

94-45-7141
MOTC-IOT-93-H2DA008

臺灣地區港灣波浪推算與 構造物安全監測研究(3/ 3)



交通部運輸研究所
中華民國九十四年四月

94-45-7141
MOTC-IOT-93-H2DA008

臺灣地區港灣波浪推算與 構造物安全監測研究(3/ 3)

著 者：何良勝、林受勳、江玟德、張富東

交通部運輸研究所

中華民國九十四年四月

國家圖書館出版品預行編目資料

臺灣地區港灣波浪推算與構造物安全監測研究(3

/3) / 何良勝等著. -- 初版. -- 臺北市：

交通部運研所， 民 94

面； 公分

參考書目：面

ISBN 986-00-0883-3(平裝)

1. 波動 – 臺灣 2. 防波堤 – 設計

351.941

94006508

臺灣地區港灣波浪推算與構造物安全監測研究(3/3)

著 者：何良勝、林受勳、江玟德、張富東

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：台北市敦化北路 240 號

網 址：www.ihmt.gov.tw (中文版/中心出版品)

電 話：(04)26587176

出版年月：中華民國九十四年四月

印 刷 者：萬達打字印刷有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 110 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站

定 價：200 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

三民書局重南店：台北市重慶南路一段 61 號 4 樓•電話：(02)23617511

三民書局復北店：台北市復興北路 386 號 4 樓•電話：(02)25006600

國家書坊台視總店：台北市八德路三段 10 號 B1•電話：(02)25787542

五南文化廣場：台中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

新進圖書廣場：彰化市中正路二段 5 號•電話：(04)7252792

青年書局：高雄市青年一路 141 號 3 樓•電話：(07)3324910

GPN：1009401033

ISBN：986-00-0883-3 (平裝)

臺灣地區港灣波浪推算與構造物安全監測研究
(3/3)

交通部運輸研究所

GPN : 1009401033
定價 200 元

交通部運輸研究所出版品摘要表

出版品名稱：臺灣地區港灣波浪推算與構造物安全監測研究(3/3)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 986-00-0883-3 (平裝)	政府出版品統一編號 1009401033	運輸研究所出版品編號 94-45-7141	計畫編號 93-H2DA008
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、張富東 聯絡電話：04-26587121 傳真號碼：04-26571329			研究期間 自 93 年 01 月 至 93 年 12 月
關鍵詞：類神經網路、颱風波浪、防波堤受力分析			
摘要： 本研究主要以建立視窗化之颱風波浪推算模式與進行花蓮 蘇澳兩港外廓防波堤之安全監測等兩者合構而成，其中，應用類神經-模糊網路轉換函數建構之颱風波浪推算模式，可以有效且穩定的推算區域內颱風波浪的行為；同時利用模式快速計算之能力，可預先或同時推算即時性之波浪資料。本研究亦應用圖形化介面，開發一套視窗化操作模式，可即時取得颱風波浪推算結果，以達到預警效果與提供應變措施之參考。 依據防波堤受力分析及堤址、堤體之調查結果顯示，地震發生時水位會有壅上或下降之情況，而沉箱之振動對平均水位附近之波壓影響較大；另外，花蓮與蘇澳港防波堤堤址之局部護基塊石有崩塌或流失情況，且沉箱底部亦有部分破損，而兩港之沉箱堤面各測點之高程位移差量，並無明顯變化或差異。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
94 年 4 月	110	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： ☐ 限閱 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 （解密【限】條件： ☐ 年 月 日解密， ☐ 公布後解密， ☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密， ☐ 另行檢討後辦理解密） ☒ 普通			
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: : Typhoon Wave Calculation and Structures Safety Monitoring around Harbors Areas in Taiwan			
ISBN(OR ISSN) ISBN 986-00-0883-3 (pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009401033	IOT SERIAL NUMBER 94-45-7141	PROJECT NUMBER 93-H2DA008
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Yung-Fang Chiu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Liang-Sheng Ho PROJECT STAFF: S.S. Lin, W.D. Jiang, F.T. Chang PHONE: 886-4-26587121 FAX: 886-4-26571329			PROJECT PERIOD FROM January 2004 TO December 2004
KEY WORDS: Neural Network ; Typhoon Wave ; Breakwater Investigation			
ABSTRACT: The study combines Graphical User Interface (GUI) of typhoon wave model and Breakwater Investigation of Hualien and Suao Harbors. The use of neural network associated with fuzzy theory provides rapid and accurate calculation of typhoon waves, and offers prompt information for Marine Warning System so as to prevent from possible life loss and property damage. After establishing the typhoon wave model, the project constructed a Graphical User Interface (GUI) in Windows-based operation environment. Detailed user manual is included in GUI to help users easily operate this model. The proposed GUI is examined for accurately evaluating typhoon's wave heights in this year. According to breakwater's structural analysis, and site and outer looking investigation, it is showed that water levels varied and caisson's vibrating caused more influence from wave pressure at mean water level when earthquake had occurred. Hualien and Suao Harbors' breakwater protective stones partly collapsed and lost into water, in the meantime the bottom of caisson caused damages, but the elevation of observational points located in both harbors didn't change significantly.			
DATE OF PUBLICATION April 2005	NUMBER OF PAGES 110	PRICE 200	CLASSIFICATION ☐ SECRET ☐ CONFIDENTIAL ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

中文摘要	
英文摘要	
目 錄	
表目錄	
圖目錄	
第一章 前言	1-1
第二章 颱風風場特性與模式探討	2-1
2.1 颱風風場結構之探討	2-1
2.2 颱風模式之建立	2-3
第三章 颱風波浪推算模式之建立	3-1
3.1 類神經網路之理論架構	3-1
3.2 模糊理論之架構	3-4
3.3 實測資料之選擇與分析	3-7
3.4 類神經網路推算模式之轉移函數	3-9
3.5 類神經網路推算模式之建構	3-16
3.6 颱風波浪推算模式之結果	3-17
3.6.1 花蓮與蘇澳港波浪推算結果	3-17
3.6.2 推算模式應用於鄰近地區之資料補遺能力	3-26
3.6.3 推算模式之即時性測試能力	3-27
第四章 波浪推算模式之視窗化操作	4-1

4.1 圖形化介面建立之原則	4-1
4.2 視窗化模式之建立.....	4-4
4.2.1 主介面視窗說明.....	4-5
4.2.2 資料輸入視窗說明.....	4-6
4.2.3 模擬輸出視窗說明.....	4-8
4.2.4 資料存檔視窗說明.....	4-9
4.2.5 颱風路徑圖說明.....	4-10
4.2.6 推算波高圖說明.....	4-11
4.2.7 推算波高表	4-11
4.3 視窗化模式之操作.....	4-12
4.4 視窗化模式之成果展示	4-17
第五章 港灣構造物之安全監測	5-1
5.1 防波堤受力特性分析.....	5-1
5.1.1 防波堤損壞原因探討	5-1
5.1.2 花蓮港地震與波壓關係之探討	5-2
5.2 防波堤現場調查分析.....	5-15
5.2.1 防波堤堤腳與堤址之調查.....	5-15
5.2.2 防波堤堤體異位之調查.....	5-22
第六章 結論與建議	6-1
參考文獻	7-1
錄附一 期末審查意見及辦理情形	附錄 1-1
錄附二 期末簡報資料	附錄 2-1

表 目 錄

表 3.1	觀測站颱風與波浪收集資料與資料屬性	3-7
表 3.2	Model 1、Model 2 及 Model 3 推算四場颱風之比較	3-24
表 4.1	使用 GUI 介面之效率比較表.....	4-3
表 5.1	觀測地震時間與加速度比較表.....	5-6
表 5.2	蘇澳港南外防波堤堤腳與堤址調查說明表	5-16
表 5.3	花蓮港東防波堤堤腳與堤址調查說明表	5-18

圖目錄

圖 2.1	颱風結構示意圖.....	2-2
圖 2.2	KMA 亞洲區域 925 hPa 壓力場分佈	2-3
圖 2.3	颱風運動參數符號說明.....	2-5
圖 3.1	模糊邏輯運算真值表.....	3-5
圖 3.2	二個輸入函數經過最大值法則的模糊化結果示意圖	3-5
圖 3.3	模糊網路結構示意圖.....	3-6
圖 3.4	重心法解模糊化示意圖.....	3-6
圖 3.5	模糊網路之操作流程示意圖.....	3-6
圖 3.6	颱風波浪推算模式之架構示意圖.....	3-7
圖 3.7	花蓮港觀測波浪示性波高與颱風距離關係	3-8
圖 3.8	花蓮港觀測波浪示性週期與颱風距離關係	3-9
圖 3.9	測站風速 $\bar{V}_{10}$ 與波高及轉移函數關係	3-10
圖 3.10	測站至颱風中心距離 r 與波高及轉移函數關係.....	3-11
圖 3.11	颱風風場風速向量圖.....	3-13
圖 3.12	颱風風場分區圖.....	3-13
圖 3.13	$f_r = 1$, 颱風行進方向夾角 θ_2 與轉移函數 $f_{\theta 21}$ 關係	3-14
圖 3.14	$f_r = 1$, 颱風行進方向夾角 θ_2 與轉移函數 $f_{\theta 22}$ 關係	3-14
圖 3.15	$f_r = 1$, 颱風行進方向夾角 θ_2 與轉移函數 $f_{\theta 23}$ 關係	3-15
圖 3.16	$f_r = 1$, 颱風行進方向夾角 θ_2 與轉移函數 $f_{\theta 24}$ 關係	3-15
圖 3.17	Tim 颱風的移動路徑	3-18
圖 3.18	三種推算模式推算花蓮港 Tim 颱風波高與實測值之比較.....	3-18
圖 3.19	Fred 颱風移動路徑	3-20

圖 3.20	三種推算模式推算花蓮港 Fred 颱風波高與實測值之比較	3-20
圖 3.21	Kent 颱風的移動路徑	3-21
圖 3.22	三種推算模式推算花蓮港 Kent 颱風波高與實測值之比較	3-21
圖 3.23	Haiyan 颱風的移動路徑	3-23
圖 3.24	三種推算模式推算花蓮港 Haiyan 颱風波高與實測值之比較	3-23
圖 3.25	Maggie 颱風的移動路徑	3-25
圖 3.26	三種推算模式推算蘇澳港 Maggie 颱風波高與實測值之比較	3-25
圖 3.27	花蓮模式推算花蓮及成功 HAIYAN 颱風之結果比較	3-26
圖 3.28	花蓮模式推算蘇澳及成功 MAGGIE 颱風之結果比較	3-27
圖 3.29	2004/08/23 AM 02:00 預測 Aere 颱風未來 72 小時之颱風路徑	3-28
圖 3.30	2004/08/23 AM 02:00 預測 Aere 颱風未來 72 小時之颱風風速	3-28
圖 3.31	2004/08/24 PM 02:00 預測 Aere 颱風未來 72 小時之颱風路徑	3-29
圖 3.32	2004/08/24 PM 02:00 預測 Aere 颱風未來 72 小時之颱風風速	3-29
圖 3.33	三種模式各不同時間點所推估之波高值與實測資料比較	3-30
圖 4.1	介面主視窗示意圖	4-5
圖 4.2	樹狀結構的工具列	4-6
圖 4.3	資料輸入視窗示意圖	4-7
圖 4.4	模擬結果輸出視窗示意圖	4-8

圖 4.5	模擬結果資料存檔視窗.....	4-9
圖 4.6	模擬結果圖形存檔視窗.....	4-10
圖 4.7	颱風路徑圖.....	4-10
圖 4.8	推算波高圖.....	4-11
圖 4.9	推算波高表.....	4-12
圖 4.10	操作流程說明 1：Matlab 主要視窗.....	4-12
圖 4.11	操作流程說明 2：本介面主視窗.....	4-13
圖 4.12	操作流程說明 3：颱風資料輸入視窗.....	4-13
圖 4.13	操作流程說明 4：讀取資料完成.....	4-14
圖 4.14	操作流程說明 5：進行模擬程序.....	4-14
圖 4.15	操作流程說明 6：模擬結果輸出視窗.....	4-15
圖 4.16	操作流程說明 7：檢視颱風路徑圖並儲存圖檔.....	4-15
圖 4.17	操作流程說明 8：檢視波高歷時圖並儲存圖檔.....	4-16
圖 4.18	操作流程說明 9：檢視波高歷時表.....	4-16
圖 4.19	操作流程說明 10：儲存預測資料結束介面流程.....	4-17
圖 4.20	使用 GUI 介面模擬 Conson 颱風(2004).....	4-18
圖 4.21	使用 GUI 介面模擬 Mindulle 颱風(2004).....	4-18
圖 4.22	使用 GUI 介面模擬 Rananim 颱風(2004).....	4-19
圖 4.23	使用 GUI 介面模擬 Nock_tek 颱風(2004).....	4-19
圖 5.1	花蓮港地震計及波壓計儀器位置示意圖.....	5-3
圖 5.2	花蓮港防波堤地震計及波壓計觀測系統配置圖.....	5-3
圖 5.3	花蓮港地震計及波壓計儀器擺放位置圖.....	5-3
圖 5.4	花蓮港東堤波壓計及地震計配置圖.....	5-4
圖 5.5	陸上觀測站三軸向地震加速度之歷時圖(2002.04.04).....	5-8

圖 5.6	陸上觀測站三軸向地震加速度之頻譜圖 (2002.04.04).....	5-8
圖 5.7	沉箱觀測站三軸向地震加速度之歷時圖 (2002.04.04).....	5-9
圖 5.8	沉箱觀測站三軸向地震加速度之頻譜圖 (2002.04.04).....	5-9
圖 5.9	陸上及沉箱觀測站三軸向地震加速度之歷時圖比較 (2002.04.04)	5-10
圖 5.10	陸上及沉箱觀測站三軸向地震加速度之頻譜圖比較 (2002.04.04)	5-10
圖 5.11	花蓮港潮位與地震時潮位歷時圖	5-11
圖 5.12	沉箱壁面上不同深度實測波壓歷時圖	5-11
圖 5.13	沉箱振動加速度頻譜圖與波壓頻譜圖	5-11
圖 5.14	沉箱振動加速度頻譜圖與波壓(大於 1.0Hz)頻譜圖	5-12
圖 5.15	沉箱壁面上不同深度波壓頻譜圖(小於 1.0Hz)	5-13
圖 5.16(a)	波壓主頻與 CH7 及 T _{max} 之比較圖	5-14
圖 5.16(b)	波壓主頻與 CH8 及 T _{max} 之比較圖	5-14
圖 5.16(c)	波壓主頻與 CH9 及 T _{max} 之比較圖	5-14
圖 5.17(a)	CH7 無因次波壓(P _{mean} 、P _{1/3} 、P _{1/10} 、P _{max})之比較 圖 (2002.04.04)	5-14
圖 5.17(b)	CH8 無因次波壓(P _{mean} 、P _{1/3} 、P _{1/10} 、P _{max})之比較圖 (2002.04.04)	5-15
圖 5.17(c)	CH9 無因次波壓(P _{mean} 、P _{1/3} 、P _{1/10} 、P _{max})之比較圖 (2002.04.04)	5-15
圖 5.18	蘇澳港南外防波堤沉箱控制點測量範示意圖	5-22
圖 5.19	花蓮港沉箱控制點測量範示意圖	5-23
圖 5.20	蘇澳港南外堤高程測量各 E 點之歷年逐次比較圖	5-24
圖 5.21	蘇澳港南外堤高程測量各 S 點之歷年逐次比較圖	5-24

圖 5.22	蘇澳港南外堤高程測量各 W 點之歷年逐次比較圖	5-25
圖 5.23	花蓮港東堤高程測量各 E 點之歷年逐次比較圖	5-25
圖 5.24	花蓮港東堤高程測量各 N 點之歷年逐次比較圖	5-26
圖 5.25	花蓮港東堤高程測量各 S 點之歷年逐次比較圖	5-26
圖 5.26	花蓮港東堤高程測量各 W 點之歷年逐次比較圖.....	5-27

第一章 前言

臺灣四周環海，航運貿易尤為經濟發展之命脈，因此，港內之穩靜關係著船隻碇泊與貨物裝卸之作業。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時，能及時的提供相關安全資訊，作為港務管理單位實施預警性防護措施之參考。

由於臺灣地理位置正處於颱風發生及主要行進的區域，夏秋兩季常受颱風侵襲，尤以臺灣東部最為嚴重；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。因此，如何建立一個能快速且正確推算颱風波浪的模式，以提早瞭解波浪可能的未來狀況，使之有較充裕時間來應對必需的應變措施，以降低可能的災害及損失，是為吾人的責任與工作。

颱風波浪推算的模式大致分為兩大類，第一類是以風浪能量平衡方程式為基礎，運用目前電腦計算能力大且快速之優勢，利用數值方式建立推算預測之模式，本方法適用於較大區域波浪之推算或預報。惟此模式應用於不同的海域之波浪推算時，因模式的尺度及區域波浪特性不同因素，必須先率定模式內的係數，否則在預測時會產生誤差。若模式的建立無法標準化，將會遇到該選擇何種物理量作為推算參數及如何建立各物理量相互間的非線性關係等兩個關鍵問題。第二類則是採用經驗公式配合現場資料分析，以迴歸或數值模擬方式計算及修正，由於本方法大都以小區域為研究範圍，因此較符合當地波浪特性為其優點。然當海域地形及水深特性差異大，或可取得之分析參數資料缺少或有限時，此類模式須以調整係數的方式方能正確地推算區域性波浪；另外，本經驗公式並不考慮颱風的移動特性，因此對於不同移動方式及行進路徑的颱風以經驗公式來推算會有相當的誤差且無法

快速反應相關資訊。

本研究擬應用類神經網路與模糊理論分析方法，利用其自我學習、快速計算與容錯之能力，建立一個以臺灣港灣為主的颱風波浪推算模式，並開發易操作的視窗化介面系統，俾讓使用者能簡易且快速地操作與預測颱風波浪可能的發生情況，進而能提高預警防災之應變能力。

臺灣每年遭受約 3.5 個颱風之侵襲，其中尤以東部地區為烈，針對港池外廓防波堤結構物而言，其為維繫港池穩靜的屏障，彼等結構物之保固是為港內設施與船隻碇泊安全的指標。觀之台灣東部蘇澳與花蓮兩港，不僅位處地震頻仍之地區，且因受颱風波浪之侵襲受損而危及港內。因此，研究探討結構物受害原因與比對結構物變動之差異，以提供港務單位預測推估之參考，此為本研究另一目的。因之本研究以東部花蓮與蘇澳兩港域為主要範圍，除了針對港外波浪動態特性探討而期望建立一適合性的颱風波浪推算模式外，並對花蓮與蘇澳兩港之外廓結構物進行安全監測及分析，如此合構而成為提供港灣海域安全之參考依據。

本研究報告內容主要包括，第二章為探討颱風風場特性與模式結構之說明；第三章則為颱風波浪推算模式建立過程與分析結果，其中包括應用類神經網路與模糊理論方法建立推算模式之過程與相關模式推算能力之分析比較；第四章為介紹推算模式視窗化之建立過程與操作說明；第五章則是蘇澳與花蓮兩港防波堤受力特性分析及結構物堤體安全監測結果；最後，於第六章作一研究報告之結論。

第二章 颱風風場特性與模式探討

2.1 颱風風場結構之探討

颱風結構呈漏斗狀之強烈渦流，下層空氣流向中心並向上竄升，高至 10 公里左右後，向四周流出，四周空氣涵蓋之範圍可達數百公里。由天氣圖上所見之颱風，約形成同心圓等壓線分佈之低氣壓，在近中心附近之壓力梯度愈大，風速愈強，但在颱風中心附近反呈無風狀態。成熟熱帶氣旋或颱風具有獨特螺旋狀雨帶和風眼，眼區半徑最大可達 100 公里，最小僅 5 公里，一般情形約為 25-60 公里。從颱風外圍向內，地面氣壓迅速下降，風力增強，並伴隨狂風大雨，風眼區內天氣較平靜熱帶氣旋的溫壓場。

颱風的氣壓場特徵為極低的中心氣壓和極大的水平氣壓梯度，形成颱風中心最低氣壓一般在 960 百帕(hPa)以下。地面天氣圖上，熱帶氣旋表現為一個圓形對稱的、梯度極大的閉合低壓系統。颱風的流場低層有強烈氣旋性風切變化和氣流流入，高層則有氣流流出，低層的氣流流場和高層的流場都從熱帶氣旋中心往外伸展約 1000 公里。颱風水平範圍大致可分為三部份：1.眼區，一般範圍約為數十公里，眼區內風力較弱；2.最大風速區，圍繞在颱風眼的環狀最大風速區，平均寬度約為 8 至 50 公里，最大風速區約與颱風眼壁的雲牆相當；3.外區，從最大風速區外緣至熱帶氣旋邊緣，在這個區域，風速向外急遽減弱。

颱風垂直結構也可分為三層：一為地面至 3 公里左右的氣旋性流入層，有強烈氣流流入中心，其中 1 公里以下的輻合最強；3 至 8 公里之中層，流入氣流很少，主要是垂直氣流，將低層輻合的暖濕空氣通過這一層輸送至高層；另一 8 公里到熱帶對流層頂部為流出層，最大輻散氣流出現在 10 公里左右。流出的空氣和四周的環境空氣混合下沉

至低層，形成熱帶氣旋的垂直環流，颱風結構表示如圖 2.1 所示。

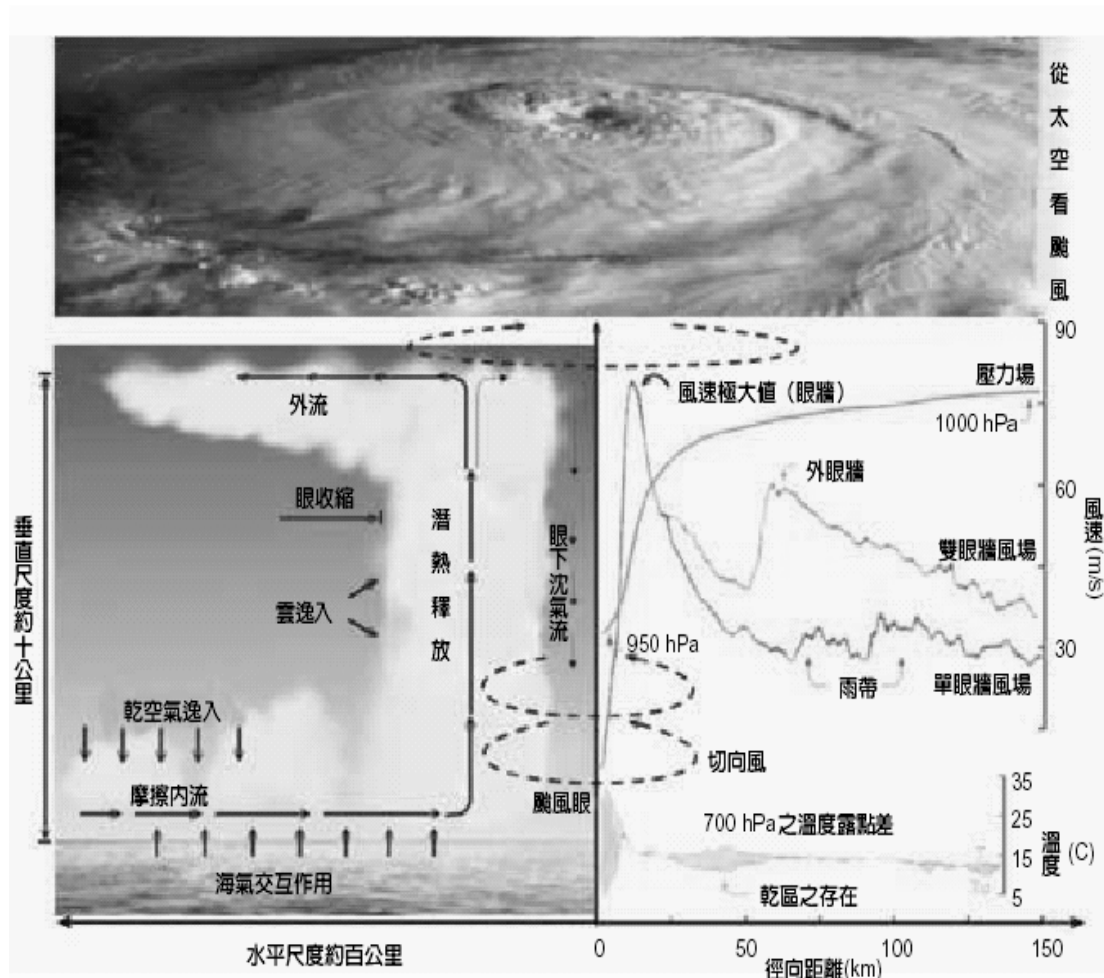


圖 2.1 颱風結構示意圖（摘自：科學發展月刊）

藉由衛星資料可以初步瞭解颱風的物理特性及颱風風場基本的變化機制，颱風風場的變化受制於颱風的運動行為、颱風能量增減及陸地的影響。颱風屬於熱帶性低氣壓，颱風運動行為受太平洋高氣壓對熱帶氣旋的移動、轉向的路徑有主要作用。當太平洋高氣壓強大、穩定，呈東西向帶狀分佈時，位於太平洋高氣壓南側的熱帶氣旋在東風氣流引導下會西移，當熱帶氣旋位於太平洋高氣壓西側時將向北移，又熱帶氣旋在太平洋高氣壓北側時將向東移。

在整個颱風的事件中，颱風風場是許多影響因素作用於颱風後的結果，在颱風波浪推算的過程中，颱風風場之變化即成為計算颱風波浪的主要影響因素，然颱風風場變化相當的迅速及複雜，針對風場進

行完整的量測及解析是為相當困難之作為。因此，目前大致應用在假設解析區域內的風場均勻的條件下，對於風場的量測採用每小時或是 6 小時內量測風速的平均值或是壓力場(如圖 2.2 所示)，再配合衛星資料分析計算描繪颱風風場，由資料的解析程度決定每一個解析點的風速涵蓋面積。由於風場與時間變化資料之完整性及快速性影響風場計算的準確度，因此，有關颱風模式的選擇，將依據颱風資料取得之方式，採用參數形式之颱風模式作為結合類神經颱風波浪計算模式。

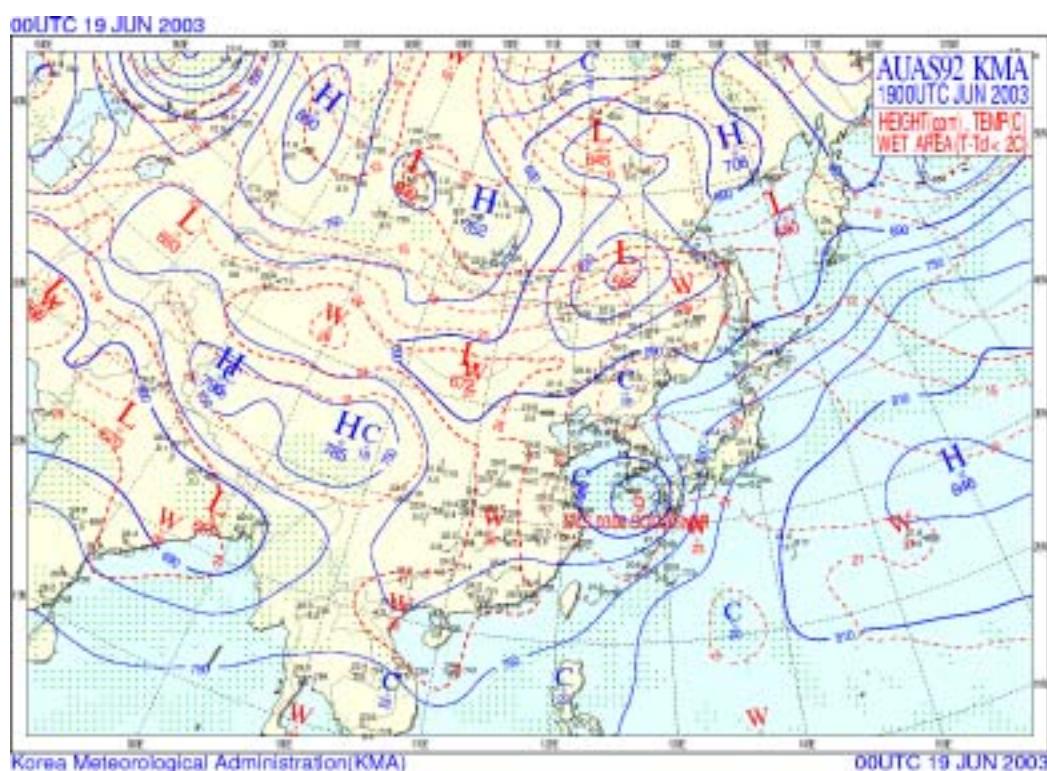


圖 2.2 KMA 亞洲區域 925 hPa 壓力場分佈

2.2 颱風模式之建立

有關大區域之波浪推算模式，自 1970 年代經不斷的修改控制方程式中相關能量交換的過程及作用機制，發展至目前的第三代波浪推算模式，如 WAM (1988)或 Tolman (1997)等，在風場作用下的二維波譜 $N(t, \phi, \theta, \lambda)$ 能量守恆方程式表示為：

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{1}{\cos \phi} \frac{\partial}{\partial \phi} (N \dot{\phi} \cos \theta) + \frac{\partial}{\partial \lambda} (N \dot{\lambda}) + \frac{\partial}{\partial \theta} (N \dot{\theta}) = \frac{S}{\sigma} \dots\dots\dots (2.1)$$

其中

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} \dots\dots\dots (2.2)$$

式中 t 為時間， θ 是波浪的前進方向， ϕ 、 λ 是經度及緯度， σ 為成分波的頻率， $\dot{\phi}$ 、 $\dot{\lambda}$ 是群波速度在經度及緯度方向的分量， $\dot{\theta}$ 為波浪前進方向改變率， S 是總和的能量交換，包括風能輸入作用項(S_{in})，波波間非線性交互作用項(S_{nl})，由白沫現象或是碎波波浪產生之能量散逸(S_{ds})，及底床摩擦的能量消耗(S_{bot})。

颱風風場變動與能量輸入機制的瞭解對以能量平衡式推算颱風事件進行波浪相當重要。由於颱風風場的變動包括颱風移動速度及方向、颱風規模、颱風移動軌跡以及颱風位置的經緯度等，且颱風風場需要足夠的作用時間方能提供海面形成颱風波浪的能量。因此，颱風波浪波波間非線性交互作用、波浪白沫現象及碎波波浪產生之能量散逸皆與颱風運動行為及颱風規模的變動有密切的關係。

本研究為方便描述颱風中心的變化，乃以極座標 r 、 θ_1 取代一般的颱風中心經緯度 ϕ 、 λ ，其中 r 為颱風中心至觀測站的距離， θ_1 為颱風中心至觀測站的方位角。

由於颱風風場對海面波浪的作用需要有足夠的作用時間才能產生成熟的颱風波浪，因此在風場作用期間的變化將影響颱風波浪的行為，對於颱風連續性的變化包括有颱風規模 V_{max} 的變化、颱風移動速度 V_f 的變化、颱風相對移動位置 r 、 θ_1 的變化以及颱風風場分佈旋轉，即颱風行進方向與觀測夾角 θ_2 的變化，颱風運動參數符號說明如圖 2.3 所示。

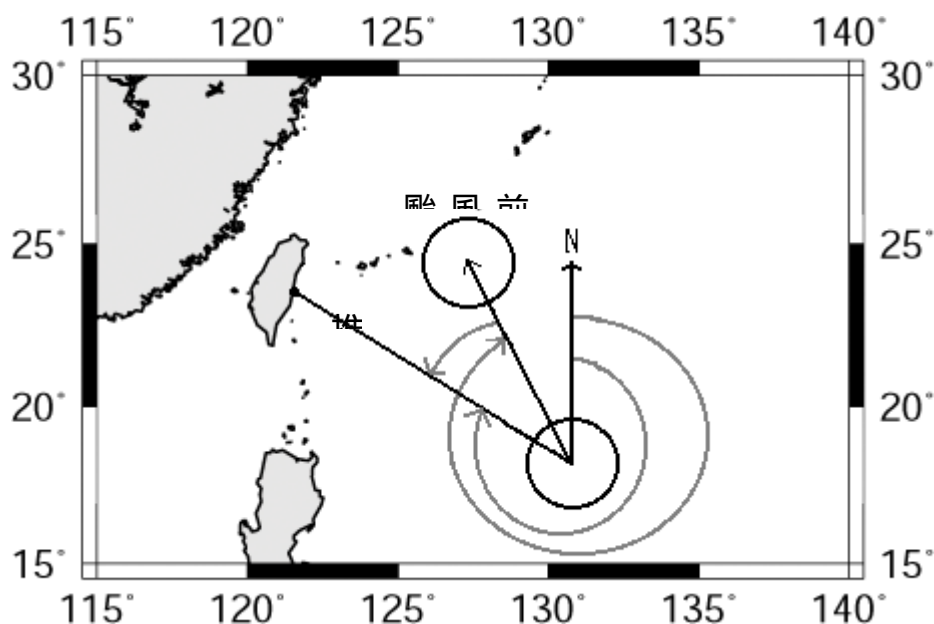


圖 2.3 颱風運動參數符號說明

式(2.2)之波浪能量的變化於颱風波浪及颱風運動行為中呈現之方式，詳述如下。

1. 風能輸入作用項(S_{in})

颱風風場能量輸入的建構方式可使用即時衛星觀測資料、大氣氣象模式模擬以及參數颱風風場模式等三種方式，本研究中採用參數形式的颱風風場模式當作能量輸入的計算模式，利用 Holland (1980)的經驗參數模式來描述颱風風場，其為

$$\frac{p - p_c}{p_n - p_c} = \exp\left[-\left(\frac{R}{r}\right)^B\right] \dots\dots\dots(2.3)$$

其中 p_n 為颱風影響範外的氣壓，此處設定為 1 大氣壓(1013.3 mb)， p_c 為颱風中心氣壓(mb)， p (mb)為距離颱風中心 r (km)的氣壓。風場內距離颱風中心 r 的風速 V (m/s) 如下式所示：

$$V = \left[\frac{B(p_n - p_c)}{\rho} \left(\frac{R}{r}\right)^B \exp\left[-\left(\frac{R}{r}\right)^B\right] + \frac{r^2 f^2}{4} \right]^{0.5} - \frac{rf}{2} \dots\dots\dots(2.4)$$

其中 f 為柯氏參數(Coriolis parameter)。若忽略柯氏力的影響，颱風最大風速可表示為：

$$V_{\max} = \left[\frac{B(p_n - p_c)}{\rho \cdot e} \right]^{0.5} \dots\dots\dots(2.5)$$

係數 B 採用 Harper and Holland (1999)建議的關係式：

$$B = 2 - \frac{p_c - 900}{160}, \quad 1.0 < B < 2.5 \dots\dots\dots(2.6)$$

風場在海面上 10 公尺的風速為：

$$V_{10} = K_m V \dots\dots\dots(2.7)$$

Harper and Holland (1999)建議 $K_m = 0.7$ ，而颱風風場的風傾角假設為 25° 。颱風移動速度 V_f 對颱風風場內的影響，採用 Jelesnianski (1966)建議的關係式：

$$V(r) = \frac{R \cdot r}{R^2 + r^2} V_f \dots\dots\dots(2.8)$$

由風場的規模變動及推算點的距離、角度藉由式(2.3)至式(2.8)可推算出區域的 V_{10} ，此 V_{10} 可充分表現出該區域颱風風場特性與颱風波浪的相對關係，所以，考慮颱風運動及颱風規模連續的變動則 S_{in} 隨時間的變動即可由 V_{10} 、 r 、 θ_1 及時間 t 的函數表示之。

2.波波間非線性交互作用項(S_{nl})

颱風波浪在生成與傳遞的過程中由於風場 颱風行為與颱風位置的快速變動等因素會造成不同週期、波高的波浪，因而形成波浪間的交互

作用複雜的現象。假設交互作用的波浪都來自於颱風風場，並考慮颱風波浪場內的波浪大於當地的波浪或是忽略當地的波浪，在這樣的假設下波波間非線性交互作用項(S_{nl})只與颱風風場結構以及颱風運動有關，相似的颱風結構及颱風運動行為有相似的波波間非線性交互作用結果。因此，波波間非線性交互作用可以利用颱風運動軌跡以及颱風規模的變動描述。

3. 能量散逸項(S_{ds})

對於颱風波浪能量散逸的型態主要來自於波浪的摩擦、碎波或是白沫現象，通常發生因素包括風速的驟變、地形的影響，在固定區域的考量下這些現象的發生亦來自於颱風型態及行為變化，如果相似的颱風結構及颱風運動行為有相似的能量散逸作用的結果。對能量散逸項(S_{ds})的描述也可以利用颱風運動軌跡以及颱風規模的變化進行描述。

4. 底床摩擦的能量消耗(S_{bot})

