

MOTC-IOT-98-H2EB008

高雄港域波流場數值模擬及特性研究

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 99 年 10 月

MOTC-IOT-98-H2EB008

高雄港域波流場數值模擬及特性研究

主持人：張憲國 教授

研究人員：劉勁成 博士

交通部運輸研究所

國立交通大學

合作辦理

中華民國 99 年 10 月

高雄港域波流場數值模擬及特性研究

交通部運輸研究所

ISBN 號碼
及條碼

GPN :

定價 元

高雄港域波流場數值模擬及特性研究

著 者：張憲國

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：<http://www.iot.gov.tw/chinese/lib/lib.htm>

電 話：(02)23496789

出版年月：中華民國九十九年十二月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 150 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價： 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：

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：高雄港域波流場數值模擬及特性研究			
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-98-H2EB008
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 地址：新竹市大學路 1001 號 聯絡電話：03-5712121#54981	
		研究期間 自 98 年 12 月 至 99 年 12 月	
關鍵詞：高雄港、流場數值模擬、波浪統計			
<p>摘要：</p> <p>本計畫主要研究目的為建立高雄港的地域性季節性波浪特性及颱風波浪推算模式。以港灣技術研究中心所觀測高雄港的波浪資料分析波高及週期的基本統計特性及最適之機率分布函數等方式來瞭解波高分布。本研究並以聯合數值模式及類神經網路分析技術建立一套較精確的高雄港颱風波浪推算模式，且初步建立颱風波浪推算視窗化操作。示性波高分析結果顯示，以 Weibull 分布描述高雄港之示性波高統計的效果最佳較於其他函數，而在示性週期統計方面，以 Normal 分布及 Gamma 分布最適描述高雄港示性週期分布。本計畫採用湯(1970)和井島(1972)、MIKE-21 SW 與聯合 MIKE-21 SW 及類神經網路等 3 種颱風波浪推算方式進行高雄港的颱風波浪推算。比較相關係數、均方根誤差、颱風波浪最大波高誤差及最大波高發生時間誤差 4 個指標可知，MIKE-21 SW 使用 NCEP 風場和聯合 MIKE 21 SW 及類神經網路的颱風波浪推算方式均可獲得不錯的推算成果。若考慮以颱風波浪推算結果當為決定設計波高的樣本時，則需以大波高的誤差為標準，聯合 MIKE-21 SW 及類神經網路的颱風波的浪推算有最佳的推算結果。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
99 年 12 月	184		凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
<p>機密等級：</p> <p><input type="checkbox"/>限閱 <input type="checkbox"/>機密 <input type="checkbox"/>極機密 <input type="checkbox"/>絕對機密</p> <p>（解密【限】條件：<input type="checkbox"/>年 月 日解密，<input type="checkbox"/>公布後解密，<input type="checkbox"/>附件抽存後解密，<input type="checkbox"/>工作完成或會議終了時解密，<input type="checkbox"/>另行檢討後辦理解密）</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>普通</p>			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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

TITLE: Numerical modeling of hydrodynamics and wave statistics in Kaohsiung Harbor			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-98-H2EB0 08
DIVISION: Center of Harbor & Marine Technology DIVISION CHIEF: Chiu Yung-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ho Liang-Sheng PROJECT STAFF: Lin Tommy PHONE: (04)26587126 FAX: (04)26560661			PROJECT PERIOD FROM 12/2009 TO 12/2010
RESEARCH AGENCY: National Chiao Tung University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chang Hsien-Kuo PROJECT STAFF: Liou Jin-Cheng ADDRESS: 1001 Ta Hsueh Road, Hsinchu, Taiwan 300, ROC PHONE: 886-3-571-2121#54981			
KEY WORDS: Kaohsiung Harbor; Numerical Modeling of Hydrodynamics; Wave Statistics			
ABSTRACT: The aims of this project are to establish the characteristics of monsoon waves and typhoon wave simulation at Kaohsiung harbor. Data analysis for wave heights and wave periods and the best fitting of probability distribution are used to investigate the characteristics of local wind waves. A hybrid model simulation for typhoon waves are set up using numerical wave calculation and neural networks. The performance of simulated results is shown by a GUI system. Weibull distribution is examined to be the best fitting to significant wave heights among all possible distributions. Normal distribution and Gamma distribution are better fitting for significant wave periods than other possible distributions. Empirical formulations of Tung (1970) and Ijima (1972), numerical model of MIKE21 and the proposed hybrid wave model were evaluated for the simulation capacity of typhoon waves at Kaohsiung harbor. A comparison of four performance indices, correlation coefficient, RMSE, peak error and time delay, between the simulated waves and measured data shows that both MIKE21 and the proposed hybrid model are more applicable for typhoon waves than the empirical formulation. For design wave obtained through extreme analysis on the data sample of extreme wave every year, good simulation on the peak of each is an important index for choosing a suitable simulation model. Based on the performance index of peak error of each typhoon, the proposed hybrid model is examined to be better for wave simulation than the MIKE-21 model.			
DATE OF PUBLICATION December 2010	NUMBER OF PAGES 184	PRICE	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <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.....	VI
表目錄.....	XI
符號表.....	XIII
第一章 前言.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	1
1.3 研究方法與步驟.....	1
1.3.1 96 年度工作方法與步驟.....	2
1.3.2 97 年度工作方法與步驟.....	2
1.3.3 本(98)年度工作方法與步驟.....	2
1.4 各年度研究成果.....	2
1.4.1 96 年度研究成果.....	3
1.4.2 97 年度研究成果.....	3
第二章 高雄港波浪特性分析.....	5
2.1 資料來源與處理.....	5
2.2 相關波高機率密度函數.....	7
2.3 平滑方法(Kernel Smoothing Method).....	10
2.4 Weibull 分布系列之統計代表值推導.....	13
2.5 Gamma 與 Normal 分布系列之統計代表值推導.....	14
2.6 示性波高之最適機率分布.....	15
2.6.1 以統計公式之評估結果.....	16
2.6.2 以 Ksdensity 方法之評估結果.....	16
2.7 示性波浪參數特性探討.....	33
2.7.1 每月示性波浪波高.....	33
2.7.2 Weibull 分布之參數特性.....	34

2.8	示性週期之最適機率分布	36
2.8.1	以統計公式之評估結果	36
2.8.2	以 Ksdensity 方法之評估結果	36
2.9	示性波浪參數特性探討	53
2.9.1	每月示性波浪週期	53
2.9.2	Normal 分布之參數特性	53
第三章	高雄港波譜特性之分析	56
3.1	波譜分析之介紹	56
3.1.1	頻譜形式(frequency spectrum)	56
3.1.2	頻譜特性	58
3.2	資料來源與處理	59
3.2.1	觀測地點及儀器	60
3.2.2	資料格式與處理	61
3.3	波譜特性	63
3.3.1	聲波水位之個別波特特性	66
3.3.2	聲波水位之個別波與波譜	71
3.3.3	聲波水位與壓力資料之能譜比較	82
3.3.4	颱風期間之波浪特性	88
第四章	高雄港颱風波浪推算	92
4.1	湯(1970)和井島(1972)之颱風波浪推算方式	92
4.2	MIKE 21 SW 之颱風波浪推算方式	95
4.2.1	風浪模式	95
4.2.2	風場模式	96
4.2.3	數值模擬條件	99
4.3	聯合 MIKE 21 SW 及類神經網路之颱風波浪推算方式	101
4.3.1	類神經網路	101
4.3.2	類神經網路模式架構	104
4.4	模式推算能力比較	106
4.4.1	颱風波浪資料分析	106
4.4.2	各模式推算結果	109

第五章 高雄港颱風波浪推算模式視窗化介面的初步建構.....	116
5.1 圖形化使用者介面之介紹.....	116
5.2 颱風波浪預測模式視窗化介面介紹.....	119
第六章 結論.....	128
參考文獻.....	131
附錄一 高雄港示性波高機率密度圖.....	134
附錄二 高雄港示性週期機率密度圖.....	157
附錄三 報告審查意見回復.....	180

圖目錄

圖 2.1-1 高雄港波浪觀測位置示意圖	6
圖 2.3-1 Ksdensity 推估之機率密度函數圖	11
圖 2.3-2 不同 h 之機率函數圖	12
圖 2.3-3 波高與週期最適機率分布之分析流程圖	12
圖 2.4-1 機率高於 $F(x \leq x_p) = 1 - p$ 之平均值為 \bar{x}_p 及最大機率密度之示意圖	13
圖 2.6-1 2001 年高雄港 H_S 各分布比較圖(統計公式法).....	17
圖 2.6-2 2002 年高雄港 H_S 各分布比較圖(統計公式法).....	18
圖 2.6-3 2003 年高雄港 H_S 各分布比較圖(統計公式法).....	19
圖 2.6-4 2004 年高雄港 H_S 各分布比較圖(統計公式法).....	20
圖 2.6-5 2005 年高雄港 H_S 各分布比較圖(統計公式法).....	21
圖 2.6-6 2006 年高雄港 H_S 各分布比較圖(統計公式法).....	22
圖 2.6-7 2007 年高雄港 H_S 各分布比較圖(統計公式法).....	23
圖 2.6-8 2008 年高雄港 H_S 各分布比較圖(統計公式法).....	24
圖 2.6-9 2001 年高雄港 H_S 各分布比較圖(Ksdensity 法).....	25
圖 2.6-10 2002 年高雄港 H_S 各分布比較圖(Ksdensity 法).....	26
圖 2.6-11 2003 年高雄港 H_S 各分布比較圖(Ksdensity 法).....	27
圖 2.6-12 2004 年高雄港 H_S 各分布比較圖(Ksdensity 法).....	28
圖 2.6-13 2005 年高雄港 H_S 各分布比較圖(Ksdensity 法).....	29
圖 2.6-14 2006 年高雄港 H_S 各分布比較圖(Ksdensity 法).....	30
圖 2.6-15 2007 年高雄港 H_S 各分布比較圖(Ksdensity 法).....	31
圖 2.6-16 2008 年高雄港 H_S 各分布比較圖(Ksdensity 法).....	32
圖 2.7-1 高雄港每月示性波高	33
圖 2.7-2 高雄港 Weibull 分布 α 參數.....	35
圖 2.7-3 高雄港 Weibull 分布 β 參數.....	35
圖 2.8-1 2001 年高雄港 T_S 各分布比較圖(統計公式法)	37
圖 2.8-2 2002 年高雄港 T_S 各分布比較圖(統計公式法)	38
圖 2.8-3 2003 年高雄港 T_S 各分布比較圖(統計公式法)	39

圖 2.8-4 2004 年高雄港 T_S 各分布比較圖(統計公式法)	40
圖 2.8-5 2005 年高雄港 T_S 各分布比較圖(統計公式法)	41
圖 2.8-6 2006 年高雄港 T_S 各分布比較圖(統計公式法)	42
圖 2.8-7 2007 年高雄港 T_S 各分布比較圖(統計公式法)	43
圖 2.8-8 2008 年高雄港 T_S 各分布比較圖(統計公式法)	44
圖 2.8-9 2001 年高雄港 T_S 各分布比較圖(Ksdensity 法)	45
圖 2.8-10 2002 年高雄港 T_S 各分布比較圖(Ksdensity 法)	46
圖 2.8-11 2003 年高雄港 T_S 各分布比較圖(Ksdensity 法).....	47
圖 2.8-12 2004 年高雄港 T_S 各分布比較圖(Ksdensity 法)	48
圖 2.8-13 2005 年高雄港 T_S 各分布比較圖(Ksdensity 法)	49
圖 2.8-14 2006 年高雄港 T_S 各分布比較圖(Ksdensity 法)	50
圖 2.8-15 2007 年高雄港 T_S 各分布比較圖(Ksdensity 法)	51
圖 2.8-16 2008 年高雄港 T_S 各分布比較圖(Ksdensity 法)	52
圖 2.9-1 高雄港每月示性週期	53
圖 2.9-2 高雄港 Normal 分布 μ 參數	55
圖 2.9-3 高雄港 Normal 分布 σ 參數	55
圖 3.2-1 波浪觀測 1 站設置地點示意圖	60
圖 3.2-2 Nortek AWAC 方向性聲波剖面海流與波高波向潮波流儀.....	61
圖 3.2-3 海域風浪水位信號 (零位橫切法之定義).....	62
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).....	64
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).....	66
圖 3.3-3 個別波 $H_{1/3}$ 與 $H_{1/10}$ 之比較	67
圖 3.3-4 $H_{1/10} / H_{1/3}$ 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布	68
圖 3.3-5 $H_{1/10} / H_{1/3}$ 與譜寬參數(ν)之關係	68
圖 3.3-6 個別波 $H_{1/3}$ 與 H_{\max} 之比較	70
圖 3.3-7 $H_{\max} / H_{1/3}$ 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布	70
圖 3.3-8 $H_{\max} / H_{1/3}$ 與譜寬參數(ν)之關係	71

圖 3.3-9 個別波 $H_{1/3}$ 與能譜所得示性波高(H_s)之比較	72
圖 3.3-10 $H_s / H_{1/3}$ 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布	73
圖 3.3-11 $H_s / H_{1/3}$ 與譜寬參數(ν)之關係	73
圖 3.3-12 個別波 \bar{T} 與能譜所得平均週期(T_{01})之比較	74
圖 3.3-13 T_{01} / \bar{T} 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布	75
圖 3.3-14 T_{01} / \bar{T} 與譜寬參數(ν)之關係	75
圖 3.3-15 個別波 \bar{T} 與能譜所得平均週期(T_{02})之比較	77
圖 3.3-16 T_{02} / \bar{T} 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布	77
圖 3.3-17 T_{02} / \bar{T} 與譜寬參數(ν)之關係	78
圖 3.3-18 波譜主頻 T_{p1} 與另一定義主頻 T_{p4} 之比較	79
圖 3.3-19 T_{p4} / T_{p1} 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布	79
圖 3.3-20 T_{p4} / T_{p1} 與譜寬參數(ν)之關係	80
圖 3.3-21 波譜頻寬參數 ν 與 $H_{1/3}$ 之關係	81
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	81
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	83
圖 3.3-24 H_s^p / H_s 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布	83
圖 3.3-25 H_s^p / H_s 與譜寬參數(ν)之關係	84
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	85
圖 3.3-27 T_{p1}^p / T_{p1} 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布	85
圖 3.3-28 T_{p1}^p / T_{p1} 與譜寬參數(ν)之關係	86
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	86
圖 3.3-30 T_{02}^p / T_{02} 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布	87
圖 3.3-31 T_{02}^p / T_{02} 與譜寬參數(ν)之關係	88
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	90
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	90
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	91
圖 4.1-1 湯(1970)和井島(1972)推算模式模擬範圍	95

圖 4.2-1 氣旋中心附近風速風向分布示意圖	99
圖 4.2-2 計算範圍水深分布圖	101
圖 4.3-1 類神經網路模式架構整體概念	106
圖 4.4-1 高雄港測站位置圖	107
圖 4.4-2 示性波高時序列比較	111
圖 4.4-2 示性波高時序列比較(續 1).....	112
圖 4.4-2 示性波高時序列比較(續 2).....	113
圖 5.1-1 GUI 的開發對於使用者族群的分布變化	117
圖 5.2-1 本介面主視窗.....	120
圖 5.2-2 樹狀結構的工具列	121
圖 5.2-3 颱風資料輸入視窗	122
圖 5.2-4 模擬結果輸出視窗	123
圖 5.2-5 模擬結果資料存檔視窗	125
圖 5.2-6 模擬結果圖形存檔視窗	125
圖 5.2-7 颱風路徑圖.....	126
圖 5.2-8 預測波高圖.....	126
圖 5.2-9 預測波高表.....	127
圖附 1-1 高雄港 2001 年示性波高機率密度圖	136
圖附 1-2 高雄港 2002 年示性波高機率密度圖	138
圖附 1-3 高雄港 2003 年示性波高機率密度圖	141
圖附 1-4 高雄港 2004 年示性波高機率密度圖	144
圖附 1-5 高雄港 2005 年示性波高機率密度圖	147
圖附 1-6 高雄港 2006 年示性波高機率密度圖	150
圖附 1-7 高雄港 2007 年示性波高機率密度圖	153
圖附 1-8 高雄港 2008 年示性波高機率密度圖	156
圖附 2-1 高雄港 2001 年示性週期機率密度圖	159
圖附 2-2 高雄港 2002 年示性週期機率密度圖	161
圖附 2-3 高雄港 2003 年示性週期機率密度圖	164
圖附 2-4 高雄港 2004 年示性週期機率密度圖	167
圖附 2-5 高雄港 2005 年示性週期機率密度圖	170

圖附 2-6 高雄港 2006 年示性週期機率密度圖	173
圖附 2-7 高雄港 2007 年示性週期機率密度圖	176
圖附 2-8 高雄港 2008 年示性週期機率密度圖	179

表目錄

表 2.1-1 波浪資料各年缺漏月份	6
表 2.4-1 Weibull 分布系列之統計特性公式	14
表 2.5-1 Gamma 分布系列之統計特性公式	15
表 2.5-2 Normal 分布系列之統計特性公式	15
表 2.6-1 2001 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較	17
表 2.6-2 2002 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較	18
表 2.6-3 2003 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較	19
表 2.6-4 2004 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較	20
表 2.6-5 2005 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較	21
表 2.6-6 2006 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較	22
表 2.6-7 2007 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較	23
表 2.6-8 2008 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較	24
表 2.6-9 2001 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較	25
表 2.6-10 2002 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較	26
表 2.6-11 2003 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較	27
表 2.6-12 2004 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較	28
表 2.6-13 2005 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較	29
表 2.6-14 2006 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較	30
表 2.6-15 2007 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較	31
表 2.6-16 2008 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較	32
表 2.7-1 2001 至 2008 各月份示性波高最小值	34
表 2.8-1 2001 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較	37
表 2.8-2 2002 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較	38
表 2.8-3 2003 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較	39
表 2.8-4 2004 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較	40
表 2.8-5 2005 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較	41
表 2.8-6 2006 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較	42
表 2.8-7 2007 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較	43

表 2.8-8 2008 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較	44
表 2.8-9 2001 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較 ...	45
表 2.8-10 2002 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較 ..	46
表 2.8-11 2003 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較...	47
表 2.8-12 2004 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較 ..	48
表 2.8-13 2005 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較 ..	49
表 2.8-14 2006 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較 ..	50
表 2.8-15 2007 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較 ..	51
表 2.8-16 2008 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較 ..	52
表 2.9-1 2001 至 2008 各月份示性週期最小值	54
表 3.3-1 選擇兩變數之線性回歸係數及其相關係數	82
表 3.3-2 2009 年侵台颱風之名稱及強度	89
表 3.3-3 選擇兩變數之線性回歸係數及其相關係數	91
表 4.2-1 MIKE 21 SW 模式參數設定彙整表	101
表 4.4-1 颱風波浪實測資料	107
表 4.4-2 類神經網路學習及測試颱風波浪資料	109
表 4.4-3 各模式推算結果比較	115

符號表

μ	: 平均值
σ	: 標準偏差
$f(x)$: 機率密度函數
$F(x)$: 累積機率函數
$\Gamma(\alpha)$: Gamma 函數
$P(x/\beta, \alpha)$: 不完整 Gamma 函數
RMSE	: 均方根誤差
R^2	: 判定係數
\bar{x}_p	: 機率高於 $F(x \leq x_p) = 1 - p$ 之平均值
$\eta(x, y, t)$: 波形函數
$S(f, \theta)$: 波浪的方向波譜
β_j	: 待定係數
γ	: 主頻增強效應
Mn	: n 階力矩
T_{01} 、 T_{02}	: 波譜所得波浪之平均週期
ε 、 ν	: 波譜之寬窄程度指標
T_f	: 稱為轉換函數

$\text{cov}(x, y)$: 變數 x 及 y 之共變數
μ_x 、 μ_y	: 變數 x 及 y 之平均值
$E[]$: 統計之期望值
N	: 波浪個數
$\text{erfc}(x)$: 誤差餘函數
H_s	: 示性波高
T_s	: 示性週期
H_{max}	: 最大值波高
T_{p1}	: 水位波譜最大值之主頻對應主週期
T_{p4}	: 加權主頻對應主週期
T_{p1}^p	: 壓力訊號所得波譜最大值之主頻對應主週期
T_{02}^p	: 壓力訊號所得波譜之平均週期
H_s^p	: 壓力波譜所得波高
H_θ	: 風向改變在新方向之波高
H_f	: 風浪對應之波高
T_f	: 風浪對應之週期
H_d	: 湧浪對應之波高
T_d	: 為湧浪對應之週期

\bar{u}_1	: 低氣壓及地球自轉角速度所引起之風速
\bar{u}_2	: 颱風移動時帶動其周圍氣流所產生之風速
ρ_a	: 空氣密度
r_0	: 最大風速半徑
r	: 求風速位置點與颱風中心之距離
f	: Coriolis 係數= $2\omega\sin\phi$
ω	: 地球自轉角速度
ϕ	: 計算點之緯度
c_1	: 地面風速與傾度風速之比值
V_r	: 距颱風中心 R 公里處之旋轉風速
R_m	: 最大暴風半徑
V_{\max}	: 近中心最大風速
$O_{P \times 1}$: 神經網路具有 P 個向量的輸出矩陣
$I_{R \times 1}$: 具有 R 個向量的輸入矩陣
$W_{S \times R}$: 具有 S 個神經元的神經網路權重矩陣
$b_{S \times 1}$: 網路偏權值矩陣

第一章 前言

1.1 研究動機

高雄港位於臺灣地區之西南海岸，現有第一及第二港口，港域幅員遼闊，腹地廣大，臨海有狹長沙洲屏障，港灣形勢渾然天成，地理條件優良。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「台灣地區整體國際港埠發展規劃」之貨櫃運量預測結果，民國 100 年起高雄港將面臨貨櫃碼頭供給不足之壓力，且隨貨櫃船大型化之發展，未來為具競爭力之國際貨櫃港埠，勢須具備因應發展趨勢之能力。因此，為期提昇高雄港整體效能、發揮港埠機能之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，用以建置較長時期之海氣象觀測資料庫，可充分瞭解高雄港附近海域之海氣象特性，更應進行相關的學理研究，以提供高雄港附近海域之波浪與海流特性之參考依據。

1.2 研究目的

本計畫的研究對象包括高雄港海域波浪特性分析、波譜分析、颱風波浪推算及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，並建立高雄港的地域性波譜。接著聯合數值模式及類神經網路分析技術，建立一套較精確的高雄港颱風波浪推算模式，最後初步建立颱風波浪推算視窗化操作。

1.3 研究方法與步驟

本計畫為延續性計畫，並以循序漸進的方式推動。各年度工作方法與步驟如下：

1.3.1 96 年度工作方法與步驟

1. 歷年高雄港海氣象實測資料蒐集整理分析。
2. 建立高雄港現有海域之流場分析數值模式。

1.3.2 97 年度工作方法與步驟

1. 建立高雄港未來擴建海域之流場分析數值模式。
2. 比較高雄港擴建前後之流場分布及流況改變情況。
3. 初步建立高雄港海域波浪特性模式。

1.3.3 本(98)年度工作方法與步驟

1. 分析高雄港波高及週期的基本統計特性。
2. 探討高雄港波高及週期最適之機率分布函數。
3. 基於正規化型式之 Pierson-Moskowitz 波譜及 JONSWAP 波譜，選取適當的參數以建立高雄港的地域性波譜。
4. 以經驗式之颱風波浪推算方法計算出各場颱風在高雄港之颱風波浪。
5. 透過數值模式計算出各場颱風在高雄港之颱風波浪，並透過類神經網路進行誤差修正，以獲得高雄港較精確的颱風波浪推算值。
6. 比較經驗式與聯合數值模式及類神經網路的颱風波浪推算值。
7. 初步建構高雄港颱風波浪推算的視窗化操作。

1.4 各年度研究成果

1.4.1 96 年度研究成果

- 1.經由實測資料的探討可知，不論在一港口還是二港口，高雄港海域現場實測資料皆非常混亂。在日潮不等較小的時候，並無一特定的特性，漲潮時海流時而向北時而向南，退潮時亦是如此，甚至出現不論漲退潮，海流流向皆向南或皆向北的情況。在日潮不等較大的時候亦呈現混亂的狀況，僅能概略歸納出兩個情況，海流遇到有 hump 時，一定會轉往南，但轉潮時間不固定，有時在 hump 高點轉向，有時在 hump 低點轉向，甚至亦有在平潮時轉向，而在 hump 後的大退潮則一定會轉向北。
- 2.為確認大區域計算海域邊界潮位設定及相關計算結果之準確性，本計畫選取安平港實測資料來進行檢驗，在潮位方面，實測與預測的潮位非常接近，僅在高低潮部分有些許的誤差，而在流向方面，預測的流向與實測的流向趨勢亦非常接近。透過驗證可知，應用 MIKE 21 HD 水動力模式，配合本計畫所選用之邊界條件，確實可充分掌握並完整地呈現台灣環島海域潮位與潮時之整體變化特性及分布趨勢。
- 3.本計畫對於台灣環島、台灣南部及高雄港海域之潮位皆可準確的計算，但在流向方面，即使從巢狀網格交疊應用著手，計算範圍採用大區域、中區域及局部區域，大區域邊界條件採用 Matsumoto 等人(2000)針對 NAO Tide 提出的 NAO.99b 模式的輸出結果，在局部區域仍僅能模擬出海流遇到有 hump 時，一定會轉往南的特性。

1.4.2 97 年度研究成果

- 1.本計畫計算範圍採用大區域及局部區域，大區域邊界條件採用 Matsumoto 等人(2000)針對 NAO Tide 提出的 NAO.99b 模式的輸出結果，由整體的模擬結果可知，近岸潮流特性呈現漲潮流向向東南，退潮流向向西北。
- 2.為確認計算海域邊界潮位設定及相關計算結果之準確性，本計畫引用港研中心 2006 年 10 月於高雄港二港口的實測資料進行正確性驗證。

在潮位方面，實測與預測的潮位非常接近，僅在高潮和低潮的部分有些許誤差，而在流向方面，於日潮不等較小及日潮不等較大時，預測流向與實測流向大致相同。於全日潮時，實測流向在低潮至平潮的區間中較無規則性，其餘較規則的部分則預測流向與實測流向大致相同。透過所有潮型的驗證可知，應用 MIKE 21 HD 水動力模式，配合本計畫所選用之邊界條件，確實可充分掌握並完整地呈現高雄港現有海域潮位與潮時之整體變化特性及分布趨勢。

3. 本計畫為更進一步確認模式的正確性，特別依照潮位特性及潮型分段來探討。整體來說，本模式在小潮的模擬效果較佳，而在大潮的模擬效果略差。不論以 $\pm 22.5^\circ$ 或 $\pm 45^\circ$ 的標準，皆可得到本模式在模擬日潮不等較小時效果最佳，其次為日潮不等較大時，而全日潮的模擬效果較差，此主要的原因由於全日潮實測流向在低潮至平潮的區間中較無規則性，數值模式較難模擬因而造成較大的誤差。
4. 在日潮不等較大和日潮不等較小時，最大流速、最小流速和平均流速的模擬流速與實測流速皆非常接近。在全日潮的流速模擬上，模擬流速與實測流速則有些許差異，主要原因由於全日潮在此部分實測流向較無規則性而不易模擬，進而造成模擬流速與實測流速的差異較大。
5. 透過高雄港擴建前後數值模擬的比較可知，擴建後漲潮流向向東南，並在大林商港區南防波堤南側及大林南海堤南側形成環流，退潮流向向西北，並在大林西海堤西側、外海貨櫃中心西海堤西側及北海堤北側形成環流。

第二章 高雄港波浪特性分析

2.1 資料來源與處理

本計畫所分析的資料均是由交通部運輸研究所所港灣技術研究中心提供的波浪資料。港灣技術研究中心於八十九年度在高雄港安裝挪威 NORTEK 公司之剖面海流與波浪即時監測系統，主要收集波高、週期及波向等資料。2000 年 12 月中旬在高雄一港口與二港口間亦即高雄市中區污水處理廠附近海域，水深 25m 的位置設觀測儀（測站 A），以進行長期觀測。2001 年 6 月 23 日奇比颱風經過形成之外為環流影響以致海底電纜遭受到外力拉扯受損後，以自記方式量測，2002 年 6 月重新補放運轉。2005 年 8 月觀測儀移至第二港口附近海域（測站 R），水深-18m，位置為 $22^{\circ}32'30''N$ ， $120^{\circ}17'40''E$ ，設置高雄港觀測儀位置圖，如圖 2.1-1 所示。

一般常用的波高統計代表值(代表波)有很多種，本計畫選取 H_S 來計算相關波高特性， H_S (示性波)其計算方法即以波群中波高較大的 1/3 部份的個別波波高平均值來代表，雖其不具有特別的意義，但接近人類以目視觀測對不規則波直覺上得到的波高。另外在統計特性上，其具有最大的安定性(不隨取樣不同而變化)，較能反映波浪所含能量的大小，故是最常用的代表波。(郭，2002)

另外一般常用的週期統計代表值(代表波)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，稱為示性波高，而對應之 1/3 最大週期，稱為示性週期；然而 Nair 等(2003)提出示性週期計算方式是以週期大小排序後($T_1 > T_2 > T_3 \dots$)，以前 1/3 最大週期之平均值為示性週期，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週期及其理論示性週期。因此，本計畫係採用 Nair 等人所提出之示性週期計算方式。



圖 2.1-1 高雄港波浪觀測位置示意圖

根據港灣技術研究中心所提供之高雄港波浪資料，其記錄時間分別為 2001 年至 2008 年，而波浪資料各年缺漏部分如表 2.1-1 所示。本計畫採用兩種方法：1.以最大概似法(method of maximum likelihood)估算各分布之參數值，由參數之計算結果，可求得相關之理論波高統計值，並與實際波高計算而得之統計值進行比較，並在最後探討其參數特性；2.利用統計學理論中之一種參數推估平滑方法 Ksdensity 方法來將實測資料與各分布進行吻合度試驗。

表 2.1-1 波浪資料各年缺漏月份

2001	7 月、11 月及 12 月
2002	1 月、2 月、3 月、4 月及 5 月
2003	1 月及 12 月
2004	1 月及 2 月
2005	4 月及 5 月
2006	5 月、6 月、7 月及 8 月
2007	1 月及 2 月
2008	12 月

2.2 相關波高機率密度函數

本計畫選擇 Gamma、Weibull、Rayleigh 與 Log-Normal 四種分布來探討波高最適機率分布，而在週期則選用 Gamma、Erlang、Rayleigh 與 Normal 四種分布函數。上述所提之機率密度分布介紹如下：

1. Normal 分布

為常態分布的機率密度函數，示如式(2.2-1)：

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, -\infty < x < \infty, -\infty < \mu < \infty, \sigma > 0 \quad (2.2-1)$$

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)。且由式(2.2-2)及式(2.2-3)推算標準偏差及平均值：

$$\mu = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (2.2-2)$$

$$\sigma^2 = s^2 = \frac{1}{N-1} \left(\sum_{i=1}^N x_i - \bar{x} \right)^2 \quad (2.2-3)$$

2. Log-Normal 分布

對數常態分布的機率密度函數

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}}, x \geq 0, -\infty \leq \mu \leq \infty, \sigma > 0 \quad (2.2-4)$$

其中 σ 為標準偏差(standard deviation)， μ 為平均值(mean value)。

3. Weibull 分布—當式 $f(x; \alpha, \beta) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta} + c\right)^{\alpha-1} e^{-c^\alpha \left(\frac{x}{\beta} + c\right)^\alpha}$ 中的 $c=0$

機率密度函數，示如式(2.2-5)

$$f(x; \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{\alpha}{\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}, & x \geq 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (2.2-5)$$

$$F(x; \alpha, \beta) = \begin{cases} 1 - e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}, & x \geq 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (2.2-6)$$

4. Rayleigh 分布—當式(2.2-5)之 Weibull 分布中 $\alpha = 2$

機率密度函數

$$f(x; \beta) = \begin{cases} \frac{2x}{\beta^2} e^{-\frac{x^2}{\beta^2}}, & x \geq 0, \beta > 0 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (2.2-7)$$

機率函數

$$F(x; \beta) = \begin{cases} 1 - e^{-\frac{x^2}{\beta^2}}, & x \geq 0, \beta > 0 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (2.2-8)$$

5. Gamma 分布

機率密度函數

$$f(x; \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{x^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} e^{-\frac{x}{\beta}}, & x \geq 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (2.2-9)$$

機率函數

$$\begin{aligned}
F(x; \alpha, \beta) &= \begin{cases} \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^{\frac{x}{\beta}} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\frac{t}{\beta}} d\left(\frac{t}{\beta}\right), & x \geq 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \\
&= \begin{cases} P\left(\frac{x}{\beta}, \alpha\right), & x \geq 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (2.2-10a) \\
&= \begin{cases} \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m!(m+\alpha)} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{m+\alpha}, & x \geq 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases}
\end{aligned}$$

其中 α 及 β 均參數， $\Gamma(\alpha)$ 為 Gamma 函數， $P(x/\beta, \alpha)$ 為不完整 Gamma 函數 (incomplete Gamma function)，二者分別定義如下。

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad (2.2-10b)$$

及

$$P(x/\beta, \alpha) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^{\frac{x}{\beta}} t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (2.2-10c)$$

6. Erlang 分布

Erlang 分布為 Gamma 分布中的特殊分布理論，其機率密度函數為式(2.2-11)之 Gamma 分布中參數 a 取整數 n ，即為

$$f(x; n, \beta) = \begin{cases} \frac{x^{n-1}}{\alpha^\beta (n-1)!} e^{-\frac{x}{\beta}} & x \geq 0, n > 0, \beta > 0 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (2.2-11)$$

機率函數

$$F(x; n, \beta) = \begin{cases} \frac{1}{(n-1)!} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m!(m+n)} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{m+n}, & x \geq 0, n > 0, \beta > 0 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (2.2-12)$$

上述 6 種機率分布函數之參數決定方法，除了 Erlang 分布係利用示性波週期及平均週期之統計特性之兩個條件解出參數 α 及 β 後，再取 α 為整數以外，均利用最大概似法來估算各種理論機率分布函數中之參數。

為了能夠了解各理論值與實測值之吻合程度，本文利用 2 種評估指標來判斷，選擇出最佳的理論機率分布模式：

1.均方根誤差(RMSE)：

誤差均方根 RMSE 為常用之統計學上的技巧，其計算方法及定義如下：

在波高統計最佳分布適合度中，假設有 k 個數據， Hsm_1 、 Hsm_2 、 \dots 、 Hsm_k 是實測資料經過示性波浪定義所求得之實測值， Hsc_1 、 Hsc_2 、 \dots 、 Hsc_k 是理論分布公式所推得各波高統計值，則根據 RMSE 計算公式：

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (Hsm_i - Hsc_i)^2}{i}} \quad (2.2-13)$$

2.判定係數(Coefficient of Determination) R^2 ：

表示所輸入的依變數的總變異量中，能被迴歸模式所解釋的變異量百分比有多少，亦稱作相關係數平方，因其值為相關係數之平方。 R^2 值在 0 至 1 之間，當 R^2 值越接近 1，表示所計算出的迴歸模式的適配度(goodness-of-fit)越好。

2.3 平滑方法(Kernel Smoothing Method)

本計畫在探討波高與週期之最適分布時，利用 2 種方式來討論理論與實測之吻合度情況，一為利用機率概念將分布函數推導出各統計代表值公式，另一為統計理論中之參數推估平滑方法，Kernel Smoothing

Method，其理論詳見 Bowman (1997)。在此將對 Kernel Smoothing Method 作一簡單介紹：

假設有一隨機變數 $X_1, X_2 \cdots X_n$ ，則會得到以下機率密度函數

$$\hat{f}(x, h) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - X_i}{h}\right) \quad (2.3-1)$$

其中 K 為 Kernel function，h 為資料區間寬度，如圖 2.3-1。

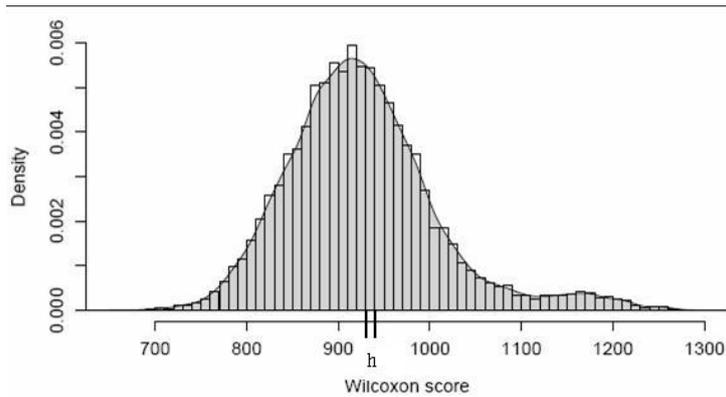


圖 2.3-1 Ksdensity 推估之機率密度函數圖

本計畫將資料代入 Matlab 軟體中，以 Ksdensity 指令推估出實測值之機率密度，而在 Matlab 軟體中 Kernel function 是採用 Normal 型式，公式如下：

$$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}x^2} \quad (2.3-2)$$

資料區間寬度 h 為影響推估出的實測值機率密度圖型平滑化的主要因素，圖 2.3-2 顯示出不同的區間寬度所推估出的結果，當 h 取得越小函數圖型會趨近於不規則化導致與各分布函數套配時，增加分析的困難；而當 h 取得越寬鬆，則會越趨向於 Normal 分布。

採用 Ksdensity 方法的優點在於它能將原始資料推估出一連續性函數，而且不用推估參數即可簡單求出所要的機率密度，另外 Matlab 軟體將資料分成 100 個區間，由直方圖分組觀念可知，區間分組數量將會影響到資料分析結果，太多會造成分析困難，太少則會分析不出資

料特性，所以利用 Ksdensity 方法應該可以得到客觀的分析結果。上述流程之操作，流程圖示如圖 2.3-3。

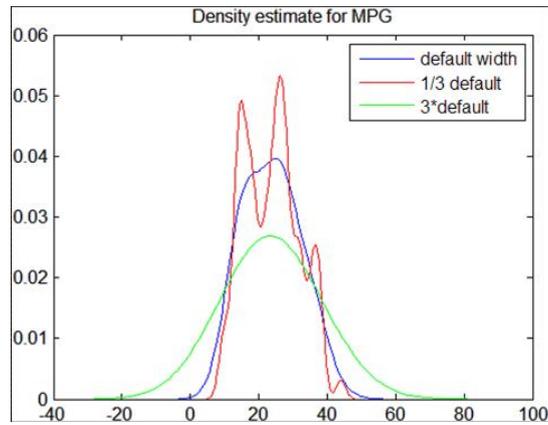


圖 2.3-2 不同 h 之機率函數圖

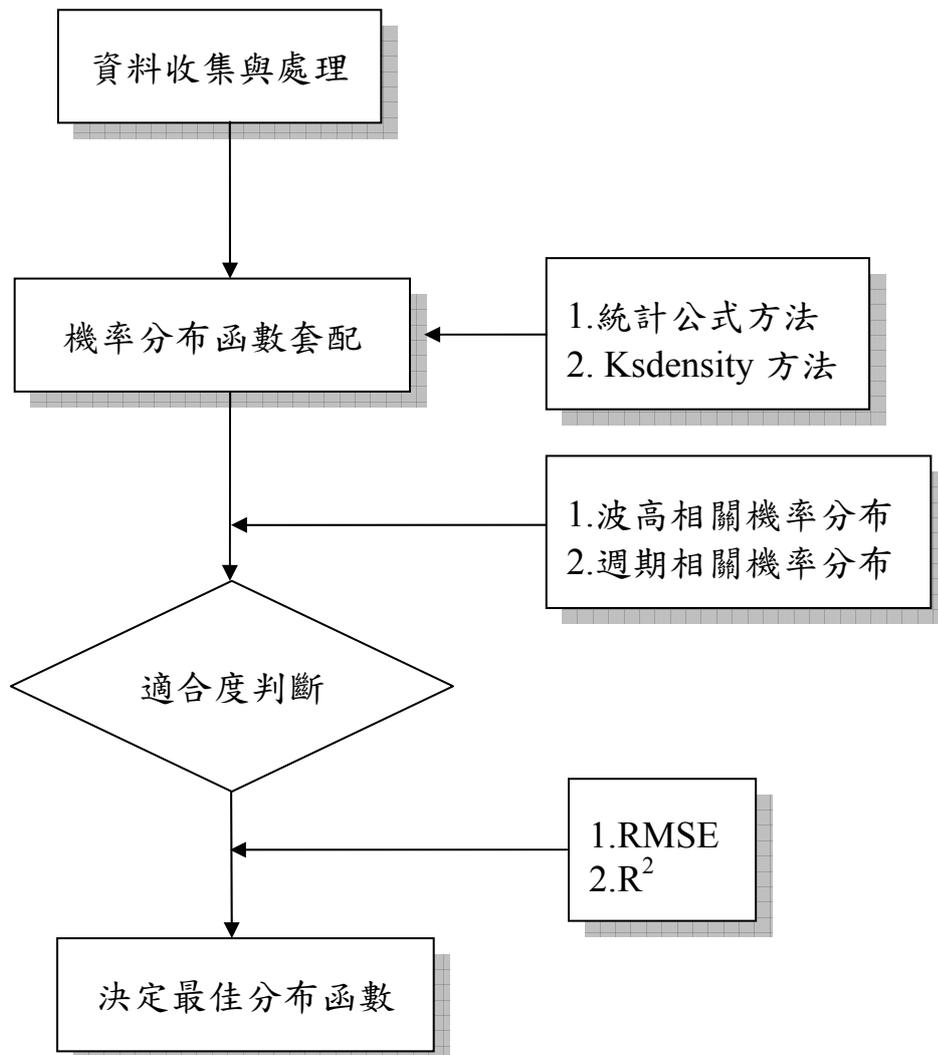


圖 2.3-3 波高與週期最適機率分布之分析流程圖

2.4 Weibull 分布系列之統計代表值推導

由高雄港的波高資料，經由統計結果可得其實際之波高統計值，為求其理論統計值，參考 Rayleigh 分布之公式推導過程，推導出相關之理論波高統計值公式，以探討理論與實際之關係，Weibull 分布之相關波高統計值 H_S 推導如下：

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 2.4-1。

因此

$$1 - F(x \leq x_p) = p = e^{-\left(\frac{x_p + c}{\beta}\right)^\alpha} \quad (2.4-1)$$

所以

$$x_p = \beta \left[(c^\alpha - \ln p)^{\frac{1}{\alpha}} - c \right] \quad (2.4-2)$$

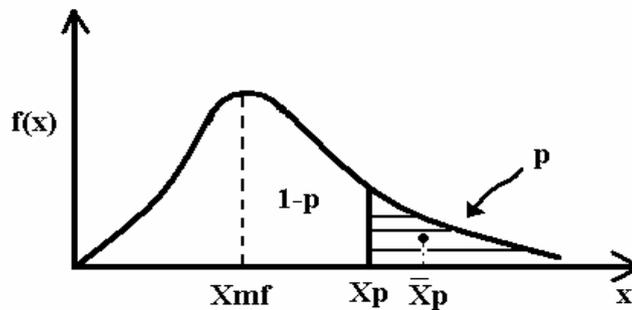


圖 2.4-1 機率高於 $F(x \leq x_p) = 1 - p$ 之平均值為 \bar{x}_p 及最大機率密度之示意圖

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

$$\bar{x}_p = \frac{1}{p} \int_{x_p}^{\infty} x f(x) dx = \frac{1}{p} \int_{x_p}^{\infty} x \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x+c}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x+c}{\beta}\right)^\alpha} dx \quad (2.4-3)$$

上式用變數轉換 $y = (x/a+c)^b$ 及一次部分積分法可得

$$\bar{x}_p = x_p + \frac{1}{p} \frac{\beta}{\alpha} e^{c^\alpha} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}, c^\alpha - \ln p\right) \quad (2.4-4)$$

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

$$\Gamma(s, t) = \int_t^\infty x^{s-1} e^{-x} dx \quad (2.4-5)$$

如果式(2.4-5)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， $\bar{x}_p = H_s$ 稱為示性波高(significant wave height)，所以代入 $p=1/3$ 及式(2.4-2)至式(2.4-4)得

$$H_s = \beta[(c^\beta + \ln 3)^{\frac{1}{\alpha}} - c] + \frac{3\beta}{\alpha} e^{c^\alpha} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}, c^\alpha + \ln 3\right) \quad (2.4-6)$$

今將上述所推導有關 Weibull 分布系列之統計特性公式列如表 2.4-1。

表 2.4-1 Weibull 分布系列之統計特性公式

	Weibull 分布	Rayleigh 分布
H_s	$\beta[(\ln 3)^{\frac{1}{\alpha}}] + \frac{3\beta}{\alpha} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}, \ln 3\right)$	$\beta[(\ln 3)^2] + \frac{3}{2} \beta \Gamma\left(\frac{1}{2}, \ln 3\right)$

2.5 Gamma 與 Normal 分布系列之統計代表值推導

由統計理論可知 Erlang 分布為 Gamma 分布中尺度參數為整數的特例。現將分布依上述方法推導分布之統計代表值。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 ，因此

$$1 - F(x \leq x_p) = p = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_{x_p}^\infty \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\frac{t}{\beta}} d\left(\frac{t}{\beta}\right) = \frac{\Gamma\left(\alpha, \frac{x_p}{\beta}\right)}{\Gamma(\alpha)} \quad (2.5-1)$$

若給定 p 值，則由式(2.5-1)以數值解析疊代方法，可得 x_p 而使 x 大於 x_p 之機率为 p 。x 在 x_p 至 ∞ 間之平均值 \bar{x}_p ，則依機率密度函數可得

$$\begin{aligned}\bar{x}_p &= \frac{1}{p} \int_{x_p}^{\infty} x f(x) dx = \frac{1}{p} \frac{\beta}{\Gamma(\beta)} \int_{x_p}^{\infty} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha} e^{-\frac{t}{\beta}} d\left(\frac{t}{\beta}\right) \\ &= \frac{1}{p} \frac{\beta \Gamma(\alpha+1, x_p/\beta)}{\Gamma(\alpha)} = \alpha\beta + \frac{\beta}{p\Gamma(\alpha)} \left(\frac{x_p}{\beta}\right)^{\alpha} e^{-\frac{x_p}{\beta}}\end{aligned}\quad (2.5-2)$$

今將上述所推導有關 Gamma 分布系列之統計特性公式列如表 2.5-1。同上述推導方法將 Normal 分布系列之統計特性公式列如表 2.5-2。

表 2.5-1 Gamma 分布系列之統計特性公式

	Gamma 分布	Erlang 分布
T_s	$\alpha\beta + \frac{3\beta}{\Gamma(\alpha)} \left(\frac{x_{1/30}}{\beta}\right)^{\alpha} e^{-\frac{x_{1/30}}{\beta}}$	$n\beta + \frac{3\beta}{(n-1)!} \left(\frac{x_{1/3}}{\beta}\right)^n e^{-\frac{x_{1/3}}{\beta}}$

表 2.5-2 Normal 分布系列之統計特性公式

	Normal 分布	Log-Normal 分布
H_s	$\frac{3\sqrt{2}\sigma}{2\sqrt{\pi}} e^{-\left(\frac{x_p-\mu}{\sqrt{2}\sigma}\right)^2} + \frac{3\mu}{2} \operatorname{Erfc}\left(\frac{x_p-\mu}{\sqrt{2}\sigma}\right)$	$\frac{3}{2} e^{\mu+\frac{\sigma^2}{2}} \operatorname{erfc}\left(\frac{\ln(x_p)-\mu}{\sqrt{2}\sigma} - \frac{\sqrt{2}\sigma}{2}\right)$

2.6 示性波高之最適機率分布

因為示性波浪接近人類以目視觀測對不規則波直覺上獲得的波高，在統計特性上，發現其具有最大的安定性，不會隨著取樣不同而變化，較能反映波浪所含能量的大小，因而常被分析不規則波時當為代表該統計特性之指標，增加分析的客觀性。本計畫根據不同年份之高雄港的實測資料統計而得的之示性波高，將其分成全年、季及月等部份，因為示性波浪為波高前 1/3 大之平均，而此部份所使用之分布函數其函數曲線均是從零點開始，但示性波高值都大於零，為了讓分析結果更準確，所以本計畫先將此年、季及月等資料，先扣除其資料最小值後，再利用前面所述之統計公式方法與 Ksdensity 方法來和

Gamma、Weibull、Rayleigh、Log-Normal 四個分布函數進行分析，以瞭解不同季節下之示性波高分布特性。

2.6.1 以統計公式之評估結果

將前述 2001 年至 2008 年波浪資料分成年、季及月之類別後，利用統計公式方法，以最大概似法求出各分布之參數，計算高雄港之示性波浪波高統計值與實測示性波高統計代表值之比較，示如表 2.6-1 至表 2.6-8 及圖 2.6-1 至圖 2.6-8，由圖表可知以月份來探討最適分布的時候，Weibull 及 Rayleigh 分布之 RMSE 值大部份均比另外兩個分布來的低，最佳的值皆在 0.001 至 0.066 之間；而季跟年方面，在 2004 年 Log-Normal 分布的 RMSE 值較其他分布低，2007 年 Gamma 分布的 RMSE 值趨近於零，比較起其他分布明顯低，除了這 2 年之外，大部分仍然是 Weibull 類函數之 RMSE 值比其它分布來的低，因此可判斷利用統計公式方法來描述高雄港之示性波浪最適分布時，Weibull 類函數其效果最好。

2.6.2 以 Ksdensity 方法之評估結果

利用前述已扣除最小值之年、季及月高雄港波高資料，將其代入 Ksdensity 方法求出實測值分布特性，再與其它各個分布理論值進行比較。分析結果如表 2.6-9 至表 2.6-16 及圖 2.6-9 至圖 2.6-16。藉由 RMSE 值可知 1 月至 12 月除了 2004 年波高的最適分布是屬於 Log-Normal 分布外，其餘年皆是屬於 Weibull 分布，相關係數高達 0.981，最佳的 RMSE 值比起統計公式法較來的高，在 0.041 至 0.435 之間；而季跟年部份，根據分析結果顯示，Gamma 分布與 Log-Normal 分布之 RMSE 值大部份均比另外兩個分布來的低，只有 2006 年屬於 Weibull 分布為最佳，因此可判斷利用 Ksdensity 方法來描述高雄港之示性波浪最適分布時，1 月至 12 月 Weibull 分布其效果最好，但以季節跟整年度來分析時，Gamma 分布與 Log-Normal 分布則擁有較佳的效果。

表 2.6-1 2001 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較

	Weibull	Rayleigh	Gamma	LN
1 月	0.008	0.011	0.022	0.089
2 月	0.011	0.029	0.069	0.223
3 月	0.006	0.026	0.024	0.175
4 月	0.007	0.023	0.003	0.048
5 月	0.021	0.006	0.014	0.180
6 月	0.007	0.051	0.028	0.268
7 月				
8 月	0.029	0.017	0.042	0.280
9 月	0.005	0.048	0.009	0.341
10 月	0.011	0.033	0.006	0.074
11 月				
12 月				
1-3 月	0.007	0.005	0.048	0.194
4-6 月	0.015	0.089	0.037	0.088
7-9 月	0.010	0.043	0.014	0.315
10-12 月				
1-6 月	0.038	0.072	0.011	0.129
7-12 月	0.015	0.040	0.018	0.322
全年	0.023	0.029	0.002	0.147

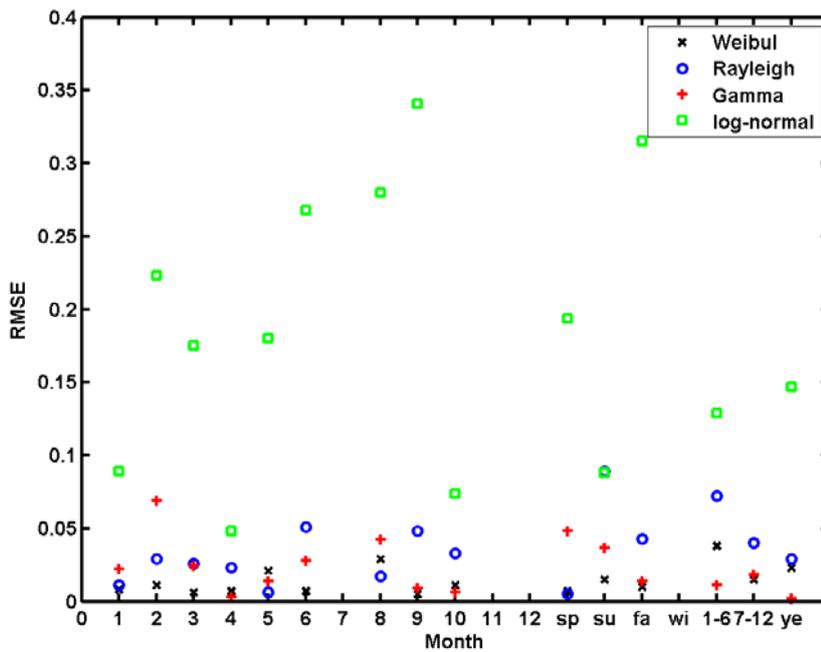


圖 2.6-1 2001 年高雄港 H_S 各分布比較圖(統計公式法)

表 2.6-2 2002 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較

	Weibull	Rayleigh	Gamma	LN
1 月				
2 月				
3 月				
4 月				
5 月				
6 月	0.014	0.017	0.054	0.241
7 月	0.010	0.097	0.053	0.551
8 月	0.043	0.132	0.050	0.501
9 月	0.036	0.082	0.040	0.145
10 月	0.003	0.025	0.019	0.151
11 月	0.010	0.052	0.051	0.138
12 月	0.027	0.003	0.064	0.300
1-3 月				
4-6 月				
7-9 月	0.041	0.115	0.041	0.264
10-12 月	0.017	0.004	0.051	0.208
1-6 月				
7-12 月	0.022	0.044	0.047	0.089
全年	0.016	0.038	0.041	0.088

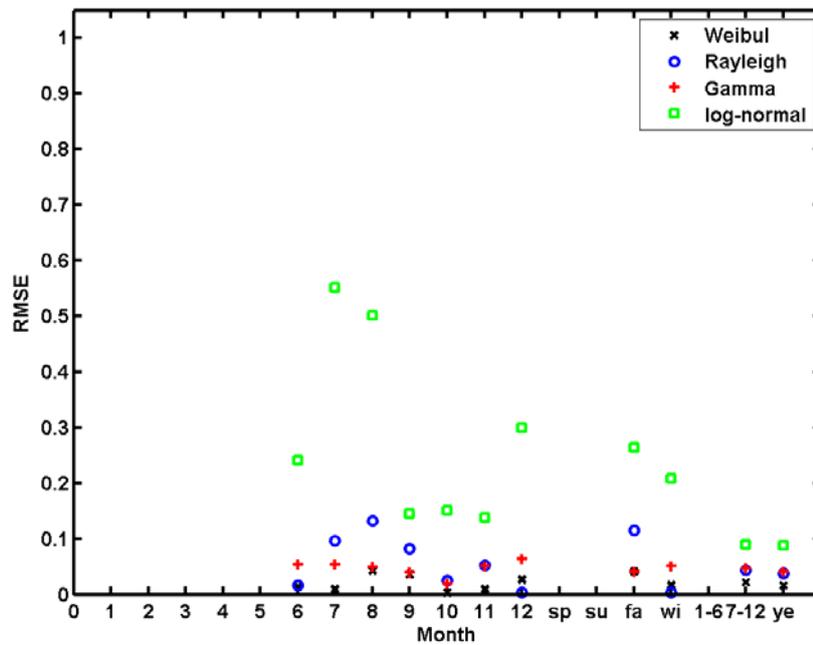


圖 2.6-2 2002 年高雄港 H_S 各分布比較圖(統計公式法)

表 2.6-3 2003 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較

	Weibull	Rayleigh	Gamma	LN
1 月				
2 月	0.001	0.019	0.016	0.123
3 月	0.010	0.002	0.040	0.183
4 月	0.018	0.040	0.006	0.089
5 月	0.017	0.048	0.020	0.084
6 月	0.013	0.065	0.014	0.237
7 月	0.095	0.045	0.111	0.159
8 月	0.073	0.032	0.143	0.887
9 月	0.041	0.101	0.005	0.039
10 月	0.013	0.026	0.069	0.225
11 月	0.025	0.009	0.084	0.313
12 月				
1-3 月	0.003	0.008	0.024	0.131
4-6 月	0.010	0.070	0.007	0.237
7-9 月	0.025	0.065	0.040	0.271
10-12 月	0.018	0.019	0.073	0.247
1-6 月	0.009	0.025	0.006	0.150
7-12 月	0.015	0.011	0.015	0.142
全年	0.018	0.005	0.008	0.115

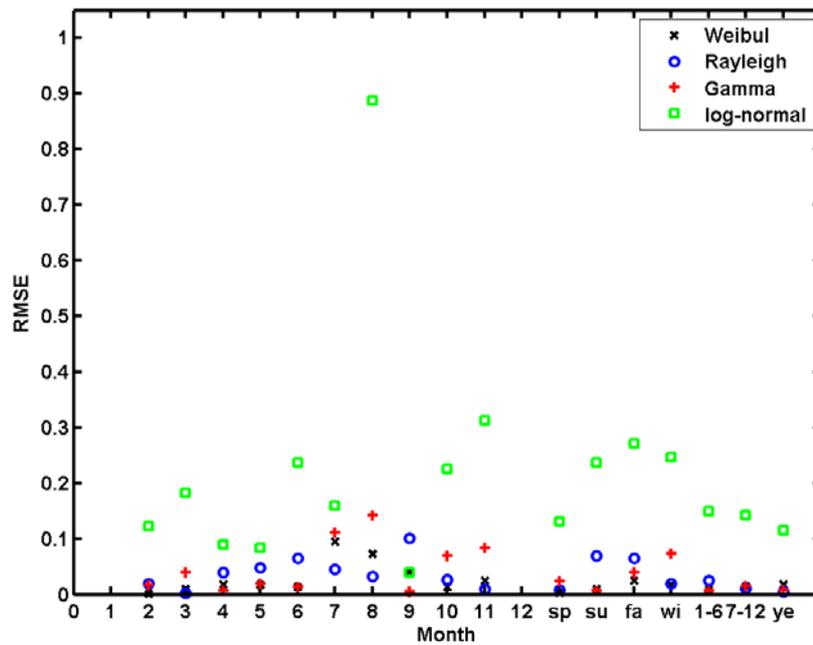


圖 2.6-3 2003 年高雄港 H_S 各分布比較圖(統計公式法)

表 2.6-4 2004 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較

	Weibull	Rayleigh	Gamma	LN
1 月				
2 月				
3 月	0.013	0.030	0.054	0.169
4 月	0.014	0.006	0.019	0.081
5 月	0.018	0.046	0.014	0.103
6 月	0.025	0.034	0.025	0.033
7 月	0.041	0.018	0.110	0.110
8 月	0.066	0.123	0.069	0.090
9 月	0.014	0.045	0.027	0.094
10 月	0.011	0.003	0.003	0.029
11 月	0.002	0.006	0.010	0.051
12 月	0.076	0.114	0.011	0.009
1-3 月				
4-6 月	0.006	0.023	0.008	0.065
7-9 月	0.021	0.043	0.065	0.018
10-12 月	0.048	0.043	0.008	0.032
1-6 月	0.028	0.036	0.028	0.003
7-12 月	0.011	0.003	0.029	0.006
全年	0.028	0.021	0.029	0.009

