

102-120-7715
MOTC-IOT-101-H2DB001c

臺灣港灣構造物動態資訊管理 系統建置之研究(4/4)



交通部運輸研究所

中華民國 102 年 6 月

102-120-7715
MOTC-IOT-101-H2DB001c

臺灣港灣構造物動態資訊管理 系統建置之研究(4/4)

著 者：何良勝、林受勳、江玟德、陳志弘

交通部運輸研究所

中華民國 102 年 6 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

臺灣港灣構造物動態資訊管理系統建置之研究. (4/4) /
何良勝等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運研所，

民 102.06 面；公分

ISBN 978-986-03-7256-4(平裝)

1.波動 2.防波堤 3.資訊管理系統

351.9

102012196

臺灣港灣構造物動態資訊管理系統建置之研究(4/4)

著 者：何良勝 林受勳 江玟德 陳志弘

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 (中文版>中心出版品)

電 話：(04)26587121

出版年月：中華民國 102 年 6 月

印 刷 者：

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臺灣技術研究中心網站

定 價：200 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：1010201237

ISBN：978-986-03-7256-4 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

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

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：臺灣港灣構造物動態資訊管理系統建置之研究(4/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-03-7256-4 (平裝)	政府出版品統一編號 1010201237	運輸研究所出版品編號 102-120-7715	計畫編號 101-H2DB001c
主辦單位：港灣技術研究中心 主管：邱永芳 計畫主持人：何良勝 研究人員：林受勳、江玟德、陳志弘、張惠華 聯絡電話：(04)26587121 傳真號碼：(04)26560661			研究期間 自 101 年 01 月 至 101 年 12 月
關鍵詞：防波堤維護管理資訊系統、波浪極值統計推算模式、颱風波浪推算			
摘要： 本報告為四年期程之第四年工作成果，報告內容主要包含建置基隆港與臺中港兩港域適用的即時性颱風波浪推算模式；並且亦辦理兩港域之季節性變化月極值統計及年極值統計等的特性分析探討。本年度亦針對蘇澳港首度辦理包含南防波堤之現場圖像調查、防波堤沉箱之安全性評估探討、結構物補強方案研擬，以及建置一套防波堤構造物維護管理資訊系統等項工作；其中，颱風波浪推算模式及防波堤現況調查與堤體安全性評估探討等工作成果，可建構蘇澳港適用的定期性防波堤維護管理資訊系統。 本研究所辦理之防波堤構造物安全性評估與現場圖像調查，以及所建置防波堤構造物維護管理資訊系統等項工作成果，可提供港務機關瞭解港灣構造物之穩定性與安全性，以有效運用資源，延長港務設施使用年限及降低維護成本。另外，所完成基隆港與臺中港兩港域之波浪極值統計特性結果，可提供相關港灣、海岸工程規劃設計、環境評估與學術研究所需之設計波浪的重新探討與比對依據。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
102 年 6 月	208	200	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。
機密等級： ☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 （解密條件： ☐ 年 ☐ 月 ☐ 日解密， ☐ 公布後解密， ☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密， ☐ 另行檢討後辦理解密） ☒ 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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

TITLE: Establishment of Dynamic Information Management System on Taiwan's Harbors Constructions (4/4)			
ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-03-7256-4 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010201237	IOT SERIAL NUMBER 102-120-7715	PROJECT NUMBER 100-H2DB001c
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Chiu Y.F. PROJECT INVESTIGATOR: Ho L.S. PROJECT STAFF: Lin, S.S., Jiang, W.D., Chen, C.H., Chang, H.H. PHONE: 04-26587121 FAX: 04-26560661			PROJECT PERIOD FROM January 2012 TO December 2012
KEY WORDS: breakwater safeguard and management system 、 ex-wave statistics estimating model 、 typhoon waves estimating			
ABSTRACT: This report is the fourth year research of a four-year project. The major results, including A special wave prediction model using artificial neural network is developed for typhoon waves considering land effects on the wind structure of a typhoon and wave decay. The ex-wave statistics results, Wave samples are first examined valid by using the technique of box-plot. Maximum likelihood and least squared method are suitable for determining parameters of probability distribution for extreme analysis is checked. Typhoon wave estimating model, field investigation and safety assessment of the breakwater are combined to set up a regular system for Suao Harbor's breakwater safeguard and management. According to the study, the analysis of wave extreme values shows that the design wave condition used in the early harbor constructions in Taiwan must be carefully examined and re-evaluated. The application of breakwater information managing system may offer harbor units a regular examination on harbor constructions so as to reduce the cost for harbor maintenance.			
DATE OF PUBLICATION June 2013	NUMBER OF PAGES 208	PRICE 200	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

中英文摘要表.....	I
目 錄.....	III
表目錄.....	VI
圖目錄.....	X
第一章 前言	1-1
第二章 港域颱風波浪推算模式建立.....	2-1
2.1 資料來源與處理說明.....	2-1
2.2 類神經颱風波浪推算模式建置	2-10
2.2.1 類神經網路架構.....	2-10
2.2.2 模式輸入之轉換函數	2-14
2.2.3 歸屬函數修正輸入參數	2-20
2.2.4 轉換函數與訓練函數	2-26
2.2.5 隱藏層神經元測試	2-27
2.3 類神經颱風波浪推算結果	2-28
2.4 類神經颱風波浪推算之風險分析	2-32
2.5 即時性颱風波浪推算結果	2-33
2.6 半經驗颱風波浪推算模式	2-37
2.7 半經驗颱風波浪模式推算結果	2-41
第三章 港域波浪極值統計特性分析.....	3-1
3.1 波浪極值統計分析方法	3-1
3.1.1 極值分布函數.....	3-1
3.1.2 極值分布參數推定	3-3
3.1.3 信賴檢定.....	3-5
3.1.4 推估值之標準偏差	3-7
3.2 資料來源與處理方法.....	3-9
3.2.1 資料選取及補遺.....	3-9
3.2.2 箱型圖分析方法.....	3-9

3.2.3 重現期的極值波高估算	3-16
3.3 月極值統計分析結果	3-17
3.4 年極值統計分析	3-43
3.4.1 資料分析方式	3-43
3.4.2 臺中港域的推算結果	3-43
3.4.3 基隆港域的推算結果	3-48
3.5 綜合比較各類極值統計分析	3-53
3.5.1 颱風波浪推算模式之比較	3-53
3.5.2 月極值統計分析之比較	3-55
3.5.3 歷年各港颱風波浪推算模式之比較	3-56
3.5.4 歷年各港年極值統計分析之比較	3-57
第四章 港港灣防波堤構造物安全評估探討	4-1
4.1 防波堤圖像資料調查	4-2
4.1.1 調查內容	4-2
4.1.2 多音束監測作業	4-3
4.1.3 水下攝影作業	4-10
4.1.4 水上結構物檢視作業	4-15
4.2 防波堤設計條件檢討	4-19
4.2.1 防波堤原有設計條件	4-20
4.2.2 深海颱風波浪及暴潮位設計條件探討	4-22
4.2.3 原有與更新設計條件之檢討	4-24
4.3 防波堤結構物受損情況檢討	4-27
4.4 防波堤結構物受力計算探討	4-32
4.4.1 受力計算方式	4-32
4.4.2 堤址波力評估探討	4-37
4.5 防波堤結構物安全性評估探討	4-40
4.5.1 堤體安全性分析方法	4-40
4.5.2 計算結果與分析	4-43
4.5.3 綜合分析結果比較	4-54
4.6 防波堤結構物補強方案初探	4-56

第五章 港灣防波堤維護管理資訊系統建置.....	5-1
5.1 系統架構概述.....	5-1
5.2 防波堤檢維修表單建置	5-2
5.2.1 防波堤構造物劣化評估	5-7
5.3 系統資料庫建置.....	5-8
5.3.1 基本資料維護資料庫	5-8
5.3.2 工程資料維護資料庫	5-12
5.3.3 檢測資料維護資料庫	5-14
5.4 防波堤維修工法建置.....	5-16
5.4.1 沉箱式防波堤水上部維護	5-16
5.4.2 沉箱式防波堤水下部維護	5-16
5.5 系統展示概述.....	5-18
5.5.1 港灣設施基本資料模組	5-18
5.5.2 港灣設施檢測模組	5-19
5.5.3 港灣設施維護模組	5-20
5.5.4 港灣設施系統管理模組	5-22
5.6 平板電腦系統建置.....	5-23
第六章 結論與建議.....	6-1
6.1 結論與建議.....	6-1
6.2 成果效益及後續應用情形	6-3
參考文獻.....	7-1

表 目 錄

表 2.1	2000 至 2010 年中央氣象局所發布警報的颱風列表.....	2-4
表 2.2	臺中港颱風資訊與其對應最大波高.....	2-5
表 2.3	基隆港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 2.8	臺中港半經驗颱風波浪推算結果.....	2-43
表 2.9	基隆港半經驗颱風波浪推算結果.....	2-44
表 3.1	各極值分佈相關統計量之特性.....	3-3
表 3.2	計算樣本順位機率之 α 及 β 值.....	3-5
表 3.3	相關係數殘差平均值公式之係數 $\bar{a}$, $\bar{b}$ 及 $\bar{c}$ 值.....	3-6
表 3.4	重現期推算量之標準偏差公式中之係數.....	3-8
表 3.5	臺中港 2000~2010 年每月波高之箱型圖分析表 (單位:m).....	3-12
表 3.6	臺中港每月最大波高資料表 (單位:m)	3-13
表 3.7	基隆港 2002~2010 年每月波高之箱型圖分析表 (單位:m).....	3-14
表 3.8	基隆港每月最大波高資料表 (單位:m)	3-15
表 3.9	推估 1 月臺中港波浪之各重現期波高及標準偏差.....	3-18
表 3.10	推估 2 月臺中港波浪之各重現期波高及標準偏差.....	3-19
表 3.11	推估 3 月臺中港波浪之各重現期波高及標準偏差.....	3-20
表 3.12	推估 4 月臺中港波浪之各重現期波高及標準偏差.....	3-21
表 3.13	推估 5 月臺中港波浪之各重現期波高及標準偏差.....	3-22
表 3.14	推估 6 月臺中港波浪之各重現期波高及標準偏差.....	3-23
表 3.15	推估 7 月臺中港波浪之各重現期波高及標準偏差.....	3-24
表 3.16	推估 8 月臺中港波浪之各重現期波高及標準偏差.....	3-25

表 3.17	推估 9 月臺中港波浪之各重現期波高及標準偏差.....	3-26
表 3.18	推估 10 月臺中港波浪之各重現期波高及標準偏差	3-27
表 3.19	推估 11 月臺中港波浪之各重現期波高及標準偏差	3-28
表 3.20	推估 12 月臺中港波浪之各重現期波高及標準偏差	3-29
表 3.21	推估 1 月基隆港波浪之各重現期波高及標準偏差.....	3-31
表 3.22	推估 2 月基隆港波浪之各重現期波高及標準偏差.....	3-32
表 3.23	推估 3 月基隆港波浪之各重現期波高及標準偏差.....	3-33
表 3.24	推估 4 月基隆港波浪之各重現期波高及標準偏差.....	3-34
表 3.25	推估 5 月基隆港波浪之各重現期波高及標準偏差.....	3-35
表 3.26	推估 6 月基隆港波浪之各重現期波高及標準偏差.....	3-36
表 3.27	推估 7 月基隆港波浪之各重現期波高及標準偏差.....	3-37
表 3.28	推估 8 月基隆港波浪之各重現期波高及標準偏差.....	3-38
表 3.29	推估 9 月基隆港波浪之各重現期波高及標準偏差.....	3-39
表 3.30	推估 10 月基隆港波浪之各重現期波高及標準偏差	3-40
表 3.31	推估 11 月基隆港波浪之各重現期波高及標準偏差	3-41
表 3.32	推估 12 月基隆港波浪之各重現期波高及標準偏差	3-42
表 3.33	臺中港實測波浪之各重現期波高及標準偏差.....	3-45
表 3.34	臺中港半經驗模式之各重現期波高及標準偏差.....	3-46
表 3.35	臺中港類神經模式之各重現期波高及標準偏差.....	3-47
表 3.36	基隆港實測波浪之各重現期波高及標準偏差.....	3-50
表 3.37	基隆港半經驗模式之各重現期波高及標準偏差.....	3-51
表 3.38	基隆港類神經模式之各重現期波高及標準偏差.....	3-52
表 3.39	臺中港兩種波浪推算模式的誤差比較.....	3-53
表 3.40	基隆港兩種波浪推算模式的誤差比較.....	3-54
表 3.41	臺中港各月份最適極值函數與對應的 50 年重現期波高 ..	3-55
表 3.42	基隆港各月份最適極值函數與對應的 50 年重現期波高 ..	3-56
表 3.43	各港類神經颱風波浪推算成效比較.....	3-57
表 3.44	各港三種年極值波浪資料的最適極值函數與參數推定法	3-58
表 4.1	蘇澳港防波堤圖像調查項目與時程.....	4-3
表 4.2a	蘇澳港南防波堤港外水下調查彙整表.....	4-10

表 4.2b	蘇澳港南防波堤港內水下調查彙整表.....	4-12
表 4.3	蘇澳港潮位資料統計結果.....	4-20
表 4.4	蘇澳港原設計深海波浪推算結果.....	4-20
表 4.5	蘇澳港原設計外廓防波堤堤前設計波高.....	4-21
表 4.6	蘇澳港原設計安全係數表.....	4-21
表 4.7	蘇澳外海不同迴歸期颱風波浪推算值.....	4-22
表 4.8	計畫區深海颱風波浪推算波高與原設計條件比對結果	4-23
表 4.9	中央氣象局蘇澳潮位資料統計結果.....	4-23
表 4.10	蘇澳港南外廓防波堤消波式胸建造年份.....	4-26
表 4.11	本研究計算結果與原設計條件比對.....	4-27
表 4.12	歷年蘇澳港南防波堤受損情況彙整.....	4-32
表 4.13	消波式沉箱波壓係數表.....	4-37
表 4.14	計畫區深海颱風波浪推算波高與原設計條件比對結果	4-38
表 4.15	#31 沉箱各項計算條件一覽表.....	4-38
表 4.16	原波力計算結果.....	4-39
表 4.17	波壓係數修正下波力計算結果.....	4-40
表 4.18	本研究設計條件下現有波壓係數修正波力計算結果	4-40
表 4.19	原設計波浪條件堤體穩定計算結果.....	4-45
表 4.20	#31 沉箱採用原設計波浪條件之波壓修正穩定計算表	4-46
表 4.21	本研究計算波浪條件堤體穩定計算結果.....	4-46
表 4.22	#31 沉箱採用本研究計算波浪條件之波壓修正穩定計算 表	4-47
表 4.23	堤體穩定可受最小颱風波浪對照表.....	4-47
表 4.24	後側胸牆所受波力及混凝土剪力關係表.....	4-49
表 4.25	防波堤胸牆原設計滑動安全分析表.....	4-51
表 4.26	防波堤後側胸牆原設計傾倒安全分析表.....	4-52
表 4.27	後側胸牆所受波力及混凝土剪力關係表.....	4-53
表 4.28	防波堤胸牆現況滑動安全分析表.....	4-54
表 4.29	防波堤後側胸牆現況傾倒安全分析表.....	4-54
表 4.30	蘇澳港南防波堤沉箱現況穩定分析對照表.....	4-55

表 5.1	水上部分檢測劣化程度與評估值關係表.....	5-3
表 5.2	水下部分檢測劣化程度與評估值關係表.....	5-4
表 5.3	直立堤定期檢測評估表.....	5-5
表 5.3(續)	直立堤定期檢測評估表.....	5-6
表 5.4	港灣構造物之整體狀況指標(CI 值)分級表.....	5-8
表 5.5	使用者帳戶表.....	5-9
表 5.6	堤防型式清單表.....	5-10
表 5.7	堤防檢測位置及項目表.....	5-10
表 5.8	劣化程度清單表.....	5-10
表 5.9	維修工法清單表.....	5-11
表 5.10	維修工法對應表.....	5-11
表 5.11	損壞範圍分級表.....	5-11
表 5.12	港灣清單表.....	5-12
表 5.13	構造物基本資料表.....	5-12
表 5.14	防波堤維護工程記錄.....	5-13
表 5.15	維修紀錄表.....	5-14
表 5.16	維修項目清單表.....	5-14
表 5.17	檢測工作記錄表.....	5-15
表 5.18	測項目記錄表.....	5-15
表 5.19	水上部分維護管理工法表.....	5-17
表 5.20	水下部分維護管理工法表.....	5-18
表 5.21	港灣設施維修紀錄表.....	5-21
表 5.22	港灣設施維護工程紀錄表.....	5-22

圖 目 錄

圖 2.1	臺中港海氣象觀測站位置示意圖	2-2
圖 2.2	基隆港海氣象觀測站位置示意圖	2-2
圖 2.3	臺灣地區颱風路徑分類圖(1897~2010 年)(摘自中央氣象局)	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	目標點對颱風中心的方位角 θ_1 與颱風移動方位角 θ_2 示 意圖	2-14
圖 2.7	氣旋中心附近風速風向分布示意圖	2-16
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(摘自中央氣象局)	2-19
圖 2.10	各距離範圍 θ_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 θ_1 轉換函數	2-22
圖 2.12	各距離範圍 θ_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 θ_3 轉換函數	2-24
圖 2.14	各距離範圍 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	即時性推算花蓮港颱風波浪與實測結果比較	2-34
圖 2.20	即時性推算高雄港颱風波浪與實測結果比較	2-35
圖 2.21	即時性推算安平港颱風波浪與實測結果比較	2-35
圖 2.22	即時性推算臺北港颱風波浪與實測結果比較	2-36
圖 2.23	即時性推算臺中港颱風波浪與實測結果比較	2-36
圖 2.24	即時性推算基隆港颱風波浪與實測結果比較	2-37
圖 2.25	湯(1970)和井島(1972)推算模式模擬範圍	2-41
圖 3.1	箱型圖架構示意圖	3-10

圖 3.2	箱型圖分析流程圖	3-11
圖 3.3	臺中港 2000~2010 年極值波高箱型圖	3-12
圖 3.4	基隆港 2002~2010 年極值波高箱型圖	3-14
圖 3.5	T 年重現期極值波高估算之流程示意圖	3-16
圖 3.6	推估 1 月臺中港波浪之機率密度函數圖	3-18
圖 3.7	推估 2 月臺中港波浪之機率密度函數圖	3-19
圖 3.8	推估 3 月臺中港波浪之機率密度函數圖	3-20
圖 3.9	推估 4 月臺中港波浪之機率密度函數圖	3-21
圖 3.10	推估 5 月臺中港波浪之機率密度函數圖	3-22
圖 3.11	推估 6 月臺中港波浪之機率密度函數圖	3-23
圖 3.12	推估 7 月臺中港波浪之機率密度函數圖	3-24
圖 3.13	推估 8 月臺中港波浪之機率密度函數圖	3-25
圖 3.14	推估 9 月臺中港波浪之機率密度函數圖	3-26
圖 3.15	推估 10 月臺中港波浪之機率密度函數圖	3-27
圖 3.16	推估 11 月臺中港波浪之機率密度函數圖	3-28
圖 3.17	推估 12 月臺中港波浪之機率密度函數圖	3-29
圖 3.18	推估 1 月基隆港波浪之機率密度函數圖	3-31
圖 3.19	推估 2 月基隆港波浪之機率密度函數圖	3-32
圖 3.20	推估 3 月基隆港波浪之機率密度函數圖	3-33
圖 3.21	推估 4 月基隆港波浪之機率密度函數圖	3-34
圖 3.22	推估 5 月基隆港波浪之機率密度函數圖	3-35
圖 3.23	推估 6 月基隆港波浪之機率密度函數圖	3-36
圖 3.24	推估 7 月基隆港波浪之機率密度函數圖	3-37
圖 3.25	推估 8 月基隆港波浪之機率密度函數圖	3-38
圖 3.26	推估 9 月基隆港波浪之機率密度函數圖	3-39
圖 3.27	推估 10 月基隆港波浪之機率密度函數圖	3-40
圖 3.28	推估 11 月基隆港波浪之機率密度函數圖	3-41
圖 3.29	推估 12 月基隆港波浪之機率密度函數圖	3-42
圖 3.30	臺中港實測波浪之機率密度函數圖	3-45
圖 3.31	臺中港半經驗模式之機率密度函數圖	3-46

圖 3.32	臺中港類神經模式之機率密度函數圖	3-47
圖 3.33	基隆港實測波浪之機率密度函數圖	3-50
圖 3.34	基隆港半經驗模式之機率密度函數圖	3-51
圖 3.35	基隆港類神經模式之機率密度函數圖	3-52
圖 4.1	蘇澳港相關區位示意圖	4-2
圖 4.2	多音束監測作業範圍與船跡圖	4-4
圖 4.3	蘇澳港南外廓防波堤相關位置圖	4-4
圖 4.4a	南外廓防波堤#S05~#S06 沉箱間港內堤址 3D 點雲圖	4-5
圖 4.4b	南外廓防波堤#S06~#S07 沉箱間港外堤址 3D 點雲圖	4-5
圖 4.4c	南外廓防波堤#S18~#S19 沉箱間港外堤址 3D 點雲圖	4-6
圖 4.4d	南外廓防波堤#S20~#S21 沉箱間港外堤址 3D 點雲圖	4-6
圖 4.4e	南外廓防波堤#S25~#S26 沉箱間港內堤址 3D 點雲圖	4-7
圖 4.4f	南外廓防波堤#S25~#S26 沉箱間港外堤址 3D 點雲圖	4-7
圖 4.4g	南外廓防波堤#S33~#S34 沉箱間港內堤址 3D 點雲圖	4-8
圖 4.4h	南外廓防波堤#S33~#S34 沉箱間港外堤址 3D 點雲圖	4-8
圖 4.4i	南外廓防波堤#S38~#S39 沉箱間港內堤址 3D 點雲圖	4-9
圖 4.4j	南外廓防波堤#S38~#S39 沉箱間堤外堤址 3D 點雲圖	4-9
圖 4.5a	蘇澳港南防波堤#19 沉箱底部掏空情況	4-13
圖 4.5b	蘇澳港南防波堤#21 沉箱底部掏空情況	4-14
圖 4.5c	蘇澳港南防波堤#18 沉箱間隙量測情況	4-14
圖 4.6a	正常型消波艙內側	4-15
圖 4.6b	半數消波孔之消波艙內側	4-15
圖 4.7a	#37 沉箱消波艙破壞情況	4-16
圖 4.7b	#37 沉箱後側胸牆破壞情形	4-16
圖 4.8a	#34、#35 沉箱消波艙破壞情況	4-16
圖 4.8b	#34、#35 沉箱後側胸牆破壞情形	4-16
圖 4.9a	#31 沉箱消波艙破壞情況	4-17
圖 4.9b	#31 沉箱後側胸牆破壞情形	4-17
圖 4.10a	#24 沉箱後側胸牆破壞情形	4-18
圖 4.10b	#24 沉箱隔艙破壞情形	4-18

圖 4.11a	#25~#26 沉箱破壞情形	4-18
圖 4.11b	#25~#26 沉箱前緣鋼版樁	4-18
圖 4.12	#27 沉箱後側胸牆破壞情形	4-18
圖 4.13	胸牆後側混凝土剝落現況	4-19
圖 4.14	沉箱發生錯位現況	4-19
圖 4.15	蘇澳港南外廓防波堤原胸牆斷面示意圖(完工設計)	4-25
圖 4.16	蘇澳港南外廓防波堤單艙式消波胸牆斷面示意圖	4-25
圖 4.17	消波式沉箱波壓作用分佈圖	4-26
圖 4.18a	83.7.10 提姆颱風災害#8 沉箱胸牆	4-29
圖 4.18b	83.7.10 提姆颱風災害#31 沉箱胸牆	4-29
圖 4.18c	83.8.7 道格颱風災害#19 沉箱胸牆	4-29
圖 4.18d	83.8.7 道格颱風災害#31 沉箱胸牆	4-30
圖 4.18e	83.10.9 席斯颱風災害#19 沉箱	4-30
圖 4.18f	86.8.29 安珀颱風災害#23 沉箱	4-30
圖 4.18g	86.8.29 安珀颱風災害#23、#26~SB28、#34 沉箱	4-31
圖 4.18h	89.8.22 碧利斯颱風災害#23 沉箱	4-31
圖 4.18i	89.8.22 碧利斯颱風災害#26 沉箱	4-31
圖 4.18j	89.8.22 碧利斯颱風災害#28 沉箱	4-31
圖 4.18k	89.8.22 碧利斯颱風災害#31 沉箱	4-31
圖 4.18l	89.8.22 碧利斯颱風災害#34 沉箱	4-31
圖 4.19	防波堤直立部份波壓分佈圖	4-33
圖 4.20	#10~#39 沉箱標準斷面圖	4-38
圖 4.21	護基及堤址拋石之安定係數圖	4-42
圖 4.22	南外廓防波堤消波胸牆相關尺寸示意圖	4-48
圖 4.23	消波艙破壞示意圖	4-49
圖 4.24	南外廓防波堤沉箱分次打設胸牆示意圖	4-50
圖 4.25a	前側沉箱之剪力樁	4-51
圖 4.25b	後側沉箱之剪力樁	4-51
圖 4.26	後側胸牆傾倒受力示意圖	4-52
圖 5.1	基本資料維護類別圖	5-9

圖 5.2	工程資料維護資料庫類別圖	5-13
圖 5.3	檢測資料維護資料庫類別圖	5-15
圖 5.4	防波堤基本資料查詢示意圖	5-19
圖 5.5	防波堤位置在 google map 上示意圖	5-19
圖 5.6	系統作業流程圖	5-24
圖 5.7	系統登入畫面圖	5-24
圖 5.8	檢測表單畫面	5-25
圖 5.9	選擇檢測位置上結構物代號	5-25
圖 5.10	選擇預檢測位置	5-25
圖 5.11	選擇損壞程度	5-26
圖 5.12	選擇劣化範圍	5-26
圖 5.13	完成檢測畫面圖	5-26

第一章 前言

臺灣四周環海，開發海洋與近岸資源、沿岸國土保全及航運航行安全等為海洋國家之工作與使命，而從事港灣工程規劃設計者冀望以長期可靠之海氣象資料，作為港灣構造物、港內設施與船隻碇泊等相關事項改善之依據，尤其當颱風或異常波浪來襲襲時，能及時的提供相關安全資訊，作為港務單位維護港池安全之依據。

由於臺灣地理位置正處於西太平洋颱風發生及主要行進的區域，夏秋兩季常受颱風侵襲，而颱風帶來的強大風浪及豪雨，不僅造成陸上人員傷亡與建築物的破壞，且當颱風來襲時，因颱風風力強力吹襲海面所形成的波浪具有較長週期與較大波高，波浪能量即較平時之季節風波浪強，相對於沿岸地形或港灣結構物的破壞也隨之增加。針對臺灣現有主要港口而言，建港年期已有相當時程，部分港灣結構物因損壞而須經年進行修建維護。其原因固是受颱風波浪作用，然由於早期港口建構時現場觀測資料之匱乏，其原有使用的設計波浪條件是否適用，此即值得重新加以審視探討；另外，如何提供港務單位瞭解防波堤構造物之安全性並降低維護成本，亦是本研究審思之課題。

爰此，本研究於本年度(101 年)應用本所港研中心於臺中港與基隆港域長期觀測之波浪資料，探討其波浪極值之最適分佈函數與統計分析特性，建立波浪極值統計分析模式；另外，本年度亦開始辦理蘇澳港防波堤構造物現場圖像資料調查與堤體安全評估探討，以及建立相關構造物維護管理資料庫。本研究期望結合波浪推算及維護管理評估作業，建置檢測評估表單與維護工法，以格式化及電子資訊化型式提供港務單位一套港灣構造物維護管理資訊系統，用以瞭解結構物之穩定性及安全性，有效運用資源，延長港務設施使用年限及降低維護成本。

本報告為本研究計畫期程(民國 98~101)之第四年工作成果，報告

內容主要包括，第二章為針對臺中與基隆兩港域所辦理之港域即時性颱風波浪推算建置與探討；第三章是臺中與基隆兩港域之波浪極值統計探討及特性分析；第四章則是以蘇澳港外廓防波堤為計畫對象，初步所辦理之港灣構造物安全性評估探討，其中包含防波堤圖像調查、堤體安全性評估探討與維護方案研擬等；第五章說明初步所建構的蘇澳港防波堤維護管理資訊系統內容；最後則為本報告的結論與建議。

第二章 港域颱風波浪推算模式建立

臺灣位於西太平洋之濱，每年夏季常受颱風侵襲，經常造成人員傷亡或建築物的破壞。對國內港務單位而言，當颱風來襲時，能即時的提供相關海象預警資訊，以作為港灣構造物及港內船隻碇泊之安全防護措施參考，是為重要課題。

本計畫延續去年建置港域颱風波浪推算模式之經驗與方式，本年度擬為臺中港及基隆港建置一套結合颱風風場、數值模式與類神經網路推算的颱風波浪推算模式，並配合後端操作之視窗化介面系統，提供兩港務單位可簡易且快速操作之颱風波浪推算操作系統。本章中並引用國內常用之半經驗颱風波浪推算模式與本計畫所建立推算模式，予以現場觀測資料作一驗證比較。有關觀測資料來源及推算模式建置過程，如下分述。

2.1 資料來源與處理說明

本所港研中心於臺中港域所建置海氣象觀測站如圖 2.1 示，由於臺中港務分公司(前為臺中港務局)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 NORTEK 公司之潮波流儀監測系統，本觀測站位於臺中港北防波堤堤頭 150m 外、水深 25 m 處。

基隆港域所建置海氣象觀測站如圖 2.2 示，本觀測站於 2001 年 6 月中旬安置挪威 NORTEK 公司之潮波流儀監測系統(簡稱 AWCP)，安裝在基隆港東防波堤堤頭外水深 44 m 處，2006 年 8 月因防波堤延伸工程，移至現址。



圖 2.1 臺中港海氣象觀測站位置示意圖



圖 2.2 基隆港海氣象觀測站位置示意圖

依據本所港研中心所觀測臺中港資料，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。本計畫選取 HS (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。

颱風資料係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。

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 2.1 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

表 2.2 臺中港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

表 2.3 基隆港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

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；但本計畫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。因此本計畫針對臺中港 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。

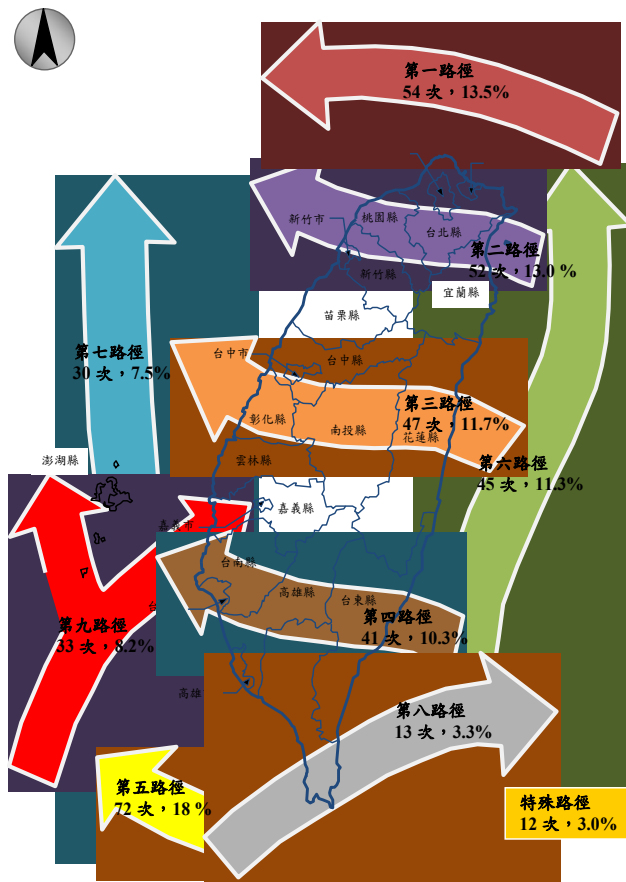


圖 2.3 臺灣地區颱風路徑分類圖(1897~2010 年)(摘自中央氣象局)

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。

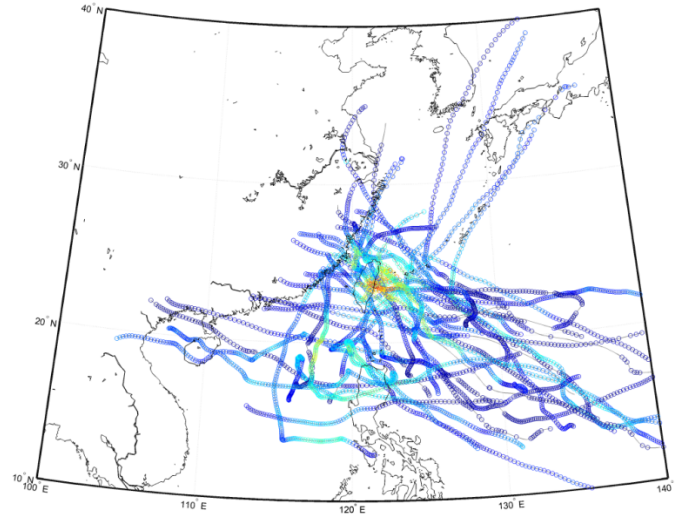


圖 2.4 颱風中心位置與相對應臺中港波高資料空間分布圖

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。

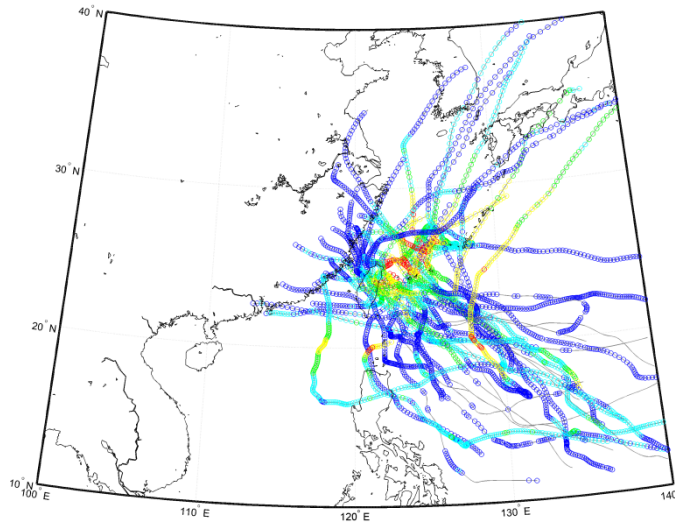


圖 2.5 颱風中心位置與相對應基隆港波高資料空間分布圖

2.2 類神經颱風波浪推算模式建置

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； θ_i 為人工神經元模型的閾值。

本計畫使用 MATLAB 類神經網路軟體，選擇其中的工具程式庫之倒傳遞網路作為颱風推算的工具。倒傳遞類神經網路(back-propagation neural network, BPNN)，屬於前向監督式學習網路，其基本原理是利用最陡坡降法(gradient steepest descent method)，疊代修正誤差函數而使

誤差函數達到最小。倒傳遞類神經網路的總體運作學習方式有兩種，一為學習過程，就是網路依既定的學習演算法，從使用的輸入資料中學習，並藉以調整網路連結的加權值；使得網路演算結果與目標輸出值相同；另一種為回想過程，網路依照設定的回想法則，以輸入資料來決定網路的輸出值。

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

1. 計算隱藏層輸出量 Z 與網路輸出量 Y

$$net_1 = \sum_i W_{1i} X_i - \theta_1 \quad (2.2)$$

$$Z = f(net_1) = \frac{e^{net_1} - e^{-net_1}}{e^{net_1} + e^{-net_1}} \quad (2.3)$$

$$net_2 = \sum_j W_{2j} X_j - \theta_2 \quad (2.4)$$

$$Y = f(net_2) = \frac{e^{net_2} - e^{-net_2}}{e^{net_2} + e^{-net_2}} \quad (2.5)$$

2. 計算隱藏層差距量 δ_1 與輸出層差距量 δ_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 ΔW

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

$$E = \frac{1}{2} \sum_j (T_j - Y_j)^2 \quad (2.8)$$

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

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

$$W_1 = W_1 + \Delta W_1 \quad (2.11)$$

$$\theta_1 = \theta_1 + \Delta \theta_1 \quad (2.12)$$

$$W_2 = W_2 + \Delta W_2 \quad (2.13)$$

$$\theta_2 = \theta_2 + \Delta \theta_2 \quad (2.14)$$

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)，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(2.15)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。

本計畫本年度針對各颱風風速及路徑變化採用群集分析法(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。

2.2.2 模式輸入之轉換函數

RSMC-Tokyo Center 的颱風氣象資料包括颱風經緯度、中心最大風速及中心氣壓，為了使類神經模式輸入的資訊更為精細與明確，本研究利用這三項颱風資料計算出 5 個類神經的輸入參數，分別為：(1) 颱風與目標點距離(D)；(2) 颱風中心對目標點的方位角(θ_1)；(3) 颱風侵襲角(θ_3)；(4) 目標點海面 10m 風速(V)；(5) 目標點上空風向(V_{deg})。由經緯度資料可計算：颱風與目標點距離(D)、颱風中心對目標點的方位角(θ_1)、颱風移動方位角(θ_2)；距離與方位角只需透過颱風中心座標與目標點座標即可計算。 θ_1 與 θ_2 如圖 2.6 示。

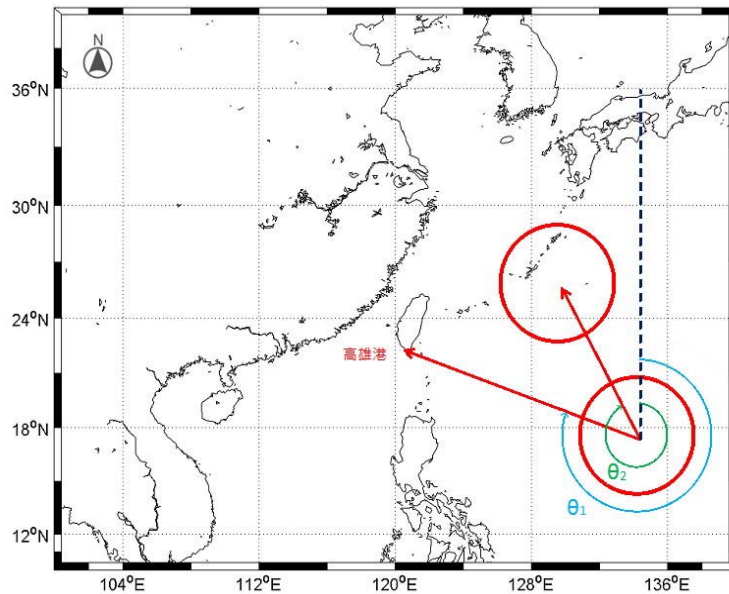


圖 2.6 目標點對颱風中心的方位角 θ_1 與颱風移動方位角 θ_2 示意圖

因北半球的颱風為逆時鐘旋轉，以颱風前進方向為中心來看，其右半圓較左半圓的風力大，故目標點所面臨的是颱風的左半圓或右半圓對於模式推算來說是一個需要考量的因素。本研究透過颱風移動方位角減去颱風中心對目標點方位角($\theta_3 = \theta_2 - \theta_1$)來定義目標點所面臨的颱風結構(左右半圓)， θ_3 定義為颱風侵襲角。以圖 2.4 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 θ_3 在 0° 至 180° 則目標推算點所面臨的是颱風的左半圓，反之，若 θ_3 在 0° 至 -180° 則目標推算點所面臨的是颱風的右半圓。圖 2.6 θ_1 小於 θ_2 ，故 θ_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(Vdeg)。RVM 係模擬颱風風場架構，在資料齊全條件下，風場可由氣壓分佈推算而得。但在絕大多數情形下，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，係採 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， ϕ 為緯度， P_c 為中心氣壓，而 P_∞ 為距颱風中心無限遠處之氣壓，可設定為 1 大氣壓(1013.3mb)。旋轉風速係指純粹由氣壓差所產

生之風速，當颱風中心靜止不動時，旋轉風速即為颱風中心附近之風速，當颱風在移動時，則應加上修正風速

$$V_t = 0.5 V_f \cos \varphi \quad (2.19)$$

其中， V_f 為颱風中心前進速度，而 φ 為至颱風中心連線與最大風速連線兩條線之間的夾角，其相互關係如圖 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 $V_r + V_t$ 。

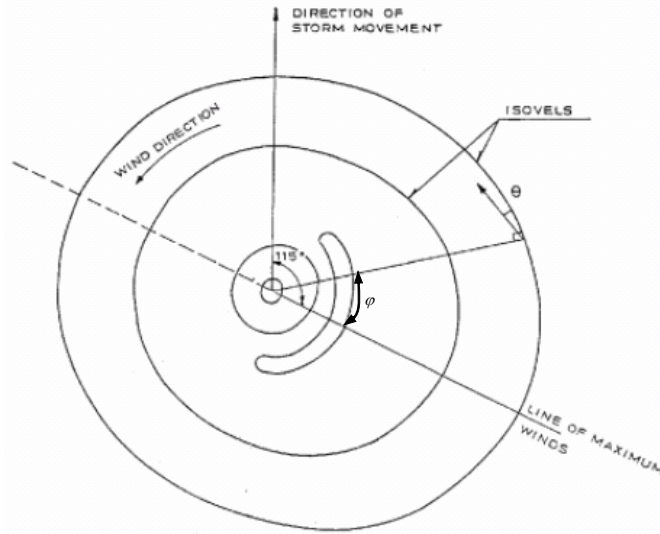


圖 2.7 氣旋中心附近風速風向分布示意圖

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 φ 、中心氣壓 P_c 及近中心最大風速 V_{max} ，可由颱風記錄直接輸入，而後即可算出目標點海面 10m 風速 V 以及目標點上空風向 V_{deg} 。本研究在輸入參數的選擇上，挑選了具有能夠代表颱風遠近特性、位置特性、左右不對稱性，共三個輸入參數 D 、 θ_1 、 θ_3 ，以及

