算 50 年重現期之波高，若在 95%信賴度情況下，臺中港 50 年重現期的波高約為 7.77m 至 10.67m。

以半經驗波浪推算模式的所推算相同實測資料的時間段，MLE 與 LSM 在各檢定值的比較上十分接近，而 LSM 推估法配合 GEV 極值函數能夠獲得較低的標準偏差，且 GEV 在各檢定中皆表現較佳，故臺中港配合半經驗波浪推算模式資料的最佳參數推定法與極值函數應分別

為 MLE 與 GEV。以最佳極值函數推算 50 年重現期之波高，若在 95% 信賴度情況下，臺中港 50 年重現期的波高約為 6.43m 至 6.91m。

以類神經網路波浪推算模式的所推算相同實測資料的時間段，MLE 與 LSM 在各檢定值的比較上十分接近，而 LSM 推估法配合 LogN 與 GEV 極值函數能夠獲得較低的標準偏差，但 GEV 的 MIR 等評估標準表現不如 LogN 且在機率密度圖中其下降段斜率趨近無窮大使長重現期的對應波高不變，故臺中港配合類神經波浪推算模式資料的最佳參數推定法與極值函數應分別為 LSM 與 LogN。以最佳極值函數推算 50 年重現期之波高，若在 95% 信賴度情況下，臺中港 50 年重現期的波高約為 6.44m 至 7.05m。

由以上結果發現不同的資料樣本中，年極值分析中最佳參數推定法實測資料與類神經模式推算結果相同皆為 LSM，而極值函數兩者也皆以 LogN 為最佳。但由於資料樣本數的不同，可發現 50 年重現期的設計波浪以實測數據所推算得的值最大，類神經網路波浪推算的資料樣本次之，半經驗波浪推算模式模式最小。其中類神經網路波浪推算模式與半經驗波浪推算模式的結果相近，而實測資料的結果較大，其原因可能為實測資料樣本太少所造成。

**表 5.1 推估臺中港實測波浪之各重現期波高及其推算標準偏差**

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		1.17	0.91	0.76	2.19	1.17	0.91	0.74	-
RMSE(m)		0.32	0.27	0.26	0.44	0.33	0.28	0.25	-
Xe (m)		0.32	0.25	0.11	0.40	0.18	0.31	0.17	-
$x_R(m)$	10	7.94	7.95	8.02	7.23	8.09	7.83	7.94	-
	25	8.75	8.60	8.73	7.26	9.00	8.44	8.60	-
	50	9.36	9.03	9.22	7.27	9.67	8.85	9.06	-
	100	9.96	9.43	9.68	7.27	10.33	9.23	9.50	-
$\sigma (m)$	10	0.83	1.04	0.56	0.54	0.72	0.73	0.81	-
	25	1.12	1.28	0.66	0.55	0.91	0.90	1.07	-
	50	1.34	1.45	0.74	0.56	1.06	1.01	1.27	-
	100	1.57	1.60	0.81	0.56	1.20	1.12	1.47	-

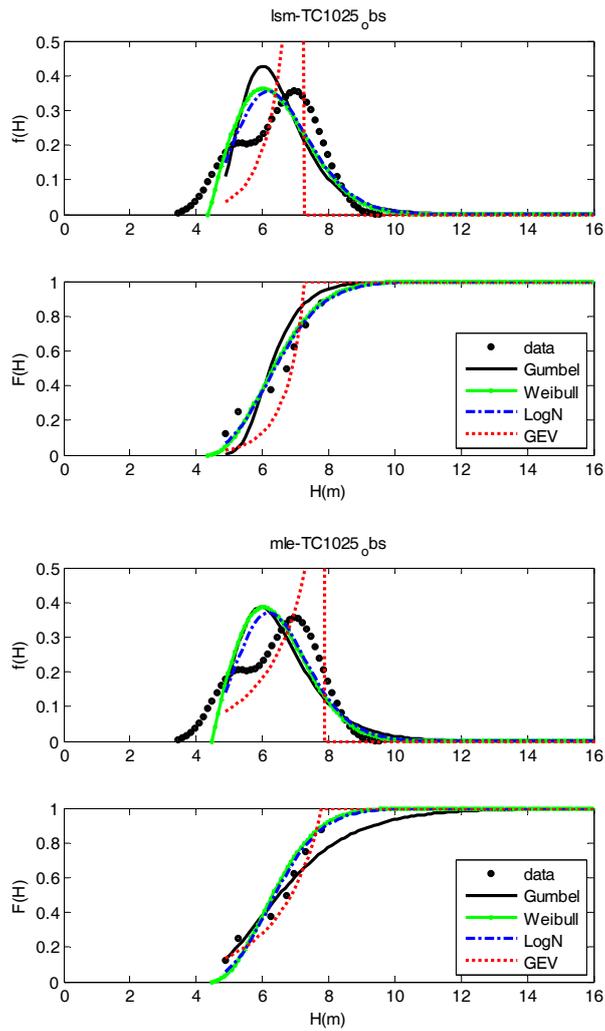


圖 5.1 推估臺中港實測波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 5.2 臺中港半經驗模式年極值之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR( <i>m</i> )		6.17	6.58	7.70	0.15	6.17	6.58	8.66	0.15
RMSE( <i>m</i> )		0.45	0.39	0.55	0.14	0.80	0.56	0.73	0.14
Xe ( <i>m</i> )		1.99	1.95	1.36	0.44	1.06	2.74	1.18	0.39
$x_R(m)$	10	6.12	6.20	6.62	6.12	7.13	6.01	6.96	6.12
	25	6.97	6.90	7.70	6.48	8.47	6.52	8.24	6.49
	50	7.61	7.37	8.49	6.67	9.46	6.86	9.20	6.67
	100	8.23	7.79	9.26	6.80	10.44	7.17	10.15	6.81
$\sigma (m)$	10	0.30	0.27	0.20	0.24	0.19	0.23	0.32	0.13
	25	0.41	0.32	0.24	0.27	0.22	0.27	0.43	0.12
	50	0.49	0.36	0.27	0.29	0.24	0.30	0.52	0.12
	100	0.57	0.39	0.29	0.30	0.27	0.32	0.61	0.13

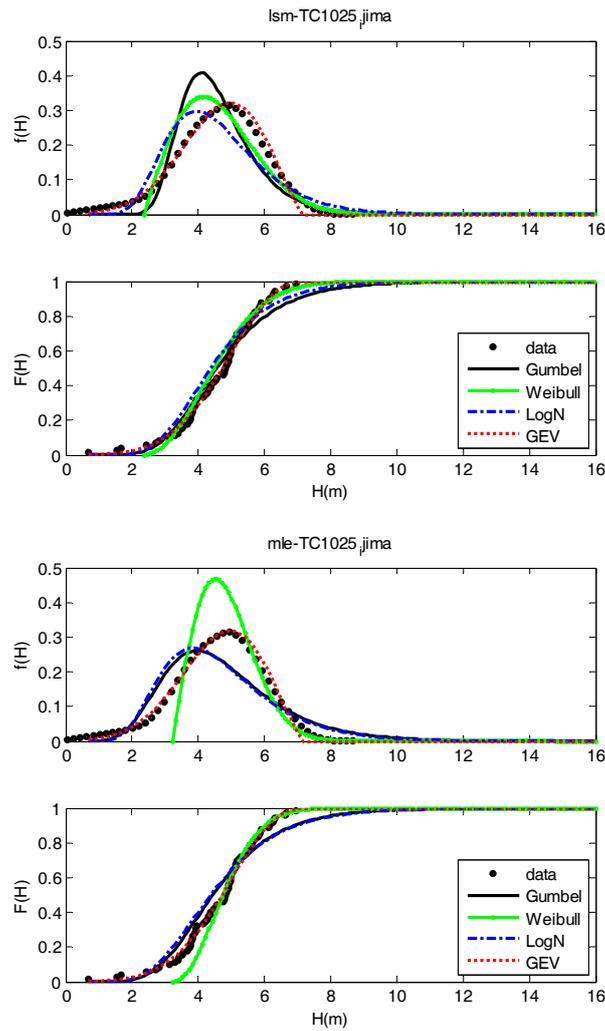


圖 5.2 臺中港半經驗模式年極值之機率密度函數及機率函數圖

表 5.3 臺中港類神經模式年極值之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		4.01	3.35	2.94	3.81	4.01	3.35	2.95	-
RMSE(m)		0.31	0.25	0.24	0.34	0.36	0.26	0.25	-
Xe (m)		0.38	0.32	0.07	0.97	0.12	0.44	0.06	-
$x_R(m)$	10	6.05	6.11	6.14	5.74	6.31	6.07	6.15	-
	25	6.62	6.58	6.63	5.81	7.02	6.51	6.65	-
	50	7.05	6.90	6.97	5.83	7.55	6.80	6.99	-
	100	7.47	7.18	7.29	5.84	8.08	7.07	7.31	-
$\sigma (m)$	10	0.30	0.27	0.20	0.20	0.23	0.23	0.24	-
	25	0.40	0.33	0.24	0.21	0.28	0.28	0.31	-
	50	0.48	0.37	0.27	0.21	0.32	0.32	0.36	-
	100	0.56	0.40	0.29	0.21	0.36	0.35	0.41	-

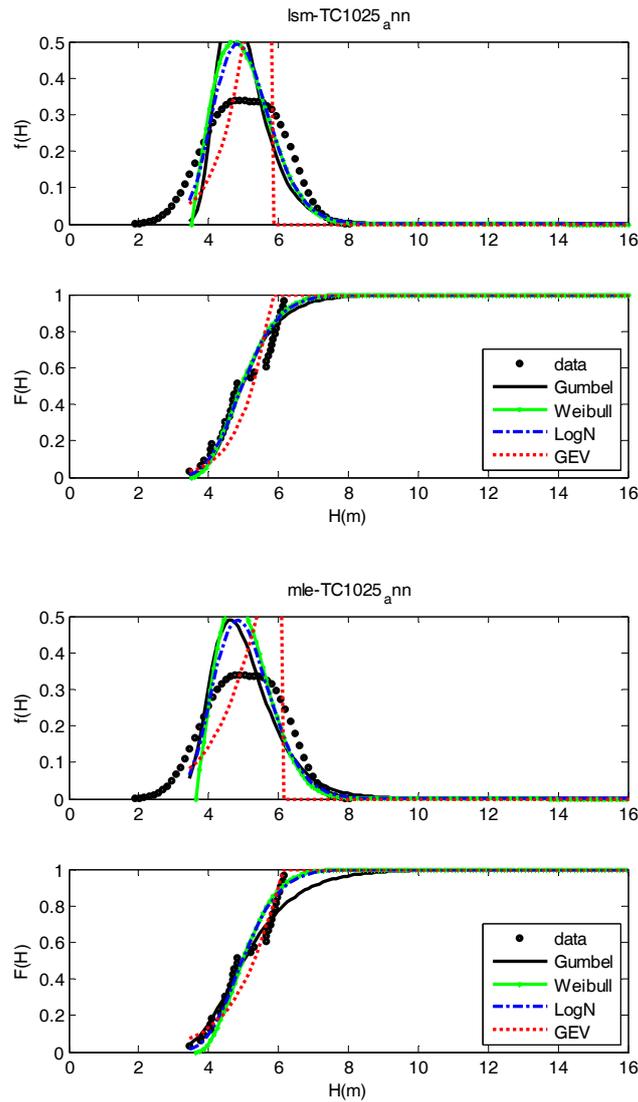


圖 5.3 臺中港類神經模式年極值之機率密度函數及機率函數圖

### 5.3 基隆港各重現期波高推算結果

年極值統計部分，除了採用基隆港 9 年波高實測資料作為分析外，並與使用類神經颱風波浪推算模式推算 32 年的年極值資料與半經驗波浪推算模式所推算 71 年的年極值資料作為年極值統計分析比較，從表 5.4 至表 5.6 及圖 5.4 至圖 5.6 顯示，實測波浪極值分析部分，MLE 與 LSM 在各檢定值的比較上相當接近，而 LSM 推估法配合 LogN 極值函數能夠獲得較低的標準偏差，以各檢定值來看臺中港最佳極值函數應分別為 GEV，但考量標準偏差太大其信賴區間的範圍過大，故選擇 LSM

配合 LogN 為最佳參數推定法與最適函數。以最佳極值函數推算 50 年重現期之波高，若在 95%信賴度情況下，基隆港 50 年重現期的波高約為 9.19m 至 13.77m。

以半經驗波浪推算模式的所推算相同實測資料的時間段，MLE 與 LSM 在各檢定值的比較上十分接近，而標準偏差與各檢定值一致顯示基隆港配合半經驗波浪推算模式資料的最佳參數推定法與極值函數應分別為 MLE 與 GEV。以最佳極值函數推算 50 年重現期之波高，若在 95%信賴度情況下，基隆港 50 年重現期的波高約為 13.43m 至 15.31m。

以類神經網路波浪推算模式的所推算相同實測資料的時間段，MLE 與 LSM 在各檢定值的比較上十分接近，而 LSM 推估法配合 LogN 極值函數能夠獲得較低的標準偏差，但 MIR 等評估標準並無法一致指出最適的搭配函數與參數推定法。由表中很難決定基隆港配合類神經波浪推算模式資料的最佳參數推定法與極值函數，在此本文選擇各檢定值皆表現平均的 LSM 配合 Weibull 函數作為最佳組合。以最佳極值函數推算 50 年重現期之波高，若在 95%信賴度情況下，基隆港 50 年重現期的波高約為 7.39m 至 9.75m。

由以上結果發現不同的資料樣本中，年極值分析中最佳參數推定法僅有半經驗模式的樣本為 MLE 其餘則為 LSM，而皆不同最適極值函數皆以皆不同。由於資料樣本的不同，可發現 50 年重現期的設計波浪以半經驗模式樣本所推算得的值最大，實測資料樣本次之，類神經網路波浪推算模式最小，且顯示半經驗模式高估許多類神經模式在 32 個年極值資料樣本的狀況下稍微低估，且由表 5.6 可發現類神經模式樣本很難選擇最適函數與最佳參數推定法，表中顯示無論選擇何種組合，其 50 年重現期的波高與標準偏差都差不多。

表 5.4 推估基隆港實測波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR( $m$ )		0.89	0.45	1.27	0.32	0.89	0.45	1.29	0.32
RMSE( $m$ )		0.47	0.37	0.57	0.30	0.59	0.49	0.58	0.31
$X_e$ ( $m$ )		0.52	0.37	0.44	0.10	0.15	0.64	0.40	0.01
$x_R$ ( $m$ )	10	9.72	9.61	9.47	9.53	9.10	9.12	9.40	9.41
	25	11.19	11.94	10.65	11.57	10.28	11.01	10.54	11.34
	50	12.27	13.87	11.48	13.38	11.16	12.57	11.35	13.05
	100	13.35	15.91	12.29	15.48	12.02	14.23	12.13	15.04
$\sigma$ ( $m$ )	10	1.32	3.38	0.88	1.96	1.46	1.54	1.13	1.84
	25	1.77	5.60	1.05	3.06	1.99	2.35	1.53	3.93
	50	2.12	7.44	1.17	4.06	2.39	3.01	1.84	6.46
	100	2.47	9.39	1.28	5.23	2.79	3.70	2.17	10.05

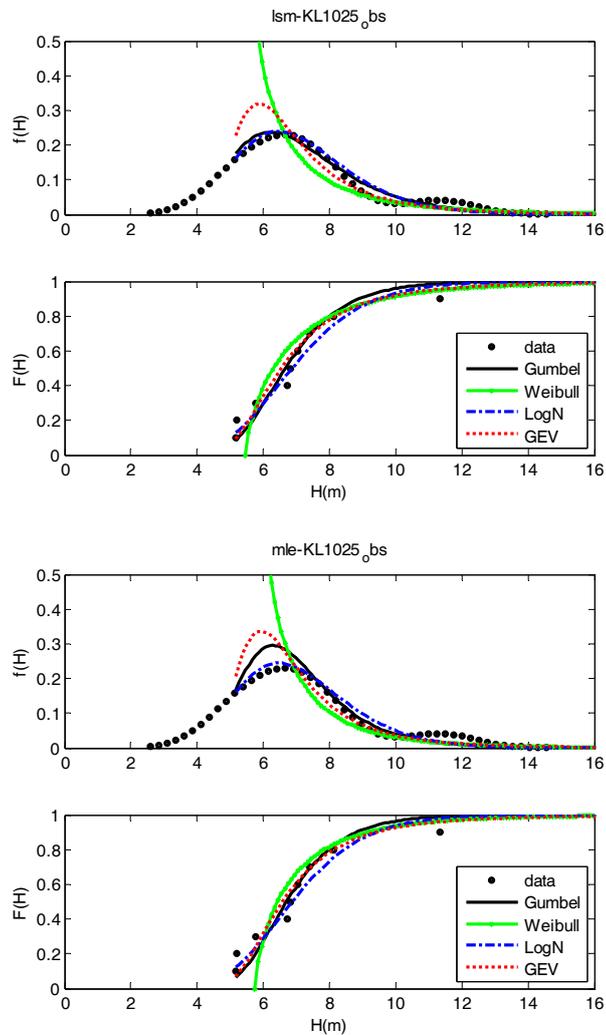


圖 5.4 推估基隆港實測波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 5.5 基隆港半經驗模式年極值之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		4.17	3.61	8.12	0.06	4.17	3.61	9.23	0.06
RMSE(m)		0.96	0.74	1.66	0.23	1.45	0.75	2.13	0.23
Xe(m)		2.93	2.81	1.94	0.46	1.34	2.62	1.68	0.46
$x_R(m)$	10	12.74	12.96	14.39	12.76	14.41	13.05	15.20	12.72
	25	14.99	14.80	17.86	13.84	17.46	14.95	19.24	13.79
	50	16.66	16.03	20.53	14.42	19.73	16.21	22.41	14.37
	100	18.31	17.14	23.27	14.85	21.97	17.36	25.70	14.80
$\sigma(m)$	10	0.78	0.69	0.52	0.64	0.55	0.59	1.01	0.39
	25	1.05	0.82	0.62	0.74	0.66	0.70	1.45	0.42
	50	1.25	0.92	0.69	0.80	0.75	0.78	1.83	0.48
	100	1.46	1.01	0.76	0.84	0.83	0.84	2.25	0.55

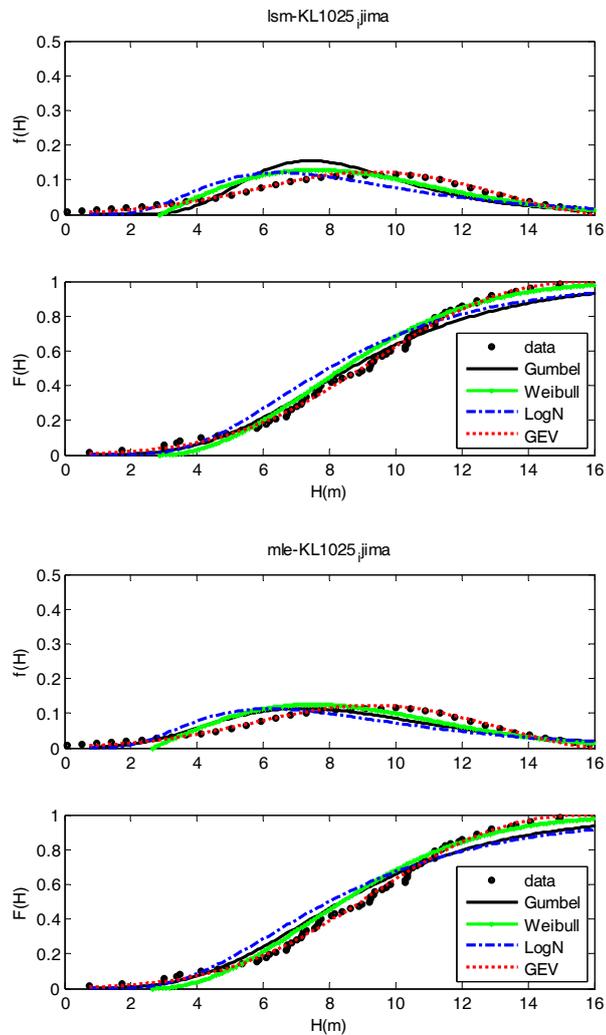


圖 5.5 基隆港半經驗模式年極值之機率密度函數及機率函數圖

表 5.6 基隆港類神經模式年極值之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		0.76	0.47	0.61	0.43	0.76	0.47	0.61	0.43
RMSE(m)		0.22	0.15	0.18	0.19	0.23	0.18	0.18	0.19
Xe(m)		0.02	0.08	0.20	0.18	0.06	0.09	0.17	0.14
$x_R(m)$	10	7.18	7.24	7.21	7.21	7.19	7.14	7.17	7.13
	25	8.18	8.04	8.08	8.11	8.20	7.89	8.02	8.00
	50	8.91	8.57	8.71	8.75	8.95	8.38	8.63	8.62
	100	9.65	9.06	9.31	9.35	9.70	8.84	9.22	9.20
$\sigma(m)$	10	0.49	0.44	0.33	0.52	0.43	0.41	0.43	0.48
	25	0.66	0.53	0.39	0.69	0.56	0.51	0.58	0.83
	50	0.78	0.60	0.43	0.81	0.66	0.57	0.69	1.20
	100	0.91	0.65	0.47	0.92	0.75	0.64	0.81	1.65

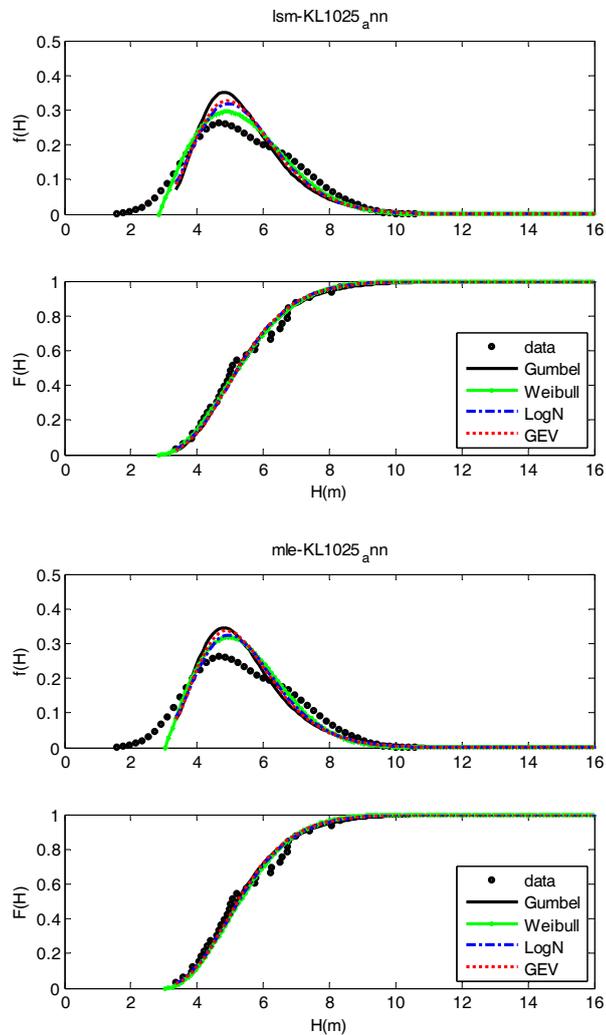


圖 5.6 基隆港類神經模式年極值之機率密度函數及機率函數圖

## 第六章 波浪極值統計視窗化操作之建構

### 6.1 圖形化使用者介面之介紹

對於一般使用者而言，在完全沒有程式開發基礎的情況下，想要使用一套工程或研究人員所開發的程式或是模式來說，是一項非常大的挑戰。所以若能在本計畫階段性的工作項目中整合出一套波浪極值統計的圖形化使用者介面(Graphical User Interface) (亦稱視窗化)相信必能大幅度的擴展本研究的應用性。此介面初步以波浪極值統計及設計波推算為核心計算模組，加上人性化的操控介面整合而成。此外本介面融合許多外部的資料處理步驟，省去大量操控程序，縮短整體操作上的時間與流程。在介面外觀方面，採用類似一般使用者常接觸的 Windows 介面樣式來作設計，圖形化的表現能提升本介面與使用者之間的互動。而此介面的建立與整合，可簡化設計波浪的計算，亦可快速評估各種極值函數與參數推定法對資料的適用性與影響。

本研究初步構想的圖形化使用者介面有三個主要目標，詳述於下：

#### 1. 擴展使用者族群

近年來在專業領域中的應用程式開發，不論是在任何一種作業平臺上，都開始趨向於採用對於使用者較為友善的圖形化介面。其目的除了介面視覺上的美觀之外，還能由圖示選項來代替原本程式操作所需要用的指令。如此一來可使原本操作波浪極值統計分析的工程師或研究人員，由原本所需要的富有程式操控能力且有波浪統計相關知識的工作人員，擴展到擁有波浪統計相關知識的工作人員，示如圖 6.1。

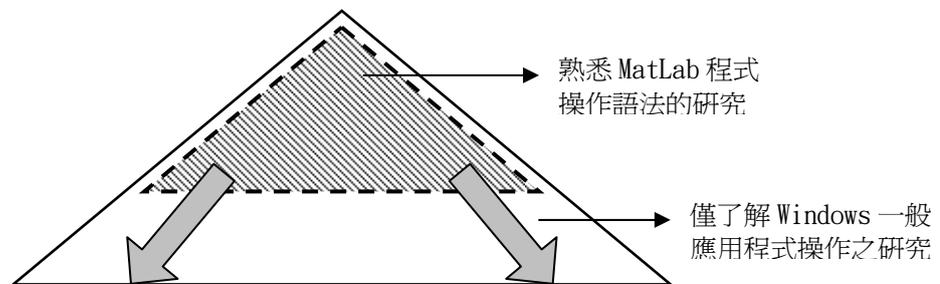


圖 6.1 GUI 的開發對於使用者族群的分布變化

圖 6.1 為表示所有研究人員中對 Matlab 程式操作語法之能力分布圖，位於金字塔行分布圖頂部的斜線區域中的是較少數熟悉 Matlab 程式操作的研究人員，本介面的發展，可以將波浪極值統計的操作者族群擴展至所有了解一般應用程式之研究人員。使得本模式的使用範圍更為廣泛，使用者所需具備的程式操控能力限制將會大幅降低。詳細的圖形介面以及完整的說明文件可以讓不具有程式語言能力的使用者輕鬆地就可以利用本介面進行颱風波浪的預測與評估。使用者只要熟練滑鼠的基本操作(單擊、雙擊、拖曳)，幾乎可以完成絕大部分的操作指令。

## 2. 縮短模式操作程序時間

原本波浪極值統計之中的工作程序，可簡單分為：

### (1) 輸入資料整合

在波浪極值統計的輸入資料整合的部分包括波浪資料的基本統計分析與資料完整性的檢驗，目的在於了解輸入資料的可靠性及完整性，故所有的資料在此步驟需經過嚴格的比對。在本圖形化介面輸入的部分是利用圖形化的友善介面進行輸入檔案的選取並會對輸入資料長度進行長度檢核，並將資料修正與補遺這些需要人為判斷的動作，以選項及清單方式提供操作者快速做出決定與處理。

### (2) 設定極值統計參數及參數推定規則

經由以上圖形介面選取所需要的輸入資料檔案並經過基本資料分析後，還需要進行一些方法及參數的選定，如極值分布函數及其參數推定法，針對某些分布還需要指定其參數初始值。在這個流程中都將以圖形化的選單方式進行設定，可選定多種需要嘗試的極值分布函數及參數推定原則，再一併進行計算與分析。

### (3) 計算與分析

本圖形化介面在選取適當極值統計參數及參數推定規則後，只要由上方工具列直接選取即可直接開始 Simulation 的動作，在此可省去原來使用大量程式指令才能批次處理所需的計算流程的時間與操作。

#### (4) 輸出結果

使用圖形化介面執行輸出結果時，可以直接將結果以繪圖與列表的方式表現，節省許多後續資料處理以及繪圖時間。並可即時比對周邊地點的往昔分析結果作為參考。除了可以清楚的由結果中了解各種極值統計函數的適用性，更可以快速評估各參數推定法與參數推定過程的差異性。結果並可快速以選單式的方式展示各重現期的設計波浪。

使用圖形化介面操作整個模式，可以整合以上四個部分中的所有繁瑣過程，完全不必使用到指令或程式，取而代之的是圖形介面上的滑鼠操作。此介面與原來模式操作相較之下可大幅縮短操作時間。

### 3. 增加模式親和力

在模式中輸入資料以備妥的情況下，本圖形化介面只需使用滑鼠的點選即可完成整個波浪極值統計(包含資料輸入至結果輸出)。搭配輸入資料狀態視窗，可以清楚地列出輸入資料的長度，加上中文化介面以及完整的說明文件，提昇本介面的親和力。介面中的開發環境是以目前一般使用者所熟稔的 Windows 系統為基礎，滑鼠的點擊、鍵盤的快速鍵操作以及開啟檔案的檔案列表，都是與 Windows 系統相同。使用者只要能夠具備有 Windows 的基本操作觀念甚至不需要操作手冊就可以對本介面輕鬆上手。這也使得本介面不像一般專業工程應用軟體一般令人感到困難。

## 6.2 建構成果

本研究已建立波浪極值統計視窗化操作介面的架構，期望透過視窗化的操作介面簡化設計波推算的流程，整體流程分為：1.輸入設定視窗 2.輸出展示視窗，本節將針對這兩部份作說明。在輸入設定視窗的部分可自動讀取波浪資料，並設定極值統計推算的相關參數進行推

算，其中資料選用方式可採用年極值取樣法或年前三大月取樣法兩種。極值統計函數經本研究前三年研究成果選用了 FT-I、G.E.V.、Weibull 及 Log-norma 四種統計函數，可由使用者進行選定。而極值分布函數的參數推定法也提供三種方式進行擇選，包括：MLE、LSM 及 MOM 三種參數推定法。圖 6.2 為輸入設定視窗的初步設計，除了上述功能外本介面的上方工具列並提供即時操作手冊讓使用者進行參考。

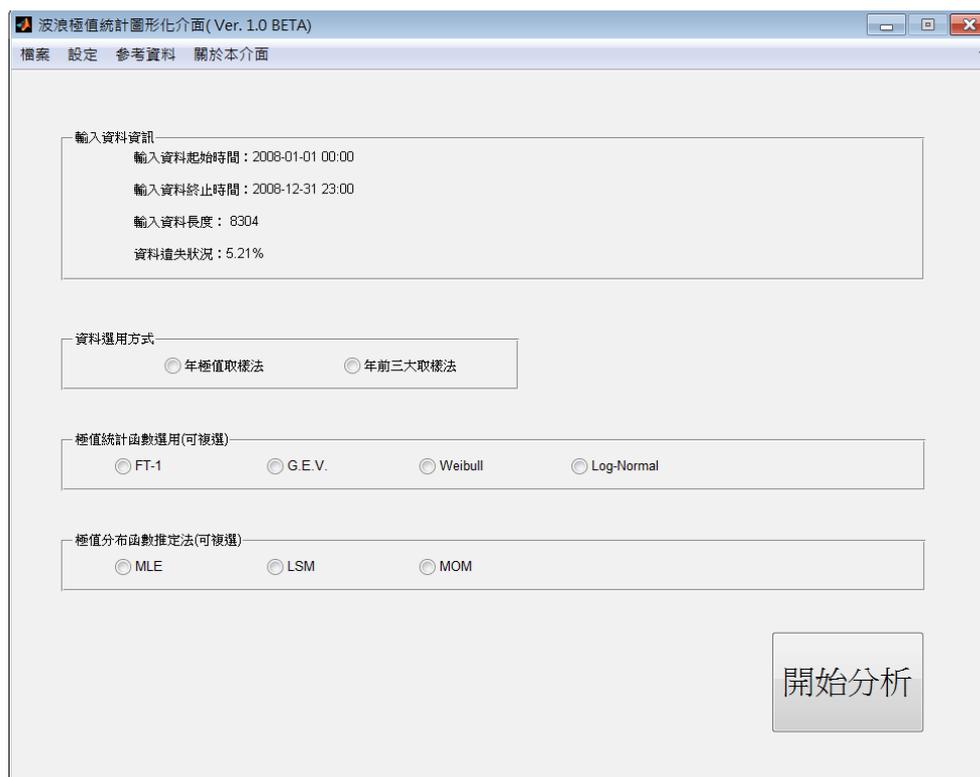


圖 6.2 波浪極值統計介面的輸入設定視窗部份

圖 6.3 為波浪極值統計介面的輸出視窗架構，經過資料讀取與推估設定完成後，其推算成果將展示於本視窗中，如圖 6-3 下半部所示，依據使用者所選用的極值函數與參數推定法，本介面將其推算結果以表格及函數分布圖進行展示。並於表中標示出最適極值函數與參數推定法及其所相對應的各重現期極值波高。

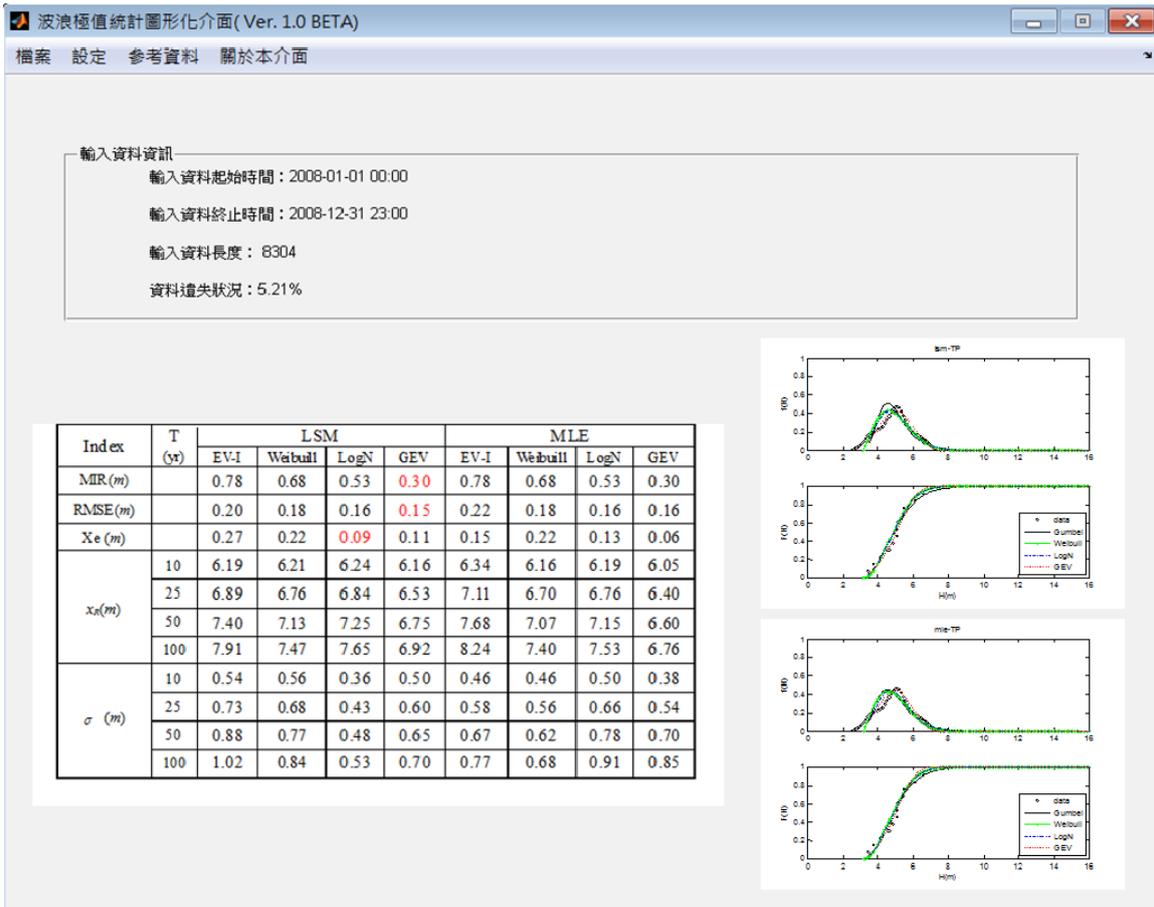


圖 6.3 波浪極值統計介面的輸出視窗部份

## 第七章 極值函數與參數推定法綜合比較

### 7.1 颱風波浪推算模式之比較

本節將臺中港半經驗波浪推算模式與類神經波浪推算模式之推算結果作比較，選取兩種模式皆有推算出結果且能與實測資料進行比較的颱風共 14 場如表 7.1。其中以四種模式評估指標包括：波高峰值、峰值發生時間、RMSE 與相關係數 R 進行評估，以臺中港 14 場颱風來看，波高峰值兩種模式皆有低估的現象，整體而論類神經較半經驗推算模式好。峰值發生時間的比較結果顯示半經驗模式平均會差 25 小時，而類神經模式僅差 6 小時。另外類神經網路的推算結果其誤差約為半經驗模式的一半，且推算結果與實測資料的相關性高達 0.8。

表 7.1 臺中港兩種波浪推算模式的誤差比較

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$	$\Delta t_p$	RMSE	R	$\Delta H_{s,p}$	$\Delta t_p$	RMSE	R	$H_{obs}$
		(m)	(hour)			(m)	(hour)			
		半經驗				類神經				
2004	敏督利(MINDULLE)	0.56	15	0.76	0.13	-1.13	0	0.39	0.97	3.05
2004	艾利(AERE)	2.81	-18	0.94	-0.22	0.41	10	0.42	0.93	3.44
2004	納坦(NOCK_TEN)	-0.52	-11	1.97	0.02	-0.73	1	1.49	0.57	4.56
2005	海棠(HAITANG)	-0.98	-13	2.04	-0.18	1.64	-30	0.69	0.65	6.96
2005	泰利(TALIM)	-0.45	-6	1.98	-0.12	-1.36	0	0.75	0.90	6.26
2005	龍王(LONGWANG)	0.53	-2	1.24	0.67	-0.86	2	0.73	0.74	5.58
2006	珍珠(CHANCHU)	-1.15	-163	0.73	0.46	-1.22	-6	0.95	0.44	4.93
2006	凱米(KAEMI)	-0.38	-13	0.99	0.15	0.47	1	0.44	0.92	3.63
2007	聖帕(SEPAT)	-0.21	-2	1.56	0.21	-0.24	2	0.49	0.86	5.43
2007	柯羅莎(KROSA)	-1.58	-11	1.99	0.27	-0.84	-7	0.98	0.89	6.74
2008	辛樂克(SINLAKU)	-0.92	-34	1.23	0.47	0.88	12	0.79	0.79	5.24
2009	莫拉克(MORAKOT)	-4.03	-17	2.21	0.09	-1.73	-1	0.70	0.94	7.78
2010	凡那比(FANAPI)	-0.25	0	1.18	0.68	-0.46	7	0.46	0.92	5.09
2010	梅姬(MEGI)	-2.49	-44	0.13	0.78	-0.71	0	1.01	0.68	4.83
絕對值平均		1.20	24.93	1.35	0.24	0.91	5.64	0.73	0.80	5.25

基隆港半經驗波浪推算模式與類神經波浪推算模式之推算結果作比較，選取兩種模式皆有推算出結果且能與實測資料進行比較的颱風共 16 場如表 7.2。其中以四種模式評估指標包括：波高峰值、峰值發生時間、RMSE 與相關係數 R 進行評估，以基隆港 16 場颱風來看，半

經驗模式波高峰值皆有明顯高估的現象，整體而論類神經明顯較半經驗推算模式好。峰值發生時間的比較結果顯示半經驗模式平均會差 24 小時，而類神經模式僅差 3 小時。另外類神經網路的推算結果其誤差約為半經驗模式的四分之一，且推算結果與實測資料的相關性高達 0.81。在臺中港與基隆港的模式測試下顯示類神經網路颱風波浪推算模式皆有較好的結果。

表 7.2 基隆港兩種波浪推算模式的誤差比較。

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$	$\Delta t_p$	RMSE	R	$\Delta H_{s,p}$	$\Delta t_p$	RMSE	R	$H_{obs}$
		(m)	(hour)			(m)	(hour)			
		半經驗				類神經				(m)
2001	桃芝(TORAGE)	4.84	-11	3.02	0.02	1.12	-2	0.74	0.60	1.3
2001	納莉(NARI)	0.96	0	1.5	0.79	-0.86	6	0.72	0.74	7.43
2003	蘇迪勒(SOUDELOR)	3.67	5	2.61	-0.65	2.42	6	0.88	0.55	2.19
2004	蘭寧(RANANIM)	2.68	-1	1.32	0.92	-0.30	3	0.54	0.88	4.35
2004	艾利(AERE)	3.06	-6	2.16	0.52	1.49	4	0.77	0.94	6.82
2004	納坦(NOCKTEN)	7.92	-155	4.13	0.09	0.08	6	0.87	0.54	4.97
2005	海棠(HAITANG)	3.54	-12	2.57	0.41	-0.92	-2	0.64	0.93	5.8
2005	馬莎(MATSA)	-1.07	-10	1.78	0.51	-0.92	5	0.59	0.96	7.41
2005	泰利(TALIM)	1.87	-5	2.2	0.43	-0.77	3	0.67	0.90	5.44
2005	卡努(KHANUN)	4.68	-122	3.28	0.65	-0.20	-4	0.55	0.76	3.91
2005	龍王(LONGWANG)	5.06	-2	2.39	0.84	-0.16	-1	0.34	0.74	3.05
2007	聖帕(SEPAT)	3.19	-4	1.64	0.83	0.29	-5	0.66	0.64	2.51
2007	柯羅莎(KROSA)	4.45	-14	4.16	0.05	-1.28	1	0.46	0.95	7.06
2008	辛樂克(SINLAKU)	6.25	-8	3.21	0.32	2.57	0	0.78	0.92	4.19
2009	莫拉克(MORAKOT)	2.33	-24	2.53	-0.3	-0.68	2	0.33	0.96	4.51
2010	凡那比(FANAPI)	2.79	-3	1.47	0.67	0.98	2	0.47	0.93	3.29
絕對值平均		3.65	23.88	2.50	0.38	0.94	3.25	0.63	0.81	4.64

## 7.2 各港類神經颱風波浪推算模式精度比較

表 7.3 顯示本所港研中心歷年來發展颱風波浪推算模式的成效比較，其中  $\Delta H_{s,p}$  部分是以高雄港最佳，誤差 0.67m，但其可能原因是為高雄港目前記錄的颱風波浪峰值都較其他港小。最大波高發生時間誤差  $\Delta t_p$  波則以基隆港波浪推算模式最為準確。均方根誤差 RMSE 擇以臺北港最佳，其值為 0.59m。推算波高結果與實測波高的相關性 R 以

花蓮港為最佳，其值為 0.83。整體來說，模式成效以花蓮港與基隆港為最佳，其特性也較相近，由於大部分颱風皆由東往西侵臺，且花蓮港的颱風波浪實測資料最完整，所以該測站的模式推算能力較佳。高雄港、安平港與臺北港在地理位上有一個共通點，大部分颱風在接近此區域其風場結構皆受到地形的阻擋，其波浪傳遞也受到陸地的遮蔽效應，且颱風波浪資料較少，所以模式的推算能力並沒有花蓮港那麼好，而臺中港部分由於資料較少，且有幾場颱風的對應波高有異常的波峰值外，配合二維的轉換函數，其模式推算能力與安平港模式接近，未來若能有更多的颱風波浪資料進行分析，相信能繼續提升模式推算能力。

表 7.3 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
花蓮港	0.98	5.04	0.69	0.83
高雄港	0.67	8.70	0.64	0.74
安平港	1.03	10.06	0.72	0.73
臺北港	1.02	14.81	0.59	0.73
臺中港	0.79	10.86	0.70	0.71
基隆港	0.97	4.38	0.62	0.82

### 7.3 各月最適極值函數與參數推定法比較

本研究將各月份最適極值函數、參數推定法以及對應的推估 50 年重現期高波列如表 7.4 及表 7.5。表中可發現臺中港整體而言最適極值函數以 LogN 主，其餘有少數為 FT-1、GEV 及 Weibull 但並無明顯季節性分布。參數推定法則皆以 LSM 為最合適，50 年重現期的各月份極值波高以 5、6 月最小，11 至隔年 4 月次之，較大的月份為颱風季 7 至 10 月。

表 7.4 臺中港各月份最適極值函數與對應的 50 年重現期波高

月份	最適極值函數	參數推定法	重現期 50 年波高(m)
1 月	LogN	LSM	6.14
2 月	FT-1	LSM	6.84
3 月	GEV	LSM	7.88
4 月	LogN	LSM	6.16
5 月	LogN	LSM	4.21
6 月	Weibull	LSM	4.38
7 月	LogN	LSM	11.59
8 月	LogN	LSM	11.01
9 月	LogN	LSM	8.79
10 月	LogN	LSM	8.26
11 月	GEV	LSM	5.46
12 月	LogN	LSM	5.67

基隆港的月極值分析結果中可以明顯看出有季節性的變化，例如在波高較小的 1 月至 6 月是以 GEV 為最適函數分布，在較大波高的颱風季節 7、8 及 9 月以及冬季季風作用季節 12 月皆以 Weibull 為最適函數，而 10 月及 11 月這段時間則以 LogN 為最適函數。在參數推定法的部分，在颱風季節的 8 月及 9 月兩個月中，Weibull 函數配合 LSM 的在各檢定中的表現皆很好，但其推估結果的標準偏差卻過大，致使 95% 信賴區間大小過大而難以具代表性，但若採用 Weibull 函數配合 MLE，雖然檢定表現沒有 LSM 方法來得好但是其標準偏差較低。

表 7.5 基隆港各月份最適極值函數與對應的 50 年重現期波高

月份	最適極值函數	參數推定法	重現期 50 年波高(m)
1 月	GEV	LSM	9.21
2 月	GEV	LSM	7.40
3 月	Weibull	LSM	6.80
4 月	GEV	LSM	6.21
5 月	GEV	LSM	3.74
6 月	GEV	LSM	2.73
7 月	Weibull	LSM	9.04
8 月	Weibull	MLE	9.79
9 月	Weibull	MLE	12.38
10 月	LogN	LSM	8.62
11 月	LogN	LSM	7.29
12 月	Weibull	LSM	7.84

## 7.4 各港最適年極值函數與參數推定法綜合比較

本研究將往昔研究成果配合今年度臺中港與基隆港的三種波浪資料樣本極值分析結果彙整，將最適極值函數、參數推定法與相對應的 50 重現其波高值列於表 7.6。表中顯示 MLE、LSM 及 MOM 三種參數推定法中，MOM 的結果較差，其餘 MLE 與 LSM 等方法的結果相近，在各資料樣本與各港的選用上並無明顯特性。而在最適極值參數的決定上類神經模式所推算出的波浪樣本大多是用於 Weibull 與 LogN 兩種。其餘樣本中 GEV 則稍微至佔多數。另外由於各港地理位置與波浪特性不同，花蓮港三種樣本皆以 Weibull 最佳，其餘各港中則各自以 GEV 及 LogN 為最佳，整體來看並沒有因地理位置或樣本產生一致性。但由於 GEV 函數在使用上常會因資料特性而發生結果異常的狀況，故本研究保守建議未來進行極值分析時可選用 Weibull 與 LogN 進行，另外並可配合 MLE 與 LSM 兩種參數推定法來做比較。