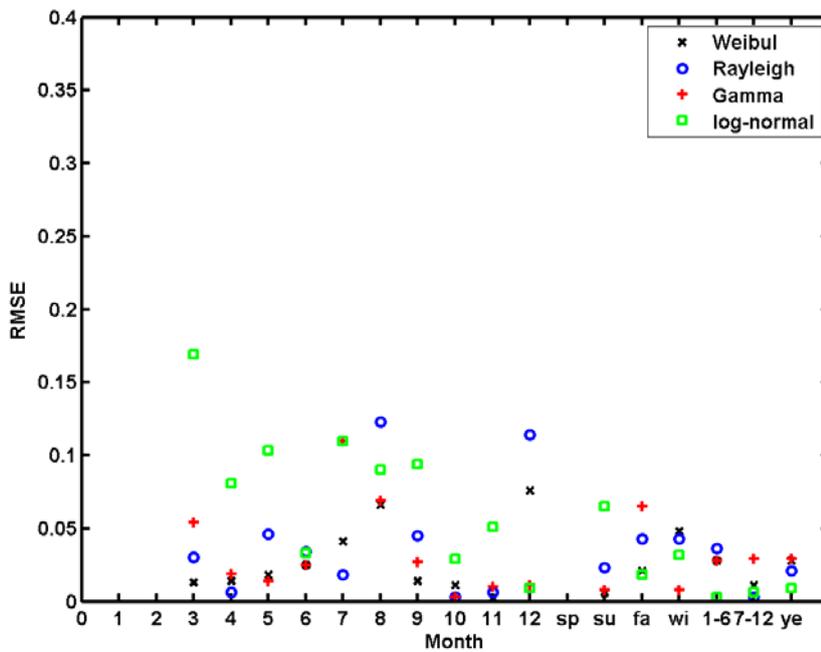


圖 2.6-4 2004 年高雄港 H_S 各分布比較圖(統計公式法)

表 2.6-5 2005 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較

	Weibull	Rayleigh	Gamma	LN
1 月	0.026	0.094	0.124	0.315
2 月	0.016	0.086	0.119	0.332
3 月	0.014	0.174	0.119	0.254
4 月				
5 月				
6 月	0.001	0.020	0.043	0.027
7 月	0.017	0.005	0.077	0.073
8 月	0.065	0.027	0.064	0.329
9 月	0.121	0.139	0.151	0.047
10 月	0.049	0.056	0.010	0.025
11 月	0.004	0.016	0.018	0.072
12 月	0.002	0.041	0.025	0.082
1-3 月	0.013	0.101	0.108	0.276
4-6 月				
7-9 月	0.005	0.048	0.065	0.078
10-12 月	0.033	0.034	0.016	0.053
1-6 月	0.087	0.098	0.085	0.226
7-12 月	0.032	0.032	0.064	0.074
全年	0.072	0.058	0.011	0.019

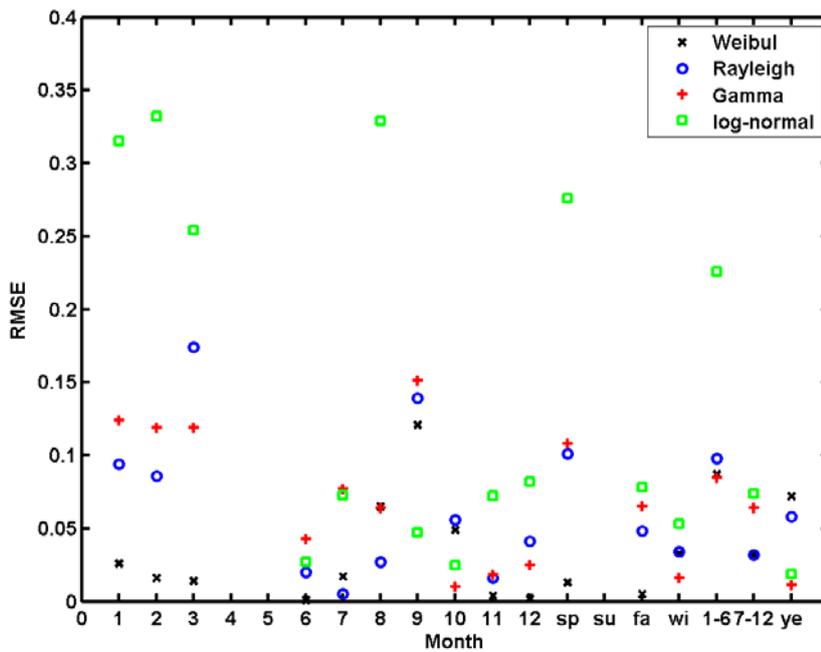


圖 2.6-5 2005 年高雄港 H_S 各分布比較圖(統計公式法)

表 2.6-6 2006 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較

	Weibull	Rayleigh	Gamma	LN
1 月	0.006	0.008	0.004	0.033
2 月	0.009	0.021	0.013	0.052
3 月	0.001	0.009	0.017	0.107
4 月	0.013	0.007	0.016	0.073
5 月				
6 月				
7 月				
8 月				
9 月	0.001	0.014	0.001	0.064
10 月	0.011	0.011	0.006	0.024
11 月	0.001	0.014	0.005	0.072
12 月	0.003	0.006	0.016	0.062
1-3 月	0.006	0.039	0.029	0.089
4-6 月				
7-9 月				
10-12 月	0.008	0.012	0.001	0.041
1-6 月	0.006	0.034	0.032	0.098
7-12 月	0.001	0.007	0.000	0.043
全年	0.005	0.022	0.011	0.053

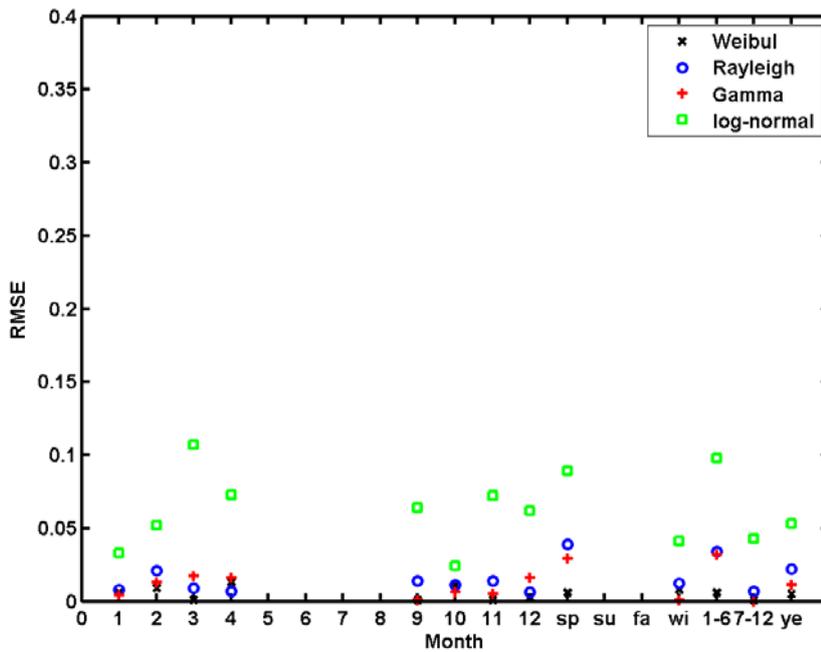


圖 2.6-6 2006 年高雄港 H_S 各分布比較圖(統計公式法)

表 2.6-7 2007 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較

	Weibull	Rayleigh	Gamma	LN
1 月				
2 月				
3 月	0.010	0.007	0.030	0.131
4 月	0.006	0.001	0.025	0.104
5 月	0.002	0.000	0.009	0.052
6 月	0.023	0.054	0.003	0.155
7 月	0.053	0.018	0.127	0.559
8 月	0.135	0.040	0.294	1.040
9 月	0.012	0.033	0.021	0.044
10 月	0.059	0.013	0.090	0.118
11 月	0.010	0.010	0.010	0.048
12 月	0.002	0.000	0.015	0.074
1-3 月				
4-6 月	0.007	0.012	0.002	0.060
7-9 月	0.011	0.061	0.012	0.240
10-12 月	0.058	0.067	0.000	0.007
1-6 月	0.009	0.008	0.003	0.068
7-12 月	0.031	0.012	0.000	0.081
全年	0.024	0.006	0.000	0.072

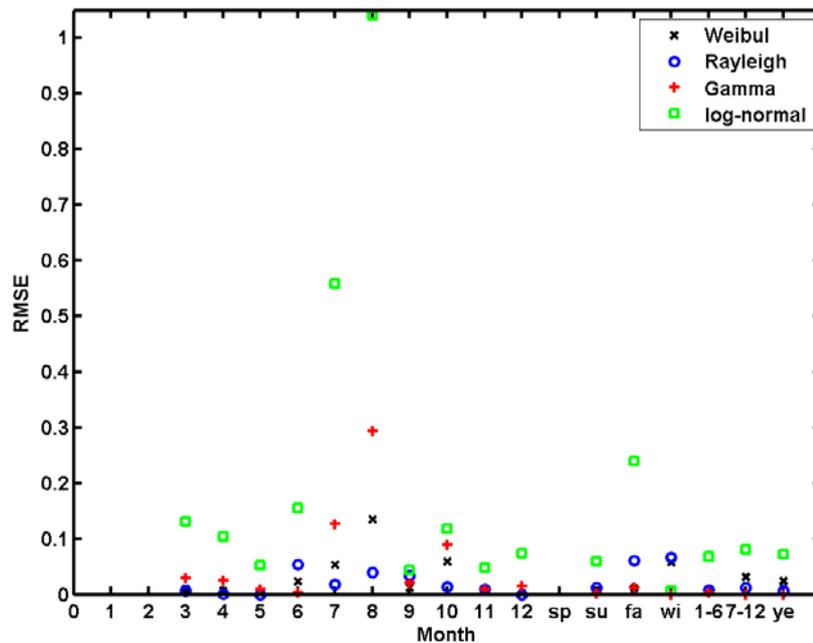


圖 2.6-7 2007 年高雄港 H_S 各分布比較圖(統計公式法)

表 2.6-8 2008 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較

	Weibull	Rayleigh	Gamma	LN
1 月	0.000	0.019	0.017	0.067
2 月	0.004	0.017	0.012	0.048
3 月	0.006	0.010	0.019	0.076
4 月	0.003	0.001	0.006	0.045
5 月	0.008	0.010	0.025	0.153
6 月	0.039	0.115	0.041	0.267
7 月	0.093	0.119	0.139	0.066
8 月	0.086	0.093	0.121	0.186
9 月	0.056	0.143	0.056	0.242
10 月	0.019	0.033	0.036	0.108
11 月	0.004	0.016	0.014	0.059
12 月				
1-3 月	0.004	0.035	0.027	0.086
4-6 月	0.009	0.004	0.050	0.010
7-9 月	0.067	0.100	0.105	0.071
10-12 月	0.007	0.025	0.018	0.077
1-6 月	0.053	0.045	0.007	0.052
7-12 月	0.000	0.022	0.069	0.060
全年	0.046	0.058	0.026	0.025

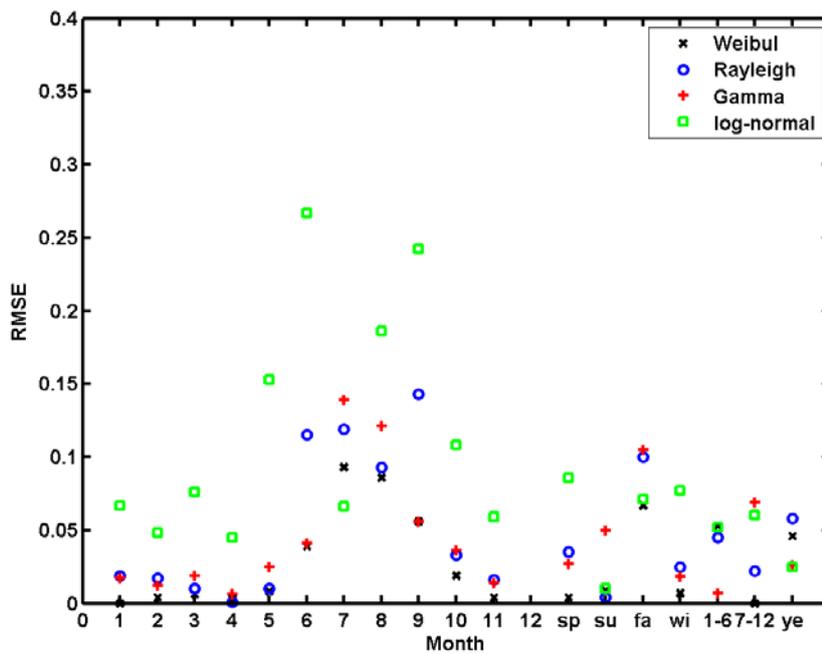


圖 2.6-8 2008 年高雄港 H_S 各分布比較圖(統計公式法)

表 2.6-9 2001 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較

	Weibull		Rayleigh		Gamma		LN	
	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2
1 月	0.151	0.972	0.183	0.960	0.229	0.935	0.393	0.813
2 月	0.236	0.874	0.285	0.797	0.371	0.672	0.515	0.424
3 月	0.157	0.960	0.289	0.869	0.216	0.919	0.393	0.755
4 月	0.278	0.957	0.705	0.723	0.316	0.949	0.514	0.885
5 月	0.233	0.846	0.370	0.597	0.224	0.858	0.340	0.756
6 月	0.068	0.915	0.150	0.606	0.053	0.949	0.073	0.921
7 月								
8 月	0.139	0.860	0.167	0.811	0.148	0.845	0.221	0.700
9 月	0.111	0.834	0.128	0.770	0.094	0.879	0.112	0.826
10 月	0.149	0.980	0.436	0.773	0.181	0.974	0.357	0.891
11 月								
12 月								
1-3 月	0.124	0.960	0.116	0.966	0.232	0.860	0.381	0.650
4-6 月	0.100	0.909	0.266	0.384	0.086	0.931	0.107	0.922
7-9 月	0.118	0.853	0.150	0.765	0.115	0.860	0.160	0.747
10-12 月								
1-6 月	0.099	0.914	0.171	0.746	0.079	0.946	0.143	0.841
7-12 月	0.095	0.904	0.157	0.755	0.094	0.906	0.157	0.780
全年	0.066	0.953	0.156	0.742	0.054	0.968	0.095	0.913

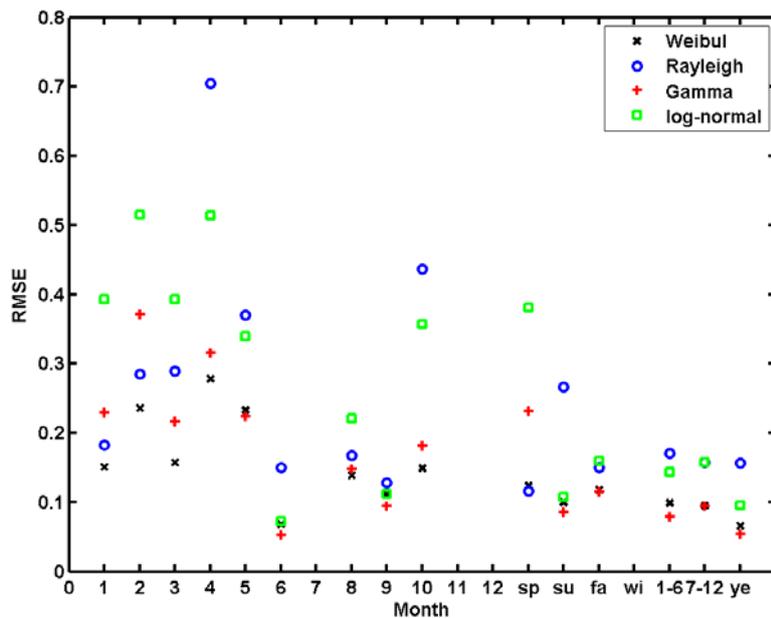


圖 2.6-9 2001 年高雄港 H_S 各分布比較圖(Ksdensity 法)

表 2.6-10 2002 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較

	Weibull		Rayleigh		Gamma		LN	
	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2
1 月								
2 月								
3 月								
4 月								
5 月								
6 月	0.293	0.762	0.348	0.739	0.342	0.677	0.476	0.498
7 月	0.058	0.953	0.113	0.831	0.073	0.923	0.131	0.774
8 月	0.063	0.953	0.179	0.473	0.061	0.958	0.104	0.911
9 月	0.181	0.853	0.409	0.369	0.171	0.870	0.193	0.868
10 月	0.166	0.969	0.365	0.829	0.219	0.940	0.411	0.801
11 月	0.325	0.904	0.655	0.613	0.523	0.746	0.715	0.522
12 月	0.332	0.796	0.267	0.891	0.420	0.684	0.616	0.437
1-3 月								
4-6 月								
7-9 月	0.047	0.966	0.166	0.613	0.043	0.975	0.079	0.935
10-12 月	0.268	0.855	0.282	0.868	0.346	0.762	0.503	0.566
1-6 月								
7-12 月	0.093	0.918	0.218	0.576	0.072	0.951	0.085	0.940
全年	0.088	0.927	0.208	0.616	0.066	0.960	0.081	0.946

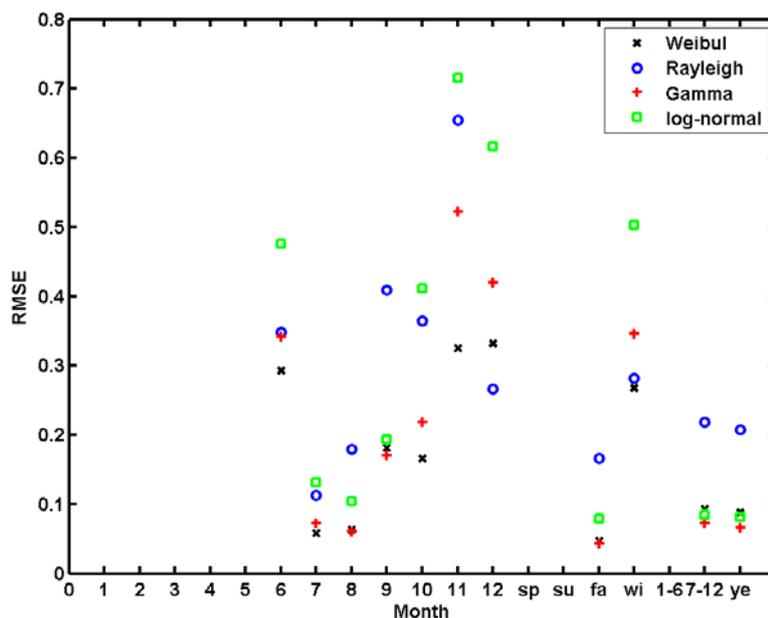


圖 2.6-10 2002 年高雄港 H_S 各分布比較圖(Ksdensity 法)

表 2.6-11 2003 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較

	Weibull		Rayleigh		Gamma		LN	
	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2
1 月								
2 月	0.098	0.984	0.187	0.946	0.162	0.954	0.311	0.833
3 月	0.129	0.963	0.126	0.972	0.216	0.894	0.360	0.723
4 月	0.207	0.926	0.443	0.705	0.209	0.935	0.319	0.885
5 月	0.175	0.945	0.550	0.474	0.174	0.949	0.259	0.936
6 月	0.082	0.936	0.171	0.749	0.094	0.927	0.142	0.863
7 月	0.174	0.817	0.383	0.105	0.164	0.823	0.111	0.949
8 月	0.097	0.825	0.112	0.795	0.111	0.778	0.168	0.585
9 月	0.151	0.871	0.244	0.663	0.108	0.935	0.141	0.894
10 月	0.283	0.855	0.349	0.772	0.463	0.613	0.651	0.324
11 月	0.295	0.784	0.260	0.841	0.394	0.621	0.546	0.368
12 月								
1-3 月	0.082	0.987	0.107	0.982	0.163	0.945	0.299	0.819
4-6 月	0.082	0.964	0.271	0.580	0.084	0.966	0.174	0.883
7-9 月	0.068	0.942	0.202	0.535	0.055	0.963	0.084	0.936
10-12 月	0.280	0.841	0.284	0.835	0.405	0.668	0.558	0.422
1-6 月	0.093	0.956	0.216	0.783	0.092	0.958	0.179	0.869
7-12 月	0.119	0.882	0.210	0.640	0.097	0.922	0.129	0.869
全年	0.096	0.930	0.188	0.733	0.076	0.956	0.115	0.905

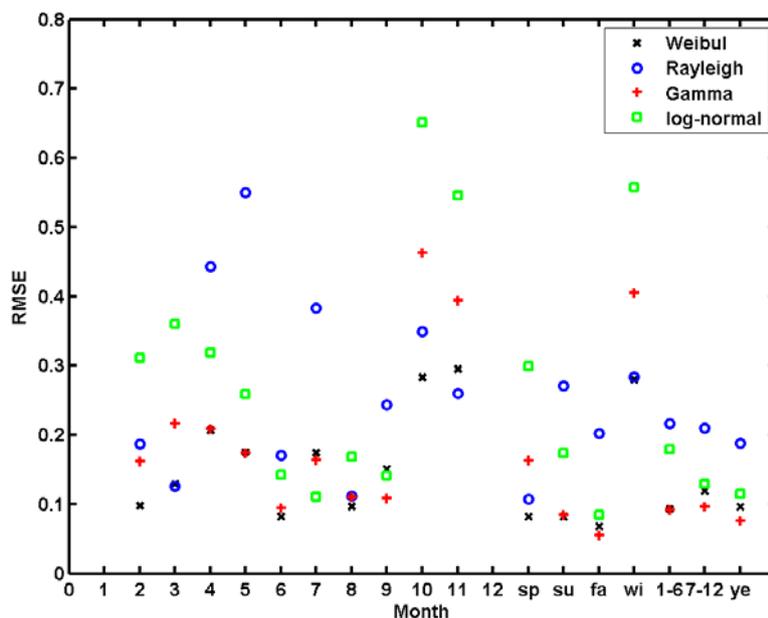


圖 2.6-11 2003 年高雄港 H_S 各分布比較圖(Ksdensity 法)

表 2.6-12 2004 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較

	Weibull		Rayleigh		Gamma		LN	
	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2
1 月								
2 月								
3 月	0.315	0.919	0.501	0.796	0.559	0.745	0.793	0.497
4 月	0.127	0.967	0.118	0.973	0.197	0.927	0.314	0.826
5 月	0.112	0.942	0.205	0.824	0.104	0.953	0.143	0.919
6 月	0.160	0.892	0.180	0.865	0.122	0.939	0.109	0.960
7 月	0.142	0.813	0.255	0.394	0.118	0.874	0.054	0.972
8 月	0.133	0.831	0.247	0.501	0.118	0.869	0.106	0.914
9 月	0.094	0.939	0.201	0.743	0.083	0.953	0.108	0.935
10 月	0.185	0.936	0.187	0.930	0.102	0.979	0.147	0.958
11 月	0.066	0.993	0.071	0.991	0.172	0.959	0.296	0.878
12 月	0.277	0.773	0.295	0.741	0.189	0.900	0.185	0.895
1-3 月								
4-6 月	0.112	0.945	0.140	0.915	0.090	0.965	0.128	0.932
7-9 月	0.103	0.897	0.193	0.638	0.077	0.943	0.040	0.985
10-12 月	0.174	0.911	0.146	0.938	0.088	0.977	0.124	0.950
1-6 月	0.162	0.847	0.213	0.721	0.119	0.918	0.104	0.934
7-12 月	0.175	0.859	0.229	0.744	0.125	0.929	0.090	0.961
全年	0.170	0.838	0.199	0.765	0.120	0.921	0.086	0.957

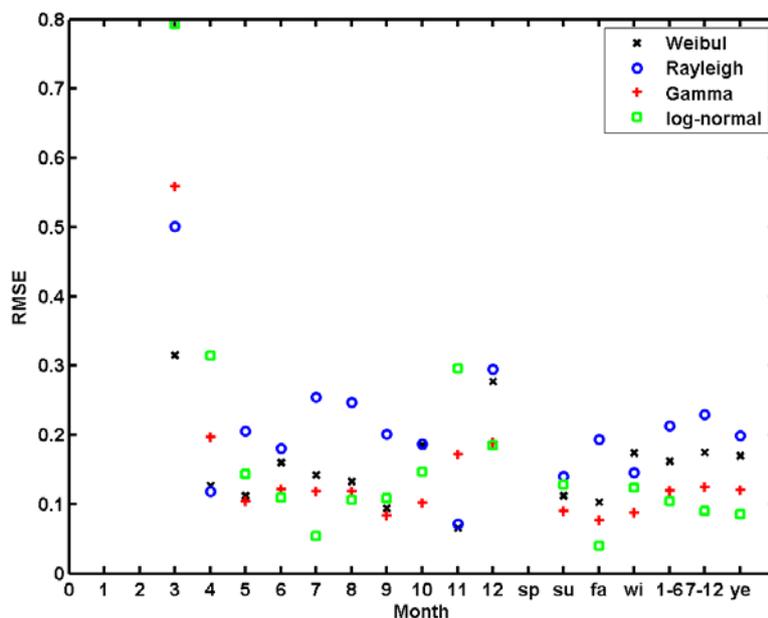


圖 2.6-12 2004 年高雄港 H_S 各分布比較圖(Ksdensity 法)

表 2.6-13 2005 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較

	Weibull		Rayleigh		Gamma		LN	
	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2
1 月	0.283	0.803	0.444	0.520	0.441	0.524	0.547	0.290
2 月	0.164	0.885	0.291	0.634	0.291	0.635	0.388	0.378
3 月	0.168	0.939	0.560	0.327	0.393	0.666	0.500	0.449
4 月								
5 月								
6 月	0.187	0.719	0.190	0.704	0.151	0.818	0.127	0.870
7 月	0.115	0.769	0.149	0.591	0.091	0.858	0.072	0.908
8 月	0.076	0.892	0.072	0.900	0.071	0.903	0.099	0.813
9 月	0.152	0.776	0.314	0.177	0.144	0.800	0.098	0.911
10 月	0.315	0.830	0.331	0.807	0.223	0.917	0.258	0.880
11 月	0.153	0.972	0.188	0.937	0.243	0.915	0.355	0.814
12 月	0.095	0.987	0.360	0.822	0.177	0.953	0.307	0.858
1-3 月	0.168	0.903	0.354	0.576	0.312	0.663	0.409	0.430
4-6 月								
7-9 月	0.064	0.915	0.109	0.744	0.043	0.962	0.025	0.987
10-12 月	0.125	0.966	0.129	0.963	0.101	0.973	0.178	0.917
1-6 月	0.200	0.800	0.215	0.767	0.193	0.804	0.243	0.682
7-12 月	0.161	0.751	0.188	0.641	0.124	0.856	0.078	0.943
全年	0.123	0.848	0.123	0.843	0.078	0.941	0.064	0.957

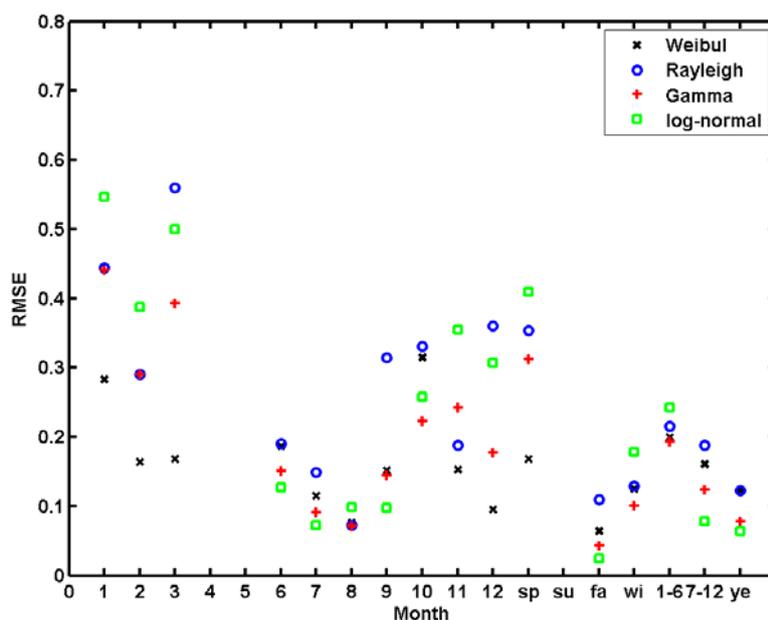


圖 2.6-13 2005 年高雄港 H_S 各分布比較圖(Ksdensity 法)

表 2.6-14 2006 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較

	Weibull		Rayleigh		Gamma		LN	
	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2
1 月	0.179	0.967	0.170	0.964	0.221	0.956	0.309	0.911
2 月	0.175	0.967	0.283	0.914	0.179	0.962	0.311	0.887
3 月	0.102	0.981	0.147	0.965	0.160	0.954	0.283	0.856
4 月	0.141	0.972	0.109	0.983	0.163	0.961	0.305	0.869
5 月								
6 月								
7 月								
8 月								
9 月	0.124	0.966	0.183	0.925	0.084	0.984	0.183	0.934
10 月	0.232	0.937	0.234	0.936	0.226	0.948	0.279	0.931
11 月	0.113	0.984	0.268	0.922	0.140	0.980	0.339	0.888
12 月	0.229	0.975	0.260	0.962	0.435	0.899	0.674	0.757
1-3 月	0.082	0.989	0.310	0.850	0.198	0.934	0.326	0.822
4-6 月								
7-9 月								
10-12 月	0.158	0.965	0.201	0.947	0.164	0.969	0.259	0.931
1-6 月	0.065	0.991	0.224	0.896	0.189	0.923	0.302	0.808
7-12 月	0.078	0.989	0.129	0.969	0.071	0.992	0.176	0.953
全年	0.050	0.995	0.136	0.964	0.091	0.983	0.178	0.935

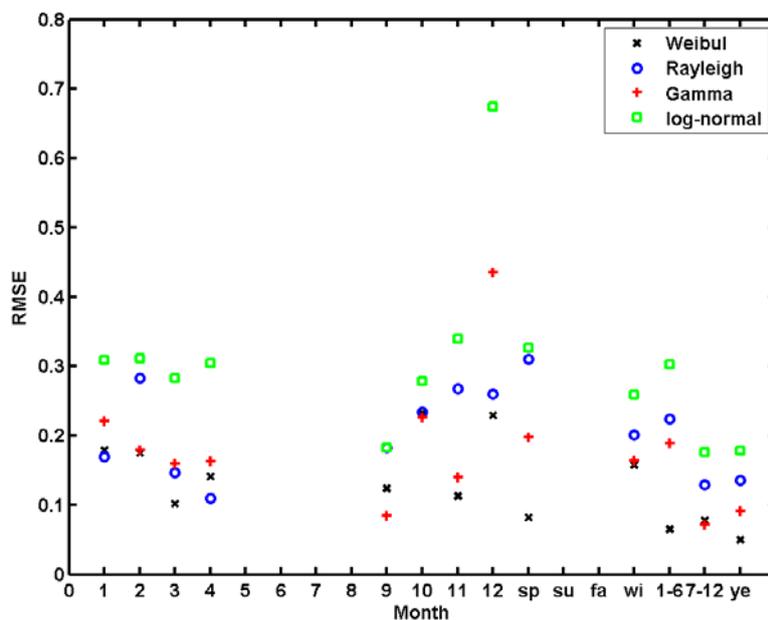


圖 2.6-14 2006 年高雄港 H_S 各分布比較圖(Ksdensity 法)

表 2.6-15 2007 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較

	Weibull		Rayleigh		Gamma		LN	
	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2
1 月								
2 月								
3 月	0.252	0.898	0.308	0.869	0.314	0.844	0.443	0.714
4 月	0.130	0.973	0.122	0.980	0.241	0.911	0.398	0.770
5 月	0.114	0.991	0.104	0.993	0.235	0.964	0.464	0.861
6 月	0.147	0.890	0.219	0.785	0.145	0.897	0.212	0.814
7 月	0.178	0.748	0.190	0.771	0.209	0.659	0.297	0.457
8 月	0.181	0.425	0.171	0.525	0.204	0.312	0.253	0.165
9 月	0.156	0.945	0.379	0.701	0.112	0.972	0.163	0.956
10 月	0.329	0.682	0.564	0.128	0.315	0.715	0.205	0.878
11 月	0.107	0.981	0.108	0.980	0.145	0.965	0.259	0.895
12 月	0.072	0.994	0.071	0.995	0.195	0.954	0.370	0.839
1-3 月								
4-6 月	0.170	0.935	0.245	0.860	0.127	0.962	0.197	0.916
7-9 月	0.047	0.984	0.157	0.825	0.060	0.977	0.131	0.895
10-12 月	0.271	0.767	0.285	0.733	0.199	0.880	0.176	0.898
1-6 月	0.145	0.954	0.216	0.893	0.116	0.969	0.209	0.908
7-12 月	0.166	0.852	0.166	0.847	0.127	0.912	0.138	0.892
全年	0.126	0.919	0.150	0.879	0.091	0.956	0.123	0.920

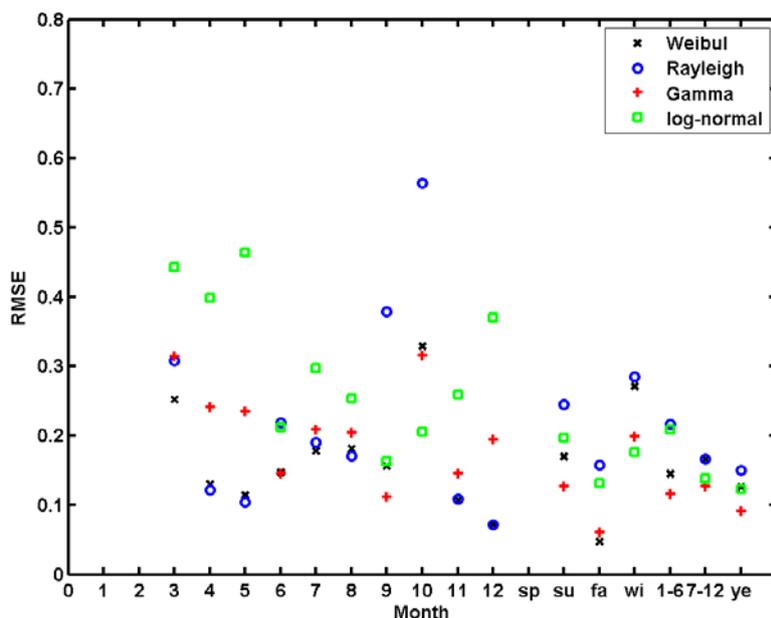


圖 2.6-15 2007 年高雄港 H_S 各分布比較圖(Ksdensity 法)

表 2.6-16 2008 年高雄港 H_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較

	Weibull		Rayleigh		Gamma		LN	
	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2
1 月	0.069	0.993	0.234	0.923	0.165	0.961	0.314	0.859
2 月	0.114	0.986	0.244	0.939	0.172	0.969	0.321	0.891
3 月	0.125	0.980	0.152	0.970	0.207	0.946	0.359	0.840
4 月	0.094	0.990	0.094	0.990	0.131	0.984	0.277	0.927
5 月	0.147	0.944	0.164	0.937	0.186	0.914	0.328	0.762
6 月	0.045	0.972	0.170	0.601	0.041	0.981	0.087	0.933
7 月	0.088	0.891	0.222	0.379	0.077	0.916	0.056	0.966
8 月	0.086	0.869	0.203	0.338	0.074	0.901	0.073	0.925
9 月	0.070	0.945	0.237	0.416	0.068	0.950	0.111	0.922
10 月	0.435	0.856	0.562	0.755	0.476	0.819	0.647	0.656
11 月	0.138	0.970	0.211	0.933	0.177	0.951	0.301	0.863
12 月								
1-3 月	0.075	0.990	0.290	0.866	0.195	0.935	0.324	0.821
4-6 月	0.170	0.833	0.284	0.538	0.134	0.900	0.094	0.949
7-9 月	0.071	0.915	0.183	0.482	0.058	0.942	0.044	0.975
10-12 月	0.228	0.935	0.333	0.865	0.187	0.954	0.306	0.874
1-6 月	0.163	0.878	0.159	0.880	0.108	0.947	0.125	0.922
7-12 月	0.172	0.752	0.241	0.502	0.142	0.835	0.100	0.916
全年	0.174	0.792	0.209	0.686	0.129	0.891	0.096	0.935

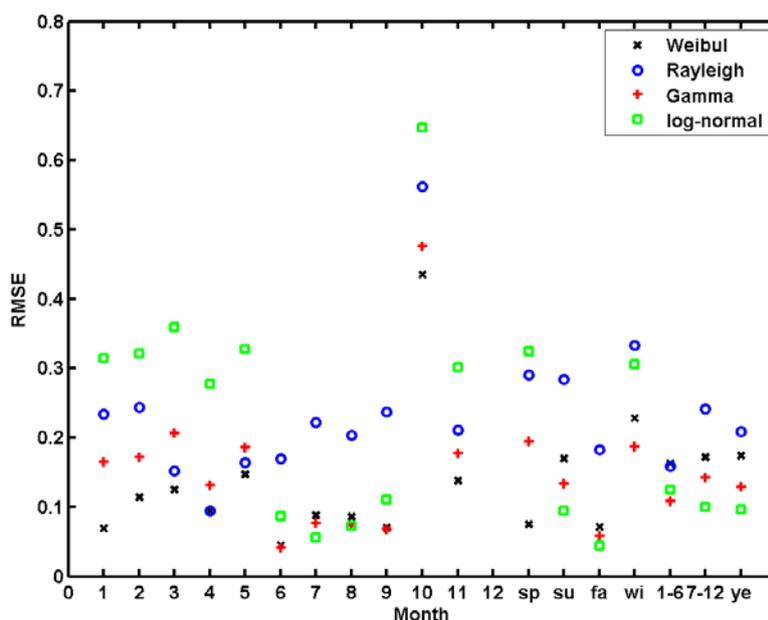


圖 2.6-16 2008 年高雄港 H_S 各分布比較圖(Ksdensity 法)

2.7 示性波浪參數特性探討

從 2.6 節分析結果可知，Weibull 分布在描述高雄港示性波浪之波高部份較有良好的效果，所以本計畫利用 Matlab 軟體所計算出的 Weibull 分布之 α 與 β 值，進一步地探討其參數特性；另外同樣在 2.6 節所述，在數據分析前，先將資料扣除最小值增加分析準確性等，在此，也同樣分析高雄港其最小值變化，以供未來使用參考。

2.7.1 每月示性波浪波高

本計畫在探討示性波高最適分布時，2001 至 2008 年高雄港示性波高 1 到 5 月大約 0.7~1.2 公尺左右，6 到 9 月則大約 1.5~2.5 公尺左右；10 到 12 月約為 1 公尺之間。整體波高如圖 2.7-1 所示，高雄港除了夏季之外的月份的示性波高變化十分接近。

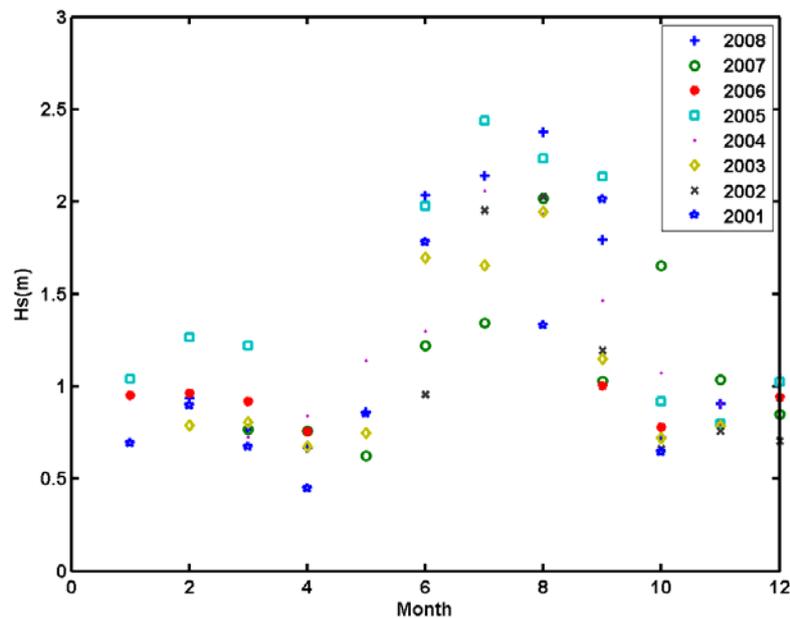


圖 2.7-1 高雄港每月示性波高

2.7.2 Weibull 分布之參數特性

從前述章節可知描述高雄港示性波高之最適分布為 Weibull 分布，而 Weibull 分布其中的參數是將原始示性波高資料在扣除其最小值後，再將其以最大概似法求出，2001 至 2008 年高雄港示性波高各月份最小值如表 2.7-1 所示。其參數值如圖 2.7-2 及圖 2.7-3 所示，2001 至 2008 年高雄港之 Weibull 分布 α 值 1 到 5 月除了 2005 年之外，其他年份皆在 0.4 左右，6 到 9 月各年份變化量大，約在 0.4~1.4 左右，10 到 12 月各年份則皆約在 0.4 左右。而 β 值 2001 至 2008 年所有月份的數值變動不大，大部分約在 1~2 之間。本計畫在這個章節探討其參數特性，目的在於期望能分別利用不同年份之高雄港資料，探討 Weibull 分布之 α 與 β 參數，以期在未來能利用此參數值代入 Weibull 分布公式中即可求得波高適合 Weibull 分布之理論示性波高值。

表 2.7-1 2001 至 2008 各月份示性波高最小值

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
1 月	0.18				0.15	0.45		0.37
2 月	0.23		0.19		0.21	0.42		0.43
3 月	0.07		0.16	0.29	0.15	0.29	0.23	0.25
4 月	0.10		0.09	0.24		0.21	0.21	0.20
5 月	0.08		0.10	0.28			0.25	0.17
6 月	0.09	0.27	0.33	0.33	0.29		0.22	0.27
7 月		0.22	0.07	0.33	0.10		0.19	0.23
8 月	0.13	0.08	0.11	0.43	0.13		0.23	0.22
9 月	0.13	0.13	0.19	0.32	0.29	0.33	0.34	0.14
10 月	0.12	0.12	0.12	0.38	0.30	0.29	0.52	0.22
11 月		0.20	0.11	0.32	0.22	0.31	0.44	0.30
12 月		0.14		0.31	0.4	0.61	0.34	

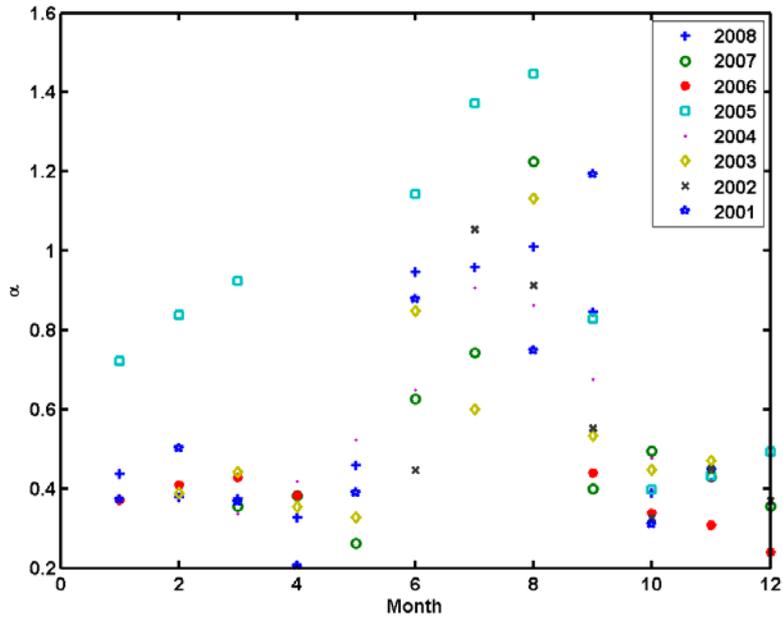


圖 2.7-2 高雄港 Weibull 分布 α 參數

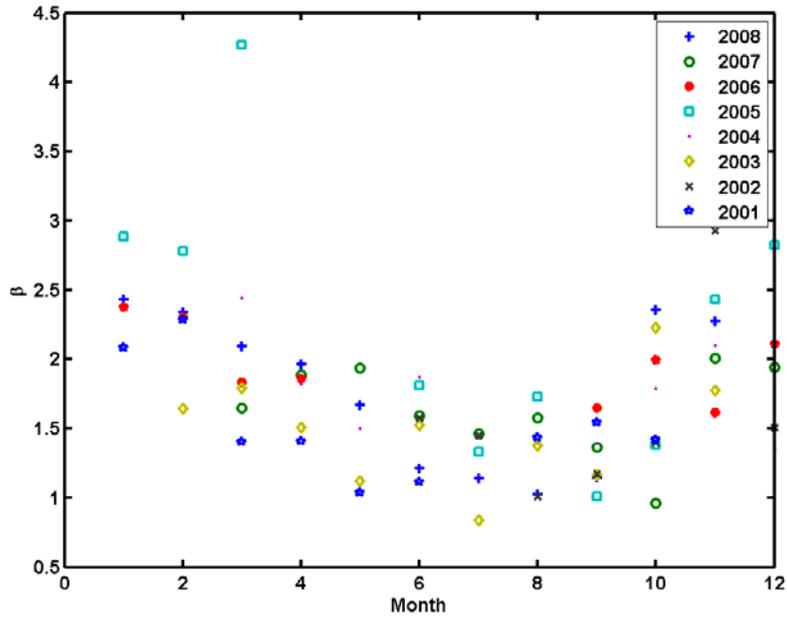


圖 2.7-3 高雄港 Weibull 分布 β 參數

2.8 示性週期之最適機率分布

本計畫根據不同年份之高雄港的實測資料統計而得的之示性週期，將其分成全年、季及月等部份，同先前所述，示性波浪為波浪資料前 1/3 部份，再加上為減少中央極限定理影響，使分析結果更為準確，所以在此也將資料扣除其資料最小值後，再利用統計公式方法與 Ksdensity 方法來和 Gamma、Erlang、Rayleigh 及 Normal 四個分布函數進行套配(fitted)，以瞭解不同季節下之示性週期分布特性。

2.8.1 以統計公式之評估結果

將高雄港之年、季及月週期資料，扣除其最小值後，並以最大概似法求出各分布之參數，計算高雄港之示性週期統計特性與實測值之比較，示如表 2.8-1 至表 2.8-8 及圖 2.8-1 至圖 2.8-8，由圖中可知，1 月至 12 月及季和整年方面，除了 2001 年 Gamma 分布、2002 年季和年與 2006 年 1 月至 12 月 Erlang 分布之 RMSE 值低於其他分布，大部份資料 Normal 分布之 RMSE 值與其它分布比較下，呈現最低的情況，因此利用統計公式法描述高雄港之示性週期時 Normal 分布較為合適。

2.8.2 以 Ksdensity 方法之評估結果

將扣除其資料最小值後的示性週期資料，將其代入 Ksdensity 方法求出實測值分布特性，再與其它各個分布理論值進行比較。分析結果如表 2.8-9 至表 2.8-16 及圖 2.8-9 至圖 2.8-16。根據分析結果顯示 1 月至 12 月除了 2006 年屬於 Erlang 分布之外，其他年的 Gamma 以及 Normal 分布之 RMSE 值較低於其他分布，其中 2004 年之前的示性週期偏向 Gamma 分布，之後的漸漸屬於 Normal 分布；而季節跟整年部份，大致上是屬 Gamma 以及 Erlang 分布為最佳。由 Ksdensity 方法所分析出的結果，代表的意義係以整體週期資料去與各分布函數套配結果；而統計公式法所分析出的結果，代表係以資料前 1/3 段部份來與各分布理論值分析。因此，高雄港整體示性週期資料與 Gamma 分布吻合度較為高；而資料前 1/3 部份統計特性係與 Normal 分布為最適分布。

表 2.8-1 2001 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較

	Rayleigh	Gamma	Normal	Erlang
1 月	0.040	0.001	0.024	0.019
2 月	0.047	0.045	0.032	0.015
3 月	0.013	0.009	0.038	0.039
4 月	0.027	0.070	0.018	0.019
5 月	0.064	0.016	0.030	0.017
6 月	0.060	0.002	0.046	0.055
7 月				
8 月	0.046	0.033	0.072	0.002
9 月	0.047	0.048	0.014	0.013
10 月	0.008	0.055	0.001	0.029
11 月				
12 月				
1-3 月	0.028	0.006	0.036	0.018
4-6 月	0.022	0.025	0.002	0.059
7-9 月	0.025	0.001	0.056	0.021
10-12 月				
1-6 月	0.024	0.018	0.020	0.001
7-12 月	0.032	0.005	0.048	0.001
全年	0.008	0.013	0.025	0.024

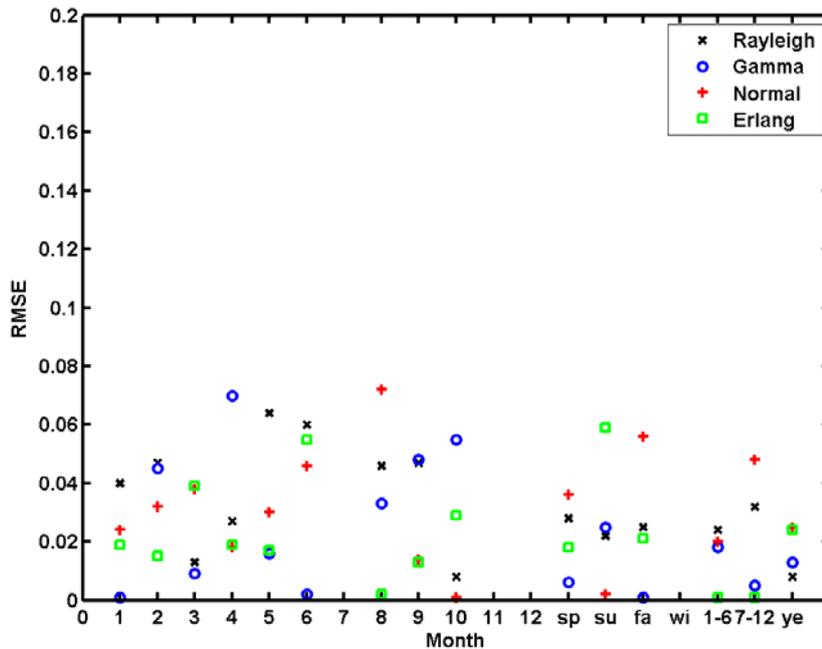


圖 2.8-1 2001 年高雄港 T_S 各分布比較圖(統計公式法)

表 2.8-2 2002 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較

	Rayleigh	Gamma	Normal	Erlang
1 月				
2 月				
3 月				
4 月				
5 月				
6 月	0.058	0.077	0.005	0.017
7 月	0.035	0.070	0.024	0.023
8 月	0.124	0.014	0.142	0.079
9 月	0.088	0.040	0.015	0.031
10 月	0.084	0.004	0.032	0.002
11 月	0.066	0.035	0.008	0.000
12 月	0.031	0.032	0.012	0.015
1-3 月				
4-6 月				
7-9 月	0.079	0.076	0.045	0.026
10-12 月	0.119	0.004	0.017	0.002
1-6 月				
7-12 月	0.015	0.064	0.093	0.048
全年	0.014	0.041	0.078	0.009

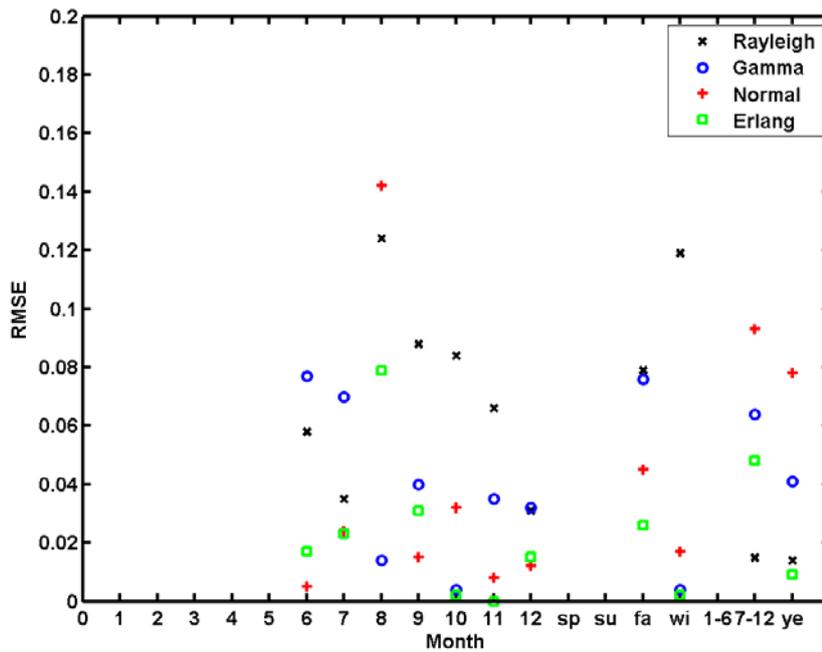


圖 2.8-2 2002 年高雄港 T_S 各分布比較圖(統計公式法)

表 2.8-3 2003 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較

	Rayleigh	Gamma	Normal	Erlang
1 月				
2 月	0.072	0.060	0.004	0.029
3 月	0.094	0.067	0.007	0.012
4 月	0.013	0.037	0.029	0.061
5 月	0.047	0.037	0.021	0.051
6 月	0.094	0.052	0.018	0.011
7 月	0.182	0.163	0.095	0.157
8 月	0.071	0.005	0.062	0.061
9 月	0.005	0.022	0.042	0.018
10 月	0.011	0.039	0.020	0.003
11 月	0.006	0.024	0.010	0.035
12 月				
1-3 月	0.086	0.066	0.011	0.018
4-6 月	0.023	0.006	0.001	0.060
7-9 月	0.080	0.051	0.063	0.077
10-12 月	0.016	0.038	0.000	0.043
1-6 月	0.051	0.021	0.025	0.018
7-12 月	0.023	0.034	0.020	0.008
全年	0.024	0.011	0.006	0.058

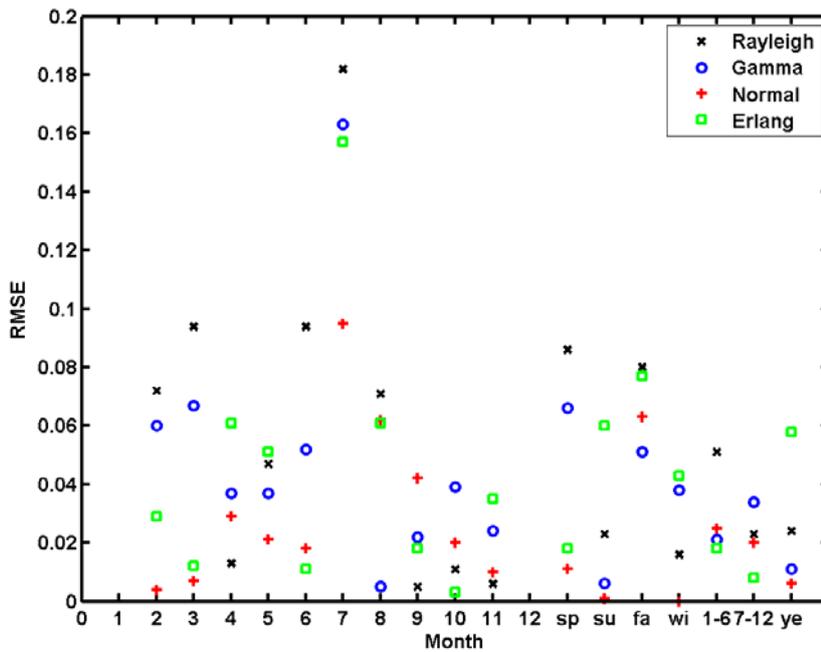


圖 2.8-3 2003 年高雄港 T_S 各分布比較圖(統計公式法)

表 2.8-4 2004 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較

	Rayleigh	Gamma	Normal	Erlang
1 月				
2 月				
3 月	0.246	0.157	0.006	0.002
4 月	0.034	0.189	0.047	0.333
5 月	0.187	0.024	0.097	0.087
6 月	0.531	0.312	0.043	0.156
7 月	0.858	0.307	0.091	0.123
8 月	0.670	0.518	0.119	0.169
9 月	0.482	0.309	0.027	0.052
10 月	0.007	0.013	0.021	0.037
11 月	0.043	0.020	0.051	0.069
12 月	0.184	0.079	0.239	0.385
1-3 月				
4-6 月	0.148	0.012	0.055	0.097
7-9 月	0.858	0.443	0.134	0.155
10-12 月	0.082	0.040	0.088	0.110
1-6 月	0.276	0.083	0.027	0.081
7-12 月	0.423	0.008	0.076	0.030
全年	0.353	0.042	0.040	0.060

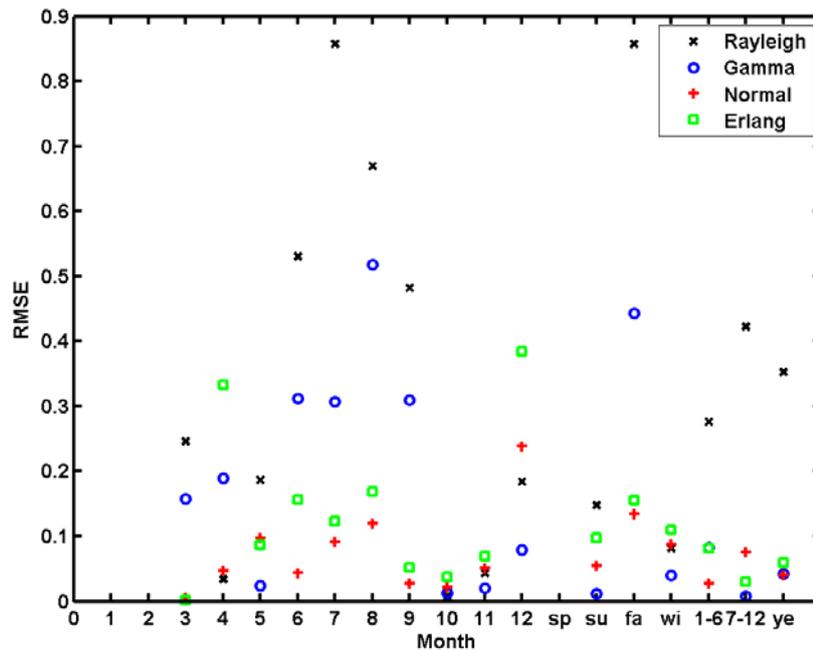


圖 2.8-4 2004 年高雄港 T_S 各分布比較圖(統計公式法)

表 2.8-5 2005 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較

	Rayleigh	Gamma	Normal	Erlang
1 月	0.297	0.234	0.028	0.043
2 月	0.701	0.025	0.076	0.151
3 月	0.160	0.179	0.022	0.133
4 月				
5 月				
6 月	0.823	0.339	0.086	0.114
7 月	1.079	0.663	0.215	0.260
8 月	0.752	0.608	0.136	0.192
9 月	0.498	0.538	0.030	0.120
10 月	0.371	0.171	0.068	0.102
11 月	0.447	0.021	0.034	0.040
12 月	0.468	0.066	0.028	0.011
1-3 月	0.624	0.068	0.055	0.099
4-6 月				
7-9 月	0.825	0.504	0.116	0.172
10-12 月	0.565	0.061	0.008	0.035
1-6 月	0.671	0.087	0.014	0.063
7-12 月	0.515	0.143	0.039	0.007
全年	0.583	0.093	0.017	0.012

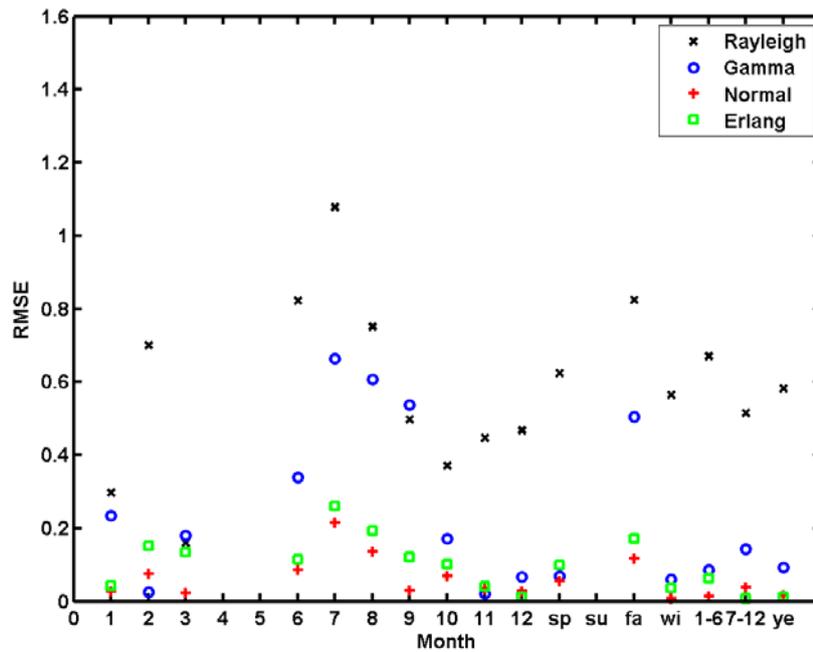


圖 2.8-5 2005 年高雄港 T_S 各分布比較圖(統計公式法)