能夠代表目標點特性的風速與風向，共兩個輸入參數 V 、 V_{deg} ，以下針對上節所計算之五個參數做進一步的探討。

1. 目標點 10m 風速 V

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

2. 颱風與目標點距離 D

颱風與目標點的距離越近，對目標點當地波浪的影響就越大，意即距離 D 越小，波高值會越大。以本研究所收集的颱風資料相對應之安平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。

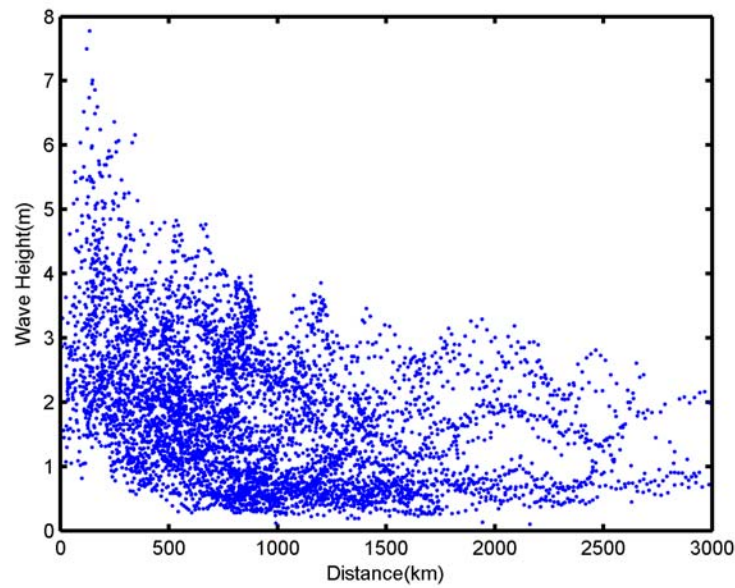


圖 2.8 颱風距離與目標點波高分布

3.目標點的方位角 θ_1

由目標點的方位角可以計算目標點是在颱風中心的哪一個方位，本研究設定正北為 0° ，若 θ_1 為 90° 表示颱風是在目標點的左側，反之若 θ_1 為 270° 則表示颱風位於目標點的東側太平洋的位置，這兩種不同的位置，會因為地形遮蔽與阻隔產生不同的影響。在目標點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安平港有直接的影響；而在目標點安平港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 θ_3

如前所述，侵襲角公式為 $\theta_3 = \theta_2 - \theta_1$ 。颱風風速結構圖如圖 2.9 所示，圖中顯示颱風暴風範圍內的風速並非均勻分布的，如以象限劃分，在北半球行進中的颱風其右前方象限的風最大，因該象限颱風環流風向與導引氣流風向相同。如向西行進之颱風此象限吹東北風與夏季西太平洋的東北信風合併而增強了風速，至於右後方及左前方象限則是偏南的風與偏西的風，因與東北信風有抵消作用，風勢較小，在左後方象限的風最小，因該象限吹西南風恰與西太平洋的東北信風相反，故

大量抵消，所以一般而言，颱風前半部風力大於後半部。由於 RVM 模型颱風模式並未考量到這種颱風的不對稱性，故需輸入此參數用以判斷目標點是位於颱風的左半圓還是右半圓(以前進方向為中心)。本研究同時考慮 θ_3 與 θ_1 兩種方位角的影響，意即同時考慮到颱風的不對稱性與地形的遮蔽效應，而同時 θ_3 隱含了 θ_2 (颱風移動方位角)的資訊，意即輸入 θ_3 也輸入了 θ_2 ，也等於將颱風的行進路徑一起納入考量。

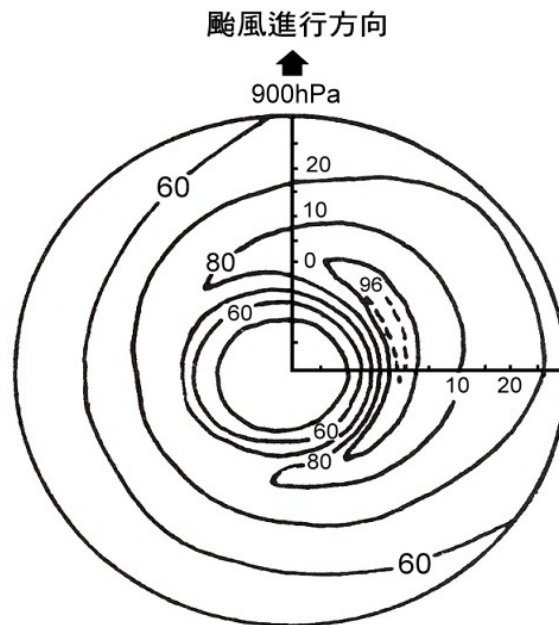


圖 2.9 颱風在等壓面上內平均風速分布示意圖(摘自中央氣象局)

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。由於目標點安平港位於臺灣西南方，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。

2.2.3 歸屬函數修正輸入參數

本計畫在輸入參數的選擇上，挑選了具有能夠代表颱風遠近特性、位置特性、左右不對稱性，共三個輸入參數 D 、 θ_1 、 θ_3 ，以及能夠代表目標點特性的風速與風向，共兩個輸入參數 V 、 V_{deg} 。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 θ_1	-0.11
颱風侵襲角 θ_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。

θ_1 、 θ_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 θ_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° 輸入類神經，告訴類神經當角度等於 90° 時波高就會大，但在類神經內部 90° 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。

本計畫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 θ_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。為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，本計畫將三個角度參數做了以下分析。

1. 目標點方位角 θ_1

本計畫將距離 2400km 以外的目標點方位角 θ_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° 至 360° 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 θ_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， θ_1 在 250° 至 360° 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° 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 θ_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 θ_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 θ_1 可對應不同的轉換值。

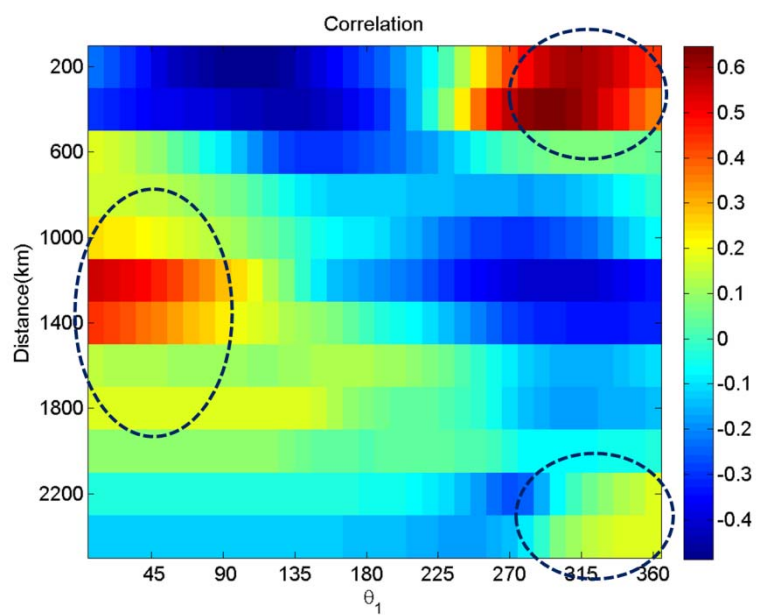


圖 2.10 各距離範圍 θ_1 經高斯轉換後與波高的相關性分布圖

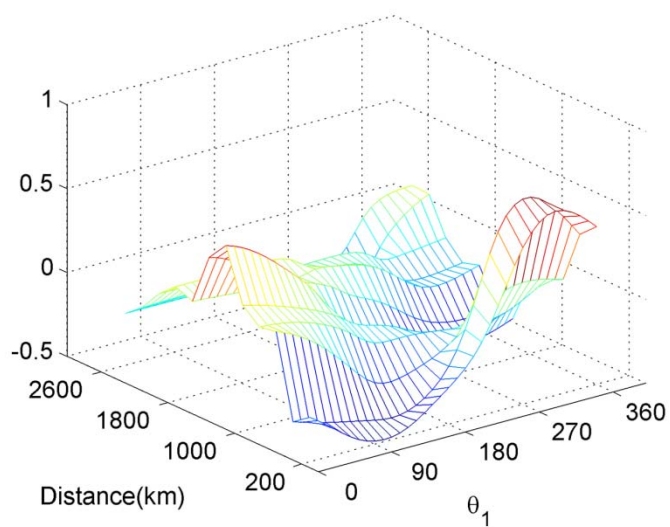


圖 2.11 對應角度與距離的二維 θ_1 轉換函數

2. 颱風侵襲角 θ_3

將距離 2400km 以外的颱風侵襲角 θ_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° 至 180° 的高斯轉換，其轉換結果與波高的相關性分布示如圖 2.12。

由圖 2.12 中發現其結果與 θ_1 相同，在空間上在不同的距離，其 θ_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 θ_1 相同，本研究採用二維轉換函數來進行 θ_3 的轉換，如圖 2.13 所示。

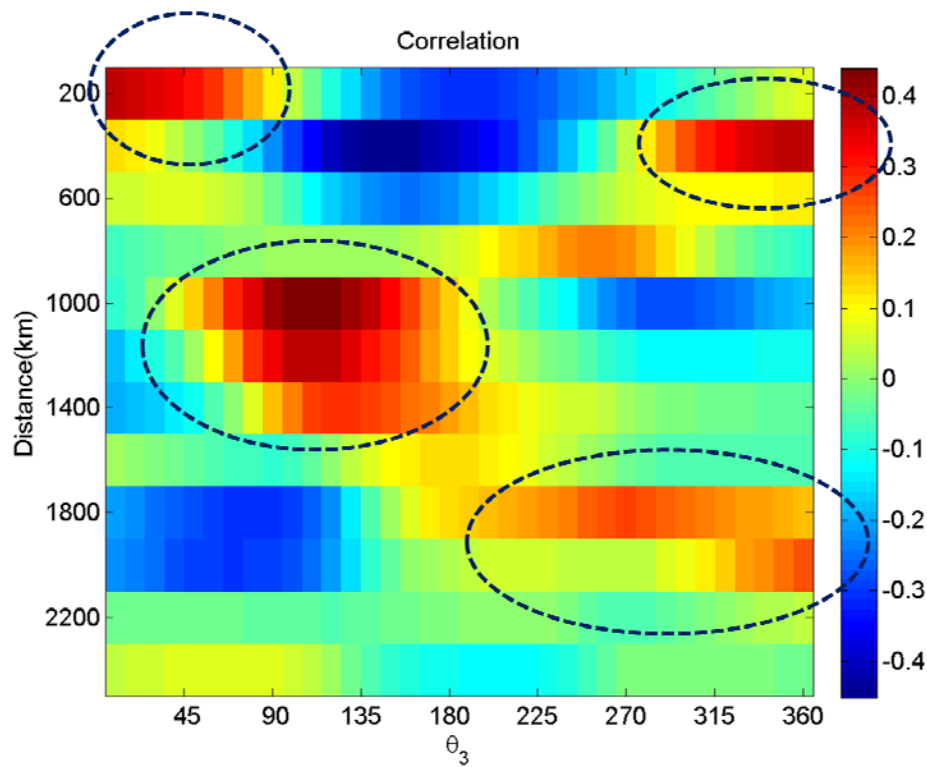


圖 2.12 各距離範圍 θ_3 經高斯轉換後與波高的相關性分布圖

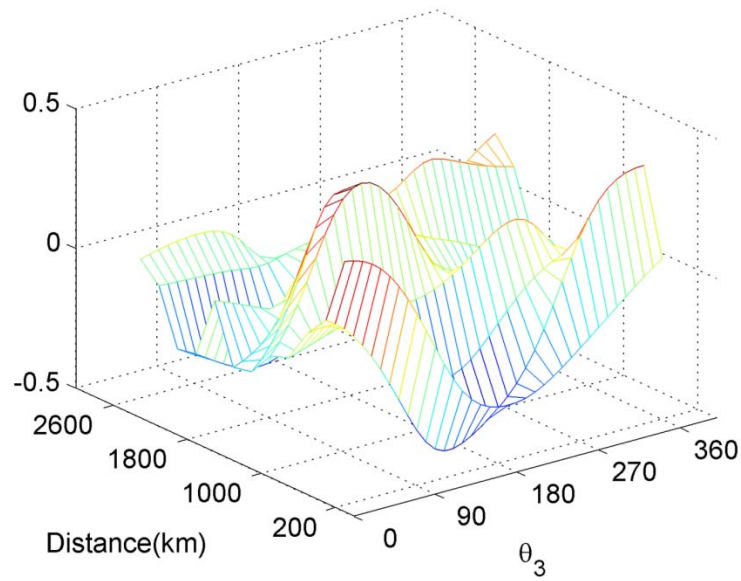


圖 2.13 對應角度與距離的二維 θ_3 轉換函數

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° 至 360° 的高斯轉換，其轉換結果與波高的相關性分布示如圖 2.14。

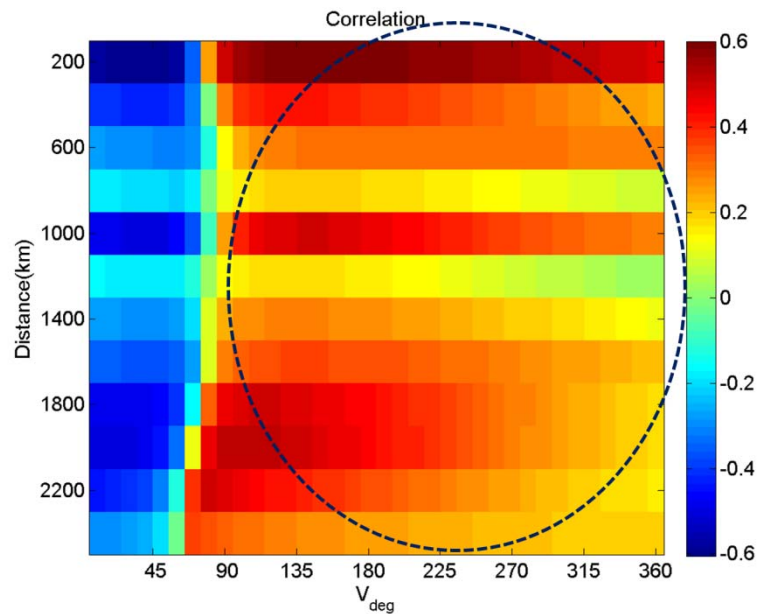


圖 2.14 各距離範圍 V_{deg} 經高斯轉換後與波高的相關性分布圖

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° 至 360° 則逐漸遞減。代表高斯轉換後中心位置約以 90° 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° 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° 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° 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° 與 90° 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。

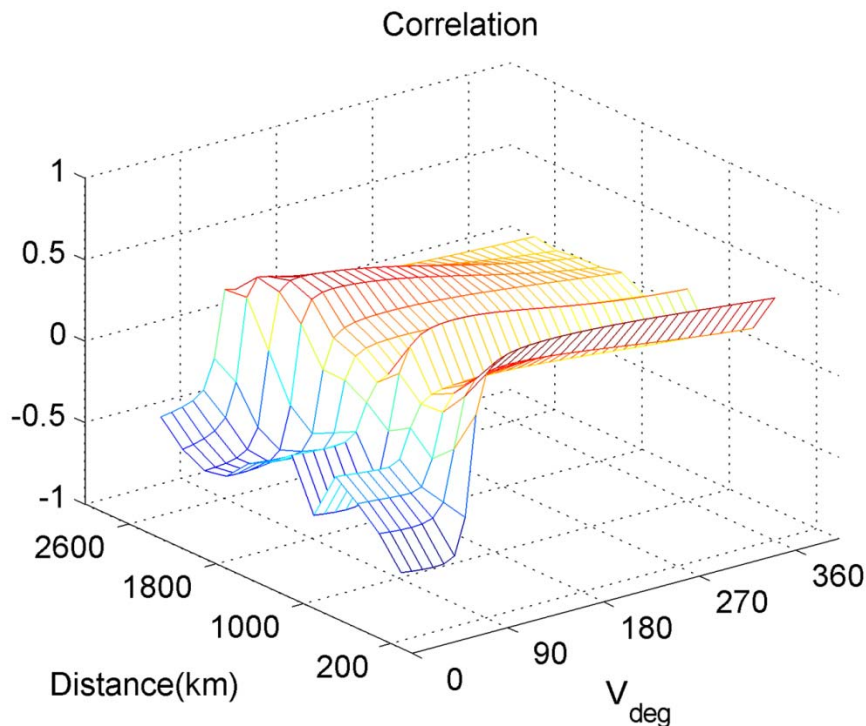


圖 2.15 對應角度與距離的二維 V_{deg} 轉換函數

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。 θ_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、 θ_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(θ_1)	0.20
侵襲角影響度(θ_3)	0.16
風向影響度(V_{deg})	0.29

2.2.4 轉換函數與訓練函數

為了避免網路的複雜化以及過度學習的情況發生，Kecman(2001) 提出隱藏層的個數宜採用 1 或 2 層具有最好的收斂性質，因每增加一層隱藏層需要計算的權重值與偏權值數量就會突增，需要測試的神經元個數組合亦會增加，故過多的隱藏層會使網路趨向複雜，減緩其收斂速度。本計畫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。

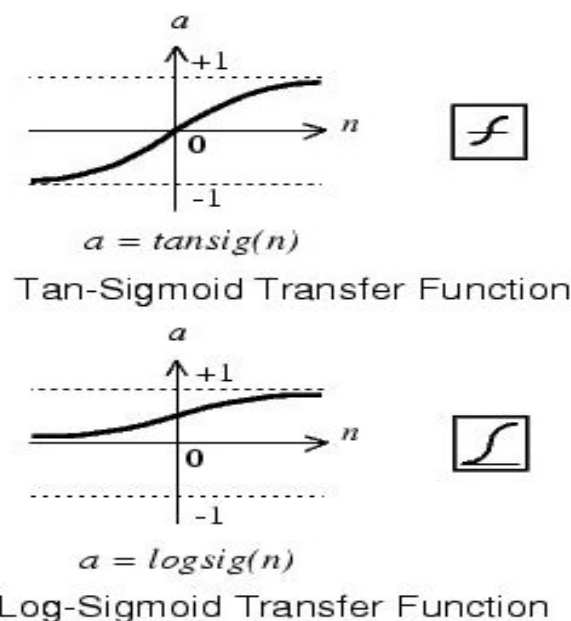


圖 2.16 正切雙彎曲轉換函數與雙彎曲函數

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。本計畫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)，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。

2.2.5 隱藏層神經元測試

決定隱藏層個數後，隱藏層神經元個數的多寡亦對網路有著相當大的影響，使用過少的神經元個數無法有效的建構適當的網路來描述問題，使用過多的神經元個數會使網路的複雜度過高，易發生過度學習的狀況，甚至造成模擬的結果有雜訊的產生，失去了網路的推演能力。本計畫使用 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 類神經颱風波浪推算結果

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

$$R = \frac{\sum_m \sum_n ((H_{s,obs})_{mn} - \bar{H}_{s,obs}) ((H_{s,num})_{mn} - \bar{H}_{s,num})}{\sqrt{\left(\sum_m \sum_n ((H_{s,obs})_{mn} - \bar{H}_{s,obs})^2 \right) \left(\sum_m \sum_n ((H_{s,num})_{mn} - \bar{H}_{s,num})^2 \right)}} \quad (2.21)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{mn} \sum_m \sum_n ((H_{s,obs})_{mn} - (H_{s,num})_{mn})^2} \quad (2.22)$$

$$\Delta H_{s,p} = MAX(H_{s,num}) - MAX(H_{s,obs}) \quad (2.23)$$

$$\Delta t_p = t_{p,num} - t_{p,obs} \quad (2.24)$$

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(2.23)式可知，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(2.24)式可知，若 Δt_p 為正值，表示模式推算的示性波高最大值發生時間較實測晚，若為負值則表示較實測早。另外本文相關表格中為避免常態性的誤差分布造成平均值偏小的狀況，在 $\Delta H_{s,p}$ 與 Δt_p 的平均值部分採用絕對值平均來表示。以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)	Δt_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)	Δt_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 Δt_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 Δt_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 Δt_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 Δt_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 Δt_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 Δt_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之風險分析

依據前節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 Δt_p 等四個誤差特性來表現各場颱風的推算結果，本節則以波浪推算模式其推算波高峰值的誤差來做風險分析，臺中港的波浪推算風險分析如圖 2.17。

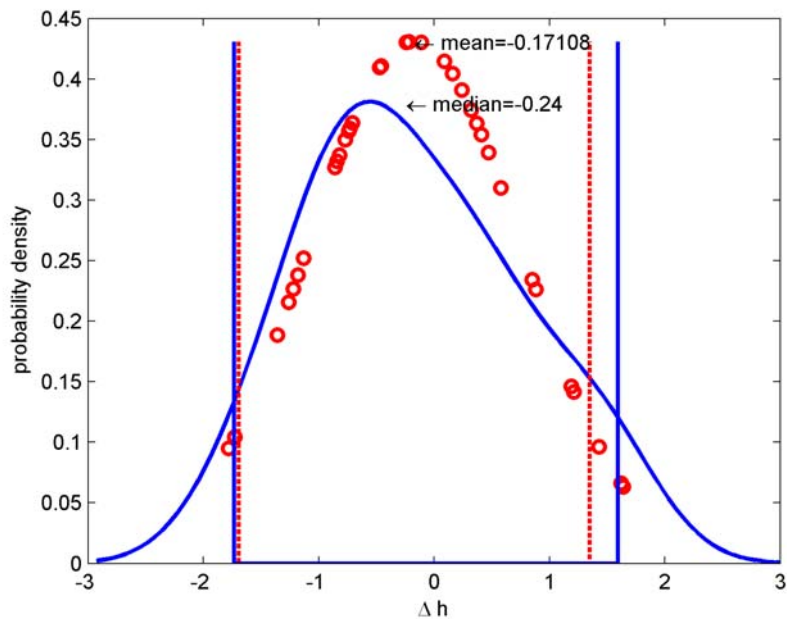


圖 2.17 臺中港類神經颱風波浪推算模式風險分析

由圖 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%。

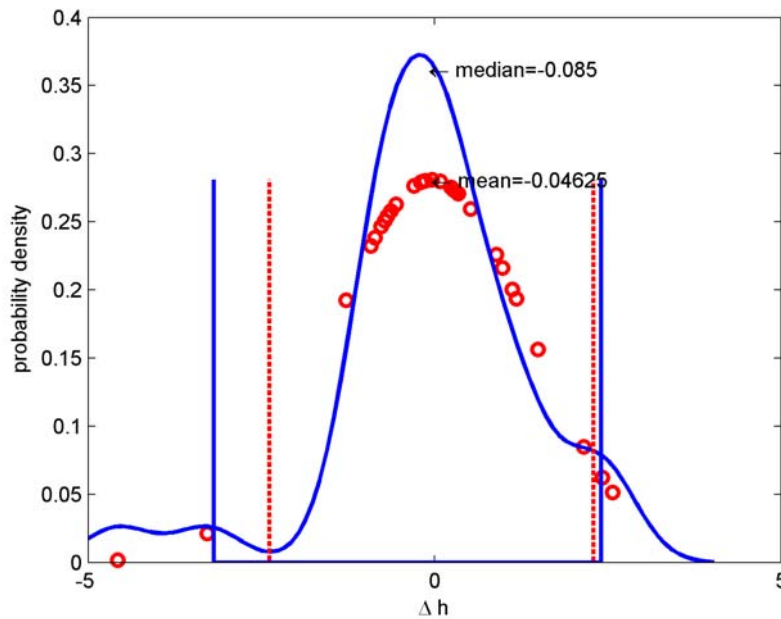


圖 2.18 基隆港類神經颱風波浪推算模式風險分析

2.5 即時性颱風波浪推算結果

本計畫已完成花蓮港、高雄港、安平港、臺北港、臺中港及基隆港等六個港域之類神經颱風波浪推算模式建構，本節以今年侵臺颱風蘇拉進行即時性的颱風波浪推算驗證。本項推算驗證係於中央氣象局開始發佈颱風警報時即先行進行推算，其後再依每次颱風警報資訊逐次推算，最後再與實測資料作一比對，相關結果如下所述。

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。

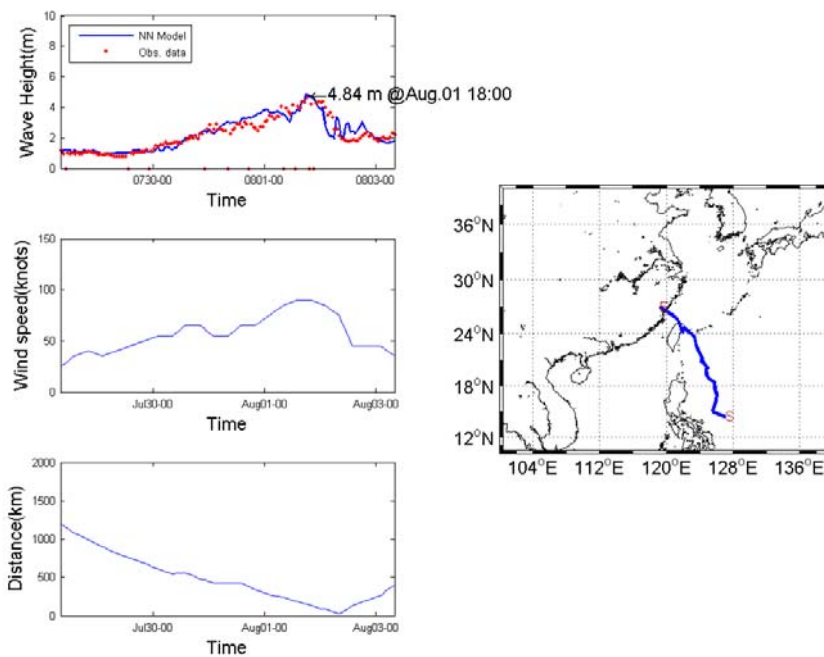


圖 2.19 即時性推算花蓮港颱風波浪與實測結果比較

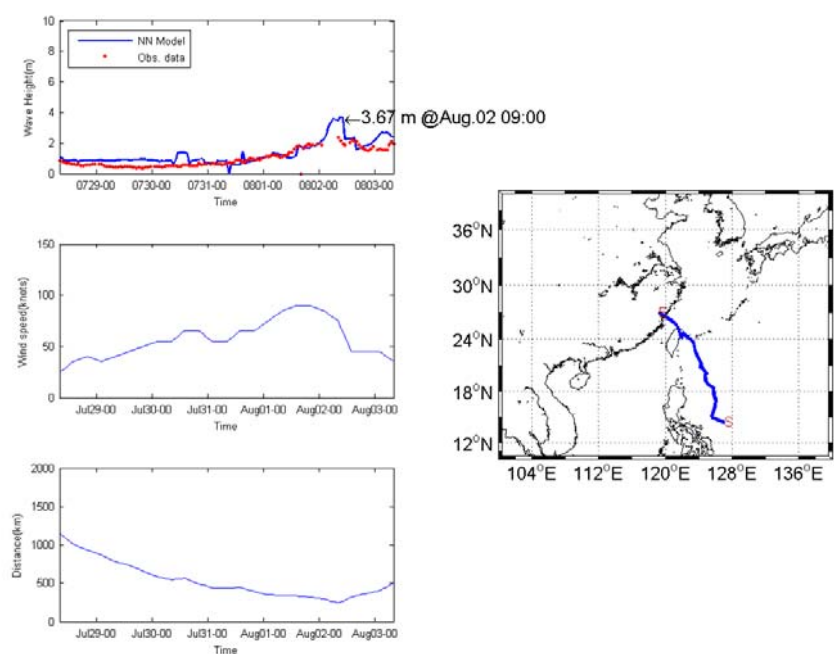


圖 2.20 即時性推算高雄港颱風波浪與實測結果比較

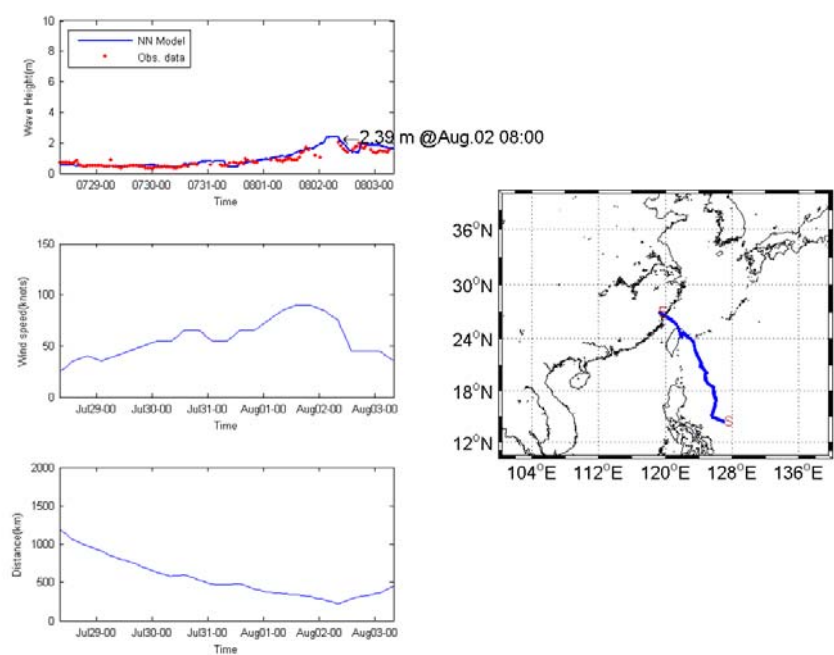


圖 2.21 即時性推算安平港颱風波浪與實測結果比較

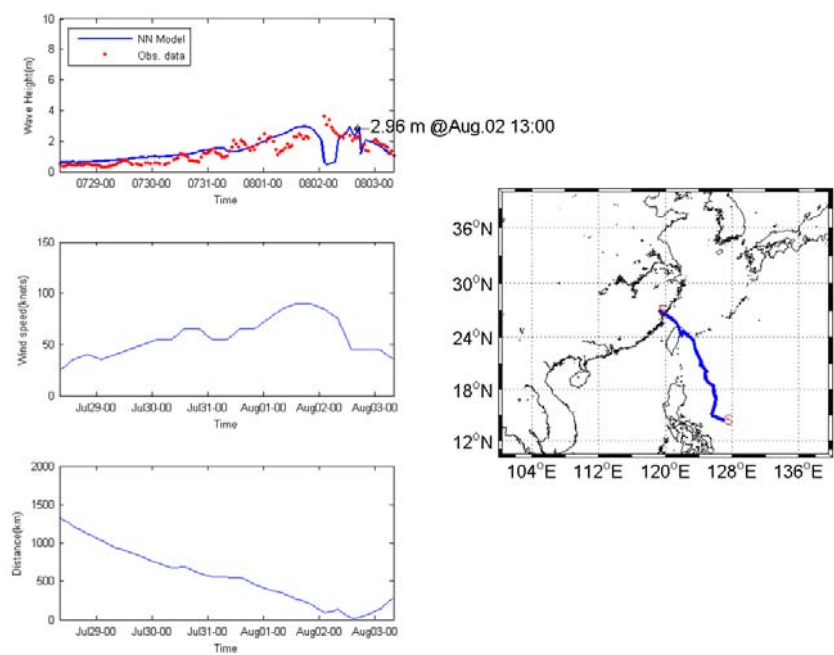


圖 2.22 即時性推算臺北港颱風波浪與實測結果比較

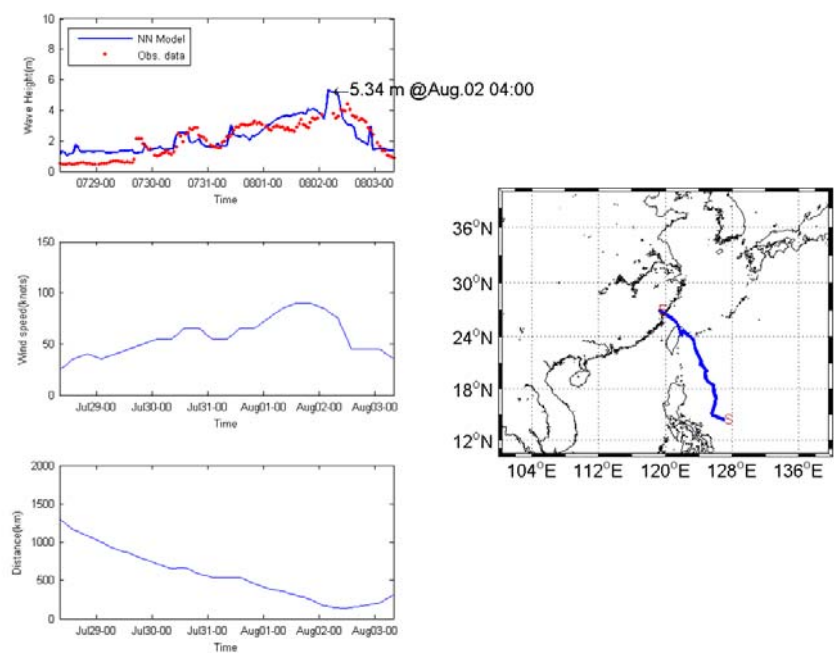


圖 2.23 即時性推算臺中港颱風波浪與實測結果比較

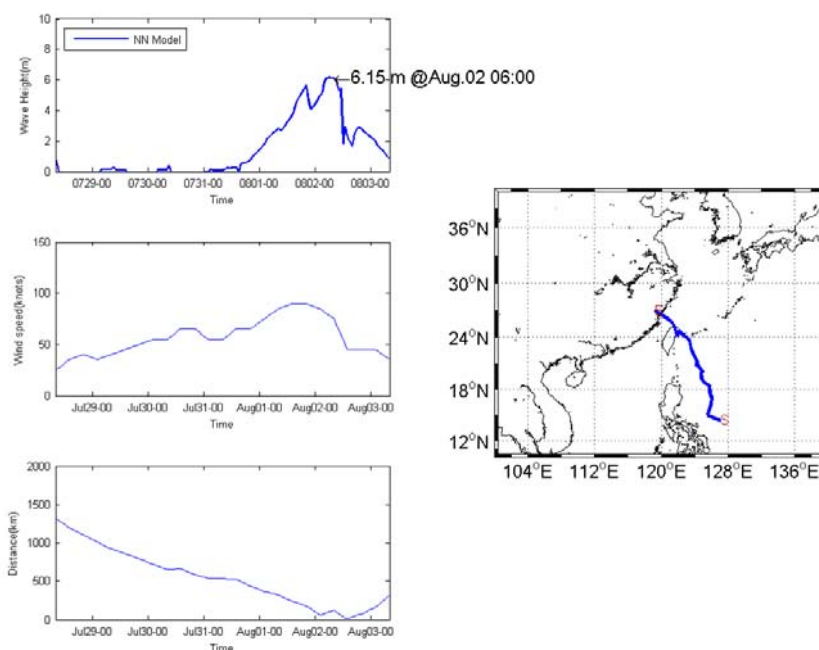


圖 2.24 即時性推算基隆港颱風波浪與實測結果比較

2.6 半經驗颱風波浪推算模式

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(1993)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，其基本原理概述如下。

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_θ 將可寫成

$$H_\theta = H \cos \theta \quad (2.25)$$

式中 H 為前一推算點之波高， θ 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

$$\frac{gH}{U^2} = \alpha \tanh \left[k_1 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{1/2} \right] \quad (2.26)$$

$$\frac{gT}{2\pi U} = \beta \tanh \left[k_2 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{1/3} \right] \quad (2.27)$$

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， α 、 β 、 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，1968)

$$\frac{gH}{U^2} = \alpha \tanh \left[k_3 \left(\frac{gD}{U^2} \right)^{3/4} \right] \tanh \left\{ \frac{k_1 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{1/2}}{\tanh \left[k_3 \left(\frac{gD}{U^2} \right)^{3/4} \right]} \right\} \quad (2.28)$$

$$\frac{gT}{2\pi U} = \beta \tanh \left[k_4 \left(\frac{gD}{U^2} \right)^{3/8} \right] \tanh \left\{ \frac{k_2 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{1/3}}{\tanh \left[k_4 \left(\frac{gD}{U^2} \right)^{3/8} \right]} \right\} \quad (2.29)$$

式中 D 表示水深，常數 $k_3=0.578$ ， $k_4=0.520$ 。當 $D \rightarrow \infty$ 時，式(2.28)及(2.29)可簡化為式(2.26)及(2.27)。

3.湧浪之計算

當風向改變角度 θ 大於 60° 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下式。

$$\frac{H_f}{H_d} = \cosh \left\{ 0.66 \left(\frac{F}{H_f} \right)^{0.06} \left(\frac{D}{F} \right)^{0.25} \tanh \left[3 \left(\frac{D}{F} \right)^{0.3} \right] \right\} \quad (2.30)$$

$$\frac{T_d}{T_f} = \cosh \left\{ 1.74 \left(\frac{2\pi F}{gT_f^2} \right)^{-0.05} \left(\frac{D}{F} \right)^{0.2} \tanh \left[1.02 \left(\frac{2\pi F}{gT_f^2} \right)^{-0.04} \left(\frac{D}{F} \right)^{0.32} \right] \right\} \quad (2.31)$$

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

$$\vec{u} = \vec{u}_1 + \vec{u}_2 \quad (2.32)$$

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 $\vec{u}_2$ 之大小可由下式計算。

$$u_1 = c_1 \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho_a} \frac{r_0}{r} e^{-\frac{r_0}{r}} + \left(\frac{fr}{2} \right)^2 - \frac{fr}{2}} \quad (2.33)$$

$$u_2 = c_2 \frac{\sqrt{\frac{\Delta P}{\rho_a} \frac{r_0}{r} e^{-\frac{r_0}{r}} + \left(\frac{fr}{2}\right)^2} - \frac{fr}{2}}{\sqrt{\frac{\Delta P}{\rho_a} \frac{1}{e} + \left(\frac{fr_0}{2}\right)^2} - \frac{fr_0}{2}} \quad (2.34)$$

式中 ρ_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 $= 2\omega \sin \varphi$ ； ω 為地球自轉角速度； φ 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° 且反時針向內吹，一般 $c_1=0.6\sim 0.65$ ； c_2 為 0.7 ； $\bar{u}_2$ 為方向同颱風之移動風向； ΔP 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

$$P(r) = P_c + \Delta P e^{-\frac{r_0}{r}} \quad (2.35)$$

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° 、北至北緯 28° 、西至東經 116° 、東至東經 126° ，地形格網的解析精度為 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ (約為 10×10 公里)，如圖 2.25 所示。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 40×40 公里)，設定方式是以目標推算點為中心，東西南北各 0.2° 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。

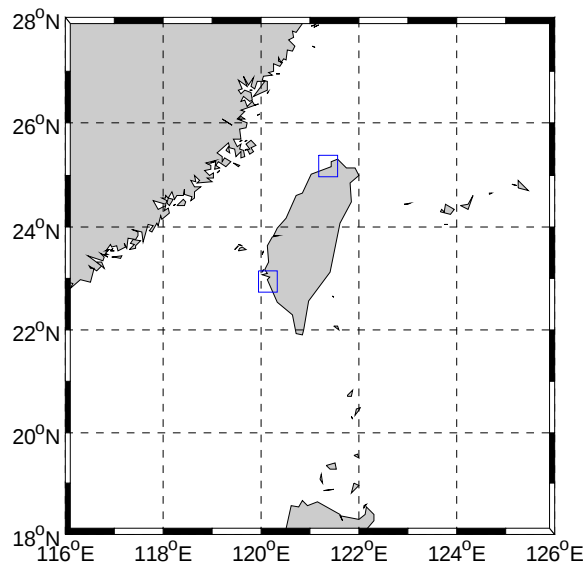


圖 2.25 湯(1970)和井島(1972)推算模式模擬範圍

2.7 半經驗颱風波浪模式推算結果

本計畫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，並與前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 2.8，基隆港颱風波浪推算結果如表 2.9。

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 2.8 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 Δt_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 Δt_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。

基隆港只有 29 場有被推算出結果，表 2.9 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 Δt_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 Δt_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。

表 2.8 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)	Δt_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

表 2.9 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)	Δt_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

第三章 港域波浪極值統計特性分析

對使用年限較長之港灣或海岸工程規劃設計所需的設計波浪條件而言，應有較長時間的實測波浪資料或推算波浪資料來決定。針對臺灣現有主要港口，由於建構時期現場觀測資料之匱乏，其原有使用的設計波浪條件即值得重新加以審視探討。

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。因此，本研究提出一個分析極值波高的季節性變化之方法與過程，考慮極值波高之年週期與半年週期的季節性變化影響，用以改善一整年極值分佈參數的變異。藉由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。期望以較佳之波浪極值統計分析結果，提供相關分析模式的適用性及引領未來港灣、海岸工程規劃設計或環評要求所需之設計波浪條件的重新省思。