表 7.6 各港三種波浪資料樣本的最適極值函數與參數推定法

	實測資料(視資料長度)			類神經模式(32 年)			半經驗模式(71 年)		
	最適極值 函數	參數推 定法	重現期 50 年 波高(m)	最適極值 函數	參數推 定法	重現期 50 年波高(m)	最適極值 函數	參數推 定法	重現期 50 年波高(m)
花蓮港	Weibull	MLE	13.7	Weibull	MLE	12.05	Weibull	MLE	18.06
高雄港	GEV	MLE	8.05	Weibull	LSM	6.91	LogN	MLE	9.52
安平港	GEV	LSM	7.99	Weibull	LSM	6.86	GEV	LSM	9.89
臺北港	GEV	LSM	6.75	Weibull	LSM	7.41	GEV	LSM	7.91
臺中港	LogN	LSM	9.22	LogN	LSM	6.97	GEV	MLE	6.67
基隆港	LogN	LSM	11.48	LogN	LSM	8.71	GEV	MLE	14.34

## 第八章 結論與建議

港灣結構物的設計條件，需要利用相當長的波浪實測資料方能分析，但實際上可能常因現有記錄的時間長度不足，無法達成。此時，需要藉由統計方法，利用有限長度的資料，去推估重現期之波浪特性。本研究針對臺中港與基隆港進行類神經波浪模式之建構，並針對實測資料進行月極值統計，另針對三種樣本進行年極值統計分析，獲得以下結論。

### 8.1 結論

1. 本研究提出同時考慮距離與角度的二維轉換函數來提升臺中港類神經波浪推算模式，經此轉換可使颱風輸入資料再進入類神經網路進行學習前先轉換成與波高較高相關性的映射值，以改善類神經颱風波浪推算模式的推算能力。臺中港各場颱風波浪最大波高誤差取絕對值後平均約為 0.79m，而此外最大波高發生時間誤差取絕對值後平均約 10.86 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差平均為 0.70m。推算波高結果與實測波高的相關性則平均為 0.71。
2. 基隆港颱風波浪推算模式則著重路徑 1、2 及 6 經過臺灣東北方外海的颱風所造成的波浪影響來做模擬。本成果可供港務公司與相關單位作為預警系統或參考。基隆港各場颱風波浪最大波高誤差取絕對值後平均約為 0.97m，而此外最大波高發生時間誤差取絕對值後平均約 4.38 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差平均為 0.62m。推算波高結果與實測波高的相關性則平均為 0.82。
3. 本研究採用半經驗波浪推算模式與類神經波浪推算模式之推算結果作比較，選取兩種模式皆有推算出結果且能與實測資料進行比較的颱風，以四種模式評估指標進行比較，整體而論類神經波浪推算模式的結果明顯較半經驗推算模式的結果更為正確。

4. 本研究以完整的極值分析方法，由箱型圖初步分析取樣，再進一步討論極值分析之最佳方法，以考慮季節性變化之月極值特性分析得到以下結論。臺中港整體而言最適極值函數以 LogN 主，其餘有少數為 FT-1、GEV 及 Weibull 但並無明顯季節性分布。參數推定法則皆以 LSM 為最合適，50 年重現期的各月份極值波高以 5、6 月最小，11 至隔年 4 月次之，較大的月份為颱風季 7 至 10 月。基隆港的月極值分析結果中可以明顯看出有季節性的變化，例如在波高較小的 1 月至 6 月是以 GEV 為最適函數分布，在較大波高的颱風季節 7、8 及 9 月以及冬季季風作用季節 12 月皆以 Weibull 為最適函數，而 10 月及 11 月這段時間則以 LogN 為最適函數。
5. 年極值統計部分，臺中港不同的資料樣本中，年極值分析中最佳參數推定法實測資料與類神經模式推算結果相同皆為 LSM，而極值函數兩者也皆以 LogN 為最佳。但由於資料樣本數的不同，可發現 50 年重現期的設計波浪以實測數據所推算得的值最大，類神經網路波浪推算的資料樣本次之，半經驗波浪推算模式模式最小。基隆港不同的資料樣本中，年極值分析中最佳參數推定法僅有半經驗模式的樣本為 MLE 其餘則為 LSM，而最佳極值函數皆不同。50 年重現期的設計波浪以半經驗模式樣本所推算得的值最大，實測資料樣本次之，類神經網路波浪推算模式最小，且顯示半經驗模式高估許多類神經模式在 32 個年極值資料樣本的狀況下稍微低估。
6. 本研究建構能有效提昇模式的操作效率以及擴展使用者族群的波浪極值統計視窗化操作介面，經過更完善的整合能夠使模式的應用性更加廣泛。本介面包含波浪資料輸入分析、月極值統計及年極值統計的應用程式，並透過圖形化的介面使整個操作流程更簡單方便。

## 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可供學習或驗證可再提升模式之可靠

度。另外模式推估成效的評估建議可在完成更多港口推算模式後進行綜合評估，並分析各港間的相關性。

2. 各港波浪無法通過箱型圖檢驗的資料，除颱風造成的異常波浪外應該更進一步針對原始資料研究這些極端雜訊的合理性，與排除標準。

### **8.3 成果效益及後續應用情形**

本研究成果可提供臺灣港務公司基隆港務分公司及臺中港務分公司檢核基隆與臺中兩港區設計波浪之資訊。本研究中的類神經颱風波浪推算模式亦可提供基隆港務分公司及臺中港務分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。波浪極值統計視窗化介面能提供相關工程設計單位快速計算各重現期的極值波高。

## 參考文獻

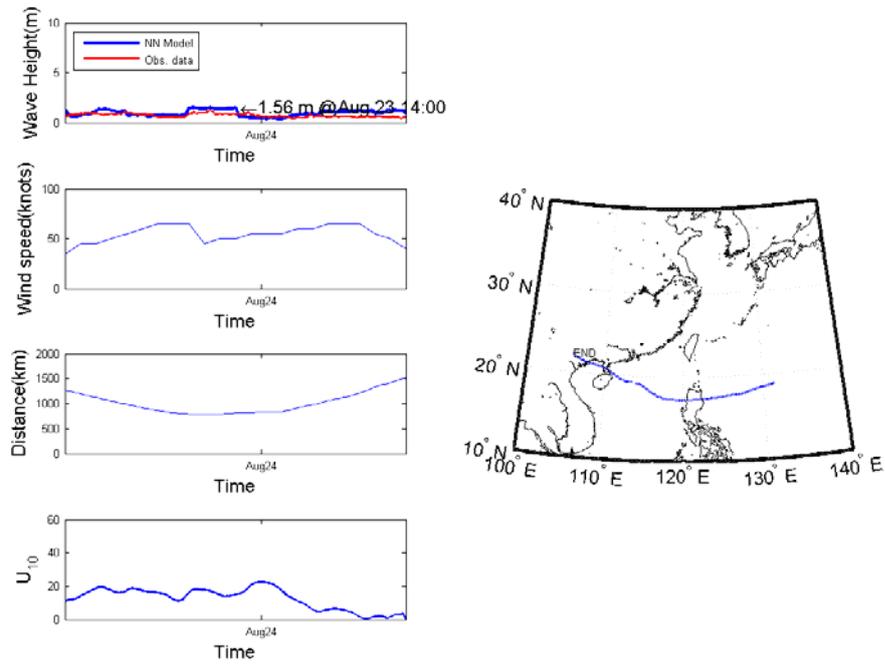
1. 湯麟武(1970)，「淺灘海岸上波浪推算方法之研究」，成功大學土木水利學術彙刊，第1期，第105~164頁。
2. 井島武士(1972)，「臺中港設計波浪計算報告書」，日本港灣顧問公司。
3. 梁乃匡(1982)，「颱風湧浪的預報方法」，第6屆海洋工程研討會論文集，第5-1~5-19頁。
4. 合田良實，「港灣構造物的耐波設計」，鹿島出版社(1990)
5. 郭一羽，「海岸工程學」，文山書局，第四章(2001)
6. Camargo, S. J., A. W. Robertson, S. J. Gaffney, P. Smyth, and M. Ghil (2007) “Cluster analysis of typhoon tracks. Part II: Large-scale circulation and ENSO,” *J. Climate*, 20, 3654-3676.
7. Camargo, S. J., A. W. Robertson, S. J. Gaffney, P. Smyth, and M. Ghil, (2007a) “Cluster analysis of typhoon tracks. Part I: General properties.” *J. Climate*, 20, 3635–3653.
8. Carter, D.J.T., Challenor, P.G., (1981) “Estimating return values of environmental parameters”, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 107, 259–266.
9. 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.
10. Coastal engineering manual (2002) “Hydro-dynamic analysis and design conditions,” Chapter 8.
11. Coles, S.G., (2001) “An Introduction to Statistical Modelling of Extreme Values”, Springer-Verlag, London.
12. 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.
13. Davison, A.C., Smith, R.L., (1990) “Models for exceedances over high thresholds with discussion”, *Journal of the Royal Statistical Society. Series B* 62, 191-208.
14. Dawson, C W. and Wilby, R. L. (2001) “Hydrological Modeling Using

- Artificial Neural Networks.” *Progress in Physical Geography*.25(1): 80-108.
15. Eberhart, R.C., and Dobbins, R.W. (1990) *Neural Network PC Tools – A Practical Guide*, Academic Press, Ins., 10-250.
  16. Elsinghorst, C., Groeneboom, P., Jonathan, P., Smulders, L., Taylor, P.H., (1998) “Extreme value analysis of North Sea storm severity”, *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering* 120 (3), 177- 183.
  17. Embrechts, P., Klüppelberg, C., Mikosch, T., (1997) “Modeling Extremal Events”, Springer Verlag, Berlin.
  18. Ferreira, J.A., 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.
  19. Ferreira, J.A., Guedes Soares, C., (2000) “Modelling distributions of significant wave height”, *Coastal Engineering* 40, 361-374.
  20. Fisher R. A. and L. H. C. Tippett, (1928) “Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of a sample”, *Proceedings of Cambridge Philosophical Society*, Vol.24, (2), 180.Reprinted in R. A. Fisher, *Contributions to Mathematical Statistics*, John Wiley and Sons, New York, 1950.
  21. Galambos, J., (1987) “The Asymptotic Theory of Extreme Order Statistics”, Krieger, Florida.
  22. 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.
  23. Graham, H.E., and Nunn, D.E. (1959) “Meteorological conditions pertinent to standard project hurricane,” *Atlantic and Gulf Coasts of United States*, National Hurricane Research Project, Report No. 3, U. S. Weather Service.
  24. Guedes Soares, C., (1986) “Assessment of the uncertainty in visual observations of wave height”, *Ocean Engineering* 13 (1), 37-56.
  25. 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.
  26. Guedes Soares, C., Scotto, M., (2001) “Modelling uncertainty of long-term predictions of significant wave height”, *Ocean Engineering* 28, 329-342.

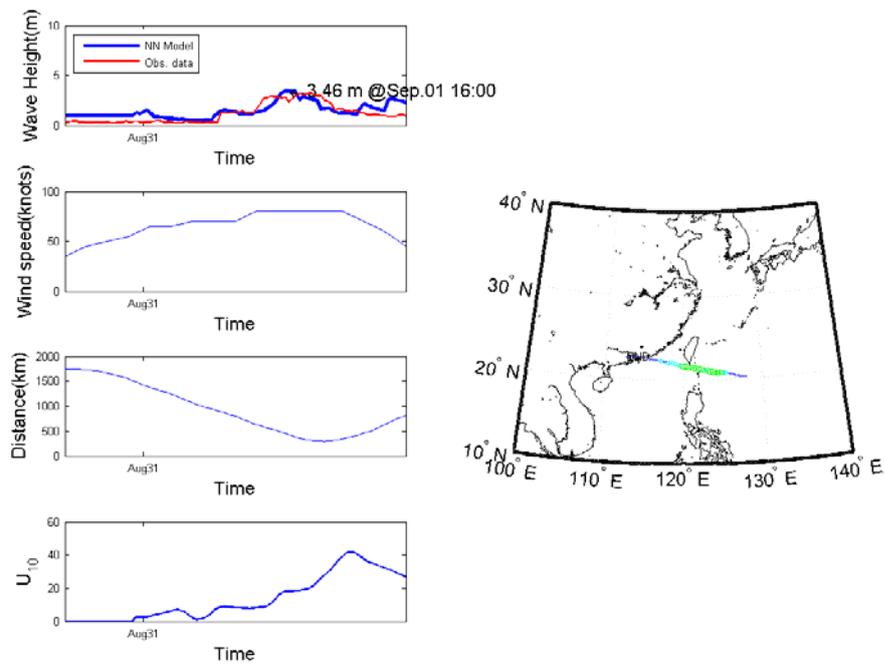
27. Haver, S. (1985) Wave Climate off northern Norway, *Applied Ocean Research*, 7, 85-92.
28. Hayashi, Y., Sakata, M., and Gallant, S.I. (1990) "Multi-layer versus single-layer neural networks and an application to reading hand-stamped characters," In proceeding International Conference on Neural Networks, Paris, 781-784.
29. Huang, W., and Foo, S. (2002) "Neural network modeling of salinity variation in Apalachicola River," *Water Research*, Vol. 36, 356-362.
30. 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.
31. Kecman, V. (2001) "Learning and Soft Computing: Support Vector Machines, Neural Networks, and Fuzzy Logic Models." *The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England*.
32. Kurkova, V. (1992) "Kolmogorov's Theorem and multilayer neural networks," *Neural Networks*, Vol. 5, 501-506.
33. Mendez, F.J., Menendez, M., Luceno, A., Losada, I.J., (2006) "Estimation of the long-term variability of extreme significant wave height using a time-dependent POT model", *Journal of Geophysical Research* 111, C07024.
34. Moller M, (1993) "A scaled conjugate gradient algorithm for fast supervised learning", *Neural Networks*, 6(4), 525-533.
35. Muir, J.R., El Shaarawi, A.H., (1986) "On the calculation of extreme wave heights", *Ocean Engineering* 13, 93-118.
36. Naess, A., 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.
37. Petruaskas, C., Aagaard, P.M., (1971) "Extrapolation of historical storm data for estimating design wave heights". *Journal of Petroleum Engineering* 11, 23-37.
38. Prechelt, L. (1998), "Early stopping-But when?" *Neural Networks: Tricks of the Trade*, 553-543.
39. Sarle, W.S. (1995), "Stopped Training and Other Remedies for Overfitting," *Proceedings of the 27th Symposium on the Interface of Computing Science and Statistics*, 352-360.
40. Smith, R.L., (1986) "Extreme value theory based on the r largest annual

- events”, *Journal of Hydrology* 86, 27-43.
41. 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, pp. 978–992.
  42. Vidal, C., Medina, R., Lomonaco, P., (2006) “Wave height parameter for damage description of rubble-mound breakwaters”, *Coastal Engineering* 53, 711-722.
  43. Weibull, W., (1951) “A statistical distribution function of wide application”, *Journal of Applied Mechanics*, Vol.18, pp.293.