表 2.8-6 2006 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較

	Rayleigh	Gamma	Normal	Erlang
1 月	0.214	0.119	0.166	0.108
2 月	0.292	0.027	0.126	0.073
3 月	0.370	0.271	0.062	0.143
4 月	0.107	0.108	0.076	0.012
5 月				
6 月				
7 月				
8 月				
9 月	0.163	0.135	0.099	0.088
10 月	0.160	0.065	0.082	0.018
11 月	0.153	0.198	0.106	0.241
12 月	0.258	0.071	0.202	0.012
1-3 月	0.442	0.118	0.058	0.022
4-6 月				
7-9 月				
10-12 月	0.162	0.107	0.006	0.116
1-6 月	0.356	0.147	0.024	0.096
7-12 月	0.200	0.057	0.027	0.021
全年	0.339	0.088	0.024	0.065

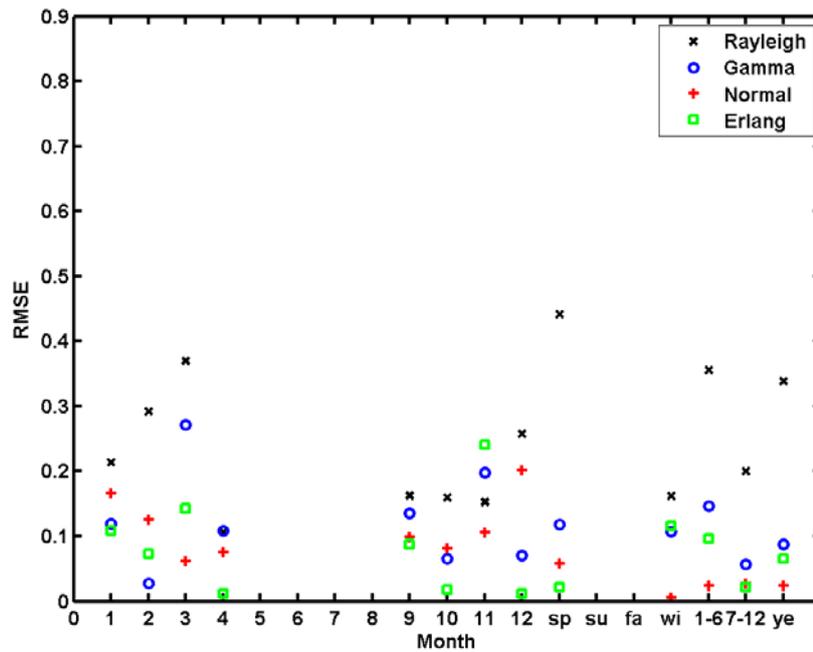


圖 2.8-6 2006 年高雄港 T_S 各分布比較圖(統計公式法)

表 2.8-7 2007 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較

	Rayleigh	Gamma	Normal	Erlang
1 月				
2 月				
3 月	0.081	0.162	0.073	0.076
4 月	0.252	0.177	0.031	0.040
5 月	0.227	0.246	0.016	0.101
6 月	0.428	0.259	0.011	0.007
7 月	0.656	0.913	0.236	0.347
8 月	1.587	0.319	0.160	0.196
9 月	0.348	0.152	0.107	0.049
10 月	0.123	0.082	0.067	0.113
11 月	0.127	0.024	0.062	0.029
12 月	0.266	0.104	0.021	0.042
1-3 月				
4-6 月	0.333	0.212	0.002	0.032
7-9 月	0.489	0.510	0.043	0.175
10-12 月	0.214	0.003	0.002	0.048
1-6 月	0.297	0.217	0.008	0.081
7-12 月	0.373	0.108	0.068	0.036
全年	0.285	0.147	0.044	0.008

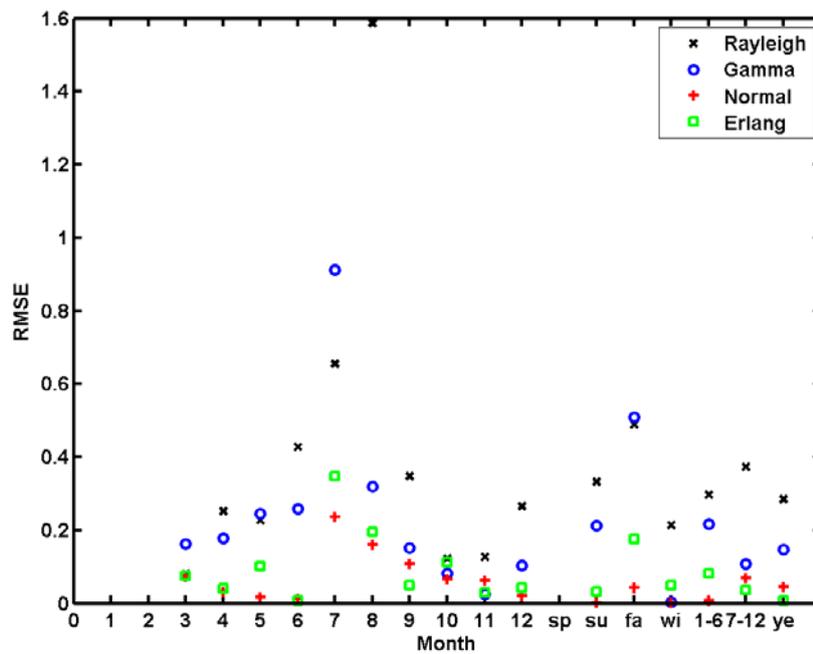


圖 2.8-7 2007 年高雄港 T_S 各分布比較圖(統計公式法)

表 2.8-8 2008 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 比較

	Rayleigh	Gamma	Normal	Erlang
1 月	0.255	0.015	0.040	0.030
2 月	0.218	0.008	0.223	0.168
3 月	0.215	0.212	0.006	0.093
4 月	0.203	0.163	0.019	0.028
5 月	0.334	0.609	0.158	0.297
6 月	0.385	0.338	0.100	0.213
7 月	0.624	0.370	0.057	0.091
8 月	0.199	0.438	0.104	0.058
9 月	0.273	0.084	0.116	0.071
10 月	0.183	0.003	0.072	0.020
11 月	0.144	0.011	0.026	0.014
12 月				
1-3 月	0.207	0.069	0.070	0.057
4-6 月	0.276	0.320	0.063	0.087
7-9 月	0.387	0.235	0.037	0.043
10-12 月	0.230	0.006	0.053	0.024
1-6 月	0.235	0.188	0.010	0.067
7-12 月	0.405	0.081	0.034	0.020
全年	0.335	0.146	0.009	0.033

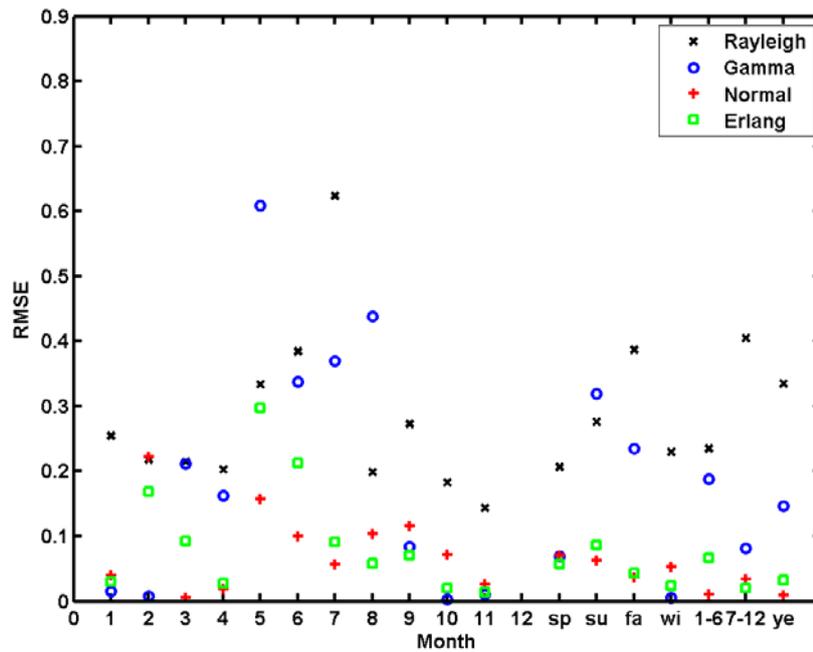


圖 2.8-8 2008 年高雄港 T_S 各分布比較圖(統計公式法)

表 2.8-9 2001 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較

	Rayleigh		Gamma		Normal		Erlang	
	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2
1 月	0.072	0.941	0.025	0.992	0.089	0.893	0.030	0.991
2 月	0.043	0.966	0.042	0.972	0.047	0.961	0.051	0.973
3 月	0.027	0.991	0.040	0.985	0.078	0.917	0.059	0.974
4 月	0.077	0.935	0.116	0.863	0.059	0.974	0.124	0.868
5 月	0.079	0.926	0.051	0.976	0.073	0.937	0.068	0.968
6 月	0.045	0.947	0.020	0.992	0.064	0.881	0.033	0.980
7 月								
8 月	0.029	0.978	0.033	0.973	0.056	0.892	0.036	0.971
9 月	0.077	0.921	0.066	0.939	0.070	0.931	0.057	0.966
10 月	0.070	0.960	0.112	0.893	0.078	0.942	0.113	0.900
11 月								
12 月								
1-3 月	0.041	0.974	0.021	0.995	0.070	0.917	0.021	0.993
4-6 月	0.023	0.991	0.026	0.987	0.055	0.943	0.036	0.975
7-9 月	0.038	0.963	0.027	0.983	0.073	0.861	0.032	0.974
10-12 月								
1-6 月	0.029	0.986	0.020	0.993	0.057	0.939	0.020	0.994
7-12 月	0.047	0.948	0.033	0.974	0.082	0.841	0.034	0.973
全年	0.032	0.980	0.020	0.992	0.064	0.916	0.022	0.993

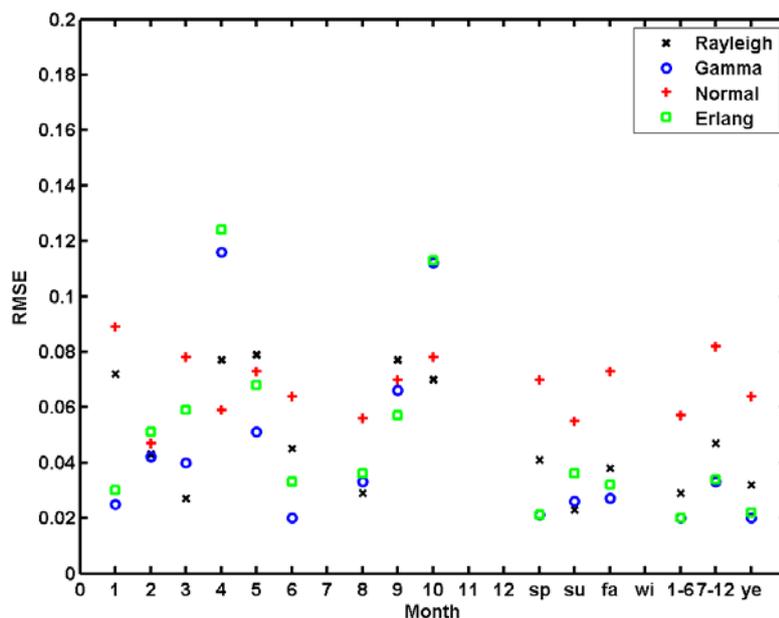


圖 2.8-9 2001 年高雄港 T_S 各分布比較圖(Ksdensity 法)

表 2.8-10 2002 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較

	Rayleigh		Gamma		Normal		Erlang	
	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2
1 月								
2 月								
3 月								
4 月								
5 月								
6 月	0.094	0.904	0.108	0.891	0.048	0.989	0.111	0.918
7 月	0.063	0.928	0.075	0.903	0.059	0.939	0.073	0.917
8 月	0.041	0.902	0.030	0.954	0.061	0.756	0.034	0.952
9 月	0.085	0.885	0.042	0.969	0.062	0.933	0.042	0.969
10 月	0.083	0.911	0.038	0.988	0.071	0.931	0.036	0.989
11 月	0.133	0.876	0.077	0.956	0.066	0.967	0.071	0.971
12 月	0.042	0.980	0.037	0.984	0.061	0.952	0.036	0.986
1-3 月								
4-6 月								
7-9 月	0.027	0.961	0.031	0.956	0.035	0.939	0.040	0.948
10-12 月	0.114	0.855	0.018	0.997	0.062	0.951	0.019	0.997
1-6 月								
7-12 月	0.039	0.936	0.027	0.971	0.068	0.802	0.025	0.975
全年	0.036	0.952	0.022	0.982	0.061	0.840	0.017	0.988

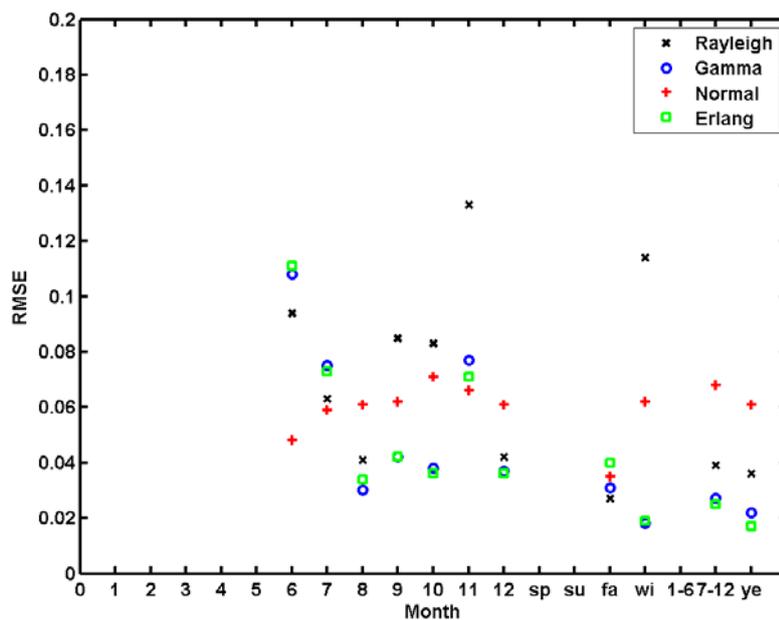


圖 2.8-10 2002 年高雄港 T_S 各分布比較圖(Kdensity 法)

表 2.8-11 2003 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較

	Rayleigh		Gamma		Normal		Erlang	
	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2
1 月								
2 月	0.115	0.877	0.102	0.902	0.061	0.965	0.097	0.916
3 月	0.177	0.807	0.134	0.886	0.039	0.991	0.125	0.915
4 月	0.123	0.784	0.080	0.912	0.157	0.660	0.104	0.853
5 月	0.093	0.849	0.050	0.957	0.126	0.727	0.076	0.900
6 月	0.123	0.831	0.056	0.962	0.069	0.942	0.043	0.978
7 月	0.188	0.372	0.132	0.685	0.189	0.350	0.133	0.681
8 月	0.048	0.942	0.028	0.985	0.064	0.871	0.043	0.968
9 月	0.030	0.982	0.046	0.963	0.059	0.931	0.051	0.962
10 月	0.040	0.987	0.083	0.947	0.078	0.949	0.099	0.941
11 月	0.071	0.934	0.065	0.945	0.107	0.851	0.072	0.932
12 月								
1-3 月	0.153	0.835	0.124	0.885	0.063	0.971	0.112	0.913
4-6 月	0.083	0.903	0.054	0.958	0.112	0.814	0.075	0.921
7-9 月	0.066	0.878	0.032	0.971	0.091	0.766	0.036	0.963
10-12 月	0.035	0.986	0.058	0.963	0.073	0.942	0.064	0.955
1-6 月	0.092	0.905	0.068	0.944	0.111	0.855	0.063	0.951
7-12 月	0.064	0.913	0.033	0.978	0.098	0.800	0.035	0.975
全年	0.074	0.911	0.046	0.965	0.102	0.823	0.064	0.935

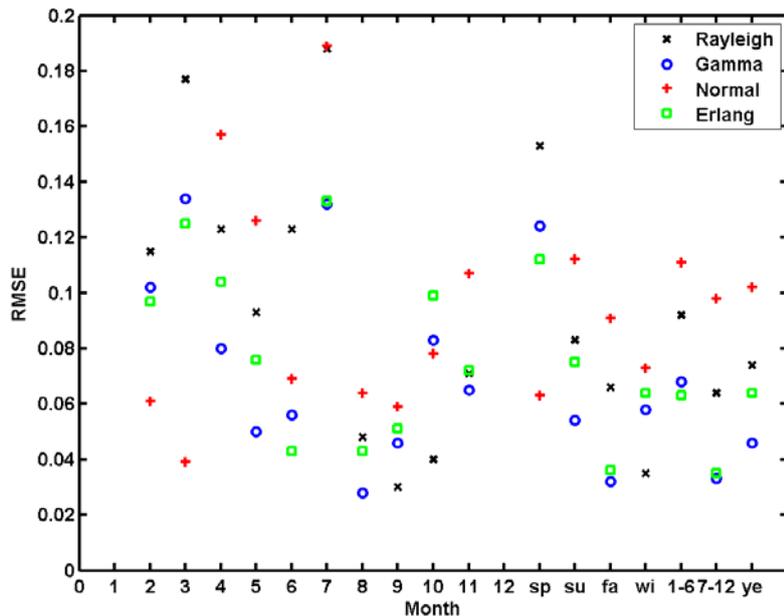


圖 2.8-11 2003 年高雄港 T_S 各分布比較圖(Ksdensity 法)

表 2.8-12 2004 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較

	Rayleigh		Gamma		Normal		Erlang	
	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2
1 月								
2 月								
3 月	0.057	0.797	0.046	0.875	0.022	0.975	0.047	0.904
4 月	0.056	0.605	0.045	0.758	0.067	0.440	0.055	0.632
5 月	0.035	0.873	0.018	0.962	0.033	0.874	0.019	0.960
6 月	0.047	0.726	0.033	0.860	0.014	0.975	0.031	0.878
7 月	0.066	0.581	0.039	0.844	0.025	0.937	0.039	0.850
8 月	0.107	0.338	0.085	0.575	0.049	0.860	0.069	0.727
9 月	0.046	0.758	0.036	0.851	0.027	0.917	0.038	0.849
10 月	0.014	0.986	0.011	0.993	0.034	0.920	0.011	0.993
11 月	0.034	0.928	0.025	0.959	0.052	0.834	0.027	0.954
12 月	0.056	0.823	0.048	0.871	0.071	0.722	0.067	0.737
1-3 月								
4-6 月	0.024	0.915	0.012	0.977	0.028	0.865	0.014	0.969
7-9 月	0.067	0.541	0.050	0.733	0.036	0.862	0.050	0.747
10-12 月	0.029	0.946	0.021	0.968	0.044	0.871	0.024	0.960
1-6 月	0.026	0.898	0.015	0.963	0.021	0.924	0.015	0.963
7-12 月	0.042	0.809	0.012	0.983	0.023	0.934	0.012	0.982
全年	0.034	0.854	0.012	0.978	0.022	0.931	0.013	0.977

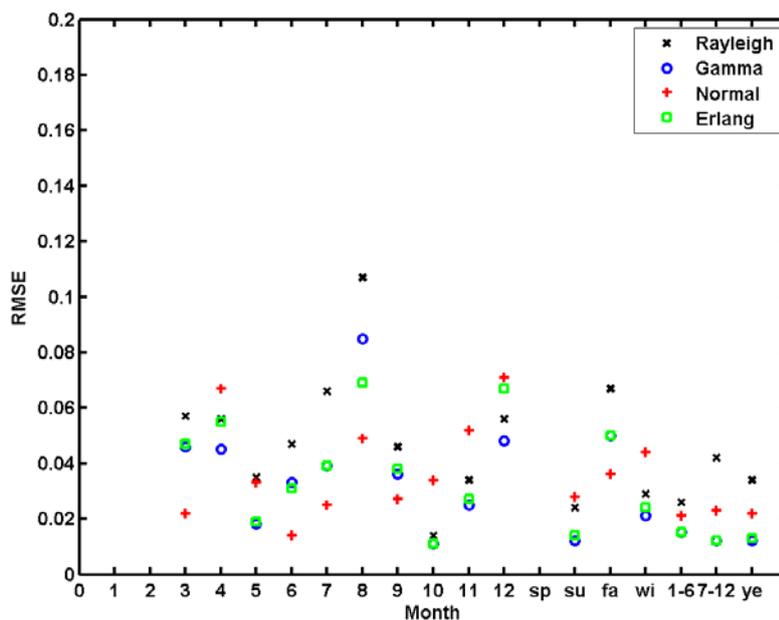


圖 2.8-12 2004 年高雄港 T_S 各分布比較圖(Ksdensity 法)

表 2.8-13 2005 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較

	Rayleigh		Gamma		Normal		Erlang	
	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2
1 月	0.058	0.803	0.043	0.889	0.015	0.987	0.040	0.919
2 月	0.059	0.654	0.017	0.972	0.031	0.906	0.022	0.956
3 月	0.028	0.934	0.032	0.911	0.020	0.966	0.033	0.911
4 月								
5 月								
6 月	0.165	0.265	0.088	0.799	0.047	0.942	0.060	0.897
7 月	0.071	0.474	0.051	0.728	0.030	0.910	0.041	0.817
8 月	0.064	0.524	0.049	0.710	0.023	0.936	0.042	0.805
9 月	0.024	0.827	0.024	0.832	0.011	0.974	0.025	0.856
10 月	0.068	0.759	0.034	0.938	0.028	0.963	0.028	0.956
11 月	0.057	0.743	0.008	0.994	0.025	0.945	0.009	0.993
12 月	0.067	0.712	0.017	0.981	0.020	0.972	0.018	0.982
1-3 月	0.051	0.722	0.012	0.984	0.016	0.972	0.013	0.982
4-6 月								
7-9 月	0.050	0.625	0.034	0.817	0.016	0.959	0.029	0.871
10-12 月	0.068	0.673	0.011	0.990	0.021	0.966	0.010	0.993
1-6 月	0.046	0.742	0.012	0.981	0.005	0.997	0.012	0.981
7-12 月	0.037	0.803	0.010	0.984	0.011	0.982	0.009	0.990
全年	0.036	0.796	0.006	0.993	0.010	0.984	0.005	0.996

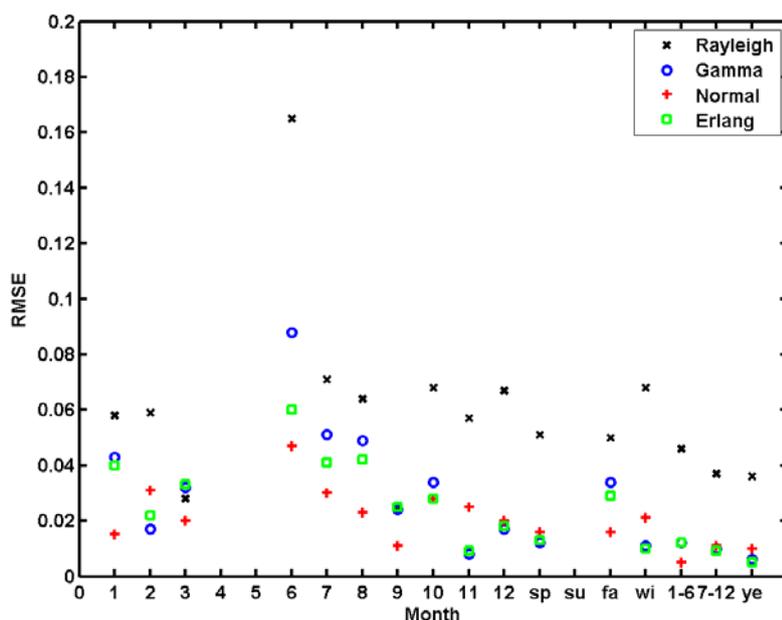


圖 2.8-13 2005 年高雄港 T_S 各分布比較圖(Ksdensity 法)

表 2.8-14 2006 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較

	Rayleigh		Gamma		Normal		Erlang	
	RMSE	R2	RMSE	R2	RMSE	R2	RMSE	R2
1 月	0.054	0.769	0.031	0.919	0.050	0.776	0.030	0.920
2 月	0.047	0.777	0.019	0.959	0.037	0.844	0.019	0.959
3 月	0.046	0.819	0.033	0.901	0.011	0.990	0.030	0.919
4 月	0.029	0.922	0.034	0.916	0.033	0.923	0.039	0.913
5 月								
6 月								
7 月								
8 月								
9 月	0.063	0.740	0.040	0.885	0.064	0.704	0.040	0.884
10 月	0.059	0.680	0.047	0.795	0.059	0.666	0.044	0.811
11 月	0.028	0.913	0.030	0.899	0.034	0.880	0.033	0.881
12 月	0.037	0.827	0.022	0.955	0.040	0.735	0.022	0.948
1-3 月	0.056	0.686	0.027	0.922	0.033	0.879	0.023	0.942
4-6 月								
7-9 月								
10-12 月	0.042	0.809	0.033	0.875	0.043	0.789	0.034	0.869
1-6 月	0.045	0.788	0.025	0.926	0.024	0.930	0.025	0.929
7-12 月	0.049	0.772	0.034	0.885	0.048	0.775	0.033	0.892
全年	0.045	0.785	0.024	0.934	0.032	0.883	0.024	0.936

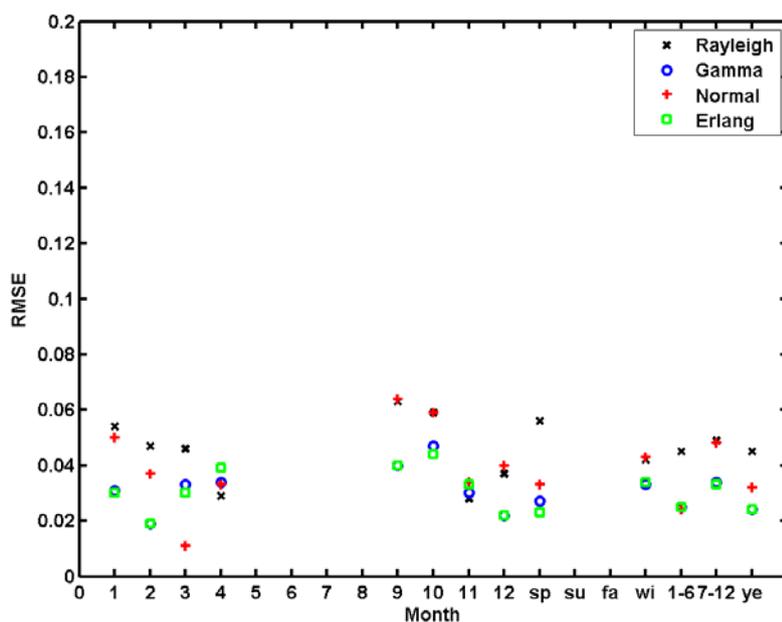


圖 2.8-14 2006 年高雄港 T_S 各分布比較圖(Kdensity 法)

表 2.8-15 2007 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較

	Rayleigh		Gamma		Normal		Erlang	
	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2
1 月								
2 月								
3 月	0.019	0.957	0.030	0.914	0.023	0.952	0.039	0.912
4 月	0.035	0.902	0.027	0.939	0.011	0.990	0.025	0.954
5 月	0.046	0.833	0.043	0.853	0.020	0.967	0.038	0.886
6 月	0.068	0.608	0.044	0.836	0.025	0.955	0.043	0.889
7 月	0.061	0.440	0.066	0.377	0.046	0.693	0.066	0.436
8 月	0.109	0.122	0.069	0.639	0.056	0.760	0.067	0.661
9 月	0.072	0.550	0.050	0.775	0.049	0.791	0.047	0.816
10 月	0.044	0.809	0.024	0.942	0.058	0.665	0.034	0.888
11 月	0.030	0.923	0.012	0.987	0.034	0.885	0.012	0.988
12 月	0.062	0.820	0.027	0.964	0.015	0.991	0.027	0.969
1-3 月								
4-6 月	0.042	0.843	0.027	0.930	0.011	0.988	0.024	0.952
7-9 月	0.036	0.741	0.033	0.778	0.015	0.958	0.032	0.821
10-12 月	0.044	0.850	0.018	0.971	0.040	0.854	0.020	0.966
1-6 月	0.036	0.873	0.026	0.932	0.009	0.993	0.025	0.944
7-12 月	0.040	0.793	0.015	0.969	0.023	0.923	0.012	0.982
全年	0.033	0.866	0.017	0.958	0.019	0.952	0.013	0.976

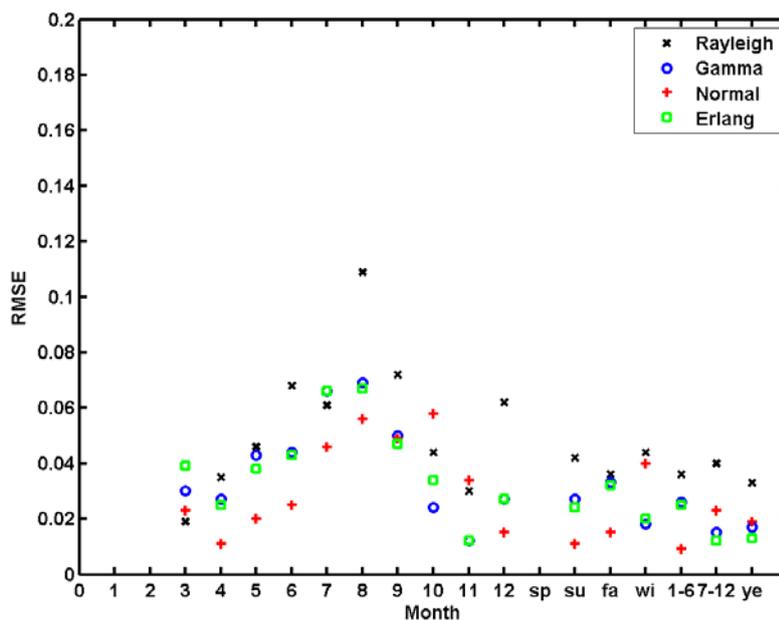


圖 2.8-15 2007 年高雄港 T_S 各分布比較圖(Ksdensity 法)

表 2.8-16 2008 年高雄港 T_S 統計特性與實測值之 RMSE 及 R^2 比較

	Rayleigh		Gamma		Normal		Erlang	
	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2
1 月	0.044	0.862	0.011	0.990	0.027	0.937	0.011	0.989
2 月	0.033	0.845	0.024	0.927	0.041	0.712	0.031	0.900
3 月	0.032	0.914	0.028	0.933	0.014	0.983	0.027	0.943
4 月	0.046	0.854	0.046	0.871	0.026	0.969	0.052	0.875
5 月	0.051	0.683	0.060	0.571	0.037	0.836	0.058	0.618
6 月	0.046	0.742	0.043	0.767	0.031	0.884	0.041	0.784
7 月	0.088	0.449	0.064	0.701	0.043	0.865	0.055	0.784
8 月	0.020	0.880	0.021	0.866	0.015	0.932	0.016	0.946
9 月	0.020	0.919	0.012	0.973	0.015	0.955	0.015	0.971
10 月	0.054	0.826	0.021	0.969	0.046	0.859	0.021	0.971
11 月	0.038	0.918	0.011	0.992	0.035	0.917	0.011	0.992
12 月								
1-3 月	0.033	0.884	0.013	0.979	0.028	0.909	0.014	0.978
4-6 月	0.031	0.869	0.033	0.849	0.017	0.959	0.031	0.878
7-9 月	0.033	0.807	0.021	0.913	0.019	0.933	0.018	0.938
10-12 月	0.054	0.828	0.016	0.983	0.039	0.896	0.017	0.980
1-6 月	0.028	0.909	0.020	0.949	0.016	0.966	0.018	0.961
7-12 月	0.040	0.798	0.013	0.976	0.024	0.916	0.010	0.986
全年	0.035	0.851	0.017	0.962	0.020	0.945	0.013	0.976

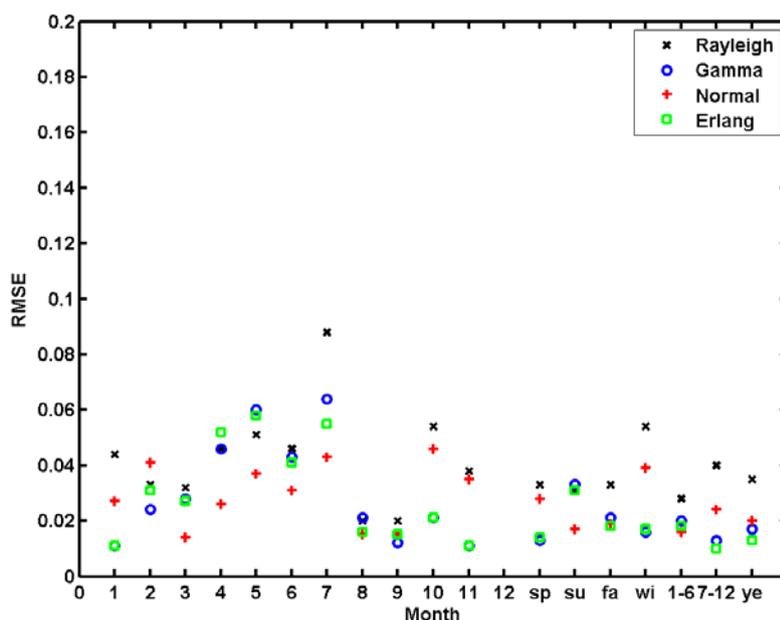


圖 2.8-16 2008 年高雄港 T_S 各分布比較圖(Ksdensity 法)

2.9 示性波浪參數特性探討

為了扣除統計學理論之中央極限定理影響，因此本計畫將週期資料扣除其最小值後，再以最大概似法(maximum likelihood method)求得各分布之參數，而由 2.8 節結果指出週期統計特性以 Normal 分布較其他分布為最適分布，所以希望透過研究 Normal 分布參數，供往後只要得知所需月份即能求得參數資料，得到需要的統計特性。

2.9.1 每月示性波浪週期

本計畫在探討示性週期最適分布時，2001 至 2008 年高雄港示性週期各月份變動程度大約在 6~9 秒之間，平均值約在 7.5 秒左右。整體週期如圖 2.9-1 所示，高雄港近年的示性週期變化皆十分接近。

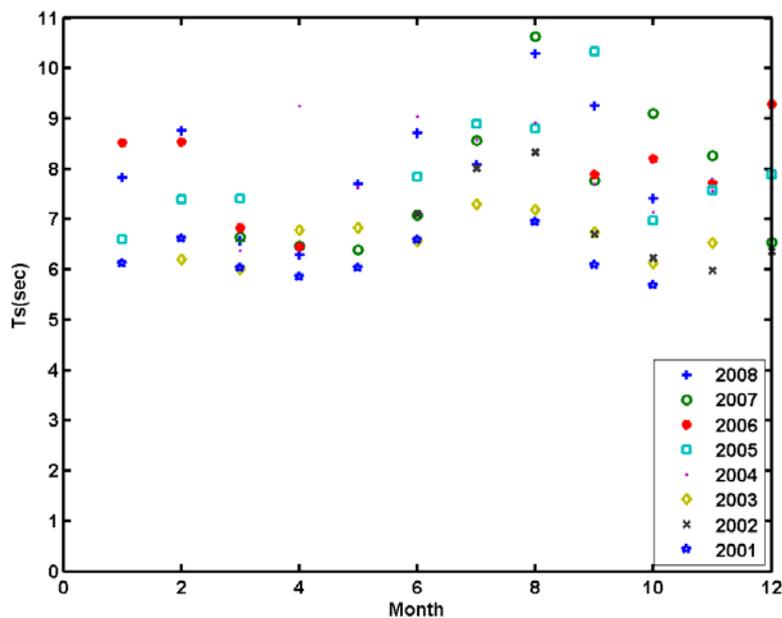


圖 2.9-1 高雄港每月示性週期

2.9.2 Normal 分布之參數特性

從前述章節可以知道描述高雄港示性週期之最適分布為 Normal 分布，而 Normal 分布其中的參數是將原始示性波高資料在扣除其最小值後，再將其以最大概似法求出，2001 至 2008 年高雄港示性週期各月份

最小值如表 2.9-1 所示。其值如圖 2.9-2 以及圖 2.9-3 所示，2001 至 2008 年高雄港之 Normal 分布 μ 值 2001 至 2003 年各月份皆在 1 左右，2004 至 2008 年變化量大每個月份約在 3~4.5 左右，跟扣除最小值之週期資料類似，呈現出兩個區段的數值。而 σ 值 2001 至 2008 年所有月份的數值較為散亂，沒有什麼規則性，大部分數值約在 0.5~2 之間。探討週期參數特性，目的跟波高參數一樣，期望能分別利用不同年份之高雄港資料，探討 Normal 分布之 μ 與 σ 參數，以期在未來能利用此參數值代入 Normal 分布公式中即可求得週期適合 Normal 分布之理論示性週期值。

表 2.9-1 2001 至 2008 各月份示性週期最小值

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
1 月	4.3				2.6	3.1		2.9
2 月	4.6		4.7		1.7	2.5		3.4
3 月	4.4		4.7	2.5	3.1	1.9	2.0	2.2
4 月	4.4		4.8	2.1		2.3	2.2	2.5
5 月	4.3		4.8	2.0			1.9	2.2
6 月	4.3	5.7	4.7	2.8	3.4		2.2	2.7
7 月		6.1	4.6	2.2	1.9		2.0	2.6
8 月	4.4	4.9	4.8	3.8	2.4		2.6	2.2
9 月	4.3	4.6	4.7	2	2.3	2.7	2.3	2.0
10 月	4.4	4.3	4.8	3.6	2.7	2.3	4.3	3.0
11 月		4.6	4.8	3.7	2.0	2.5	3.3	3.5
12 月		4.7		3.7	2.9	4.0	2.8	

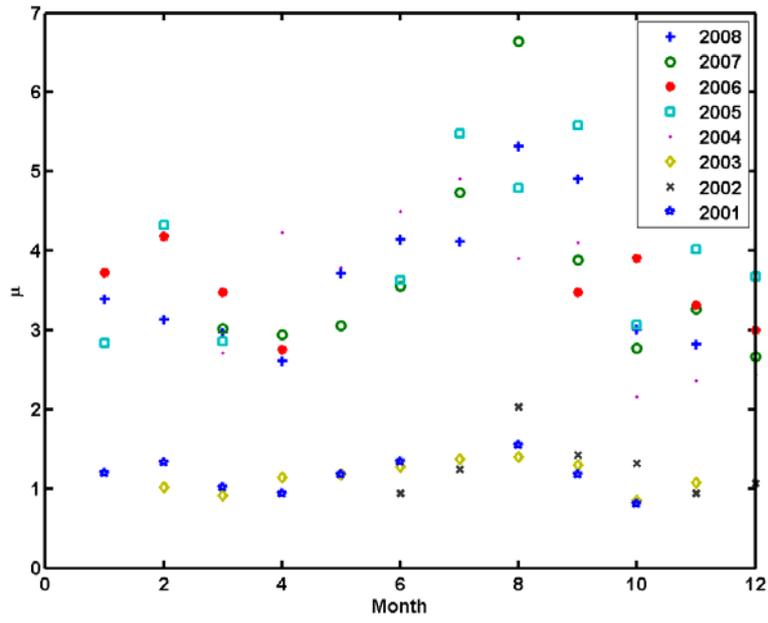


圖 2.9-2 高雄港 Normal 分布 μ 參數

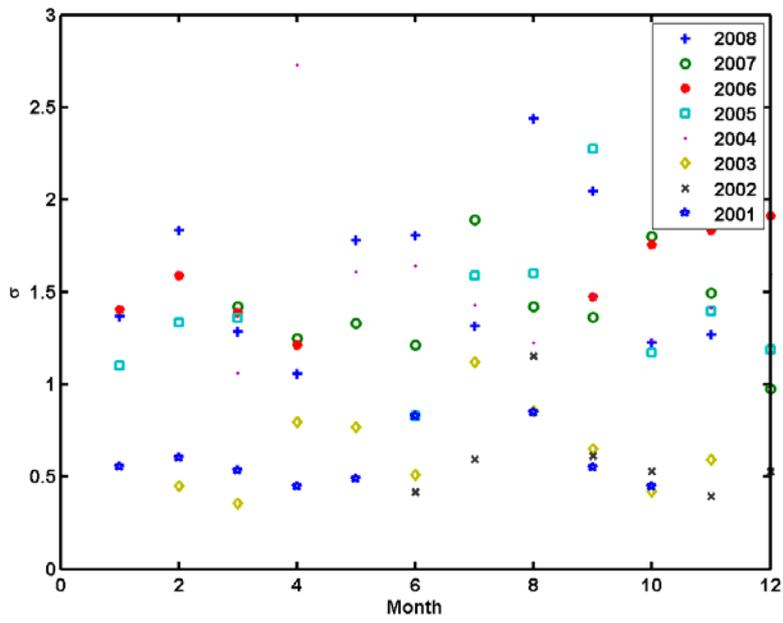


圖 2.9-3 高雄港 Normal 分布 σ 參數

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

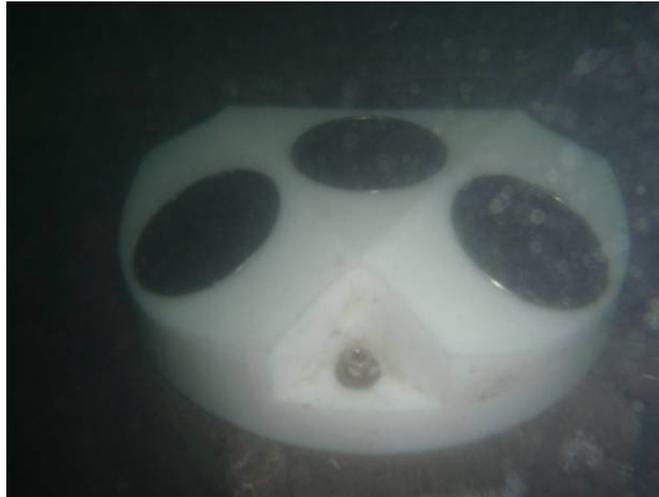


圖 3.2-2 Nortek AWAC 方向性聲波剖面海流與波高波向潮波流儀

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。

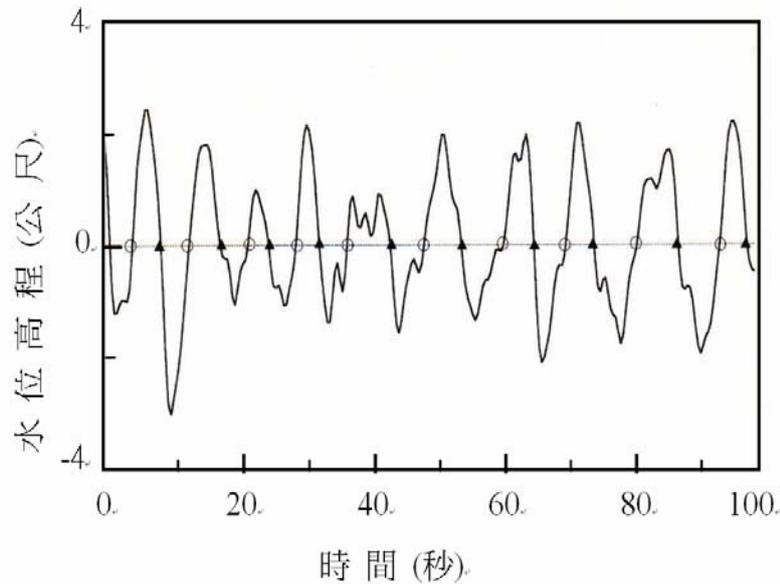


圖 3.2-3 海域風浪水位信號 (零位橫切法之定義)

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

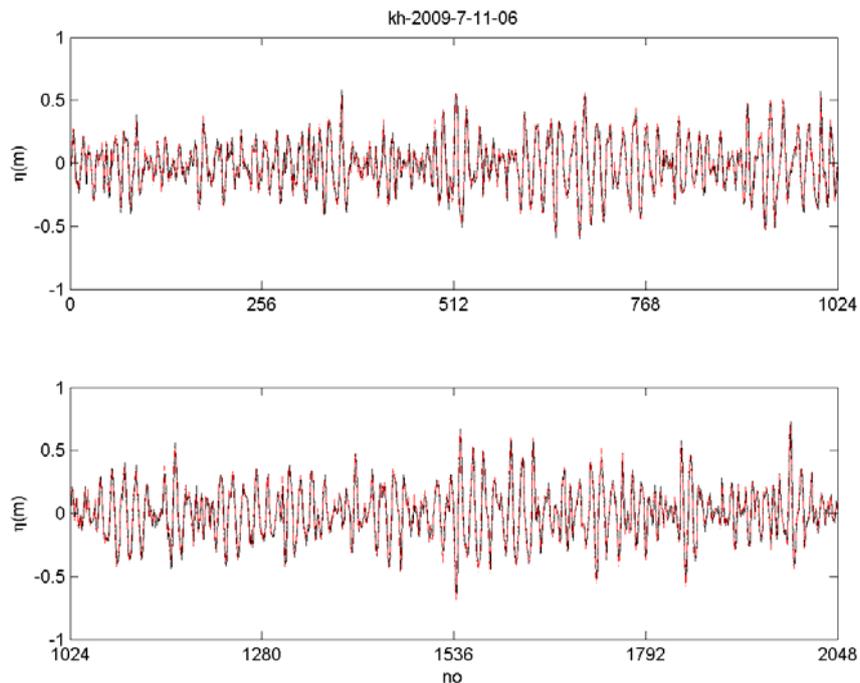
$$S^p(f) = T_f^2 S(f) \quad (3.2-2)$$

其中 T_f 稱為轉換函數，為

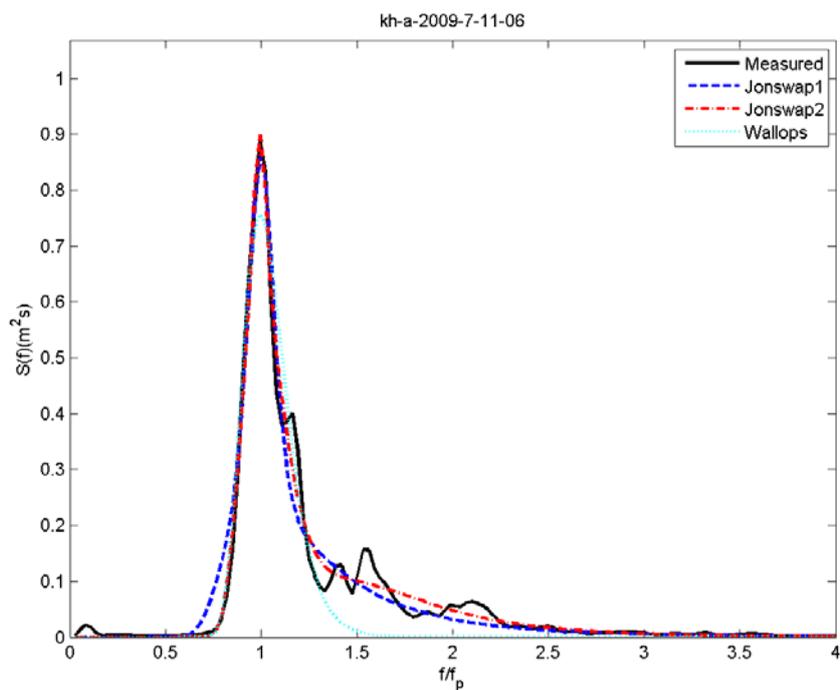
$$T_f = \gamma \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \quad (3.2-3)$$

3.3 波譜特性

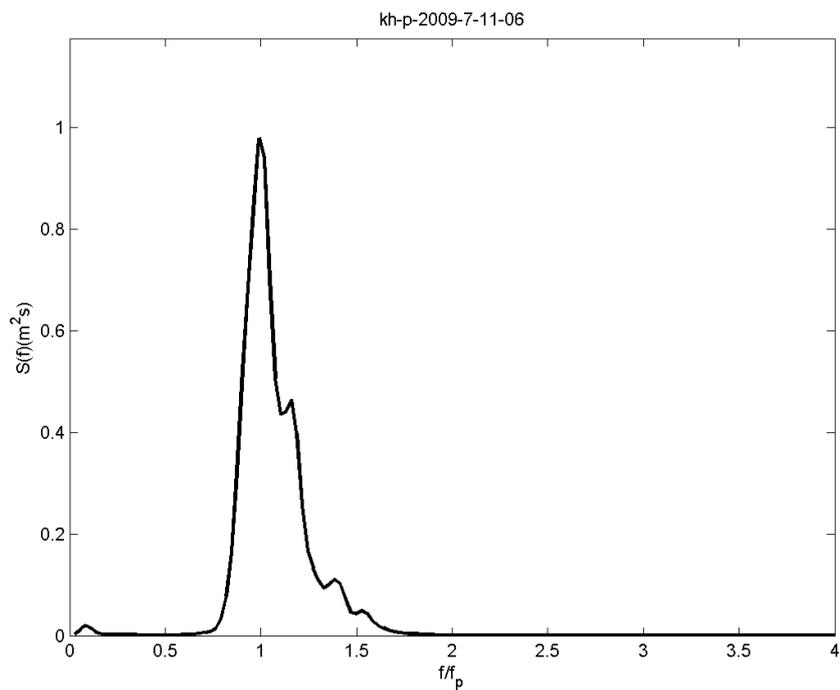
選擇 2009 年 7 月 11 日 6 時及 7 月 30 日 20 時由聲波水位實測訊號、波譜、其相對應壓力訊號及其轉換成水位能譜如圖 3.3-1 和 3.3-2 所示。



(a) 聲波水位訊號($H_{1/3} \approx 0.5m$)

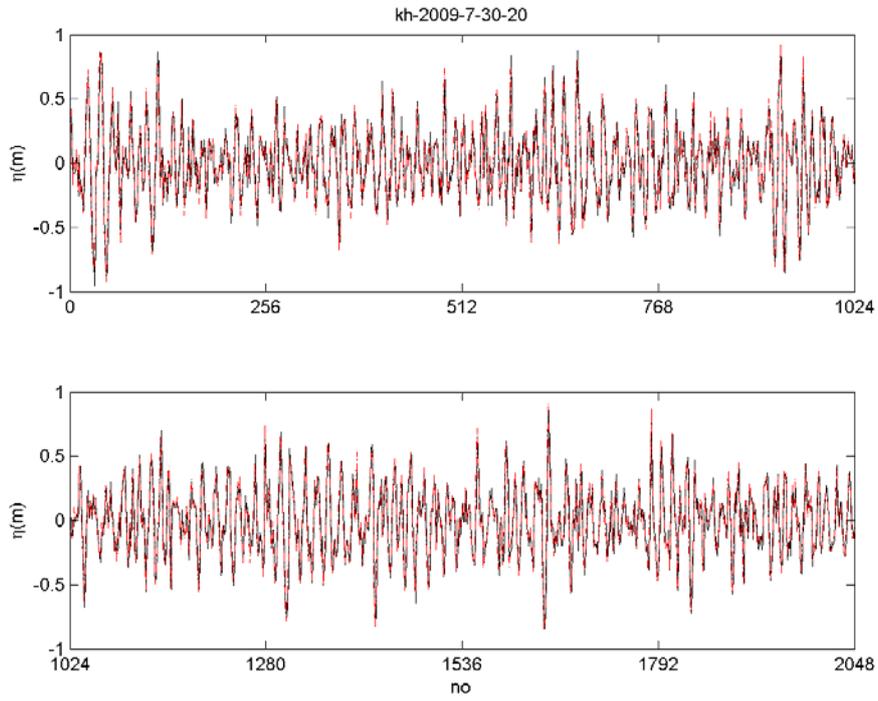


(b) 水位能譜

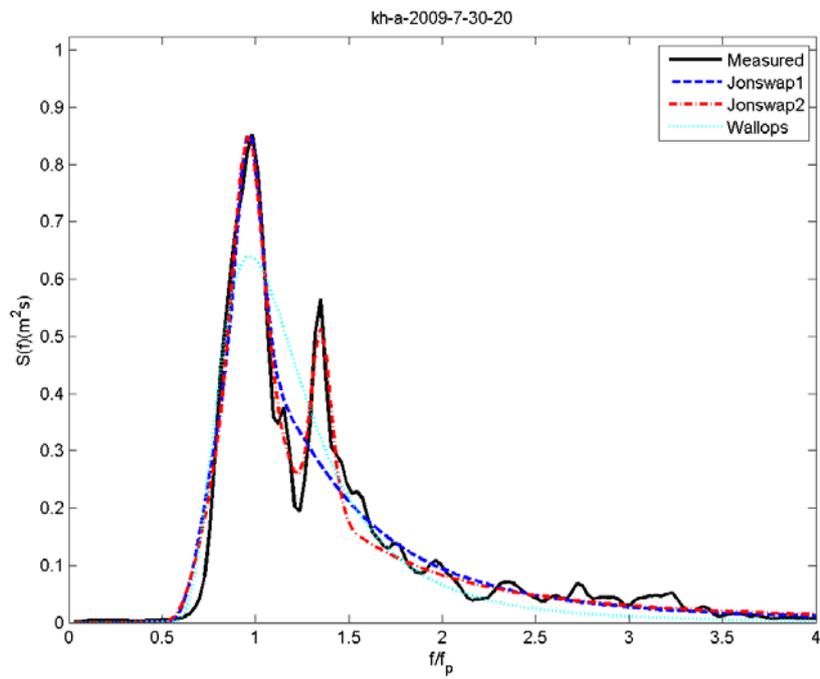


(c) 譜壓力訊號之能譜

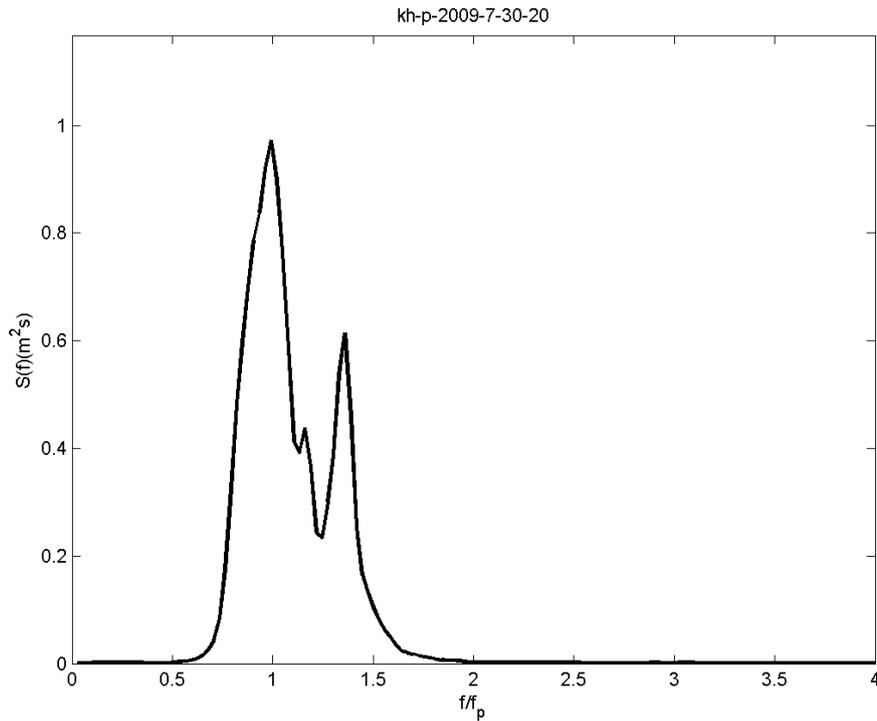
圖 3.3-1 聲波水位訊號及其能譜與壓力訊號之能譜(2009 年 7 月 11 日 06 時)



(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。

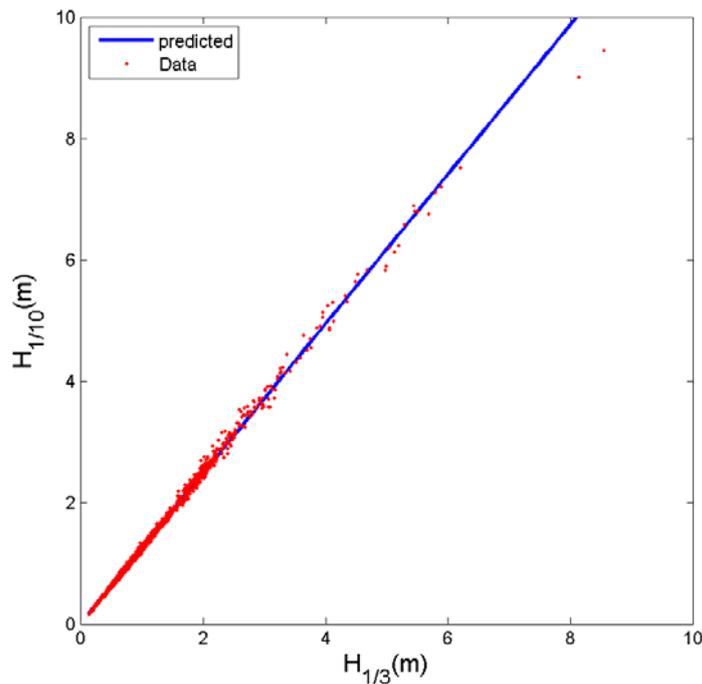


圖 3.3-3 個別波 $H_{1/3}$ 與 $H_{1/10}$ 之比較

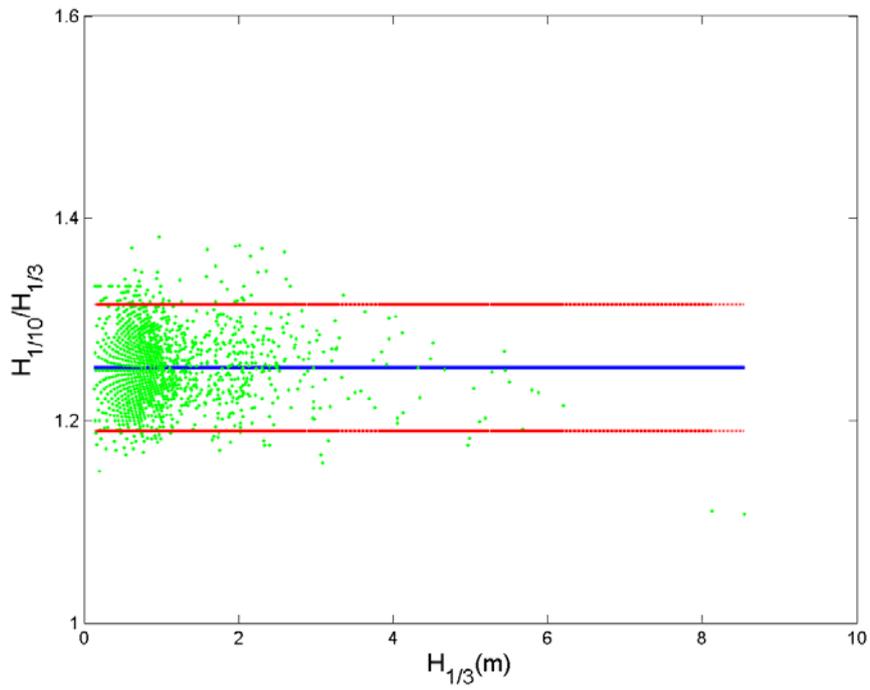


圖 3.3-4 $H_{1/10}/H_{1/3}$ 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布