3.1 波浪極值統計分析方法

本節中先行概述擬應用之極值統計分析的相關理論，包括資料的選取方式、極值分布函數的種類、極值分布函數中的參數推估方法，以及檢定樣本的統計特性，判定是否適用於所選定的極值分布函數與參數推定。

3.1.1 極值分布函數

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

1.極值 I 型分布(FT- I 型分布，又稱 Gumbel 分布)

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{x-B}{A}}}, -\infty < x < \infty \quad (3.1a)$$

$$f(x) = \frac{1}{A} e^{-\frac{x-B}{A}} e^{-\frac{x-B}{A}} \quad (3.1b)$$

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

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

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

3. Weibull 分佈

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k}, B \leq x < \infty \quad (3.3a)$$

$$f(x) = \frac{k}{A} \left(\frac{x-B}{A}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k} \quad (3.3b)$$

4.對數常態分佈 (lognormal distribution)

$$F(x) = \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf}\left(\frac{\ln x - B}{\sqrt{2}A}\right)\right), 0 < x < \infty \quad (3.4a)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}Ax} e^{-\frac{(\ln x - B)^2}{2A^2}} \quad (3.4b)$$

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

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \quad (3.4c)$$

(3.1)式至(3.4)式中， 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(3.2)式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。

3.1.2 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。

1. MOM 推定法

若已選出之分布函數後依統計則可計算出其統計量及函數之參數，如表 3.1 所示。

表 3.1 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}	$e^{\left(B + \frac{A^2}{2} \right)}$	$e^{\left(B + \frac{A^2}{2} \right)} (e^{A^2} - 1)^{1/2}$

表 3.1 中， $\Gamma(\cdot)$ 為 Gamma 函數， γ 為 Euler 數， $\gamma = 0.5772\dots$ 。

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

$$L(x; A, B) = \prod_{i=1}^n \frac{1}{A} e^{-\frac{x_i - B}{A}} e^{-\frac{x_i - B}{A}} \quad (3.5)$$

$$l(x; A, B) = \sum_{i=1}^n -\frac{x_i - B}{A} - e^{-\frac{x_i - B}{A}} - n \ln(A) \quad (3.6)$$

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(3.6)式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。

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

$$F_m = 1 - \frac{m - \alpha}{N + \beta}, \quad m = 1, 2, \dots, N \quad (3.7)$$

α 及 β 值在不同分布函數其值不同如下所示(Goda, 2000)。

表 3.2 計算樣本順位機率之 α 及 β 值

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

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。

3.1.3 信賴檢定

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

$$x_m = ay_m + b \quad (3.8)$$

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

$$\text{Gumbel : } y_m = -\ln(-\ln F_m) \quad (3.9a)$$

$$\text{GEV : } y_m = \frac{1}{k}[(-\ln F_m)^{-k} - 1] \quad (3.9b)$$

$$\text{Weibull : } y_m = [-\ln(1 - F_m)]^{1/k} \quad (3.9c)$$

$$\text{Lognormal : } y_m = \text{inverf}(F_m) \quad (3.9d)$$

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

$$\Delta \bar{r} = e^{\bar{a} + \bar{b} \ln N + \bar{c} (\ln N)^2} \quad (3.10)$$

(3.10)式中 N 為樣本個數係數， $\bar{a}$ 、 $\bar{b}$ 及 $\bar{c}$ 值依不同分佈示如表 3.3。

表 3.3 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

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。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - x_m)^2} \quad (3.11)$$

其中 x_m 為推估各排序機率下之波高。

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：

$$ER = |x_{MAX} - (x_{MAX})_m| \quad (3.12)$$

3.1.4 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。

1. Goda(2000)方法

Gumbel 分佈之估算值之標準偏差量為

$$\sigma(x_R) = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[1 + 0.885(y_R - \gamma) + 0.6687(y_R - \gamma)^2 \right]^{1/2} \sigma_x \quad (3.13)$$

(3.13)式中 σ_x 為樣本 x 之標準偏差， y_R 為重現期之基準化變量，即(4.10)式， 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 σ_z 乘以樣本 x 之標準偏差 σ_x ，當做推算偏差量

$$\sigma(x_R) = \sigma_x \cdot \sigma_z \quad (3.14)$$

Gumbel、GEV 及 Weibull 分佈之標準偏差 σ_z 為：

$$\sigma_z = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[1.0 + \hat{A}(y_R - c)^2 \right]^{1/2} \quad (3.15)$$

而 $\hat{A}$ 值在 Gumbel 及 Weibull 分佈為：

$$\hat{A} = a_1 e^{a_2 N^{-1.3}} \quad (3.16a)$$

但 GEV 及 FT-II 之 $\hat{A}$ 值可表為

$$\hat{A} = a_1 e^{a_2 \left[\ln \left(\frac{N}{N_0} \right) \right]^2 - \kappa \left[\ln \left(\frac{1}{v_0} \right) \right]^2} \quad (3.16b)$$

(3.15)式與(3.16)式中之係數如表 3.4 所示。

表 3.4 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	κ	c	N_0	v_0
Gumbel	0.64	9.0	0.93	0		
GEV ($1/k=2.5$)	1.27	0.12	0.24	0.3	23	1.34
($1/k=4.33$)	1.23	0.09	0.36	0.2	25	0.66
($1/k=5.0$)	1.34	0.07	0.41	0.1	35	0.45
($1/k=10.0$)	1.48	0.06	0.47	0.0	60	0.34
Weibull ($k=0.75$)	1.65	11.4	-0.63	0.0		
($k=1.0$)	1.92	11.4	0.00	0.3		
($k=1.4$)	2.05	11.4	0.69	0.4		
($k=2.0$)	2.24	11.4	1.34	0.5		

至於對數常態函數之 σ_z 則為：

$$\sigma_z = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[1.2 + 0.65(y_R - 0.2)^{2.0} \right]^{1/2} \quad (3.17)$$

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

$$IE = \begin{bmatrix} -\frac{\partial^2 l}{\partial A^2} & -\frac{\partial^2 l}{\partial A \partial B} \\ -\frac{\partial^2 l}{\partial A \partial B} & -\frac{\partial^2 l}{\partial B^2} \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

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

$$x_R = B - A \ln(F_R) \quad (3.19)$$

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

$$\nabla x_R = \left[\frac{\partial x_R}{\partial A}, \frac{\partial x_R}{\partial B} \right] = [-\ln F_R, 1] \quad (3.20)$$

估算值之變異數則為

$$\text{Var}(x_R) = \nabla x_R V (\nabla x_R)^T \quad (3.21)$$

將(3.21)式取開根號則為估算值之標準偏差量。

3.2 資料來源與處理方法

本節將說明資料的來源與相關處理方法，其中先說明遺漏資料補齊方法，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。

3.2.1 資料選取及補遺

本研究所分析的波浪觀測資料為本所港灣技術研究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，本研究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。

3.2.2 箱型圖分析方法

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，本研究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。本研究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 3.1 所示。

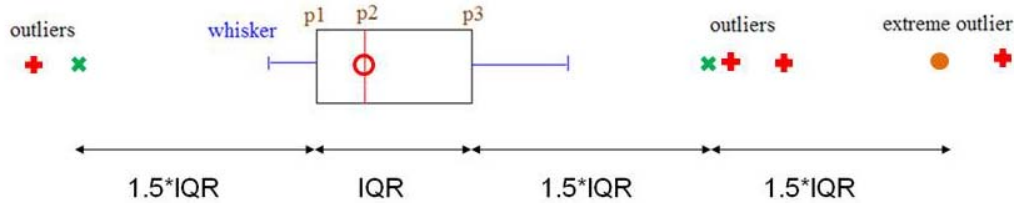


圖 3.1 箱型圖架構示意圖

圖 3.1 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。

$$I_i = N*i/4, \quad i=1,2,3,4 \quad (3.22)$$

式(3.22)中，N 為總資料個數。 I_i 為排序資料中第 i 個四分位數的位置， p_i 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(3.22)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，如圖 3.2 流程圖所示。

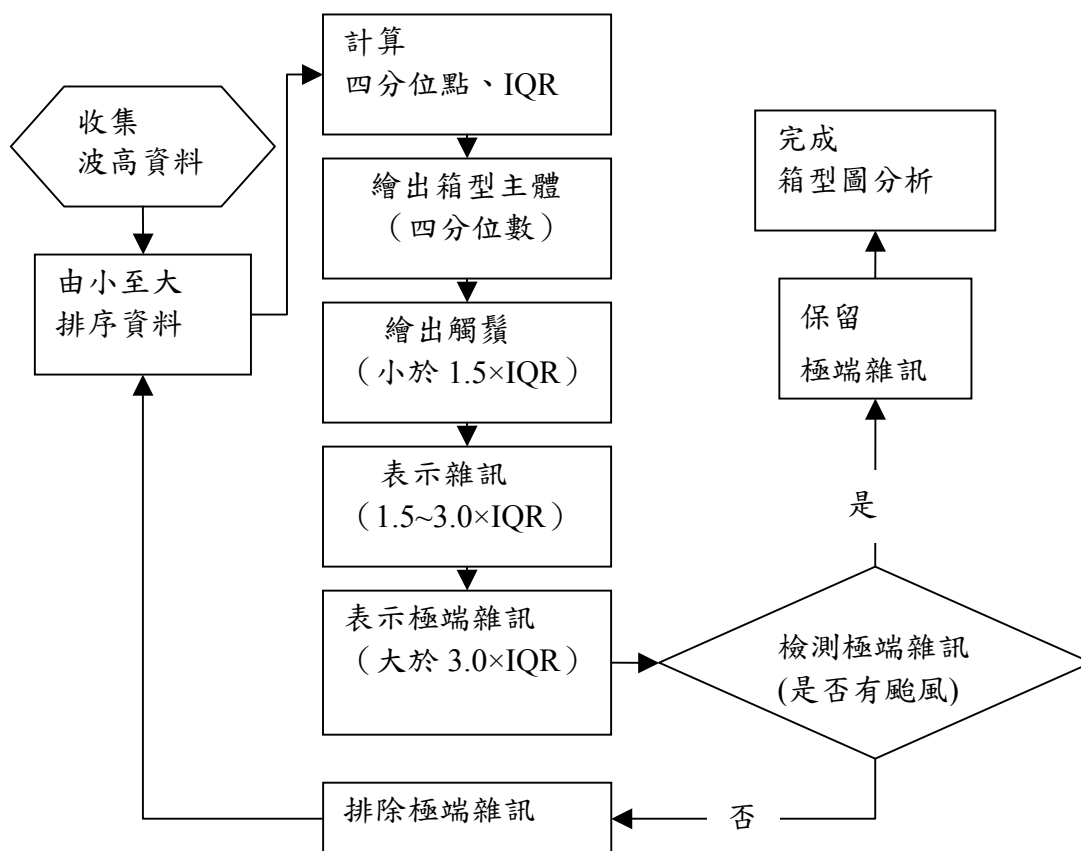


圖 3.2 箱型圖分析流程圖

圖 3.3 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 3.1 所示。由圖 3.3 與表 3.5 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 3.5 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

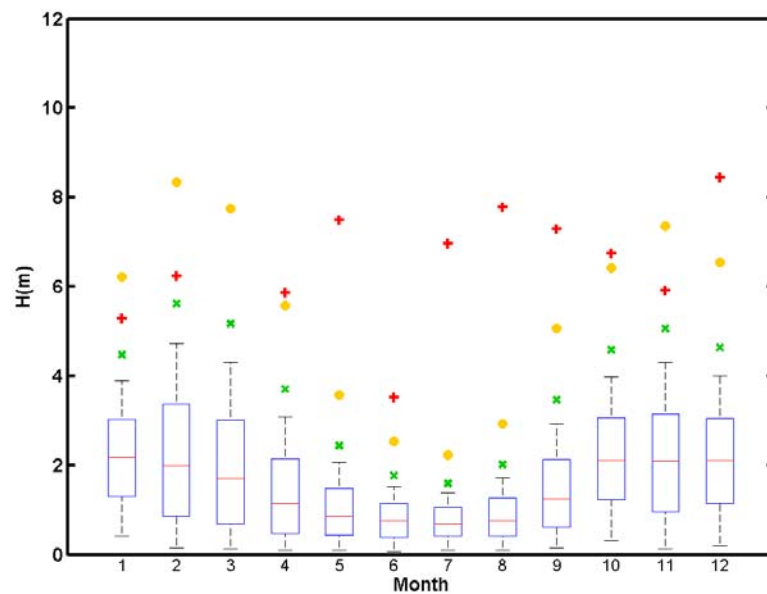


圖 3.3 臺中港 2000~2010 年極值波高箱型圖

以月最大法選取的臺中港每月最大波高資料如表 3.6 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 3.6 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 3.6 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 3.6 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 3.4 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 3.1 所示。由圖 3.4 與表 3.7 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 3.7 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

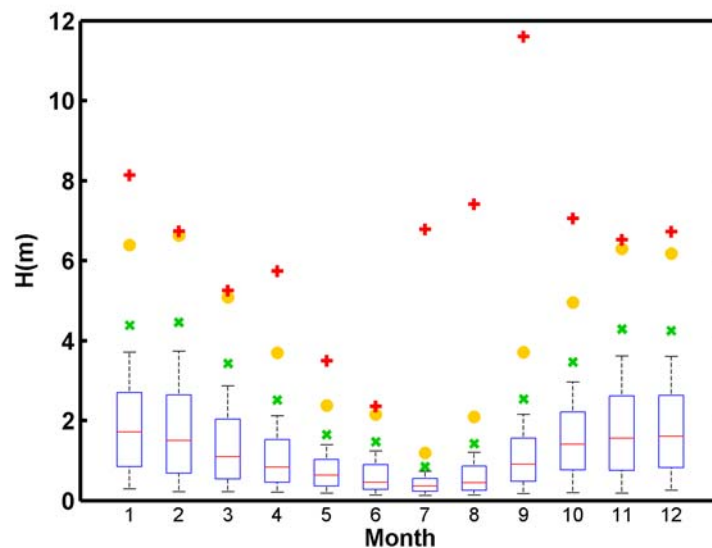


圖 3.4 基隆港 2002~2010 年極值波高箱型圖

表 3.8 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 3.8 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。9 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 3.8，表 3.8 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。

3.2.3 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(3.23)式中可計算 T 年重現期的可靠度累積機率 F_T

$$F_T = 1 - 1/T \quad (3.23)$$

將 F_T 取代式(3.9)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(3.8)，可得 T 年重現期的極值波高 x_T ，相關流程如圖 3.5 所示。

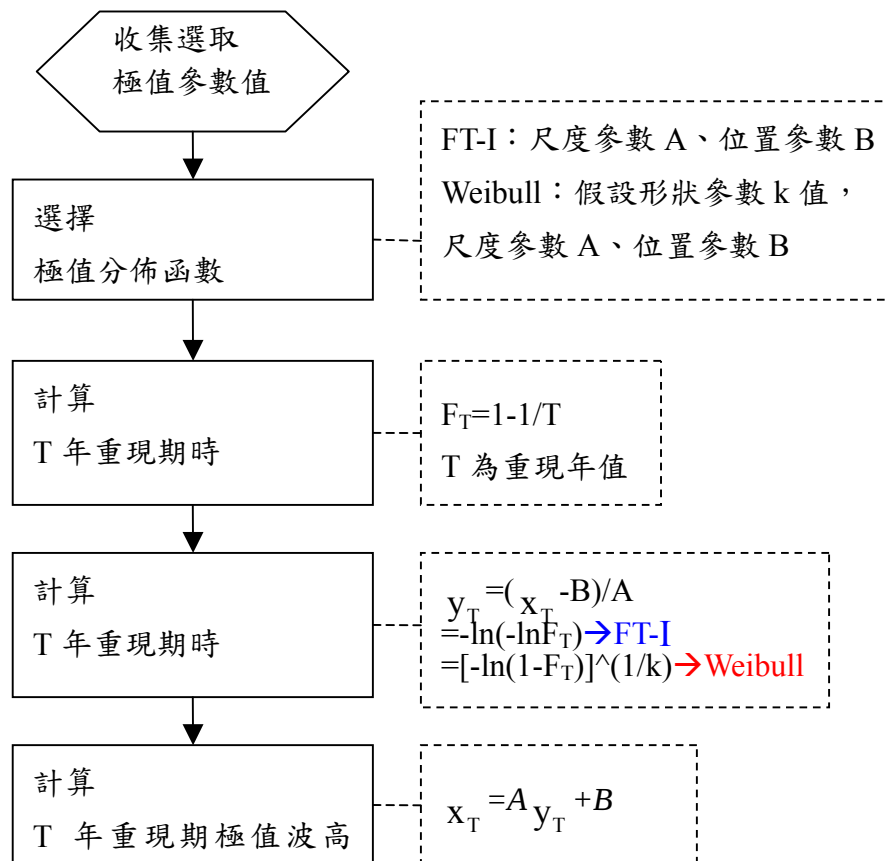


圖 3.5 T 年重現期極值波高估算之流程示意圖

3.3 月極值統計分析結果

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 3.9 至表 3.20 及圖 3.6 至圖 3.17 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(σ)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 3.9 推估 1 月臺中港波浪之各重現期波高及標準偏差

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	-
σ (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	-

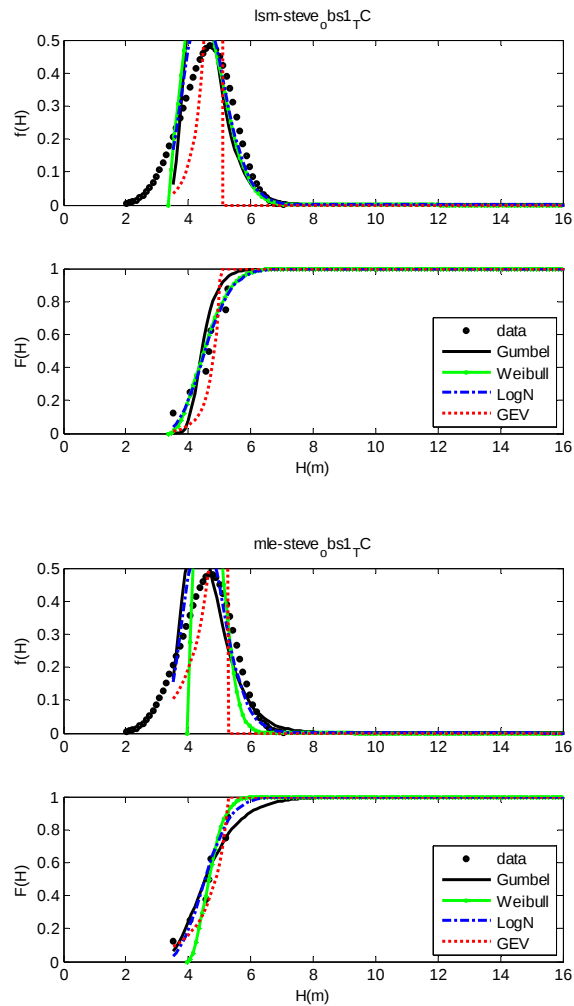


圖 3.6 推估 1 月臺中港波浪之機率密度函數圖

表 3.10 推估 2 月臺中港波浪之各重現期波高及標準偏差

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
σ (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

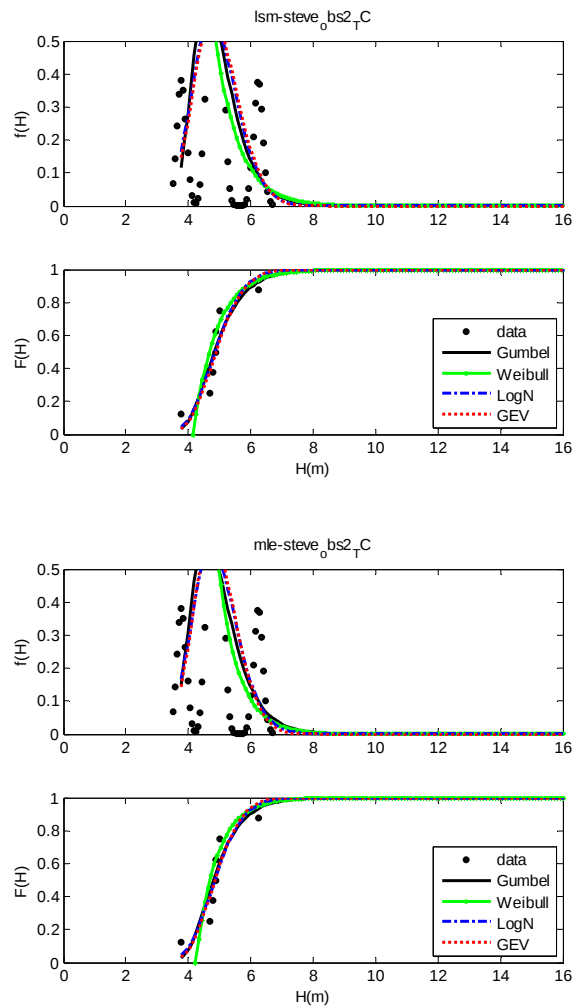


圖 3.7 推估 2 月臺中港波浪之機率密度函數圖

表 3.11 推估 3 月臺中港波浪之各重現期波高及標準偏差

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
σ (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

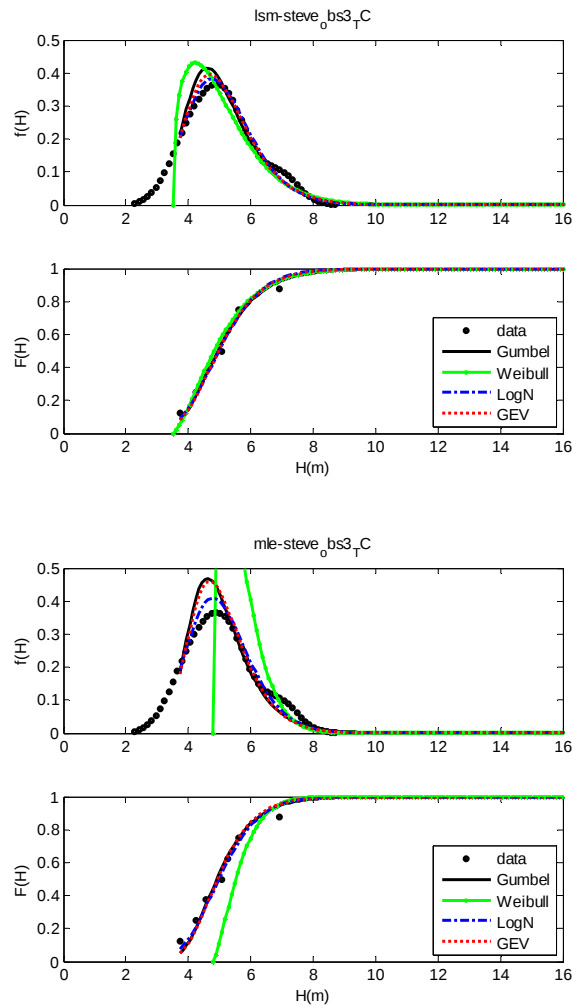


圖 3.8 推估 3 月臺中港波浪之機率密度函數圖

表 3.12 推估 4 月臺中港波浪之各重現期波高及標準偏差

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
σ (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

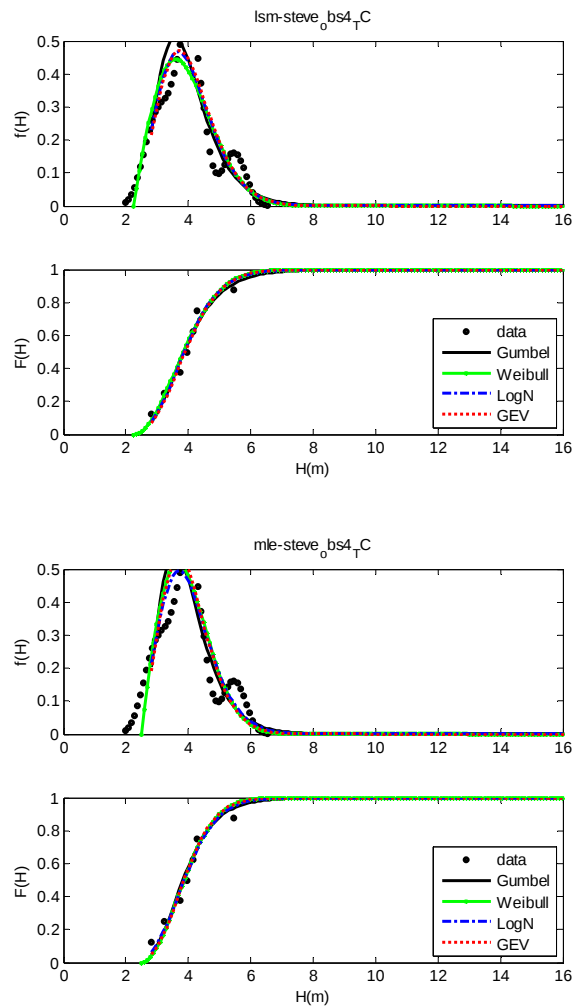


圖 3.9 推估 4 月臺中港波浪之機率密度函數圖

表 3.13 推估 5 月臺中港波浪之各重現期波高及標準偏差

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	-
σ (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	-

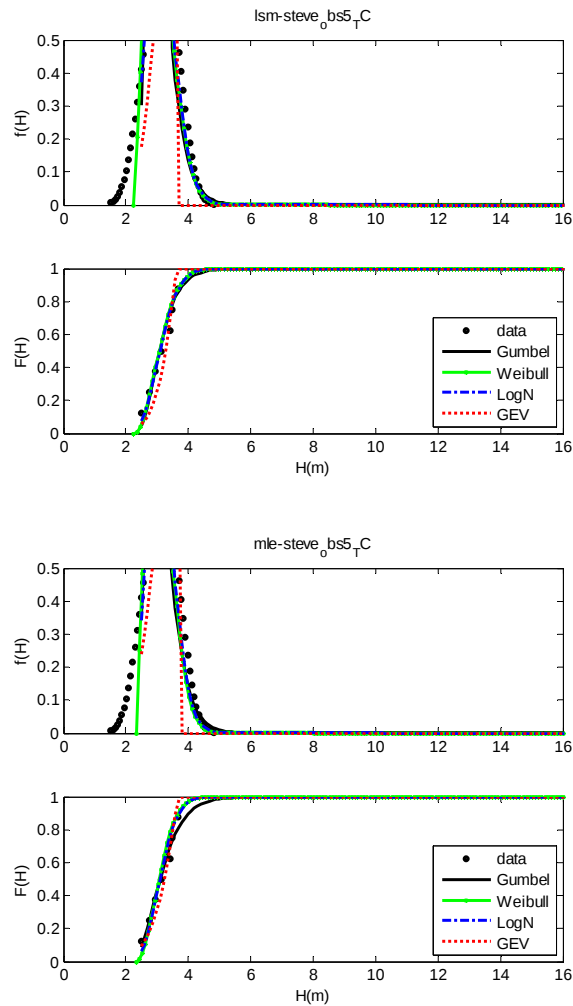


圖 3.10 推估 5 月臺中港波浪之機率密度函數圖

表 3.14 推估 6 月臺中港波浪之各重現期波高及標準偏差

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	-
σ (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	-

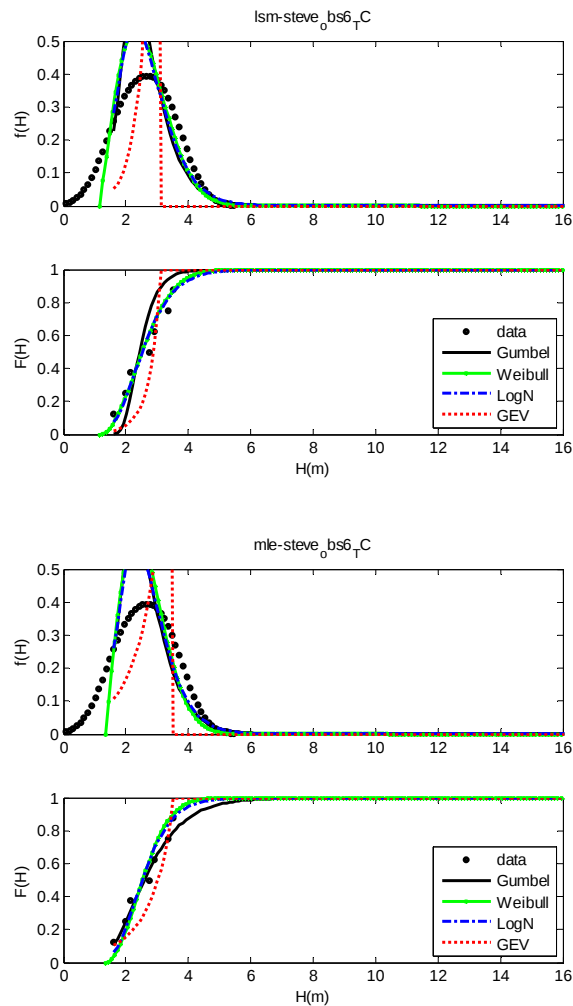


圖 3.11 推估 6 月臺中港波浪之機率密度函數圖

表 3.15 推估 7 月臺中港波浪之各重現期波高及標準偏差

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
σ (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

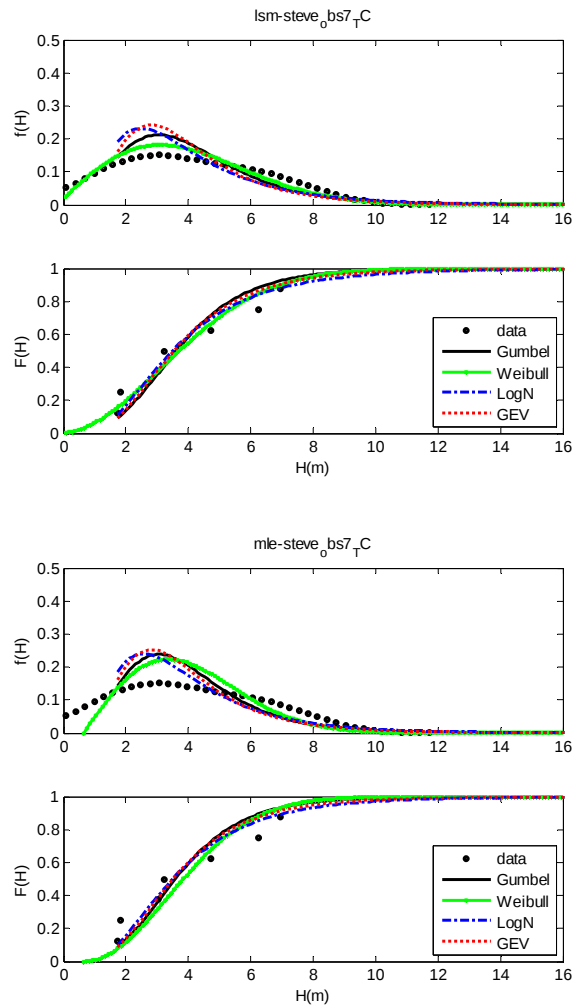


圖 3.12 推估 7 月臺中港波浪之機率密度函數圖

表 3.16 推估 8 月臺中港波浪之各重現期波高及標準偏差

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
σ (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

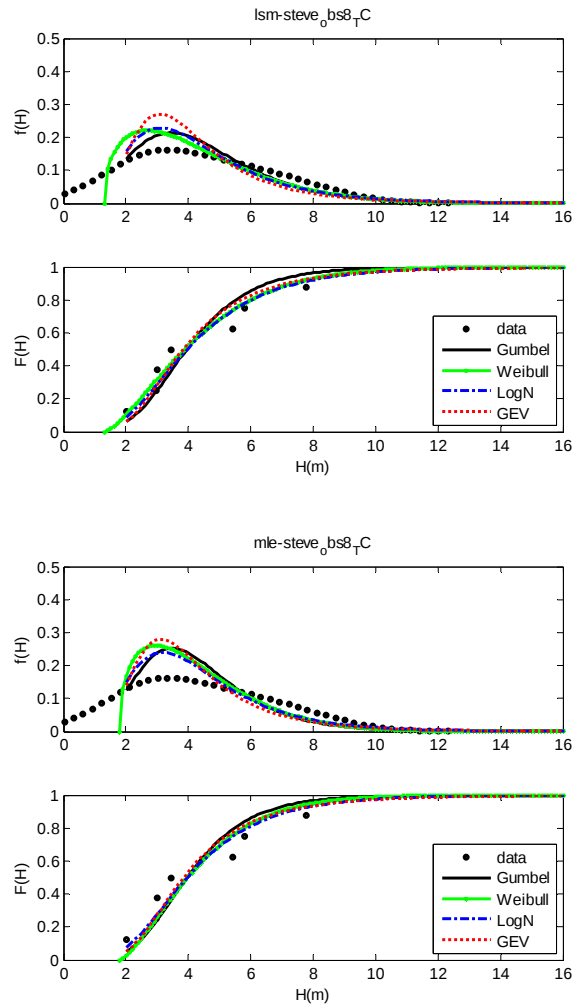


圖 3.13 推估 8 月臺中港波浪之機率密度函數圖

表 3.17 推估 9 月臺中港波浪之各重現期波高及標準偏差

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
σ (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

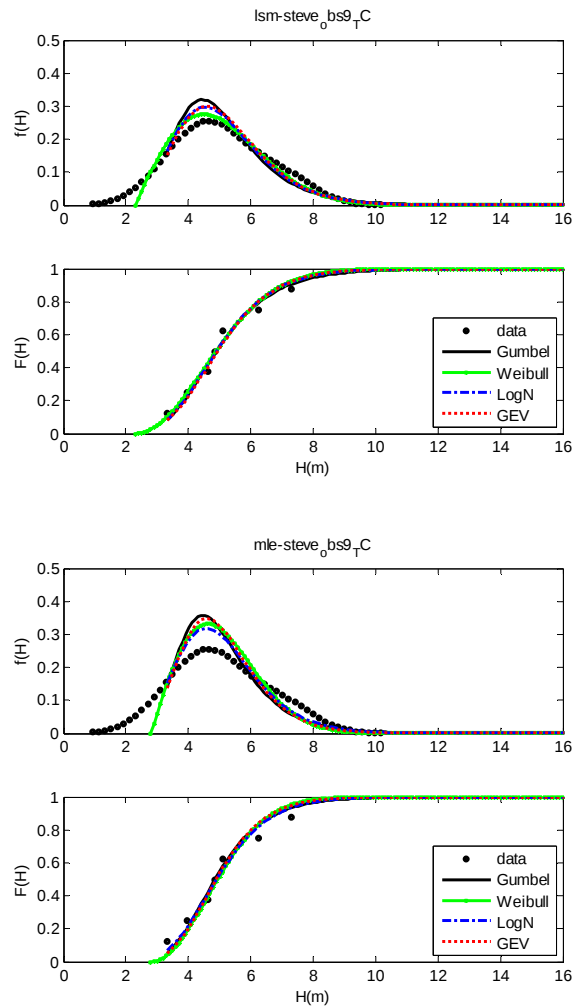


圖 3.14 推估 9 月臺中港波浪之機率密度函數圖

表 3.18 推估 10 月臺中港波浪之各重現期波高及標準偏差

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
σ (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

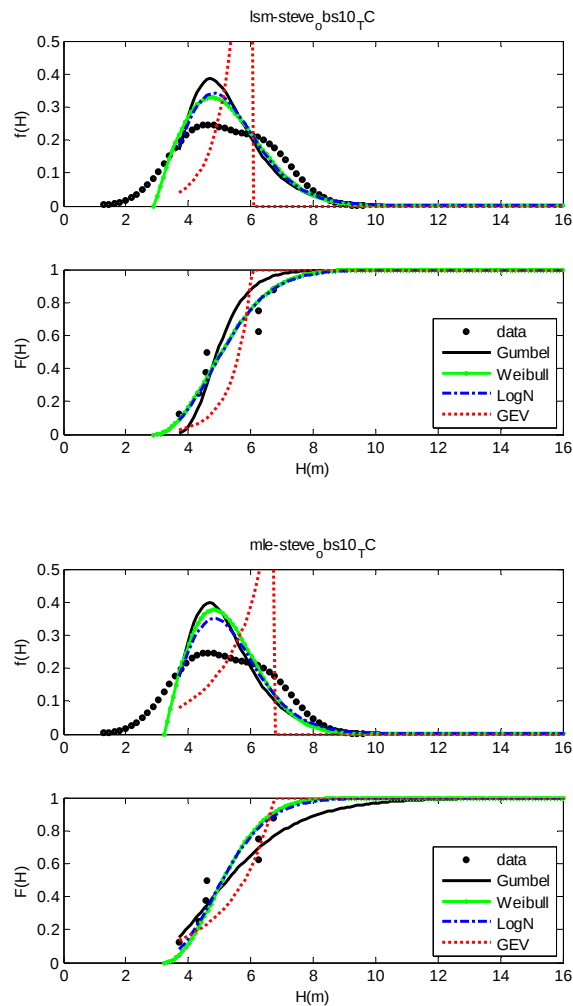


圖 3.15 推估 10 月臺中港波浪之機率密度函數圖

表 3.19 推估 11 月臺中港波浪之各重現期波高及標準偏差

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
σ (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

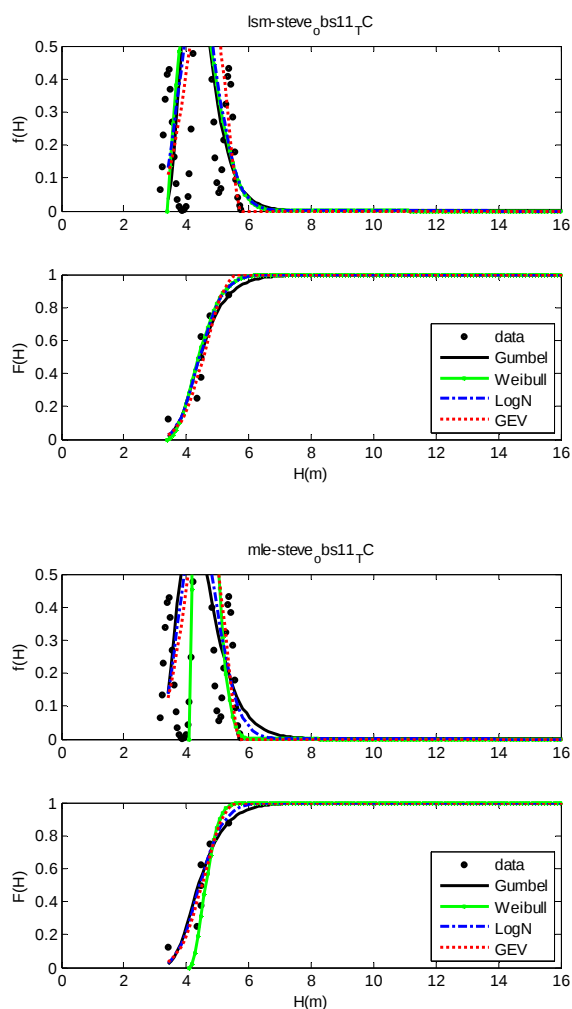


圖 3.16 推估 11 月臺中港波浪之機率密度函數圖

表 3.20 推估 12 月臺中港波浪之各重現期波高及標準偏差

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	-
σ (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	-

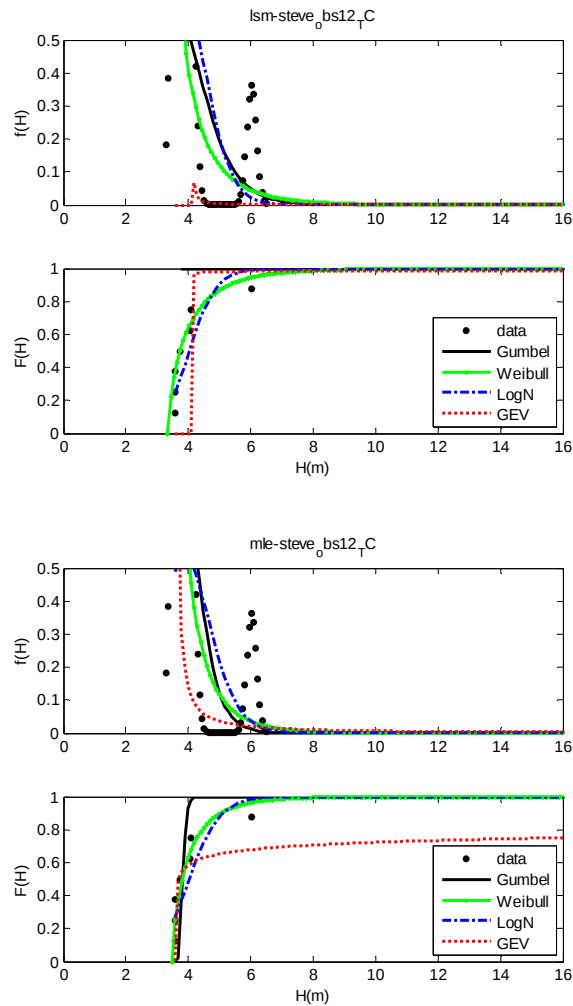


圖 3.17 推估 12 月臺中港波浪之機率密度函數圖

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 3.21 至表 3.32 及圖 3.18 至圖 3.29 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(σ)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 3.21 推估 1 月基隆港波浪之各重現期波高及標準偏差

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
$X_e(m)$		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