底床摩擦的能量消耗(S_{bot})因外海颱風所處的水深較深，底床地形對颱風及波浪影響甚低，若推算點的水深約蔚 20 公尺，不在近岸淺水區，波浪傳遞受底床摩擦力影響甚小，因此底床能量消耗因素，在本研究中不予以考慮。

5. 其他影響波浪傳遞的因素

颱風移動速度的變化直接影響颱風風場內波浪傳遞的情形，當颱風移動速度接近颱風波浪傳遞速度時，颱風波浪在颱風前進方向的傳遞就受到限制，使得波浪無法傳出颱風風場，當然，颱風移動速度緩慢時颱風波浪的傳遞就能夠容易的傳出風場的範圍，然而颱風移動速度並不會固定不變，加上風場作用海面的過程並非即時反應在生成波浪與改變波浪行為，因此某時刻的颱風波浪除了應該與 t 時刻的颱風位置及移動速度有關外，也應該與前時刻內發生過的颱風軌跡與移動速度的變化有關，也就是與 V_f 的變化有關。如果颱風中心的資料的取樣間

距固定時， V_f 依速度定義就可以利用颱風中心位置的變動表示之，即為颱風的運動軌跡。

在颱風風場內不同位置的風速及風向而成非對稱，而此特性直接反應到颱風波浪的分佈，通常在北半球行進間的颱風，右半圓風速較左半圓在相同半徑的風速大而波浪分佈亦相同，當颱風行為變化時，相對應的風場結構也會出現變動，對應不同颱風風場位置的波浪也因為風場結構的變動而出現變化。作用在海面的風場特性變動不大時，颱風波浪的行為相對單純，如果考慮颱風風場範圍內因颱風行進方向改變，造成海面受颱風作用區域內風場連續的變化對颱風波浪產生的連續影響，就必須同時考慮風場變動時間延時對風域內波浪的影響。假設相似行為、規模的颱風風場結構變動相似，颱風風場因為行進方向改變而產生的變動可以利用颱風行進方向與觀測站的夾角 θ_2 隨時間的變動表示。

依據以上之論述，瞭解風速 V_{10} 為提供及影響颱風波浪大小主要的因素，而颱風的路徑及行為是影響颱風波浪變化的因素，在固定位置上即使兩個同樣的颱風規模但運動方向不同的路徑颱風波浪亦會不同。為了簡化能量方程式的架構，利用限制推算颱風波浪區域減少影響變數，對於固定區域颱風波浪推算總和能量 S 的能量交換在路徑及規模相似的颱風條件下，可用前 m 個小時 $V_{10}, r, \theta_1, \theta_2$ 的函數線性組合表示之：

$$S(t) = f_1[V_{10}(t), r(t), \theta_1(t), \theta_2(t)] \dots\dots\dots(2.9)$$

式(2.9)中 a_i 為係數， f_1 為函數， t_m 為時間。根據以上的能量平衡觀念，颱風波浪為 m 小時內能量 S 的函數：

$$H_s(t) = \sum_{m=0}^n a_m f_2[S(t - m\Delta t)] \dots\dots\dots(2.10)$$

結合式(2.9)及式(2.10)可表示颱風波浪之示性波高為不同時間 $V_{10}, r, \theta_1, \theta_2$ 的函數

$$H_s(t) = \sum_{m=0}^n b_m f(V_{10}, r, \theta_1, \theta_2; t - m\Delta t) \dots\dots\dots (2.11)$$

式(2.11)中 m 表示颱風開始影響颱風波浪的時間，即 t 時刻的颱風波浪只受過去 m 小時內的颱風行為影響， m 即為計算颱風波浪資料的延時時間。

第三章 颱風波浪推算模式之建立

類神經網路是一種具有一般性、準確性與方便性的數學模式，它同時具備：(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，使得類神經網路對於一些複雜的多變數特性及關係有相當不錯的描述能力，因此其分析方法正逐漸被廣泛的使用。本研究嘗試應用類神經網路及模糊理論的架構與分析方式，建立一套颱風波浪推算模式，作為比較研究探討之用。

3.1 類神經網路之理論架構

依照人工神經元輸出值與輸入值的關係式，可以表示如下：

$$Y_i = f\left(\sum_j W_{ij} X_j - \theta_i\right) \dots\dots\dots (3.1)$$

式中 Y_i ：人工神經元模型的輸出訊號。

f ：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} ：人工神經元模型連結加權值。

X_j ：人工神經元模型的輸入訊號。

θ_i ：人工神經元模型的閾值。

本研究使用 MATLAB 類神經網路軟體，選擇其中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, BPN)，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

$$net_1 = \sum_i W_{1i} X_i - \theta_1 \dots\dots\dots (3.2)$$

$$Z = f(net_1) = \frac{e^{net_1} - e^{-net_1}}{e^{net_1} + e^{-net_1}} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$net_2 = \sum_j W_{2j} X_j - \theta_2 \dots\dots\dots (3.4)$$

$$Y = f(net_2) = \frac{e^{net_2} - e^{-net_2}}{e^{net_2} + e^{-net_2}} \dots\dots\dots (3.5)$$

2.計算隱藏層差距量 δ_1 與輸出層差距量 δ_2

$$\delta_1 = Z(1-Z) \sum_j (W_{2j} \delta_j) \dots\dots\dots (3.6)$$

$$\delta_2 = (1+Y)(1-Y)(Z-Y) \dots\dots\dots(3.7)$$

3.計算加權值矩陣的修正量 ΔW

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

$$E = \frac{1}{2} \sum_j (T_j - Y_j)^2 \dots\dots\dots(3.8)$$

此時加權值的修正量可表示為：

$$\Delta W = -\eta \cdot \frac{\partial E}{\partial W} \dots\dots\dots(3.9)$$

$$\frac{\partial E}{\partial W_{ij}} = -\delta_j^n A_i^{n-1} \dots\dots\dots(3.10)$$

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

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

$$W_1 = W_1 + \Delta W_1 \dots\dots\dots(3.11)$$

$$\theta_1 = \theta_1 + \Delta \theta_1 \dots\dots\dots(3.12)$$

$$W_2 = W_2 + \Delta W_2 \dots\dots\dots(3.13)$$

$$\theta_2 = \theta_2 + \Delta \theta_2 \dots\dots\dots(3.14)$$

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

為了能評鑑倒傳遞類神經網路的網路學習的效能，本文將採用均方根誤差量（Root Mean Squared Error）做為評鑑指標，計算式如下：

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i^n (T_i - Y_i)^2} \dots\dots\dots(3.15)$$

其中 n 為學習資料的筆數

3.2 模糊理論之架構

對於不確定性事件之處理模糊理論而言，當兩個輸入函數及模糊化函數的邏輯運算值如圖 3.1 所示，其中包含邏輯運算規則 AND、OR、NOT。

A	B	A and B	A	B	A or B	A	not A
0	0	0	0	0	0	0	1

0	1	0	0	1	1	1	0
1	0	0	1	0	1		
1	1	1	1	1	1		
AND			OR			NOT	
A	B	$\min(A,B)$	A	B	$\max(A,B)$	A	$1-A$
0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	1	1	1	0
1	0	0	1	0	1		
1	1	1	1	1	1		
AND			OR			NOT	

圖 3.1 模糊邏輯運算真值表

當輸入值進行歸屬函數及模糊邏輯運算後，即是進行模糊化過程如圖 3.2 所示，為二個輸入值的模糊化，在最大值的法則下所得的模糊化結果。

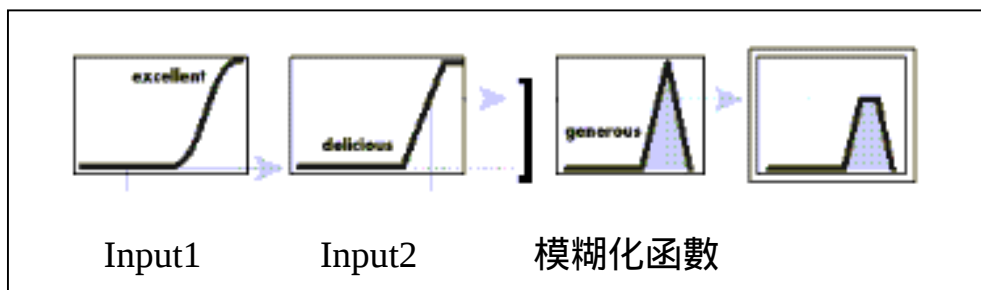
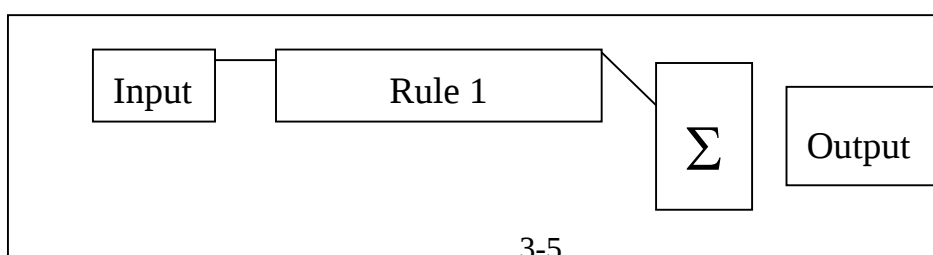


圖 3.2 二個輸入函數經過最大值法則的模糊化結果示意圖

有關模糊網路的運算操作方式簡介如下，圖 3.3 為 2 個輸入函數、3 個邏輯規則運算，及 1 個輸出函數的模糊網路。



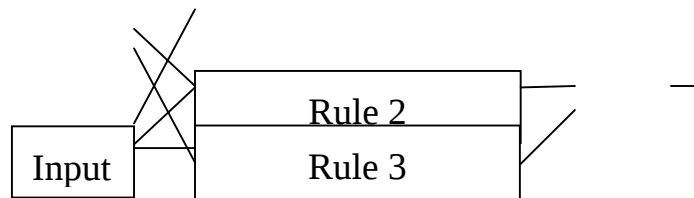


圖 3.3 模糊網路結構示意圖

當不同輸入值各別進行模糊邏輯運算後的模糊化結果，所有輸出值必須經過最後一個步驟解模糊化解模糊化之過程，才可獲得更正的輸出值，一般解模糊的方式採用重心法，如圖 3.4 所示

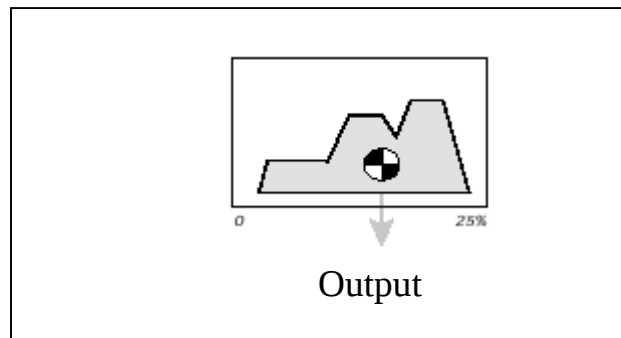


圖 3.4 重心法解模糊化示意圖

經由上述模糊網路之概略說明，不同輸入值經過模糊化、法則運算及解模糊化過程，其網路操作流程示如圖 3.5 所示。

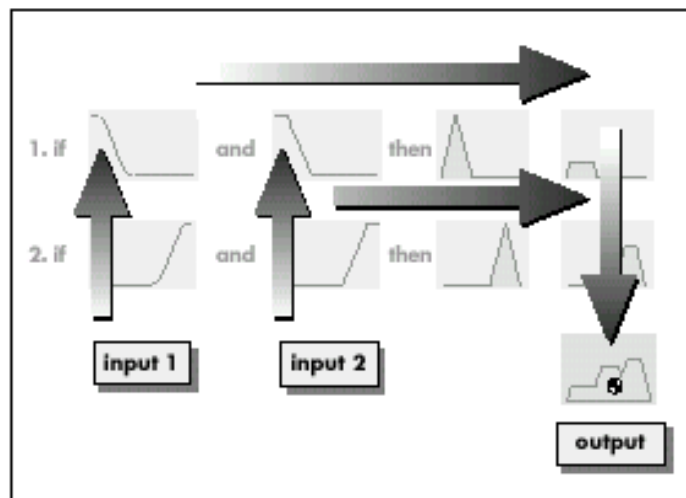


圖 3.5 模糊網路之操作流程示意圖

綜合前述之類神經網路與模糊網路的架構流程說明，本研究應用兩者之結合架構如圖 3.6 所示

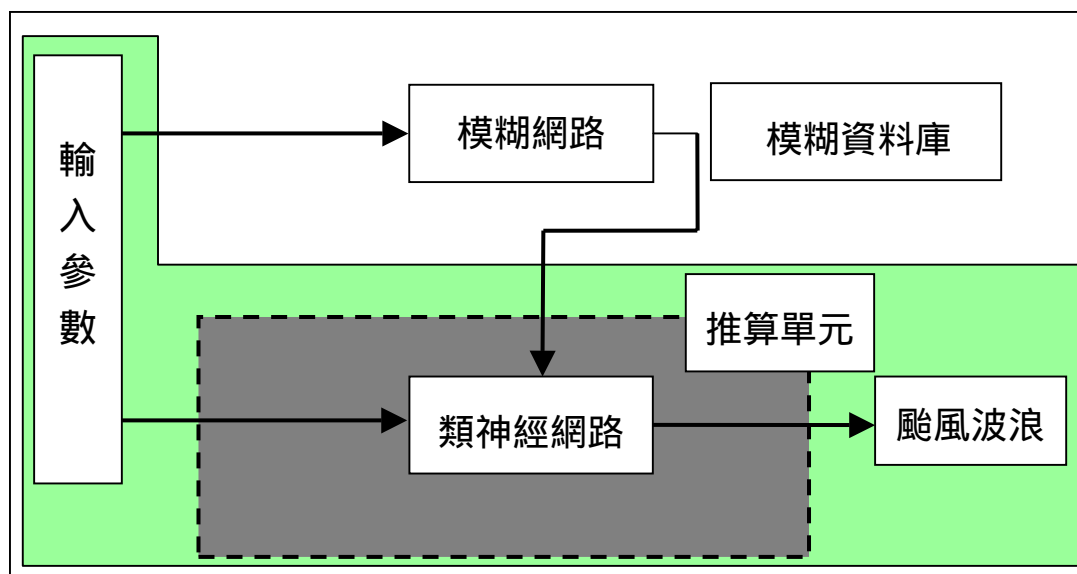


圖 3.6 颱風波浪推算模式之架構示意圖

3.3 實測資料之選擇與分析

本推算模式所需之現場波浪資料係利用本所港研中心於臺灣東部花蓮與蘇澳兩港外海的觀測站所量測之颱風波浪資料。颱風氣象資料來源則取自中央氣象局、JTWC 及 UNISYS WEATHER，颱風的名稱與發生時間採用 JTWC 發佈的資料為準，時間格式統一以格林威治時間表示。颱風氣象資料每 6 小時一筆，波浪資料為每 1 小時一筆。為配合波浪資料的時間間距將颱風氣象資料利用 3 次多項式內差技術，內差颱風氣象資料間距為 1 小時。颱風波浪實測資料及資料屬性如表 3.1 所示。

表 3.1 觀測站颱風與波浪收集資料與資料屬性

年代	颱風名稱	颱風資料時段	波浪資料時段	測站	資料屬性
1997	Levi(里維)	05/25(1800)~05/30(0600)	05/25(1800)~05/30(0600)	花蓮	學習資料
	Opal(歐珀)	06/15(0600)~06/21(0600)	06/15(0600)~06/21(0600)	花蓮	學習資料
	Peter(彼得)	06/23(0600)~06/29(0000)	06/23(0600)~06/29(0000)	花蓮	學習資料
1998	Otto(奧托)	08/02(0000)~08/05(0600)	08/02(0000)~08/05(0600)	花蓮	學習資料
1999	Sam(山姆)	08/18(0600)~08/23(0000)	08/18(0600)~08/23(0000)	花蓮	學習資料
2000	Jelawat(杰拉華)	08/01(0000)~08/11(0000)	08/03(0800)~08/11(0000)	花蓮	學習資料

	Bilis(碧利斯)	08/18(0600)~08/24(0000)	08/18(0600)~08/22(1200)	花蓮	學習資料
	Bopha(寶發)	09/05(1800)~09/11(0600)	09/08(0400)~09/11(0600)	花蓮	學習資料
	Yagi(雅吉)	10/22(1200)~10/27(0600)	10/22(1200)~10/27(0600)	花蓮	學習資料
1994	Tim(提姆)	07/05(0000)~07/12(0000)	07/09(1600)~07/10(1400)	花蓮	測試資料
	Fred(弗雷特)	08/19(0000)~09/02(1800)	08/19(0000)~09/02(1800)	花蓮	測試資料
1995	Kent(肯特)	08/24(0000)~09/01(1800)	08/24(0000)~08/30(2200)	花蓮	測試資料
1999	Maggie(瑪姬)	06/01(1200)~06/06(1800)	06/01(1200)~06/06(1800)	蘇澳	測試資料
2001	Haiyan(海燕)	10/11(1200)~10/17(1800)	10/11(1200)~10/17(1800)	花蓮	測試資料

將颱風氣象資料與花蓮觀測站實測波浪資料的示性波高、週期與颱風距離做比較結果如圖 3.7 及圖 3.8 所示，由圖 3.7 可以觀察出測站波高與颱風距離的關係，並圈定目前最大颱風事件的颱風波浪影響的範圍，依圖中颱風波浪在距離觀測站 1500km 開始，波高明顯隨著距離減少而增加。因此，對於颱風波浪推算模式的影響範圍，圈定以颱風中心向外延伸 1500km 的圓形區域。

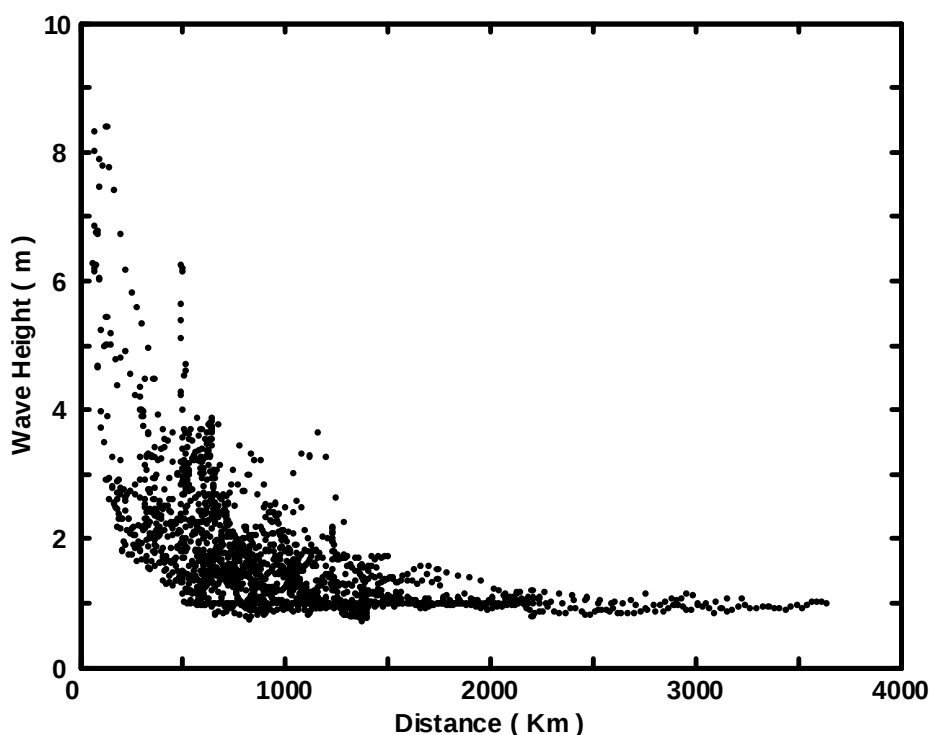


圖 3.7 花蓮港觀測波浪示性波高與颱風距離關係

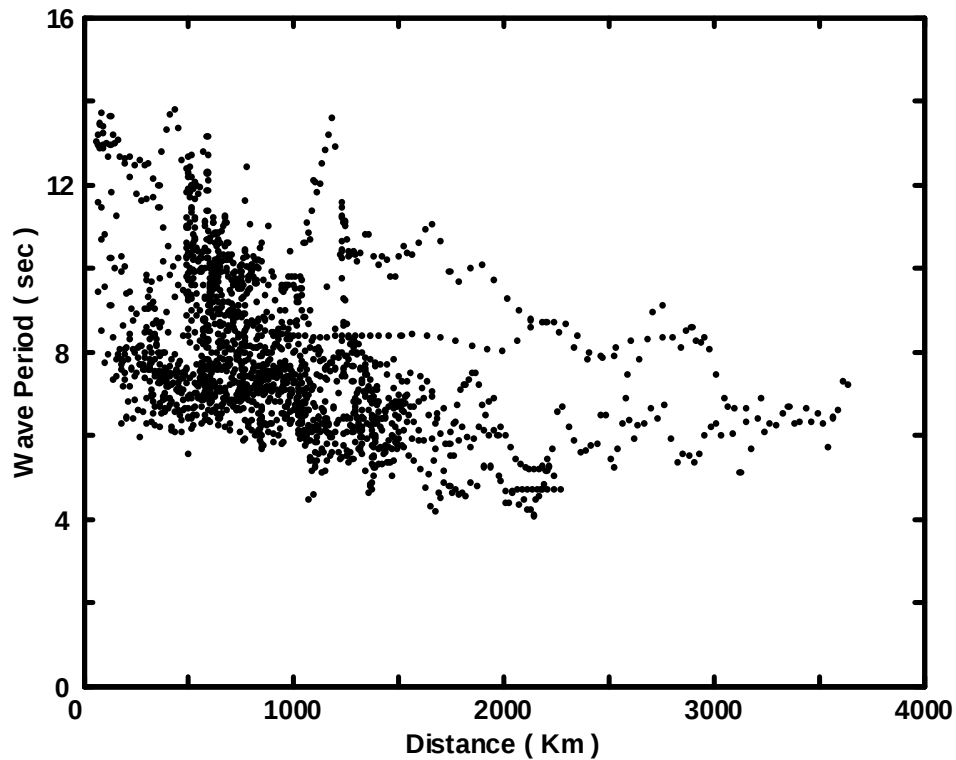


圖 3.8 花蓮港觀測波浪示性週期與颱風距離關係

延時效應對颱風波浪的影響相當複雜，因此先假設在颱風波浪場的範圍內，能夠達到 1500km 的波浪是颱風最大風速區域所能產生之最大週期最大波高的颱風波浪。圖 3.8 顯示颱風至測站的距離與示性週期的關係，圖中顯示示性週期 6 - 8 sec 為颱風遠離或是受到陸地遮蔽時的結果，當距離 500km 颱風直接影響觀測站示性週期約 10-14 sec 之間，若選擇一般颱風最大風速區域波浪的示性週期為 12 sec。假設波浪傳遞在深水區域則波浪由颱風中心向外傳遞波速為 18.72 m/s 達到 1500km 時需要 22.25 小時，依此，在考慮颱風氣象資料每次更新時間為 6 小時之情況，將颱風延時範圍設定為 24 小時，因此前章之式(2.11)中選取 $m = 24$ 。

3.4 類神經網路推算模式之轉移函數

由前章式(2.11)所說明之颱風波浪示性波高的表示式，其應選擇的

模式輸入參數 V_{10} 、 r 、 θ_1 、 θ_2 共四個，在作為模式輸入參數前先對各個參數進行無因次化。由於花蓮觀測站之水深約為 25 公尺，假設波高最大值為 12 公尺，週期最大值的選取則以接近實測最大值為參考選用 15sec，最大風速之最大值則經由計算約達 38m/s，但是當風速達到 27m/s 時已產生實測波高的最大值 8 公尺，因此最大風速的最大值選用 30m/s，距離 r 則選用 1500km， θ_1 、 θ_2 選用 360 度作為無因次化的標準，無因次化後各參數可表示為 $\bar{V}_{10}$ 、 $\bar{r}$ 、 $\bar{\theta}_1$ 、 $\bar{\theta}_2$ 。

風速 V_{10} 與示性波高 H_s 之關係在觀測上為正比關係，當 H_s 隨著 V_{10} 增加而接近波浪成長極限時， V_{10} 對 H_s 的影響也逐漸降低。在類神經網路輸入參數端 V_{10} 與 H_s 的關係可以利用轉移函數對輸入函數變動的趨勢做初步模擬，測站風速 V_{10} 與 H_s 及轉移函數關係如圖 3.9 所示，風速 V_{10} 之轉移函數 $f_{V_{10}}$ 可以表示為：

$$f_{V_{10}}(\bar{V}_{10}) = \left(\frac{2}{1 + e^{(-2 \times \bar{V}_{10})}} \right) - 1 \dots\dots\dots (3.16)$$

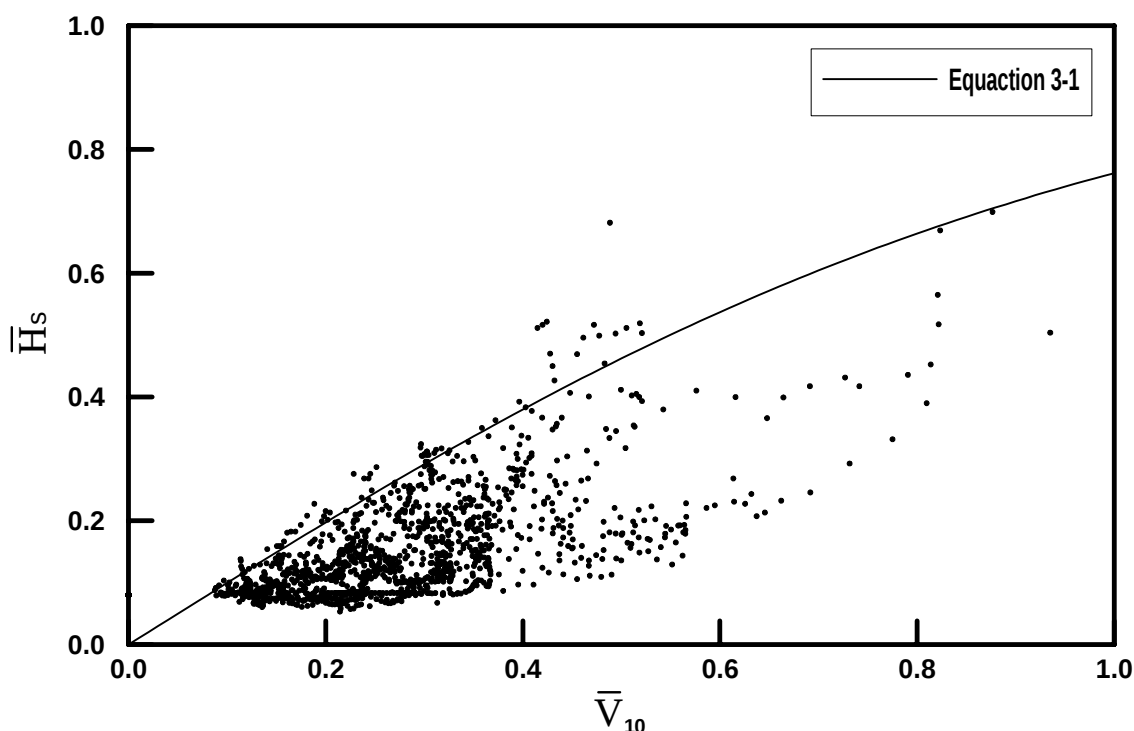


圖 3.9 測站風速 $\bar{V}_{10}$ 與波高及轉移函數關係

颱風影響波浪的發展主要在颱風風場範圍內，颱風風場內之風場分佈由接近颱風中心的最大風速位置向外遞減，因此示性波高 H_s 與颱風接近測站的距離 r 成反比。由實測數據之比較結果，颱風在不同距離下作用波浪的關係亦不相同，因此利用多個函數(Symmetric Gaussian function)組合成 r 與 H_s 的轉移函數，其轉移函數關係如圖 3.10 所示， r 轉移函數 f_r 之表示式可以表示為：

$$f_r = \text{Max}(f_{r_1}, 0.5f_{r_2}, 0.3f_{r_3}, 0.2f_{r_4}) \dots\dots\dots(3.17)$$

其中 $f_{r_i} = e^{\frac{-(r-c)^2}{2\sigma^2}}$ ， $i=1,2,3,4$ ，而 f_{r_1} 、 f_{r_2} 、 f_{r_3} 以及 f_{r_4} 所對應的兩個 Gaussian function 參數 (c, σ) 分別為 $(0, 0.05)$ 、 $(0.15, 0.1)$ 、 $(0.2, 0.3)$ 及 $(0.4, 0.5)$ 。

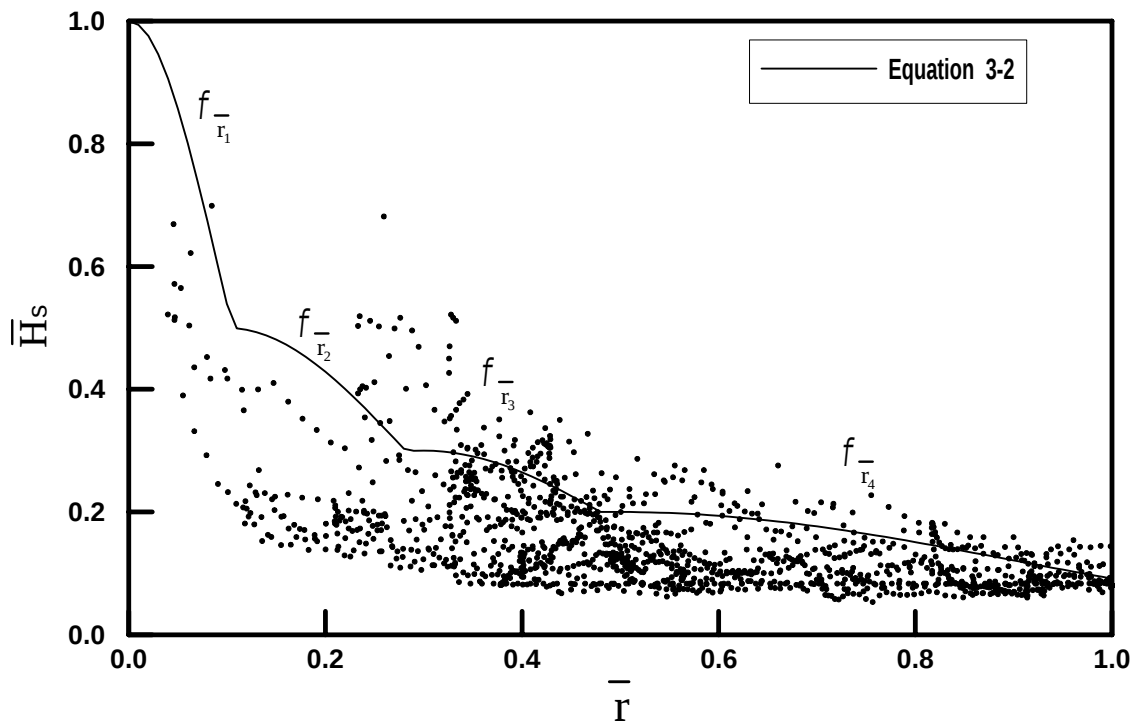


圖 3.10 測站至颱風中心距離 r 與波高及轉移函數關係

在颱風位置與波浪關係方面，因測站與颱風中心方位角 θ_1 與距離 r 取代經緯度的座標，在假設颱風風場未受地形影響之情況下， θ_1 對波浪

之影響就不明顯。因此 θ_1 與波高的轉移函數採用線性函數， θ_1 轉移函數 f_{θ_1} 為：

$$f_{\bar{\theta}_1} = \bar{\theta}_1, \quad 0 \leq \bar{\theta}_1 \leq 1 \quad \dots\dots\dots(3.18)$$

圖 3.11 為颱風風場內風速及風向之分佈情形，由圖中可明顯看出颱風風場內風速、風向大致可依颱風行進方向區分左右半圓，但是利用兩個作用區間無法有效區分風波的關係。當考慮以風向進行區分時，則可以分成 4 個區域，如圖 3.12 所示。由於颱風對波浪的影響受到距離的限制，因此必須考慮 4 個區間與觀測站距離影響颱風波浪的行為，而相鄰區域的風向是連續的逐漸變化同時影響波浪的行為，所以轉移函數的選擇上亦需由多個函數組合以表達其特性，測站的颱風行進方向夾角 θ_2 與波高的轉移函數 $f_{\theta_{21}}$ 、 $f_{\theta_{22}}$ 、 $f_{\theta_{23}}$ 、 $f_{\theta_{24}}$ 表示式可以表示為：

$$f_{\bar{\theta}_2} = \text{Max} \left(e^{\frac{-(\bar{\theta}_2 - c_1)^2}{2\sigma_1^2}}, e^{\frac{-(\bar{\theta}_2 - c_2)^2}{2\sigma_2^2}} \right) f_{\bar{r}}, \quad c_1 > c_2$$

$$= f_{\bar{r}}, \quad c_1 < c_2 \quad \dots\dots\dots(3.19)$$

其中 $f_{\theta_{21}}$ 、 $f_{\theta_{22}}$ 、 $f_{\theta_{23}}$ 以及 $f_{\theta_{24}}$ 所分別對應的參數 $(c_1, \sigma_1, c_2, \sigma_2)$ 各為 (0.66, 0.05, 0.84, 0.05)、(0.41, 0.05, 0.59, 0.05)、(0.16, 0.05, 0.34, 0.05) 及 $\text{Max} [(c_1 = 0.91, \sigma_1 = 0.05, c_2 = 1, \sigma_2 = 0.05), (c_1 = 0, \sigma_1 = 0.05, c_2 = 0.09, \sigma_2 = 0.05)]$ 。其各轉移函數與行進方向夾角 θ_2 之關係如圖 3.13 至圖 3.16 所示。