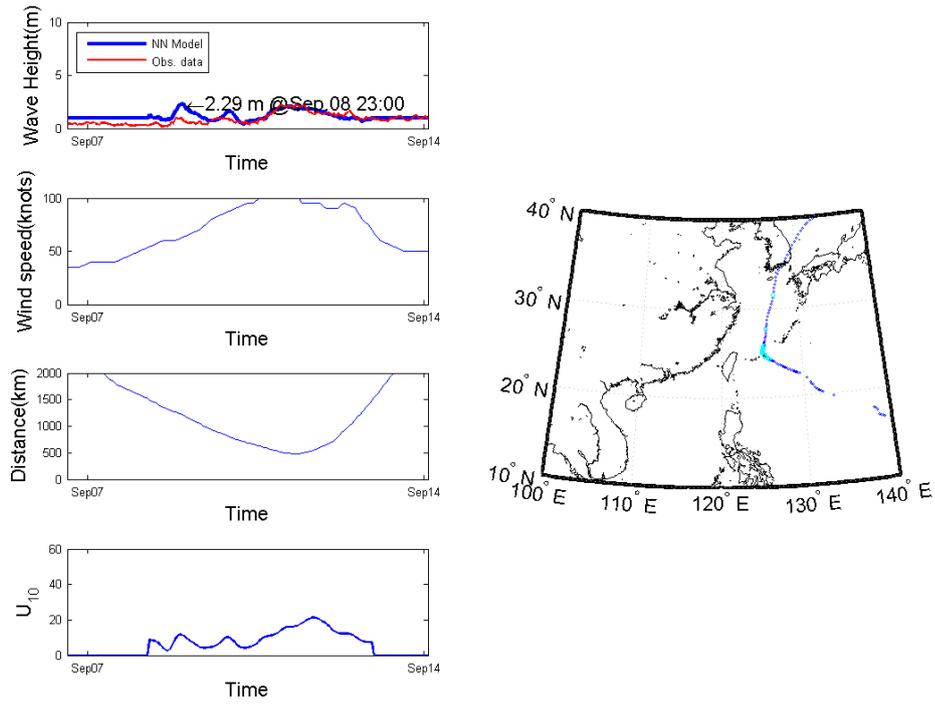
# 附錄一 臺中港與基隆港類神經波浪推算模式推算結果



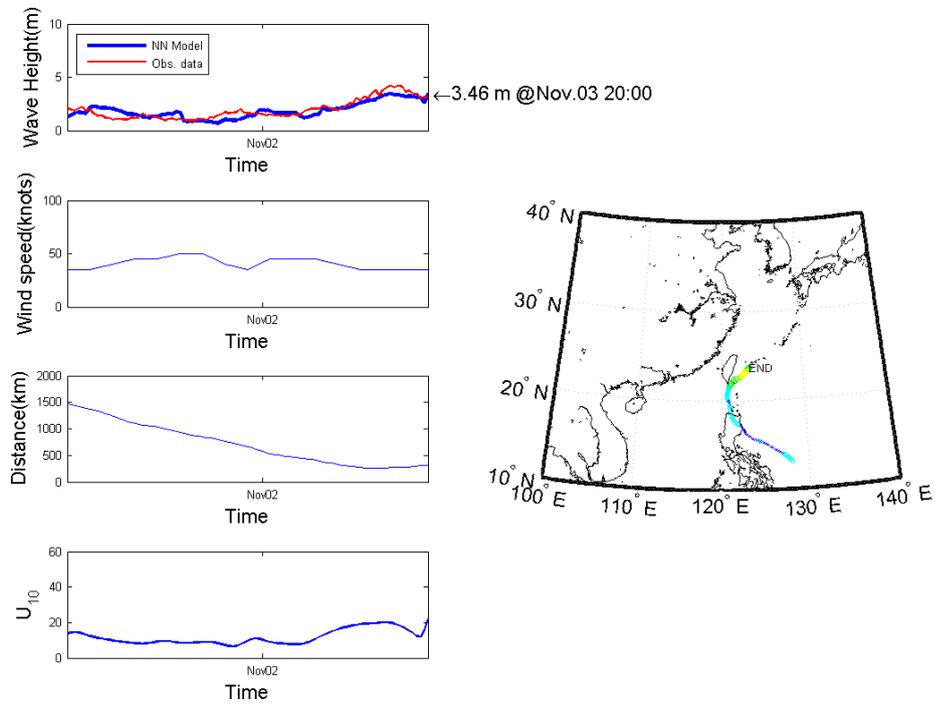
附圖 1 柯羅旺(2003)颱風資訊與臺中港推算結果



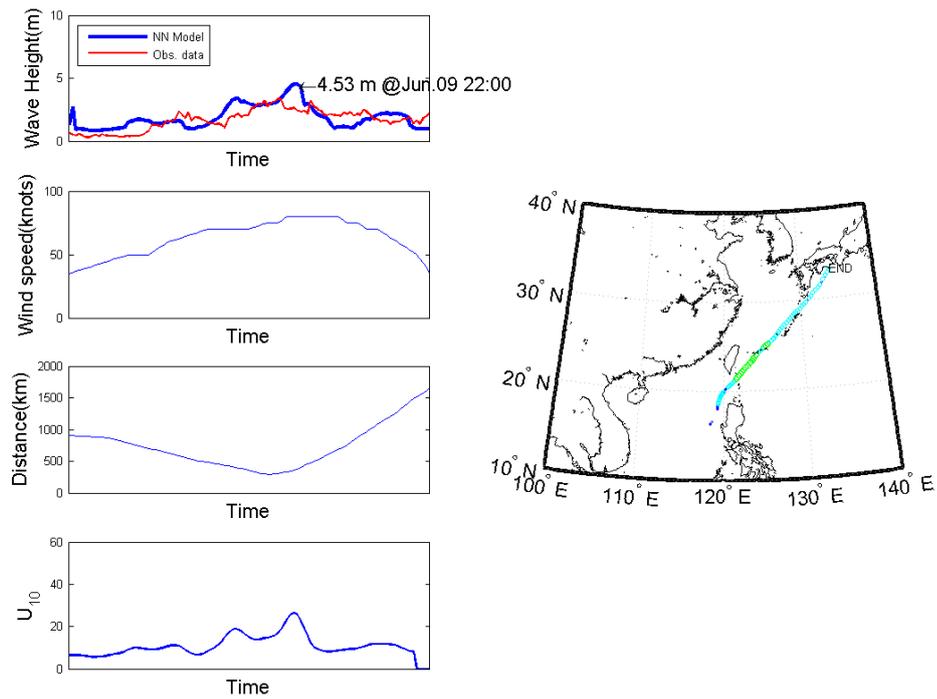
附圖 2 杜鵑(2003)颱風資訊與臺中港推算結果



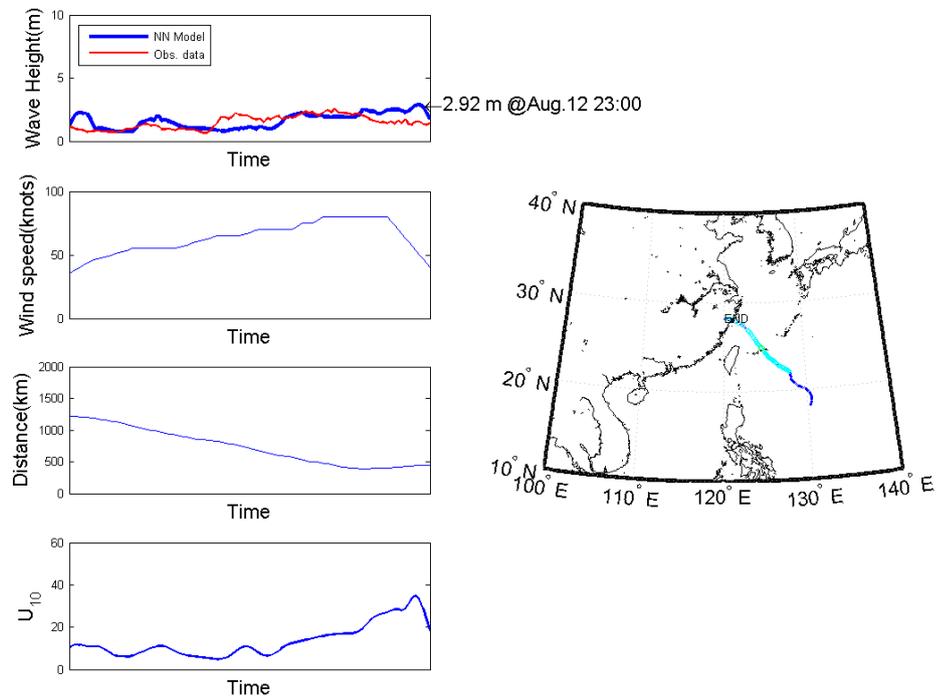
附圖 3 梅米(2003)颱風資訊與臺中港推算結果



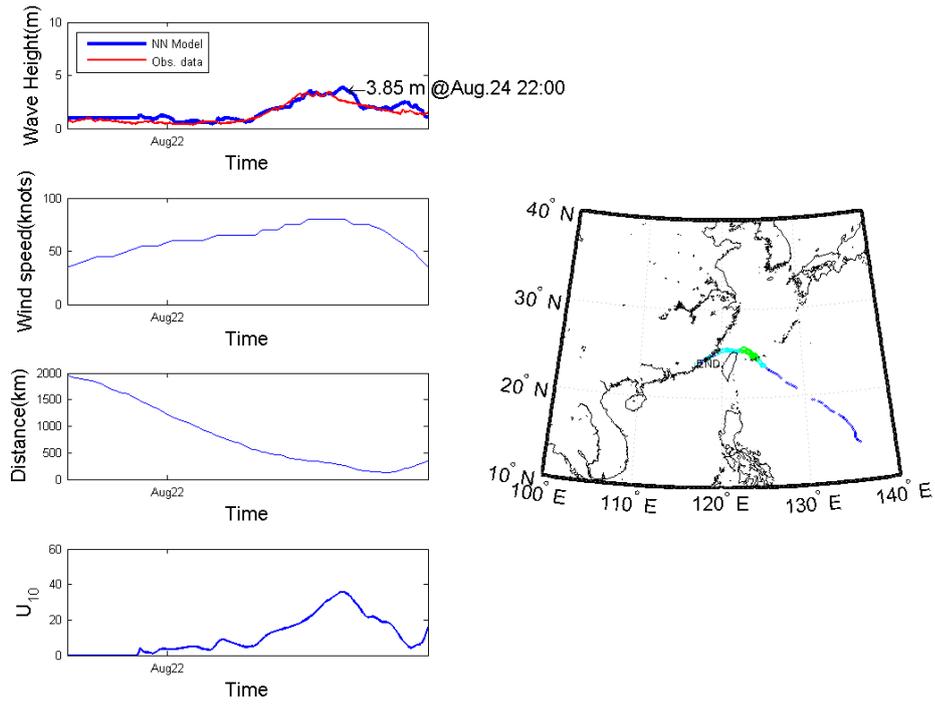
附圖 4 米勒(2003)颱風資訊與臺中港推算結果



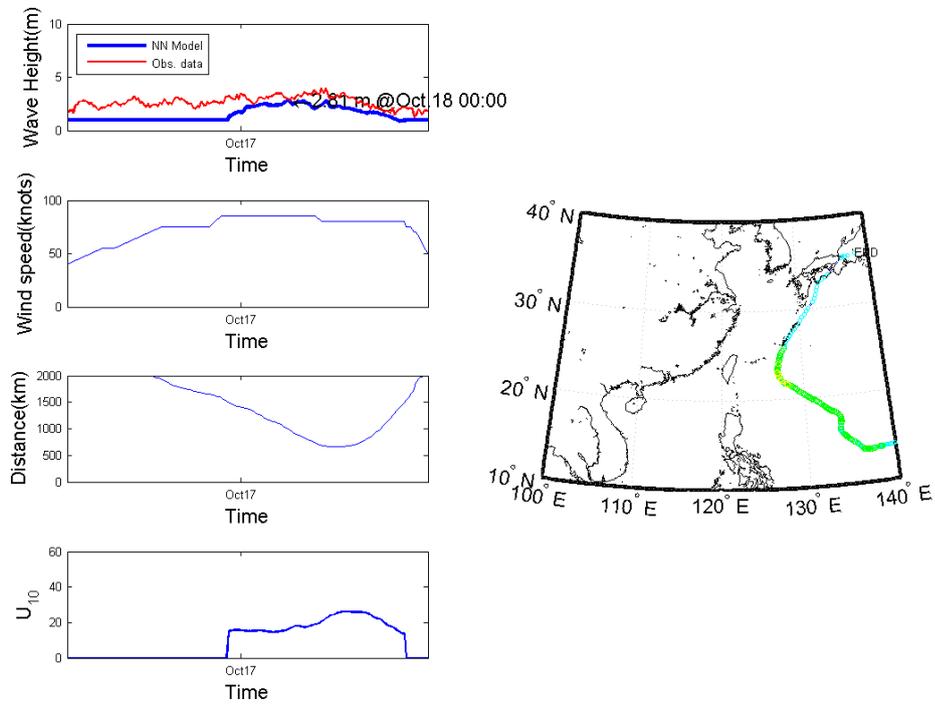
附圖 5 康森(2004)颱風資訊與臺中港推算結果



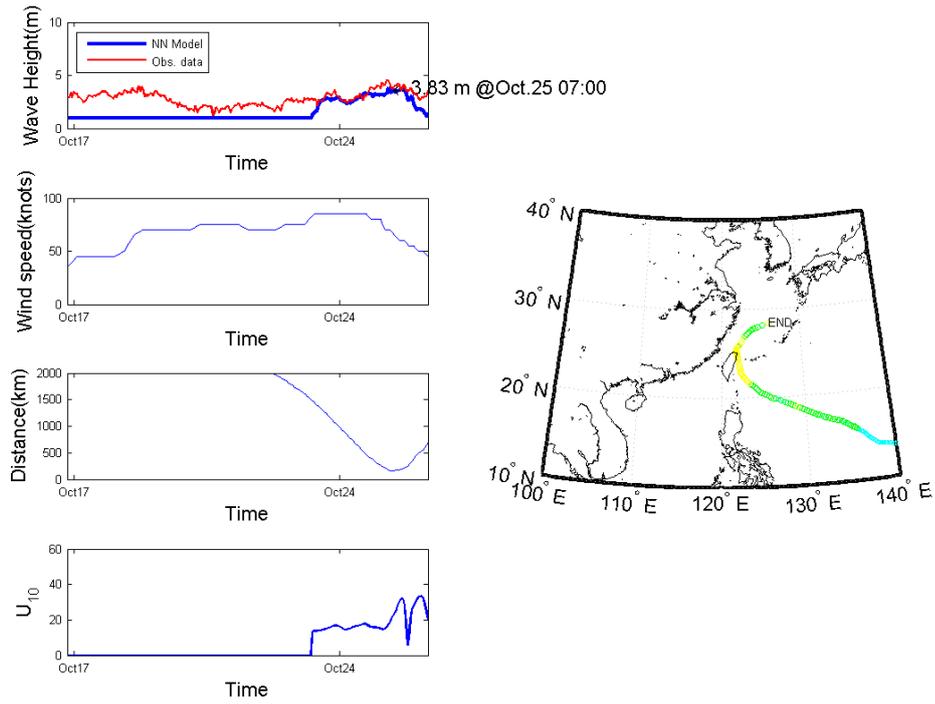
附圖 6 蘭寧(2004)颱風資訊與臺中港推算結果



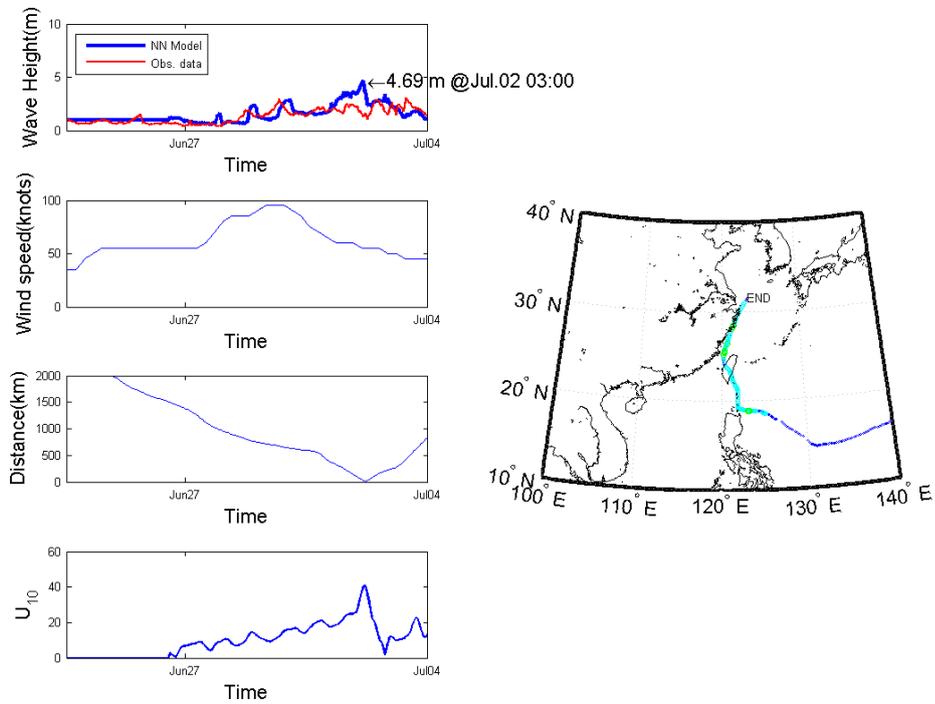
附圖 7 艾利(2004)颱風資訊與臺中港推算結果



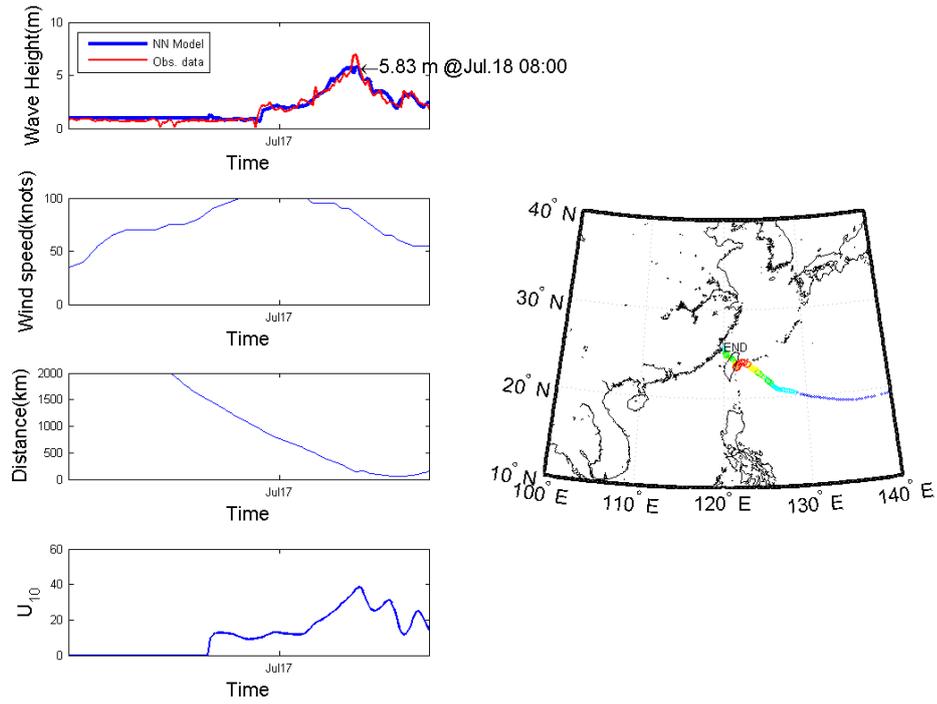
附圖 8 陶卡基(2004)颱風資訊與臺中港推算結果



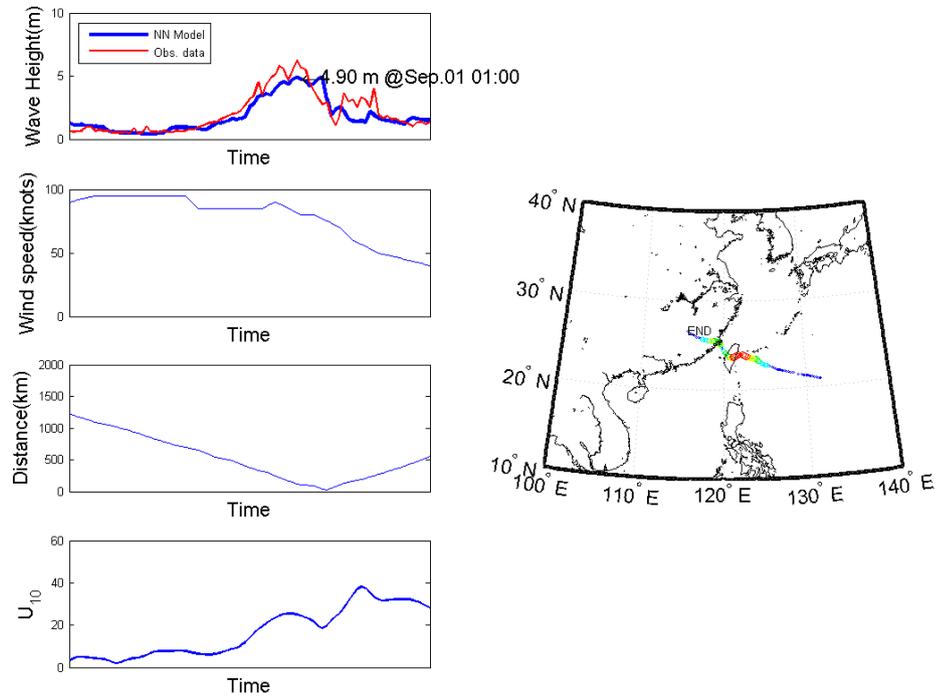
附圖 9 納坦(2004)颱風資訊與臺中港推算結果



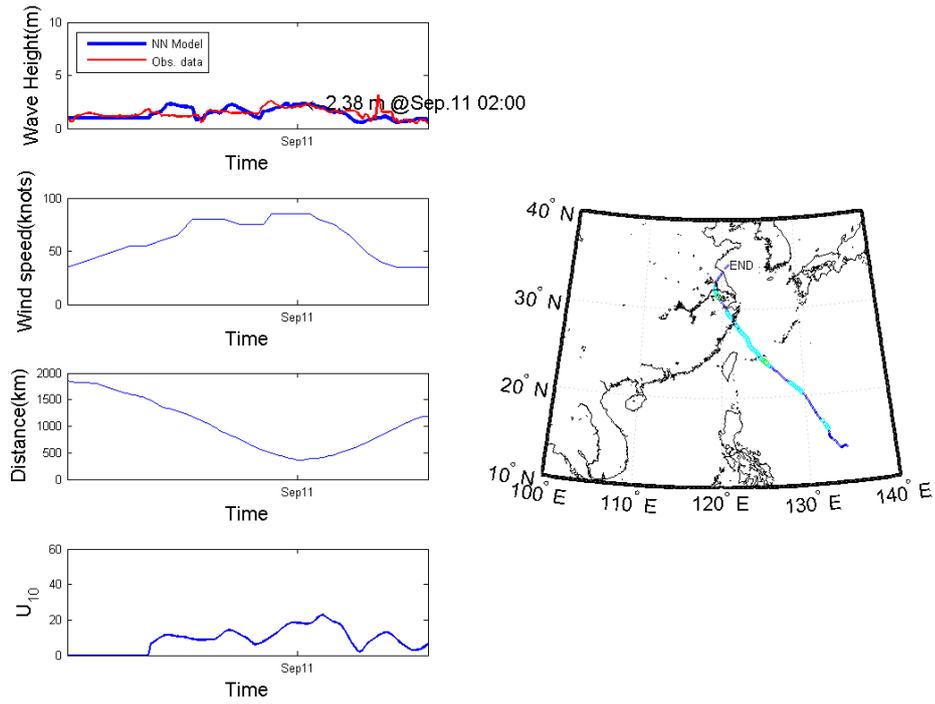
附圖 10 敏督利(2004)颱風資訊與臺中港推算結果



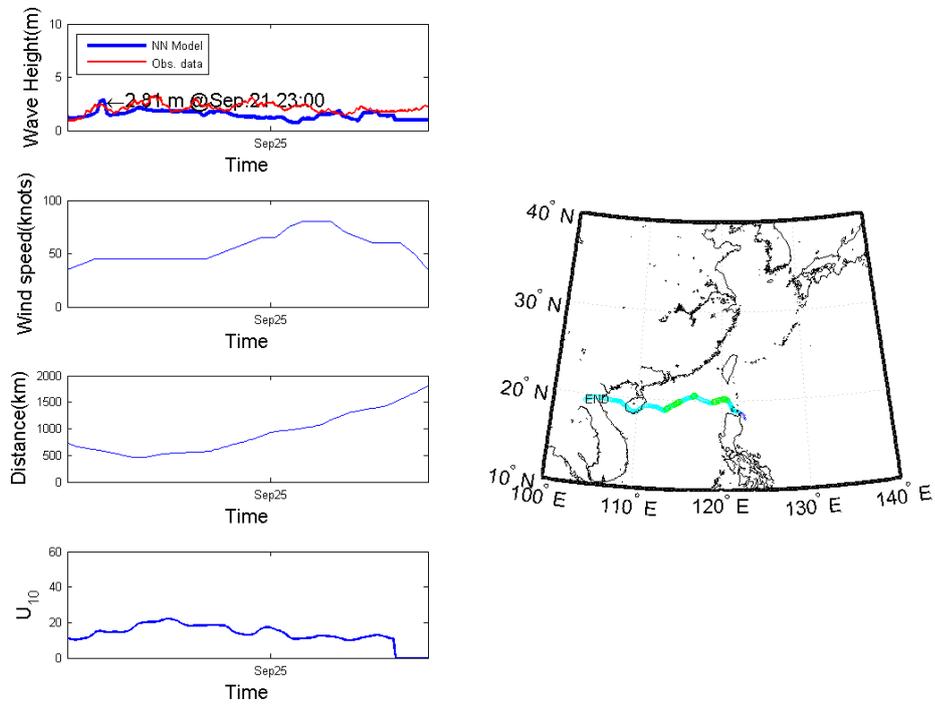
附圖 11 海棠(2005)颱風資訊與臺中港推算結果



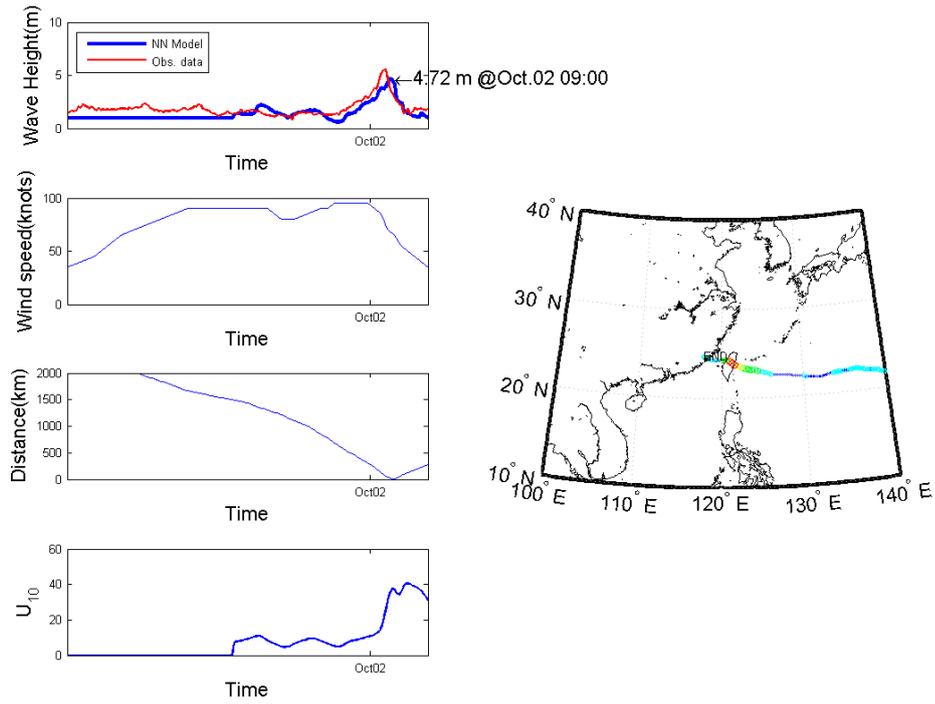
附圖 12 泰利(2005)颱風資訊與臺中港推算結果



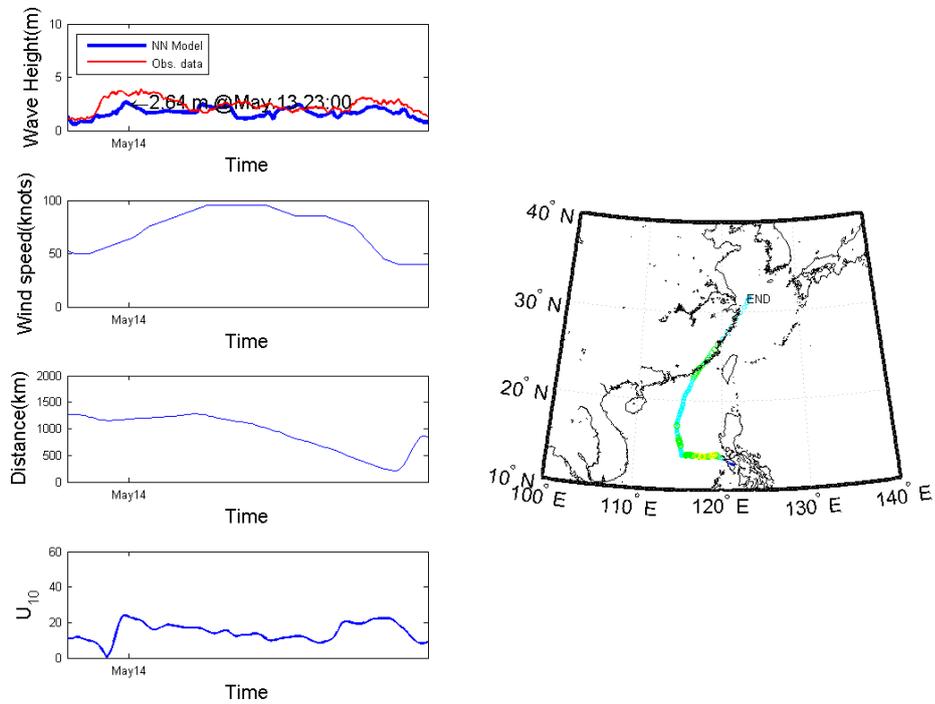
附圖 13 卡努(2005)颱風資訊與臺中港推算結果



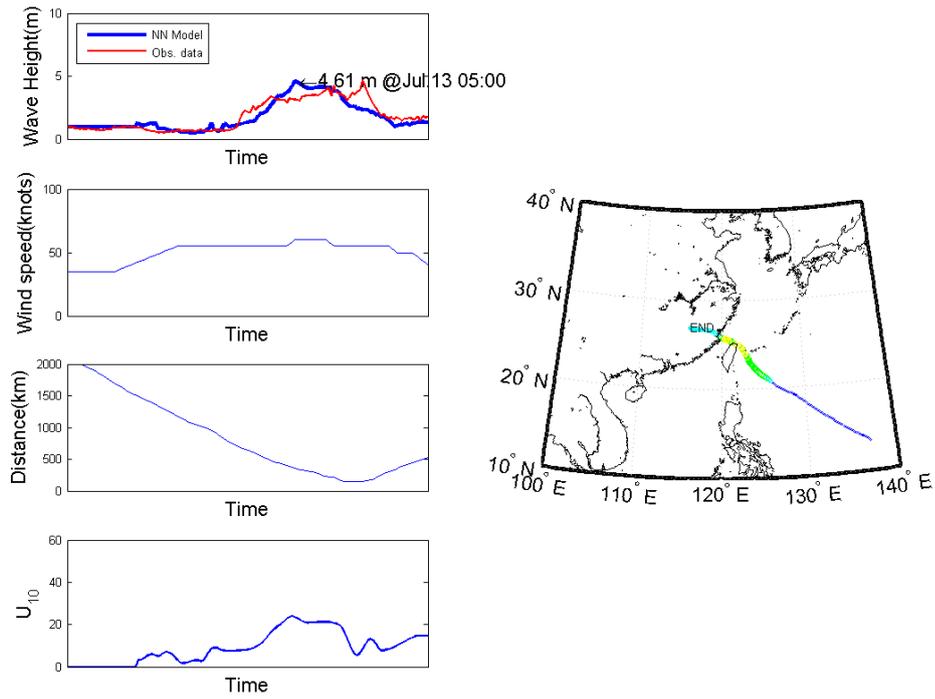
附圖 14 丹瑞(2005)颱風資訊與臺中港推算結果



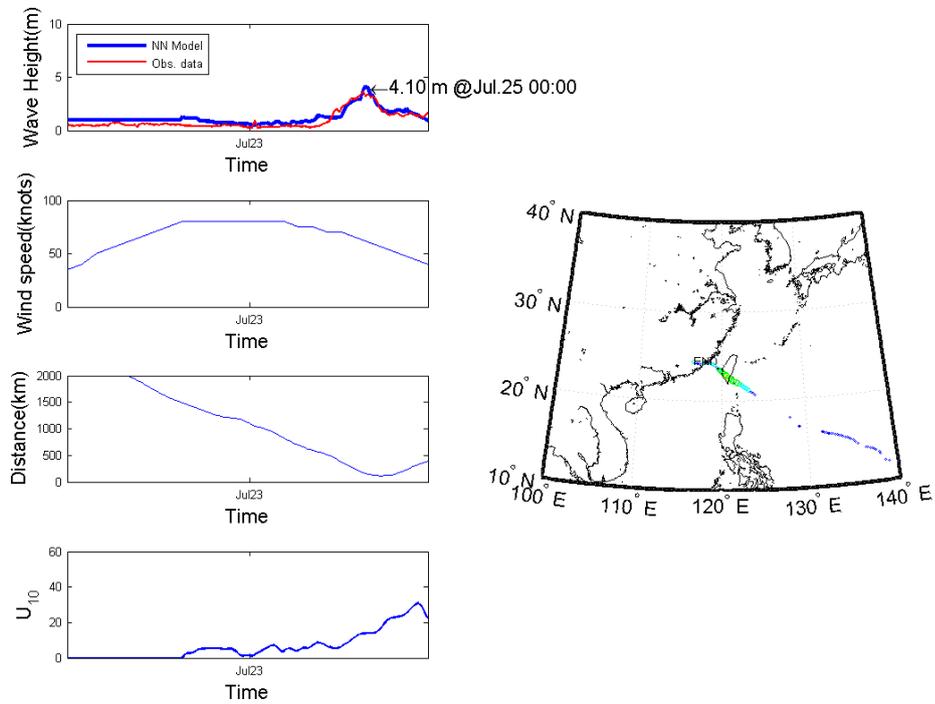
附圖 15 龍王(2005)颱風資訊與臺中港推算結果



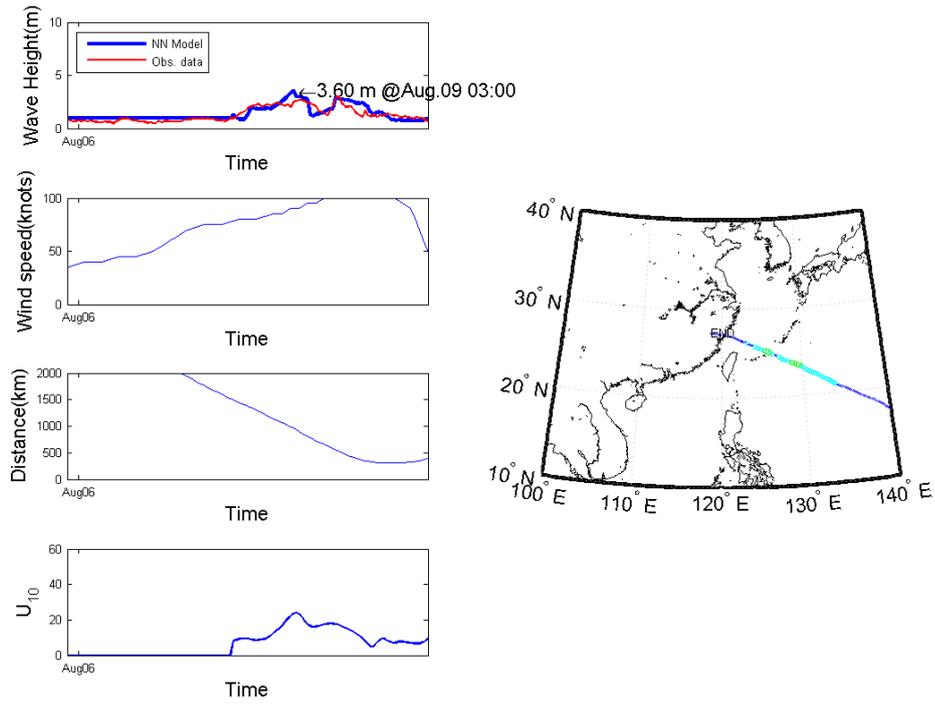
附圖 16 珍珠(2006)颱風資訊與臺中港推算結果



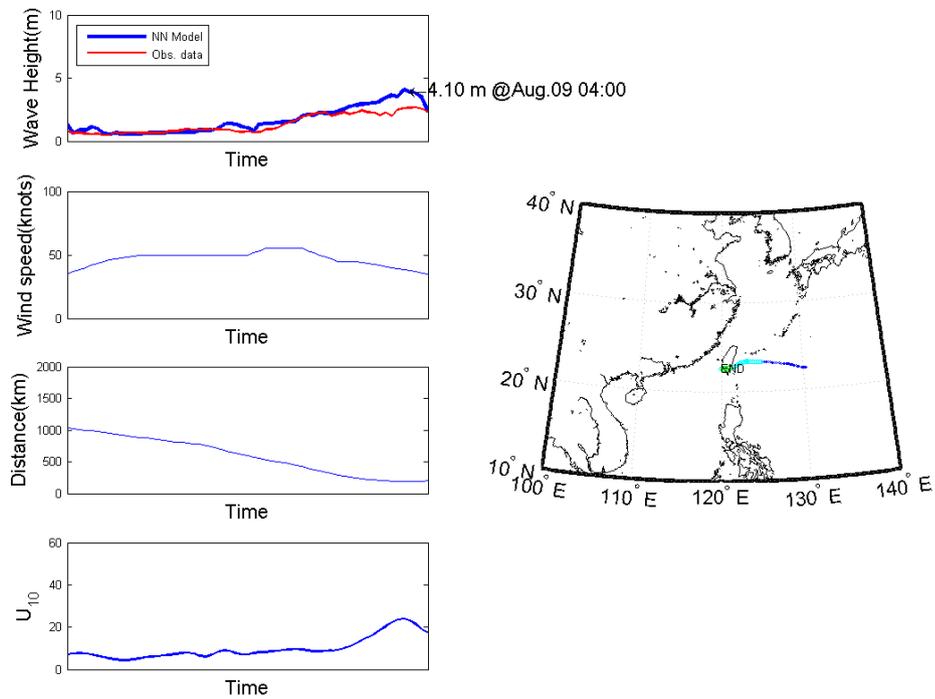
附圖 17 碧利斯(2006)颱風資訊與臺中港推算結果



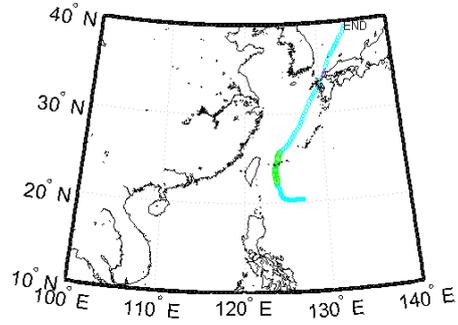
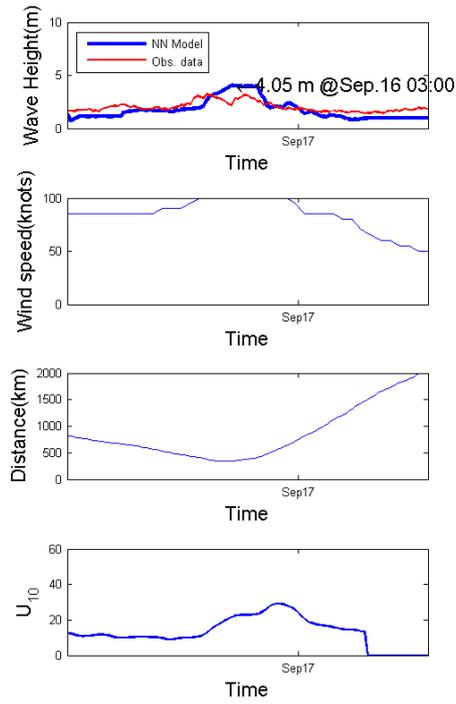
附圖 18 凱米(2006)颱風資訊與臺中港推算結果



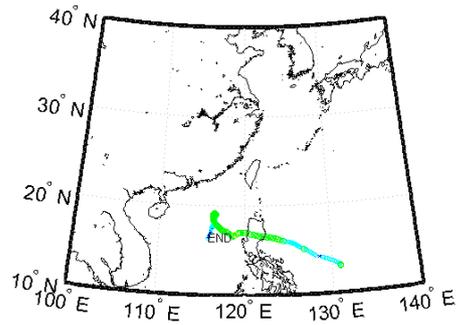
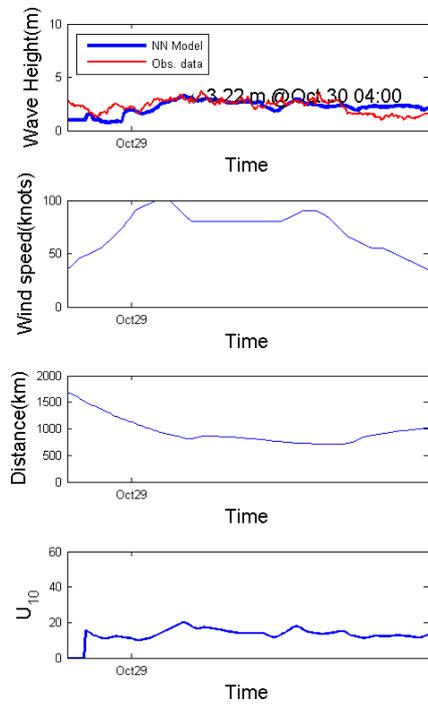
附圖 19 桑美(2006)颱風資訊與臺中港推算結果



