

MOTC-IOT-99-H2EB009

海象即時性資訊檢核及管理機制之建置研究

期末報告



交通部運輸研究所
國立交通大學
合作辦理

中華民國一百年十月

MOTC-IOT-99-H2EB009

海象即時性資訊檢核及管理機制之建置研究

主 持 人：張 憲 國 教授

研究人員：劉 勁 成 博士

研究人員：陳 蔚 瑋 博士

交通部運輸研究所

國立交通大學

合作辦理

中華民國 100 年 10 月

海象即時性資訊檢核及管理機制之建置研究

交通部運輸研究所

ISBN 號碼
及條碼

GPN :
定價 元

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：海象即時性資訊檢核及管理機制之建置研究			
國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號	計畫編號 MOTC-IOT-9 9-H2EB009
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：何良勝 研究人員：林受勳 聯絡電話：04-26587126 傳真號碼：04-26560661	合作研究單位：國立交通大學 計畫主持人：張憲國 研究人員：劉勁成、陳蔚瑋 地址：新竹市大學路 1001 號 聯絡電話：03-5131487		研究期間 自 99 年 9 月 至 100 年 11 月
關鍵詞：資料品質控制、波浪統計、高雄港			
摘要： 本計畫分為四部分進行，第一部份分析港研中心在高雄2009年6月至2011年4月近兩年期間以聲波直接測得水位來分析個別波之特性，並建立示性波之波高與週期間關係。本文推導出各種分布計算前1/3大平均值之公式，以此理論值比對實測值來檢驗配套分布之優劣。由配套個別波之波高機率分布發現Weibull分布較Rayleigh分布更適合。對於示性波週期而言，比較合適之分布為常態分布。個別波之波高與新定義示性波週期之相關係數較高於與傳統定義示性波週期關係。第二部分針對高雄港波浪資料進行波譜分析，發現在颱風期間之大波並不影響聲波測量波浪品質，且從聲波及壓力計測量之波浪波譜特性更顯示，壓力計更能測到大波浪壓力接近於聲波量測結果。第三部分是配合目前港研中心的海象資料觀測系統來建立資料品質管制的方法，並實際應用在即時系統中進行資料的品管與修正。第四部分則針對已發展的高雄港颱風波浪推算模式進行圖形化使用者界面的建置，以提升模式的應用性。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
100 年 10 月	119	300	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價購。
機密等級： <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 （解密條件： <input type="checkbox"/> 年 <input type="checkbox"/> 月 <input type="checkbox"/> 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密） <input checked="" type="checkbox"/> 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: System Development of real-time data quality and management of oceanographic measurements			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-99-H2 EB009
DIVISION: Center of Harbor & Marine Technology DIVISION DIRECTOR: Chiu, Yung-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ho, Liang-Sheng PROJECT STAFF: Lin, Shou-Shiun PHONE: (04) 26587126 FAX: (04) 26560661			PROJECT PERIOD FROM Sep. 2010 TO Nov. 2011
RESEARCH AGENCY: National Chiao Tung University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chang, Hsien-Kuo PROJECT STAFF: Liou, Jin-Cheng, Chen, Wei-Wei ADDRESS: 1001 Ta Hsueh Road, Hsinchu, Taiwan 300, ROC PHONE: (03) 5131487			
KEY WORDS: Data quality control ; wave statistics ; Kaohsiung harbor			
Abstract: <p>The project aims to develop a system including data quality and data management of oceanographic measurements at Kaohsiung harbor observed by IHMT. Four major parts are included in this project. The first one is to analyze statistical distribution of wave periods and heights at Kaohsiung. Formulas for calculating heights of significant waves are derived to examine the best fitting to each chosen distribution. Two-parameter Weibull distribution is examined to be the best fitting to the wave heights of individual waves rather than Rayleigh distribution. For the best distribution of wave periods normal distribution was examined to be the best fitting instead of others. Higher relationship between newly defined periods and heights of significant waves than those between traditional defined periods and heights were obtained. The second part is to analysis the wave spectrum in Kaohsiung. Goodness of wave data during typhoon periods approximating to that in common situation and the properties of spectra approaching theoretic values for large waves show that the possible breakers during the periods of typhoon have little effects on wave properties. The third part that propose a method of real time data quality for oceanographic measurements. Possible corrections on abnormal data should be made for data management. The fourth part is to develop a Graphic User Interface(GUI) system of typhoon wave model for easy operation.</p>			
DATE OF PUBLICATION 2011/10	NUMBER OF PAGES 119	PRICE 300	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications			

目錄

中文摘要表	I
英文摘要表	II
目錄	III
圖目錄	V
表目錄	VIII
第一章 前言	1
1.1 研究動機	1
1.2 研究目的	1
1.3 工作項目與執行進度	2
第二章 高雄港波浪特性分析	3
2.1 前言	3
2.2 機率分布函數特性	5
2.3 統計代表值推導	7
2.4 適配度檢定	9
2.5 示性波波高及週期之最適分布	9
2.6 各時間尺度示性波波高之最適分布	12
2.7 示性波高及週期之關係	22
第三章 高雄港波譜特性之分析	25
3.1 波譜分析之介紹	25
3.1.1 頻譜形式(frequency spectrum)	25
3.1.2 頻譜特性	27
3.2 資料來源與處理	29
3.2.1 觀測地點及儀器	29
3.2.2 資料格式與處理	30
3.3 波譜特性	32
3.3.1 聲波水位之個別波特特性	35
3.3.2 聲波水位之個別波與波譜	40
3.3.3 聲波水位與壓力資料之能譜比較	51

3.3.4 颱風期間之波浪特性	57
第四章 即時性資料檢核及管理機制	61
4.1 海象觀測系統的架構	61
4.2 資料檢核機制	63
4.2.1 示性波高檢測機制	65
4.2.2 原始資料檢測機制	72
4.3 即時資料品質管控展示介面	76
第五章 高雄港颱風波浪推算模式視窗化介面的建構	78
5.1 圖形化使用者介面之介紹	78
5.2 颱風波浪預測模式視窗化介面介紹	81
第六章 結論與建議	92
參考文獻	95

圖目錄

圖 2.1-1 高雄港儀器觀測位置示意圖	5
圖 2.3-1 機率高於 $F(x \leq x_p) = 1 - p$ 之平均值之示意圖	8
圖 2.5-1 計算高雄逐時示性波高與實測值之相對絕對誤差	10
圖 2.5-2 計算高雄逐時示性週期與實測值之相對絕對誤差	12
圖 2.7-1 示性波週期與示性波高之關係	22
圖 2.7-2 新示性波週期與示性波高之關係	23
圖 2.7-3 平均週期與示性波高之關係	23
圖 3.2-1 波浪觀測 1 站設置地點示意圖	29
圖 3.2-2 Nortek AWAC 方向性聲波剖面海流與波高波向潮波流儀	30
圖 3.2-3 海域風浪水位信號 (零位橫切法之定義)	31
圖 3.3-1 聲波水位訊號及其能譜與壓力訊號之能譜(2009 年 7 月 11 日 06 時)	33
圖 3.3-2 聲波水位訊號及其能譜與壓力訊號之能譜(2009 年 7 月 30 日 20 時)	35
圖 3.3-3 個別波 $H_{1/3}$ 與 $H_{1/10}$ 之比較	36
圖 3.3-4 $H_{1/10} / H_{1/3}$ 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布	37
圖 3.3-5 $H_{1/10} / H_{1/3}$ 與譜寬參數(ν)之關係	37
圖 3.3-6 個別波 $H_{1/3}$ 與 H_{\max} 之比較	39
圖 3.3-7 $H_{\max} / H_{1/3}$ 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布	39
圖 3.3-8 $H_{\max} / H_{1/3}$ 與譜寬參數(ν)之關係	40
圖 3.3-9 個別波 $H_{1/3}$ 與能譜所得示性波高(H_s)之比較	41
圖 3.3-10 $H_s / H_{1/3}$ 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布	42
圖 3.3-11 $H_s / H_{1/3}$ 與譜寬參數(ν)之關係	42
圖 3.3-12 個別波 \bar{T} 與能譜所得平均週期(T_{01})之比較	43
圖 3.3-13 T_{01} / \bar{T} 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布	44
圖 3.3-14 T_{01} / \bar{T} 與譜寬參數(ν)之關係	44
圖 3.3-15 個別波 \bar{T} 與能譜所得平均週期(T_{02})之比較	46

圖 3.3-16	T_{02}/\bar{T} 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布	46
圖 3.3-17	T_{02}/\bar{T} 與譜寬參數(ν)之關係	47
圖 3.3-18	波譜主頻 T_{p1} 與另一定義主頻 T_{p4} 之比較	48
圖 3.3-19	T_{p4}/T_{p1} 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布	48
圖 3.3-20	T_{p4}/T_{p1} 與譜寬參數(ν)之關係	49
圖 3.3-21	波譜頻寬參數 ν 與 $H_{1/3}$ 之關係	50
圖 3.3-22	波譜頻寬參數 ν 與另一定義譜頻寬參數 ε 之比較	50
圖 3.3-23	水位波譜所得 H_s 與壓力波譜所得 H_s^p 之比較	52
圖 3.3-24	H_s^p/H_s 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布	52
圖 3.3-25	H_s^p/H_s 與譜寬參數(ν)之關係	53
圖 3.3-26	水位波譜所得主頻 T_{p1} 與壓力波譜所得 T_{p1}^p 之比較	54
圖 3.3-27	T_{p1}^p/T_{p1} 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布	54
圖 3.3-28	T_{p1}^p/T_{p1} 與譜寬參數(ν)之關係	55
圖 3.3-29	壓力訊號所得波譜之平均週期 T_{02}^p 與聲波水位所得波譜之平均週期 T_{02} 之比較	55
圖 3.3-30	T_{02}^p/T_{02} 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布	56
圖 3.3-31	T_{02}^p/T_{02} 與譜寬參數(ν)之關係	57
圖 3.3-32	颱風期間水位波譜所得 H_s 與壓力波譜所得 H_s^p 之比較	59
圖 3.3-33	颱風期間水位波譜所得 T_{p1} 與壓力波譜所得 T_{p1}^p 之比較	59
圖 3.3-34	颱風期間水位波譜所得 T_{02} 與壓力波譜所得 T_{02}^p 之比較	60
圖 4.1-1	目前港研中心海象觀測系統建置架構圖	61
圖 4.1-2	未來港研中心即時海象觀測系統架構圖	62
圖 4.2-1	本研究波浪資料檢核流程圖	64
圖 4.2-2	隨機訊號中常見的五種異常訊號	65
圖 4.2-3	季節性統計分析	66
圖 4.2-4	對於各時間延遲項的反射係數分析	68
圖 4.2-5	對於各時間延遲項的平均交互資訊分析	69
圖 4.2-6	箱型圖架構示意圖	70

圖 4.2-7 高雄港 2009 年每月波高箱型圖分析	71
圖 4.2-8 本研究檢核機制測試資料記錄經截斷數據	72
圖 4.2-9 本研究檢核機制測試資料記錄含斷續性雜訊	74
圖 4.2-10 本研究檢核機制測試資料記錄含缺漏	74
圖 4.2-11 本研究檢核機制測試資料記錄含突波	75
圖 4.2-12 本研究檢核機制測試資料記錄含趨勢	75
圖 4.2-13 即時資料品質管控展示介面	76
圖 5.1-1 GUI 的開發對於使用者族群的分布變化	79
圖 5.2-1 本介面主視窗	82
圖 5.2-2 樹狀結構的工具列	83
圖 5.2-3 颱風資料輸入視窗	84
圖 5.2-4 模擬結果輸出視窗	86
圖 5.2-5 模擬結果資料存檔視窗	87
圖 5.2-6 模擬結果圖形存檔視窗	87
圖 5.2-7 颱風路徑圖	88
圖 5.2-8 預測波高圖	88
圖 5.2-9 預測波高表	89
圖 5.2-10 即時波高資訊視窗	90
圖 5.2-11 即時衛星雲圖資訊視窗	90
圖 5.2-12 本介面之即時說明與介面介紹視窗	91

表目錄

表 2.3-1 計算 Weibull 及 Gauss 分布示性波之理論統計公式.....	9
表 2.5-1 示性波高之絕對誤差平均值，標準偏差及其相關係數.....	11
表 2.6-1 聲波儀測得各月份有效資料筆數.....	13
表 2.6-2 各月份實測示性波波高及週期之平均值與標準偏差.....	13
表 2.6-3 各分布之示性波高推估值與實測值的誤差平均值及標準偏差	15
表 2.6-4 各分布之示性波週期推估值與實測值的誤差平均值及標準偏差	16
表 2.6-5 各波高分布之超越機率門檻推估值與實測值的平均誤差及標 準偏差.....	19
表 2.6-6 各週期分布之超越機率門檻推估值與實測值的平均誤差及標 準偏差.....	20
表 2.6-7 各分布之示性波推估值的絕對誤差與示性波高(或週期)之相關 係數.....	21
表 2.7-1 各月份示性波高對應各種週期的迴歸參數及相關係數.....	24
表 3.3-1 選擇兩變數之線性回歸係數及其相關係數.....	51
表 3.3-2 2009 年侵台颱風之名稱及強度.....	58
表 3.3-3 選擇兩變數之線性回歸係數及其相關係數.....	60
表 4.2-1 高雄港 2001 至 2009 年每月波高箱型圖分析表(單位：公尺)	71

第一章 前言

1.1 研究動機

依據行政院民國 90 年核定「高雄港整體規劃及未來發展計畫」及 92 年核定「臺灣地區整體國際港埠發展規劃」貨櫃運量預測結果，民國 100 年起高雄港將面臨貨櫃碼頭供給不足之壓力，且隨貨櫃船大型化發展，未來為具競爭力之國際貨櫃港埠，勢須具備因應發展趨勢能力。因此，為期提昇高雄港整體效能、發揮港埠機能最大綜效與滿足未來發展之需求，高雄港務局已擬定多項具整合功能之發展規劃計畫。為因應高雄港未來擴建工程及環評要求所需之自然條件，除必要進行外海現場調查工作，用以建置較長時期海氣象觀測資料庫，可充分瞭解高雄港附近海域之海氣象特性，以提供高雄港附近海域波浪與海流特性之參考依據。本研究主要為建立一套較精確的海象觀測資料品質控制模式，應用本所港研中心所觀測海象資料，進行即時性資訊檢核及管理機制建置特性分析。另外並以高雄港往昔所有波浪觀測資料進行波高及週期的基本統計特性分析、最適之機率分布函數，並建立高雄港的地域性波譜。最後以類神經颱風波浪模式為基礎，建立高雄港即時颱風波浪推算模式的視窗化介面。

1.2 研究目的

本計畫的研究對象分為四個部分：包括高雄港海域波浪特性分析、波譜分析、即時波浪觀測品質控制模式及高雄港颱風波浪推算視窗化操作之建立，主要為應用交通部運輸研究所港灣技術研究中心所觀測的波浪資料分析波高及週期的基本統計特性、最適之機率分布函數，並以交通部運輸研究所港灣技術研究中心波浪原始資料建立高雄港的地域性波譜。並依以上波浪資料特性考量其他儀器測量可能發生的錯誤建立一套即時觀測資料的品質管機制，對可能有問題的資料於發

布前加以標註其可靠程度，另外品管機制並可應用在後方實測資料庫中，透過原始波浪資料的檢核去除有問題的資料，並在嚴謹的檢討後進行修正。最後建立高雄港颱風波浪推算視窗化操作，提供高雄港務局等相關單位在颱風侵台時即時推算可能發生的波浪大小與發生時間，對於防災或減災有很大的幫助。

1.3 工作項目與執行進度

本計畫為一年期的跨年度工作，工作項目：

- 1.即時性資訊檢核及管理機制建置特性分析。
- 2.波高及週期的基本統計特性、最適之機率分布函數，聯合數值模式。
- 3.建立一套較精確海象觀測資料品質控制及類神經網路分析除錯模式。
- 4.建構高雄港颱風波浪推算的視窗化操作。
- 5.高雄港之波浪統計波譜特性分析。

工作步驟依照預定進度甘特圖進行，為配合交通部運輸研究所港灣技術研究中心海氣地象管理室內即時性海象觀測資料品質控制及檢核管理機制系統的介面建置，上述工作項目皆已完成。將提供海象觀測資料品管分析模式的自動化流程配合海象資料庫建置廠商建置在海氣地象管理室中。高雄港颱風波浪推算模式之視窗化介面以交通部運輸研究所港灣技術研究中心『臺灣主要港口附近海域長期波浪統計特性及設計波推算之研究(2/4)』中所研發的高雄港類神經颱風推算模式為基礎開發完成。

第二章 高雄港波浪特性分析

2.1 前言

一般處理現場海面上不規則波常以個別波(individual wave)之統計特性來代表海面波浪特性，此技巧稱為波浪統計(wave statistics)。然而，往昔現場水位資料多由水下壓力計量測壓力訊號後，再乘以轉換函數(transfer function)而得，此水位資料為一種間接資料，轉換函數之大小受到波浪大小，週期長短及壓力計放置水深影響，因此資料本身而有誤差。往昔學者大多以間接性水位資料來分析研究波浪統計特性，有些結論可能會有誤差，若能改以直接量測距離所得水位來分析個別波特應可較接近於實際狀況。

在線性波組合之不規則海面水位符合高斯(Gauss)分布情況下，Longuet-Higgins (1952)理論解析出其波高滿足 Rayleigh 分布，Longuet-Higgins (1980)並探討在窄頻(narrowband)及非線性影響下，波高與波譜之關係。實際情況上，海面上的波浪是非常複雜的及含有成分波間的非線性作用，因此前人研究提出 Rayleigh 分布並不適合描述實際海面之波高(Goda, 2000; Podgorski et al., 2000; Stansell et al., 2004)。Chakrabarti and Cooley (1977)探討過北大西洋 1961 年暴風波浪之波高及週期分布，與此二者間之關係。

陳及湯(1983)，Naess (1985), Vinje (1989) and Tayfun (1990) 發展出近似於 Rayleigh 分布修正形式，其中分布之參數與波浪尖銳度或波譜形狀有關。Boccotti (1989)利用線性可定性理論(linear quasi-deterministic theory)提出適合大坡狀況之波高分布，這四種修正波高分不需要在窄頻條件下方能應用。Mori and Janssen (2006)應用 Gram - Charlier 級數之修正 Edgeworth 形式稱為 Edgeworth - Rayleigh 分布，適用於若非線性但窄頻之波浪。Tayfun and Fedele (2007)提出較 Mori and Janssen (2006)少統計累積量(cumulant)之限制修正分布。Hou 等(2006)探討東中

國海在大波時，波高分布較適合於修正的 Rayleigh 分布。但實際海面上可能約有 15%至 25%之波譜為雙峰情況(Guedes, 1984;1991)，此條件下之波高分布研究可見 Rodriguez and Guedes Soares (2001)及 Rodriguez (2002)，Petrova and Guedes Soares (2009)。

另外一般常用的示性波週期為在波高記錄中經由零上切法決定波高後，假設有 n 個波高及其相對應的週期，將波高按大小次序排列， $H_1 > H_2 > H_3 > \dots$ ，而其相對應之週期排列為 T_1, T_2, T_3, \dots ，計算前 1/3 最大波高之平均值，稱為示性波高，而其對應週期，稱為示性波週期(本文稱為傳統示性波週期)。然而 Nair 等(2003)提出新示性波週期計算方式是不管波高大小排序，將個別波之週期以大小排序後($T_1 > T_2 > T_3 > \dots$)取前 1/3 最大週期之平均值。Nair 等(2003)發現以此方式所計算出的示性週期可較穩定的計算出統計示性波週期，本文簡稱新定義示性波週期。湯、莊(1981)認為波浪週期分布為常態分布。本文選擇 Weibull、Rayleigh、Hou et al. (2006)及 Tayfun and Fedele (2007)等四個波高分布，而四種週期分布為 Longuet-Higgins(1975)、Hou et al. (2009)、Gauss 與修正 Gauss 等分布來配套實測波浪值。

本文主要以港灣技術研究中心在高雄港自 2009 年 6 月起至 2011 年 4 月近兩年期間以聲波直接測得波浪水位資料來分析個別波之統計特性，使用儀器為挪威 Nortek AWAC 方向性潮波流儀，位置為 $22^{\circ}37'04''$ N， $120^{\circ}16'02''$ E，觀測儀位置圖如圖 2.1-1 黃色圓點所示。其量測原理為聲波都卜勒式，使用 4 個聲波探頭(其中之一用於量測表面波高)，剖面潮波流儀感測器具備可測得逐時波浪、分層流向流速、水位值之功能。此訊號每小時整點開始以 2hz (0.5sec)之取樣頻率，測量長度為 1024 秒，即每筆資料共 2048 點。港研中心自 2009 年 6 月 29 日起至 2011 年 4 月 8 日。若資料訊號中含有突然跳動(impulse)，或超大雜訊則不加以分析，分析出有效資料共 21068 筆。



圖 2.1-1 高雄港儀器觀測位置示意圖

2.2 機率分布函數特性

以下介紹所選之波高機率密度函數如下：

1. Weibull 分布：機率密度為

$$f(H; \alpha, \beta) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} H^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{H}{\beta}\right)^\alpha} \quad (2.2-1)$$

2. Rayleigh 分布

當式(2.2-1)之 Weibull 分布中 $b = 2$ 時，即為 Rayleigh 分布，一般表示其機率密度函數為

$$f(x; \beta) = \begin{cases} \frac{x}{\beta^2} e^{-\frac{x^2}{2\beta^2}} & , x \geq 0, \beta > 0 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (2.2-2)$$

其中 β 為尺度參數(scale parameter)， α 為形狀參數(shape parameter) 。
而 Rayleigh 分布僅是 Weibull 分布令 $\alpha=2$ 之特例

3. Hou 分布(2006):考慮波浪非線性效應，修正 Rayleigh 分布

$$f(H; \alpha, \lambda) = \frac{H}{\beta^2} e^{-\frac{H^2}{2\beta^2}(1+\frac{\lambda H^2}{\beta^2})^2} (1 + \frac{\lambda H^2}{\beta^2})(1 + \frac{3\lambda H^2}{\beta^2}) \quad (2.2-3)$$

其中 β 及 λ 為參數， λ 是修正 Rayleigh 分布之修正係數。

4. Tayfun and Fedele 分布(2007): 以 Gram-Charlier 級數展開特徵函數方法，提出修正 Rayleigh 分布

$$f(H; \alpha, \lambda) = \frac{H}{\beta^2} e^{-\frac{H^2}{2\beta^2}} [1 + \frac{\lambda H^2}{64\beta^2} (\frac{H^2}{\beta^2} - 4)] \quad (2.2-4)$$

其中 β 及 λ 為參數， λ 是修正 Rayleigh 分布之修正係數。

以下介紹所選之週期機率密度函數如下：

1. Longuet-Higgins(1975)分布：

$$f(T; \mu, \nu) = \frac{\nu^2}{2 \left[\nu^2 + \left(\frac{T}{\mu} - 1 \right)^2 \right]} \quad (2.2-5)$$

此分布主要有兩個參數， μ 為平均值(mean value)， ν 為波譜譜寬參數(spectrum width)。

2.Hou(2009) 分布：考慮波浪非線性效應，修正 Longuet-Higgins(1975) 分布

$$f(T; \mu, \nu, \lambda) = \frac{\nu^2 (1 + \lambda)^2}{2 \left[\nu^2 (1 + \lambda)^2 + \left(\frac{T}{\mu} - 1 + \lambda^2 \right)^2 \right]} \quad (2.2-6)$$

3.Gauss 分布(亦稱常態(Normal)分布)：

$$f(T; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(T-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.2-7)$$

常態分布主要有兩個參數， σ 為標準偏差(standard deviation)， μ 為平均值(mean value)，其與樣本有關。

4. Tang & Jung 分布：以 Gram-Charlier 級數展開常態分布特徵函數(characteristic function)來代表一個機率密度函數

$$f(T; \mu, \sigma, \lambda) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(T-\mu)^2}{2\sigma^2}} \left[1 + \frac{\lambda}{6\sigma^3} \left(\frac{(T-\mu)^3}{\sigma^3} - \frac{3(T-\mu)}{\sigma} \right) \right] \quad (2.2-8)$$

其中 λ 是與分布 3 階累積值(cumulant)有關之係數。其他各種理論機率分布函數中之參數本文都利用最大概似法來估算。

2.3 統計代表值推導

理論統計值為當分布參數決定後，則可依機率分布函數積分可得所需變數範圍內之機率。本節以 Weibull 分布為例說明統計代表值($H_{1/3}$)之公式如下：

變數依大小排列下，機率高於 $F(x \leq x_p) = 1 - p$ 之平均值為 \bar{x}_p ，示意如圖 2.3-1。因此

$$1 - F(x \leq x_p) = p = e^{-\left(\frac{x_p}{\beta}\right)^\alpha} \quad (2.3-1)$$

$$x_p = \beta \left[(-\ln p)^{\frac{1}{\alpha}} \right] \quad (2.3-2)$$

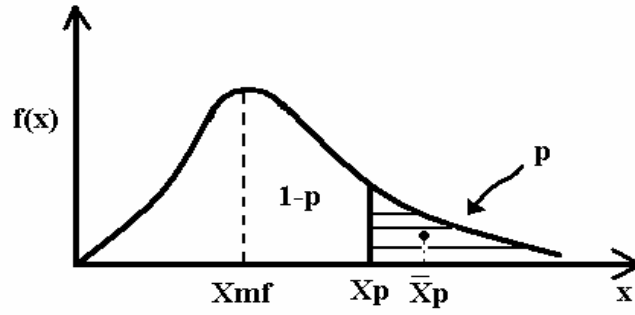


圖 2.3-1 機率高於 $F(x \leq x_p) = 1 - p$ 之平均值之示意圖

因此，在 x_p 至 ∞ 間之平均值 \bar{x}_p ，則依機率密度函數可得

$$\bar{x}_p = \frac{1}{p} \int_{x_p}^{\infty} x f(x) dx = \frac{1}{p} \int_{x_p}^{\infty} x \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha}} dx \quad (2.3-3)$$

上式用變數轉換 $y = (x/\beta)^{\alpha}$ 及一次部分積分法可得

$$\bar{x}_p = x_p + \frac{1}{p} \frac{\beta}{\alpha} e^{c^{\alpha}} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}, -\ln p\right) \quad (2.3-4)$$

其中 $\Gamma(s, t)$ 定義為不完整 Gamma 函數(upper incomplete Gamma function)

$$\Gamma(s, t) = \int_t^{\infty} x^{s-1} e^{-x} dx \quad (2.3-5)$$

如果式(2.3-5)中 $t=0$ 時，即為一般之 Gamma 函數 $\Gamma(s) = \Gamma(s, 0)$ 。當變數 x 為波高(H)且選擇 $p=1/3$ 時， $\bar{x}_p = H_{1/3}$ 稱為前 1/3 大波高或稱為示性波高(significant wave height)，所以代入 $p=1/3$ 至式(2.3-1)至式(2.3-4)得

$$H_{1/3} = \beta [(\ln 3)^{\frac{1}{\alpha}}] + \frac{3\beta}{\alpha} e^{c^{\alpha}} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}, \ln 3\right) \quad (2.3-6)$$

其他函數之示性波理論統計公式可參考上述方法求得。今將上述所推導有關 Weibull 分布及其他分布示性波理論統計公式示如表 2.3-1。其他分布無法倒出公式，則用梯形(quadratic)數值積分方法找出超越機率 1/3 之位置後，依式(2.3-3)定義進行之。

表 2.3-1 計算 Weibull 及 Gauss 分布示性波之理論統計公式

分布函數	計算示性波公式
Weibull 分布	$\beta[(\ln 3)^{\frac{1}{\alpha}}] + \frac{3\beta}{\alpha} \Gamma(\frac{1}{\alpha}, \ln 3)$
Normal 分布	$\frac{3\sigma}{\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x_p - \mu}{\sqrt{2}\sigma}\right)^2} + \frac{3\mu}{2} \operatorname{Erfc}\left(\frac{x_p - \mu}{\sqrt{2}\sigma}\right)$

2.4 適配度檢定

實測波高及週期經過所選擇機率密度函數套配後，由所推估出來的參數，再以表 2.3-1 公式計算出理論之示性波波高及週期。若再將此計算所得之理論示性波高值與實際原始資料示性波高比較，即可知配套吻合度，若再考慮測量值大小時，可選用絕對誤差 AE(absolute error) 做為合適之評估指標，其定義分別如下

$$AE = |H_m - H_c| \quad (2.4-1)$$

其中 H_m 及 H_c 為實測值與推估值。

2.5 示性波波高及週期之最適分布

本文根據高雄港波高資料，以上述四種機率密度去配套後，所得兩種評估指標如圖 2.5-1 所示。由圖 2.5-1 顯示不管波高大小在多數狀況下，Weibull 分布數之評估指標是在四種機率密度中是最小的，而 Rayleigh 分布次之，而 Hou 分布則有最高評估指標。此顯示以 Weibull 分布來描述逐時波高分布之示性波高是較適合機率密度函數，四種分布描述示性波高之相對誤差隨示性波高增加而增加。表 2 為四種分布描述各筆資料示性波高之相對誤差平均值，標準偏差及其隨示性波高之相關係數。

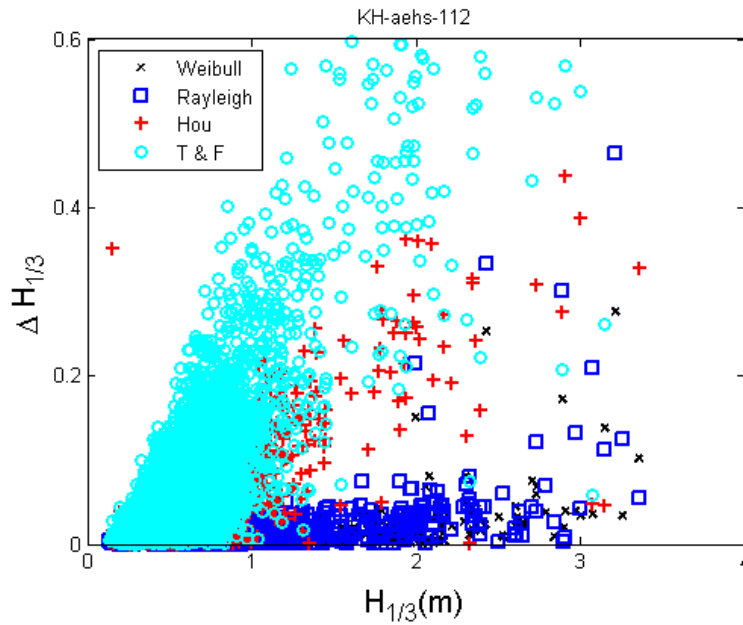


圖 2.5-1 計算高雄逐時示性波高與實測值之相對絕對誤差

由表 2.5-1 顯示以 Weibull 分布來描述逐時波高分布之示性波高只有 0.0046 之絕對誤差，其標準偏差為 0.0088，但與示性波高之相對關係卻高達 0.5801。若與 Rayleigh 分布之評估結果比較發現，其絕對誤差平均值及標準偏差約為 Weibull 分布之兩倍。雖然 Hou et al. (2004) 考慮非線性影響而提出修正分布，但由平均絕對誤差結果顯示並不改善，但從圖 2.5-1 或表 2.5-1 之標準偏差可知在有些狀況 Hou 的分布也有很低之絕對誤差，此特殊不適合地條件需要再詳細分析其中緣由。另外，Tayfun and Fedele 分布來描述示性波高則會高達 0.1000 之相對誤差，標準偏差也相對高於 Weibull 分布及 Rayleigh 分布許多，且誤差明顯隨示性波高增加而增加，相關係數高達 0.8047。從計算所得之絕對誤差與示性波高之相對關係達 0.48 至 0.8 來看，顯示各高分布在大波時，誤差較大，若有修正之必要，俟以後研究進一步探討。

表 2.5-1 示性波高之絕對誤差平均值，標準偏差及其相關係數

特性	分布	平均值	標準偏差	相關係數
波高	Weibull 分布	0.0046	0.0088	0.5801
	Rayleigh 分布	0.0083	0.0136	0.4817
	Hou 分布	0.5354	1.3481	0.5741
	T & F 分布	0.1000	0.1219	0.8047
週期	Longuet-Higgins 分布	1.1411	0.6562	0.8401
	Hou 分布	1.1411	0.6565	0.8399
	Gauss 分布	0.0743	0.1122	0.2057
	Tang & Jung 分布	0.1987	0.2966	0.4512

對於所選擇之機率密度分布描述新示性波週期之評估指標結果如圖 2.5-2 所示。由圖 2.5-2 顯示四種選擇機率密度函數對於描述新示性波週期還是相當散亂，整體而言，以 Gauss 分布之絕對誤差在四種分布最小，而修正 Gauss 分布最大，Gauss 分布之絕對誤差與示性波高較無關係，但 Longuet-Higgins 分布之絕對誤差與示性波高有高相關。各種分布描述新示性波週期優劣差異可見表 2.5-1，由表 2.5-1 可知 Gauss 分布描述新示性波週期之絕對誤差在四種分布中最低，平均值約為 0.0743，標準偏差達 0.1122。Longuet-Higgins 之絕對誤差次之，標準偏差量亦大。