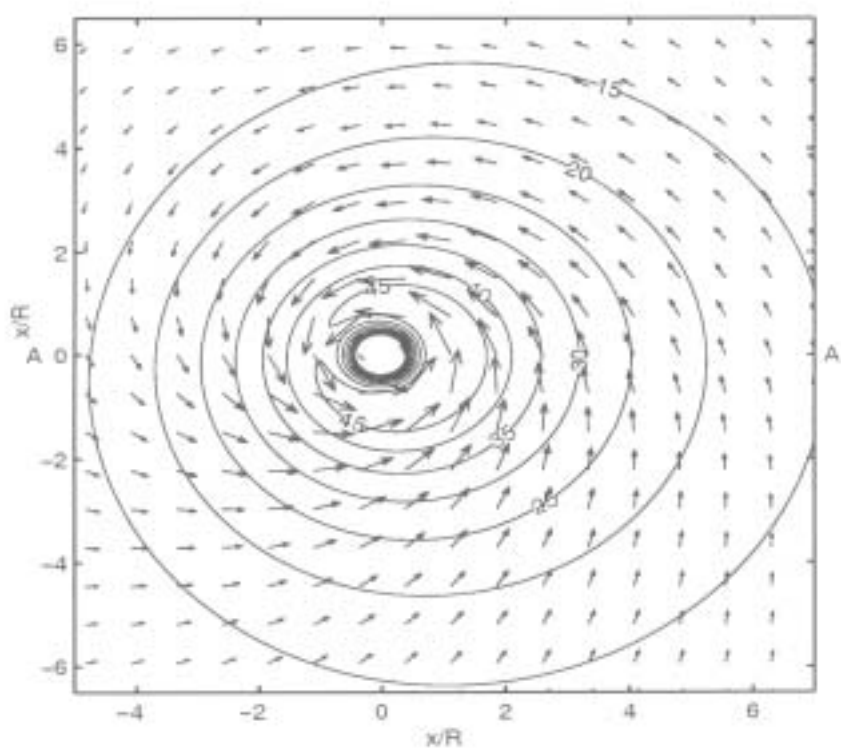


圖 3.11 颱風風場風速向量圖

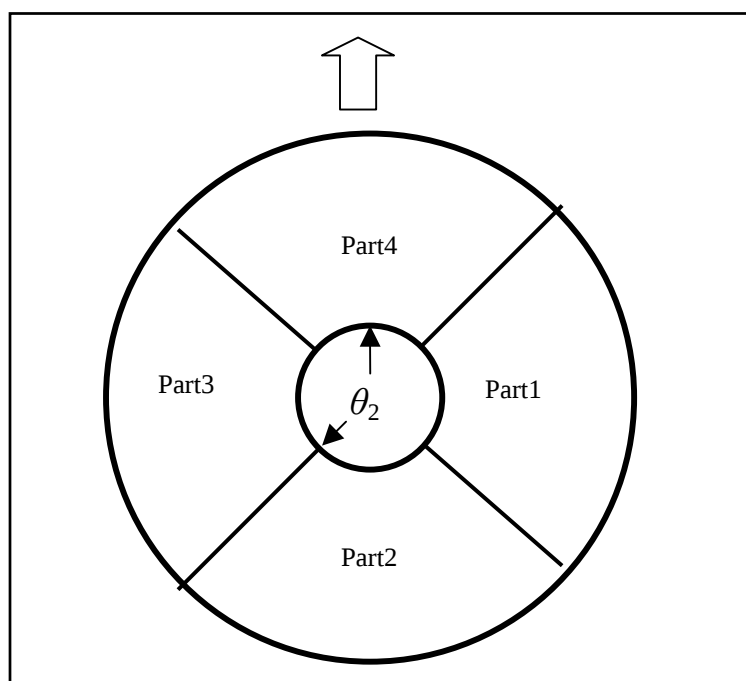


圖 3.12 颱風風場分區圖

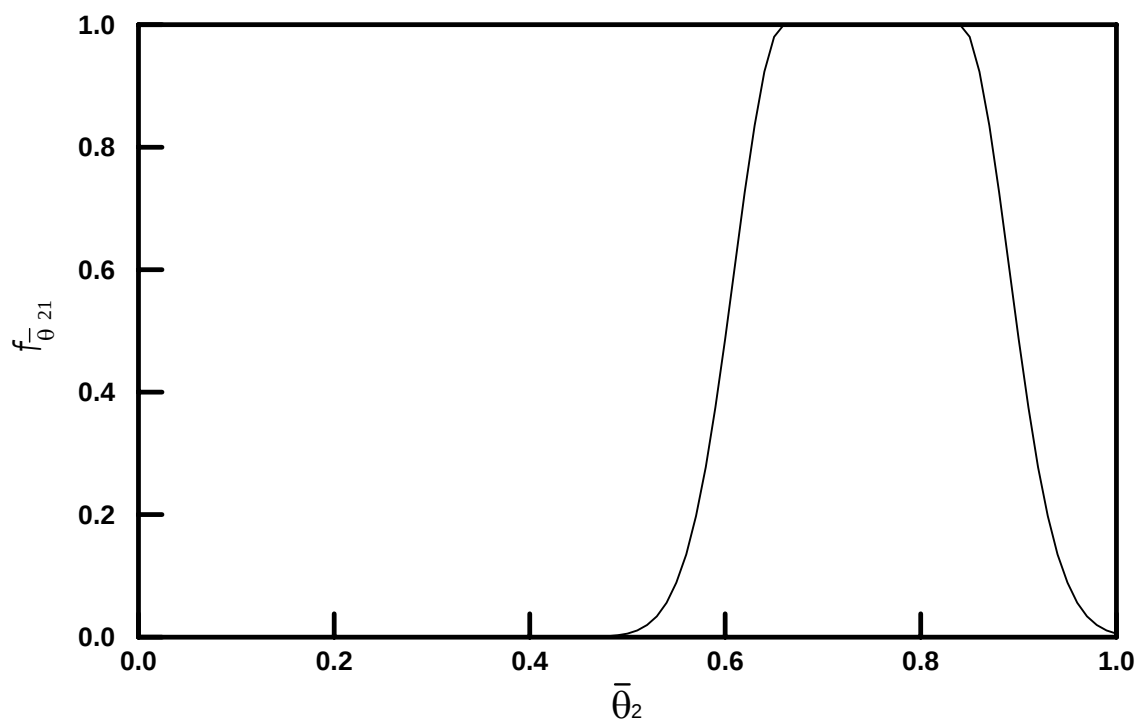


圖 3.13 $f_r = 1$, 颱風行進方向夾角 θ_2 與轉移函數 $f_{\theta_{21}}$ 關係

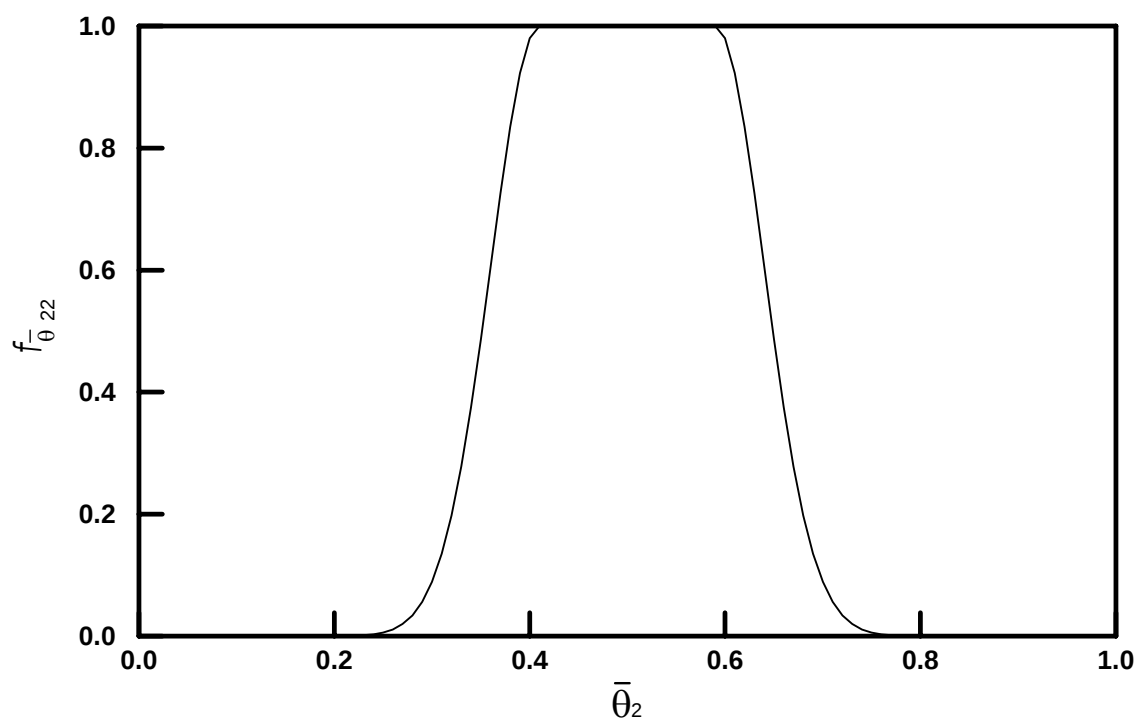


圖 3.14 $f_r = 1$, 颱風行進方向夾角 θ_2 與轉移函數 $f_{\theta_{22}}$ 關係

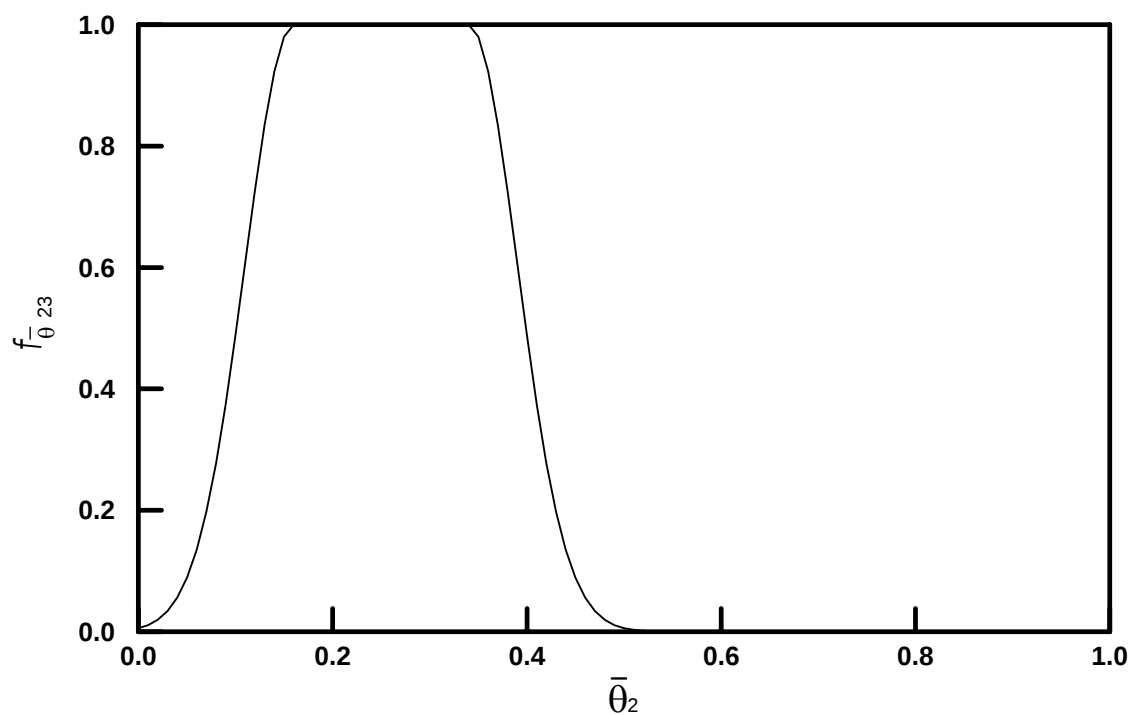


圖 3.15 $f_r = 1$, 颱風行進方向夾角 θ_2 與轉移函數 $f_{\theta_{23}}$ 關係

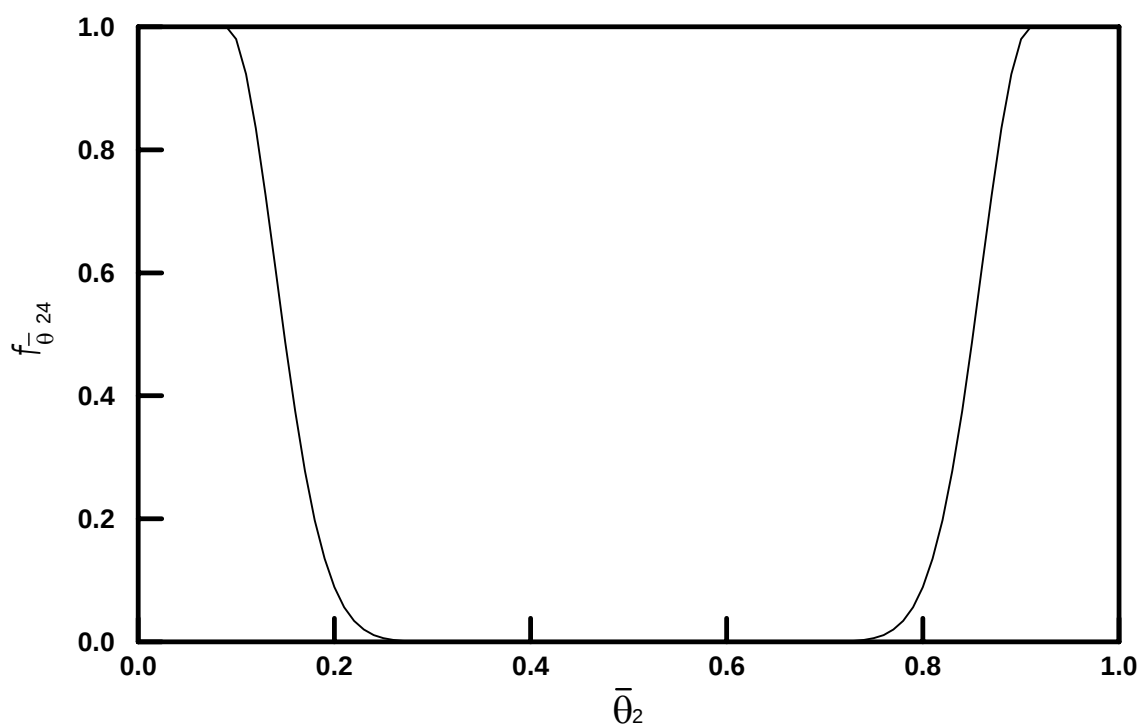


圖 3.16 $f_r = 1$, 颱風行進方向夾角 θ_2 與轉移函數 $f_{\theta_{24}}$ 關係

3.5 類神經網路推算模式之建構

本研究所應用之類神經網路模式係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，Lippman (1987)指出採用 2 個隱藏層的神經網路對非線性、片段連續的函數具有足夠的模擬能力。

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：

$$O_{P \times 1} = f(W_{S \times R} I_{R \times 1} + b_{S \times 1}) \dots\dots\dots (3.20)$$

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(3.20)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)。

針對前章式(2.11)波高關係之函數結構架構類神經網路，於類神經網路學習資料有限的限制下，為了能夠分離出不同的颱風行為對造成颱風波浪的影響，由公式(2.11)中分離函數中的 V_{10} 、 r 、 θ_1 、與 θ_2 對颱風波浪影響的成分，經由轉移函數的連結後輸入參數共 7 個。假設在颱風波浪示性週期與示性波高有相似的作用機制，則模式可同時推算相似颱風行為的示性波高與週期的條件下，模式輸出參數為 H_s ，其表示式為：

$$H_s = f_2(W_{S2 \times S1} \cdot f_1(W_{S1 \times (R \cdot n)} [I_{R \times 1}]_{n \times 1} + b_{S1 \times 1}) + b_{S2 \times 1}) \dots\dots\dots (3.21)$$

式中，輸入函數 $I = [f_{\bar{V}_{10}}, f_{\bar{r}}, f_{\bar{\theta}_1}, f_{\bar{\theta}_{21}}, f_{\bar{\theta}_{22}}, f_{\bar{\theta}_{23}}, f_{\bar{\theta}_{24}}]^T$ ， n 為風場作用下影響颱風波浪延時的時間，在花蓮觀測站的條件下延時採用 24 小時

式 (3.21) 的類神經架構的輸入為 24 個小時內的 $f_{\bar{V}_{10}}, f_{\bar{r}}, f_{\bar{\theta}_1}, f_{\bar{\theta}_{21}}, f_{\bar{\theta}_{22}}, f_{\bar{\theta}_{23}}, f_{\bar{\theta}_{24}}$ 的資料，為降低類神經網路結構的複雜性，將以每 4 小時之 $f_{\bar{V}_{10}}, f_{\bar{r}}, f_{\bar{\theta}_1}, f_{\bar{\theta}_{21}}, f_{\bar{\theta}_{22}}, f_{\bar{\theta}_{23}}, f_{\bar{\theta}_{24}}$ 資料值為輸入資料，即 t 、 $t-4$ 、 $t-8$ $t-24$ 時刻的輸入參數共 49 個。經試誤法的結果，選擇類神經組織結構第一個隱藏層使用 80 個神經元，第二個隱藏層採用 40 個神經元，輸出為波浪示性波高 H_s ，即為 (49-80-40-1) 網路，此類神經網路架構即為本研究之颱風波浪推算模式。

3.6 颱風波浪推算模式之結果

依據前節建構之颱風波浪推算模式，分別進行花蓮與蘇澳兩港域颱風波浪推算能力之測試，同時亦測試本推算模式針對缺乏現場觀測資料地區之資料補遺能力。另外，本研究於本年度(2004 年)對 8 月份的艾莉颱風進行即時性之功能測試，相關推算結果如下詳述。

3.6.1 花蓮與蘇澳港波浪推算結果

本推算模式分別以三種考量方式進行比對測試：(1)Model 1：僅應用一個隱藏層的倒傳遞類神經網路分析方法；(2)Model 2：為考慮陸地對颱風風場影響，另加以模糊理論界定陸地遮蔽對颱風波浪影響的程度；(3)Model 3：進一步考慮區域陸地與風向的關係對颱風波浪的影響。

此處選擇 Tim、Fred、Kent 與 Haiyan 四場兩場颱風分別測試，圖 3.17 為 Tim 颱風之路徑圖，圖中顯示每 6 個小時的一個位置點，Tim(1994)颱風在花蓮站的南邊穿越台灣，颱風接近台灣時花蓮站落在颱風的右半圓區域，當颱風登陸後陸地對在測站附近的風場結構有較大影響，在颱風波浪方面兩種模式所推算的示性波高及實測值比較如

圖 3.18 所示。圖中顯示 Tim 颱風的波浪資料雖然颱風接近測站時有紀錄，而推算模式均能描述颱風波浪變化趨勢，但三種模式之推算值皆小於實測資料。

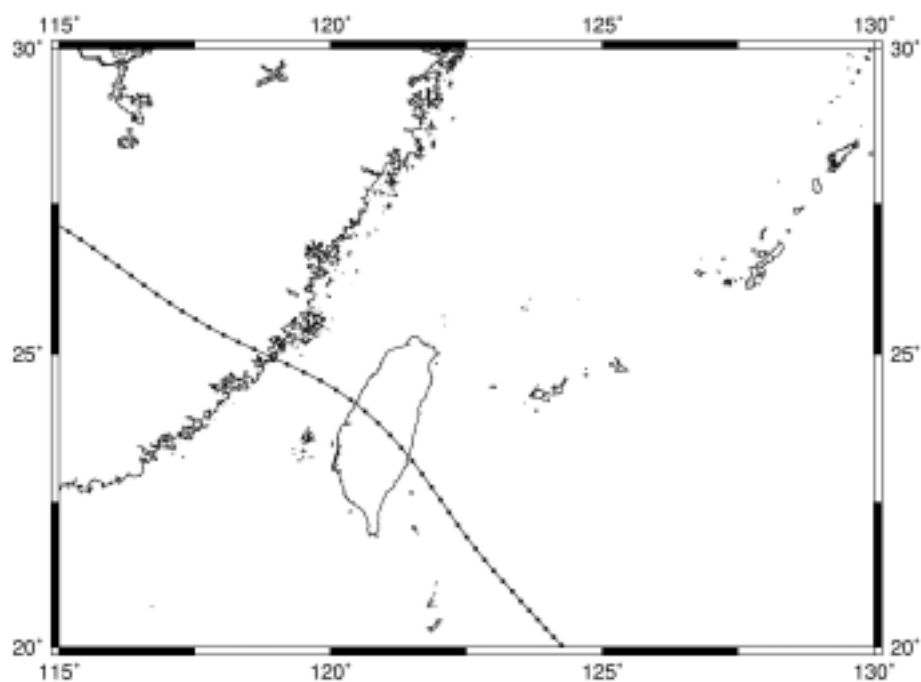


圖 3.17 Tim 颱風的移動路徑

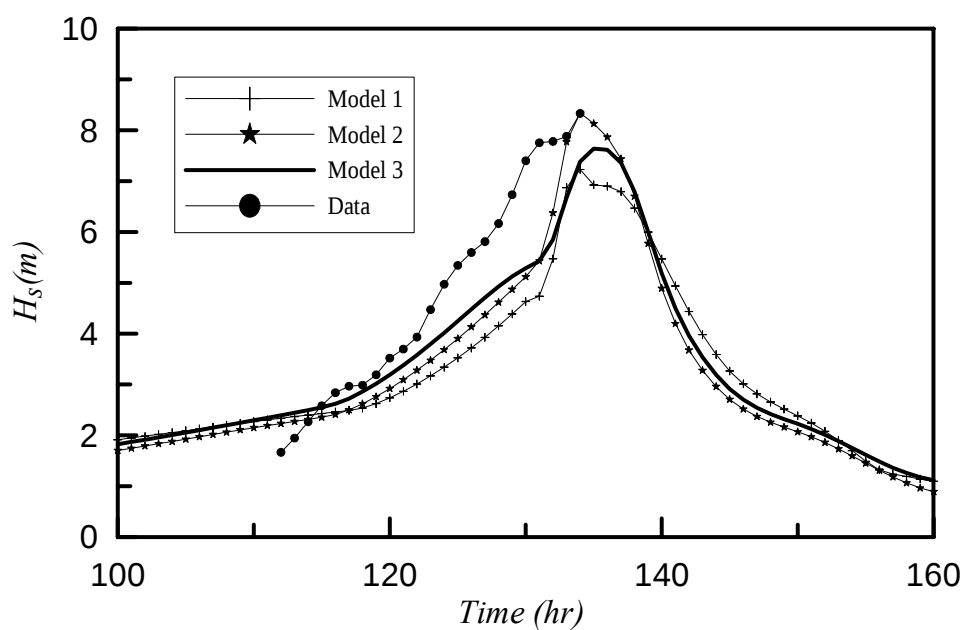


圖 3.18 三種推算模式推算花蓮港 Tim 颱風波高與實測值之比較

圖 3.19 的颱風路徑圖顯示 Fred 颱風在花蓮站的北邊穿越台灣，因此花蓮站落在颱風的左半圓區域，相對地形與陸地對在測站附近的風場結構影響較大。由圖 3.20 顯示颱風推算模式在颱風波浪成長的階段推算上，Model 1 的推算有較大的變化，而 Model 2、Model 3 的推算波高較接近實測值，於實測颱風最高示性波高時分別有 Model 1 小於實測波高 2.5 公尺，Model 2、Model 3 小於實測波高 1.2 公尺。在颱風波浪上升段 Model 2、Model 3 明顯提前反應颱風風場的作用，在颱風波浪消退的部分 Model 2、Model 3 與觀測值較 Model 1 接近。全部實測波高與 Model 2 的推算波高的相關係數為 $R = 0.867$ ，而實測週期 Model 1 與 Model 2 推算週期的相關係數為 $R = 0.77$ 。Model 2、Model 3 在這場颱風的測試有較好的颱風波浪推算能力，圖 3.20 中颱風波浪成長的區間的誤差在兩個模式結構比較下，主要來自颱風風場風向對觀測站附近海域作用造成的差異，颱風波浪峰值的誤差來自於模擬風場與實際颱風風場的差異。Model 1 在颱風波浪的峰值後的波浪迅速下降，本模式並無法顯示出此現象，此因本颱風風場模式沒有考慮陸地的效應，當颱風接近陸地時中央山脈與陸地阻隔接近地面及海面的風場，使得颱風風場的分佈變的不連續且複雜，這樣的結果也反應在實測的颱風波浪記錄上，而風場模擬的結果在這個部分就產生了極大的誤差，也直接造成颱風波浪推算結果的誤差，Model 2、Model 3 在修正陸地及風向後改善了這個部分的問題，兩個模式推算結果與實測值有相同的成長趨勢。

圖 3.21 之颱風路徑圖顯示 Kent(1995)颱風在台灣南邊穿越巴士海峽，Kent 颱風的路徑接近台灣時花蓮站落在颱風的右半圓區域，當颱風穿越巴士海峽後在進入中國大陸，其所推算的示性波高及實測值比較如圖 3.22 所示。由圖中顯示 Kent 颱風的波浪資料在颱風颱風穿越巴士海峽期間測站的颱風波浪實測資料遺缺，在比較實測的結果，三種推算模式對颱風能定性的描述颱風波浪變動的趨勢且接近實測資料。Model 1 的推算波高在颱風波浪峰值到達後有高估的現象，這個誤差的產生來自於對颱風風場忽略陸地遮蔽效應所致，以致於未能充分反應

颱風波浪，Model 2、Model 3 在颱風波浪消退區段能夠藉由風向及陸地的修正，降低誤差且反應實測波浪行為。

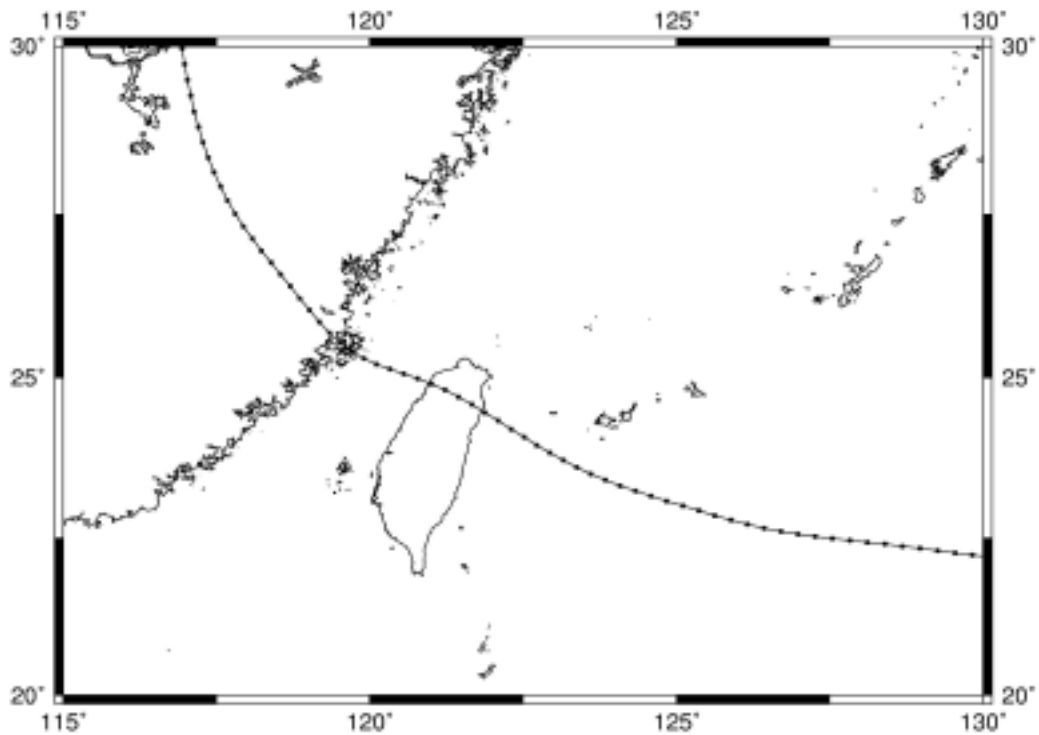


圖 3.19 Fred 颱風移動路徑

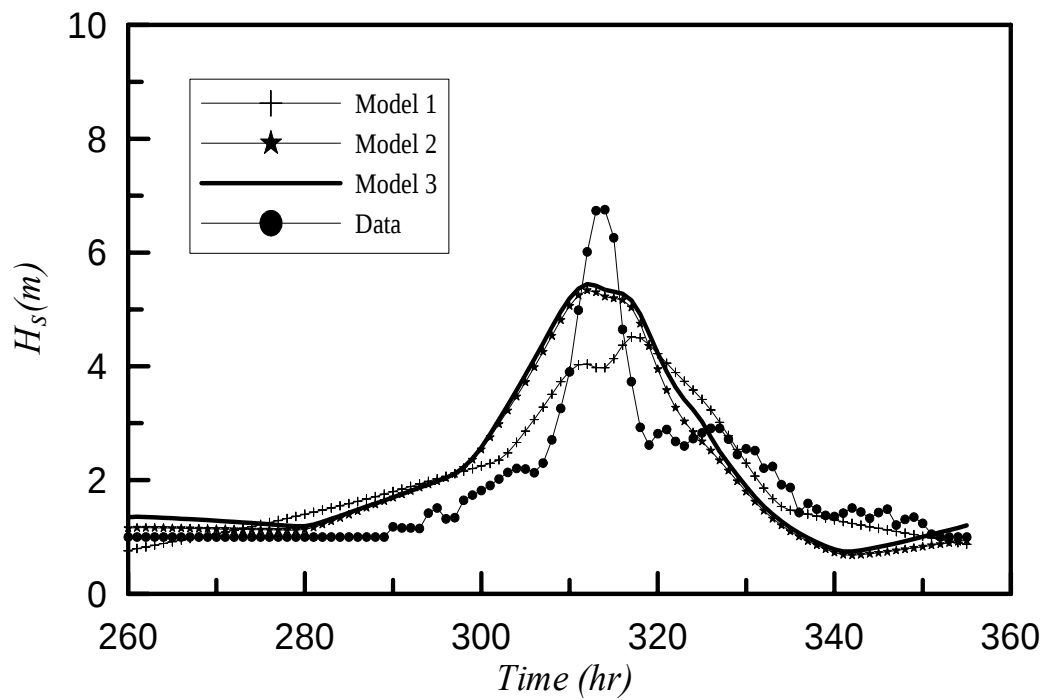


圖 3.20 三種推算模式推算花蓮港 Fred 颱風波高與實測值之比較

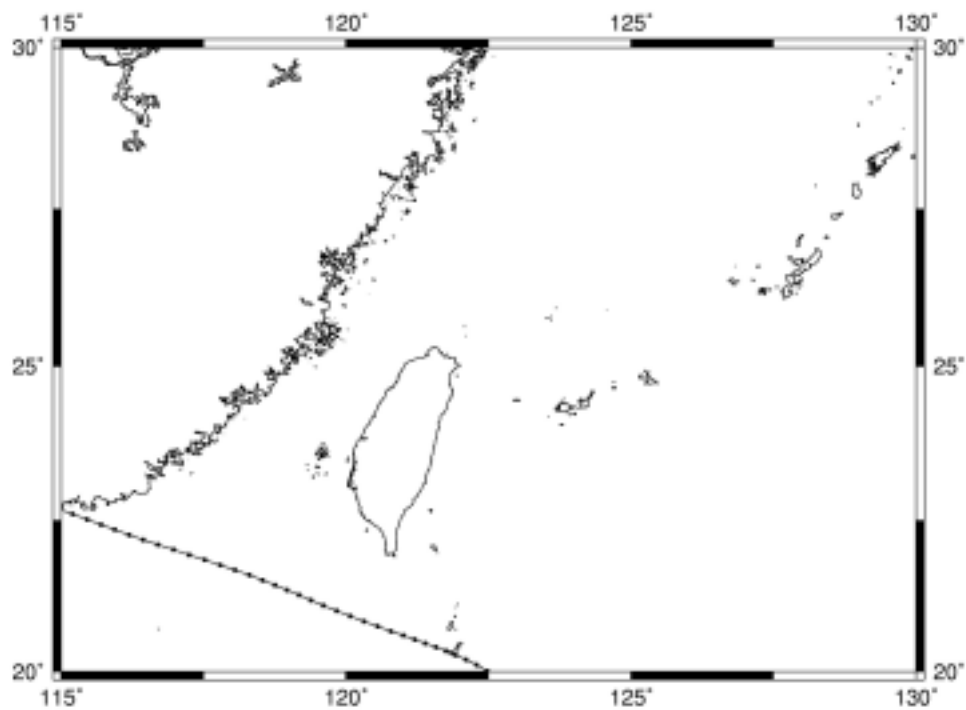


圖 3.21 Kent 颱風的移動路徑

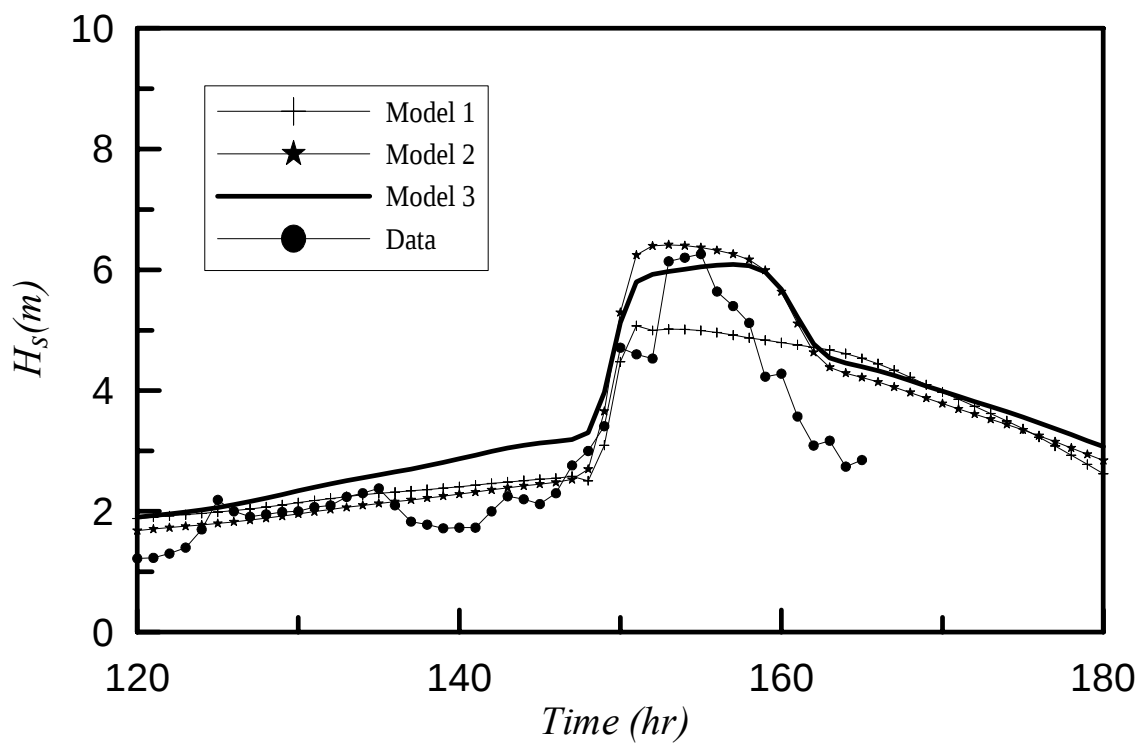


圖 3.22 三種推算模式推算花蓮港 Kent 颱風波高與實測值之比較

由圖 3.23 的 Haiyan 颱風的路徑顯示，此颱風緩慢往台灣前進後在接近花蓮站約 300 公里時轉向離開台灣。圖 3.24 顯示模式在颱風到達前的波浪推算，由結果顯示預測均屬平滑成長，在颱風波浪成長的階段 Model 1 反映出最大波浪到達的時間但是對於波高有明顯的低估，而 Model 2、Model 3 於推算尖峰波浪到達的時間有提前的現象，但波高結果對實測值較 Model 1 之推算值有佳的模擬。颱風波浪的消退段，Model 2 、 Model 3 亦較 Model 1 更符合實測值。

若以 Model 1、Model 2 與 Model 3 模式推算四場未經學習之颱風波浪的波高及週期與實測值之比較結果分別如表 3.2 所示。其中比較的參數為：

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H_{s,p} - H_{s,m})^2} \dots\dots\dots (3.22)$$

$$\Delta H_{s,p} = MAX(H_{s,p}) - MAX(H_{s,m}) \dots\dots\dots (3.23)$$

$$\Delta t_p = t_{p,p} - t_{p,m} \dots\dots\dots (3.24)$$

式中 $H_{s,p}$, $H_{s,m}$ 分別為測站實測與模式推算之颱風波浪示性波高 , $t_{p,p}$, $t_{p,m}$ 分別為測站實測與模式推算之波浪示性波高最大值發生時間。

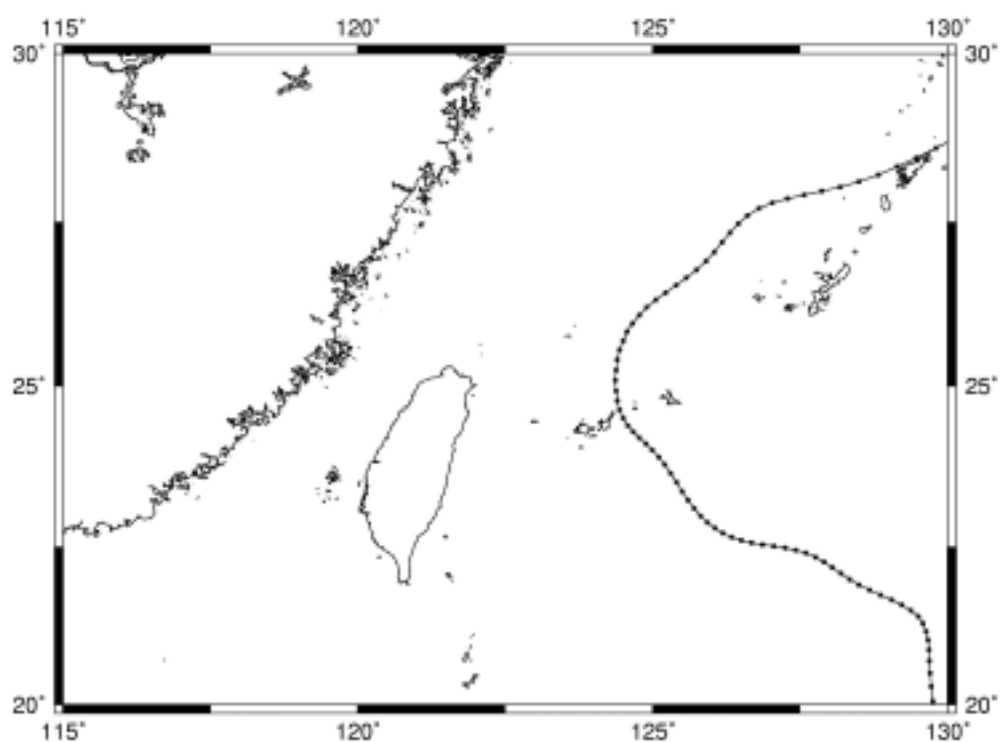


圖 3.23 Haiyan 颱風的移動路徑

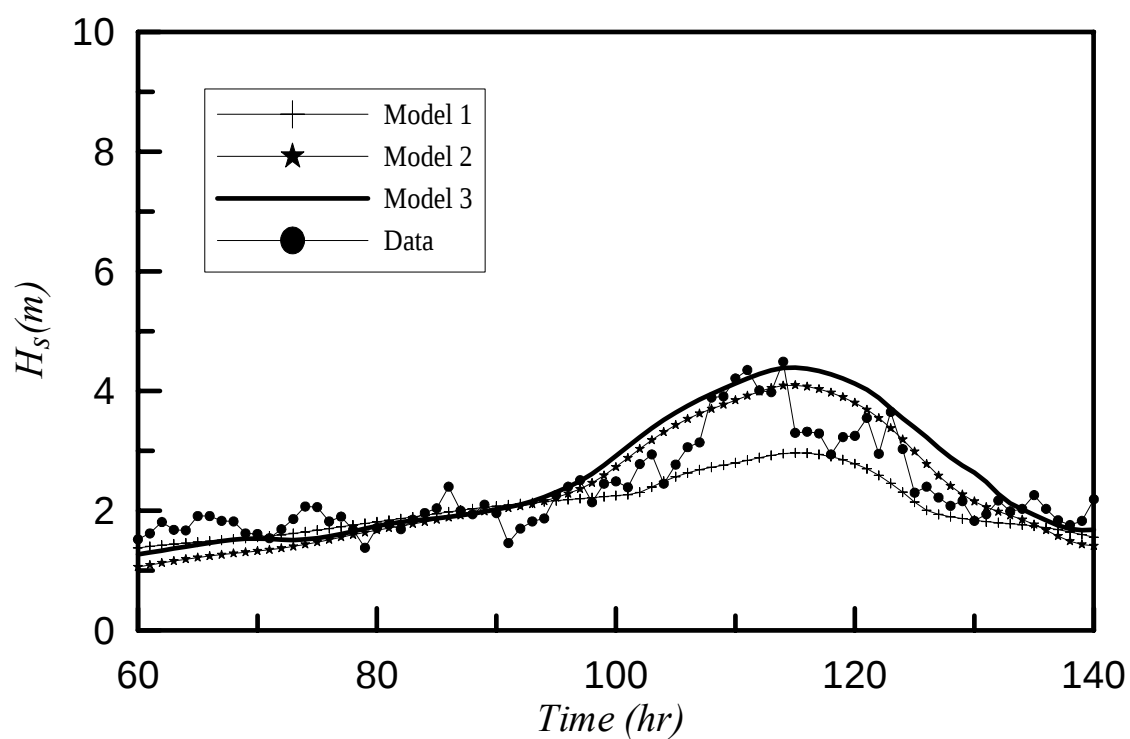


圖 3.24 三種推算模式推算花蓮港 Haiyan 颱風波高與實測值之比較

表 3.2 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算四場颱風之比較

颱風	Model 1				Model 2				Model 3			
	RMS (m)	R	ΔH_{sp} (m)	Δt_p (hr)	RMS (m)	R	ΔH_{sp} (m)	Δt_p (hr)	RMS (m)	R	ΔH_{sp} (m)	Δt_p (hr)
Tim*	2.01	0.92	-1.04	0	1.9	0.97	0	0	1.94	0.97	-0.54	0
Fred	0.9	0.88	-2.2	4	0.44	0.9	-1.17	-1	0.5	0.98	-1.27	-1
Kent	0.43	0.93	-1.21	-4	0.36	0.97	0.2	-3	0.47	0.96	-0.2	3
Haiyan	0.59	0.93	-1.59	2	0.51	0.93	-0.3	0	0.54	0.93	0.1	0
Maggie	0.95	0.95	-1.13	2	0.55	0.96	0.3	-3	0.65	0.97	0	0