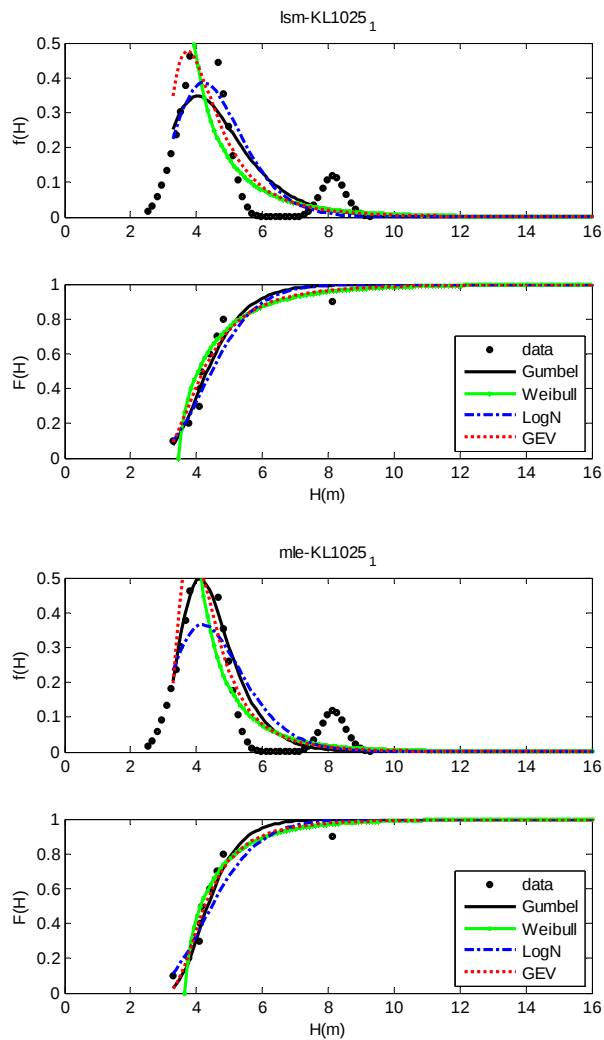


圖 3.18 推估 1 月基隆港波浪之機率密度函數圖

表 3.22 推估 2 月基隆港波浪之各重現期波高及標準偏差

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
σ (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

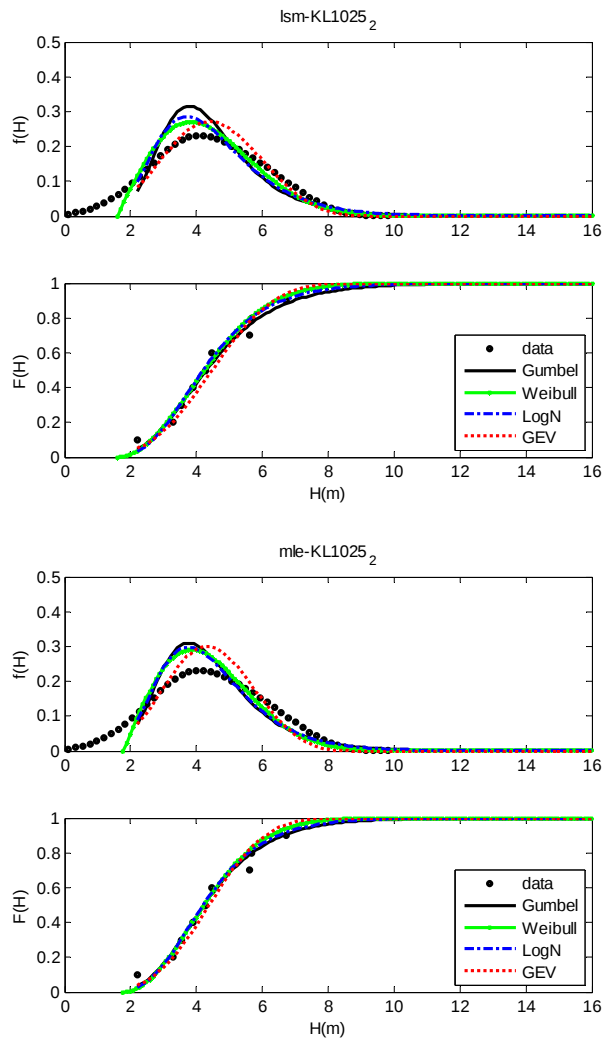


圖 3.19 推估 2 月基隆港波浪之機率密度函數圖

表 3.23 推估 3 月基隆港波浪之各重現期波高及標準偏差

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	-
σ (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	-

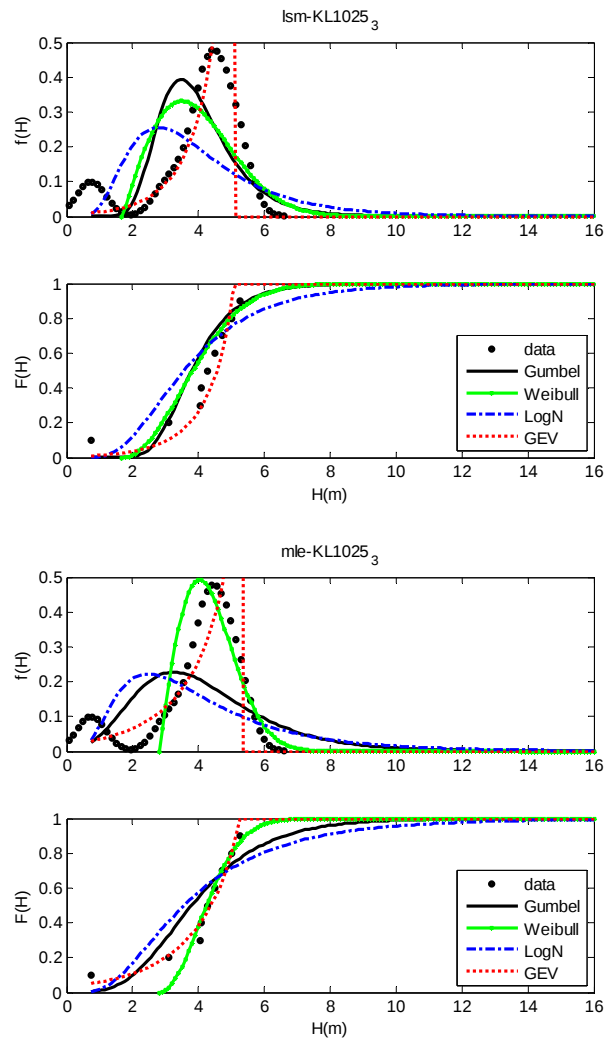


圖 3.20 推估 3 月基隆港波浪之機率密度函數圖

表 3.24 推估 4 月基隆港波浪之各重現期波高及標準偏差

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
Xe (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
σ (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

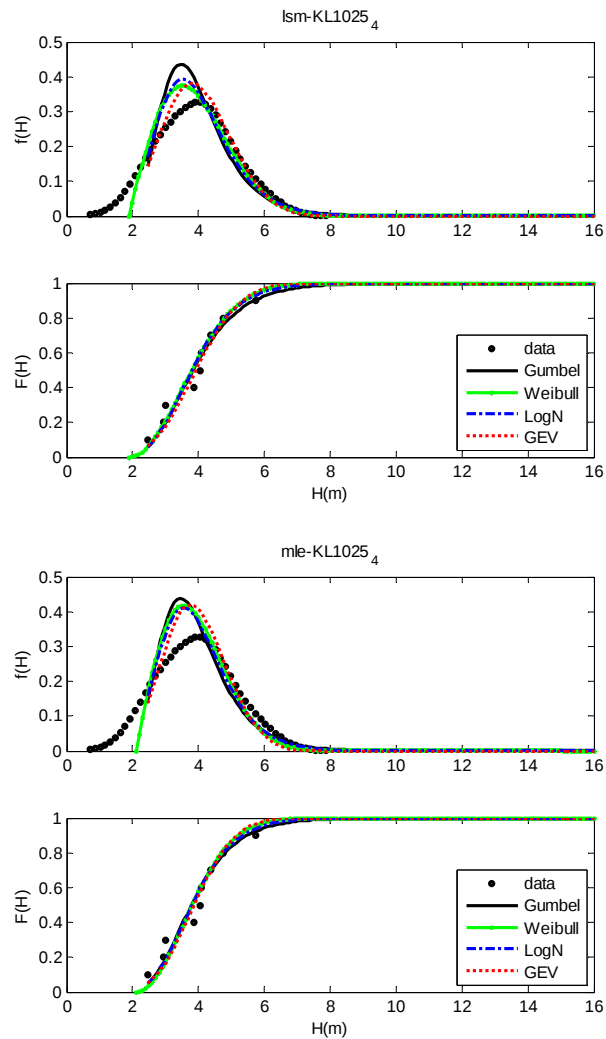


圖 3.21 推估 4 月基隆港波浪之機率密度函數圖

表 3.25 推估 5 月基隆港波浪之各重現期波高及標準偏差

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
σ (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

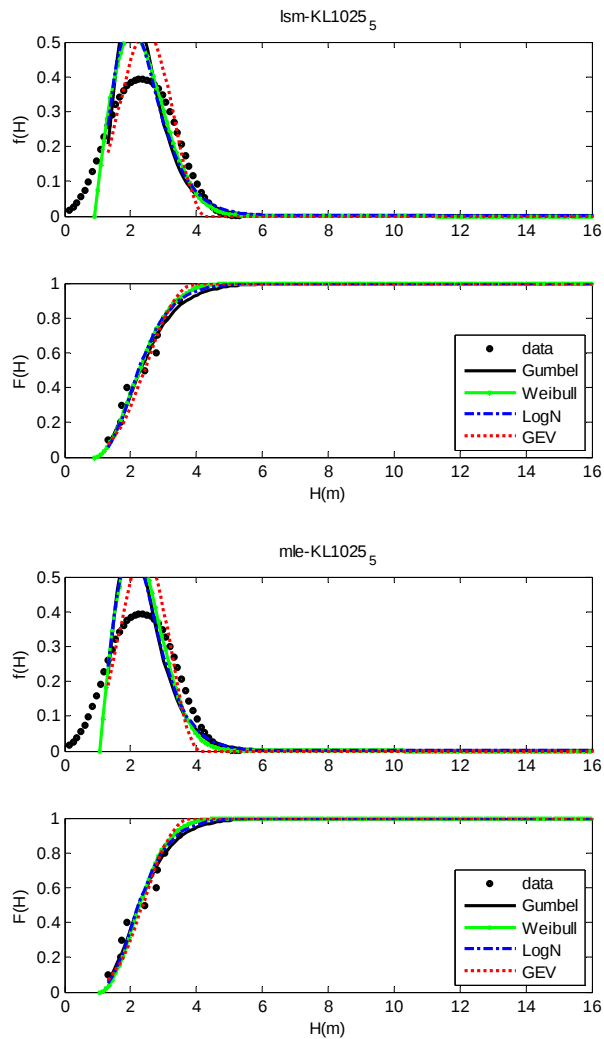


圖 3.22 推估 5 月基隆港波浪之機率密度函數圖

表 3.26 推估 6 月基隆港波浪之各重現期波高及標準偏差

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	-
σ (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	-

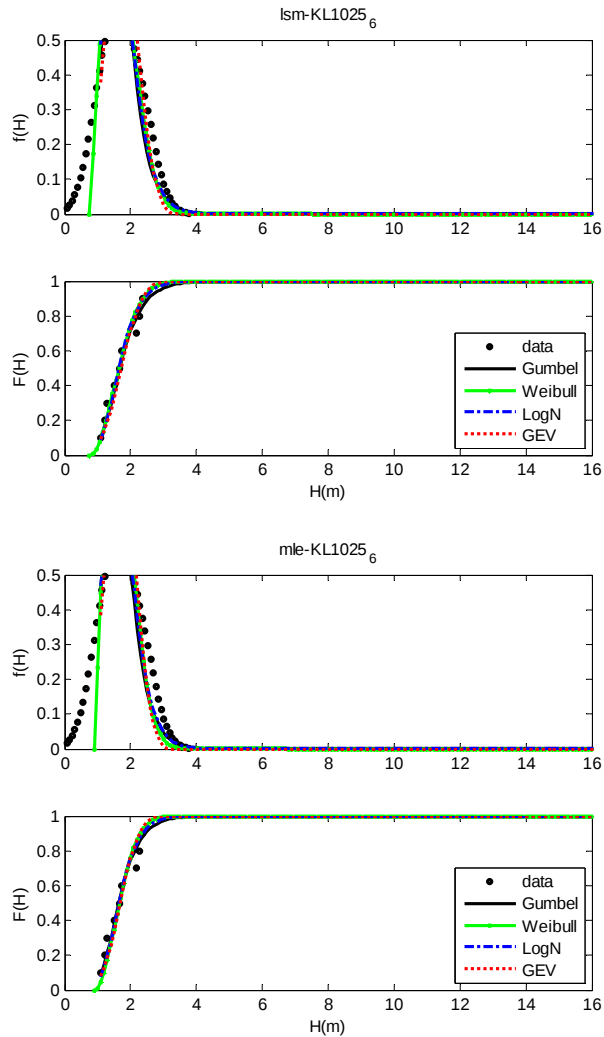


圖 3.23 推估 6 月基隆港波浪之機率密度函數圖

表 3.27 推估 7 月基隆港波浪之各重現期波高及標準偏差

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
σ (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

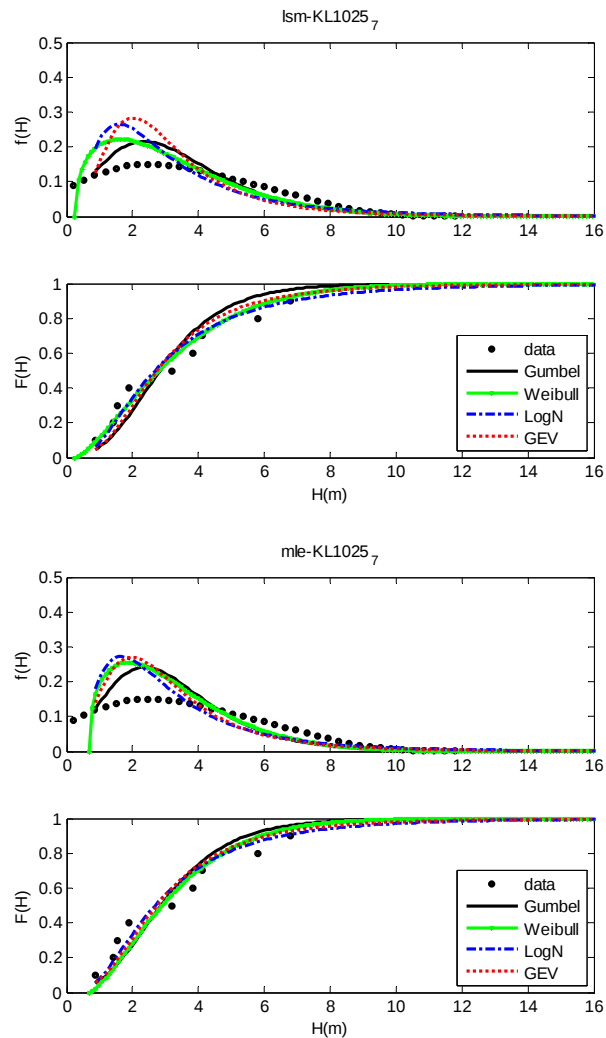


圖 3.24 推估 7 月基隆港波浪之機率密度函數圖

表 3.28 推估 8 月基隆港波浪之各重現期波高及標準偏差

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
σ (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

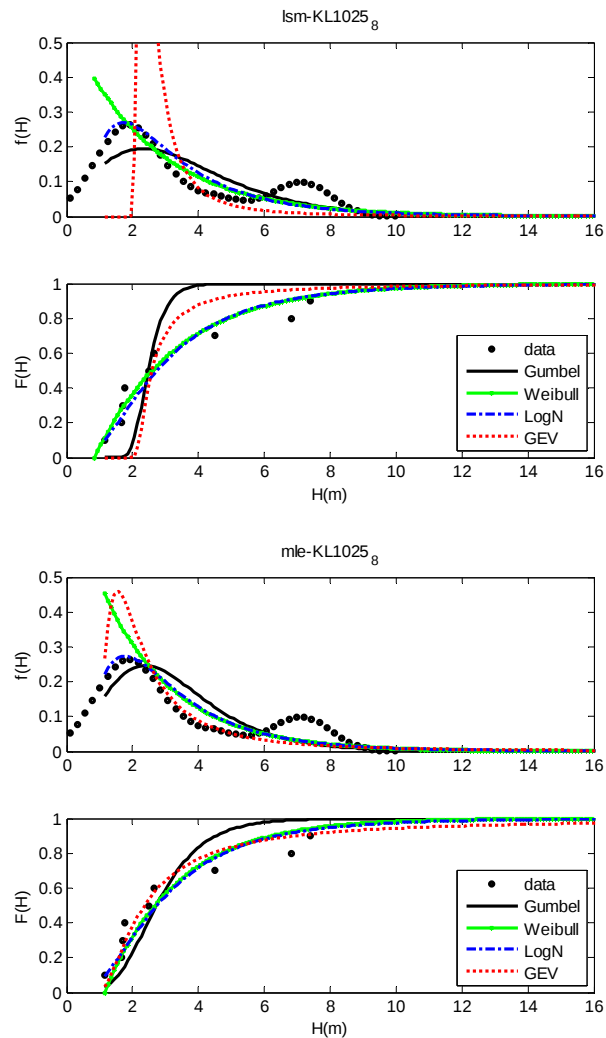


圖 3.25 推估 8 月基隆港波浪之機率密度函數圖

表 3.29 推估 9 月基隆港波浪之各重現期波高及標準偏差

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
σ (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

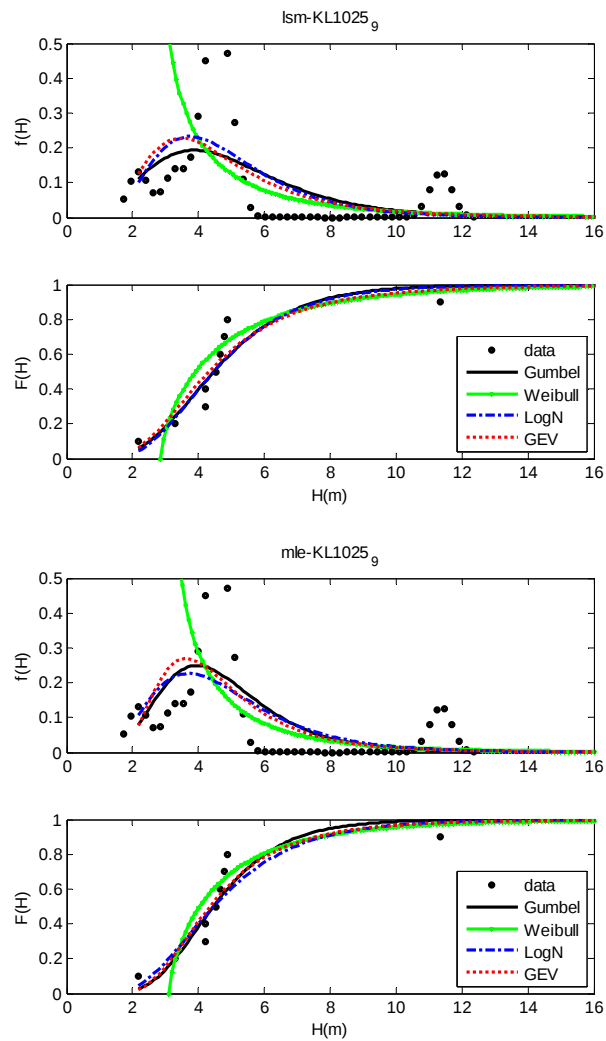


圖 3.26 推估 9 月基隆港波浪之機率密度函數圖

表 3.30 推估 10 月基隆港波浪之各重現期波高及標準偏差

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
σ (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

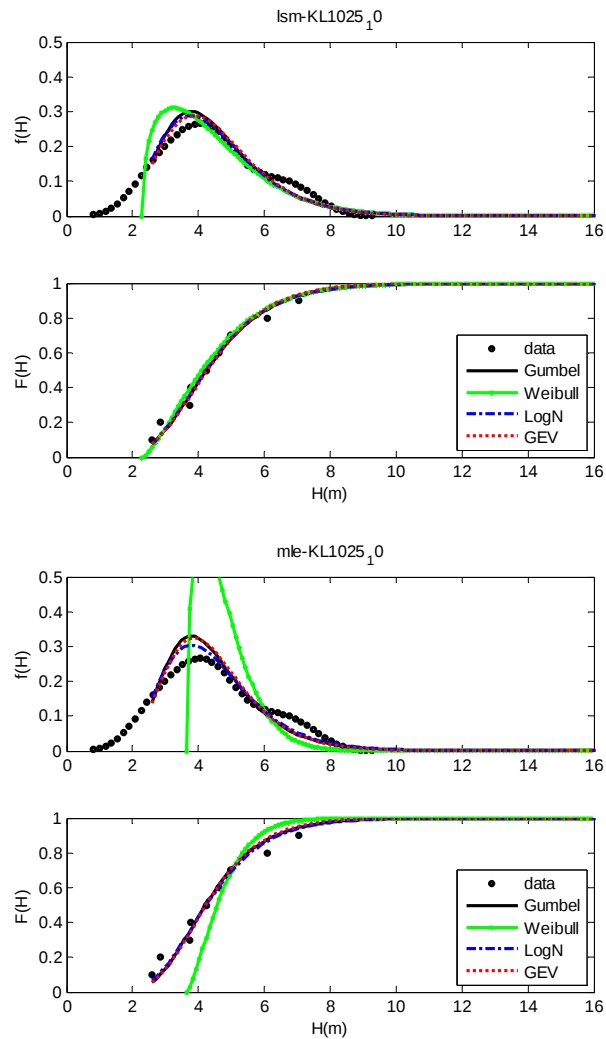


圖 3.27 推估 10 月基隆港波浪之機率密度函數圖

表 3.31 推估 11 月基隆港波浪之各重現期波高及標準偏差

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
σ (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

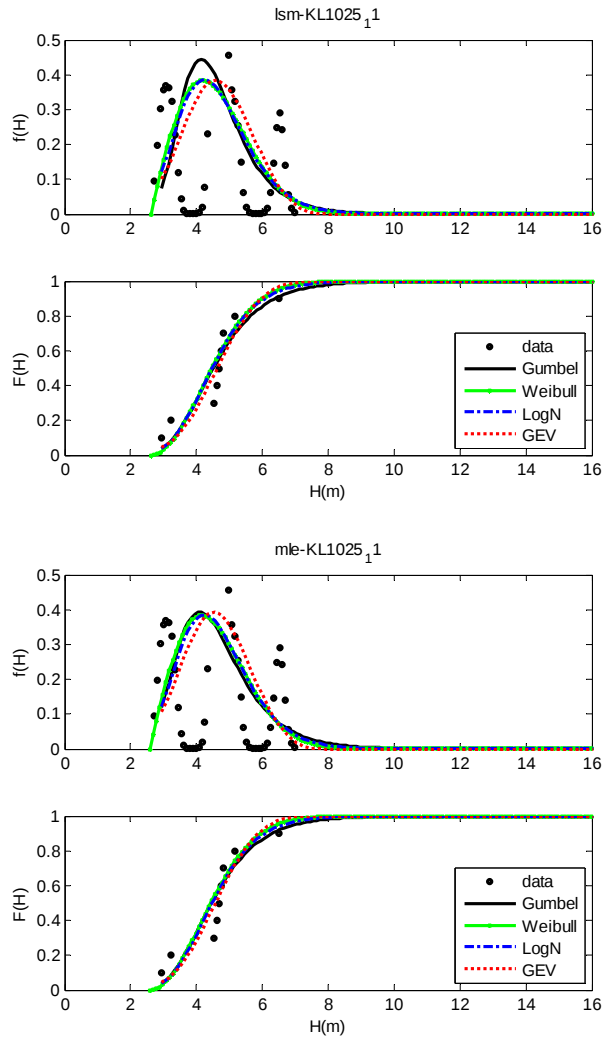


圖 3.28 推估 11 月基隆港波浪之機率密度函數圖

表 3.32 推估 12 月基隆港波浪之各重現期波高及標準偏差

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
σ (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

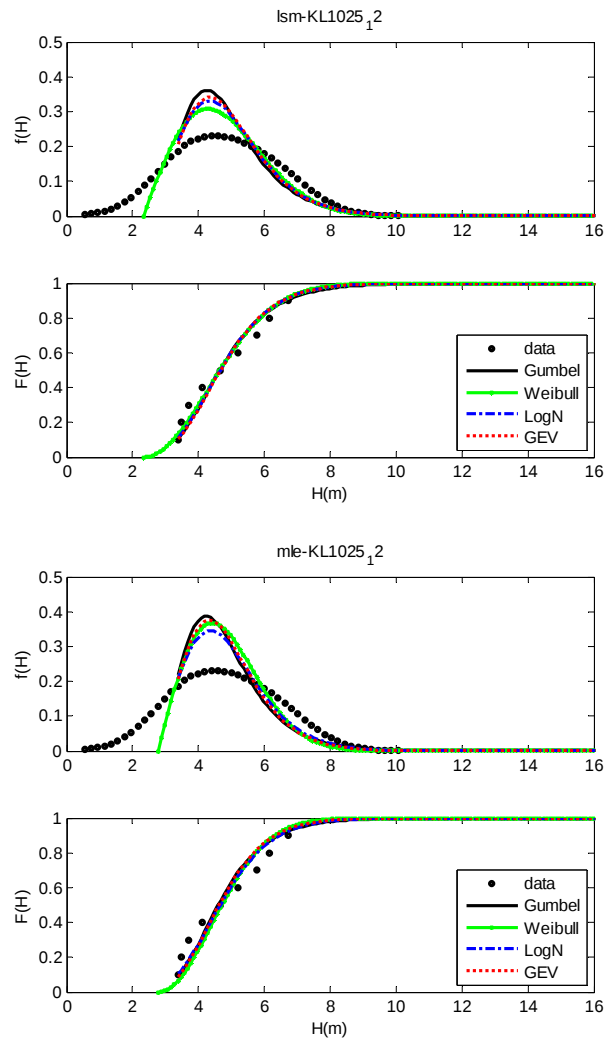


圖 3.29 推估 12 月基隆港波浪之機率密度函數圖

3.4 年極值統計分析

3.4.1 資料分析方式

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。本節中應用前節所述之極值函數與參數推定方法及各種檢定值來測試最適函數與參數推定法，以推估臺中港與基隆港各重現期的年極值統計，相關推算結果如下節分述。

3.4.2 臺中港域的推算結果

臺中港域之年極值統計部分，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。由表 3.33 至表 3.35 及圖 3.30 至圖 3.32 結果顯示，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 3.33 臺中港實測波浪之各重現期波高及標準偏差

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	-
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	-

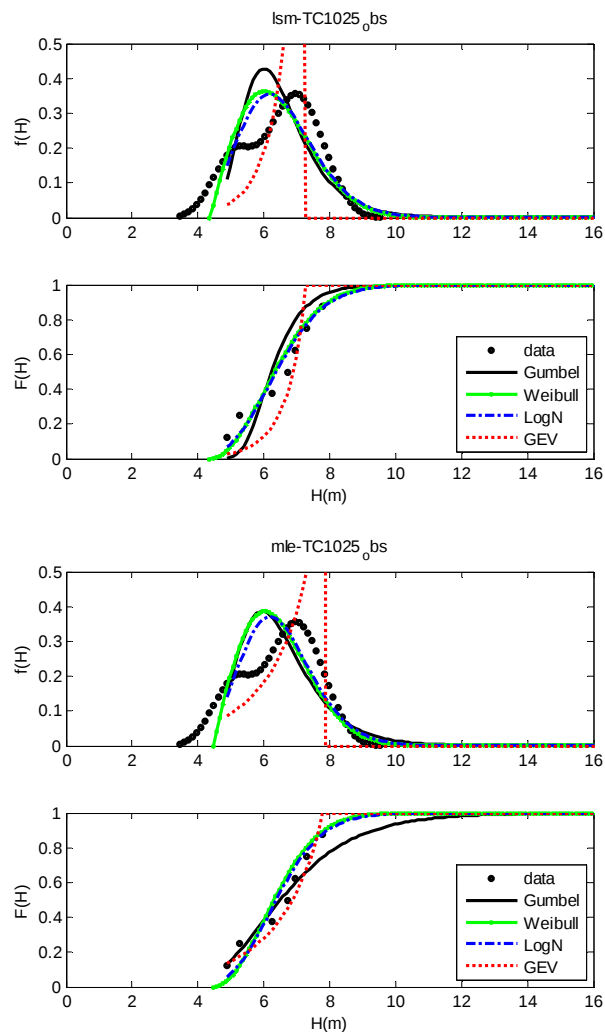


圖 3.30 臺中港實測波浪之機率密度函數圖

表 3.34 臺中港半經驗模式之各重現期波高及標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		FT-I	Weibull	LogN	GEV	FT-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		6.17	6.58	7.70	0.15	6.17	6.58	8.66	0.15
RMSE(m)		0.45	0.39	0.55	0.14	0.80	0.56	0.73	0.14
Xe (m)		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
σ (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

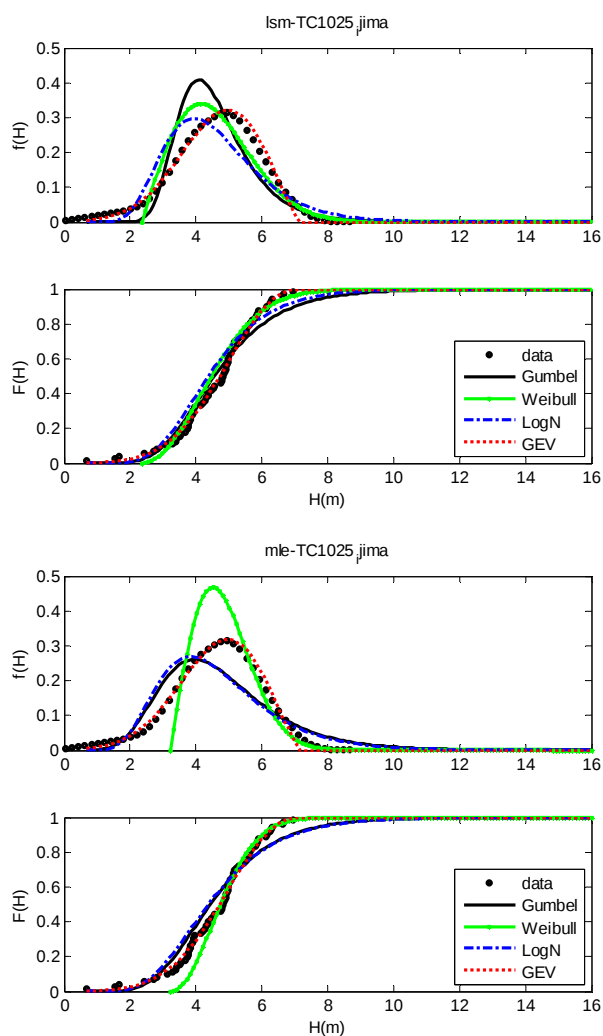


圖 3.31 臺中港半經驗模式之機率密度函數圖

表 3.35 臺中港類神經模式之各重現期波高及標準偏差

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	-
σ (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	-

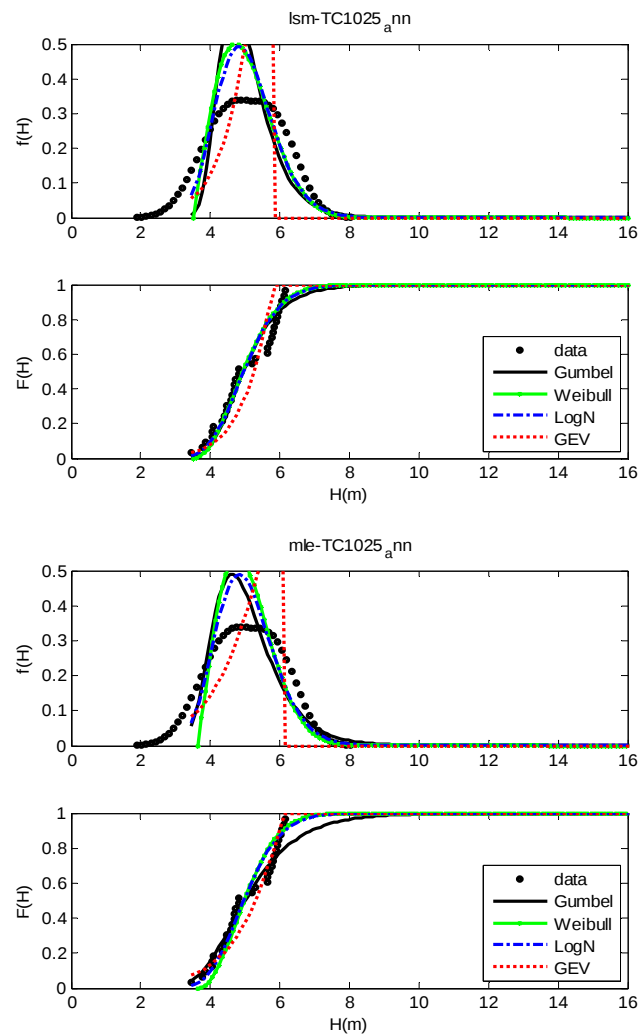


圖 3.32 臺中港類神經模式之機率密度函數圖

3.4.3 基隆港域的推算結果

基隆港域的年極值統計部分，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 3.36 至表 3.38 及圖 3.33 至圖 3.35 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 3.38 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 3.36 基隆港實測波浪之各重現期波高及標準偏差

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
Xe (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
σ (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

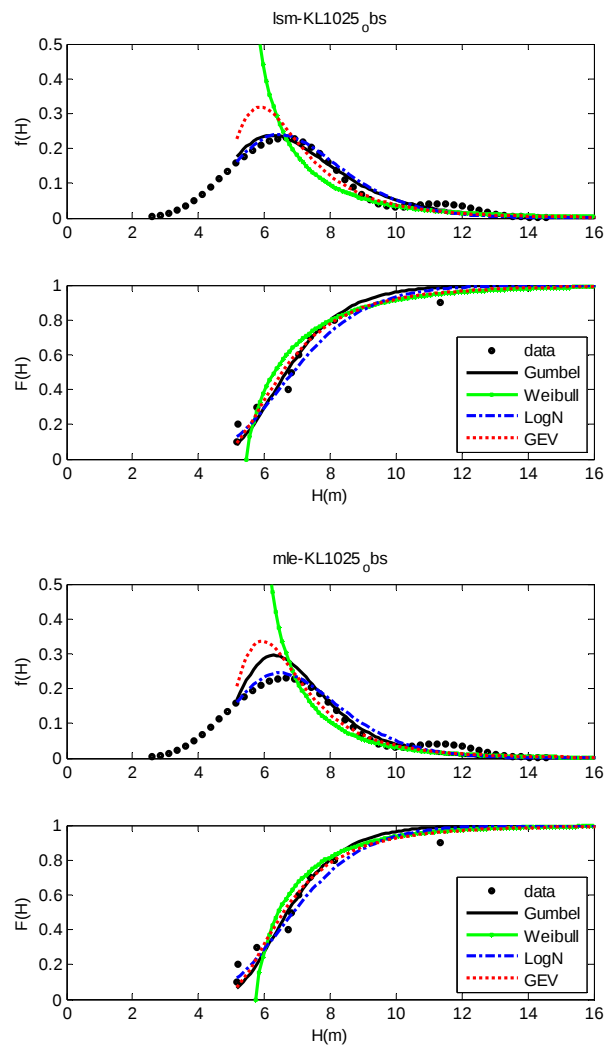


圖 3.33 基隆港實測波浪之機率密度函數圖

表 3.37 基隆港半經驗模式之各重現期波高及標準偏差

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
σ (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

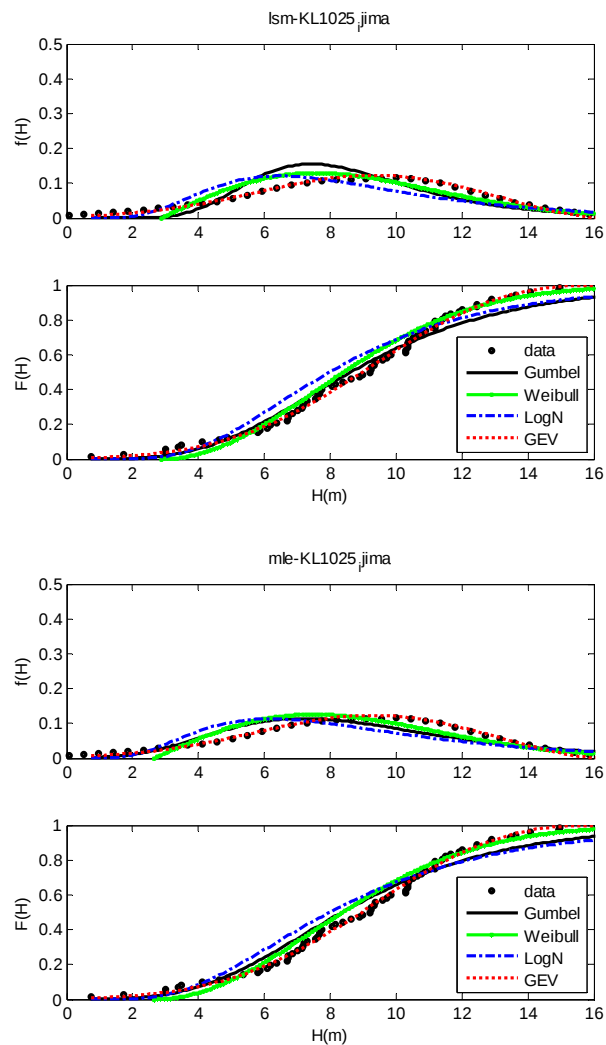


圖 3.34 基隆港半經驗模式之機率密度函數圖

表 3.38 基隆港類神經模式之各重現期波高及標準偏差

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

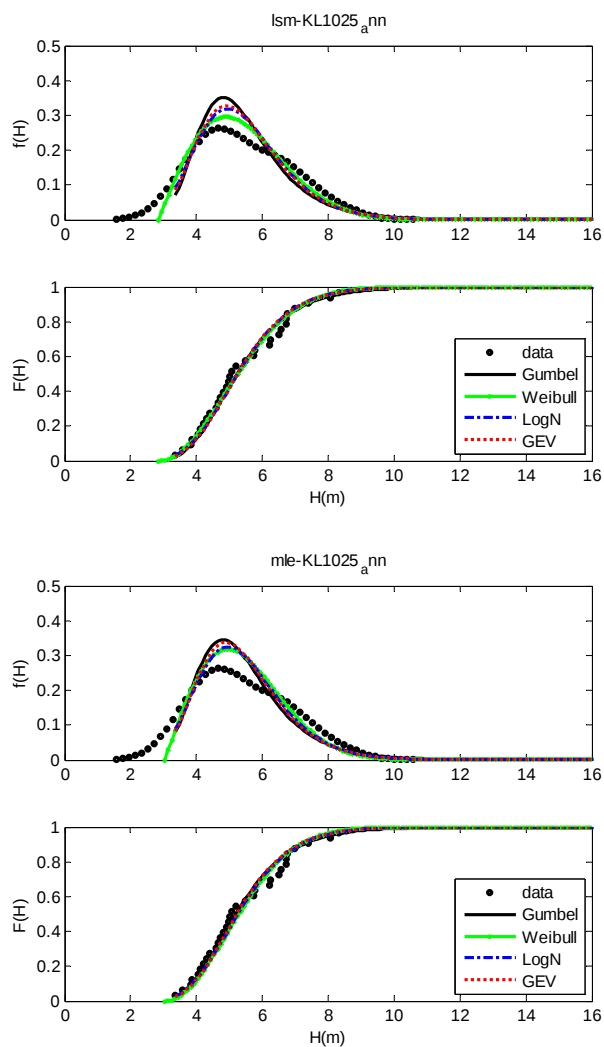


圖 3.35 基隆港類神經模式之機率密度函數圖

3.5 綜合比較各類極值統計分析

經由前述各節之推算結果，本節中除分別就臺中港與基隆港各種的極值統計分析作一比較外，另比較說明最近 3 年之各港域(包含花蓮、高雄、安平、臺北等港域)的極值統計分析結果。

3.5.1 颱風波浪推算模式之比較

依據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 3.39。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 3.39 臺中港兩種波浪推算模式的誤差比較

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$	Δt_p	RMSE	R	$\Delta H_{s,p}$	Δt_p	RMSE	R	H_{obs} (m)
		(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

有關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方面，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 3.40。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 3.40 基隆港兩種波浪推算模式的誤差比較。

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hour)	RMSE	R	$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hour)	RMSE	R	H_{obs} (m)
		半經驗				類神經				
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

3.5.2 月極值統計分析之比較

本研究將臺中港與基隆港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 3.41 及表 3.42。由表 3.41 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 3.41 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

由表 3.42 之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 3.42 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

3.5.3 歷年各港颱風波浪推算模式之比較

表 3.43 為本所港研中心最近 3 年來發展颱風波浪推算模式的成效比較，其中 $\Delta H_{s,p}$ 部分是以高雄港最佳，誤差 0.67m，但其可能原因是為高雄港目前記錄的颱風波浪峰值都較其他港小。最大波高發生時間誤差 Δt_p 波則以基隆港波浪推算模式最為準確。均方根誤差 RMSE 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 3.43 各港類神經颱風波浪推算成效比較