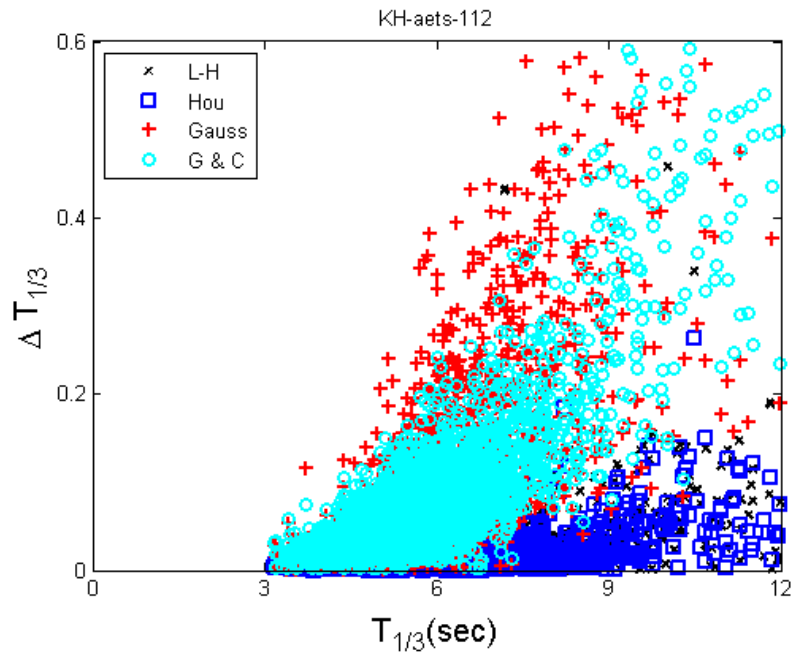


圖 2.5-2 計算高雄逐時示性週期與實測值之相對絕對誤差

2.6 各時間尺度示性波波高之最適分布

在示性波波高及週期之最適分布分析中，本研究擬在時間尺度上考慮了全年、各季以及各月的差異。但考量波浪特性在分季上會與一般傳統氣象所謂的四季有所不同，為使季節的劃分更具代表性，本研究採用群集分析法(Cluster Analysis)來對各月波浪特性來進行分類。在一年中各月波高與週期變化特性是有所不同的，若採用兩種特性來作劃分可能無法獲得一致結果，本文採用群集分析法來進行分類，可使分析結果在兼顧多種變因量的情況下具有一致性。集群分析主要應用於多變因量的資料上，為多變量分析中相當實用的分析工具之一，其目的為發現或偵測資料中的群聚現象，使得每一集群中資料有高度的同質性，而不同集群中有較大差異。集群分析已廣泛應用在各學門的資料分析，是分析高維度資料及大型資料庫的重要資料探勘(data mining)工具之一，能避免忽略可能潛在的群組與相關特性。在本研究的條件下，我們以各月份的平均波高即週期來作為兩個同時考慮的因變量，計算其各點之間的距離參數進行群集分析，在目標群數設定為 2

群時，其結果顯示分群 A 為 7-10 月，而分群 B 為 11-6 月，故以此結果作季節性的畫分。

由上節可知，描述示性波波高及週期之最適分布時，由於波高之 Gamma 及 Log-Normal 分布與週期之 Erlang 及 Log-Normal 分布誤差值較其他兩種分布大，因此在描述高雄港 12 個月、7-10 月、11-6 月及全年的示性波浪時，波高部分只選用 Weibull 及 Rayleigh 兩種分布，而週期部分則為 Gamma 及 Log-Normal 分布，分別作為波浪最適分布之比較分析所用。其各月份資料筆數如表 2.6-1 所示。

表 2.6-1 聲波儀測得各月份有效資料筆數

月份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
資料筆數	1626	2493	2709	1732	2723	2299	1696	1149	1306	1332	893	1110

表 2.6-2 各月份實測示性波波高及週期之平均值與標準偏差

	波高		週期	
	平均值	標準偏差	平均值	標準偏差
1 月	0.69	0.20	3.81	0.43
2 月	0.58	0.22	3.52	0.46
3 月	0.63	0.23	3.81	0.47
4 月	0.54	0.21	3.66	0.51
5 月	0.53	0.27	3.74	0.73
6 月	0.77	0.39	4.36	0.90
7 月	0.83	0.44	4.43	0.82
8 月	0.71	0.65	4.04	1.36
9 月	0.88	0.61	4.85	1.51
10 月	0.86	0.40	4.54	1.04
11 月	0.65	0.21	3.90	0.56
12 月	0.68	0.16	3.80	0.34
7-10 月	0.82	0.53	4.48	1.22
11-6 月	0.63	0.27	3.82	0.65
全年	0.68	0.37	3.99	0.88

從表 2.6-2 可知，高雄港 12 個月份之實測波高平均值大約呈現兩個區段，6 至 10 月為 0.7m 以上，另外的區段則為 0.7m 以下，而其標準偏差則在 7 至 9 月較大，其餘月份為 0.4m 以下之間，如以群集分析之分群月份分析，7 至 10 月及 11 至 6 月的平均值分別為 0.82m 及 0.63m，標準偏差為 0.53m 及 0.27m。而週期之平均值一樣以 6 至 10 月較大，其值大於 4s，其於月份則低於 4s，7 至 10 月及 11 至 6 月的平均值分別為 4.48s 及 3.82s，標準偏差為 1.22 及 0.65；另外全年的波高平均值，及週期平均值分別為 0.68m 及 3.99s，標準偏差為 0.37 及 0.88。示性波實測值經過評估過後，就波高及週期分別以選定之機率密度分布瞭解高雄港波浪分布特性。

本文根據高雄港波高資料，以上述四種機率密度去配套後，所得評估指標表 2.6-3 所示。由表 2.6-3 顯示 Weibull 分布之評估指標是在四種機率密度中是最小的，各月份之絕對及相對平均誤差量均在 0.0033~0.0076 左右，標準偏差則在 0.015 以下，描述全年逐時波高分布之示性波高只有 0.0046 之絕對誤差，其標準偏差為 0.0088，Rayleigh 分布次之，而 Hou 分布則有最高評估指標，Tayfun and Fedele 分布來描述示性波高則會高達 0.1000 之相對誤差，標準偏差也相對高於 Weibull 分布及 Rayleigh 分布許多。此顯示以 Weibull 分布來描述逐時波高分布之示性波高是較適合機率密度函數。

對於所選擇之機率密度分布描述新示性波週期之評估指標結果如表 2.6-4 所示。由表 2.6-4 顯示以 Gauss 分布之絕對誤差在四種分布最小，各月份之絕對及相對平均誤差量為 0.0154~0.1179，標準偏差則低於 0.2，全年絕對平均誤差值約為 0.0743，標準偏差達 0.1122，而 Hou 分布及 Longuet-Higgins 分布之絕對、相對平均誤差量則遠高於 Gauss 分布，標準偏差亦然，可知 Gauss 分布是描述新示性波週期是較適合機率密度函數。

表 2.6-3 各分布之示性波高推估值與實測值的平均誤差及標準偏差

		平均誤差				標準偏差			
		Weibull	Rayleigh	Hou	T&F	Weibull	Rayleigh	Hou	T&F
絕對誤差	1 月	0.0038	0.0077	0.2735	0.0814	0.0069	0.0117	0.6644	0.0510
	2 月	0.0033	0.0069	0.1809	0.0620	0.0100	0.0213	0.4865	0.0419
	3 月	0.0041	0.0078	0.2165	0.0733	0.0086	0.0136	0.6304	0.0650
	4 月	0.0037	0.0081	0.1299	0.0522	0.0083	0.0104	0.4313	0.0531
	5 月	0.0034	0.0067	0.2984	0.0673	0.0058	0.0058	0.9169	0.0823
	6 月	0.0056	0.0091	0.8784	0.1339	0.0078	0.0099	1.6731	0.1327
	7 月	0.0063	0.0104	1.1142	0.1584	0.0130	0.0186	1.8077	0.1583
	8 月	0.0054	0.0108	0.9164	0.1281	0.0090	0.0201	1.9955	0.1926
	9 月	0.0076	0.0110	1.5623	0.1989	0.0136	0.0138	2.5030	0.2366
	10 月	0.0060	0.0093	0.8872	0.1494	0.0074	0.0090	1.7083	0.1443
	11 月	0.0037	0.0068	0.3077	0.0821	0.0034	0.0060	0.7029	0.0525
	12 月	0.0036	0.0067	0.2716	0.0839	0.0029	0.0059	0.6291	0.0442
	7-10 月	0.0063	0.0104	1.1243	0.1595	0.0113	0.0160	2.0279	0.1857
	11-6 月	0.0039	0.0076	0.3282	0.0791	0.0076	0.0125	0.9193	0.0793
	全年	0.0046	0.0083	0.5354	0.1000	0.0088	0.0136	1.3481	0.1219
相對誤差	1 月	0.0053	0.0110	0.3894	0.1173	0.0045	0.0085	0.9083	0.0616
	2 月	0.0052	0.0112	0.3110	0.1051	0.0046	0.0098	0.7903	0.0568
	3 月	0.0060	0.0121	0.3362	0.1126	0.0053	0.0103	0.9428	0.0628
	4 月	0.0064	0.0158	0.2263	0.0909	0.0056	0.0125	0.7175	0.0606
	5 月	0.0059	0.0136	0.4176	0.1092	0.0047	0.0108	1.1672	0.0715
	6 月	0.0066	0.0113	0.9760	0.1585	0.0051	0.0084	1.6548	0.0821
	7 月	0.0066	0.0117	1.1469	0.1730	0.0062	0.0101	1.4885	0.0900
	8 月	0.0063	0.0149	0.8040	0.1320	0.0049	0.0110	1.3486	0.1013
	9 月	0.0069	0.0118	1.3277	0.1873	0.0063	0.0096	1.7297	0.1053
	10 月	0.0064	0.0106	0.8815	0.1592	0.0051	0.0079	1.5303	0.0853
	11 月	0.0056	0.0106	0.4684	0.1250	0.0045	0.0080	1.0050	0.0631
	12 月	0.0054	0.0098	0.4035	0.1241	0.0042	0.0076	0.9144	0.0587
	7-10 月	0.0065	0.0121	1.0536	0.1645	0.0057	0.0098	1.5452	0.0971
	11-6 月	0.0059	0.0121	0.4465	0.1172	0.0049	0.0100	1.0996	0.0688
	全年	0.0060	0.0121	0.6045	0.1295	0.0052	0.0099	1.2596	0.0799

表 2.6-4 各分布之示性波週期推估值與實測值的平均誤差及標準偏差

		平均誤差				標準偏差			
		LH	Hou	Gauss	G&C	LH	Hou	Gauss	G&C
絕對誤差	1 月	0.9033	0.9033	0.0689	0.1465	0.3486	0.3479	0.0745	0.1891
	2 月	0.8921	0.8918	0.0602	0.1446	0.3791	0.3787	0.0545	0.3584
	3 月	0.9751	0.9747	0.0586	0.1538	0.3765	0.3763	0.0556	0.2560
	4 月	0.8717	0.8709	0.0619	0.1502	0.4091	0.4087	0.1526	0.3093
	5 月	1.0024	1.0025	0.0652	0.1646	0.5629	0.5624	0.0556	0.1939
	6 月	1.4738	1.4738	0.0805	0.2349	0.6615	0.6615	0.0667	0.1571
	7 月	1.5490	1.5498	0.1032	0.3058	0.7260	0.7291	0.2217	0.4309
	8 月	1.1864	1.1877	0.0964	0.2642	0.9242	0.9256	0.2261	0.5243
	9 月	1.6504	1.6507	0.1179	0.3457	1.1114	1.1109	0.0956	0.3445
	10 月	1.4070	1.4070	0.0790	0.2473	0.7370	0.7372	0.0611	0.1850
	11 月	1.0145	1.0144	0.0642	0.1494	0.3954	0.3942	0.0444	0.0813
	12 月	1.0393	1.0389	0.0648	0.1667	0.3425	0.3420	0.1134	0.2120
	7-10 月	1.4626	1.4633	0.0994	0.2924	0.8918	0.8927	0.1708	0.3911
	11-6 月	1.0280	1.0278	0.0654	0.1657	0.5032	0.5030	0.0803	0.2469
	全年	1.1411	1.1411	0.0743	0.1987	0.6562	0.6565	0.1122	0.2966
相對誤差	1 月	0.2347	0.2347	0.0179	0.0377	0.0807	0.0805	0.0163	0.0400
	2 月	0.2486	0.2486	0.0170	0.0386	0.0857	0.0855	0.0129	0.0459
	3 月	0.2510	0.2509	0.0154	0.0389	0.0835	0.0834	0.0121	0.0448
	4 月	0.2322	0.2320	0.0164	0.0391	0.0909	0.0908	0.0268	0.0509
	5 月	0.2559	0.2559	0.0176	0.0422	0.1130	0.1128	0.0139	0.0379
	6 月	0.3267	0.3268	0.0185	0.0516	0.1025	0.1024	0.0141	0.0269
	7 月	0.3358	0.3360	0.0231	0.0659	0.1203	0.1209	0.0409	0.0780
	8 月	0.2602	0.2605	0.0230	0.0563	0.1389	0.1394	0.0461	0.0985
	9 月	0.3128	0.3128	0.0246	0.0638	0.1420	0.1418	0.0179	0.0527
	10 月	0.2972	0.2972	0.0175	0.0508	0.0949	0.0949	0.0127	0.0258
	11 月	0.2551	0.2551	0.0169	0.0380	0.0842	0.0838	0.0120	0.0192
	12 月	0.2703	0.2702	0.0169	0.0429	0.0772	0.0770	0.0218	0.0395
	7-10 月	0.3051	0.3052	0.0221	0.0597	0.1275	0.1277	0.0329	0.0691
	11-6 月	0.2605	0.2604	0.0171	0.0414	0.0972	0.0971	0.0163	0.0406
	全年	0.2721	0.2721	0.0184	0.0462	0.1077	0.1077	0.0220	0.0503

根據高雄港波高資料，以上述四種機率密度去配套後，可以得知波高分布最適合為 Weibull 分布。在此節則分別利用四種分布描述各月份及全年各筆資料示性波高超越機率門檻值之絕對及相對誤差平均值、標準偏差。由表 2.6-5 顯示除了 7 至 10 月為 Rayleigh 分布誤差較低，平均值約在 0.0157~0.0185 之間，其餘月份 Weibull 分布之評估指標是在四種機率密度中是最小的，各月份平均誤差均在 0.0087~0.02 之間，而 Hou 分布則有最高評估指標。此顯示以 Weibull 分布來描述 1~6 月及 11、12 月逐時波高分布之示性波高超越機率門檻值是較適合機率密度函數，其全年絕對誤差平均值為 0.0132，標準偏差為 0.0224，此與波高最適分布結果相似。

對於所選擇之週期機率密度分布描述示性週期超越機率門檻值之評估指標結果如表 2.6-6 所示。由表 2.6-6 顯示四種機率密度函數以 T&F 分布之絕對、相對誤差量最小，而大部分月份則 Gauss 分布最大。T&F 分布描述示性波週期超越機率門檻值之絕對誤差平均值約在 0.0587~0.1238 之間，全年平均誤差值為 0.0698，標準偏差為 0.0784。Gauss 分布之平均絕對誤差達 0.1591，標準偏差量亦大。此顯示以 T&F 分布來描述逐時波高分布之示性週期超越機率門檻值是較適合機率密度函數，也表示在超越門檻值之分布與實際分布相差較多。

另外，本研究也探討誤差量與示性波高、示性週期及其超越機率門檻值相關性，作為選擇最適分布中的參考數據，其相關係數如表 2.6-7 所示。由表 2.6-7 顯示，誤差量與示性波高相關係數以 Hou 分布最小，也代表其誤差量與此分布含有影響波高之因素較小，而 T&F 分布與誤差量則相關係數為最大，其全年為 0.805，顯示其受到各波高影響因素較大，不適合作為波高之最適分布。而示性週期方面則以 Gauss 分布與誤差量的相關係數為最小全年為 0.206 遠低於其他三種分布，也與先前示性週期絕對、相對誤差之平均值、標準偏差結果相同，代表描述逐時波高分布之示性週期為 Gauss 分布是較適合機率密度函數。

示性波高超越機率門檻值與誤差量則為 Rayleigh 分布相關性為最小；示性週期超越機率門檻值與誤差量則以 Longuet-Higgins 分布相關係數最低。從表 2.6-7 各結果顯示以誤差量與示性波高、示性週期及其超越機率門檻值間相關係數選擇之最適分布，只有示性週期部分與實際週期分布結果相同，在示性波高及示性波高、示性週期超越機率門檻值分布與實際分布相差較多。

表 2.6-5 各波高分布之超越機率門檻推估值與實測值的平均誤差及標準偏差

		平均誤差				標準偏差			
		Weibull	Rayleigh	Hou	T&F	Weibull	Rayleigh	Hou	T&F
絕對誤差	1 月	0.0113	0.0123	0.0708	0.0714	0.0112	0.0123	0.0485	0.0332
	2 月	0.0093	0.0105	0.0540	0.0564	0.0105	0.0101	0.0372	0.0289
	3 月	0.0114	0.0123	0.0619	0.0640	0.0232	0.0276	0.0533	0.0373
	4 月	0.0087	0.0101	0.0453	0.0489	0.0210	0.0289	0.0355	0.0301
	5 月	0.0096	0.0102	0.0604	0.0570	0.0209	0.0189	0.0811	0.0503
	6 月	0.0158	0.0151	0.1278	0.1058	0.0180	0.0160	0.1520	0.0904
	7 月	0.0202	0.0185	0.1516	0.1210	0.0402	0.0316	0.1668	0.0992
	8 月	0.0162	0.0157	0.1260	0.0982	0.0296	0.0293	0.2066	0.1305
	9 月	0.0205	0.0175	0.2008	0.1483	0.0286	0.0213	0.2625	0.1588
	10 月	0.0189	0.0182	0.1394	0.1164	0.0211	0.0191	0.1641	0.0952
	11 月	0.0118	0.0124	0.0714	0.0702	0.0101	0.0104	0.0533	0.0349
	12 月	0.0113	0.0122	0.0718	0.0725	0.0102	0.0111	0.0434	0.0276
	7-10 月	0.0191	0.0176	0.1550	0.1216	0.0315	0.0262	0.2030	0.1229
	11-6 月	0.0111	0.0118	0.0704	0.0678	0.0178	0.0193	0.0811	0.0516
	全年	0.0132	0.0133	0.0924	0.0818	0.0224	0.0215	0.1303	0.0803
相對誤差	1 月	0.0162	0.0177	0.1025	0.1034	0.0122	0.0128	0.0620	0.0357
	2 月	0.0156	0.0175	0.0923	0.0961	0.0116	0.0121	0.0515	0.0333
	3 月	0.0167	0.0182	0.0965	0.1002	0.0152	0.0166	0.0580	0.0361
	4 月	0.0148	0.0173	0.0811	0.0874	0.0137	0.0172	0.0510	0.0371
	5 月	0.0160	0.0179	0.0981	0.0973	0.0137	0.0136	0.0720	0.0431
	6 月	0.0191	0.0188	0.1481	0.1278	0.0144	0.0138	0.1004	0.0479
	7 月	0.0214	0.0202	0.1645	0.1361	0.0187	0.0168	0.1095	0.0512
	8 月	0.0174	0.0181	0.1289	0.1106	0.0153	0.0144	0.1117	0.0603
	9 月	0.0206	0.0189	0.1834	0.1455	0.0167	0.0144	0.1276	0.0617
	10 月	0.0204	0.0201	0.1462	0.1273	0.0150	0.0144	0.1050	0.0493
	11 月	0.0179	0.0189	0.1092	0.1074	0.0128	0.0132	0.0663	0.0355
	12 月	0.0166	0.0177	0.1062	0.1072	0.0129	0.0135	0.0594	0.0334
	7-10 月	0.0201	0.0194	0.1571	0.1309	0.0167	0.0152	0.1151	0.0567
	11-6 月	0.0166	0.0180	0.1040	0.1029	0.0136	0.0143	0.0705	0.0405
	全年	0.0175	0.0184	0.1179	0.1102	0.0146	0.0146	0.0876	0.0469

表 2.6-6 各週期分布之超越機率門檻推估值與實測值的平均誤差及標準偏差

		平均誤差				標準偏差			
		LH	Hou	Gauss	G&C	LH	Hou	Gauss	G&C
絕對誤差	1 月	0.1286	0.1253	0.1198	0.0592	0.1125	0.1091	0.1652	0.0556
	2 月	0.1128	0.1105	0.1034	0.0539	0.1007	0.0986	0.2004	0.0767
	3 月	0.1066	0.1046	0.1118	0.0578	0.0894	0.0876	0.1750	0.0533
	4 月	0.1091	0.1065	0.1357	0.0565	0.1052	0.1022	0.2642	0.0532
	5 月	0.1326	0.1304	0.1514	0.0616	0.1134	0.1109	0.1511	0.0646
	6 月	0.1585	0.1570	0.1956	0.0755	0.1292	0.1273	0.1515	0.0764
	7 月	0.1826	0.1802	0.2642	0.1008	0.1631	0.1586	0.3571	0.1100
	8 月	0.1701	0.1673	0.2431	0.0838	0.1659	0.1632	0.4119	0.1023
	9 月	0.2173	0.2141	0.2713	0.1238	0.1895	0.1872	0.2619	0.1258
	10 月	0.1360	0.1343	0.1589	0.0756	0.1232	0.1218	0.1623	0.0723
	11 月	0.1203	0.1180	0.1078	0.0587	0.1019	0.0992	0.0907	0.0491
	12 月	0.1079	0.1060	0.0983	0.0566	0.0974	0.0954	0.1867	0.0451
	7-10 月	0.1769	0.1744	0.2359	0.0966	0.1644	0.1615	0.3157	0.1063
	11-6 月	0.1232	0.1210	0.1320	0.0604	0.1088	0.1066	0.1835	0.0632
	全年	0.1372	0.1349	0.1591	0.0698	0.1279	0.1254	0.2300	0.0784
相對誤差	1 月	0.0337	0.0329	0.0312	0.0154	0.0291	0.0283	0.0370	0.0140
	2 月	0.0326	0.0319	0.0289	0.0151	0.0298	0.0292	0.0322	0.0150
	3 月	0.0288	0.0282	0.0294	0.0152	0.0247	0.0242	0.0346	0.0131
	4 月	0.0306	0.0299	0.0370	0.0156	0.0300	0.0291	0.0506	0.0141
	5 月	0.0361	0.0355	0.0402	0.0166	0.0312	0.0305	0.0356	0.0161
	6 月	0.0363	0.0359	0.0427	0.0171	0.0289	0.0283	0.0284	0.0159
	7 月	0.0420	0.0415	0.0575	0.0226	0.0386	0.0376	0.0665	0.0240
	8 月	0.0427	0.0420	0.0566	0.0203	0.0403	0.0395	0.0810	0.0222
	9 月	0.0456	0.0448	0.0516	0.0246	0.0387	0.0380	0.0446	0.0229
	10 月	0.0296	0.0291	0.0320	0.0162	0.0254	0.0250	0.0269	0.0139
	11 月	0.0320	0.0314	0.0281	0.0151	0.0288	0.0280	0.0248	0.0128
	12 月	0.0288	0.0283	0.0256	0.0149	0.0259	0.0253	0.0362	0.0119
	7-10 月	0.0400	0.0394	0.0497	0.0210	0.0368	0.0360	0.0591	0.0215
	11-6 月	0.0327	0.0321	0.0339	0.0158	0.0289	0.0282	0.0361	0.0145
	全年	0.0346	0.0340	0.0380	0.0171	0.0313	0.0306	0.0439	0.0168

表 2.6-7 各分布之示性波推估值的絕對誤差與示性波高(或週期)之相關係數

		波高					週期			
		Weibull	Rayleigh	Hou	T&F		LH	Hou	Gauss	G&C
1 月	Hs	0.503	0.478	0.145	0.512	Ts	0.499	0.500	0.194	0.231
2 月		0.570	0.448	0.103	0.536		0.685	0.686	0.262	0.422
3 月		0.522	0.488	0.191	0.621		0.676	0.677	0.140	0.305
4 月		0.553	0.454	0.142	0.630		0.687	0.686	0.220	0.321
5 月		0.543	0.404	0.487	0.796		0.769	0.770	0.187	0.370
6 月		0.654	0.592	0.559	0.823		0.839	0.838	0.298	0.672
7 月		0.511	0.521	0.616	0.802		0.830	0.828	0.109	0.322
8 月		0.761	0.628	0.630	0.834		0.902	0.901	0.160	0.391
9 月		0.709	0.667	0.730	0.890		0.879	0.880	0.332	0.722
10 月		0.656	0.567	0.520	0.803		0.870	0.870	0.252	0.844
11 月		0.431	0.411	0.166	0.593		0.663	0.664	-0.059	0.353
12 月		0.212	0.392	0.062	0.377		0.644	0.645	0.132	0.295
7-10 月		0.629	0.573	0.637	0.837		0.871	0.870	0.161	0.482
11-6 月		0.526	0.410	0.411	0.727		0.770	0.770	0.192	0.359
全年		0.580	0.482	0.574	0.805		0.840	0.840	0.206	0.451
1 月	Ht	0.468	0.487	0.394	0.624	Tt	0.134	0.129	0.149	0.200
2 月		0.555	0.578	0.464	0.673		0.038	0.040	0.313	0.304
3 月		0.505	0.448	0.545	0.721		-0.069	-0.064	0.143	0.161
4 月		0.535	0.474	0.532	0.745		-0.002	-0.001	0.166	0.131
5 月		0.531	0.523	0.739	0.880		0.148	0.152	0.298	0.178
6 月		0.652	0.606	0.759	0.876		0.331	0.342	0.608	0.277
7 月		0.528	0.552	0.746	0.860		0.098	0.102	0.309	0.210
8 月		0.720	0.690	0.771	0.875		0.255	0.259	0.312	0.310
9 月		0.681	0.648	0.839	0.924		0.292	0.302	0.606	0.410
10 月		0.646	0.611	0.703	0.845		0.345	0.354	0.708	0.369
11 月		0.481	0.480	0.493	0.736		-0.120	-0.116	0.065	0.132
12 月		0.375	0.411	0.314	0.522		-0.085	-0.079	0.149	0.047
7-10 月		0.602	0.600	0.773	0.879		0.251	0.259	0.395	0.336
11-6 月		0.526	0.463	0.657	0.804		0.157	0.164	0.295	0.230
全年		0.582	0.530	0.743	0.856		0.249	0.256	0.387	0.330

2.7 示性波高及週期之關係

接著，本文繼續探討示性波之波高與週期之關係。圖 2.7-1 與圖 2.7-2 分別以波高對傳統定義之示性波週期與新定義之示性波週期二者之線性回歸結果，圖中斜線代表線性回歸後之直線。線性回歸 $T = aH + b$ 可以表示之，其中 a 及 b 分別代表直線之斜率及截距。

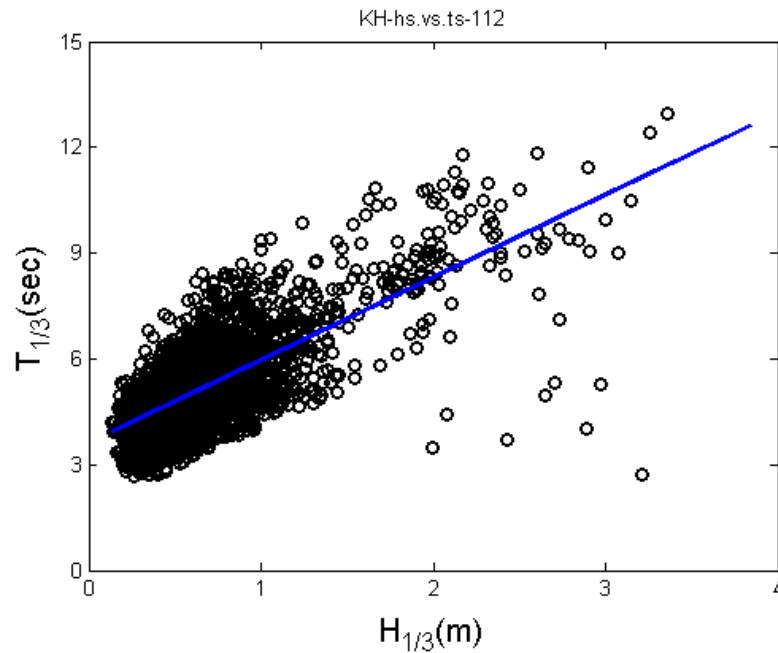


圖 2.7-1 示性波週期與示性波高之關係

由圖 2.7-1 可知，整體而言，示性波之週期隨波高增加而增加，但在部分大波高時，示性波週期卻反而小值，圖 2.7-1 中直線之斜率及截距分別為 2.346 及 3.624，而相關係數為 0.703。圖 2.7-2 顯示新示性波之週期亦隨波高增加而增加，且在大波高時並無上述圖 2.7-1 之現象，且大波之週期均勻分布在回歸直線上。圖 2.7-1 中直線之斜率及截距分別為 2.701 及 4.040，而相關係數為 0.756。因新示性波週期之定義所計算之值一定比傳統示性波週期高，所以回歸直線之截距與斜率均比圖 2.7-1 高，另外因為樣本分布較圖 2.7-1 更集中於回歸直線上所以相關係數比圖 2.7-1 高。

圖 2.7-3 個別波平均週期與示性波高之關係，及其線性回歸直線。

因個別波平均週期一定比示性波週期低，圖 2.7-3 顯示樣本分布比圖 2.7-1 及圖 2.7-2 更集中，且平均週期亦隨波高增加而增加，但在大波高時亦如圖 2.7-1 之現象，有部分大波之平均週期卻低。圖 2.7-3 中直線之斜率及截距分別為 1.853 及 2.738，而相關係數為 0.769 稍高於圖 2.7-2 之相關係數。在工程應用上，以新定義之示性波週期或平均週期可以當為與波高關係之參數。表 2.7-1 則詳列出各月份示性波高對應示性波週期、新定義示性波週期及平均週期的迴歸參數及相關係數。

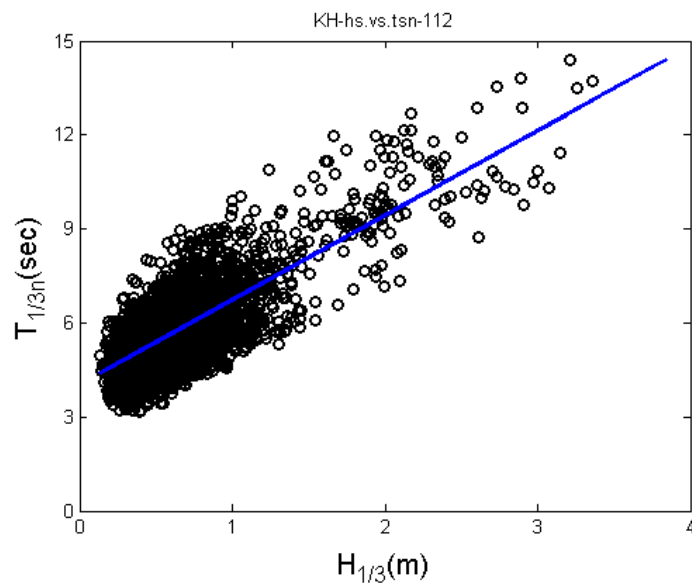


圖 2.7-2 新示性波週期與示性波高之關係

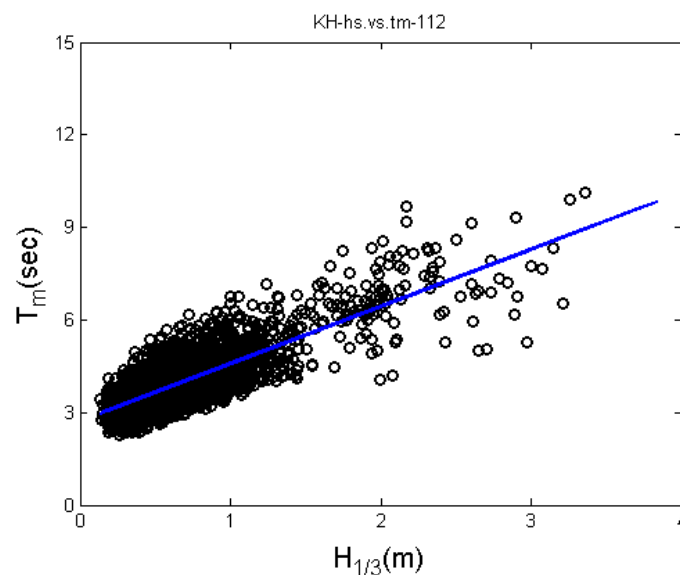


圖 2.7-3 平均週期與示性波高之關係

表 2.7-1 各月份示性波高對應各種週期的迴歸參數及相關係數

	Ts.VS.Hs			Tsn.VS.Hs			Tm.VS.Hs		
	迴歸 係數		相關 係數	迴歸 係數		相關 係數	迴歸 係數		相關 係數
1 月	0.611	4.607	0.178	1.202	4.835	0.331	0.806	3.260	0.383
2 月	1.341	3.814	0.436	2.022	4.009	0.548	1.145	2.853	0.550
3 月	0.866	4.410	0.319	1.521	4.668	0.484	1.006	3.182	0.503
4 月	1.117	4.092	0.326	1.834	4.418	0.461	1.211	3.010	0.495
5 月	2.362	3.544	0.627	2.644	4.047	0.664	1.930	2.709	0.708
6 月	2.316	3.850	0.768	2.475	4.364	0.782	1.796	2.970	0.789
7 月	1.604	4.516	0.591	2.173	4.717	0.738	1.343	3.314	0.710
8 月	2.288	3.604	0.792	2.707	4.021	0.860	1.761	2.797	0.842
9 月	2.756	4.140	0.852	3.036	4.589	0.880	2.210	2.918	0.901
10 月	2.719	3.688	0.773	2.945	4.177	0.790	2.162	2.691	0.823
11 月	2.048	3.808	0.575	2.258	4.299	0.594	1.620	2.857	0.615
12 月	0.216	4.831	0.069	0.609	5.180	0.174	0.384	3.542	0.177
7-10 月	2.414	3.942	0.764	2.786	4.326	0.825	1.905	2.911	0.828
11-6 月	1.900	3.772	0.576	2.246	4.199	0.629	1.576	2.834	0.656
全年	2.346	3.624	0.703	2.701	4.040	0.756	1.853	2.738	0.769

第三章 高雄港波譜特性之分析

3.1 波譜分析之介紹

3.1.1 頻譜形式(frequency spectrum)

不規則波之波浪特性統計，可用短期之波浪統計或者波譜分析來瞭解。前者是在 1 小時之水位資料以零上切(zero-upcrossing)方法將水位切成有上下起伏之個別波，再個別波之波高大小排序，前 1/3 之平均值稱為 1/3 波高，一般符號記為 $H_{1/3}$ ，而相對應之週期稱為 1/3 週期。此 1/3 波高及 1/3 週期經往昔學者研究發現具有穩定代表當地不規則波之波浪能量(見郭，2002)。

海面上波浪的水位變化，可將波形視為是由無限個不同振幅、頻率、相位和方向的成份波所疊加而成，以數學式表示則為：

$$\eta(x, y, t) = \sum_{j=1}^{\infty} \sum_{i=1}^{\infty} a_{ij} \cos[k_i(x \cos \theta_j + y \sin \theta_j) - 2\pi f_i t + \varepsilon_{ij}] \quad (3.1-1)$$