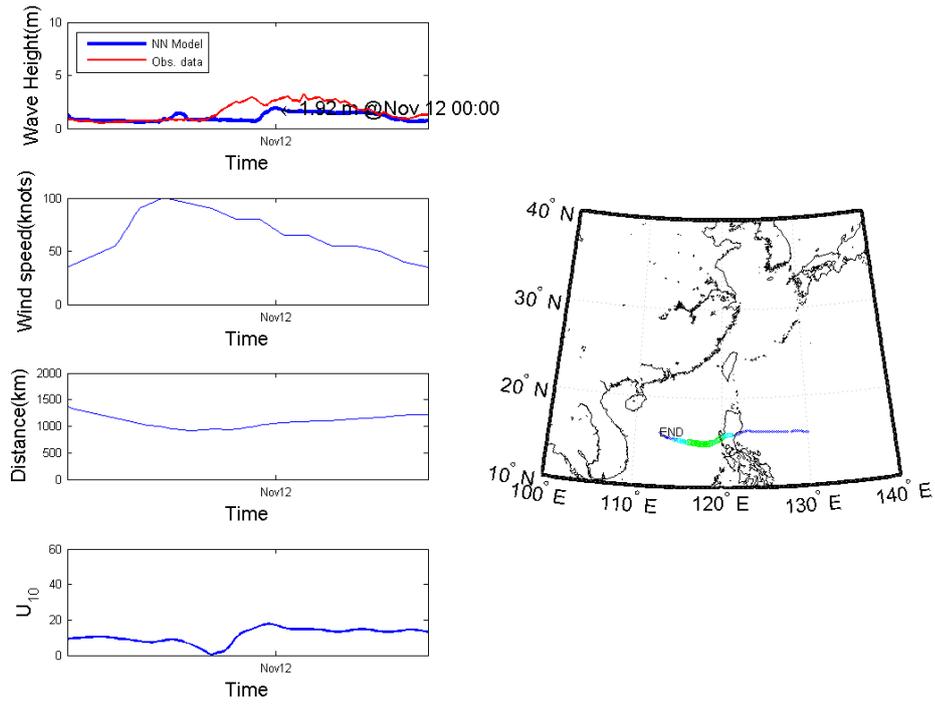
附圖 20 寶發(2006)颱風資訊與臺中港推算結果



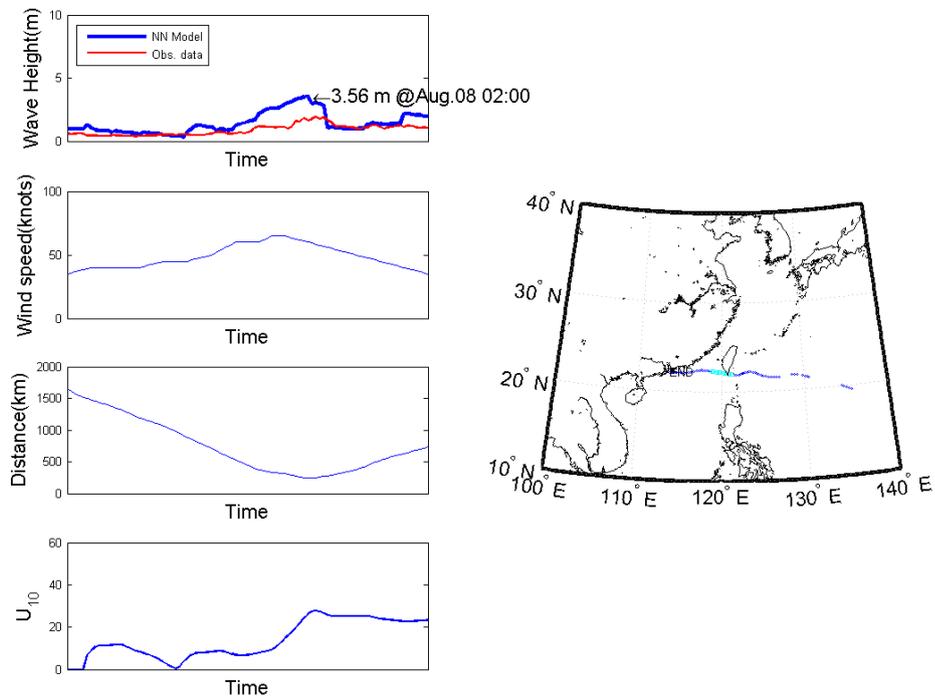
附圖 21 珊珊(2006)颱風資訊與臺中港推算結果



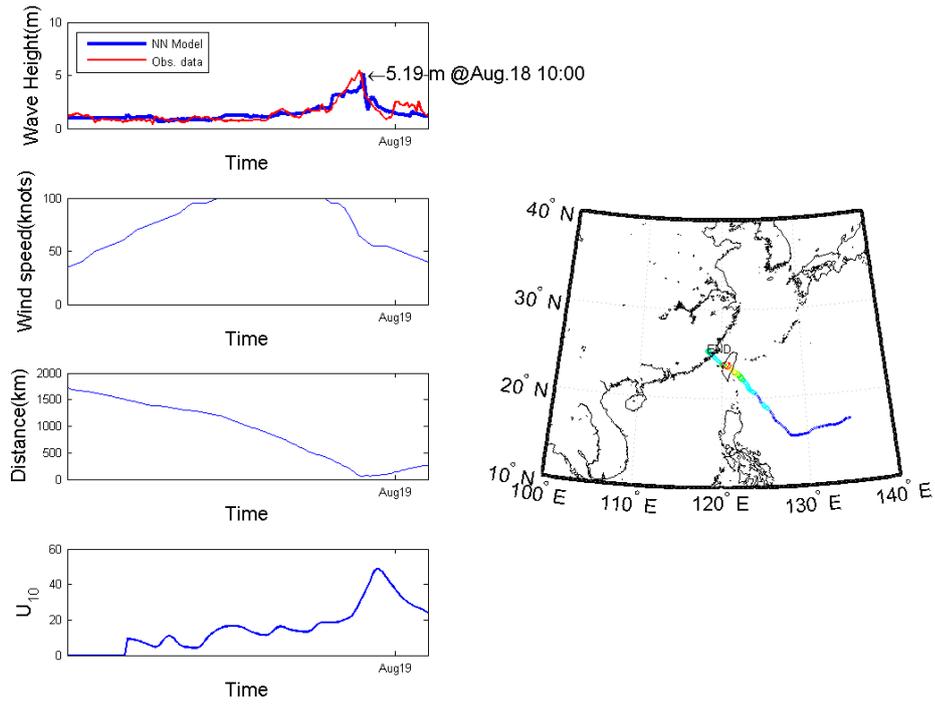
附圖 22 西馬隆(2006)颱風資訊與臺中港推算結果



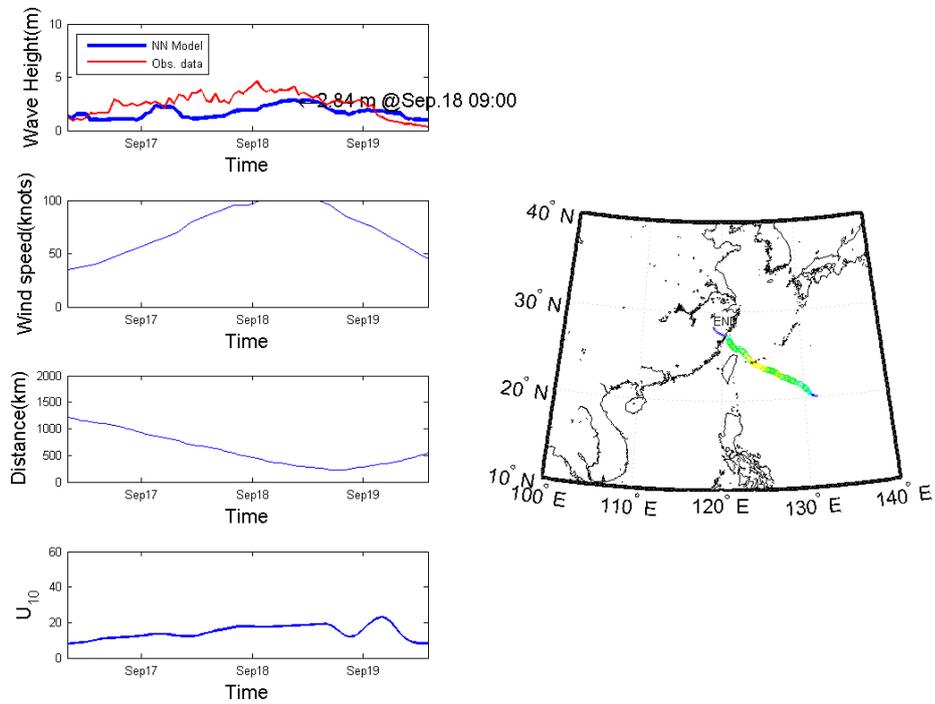
附圖 23 奇比(2006)颱風資訊與臺中港推算結果



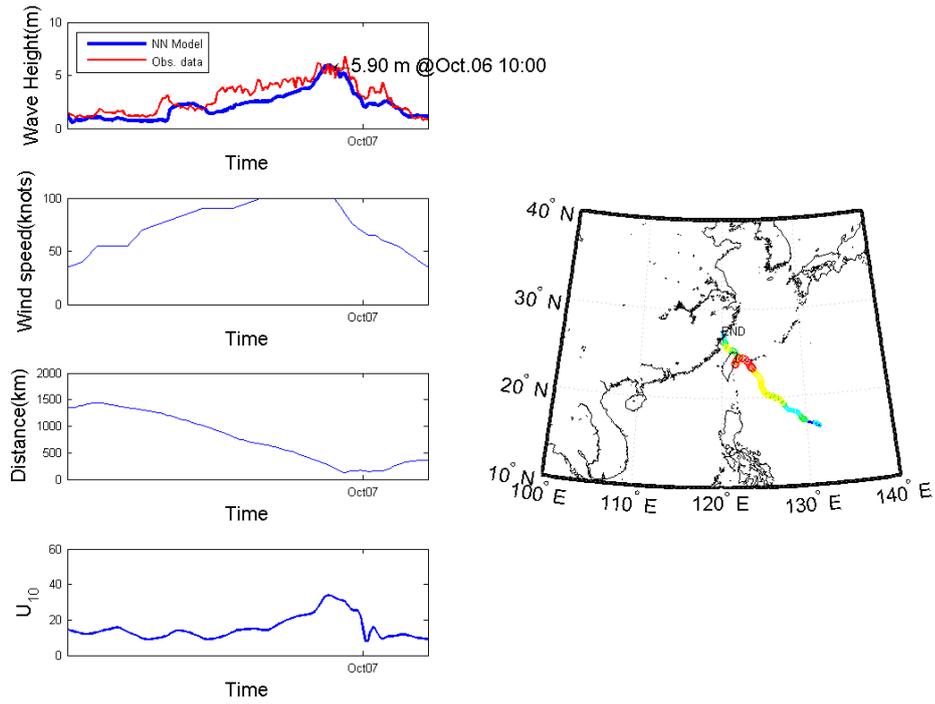
附圖 24 帕布(2007)颱風資訊與臺中港推算結果



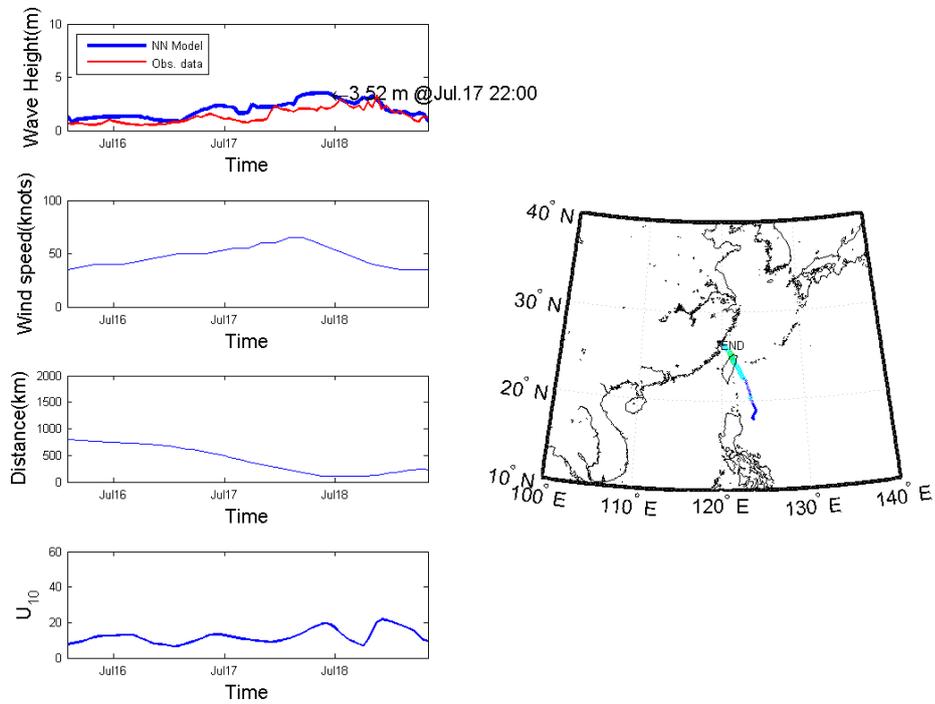
附圖 25 聖帕(2007)颱風資訊與臺中港推算結果



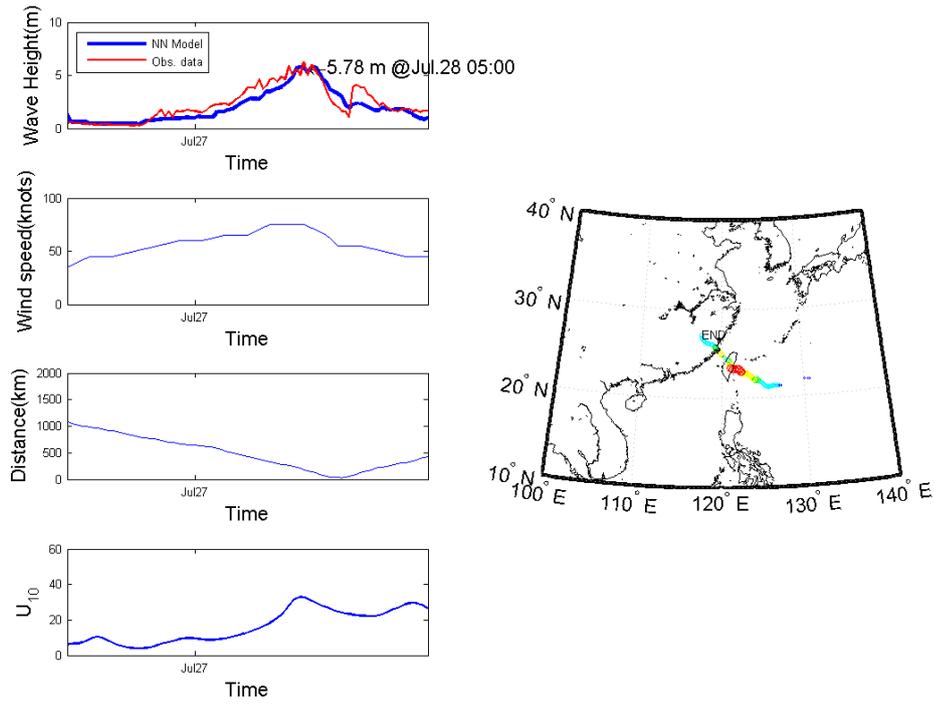
附圖 26 韋帕(2007)颱風資訊與臺中港推算結果



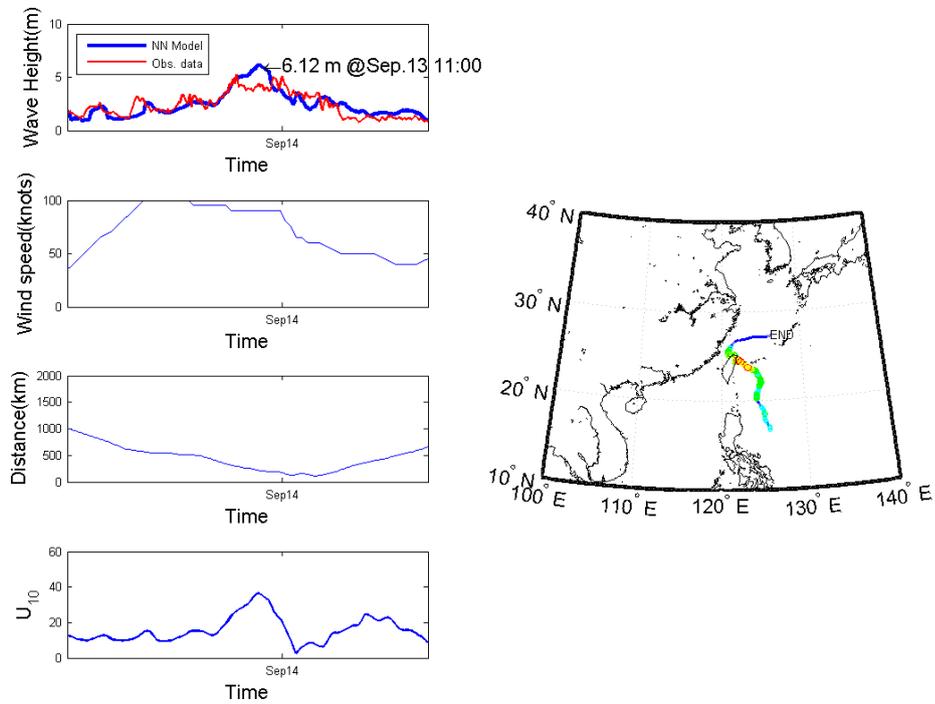
附圖 27 柯羅莎(2007)颱風資訊與臺中港推算結果



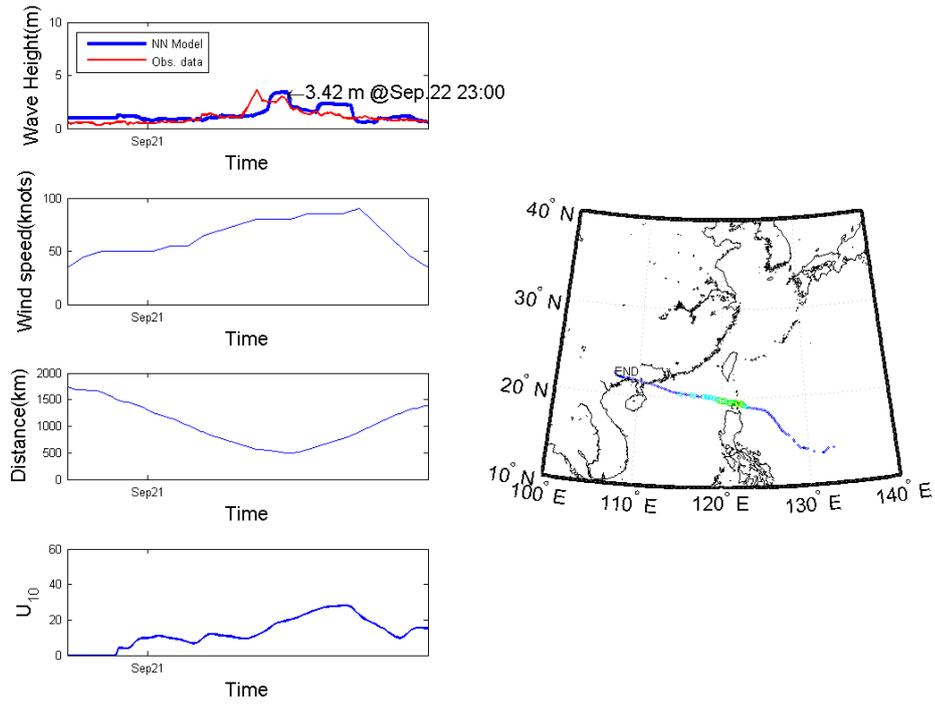
附圖 28 卡玫基(2008)颱風資訊與臺中港推算結果



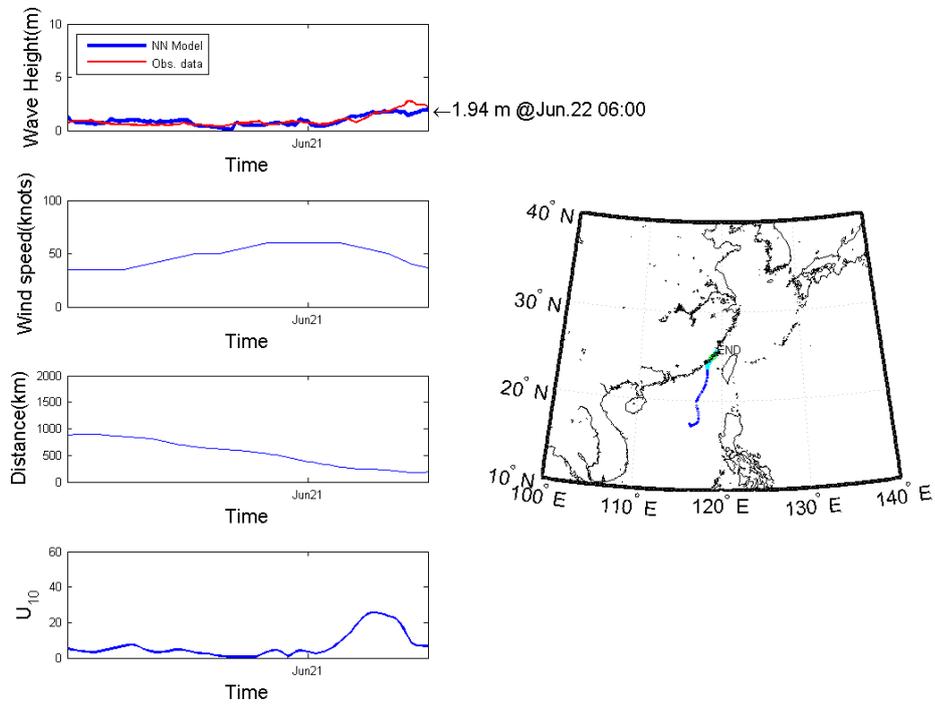
附圖 29 鳳凰(2008)颱風資訊與臺中港推算結果



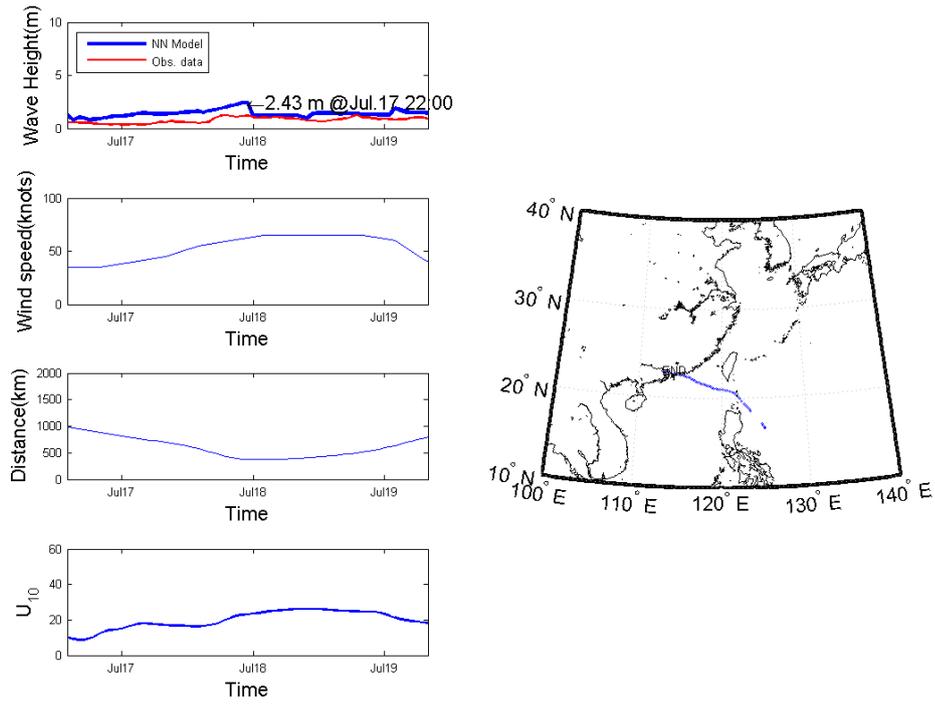
附圖 30 辛樂克(2008)颱風資訊與臺中港推算結果



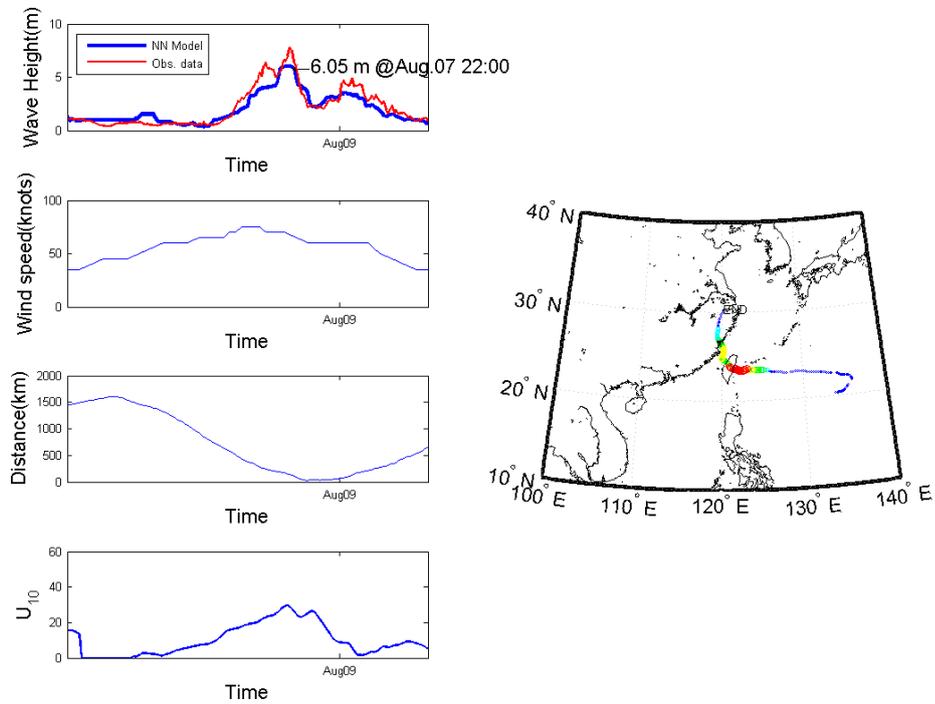
附圖 31 哈格比(2019)颱風資訊與臺中港推算結果



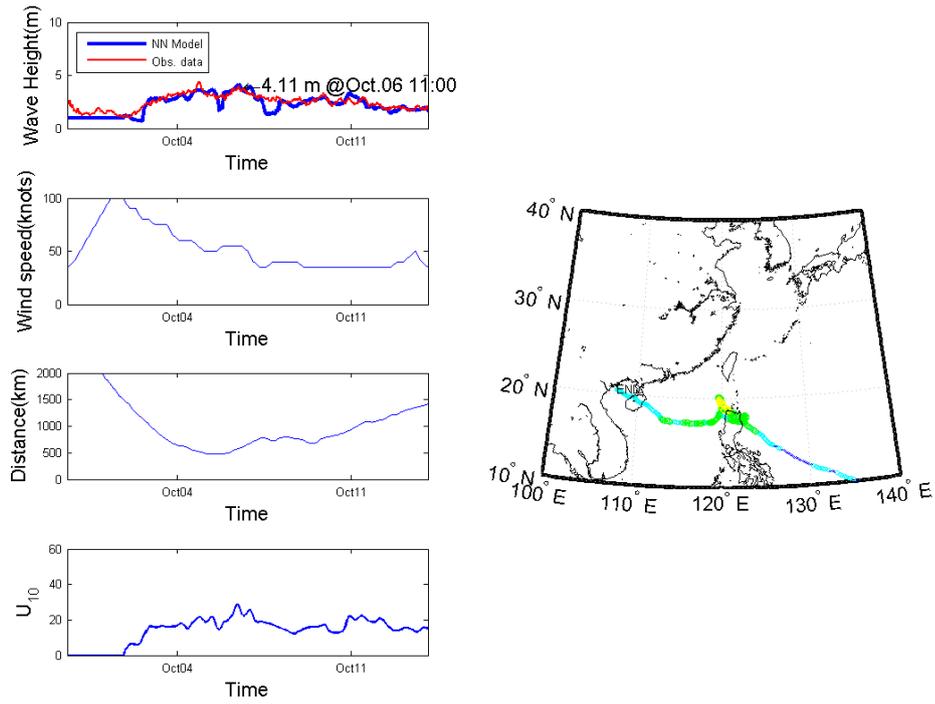
附圖 32 蓮花(2009)颱風資訊與臺中港推算結果



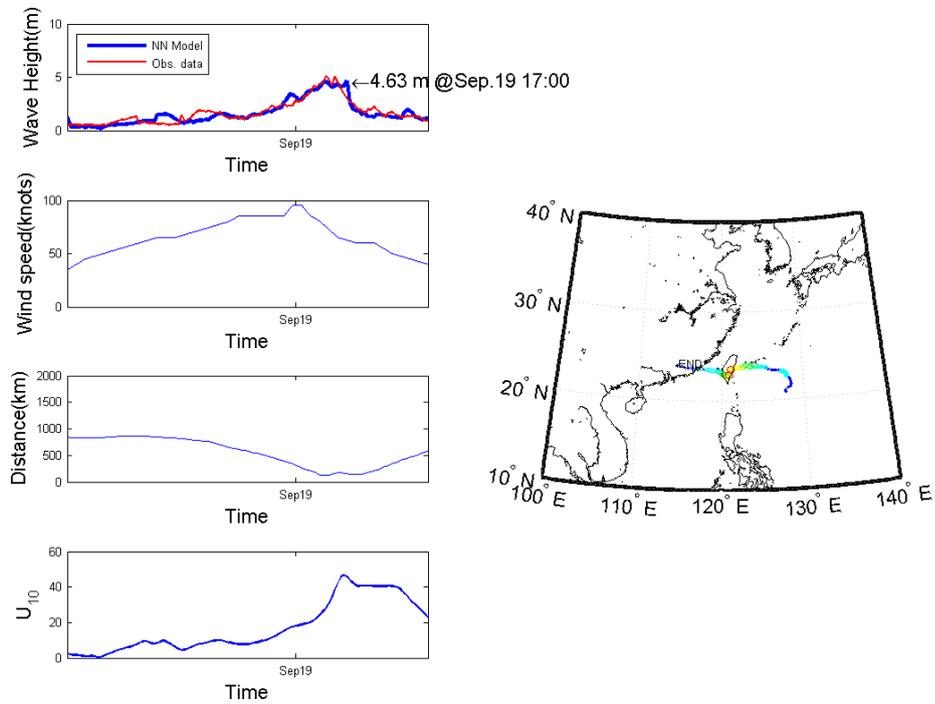
附圖 33 莫拉菲(2009)颱風資訊與臺中港推算結果



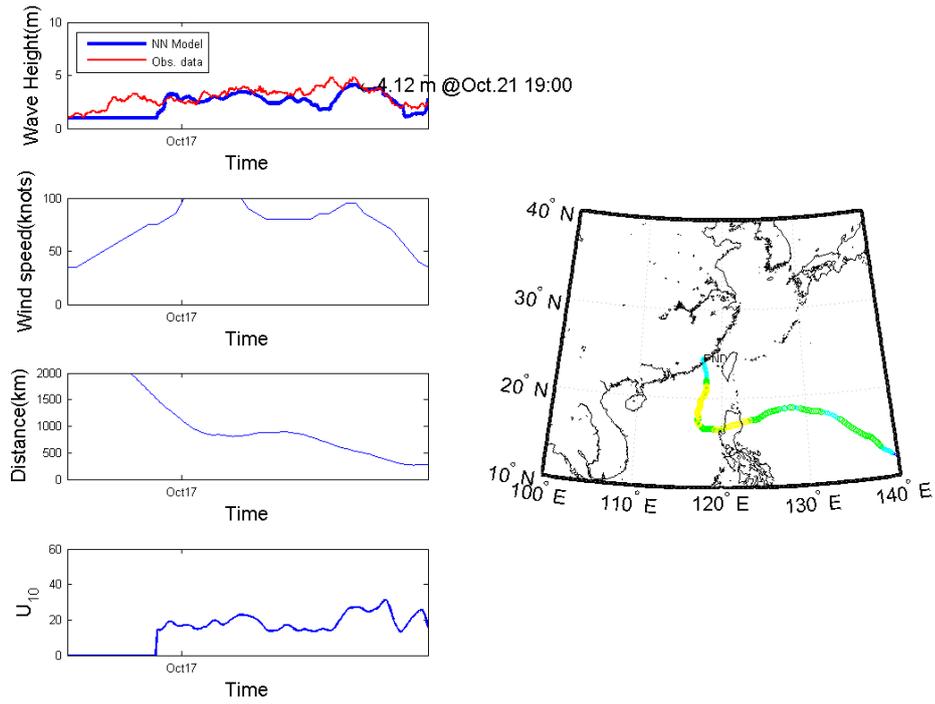
附圖 34 莫拉克(2009)颱風資訊與臺中港推算結果



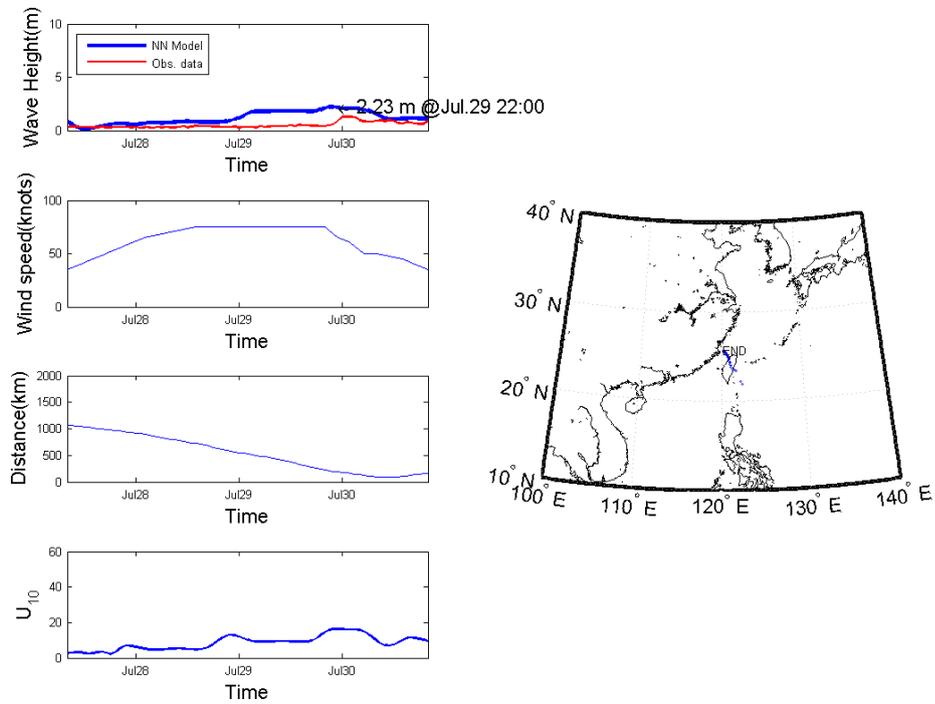
附圖 35 芭瑪(2009)颱風資訊與臺中港推算結果



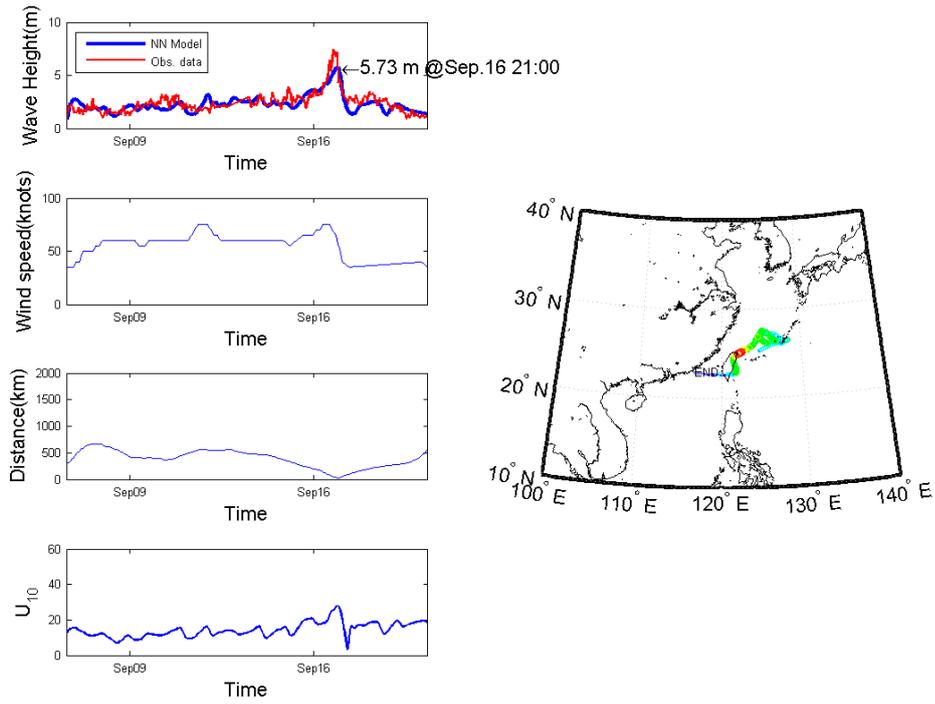
附圖 36 凡那比(2010)颱風資訊與臺中港推算結果



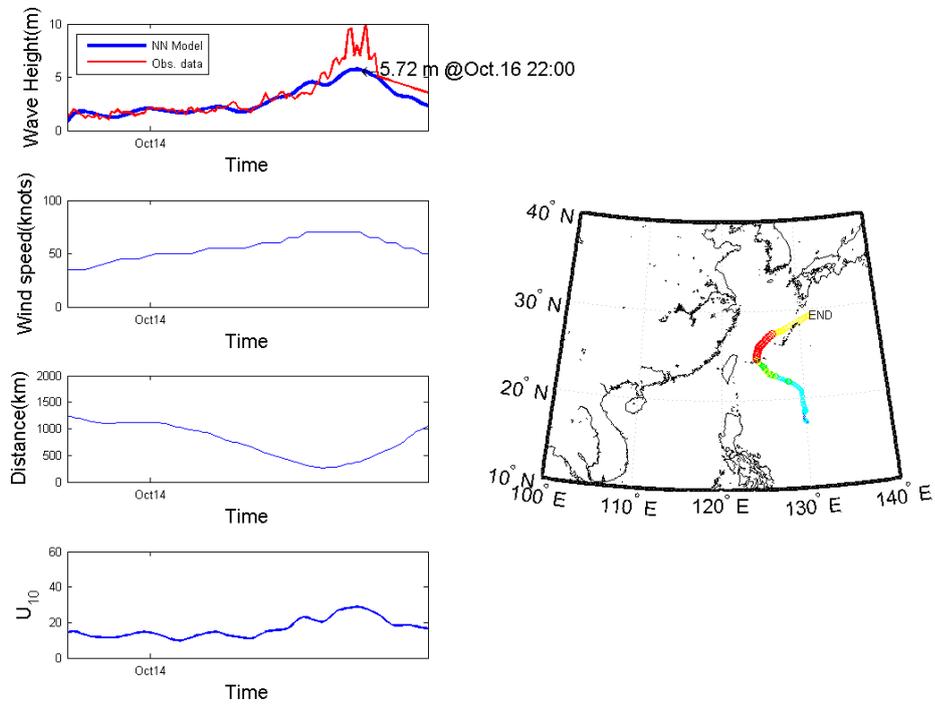
附圖 37 梅姬(2010)颱風資訊與臺中港推算結果



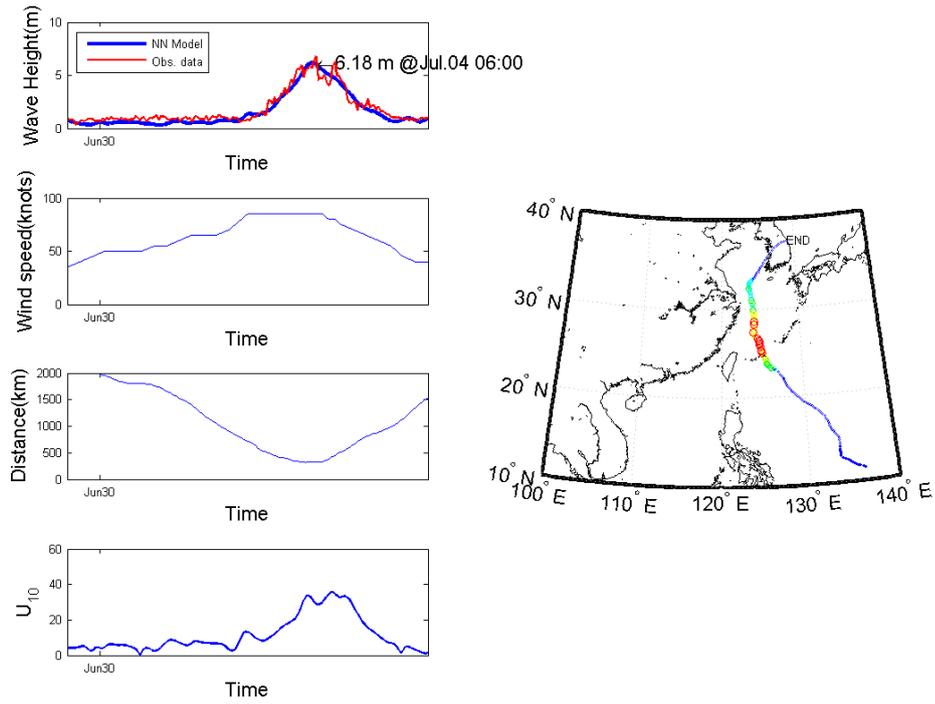
附圖 38 桃芝(2001)颱風資訊與基隆港推算結果



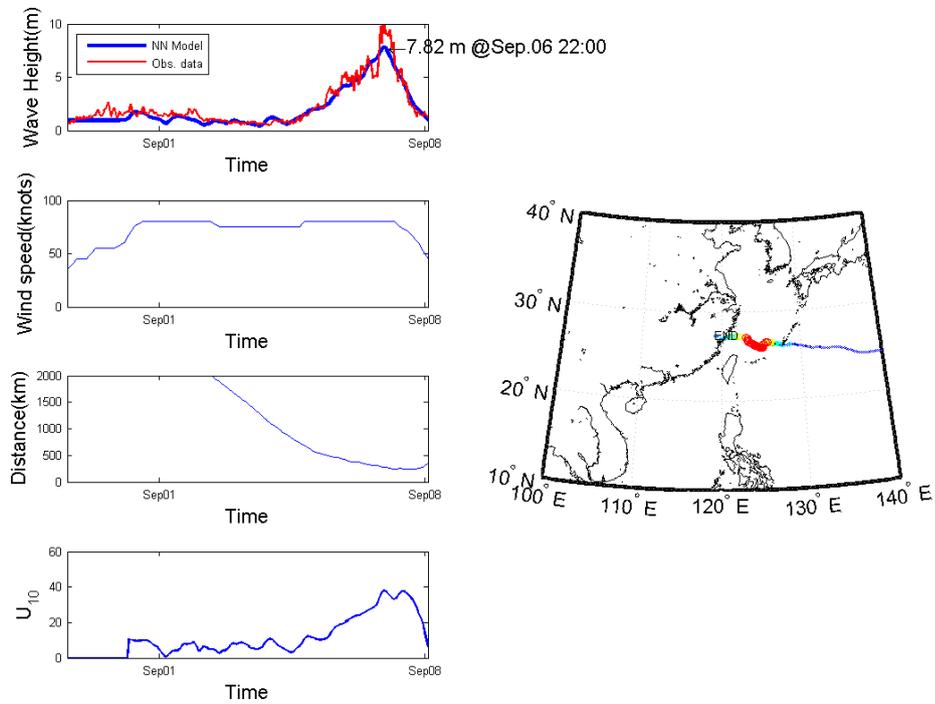
附圖 39 納莉(2001)颱風資訊與基隆港推算結果



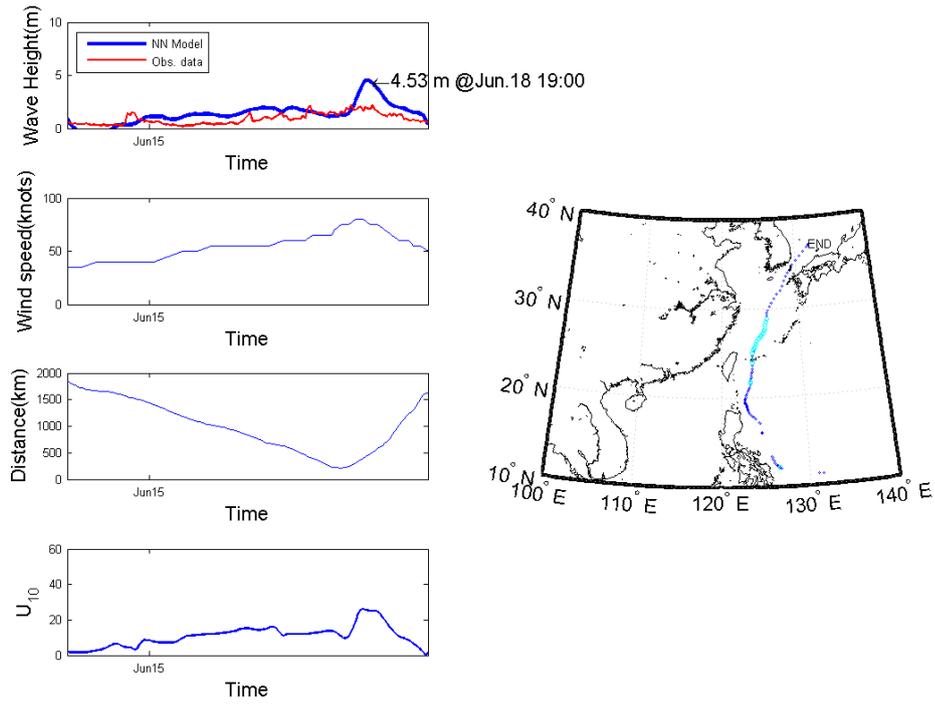
附圖 40 海燕(2001)颱風資訊與基隆港推算結果



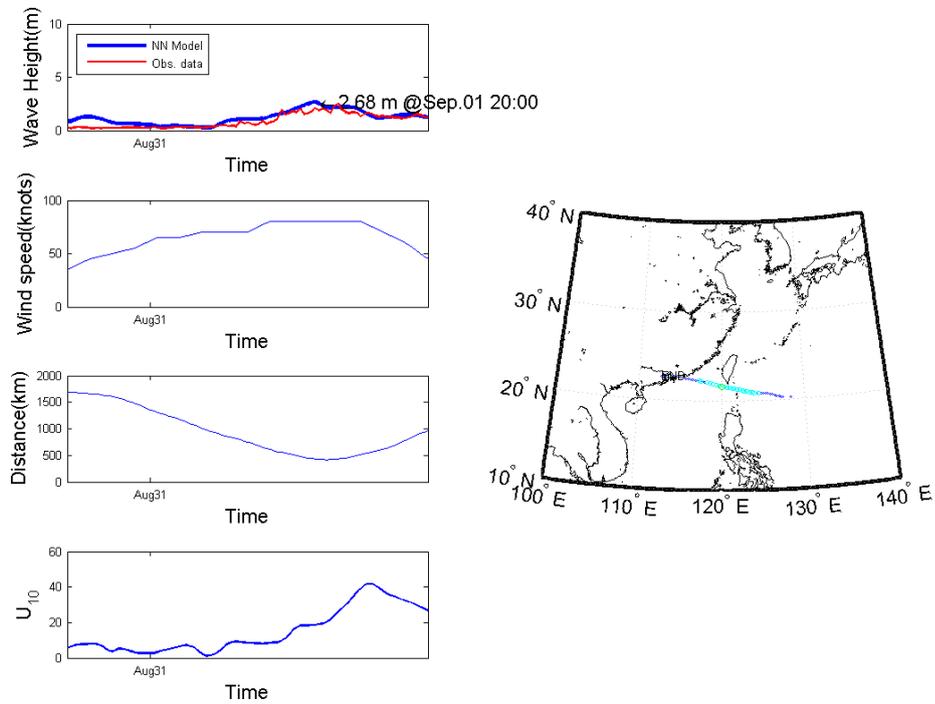
附圖 41 雷馬遜(2002)颱風資訊與基隆港推算結果



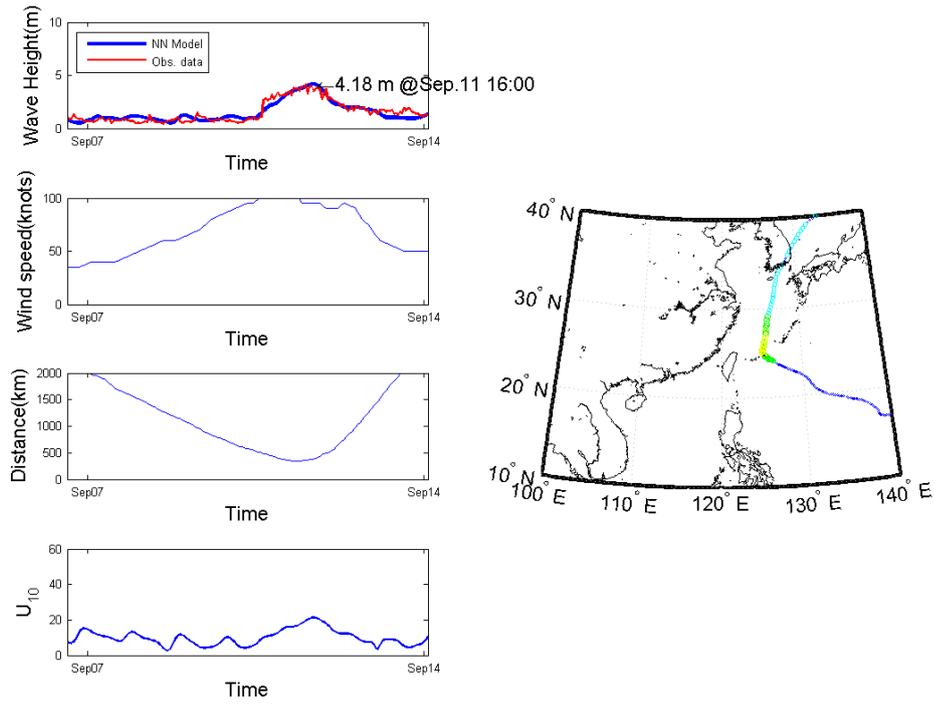
附圖 42 辛樂克(2002)颱風資訊與基隆港推算結果



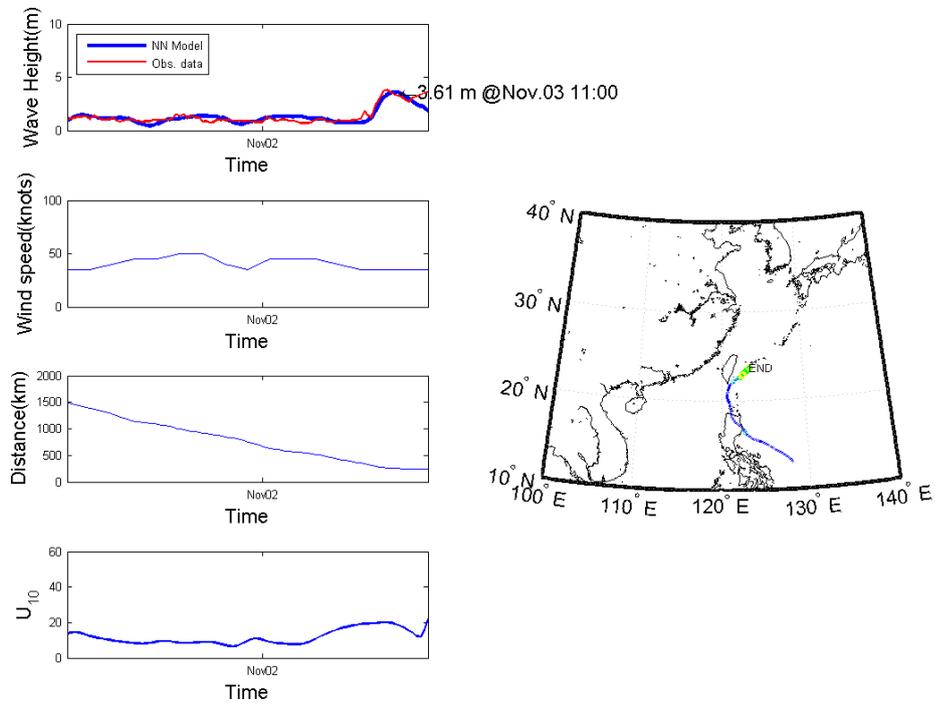
附圖 43 蘇迪勒(2003)颱風資訊與基隆港推算結果



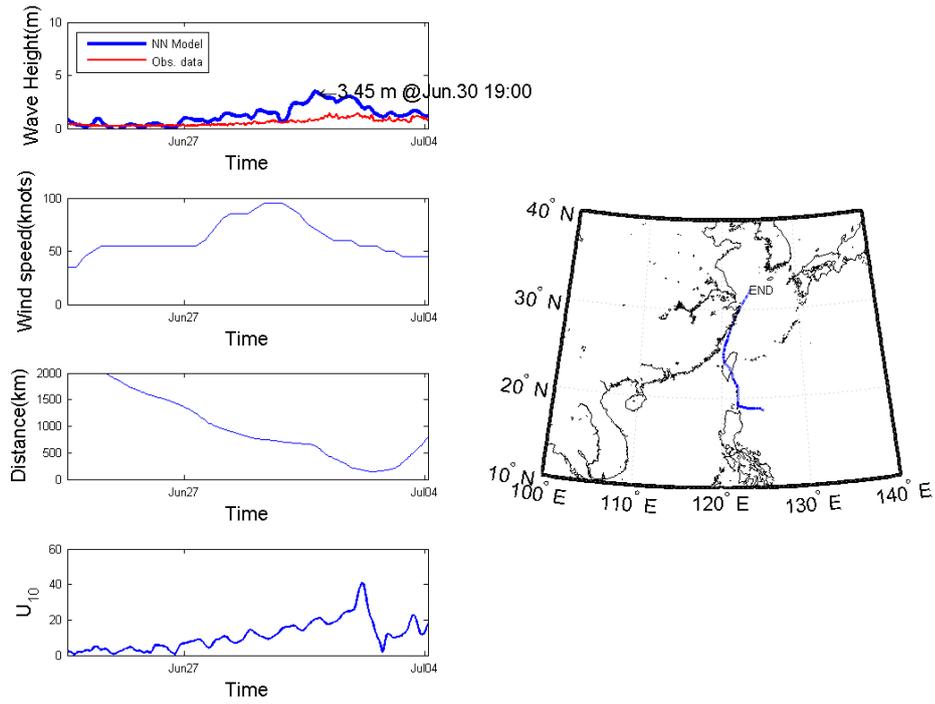
附圖 44 杜鵑(2003)颱風資訊與基隆港推算結果



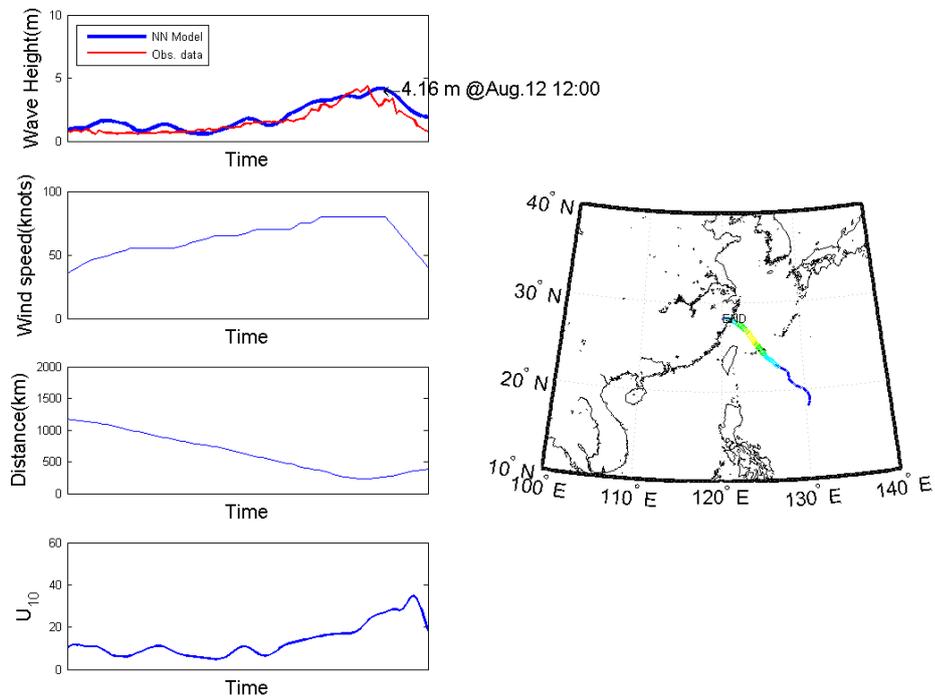
附圖 45 梅米(2003)颱風資訊與基隆港推算結果



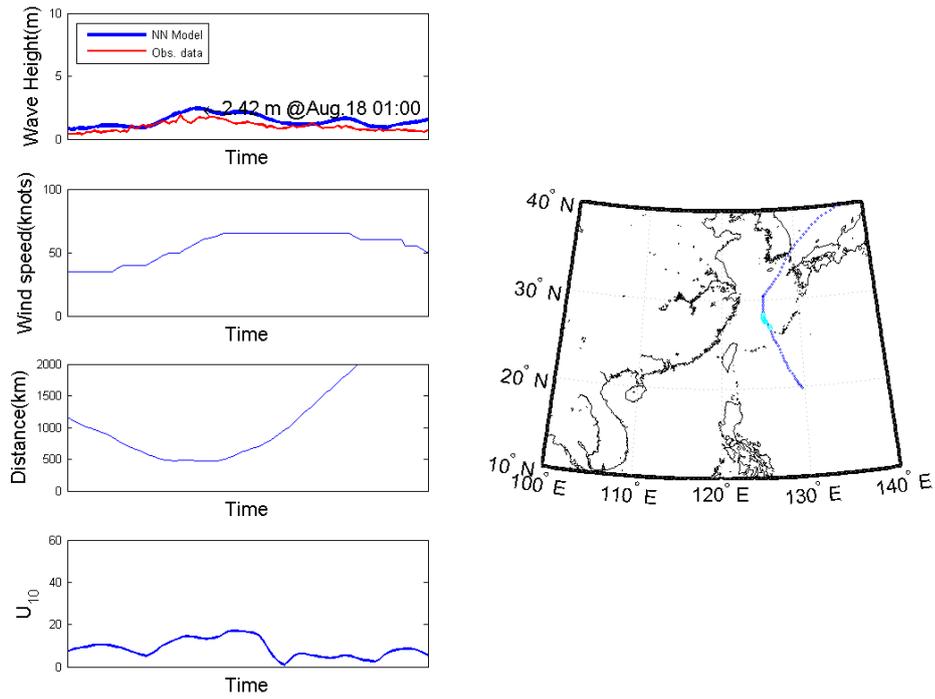
附圖 46 米勒(2003)颱風資訊與基隆港推算結果



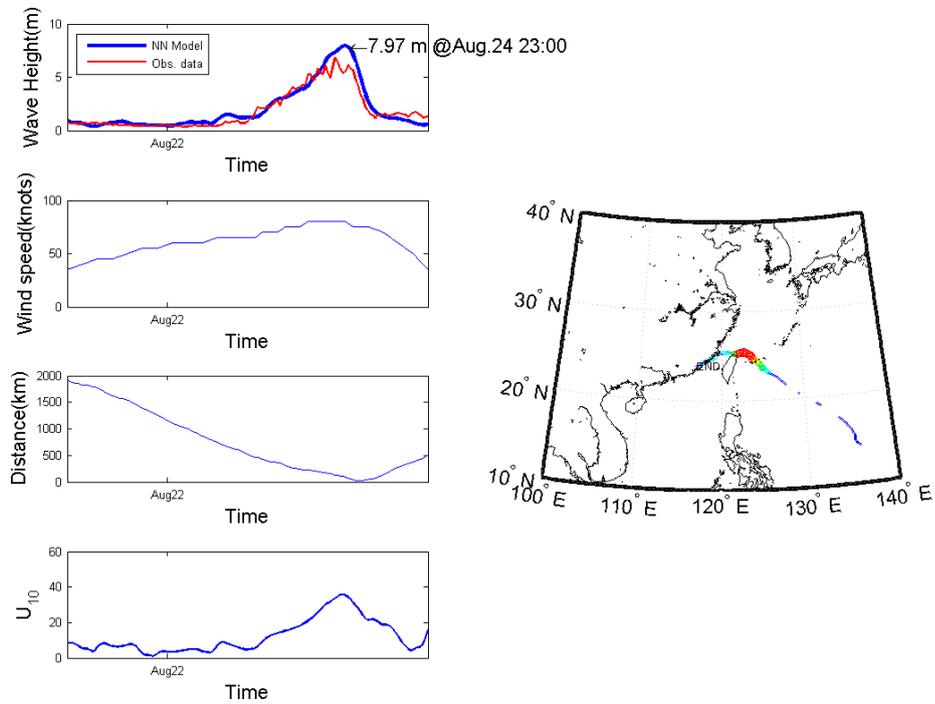
附圖 47 敏督利(2004)颱風資訊與基隆港推算結果



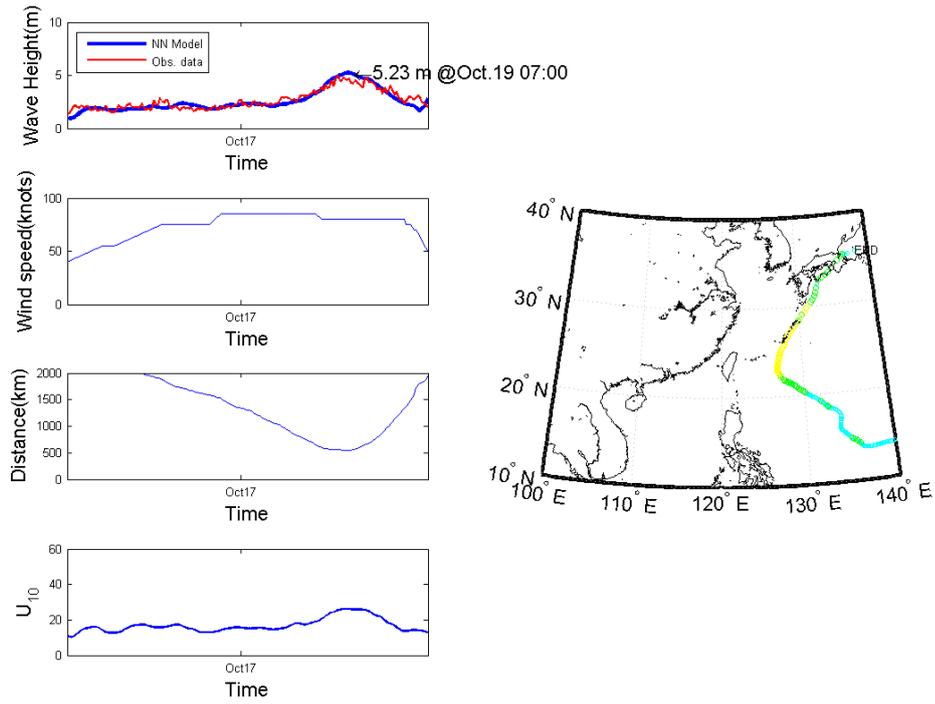
附圖 48 蘭寧(2004)颱風資訊與基隆港推算結果



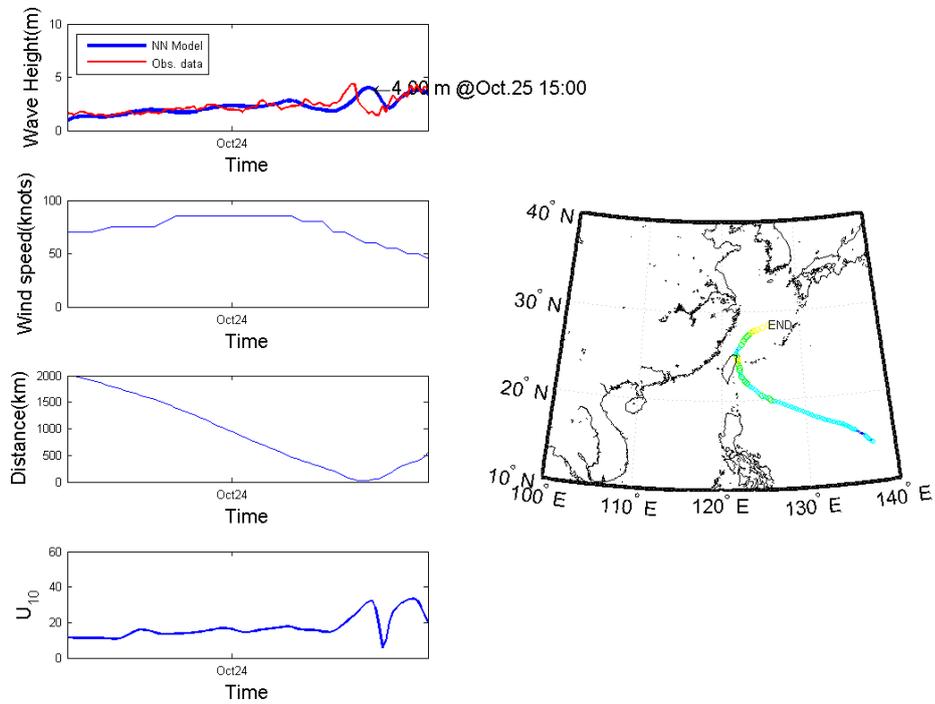
附圖 49 梅姬(2004)颱風資訊與基隆港推算結果



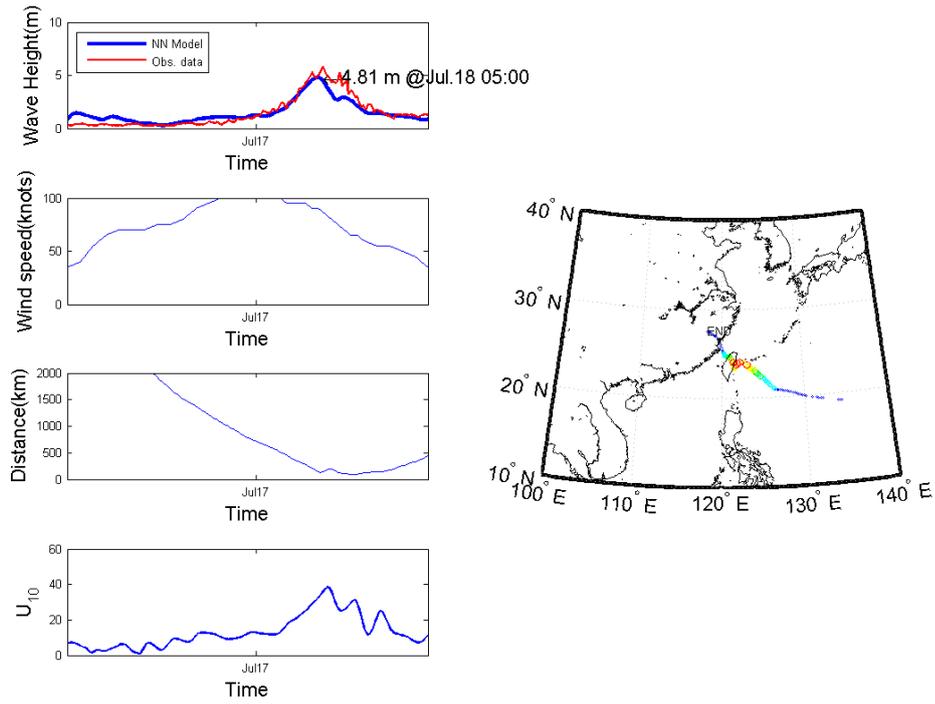
附圖 50 艾利(2004)颱風資訊與基隆港推算結果



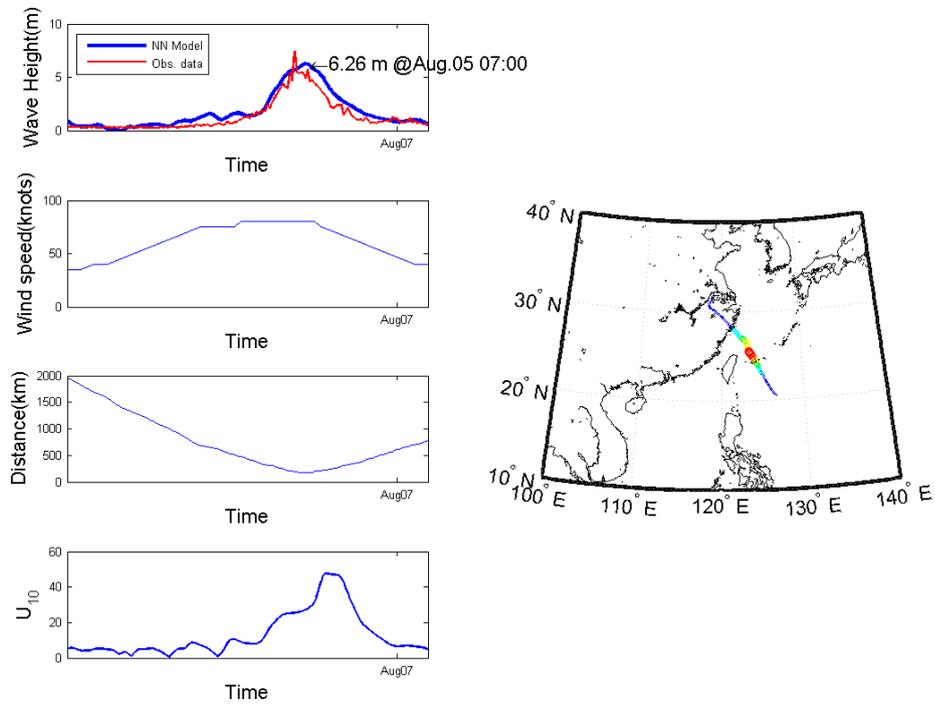
附圖 51 陶卡基(2004)颱風資訊與基隆港推算結果



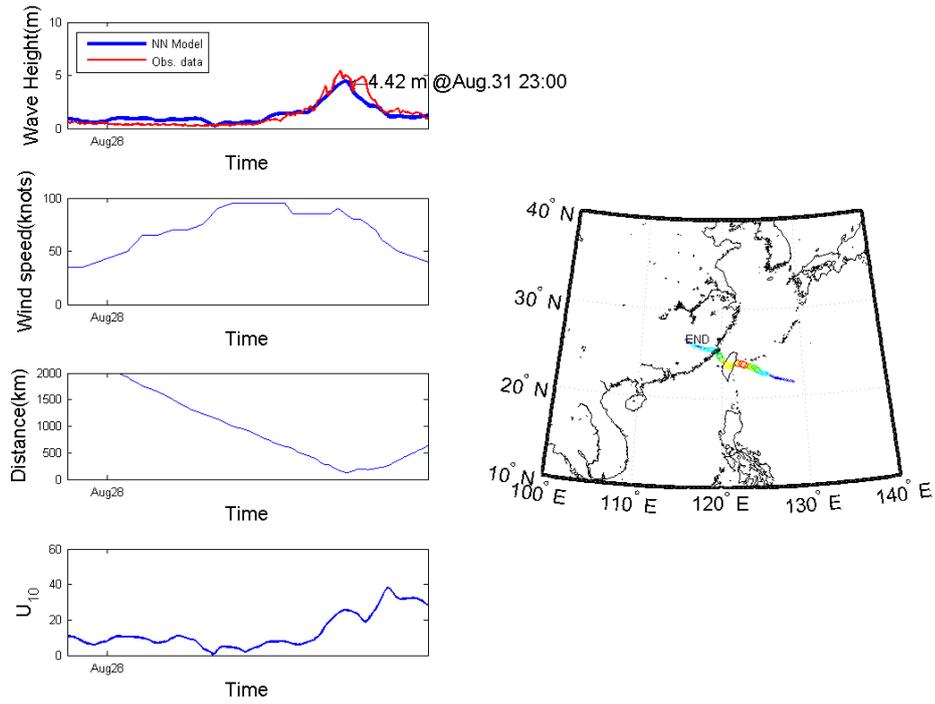
附圖 52 納坦(2004)颱風資訊與基隆港推算結果



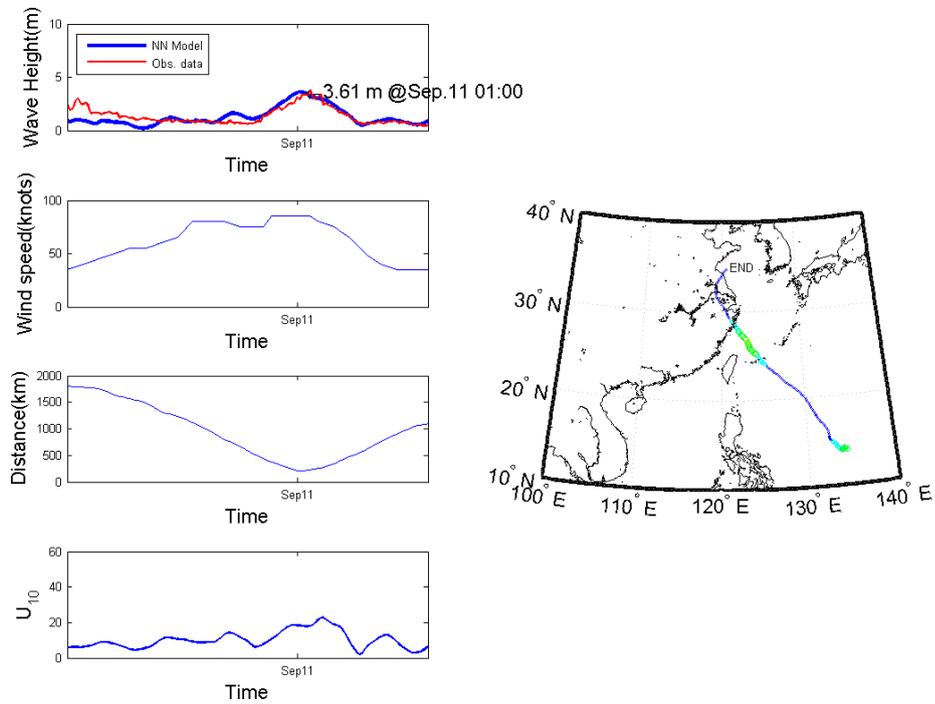
附圖 53 海棠(2005)颱風資訊與基隆港推算結果



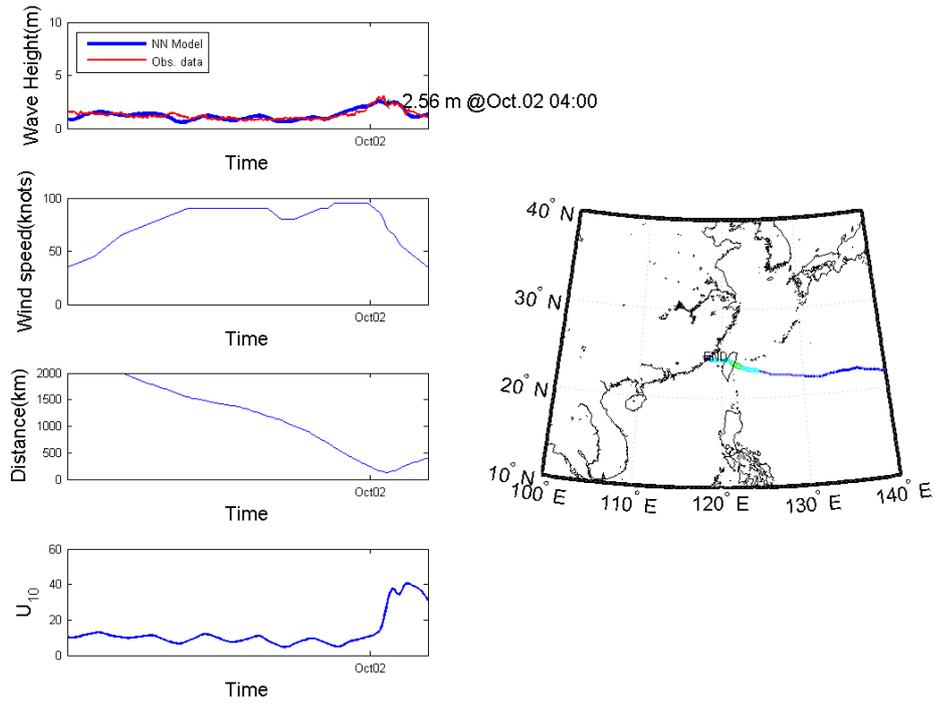
附圖 54 馬莎(2005)颱風資訊與基隆港推算結果



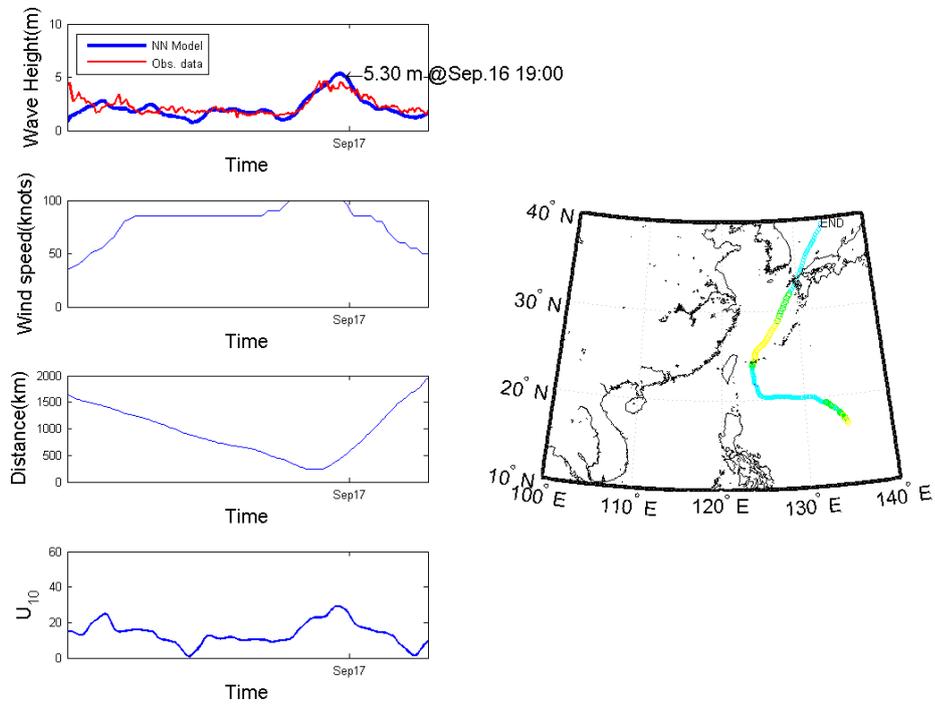
附圖 55 泰利(2005)颱風資訊與基隆港推算結果



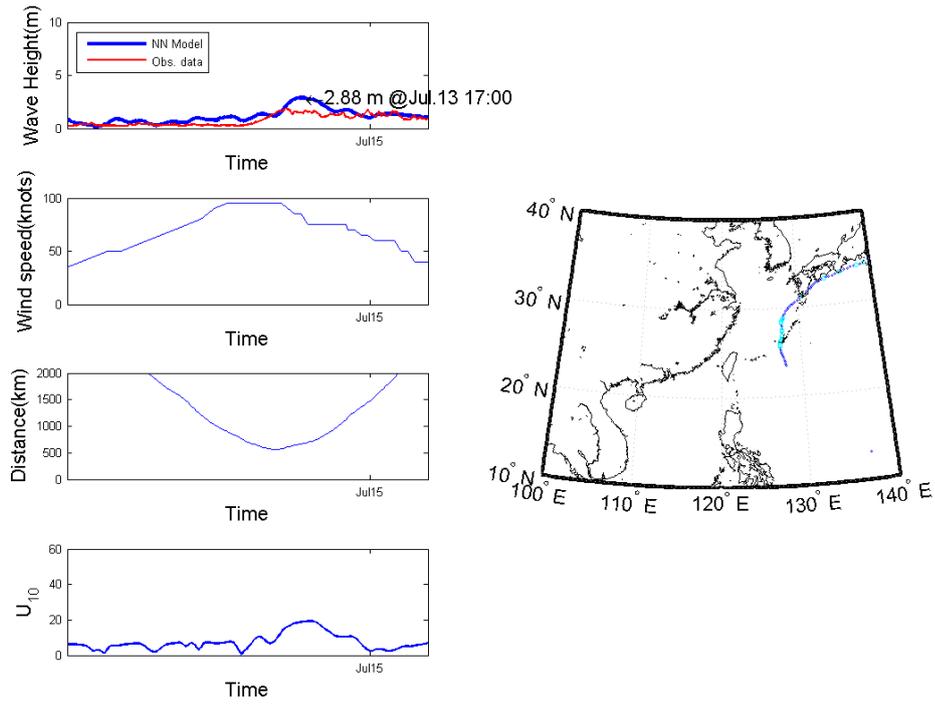
附圖 56 卡努(2005)颱風資訊與基隆港推算結果



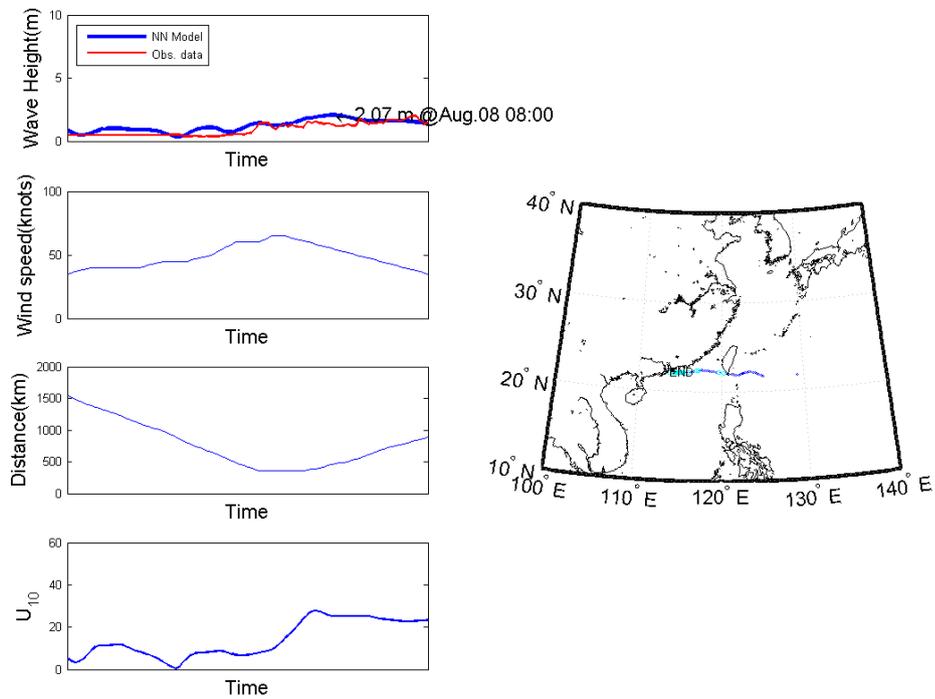
附圖 57 龍王(2005)颱風資訊與基隆港推算結果



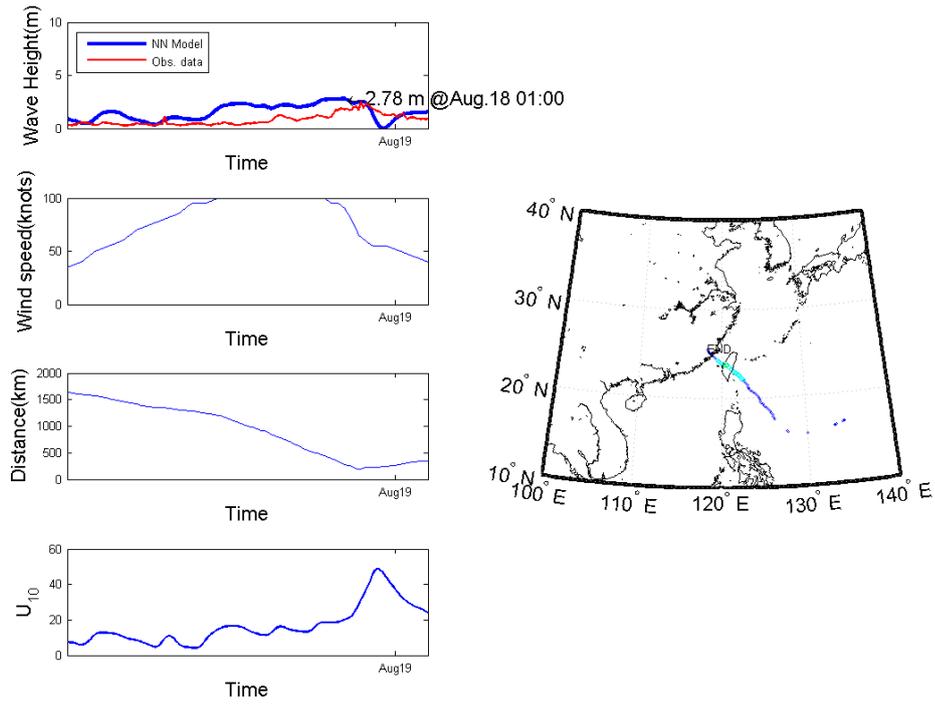
附圖 58 珊珊(2006)颱風資訊與基隆港推算結果



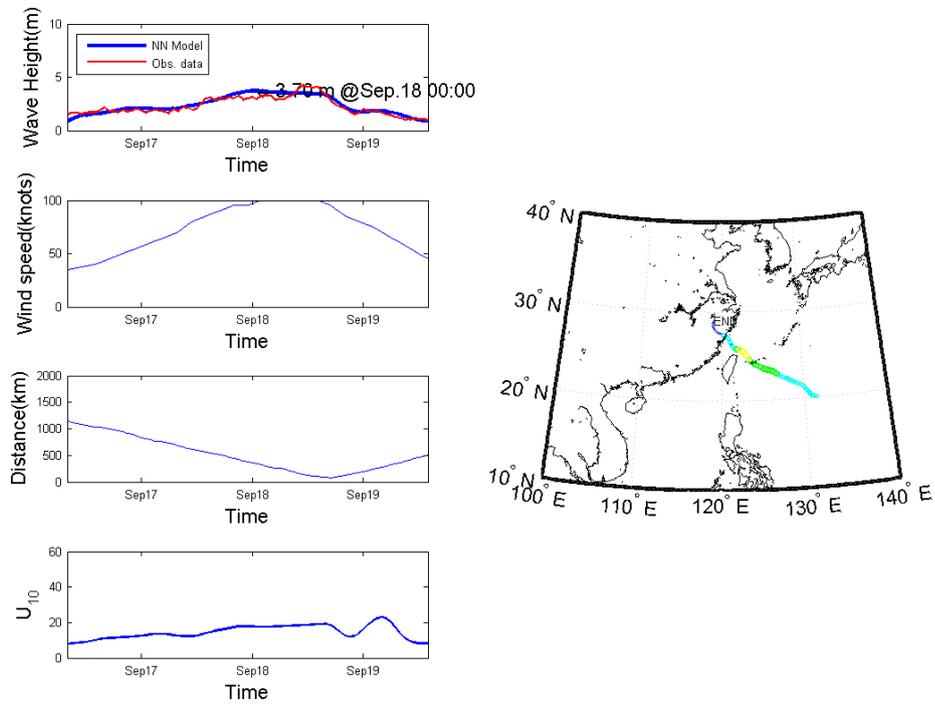
附圖 59 萬宜(2007)颱風資訊與基隆港推算結果



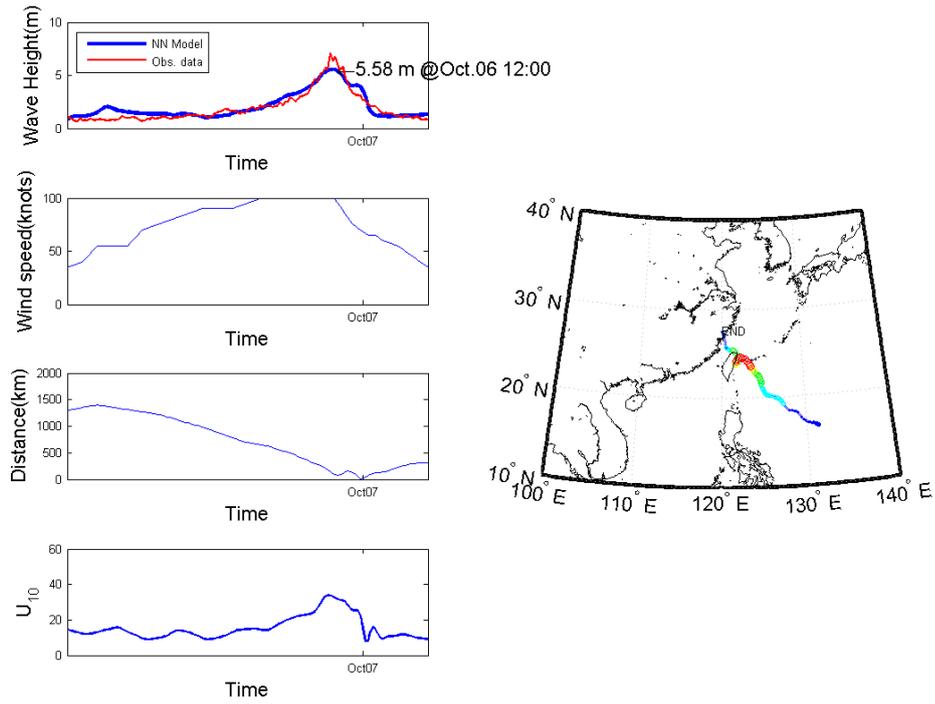
附圖 60 帕布(2007)颱風資訊與基隆港推算結果



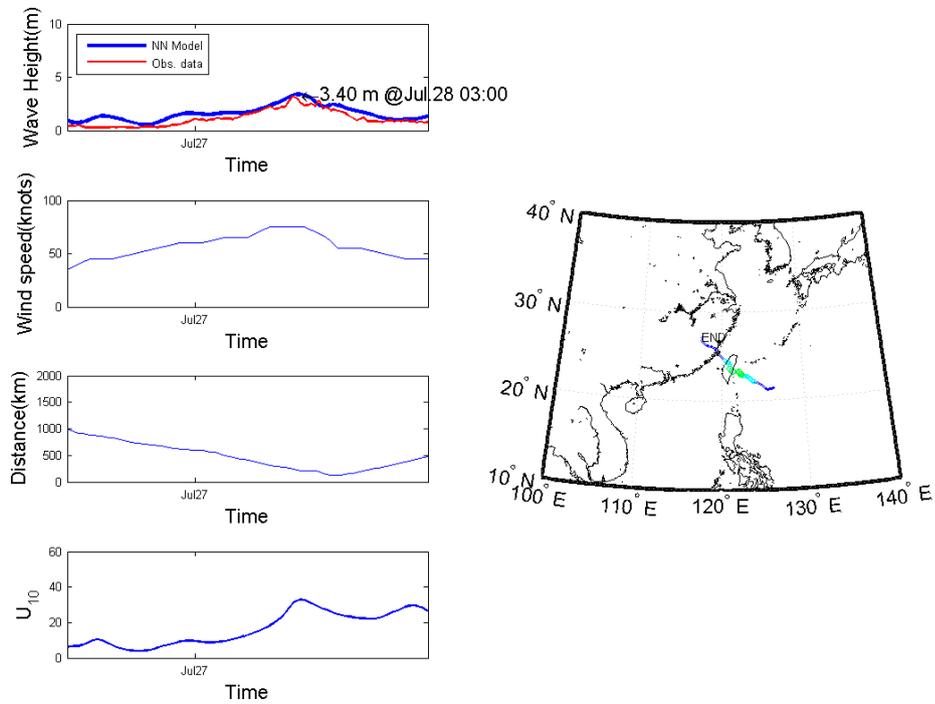
附圖 61 聖帕(2007)颱風資訊與基隆港推算結果



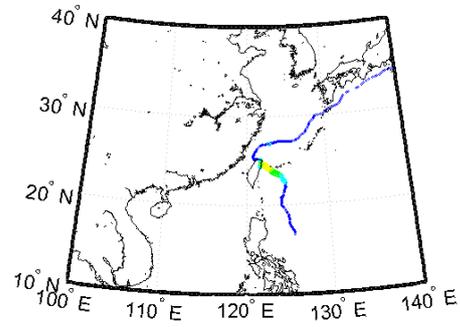
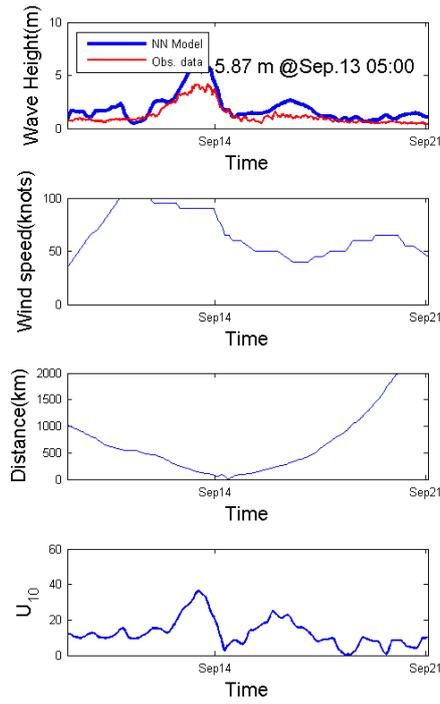
附圖 62 韋帕(2007)颱風資訊與基隆港推算結果



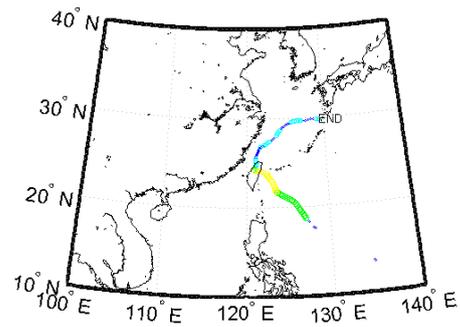
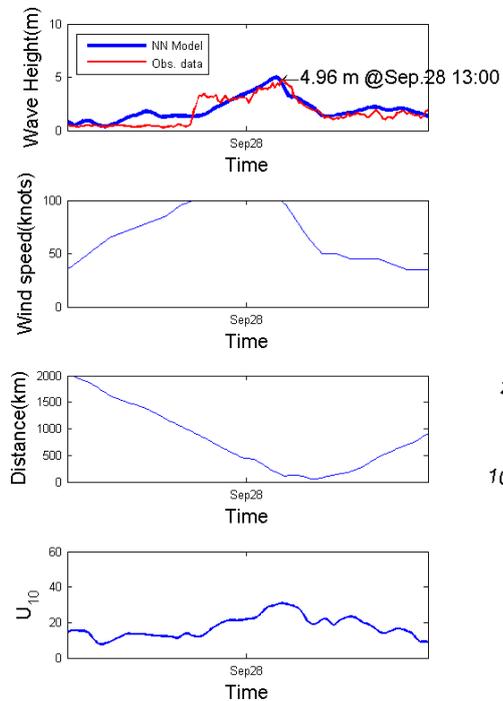
附圖 63 柯羅莎(2007)颱風資訊與基隆港推算結果



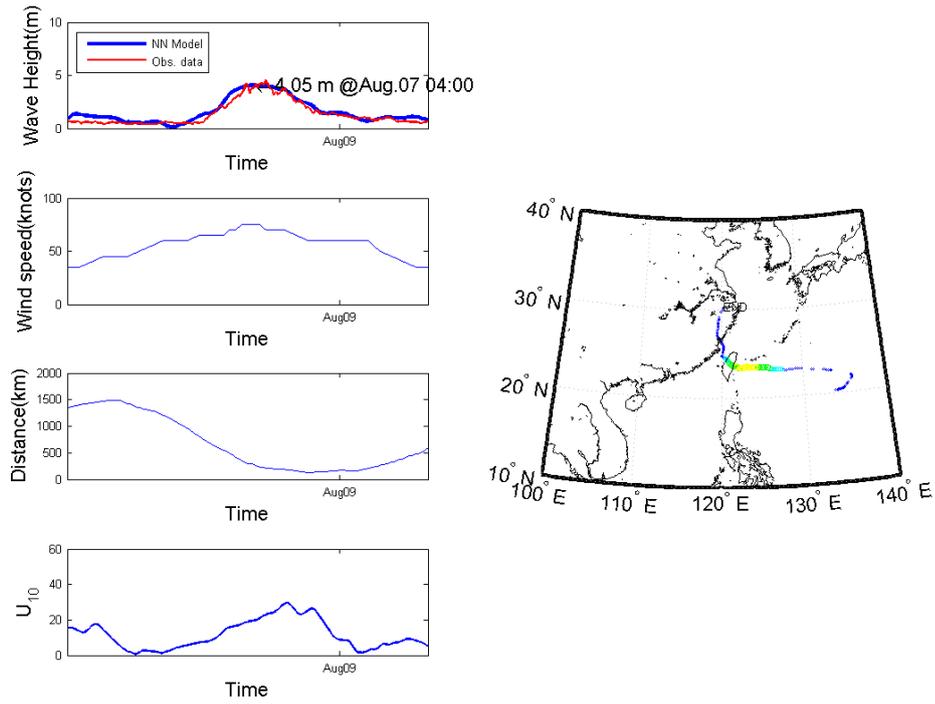
附圖 64 鳳凰(2008)颱風資訊與基隆港推算結果



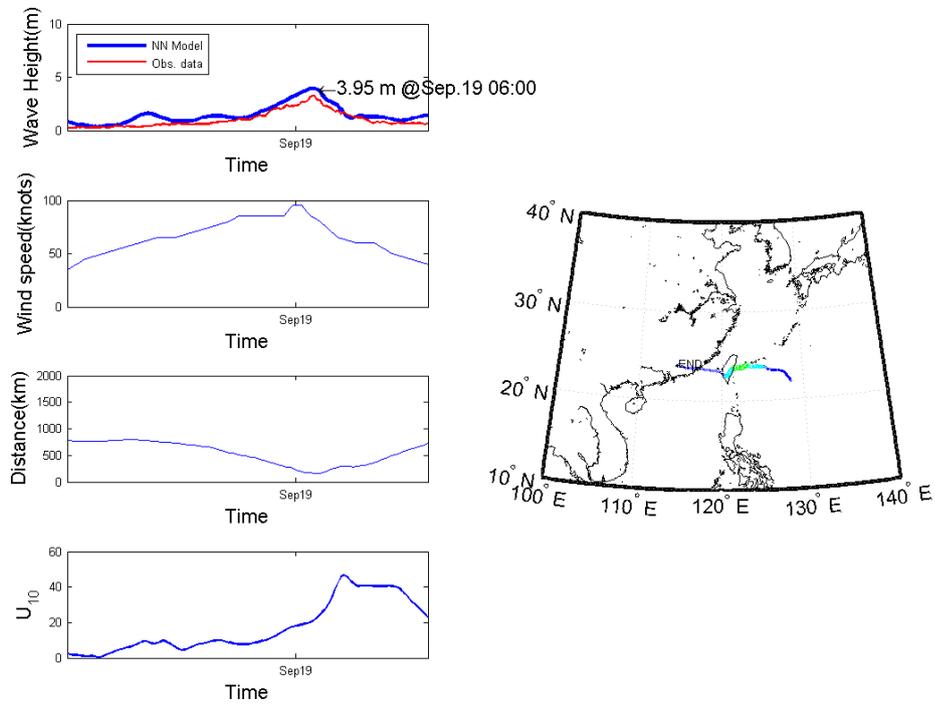
附圖 65 辛樂克(2008)颱風資訊與基隆港推算結果



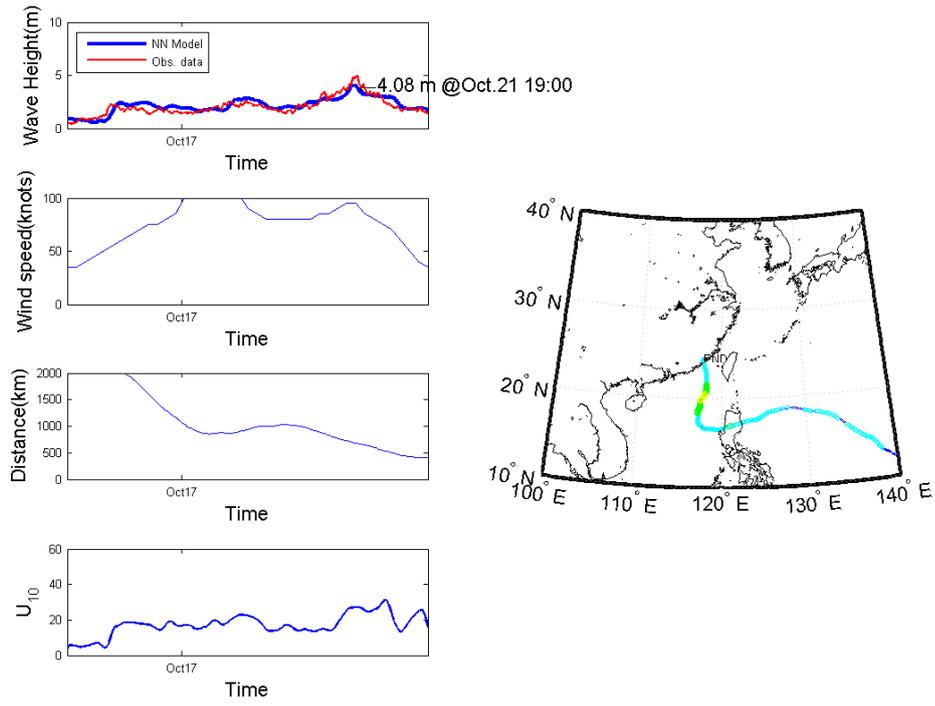
附圖 66 薔蜜(2008)颱風資訊與基隆港推算結果



附圖 67 莫拉克(2009)颱風資訊與基隆港推算結果



附圖 68 凡那比(2010)颱風資訊與基隆港推算結果



附圖 69 梅姬(2010)颱風資訊與基隆港推算結果

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長期波浪統計特性及設計波推算之  
研究(1/4)

執行單位：國立交通大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
郭一羽委員：		
一、P2-2 半經驗公式模式之敘述，本計畫並未再加以改善，文字說明清楚。	一、感謝委員指正，將於期末報告中修正。	同意。
二、利用前三個月極值做統計，背景原因說明清楚。	二、將以 Sobey and Orloff (1995)所提出的研究來說明。	符合。
三、結論文字請改善。	三、感謝委員指正。	同意。
四、三個不同模式所用數據請說明清楚。	四、將於期末報告中作完整補充。	同意。
五、半經驗推算模式之使用界限(有可靠結果)是否能夠釐清。	五、截至目前為止工程界大多皆使用半經驗推算模式來作設計波高的考量，但本研究中以花蓮港完整的颱風波浪資料來做評估，其結果大部分都屬於高估的狀況。	符合。
岳景雲委員：		
一、資料蒐集詳盡值得肯定。	一、感謝委員肯定。	同意。
二、建議加一符號表以利參考閱讀。	二、感謝委員建議，將於期末新增。	同意。
三、專有名詞符號簡寫請統一一致，BPN→BPNN、CC→R、RMS→RMSE。	三、感謝委員建議，遵照辦理。	同意。
四、P2-3 式(2.2-1)波高與風向之關係 $H_0=H\cos\theta$ 是否為波高與風向？	四、由於半經驗公式有將各方向的波浪分開考量，本式是僅考慮在風浪形成初期之後，波向與風向不再遵循同一方向，新方向的波高以及新舊風向夾角間的關係。	符合。
五、結論建議加上針對「花蓮港」之結果。	五、感謝委員建議。	同意。
六、加強說明其研究成果在工程上之應用。(結構物波力計算、越波量、水	六、感謝委員建議，將於期末報告中說明。	同意。

域靜穩度...)		
楊文衡委員：		
一、設計波高目前工程界使用之計算公式，計算結果與本計劃計算結果有30%之差值，是否可以與工程界開會討論其差異性，及目前工程界計算方式及合理性？	一、若能以港研中心為號召，招集各界專家舉辦會議進行研討，將有助於改善目前設計波高推算的技術，本研究團隊將全力配合。	符合。
二、GEV 方法對極值，有其不合理性應可考慮針對本研究的極值，檢討其不適用性。	二、GEV 方法在數學上因受 16m 之上限值的影響，並不適合用來推算波高重現期。	符合。
三、相關係數 CC 及 R 一致性，機率函數修正名詞。	三、感謝委員建議，將修正名詞。	同意。
吳基委員：		
一、由於研究團隊的努力，在第一年的期中報告即有相當具體的成果，研究團隊執行能力值得肯定。	一、感謝委員肯定。	同意。
二、颱風實測數據有時會不完整，是否先經過品管過濾，代表性如何，請說明。	二、波浪資料來源為港研中心年報資料，另外在颱風期間颱風資料與波浪資料的對應上本團隊已有做過嚴謹的篩選。	符合。
三、報告中有關各年、各颱風之實測資料等重要數據，請增列表格或於已有表格中增列欄位，呈現之。	三、感謝委員建議，將於表格中增列颱風波浪實測最大值等資料。	同意。
何良勝委員：		
一、有關颱風名稱除英文外，請增列中文名稱。	一、感謝委員建議，將增列於內文以及相關表格中。	同意。
二、有關半經驗式及類神經方法所擬算值，建議用一表格做比較說明。另外，比較說明中，應將正負值分隔比較。	二、感謝委員建議，將增列於表中。	同意。
三、建議，先行針對表 3.1-1 及表 3.2-1 所推估結果	三、感謝委員建議，將於期末增加說明。	同意。

<p>中，誤差較大之值進行原因探討。</p> <p>四、目前除了湯及井島之經驗式外，是否有其他研究方法可進行較適合之比較分析。</p>	<p>四、目前僅針對國內常用的經驗式模式以及本研究團隊與港研中心發展的類神經模式兩種進行比較，其他國外用的模式由於需要花比較長的時間來建置才能適合國內環境使用。</p>	<p>符合。</p>
<p>五、由於花蓮及高雄附近海域之影響因素有所不同，例如颱風風域影響，故對高雄港之推算方式是否與花蓮港相同？</p>	<p>五、由於大多數颱風來自西太平洋，高雄港位於臺灣西側，故大多數的颱風的風力會受中央山脈屏障，湧浪傳遞上也不向花蓮港那麼直接，其特性待模式建立完成後再加以說明。</p>	<p>符合。</p>

交通部運輸研究所合作研究計畫第 2 類

□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長期波浪統計特性及設計波推算之  
研究(1/4)

執行單位：國立交通大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
鍾英鳳委員：		
一、P2-11 颱風分類及分組，請再詳細說明。	一、遵照辦理，已增加詳細說明。	同意。
二、P3-3 頁 1993、2002 沒有推算出颱風波浪之結果，其原因建議補充說明。	二、由於井島武士在推算波浪傳遞的部分考慮了方向性，波浪的擷取範圍是於近岸設置一區域(如圖 2.2-1)，故在某些空間性的變化上無法準確判斷。	符合。
三、P3-6 表 3.3-1 中缺 1990 之資料，請補充。	三、感謝委員指正，已加入。	同意。
四、P3-7 二模式在最大波高發生時間推估「結果相當」，但依數據而言，部份差距頗大。	四、最大波高發生時間的誤差以平均來看皆為 5 小時左右，但部分颱風差距較大的情況如半經驗模式最多差 12 小時，而類神經模式則差 17 小時，未來作這方面統計會考慮以其他更客觀的方式做評比。	符合。
五、P6-1 引用高雄港數據方面，請用最新數字，如目前貨櫃排名已非第六，而是第 12。另整體規劃及未來發展計劃已有 96 年版本，請修正。	五、感謝委員指正，已修正。	同意。
六、P6-4 表民國 15 年至民國 85 年→修正為民國前 15 年，另對數據如何評估是由颱風或季節風所引起，建議未來補充說明。	六、感謝委員建議，已修正。	同意。
七、P6-7 圖 4 改為圖 6.2-1。	七、感謝委員指正，已修正。	同意。
郭一羽委員：		
一、計畫大致符合研究目標。	一、感謝委員認可。	同意。

<p>二、高雄港的數據 8 年內只有 40 多颱風，此是否足以建立類神經網路模式？</p> <p>三、月極值分佈的功用為何？</p>	<p>二、以目前資料特性來說，資料稍嫌不足，本研究團隊將會嘗試以有限資料進行建立。</p> <p>三、考慮前三大月極值，主要是推估數值函數參數因樣本較多之關係，而推估結果較為穩定，變異量較小。</p>	<p>符合。</p> <p>符合。</p>
<p>楊文衡委員：</p>		
<p>一、樣品取樣點加以說明為何高雄港波高值偏小？</p> <p>二、井島武士與 Weibull 推算最大波高差 5-6m 如何使用較保守(較小)最大波高，給工程界使用？</p> <p>三、路徑方向學習及風場遮蔽的影響可加入類神經學習。</p>	<p>一、高雄港波高較小主因為颱風直撲機會不多，加上地形遮蔽效應。</p> <p>二、本研究提供較準確的模式推算以及較合理的極值波高推算，若在工程尚需要考量安全係數以兼顧保守，可另行評估。</p> <p>三、感謝委員建議。</p>	<p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>同意。</p>
<p>岳景雲委員：</p>		
<p>一、參考文獻補上 Goda(2000)，Goda(2001)。</p> <p>二、章節編排”花蓮”，”高雄”請註明。</p> <p>三、P6-4 表 6.1-2 民國 15 年應修正為民國前 15 年，圖 6.1-1 颱風路徑分類圖更新(1897~2008 年)。</p> <p>四、”花蓮”、”高雄”海域不同，推算方式是否相同？</p> <p>五、加強說明研究成果提供工程上實用價值。</p>	<p>一、感謝委員建議，已增列於參考文獻。</p> <p>二、感謝委員建議，已加註第四章。</p> <p>三、感謝委員指正。</p> <p>四、目前擬以加強陸地效應的方式來建立模式，故有所不同。</p> <p>五、遵照辦理，已加強說明於第六章。</p>	<p>同意。</p> <p>同意。</p> <p>同意。</p> <p>符合。</p> <p>同意。</p>
<p>劉景毅委員：</p>		
<p>一、本研究針對主要港口海域進行長期波浪之統計分析、其成果可提供規劃設計單位參考，極具應用價值。</p> <p>二、颱風波浪品質為本研究的基礎，工作團隊已針對港研中心資料進行嚴謹篩選，此值得肯定。</p>	<p>一、感謝委員認可。</p> <p>二、感謝委員建議，未來模式建構若有進行空間資料同化，將蒐集安平資料作比較。</p>	<p>同意。</p> <p>同意。</p>

<p>但國內亦有其他單位量測颱風波浪資料，在未來應進一步蒐集，以增進研究成果之準確性(98年蓮花颱風來襲期間七股測得之波高11.7m，安平測得之波高為6.97m，差異相當大)。</p> <p>三、模式預測成果的好壞，取決於資料品質，模式與使用者之經驗，請檢視半經驗颱風波浪模式的模擬過程與使用變數之單位，其模擬結果應該可以更好。</p>	<p>三、感謝委員建議。</p>	<p>同意。</p>
<p>吳基委員：</p>		
<p>一、高雄港颱風波浪受路徑之影響，應考慮未發警報但實際波高大的颱風通過資料。</p> <p>二、文章表3.1、3.2、3.3等綜合比較表可於下端增列平均值等資訊，以便於研判。</p> <p>三、文字錯誤請改正，如表2.1-1(花蓮港)。</p>	<p>一、感謝委員建議。</p> <p>二、感謝委員建議，已增列。</p> <p>三、感謝委員指正，已修正。</p>	<p>同意。</p> <p>同意。</p> <p>同意。</p>
<p>何良勝委員：</p>		
<p>一、請修正4.7.1節部份表及內容之推算波高值(例如P.4-13表4.7-2、第4段之Weibull50年推算值，P.4-14第2段LSM50年之推估值，P.4-17第1段MLM50年推估值等)。</p> <p>二、有半經驗颱風波浪模式之方法是否為國內相關單位常用之方法？</p> <p>三、花蓮港計有19年資料，而高雄港惟8年資料，若依報告之50年推估值為例，以相對比較而言，例如以(實際推估值—半經驗推估值)/(實際推估</p>	<p>一、感謝委員指正，已修正。</p> <p>二、本研究的半經驗公式是以工程顧問公司與國內相關單位常用的方法進行推算。</p> <p>三、因為西部海岸較東部海岸平緩，且此方法係湯(1970)研究適合臺中港推算用，因而推估高雄港颱風波浪的表現上為小，故會有此現象。</p>	<p>同意。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p>