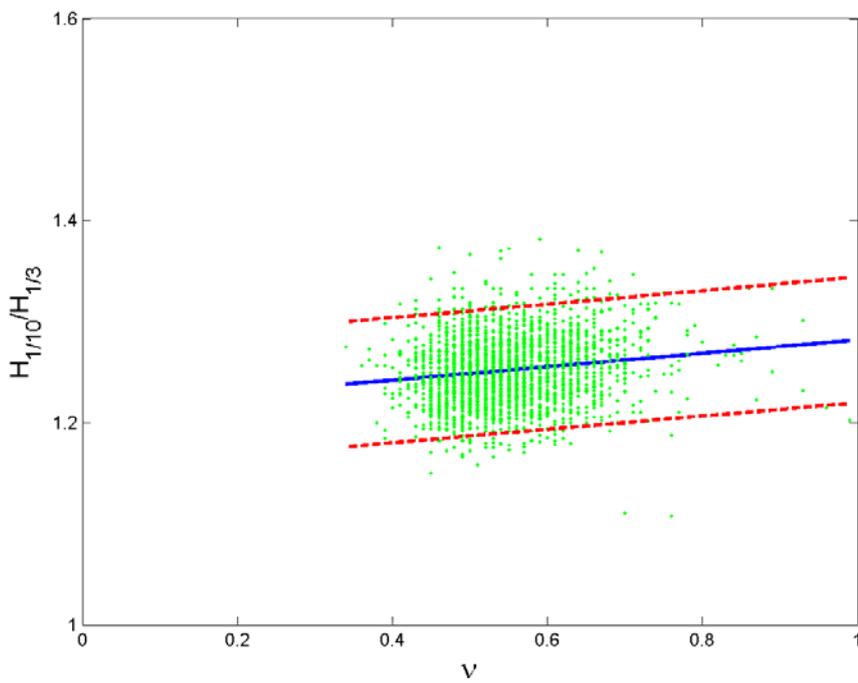


圖 3.3-5 $H_{1/10}/H_{1/3}$ 與譜寬參數(ν)之關係

$H_{1/3}$ 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，足見本研究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。

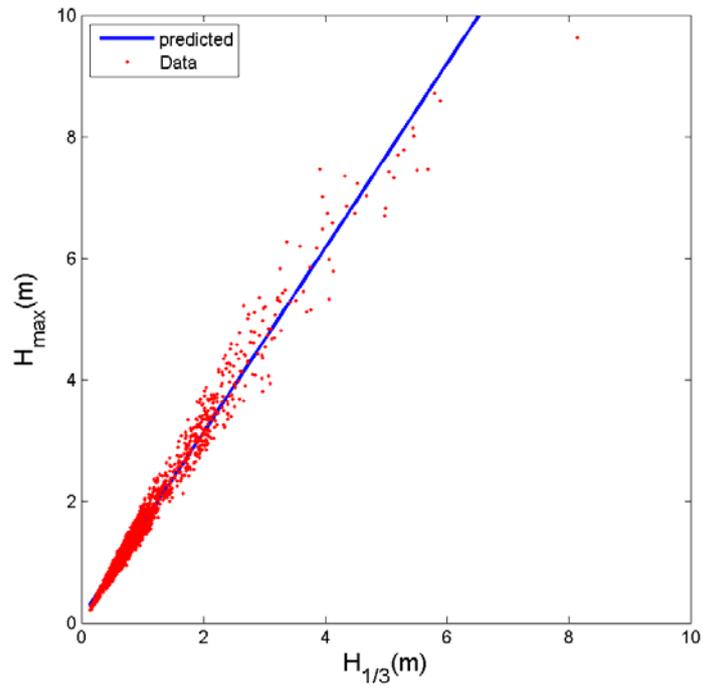


圖 3.3-6 個別波 $H_{1/3}$ 與 H_{\max} 之比較

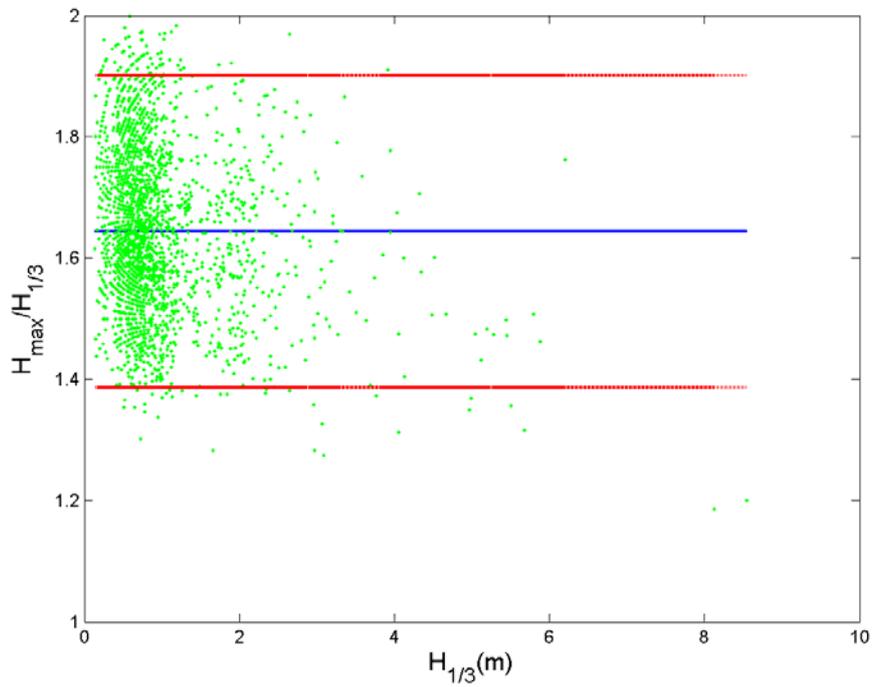


圖 3.3-7 $H_{\max}/H_{1/3}$ 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布

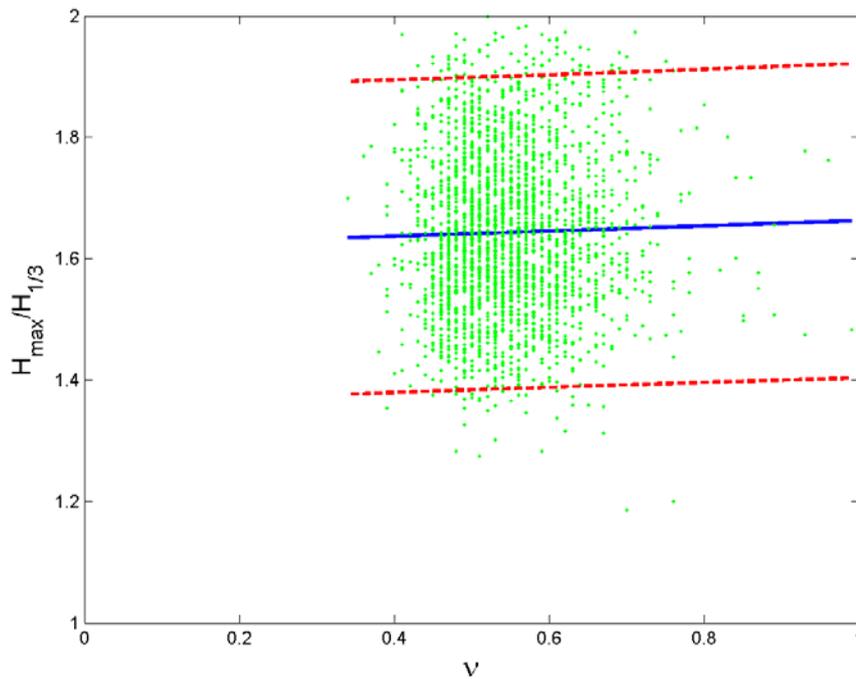


圖 3.3-8 $H_{\max} / H_{1/3}$ 與譜寬參數(ν)之關係

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。

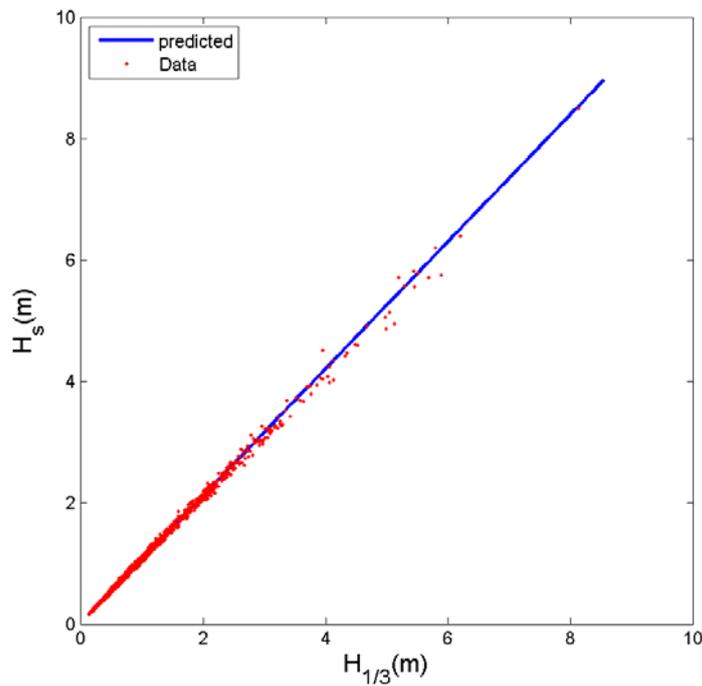


圖 3.3-9 個別波 $H_{1/3}$ 與能譜所得示性波高 (H_s) 之比較

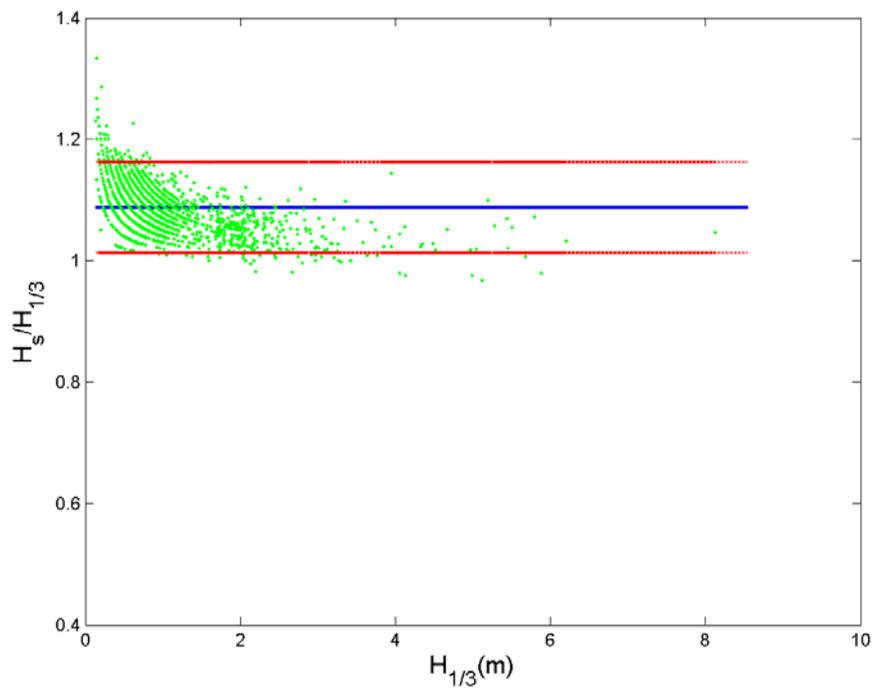


圖 3.3-10 $H_s / H_{1/3}$ 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布

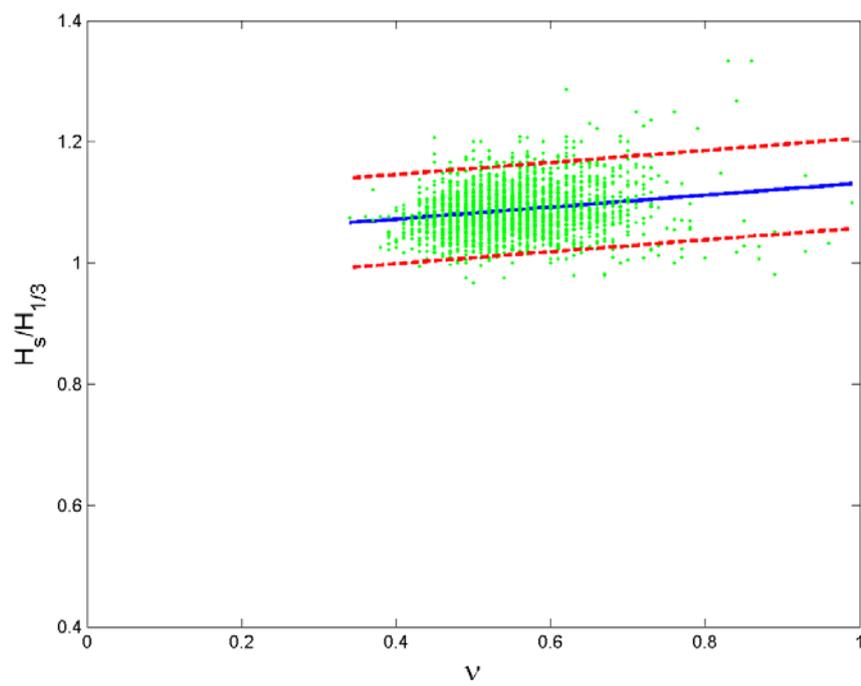


圖 3.3-11 $H_s / H_{1/3}$ 與譜寬參數(ν)之關係

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。

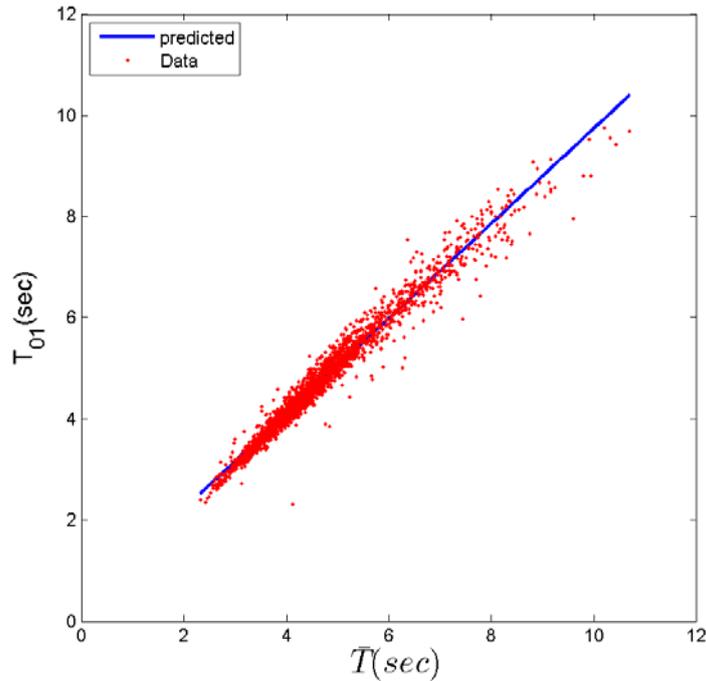


圖 3.3-12 個別波 \bar{T} 與能譜所得平均週期(T_{01})之比較

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。

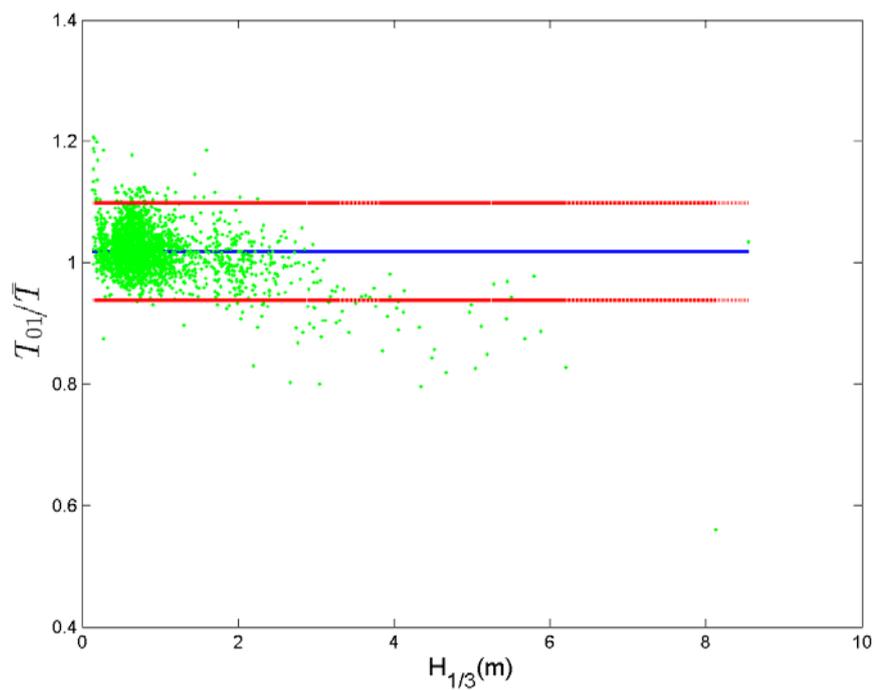


圖 3.3-13 T_{01}/\bar{T} 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布

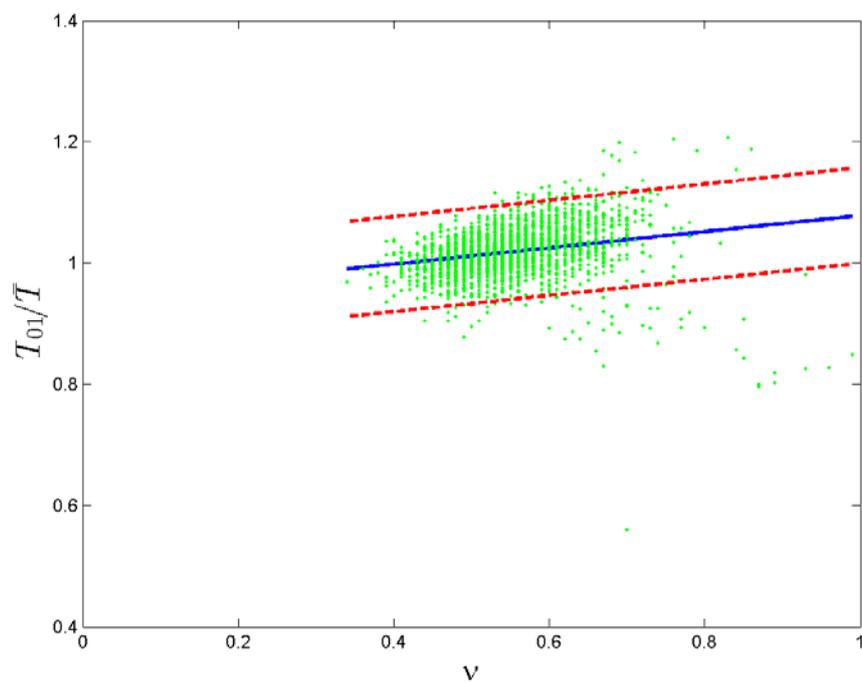


圖 3.3-14 T_{01}/\bar{T} 與譜寬參數(ν)之關係

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。

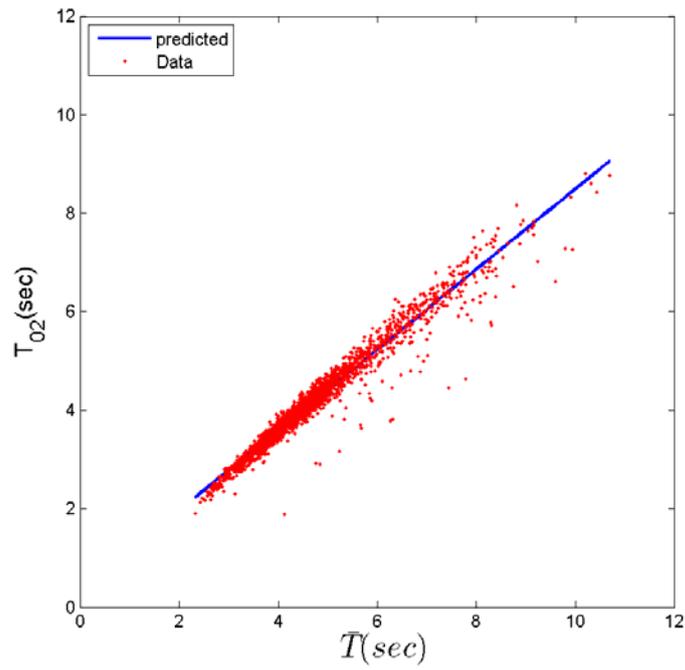


圖 3.3-15 個別波 \bar{T} 與能譜所得平均週期(T_{02})之比較

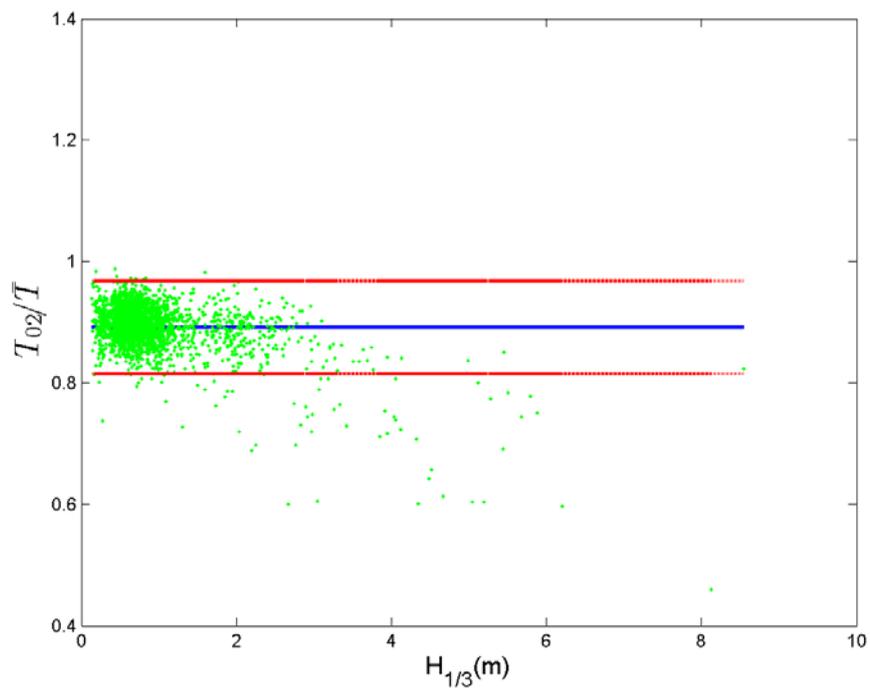


圖 3.3-16 T_{02}/\bar{T} 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布

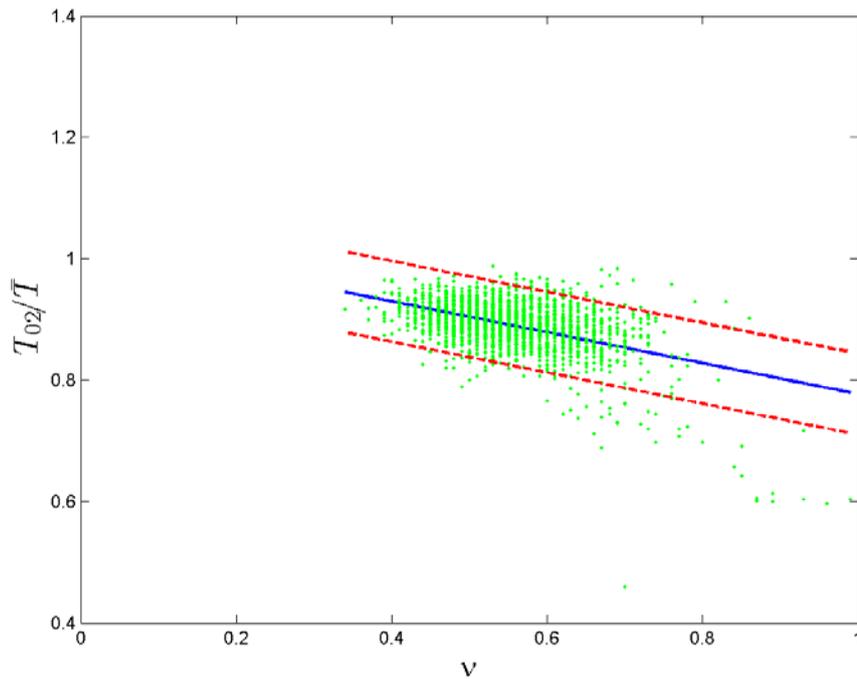


圖 3.3-17 T_{02}/\bar{T} 與譜寬參數(ν)之關係

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。

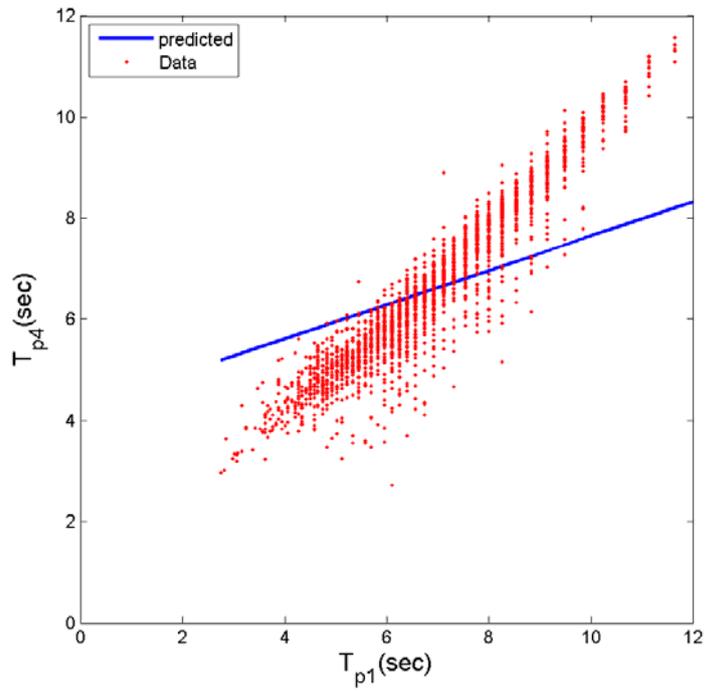


圖 3.3-18 波譜主頻 T_{p1} 與另一定義主頻 T_{p4} 之比較

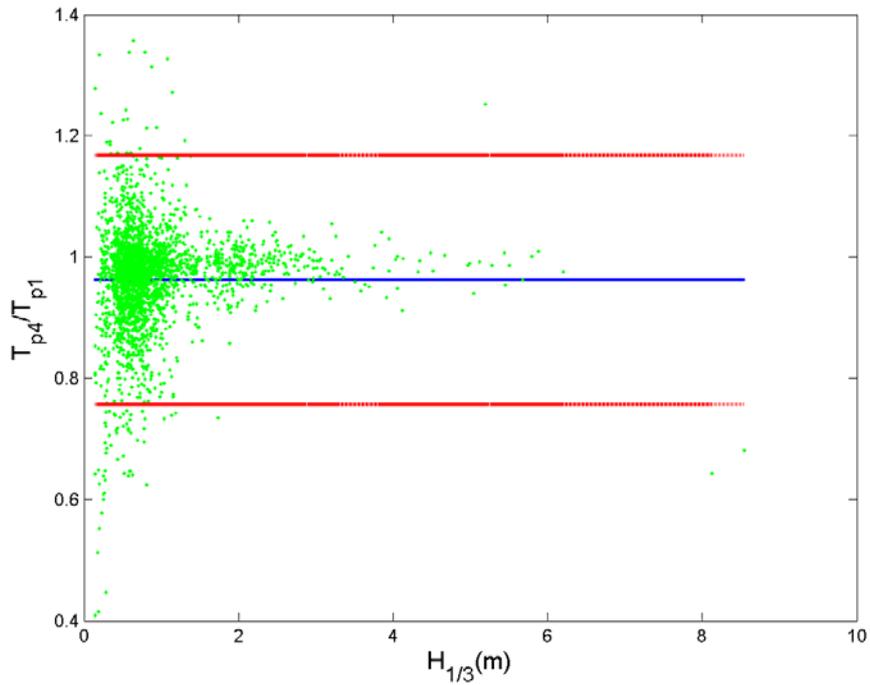


圖 3.3-19 T_{p4}/T_{p1} 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布

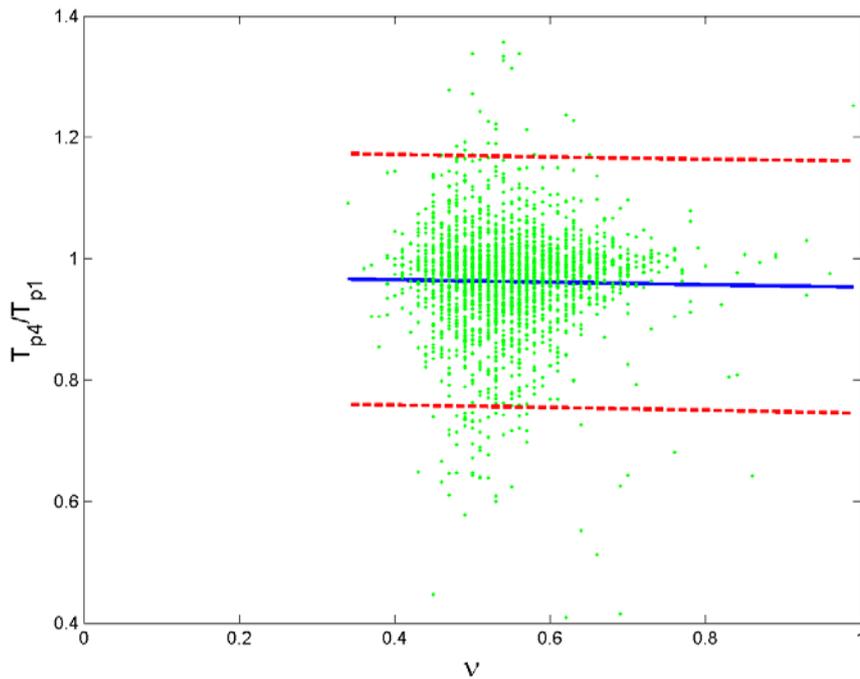


圖 3.3-20 T_{p4}/T_{p1} 與譜寬參數(ν)之關係

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。

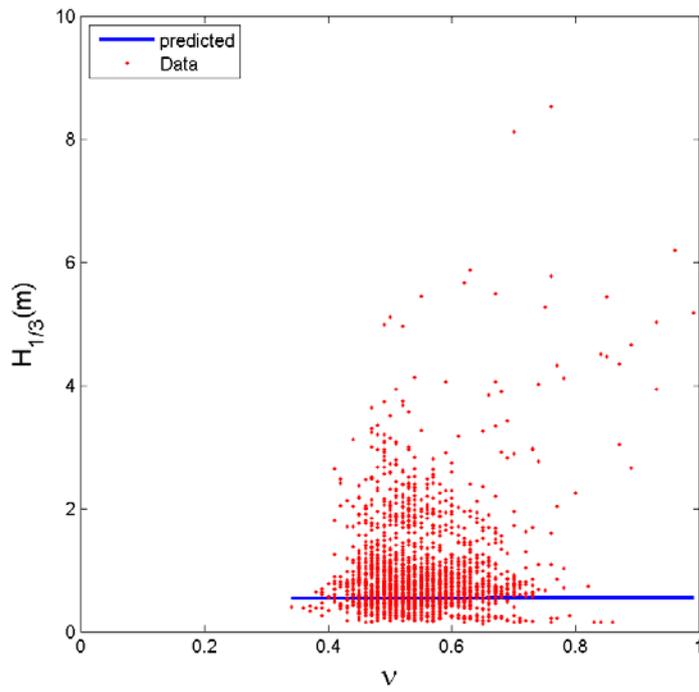


圖 3.3-21 波譜頻寬參數 ν 與 $H_{1/3}$ 之關係

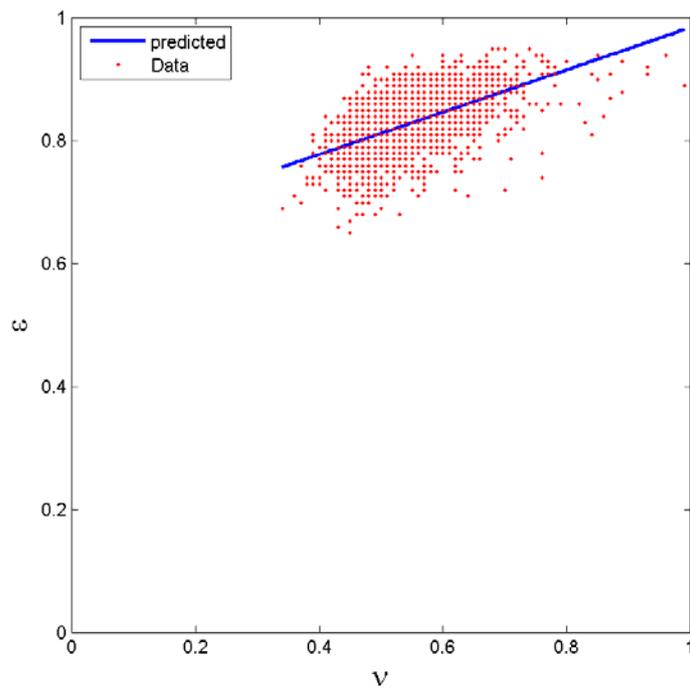


圖 3.3-22 波譜頻寬參數 ν 與另一定義譜頻寬參數 ϵ 之比較

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。

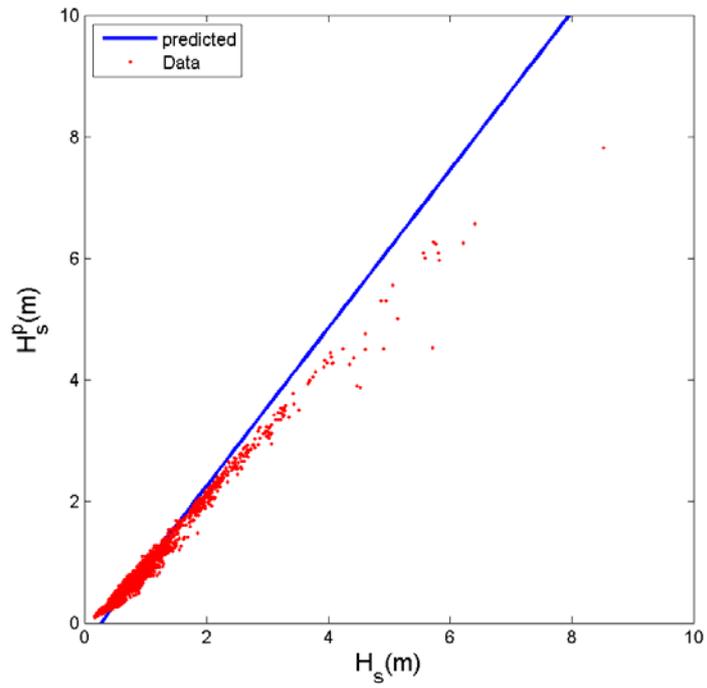


圖 3.3-23 水位波譜所得 H_s 與壓力波譜所得 H_s^p 之比較

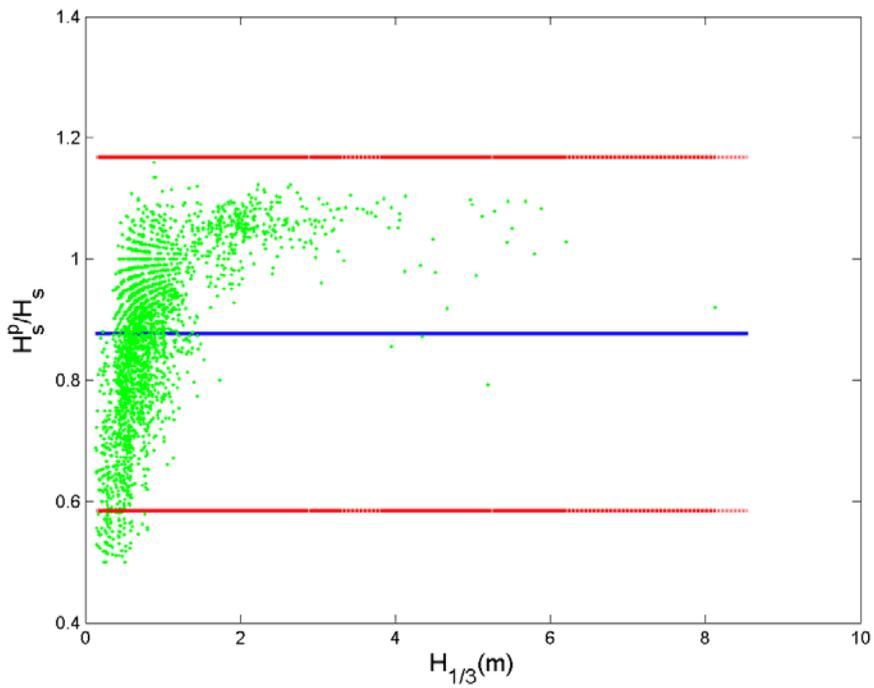


圖 3.3-24 H_s^p / H_s 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布

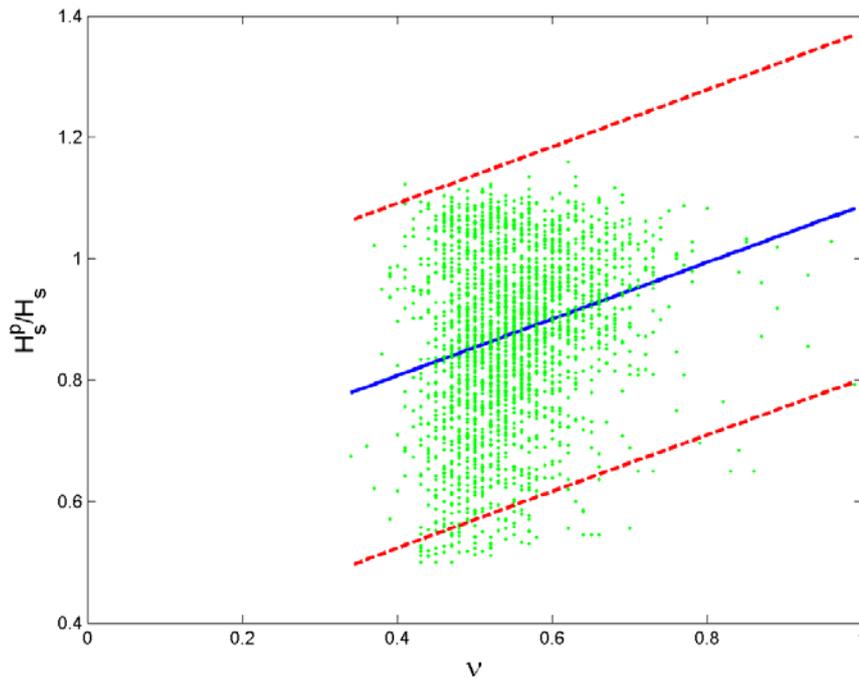


圖 3.3-25 H_s^p / H_s 與譜寬參數(ν)之關係

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。

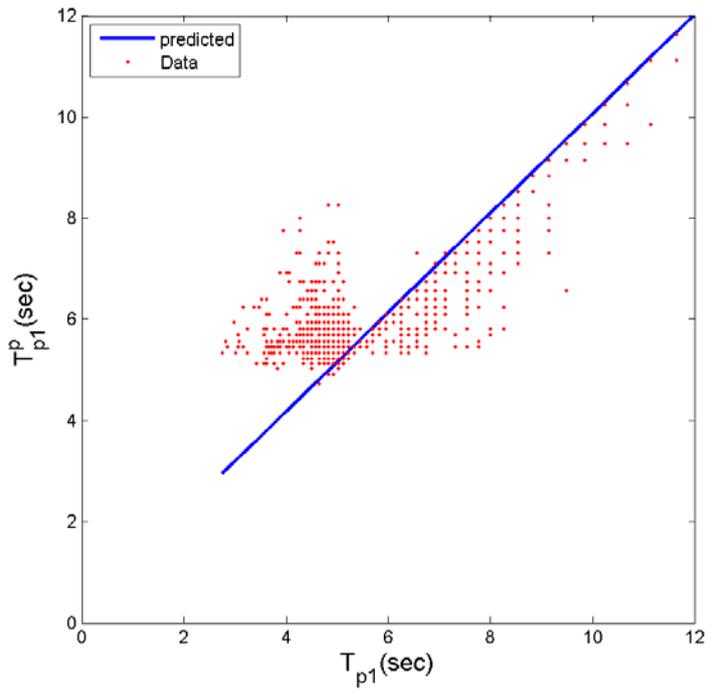


圖 3.3-26 水位波譜所得主頻 T_{p1} 與壓力波譜所得 T_{p1}^p 之比較

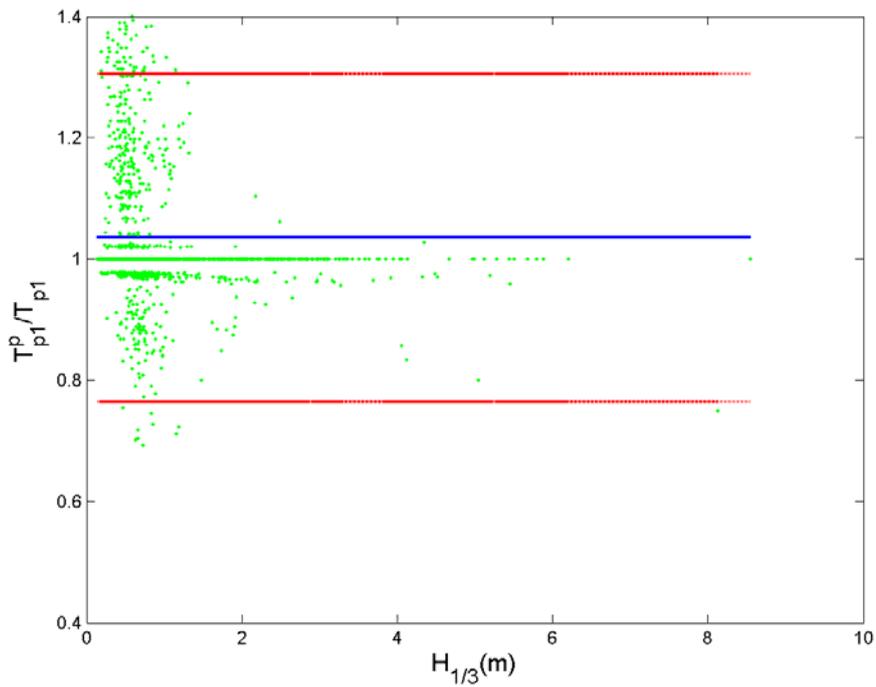


圖 3.3-27 T_{p1}^p / T_{p1} 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布

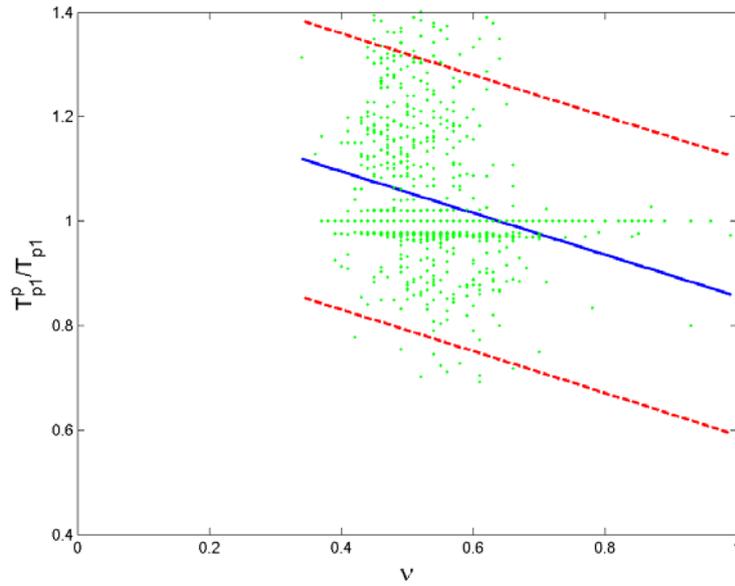


圖 3.3-28 T_{p1}^p / T_{p1} 與譜寬參數(ν)之關係

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。

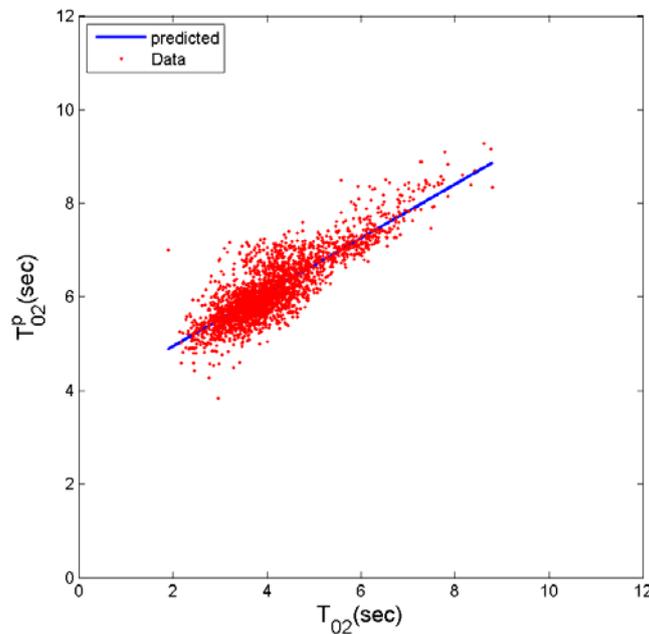


圖 3.3-29 壓力訊號所得波譜之平均週期 T_{02}^p 與聲波水位所得波譜之平均週期 T_{02} 之比較

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。

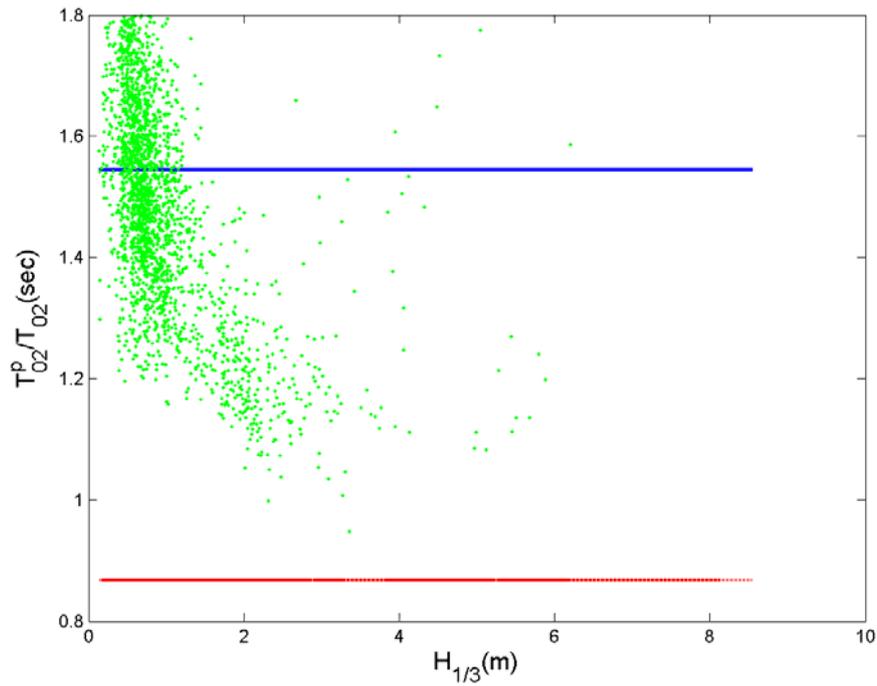


圖 3.3-30 T_{02}^p / T_{02} 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布

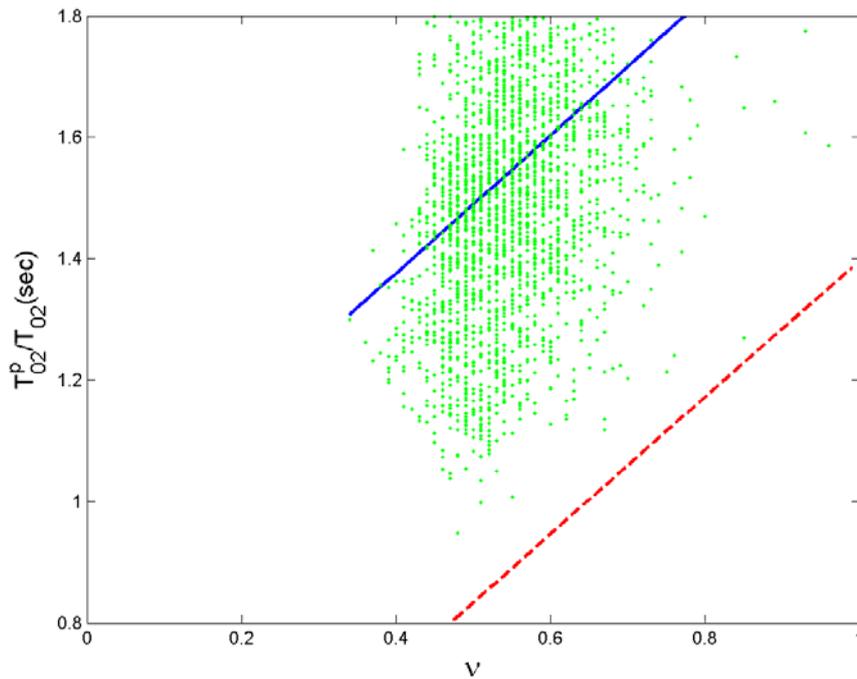


圖 3.3-31 T_{02}^p / T_{02} 與譜寬參數(ν)之關係

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
Linha(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。

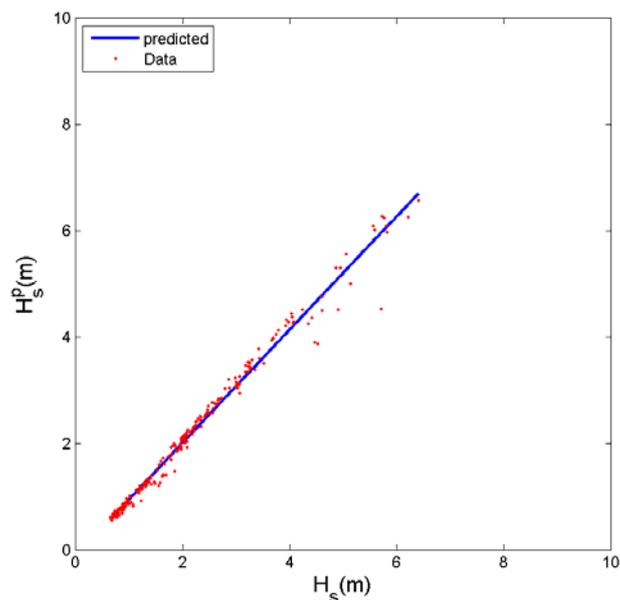


圖 3.3-32 颱風期間水位波譜所得 H_s 與壓力波譜所得 H_s^p 之比較

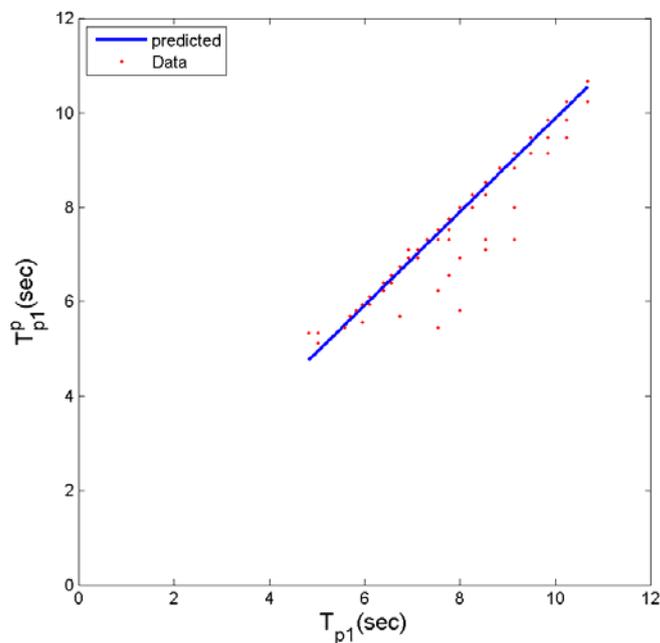


圖 3.3-33 颱風期間水位波譜所得 T_{p1} 與壓力波譜所得 T_{p1}^p 之比較

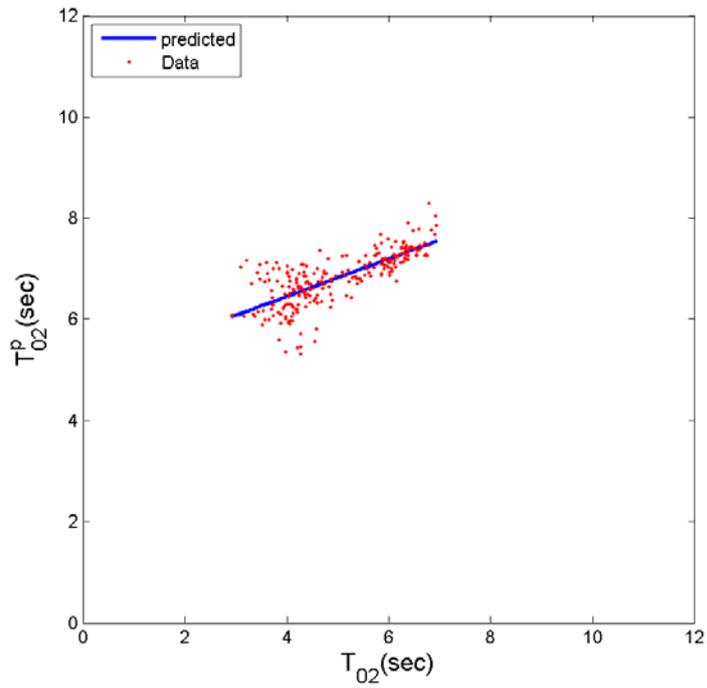


圖 3.3-34 颱風期間水位波譜所得 T_{02} 與壓力波譜所得 T_{02}^p 之比較

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 高雄港颱風波浪推算

4.1 湯(1970)和井島(1972)之颱風波浪推算方式

常見之半經驗颱風波浪推算模式 Bretschneider 參數法(1958)、井島(1972)之追蹤法、湯(1970)之移動風域數值推算法及梁(1993)之颱風湧浪預報法等。湯(1970)鑑於 Wilson 之方法只能推算深海風浪，不能直接推算海岸前之波浪狀況，故綜合 Wilson 及 Bretschneider 等經驗公式，配合淺海中之風浪關係、海底摩擦之影響、湧浪之推算方式及碎波後波浪之計算，提出移動風域數值推算模式，而本計畫使用之定點颱風波浪推算半經驗模式即是依據上述原理建立並加以改善而成，其基本原理詳述如下：

1. 波向與風向之關係

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

$$H_\theta = H \cos \theta \quad (4.1-1)$$

式中 H 為前一推算點之波高， θ 為新風向與原風向之夾角。

2. 風與風浪之關係

(1) 深海波浪

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

$$\frac{gH}{U^2} = \alpha \tanh \left[k_1 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{1/2} \right] \quad (4.1-2)$$

$$\frac{gT}{2\pi U} = \beta \tanh \left[k_2 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{1/3} \right] \quad (4.1-3)$$

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

(2) 淺海波浪

當波浪進入淺水區後，依風、浪、水深間之關係為(湯，1968)

$$\frac{gH}{U^2} = \alpha \tanh \left[k_3 \left(\frac{gD}{U^2} \right)^{3/4} \right] \tanh \left\{ \frac{k_1 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{1/2}}{\tanh \left[k_3 \left(\frac{gD}{U^2} \right)^{3/4} \right]} \right\} \quad (4.1-4)$$

$$\frac{gT}{2\pi U} = \beta \tanh \left[k_4 \left(\frac{gD}{U^2} \right)^{3/8} \right] \tanh \left\{ \frac{k_2 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{1/3}}{\tanh \left[k_4 \left(\frac{gD}{U^2} \right)^{3/8} \right]} \right\} \quad (4.1-5)$$

式中 D 表示水深，常數 $k_3=0.578$ ， $k_4=0.520$ 。當 $D \rightarrow \infty$ 時，式(4.1-4)及(4.1-5)可簡化為式(4.1-2)及(4.1-3)。

3. 湧浪之計算

當風向改變角度 θ 大於 60° 或風浪獲得能量較損失者為小時，均視為湧浪，其波高及週期與風浪之關係依據 Bretschneider 之湧浪研究結果可表示如式(4.1-6)和(4.1-7)所示

$$\frac{H_f}{H_d} = \cosh \left\{ 0.66 \left(\frac{F}{H_f} \right)^{0.06} \left(\frac{D}{F} \right)^{0.25} \tanh \left[3 \left(\frac{D}{F} \right)^{0.3} \right] \right\} \quad (4.1-6)$$

$$\frac{T_d}{T_f} = \cosh \left\{ 1.74 \left(\frac{2\pi F}{gT_f^2} \right)^{-0.05} \left(\frac{D}{F} \right)^{0.2} \tanh \left[1.02 \left(\frac{2\pi F}{gT_f^2} \right)^{-0.04} \left(\frac{D}{F} \right)^{0.32} \right] \right\} \quad (4.1-7)$$

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

4. 波浪之能量傳遞速度

當波浪隨風向進行或轉變成湧浪後，其能量傳遞速度均以波浪群速度表示之。

5. 氣象條件與風速之關係

颱風風速由兩種風速分量合成

$$\bar{u} = \bar{u}_1 + \bar{u}_2 \quad (4.1-8)$$

其中， \bar{u}_1 為低氣壓及地球自轉角速度所引起之風速， \bar{u}_2 則為颱風移動時帶動其周圍氣流所產生之風速， \bar{u}_1 及 \bar{u}_2 之大小可由式(4.1-9)和(4.1-10)計算

$$u_1 = c_1 \sqrt{\frac{\Delta P r_0}{\rho_a r} e^{-\frac{r_0}{r}} + \left(\frac{fr}{2}\right)^2} - \frac{fr}{2} \quad (4.1-9)$$

$$u_2 = c_2 \frac{\sqrt{\frac{\Delta P r_0}{\rho_a r} e^{-\frac{r_0}{r}} + \left(\frac{fr}{2}\right)^2} - \frac{fr}{2}}{\sqrt{\frac{\Delta P}{\rho_a e} + \left(\frac{fr_0}{2}\right)^2} - \frac{fr_0}{2}} \quad (4.1-10)$$

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

$$P(r) = P_c + \Delta P e^{-\frac{r_0}{r}} \quad (4.1-11)$$

6. 模擬範圍

湯(1970)和井島(1972)採用矩型格網方式計算，模擬範圍的邊界南至北緯 18°、北至北緯 28°、西至東經 116°、東至東經 126°，地形格網的解析精度為 0.1°×0.1° (約為 10×10 公里)，示如圖 4.1-1。圖中方框為目標推算區，該推算區大小為 0.4°×0.4° (約為 40×40 公里)，設定方式是以目標推算點為中心，東西南北各 0.2°來設定其邊界。湯(1970)和井島(1972)採用波浪追蹤法，該方法為計算所有模擬範圍內的波浪傳遞情形，當波浪傳遞至目標推算區的邊界時即記錄該波浪的大小及方向，如此重複計算至所有時刻皆完成，然此種方式受到颱風路徑的影響很大，因此並無法推算出每場颱風的波浪狀況。