上式中的下標 i 與 j 分別表示第 i 個頻率與第 j 個方向； $\eta(x, y, t)$ 為波形函數， x 、 y 和 t 分別代表空間與時間的座標；波數 k 和頻率 f 若依波浪的分散關係式兩者是相依的變數； θ 為波向，介於 $0 \sim 2\pi$ 之間； ε 是位相差，為具有均一分布的隨機變數。成份波之振幅 a 雖是隨機變數，但其平方和為定值，故在此定義成份波之振幅的平方和如下：

$$S(f, \theta) df d\theta = \sum_{f_i}^{f_i+df} \sum_{\theta_j}^{\theta_j+d\theta} \frac{1}{2} a_{ij}^2 \quad (3.1-2)$$

$S(f, \theta)$ 稱為波浪的方向波譜(directional spectrum)。工程設計上常以波浪的週期為主而忽視方向性，此時，方向頻譜可簡化成一維的波浪頻譜，稱為功率譜或能譜(power spectrum)。

$$S(f) = \int_0^{2\pi} S(f, \theta) d\theta \quad (3.1-3)$$

能譜主要能看出個種指定週期下(稱為成份波)之波浪能量(或振幅平方)。因此波浪頻譜常被用來探討不規則波各種成份聯合作用下之結果。

對於波浪頻譜之形狀，往昔學者多有提出一些形式。主要以深海狀況下，Bretschneider (1968)提出完全成熟波浪之代表波譜為

$$S(f) = 0.257 H_{1/3}^2 T_{1/3}^{-4} f^{-5} \exp[-1.03(T_{1/3} f) - 4] \quad (3.1-4)$$

上式中 $S(f)$ 為頻率 f 之波浪能譜，此形式主要認為波譜在高階頻率時其形狀以 f^{-5} 衰減。有些學者探討不同海域波浪發現上式之係數並不固定，如 Mitsuyasu (1970)，Moskowitz (1964)，Hasselmann et al. (1973)，Ochi and Hubble (1976)。Hasselmann et al. (1973) 探討在強風作用下波浪快速成長，其波譜形狀比上式在主頻處尖銳，因此提出修正的 JONSWAP 波譜，其形式為

$$S(f) = \beta_J H_{1/3}^2 T_p^{-4} f^{-5} \exp[-1.25(T_{1/3} f)^{-4}] \gamma^{\exp[-\frac{(f/f_p-1)^2}{2\sigma^2}]} \quad (3.1-5)$$

上式中 β_J 為待定係數， γ 稱主頻增強效應(enhancement factor)，主要在主頻部份增加，而兩旁之能譜則快速衰減，一般此值在 1~7 之間，平均值為 3.3。其冪次(power)中 σ 為標準偏差，其質一般為 0.07~0.09。Goda (2000) 提出 β_J 與 T_p 可表為

$$\beta_J = \frac{0.0624(1.094 - 0.01915 \ln \gamma)}{0.230 + 0.0336\gamma - 0.185(1.9 + \gamma)^{-1}} \quad (3.1-6a)$$

$$T_p = \frac{T_{1/3}}{[1 + 0.132(\gamma + 0.2)]^{-0.559}} \quad (3.1-6b)$$

若在淺水時，Bouws et al. (1985) 提出在 (3.1-5) 式乘以 TMA 淺水修正函數。但 Huang et al. (1981) 提出 Wallops 波譜以高階波譜斜率為變數來表示淺水狀況，其形式如

$$S(f) = \beta_w H_{1/3}^2 T_p^{1-n} f^{-n} \exp[-\frac{n}{4}(T_p f)^{-4}] \quad (3.1-7)$$

其中

$$\beta_w = \frac{0.0624[1 + 0.7458(n+2)^{-1.057}]}{4^{(m-5)/4} \Gamma[(n-1)/4]} \quad (3.1-8a)$$

$$T_p = \frac{T_{1/3}}{1 - 0.283(n-1.5)^{-0.684}} \quad (3.1-8b)$$

(3.1-8a)式中 Γ 為 Gamma 函數。(3.1-7)式中若 $n=5$ ，則(3.1-7)式轉為(3.1-4)式， n 值可達 8~10。有些學者一直在探討的問題為波浪在高頻時其波譜與頻率之冪次比例，即 $S(f) \approx f^{-n}$ ，在一般研究結論大致認為在淺水區此值接近於 3，而深水則接近於 5。

在淺水波波譜理論中，除了高階之波譜冪次方問題外，另外在主頻之 2 倍附近可能出現另一個主峰，此雙峰波譜如何用一個函數去描述是個問題。Young and Babanin (2005, 2009)，及 Young (2010)提出雙峰(two-peaks)之波譜形式，其為

$$S(f) = S_1(f) + S_2(f) \quad (3.1-9)$$

其中

$$S_1(f) = \beta_1 g^2 (2\pi)^{-4} f_{p_1}^{-(5+n_1)} f^{n_1} \exp\left[-\frac{n_1}{4} \left(\frac{f}{f_{p_1}}\right)^{-4}\right] \gamma^{\exp\left[-\frac{(f-f_{p_1})^2}{2\sigma^2 f_{p_1}}\right]} \quad (3.1-10a)$$

$$S_2(f) = \beta_2 g^2 (2\pi)^{-4} f_{p_2}^{-(5+n_2)} f^{n_2} \exp\left[-\frac{n_2}{4} \left(\frac{f}{f_{p_2}}\right)^{-4}\right] \quad (3.1-10b)$$

(3.1-9)式中有 8 個未知數，即 β_1 、 β_2 、 f_{p_1} 、 f_{p_2} 、 n_1 、 n_2 、 σ 及 γ 。此 8 個未知數可由水位資料求出波譜後，以式(3.1-9) 描述有最小誤差情況下而得之。若只考慮 $S_1(f)$ 則僅有 5 個未知數 β_1 、 f_{p_1} 、 n_1 、 σ 及 γ 。

3.1.2 頻譜特性

當波譜求得後，可進一步求其 n 階力矩(moment)，即為

$$m_n = \int_0^\infty f^n S(f) df \quad (3.1-11)$$

當波高為 Rayleigh 分布時，波浪示性波高(significant wave height)與波譜之零階力矩有關(見 Goda，2000)

$$H_s = 4.004\sqrt{m_0} \quad (3.1-12)$$

且波浪之平均週期為

$$T_{02} = \sqrt{m_0 / m_2} \quad (3.1-13a)$$

或

$$T_{01} = \frac{m_0}{m_1} \quad (3.1-13b)$$

波譜之主頻位置一般可以用水位訊號以 FFT 求出之波譜形狀之最大值，但因波譜可能在主頻附近產生雙峰現象(two peaks)，所以 Young (1996)建議 5 次方加權主頻，其定義為

$$f_p = \frac{\int f S^5(f) df}{\int S^5(f) df} \quad (3.1-14)$$

Young (1996)證實式(3.1-14)可以降低波譜主頻估算之誤差。

波譜之寬窄程度(spectral bandwidth)，Cartwright and Long-Higgins (1956)定義出一個指標為

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{m_2^2}{m_0 m_4}\right)^{1/2}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq 1 \quad (3.1-15)$$

或者 Tucker and Pitt (2001)定義另一個頻寬指標

$$\nu = \left(\frac{m_0 m_2}{m_1^2} - 1\right)^{1/2}, \quad 0 \leq \nu \leq 1 \quad (3.1-16)$$

當波譜為窄頻時， ε 及 $\nu \rightarrow 0$ ，若波譜為寬頻時， ε 及 $\nu \rightarrow 1$ 。

3.2 資料來源與處理

3.2.1 觀測地點及儀器

本計畫使用之波浪水位資料由港研中心提供。測站位置在高雄港第 1 港口外海(港區範圍內)設立海上海象觀測 1 站，使用儀器為挪威 Nortek AWAC 方向性潮波流儀，如圖 3.2-1 所示。

聲波剖面海流與波高波向監測系統，為挪威 Nortek AS Acoustic Wave And Current (AWAC)方向性潮波流儀，如圖 3.2-2 所示；量測原理為聲波都卜勒式，使用 4 個聲波探頭(其中之一用於量測表面波高)，剖面潮波流儀感測器具備可測得逐時波浪、分層流向流速、水位值之功能。量測資料內容包括各剖面層流速流向、回聲訊號強度(作資料優劣判斷)，而波浪及水位利用壓力、波速及聲波之波速直接量測方式。將此套系統安裝在港口外海所設置研究用之海上觀測站，進行各項資料的搜集和整理，用來發展研究計畫所需之海氣象資料量測及擷取分析。



圖 3.2-1 波浪觀測 1 站設置地點示意圖

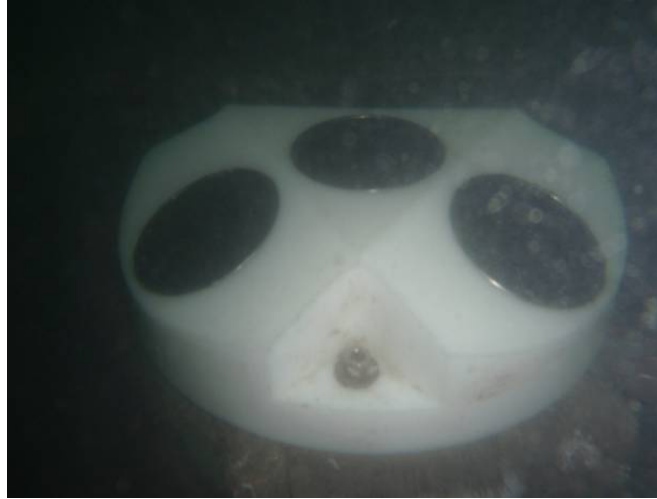


圖 3.2-2 Nortek AWAC 方向性聲波剖面海流與波高波向潮波流儀

3.2.2 資料格式與處理

單純來看，若視風浪的水面變位為一維的波形變化，如圖 3.2-3 所示。對此不規則波形信號來定義個別波之波高與週期有三種方式。第一種是零位上切 (zero up cross) 法，所謂上切零點是水位上升曲線與平均水位線之交點，如圖 3.2-3 中小圓圈所示各點。計算二相鄰上切零點間，水位變動之最高峰與最低谷點間之垂直高差即為波高，二相鄰上切零點的時間長度即為週期。第二種是以水位下降曲線與平均水位線之交點，如圖 3.2-3 中小三角形所示各點，定義出個別波的方法，稱為零位下切 (zero down cross) 法。另外第三種是無視平均水位的存在，兩相鄰波峰波谷的高差即為波高，兩相鄰波峰之間的時間即為週期，依此定義個別波的方法稱為峰至峰 (crest to crest) 法。峰至峰法在統計理論的處理上較為明確方便，但於工程實用上則因意義不大而少被應用。雖然最近有不少人提倡用零位下切法可以得到更穩定的統計特性，但目前零位上切法還是定義波浪個別波最普遍的方法，而且也獲得了相當肯定的認同。

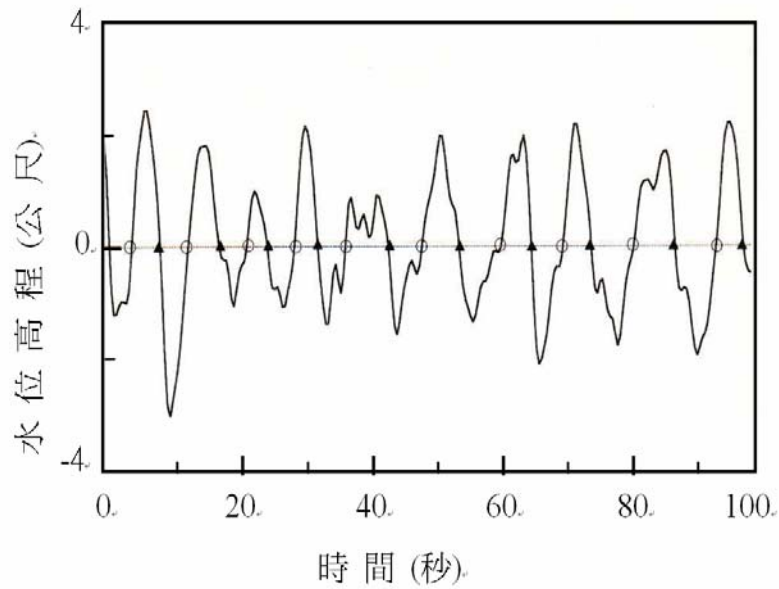


圖 3.2-3 海域風浪水位信號 (零位橫切法之定義)

本計畫使用 AWAC 方向性潮波流儀中之兩個聲波所測表面水位訊號及壓力感應器所測之壓力訊號。此訊號每小時整點開始以 2hz (0.5sec) 之取樣頻率，測量長度為 1024 秒，即每筆資料共 2048 點。本研究為提升波譜之估算值(estimated spectrum)精度及波譜之解析度(resolution)平衡，將每筆資料切割 512 點，重疊 128 個數據，再將 5 個小段資料得到之波譜取平均值。

港研中心自 2009 年 6 月 29 日起至 12 月 4 日，分 3 次施放，波浪資料收集共 3867 筆，若資料訊號中含有突然跳動(impulse)，或超大雜訊則不加以分析，此部分共有 1356 筆，因此有效之資料為 2511 筆占全數資料筆數約 65%。

壓力訊號理論上可用波浪理論轉換成表面水位式(3.2-1)，再以式(3.2-2)求出波譜，但因一般壓力式儀器所設水深較深，本計畫放置之水深為 17m，轉換函數轉成水位時，會因為轉換函數太小造成誤差，因此本計畫直接由壓力之能譜轉換為水位之能譜，其轉換之關係由線性波浪理論 (Dean and Dalrymple, 2002)為

$$\frac{P(x, z, t; h)}{\gamma} = \frac{\cosh k(h + z)}{\cosh kh} \eta(x, t) \quad (3.2-1)$$

上式中 k 為週波數(Wave number)， h 為水深， $\eta(x,t)$ 為表面水位， $P(x,z,t;h)$ 為再 z 處之壓力訊號。所以在 z 處之壓力訊號之能譜， $S^p(f)$ ，與表面水位之能譜， $S(f)$ ，為

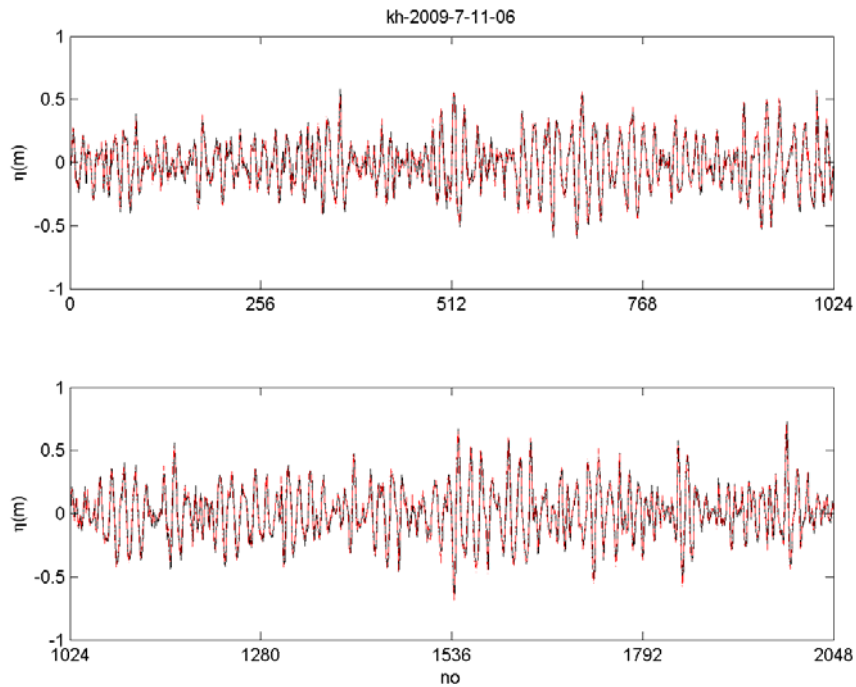
$$S^p(f) = T_f^2 S(f) \quad (3.2-2)$$

其中 T_f 稱為轉換函數，為

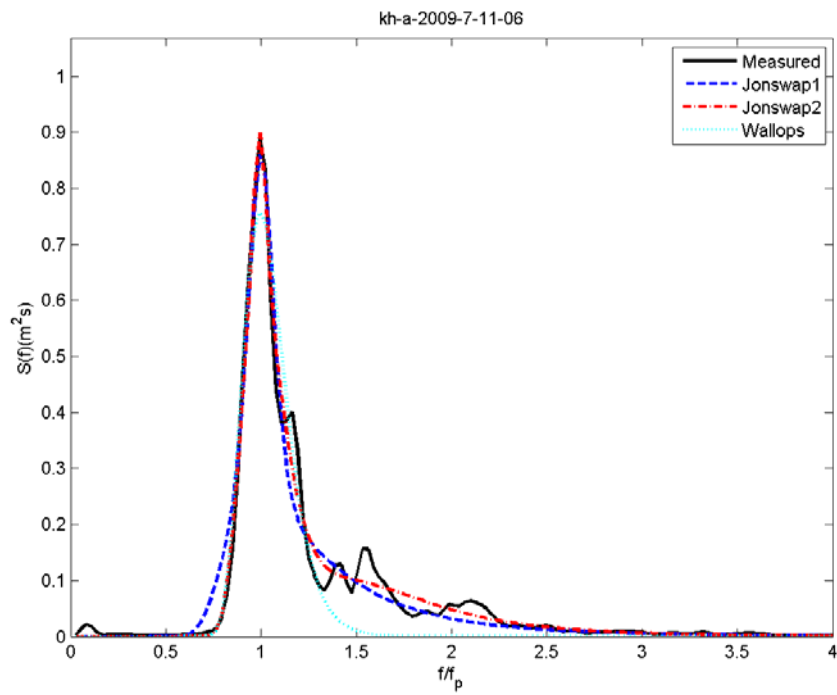
$$T_f = \gamma \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \quad (3.2-3)$$

3.3 波譜特性

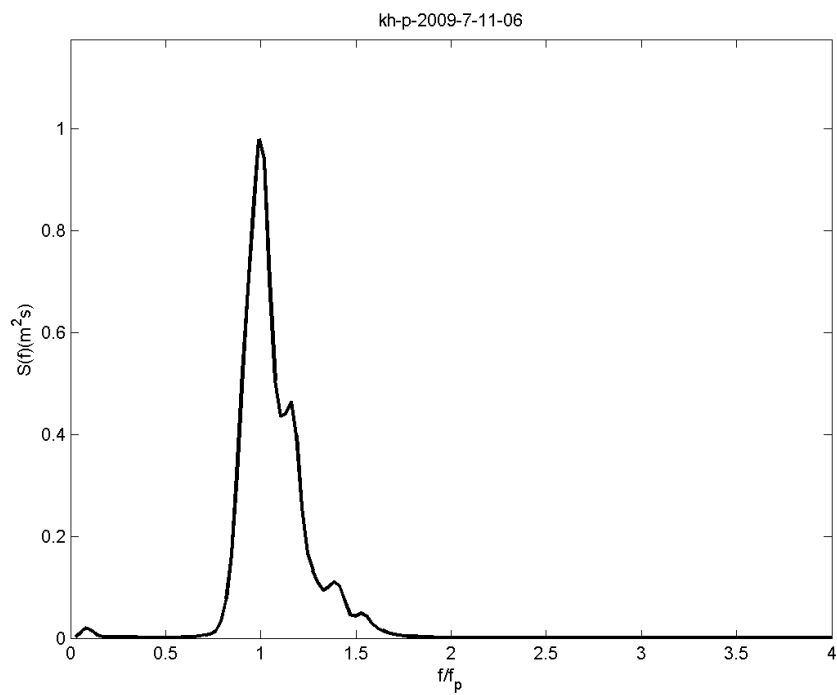
選擇 2009 年 7 月 11 日 6 時及 7 月 30 日 20 時由聲波水位實測訊號、波譜、其相對應壓力訊號及其轉換成水位能譜如圖 3.3-1 和 3.3-2 所示。



(a) 聲波水位訊號($H_{1/3} \approx 0.5m$)

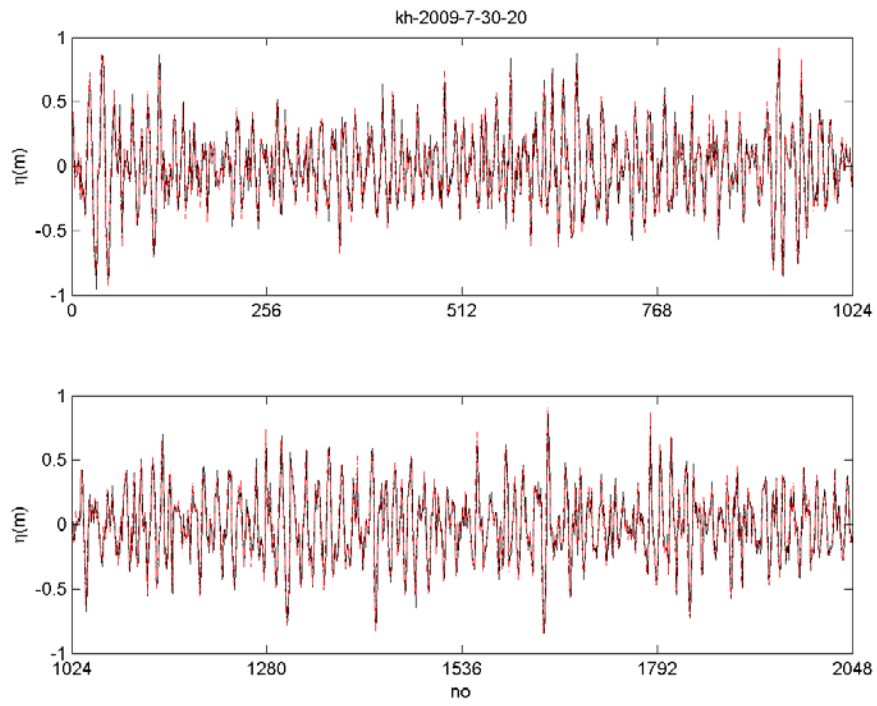


(b) 水位能譜

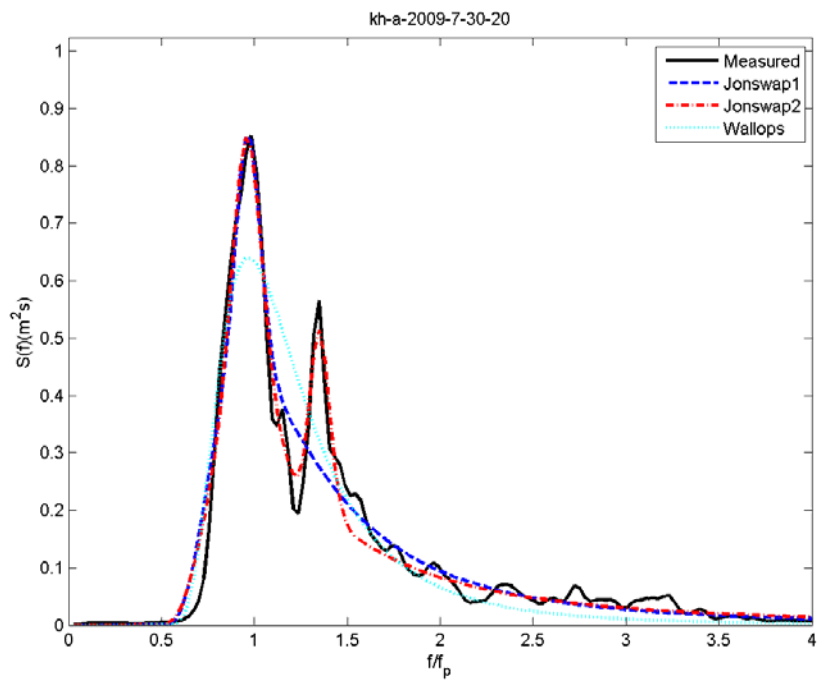


(c) 譜壓力訊號之能譜

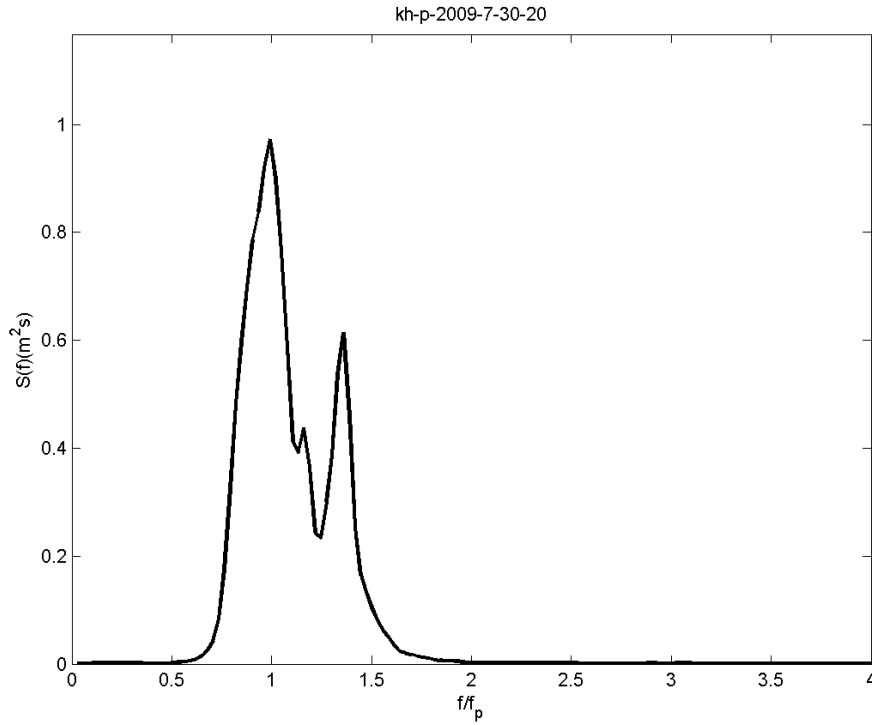
圖 3.3-1 聲波水位訊號及其能譜與壓力訊號之能譜(2009 年 7 月 11 日 06 時)



(a) 聲波水位訊號($H_{1/3} \approx 1.0m$)



(b) 水位能譜



(c) 譜壓力訊號之能譜

圖 3.3-2 聲波水位訊號及其能譜與壓力訊號之能譜(2009 年 7 月 30 日 20 時)

3.3.1 聲波水位之個別波特性

首先將初步分析有效之聲波水位資料計算出個別波 $H_{1/3}$ 與 $H_{1/10}$ 比較，如圖 3.3-3 所示。圖中直線為 $H_{1/10}$ 與 $H_{1/3}$ 線性回歸所得。由圖 3.3-3 可知 $H_{1/3}$ 與 H_s 極靠近於回歸之直線，顯示二者有相當高之關係，若此關係以直線及相關係數， $cc(x, y)$ ，(correlation coefficient)表示可為

$$y(H_s) = ax(H_{1/3}) + b \quad (3.3-1)$$

及

$$cc(x, y) = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sqrt{\text{cov}(x, x) \text{cov}(y, y)}} \quad (3.3-2)$$

其中 $\text{cov}(x, y)$ 為變數 x 及 y 之共變數(covariance)，定義為

$$\text{cov}(x, y) = E[(x - \mu_x)(y - \mu_y)] \quad (3.3-3)$$

其中 μ_x 及 μ_y 分別為變數 x 及 y 之平均值， $E[]$ 為統計之期望值。 $H_{1/10}$ 與 $H_{1/3}$ 關係以式(3.3-1)及式(3.3-2)所得知結果示如表 3.3-1 之第 2 至第 4 行。由表 3.3-1 之相關係數為 0.9983 非常高，顯示 $H_{1/3}$ 與 $H_{1/10}$ 有強關係。若欲知二者比值($H_{1/10}/H_{1/3}$)大小與 $H_{1/3}$ 之分布可見圖 3.3-4，圖 3.3-4 中實線為比值之平均值(μ)，而虛線為 95%信賴度下之範圍($\pm 1.96\sigma$)。平均值(μ)及標準偏差(σ)在表 3-3.1 中的第 5 至第 6 行， $\mu=1.2518$ ， $\sigma=0.0319$ 顯示，此值與波高為 Rayleigh 分布之理論值 1.27 接近(見 Goda, 2000)。而由圖 3.3-4 之 $H_{1/10}/H_{1/3}$ 分布可知此比值與 $H_{1/3}$ 無關。若再將 $H_{1/10}/H_{1/3}$ 對譜寬參數(ν)之分布如圖 3.3-5，圖 3.3-5 中回歸直線為實線而 95%信賴度下之範圍為虛線。從圖 3.3-5 雖然看出 $H_{1/10}/H_{1/3}$ 與譜寬參數略呈正比，但其關係數為 0.1554 顯示二者關係不強。

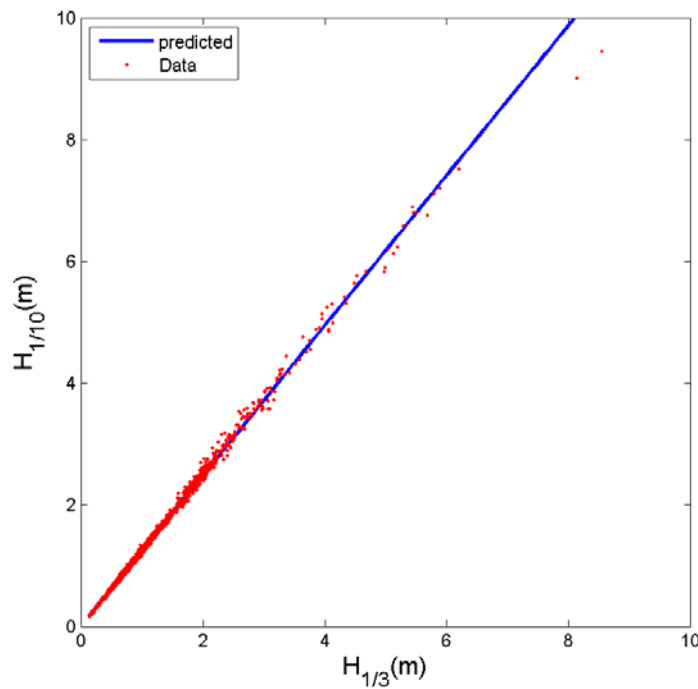


圖 3.3-3 個別波 $H_{1/3}$ 與 $H_{1/10}$ 之比較

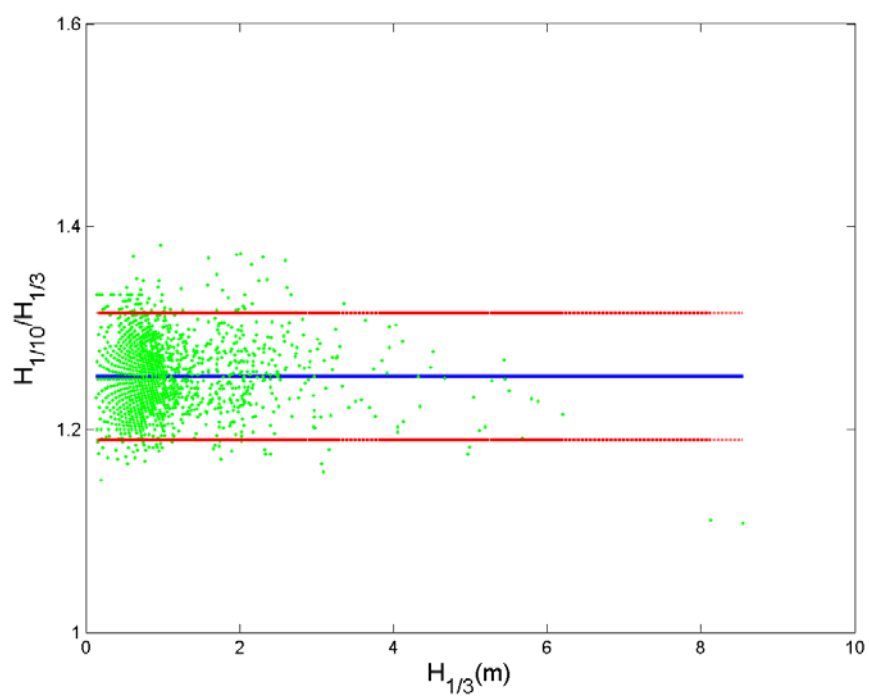


圖 3.3-4 $H_{1/10} / H_{1/3}$ 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布

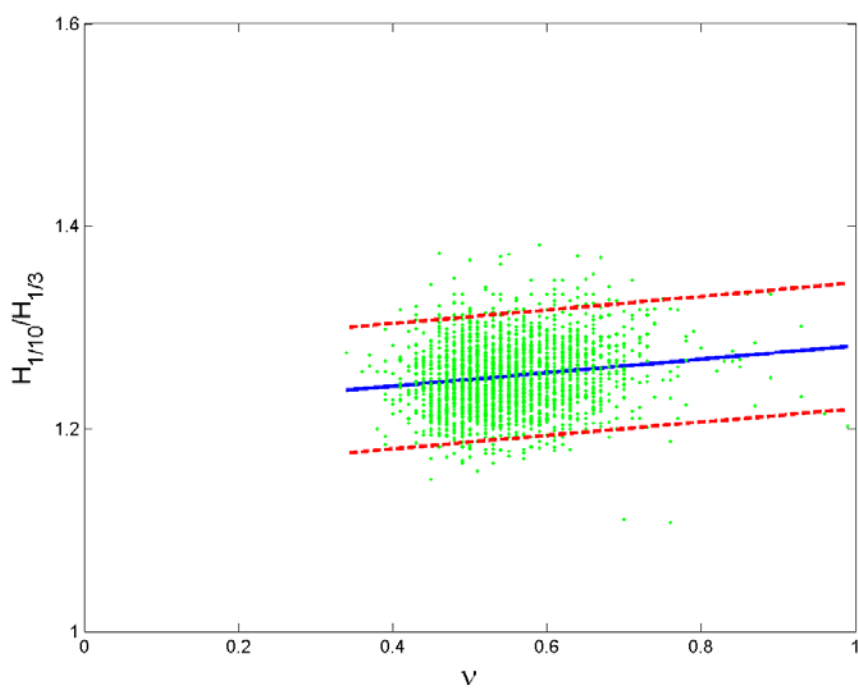


圖 3.3-5 $H_{1/10} / H_{1/3}$ 與譜寬參數(ν)之關係

$H_{1/3}$ 與 H_{\max} 之關係示如圖 3.3-6 及表 3.3-1 之相關係數。cc=0.9868 顯示 $H_{1/3}$ 與 H_{\max} 高關係，但此關係較 $H_{1/3}$ 與 $H_{1/10}$ 弱，此因 H_{\max} 大小與波浪個數有關，一般較 $H_{1/10}$ 不為穩定值。若二者比值($H_{\max}/H_{1/3}$)與 $H_{1/3}$ 之分布可見圖 3.3-7，其 $\mu=1.6432$ ， $\sigma=0.1313$ 顯示 $H_{\max}/H_{1/3}$ 比值可 1.3859-1.9005 間。若波高為 Rayleigh 分布，由 Longuet-Higgins (1952) 推導之 $H_{\max}/H_{1/3}$ 理論值為

$$\mu(H_{\max}/H_{1/3}) = \frac{\sqrt{\ln N}}{\sqrt{3} + 1.5\sqrt{\pi}\operatorname{erfc}(\sqrt{3})} \quad (3.3-4a)$$