以下則對蘇澳港測站進行颱風波浪之推算測試，選擇測試之颱風為 Maggie 颱風(1999)，此颱風路徑如圖 3.25 所示，颱風位於蘇澳站的西南方往西北西進行，經過巴士海峽後進入中國大陸。以 Model 1 及 Model 2、Model 3 推算 Maggie 颱風的示性波高及實測波高資料如圖 3.26 所示，由圖中顯示推算模式均可適當地推算蘇澳站的颱風波浪，且 Model 2、Model 3 較 Model 1 有良好的颱風波浪推算能力。實測波高與 Model 2 推算波高的相關係數為 $R = 0.95$ ，Model 2 對 Fred 颱風與 Maggie 颱風推算結果相比較，Fred 颱風是以颱風左半圓接近觀測站，而北半球颱風風向以逆時鐘方向旋轉的特性，造成了颱風右半圓風場一旦受陸地影響就嚴重破壞颱風左半圓的風場，也造成波浪推算的誤差，Maggie 颱風接近台灣時波浪觀測站位於颱風右半圓風場內，所以風場結構相對較穩定也使得颱風波浪推算結果有較好的表現，而模式在推算颱風波浪由峰值開始的消退區間，由於颱風風場及波浪受陸地遮蔽 Model 2、Model 3 亦充分反應波浪特性，至於颱風波浪實測週期與 Model 2 推算週期的相關係數為 $R = 0.67$ 。整體而言，颱風波浪推算模式對推算點鄰近的區域具有良好的推算能力。

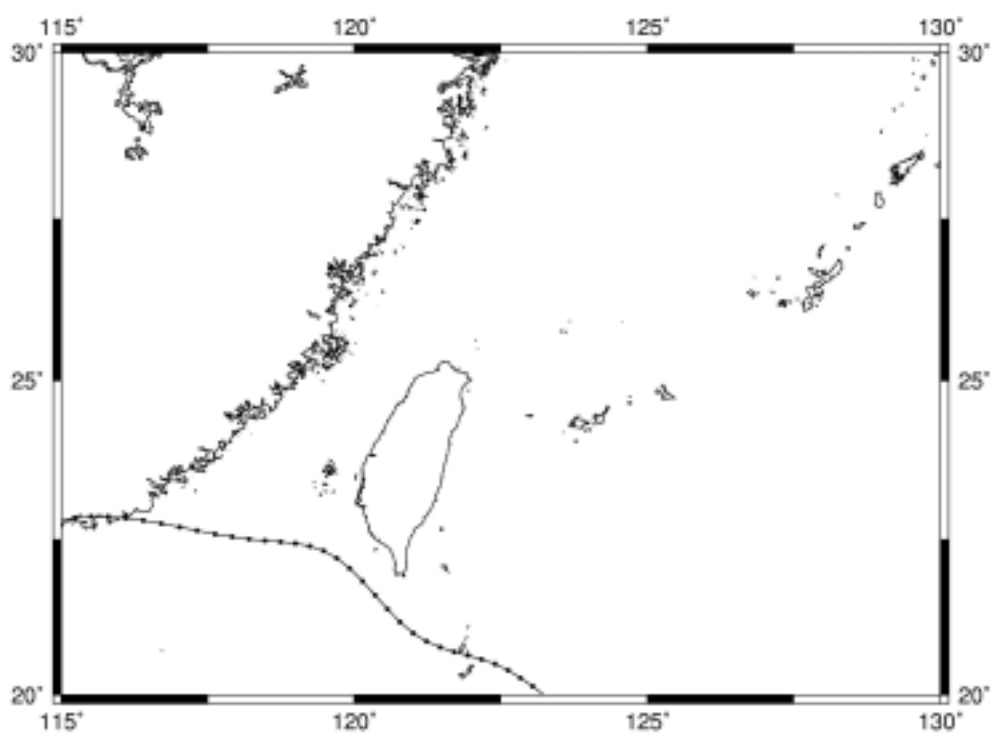


圖 3.25 Maggie 颱風的移動路徑

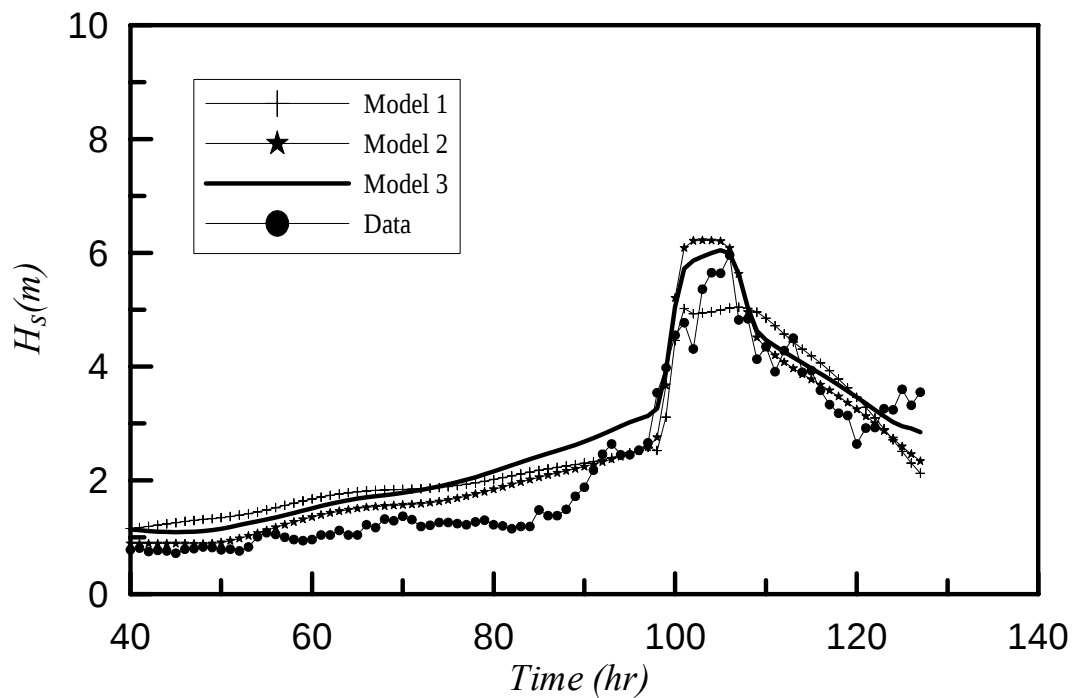


圖 3.26 三種推算模式推算蘇澳港 Maggie 颱風波高與實測值之比較

3.6.2 推算模式應用於鄰近地區之資料補遺能力

對於需要使用波浪資料者而言，資料取得之多寡往往影響所從事工作之正確性，尤其臺灣四周各海域之颱風波浪資料更缺乏長期性的觀測來源，如此，當有需要時則僅有引用鄰近地區已有之資訊，惟因區域特性的差異，其資料之應用有時頗值得商榷。以下將說明比較本研究之颱風波浪推算模式應用於鄰近地區推算所得之波浪資料的補遺能力。

對於台灣東部沿岸而言，成功港與蘇澳港在地理條件上與花蓮港相近，因此本研究利用花蓮港的颱風波浪推算模式中的 Model 3 對成功港進行颱風波浪的推算。由於沒有收集到成功港颱風波浪資料，因此利用花蓮港與蘇澳港資料對成功港進行定性的比較，比較的颱風為 HAIYAN 颱風與 MAGGIE 颱風，利用花蓮港模式推算成功港的颱風波浪資料如圖 3.27 及圖 3.28。由圖 3.23 顯示 HAIYAN 颱風的路徑，成功港的颱風波浪峰值比花蓮港颱風波浪峰值提早到達，符合颱風波浪的行為。MAGGIE 颱風的路徑如圖 3.25 所示，成功港較接近颱風所以風速亦較蘇澳港大，因此颱風波浪亦較蘇澳港大，這樣的特性亦反映在圖 3.28 中。

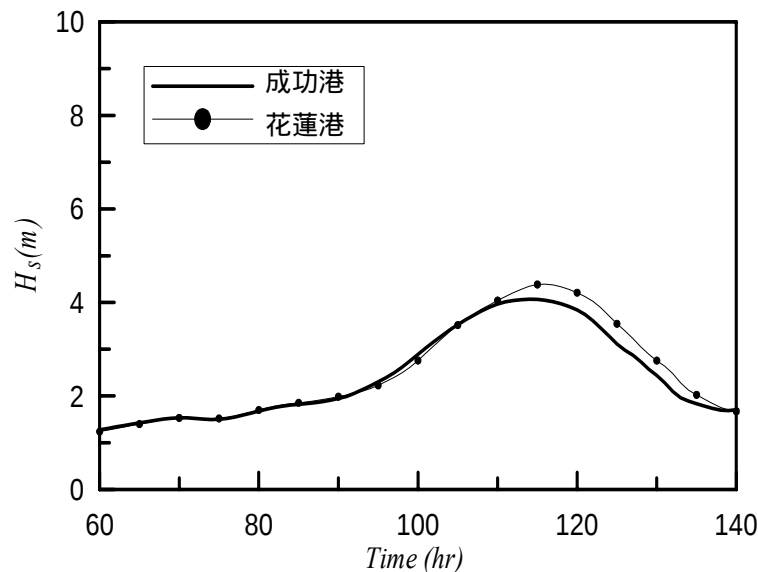


圖 3.27 花蓮模式推算花蓮及成功 HAIYAN 颱風之結果比較

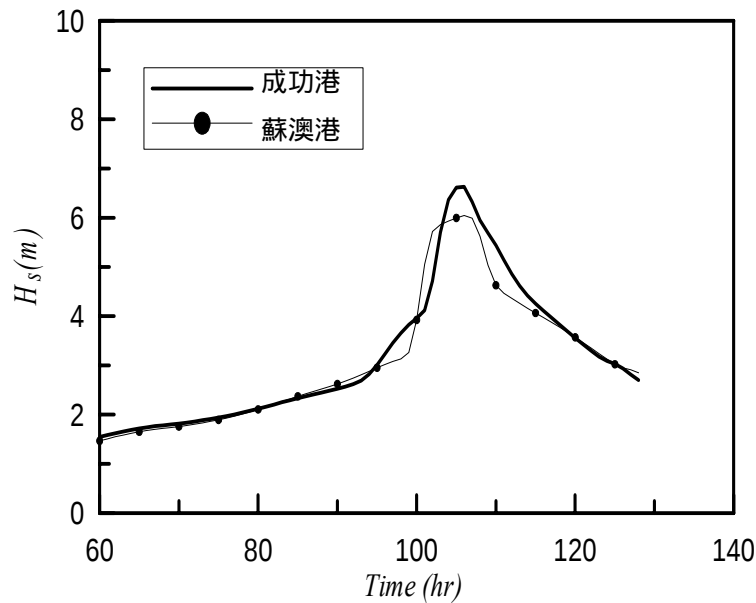


圖 3.28 花蓮模式推算蘇澳及成功 MAGGIE 颱風之結果比較

3.6.3 推算模式之即時性測試能力

為印證本颱風波浪推算模式之即時性測試能力，本研究於 93 年 8 月 19 日中央氣象局預測 Aere(艾莉)颱風來襲前，即先行運用本模式進行颱風波浪之預測工作，相關推算結果如下詳述。

相關颱風資訊來源主要利用 Unisys Weather 網站 (<http://www.weather.unisys.com/hurricane/>)所提供的颱風預測路徑及風速資料進行即時的波浪預報，並可隨著 Unisys 資料之更新來修正推估的波高。

於 Unisys Weather 網站中可免費取得 72 小時後的颱風動態，其中包括颱風最大風速以及移動路徑，利用這些資料輸入至颱風波浪推算模式中即可得到未來 72 小時內的颱風波浪預測值。圖 3.29 及圖 3.30 分別為 Unisys Weather 於 2004/08/23 AM 02:00 預測 Aere 颱風未來 72 小時的颱風路徑以及颱風風速。圖 3.31 及圖 3.32 則是 2004/08/24 PM 02:00 預測 Aere 颱風未來 72 小時的颱風路徑以及颱風風速，圖 3.33 則為本推算模式於各不同時間點所推估之波高值與實測資料的比較結果。由圖中結果顯示，三種推算模式所推估之尖峰波高皆稍大於實測

值，但其發生時間則延後較多，惟對可能應用本資料之港務單位而言，此資訊已可提供作為相關應變作業之用。

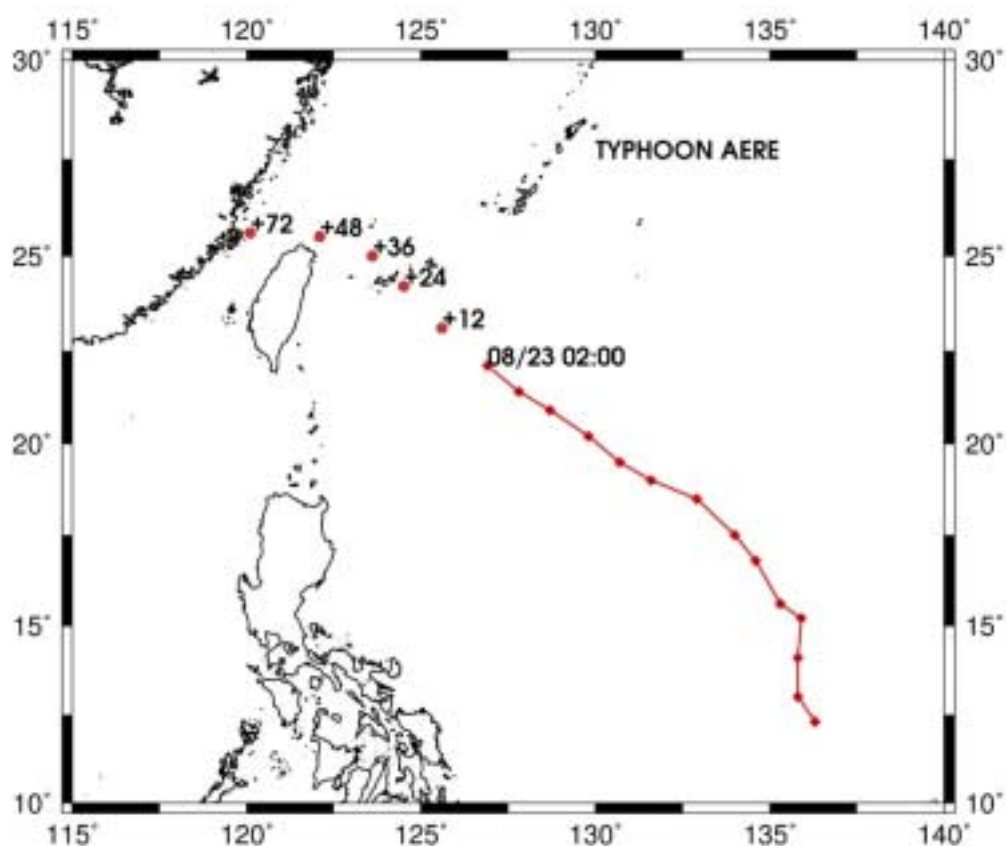


圖 3.29 2004/08/23 AM 02:00 預測 Aere 颱風未來 72 小時之颱風路徑

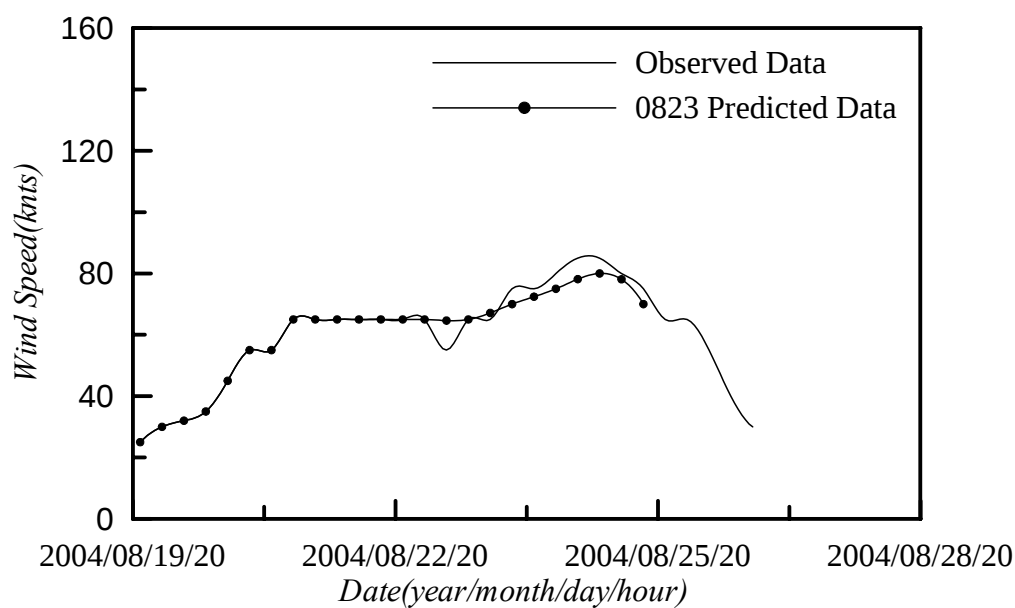


圖 3.30 2004/08/23 AM 02:00 預測 Aere 颱風未來 72 小時之颱風風速

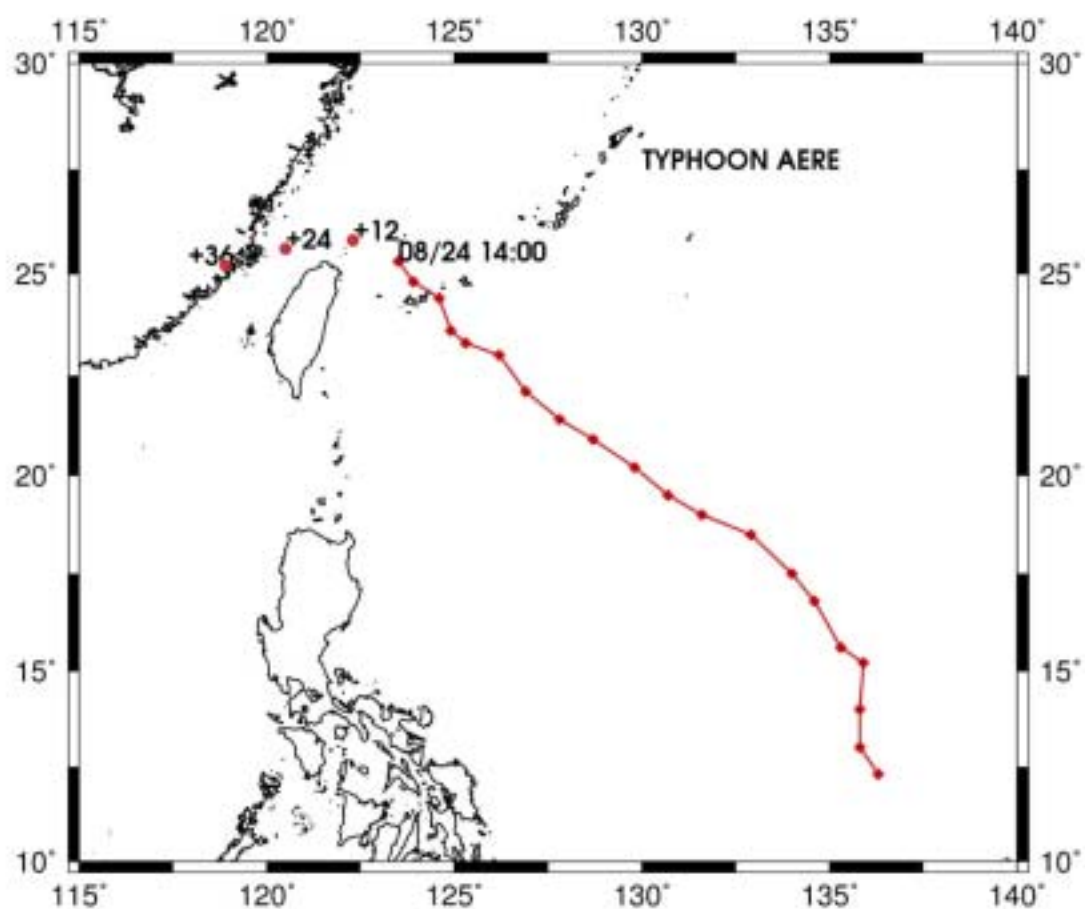


圖 3.31 2004/08/24 PM 0 預測 Aere 颱風未來 72 小時之颱風路徑

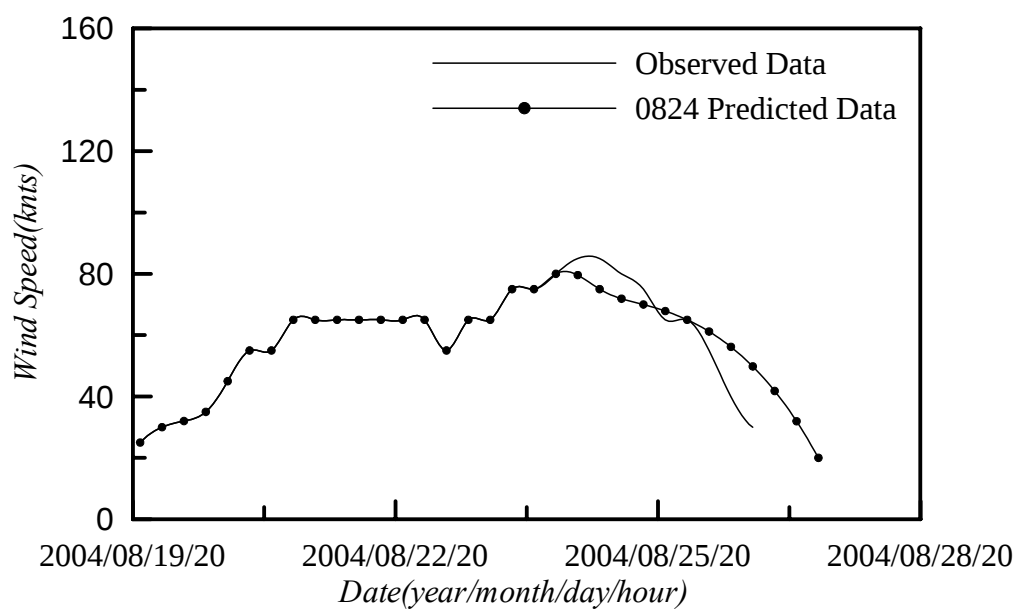


圖 3.32 2004/08/24 PM 0 預測 Aere 颱風未來 72 小時之颱風風速

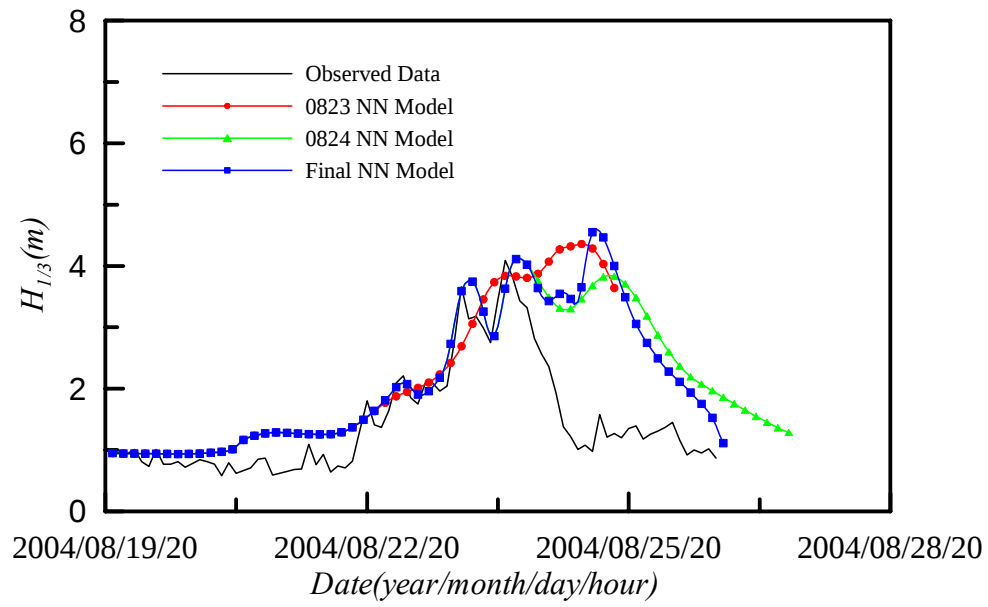


圖 3.33 不同時間點所推估之波高值與實測資料比較

第四章 波浪推算模式之視窗化操作

為能有效提升前章所建立之颱風波浪推算模式的操作效率，以及提供使用者快速獲取預警資訊，本研究應用相關介面自行研發一套操作簡便之即時性視窗化操作軟體。藉由發生颱風之資訊與現場波浪觀測的即時資料，連結颱風波浪推算模式，即時取得波浪推算結果，達到預警之效果與提供應變措施之參考。

4.1 圖形化介面建立之原則

本項工作所應用之圖形化使用者介面(GUI, Graphical User Interface)的觀念，主要以颱風波浪推算模式為核心計算模組，再加上人性化的操控介面整合而成，本介面融合許多外部的資料處理步驟，省去大量操控程序，縮短整體操作上的時間與流程。在介面外觀方面，採用類似一般使用者常接觸的 Windows 介面樣式來作設計，圖形化的表現能提升本介面與使用者之間的互動。初步構想的圖形化使用者介面有四個主要目標，詳述於下：

1.擴展使用者族群

近年來在專業領域中的應用程式開發，不論是在任何一種作業平台上，都開始趨向於採用對於使用者較為友善的圖形化介面。其目的除了介面視覺上的美觀之外，還能由圖示選項來代替原本程式操作所需要用的指令。如此一來可使原本颱風波浪預報模式的使用者，由原本所需要的富有程式操控能力且有颱風波浪相關知識的工作人員，擴展到擁有颱風波浪相關知識的工作人員。本操作軟體模式建立詳細的圖形介面以及完整的說明文件，可以讓不具有程式語言能力的使用者輕鬆地就可以利用本介面進行颱風波浪的預測與評估。使用者只要熟練

滑鼠的基本操作(單擊、雙擊、拖曳)，幾乎可以完成絕大部分的操作指令。

2.縮短模式操作程序時間

原本使用前第三章之颱風波浪推算模式時，須進行輸入資料整合、模式參數及模擬計算等步驟方可得所需之計算結果，此亦為一般波浪推算者之計算程序。本模式整合前述之工作程序，以符合操作簡單方式呈現。

(1)輸入資料整合

在颱風波浪預測模式的輸入資料整合的部分包括颱風與波浪資料的比對以及內插，目的在於確定輸入的資料固定為每小時一筆，故所有的資料在此步驟需作補遺且經過嚴格的比對。在本圖形化介面輸入部分是利用圖形化的友善介面進行輸入檔案的選取並會對輸入資料長度進行長度檢核。

(2)推算模式參數之儲存

經由以上遊圖形介面選取所需要的輸入資料檔案後，還需要進行一些參數的計算如颱風行進速度、颱風中心距離、颱風行進方向定義以及較為複雜的風場模式計算，這些繁瑣的步驟都能在資料輸入後直接整合進行運算並以矩陣的方式儲存於記憶體中，以便於後續程式即時讀取使用。

(3)模擬推算

本圖形化介面在選取適當 Model、預測區域以及資料的輸入後，只要由上方工具列直接選取即可直接開始模擬(Simulation)的動作，在此可省去原來使用大量程式指令來選取類神經架構增加許多執行速度。

(4)輸出結果

使用圖形化介面執行輸出結果時，可以直接將結果以繪圖方式表現，節省許多後續資料處理以及繪圖時間，並可即時與輸入資料作比對。

表 4.1 為原颱風波浪推算模式操作與本介面使用之效率比較，針對一次颱風波浪資料預測而言，約可縮短操作時間至原來的十分之一。

表 4.1 使用 GUI 介面之效率比較表

工作項目	原有模式操作	使用本介面操作
輸入資料處理	內插、補遺	開啟介面後選取欲讀入之資料檔案，自動計算並繪圖
資料輸入	讀取資料檔案	
輸入資料檢核	手動檢核	
計算所需參數	呼叫副程式另行處理	
繪出各資料隨時間變化圖	繪圖應用程式	選取合適模式進行模擬並自動繪圖
進行模擬	讀取檔案進行模擬	
繪圖顯示模擬結果	繪圖應用程式	直接指定欲儲存之檔案
模擬結果資料存檔	指令儲存陣列並輸出至檔案	
模擬結果繪圖存檔	繪圖應用程式	
操作方式	指令、外部應用程式	滑鼠
展示或比較資料	經由繪圖應用軟體印出整合	在 GUI 輸出視窗中直接進行
整體效率	較費時	較省時

3.增加模式親和力

在模式中輸入資料已備妥的情況下,本圖形化介面只需使用滑鼠的點選即可完成整個颱風波浪的預測工作(包含資料輸入至結果輸出)。搭配輸入資料狀態視窗,可以清楚地列出輸入資料的長度,加上中文化介面以及完整的說明文件,提昇本介面的親和力。介面中的開發環境是以目前一般使用者所熟稔的 Windows 系統為基礎,滑鼠的點擊、鍵盤的快速鍵操作以及開啟檔案的檔案列表,都是與 Windows 系統相同。。

4.提升未來自動化環境可行性

本介面的開發不但提供使用者在操作上的便利,並且在開發過程中整合了整個模式的運作,整合後的模式可提升對於未來自動化環境的配合度。未來可應用於提供網路即時波浪推算與預報,可以在無人操作的環境中直接擷取颱風觀測資料以計算出波浪變化關係,並即時發布相關資訊。

4.2 視窗化模式之建立

本介面開發環境為 Matlab 中的 GUIDE(Graphical User Interfaces Development Environment)。操作環境為 Mathworks 公司的科技運算應用軟體 Matlab,版本支援 Matlab 5.0 以上系統。本介面測試環境有 Microsoft Windows98、Windows2000、WindowsXP 各版本,已知支援作業系統並有 Mac 以及 Unix 其餘系統的可行性請詳見 Matlab 使用手冊。

圖形化介面的開發目標期望能以最少的操作程序作最多的流程以及展現最多的資訊,如此一來可以減少視窗的切換以及提升操作流程的流暢度。整個圖形化介面主要由七個視窗組成,分別為(1)主介面視窗、(2)資料輸入視窗、(3)模擬輸出視窗、(4)資料存檔視窗(包含圖片存

檔以及資料存檔)、(5)颱風路徑圖、(6)預測波高圖、(7)預測波高表，相關操作說明如下詳述。

4.2.1 主介面視窗說明

本主介面視窗如圖 4.1 所示，圖中各項說明及操作如下列所述(依數字順序)：

1. 介面主視窗標題列：標題列明確列出目前介面所在並註明介面版本等資訊。
2. 介面主視窗工具列：工具列包含控制、模擬以及其他三個部分。工具列的編排主要符合一般 Windows 應用程式的架構，以樹狀的結構將所要選取的指令存放於內(如圖 4.2)。
3. 選擇預測模式區域：目前颱風波浪推算模式的測試資料有花蓮港與蘇澳港的波浪資料，在此可選擇預測的區域。

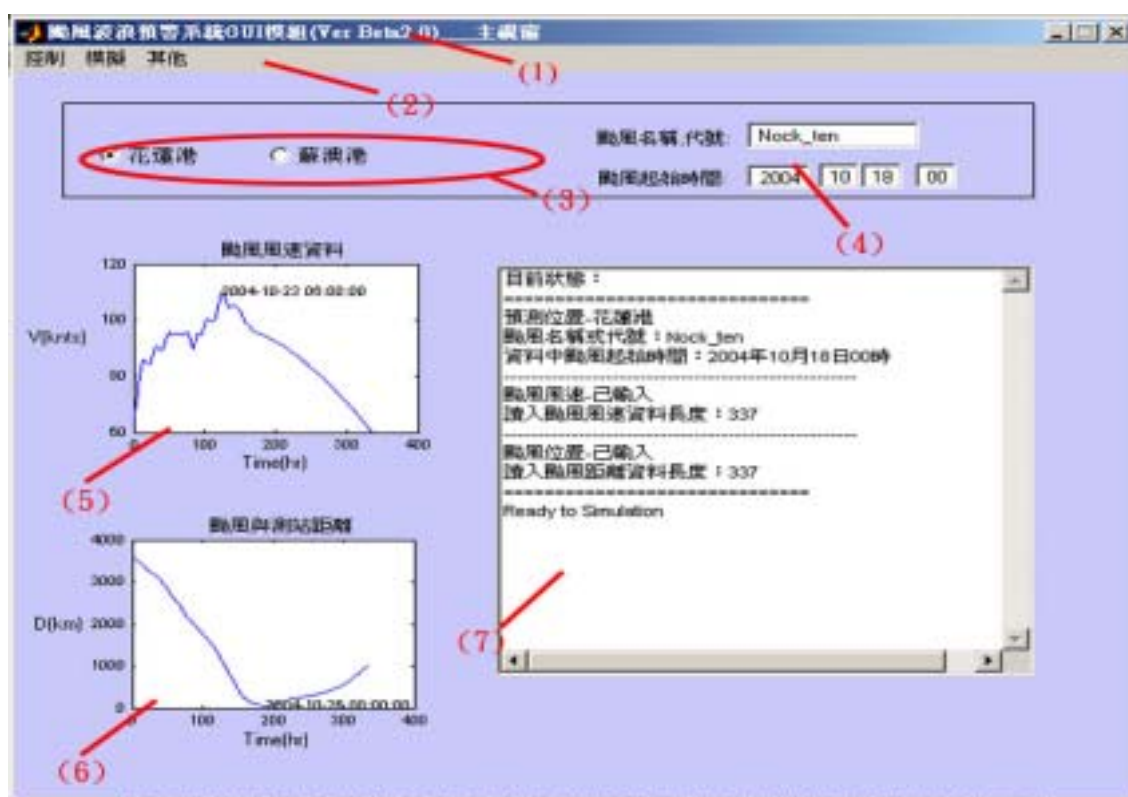


圖 4.1 介面主視窗示意圖

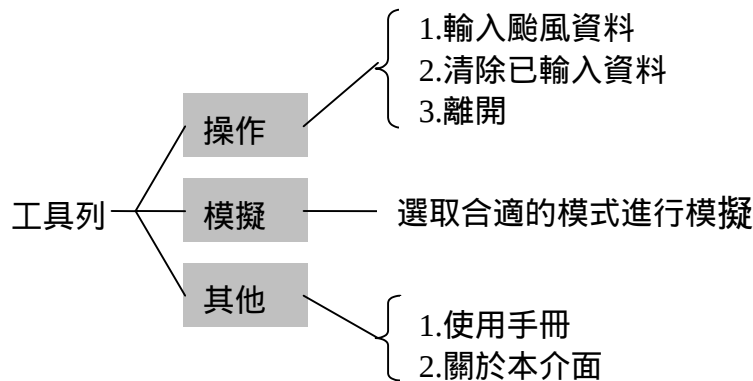


圖 4.2 樹狀結構的工具列

4. 颱風名稱以及颱風資料起始時間輸入：主要在輸出視窗中明確列出處理中的颱風名稱或編號，同時透過輸入的颱風資料起始時間，能在各個時序圖中標示出正確的時間，進而提供比時間序列更明確的圖軸表示。
5. 輸入資料之颱風風速變化圖：此區域可即時將所輸入的颱風風速資料以繪圖方式來表示，幫助使用者即時了解所輸入之颱風資料，並標示出風速最大值所發生的時間。
6. 輸入資料之颱風距離變化圖：此區域可即時將所輸入的颱風位置資料運算成颱風與港口之間距離變化並以繪圖方式來表示，幫助使用者即時了解所輸入之颱風資料以及颱風最接近點的時間。
7. 輸入資料之狀態視窗：本文字狀態區域能即時顯示輸入之颱風資料筆數以及颱風的基本資訊，以便檢核資料良缺，判斷輸入之資料是否適合進行下一階段的模擬程序。