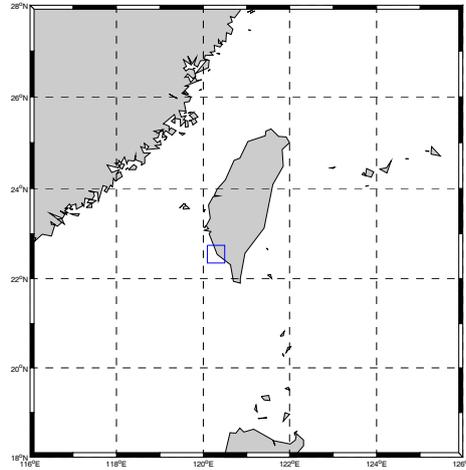


圖 4.1-1 湯(1970)和井島(1972)推算模式模擬範圍

4.2 MIKE 21 SW 之颱風波浪推算方式

4.2.1 風浪模式

本計畫採用 DHI 所研發之 MIKE 21 SW 模式進行颱風波浪之波場模擬，該模式係模擬波浪在各種外力作用下之波能變化，其求解之方程式為波浪作用力守恆方程式(Wave action conservation equation)，此方程式為二維時變域之偏微分方程式，表示如下：

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{v}N) = \frac{S}{\sigma} \quad (4.2-1)$$

其中， $N(\bar{x}, \sigma, \theta, t)$ 為波力頻譜密度函數(wave action density function)，與波能頻譜密度函數(wave energy density function)之關係為 $N=E/\sigma$ ； $\bar{x}=(x, y)$ 為卡氏坐標； t 為時間； σ 為角頻率；而 θ 則為波向角。 $\bar{v}=(c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta)$ 為一個 4 維空間的向量， $(c_x, c_y)=d\bar{x}/dt=\bar{c}_g+\bar{U}$ ，代表群波在空間上的傳遞速度，其中 \bar{c}_g 為群波速度，而 \bar{U} 則為海流之流速，模式可考量波浪在海流流動狀況下之傳遞情形。 $c_\sigma=d\sigma/dt$ ，代表角頻率 σ 之變化速度。 $c_\theta=d\theta/dt$ ，代表波向角 θ 之變化速度。

$\nabla=(\partial/\partial x, \partial/\partial y, \partial/\partial \sigma, \partial/\partial \theta)$ 為一個 4 維空間的向量運算子， S 則為源項(Source term)，代表波浪傳遞過程時可能發生之波浪能量成長、消散及非線性交互作用等物理現象，表示如下：

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} + S_{surf} \quad (4.2-2)$$

其中， S_{in} 為風浪之成長項， S_{nl} 為波與波非線性交互作用項， S_{ds} 為白沫消散項， S_{bot} 為底床摩擦項，而 S_{surf} 則為碎波消耗項。

MIKE 21 SW 模式係以有限體積法(Finite Volume Method)將控制方程式在空間上進行離散，所採用之格網系統為非結構性三角形格網系統，每一個三角形都代表一個元素，每一時間步均可解出各元素中心的 N 值。在時間上之離散，則採用等間隔時間步之有限差分法(Finite Difference Method)，所採用之差分方法為一階上風法。

MIKE 21 SW 模式在邊界條件方面之處理，主要分為陸地邊界與開放邊界等兩部分。陸地邊界為水與陸地交界之處，模式在邊界條件之處理上係設定為吸收邊界；而開放邊界，若有觀測資料，則可給定波力頻譜做為邊界條件，但絕大多數情況下均無觀測資料可提供，一般亦給定吸收邊界。

4.2.2 風場模式

本計畫將採用 2 種風場模式進行颱風波浪推算，2 種風場模式分別為 NCEP 風場和 RVM 模型颱風模式，依照往昔研究成果顯示，NCEP 風場為考慮海平面氣候變化而分析得之風場資料，對於季節風的模擬效果較佳，但 NCEP 風場資料之解析度過大，應用在颱風時則有低估的現象。RVM 模型颱風模式 (Rankin-Vortex Model) 係以中心氣壓模擬颱風風場架構，但忽略了颱風移動受地形阻隔之影響，故應用 RVM 模型颱風模式進行台灣沿海地區之波浪推算，其推算結果將受到颱風移動路徑而有所影響。

1.NCEP 風場

NCEP 風場資料係由美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)與國家大氣研究中心(National Centers for Atmospheric Research, NCAR)在西元 1989 年開始合作發展氣候資料再分析計畫(NCEP/NCAR Reanalysis Project)，此計畫之目標為利用西元 1948 年至今之舊有氣候觀測資料重新進行分析，並發展一氣候資料同化系統(Climote data assimilation system, CDAS)用來分析現今之大氣情況。此系統納入了許多不同類型之觀測資料結果，包括地面觀測、船艦觀測、飛機觀測、無線電探空觀測、衛星觀測等，再經過數據品質(QC)步驟，集成為此氣候資料同化系統，目前已有氣象組織利用此系統分析資料進行真實氣象預報。

NCEP/NCAR Reanalysis Project 提供資料自 1948 年迄今，資料時距包含每日 6 小時、單日及單月為一報之資料，資料項目有氣溫、地表溫度、地中溫度、氣壓、濕度、風速等，提供方式可以經由網路下載(<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>)。本計畫擬採用 NCEP 每日 6 小時且為海平面上 10m 處之 u 、 v 向風速資料，資料範圍包含緯度 $88.542^{\circ} \sim -88.542^{\circ}$ 、經度 $0^{\circ} \sim 358.125^{\circ}$ ，風場資料解析格網為 $1.875^{\circ} \times 1.875^{\circ}$ 。

2.RVM 模型颱風模式

本計畫考量颱風波浪之最主要驅動力為颱風風力，而颱風風力之生成，則來自於颱風中心之低氣壓與外界之壓力差及地球之自轉。在資料齊全的條件下，風場可由氣壓分佈推算而得。然而，在絕大多數情形下，氣壓分佈資料取得不易，由氣壓分佈資料去產生風場較為困難。一般而言，當颱風成形後，因其內部氣壓低導致環繞周圍的空氣由外邊高壓處向低壓的氣旋中心流動，因海面上颱風中心附近之氣壓分佈具有對稱性，故熱帶氣旋所造成之風場可利用風場模式推算之，本計畫採用 RVM 模型颱風模式進行風場模擬，以提供 SW 模式計算所需之風場輸入條件。有關 RVM 模型颱風模式之理論說明如下：

$$V_r = \begin{cases} V_{\max} (R/R_m)^7 \exp(7(1-R/R_m)) & \text{for } R < R_m \\ V_{\max} \exp((0.0025R_m + 0.05)(1-R/R_m)) & \text{for } R \geq R_m \end{cases} \quad (4.2-3)$$

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

$$R_m = 28.52 \tanh(0.0873(\phi - 28)) + 12.22 / \exp((P_\infty - P_c) / 33.86) + 0.2V_f + 37.22 \quad (4.2-4)$$

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

$$V_t = 0.5 V_f \cos \varphi \quad (4.2-5)$$

其中， V_f 為颱風中心前進速度，而 φ 為至颱風中心連線與最大風速連線兩條線之間的夾角。其相互關係如圖 4.2-1 所示。颱風中心前進方向與最大風速連線之間夾角約 115 度，而風速總和 V 則為 $V_r + V_t$ 。

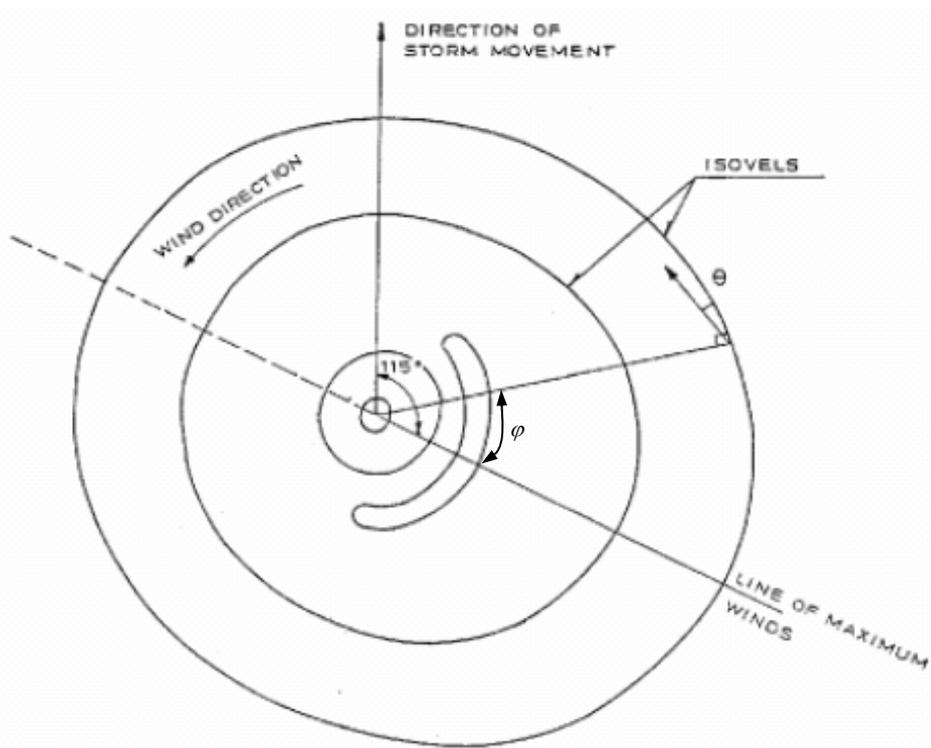


圖 4.2-1 氣旋中心附近風速風向分布示意圖

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

$$\theta = \begin{cases} 10^\circ & \text{for } 0 < R \leq R_m \\ 10^\circ + 15^\circ(R - R_m)/(0.2R_m) & \text{for } R_m < R \leq 1.2R_m \\ 25^\circ & \text{for } 1.2R_m < R \end{cases} \quad (4.2-6)$$

由以上之說明可知，利用 RVM 模型颱風模式計算風場，颱風中心前進速度與方向、中心氣壓 P_c 及近中心最大風速 V_{max} ，可由颱風記錄直接輸入。

4.2.3 數值模擬條件

1. 地形

本計畫採用的地形資料主要利用 National Geophysical Data Center) 發布之全球高程資料 ETOPO2v2 (2006)。該地形資料範圍包含東經 180°~西經 180°、北緯 89.967°~南緯 90°，地形格網的解析精度

為 2'x2'(約為 4x4 公里)，本計畫採用非結構型三角格網方式計算，模擬範圍的邊界南約至北緯 13°、北約至北緯 31°、西約至東經 111°、東約至東經 135°，範圍涵蓋至大陸、台灣及菲律賓群島，共計 1,173 個節點、2,147 個元素。為了於計畫區獲得較高精度的模擬結果，鄰近臺灣海域之海岸線以較密的格網分佈，而離計畫區較遠之外海則以較粗的格網分佈。圖 4.2-2 為計畫範圍之水深分布圖，其乃利用前述 NGDC ETOPO2v2 全球高程資料內插而得，水深最深約達-7,300 公尺。

2. 模式參數設定

本計畫進行 MIKE 21 SW 模式颱風波浪推算所設定之相關參數如表 2.2-1 所示。在頻率領域方面，最小頻率採 0.055Hz，並以 1.1 倍參數的指數型式分割成 25 個頻率帶，相當於週期 1.85~18.18 秒。在角度領域方面，以 22.5°為 1 個角度單位，共計分割成 16 個方向角，計算時距以 15 分鐘進行計算。風浪能量消散機制則考量 4 個波波非線性交互作用、碎波效應、底床摩擦、白沫消散等物理機制。計算範圍的邊界條件共分成二種邊界形式，一為陸域邊界，其不考慮入射波浪的能量通量；另一為海域邊界，其考慮波浪通過此邊界時完全被吸收。

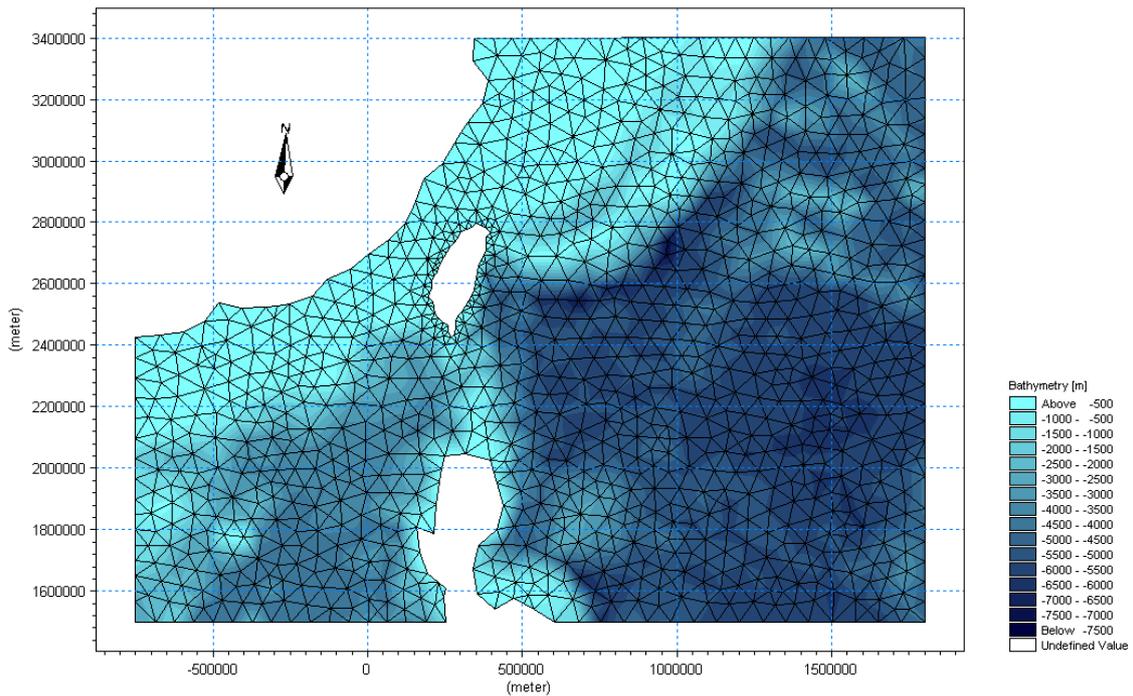


圖 4.2-2 計算範圍水深分布圖

表 4.2-1 MIKE 21 SW 模式參數設定彙整表

相關參數	設 定
頻率領域	$0.055\text{Hz} \sim 0.542\text{Hz}$
角度領域	$0^\circ \sim 360^\circ$ 、 $\Delta\theta=22.5^\circ$
時 距	$\Delta t=15\text{min}$
碎波指標	$\gamma=0.8$
底床摩擦	$k_N=0.04m$
白沫消散	$C_{ds}=4.5$ 、 $\delta_{ds}=0.5$

4.3 聯合 MIKE 21 SW 及類神經網路之颱風波浪推算方式

4.3.1 類神經網路

類神經網路具備著一些優良的特性其中包括(1)高速的計算能力(2)自我學習能力(3)高容量的記憶力(4)容錯的能力。

人工神經元輸出值與輸入值的關係式，可以表示如下：

$$Y_i = f\left(\sum_j W_{ij} X_j - \theta_i\right) \quad (4.3-1)$$

其中， Y_i 為人工神經元模型的輸出訊號； f 為人工神經元模型的轉換函數(transfer function)，將人工神經元的輸出，經由轉換函數處理後，得到輸出訊號； W_{ij} 為人工神經元模型連結加權值； X_j 為人工神經元模型的輸入訊號； θ_i 為人工神經元模型的閾值。

本研究使用 MATLAB 類神經網路軟體，選擇其中的工具程式庫之倒傳遞網路作為颱風推算的工具。倒傳遞類神經網路(back-propagation neural network, 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

$$net_1 = \sum_i W_{1i} X_i - \theta_1 \quad (4.3-2)$$

$$Z = f(net_1) = \frac{e^{net_1} - e^{-net_1}}{e^{net_1} + e^{-net_1}} \quad (4.3-3)$$

$$net_2 = \sum_j W_{2j} X_j - \theta_2 \quad (4.3-4)$$

$$Y = f(net_2) = \frac{e^{net_2} - e^{-net_2}}{e^{net_2} + e^{-net_2}} \quad (4.3-5)$$

2. 計算隱藏層差距量 δ_1 與輸出層差距量 δ_2

$$\delta_1 = Z(1-Z)\sum_j (W_{2j}\delta_j) \quad (4.3-6)$$

$$\delta_2 = (1+Y)(1-Y)(Z-Y) \quad (4.3-7)$$

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：

$$E = \frac{1}{2} \sum_j (T_j - Y_j)^2 \quad (4.3-8)$$

此時加權值的修正量可表示為：

$$\Delta W = -\eta \cdot \frac{\partial E}{\partial W} \quad (4.3-9)$$

$$\frac{\partial E}{\partial W_{ij}} = -\delta_j^n A_i^{n-1} \quad (4.3-10)$$

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 的更新：

$$W_1 = W_1 + \Delta W_1 \quad (4.3-11)$$

$$\theta_1 = \theta_1 + \Delta \theta_1 \quad (4.3-12)$$

$$W_2 = W_2 + \Delta W_2 \quad (4.3-13)$$

$$\theta_2 = \theta_2 + \Delta \theta_2 \quad (4.3-14)$$

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。

4.3.2 類神經網路模式架構

類神經網路模式採用倒傳遞類神經網路架構(Backpropagation Neural Network, BPNN)，關於倒傳遞神經網路的理論與演算詳見 Eberhar and Dobbins (1990)的說明與推導。倒傳遞類神經網路對於線性及非線性函數有良好的模擬能力，而類神經網路在適當的結構組織下能夠模擬有限範圍的隨機函數，也就是類神經結構擁有極佳的記憶能力，模擬能力的好壞受限制於學習資料的完整性及類神經網路結構。

倒傳遞類神經網路藉由學習資料與模擬結果的誤差修正各個加權值，同時藉由學習的過程建構正確的輸入參數與輸出值間的關係。對於具有一個隱藏層的倒傳遞類神經網路通常表示為：

$$O_{P \times 1} = f(W_{S \times R} I_{R \times 1} + b_{S \times 1}) \quad (4.3-15)$$

其中 $O_{P \times 1}$ 為神經網路具有 P 個向量的輸出矩陣， f 為轉移函數， $I_{R \times 1}$ 為具有 R 個向量的輸入矩陣， $W_{S \times R}$ 為具有 S 個神經元的神經網路權重矩陣， $b_{S \times 1}$ 為網路偏權值矩陣。式(4.3-15)簡單的表示方法為 ” $S-P$ ”，所以一個具有 2 個隱藏層神經元的個數分別為 10 及 20，且一個輸出單元時，簡單的表示法為 1-10-20-1。

在使用倒傳遞網路的第一步就是必須決定隱藏層的層數，以確定網路的大小，方能建構一個好的模式。在許多理論研究的結果與工程領域的模擬應用上都顯示，隱藏層的層數不需要超過 2 層以上，至於 1 層隱藏層比較好還是 2 層比較好，則在不同的研究或問題中有不同的結論(Chester, 1990; Hayashi 等, 1990; Kurkova, 1992; Hush 和 Horne, 1993)，一般使用 1 層隱藏層的網路架構就已經足以描述大部分問題的特性或訓練範例資料。

建置類神經網路架構包括輸入層、隱藏層及輸出層，輸入層與輸出層都可以由問題本身決定，系統的控制因子或影響因子決定輸入層

的神經元個數，系統的預測變數決定輸出層的神經元個數。輸入項資料必須經過前處理，將資料正規化至-1 到 1 的範圍間，如此搜尋過程中較不易產生權重發散，造成無限大或負無限大的值出現，且經過處理後的資料，可以讓權重調整速率相近，亦可以將極端事件考慮進去。當決定隱藏層的層數後，各隱藏層神經元個數的多寡對網路有相當大的影響，過少的神經元個數無法建構適當的函數來描述問題，過多的神經元個數則造成參數自由度過高，進而對訓練範例過度學習，甚至隱含了雜訊的描述，而失去歸納推演的能力。確定隱藏層神經元個數的方法可採用 Huang 和 Foo (2002)提出的經驗公式

$$h = 2z + 1 \quad (4.3-16)$$

其中， z 為輸入層的神經元個數， h 為隱藏層神經元個數。

網路中靠相關權重連結各層間之神經元，輸入值由輸入層直接傳入隱藏層，經加權累加後再透過轉移函數轉換可得一輸出值，同理再傳入輸出層。常使用的轉移函數形式如正切雙彎曲函數：

$$f(x) = \tanh(x) \quad (4.3-17)$$

本計畫所建構的類神經網路主要在修正 MIKE 21 SW 之颱風波浪推算結果，使其能更接近觀測值，考量 NCEP 風場及 RVM 模型颱風風場各有其優點，使用 NCEP 風場的颱風波浪推算結果在颱風尚未接近臺灣及颱風遠離臺灣時與觀測值較一致，而在颱風接近臺灣時則採用 RVM 模型颱風風場的颱風波浪推算結果與觀測值較一致，因此，本計畫類神經網路的輸入層採用波浪觀測站位置之 NCEP 風場的 V_{10} 、RVM 模型颱風風場的 V_{10} 、使用 NCEP 風場的颱風波浪推算結果 H_s 及使用 RVM 模型颱風風場的颱風波浪推算結果 H_s ，共 4 個神經元。隱藏層採用 1 層，並依照式(4.3-16)可得隱藏層的神經元個數為 9，轉移函數採用式(4.3-17)的正切雙彎曲函數。輸出層則為觀測值的 H_s ，神經元個數為 1，轉移函數採用線性函數。由上述說明可知，本計畫建立的類神經網路模式架構為 4-9-1，其整體概念如圖 4.3-1 所示。

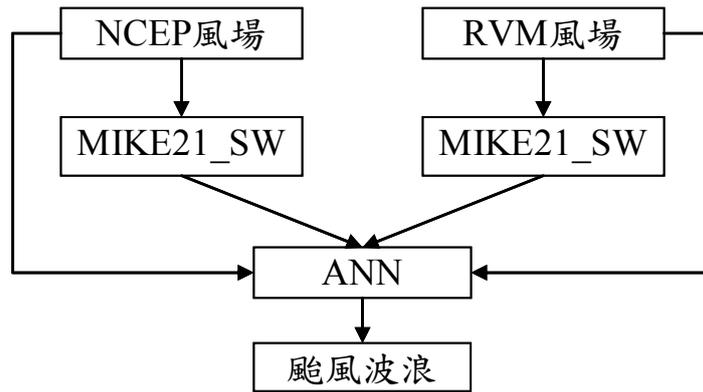


圖 4.3-1 類神經網路模式架構整體概念

4.4 模式推算能力比較

4.4.1 颱風波浪資料分析

高雄港現場觀測站於 2000 年 12 月開始監測，原位於高雄市中洲污水處理廠附近海域，該測站於 2005 年 8 月移至高雄港第 2 港口附近水深-18m 處，該測站經緯度為 $(22^{\circ}32'30"N, 120^{\circ}17'40"E)$ ，其相關位置如圖 4.4-1 所示，儀器則採用挪威 NORTEK 公司之剖面海流與表面波浪(波高、週期及波向)即時傳送監測系統(簡稱 AWCP)。颱風氣象資料的來源取自中央氣象局及 RSMC-Tokyo Center，颱風的名稱與發生時間採用 RSMC-Tokyo Center 發佈的資料為準，時間格式統一以臺灣時間表示。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。依據中央氣象局公布 2001 年至 2008 年侵台颱風共有 56 場，颱風波浪實測資料如表 4.4-1 所示，其中標示 X 表示測站損壞未觀測到颱風波浪。類神經網路模式經過學習訓練的過程後，必須對模式學習訓練的結果進行檢核，以驗證模式的推算能力與品質，因此，本計畫剔除未觀測到實測波浪及部分實測記錄較差的颱風，依照資料特性選取 19 場颱風作為類神經網路的學習資料，6 場颱風作為測試資料，如表 4.4-2 所示。

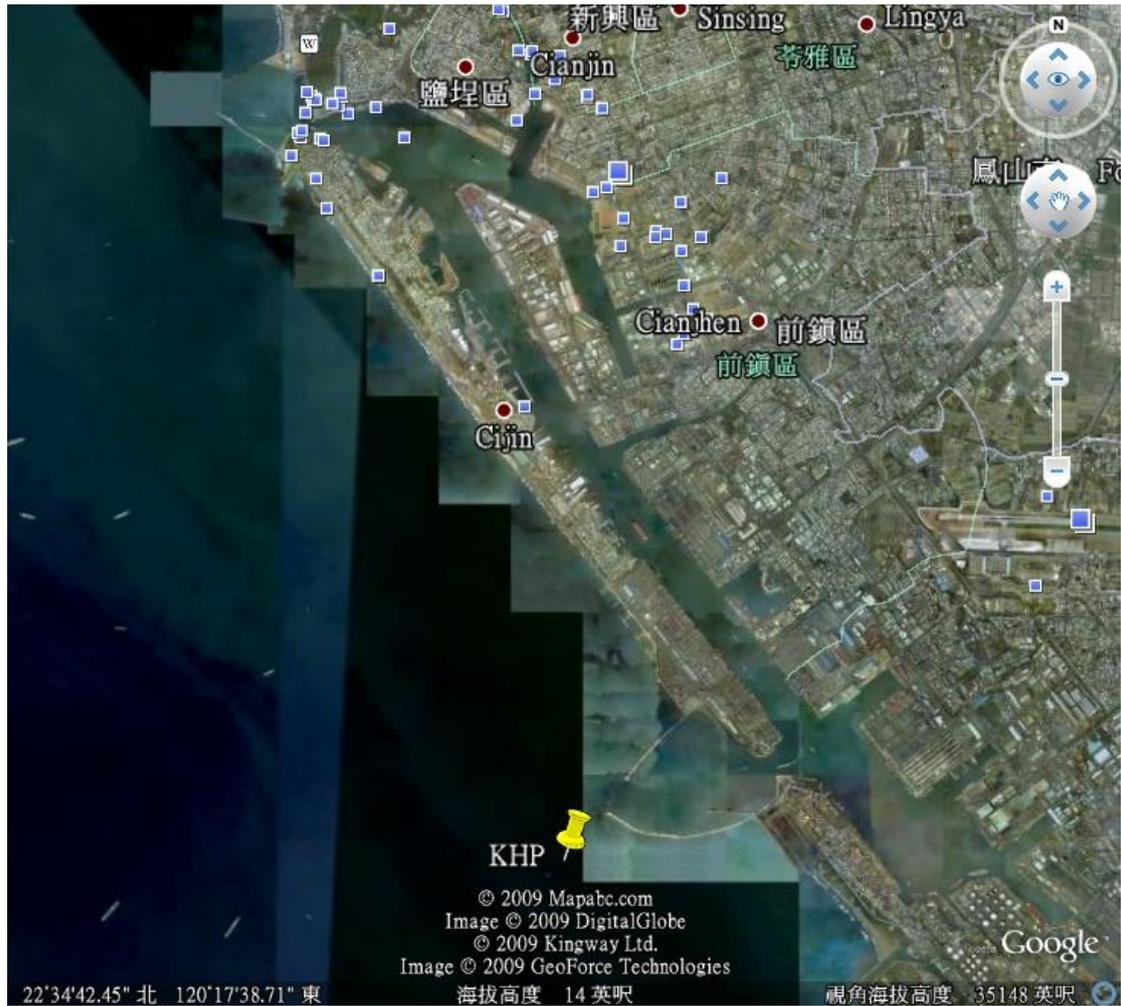


圖 4.4-1 高雄港測站位置圖

表 4.4-1 颱風波浪實測資料

年份	颱風中文名稱	颱風英文名稱	颱風資料時段 (UTC+8)(mmdd.hh)	是否有觀測資料	觀測最大波高(m)
2008	薔蜜	Jangmi	0924.08-1005.08	O	3.51
	哈格比	Hagupit	0917.20-0926.02	O	3.53
	辛樂克	Sinlaku	0908.08-0923.20	O	3.53
	如麗	Nuri	0817.14-0823.08	O	6.12
	鳳凰	Fungwong	0724.08-0801.02	O	5.27
	卡玫基	Kalmaegi	0713.14-0724.14	O	3.05
2007	米塔	Mitag	1120.02-1127.20	O	1.83
	柯羅莎	Krosa	1001.14-1014.08	O	4.18
	韋帕	Wipha	0915.08-0920.20	O	1.98
	聖帕	Sepat	0812.08-0824.14	X	-

	梧提	Wutip	0806.20-0809.02	O	2.51
	帕布	Pabuk	0805.02-0815.14	X	-
2006	珊珊	Shanshan	0909.08-0920.02	X	-
	寶發	Bopha	0805.14-0811.08	X	-
	桑美	Saomai	0805.08-0812.02	X	-
	凱米	Kaemi	0718.02-0727.08	X	-
	碧利斯	Bilis	0708.14-0717.02	X	-
	艾維尼	Ewiniar	0629.14-0713.02	X	-
	珍珠	Chanchu	0508.14-0519.20	X	-
2005	龍王	Longwang	0925.14-1003.14	O	2.79
	丹瑞	Damrey	0919.14-0928.14	O	3.84
	卡努	Khanun	0905.08-0913.20	O	1.09
	泰利	Talim	0826.02-0903.02	O	4.94
	珊瑚	Sanvu	0810.02-0815.02	O	4.75
	馬莎	Matsa	0730.20-0809.14	O	3.13
	海棠	Haitang	0711.02-0721.20	O	6.46
2004	南瑪都	Nanmadol	1128.08-1204.14	O	4.06
	納坦	Nockten	1014.08-1027.08	O	1.88
	米雷	Meari	0919.08-1003.02	X	-
	海馬	Haima	0911.02-0919.14	O	3.08
	艾利	Aere	0818.08-0831.08	O	3.09
	蘭寧	Rananim	0806.08-0815.14	O	2.32
	康柏斯	Kompasu	0711.14-0716.20	O	1.58
	敏督利	Mindulle	0622.02-0706.02	O	4.94
	康森	Conson	0605.02-0615.02	O	2.13
2003	米勒	Melor	1029.08-1106.08	O	1.42
	杜鵑	Dujuan	0828.02-0903.08	X	-
	柯羅旺	Krovanh	0814.02-0826.20	O	3.57
	梵高	Vamco	0818.14-0820.08	O	1.18
	莫拉克	Morakot	0801.02-0804.20	O	3.21
	尹布都	Imbudo	0715.08-0725.20	O	4.16
	蘇迪勒	Soudelor	0612.08-0624.08	O	2.16
	南卡	Nangka	0530.08-0607.20	O	2.57
	柯吉拉	Kujira	0409.08-0425.14	X	-
2002	辛樂克	Sinlaku	0827.20-0909.08	O	0.91
	娜克莉	Nakri	0708.02-0713.20	O	3.74
	雷馬遜	Rammasun	0628.08-0708.02	O	1.97
2001	海燕	Haiyan	1012.02-1019.02	X	-
	利奇馬	Lekima	0922.08-0930.14	O	3.77
	納莉	Nari	0905.08-0921.08	X	-

	桃芝	Toraji	0725.14-0803.02	X	-
	玉兔	Yutu	0723.02-0726.14	X	-
	潭美	Trami	0708.08-0711.20	X	-
	尤特	Utor	0701.14-0707.08	X	-
	奇比	Chebi	0620.02-0626.02	O	7.95
	西馬隆	Cimaron	0509.20-0515.20	O	0.87

表 4.4-2 類神經網路學習及測試颱風波浪資料

	颱風資料(2001-2008)	個數
學習資料	2008_Jangmi、2008_Hagupit、2008_Sinlaku、2008_Nuri、 2007_Mitag、2007_Wipha、2005_Damrey、2005_Sanvu、 2005_Haitang、2004_Nanmadol、2004_Aere、2004_Rananim、 2004_Kompasu、2004_Conson、2003_Krovanh、 2003_Morakot、2003_Imbudo、2001_Chebi、2001_Cimaron	19
測試資料	2008_Fungwong、2008_Kalmaegi、2007_Krosa、2005_Talim、 2004_Mindulle、2002_Nakri	6

4.4.2 各模式推算結果

1. 模式評估指標

本計畫採用 3 種颱風波浪推算方式分別為湯(1970)和井島(1972)、MIKE 21 SW 與聯合 MIKE 21 SW 及類神經網路，為瞭解各模式推算值與觀測值的吻合程度，將採用 4 個指標來評估各模式推算結果的優劣，分別為相關係數(R, correlation coefficient)、均方根誤差(RMSE, root mean squared error)、颱風波浪最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 及最大波高發生時間誤差 Δt_p 。

$$R = \frac{\sum_m \sum_n ((H_{s,obs})_{mn} - \bar{H}_{s,obs}) ((H_{s,num})_{mn} - \bar{H}_{s,num})}{\sqrt{\left(\sum_m \sum_n ((H_{s,obs})_{mn} - \bar{H}_{s,obs})^2 \right) \left(\sum_m \sum_n ((H_{s,num})_{mn} - \bar{H}_{s,num})^2 \right)}} \quad (4.4-1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{mn} \sum_m \sum_n ((H_{s,obs})_{mn} - (H_{s,num})_{mn})^2} \quad (4.4-2)$$

$$\Delta H_{s,p} = MAX(H_{s,num}) - MAX(H_{s,obs}) \quad (4.4-3)$$

$$\Delta t_p = t_{p,num} - t_{p,obs} \quad (4.4-4)$$

其中 $H_{s,num}$ 為模式推算颱風波浪示性波高； $H_{s,obs}$ 為測站實測颱風波浪示性波高； $t_{p,num}$ 為模式推算颱風波浪示性波高最大值發生時間； $t_{p,obs}$ 為測站實測颱風波浪示性波高最大值發生時間。由式(4.4-3)可知，若 $\Delta H_{s,p}$ 為正值，表示模式推算的示性波高過於高估，若為負值則表示低估，由式(4.4-4)可知，若 Δt_p 為正值，表示模式推算的示性波高最大值發生時間較實測晚，若為負值則表示較實測早。

2. 示性波高的時序列比較

圖 4.4-2 為表 4.4-2 中測試資料的 6 場颱風時序列比較圖，圖中實心圓點為觀測值，細實線為 MIKE 21 SW 採用 NCEP 風場的推算結果，粗實線為聯合 MIKE 21 SW 及類神經網路的推算結果，細虛線為湯(1970)和井島(1972)的推算結果，由圖中可知，湯(1970)和井島(1972)的推算模式有 2 場颱風無法推算，分別為 2008_Kalmaegi 和 2002_Nakri，而其餘 4 場颱風的推算結果並無法完整描述颱風從生成至結束後的狀況。MIKE 21 SW 採用 NCEP 風場與聯合 MIKE 21 SW 及類神經網路的推算結果在颱風尚未接近臺灣及遠離臺灣時，趨勢和觀測值非常一致，然在颱風接近臺灣時，聯合 MIKE 21 SW 及類神經網路的推算結果則較接近於觀測值。

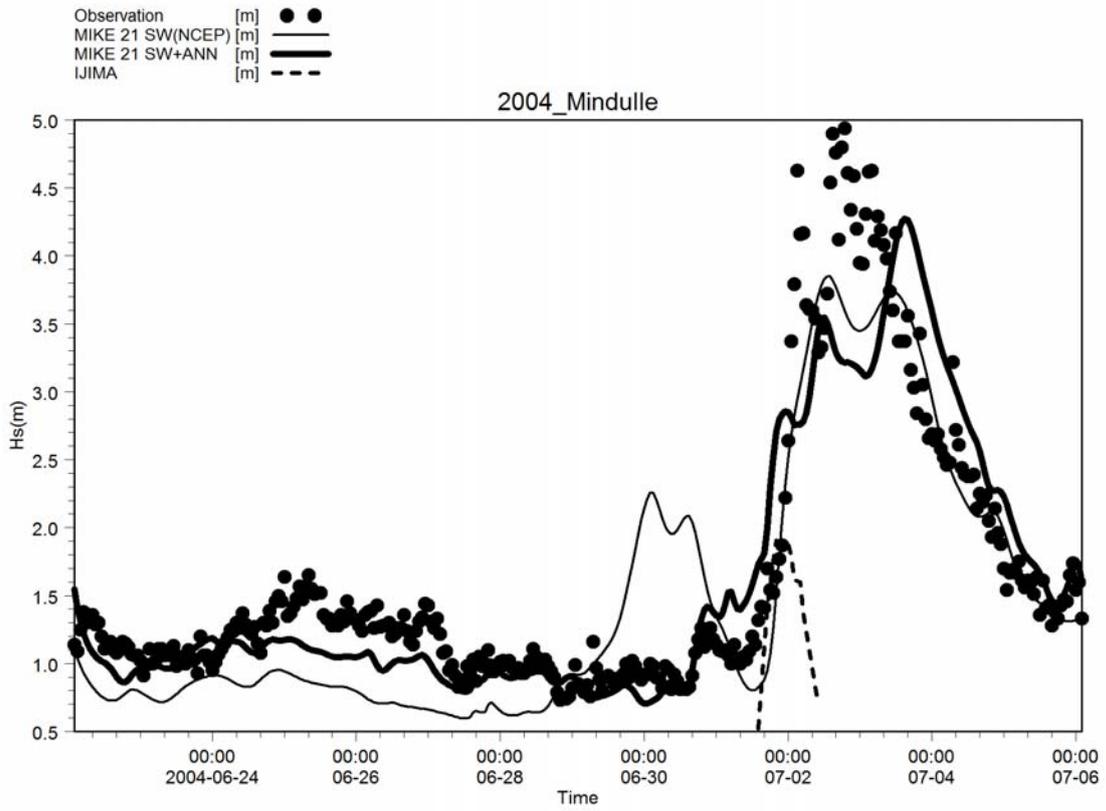
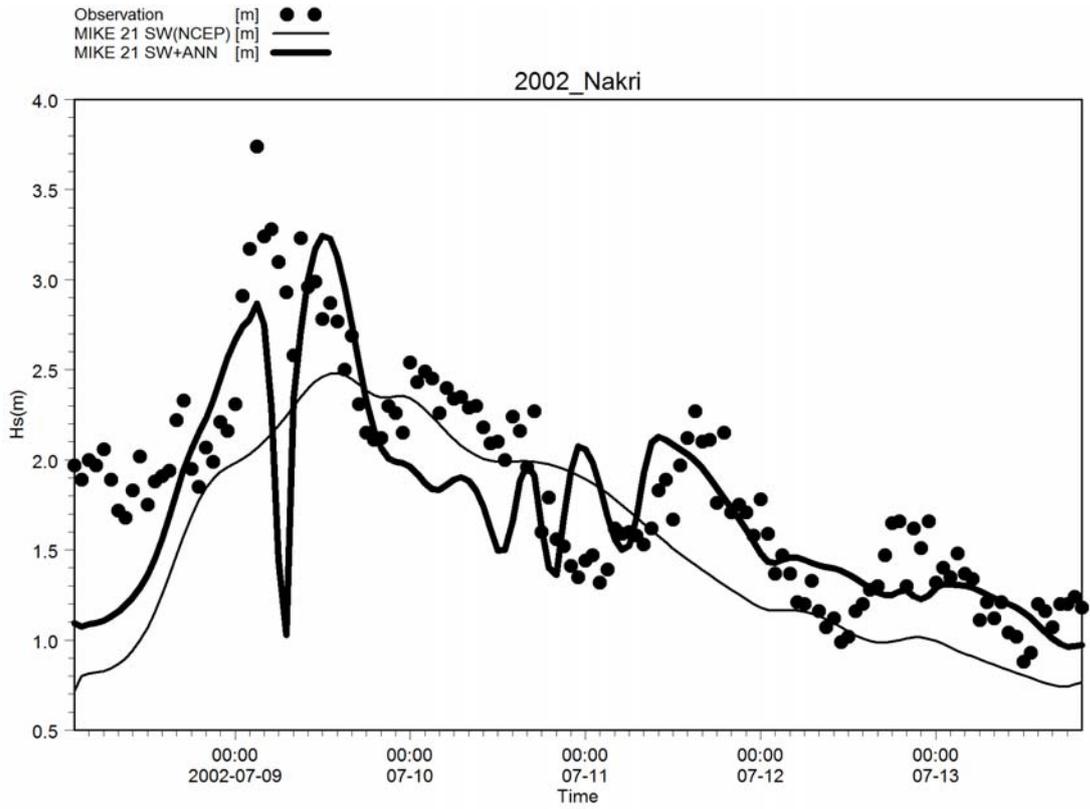


圖 4.4-2 示性波高時序列比較

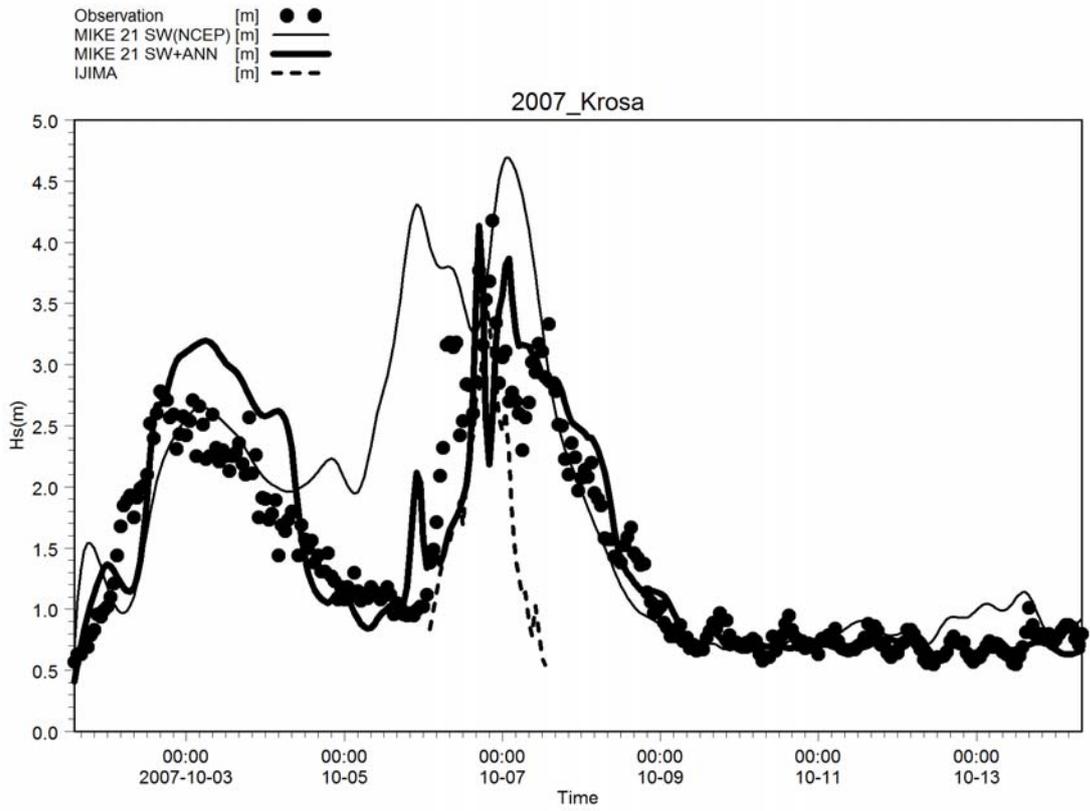
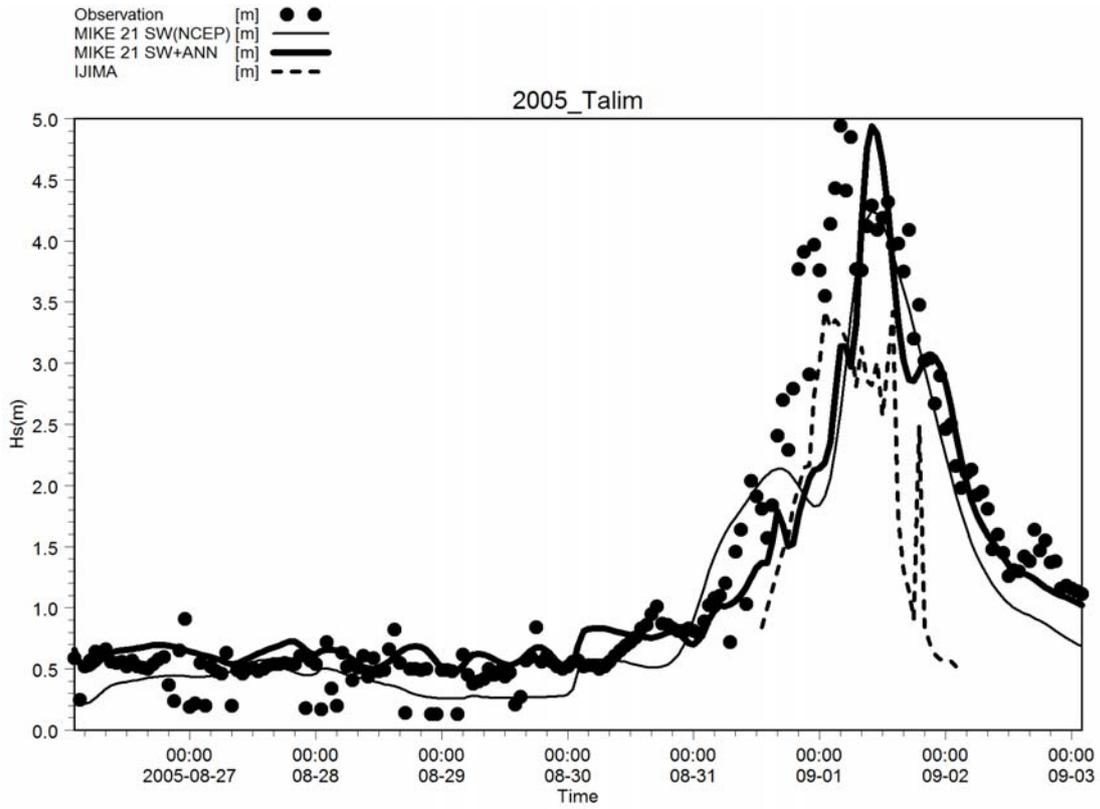


圖 4.4-2 示性波高時序列比較(續 1)

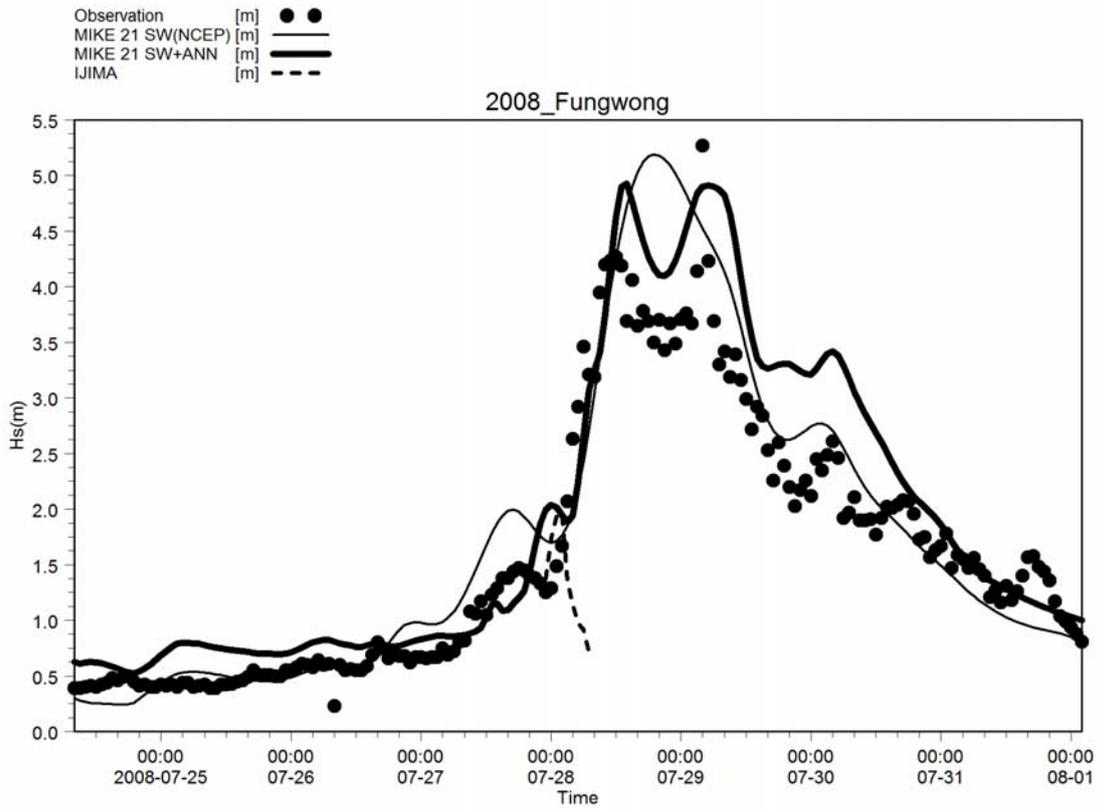
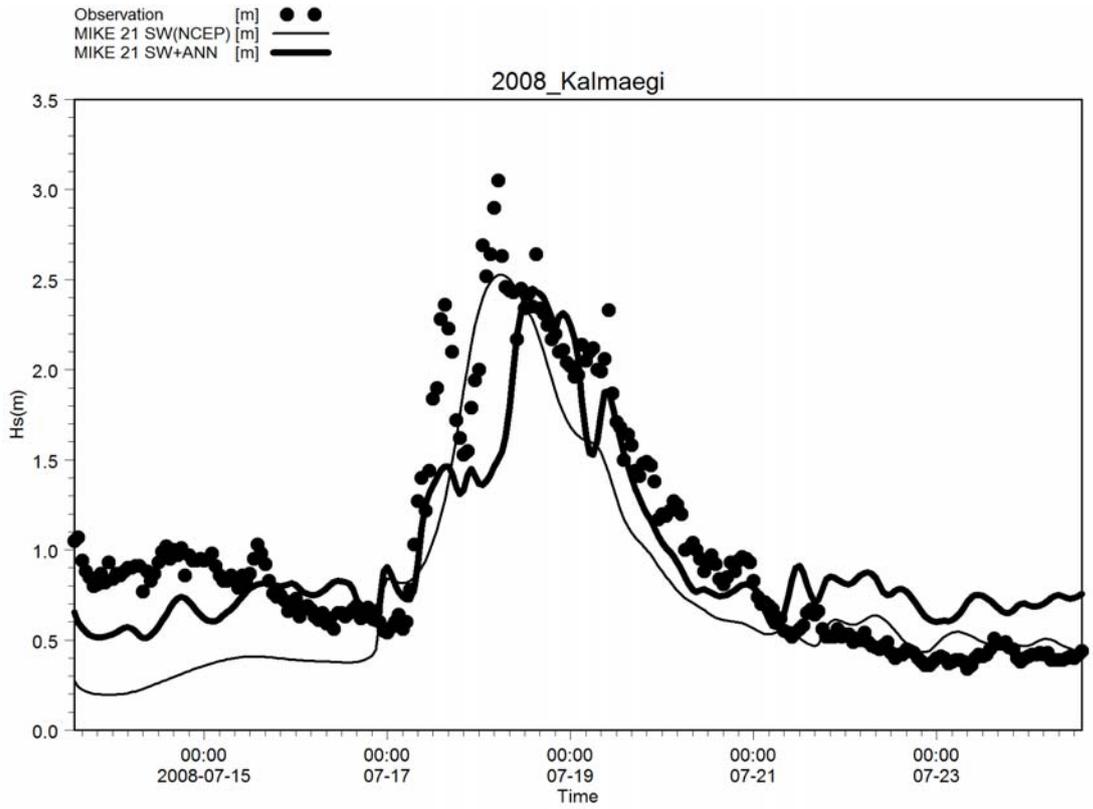


圖 4.4-2 示性波高時序列比較(續 2)

3.示性波高的最大值比較

表 4.4-3 為各模式推算結果的比較，表中 I、S 及 SA 分別表示湯(1970)和井島(1972)、MIKE 21 SW 使用 NCEP 風場與聯合 MIKE 21 SW 及類神經網路的颱風波浪推算方式。由相關係數的比較可知，MIKE 21 SW 使用 NCEP 風場與聯合 MIKE 21 SW 及類神經網路的推算結果與觀測值的相關性最高，相關係數皆高於 0.7。由整場颱風 RMSE 的比較可知，聯合 MIKE 21 SW 及類神經網路的推算結果，RMSE 介於 0.34~0.53m 之間，與觀測值的誤差最小。由颱風波浪最大波高誤差的比較可知，湯(1970)和井島(1972)、MIKE 21 SW 使用 NCEP 風場、聯合 MIKE 21 SW 及類神經網路的推算結果中，最大波高平均誤差分別為 2.14、0.69 及 0.36m，因此，聯合 MIKE 21 SW 及類神經網路的推算結果在最大波高部分的誤差最小。由最大波高發生時間誤差的比較可知，湯(1970)和井島(1972)、MIKE 21 SW 使用 NCEP 風場、聯合 MIKE 21 SW 及類神經網路的推算結果中，最大波高發生時間平均誤差分別為 14、6 及 10 小時，因此，MIKE 21 SW 使用 NCEP 風場的推算結果在最大波高發生時間部分的誤差最小。綜合 4 個指標的比較可知，MIKE 21 SW 使用 NCEP 風場和聯合 MIKE 21 SW 及類神經網路的颱風波浪推算方式皆可獲得不錯的推算成果，然因颱風波浪推算最後要進行設計波高的主要考慮為最大波高的誤差，故聯合 MIKE 21 SW 及類神經網路的颱風波浪推算方式可獲得最佳的推算結果。

表 4.4-3 各模式推算結果比較

年份	2008		2007	2005	2004	2002	
颱風名稱	鳳凰	卡玫基	柯羅莎	泰利	敏督利	娜克莉	
觀測最大波高(m)	5.27	3.05	4.18	4.94	4.94	3.74	
R	I	-0.86	-	0.57	0.78	0.06	-
	S	0.95	0.88	0.74	0.92	0.88	0.74
	SA	0.96	0.85	0.89	0.92	0.89	0.73
RMSE(m)	I	1.48	-	1.21	1.59	1.65	-
	S	0.48	0.38	0.82	0.53	0.52	0.53
	SA	0.53	0.34	0.43	0.50	0.46	0.44
$\Delta H_{s,p}(m)$	I	-3.30	-	-0.69	-1.51	-3.04	-
	S	-0.08	-0.52	0.51	-0.70	-1.09	-1.26
	SA	-0.34	-0.60	-0.04	0	-0.67	-0.50
$\Delta t_p(hr)$	I	-26	-	-2	-3	-23	-
	S	-9	1	5	6	-6	11
	SA	-14	9	-4	6	20	9

第五章 高雄港颱風波浪推算模式視窗化介面的初步建構

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。

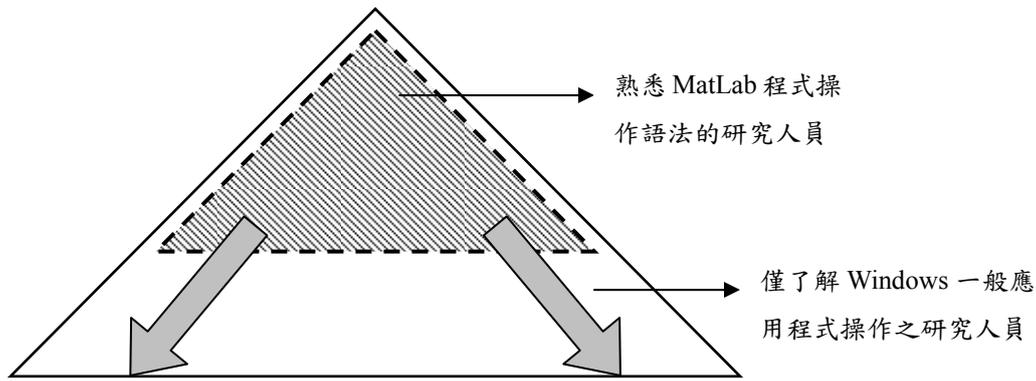


圖 5.1-1 GUI 的開發對於使用者族群的分布變化

圖 4-1 為表示所有研究人員中對 Matlab 程式操作語法之能力分布圖，位於金字塔行分布圖頂部的斜線區域中的是較少數熟悉 Matlab 程式操作的研究人員，本介面的發展，可以將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，但資料的內插與補遺由於需要更多的人為判斷，故將此動作移至外部的作業程序。

(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。

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，可以在無人操作的環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。

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臺灣技術研究中心的合作研究計畫『台灣臺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將以往昔的工作經驗配合新的演算及整合技術來進行視窗化介面的初步建構。

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，在此分別以花蓮港颱風波浪模式的視窗化界面為例介紹如下：

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。

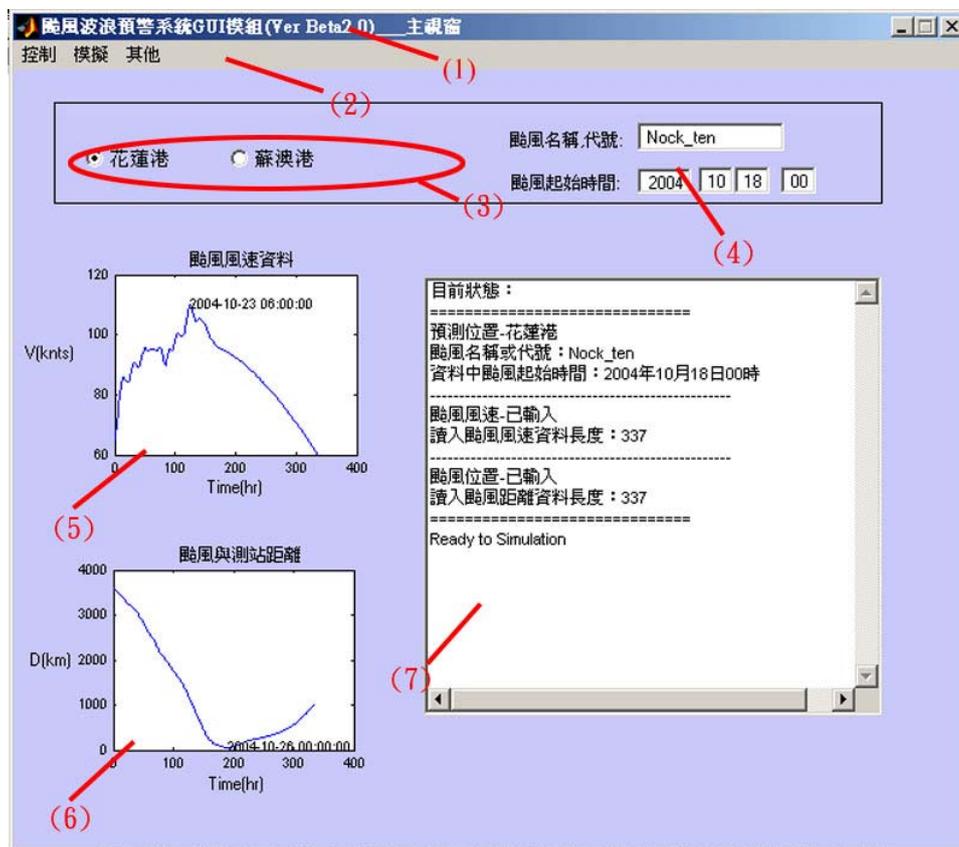


圖 5.2-1 本介面主視窗

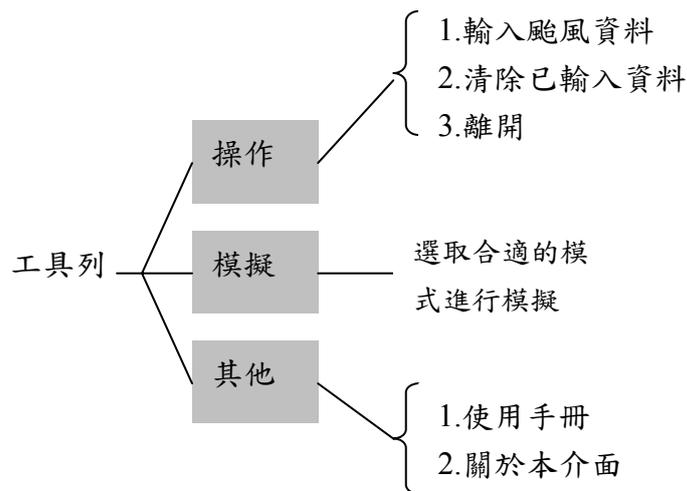


圖 5.2-2 樹狀結構的工具列

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以及蘇澳港的波浪資料，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

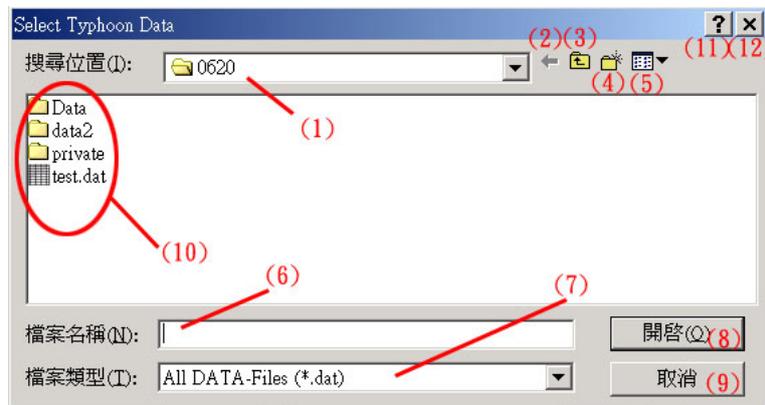


圖 5.2-3 颱風資料輸入視窗

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，若是以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

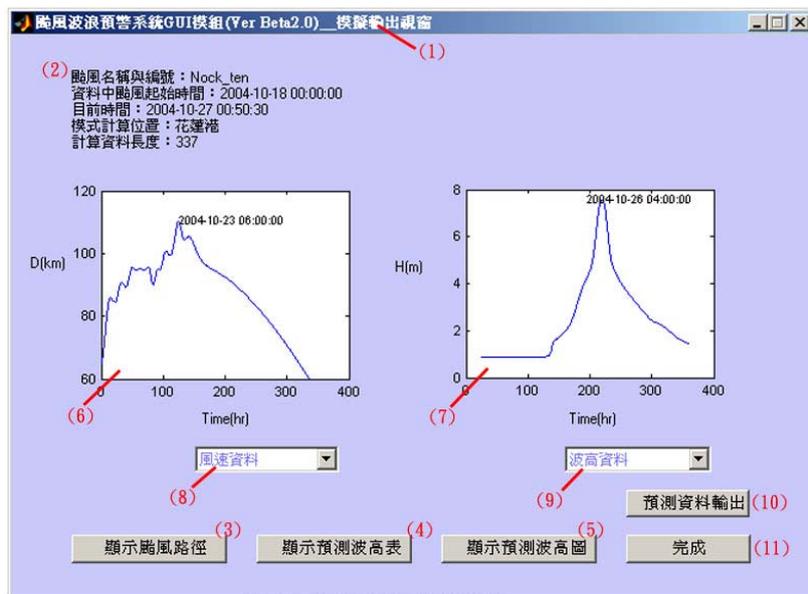


圖 5.2-4 模擬結果輸出視窗

- (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。

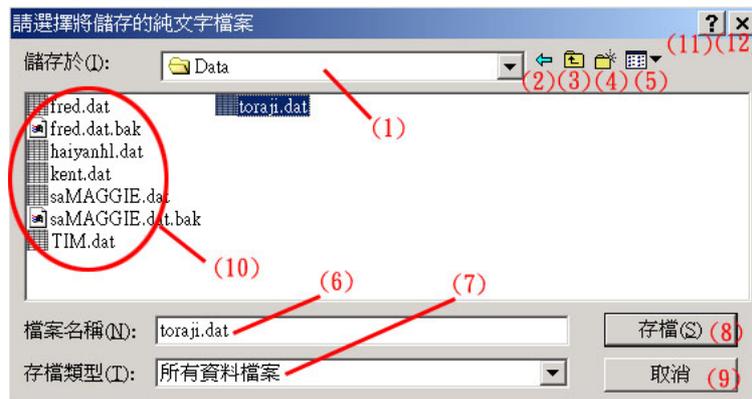


圖 5.2-5 模擬結果資料存檔視窗

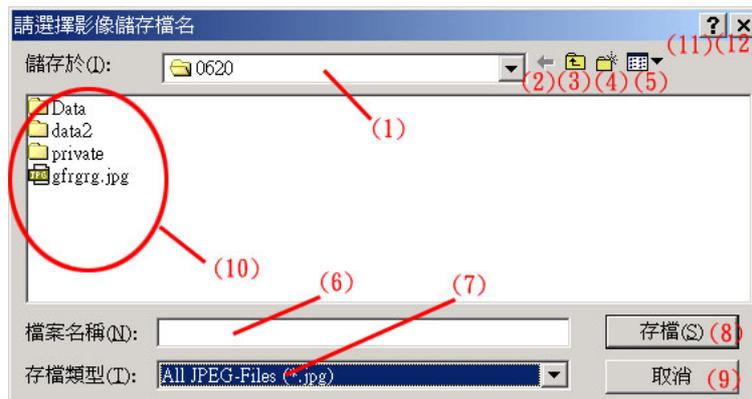


圖 5.2-6 模擬結果圖形存檔視窗

5. 颱風路徑圖

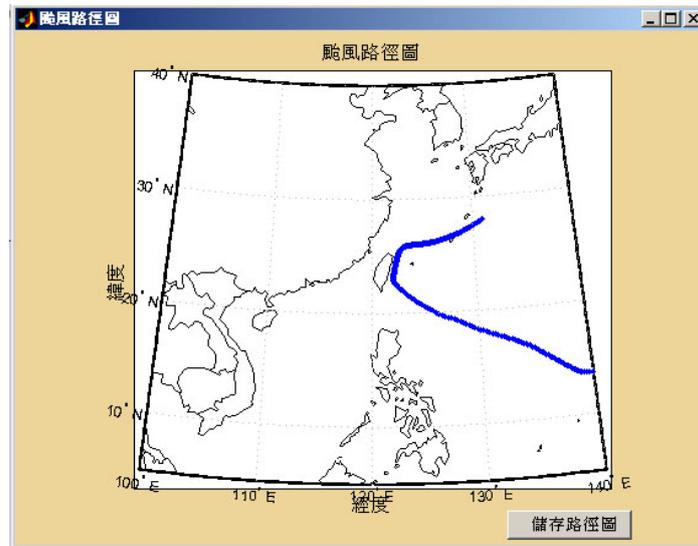


圖 5.2-7 颱風路徑圖

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

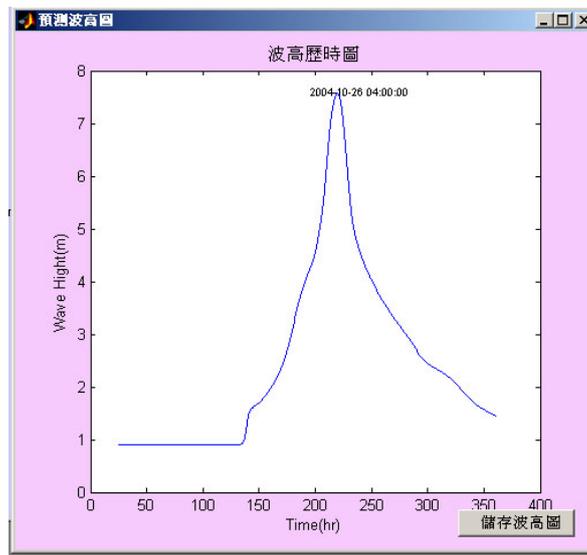
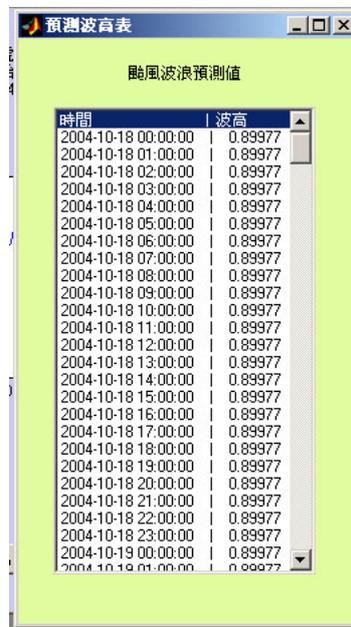


圖 5.2-8 預測波高圖

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。



The screenshot shows a window titled '預測波高表' (Prediction Wave Height Table) with a subtitle '颱風波浪預測值' (Typhoon Wave Prediction Value). It contains a table with two columns: '時間' (Time) and '波高' (Wave Height). The data shows a constant wave height of 0.89977 from 00:00:00 to 01:00:00 on 2004-10-18, and then continues with the same value every hour until 01:00:00 on 2004-10-19.