或上式近似為(見 Goda, 2000)

$$\mu(H_{\max}/H_{1/3}) = 0.706(\sqrt{\ln N} + \frac{0.5772}{2\sqrt{\ln N}}) \quad (3.3-4b)$$

其中 N 為波浪個數， $\operatorname{erfc}(x)$ 為誤差餘函數(complementary error function)，其定義為

$$\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2} dt = 1 - \operatorname{erf}(x) \quad (3.3-5)$$

以測量波浪平均週期為 3-11sec，在 1024sec 內可能有 $N=93-340$ 個波，若代入式(3.3-4a)則得平均 $H_{\max}/H_{1/3}$ 為 1.51-1.71，若代入式(3.3-4b)則得平均 $H_{\max}/H_{1/3}$ 為 1.60-1.78，足見本研所得之平均值接近於理論值。而由圖 3.3-7 之 $H_{\max}/H_{1/3}$ 分布可知此比值與 $H_{1/3}$ 無關。若再將 $H_{1/10}/H_{1/3}$ 對譜寬參數(ν)之分布如圖 3.3-8。從圖 3.3-8 看出 $H_{1/10}/H_{1/3}$ 幾乎與譜寬參數亦無關係。

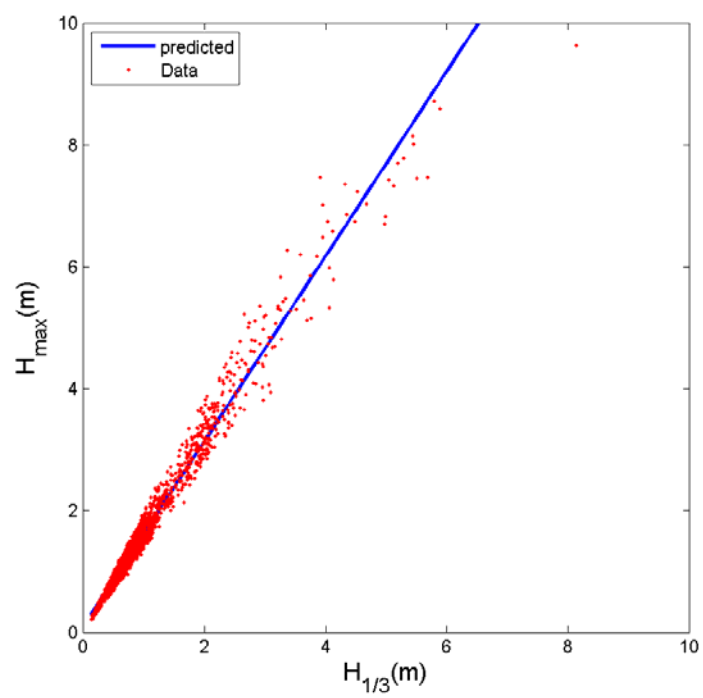


圖 3.3-6 個別波 $H_{1/3}$ 與 H_{\max} 之比較

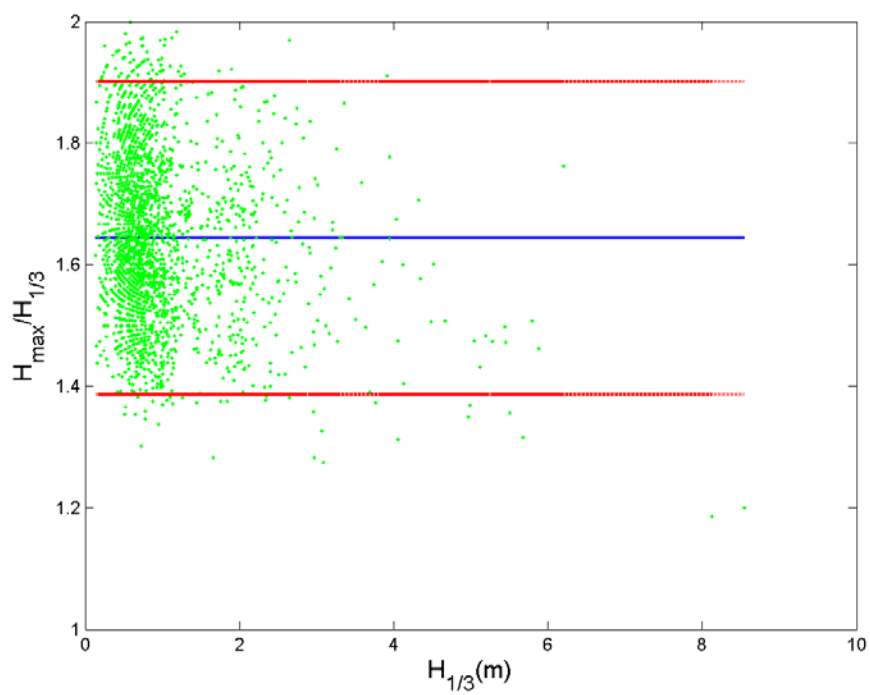


圖 3.3-7 $H_{\max}/H_{1/3}$ 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布

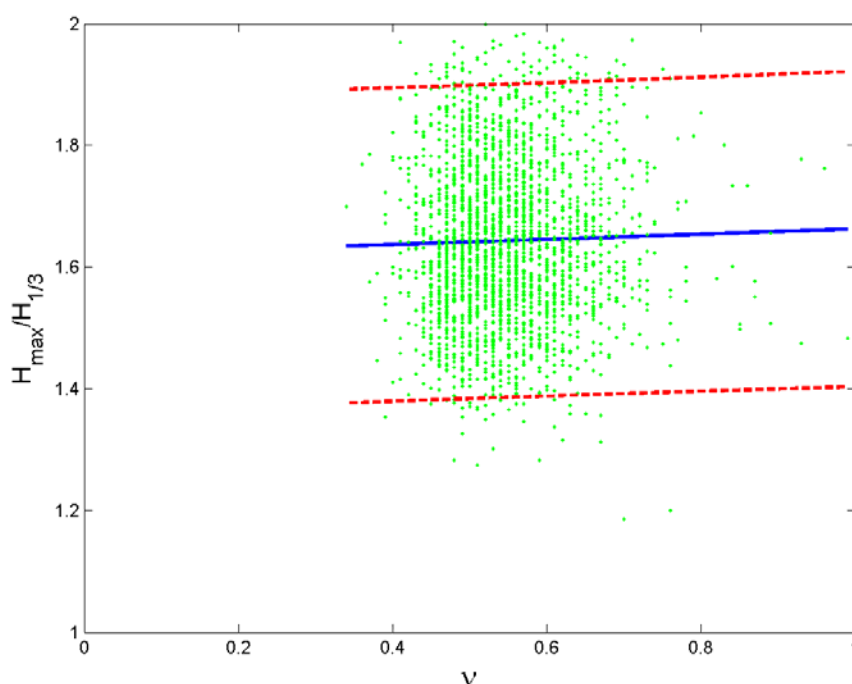


圖 3.3-8 $H_{\max} / H_{1/3}$ 與譜寬參數(ν)之關係

3.3.2 聲波水位之個別波與波譜

將個別波 $H_{1/3}$ 與能譜所得示性波高， H_s 之比較如圖 3.3-9 所示，由表 3.3-1 相關係數達 0.9953 顯示 H_s 與 $H_{1/3}$ 高相關，而斜率 $a=1.0483$ 接近於 1 顯示 H_s 與 $H_{1/3}$ 值相近。圖 3.3-9 另外可看出在波高大時， $H_{1/3}$ 似乎比波高小時更低於 H_s ，不同波高下 H_s 與 $H_{1/3}$ 之比值示如圖 3.3-10。平均值(μ)及標準偏差(σ)在表 3.3-1 中的第 5 至第 6 行， $\mu=1.087$ 大於 1，顯示一般 H_s 比 $H_{1/3}$ 大， $\sigma=0.0383$ 顯示二者相差約 3.8%。當波浪在深水且能譜為窄譜(narrow spectrum)時，Cartwright and Long-Higgins (1956) 推導出此時波高分布接近於為 Rayleigh 分布，且 $H_{1/3}=4.004\sqrt{m_0}=H_s$ (見 Goda, 2000)。

但由圖 3.3-9 及表 3.3-1 發現 H_s 與 $H_{1/3}$ 之比值並非為一，可能原因是水位資料並非位於所謂之深水條件，另外是波譜並非所謂之窄譜條件。Vandever et al. (2008)探討不同地區波浪之 H_s 與 $H_{1/3}$ 之比值與譜寬參數之關係。本研究以 H_s 與 $H_{1/3}$ 之比值與譜寬參數(ν)所得線性回歸公

式係數，式(3.3-1)，及相關係數，式(3.3-2)，示如表 3.3-1 及圖 3.3-11。當波浪為極窄譜時， $\nu \rightarrow 0$ ，由表 3-3.1 線性回歸公式之截距係數 ($b=1.0328$)，顯示與深水且窄譜之理論值 1 只有 3.28%之差異，而且當譜寬參數愈大， $\nu \rightarrow 1$ ， $H_s/H_{1/3}$ 值愈大，此結論顯示當大波浪以個別波與相對應波譜所得代表性波浪相差越多，且 H_s 比 $H_{1/3}$ 大。當 $\nu=1$ 時，本研究所得 $H_s/H_{1/3}$ 值為 1.1315，而 Vandever et al. (2008)之值為 1.177。

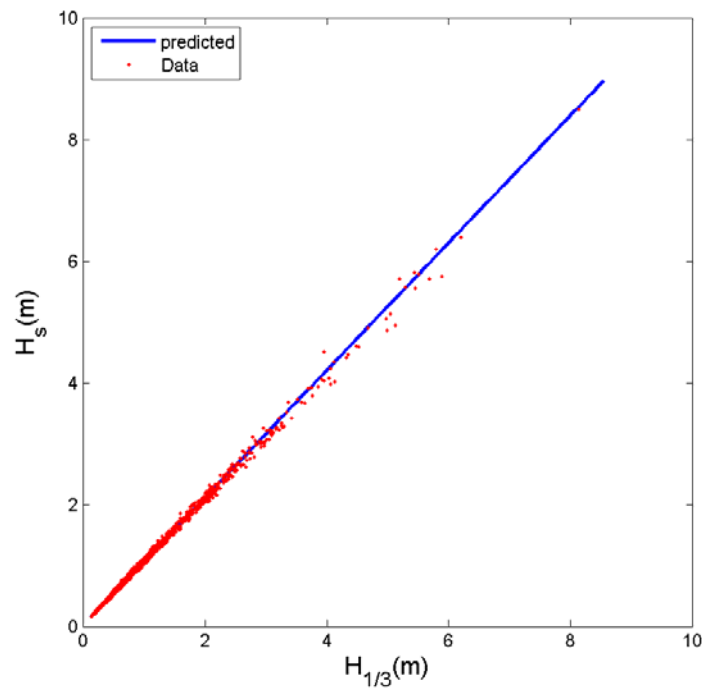


圖 3.3-9 個別波 $H_{1/3}$ 與能譜所得示性波高 (H_s) 之比較

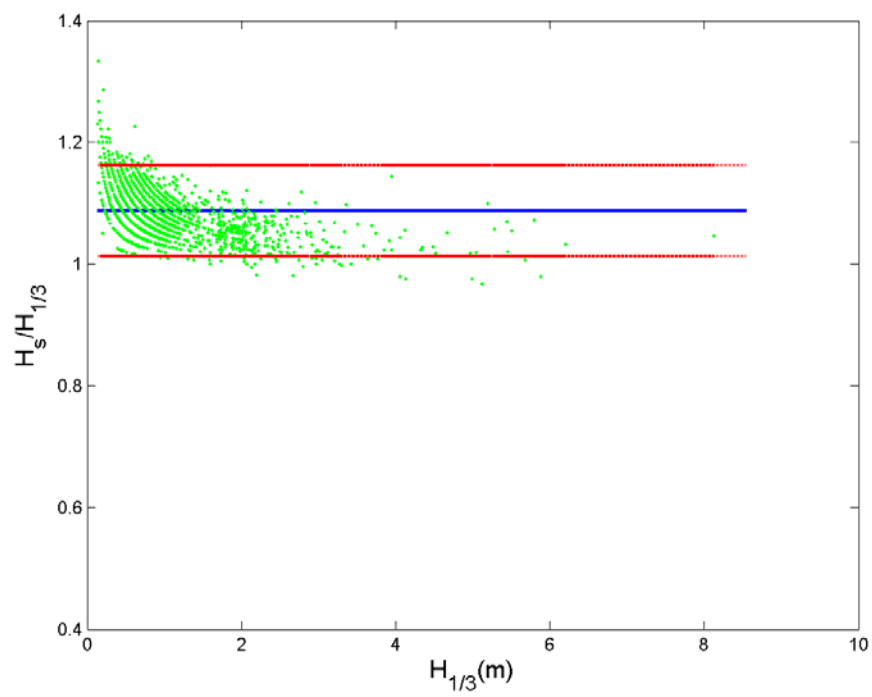


圖 3.3-10 $H_s/H_{1/3}$ 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布

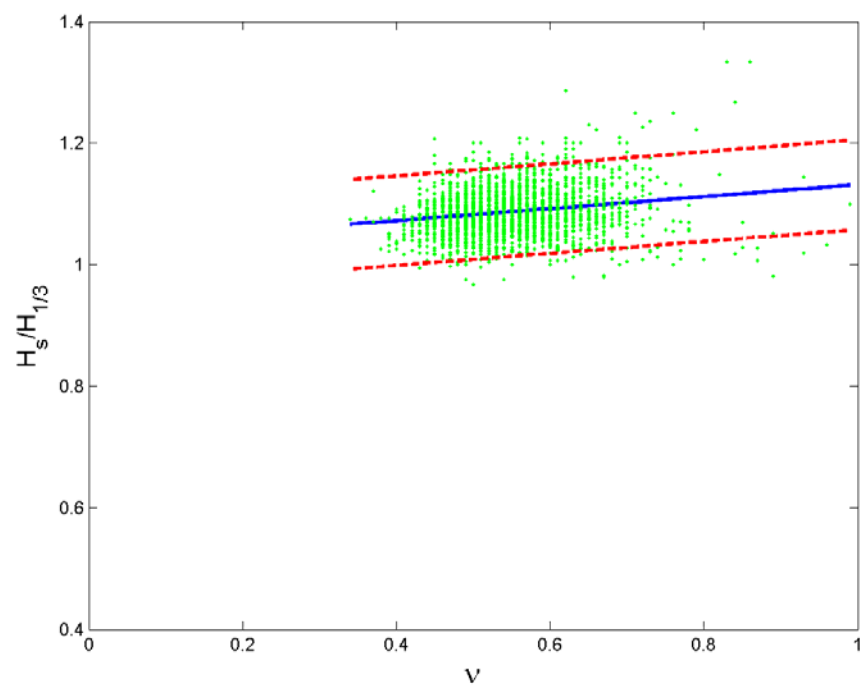


圖 3.3-11 $H_s/H_{1/3}$ 與譜寬參數(ν)之關係

本研究所分析之 2511 筆水位訊號，其週期分布約在 3-11sec 間，個別波所得之平均週期與波譜所得 T_{01} ，式(3.3-13b)，之比較如圖 3.3-12 所示，而二者之比值(T_{01}/\bar{T})與 $H_{1/3}$ 及譜寬參數(ν)之關係分別示如圖 3.3-13 及圖 3.3-14。

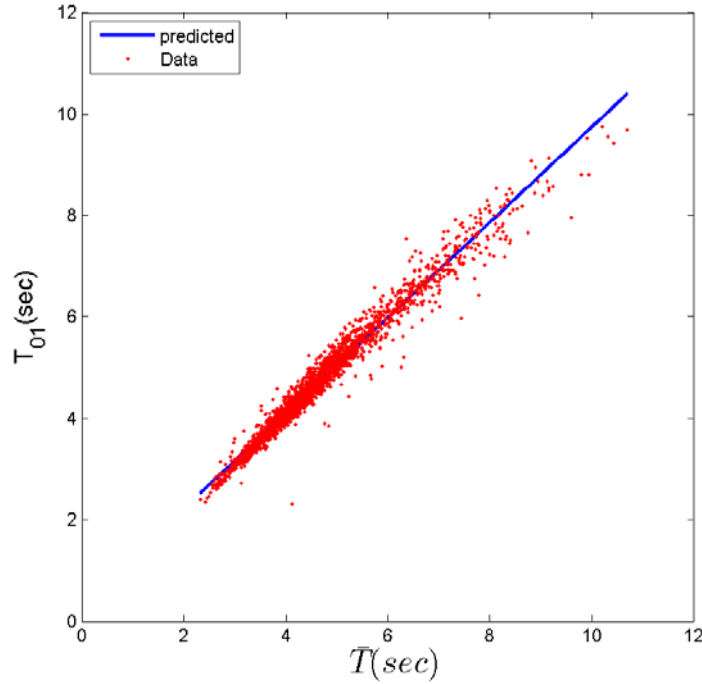


圖 3.3-12 個別波 \bar{T} 與能譜所得平均週期(T_{01})之比較

由圖 3.3-12 顯示 \bar{T} 與 T_{01} 之關係密切，相關係數達 0.9844，在短週期波時 \bar{T} 與 T_{01} 接近，但在長週期時， \bar{T} 高於 T_{01} ，此結果更能於圖 3.3-13 顯現。 T_{01}/\bar{T} 之平均值與標準偏差分別為 1.0179 及 0.0412，此顯示以 \bar{T} 與 T_{01} 表示波浪之平均週期只有 1.8% 之差異。

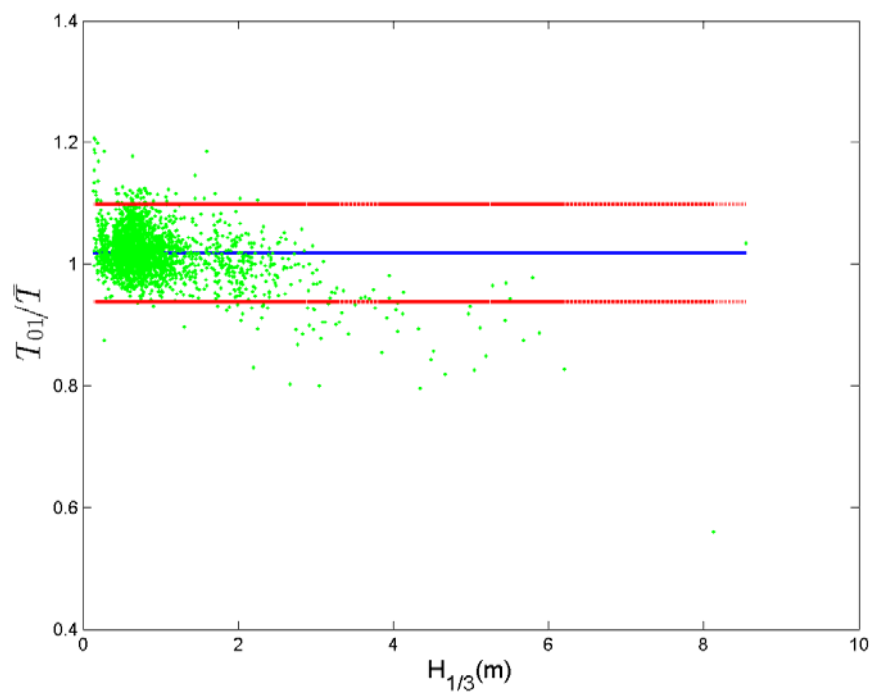


圖 3.3-13 T_{01}/\bar{T} 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布

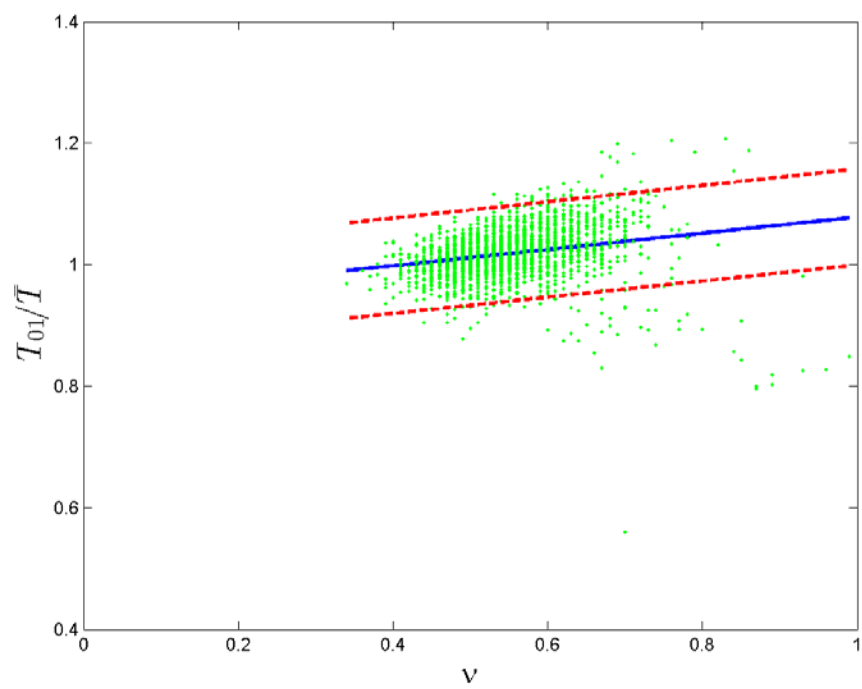


圖 3.3-14 T_{01}/\bar{T} 與譜寬參數(ν)之關係

若考慮波浪頻寬，在窄譜時，由表 3.3-1 線性回歸公式之截距係數 ($b=0.9445$)，顯示與深水且窄譜之理論值 1 只有 5.56% 之差異，而且當譜寬參數愈大， $\nu \rightarrow 1$ ， T_{01}/\bar{T} 值愈大，此結論顯示當大波浪以個別波所得之 \bar{T} 與相對應波譜所得 T_{01} 相差越多，且 T_{01} 比 \bar{T} 大。當 $\nu=1$ 時，本文所得 T_{01}/\bar{T} 值為 1.0783。

分析水位訊號個別波所得之平均週期與波譜所得 T_{02} ，式(3.3-13a)，之比較如圖 3.3-15 所示，而二者之比值(T_{02}/\bar{T})與 $H_{1/3}$ 及譜寬參數(ν)之關係分別示如圖 3.3-16 及圖 3.3-17。由圖 3.3-15 顯示 \bar{T} 與 T_{02} 有高密切關係，相關係數達 0.9792，若與圖 3.3-12 比較可知 T_{01} 較接近於 \bar{T} 且與 \bar{T} 關係高於 T_{02} ，圖 3.3-16 顯現在短週期波及長週期時，部分 T_{02} 很偏離 \bar{T} ，甚至達 0.6。 T_{02}/\bar{T} 之平均值與標準偏差分別為 0.8916 及 0.0389，此顯示以 \bar{T} 與 T_{02} 表示波浪之平均週期就有 11.8% 之差異。若考慮波浪頻寬，在窄譜時，由表 3.3-1 線性回歸公式之截距係數($b=1.0313$)，顯示與深水且窄譜時， T_{02} 與 \bar{T} 僅有 3.13% 之差異，但當寬譜 $\nu \rightarrow 1$ ， T_{02}/\bar{T} 值卻愈小。依 T_{02} 之定義計算係考慮頻率平方而 T_{01} 之計算僅考慮頻率一次方，所以高頻部分影響 T_{02} 遠比 T_{01} 大，所以在寬頻之狀況 T_{02} 結果偏離 \bar{T} 比 T_{01} 大。

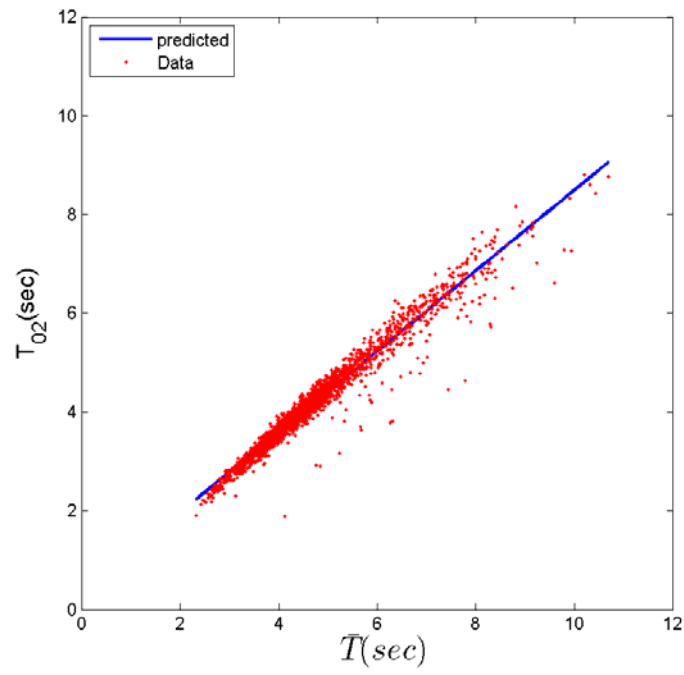


圖 3.3-15 個別波 \bar{T} 與能譜所得平均週期(T_{02})之比較

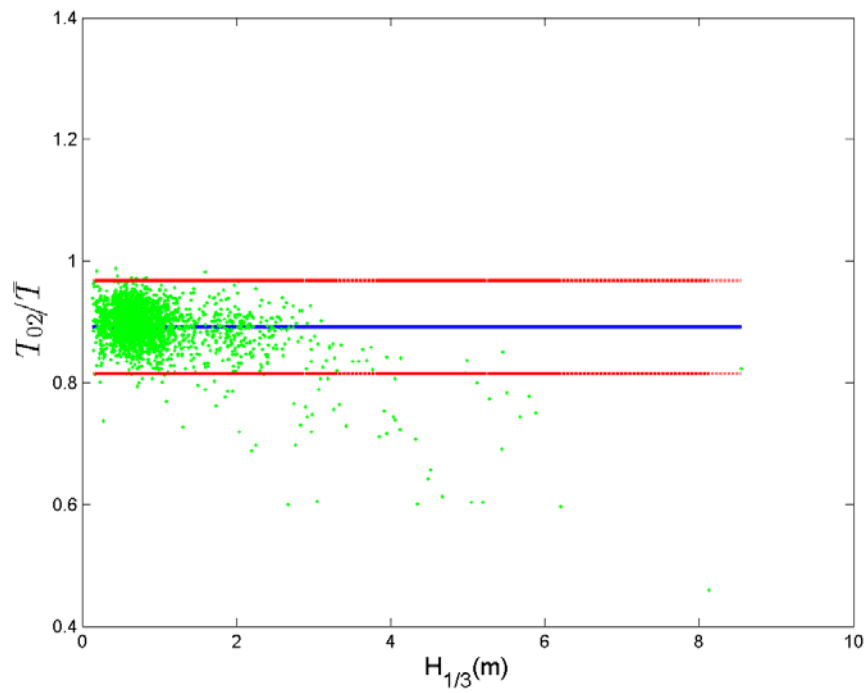


圖 3.3-16 T_{02}/\bar{T} 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布

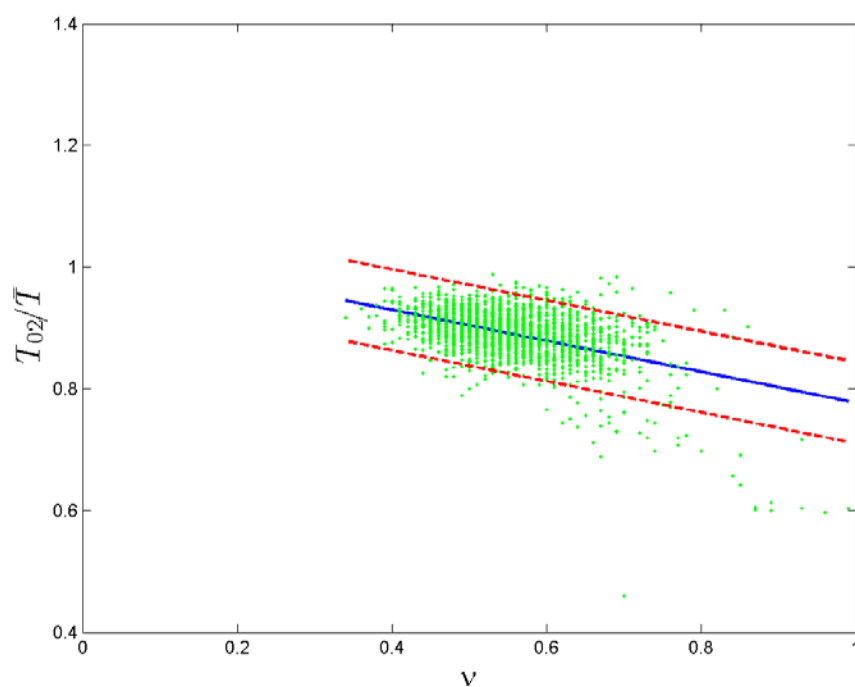


圖 3.3-17 T_{02}/\bar{T} 與譜寬參數(ν)之關係

水位波譜最大值之主頻對應主週期 T_{p1} 與式(3-1.14)加權主頻對應主週期 T_{p4} 之比較如圖 3.3-18 所示，而二者之比值(T_{p4}/T_{p1})與 $H_{1/3}$ 及譜寬參數(ν)之關係分別示如圖 3.3-19 及圖 3.3-20。由圖 3.3-18 顯示 T_{p1} 與 T_{p4} 關係不高，相關係數僅達 0.7331。圖 3.3-19、圖 3.3-20 及表 3.3-1 顯示 T_{p4}/T_{p1} 之平均值與標準偏差分別為 0.9620 及 0.1053，且 T_{p4}/T_{p1} 與波高及頻寬無關係。

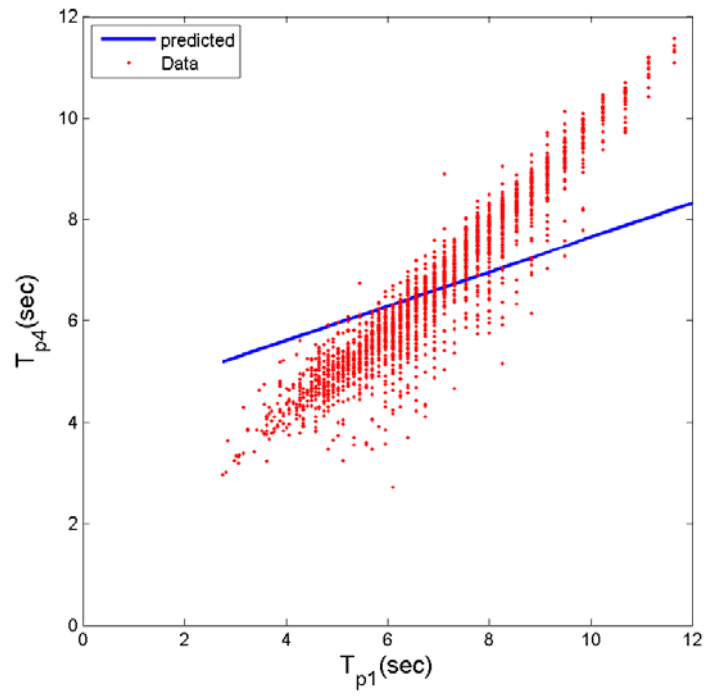


圖 3.3-18 波譜主頻 T_{p1} 與另一定義主頻 T_{p4} 之比較

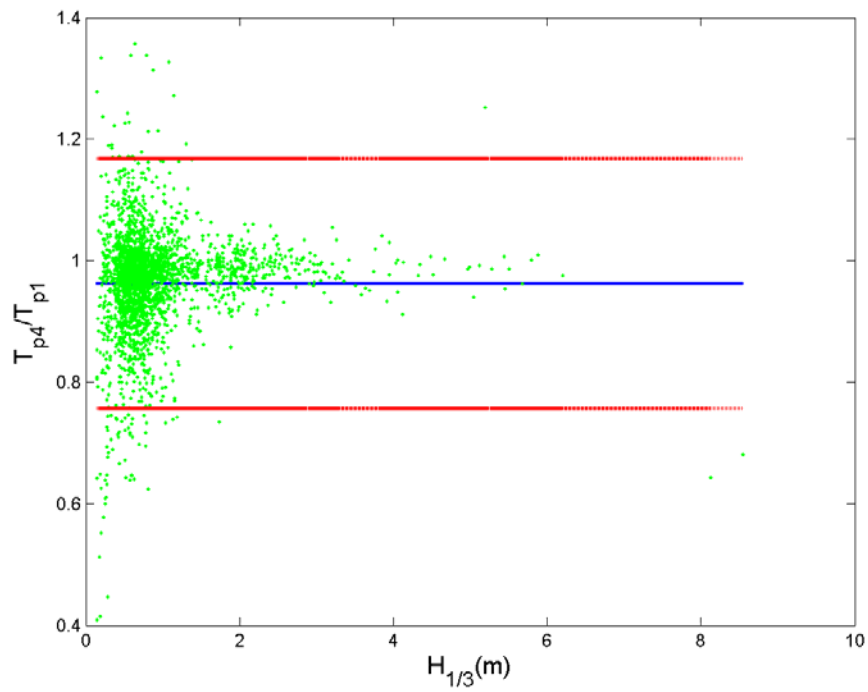


圖 3.3-19 T_{p4}/T_{p1} 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布

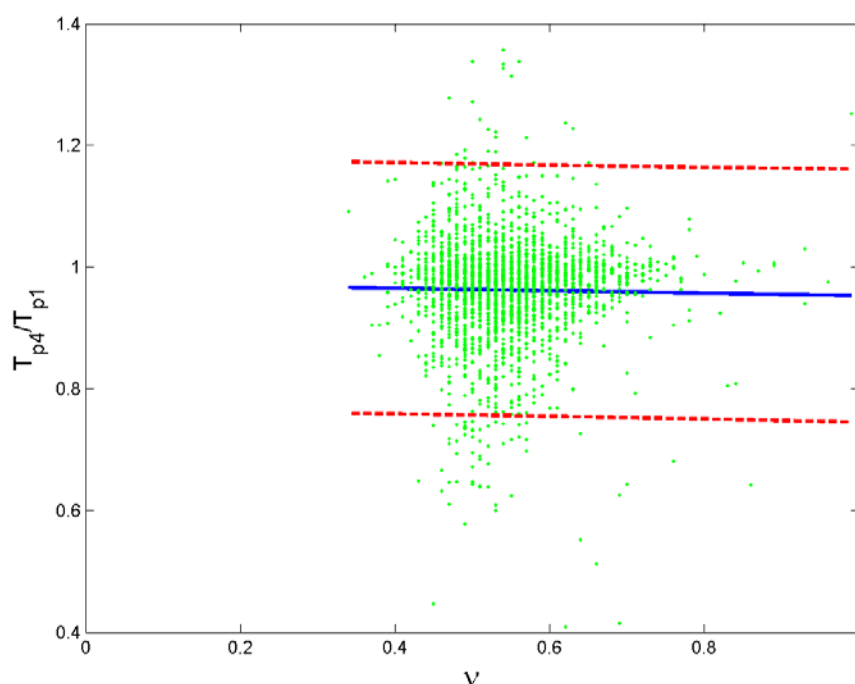


圖 3.3-20 T_{p4}/T_{p1} 與譜寬參數(ν)之關係

有效資料之波譜所得之頻寬參數(ν)及 $H_{1/3}$ 之比較如圖 3.3-21 所示。由圖 3.3-21 顯示頻寬參數 ν 及 $H_{1/3}$ 無明顯之關係，相關係數僅達 0.14，此顯示波高大小並不是影響頻寬參數之因素。有效資料之波譜所得之頻寬參數(ν)及另一定義譜寬參數(ε)之比較如圖 3.3-22 所示。由圖 3.3-22 顯示頻寬參數 ν 及 ε 呈現正比關係，相關係數僅達 0.5469，但頻寬參數(ν)分布比譜寬參數(ε)之分布大，此顯示頻寬參數(ν)分布比譜寬參數(ε)更能區分波譜頻寬，而較適合當為一個指標。