4.2.2 資料輸入視窗說明

圖 4.3 為資料輸入視窗示意圖，其與一般 Windows 檔案開啟視窗相似，圖中各項說明與操作如下所述(依數字順序)：

1. 目前資料夾位置：顯示目前所在資料夾，在此區域切換位於該電腦中的儲存設備或是網路儲存設備以更改目前資料夾位置。

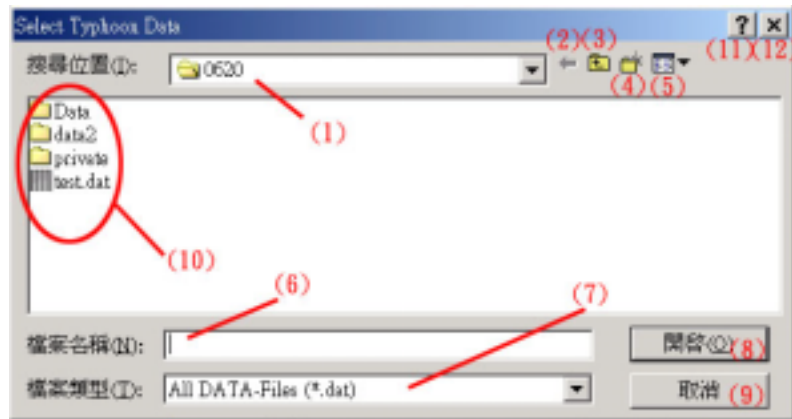


圖 4.3 資料輸入視窗示意圖

- 2.回上一頁按鈕：本按鈕功能為回到之前所在目錄。
- 3.回上一層按鈕：本按鈕功能為回到目前所在資料夾的上一層。
- 4.新增資料夾按鈕：本按鈕能在所在資料夾內再新增一子資料夾。
- 5.檢視模式變換按鈕：本按鈕可將目前所在資料夾內的檔案表現方式做適當的改變，包含大、小型圖示、清單、詳細資料以及縮圖等。
- 6.檔案名稱區域：使用者可在本區域輸入欲開啟的輸入資料檔名。
- 7.選取檔案類型：本區域能夠設定檔案列表區內顯示的檔案類型，本介面設定為顯示附檔名為*.dat 之所有檔案，使用者可視需要更改為顯示所有檔案。
- 8.開啟檔案按鈕：本按鈕可在選取檔案後執行開啟的動作，並回到主視窗進行下一步的運算以及檢核。
- 9.取消按鈕：不作任何更動離開本視窗。
- 10.檔案區列表區：列出本資料夾中所有檔案以及子資料夾。
- 11.說明按鈕：按下此按鈕後滑鼠游標會呈現問號，再點及本視窗中各個元件後，會出現各元件的簡單說明。
- 12.關閉視窗按鈕：同於取消按鈕，不作任何改變離開本視窗。

4.2.3 模擬輸出視窗說明

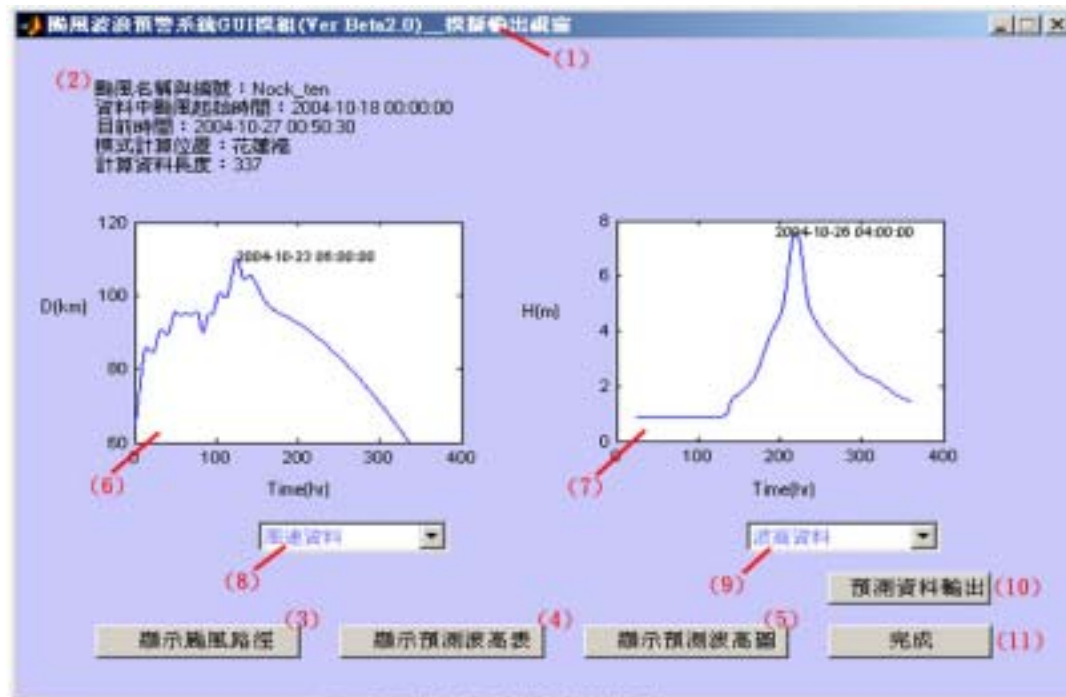


圖 4.4 模擬結果輸出視窗示意圖

1. 模擬輸出視窗標題列：標題列明確列出目前介面所在視窗並註明介面版本等資訊。
2. 本區域列出颱風名稱及颱風資料起始時間，另外還有介面推算過程中的基本資訊，包括目前時間、計算位置以及輸入資料筆數。
3. 顯示颱風路徑按鈕：此按鈕可以開啟颱風路徑圖視窗，並可提供圖檔儲存之功能。
4. 顯示預測波高表按鈕：此按鈕可以開啟波高預測表視窗，可提供逐筆檢視預測波高值。
5. 顯示預測波高圖按鈕：此按鈕可以開啟波高預測圖視窗，可檢視波高歷時圖，並提供圖檔儲存之功能。
6. 模擬結果繪圖區 A：本繪圖區可展現風速-時間、距離-時間、海面上 10 米風速-時間以及波高-時間圖，並且標示出各個歷時圖中較重要的峰值。

- 7.模擬結果繪圖區 B：同於模擬結果繪圖區 A、本介面利用雙圖框讓使用者能在同一時刻比較兩種不同資料。
- 8.本區域以下拉式功能表選取顯示在模擬結果繪圖區 A 的變化圖。
- 9.本區域以下拉式功能表選取顯示在模擬結果繪圖區 B 的變化圖。
- 10.預測資料輸出按鈕：開啟資料存檔視窗，以便儲存模擬後的輸出資料，目前支援格式為純文字文件。
- 11.完成按鈕：結束模擬輸出視窗，並關閉一切展示視窗，回到主視窗重新接受資料輸入。

4.2.4 資料存檔視窗說明

由模擬輸出視窗中的推算資料輸出按鈕以及各個展示視窗(颱風路徑圖視窗、預測波高圖視窗)中的圖形資料存檔按鈕可以開啟此兩個存檔視窗(如圖 4.5 與圖 4.6)，視窗中各元件介紹同於資料輸入視窗。其間差異在於圖 4.5 為將資料檔儲存為純文字文件格式，而圖 4.6 則為將圖形的部分作存檔的動作。而存檔的檔案格式限制以及更動都是在圖中之(7)存檔類型的區域，兩個不同的視窗會對存檔的格式作限制，使用者無須擔心會將 ascii 的資料檔儲存為附檔名 jpg 的圖形檔格式。



圖 4.5 模擬結果資料存檔視窗



圖 4.6 模擬結果圖形存檔視窗

4.2.5 颱風路徑圖說明

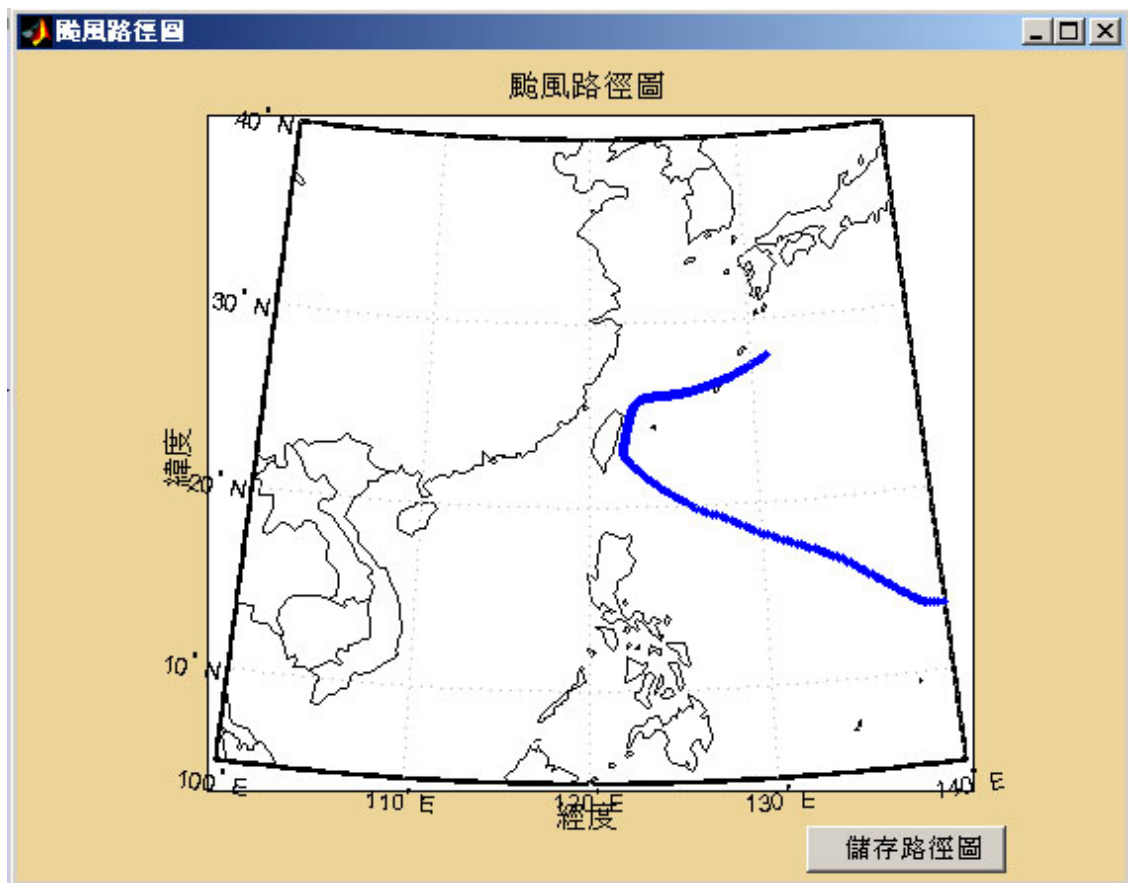


圖 4.7 颱風路徑圖

圖 4.7 之颱風路徑圖視窗中展示該颱風在北緯 5~40 度、東經 100~140 度範圍內的颱風行進路徑。本視窗並提供颱風路徑圖的圖檔儲存，視窗大小可自由拉伸做大小、長寬的調整。

4.2.6 推算波高圖說明

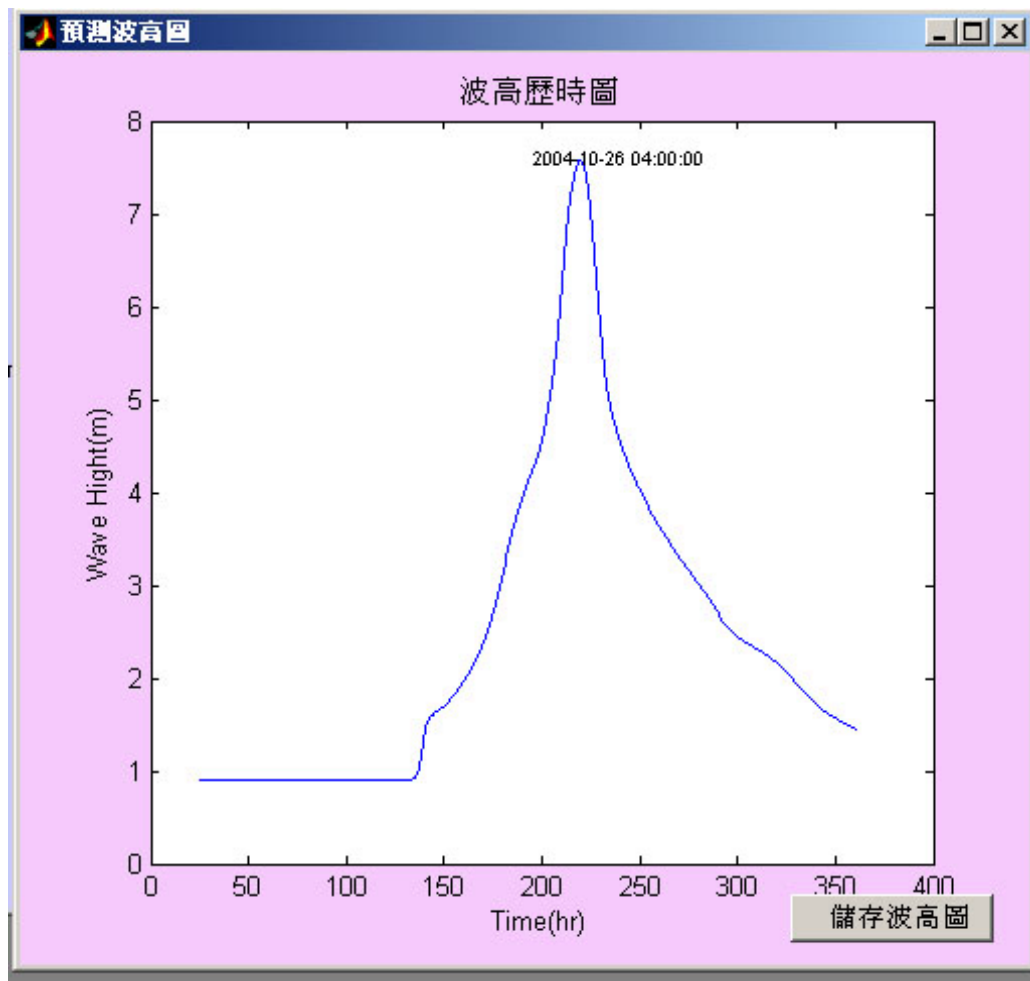


圖 4.8 推算波高圖

圖 4.8 之推算波高圖視窗中展示該颱風在預測點所造成的波高值，橫軸為時間序列，縱軸為波高，途中並標示出波高最大值所發生的時間。本視窗亦提供圖檔儲存，視窗大小可自由拉伸做大小、長寬的調整，在儲存時儲存按鈕會自動消失使存檔的圖片較為美觀且圖形橫軸不會被該按鈕遮蔽。

4.2.7 推算波高表

圖 4.9 之推算波高表提供操作者即時檢視預測波高值以及時間的列表，使操作者更能了解波高值的細部變化。由於在模擬輸出視窗中已提供預測資料的純文字資料輸出，故本視窗沒有提供儲存功能。

時間	波高
2004-10-18 00:00:00	0.89977
2004-10-18 01:00:00	0.89977
2004-10-18 02:00:00	0.89977
2004-10-18 03:00:00	0.89977
2004-10-18 04:00:00	0.89977
2004-10-18 05:00:00	0.89977
2004-10-18 06:00:00	0.89977
2004-10-18 07:00:00	0.89977
2004-10-18 08:00:00	0.89977
2004-10-18 09:00:00	0.89977
2004-10-18 10:00:00	0.89977
2004-10-18 11:00:00	0.89977
2004-10-18 12:00:00	0.89977
2004-10-18 13:00:00	0.89977
2004-10-18 14:00:00	0.89977
2004-10-18 15:00:00	0.89977
2004-10-18 16:00:00	0.89977
2004-10-18 17:00:00	0.89977
2004-10-18 18:00:00	0.89977
2004-10-18 19:00:00	0.89977
2004-10-18 20:00:00	0.89977
2004-10-18 21:00:00	0.89977
2004-10-18 22:00:00	0.89977
2004-10-18 23:00:00	0.89977
2004-10-19 00:00:00	0.89977
2004-10-19 01:00:00	0.89977

圖 4.9 推算波高表

4.3 視窗化模式之操作

本操作模式介面在 Matlab 環境中可利用工具列的檔案開啟功能或是直接於 Command Window 直接輸入 GUI 介面檔名開啟本介面，檔名目前暫定為 TWGUIB2.p(如圖 4.10)。此外為避免介面執行時程式連結與存檔的混亂，建議操作者能在執行介面前先將畫面中上方的工作目錄先設定為本介面安裝的目錄。

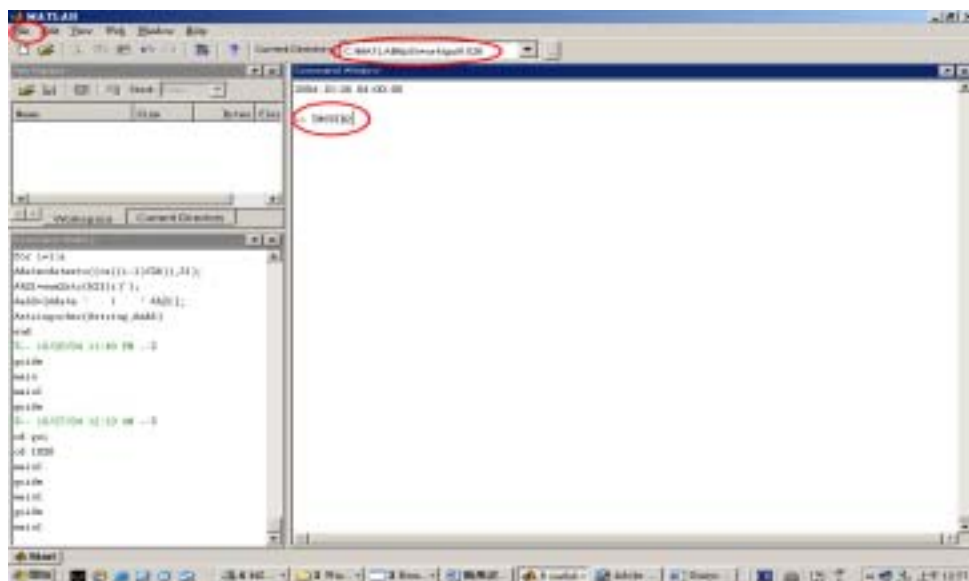


圖 4.10 操作流程說明 1：Matlab 主要視窗

開啟本介面後，桌面系統最上層會出現本介面主視窗如圖 4.11，於右上方輸入框架中可輸入颱風名稱(或編號)以及颱風資料的起始時間。輸入之後可由左上方工具列中"控制"中的"輸入颱風資料"開啟檔案選擇視窗如圖 4.12，開始進行新資料的讀取。文件中只要包含四列颱風資料：(1)時間序列、(2)經度、(3)緯度、(4)風速即可，格式並無嚴格限制，使用者可利用 EXCEL 或是文書編輯軟體都可以做成此輸入檔，每列資料中可用 Tab、Space、逗點等用來表示間隔。

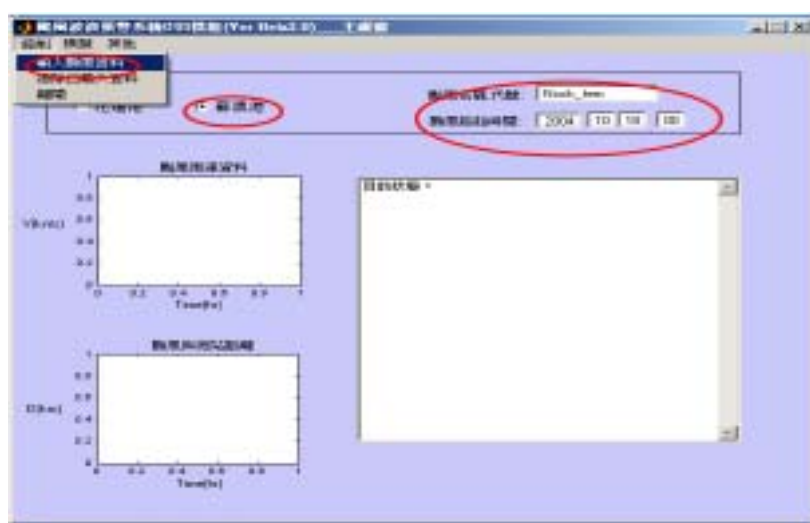


圖 4.11 操作流程說明 2：本介面主視窗

輸入檔案選擇視窗中可切換該主機硬碟中或是網路硬碟中的檔案，所開啟檔案之副檔名內定為(*.dat)，使用者可調整檔案類型(*.*)來尋找欲輸入的任何 ascii 檔案名稱。

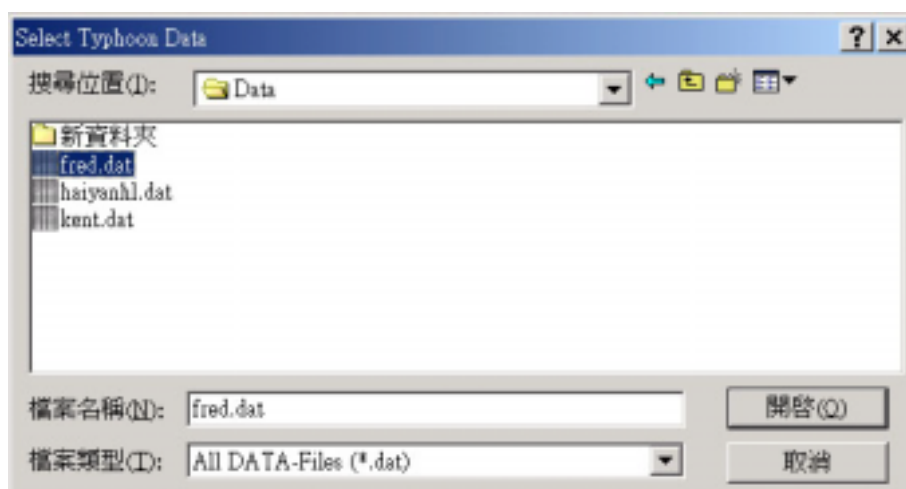


圖 4.12 操作流程說明 3：颱風資料輸入視窗

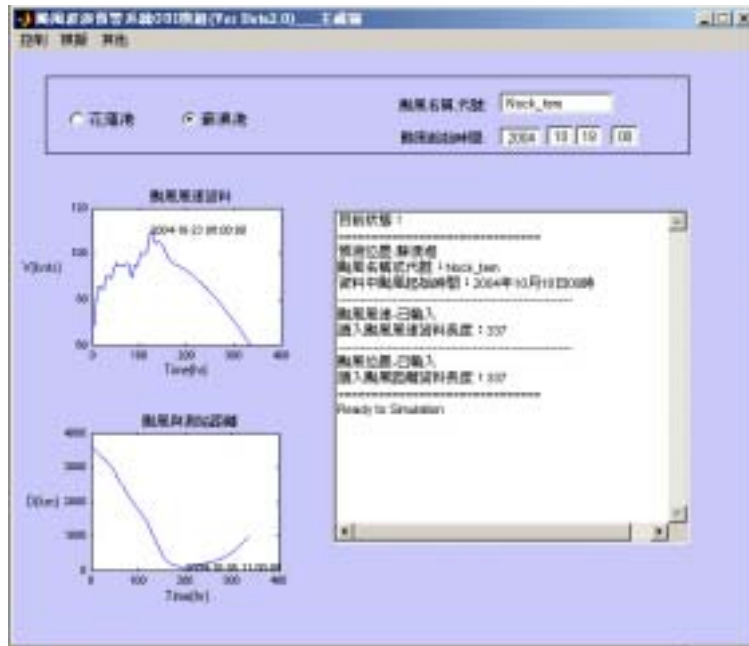


圖 4.13 操作流程說明 4：讀取資料完成

輸入颱風資料後介面會將檔案中的資料讀入至記憶體中進行運算以及繪圖，示如圖 4.13。資料運算以及繪圖後會自動作檢核，並將檢核結果列於圖 4.14 右側之狀態視窗。視窗中列出所讀入的資料筆數以及是否可以開始進行模擬。若是輸入資料無誤狀態視窗顯示 Ready to Simulation 即可直接於上方工具列選取模式開始進行模擬(如圖 4.14)。

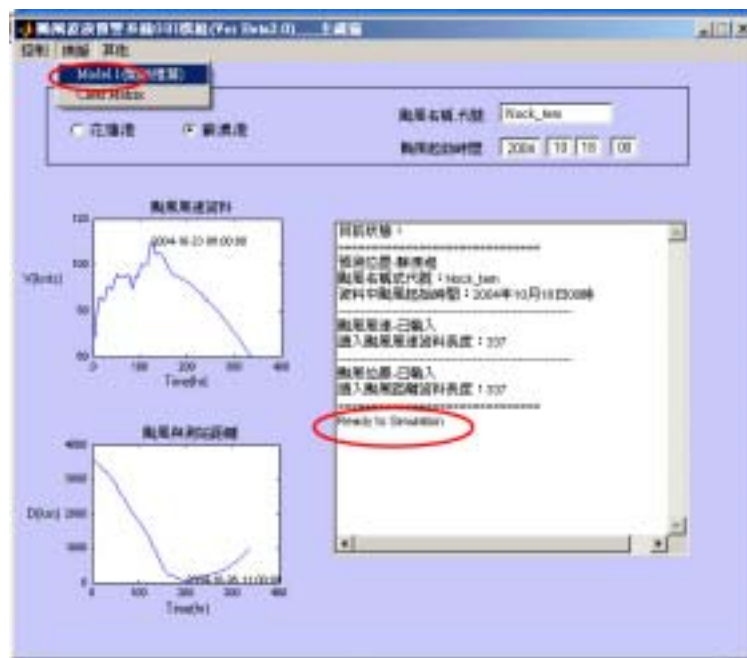


圖 4.14 操作流程說明 5：進行模擬程序

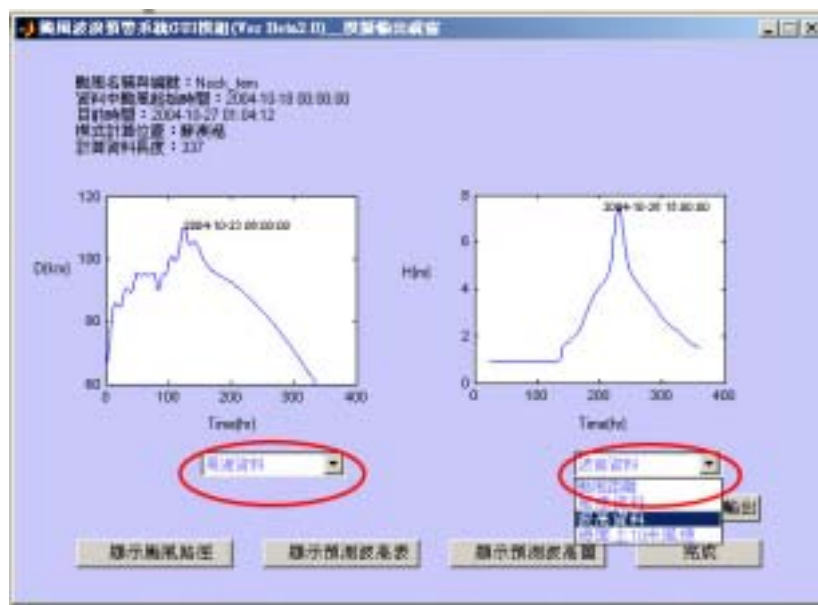


圖 4.15 操作流程說明 6：模擬結果輸出視窗

開始進行模擬後介面主視窗會自動關閉，取而代之的是模擬輸出視窗，模擬結果如圖 4.15 所示。模擬完成後可於圖中的兩個下拉式功能表中選取所要顯示的資料，繪圖會出現在兩個圖軸中，方便使用者作比較。圖 4.15 中下方的顯示颱風路徑按鈕可開啟颱風路徑圖展示視窗，本視窗可自由調整視窗的長寬與大小，以便設定合適的大小進行圖檔儲存，如圖 4.16 所示。

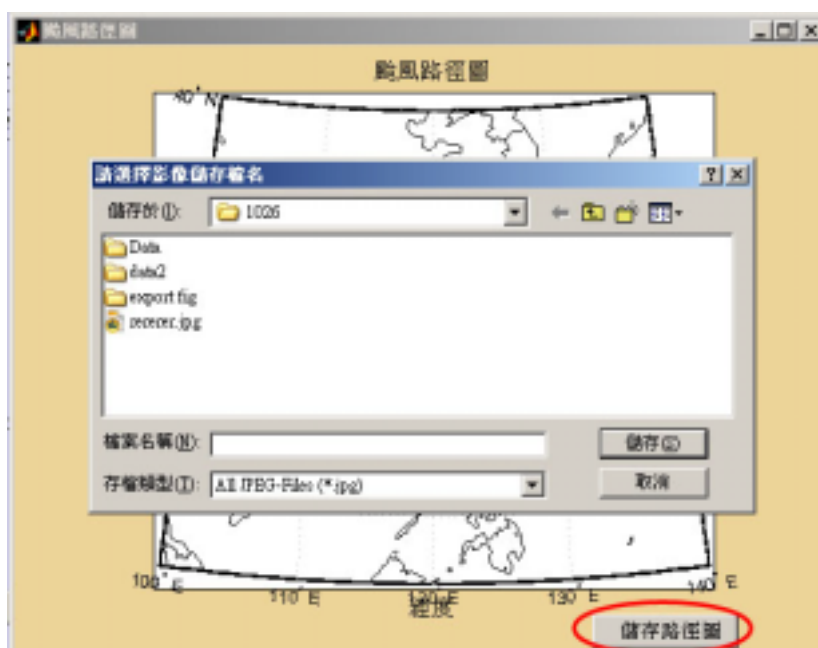


圖 4.16 操作流程說明 7：檢視颱風路徑圖並儲存圖檔

圖 4.15 中顯示之推算波高圖按鈕可開啟推算波高圖，如圖 4.17，同於颱風路徑圖視窗，本視窗亦提供圖檔儲存功能。在儲存圖檔的瞬間，儲存按鈕會自動消失，以免在儲存圖檔內出現此按鈕。



圖 4.17 操作流程說明 8：檢視波高歷時圖並儲存圖檔

時間	波高
2004-10-18 00:00:00	0.89977
2004-10-18 01:00:00	0.89977
2004-10-18 02:00:00	0.89977
2004-10-18 03:00:00	0.89977
2004-10-18 04:00:00	0.89977
2004-10-18 05:00:00	0.89977
2004-10-18 06:00:00	0.89977
2004-10-18 07:00:00	0.89977
2004-10-18 08:00:00	0.89977
2004-10-18 09:00:00	0.89977
2004-10-18 10:00:00	0.89977
2004-10-18 11:00:00	0.89977
2004-10-18 12:00:00	0.89977
2004-10-18 13:00:00	0.89977
2004-10-18 14:00:00	0.89977
2004-10-18 15:00:00	0.89977
2004-10-18 16:00:00	0.89977
2004-10-18 17:00:00	0.89977
2004-10-18 18:00:00	0.89977
2004-10-18 19:00:00	0.89977
2004-10-18 20:00:00	0.89977
2004-10-18 21:00:00	0.89977
2004-10-18 22:00:00	0.89977
2004-10-18 23:00:00	0.89977
2004-10-19 00:00:00	0.89977

圖 4.18 操作流程說明 9：檢視波高歷時表

同理，圖 4.15 中推算波高表按鈕可開啟推算波高表，如圖 4.18。本資料列表不提供儲存以及複製功能，僅提供操作者即時對照預測波高圖，操作者可利用圖中右方捲軸瀏覽預測波高資料。

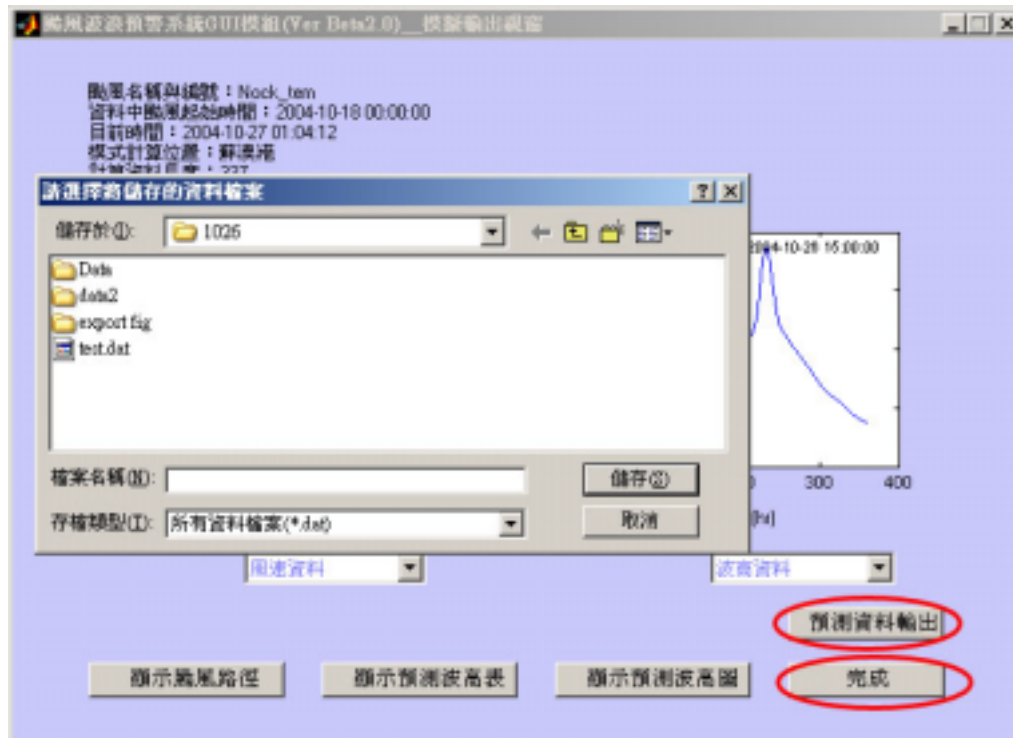


圖 4.19 操作流程說明 10：儲存預測資料結束介面流程

選取圖 4.19 右下角的預測資料輸出按鈕可以進行資料檔案的儲存，儲存視窗如圖中之浮現視窗，設定將要儲存的位置以及檔名後即可以按存檔按鈕進行儲存。儲存完畢之後整個颱風波浪預測流程結束，使用者可按圖中右下角的完成按鈕以關閉模擬輸出視窗，關閉視窗的同時，介面會自動關閉所有展示視窗，在重新開啟介面主視窗進行下一次的颱風資料輸入。

4.4 視窗化模式之成果展示

經由前節介紹說明之操作步驟，本節中展示相關颱風波浪資料之推算成果，圖 4.20、圖 4.21、圖 4.22 及圖 4.23 分別為應用本介面推算 2004 年 Conson、Mindulle、Rananim 以及 Nock_ten 四場颱風的成果。