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 5.2-9 預測波高表

圖形化介面初步建構除了上述功能之外，目前擬於模式推算前加入模式參數的控制項，使模式在推算前能夠對模式參數做調整。另外將提供更清楚的颱風資訊包括即時衛星雲圖及即時波高的顯示功能。此外並撰寫完整且清楚的說明文件，以便讓使用者能以圖片明確地了解各個操作步驟以及流程的控制。

第六章 結論

經由 2001 年至 2008 年高雄港波浪資料特性比較分析之後，所得結論如下：

1. 在示性波高分析結果方面，利用統計公式方法來描述高雄港之示性波浪最適分布時，Weibull 類函數效果最好。而使用 Ksdnesity 方法來描述時，1 月至 12 月 Weibull 分布其效果最好，但以季節跟整年度來分析時，Gamma 分布與 Log-Normal 分布則擁有較好的效果。整體來說，顯示 Weibull 分布在描述高雄港之示性波高統計時，其得到的效果最佳。
2. 在示性週期統計方面，利用統計公式法分析結果表示高雄港之示性週期時 Normal 分布較為合適。而使用 Ksdnesity 方法來描述時，高雄港示性週期資料與 Gamma 分布吻合度較為高。顯示高雄港以 Normal 分布及 Gamma 分布描述時，其得到的效果最佳。
3. 在參數特性方面，也將利用不同年份之 Weibull 分布之 α 與 β 參數求得波高統計值，在 Weibull 分布 α 值 1 到 5 月約在 0.4 左右，6 到 9 月約在 0.4~1.4 左右，10 到 12 月各年份則皆約在 0.4 左右。而 β 值 2001 至 2008 年所有月份的數值變動不大，皆約在 1~2 之間。示性週期統計參數特性方面，Normal 分布 μ 值 2001 至 2003 年各月份皆在 1 左右，2004 至 2008 年變化量大每個月份約在 3~4.5 左右。而 σ 值 2001 至 2008 年所有月份的數值較為散亂，沒有什麼規則性趨勢，大部分數值約在 0.5~2 之間。

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，本研究所得 $H_s/H_{1/3}$ 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。

在高雄港颱風波浪推算所得之結論如下：

1. 本計畫採用 3 種颱風波浪推算方式分別為湯(1970)和井島(1972)、MIKE 21 SW 與聯合 MIKE 21 SW 及類神經網路進行高雄港的颱風波浪推算，由各模式推算結果的比較可知，湯(1970)和井島(1972)的推算模式有 2 場颱風無法推算。由整場颱風 RMSE 的比較可知，聯合 MIKE 21 SW 及類神經網路的推算結果，RMSE 介於 0.34~0.53m 之間，與觀測值的誤差最小。由颱風波浪最大波高誤差的比較可知，聯合 MIKE 21 SW 及類神經網路的推算結果，最大波高及其發生時間的平均誤差分別為 0.36m 和 10 小時。
2. 綜合相關係數、均方根誤差、颱風波浪最大波高誤差及最大波高發生時間誤差 4 個指標的比較可知，MIKE 21 SW 使用 NCEP 風場和聯合 MIKE 21 SW 及類神經網路的颱風波浪推算方式皆可獲得不錯的推算成果，然因颱風波浪推算最後要進行設計波高的主要考慮為最大波高的誤差，故聯合 MIKE 21 SW 及類神經網路的颱風波浪推算方式可獲得最佳的推算結果。

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如下：

1. 本計畫對高雄港颱風波浪模式的視窗化介面提出了初步的建構，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，目標在於建立一套使整個預報模式作業更加完美的操作介面。

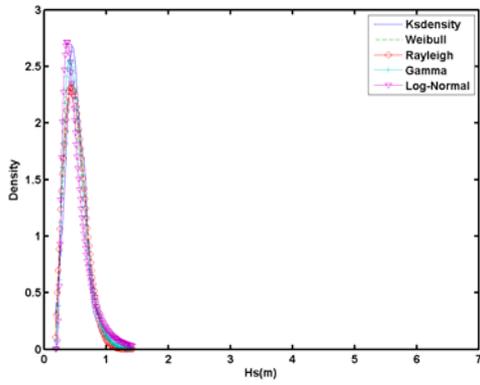
參考文獻

1. 湯麟武，「淺灘海岸上波浪推算方法之研究」，成功大學土木水利學術彙刊，第1期，第105~164頁(1970)。
2. 井島武士，「台中港設計波浪計算報告書」，日本港灣顧問公司(1972)。
3. 郭一羽，「海岸工程學」，文山書局，第55~57頁(2002)。
4. 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).
5. Bretschneider, C.L., "Significant waves and wave spectrum," *Ocean Industry Feb.*, pp. 40-46 (1968).
6. Bowman, A. W. and A. Azzalini (1997) *Applied Smoothing Techniques for Data Analysis*, Oxford University Press.
7. Cartright, 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).
8. 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).
9. Dean, R.G., and Dalrymple, R.A., *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*, World Scientific, 353p (1993).
10. Eberhart, R.C., and Dobbins, R.W., *Neural Network PC Tools – A Practical Guide*, Academic Press, Ins., pp. 10-250 (1990).
11. Goda, Y., *Random Seas and Design of Marine Structures*, World Scientific, 443p (2000).
12. 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).
13. 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).

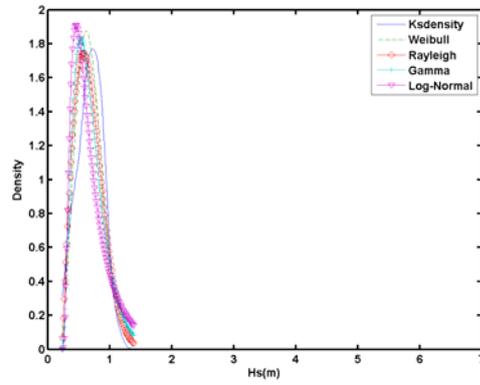
14. Hayashi, Y., Sakata, M., and Gallant, S.I., "Multi-layer versus single-layer neural networks and an application to reading hand-stamped characters," *In proceeding International Conference on Neural Networks*, Paris, pp. 781-784 (1990).
15. Huang, N.E. et al., "A unified two-parameter wave spectral model for a general sea state," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 112, pp. 203-224 (1981).
16. Huang, W., and Foo, S., "Neural network modeling of salinity variation in Apalachicola River," *Water Research*, Vol. 36, pp. 356-362 (2002).
17. 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).
18. Kurkova, V., "Kolmogorov's Theorem and multilayer neural networks," *Neural Networks*, Vol. 5, pp. 501-506 (1992).
19. 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).
20. 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)
21. 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.
22. Ochi, M.K., and Hubble, E.N., "On six-parameter wave spectra," *Proceedings of 15th Conference on Coastal Engineering*, pp. 301-328 (1976).
23. 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).
24. Tucker, M.J., and Pitt, E.G., *Waves in Ocean Engineering*, Elsevier Ocean Engineering Series, Oxford, U.K. (2001).
25. Vandever, J.P., Siegel, E.M., Brubaker, J.M., and Friedrichs, C.T., "Influence of spectral width on wave height parameter estimates in

- coastal environments,” *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Vol. 134, pp. 187-194 (2008).
26. 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).
 27. 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).
 28. 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).
 29. 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).
 30. 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).
 31. 湯麟武, 「遠淺海岸における波推算法に関する研究」, 九州大學工学部學位論文(1968)。