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

3.5.4 歷年各港年極值統計分析之比較

表 3.44 為本所港研中心最近 3 年的三種波浪資料樣本年極值分析結果彙整，表中包含最適極值函數、參數推定法與相對應的 50 重現其波高值等。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 3.44 各港三種年極值波浪資料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

第四章 港灣防波堤構造物安全評估探討

國內現有國際港口之防波堤的使用年齡，已逐漸到達原先設計之使用年限，且又受颱風、地震與東北季風波浪侵襲，造成堤面與胸牆處處龜裂，堤體有下陷及淘空情形，經年須花費龐大經費進行維修與復建，以維持構造物安全與港口正常營運。為港口整體規劃及未來發展，有必要進行外廓防波堤之長期監測與安全評估，用以減輕維修經費，避免港內設施與船隻之損壞。

本研究應用往昔計畫於花蓮港與高雄港辦理外廓防波堤構造物安全評估之經驗，本年度(101 年)初步針對蘇澳港防波堤沉箱辦理相關評估探討工作。本項工作主要包含現場圖像監測調查，用以觀察比較結構物損害情況，並據以進行其防波堤沉箱之安全性評估探討與研擬結構物損壞的補強方案，期望未來能提供港務單位瞭解防波堤結構物之穩定性及安全性，有效運用資源，延長港務設施使用年限及降低維護成本。

蘇澳港位於宜蘭縣之東南方，由於地形之特殊性，故其能成為民國 60 年代之十大建設之一，而成為一集軍、商、漁港三大功能之綜合港埠。但因蘇澳港位處臺灣東部地震及颱風頻繁發生之區域，且直接面向大水深之太平洋波浪，每年受夏季颱風波浪強烈侵襲，在高水位極大波浪之作用下，外廓防波堤無可避免地承受了強大的波力以及大量的越波水量。且因其規劃時程較短，蒐集之實測資料不足，故原設計波高有偏低之現象，曾造成沉箱破壞、胸牆流失、拋石堤流失、消波塊流失及結構物裂縫沉陷等種種破壞，對海港之安全及水域之穩定性影響甚鉅。

本研究將針對蘇澳港之外廓防波堤(如圖 4.1 所示)辦理現場圖像資料調查，及檢討原有結構物之設計條件，瞭解結構物破壞之可能原因，並研擬短期的修護措施等項工作。



圖 4.1 蘇澳港相關區位示意圖

4.1 防波堤圖像資料調查

4.1.1 調查內容

本研究辦理蘇澳港外廓防波堤現況圖像資料調查工作，主要是作為後續防波堤安全性評估及損壞維護方案研擬之依據。本年度本工作項目與時程如表 4.1，調查範圍如前圖 4.1 所示之蘇澳港南防波堤為主，以魚港北外堤處為起點至防波堤口約 860m，內外二側各 50m 測寬，測帶寬約 100m，相關多因束監測、水下攝影與結構物檢視成果如下所述。

表 4.1 蘇澳港防波堤圖像調查項目與時程

項次	時間	地點	工作項目
第一測次	101.06.中旬	南防波堤	多音束監測作業 水下攝影
第二測次	101.10.下旬	南防波堤	多音束監測作業 水下攝影 水上結構物檢視

4.1.2 多音束監測作業

本項作業所使用之量測儀器包含 GPS 衛星定位儀、壓力式自動驗潮儀、多音束測深儀、聲速剖面儀、表面聲速儀及動態運動姿態感測儀等，其中，所採用多音束測深系統為 R2Sonic Sonic 2024，作業規定為水深 10~15m 區域測量平均密度至少超過 30 筆/平方公尺，水深 15~18m 區域測量平均密度至少超過 20 筆/平方公尺，並且平均分配於測區，鄰近測線之間測帶必需重疊不得有空隙；同時依 IHO 規定特等測量應能辨視 1m 大小的特徵物，描述特徵物至少應有三點，於水深 20m 以內，為辨視 1m 大小的特徵物，使用儀器之測量足印大小 (FootPrint) 應小於 33cm。資料處理與計算軟體為 HYPACK 2011 專業水深測量處理軟體，軟體功能從作業前的水深測量規劃、作業中的導航及資料整合接收、作業後的資料處理分析計算及成果展示等。多音束監測之實測航跡如圖 4.2，而圖 4.3 則是蘇澳港南外廓防波堤之位置圖示(編號方向由堤岸往綠燈塔方向遞增)。



圖 4.2 多音東監測作業範圍與船跡圖

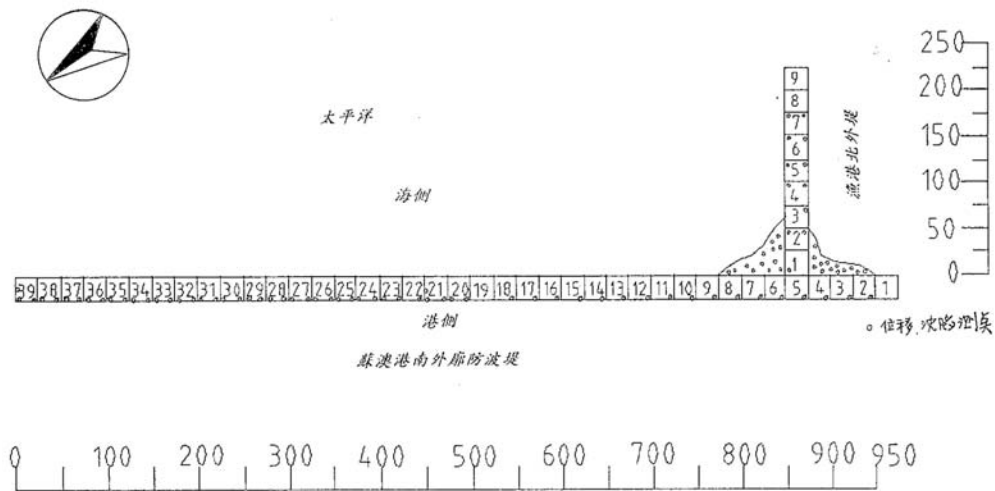


圖 4.3 蘇澳港南外廓防波堤相關位置圖

因篇幅關係，本項工作擷錄部份成果如圖 4.4 所示，其他工作成果可參考本所 101 年蘇澳港防波堤圖像資料調查成果報告書。由各圖示中可看出部份沉箱有位移情況，另有部份沉箱堤外側有散落塊石，較詳細之調查結果彙整將於下節中陳述。

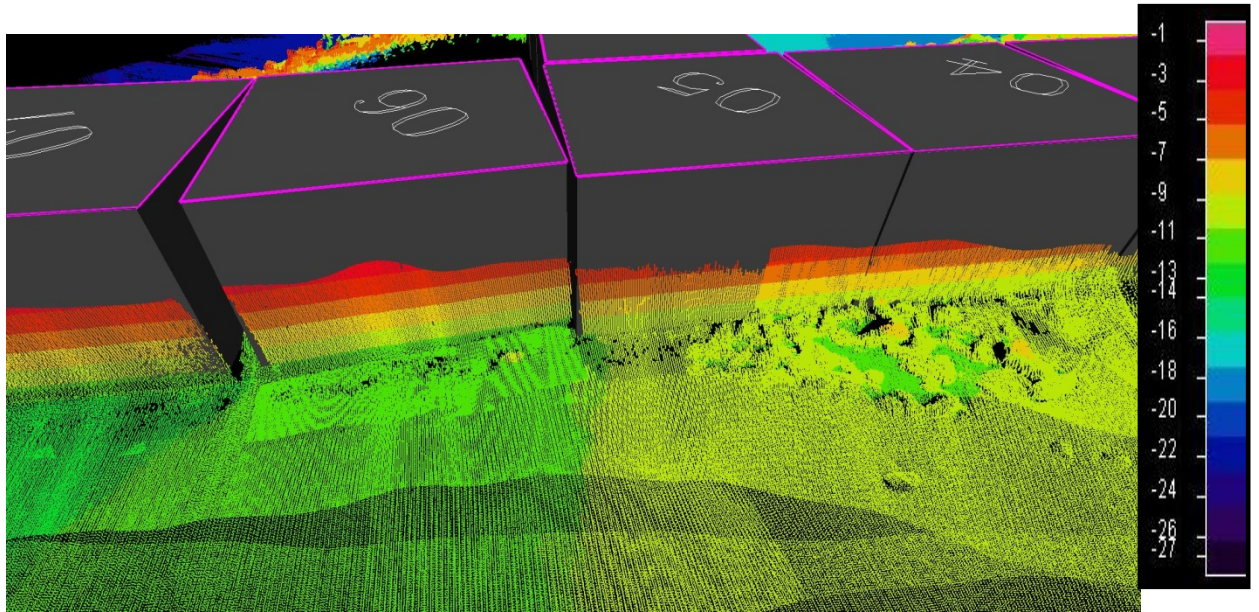


圖 4.4a 南外廓防波堤#S05~#S06 沉箱間港內堤址 3D 點雲圖

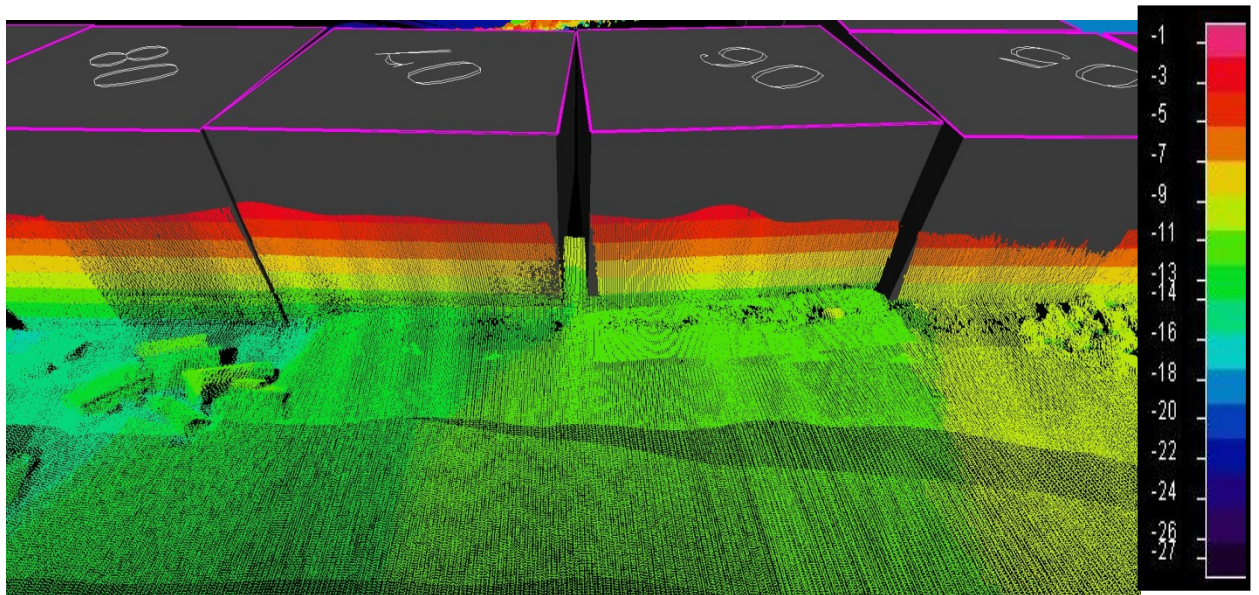


圖 4.4b 南外廓防波堤#S06~#S07 沉箱間港外堤址 3D 點雲圖

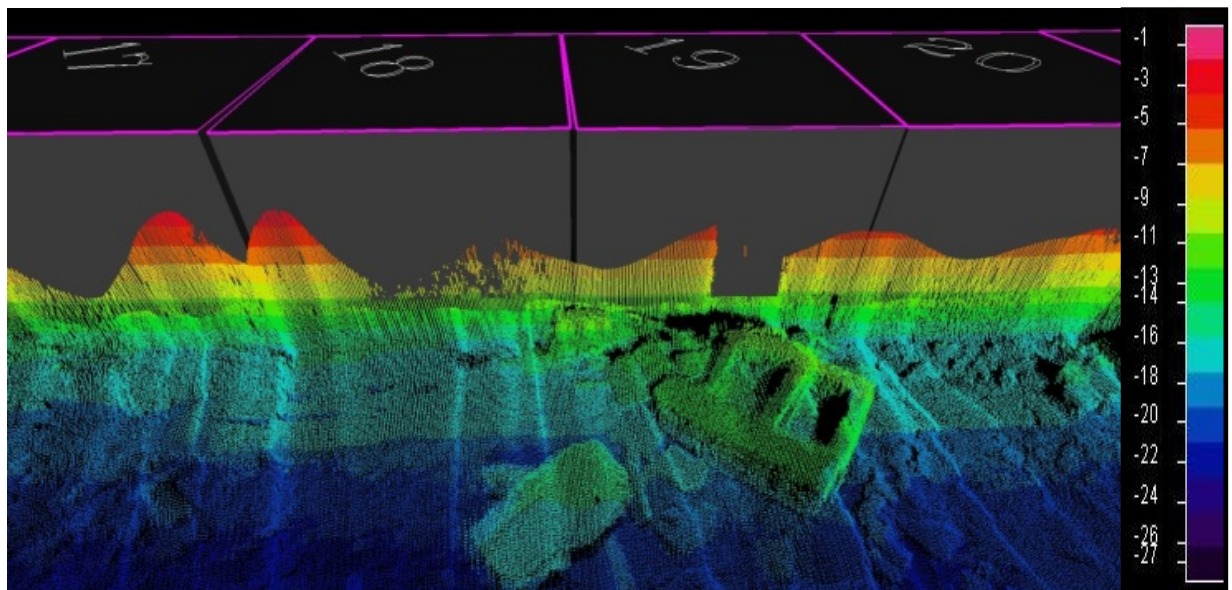


圖 4.4c 南外廓防波堤#S18~#S19 沉箱間港外堤址 3D 點雲圖

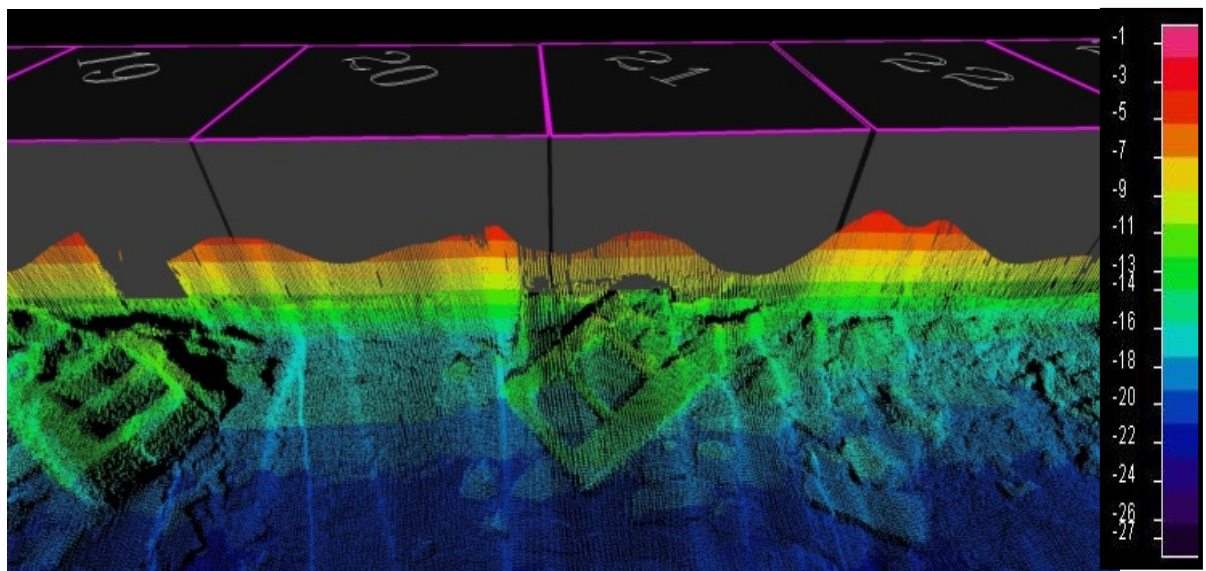


圖 4.4d 南外廓防波堤#S20~#S21 沉箱間港外堤址 3D 點雲圖

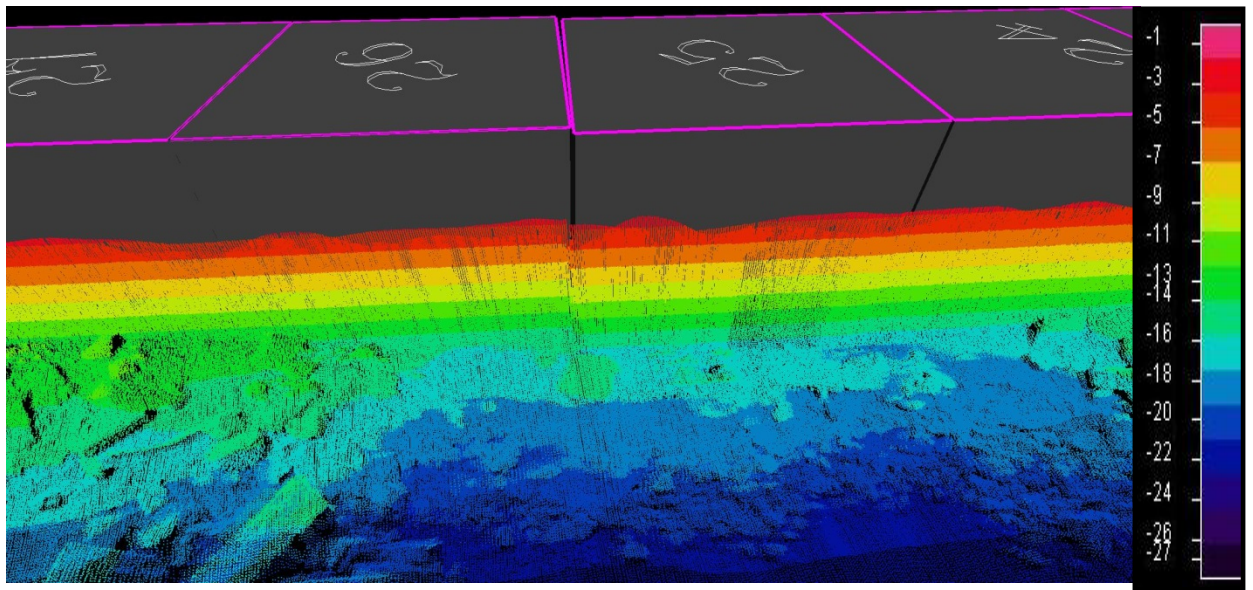


圖 4.4e 南外廓防波堤#S25~#S26 沉箱間港內堤址 3D 點雲圖

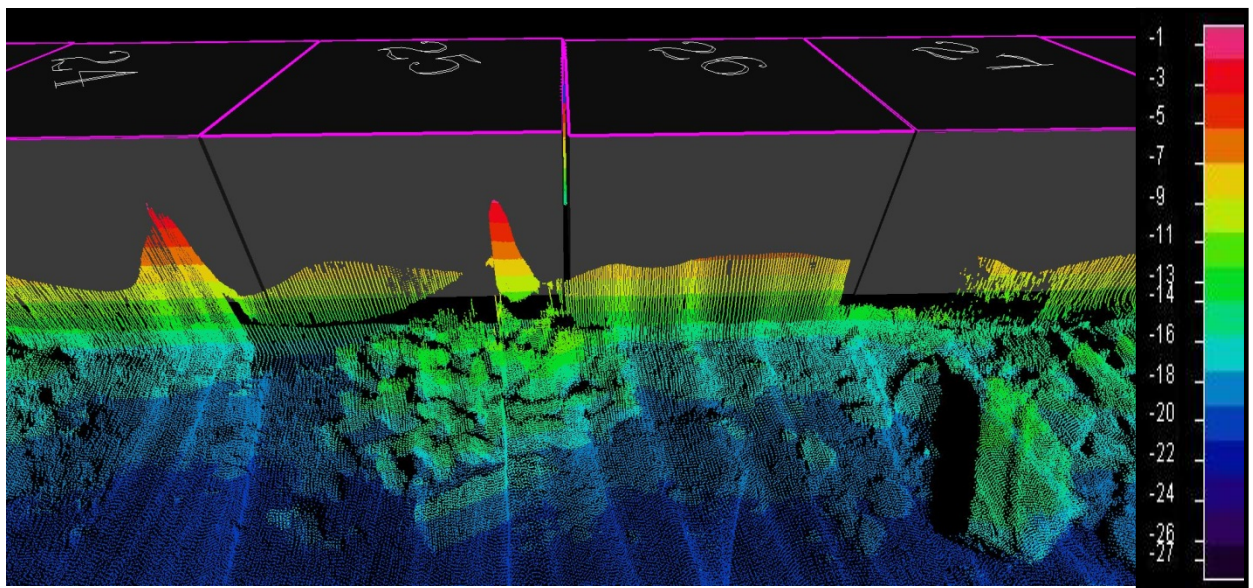


圖 4.4f 南外廓防波堤#S25~#S26 沉箱間港外堤址 3D 點雲圖

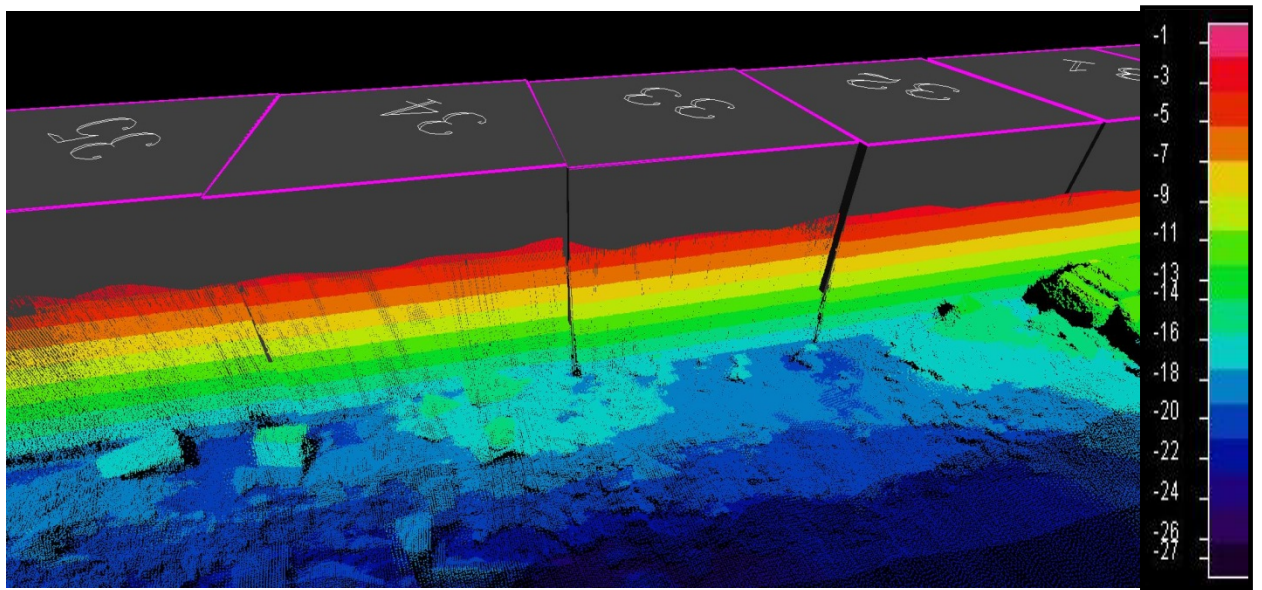


圖 4.4g 南外廓防波堤#S33~#S34 沉箱間港內堤址 3D 點雲圖

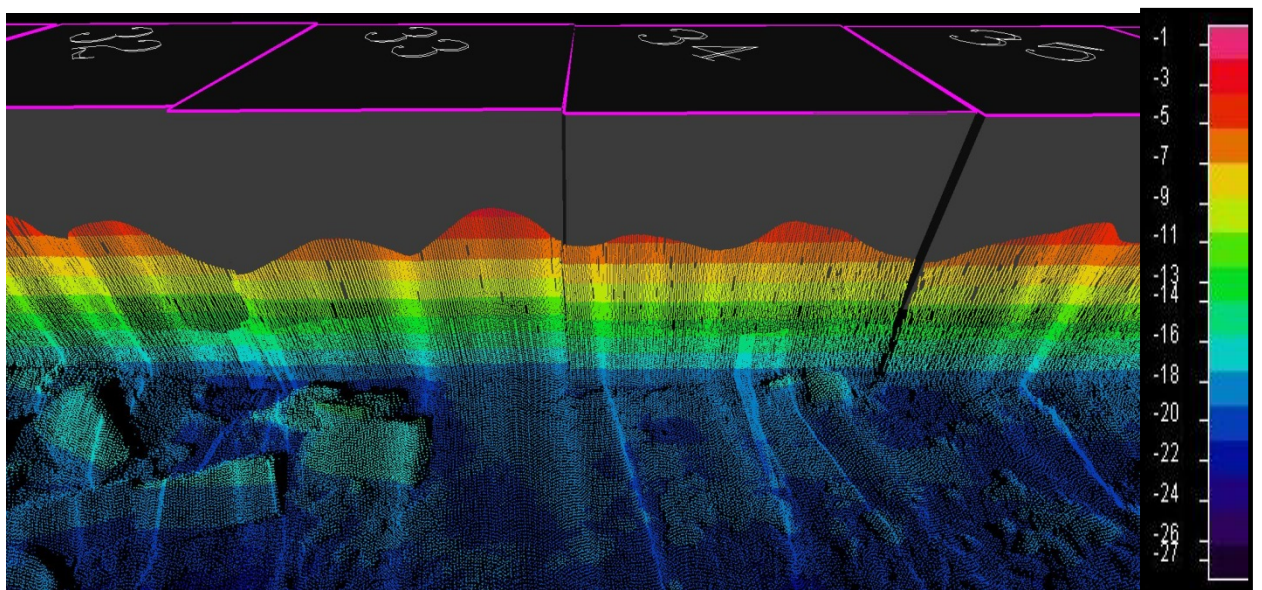


圖 4.4h 南外廓防波堤#S33~#S34 沉箱間港外堤址 3D 點雲圖

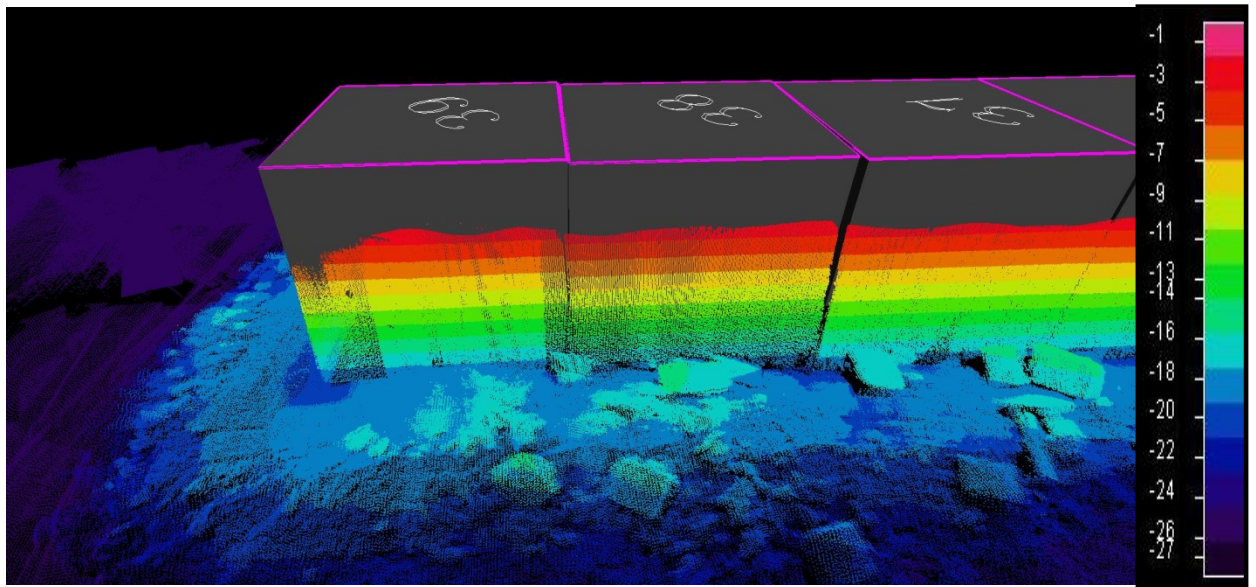


圖 4.4i 南外廓防波堤#S38~#S39 沉箱間港內堤址 3D 點雲圖

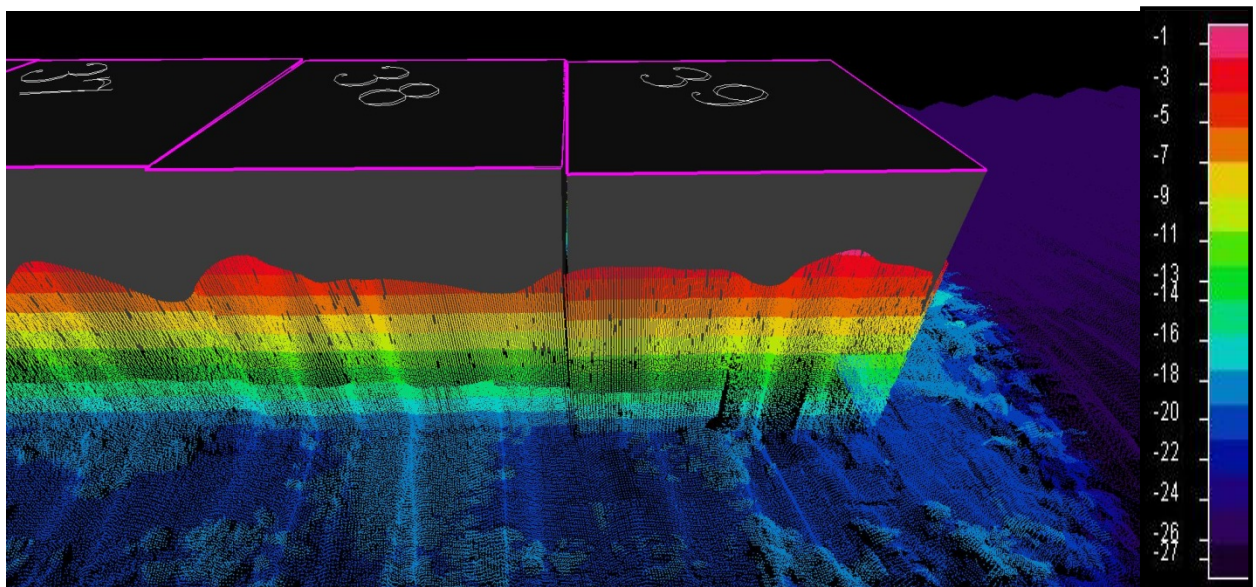


圖 4.4j 南外廓防波堤#S38~#S39 沉箱間堤外堤址 3D 點雲圖

4.1.3 水下攝影作業

水下攝影工作主要由合格之潛水人員以數位攝影機（DV Record）進行觀測，潛水人員沿各防波堤沉箱堤腳和堤址處錄影與察看，如發現有異樣或損壞情況，即加以量測與紀錄，相關作業情形如圖 4.5 所示，而表 4.2 為蘇澳港南防波堤港內外第二測次之水下調查彙整表。由水下調查作業得知，南防波堤#13、#18、#29、#31、#33、#34、#35、#38、#39 等處沉箱港外約有 50~90cm 間隙；另外，於#19 與#21 沉箱底部發現有部份掏空情況。

表 4.2a 蘇澳港南防波堤港外水下調查彙整表

沉箱編號	結構物現況及異常說明
堤外	潛水員準備入水進行堤外作業
#08	大型消波塊
#09	大型消波塊
#10	大型消波塊
#11	大型消波塊
#12	塊石堆積及外側護基方塊
#13	沉箱間隙 60cm、塊石堆積及外側護基方塊
#14	掉落工字樑、施工修補痕跡及大型沉箱分解塊 大型消波塊
#15	塊石堆積及廢棄沉箱塊
#16	塊石堆積及外側護基方塊
#17	塊石堆積及外側護基方塊、施工廢棄物
#18	沉箱間隙 70cm、塊石堆積、外側可目視護基方塊
#19	大型沉箱分解塊及廢棄 H 形鋼梁、沉箱修補痕跡 沉箱底部有掏空情況
#20	塊石堆積及外側護基方塊、施工修補痕跡
#21	施工修補痕跡 沉箱底有掏空情況
#22	塊石堆積及外側護基方塊
#23	塊石堆積、廢棄 H 型鋼及大型沉箱分解塊

沉箱編號	結構物現況及異常說明
#24	塊石堆積及灌漿痕跡、外側可目視護基方塊
#25	大型消波塊及塊石堆積
#26	沉箱外凸、塊石堆積及外側護基方塊
#27	施工修補痕跡、大型沉箱分解塊
#28	塊石堆積
#29	沉箱間隙 70cm、塊石堆積、外側可目視護基方塊
#30	塊石堆積及外側護基方塊
#31	沉箱間隙 70cm、大型沉箱分解塊
#32	塊石堆積及大型沉箱分解塊、內側可目視護基方塊
#33	沉箱間隙 60cm、大型沉箱分解塊 內側可目視護基方塊
#34	沉箱間隙 50cm、塊石堆積、可目視內側護基方塊
#35	沉箱外凸約 70cm、沉箱間隙 60cm、塊石堆積 外側可目視護基方塊、灌漿痕跡
#36	塊石堆積及外側護基方塊
#37	塊石堆積及外側護基方塊
#38	護基方塊明顯、塊石堆積
#39	沉箱間隙 90cm、塊石堆積於護基方塊上
#39 外角	護基方塊及廢棄儀器架(航道段)
#39 內角	護基方塊、訊號電纜、塊石堆積
#38 內	沉箱間隙 60cm、塊石堆積
#37 銜接	#38 及 #37 銜接處潛水員上升
	潛水員出水

表 4.2b 蘇澳港南防波堤港內水下調查彙整表

沉箱編號	結構物現況及異常說明
堤內	第 2 組潛水員準備入水進行堤內部份
#37	沉箱間隙 40cm、塊石堆積及施工廢棄物
#36	大型消波塊及塊石堆積
#35	塊石堆積於護基方塊上
#34	塊石堆積
#33	沉箱間隙 70 cm、塊石堆積、消波塊及施工廢棄物
#32	沉箱間隙 70 cm、塊石堆積
#31	沉箱間隙 40cm、塊石堆積
#30	沉箱間隙 60cm、塊石堆積
#29	沉箱間隙 40cm、施工廢棄物
#28	塊石堆積及施工廢棄物
#27	沉箱間隙 70cm、塊石堆積
#26	塊石堆積及施工廢棄物
#25	沉箱凸出 100cm、塊石堆積及外側護基方塊
#24	沉箱間隙 50cm、塊石堆積及施工廢棄物
#23	塊石堆積
#22	施工廢棄物及消波塊
#21	施工廢棄物及塊石堆積
#20	塊石堆積
#19	塊石堆積
#18	沉箱間隙 80cm、塊石堆積及施工廢棄物
#17	塊石堆積及施工廢棄物
#16	施工廢棄物及塊石堆積
#15	塊石堆積及施工廢棄物
#14	施工廢棄物及塊石堆積
#13	塊石堆積及施工廢棄物
#12	沉箱內凹、塊石堆積及施工廢棄物
#11	施工廢棄物及塊石堆積

沉箱編號	結構物現況及異常說明
#10	塊石堆積
#09	護基方塊表面覆沙
#08	護基方塊表面覆沙及塊石堆積
#07	護基方塊表面覆沙
#06	沉箱內凹長距離 300cm、沙地及塊石堆積
#05	沉箱凸出 250cm、護基方塊表面覆沙及塊石堆積



圖 4.5a 蘇澳港南防波堤#19 沉箱底部掏空情況

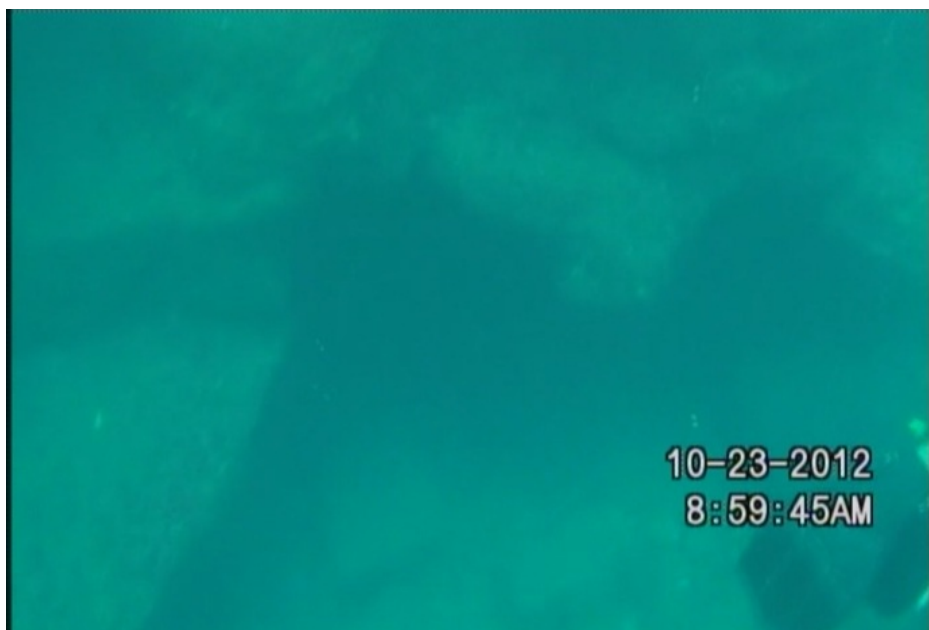


圖 4.5b 蘇澳港南防波堤#21 沉箱底部掏空情況

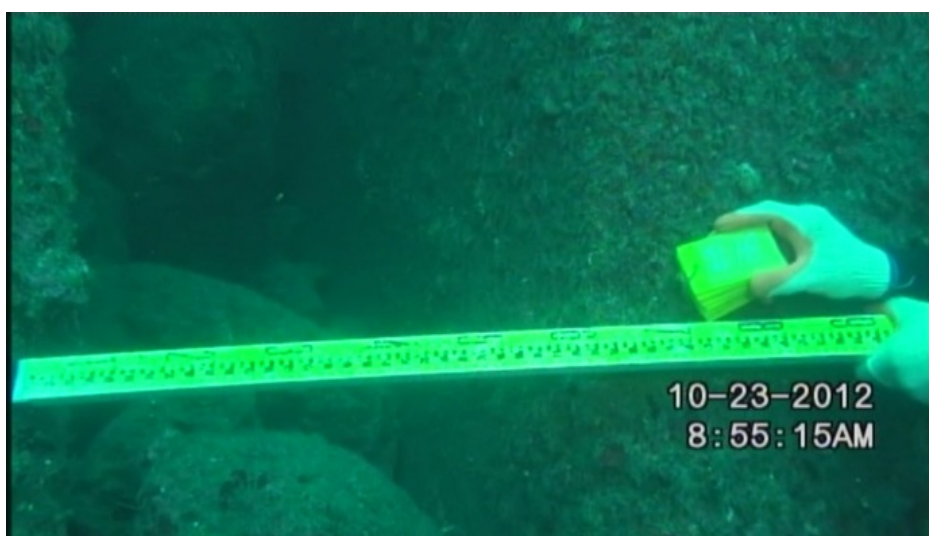


圖 4.5c 蘇澳港南防波堤#18 沉箱間隙量測情況

4.1.4 水上結構物檢視作業

為瞭解蘇澳港南防波堤結構物現況，以及確認現有沉箱之損壞狀況，本項作業先從南防波堤堤頭#39 沉箱處開始往港內走，沿途針對現有消波式防波堤之破壞情形皆以拍照作為紀錄，相關現場檢視與破壞狀況說明如后。

蘇澳港南防波堤正常型消波艙內側如圖 4.6a 所示有 4 個消波孔，而部份沉箱並無設置消波孔，此時在無設置消波孔之隔壁消波艙中只會有一半數量之消波孔，如圖 4.6b 所示。由現場檢視結果，於#37 沉箱處，其後側五艙消波艙中，有三艙無設置消波孔之消波艙除部份隔艙混凝土仍殘留外，其餘部份皆因遭受海浪破壞而毀損，如圖 4.7a 所示；另有部份與半數消波孔之消波艙交接處之後側胸牆，亦因破壞而使消波艙後側胸牆有所破損，如圖 4.7b 所示。



圖 4.6a 正常型消波艙內側



圖 4.6b 半數消波孔之消波艙內側



圖 4.7a #37 沉箱消波艙破壞情況



圖 4.7b #37 沉箱後側胸牆破壞情形

於#34、#35 相連兩座沉箱，其與#37 沉箱消波艙相同，並無消波孔之設計，其現況如圖 4.8 所示。其破壞方式亦與#37 沉箱類似，後側胸牆及消波艙隔艙混凝土現皆已被破壞，且其舊有內置鋼筋亦有外露及鏽蝕等情形。



圖 4.8a #34、#35 沉箱消波艙破壞情況

圖 4.8b #34、#35 沉箱後側胸牆破壞情形

於#31 沉箱處則全數屬於正常型消波艙，其現況與#37 沉箱相似，如圖 4.9 所示。原消波艙隔艙混凝土皆已被破壞，舊有內置鋼筋外露且鏽蝕，且其與鄰近沉箱後側胸牆交接處亦因胸牆混凝土的破壞，連帶導致鄰近混凝土剝落。