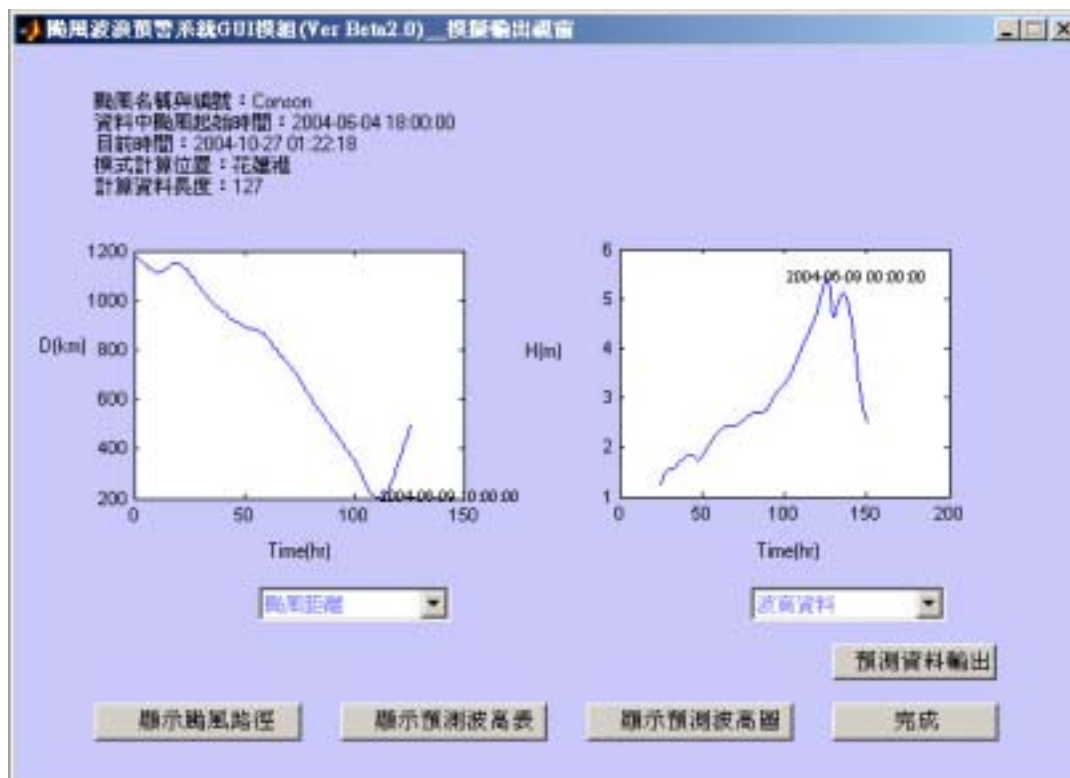


圖 4.20 使用 GUI 介面模擬 Conson 颱風(20 0 4)

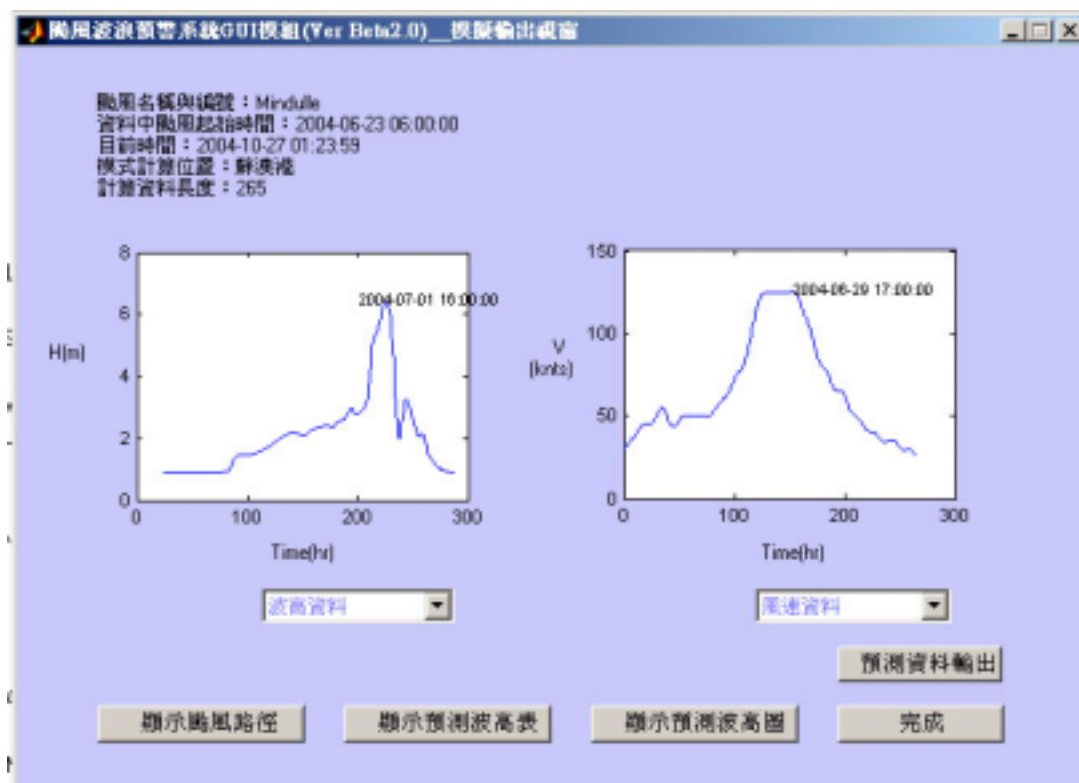


圖 4.21 使用 GUI 介面模擬 Mindulle 颱風(20 0 4)

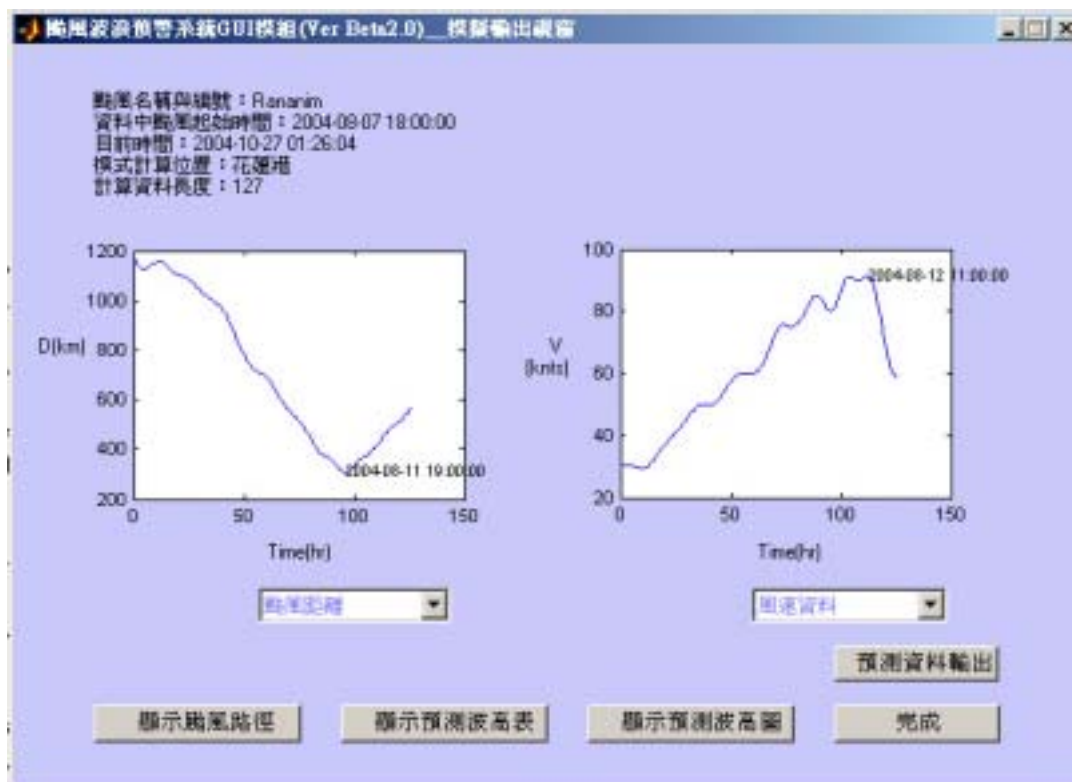


圖 4.22 使用 GUI 介面模擬 Rananim 颱風(20 0 4)

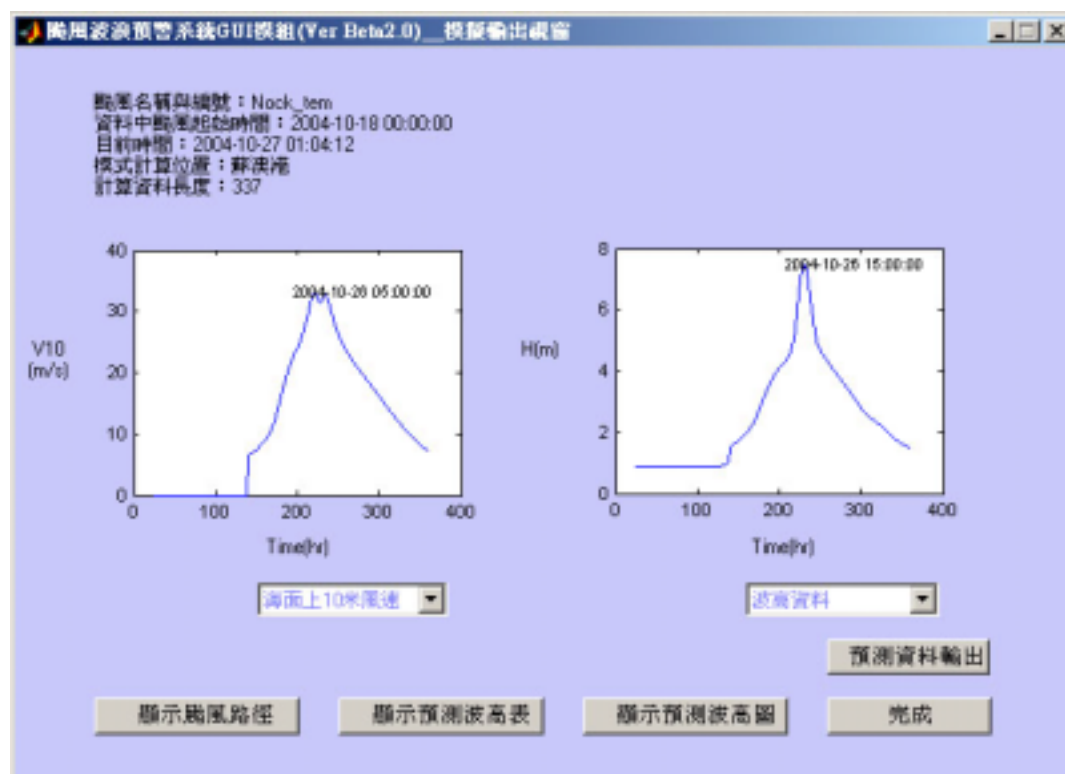


圖 4.23 使用 GUI 介面模擬 Nock_tek 颱風(20 0 4)

第五章 港灣構造物之安全監測

蘇澳及花蓮港防波堤因經年受颱風、地震和東北季風波浪侵襲，造成堤面與胸牆處處龜裂，堤體有下陷及淘空情形，故每年必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。

本項監測作業主要內容包括防波堤堤面受力特性分析、堤體變位與防波堤堤腳、堤址現況等現場調查工作，依據歷年之資料變化比對，瞭解其差異性並作為未來預測推估之基礎。

5.1 防波堤受力特性分析

5.1.1 防波堤損壞原因探討

沉箱式合成堤是目前臺灣各港口在大水深的地方廣泛採用的防波堤型式，主要是因為其能承受較大的波力，但防波堤的破壞災害也經常發生。依據本所港研中心於 1996 年辦理蘇澳港防波堤損壞過程模擬及可能造成破壞之影響因素探討的相關計畫中，其破壞過程之說明如下：

1. 防波堤長時間受各種波力往復作用及地震力作用，沉箱因而發生振動或微振。
2. 歷年來颱風期間產生大浪，造成沉箱往港內方向移動。
3. 沉箱內移後，造成港側相接海側之間隙變寬，形成樑形夾縫。
4. 港側因沉箱振動產生擠壓或波壓力集中衝擊造成港側堤頂破壞。
5. 沉箱內回填材料因長期受到振動或微振作用，因而搗實材料重新

排列，形成大小不一之空隙。

6. 沉箱內空隙形成後，海側側牆所承受之背填土壓力減少，相對的加上側牆版厚不足，因此側牆版產生振動因而破裂。
7. 海側側牆破裂後，大量水體進入沉箱內，造成沉箱蓋板及消波胸牆消波室受波力與空氣之擠壓雙重衝擊，使得沉箱振動加速。
8. 沉箱上部結構長期振動，造成橫側牆的拉力與拉彎矩產生，使得橫側牆受拉力破壞。
9. 由於側牆破壞進而使第二隔艙橫側牆會有破洞出現，第二隔艙內回填材料被水體往外帶出，加速破洞擴大。
- 10 由於沉箱內橫側牆接連破壞，更形成下一個側面牆的受拉彎矩的增大，使得沉箱破壞加速。
- 11 最後沉箱各隔艙牆無法承受上載荷重及振動外力，導致沉箱內隔艙牆全體斷裂。
- 12 斷裂之上部結構物材料便往前傾而墜入大海，散落在堤址前方。

花蓮港東防波堤於 2000 年 8 月畢利斯颱風的作用下也發生三個沉箱的破裂，而其破壞的現象和上述步驟相似。經由以上破壞原因的探討可推測，沉箱斷裂之潛在原因為內填料經由長期振動而使得內填料重新排列而減少其抵抗波力能力。尤其在地震時波壓力是否有增強或減弱之現象不得而知，為了解地震力或波力引起之沉箱振動和波浪作用間之相互影響性，本研究針對在花蓮港東防波堤所量測之相關資料進行分析及討論，期望能提供相關資訊給未來防波堤設計之參考。

5.1.2 花蓮港地震與波壓關係之探討

1. 觀測儀器系統之配置

本中心於花蓮港新東堤沉箱上裝設量測儀器，相關位置如圖 5.1 所示，主要量測項目為作用於防波堤上之波壓及地震震度等，安裝主要儀器項目為地表式地震計一台、波壓計 9 支、訊號增幅器 12 頻道、資料處理系統 1 套等。相關儀器系統配置及資料傳輸方式如圖 5.2 所

示，圖 5.3 與圖 5.4 則為該儀器系統於防波堤沉箱上之安裝位置示意圖。

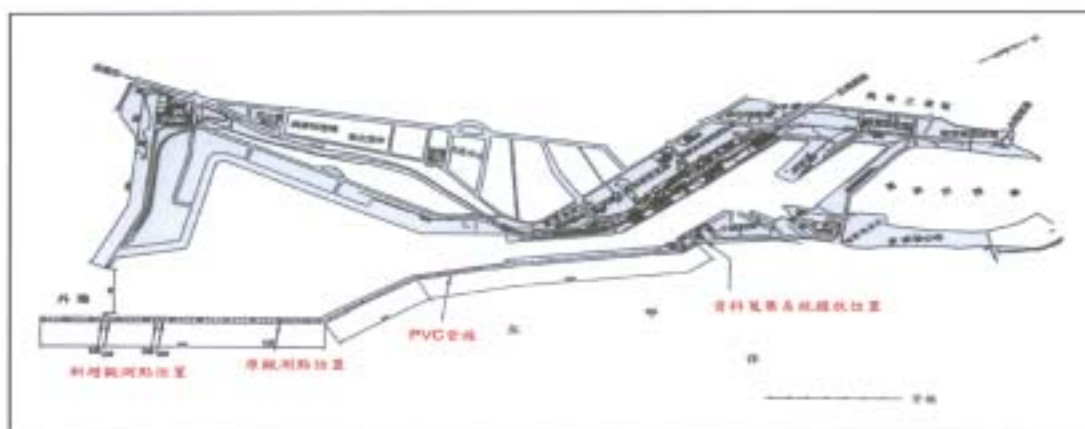


圖 5.1 花蓮港地震計及波壓計儀器位置示意圖

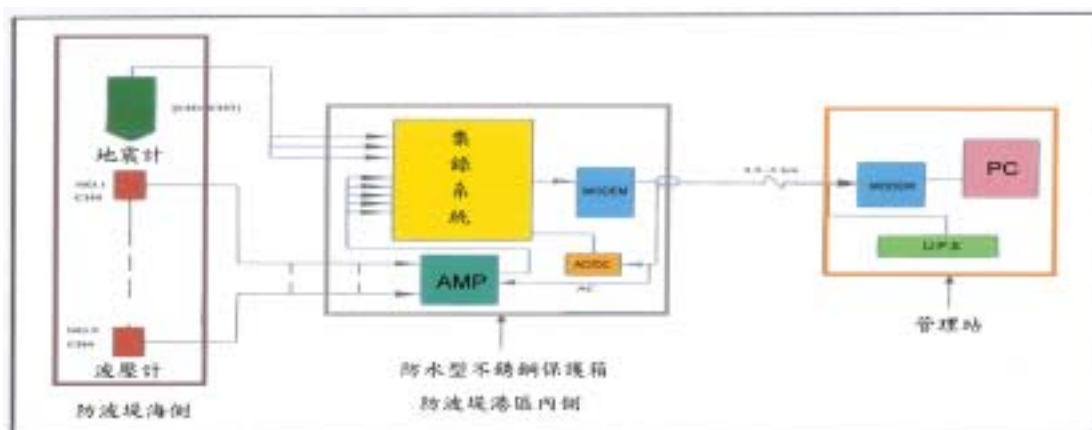


圖 5.2 花蓮港防波堤地震計及波壓計觀測系統配置圖

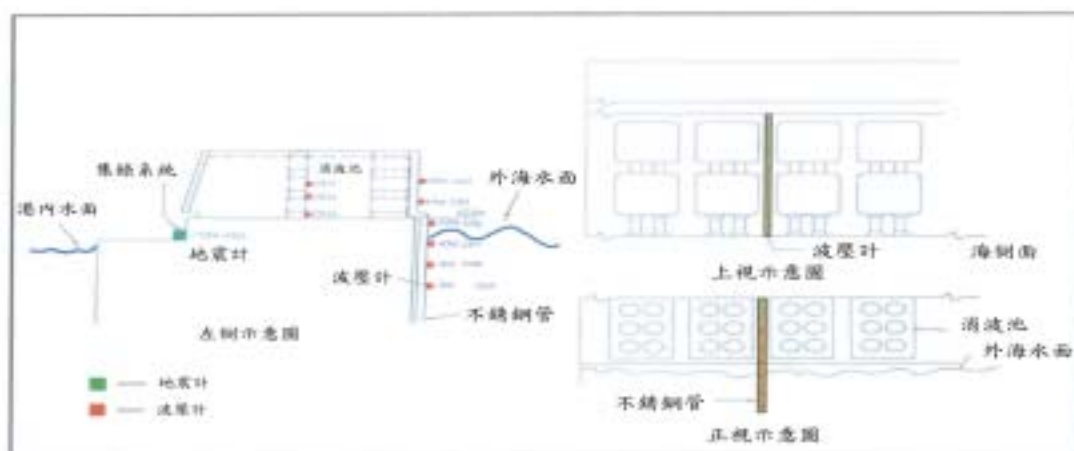


圖 5.3 花蓮港地震計及波壓計儀器擺放位置圖

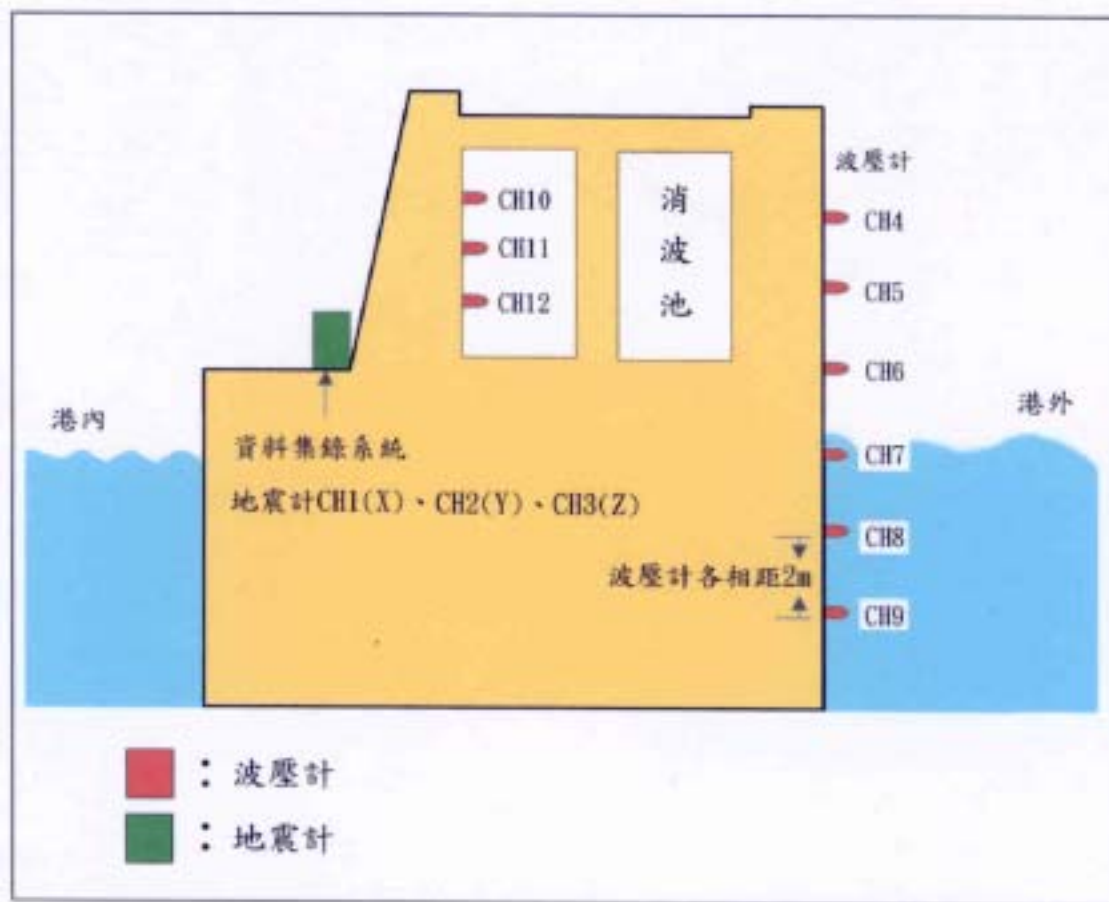


圖 5.4 花蓮港東堤波壓計及地震計配置圖

2. 觀測資料之處理與分析

有關波壓資料之計算係引用 Kuo and Chiu (1994)所發展的波高(H)與波壓(P)轉換函數進行波壓與水位的轉換，其後透過一般的分析程序包含頻譜分析及零上切特性波高分析與統計，其經驗關係式如下表示：

$$K_p = \exp\left(-0.905 \frac{\omega^2 |z|}{g} - 0.027\right) \dots\dots\dots (5.1)$$

其中， z 為壓力計的放置水深，以靜水面為零，並以向上為正； $0.1 \leq \omega^2 z/g \leq 5.0$ ； $d/L \geq 0.07$ ； $\omega = 2\pi/T$ 為週頻率，由式(5.1)中可知，波壓與波高之間的轉換關係，僅與一個由週頻率(ω)及波壓計設置深度(z)所

組合而成的無因次參數有關。由於迴歸之實驗數據未包含相對水深小於 0.07 之情況，故在相對水深小於 0.07 的情況下，不在此經驗公式的適用範圍內。Kuo and Chiu (1994)藉由往昔許多學者之研究成果來做比較驗證，發現上述實驗數據結果與經驗式皆相當吻合。此外邱等利用台中外海之海象觀測，來驗證經驗式之實用性，結果從各種的波浪樣本和預測過程中發現，此由實驗室推導而得的經驗轉換函數，可以非常有效地作為海洋波浪波壓與波高間的轉換關係式。

本項工作之資料應用時間如表 5.1 所示，其中僅編號 Hbol 為花蓮港務局觀測的實測值，其它五個觀測結果為東堤上之觀測值，而觀測時間條件之差異性係因為港務局觀測站的加速度觸發值(2.0gal)設置較高，東堤之觸發值(1.0gal)設置較小之故。

依據觀測資料取陸上觀測站(花蓮港務局)和東堤沉箱觀測站相同時間之觀測值作比較分析，由表 5.1 可發現，在水平振動(X 軸朝正北為防波堤方向，Y 軸朝正東為向海方向且垂直於 X 軸)之正向最大加速度陸上為 X 軸 3.784 gal, Y 軸 3.662 gal。沉箱振動加速度為 X 軸 10.636 gal, Y 軸 9.015 gal。負向最大加速度陸上為 X 軸 -4.150 gal, Y 軸 -4.150 gal。沉箱振動加速度為 X 軸 -8.900 gal, Y 軸 -15.184 gal。經由以上最大加速之比較得知，陸上觀測到之水平加速度約僅為沉箱處加速度的三分之一。在垂直方向方面(Z 軸)陸上正向為 2.136 gal，負向為 -3.357gal；而沉箱處正向為 3.09 gal，負向為 -3.842 gal，顯示在陸上觀測結果和沉箱處相差很小，沒有如水平方向有三倍之差異。

另外，由表中不同時間之觀測結果，沉箱處之正向和負向加速度大部分皆小於 4.0 gal，依上述比較結果來對比，陸上觀測站應在 1.33 gal 以下之加速度，正符合陸上觀測站之最小起動值為 2.0 gal，故編號 2 號到編號 5 號陸上觀測站才沒有觀測結果。經由以上分析可初步得知在水體中間的沉箱其振動的加速度大於陸上加速度。

表 5.1 觀測地震時間與加速度比較表

編號	File name	時 間	X 軸 (gal)	Y 軸 (gal)	Z 軸 (gal)
1	HO1	2002/4/4/02 : 07 : 49 (花蓮東堤)	max : 10.636	max : 9.015	max : 3.090
			min : -8.900	min : -15.184	min : -3.842
2	HO2	2002/4/4/21 : 00 : 18 (花蓮東堤)	max : 3.260	max : 3.609	max : 0.895
			min : -3.647	min : -2.377	min : -1.196
3	HO3	2002/4/8/07 : 21 : 26 (花蓮東堤)	max : 3.492	max : 5.458	max : 1.064
			min : -3.337	min : -5.677	min : -1.325
4	HO4	2002/4/16/23 : 31 : 53 (花蓮東堤)	max : 3.756	max : 3.143	max : 1.188
			min : -3.712	min : -2.676	min : -0.921
5	HO5	2002/4/17/02 : 34 : 03 (花蓮東堤)	max : 2.443	max : 2.477	max : 0.843
			min : -2.777	min : -3.015	min : -0.765
6	Hb01	2002/4/4/02 : 07 : 49 (花蓮港務局)	max : 3.784	max : 3.662	max : 2.136
			min : -4.150	min : -4.150	min : -3.357

圖 5.5 及圖 5.7 分別為陸上及沉箱觀測站三軸向地震加速度之歷時圖，由此二圖比較可發現其振動型態相似僅加速度值大小有差別。圖 5.9 為分別將陸上與沉箱振動歷時圖合併之比較圖，其中紅色線表沉箱觀測值，黑色線為陸上觀測值，由此圖中可發現沉箱上之振動值在 10 秒以前兩者相似，10 秒後沉箱上之觀測值突然有加大現象，過 25 秒以後，兩者加速度又相似。

圖 5.6 及圖 5.8 分別為陸上及沉箱觀測站之三軸向加速度頻譜，由圖 5.6 各圖比較可發現在南北向集中在主頻為 1.0 Hz 左右，而高頻部分能量有下降趨勢；但在東西向為多主頻，最大能量集中在 1.5Hz 左右；垂直方向之頻譜型態和東西向的型式很相像，分佈區間亦相近，因此陸上觀測站在各方向各頻率之能量分佈相近。由圖 5.8 各圖比較得知垂直於防波堤方向（亦即波浪作用方向）之加速度頻譜之頻譜能

量較沿防波堤方向之加速度頻譜的能量偏向高頻。而垂直方向之各頻率能量約為水平方向各頻率能量十分之一，但能量更偏向於高頻。圖 5.10 各圖表示兩個觀測站各方向振動加速度頻譜之比較，由各圖比較得知，兩邊受水體包圍和受波浪作用之沉箱，其振動加速度能量遠大於陸上觀測結果；而在垂直向加速度能量有兩倍差，在水平方向其差值約在 10 倍左右。

由以上之分析結果比較可得知，沉箱受波浪作用及地震兩者互制運動後，沉箱的振動頻率較陸上的振動頻率偏向高頻，而垂直向振動能量較陸上振動能量大，約為兩倍左右，且能量往高頻集中的現象明顯，造成沉箱振動頻率偏向較高頻，可能係由於波浪作用和水體包圍互制運動所造成的。在波浪作用下及兩側受水體包圍的沉箱其受地震作用下所產生的振動具有震度放大頻率較高，垂直方向振動似乎較水平方向放大率較小的現象，同時垂直方向震度大約為水平方向的十分之一。

圖 5.11 內二圖之實線為每小時前二十分鐘之潮位平均值，地震時之水位為一分鐘之水位值，由圖中亦發現地震時之水位不一定高於或低於地震前、後時段內之潮位。因此，地震時之水位會有壅上或下降之可能性，其水位偏差量約 10 公分左右，此發生之原因可能與波浪週期及地震時波浪與沉箱作用之相位有關。

圖 5.12 為 4 月 4 日中三場地震時沉箱壁面上不同深度實測波壓歷時圖，由各圖比較很明顯可發現 CH7(+0m)和 CH8(-2m)即在平均水位下二個壓力計所量測到的波壓訊號有攝動現象，在水深較深之 CH9(-4m)其攝動現象較不明顯，此現象即說明地震引起的沉箱振動對平均水位附近之波壓影響較大，而對水深較深其影響性較小。

圖 5.13 中(a)為沉箱振動加速度頻譜，而(b)圖表示各壓力計之波壓頻譜。由各圖之(a)和圖(b)比較可看出波壓頻譜之頻率分佈皆在 0.5Hz 以下，而沉箱振動加速度頻譜之能量分佈皆大於 1.0 Hz 以上，三場

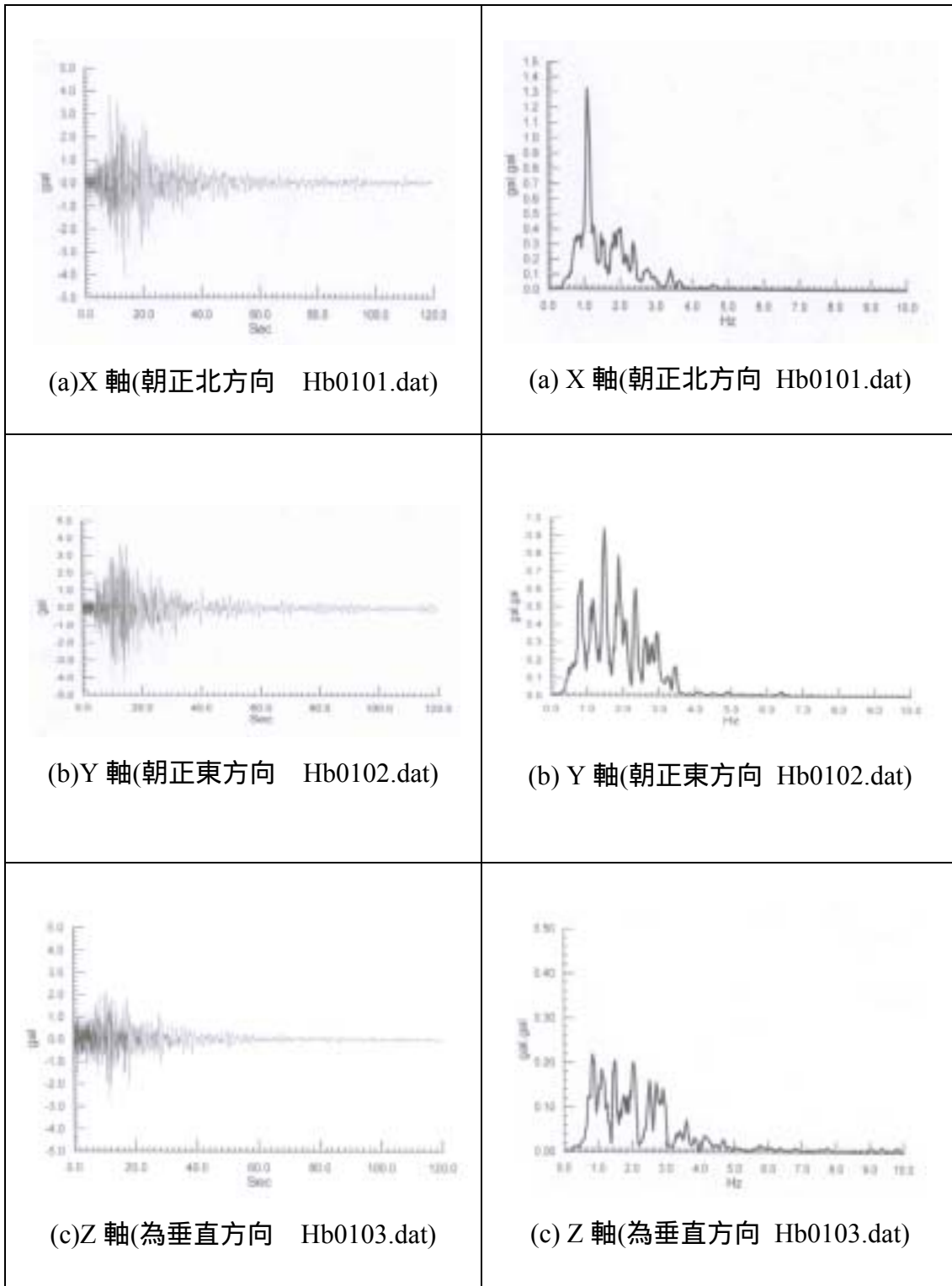
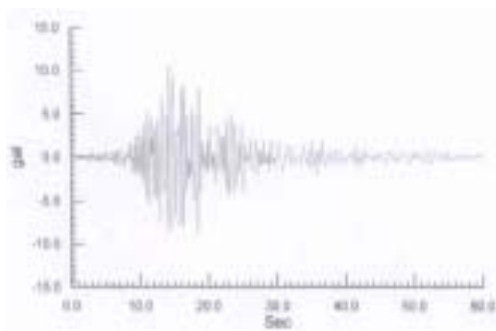
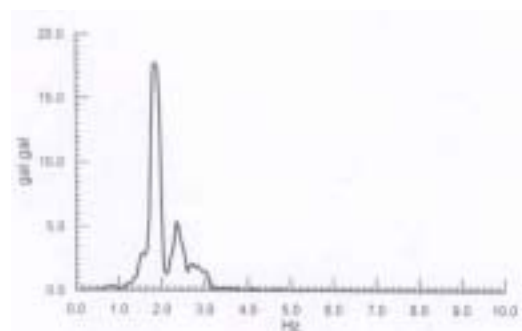


圖 5.5 陸上觀測站三軸向地震加速度之歷時圖
(20 0 2.0 4.0 4)

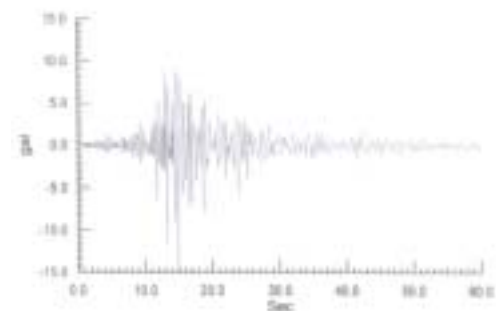
圖 5.6 陸上觀測站三軸向地震加速度之頻譜圖
(20 0 2.0 4.0 4)



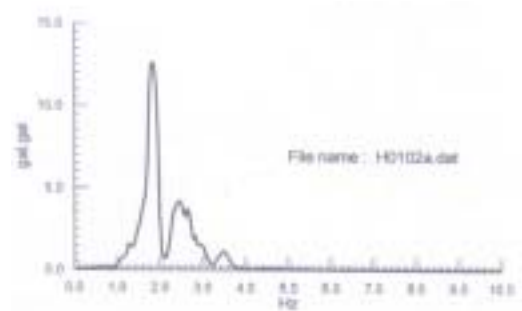
(a)X 軸(朝正北方向 H0101.dat)



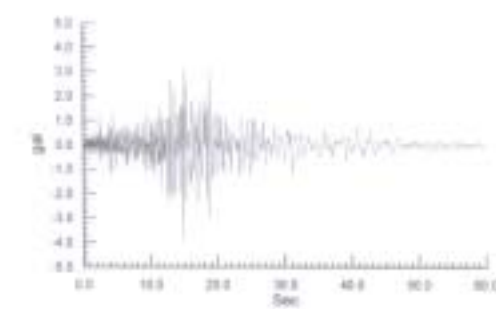
(a)X 軸(朝正北方向 H0101.dat)