<p>值)，其概估所得，反而以高雄港之相對比值較小，此與一般概念之較長觀測資料會有較準確推估方式不同，此種情況請補充說明。</p>		
---	--	--

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長期波浪統計特性及設計波推算之研究(2/4)

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
陳陽益委員：		
<p>一、建議增加高雄港建第二港口時由約 54 年~62 年的波高(尤其颱風大浪)實測值(此資料敝人在 86 年或 85 年的中鋼爐石海拋的分析報告中有)及加上去年八八颱風浪的資料達約 12m。</p> <p>二、好像推估最大颱風浪較小一點，尤其龍王颱風浪依中山大學借用港研中心儀器實測最大波高達 18m。</p> <p>三、地形水深因素建議可適當考量。</p>	<p>一、感謝委員建議，本團隊將盡可能收集相關資料。</p> <p>二、本研究所採用的波浪資料皆為港研中心品管過後的年報資料，顯示龍王颱風產生的最大波高為 2.79 米。此差異可能為測量機具與水深位置的條件不同，若要進行釐清需要再與相關測量單位進行討論。</p> <p>三、感謝委員建議，本研究採用類神經網路模式來模擬颱風造成波浪的機制，但不同於傳統數值模式，地形水深因素影響波浪的機制在本研究中是以參數最佳化的方式來進行模擬。</p>	<p>同意。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p>
蔡清標委員：		
<p>一、本研究由實測資料數據之品質及極值統計分析，以探討設計波浪，以為港灣或海岸結構物設計之參考，期中研究成果佳，予以肯定。</p> <p>二、極值波高分析推估時，係人示性波高 <math>H_s(H1/3)</math> 或最大值波高 <math>H_{max}</math> 來分析，請說明。</p> <p>三、表 12 中，年最大法之推估波高幾乎大於觀測值，但月最大法則常小</p>	<p>一、感謝委員肯定。</p> <p>二、是以 <math>H_s(H1/3)</math> 來進行分析，已說明於 P4-12。</p> <p>三、此現象並無統計相關文獻探討過，可能與資料特性有關。</p>	<p>同意。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p>

<p>於觀測值，其代表意義為何？建議可以探討說明。</p> <p>四、在研究分析過程中，是否有發現所謂氣候變遷的異常波浪？其對極值波高之影響為何？</p>	<p>四、本研究採用箱型圖(Box Plot)分析來進行異常波浪的去除，此外，異常波浪在每小時的示性波高中較難以發現。</p>	<p>符合。</p>
<p>林昭圭委員：</p>		
<p>一、P.2-6 建議對季風波浪如何影響颱風波浪補充說明。</p> <p>二、P.2-7 表 3 中資料分類代碼 L、T、V 請說明(見 P.2-12)。</p> <p>三、研究中所引用之理論請說明，例如 Camargo 等人(2007)的熱帶氣旋分類法。</p> <p>四、是否以 L、T、V 分類方式將各群組所採用之颱風路徑繪圖說明。</p> <p>五、波高以距離 1500km 做為門檻，其他參數是否需要比照辦理(輸入因子)。</p> <p>六、是否有機會藉以檢討花蓮港及高雄港之正在用的設計波高。</p> <p>七、西部海岸之波浪推算受地形影響太強烈，研究團隊需再費心。</p> <p>八、極值推估理論有無可能加入，區域性如因地形碎波各之上現內極值。</p>	<p>一、感謝委員建議，在本研究中季節性波浪較大時，其尺度可能會近似颱風波浪，由於本研究所建立的颱風波浪模式需經過實測颱風波浪的訓練，故可能會因過大的季節性波浪造成錯誤的訓練，已增加說明於 P.2-6。</p> <p>二、遵照辦理。L、T、V 分別代表 Learning、Test 及 Validation，已增加說明於 P.2-12。</p> <p>三、遵照辦理，已增加說明於 P.2-12。</p> <p>四、L、T、V 分類方式的分類目的在於將所有颱風依其路徑與規模將之均勻分成三組資料，因為其均勻特性故難以進行說明。</p> <p>五、是。本研究以距離與波高關係圖作為判斷原則，距離超過 1500km 以上的颱風資訊不進行訓練以避免學習到非颱風所造成的波浪。</p> <p>六、本研究會提出由不同樣本、取樣方式、參數推定法、機率密度函數等條件下的設計波高，可供進行檢討。</p> <p>七、感謝委員建議，本研究團隊將繼續加強模式的推算能力。</p> <p>八、往昔研究與目前文獻無相關資訊可供參考，若要考慮到碎波後的極值波高，可以用颱風路徑分類進行，但因目前資料不足尚無法進行。</p>	<p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>同意。</p> <p>同意。</p>
<p>曾相茂委員：</p>		
<p>一、研究步驟正確有條理，報告十分詳實，方法正確，成果應有具實性，且研究團隊對問題之認</p>	<p>一、感謝委員認可。</p>	<p>同意。</p>

<p>知及未來的貢獻應可期待。</p> <p>二、P2-2 頁資料來源與處理這一段文章，請再依本所『99 臺灣地區國際港附近海域海氣象現場調查分析研究(1/4)』報告修正。</p> <p>三、P2-2 頁圖 1，請用原圖尺寸。</p> <p>四、P3-9 頁『花蓮港浮標站資料』請改為『花蓮港海象觀測站資料』1990 年 12 月起至 1993 年 8 月 Waverider 無物何 1993 年 4 月起至 2000 年 8 月 Waverider 波高週期及波向 2000 年 9 月至今波高週期波向及剖面海流。</p>	<p>二、感謝委員指正，已修正 P2-2。</p> <p>三、感謝委員指正，已修正 P2-2。</p> <p>四、感謝委員指正。</p>	<p>同意。</p> <p>同意。</p> <p>同意。</p>
<p>何良勝委員：</p>		
<p>一、本研究延續去年之分析方法，針對花蓮港之季節風與颱風期的分析結果，此與往昔有很大區別與研究成果，頗值得肯定。</p> <p>二、相關各週歸期設計波之推算成果並未區分各種波向情況，此與往昔考慮各波向之規畫推算結果有所不同，此兩種情況如何連結說明。</p> <p>三、有關高雄港颱風波浪推算模式中，由於高雄港位於臺灣西南部，其颱風前之湧浪及颱風發生位置對高雄港有所影響，因此，在波浪推算學習時，宜以考量。</p>	<p>一、感謝委員肯定。</p> <p>二、因目前波高資料沒有角度，無法進行分析，若要考慮各種波向的狀況，需透過數值模式進行推算，將各角度之波高分別作極值分析。</p> <p>三、感謝委員建議，湧浪對於波浪推算十分重要，但目前所收集的波浪資料較短，直撲高雄港造成湧浪的樣本太少，無法進行訓練與分析。</p>	<p>同意。</p> <p>符合。</p> <p>同意。</p>

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長期波浪統計特性及設計波推算之研究(2/4)

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
陳陽益委員：		
已具體完成本年度的工作內容，且有很不錯的成果，建議儘量降低就單一最大波時之誤差度。	感謝委員認可，將透過更多實測波浪資料的學習以提升模式推算颱風波浪的最大波高精準度。	同意。
蔡清標委員：		
<p>一、本計畫目標在於建立月極值及年極值統計應用程式，並推算各重現期的設計波高，以提供各國國際港之工程設計參考，研究有具體成果，績效優良。</p> <p>二、P.1，出版品摘要表中第一行，”原花蓮”三字，建議刪除。</p> <p>三、神經網絡模式中，考量地形對波浪的遮蔽效應及風場受地貌地物影響之因子，成果具相當意義。該因子在 ANN 模式中之考量，建議有更具體的專節說明，如何？颱風路徑需予以考量。</p> <p>四、計劃以實測之最大值波高為樣本，推測出過去 50 年重現期之波高，該結果與過去兩港所用之設計波高的差異性，建議有所比較及探討，以為未來工程擴建設計波考量之參考。</p> <p>五、本計畫預定研究期程為 4 年，各分年主要工作</p>	<p>一、感謝委員認可。</p> <p>二、感謝委員指正，遵照辦理。</p> <p>三、感謝委員建議，本模式以距離、颱風方位角與移動方位角來表現空間上不同位置對目標點波浪所造成的影響，並以此為基礎透過轉換函數的最佳化來解決地形對波浪的遮蔽效應及風場受地貌地物的衰減問題。此法能透過類神經網路量化颱風中心空間上的變化，較往昔路徑分類的方式為佳，已於 2.2 節中加以說明。</p> <p>四、感謝委員建議，已收集往昔兩港設計波高來進行差異比較，並於 4.6 節中作說明。</p> <p>五、遵照辦理。</p>	<p>同意。</p> <p>同意。</p> <p>符合。</p> <p>同意。</p> <p>同意。</p>

項目，建議於 1.3 節中均列出。		
李忠潘委員：		
一、P.2-7，表 3 內 L、T、V 代表意義，請加註於表下方。 二、颱風路徑通過臺灣南方時，高雄港的預測波高與實測值，以及最大波發生的時間，尚有頗大差異，原因為何？值得進一步探討。	一、遵照辦理。 二、以歷史資料來看颱風在尚未通過臺灣最南端時波浪應較小，而在通過最南端時會有發生較大波浪的狀況，未來若有更多實測資料將進行收集進行分析。	同意。 符合。
曾相茂委員：		
一、2-2 頁 2.1 第一行本中心全銜請改正「交通部運輸研究所臺灣技術研究中心」。 二、2-3 頁 2006 年 5 月~8 月缺資料是因高雄港務局在二港口南防波堤外堤挖泥濬沙影響。 三、本中心每年三、四月報告完成後隨即開放前一年的資料供大家參考使用，因此本計畫建議可將 2009 年的資料拿來做驗證了(2-25 頁~2-29 頁)。 四、2-30 頁~2-31 頁凡那比颱風的即時資料是未經品管的資料只可參酌使用，如有異樣應再與本中心資料負責人確定後再使用。	一、感謝委員指正，已做修正。 二、感謝委員提供資訊，已加註。 三、感謝委員建議，已新增。 四、遵照辦理。	同意。 同意。 同意。 同意。
何良勝委員：		
一、報告內文修正之處： (1)英文摘要題目名稱。 (2)P.3-17 以後之內文圖、表號有誤。 (3)chap3 與 chap4 有關公式，給予適當安排。 二、P.3-2 之 Weibull 分佈所引用 Goda 之 k 值是否可	一、感謝委員指正，已修正。其中第三章與第四章的公式，分別用於年極值與月極值不同的分析方式，為考量文章閱讀的方便性故有兩個公式重複請委員見諒。 二、以往昔學者的著作與經驗顯示 Goda 研究中建議以此四值來做測試，若針對 Weibull 分布做更進一步的研究可	符合。 符合。

<p>以使用其他數值？</p> <p>三、圖 27 與圖 29 之 k1 點位置請檢核。</p> <p>四、有關高雄海域波浪推算中，建議後續加強其受陸域影響之相關學者研究及其可應用之處。</p>	<p>加以探討，感謝委員建議。</p> <p>三、已確認。</p> <p>四、本計畫收集往昔研究發現陸域影響風場之衰減程度之研究十分少見，若要考量此因素一般皆採用地形資料來進行較為複雜的空氣動力模式模擬，本研究中為了能夠快速且準確的評估此影響資料，發展以類神經學習配合轉換函數之應用是目前較為創新的做法。</p>	<p>同意。</p> <p>符合。</p>
---	--	-----------------------

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長期波浪統計特性及設計波推算之  
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
莊甲子委員：		
一、本年度研究為四年期研究計畫中之第三年，研究成果如預期進度，研究內容包含類神經模式、極值統計分析、極值分布推定法等，內容豐富，值得肯定。	一、感謝委員認可。	符合。
二、颱風侵襲角之定義建議另加考量，以實際夾角（颱風走向與颱風中心與預報點連線之夾角）取代方位差夾角可能可獲得更佳之推算結果。	二、颱風走向與預報點夾角在本文中定義為 $\theta_2$ ，以隱含在本計畫所定義的颱風侵襲角中，且颱風侵襲角在颱風物理特性上直接表達颱風左半圓或右半圓侵臺的狀況，較為直觀。	符合。
三、類神經模式中建議選取大波浪颱風走徑（路徑3.5.7.8.9）的實測結果作學習應可得到更佳的學習成果藉以排除誤差效應。	三、感謝委員建議，由於本模式目標除了推算往昔未紀錄的颱風波浪外，更希望能針對未來侵臺颱風作波浪的預報，故也需要考慮小波浪的颱風進行學習，避免模式遇到規模較小的颱風時發生錯估。	符合。
四、湧浪的遮蔽效應與都卞勒（Doublet）效應是否需列入考量請能加以斟酌。	四、湧浪的堆疊作用(accumulation)及都卞勒效應往昔研究已用輸入參數前12或24小時之值，即以延時(time delay)讓類神學習，但如此處理經測試對模式整體精度並無提升，這種現象的可能原因為安平港位於臺灣海峽側，較少直撲颱風故發生湧浪的狀況不多或者輸入參數不洽當，往後若有機會再進一步研究委員所提這些效應輸入合適參數讓類神經有更好地模擬。	符合。
五、結論及後續工作說明精	五、感謝委員指教，將於期末改進。	同意。

<p>簡度稍嫌不足，期末報告期能改進。</p>		
<p>韓文育委員：</p>		
<p>一、波浪極值統計通常應用於結構物設計，與颱風波浪關係較密切，與季節風較無關聯，季節性風浪多應用於海岸變遷，波浪資料多使用示性波高或能譜，而非波浪極值，建議於文中說明採用月最大推估法主要應用範圍。</p> <p>二、P.4-9 箱型圖分析以 IQR（各月極值排序後之 75%及 25%相差值）之 1.5 倍作為 Hmax 控制範圍，是否會偏小？</p> <p>三、P3-3，C1=0.6~0.7 與井島研究臺中港時建議 C1=0.6~0.65 不同，取不同 C1，是否明顯影響推算結果？本計畫如何決定 C1 值？</p> <p>四、本計畫以類神經颱風波浪模式推算結果，與觀測值之相關係數 R 平均值高達 0.73，明顯相較於湯與井島之半經驗颱風波浪推算結果其 R 平均值 0.37 為佳，但對某些個別颱風（例如象神、韋帕），其 R 值僅 0.3 左右，此模式似乎仍存在某些盲點，是否與颱風路徑、地形、水深等有直接相關？如此模式推算結果作為港務局等相關機關預警系統，風險性如何？</p>	<p>一、感謝委員建議，月極值統計與年極值統計皆為探討波浪長期的極端狀況，只是資料取樣的長度不同，針對主要應用範圍再於討論季節性的影響量。</p> <p>二、1.5 倍是基於設定一個合理範圍，超過此範圍的數據將被提出作為探討，視其狀況決定是否去除資料，越小的控制範圍即越嚴謹。</p> <p>三、一般 C1 都是採用 0.6~0.65，C1 值越大推算波高會越大，目前 C1 值的決定尚無法特別方法，本計畫 C1 值參考往昔顧問公司採用 0.63。文中誤植 0.7 將於期末報告中作修正。</p> <p>四、路徑、第型與水深等因素並無直接以輸入層因子的方式進行輸入，僅能由類神經多神經元的權重與閾值來描述其特性，若未來有更多資料可進行學習，相信可以提升模式結果的相關性。另風險評估部分將於期末增加說明。</p>	<p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>同意。</p>
<p>林焯圭委員：</p>		

<p>一、第一章計畫目的之第二段及第三段文字建議再調整，並應提相關圖表以資證明。第二段文字指出現有規範無安全之虞，但又說有要檢討的問題，應再說明。第三段文字指出每個月的極值波浪會有週期性的變化，是否意指月極值波浪在一年中有隨季節而變的規律值？</p> <p>二、P2-11，資料分類中 Camargo 等人（2007）之分類法應詳加說明。</p> <p>三、目前類神經的學習組涵蓋了 29 場颱風中之最大颱風，因此其驗證較佳。如果用來推算比學習組更大的颱風可能發生什麼問題？</p> <p>四、在極值分析中如何針對不同的推估方法的推估結果進行評估？是否未來會具體建議一推估方法？</p> <p>五、2-28 圖 2-14 之 RMSE 單位為何？為什麼 RMSE-test 值變得很大？</p>	<p>一、感謝委員指正，文字說明部分已修正。我們透過月極值的分析的確發現會因冬夏季整影響，會隨著季節而改變。</p> <p>二、將於期末補充說明。</p> <p>三、以類神經的建立方式來說，若學習颱風波高都較小，將模式用來預測更大的颱風其預估波浪結果也會更大，但其準確性仍須再評估。</p> <p>四、目前以本團隊執行中心計畫的經驗來說，花蓮港、高雄港、安平港及臺北港的狀況是以 LSM 推估法的結果最佳，但此方法是否因地制宜，可能需要更多實作才能下定論。</p> <p>五、單位為 m，圖 2-14 說明在不同神經元架構下的 RMSE，所有颱風的平均 RMSE 約 0.85m 至 1m。其值變大說明神經元越多可能對模式造成過度學習的狀況，會使模式在預測時有較大的誤差。</p>	<p>符合。</p> <p>同意。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p>
<p>李兆芳委員：</p>		
<p>一、P2-30 提及各颱風名稱已有中、英文，統一選一種呈現。推算結果最大波高誤差和時間誤差是否有參考值可以呈現？</p> <p>二、類神經和半經驗推算結果的比較 <math>\Delta H</math> 和 <math>\Delta t</math> 有正和負，以平均值來看難以顯示結果好壞。</p> <p>三、p5-9 對於臺北港和安平</p>	<p>一、中英文颱風名稱將於期末統一，波高及時間誤差參考值可由往昔花蓮與高雄港的文獻中誤差值當作參考。</p> <p>二、本文中的平均值皆是取絕對值後在平均，可以客觀展現模式誤差。</p> <p>三、感謝委員建議，已調整為分開陳述。</p>	<p>同意。</p> <p>符合。</p>