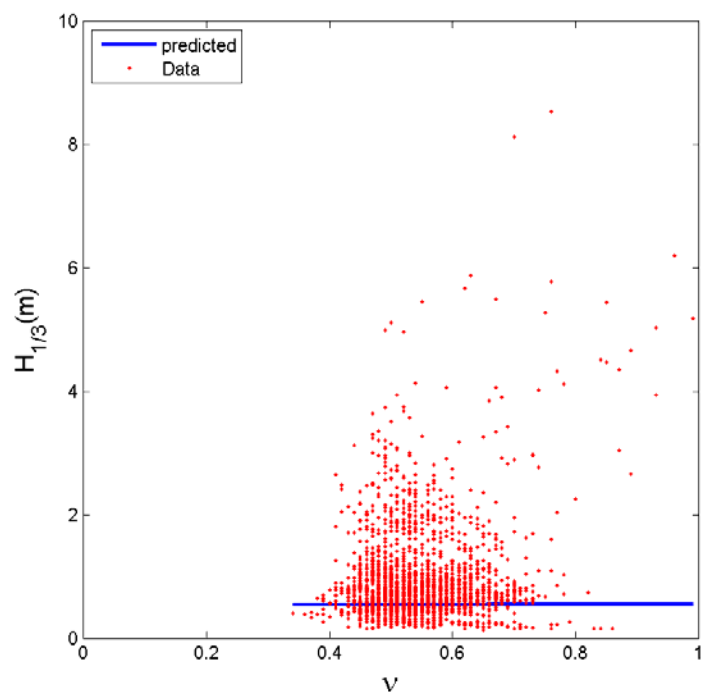


圖 3.3-21 波譜頻寬參數 ν 與 $H_{1/3}$ 之關係

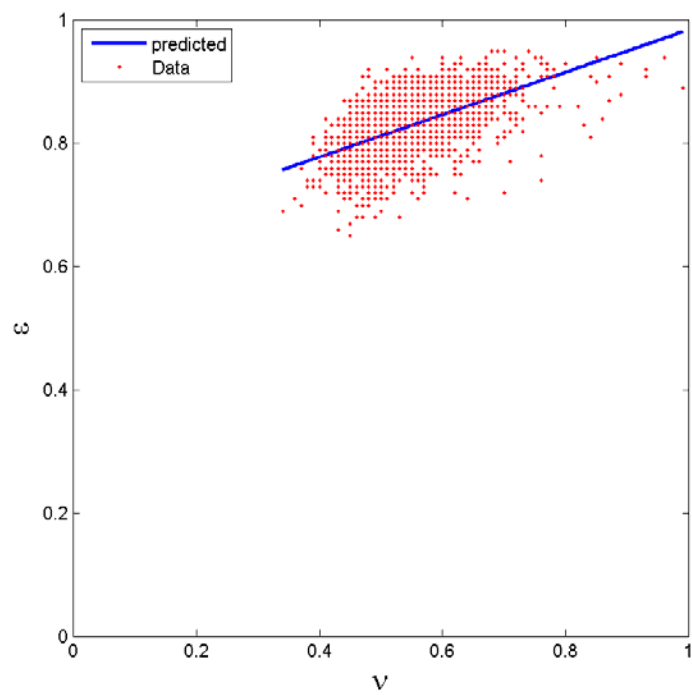


圖 3.3-22 波譜頻寬參數 ν 與另一定義譜頻寬參數 ε 之比較

表 3.3-1 選擇兩變數之線性回歸係數及其相關係數

變數 y 及 x	a	b	cc	μ	σ
$H_{1/10}$ vs. $H_{1/3}$	1.2342	0.0154	0.9983	-	-
$H_{1/10} / H_{1/3}$ vs. ν	0.0664	1.2153	0.1554	1.2518	0.0319
H_{\max} vs. $H_{1/3}$	1.5203	0.0955	0.9868	-	-
$H_{\max} / H_{1/3}$ vs. ν	0.0429	1.6197	0.0244	1.6432	0.1313
$H_{1/3}$ vs. ν	0.0144	0.5355	0.1400	-	-
ε vs. ν	0.3445	0.6398	0.5469	-	-
H_s vs. $H_{1/3}$	1.0483	0.0235	0.9953	-	-
$H_s / H_{1/3}$ vs. ν	0.0987	1.0328	0.1928	1.0870	0.0383
T_{01} vs. \bar{T}	0.9397	0.3482	0.9844	-	-
T_{01} / \bar{T} vs. ν	0.1338	0.9445	0.2426	1.0179	0.0412
T_{02} vs. \bar{T}	0.8156	0.3375	0.9792	-	-
T_{02} / \bar{T} vs. ν	-0.2546	1.0313	-0.4890	0.8916	0.0389
T_{p4} vs. T_{p1}	0.3379	4.2614	0.7331		
T_{p4} / T_{p1} vs. ν	-0.0196	0.9728	-0.0139	0.9620	0.1053
H_s^p vs. H_s	1.3032	-0.3548	0.8701	-	-
H_s^p / H_s vs. ν	0.4672	0.6202	0.2345	0.8765	0.1489
T_{p1}^p vs. T_{p1}	0.9818	0.2537	0.9962	-	-
T_{p1}^p / T_{p1} vs. ν	-0.3990	1.2540	-0.2161	1.0351	0.1380
T_{02}^p vs. T_{02}	0.5771	3.7884	0.7124	-	-
T_{02}^p / T_{02} vs. ν	1.1357	0.9216	0.2457	1.5448	0.3454

3.3.3 聲波水位與壓力資料之能譜比較

接著，探討由壓力訊號所得波譜與聲波水位所得波譜特性之比較，由壓力訊號所得波譜 H_s^p 與水位波譜所得 H_s 之比較如圖 3.3-23 所示，而二者之比值 (H_s^p / H_s) 與 $H_{1/3}$ 及譜寬參數 (ν) 之關係分別示如圖 3.3-24 及圖 3.3-25。由圖 3.3-23 及表 3.3-1 顯示 H_s^p 與 H_s 關係不密切，相關係數僅達 0.8701。圖 3.3-24 及圖 3.3-25 顯示 H_s^p / H_s 與波高及頻寬無明顯之關係。表 3.3-1 中其平均值為 0.8765，但在大波浪時， H_s^p / H_s 約在 1.1。

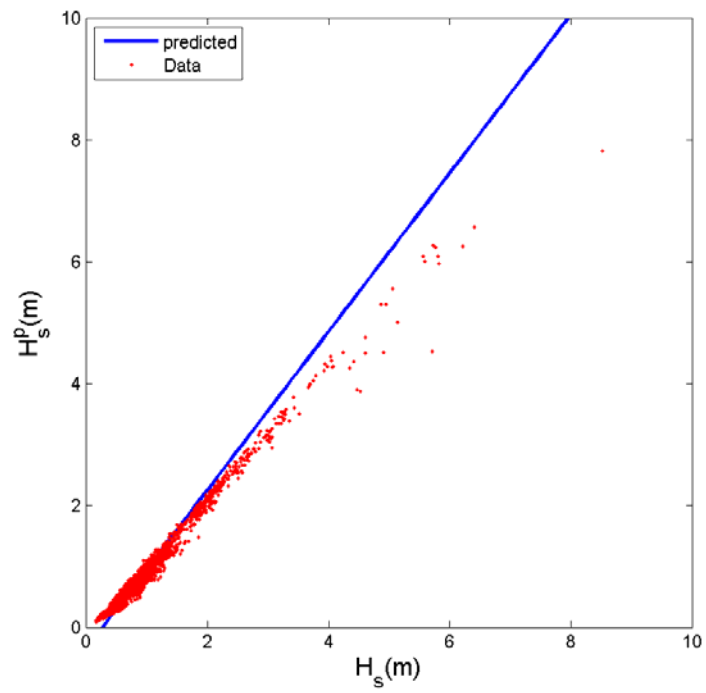


圖 3.3-23 水位波譜所得 H_s 與壓力波譜所得 H_s^p 之比較

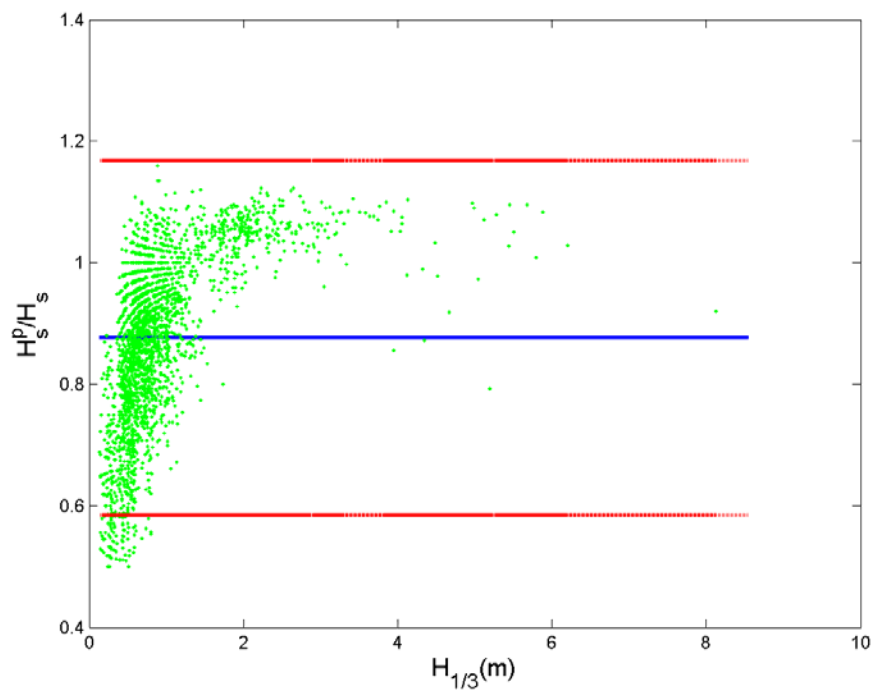


圖 3.3-24 H_s^p / H_s 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布

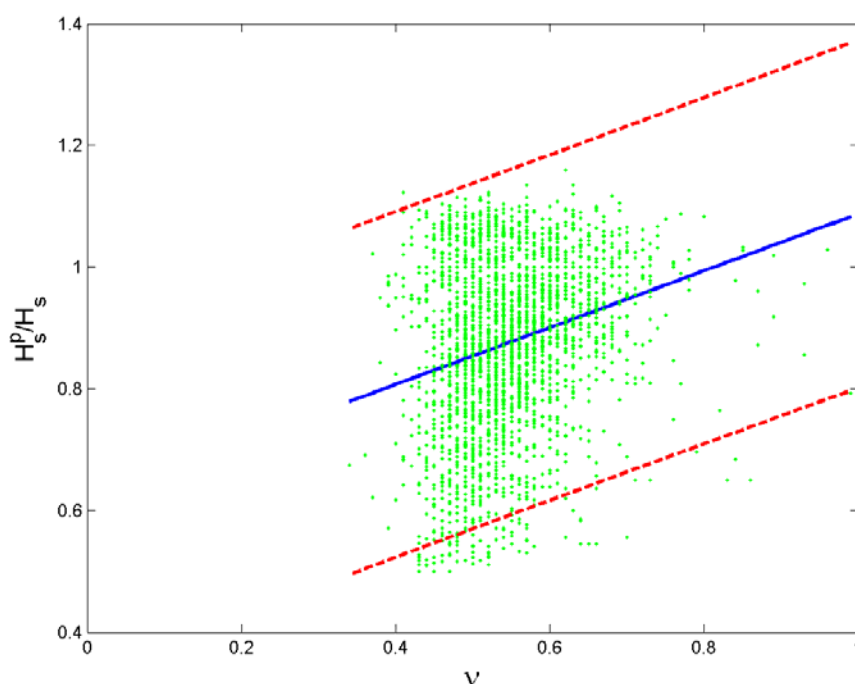


圖 3.3-25 H_p^p / H_s 與譜寬參數(ν)之關係

最後壓力訊號及聲波水位所得波譜最大值之主頻對應主週期 T_{p1}^p 與 T_{p1} 之比較，而二者之比值(T_{p1}^p / T_{p1})與 $H_{1/3}$ 及譜寬參數(ν)之關係分示如圖 3.3-26 至圖 3.3-28。由圖 3.3-26 顯示 T_{p1} 與 T_{p1}^p 關係高，相關係數達 0.9962，而回歸直線之斜率為 0.9818 接近於 1，且當週期小於 6sec 時， T_{p1}^p 大於 T_{p1} ，當週期大於 6sec 時， T_{p1}^p 小於 T_{p1} 。圖 3.3-27 顯示在波高 1m 以下 T_{p1}^p / T_{p1} 與波高無明顯之關係，但波高大於 1m 時， T_{p1}^p / T_{p1} 則與波高有明顯關係。圖 3.3-28 中 T_{p1}^p / T_{p1} 與頻寬無明顯關係。表 3.3-1 中 T_{p1}^p / T_{p1} 之平均值與標準偏差分別為 1.0351 及 0.1380，此說明以 T_{p1} 表示 T_{p1}^p 平均有 3.5% 相對誤差，但變異卻可達 13.8%。若以 6 秒以下波浪而言，以壓力式訊號所得波譜主波浪週期與水位訊號所得波譜主波浪週期，95% 信賴度之可能偏差至 $1.96 * 0.138 * 6 = 1.62\text{sec}$ ，而以 T_{p1}^p / T_{p1} 平均值大於 1，可知以壓力式之訊號來估算波浪主波會比以水位訊號還要高，可達 1.6sec，甚至更高。

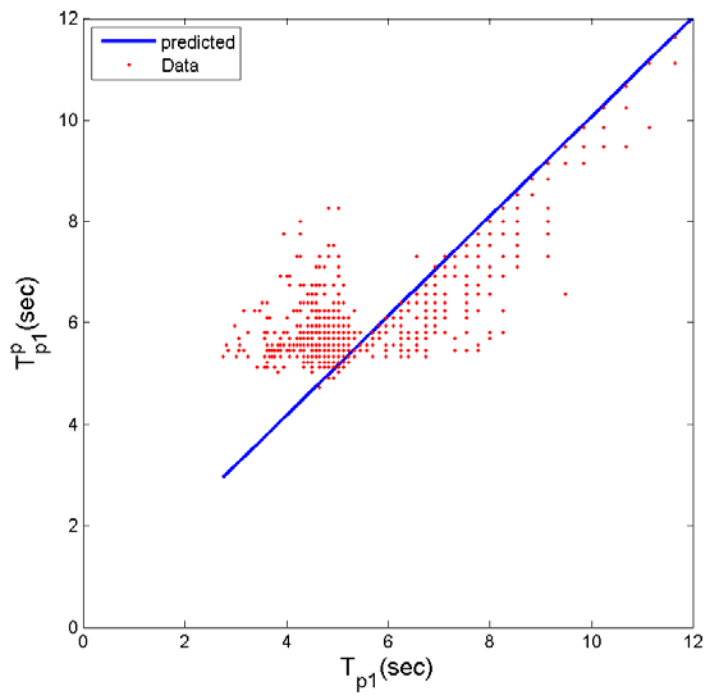


圖 3.3-26 水位波譜所得主頻 T_{p1} 與壓力波譜所得 T_{p1}^p 之比較

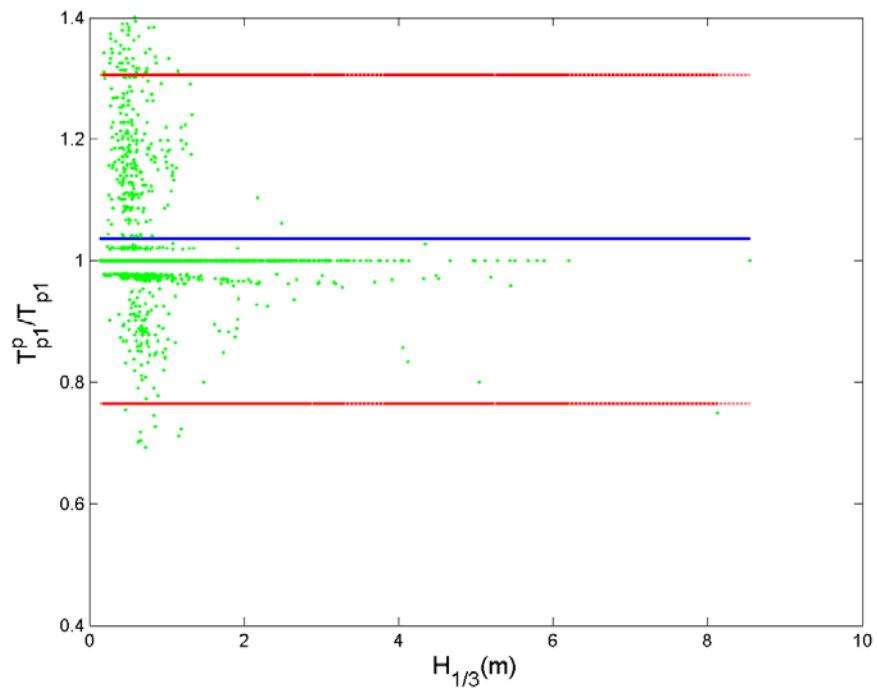


圖 3.3-27 T_{p1}^p / T_{p1} 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布

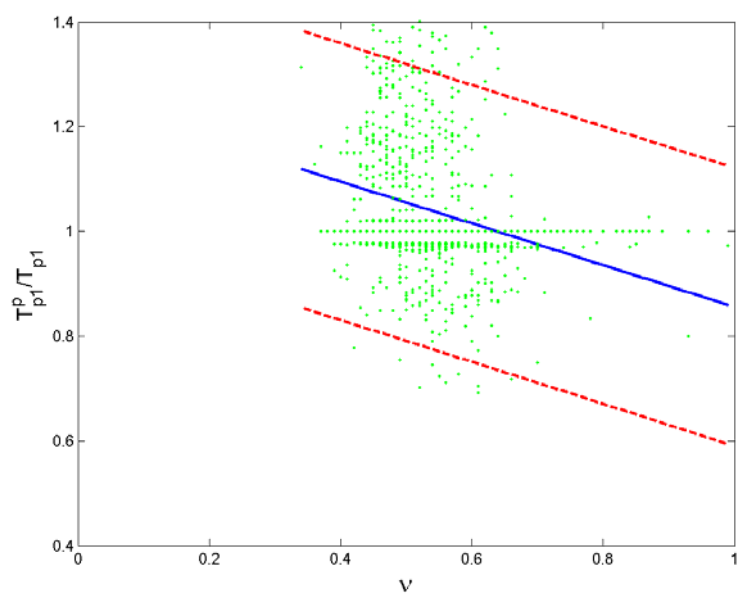


圖 3.3-28 T_{p1}^p / T_{p1} 與譜寬參數(ν)之關係

由壓力訊號所得波譜之平均週期 T_{02}^p 與聲波水位所得波譜之平均週期 T_{02} 之比較如圖 3.3-29 所示，而二者之比值(T_{02}^p / T_{02})與 $H_{1/3}$ 及譜寬參數(ν)之關係分別示如圖 3.3-30 及圖 3.3-31。

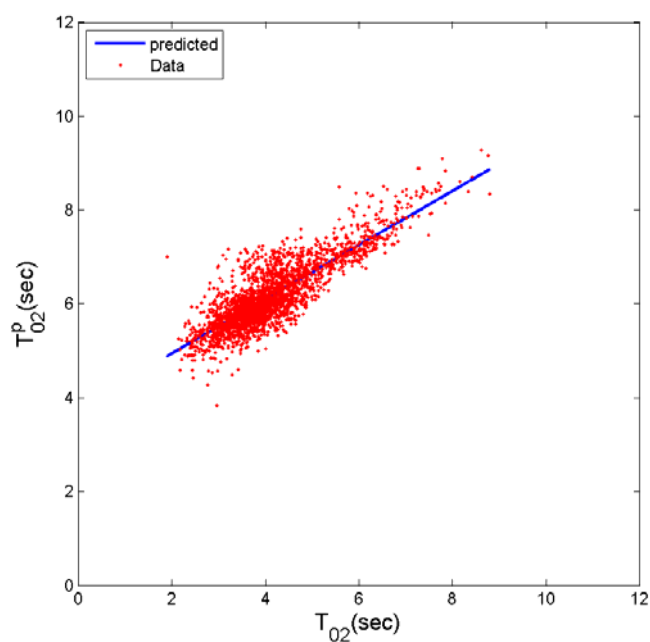


圖 3.3-29 壓力訊號所得波譜之平均週期 T_{02}^p 與聲波水位所得波譜之平均週期 T_{02} 之比較

由圖 3.3-29 顯示平均週期 T_{02}^p 大於 T_{02} ，由表 3.3-1 顯示二者相關係數緊有 0.7124。若以圖 3.3-30 之比值 T_{02}^p / T_{02} 來看都大於 1，而其平均值為 1.55，可知平均週期 T_{02}^p 高估於 T_{02} 約 50%，另外圖 3.3-30 顯示與 $H_{1/3}$ 無關係。由圖 3.3-31 明顯可知 T_{02}^p / T_{02} 散佈在回歸線兩側，顯示 T_{02}^p / T_{02} 與譜寬參數亦無明顯之關係。

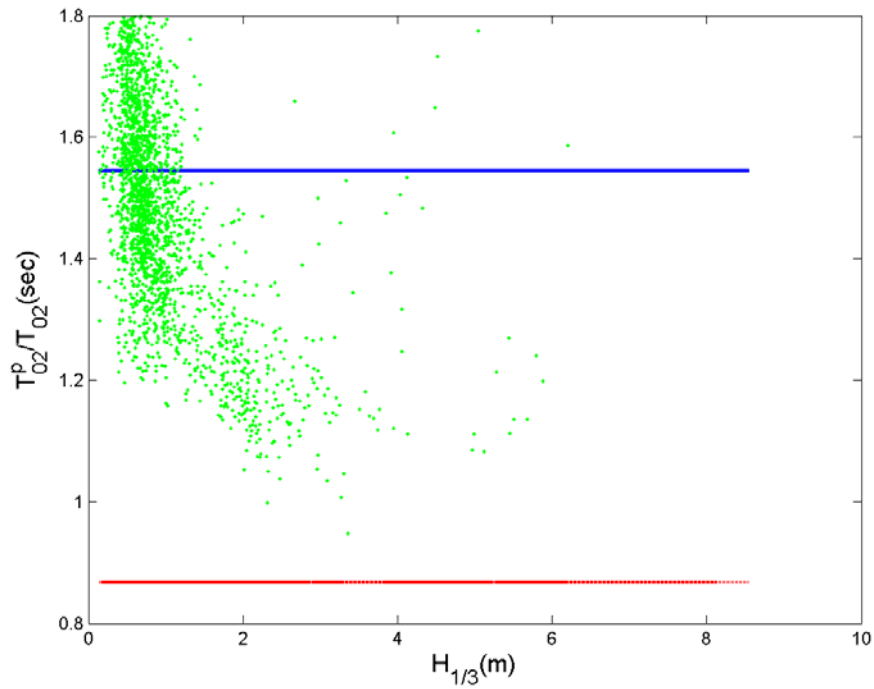


圖 3.3-30 T_{02}^p / T_{02} 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布

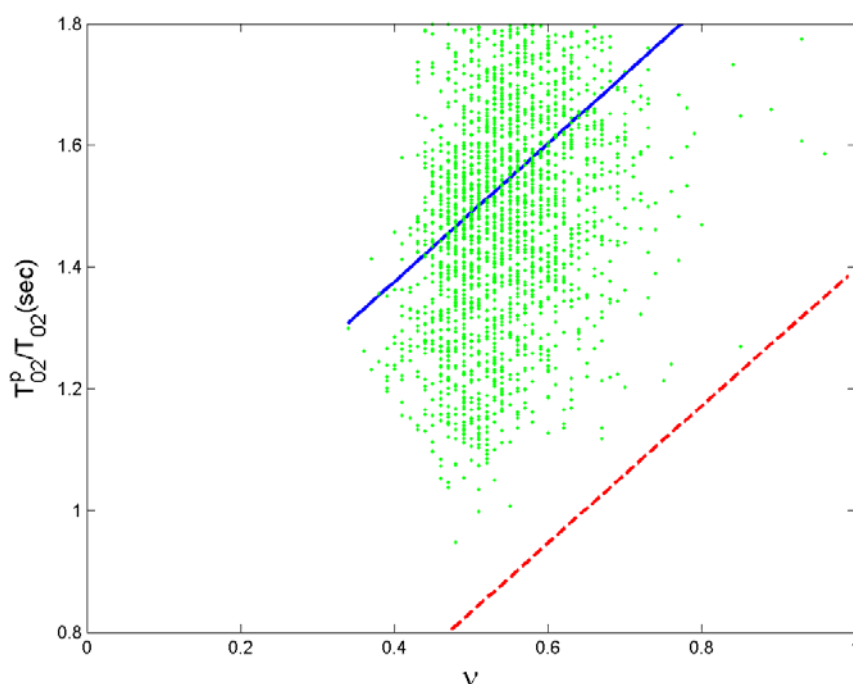


圖 3.3-31 T_{02}^p / T_{02} 與譜寬參數(ν)之關係

3.3.4 颱風期間之波浪特性

由於颱風期間波浪一般比平常季節風波浪大，大波浪會產生碎波，碎波若產生之氣泡可能影響聲波之傳播，而導致估算之距離不準或甚至無法量測。中央氣象局公布 2009 年侵台之颱風如表 3.3-2，而 2009 年期間港研中心測量高雄之波浪資料中缺少蓮花颱風的資料，若以莫拉菲、莫拉克及芭瑪三個颱風發布侵台時間起至結束止，共有 13 天，即有 312 小時。將此三段時期之波浪資料分析其聲波及壓力資料品質，其優良資料有 242 小時，資料良率達 0.7756。若將港研中心測量時間段自 6 月 29 日 10 時至 11 月 4 日 9 時止，共有 3096 小時，而此間之資料良好有 2369 個，即資料良率達 0.7652。由此可見在颱風期間，雖然在波高可達 6m 左右，由聲波測量到波浪之品質與平常期間類似。

表 3.3-2 2009 年侵台颱風之名稱及強度

颱風名稱	颱風警報期間	強度	路徑
Linfa(蓮花)	06/19~06/22	輕度	9
Molave(莫拉菲)	07/16~07/18	輕度	--
Morakot(莫拉克)	08/05~08/10	中度	3
Parma(芭瑪)	10/03~10/06	中度	特殊路徑

若將颱風期間聲波及壓力測到之 H_s^p vs. H_s 、 T_{p1}^p vs. T_{p1} 與 T_{02}^p vs. T_{02} 繪制圖及其二者之相關性如表 3.3-3 所示。

由圖 3.3.32 可知在此三個颱風侵台期間之波高，高雄之波高在 2m 至 6.8m 之間，而由壓力訊號及聲波訊號所得波譜轉換之示性波高相近，其相關性達 0.9927 而其比值為 0.9799 (見表 3.3-3)，此結果顯示台風期間由壓力計及聲波所測之波浪是相近且聲波測量方式亦不受大波可能之碎波影響。若比較表 3.3-1 一般波浪特之 H_s^p 與 H_s 在比值為 0.8701，在一般波含蓋比較多之小波因為壓力計無法偵測到，所以被忽略，相對來講其相關係數 0.8701 亦會較低。

由圖 3.3-33 顯示颱風期間波浪波譜之主要頻率(週期)相近，但以聲波所測部分波浪之主要週期稍大於以壓力計所測部分波浪之主要週期可達 0.5 至 1.5sec。二者之相關係數高達 0.9885，而其比值為 0.9586。此結果與表 3.3-1 中 T_{p1}^p vs. T_{p1} 之一般波浪比值為 1.0351 結果相反，前者在理論解釋上比較難以說明，俟往後有更多數據再來探討。

最後由圖 3.3-34 來看颱風期間波浪之波譜平均週期，以聲波所測部分波浪之平均週期稍小於以壓力計所測者，。二者之相關係數僅達 0.7481，而其比值為 1.4128。由此可知在颱風期間之波浪群波中，小的波浪因位能小傳到深水之壓力小，壓力計之靈敏度亦無法能辨識其

訊號特性，因此忽略小波之能量，此意說明由壓力計所得之波浪大部分還是以較長週期之大波浪為主。若比較表 3.3-1 一般波浪特之 T_{02}^p vs. T_{02} 之比值為 1.5448，此原因與前述示性波高相同。

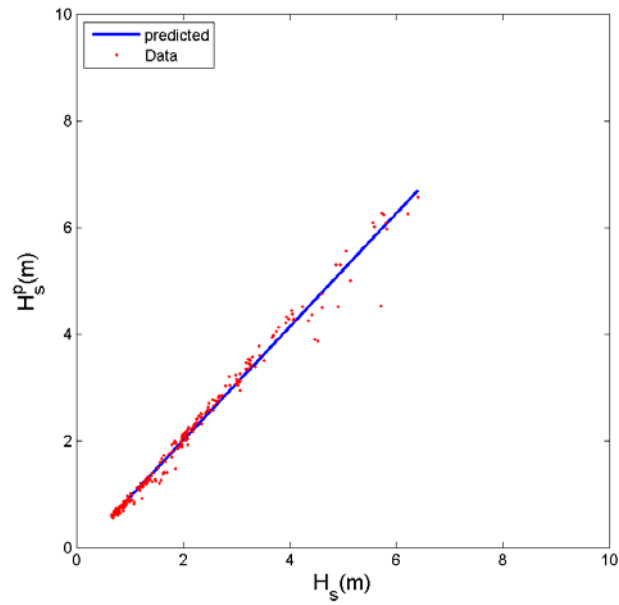


圖 3.3-32 颱風期間水位波譜所得 H_s 與壓力波譜所得 H_s^p 之比較

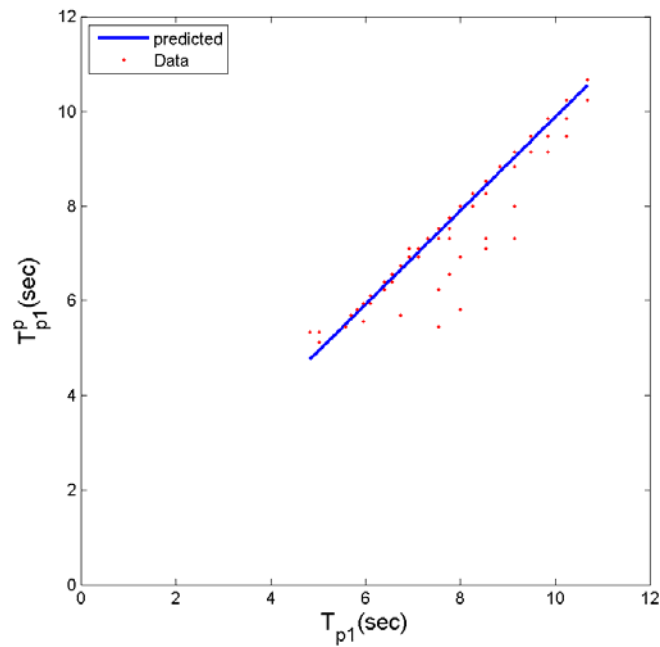


圖 3.3-33 颱風期間水位波譜所得 T_{p1} 與壓力波譜所得 T_{p1}^p 之比較

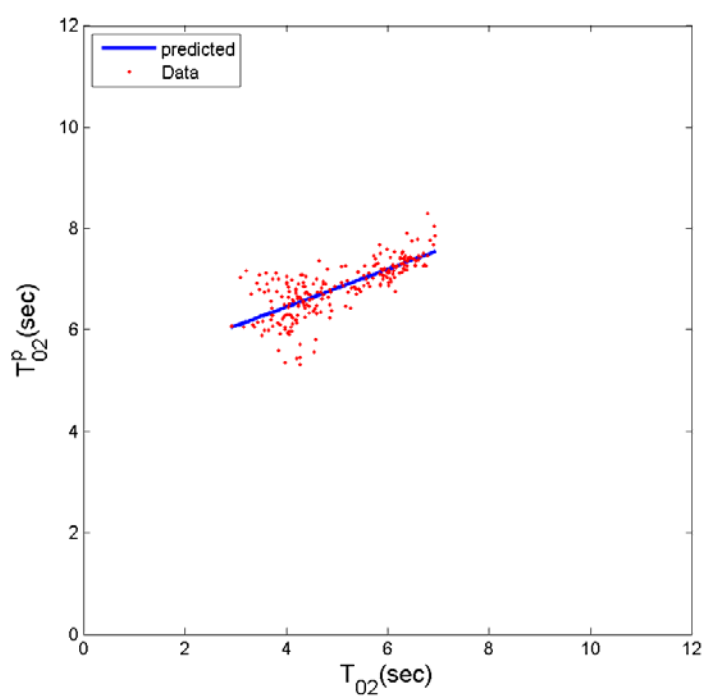


圖 3.3-34 颱風期間水位波譜所得 T_{02} 與壓力波譜所得 T_{02}^p 之比較

表 3.3-3 選擇兩變數之線性回歸係數及其相關係數

變數 y 及 x	a	b	cc	μ	σ
H_s^p vs. H_s	1.0655	-0.1176	0.9927		
H_s^p / H_s vs. ν	-0.3050	1.1598	-0.3668	0.9799	0.0844
T_{p1}^p vs. T_{p1}	0.9898	-0.0125	0.9586		
T_{p1}^p / T_{p1} vs. ν	-0.0370	1.0103	-0.0943	0.9885	0.0398
T_{02}^p vs. T_{02}	0.3725	4.9602	0.7481		
T_{02}^p / T_{02} vs. ν	1.5992	0.4699	0.6621	1.4128	0.2451