圖 4.9a #31 沉箱消波艙破壞情況



圖 4.9b #31 沉箱後側胸牆破壞情形

於#24～#27 沉箱處，其中#24 沉箱目前約仍有半數之消波艙可發揮作用，其餘部份皆被破壞，殘存部份之後側胸牆亦有部份損毀，如圖 4.10 所示。而#25、#26 沉箱之消波艙目前已全數消失，且原本損毀後之胸牆底面經過修補後，現高程雖仍低於堤面場鑄混凝土，但已不會對沉箱內部之回填料發生掏刷等情況；且於#25、#26 沉箱前緣有發現 H 型鋼版樁，研判應為之前為修復沉箱壁面時所留下，如圖 4.11 所示。另於#27 沉箱亦如#24 沉箱，在與大片破壞交接處皆會發生混凝土連帶損毀的情況，如圖 4.12 所示。



圖 4.10a #24 沉箱後側胸牆破壞情形



圖 4.10b #24 沉箱隔艙破壞情形



圖 4.11a #25~#26 沉箱破壞情形



圖 4.11b #25~#26 沉箱前緣鋼版樁



圖 4.12 #27 沉箱後側胸牆破壞情形

而南防波堤部份胸牆後側混凝土因為並非同時打設，且於工程施工打設時並未達到所設計之坡面而於斜面做二次修補，導致在經過一段時間之後，兩次打設之混凝土無法密切接合而使最後修補的混凝土容易因海浪或是風化的影響產生剝落的情況如圖 4.13 所示。



圖 4.13 胸牆後側混凝土剝落現況

部份堤段於堤後側可看出沉箱有發生錯位等情況，研判有可能是因為當時施工條件及技術較差，而導致沉箱無法整齊排列而有些許參差不齊，或是因受大浪之侵襲而造成之沉箱位移的情況，現況如圖 4.14 所示。



圖 4.14 沉箱發生錯位現況

4.2 防波堤設計條件檢討

本節中擬就蘇澳港南防波堤結構物之原有波浪設計條件進行檢討，並據以進行結構物安全性的探討比較，以作為後續防波堤結構物維護方案研擬之準備。

4.2.1 防波堤原有設計條件

1. 原有設計潮位條件

蘇澳港工程處由民國 63 年起，曾於南方澳 12 號碼頭附近設立潮位站進行潮位觀測，其潮位統計分析之結果如表 4.3 所示。

表 4.3 蘇澳港潮位資料統計結果

潮位	潮位站	12 號碼頭 (m)
施測期間最高潮位(H.W.L.)		2.25
大潮平均高潮位(H.W.O.S.T.)		1.50
平均高潮位 (M.H.W.L.)		1.33
平均潮位 (M.W.L.)		0.87
平均低潮位 (M.L.W.L.)		0.41
大潮平均低潮位(L.W.O.S.T.)		0.07
施測期間最低潮位(L.W.L.)		-0.20

資料來源：基隆港務局，「蘇澳港消波問題研究(第三期)」，(79.10)

本水位以蘇澳港築港高程系統為基準，設計水位為大潮平均高潮位加 1.00m 潮位偏差後，取+2.50m 作為設計水位值。

2. 原有颱風波浪條件

依據「蘇澳港興建工程」報告內容所述，原設計波浪條件係依據過去颱風記錄紀錄推算於水深-60m 時之深海波高如表 4.4 所示。

表 4.4 蘇澳港原設計深海波浪推算結果

波向	波高(m)	週期(sec)
SSE	7.7	13.0
SE	9.0	13.0
ESE	9.9	13.0
E	10.0	13.0

資料來源：基隆港務局蘇澳港工程處，「蘇澳港興建工程」，(72.11)。

3.原有設計波浪條件

依上述原設計波浪條件，原設計提前設計波高係根據表 4.4 所得之深海波浪，按四種不同水位+1.0m、+1.5m、+2.0m 及+2.5m 分別計算其折射係數 k_r 及淺化係數求取堤前之波高。依 Goda(1970)及 Weggel(1972)之理論推算其碎波波高及水深，深海波浪推算結果及堤前各段之設計波高、波型、波向及週期等資料如表 4.5 所示。

表 4.5 蘇澳港原設計外廓防波堤堤前設計波高

		南 外 防 波 堤								北外防波堤		
		拋石段		沉 箱 段								
		0k+0 0k+50	0k+50 0k+266	0k+0 0k+100	0k+100 0k+175	0k+175 0k+425	0k+425 0k+600	0k+600 0k+950	0k+950 0k+975	0k+0 0k+239	0k+239 0k+339	0k+339 0k+364
深海波向		E	E	E	E	E	ESE	ESE	ESE	SE	ESE	ESE
週期(sec)		13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0
設計水位(m)		+2.5	+2.5	+1.0	+1.0	+2.0	+2.5	+2.5	+2.5	+2.5	+2.0	+2.0
海側	波型	碎波	碎波	碎波	碎波	非碎波	非碎波	非碎波	非碎波	碎波	非碎波	非碎波
	波浪入射角	78	78	32	33	32	17	17	17	27	5	5
	波高(m)	3.9	10.1	12.7	12.0	12.0	9.0	9.0	9.0	10.1	11.7	11.7
港側	波高(m)	2.0	4.0	0.6	1.1	1.7	5.4	8.1	9.0	1.2	9.4	11.7
備 註		第一期工程						第二期工程				

4.原有安全係數條件

依據「蘇澳港興建工程」報告，原設計採用之安全係數如表 4.6 所示。

表 4.6 蘇澳港原設計安全係數表

	碎波	重 覆 波	
		$H_{1/3}$	$H_{1/10}$
沉箱滑動	1.2	1.2	1.0
沉箱傾倒	1.5	2.0	1.5
海底支承力	2.0	2.5	
拋石堤基礎滑動	1.2	1.2	
期待滑動量	在 $H_{\max}$ 作用下滑動量必須小於 25cm		

4.2.2 深海颱風波浪及暴潮位設計條件探討

1. 深海颱風波浪條件探討

港灣構造物之設計條件以可能發生之最大波浪為考量，一般以 50 年迴歸期颱風波浪為主要設計外力。茲選定 1940～2011 年對計畫區影響較大之颱風進行推算，並將其各方向可能發生之最大示性波高以極端值分佈法推算各復現期之波高，如表 4.7 所示。由表可知，侵襲蘇澳地區之颱風波浪以 E 向及 ENE 向波浪最大，並分別朝 N 向及 S 向遞減。就港工結構物設計之 50 年迴歸期而言，E 向及 ENE 向之颱風波高達 16.9m、週期約 17.3sec。

表 4.7 蘇澳外海不同迴歸期颱風波浪推算值

迴歸期 方向	250		200		100		50		25		20		10	
	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts
S	13.9	15.7	13.5	15.4	12.3	14.7	11.0	13.9	9.7	13.1	9.3	12.8	7.9	11.8
SSE	14.1	15.8	13.8	15.6	12.9	15.1	11.9	14.5	10.8	13.8	10.4	13.5	9.2	12.7
SE	17.8	17.7	17.4	17.5	16.2	16.9	14.9	16.2	13.5	15.4	13.0	15.1	11.4	14.2
ESE	19.0	18.3	18.6	18.1	17.3	17.5	16.0	16.8	14.5	16.0	14.0	15.7	12.3	14.7
E	20.2	18.9	19.7	18.6	18.4	18.0	16.9	17.3	15.3	16.4	14.7	16.1	12.9	15.1
ENE	20.5	19.0	20.0	18.8	18.6	18.1	16.9	17.3	15.2	16.4	14.6	16.0	12.7	15.0
NE	18.8	18.2	18.4	18.0	16.9	17.3	15.3	16.4	13.6	15.5	13.1	15.2	11.1	14.0
NNE	15.2	16.4	14.8	16.2	13.6	15.5	12.3	14.7	10.8	13.8	10.4	13.5	8.8	12.5
N	13.0	15.1	12.6	14.9	11.5	14.2	10.2	13.4	8.9	12.5	8.4	12.2	6.9	11.0

註：1. 依據 1940～2011 年間之颱風資料推算。

2. 推算目標區為 121.94°E，24.58°N。

3. 目標區水深為-150m。

4. Hs 單位為 m，Ts 單位為 sec。

5. $Ts = 4.2\sqrt{Hs}$ 。

經由前述分析可知，本研究所選定之 134 個(1940~2011 年)對本區影響較大之颱風進行颱風波浪推算，而由推算結果與原設計 SSE、SE、ESE 及 E 向之深海波浪條件進行比對顯示，其波高均大幅高於原設計波高，波高約增加 55%~69%，週期約增加約 12%~33%，如表 4.8 所示。以蘇澳港南外廓防波堤過往損壞記錄顯示，原設計之波高條件有低估之虞。

表 4.8 計畫區深海颱風波浪推算波高與原設計條件比對結果

	原設計(13 年回歸期)		本研究推算(50 年回歸期)		與原設計波浪比對結果	
	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts
SSE	7.7	13.0	11.9	14.5	55%	12%
SE	9.0	13.0	14.9	16.2	66%	25%
ESE	9.9	13.0	16.0	16.8	62%	29%
E	10.0	13.0	16.9	17.3	69%	33%

資料來源：基隆港務局蘇澳港工程處，「蘇澳港興建工程」，本研究整理。

2. 暴潮位設計條件探討

中央氣象局由民國 70 年起，亦於蘇澳港內設立潮位站，但經幾次改變測站位置後，依目前中央氣象局所統計之測站位置為東經 121.8669 度，北緯 24.5925 度，量測資料從民國 94 年至 100 年進行潮位觀測，其潮位統計分析之結果如表 4.9 所示。

表 4.9 中央氣象局蘇澳潮位資料統計結果

潮位	潮位站	蘇澳潮位站 (m)
施測期間最高潮位(H.W.L.)		2.39
大潮平均高潮位(H.W.O.S.T.)		1.74
平均高潮位 (M.H.W.L.)		1.47
平均潮位 (M.W.L.)		0.99
平均低潮位 (M.L.W.L.)		0.52
大潮平均低潮位(L.W.O.S.T.)		0.21
施測期間最低潮位(L.W.L.)		-0.26

資料來源：中央氣象局-蘇澳潮位站(統計時間 2005~2011)，本計畫整理。

由前所述，近年(民國 94 年至 100 年)之潮位資料統計結果可知，其最高高潮位(含暴潮偏差)為+2.39m，故設計水位採用+2.50m 尚符合設計需求。

4.2.3 原有與更新設計條件之檢討

蘇澳港外廓防波堤係於民國 64 年 1 月開工，於民國 70 年 12 月完工，原斷面如圖 4.15。但於民國 71 年安迪颱風來襲造成漁港北外堤兩座沉箱攔腰折斷與南外廓防波堤#30~#39 沉箱之間胸牆損毀約 136m 長，為防止損毀繼續發生，南外廓防波堤原有胸牆已逐年改建為單艙式消波胸牆，如圖 4.16 所示，其各沉箱改建年份如表 4.10 所示。

有鑑於蘇澳港外廓防波堤已改為消波式胸牆結構，但因現今已無法找到原設計之結構計算，因此無法瞭解當初消波式胸牆之波壓折減係數。但參考同期興建之花蓮港現有之消波式胸牆設計，以其波壓折減係數 0.9 作為本外廓堤之檢討依據。依現行國內港灣構造物設計規範-防波堤設計基準及說明中所述，波壓公式係採用 Goda 公式。但早期設計 λ_1 (緩變波壓項之修正係數)於消波式沈箱中皆採用 0.9，惟今該項公式已有部分修正，亦即隨著波浪作用狀況的不同，此時公式中之 λ_1 、 λ_2 之值應做修正。故本計畫後續進行波力計算時，將分別依 Goda 公式在三種不同波浪作用於消波式沉箱之 λ_1 、 λ_2 值計算受力總合，並採用最保守之波力條件進行消波式沉箱外力條件檢核，各波壓修正值作用位置如圖 4.17 所示。

經上述各項設計條件比對結果，彙整如表 4.11 所示，由表中可知，除原設計之颱風波浪條件，相對於現況颱風波浪推算之值偏低外，設計水位、地質條件及安全係數皆符合設計需求。

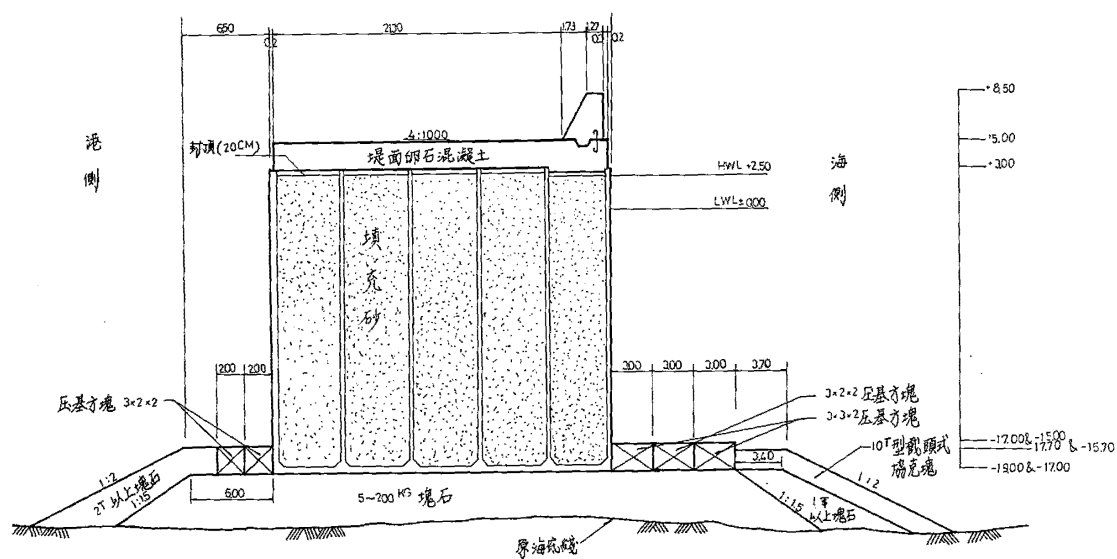


圖 4.15 蘇澳港南外廓防波堤原胸牆斷面示意圖(完工設計)

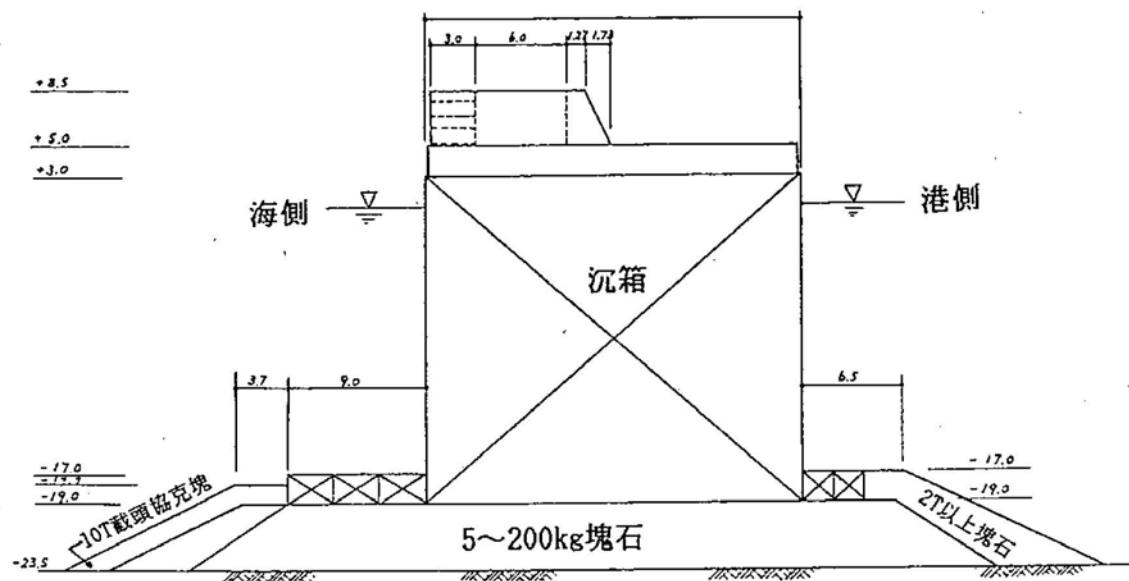


圖 4.16 蘇澳港南外廓防波堤單艙式消波胸牆斷面示意圖

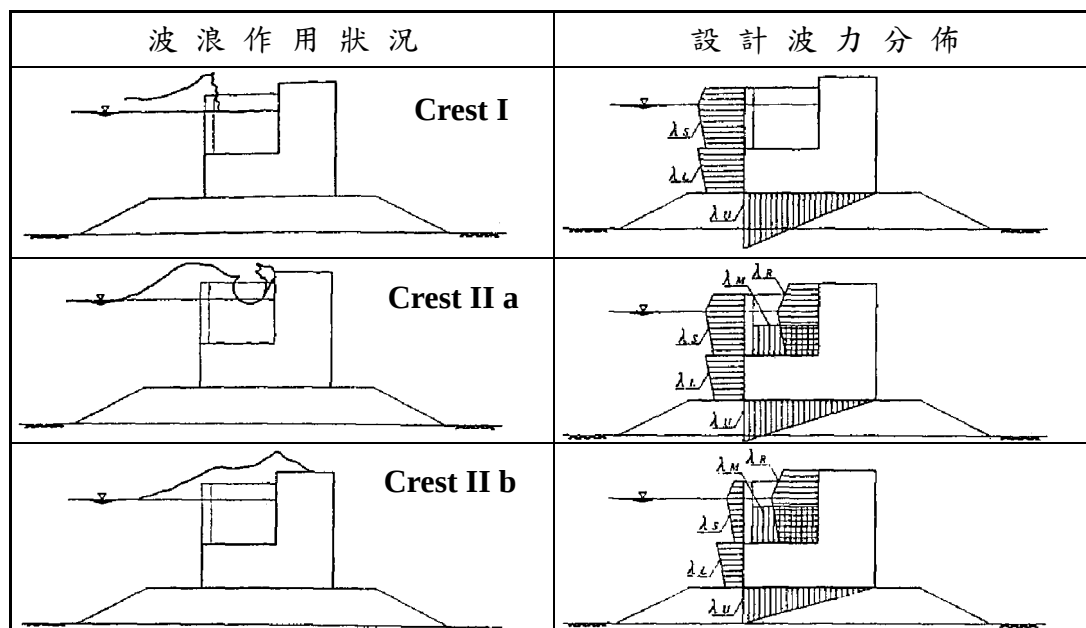


圖 4.17 消波式沉箱波壓作用分佈圖

表 4.10 蘇澳港南外廓防波堤消波式胸建造年份

建造年份	沉箱編號
72-78	#31- #39
79	#24- #30
81	#18- #23
82	#16- #17
83	#09- #15
84	#06- #08

表 4.11 本研究計算結果與原設計條件比對

	原設計條件	本計畫推算之設計條件	是否符合現況
設計水位	CD.+2.50	CD.+2.50	Ok
地質條件	地質堅硬，但可能有部份沈陷	同左	Ok
安全係數	滑動 1.2、傾倒 2.0、海底支承力 2.5、拋石基礎滑動採用 1.2	依規範在波壓作用下，滑動、傾覆皆為 1.2	Ok
波壓折減係數	開孔式沈箱，採用 0.9	依 Goda 公式 λ_1 、 λ_2 進行修正	需進一步探討
颱風波浪	最大波浪發生在方向為 E 向，波高值為 10.0m	最大波浪發生在方向為 E 向，波高值為 16.9m	有低估之虞，需進一步探討

4.3 防波堤結構物受損情況檢討

本研究蒐集蘇澳港營運處所提供之民國 83 年～89 年南外廓防波堤所受颱風破壞情形之資料可發現，其損害多為沉箱堤面混凝土及胸牆毀損，另亦有部份沉箱主體嚴重受損，內部填充材料流失等現象，相關災損情況如圖 4.18 所示。

另依民國 86 年港灣技術研究所之「蘇澳港防波堤改善工程規劃」報告中所整理，南外廓防波堤之歷年破壞情形，可整理如下(災損位置與沉箱編號對照，參考前圖 4.3 所示)：

1. 南外廓防波堤#19 及#31 沉箱堤面混凝土及胸牆毀損，沉箱主體大部份損壞，而#23 沉箱於民國 85 年賀伯颱風過境後，於海側側牆出現一高約 6m，寬約 20m 之巨大破洞，沉箱嚴重受損，內部填充材料流失。
2. #12~#39 沉箱多數有混凝土剝落、鋼筋外露等腐蝕情形發生。
3. #1~#9 沉箱原拋放之雙 T 塊損壞率約 10%~60%，SB13~SB14 沉箱海側菱形塊損壞率約為 40%~60%。

依據前述資料彙整如表 4.12 所示，同時比較前節本年度之圖像資料調查結果，蘇澳港南防波堤結構物受損情況可概略歸納如下：

1.消波塊體的流失情形

由於原設計用於抵擋或削減波力之消波塊已滑落至水下，導致防波堤所受波力增大，將對防波堤結構安全產生不良之影響。

2.側牆的裂縫情形

消波艙側牆發生之龜裂現象，此原因可能是大量越波水量以及由孔洞進入消波室的水量在某一特殊時間差的狀況下，限制了消波室裡空氣或水量的溢散，導致因壓縮而對消波室側壁產生側向波壓，最終使側壁因承受超過預期之波力而發生龜裂。

3.沉箱主體破壞、開孔胸牆後側及沉箱堤面混凝土剝落情形

原設計沉箱主體、上方之胸牆及堤面混凝土可能因混凝土強度較低或是配筋不足等原因，導致大浪來襲發生越波時，在保護不足的情況下而發生破壞。

4.沉箱間隙過大情形

由於現無南外廓堤完工時之測量紀錄，而無法進行與現況之比對分析。因此，過大的間隙有可能是因為當時施工條件及技術較差，導致沉箱無法整齊排列而有些許參差不齊，或是受大浪之侵襲而造成之沉箱發生位移的情況。

5.胸牆斜面混凝土剝落情形

由於胸牆係採取分層澆置，可能因施工縫未妥善處理導致產生混凝土弱面，若再加上極端波浪作用下，將使混凝土單元間因失去摩擦抵抗力而發生移動及破壞之情形。

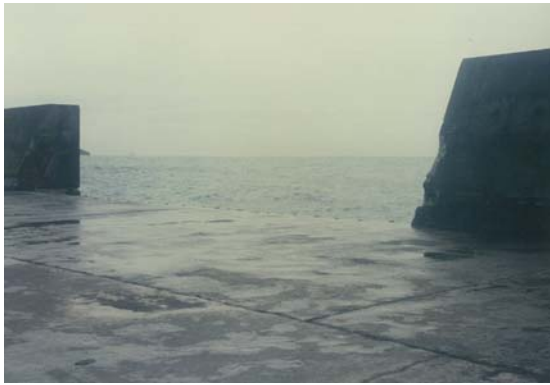


圖 4.18a 83.7.10 提姆颱風災害#8 沉箱胸牆



圖 4.18b 83.7.10 提姆颱風災害#31 沉箱胸牆



圖 4.18c 83.8.7 道格颱風災害#19 沉箱胸牆



圖 4.18d 83.8.7 道格颱風災害#31 沉箱胸牆



圖 4.18e 83.10.9 席斯颱風災害#19 沉箱

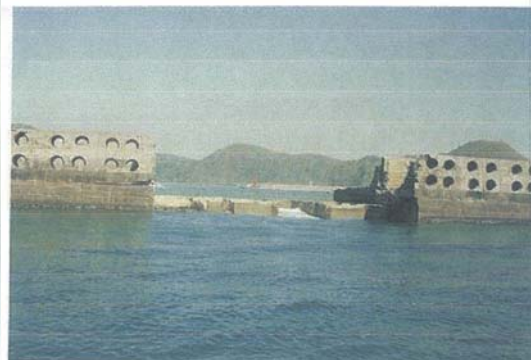


圖 4.18f 86.8.29 安珀颱風災害#23 沉箱

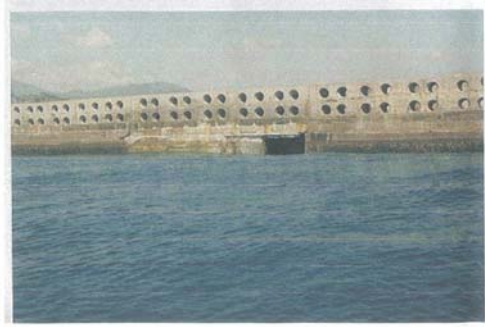


圖 4.18g 86.8.29 安珀颱風災害#23、#26~SB28、#34 沉箱



圖 4.18h 89.8.22 碧利斯颱風災害#23 沉箱

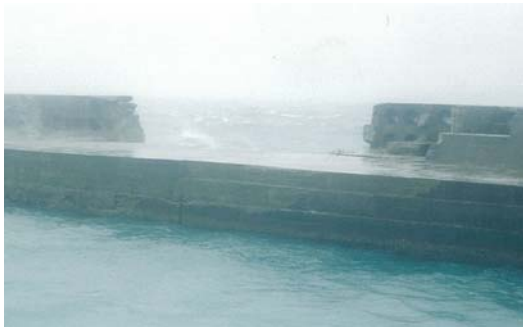


圖 4.18i 89.8.22 碧利斯颱風災害#26 沉箱



圖 4.18j 89.8.22 碧利斯颱風災害#28 沉箱



圖 4.18k 89.8.22 碧利斯颱風災害#31 沉箱



圖 4.18l 89.8.22 碧利斯颱風災害#34 沉箱

表 4.12 歷年蘇澳港南防波堤受損情況彙整

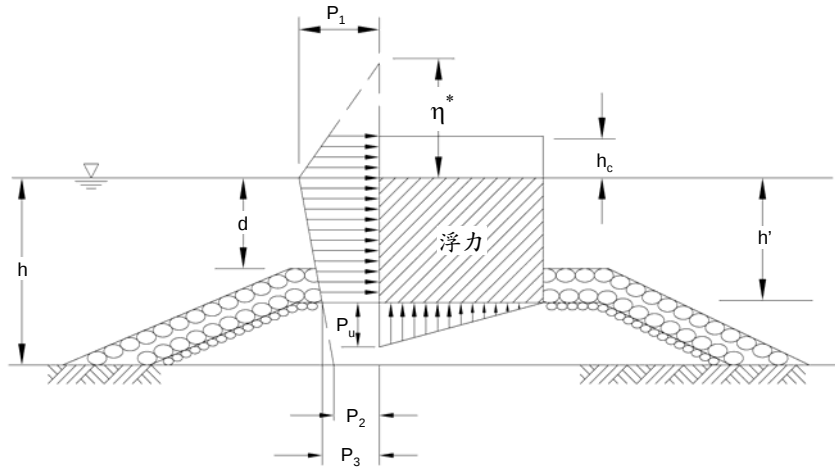
時間 (民國)	颱風名稱	沉箱受損情形
81.09	歐馬颱風	#31 沉箱外壁及隔牆破裂
83.07	提姆颱風	堤面及胸牆破損 #13、#14、#20、#25 沉箱壁破損及龜裂 #31 沉箱破損
83.08	道格颱風	#19 海側艙面破損、堤面及胸牆流失 #31 沉箱破損至-11m(原破壞加大)
83.10	席斯颱風	#19 沉箱破損、堤面流失
85.08	賀伯颱風	#23 海側沉箱壁面破損
86.08	安珀颱風	#23 沉箱破損 1/25 座 #26 堤面破損 1/4 座，胸牆破損 1 座 #27 沉箱損毀 1 座 #28 胸牆破損 1/5 座 #34 胸牆破損 1 座
87.10	瑞伯颱風	#31 消波胸牆受損
89.08	碧利斯颱風	#14 沉箱破損 1/5 座，胸牆破損 1 座 #21 沉箱破損 1/5 座 #23 沉箱破損 1/2 座，胸牆破損 1 座 #26 胸牆破損 1 座 #28 胸牆破損 1 座 #31 胸牆破損 1 座 #34 胸牆破損 1 座

資料來源：蘇澳港營運處。

4.4 防波堤結構物受力計算探討

4.4.1 受力計算方式

有關防波堤堤前波高計算採用合田良實(Goda)波壓公式，各壓力分佈如圖 4.19 所示，計算步驟如下：



資料來源：「Technical Standards and Commentaries for Port and Harbor Facilities in Japan」，本案整理

圖 4.19 防波堤直立部份波壓分佈圖

1. 示性波高與最大波高計算

Goda 利用一系列的實驗與分析，得到計算堤體受力所需之示性波高、最大波高與相當外海波高之間的關係式。

$$H_s = \begin{cases} K_s H_o' & h / L_o \geq 0.2 \\ \min\{(\beta_o H_o' + \beta_1 h), \beta_{\max} H_o', K_s H_o'\} & h / L_o < 0.2 \end{cases} \quad (4.1)$$

式中 $\beta_o = 0.028(H_o'/L_o)^{-0.38} \exp[20 \tan^{1.5} \theta]$

$$\beta_1 = 0.52 \exp[4.2 \tan \theta]$$

$$\beta_{\max} = \max\{0.92, 0.32(H_o'/L_o)^{-0.29} \exp[2.4 \tan \theta]\}$$

$$H_{\max} = \begin{cases} 1.8 K_s H_o' & h / L_o \geq 0.2 \\ \min\{(\beta_o^* H_o' + \beta_1^* h), \beta_{\max}^* H_o', 1.8 K_s H_o'\} & h / L_o < 0.2 \end{cases} \quad (4.2)$$

式中 H_o' ：相當外海波高($H_o' = H_o \cdot K_r \cdot K_d$)

$$\beta_o^* = 0.052(H_o'/L_o)^{-0.38} \exp[20 \tan^{1.5} \theta]$$

$$\beta_1^* : 0.63 \exp [3.8 \tan \theta]$$

$$\beta_{\max}^* : \max \{1.65, 0.53(H_o'/L_o)^{-0.29} \exp[2.4 \tan \theta]\}$$

$\tan \theta$ ：堤址附近海底坡度

2.波壓作用高程

$$\eta = 0.75(1 + \cos \beta) \lambda_1 H_{\max}$$

η ：波壓作用在靜水位以上高度 (m)

β ：入射波向與海堤垂線之夾角 $\pm 15^\circ$ ，取其大者。

λ_1 ：緩變波壓項之修正係數，通常為 0.8~1.0，通常沉箱堤設計採用 1.0；拋石堤則採用 0.9。

3.波壓強度

$$P_1 = 1/2(1 + \cos \beta)(\lambda_1 \alpha_1 + \lambda_2 \alpha_2 \cos^2 \beta) W_o H_{\max}$$

$$P_2 = \frac{P_1}{\cosh(2\pi h/L)}$$

$$P_3 = \alpha_3 \cdot P_1$$

$$P_4 = \alpha_4 \cdot P_1$$

β ：入射波向與堤線垂線之夾角 $\pm 15^\circ$ ，取其大者。

λ_1 ：緩變波壓項之修正係數，通常為 0.8~1.0。

λ_2 ：碎波波壓項之修正係數

λ_3 ：上揚壓力項之修正係數

$$\alpha_1 = 0.6 + 1/2 \left(\frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right)^2$$

$$\alpha_2 = \min \left[\frac{h_b - d}{3h_b} \left(\frac{H_{\max}}{d} \right)^2, \frac{2d}{H_{\max}} \right]$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h'}{h} \left[1 - \frac{1}{\cosh(2\pi h / L)} \right]$$

$$\alpha_4 = 1 - h_c^* / \eta^*$$

$$h_c^* = \min[\eta^*, h_c]$$

式中 P_1 : 靜水位之波壓強度 (t/m^2)

P_2 : 海底之波壓強度 (t/m^2)

P_3 : 堤底之波壓強度 (t/m^2)

P_4 : 胸牆頂之波壓強度 (t/m^2)

h : 堤趾水深 (m)

h_b : 堤前 5 倍 $H_{1/3}$ 距離處之水深 (m)

h' : 直立部份之水深 (m)

d : 護基方塊或覆坡石(塊)中水深較小者 (m)

W_o : 海水單位重 (t/m^3)

L : 水深 h 處之波長

$\min\{a,b\}$: a,b 中取較小值

若為直立堤且入射波向角 $\beta < 30^\circ$ 之情況下，尚需考量衝擊波壓發生之可能。此時 α_2 值應修正為 α^* ，其中

$$\alpha^* = \max[\alpha_2, \alpha_{10} \cdot \alpha_{11}]$$

$$\alpha_{10} = H/d \quad H \leq 2d$$

$$= 2 \quad H > 2d$$

$$\alpha_{11} = \cos \delta_2 / \cosh \delta_1 \quad \delta_2 \leq 0$$

$$= 1 / [\cosh \delta_1 (\cosh \delta_2)^{1/2}] \quad \delta_2 > 0$$

$$\delta_1 = 20 \delta_{11} \quad \delta_{11} \leq 0$$

$$= 15 \delta_{11} \quad \delta_{11} > 0$$

$$\delta_2 = 4.9 \delta_{22} \quad \delta_{22} \leq 0$$

$$= 3 \delta_{22} \quad \delta_{22} > 0$$

$$\delta_{11} = 0.93(B_m / L - 0.12) + 0.36[(h - d)/h - 0.6]$$

$$\delta_{22} = 0.36(B_m / L - 0.12) + 0.93[(h - d)/h - 0.6]$$

式中 B_m ：堤前拋石平台寬(m)

4.浮力及上揚力

浮力僅考慮直立堤身於設計水位以下部份。上揚力則假設為三角形分佈，作用於直立堤身底部；最大上揚力 P_u 作用於海側堤趾，港側堤趾則為零，其計算公式如下：

$$P_u = 1/2(1 + \cos\beta) \cdot \lambda_3 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_3 \cdot W_o \cdot H_{\max}$$

5.波力合成力及其力矩

基於上述計算，波力之合成力 P 及力矩 M_p 可依下式求得：

$$P = 1/2(P_1 + P_3)h' + 1/2(P_1 + P_4)h_c^*$$

$$M_p = 1/6(2P_1 + P_3)h'^2 + 1/2(P_1 + P_4)h' \times h_c^* + 1/6(P_1 + 2P_4)h_c^{*2}$$

上揚力之合成力 U 及力矩 M_u 可由下式求之：

$$U = 1/2P_u \cdot \ell_u$$

$$M_u = 2/3U \cdot \ell_u$$

式中 ℓ_u ：表示上揚力作用於堤底之範圍

若直立堤身位於設計水位之下，則 $\ell_u = B$ 堤底寬

若直立堤身位於設計水位以上，則 $\ell_u = \min \left\{ B, 0.2 \frac{(\eta^* + h')^2}{|h'|} \right\}$

其中 h' ：直立堤底部出水面之高度(取負值)

6.消波艙波壓修正

前述計算為針對沉箱壁面，但消波艙具有可削減波壓之效用，因此，依 Goda 修正公式在三種不同波浪(Crest I、Crest II a 及 Crest II b)作用於消波式沉箱之 λ_1 、 λ_2 及 λ_U 值，如表 4.13 所示，帶入上述波壓計

算公式中，計算其修正後之受力總合，並採用最保守之波力條件進行消波式沉箱外力條件檢核。

表 4.13 消波式沉箱波壓係數表

		Crest-I	Crest-IIa	Crest-IIb
消能壁	λ_{S1}	0.85	0.7	0.3
	λ_{S2}	$\begin{cases} 0.4 & (\alpha^* \leq 0.75) \\ 0.3/\alpha^* & (\alpha^* > 0.75) \end{cases}$	0	0
前壁	λ_{L1}	1.0	0.75	0.65
	λ_{L2}	$\begin{cases} 0.4 & (\alpha^* \leq 0.5) \\ 0.2/\alpha^* & (\alpha^* > 0.5) \end{cases}$	0	0
後壁	λ_{R1}	0	$\begin{cases} 20\ell/3L' & (\ell/L' \leq 0.15) \\ 1.0 & (\ell/L' > 0.15) \end{cases}$	$\begin{cases} 1.4 & (H/h \leq 0.1) \\ 1.6 - 2H/h & (0.1 < H/h < 0.3) \\ 1.0 & (H/h \geq 0.3) \end{cases}$
	λ_{R2}	0	$\begin{cases} 0.56 & (\alpha^* \leq 25/28) \\ 0.5/\alpha^* & (\alpha^* > 25/28) \end{cases}$	0
底板	λ_{M1}	0	$\begin{cases} 20\ell/3L' & (\ell/L' \leq 0.15) \\ 1.0 & (\ell/L' > 0.15) \end{cases}$	$\begin{cases} 1.4 & (H/h \leq 0.1) \\ 1.6 - 2H/h & (0.1 < H/h < 0.3) \\ 1.0 & (H/h \geq 0.3) \end{cases}$
	λ_{M2}	0	0	0
揚壓力	$\lambda_U (= \lambda_3)$	1.0	0.75	0.65

4.4.2 堤址波力評估探討

由前節原有設計條件檢討可知，原設計條件中包括設計水位、安全係數等皆符合設計需求，原設計之颱風波浪採用 ESE 向 $H=9.9\text{m}$ ，而本研究蒐集 134 個(1940~2011 年)颱風資料重新推算之結果則 ESE 向颱風波浪達 16.0m ，波高增幅達 62%，對波力之勢必產生影響。依原設計之最大颱風波浪與現況推算之結果，如表 4.14 所示。故後續計算將分別採用原設計及本計畫推算之條件進行檢核，而波壓折減係數原設計採用 0.9，有鑑於波力計算雖仍可採用 Goda 之波壓公式，但早期設計 λ_1 (緩變波壓項之修正係數)於消波式沉箱中皆採用 0.9，惟今該項公式已有部分修正，亦即隨著波浪作用狀況的不同，此時公式中之 λ_1 、 λ_2 及 λ_U 之值應做修正。

表 4.14 計畫區深海颱風波浪推算波高與原設計條件比對結果

	原設計波浪條件 13 年迴歸期		本計畫颱風波浪推算 50 年迴歸期	
	Hs (m)	Ts (sec)	Hs (m)	Ts (sec)
ESE	9.9	13.0	16.0	16.8

1.原設計條件波力計算結果

今依曾發生整座沉箱破壞之#19 與#31 沉箱為例，並以水深較深(-24m)之#31 沉箱作為檢驗依據，對照前節之原有設計條件表，相當於 0K+600~0K+950 堤段，各項計算條件如表 4.15 所示，其標準斷面如圖 4.20 所示。

表 4.15 #31 沉箱各項計算條件一覽表

計 算 條 件 項 目	數 值	計 算 條 件 項 目	數 值
設計水位(m)	+2.5	堤趾水深 h(m)	26.5
深海波向	ESE	直立堤堤底水深 h'(m)	21.5
海底坡度	1/50	堤頂出水高度 hc(m)	6.0
堤前 5 倍 $H_{1/3}$ 距離處之水深 h_b (m)	27.40	堤前護基層頂面水深 d(m)	17.5
週期 T(sec)	13.0	相當外海波高 H_0' (m)	9.78
波向線與堤線之夾角 $\alpha(^{\circ})$	17	深海波高 H_0 (m)	9.90

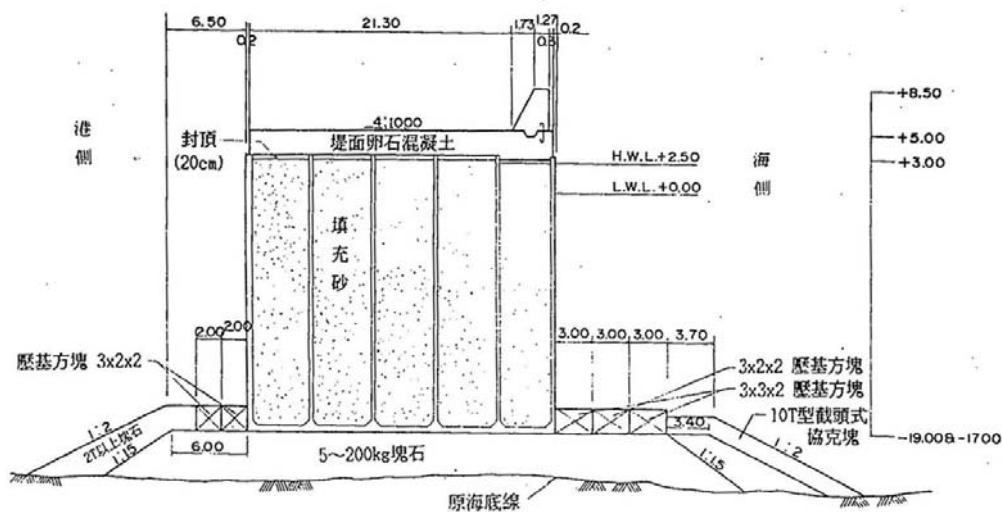


圖 4.20 #10~#39 沉箱標準斷面圖

依上述設計條件及合田良實(Goda)公式計算後之結果詳表 4.16 所示，其中原設計報告總波力 P 計算為 334.58 t，但如以花蓮港之設計報告採用將波力計算結果統一乘 0.9 後作為結構穩定計算之波力，則其結果如表中所示。