港的敘述可以分開陳述。		同意。
曾相茂委員：		
<p>一、本研究計畫兼顧研究與實務，與本所港研中心實測颱風資料頗能一致，成果豐碩，已具有實用價值，相當難得，且研究團隊對問題之認知及未來的貢獻應可期待。</p> <p>二、P1-1 計畫目的：設計港灣或海岸結構物前…但除了臺中港外其他基、蘇、花、高 4 港近 20 年的波浪資料都是現有的海岸結構物後的，只有臺中港在 1981~1982 年量測後 1992~1995 年北防波堤延長 850m 後 1995~1997 再觀測的資料，以後又在 1999~2003 年再延長 480m 後再觀測的資料，所以 101 年第四年臺中港與基隆港為主這些資料可能須考慮結構物前、後了。</p> <p>三、P2-30 是否能將誤差最大的四個颱風路徑圖放在文中內，並解釋可能的原因。是否都是颱風引來的西南風造成的湧浪，所以不在計算內而造成的誤差。</p> <p>四、4-29 頁是否將表 4-19 挪到與圖 4-21 同頁以便參閱。</p>	<p>一、感謝委員認可。</p> <p>二、感謝委員指正，本研究計畫的設計波估算是應用於港灣或海岸節購物興建前的工作方法，但目前僅能利用現有的波浪資料建立颱風波浪推算方法，以推求往昔沒有實測資料的颱風波浪狀況來探討目前的設計波估算方法，以現在的技術探討往昔設計波估算的適用性，相信能對未來相關建設有所幫助。</p> <p>三、已於 2.3 節加入說明。</p> <p>四、已調整。</p>	<p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p>
何良勝委員		
<p>一、建議於期末報告補強前二年研究成果說明。</p> <p>二、建議將類神經網路及半經驗公式之結果做一合併比較。</p>	<p>一、感謝委員指教，將於已增加說明。</p> <p>二、在期中會議簡報中已進行比較，將於已納入報告書中。</p>	<p>符合。</p> <p>符合。</p>

<p>三、有關臺北與安平兩港之季節性統計分析結果與其分析方法（函數分佈、推估、檢定）宜相符合。</p>	<p>三、感謝委員建議，兩港的分析方法相同，將於期末報告中加以說明。</p>	<p>符合。</p>
<p>四、建議增列以信賴度方面說明應用類神經網路推算結果之準確性。</p>	<p>四、感謝委員建議，已加入於期末 2.4 節。</p>	<p>符合。</p>

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長期波浪統計特性及設計波推算之  
 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
韓文育委員：		
一、本研究建構類神經颱風波浪推算模式，提供波浪推算另一思維，並於本年度內完成所有預定進度，應予肯定。	一、感謝委員肯定。	符合。
二、本研究於 2-4 節簡單論述風險分析，並於整體報告結論中明確指出“研究成果可供為預警系統或參考”其可靠性宜請於第四年計畫再進一步斟酌，以取信工程界及港灣主管機關勇於應用此模式。	二、感謝委員建議，未來將盡力加入更多樣性的模式評估。	符合。
三、本研究 $\Delta H_{s.p}$ 及 $\Delta t_p$ 計算結果有正有負，並各有其物理意義，研究中將各次颱風推估之 $\Delta H_{s.p}$ 及 $\Delta t_p$ 平均，不論是否取絕對值平均，其平均後之數據恐失去其原有意義，並造成 p.2-36 表 2-8 之結果失真，又如其平均為絕對值平均宜於 p.2-33 中註明，並說明其意義。	三、皆以絕對值平均較能避免在常態性分布的誤差狀況下會無法表示誤差範圍。至於非常態分布的誤差偏態可考慮由風險分析中作表示。將於文中加以說明。	符合。
四、建議港研中心利用本計畫對各商港之研究，邀	四、感謝委員建議。	同意。

集相關主管機關、學界、工程顧問公司等研討確立各港之設計波高，以為工程界依循。		
陳陽益委員：		
已達成計算系統化來預測颱風浪，故達到本計畫目標，唯延時與極值仍有差異，有再改進的空間。	感謝委員肯定，未來若有更多可用資料將進行模式測試並盡力改善。	
李兆芳委員：		
一、報告內容充實，達到計畫目標。 二、在編輯上仍有調整空間，如 p.2-9, 2-35, 2-40, 4-16, 2-39,請修正。 三、內容敘述上可再加強，如 p.4-17, 4-30, p5-8,標題和內容要一致。 四、作法上分出月和年季節特性，但結論提及年極值特性與月極值統計特性相同，可以調整說明。	一、感謝委員肯定。 二、感謝委員指正，已修正編輯。 三、感謝委員建議，以修正，其中 p5-8 等表格標題與內容無誤。 四、已修正誤植部分文章。	符合。 符合。 符合。 符合。
林焯圭委員：		
一、本計畫所引用颱風資料是來自日本氣象廳，是否意味著位來的推算作業均如此進行，中央氣象局或 JTWC 的資料有何問題。 二、請說明 56 場“會造成影響”的颱風的選擇是依其路徑或依實測波高判定其影響性。 三、p2.9 有關安平港發生最大波高值 3 米以上的颱風，不一定是由颱風所造成等論述的一句為何？季風波浪與颱風波浪均為風波，如何判定	一、各單位的颱風資料會有些許差異，本模式往昔建立時採用過 JTWC 與 JMA 的資料，原因在於這兩個單位的完整且提供方便的資料取得方式，但在應用上各單位資料皆可使用只須注意風速值單位的轉換即可。 二、除考慮其路徑外並考慮其資料適用性，若有雙颱風或季節風較大的狀況會盡量避面納入選擇造成錯誤的學習資訊。 三、僅能視當時颱風資訊顯示當時是否有颱風造成影響，季節風與颱風的混合影響則較難較進行考量。	符合。 符合。 符合。

請說明。		
何良勝委員：		
<p>一、報告內文修正或補充意見之處：</p> <p>1.內文單位統一寫法，例如 chap2、chap4 之“米”改為“m”。</p> <p>2.p.2-34 之表 2-7，增列標明“學習組”與“驗證組”。</p> <p>3.p.4-10 之表 4-3，增列說明表中有底色格之意義。</p> <p>4.內文中之“台”→改為“臺”</p> <p>二、增列說明 p.2-36 之表 2-8 中各港所得之優劣情況。</p>	<p>一、</p> <p>1.感謝委員指正，已修正。</p> <p>2.感謝委員建議，已增列。</p> <p>3.感謝委員建議，已增列。</p> <p>4.感謝委員指正，已修正。</p> <p>二、感謝委員建議，已增列。</p>	<p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p>
曾相茂委員：		
<p>一、本年度為四年計畫中的第三年，研究成果已有具實，其步驟正確有條理、方法正確，且研究團隊對問題之認知正確及未來的貢獻應有期待。</p> <p>二、建議如有時間，高雄港與安平港及臺北港與基隆港可用已有的資料找出其相關關係。</p> <p>三、自 P2-4 開始有些版面須重新調整。</p>	<p>一、感謝委員肯定。</p> <p>二、各颱風對於各港的影響會由於地形與空間位置有所差異，這也是目前各港分別建置模式的原因，未來各港模式建立完成會再加入比較與討論，目前僅針對已建立的模式進行成效的比較。</p> <p>三、感謝委員指正，已修正。</p>	<p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p>
何良勝委員：		
<p>一、報告內文修正之處：</p> <p>1.英文摘要題目名稱。</p> <p>2.P.3-17 以後之內文圖、表號有誤。</p> <p>3.chap3 與 chap4 有關公式，給予適當安排。</p> <p>二、P.3-2 之 Weibull 分佈所引用 Goda 之 k 值是否可</p>	<p>一、</p> <p>1.感謝委員指正，已修正。</p> <p>2.感謝委員指正，已修正。</p> <p>3.感謝委員建議，已調整。</p> <p>二、Goda 有建議四種 k 值，在本中心往昔研究計畫中已有測試與比較，其他 k</p>	<p>同意。</p> <p>同意。</p> <p>同意。</p> <p>符合。</p>

<p>以使用其他數值？</p> <p>三、圖 27 與圖 29 之 k1 點位置請檢核。</p> <p>四、有關高雄海域波浪推算中，建議後續加強其受陸域影響之相關學者研究及其可應用之處。</p>	<p>值則須更多資料進行相關研究與討論。</p> <p>三、以檢核文中 k1 值的部分。</p> <p>四、已蒐尋過相關文獻，國際上較少此類地形影響問題，未來除繼續發展改善外，將廣納各界意見與技術進行討論。</p>	<p>符合。</p> <p>符合。</p>
---	---	-----------------------

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長期波浪統計特性及設計波推算之  
 研究(4/4)

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
陳陽益委員		
1. 成果很具體。 2. 於期末報告與實測值比較後，才可評定適足度與如何修正。 3. 下限波高與週期設定多少？	1. 感謝委員認可。 2. 此部分是指今年度的颱風波浪比較，目前會在颱風侵臺前進行波浪預測，待港研中心提供實測波浪資料後會於期末報告比較其結果。 3. 極值分析時樣本若下限高則推算同重現期值就高，當每年極值樣本缺少時才會處理下限值問題，本計畫推算各港極值的樣本並無此問題則依照一般極值統計方法進行之。	同意。 符合。 符合。
韓文育委員：		
1. p1-1 第 8 行港灣手冊應修正為海岸手冊，另 p.4-5 第 9 行式(5-10)應修正為式(4-10)。 2. p3-7 所述均方根誤差 RMSE 與相關係數 R 皆以類神經推算模式較佳，實務上能否建議設計時採類神經推算波浪較佳？ 3. p5-2 所述「由於資料樣本不同，可發現 50 年重現期的設計波浪以實測數據所推算得的值最大，半經驗波浪推算模式的資料樣本次之，類神經網路波浪推算模式最小。」，本研究報	1. 感謝委員指正，已修正。 2. 由各颱風的波浪推算結果顯示類神經波浪推算模式對於颱風波浪的逐時推算結果較準確，較適合進行後續分析。 3. 此部分論述僅由三種不同的資料樣本來做極值分析進而比較其結果的差異程度，就波浪統計分析的結果來說並非較小就不可信。在實測資料足夠的狀況下必然是以實測資料為準，但若實測資料不足就必須仰賴模式推估等方法來提供足夠的樣本進行分析。	同意。 符合。 符合。

<p>告結論亦有此論述，則實務上，後二者推估是否意謂均不可信？</p> <p>4.本計畫整體執行年期完成時，建議召開研討會提出工程設計上有共識之各港設計波高，以為工程設計之參據。</p> <p>5.p2-30 表 2-7 係以各樣本各次推算值之「平均值」探討「誤差」意義何在？</p> <p>6.本計畫歷次審查意見，建議列於報告書附件。</p>	<p>4.港研中心將於今年九月中召開相關研討議題。</p> <p>5.僅為了表達各港所建立的類神經波浪模式準確度的差異。</p> <p>6.遵照辦理，已納入往昔會議紀錄。</p>	<p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p>
<p>鍾英鳳委員：</p>		
<p>1.p2-5 頁表 2-2 中無波高小於 1m 者，文字敘述請修正，另 p2-6 波高 1~2m 者應為 3 場而非 4 場。</p> <p>2.2.5 節中泰利颱風波浪推算中，最大波高安平、臺中、高雄...之順序與風作用時間不同，請加以研討為何如此。另 wind-Time 在圖 2-17,18,19,20 均相同，但 2-21 臺中港部份不同，D-Time 在 2-18,19 相同，其餘不同，請說明如何選取。</p> <p>3.p3-4 此處安平港應為臺中港之誤值，p3-5 亦有相同情形。</p> <p>4.表 3-3 <math>\Delta tp</math> 半經驗在珍珠颱風達 163，如此去除此一數據，其 <math>\Delta tp</math> 之平均值應可下降，能否說明為何會產生如此大之誤差？另 p3-7 中 3.3 節峰值發生時間的</p>	<p>1.感謝委員指正，已修正。</p> <p>2.此情況與颱風路徑與各港周圍地理環境有關，由於颱風波浪的成因複雜，其影響因子包括風場結構與波浪傳遞效應，故採用類神經網路進行模擬，且颱風資訊的來源在即時預報上僅提供六小時一筆資料，故目前各港的推算模式在最大波高發生時間上約有 6~13 小時的誤差，故較難以進行探討。另外 wind-time 的部分皆相同只是途中縱軸比例不同會再加以改善，distance-time 圖中則因為各港地理位置不同，故與颱風距離會有所不同。</p> <p>3.感謝委員指正，以於文中修正。</p> <p>4.因颱風未靠近時的風浪比颱風靠近時所造成的波浪來得大就會發生這類現象。p3-7 已修正，四種模式評估指標皆以類神經波浪推算模式較佳。</p>	<p>同意。</p> <p>符合。</p> <p>同意。</p> <p>符合。</p>

<p>誤差以半經驗推算方式較小，與表 3-3 半經驗為 27.33，類神經為 14.4，其敘述是否正確。</p> <p>5.p6-4 6-5 波浪極值設計視窗中 FT-1,MOM 在文中未見說明代表意義為何？另未來要用那一種方式推估，應確定一種或是用使用者選擇，請補充說明。</p>	<p>5.FT-1 為極值一型的極值函數，在文章 4.2 節中有進行敘述，MOM 則為另一種參數推定法，敘述於 4.3.1 節，經歷年計畫測試後其參數推定的成效並不如 LSM 與 MLE 兩種方式。</p>	<p>符合。</p>
<p>李兆芳委員：</p>		
<p>1.期中報告內容進度超前，計畫執行明確。</p> <p>2.表 2-1 和表 2-2 颱風名稱中文、英文排列可以一致。</p> <p>3.p2-7 內容先提圖 2-4 後提圖 2-3 可調整。</p> <p>4.第四章一開始可加入說明和計畫之關聯敘述。</p>	<p>1.感謝委員認可。</p> <p>2.已調整中英文順序。</p> <p>3.已調整兩圖位置。</p> <p>4.已加入於 4.1 節前。</p>	<p>同意。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p>
<p>蔡立宏委員：</p>		
<p>1.本研究以實測波浪半經驗模式以及類神經模式推估臺中港重現波高，推算值不同，未來實務方面如何應用。</p> <p>2.實測數據中，有許多缺漏，如可補遺或因應，另資料時間只有 11 年，對推估結果有何影響。</p> <p>3.颱風波浪推算參數中是否考量行進速度，影響如何？</p> <p>4.p4-1 式(4-1a)(FT-I 型)請再檢查。</p>	<p>1.以表 3-3 兩種方法颱風波浪推算之結果比較來看，類神經波浪推算模式較為適合進行推估極值波浪來進行分析。</p> <p>2.年統計中會考量缺漏月份如出現在 7~10 月則須考慮年最大值的代表性，補遺應較難具代表性。11 年資料進行 50 年極值分析是較為不足的，但為能比較實測樣本與其他模式推算樣本的極值統計差異，本研究仍採用 11 年長度資料來進行分析。</p> <p>3.颱風行進速度的資訊已經隱含於 RVM 風場所推算出來的推算點風速值之內，颱風的行進方向與速度皆會影響風場的分布。</p> <p>4.已確認公式並統一文中縮小為 FT-I。</p>	<p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p>

何良勝委員		
<p>1.請於期末報告時增列前三年的研究成果。</p> <p>2.建議彙整幾個主要港口的成果比較。</p> <p>3.於期末報告時，增列說明如表 2-6 的較特殊數據。</p> <p>4.臺中港之月極值分佈和其他港口有些不同，請補充說明。</p>	<p>1.遵照辦理，已於 1.3 節增列往昔成果。</p> <p>2.已於期末報告增列於表 2-8。</p> <p>3.已增列說明於表 2-6 前。</p> <p>4.已於箱型圖分析中增列臺中港一些異常的月極值。</p>	<p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p>

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長期波浪統計特性及設計波推算之  
 研究(4/4)

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
陳陽益委員：		
一、本報告所建立臺灣六大主要港口之颱風波浪推算模式及波浪極值統計特性模式，對各港務單位可正面提供工程規劃設計之參考應用。	一、感謝委員認可。	同意。
二、為能清楚比較各港口之波浪統計特性，請增列相關最適性極值分佈模式之彙整表。	二、已增列於綜合比較之章節。	符合。
三、p.2-4~p.2-9 中補充說明基隆港之分析結果。	三、已補充於 2.1 節。	符合。
四、結論部份，建議以條列式說明研究成果。	四、已改為條列式結論。	同意。
韓文育委員：		
一、本研究目標為提供各港務公司校核各該港區設計波浪，其極值統計視窗化界面提供快速計算各重現期極值波高，並藉類神經颱風波浪推算模式以為防災預警，其方向及目標明確，應予肯定。	一、感謝委員肯定。	同意。
二、報告書部分文字編排有誤，如 p.6-1 “有四個主要目標”，與內文不	二、感謝委員指正，已更正於 P6-1 與 P5-6。	同意。

<p>符；又 p.5-6 文中“臺中港”應為“基隆港”之誤，應請修正。</p> <p>三、仍建議港研中心邀集本計畫研究團隊各港務公司及業界共同研議各重要港口設計波高，以使本研究之成果落實應用於實務工程設計及防災預警實務。</p>	<p>三、感謝委員肯定，未來有相關研議或討論本研究團隊必將全力支持與配合。</p>	<p>同意。</p>
<p>鍾英鳳委員：</p>		

<p>一、本研究成果，已詳細考量不同狀況並模擬，值得肯定。</p> <p>二、p.2-1 臺中港貨物裝卸量部份，請再查證部份與目前不符。</p> <p>三、P.2-17 敘明本研究將排除 1800Km 之資料點，但 p2-21,却以 2400km 以外資料刪除，二者是否一致，請再查明。</p> <p>四、p.2-18、2-19 所敘述之安平港應為臺中港請修正，另圖 2-10 以後，文中之圖號與實際圖號不符，請修正。</p> <p>五、2.5 節係用蘇拉颱風 or 泰利颱風，請查明，另結論亦以泰利作說明。</p> <p>六、視窗化操作之建構，四個主要目標，但只有 1. 擴展使用族群 2.縮短模式操作程序時間 3.增加模式親和力。缺少一個目標，另本章節建議未來能有實際操作說明書。</p>	<p>一、感謝委員肯定。</p> <p>二、感謝委員指正，已修正為官方數據。</p> <p>三、P2-17 針對現有資料的波浪與距離所判定出影響範圍，而 P2-21 則針對對目標點方位角相關性分析中做一限制的分析，並無衝突，模式整體模擬流程中仍以 1800km 為限制。</p> <p>四、本段以安平港為例，僅針對一目標點說明各颱風角度參數，圖號已確認無誤，感謝委員指正。</p> <p>五、期末報告是採用蘇拉颱風，已於文中進行修正，改謝委員指正。</p> <p>六、感謝委員指正，已修正為三目標，本介面採用一般 windows 軟體常用元件，以易於操作，介面說明書已內建於介面中。</p>	<p>同意。</p> <p>同意。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p>
<p>李兆芳委員：</p>		
<p>一、本計畫提供臺中港與基隆港設計波浪之資訊，研究成果效益很好。</p> <p>二、相關編輯建議如下：</p> <p>1.p.1-3 “二為”轉換函數</p> <p>2.p.2-6 有表 2-3 但沒提及</p> <p>3.p.2-8 “圖中”發現...,沒提及那一個圖。</p> <p>4.p.2-32 表 2-8 顯示“本中</p>	<p>一、感謝委員肯定。</p> <p>二、</p> <p>1.已修正。</p> <p>2.已加入說明於 P2-6。</p> <p>3.已加入說明於 P2-8。</p> <p>4.已更改為全名『港灣技術研究中心』。</p>	<p>同意。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p>

<p>心” ...。</p> <p>5.p.2-33 圖 2-16 顯示臺中港...，應為圖 2-17。</p> <p>6.圖 2-19~2-24 呈現波高和時間，可考慮加入誤差%。</p> <p>7.推算模式之綜合比較，可考慮另章彙整。</p> <p>8.第四章內容可增加文字描述。</p> <p>9.p.2-32 “ peak ” ,p.7-3 “RAW data” 可用中文。</p> <p>10.結論可用彙整成果呈現。</p>	<p>5.已更正於 P.2-34。</p> <p>6.已加入推算結果與實測資料間的誤差均方根及相關係數並說明於 2.5 節文章中。</p> <p>7.遵照辦理，已增列新章節。</p> <p>8.第四章內容包括資料品管、極值理論與月極值分析結果，各月最佳極值函數及參數推定法已增列於第七章綜合比較中。</p> <p>9.已改中文。</p> <p>10.已彙整成條列式結論。</p>	<p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>同意。</p> <p>符合。</p> <p>同意。</p> <p>符合。</p>
<p>岳景雲委員：</p>		
<p>一、本計畫建構類神經颱風推算模式、極值統計分析、極值分佈推定等有具體成果內容豐富值得肯定。</p> <p>二、波浪極值統計視窗化操作可以擴展使用族群、縮短模式操作程序及時間、增加親和力、人性化操作介面具有實用性。</p> <p>三、參考文獻遺漏部份請補上：湯(1968)(1970)、井島(1972)、梁(1993)...等。</p> <p>四、CH4 p4-17 季節性統計分析法...在 95%信賴度下推算各月波高臺中港 3 月份偏大 6 月偏小，基隆港 5 月、6 月波高明顯偏小而 3 月偏大。</p> <p>五、CH7 結論中提到並以</p>	<p>一、感謝委員肯定。</p> <p>二、感謝委員肯定。</p> <p>三、已補充於第九章。</p> <p>四、此為各港季節性特性的差異，其中基隆港(參見表4-8)在一月至四月間的波浪紀錄皆有較大的變異量。而 P.4-17 中更進一步考量極直波高的信賴區間，對於未來資料引用提供更可靠的資訊。</p> <p>五、已改為修正為蘇拉颱風(SAOLA)。</p>	<p>同意。</p> <p>同意。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p>

<p>2012 泰利(TALIM)颱風模擬花蓮、高雄、安平... 波浪狀況，其結果可略加說明。</p> <p>六、內文 p1-4 工作項目六部份或七部份，p5-6 第 8 行臺中港=&gt;基隆港，p6-1 四個目標=&gt;三個目標，p2-35 泰利=&gt;蘇拉。</p>	<p>六、感謝委員指正，已更正說明於 P.1-4、P.5-6、P.6-1、P.2-35。</p>	<p>符合。</p>
<p>何良勝委員：</p>		
<p>一、請補充說明或修正之處：</p> <p>1.單位統一，如“公尺”或“m”。</p> <p>2.p.2-4~p.2-9 中，補充說明基隆港之結果。</p> <p>3.p.4-12 之表 4-6 及 p.4-14 之表 4-8 中，建議將真正為雜訊資料者，另以顏色顯示。</p> <p>二、請彙整表列已建立之六大港口之波浪極值最適分佈，以方便瞭解比較。</p> <p>三、於結論部份，建議以條列式說明。</p>	<p>一、</p> <p>1.已統一文中單位。</p> <p>2.已將基隆港說明分段補充。</p> <p>3.已採用灰底色配合白色值代表颱風造成的雜訊。</p> <p>二、遵照辦理，已增列於綜合比較章節。</p> <p>三、遵照辦理，已採用條列式結論。</p>	<p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>同意。</p> <p>同意。</p>

交通部運輸研究所港灣技術研究中心

# 臺灣主要港口附近海域長期波浪統計特性及設計波推算之研究(4/4)

期中簡報

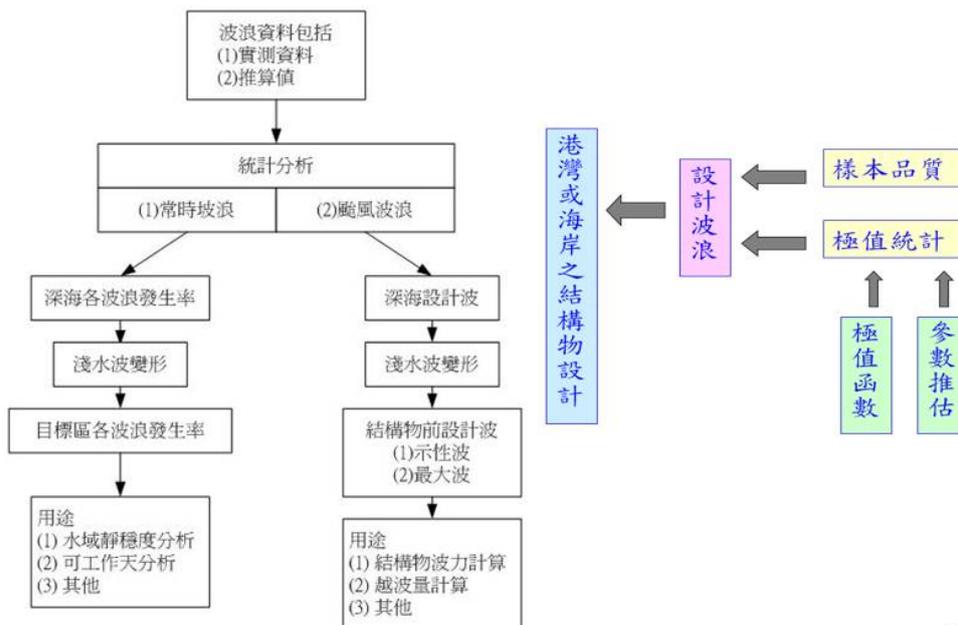
簡報人：張憲國



國立交通大學土木工程系所  
中華民國一百零一年七月十二日



## 研究動機



## 四年研究總目標

- 以花蓮、高雄、台北、安平、基隆及台中港的實測波浪資料進行波浪統計特性分析。並以經驗式波浪推算模式、類神經波浪推算模式及實測波浪資料等不同樣本來源來考慮各種取樣方式及與極值函數的差異性。
- 估算各目標港各回歸期的設計波浪並建立視窗化操作系統。

## 本年度工作項目

### 以基隆港臺中港為主：

- 以經驗式推算波浪模式推算颱風波浪及探討其樣本之極值統計特性。(已完成)
- 建立類神經波浪推算模式，並計算颱風波浪及探討其樣本之極值統計特性。(已完成台中港)
- 探討不同取樣樣本及極值函數對統計特性之比較。(進行中)
- 以年最大取法於最適分布之樣本來源，確定基隆、臺中兩港域之各回歸期之設計波浪。(已完成)
- 以季節性統計分析方法(seasonal wave statistics) 探討基隆、臺中兩港域波浪每月極值統計特性。(已完成台中港)
- 波浪極值統計視窗化操作之建立。(進行中)

## 波浪極值統計特性

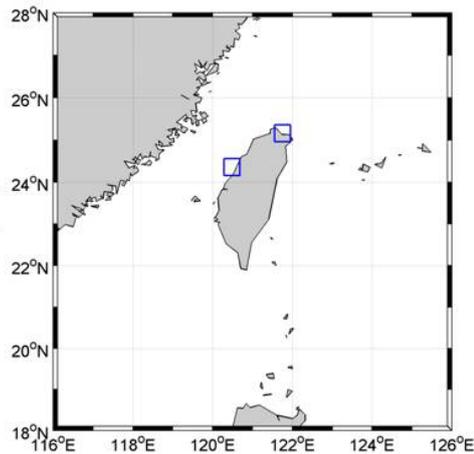
資料來源：港灣技術研究中心波浪年報資料  
臺中港：2003年8月1日至2010年12月31日  
基隆港：2001年6月21日至2010年12月25日



臺中港及基隆港測站位置

## 樣本來源—半經驗波浪推算模式 (井島武士法)

- 颱風波浪追蹤法
- 依據Wilson之移動風域法而將之直接變化為數值計算
- 由移動風域內之風速分布(即考慮區內各點之吹風情況)來推算
- 綜合淺海中之風浪關係、海底摩擦之影響、湧浪之推算法及碎波後波浪計算法
- 從氣象資料，推算移動風域中海岸前任何水深地點之波浪狀況



半經驗波浪推算模式於臺中港與基隆港的計算區域

已收集近50年CWB氣象資料進行推算

# 樣本來源—半經驗波浪推算模式 (井島武士法)

## ■ 臺中港

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R	$H_{obs}$ (m)
2000	啟德(KAI TAK)	-0.89	-61	1.24	0.02	3.75
2004	敏督利(MINDULLE)	0.56	15	0.76	0.13	3.05
2004	艾利(AERE)	2.81	-18	0.94	-0.22	3.44
2004	納坦(NOCK_TEN)	-0.52	-11	1.97	0.02	4.56
2004	南瑪都(NANMADOL)	1.44	-43	1.78	0.26	3.53
2005	海棠(HAITANG)	-0.98	-13	2.04	-0.18	6.96
2005	泰利(TALIM)	-0.45	-6	1.98	-0.12	6.26
2005	龍王(LONGWANG)	0.53	-2	1.24	0.67	5.58
2006	珍珠(CHANCHU)	-1.15	-163	0.73	0.46	4.93
2006	凱米(KAEMI)	-0.38	-13	0.99	0.15	3.63
2007	聖帕(SEPAT)	-0.21	-2	1.56	0.21	5.43
2007	柯羅莎(KRUSA)	-1.58	-11	1.99	0.27	6.74
2008	辛樂克(SINLAKU)	-0.92	-34	1.23	0.47	5.24
2009	莫拉克(MORAKOT)	-4.03	-17	2.21	0.09	7.78
2010	凡那比(FANAPI)	-0.25	0	1.18	0.68	5.09
2010	梅姬(MEGI)	-2.49	-44	0.13	0.78	4.83
絕對值平均		1.20	28.31	1.37	0.23	5.05

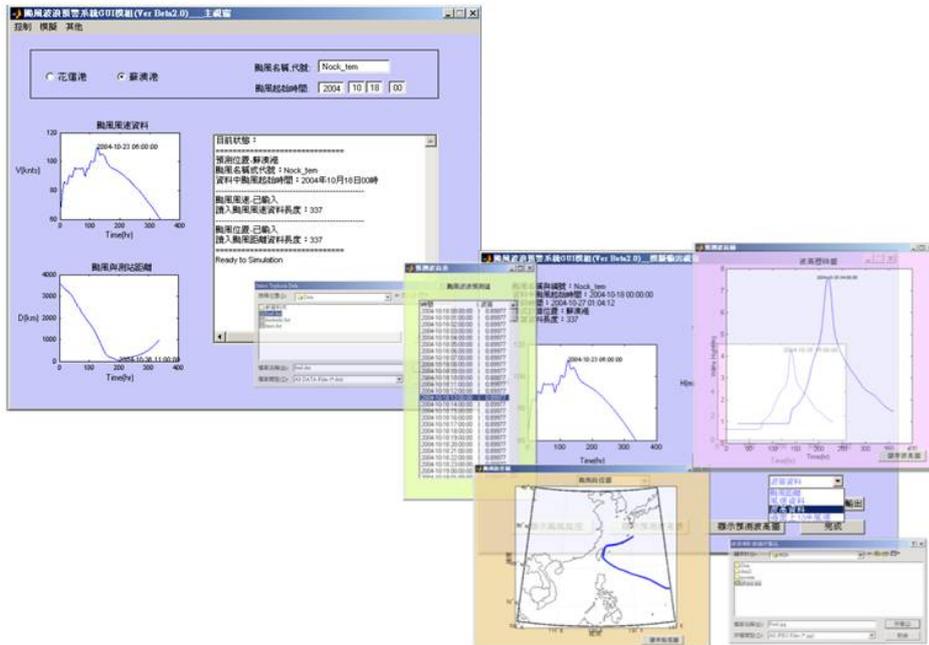
缺乏實測資料可比較2001  
本模式沒有推算出颱風波浪:2002與2003

## ■ 基隆港

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R	$H_{obs}$ (m)
2001	奇比(CHEBI)	2.00	-4	1.28	0.26	0.96
2001	桃芝(TORAGE)	4.84	-11	3.02	0.02	1.3
2001	納莉(NARI)	0.96	0	1.50	0.79	7.43
2001	柯奇馬(LEKIMA)	-2.85	-42	1.19	-0.18	4.68
2003	柯西拉(KUIIRA)	-2.08	-234	0.67	-0.40	4.38
2003	蘇迪勒(SOUDELOR)	3.67	5	2.61	-0.65	2.19
2004	康森(CONSON)	3.35	1	2.15	0.57	2.36
2004	蘭學(RANANIM)	2.68	-1	1.32	0.92	4.35
2004	艾利(AERE)	3.06	-6	2.16	0.52	6.82
2004	納坦(NOCKTEN)	7.92	-155	4.13	0.09	4.97
2005	海棠(HAITANG)	3.54	-12	2.57	0.41	5.8
2005	馬莎(MATSU)	-1.07	-10	1.78	0.51	7.41
2005	泰利(TALIM)	1.87	-5	2.20	0.43	5.44
2005	卡努(KHANUN)	4.68	-122	3.28	0.65	3.91
2005	龍王(LONGWANG)	5.06	-2	2.39	0.84	3.05
2007	聖帕(SEPAT)	3.19	-4	1.64	0.83	2.51
2007	柯羅莎(KRUSA)	4.45	-14	4.16	0.05	7.06
2008	辛樂克(SINLAKU)	6.25	-8	3.21	0.32	4.19
2009	莫拉克(MORAKOT)	2.33	-24	2.53	-0.30	4.51
2010	凡那比(FANAPI)	2.79	-3	1.47	0.67	3.29
絕對值平均		3.43	33.15	2.26	0.32	4.33

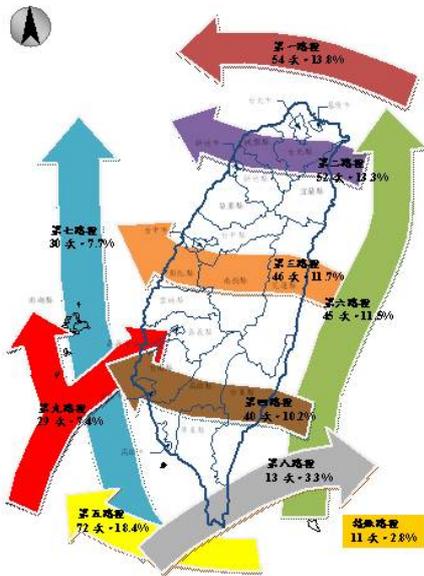
缺乏實測資料可比較2000、2002及2006

# 樣本來源—ANN颱風波浪推算模式



已完成花蓮港、高雄港、安平港、臺北港及臺中港之颱風波浪模式建

# 颱風波浪資料樣本



Year	颱風名稱	起始日期	終止日期	最大風速	最大波高
2000	'KAI_TAK'	'2000/07/06'	'2000/07/10'	75	3.75
2003	'KROVANH'	'2003/08/20'	'2003/08/26'	65	1.24
2003	'DUJUAN'	'2003/08/30'	'2003/09/03'	80	3.3
2003	'MAEMI'	'2003/09/06'	'2003/09/14'	105	2.2
2003	'MELOR'	'2003/10/30'	'2003/11/03'	50	4.2
2004	'CONSON'	'2004/06/07'	'2004/06/11'	80	3.34
2004	'RANANIM'	'2004/08/08'	'2004/08/13'	80	2.55
2004	'AERE'	'2004/08/20'	'2004/08/26'	80	3.44
2004	'TOKAGE'	'2004/10/13'	'2004/10/20'	85	3.99
2004	'NOCK_TEN'	'2004/10/16'	'2004/10/26'	85	4.56
2005	'HAITANG'	'2005/07/13'	'2005/07/19'	105	6.96
2005	'MATSU'	'2005/07/31'	'2005/08/07'	80	4.34
2005	'TALIM'	'2005/08/27'	'2005/09/02'	95	6.26
2005	'KHANUN'	'2005/09/07'	'2005/09/13'	85	3.15
2005	'DAMREY'	'2005/09/21'	'2005/09/27'	80	3.27
2005	'LONGWANG'	'2005/09/26'	'2005/10/03'	95	5.58
2006	'CHANCHU'	'2006/05/09'	'2006/05/19'	95	4.93
2006	'BILIS'	'2006/07/09'	'2006/07/15'	60	4.72
2006	'KAEMI'	'2006/07/19'	'2006/07/26'	80	3.63
2006	'SAOMAI'	'2006/08/03'	'2006/08/11'	105	3.02
2006	'BOPHA'	'2006/08/06'	'2006/08/09'	55	2.67
2006	'SHANSHAN'	'2006/09/10'	'2006/09/18'	110	4.43
2006	'CIMARON'	'2006/10/27'	'2006/11/04'	100	3.69
2006	'CHEBI'	'2006/11/09'	'2006/11/13'	100	3.18
2007	'PABUK'	'2007/08/05'	'2007/08/09'	65	1.94
2007	'SEPAT'	'2007/08/13'	'2007/08/19'	110	5.43
2007	'WIPHA'	'2007/09/16'	'2007/09/19'	100	4.62
2007	'KROSA'	'2007/10/02'	'2007/10/08'	105	6.74
2008	'KALMAEGI'	'2008/07/15'	'2008/07/18'	65	3.28
2008	'FUNG_WONG'	'2008/07/25'	'2008/07/29'	75	6.24
2008	'SINLAKE'	'2008/09/09'	'2008/09/21'	100	5.24
2008	'HAGUPIT'	'2008/09/19'	'2008/09/25'	90	3.64
2009	'LINFU'	'2009/06/18'	'2009/06/22'	60	2.76
2009	'MOLAVE'	'2009/07/16'	'2009/07/19'	65	1.22
2009	'MORAKOT'	'2009/08/03'	'2009/08/10'	75	7.78
2009	'PARMA'	'2009/09/29'	'2009/10/14'	100	4.35
2010	'FANAPI'	'2010/09/15'	'2010/09/20'	95	5.09
2010	'MEGI'	'2010/10/13'	'2010/10/23'	125	4.83

CWB公佈之2000年至2010年侵臺颱風共有73場。JMA颱風資料與本所港研中心臺中港波浪對應資料場數共52場。考量波浪資料完整性並去除雙颱風交互影響的颱風後，最後選取38場颱風來建立模式。

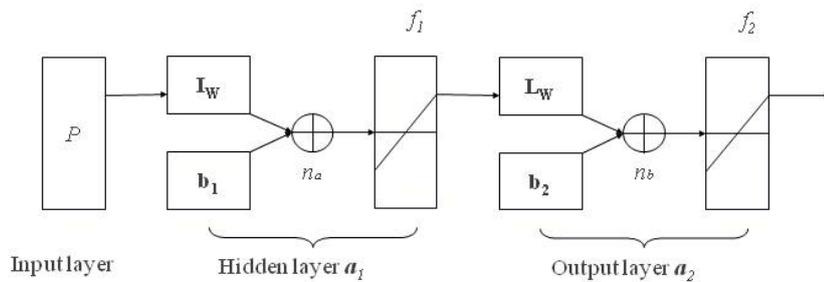
## 類神經颱風波浪推算模式的建立

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

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



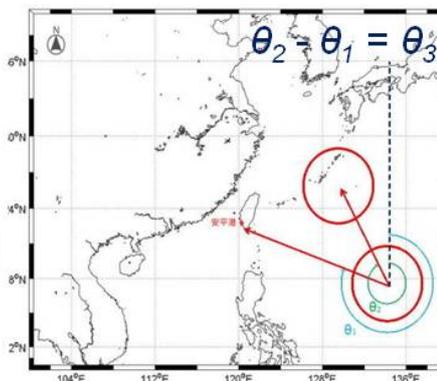
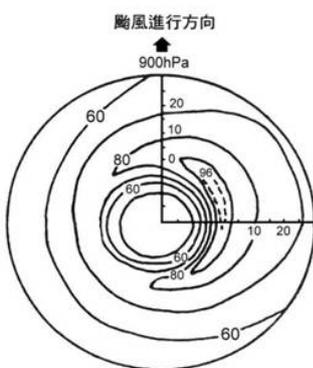
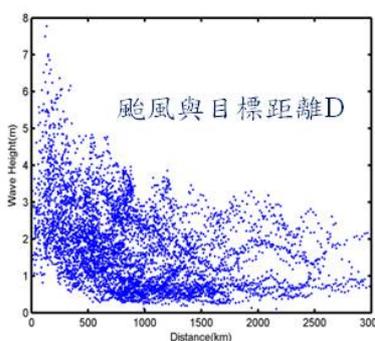
類神經網路架構示意圖

# 類神經颱風波浪推算模式的建立

輸入參數

JMA實測颱風資料

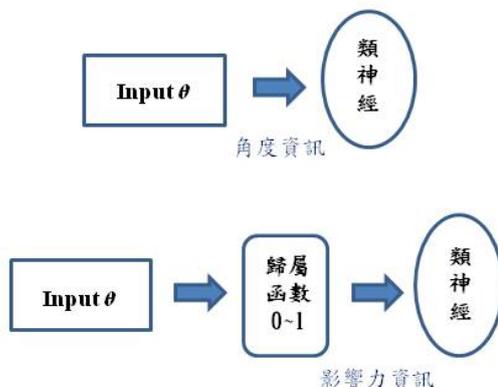
1. 颱風經緯度
2. 近中心最大風速
3. 中心氣壓



## 歸屬函數修正輸入參數

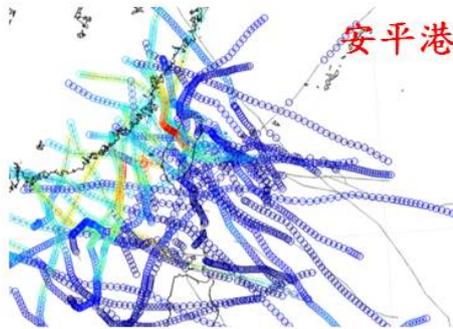
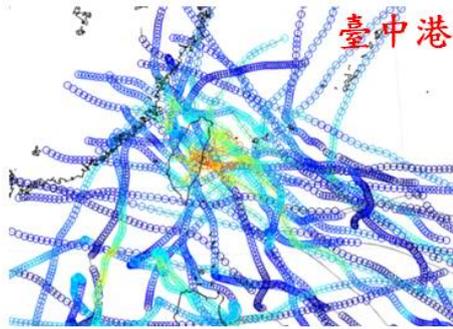
輸入參數的修正：

對於類神經而言，輸入參數與波高的關係間接影響到模式建立的難易度，若選擇的輸入參數與波高本身具有強烈的關係或是有其物理的意義存在，對於類神經模式亦會有相當程度的幫助。



# 臺中港類神經颱風波浪推算模式建立

- ◆ 圖中為本研究所選取38場颱風的空間位置分布，各點位所對應的顏色為臺中港的波高值，色調越暖代表波高越高；色調越冷則對應波高越低。
- ◆ 圖中可發現本年度的目標推算港口臺中港雖位於臺灣西海岸但其所受颱風侵襲所造成的波浪特性卻與往昔研究中的安平港有所不同，安平港受陸地遮蔽效應十分明顯，東海岸來的颱風幾乎不造成大波浪，而臺中港則相反，在颱風中心接近花蓮港外海時即有較大波浪發生的可能，由此資料分析中無法看出中央山脈與陸地遮蔽造成的影響。



# 臺中港類神經颱風波浪推算模式建立

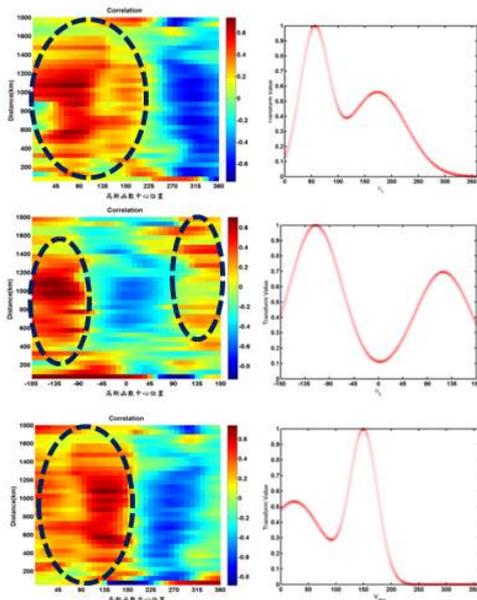
利用轉換函數簡化輸入資料與波浪的物理機制，以安平港為例：

- V：風速因子
- D：距離因子
- $\Theta_1$ ：遮蔽效應因子
- $\Theta_3$ ：颱風結構因子
- $V_{deg}$ ：目標點風向因子

輸入因子	相關性R
V	0.46
D	-0.33
$\Theta_1$	-0.49
$\Theta_3$	0.06
$V_{deg}$	-0.38

雙峰轉換

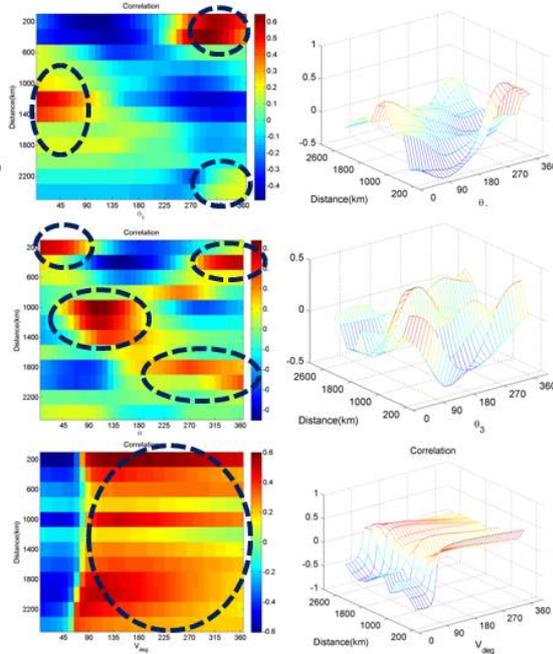
輸入因子經轉換後	相關性R
V	0.46
D	0.33
$\Theta_1$	0.57
$\Theta_3$	0.43
$V_{deg}$	0.55



# 臺中港類神經颱風波浪推算模式建立

利用轉換函數簡化輸入資料與波浪的物理機制，目前臺中港：

- ◆ 與往昔分析結果不同，臺中港的三個颱風角度參數較難以單純的單峰或雙峰高斯函數來描述。
- ◆ 故臺中港的轉換函數需考慮採用三維函數。



## 歸屬函數修正的效益評估

- V：風速因子
- D：距離因子
- $\Theta_1$ ：遮蔽效應因子
- $\Theta_3$ ：颱風結構因子
- $V_{deg}$ ：目標點風向因子

輸入因子	相關性R	二維轉換 ➔	輸入因子經轉換後	相關性R
V	0.47		V	0.47
D	0.39	D	0.39	
$\Theta_1$	-0.11	$\Theta_1$	0.20	
$\Theta_3$	0.08	$\Theta_3$	0.16	
$V_{deg}$	-0.03	$V_{deg}$	0.29	