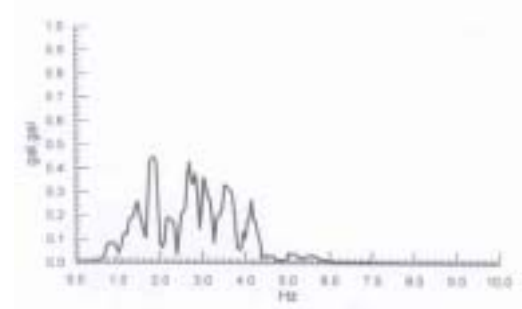
(b)Y 軸(朝正東方向 H0102.dat)



(b)Y 軸(朝正東方向 H0102.dat)



(c)Z 軸(為垂直方向 H0103.dat)



(c)Z 軸(為垂直方向 H0103.dat)

圖 5.7 沉箱觀測站三軸向地震加
速度之歷時圖
(20 0 2.0 4.0 4)

圖 5.8 沉箱觀測站三軸向地震加
速度之頻譜圖
(20 0 2.0 4.0 4)

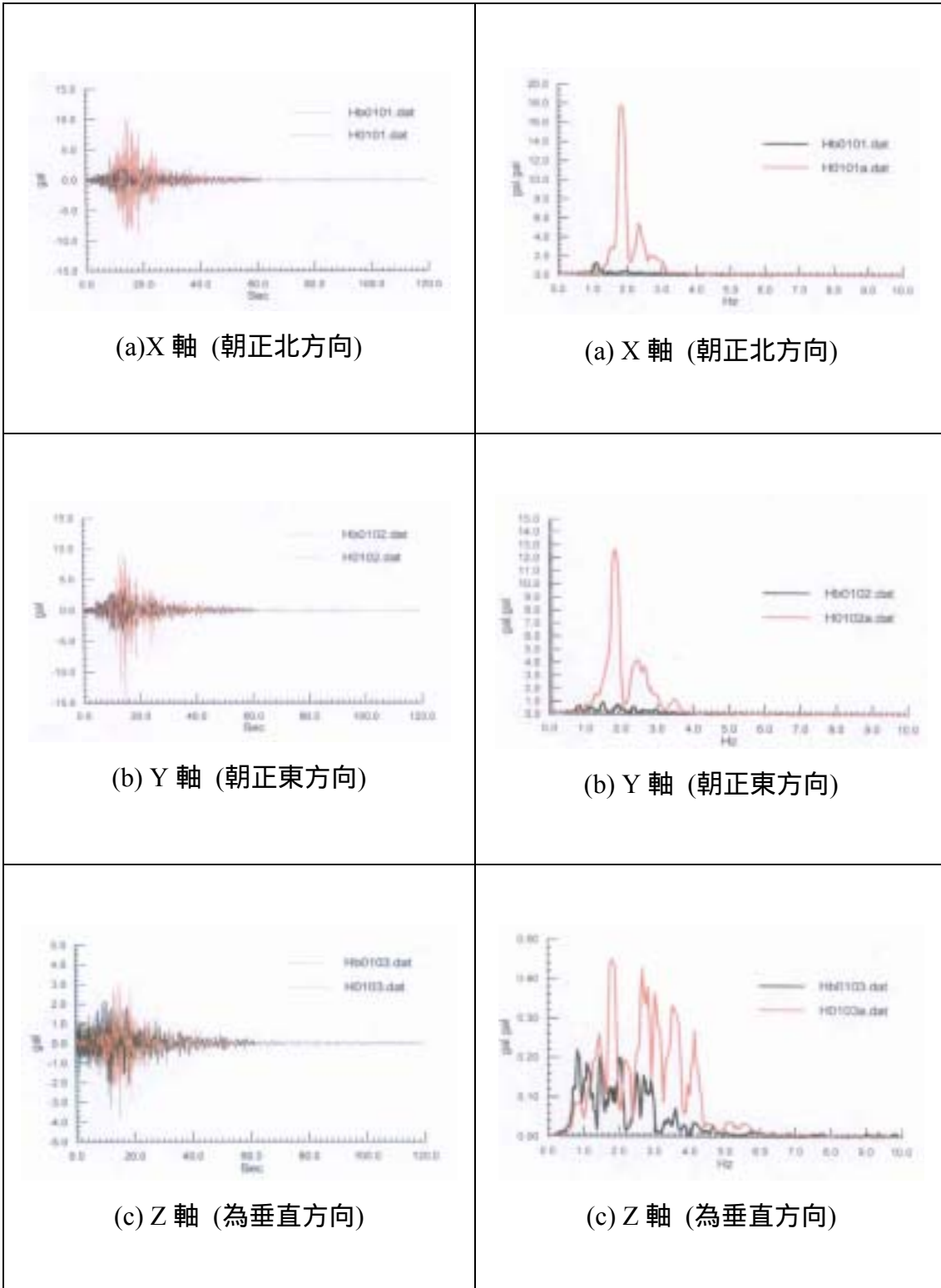


圖 5.9 陸上及沉箱觀測站三軸向地震加速度之歷時圖比較 (20 0 2.0 4.0 4)

圖 5.10 陸上及沉箱觀測站三軸向地震加速度之頻譜圖比較 (20 0 2.0 4.0 4)

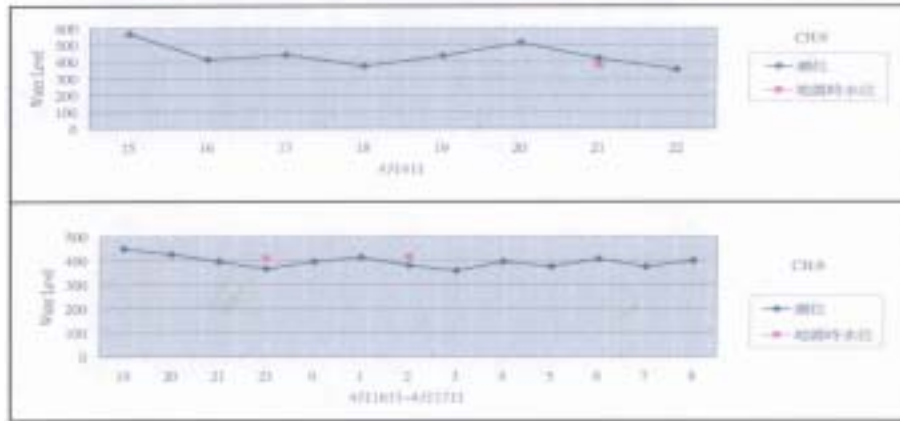
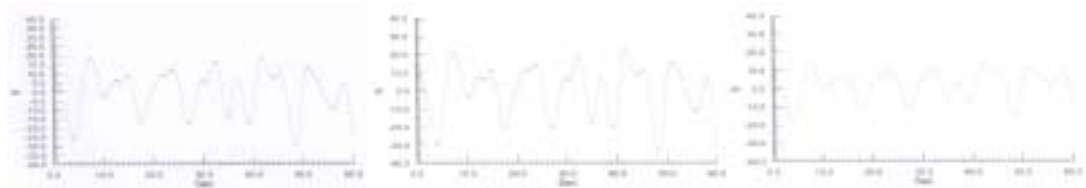
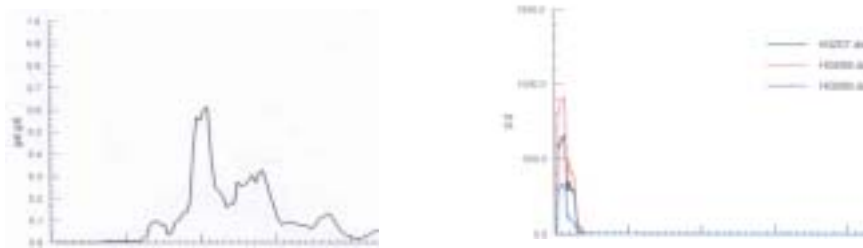


圖 5.11 花蓮港潮位與地震時潮位歷時圖



(a)CH7 胸牆+0m(H0207.dat) (b)CH8 胸牆-2m (H0208.dat) (c)CH9 胸牆-4m (H0209.dat)

圖 5.12 沉箱壁面上不同深度實測波壓歷時圖



(a)沉箱振動加速度頻譜圖 (X 軸) (b)三支波高計波壓頻譜圖(小於 1.0Hz)

圖 5.13 沉箱振動加速度頻譜圖與波壓頻譜圖

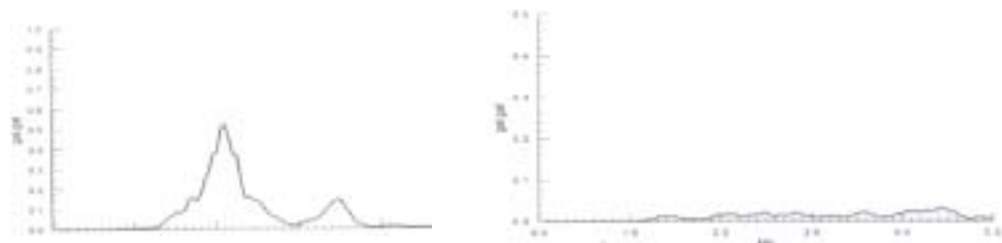
地震所呈現的現象皆一樣，此現象和圖 5.12 之波壓有攝動之特性相近似。

圖 5.14(b)(c)(d)為沉箱振動加速度頻譜（分別為 X、Y、Z 三方向），圖(a)為在不同水深三支波壓計超過 1.0 Hz 以上頻率之各頻譜能量比較圖，其中黑色實線為 CH7，紅色為 CH8，藍色為 CH9，由各圖（X、Y、Z 軸各方向）之振動加速度頻譜和波壓頻譜來比較，無法很明顯看出單一方向的振動對波壓力之高頻振動有特別的影響，尤其在垂直於防波堤方向的雙峰型態振動頻譜，亦無發現有較明顯對波壓高頻有

較大影響的特性，此即可能波壓變動特性係為三個方向振動特性的組合影響，但在水深較深處其影響性就變的很小。



(a) 三支波壓計波壓頻譜圖 (大於 1.0Hz) (b) 沉箱振動加速度頻譜圖 (X 軸)



(c) 沉箱振動加速度頻譜圖 (Y 軸) (d) 沉箱振動加速度頻譜圖 (Z 軸)

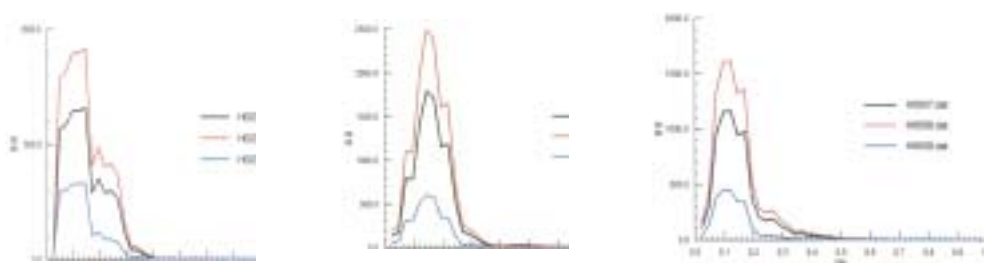
圖 5.14 沉箱振動加速度頻譜圖與波壓(大於 1.0 Hz)頻譜圖

綜合以上討論得知，沉箱振動對波壓力和水位變化的影響性僅在高頻處且可能為三方向振動的組合影響，對在較深處波壓影響較少，使用來作水位計算有較穩定的結果，但 Kuo&Chiu (1994) 的經驗公式亦能有效反應受振的攝動特性。

3.防波堤受力特性分析

圖 5.15 分別表示三場不同地震所引起沉箱式防波堤直立壁面上不同水深的實測波壓頻譜。其中黑色線為波壓計安裝於平均水位線 0 公尺附近，紅色線為平均水位下-2 公尺，藍色線為平均水位下-4 公尺的量測結果。由以上各圖可明顯發現，各場地地震時之壁面受力皆以平均水位下-2 公尺所量測到的波壓力最大。其次為平均水位線附近，最小者為平均水位下-4 公尺處，此現象與一般不考慮地震力時之理論值的波壓力分佈方式不同，亦即顯示在地震時其波壓力在平均水位線附近

會有壓力增大之現象出現，但其影響區域並非全斷面，而是侷限在局部區域，以平均水位線附近波壓影響較明顯。



(a) 2002.04.04

(b) 2002.04.16

(c) 2002.04.17

圖 5.15 沉箱壁面上不同深度波壓頻譜圖(小於 1.0 Hz)

圖 5.16 分別表示三場地震之波壓主頻與不同水深(CH7、CH8、CH9)下各時段之波浪週期(T_{max})統計值之比較圖，各圖中紅色線為各時段週期平均值，黑色線為各時段之週期統計值，黃色點為地震時壓力頻譜之主頻(f_{p1})，而藍色點為頻譜之第二主頻(f_{p2})。由各圖中發現在不同地震時，在平均水位附近波壓頻譜常出現有雙峰現象，亦即波壓能量有因地震而將能量往高頻移動，但其主要能量尚與波浪之主週期相近。而在圖 5.16(c)中，即在較深處其波壓頻譜呈現單峰，而其主頻與波浪主週期相近具有統計相關性，此亦反映出地震引起的高頻振動頻率與振動加速度大小對影響沉箱受力的深度有相關，如地震震度較小時對水深較大處之波壓力影響性較小。

圖 5.17 各圖分別表示不同水深處(CH7、CH8、CH9)無因次波壓值(P_{mean} 、 $P_{1/3}$ 、 $P_{1/10}$ 、 P_{max})之理論值、實測值與地震時量測結果比較圖。由於地震時僅量測 60 秒的資料，波數過少較不具統計特性，因此僅討論最大波壓(P_{max})之意義，由各圖中明白表示在地震時平均水位附近之最大波壓有突增之現象，而愈往水深較深處其波壓力之改變量較小，理論值、實測值與地震時之波壓無因次量測值三者較為相近。

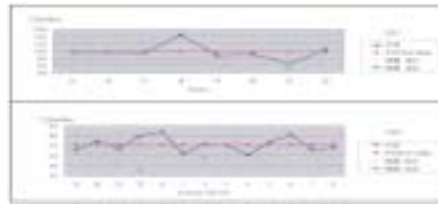


圖 5.16(a) 波壓主頻與 CH7 及 Tmax 之比較圖

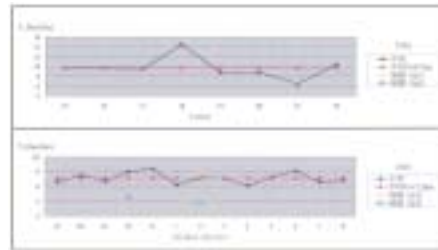


圖 5.16(b) 波壓主頻與 CH8 及 Tmax 之比較圖

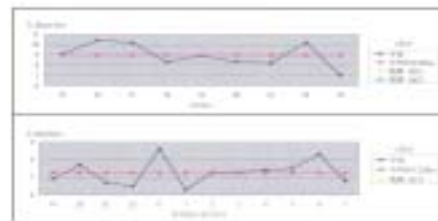


圖 5.16(c) 波壓主頻與 CH9 及 Tmax 之比較圖

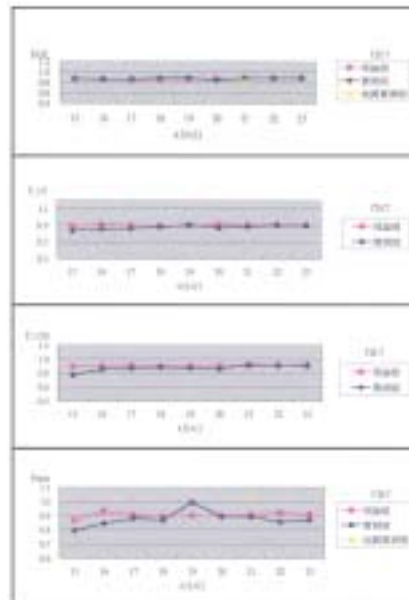


圖 5.17(a) CH無因次波壓(P_{mean} $P_{1/3}$ $P_{1/10}$ P_{max})之比較圖
(2.0 0.2 0.4 4.0)

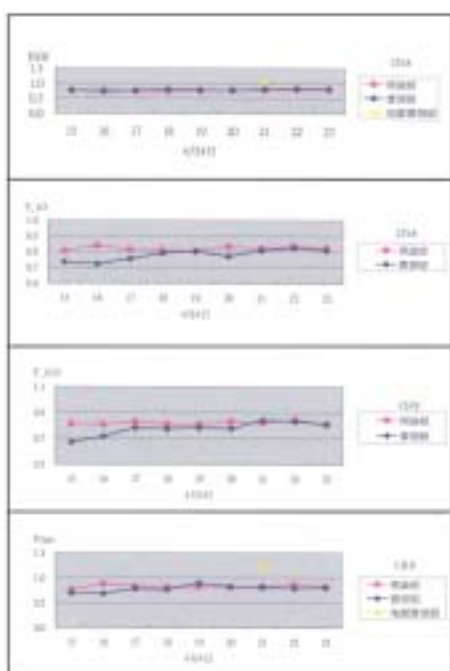


圖 5.17(b) CH無因次波壓
(P_{mean} $P_{1/3}$ $P_{1/10}$ P_{max})之比較圖
(20 0 2.0 4.0 4)

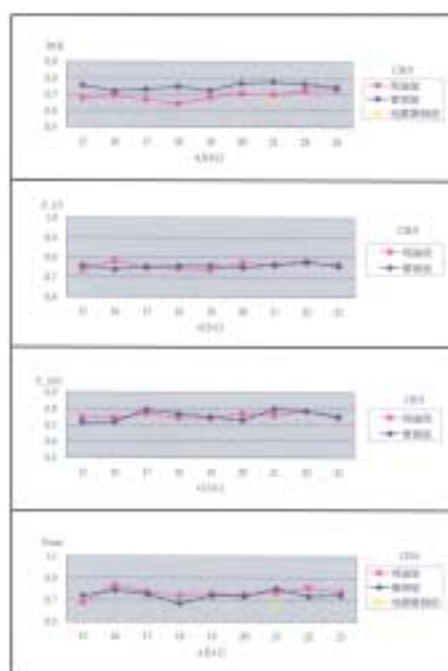


圖 5.17(c) CH無因次波壓
(P_{mean} $P_{1/3}$ $P_{1/10}$ P_{max})之比較圖
(20 0 2.0 4.0 4)

綜合以上討論可得知，在地震時所引致的波壓變化以平均水位下某局部區域波壓力增大現象較明顯。同時在平均水位附近，能譜主頻有向高頻移動且突增之現象。

5.2 防波堤現場調查分析

5.2.1 防波堤堤腳與堤址之調查

外廓防波堤堤腳與堤址之調查工作於每年颱風季節過後的十月份進行，其係由潛水人員依沉箱編號順序，以錄影和觀看方式進行，發現有沖蝕時再量測其破壞範圍，再由研究人員複查並記錄之，相關紀錄資料並提供港務單位作為防波堤維護之參考。本年度蘇澳港調查範圍為南外防波堤，相關結果如表 5.2 所示；而花蓮港調查範圍為新東堤 1837m、新東堤堤頭 300m，相關結果如表 5.3 所示。

表 5.2 蘇澳港南外防波堤堤腳與堤址調查說明表

沉箱編號	調查狀況說明	備註
# 1	亂拋堆置大型消波塊、大石塊散佈。	
# 2	亂拋堆置大型消波塊、大石塊散佈。	
# 3	亂拋堆置大型消波塊、大石塊散佈。	
# 4	亂拋堆置大型消波塊、大石塊散佈。	
# 5	亂拋堆置大型消波塊、大石塊散佈。	
# 6	亂拋堆置大型消波塊、大石塊散佈。	
# 7	亂拋堆置大型消波塊、大石塊散佈。	
# 8	大型消波塊、施工廢棄物。	
# 9	大型消波塊、施工廢棄物。	
# 10	大型消波塊、水泥灌漿。	
# 11	施工廢棄物、破損方塊、石塊堆積於護基方塊上。	
# 12	施工廢棄物、破損方塊、石塊堆積於護基方塊上。	
# 13	沉箱縫隙水泥堆包、施工廢棄物、石塊堆積於護基方塊上。	
# 14	廢棄沉箱、施工廢棄物。	已修復沉箱
# 15	消波塊、石塊堆積。	
# 16	施工廢棄物、石塊堆積於護基方塊上。	
# 17	水泥灌漿、石塊堆積、灌漿於護基方塊上。	
# 18	石塊堆積、施工廢棄物、廢棄沉箱。	
# 19	破損沉箱、雜亂施工廢棄物。	已修復沉箱
# 20	施工廢棄物、石塊堆積於護基方塊上、破損沉箱。	
# 21	沙包堆積、石塊堆積、廢棄沉箱。	
# 22	廢棄沉箱、石塊堆積、施工廢棄物、鋼板樁。	

表 5.2(續) 蘇澳港南外防波堤堤腳與堤址調查說明表

# 23	施工廢棄物、石塊堆積、沙包、護基方塊。	已修復沉箱
# 24	石塊堆積、沙包、水泥灌漿。	
# 25	石塊堆積、消波塊、施工廢棄物。	
# 26	石塊堆積、消波塊、施工廢棄物、石塊堆積於護基方塊上。	
# 27	廢棄沉箱、水泥灌漿。	已修復沉箱
# 28	施工廢棄物、石塊堆積於護基方塊上。	
# 29	廢棄沉箱、石塊堆積於護基方塊上。	
# 30	廢棄沉箱、鋼筋外露、大石塊堆積。	鋼筋部份外露
# 31	廢棄沉箱、施工廢棄物。	
# 32	施工廢棄物、水泥灌漿、廢棄沉箱。	
# 33	廢棄沉箱、施工廢棄物、石塊堆積、水泥灌漿。	
# 34	施工廢棄物、石塊堆積於護基方塊上。	
# 35	水泥灌漿、施工廢棄物。	
# 36	石塊堆積於護基方塊上、護基方塊外消波塊。	
# 37	石塊堆積於護基方塊上。	
# 38	石塊堆積於護基方塊上。	
# 39	石塊堆積於護基方塊上、護基方塊排列明顯。	
內 # 39	石塊堆積於護基方塊上、護基方塊排列明顯。	港口轉角
內 # 38	石塊堆積於護基方塊上、大石塊堆積。	

表 5.3 花蓮港東防波堤堤腳與堤址調查說明表

沉箱編號	調查狀況說明	備註
# 1	護基方塊位移、大石塊散佈。	
# 2	護基方塊位移分離、約有 1M、大石塊散佈。	
# 3	護基方塊位移分離、約有 1M。	
# 4	護基方塊位移。	
# 5	護基方塊位移分離、約有 0.8M。	
# 6	護基方塊位移分離、約有 1.4M。	
# 7	護基方塊位移分離、約有 1M、沉箱底部部份破損。	沉箱底部部份破損
# 8	護基方塊位移分離、約有 0.7M。	
# 9	護基方塊位移分離、傾斜約有 1M。	
# 10	護基方塊位移分離、沉箱底部部份破損、大石塊堆積於護基方塊上。	沉箱底部部份破損
# 11	無異狀。	
# 12	無異狀。	
# 13	無異狀。	
# 14	護基方塊位移分離、約有 0.6M。	
# 15	護基方塊位移。	
# 16	護基方塊位移、高低約有 0.9M、沉箱底部部份破損。	沉箱底部部份破損
# 17	無異狀。	東堤轉彎處
# 18	大石塊堆積於護基方塊上、高低約有 0.8M。	

表 5.3(續) 花蓮港東防波堤堤腳與堤址調查說明表

# 19	無異狀。	
# 20	無異狀。	
# 21	大石塊堆積於護基方塊上。	
# 22	大石塊堆積於護基方塊上。	
# 23	大石塊堆積於護基方塊上 施工廢棄鋼架。	
# 24	大石塊堆積於護基方塊上。	
# 25	大石塊堆積於護基方塊上。	
# 26	無異狀。	
# 27	石塊堆積於護基方塊上、護基方塊位移。	
# 28	無異狀。	
# 30	護基方塊位移 大石塊堆積於護基方塊上。	
# 31	石塊堆積於護基方塊上。	
# 32	護基方塊位移 大石塊堆積於護基方塊上。	
# 33	護基方塊位移、較為雜亂。	
# 34	石塊堆積於護基方塊上、護基方塊位移。	
# 35	護基方塊位移、沉箱底部部份破損。	沉箱底部部份破損
# 36	護基方塊位移 大石塊堆積於護基方塊上。	
# 37	大石塊堆積於護基方塊上。	
# 38	大石塊堆積於護基方塊上。	
# 39	大石塊堆積於護基方塊上。	
# 40	大石塊堆積於護基方塊上。	
# 41	無異狀。	

表 5.3(續) 花蓮港東防波堤堤腳與堤址調查說明表

# 42	無異狀。	
# 43	大石塊堆積於護基方塊上。	
# 44	大石塊堆積於護基方塊上。	
# 45	大石塊堆積於護基方塊上。	
# 46	大石塊堆積於護基方塊上。	
# 47	大石塊堆積於護基方塊上。	
# 48	無異狀。	
# 49	大石塊堆積於護基方塊上。	
# 50	大石塊堆積於護基方塊上、施工廢棄物。	
# 51	大石塊堆積於護基方塊上、施工廢棄物。	
# 52	無異狀。	
# 53	大石塊堆積於護基方塊上。	
# 54	大石塊堆積於護基方塊上。	
# 55	石塊堆積於護基方塊上。	
# 56	無異狀。	
# 57	護基方塊位移。	
# 58	大石塊一堆堆積於護基方塊上。	
# 59	大石塊一堆堆積於護基方塊上。	
# 60	無異狀。	
# 61	無異狀。	
# 62	部份大石塊堆積於護基方塊上。	
# 63	部份大石塊堆積於護基方塊上。	
# 64	大石塊一堆堆積於護基方塊上。	

表 5.3(續) 花蓮港東防波堤堤腳與堤址調查說明表

# 65	無異狀。	
# 66	無異狀。	
# 67	無異狀。	
# 68	護基方塊位移凌亂。	
# 69	無異狀。	
# 70	無異狀。	
# 71	無異狀。	
# 72	無異狀。	
# 73	無異狀。	
堤頭	無異狀。	
內堤頭	無異狀。	港口轉角
內 # 73	部份石塊堆積於護基方塊上。	
內 # 72	部份石塊堆積於護基方塊上。	
內 # 71	鋼筋等施工廢棄物、大石塊堆積於護基方塊上。	
內 # 70	鋼筋等施工廢棄物、大石塊堆積於護基方塊上。	
內 # 69	鋼筋等施工廢棄物、大石塊堆積於護基方塊上。	
內 # 68	大石塊堆積於護基方塊上。	
內 # 67	大石塊堆積於護基方塊上。	
內 # 66	施工廢棄物、石塊堆積於護基方塊上。	

5.2.2 防波堤堤體異位之調查

本項工作主要是以現場水準測量方式量測沉箱高程、法線位置，配合 GPS 衛星定位系統擷取座標位置，做為每一年比對沉箱是否有下陷或傾斜依據，並進一步比較沉箱間之相對位移量，再利用 GIS 或 AUTOCAD 地理繪圖系統繪製變化圖，以分析沉箱高程、法線位置變化情況。測量範圍蘇澳港仍為南外防波堤，而花蓮港亦是新東堤 1837m、新東堤堤頭 300m。

為明確比較沉箱變位起見，以東南西北等方位於每一沉箱面設定四個位置點，作為歷年調查資料比較之控制點，圖 5.18 與圖 5.19 各為蘇澳及花蓮港沉箱測量控制點之示意圖。

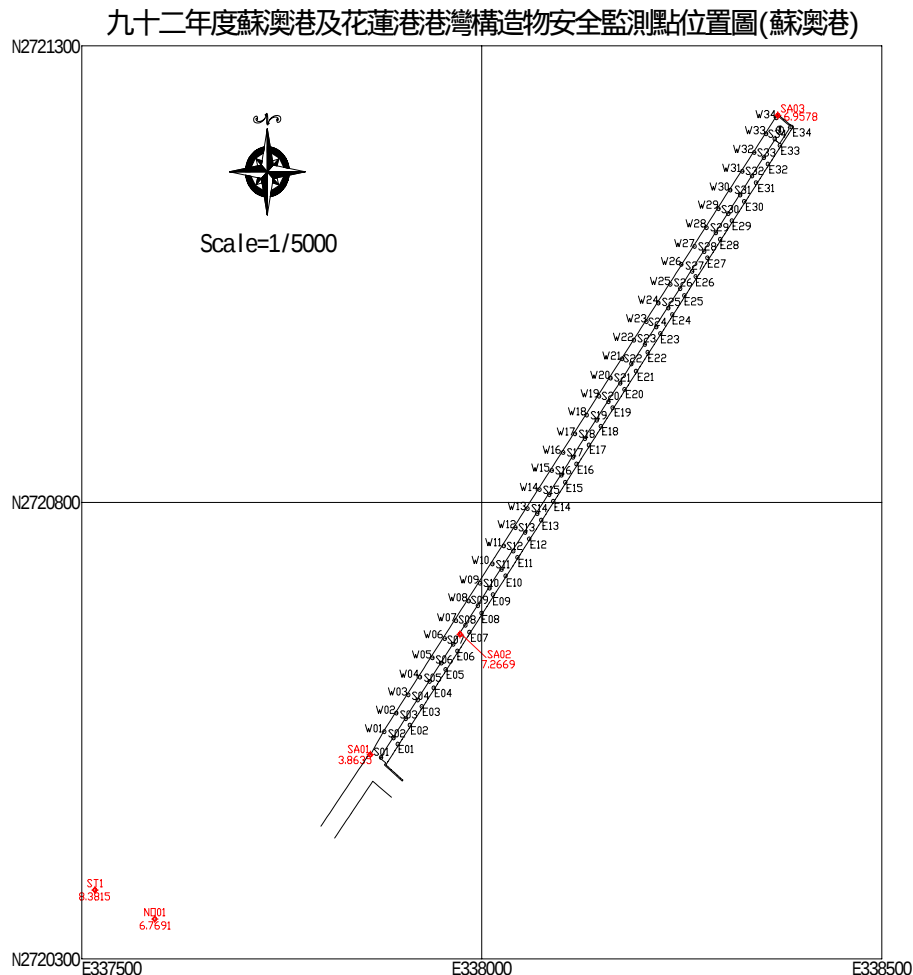


圖 5.18 蘇澳港南外防波堤沉箱控制點測量範示意圖

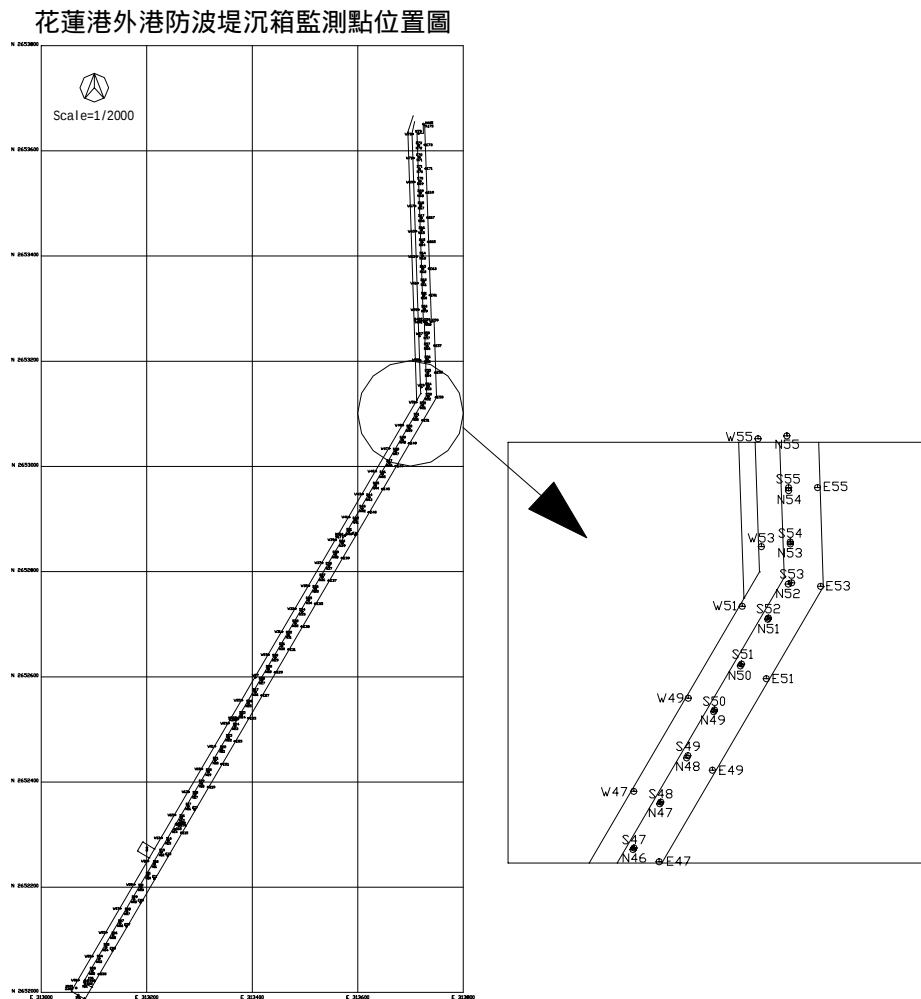


圖 5.19 花蓮港沉箱控制點測量範示意圖

圖 20 至圖 22 為蘇澳港南外堤沉箱各測點於 91~93 年之高程變化比較，圖中曲線有鋸齒狀之凹陷係控制點設置於胸牆上或於沉箱路面的區別，比較上應以各點歷年之對應為準，較詳細之變化數據可參考本所港研中心之測量報告；圖 23 至圖 26 則是花蓮港防波堤沉箱各測點於 89~93 年之高程變化比較。由各圖之比較結果顯示，蘇澳港南外堤#20 至#24 沉箱部分測點約有 20 公分之高程變化，主要係因沉箱路面或胸牆頂部被風浪破壞所致，而其餘沉箱各測點之高程位移差量約為 1 公分以下，整體而言並無明顯變化或差異，；而花蓮港外廓防波堤於本年度亦呈現穩定狀態，其沉箱各測點之高程差量，也無明顯變化或異位。