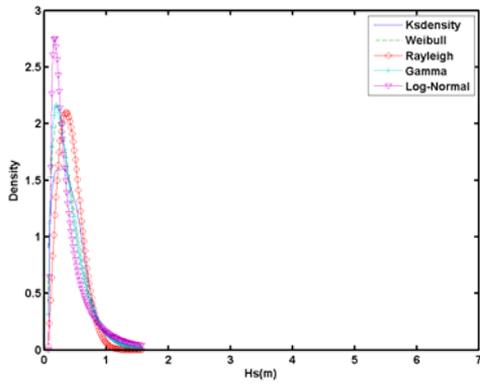
附錄一 高雄港示性波高機率密度圖



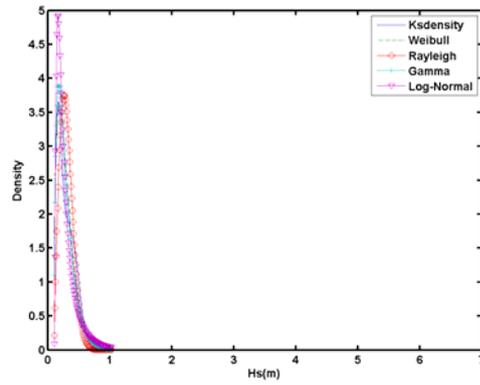
(a) 1月



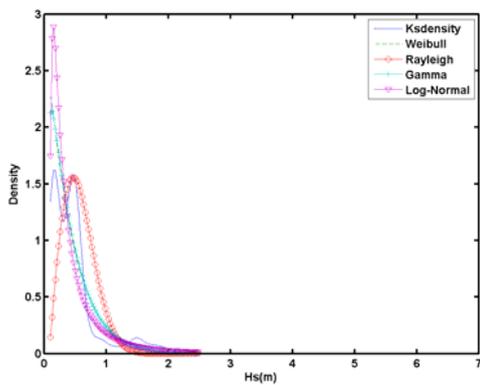
(b) 2月



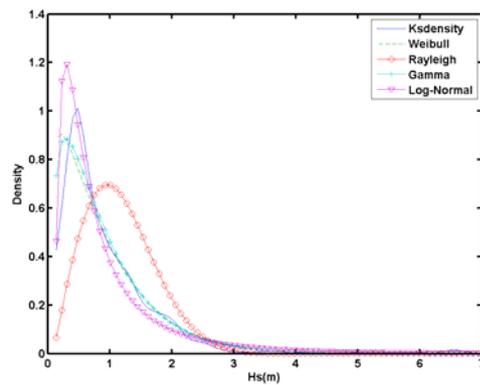
(c) 3月



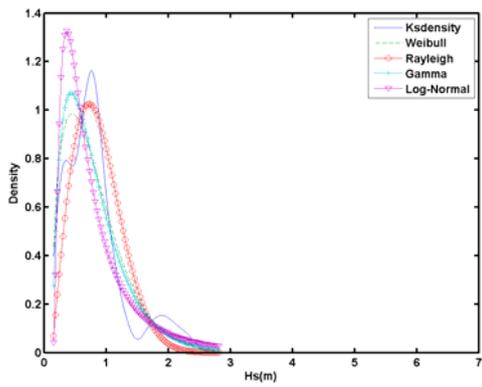
(d) 4月



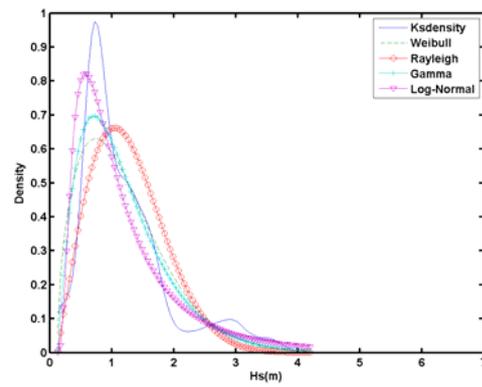
(e) 5月



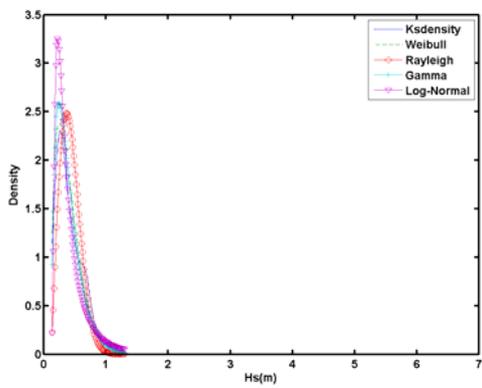
(f) 6月



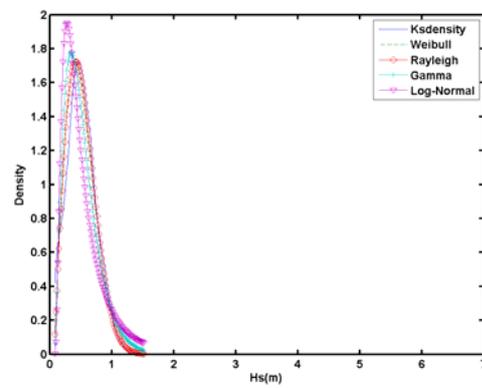
(g) 8 月



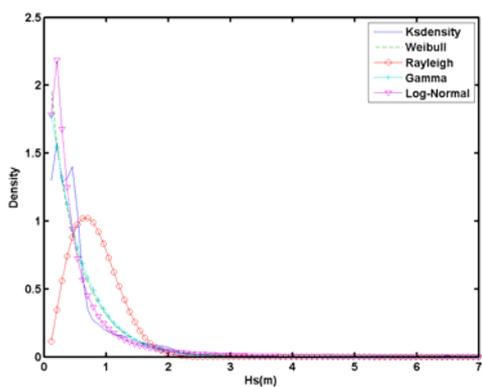
(h) 9 月



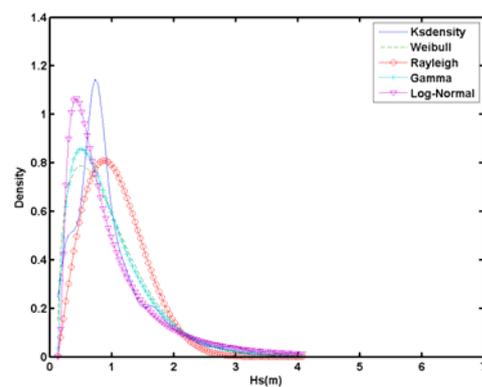
(i) 10 月



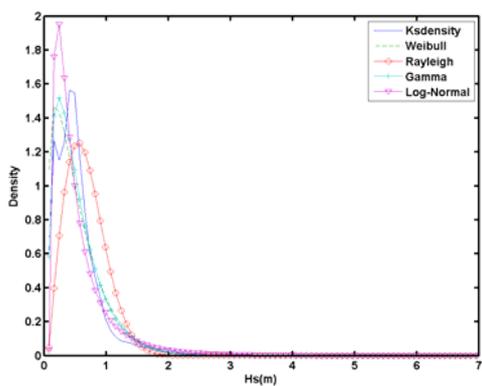
(j) 1-3 月



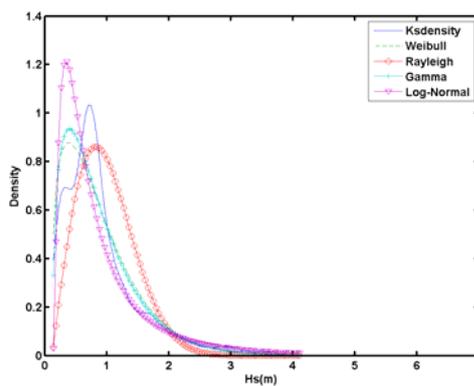
(k) 4-6 月



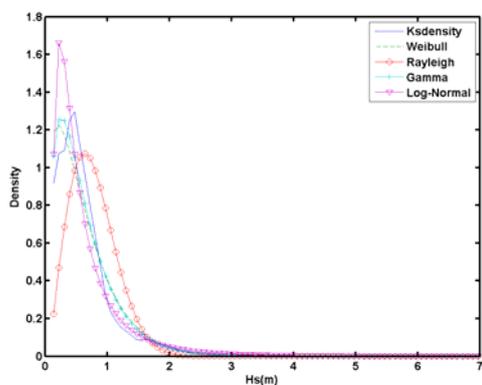
(l) 7-9 月



(m) 1-6 月

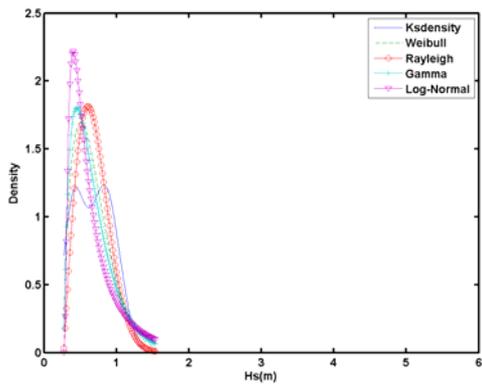


(n) 7-12 月

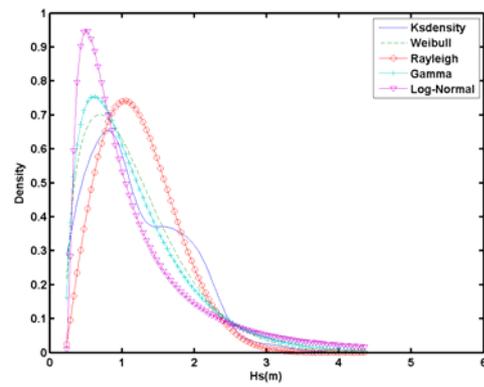


(o) 全年

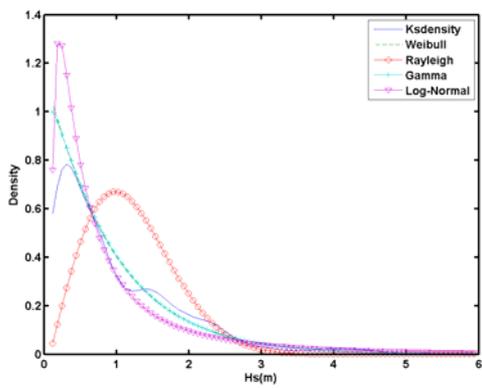
圖附 1-1 高雄港 2001 年示性波高機率密度圖



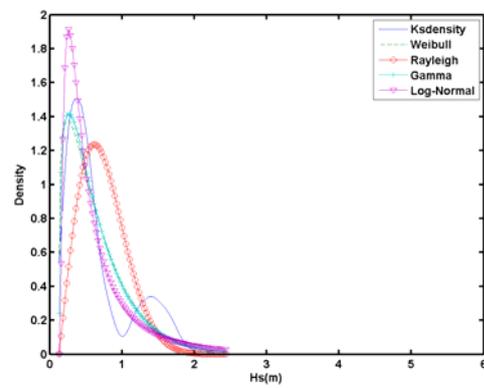
(a) 6 月



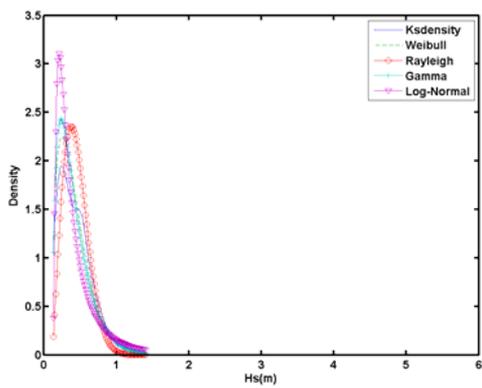
(b) 7 月



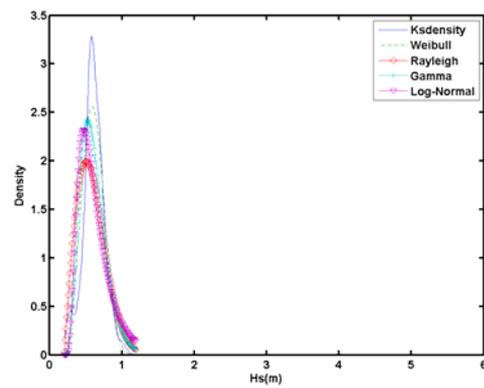
(c) 8 月



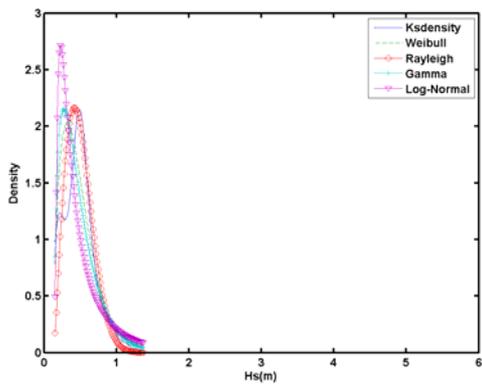
(d) 9 月



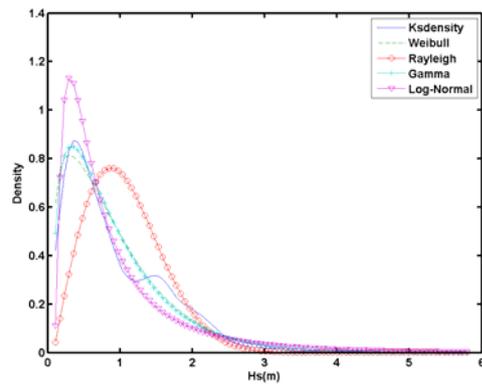
(e) 10 月



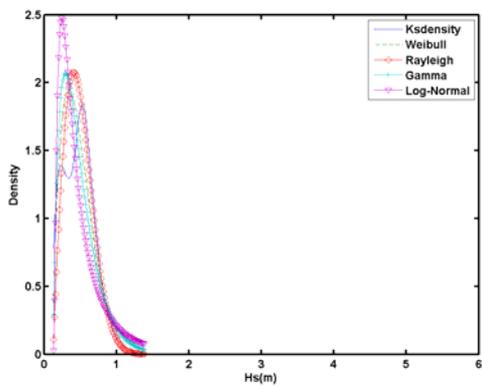
(f) 11 月



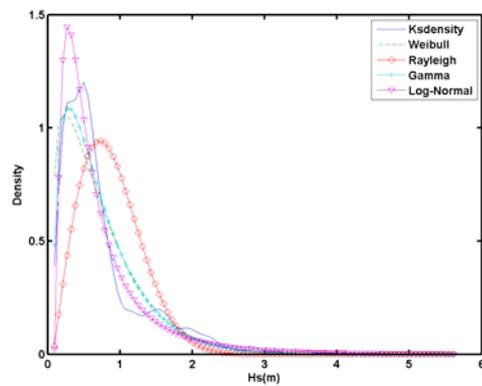
(g) 12 月



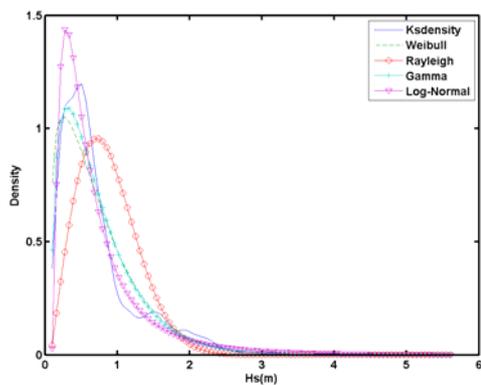
(h) 7-9 月



(i) 10-12 月

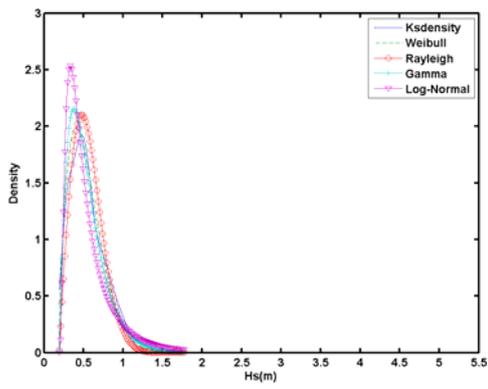


(j) 7-12 月

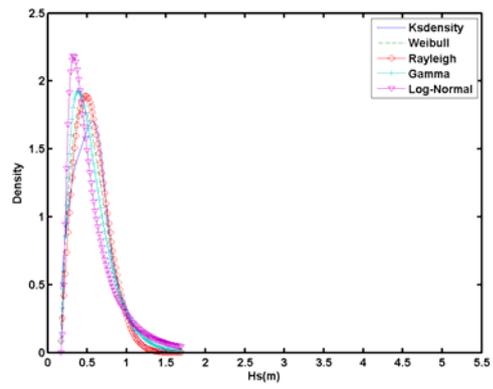


(k) 全年

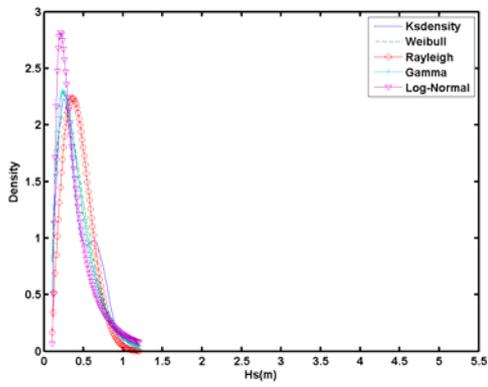
圖附 1-2 高雄港 2002 年示性波高機率密度圖



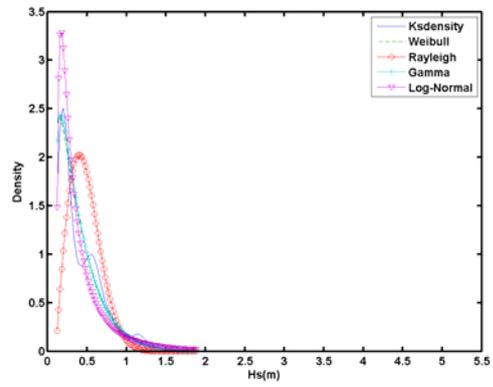
(a) 2月



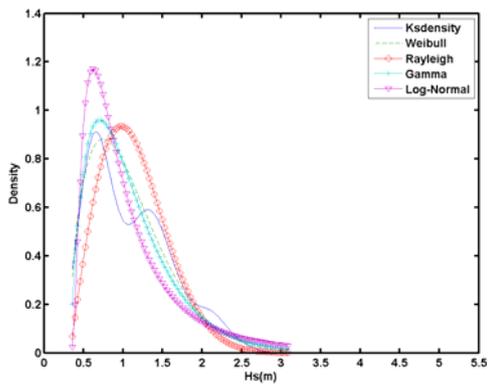
(b) 3月



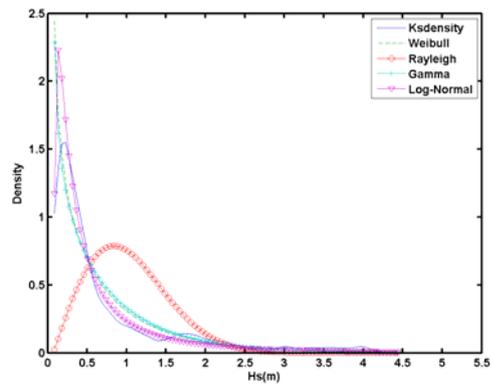
(c) 4月



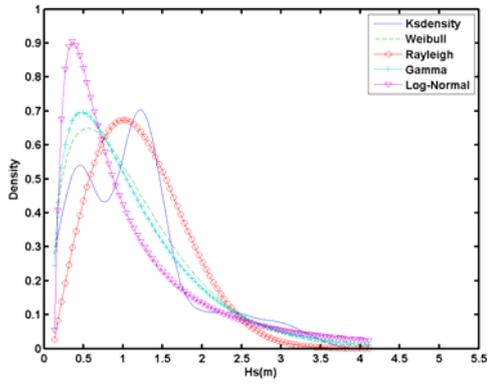
(d) 5月



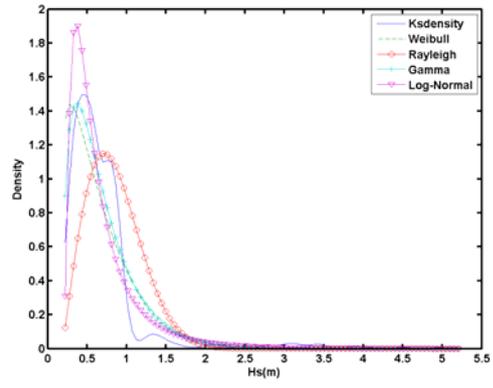
(e) 6月



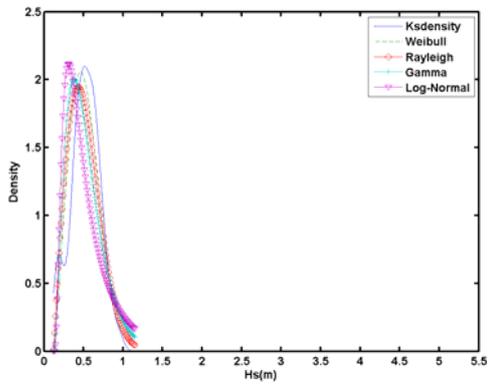
(f) 7月



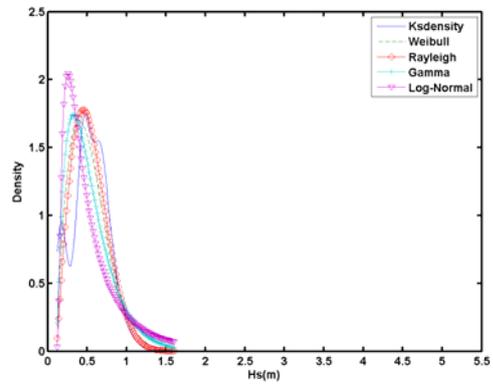
(g) 8 月



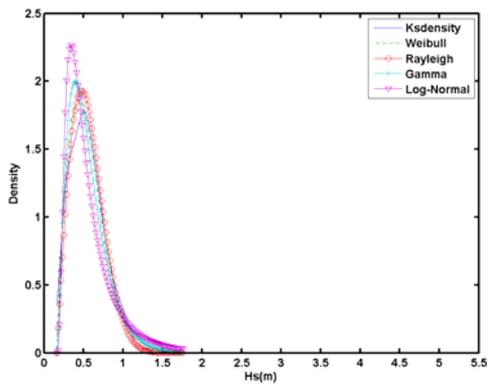
(h) 9 月



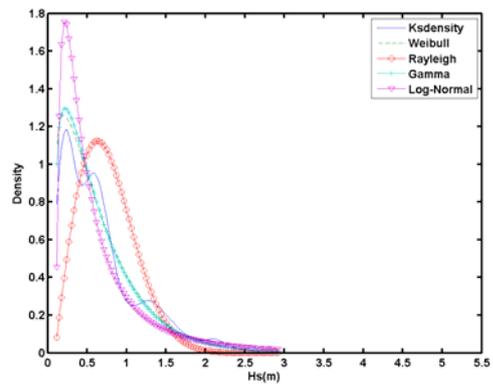
(i) 10 月



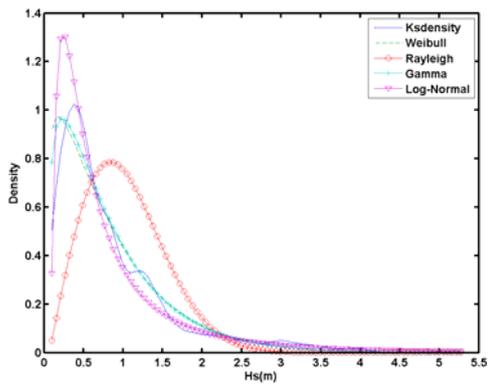
(j) 11 月



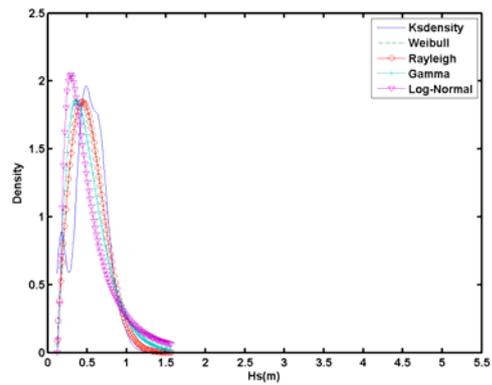
(k) 1-3 月



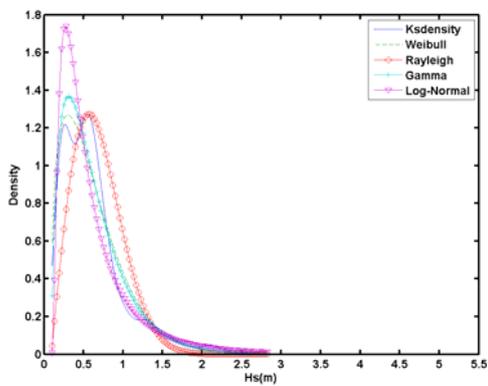
(l) 4-6 月



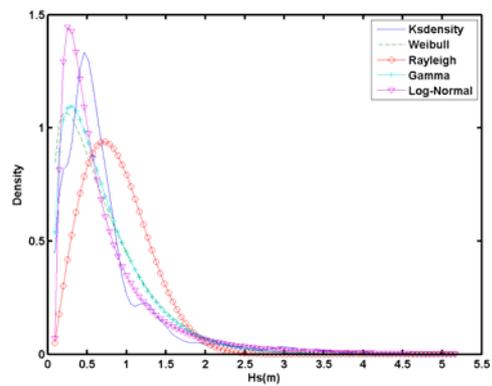
(m) 7-9 月



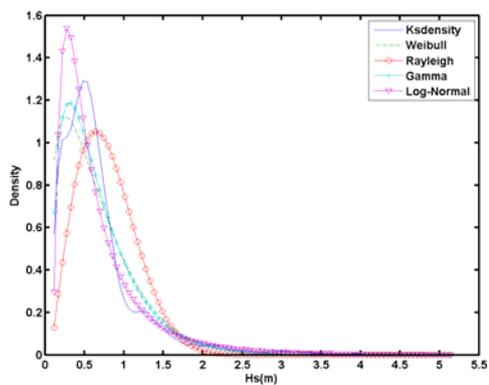
(n) 10-12 月



(o) 1-6 月

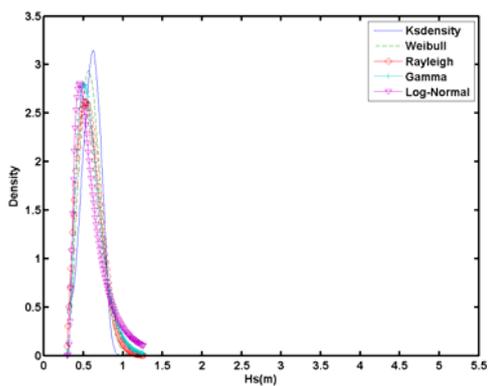


(p) 7-12 月

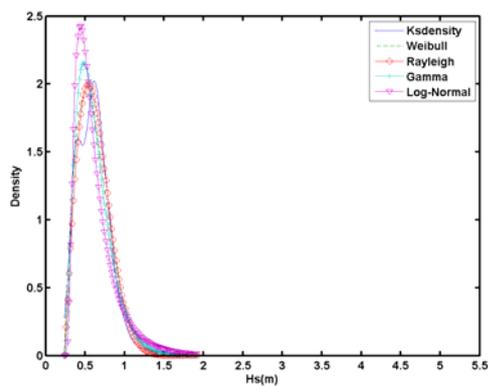


(q) 全年

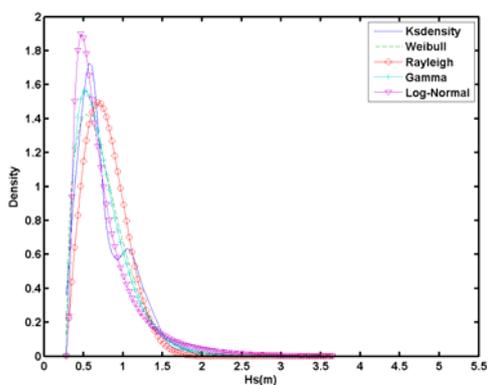
圖附 1-3 高雄港 2003 年示性波高機率密度圖



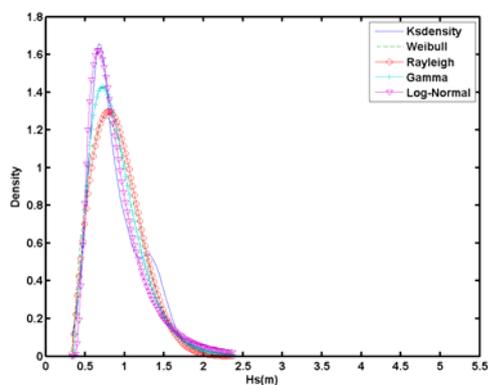
(a) 3 月



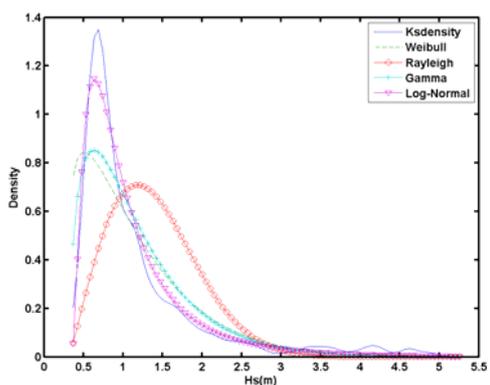
(b) 4 月



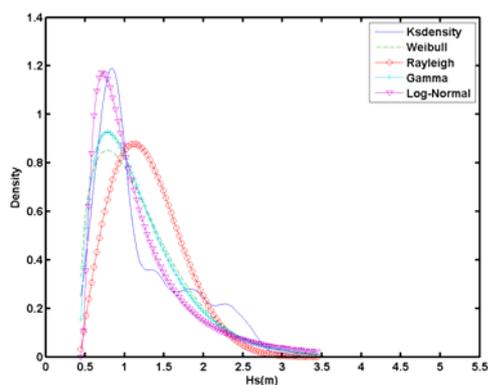
(c) 5 月



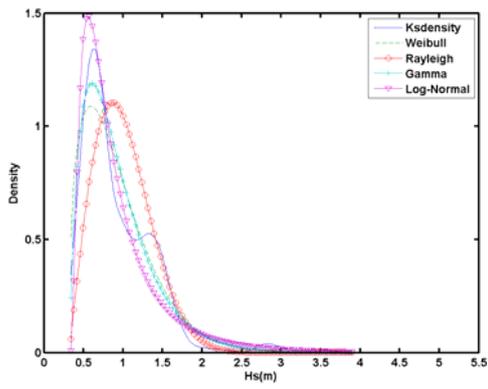
(d) 6 月



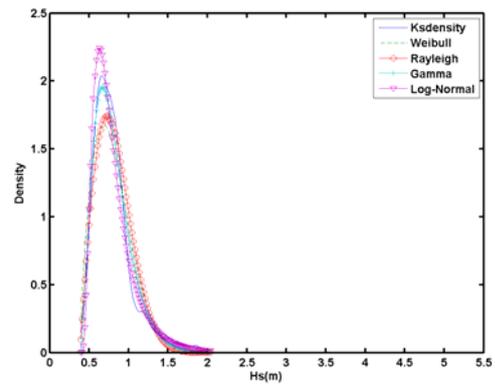
(e) 7 月



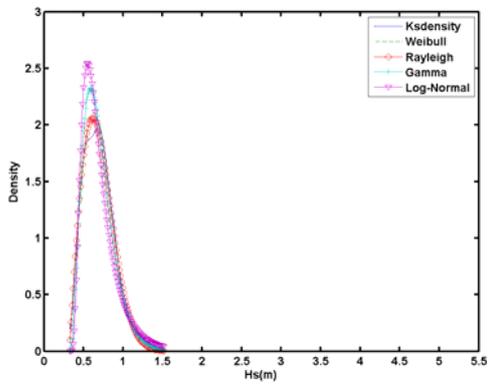
(f) 8 月



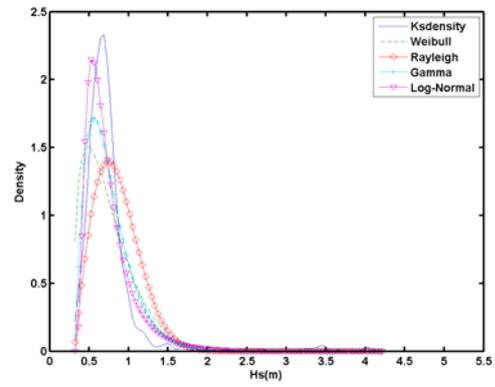
(g) 9 月



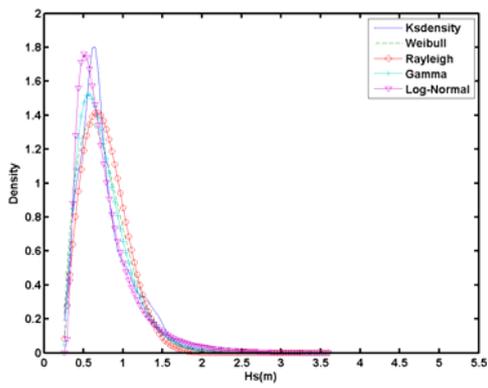
(h) 10 月



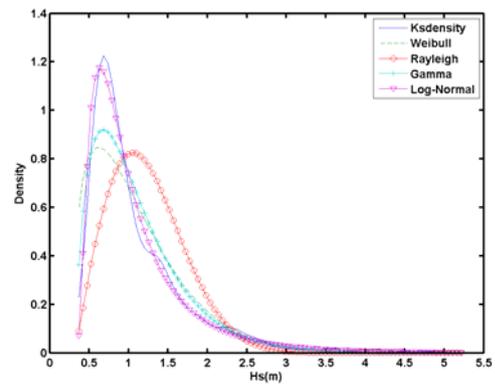
(i) 11 月



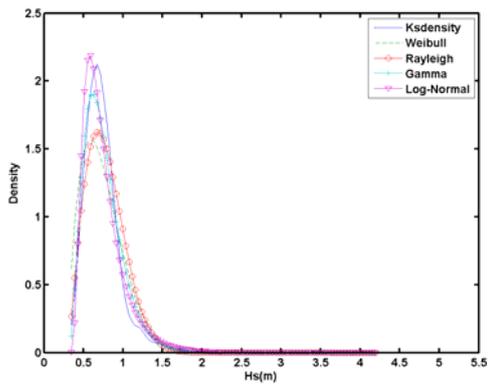
(j) 12 月



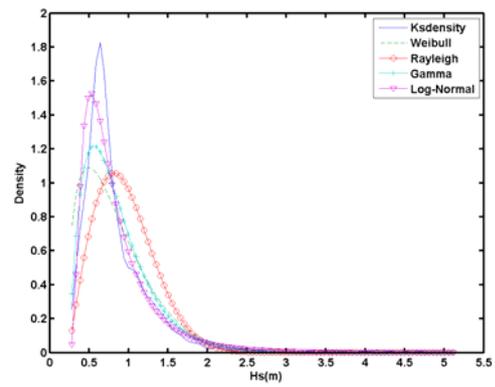
(k) 4-6 月



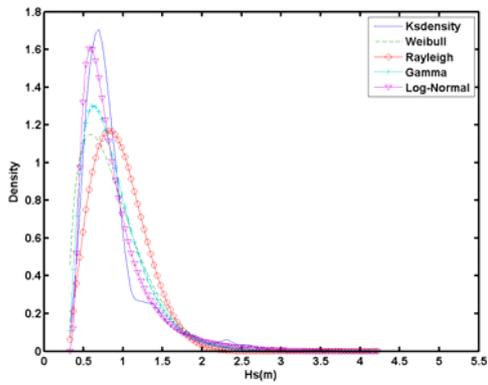
(l) 7-9 月



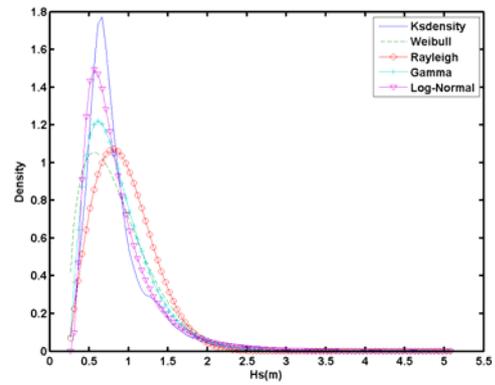
(m) 10-12 月



(n) 1-6 月

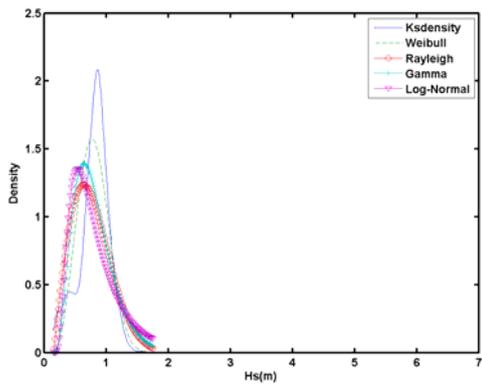


(o) 7-12 月

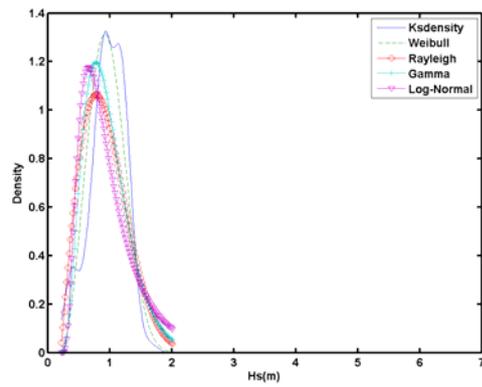


(p) 全年

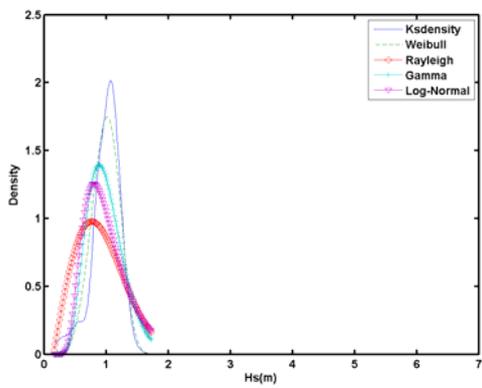
圖附 1-4 高雄港 2004 年示性波高機率密度圖



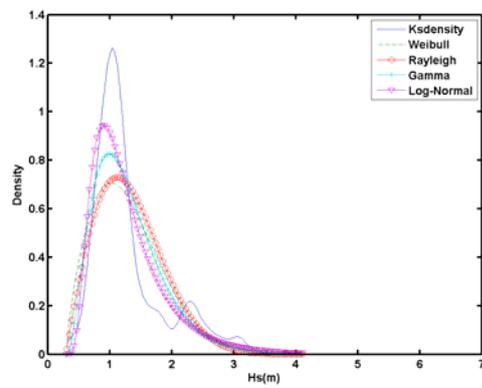
(a) 1 月



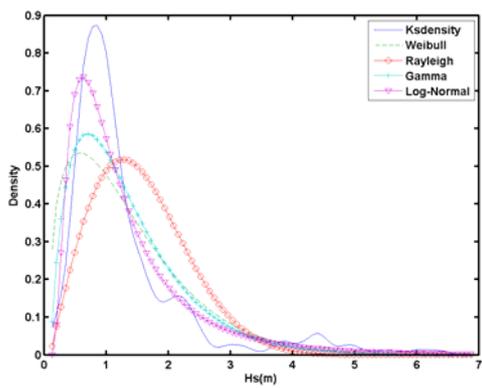
(b) 2 月



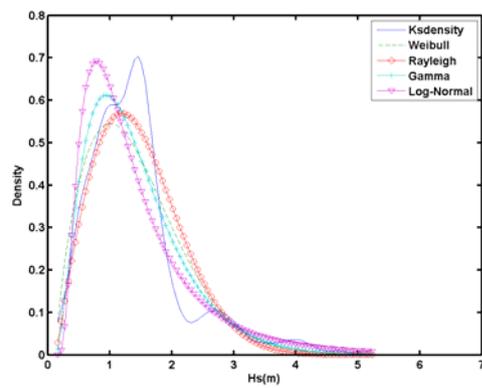
(c) 3 月



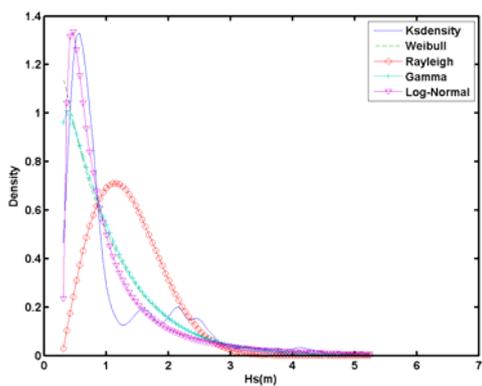
(d) 6 月



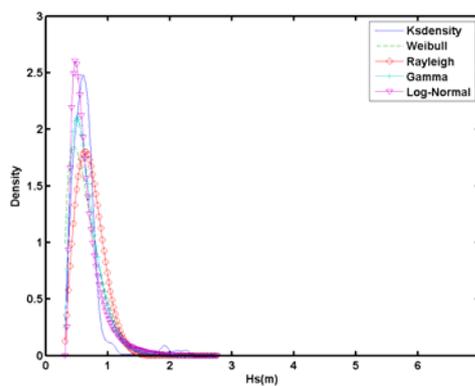
(e) 7 月



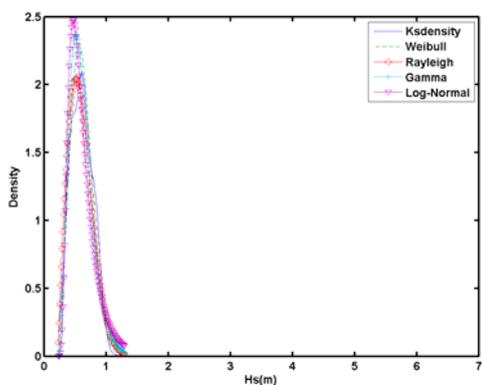
(f) 8 月



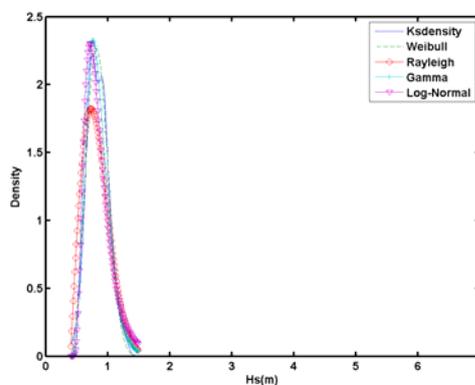
(g) 9 月



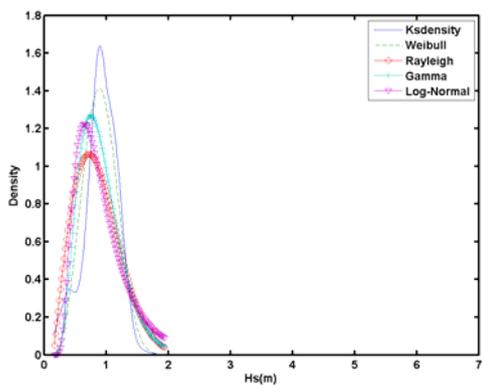
(h) 10 月



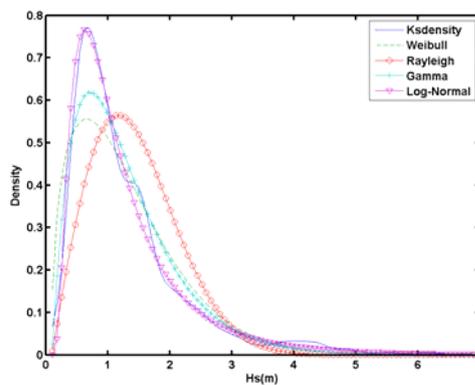
(i) 11 月



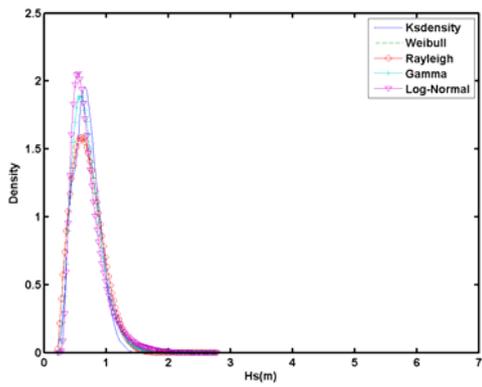
(j) 12 月



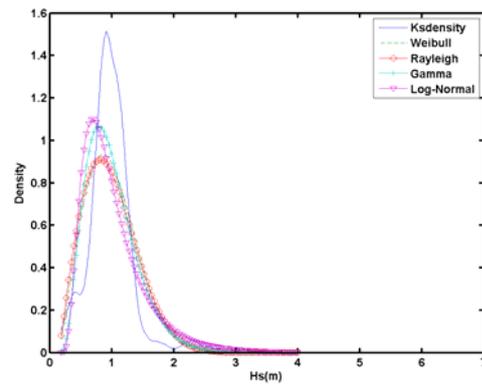
(k) 1-3 月



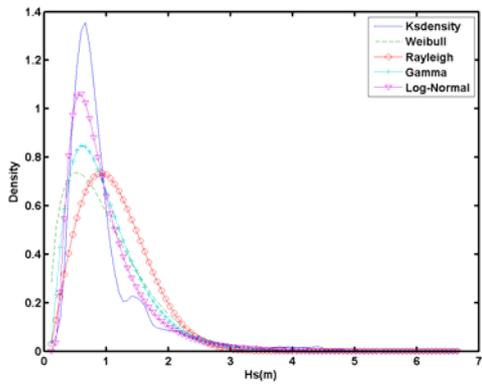
(l) 7-9 月



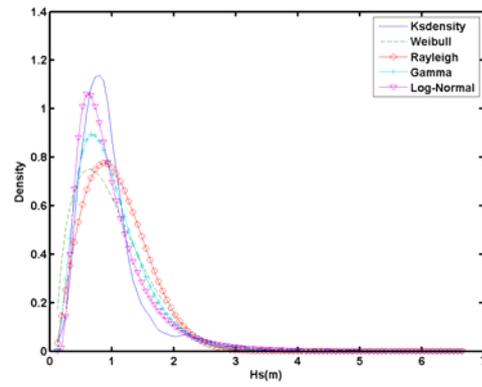
(m) 10-12 月



(n) 1-6 月

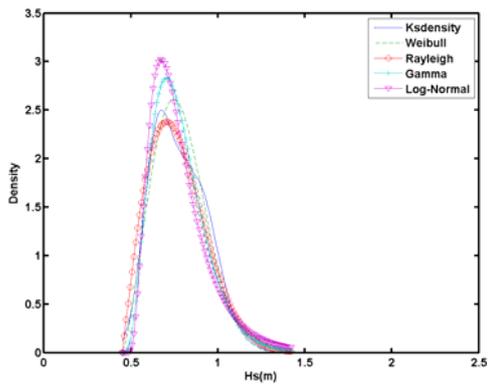


(o) 7-12 月

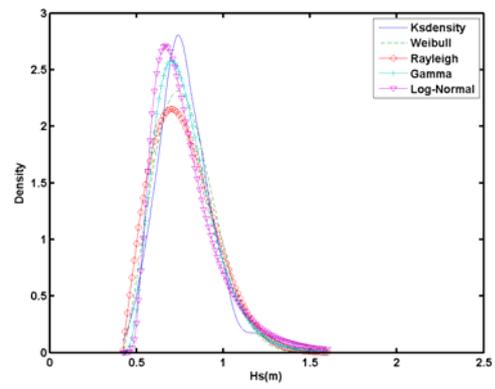


(p) 全年

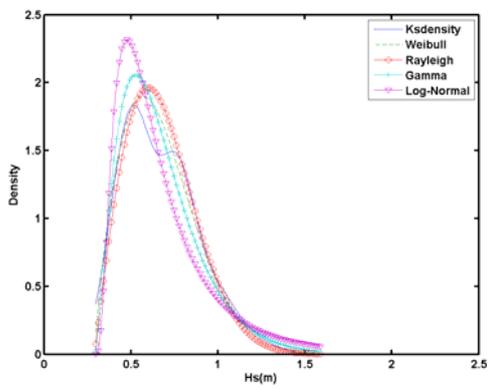
圖附 1-5 高雄港 2005 年示性波高機率密度圖



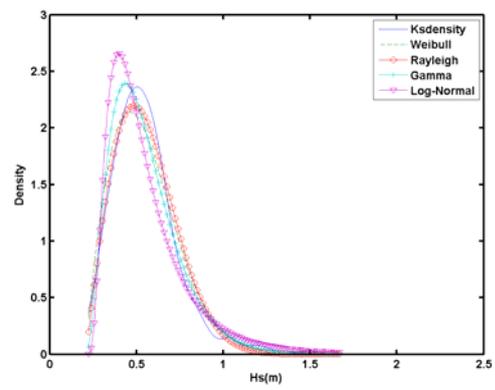
(a) 1 月



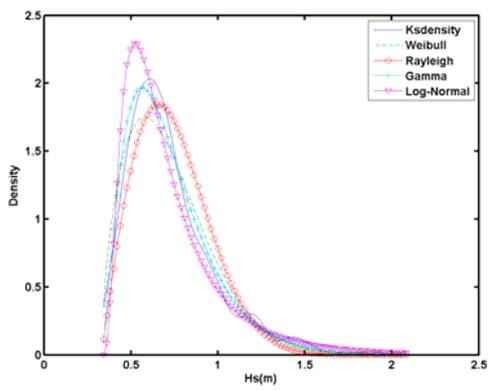
(b) 2 月



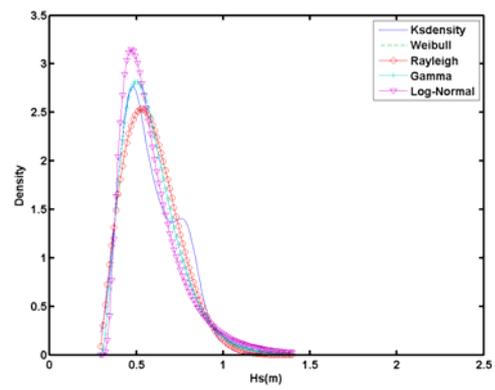
(c) 3 月



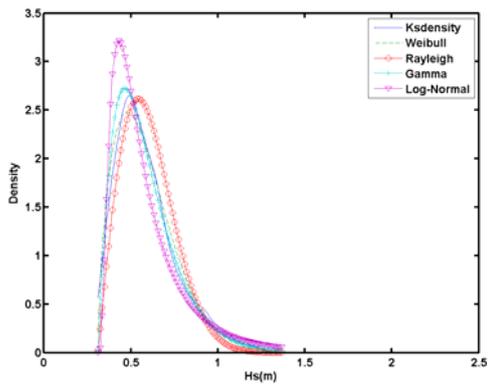
(d) 4 月



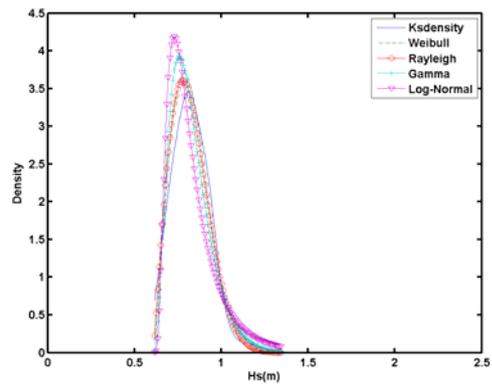
(e) 9 月



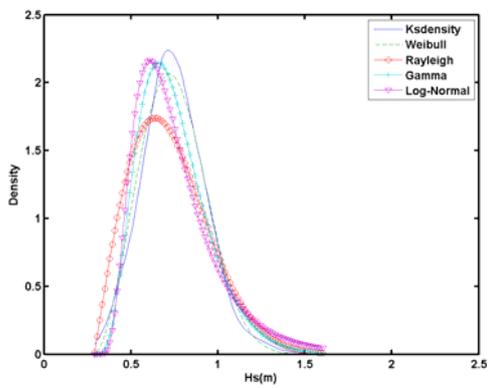
(f) 10 月



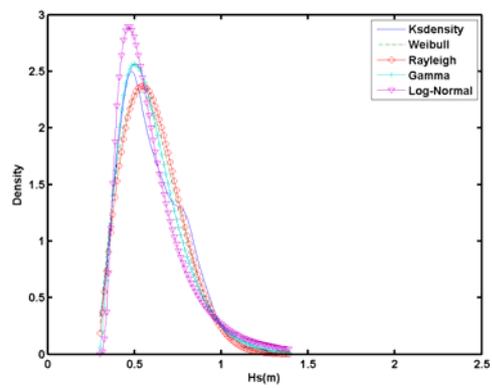
(g) 11 月



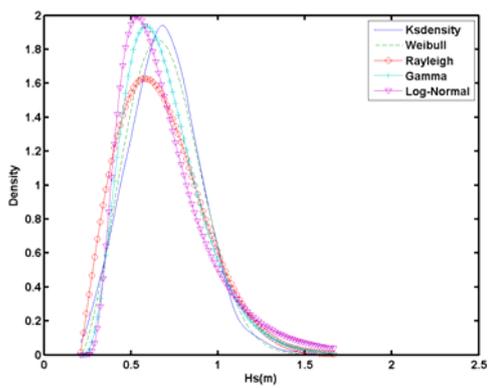
(h) 12 月



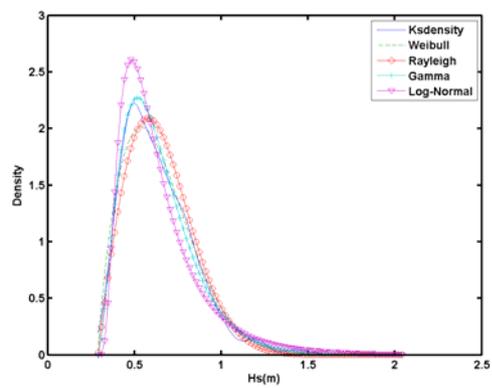
(i) 1-3 月



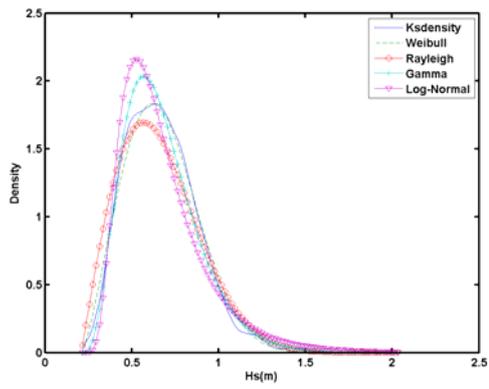
(j) 10-12 月



(k) 1-6 月

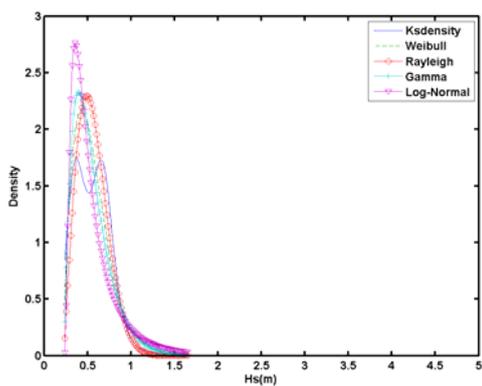


(l) 7-12 月

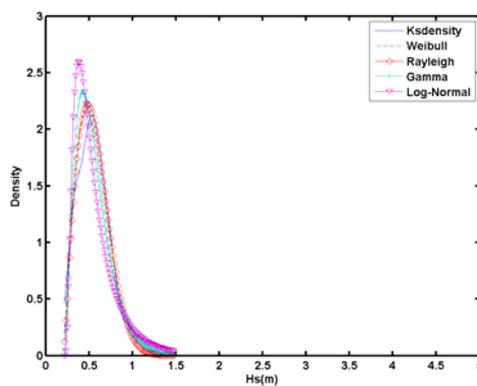


(m) 全年

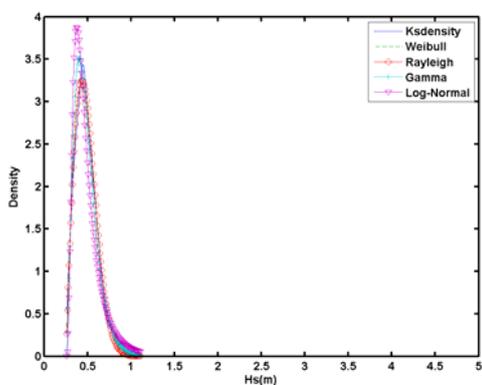
圖附 1-6 高雄港 2006 年示性波高機率密度圖



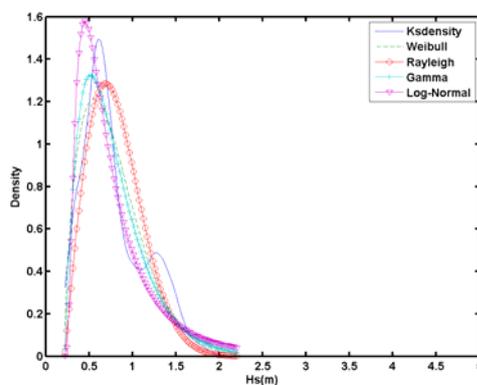
(a) 3月



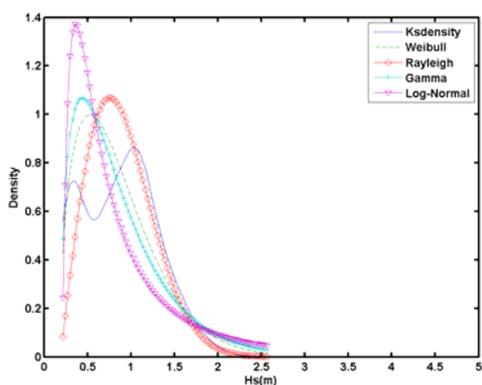
(b) 4月



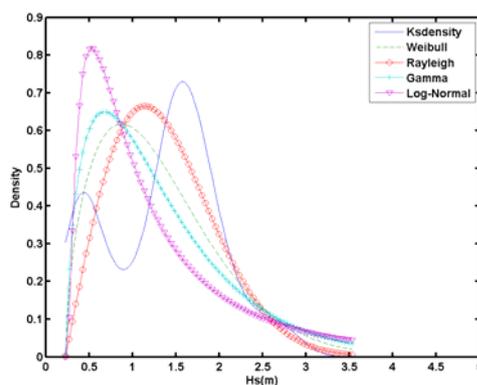
(c) 5月



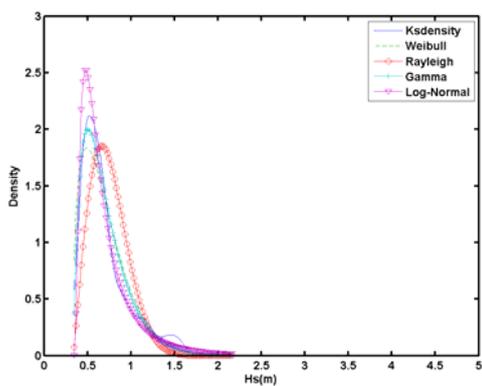
(d) 6月



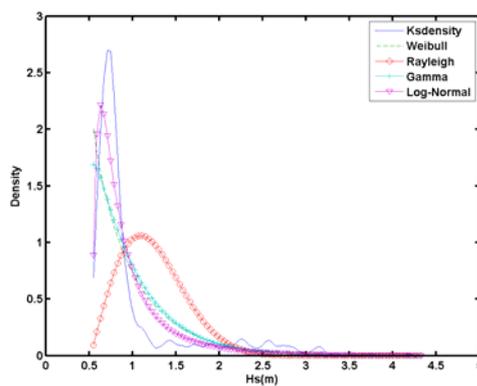
(e) 7月



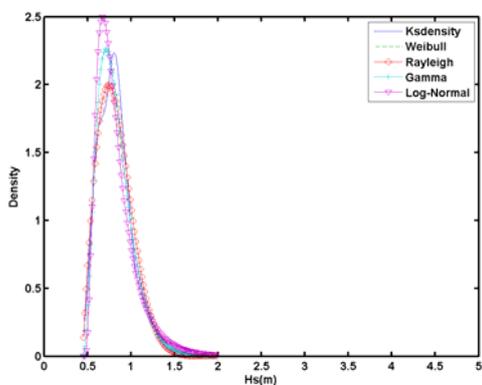
(f) 8月



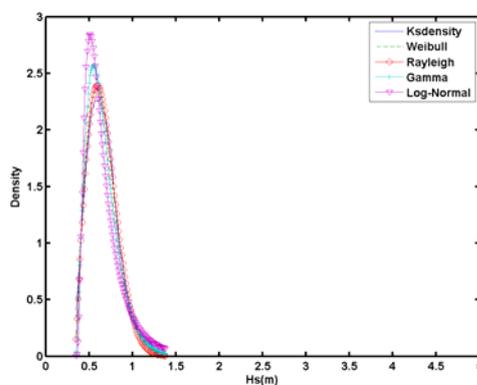
(g) 9 月



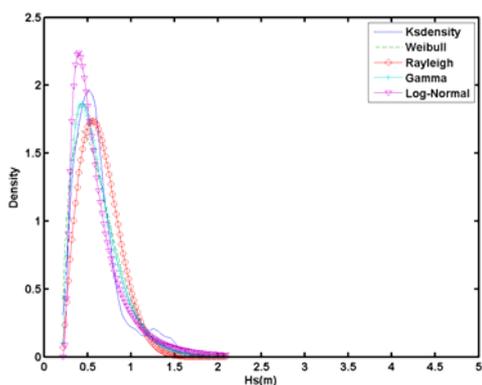
(h) 10 月



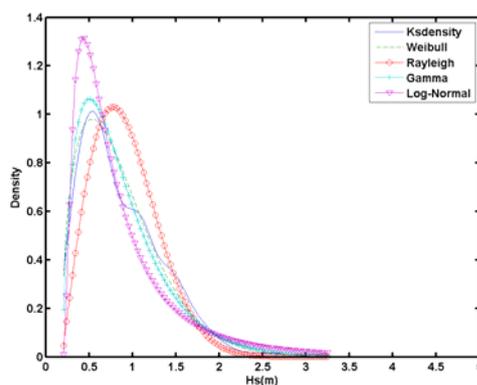
(i) 11 月



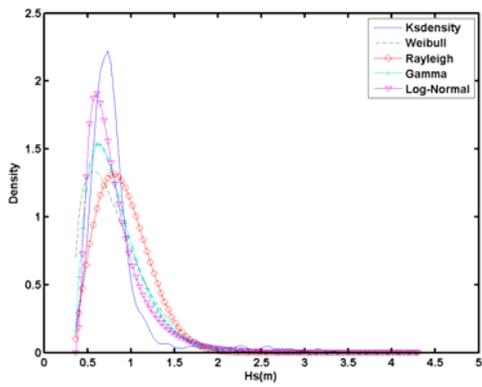
(j) 12 月



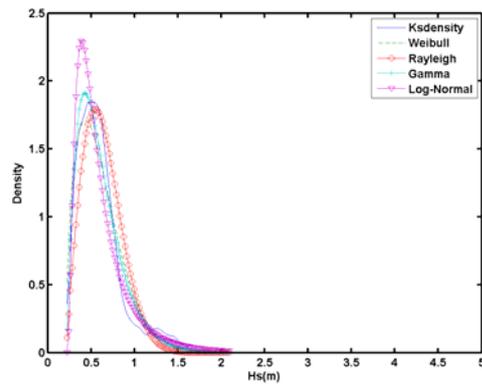
(k) 4-6 月



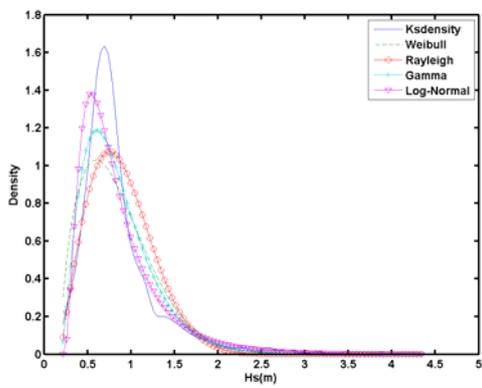
(l) 7-9 月



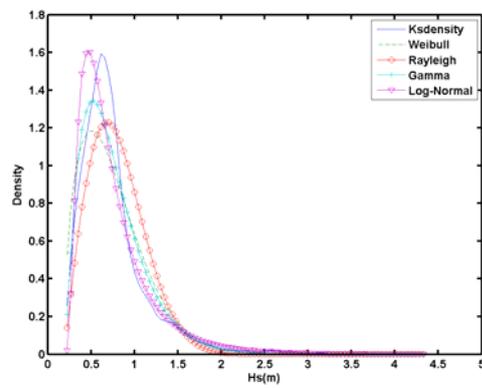
(m) 10-12 月



(n) 1-6 月

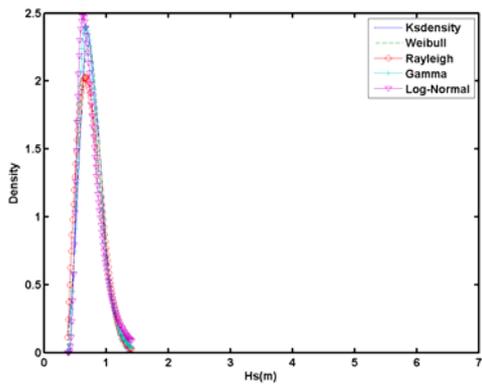


(o) 7-12 月

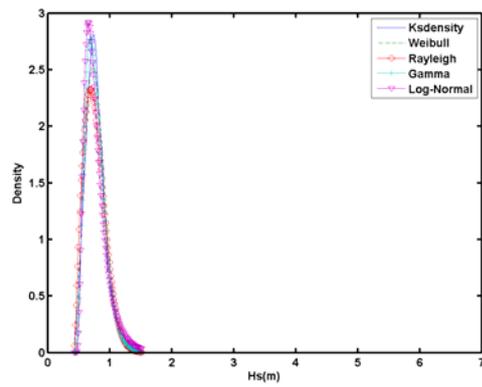


(p) 全年

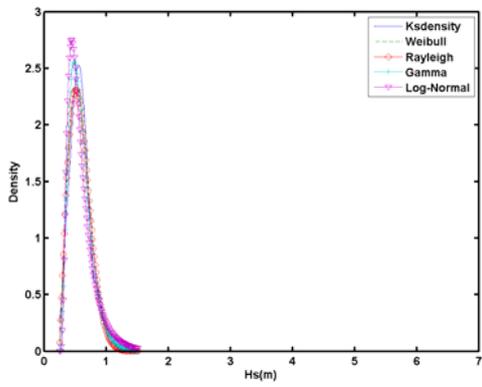
圖附 1-7 高雄港 2007 年示性波高機率密度圖



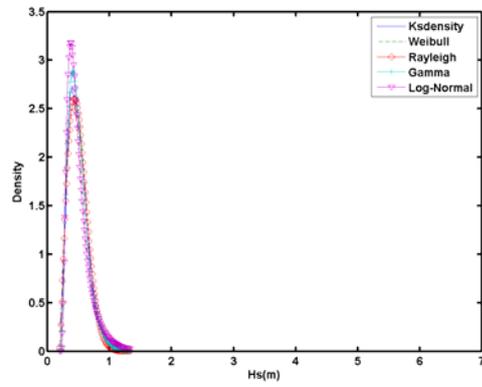
(a) 1 月



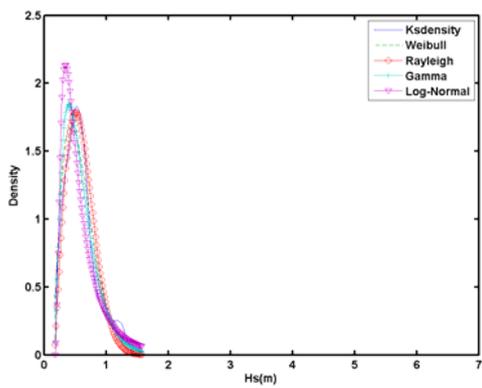
(b) 2 月



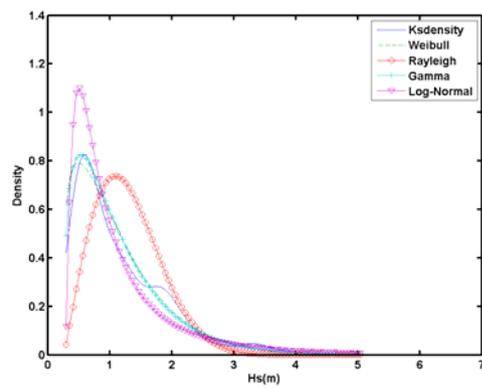
(c) 3 月



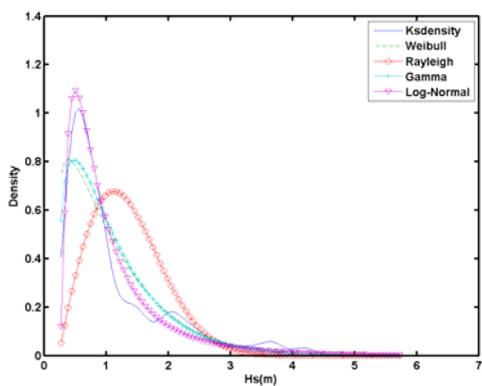
(d) 4 月



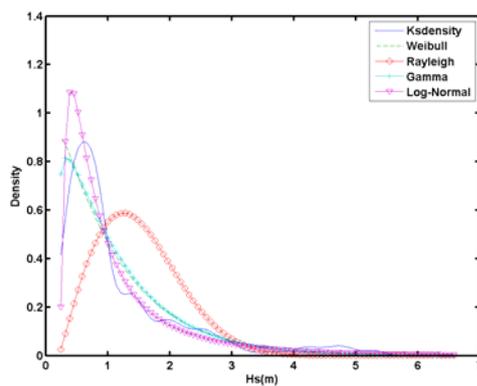
(e) 5 月



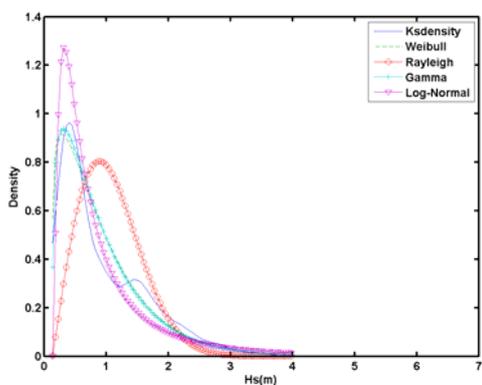
(f) 6 月



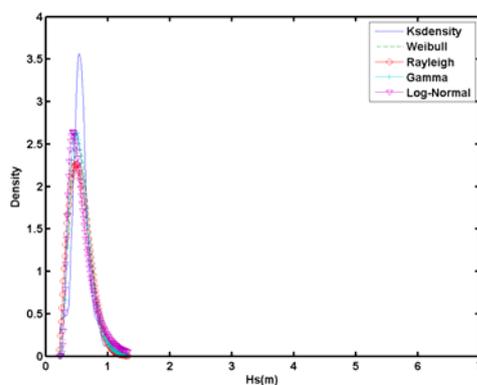
(g) 7 月



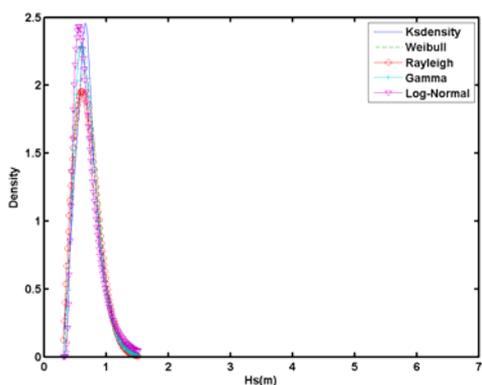
(h) 8 月



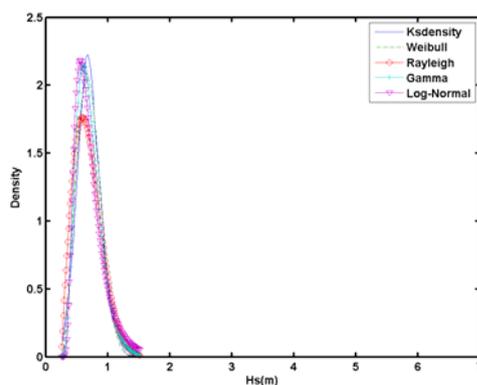
(i) 9 月



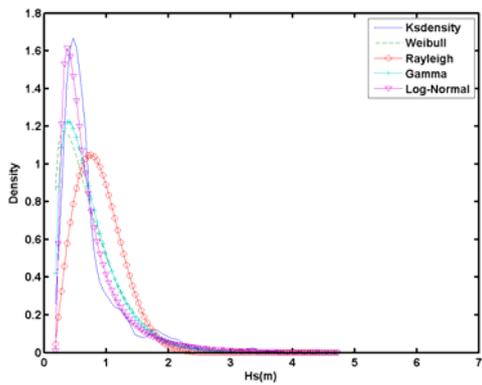
(j) 10 月



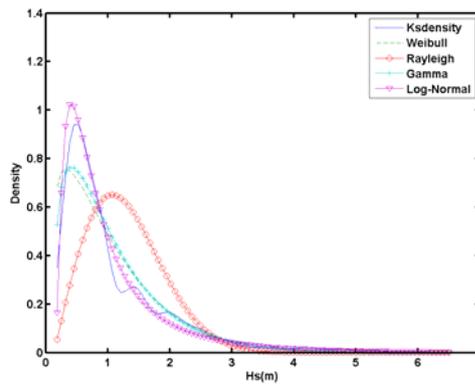
(k) 11 月



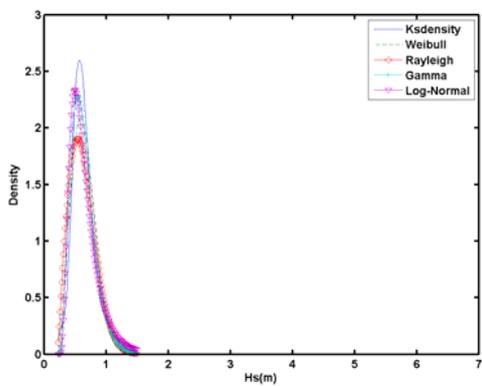
(l) 1-3 月



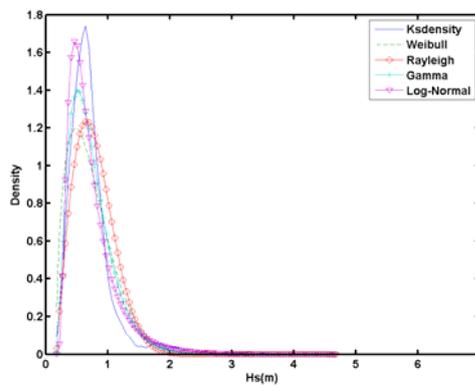
(m) 4-6 月



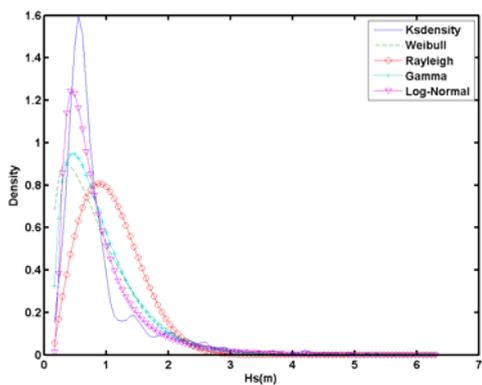
(n) 7-9 月



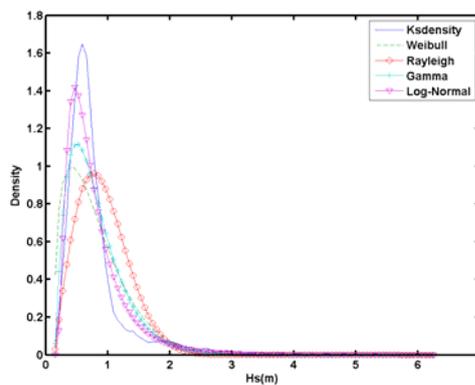
(o) 10-12 月



(p) 1-6 月



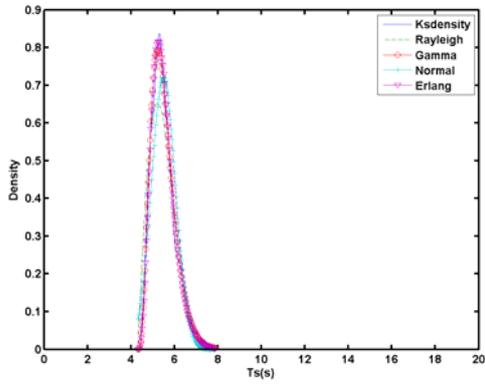
(q) 7-12 月



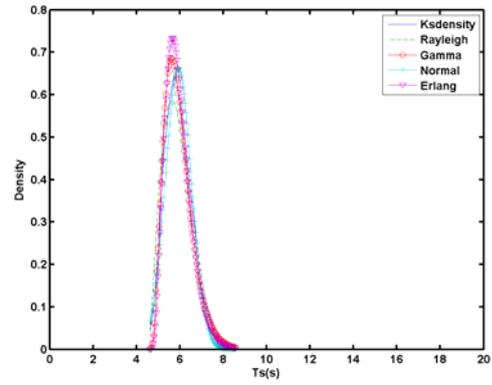
(r) 全年

圖附 1-8 高雄港 2008 年示性波高機率密度圖

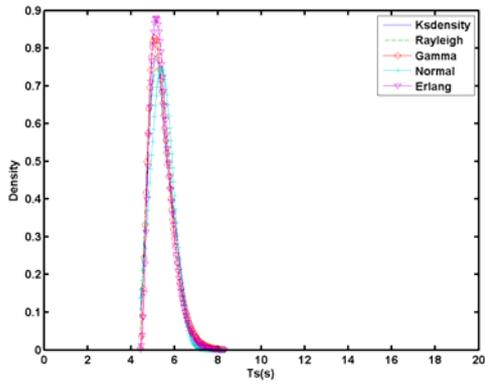
附錄二 高雄港示性週期機率密度圖



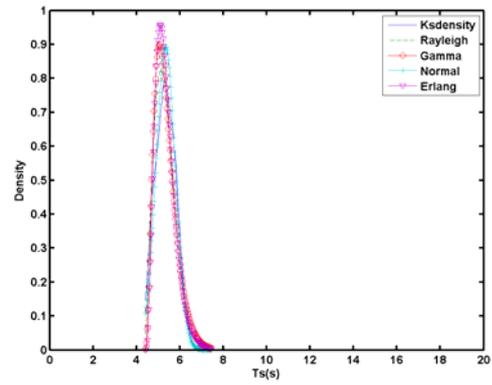
(a) 1 月



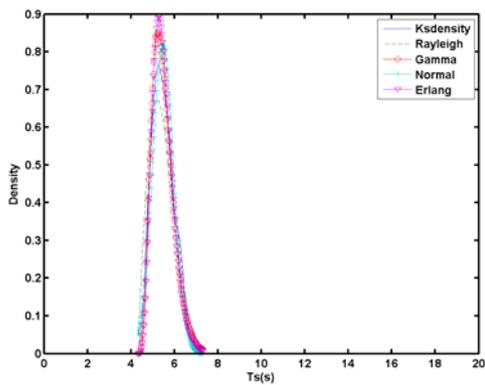
(b) 2 月



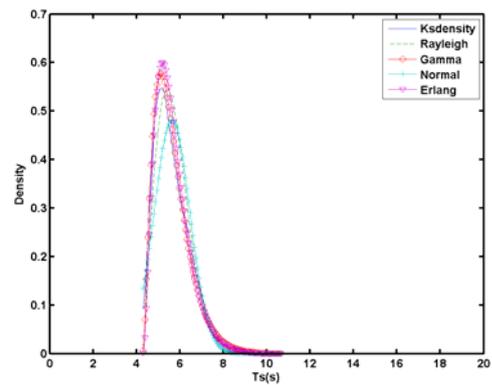
(c) 3 月



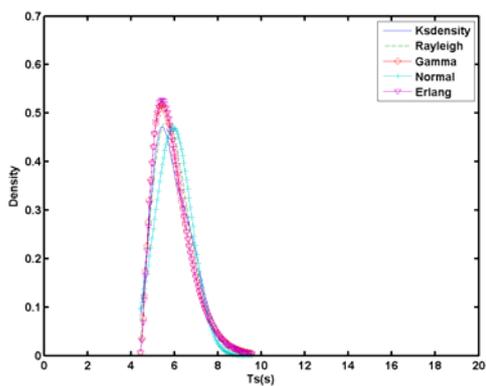
(d) 4 月



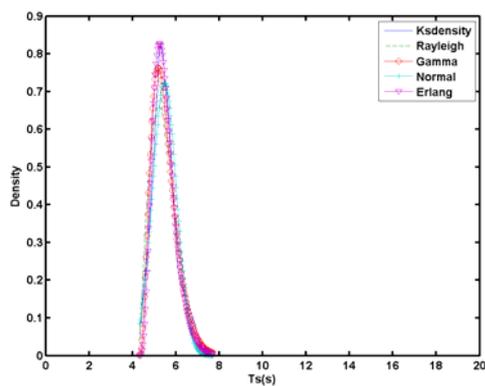
(e) 5 月



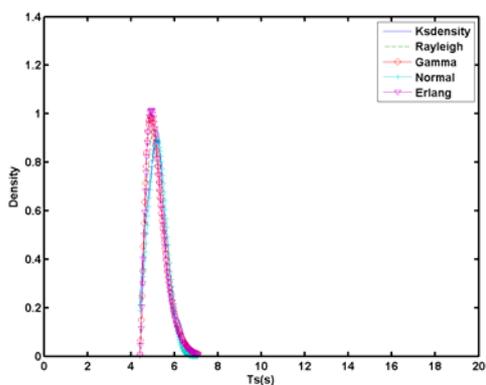
(f) 6 月



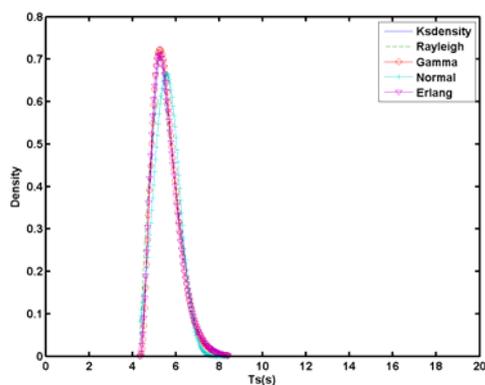
(g) 8 月



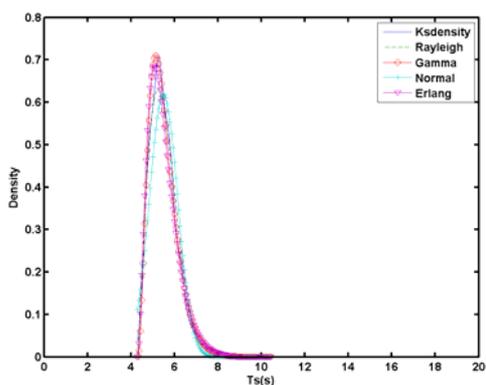
(h) 9 月



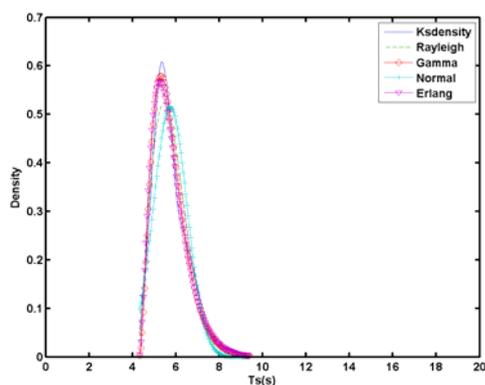
(i) 10 月



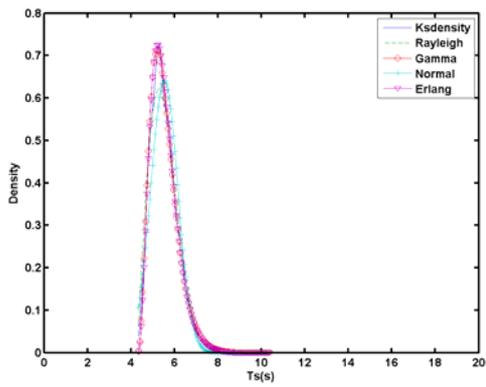
(j) 1-3 月



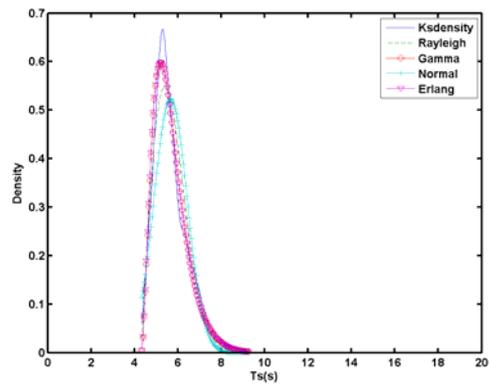
(k) 4-6 月



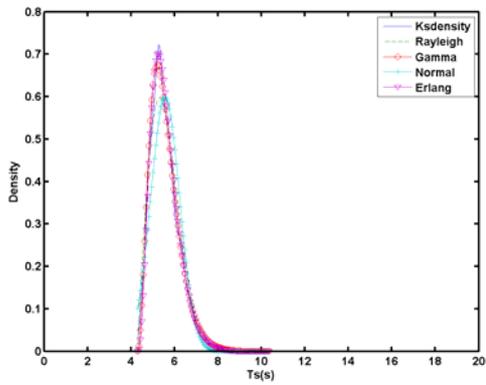
(l) 7-9 月



(m) 1-6 月

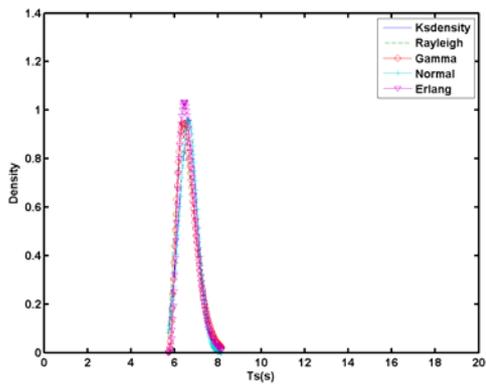


(n) 7-12 月

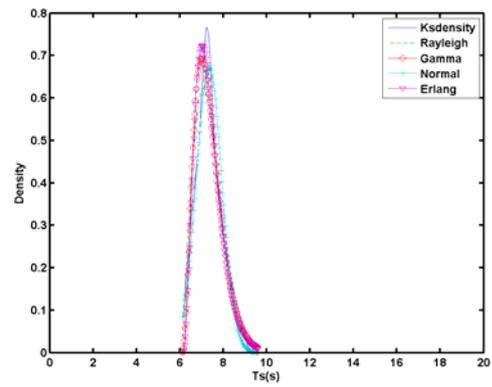


(o) 全年

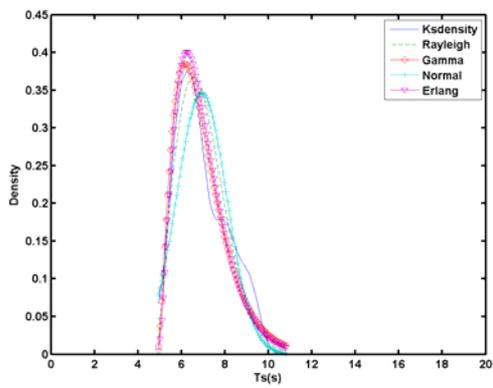
圖附 2-1 高雄港 2001 年示性週期機率密度圖



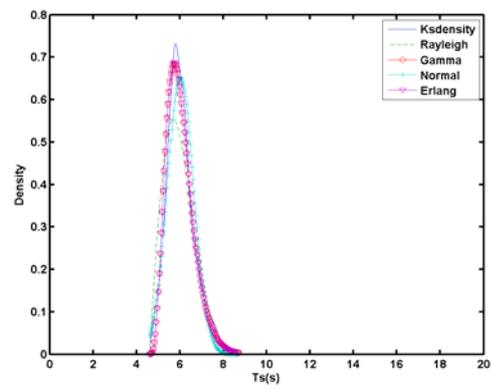
(a) 6 月



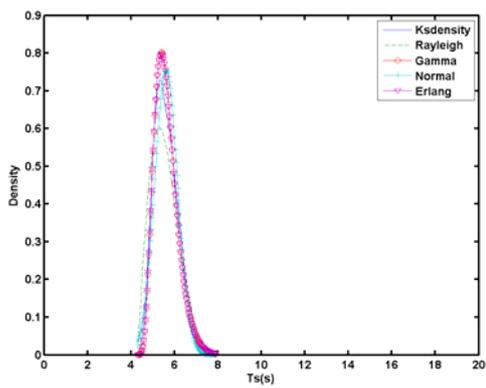
(b) 7 月



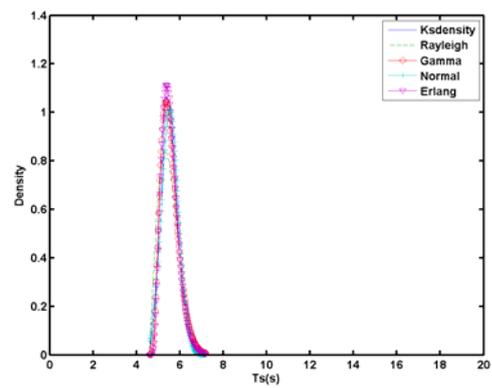
(c) 8 月



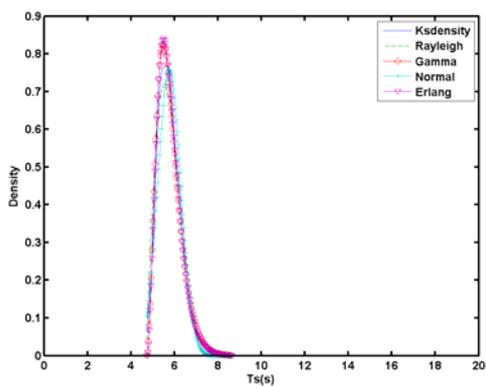
(d) 9 月



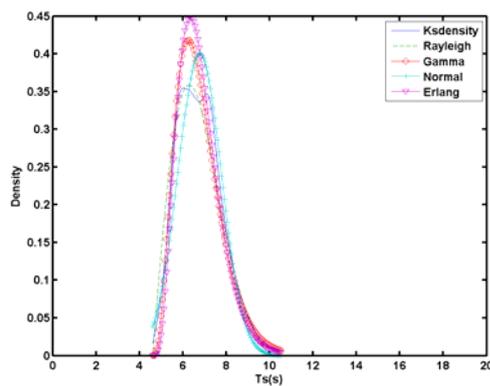
(e) 10 月



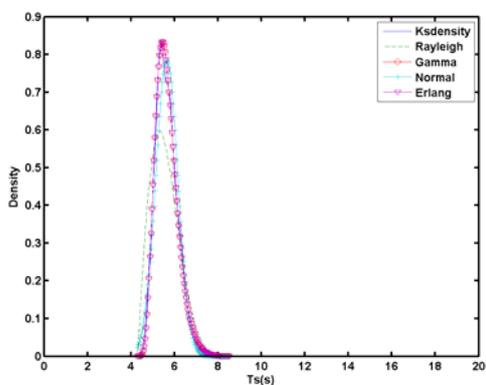
(f) 11 月



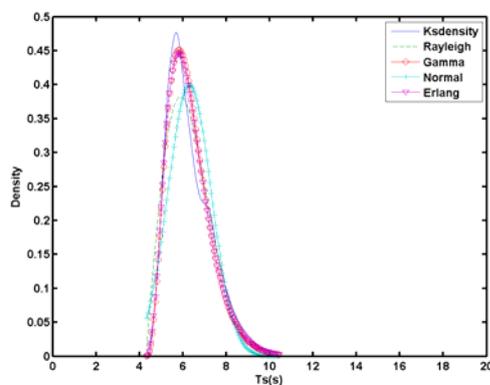
(g) 12 月



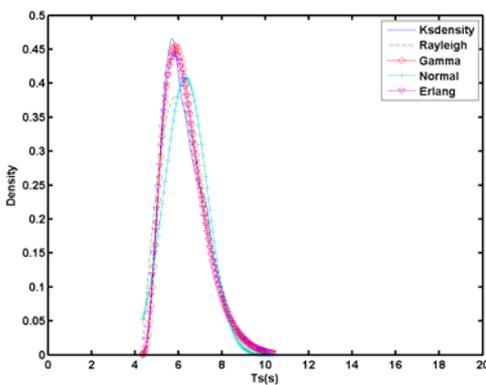
(h) 7-9 月



(i) 10-12 月

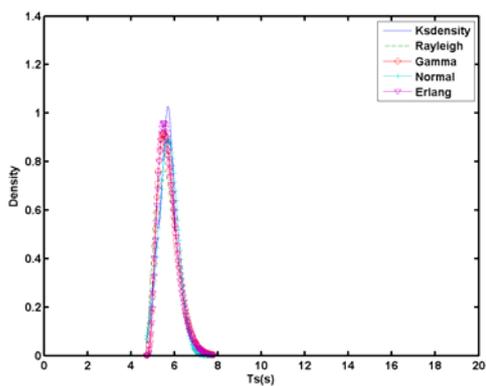


(j) 7-12 月

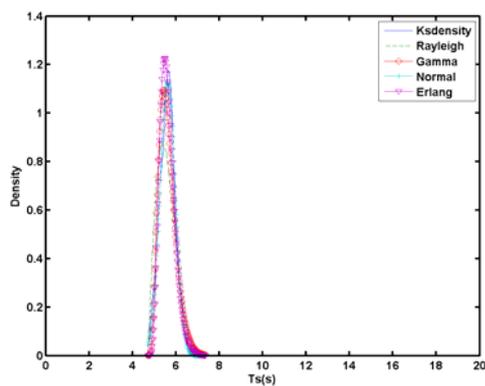


(k) 全年

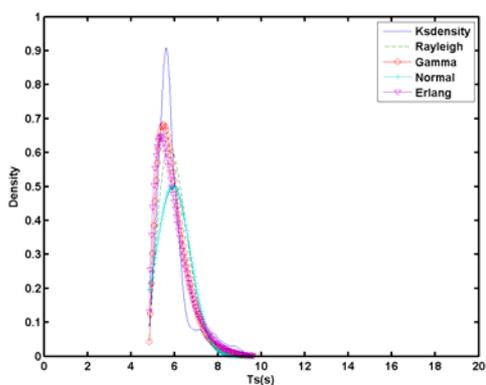
圖附 2-2 高雄港 2002 年示性週期機率密度圖



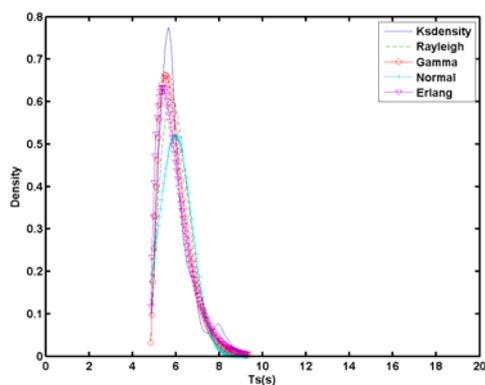
(a) 2 月



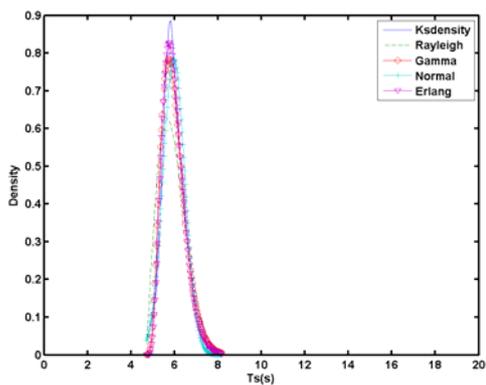
(b) 3 月



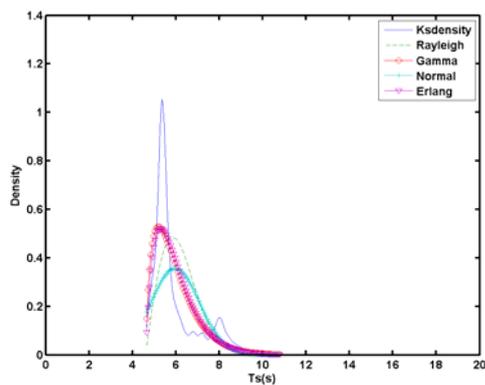
(c) 4 月



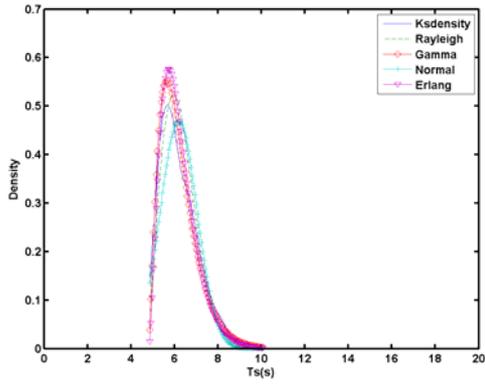
(d) 5 月



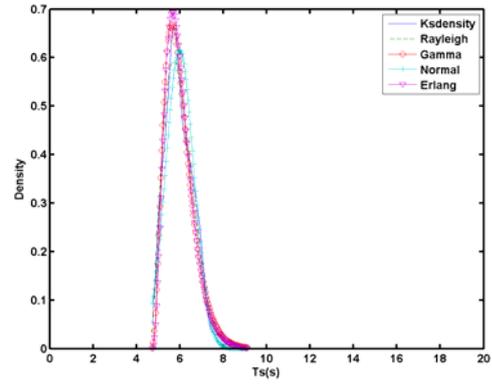
(e) 6 月



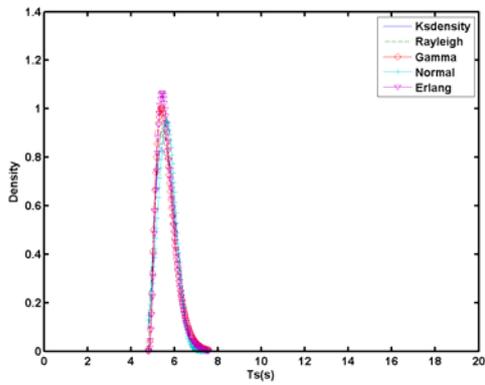
(f) 7 月



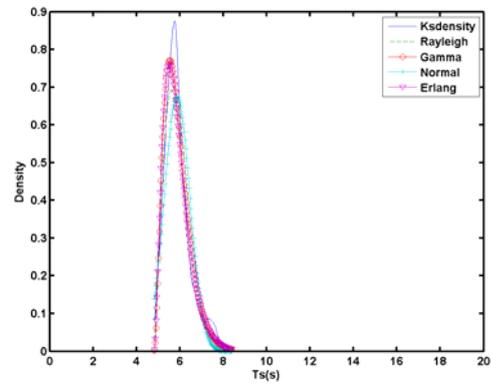
(g) 8 月



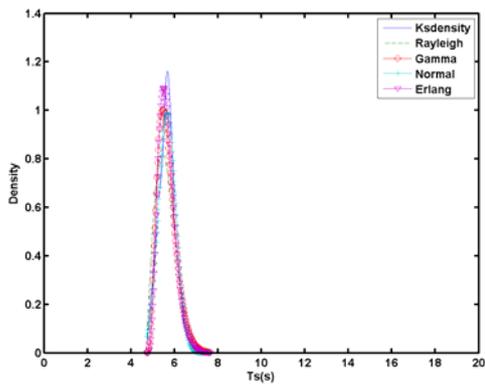
(h) 9 月



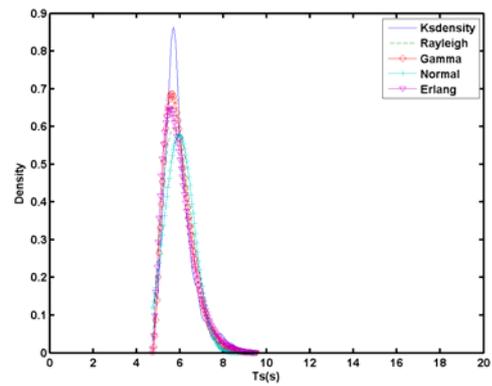
(i) 10 月



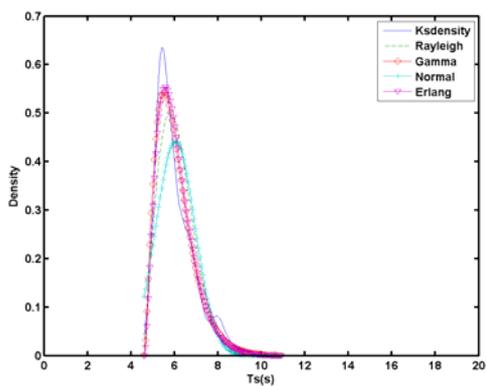
(j) 11 月



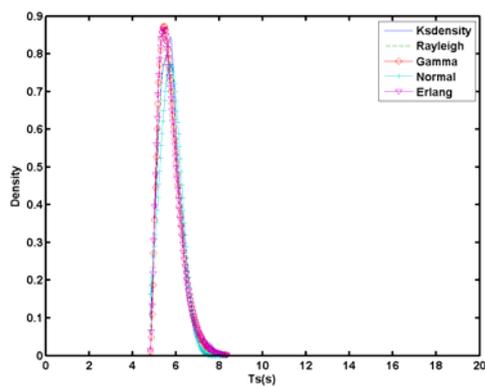
(k) 1-3 月



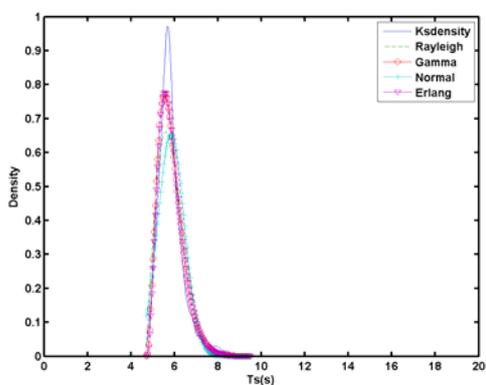
(l) 4-6 月



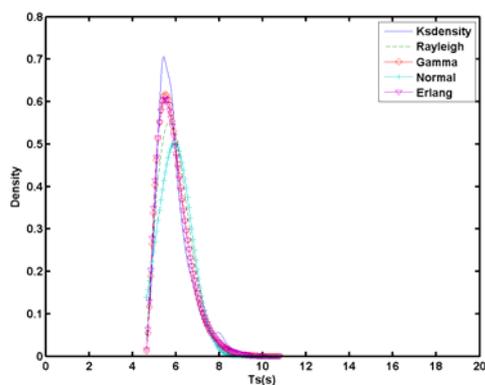
(m) 7-9 月



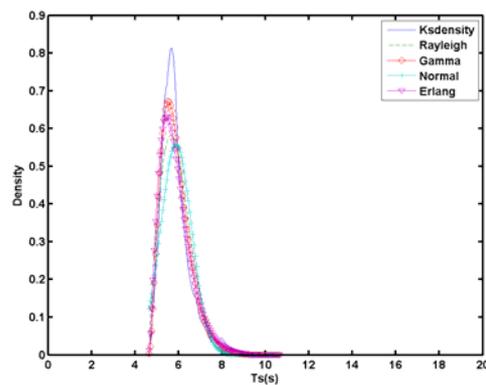
(n) 10-12 月



(o) 1-6 月

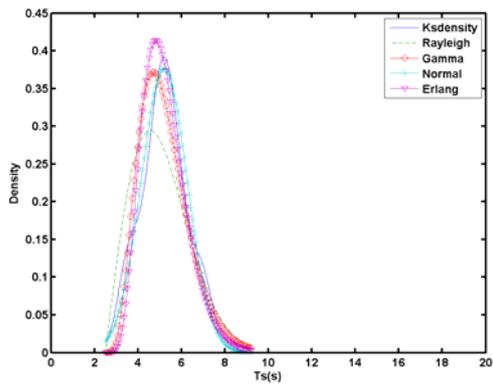


(p) 7-12 月

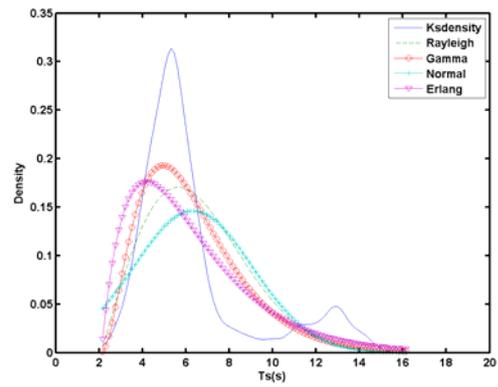


(q) 全年

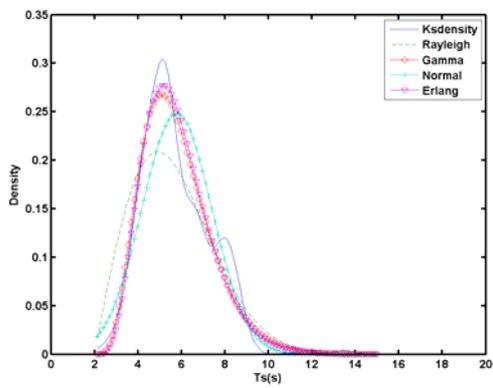
圖附 2-3 高雄港 2003 年示性週期機率密度圖



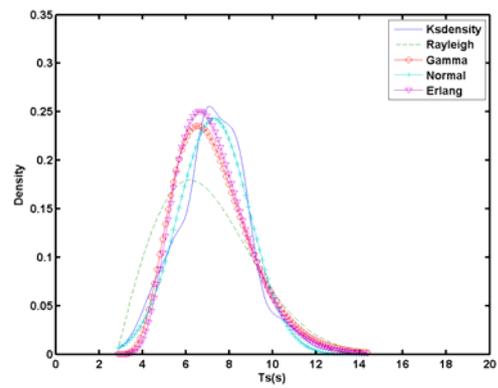