# 臺中港類神經颱風波浪推算模式驗證

目前臺中港波浪推算模式推算能力：

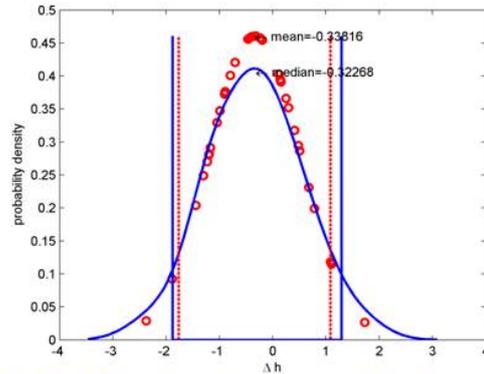
年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hr)	RMSE	R	$H_{obs,max}$ (m)	年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hr)	RMSE	R	$H_{obs,max}$ (m)
2000	歐德KAL TAK	-0.60	72	0.62	0.68	3.75	2006	桑美SAOMAI	-0.56	7	0.61	0.54	3.02
2003	柯羅旺KROVANH	1.42	3	0.85	0.40	1.24	2006	寶露BOPHA	0.24	-8	0.60	0.86	2.67
2003	杜娥DUJUAN	-0.66	1	0.56	0.92	3.30	2006	珊珊SHANSHAN	0.43	4	0.49	0.87	3.20
2003	梅來MAEMI	0.33	-3	0.69	0.67	2.20	2006	西馬隆CIMARON	-0.70	10	0.64	0.54	3.69
2003	米爾MELOR	-1.35	2	0.60	0.84	4.20	2006	奔比CHEBI	-0.26	-4	0.71	0.83	3.18
2004	康森CONSON	0.00	2	0.54	0.77	3.34	2007	帕布PABUK	0.70	-4	0.70	0.69	1.94
2004	蘭寧RANANIM	-0.32	5	0.40	0.72	2.55	2007	聖帕SEPAT	-0.99	-2	0.43	0.91	5.43
2004	艾利AERE	-0.45	-1	0.63	0.88	3.44	2007	雲娜WIPHA	-1.05	6	0.87	0.67	4.62
2004	陶卡基TOKAGE	-1.94	14	1.48	0.34	3.99	2007	柯羅莎KROSA	-1.85	-1	1.28	0.80	6.74
2004	納坦NOCK_TEN	-1.00	-2	1.61	0.64	4.56	2008	卡奴基KALMAEGI	0.35	-14	1.01	0.74	3.28
2004	敏督利MINDULLE	0.58	-33	0.57	0.74	3.05	2008	鳳凰FUNG_WONG	-1.68	3	0.85	0.91	6.24
2005	海葵HAITANG	-1.74	0	0.52	0.94	6.96	2008	辛樂克SINLAKU	-0.81	29	0.59	0.86	5.24
2005	泰利TALIM	-1.00	0	0.59	0.95	6.26	2008	哈格比HAGUPIT	-1.34	8	0.49	0.82	3.64
2005	卡努KHANUN	-0.78	-29	0.36	0.73	3.15	2009	蓮花LINFA	-0.11	-28	1.17	0.28	2.76
2005	丹德DAMREY	-0.62	-4	0.53	0.44	3.27	2009	莫拉菲MOLAVE	0.75	3	0.71	0.24	1.22
2005	龍王LONGWANG	-0.64	-2	0.65	0.87	5.58	2009	莫拉克MORAKOT	-2.69	0	0.77	0.96	7.78
2006	珍珠CHANCHU	-0.62	-15	0.46	0.74	3.86	2009	芭瑪PARMA	-1.29	123	0.70	0.76	4.35
2006	聖利斯BILIS	-1.25	-18	0.54	0.94	4.72	2010	凡那比FANAPI	0.32	-2	0.74	0.88	5.09
2006	凱米KAEMI	-0.76	0	0.65	0.90	3.63	2010	梅姬MEGI	-1.53	-57	1.23	0.71	4.83

	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R
絕對值平均	0.89	13.66	0.72	0.74

其中 $\Delta H_{s,p}$ 與 $\Delta t_p$ 為考量各場颱風的誤差有正有負，故先取絕對值後再平均。

## 模式風險評估

臺中港：



類神經颱風波浪推算結果的各場颱風波高值誤差的風險分析

- 臺中港模式波高值誤差的風險分析，其平均值為-0.34m，中位數為-0.32m，標準偏差為0.87m，38個樣本中不通過95%信賴度的有3個，佔全部的7.9%。

## 類神經颱風波浪推算模式的建立

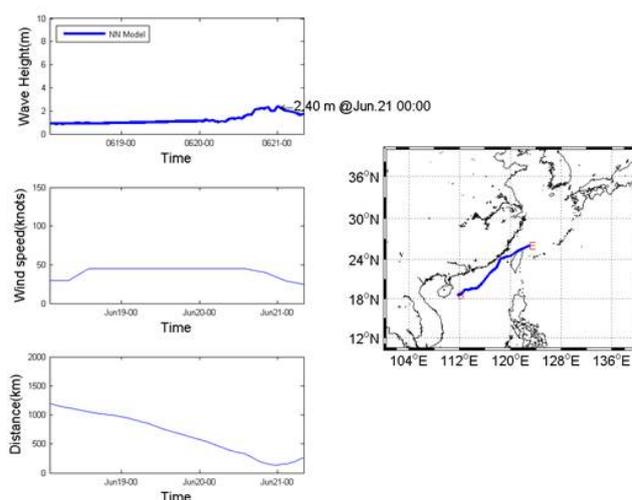
本研究在建立各港類神經颱風波浪模式的過程中針對各港特性不斷進行修正與改善。

- 花蓮港：資料最完整，湧浪造成的問題採用 input-delay 改善。
- 高雄港：直撲颱風較少，颱風波浪小，與季節風波浪相近。颱風受地形遮蔽效應採用高斯轉換函數改善。
- 安平港：記錄到的颱風較少，颱風受地形遮蔽效應採用高斯轉換函數改善。
- 臺北港：資料較少，季節性波浪大。
- 臺中港：資料較完整，但地形遮蔽效應範圍較難判定。

	$\Delta H_{sp}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R	實測颱風波浪 樣本平均值 (m)
花蓮港	0.98	5.04	0.69	0.83	5.26
高雄港	0.67	8.70	0.64	0.74	3.78
安平港	1.03	10.06	0.72	0.73	3.54
臺北港	1.02	14.81	0.59	0.73	3.28
臺中港	<u>0.89</u>	<u>13.66</u>	<u>0.72</u>	<u>0.74</u>	<u>4.00</u>

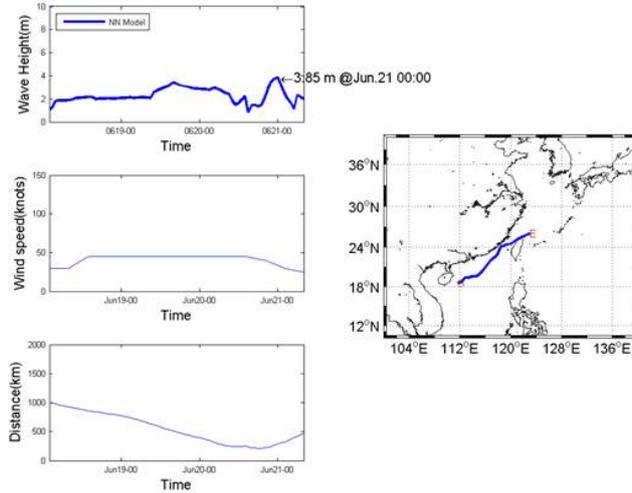
## 2012年颱風波浪推算

2012/06/19至2012/06/21輕度颱風泰利(TALIM)  
花蓮港：



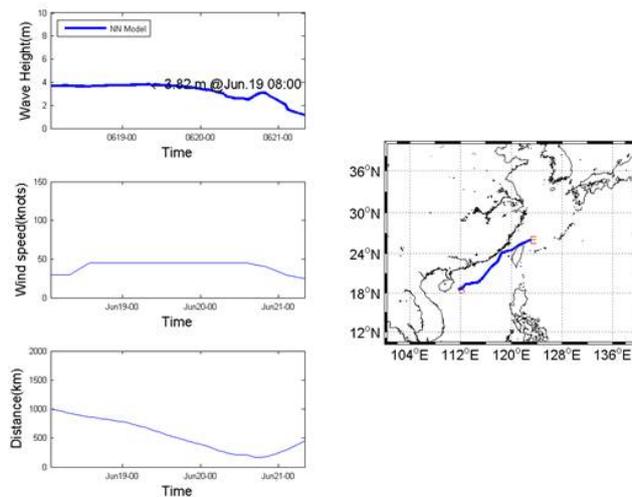
## 2012年颱風波浪推算

2012/06/19至2012/06/21輕度颱風泰利(TALIM)  
高雄港：



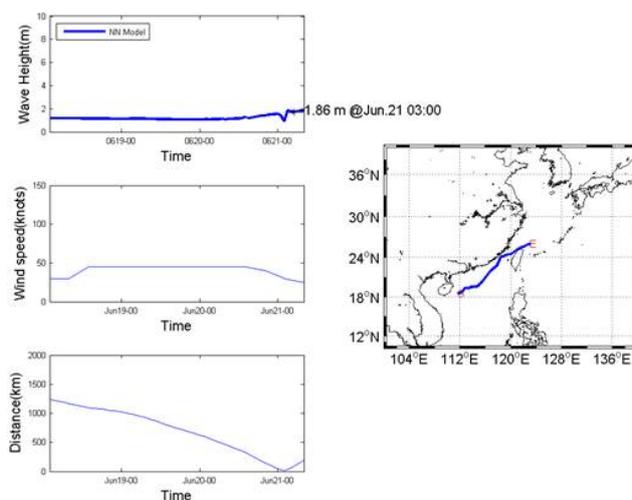
## 2012年颱風波浪推算

2012/06/19至2012/06/21輕度颱風泰利(TALIM)  
安平港：



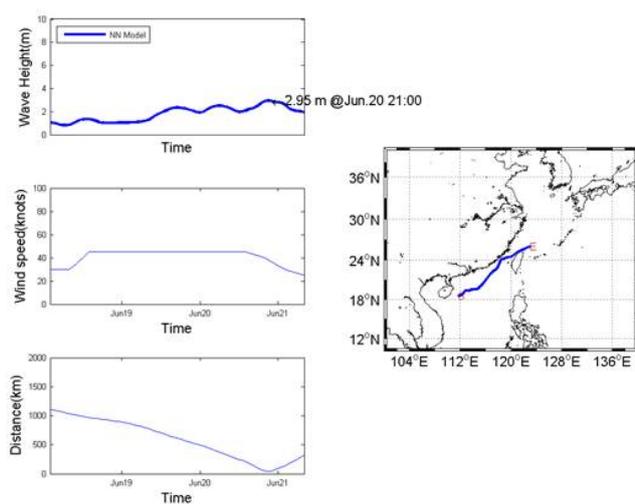
## 2012年颱風波浪推算

2012/06/19至2012/06/21輕度颱風泰利(TALIM)  
臺北港：



## 2012年颱風波浪推算

2012/06/19至2012/06/21輕度颱風泰利(TALIM)  
臺中港：



## 兩種波浪推算結果綜合比較

台中港：

半經驗波浪推算：

平均  $\Delta H_{s,p} = 1.18\text{m}$

平均  $\Delta t_p = 27.3$  小時

平均  $\text{RMS} = 1.35\text{m}$

平均  $R = 0.23$

類神經波浪推算：

平均  $\Delta H_{s,p} = 1.04\text{m}$

平均  $\Delta t_p = 14.4$  小時

平均  $\text{RMS} = 0.76\text{m}$

平均  $R = 0.83$

年份	颶風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour) 半經驗	RMSE	R	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour) 類神經	RMSE	R	Hobs (m)
2000	啓德(KAI TAK)	-0.89	-61	1.24	0.02	-0.6	72	0.62	0.68	3.75
2004	敏督利(MINDULLE)	0.56	15	0.76	0.13	0.58	-33	0.57	0.74	3.05
2004	艾利(AERE)	2.81	-18	0.94	-0.22	-0.45	-1	0.63	0.88	3.44
2004	納坦(NOCK TEN)	-0.52	-11	1.97	0.02	-1	-2	1.61	0.64	4.56
2005	海棠(HAITANG)	-0.98	-13	2.04	-0.18	-1.74	0	0.52	0.94	6.96
2005	泰利(TALIM)	-0.45	-6	1.98	-0.12	-1	0	0.59	0.95	6.26
2005	龍王(LONGWANG)	0.53	-2	1.24	0.67	-0.64	-2	0.65	0.87	5.58
2006	珍珠(CHANCHU)	-1.15	-163	0.73	0.46	-0.62	-15	0.46	0.74	4.93
2006	凱米(KAEMI)	-0.38	-13	0.99	0.15	-0.76	0	0.65	0.9	3.63
2007	聖帕(SEPAT)	-0.21	-2	1.56	0.21	-0.99	-2	0.43	0.91	5.43
2007	柯羅莎(KROSA)	-1.58	-11	1.99	0.27	-1.85	-1	1.28	0.8	6.74
2008	辛樂克(SINLAKE)	-0.92	-34	1.23	0.47	-0.81	29	0.59	0.86	5.24
2009	莫拉克(MORAKOT)	-4.03	-17	2.21	0.09	-2.69	0	0.77	0.96	7.78
2010	凡那比(FANAPI)	-0.25	0	1.18	0.68	0.32	-2	0.74	0.88	5.09
2010	梅姬(MEGI)	-2.49	-44	0.13	0.78	-1.53	-57	1.23	0.71	4.83
絕對值平均		1.18	27.33	1.35	0.23	1.04	14.4	0.76	0.83	5.08

### 臺中港各回歸期之設計波浪

- 樣本採用港研中心在臺中港海域測量之每年最大值波高。
- 以98年度的研究結果顯示在花蓮港與高雄港以MLM及LSM方法推估結果較為可靠，而二者所推估之各重現期之值也接近也相近。
- 選擇重現期為T=10、25、50及100年4種，即可獲得各重現期下之波高。

# 極值分布函數

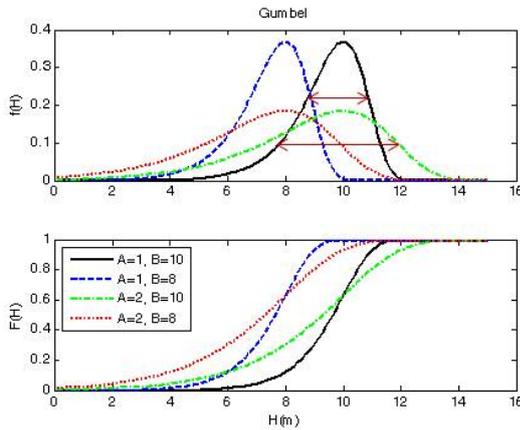
Coastal Engineering Manual (2002)

(1) 極值 I 型分布 (FT- I 型分布, 又稱 Gumbel 分布)

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

A: 尺度參數  
(scale parameter)

B: 位置參數  
(location parameter)

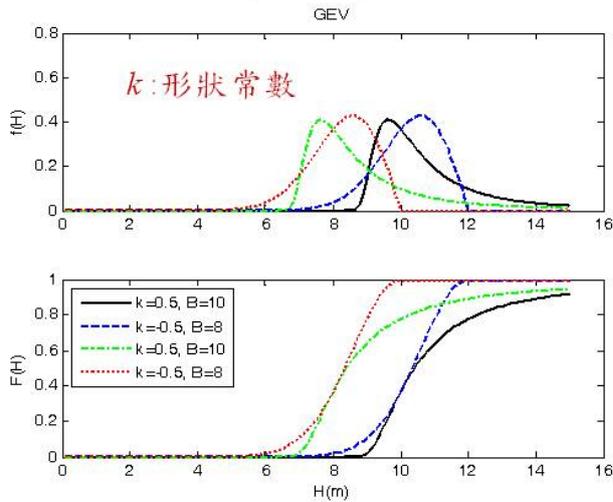


27

# 極值分布函數

(2) 通用極值分布 (Generalized extreme value, GEV)

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

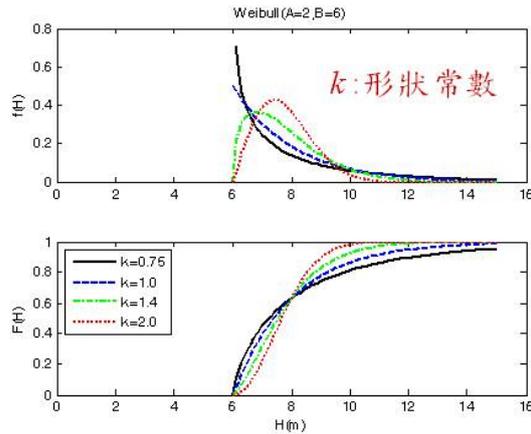


28

# 極值分布函數

## (3) Weibull分布-三參數型式

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



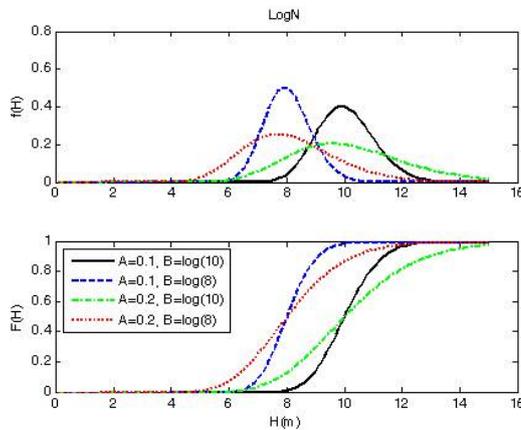
29

# 極值分布函數

## (4) 對數常態分布 (lognormal distribution)

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

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



30

## 臺中港各回歸期之設計波浪

以LSM推估實測波浪資料不同極值分布下各重現期波高及推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull <sub>1</sub>	LogN	GEV
MIR(m)		1.17	0.91	0.76	2.19	1.17	0.91	0.74	-
RMSE(m)		0.32	0.27	0.26	0.44	0.33	0.28	0.25	-
X <sub>e</sub> (m)		0.32	0.25	0.11	0.40	0.18	0.31	0.17	-
x <sub>g</sub> (m)	10	7.94	7.95	8.02	7.23	8.09	7.83	7.94	-
	25	8.75	8.60	8.73	7.26	9.00	8.44	8.60	-
	50	9.36	9.03	9.22	7.27	9.67	8.85	9.06	-
	100	9.96	9.43	9.68	7.27	10.33	9.23	9.50	-
σ (m)	10	0.83	1.04	0.56	0.54	0.72	0.73	0.81	-
	25	1.12	1.28	0.66	0.55	0.91	0.90	1.07	-
	50	1.34	1.45	0.74	0.56	1.06	1.01	1.27	-
	100	1.57	1.60	0.81	0.56	1.20	1.12	1.47	-

MLE與LSM在各檢定值的比較上相當接近，而LSM推估法配合LogN與GEV極值函數能夠獲得較低的標準偏差，但GEV的MIR誤差較大，故以實測資料來看臺中港最佳參數推定法與極值函數應分別為LSM與LogN。以最佳極值函數推算50年重現期之波高，若在95%信賴度情況下，臺中港50年重現期的波高約為7.77m至10.67m。

31

## 季節性統計分析方法

### ■ Mendez 等(2008)

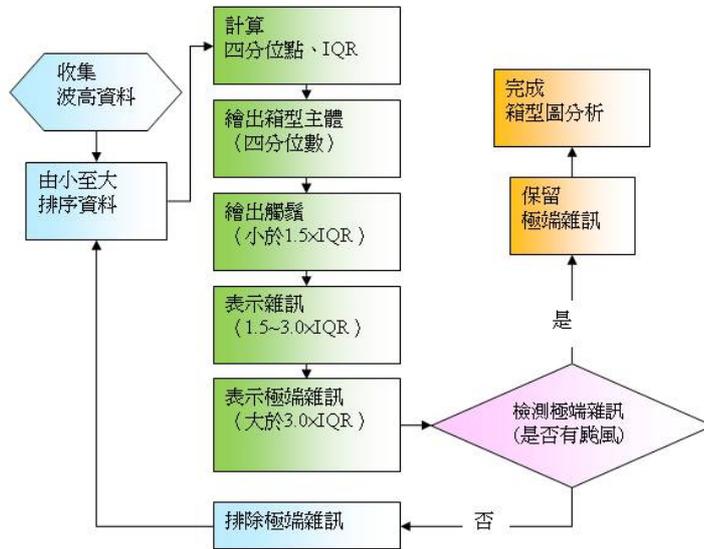
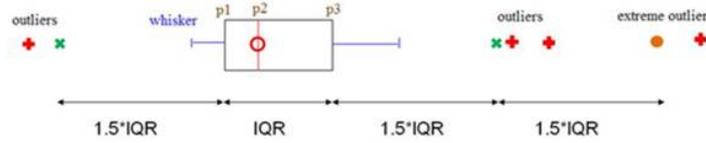
提出超量門檻選用法的極值波高，存在非穩定的季節性變化，其波高符合極端值分佈。

### ■ 陳(2009)

應用Mendez等(2008)提出極值參數季節性變化之概念，但不同於原作者使用的超量選用法，而是應用於花蓮港極端值選用法中的年最大法與月最大法，探討極值波高季節性之情況。

32

## 箱型圖 (Box Plot)



33

## 臺中港月極值分析結果

- 樣本採用港研中心量測臺中港海域2004至2010年共7年之每月最大值波高
- LogN雖然只有在1月及5月是最合適的極值函數，但除了12月外在各月份的表現都與最佳函數相近，且其所估算出來的波高標準偏差都較低，所以除了上述最佳極值函數外，基本上臺中港亦可採用LogN極值函數來推估各回歸期的設計波高。選擇重現期為T=50的情況下，若在95%信賴度下，各月份波高分別為

月份	波高	月份	波高
一月	5.28m至7.00m	七月	8.75m至14.43m
二月	5.54m至7.54m	八月	8.22m至13.82m
三月	6.33m至9.15m	九月	6.95m至10.63m
四月	5.00m至7.32m	十月	4.79m至7.23m
五月	3.12m至4.14m	十一月	5.04m至6.60m
六月	2.38m至3.84m	十二月	4.45m至6.89m

34

## 視窗化操作介面

### ■輸入資料格式：

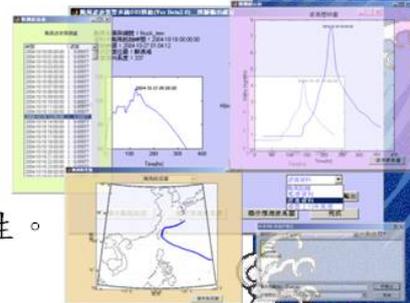
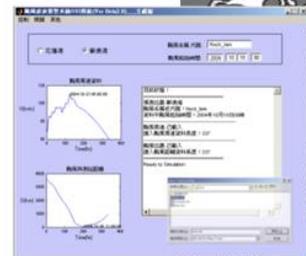
1. 自動讀入資料中的年最大值
2. 亦可採用前三大月的最大值
3. 採用類神經颱風波浪推算模式之結果

### ■極值統計函數：FT-I, GEV, Weibull, Lognormal

### ■極值分布參數推定：1. MOM 2. MLM 3. LSM

### ■輸出結果：

1. 各重現期之設計波浪。
2. 所選用之極值函數及參數推定法的適用性。



## 視窗化操作介面



波浪極值統計圖形化介面 (Ver. 1.0 BETA)

檔案 設定 參考資料 關於本介面

輸入資料資訊

輸入資料起始時間：2008-01-01 00:00  
輸入資料終止時間：2008-12-31 23:00  
輸入資料長度：8304  
資料遺失狀況：5.21%

資料選用方式

年極值取樣法  年前三大取樣法

極值統計函數選用(可複選)

FT-1  G.E.V.  Weibull  Log-Normal

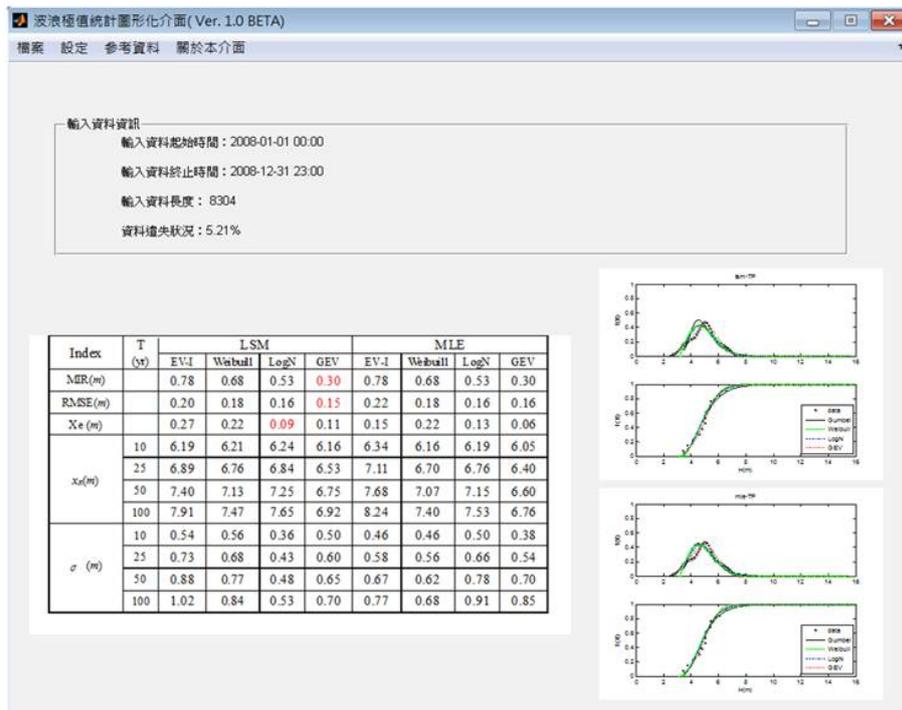
極值分布函數推定法(可複選)

MLE  LSM  MOM

開始分析

36

## 視窗化操作介面



## 結論

■本計畫建構臺中港類神經颱風波浪推算模式，由於臺中港較少遭遇直撲並由西部海岸登陸的颱風，故在颱風相關位置與波高的空間分布分析中較難以看出颱風受中央山脈阻隔及波浪傳遞受陸地遮蔽的現象，此特性不同於往昔西部海岸港口。本研究提出同時考慮距離與角度的二維轉換函數，經過此轉換可使颱風輸入資料再進入類神經網路進行學習前先轉換成與波高較高相關性的映射值，以改善類神經颱風波浪推算模式的推算能力。臺中港各場颱風波浪最大波高誤差取絕對值後平均約為0.89m，而此外最大波高發生時間誤差取絕對值後平均約13.66小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差平均為0.72m。推算波高結果與實測波高的相關性則平均為0.74。

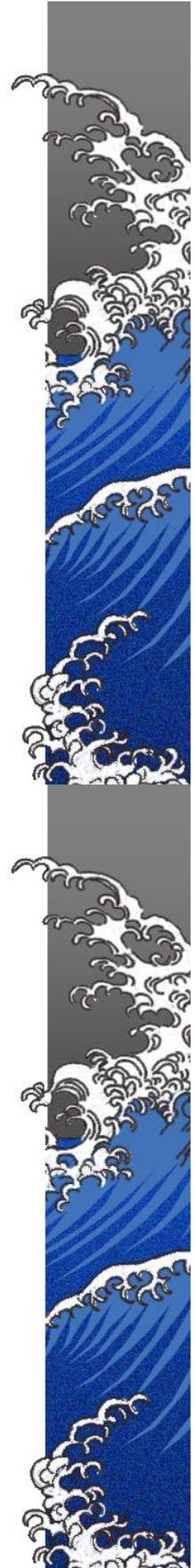
■未來若有更新的波浪資料或颱風資訊可供學習或驗證可再提升模式之可靠度。目前臺中港模式已建立完成，其成果可供港務公司與相關單位作為預警系統或參考。

## 結論

■本研究由箱型圖初步分析取樣以完整的極值分析方法進行月極值特性分析得到以下結論。LSM推估法所推估出來的各極值函數下之波高與樣本間之RMSE較MLE推估法低，因此極值推估法以LSM推估臺中港較佳。整體來說，臺中港月極值統計分布大部分月份適合Log-Normal分布。

■年極值統計部分，除了以臺中港實測資料作為分析外，並以類神經颱風波浪推算模式與井島武士模式推算相同時間長度之每年最大波高作為年極值統計分析比較，其結果發現不同的資料樣本中，年極值分析中最佳參數推定法皆為LSM，而極值函數皆以LogN為最佳。但由於資料樣本的不同，可發現50年重現期的設計波浪以實測數據所推算得的值最大，半經驗波浪推算模式的資料樣本次之，類神經網路波浪推算模式最小。

報告完畢  
敬請指正



交通部運輸研究所港灣技術研究中心

# 臺灣主要港口附近海域長期波浪統計特性及設計波推算之研究(4/4)

期末簡報

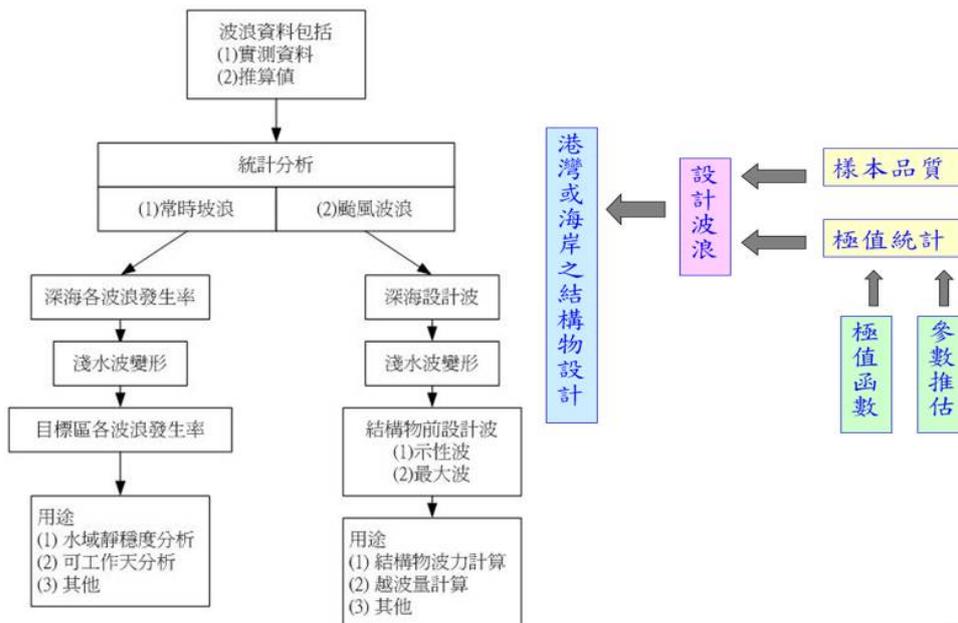
簡報人：張憲國



國立交通大學土木工程系所  
中華民國一百零一年十一月十五日



## 研究動機



## 四年研究總目標

- 以花蓮、高雄、台北、安平、基隆及台中港的實測波浪資料進行波浪統計特性分析。並以經驗式波浪推算模式、類神經波浪推算模式及實測波浪資料等不同樣本來源來考慮各種取樣方式及與極值函數的差異性。
- 估算各目標港各回歸期的設計波浪並建立視窗化操作系統。

## 本年度工作項目

### 以基隆港臺中港為主：

- 以經驗式推算波浪模式推算颱風波浪及探討其樣本之極值統計特性。(已完成)
- 建立類神經波浪推算模式，並計算颱風波浪及探討其樣本之極值統計特性。(已完成)
- 探討不同取樣樣本及極值函數對統計特性之比較。(已完成)
- 以年最大取法於最適分布之樣本來源，確定基隆、臺中兩港域之各回歸期之設計波浪。(已完成)
- 以季節性統計分析方法(seasonal wave statistics) 探討基隆、臺中兩港域波浪每月極值統計特性。(已完成)
- 波浪極值統計視窗化操作之建立。(已完成)

## 波浪極值統計特性

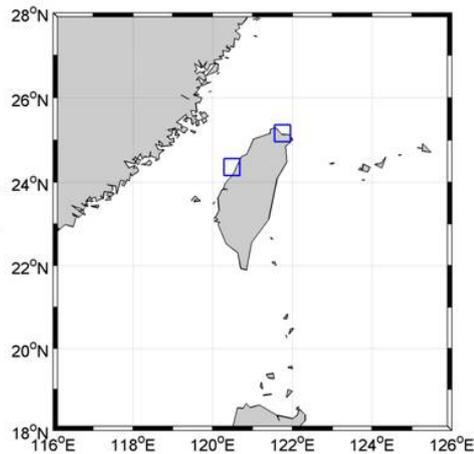
資料來源：港灣技術研究中心波浪年報資料  
臺中港：2003年8月1日至2010年12月31日  
基隆港：2001年6月21日至2010年12月25日



臺中港及基隆港測站位置

## 樣本來源—半經驗波浪推算模式 (井島武士法)

- 颱風波浪追蹤法
- 依據Wilson之移動風域法而將之直接變化為數值計算
- 由移動風域內之風速分布(即考慮區內各點之吹風情況)來推算
- 綜合淺海中之風浪關係、海底摩擦之影響、湧浪之推算法及碎波後波浪計算法
- 從氣象資料，推算移動風域中海岸前任何水深地點之波浪狀況



半經驗波浪推算模式於臺中港與基隆港的計算區域

已收集近71年CWB氣象資料進行推算

# 樣本來源—半經驗波浪推算模式 (井島武士法)

## ■ 臺中港

年份	颱風名稱	$\Delta H_{L,P}$ (m)	$\Delta I_p$ (hour)	RMSE	R	$H_{obs}$ (m)
2000	啟德(KAI TAK)	-0.89	-61	1.24	0.02	3.75
2004	敏督利(MINDULLE)	0.56	15	0.76	0.13	3.05
2004	艾利(AERE)	2.81	-18	0.94	-0.22	3.44
2004	納坦(NOCK_TEN)	-0.52	-11	1.97	0.02	4.56
2004	南瑪都(NANMADOL)	1.44	-43	1.78	0.26	3.53
2005	海棠(HAITANG)	-0.98	-13	2.04	-0.18	6.96
2005	泰利(TALIM)	-0.45	-6	1.98	-0.12	6.26
2005	龍王(LONGWANG)	0.53	-2	1.24	0.67	5.58
2006	珍珠(CHANCHU)	-1.15	-163	0.73	0.46	4.93
2006	凱米(KAEMI)	-0.38	-13	0.99	0.15	3.63
2007	聖帕(SEPAT)	-0.21	-2	1.56	0.21	5.43
2007	柯羅莎(KROSA)	-1.58	-11	1.99	0.27	6.74
2008	辛樂克(SINLAKU)	-0.92	-34	1.23	0.47	5.24
2009	莫拉克(MORAKOT)	-4.03	-17	2.21	0.09	7.78
2010	凡那比(FANAPI)	-0.25	0	1.18	0.68	5.09
2010	梅姬(MEGI)	-2.49	-44	0.13	0.78	4.83
絕對值平均		1.20	28.31	1.37	0.23	5.05

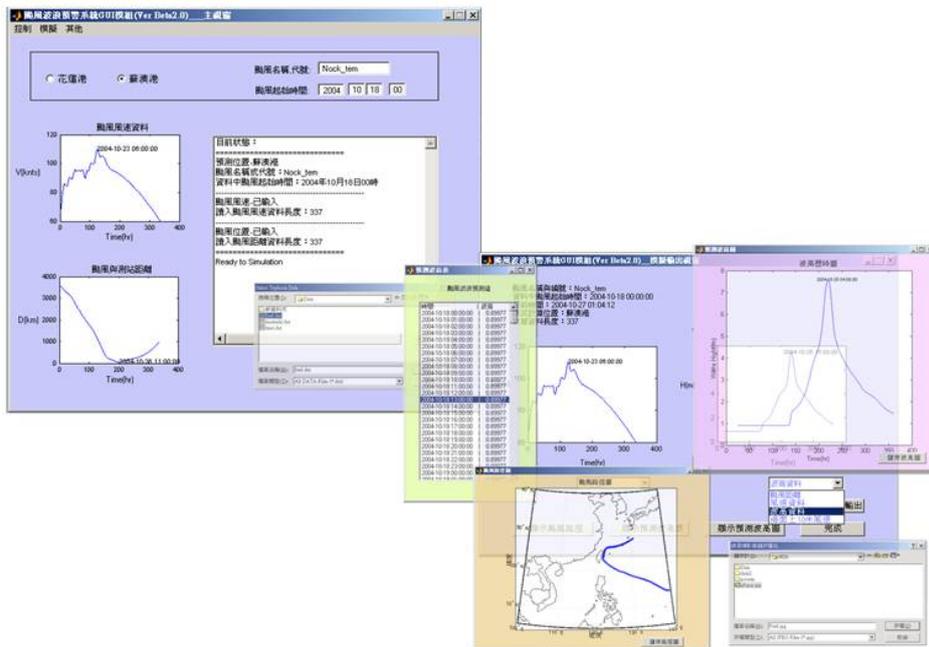
缺乏實測資料可比較2001  
本模式沒有推算出颱風波浪:2002與2003

## ■ 基隆港

年份	颱風名稱	$\Delta H_{L,P}$ (m)	$\Delta I_p$ (hour)	RMSE	R	$H_{obs}$ (m)
2001	奇比(CHEBI)	2.00	-4	1.28	0.26	0.96
2001	桃芝(TORAGE)	4.84	-11	3.02	0.02	1.3
2001	納莉(NARI)	0.96	0	1.50	0.79	7.43
2001	柯奇馬(LKIMA)	-2.85	-42	1.19	-0.18	4.68
2003	柯吉拉(KUIIRA)	-2.08	-234	0.67	-0.40	4.38
2003	蘇迪勒(SOUDELOR)	3.67	5	2.61	-0.65	2.19
2004	康森(CONSON)	3.35	-1	2.15	0.57	2.36
2004	蘭學(RANANIM)	2.68	-1	1.32	0.92	4.35
2004	艾利(AERE)	3.06	-6	2.16	0.52	6.82
2004	納坦(NOCKTEN)	7.92	-155	4.13	0.09	4.97
2005	海棠(HAITANG)	3.54	-12	2.57	0.41	5.8
2005	馬莎(MATSU)	-1.07	-10	1.78	0.51	7.41
2005	泰利(TALIM)	1.87	-5	2.20	0.43	5.44
2005	卡努(KHANUN)	4.68	-122	3.28	0.65	3.91
2005	龍王(LONGWANG)	5.06	-2	2.39	0.84	3.05
2007	聖帕(SEPAT)	3.19	-4	1.64	0.83	2.51
2007	柯羅莎(KROSA)	4.45	-14	4.16	0.05	7.06
2008	辛樂克(SINLAKU)	6.25	-8	3.21	0.32	4.19
2009	莫拉克(MORAKOT)	2.33	-24	2.53	-0.30	4.51
2010	凡那比(FANAPI)	2.79	-3	1.47	0.67	3.29
絕對值平均		3.43	33.15	2.26	0.32	4.33

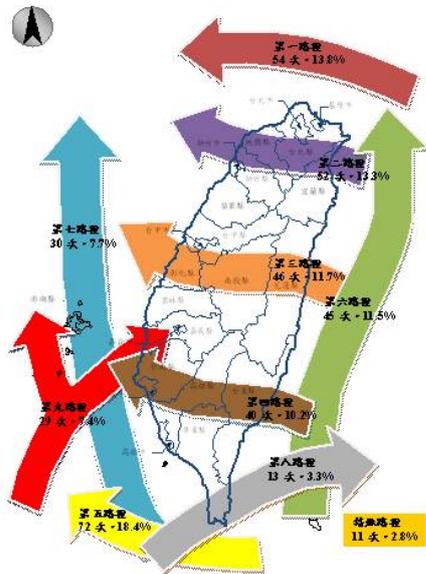
缺乏實測資料可比較2000、2002及2006

# 樣本來源—ANN颱風波浪推算模式



已完成花蓮港、高雄港、安平港、臺北港、臺中港及基隆港之  
颱風波浪模式建立

## 颱風波浪資料樣本



Year	颱風名稱	起始日期	終止日期	最大風速	最大波高
2000	'KAI_TAK'	'2000/07/06'	'2000/07/10'	75	3.75
2003	'KROVANH'	'2003/08/20'	'2003/08/26'	65	1.24
2003	'DUJUAN'	'2003/08/30'	'2003/09/03'	80	3.3
2003	'MAEMI'	'2003/09/06'	'2003/09/14'	105	2.2
2003	'MELOR'	'2003/10/30'	'2003/11/03'	50	4.2
2004	'CONSON'	'2004/06/07'	'2004/06/11'	80	3.34
2004	'RANANIM'	'2004/08/08'	'2004/08/13'	80	2.55
2004	'AERE'	'2004/08/20'	'2004/08/26'	80	3.44
2004	'TOKAGE'	'2004/10/13'	'2004/10/20'	85	3.99
2004	'NOCK_TEN'	'2004/10/16'	'2004/10/26'	85	4.56
2005	'HAITANG'	'2005/07/13'	'2005/07/19'	105	6.96
2005	'MATSA'	'2005/07/31'	'2005/08/07'	80	4.34
2005	'TALIM'	'2005/08/27'	'2005/09/02'	95	6.26
2005	'KHANUN'	'2005/09/07'	'2005/09/13'	85	3.15
2005	'DAMREY'	'2005/09/21'	'2005/09/27'	80	3.27
2005	'LONGWANG'	'2005/09/26'	'2005/10/03'	95	5.58
2006	'CHANCHU'	'2006/05/09'	'2006/05/19'	95	4.93
2006	'BILIS'	'2006/07/09'	'2006/07/15'	60	4.72
2006	'KAEMI'	'2006/07/19'	'2006/07/26'	80	3.63
2006	'SAOMAI'	'2006/08/03'	'2006/08/11'	105	3.02
2006	'BOPHA'	'2006/08/06'	'2006/08/09'	55	2.67
2006	'SHANSHAN'	'2006/09/10'	'2006/09/18'	110	4.43
2006	'CIMARON'	'2006/10/27'	'2006/11/04'	100	3.69
2006	'CHEBI'	'2006/11/09'	'2006/11/13'	100	3.18
2007	'PABUK'	'2007/08/05'	'2007/08/09'	65	1.94
2007	'SEPAT'	'2007/08/13'	'2007/08/19'	110	5.43
2007	'WIPHA'	'2007/09/16'	'2007/09/19'	100	4.62
2007	'KROS A'	'2007/10/02'	'2007/10/08'	105	6.74
2008	'KALMAEGI'	'2008/07/15'	'2008/07/18'	65	3.28
2008	'FUNG_WONG'	'2008/07/25'	'2008/07/29'	75	6.24
2008	'SINLAKE'	'2008/09/09'	'2008/09/21'	100	5.24
2008	'HAGUPIT'	'2008/09/19'	'2008/09/25'	90	3.64
2009	'LINF A'	'2009/06/18'	'2009/06/22'	60	2.76
2009	'MOLAVE'	'2009/07/16'	'2009/07/19'	65	1.22
2009	'MORAKOT'	'2009/08/03'	'2009/08/10'	75	7.78
2009	'PARMA'	'2009/09/29'	'2009/10/14'	100	4.35
2010	'FANAPI'	'2010/09/15'	'2010/09/20'	95	5.09
2010	'MEGI'	'2010/10/13'	'2010/10/23'	125	4.83

CWB公佈之2000年至2010年侵臺颱風共有73場。考量波浪資料完整性並去除雙颱風交互影響的颱風後，最後選取臺中港37場與基隆港32場颱風來建立模式。

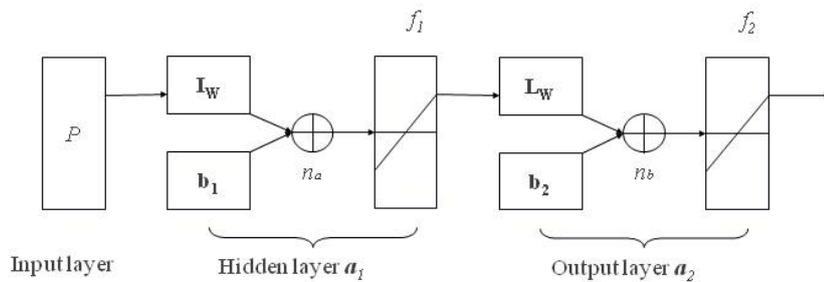
## 類神經颱風波浪推算模式的建立

人工神經元輸出值與輸入值的關係式

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

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

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



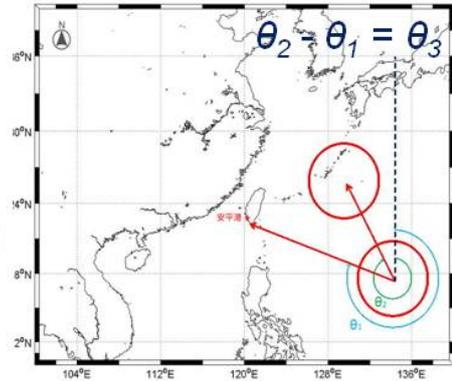
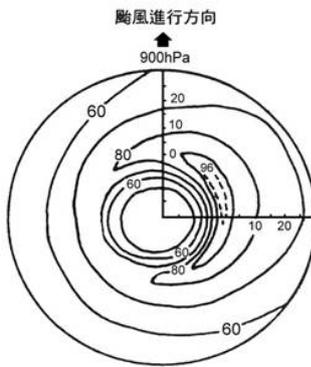
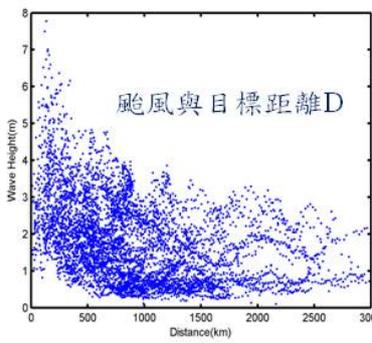
類神經網路架構示意圖