第四章 即時性資料檢核及管理機制

4.1 海象觀測系統的架構

本計畫針對港研中心目前所建置的即時海象觀測系統來做資料的品質控制，故首先必須先行了解現有設備及運作方式。若要使本計畫開發的資料品質控制方法能夠與現有的海象觀測系統作配合，必須要先進行系統的特性分析。第一階段為資料庫格式連結與資料轉換，第二階段為即時資料運算修正及資料儲存與傳輸；故開發計畫，是以資料庫連結模組為首要，將原本以資料夾與日期形式分類儲存文字檔方式，透過結構矩陣或資料庫型態進行管理與轉換。接著第二階段將以即時運算修正的系統穩定度為目標，建立即時資料品管與修正系統，並將品管後的資料進行儲存備份及資料傳輸，使品管過後的資料能繼續進行即時預覽及查詢。圖 4.1-1 為目前港研中心即時海象觀測系統的示意圖。

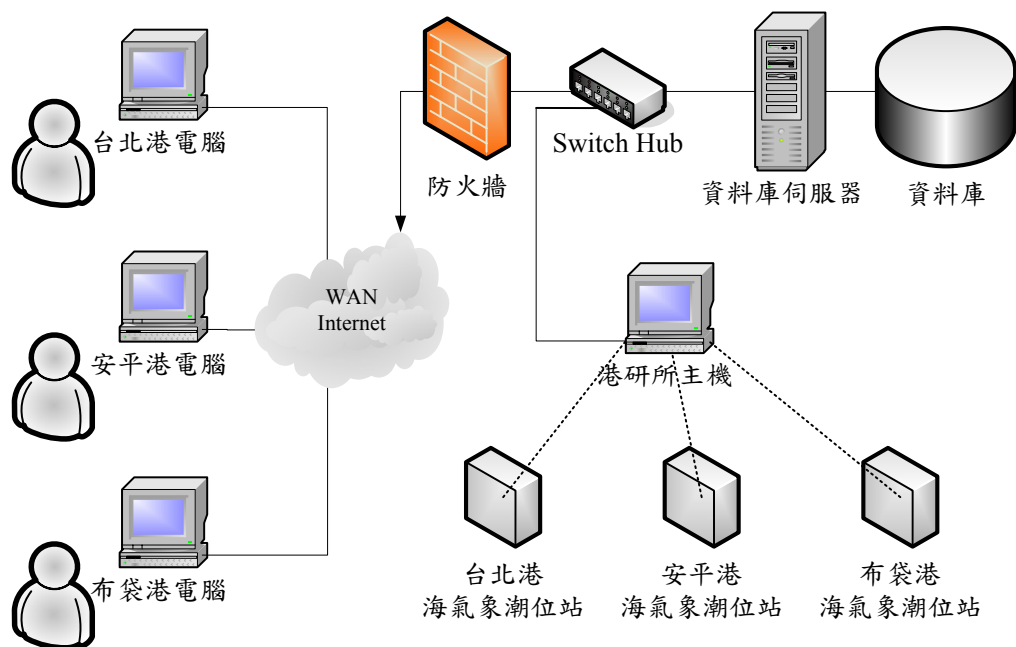


圖 4.1-1 目前港研中心海象觀測系統建置架構圖

本研究將運用往昔實測波浪統計特性的分析結果並考量儀器量測可能出現的錯誤資料性質來進行實測資料的品質控制分析，此工作目的在於改善往昔即時波浪實測資料由現場儀器透過 GPRS 傳輸設備傳輸至港研中心後即時發布的資料品質，除了能夠避免有問題的資料直接發佈於網路上造成網路上使用者的誤用，並可在資料發布前將可能有問題的資料進行記錄，若能即時進行判斷並改正就透過系統自動化改正，若需額外專業判斷則可透過本系統的記錄資料進行較嚴謹的檢討，以提升未來海象資料庫中資料的可靠度。這些工作未來將透過建置一台新的資料品質控制分析主機來進行，即圖 4.1-2 中紅色虛線所標註的主機，其工作主要有二：1.前後流程 I/O 控制 2.即時資料修正。

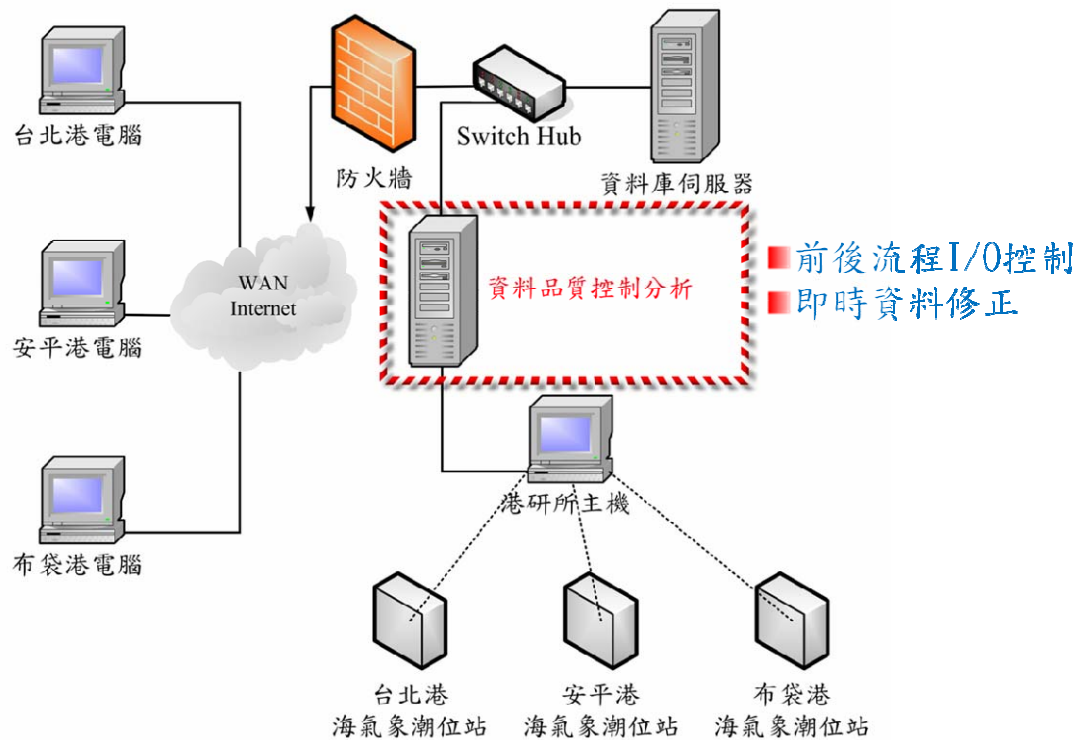


圖 4.1-2 未來港研中心即時海象觀測系統架構圖

其中前後流程的 I/O 控制包括與現有海象觀測系統的資料庫伺服器連結並進行下載及將檢核過後的資料進行標註並連結儲存與展示資料庫的主機進行上傳。即時資料修正包括針對每小時示性波高與原始波浪資料進行即時資料檢核判斷、修正及記錄，以及在本機建置即時

資料的品質控管展示介面，讓本地端操作者能夠即時透過螢幕了解所有測站儀器的資料傳輸狀況與品質狀況，若在異常氣候狀況或儀器本身發生問題時即時調整檢核機制的各項檢核參數與資料發布狀況。

4.2 資料檢核機制

目前港研中心的海象觀測系統中的波浪資料可分為 2Hz 的原始波浪資訊及透過 GPRS 即時回傳的每小時示性波高、週期及角度等資料。其每小時的示性波高等資料是在現場量測儀器直接進行統計分析而得，這也就是目前即時海象觀測系統中即時公布的波浪資料。為了能夠改善即時發布的資料品質，必須針對每小時的示性波高等資料進行資料品質檢核，將有問題的資料進行標記或刪除。此外在獲得 2Hz 的原始波高資訊後，可以針對原始波高資料中可能發生的儀器量測問題進行檢核，進一步針對當初標記可能有問題的每小時示性波高資料進行檢核，若原始資料通過檢核則證實該筆示性波高資料為正確資料，此現象較可能發生在異常氣候或異常波高的情況；相對的若原始波浪資料無法通過檢核，則此筆示性波高資料則需從資料庫中刪除，以避免未來進行工程規劃或研究分析時誤用。目前本研究所建構的波浪資料檢核流程如下圖 4.2-1 所示。

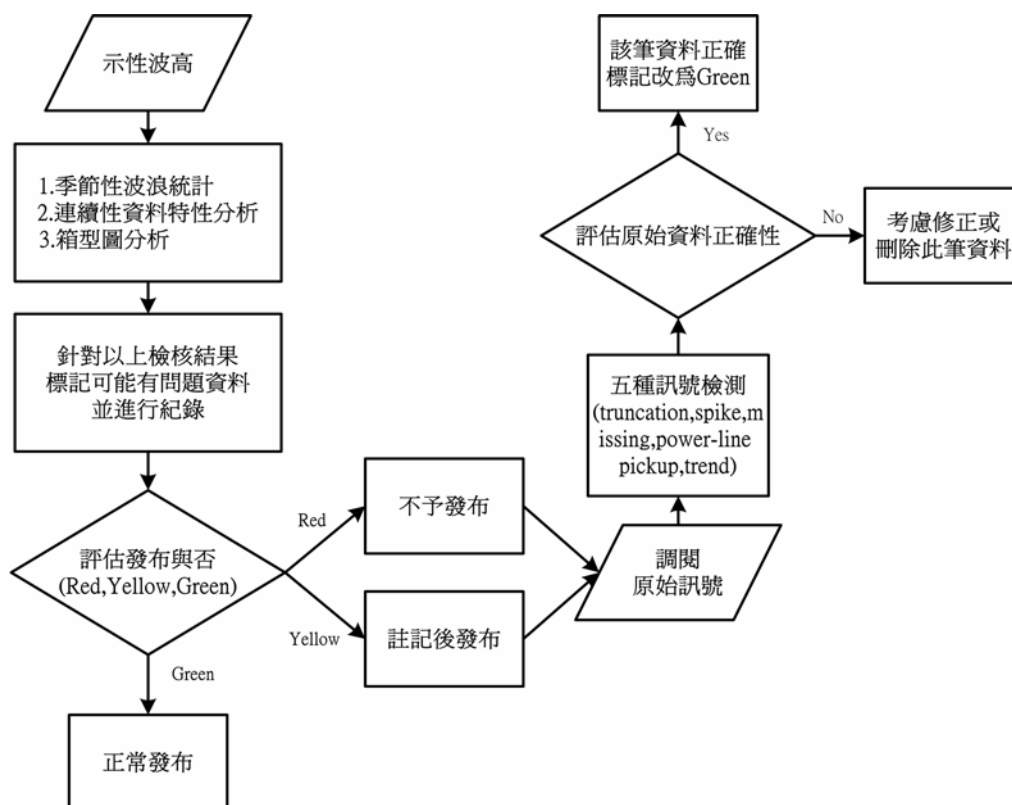


圖 4.2-1 本研究波浪資料檢核流程圖

針對每小時示性波高資料本研究提出三種檢核方式，分別為：1. 季節性波浪統計特性 2. 連續性資料特性分析 3. 箱型圖分析。而針對原始波浪資訊的檢核方式本研究則引用往昔對於隨機資料中的異常訊號部分來做檢測，如圖 4.2-2 所示，圖中由上而下分別為(a)無異常訊號(b)單側或雙側有訊號截斷(c)斷續性雜訊(d)資料缺漏(e)有突波訊號(f)含趨勢訊號，其中 b~f 共五種為儀器量測時可能會發生的錯誤。其中相較於圖 4.2-2(a)的無異常訊號中可以發現圖 4.2-2 (b)的訊號記錄在最大值或最小值處有資料截斷的現象，即在量測時可能沒有記錄到某門檻值以上與以下的資料，其可能原因為儀器設置位置不當或遭外力影響所造成。而圖 4.2-2(c)則斷續地出現較大的雜訊，其可能原因除了儀器受異物干擾外亦可能為儀器供電問題。圖 4.2-2(d)則是儀器問題造成的資料缺漏。圖 4.2-2(e)中則是量測訊號中有突波，較可能的肇因為儀器電壓或干擾。圖 4.2-2(f)則是訊號中含明顯的線性趨勢。本研究將針對以上訊號異常狀況建立自動化的檢測機制。

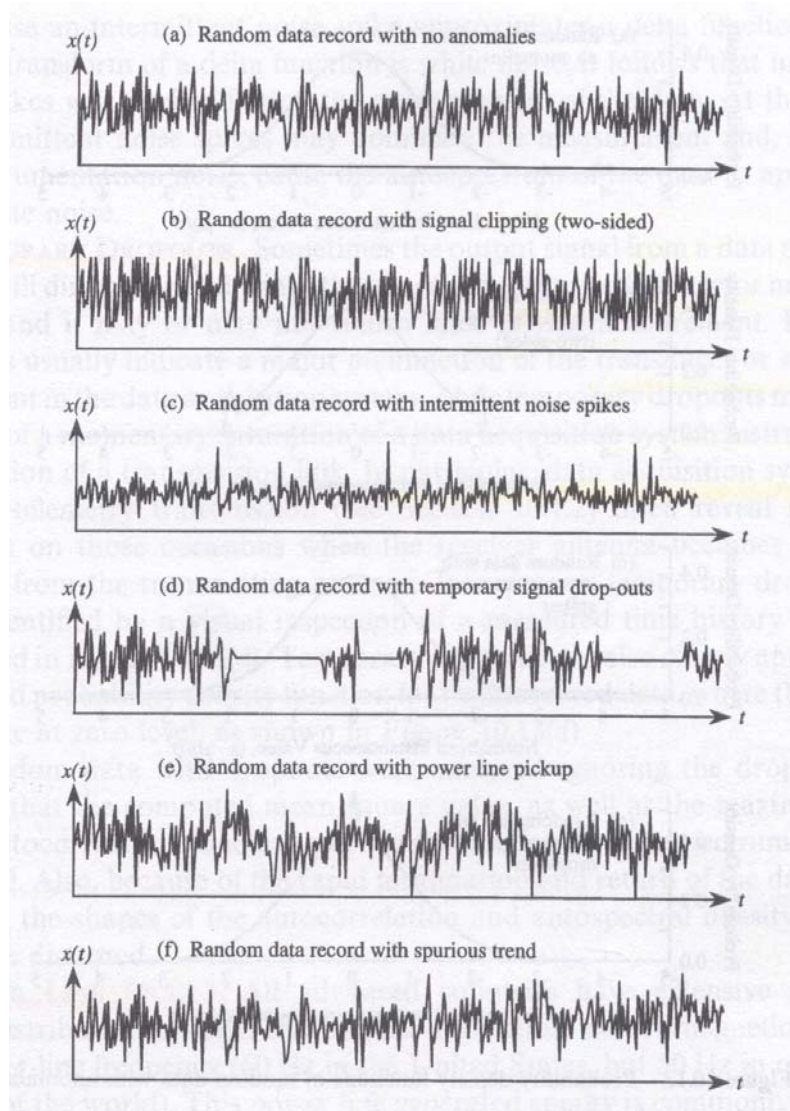
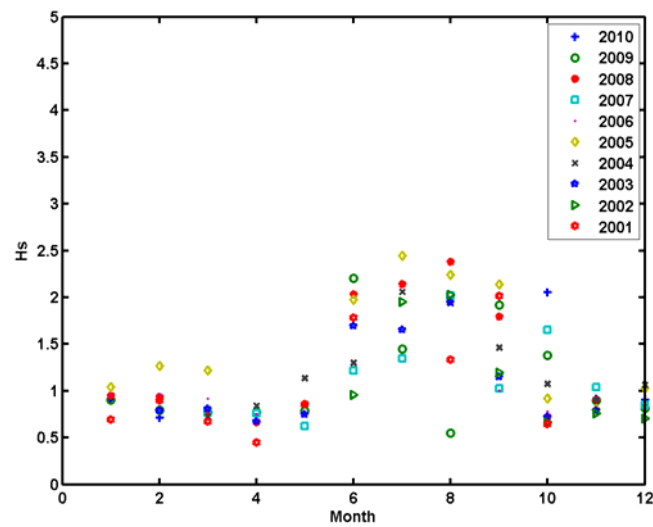


圖 4.2-2 隨機訊號中常見的五種異常訊號

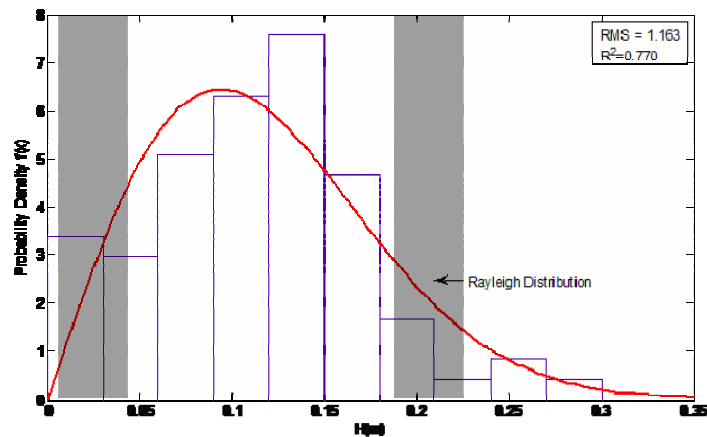
4.2.1 示性波高檢測機制

示性波高資料是透過壓力式或超音波式測量儀器所測得訊號再經過統計分析所獲得的每小時代表波高值。故上述儀器較有可能發生的五種異常訊號與量測錯誤皆無法由示性波高中直接判別出來，若要針對這種每小時的代表波浪進行資料正確性的檢核就必須依據往昔資料特性來進行統計分析，利用其統計特性分析結果來評估即時資料的可靠程度。本研究提出以季節性波浪統計、連續性資料特性分析及箱型圖分析三種方式來進行示性波高的檢測。

季節性統計分析即針對往昔波高實測資料來進行統計分析，以了解當地波高在特定季節的特性，並以此特性來訂定波高資料的合理範圍。在資料的分群部分本研究考量不同地區有不同的季節性特性，故在時間上的資料分群必須經由測試來進行決定，例如分為四季、冬夏兩季或是依照月份分為一年 12 組來進行畫分。在分組後將每一組進行往昔資料的統計分析，波高統計分析可參見本文第二章，在此以高雄港 2000 年至 2010 年波浪資料的每月統計特性配合 Rayleigh 分布來做說明，如圖 4.2-3 所示。



(a)2000~2010 每月示性波高



(b)波高 Rayleigh 分布示意圖

圖 4.2-3 季節性統計分析

由圖 4.2-3(a)中可以看出高雄港各年波浪資料的每月示性波高在每個月分各有其特性與固定範圍，所以我們可以利用當地往昔資料來探討在沒有發生異常氣候與波浪的情況下，該月份的波高合理範圍。圖 4.2-3(b)中我們以一假設的波高 Rayleigh 分布為例，透過統計分析計算出示性波高與其標準偏差後可以在分布中取出信賴區間 90%與 95%的波高範圍，以圖中灰色區塊範圍為例，在兩灰色區塊間的波高範圍是合理波高範圍，若儀器傳回的示性波高落在此區，我們可以將資料標記為可靠(GREEN)並可直接進行發布；若儀器回傳的示性波高值落在灰色區塊中，我們可以將資料標記為可能有問題(YELLOW)，可將資料進行發布並附註可能有問題；若資料落在兩個灰色區塊的外側，即波高小於 0.01m 或大於 0.23m 則將資料標記為有問題(RED)，先暫時不予發布。此季節性統計特性的示性波高檢核機制針對不同地點的波浪應分別給予往昔資料進行特性分析，本研究所建立的檢核機制能自動針對往昔資料進行分析。其中時間上的資料分群以及信賴區間的決定為可調整參數，本檢核機制能提供操作者在本機展示介面上即時調整以上兩個參數，亦可依照本檢核機制的內定值。上述三種可能的情況以數學式表達如下：

$$\left| H_m(t) - \bar{H}_s \right| < 1.6\sigma_{Hs}, GREEN \quad (4.2-1)$$

$$\begin{cases} \bar{H}_s + 1.6\sigma_{Hs} < H_m(t) < \bar{H}_s + 1.96\sigma_{Hs} \\ \bar{H}_s - 1.96\sigma_{Hs} < H_m(t) < \bar{H}_s - 1.6\sigma_{Hs} \end{cases}, YELLOW \quad (4.2-2)$$

$$\begin{cases} H_m(t) > \bar{H}_s + 1.96\sigma_{Hs} \\ < \bar{H}_s - 1.96\sigma_{Hs} \end{cases}, RED \quad (4.2-3)$$

除了上述透過往昔資料特性所建立的統計特性檢核，本研究另外提出考慮資料連續特性方法來進行示性波高的檢核。在時間序列訊號上有些序列對於未來的發展與該序列現階段的狀況全然無關，這種序列稱為獨立發展過程(process of independent trial)；而相反的若一事件的發展會受到現階段事件狀況的影響，則可以表為隨時間變動的數學模式，稱為隨機過程(stochastic process)，馬可夫過程(Markov process)就

是其中一種。本研究在此假設每小時示性波高的變化，是至少與前一小時的示性波高有所相關，來建立每小時示性波高的檢核機制。在以上假設下，示性波高資料的數學方程式可表為：

$$H(t) = a_1 H(t-1) + a_2 H(t-2) + \dots + a_n H(t-n) + \varepsilon \quad (4.2-4)$$

其中 $H(t)$ 為第 t 小時的示性波高， a_n 為第 n 個時間延遲項的相對應係數， ε 則為可能誤差項。如此一來我們可以透過 AR 自迴歸分析(auto regressive)來推求各時間延遲項的相對應係數，在獲得係數後此數學方程式即可推求下一時刻的示性波高值範圍。在本研究中不以推定下一時刻的示性波高為重點，而是利用此方法評估下一時刻示性波高的合理狀況。另外除了係數的推求外在進行自迴歸分析前也要先考慮時間延遲項的個數，合理的時間延遲項可以透過反射係數(reflection coefficient)及平均相互資訊(average mutual information)來評估，以高雄港 2001 波浪資料為例，其反射係數與平均交互資訊分析結果如圖 4.2-4 與圖 4.2-5。

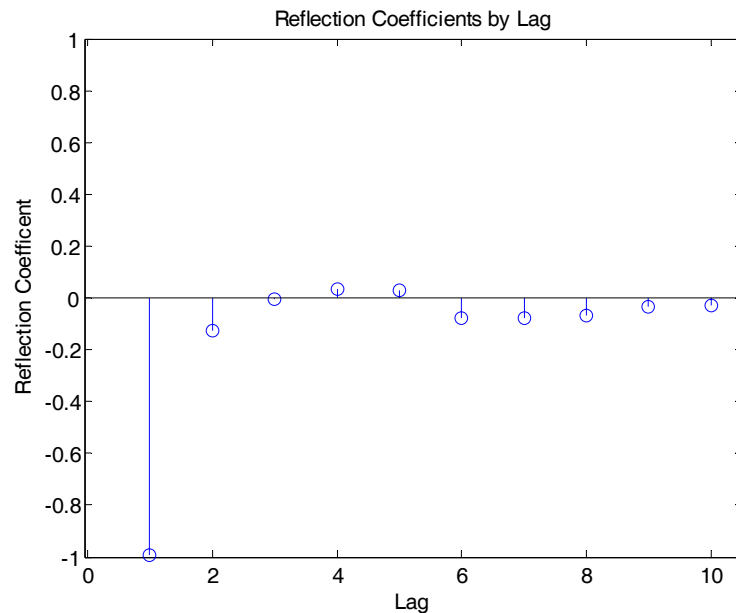


圖 4.2-4 對於各時間延遲項的反射係數分析

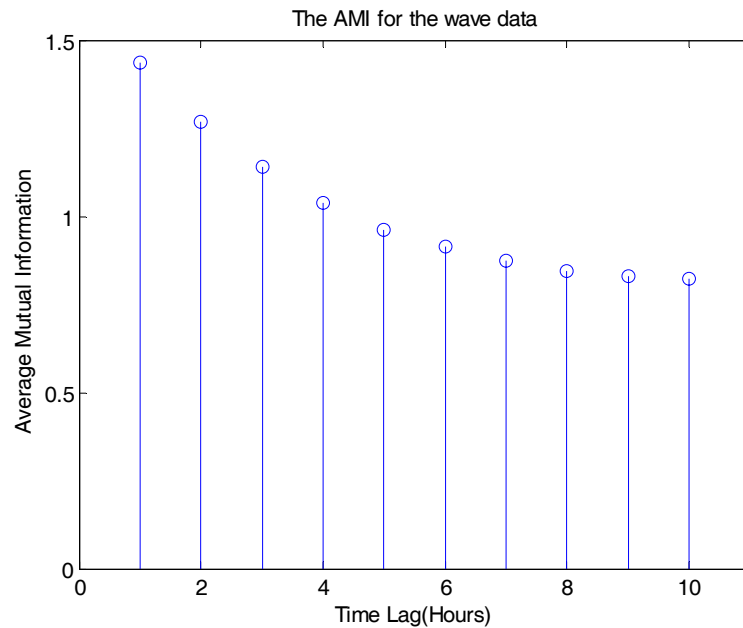


圖 4.2-5 對於各時間延遲項的平均交互資訊分析

圖 4.2-4 中 x 軸方向為時間延遲項，y 軸方向則為反射係數，本研究從延遲 1 項測試到延遲 10 項來做比較，可發現當延遲達兩項以上其反射係數皆以收斂到接近 0 處。反射係數分析顯示，當延遲項為一項實其相關最大，整體結果建議可利用延遲兩小時內的資料來進行數學方程式建構。圖 4.2-5 則為平均交互資訊分析的結果，圖中 x 軸為時間延遲項，y 軸為 AMI 值，其值越大代表該項與目標數列的相關性越高。就圖中來看每小時的示性波高資料若要進行時間延遲項的個數選擇，建議可選延時一小時的資料來進行自迴歸分析。本檢核機制設定有兩個可調參數，包含時間延遲項的個數及可能誤差的決定等等。

此外本研究並採用往昔波浪資料進行箱型圖分析來決定一逐時示性波高的合理範圍，箱型圖架構示意圖如圖 4.2-6 所示。

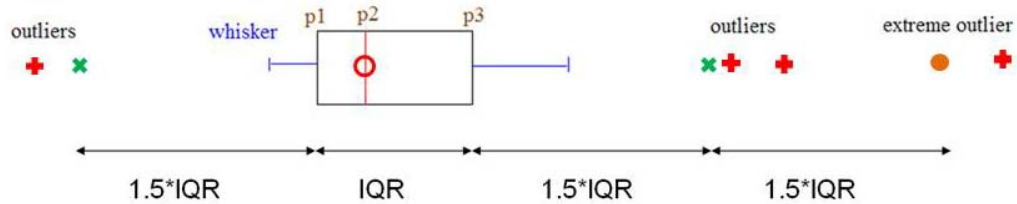


圖 4.2-6 箱型圖架構示意圖

圖 4.2-6 顯示，三個四分位數(即圖上 p_1 、 p_2 、 p_3 點位值)構成箱型結構，組成箱型圖主體。其箱型之長度為 $p_3 - p_1$ 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。

$$P_i = N \times i / 4, i = 1, 2, 3, 4 \quad (4.2-5)$$

式(4.2-5)中， N 為總資料個數。 P_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 (p_1) 與第三四分位數 (p_3) 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 (p_2) 時，取 $i=2$ ，為排序第 50% 處的資料值，描述資料的中位數，若中位數偏左代表多數樣本數據偏小；反之，若中位數偏右代表多數樣本數據偏大。

由式(4.2-5)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 \times 及 \bullet 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 $+$ 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。

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。圖 4.2-7 為高雄港 2009 年每月波高的箱型圖，圖中符號如圖 4.2-6 中所示。由圖 4.2-7 配合表 4.2-1 可見，在藍色框內的示性波高範圍是屬於可靠(標註為 GREEN)；而虛線範圍內則是屬於可能有問題的資料(標註為 YELLOW)；而在以上範圍之外的則是有問題的資料(標註為 RED)。

表 4.2-1 高雄港 2001 至 2009 年每月波高箱型圖分析表(單位：公尺)

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	1.27	1.19	1.36	1.01	1.15	2.13	3.55	2.50	2.20	1.21	1.12	1.14
中位數	1.28	1.39	1.39	1.19	1.69	3.82	4.16	3.09	3.59	1.26	1.35	1.20
第三四分位數	1.30	1.59	1.50	1.53	3.42	4.53	5.27	4.17	4.17	2.64	1.42	1.34
IQR	0.03	0.40	0.14	0.52	2.27	2.40	1.72	1.67	1.97	1.43	0.30	0.20
1.5*IQR	0.05	0.60	0.21	0.78	3.41	3.60	2.58	2.51	2.96	2.15	0.45	0.30
3*IQR	0.09	1.20	0.42	1.56	6.81	7.20	5.16	5.01	5.91	4.29	0.90	0.60
觸鬚上界限	1.35	2.19	1.71	2.31	6.83	8.13	7.85	6.68	7.13	4.79	1.87	1.64
雜訊上界限	1.39	2.79	1.92	3.09	10.23	11.73	10.43	9.18	10.08	6.93	2.32	1.94

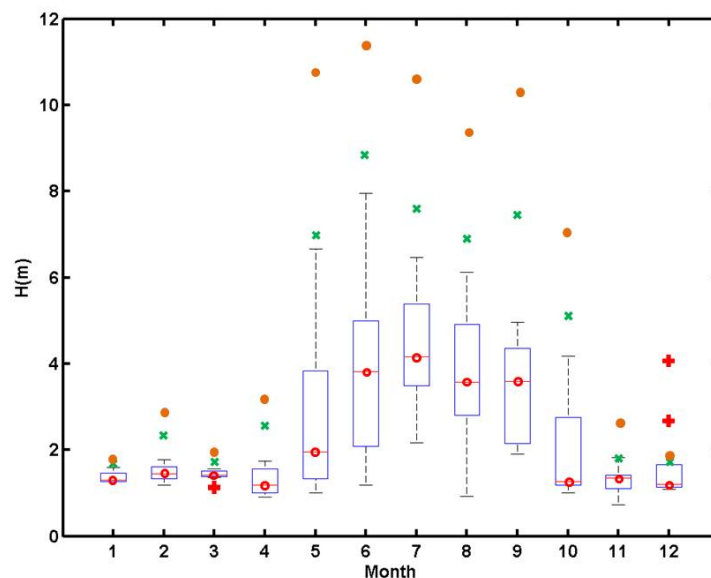


圖 4.2-7 高雄港 2009 年每月波高箱型圖分析

以上三種方式為檢核逐時示性波高的機制，用於不同地點的波浪資料皆需給予往昔波浪資料先進行分析，並可視需求調整其檢核參數，三種方法同時進行檢核時也可視情況優先考慮某一種方法，至於其優先程度建議以任一種無法通過檢測則該筆資料即定義為有問題的資料。

4.2.2 原始資料檢測機制

上述逐時示性波高的檢核方法僅能針對往昔資料的特性來進行資料正確性的評估，若是儀器受到干擾或外力影響或是操作人員對即時示性波高的正確性有疑慮時，就應該調閱原始的波浪資訊來進行分析與檢核。本研究針對五種訊號處理中常見的儀器問題來建立檢核機制，分別說明如下：

(一) 資料記錄經截斷

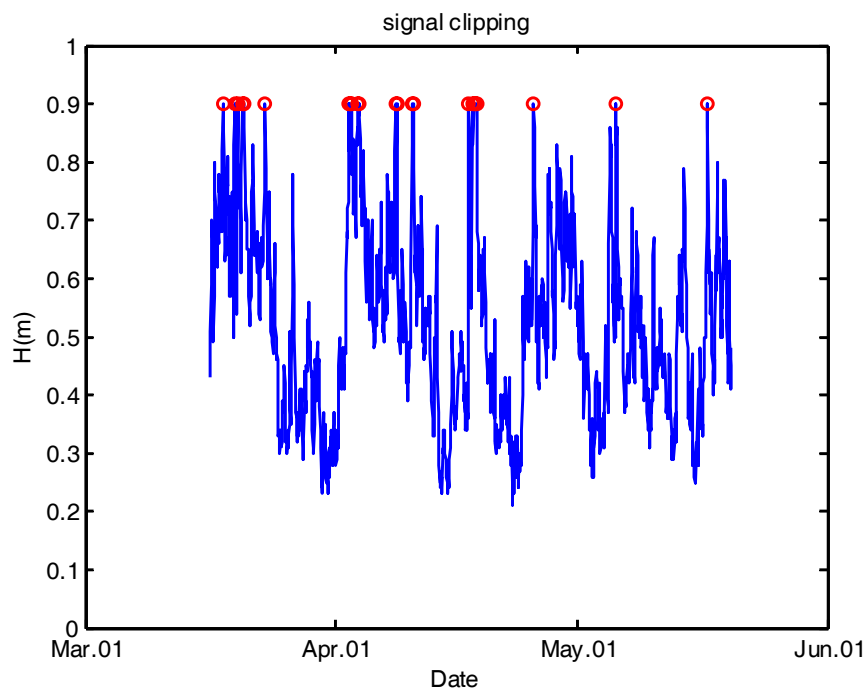


圖 4.2-8 本研究檢核機制測試資料記錄經截斷數據

當訊號記錄在最大值或最小值處有資料截斷的現象，即在量測時可能沒有記錄到某門檻值以上與以下的資料，其可能原因為儀器設置

位置不當或遭外力影響所造成。本研究採用將資料分段檢測的方式來判別是否有最大值或最小值遭截斷的現象。可調整的參數有二：1.分段檢測資料長度，2.檢核敏感度(0~1)。