(a) 3 月



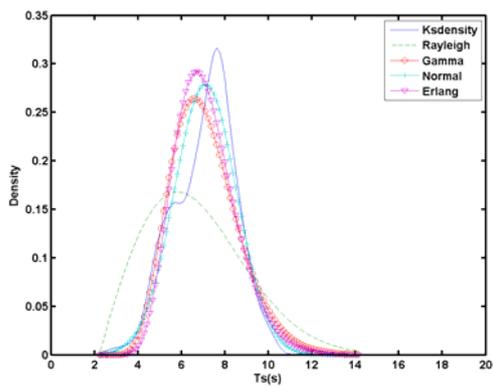
(b) 4 月



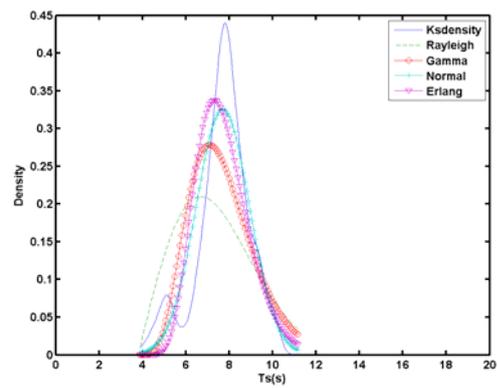
(c) 5 月



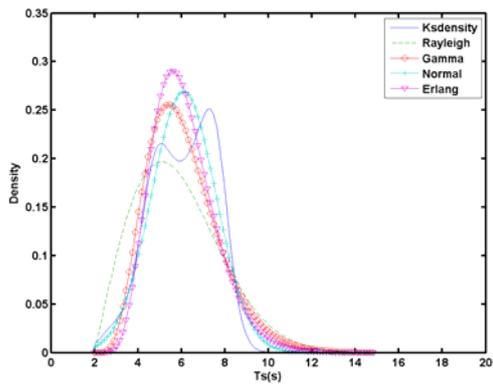
(d) 6 月



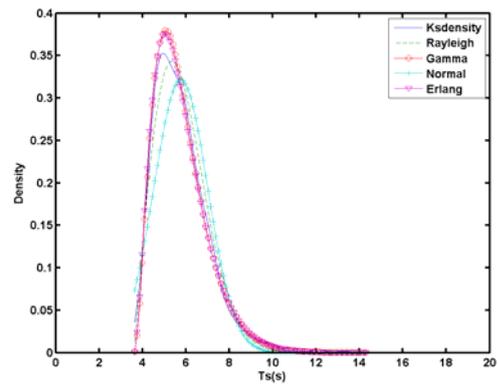
(e) 7 月



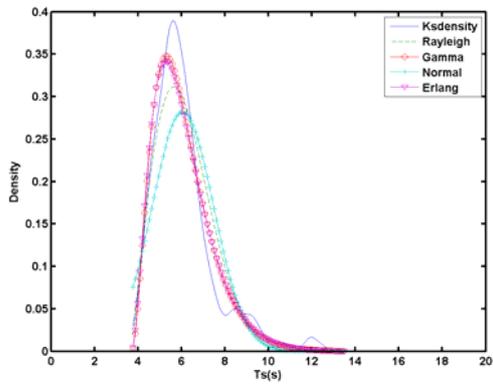
(f) 8 月



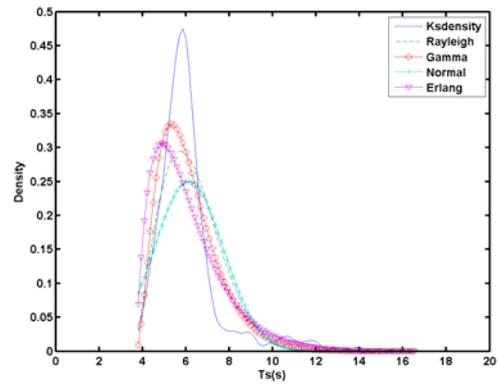
(g) 9 月



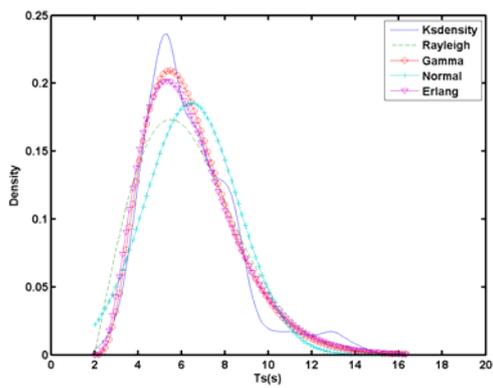
(h) 10 月



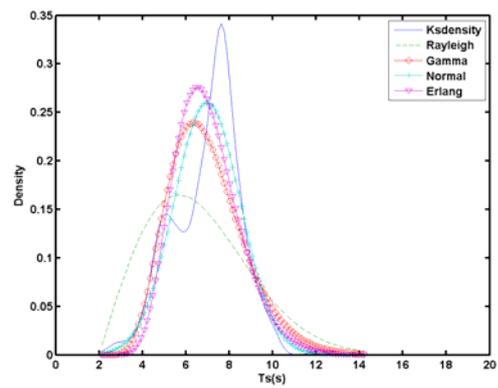
(i) 11 月



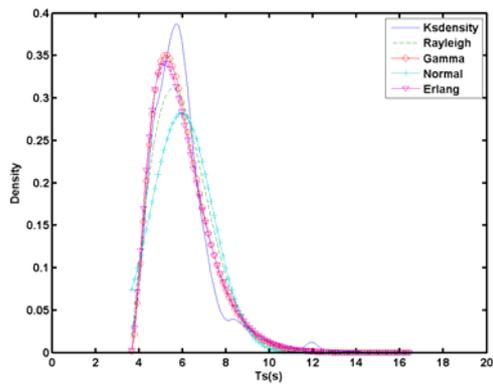
(j) 12 月



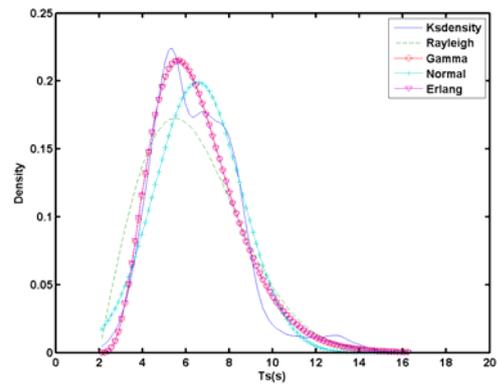
(k) 4-6 月



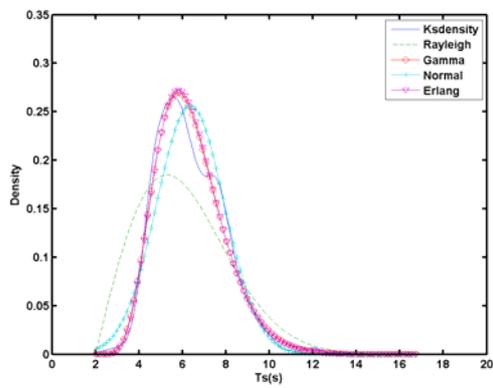
(l) 7-9 月



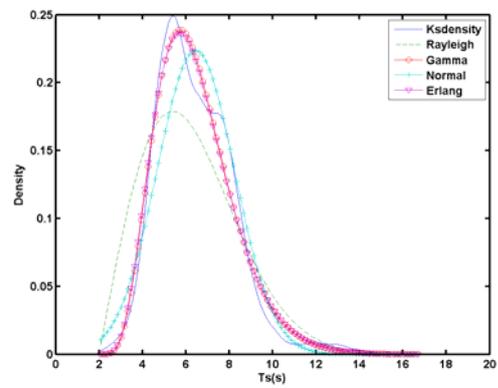
(m) 10-12 月



(n) 1-6 月

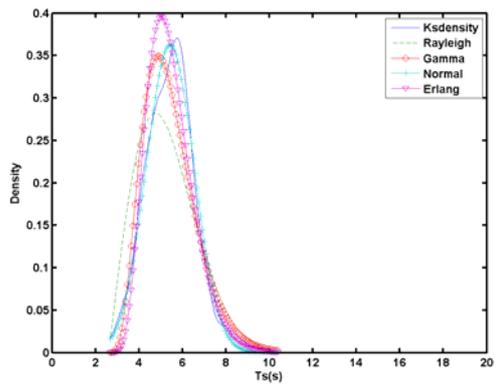


(o) 7-12 月

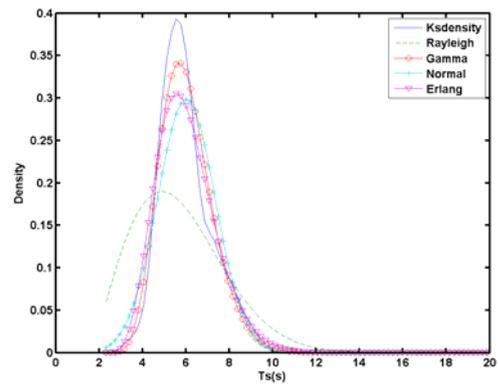


(p) 全年

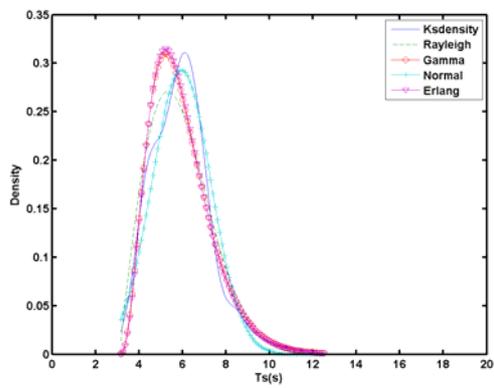
圖附 2-4 高雄港 2004 年示性週期機率密度圖



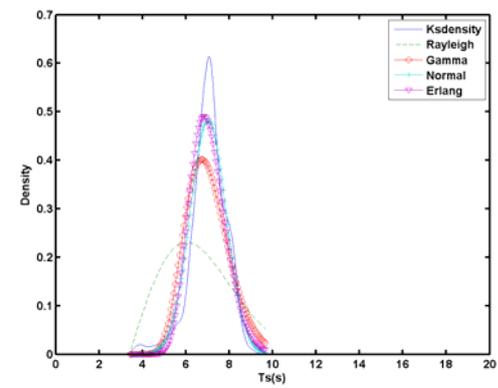
(a) 1 月



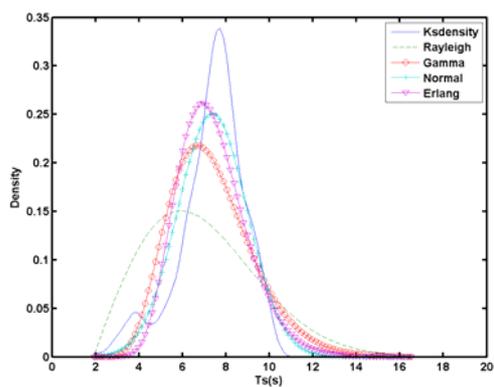
(b) 2 月



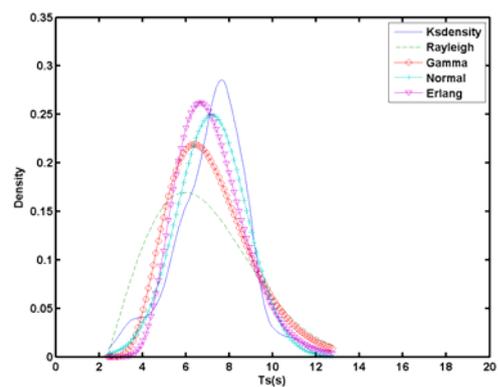
(c) 3 月



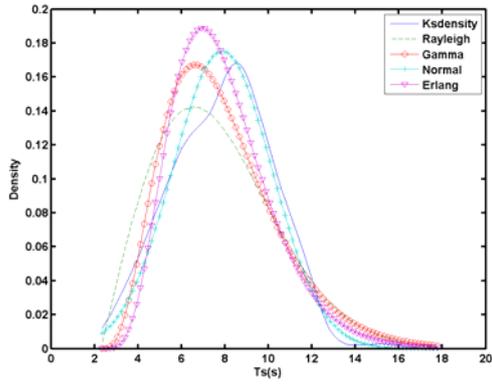
(d) 6 月



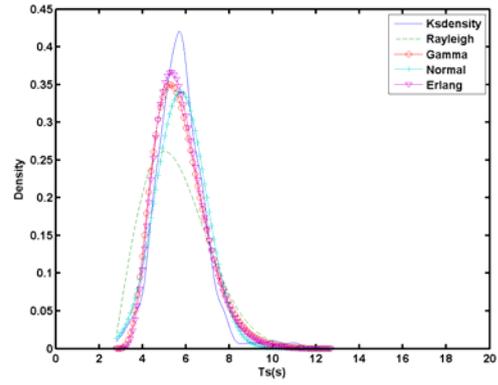
(e) 7 月



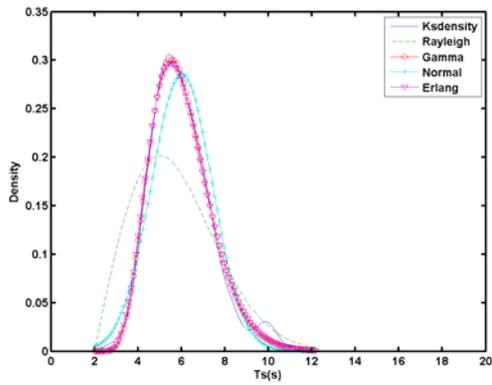
(f) 8 月



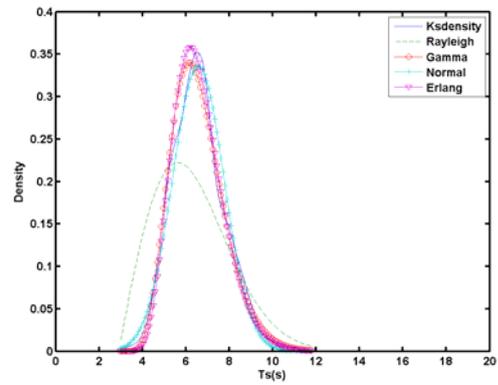
(g) 9 月



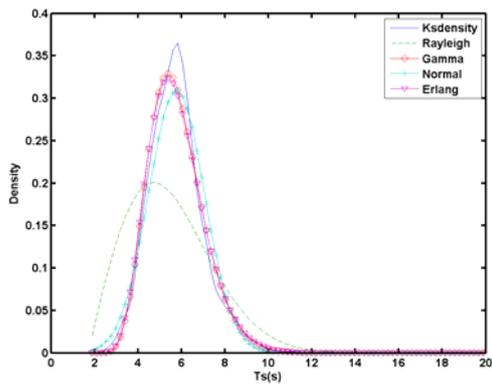
(h) 10 月



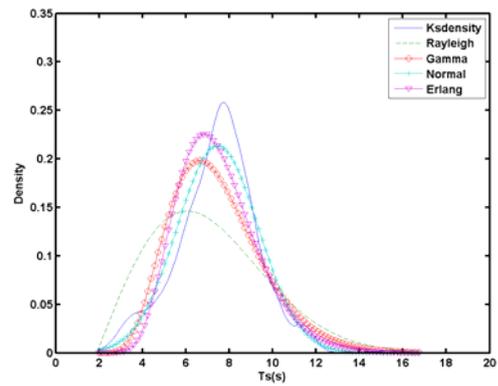
(i) 11 月



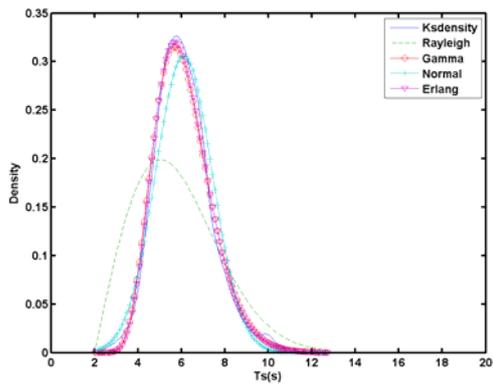
(j) 12 月



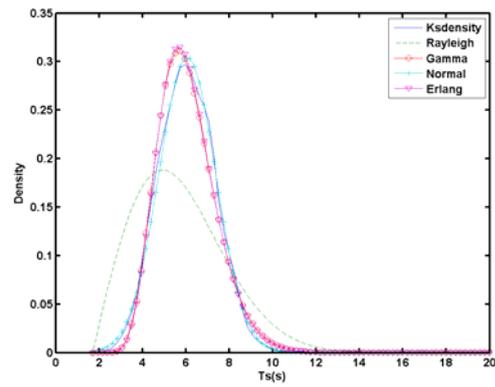
(k) 1-3 月



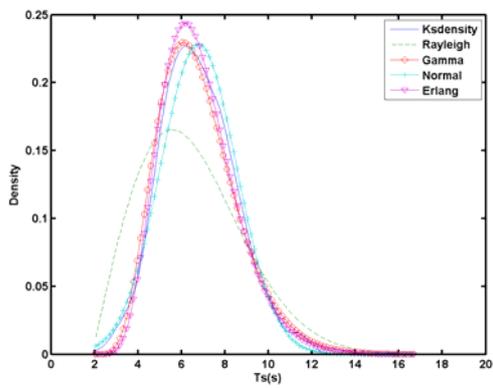
(l) 7-9 月



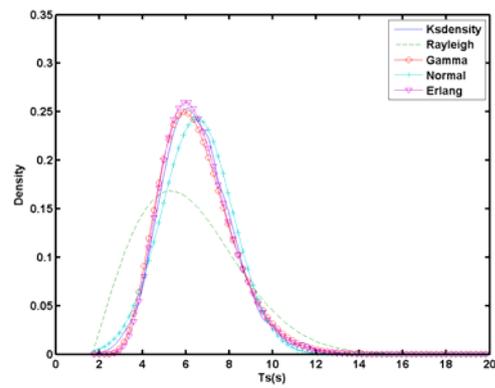
(m) 10-12 月



(n) 1-6 月

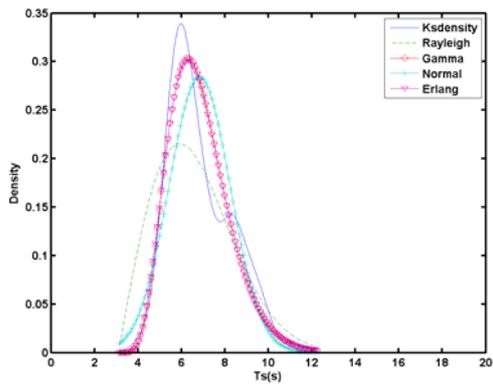


(o) 7-12 月

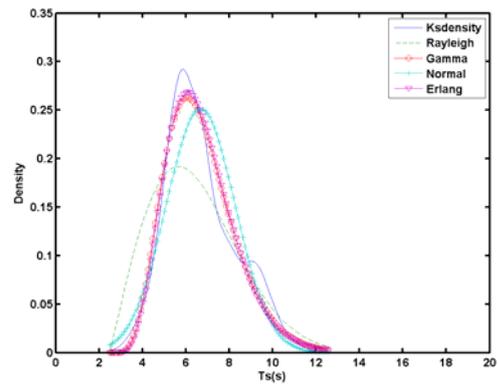


(p) 全年

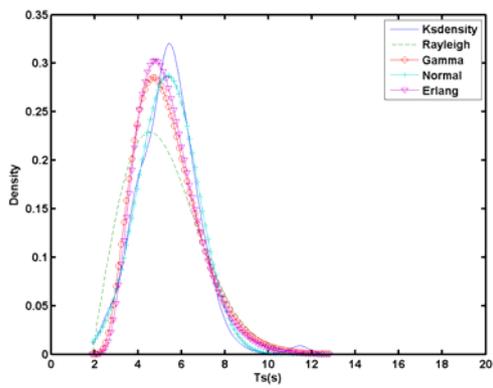
圖附 2-5 高雄港 2005 年示性週期機率密度圖



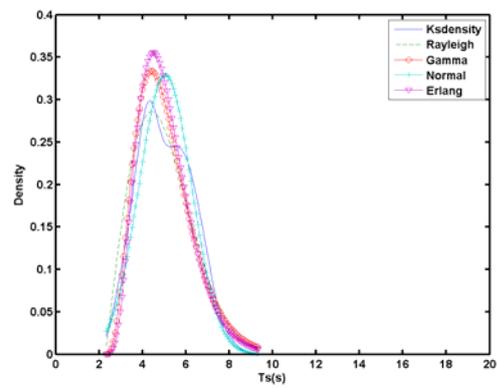
(a) 1 月



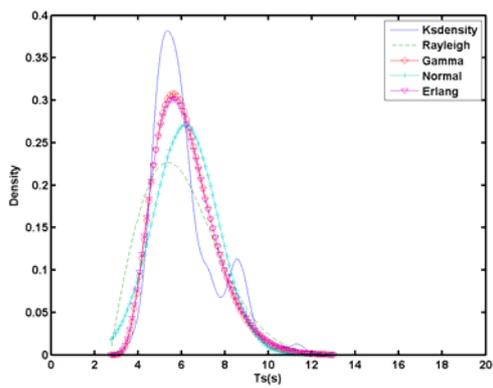
(b) 2 月



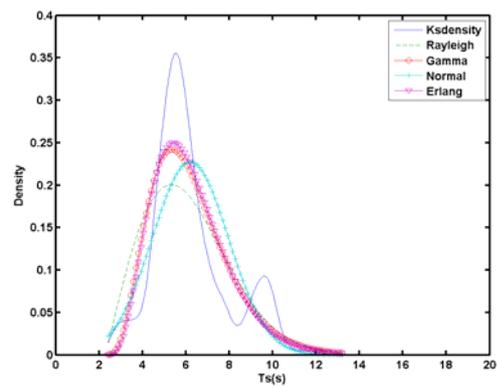
(c) 3 月



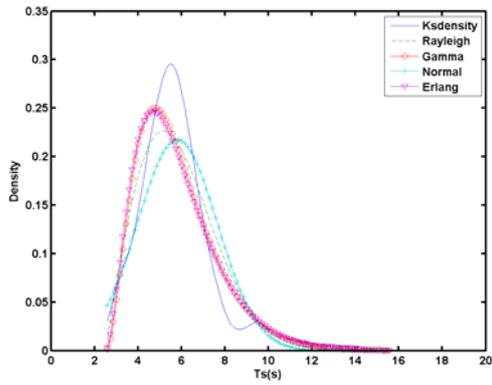
(d) 4 月



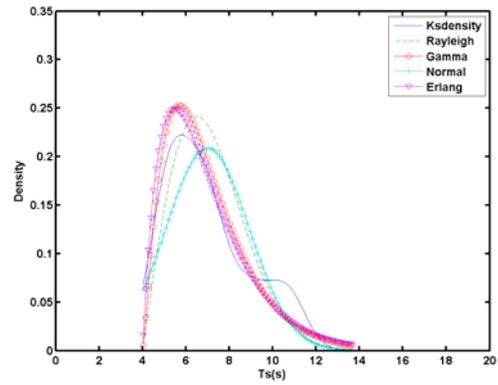
(e) 9 月



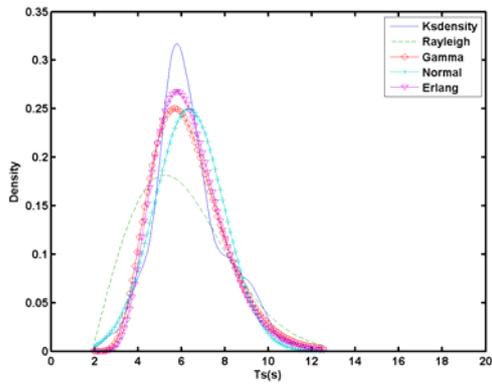
(f) 10 月



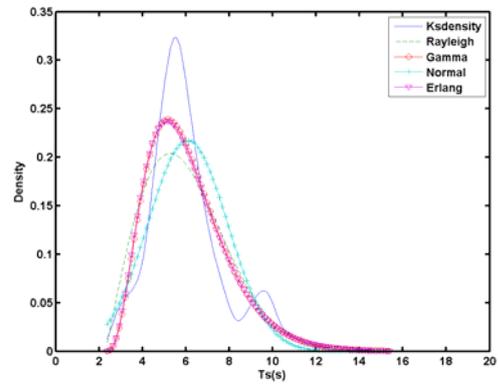
(g) 11 月



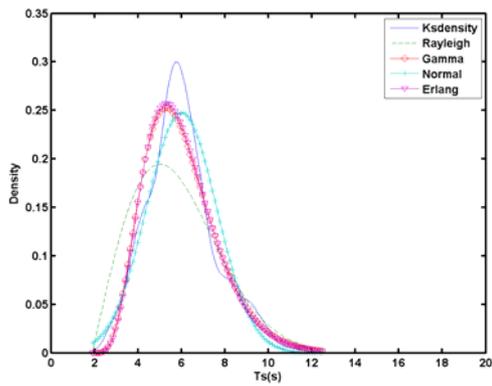
(h) 12 月



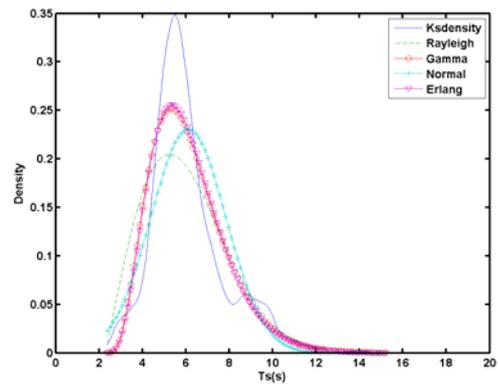
(i) 1-3 月



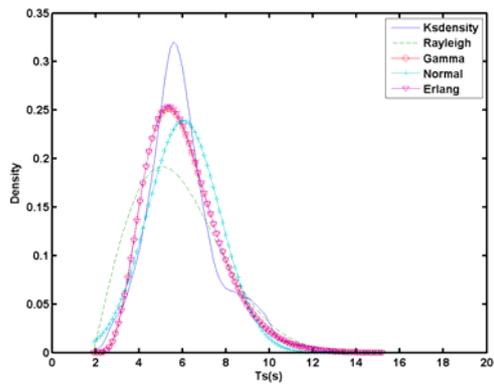
(j) 10-12 月



(k) 1-6 月

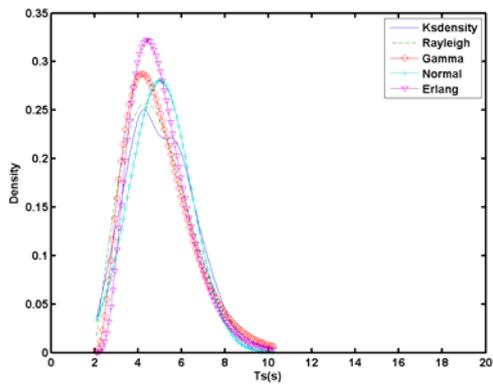


(l) 7-12 月

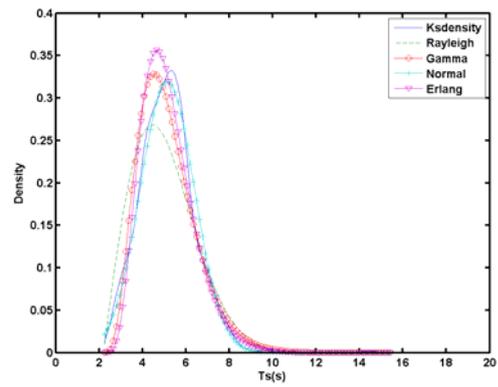


(m) 全年

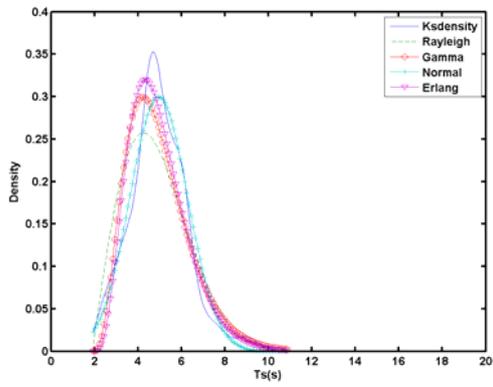
圖附 2-6 高雄港 2006 年示性週期機率密度圖



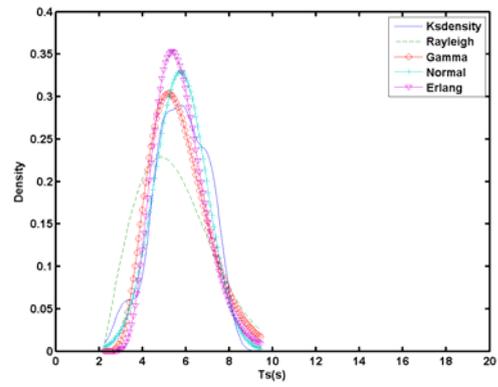
(a) 3 月



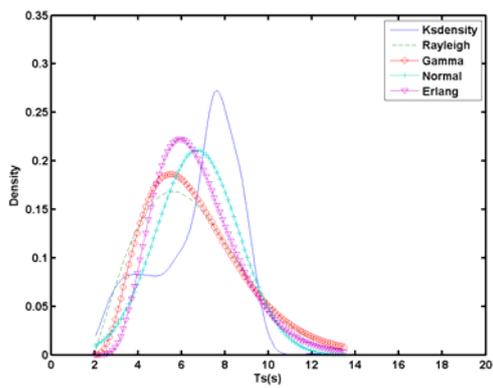
(b) 4 月



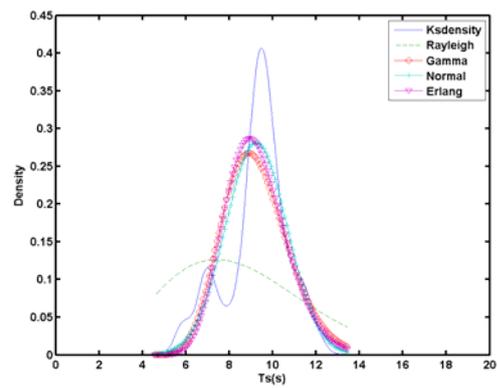
(c) 5 月



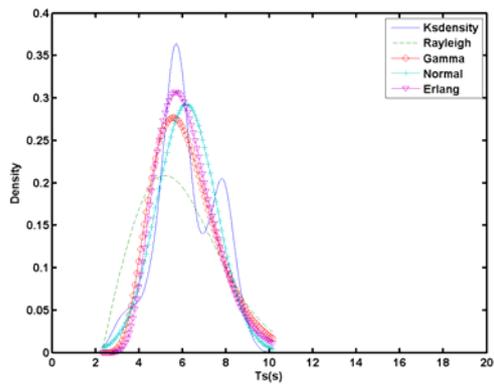
(d) 6 月



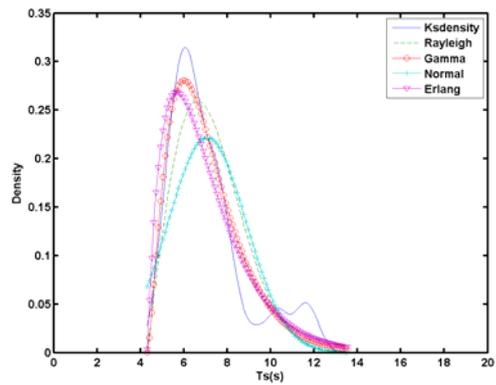
(e) 7 月



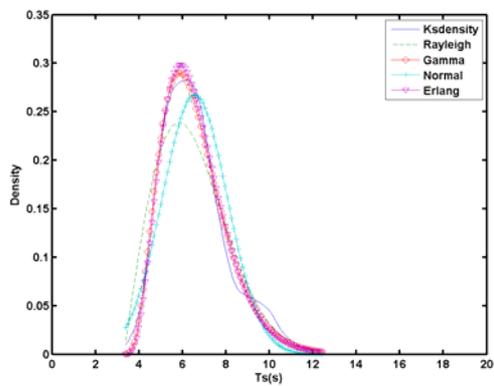
(f) 8 月



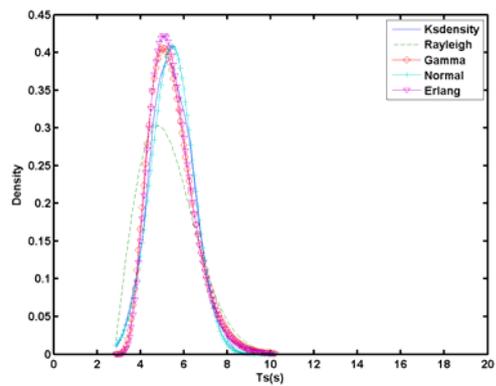
(g) 9 月



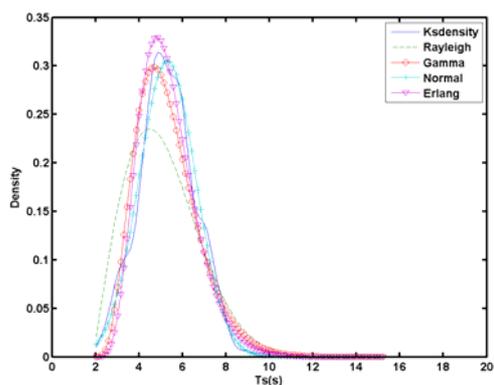
(h) 10 月



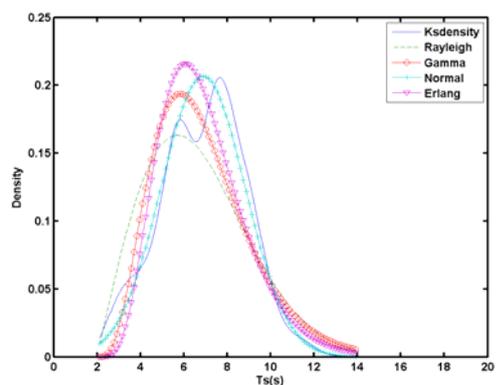
(i) 11 月



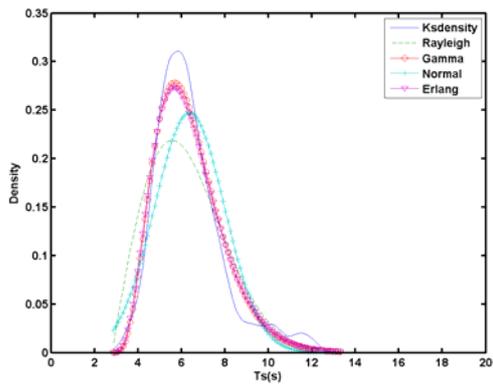
(j) 12 月



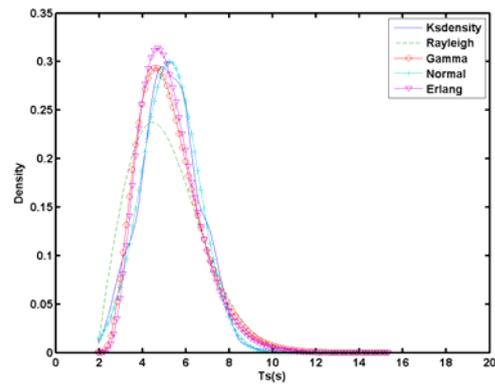
(k) 4-6 月



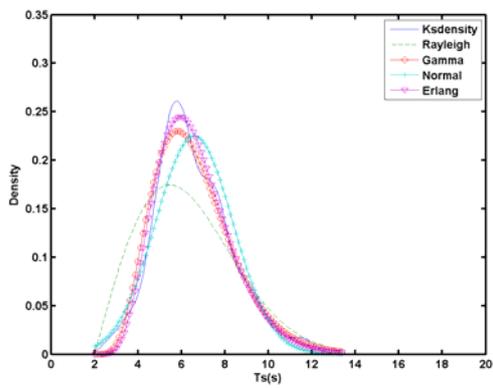
(l) 7-9 月



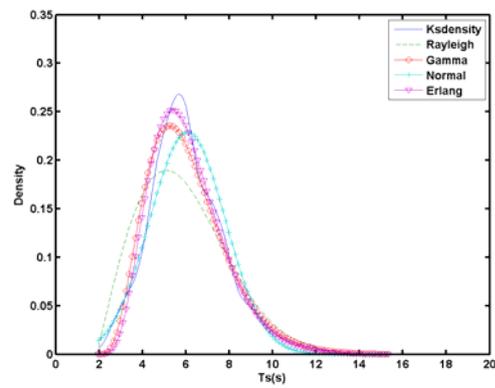
(m) 10-12 月



(n) 1-6 月

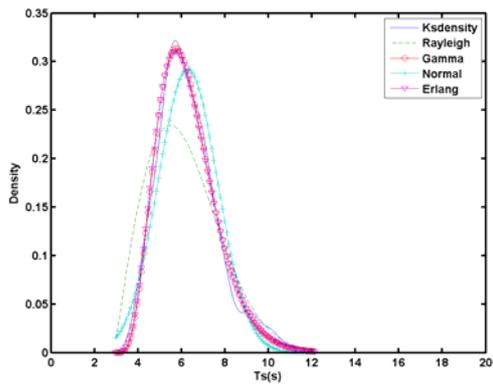


(o) 7-12 月

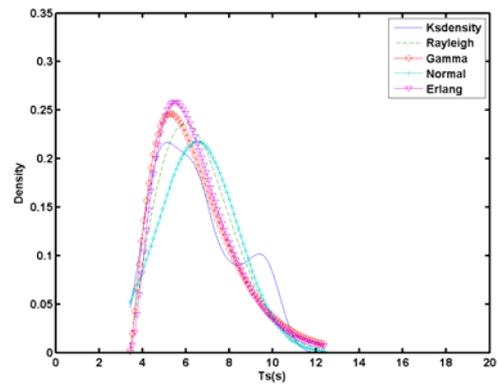


(p) 全年

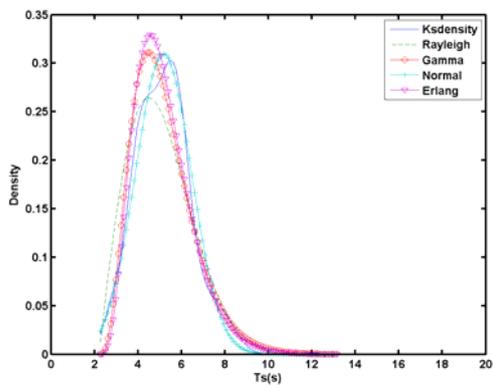
圖附 2-7 高雄港 2007 年示性週期機率密度圖



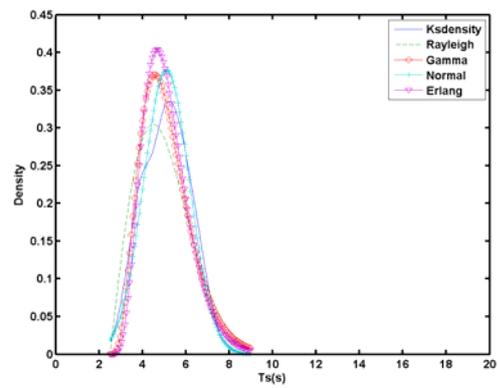
(a) 1 月



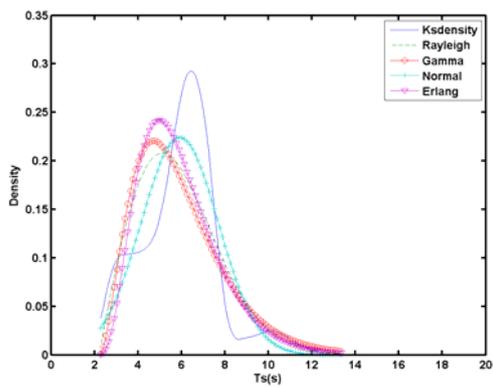
(b) 2 月



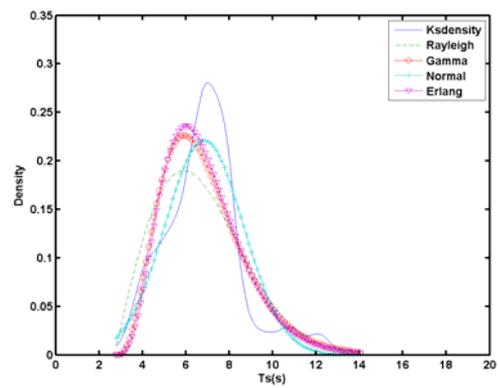
(c) 3 月



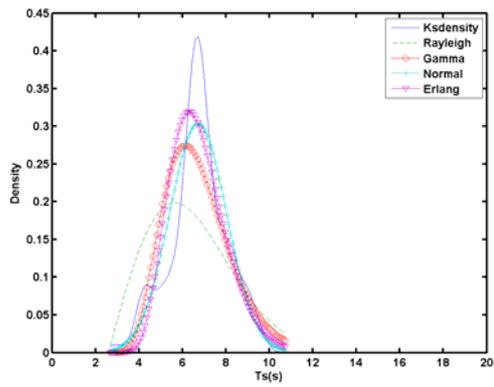
(d) 4 月



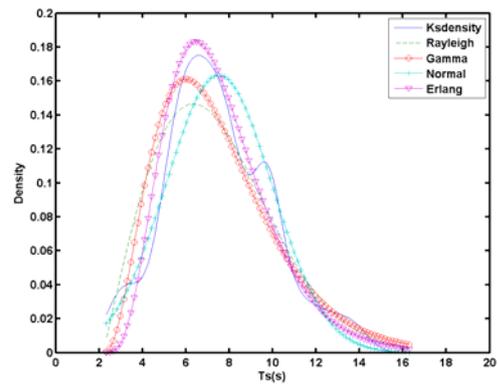
(e) 5 月



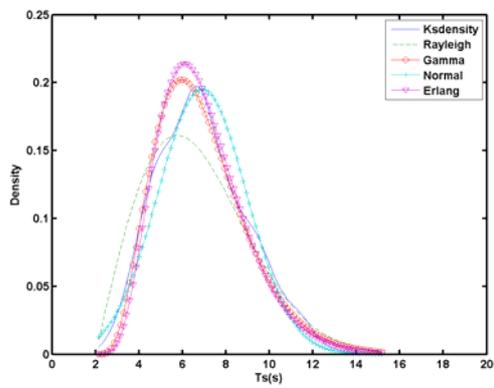
(f) 6 月



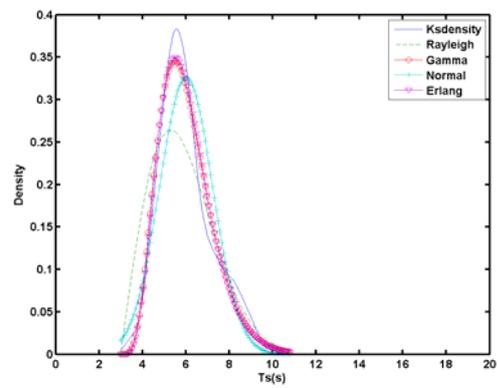
(g) 7 月



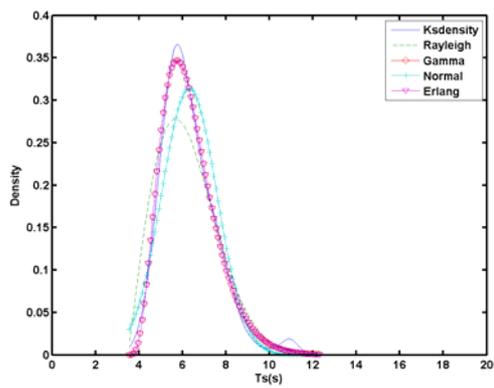
(h) 8 月



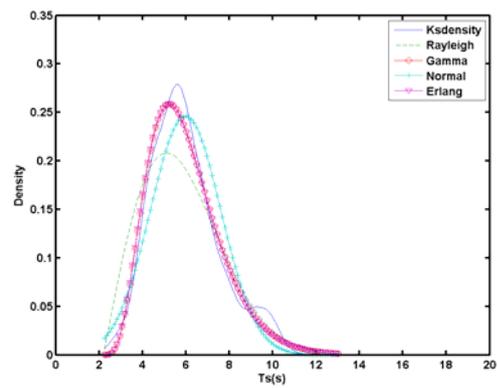
(i) 9 月



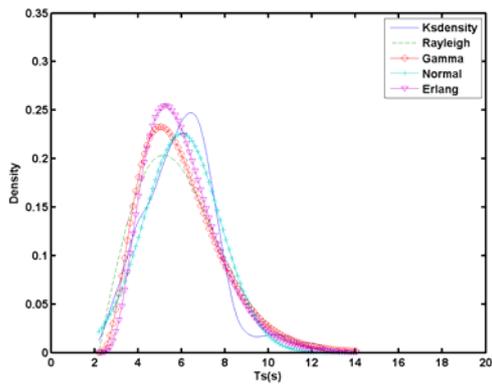
(j) 10 月



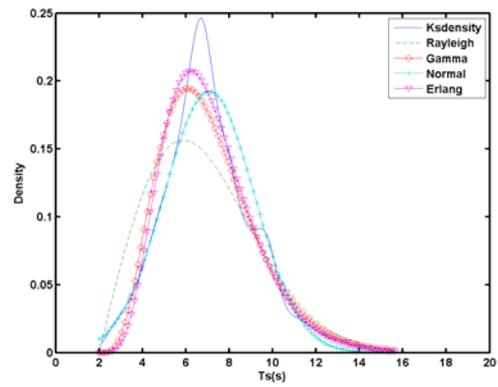
(k) 11 月



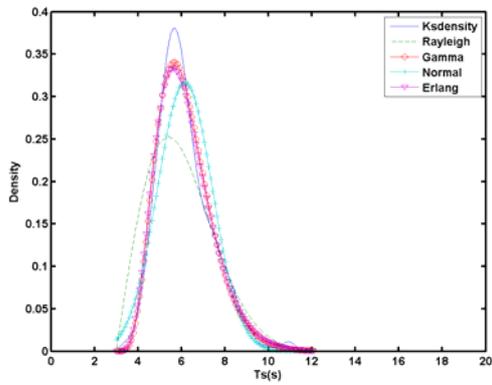
(l) 1-3 月



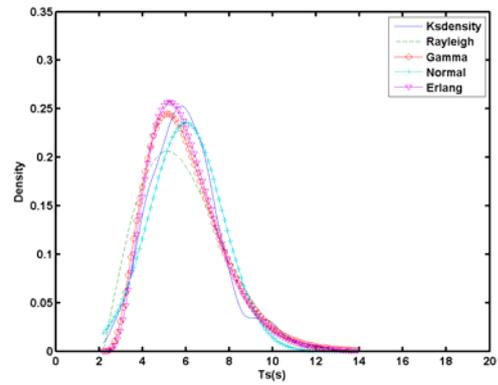
(m) 4-6 月



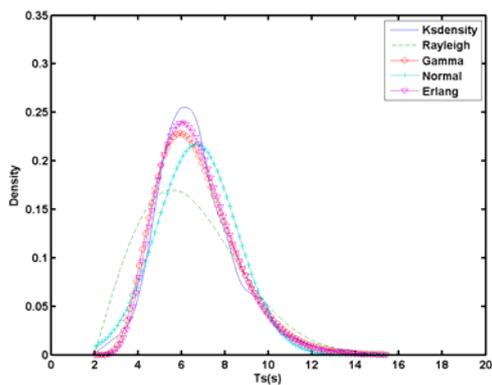
(n) 7-9 月



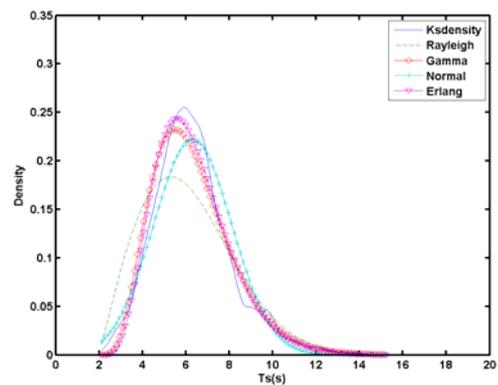
(o) 10-12 月



(p) 1-6 月



(q) 7-12 月



(r) 全年

圖附 2-8 高雄港 2008 年示性週期機率密度圖

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-98-H2EB008 高雄港域波流場數值模擬及特性研究
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>李忠潘委員：</p> <p>一、簡報資料 P.6 的 Weibull 較佳，而 P.18 的結果與 Rayleigh 的理論甚符合，可否說明 Weibull 較佳的理由。</p> <p>二、Tp1P 與 Tp1 在 6sec 時為分界，可能與儀器所在水漾有關，建議可用其他點位的資料確認。</p> <p>三、颱風期間的風浪，在海面形成氣泡，故聲波式波高計無法測到代表性的水面高程，但是壓力式波高計的結果反而較有代表性。因</p>	<p>以往研究顯示波高分布整體以 Weibull 較佳，而個別波之比值理論僅有 Rayleigh 可以參考，因此無法比較 Weibull 之理論。</p> <p>以目前研究結果研判此分界之週期秒數應與水深有關，似往後有其他不同水深測點資料再進行分析。</p> <p>颱風期間可能產生氣泡影響聲波傳遞，本研究再針對颱風期間探討聲波水位資料與壓力資料之有效率。</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>

<p>此建議利用颱風期間，兩者的結果比對，嘗試可否找到聲波式波高計在颱風期間較有代表性的校正 (Calibration) 特性。</p> <p>四、含雜訊的資料約有35%不予分析，剩餘資料是否仍能代表颱風浪的特性？請說明。</p> <p>五、結果良好，應可如期完成。</p>	<p>資料不良率樣本是否包含颱風資料似分析後於期末報告說明。</p> <p>感謝委員肯定。</p>	
<p>岳景雲委員：</p> <p>一、參考文獻 { Nasi(2002) Bowman(1997)...。</p> <p>二、建議增加符號表方便閱讀。</p> <p>三、P III....。</p> <p>四、P6 式 (2.2-7) → (2.2-5) P7 式 (2.2-10b) 式 (2.2-10C) 相同 P8 式 (2.2-13) Hsmk → i ?</p>	<p>期末報告補增。(P132.133)</p> <p>期末報告補增。(P 錯誤! 尚未定義書籤。)</p> <p>已修正。</p> <p>期末報告已更正，圖表更新。(P7.8.9)</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>

<p>圖中線、線段，以顏色區分會更清晰，方便研讀。</p> <p>五、加強資料來源品管控制。</p> <p>六、儀器設置水深不同對分析結果是否會有影響？</p>	<p>本研究僅以優良樣本分析，加強資料品管。</p> <p>本研究僅有一個測點，無法比較水深影響，俟往後有機會再進行研究此議題。</p>	
<p>李兆芳委員：</p> <p>一、計畫執行很確實，期末繼續完成。</p> <p>二、文字編輯建議在修飾加強。</p>	<p>感謝委員肯定。</p> <p>期末報告修正。</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>
<p>吳基委員：</p> <p>一、研究團隊針對本研究的期中報告，內容相當充實，值得肯定。</p> <p>二、波譜分析使用資料為一港口北側測站半年實測資料，是否可採用全年資料(可採用附近測站data)。</p>	<p>感謝委員肯定。</p> <p>本研究資料全由港研中心提供目前只有2009年6至12月。</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>

<p>三、有關壓力轉換水位或聲波水位之於波高大小之適用性如何，可於期末報告做討論。</p> <p>四、有關印度學者對示性週期新定義，學者反應如何？</p> <p>五、報告及簡報檔之字體可酌量放大，以利閱讀。</p>	<p>以現有數據分析發現，颱風期間之壓力及聲波資料分析波浪之頻率與平常期間相似。若在測點波浪產生碎波，聲波測量較壓力式不適用。</p> <p>已蒐集文獻顯示此新定義尚無學者進一步探討其特性及優點。</p> <p>期末報告修正。</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、有關波譜分析之各種驗證結果，例如：H1/3~H1/10、H1/10/H1/3 與譜寬參數 (U)、H1/3~Hmax、或者</p>	<p>目前分析資料只有2009年6至12月，含有35%之不良率。目前之數據應可代表高雄海域之夏至冬季之波浪特性。</p> <p>各統計值之比較，可見Goda(2000)及郭一羽(2003)。</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>

<p>週期分析結果方面，建議增加和理論分析之比較，或者往昔其他學者研究成果之比較。</p> <p>三、建議於期末報告中，增列往昔有關高雄港域之相關研究成果，以做為驗證比較。</p>	<p>本計畫為延續性計畫，於 97 年度已有進行相關文獻的探討，故於本年度不再重複該內容。</p>	
<p>許泰文委員：</p> <p>一、本計畫研究範圍和對象以高雄港為主，就高雄港實測資料使用最適合機率分佈函數及波浪統計波譜進析。</p> <p>二、建立精確海象觀測資料品質控制及使用類神經網路除錯模式。</p> <p>三、高雄港波浪資料長達五十年，宜先就資料品質鮮予以過濾，並進行除錯，提升資料可信度。</p>	<p>本研究目的即為分析出高雄港波浪之特性。</p> <p>本資料不良者已刪除。</p> <p>目前已將不良資料剔除分析結果，已不含資料品質之影響。</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-98-H2EB008 高雄港域波流場數值模擬及特性研究
 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>岳景雲委員：</p> <p>一、工作項目多、研究目標明確，研究團隊工作辛苦值得肯定。</p> <p>二、P.16~表 2-6.1 之後增加 Mark、灰階表示加強文中所提到數字，方便判讀。</p> <p>三、示性波高最小值、最大值，示性週期最小值，在統計上所代表意義。</p>	<p>一、感謝委員肯定。</p> <p>二、遵照辦理。</p> <p>三、因有些分布之起始值從零開始，而示性波高值都大於零，因此需先扣除最小值以符合機率密度函數之特性。示性波浪最大最小值主要決定統計之波浪範圍。</p>	

<p>四、P.33、P.53 建議增加單位(m)、(sec)。</p> <p>五、P.57 式 3.1-7BW、P.58 式 3.1-8aBW 請更正。</p>	<p>四、遵照辦理。</p> <p>五、遵照辦理。</p>	
<p>李忠潘委員：</p> <p>一、波浪特性與風密切相關，因此，季節的劃分將影響該季的風浪特性。建議以東北季風、西南季風，以及春、秋轉換季劃分季節。另外，建議將颱風浪自季節浪扣除，各自分析。</p> <p>二、P.15，請說明扣除資料最小值的原因。</p>	<p>一、感謝委員建議，因時程關係無法在期末定稿前完成，將於下年度計畫以群集分析法分類後再進行分析波浪統計特性。</p> <p>二、因有些分布之起始值從零開始，而示性波高值都大於零，因此需先扣除最小值以符合機率密度函數之特性。</p>	

<p>三、P.7，請說明波高取 Weibull，而週期取 Enlang 的原因。</p> <p>四、P.5，請加上原測站 A 的水深。</p> <p>五、正式報告，請以彩色印有顏色差異的圖表。</p> <p>六、嚴謹並有豐碩成果。</p>	<p>三、波高與週期是不同之分布特性，波高理論上偏向於 Rayleigh 分布，其為 Weibull 之特例。至於週期尚無理論分布，然往昔研究發現 Erlang 分布是合宜分布，本研究亦得高雄波浪週期較符合 Erlang 分布與其他研究者相同。</p> <p>四、遵照辦理。</p> <p>五、遵照辦理。</p> <p>六、感謝委員肯定。</p>	
<p>許泰文委員：</p> <p>一、高雄港已有長期的波浪觀測資料，本計畫僅使用</p>	<p>一、港研中心高雄長期測量資料乃自 2001 起，本研究遂</p>	

<p>2001~2008 年資料進行，建議檢討全部資料綜合分析可行性。</p> <p>二、波高分佈比較符合 Weibull 分佈，但週期似乎比較靠近 normal distribution，請詳細說明。或以 $T1/3=A\sqrt{H1/2}$ 加以分析就好。</p> <p>三、風浪預報結合 ANN，目的在解決風場和波浪預測，但目前較常使用 data assimilation，此方法較具物理意義。</p>	<p>以此分析。</p> <p>二、波高與週期是不同之分布特性，波高理論上偏向於 Rayleigh 分布，其為 Weibull 之特例。至於週期尚無理論分布，然往昔研究發現 Erlang 分布是合宜分布，本研究亦得高雄波浪週期較符合 Erlang 分布與其他研究者相同。</p> <p>三、data assimilation 需要即時的資料做修正，使用上較複雜，本計畫採用簡單的 ANN 模式即可達到高精度的目標。</p>	
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

<p>李兆芳委員：</p> <p>一、計畫內容相當確實，合乎計畫要求。</p> <p>二、內容提及觀測儀器及資料來源部份可作整合。</p>	<p>一、感謝委員肯定。</p> <p>二、遵照辦理。</p>	
<p>吳基委員：</p> <p>一、有關敘述示性波高分佈，週期分佈各模式檢驗結果表之季節分類宜依本地海氣象特性重新區分，較具說服力。</p> <p>二、本研究計畫標題含波、流場，有關流場研究成果雖已列於去年研究報告，宜再作較詳細之成果描述，加入本年報告。</p> <p>三、報告中圖表之呈</p>	<p>一、感謝委員建議，因時程關係無法在期末定稿前完成，將於下年度計畫以群集分析法分類後再進行分析波浪統計特性。</p> <p>二、已於 1.4 節有列各年度研究成果。</p> <p>三、遵照辦理。</p>	

<p>現，請增加閱讀性。</p> <p>四、本年工作執行成果良好。</p>	<p>四、感謝委員肯定。</p>	
<p>何良勝委員：</p> <p>一、報告內文可修正之處：(1)chap2 內之圖，建議放大些，較易作比較查看。(2)P.65 之個別波，建議補強說明。</p> <p>二、P.62 之(3.2-3)式，有關壓力轉換函數，是否會影響其與聲波水位值之比較？</p>	<p>一、遵照辦理。</p> <p>二、壓力轉換函數一般採線性波理論，本計畫亦使用此轉換函數，唯本計畫不將壓力轉換水位再計算波譜，以減少計算上之誤差。此研究結果與往昔結果相近發現壓力所得示性波高與個別波高比值與波譜寬度成正比。</p>	

<p>三、P.35，有關示性週期之機率分佈分析中，本研究係將週期由大至小排列再分析，此與波浪理論中之波高所對應週期的方式不同，此種分析結果是否切適？</p>	<p>三、欲討論波浪週期統計特性，若以往昔示性波週期之定義，因對應示性波高而無大小排序，統計特性較不一致。最近學者發現以週期大小排序所得之週期統計特性比較有規律性。</p>	
--------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------	--