另依據規範進行波壓係數修正，其波力計算方式如后所述。本計畫計算條件中，除消波艙孔隙率依現況防波堤初估為 18.0%（每一圓孔直徑為 1.00 m、每一座沉箱共有 20 個圓孔(每個隔艙有 4 個原孔，每座沉箱共五個隔艙)，以面積計算之），其餘設計條件皆為原始設計條件，計算結果如表 4.17 所示。由結果可知，總波力經採用 Goda 所建議之波壓折減係數檢討後，Crest I、II a、II b 之波壓折減率會介於 0.76 至 0.92 間。如以設計波壓折減係數採用 0.9，則顯示原設計波力會比 Crest I 之結果較低估，而比 Crest II a、II b 之結果則偏保守。另揚壓力部分因設定向上為正，而 Crest II b 係表示波浪整個覆蓋過消波艙，導致波壓向下之衝擊力會較大，因此，會抵銷較多之揚壓力。

表 4.16 原波力計算結果

種 類	參 數	計算結果
示性波高與最大波高	$H_s(m)$	9.00
	$H_{max}(m)$	16.14
波力合成力及其力矩	$P(t)$	301.12
	$U(t)$	109.99
	$M_p(t-m)$	4241.24
	$M_u(t-m)$	1833.12

表 4.17 波壓係數修正下波力計算結果

種 類	參 數	Crest I	Crest II a	Crest II b
波力合成力及其力矩	P(t)	308.00	255.06	258.84
	波壓折減率	0.92	0.76	0.77
	U(t)	122.00	62.82	0.12
	M _p (t-m)	4170.14	3787.85	4191.25
	M _u (t-m)	2033.74	980.39	-182.68

註：1.揚壓力向上為+、向下為-。2.未折減前波力為 P=334.58 t。

3.波壓折減率=折減後波力/未折減前波力

2.本研究設計條件波力計算結果

經長時間颱風資料之修正，設計颱風浪已增加達 62%，重新計算堤址波力如表 4.18 所示，由表可知，水平波力最大達 506.69 t，較原設計 301.12 t 為大，即使於波壓係數修正下，亦有大幅之增加。其增加量是否會對堤體穩定造成影響，將於後節予以探討。

表 4.18 本研究設計條件下現有波壓係數修正波力計算結果

種 類	參 數	Crest I	Crest II a	Crest II b
波力合成力及其力矩	P(t)	506.69	402.32	413.37
	U(t)	211.00	125.49	16.17
	M _p (t-m)	6759.65	5831.69	6612.15
	M _u (t-m)	3517.37	2015.59	-12.28

4.5 防波堤結構物安全性評估探討

4.5.1 堤體安全性分析方法

1.護基方塊護面石及堤址塊石重量計算

採用 Hudson 類型之公式計算如下。

$$W = \frac{\gamma_s H_s^3}{K_d (S_r - 1)^3 \cot \alpha} \text{-----} \quad \text{消波塊}$$

$$W = \frac{\gamma_s H_s^3}{N_s^3 (S_r - 1)^3} \text{-----} \quad \text{護基方塊、護面石}$$

式中 W : 護面塊重量 (t)

γ_s : 護面塊單位重 (t/m^3)

H_s : 堤前設計波高 ($H_{1/3}$)

K_d : 穩定係數 ($N_s^3 = K_d \cot \alpha$)

S_r : 護面塊對海水比重

α : 斜面與水平面之夾角

如依谷本勝利(Tanimoto)建議之計算方式如下：

$$N_s = \max. \left\{ 1.8, \left[A \frac{1-k}{k^m} \frac{h'}{H_{1/3}} + NSC \exp \left(-B \frac{(1-k)^2}{k^m} \frac{h'}{H_{1/3}} \right) \right] \right\}$$

$$\text{其中 } k = \frac{4\pi h' / L'}{\sinh(4\pi h' / L')} \sin^2 \left[\frac{2\pi B_m}{L'} \right]$$

h' : 護基方塊放置處之水深(m)

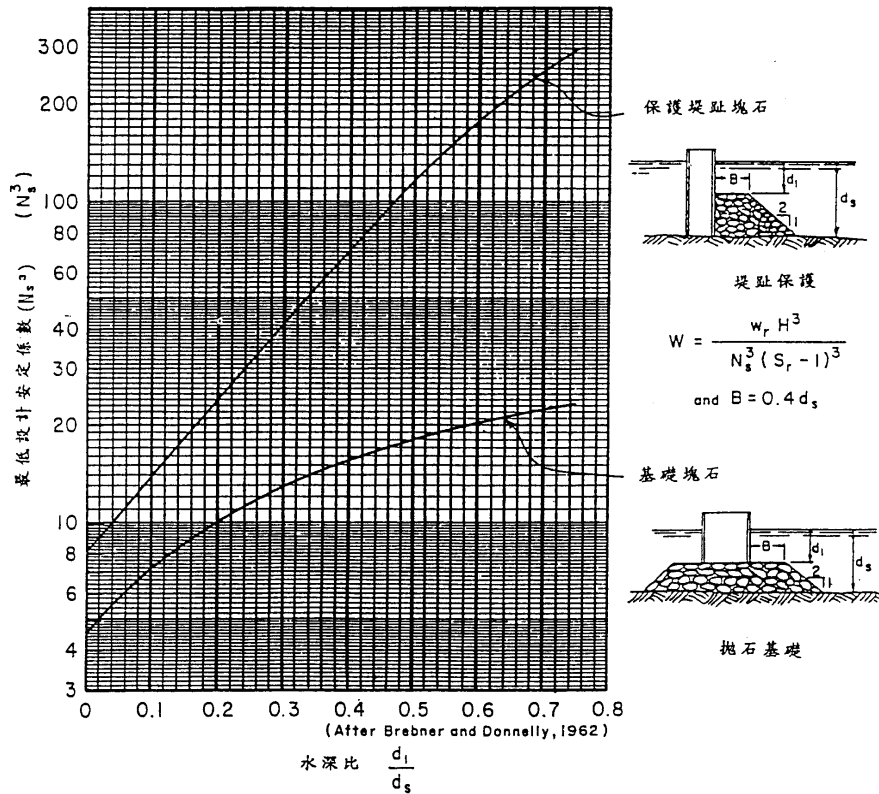
L' : h' 水深處之波長(m)

B_m : 堤前拋石平台寬(m)

A、m、NSC、B：係數，依採用護基型式不同而取不同之值如下：

護基型式	A	m	NSC	B
塊石	1.3	1/3	1.8	1.5
方塊	1.0	1/3	1.4	1.2
開孔方塊	0.82	1/2	1.6	0.9

另 Shore Protection Manual 依拋石功用區分為基礎保護用及護基用兩大類型，具以提供安定係數 N_s 圖表選取之方式，如圖 4.21 所示。



資料來源：Shore Protection Manual

圖 4.21 護基及堤趾拋石之安定係數圖

2. 堤體穩定分析

(1) 滑動驗算

$$SF_s = \frac{\mu(W_A - W_B - U) + W_s}{P}$$

式中 SF_s ：滑動安全係數
 μ ：摩擦係數
 W_A ：堤體重量

W_B : 堤體所受之浮力
 U : 堤體所受之上揚力
 W_S : 堤體所受之被動土壓力
 P : 堤體所受波浪之合力

(2) 傾倒驗算

$$SF_o = \frac{M_A - M_B - M_U + M_S}{M_P}$$

式中 SF_o : 傾倒安全係數
 M_A : 由堤體自重產生之抗傾力矩
 M_B : 由堤體所受浮力產生之力矩
 M_U : 由堤體所受上揚力產生之力矩
 M_S : 由堤體所受被動土壓力產生之抗傾力矩

3. 消波艙安全性分析

由前節所述之整體外力作用下堤體可符合安全之要求，但由另由前所描述之現場曾有消波艙破壞情況，顯示可能有大於消波艙所能負荷之外力作用發生，因而產生破壞。由於消波艙主要受側向波力作用，以下將針對消波艙之混凝土剪力破壞及在波力作用下滑動及傾倒之機制加以探討。混凝土剪力計算強度公式如下：

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} b_w d$$

V_c : 剪力強度(kg)

f'_c : 混凝土之抗壓強度(kg/cm²)

b_w : 寬度

4.5.2 計算結果與分析

1. 護基方塊護面石及堤址塊石重量計算

(1) 原設計計算結果

經上述 Hudson 公式及谷本勝利(Tanimoto)利用原設計颱風波浪條件計算結果可得，方塊重量最少須達到 7.03 t，但原設計並無交代護基方塊重量計算方式，但由原設計圖斷面可看出兩種護基方塊尺寸，分別為 3m x 2m x 2m(A 型)及 3m x 3m x 2m(B 型)，計算其重量分別為 27.6 t 及 41.4 t。經檢討可知方塊無論 A 型及 B 型重量皆大於 7.03 t，應可符合原設計之颱風波浪需求。

(2) 本研究分析結果

由前節現場堤址調查結果可知，現況方塊並無明顯移動情形，符合原計算結果。但經採用本計畫颱風波浪 $H=16.0\text{m}$ 重新檢核，發現所需護基方塊重量為 80.85 t 且大於現況護基方塊之重量，另由前節颱風波浪實測資料可發現，目前出現之最大波高為 14.8m，週期為 13.9sec。經計算其護基方塊約需 71t，仍大於現有方塊之 41.4t。

2. 堤體穩定分析

(1) 原設計條件計算結果探討

由原設計計算檢核發現，以波力計算(包括 P 及 U)皆統一採用乘上 0.9 後，經此修正後其滑動安全係數(SFS)為 1.37。另檢核其傾倒安全係數發現，依防波堤設計規範中規定 M_u 應當作抵抗力矩而相減於分子，故傾倒安全係數(SF_0)為 2.06。

另於表 4.19 中列出規範要求與計算後之比較值，由表中可看出，在沉箱堤體滑動、傾倒及拋石滑動穩定部份皆可符合規範要求。而在基礎承载力計算結果中，引用第二章中之地質鑽探結果可知，#31 沉箱較接近 B5 鑽孔處，其 spt-N 值為 21，因此，在計算海床基礎承载力時，以海床基礎安息角保守採用 $33^\circ (27+0.3N)$ 估算下，原設計之堤底承载力及海床基礎承载力亦可滿足規範要求。

表 4.19 原設計波浪條件堤體穩定計算結果

項 目	規範要求	計算結果
堤體滑動穩定計算	1.2	1.37
堤體傾倒穩定計算	1.2	2.06
拋石滑動穩定計算	1.2	1.69
堤底承载力計算	69.92	447.54
海床基礎承载力計算	55.86	74.51

在穩定計算部分，由原設計檢核可知，其滑動安全係數為 1.37，滿足規範要求的 1.2。但經本計畫波壓修正計算後，即使採用最大波力保守計算下，其滑動安全係數介於 1.31~1.85，皆可滿足於規範之需求。而設計之傾倒安全係數為 2.06，其值已符合規範 1.2 之需求，且經本計畫波壓修正後，則安全係數雖互有增減，其值仍介於 2.05~2.56 間，亦可符合規範之要求。上述分析可顯示原波浪設計條件下，對現有堤體穩定性並無疑慮。

另由本研究考量不同情況下波壓修正計算後，波力較原設計總波力(P)增減互見，其約介於 102%至 85%間，而總揚力(U)增減變化較大，其範圍介於 111%至 0%。Crest I 情形下之波力及揚力皆有增加，導致滑動及傾倒安全係數略有減少，分別減少 4%及 1%；而 Crest II a 情況下之波力及揚力皆減小，導致滑動安全係數及傾倒安全係數增加，分別提升 26%及 23%；如依 Crest II b 之情形，其波力減小且總揚力接近於 0，因此，其滑動安全係數及傾倒安全係數分別提升 35%及 25%，如表 4.20 所示。

表 4.20 #31 沉箱採用原設計波浪條件之波壓修正穩定計算表

	CrestI		CrestIIa		CrestIIb		原設計 結果
	數值	比例	數值	比例	數值	比例	
總波力(P)	308.00	1.02	255.06	0.85	258.84	0.86	301.12
總波力矩(Mp)	4170.14	0.98	3787.85	0.89	4191.25	0.99	4241.24
總揚壓力(U)	122.00	1.11	62.82	0.57	0.12	0.00	109.99
總揚壓力矩(Mu)	2033.74	1.11	980.39	0.53	-182.68	-0.10	1833.12
總防波堤重力(WA)	1350.04	1.00	1350.04	1.00	1350.04	1.00	1350.04
總防波堤重力矩(MA)	17486.91	1.00	17486.91	1.00	17486.91	1.00	17486.91
總浮力(WB)	553.79	1.00	553.79	1.00	553.79	1.00	553.79
總浮力矩(MB)	6922.37	1.00	6922.37	1.00	6922.37	1.00	6922.37
堤體水中重(WA-WB-U)	674.25	0.98	733.43	1.07	796.13	1.16	686.26
堤體水中重力矩 (MA-MB-M _u)	8530.80	0.98	9584.15	1.10	10747.22	1.23	8731.42
$SF_s=[f^*(WA-WB-U)]/P$	1.31	0.96	1.73	1.26	1.85	1.35	1.37
$SF_o=(MA-MB-M_u)/Mp$	2.05	0.99	2.53	1.23	2.56	1.25	2.06

(2) 本研究設計條件之計算結果探討

於表 4.21 中列出現況推算後與規範之比較值，由表中可看出，現況在各項中皆無法滿足規範要求。而在考量不同情況下波壓修正計算後之結果，如表 4.22 所示，滑動安全係數介於 0.69~1.13 間，亦顯示現有堤體有極大可能發生滑動情形；但傾倒安全係數介於 1.04~1.60 間，顯示在現況條件下雖無立即性之危險，但亦有傾倒之虞。

表 4.21 本研究計算波浪條件堤體穩定計算結果

項 目	規範要求	計算結果
堤體滑動穩定計算	1.2	0.71
堤體傾倒穩定計算	1.2	1.04
拋石滑動穩定計算	1.2	0.95
堤底承载力計算	929.93	29.74
海床基礎承载力計算	89.67	39.53

表 4.22 #31 沉箱採用本研究計算波浪條件之波壓修正穩定計算表

	CrestI		CrestIIa		CrestIIb		原設計 結果
	數值	比例	數值	比例	數值	比例	
總波力(P)	506.69	1.68	402.32	1.34	413.37	1.37	301.12
總波力矩(Mp)	6759.65	1.59	5831.69	1.37	6612.15	1.56	4241.24
總揚壓力(U)	211.00	1.92	125.49	1.14	16.17	0.15	109.99
總揚壓力矩(Mu)	3517.37	1.92	2015.59	1.10	-12.28	-0.01	1833.12
總防波堤重力(WA)	1350.04	1.00	1350.04	1.00	1350.04	1.00	1350.04
總防波堤重力矩(MA)	17486.91	1.00	17486.91	1.00	17486.91	1.00	17486.91
總浮力(WB)	553.79	1.00	553.79	1.00	553.79	1.00	553.79
總浮力矩(MB)	6922.37	1.00	6922.37	1.00	6922.37	1.00	6922.37
堤體水中重(WA-WB-U)	585.25	0.85	670.76	0.98	780.08	1.14	686.26
堤體水中重力矩 (MA-MB-M _u)	7047.17	0.81	8548.95	0.98	10576.82	1.21	8731.42
$SF_s=[f^*(WA-WB-U)]/P$:	0.69	0.51	1.00	0.73	1.13	0.83	1.37
$SF_o=(MA-MB-M_u)/Mp$:	1.04	0.51	1.47	0.71	1.60	0.78	2.06

註：本計算採用 50 年 E 向颱風波浪作為設計條件。

初步分析颱風波浪於滿足規範要求下(1.2)或堤體穩定下(1.0)之波高與週期，如表 4.23 所示。如要滿足規範要求，則沉箱只能承 10.47m 以下之外海波浪襲擊；但如只要維持堤體穩定，則沉箱可承受至 11.57m 以下之外海波浪。

表 4.23 堤體穩定可受最小颱風波浪對照表

要求	項 目	所需條件		計算結果
		H _s	T _s	
1.20	堤體滑動穩定計算	10.47	13.59	1.20
	堤體傾倒穩定計算			1.80
	拋石滑動穩定計算			1.52
1.00	堤體滑動穩定計算	11.57	14.29	1.00
	堤體傾倒穩定計算			1.49
	拋石滑動穩定計算			1.30

註： $T_s = 4.2\sqrt{H_s}$

3.原設計條件之消波艙安全性分析

(1)消波艙胸牆剪力破壞分析

以目前消波艙前側胸牆開孔與開孔間之混凝土最短距離有 70cm 且厚度至少 300cm 之條件予以計算，如圖 4.22 所示，由圖可知以原有設計之 $140\text{kg}/\text{cm}^2$ 混凝土打設下， $70\text{cm}\times 300\text{cm}$ 之混凝土面積至少可承受約 131.69 t 之剪力作用，遠大於波力作用於消波艙所產生之外力(39.27 t)，由此可知，在混凝土結構一致之條件下，消波艙開孔面之混凝土結構應不致產生破壞，如圖 4.23 所示。

依原設計混凝土強度 $140\text{kg}/\text{cm}^2$ 作為考量，其單位剪力強度為 $62.71\text{ t}/\text{m}^2$ ，如考量其作用於後側胸牆壁面之波壓，分別計算各離堤頂距離之波力與剪力比較，如表 4.24 所示。由表中結果可看出，混凝土單位面積之剪力強度會遠大於其所承受之波力，顯示混凝土結構應不致產生破壞。

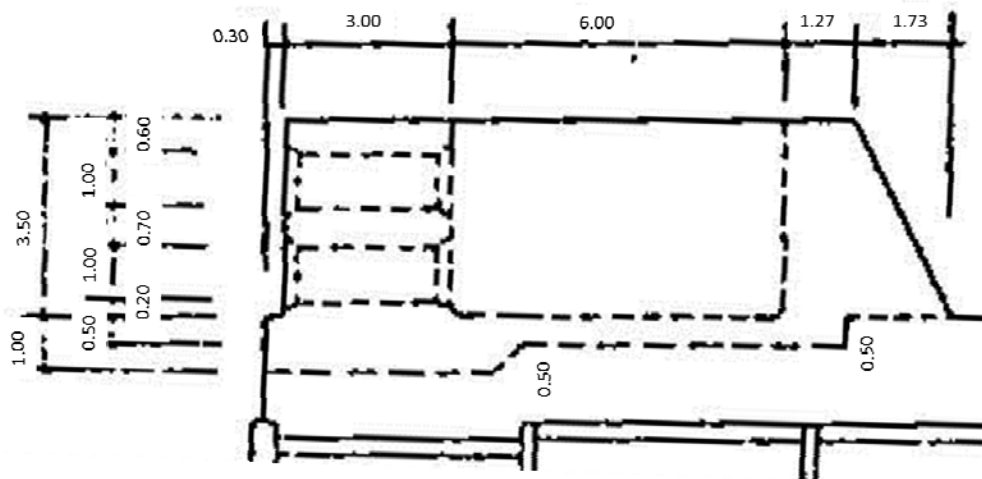
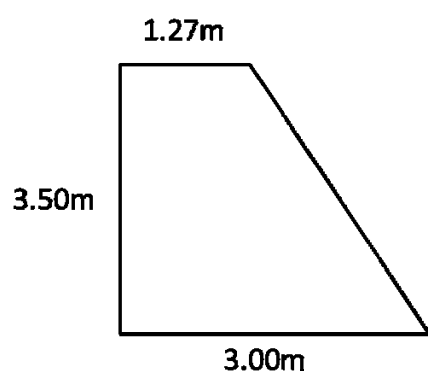


圖 4.22 南外廓防波堤消波胸牆相關尺寸示意圖



圖 4.23 消波倉破壞示意圖

表 4.24 後側胸牆所受波力及混凝土剪力關係表



離堤頂距離 (m)	單位面積 (m ²)	剪力強度 (t)	波力 (t)
0.50	1.52	95.14	4.91
1.00	1.76	110.64	10.06
1.50	2.01	126.14	15.43
2.00	2.26	141.64	21.04
2.50	2.51	157.13	26.89
3.00	2.75	172.63	32.96
3.50	3.00	188.13	39.27

註：後側胸牆考慮受波壓為較大之 CrestII b 計算結果。

(2)消波艙胸牆滑動破壞分析

由圖 4.24 中可知，蘇澳港南外廓防波堤其消波沉箱乃為分次打設，因此將前側胸牆與後側胸牆分開計算其穩定性，並考量前側胸牆於打設時有加設剪力樁，增加胸牆之摩擦穩定性，但後側胸牆並無如此設計，如圖 4.25 所示，以此條件計算胸牆之滑動分析如后。

整體消波艙重量為 49.90 t，前側及後側消波艙重量分別為 22.91 t 及 17.19 t。考量兩混凝土面之摩擦係數為 0.5，因此，消波艙重量產生之摩擦力分別為 11.46 t 及 8.59 t。分別考量前側胸牆與後側胸牆所受之波力，其大小分別為 29.84 t 及 28.82 t (CrestII b 情況下)，另考量設置之前側胸牆設置之剪力樁所提供剪力強度為 37.63 t。因此，前側胸牆滑動安全係數為 1.64，而後側胸牆滑動安全係數僅為 0.30，故在單獨承受波力作用時，唯有前側胸牆可維持堤體之穩定，後側胸牆則可能產生滑動之結果。此結果代表如果遭受大浪襲擊時，後側胸牆可能會因抗滑動不足，而造成胸牆被往後推動產生位移，使其逐漸與側牆分離而出現裂縫；如果此情況持續發生，則有可能會使後側胸牆與側牆徹底分離造成破壞。消波艙滑動穩定計算條件，整理如表 4.25 所示。

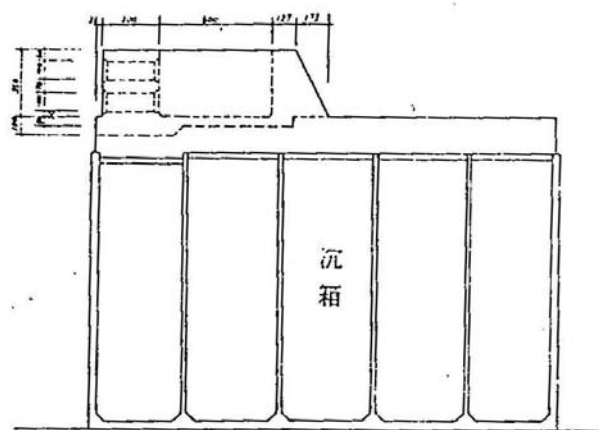


圖 4.24 南外廓防波堤沉箱分次打設胸牆示意圖



圖 4.25a 前側沉箱之剪力樁



圖 4.25b 後側沉箱之剪力樁

表 4.25 防波堤胸牆原設計滑動安全分析表

抗 滑 動 力	滑 動 力	分 析 結 果
前側胸牆剪力樁 (A)=37.63 t	前側胸牆平均波壓=10.39 t/m ²	前胸牆滑動安全係數 =1.64
前側重量(B ₁)=22.91 t	前側胸牆作用面積=2.87 m ²	
前側摩擦力(C ₁)=49.08 t	前側胸牆平均波力=29.84 t	
後側重量(B ₂)=17.19 t	後側胸牆平均波壓=10.64 t/m ²	後胸牆滑動安全係數 =0.30
後側摩擦力(C ₂)=8.59 t	後側胸牆作用面積=2.71 m ²	
	後側胸牆平均波力=28.82 t	

註：1. 依「港灣構造物設計基準—防波堤設計基準及說明」規範中所述，混凝土與混凝土間摩擦係數為 0.5。 2. $C_1 = B_1 \times 0.5 + A$ ； $C_2 = B_2 \times 0.5$ 。

3. 後側胸牆以較大之 CrestII b 結果考量。

(3) 消波艙後側胸牆傾倒破壞分析

依前圖 4.22 可看出，前側胸牆會受兩邊側牆及後側胸牆固定之影響，較不容易產生傾倒之情況，因此僅針對後側胸牆之傾倒破壞做一分析。後側胸牆所受之波力分佈情形如圖 4.26 所示，另計算單位長度後側胸牆所受之波力，如表 4.26 所示。由表中可知，後

側胸牆所受之波力產生之力矩遠大於胸牆自重所產生之力矩。故在此情形下，後側胸牆易受大浪影響而產生傾覆之可能(傾倒安全係數僅 0.58)。

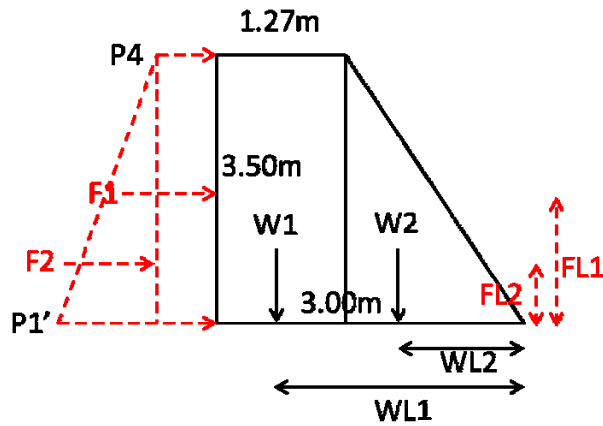


圖 4.26 後側胸牆傾倒受力示意圖

表 4.26 防波堤後側胸牆原設計傾倒安全分析表

重量 $W1=$	10.22 t	波力 $F1=$	29.37 t	傾倒安全係數	0.58
力矩 $WL1=$	2.37 m	力矩 $FL1=$	1.75 m		
重量 $W2=$	6.96 t	波力 $F2=$	3.23 t		
力矩 $WL2=$	1.15 m	力矩 $FL2=$	1.17 m		
抵抗彎矩 $M1=$	32.21 t · m	破壞彎矩 $M2=$	55.16 t · m		

註：1. $M1 = W1 \times WL1 + W2 \times WL2$ ； $M2 = F1 \times FL1 + F2 \times FL2$

2. 後側胸牆以較大之 CrestII b 結果考量
3. 考量波力作用在後側胸牆之面積為 0.875(=4.2/4.8)，故修正波力 $F1$ 及 $F2$ 大小。

4.本研究設計條件之消波艙安全性分析

應用前述本研究檢討現今颱風波浪所得條件，計算其所產生波壓作為驗核之基準，各項分析如后。：

(1)消波艙胸牆剪力破壞分析

消波艙開孔壁面所承受之波力雖增加為 62.95 t，但仍會小於混凝土可提供抗剪力強度(131.69 t)，故於現況來說仍安全無虞。而由表 4.27 中可看出，在波力增加後後側胸牆之混凝土抗剪力強度仍遠高波力作用，故於現況來說仍安全無虞。

表 4.27 後側胸牆所受波力及混凝土剪力關係表

離堤頂距離 (m)	單位面積 (m ²)	剪力強度 (t)	波力 (t)
0.50	1.52	95.14	8.21
1.00	1.76	110.64	16.67
1.50	2.01	126.14	25.40
2.00	2.26	141.64	34.40
2.50	2.51	157.13	43.65
3.00	2.75	172.63	53.17
3.50	3.00	188.13	62.95

註：後側胸牆考慮受波壓為較大之 CrestII b 計算結果。

(2)消波艙胸牆滑動破壞分析

消波艙前側胸牆在現今波力增加後，前側胸牆之滑動安全係數由 1.57 降低至 0.96，顯示會有立即性破壞之可能。而後側胸牆之滑動安全係數(0.18)仍遠小於規範之要求，因此，勢必會有破壞之虞。相關計算如表 4.28 所示。

表 4.28 防波堤胸牆現況滑動安全分析表

抗滑動力	滑 動 力	分析結果
前側胸牆剪力樺 (A)=37.63 t	前側胸牆平均波壓=17.77 t/m ²	前胸牆滑動安全係數 =0.96
前側重量(B1)=22.91 t	前側胸牆作用面積=2.87 m ²	
前側摩擦力(C1)=49.09 t	前側胸牆平均波力=51.04 t	
後側重量(B2)=17.19 t	後側胸牆平均波壓=17.34 t/m ²	後胸牆滑動安全係數 =0.18
後側摩擦力(C2)=8.60 t	後側胸牆作用面積=2.71 m ²	
	後側胸牆平均波力=46.94 t	

註：1. 依「港灣構造物設計基準—防波堤設計基準及說明」規範中所述，混凝土與混凝土間摩擦係數為 0.5。

2. $C_1 = B_1 \times 0.5 + A$ ； $C_2 = B_2 \times 0.5$ 。

3. 後側胸牆以較大之 CrestII b 結果考量。

(3)消波艙後側胸牆傾倒破壞分析

由表 4.29 計算結果顯示，後側胸牆之傾倒安全係數僅有 0.35，故在此情形下，後側胸牆容易產生傾覆之可能。

表 4.29 防波堤後側胸牆現況傾倒安全分析表

重量 W1=	10.22 t	波力 F1=	49.46 t	傾倒安全係數	0.35
力矩 WL1=	2.37 m	力矩 FL1=	1.75 m		
重量 W2=	6.96 t	波力 F2=	3.64 t		
力矩 WL2=	1.15 m	力矩 FL2=	1.17 m		
彎矩 M1=	32.21 t · m	彎矩 M2=	90.80 t · m		

註：1. $M1 = W1 \times WL1 + W2 \times WL2$ ； $M2 = F1 \times FL1 + F2 \times FL2$

2. 後側胸牆以較大之 CrestII b 結果考量

3. 考量波力作用在後側胸牆之面積為 0.875(=4.2/4.8)，故修正波力 F1 及 F2 大小。

4.5.3 綜合分析結果比較

綜合上述針對堤基保護方塊重量、沉箱穩定性及消波艙安全性等三部份之分析結果，彙整如表 4.30 所示，由表中可知：

- 1.現有堤基保護方塊雖於現場堤址攝影與測量之結果，並無顯示有滑動或是流失之情形。但依據現況颱風波浪之計算結果，堤基方塊重量應達 80.85 t 以上，而現況方塊重量明顯不足(27.6 t 及 41.4 t)，未來仍存在移動破壞之風險。
- 2.依本研究所推算之設計條件下波壓修正後的計算結果，沉箱滑動安全係數介於 0.69~1.13 間，而傾倒安全係數介於 1.04~1.60 間，顯示現有堤體並不符合 50 年迴歸期設計需求。
- 3.依本研究推算 50 年迴歸期條件下就消波艙分析計算，前側胸牆考量受剪力及滑動分析中，現況所受剪力並不影響其結構安全，但其滑動安全係數僅 0.96，可能會有立即性之滑動破壞之虞。另後側胸牆在剪力作用下可保持安全，不過於滑動及傾倒安全係數分別為 0.18 及 0.35，顯示有可能發生立即性破壞之情形。但後側胸牆一旦發生滑動或傾倒，則會使其與側牆連接面產生裂縫或間隙。隨著受大浪之侵襲，會使間隙處形成破壞面而逐漸加大，最後導致後側胸牆與側牆分離造成破壞。而在失去後側胸牆後亦會使原先穩固之前側胸牆、側牆及後側胸牆四邊固定形式發生改變，在無後側支撐之情況下，也將導致前側胸牆失去背後支持，而有傾覆之虞。

表 4.30 蘇澳港南防波堤沉箱現況穩定分析對照表

項 目		現 況	規 範	現況安全性	
方塊	堤基保護方塊重量	27.6 t、44.1 t	≥ 80.85t	否	
沉箱 主體	沉箱堤體滑動	0.69~1.13	≥ 1.2	有滑動之虞	
	沉箱堤體傾倒	1.04~1.60	≥ 1.2	有傾倒之虞	
承載力	堤底承載力	29.74	≥ 929.93	否	
	海床基礎承載力	39.53	≥ 89.67	否	
胸 牆	前 側	前側胸牆剪力	62.95 t	≤ 131.69t	是
		前側胸牆滑動	0.96	≥ 1.2	否
	後 側	後側胸牆剪力	8.21~62.95 t	≤ 95.14~ 188.13t	是
		後側胸牆滑動	0.18	≥ 1.2	否
		後側胸牆傾倒	0.35	≥ 1.2	否

4.6 防波堤結構物補強方案初探

依據前節防波堤沉箱堤體結構穩定分析及既有結構物受損檢討可知，現有沉箱主體之穩定並無立即之嚴重安全疑慮，護基方塊亦未有發生移動，但經由檢核後，可發現現有堤體滑動及傾倒安全係數皆小於規範之要求，護基方塊重量亦有不足。而由現場圖像調查所得之破壞類型包括消波艙後側胸牆、側牆破壞及消波艙整體破壞等，本節中初步分別討論其補強方案。

1. 堤體穩定補強方案初探

經前述堤體穩定分析可知，其破壞可能發生於滑動或是傾倒上。由於沉箱主體為直接抵擋波浪作用，故如有沉箱發生移動或傾覆破壞，勢必會對港內造成影響。如要改善現有沉箱可能發生之移動或傾覆現象，其解決方式可將現有場鑄加高，以增加堤體自重方式因應，另亦可佐以堤後背填方式作為改善。

2. 方塊位移補強方案初探

考慮現有護基方塊移動將造成堤基淘空後使沉箱發生前傾現象，些微淘空雖不致影響沉箱擋浪，但如長時期之淘空，亦不排除造成沉箱本體損傷而致破壞。故護基方塊之穩定性雖屬附屬保護設施，但其安全性亦需重視。基此，雖現場方塊並無出現位移，但經由所蒐集之過往破壞，亦有發現方塊及消波塊流失等現象，且經結構計算可知，現有方塊重量已小於規範所需之重量。因此，除因密切注意現有方塊或消波塊之保護情況外，如有發生位移等情形，應考量以吊具將其歸位，以防止堤基繼續淘空，另亦可利用水中混凝土修補方塊與沉箱之細縫，以防止堤基細料流失。另亦可考量製作符合重量需求之方塊，以確保堤體安全。

3.消波艙胸牆破壞補強方案初探

經前節消波艙安全性分析可知，其破壞類型包括後側胸牆及側牆破壞兩種，但整體而論皆屬於消波艙本身結構性破壞。因此，消波艙之補強方案初步可採用以下幾種方法。

(1)消波艙後側胸牆及側牆面改進

檢核現有消波胸牆之後側胸牆主要破壞原因為滑動及傾倒破壞，而後側胸牆破壞後，則因消波艙整體失去穩固之結構型式，導致整體連鎖破壞。因此，如要改善後側胸牆之穩定性，可藉由增加剪力筋方式因應，改進其原本因抗剪力不足而發生滑動破壞之情形，且可增加胸牆與堤面混凝土之連結，以抵抗傾覆之可能；另亦可以增厚胸牆方式來增加胸牆重量，以抵抗其抗傾覆之能力。除此之外，側牆會發生破壞之原因，亦有可能是波力作用於外牆時並非均勻分佈，如波力較偏於一側，則會造成側牆受彎矩作用產生破壞而分離，因此，補強方案可採用消波艙開孔面及側牆加厚方式，來增加抵抗彎矩破壞作用力。

(2)消波艙內填放塊石或消波塊

此法係利用大型塊石填充於消波艙內，除可增加堤體自重外，亦可藉由填充艙內空間來增加消波艙開孔面及側牆抵抗力矩，惟此法需考量消波孔直徑與塊石大小之關係，亦即需採用大型塊石以防止塊石藉由消波孔流失，有關消波效果，則可以水工模型試驗加以確認。但考慮大型塊石取得不易，且容易由消波孔流失之問題，因此，亦可考量採用消波塊替代，惟填放之消波塊應慎選固定性較佳且適合蘇澳港既有消波艙尺寸之型式。

4.其他

考慮交通部頒規範「港灣構造物設計基準－碼頭設計基準及說明」(民國 99 年修訂)中規定，所使用之鋼筋混凝土最小混凝土設計強度則應

達 280kg/cm^2 ，而無筋混凝土最小混凝土設計強度應達 210kg/cm^2 。但現有蘇澳港防波堤於設計時沉箱主體混凝土(鋼筋混凝土)僅有 210kg/cm^2 ，而堤面及胸牆混凝土(無筋混凝土)則僅有 140kg/cm^2 ，故於之後整建時可逐步改善為合於規範之要求。此舉雖無法改善胸牆滑動或傾倒之發生，但可增強混凝土之剪力強度，增加抵禦波浪之能力。

第五章 港灣防波堤維護管理資訊系統建置

國內現有主要港口之防波堤大都已屆使用年齡，由於歷經颱風波浪等外在條件侵襲，各港務單位經年須花費龐大經費進行維修與復建，以維持構造物安全與港口正常營運。是以，本研究擬整合港務單位既有的維護管理作業體系，研擬一套標準作業流程，並以資訊化方法建置一套符合實際需求的防波堤設施維護管理資訊系統，預防災害發生，加速維護作業之流程，使損失降至最低。

本研究於往昔相關計畫已於花蓮港與高雄港建置相關之維護管理資訊系統，本年度初步於蘇澳港辦理本項工作，相關系統架構建置、維修表單內容與展示方式等，如下列各節概述。

5.1 系統架構概述

港灣防波堤維護管理資訊系統規劃，基於地理資訊系統概念，應用 Google Web Toolkit (GWT)網頁開發建置港灣設施維護管理資訊系統。同時，考量現場檢測作業的便利性，亦使用 Android 作業系統開發可於平板電腦及智慧型手機等行動裝置上操作之防波堤檢測系統應用程式(Application; APP)。使用管理者可以藉由網頁的交談式介面，查詢港灣防波堤資訊，進行檢測、評估及提供相關維修工作之建議，後續可進行必要的維修檢測預算編列。執行防波堤檢測作業時，本系統可提供現場即時填寫檢測表單及檢測資料同步上傳資料庫之功能，除可簡化加速檢測作業流程，更可協助各使用檢測單位落實「制度化」、「自動化」、「快速化」之檢測作業流程。透過網際網路，各級督導單位能即時查詢構造物之基本資料與檢測成果。經由維護管理資訊系統標準作業流程，可達成先期掌握設施功能劣化程度或加速必要之設施維護作業，以收設施功能維護防微杜漸之效。

防波堤維護管理系統建置，首先必須將設施檢測評估工作研擬一套格式化表單，再根據表單內容設計成維護管理系統資料庫。後續說明資料庫系統的網站架構，接著分析維護管理的資料，由此建立資料

庫整體資料表的關聯圖，規劃維護管理系統功能之架構及示範各模組的功能，最後將本維護管理系統延伸至平板電腦等行動裝置，以利於現場進行相關檢測作業。

5.2 防波堤檢維修表單建置

針對防波堤堤體及堤前拋石區設施功能檢測作業，本研究參考「港灣設施防災技術研究(一)--港灣構造物維護管理準則之研究」的定期表單，訂定防波堤構造物檢測項目、檢測頻率、劣化分級和檢測評估表單，最終建立港灣防波堤構造物的檢測作業評估表及劣化程度評估標準值，檢測劣化程度與評估值關係如表 5.1 與表 5.2 所示。其特點係以條列式方式列出檢測項目，對於新進或生手之巡查人員而言，可較具體明確的瞭解應檢測項目的重點，同時對於檢測項目可作較標準化、一致性的規定，表單內應含有：(1)構造物基本資料；(2)定期檢測評估紀錄表，本表包含檢測項目、檢測頻率、破壞程度、破壞範圍、破壞影響與處理方式，填表範例如表 5.3 所示。

表 5.1 水上部分檢測劣化程度與評估值關係表

	D 值	U 值	劣 化 程 度	對 應 描 述
開孔胸牆／消波槽室	1	1	無異狀	
	2	2	輕微損傷	龜裂長度<5cm，寬度<3mm
			局部混凝土剝落	
	3	3	明顯損傷	龜裂長度>5cm，寬度>3mm
			混凝土剝落致鋼筋外露	鋼筋外露
			胸牆損傷致高度不足	胸牆局部斷裂損傷
			支撐壁損傷影響消波效果	支撐壁破洞
	4	4	胸牆斷落	
			支撐壁斷落	
堤面	1	1	無異狀	
	2	2	輕微損傷	龜裂長度<5cm，寬度<3mm
			局部混凝土剝落	混凝土有剝落情況
	3	3	明顯損傷	龜裂長度>5cm，寬度>3mm
			混凝土剝落致鋼筋外露	
			輕微不均勻沉陷	沉陷量<5cm(擬定值)
	4	4	明顯不均勻沉陷	沉陷量>5cm(擬定值)
			堤面混凝土斷裂	
開孔胸牆／消波槽室	1	1	無異狀	
	2	2	輕微損傷	龜裂長度<5cm，寬度<3mm
			局部混凝土剝落	
	3	3	明顯損傷	龜裂長度>5cm，寬度>3mm
			混凝土剝落致鋼筋外露	鋼筋外露
			胸牆損傷致高度不足	胸牆局部斷裂損傷
			支撐壁損傷影響消波效果	支撐壁破洞
	4	4	胸牆斷落	
			支撐壁斷落	

表 5.2 水下部分檢測劣化程度與評估值關係表

	D 值	U 值	劣 化 程 度	描 述
水下沉箱	1	1	無異狀	
	2	2	堤體輕微損傷	龜裂長度<5cm，寬度<3mm
	3	3	堤體明顯損傷	龜裂長度>5cm，寬度>3mm
			壁體剝落致鋼筋外露	鋼筋外露
	4	4	堤體混凝土斷裂	
護基方塊	1	1	無異狀	
	2	2	部分發生下陷位移	變位量<50cm(擬定值)
	3	3	小規模下陷位移	變位量 50cm~90cm 之間(擬定值)
	4	4	大範圍下陷位移	變位量>90cm(擬定值)
消波塊	1	1	無異狀	
	2	2	部分消波塊移動或滾落	
	3	3	消波塊沉陷達一層	消波塊沉陷量>1m(擬定值)
			堤體有滑動之虞	
	4	4	消波斷面減少，堤體可能滑動	
基礎海床	1	1	無異狀	
	2	2	輕微沖刷	沖刷坑深度約<50cm
	3	3	大量沖刷	沖刷坑深度約 50~100cm 之間
	4	4	嚴重沖刷	沖刷坑深度約>100cm