本研究以高雄港 2001 年的波浪資料加以處理作為示範數據，再以本研究所建立的檢核機制進行檢核測試，其結果如圖 4.2-8 所示。圖中可發現在最大值截斷處本研究所建立的檢核機制皆成功檢核出有問題的部分。

(二)資料記錄中含斷續性的雜訊

當波浪記錄中斷續地出現較大的雜訊，其可能原因除了儀器受異物干擾外亦可能為儀器供電問題。本研究以移動平均法為基礎建立雜訊檢核機制。可調整參數有二：1.極值方向(正、負及雙向檢測)，2.檢測敏感度(單位：m)。本研究以高雄港 2001 年的波浪資料加以處理作為示範數據，再以本研究所建立的檢核機制進行檢核測試，其結果如圖 4.2-9 所示，圖中可發現在較為異常的雜訊皆成功檢核出。

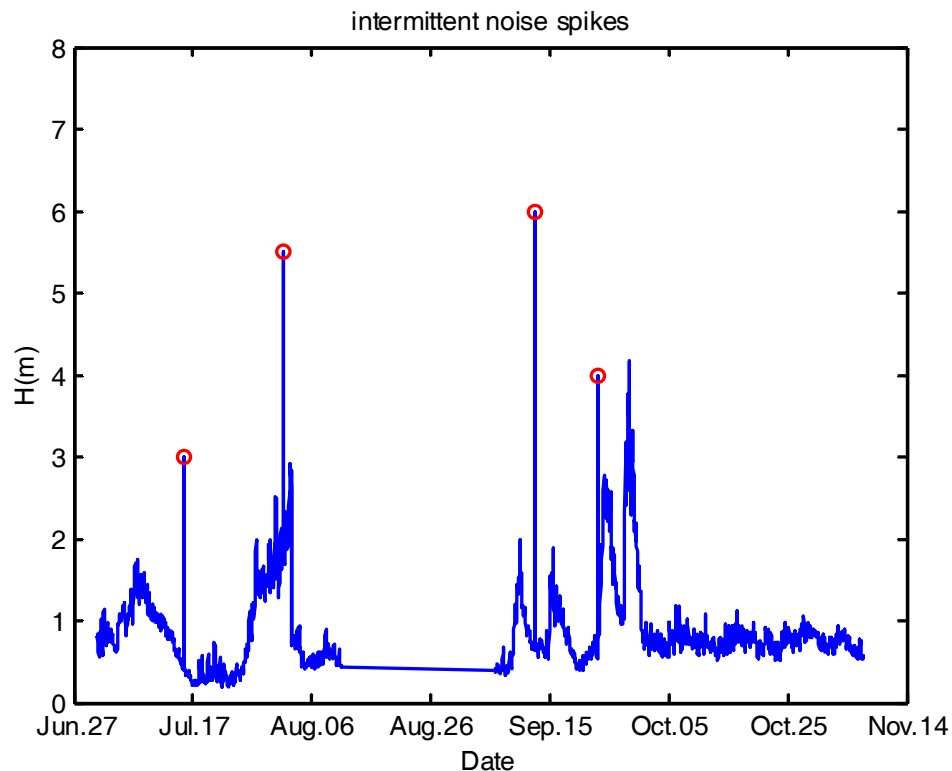


圖 4.2-9 本研究檢核機制測試資料記錄含斷續性雜訊

(三)資料記錄中含資料缺漏

本研究針對儀器問題造成的資料缺漏建立資料檢核機制。可調整參數為檢測敏感度(單位：timestep)。本研究以高雄港 2001 年的實際波浪資料作為示範數據，再以本研究所建立的檢核機制進行檢核測試，其結果如圖 4.2-10 所示，圖中可發現在較為缺漏的部分皆成功檢核出。

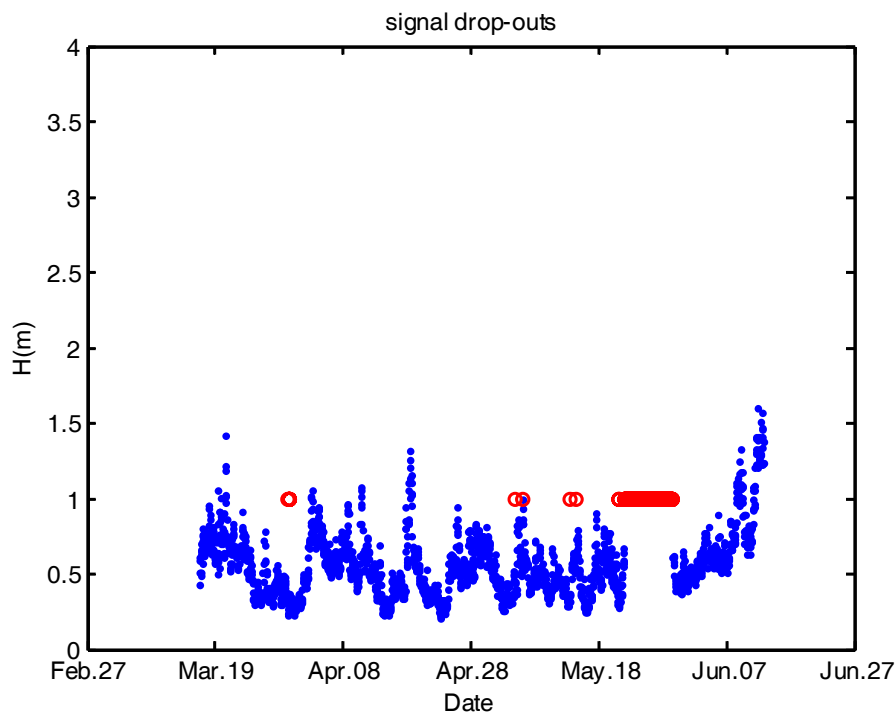


圖 4.2-10 本研究檢核機制測試資料記錄含缺漏

(四)資料記錄含突波

當資料記錄中有突波訊號，較可能的肇因為儀器電壓不穩定或干擾的現象造成。這種狀況也一併會出現斷續性的雜訊，會出現在短時間內快速出現極大極小值的狀況。本研究所建立的檢測機制設有 2 個可調整參數：1.檢核敏感度(雜訊變化比率 0~1, default=0.8)，2.突波範圍(單位：timestep)。本研究以高雄港 2001 年的波浪資料加以處理作為示範數據，再以本研究所建立的檢核機制進行檢核測試，其結果如圖 4.2-11 所示，圖中可發現在較為異常的突波雜訊皆成功檢核出。

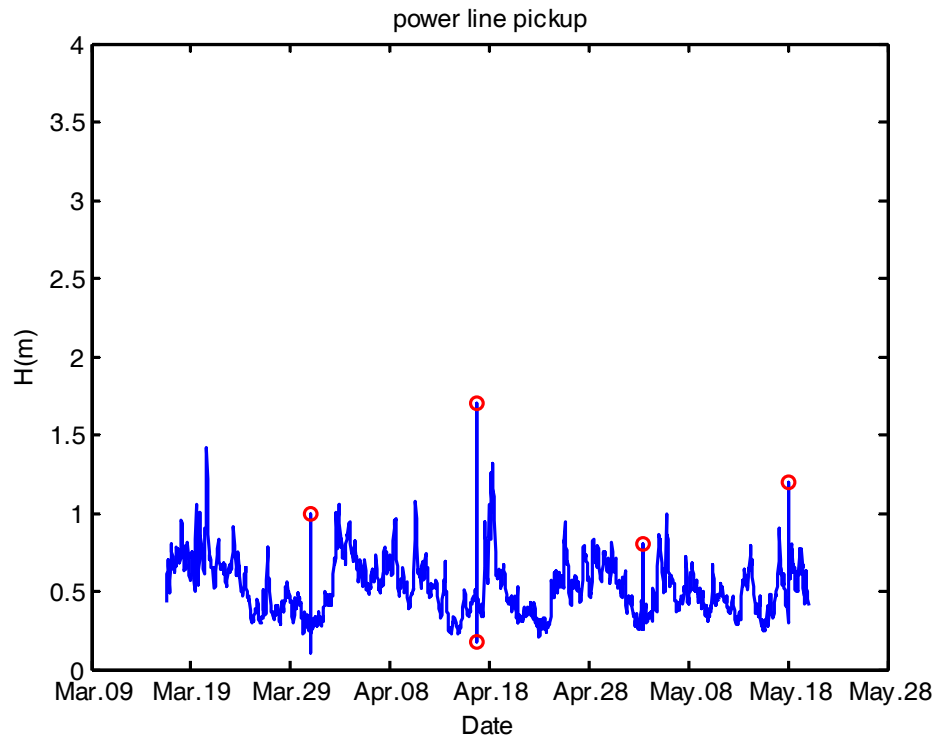


圖 4.2-11 本研究檢核機制測試資料記錄含突波

(五)資料記錄中含趨勢

當儀器訊號中含明顯的線性趨勢，本研究利用可變間距的移動平均法或直接線性迴歸做檢測。目前較難決定的為資料取樣長度的問題，未來參數將視資料特性做調整。可調參數有二：1.資料取樣長度(單位：timestep)，2.檢核敏感度(trend slope)。

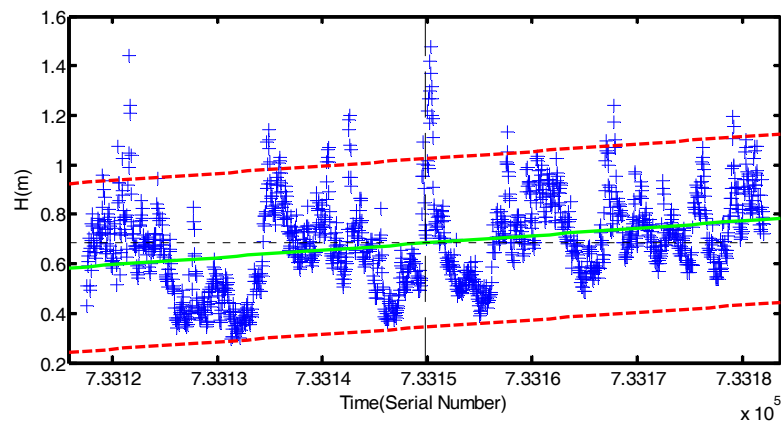


圖 4.2-12 本研究檢核機制測試資料記錄含趨勢

本研究以高雄港 2001 年的波浪資料加以處理作為示範數據，再以本研究所建立的檢核機制進行檢核測試，其結果如圖 4.2-12 所示，圖中可發現檢核出資料含有趨勢上升的變化。

4.3 即時資料品質管控展示介面

透過以上所述及的檢核機制與流程，本研究已初步完成檢核機制的部分，已開始建立即時資料品質管控的展示介面，展示內容將包括：1.即時資料檢核與記錄；2.品管環境參數設定；3.測站狀況查詢；4.資料瀏覽與狀況展示，說明如后。

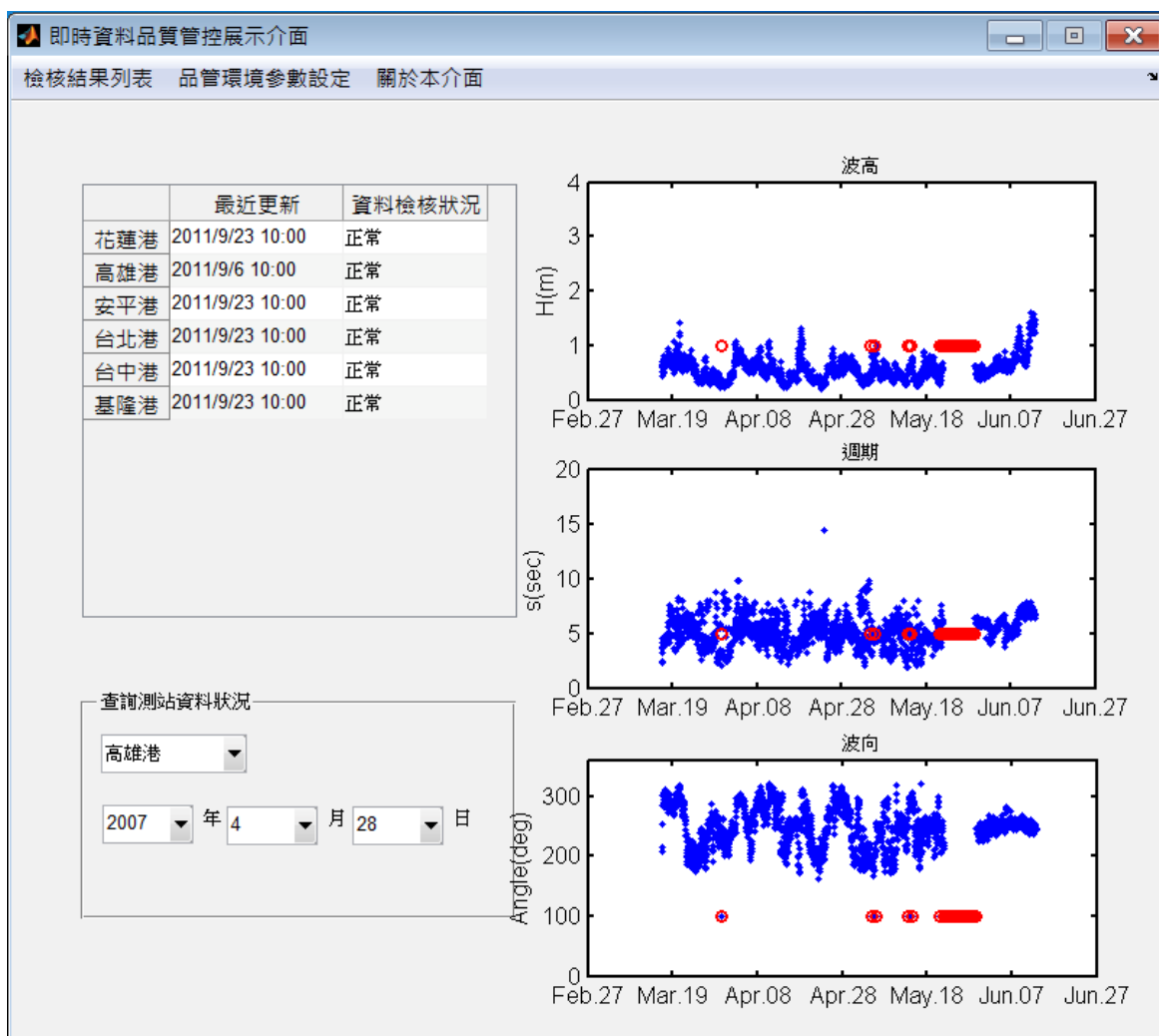


圖 4.2-13 即時資料品質管控展示介面

1.即時資料檢核與記錄：將採用視窗化介面展示目前即時收到的波浪資料檢核成果，並對有問題的資料進行標註與記錄。

2.品管環境參數設定：將針對各個檢核機制展示其參數調整的功能，以線上使用手冊快速解說各參數的影響程度，並設定好內定值以使多數工作可以省去設定參數的流程，已達到自動化的目標。

3.測站狀況查詢：由於本介面即時連接海象觀測中心資料庫，故能夠即時提供各測站的資料接收狀況，若有資料傳輸上的問題可以及早發現。

4.資料瀏覽與狀況展示：針對已即時處理過的資料提供本機瀏覽與評估作業，使操作者能即時審閱有問題的資料，視情況進行參數修正或發現問題。

第五章 高雄港颱風波浪推算模式視窗化介面的建構

目前高雄港類神經颱風波浪推算模式已於 99 年港研中心『臺灣主要港口附近海域長期波浪統計特性及設計波推算之研究(2/4)』建置完成，本研究將以其模式架構進行視窗化介面的整合，視窗化介面採用專利 I285338『類神經網路所建立之颱風波浪預報模式』之系統介面加入高雄港推算機制以及各項新功能，其中包括自動透過網路截取即時颱風資訊、波高資料及衛星雲圖等功能，將介紹如下。

5.1 圖形化使用者介面之介紹

對於一般使用者而言，在完全沒有程式開發基礎的情況下，想要使用一套工程或研究人員所開發的程式或是模式來說，是一項非常大的挑戰。所以在本計畫工作項目中提出建構颱風波浪預測模式的圖形化使用者介面(Graphical User Interface)的目標(亦稱視窗化)。此介面基本上是以高雄港颱風波浪預測模式為核心計算模組，加上人性化的操控介面整合而成。此外本介面融合許多外部的資料處理步驟，省去大量操控程序，縮短整體操作上的時間與流程。在介面外觀方面，採用類似一般使用者常接觸的 Windows 介面樣式來作設計，圖形化的表現能提升本介面與使用者之間的互動。而此介面的建立與整合，可視為未來發展全自動監測預報系統的前置研究。

本研究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，示如圖 5.1-1。

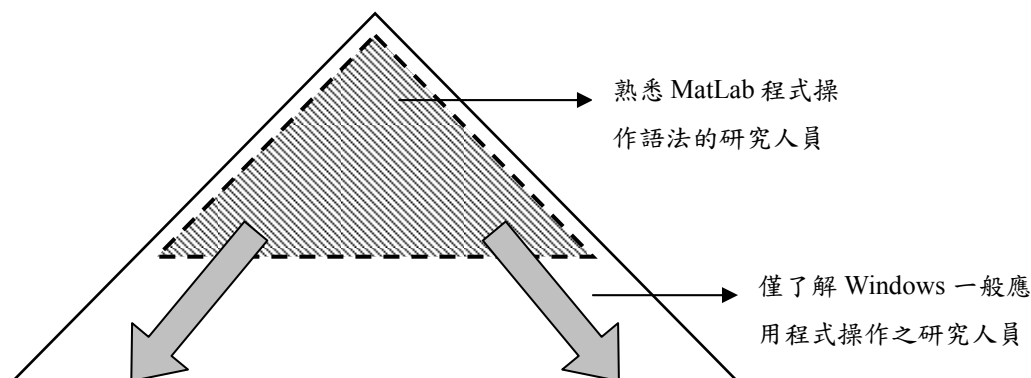


圖 5.1-1 GUI 的開發對於使用者族群的分布變化

圖 5.1-1 為表示所有研究人員中對 Matlab 程式操作語法之能力分布圖，位於金字塔行分布圖頂部的斜線區域中是較少數熟悉 Matlab 程式操作的研究人員，本介面的發展，可以將颱風波浪預測模式的使用者族群擴展至所有了解一般應用程式之研究人員。使得本模式的使用範圍更為廣泛，使用者所需具備的程式操控能力限制將會大幅降低。詳細的圖形介面以及完整的說明文件可以讓不具有程式語言能力的使用者輕鬆地就可以利用本介面進行颱風波浪的預測與評估。使用者只要熟練滑鼠的基本操作(單擊、雙擊、拖曳)，幾乎可以完成絕大部分的操作指令。

2.縮短模式操作程序時間

原本颱風波浪推算模式之中的工作程序，可簡單分為：

(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的部分是利用圖形化的友善介面進行輸入檔案的選取並會對輸入

資料長度進行長度檢核。其中 UNISYS 所公開的颱風最佳路徑資料的下載、內插與轉換程序可以透過本研究所建立的套件進行處理。

(2) 由輸入資料計算模式所需參數

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(Simulation)

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 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。若模式需要更進一步的配置及設定亦將以簡易的選單方式在此部分進行設定。

(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。除了基本輸入以及預測波高歷時圖的顯示之外，更額外加入颱風路徑的顯示。此外預測波高圖可配合預測波高表讓使用者能更容易瞭解數據以及圖表之中的特性。

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

3.增加模式親和力

在模式中輸入資料以備妥的情況下，本圖形化介面只需使用滑鼠的點選即可完成整個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。使用者只要能夠具備有 Windows 的基本操作觀念甚至不需要操作手冊就可以對本介面輕鬆上手。這也使得本介面不像一般專業工程應用軟體一般令人感到困難。本介面並提供額外的颱風資訊可讓使用者即時透過網際網路在介面中觀察即時波高資料與衛星雲圖資料。

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預報，可以在無人操作的环境中直接擷取颱風觀測資料以計算出波浪變化關係並同時以該伺服器作即時發布，發布方式可透過廣播方式、網際網路及手機簡訊達到即時且大範圍的預警。

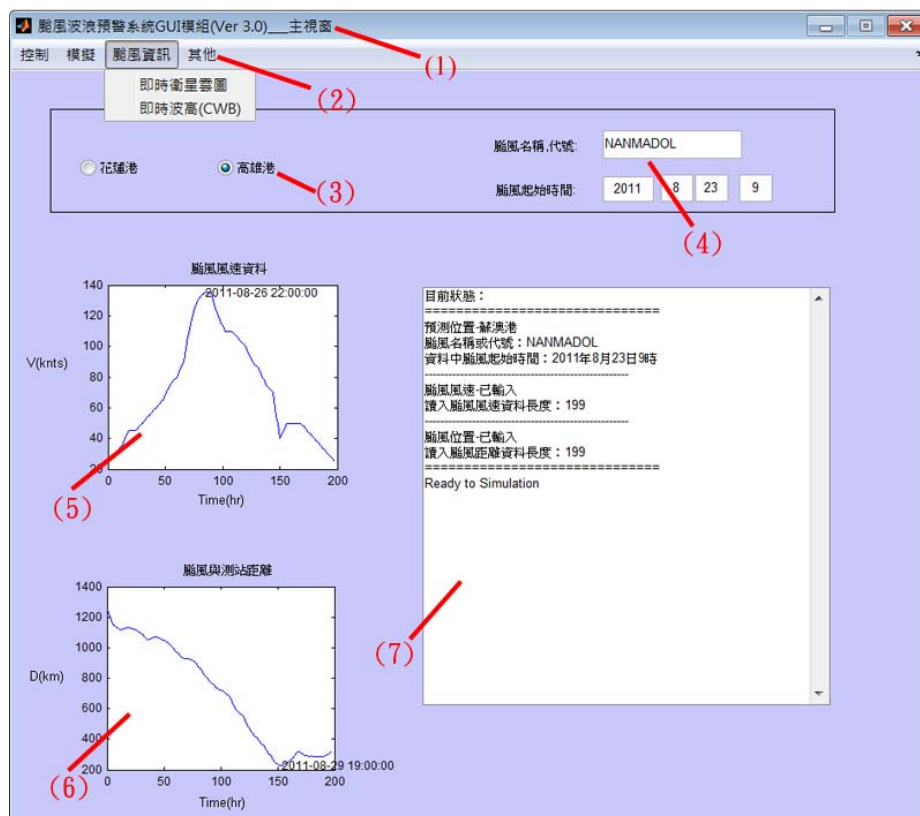
5.2 颱風波浪預測模式視窗化介面介紹

本介面開發環境擬以 Matlab 中的 GUIDE(Graphical User Interfaces Development Environment)進行開發。操作環境為 Mathworks 公司的科技運算應用軟體 Matlab。在往昔交通部運輸研究所港灣技術研究中心的合作研究計畫『台灣港灣地區颱風波浪推算之應用研究』中已成功開發花蓮港颱風波浪推算模式的視窗化介面，而後並提送經濟部智慧財產局核定取得『類神經網路所建立的颱風波浪預報模式』專利權(中華民國發明第 285338 號)。故高雄港颱風波浪推算模式以往的工作經驗配合新的演算及整合技術來建構此視窗化介面。

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。目前整個圖形化介面主要由九個視窗組成、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 8.即時波浪資訊 9.即時衛星雲圖資訊，在此分別介紹如下：

1.主介面視窗

- (1) 介面主視窗標題列：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) 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，示如圖 5.2-2。



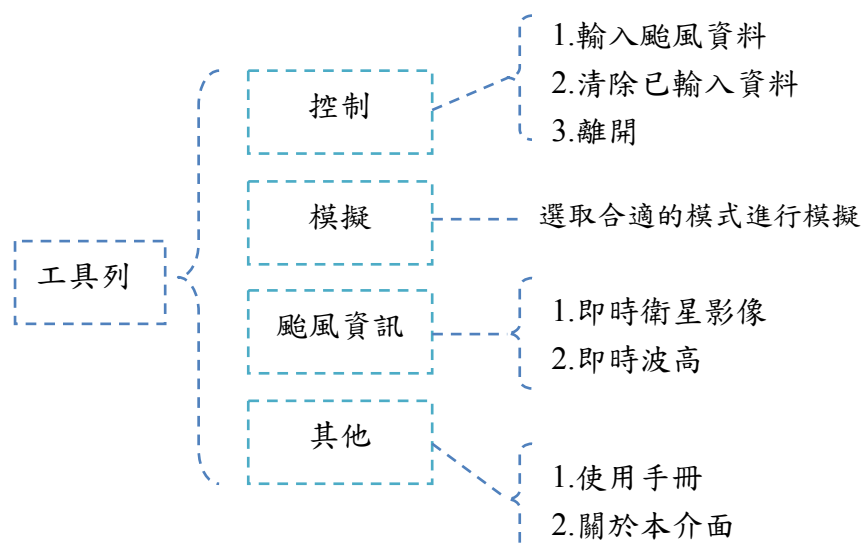


圖 5.2-2 樹狀結構的工具列

如圖 5-3 中所示第一子工具列為控制部分包括颱風資料的輸入、波浪資料的輸入、清除已輸入的資料及離開本介面。清除已輸入資料目的在於當輸入資料發生錯誤或是欲另外輸入資料前先將記憶體中的暫存資料清除。第二子工具列為模擬部分，此部份為資料輸入確定無誤後選取適當的類神經架構進行模擬。第三子工具列為颱風資訊，可在連接網際網路的情況下在本介面中展示中央氣象局所公布的即時波浪資料與衛星雲圖。第四子工具列為其他部分，包含呼叫完整的使用手冊以及關於本介面的版本資訊視窗開啟，使用手冊的開啟將呼叫外部程式以開啟 HTML 資料的瀏覽器。

- (3) 選擇預測模式區域：目前颱風波浪預測模式的測試資料有花蓮港、高雄港及安平港的波浪資料，在此可選擇預測的區域。
- (4) 颱風名稱以及颱風資料起始時間輸入：新增此框架目的在於能在輸出視窗中明確列出處理中的颱風名稱或編號。此外，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。

2. 資料輸入視窗

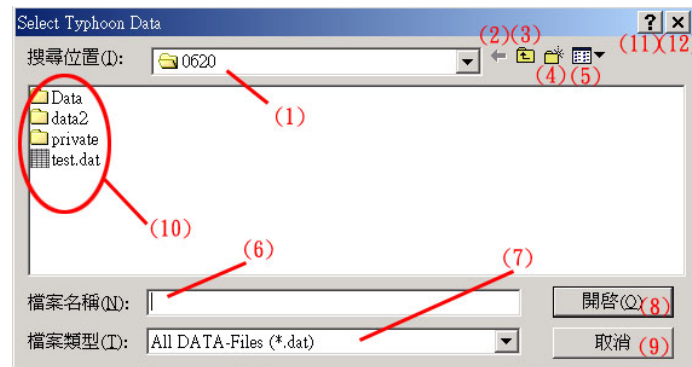


圖 5.2-3 颱風資料輸入視窗

資料輸入視窗與一般 Windows 檔案開啟視窗相似，操作部分詳述於下：

- (1) 目前資料夾位置：顯示目前所在資料夾，使用者能在此區域切換各個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。
- (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，若是處在最上層資料夾則會回到磁碟根目錄，Windows 作業系統根目錄的上一層則為我的電腦。

- (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，包含大型圖示、小型圖示、清單、詳細資料以及縮圖五種方式。
- (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，本介面在此內定為顯示附檔名為*.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。

3. 模擬輸出視窗

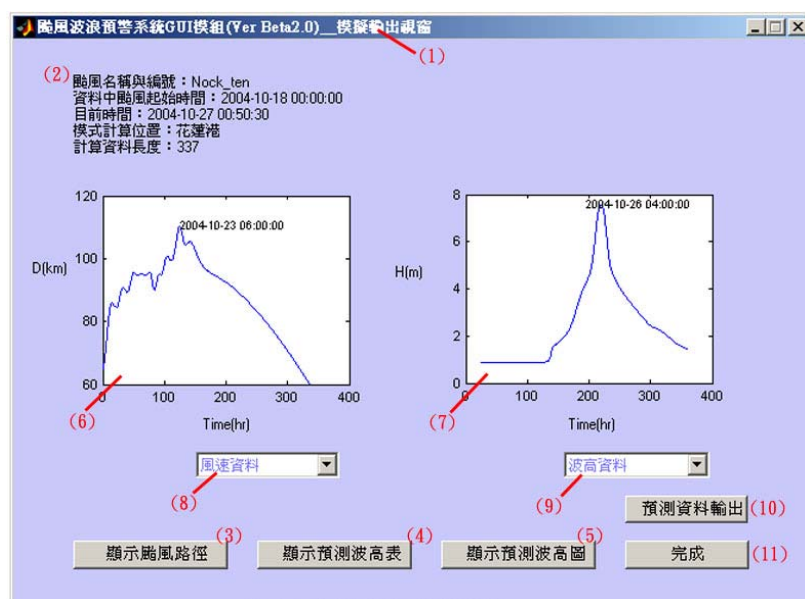


圖 5.2-4 模擬結果輸出視窗

- (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. 資料存檔視窗

由模擬輸出視窗中的預測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這兩個存

檔視窗，視窗中各元件介紹同於資料輸入視窗；差異在於圖 5.2-5 為將資料檔儲存為純文字文件格式，而圖 5.2-6 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(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。

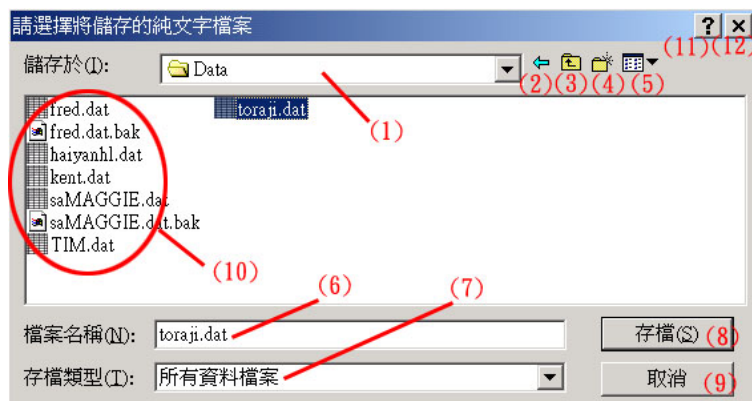


圖 5.2-5 模擬結果資料存檔視窗

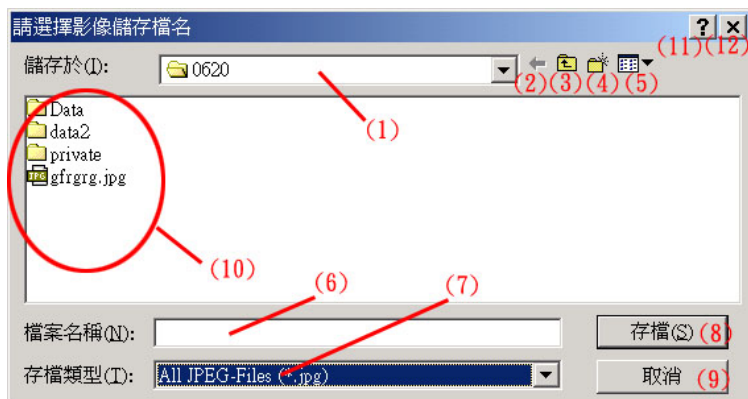


圖 5.2-6 模擬結果圖形存檔視窗

5. 颱風路徑圖

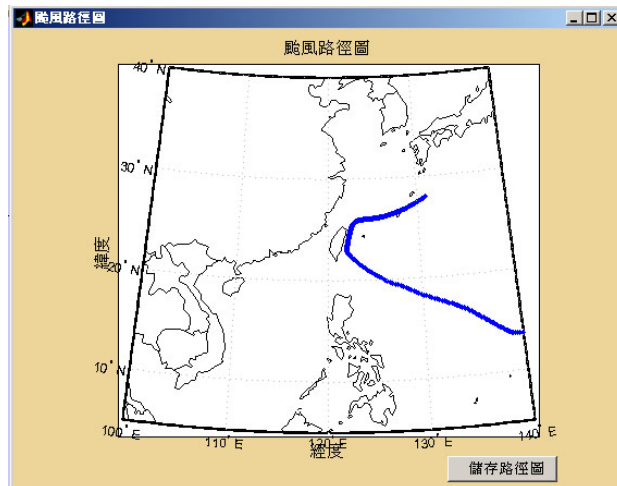


圖 5.2-7 颱風路徑圖

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。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，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。

6. 預測波高圖

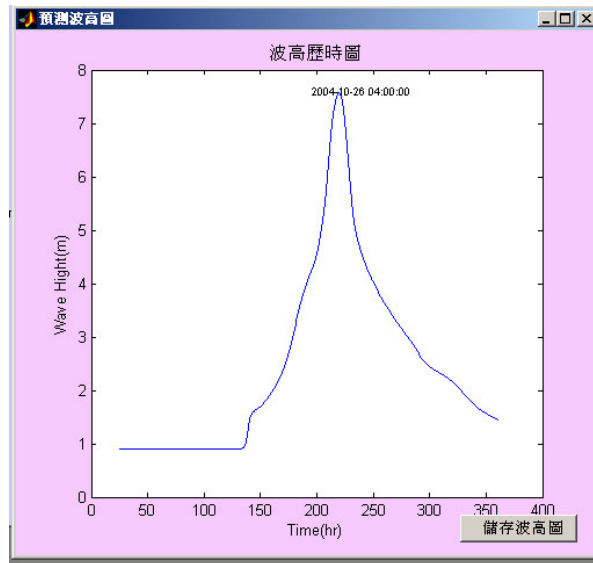


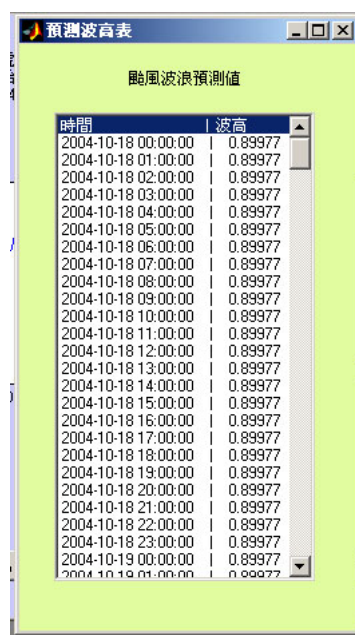
圖 5.2-8 預測波高圖

預測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。並提供圖檔儲存，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。