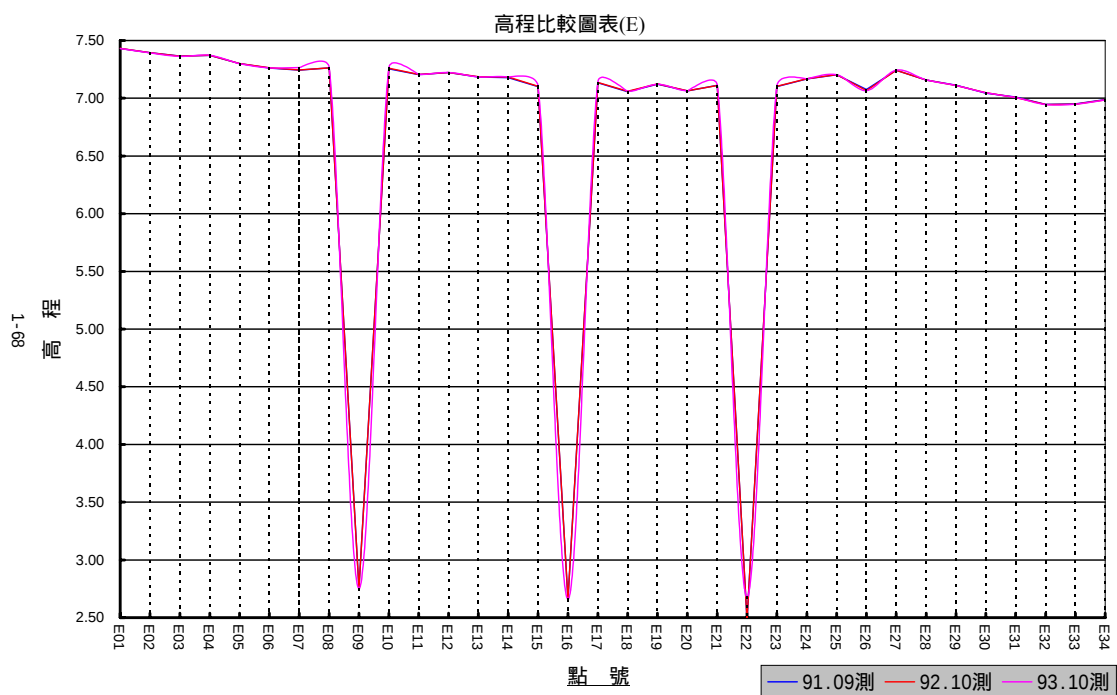


圖 5.20 蘇澳港南外堤高程測量各 E 點之歷年逐次比較圖

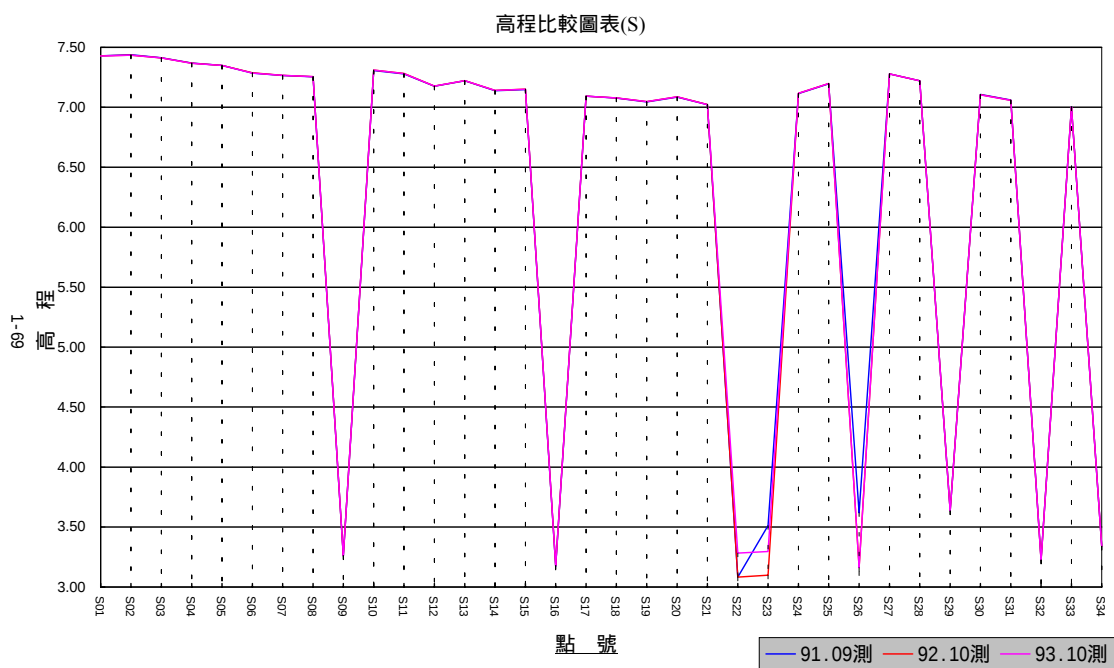


圖 5.21 蘇澳港南外堤高程測量各 S 點之歷年逐次比較圖

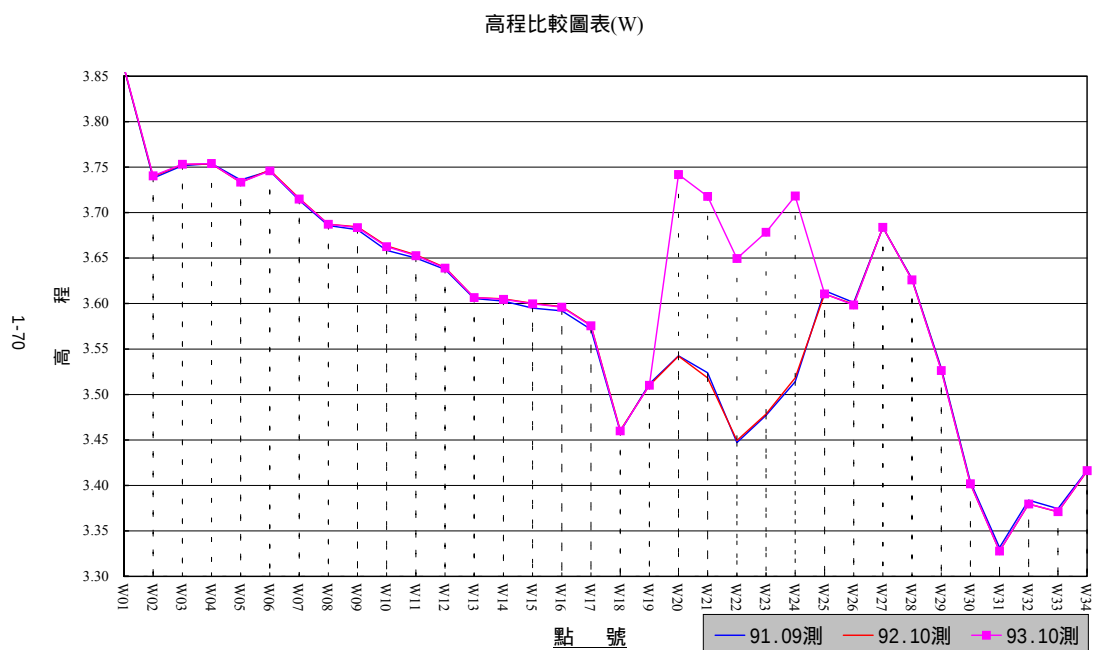


圖 5.22 蘇澳港南外堤高程測量各 W 點之歷年逐次比較圖



圖 5.23 花蓮港東堤高程測量各 E 點之歷年逐次比較圖

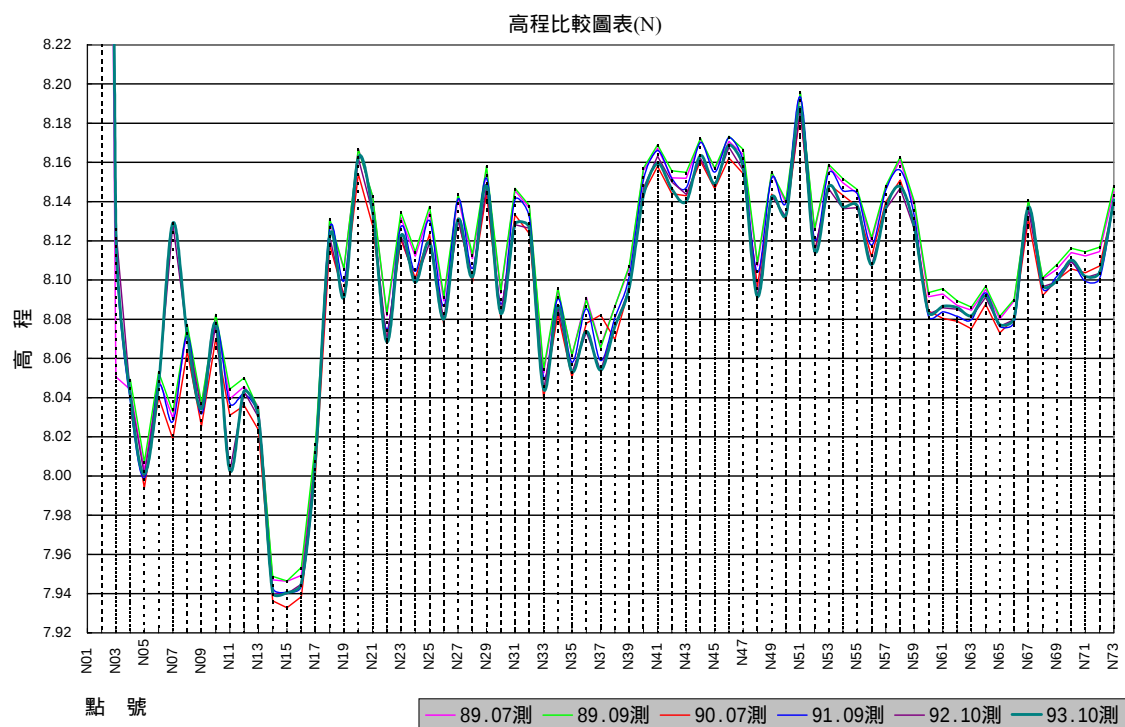


圖 5.24 花蓮港東堤高程測量各 N 點之歷年逐次比較圖

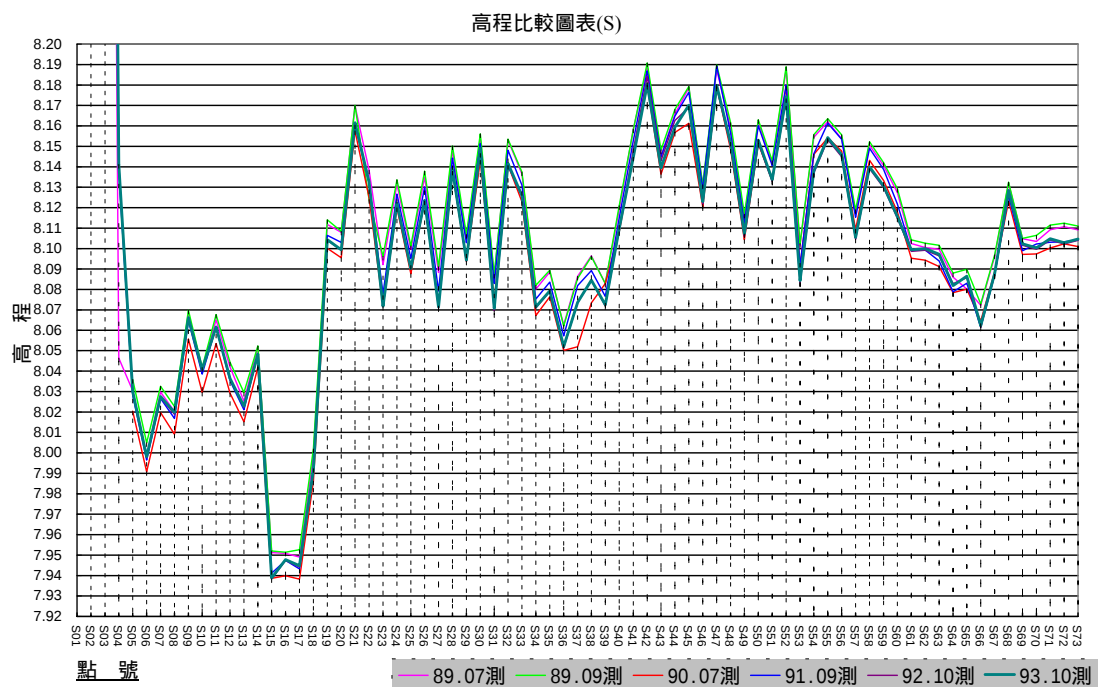


圖 5.25 花蓮港東堤高程測量各 S 點之歷年逐次比較圖



圖 5.26 花蓮港東堤高程測量各 W 點之歷年逐次比較圖

第六章 結論與建議

本研究以臺灣東部花蓮與蘇澳兩港域為主要範圍，經由颱風波浪推算模式之建立，以及進行兩港外廓防波堤之安全監測及分析，合構而成為提供港灣構造物安全之參考依據。其中，利用觀測站的波浪資料、颱風氣象資料及類神經網路模式的架構，經過簡單的模式建構過程而建立之颱風波浪推算模式，可以滿足本區海域之波浪推算與預警防災功能，並且透過開發完成之視窗化模式系統，可獲得即時性的波浪資訊。而考慮地震影響因素之防波堤受力分析及堤體、堤址的現場調查結果亦可提供港務單位適時地瞭解與維護參考。綜合前章節之論述，可得數點結論如下：

1. 以能量平衡方程式為理論基礎與應用參數形式的颱風模式，經由類神經網路轉換函數建構而成為本研究之颱風波浪推算模式，模式又依陸地對颱風風場之影響或區分颱風風向關係，分別建立三種推算模式以作為比較驗證。經由推算結果得知，三種颱風波浪推算模式皆可以有效且穩定的計算出推算區域內颱風波浪的行為，其中尤以考量陸地影響與區分風向關係之 Model 3 更能準確推算颱風波浪資料。
2. 由於類神經網路具有自我學習之模擬與調校功能，因此本颱風波浪推算模式可擴展應用於鄰近缺乏波浪資料的地區，以補遺資料之不足；同時利用模式快速計算的能力，推算模式亦可預先或同時推算即時性之波浪資料。
3. 為符合推算模式能即時利用與操作簡便之要求，本研究已開發完成一套視窗化操作系統，以考量使用者之便利性、縮短操作時間及提供未來自動化環境可行性為原則，應用圖形化介面，藉由發生颱風之資訊與現場波浪觀測的即時資料，連結颱風波浪推算模式，即時取得波浪推算結果，達到預警效果與提供應變措施之參考。

4. 依據防波堤受力的分析結果顯示，地震發生時之水位會有壅上或下降之可能性，其水位偏差量約 10 公分左右，而地震引致的沉箱振動，由於在平均水位附近波壓訊號會有攝動現象，因此對平均水位附近之波壓影響較大，對水深較深處之波壓影響則減小。另外，沉箱振動對波壓力和水位變化的影響性僅在高頻處，且可能為三方向振動特性的組合影響，但對水深較深處影響性較少，即非線性量在水深較接近平均水位附近有明顯的變化量。而沉箱受波浪作用及地震兩者之影響，沉箱之振動頻率較陸上者偏向高頻，且垂直向振動能量亦較大。
5. 依據防波堤堤址調查與堤體高程測量的結果顯示，花蓮與蘇澳港部分防波堤堤址局部之護基塊石有崩塌或流失情況，且沉箱底部亦有部分破損；而本年度兩港之沉箱堤面各測點之高程位移差量，並無明顯變化或差異。

參考文獻

1. 張憲國、錢維安 (2004) 「臺灣港灣地區颱風波浪推算之應用研究(三)」, 交通部運輸研究所研究報告, MOTC-IOT-93-H2DB003。
2. 何良勝、林受勳 (2003) 「臺灣地區港灣波浪推算與構造物安全監測研究(1/3)」, 交通部運輸研究所研究報告, MOTC-IOT-91-HA11。
3. 林炤圭、郭一羽 (2003) 「花蓮港直立式防波堤受力特性分析」, 交通部運輸研究所研究報告, MOTC-IOT-92-H2BA04(1)。
4. 邱永芳、郭一羽、唐世澤 (1997) 「使用水下波壓訊號推算水位變化」, 港灣技術第二十卷, pp.1-22。
5. 邱永芳、何良勝 (1997) 「蘇澳港防波堤改善工程規劃-防波堤受力之現場觀測與分析」, 港灣技術研究中心專刊第 139 號。
6. Crandell, J. H., (1998) "Statistical assessment of construction characteristics and performance of homes in Hurricanes Andrew and Opal," Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 77, pp. 695-701.
7. Eberhart, R. C., and Dobbins, R. W. (1990) Neural Network PC Tools – A Practical Guide, Academic Press, Ins., pp. 10-250.
8. Graber, H.R. and I. M. Madsen (1988) "A finite-depth end-wave model, Part I: Model description," Journal of Physical Oceanography, Vol. 18, pp. 1465-1483.
9. Lippman, R. P. (1987) "An Introduction to Computing With Neural Nets," IEEE ASSP Magazine, Vol.4, pp.14-24.
10. SWAMP Group (24 Authors) (1985) Ocean wave modeling, Plenum Press, New York, 256 pp.

11. Tolman, H. L. (1997) User manual and system documentation of WAVEWATCH-3, version 1.15, NOAA / NWS /NCEP / OMB Technical Note 151, 97pp.
12. WAMDI group The WAM model (1988) "A third generation ocean wave prediction model, " Journal of Physical Oceanography, Vol. 18, pp. 1775-7810.
13. Young, I.R. and G.P. Burchell (1996) "Hurricane generated waves as observed by satellite, " Ocean Engineering, Vol. 23, pp. 761-776.
14. Young, I.R. and G.P. Van Vledder (1993) "A review of the central role of nonlinear interactions in windwave evolution," Philosophical Transactions of the Royal Society London, seriesA, Vol. 342, pp. 505-524.

錄附一

「臺灣地區港灣波浪推算與構造物安全監測研究(3/3)」 九十三年度科技計畫期末審查會審查意見答覆及辦理情形

審查委員及審查意見	答覆及辦理情形
梁乃匡： 已按預定工作項目完成，有參考價值。 林銘崇教授： 1. 本計畫中颱風波浪推算模式係以類神經網路方法建構，立意良好，並獲致合理結果。 2. 波浪周期之推算是否採用與波高相同之轉換函數？如採相同，是否合理？。 建國科技大學莊甲子教授： 1. 二維波譜能量 恆方程式中總和能量各分項如 S_{in}，S_{ul} 等之之計算表示式宜加列式說明清楚。 2. 各推算結果比較圖中橫軸為 Time(小時)標示，建議改用月 / 日 / 時標示較能明確看出理論計算與實測結果比較的時間差異性。 3. 部份推估與實測結果(如圖 3.33 內所示)具時間差異性值得再加探討其原因。 4. 三種颱風波浪推算模式 (Model 1,2,3)各別應用的物理特性說明(如陸地如何影	感謝肯定。 1. 感謝肯定。 2. 應用類神經網路方式推算波浪時，不論波高或週期皆係由往昔之資料獲取相關推算參數，當波高之表現機制與週期有異時，其週期所採用參數亦會有所不同。 1. 遵照辦理。 2. 於波浪推算模式之驗證比較過程中，時間軸僅係表示過程時間之對應關係。如用在預測發生情況時，為正確表示發生時間之情況，則時間軸即以月/日/時等方式表示(如文內圖 3.29~圖 3.33)。 3. 圖 3.33 係即時預測之結果，最大波高發生值差異不大，性發生時間有預測延後情況，此現象往後當再加強研究探討。 4. 遵照辦理。

錄附二

臺灣地區港灣波浪推算與 構造物安全監測研究(3/ 3) 期末簡報資料

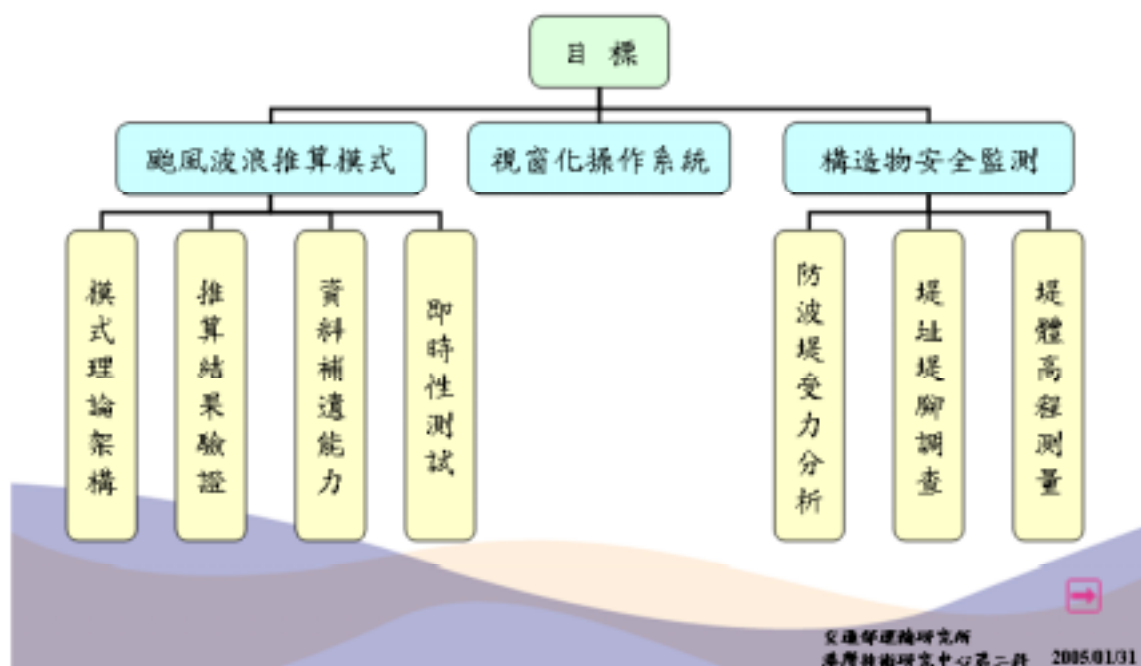
臺灣地區港灣波浪推算與 構造物安全監測研究(3/3)

報告人：何良勝

中華民國九十四年一月三十一日

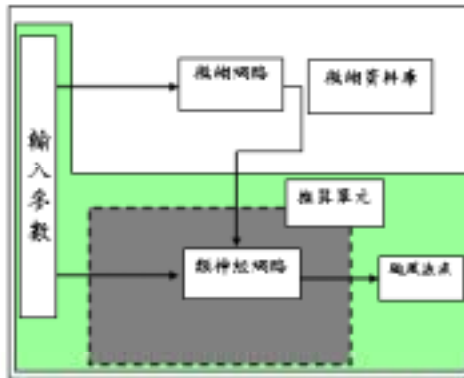
交通部運輸研究所
港灣技術研究中心第二科 2005.01/31

研究內容



颱風波浪推算模式

模式理論架構



颱風波浪推算模式之架構示意圖

$$H_s = f_2(W_{SD,31} \cdot f_1(W_{SD,31}(I_{801})_{w1} + b_{31d1}) + b_{32d1})$$

$$I = [f_{\sigma_{14}}, f_{\sigma}, f_{\sigma_1}, f_{\sigma_{11}}, f_{\sigma_{12}}, f_{\sigma_{13}}, f_{\sigma_{14}}]^T$$

$$f_{\sigma_1}(\overline{\sigma}_{14}) = \frac{2}{(1 + e^{-(2 \cdot \overline{\sigma}_{14})})} - 1 \quad f_{\sigma} = \text{Max}(f_{\sigma_1}, 0.5 f_{\sigma_1}, 0.3 f_{\sigma_1}, 0.2 f_{\sigma_1})$$

$$f_{\sigma_1} = \overline{\sigma}_1, \quad 0 \leq \overline{\sigma}_1 \leq 1 \quad f_{\sigma_1} = \text{Max}\left(e^{\frac{-(\overline{\sigma}_1 - c_1)^2}{2\sigma_1^2}}, e^{\frac{-(\overline{\sigma}_1 - c_2)^2}{2\sigma_1^2}}\right) f_{\sigma}, \quad c_1 > c_2$$

$$= f_{\sigma}, \quad c_1 < c_2$$

Model 1：倒傳遞類神經網路方式

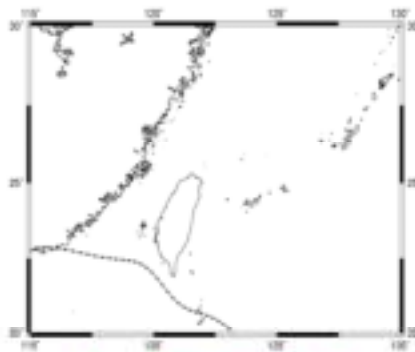
Model 2：增加模糊理論界定陸地影響

Model 3：增加模糊理論考慮風向影響

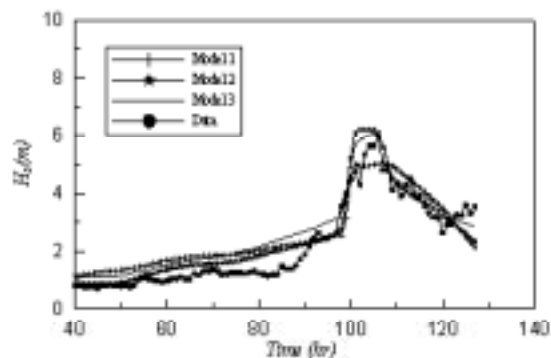
交通部運輸研究所
港灣技術研究中心第二科 2005/01/31

颱風波浪推算模式

推算結果驗證(蘇澳港)



Maggie颱風的移動路徑

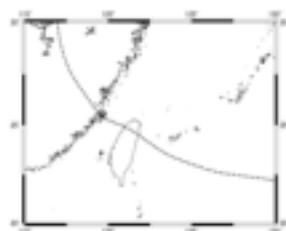


三種推算模式推算蘇澳港Maggie
颱風波高與實測值之比較

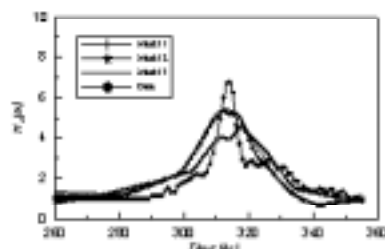
交通部運輸研究所
港灣技術研究中心第二科 2005/01/31

颱風波浪推算模式

推算結果驗證(花蓮港)



Fred颱風移動路徑



三種推算模式推算花蓮港Fred
颱風波高與實測值之比較

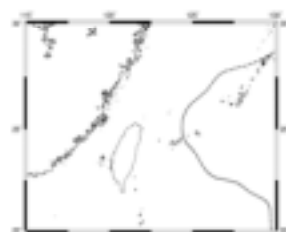
Model 1、Model 2及Model 3推算四場颱風之比較

颱風	Model1				Model2				Model3			
	RMSE (m)	K	ΔH_m (m)	Δt_p (hr)	RMSE (m)	K	ΔH_m (m)	Δt_p (hr)	RMSE (m)	K	ΔH_m (m)	Δt_p (hr)
Tim+*	1.91	0.95	-1.84	8	1.9	0.97	8	0	1.94	0.97	-0.34	8
Paul	0.9	0.88	-2.2	8	0.84	0.9	-1.17	-1	0.5	0.98	-1.27	-1
Eric	0.43	0.95	-1.21	-4	0.34	0.97	0.2	-3	0.87	0.94	-0.2	3
Haiyan	4.39	0.95	-1.39	2	0.31	0.95	-4.2	0	0.34	0.95	0.1	4
Maggie	0.53	0.95	-1.23	2	0.33	0.94	0.3	-3	0.43	0.97	8	8

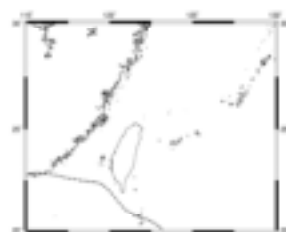
交通部運輸研究所
港灣技術研究中心第二科 2005/01/31

颱風波浪推算模式

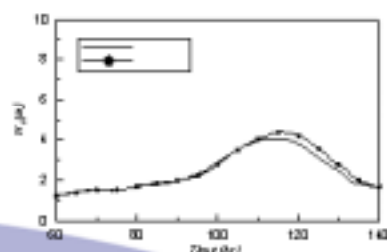
資料補遺能力



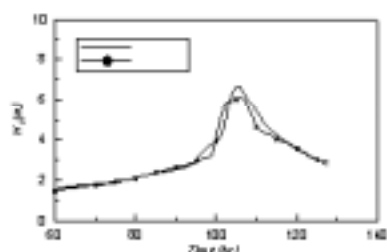
Haiyan颱風的移動路徑



Maggie颱風的移動路徑



花蓮模式推算花蓮及成功
HAIYAN颱風之結果比較

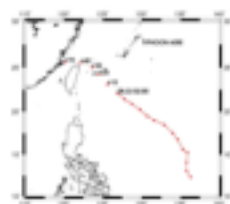


花蓮模式推算蘇澳及成功
MAGGIE颱風之結果比較

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心第二科 2005/01/31

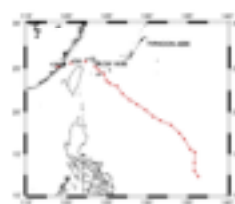
颱風波浪推算模式

即時性測試能力



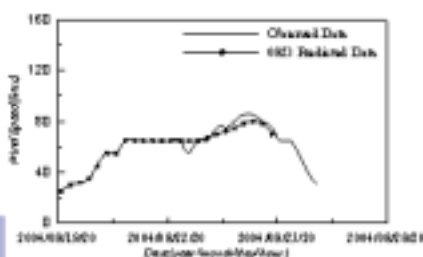
2004/08/23 AM 02:00 預測Aere

颱風未來72小時之颱風路徑



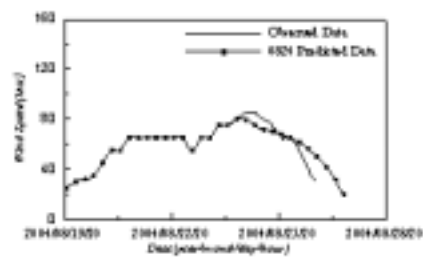
2004/08/24 PM 02:00 預測Aere

颱風未來72小時之颱風路徑



2004/08/23 AM 02:00 預測Aere

颱風未來72小時之颱風風速



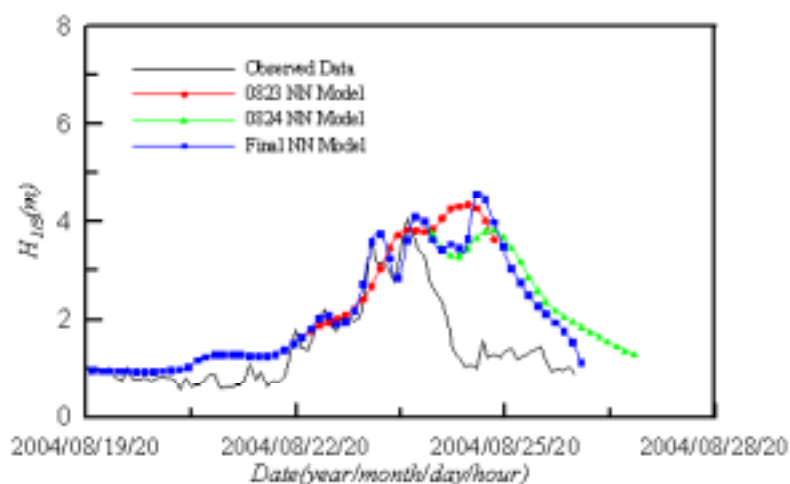
2004/08/24 PM 02:00 預測Aere

颱風未來72小時之颱風風速

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心第二科 2005.01/31

颱風波浪推算模式

即時性測試能力



不同時間點所推估之波高值與實測資料比較

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心第二科 2005.01/31

視窗化操作系統

考慮原則

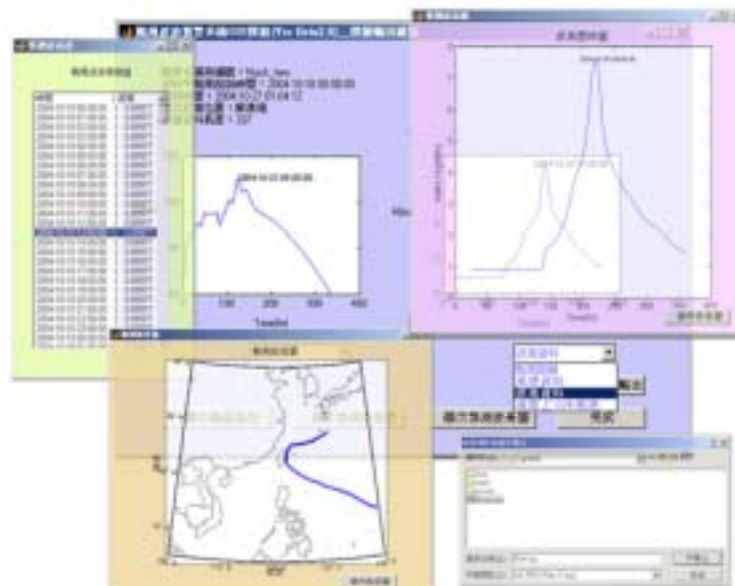
- 擴展使用者族群
- 縮短模式操作時間
- 增加模式親和力
- 提升未來自動化環境可行性

圖形化介面內容

- 主介面視窗
- 輸入視窗
- 輸出視窗
- 颱風路徑圖
- 波高推算圖
- 波高推算表

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心第二科 2005.01/31

視窗化操作系統



視窗化操作系統之輸入、輸出情形

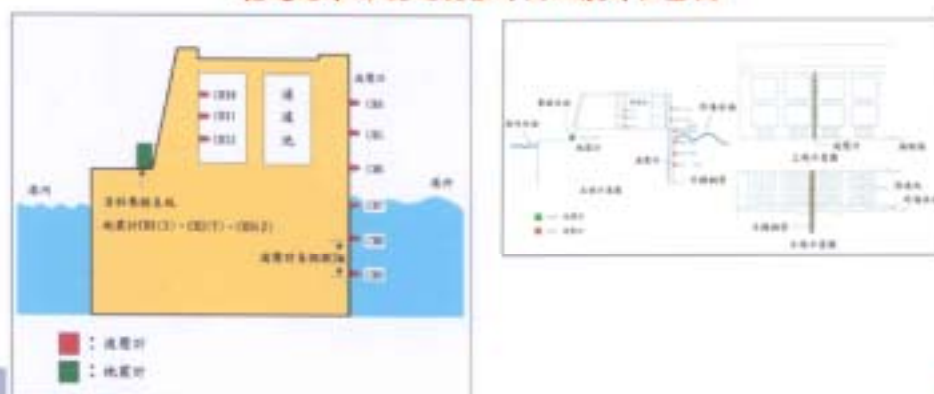
交通部運輸研究所
港灣技術研究中心第二科 2005.01/31

構造物安全監測

防波堤受力分析

- 1996年蘇澳港防波堤損壞過程模擬及影響因素探討

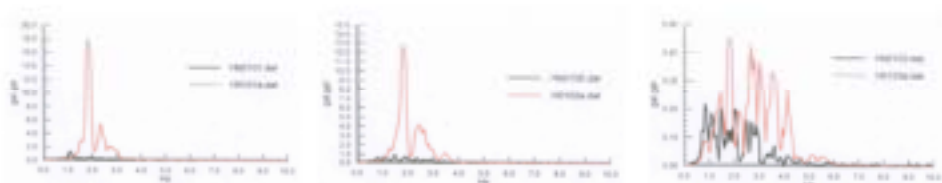
花蓮港東防波堤波壓計與地震計位置圖



交通部運輸研究所
港灣技術研究中心第二科 2005.01/31

構造物安全監測

防波堤受力分析



陸上及沉箱觀測站三軸向地震加速度之頻譜圖比較(2002.04.04)

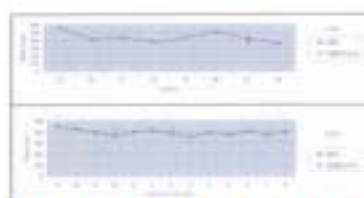
沉箱振動頻率偏向高頻，且垂直方向振動能量較大。

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心第二科 2005.01/31

構造物安全監測

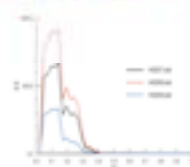
防波堤受力分析

- 地震時潮位變化

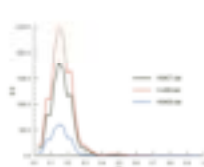


花蓮港潮位與地震時潮位歷時圖

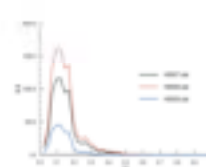
- 地震時液壓變化



(a) 2002.04.04



(b) 2002.04.16



(c) 2002.04.17

沉箱壁面上不同深度波壓頻譜圖(小於1.0Hz)

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心第二科 2005.01/31

構造物安全監測

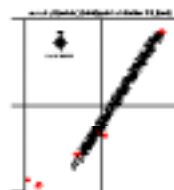
堤址堤腳調查

- 於每年颱風季節過後進行水下錄影、記錄方式

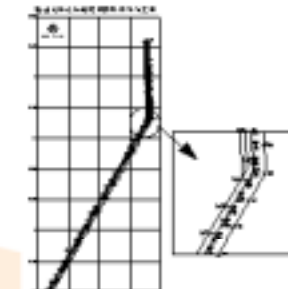
花蓮港東防波堤堤腳與堤址調查說明表

沉箱編號	調查狀況說明	備註
#7	護基方塊位移分離、約有1M、沉箱底部部份破損。	沉箱底部部份破損
#10	護基方塊位移分離、沉箱底部部份破損、大石塊堆積於護基方塊上。	沉箱底部部份破損
#16	護基方塊位移、高低約有0.9M、沉箱底部部份破損。	沉箱底部部份破損
#18	大石塊堆積於護基方塊上、高低約有0.8M。	

蘇澳港南防波堤



花蓮港東防波堤

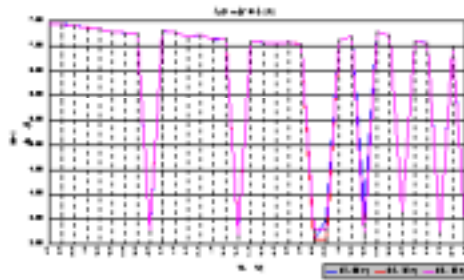


交通部運輸研究所
港灣技術研究中心第二科 2005.01/31

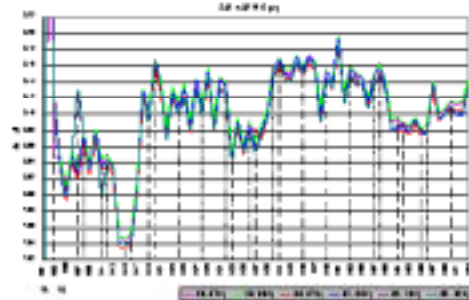
構造物安全監測

堤體高程測量

- 本年度蘇澳、花蓮港之堤體高程位移差異約在公分以下



蘇澳港南外堤高程測量各S點之歷年
逐次比較圖



花蓮港東堤高程測量各N點之歷年逐次
比較圖

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心第二科 2005.01/31

結 論

- 一、由類神經網路轉換函數建構而成之颱風波浪推算模式可以有效且穩定的展現推算區域內颱風波浪的行為。
- 二、視窗化操作系統可藉由發生颱風資訊與波浪觀測資料，即時取得波浪推算結果，達到預警效果與提供應變措施之參考。
- 三、由防波堤受力分析與堤址、堤體調查結果，可提供花蓮與蘇澳港外廓防波堤安全監測之應用參考。

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心第二科 2005.01/31

臺灣地區港灣波浪推算與 構造物安全監測研究(3/3)

報告完畢
敬請指教