# 類神經颱風波浪推算模式的建立

輸入參數

JMA實測颱風資料

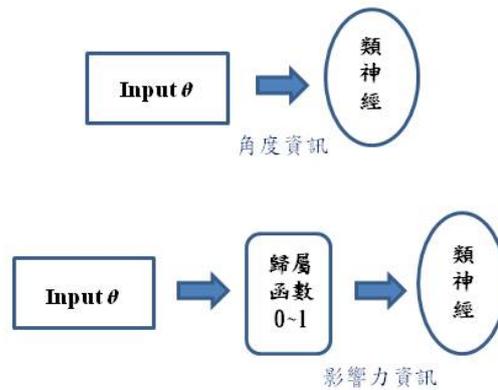
1. 颱風經緯度
2. 近中心最大風速
3. 中心氣壓



## 歸屬函數修正輸入參數

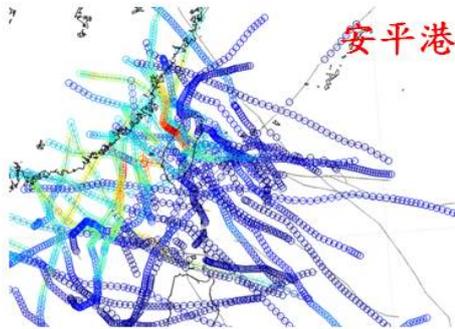
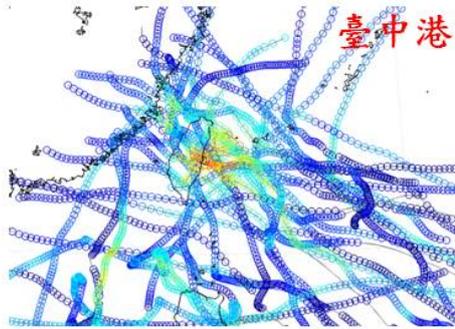
輸入參數的修正：

對於類神經而言，輸入參數與波高的關係間接影響到模式建立的難易度，若選擇的輸入參數與波高本身具有強烈的關係或是有其物理的意義存在，對於類神經模式亦會有相當程度的幫助。



# 臺中港類神經颱風波浪推算模式建立

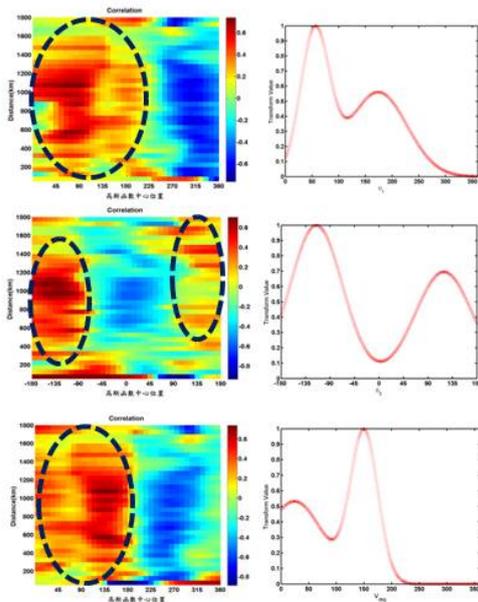
- ◆ 圖中為本研究所選取37場颱風的空間位置分布，各點位所對應的顏色為臺中港的波高值，色調越暖代表波高越高；色調越冷則對應波高越低。
- ◆ 圖中可發現本年度的目標推算港口臺中港雖位於臺灣西海岸但其所受颱風侵襲所造成的波浪特性卻與往昔研究中的安平港有所不同，安平港受陸地遮蔽效應十分明顯，東海岸來的颱風幾乎不造成大波浪，而臺中港則相反，在颱風中心接近花蓮港外海時即有較大波浪發生的可能，由此資料分析中無法看出中央山脈與陸地遮蔽造成的影響。



# 臺中港類神經颱風波浪推算模式建立

利用轉換函數簡化輸入資料與波浪的物理機制，以安平港為例：

- V：風速因子
- D：距離因子
- $\Theta_1$ ：遮蔽效應因子
- $\Theta_3$ ：颱風結構因子
- $V_{deg}$ ：目標點風向因子



輸入因子	相關性R
V	0.46
D	-0.33
$\Theta_1$	-0.49
$\Theta_3$	0.06
$V_{deg}$	-0.38

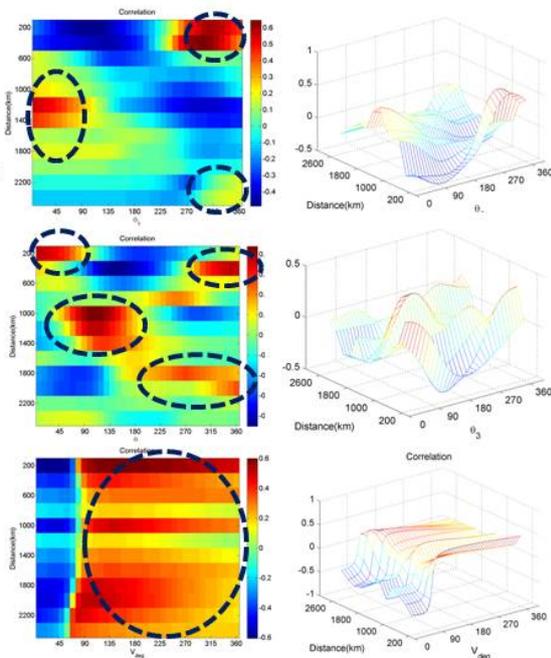
雙峰轉換

輸入因子經轉換後	相關性R
V	0.46
D	0.33
$\Theta_1$	0.57
$\Theta_3$	0.43
$V_{deg}$	0.55

# 臺中港類神經颱風波浪推算模式建立

利用轉換函數簡化輸入資料與波浪的物理機制，目前臺中港：

- ◆ 與往昔分析結果不同，臺中港的三個颱風角度參數較難以單純的單峰或雙峰高斯函數來描述。
- ◆ 故臺中港的轉換函數需考慮採用三維函數。

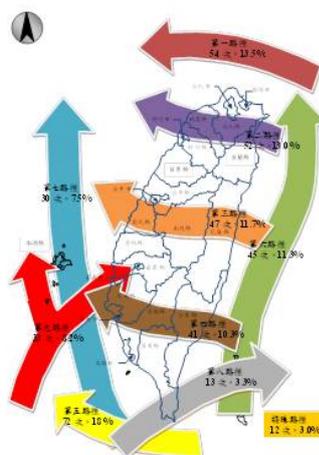
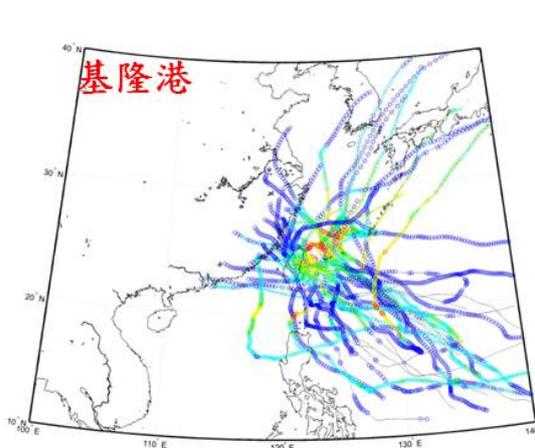


## 歸屬函數修正的效益評估

- V：風速因子
- D：距離因子
- $\Theta_1$ ：遮蔽效應因子
- $\Theta_3$ ：颱風結構因子
- $V_{deg}$ ：目標點風向因子

輸入因子	相關性R	二維轉換 ➔	輸入因子經轉換後	相關性R
V	0.47		V	0.47
D	0.39	D	0.39	
$\Theta_1$	-0.11	$\Theta_1$	0.20	
$\Theta_3$	0.08	$\Theta_3$	0.16	
$V_{deg}$	-0.03	$V_{deg}$	0.29	

# 基隆港類神經颱風波浪推算模式建立



◆ 圖中暖色系資料點較多，顯示基隆港現有颱風波浪資料雖然較少，但其發生的颱風波浪最大波高都較大，且位置集中於台灣東部及東北部外海處，影響較大的通常為第1、第2與第6路徑三種狀況，造成最大波高的颱風為辛樂克(SINLAKU, 2002)，於台灣東北方外海處緩慢西行時所造成，其波高達11.35m，針對此類型特徵的颱風為本模式的考慮重點。

# 臺中港類神經颱風波浪推算模式驗證

目前臺中港波浪推算模式推算能力：

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hr)	RMSE	R	$H_{obs,max}$ (m)	年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hr)	RMSE	R	$H_{obs,max}$ (m)
2003	柯羅旺KROVANH	0.32	10	0.40	0.30	1.24	2006	寶登BOPHA	1.43	-2	0.54	0.94	2.67
2003	杜鵬DUJUAN	0.16	-7	0.70	0.76	3.30	2006	珊珊SHANSHAN	0.85	8	0.68	0.80	3.20
2003	梅米MAEMI	0.09	-57	0.48	0.64	2.20	2006	西馬隆CIMARON	-0.47	-9	0.70	0.39	3.69
2003	米勒MELOR	-0.74	8	0.50	0.84	4.20	2006	奇比CHEBI	-1.26	-7	0.82	0.67	3.18
2004	康森CONSON	1.19	5	0.83	0.59	3.34	2007	帕布PABUK	1.62	-2	0.80	0.77	1.94
2004	蘭寧RANANIM	0.37	24	0.67	0.33	2.55	2007	聖帕SEPAT	-0.24	2	0.49	0.86	5.43
2004	艾利AERE	0.41	10	0.42	0.93	3.44	2007	韋帕WIPHA	-1.78	8	1.19	0.53	4.62
2004	陶卡基TOKAGE	-1.18	-17	1.27	0.65	3.99	2007	柯羅莎KROSA	-0.84	-7	0.98	0.89	6.74
2004	納坦NOCK_TEN	-0.73	1	1.49	0.57	4.56	2008	卡玫基KALMAEGI	0.24	-11	0.76	0.81	3.28
2004	敏督利MINDULLE	1.64	-30	0.69	0.65	3.05	2008	鳳凰FUNG_WONG	-0.46	0	0.73	0.91	6.24
2005	海棠HAITANG	-1.13	0	0.39	0.97	6.96	2008	辛樂克SINLAKU	0.88	12	0.79	0.79	5.24
2005	泰利TALIM	-1.36	0	0.75	0.90	6.26	2008	哈格比HAGUPIT	-0.22	9	0.61	0.64	3.64
2005	卡努KHANUN	-0.77	-29	0.49	0.54	3.15	2009	蓮花LINFA	-0.82	5	0.35	0.80	2.76
2005	丹瑞DAMREY	-0.46	-23	0.81	0.25	3.27	2009	莫拉菲MOLAVE	1.21	3	0.70	0.48	1.22
2005	龍王LONGWANG	-0.86	2	0.73	0.74	5.58	2009	莫拉克MORAKOT	-1.73	-1	0.70	0.94	7.78
2006	珍珠CHANCHU	-1.22	-6	0.95	0.44	3.86	2009	芭瑪PARMA	-0.24	37	0.53	0.85	4.35
2006	碧利斯BILIS	-0.11	-26	0.58	0.88	4.72	2010	凡那比FANAPI	-0.46	7	0.46	0.92	5.09
2006	凱米KAEMI	0.47	1	0.44	0.92	3.63	2010	梅姬MEGI	-0.71	0	1.01	0.68	4.83
2006	桑美SAOMAI	0.58	-16	0.43	0.82	3.02							

	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R
絕對值平均	0.79	10.86	0.70	0.71

其中 $\Delta H_{s,p}$ 與 $\Delta t_p$ 為考量各場颱風的誤差有正有負，故先取絕對值後再平均。

# 基隆港類神經颱風波浪推算模式驗證

目前基隆港波浪推算模式推算能力：

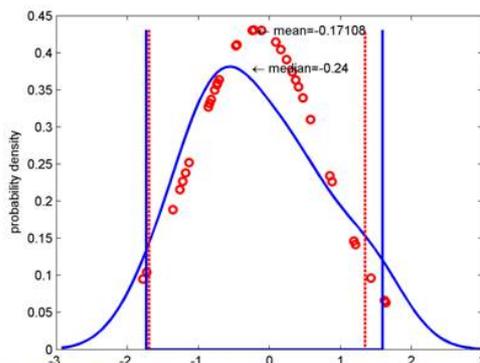
年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hr)	RMSE	R	$H_{obs,max}$ (m)	年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hr)	RMS E	R	$H_{obs,max}$ (m)
2001	桃芝TORAJI	1.12	-2	0.74	0.60	1.3	2005	馬莎MATSA	-0.92	5	0.59	0.96	7.41
2001	納莉NARI	-0.86	6	0.72	0.74	7.43	2005	泰利TALIM	-0.77	3	0.67	0.90	5.44
2001	海燕HAIYAN	-4.57	-4	1.20	0.90	10.12	2005	卡努KHANUN	-0.20	-4	0.55	0.76	3.79
2002	雷馬遜RAMMASUN	-0.56	-2	0.54	0.94	6.78	2005	龍王LONGWANG	-0.16	-1	0.34	0.74	3.05
2002	辛樂克SINLAKU	-3.28	0	0.74	0.95	11.35	2006	珊珊SHANSHAN	0.52	10	0.96	0.70	4.67
2003	蘇迪勒SOUDELOR	2.42	6	0.88	0.55	2.19	2007	萬宜MAN_YI	0.27	4	0.49	0.69	1.89
2003	杜鵬DUJUAN	1.18	-6	0.50	0.73	2.5	2007	帕布PABUK	0.34	-21	0.38	0.83	2.01
2003	梅米MAEMI	-0.30	3	0.50	0.88	4.2	2007	聖帕SEPAT	0.29	-5	0.66	0.64	2.51
2003	米勒MELOR	-0.04	3	0.48	0.84	3.81	2007	韋帕WIPHA	-0.63	5	0.35	0.91	4.22
2004	敏督利MINDULLE	2.15	-11	0.88	0.74	1.43	2007	柯羅莎KROSA	-1.28	1	0.46	0.95	7.06
2004	蘭寧RANANIM	-0.30	3	0.54	0.88	4.35	2008	鳳凰FUNG_WONG	0.30	5	0.48	0.91	3.19
2004	梅姬MEGI	0.24	5	0.33	0.81	1.91	2008	辛樂克SINLAKU	2.57	0	0.78	0.92	4.19
2004	艾利AERE	1.49	4	0.77	0.94	6.82	2008	蕾蜜JANGMI	0.89	-2	0.61	0.88	4.78
2004	陶卡基TOKAGE	-0.13	6	0.87	0.90	4.97	2009	莫拉克MORAKOT	-0.68	2	0.33	0.96	4.51
2004	納坦NOCK_TEN	0.08	6	0.87	0.54	4.31	2010	凡那比FANAPI	0.98	2	0.47	0.93	3.29
2005	海棠HAITANG	-0.92	-2	0.64	0.93	5.8	2010	梅姬MEGI	-0.72	-1	0.50	0.83	4.94

	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R
絕對值平均	0.97	4.38	0.62	0.82

其中 $\Delta H_{s,p}$ 與 $\Delta t_p$ 為考量各場颱風的誤差有正有負，故先取絕對值後再平均。

## 模式風險評估

臺中港：

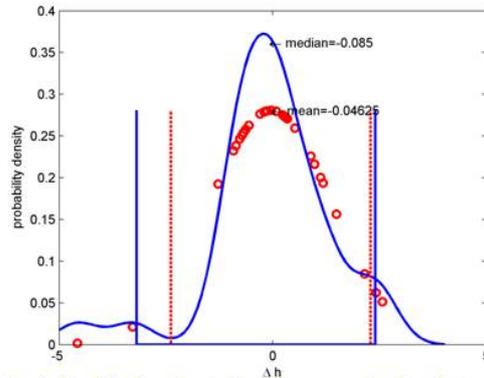


類神經颱風波浪推算結果的各場颱風波高峰值誤差的風險分析

- 臺中港模式波高峰值誤差的風險分析，其平均值為-0.17m，中位數為-0.24m，標準偏差為0.92m，37個樣本中不通過95%信賴度的有5個，佔全部的13.5%。

## 模式風險評估

基隆港：



類神經颱風波浪推算結果的各場颱風波高峰值誤差的風險分析

●基隆港模式波高峰值誤差的風險分析，其平均值為-0.05m，中位數為-0.09m，標準偏差為1.42m，32個樣本中不通過95%信賴度的有4個，佔全部的12.5%。

## 類神經颱風波浪推算模式的建立

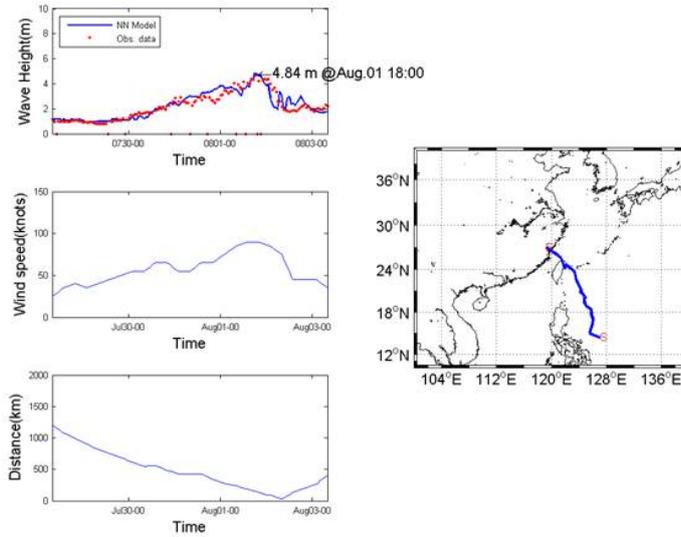
本研究在建立各港類神經颱風波浪模式的過程中針對各港特性不斷進行修正與改善。

- 花蓮港：資料最完整，湧浪造成的問題採用input-delay改善。
- 高雄港：直撲颱風較少，颱風波浪小，與季節風波浪相近。颱風受地形遮蔽效應採用高斯轉換函數改善。
- 安平港：記錄到的颱風較少，颱風受地形遮蔽效應採用高斯轉換函數改善。
- 臺北港：資料較少，季節性波浪大。
- 臺中港：資料較完整，但地形遮蔽效應範圍較難判定。
- 基隆港：颱風波浪較大，且集中發生於東北外海。

	$\Delta H_p$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R	實測颱風波浪 樣本平均值 (m)
花蓮港	0.98	5.04	0.69	0.83	5.26
高雄港	0.67	8.70	0.64	0.74	3.78
安平港	1.03	10.06	0.72	0.73	3.54
臺北港	1.02	14.81	0.59	0.73	3.28
臺中港	0.79	10.86	0.70	0.71	4.00
基隆港	0.97	4.38	0.62	0.82	4.57

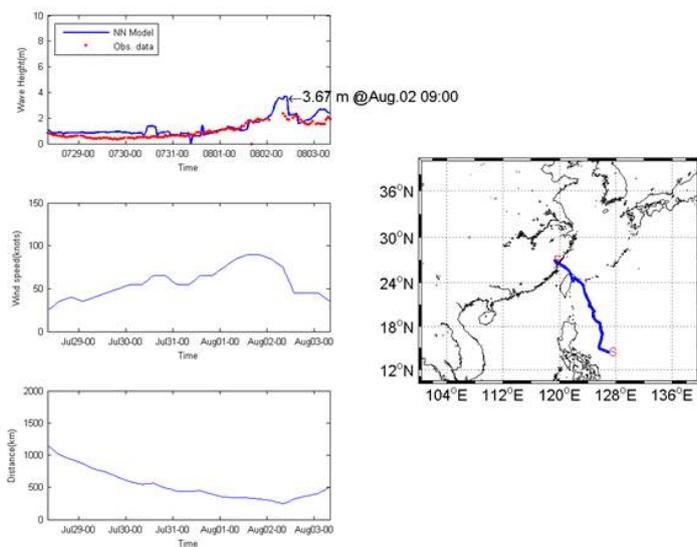
## 2012年颱風波浪推算

2012/07/30至2012/08/03中度颱風蘇拉(SAOLA)  
花蓮港：



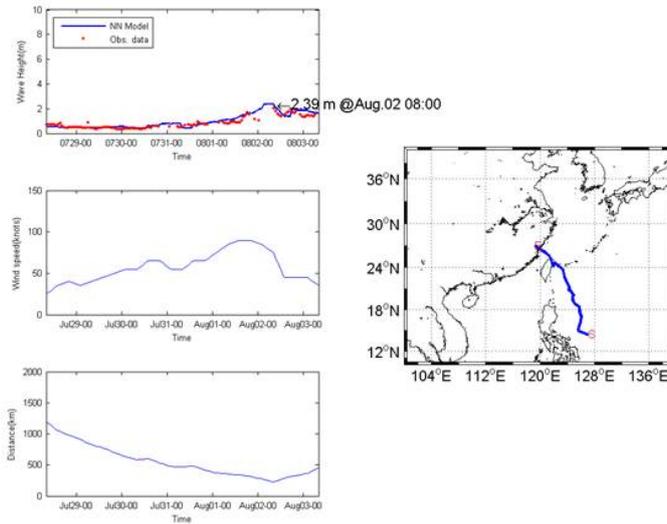
## 2012年颱風波浪推算

2012/07/30至2012/08/03中度颱風蘇拉(SAOLA)  
高雄港：



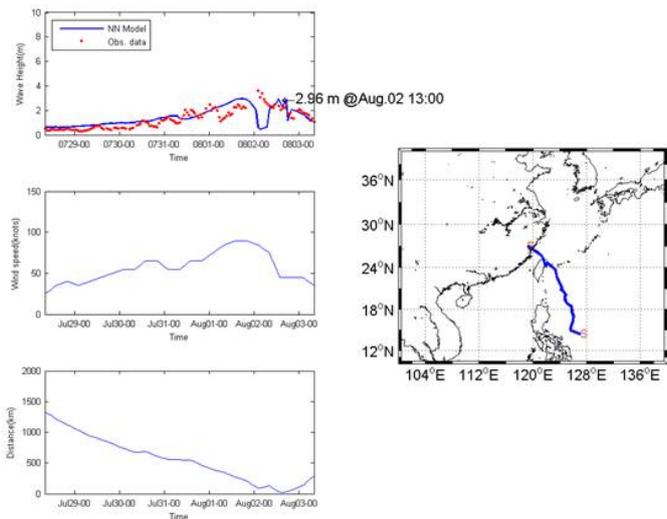
## 2012年颱風波浪推算

2012/07/30至2012/08/03中度颱風蘇拉(SAOLA)  
安平港：



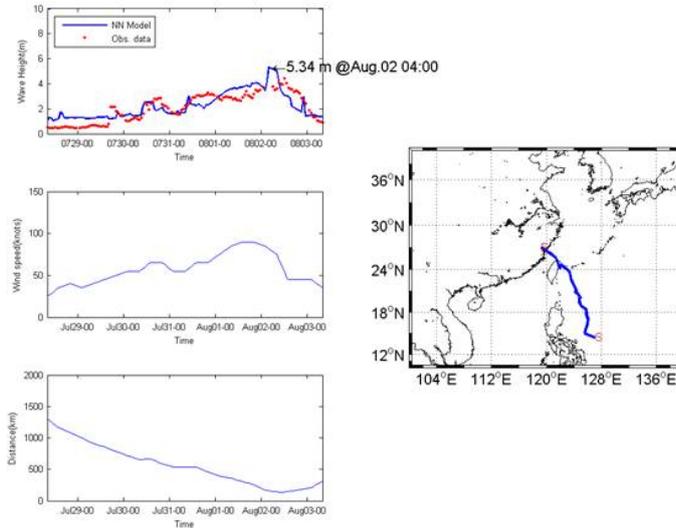
## 2012年颱風波浪推算

2012/07/30至2012/08/03中度颱風蘇拉(SAOLA)  
臺北港：



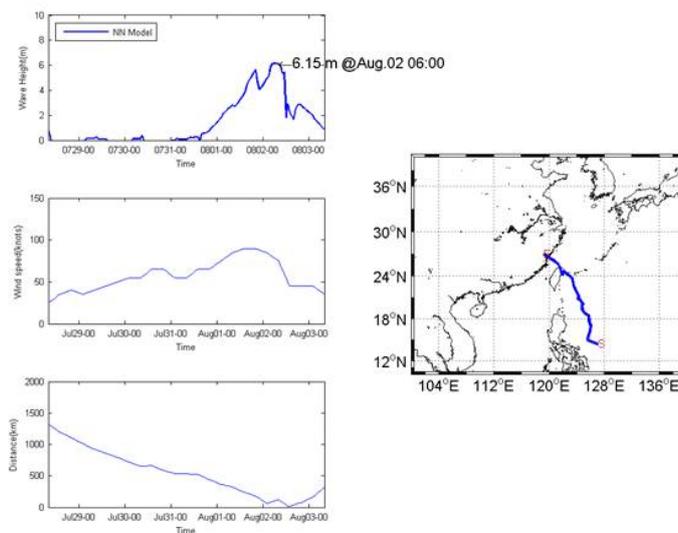
## 2012年颱風波浪推算

2012/07/30至2012/08/03中度颱風蘇拉(SAOLA)  
臺中港：



## 2012年颱風波浪推算

2012/07/30至2012/08/03中度颱風蘇拉(SAOLA)  
基隆港：



基隆港此段時間無實測資料可供比較



## 兩種波浪推算結果綜合比較

台中港：

半經驗波浪推算：

平均  $\Delta H_{s,p} = 1.20\text{m}$

平均  $\Delta t_p = 24.93$  小時

平均  $\text{RMS} = 1.35\text{m}$

平均  $R = 0.24$

類神經波浪推算：

平均  $\Delta H_{s,p} = 0.91\text{m}$

平均  $\Delta t_p = 5.64$  小時

平均  $\text{RMS} = 0.73\text{m}$

平均  $R = 0.80$

年份	颱風名稱	半經驗				類神經				Hobs (m)
		$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R	
2004	歐督利(MINDULLE)	0.56	15	0.76	0.13	-1.13	0	0.39	0.97	3.05
2004	艾利(AERE)	2.81	-18	0.94	-0.22	0.41	10	0.42	0.93	3.44
2004	納坦(NOCK_TEN)	-0.52	-11	1.97	0.02	-0.73	1	1.49	0.57	4.56
2005	海棠(HAITANG)	-0.98	-13	2.04	-0.18	1.64	-30	0.69	0.65	6.96
2005	泰利(TALIM)	-0.45	-6	1.98	-0.12	-1.36	0	0.75	0.90	6.26
2005	龍王(LONGWANG)	0.53	-2	1.24	0.67	-0.86	2	0.73	0.74	5.58
2006	珍珠(CHANCHU)	-1.15	-163	0.73	0.46	-1.22	-6	0.95	0.44	4.93
2006	凱米(KAEMI)	-0.38	-13	0.99	0.15	0.47	1	0.44	0.92	3.63
2007	聖帕(SEPAT)	-0.21	-2	1.56	0.21	-0.24	2	0.49	0.86	5.43
2007	柯羅莎(KROSA)	-1.58	-11	1.99	0.27	-0.84	-7	0.98	0.89	6.74
2008	辛樂克(SINLAKU)	-0.92	-34	1.23	0.47	0.88	12	0.79	0.79	5.24
2009	莫拉克(MORAKOT)	-4.03	-17	2.21	0.09	-1.73	-1	0.70	0.94	7.78
2010	凡那比(FANAPI)	-0.25	0	1.18	0.68	-0.46	7	0.46	0.92	5.09
2010	梅姬(MEGI)	-2.49	-44	0.13	0.78	-0.71	0	1.01	0.68	4.83
絕對值平均		1.20	24.93	1.35	0.24	0.91	5.64	0.73	0.80	5.25

## 兩種波浪推算結果綜合比較

基隆港：

半經驗波浪推算：

平均  $\Delta H_{s,p} = 3.65\text{m}$

平均  $\Delta t_p = 23.88$  小時

平均  $\text{RMS} = 2.5\text{m}$

平均  $R = 0.38$

類神經波浪推算：

平均  $\Delta H_{s,p} = 0.94\text{m}$

平均  $\Delta t_p = 3.25$  小時

平均  $\text{RMS} = 0.63\text{m}$

平均  $R = 0.81$

年份	颱風名稱	半經驗				類神經				Hobs (m)
		$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R	
2004	桃芝(TORAGE)	4.84	-11	3.02	0.02	1.12	-2	0.74	0.60	1.3
2004	納莉(NARI)	0.96	0	1.5	0.79	-0.86	6	0.72	0.74	7.43
2004	蘇迪勒(SOUDELOR)	3.67	5	2.61	-0.65	2.42	6	0.88	0.55	2.19
2005	蘭寧(RANANIM)	2.68	-1	1.32	0.92	-0.30	3	0.54	0.88	4.35
2005	艾利(AERE)	3.06	-6	2.16	0.52	1.49	4	0.77	0.94	6.82
2005	納坦(NOCKTEN)	7.92	-155	4.13	0.09	0.08	6	0.87	0.54	4.97
2006	海棠(HAITANG)	3.54	-12	2.57	0.41	-0.92	-2	0.64	0.93	5.8
2006	馬莎(MATSA)	-1.07	-10	1.78	0.51	-0.92	5	0.59	0.96	7.41
2007	泰利(TALIM)	1.87	-5	2.2	0.43	-0.77	3	0.67	0.90	5.44
2007	卡蓉(KHANUN)	4.68	-122	3.28	0.65	-0.20	-4	0.55	0.76	3.91
2008	龍王(LONGWANG)	5.06	-2	2.39	0.84	-0.16	-1	0.34	0.74	3.05
2009	聖帕(SEPAT)	3.19	-4	1.64	0.83	0.29	-5	0.66	0.64	2.51
2010	柯羅莎(KROSA)	4.45	-14	4.16	0.05	-1.28	1	0.46	0.95	7.06
2010	辛樂克(SINLAKU)	6.25	-8	3.21	0.32	2.57	0	0.78	0.92	4.19
2010	莫拉克(MORAKOT)	2.33	-24	2.53	-0.3	-0.68	2	0.33	0.96	4.51
絕對值平均		3.65	23.88	2.50	0.38	0.94	3.25	0.63	0.81	4.64

## 各回歸期之設計波浪

- 樣本採用港研中心在臺中港海域測量之每年最大值波高。
- 以98年度的研究結果顯示在花蓮港與高雄港以MLM及LSM方法推估結果較為可靠，而二者所推估之各重現期之值也接近也相近。
- 選擇重現期為T=10、25、50及100年4種，即可獲得各重現期下之波高。

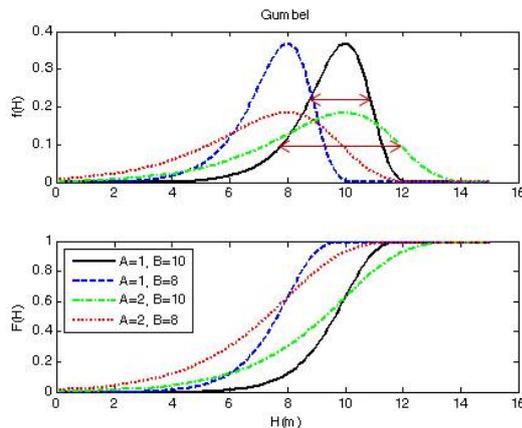
31

## 極值分布函數

Coastal Engineering Manual (2002)

(1)極值 I 型分布(FT- I 型分布，又稱Gumbel分布)

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



A: 尺度參數  
(scale parameter)

B: 位置參數  
(location parameter)

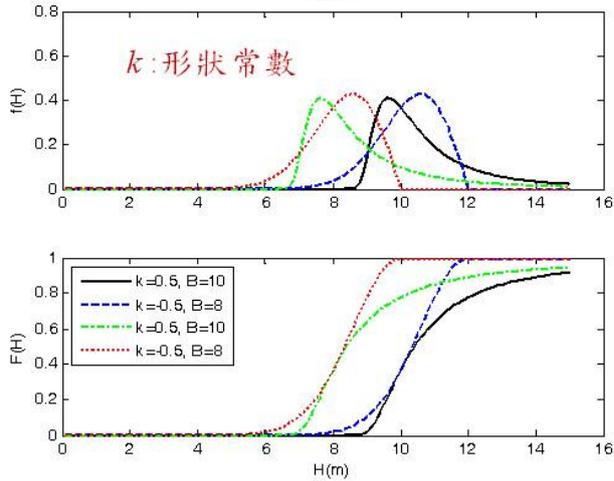
32

# 極値分布函數

## (2) 通用極值分布 (Generalized extreme value, GEV)

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

GEV

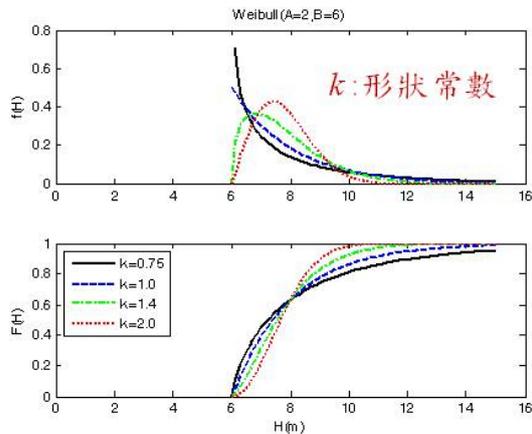


33

# 極值分布函數

## (3) Weibull分布-三參數型式

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



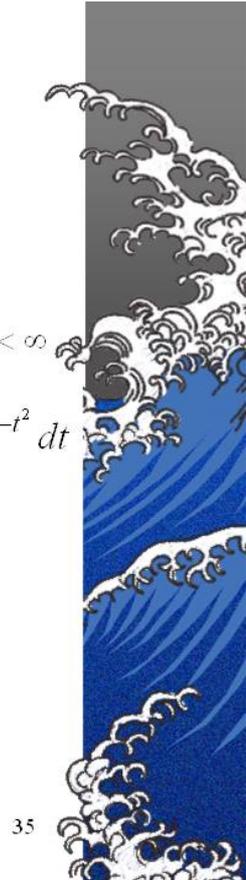
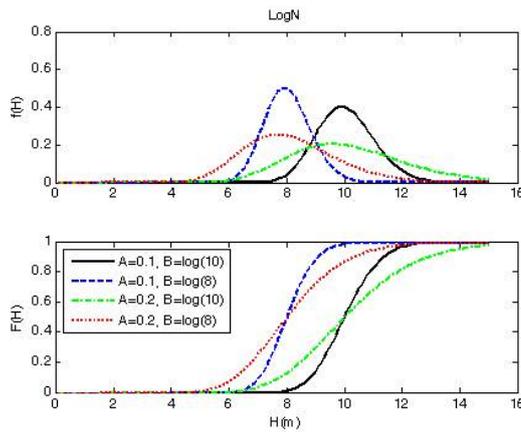
34

# 極值分布函數

## (4) 對數常態分布 (lognormal distribution)

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

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



35

# 台中港設計波浪之探討

	T(yr)	實測數據(7年)	類神經模式(32年)	經驗公式法(71年)
		LSM LogN	LSM LogN	MLE GEV
MIR(m)		0.76	2.94	0.15
RMSE(m)		0.26	0.24	0.14
Xe(m)		0.11	0.07	0.39
x <sub>R</sub> (m)	10	8.02	6.14	6.12
	25	8.73	6.63	6.49
	50	9.22	6.97	6.67
	100	9.68	7.29	6.81
σ(m)	10	0.56	0.2	0.13
	25	0.66	0.24	0.12
	50	0.74	0.27	0.12
	100	0.81	0.29	0.13

年極值分析中最佳參數推定法實測資料與類神經模式推算結果相同皆為LSM，而極值函數兩者也皆以LogN為最佳。但由於資料樣本數的不同，可發現50年重現期的設計波浪以實測數據所推算得的值最大，類神經網路波浪推算的資料樣本次之，半經驗波浪推算模式模式最小。其中類神經網路波浪推算模式與半經驗波浪推算模式的結果相近。



36

## 基隆港設計波浪之探討

	T(yr)	實測數據(9年)	類神經模式(32年)	經驗公式法(71年)
		LSM LogN	LSM Weibull	MLE GEV
MIR(m)		1.27	0.47	0.06
RMSE(m)		0.57	0.15	0.23
X <sub>e</sub> (m)		0.44	0.08	0.46
x <sub>p</sub> (m)	10	9.47	7.24	12.72
	25	10.65	8.04	13.79
	50	11.48	8.57	14.37
	100	12.29	9.06	14.80
(m)	10	0.88	0.44	0.39
	25	1.05	0.53	0.42
	50	1.17	0.60	0.48
	100	1.28	0.65	0.55

不同的資料樣本中，年極值分析中最佳參數推定法僅有半經驗模式的樣本為MLE其餘則為LSM，而皆不同最適極值函數皆以皆不同。由於資料樣本的不同，可發現50年重現期的設計波浪以半經驗模式樣本所推算得的值最大，實測資料樣本次之，類神經網路波浪推算模式最小，可見半經驗模式高估，類神經模式低估。

37

## 季節性統計分析方法

### ■Mendez等(2008)

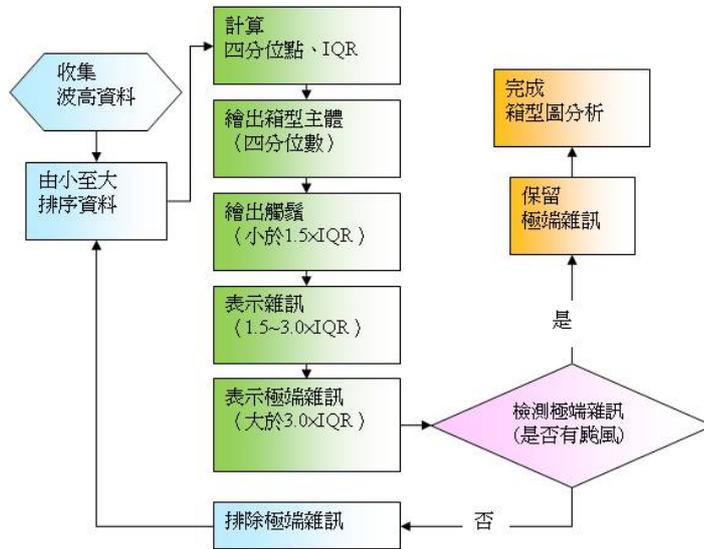
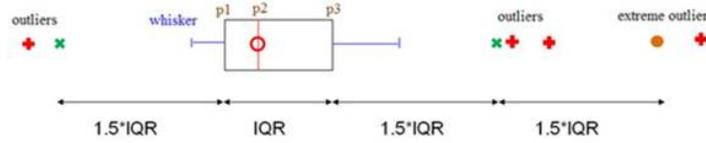
提出超量門檻選用法的極值波高，存在非穩定的季節性變化，其波高符合極端值分佈。

### ■陳(2009)

應用Mendez等(2008)提出極值參數季節性變化之概念，但不同於原作者使用的超量選用法，而是應用於花蓮港極端值選用法中的年最大法與月最大法，探討極值波高季節性之情況。

38

## 箱型圖 (Box Plot)



39

## 臺中港月極值分析結果

- 樣本採用港研中心量測臺中港海域2004至2010年共7年之每月最大值波高
- LogN雖然只有在1月及5月是最合適的極值函數，但除了12月外在各月份的表現都與最佳函數相近，且其所估算出來的波高標準偏差都較低，所以除了上述最佳極值函數外，基本上臺中港亦可採用LogN極值函數來推估各回歸期的設計波高。

月份	最適極值函數	參數推定法	重現期50年波高(m)
1月	LogN	LSM	6.14
2月	FT-1	LSM	6.84
3月	GEV	LSM	7.88
4月	LogN	LSM	6.16
5月	LogN	LSM	4.21
6月	Weibull	LSM	4.38
7月	LogN	LSM	11.59
8月	LogN	LSM	11.01
9月	LogN	LSM	8.79
10月	LogN	LSM	8.26
11月	GEV	LSM	5.46
12月	LogN	LSM	5.67

40

## 基隆港月極值分析結果

- 樣本採用港研中心量測基隆港海域2002至2010年共9年之每月最大值波高
- GEV函數適用於波高小，Weibull適合大波高的月份。整體而言LogN雖只有在10月及11月是最合適，但除了1月及9月外在各月份的表現都與最佳函數相近，且其波高標準偏差都較低，所以基隆港在亦可選擇LogN極值函數來推估各回歸期的設計波高。

月份	最適極值函數	參數推定法	重現期50年波高(m)
1月	GEV	LSM	9.21
2月	GEV	LSM	7.40
3月	Weibull	LSM	6.80
4月	GEV	LSM	6.21
5月	GEV	LSM	3.74
6月	GEV	LSM	2.73
7月	Weibull	LSM	9.04
8月	Weibull	MLE	9.79
9月	Weibull	MLE	12.38
10月	LogN	LSM	8.62
11月	LogN	LSM	7.29
12月	Weibull	LSM	7.84

41

## 基隆港月極值分析結果

選擇重現期為 $T=50$ 的情況下，若在95%信賴度下，各月份波高分別為

### 臺中港

月份	波高	月份	波高
一月	5.28m至7.00m	七月	8.75m至14.43m
二月	5.54m至7.54m	八月	8.22m至13.82m
三月	6.33m至9.15m	九月	6.95m至10.63m
四月	5.00m至7.32m	十月	4.79m至7.23m
五月	3.12m至4.14m	十一月	5.04m至6.60m
六月	2.38m至3.84m	十二月	4.45m至6.89m

### 基隆港

月份	波高	月份	波高
一月	1.53m至16.89m	七月	2.89m至15.19m
二月	4.91m至9.89m	八月	5.48m至14.10m
三月	3.94m至9.66m	九月	4.81m至19.95m
四月	4.25m至8.17m	十月	6.86m至10.38m
五月	2.58m至4.90m	十一月	6.04m至8.54m
六月	1.85m至3.61m	十二月	5.25m至10.43m

## 視窗化操作介面

### ■輸入資料格式：

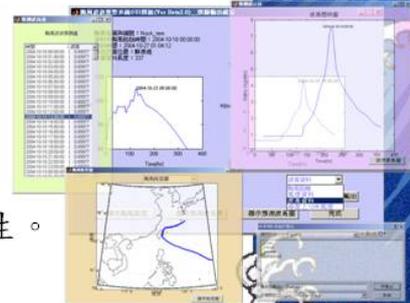
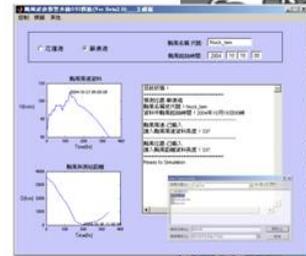
1. 自動讀入資料中的年最大值
2. 亦可採用前三大月的最大值
3. 採用類神經颱風波浪推算模式之結果

### ■極值統計函數：FT-I, GEV, Weibull, Lognormal

### ■極值分布參數推定：1. MOM 2. MLM 3. LSM

### ■輸出結果：

1. 各重現期之設計波浪。
2. 所選用之極值函數及參數推定法的適用性。



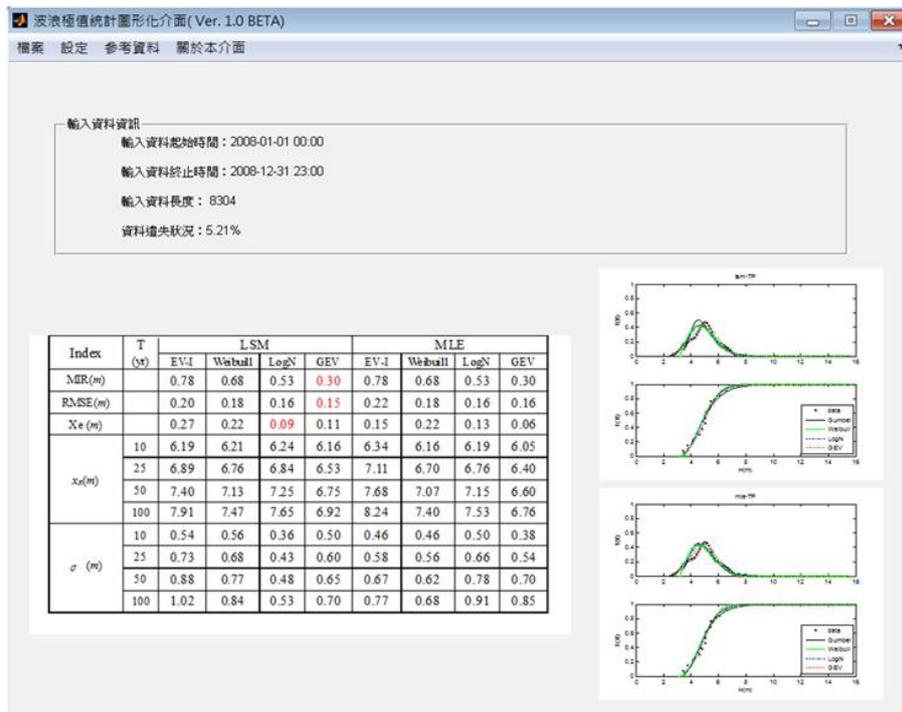
## 視窗化操作介面

A detailed screenshot of the software's main window, titled '波浪極值統計圖形化介面 (Ver. 1.0 BETA)'. The window has a menu bar with '檔案', '設定', '參考資料', and '關於本介面'. The main content area is divided into several sections:

- 輸入資料資訊**: A text box containing '輸入資料起始時間: 2008-01-01 00:00', '輸入資料終止時間: 2008-12-31 23:00', '輸入資料長度: 8304', and '資料遺失狀況: 5.21%'.
- 資料選用方式**: A group box containing two radio buttons: '年極值取樣法' (selected) and '年前三大取樣法'.
- 極值統計函數選用(可複選)**: A group box containing four radio buttons: 'FT-1', 'G.E.V.', 'Weibull', and 'Log-Normal'.
- 極值分布函數推定法(可複選)**: A group box containing three radio buttons: 'MLE', 'LSM', and 'MOM'.

A '開始分析' button is located at the bottom right of the window.

## 視窗化操作介面



45

## 結論

■本計畫建構臺中港類神經颱風波浪推算模式，由於臺中港較少遭遇直撲並由西部海岸登陸的颱風，故在颱風相關位置與波高的空間分布分析中較難以看出颱風受中央山脈阻隔及波浪傳遞受陸地遮蔽的現象，此特性不同於往昔西部海岸港口。本研究提出同時考慮距離與角度的二維轉換函數，經過此轉換可使颱風輸入資料再進入類神經網路進行學習前先轉換成與波高較高相關性的映射值，以改善類神經颱風波浪推算模式的推算能力。基隆港模式則著重路徑1、2及6經過台灣東北方外海的颱風所造成的波浪影響來做模擬。

■未來若有更新的波浪資料或颱風資訊可供學習或驗證可再提升模式之可靠度。目前花蓮、高雄、安平、臺北、臺中與基隆等港模式皆已建立完成，其成果可供港務公司與相關單位作為預警系統或參考。

## 結論

■本研究由箱型圖初步分析取樣以完整的極值分析方法進行月極值特性分析得到以下結論。LSM推估法所推估出來的各極值函數下之波高與樣本間之RMSE較MLE推估法低，因此極值推估法以LSM推估臺中港較佳。整體來說，臺中港月極值統計分布大部分月份適合Log-Normal分布。基隆港在最適極值函數的部分有季節性的特性，整體而言採用LSM配合Log-Normal也可以獲得較合理的推算結果。

■年極值統計部分，除了以臺中港實測資料作為分析外，並以類神經颱風波浪推算模式與井島武士模式推算相同時間長度之每年最大波高作為年極值統計分析比較，其結果發現不同的資料樣本中，50年重現期的設計波浪以實測數據所推算得的值最大，類神經模式次之，半經驗模式最小。基隆港則以半經驗模式最大，實測資料次之，類神經模式最小。

報告完畢  
敬請指正