7. 預測波高表

預測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

圖 5.2-9 預測波高表

8. 即時波高資訊

即時波高資訊可透過網際網路的傳輸在模式介面中直接展示中央氣象局所公布的即時波高資料，目前所提供波浪資料的測站有花蓮、龜山島、蘇澳、新竹、小琉球、大鵬灣等。其中小琉球測站與大鵬灣測站的波高資料與本計畫高雄港推算點的位置接近，可作為推算結果比較的參考值，如圖 5.2-10 所示。

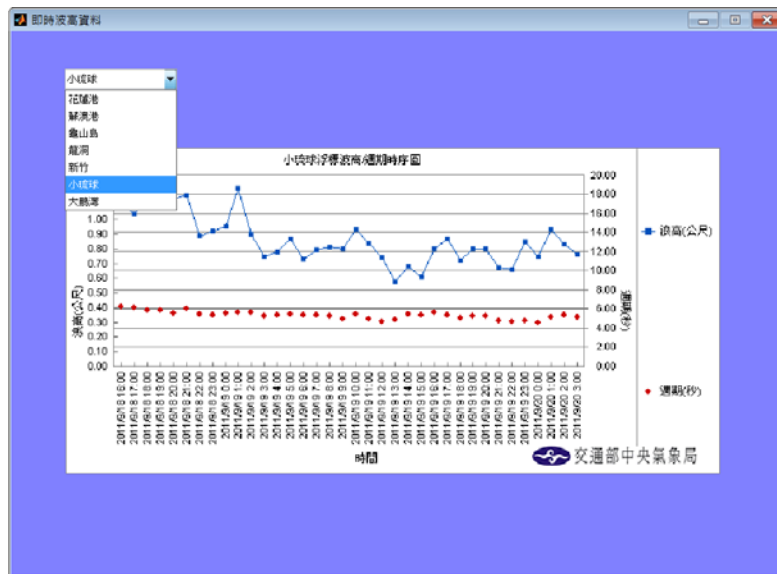


圖 5.2-10 即時波高資訊視窗

9. 即時衛星雲圖資訊

本介面並可透過網際網路連結中央氣象局所公布的 MTSAT 之衛星雲圖影像，影像類型包括可見光、紅外光、及色調強化等。空間尺度並分為全球、東亞及台灣等三個尺度，如圖 5.2-11 所示。

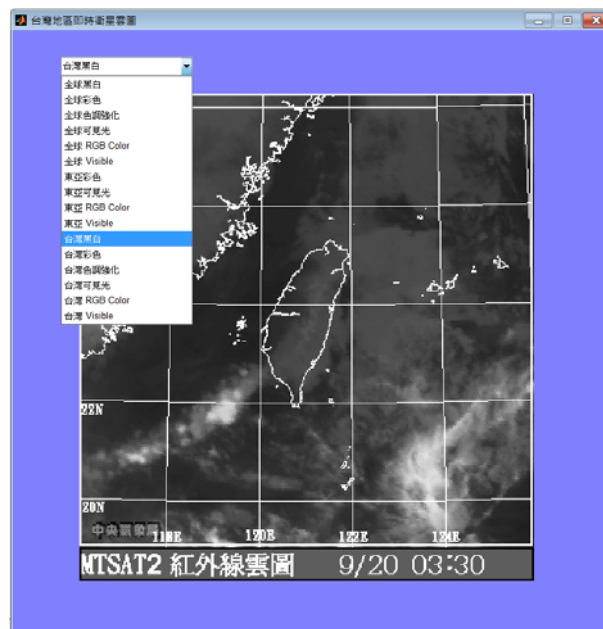


圖 5.2-11 即時衛星雲圖資訊視窗

圖形化介面初步建構除了上述功能之外，並撰寫完整且清楚的說明文件，以便讓使用者能於操作時即時以圖片明確地了解各個操作步驟以及流程的控制，完整且清楚的說明文件能讓使用者在操作時透過上方工具列即時開啟，說明文件採用 Flash 製作，內容採用互動式的樹狀架構，如圖 5.2-12 所示。除了版權宣告與開發單位訊息外並以圖片明確地說明各元件的功能與參數調整，另外對於整個操作流程也一併建立了 step by step 的圖說明，讓使用者能了解各個操作步驟以及流程的控制。

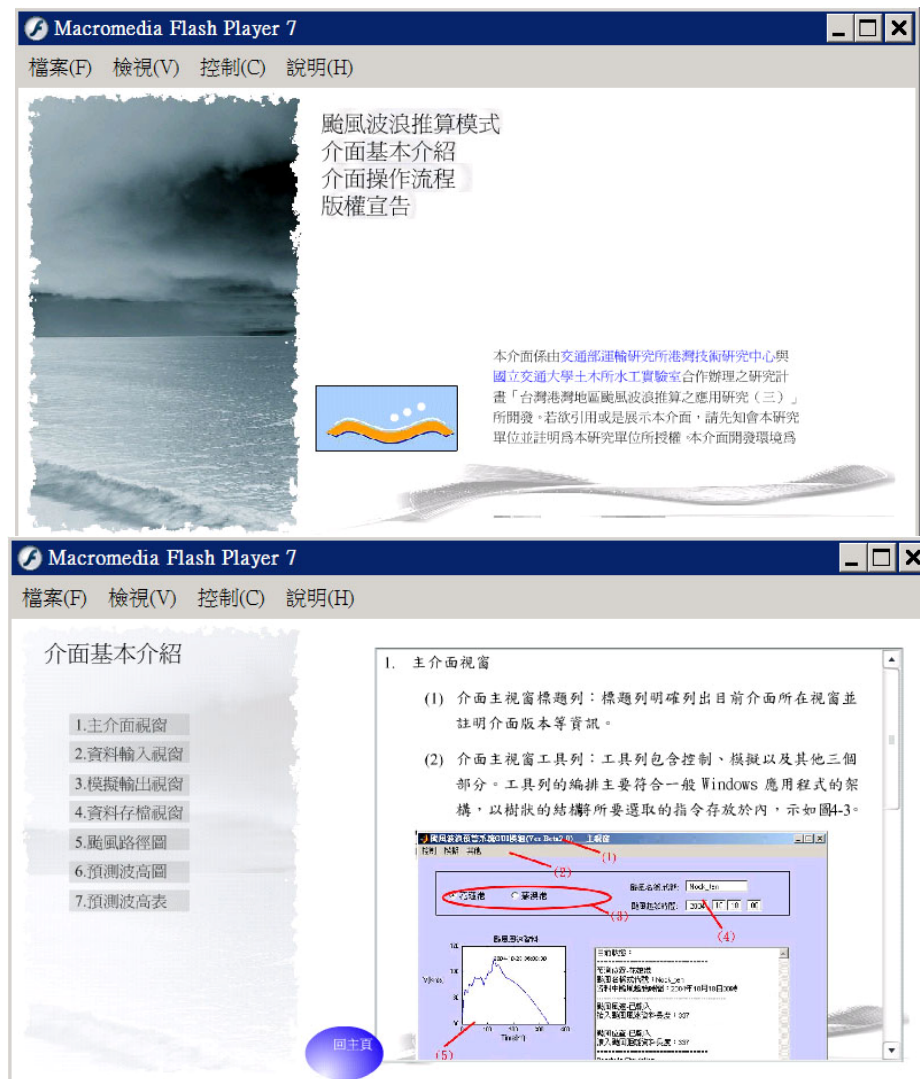


圖 5.2-12 本介面之即時說明與介面介紹視窗

第六章 結論與建議

2009 年 6 月起至 2011 年 4 月近兩年期間以聲波直接測得水位來分析個別波之統計特性之後，所得結論與建議如下：

1. 本計畫使用高雄港第 1 港口外海波浪水位資料 23792 筆分析波高及週期之最適分布。由往昔研究各選出 4 種分布，以最大概似法求取分布之參數後，再比較示性波之波高與實測值之絕對誤差來評估分布之最適分布。由檢驗結果逐時水位之波高分布最適合為 Weibull 分布，而週期分布描述新定義示性波週期為 Gauss 分布。
2. 示性波之波高與其傳統定義之示性波週期關係達 0.7 之相關係數，但比與新定義之示性波週期關係稍低。至於示性波之波高與平均週期亦有不錯之相關性。在工程應用上，以新定義之示性波週期或平均週期可以當為與波高關係之參數。

由 2009 年 6 月 29 日起至 12 月 4 日聲波水位及壓力儀器之壓力資料中，篩選出 65%有效之 2511 筆資料來計算個別波及波譜之波浪特性，比較各種波浪特性後所得之結論與建議如下：

1. 能譜之示性波高 H_s 與個別波 $H_{1/3}$ 有極高關係，此二者比值可與譜寬參數(ν)線性表示之，且其值在 1.087 ± 0.038 。深水且窄譜時， $H_s / H_{1/3}$ 值為 1.0328 異，當 $\nu=1$ 時，本研所得 $H_s / H_{1/3}$ 為 1.1315，接近於 Vandever et al. (2008)所得之 1.177。
2. 個別波所得之平均週期 \bar{T} 與波譜所得 T_{01} 之關係密切，相關係數達 0.9844，在短週期波時 \bar{T} 與 T_{01} 接近，但在長週期時， \bar{T} 高於 T_{01} 。 T_{01} / \bar{T} 之平均值與標準偏差分別為 1.0179 及 0.0412。在窄譜時， $T_{01} / \bar{T} = 0.9445$ ，當 $\nu=1$ 時，本文所得 $T_{01} / \bar{T} = 1.0783$ 。
3. \bar{T} 與 T_{02} 亦有高密切關係，相關係數達 0.9792，但 T_{01} 較接近於 \bar{T} 且與 \bar{T} 關係高於 T_{02} 。 T_{02} / \bar{T} 之平均值與標準偏差分別為 0.8916 及 0.0389，

- 以 \bar{T} 與 T_{02} 表示波浪之平均週期就有 11.8% 之差異。在窄譜時， T_{02} 與 \bar{T} 僅有 3.13% 之差異，但當寬譜時， T_{02}/\bar{T} 值卻愈小，且偏離 \bar{T} 比 T_{01} 大。
4. 水位波譜最大值之主週期 T_{p1} 與加權主週期 T_{p4} 之關係不高，相關係數僅達 0.7331。 T_{p4}/T_{p1} 與波高及頻寬無明顯關係。
 5. 頻寬參數(ν)分布比譜寬參數(ε)更能區分波譜頻寬，而較適合當為一個指標。
 6. H_s^p 與 H_s 之相關係數僅達 0.8701。 H_s^p/H_s 與波高及頻寬無明顯之關係，其平均值為 0.8765，但在大波浪時， H_s^p/H_s 約在 1.1。
 7. T_{p1} 與 T_{p1}^p 之相關係數達 0.9962。在波高 1m 以下 T_{p1}^p/T_{p1} 與波高無明顯之關係，但波高大於 1m 時， T_{p1}^p/T_{p1} 則與波高有明顯關係。以 T_{p1} 表示 T_{p1}^p 平均有 3.5% 相對誤差，但變異卻可達 13.8%。若以 6 秒波浪而言，以壓力式訊號所得波譜主波浪週期與水位訊號所得波譜主波浪週期，95% 信賴度之可能偏差 1.62sec。
 8. 由壓力所得能譜之平均週期 T_{02}^p 高估於以聲波所得能譜之平均週期 T_{02} 約 50%， T_{02}^p/T_{02} 與 $H_{1/3}$ 及譜寬參數無明顯之關係。
 9. 2009 年港研中心測量高雄在颱風期間之波浪資料良率達 0.7756，與全部資料良率 0.7652 相近。可見在颱風期間之大波並不影響聲波測量波浪品質。若從聲波及壓力計測量之波浪波譜中 H_s^p vs. H_s 、 T_{p1}^p vs. T_{p1} 與 T_{02}^p vs. T_{02} 特性更顯示，壓力計更能測到大波浪壓力，所以與聲波量測結果更接近。

在即時性資料檢核與管理機制所得之結論與建議如下：

1. 本計畫已建立即時波浪資料檢核流程，針對即時接收的逐時示性波高進行資料檢核，經檢核後視資料品質決定公布與否，檢核後記錄資料狀況以供後續利用原始波浪資訊作嚴謹的探討，提升資料庫品質。

2.本計畫針對逐時示性波高提出三種統計檢核方式：1.季節性波浪統計分析，2.連續性資料特性分析，3.箱型圖分析等。而波浪原始資料則針對儀器可能會發生的問題建構了五種檢核方式。並在各種檢核方式中設置了可調整參數，以提供操作者進行調整，避免檢核機制過於敏感而誤判。本計畫目前並以高雄港資料進行檢核測試，建議未來透過更多資料來對可調式參數作調整。

在高雄港颱風波浪推算模式視窗化介面的建構所得之結論與建議如下：

1.本計畫對高雄港颱風波浪模式的視窗化介面進行建構，期望本介面能有效提昇模式的操作效率以及擴展使用者族群，經過更完善的整合能夠使模式的應用性更加廣泛。本介面隨著颱風波浪預報模式的發展與進步將不斷提昇其品質與功能，目前已新增網路即時下載颱風資訊、波浪資訊及衛星雲圖等功能，使整個預報模式作業更加易於使用。

參考文獻

1. 湯麟武、莊甲子，「受限海域指示波統計特性之研究」，第 5 屆海洋工程研討會論文集，第 23-36 頁(1981)。
2. 陳陽益、湯麟武，「紛紜海面水位與波高之非線性解析」，第 7 屆海洋工程研討會論文集，第 21-25 頁(1983)。
3. 郭一羽，「海岸工程學」，文山書局，第 55~57 頁(2002)。
4. 江玟德、張憲國、劉勁成、陳蔚瑋、何良勝，「臺灣主要港口附近海域長期波浪統計特性及設計波推算之研究(2/4)」，交通部運輸研究所(2011)。
5. 江玟德、張憲國、錢維安、何良勝，「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(2005)。
6. Boccotti, P. and Lincei, A. N. *Memorie VIII, On mechanics of irregular gravity waves*, 11–170 (1989).
7. Bouws, E., Gunther, H., Rosenthal, W., and Vincent, C.L., “Similarity of the wind wave spectrum in finite depth water: 1. Spectral form,” *Journal of Geophysical Research*, Vol. 90, pp. 975– 986 (1985).
8. Bretschneider, C.L., “Significant waves and wave spectrum,” *Ocean Industry Feb.*, pp. 40-46 (1968).
9. Bowman, A. W. and A. Azzalini (1997) *Applied Smoothing Techniques for Data Analysis*, Oxford University Press.
10. Cartwright, D.E., and Longuet-Higgins, M.S., “The statistical distribution of the maxima of a random function,” *Proceedings of Royal Society London, Series A*, Vol. 237, pp. 212-232 (1956).
11. Chakrabarti, S. K.; Cooley, R. P., “Statistical distribution of periods and heights of ocean waves,” *Journal of Geophysical Research*, 82 (C9), 1363-1368 (1977).
12. Chester, D., “Why two hidden layers are better than one,” *In Proceeding IEEE International Joint Conference on Neural Networks*, Washington, D.C. pp. 265-268 (1990).
13. Dean, R.G., and Dalrymple, R.A., *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*, World Scientific, 353p (1993).

14. Goda, Y., *Random Seas and Design of Marine Structures*, World Scientific, 443p (2000).
15. Graham, H.E., and Nunn, D.E., "Meteorological conditions pertinent to standard project hurricane," *Atlantic and Gulf Coasts of United States, National Hurricane Research Project*, Report No. 3, U. S. Weather Service (1959).
16. Goda, Y., *Random Seas and Design of Marine Structures*, World Scientific, 443p (2000).
17. Guedes Soares, C. "Representation of double-peaked sea wave spectra," *Ocean Engineering*, 11, 185–207 (1984).
18. Guedes Soares, C. "On the occurrence of double peaked wave spectra," *Ocean Engineering*, 18, 167–171 (1991).
19. Hasselmann, K., et al., Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP), *Dtsch. Hydrogr. Z., Suppl. A*, Vol. 8, pp.1-95 (1973).
20. Hou, Y., Guo, P.F., Song, G.T., Song, J.B., Yin, B.S. Zhao, X.X., Peifang, G., Guiting, S "Statistical distribution of nonlinear random wave height," *Science in China, Series D*, 49(4), 443-448 (2006).
21. Huang, N.E. et al., "A unified two-parameter wave spectral model for a general sea state," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 112, pp. 203-224 (1981).
22. Hush, D.R., and Horne, B.G., "Progress in supervised neural network: what's new since lippmann," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 10, pp. 8-39 (1993).
23. Lockhart, R. A. and Spinelli, J. J., "Comments on Correlation coefficient goodness-of fit tests for the extreme-value distribution," *American Statistics*, 44, pp. 259-260. (1990)
24. Longuet-Higgins, M.S., "The statistical distribution of the heights of sea waves," *Journal of Marine Research*, Series A, Vol. 237, pp. 212-232 (1952).
25. Longuet-Higgins, M. "On the statistical distribution of the heights of sea waves," *Journal Marine Research*, 11, 3, 245-266 (1952).
26. Longuet-Higgins, M. "On the distribution of the heights of the sea waves: Some effects of nonlinearity and finite bandwidth," *Journal of*

- Geophysical Research*, 85, 3, 1519-1523 (1980).
27. Longuet-Higgins, M.S., "On the statistical distributions of the periods and amplitudes in a random wave field," *Proceedings of Royal Society London A*, 389, 241-258 (1983).
 28. McLaren, C. G. and Lockhart, R. A., "On the asymptotic efficiency of certain correlation tests of fit," *Canadian Journal Statistics*, 15, pp. 15-167. (1987)
 29. Mitsuyasu, H., "On the growth of spectrum of wind-generated waves (2)- spectral shape of wind waves at finite fetch," *Proceedings of Japanese Conference on Coastal Engineering*, pp. 1-7 (1980). (in Japanese)
 30. Mori, N. and Janssen, P. "On kurtosis and occurrence probability of freak wave," *Journal of Physical Oceanography*, 36, 1471-1483 (2006).
 31. Nair, N. U., G. Muraleedharan and P. G. Kurup (2003) "Erlang distribution model for ocean wave periods," *J. Ind. Geophys. Union*, Vol.7, No. 2, pp. 59-70.
 32. Naess, A. "On the distribution of crest-to-trough wave heights" *Ocean Engineering*, 12, 3, 221-234 (1985).
 33. Ochi, M.K., and Hubble, E.N., "On six-parameter wave spectra," *Proceedings of 15th Conference on Coastal Engineering*, pp. 301-328 (1976).
 34. Petrova, P.G. and Guedes Soares, C. "Probability distributions of wave heights in bimodal seas in an offshore basin," *Applied Ocean Research*, 31, 90-100 (2009).
 35. Pierson, W.J. and Moskowitz, L., "A proposed spectral form for fully developed wind seas based on similarity law of S. A. Kitaigorodskii," *Journal of Geophysical Research*, Vol. 69, pp. 5181-5190 (1964).
 36. Podgorski, K., Rychlik, I. and Machado, U. E., "Exact distributions for apparent wave in irregular seas," *Ocean Engineering*, 27, 979-1016 (2000).
 37. Rodriguez, G. and Guedes Soares, C. "Correlation between successive wave heights and periods in mixed sea states," *Ocean Engineering*, 28, 1009-1030 (2001).
 38. Rodriguez, G., Guedes Soares, C., Pacheco, M. and Pérez-Martell, E.

- “Wave height distribution in mixed sea states,” *Journal of Offshore Mechanics Arctic Engineering*, 124, 1, 34–40 (2002).
39. Stansell, P., Wolfram, J. and Linfoot, B., “improved joint probability distribution fro ocean wave heights and periods,” *Journal of Fluid Mechanics*, 503, 273-297 (2004).
 40. Stephens, M. A., *Tests based on regression and correlation, in Goodness-of-fit Techniques*, Chap. 5, eds, R.B. D’Agostino and M. A. Stephens, Dekker. (1986)
 41. Tayfun, M. “Distribution of large wave heights,” *Journal of Waterway Port Coastal Ocean Engineering*, 116, 6, 686-707(1990).
 42. Tayfun, A. and Fedele, F. “Wave-height distributions and nonlinear effects,” *Ocean Engineering*, 34, 1631-1649 (2007).
 43. Tucker, M.J., and Pitt, E.G., *Waves in Ocean Engineering*, Elsevier Ocean Engineering Series, Oxford, U.K. (2001).
 44. Vandever, J.P., Siegel, E.M., Brubaker, J.M., and Friedrichs, C.T., “Influence of spectral width on wave height parameter esitamtes in coastal environments,” *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Vol. 134, pp. 187-194 (2008).
 45. Vinje, T. “The statistical distribution of wave heights in a random seaway,” *Applied Ocean Research*, 11, 3, 143–152 (1989).
 46. Wilson, B.W., “Graphical approach to the forecasting of waves in moving fetches,” *Technical Memorandum No. 73*, Beach Erosion Board, Corps of Engineers, U.S. Army, pp. 1-31 (1955).
 47. Xu, D.L., Li, X.A., Zhang, L.H., Xu, N., and Lu, H.M., “ On the distributions of wave periods, wavelengths, and amplitudes in a wave field,” *Journal of Geophysical Research*, 109 , C05016 (2004).
 48. Young, I.R., and Bahanin, A.V., “The form of the asymptotic depth-limited wind-wave frequency spectrum,” *Journal of Geophysical Research*, Vol. 111, C06031, doi: 10.1029/2005JC003398 (2006).
 49. Young, I.R., and Bahanin, A.V., “The form of the asymptotic depth-limited wind-wave frequency spectrum, Part II- the wavenumber spectrum,” *Coastal Engineering*, Vol. 56, pp. 534-542 (2009).
 50. Young, I.R., and Verhagen, L.A., “The growth of fetch limited waves in water of finite depth. Part I: Total energy and peak frequency,” *Coastal*

Engineering, Vol. 28, pp. 47-78 (1996a).

51. Young, I.R., and Verhagen, L.A., "The growth of fetch limited waves in water of finite depth. Part II: Spectral evolution," *Coastal Engineering*, Vol. 28, pp. 79-100 (1996b).

交通部運輸研究所合作研究計畫

☑期中☐期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：MOTC-IOT-99-H2EB009 海象即時性資訊檢核及管理機制之建置研究

執行單位：國立交通大學[土木工程學系]

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p>蕭松山委員：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 報告書撰寫詳實，研究成果應已符合期中進度。 2. 觀測資料可靠與否將影響本計畫相關分析結果，簡報內容之資料品管分析除錯模式說明詳盡，期末報告應予納入。 3. 又資料檢核之精度要求限制係按一般統計學理所述數值，建議探討實際應用於高雄港觀測資料合理之精度限制。 4. 所建構之高雄港波浪預測模式視窗，建議提供操作手冊或教育研習，以利委辦單位未來能順利操作使用。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員認可。 2. 將於期末報告中一併整合高雄港波浪資料品管分析結果。 3. 將於期末報告中以高雄港實測資料來設定檢核系統的各項參數值範圍。 4. 介面中的工具列將提供線上操作手冊與操作範例。 	<p>一、審查委員所提意見與計畫內容的修正，列入期末報告修訂辦理。</p> <p>二、乙方處理情形符合研究內容之執行。</p>
<p>洪憲忠委員：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. P.5 第 11 行「本計畫係採用 Nair 等人所提出之示性週期計算方式」及相關部份，建議再確認。 2. 海象資料檢核很重要，本計畫所建檢核 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員指正，本計畫最後採用傳統的示性週期計算方式，將於期末報告中移除誤植處。 2. 感謝委員認可，本計畫檢核機制期望能 	<p>一、審查委員所提意見與計畫內容的修正，列入期末報告修訂辦理。</p> <p>二、乙方處理情形符合研究內容之執行。</p>

機制完整實用。	提供各波浪測站使用。	
<p>吳基委員：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 有關波高、週期及波譜特性部份描述詳實、成果豐碩，唯表 2.6 月份分類上是否需按季節分類呈現。 2. 在即時資料檢核部份，架構已確立，希望能多用實測資料作測試，已發現所有可能出現的問題。 3. 目前台北、安平已可每小時傳回 Row data，在檢核架構上是否能做選擇，或作修改。 4. 期中報告內部份圖不清楚，請在期末報告改善。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 目前研究文獻尚無較符合學理的分季方式，本研究團隊正採用群集分析進行研擬。 2. 期末將採用實測資料進行檢核的分析，並針對高雄港實測波浪資料來設定合適的檢核參數。 3. 本計畫中的檢核方式分為針對逐實資料及 RAW data 兩種，目前皆已開發完成，故不需經過修改即可針對兩種資料型態作檢核。 4. 將於期末報告中作修正。 	<p>一、審查委員所提意見與計畫內容的修正，列入期末報告修訂辦理。</p> <p>二、乙方處理情形符合研究內容之執行。</p>
<p>梁乃匡委員：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 已按預定進度執行。 2. 第二章波浪特性分析讀起來是探討示性波高和週期的年季月統計特性，包括其機率分佈。而 2.2 節介紹波高機率密度函數，似乎在討論一段波浪資料（一般 20 分鐘）內的波高和週期的機率分佈，應予以釐清。 3. 波浪資料檢核機制，應排除將刪掉怪 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員認可。 2. 將於期末報告中詳加說明。 3. Freak wave 以基本之義，在本計畫的檢 	<p>一、審查委員所提意見與計畫內容的修正，列入期末報告修訂辦理。</p> <p>二、乙方處理情形符合研究內容之執行。</p>

<p>浪 (Freak wave) 的可能。</p>	<p>核機制中容易被當成突波等有問題之資料，應會給與黃燈之訊息，港研中心會定期討論黃色之資料之特性逐件討論，原始資料港研中心也會同時存檔管理。</p>	
<p>陳文俊委員：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. $T_{1/3}$ 分析結果建議將傳統方式並呈，以利未來引用者方便判釋。 2. 波浪特性分析中各年代有月份資料缺漏情形，(有的缺如3~9月)，則其該季、整年之波浪特性是否具代表性？一般季、年至少需幾個月資料方具代表性？ 3. 圖 3.3-23 水位波譜之 H_s 與壓力波譜之 H_s 於波高 7.5M 後開始有差異增大現象，而 3.3-32 颱風期間分析結果，兩者則無現象，原因為何？ 4. 三種波高資料檢核方法之判斷結果，若皆不同時，將如何處理？又週期是否亦 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 目前採用傳統方式估算示性周期，文中誤植將於期末報告中修正。 2. 2010 年波浪資料缺漏部分已補申請，將於期末報告中列出完整分析結果。當樣本統計特性相似時則可用局部樣本統計結果當母體之統計，但無一定之標準規定資料缺漏的比例不足以做為代表性。 3. 目前僅將數據分析波譜及統計特性，至於其中力學機制造成此現象之原因尚未瞭解。 4. 依文中圖 4.2-1 的資料檢核流程圖中若三種統計檢核法中出現異常，則先標 	<p>一、審查委員所提意見與計畫內容的修正，列入期末報告修訂辦理。</p> <p>二、乙方處理情形符合研究內容之執行。</p>

<p>有檢核過程？</p> <p>5. 整體成果完備，給予肯定。</p>	<p>記為 Yellow 再予以發布，後續再調閱 Raw data 進一步評估改為 Red 或 Green，另外目前週期尚無檢核過程。</p> <p>5. 感謝委員肯定。</p>	
<p>何良勝委員：</p> <p>一、進行波浪特性分析與實測資料時間長度極有關聯，而高雄港之實測資料長度不足很多，其波浪分析特性如何適當陳現。</p> <p>二、建議於期末報告增列往昔有關高雄港之相關研究成果，以做為驗證比較。</p>	<p>一、波浪特性分析的代表性與實測資料品質有較大關聯，以目前高雄港 2009 及 2010 的資料狀況在各月波浪特性及分季波浪特性分析上較無問題。資料長度影響估算較長重現期的設計波浪，可搭配合適的波浪推算模式進行分析。</p> <p>二、將於期末報告中增列。</p>	<p>一、審查委員所提意見與計畫內容的修正，列入期末報告修訂辦理。</p> <p>二、乙方處理情形符合研究內容之執行。</p>

交通部運輸研究所合作研究計畫

□期中☒期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：MOTC-IOT-99-H2EB009 海象即時性資訊檢核及管理機制之建置研究

執行單位：國立交通大學[土木工程學系]

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p>梁乃匡委員：</p> <p>1. 已按預定進度執行。報告內部份敘述說明，請在期末報告改善。</p> <p>2. 工作團隊整體成果完備，給予肯定。</p>	<p>1. 已修正相關敘述。</p> <p>2. 感謝委員肯定。</p>	<p>期末審查時委員所提意見與計畫的修正，乙方已列入正式報告定稿修訂辦理；且處理情形符合研究內容之執行。</p>
<p>蕭松山委員：</p> <p>1. 期中報告審查意見已回覆。</p> <p>2. 簡報內容較書面資料豐富許多，尤其針對波高及週期分佈函數分析採用新文獻的公式，研究成果值得肯定，建議納入正式期末報告。</p> <p>3. 結論 1. 有關示性波週期之分佈型態為常態，建議應修正為Gauss 分布。</p> <p>4. 新定義之示性波週期，與示性波高之相關性係數稍高於傳統之示性波週期，成果頗富創新性，是否推</p>	<p>1. 感謝委員認可。</p> <p>2. 已納入期末報告中。</p> <p>3. 已修正為明確說法，感謝委員指正。</p> <p>4. 本研究以兩種定義的示性波週期進行分析發現其統計分布的差異性及與波高分布的相關性，但若要應用在實際工程上仍需更</p>	<p>期末審查時委員所提意見與計畫的修正，乙方已列入正式報告定稿修訂辦理；且處理情形符合研究內容之執行。</p>

<p>薦用於實際工程使用建議多加論述。</p> <p>5.觀測資料品管模式列為紅燈的資料可能為freak wave，建議對資料連續性特性分析仍加以探討。</p>	<p>多資料或不同測站波浪來進行評估。</p> <p>5.感謝委員建議，目前三種統計檢測方式皆同時進行，若其中一種無法通過檢測則保守標記為有問題之資料。</p>	
<p>吳基委員：</p> <p>1. 本研究報告內容詳盡描述高雄港外海實測波浪紀錄之示性波高，週期分佈及波譜特性分析達成預期目標。</p> <p>2. 期末報告已依期中報告審查意見針對波浪資料之季節性分類改進採用群集分析法進行分析研究，獲得具體成果。</p> <p>3. 有關即時示性波及原始資料之檢核，已完成檢核架構設計但未來仍需經過長時間測試與改進，建議未來能持續進行後續之改進研究。</p>	<p>1.感謝委員認可。</p> <p>2.感謝委員認可。</p> <p>3.未來可利用中心各港資料進行資料檢核的測試與參數調整，以提供更好的檢測品質。</p>	<p>期末審查時委員所提意見與計畫的修正，乙方已列入正式報告定稿修訂辦理；且處理情形符合研究內容之執行。</p>
<p>何良勝委員：</p> <p>1. 建議內文修正或補充說明之處： (1)2.4 節之節名可刪除英文部份。</p>	<p>1. (1)已刪除</p>	<p>期末審查時委員所提意見與計畫的修正，乙方已列入正式報告定稿修訂辦理；且處理情形符合研究內容之執</p>

<p>(2)表 2.6-1 表名修正。</p> <p>(3)2.5 節與 2.6 節名稱相同，請修正。</p> <p>(4)圖 2.6-1 之縱軸單位，請補充說明。</p> <p>(5)部份報告初稿內容與簡報說明不同，請修正。</p> <p>2. 有關 2.7 節內 H1/3、T1/3 之新定義示性波高-週期請補充說明，且宜有更多分析資料驗證，才可說明其成果。</p> <p>3. 建議於波譜分析方面，增列表本計畫分析所得（如 H1/10/H1/3、Hmax/H1/3 等參數值）與理論或其他研究結果。</p>	<p>(2)已修正為各月份資料筆數。</p> <p>(3)已修正 2.6 節名稱。</p> <p>(4)已補充說明縱軸為統計分布與實測資料的誤差。</p> <p>(5)已將簡報內容中新的成果納入正式報告中。</p> <p>2.已補充說明新定義之示性波週期，未來可利用更多不同地理環境的波浪資料進行測試與比較。</p> <p>3.文中 3.3.1 節聲波水位之個別波特特性已針對各波浪參數值進行比較與分析。</p>	<p>行。</p>
<p>洪憲忠委員：</p> <p>1. 報告部分有些錯字(例如，中文摘要表 P.14 推「倒」出各種分布；P.102 第 4 頁波高「級」週期)，建議修正。</p> <p>2. 建議「第 6 章結論」修正為「第 6 章結論與建議」，並補入未</p>	<p>1.已修正，感謝委員建議。</p> <p>2.感謝委員建議。</p>	<p>期末審查時委員所提意見與計畫的修正，乙方已列入正式報告定稿修訂辦理；且處理情形符合研究內容之執行。</p>

<p>來建議內容。</p> <p>3. P.3 倒數第 3 行「示性波週期」，是否修正為「示性波週期(以下簡稱傳統定義示性波週期)」; P.4 倒數第 2 行「示性波週期」，是否修正為「示性波週期(以下簡稱新定義示性波週期)」。</p> <p>4. 報告內所提到之示性波週期，建議清楚敘明為傳統定義示性波週期 or 新定義示性波週期(例如，圖 2.6-16 至圖 2.6-30、圖 2.7-1 指的是何示性波週期?)。</p> <p>5. 本報告內容頗為實用，值得肯定。</p>	<p>3.感謝委員建議，已說明文中簡稱部分。</p> <p>4.已補充說明，感謝委員建議。</p> <p>5.感謝委員肯定。</p>	
---	--	--