表 5.3 直立堤定期檢測評估表

隸屬港口								
防波堤位置 編號					檢測單元編號			
檢測項目位置		頻 率	R	D	劣 化 程 度	E	U	異常位置
水上部分	胸牆 •剝離 •龜裂損傷	☐ 一年	2		☐ 無異狀			
				2	☐ 輕微損傷 ☐ 局部混凝土剝落			
				3	☐ 明顯損傷 ☐ 混凝土剝落 ☐ 胸牆損傷致高度不足			
				4	☐ 胸牆斷落			
	堤面 •龜裂損傷 •沈陷	☐ 一年	3	1	☐ 無異狀			
				2	☐ 輕微損傷 ☐ 局部混凝土剝落			
				3	☐ 明顯損傷 ☐ 混凝土剝落 ☐ 輕微不均勻沈陷			
				4	☐ 明顯不均勻沈陷 ☐ 堤面混凝土斷裂			
	沈箱 •變位 •傾斜 •龜裂損傷 •鋼筋外露	☐ 一年	4	1	☐ 無異狀			
				2	☐ 堤體變位不明顯 ☐ 堤體輕微損傷 ☐ 壁體側牆混凝土剝落但鋼筋未外露 ☐ 輕微傾斜			
				3	☐ 堤體變位明顯 ☐ 堤體明顯損傷 ☐ 壁體剝落致鋼筋外露 ☐ 明顯傾斜			
				4	☐ 堤體嚴重變位 ☐ 堤體混凝土斷裂 ☐ 嚴重傾斜			

表 5.3(續) 直立堤定期檢測評估表

檢測項目位置		頻率	R	D	劣化程度	E	U	異常位置
水下部分	沈箱 •龜裂損傷	☐ 二年	4	1	☐ 無異狀			
				2	☐ 堤體輕微損傷			
				3	☐ 堤體明顯損傷 ☐ 壁體剝落致鋼筋外露			
				4	☐ 堤體混凝土斷裂			
	護基方塊 •變位	☐ 二年	3	1	☐ 無異狀			
				2	☐ 部分發生下陷位移			
				3	☐ 小規模下陷位移			
				4	☐ 大範圍下陷位移			
	消波塊 •滑落 •沈陷	☐ 二年	3	1	☐ 無異狀			
				2	☐ 部分消波塊移動或滾落			
				3	☐ 消波塊散落沈陷達一層			
				4	☐ 消波斷面減少，堤體可能滑動			
	基礎海床 •沖刷	☐ 二年	4	1	☐ 無異狀			
				2	☐ 輕微沖刷			
				3	☐ 大量沖刷			
				4	☐ 嚴重沖刷			
性能指標			$CI = 120 - 10 \sum (D + E) \times R / \sum R$					
檢測人員意見：								
檢測時間			檢測單位			檢測人員		

5.2.1 防波堤構造物劣化評估

前列表單中有關防波堤構造物劣化評估，本研究亦參考國內「港灣設施防災技術研究(一)--港灣構造物維護管理準則之研究」之 D.E.R & U.評估法，針對高雄港防波堤構造物型式根據劣化狀況(D)、影響性(R)、損壞範圍(E)及急迫性(U)等建立設施評估準則。D.E.R.&U.評估法係由初步檢視港灣構造物所得之各構件劣化狀況(D)、損壞範圍(E)及影響性(R)等值，進而求得構造物的性能指標 CI 值。D.E.R.&U.評估法中 CI 值之定義如式(5.1)所示，式中下標 i 表示構件編號，D 值與 E 值因權重分為 1~4 等，故分母各以 4 之值進行計算。

$$CI = 100 - 100 \frac{\sum_i (D_i + E_i) R_i}{(4 + 4) \sum_i R_i} \quad (5.1)$$

港灣設施經年累月使用及受外在環境等營力作用下，港灣構造物難免產生損傷變型及材料劣化等現象，將使得 CI 值逐漸降低。本研究爰引「港灣設施防災技術研究(一)--港灣構造物管理準則之研究」之研究成果，將港灣構造物之整體狀況指標(CI 值)分級如表 5.4 所示之 A、B 及 C 級等三個等級。然，依據港灣構造物依設計規範施工完成後之性能指標 CI 值滿分為 75 分時，易與一般分數標準造成判讀上之落差。是以，本研究遂將(5.1)式係數修訂為(5.2)式，使性能指標 CI 值滿分調整至 100，並在構造物的整體狀況指標分級區間也進行修訂，俾利後續資料判讀作業。

$$CI = 120 - 10 \frac{\sum_i (D_i + E_i) R_i}{\sum_i R_i} \quad (5.2)$$

表 5.4 港灣構造物之整體狀況指標(CI 值)分級表

狀況分級	原分數區間	修訂分數區間	狀況說明
A 級	$85 \leq CI \leq 100$	$85 \leq CI \leq 100$	表示安全無虞。
B 級	$70 \leq CI < 85$	$65 \leq CI < 85$	表示結構物已受損傷，可增加檢測項目或藉由儀器提高檢測精度，了解構造物性能的劣化趨勢。分析其營運管理成本，在預算許可的條件下進行維修。
C 級	$CI < 70$	$CI < 65$	表示構造物已受較嚴重損傷，此時應分析其生命週期成本，編列預算進行必要的維修及補強的工作，或在適當時機拆除重建。

5.3 系統資料庫建置

本研究所建置防波堤維護管理系統之資料庫設計，係採用美國 Apache 公司所研發的開放式源碼(Java DB)進行建置。Java DB 除可執行用戶端的 SQL 程式，亦可編譯成為 Java bytecode，再以 Java 虛擬器執行。資料庫的建置除一般應用程式所使用到的系統管理資料表外，可劃分成基本資料維護資料庫、工程資料維護資料庫、檢測資料維護資料庫等三類，各類資料庫的架構及功能說明如後：

5.3.1 基本資料維護資料庫

基本資料維護資料庫主要紀錄防波堤構造物的基本屬性，諸如構造物清單、構造物基本資料、構造物檢測位置及檢測項目、劣化程度、損壞範圍分級、維修工法清單、對應維修工法及使用者帳戶管理，其資料表之關聯性及定義分如圖 5.1 及表 5.5~表 5.13 所示。

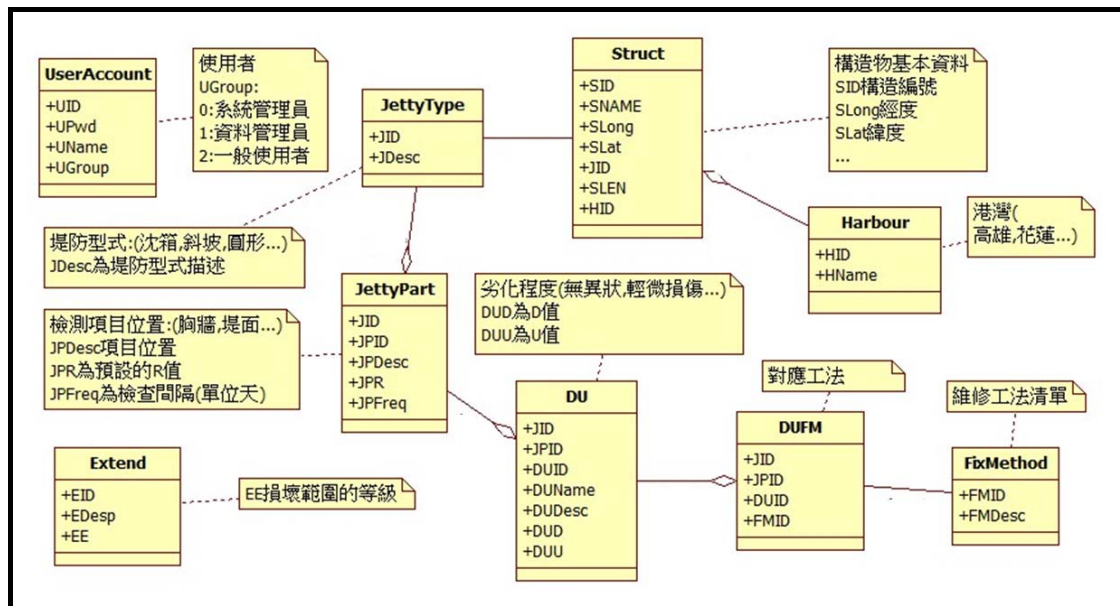


圖 5.1 基本資料維護類別圖

表 5.5 使用者帳戶表

資料表名稱：UserAccount		資料表定義：使用者帳戶表
使用的索引：Primary Key		索引欄位：UID
欄位代號	欄位型態	欄位名稱
UID	VARCHAR(10)	代號
Upwd	VARCHAR(10)	密碼
UName	VARCHAR(50)	使用者名稱
UG1	Integer	基本資料模組，使用權；0：無法存取。1：可讀取。2：可修改。
UG2	Integer	工程資料維護，使用權；0：無法存取。1：可讀取。2：可修改。
UG3	Integer	檢測資料組護，使用權；0：無法存取。1：可讀取。2：可修改。
UG4	Integer	預留擴充用使用，使用權；0：無法存取。1：可讀取。2：可修改。

表 5.6 堤防型式清單表

資料表名稱：JettyType		資料表定義：堤防型式清單表
使用的索引：Primary Key		索引欄位：JID
欄位代號	欄位型態	欄位名稱
JID	VARCHAR(2)	型式代號
JDdesc	VARCHAR(50)	型式說明

表 5.7 堤防檢測位置及項目表

資料表名稱：JettyPart		資料表定義：堤防檢測位置及項目表
使用的索引：Primary Key		索引欄位：JPNO
欄位代號	欄位型態	欄 位 名 稱
JPNO	VARCHAR(2)	代號
JID	VARCHAR(2)	堤防型式代號
JPID	VARCHAR(5)	檢測位置代號(BA101...)
JPDesc	VARCHAR(50)	檢測位置說明
JPR	Integer	R 值(影響範圍)
JPFreq	Integer	檢測間隔時間(天)

表 5.8 劣化程度清單表

資料表名稱：DU		資料表定義：劣化程度清單表
使用的索引：Primary Key		索引欄位：DUNO
欄位代號	欄位型態	欄 位 名 稱
DUNO	VARCHAR(2)	代號
JID	VARCHAR(2)	堤防型式代號
JPID	VARCHAR(5)	檢測位置代號(BA101...)
DUID	VARCHAR(2)	劣化程度代號
DUName	VARCHAR(50)	劣化程度名稱
DUDesc	VARCHAR(100)	劣化程度描述
DUD	Integer	D 值(劣化程度)
DUU	Integer	U 值(急迫性指標)

表 5.9 維修工法清單表

資料表名稱：FixMethod		資料表定義：維修工法清單表
使用的索引：Primary Key		索引欄位：FMID
欄位代號	欄位型態	欄 位 名 稱
FMID	VARCHAR(5)	維修工法代號
FMDesc	VARCHAR(50)	維修工法名稱
FMGuide	BLOB	相關規範說明

表 5.10 維修工法對應表

資料表名稱：DUFM		資料表定義：維修工法對應表
使用的索引：Primary Key		索引欄位：DUFMNO
欄位代號	欄位型態	欄 位 名 稱
DUFMNO	VARCHAR(2)	代號
JID	VARCHAR(2)	堤防型式代號
JPID	VARCHAR(5)	檢測位置代號(BA101...)
DUID	VARCHAR(2)	劣化程度代號
FMID	VARCHAR(5)	維修工法代號

表 5.11 損壞範圍分級表

資料表名稱：Extend		資料表定義：損壞範圍分級表
使用的索引：Primary Key		索引欄位：EID
欄位代號	欄位型態	欄 位 名 稱
EID	VARCHAR(2)	損壞範圍分級代號
EDesp	VARCHAR(50)	損壞範圍說明
EE	Integer	損壞範圍指標值

表 5.12 港灣清單表

資料表名稱：Harbour		資料表定義：港灣清單表
使用的索引：Primary Key		索引欄位：HID
欄位代號	欄位型態	欄 位 名 稱
HID	VARCHAR(2)	港灣代號
HName	VARCHAR(50)	港灣名稱

表 5.13 構造物基本資料表

資料表名稱：Struct		資料表定義：構造物基本資料表
使用的索引：Primary Key		索引欄位：SID
欄位代號	欄位型態	欄 位 名 稱
HID	VARCHAR(2)	港灣代號
SID	VARCHAR(5)	構造物代號
SName	VARCHAR(50)	構造物名稱
SLong	DOUBLE	經度
Slat	DOUBLE	緯度
JID	VARCHAR(2)	堤防型式代號
SFDate	TIMESTAMP	完工日期
SJElev	DOUBLE	堤防高程
SJLen	DOUBLE	堤防長度
SJWidth	DOUBLE	堤防寬度

5.3.2 工程資料維護資料庫

本系統之工程資料維護資料庫主要係紀錄防波堤構造物的歷史維護資料，諸如維護工程紀錄、維修紀錄及維修項目清單等，其中之關聯性與定義分如圖 5.2 及表 5.14~表 5.16 所示。

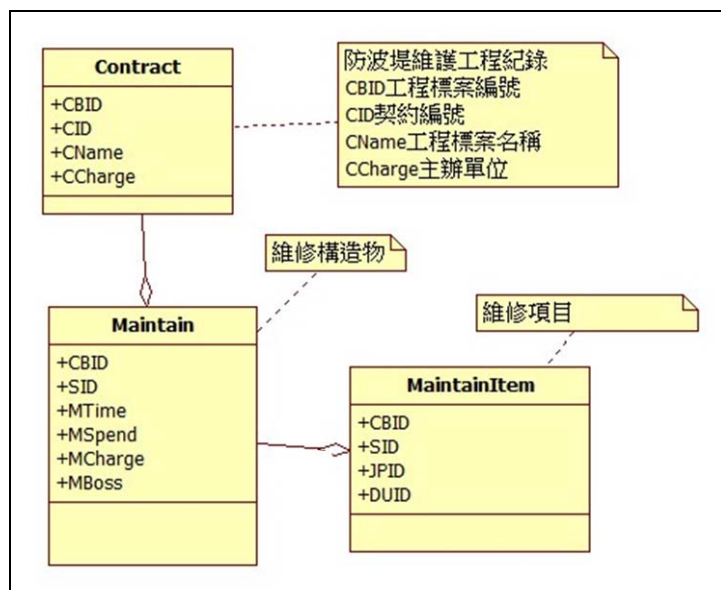


圖 5.2 工程資料維護資料庫類別圖

表 5.14 防波堤維護工程記錄

資料表名稱：Contract		資料表定義：防波堤維護工程記錄
使用的索引：Primary Key		索引欄位：CBID
欄位代號	欄位型態	欄 位 名 稱
CBID	VARCHAR(30)	工程標案編號
CID	VARCHAR(30)	契約編號
CName	VARCHAR(200)	工程標案名稱
CCharge	VARCHAR(100)	主辦單位
CPLANE	VARCHAR(100)	規劃設計單位
CCONST	VARCHAR(100)	施工廠商
CBOSS	VARCHAR(20)	單位主管
CMAN	VARCHAR(20)	負責人
CYEAR	Integer	預算年度(民國)
CBUDGET	DOUBLE	預算金額
CLASTP	DOUBLE	總決算金額
CSTD	TIMESTAMP	開工日期
CLTD	TIMESTAMP	完工日期
CCD	TIMESTAMP	契約工期
CCOMM	BLOB	工程概要

表 5.15 維修紀錄表

資料表名稱：Maintain		資料表定義：維修紀錄表
使用的索引：Primary Key		索引欄位：MNO
欄位代號	欄位型態	欄 位 名 稱
MNO	VARCHAR(2)	代號
CBID	VARCHAR(30)	工程標案編號
SID	VARCHAR(5)	構造物代號
MTIME	TIMESTAMP	維修時間(預設為 CSTD)
MBUD	DOUBLE	維修經費(預設為 CBUDGET)
MMAN	VARCHAR(20)	負責人
MBOSS	VARCHAR(20)	單位主管

表 5.16 維修項目清單表

資料表名稱：MaintainItem		資料表定義：維修項目清單表
使用的索引：Primary Key		索引欄位：MINO
欄位代號	欄位型態	欄 位 名 稱
MINO	VARCHAR(2)	代號
CBID	VARCHAR(30)	工程標案編號
SID	VARCHAR(5)	構造物代號
JPID	VARCHAR(5)	檢測位置代號
DUID	VARCHAR(2)	劣化程度代號

5.3.3 檢測資料維護資料庫

本系統之檢測資料維護資料庫係記錄防波堤構造物的歷史檢測資料維護紀錄，概分為檢測工作及檢測項目記錄等兩種資料表；其中這兩種資料表關聯性如圖 5.3 所示，資料表定義則分如表 5.17 與表 5.18 所示。

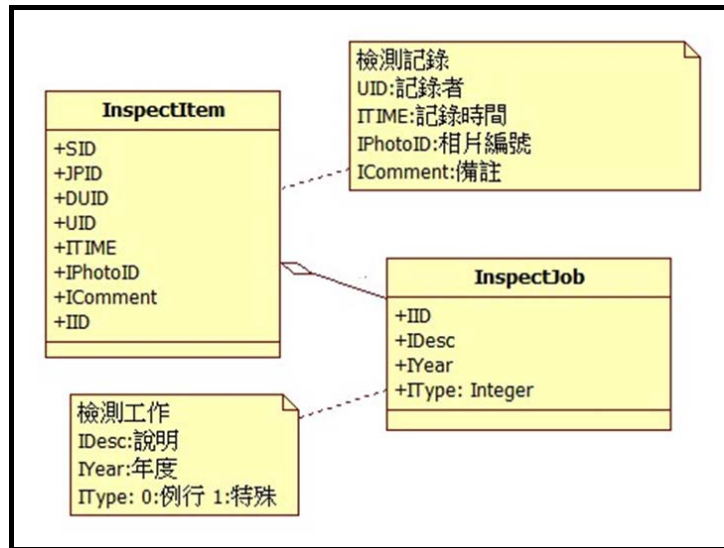


圖 5.3 檢測資料維護資料庫類別圖

表 5.17 檢測工作記錄表

資料表名稱：InspectJob		資料表定義：檢測工作記錄表
使用的索引：Primary Key		索引欄位：IID
欄位代號	欄位型態	欄 位 名 稱
IID	VARCHAR(10)	檢測工作代號
IDesc	VARCHAR(50)	工作說明
IYear	Integer	工作年度(民國)
IType	Integer	0:例行 1:特殊

表 5.18 測項目記錄表

資料表名稱：InspectItem		資料表定義：檢測項目記錄表
使用的索引：Primary Key		索引欄位：INO
欄位代號	欄位型態	欄 位 名 稱
INO	VARCHAR(2)	代號
IID	VARCHAR(10)	檢測工作代號
SID	VARCHAR(5)	構造物代號
JPID	VARCHAR(5)	檢測位置代號
DUID	VARCHAR(2)	劣化程度代號
UID	VARCHAR(10)	使用者代號
ITIME	TIMESTAMP	記錄時間

5.4 防波堤維修工法建置

5.4.1 沉箱式防波堤水上部維護

港灣防波堤構造物水上部分係由胸牆、堤面及沉箱等三個構件所組成，各構件之檢測項目與劣化程度對應的維修工法彙整分析如表 5.19 所示。

5.4.2 沉箱式防波堤水下部維護

港灣防波堤構造物水下部分則係由沉箱、護基方塊、消波塊及基礎底床等四個構件所組成。各構件之檢測項目與劣化程度對應的維修工法彙整分析如表 5.20 所示。

表 5.19 水上部分維護管理工法表

檢測位置和項目			劣化程度	維護管理工法
水上部份	胸牆	龜裂損傷	● 輕微損傷 ● 明顯損傷 ● 胸牆斷落	● 「裂縫注入工法」 ● 「充填增厚工法」 ● 「斷面修復工法」
		剝離與鋼筋外露	● 局部混凝土剝落 ● 胸牆損傷致高度不足 ● 混凝土剝落致鋼筋外露	● 「充填增厚工法」 ● 「斷面修復工法」 ● 「防蝕噴漿工法」
	堤面	龜裂損傷	● 輕微損傷 ● 明顯損傷 ● 堤面混凝土斷裂	● 「裂縫注入工法」 ● 「充填增厚工法」 ● 「鋪面修復工法」
		沈陷	● 輕微不均勻沈陷（輕微積水） ● 明顯不均勻沈陷（嚴重積水）	● 「無筋頂面增厚工法」 ● 「斷面修復工法」
		鋼筋外露	● 局部混凝土剝落 ● 混凝土剝落致鋼筋外露 ● 堤面混凝土斷裂	● 「充填增厚工法」 ● 「防蝕噴漿工法」 ● 「斷面修復工法」
	沉箱	變位	● 堤體變位不明顯 ● 堤體變位明顯 ● 堤體嚴重變位	● 「沉箱間隙改善工法」 ● 「沉箱間隙改善工法」 ● 「堤體穩固工法」 ● 「堤體穩固工法」 ● 「波壓消滅工法」
		龜裂損傷	● 堤體輕微損傷 ● 堤體明顯損傷 ● 堤體混凝土斷裂	● 「裂縫注入工法」 ● 「充填增厚工法」 ● 「斷面修復工法」
		鋼筋外露	● 壁體側牆混凝土剝落但鋼筋未外露 ● 壁體剝落致鋼筋外露 ● 堤體混凝土破洞	● 「充填增厚工法」 ● 「防蝕灌漿工法」 ● 「置換工法」 ● 「鋼支堡工法」
		傾斜	● 輕微傾斜 ● 明顯傾斜 ● 嚴重傾斜	● 「沉箱間隙改善工法」 ● 「堤體穩固工法」 ● 「堤體穩固工法」 ● 「堤體重置工法」

表 5.20 水下部分維護管理工法表

檢測位置和項目			劣 化 程 度	維護管理工法
水下部分	沈箱	龜裂損傷	• 堤體輕微損傷 • 堤體明顯損傷 • 壁體剝落致鋼筋外露 • 堤體混凝土斷裂（破洞）	• 「裂縫注入工法」 • 「充填增厚工法」 • 「防蝕灌漿工法」 • 「覆襯工法」 • 「鋼支堡工法」
	護基方塊	變位	• 部分發生下陷位移 • 小規模下陷位移 • 大範圍下陷位移	• 「方塊固結工法」 • 「重置改善工法」 • 「新製補強工法」
	消波塊	滑落與沈陷	• 部分消波塊移動或滾落 • 消波塊散落沈陷達一層，堤體滑動安全率有減低之虞 • 消波斷面減少，堤體滑動安全率已減低	• 「加拋改善工法」 • 「新製加重工法」 • 「加寬補強工法」
	基礎海床	沖刷	• 輕微沖刷 • 大量沖刷 • 嚴重沖刷	• 「拋石護基工法」 • 「斷面修復工法」 • 「基礎加寬補強工法」

5.5 系統展示概述

5.5.1 港灣設施基本資料模組

防波堤基本資料查詢為「港灣設施基本資料查詢」，系統將會依據構造物編號，串聯結構物基本資料及歷年各次檢測及維修紀錄，提供使用者(承辦人員及主管人員)選取所欲查詢設施項目之相關基本資料，其設施基本資料查詢如圖 5.4 所示，使用者可點選圖面上之設施編號，此時被選取的各該項設施會被標示起來，後可於如圖 5.5 所示之屬性視窗中看到該項設施的位置。另設施基本資料維護歷程查詢功能會顯示各項設施資料的異動資訊，並查看設施基本資料於何時被修正過。



港灣構造物維護系統

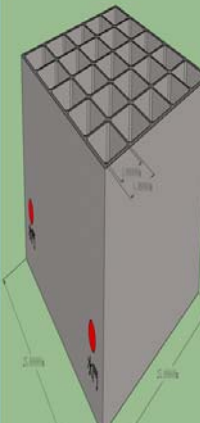
系統登入
構造物基本資料
港灣維護
檢測工作
新增檢測記錄
檢測記錄查詢
系統清單
維護工程資料查詢
使用者查詢

1-45 of 45

B-01: 離澳港南外
岸堤
BA
B-02: 離澳港南外
岸堤
BA
B-03: 離澳港南外
岸堤
BA
B-04: 離澳港南外
岸堤
BA
B-05: 離澳港南外
岸堤
BA
B-06: 離澳港南外
岸堤
BA
B-07: 離澳港南外
岸堤
BA
SB-01: 離澳港南外
岸堤
BA
SB-02: 離澳港南外
岸堤
BA
SB-03: 離澳港南外
岸堤
BA

設施基本資料

構造物編號:	B-03	防波堤名稱:	蘇澳港南外岸堤
防波堤種類:	BA 次箱式防波堤	完工日期:	1973-12-26
經度(度):	121.876341666667	緯度(度):	24.58645
		堤防高程:	7.7
設置港口:	03 蘇澳港	堤防寬度:	25
		堤防長度:	25





5.5.2 港灣設施檢測模組

防波堤檢測資料紀錄功能大抵分為新增檢測資料及設施檢測資料查詢，其中新增檢測資料係依據平時巡查、定期檢查及特別檢測等實際內容之對應，並提供巡查及檢測承辦人員完成工作後，各評估結果

之填報介面。各評估結果之填報介面及表單內容，則依檢測工作項目不同而有差異，主要欄位亦包含：防波堤編號、檢測項目、檢測日期、檢測內容、劣化程度及檢測人員等。藉由相關填報資料，系統將提供自動計算性能指標功能，亦可由平板電腦拍攝異常位置之相片上傳至系統，彙整平時巡查發現異常狀況以利判斷。相關設施檢測資料查詢係以提供條件式查詢功能為主，使用者可透過選定檢測類別、檢測項目或利用輸入設施名稱關鍵字、檢測時間區間等條件，針對設施檢測資料進行交叉查詢，並列出符合條件之查詢結果。

5.5.3 港灣設施維護模組

維護資料紀錄模組之功能，在於管理及監控維修工作進度，同時亦可由維修資料之累積，發現劣化趨勢。若發現維修工作之頻率異常，或服務年限過短，管理單位便可針對此現象深入探討其成因，做出適當決策，避免非必要之花費，相關維修資料表如下所述。

1.港灣設施維修紀錄表

港灣設施維修紀錄可用於同一工程標案下，而受檢構造物進行檢測評估之後，檢測作業人員可針對單一防波堤，利用表 5.21 建立各別維修紀錄表，除可讓使用者對修復的項目內容有初步的認識，亦可由歷史維修紀錄表了解過去該防波堤所做過的維修項目。

表 5.21 港灣設施維修紀錄表

工程標案編號			防波堤編號(區段)		
維修時間		年 月 日	維修經費		
負責人			單位主管		
維修項目		是否維修	維修原因		
水上部分	開孔胸牆/消波槽室	☐ 有 ☐ 無	☐ 龜裂損傷		
			☐ 剝離		
			☐ 鋼筋外露		
	堤面混凝土	☐ 有 ☐ 無	☐ 龜裂損傷		
			☐ 鋼筋外露		
			☐ 沉陷		
	沉箱本體結構	☐ 有 ☐ 無	☐ 龜裂損傷		
			☐ 鋼筋外露		
			☐ 傾斜		
			☐ 變位		
	水下部分	沈箱	☐ 有 ☐ 無	☐ 龜裂損傷	
		護基方塊	☐ 有 ☐ 無	☐ 變位	
消波塊		☐ 有 ☐ 無	☐ 沉陷		
			☐ 滑落		
基礎海床		☐ 有 ☐ 無	☐ 沖刷		

2.港灣設施維護工程紀錄表

港灣設施維護工程紀錄如表 5.22 所示，可用於管理及監控構造物維修工作之進度。當結構物開始進行修復，便可由工程標案所對應之紀錄，顯示其維修工作規劃設計單位、承包商名稱、負責人、預算決算金額、實際維修數量及完成日期。使用管理者可藉由此紀錄表，進行維修工作的管理，亦可輕易辨識整體結構物維修工作是否完成。

表 5.22 港灣設施維護工程紀錄表

工程標案編號		契約編號			
工程標案名稱		主辦單位			
規劃設計單位		施工廠商			
單位主管		負責人			
預算年度		預算金額			
決標金額		變更設計金額			
總決算金額					
開工日期	年 月 日	契約工期	年 月 日		
完工日期	年 月 日				
上次維修日期	年 月 日	上次維修項目	☐ 開孔胸牆/消波槽室		
		☐ 堤面混凝土	☐ 沉箱		
		☐ 護基方塊	☐ 消波塊		
		☐ 基礎海床			
本次維修項目	維 修 原 因				
水上部分	開孔胸牆/消波槽室	☐ 龜裂損傷	☐ 剝離	☐ 鋼筋外露	
	堤面混凝土	☐ 龜裂損傷	☐ 鋼筋外露	☐ 沉陷	
	沉箱本體結構	☐ 龜裂損傷	☐ 鋼筋外露	☐ 變位	
水下部分	沉 箱	☐ 龜裂損傷			
	護基方塊	☐ 變位			
	消 波 塊	☐ 沉陷	☐ 滑落		
	基礎海床	☐ 沖刷			
工程概要					

5.5.4 港灣設施系統管理模組

本系統依實際執行之需要，針對系統中使用管理機制及權限管制作業進行設計。本系統各作業權責要點成果，建置權限授權方式如下所述。

1. 授權邏輯：系統管理者可依據不同屬性授予使用者系統功能之使用權限。
2. 權限設定：本研究所擬之維護管理相關作業要點，係授予單位業務權責，各單位可依據各別業務權責操作所對應之系統權限；群組權限之差異主要位系統頁面是否可透視及是否編輯之管控，例如一般使用者僅能瀏覽系統查詢頁面，不可編輯。
3. 使用者權限管理：建立基本資料時，即編制所屬單位，依單位所有權限授予同仁操作權限。
4. 系統預設群組單位：一般單位、巡查單位、檢測單位、維修單位、管理階層及系統管理等群組。

5.6 平板電腦系統建置

本研究利用以 Linux 為基礎開放原始碼的 Android 作業系統，進行港灣構造物維護管理資訊系統在平板電腦等行動裝置上的開發及應用工作。當港灣構造物維護管理資訊系統使用於行動裝置上，檢測人員即可攜帶平板電腦至現場進行檢測資料蒐集作業，並可即時透過網際網路將完成巡檢工作後檢測資料上傳至主機，然後就可進入管理端系統查閱檢測完成的相關資料，系統流程如圖 5.6 所示。

巡查作業人員可利用將防波堤構造物維護管理資訊系統延伸至平板電腦之應用程式，進行港灣構造物檢測作業。除方便提供現場作業人員進行檢測資料之上傳/下載資料同步等功能，亦可進行相關檢測評估資料之查詢作業、檢測評估數值統計、檢測評估結果展示查詢與檢測維修方式等。相關平板電腦使用展示分如圖 5.7~圖 5.13 所示，經登入畫面後，即可藉由接收 GPS 衛星訊號搜尋現在位置，亦可由巡查人員自行選擇待檢構造物。當確認防波堤構造物編號後，即可開始填寫表單，並可由掛載該應用程式之平板電腦，將拍攝構造物之異常位置相片與檢測表單一併回傳於 Java DB 資料庫中儲存，以利系統資料之一致性與整合性。

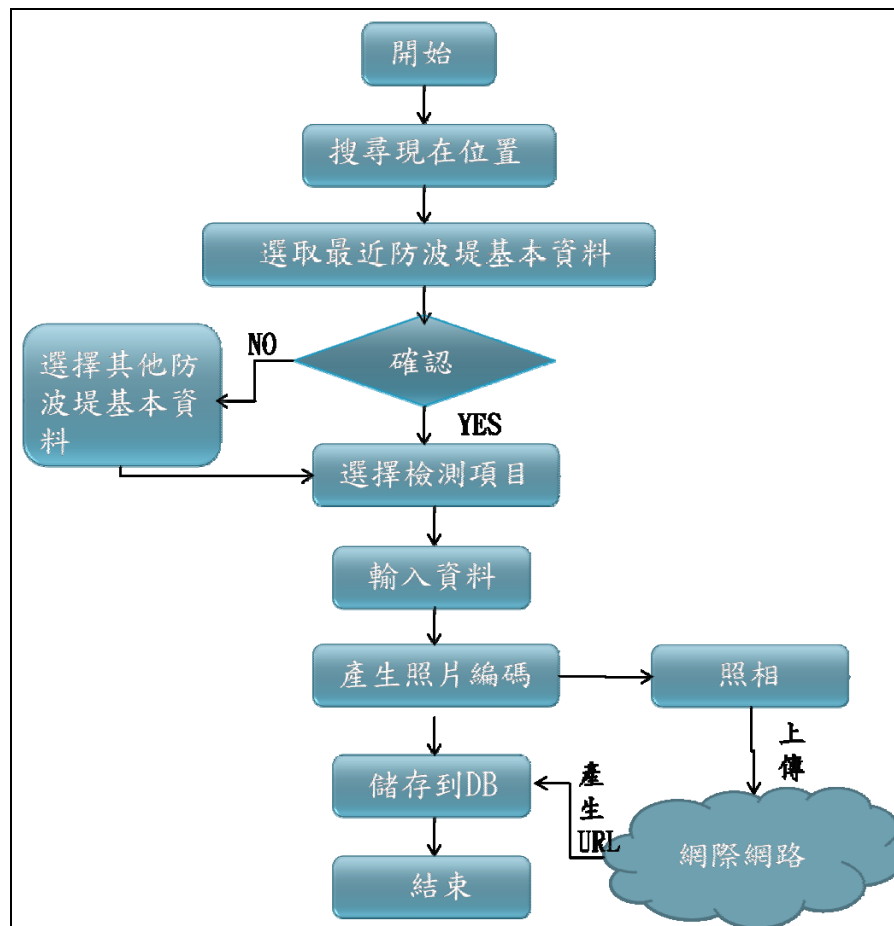


圖 5.6 系統作業流程圖



圖 5.7 系統登入畫面圖



圖 5.8 檢測表單畫面



圖 5.9 選擇檢測位置上結構物代號



圖 5.10 選擇預檢測位置



圖 5.11 選擇損壞程度



圖 5.12 選擇劣化範圍



圖 5.13 完成檢測畫面圖

第六章 結論與建議

6.1 結論與建議

綜合前述各項研究工作成果包含颱風波浪推算模式建置、波浪極值統計特性分析、防波堤構造物安全性評估探討及維護管理資訊系統建置等，歸納重要結論如下：

1. 本研究本年度針對臺中港與基隆港兩港域所建置颱風波浪推算模式，經由推算結果與驗證得知，臺中港各場颱風波浪最大波高誤差絕對值平均約為 0.79m，最大波高發生時間則約 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平均為 0.71。而基隆港各場颱風波浪最大波高誤差絕對值平均約為 0.97m，最大波高發生時間約 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平均為 0.82。
2. 有關港域波浪極值統計特性分析方面，本年度亦針對臺中港與基隆港兩港域分別辦理季節性變化之月極值及年極值兩方面之統計特性探討。本研究之極值分析方法，首先應用箱型圖分析檢核取樣，再進一步討論極值分析之最佳方法。在季節性變化之月極值統計特性分析結果方面，針對臺中港整體而言，其最適極值函數以 LogN 主，而參數推定法則皆以 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。由基隆港的月極值分析結果明顯可看出有季節性的變化，其在波高較小的 1 月至 6 月份是以 GEV 為最適函數分布，在較大波高的颱風季節 7、8 及 9 月份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 月則以 LogN 為最適函數。
3. 有關年極值統計分析結果方面，臺中港域部份，其最佳參數推定法為 LSM，而最適極值函數則以 LogN 為最佳；由 50 年重現期設計波浪的結果比較，以實測資料所推算得的值最大，類神經網路波浪推

算者為次之，半經驗波浪推算模式則最小。在基隆港域部份，其最佳參數推定法僅有半經驗模式的樣本為 MLE，其餘則是 LSM。50 年重現期設計波浪的結果比較，以半經驗模式樣本所推算得的值最大，實測資料者次之，類神經網路波浪推算模式為最小。

4. 在港灣防波堤構造物安全性評估探討方面，本年度主要針對蘇澳港首度辦理包含南防波堤之現場圖像調查、防波堤沉箱之安全性評估探討以及結構物補強方案研擬等項工作。在現場圖像調查方面，包含進行多因束監測、水下攝影與水上結構物檢視等，其調查結果可提供後續防波堤安全性評估及補強方案研擬之依據。
5. 在防波堤沉箱安全性評估探討方面，本研究分別比較探討蘇澳港防波堤原設計條件採用 13 年迴歸期颱風波浪的資料，以及本研究依現行規範採用 50 年迴歸期颱風波浪作為檢核依據的情況。經由防波堤堤基保護方塊重量、沉箱穩定性與消波艙安全性三部份的分析結果得知，於原設計波浪條件下，僅消波艙後側胸牆無法滿足穩定需求，因此，可能會於大浪來襲時，造成消波艙後側胸牆之破壞，而其餘沉箱堤體、護基方塊及消波艙前側胸牆皆可滿足規範之穩定要求。在本研究推算之 50 年迴歸期颱風波浪作用下，沉箱堤體、護基方塊及消波艙胸牆皆無法滿足穩定規範要求($F_s \geq 1.2$)，而部份也無法達到基本穩定要求($F_s \geq 1.0$)，顯示在颱風波浪作用下，可能發生沉箱滑動或傾倒破壞；但由現場觀測資料顯示，蘇澳港歷年颱風波浪波高與週期有超過原設計波浪者，僅有 6 個颱風，但皆未超過本研究所推算之 50 年迴歸期颱風，故尚無沉箱大規模破壞情況發生。
6. 有關初步研擬蘇澳港南防波堤受損結構補強方案方面，現有沉箱如遭遇大浪時，可能發生之移動或傾覆現象，其解決方式可將現有場鑄加高，以增加堤體自重方式因應，亦可佐以堤後背填方式作為改善。而若發現方塊或消波塊有位移情形，則應立即以吊具將其歸位，以防止堤基繼續淘空，亦可利用水中混凝土修補歸位後方塊與沉箱之細縫，以防止堤基細料流失；另亦可考量製作符合重量需求之方塊，以確保堤體安全。消波艙後側胸牆可藉由增加剪力筋方式，改進其原本因抗剪力不足而發生滑動破壞之情形，且可增加胸牆與堤

面混凝土之連結，以抵抗傾覆之可能；亦可以增厚胸牆方式來增加胸牆重量，以抵抗其抗傾覆之能力。而消波艙開孔面及側牆側牆加厚方式，則可增加其抵抗彎矩破壞作用力；亦可考量於消波艙內填充塊石或消波塊來增加消波艙開孔面及側牆抵抗力矩。

7. 有關防波堤構造物維護管理資訊系統建置方面，本研究應用 Google Wed Toolkit (GWT)網頁開發建置本套系統，系統以 Linux 為基礎開放原始碼的 Android 作業系統，進行港灣構造物維護管理資訊系統在平板電腦及智慧型手機等行動裝置上的開發及應用工作。當本系統使用於行動裝置上，檢測人員即可攜帶平板電腦至現場進行檢測資料蒐集作業，並可即時透過網際網路將完成巡檢工作後檢測資料上傳至主機，即可於任何時間與地點進行相關之管理與維護，俾使颱風侵襲前後之應變措施更臻完備。

6.2 成果效益及後續應用情形

本研究所完成之波浪極值統計特性模式、防波堤構造物安全性評估，以及所建置防波堤構造物維護管理資訊系統等項工作成果，可與本研究往昔相關計畫完成之「類神經網路之颱風波浪預報模式」合構成一套「港池安全操作系統」，用以提供港務機關瞭解港灣構造物之穩定性與安全性，以有效運用資源，延長港務設施使用年限及降低維護成本。另外，所完成基隆港與臺中港兩港域之波浪極值統計特性結果，可提供相關港灣、海岸工程規劃設計、環境評估與學術研究所需之設計波浪的重新探討與比對依據。

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. 谷本勝利等，1981，「不規則波實驗混成堤被覆材之所要重量」，第28回海岸工學演講會論文集。
3. 基隆港務局蘇澳港工程處，1983，「蘇澳港興建工程」。
4. 合田良實，1990，「港灣構造物的耐波設計」，鹿島出版社。
5. 「蘇澳港防波堤改善工程規劃」，1997，省交通處港灣技術研究所。
6. 郭一羽，2001，「海岸工程學」，文山書局。
7. 「港灣設施防災技術之研究(一)—港灣構造物維護管理準則之研究」，2004，交通部運輸研究所。
8. 「港灣設施防災技術之研究(二)-- 港灣設施防災對策之研究」，2005，交通部運輸研究所。
9. 「港灣構造物設計基準—碼頭設計基準及說明」，2010，交通部運輸研究所。
10. 「蘇澳港防波堤沉箱安全評估探討及構造物維護管理資訊系統之調查建置工作」，2012，交通部運輸研究所。
11. 「101年蘇澳港防波堤圖像資料調查」，2012，交通部運輸研究所。
12. Coastal engineering manual (2002) “Hydro-dynamic analysis and design conditions,” Chapter 8.
13. 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.
14. Ferreira, J.A., Guedes Soares, C., (2000) “Modelling distributions of significant wave height”, Coastal Engineering 40, 361-374.

15. 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.
16. Muir, J.R., El Shaarawi, A.H., (1986) "On the calculation of extreme
wave heights", Ocean Engineering 13, 93-118.